

平成25年度環境省委託業務

平成25年度
地熱開発技術の最新情報の
収集・整備委託業務
成果報告書

平成26年3月

概 要

1. 目的

最新の技術を活用した地熱開発の推進のために、国内外の最新の技術動向の収集・整備・評価、地熱開発の推進に関する動向調査等を行い地熱開発の技術的課題の克服を図るとともに、技術導入の着実な実現に向けたビジネスモデル開発や各種導入支援施策との効果的な組み合わせのあり方について検討を行うことを目的とする。

2. 調査の内容

(1) 地熱資源の利用形態と主要国の市場動向の整理

地熱資源の温度別にみた利用形態と国内外の導入事例を整理した。特に発電利用についてはフラッシュ方式、ドライスチーム方式、バイナリー方式の 3 つの発電方式を記載している。また主要国の市場動向として、文献調査をもとに地熱発電の導入量の推移及び発電利用、直接利用量の内訳を整理した。

(2) 国内における地熱発電の普及上の課題の整理

国内外の最新の技術開発動向の把握に先立ち、有識者へのヒアリングを行い、我が国における地熱発電の普及上の課題の抽出整理を行った。課題については、技術面の課題 15 件と社会環境に係る課題 7 件の計 22 件に集約された。各課題へ技術的に対応する観点から、技術開発の目的として低コスト化技術、環境共生技術、低リスク化技術の 3 つを設定し、低リスク化技術については、技術面での開発リスクの低減と、地熱発電に対する社会受容性に係るリスクの低減に分けることとした。

(3) 国内外の技術開発の調査、及び分析

国内及び海外における地熱技術開発事業について詳細調査を行い、合計 116 プロジェクトについて、技術開発の特徴、導入効果、開発上の課題、今後の見通し等について整理を行った。整理に際しては、地熱発電の開発段階（資源概査、資源精査／調査井掘削、F/S 環境アセス、掘削、設計・建設、O&M）、技術開発フェーズ（基礎研究、応用研究、実用研究、導入実証、初期導入、市場普及）、並びに従来技術の改良／新規コンセプト技術の分類を適用し、全プロジェクトが掲載された技術マップを作成した。

(4) 導入促進施策の調査

技術開発の調査、分析と同時に地熱の普及を後押しする導入促進施策についても調査を実施した。整理にあたり、再生可能エネルギー全般に係るものと地熱開発に特化したものに分類した。さらに、補助金、融資等の支援の形態を施策形態とし、導入促進施策の対象となる開発段階も併せて整理した。

(5) 技術開発の方向性の検討

これまで整理した課題に対する短期的及び中長期的な技術開発テーマと、参考とすべき国内外の技術開発と一体的に推進すべき支援策を整理した。中長期の技術開発の方向性については、高温岩体発電及びマグマ発電を中心とした技術開発の方向性を取りまとめている。

Outline

1. Purpose

The purpose of this report is to gather and analyze the information on latest technology of geothermal power generation for overcoming technological difficulties. This report also introduces measures accelerating the development of geothermal power generation, analyzing the effective combination with technological development.

2. Contents of the survey

(1) The way of geothermal resource utilization and market trend in Japan and overseas

This part explains geothermal resource utilization of different resource temperature and introduction examples. Especially, three types of power generation system, dry steam, flash steam and binary cycle, are explained. Besides, this part includes information on the amount of geothermal power generation and direct heat use.

(2) Obstacles for geothermal development in Japan

In this survey, interview with geothermal experts was done to extract obstacles for geothermal development in Japan. The number of the obstacles is 22, which include 15 technological and 7 social and environmental obstacles, and these are categorized into three types in terms of technology needed; obstacles which needs cost reduction technology, environmental symbiotic technology and risk reduction technology. The risk used in the risk reduction technology is divided into two meanings, which are risk related to social acceptance and development risk.

(3) Survey and analysis on technology development in Japan and overseas

This survey examines 116 technology development projects of Japan and overseas in terms of its characteristics, introduction effects, difficulties and perspective. In order to analyze these projects in more detail, the survey uses development phase, technology maturity and classification for existing and newly-developed technology. On the basis of the analysis, “technology map” which is visualized is created in order to summarize all projects.

(4) Measures for geothermal development

This survey examines measures accelerating geothermal development as well as technology development. Measures are categorized into two types of measures; measures for all kinds of renewable energy and for geothermal development, identifying

measure types, such as subsidy, loan etc, and target development phase, such as exploration, drilling etc.

(5) Future direction of technology development

This part illustrates the obstacles for geothermal development in Japan, future direction of technology development, and measures which could be referred and adopted for further geothermal development in Japan. In technology development of mid and long-term future, geothermal technology utilizing hot dry rock (HDR) and magma resource are regarded as main stream of technology development.

目次

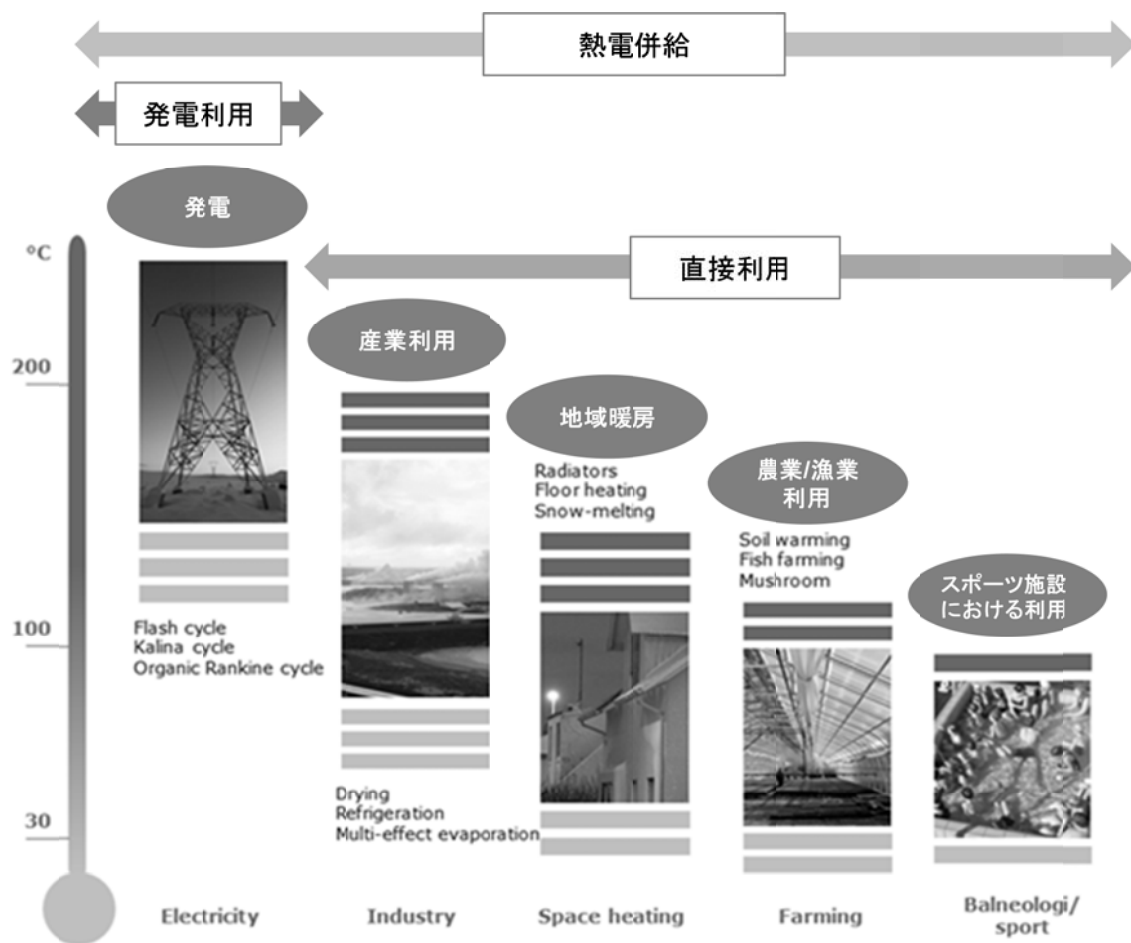
1. 地熱資源の利用形態の整理と導入事例	1
1.1 地熱資源の利用形態の整理と発電利用における発電方式の分類	1
1.2 主な導入事例（発電利用、熱の直接利用、熱電併給）	3
1.2.1 発電利用の導入事例	3
1.2.2 熱の直接利用の導入事例	4
1.2.3 熱電併給の導入事例	4
2. 主要国の市場動向	6
2.1 国内の導入量の推移	7
2.2 主要国の導入量の推移	8
2.3 主要企業・団体の整理	18
3. 国内における地熱発電の普及上の課題の整理	19
4. 主要国の導入目標/ポテンシャル及び施策動向の把握	23
4.1 主要国のポテンシャルの把握	23
4.2 主要国の導入目標及び導入戦略/計画	23
4.2.1 我が国の導入目標及び導入戦略/計画	23
4.2.2 主要国の導入目標及び導入戦略/計画	26
4.3 主要国の技術開発・導入促進施策の整理	32
4.3.1 技術開発プログラムの整理	32
4.3.2 導入支援施策の整理	34
4.3.3 技術開発プログラム及び導入支援施策の体系化	37
5. 技術開発動向の把握分析	41
5.1 国内外の技術開発の分類手法	41
5.2 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）シートの作成	42
5.3 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）リストの作成	44
5.4 我が国における技術開発（プロジェクト）リストの整理	44
5.5 海外における技術開発（プロジェクト）リストの整理	45
5.5.1 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）	45
5.5.2 米国エネルギー省エネルギー高等研究計画局による技術開発（ARPAE）	52
5.5.3 欧州委員会の第7次研究枠組み計画（FP7）	53
5.5.4 アイスランドにおける地熱関連の技術開発案件の一覧	53
5.5.5 ニュージーランドビジネス・イノベーション・雇用省（MBIE）の技術開発	54
5.5.6 スイス Swiss Federal Office of Energy SFOE の技術開発	54
5.5.7 地熱技術国際パートナーシップ（IPGT：International Partnership for Geothermal Technology）の技術開発プログラム	55
5.6 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）マップの作成	56

6.	普及上の課題と技術開発を中心とした今後の取組みの方向性	56
6.1	国内外の地熱発電導入支援策の分類及び比較	56
6.2	我が国における技術開発を中心とする今後の取組みの方向性	60
7.	まとめ	71

1. 地熱資源の利用形態の整理と導入事例

1.1 地熱資源の利用形態の整理と発電利用における発電方式の分類

温度別にみた地熱資源の利用形態の概念図を図 1 に示す。地熱の利用形態は、発電利用、熱の直接利用、熱電併給の 3 つに分類される。80℃以上の高温の地熱資源を発電のみに利用する形態を発電利用とよび、フラッシュ方式、ドライスチーム方式、バイナリー方式の 3 つの発電方式に分類される（後述）。直接利用は地熱エネルギー利用の中で最も歴史が古く、主に、浴用や室内暖房、地域暖房、農業利用、養殖、工業利用等において活用されてきた。近年では地中熱ヒートポンプが普及しつつある。熱電併給とは発電に利用されなかった熱水を熱交換して、地域暖房や産業用の乾燥機、温室プール等に活用することを指す。



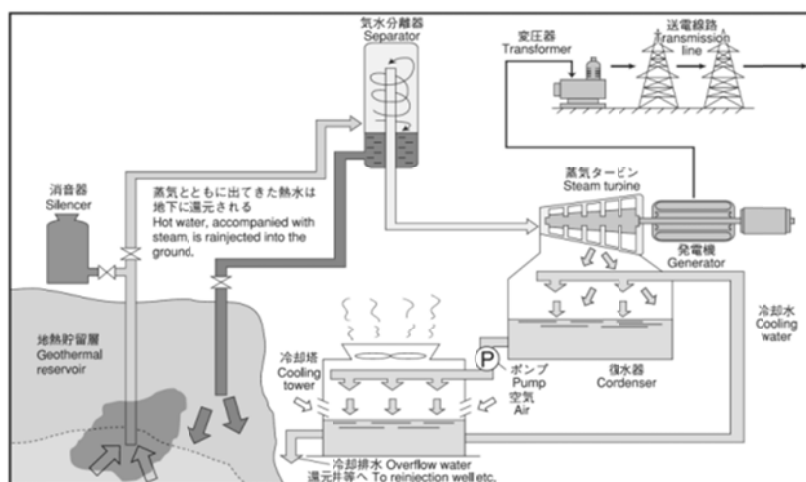
（出典：HS Orka 社からの受領資料をもとに作成）

図 1 温度別にみた地熱資源の利用形態の概念図

地熱発電はフラッシュ方式、ドライスチーム方式、バイナリー方式の 3 つの方式に分類される。

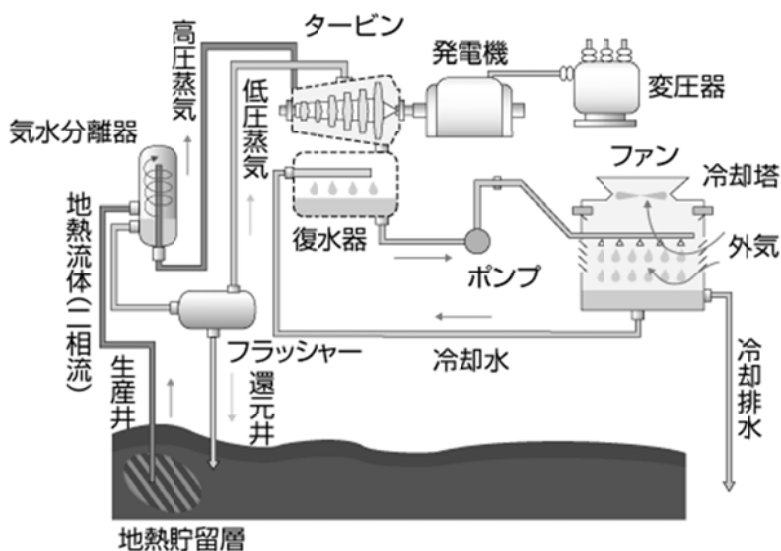
(1) フラッシュ方式

フラッシュ方式は、坑口から噴出する熱水と蒸気の混合物から気水分離器で蒸気のみを抽出し、タービンを回すシングルフラッシュ方式と、蒸気が抽出された後の熱水を減圧して再度蒸気を発生させ、タービンを回すダブルフラッシュ方式の2つに分類される(図2、図3)。但し、近年トリプルフラッシュの導入も見られるようになってきた。



(出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書)

図2 シングルフラッシュ方式の概念図



(出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

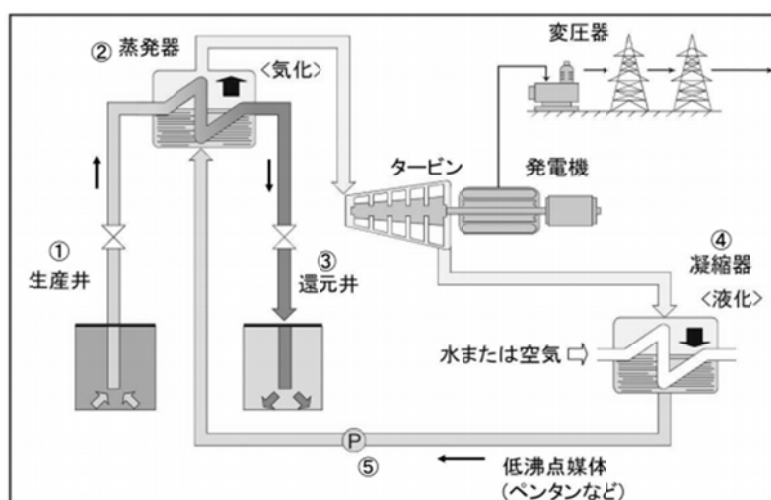
図3 ダブルフラッシュ方式の概念図

(2) ドライスチーム方式

坑口から蒸気のみが噴出する生産井では、気水分離器が必要なく、そのままタービンを回す方式である。国内では岩手県の松川発電所にて採用されている。

(3) バイナリー方式

熱水と低沸点の媒体（アンモニア、ペンタン等）を利用して発電する方式であり、主に、比較的低温（80～150℃）の地熱資源による発電に活用される（図 4）。国内では温泉熱が全国各地に分布しており、温泉熱を利用した地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大が期待される。国内では八丁原バイナリー発電所にて採用されている。



（出典：環境省「地熱発電事業に係る自然環境影響検討会」）

図 4 バイナリー発電の概念図

1.2 主な導入事例（発電利用、熱の直接利用、熱電併給）

1.2.1 発電利用の導入事例

国内外における発電方式別の主要な発電所の一覧を表 1 に示す。主にフラッシュ方式による発電が採用されており、国内では自家用発電向けのフラッシュ発電が稼働している。

表 1 国内外における発電方式別の主要な発電所の一覧

	国内	国外
フラッシュ方式	【発電用】 - 森発電所(北海道、D) - 澄川発電所(秋田県、S) - 葛根田発電所(岩手県、S) - 上の岱発電所(秋田県、S) - 鬼首発電所(宮城県、S) - 柳津西山(福島県、S) - 八丈島発電所(東京都、S) - 滝上発電所(大分県、S) - 八丁原発電所(大分県、D) - 大岳発電所(大分県、S) - 大霧発電所(鹿児島県、S) - 山川発電所(鹿児島県、S)	- Wairakei(ニュージーランド、D) - Ohaaki(ニュージーランド、D) - Krafla(アイスランド、D) - Svartsengi(アイスランド、S) - Reykjanes(アイスランド、S) - Nesjavellir(アイスランド、S) - Tongonan(フィリピン、S) 等
ドライシステム	松川発電所(岩手県)	- The Geysers(米国) - Larderello(イタリア) - Kamojang(インドネシア) 等
バイナリー方式	八丁原バイナリー発電所(大分県)	- Kawerau(ニュージーランド) - Svartsengi(アイスランド) - Husavik(アイスランド) - Tongonan(フィリピン) 等

S: シングルフラッシュ、D: ダブルフラッシュ

(一般社団法人火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向」をもとに作成)

1.2.2 熱の直接利用の導入事例

温泉熱を活用したトマト栽培

北海道の壮瞥町幸内地区では地熱(温泉熱)を利用した温室でトマトを栽培し、オロフレトマトとして販売している。壮瞥町幸内地区の弁景温泉では、65℃の源泉が毎分 1t 自噴しており、この温泉熱に着目した壮瞥町は資源エネルギー庁の事業を活用し、野菜生産団地を整備した。

ハウスの加温に化石燃料は一切使われておらず、発電に利用しなかった熱水をハウス地表に整備したポリチューブに通すことで、ハウス内を暖房している。日中、氷点下 10℃以下であってもハウス内は 13℃に保たれている。

平成 21 年度現在、越冬型ハウス 28 棟で栽培をしており、北海道では通常トマトが店頭に並ぶのは 4 月頃であるが、道内で最も早い 2 月中旬から出荷することが可能となっている。

1.2.3 熱電併給の導入事例

高温の地熱資源を発電に利用するだけでなく、発電後に温度が低下した地熱資源の熱を温度の低下に応じて、何段階にもわたって他の用途に利用する熱電併給に取り組んでいる発電所も存在する。熱電併給によって、熱効率及びコスト効率の向上が期待される。

アイスランドのスバルツエンギ発電所では、発電に利用しなかった熱水をブルーラグーンと呼ばれる屋外スパへ供給するとともに、化粧品の製造やレイキャビック市における地域暖房等に活用している（図 5-図 6）。

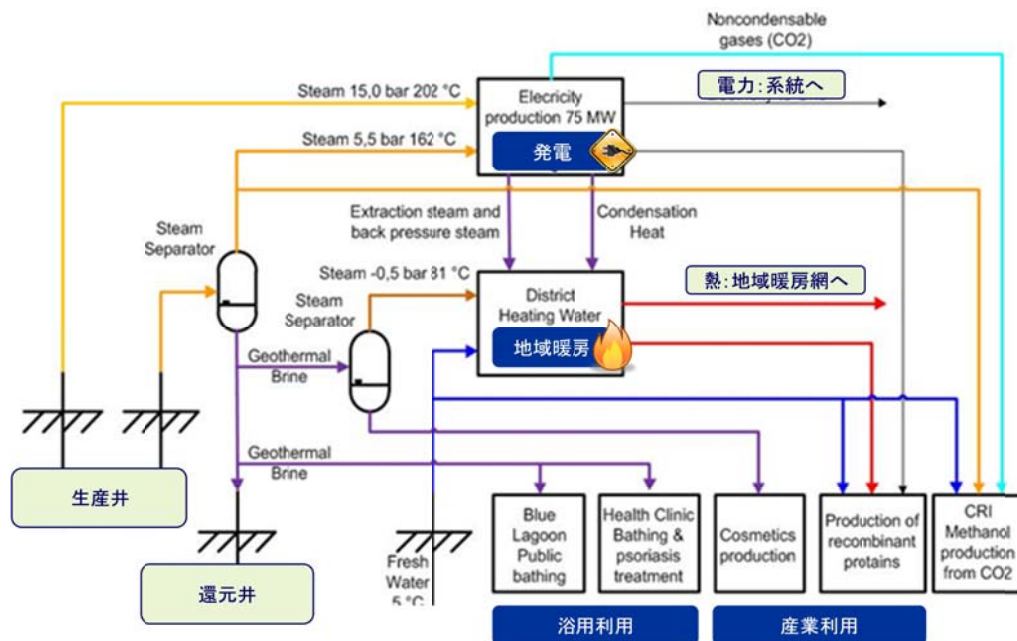


図 5 地熱エネルギーの多段階利用の概念図

(出典：HS Orka 社からの受領資料をもとに作成)

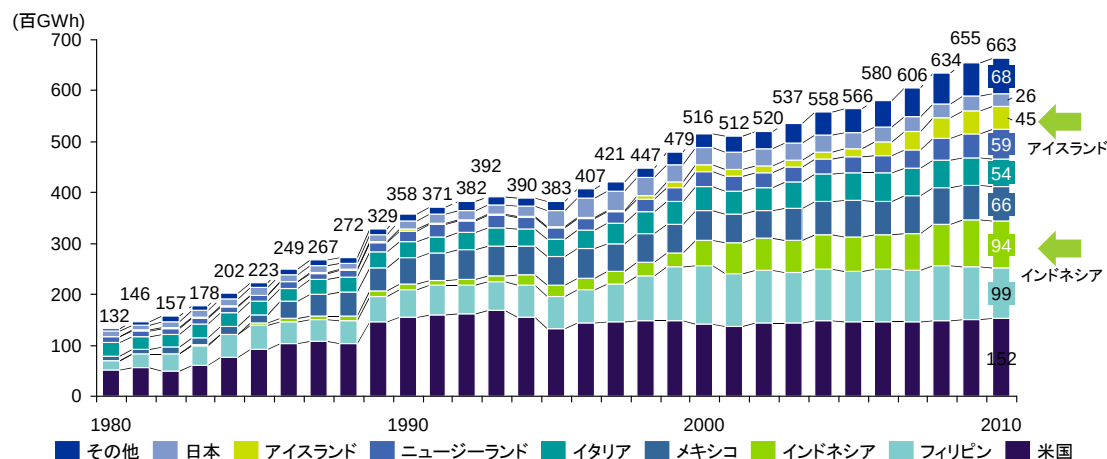


図 6 スバルツエンギリソースパークにおける導入施設例

(出典：HS Orka 社からの受領資料をもとに作成)

2. 主要国の市場動向

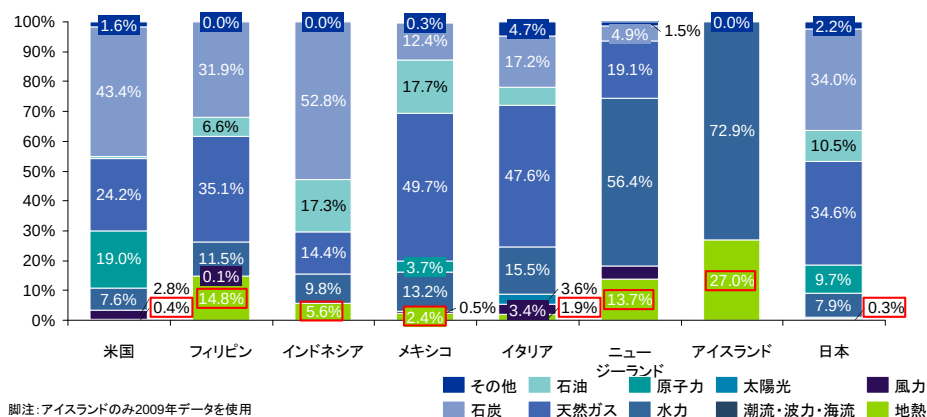
国別にみた地熱による発電量の推移を図 7 に示す。世界各国における地熱発電電力量は増加傾向にあり、特に、インドネシアやアイスランドでは、政府の後押しもあり、近年になって著しく発電量が増加している。



(出典：EIA 及び自然エネルギー財団ホームページをもとに作成)

図 7 国別にみた地熱による発電量の推移 (2011)

2011 年時点の総発電電力量において、最も地熱による発電割合が高いのはアイスランド (27.0%) で、フィリピン (14.8%)、ニュージーランド (13.7%) と続いている。アメリカは発電量が世界最大であるものの、発電割合は全体の 0.4%に留まっている (図 8)。日本は、1990 年以降、系統に接続した新規発電所は建設されておらず、これまでは開発コストが高いこと等から事業の展開が難しい状況であり、総発電量に占める地熱発電の割合は約 0.3%に過ぎない。



脚注：アイスランドのみ2009年データを使用

(出典：IEA「World Energy Outlook 2011」をもとに作成)

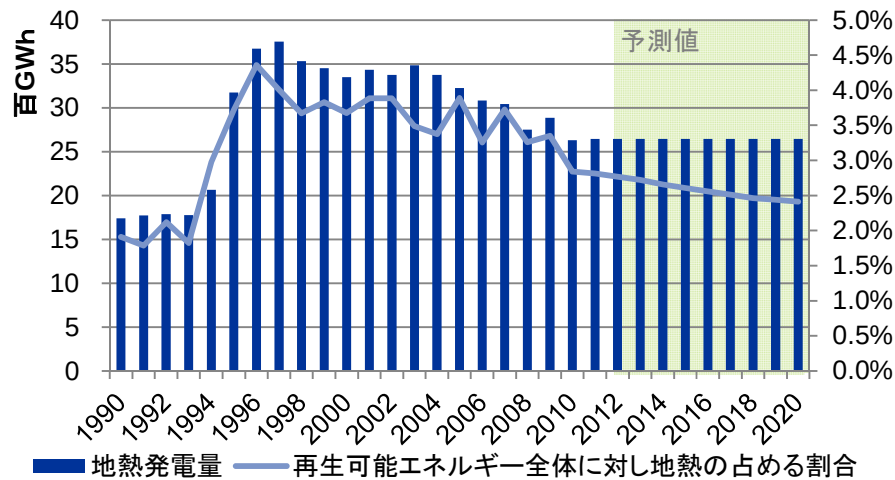
図 8 国別にみた総発電量における発電種別ごとの割合 (2011)

2.1 国内の導入量の推移

(1) 導入量の推移

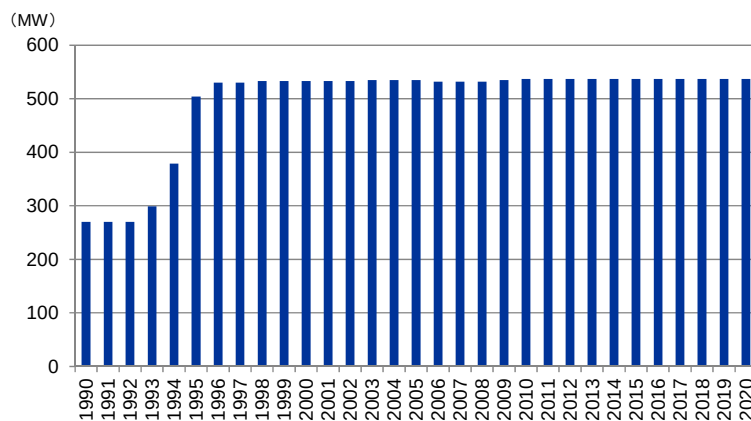
国内では、1999 年以降、系統に接続した新規発電所は建設されておらず、地熱発電による発電量は減少傾向にある。(図 9)。太陽光、風力等の再生可能エネルギーによる発電量が増加する一方で、地熱発電による発電量は横ばいであるため、再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合は低下している。導入設備容量は過去約 20 年ではほぼ横ばいである(図 10)。

温泉を除く、国内の地熱発電以外の利用用途は地域暖房、温水プール、温室、農業等であり、その利用量は 1,360GWh/年となっている(図 11)。



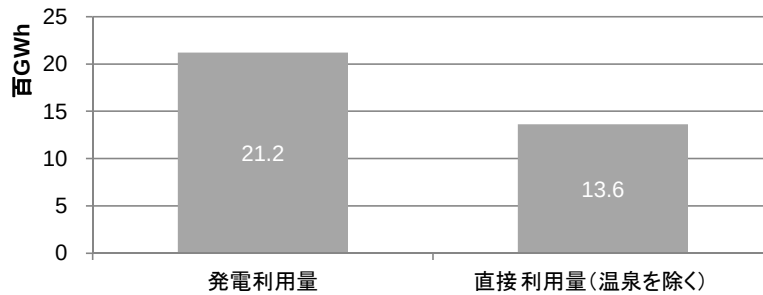
(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 9 国内の地熱による発電量の推移と再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 10 国内における地熱発電設備容量の推移



(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

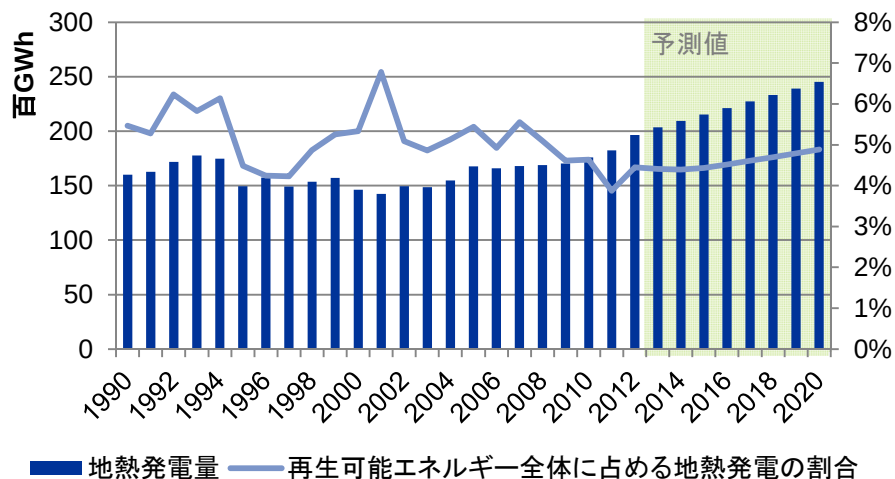
図 11 国内における地熱エネルギーの利用内訳

2.2 主要国の導入量の推移

(1) 米国

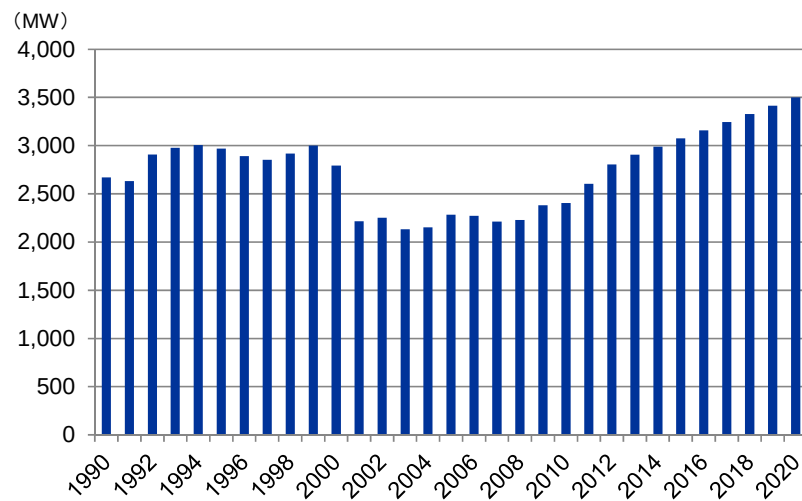
電源構成は化石燃料から再生可能エネルギーへのシフトを推進しており、地熱も全体に占める割合・絶対量は増加傾向にある（図 12）。再生可能エネルギー発電全体に占める地熱発電の割合は小幅な変化に留まる見込みであるが、保持している世界一の地熱資源量のうち、現在は約 10%の開発に留まっているという点から、そのポテンシャルは大きいと言える。また、導入設備容量は 2008 年から増加傾向に転じている（図 13）。

温泉を除く、米国の地熱発電以外の利用用途においては、農業における利用量が最も大きく、室内暖房、地域暖房等を合わせた利用量は 21,100GWh/年となっている（図 14）。



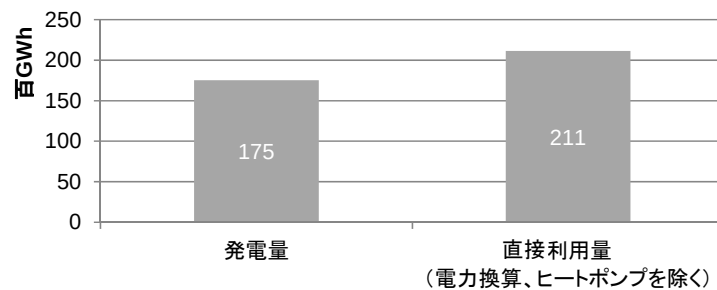
(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 12 米国の地熱による発電量の推移と再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 13 米国における地熱発電設備容量の推移

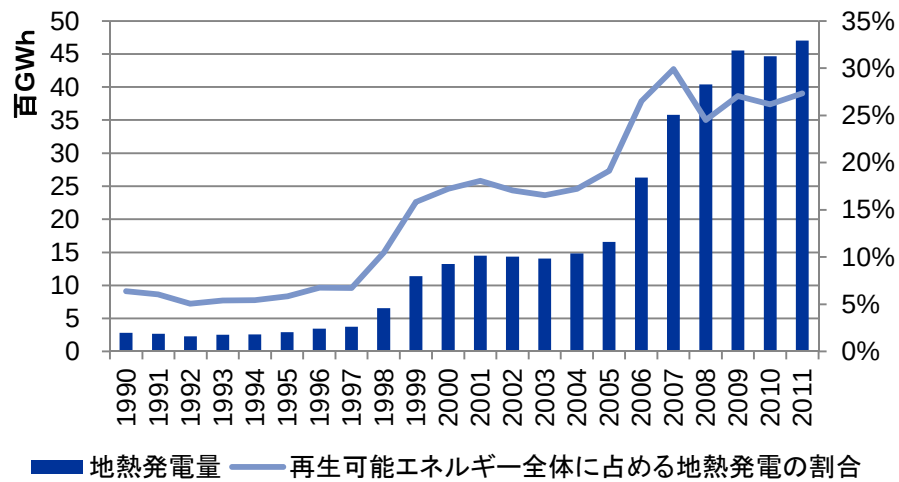


(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 14 米国における地熱エネルギーの利用内訳

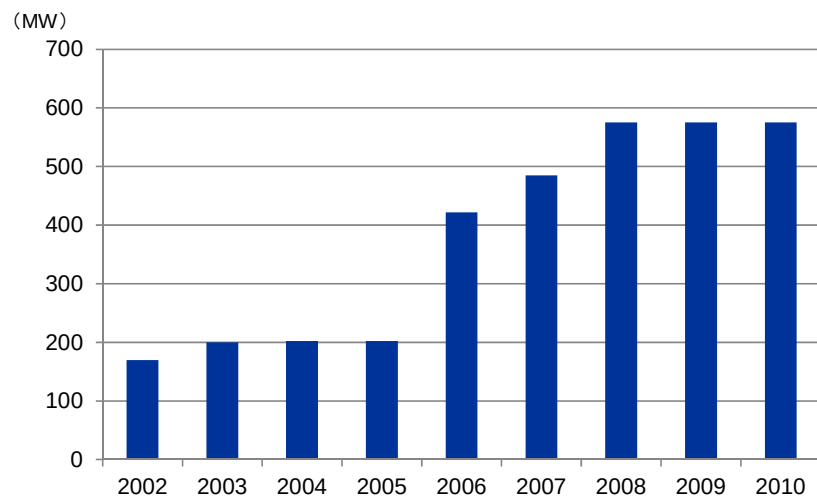
(2) アイスランド

アイスランドでは、電力のほぼ 100%が再生可能エネルギーで賄われており、そのうち約 30%が地熱発電によるものであり、導入設備容量、発電量はともに 2005 年から増加傾向にある（図 15、図 16）。暖房用途を中心とした直接利用の歴史は古いが、1990 年代後半からアルミニウム生産用の電力として地熱エネルギーの発電活用が急拡大した（図 17）。資源賦存量に対する利用率は 10%程度である。



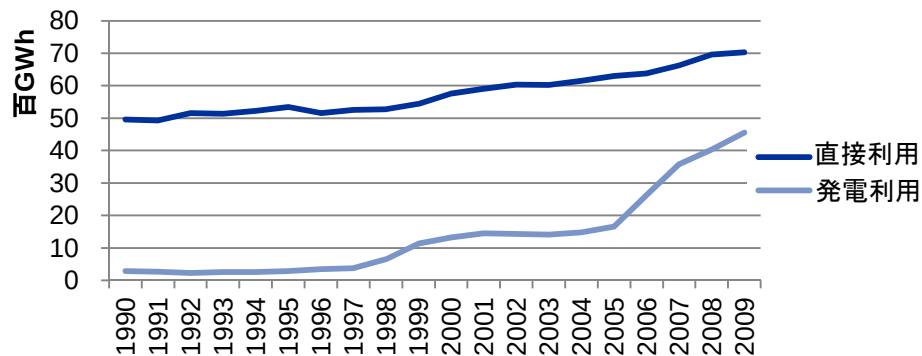
(出典: Orkustofnun/National Energy Authority of Iceland ホームページをもとに作成)

図 15 アイスランドの地熱による発電量の推移と再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合



(出典: IEA 「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 16 アイスランドにおける地熱発電設備容量の推移

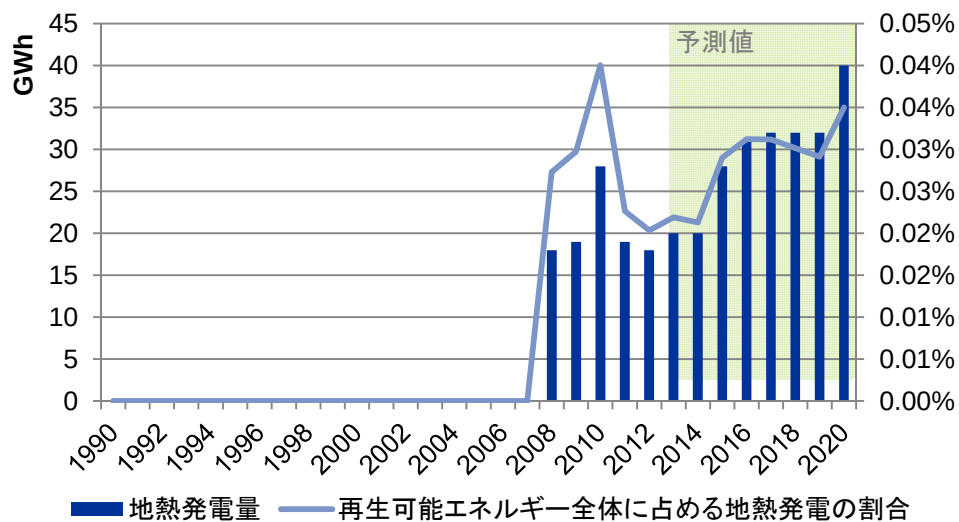


(出典: Orkustofnun/National Energy Authority of Iceland ホームページをもとに作成)

図 17 アイスランドにおける地熱エネルギー利用量の推移

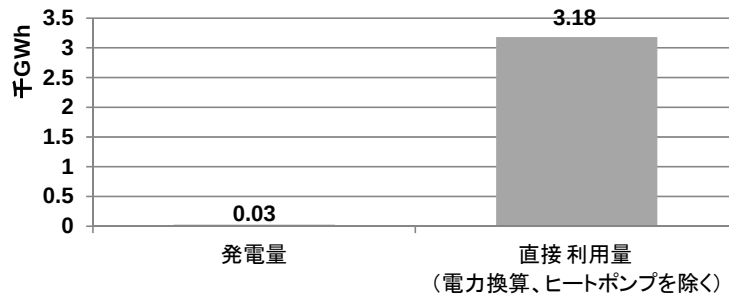
(3) ドイツ

2011 年 7 月の「2022 年までの原発完全廃止」決定を背景に、意欲的な再生可能エネルギー導入を行い、地熱利用も拡大すると見込まれている（図 18）。図 19 が示す通り、現状では、高温熱資源が少ないため、浴用、地域暖房を中心とした直接利用が中心だが、バイナリー発電を開始し（既に 5 箇所稼働中）、普及を目指すとともに、EGS の開発も積極的に実施している。



(出典: EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 18 ドイツの地熱による発電量の推移と再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合

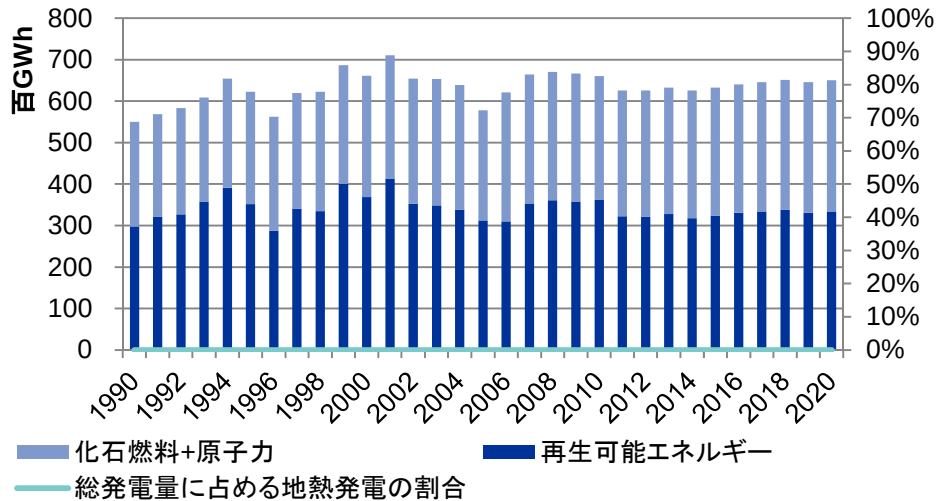


(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 19 ドイツにおける地熱エネルギーの利用内訳

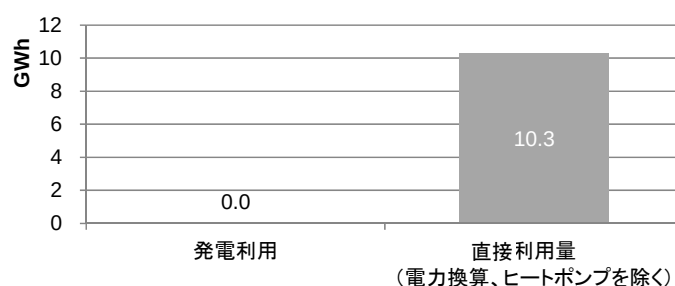
(4) スイス

スイスでは、水力発電と原子力発電で発電量の約 95%を賄っている。2013 年時点で地熱による発電量はゼロであるが、直接利用は小規模ながら行われている (図 20、図 21)。地中熱利用ヒートポンプシステムは世界的に見ても大きく進展している。先進的な地熱技術開発を促進し国際的な商業化を目指す地熱技術国際パートナーシップ (IGPT) に加盟している。



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 20 スイスにおける総発電量の推移と地熱発電の割合

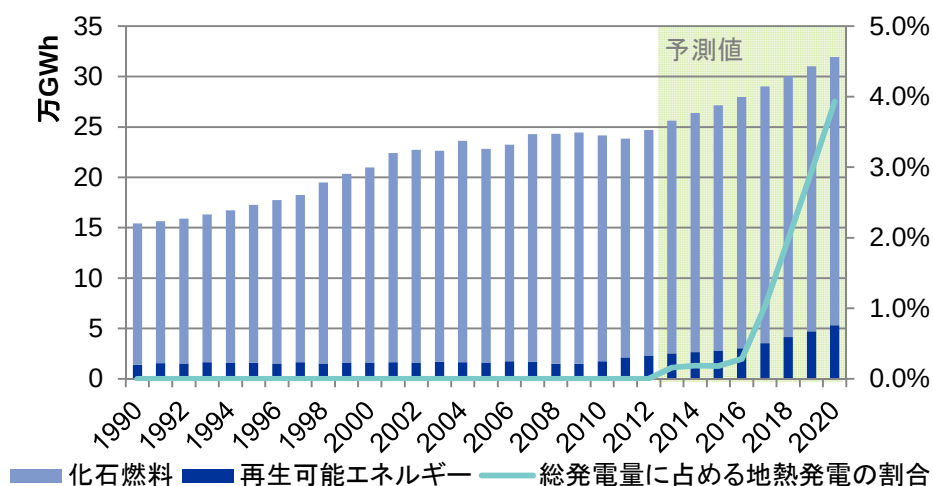


(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 21 スイスにおける地熱エネルギーの利用内訳

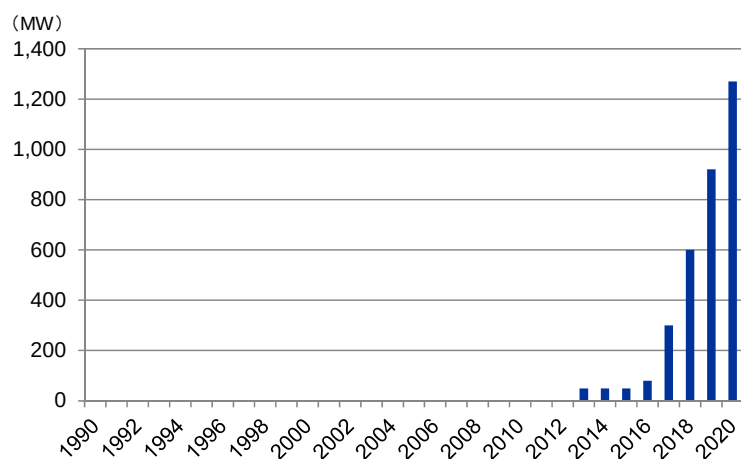
(5) オーストラリア

オーストラリアでは、商業運転には至っていないものの、オーストラリア型の高温岩体発電を目指した地熱発電が開発段階にある。豊富な資源量に対し、80kWを生産する発電所が1箇所、年間発電量は約0.5GWh(2012年)にとどまっており、再生可能エネルギー全体に占める割合も0.003%に過ぎないが、2016年以降、総発電量に占める地熱発電の割合、及び導入設備容量は急速に拡大するものと見込まれている(図22、図23)。直接利用は地域暖房を中心に小規模ながら行われており、温泉は観光資源としても活用されている(図24)。



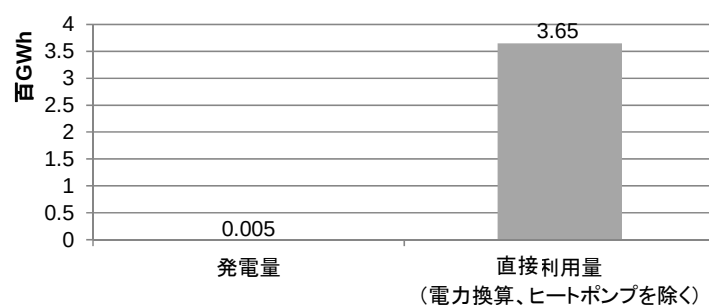
(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 22 オーストラリアの総発電量の推移と総発電量に占める地熱発電の割合



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 23 オーストラリアにおける地熱発電設備容量の推移



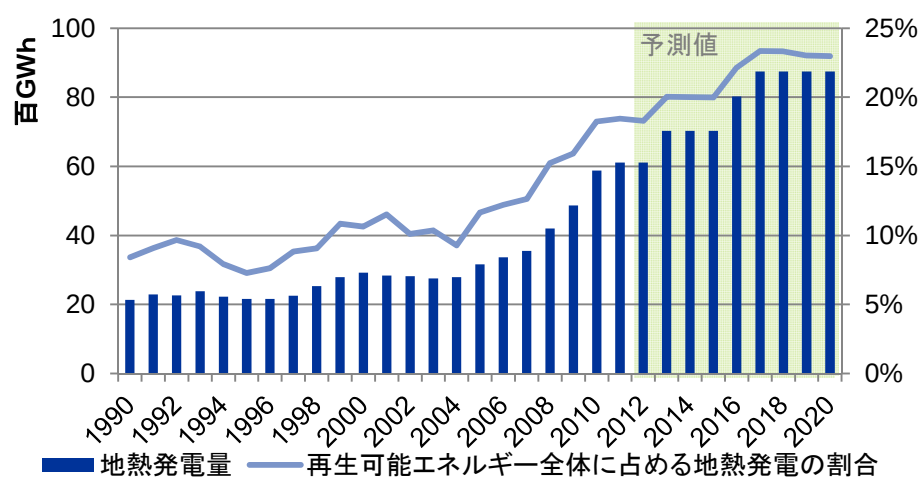
(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 24 オーストラリアにおける地熱エネルギーの利用内訳

(6) ニュージーランド

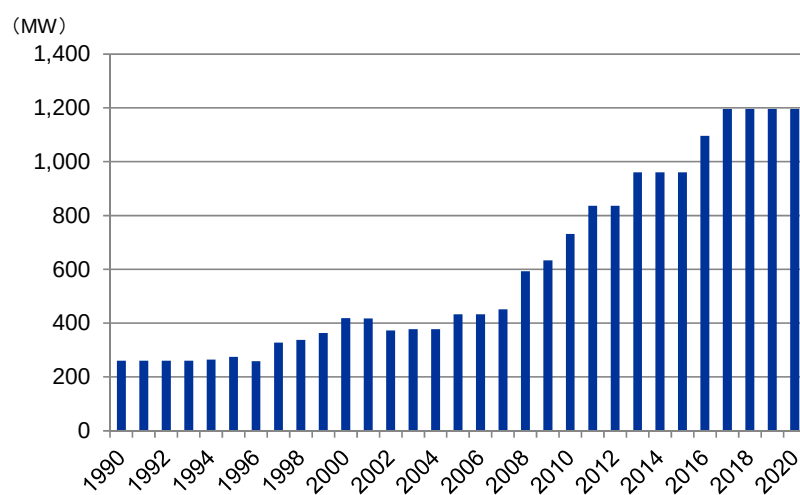
ニュージーランドにおける地熱による発電量及び導入設備容量は近年増加しており、今後もこの傾向は続くと言われる (図 25、図 26)。2011 年時点で、地熱による発電が国の第一次エネルギー全体の 11%を占め、この割合はアイスランドに次いで世界 2 位となっている。また電力供給の 13% (再生可能エネルギーは発電量の約 70%、うち地熱は約 20%) を賄っている (図 27)。

ニュージーランドにおける地熱の直接利用量は 2,821GWh であり、産業における利用が主となっている (図 28)。



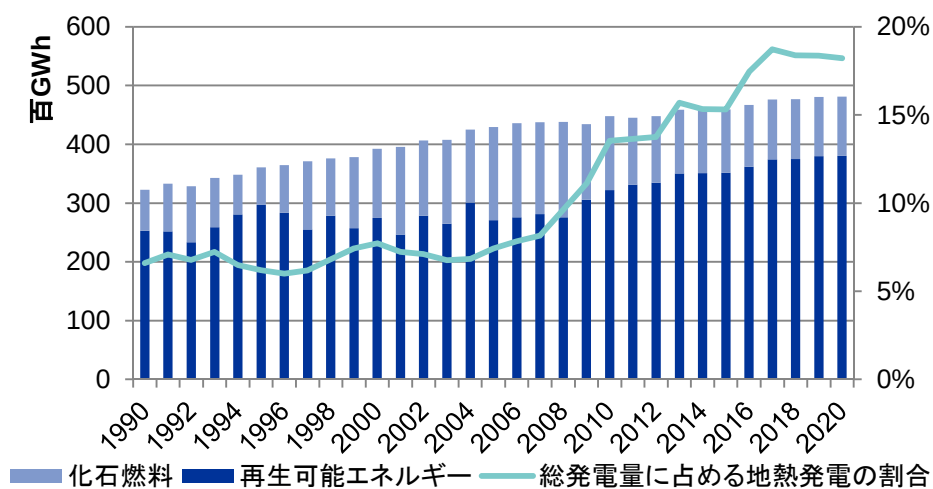
(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 25 ニュージーランドの地熱による発電量の推移と再生可能エネルギー全体に占める地熱発電の割合



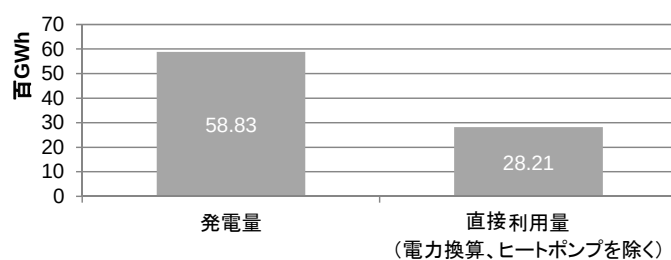
(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 26 ニュージーランドにおける地熱発電設備容量の推移



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 27 ニュージーランドの総発電量の推移とそれに占める地熱発電の割合

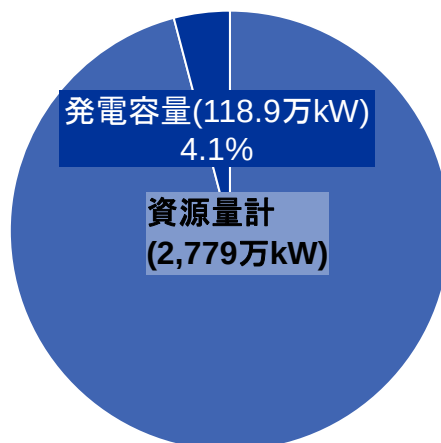


(出典：IEA「TRENDS IN GEOTHERMAL APPLICATIONS」をもとに作成)

図 28 ニュージーランドにおける地熱エネルギーの利用内訳

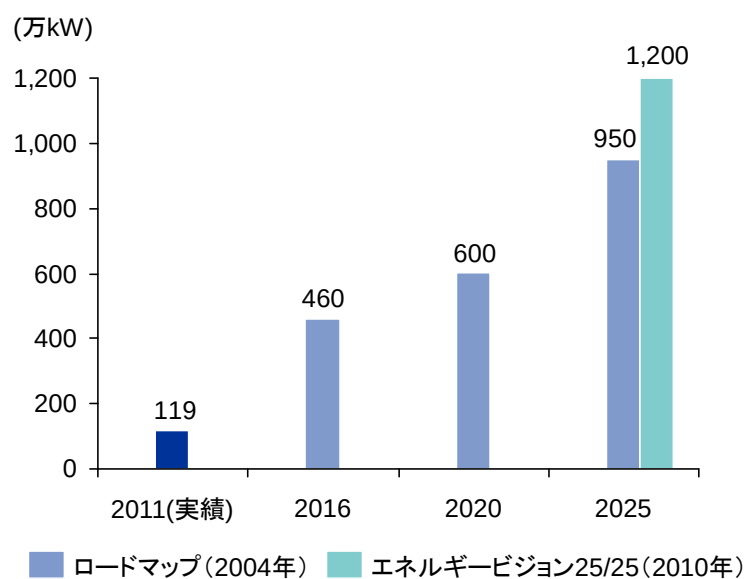
(7) インドネシア

インドネシアは豊富な地熱資源 (2,779 万 kW) を有しているものの、その資源量に対する既設容量は約 4% (118.9 万 kW) となっている (図 29)。インドネシア政府は 2004 年に地熱促進のためのロードマップを作成後、エネルギービジョン 25/25 を策定し、2025 年までに地熱による発電量を 1200 万 kW まで拡大することを目標と掲げている (図 30)。



(出典：日経研月報「海外での地熱利用の広がり 2012」をもとに作成)

図 29 インドネシアにおける地熱の総資源量と既設発電容量



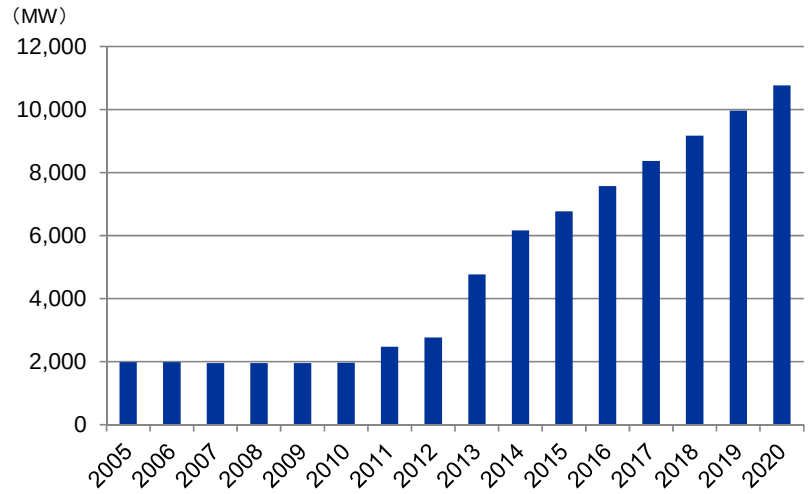
(出典：インドネシアエネルギー鉱物資源省「インドネシアで活躍する日系企業の地熱発電開発 2013」をもとに作成)

図 30 インドネシアの地熱に関するロードマップ及びエネルギービジョンにおける地熱開発目標

(8) フィリピン

石油の代替エネルギー源として地熱発電の開発が推進されており、2011 年時点で総発電量の約 15%が地熱によって賄われている。フィリピン政府は、2009-2030 フィリピンエネルギープランを策定し、2030 年までに地熱設備容量を 344.7 万 kW とすることを目標とし

て掲げており、導入設備容量は 2012 年以降、増加傾向に転じている（図 31）。



(出典：EIA「EIU(Economist Intelligence Unit)」をもとに作成)

図 31 フィリピンにおける地熱発電設備容量の推移

2.3 主要企業・団体の整理

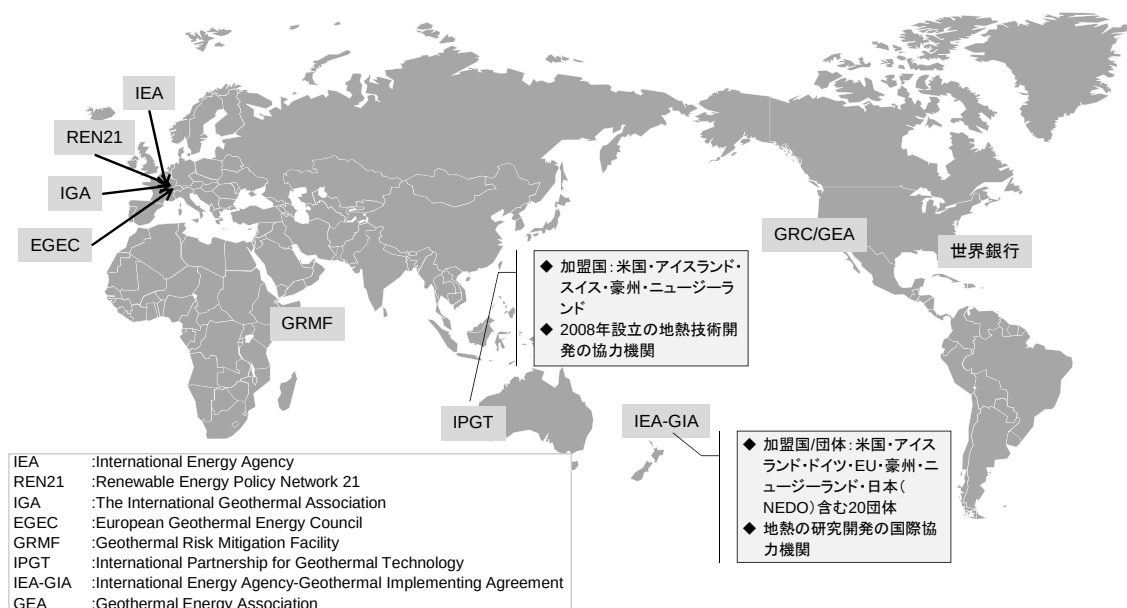
開発段階別にみた民間の主要プレイヤーを図 32 に示す。三菱重工業、富士電機、東芝の日本企業 3 社が世界の発電設備の約 7 割のシェアを占めており、日本の企業は建設に強みを持っているといえる。一方、海外に目を向けると、いくつかの開発段階を通して事業を展開する企業もみられる。

世界の主要プレイヤー一覧					
資源概査	資源精査/調査井掘削	掘削	設計	建設	O&M
Chevron (米国), Enel (イタリア)等					
• CFE (メキシコ) • EDC (フィリピン)等			• PowerEng (米国) • Mannvit(アイスランド) • Verkis(アイスランド)等	• 三菱重工業 • 富士電機 • 東芝 • UTC Power(米国/イタリア) • Alstom(フランス)等	• CFE (メキシコ) • EDC(フィリピン)等
• 西日本技術開発, • Geo-t (ドイツ) • SKM (ニュージーランド) • GeothermEx (米国) • ISOR(アイスランド)等	• ThermaSource (米国) • BakerDrilling (米国) • Iceland Drilling Co(アイスランド)等		Ormat (イスラエル, 米)		
Reykjavik Energy (アイスランド), PT Pertamina (インドネシア)等					

(出典：世界銀行「GEOTHERMAL HANDBOOK」をもとに作成)

図 32 開発段階別にみた世界の主要プレイヤー

エネルギーセキュリティ向上や安定的で持続可能なエネルギー需給構造確立等を目的に、多くの地熱関連団体が設立されている（図 33）。中でも地熱技術国際パートナーシップ（IPGT ; International Partnership for Geothermal Technology）は、地熱利用や地熱発電に関する高度な専門知識を共有し、深部掘削や地熱エネルギー変換などの EGS についての政策面・技術面での国際協力関係の構築を目的とし、米国、アイスランド、スイス、豪州、ニュージーランドの五カ国が参加している。



（出典：各団体のホームページをもとに作成）

図 33 世界の地熱及びエネルギー開発に関する機構とその加盟国/団体（一部）

3. 国内における地熱発電の普及上の課題の整理

文献調査並びに国内外のヒアリング調査、検討会での論議を通じて抽出された、我が国における地熱発電の普及上の課題を表 2 に示す。課題は開発段階ごとに整理しており、A から始まる ID は技術的な課題、B から始まる ID は社会環境等に係る課題を示す。

○ 資源概査に関わる課題

資源概査段階では、広域の地熱ポテンシャル調査に関する課題があげられている。国内では米国等の海外に比べると情報公開システムの整備に後れを取っている。加えて、開発業者がより詳細に開発地点を絞り込むだけの調査が実施されていないことや、特に国立公園内においてポテンシャル調査が未実施のエリアが存在している。

○ 資源精査に関わる課題

資源精査段階では、MT 法、マクロサイスミック技術等の個別の資源精査技術の技術開発は目覚ましいものがあるものの、更なる正確性が求められている。また、複数の探査技術による探査結果を統合化する技術及び 3D による分析技術の開発、普及・促進が課題としてあげられている。精度向上に加えて、低コスト化も課題として提起されている。弾性波探査等は数千万から数億円規模の費用がかかり、開発業者にとっては大きな負担となっている。

○ F/S、環境アセスに関わる課題

F/S、環境アセスの初期段階（例．配慮書の段階）では、発電所規模を適正に見積もるためにいくつか課題があげられている。具体的には、貯留層の規模、特性（資源ポテンシャルの賦存状況、熱水挙動）の把握、蒸気量に影響する井戸の腐食を引き起こす酸性熱水の分布の予測、プラント稼働後のスケール付着による蒸気量の変動の予測が容易ではないことがあげられる。また、事業計画から運転開始までのリードタイムが長いことも課題としてあげられている。中でも通常 3 年から 4 年ほどかかる環境アセスメントは開発期間を長期化させる一因とされている。

○ 掘削に関わる課題

掘削段階では、コスト及び成功率が課題とされている。掘削にかかるコストは地熱発電所建設にかかるコストの約 3 割を占めるといわれており、深さ 2,000 メートルの坑井 1 本で通常数億円規模となり開発業者にとっては負担の一つとなっている。掘削コストそのものは海外と比べても大差はないものの、海外と比べると国内の地熱貯留層は規模が小さい傾向にあり、蒸気量少ないため生産される蒸気量当たりの掘削費は世界的にみても割高となる。掘削の成功率は約 70%であり¹、掘削本数が 2 本程度である中規模の発電所にとっては 1 本の掘削失敗が致命的となるため、更なる成功率の向上が求められる。また、開発が制限されている国立公園等における対応策として、公園敷地外から掘削を実施する傾斜掘削技術が注目されているが、低リスク化が課題として認識されている。

○ 設計・建設に関わる課題

バイナリー発電のような小規模の発電所を除く、新規の発電所建設において、設計・建設段階では地上設備の設計・建設のコストが最大で地熱開発全体の 7 割を占めており、コスト削減が求められる。温泉バイナリー発電では発電量に対して発電システム全体のコストが割高となっていることから、凝縮器等の低コスト化が求められる。また、発電所の建設にあたり、フットプリントの最小化等の周辺自然環境への配慮及び景観との調和も考慮が必要である。

¹ 委員のご意見及び The World Bank “Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation” p58

○ O&Mに関わる課題

O&M段階における課題として、発電効率維持のための定期的なメンテナンスがあげられる。生産井に付着し蒸気量の減少等の問題を引き起こすスケールの除去に手間がかかっており、腐食した井戸のメンテナンスが技術的に難しいことも課題としてあげられる。また、貯留層のメンテナンスに関しては、持続的な生産を維持するための正確な貯留層モニタリング及びその低コスト化が求められる。

温泉バイナリー発電では主な熱媒体として、代替フロンが使われているものの、その価格は高く、今後規制強化対象となる可能性が高いため、安価且つ不燃性である熱媒体の開発が求められる。なお、低温域で高効率なアンモニア水を使ったカーリーナサイクル発電システムの研究開発が行われている。

タービンの開放点検によって稼働率が低下し、発電所全体の収益性が下がることも課題の一つとして捉えられている。開放点検は4年に一度実施することが義務付けられているものの、実際には国内の地熱発電所ではスケール除去等のため2年に一度程度実施されており、この期間中の発電は停止される。

離島等の一定エリア内の電力を供給する地熱発電所では、季節に応じた電力需要に合わせた出力の調整が将来的に難しくなることが課題としてあげられている。また、周辺に悪影響を与えない状態に埋坑あるいは密閉する技術の確立が求められている。

社会環境等に係る課題として、地域における地熱利用、ひいては地域共生という観点から、その地域の特性を考慮し、農水産業、レジャー、省エネ事業の持続的な地熱活用ビジネスのスキームを確立することが求められている。

○ 全般に関わる課題

開発段階全般に関する課題として、自治体、自然保護団体等の利害関係者との共生や、水利権並びに温泉権等の既得権益を有するステークホルダーとの調整、業界全体における人材の高齢化を課題としてあげている。地熱発電に適した場所は温泉と隣接していることが多く、こういった温泉ビジネス、地域住民からの支持を得ることが開発に着手するための条件となる。また水、地下資源を有するステークホルダーの権利を尊重しつつ、これらと共存可能な開発の推進が必須となる。これは多くの国内産業に共通に見られる現象であるが、業界全体における人材の高齢化も課題として捉えられており、若手人材の確保、育成が急務とされている。特に掘削業界においては、高齢化による人材の不足が顕著であり、ノウハウの蓄積・継承及び掘削人員の確保の観点から、緊急の課題とされている。

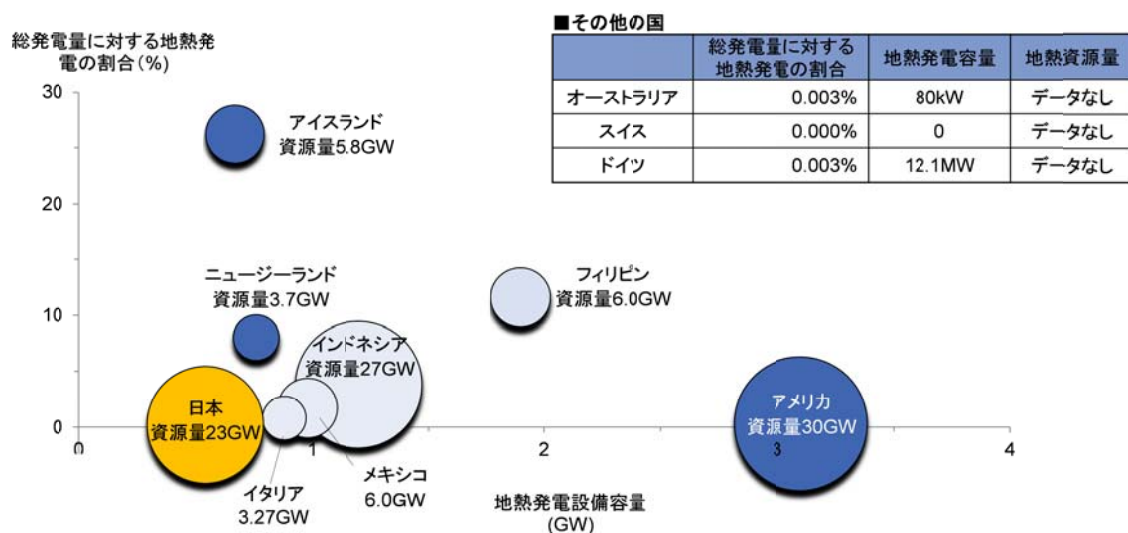
表 2 国内の地熱発電の普及上の課題

	開発段階	ID	大分類	小分類
開発前	資源概査	A-1	海外と比べ広域な地熱資源に関するデータの公開システムの整備が進んでいない。	異なる政府機関が地熱ポテンシャルに関するデータを保有しており、海外に比べると一般に参照されやすい公開システムが整備されていない。
		A-2	開発業者が開発地点を絞り込むだけの詳細なポテンシャルデータベースが整備されていない。	広域の地熱ポテンシャルデータベースは存在するが、地熱開発業者が開発候補地を絞り込むだけの、詳細なデータが整備されていない。
		A-3	国のポテンシャル調査において調査が実施されていないエリアが存在する。	国の地熱ポテンシャル調査において、特に国立公園内の調査が実施されていない。
	資源精査/調査井掘削	A-4	精査技術によって地熱貯留層の位置及び規模を正確に把握できるわけではない。	MT法、マイクロサイズミック技術、地震探査等について、技術開発が目覚しいが、更なる精度向上が課題である。 複数の探査手法(電磁探査、重力探査等)によるデータの統合化技術が確立が課題である。 2Dデータのみでは、Z方向における深度等を適切に把握することは難しいものの、3Dによる分析の普及・促進が課題である。
		A-5	資源探査のコストが高い。	資源精査のための調査井掘削のコストが高い。 弾性波探査等の低コスト化が求められる探査技術が存在する。
	F/S、環境アセス	A-6	発電所規模の適正化に不確実性が存在する。	貯留層の規模、特性(資源ポテンシャル、熱水挙動)に応じた発電所の規模の適正化が難しい。 蒸気量に影響する井戸の腐食を引き起こす酸性熱水の分布予測が難しい。 プラント稼働後のスケール付着による蒸気量の変動の予測が難しい。
		A-7	事業計画から運転開始までのリードタイムが長い。	事業期間が長くなるほどコストがかさむ。 環境アセスメントの期間についてのコストも負担となる。
開発中	掘削	A-8	掘削コストが高い。	掘削においては、リグの稼働率の向上、掘削システムの高性能化、ビットの高硬度化/高耐久化が課題である。 日本では井戸1本あたりの蒸気量が少ないため、蒸気量あたりの掘削コストが高い。
		A-9	掘削が失敗する可能性が存在する。	掘削の成功率は70%ほどであり、成功率を向上させるための技術、また失敗した場合のリカバリー技術が課題である。
		B-1	国立公園等のエリアでは開発が制限されている。	国立公園外から掘削する手法の更なる低リスク化が課題である。
	設計建設	A-10	設計建設のコストが高い。	発電所全体の収益性向上のための、副産物抽出、熱水のカスケード利用等が課題である。 地上設備の設計/建設にかかるコストが発電所開発の最大で7割を占めており、更なる削減が課題である。 温泉バイナリー発電では発電量のわりに発電システム全体のコストが割高となっている。特に凝縮器の更なる高効率化/低コスト化が課題である。
		B-2	発電所建設にあたり、自然環境へ影響を与える可能性が存在する。	フットプリントの最小化、動植物への影響等を考慮した掘削、配管、プラント建設/運用が課題である。
		B-3	地熱発電が観光地、自然公園と隣接していることが多いことから、発電所が周辺の景観となじまない可能性がある。	周辺の景観を損なわないよう、プラントの建設、井戸の配管等を実施することが課題である。
開発後	O&M	A-11	発電効率維持のための定期的なメンテナンスが必要となる。 ・スケール対策 ・定期的な貯留層モニタリング	生産井に付着し蒸気量の減少等の問題を引き起こすスケールの除去に手間がかかる。 腐食してしまった井戸のメンテナンスが難しい。 持続可能な生産を客観的に評価するための、貯留層モニタリングの精度向上・低コスト化が課題である。
		A-12	温泉バイナリー発電にて主な熱媒体である代替フロンは規制対象となる可能性があり、価格が高い。	温泉バイナリー発電にて主な熱媒体である代替フロンは価格が高く、規制強化対象となりうるため、炭化水素と同等の低価格で、不燃性の熱媒体の開発が課題である。
		A-13	タービン開放点検によって稼働率が低下する。	タービン開放点検によって稼働率が低下し、収益性に影響する。
		A-14	季節性の電力需要に対応した出力調整が難しくなることが将来的に予想される。	離島等の一定エリア内の電力を供給する地熱発電所において、季節によって電力需要が落ち込んだ際に出力の調整をすることが難しいことが将来予想される。
		A-15	経済的な廃坑技術の確立が求められる。	使用しなくなった坑井(温泉井を含む)を廃坑する際に、周辺に悪影響を与えない状態に埋坑あるいは密閉する技術の低コスト化が課題である。
		B-4	地熱を活用したビジネスが長期に渡り持続しない場合がある。	地域特性を考慮した農水産業、レジャー、省エネ事業の地熱活用ビジネスのスキームの確立が課題である。
	全般	全般	B-5	自治体、自然保護団体等の利害関係者との相互理解、共生が求められる。
B-6			水権利、温泉権等に関連するステークホルダーとの調整が求められる。	水、地下資源等に係るステークホルダーの権利を守りつつ、開発を進めることが課題である。
B-7			業界全体で人材の高齢化が進んでおり、将来的に人材不足が懸念される。	技術の継承のための若手人材の育成が急務となっている。

4. 主要国の導入目標/ポテンシャル及び施策動向の把握

4.1 主要国のポテンシャルの把握

国別の資源ポテンシャルをみると、上位からアメリカ、インドネシア、日本が続いている（図 34）。日本と同じく火山国であるニュージーランド、アイスランドは、総発電量に対する地熱発電の割合が大きい。またアメリカは、地熱発電の割合は小さいものの、資源量及び地熱発電の容量が大きいことがわかる。



（出典：各国ホームページをもとに作成）

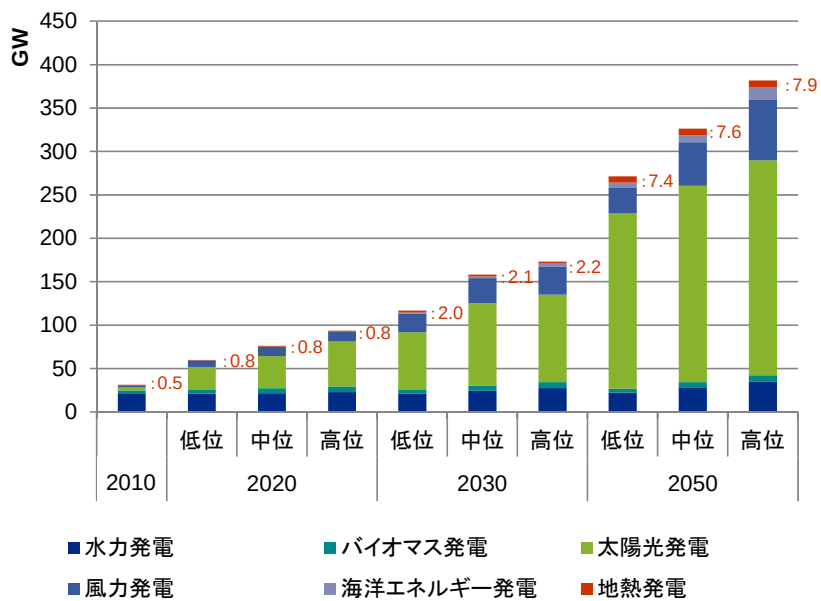
図 34 世界の地熱資源ポテンシャル比較

4.2 主要国の導入目標及び導入戦略/計画

4.2.1 我が国の導入目標及び導入戦略/計画

我が国では、温暖化対策やエネルギーセキュリティの観点から、今後地熱を含む再生可能エネルギーの導入拡大が見込まれる。環境省が 2013 年に公表した「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言」においては、再生可能エネルギー全体に占める地熱の導入見込み設備容量はそれほど大きくないものの、2010 年の 0.5GW から、高位ケース²では 2050 年において 7.9GW まで拡大する見込みが示されている（図 35）。

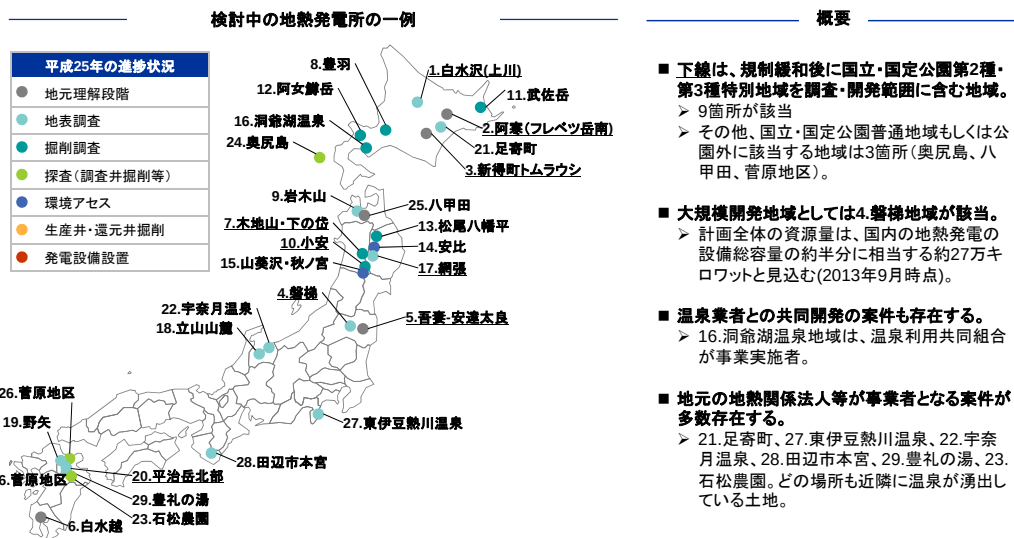
² 2050 年時点では環境省再生可能エネルギーポテンシャル調査にある導入ポテンシャル（エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量）を最大限顕在化させることを目指して、施策を最大限強化する場合



(出典：環境省「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言」をもとに作成)

図 35 国内における再生可能エネルギー設備容量の導入見込み

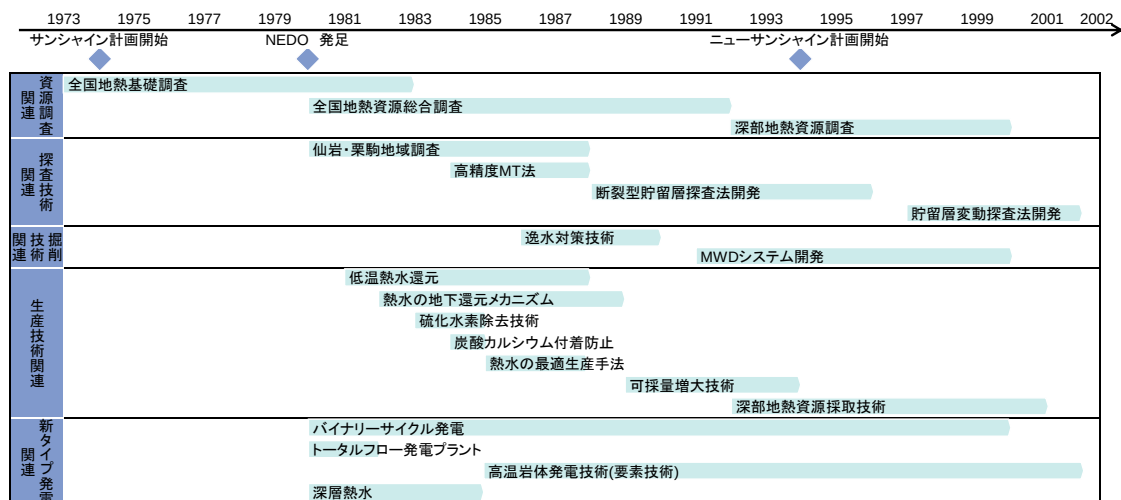
国内では補助金の再開と固定価格買取制度の開始を背景に、地熱発電設備の検討が各地で進められている(図 36)。温泉に付随したバイナリー発電については、2012 年 12 月に別府温泉で 48kW の発電を開始しており、2013 年 9 月時点で合計 6 件 4,040kW の申請がある。具体的な検討が進められている地域は、全国で 20 箇所以上存在している。



（出典：経済産業省「バイナリー発電最前線-工場廃熱の高度利用と地熱・温泉発電普及への挑戦」をもとに作成）

図 36 国内における新規発電所立地の検討状況

我が国では、1974 年からのサンシャイン計画、1980 年の NEDO 発足、1994 年からのニューサンシャイン計画により、大規模・組織的に地熱技術開発が行われ、地熱開発技術が体系的に整えられてきた（図 37）。



（出典：一般社団法人 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向」レポートをもとに作成）

図 37 地熱エネルギー技術開発体系

4.2.2 主要国の導入目標及び導入戦略/計画

(1) 米国

連邦レベルでコンセンサスを得た地熱導入目標はないものの、米国エネルギー省（DOE；United States Department of Energy）の地熱技術プログラムにおいて、EGS 開発を主軸にロードマップが設定されている（図 38）。なお、多くの州では再生可能エネルギー利用割合基準（RPS；Renewables Portfolio Standard）により再生可能エネルギーの導入目標を設定しているが、地熱に限定された数量目標は存在しない。

- 2020年までにEGSが技術的に実現可能であることを実証
- 2030年までにEGSの発電コストを6セント/kWhに低減
- 2050年までの100GWeの開発を前倒しし、地熱ポテンシャルのフルスケールを最終実証

（出典：DOE 地熱技術プログラムにおける目標設定）

図 38 DOE 地熱技術プログラムにおける目標設定

(2) アイスランド

アイスランドは地熱を自国の重要なエネルギーと位置づけており、国際的なプロジェクトや人材育成にも積極的に取り組んでいる（表 3）。

表 3 アイスランドにおける地熱関連の政策

1979年	■ 国連大学の地熱訓練プログラムを開始し、地熱途上国人材育成に貢献（現在まで継続）。
2000年	■ 国際的なプロジェクトとして、深部掘削計画（The Icelandic Deep Drilling Project: IDDP）を開始
2008年	■ オーストラリア、アメリカ、スイス、ニュージーランドとの間で先進的な地熱技術開発を促進し国際的な商業化を目指す地熱技術国際パートナーシップ（IPGT）を締結。
2009年	■ アイスランド科学技術政策審議会の支援によって地熱関連イノベーション研究と開発強化のための国際地熱研究グループ（GEORG: International Geothermal Research Group）を設立

（出典：一橋大学「日本における地熱発電の可能性：アイスランドの現地調査から 2012」をもとに作成）

地熱資源の多くが国立公園内にある故に開発と自然保護の共存はアイスランドにおいても重要な課題であり、長期的な自然エネルギーの利用方針として「再生可能エネルギー資源の利用のためのマスタープラン」を策定した。本マスタープランでは、ゾーニングを行い、新規開発対象となる地熱や水力の候補地 69 箇所を示すとともに、国立公園等の保護区

内での地熱開発を禁止（傾斜掘削も含む）している。

(3) ドイツ

再生可能エネルギー促進指令＜2009/28/EC＞をもとに各国が作成し、エネルギー分野別の目標の設定、具体的な政策手段の明示が求められる国家再生可能エネルギー行動計画（NREAP: **N**ational **R**enewable **E**nergy **A**ction **P**lan）において、2011年に19GWhであった地熱発電による発電量を、2020年に1,654GWhまで拡大することを目標としている。

2000年代に入って以降、ドイツではドイツ版 FIT を策定し急速に再生可能エネルギーへの導入を推進した。2011年時点で再生可能エネルギーによる発電量の割合目標も達成（EU指令による期限は2020年のため、8年前倒し）し、「再エネ先進国」と呼ばれている。地熱に関しても、再生可能エネルギー支援策の中で導入促進がなされている（表4）。現在、すでに5カ所でバイナリー発電プラントが動いており、直接利用も行われている。

表4 ドイツにおける地熱を含む再生可能エネルギー促進施策

2010年	■ “Energy Concept of 2010” 採択 ➢ エネルギー供給構造改革に向けたアクションプランを提示し、2050年までのエネルギー施策を設定 ➢ 特に拡大を目指すエネルギー源として風力（陸上・洋上）及びバイオマスに言及
2011年	■ 6月、再生可能エネルギー法(EEG)改正案を承認 ➢ 再生可能エネルギー関連の包括法令。目標や、再生可能エネルギー奨励・支援法にて買取義務化を規定
2012年	■ 固定価格買取制度を再改定

（出典：日本政策金融公庫「欧州における再生可能エネルギーの普及状況と奨励策の概要」
をもとに作成）

(4) スイス

2011年に総発電量の40%以上（2011年実績）を占める原子力発電から今後完全に脱却することが決定し、その他電源への移行が急務のため、地熱発電に関しても開発を推進している。長期エネルギー計画”Energiestrategie 2050”においても、2035年に1,100GWh、2050年に4,400GWhと具体的な目標が掲げられている（表5）。

表 5 スイスにおける再生可能エネルギー関連の政策

2009年	■ 再生可能エネルギー利用に対する補助金制度を開始
2011年	■ 政府は、現在ある5つの原子力発電所の利用を今後停止(耐用年数到達後、順次廃炉)する事を決定
2013年	■ 上記を踏まえ、長期エネルギー計画として「Energiesstrategie 2050」を発行 ➢ 当面の目標として、エネルギー利用効率の向上と再生可能エネルギーの利用促進に注力 ➢ リスク保証:ボーリングが失敗に終わった場合、その計上費用の50%(将来的には60%の見込み)を限度として補償する(但し法的拘束力なし)

(出典: JETRO「新局面を迎える欧州の再生可能エネルギー」をもとに作成)

(5) EU

エネルギー・気候変動分野における政策目標(温室効果ガスの排出削減目標、再生可能エネルギー割合目標、エネルギーシステムの脱炭素化目標)の達成に向け、EU レベルで様々な政策・支援策を導入している(表 6)。

表 6 EU における地熱を含む再生可能エネルギー促進施策

2009年	■ 「再生可能エネルギー促進指令」(Renewable Energy Directive)策定
2010年	■ “Energy 2020”策定 ➢ 2050年と長期的な展望に立ったエネルギー構築を目指した工程を想定
2011年	■ “The Energy Roadmap 2050”策定 ➢ 脱炭素化に向け取りうる複数のシナリオを提示 ➢ いずれにおいても、2050年時点で最終エネルギー消費量の少なくとも55%(2012年時点では約10%)が再生可能エネルギーで賄われる試算
2012年	■ “Renewable energy: a major player in the European energy market”策定 ➢ Energy Roadmap 2050の分析を発展させ検討

(JETRO: 「EU 加盟国の再生可能エネルギー国別行動計画による 2020 年目標に向けた見通し」をもとに作成)

前述の The Energy Roadmap 2050 における地熱に関する導入目標を表 7 に示す。EU では、従来方式(天然貯留層を活用した発電)と EGS(人工貯留層を活用した発電)によって、2050 年に設備容量 100GW・年間発電量 780TWh の目標を設定している。

表 7 The Energy Roadmap 2050 における地熱に関する導入目標

The Energy Roadmap 2050 (Geothermal Electricity EU-27)		2010年 (実績)	2020年	2030年	2050年
	従来方式(MWe)	990	1,500	7,000	10,000
	EGS(MWe)	10	4,500	15,000	90,000
	合計設備容量 (MWe)	1,000	5,000	20,000	100,000
	年間発電量 (TWh)	8	50	234	780

(出典：EU「Energy Roadmap 2050」をもとに作成)

(6) オーストラリア

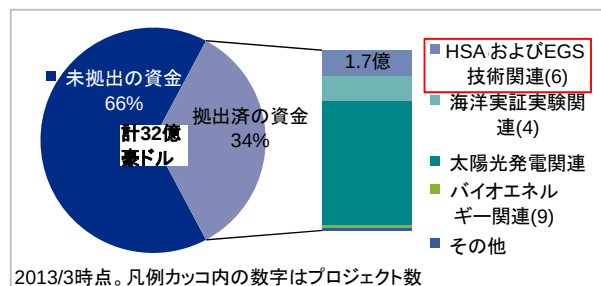
オーストラリアでは RET(Renewable Energy Target)の導入を機に、再生可能エネルギーの拡大を目指している(表 8)。RET では 2011 年に総発電量の 11%であった再生可能エネルギーによる発電を、2020 年に 20%まで拡大することを目標に掲げており、発電量は大規模および小規模再生可能エネルギーを合わせて 45,000GWh となる見込みである。

表 8 オーストラリアにおける地熱を含む再生可能エネルギー促進施策

2001年	■ RET(Renewable Energy Target)導入 ➢ 2020年までに再生可能エネルギーによる発電を20%
2011年	■ “Clean Energy Future”計画を発表 ➢ 二酸化炭素の排出量削減と再生可能エネルギーの普及を目的する ➢ RETを法制化 ・ 「大規模再生可能エネルギー目標」と「小規模再生可能エネルギー制度」に分離 ➢ CEFC(クリーンエネルギー金融公庫)設立 ・ 大規模な再生可能エネルギープロジェクトとクリーン技術プロジェクトを実施するため、民間の資金を活用していく
2012年	■ ARENA(オーストラリア再生可能エネルギー庁)設立

(出典：オーストラリア政府 Department of the Environment をもとに作成)

地熱発電開発は、連邦政府レベルにおいても州レベルにおいても、数多くの補助金プログラムにより支援されている。特に ARENA (オーストラリア再生可能エネルギー庁) は、再生可能エネルギー技術の競争力を高め、国内で再生可能エネルギーの供給を増やすための取り組みを、援助額 32 億豪ドルという規模で支援している(図 39)。



■ :
高温帯水層(HSA) 及び高温岩体発電(HDR)に関する案件6件に
約1.7億ドルが拠出された。
これには、地熱目標の探査、発見、特性評価のプロセス以前に
向けたソフトウェア開発プロジェクトや、地熱発電所建設プロ
ジェクト等が含まれる。

(出典：オーストラリア政府ホームページをもとに作成)

図 39 ARENA (オーストラリア再生可能エネルギー庁) の補助金の内訳 (2013 年 3 月時点)

(7) ニュージーランド

ニュージーランドでは、2025 年に電力供給における再生可能エネルギー比率を 90%にするという目標を掲げ、地熱についても今後更なる開発が計画されている (表 9)。IEA の World Energy Outlook 2011 によれば、2030 年までに 850 MW の地熱発電の開発が、その後の何年かで 750 MW の開発が予想される。2030 年の年間発電量は 12,737GWh、2010 年実績値の 2.2 倍と予想されている。

表 9 ニュージーランドにおける地熱を含む再生可能エネルギー促進施策

2007年	■ “New Zealand Energy Strategy to 2050”を公表 ➢ 再生可能エネルギーによる電源供給割合(2009年で37%)を2025年までに90%とする目標を設定 ■ “New Zealand Energy Efficiency and Conservation Strategy”を公表
2009年	■ 資源管理法改正により資源開発許可のプロセスを刷新 ➢ プロセスの明確化とともに承認時間を短縮し、それに伴う不確実性やコストの大幅削減を可能に

(出典：自然エネルギー財団「ニュージーランドにおける地熱発電開発 日本への教訓 2012」をもとに作成)

(8) インドネシア

インドネシアにおける地熱を含む再生可能エネルギー促進施策を表 10 に示す。世界第 2 位の地熱資源量を有しているにも関わらず、その既設容量は約 4%に留まっている。政府は

地熱開発を推進しており、2004年にロードマップを、2010年には2025年までに1200万kWを目標とする、エネルギービジョン25/25を策定した。また、政府による財政支援策に加え、先進諸国や国際支援機関からの援助を受けている（図40）。

表10 インドネシアにおける地熱発電に対する促進施策

2003年	■ 新地熱法制定。地熱資源開発を民間へ開放
2004年	■ 地熱開発ロードマップ制定。2025年までに950万kWの導入目標を設定
2010年	■ 第2次クラッシュプログラム（電源開発促進プログラム）制定。非化石燃料による発電所推進の方針を打ち出す
	■ エネルギービジョン25/25制定。2025年までに25%を再生可能エネルギーで賄うことを目指す（地熱目標は1200万kW）
2011年	■ 試掘支援予算として1.165兆ルピアを財務省で準備
2012年	■ 地熱発電の電力買取価格を9.7セント/kWhから15セントkWhへ引き上げ

（出典：新エネルギー財団「地熱エネルギーの開発・利用推進に関する提言2012」をもとに作成）

■ 先進諸国
➢ 日本
・ 地熱開発マスタープランの策定支援（JICA技術協力） - 政府の開発目標実現に向けた具体的な計画策定支援 ・ 関連国営企業に対する支援（有償資金協力） - 国有電力会社、国有石油会社に対する合計1.085億円の円借款供与 ・ 政府の地熱資源調査能力向上支援（JICA技術協力） - データ分析等。地質庁地下資源センターの資源探査能力強化 ・ 独立発電事業体（IPP）による地熱開発推進に関する政策改善検討の実施（JICA技術協力） - 政府内の意見集約及びIPP参入促進に向けた政策改善提案 ・ 気候変動対策プログラムローンの枠組みを通じた地熱開発促進制度に関する政策対話の実施（JICA技術協力）
➢ ドイツ
・ 2007年アチェ州地熱FS支援 ・ 2010年インドネシア地熱プロジェクトに対し700万ユーロのローン ・ 2012年インドネシアの地熱開発支援を目的とした3億ユーロの資金提供を確約
➢ アメリカ
・ 2010年貿易開発局が160万米ドルをFSに提供
■ 国際支援機関
➢ 世界銀行
・ インドネシアの地熱開発に総額900万米ドルを融資 ・ 個別プロジェクトでは、PGEIに5億米ドルを融資
➢ アジア開発銀行
・ ブルタミナ、PLNIに対し、5億米ドルを融資

（出典：各種資料をもとに作成）

図40 インドネシアに対する先進諸国・国際機関による支援

(9) フィリピン

1970年代に石油代替エネルギーとして地熱発電を推進することを決定し、2011年時点で全発電量の約15%を占めるまでになった。政府は、今後もさらに地熱発電を推進していく方針で、2030年までの目標設備容量を344.7万kWとしている（表11）。

表 11 フィリピンにおける地熱発電に対する促進施策

1978年	■ 地熱法を制定。地熱開発の促進を規定
1994年	■ 拡大BOT法制定。外資を中心としたIPPを積極的に導入
2008年	■ 再生可能エネルギー法制定 ➢ RPSが規定されたが義務量は未規定 ➢ PTC(Production Tax Credit): 7年間の法人税控除、その後5年間5%の減税
2010年	■ 2009-2030 フィリピンエネルギープラン策定。2030年までに地熱設備容量を344.7万kWとすることを目指す

(出典：新エネルギー財団「地熱エネルギーの開発・利用推進に関する提言 2012」をもとに作成)

4.3 主要国の技術開発・導入促進施策の整理

4.3.1 技術開発プログラムの整理

(1) 国内の技術開発事業

各省庁における 2010 年以降の直近の技術開発動向の一覧を表 12 に示す。環境省では温泉及び周辺自然環境との共生に主眼を置いた技術開発が実施されている。NEDO ではスケールの付着の抑制、除去、環境アセスメントの短縮への寄与が期待される硫化水素拡散シミュレーター技術、低温バイナリーの高性能化を目的とした技術開発が行われている。JOGMEC では、地熱貯留層探査技術開発と地熱貯留層評価・管理・活用技術開発を実施しており、地熱貯留層のより正確な検出及び地熱貯留層の評価・適正管理の向上に取り組んでいる。

表 12 直近の国内における地熱技術開発動向の一覧

管轄	名称		期間	概要
環境省	地球温暖化対策技術開発等事業	温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究	2010 ～ 2012	「温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究」(事業者:AIST) (1)地熱系モデル、(2)モニタリング、(3)変動予測シミュレーションの3つから成る温泉に悪影響を及ぼさない地熱開発・利用を行うための統合的な地熱貯留層管理システム(評価シナリオ)をとりまとめた。プロトタイプシステムのサポート・ソフトウェアを作成し、これは温泉データだけを用いて簡易的なタイプ判別と、簡易的なモニタリング・データ解析を行うソフトウェアであり、温泉事業者による利用を想定している。
		温泉発電システムの開発と実証	2010 ～ 2012	「温泉発電システムの開発と実証」(事業者:地熱技術開発(株)) 温泉発電システムの開発および試験設備の松之山地域への設置・試験運転を実施するとともに、電力系統への連系に伴う技術開発、温泉への影響に係る技術開発を行った。試験運転では熱源の問題等により定格での発電を実施していないものの、100℃以下の低温熱源である温泉を利用した発電を確認した。
		自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発	2011 ～ 2013	「自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発」(事業者:地熱技術開発(株)) 掘削技術や生産技術の最適化等により、掘削コストを10%程度削減させ、杭井1本当たりの生産量を50%増加させることで、自然公園内開発における発電原価を現状技術を適用した場合より20%程度削減して、全体の発電コストを現状での標準的な地熱発電所レベルに抑制する。
NEDO	地熱発電技術研究開発事業	環境配慮型高機能地熱発電システムの開発	2013	「地熱複合サイクル発電システムの開発」(事業者:株式会社東芝) 地熱発電システムの小型化に資する技術(冷却塔高さを10m以下に低減/敷地面積を1割程度低減する技術、熱効率を20%以上に向上させる技術等)を確立する。
		低温バイナリーシステムの開発(スケール対策等含む)	2013	「無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化」(事業者:アネスト岩田株式会社) 未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。
				「炭酸カルシウムスケール付着を抑制する銅の表面改質技術の開発」(事業者:国立大学法人東京海洋大学他) 未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。
				「温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発」(事業者:アルバック理工株式会社他) 未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。
		環境保全対策技術開発(ガス漏洩防止、拡散シミュレーション等)	2013	「硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発」(事業者:日揮株式会社) ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。
				「地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発」(事業者:一般財団法人電力中央研究所) ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術等を確立する。
		地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発	2013	「低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発」(事業者:AIST他)
				「地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発」(事業者:一般財団法人電力中央研究所他)
		高機能地熱発電システム技術実証開発	—	地熱資源の有効活用のため、導入ポテンシャルの高い自然公園内での利用に適する、小型高効率型の地熱発電システム、及び各地に分散する未利用の低温地熱資源の有効利用に適するバイナリー発電システムの技術開発を行う。
JOGMEC		地熱貯留層探査技術開発	2013	地下に存在している地熱貯留層を、より確実に検出するための技術開発を行う。
		地熱貯留層評価・管理・活用技術開発	2013	地下に存在している地熱貯留層を正確に評価し、適切に管理・活用することで、安定的な電力供給に資する技術の開発を行う

(出典：各府省の予算案をもとに作成)

(2) 海外の技術開発プログラム

海外の地熱関連の技術開発プログラムを表 13 に示す。米国では米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局地熱部局が 244 もの技術開発に取り組んでいる（詳細は 5.5.1 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）を参照されたい）。米国ほど大規模ではないものの EU、IPGT では国家間で協力して技術開発に取り組んでいる事例もみられる。各々の技術開発プログラムにおける個別の技術開発は 5.5 海外における技術開発（プロジェクト）リストの整理に取りまとめている。

表 13 海外の地熱関連の技術開発プログラム

米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局(DOE-EERE)による技術開発
米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局(DOE-EERE)では、民間、研究機関と連携し、米国内における革新的でコスト競争力の高い地熱技術の創出を促進している。主な技術開発エリアとして、EGS、資源探査、低温地熱資源の開発、システム分析に取り組んでいる
ARPAE: Advanced Research Projects Agency-Energy: 米国エネルギー省エネルギー高等研究計画局による技術開発
インターネットの基盤技術の開発で知られる国防総省国防高等研究事業局(DARPA)に倣い、エネルギー分野におけるハイリスク型研究開発を行うための機関として、2007年8月成立の米国競争法において設立された。①海外からのエネルギー輸入量の削減、②温室効果ガス等有害物質の排出の削減、③全ての経済セクターにおけるエネルギー効率の改善の3つの目標達成のための技術開発が目標としている
Tech to Market (T2M)
商業化支援プログラムであり、DOE傘下の国立研究所の商業化支援チーム経由の補助事業に対する実務的な支援体制が実施されている
GTP(Geothermal Technology Program)
地熱に特化した技術開発プログラムであり、毎年数百万ドル規模だったが、2009年に3.7億ドルの予算投入
欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)
2007年に開始した第7次欧州研究開発枠組み計画(FP7)は、第6次枠組み計画を継承すると同時に、学術団体や研究機関、政策準備機関その他関係機関との多年に渡る協議の成果を反映し、より包括的な計画となっている
アイスランドにおける地熱関連の技術開発
アイスランドでは、地熱発電所から排出される二酸化炭素と水分解によって生成した水素によってメタノールを製造する装置であるCRIプラントや、導入実証段階であるものの、発電過程において排出される二酸化炭素を水に溶かし、地中(400-800m)に注入することで、玄武岩質岩に閉じ込める技術であるCarbfixプロジェクト、IDDP(Iceland Deep Drilling Project)等、新規技術の開発に取り組んでいる
ニュージーランド、ビジネス・イノベーション・雇用省(MBIE)の技術開発
ビジネス・イノベーション・雇用省(MBIE)から「コアファンディング(Core funding)」と「競争的資金(Contestable funding)」の2つを通じて資金供与がなされている
スイスSwiss Federal Office of Energy SFOEの技術開発
スイスでは今後20年間に、脱炭素を達成することを目標としており、地熱発電も代替電源として重要視されている中、熱破砕掘削等の新規技術の創出や、バーゼル市のEGSによって発生した誘発地震のメカニズム解明のための技術開発が進められている
地熱技術国際パートナーシップ(IPGT: International Partnership for Geothermal Technology)の技術開発
IPGTとは、オーストラリア、アイスランド、ニュージーランド、スイス、アメリカによる地熱技術国際パートナーシップであり、エネルギーセキュリティを高め、地球規模での気候変動に対応するため、最先端の地熱技術を積極的に推進する計画を進めている

(出典：ヒアリング内容及び公表資料をもとに作成)

4.3.2 導入支援施策の整理

(1) 国内の導入支援施策の一覧

国内における技術開発以外の導入施策の一覧を表 14 に示す。環境省では再エネ全般を対象とした支援策の一環として、賦存量、導入ポテンシャルの推計及び環境アセスメントプ

ロセスの短縮をするために、動植物・生態系等の環境基礎情報を収集・整理している。また、地熱特化型の支援策として、事業者の地熱開発の取り組みをスピードアップするための地熱開発加速化支援・基盤整備事業や、温泉エネルギーの活用、国立公園地下に存在する地熱資源を活用するための掘削に補助金を交付している。

経済産業省の支援策として、JOGMEC による資源精査への補助金及び掘削、設備の設置等に関する債務保証が実施されている。また、NEDO では環境アセスメントの手術期間を半減するための実証事業が実施されている。

表 14 国内の導入支援施策の一覧

省庁	対象	施策	内容	支援タイプ	対象開発段階
環境省	再エネ全般	再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査	日本再生可能エネルギー(太陽光、風力、中小水力及び地熱)の賦存量、導入ポテンシャル及びシナリオ別導入可能性の推計を行い、地図情報(再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ)とともに公表。これらの推計結果及び地図情報の精査・再推計・更新を行うとともに、PDFのレイアウト機能を用いて各種条件を重ね合わせた「ゾーニング基礎情報」を整備。	ポテンシャル評価	資源概査
		風力発電等環境アセスメント基礎情報整備モデル事業	動植物・生態系等の環境基礎情報を収集・整理し、これらの情報についてデータベースの整備・提供等を行う。採択された16地域のうち、2地域が地熱発電となる。	プロセス短縮	F/S、環境アセス
	地熱特化	地熱開発加速化支援・基盤整備事業	協議会の立ち上げ、地熱発電(バイナリー発電を含む。)を導入するに当たり必要となる、資源量、自然条件及び社会条件に関するデータを整備するための調査、事業・ファイナンススキームの検討、関係者との調整を支援。	補助金	資源概査、F/S、環境アセス
		温泉エネルギー活用加速化事業(うち、温泉発電設備補助事業)	温泉の熱を用いて発電を行う設備を整備する事業に対して1/2を補助。ただし、FITの対象外となる。	補助金	O&M
		自然共生型地熱開発のための掘削補助事業	既設の地熱発電所に地熱流体を供給し、又は発電後の地熱流体を地下に還元するために坑井の掘削を行う事業であり、国立・国定公園区域内の地下に向けて掘削するに対して1/2を補助。	補助金	掘削
		地熱・地中熱等の利用による低炭素社会推進事業	地熱・地中熱等利用事業の事業化計画策定に対して補助。地方公共団体や民間事業者等による地熱・地中熱等を利用し低炭素社会の構築に資する発電、熱利用・供給設備等、集中管理システム、計測・モニタリング装置等付帯設備の導入を支援	補助金	設計・建設
資源エネルギー庁	再エネ全般	固定価格買取制度(FIT)	電気事業者の15,000kW以上の地熱発電所に対して、26円/kWhにて15年間、15,000kW未満は40円/kWhにて15年間の買取を義務化	補助金	O&M
	地熱特化	地熱開発理解促進関連事業支援補助金	地熱開発の理解促進のため、地熱の有効利用を通じた地域振興を目的として行う事業などに対する支援を実施。25地域が採択	補助金	全般
JOGMEC	地熱特化	地熱資源開発調査事業費助成金	地表調査に3/4補助、坑井掘削に1/2補助(噴気試験を行うものを除く。)9月6日時点で16件採択。	補助金	資源精査
		出資	「地熱資源開発を行うプロジェクト会社に、地熱資源の探査に必要な資金を出資する。出資の上限は50%に設定されている。	融資	資源精査
		債務保証	債務保証の対象は、国内において地熱資源開発のために必要となる坑井(蒸気と熱水を採取するための坑井及び採取した熱水を地下に戻すための坑井をいう。)の掘削、パイプライン等の敷設その他これらに付随する作業及び発電のために必要となる設備の設置(一般電気事業者によるものを除く。)に必要な資金に対する債務の保証とします(0-0.4%)。	債務保証	掘削
		地熱資源調査支援事業	国による地熱資源調査支援事業の一環として、広域において地熱資源のポテンシャル評価(地熱資源量評価)を効率的に行うべく、九州の「くじゅう」地域及び「霧島」地域においてヘリコプターを用いた空中物理探査を実施。	ポテンシャル調査	資源概査
NEDO	再エネ全般	環境アセスメント調査早期実施実証事業	風力・地熱発電の導入を加速化するため、3～4年程度を要する環境アセスメントの手術期間を半減することを目指すこととしている。前倒環境調査の方法論(調査項目の選定、地域との調整、調査手法の高度化等)の確立を目指す。	プロセス短縮	F/S、環境アセス
一般社団法人新エネルギー導入促進協議会	地熱特化	中小水力・地熱発電開発費等補助金	初期コストを低減させるための建設費の補助を行うことにより開発を促進し、エネルギー安定供給及び地球温暖化対策に補助金。地熱発電施設設置事業1/5以内。調査井掘削事業1/2以内。	補助金	設計・建設

(出典：各省庁ホームページをもとに作成)

(2) 海外の導入支援施策の一覧

海外の導入施策では国内の支援策にはみられないようなリスク保証制度が存在するのが特徴の一つである。アイスランドの国家エネルギー基金(NEF)では掘削失敗時にその費

用の 80%が補償される。また、ドイツではドイツ連邦環境省及び民間の保険会社であるミュンヘン再保険会社が掘削コストに対する保険、融資を提供している。EU では EGRIF (European Geothermal Risk Insurance Fund) 探査、及び十分な地熱資源が見つからない等の短期的なリスクから、地熱資源減衰にいたる長期的なリスクまで保証対象とした制度の設立が検討されている。

表 15 主要国の導入支援施策の一覧 (1/2)

国	対象	政策	内容	支援タイプ	対象開発段階
米国	再エネ全般	生産税控除(PTC)	10年間2セント/kWh法人税控除	減税	O&M
		事業エネルギー投資税控除(ITC)	設備投資額の10～30%法人税控除 (2009年限定で、補助金への切り替え可能。現在税額控除を売却できるスキーム検討中)	減税	設計・建設
		Renewable Energy Grants: 再生可能エネルギー助成金	設備投資額の10%助成金	補助金	設計・建設
		CRBEs(Clean Renewable Energy Bonds): クリーン・再生可能エネルギー債券	再生可能エネルギー事業の資金調達のために発行される無利子債券	債券	設計・建設
		Loan Guarantee Program	温室効果ガスの排出を削減し、新雇用を生む先端技術が対象	融資	全般
		Tech to Market (T2M)	商業化支援プログラムであり、DOE傘下の国立研究所の商業化支援チーム経由の補助事業に対する実務的な支援体制が実施されている	技術支援	全般
	地熱特化	GTP(Geothermal Technology Program)	毎年数百万ドル規模だったが、2009年に3.7億ドルの予算投入	技術支援	全般
アイスランド	地熱特化	国家エネルギー基金(NEF)	掘削失敗時に費用の80%が補償される	リスク保証	掘削
		温熱利用を目的とした地下水探査への補助金	温熱利用を目的とした地下水探査は、50%を上限とした補助金によってサポートされている	補助金	資源探査
スイス	再エネ全般	固定価格買取制度	電力の使用者から1kWh当たり0.45サンチーム(1サンチーム＝約0.84円)の賦課金を徴収し、これを原資として年間3億2,500万フランを上限に、再生可能エネルギーによる発電設備導入者に対し、既存の電力価格とのコスト差を一定期間補てん	補助金	O&M
	地熱特化	技術開発支援	スイス政府、及び州政府が、技術開発、パイロットプロジェクト、実証実験に年間CHF4-5mil (約5億円) 提出している	技術支援	全般
		リスク保証	掘削に失敗した場合にかかったコストの最大50%を保証するものであり、年間CHF150mil (約150億円)を確保している	リスク保証	掘削
ドイツ	再エネ全般	固定価格買取制度	送電システムに登録された全RESエネルギー源を対象に補償価格(下記②)を定め、送配電企業に電力買取を義務化	補助金	O&M
		ミュンヘン再保険会社による保険	開発業者に対し最大で掘削コストの80%までを融資する。熱利用を目的とした設備の建設については、建設費用に最大で€2mil、削井1本につき最大で€2.5milの融資が受けられる	リスク保証	掘削
		EEWaermeG	新しく建物を建築する場合、その熱供給の10%は再生可能エネルギーでまかなうことを義務付けている	義務化	設計・建設
	地熱特化	ドイツ連邦環境省による保険	少なくとも2本の坑井から対象とされ、掘削、地熱井刺激等に要した費用が補償される。1つの掘削につき、費用の最大80%(最大€16M)が補償される	融資	掘削

(出典：各国の公表情報及びヒアリング情報をもとに作成)

表 16 主要国の導入施策の一覧 (2/2)

国	対象	政策	内容	支援タイプ	対象開発段階
EU	再エネ全般	再生可能エネルギー促進指令	再生可能エネルギー利用に関し、加盟国別に異なる目標値を設定。合計して20%目標を達成できるよう設計	義務化	全般
	地熱特化	EGRIF (European Geothermal Risk Insurance Fund)	探査、及び十分な地熱資源が見つからない等の短期的なリスクから、地熱資源減衰にいたる長期的なリスクまで保証対象として検討されている	リスク保証	全般
オーストラリア	再エネ全般	連邦政府補助金	2つのプロジェクトについて2009 年 11 月に合計1 億 5300 万ドルのオーストラリア政府の補助金が下りた。さらに地熱掘削計画に 4900 万ドルの補助金を拠出することを発表。	補助金	全般
		州補助金	ビクトリア州では、実証プロジェクトに2500 万ドルの補助金を拠出することを発表。西オーストラリア州では、低排出エネルギー開発支援策として地熱掘削プロジェクトに540万ドルの補助金を拠出することを発表	補助金	全般
	地熱特化	Geothermal Drilling Program (GDP)	理論上、実現可能と思える地熱発電プロジェクトに対して、最大\$7Mが融資される	融資	掘削
ニュージーランド	再エネ全般	技術開発補助金	ニュージーランドにおける技術開発補助金は、ビジネス・イノベーション・雇用省 (MBIE) から「コアファンディング (Core funding)」と「競争的資金 (Contestable funding)」の2つを通じて資金供与がなされている	技術支援	全般
	地熱特化	資源管理法改正	1991年に制定された資源管理法が、地熱資源とその他の自然資源の開発を管理しており、プロセスの明確化とともに承認時間を短縮し、それに伴う不確実性やコストの大幅削減を可能になった	プロセス短縮	全般
インドネシア	地熱特化	新地熱法制定	蒸気開発供給・発電の一貫開発、蒸気開発供給の各事業が民間にも委ねられることとなった	開発許可	全般
		試掘に対する融資	試掘支援予算として1.165兆ルピアを財務省で準備	融資	資源精査/調査井掘削
		地熱発電の電力買取価格を引き上げ	地熱発電の電力買取価格を9.7セント/kWhから15セントkWhへ引き上げ	プロセス短縮	全般
フィリピン	再エネ全般	再生可能エネルギー法	PTC (Production Tax Credit) : 7年間の法人税控除、その後5年間5%の減税	減税	O&M
	地熱特化	地熱法	地熱開発の促進を規定	開発許可	全般
その他	地熱特化	Geothermal Risk Mitigation Facility (GRMF)	ドイツ復興金融公庫を介してなされる融資で、費用に対して調査/試削には40%、地表調査には80%、インフラ構築には20%の融資がなされる	融資	資源精査/調査井掘削
	地熱特化	The Geothermal Energy Development Program (GEOFUND)	坑井、及び地表施設の設置、調査、運用が対象であり、最大、費用の85%が融資される	融資	資源精査/調査井掘削、設計・建設、O&M

(出典：各国の公表情報及びヒアリング情報をもとに作成)

4.3.3 技術開発プログラム及び導入支援施策の体系化

4.3.1 及び 4.3.2 で整理した技術開発プログラム及び導入支援施策を体系化したものを表 17 から表 20 に示す。技術開発プログラム及び導入支援施策は固定価格買取制度のような再生可能エネルギー全般を対象としたものと地熱発電に特化した支援施策に分類している (表 17・表 20)。各支援施策がどのような支援策であるのか (補助金、融資等) を施策形態、また各施策の対象となる開発段階を取りまとめている。各国の支援策においては民間企業による掘削のリスク保証等のファイナンシャルサービスが存在することから、これらも含めて整理している。

表 17 国内の地熱発電導入支援施策の一覧

省庁	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策		
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階
環境省	① 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査	ポテンシャル評価	資源概査	④ 地熱開発加速化支援・基盤整備事業	補助金	資源概査、F/S、環境アセス
	② 風力発電等環境アセスメント基礎情報整備モデル事業	プロセス短縮	F/S、環境アセス	⑤ 温泉エネルギー活用加速化事業(うち、温泉発電設備補助事業)	補助金	O&M
	③ 地球温暖化対策技術開発事業	技術開発支援	掘削、O&M	⑥ 自然共生型地熱開発のための掘削補助事業	補助金	掘削
				⑦ 地熱・地中熱等の利用による低炭素社会推進事業	補助金	設計・建設
資源エネルギー庁	⑧ 固定価格買取制度	補助金	O&M	⑨ 地熱開発理解促進関連事業支援補助金	補助金	全般
JOGMEC				⑩ 地熱資源開発調査事業費助成金	補助金	資源精査/調査井掘削、掘削
				⑪ 出資	融資	資源精査/調査井掘削
				⑫ 債務保証	債務保証	掘削、設計・建設
				⑬ 地熱資源調査支援事業	ポテンシャル評価	資源概査
				⑭ 地熱発電技術研究開発事業	技術開発支援	資源精査/調査井掘削、O&M
NEDO	⑮ 環境アセスメント調査早期実施実証事業	プロセス短縮	F/S、環境アセス	⑯ 地熱発電技術研究開発事業	技術開発支援	F/S、環境アセス O&M
(一社)法人新エネルギー導入促進協議会				⑰ 中小水力・地熱発電開発費等補助金	補助金	O&M

(出典：各府省の公表資料をもとに作成)

表 18 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (1/3)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策			事例	施策形態	開発段階
支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階				
米国	① 生産税控除 (PTC)	減税	O&M	⑦ GTP(Geothermal Technology Program)	技術開発支援	全般			
	② 事業エネルギー投資税控除 (ITC)	減税	設計・建設	⑧ 米国エネルギー省地熱技術部局による技術支援	技術開発支援	全般			
	③ Renewable Energy Grants: 再生可能エネルギー助成金	補助金	設計・建設						
	④ クリーン・再生可能エネルギー債券 (CRBEs)	債券	設計・建設						
	⑤ Loan Guarantee Program:	融資	全般						
	⑥ Tech to Market (T2M)	技術開発支援	全般						
アイスランド				① 国家エネルギー基金 (NEF)	リスク保証	掘削			
				② 温熱利用を目的とした地下水探査への補助金	補助金	資源精査/調査井掘削			
スイス	① 固定価格買取制度	補助金	O&M	② 技術開発支援	技術開発支援	全般			
				③ リスク保証	リスク保証	掘削			

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

表 19 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (2/3)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策					
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階	事例	施策形態	開発段階
ドイツ	① 固定価格買取制度	補助金	O&M	③ ドイツ連邦環境省による保険	融資	掘削	④ ミュンヘン再保険会社による保険	リスク保証	掘削
	② EEWaermeG	義務化	設計・建設						
EU	① 再生可能エネルギー促進指令	義務化	全般				③ EGRIF (European Geothermal Risk Insurance Fund)	リスク保証	全般
	② 欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)	技術開発支援	資源精査/調査井、O&M						
オーストリア	① 連邦政府補助金	補助金	全般	③ Geothermal Drilling Program (GDP)	融資	掘削			
	② 州補助金	補助金	全般						
ニュージーランド	① 技術開発補助金	補助金	全般	② 資源管理法改正	プロセス短縮	F/S、アセス			

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

表 20 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (3/3)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策					
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階	事例	施策形態	開発段階
インドネシア				① 新地熱法制定	開発許可	全般			
				② 試掘に対する融資	融資	資源精査/調査井掘削			
				③ 地熱発電の電力買取価格を引き上げ	価格引き上げ	O&M			
フィリピン	① 再生可能エネルギー法	減税	O&M	② 地熱法	開発許可	全般			
その他							① Geothermal Risk Mitigation Facility (GRMF)	融資	資源精査/調査井掘削
							② The Geothermal Energy Development Program (GEOPUND)	融資	資源精査/調査井掘削、設計・建設、O&M

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

5. 技術開発動向の把握分析

5.1 国内外の技術開発の分類手法

国内外の最新の技術開発動向の詳細調査を行うに当たり、技術開発プロジェクトの分類手法について検討を行った。技術開発を分類するための軸を表 21 に示す。

表 21 国内外の技術開発を分類するための軸

軸	概要	項目	
開発段階	地熱発電所の開発段階を表す。世界銀行の提示する開発段階を一部改変した7つの分類軸を採用している。	■ 資源概査 ■ 資源精査/調査井掘削 ■ F/S、環境アセス	■ 掘削 ■ 設計・建設 ■ O&M
研究開発フェーズ	技術の熟度を表す。環境省の過去の技術開発における6段階の分類軸を採用している。	■ 基礎研究 ■ 応用研究 ■ 実用研究	■ 導入実証 ■ 初期普及 ■ 市場普及
個別技術	各開発段階における代表的な技術、手法、及び開発対象機器を表す。	資源探査 ■ 地震探査法 ■ 重力探査法 等	掘削 ■ 電気検層 ■ 音波検層 等
技術目的	各技術開発がどのような目的で開発されたのかを表す。	■ 低リスク化技術 ・ 開発リスクの低減 ・ 社会受容性に関わるリスクの低減	■ 環境共生型技術 ■ 低コスト化技術
新旧区分	各技術開発が、既存技術の改良なのか、新技術の創出なのかを表す。	■ 新技術の創出 ■ 既存技術の改良	

(出典：世界銀行等の公表資料をもとに作成)

世界銀行等が提唱する地熱開発の開発プロセスを「開発段階」として採用しており、資源概査、資源精査、F/S、環境アセス、掘削、設計・建設、O&M の 6 段階に分類される。

技術開発の熟度を評価するために、「研究開発フェーズ」という軸を採用している。これは、新技術であり開発が初期段階であることを表す「基礎研究」、新技術の特定領域に対する応用段階であることを表す「応用研究」、製品・製法等として実用化する段階であることを表す「実用研究」、実フィールドで検証する段階であることを表す「導入実証」、市場での浸透を図る段階であることを表す「初期普及」、市場に浸透している段階であることを表す「市場普及」に分類される。

資源概査、掘削等の開発段階における要素技術やシステムを細分化するための分類軸として「個別技術」を設定した。各開発段階における代表的な技術、手法、及び開発対象機器を分類に用いている。詳細は表 22 に示す。

表 22 地熱の開発段階における個別技術

開発段階		開発段階	
資源概査	地形判読	O&M	蒸気タービン
	地質判読		発電機
	地殻熱流量データベース		復水器
	地下温度の調査・探査法		温水ポンプ
	リモートセンシング		冷却塔
	その他		冷却水設備
			不凝縮ガス抽出装置
資源精査・調査・掘削	地震探査法(弾性波探査(サイズミック))		副生技術
	電気/電磁探査		その他
	重力探査	バイナリー	タービン
	磁気探査		凝縮器
	地化学探査		循環ポンプ
	その他		予熱器
			蒸発器
			その他
掘削	泥水掘削	高温岩体	破碎
	空気掘削		導通
	傾斜掘削		循環・抽熱
	セメンチング		二酸化炭素回収貯留(CCS)
	物理検層		その他
	石油・ガス掘削技術	貯留層管理	生産ヒストリー
	その他		流体地化学モニタリング
			坑井調査
			地球物理学モニタリング
			その他

(出典：各種資料をもとに作成)

第三章においてヒアリング、文献調査から抽出された国内における地熱発電の普及上の課題は、その性質上、①開発リスクの低減が必要な課題、②社会受容に関わるリスクの低減が必要な課題、③環境共生が必要な課題、④低コスト化が必要な課題に分類される。この課題の分類に対応する技術開発を明らかにするための軸として、「技術目的」を採用した。

なお、①開発リスクの低減が必要な課題：コストの急激な増加等によって開発が頓挫する可能性を低減する必要がある課題、②社会受容に関わるリスクの低減が必要な課題：地域社会や国民の理解を得る必要のある課題、③環境共生が必要な課題：動植物等との自然環境との調和が求められる課題、④低コスト化：コストの低減が求められる課題、と定義している。なお、④低コスト化については、素材の改良等により低コスト化が達成されるものと、設備の高性能化等により結果として低コスト化につながるものが存在する。

また技術が既存技術の改良であるのか、もしくは新規に創出された技術であるのかを示す軸として「新旧区分」を採用している。

5.2 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）シートの作成

「5.1 国内外の技術開発の分類手法」で整理した分類軸を用いて、「4.3.1 技術開発プ

プログラムの整理」で整理した主要国の技術開発事業・プログラムにおける技術開発要素の強い合計 116 件の技術開発（プロジェクト）について、詳細調査を行い、個票にとりまとめた（図 41）。該当する技術目的、新旧区分、開発段階、個別技術、研究開発フェーズは色付けし示している。また、その技術開発（プロジェクト）の概要、他の技術開発と比較した際の優位性、もたらされる効果、導入に必須となる条件、現時点の技術的課題、今後の展望も必要に応じて記している。全シートは参考資料 2 に示す。

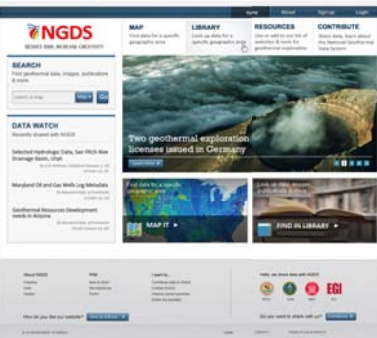
U4									
技術名称	NGDS(国内地熱データベースシステム)の設計、検証及び運用・管理								
プロジェクト番号	EE0001120								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月1日 ~ 2014年4月30日 (4.5年)				
開発企業名	Boise State University (Oregon Institute of Technology, Stanford University, U.S. Geological Survey, University of Nevada, Reno, Arizona Geological Survey)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$4,992,089 (\$4,992,089)								
技術目的	低リスク化			低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関するリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S, 環境アセス	掘削	O&M	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下熱流量データベース								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・NGDSは、データベースとデータサイトのネットワークにより保持されている地熱とその関連データの共有と分散のための連合システムである。 ・これはDOE GTO (Geothermal Technologies Office) がファンドしている研究、開発、実証によって生み出されたデータへの公共アクセスを手助けするものとなっている。 ・また、他の地熱関連のデータへの大規模アクセスも可能となっている。 ・本プロジェクトにより、NGDS以下のように向上する。 - 地熱資源に関連する地球科学、工学データの全範囲を扱うことができる。 - 地熱位置、発電所、環境要素、政策と手続きデータ、機関障壁のデータを扱う。 - 資源分類とファイナンスリスクアセスメントツールを提供する。 - 地熱資源の情報のためのプロフェッショナルや公共のニーズを満たすシステムを使用することは簡単になる。								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・NGDSはDOEが出資しており、データベースとデータサイトの分散型ネットワークである。 ・NGDSは中央ゲートウェイとして動き、分散しているデータソースを繋ぎ、地熱とそれに関連のあるデータを提供する。 ・国内の地熱資源のアクセスとカテゴリ分けすること、及びアクセス可能な公共のデータシステムを通じて得た全ての地熱データを収集することで、研究の支援、公共の利益を向上させ、市場受入れ/投資を促進し、地熱業界の成長に貢献する。								
技術導入によってもたらされる効果	・探査/開発に関連する業界及び投資者のためのリスクを軽減できる。 ・プロジェクトに投資すべきかのビジネスまでの決断のための時間、コスト、リスクを抑えることができる。 ・地熱のある場所の潜在性を評価するためのUS地熱調査の資源分類システムの使用に貢献する。 ・業界成長に貢献する。 ・新しい従業員の教育の土台になる。 ・研究・開発を支援するプラットフォームを提供する。 ・管理機関が信頼できる情報にアクセスできるようになることで、より早いリース/ライセンス許可を得るための支援をする。 ・国務省及び連邦政府レベルでの意思決定プロセスのサポートを行う。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・NGDSは、協力パートナーが様々なため、中央集権化されていない、企業形態型システムである。 ・パートナーの長期参加は自発的である。 ・非技術的問題は技術的問題よりも解決するのは難しい。 ・システムは認識された基準及びプロトコルを使用する必要がある。 ・NGDS参加者は特定の手続き及び基準とプロトコルの採用に同意する必要がある。 ・NGDS参加者がネットワークを介してデータを直接共有するわけではない。								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・ソフトウェア開発、反復、及びユーザビリティ ・パイロットデータのインポート、結合、テスト ・報告書作成、発表 ・テスト及びメンテナンス ・持続可能計画								

図 41 技術開発（プロジェクト）シートの構成図

5.3 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）リストの作成

「5.2 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）シートの作成」で記した個別の技術開発（プロジェクト）シートをもとに、技術開発（プロジェクト）リストを作成した。各技術開発（プロジェクト）は「5.1 国内外の技術開発の分類手法」に示した、開発段階、個別技術に分類し、技術目的、新旧区分、研究開発フェーズの分類軸を用いて分類、一覧化されている（図 42）。

開発段階			個別技術		ID	技術目的					新旧区分		研究開発フェーズ					
開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳)	実施事業者	開発リスク	社会実装性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	普	市			
資源調査	地形判読	J1		温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究	独立行政法人産業技術総合研究所		●			既存技術				●				
資源調査	その他																	
O&M	貯留層管理、地球物理学モニタリング	J2		温泉発電システムの開発と実証	地熱技術開発(株)		●			既存技術				●				
O&M	ハイドラター、その他	J3		自然環境への影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発	地熱技術開発(株)			●		既存技術				●				
資源調査	地下温度の調査・探査	JG1		地熱資源調査支援事業	(株)フグロジャパン	●				既存技術				●				
O&M	ポンプ、その他	JN1		地熱発電技術研究開発事業	(株)東芝ほか				●	既存技術				●				
O&M	ハイドラター、その他	JN2								●	既存技術					●		
O&M	ハイドラター、その他	JN3									既存技術					●		
O&M	ハイドラター、その他	JN4									●	既存技術				●		
F/S、環境アセス	その他	JN5							●				既存技術				●	
F/S、環境アセス	その他	JN6							●				既存技術				●	
O&M	ハイドラター、その他	JN7							●				既存技術				●	
O&M	ハイドラター、その他	JN8										●	既存技術				●	

図 42 技術開発（プロジェクト）リストの構成図

5.4 我が国における技術開発（プロジェクト）リストの整理

「4.3.1 技術開発プログラムの整理」でとりまとめた直近の国内における地熱技術開発動向の一覧を技術開発整理のための分類軸によって整理したものを表 23 に示す。環境省では環境共生及び社会受容性リスク低減に主眼を置いた導入実証段階の研究開発を実施している。一方、NEDO、JOGMEC では、主に開発リスクの低減、低コスト化を目的とした、実用研究に注力していることがわかる。

表 23 国内の技術開発動向の分類軸による整理

所管	事業	開発段階	個別技術	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
環境省	地球温暖化対策技術開発事業	O&M	貯留層管理・地球物理学モニタリング	温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究	独立行政法人産業技術総合研究所		●			既存技術				●		
				温泉発電システムの開発と実証	地熱技術開発(株)		●			既存技術				●		
		掘削	傾斜掘削	自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発	地熱技術開発(株)			●		既存技術				●		
NEDO	地熱発電技術研究開発事業	O&M	フラッシュ_その他	地熱複合サイクル発電システムの開発	株式会社東芝			●	●	既存技術			●			
				無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化	アネスト岩田株式会社				●	既存技術			●			
				炭酸カルシウムスケール付着を抑制する銅の表面改質技術の開発	国立大学法人東京海洋大学 株式会社エディット 国立大学法人横浜国立大学 国立大学法人長崎大学				●	既存技術			●			
		F/S、環境アセス	その他	硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発	日揮株式会社	●				既存技術			●			
				地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発	一般財団法人電力中央研究所	●				既存技術			●			
		O&M	バイナリー_その他	低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発	株式会社超電導機構 国立大学法人大阪大学 独立行政法人産業技術総合研究所	●				既存技術			●			
				地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発	一般財団法人電力中央研究所 国立大学法人富山大学				●	既存技術			●			
				温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発	アルバック理工株式会社 株式会社馬淵工業所				●	既存技術			●			
				高機能地熱発電システム技術実証開発	-		●	●		既存技術			●			
JOGMEC		資源精査	資源精査_その他	地熱貯留層探査技術開発	-	●			●	既存技術			●			
		資源精査、O&M	資源精査_その他 貯留層管理_その他	地熱貯留層評価・管理・活用技術開発	地熱技術開発(株)、産業技術総合研究所、奥会津地熱(株)		●			既存技術			●			

基：基礎研究
 応：応用研究
 実：実用研究
 導：導入実証
 初：初期普及
 市：市場普及

(出典：各府省の予算案をもとに作成)

5.5 海外における技術開発（プロジェクト）リストの整理

5.5.1 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）

米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局地熱技術開発局が 2012 年時点で実施している 244 件の技術開発プロジェクトのうち、技術開発要素の強い 99 件プロジェクトを分類軸によって整理した。

米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）では、資源精

査技術等の開発リスクの低減技術及び掘削技術等の低コスト化技術の数が多いことがわかる（表 24）。上述の分類軸で整理した 99 の技術開発（プロジェクト）を表 25 から表 31 に示す。

表 24 技術目的、研究開発フェーズごとにみた米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）の技術開発の内訳

開発目的	基礎研究	応用研究	実用研究	初期普及	導入実証	計
開発リスクの低減技術	11	12	21	7	0	51
社会受容性リスクの低減技術	2	4	3	0	0	9
環境共生型技術	0	2	7	0	0	9
低コスト化技術	25	8	21	0	1	55

（出典： DOE-EERE のホームページをもとに作成）

表 25 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（1/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
資源概念	地形判読	Merging High Resolution Geophysical and Geochemical Surveys to Reduce Exploration Risk at Glass Buttes, Oregon	探査リスク削減のための地球物理学と地球化学調査の高資源の融合、オレゴン州 Glass Buttesにて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術			●			
	地下熱流量データベース	Heat Flow Database Expansion for NGDS Data Development, Collection and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理を目的とした、熱フローデータベースの普及	Southern Methodist University	●				既存技術					●	
		National Geothermal Data System (NGDS) Data Acquisition and Access	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの収集	Boise State University	●				既存技術					●	
		National Geothermal Data System Architecture Design, Testing and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)の設計、検証及び運用・管理	Boise State University	●				既存技術					●	
		National Geothermal Resource Assessment and Classification	国内地熱資源アセスメント及び分類	U.S. Geological Survey	●				既存技術					●	
		Power Plant Case Studies	発電所に関するケーススタディー	National Renewable Energy Laboratory	●				既存技術			●			
		State Geological Survey Contributions to NGDS Data Development, Collection and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理に有用な国内地熱調査	Arizona Geological Survey	●				既存技術					●	
	地下温度の調査・探査法	Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System — A Function of: Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術			●			
		The Snake River Geothermal Drilling Project – Innovative Approaches to Geothermal Exploration	Snake川の地熱掘削事業-地熱探査における革新的アプローチ	Utah State University	●				既存技術			●			
		Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術	●					

基: 基礎研究
 応: 応用研究
 実: 実用研究
 導: 導入実証
 初: 初期普及
 市: 市場普及

（出典： DOE-EERE のホームページをもとに作成）

表 26 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（2/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
資源精査/調査井掘削	リモートセンシング	Direct Confirmation of Commercial Geothermal Resources in Colorado using Remote Sensing and On-Site Exploration, Testing and Analysis	コロラド州における、遠隔・現地の探査、実験及び分析による商業的に利用可能な地熱資源の存在の確認	Flint Geothermal LLC	●			●	既存技術					●	
		Validation of Innovative Exploration Techniques at Pilgrim Hot Springs, Alaska	アラスカのPilgrim温泉における革新的な探査技術の開発	University of Alaska Fairbanks	●			●	既存技術			●			
	地震探査法(弾性波探査(サイズミック))	Development of Exploration Methods for Engineered Geothermal Systems through Integrated Geophysical, Geologic and Geochemical Interpretation	地球物理学・地質学、および地球化学を統合したEGSの探査手法の開発	AltaRock Energy, Inc.	●				既存技術	●					
		Seismic Technology Adapted to Analyzing and Developing Geothermal Systems Below Surface-Exposed High-Velocity Rocks	地表面に露出したHigh-Velocity岩下における地熱の分析及び開発に適用される地震探査技術	University of Texas at Austin	●				既存技術	●					
		Alum Innovative Exploration Project	カリフォルニア州アラムにおける革新的な探査技術開発プロジェクト	Ram Power Corp.	●				既存技術			●			
		Seismic Fracture Characterization Methodologies For Enhanced Geothermal Systems	地震から発生する断層の特定方法のEGSへの活用	Lawrence Berkeley National Laboratory	●				既存技術	●					
		Analysis of Geothermal Reservoir Stimulation using Geomechanics-Based Stochastic Analysis of Injection-Induced Seismicity	注入誘発地震の地盤力学に基づいた確率的分析を活用した地熱貯留層刺激の分析	University of Oklahoma	●				既存技術	●					
		Development of a Geological and Geomechanical Framework for the Analysis of MEQ in EGS Experiments (Geyzers)	EGS実験におけるMEQ分析のための地質学及び地球物理学フレームワークの開発	Texas A&M University		●			既存技術			●			
		Application of 2D VSP Imaging Technology to the Targeting of Exploration and Production Wells in a Basin and Range Geothermal System Humboldt House-Rye Patch Geothermal Area	Humboldt House-Rye Patch地熱地域、Basin and Range地熱システムにおける探査及び生産井への2D VSP画像技術の活用	Presco Energy LLC	●				既存技術	●					
		Conducting a 3D Converted Shear Wave Project to reduce exploration risk at Wister, CA	探査リスク削減のための3D変換s波プロジェクトの運営、カリフォルニア州Wisterにて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術	●					
		Finding Large Aperture Fractures in Geothermal Resource Areas Using a Three-Component Long-Offset Surface Seismic Survey	3成分ロングオフセット地表面地震探査を活用した地熱資源地域における大開口断層の発見	US Geothermal, Inc.	●			●	既存技術			●			
		Application of Microearthquake (MEQ) Monitoring for Characterizing Enhanced Geothermal Systems	EGS特徴づけのための微小地震モニタリングの適用	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術			●			
		The Snake River Geothermal Drilling Project - Innovative Approaches to Geothermal Exploration	Snake川の地熱掘削事業-地熱探査における革新的なアプローチ	Utah State University	●				既存技術	●					
		Development of an Updated Induced Seismicity Protocol and Best Practices for Enhanced Geothermal Systems	誘発地震に関する最新の動向及びEGSのベストプラクティス	Lawrence Berkeley National Laboratory		●			既存技術	●					
	電気/電磁探査	Innovative Exploration Techniques for Geothermal Assessment at Jemez Pueblo, New Mexico	メキシコのJemezPuebloにおける先進的な地熱探査方法	Pueblo of Jemez	●				既存技術			●			
		Fracture Network and Fluid Flow Imaging for Enhanced Geothermal Systems: Applications from Multi-Dimensional Electrical Resistivity Structure	多面的な電気比抵抗調査による、EGSに対する断層・地熱流体のイメージング技術	University of Utah	●				既存技術			●			
		Silver Peak Innovative Exploration Project	シルバーピークの革新的な探査事業	Ram Power Corp.				●	既存技術				●		
		Validation of Innovative Exploration Techniques at Pilgrim Hot Springs, Alaska	アラスカのPilgrim温泉における革新的な探査技術の開発	University of Alaska Fairbanks	●			●	既存技術			●			
	重力探査	Blind Geothermal System Exploration in Active Volcanic Environments; Multi-phase Geophysical and Geochemical Surveys in Overt and Subtle Volcanic Systems, Hawai'i and Maui	活火山環境における潜在地熱システム探査: Overt and Subtle火山システムマルチフェーズ地球物理学と地球化学調査、ハワイ・マウイ島にて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術			●			
		Detachment Faulting and Geothermal Resources - An Innovative Integrated Geological and Geophysical Investigation in Fish Lake Valley, Nevada	分離断層と地熱資源-革新的かつ総合的な地質学と地球物理学調査、ネバダ州Fish Lake Valleyにて	University of Texas at Austin	●				既存技術			●			
		Validation of Innovative Exploration Technologies for Newberry Volcano	Newberry 火山の探査技術の実証	Davenport Power, LLC	●				既存技術			●			

基: 基礎研究
 応: 応用研究
 実: 実用研究
 導: 導入実証
 初: 初期普及
 市: 市場普及

(出典: DOE-EERE のホームページをもとに作成)

表 27 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（3/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
資源精査/調査井掘削	地化学探査	Away from the Range Front: Intra-Basin Geothermal Exploration	山脈フロントから離れて:流域内地熱探査	GeoGlobal Energy LLC	●				既存技術	●					
		High Precision Geophysics and Detailed Structural Exploration and Slim Well Drilling	地質学の精密化、探索方法の詳細化及びスリムホール掘削	Nevada Geothermal Power Inc.	●				既存技術		●				
		Base Technologies and Tools for Supercritical Reservoirs	臨界環境にある貯留層を対象とした基本技術及び機器	Sandia National Laboratories	●				既存技術	●					
		Feasibility and Design for a High-Temperature Downhole Tool	高温下のダウンホール用機器の実現性及び設計	Oak Ridge National Laboratory	●				既存技術	●					
		Modeling and Visualization in NREL Software	NRELソフトウェアのモデリング及び可視化	National Renewable Energy Laboratory	●				既存技術					●	
		Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System -- A Function of Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術		●				
掘削	その他	Comprehensive Evaluation of the Geothermal Resource Potential within the Pyramid Lake Paiute Reservation	Pyramid Lake Paiute 保留地における地熱資源に関する総合評価	Pyramid Lake Paiute Tribe	●				既存技術	●					
	泥水掘削	High Temperature 300° C Directional Drilling System	高温耐熱性(300°C)の傾斜掘システム	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術	●					
		Stinger Enhanced Bits for Enhanced Geothermal Systems (EGS)	EGSに利用するビットの改良	Novatek, Inc.				●	既存技術	●					
		OM-300 - MWD Geothermal Navigation Instrument	OM-300-MWD地熱ナビゲーション装置	Honeywell International, Inc.				●	既存技術	●					
		Gravity Head Energy System Pilot Program	GHESS(Gravity Head Energy System)のパイロットプログラム	Geotek Energy, LLC				●	新技術		●				
	傾斜掘削	Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術	●					
	石油・ガス掘削技術	Evaluation of Emerging Technology for Geothermal Drilling Applications	地熱掘削機器の新技術に対する評価	Sandia National Laboratories				●	新技術	●					
		Technology Development and Field Trials of EGS Drilling Systems	EGSにおける技術発展及び実証実験	Sandia National Laboratories				●	新技術		●				
	その他	Novel Geothermal Development of Deep Sedimentary Systems in the United States	USにおける深層堆積システムの最新の地熱開発	University of Utah				●	新技術	●					
		Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System -- A Function of Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術		●				
		Alum Innovative Exploration Project	カリフォルニア州アラムにおける革新的な探査技術開発プロジェクト	Ram Power Corp.	●				既存技術		●				
		Innovative Exploration Techniques for Geothermal Assessment at Jemez Pueblo, New Mexico	メキシコのJemezPuebloにおける先進的な地熱探査方法	Pueblo of Jemez	●				既存技術		●				
		Silver Peak Innovative Exploration Project	シルバーピークの革新的な探査事業	Ram Power Corp.				●				●			
		Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術	●					

基:基礎研究
 応:応用研究
 実:実用研究
 導:導入実証
 初:初期普及
 市:市場普及

(出典: DOE-EERE のホームページをもとに作成)

表 28 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（4/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
F/S、 環境ア セス	生産予測シ ミュレーシ ョン	Analysis of Low-Temperature Utilization of Geothermal Resources	低温の地熱資源の利用に関する分析	West Virginia University				●	既存技術			●			
		Economic Impact Analysis for EGS	EGSが経済に及ぼす影響に関する分析	University of Utah				●	既存技術		●				
		Energy Returned On Investment of Engineered Geothermal Systems	EGSIにおけるエネルギー投資効率	Arthur J. Mansure				●	既存技術		●				
		Estimation and Analysis of Life Cycle Costs of Baseline Enhanced Geothermal Systems	EGSのライフサイクルにかかる最低限のコストの概算及び分析	Adi Analytics, LLC				●	既存技術	●					
		Geothermal Systems Engineering and Analysis	地熱システムの運用及び分析	Sandia National Laboratories				●	既存技術	●					
		GETEM Development	GETEMの開発	Idaho National Laboratory				●	既存技術		●				
		Technology Supply Curve Development	技術の供給曲線の作成	National Renewable Energy Laboratory				●	既存技術	●					
		Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System — A Function of: Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術			●			
基: 基礎研究 応: 応用研究 実: 実用研究										導: 導入実証 初: 初期普及 市: 市場普及					

（出典： DOE-EERE のホームページをもとに作成）

表 29 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（5/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
O&M	フラッシュ・復水器	Electrically Supported Thermal Exchange (ELSTEX) Technology	電気熱交換器技術	Physical Optics Corporation				●	既存技術			●			
	フラッシュ・冷却塔	Hybrid and Advanced Air Cooling	空冷式のハイブリッド化及び発展	National Renewable Energy Laboratory				●	既存技術			●			
		Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●			
	フラッシュ・副生技術	Technologies for Extracting Valuable Metals and Compounds from Geothermal Fluids	地熱流体からの資源発掘技術の開発	Simbol Materials			●	●	既存技術			●			
		Technical Demonstration and Economic Validation of Geothermally-Produced Electricity from Coproduced Water at Existing Oil/Gas Wells in Texas	テキサス州の既存の油・ガス井から採取した複合水を利用した地熱発電に関する、技術面及び経済面に関する検証	Universal GeoPower, LLC	●			●	既存技術			●			
	フラッシュ・その他	Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術	●					
	バイナリー・タービン	Optimization of hybrid-water/air-cooled condenser in an enhanced turbine geothermal ORC system	高性能タービンを利用した地熱ORCシステムにおけるハイブリッド水冷・空冷熱交換器の最適化	United Technologies Research Center				●	既存技術		●				
		Electric Power Generation from Co-Produced Fluids from Oil and Gas Wells	オイル井・ガス井からの混合流体による発電技術	University of North Dakota				●	既存技術			●			
		Beowawe Bottoming Binary Project	Beowawe Bottoming/バイナリープロジェクト	Beowawe Power, LLC			●	●	既存技術			●			
	バイナリー・凝縮器	Demonstration of a Variable Phase Turbine Power System for Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱資源利用時における可変位相タービンをを用いた発電システムの実証	Energent Corporation				●	既存技術			●			
		Dixie Valley Bottoming Binary Project	Dixie Valleyバイナリー発電プロジェクト	Terra-Gen			●	●	既存技術			●			
		Electric Power Generation from Low to Intermediate Temperature Resources	低～中温度の熱資源による発電技術	University of North Dakota				●	既存技術			●			
		Kalex Advanced Low Temperature Geothermal Power Cycle (The Bald Mountain Project)	Kalex先進的低温バイナリー発電(Bald Mountainプロジェクト)	Oski Energy, LLC				●	既存技術			●	●		
		Novel Energy Conversion Equipment for Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱による革新的なエネルギー変換機器	Johnson Controls, Inc.			●	●	既存技術			●			
		Scale Resistant Heat Exchangers for Low Temperature Geothermal Binary Cycle Power Plant	低温地熱バイナリー発電所のためのスケール抵抗の高い熱交換器	Energent Corporation				●	既存技術			●	●		
		Development of New Biphasic Metal Organic Working Fluids for Subcritical Geothermal Systems	臨界地熱システムのための新2相金属有機作動流体の開発	Pacific Northwest National Laboratory				●	既存技術		●				
		High-Potential Working Fluids for Next Generation Binary Cycle Geothermal Power Plants	次世代バイナリー発電所のためのハイポテンシャル作動流体	GE Global Research				●	既存技術			●			
		Tailored Working Fluids for Enhanced Binary Geothermal Power Plants	バイナリー発電所のためのテ일러作動流体	United Technologies Research Center				●	既存技術		●				
		Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●			
	バイナリー・その他	Small Scale Electrical Power Generation from Heat Co-Produced in Geothermal Fluids: Mining Operation	地熱流体(油田等)から生成した副生熱を利用した小規模発電	ElectraTherm, Inc.			●	●	既存技術			●			
		Klamath Falls Geothermal Low Temperature Power Plant	クラマスフォールズの低温地熱バイナリー発電プラント	City of Klamath Falls, Oregon				●	既存技術			●			
		Rural Cooperative Geothermal Development- Electric and Agriculture	農業協同組合地熱部門-電気と農業	Surprise Valley Electrification Corp.			●		既存技術			●			
		The Canby Cascaded Geothermal Development Project	Canbyにおけるカスケード利用に基づく地熱開発プロジェクト	Modoc Contracting Company			●	●	既存技術			●			
		Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術	●					

基:基礎研究
 応:応用研究
 実:実用研究
 導:導入実証
 初:初期普及
 市:市場普及

(出典: DOE-EERE のホームページをもとに作成)

表 30 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（6/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
O&M	高温岩体・破砕	Development and Validation of an Advanced Stimulation Prediction Model for Enhanced Geothermal Systems	EGSのための先端予測シミュレーションモデルの開発と実証	Colorado School of Mines	●				既存技術	●					
		Decision Analysis for Enhanced Geothermal Systems	EGSにおける判断方法に関する分析	Massachusetts Institute of Technology				●	既存技術	●					
		Stinger Enhanced Bits for Enhanced Geothermal Systems (EGS)	EGSに利用するビットの改良	Novatek, Inc.				●	既存技術	●					
		High Temperature, High Pressure Devices for Zonal Isolation in Geothermal Wells	地熱井における坑井内外の分離のための高温、高圧力機器	Composite Technology Development				●	既存技術		●				
		Caldwell Ranch Exploration and Confirmation Project	コールドウェル放牧場の探査及び立証プロジェクト	Geysers Power Company, LLC				●	既存技術		●				
	高温岩体・導通	Demonstration of a Deep Enhanced Geothermal System at the Northwest Geysers Geothermal Field, California	Northwest Geysers地熱地域におけるEGSの実証試験	Lawrence Berkeley National Laboratory	●				既存技術		●				
	高温岩体・循環・地熱	Chemical Impact of Elevated CO2 on Geothermal Energy Production	地熱発電の生産井から噴出するCO2の化学的影響	Lawrence Livermore National Laboratory				●	新技術	●					
		Development of Chemical Model to Predict the Interactions between Supercritical CO2 and Fluid, Rocks in EGS Reservoirs	EGSの貯留層内における超臨界のCO2、地熱流体、及び岩石間の化学反応の予測を目的とした化学的モデルの開発	University of Utah				●	新技術	●					
		Enhanced Geothermal Systems (EGS) with CO2 as Heat Transmission Fluid	CO2を地熱流体とするEGS	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	新技術	●					
		Development of an Advanced Stimulation/Production Predictive Simulator for Enhanced Geothermal Systems	EGSのシミュレーション、及び生産量測定シミュレーターの性能向上	Science Applications International Corporation	●				既存技術	●					
		Use of a Reservoir Model to Predict Potential Effects of Fracturing Techniques	断層派生技術の影響予測を目的とした貯留層モデルの活用	Oklahoma State University	●				既存技術	●					
		Life Cycle Analysis of Geothermal Systems	地熱システムのライフサイクルに関する分析	Argonne National Laboratory			●		既存技術		●				
		Development of an Updated Induced Seismicity Protocol and Best Practices for Enhanced Geothermal Systems	誘発地震に関する最新の動向及びEGSのベストプラクティス	Lawrence Berkeley National Laboratory		●			既存技術	●					
		Integration of Noise and Coda Correlation Data into Kinematic and Waveform Inversions With Microearthquake Data for 3D Velocity Structure, Earthquake Locations, and Moment Tensors in Geothermal Reservoirs	地熱貯留層における3D速度構造、地震位置及びモーメントテンソルのための微小地震データを用いた運動学的波形逆解析とノイズとコーダ波の相関データの結合	William Lettis & Associates, Inc.		●			既存技術		●				
		Mapping Diffuse Seismicity for Geothermal Reservoir Management with Matched Field Processing	MFP(整合フィールド処理)を用いた地熱貯留層管理のための非集中型地震活動のマッピング	Lawrence Livermore National Laboratory		●			既存技術		●				
		Toward the Understanding of Induced Seismicity in Enhanced Geothermal Systems	EGSにおける誘発地震の研究	Array Information Technology, Inc.		●			既存技術		●				
		A 3D-3C Reflection Seismic Survey and Data Integration to Identify the Seismic Response of Fractures and Permeable Zones Over a Known Geothermal Resource at Soda Lake, Churchill Co., NV	3D-3C反射法地震探査法及び、既知の地熱資源における断層と透水帯の地震反応を特定するためのデータ結合、ネバダ州 Soda Lake, Churchill Co.にて	Magma Energy Corp.		●			既存技術			●			
		Advanced Seismic data Analysis Program (The "Hot Pot Project")	先進的地震データ分析プログラム(HotPotプロジェクト)	Oski Energy, LLC		●			既存技術		●				
		Air-Cooled Condensers in Next-Generation Conversion Systems	次世代エネルギー変換システム・空冷式熱交換器	Idaho National Laboratory				●	既存技術			●			
		Detecting Fractures Using Technology at High-Temperatures and Depths	高温かつ最深处での技術を活用した断層探知	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術	●					
		Well Monitoring Systems for EGS	EGSにおける坑井内モニタリングシステム	Perma Works LLC				●	既存技術	●					
		Single-Well Low Temperature CO2-Based Engineered Geothermal System	単一井低温CO2に基づいたEGS	GreenFire Energy				●	新技術			●			
		Development of a Geological and Geomechanical Framework for the Analysis of MEQ in EGS Experiments (Geysers)	EGS実験におけるMEQ分析のための地質学及び地球物理学フレームワークの発展	Texas A&M University		●			既存技術			●			
		Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●			

基: 基礎研究
 応: 応用研究
 実: 実用研究
 導: 導入実証
 初: 初期普及
 市: 市場普及

(出典: DOE-EERE のホームページをもとに作成)

表 31 米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局（DOE-EERE）における地熱関連の技術開発案件の一覧（7/7）

開発段階	個別技術	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
O&M	高温岩体・二酸化炭素回収貯留(CCS)	Active Management of Integrated Geothermal-CO2 Storage Reservoirs in Sedimentary Formations: An Approach to Improve Energy Recovery and Mitigate Risk	堆積岩層における地熱-CO2保管貯留層の管理:エネルギー回収率の向上及びリスク軽減のためのアプローチ	Lawrence Livermore National Laboratory				●	新技術	●					
		Novel Geothermal Development of Deep Sedimentary Systems in the United States	USIにおける深層堆積システムの最新的地熱開発	University of Utah				●	新技術	●					
	高温岩体・その他	Demonstrating the Commercial Feasibility of Geopressured-Geothermal Power Development at Sweet Lake Field Cameron Parish, Louisiana	ルイジアナ州のSweet Lake Field Cameron Parishにおける異常高温地熱発電の商業化の実現性の実証	Louisiana Tank, Inc.	●				既存技術			●			
		Osmotic Heat Engine for Energy Production from Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱資源からエネルギーを生産するための浸透圧熱エンジン	Johnson Controls, Inc.				●	新技術		●				
		Chemical Energy Carriers (CEC) for the Utilization of Geothermal Energy	地熱利用における化学的熱交換器(CEC)	Argonne National Laboratory			●	●	新技術		●				
		Gravity Head Energy System Pilot Program	GHES(Gravity Head Energy System)のパイロットプログラム	Geotek Energy, LLC				●	新技術			●			
		Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術	●					
	貯留層管理・流体地化学モニタリング	Carbonation Mechanism of Reservoir Rock by Supercritical Carbon Dioxide	超臨界の二酸化炭素による貯留層の炭素化メカニズム	Brookhaven National Laboratory	●				既存技術	●					
		FRACSTIM/I: An Integrated Fracture Stimulation and Reservoir Flow and Transport Simulator	FRACSTIM/I水圧破砕刺激及び地熱流体の動きに関する、貯留層内のシミュレーション	Idaho National Laboratory	●				既存技術		●				
		Predicting Stimulation-Response Relationships for Engineered Geothermal Reservoirs	工学的地熱貯留層のための予測刺激反応	Lawrence Livermore National Laboratory	●				既存技術		●				
		Development and Validation of an Advanced Stimulation Prediction Model for Enhanced Geothermal Systems	EGSのための先端予測シミュレーションモデルの開発と実証	Colorado School of Mines	●				既存技術	●					
	貯留層管理・坑井調査	Detecting Fractures Using Technology at High-Temperatures and Depths	高温かつ最深度での技術を活用した断裂探知	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術	●					
		Well Monitoring Systems for EGS	EGSにおける坑井内モニタリングシステム	Perma Works LLC				●	既存技術	●					
	貯留層管理・地球物理学モニタリング	Harsh Environment: Silicon Carbide Sensor Technology	厳しい環境下における炭化ケイ素検知技術	University of California, Berkeley	●				既存技術	●					
		Analysis of Geothermal Reservoir Stimulation using Geomechanics-Based Stochastic Analysis of Injection-Induced Seismicity	注入誘発地震の地力学に基づいた確率論的分析を活用した地熱貯留層刺激の分析	University of Oklahoma	●				既存技術		●				
		Comprehensive Evaluation of the Geothermal Resource Potential within the Pyramid Lake Paiute Reservation	Pyramid Lake Paiute 保留地における地熱資源に関する総合評価	Pyramid Lake Paiute Tribe	●				既存技術		●				
		Development of an Advanced Stimulation/Production Predictive Simulator for Enhanced Geothermal Systems	EGSのシミュレーション、及び生産量測定シミュレーターの性能向上	Science Applications International Corporation	●				既存技術	●					
	貯留層管理・その他	Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術	●					

基:基礎研究
 応:応用研究
 実:実用研究
 導:導入実証
 初:初期普及
 市:市場普及

(出典: DOE-EERE のホームページをもとに作成)

5.5.2 米国エネルギー省エネルギー高等研究計画局による技術開発 (ARPAE)

米国エネルギー省エネルギー高等研究計画局による技術開発 (ARPAE) が 2012 年時点で実施している技術開発プロジェクトを表 32 に示す。地熱関連の技術開発プロジェクトは 1 件で、新技術であるレーザー掘削の技術開発が実施されている。

表 32 FP7 における地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
ARPAE	掘削	その他	地熱発電用レーザー掘削	Foro Energy				●	新技術			●			

基：基礎研究
応：応用研究
実：実用研究

導：導入実証
初：初期普及
市：市場普及

(出典： ARPAE のホームページをもとに作成)

5.5.3 欧州委員会の第7次研究枠組み計画（FP7）

欧州委員会が2012年時点で実施している技術開発プロジェクトを分類軸によって整理したものを表 33 に示す。

この枠組の中で、地熱技術国際パートナーシップ（IPGT：International Partnership for Geothermal Technology）と連携した研究プラットフォームである ERA-NET や誘発地震のメカニズム解明を目指した技術開発が実施されている。

表 33 FP7 における地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
FP7	資源精査/調査井掘削	その他	地熱ERA-NET	ORKUSTOFNUN				●	既存技術					●	
	O&M	高温岩体 その他	貯留層の誘発地震緩和における地熱工学	HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM	●	●			既存技術	●					
		貯留層管理 地球物理学モニタリング	地熱システムにおける水圧刺激モデリング	KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE	●				既存技術		●				

基：基礎研究
応：応用研究
実：実用研究

導：導入実証
初：初期普及
市：市場普及

(出典：FP7 ホームページをもとに作成)

5.5.4 アイスランドにおける地熱関連の技術開発案件の一覧

アイスランドにおける技術開発のうち、ヒアリング、文献調査等をもとに抽出した技術開発を、分類軸によって整理したものを表 34 に示す。アイスランドでは、地熱発電所から排出される二酸化炭素と水分解によって生成した水素を原料としてメタノールを製造する装置である CRI プラントや、導入実証段階であるものの、発電過程において排出される二酸化炭素を水に溶かし、地中（400～800m）に注入することで、玄武岩質岩に閉じ込める技術である Carbfix プロジェクト、中央海嶺のプレートにおける 400-600℃の地熱資源利用の経済的妥当性を検証するため、地下 4-5km まで掘削するプロジェクトであるアイスランド大深度掘削プロジェクト（IDDP；Iceland Deep Drilling Project）等、新規技術の開発に取り組んでいる。

表 34 アイスランドにおける地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
アイスランド	掘削	その他	アイスランド大深度掘削プロジェクト (IDDP)	HS社 (現HS Orka社) ほか				●	新技術			●			
	O&M	フラッシュ、その他	CRIプラント	Carbon Recycling Internationalほか			●		新技術						●
			Carbfixプロジェクト	Reykjavik Energyほか			●		新技術			●			

基: 基礎研究
 応: 応用研究
 実: 実用研究
 導: 導入実証
 初: 初期普及
 市: 市場普及

(出典: ヒアリング内容をもとに作成)

5.5.5 ニュージーランドビジネス・イノベーション・雇用省 (MBIE) の技術開発

ニュージーランドにおける技術開発のうち、ヒアリング、文献調査等をもとに抽出した技術開発を、分類軸によって整理したものを表 35 に示す。地震探査法の精緻化という既存技術の改良に加え、排水からの鉱物の副生及び冷却水に含まれる硫化水素のバクテリアによる除去技術等の新規技術の開発にも取り組んでいる。

ニュージーランド、ビジネス・イノベーション・雇用省 (MBIE) は、ニュージーランドにおける経済、ビジネス、雇用の発展を管轄する官庁であり、競争力のあるビジネス、雇用の創出、安価な住宅の提供を掲げている。

表 35 ニュージーランドにおける地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
ニュージーランド	資源精査/調査井掘削	地震探査法 (弾性波探査 (サイズミック))	地熱スーパーモデル: 地熱システムを把握するための統合モデリング	GNS Scienceほか	●		●		既存技術			●	●		
	O&M	貯留層管理、その他	地熱発電施設の排水から市場価値のある物質を抽出する技術の開発	GNS Science		●	●		新技術				●		
		フラッシュ、その他	ワイラケイ発電所におけるバイオフィクター	Contact Energy		●			新技術						●

基: 基礎研究
 応: 応用研究
 実: 実用研究
 導: 導入実証
 初: 初期普及
 市: 市場普及

(出典: ヒアリング結果及び MBIE 公表資料をもとに作成)

5.5.6 スイス Swiss Federal Office of Energy SFOE の技術開発

スイスにおける技術開発のうち、ヒアリング、文献調査等をもとに抽出した技術開発を、分類軸によって整理したものを表 36 に示す。スイスでは今後 20 年間に於いて、脱原発を達成することを目標としており、地熱発電も代替電源として重要視されている中、熱破壊掘削等の新規技術の創出や、バーゼル市の EGS によって発生した誘発地震のメカニズム解明のための技術開発が進められている。

表 36 スイスにおける地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
スイス	F/S、環境アセス	自然状態シミュレーション	GEOSIM	Swiss Seismological Service, ほか	●				既存技術			●			
	掘削	その他	熱による破砕掘削	Swiss Federal Institute of Technology, Zürich				●	新技術				●		
	資源精査/調査井掘削	地化学探査	地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム	Institute für Geochemistry and Petrology of ETH Zurich		●			既存技術			●			
	O&M	高温岩体 その他	GEOBEST	ETH Domain and Swiss Federal Office of Energy Pilot and Demonstration Program	●	●			既存技術		●				
	資源概査	地形判読	GeoMol - CH	Swiss Geological Survey, swisstopo Federal Office of Topography	●				既存技術		●				
	O&M	高温岩体 その他	GEO THERM	ETH Zurich, Paul Scherrer Institute, EPF Lausanne, Geo Energie Suisse AG		●			新技術		●				

基：基礎研究
 応：応用研究
 実：実用研究
 導：導入実証
 初：初期普及
 市：市場普及

(出典：ヒアリング結果をもとに作成)

5.5.7 地熱技術国際パートナーシップ（IPGT : International Partnership for Geothermal Technology）の技術開発プログラム

IPGT における技術開発のうち、ヒアリング、文献調査等をもとに抽出した技術開発を、分類軸によって整理したものを表 37 に示す。IPGT とは、オーストラリア、アイスランド、ニュージーランド、スイス、アメリカによる地熱技術国際パートナーシップであり、エネルギーセキュリティを高め、地球規模での気候変動に対応するため、最先端の地熱技術開発を積極的に推進する計画を進めている。各国の強みと経験を活かし、EGS や深度掘削技術の研究・開発・展開、優良実績の情報交換、教育・訓練プログラムの支援などを整備している。

IPGT の技術開発プロジェクトは現行二つあり、一つはスイスと共同で実施している COTHERM であり、もう一つは 3D によるイメージング手法による資源精査技術の開発である。

表 37 地熱技術国際パートナーシップにおける地熱関連の技術開発案件の一覧

国、組織、プログラム名	開発段階	個別技術	案件名称	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市
IPGT	資源精査/調査井掘削	地化学探査	地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム	Institute für Geochemistry and Petrology of ETH Zurich		●			既存技術			●			
		電気/電磁探査	地熱資源の把握のための3D解析技術	Lawrence Berkeley National Laboratoryほか	●				既存技術			●			

基：基礎研究
 応：応用研究
 実：実用研究
 導：導入実証
 初：初期普及
 市：市場普及

(出典：ヒアリング結果をもとに作成)

5.6 技術開発の分類手法を用いた技術開発（プロジェクト）マップの作成

技術開発（プロジェクト）シートに加えて、「5.1 国内外の技術開発の分類手法」の分類手法を用いて、詳細調査を実施した技術開発（プロジェクト）が分類された開発段階及び個別技術、研究開発フェーズ、技術目的、新旧区分が分かるようマッピングを実施した（図 43）。なお各マスに記載された U1 等の番号は各技術開発（プロジェクト）の ID を示す。詳細は「6.2 我が国における技術開発を中心とする今後の取組みの方向性」及び添付資料に示す。

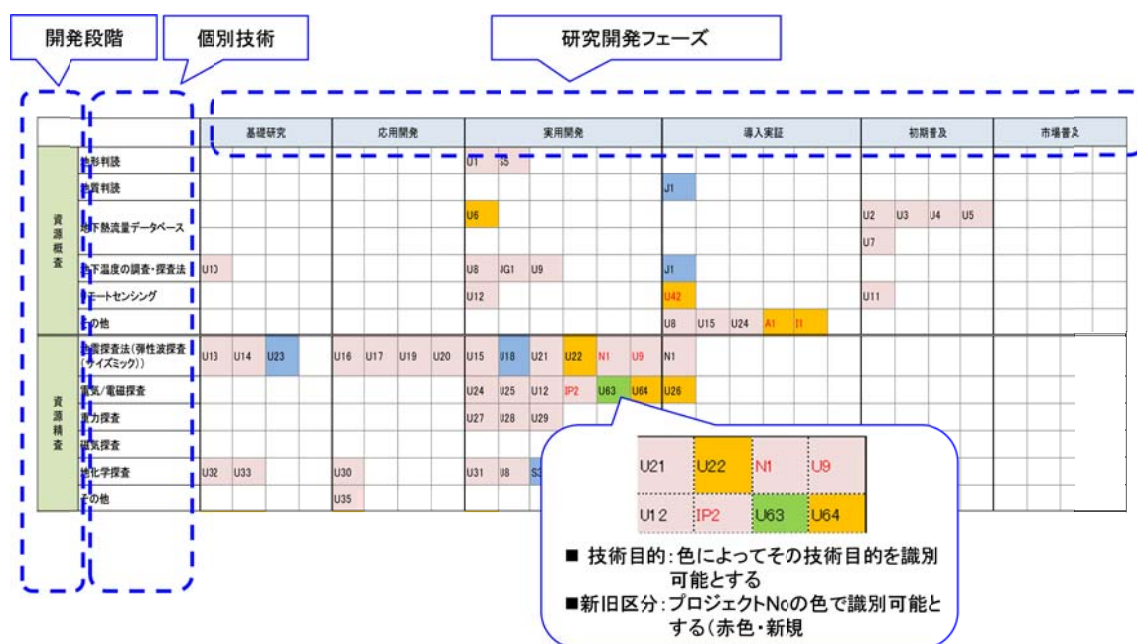


図 43 技術開発（プロジェクト）マップの構成図

6. 普及上の課題と技術開発を中心とした今後の取組みの方向性

6.1 国内外の地熱発電導入支援策の分類及び比較

「4.3.3 技術開発プログラム及び導入支援施策の体系化」にて整理した国内外の技術開発と導入促進施策（表 39 から表 42 にて再掲）を表 38 にて比較する。国内では海外では実施されていない広域の地熱資源ポテンシャル調査が実施されている。財政支援策については国内において地熱資源開発のために必要となる坑井の掘削、パイプライン等の敷設その他これらに付随する作業及び発電のために必要となる設備の設置に必要な資金に対する債務を保証する支援策が整備されている。技術開発については掘削、F/S、環境アセス、O&M に対する支援施策は整備されているものの、その数は多くない。

米国では米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局によって 244 の技術開発プロジェクトが実施されており、全ての開発段階を網羅している。地熱に特化した支援施策は多くはなく、そのほとんどが再生可能エネルギー全般を対象としたものである。

アイスランド、ドイツ、スイスでは政府もしくは民間企業から掘削に失敗した際の費用を補償する金融支援策が提供されており、地熱開発において最もリスクが高いとされる掘削段階のリスク低減を図っている。

表 38 国内外の地熱促進施策の比較

	資源概査	資源精査/ 調査井掘削	F/S、環境ア セス	掘削	設計・建設	O&M	全般	
日本	1 補 13 補	10 補 11 融 14 技	2 短 15 短 4 補 16 技	3 技 6 補 10 補 12 債	7 補 12 債	3 技 5 補 8 補 14 技 16 技 17 補	9 補	他国にはない資源概査、F/S、 環境アセスに対する補助金や 債務保証による支援策が整備 されている
米国					2 減 3 補 4 債	1 減	5 融 6 技 7 技 8 技	設計・建設を中心に支援策が 用意されているもの、地熱に 特化した支援策は多くない
アイス ランド		2 補		1 リ				掘削失敗時の補償等の支援 制度はあるものの、設計・建設 以降は各電力会社の努力に委 ねられている
スイス				3 リ		1 補	2 技	2050年に電力需要の7%を地 熱でまかなうという目標達成の ために固定価格買取制度、技 術開発支援等の支援を導入
ドイツ				3 融 4 リ	2 義	1 補		ミュンヘン再保険会社によるリス ク保証及び設計・建設、O&Mを 中心とした支援策が整備されて いる
EU		2 技				2 技	1 義 2 リ	再生可能エネルギー促進指令 によって加盟国に再エネ導入 を義務化している。また独自の リスク保証スキームを検討して いる
オースト ラリア				3 融			1 補 2 補	地熱開発は主に連邦政府、及 び州レベルにおいても補助金 により支援されている
ニュージ ーランド			2 短				1 補	地熱開発のプロセス短縮化に よって開発業者のコスト削減を 狙っている
インドネシ ア		2 融				3 債	1 許	両国とも地熱開発を法的に規 定している。インドネシアでは 地熱開発が民間に開放された。 フィリピンでは左記の支援策の 他に、先進諸国、国際支援機 関からの援助も受けている
フィリピン						1 減	2 許	
その他		1 融 2 融			2 融	2 融		地熱開発促進を狙った融資 プログラムが展開されている

丸囲みの数字は表39から40における技術開発(プロジェクト)及び支援策の番号を指す

財政 支援	補 補助金 リ リスク保証	融 融資 減 減税	債 債券 債保 債務保証	政策 支援	義 義務化 短 プロセス短縮	許 開発許可 債 電力価格 引き上げ	技術 支援	技 技術開発 支援	その他	ポ ポテンシャル 評価

表 39 国内の地熱発電導入支援施策の一覧（再掲）

省庁	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策		
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階
環境省	① 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査	ポテンシャル評価	資源概査	④ 地熱開発加速化支援・基盤整備事業	補助金	資源概査、F/S、環境アセス
	② 風力発電等環境アセスメント基礎情報整備モデル事業	プロセス短縮	F/S、環境アセス	⑤ 温泉エネルギー活用加速化事業（うち、温泉発電設備補助事業）	補助金	O&M
	③ 地球温暖化対策技術開発事業	技術開発支援	掘削、O&M	⑥ 自然共生型地熱開発のための掘削補助事業	補助金	掘削
				⑦ 地熱・地中熱等の利用による低炭素社会推進事業	補助金	設計・建設
資源エネルギー庁	⑧ 固定価格買取制度	補助金	O&M	⑨ 地熱開発理解促進関連事業支援補助金	補助金	全般
JOGMEC				⑩ 地熱資源開発調査事業費助成金	補助金	資源精査/調査井掘削、掘削
				⑪ 出資	融資	資源精査/調査井掘削
				⑫ 債務保証	債務保証	掘削、設計・建設
				⑬ 地熱資源調査支援事業	ポテンシャル評価	資源概査
				⑭ 地熱発電技術研究開発事業	技術開発支援	資源精査/調査井掘削、O&M
NEDO	⑮ 環境アセスメント調査早期実施実証事業	プロセス短縮	F/S、環境アセス	⑯ 地熱発電技術研究開発事業	技術開発支援	F/S、環境アセス、O&M
(一社)法人新エネルギー導入促進協議会				⑰ 中小水力・地熱発電開発費等補助金	補助金	O&M

（出典：各府省の公表資料をもとに作成）

表 40 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (1/3) (再掲)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策					
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階	事例	施策形態	開発段階
米国	① 生産税控除 (PTC)	減税	O&M	⑦ GTP(Geothermal Technology Program)	技術開発支援	全般			
	② 事業エネルギー投資税控除 (ITC)	減税	設計・建設	⑧ 米国エネルギー省地熱技術部局による技術支援	技術開発支援	全般			
	③ Renewable Energy Grants: 再生可能エネルギー助成金	補助金	設計・建設						
	④ クリーン・再生可能エネルギー債券 (CRBEs)	債券	設計・建設						
	⑤ Loan Guarantee Program:	融資	全般						
	⑥ Tech to Market (T2M)	技術開発支援	全般						
アイスランド				① 国家エネルギー基金 (NEF)	リスク保証	掘削			
				② 温熱利用を目的とした地下水探査への補助金	補助金	資源精査/調査井掘削			
スイス	① 固定価格買取制度	補助金	O&M	② 技術開発支援	技術開発支援	全般			
				③ リスク保証	リスク保証	掘削			

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

表 41 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (2/3) (再掲)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策					
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階	事例	施策形態	開発段階
ドイツ	① 固定価格買取制度	補助金	O&M	③ ドイツ連邦環境省による保険	融資	掘削	④ ミュンヘン再保険会社による保険	リスク保証	掘削
	② EEWaermeG	義務化	設計・建設						
EU	① 再生可能エネルギー促進指令	義務化	全般				③ EGRIF (European Geothermal Risk Insurance Fund)	リスク保証	全般
	② 欧州委員会の第7次研究枠組み計画 (FP7)	技術開発支援	資源精査/調査井、O&M						
オーストリア	① 連邦政府補助金	補助金	全般	③ Geothermal Drilling Program (GDP)	融資	掘削			
	② 州補助金	補助金	全般						
ニュージーランド	① 技術開発補助金	補助金	全般	② 資源管理法改正	プロセス短縮	F/S、アセス			

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

表 42 主要国における地熱発電導入支援施策の一覧 (3/3) (再掲)

国、地域	政府支援						民間組織等による金融支援		
	再生可能エネルギー全般			地熱特化型支援策					
	支援策	施策形態	開発段階	支援策	施策形態	開発段階	事例	施策形態	開発段階
インドネシア				① 新地熱法制定	開発許可	全般			
				② 試掘に対する融資	融資	資源精査/調査井掘削			
				③ 地熱発電の電力買取価格を引き上げ	価格引き上げ	O&M			
フィリピン	① 再生可能エネルギー法	減税	O&M	② 地熱法	開発許可	全般			
その他							① Geothermal Risk Mitigation Facility (GRMF)	融資	資源精査/調査井掘削
							② The Geothermal Energy Development Program (GEOPUND)	融資	資源精査/調査井掘削、設計・建設、O&M

(出典：各国の公表資料をもとに作成)

6.2 我が国における技術開発を中心とする今後の取組みの方向性

開発段階における国内の課題及びそれに対応する短期、長期の技術開発の方向性、また各課題に対応する国内外の参考技術開発事例及び参考支援施策事例を図 44 から図 47 に整理した。なお、参照用資料として図 48 から図 50 に技術開発（プロジェクト）マップを再掲している。

○ 資源概査段階における技術開発の方向性

資源概査段階では広域の地熱ポテンシャル調査の実施、調査結果の統合・公開が主な課題として抽出されており、技術開発の方向性としては、国レベルで一元化されたデータベース・公開システムの構築及びリモートセンシング技術の精度向上/低コスト化が考えられる。長期的にはより深部かつ高温の地熱資源の活用が予想されるため、高温岩体発電及びマグマ発電を導入するための高温の岩盤の分布、またマグマの蓄積量等に関する探査・調査手法の開発が必要となると考えられる。参考技術開発事例としては、米国の NGDS（国内地熱データベースシステム）及びニュージーランドの地熱及び地下水に関するデータベース（Geothermal and Groundwater Database (GGW)）があげられる。

○ 資源精査段階における技術開発の方向性

資源精査段階では、精査技術の精度向上及び低コスト化が課題とされている。精度向上に関しては、既存探査技術の緻密化（フラクチャを精緻に検出する計測・解析技術の開発）及び複数の探査手法から得られたデータを統合するソフトウェアの開発、坑井を利用した

高精度フラクチャシステムの開発が短期的な技術開発の方向性となると考えられる。また、低コスト化に関しては、特にコストが高い探査手法である弾性波探査等の低コスト化技術の開発、並びにビットの長寿命化等による調査井掘削コストの低減化技術の開発が中心となると考えられる。長期的には、高温の岩盤、マグマ溜りを特定及び精査する資源精査技術の開発が求められると考えられる。参考技術開発事例としては、米国の地震波を使った断裂の特定方法の EGS への活用、IPGT の地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム等があげられる。導入支援策としては JOGMEC の地熱資源開発調査事業費助成金等の更なる利活用及び制度拡大が期待される。

○ F/S、環境アセス段階における技術開発の方向性

F/S、環境アセス段階では発電所規模の適正化、リードタイムが長いことが課題とされている。発電所規模の適正化に関しては、リモートセンシング技術、MT 法等による資源概査/精査技術の改善による資源ポテンシャル調査の精度の向上、熱水の酸性化やスケール生成などの貯留層や坑井内の化学反応を定量的かつ実用的に予測するシミュレーターの開発が短期的な技術開発としてあげられる。またリードタイムを短縮化するために、風洞実験に代わる硫化水素の拡散シミュレーターの開発（一部着手されている）や適用拡大、傾斜方位ツールズ（MWD）の低コスト化・高温耐久化が技術開発としてあげられる。長期的な技術開発としては、高温岩体発電において、熱抽出を行うための貯留層の造成を評価する貯留層評価ツールの開発、高温岩体発電、マグマ発電の事業性評価ツールの開発が中心となると考えられる。支援策としては、ニュージーランドの資源管理法にみられるような、自然資源開発に係るプロセスの明確化及び承認時間の短縮化が考えられる。

○ 掘削段階における技術開発の方向性

掘削段階では低コスト化、成功率の向上、並びに国立公園等の開発が制限されている地域での掘削方法が課題とされている。低コスト化に関しては、難掘削性岩質を掘削するためのリグの高耐久化・ビットの高硬度化、パーカッションドリルビット等の低コスト掘削技術の開発、石油・ガス技術の適応（マルチラテラルドリリング/水圧破碎法等）、ポータブルリグの実用化、掘削期間を短縮化するために、カッティングス排除機能、坑内冷却機能等のリグ機能の高性能化及び摩耗耐性の高い材質の採用等によるビットの長寿命化、ビットの長寿命化、傾斜方位ツールズ（MWD）の低コスト化・高温耐久化、マルチレグ掘削技術の開発が短期的な技術開発となると考えられる。成功率の向上は、資源探査の精度向上があげられる。加えて、熱水が噴出しなかった場合でも熱水を人工的に組み上げる高温ダウンホールポンプの低コスト化/高性能化、掘削深度、角度等を細かく調整可能な機能等を有する掘削システムの高性能化が期待される。開発制限エリアに対応する技術開発としては、傾斜方位ツールズ（MWD）等の傾斜掘削技術の低コスト化・高温耐久化とともに、低リスク化技術として速硬性のある割れ目閉塞材（充填材、固化材）や仮閉塞材の開発等の

逸泥防止技術があげられる。長期的には、レーザードリリング、熱による破砕掘削 (Thermal Spallation Drilling) 等の新規掘削技術の開発、高温及び高圧環境下で機能する掘削機器及び材料の改良/開発 (導通技術の改良/開発) が必要となると考えられる。参考技術開発事例としては、米国の OM-300-MWD 地熱ナビゲーション装置やアイスランドにおいて実施されている 4,000 メートル級の掘削プロジェクトである Iceland Deep Drilling Project(IDDP)等は大いに参考になる。支援策としてはドイツ、スイスでみられる掘削リスクを低減する財政支援も参考になる。

○ 設計・建設段階における技術開発の方向性

設計・建設段階では、低コスト化、周辺自然環境への配慮、景観との調和が課題とされている。設計・建設段階の低コスト化に貢献する技術開発事例の数は多くないものの、発電所全体の収益性を向上する技術として、熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証及びコプロダクション技術の開発が短期的な技術開発としてあげられる。また温泉バイナリー発電では、主要構成要素の一つである凝縮器の低コスト化があげられる。周辺自然環境への配慮・景観との調和に関しては、エコロジカル・ランドスケープのような環境配慮技術、発電所のコンパクト化、自然環境への影響を最小化するための掘削手法の開発、リスク可視化及び 3D のシミュレーターツールの開発、自然環境及び景観への影響を最小化するためのプラントの小型化、景観シミュレーターの開発、河川等に放流する温泉水の自然環境への影響をアセスするツール及びその影響を最小化する装置の開発が望まれる。長期的な技術開発として、人工貯留層を生成するためのフラクチャリング技術の改良、より高温化での熱回収技術の開発 (同軸熱交換器、ヒートパイプ) が考えられる。参考技術開発事例としては、米国の Beowawe Bottoming バイナリープロジェクト、ニュージーランドの Bioreactor 技術等があげられている。

○ O&M 段階における技術開発の方向性

O&M 段階では、定期的なメンテナンス、バイナリー発電における熱媒体の開発、タービンの開放点検による稼働率の低下対策、季節性の電力需要に対応した出力調整、廃坑技術の確立、地熱を活用した持続的なビジネススキームの確立が課題とされている。

メンテナンスについては坑井と貯留層のメンテナンスに分類される。坑井のメンテナンスに関しては、スケールの付着の回避及び除去の手間、コストを最小化するための抜本的な技術、手法の開発 (スケール析出・酸性井利用のための化学的手法等)、スケールを抑制するための薬剤の低コスト化及び新しい薬剤の開発、地熱貯留層の涵養に関する技術の開発 (一部着手されている)、腐食に強いケーシング用材質の低コスト化、重力探査、電気・電磁気探査、地震波探査を活用した総合的貯留層評価、管理技術の開発、非定常状態対応の坑井シミュレーターの高性能化が短期的な技術開発としてあげられる。貯留層メンテナンスについては貯留層内の温度、圧力をより詳細に把握するために、3次元の非定常問題、

不均質の岩質、塩分、非凝縮性ガスを含んだ流体物性の温度・圧力等が取り扱い可能な貯留層シミュレーターの開発、があげられる。

バイナリー発電における熱媒体の開発については低価格かつ不燃性の熱媒体の開発が望まれる。タービンの開放点検による稼働率の低下については、開放点検の期間を短縮化するために、開放点検を短期間で完了することが可能なタービンの設計/開発、不純物/不凝縮ガス（水素イオン、塩化物イオン、硫化水素等）による腐食を最小化するタービン設計及び材質の開発、スケールが付着しにくいタービンの材質の開発があげられる。離島等の一定エリア内の電力を供給する地熱発電所における季節性電力需要への対応については、蓄電池システム等を併用した蓄エネシステムの構築が必要となると考えられる。廃坑技術については、井戸を封鎖するための原料の開発及び密閉技術の確立が不可欠である。農水産業、レジャー事業、省エネ事業の持続的な地熱活用ビジネスのスキーム導入を後押しする技術として、熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証、副産物利用技術の開発が期待される。長期的には、効率的に熱を取り出すための循環・抽熱技術の開発、人工貯留層のモニタリング技術の開発が望まれる。

○ 開発段階全般における技術開発の方向性

開発段階全般では、自治体、自然保護団体等の利害関係者及び水利権、温泉権等を有するステークホルダーとの調整、業界全体における人材の高齢化が課題とされている。地域住民及び温泉ビジネスとの共生を後押しする技術として、熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証や温泉業者と共有可能な温泉と貯留層の相互影響を評価するツールの開発、また温泉と地熱資源ポテンシャルを容易に確認するために、温泉と地熱資源ポテンシャルデータが 1 つのマップ上にプロットされたツールの開発が期待される。水利権、温泉権等のステークホルダーとの調整については、地下資源を利用するステークホルダーとの共通理解を醸成するために周辺の地熱系の正確な把握を可能にするツールの開発が考えうる。人材の高齢化については若手人材育成のための技術開発継承のための体系的教育カリキュラムやラーニングツールの開発が望まれる。参考技術開発事例としては、周辺地域に受け入れられ共存している米国ガイザーズにおける涵養地熱型の地熱発電やアイスランドのスバルツエンギリソースパーク等が該当する。

開発段階	開発前			技術開発の方向性(短期)	技術開発の方向性(長期)	参考技術開発事例	参考支援策事例
	ID	課題	課題の詳細				
資源調査	A-1	海外と比べ広域な地熱資源に関するデータの公開システムの整備が進んでいない	異なる政府機関が地熱ポテンシャルに関するデータを保有しており、海外に比べると一般に参照しやすい公開システムが整備されていない	■ 国レベルで一元化されたデータベース及び公開システムの構築 ■ リモートセンシング技術の精度向上/低コスト化		■ 海外技術開発事例(国内未実施) ➢ U4:【米国】NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理を目的とした、熱フローデータベースの普及 ➢ 【ニュージーランド】GNS Scienceが保有、管理する地熱及び地下水に関するデータベース(Geothermal and Groundwater Database(GGW)) (海外調査報告参照)	補【日本】(環境省)地熱開発加速化支援・基盤整備事業 融【日本】(JOGMEC)資源探査への出資 保【日本】(環境省)再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査 保【日本】(JOGMEC)地熱資源調査支援事業
	A-2	開発業者が開発地点を絞り込むだけの詳細なポテンシャルデータベースが整備されていない	広域の地熱ポテンシャルデータベースは存在するが、地熱開発業者が開発候補地を絞り込むために、地熱ポテンシャルに関するより詳細なデータが求められる				
	A-3	国のポテンシャル調査において調査が実施されていないエリアが存在する	国の地熱ポテンシャル調査において、特に国立公園内の調査が実施されていない				
資源精査調査井掘削	A-4	精査技術によって地熱貯留層の位置及び規模を正確に把握できるわけではない	MT法、マイクロサイミック技術、地震探査等について、技術開発が目覚ましいが、更なる精度向上が課題である 複数の探査手法(電磁探査、重力探査等)によるデータの統合化技術が確立が課題である 2Dデータのみでは、Z方向における深度等を適切に把握することは難しいものの、3Dによる分析の普及・促進が課題である	■ 既存探査技術の緻密化(フラクチャを精緻に検出する計測・解析技術の開発) ■ MT法、重力探査等の複数の探査手法から得られたデータを統合するソフトウェアの開発 ■ 坑井を利用した高精度フラクチャシステムの開発 ■ 弾性波探査等の低コスト化技術の開発 ■ 調査井掘削のコスト低減技術の開発	■ 高温岩体発電及びマグマ発電を導入するための高温の岩盤の分布、マグマの蓄積量等に関する探査・調査手法の開発 ■ 高温の岩盤、マグマ溜りを特定及び精査する資源精査技術の開発 ■ 高温岩体発電において、熱抽出を行うための貯留層の造成を評価する貯留層評価ツールの開発 ■ 高温岩体発電、マグマ発電の事業性評価ツールの開発	■ 国内技術開発事例 ➢ JG1:【JOGMEC】地熱貯留層探査技術開発 ➢ JG2:【JOGMEC】地熱貯留層評価・管理・活用技術開発 ■ 海外技術開発事例 ➢ U16:【米国】地震から発生する断裂の特定方法のEGSへの活用 ➢ IP1:【IPGT】地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム ➢ IP2:【IPGT】地熱資源の把握のための3D解析技術 ➢ N1:【ニュージーランド】地熱スーパーモデル:地熱システムを把握するための統合モデリング	補【日本】(JOGMEC)地熱資源開発調査事業費助成金 補【アイスランド】温熱利用を目的とした地下水探査への補助金 融【その他】Geothermal Risk Mitigation Facility(GRMF) 融The Geothermal Energy Development Program(GEOFUND) 技【EU】欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)
	A-5	資源探査のコストが高い	資源精査のための調査井掘削のコストが高い 弾性波探査等の低コスト化が求められる探査技術が存在する				
	環境アセス	A-6	発電所規模の適正化に不確実性が存在する				貯留層の規模、特性(資源ポテンシャル、熱水挙動)に応じた発電所の規模の適正化が難しい 蒸気量に影響する井戸の腐食を引き起こす酸性熱水の分布予測が難しい プラント稼働後のスケール付着による蒸気量の変動の予測が難しい
A-7		事業計画から運転開始までのリードタイムが長い	事業期間が長くなるほどコストがかさむ 環境アセスメントの期間についてのコストも負担となる				

Aから始まるID: 技術的な課題
Bから始まるID: 社会環境等に係る課題

参考技術開発の分類
■国内技術開発事例: 国内にて実施中の技術開発 ■海外技術開発事例: 海外にて実施中であり国内でも同様の技術開発が実施されていると思われる技術開発 ■海外技術開発事例(国内未実施): 国内での実施例がないと思われる海外の技術開発

財政支援

補補助金融融資債債券
リリスク保証減減税債保債務保証

政策支援

議義務化議義務化短プロセス短縮許開発許可価電力価格引き上げ

技術支援

技技術開発支援

その他

保ポテンシャル評価

開発段階	開発段階			技術開発の方向性(短期)	技術開発の方向性(長期)	参考技術開発事例	参考支援策事例
	ID	課題	課題の詳細				
掘削	A-8	掘削コストが高い	掘削においては、リグの稼働率の向上、掘削システムの高性能化、ビットの高硬度化/高耐久化が課題である	■ 難掘削性岩質を掘削するためのリグの高耐久化・ビットの高硬度化 ■ パーカッションドリルビット等の低コスト掘削技術の開発 ■ 石油・ガス技術の適応(マルチラテラルドリリング/水圧破砕法等) ■ ボータブルリグの実用化 ■ 掘削期間を短縮化するために、カッティングス排除機能、坑内冷却機能等のリグ機能の高性能化及び摩耗耐性の高い材質の採用等によるビットの長寿命化 ■ 傾斜方位ツールズ(MWD)の低コスト化・高温耐久化(再掲) ■ マルチレグ掘削技術の開発	■ A-4の資源精査技術 ■ レーザードリリング、熱による破砕掘削(Thermal Spallation Drilling)等の新規掘削技術の開発 ■ 高温及び高圧環境下で機能する掘削機器及び材料の改良/開発(導通技術の改良/開発) ■ フラクチャリング技術の改良 ■ より高温化での熱回収技術の開発(同軸熱交換器、ヒートパイプ)	■ 国内技術開発事例 ➢ J3: (環境省) 自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発 ■ 海外技術開発事例 ➢ U38: 【米国】OM-300-MWD地熱ナビゲーション装置 ➢ A1: 【米国】地熱発電用レーザー掘削 ■ 海外技術開発事例(国内未実施) ➢ U76: 【米国】Northwest Geversers地熱地域におけるEGSの実証試験 ➢ 【アイスランド】アイスランド大深度掘削プロジェクトProject(IDDP)(海外調査報告参照) ➢ S2: 【スイス】熱による破砕掘削	補【日本】(環境省) 自然共生型地熱開発のための掘削補助事業 補【日本】(JOGMEC) 地熱資源開発調査事業費助成金 債保【日本】(JOGMEC) 債務保証 リ【アイスランド】国家エネルギー基金(NEF) リ【スイス】リスク保証 リ【ドイツ】ミュンヘン再保険会社による保険 リ【ドイツ】ドイツ連邦環境省による保険 融【オーストラリア】Geothermal Drilling Program (GDP) 技【日本】(環境省) 地球温暖化対策技術開発事業
			日本では井戸1本あたりの蒸気量が少ないため、蒸気量あたりの掘削コストが高い				
	A-9	掘削が失敗する可能性が存在する	掘削の成功率は70%ほどであり、成功率を向上させるための技術、また失敗した場合のリカバリー技術が課題である				
	B-1	国立公園等のエリアでは開発が制限されている	国立公園外から掘削する手法の更なる低リスク化が課題である				
設計・建設	A-10	設計建設のコストが高い	発電所全体の収益性向上のための、副産物抽出、熱水のカスケード利用等が課題である	■ 熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証 ■ 排水から鉱物等を回収するコプロダクション技術の開発	■ 海外技術開発事例 ➢ U58: 【米国】Beowawe Bottoming/バイナリープロジェクト ➢ U59: 【米国】低温地熱資源利用時における可変位相タービンを用いた発電システムの実証 ■ 海外技術開発事例(国内未実施) ➢ N2: 【ニュージーランド】地熱発電施設の排水から市場価値のある物質を抽出する技術の開発 ➢ 【ニュージーランド】ワイラケイ発電所におけるバイオリアクター(海外調査報告参照)	債保【日本】(JOGMEC) 債務保証 減【米国】事業エネルギー投資税控除(ITC) 補【米国】Renewable Energy Grants: 再生可能エネルギー助成金 債【米国】JCRBEs(Clean Renewable Energy Bonds): グリーン・再生可能エネルギー債券 融【その他】The Geothermal Energy Development Program (GEOFUND) 義【ドイツ】EEWaermeG	
			地上設備の設計/建設にかかるコストが発電所開発の最大で7割を占めており、更なる削減が課題である				
			温泉バイナリー発電では発電量のわりに発電システム全体のコストが割高となっている。特に凝縮器の更なる高効率化/低コスト化が課題である				
	B-2	周辺の自然環境への配慮が求められる	フットプリントの最小化、動植物への影響等を考慮した掘削、配管、プラント建設/運用が課題である	■ エコロジカル・ランドスケープのような環境配慮技術、発電所のコンパクト化発電所のコンパクト化 ■ 自然環境への影響を最小化するための掘削手法の開発 ■ リスク可視化及び3Dのシミュレーターツールの開発 ■ 自然環境及び景観への影響を最小化するためのプラントの小型化 ■ 景観シミュレーターの開発 ■ 河川等に放流する熱水の自然環境への影響をアセスするツールおよびその影響を最小化する装置の開発			
							B-3
Aから始まるID: 技術的な課題 Bから始まるID: 社会環境等に係る課題				参考技術開発の分類 ■国内技術開発事例: 国内にて実施中の技術開発 ■海外技術開発事例: 海外にて実施中であり国内でも同様の技術開発が実施されていると思われる技術開発 ■海外技術開発事例(国内未実施): 国内での実施例がないと思われる海外の技術開発			
参考技術開発事例の技術開発の先頭のNo (例 U4)はプロジェクトID				財政支援 補 補助金 融 融資 債 債券 リ リスク保証 減 減税 債保 債務保証 政策支援 義 義務化 短 プロセス短縮 許 開発許可 備 電力価格引き上げ 技術支援 技 技術開発支援 融 融資 債 債券 リ リスク保証 減 減税 債保 債務保証 その他 ポ ポテンシャル評価			

図 45 国内の地熱発電普及上の課題と技術開発中心とした方向性 (2/4)

開発段階	ID	課題	課題の詳細	技術開発の方向性(短期)	技術開発の方向性(長期)	参考技術開発事例	参考支援策事例
開発後	A-11	発電効率維持のための定期的なメンテナンスが必要となる ・スケール対策 ・定期的な貯留層モニタリング	生産井に付着し蒸気量の減少等の問題を引き起こすスケールの除去に手間がかかる	■ スケールの付着の回避及び除去の手段、コストを最小化するための抜本的な技術、手法の開発(スケール析出・酸性井利用のための化学的手法等) ■ スケールを抑制するための薬剤の低コスト化及び新しい薬剤の開発 ■ 地熱貯留層の涵養に関する技術の開発 ■ 腐食に強いケーシング用材質の低コスト化 ■ 3次元の非定常問題、不均質の岩質、塩分、非凝縮性ガスを含んだ流体物性の温度・圧力等が取り扱い可能な貯留層シミュレーターの開発 ■ 重力探査、電気・電磁気探査、地震波探査を活用した総合的貯留層評価、管理技術の開発 ■ 非定常状態対応の坑井シミュレーターの高性能化	■ 効率的に熱を取り出すための循環/抽熱技術の開発 ■ 人工貯留層をモニタリングする技術の開発	■国内技術開発事例 フラッシュ ➤ JN1: (NEDO) 地熱複合サイクル発電システムの開発 ➤ JN2: (NEDO) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化 ➤ JN3: (NEDO) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する銅の表面改質技術の開発 バイナリー ➤ JN2: (環境省) 温泉発電システムの開発と実証(再掲) ➤ JN6: (NEDO) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発 ➤ JN7: (NEDO) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発 ➤ JN8: (NEDO) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発 ➤ JN9: (NEDO) 高機能地熱発電システム技術実証開発 貯留層管理 ➤ J1: (環境省) 温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究 ➤ J2: (環境省) 温泉発電システムの開発と実証 ➤ JG2: (JOGMEC) 地熱貯留層評価・管理・活用技術開発 ■海外技術開発事例 ➤ U56: 【米国】高性能タービンを利用した地熱ORCシステムにおけるハイブリッド水冷・空冷熱交換器の最適化 ➤ U64: 【米国】バイナリー発電所のためのタイラー作動流体 ■海外技術開発事例(国内未実施) フラッシュ ➤ I3: 【アイスランド】Carbfixプロジェクト 高温岩体発電 ➤ U78: 【米国】EGSの貯留層内における超臨界のCO ₂ 、地熱流体、及び岩石間の化学反応の予測を目的とした化学的モデルの開発	補 【日本】(環境省) 温泉エネルギー活用加速化事業 補 【日本】(資源エネルギー庁) 固定価格買取制度 (FIT) 補 【日本】((一社) 法人新エネルギー導入促進協議会) 中小水力・地熱発電開発費等補助金 補 【スイス】固定価格買取制度 (FIT) 補 【ドイツ】固定価格買取制度 (FIT) 減 【米国】生産税控除 (PTC) 減 【フィリピン】再生可能エネルギー法 融 【その他】The Geothermal Energy Development Program (GEFUND) 備 【インドネシア】地熱発電の電力買取価格を引き上げ 技 【日本】(環境省) 地球温暖化対策技術開発事業 技 【日本】(NEDO) 地熱発電技術研究開発事業
			腐食してしまった井戸のメンテナンスが難しい				
			持続可能な生産を客観的に評価するための、貯留層モニタリングの精度向上・低コスト化が課題である				
	A-12	温泉バイナリー発電にて主な熱媒体である代替フロンに代わる熱媒体の開発が求められる	温泉バイナリー発電にて主な熱媒体である代替フロンは価格が高く、規制強化対象となりうるため、炭化水素と同等の低価格で、不燃性の熱媒体の開発が課題である				
	A-13	タービン開放点検によって稼働率が低下する	タービン開放点検によって稼働率が低下し、収益性に影響する				
	A-14	季節性の電力需要に対応した出力調整が難しい	離島等の一定エリア内の電力を供給する地熱発電所において、季節によって電力需要が落ち込んだ際に出力の調整をすることが難しい				
	A-15	経済的な廃坑技術の確立が求められる	使用しなくなった坑井(温泉井を含む)を廃坑する際に周辺に悪影響を与えない状態に埋坑あるいは密閉する技術の低コスト化が課題である				
	B-4	地熱を活用した持続的なビジネススキームの確立が求められる	地域特性を考慮した農水産業、レジャー、省エネ事業の地熱活用ビジネスのスキームの確立が課題である				

Aから始まるID: 技術的な課題
Bから始まるID: 社会環境等に係る課題

参考技術開発の分類

■国内技術開発事例: 国内にて実施中の技術開発

■海外技術開発事例: 海外にて実施中であり国内でも同様の技術開発が実施されていると思われる技術開発

■海外技術開発事例(国内未実施): 国内での実施例がないと思われる海外の技術開発

参考技術開発事例の技術開発の先頭のNo
(例 U4)はプロジェクトID

財政 支援	補	補助金	融	融資	債	債券	政策 支援	義	義務化	許	開発許可	技術 支援	技	技術開発支 援	その 他	ポ	ポテンシャル 評価
	リ	リスク保証	減	減税	債保	債務保証		短	プロセス短縮	備	電力価格引き上げ						

図 46 国内の地熱発電普及上の課題と技術開発中心とした方向性 (3/4)

開発段階	ID	課題	課題の詳細	技術開発の方向性(短期)	技術開発の方向性(長期)	参考技術開発事例	参考支援策事例
	B-5	自治体、自然保護団体等の利害関係者との相互理解、共生が求められる	開発許可を得るために、自治体、自然保護団体等の利害関係者からの理解が必要となる。交渉がうまくいかない場合は資源探査の段階から許容されない場合がある	■ 熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証(再掲) ■ 温泉業者と共有可能な温泉と貯留層の相互影響を評価するツールの開発 ■ 温泉と地熱資源ポテンシャルデータが1つのマップ上にプロットされたツールの開発		■ 海外技術開発事例(国内未実施) ➢ 【米国】ガイゼーズにおける涵養地熱型の地熱発電(海外調査報告参照) ➢ 【アイスランド】スバルツエンジンソースパーク(海外調査報告参照)	- 補 【日本】(資源エネルギー庁)地熱開発理解促進関連事業補助金 - 補 【オーストラリア】連邦政府補助金 - 補 【オーストラリア】州補助金 - 補 【ニュージーランド】技術開発補助金 - 融 【米国】Loan Guarantee Program - リ 【EU】リスク保証 - 許 【フィリピン】地熱法 - 許 【インドネシア】新地熱法制定 - 技 【米国】Tech to Market (T2M) - 技 【米国】GTP(Geothermal Technology Program) - 技 【米国】米国エネルギー省地熱技術部局による技術支援 - 技 【スイス】技術開発支援 - 技 【EU】欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)
	B-6	水利権、温泉権等に関連するステークホルダーとの調整が求められる	水、地下資源等に係るステークホルダーの権利を守りつつ、開発を進めることが課題である	■ 周辺の地熱系の正確な把握を可能にするツールの開発			
	B-7	業界全体で人材の高齢化が進んでおり、将来的に人材不足が懸念される	技術の継承のための若手人材の育成が急務となっている	■ 技術開発継承のための体系的教育カリキュラム/ラーニングツールの開発			

Aから始まるID: 技術的な課題
Bから始まるID: 社会環境等に係る課題

参考技術開発事例の技術開発の先頭のNo
(例 U4)はプロジェクトID

参考技術開発の分類

■国内技術開発事例:国内にて実施中の技術開発
 ■海外技術開発事例:海外にて実施中であり国内でも同様の技術開発が実施されていると思われる技術開発
 ■海外技術開発事例(国内未実施):国内での実施例がないと思われる海外の技術開発

財政支援

補 補助金

融 融資

債 債券

リ リスク保証

減 減税

債保 債務保証

政策支援

義 義務化

許 開発許可

短 プロセス短縮

価 電力価格引き上げ

技術支援

技 技術開発支援

その他

ポ ポテンシャル評価

図 47 国内の地熱発電普及上の課題と技術開発中心とした方向性 (4/4)

		基礎研究				応用開発				実用開発				導入実証				初期普及				市場普及			
資源 概査	地形判読									U1	S5														
	地質判読																								
	地下熱流量データベース									U6								U2	U3	U4	U5				
	地下温度の調査・探査法	U10								U8	U9							U7							
	リモートセンシング									U12								U11							
	その他									JG1	JG2														
資源 精査	地震探査法(弾性波探査 (サイズミック))	U13	U14	U23		U16	U17	U19	U20	U15	U18	U21	U22	N1	U9	N1									
	電気/電磁探査									U24	U25	U12	IP2			U26									
	重力探査									U27	U28	U29													
	磁気探査																								
	地化学探査	U32	U33			U30				U31	U8	S3	IP1												
	その他					U35												E1	U34						
掘 削	泥水掘削	U37	U38			U36				U39															
	空気掘削																								
	傾斜掘削	U40														J3									
	セメンチング																								
	物理検層																								
	石油・ガス掘削技術	U41								U42															
	その他	U43	U10							U8	U15	U24	A1	IP		U26	S2								
F / S、 環 境 ア セ ス	自然状態シミュレーション									S1															
	生産予測シミュレーション	U47	U48	U50		U45	U46	U49		U44	U8														
	その他									JN4	JN5														

技術目的

開発リスクを低減する技術

社会受容性リスクを低減する技術

環境共生型技術

低コスト化技術

赤字のNoは新規技術

J 環境省の技術開発

JG JOGMECの技術開発

JN NEDOの技術開発

U 米国EEREによる技術開発

A 米国ARPAEの技術開発

E EU FP7の技術開発

S スイスにおける技術開発

I アイスランドにおける技術開発

N ニューージーランドにおける技術開発

IP IPGTにおける技術開発

図 48 技術開発（プロジェクト）マップ（1/3）

		基礎研究				応用開発				実用開発				導入実証				初期普及				市場普及			
O & M	蒸気タービン																								
	発電機																								
	復水器									U51															
	温水ポンプ																								
	冷却塔									U53															
	冷却水設備																								
	不凝縮ガス抽出装置																								
	副生技術							U55	U54																
	その他	U40								JN1				I3								I2	N3		
	タービン					U56				U57	U58														
バイナリー	凝縮器					U65				U59	U60	U61	U62	U63	U64	U62	U64								
						U67				U66	U53														
	循環ポンプ																								
	予熱器																								
	蒸発器																								
	その他	U40								U52	U68	U69	U70	U71	JN2	J2									
										JN3	JN6	JN7	JN8	JN9											

開発リスクを低減する技術

社会受容性リスクを低減する技術

環境共生型技術

低コスト化技術

技術目的

赤字のNoは新規技術

J 環境省の技術開発

JG JOGMECの技術開発

JN NEDOの技術開発

U 米国EEREによる技術開発

A 米国ARPAEの技術開発

E EU FP7の技術開発

S スイスにおける技術開発

I アイスランドにおける技術開発

N ニューージーランドにおける技術開発

IP IPGTにおける技術開発

図 49 技術開発（プロジェクト）マップ（2/3）

69

		基礎研究				応用開発				実用開発				導入実証				初期普及				市場普及			
高温岩体	破砕	U37	U72	U73						U74	U75														
	導通									U76															
	循環・抽熱	U23	U77	U78	U79	U82	U83	U84	U85	U18	U53	U86	U88	U91											
		U80	U81	U83	U89	U87																			
		U90																							
	二酸化炭素回収貯留 (CCS)	U43	U92																						
	その他	U40	E2			U94	U95	S4	S6	U93	U39	S1													
	生産ヒストリー																								
	流体地化学モニタリング	U72	U96			U97	U98																		
	坑井調査	U89	U90	U99																					
貯留層管理	地球物理学モニタリング	U80				U17	U35	E3							J1										
	その他	U10								JG2					N2										

開発リスクを低減する技術

社会受容性リスクを低減する技術

環境共生型技術

低コスト化技術

技術目的

赤字のNoは新規技術

J 環境省の技術開発	A 米国ARPAEの技術開発	N ニュージーランドにおける技術開発
JG JOGMECの技術開発	E EU FP7の技術開発	IP IPGTにおける技術開発
JN NEDOの技術開発	S スイスにおける技術開発	
U 米国EEREによる技術開発	I アイスランドにおける技術開発	

図 50 技術開発（プロジェクト）マップ（3/3）

7. まとめ

本調査では地熱開発の技術的課題の克服を図ることを目的とし、地熱開発の有識者・専門家の検討会を設置した上で、文献調査及びヒアリングを通じて、国内外の最新の技術開発と導入支援に係る政策の収集・整理・評価を行った。

国内外の最新の技術開発動向の把握に先立ち、我が国及び海外の地熱導入国における取組概要を把握するとともに、有識者へのヒアリングを行い、その上で、我が国における地熱発電の普及上の課題の抽出整理を行った。課題については、技術面の課題 15 件と社会環境に係る課題 7 件の計 22 件に集約された。各課題へ技術的に対応する観点から、技術開発の目的として低コスト化技術、環境共生技術、低リスク化技術の 3 つを設定し、低リスク化技術については、技術面での開発リスクの低減と、地熱発電に対する社会受容性に係るリスクの低減に分けることとした。

次に、国内及び海外における地熱技術開発事業について詳細な調査を行い、合計 116 プロジェクトについて、技術開発の特徴、導入効果、開発上の課題、今後の見通し等について整理を行った。整理に際しては、地熱発電の開発段階（資源概査、資源精査／調査井掘削、F/S 環境アセス、掘削、設計・建設、O&M）、技術開発フェーズ（基礎研究、応用研究、実用研究、導入実証、初期導入、市場普及）、並びに従来技術の改良／新規コンセプト技術の分類を適用し、全プロジェクトが掲載された技術マップを作成した。技術開発プロジェクトと並行して、各国における地熱開発支援策について調査を行い、技術マップと対応させて開発段階別の整理を行った。

上述の技術マップと支援施策マップを用いて、我が国における今後の技術開発の方向性について検討を行い、各課題に対する短期的及び中長期的な技術開発テーマと、技術開発と一体的に推進すべき支援策を抽出した。

概ね 2020 年までの短期的な技術開発の方向性について、課題別に整理した。まず、資源概査段階における課題として広域の地熱資源ポテンシャル調査の実施が不十分であるという課題が抽出された。今後の技術開発の方向性として、米国のデータベース公開システムである NGDS（国内地熱データベースシステム）等を参考にしつつ、一元化されたデータベースの構築が望まれる。このデータベースは開発拠点を絞り込む上でも非常に重要であり、開発リスクの低減につながる技術となる。

資源精査段階における課題として、資源精査技術の更なる精度の向上及び低コスト化があげられる。今後はデータ処理能力の高いソフトウェアの開発、実施に数千万規模の費用のかかる弾性波探査等の低コスト化技術が重要となると考えられる。これにより後続の開発段階である掘削のコストの低減も期待できる。また地下構造をより正確に把握することによって温泉等の利用と地熱発電の共生を図ることが可能となり、地熱資源を利用するス

ステークホルダーからの理解を得られやすくなるという点から地熱発電自体の社会受容性の向上にも寄与すると考えられる。

このような科学的知見に基づいた技術を広く他ステークホルダーに利用してもらうためには、可視化結果の情報提供スキーム及び技術の信頼性を確保するための第三者機関の設置等も同時に取り組む必要がある。ステークホルダーの理解醸成の観点からは、資源精査技術に加え、発電以外の地熱資源を含めた地熱系の挙動を把握するモニタリングツール等の開発も重要である。あわせて、地熱開発に関わる関連機関・団体間での技術に関する情報共有の徹底や、我が国の地熱技術開発に関する継続的な情報提供や普及啓発も重要である。

F/S 環境アセス段階では、発電所規模の適正な見積もりに不確実な要因が存在すること、また開発までの期間が長期化することが主な課題として抽出された。発電所の規模の見積もりをより確実にするために、坑井（あるいは貯留層）の減衰やスケール析出等の影響を予測するシミュレーターの更なる高精度化が望まれる。また硫化水素拡散シミュレーターや景観シミュレーター等の改善は環境アセスメントの期間と連動した開発リスクの低減及び自然環境との調和という環境共生の観点からも重要な技術開発である。

掘削段階では低コスト化、成功率の向上、開発制限エリアにおける掘削技術の開発が課題とされている。掘削段階はそのコストの大きさから最も開発リスクの高いフェーズであり、この観点からも高性能掘削システムによって、より短期間に正確な掘削を実施することが期待される。特に開発制限エリアにおける掘削は難度、開発リスクともに高くなり、これを成功させる技術開発も重要となる。技術的な課題に加えて、今後実用化される新規技術の活用の観点から地熱開発技術の継承も重要な要素と考えられる。

設計・開発段階では、低コスト化に加えて自然環境や景観との調和が求められており、景観シミュレーター等の環境共生型技術の開発を推進することが望まれる。

O&M 段階では、地熱資源を持続的に活用するためのスケール対策や、減衰した貯留層の涵養技術を含む貯留層管理が課題となる。中でも、地熱開発が広く社会に受け入れられるための熱水カスケード利用等のビジネススキームの構築とそれを後押しする技術開発及び地域実証は重要な技術開発の一つである。

2020 年以降の中長期的な技術開発としては、更なる地熱資源の活用拡大の観点から、より深部かつ高温の地熱資源の活用が考えられ、高温岩体発電やマグマ発電のような従来の熱水資源の制約にとらわれない発電方式が主な技術開発のテーマとしてあげられる。具体的には、より深部の地熱資源をターゲットとした資源探査技術や掘削技術の開発、またより高温に耐えうる掘削リグ、坑井の材質の開発等が挙げられる。

資 料 編

参考資料 1：	技術開発（プロジェクト）マップ……………	資-1
参考資料 2：	技術開発（プロジェクト）シート……………	資-4
参考資料 3：	検討会講演資料	
	• 温泉共生型地熱貯留層管理システムの開発……………	資-142
	• 自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術…	資-154
参考資料 4：	国内の過去の技術開発の体系及び動向……………	資-168
参考資料 5：	海外ヒアリング調査報告	
	• ヒアリング先別の調査結果……………	資-172
	• スバルツエンジニアリングソースパークの概要（HS Orka 受領資料）…	資-206

		基礎研究			応用開発			実用開発			導入実証			初期普及			市場普及		
資源 概 査	地形判読																		
	地質判読																		
	地下熱流量データベース																		
	地下温度の調査・探査法																		
	リモートセンシング																		
資源 精 査	その他																		
	地震探査法(弾性波探査 (サイズミミック))																		
	電気/電磁探査																		
	重力探査																		
	磁気探査																		
掘 削	地化学探査																		
	その他																		
	泥水掘削																		
	空気掘削																		
	傾斜掘削																		
F ア ス セ ス	セメンチング																		
	物理検層																		
	石油・ガス掘削技術																		
	その他																		
	自然状態シミュレーション																		
S セ ス	生産予測シミュレーション																		
	その他																		

技術目的	開発リスクを低減する技術	J	A	N
	社会受容性リスクを低減する技術	JG	E	IP
	環境共生型技術	JN	S	
	低コスト化技術	U	I	

赤字のNoは新規技術

開発リスクを低減する技術
社会受容性リスクを低減する技術
環境共生型技術
低コスト化技術

技術目的

	基礎研究	応用開発	実用開発	導入実証	初期普及	市場普及
蒸気タービン						
発電機						
復水器			U51			
温水ポンプ						
冷却塔			U53			
冷却水設備						
不凝縮ガス抽出装置						
副生技術		U55	U54			
その他	U40		JN1	I3	I2	N3
タービン		U56	U57	U58		
凝縮器		U65	U59	U60	U61	U62
		U67	U66	U63	U64	U64
循環ポンプ						
予熱器						
蒸発器						
その他	U40		U52	U68	JN2	J2
			JN3	JN6	JN7	JN8
				JN9		

技術目的

- 開発リスクを低減する技術
- 社会受容性リスクを低減する技術
- 環境共生型技術
- 低コスト化技術

赤字のNoは新規技術

技術開発における技術開発

- A 米国ARPAEの技術開発
- E EU FP7の技術開発
- S スイスにおける技術開発
- T アイスランドにおける技術開発
- N ニューゼーランドにおける技術開発
- IP IPGTにおける技術開発

	基礎研究			応用開発			実用開発			導入実証			初期普及			市場普及		
	U37	U72	U73				U74	U75										
破砕																		
導通																		
高温岩体	U23	U77	U78	U79	U82	U83	U84	U85	U86	U88	U91							
	U80	U81	U83	U89	U87													
	U90																	
二酸化炭素回収貯留(CCS)	U43	U92																
その他	U40	E2			U94	U95	S4	S6	U93	U39	S1							
生産ヒストリー																		
流体地化学モニタリング	U72	U96			U97	U98												
坑井調査	U89	U90	U99															
地球物理学モニタリング	U80				U17	U35	E3											
その他	U10								JG2									
										J1	N2							

J	環境省の技術開発	A	米国ARPAEの技術開発	N	ニュージーランドにおける技術開発
JG	JOGMECの技術開発	E	EU FP7の技術開発	IP	IPGTにおける技術開発
JN	NEDOの技術開発	S	スイスにおける技術開発		
U	米国EEREによる技術開発	I	アイスランドにおける技術開発		

開発リスクを低減する技術

社会受容性リスクを低減する技術

環境共生型技術

低コスト化技術

技術目的

赤字のNoは新規技術

国・組織・プログラム名	開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語(訳))	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基 礎	実 効	導 入	初 期	市
日本・環境省	貯留層管理	地球物理学モニタリング	J1	—	温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究	独立行政法人産業技術総合研究所		●			既存技術			●		
	O&M	貯留層管理 地球物理学モニタリング	J2	—	温泉発電システムの開発と実証	地熱技術開発(株)		●			既存技術			●		
	掘削	バイナリー_その他	J3	—	自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発	地熱技術開発(株)			●		既存技術			●		
	資源精査	資源精査_その他	JG1	—	地熱貯留層探査技術開発	—	●				既存技術		●			
	資源精査	資源精査_その他	JG2	—	地熱貯留層評価・管理・活用技術開発	地熱技術開発(株)、産業技術総合研究所、奥金津地熱(株)		●			既存技術		●			
日本・JOGMEC	O&M	貯留層管理_その他		—				●			既存技術		●			
			JN1		地熱複合サイクル発電システムの開発	株式会社東芝			●	●	既存技術		●			
	O&M	フラッシュ_その他	JN2		無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化	アネスト岩田株式会社				●	既存技術		●			
			JN3		炭酸カルシウムスケール付着を抑制する銅の表面改質技術の開発	国立大学法人東京海洋大学 株式会社エディット 国立大学法人横浜国立大学 国立大学法人長崎大学				●	既存技術		●			
	F/S、環境アセス	その他	JN4		硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発	日揮株式会社	●				既存技術		●			
日本・NEDO			JN5	—	地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発	一般財団法人電力中央研究所	●				既存技術		●			
			JN6		低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発	株式会社超電導機構 国立大学法人大阪大学 独立行政法人産業技術総合研究所	●				既存技術		●			
	O&M	バイナリー_その他	JN7		地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発	一般財団法人電力中央研究所 国立大学法人富山大学			●	●	既存技術		●			
			JN8		温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発	アルパック理工株式会社 株式会社馬淵工業所				●	既存技術		●			
			JN9		高機能地熱発電システム技術実証開発	—		●	●		既存技術		●			
米国・ARPAE	掘削	その他	A1	Laser-Mechanical Drilling for Geothermal Energy	地熱発電用レーザー掘削	Foro Energy				●	新技術		●			
	資源精査	その他	E1	Geothermal ERA-NET	地熱ERA-NET	ORKUSTOFNUN				●	既存技術				●	
欧州・FP7		高温岩体_その他	E2	Geothermal engineering Integrating mitigation of induced seismicity in reservoir	貯留層の誘発地震緩和における地熱工学	HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM	●	●			既存技術	●				
	O&M	貯留層管理 地球物理学モニタリング	E3	Hydraulic Stimulation Modeling in Geothermal Systems	地熱システムにおける水圧刺激モニタリング	KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE	●				既存技術	●				

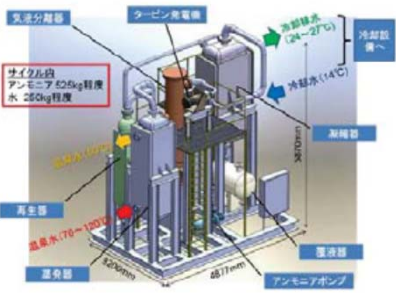
国・組織・プログラム名	開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基 地	実 導	初 市
スイス	F/S、環境アセス	自然状態シミュレーション	S1	GEOSIM	—	Swiss Seismological Service, ほか	●				既存技術		●	
	掘削	その他	S2	Thermal Spallation Drilling	熱による破砕掘削	Swiss Federal Institute of Technology, Zurich				●	新技術		●	
	資源精査	地化学探査	S3	COTHERM (Combined hydrological, geochemical and geophysical modelling of geothermal systems)	地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム	Institute für Geochemistry and Petrology of ETH Zurich		●			既存技術		●	
	O&M	高温岩体、その他	S4	GEOBEST	—	ETH Domain and Swiss Federal Office of Energy Pilot and Demonstration Program	●	●			既存技術	●		
	資源概査	地形判読	S5	GeoMol – CH	—	Swiss Geological Survey, swisstopo Federal Office of Topography	●				既存技術	●		
	O&M	高温岩体、その他	S6	GEO THERM	—	ETH Zurich, Paul Scherrer Institute, EPF Lausanne, Geo Energie Suisse AG		●			新技術	●		
アイスランド	掘削	その他	I1	Iceland Deep Drilling Project(DDP)	アイスランド大深度掘削プロジェクト	HS社(現HS Orka社)ほか				●	新技術		●	
	O&M	フラッシュ、その他	I2	CRJ plant	ORJプラント	Carbon Recycling Internationalほか			●		新技術			●
			I3	Carbfix	Carbfixプロジェクト	Reykjavik Energy/ほか			●		新技術		●	
ニュージーランド	資源精査	地震探査法(弾性波探査(サイゼミック))	N1	Geothermal SupermodelsIntegrated modelling tools for geothermal systems	地熱スーパーモデル: 地熱システムを把握するための統合モデリング	GNS Science/ほか	●		●		既存技術		●	
	O&M	貯留層管理、その他	N2	From Waste to Wealth	地熱発電施設の排水から市場価値のある物質を抽出する技術の開発	GNS Science		●	●		新技術		●	
		フラッシュ、その他	N3	Wairakei Bioreactor	ワイラケイ発電所におけるバイオリアクター	Contact Energy		●			新技術			●
IPGT	資源精査	地化学探査	IP1	COTHERM	地質、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム									
	資源精査	電気/電磁探査	IP2	Advanced 3D Geophysical Imaging Technologies for Geothermal Resource Characterization	地熱資源の把握のための3D解析技術	Lawrence Berkeley National Laboratory/ほか	●				既存技術		●	

—— 環境省 プロジェクトシート ——

J1

技術名称	温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究							
プロジェクト番号	No.22-15							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010	～	2013年度	(3年)
開発企業名	独立行政法人産業技術総合研究所							
開発プログラム名	-							
開発コスト(内補助金)	447,283 千円							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良				
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理 地球物理学モ ニタリング
個別技術								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	「世界初の温泉との共生を目指した地熱貯留層管理システムの開発」 数10nGalの感度を有する高精度連続観測用重力計を導入して高精度連続測定を実現する。また、熱、水、重力、自然電位、非抵抗、観測井水位などの多様変動データによる地熱発電所および温泉貯留層の監視、温泉事業者が使える温泉変動監視ソフトウェアの開発である。 【温泉共生型貯留層管理システム開発フロー】 【本事業の全体像】							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	○2017年時点の削減効果 ・本事業普及による発電設備容量増加分2500MW ・年間CO2削減量: 623万t-CO2/年 ○2020年時点の削減効果 ・本事業普及による発電設備容量増加分5000MW ・年間CO2削減量: 1246万t-CO2/年							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	「地熱系モデル開発」、「モニタリング技術開発」、「変動シミュレーション」の要素技術はいずれも、従来の手法では温泉源との関係が不明であり、その点を明らかにすることが技術課題である。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	2020年までに、 ・小型～中型バイナリー発電システムについても量産体制を構築し、我が国固有の温泉発電場などを急拡大 ・ミューオン宇宙線などを利用して、見えない地下断層系のイメージング技術を確立し、最も高コストを要する掘削の成功率を飛躍的に高めて、地熱開発の低コスト化を推進							

J2

技術名称	温泉発電システムの開発と実証							
プロジェクト番号	No.22-16							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010	～	2013年度	(3年)
開発企業名	地熱技術開発(株)							
開発プログラム名	-							
開発コスト(内補助金)	5,000 万円							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良				
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	70～120℃の温泉水を溶用利用温度50℃まで下げる間の温度差エネルギーを回収して、二酸化炭素排出量の少ない50kW程度の発電を行い、50℃まで冷ました温泉水を溶用に供給する発電により、年間150～190トン程度の二酸化炭素を削減することが可能である。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	①2020年時点での、導入による二酸化炭素削減効果について、温泉発電では、電気で70万t-CO₂、電気+熱で98万t-CO₂、工場排熱を含み、電気で192万t-CO₂、電気+熱で270万t-CO₂の削減が期待できる。 ②地熱発電の仕組みや安全性への地元の理解が進むことで、より大型の地熱の導入が円滑に進む効果が期待できる。 ③遠隔地でのマイクログリッド発電、世界各地の工場排熱の大きな需要が期待され、日本の国際競争力を維持することが可能になる。 ④2020年時点で温泉400台(200億円)、工場排熱を含み1,100台(550億円)の需要が見込まれ、部品供給メーカー・組立工場・メンテナンス等での新規雇用が期待できる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	2013年までに、事業モデルとしてサンプル事業を実施する。 2015年までに、自社事業として海外委託生産を行い熱交換器部分の低コストを推進する。 2017年までに、システム全体の低コスト化、高効率化および省電力化を推進。 2017年までに、本格的な導入、海外市場への展開をはかる。							

J3

技術名称	自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発							
プロジェクト番号	No.23-9							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011	～	2013年度	(2年)
開発企業名	地熱技術開発(株)							
開発プログラム名	-							
開発コスト(内補助金)	311,547 千円							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				傾斜掘削				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	掘削技術や生産技術の最適化等により、掘削コストを10%程度削減させ、杭井1本当たりの生産量を50%増加させることで、自然公園内開発における発電原価を現状技術を適用した場合より20%程度削減して、全体の発電コストを現状での標準的な地熱発電所レベルに抑制する。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	2020年時点の期待されるCO2削減効果 (1) 既存発電所の増強2万kWがなされた場合: 65,612ton-CO2 (2) 既存発電所の増強2万kWに加えて既設発電所に隣接して新規発電所建設がなされた場合 131,224ton-CO2							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

—— ARPA-E プロジェクトシート ——

A1

技術名称	地熱発電用レーザー掘削							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月15日	～	2013年9月30日	(年)
開発企業名	Foro Energy							
開発プログラム名	ARPA-E – OPEN 2009							
開発コスト(内補助金)	\$9,141,030							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	従来のドリルビットは時間をかけて超硬岩を貫通し、すぐに壊れることで、掘削処理時間とコストが膨大となっている。よってより経済的な掘削方法は地熱や天然ガスなどの次世代エネルギー資源へのアクセスを可能にするために必要とされる。 Foro Energy社は独自の光ファイバケーブルを経由して長距離高出力レーザーを伝達する独自の機能とハードウェアシステムを開発しています。このレーザーパワーは、単独で、機械的なドリルビットとドリルで掘削するには余りにも費用がかかる岩体を、迅速かつ持続的な掘削を可能にするために、ドリルに付随しています。岩体に向けられているレーザーエネルギーは、岩体を破碎しやすくし、結果ビットが簡単に掘削できるようにします。Foro Energy社のレーザーアシスト付ドリルは既存の超硬岩を掘削するドリルに比べ、10倍以上経済的であり、USの超硬岩掘削を通じたエネルギー資源の発掘に寄与するものと考えます。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	開発が成功した際には、 ・2050年までにUSにおける100,000MWhの地熱発電能力の開発に貢献 -エネルギーセキュリティの確保 -地熱及び天然ガス資源へのアクセスが可能 -地熱発電設備の増強により環境保全に貢献							

—— FP7 プロジェクトシート ——

E1

技術名称	地熱ERA-NET								
プロジェクト番号	291866								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2012年5月1日		～	2016年4月30日	(3年)
開発企業名	ORKUSTOFNUN								
開発プログラム名	FP7								
開発コスト(内補助金)	€2,299,651 (€1,999,958)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術									
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
対象導入フェーズ	資源概査	資源精査	試掘	フィージビリティ・スタディ	掘削	設計建設	O&M		
開発段階	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 ・本プロジェクトでは、国家プログラムオーナーと管理者たちの共同業務をERA-NETにより深めることを目指す。それにより、国家研究開発をヨーロッパ地熱R&Dプログラムに組み合わせる。								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	地熱ERA-NET								
	【概要】								
	・地熱ERA-NETは4年間運営されており、EUにおける地熱研究をサポートしている。エネルギー機関とエネルギー省を共通のゴールヘリードしていく役割を果たしている。								
	・地熱ERA-NETでは、助成金が直接研究に使用されるのではなく、研究計画の協力と協調に使用される。SET-plan (European Strategic Energy Technology Plan)の第一ステップである。								
	・地熱ERA-NETの狙いは、地熱エネルギー分野において協力できる国際的プログラムと関係を結ぶことである。								
	・地熱ERA-NETの主要国(アイスランド、ドイツ、フランス、スイス)はIEA GIA (International Energy Agency's Geothermal Implementing Agreement)に参加している国である。IEA GIAは、高エンタルピー地熱資源の利用に関する活動における知見を共有するプラットフォームとなっている。EGSIに焦点を当てている多くのプロジェクトは、US、オーストラリア、アイスランド、スイスが参加しているIPGT (International Partnership on Geothermal Technology)である。IEA GIAのように、Geothermal ERA-NETのアイスランドとスイスはIPGT加盟国におけるRD&D活動のコーディネートを行うIPGTの運営委員会の政府代表者が参画している。								
	【目的】								
	・地熱ERA-NETは熱の直接利用・発電に関する地熱エネルギーの活動に焦点を当てている。								
	・地熱ERA-NETは技術だけでなく、機関・社会・規制的な問題も対象にする。								
	・重要タスクとして、地熱エネルギーにおけるEERA Joint Programmeの達成があげられる。								
・全体的な目的として、国際的研究プログラム、研究インフラ、共同活動の発展を開始することである。									
そのための詳細の目的:									
-国内支援スキームとRD6D活動とギャップ確認を含む地熱エネルギーのステータス情報の更新									
-National Renewable Energy Action Plans及び未来の再生可能エネルギー供給への貢献のための短期ターゲットに合わせたヨーロッパ地熱開発の強化									
-ジョイント活動を通じたより協調的な方法における研究のための、競争力及び非競争力支援の動員による地方と全ヨーロッパレベルでのシナジーの育成									
-協力の強化及びフラグメンテーションの回避									
-ジョイント活動のための可能なスキームとバリアの定義、及び実用的な解決策の推奨									
-計画したプロジェクトのテーマ及び実装と管理上の関係する全ての問題に同意を得た上で、国境を越えた資金調達活動の準備と実行									
-法律、規制、政策、機関、研究プロジェクト、及びデータの情報共有のためのヨーロッパ地熱データベース作成に必要な準備作業の完了									
-ベストプラクティス、ギャップ分析の共有による、研究トレーニングの国境を越えた協力、及び地熱研究における流動性の増加									
-国内研究、開発等のための主要出資者の十分な理解を得る									
-主要出資者とのコミュニケーション、及び地熱における科学的/政策的問題の価値と利益に対する国民意識の強化									
-地熱エネルギー技術研究、開発、イノベーションのためのヨーロッパにおける共通ロードマップの未来における構築のための土台の準備									
【パートナー】									
・アイスランド - OS (Orkustofnun) (Coordinator)、RANNIS (Icelandic Centre for Research)									
・オランダ - Agentschap NL									
・スイス - SFOE (Swiss Federal Office of Energy)									
・イタリア - CNR (The National Research Council of Italy)									
・ドイツ - Jülich (Project Management Jülich)									
・フランス - ADEME (French Agency for Environment and Energy Management)、BRGM as third party of ADEME									
・トルコ - TUBITAK (Scientific and Technological Research Council of Turkey)									
・スロバキア - MESRS (Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic)									
・ハンガリー - HGGI (The Energy Efficiency, Environment and Energy Information Agency)									
【備考】									
Work packages (WP) : プロジェクトは7つのWPに分割されており、各々の目的、タスクがある。									
(出所 : http://www.geothermaleranet.is/)									
技術導入によってもたらされる効果									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)									

E2

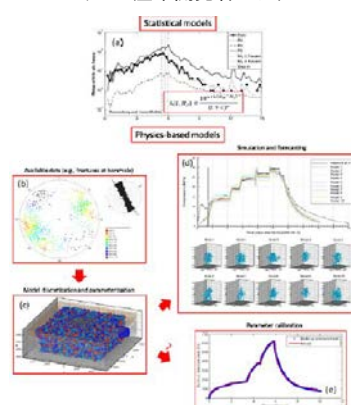
技術名称	貯留層の誘発地震緩和における地熱工学								
プロジェクト番号	241321								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月1日		～	2013年6月30日	(3.5年)
開発企業名	HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM								
開発プログラム名	FP7								
開発コスト(内補助金)	€7,115,977(€5,308,869)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術					フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
							その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 ・本プロジェクトは、誘発地震の研究によるEGSの発展を目指す。 ・水圧刺激による流体経路を画像化する装置 ・潜在的な地震の危機の予測：誘発地震を最小限の大きさに緩和する。 【目的】 ・様々な場面における地震の発生原因の追究 ・地質環境・地理的な位置に基づいた潜在的危険性の確認 ・ライセンス申請とガイドラインのモニタリング ・大規模地震を発生させない水圧刺激の方法の確立 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトでは、地震活動の空間時間分布の可視化・理解をするための方法を研究する。 ・地熱貯留層における大規模地震から得られたデータにより、注入後約2週間に地震活動が起こることを実証している。 ・また、アイスランドで得られた、EGSからの新しいデータの解析結果によるモデリングは、地震活動開始のメカニズムの重要なインサイトを与えている。								
技術導入によってもたらされる効果	・誘発地震の解明 ・EGSの発展								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	刺激による誘発地震								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)									

E3

技術名称	地熱システムにおける水圧刺激モデリング							
プロジェクト番号	299097							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2012年5月14日	～	2014年5月13日	(2年)
開発企業名	KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE							
開発プログラム名	FP7							
開発コスト(内補助金)	€v(€167,390)							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術								地球物理学モニタリング
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 ・本プロジェクトは、構造化、実験、数値解析からなる。 －構造化モデルにより、亀裂の相互作用を考慮する。インプットとして、亀裂の方向と大きさの密度関数を入力する。そして、断裂マトリックスを得ることで、岩盤の浸透性を確認できる。 －地熱貯留層において亀裂の相互作用及び断裂伝播の実験を行う。 －DEMにより液体と固体の相互作用のインサイトを得る、FEMによりシミュレーション検証を行う。 【目的】 ・水圧刺激による生産性の向上 ・誘発地震や坑井の損傷のようなリスクとコストを避ける、確実な刺激方法の確立							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

—— スイスプロジェクトシート ——

S1

技術名称	GEOSIM							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～ 2015年			
開発企業名	Swiss Seismological Service, Geo Energie Suisse AG, Swiss Federal Office of Energy, Swiss Federal Office of the Environment							
開発プログラム名	・Geothermal Research Program of the Swiss Federal Office of Energy ・Environmental Research Program of the Swiss Federal Office of the Environment							
開発コスト(内補助金)	€747,000(€291,000)							
技術目的	低リスク化			低コスト化	環境共生			
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術			自然状態シミュレーション				その他	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	本研究は、新規の観察手法と新プロセスシミュレーションツールを適用することで、EGS技術の発展に寄与した。重要な目的は、EGSプロジェクトの産業開発者によりGEOETHERMIに「現物」貢献として提供されたデータを解析することで、注入中のパー (a): Reasenberg and Jones modelのイベント発生率予測。挿入図は、対応する方程式を表している。(Bachman他: 2011年)。 パネル(b)から(e): 物理モデリングプロセスのフロー図 (Geo Energie Suisse AGが所有する別レポートから合成)。利用可能なナレッジとサイト固有のデータ(b)が概念モデルに統合されており、これはパラメータの数を含む数値モデル(c)に変換される。これらのパラメータは、利用可能な測定値(e)に対し調整する必要がある。このプロセスはリアルタイムアプリケーションにおいては困難であるが、代わりに、数値的な物理ベースモデルは、貯留層の状況(例: パネル内での圧力や地震活動(d))をシミュレートするため使用されている。その後地震活動はPSHAメソッドを増大する事象率曲線に変換される。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	誘発地震のモデリング、予測、予見への決定論的および確率論的なアプローチと統合されたソフトウェアツールに基づいて提供することを目指す。							
技術導入によってもたらされる効果	実行可能な限り低いレベルに地震リスクを管理することを可能にする技術とツールを実証することで、プロジェクト開発者が事業許可を取得することを可能にする。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

S2

技術名称	熱による破砕掘削 Thermal Spallation Drilling							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～			
開発企業名	Swiss Federal Institute of Technology, Zürich							
開発プログラム名	ETH – Domain							
開発コスト(内補助金)	€700,000(€280,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	本研究は、新規の観察手法と新プロセスシミュレーションツールを適用することで、EGS技術の発展に寄与した。重要な目的は、EGSプロジェクトの産業開発者によりGEOTHERMIに「現物」貢献として提供されたデータを解析することで、注入中のパーゼルEGS貯留層においてML3.4の地震を引き起こした水力学的プロセスを理解することであった。  【スイス連邦工科大学チューリッヒ校の高温熱水破砕パイロットプラント(HSDP-II)にて破砕される岩体サンプル】							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	熱破砕掘削は革新的な掘削技術のうちの1つである。今日のフィールドパイロットは、周囲と地表近くの状況下で実行されている。このR&Dプロジェクトは、現場状況の課題に対処する。							
技術導入によってもたらされる効果	熱破砕掘削の現場検査のエンジニアリング設計を可能にする。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

S3

53

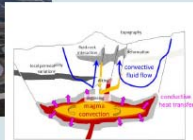
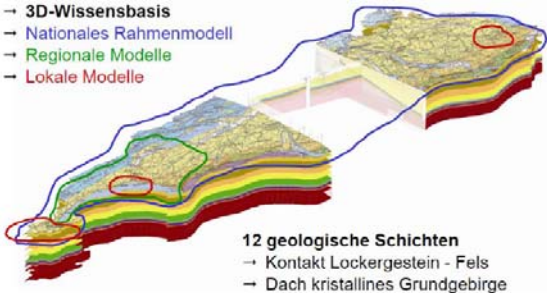
技術名称	地水、地化学、地球物理の観点を統合した地熱モデルシステム COTHERM(Combined hydrological, geochemical and geophysical modelling of geothermal systems)							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日		～	2013年2月1日
開発企業名	Institute für Geochemistry and Petrology of ETH Zurich							
開発プログラム名	IPGT							
開発コスト(内補助金)	€751,200							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理 流体地化学モ ニタリング
個別技術		地化学探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	本研究は、新規の観察手法と新プロセスシミュレーションツールを適用することで、EGS技術の発展に寄与した。重要な目的は、EGSプロジェクトの産業開発者によりGEO THERMIに「現物」貢献として提供されたデータを解析することで、注入中のパーゼルEGS貯留層においてML3.4の地震を引き起こした水力学的プロセスを理解することであった。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	シミュレーション技術と地球物理学や地球化学分野のデータを統合することで、地熱システム深部のより良い特性評価を可能にするワークフローを開発する。流体流、溶解-沈殿反応、岩体の幾何・輸送特性の時間発展に関する最先端のモデリングとシミュレーションを開発する。							
技術導入によってもたらされる効果	貯留層の開発・管理のための商業数値コードは、新規シミュレーション技術の恩恵を受ける。地元事業者は、アプリケーション指向の基礎研究の恩恵を受ける。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

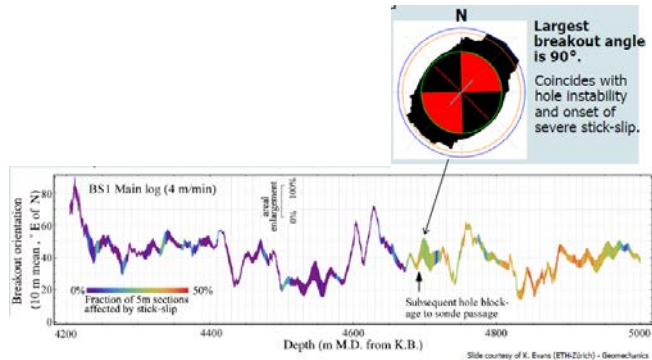
Figure 1: Overview of the study area and data collection. The figure is divided into four panels. Top-left: A photograph of researchers in winter gear standing in a snowy field next to a wooden building, with a large red crane-like structure in the background. Top-right: A map of the study area showing various locations marked with blue triangles (Zinschbach, Eggersriet, Vösterhof, Dörfel, Sennhölles, Dörfel, Dörfel, Dörfel) and a red triangle (Eggersriet). A scale bar indicates 5 km. Bottom-left: A diagram showing the layout of the study area with various locations marked with blue triangles (Zinschbach, Eggersriet, Vösterhof, Dörfel, Sennhölles, Dörfel, Dörfel, Dörfel) and a red triangle (Eggersriet). A scale bar indicates 5 km. Bottom-right: A map of the study area showing various locations marked with blue triangles (Zinschbach, Eggersriet, Vösterhof, Dörfel, Sennhölles, Dörfel, Dörfel, Dörfel) and a red triangle (Eggersriet). A scale bar indicates 5 km.

S5

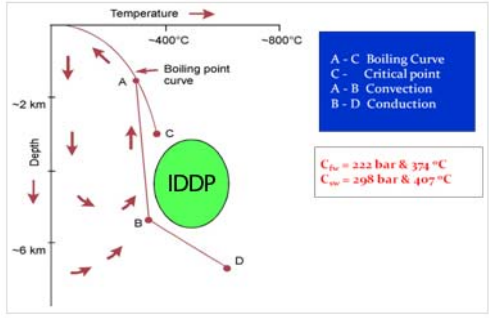
技術名称	GeoMol - CH								
プロジェクト番号									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～				
開発企業名	Swiss Geological Survey, swisstopo Federal Office of Topography								
開発プログラム名	Operating and research budgets of Swiss Federal Offices of Topography, the Environment, Energy and Spatial Planning plus 7 cantons								
開発コスト(内補助金)	€ 2.2 million(€ 1.7 million)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理				
個別技術	地形判読								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	本研究は、新規の観察手法と新プロセスシミュレーションツールを適用することで、EGS技術の発展に寄与した。重要な目的は、EGSプロジェクトの産業開発者によりGEO THERMIに「現物」貢献として提供されたデータを解析することで、注入中のパーゼルEGS貯留層においてML3.4の地震を引き起こした水力学的プロセスを理解することであった。 → 3D-Wissensbasis → Nationales Rahmenmodell → Regionale Modelle → Lokale Modelle  12 geologische Schichten → Kontakt Lockergestein - Fels → Dach kristallines Grundgebirge ⇒ Basis: Seismischer Atlas des Schweizerischen Molassebeckens								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	このように包括的範囲のスイスマラッセ盆地の3Dモデルはかつて開発されていない								
技術導入によってもたらされる効果	スイス連邦政府および関連州は、堆積盆地に関する統合された3Dモデルを所持することになる-任意の地下空間の計画および活用するための基礎ツール								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)									

S6

30

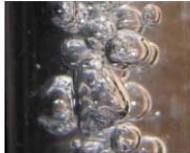
技術名称	GEOTHERM							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～			
開発企業名	ETH Zurich, Paul Scherrer Institute, EPF Lausanne, Geo Energie Suisse AG							
開発プログラム名	ETH Competence Centers, Swiss Federal Office of Energy Geothermal Energy Research Program							
開発コスト(内補助金)	€4,400,000(€4,400,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							その他	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	本研究は、新規の観察手法と新プロセスシミュレーションツールを適用することで、EGS技術の発展に寄与した。重要な目的は、EGSプロジェクトの産業開発者によりGEOTHERMIに「現物」貢献として提供されたデータを解析することで、注入中のバーゼルEGS貯留層においてML3.4の地震を引き起こした水力学的プロセスを理解することであった。  Figure description: The figure consists of a line graph and an inset diagram. The graph plots 'Breakout orientation (10 m mean, ° E of N)' on the y-axis (0 to 80) against 'Depth (m M.D. from K.B.)' on the x-axis (4200 to 5000). A color-coded line represents the 'Fraction of 5m sections affected by stick-slip', ranging from 0% (blue) to 50% (red). The line shows fluctuations, with a notable peak around 4600m depth. An inset diagram shows a circular breakout pattern with a red sector, labeled 'Largest breakout angle is 90°'. Text next to the inset states: 'Coincides with hole instability and onset of severe stick-slip.' Below the graph, it says 'Subsequent hole blockage to sonde passage'. At the bottom right, it says 'Slide courtesy of R. Evans (ETH Zürich) - Geomechanics'.							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	新規の観測と分析は、貯留層全体にわたる母岩の強度と圧力の高度に多様な状態の重要性を実証している。地震学の進歩とともに、地震リスクを管理するための新しい概念的アプローチが開発されている。							
技術導入によってもたらされる効果	HSEMS(Health Safety Environmental Management Systems):地震統計は、大規模なEGS刺激操作作用の制御システム設計にかなりの改善をもたらしている。刺激の設計は、局所的な応力と貯留層岩石強度の不均一性を組み込む必要がある。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

——アイランドプロジェクトシート——

技術名称	Iceland Deep Drilling Project(IDDP)							
プロジェクト番号	—							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2000年 ~			
開発企業名	HS社(現HS Orka社)、 Landsvirkjun社、 Reykjavik Energy社							
開発プログラム名	—							
開発コスト(内補助金)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術				その他	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	2000年に3つの電力企業、HS社(現HS Orka社)、Landsvirkjun社、Reykjavik Energy社の共同プロジェクトとして開始された。実際の掘削はクラブラにて2009年に着工された(IDDP-1)。IDDP-1の坑口の温度は最高で450℃、密閉圧力は最大で145bar、エンタルピーは3,200KJkg-1にまで到達し、最大で36MW規模の発電所が建設可能とされている。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	■高付加価値、高圧力、高温の蒸気による生産井1本あたりのアウトプットの増加 ■現状の地熱フィールドにおける環境共生、及び高エンタルピーエネルギーの開発 ■地熱貯留層、及び発電設備の長寿命化 ■産業、教育、経済的な側面の発展 ■地下2kmの浸透率に関する知見 ■マグマから水への熱伝導に関する知見 etc							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	■1本目のIDDP1は坑井口のバルブの取替が必要であることが判明し、閉鎖された							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	■HS Orkaがレイキャネスにて最大震度3.5kmのIDDP2の掘削を予定している							

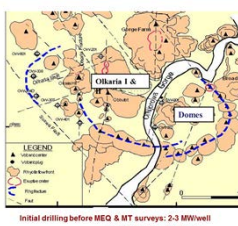
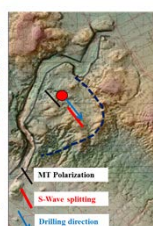
12

技術名称	CRI Methanol Plant								
プロジェクト番号	—								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年 ～ 2012年				
開発企業名	Carbon Recycling International HS Orka								
開発プログラム名	—								
開発コスト(内補助金)	\$800万(建設費)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術					フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
					その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	スバルツエンジニア地熱発電所から排出される二酸化炭素と水分解によって生成した水素によってメタノールを製造する装置である。水分解に必要な電力はスバルツエンジニア地熱発電所から供給される。発電所から排出されるガスは二酸化炭素と硫化水素に分離されるが、硫化水素そのものは大気中に放出される。								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性									
技術導入によってもたらされる効果	年間5百万リットルのメタノールを生成することが期待されており、グリーンメタノールという付加価値を付けて販売できることが期待されている。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	プラント自体は小規模でコスト競争力は低いものの、このプラントはおそらく世界に1つしかない技術であり、グリーンメタノールという付加価値を付け、特に再生可能燃料の導入を進めているヨーロッパ本土への輸出を検討している。								

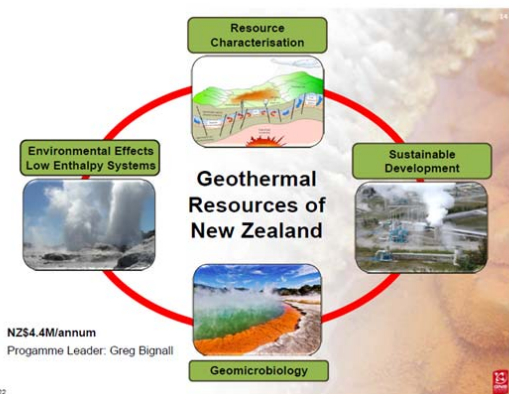
技術名称	Carbfix								
プロジェクト番号	—								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2007年 ~				
開発企業名	Reykjavik Energy、 アイスランド大学、 コロンビア大学、 フランス国立科学研究センターほか								
開発プログラム名	—								
開発コスト(内補助金)	€2,094,930 (2009年度予算)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理				
個別技術					その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	産業部門から排出される二酸化炭素を水に溶かし、地中(400—800m)に注入することで、玄武岩質岩に閉じ込める技術を開発することである。Reykjavik Energyが所有するヘトリスヘイジ地熱発電所で実証実験が実施された。本発電所では、蒸気と分類された熱水を地中に還元しており、年間40,000トンの二酸化炭素を排出している。この二酸化炭素と還元水を利用して、実証実験がなされた。現在は硫化水素を分離するためのガス分離器を設置している段階である。  Photo: J. Alean Basalt  CO₂ dissolved in Water  Photo: H. Sigurdardottir Carbonates								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性									
技術導入によってもたらされる効果	現在はヘトリスヘイジ地熱発電所で実証実験が実施されているが、他の産業分野において転用され、二酸化炭素の処理設備として転用されることが期待される。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	硫化水素とCO2を分離する技術をコストに見合う形で導入できていないため、フルスケールのプラントの建設までは至っていない。								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)									

—ニュージーランドプロジェクトシート—

N1

技術名称	地熱スーパーモデル:地熱システムを把握するための統合モデリング Geothermal Supermodels: Integrated modelling tools for geothermal systems							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2013年1月10日	～	2017年9月30日	
開発企業名	GNS Science, The University of Auckland, Callaghan Innovation							
開発プログラム名	MBIE-administered Energy and Minerals Reserch Fund							
開発コスト(内補助金)	\$1.1million/year							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良				
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	パイナリー	高温岩体	貯留層管理 地球物理学モ ニタリング
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	地熱資源から、鉱物やメタル、ガス、トレース素材等に経済性を持たせることを目的としている。 地熱発電施設から出る排水より、市場価値のある物質を組成し、より環境共生が可能な発電所の建設を目指す。 機会や投資障壁、排水からの鉱物の副生といった既存技術のアセスはもとより、実現可能性や市場動機や、方策フレームワークなどの成功要因となる要因の分析も行う。 化学、プロセス工学、素材、法学、エコノミスト、マーケティングアナリスト、市場分析等のメンバーが終結している。地熱関係者や、マオリ証券、自治体、開発業者等の協力も得ている。 3D modelling Leapfrog Geothermal, in a few words • INNOVATIVE: Implicit geological modelling (grid free). No resolution issues. • INTEGRATED: Inter-operable with a large variety of data. Generation of alternative scenarios. • VERSATILE: User-friendly, logical and automatic updating. • EFFICIENT: Accelerated modelling and updates, large data capacity. • APPEALING: Clean, simple, high quality interface. Flexible tools. Great outputs. 3D modelling Input Data • Borehole data • GIS data Geological map, topography, sample/well locations, structural measurements • Images Aerial photography, cross sections • DTM • Numerical data Temperature, seismic, geophysical... • Structural Measurement AFIT data, Surface measurements Any georeferenced data can be imported in Leapfrog Geothermal Case history – Oikaria Domes development with/without JGI  Initial drilling before MEQ & MT surveys: 2-3 MW/well Post JGI survey: 5-7 MW/well Power plant initially specified at 70 MW Post survey revised to 140 MW (UN Press Release)  MT Polarization S-Wave splitting Drilling direction Saved US\$70M!							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	各種データの統合および3Dモデルによる視覚化 ボアホールデータや、フラクチャーデータ、地質情報、GISデータ、温度データも統合 ニュージーランド全域の地質が対象							
技術導入によってもたらされる効果	このソフトウェアは、力学、化学、流体シミュレーションモデルを統合し、より地層における熱拡散をより厳密に再現することで、より効率に資源を回収することが可能。 また掘削のターゲティング精度および貯留層管理の精度の向上が可能となり、コスト削減、リスク低減、環境保全につながる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	特に無し							
現時点の技術的課題	N/A							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	N/A							

N2

技術名称	地熱発電施設の排水から市場価値のある物質を抽出する技術の開発 From Waste to Wealth							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2013年1月10日 ～ 2015年9月30日			
開発企業名	GNS Science							
開発プログラム名	MBIE-administered Energy and Minerals Reserch Fund							
開発コスト(内補助金)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術								その他
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	地熱資源から、鉱物やメタル、ガス、トレース素材等に経済性を持たせることを目的としている。 地熱発電施設から出る排水より、市場価値のある物質を組成し、より環境共生が可能な発電所の建設を目指す。 機会や投資障壁、排水からの鉱物の回収といった既にある技術のアセスはもとより、実現可能性や市場動機や、方策フレームワークなどの成功要因となる要因の分析も行う。 化学、プロセス工学、素材、法学、エコノミスト、マーケティングアナリスト、市場分析等のメンバーが終結している。地熱関係者や、マオリ証券、自治体、開発業者等の協力も得ている。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	N/A							
技術導入によってもたらされる効果	N/A							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	N/A							
現時点の技術的課題	N/A							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	N/A							

N3

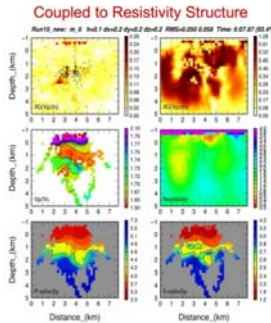
技術名称	ワイラケイ発電所におけるバイオリアクター Wairakei Bioreactor							
プロジェクト番号	—							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2001年 ～ 2012年8月			
開発企業名	Contact Energy							
開発プログラム名								
開発コスト(内補助金)	3,000万NZドル							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術					その他			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及 市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	地熱資源から、鉱物やメタル、ガス、トレース素材等に経済性を持たせることを目的としている。地熱発電施設から出る排水より、市場価値のある物質を組成し、より環境共生が可能な発電所の建設を目指す。 機会や投資障壁、排水からの鉱物の副生といった既にある技術のアセスはもとより、実現可能性や市場動機や、方策フレームワークなどの成功要因となる要因の分析も行う。 化学、プロセス工学、素材、法学、エコノミスト、マーケティングアナリスト、市場分析等のメンバーが終結している。地熱関係者や、マオリ証券、自治体、開発業者等の協力も得ている。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	自然の河川から引き込み、冷却の過程で硫化水素を含有してしまった水を再度河川に戻せるレベルにまで硫化水素の含有濃度を低減することが可能となる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	バクテリアは自然界に生息するものであり、環境を整えれば勝手に増殖する。バクテリアの働きを最適化するためには、水温(約30℃が適温)と水流の管理が必要となる。							
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

—— IPGTプロジェクトシート ——

IP1

技術名称	地質、地化学、地球物理の観点の観点を統合した地熱モデルシステム COTHERM(Combined hydrological, geochemical and geophysical modelling of geothermal systems)							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日 ～ 2013年2月1日			
開発企業名	Institute für Geochemistry and Petrology of ETH Zurich							
開発プログラム名	IPGT							
開発コスト(内補助金)	€751,200							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理 流体地化学モ ニタリング
個別技術		地化学探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	マグマ周辺の地熱資源の動き、構造を把握することを目的としたプロジェクトである。スイス国立科学財団とスイス連邦エネルギー庁が主なスポンサーである。 本プロジェクトは以下の4つのサブプロジェクトで構成されている。 (1) 地熱資源から水への熱伝導、及び異なる岩体、地質においてどのように熱水が移動するか、に関するコンピュータシミュレーションの開発 (2) 熱水の浸透を妨害する可能性のある熱水によってミネラルの溶解に関するコンピュータモデリングの開発 (3) 岩質、熱流体の通り道、上記2つのサブプロジェクトによる熱分布の予測をもとに、掘削をすることなく地下構造を理解するための手法の開発 (4) (1)、(2)、(3)の検証用にアイスランドの2地点においてミネラル、地化学に関するデータを収集する 							

IP2

技術名称	地熱資源の把握のための3D解析技術 Advanced 3D Geophysical Imaging Technologies for Geothermal Resource Characterization							
プロジェクト番号								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年5月 ～ 2014年9月			
開発企業名	Lawrence Berkeley National Laboratory Massachusetts Institute of Technology Iceland GeoSurvey (ÍSOR) ほか							
開発プログラム名	IPGT							
開発コスト(内補助金)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術		電気/電磁探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	IPGTにおいて米国とアイスランドの共同プロジェクトである。地熱開発エリアの地下システムの把握、熱流体の場所特定、割れ目の構造の把握のためのイメージング手法を開発する。地震、および電磁気探査によってデータを収集し、統合するための変換ツールを用意する。アイスランドのクラブラ、レイキャネース、米国のカリフォルニア、コソにて実施される。 Coupled to Resistivity Structure 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	■異なるエリアにて適用可能な地熱開発エリアの地下システムの把握、熱流体の場所特定、割れ目の構造の把握のためのイメージング手法が開発されることが期待される。 ■MT法、地震探査法の異なる探査によって得られたデータを相互補完的に活用した分析が可能になることが期待される。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	関係リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
資源調査	地形判読	U1	Merging High Resolution Geophysical and Geochemical Surveys to Reduce Exploration Risk at Glass Buttes, Oregon	探査リスク削減のための地球物理学と地球化学調査の高資源の融合、オレゴン州Glass Buttesにて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術			●				
		U2	Heat Flow Database Expansion for NGDS Data Development, Collection and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理を目的とした、熱フローデータベースの普及	Southern Methodist University	●				既存技術				●			
		U3	National Geothermal Data System (NGDS) Data Acquisition and Access	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの収集	Boise State University	●				既存技術				●			
	地下熱流量データベース	U4	National Geothermal Data System Architecture Design, Testing and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)の設計、検証及び運用・管理	Boise State University	●				既存技術				●			
		U5	National Geothermal Resource Assessment and Classification	国内地熱資源アセスメント及び分類	U.S. Geological Survey	●				既存技術				●			
		U6	Power Plant Case Studies	発電所に関するケーススタディー	National Renewable Energy Laboratory	●				既存技術			●				
		U7	State Geological Survey Contributions to NGDS Data Development, Collection and Maintenance	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理に有用な国内地熱調査	Arizona Geological Survey	●				既存技術				●			
		U8	Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System — A Function of Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術			●				A
	地下温度の調査・探査法	U9	The Snake River Geothermal Drilling Project – Innovative Approaches to Geothermal Exploration	Snake川の地熱掘削事業 地熱探査における革新的アプローチ	Utah State University	●				既存技術		●					B
		U10	Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術		●					S

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
リモートセンシング		U11	Direct Confirmation of Commercial Geothermal Resources in Colorado using Remote Sensing and On-Site Exploration, Testing and Analysis	コロラド州における、遠隔・現地の探査、実験及び分析による商業的に利用可能な地熱資源の存在の確認	Flint Geothermal LLC	●			●	既存技術					●		
		U12	Validation of Innovative Exploration Techniques at Pilgrim Hot Springs, Alaska	アラスカのPilgrim温泉における革新的な探査技術の開発	University of Alaska Fairbanks	●			●	既存技術			●			C	
		U13	Development of Exploration Methods for Engineered Geothermal Systems through Integrated Geophysical, Geologic and Geochemical Interpretation	地球物理・地質及び地球化学工学を統合したEGSの探査手法の開発	AltaRock Energy, Inc.	●				既存技術	●						
		U14	Seismic Technology Adapted to Analyzing and Developing Geothermal Systems Below Surface-Exposed High-Velocity Rocks	地表面に露出したHigh-Velocity岩下における地熱の分析及び開発に適用される地震探査技術	University of Texas at Austin	●				既存技術	●						
		U15	Alum Innovative Exploration Project	カリフォルニア州アラムにおける革新的な探査技術開発プロジェクト	Ram Power Corp.	●				既存技術			●			D	
		U16	Seismic Fracture Characterization Methodologies For Enhanced Geothermal Systems	地震から発生する断層の特定方法のEGSへの活用	Lawrence Berkeley National Laboratory	●				既存技術		●					
		U17	Analysis of Geothermal Reservoir Stimulation using Geomechanics-Based Stochastic Analysis of Injection-Induced Seismicity	注入誘発地震の地力学に基づいた確率的分析を活用した地熱貯留層刺激の分析	University of Oklahoma	●				既存技術		●				E	
		U18	Development of a Geological and Geomechanical Framework for the Analysis of MEQ in EGS	EGS実験におけるMEQ分析のための地質学及び地球物理学フレームワークの開発	Texas A&M University		●			既存技術			●			F	
		U19	Application of 2D VSP Imaging Technology to the Targeting of Exploration and Production Wells in a Basin and Range Geothermal System Humboldt House-Rye Patch Geothermal Area	Humboldt House-Rye Patch地熱地域・Basin and Range地熱システムにおける探査及び生産井への2D VSP画像技術の活用	Presco Energy LLC	●				既存技術		●					
		U20	Conducting a 3D Converted Shear Wave Project to reduce exploration risk at Wister, CA	探査リスク削減のための3D変換波プロジェクトの運営、カリフォルニア州Wisterにて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術		●					
		U21	Finding Large Aperture Fractures in Geothermal Resource Areas Using a Three-Component Long-Offset Surface Seismic Survey	3成分ロングオフセット地表面地震探査を活用した地熱資源地域における大開口断層の発見	US Geothermal, Inc.	●			●	既存技術			●				
		U22	Application of Microearthquake (MEQ) Monitoring for Characterizing Enhanced Geothermal Systems	EGS特徴づけのための微小地震モニタリングの適用	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術			●				
資源精査		U9	The Snake River Geothermal Drilling Project – Innovative Approaches to Geothermal Exploration	Snake川の地熱掘削事業-地熱探査における革新的アプローチ	Utah State University	●				既存技術		●				B	
		U23	Development of an Updated Induced Seismicity Protocol and Best Practices for Enhanced Geothermal Systems	誘発地震に関する最新の動向及びEGSのベストプラクティス	Lawrence Berkeley National Laboratory		●			既存技術		●				O	

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	開発リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
電 気 / 電 磁 探 査		U24	Innovative Exploration Techniques for Geothermal Assessment at Jemez Pueblo, New Mexico	メキシコのJemezPuebloにおける先進的な地熱探査方法	Pueblo of Jemez	●				既存技術			●				G
		U25	Fracture Network and Fluid Flow Imaging for Enhanced Geothermal Systems: Applications from Multi-Dimensional Electrical Resistivity Structure	多面的な電気抵抗調査による、EGSに対する断層・地熱流体のイメージング技術	University of Utah	●				既存技術			●				
		U26	Silver Peak Innovative Exploration Project	シルバークの革新的探査事業	Ram Power Corp.				●	既存技術				●			T
		U12	Validation of Innovative Exploration Techniques at Pilgrim Hot Springs, Alaska	アラスカのPilgrim温泉における革新的な探査技術の開発	University of Alaska Fairbanks	●			●	既存技術			●				C
	重力探査	U27	Blind Geothermal System Exploration in Active Volcanic Environments: Multi-phase Geophysical and Geochemical Surveys in Overt and Subtle Volcanic Systems, Hawaii and Maui	活火山環境における潜在地熱システム探査: Overt and Subtle火山システムマルチフェーズ地球物理学と地球化学調査、ハワイ・マウイ島にて	Ormat Technologies, Inc.	●				既存技術			●				
		U28	Detachment Faulting and Geothermal Resources - An Innovative Integrated Geological and Geophysical Investigation in Fish Lake Valley, Nevada	分離断層と地熱資源-革新的かつ総合的な地質学と地球物理学調査、ネバダ州Fish Lake Valleyにて	University of Texas at Austin	●				既存技術			●				
		U29	Validation of Innovative Exploration Technologies for Newberry Volcano	Newberry 火山の探査技術の実証	Davenport Power, LLC	●				既存技術			●				
	地化学探査	U30	Away from the Range Front: Intra-Basin Geothermal Exploration	フロント山脈から離れて: 流域内地熱探査	GeoGlobal Energy LLC	●				既存技術		●					
		U31	High Precision Geophysics and Detailed Structural Exploration and Slim Well Drilling	地質学の精密化、探索方法の詳細化及びスリムホール掘削	Nevada Geothermal Power Inc.	●				既存技術			●				
		U32	Base Technologies and Tools for Supercritical Reservoirs	臨界環境にある貯留層を対象とした基本技術及び機器	Sandia National Laboratories	●				既存技術	●						
その他		U33	Feasibility and Design for a High-Temperature Downhole Tool	高温下のダウンホール用機器の実現性及び設計	Oak Ridge National Laboratory	●				既存技術	●						
		U34	Modeling and Visualization in NREL Software	NRELソフトウェアのモデリング及び可視化	National Renewable Energy Laboratory	●				既存技術				●			
		U8	Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System - A Function of: Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術			●				A
		U35	Comprehensive Evaluation of the Geothermal Resource Potential within the Pyramid Lake Paiute Reservation	Pyramid Lake Paiute 保留地における地熱資源に関する総合評価	Pyramid Lake Paiute Tribe	●				既存技術		●					H

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	関連リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基 礎	実 証	導 入	初 期	市 場	重複
掘削	泥水掘削	U36	High Temperature 300° C Directional Drilling System	高温耐熱性(300°C)の傾斜掘システム	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術		●				
		U37	Stinger Enhanced Bits for Enhanced Geothermal Systems (EGS)	EGSに利用するビットの改良	Novatek, Inc.				●	既存技術						I
		U38	OM-300 – MWD Geothermal Navigation Instrument	OM-300-MWD地熱ナビゲーション装置	Honeywell International, Inc.				●	既存技術						
		U39	Gravity Head Energy System Pilot Program	GHEG(Gravity Head Energy System)のパイロットプログラム	Geotek Energy, LLC				●	新技術		●				J
	傾斜掘削	U40	Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のため の水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術						M
		U41	Evaluation of Emerging Technology for Geothermal Drilling Applications	地熱掘削機器の新技術に対する評価	Sandia National Laboratories				●	新技術						
	石油・ガス掘削技術	U42	Technology Development and Field Trials of EGS Drilling Systems	EGSにおける技術発展及び実証実験	Sandia National Laboratories				●	新技術		●				
		U43	Novel Geothermal Development of Deep Sedimentary Systems in the United States	USIにおける深層堆積システム最新の地熱開発	University of Utah				●	新技術						K
	その他	U8	Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System – A Function of Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術		●				A
		U15	Alum Innovative Exploration Project	カリフォルニア州アラムにおける革新的探査技術開発プロジェクト	Ram Power Corp.	●				既存技術		●				D
		U24	Innovative Exploration Techniques for Geothermal Assessment at Jemez Pueblo, New Mexico	メキシコのJemez Puebloにおける先進的な地熱探査方法	Pueblo of Jemez	●				既存技術		●				G
		U26	Silver Peak Innovative Exploration Project	シルバークの革新的探査事業	Ram Power Corp.				●				●			T
		U10	Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術						S
		U44	Analysis of Low-Temperature Utilization of Geothermal Resources	低温の地熱資源の利用に関する分析	West Virginia University				●	既存技術		●				
F/S、環境アセス	生産予測シミュレーション	U45	Economic Impact Analysis for EGS	EGSが経済に及ぼす影響に関する分析	University of Utah				●	既存技術		●				
		U46	Energy Returned On Investment of Engineered Geothermal Systems	EGSにおけるエネルギー投資効率	Arthur J. Mansure				●	既存技術		●				
		U47	Estimation and Analysis of Life Cycle Costs of Baseline Enhanced Geothermal Systems	EGSのライフサイクルにかかる最低限のコストの概算及び分析	Adi Analytics, LLC				●	既存技術						
		U48	Geothermal Systems Engineering and Analysis	地熱システムの運用及び分析	Sandia National Laboratories				●	既存技術						
		U49	GETEM Development	GETEMの開発	Idaho National Laboratory				●	既存技術		●				
		U50	Technology Supply Curve Development	技術の供給曲線の作成	National Renewable Energy Laboratory				●	既存技術						
		U8	Baseline System Costs for 50.0 MW Enhanced Geothermal System – A Function of Working Fluid, Technology, and Location	50.0MW EGSのシステムコストの基準	Gas Equipment Engineering Corporation	●				既存技術		●				A

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	関連リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
O&M	フラッシュ_復水器	U51	Electrically Supported Thermal Exchange (ELSTEX) Technology	電気熱交換器技術	Physical Optics Corporation				●	既存技術			●				
		U52	Hybrid and Advanced Air Cooling	空冷式のハイブリッド化及び発展	Renewable Energy Laboratory				●	既存技術			●				
		U53	Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●				L
		U54	Technologies for Extracting Valuable Metals and Compounds from Geothermal Fluids	地熱流体からの資源発掘技術の開発	Simbol Materials			●	●	既存技術			●				
	フラッシュ_副生技術	U55	Technical Demonstration and Economic Validation of Geothermally-Produced Electricity from Coproduced Water at Existing Oil/Gas Wells in Texas	テキサス州の既存の油・ガス井から採取した複合水を利用した地熱発電に関する、技術面及び経済面に関する検証	Universal Geopower, LLC	●			●	既存技術			●				
		U40	Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のためのの水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術							M
	バイナリー_タービン	U56	Optimization of hybrid-water/air-cooled condenser in an enhanced turbine geothermal ORC system	高性能タービンを利用した地熱ORCシステムにおけるハイブリッド水冷・空冷熱交換器の最適化	United Technologies Research Center				●	既存技術		●					
		U57	Electric Power Generation from Co-Produced Fluids from Oil and Gas Wells	オイル井・ガス井からの混合流体による発電技術	University of North Dakota				●	既存技術			●				
		U58	Beowawe Bottoming Binary Project	Beowawe Bottoming/バイナリープロジェクト	Beowawe Power, LLC			●	●	既存技術			●				
		U59	Demonstration of a Variable Phase Turbine Power System for Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱資源利用時における可変位相タービンを用いた発電システムの実証	Energent Corporation				●	既存技術			●				
	バイナリー_凝縮器	U60	Dixie Valley Bottoming Binary Project	Dixie Valley/バイナリー発電プロジェクト	Terra-Gen			●	●	既存技術			●				
		U61	Electric Power Generation from Low to Intermediate Temperature Resources	低～中温度の熱資源による発電技術	University of North Dakota				●	既存技術			●				
		U62	Kalex Advanced Low Temperature Geothermal Power Cycle (The Bald Mountain Project)	Kalex先進的低温バイナリー発電(Bald Mountainプロジェクト)	Oski Energy, LLC				●	既存技術			●	●			
		U63	Novel Energy Conversion Equipment for Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱による革新的なエネルギー変換機器	Johnson Controls, Inc.			●	●	既存技術			●				
		U64	Scale Resistant Heat Exchangers for Low Temperature Geothermal Binary Cycle Power Plant	低温地熱バイナリー発電所のためのスケール抵抗の高い熱交換器	Energent Corporation				●	既存技術			●	●			
		U65	Development of New Biphasic Metal Organic Working Fluids for Subcritical Geothermal Systems	臨界地熱システムのための新2相金属有機作動流体の開発	Pacific Northwest National Laboratory				●	既存技術		●					
		U66	High-Potential Working Fluids for Next Generation Binary Cycle Geothermal Power Plants	次世代バイナリー発電所のためのハイボテンシャル作動流体	GE Global Research				●	既存技術			●				
		U67	Tailored Working Fluids for Enhanced Binary Geothermal Power Plants	バイナリー発電所のためのテイラー作動流体	United Technologies Research Center				●	既存技術		●					
		U53	Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●				L

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	関連リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
	バイナリー_その他	U68	Small Scale Electrical Power Generation from Heat Co-Produced in Geothermal Fluids: Mining Operation	地熱流体(油田等)から生成した副生熱を利用した小規模発電	ElectraTherm, Inc.			●	●	既存技術			●				
		U69	Klamath Falls Geothermal Low Temperature Power Plant	クラマスフォールズの低温地熱バイナリー発電プラント	City of Klamath Falls, Oregon				●	既存技術			●				
		U70	Rural Cooperative Geothermal Development-Electric and Agriculture	農業協同組合地熱部門-電気と農業	Surprise Valley Electrification Corp.			●		既存技術			●				
		U71	The Carby Cascaded Geothermal Development Project	Carbyにおけるカスケード利用に基づく地熱開発プロジェクト	Modoc Contracting Company			●	●	既存技術			●				
		U40	Advanced Horizontal Well Recirculation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術	●					M	
	高温岩体 破砕	U72	Development and Validation of an Advanced Stimulation Prediction Model for Enhanced Geothermal Systems	EGSのための先端予測シミュレーションモデルの開発と実証	Colorado School of Mines	●				既存技術	●						N
		U73	Decision Analysis for Enhanced Geothermal Systems	EGSにおける判断方法に関する分析	Massachusetts Institute of Technology				●	既存技術	●						
		U37	Stinger Enhanced Bits for Enhanced Geothermal Systems (EGS)	EGSに利用するビットの改良	Novatek, Inc.				●	既存技術	●					I	
		U74	High Temperature, High Pressure Devices for Zonal Isolation in Geothermal Wells	地熱井における坑井内外の分離のための高温度、高圧力機器	Composite Technology Development, Inc.				●	既存技術			●				
		U75	Caldwell Ranch Exploration and Confirmation Project	コールドウェル放牧場の探査及び立証プロジェクト	Geysers Power Company, LLC				●	既存技術			●				
	高温岩体 導通	U76	Demonstration of a Deep Enhanced Geothermal System at the Northwest Geysers Geothermal Field, California	Northwest Geysers 地熱地域におけるEGSの実証試験	Lawrence Berkeley National Laboratory	●				既存技術			●				
		U77	Chemical Impact of Elevated CO2 on Geothermal Energy Production	地熱発電の生産井から噴出するCO2の化学的影響	Lawrence Livermore National Laboratory				●	新技術	●						
		U78	Development of Chemical Model to Predict the Interactions between Supercritical CO2 and Fluid-Rocks in EGS Reservoirs	EGSの貯留層内における超臨界のCO2、地熱流体、及び岩石間の化学反応の予測を目的とした化学的モデルの開発	University of Utah				●	新技術	●						
		U79	Enhanced Geothermal Systems (EGS) with CO2 as Heat Transmission Fluid	CO2を電熱流体とするEGS	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	新技術	●						
		U80	Development of an Advanced Stimulation/Production Predictive Simulator for Enhanced Geothermal Systems	EGSのシミュレーション、及び生産量測定シミュレーターの性能向上	Science Applications International Corporation	●				既存技術	●					P	
		U81	Use of a Reservoir Model to Predict Potential Effects of Fracturing Techniques	断製派生技術の影響予測を目的とした貯留層モデルの活用	Oklahoma State University	●				既存技術	●						
		U82	Life Cycle Analysis of Geothermal Systems	地熱システムのライフサイクルに関する分析	Argonne National Laboratory			●		既存技術		●					

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語訳例)	実施事業者	関連リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
O&M	高温岩体・循環・抽熱	U23	Development of an Updated Induced Seismicity Protocol and Best Practices for Enhanced Geothermal Systems	誘発地震に関する最新の動向及びEGSのベストプラクティス	Lawrence Berkeley National Laboratory		●			既存技術	●						O
		U83	Integration of Noise and Coda Correlation Data into Kinematic and Waveform Inversions With Microearthquake Data for 3D Velocity Structure, Earthquake Locations, and Moment Tensors in Geothermal Reservoirs	地熱貯留層における3D速度構造、地震位置及びモーメントテンソルのための微小地震データを用いた運動学的波形逆解析とノイズとコード波の相関データの結合	William Lettis & Associates, Inc.		●			既存技術	●						
		U84	Mapping Diffuse Seismicity for Geothermal Reservoir Management with Matched Field Processing	MFP(整合フィールド処理)を用いた地熱貯留層管理のための非集中型地震活動のマッピング	Lawrence Livermore National Laboratory		●			既存技術	●						
		U85	Toward the Understanding of Induced Seismicity in Enhanced Geothermal Systems	EGSにおける誘発地震の研究	Array Information Technology, Inc.		●			既存技術	●						
		U86	A 3D-3C Reflection Seismic Survey and Data Integration to Identify the Seismic Response of Fractures and Permeable Zones Over a Known Geothermal Resource at Soda Lake, Churchill Co., NV	3D-3C反射法地震探査法及び、既知の地熱資源における断層と透水帯の地震応答を特定するためのデータ結合、ネバダ州Soda Lake, Churchill Co.にて	Magma Energy Corp.		●			既存技術	●						
		U87	Advanced Seismic data Analysis Program (The "Hot Pot Project")	先進的地震データ分析プログラム(HotPotプロジェクト)	Oski Energy, LLC		●			既存技術	●						
		U88	Air-Cooled Condensers in Next-Generation Conversion Systems	次世代エネルギー変換システム、空冷式熱交換器	Idaho National Laboratory				●	既存技術			●				
		U89	Detecting Fractures Using Technology at High-Temperatures and Depths	高温かつ最深部での技術を活用した断層探知	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術	●						Q
		U90	Well Monitoring Systems for EGS	EGSにおける坑井内モニタリングシステム	Perma Works LLC				●	既存技術	●						R
		U91	Single-Well Low Temperature CO2-Based Engineered Geothermal System	単一井低温CO2に基づいたEGS	GreenFire Energy				●	新技術			●				
	高温岩体・二酸化炭素回収貯留(CCS)	U18	Development of a Geological and Geomechanical Framework for the Analysis of MEQ in EGS Experiments (Geyzers)	EGS実験におけるMEQ分析のための地質学及び地球物理学フレームワークの発展	Texas A&M University		●			既存技術			●				F
		U53	Working Fluids and their Effect on Geothermal Turbines	地熱タービンにおける地熱流体の働き	Sandia National Laboratories				●	既存技術			●				L
		U92	Active Management of Integrated Geothermal-CO2 Storage Reservoirs in Sedimentary Formations: An Approach to Improve Energy Recovery and Mitigate Risk	堆積岩層における地熱-CO2保管貯留層の管理: エネルギー回収率の向上及びリスク軽減のためのアプローチ	Lawrence Livermore National Laboratory				●	新技術	●						
		U43	Novel Geothermal Development of Deep Sedimentary Systems in the United States	USにおける深層堆積システムのための最新の地熱開発	University of Utah				●	新技術	●						K

開発段階	個別技術	ID	案件名称(英語)	案件名称(日本語(例))	実施事業者	懸念リスク	社会受容性リスク	環境共生	低コスト化	新旧区分	基	応	実	導	初	市	重複
高温岩体、その他		U93	Demonstrating the Commercial Feasibility of Geopressured-Geothermal Power Development at Sweet Lake Field Cameron Parish, Louisiana	ルイジアナ州の Sweet Lake Field Cameron Parish における異常高温地熱発電の商業化の実現性の実証	Louisiana Tank, Inc.	●				既存技術			●				
		U94	Osmotic Heat Engine for Energy Production from Low Temperature Geothermal Resources	低温地熱資源からエネルギーを生産するための浸透圧熱エンジン	Johnson Controls, Inc.				●	新技術		●					
		U95	Chemical Energy Carriers (CEC) for the Utilization of Geothermal Energy	地熱利用における化学的熱交換器 (CEC)	Argonne National Laboratory			●	●	新技術		●					
		U39	Gravity Head Energy System Pilot Program	GHEs(Gravity Head Energy System)のパイロットプログラム	Geotek Energy, LLC				●	新技術			●				J
		U40	Advanced Horizontal Well Circulation Systems for Geothermal Energy Recovery in Sedimentary Formations	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展	Terralog Technologies, Inc.				●	新技術		●					M
	貯留層管理、流体地化学 モニタリング	U96	Carbonation Mechanism of Reservoir Rock by Supercritical Carbon Dioxide	超臨界の二酸化炭素による貯留岩の炭素化メカニズム	Brookhaven National Laboratory	●				既存技術		●					
		U97	FRACSTIM/1: An Integrated Fracture Stimulation and Reservoir Flow and Transport Simulator	FRACSTIM/1: 水圧破砕波及び地熱流体の動きに関する、貯留層内のシミュレーション	Idaho National Laboratory	●				既存技術		●					
		U98	Predicting Stimulation-Response Relationships for Engineered Geothermal Reservoirs	工学的地熱貯留層のための予測刺激反応	Lawrence Livermore National Laboratory	●				既存技術		●					
		U72	Development and Validation of an Advanced Stimulation Prediction Model for Enhanced Geothermal Systems	EGSのための先端予測シミュレーションモデルの開発と実証	Colorado School of Mines	●				既存技術		●					N
		U89	Detecting Fractures Using Technology at High-Temperatures and Depths	高温かつ最深部での技術を活用した断層探知	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.				●	既存技術		●					Q
貯留層管理、坑井調査		U90	Well Monitoring Systems for EGS	EGSにおける坑井内モニタリングシステム	Perma Works LLC				●	既存技術		●					R
		U99	Harsh Environment Silicon Carbide Sensor Technology	厳しい環境下における炭化ケイ素検知技術	University of California, Berkeley	●				既存技術		●					
		U17	Analysis of Geothermal Reservoir Stimulation using Geomechanics-Based Stochastic Analysis of Injection-Induced Seismicity	注入誘発地震の地力学に基づいた確率論的分析を活用した地熱貯留層刺激の分析	University of Oklahoma	●				既存技術		●					E
		U35	Comprehensive Evaluation of the Geothermal Resource Potential within the Pyramid Lake Paiute Reservation	Pyramid Lake Paiute 保留地における地熱資源に関する総合評価	Pyramid Lake Paiute Tribe	●				既存技術		●					H
		U80	Development of an Advanced Stimulation/Production Predictive Simulator for Enhanced Geothermal Systems	EGSのシミュレーション、及び生産量測定シミュレーターの性能向上	Science Applications International Corporation	●				既存技術		●					P
	貯留層管理、その他	U10	Geothermal Exploration Innovation	地熱探査技術の革新	Lawrence Berkeley National Laboratory				●	既存技術		●					S
	貯留層管理、地球物理学 モニタリング																

—— EEREプロジェクトシート ——

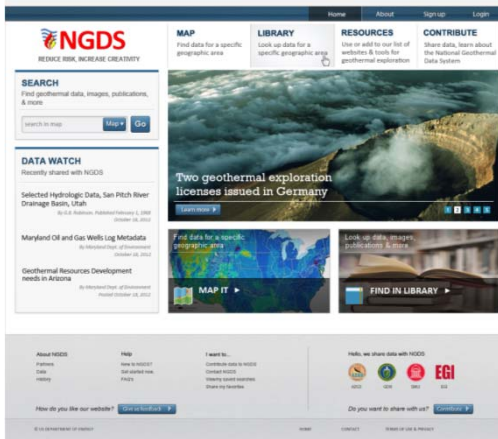
技術名称	探査リスク削減のための地球物理学と地球化学調査の高資源の融合、オレゴン州Glass Buttesにて								
プロジェクト番号	EE0002836								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年3月31日 ～ (年)				
開発企業名	Ormat Technologies, Inc.								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$8,525,515(\$4,475,015)								
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生			
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地形判読								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・断層形状の特性化による探査リスクの削減のための地球物理学と地球化学調査の高資源の融合を行う。 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトは、ハイパースペクトルデータを持つ構造的モデリングによって詳細な重力、高資源航空磁気、LIDRデータの結合を行う。これにより、鉱物及び鉱物の組合せをマップで確認できるようになる。 ・組み合わせたデータとモデルの調査と分析の結果は、資源調査用のスリムホールに使われる。 ・地球物理学及び地球科学ツールの組合せは、探査リスクを著しく削減する。それは、blind資源、構造、浸透性、温度の評価に活用できる。 ・スリムホールはモデルテストと手法の実証に使うことができ、及び坑井調査はモデルの改良と生産井の配置決めに活用する。								
技術導入によってもたらされる効果	・断層形状の特性化 ・資源探索リスクの削減								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	・生物学的及び部族的審議問題 ・長いBLM許可申請プロセスによる掘削の遅れ								
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	既存の井戸データを用いた、地球物理学及び地球科学的調査によるスリムホールの選択								

技術名称	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理を目的とした、熱フローデータベースの普及							
プロジェクト番号	EE0002852							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日 ～ 2013年9月30日 (3.8年)			
開発企業名	Southern Methodist University (Geothermal Resource Council, Siemens Corporate Research, University of Texas Bureau of Economic Geology)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$5,250,000 (\$5,250,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下熱流量データベース							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトの目的は、NGDS(National Geothermal Data System)における地熱研究開発を支援する情報の品質を向上させることである。 ・本プロジェクトにおいて下記を遂行する。 -USにおける全陸上及びメキシコのGulfの沿岸をカバーするSMU熱流データベースの構築 -地熱研究における36Kの資料、1.3Mのページを格納する、GRC(Geothermal Resource Council)ライブラリーの構築 -従来データファイル、北東アメリカにおける研究結果を含むEGS研究の情報の拡張 -テキサスBEG(Bureau of Economic Geology)がカバーする多くの州のコアログ、井戸ログ、新旧の地層圧データ収集 -多くの州の石油・ガス機関、いくつかの連邦政府機関から集めた、生産された水の詳細化された国規模のデータ、及び関連する地質学、坑井、還元/処分、水井戸データ収集 Stakeholder Interviews, Requirement & Design Specs Proof of Concept Development & Data Integration Releases Sustainability Year 1 Year 2 Year 3							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・プロジェクト前のデータソースの不十分である点は以下である。 -複数のフォーマット、レイアウト、単位、紙のバージョン、複数の機関をまだ検索不可 -オリジナルデータベースでは、可視化及び解釈するのが困難 -追加地質学情報とのデータ結合が不可 -品質保証及びデータの信頼性のための基準の不明確さ ・業界にとって成功のための最適な機会を見抜くことが必要である。よって、利便性の高い情報へのアクセスの向上は失敗のリスクを軽減させる。							
技術導入によってもたらされる効果	・発電所開発者は地熱資源精査フェーズにおけるコストとリスクを削減することができる。 ・NGDSへデータを提供する人々によって使用されるツールを提供する。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・同じソースに存在していたとしても、違う形式のデータの関係を見ることはできない。 ・出資者がプロジェクトにいつプロセスすべきかを決めるために必要な情報を得るのは困難である。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・調査と発見の為にデータをカタログに出版 ・SQLクエリ、テスト、NGDSとへのエクスポート完了 ・ルーチンの更新 ・デバッグ、システムパフォーマンスの向上 ・報告書作成 ・品質保証							

U3

技術名称	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの収集									
プロジェクト番号	EE0002851									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	~ (年)					
開発企業名	Boise State University									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$1,390,735 (\$1,390,735)									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M					
個別技術	地下熱流量データベース				フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・広大なデータシステムを開発する為に、NGDSは複数のソースからのデータアクセスの管理をできるようになる必要がある。 ・本プロジェクトでは、新しいデータ及び古いデータを収容するために、NGDS(National Geothermal Data System)の容量を増加させる。 ・そのために、NGDSデザイン、テスト、及び管理を行う。									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性										
技術導入によってもたらされる効果	・地熱資源の特性化、及び開発に貢献する。 ・USGS地熱分類スケールと資源特性をNGDSに結合できる。									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	システムとしてDOE-GDRIは、DOEが支援している実証、研究、開発プロジェクトから得られた様々なデータを全て収容する必要がある。									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)										

04

技術名称	NGDS(国内地熱データベースシステム)の設計、検証及び運用・管理								
プロジェクト番号	EE0001120								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月1日 ～ 2014年4月30日 (4.5年)				
開発企業名	Boise State University (Oregon Institute of Technology, Stanford University, U.S. Geological Survey, University of Nevada, Reno, Arizona Geological Survey)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$4,992,089 (\$4,992,089)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下熱流量データベース								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・NGDSは、データベースとデータサイトのネットワークにより保持されている地熱とその関連データの共有と分散のための連合システムである。 ・これはDOE GTO(Geothermal Technologies Office)がファンドしている研究、開発、実証によって生み出されたデータへの公共アクセスを手助けするものとなっている。 ・また、他の地熱関連のデータへの大規模アクセスも可能となっている。 ・本プロジェクトにより、NGDS以下のように向上する。 ー地熱資源に関連する地球科学、工学データの全範囲を扱うことができる。 ー地熱位置、発電所、環境要素、政策と手続きデータ、機関障壁のデータを扱う。 ー資源分類とファイナンスリスクアセスメントツールを提供する。 ー地熱資源の情報のためのプロフェッショナルや公共のニーズを満たすシステムを使用することは簡単になる。								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・NGDSはDOEが出資しており、データベースとデータサイトの分散型ネットワークである。 ・NGDSは中央ゲートウェイとして動き、分散しているデータソースを繋ぎ、地熱とそれに関連のあるデータを提供する。 ・国内の地熱資源のアクセスとカテゴリわけすること、及びアクセス可能な公共のデータシステムを通じて得た全ての地熱データを収集することで、研究の支援、公共の利益を向上させ、市場受入れ/投資を促進し、地熱業界の成長に貢献する。								
技術導入によってもたらされる効果	・探査/開発に関連する業界及び投資者のためのリスクを軽減できる。 ・プロジェクトに投資すべきかのビジネスまでの決断のための時間、コスト、リスクを抑えることができる。 ・地熱のある場所の潜在性を評価するためのUS地熱調査の資源分類システムの使用に貢献する。 ・業界成長に貢献する。 ・新しい従業員の教育の土台になる。 ・研究・開発を支援するプラットフォームを提供する。 ・管理機関が信頼できる情報にアクセスできるようになることで、より早いリース/ライセンス許可を得るための支援をする。 ・国務省及び連邦政府レベルでの意思決定プロセスのサポートを行う。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・NGDSは、協力パートナーが様々いるため、中央集権化されていない、企業形態システムである。 ・パートナーの長期参加は自発的である。 ・非技術的問題は技術的問題よりも解決するのは難しい。 ・システムは認識された基準及びプロトコルを使用する必要がある。 ・NGDS参加者は特定の手続き及び基準とプロトコルの採用に同意する必要がある。 ・NGDS参加者がネットワークを介してデータを直接共有するわけではない。								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・ソフトウェア開発、反復、及びユーザビリティ ・パイロットデータのインポート、結合、テスト ・報告書作成、発表 ・テスト及びメンテナンス ・持続可能計画								

U5

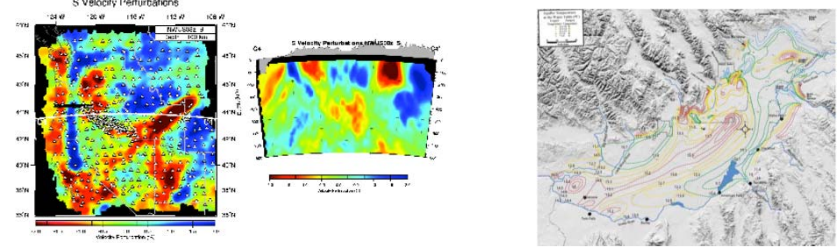
US

技術名称	国内地熱資源アセスメント及び分類							
プロジェクト番号	EE0001501							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年8月1日 ～ 2013年12月31日 （ 3.4年）			
開発企業名	U.S. Geological Survey							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$2,893,000 (\$2,893,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術	地下熱流量データベース							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトにおいて、以下を遂行する。 -温度範囲・資源の種類を広げた、50都市への地熱資源アセスメント -新しい地熱資源分類基準の開発 -アセスメント方法の改善 -NGDS(National Geothermal Data System)の設立支援 -地熱発電開発のローリスク・ローコストを実現							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトは、USにおける低温から高温の地熱資源アセスメントのポートフォリオを広範囲にわたって更新する。 ・フィールド/モデリング研究は、より信頼できるアセスメント結果を得るための、アセスメント方法の新規作成・更新に貢献する。							
技術導入によってもたらされる効果	地熱発電開発におけるリスク・コストを削減できる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・利用可能な信頼できる資源情報の不足 ・資源アセスメント及びデータのニーズ							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・最終分類システム(Final Classification System)のレポート ・低温熱水伝送システムの地熱資源アセスメントのレポート ・EGSアセスメント方法の改善 ・堆地積盆地アセスメント完了、及び地熱資源の広範囲をカバーした一アセスメントレポートと組み合わせる							

技術名称	発電所に関するケーススタディー							
プロジェクト番号	NREL FY11AOP2.7							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～			(年)
開発企業名	National Renewable Energy Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)								
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術	地下熱流量データベース				フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、以下を遂行する -発電所オペレーターのためのデータ入力収集シートの開発を行う。 -発電所開発者へ融資、技術、法律、規制、ハードルに関するインタビューを行う。 -集めた情報を用いて、発電所のためのケーススタディを記述する -ウェブ上の国家レベルの地図で利用可能なケーススタディを作成する。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・USにおける発電所からのデータ・情報収集は資源の利用及び発電所オペレーションのよりよい理解に繋がる。 ・ケーススタディは、USにおける熱水開発のハードルと解決策の発見に繋がる。							
技術導入によってもたらされる効果	USにおける熱水開発のハードルと解決策の発見に貢献する。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・データ収集入力シートの開発 ・発電所オペレーターからのデータ収集 ・データ収集と分析の結果のプレゼンテーション ・発電所のケーススタディとしてのデータセットの準備 ・発電所のためのケーススタディのウェブサイトへの投稿							

技術名称	NGDS(国内地熱データベースシステム)データの向上、収集及び運用・管理に有用な国内地熱調査							
プロジェクト番号	EE0002850							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日	～	2013年9月30日	(3.6年)
開発企業名	Arizona Geological Survey (Arkansas Geological Survey, Colorado Geological Survey, Energy Industry Metadata Standards Working Group, Florida Geological Survey, Geological Survey of Alabama, Idaho Geological Survey, Illinois State Geological Survey, Indiana Geological Survey, Iowa Geological & Water Survey, Kansas Geological Survey, Kentucky Geological Survey, Louisiana State University and A&M College, Maine Geological Survey, Massachusetts Geological Survey & Connecticut Geological and Natural History Survey, Michigan Office of Geological Survey: MI DEQ, Microsoft Research, Minnesota Geological Survey, Mississippi Office of Geology, Missouri Department of Natural Resources – Division of Geology & Land Survey, Montana Bureau of Mines & Geology, Nevada Bureau of Mines & Geology, New Hampshire Geological Survey, New Jersey Geological Survey, New Mexico Bureau of Geology and Mineral Resources, New York State Geological Survey, North Dakota Geological Survey, Ohio Department of Natural Resources, Division of Geological Survey, Oklahoma Geological Survey, Oregon Department of Geology & Mineral Industries, Pennsylvania Bureau of Topographic & Geological Survey, Rhode Island Geological Survey, South Carolina Geological Survey, South Dakota Geological Survey, State Geological Survey of Texas, State of Alaska, Department of Natural Resources, Division of Geological & Geophysical Surveys, Utah Geological Survey, Vermont Geological Survey, Washington State Geological Survey, West Virginia Geological & Economic Survey, Wisconsin Geological & Natural History Survey, Wyoming State Geological Survey)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$22,117,121 (\$21,858,224)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下熱流量データベース							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、国内における持続可能な分散型の相互運用 ネットワークを作成することで、NGDS(National Geothermal Data System)の拡張と強化を行う。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・4.5百万データポイントオンライン ・193のウェブサービスにおける294のレイヤー ・AASG State Geothermal Repositoryにおける17,000以下レコード - 資料 & データセット -							
技術導入によってもたらされる効果	・地熱業界、民間、政策策定者が信頼できるデータアクセスが可能になる。それによって、データ収集、加工、及び情報の検証の時間が削減される。 ・情報へのアクセスが簡単になることで、高コスト・高リスクの探査掘削がより効率的になる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・業界、政策策定にとって信頼できるデータが不足している。 ・高コスト・高リスクの探査掘削が業界の成長を妨げている。 ・情報収集、加工、検証の工数が多くかかる。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・少なくとも40年間下請けを行っている人からのデータを受け取り、レビューを行う。 ・stategeothermaldata.orgに載っているコンテンツモデルを使用する。 ・AASG地熱データコンテンツモデルと同じである、少なくとも50サービスの事例を行う。 ・井戸情報を順次追加する。							

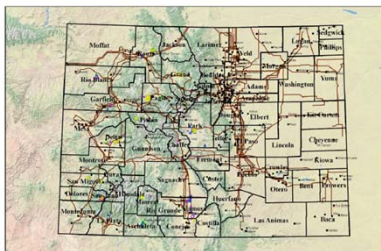
技術名称	50.0MW EGSのシステムコストの基準								
プロジェクト番号	EE0002742								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2012年1月31日	(2年)	
開発企業名	CT-3 (Conservation Law Foundation/CLF Ventures, Fairbanks Morse Engine, Fort Point Associates, GeothermEx, Inc, Plasma Energy Technologies, Inc, Power Engineers, Inc, William Lettis & Associates, Inc.)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$1,660,090(\$1,243,624):ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術	地下温度の調査・探査法	地化学探査	生産予測シミュレーション	その他	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・開発が困難な状況下(具体的には、西部マサチューセッツ州のパイオニアバレーの深部にある放射能減衰花崗岩)で、資源の発見から稼働まで案件一貫した、50.0MW EGSの基本コストモデルを開発する ・H2O EGSからCO2 EGSへの変化に伴い、どのようにコストモデルが変更/改善するか理解を深める ・特にキーテクノロジーに関してどのようにコストモデルが変更/改善するか理解を深める。具体的には、 ー従来の掘削(オージェ&ビット)vs新技術掘削(破碎掘削) ーCO2 EGSハイブリッド発電システムのガス発生および処理手法 4. ロケーションに関してどのようにコストモデルが変更/改善するか理解を深める。具体的には、 ー温度プロファイルvs深度 ー地質学、地理化学(岩石型、気孔率など) ー現地の電気料金(CO2やEGSの費用対効果の有効原価に適用) 【技術的アプローチ】 原価計算に基づくWBS 1. ID / 資格取得 / 定量化 2. 貯留層開発 3. 流体の精製/管理 4. 電気生成 5. ローカル接続 / 展開 6. グリッド接続 / 展開 7. 上面設備 / 機器 8. 土地取得/ロイヤリティ 9. 許可/承認 10. マネジメントとオペレーション				【低温蒸留塔と熱交換器】 				
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性									
技術導入によってもたらされる効果	・コストモデル開発およびEGS開発における運転コストのキーパラメーター開発 ・データポイントはEGSを介したアメリカ本土における地熱の大幅な拡大に重要 ・低温貯留層へのEGS拡大をサポート								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・高い探査リスクとアップフロントコスト(およびコスト/コスト予測能力への理解不足)								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	設計ベースコスト分析 1. H2O&CO2地熱資源の特定、認定、分析、定量化 2. 地熱資源の取得、アクセス(リース、ロイヤリティ合意、収益シェア)、許可、承認&インセンティブ、評価:PPA&インセンティブ 3. CO2 EGSとH2O EGS地熱貯留層解析とプランニング 4. Top-of-Wellの流体管理および発電設備・施設、送電網統合 5. プロジェクト管理と報告								

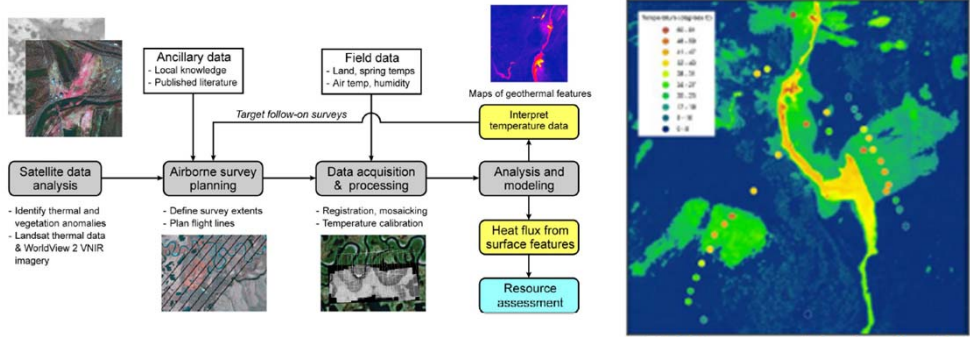
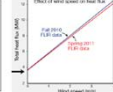
技術名称	Snake川の地熱掘削事業-地熱探査における革新的アプローチ							
プロジェクト番号	EE0002848							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日 ～ 2012年6月30日 (2.3年)			
開発企業名	Utah State University (Boise State University, Douglas Schmitt, Institute for Geophysical Research, University of Alberta、 International Continental Drilling Program, Southern Methodist University、U.S. Continental Drilling Consortium、 U.S. Geological Survey)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$6,444,598(\$4,640,110)							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下温度の調査・探査法	地震探査法 (弾性波探査 (サイズミック))						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、Snake川に高熱流の分配を把握し、火山活動史及び地層学との関係性を紐解く。 ・また、スリムホール掘削及び有線コアリング技術を使用し、未開発地域の地熱区域における熱異常の存在を確認する。 ・そして、地震、磁力、重力調査を発見した熱異常に適用する。 ・掘削においては、逸泥(石油・ガスの井戸を掘削する際に坑井内で泥水が失われる現象)下での複雑な火山層序なので、特別な技術が必要である。 ・その技術は、表層における高い電気抵抗を持つ複雑な地震の速度/密度媒体の地震画像を活用 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・地層中の温度と井戸の温度データを使用する。 ・リアルタイム温度ログを取るための孔底温度ツールを用いた細い穴のダイヤモンド掘削を行う。 ・断裂分配、間隙率、浸透性を評価する音響モニター、石油工業モデリングツールを用いた地球物理的坑井検層する。 ・密度逆転を用いた2D活震源地震調査 する。 ・表面構造を推論するための高重力・磁力資源を活用する。 ・複重化地層学を図るための高資源反射法地震探査する。							
技術導入によってもたらされる効果	・更新世火山区における新しい資源の開発 ・電気傾向資源(160℃以上、artesian)と潜在受動資源(60℃)の資料化 ・高地下耐水層熱源のタッピングのための概念の発展							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・逸泥状況下での掘削を前に進めること ・混合層の火山岩と堆積物と不安定な堆積物の地層における穴の維持 ・ケーシングするためのオーバーボアホールに必要な時間							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・Mountain Home AFBにおける新たな資源の発見と中央SRPにおける下滞水層熱源開発の研究 ・断裂システムのhigh-T、テレビュアログと流体流を強める水理破砕							

010

技術名称	地熱探査技術の革新										
プロジェクト番号	LBNL FY11 AOP 7										
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～ (年)						
開発企業名	Lawrence Berkeley National Laboratory (ÍSOR (Iceland GeoSurvey)、GNS Science、Iceland Deep Drilling Project)										
開発プログラム名	EERE										
開発コスト(内補助金)	\$12,181(\$12,181)										
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生				
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減								
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良								
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ				パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	地下温度の調査・探査法			その他							その他
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトの目的は、貯留層流体における気体要素の化学的同位体特徴の特定化を行うことである。 ・サンプリング、分析より得られたデータは、<u>マグマに支配されている流体環境</u>から得られた資源及び化学要素へ、価値のあるインサイトを提供する。 ・本研究は3つのポテンシャル研究分野があり、地下温度と地球科学データの利用可能性、構造化モデル、及び表面の兆候の利用可能性によって分けられる。2分野においては表面の兆候があるもので、もう一つにおいては兆候が不足しているものである。 ・主要場所はDixie Valley地熱システム、Desert Peakである。 ・構造化モデルと勾配井戸データは 石油・ガスサンプリンググリッドのための最初の指針として使用される。土壌ガスサンプリングは変則的なCO2の流れのゾーンより集められる。そして、変則的な流れの資源を識別する為に、ガス要素、炭素、ヘリウム同位体要素を分析する。										
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトの狙いは、地球科学及び同位体データから地下の温度を予測することである。また、掘削を導くための高温地熱地帯における臨海超過ゾーンの確認のための方法の開発を行う。 ・本プロジェクトは、西アメリカにおける未確認の地熱資源が30,000MWe存在しているというUSGS推測によって進行する。資源の多くは、流体伝搬システムを示すと知られている兆候の不足により、解明されていない。しかしながら、埋められた断層システムの堆積によってその兆候が見えない可能性がある。もしこの可能性があるなら、地熱要素をもつ流体は表面において分散しているが変則的なCO2の流れを持つことが期待できる。										
技術導入によってもたらされる効果	資源精査における新しい方向性及び大きな成果を生むことに繋がる。										
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)											
現時点の技術的課題											
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・IDDP(Iceland Deep Drilling Project) サンプリング ・IDDP井戸サンプル分析 ・地球科学探査におけるレポート作成 ・土壌ガス調査 ・異質なCO2流動の地帯から得られたガスサンプルの分析										

011

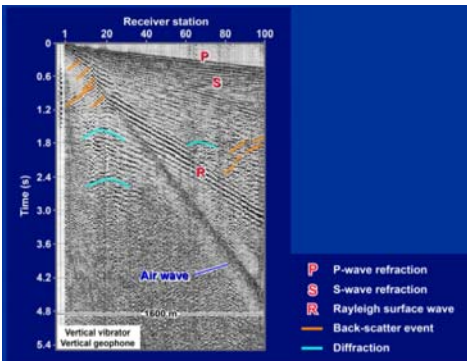
技術名称	コロラド州における、遠隔・現地の探査、実験及び分析による商業的に利用可能な地熱資源の存在の確認																																																							
プロジェクト番号	EE0002828																																																							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月30日 ～ 2013年9月30日 （ 3.5年）																																																			
開発企業名	University of Colorado (Phase I work), Boulder, CO (Aspen Drilling, LLC、Geothermal Development Associates、University of Colorado, Boulder)																																																							
開発プログラム名	EERE																																																							
開発コスト(内補助金)	\$4,778,234(7,785,534):ARRA of 2009																																																							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生																																																	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減																																																					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																																																					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理																																																
個別技術	リモートセンシング																																																							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及																																																		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 Field Sites Visited during Summer 2011 & 2012 <table><tr><th colspan="6">Prospect Evaluation - Using Conventional Techniques</th></tr><tr><th>Target</th><th>County</th><th>Geochem Est Reservoir Temps (°C)</th><th>Target Area (sq-mi)</th><th>Distance to Transmission</th><th>Issues</th></tr><tr><td>Strawberry H.S</td><td>Routt</td><td>150</td><td>2-3</td><td>2-3</td><td>Legal from Neighbors</td></tr><tr><td>Rico H.S</td><td>Delores</td><td>142</td><td>2-3</td><td>Upgrade</td><td>Taxes</td></tr><tr><td>Pagosa Springs</td><td>Archuleta</td><td>100</td><td>2-3</td><td>local</td><td>Legal from Resorts</td></tr><tr><td>Alamosa</td><td>Alamosa/ Conejos</td><td>200</td><td>Broad</td><td>1-2</td><td>Depth & NIMBY</td></tr><tr><td>Lemon H.S</td><td>San Miguel</td><td>150</td><td>Narrow Gorge</td><td>Distant</td><td>Access & Environmental</td></tr><tr><td>Florence - Canon City</td><td>Fremont</td><td>130</td><td>4-6</td><td>1 mile</td><td>Agreement in Hand to Conduct Exploration</td></tr></table>								Prospect Evaluation - Using Conventional Techniques						Target	County	Geochem Est Reservoir Temps (°C)	Target Area (sq-mi)	Distance to Transmission	Issues	Strawberry H.S	Routt	150	2-3	2-3	Legal from Neighbors	Rico H.S	Delores	142	2-3	Upgrade	Taxes	Pagosa Springs	Archuleta	100	2-3	local	Legal from Resorts	Alamosa	Alamosa/ Conejos	200	Broad	1-2	Depth & NIMBY	Lemon H.S	San Miguel	150	Narrow Gorge	Distant	Access & Environmental	Florence - Canon City	Fremont	130	4-6	1 mile	Agreement in Hand to Conduct Exploration
	Prospect Evaluation - Using Conventional Techniques																																																							
Target	County	Geochem Est Reservoir Temps (°C)	Target Area (sq-mi)	Distance to Transmission	Issues																																																			
Strawberry H.S	Routt	150	2-3	2-3	Legal from Neighbors																																																			
Rico H.S	Delores	142	2-3	Upgrade	Taxes																																																			
Pagosa Springs	Archuleta	100	2-3	local	Legal from Resorts																																																			
Alamosa	Alamosa/ Conejos	200	Broad	1-2	Depth & NIMBY																																																			
Lemon H.S	San Miguel	150	Narrow Gorge	Distant	Access & Environmental																																																			
Florence - Canon City	Fremont	130	4-6	1 mile	Agreement in Hand to Conduct Exploration																																																			
【概要】 ・コロラド州で商業ベースで可能な地熱資源の探査を行う。(10MWを目標として優先順位をつける) ・地熱の場所を地表探査によってリモートで確認する(衛星画像を用いて、適切なツールおよび技術も選定する)																																																								
Phase1:画像によるリモートセンシング探査 phase2:地表における坑井の熱勾配も含めた地熱資源の確認 -近くの温泉や井戸の水のサンプリング -浅度(2M)の温度調査 -重力探査(～250メートルグリッド) phase3:試掘による地下資源の確認																																																								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・リモートセンシングは、大まかな資源調査には活用可能であることがわかった(90m×90mピクセル) ・画像の解像度、日射反射率と地形に起因する変動は小さいことがわかった。																																																							
技術導入によってもたらされる効果	リモートセンシング技術によるコストおよびリスク低減 世界的な資源精査の実施																																																							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																																																								
現時点の技術的課題	(儀制的な課題ではないが) コロラドの資源開発の歴史があるにもかかわらず、NIMBY(Not In My Back Yard)の課題がある。																																																							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・フローレンス・カノンシティの評価を継続実施。 2013年度第4四半期にPhase II)																																																							

技術名称	アラスカのPilgrim温泉における革新的な探査技術の開発							
プロジェクト番号	EE0002846							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年5月1日	～	2013年6月30日	(3.1年)
開発企業名	University of Alaska Fairbanks							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$4,274,792(6,126,137):ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術	リモートセンシング	電気/電磁探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 【概要】 ・既存および新規のリモートセンシング技術を用いて、アラスカのPilgrim Hot Springsの資源精査のモデルを構築し、その実地テストを行う。 ー表面温度からの地熱資源の確認 ー熱のイメージング技術によりは、生産能力を推定すること ー温泉地熱システムでこれを達成する最高の方法の確認							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	FLIR(赤外線サーモグラフィを用いた)熱伝達式の活用 Thermal budget for a surface hot pool (using FLIR): $\Phi_{total} = \Phi_{geo} + \Phi_{evap} + \Phi_{sens} + \Phi_{rad} + \Phi_{sun} + \Phi_{sky}$ Where: Φ_{geo} = geothermal heat input Φ_{evap} = evaporative heat loss Φ_{sens} = sensible (conductive / convective) heat loss Φ_{rad} = radiative heat loss Φ_{sun} = incoming shortwave solar radiation Φ_{sky} = incoming longwave sky radiation - Thermal budget model accounts for heat losses/gains to calculate convective heat flux supporting hot springs - Model inputs: FLIR data, atmos. temp., pressure, wind - Flow rate calculation assumes hot spring temp of 81°C With wind speed ~ 0.5 - 1.5 m/s Heat flux ~ 4.74 - 6.96 MW Flow rates ~ 0.61 - 0.90 feet³/s  150mほどの試掘による確認 空中からの探査の実施(MT探査の実施)							
技術導入によってもたらされる効果	リモートセンシング技術によるコストおよびリスク低減							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	静的なモデルは構築、次フェーズとしては貯留層モデリングである。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

U13

技術名称	地球物理,地質,及び地球化学工学を統合したEGSの探査手法の開発																																																																																																																																																																				
プロジェクト番号	EE0002778																																																																																																																																																																				
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日		～	2013年9月30日		(年)																																																																																																																																																											
開発企業名	AltaRock Energy, Inc.																																																																																																																																																																				
開発プログラム名	EERE																																																																																																																																																																				
開発コスト(内補助金)	\$1,976,048(\$1,450,120)																																																																																																																																																																				
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生																																																																																																																																																														
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減																																																																																																																																																																		
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																																																																																																																																																																		
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理																																																																																																																																																												
個別技術		地震探査法(弾性波探査)																																																																																																																																																																			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及																																																																																																																																																														
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	既存の物理探査技術に地震探査技術と専門家の知識を組み合わせ、地質学、地球物理学、及び地球化学を活用し、人工地熱システム(EGS)の掘削対象の特定に寄与するような地球科学データの活用法を策定、検証する <table><tr><th rowspan="2">Description of Analysis Conducted</th><th rowspan="2">Data Type</th><th colspan="8">Selected Geoscience Parameters Considered (X) and Used (X) in the Data Splitting Process</th><th rowspan="2">r²-value</th><th rowspan="2">Summary</th></tr><tr><th>T^a</th><th>Vp</th><th>Resist. (MT)</th><th>CSC</th><th>Dilatation</th><th>Fault Presence</th><th>Vert Stress^a</th><th>Lithology^b</th></tr><tr><td>Predicting Temperature</td><td rowspan="4">section</td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>0.91</td><td></td></tr><tr><td>Predicting Temperature</td><td>---</td><td></td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>0.8</td><td></td></tr><tr><td>Predicting Lithology^c</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>0.82</td><td></td></tr><tr><td>Predicting Lithology^c</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>0.54</td><td>Removing VertStress dropped R² value by 34%</td></tr><tr><td rowspan="4">Predicting Productive (hydrothermal) Wells for the productive and non-productive well data set</td><td rowspan="4">well</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>0.66</td><td></td></tr><tr><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>0.52</td><td>R²-value dropped 21% when Lithology was removed and Dilatation was considered</td></tr><tr><td>---</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>X</td><td>0.62</td><td>Vp, MT and Lithology accounts for 94% of the 0.66 r²-value above</td></tr><tr><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>X</td><td>0.54</td><td></td></tr><tr><td>Predicting Temperature</td><td></td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>0.62</td><td></td></tr><tr><td>Predicting Temperature^f</td><td></td><td>---</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>0.75</td><td>R²-valued increased by ~21%</td></tr><tr><td>Predicting Temperature^f</td><td></td><td>---</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>X</td><td>0.75</td><td>Adding Resistivity (MT) and Lithology does not change R²-value relative to using Vp alone</td></tr><tr><td>Predicting Temperature^f</td><td></td><td>---</td><td>X</td><td>X</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>0.78</td><td>Highest R² value using Vp and Resistivity (MT)</td></tr></table>										Description of Analysis Conducted	Data Type	Selected Geoscience Parameters Considered (X) and Used (X) in the Data Splitting Process								r ² -value	Summary	T ^a	Vp	Resist. (MT)	CSC	Dilatation	Fault Presence	Vert Stress ^a	Lithology ^b	Predicting Temperature	section	---	X	---	---	X	---	---	X	0.91		Predicting Temperature	---		X	X	---	---	---	X	0.8		Predicting Lithology ^c	X	X	X	X	X	---	X	---	0.82		Predicting Lithology ^c	X	X	X	X	X	---	---	---	0.54	Removing VertStress dropped R ² value by 34%	Predicting Productive (hydrothermal) Wells for the productive and non-productive well data set	well	X	X	X	X	X	X	X	X	0.66		X	X	X	X	X	X	X	---	0.52	R ² -value dropped 21% when Lithology was removed and Dilatation was considered	---	X	X	---	---	X	---	X	0.62	Vp, MT and Lithology accounts for 94% of the 0.66 r ² -value above	X	X	X	---	---	X	---	X	0.54		Predicting Temperature		---	X	---	---	---	---	---	---	0.62		Predicting Temperature ^f		---	X	---	---	---	---	---	---	0.75	R ² -valued increased by ~21%	Predicting Temperature ^f		---	X	X	---	---	---	---	X	0.75	Adding Resistivity (MT) and Lithology does not change R ² -value relative to using Vp alone	Predicting Temperature ^f		---	X	X	---	---	---	---	---	0.78	Highest R ² value using Vp and Resistivity (MT)
Description of Analysis Conducted	Data Type	Selected Geoscience Parameters Considered (X) and Used (X) in the Data Splitting Process								r ² -value			Summary																																																																																																																																																								
		T ^a	Vp	Resist. (MT)	CSC	Dilatation	Fault Presence	Vert Stress ^a	Lithology ^b																																																																																																																																																												
Predicting Temperature	section	---	X	---	---	X	---	---	X	0.91																																																																																																																																																											
Predicting Temperature		---		X	X	---	---	---	X	0.8																																																																																																																																																											
Predicting Lithology ^c		X	X	X	X	X	---	X	---	0.82																																																																																																																																																											
Predicting Lithology ^c		X	X	X	X	X	---	---	---	0.54	Removing VertStress dropped R ² value by 34%																																																																																																																																																										
Predicting Productive (hydrothermal) Wells for the productive and non-productive well data set	well	X	X	X	X	X	X	X	X	0.66																																																																																																																																																											
		X	X	X	X	X	X	X	---	0.52	R ² -value dropped 21% when Lithology was removed and Dilatation was considered																																																																																																																																																										
		---	X	X	---	---	X	---	X	0.62	Vp, MT and Lithology accounts for 94% of the 0.66 r ² -value above																																																																																																																																																										
		X	X	X	---	---	X	---	X	0.54																																																																																																																																																											
Predicting Temperature		---	X	---	---	---	---	---	---	0.62																																																																																																																																																											
Predicting Temperature ^f		---	X	---	---	---	---	---	---	0.75	R ² -valued increased by ~21%																																																																																																																																																										
Predicting Temperature ^f		---	X	X	---	---	---	---	X	0.75	Adding Resistivity (MT) and Lithology does not change R ² -value relative to using Vp alone																																																																																																																																																										
Predicting Temperature ^f		---	X	X	---	---	---	---	---	0.78	Highest R ² value using Vp and Resistivity (MT)																																																																																																																																																										
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	音を利用した地震探査技術(開発元: University of Nevada at Reno)																																																																																																																																																																				
技術導入によってもたらされる効果	・人工地熱システム(EGS)の掘削対象を選定する際、場所(1～5kmの深さ)、温度(200～250℃)、岩の種類、及び応力体系に関する不確実性が軽減する ・EGS掘削のための岩石分布想定マップの一律化 ・EGS掘削方法の策定 ・システムベースの方法による掘削成功率向上による、探査コストの減少																																																																																																																																																																				
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																																																																																																																																																																					
現時点の技術的課題	・地質化学の質的データと統計データの双方向の変換方法(相関分析、重回帰分析、CART分析を使用) ・地質に関する分布及び科学的情報の不確実性及び情報量の不足																																																																																																																																																																				
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・策定された掘削方法の他地域における検証 ・その他上記の課題への取り組み																																																																																																																																																																				

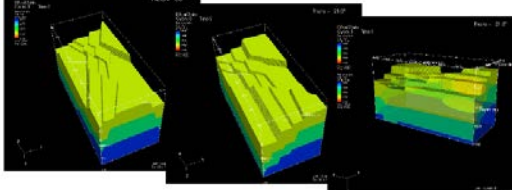
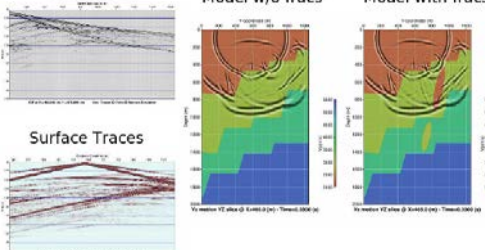
014

技術名称	地表面に露出したHigh-Velocity岩下における地熱の分析及び開発に適用される地震探査技術							
プロジェクト番号	EE0002749							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月1日	～	2013年1月31日	(2.5年)
開発企業名	University of Texas at Austin (協力: AOA Geophysics, Inc., Ascend Geo, LLC, Austin Powder Company, GEDCO, RARE Technology, Sercel, Inc.)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,746,462(\$1,397,170): ARRA							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)			フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 ・ケーブルフリーの地震データ収集を実証 ・地熱算出可能量全域の表面波後方散乱の物理研究 ・露出したhigh-velocity岩体のP波およびS波反射信号の比較 ・鉛直力震源からのSSデータ抽出 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・ケーブルフリーの地震データ取得 ・見込み評価用マルチコンポーネント地震技術の適用 ・表面波後方散乱の実証効果 ・HV岩露出とLV堆積物を横切る断面に沿ったP波とS波の地震データの記録・処理・分析							
技術導入によってもたらされる効果	・地震測量のためテキサス州西部の2つの調査フィールドサイトを選定 ・選択したフィールドサイトにおける多成分地震データの取得							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	従来の、high-velocity岩体を対象とするP波地震データは品質が悪い。対照的に、SHデータは、多くの場合Pデータよりも優れた反射信号を有する。Pデータを汚染する後方散乱レイリー波は膨大な量があるように思われる。SHデータが生成されると、後方散乱を生成する露出high-velocity岩体には表面ラブ波はなく、SH反射事象を利用することができる。表面波後方散乱を理解する必要がある。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

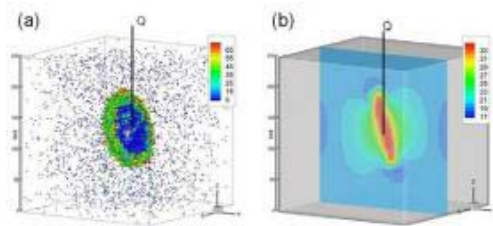
0115

技術名称	カリフォルニア州アラムにおける革新的探査技術開発プロジェクト							
プロジェクト番号	EE0002845							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日	～	2011年8月30日	(2.5年)
開発企業名	Ram Power Corp、(協力企業:SpecTIR,Desert Research Institute,GeothermEx, Inc 他)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$12,356,546(\$5,000,000):ARRA							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)		その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 フェーズ1では以下の調査を行う。 1) 表面及び表面近傍調査 ハイパースペクトルセンサによる調査(熱の分布と、鉱物分布のマッピング)、6ft程度の浅地での温度計測、1000ftの温度勾配のある坑井の掘削 2) 地下物理探査とモデリング 2D,3Dの地層モデリングと重力、地場の調査 上記のモデリングと組み合わせ、温度や地震データを組み合わせることで、掘削のターゲットを絞ることが可能となる。 フェーズ2では、以下の調査を行う。 4つの坑井の掘削実証(はじめは、コイルドチュービング掘削を用いる。スリムホール坑井2本と通常の生産井2本を掘削し、特性を見る) フェーズ3では、以下の調査を行う。 生産井からの生産量の確認、アラム地域におけるアセスメント結果との対比。及び、本探査方法によるリスク低減効果の評価を行う。 【目的】 ・地熱プロジェクトの早期段階でのリスク低減を、複数の革新的探査技術及び掘削プログラムによって達成する。 ・探査/掘削前の事前評価時点で、もっとも効率が良く、コスト面でも効果的な技術の組み合わせを決定する。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・探査手法として、ハイパースペクトルセンサでの調査を実施 ・掘削手法として、コイルドチュービング掘削と通常の手法での比較を行う。 ・コスト及び生産性について、従来型との比較を行い、技術の組み合わせを検討して優位性を図る。							
技術導入によってもたらされる効果	既存の探査データと組み合わせることによる、熱/鉱物のマッピングにおける昼夜両方の熱赤外線画像を利用に関する検証が可能となる。 各技術の寄与度を評価し、報告する予定である。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・ハイパースペクトルセンサは、高度な解析に本格的に利用できる仕様のものは少ない状況 ・地熱発電の生産井において、スリムホール坑井を用いているものは少ない							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	本事業では、以下を達成する。 ・地表及び地表近辺の調査方法の完成 ・地表及び地表近辺の調査方法と、探査及びスリムホール掘削調査結果の融合							

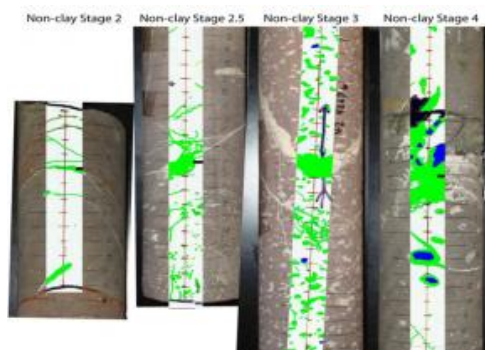
016

技術名称	地震から発生する断裂の特定方法のEGSへの活用							
プロジェクト番号	LBNL FY11 AOP12							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年3月1日 ～ 2012年6月30日 (3.2年)			
開発企業名	Hi-Q Geophysical Inc. (Lawrence Berkeley National Laboratory)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,359,757(\$817,757)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)			フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・地震探査法は石油・ガス貯留層の探査、開発及び生産では成功しており、今回の地熱領域における実証により効率的であることが証明できれば、EGSの探査、開発、生産にも適用可能になる。 ・また地震探査法は、他の地球物理的方法では解明不可能であったデータを抽出する。 ・表面及びボアホール地震探査法の開発において、EGSの断裂特定のための圧縮波及びせん断波の両方を使用する。 【3D地震モデル】 North in X-direction East in Y-direction Rotated 21° Aligns X with Faults Model with Fracture Zones  【シミュレーション結果】 Wavefield Snapshots VSP Traces Surface Traces Model w/o fracs Model with fracs 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・地熱領域において、地下貯留層の断裂の性質の特徴付けはとても困難である。 ・地震のプロファイリング/トモグラフィーは、利用可能な地球物理的技術の中で、最も高性能な解を導くことができる。(しかし、現状では、それは流体で満たされた断裂のマッピングでの使用であったり、スペースはとても限られている。)							
技術導入によってもたらされる効果	EGSにおいて、刺激前の既存構造物及び断裂分配を解決することに繋がる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・不十分な測定技術 ・刺激後の断裂画像							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

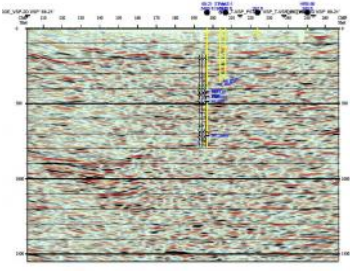
017

技術名称	注入誘発地震の地力学に基づいた確率論的分析を活用した地熱貯留層刺激の分析							
プロジェクト番号	GO18194							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月15日		～	2013年12月31日 (4.2年)
開発企業名	University of Oklahoma (AltaRock Energy, Inc.,Lawrence Berkeley National Laboratory,University of Mississippi)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,017,984(\$814,386)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)						貯留層管理 地球物理学モニタリング
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトはSBRC(seismicity-based reservoir characterization)技術の向上を目指す。 ・プロジェクトにおいて、下記作業を遂行する。 －損傷力学に基づいたせん断及び引張における岩石破壊 －応力依存の浸透性を持つ有限要素モデルにおける多孔質熱弾性体を使用した注入に対する岩の反応分析 －微小地震の予測を行うための、モデルのパラメーターの確率論的記述、及び岩盤浸透性と臨界分配の地球統計学的に生成されたアンサンブルの使用 －ensemble Kalman filterを用いた微小地震観測、確率論的インバージョン法、及び臨海モデルの結合 －貯留層の浸透性を推測するための確率論的インバージョン処理を用いた、貯留層の反応と地震との比較 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・微小地震活動の分析により、断裂成長、刺激領域、及び貯留層浸透率の情報を得ることができる。 ・注水による岩盤反応は、SBRC(微小地震観測の逆モデリング)を使用することで、定量的に評価できる。 ・また、SBRCは、貯留層刺激の定量及び定性分析に活用されている。							
技術導入によってもたらされる効果	・浸透性区域が刺激によって作り出される ・岩への刺激は複数の微小地震によって起こる ・浸透性区域の探索、掘削計画に微小地震イベントが活用される ・誘発地震を活用した貯留層マネジメント							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・配置/井戸の特性化: 刺激による貯留層の反応に対する精度の高い予測							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・FEMプログラムの向上: 離散的断裂及び微調整ダメージ判定(fine tune damage interpretation)の導入、大規模問題の効率アップ ・MEQイベントの定量化 ・3D モデルにおける確率論的アルゴリズム導入及び追加分析 ・岩の機械的性質を調べるための3軸圧縮試験の実行、及びせん断・引張破壊の予測のためのモデル予測の評価							

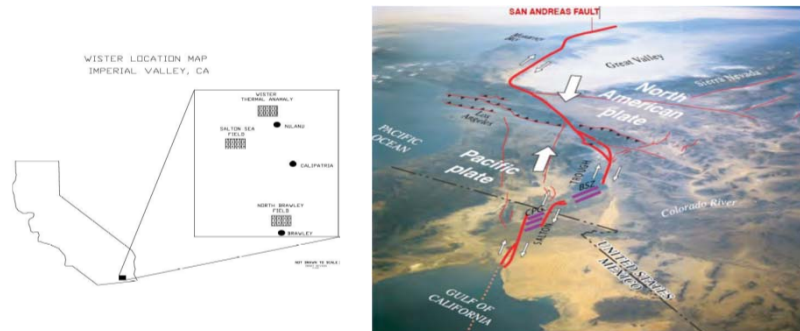
018

技術名称	EGS実験におけるMEQ分析のための地質学及び地球物理学フレームワークの発展									
プロジェクト番号	EE0002757									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年04月22日		～	2013年12月31日		(3.5年)
開発企業名	Texas A&M University (AltaRock Energy, Inc.,ENVIRON,New England Research,Princeton Engineering Group,Temple University)									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$1,559,685(\$1,061,245)									
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生			
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)						循環・抽熱		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトではUniversity of Utah core libraryの地表露頭及び既存のコアから、サンプルとして得られたGeysers 井E-8の中心核抽出したサンプルを使用する。 ・結果方法論及び、岩の機械的性質と構造的違いによる感度の列挙は未来のEGSの発展に繋がる。 ・誘発地震の原因機構及び、貯留層の物理的性質とMEQsの関係性を明確にすることで、高温岩体システムの未開拓領域の発展に繋がる。 ・Geysers EGSの実証実験を行うことで、EGSにおける地震の発生に関する調査過程のフレームワークの発展に活用する。 ・地質学及び地球化学アプローチの結合を行うことで、MEQsの原因機構の特定と地震の発生と間隙率と浸透性の特徴を関連付ける。 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	本プロジェクトは、EGS設置の研究のためのモデルとして活用される地質学/地球化学的基準に基づいた、微小地震及び流体流の関係の理解を深めることである。その理解を深めることで、未開拓の貯留層開発に貢献できる。									
技術導入によってもたらされる効果	地熱オペレーションと地震発生の関係のより具体的な明確化に繋がる。									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題										
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・せん断の間の自然断裂のダイラタンシーの研究の続行 ・注入量及び応力レベルと温度の違いによる断裂の性質を研究するための、応力下における水力断裂/注入実験 ・アコースティック・エミッションに関連した、流体注入の結果得られた断裂の特徴づけ ・a.原位置間隙率、b.岩の強度、c.応力モデルの改良の計測評価のためのデジタル化された地球物理学特性ログの活用 ・3軸検査より得られた機械的性質の結果の結合									

019

技術名称	Humboldt House-Rye Patch地熱地域、Basin and Range地熱システムにおける探査及び生産井への2D VSP画像技術の活用							
プロジェクト番号	EE0002840							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日 ～ 2012年8月31日 (2.6年)			
開発企業名	Presco Energy LLC (APEX HiPoint, LLC、Optim, LLC、Southern Methodist University、ThermaSource, Inc.、University of Nevada, Reno)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$4,211,230(\$2,277,081)							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュパイナリー高温岩体貯留層管理			
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、探査リスクによって悩まされる地熱資源において、最新式2D VSP画像技術を活用する。 ・深さの変わる反射画像を用いることで、目標深度において貯留層岩を持つ断裂プレート及び交点の範囲を明確に判断することができる。 ・HH-RP地熱資源地域において、2つの2D VSPsの処理及び解明を行う。 ・テスト、流量と圧力と温度のモニタリング及び流体のサンプリングによって得られたVSPプロファイルに基づいて決定された、2つの井戸の掘削を行う。 ・全てのデータ、結果及び解明は最終報告書において、HH-RPの貯留層モデルの改良に用いられた結果と結合させる。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・コイルタービン利用した動的坑井冷却は地熱環境の多様性において、とても重要である。 ・多成分受振器は、ノイズとデータロスを減少させるために、アナログ信号をデジタル信号に変換する。 ・大規模な帯域及びデータをリアルタイムに変換する為に、有線光ファイバーを活用する。 ・長い垂直及び水平開口を用いることで、Valley Fillにおけるより多くの信号回復を行うことができる。 ・波動場の特徴的な上方接続により、計算時間及び反射画像の向上させるための、時間領域加工アルゴリズム (deconvolution, statics, NMO, amplitude, etc)を活用できる。							
技術導入によってもたらされる効果	・地熱流体流に関連するBasin-and-Range構造の反射画像の精度向上 ・掘削の成功率の向上 ・ターゲッティングリスク及び開発コストの削減							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・動的坑井冷却 ・既存の井戸の再使用及び再掘削							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・相乗効果的アプローチを活用したターゲッティング ・長い垂直配列の坑井開発の成功のための方法論 ・ステージゲート(Stage gate)レビュー ・GRC2011において発表した概念モデルの改良 ・掘削装置とサービスの選定及び契約							

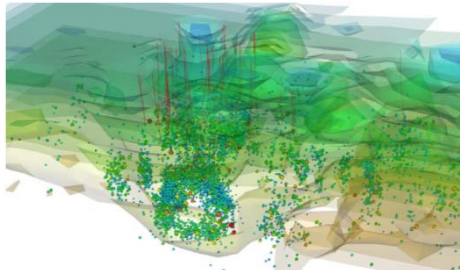
020

技術名称	探査リスク削減のための3D変換s波プロジェクトの運営、カリフォルニア州Wisterにて							
プロジェクト番号	EE0002838							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年10月29日	～	2011年12月31日	(1.1年)
開発企業名	Ormat Technologies, Inc.							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$10,486,559(\$4,911,330)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、Wister地熱資源の断裂コントロールを定義するための、3D地震調査の収集、処理及び解釈を提案する。 ・他の地熱データはWisterの潜在的貯留層に制限されているが、見えない地熱資源の掘削リスクを断裂定義により向上させることができる。 ・このプロジェクトでは、Wisterにて生産井元及び掘削に利用可能なデータをS波変換した3D地震調査を活用する。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	表面下における断裂をより正確にマッピングする為に、高解像度3D地震データを活用する。そのデータセットは、石油探査において活用されているが、地熱探査には活用されていない。今回得られた情報と過去のデータを組み合わせること、高断裂密度及び高温流体のある場所の予測に活用できる。							
技術導入によってもたらされる効果	・潜在的な資源地域における探査リスクの削減 ・また、他の堆積地域でも適用可能							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	・S波の反応は弱い必要がある ・砂及び断裂の不足は、井戸における低い浸透性に繋がる							
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・3D地震の再解釈 ・方位速度変動を評価するために地震の処理の考慮 ・追加ターゲットがある場合は、構造的見込みから見込みのある地域を再解釈する							

021

技術名称	3成分ロングオフセット地表面地震探査を活用した地熱資源地域における大開口断裂の発見								
プロジェクト番号	EE0002847								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月1日		～	2013年9月30日	(3.5年)
開発企業名	US Geothermal, Inc.								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$7,224,438(\$3,772,560): ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	浅層大開口断裂のロケーティングおよび3Dマッピング用の統合された手法として、3成分ロングオフセット地震探査・PSIn SAR(パーマネントスキャッター(永続散乱体)SAR干渉法)・構造運動学的解析の開発およびテストを実施 ・継続している地表変形・詳細な重力・磁力の測定による、統合された有限要素構造の運動学的解析を実施 ・3成分ロングオフセット地震屈折波を大開口断裂画像に使用 ・3成分非爆薬震源ソースを使用 ・最小のコストで深部温の勾配/探査/生産井を掘削するべく、改良された小型トラック搭載掘削装置を使用 ・最小のコストで最大の生産性を達成すべく、探査井デザインを最適化 【備考】ロングオフセット地震探査とは Source:「長大オフセット反射法地震探査データに対する屈折法解析手法適用の利点」 http://www.jgi-inc.com/japanese/images/technology/seismicrefraction.pdf01.pdf 先新第三系基盤および上部近くの速度構造把握に資する屈折法地震探査データを取得するため等の目的で、一般的な反射法地震探査に比べて大きなオフセット範囲(20-150km)でデータ取得を行う、反射法地震探査								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・低コスト								
技術導入によってもたらされる効果	・高度な地震探査を利用した方法が、大開口と良好な流量の発見に向け効果的に使用できることを実証する								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・空井戸の大幅な減少、掘削井の減少、坑井あたりの生産量の増加 ・生産井ポンプの動力の大幅な削減 ・南部坑井区域のSan Emidioおよび北部探査ブロックの発電所で増加した生産量につき、総正味約20メガワットの電力を発電することが期待される								

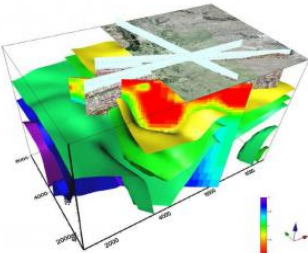
0222

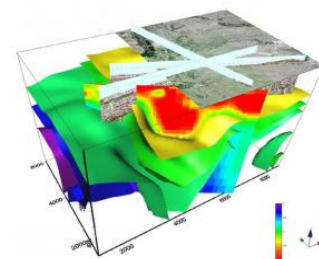
技術名称	EGS特徴づけのための微小地震モニタリングの適用							
プロジェクト番号	LBNL FY11 AOP10							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日 ~ (年)			
開発企業名	Lawrence Berkeley National Laboratory (Calpine Corporation, AltaRock Energy, Inc., GeothermEx, Inc., University of Utah, Terra-Gen, US Geothermal, Inc.)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$165,666(\$165,666)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)					破砕	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本研究において、下記6個のタスクを遂行する - ー既存微小地震サイトにおけるオペレーション:様々なEGSサイトにおいて既存の器具のメンテナンスを行うとともにEGSサイトから得たデータを加工する。これは地震研究のベースのデータとなる。 - ー注入の間一時的器具を持つEGSサイトを増強:実際の刺激の間より詳細なデータ範囲を得る。電源球範囲の強化、トモグラフィ分析のためのデータ収集、サイト特徴化の向上のためにEGS井戸の近辺を一時的なステーションとして使用する。 - ーデータ記録:データは国内データベースに記録される。LBNLは記録されているイベントデータ(波形、位置、時間メタデータ、等)を組合せ、国内データベースに変換する。データ記録の年間ボリュームは0.5Tbyte、50,000イベントとなっている。全てのデータのコピーは、オンラインRAIDシステム、オンラインテープライブラリ、オンラインテープにおいてメンテナンスされる。全ての記録されたデータはフリーで提供される。 - ーデータ加工・分析:データのリアルタイム加工は全てのサイトにおいて実行される。資源のメカニズム、詳細なロケーション、及び他の資源の特性/伝播性質を解明するための刺激活動の詳細な後工程は実行される。その結果は断裂刺激活動の成功のために使用される。 - ー器具のアップグレード・展開:このタスクでは、特徴化及びモニタリングのための地震データの収集に必要な器具を確保する。新しい坑井データは、誘発地震の理解及び、EGSサイトにおける地質、構造、岩石学の理解のために必要な帯域幅、マルチチャネル、高ダイナミックレンジデータの収集のために必要である。 - ー誘発地震プログラム支援・参画:誘発地震プログラム計画、マイルストーン、目的の発展と発表を公営、規制、政策策定者に対して行う。これはLBNLやDOEによってニーズを満たす為に、ワークショップ、ミーティング、及び他の活動を行う。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・複数のサイトでのデータ収集のための高解像度(500SPS)、高ダイナミックレンジ(24bit)、複数要素(3-C)大開口密度アレイ(large-aperture dense arrays) (~0.5 km between stations) ・データは3D、リアルタイムで使用できる ・研究結果は貯留層最適化のための意思決定のために使用される。 ・リアルタイム分析プログラム ・注入における変化と反応を短期及び長期で調査する ・パフォーマンススペースのリスク分析を行う							
技術導入によってもたらされる効果	誘発地震が地熱システムの最適化ツールとして使用できるようになる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・サイト特定化/モニタリング:断裂システム、圧力ステータス、流体軌跡の正確な分析が必要 ・貯留層作成:断裂生成及び貯留層の容量の実証が必要 ・貯留層スケールアップ/井戸フィールドデザイン:より効率的な井戸フィールドデザインが必要 ・長期間の持続可能性:長期間の貯留層管理が必要 ・技術承諾:EGSが安全でコスト効率が良いことを出資者に理解してもらうことが必要							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・EGSサイト開発として追加配置 ・EGS実証、及びデータ記録とデータアクセス ・実際のプロセス許容時間の開発 ・EGS坑井/EGSテスト用サイトにおけるテスト及び次世代器の展開							

023

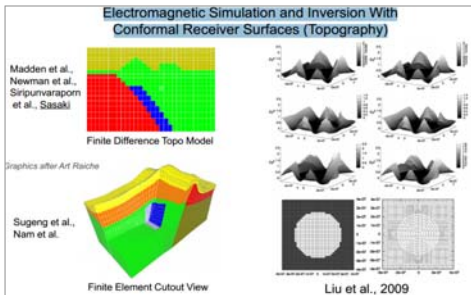
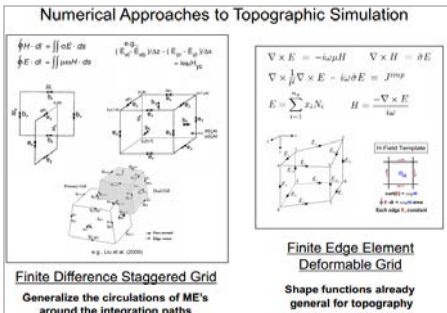
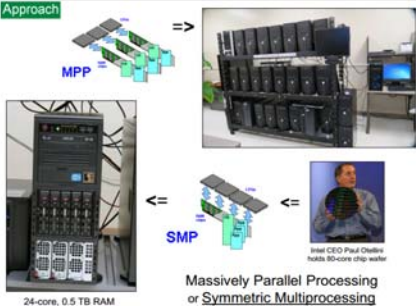
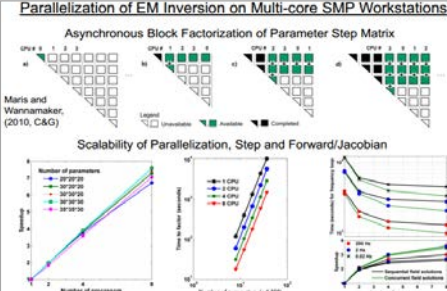
技術名称	誘発地震に関する最新の動向及びEGSのベストプラクティス							
プロジェクト番号	LBNL FY11 AOP11							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年 ～ (年)			
開発企業名	Lawrence Berkeley National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$396,000(\$396,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術		地震探査法 (弾性波探査)			フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・流体注入を行うEGSは、予期せぬ地震を避けるようにデザインされるべきであり、かつ安全でコスト効率もよくなければならない。 ・よって、EGSには受け入れられるプロトコル及び、技術のベストプラクティスが必要である。 ・本プロジェクトでは、プロトコル及びベストプラクティスのアップデートを行う。 ・情報収集(業界、学会、研究コミュニティ、リスクアセスメントの専門家、等)							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	・EGS産業のガイドライン及び信頼に繋がる ・地熱プロジェクトの向上にも繋がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	・公共の許可							
現時点の技術的課題	・コスト効率及び導入にかかる時間 ・シミュレーション後の断裂画像:シミュレーション後、潜在的EGS貯留層の物理的パラメーターの特定化ができていない							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・パブリックミーティング ・地熱ミーティングでのプレゼンテーション ・ウェブサイトのメンテナンス及びEGSサイトを加える ・プロトコル/ベストプラクティスの決定的要素をテーマとしたワークショップ ・そのワークショップの結果が、EGS誘発地震のNRCLレビューの一部となる							

024

技術名称	メキシコのJemez,Puebloにおける先進的な地熱探査方法							
プロジェクト番号	EE0002841							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日 ~ 2013年12月31日			
開発企業名	Pueblo of Jemez (Berrendo Energy、Jemez Pueblo、Los Alamos National Laboratory、Michael Albrecht、Technical Project Mgt.、TBA Power、Montana State University、New Mexico Bureau of Geology and Mineral Resources、University of Pittsburgh、University of Utah)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$5,095,844(\$4,995,844)							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		電気/電磁探査		その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、Jemez Reservationの地熱貯留層の性質及び範囲の定義を行う。その上で、下記内容を遂行する。 ・Indian Springs地域の周りの6mi²の1-6000スケールの地質マッピングを行う。 ・1つN-Sと2つのE-W線を持ち4mi2の地震調査行う、詳細な地質マップを使用する。 ・このマップにより、LANLによって開発された高資源地震移動画像技術を活用する地震データの削減と分析を行う。 ・また、3D可聴周波数MT/MTデータと表面下の構造画像と資源評価を組み合わせることに使用する。 ・上記の結果を基に、2つの探査井戸の掘削を3000ftの地熱貯留層まで行う。 ・断裂表面地域、熱量、流量、地熱流体の化学性質を決定する為に、トレーサートテストとFECの井戸テストを行う。 ・Indian Springs地域における地熱貯留層の性質と拡張性に関する最終レポート化。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・このプロジェクトは、Vallesカルデラ近くのFenton Hill以来New Mexicoにおいて最も大きい地熱探査である。 ・従来の地熱探査における断層と断層の複雑な構造に応じて処理された高資源地震データを評価する。 ・トレーサートテストとEFC伝導性検層によって、資源の性質のインサイトが得られる。 ・これらのテストによって、シングル井戸テストにおける断裂表面地域と流量速度の決定を行うことができる。							
技術導入によってもたらされる効果	・全体探査リスクの削減 ・LANLが開発した技術が市場に出る							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・商業的に使用可能である地熱資源の場所及び拡張性のような、信頼できる(掘削)構造的情報がない ・地質学分類の為に行われたもので、240ftを超える掘削は今までにない ・3000ft以上の深さまで、カルデラ流出ブルームを通して、イメージ探査を行わなければならない。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・貯留層の評価を行う ・その後、探査を行う ・投資家がテスト駆動及び運用のためにアクセスしやすい、Precambrianオープンホールに井戸を作る							



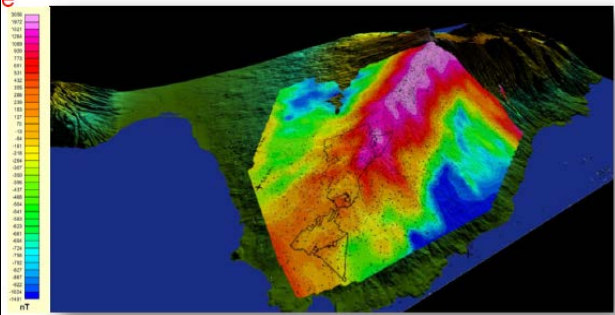
025

技術名称	多面的な電気比抵抗調査による、EGSに対する断層・地熱流体のイメージング技術							
プロジェクト番号	EE0002744							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～ (年)			
開発企業名	University of Utah							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$754,160(\$603,230):ARRA							
技術目的	低リスク化				低コスト化	環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関するリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		電気/電磁探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	実用的な3次元画像化技術は、モデルの多様性、溶液安定性、計算精度、良好な速度、安価なハードウェアにより発展する。この成功のためには、2つの面からのアプローチが考えられる。 1. 既存の、長期にわたって開発されてきた、可変グリッドと磁気ポテンシャルの解決による有限要素の定式化は進行中であり、かつ、マグネティック探査法(MT法)において必要とされるのと同様の電界応答のため推進される。 2. スタッガード格子の実装は、非直線の有限差分セルを可能にするためそれが数年にわたり稼働していることを一般化する。 <電気抵抗を介した流体の流れの画像化における汎用性と効率性> ・GreenFireのセントジョンズドームプロジェクトは、CO2 - EGS技術の最初のフィールドデモである。 ・実験に際し、合理的・科学的に有効なセットが予定されている Electromagnetic Simulation and Inversion With Conformal Receiver Surfaces (Topography)  Numerical Approaches to Topographic Simulation  Approach  Parallelization of EM Inversion on Multi-core SMP Workstations 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・非直線の要素を持つ正確な表面描写 ・効率的なダイレクトソルバーの利用による安定性と精度 ・効率的なマルチコアワークステーション上でのスケラブルな並列化							
技術導入によってもたらされる効果	・画像化に必要な反転パラメータと同様に、地形変化を伴う地表面におけるマルチソースのEMレスポンスをシミュレーションするための3Dコードを開発 ・2つの地熱帯データセットへの最終的なアルゴリズムの適用							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・学生やポスドク等、新しい研究者の育成 ・アルゴリズムの開発と実装							

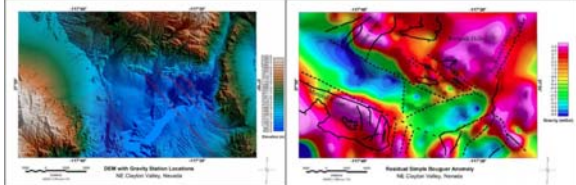
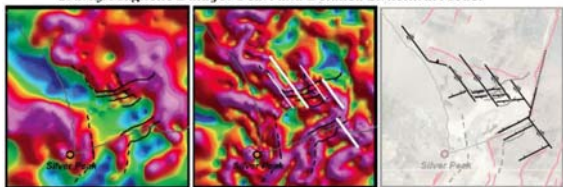
U26

技術名称	シルバーピークの革新的探査事業							
プロジェクト番号	EE0002844							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月29日 ～ 2011年8月31日 (1.8年)			
開発企業名	Ram Power Corp.							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$12,356,546(\$5,000,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術		電気/電磁探査		その他	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトはリスク低減のための先進的探査と掘削技術の妥当性の検証を行う。 ・探査は表面及び表面付近の調査、表面下における調査とモデリング、スリムホール掘削からなる。 ・4つの地熱井戸の掘削及び地質学的特徴付けのための、コアリングリグを用いたスリムホール掘削、コイルチューブリグを用いたスリムホール掘削を行う。 ・シルバーピーク地熱地域の生産性評価に使用する地熱資源を確認するための生産井戸の導入によるフローテストを行う。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・ハイパースペクトル画像調査(熱異常と地熱指標鉱物のマッピング)、浅層温度探査計測、1000フィートの深さまでの温度勾配井戸の掘削を行う。 ・2D及び3D地熱物理学的モデリングと重力、磁力、MT(マグネトテリク)データベースのインバージョンは表面下の画像に使用する。 ・構造的、地質学的、抵抗成分からなる3Dモデルの創造及び、この3Dモデルと温度データを組み合わせることで、探査ターゲット場所の優先順位を決定する。 ・コアリングリグを用いたスリムホール掘削、コイルチューブリグを用いたスリムホール掘削を行う。							
技術導入によってもたらされる効果	・ハイパースペクトル調査は地熱探査の成功に繋がる ・コイルチューブ掘削は地熱井戸掘削における引抜く時間の短縮及びコストの削減に繋がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・温度勾配掘削 ・重力及びZtem調査 ・MT調査 ・スリムホール掘削及び井戸検査 ・データの結合/モデリング及び生産井戸の位置決め ・生産掘削及び井戸検査							

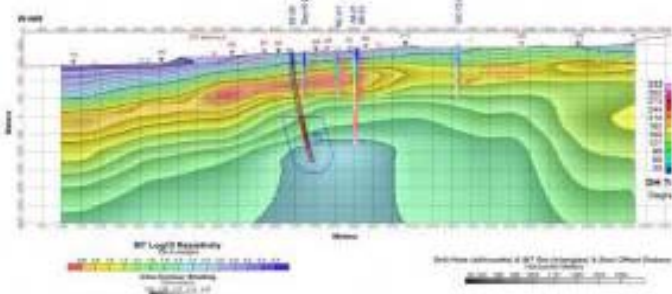
027

技術名称	活火山環境における潜在地熱システム探査； Overt and Subtle火山システムマルチフェース地球物理学と地球化学調査、ハワイ・マウイ島にて							
プロジェクト番号	EE0002837							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月29日 ～ 2012年3月31日 （ 2.5年）			
開発企業名	Ormat Technologies, Inc. (Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Santa Cruz)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$8,704,260(\$4,377,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体 貯留層管理
個別技術		重力探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、下記を基にマウイ島における使用可能な地熱資源の確認を行う。 - 休火山システムにおける、未開発資源探索のためのベンチマーク - 玄武岩質の火山システムにおける、地熱探査のための、重力測定及び航空磁気測定 - 活火山システムにおける、地熱探査のためのCO2及び同位体分析 - マウイではベースロードエネルギー生成が適切という仮説を立てている。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	詳細なCO2の流れ、14C測定、ヘリウム同位体の地球物理的及び地球化学的調査は、地熱流体フローのマッピングに活用される。							
技術導入によってもたらされる効果	新しい技術の融合が、火山環境において効率的に利用されるようになる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	文化的に難しい場所							
現時点の技術的課題	未開発地熱資源							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・CO2フラックス調査の続行 ・重力と磁気のデータベースの合成、及びUlupalakuaの3D地球物理学/構造的モデルの作成 ・掘削の許可申請							

026

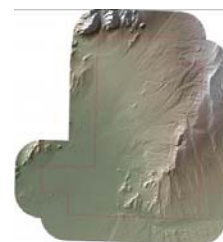
技術名称	分離断層と地熱資源-革新的かつ総合的な地質学と地球物理学調査、ネバダ州Fish Lake Valleyにて							
プロジェクト番号	EE0002960							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2013年1月28日	(3年)
開発企業名	University of Texas at Austin (Esmeralda Energy Company,Fish Lake Green Power Company,University of Oklahoma)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$4,242,519(\$2,299,237):ARRA							
技術目的	低リスク化			低コスト化	環境共生			
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		重力探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	費用対効果の高い方法で見通しの悪い地熱資源を検出するべく、古典的な作業と新たな地球化学的&地球物理学的手法を組み合わせる革新的なアプローチである 科学的/技術的アプローチの概要(フェーズ1) 1. パール温泉資源の構造および地質解析 2. (U-TH)/He 熱年代学的手法と地質温度測定法 3. 詳細な重力データの収集および統合モデリング(磁気&抵抗率のデータにより補足) 4. 反射&屈折地震(アクティブソース) 5. 既存と新規の地球物理学/地質データの統合 6. 全てのデータを統合した三次元地球モデル <i>Gravity Data for Clayton Valley & Subsurface Structural Model</i>  <i>Gravity/Magnetic Data for Pearl and Detailed Structural Model</i> 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・地表および地下の熱年代学的制約と詳細3次元地球モデルとの組み合わせは、探査に関する新しいアプローチである ・詳細な3次元構造画像化は、長期の熱的進化への理解向上と相まって、地熱探査井、そして最終的には地熱生産井の立地を大幅に改善することができる							
技術導入によってもたらされる効果	・地域の熱&水熱の型の時間発展への洞察の提供および、本方法が探査リスクを低減させるのに有効であることを実証							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・地震ショットホール用の安価なオーガー掘削は扇状地において課題となることが判明した(貫通深度が必須で、オーガーの鋼が破損した)。→だが、オーガー掘削は成功し、費用対効果の高い反射地震調査を行った。 ・熱年代学的手法に関する追加の技術的課題は、東部クレイトン渓谷を取り巻く古生代岩石の一部におけるアパタイトの不足→新しい4He/3He熱年代学的手法によって改善できる							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・地質学的&地球物理学的資源評価 ・スリムホール探査井の掘削(コアホールか回転ドリルホールの片方もしくは両方) ・貯留層テスト							

029

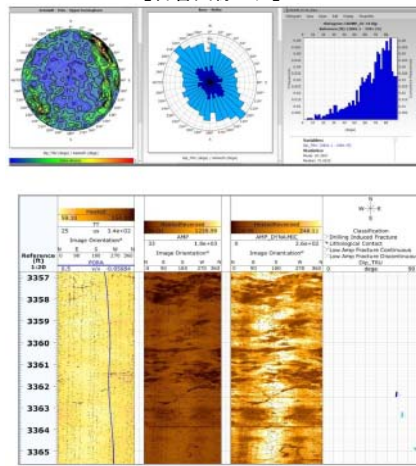
技術名称	Newberry 火山の探査技術の実証									
プロジェクト番号	EE0002833									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年		～	2014年		(4年)
開発企業名	Davenport Power, LLC									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$12,830,425(\$5,000,000)									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M					
個別技術		重力探査			フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・Newberry Volcanoの端にある若いケイ素を含むプルトンに関連する表面上判断できない対流水熱システムを探索する。 ・このプロジェクトは、プルトンに関する幾何学抵抗及び電気抵抗の確認、プルトンの中及び周りにおける流体動作配置特定、プルトンの熱の計測、地熱流体循環のガス抜きのための地熱インディケーターを探すことからなる。 ・アプローチとしては、重力とMT調査を活用する。また、3D地震受信計測ツールを使用する。 ・このモデルの結果は、断裂を通る流体を持つプルトンに関連する熱地域の確認に活用する。 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトは新しい方法で探査を行う。探査のステップは下記のようにになっている。 –プルトンに関連している形状及び電気抵抗の確認する。 –プルトン中/周りに作動流体を配置する。 –プルトンに関連する熱量を計測する。 –熱流体循環のガス抜きのための地球化学的インディケーターを探す。									
技術導入によってもたらされる効果	・Cascadesにおける目に見えない地熱資源のの確認に繋がり、提案モデルは調査としてはとても価値のあるものである。 また、Newberryにおける発電所の発展にも繋がる。 ・未来の熱水及びEGSプラントにおいて、Newberryの潜在的な地熱資源の何百メガワットに貢献する。 ・他の地域への拡張(Cascade, Alaska, and Aleutian Range)。									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・目に見えない資源地域(温泉、噴気孔、断層のような表面に特徴がない) ・深い地下水面									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・Davenport NewberryをAlta Rock Energyが運営する。 ・水熱交差も持つ井戸の近辺への活動、及び火山の西端の探査の計画に新しい結合モデルの適用する。 ・北方の井戸に関する微地震調査の完了 ・出版化、大学及び公共奉仕活動									

U330

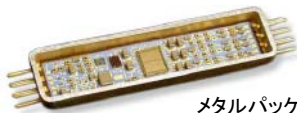
技術名称	フロント山脈から離れて：流域内地熱探査								
プロジェクト番号	EE0002829								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2013年10月31日	(3.8年)	
開発企業名	GeoGlobal Energy LLC								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$5,696,836(\$2,820,211)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術		地化学探査			フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、探査井戸ターゲティングのリスクを減らす為に、応力下における断裂浸透性と岩の機械的性質の関係性を示す。 ・プロジェクトにおいて、下記作業を遂行する。 -最近の断層オフセットパターンを見るためのLiDARから得られた詳細かつ正確なデジタルトモグラフィ -岩群の30mホールにおけるオーバーコアリング応力計測 -歪みを計測するための断層区域のレーザー三辺測量引張りネットワーク(laser trilateration strain network) -温度勾配及び流体サンプルを得るための、未固結堆積物30mのブッシュコアホール -過去のデータ及び断層傾斜に基づいたいくつかの場所におけるトレンチング -浅層における温度データを確認する為の、浅層ホールサンプルから得られたヘリウム、酸素、標準流体化学の分析 -ボアホール画像及び浸透性ロギングによるスリムホール掘削 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・深層掘削における低コスト計測を使用し、ターゲット区域の機械的状態の情報を得る。 ・機械的データに加えて、断裂浸透性の位置を直接計測するために、温い浅部帯水層の穴の化学指示薬分析を行う。 ・岩盤力学計測戦略において、応力と歪みもしくはオフセット計測を適用する。 ・応力と歪みの機械的関連性は 浸透性断層の予測とフィールド計測に用いられる。								
技術導入によってもたらされる効果	アメリカ西部のBasin and Range Provinceにおける、未開拓地帯におけるターゲティングのコスト効率が良い、技術の結合								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・レンジフロント断層よりも埋設断層の探査は非常に少ない ・電気抵抗率は非効率である								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・構造的モデルのサポートにおける、UNRIによるフィールド分析 ・コア調査：50～100ホール ・コアリング：3施設 ・概念モデルの開発及び掘削のターゲティング								



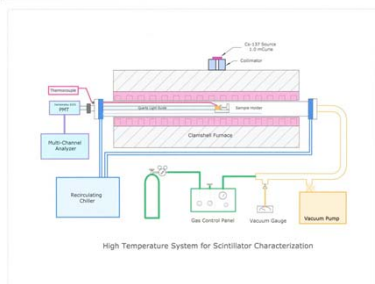
US1

技術名称	地質学の精密化、探索方法の詳細化及びスリムホール掘削							
プロジェクト番号	EE0002835							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年3月1日 ～ 2012年9月30日 (2.5年)			
開発企業名	Nevada Geothermal Power Inc. (U.S. Geological Survey)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$3,603,543(\$1,764,272)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術		地化学探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトはCrump Geyser地域の玄武岩が埋められている層の断裂様式の詳細化を行う為に、超高精度な重力、磁力、及び浅層地球物理的探査データを適用する。 ・プロジェクトにおいて、以下のことを遂行する。 –追加TG井戸掘削の妨げになる既存のTG井戸の発見 –3D地熱モデルの作成 –DOE援助なしの探査井戸掘削 –スリムホール掘削 【音響画像ログ】 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・断層定義のための高精度な地球物理学の適用 –地表(ATV-towed)及び空中磁気 –正確なブーゲ重力 –浅層地震反応 –電子抵抗断層撮影法 ・浅層温流体の規模を調査するための直接押込削井プログラム –早く衝撃の少ない方法 ・断層ネットワーク内の温度と岩層を確認するためのコア掘削 –汚染の少ない掘削技術							
技術導入によってもたらされる効果	・小設置面積 ・環境への影響を最小化する汚染が少ない掘削 ・新しい探査場所の開拓 ・井戸テストにおける液体の電子モニタリングによる井戸特定化の向上							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	・伝送回線はあるが、新規のものを必要とする可能性がある ・全ての私有地のリース及び敷地の簡素化 ・地球物理学及び科学的アプローチの拡張							
現時点の技術的課題	・高コスト及びハイリスクな探査							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・試掘の結果を基に、最も最適な場所で生産井を掘削する ・フルサイズ井戸のフローテスト ・地震活動におけるMTターゲット構造データの収集							

032

技術名称	臨界環境にある貯留層を対象とした基本技術及び機器							
プロジェクト番号	AID 20007							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月1日	～	2012年9月29日	(2.5年)
開発企業名	Sandia National Laboratories							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,313,215(\$1,313,215)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ			
個別技術		地化学探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	超臨界環境(450℃以上、70MPa以上)で利用可能な製品の開発   メタルパッケージのマルチチップモ							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・SOI(Silicon on Insulation: 絶縁体シリコン)及び炭化ケイ素(SiC)技術をマルチチップ・モジュール(MCM)に活用することで、システムの信頼性を高め、電気系統のサイズを縮小する ・電気系統は可能な限り強化、及び電気系統を保護するデュアー瓶の耐熱性向上(350℃←450℃) ・機器は全てエラストマー性の素材を使わない設計 ・デュアー瓶を必要としない240° C PTC (Pressure/Temperature/Collar Counter: 圧力/温度/カラーカウンター) ツールの開発、試験 ・450° Cで作動するデュアー瓶加工されたプロトタイプPTCツールの設計および製造 ・～450° Cで作動するデュアー瓶加工された流体サンプラーの開発							
技術導入によってもたらされる効果	・データロガーの耐熱性が向上することで、MCMの信頼性が担保される ・ダウンホールツールの耐性向上 ・電気系統の高耐熱化 ・信頼性が高く、強固、かつ再構成可能なMCM基板の開発 ・高温・エレクトロニクスのための材料およびパッケージの信頼性を向上させる。これには、故障メカニズムを特定し、前進へのクリアパスを構築するマルチチップモジュール(MCM)の信頼性の研究も含む ・デュワー瓶、ケーブル、電池を含む周辺システムコンポーネントの信頼性と故障メカニズムを調査する ・革新的で高度に統合された高温(HT)データロガーを開発する。データロガーの目的は、MCMとして信頼性の高い堅牢なプラットフォームを作成すること ・システム改善を利用したツールの開発。PTCツールは、アナログおよびデジタルMCMデバイスを利用することで、システム全体の改善された性能を実証するため使用される。このツールは、デュワーなしで240℃での動作が可能になる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・利用可能な部品の調達 ・デュワー瓶の試験用装置の修復							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・Year 1: デュワー瓶を使用せずに240℃で使用可能なPTC(Pressure/Temperature/Casing Collar Locator)の完成 ・Year 2: デュワー瓶の保護下で450℃で使用可能なPTC(Pressure/Temperature/Casing Collar Locator)の完成 ・HT (450℃) ケーブルの完成 ・HT (450℃) ケーブルヘッドの完成							

US3

技術名称	高温下のダウンホール用機器の実現性及び設計							
プロジェクト番号	AID 19999							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日	～	2011年9月30日	(2年)
開発企業名	Oak Ridge National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$12,356,546(\$5,000,000): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ	パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術		地化学探査						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図	(概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述) 【概要】 Oak Ridge National Laboratory は、通常の石油探査における熱源の探査機器の温度が150-175度であるのに対して、地熱用の探査機器として400度まで対応可能な機器の開発を行う。 このことで、坑井内の地熱熱水の組成を直に計測することが可能となる。 【目的】 ・高温度帯における熱水組成の計測が可能な坑井機器のFS ○以下の3フェーズ ・商用のシンチレーターの使用と確認 ・非商用シンチレーターでの確認 ・過去の調査での評価と通じて環境仕様と一致している専門性の高い光センサの利用可能性の調査と、市販のもので、要件をみたすものの性能を調査する 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	○高温度帯でのシンチレーターでの測定結果 ・シンチレーターとしては、15種類を使用 (BaF, BGO, CdWO4, CsI (Na), CsI (TI), GSO, GYSO, LSO, LYSO, LuAG, LuAP, NaI (TI), YAG, YAP, ZnWO4) ・YAP, YAG, LuAP, LuAGについては、好ましい結果が得られた。 ○中性子測定の実シミュレーション結果 ・中性子技術をもといた、10000m付近温度376度想定でのモデリング・シミュレーションの実施							
技術導入によってもたらされる効果	EGS技術時にも耐えうる機器の開発							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	高温度帯でのロギングツールがないこと							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・CeBr3, CeCl3, LaBr3, LaCl3, SrI2のシンチレーター検証 ・フィールドテスト 等							

U34

技術名称	NRELソフトウェアのモデリング及び可視化							
プロジェクト番号	NREL FY11AOP2.4							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	～ (年)			
開発企業名	National Renewable Energy Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$81,400(\$81,400)							
技術目的	低リスク化			低コスト化	環境共生			
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術		その他						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトはSAM(Solar Advisor Model)において、サポートされている地熱技術の数を増やすことを行う。 ・また、再生可能エネルギー技術の為に、ウェブベースの対話型ツールにおける地熱アプリケーションの開発の拡大も行う。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトは、SAMIにおいて低温地熱モデリング能力の向上に貢献し、新しい地熱SAMユーザーの支援を行う。 ・また、EGS開発コストを推測する為に、EGSの温度vs. 深さマップにアクセスできるようにSAMを改良する ・この機能を、ソーラープログラムの為に開発された対話型地図ツールに結合することで “Geothermal Prospector”を作り出すことができる。 ・そして、ユーザーは対象場所における島の所有権、おおよその電線、利用可能な水資源のようなプロジェクト開発に影響のある要素を可視化することができる。							
技術導入によってもたらされる効果	・本プロジェクトのモデルは、地熱探査及び開発のツールとして使用可能							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・新地熱SAM能力のプレゼンテーション ・“Geothermal Prospector”のベータバージョンのリリース							

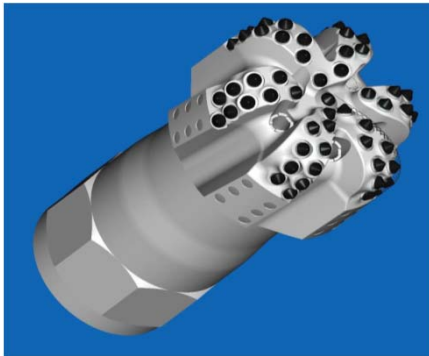
U35

技術名称	Pyramid Lake Palute 保留地における地熱資源に関する総合評価							
プロジェクト番号	EE0002842							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日		～	2013年9月30日 (3.5年)
開発企業名	Pyramid Lake Paiute Tribe							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$4,845,534(\$4,845,534): ARRA							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体
個別技術		その他						貯留層管理 流体地化学モニタリング
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及	
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	当地の今後の地熱生産の有効性を測定するため、地質学的フレームワークに基づく最先端の探査技術と貯留層モデリングの統合を行う。 【使用される革新的技術】 ・三次元地質・貯留層モデル ・断面イメージ作成のためのSeisOpt®地震データ分析							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	「三次元地質・貯留層モデルを任意の視点から観察することで、地下データの三次元分布を視覚的に捉え、理解を飛躍的に深めることができる」(JAPEX HP: http://www.japexrc.com/3d.htm より。本PJ資料内に記載なしのため)							
技術導入によってもたらされる効果	ベイスン・アンド・レンジ(米の南西部にある、複数の山脈と溪谷や盆地が複雑に絡み合った地形)において成功した探査用に設計された探査手法の検証							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・資源ポテンシャル立証のための情報量不足、データ取得の不確実性							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・三次元地質モデルの展開開始 ・三次元貯留層モデルの展開開始							

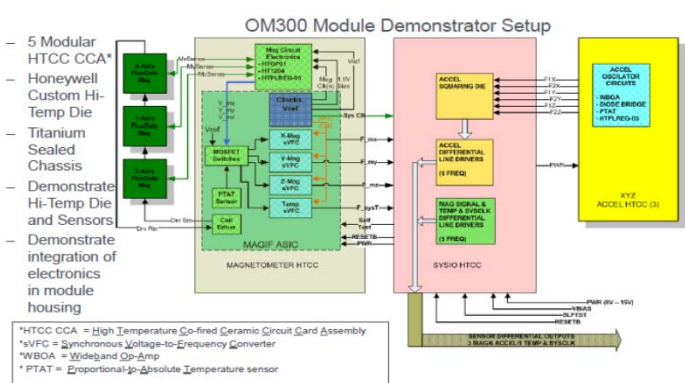
U36

技術名称	高温耐熱性(300℃)の傾斜掘システム							
プロジェクト番号	EE0002782							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年5月28日	～	2013年9月30日	(年)
開発企業名	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$6,272,780(\$5,000,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				泥水掘削				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	高熱(300℃)、高圧(地下10,000m)に耐えうる掘削機の開発 300℃掘削機の3つの構成要素の概念実証、 及びそれらを統合した全体としての概念実証 300C Drill Bits 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・硬い岩石を砕くため、ドリルには耐久性だけでなく、岩石をすばやく破碎できる超高速振動機能が必要 ・高温耐熱性に長けた、エラストマー以外の素材を利用(方向モーター及びローラーコーンビットにおいて) ・掘削流体が高温下で大量のビット及びモーターを冷却する作用がある							
技術導入によってもたらされる効果	・ドリルビットの開発によって、あらゆる岩石分布において、より迅速かつ経済的な掘削が可能になる ・掘削流体の開発によって、掘削が困難な地熱井の掘屑を取り除くことが可能になる ・ビット、掘削流体とモーターが組み合わせることによって、高温、高圧地域の硬い岩石面における平行面に近い掘削が可能になり、地熱発電の発展に繋がる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・機器の耐久性の向上							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・ローターとステーターのコーティングの性能及び高温下でのモーターの効率性を評価するための試験を実施 ・トリコーンビット ローターシーリング、補正器、潤滑油のパッケージの縮小及びハイブリッドPDC-ローリングコーンビットの設計への活用 ・ドリルのモーターの金属—金属コーティングシステムの耐久試験の完了及び選定							

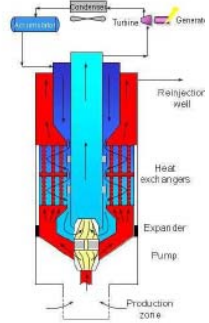
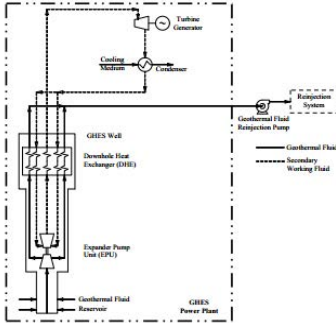
037

技術名称	EGSに利用するビットの改良									
プロジェクト番号	EE0002784									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日		～	2013年9月30日		(4年)
開発企業名	Novatek, Inc.									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$10,684,678(\$4,500,000)									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削		O&M フラッシュ		パイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				泥水掘削					破碎	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、ブレードビット及びローラーコーンビットの開発である。 ・耐久力のあるブレードビット及び寿命の長いローラーコーンビットにより、EGS資源の開発における硬岩層の掘削のROP (Rate of Penetration)を3倍に増加させることを目的とする。 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	ウエハースタイルのダイヤモンドカッターよりも、Stingerドリルビットの方が3倍近く寿命が長い。									
技術導入によってもたらされる効果	ローラーコーンビットの平均寿命が100時間になる。(従来は10-25時間)									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・Stingerとして知られる、改良されたブレードビットに使用される新しいダイヤモンドコーティング円錐カッターの開発、テスト、商業化 ・EGS掘削開発における硬岩層の掘削のためのダイヤモンドの脆さの性質及び熱限界									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・メジャーな石油・ガス掘削会社に対する開発技術の商業化を行う。ここでは、実際の井戸において、ビットを用いたフィールドテストを行う。 ・地熱及びEGS掘削プロジェクトにビットを使用する。									

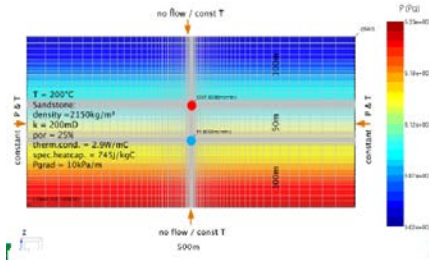
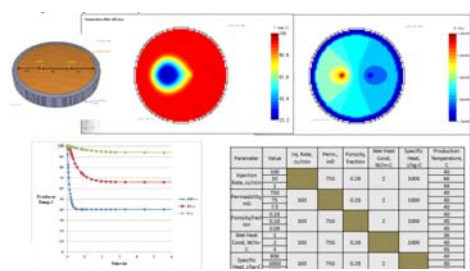
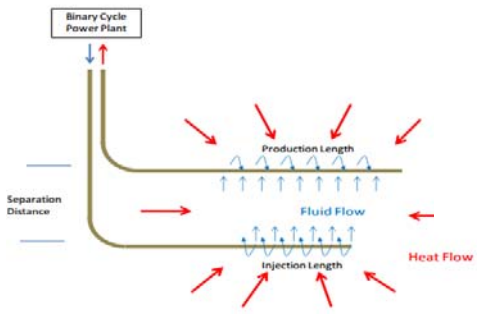
036

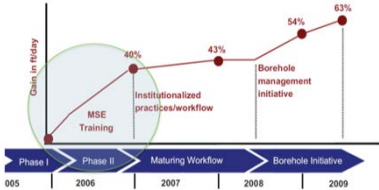
技術名称	OM-300-MWD地熱ナビゲーション装置							
プロジェクト番号	EE0002754							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年5月1日	～	2012年10月31日	(年)
開発企業名	Honeywell International, Inc.							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$4,815,126(\$3,852,101)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術				泥水掘削				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・高温、高圧化で使用可能な傾斜掘り掘削機の開発  OM300 Module Demonstrator Setup 5 Modular HTCC CCA* - Honeywell Custom Hi-Temp Die - Titanium Sealed Chassis - Demonstrate Hi-Temp Die and Sensors - Demonstrate integration of electronics in module housing *HTCC CCA = High Temperature Co-fired Ceramic Circuit Card Assembly *SVFC = Synchronous Voltage-to-Frequency Converter *WBOA = Wideband Op-Amp *PTAT = Proportional-to-Absolute Temperature sensor							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・300℃に耐える加速度計の開発 ・APS技術に基づく300℃に耐える磁気探知機の開発 ・MWD技術の活用 ・技術開発ダウンホールのMWD機器の温度、衝撃及び振動への耐性の向上、及びMWDに搭載する(回路カードアセンブリ)CCAの開発							
技術導入によってもたらされる効果	・掘削機械における耐熱性の向上 ・掘削コストの削減 ・より高温下の地熱掘削探査の可能性が広がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・SOI(Silicon-on-Insulator)を300℃に耐えられるようにする ・フルックスゲート磁力計のセンサーの耐熱温度の上昇 ・シリコン製MEMS振動ビーム加速度計(VBA)の耐熱温度の上昇 ・センサー及び機器のMWDへの統合 ・300℃磁力計及び加速度計の試験環境の整備							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・300℃における稼働のリスクを最小限に抑えるため、技術・プロセスを試験用に設計 ・300℃以上で使用可能なポリマー絶縁体で利用する、銅・ニッケル製の30AWGワイヤーの開発及び実証 ・300℃で利用可能なエポキシ樹脂に対する検証及び評価 ・金・金・スズ・金のサンドイッチ構造を利用した金属ベースのろう付け方法を策定 ・金・スズによるろう付け、及びアルミニウムによるワイヤ・ボンディングの適合理化							

039

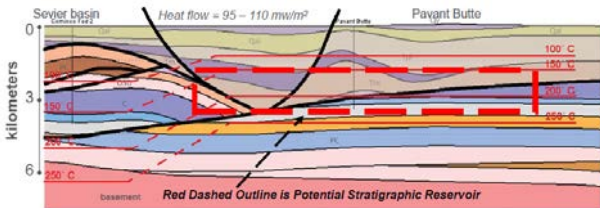
技術名称	GHES(Gravity Head Energy System)のパイロットプログラム							
プロジェクト番号	DE-EE0005129							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年9月15日	～	2013年12月31日	(2年)
開発企業名	Geotek Energy, LLC							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,637,326(\$450,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術				泥水掘削			その他	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、GHES(Gravity Head Energy System)に関し、パイロット井サイズのシステムを製造するために必要なコンポーネントのフィージビリティスタディと製造設計を完了させる。また、GHESの経済モデルも更新する。 【備考】GHESとは(GEOTEK社HP(http://geotekenergy.com/gravity-head-energy-system-ghes.html)より) 従来の業界標準バイナリーサイクル地熱発電所で使用される伝統的な有機ランキンサイクル(ORC)のユニークな装置。その特性は以下の通り。 ・地熱流体と井戸で発生する作動流体の間の熱交換を行う ・従来の地熱生産ポンプに紐づく負荷がGHES TMエキスパンダーポンプユニットの使用により解消される。 ・重力は、従来の二次作動流体圧力ポンプに紐づく負荷を排除する作動流体を加圧するため、使用される 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・負荷を除去し、より多くの発電、少数の井戸、低いLCOEを提供 ・井戸サイドの発電がIRRを改善し、地熱を遠隔地にも拡大する ・設置面積の削減 ・地表水は不要 ・誘発地震は生じない							
技術導入によってもたらされる効果	【備考：GEOTEK社HPより】 ・発電コストの低減 ・従来の発電所&収集システムのコストおよび環境影響の除去 ・初期発電の加速							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・GHESのコンポーネントの現場テストを完了 ・3-6MWの井戸用の、商用GHESコンポーネントの設計を完了 ・ライセンスインシャルのGHESの商用インストール							

540

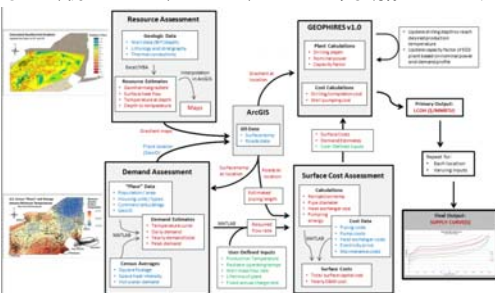
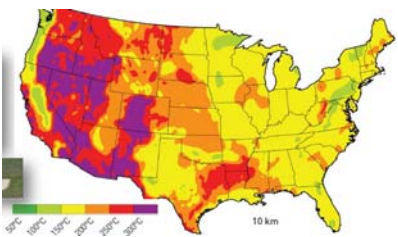
技術名称	堆積岩層における地熱エネルギー回収のための水平井再循環システムの発展								
プロジェクト番号	DE-FOA-0000336								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年9月1日		～	2013年9月30日	(2年)
開発企業名	Terralog Technologies, Inc. (University of California- Irvine)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$2,256,275 (\$1,805,020)								
技術目的	低リスク化			低コスト化	環境共生				
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M				
個別技術				傾斜掘削	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
					その他	その他	その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、透過性堆積地層における地熱エネルギー回収のために最適構成された、水平井再循環システムのための先進的な設計コンセプトを調査し、文書化する。 ・この革新的なアプローチの調査と開発に向けて、TerralogとUCIは以下を行う。 -地質資源の識別と特性の明確化 -設計最適化のためのエンジニアリング解析と数値シミュレーション -小規模&大規模な研究所調査と検証実験 -詳細なエネルギーおよび経済分析   【工学的フィジビリティスタディと数値シミュレーション】 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・加熱岩石内での大きな接触長さ ・より効率的な流体流量と熱回収 ・クローズドループシステムが水処理の必要性を減少 ・低作動圧力および温度変化が誘発地震リスクを低減 ・広範な低温地熱資源への適用 ・CO2流体の使用も検討								
技術導入によってもたらされる効果	本技術の開発とラボ実証の成功は、堆積地層資源の識別と組み合わせ、米国において開発機会を大幅に拡大し、地熱エネルギー回収のためのエンジニアリング手法を改善する。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	このような再循環システムの主要課題は、設計形状と、費用対効果の高い地熱エネルギー回収に向けたオペレーティングプラクティスの双方を最適化することである。								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・工学的・経済的実現可能性の実証 ・現場での実証 ・パートナーシップの構築 ・最終的なフルスケールの操業								

技術名称	地熱掘削機器の新技術に対する評価																			
プロジェクト番号	SNL FY11 AOP3.2																			
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年10月1日	～	2014年10月1日	(4年)												
開発企業名	Sandia National Laboratories																			
開発プログラム名	EERE																			
開発コスト(内補助金)																				
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生													
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減																	
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																	
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理												
個別技術				石油・ガス掘削技術																
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及														
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは他の掘削セクターから地熱掘削産業に渡る、先進的な掘削技術の確認、評価、発展を目指す。 ・採掘の際に使用されるウォーターハンマー、及び石油ガス業界で使用されるホールオープナーが地熱掘削の道具として適しているかの評価を行う。 ・プロジェクトにおいて、以下のことを遂行する。 -ワークグループの作成 -調査のために技術/プロセスの確認 -フィールドトライアルとして少なくとも2つの候補を準備する -フィールドテストの計画及び実行 ・エクソンモービルが発案した、Monitoring of mechanical specific energy (MSE;ドリリングの速度指標) 用いてモニタリングを実施している。 MSE $MSE = \left(\frac{F}{A}\right) + \left(\frac{2\pi}{A}\right)\left(\frac{NT}{u}\right) \text{ in} \cdot \text{lb/in}^3$ Where F = weight-on-bit (WOB) A = area N = bit rotation rate (RPM) T = torque-on bit (TOB) u = rate-of-penetration (ROP) MSE is a measure of the efficiency of the drilling process, basically: MSE = Input Energy / ROP  ウォーターハンマー <table><caption>MSE Training Progress</caption><thead><tr><th>Year</th><th>MSE Training (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2005</td><td>0%</td></tr><tr><td>2006</td><td>40%</td></tr><tr><td>2007</td><td>43%</td></tr><tr><td>2008</td><td>54%</td></tr><tr><td>2009</td><td>63%</td></tr></tbody></table>  ブラケットタイプ ピンタイプ ホールオープナー								Year	MSE Training (%)	2005	0%	2006	40%	2007	43%	2008	54%	2009	63%
Year	MSE Training (%)																			
2005	0%																			
2006	40%																			
2007	43%																			
2008	54%																			
2009	63%																			
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトでは、Percussive Hammers及びPDC Bitsの評価を行う。 ・DTHH (Pneumatic down the hole hammers)は、採掘、石油・ガス産業で、硬岩層を貫通させる際に使用されている。 ・PDC Bits (Polycrystalline diamond compact)は、他の岩盤掘削技術であるが、信頼性及びコストの問題を抱えている。																			
技術導入によってもたらされる効果	・EGSの生産能力の向上 ・コスト削減 ・熱水井戸建設の実現																			
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																				
現時点の技術的課題																				
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・OrmatによるMSE(mechanical specific energy)モニタリング ・PDCビット及びMSEに応じた商業的に利用可能な他の掘削アセンブリーの開発 ・結果を出版する																			

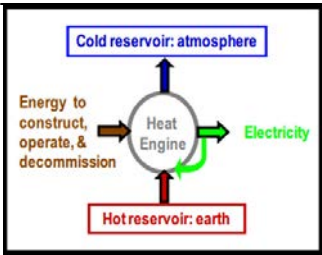
043

技術名称	USにおける深層堆積システムの最新の地熱開発							
プロジェクト番号	DE-EE0005128							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年9月30日	～	2013年9月30日	(2年)
開発企業名	University of Utah (Utah Geological Survey)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$3,935,549 (\$3,073,704)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関するリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体 高温岩体一酸化炭素回収貯留(CCS)	貯留層管理
個別技術				その他				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・深層堆積貯留層から電力を生成するためのシステム設計開発を行う。新しい掘削戦略と最適な探査アプローチを開発する。 ・改善された熱回収およびCO2隔離のための注入水-CO2混合物の革新的なアプリケーションと、生成流体温度のソーラー増強を評価する。 ・フェーズ全体の目標は以下のとおり。 1. 発電容量と、深層堆積貯留層開発の経済的・環境的リスク評価 2. 水平および垂直井構造・生産井と注入井の間隔・多面井の可能性の最適化・発電所の設計に依存する注入温度・太陽光もしくは他のハイブリッド手法を利用した流体温度の増強・開発に伴う間隙圧力変化を含む熱抽出のためのオプションの初期モデルの開発 3. 貯留層(井戸構造)の深度、温度、LCOE上の透過性感度調査 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・フェーズ2において、概念実証のために最も有利であることを示している潜在的なデモサイトの識別を行う							

044

技術名称	低温の地熱資源の利用に関する分析									
プロジェクト番号	EE0002745									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日		～	2013年12月31日		(4年)
開発企業名	West Virginia University (Cornell University,Iowa State University,National Renewable Energy Laboratory)									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$1,513,236(\$1,206,330):ARRA									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M	フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術			生産予測シミュレーション							
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・米国の東半分を覆う低温地熱資源の利用可能性につき、プロセスの最適化および技術経済分析を実行する。 ・本プロジェクトでは低エンタルピー地熱生成水の革新的な利用方法に関して設計・査定・評価し、地熱エネルギーが国家的エネルギー資源としてポテンシャルがあることを実証する。以下それぞれにつきカッコーン大学がケーススタディを実施し、結果をスケールアップ・一般化する。 - コミュニティ再開発プロジェクトにおける地域暖房での地熱の利用(ウエストヴァージニア大) - 発電と地域暖房のハイブリッドバイオマス地熱コジェネレーション(コーネル大) - 石炭および/またはバイオマス乾燥などの炭素系燃料の前処理の効率改善(アイオワ州立大) ・作成されたモデルは、市場への浸透の可能性を評価するため、例えばSEDS、MARKAL、NEMSのような既存のエネルギー評価モデルに実装される。 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・コーネル大の分析はバイオマスガス化プロジェクトと組み合わせると有望									
技術導入によってもたらされる効果	・供給改善と技術経済評価の開発プログラムに使用され、MARKALモデルへのインプット等DOEモデルとして使用できる									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題										
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	【低温地熱資源の統合/活用可能性の分析】 1.1 地熱およびバイオマスエネルギーの統合可能性評価 1.2 ケーススタディサイトの近い条件のEGS地熱貯留層のモデル開発 1.3 ベースケースサイト現場におけるEGSコストおよび特に掘削コストの分析と予測 1.4 直接利用のための熱需要プロファイルおよびプロセスモデルの特性評価 1.5 EGSコストのベースケースモデルへの促進 1.6 定常状態のパラメトリック研究と直接加熱ケース分析 1.7 地熱発電用アスペンモデルの開発 1.8 最も有望な統合戦略の選定 2. プロセスの最適化と経済分析 2.1 分析の入力パラメータの精度収集、改善 2.2 様々な深さ、温度、流量でサイトの貯留層シミュレーションを実行 2.3 バイオマス原料の種類を特徴づけ 2.4 有機バイナリランキンサイクル構成のパフォーマンス分析 2.5 低温EGS資源特性評価 2.6 低温EGS資源を組み込むためのGISベースの国家レベルのモデル開発 2.7 ハイブリッド共同-GENシステムの予備概念設計を開発 2.8 定常状態でバイオマス地熱ハイブリッド化事例を分析 2.9 選択した統合戦略の詳細な最適化 3. 地域化/一般化と結果のスケールアップ 3.1 地域別EGSコストの一般化 3.2 供給曲線の開発 3.3 大規模な供給・利用のための地域機会の特定 3.4 直接の暖房・発電・ハイブリッドコジェネレーションの最適化戦略の開発 3.5 有望な暖房・電気・ハイブリッドコジェネレーション予備的経済的評価 3.6 特定のスケールアップ機会のための技術経済分析 3.7 国家モデルにおける低温EGSの市場浸透モデルリング 3.8 燃料の節約とCO2の削減を達成									

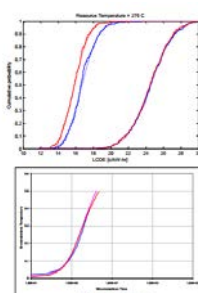
U46

技術名称	EGSにおけるエネルギー投資効率							
プロジェクト番号	EE0002740							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2012年5月31日	(2.5年)
開発企業名	Arthur J. Mansure							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$62,500(\$50,000): ARRA							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術			生産予測シミュレーション					
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・更新された、強化地熱システム(EGS)のエネルギー投資収益率(EROI)を提供する。結果は、アルゴンヌ国立研究所のライフサイクル評価および分析サブプログラムの別プロジェクトに合致するベースケース想定に組み込まれる。 ・EROIは、代替エネルギーのポテンシャルを評価する上で重要だが、現在の地熱エネルギーのEROI分析は不確実かつ古くなっている。 ・他の有限資源、抽出可能資源に関するEGSを含む地熱エネルギーの再生可能性および持続可能性に関する情報のレビュー・要約・アップデート・記録を行う。 フェーズ1: 過去案件のレビュー フェーズ2: 井戸建設材料の目録作成 フェーズ3: データ統合およびEROIの計算  							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・EGSにフォーカスした地熱エネルギーEROIの決定 ・測量的環境負荷および消費資源として考えられる地熱発電用の今後のLCAに向けた情報提供/サポート							
技術導入によってもたらされる効果	・地熱エネルギーのEROI・再生可能性・持続可能性分析を、他の代替エネルギーとの比較に向けた一貫した決定に集約する							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・利点について: 強化熱水システムとEGSの環境・経済・安全性の利点に関する理解と明確化不足 ・データ、仮定、ガイドラインについて: 不安定で制御されていないデータセットが、分析を実行する際に個々のアナリストや組織により使用される							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・文書化された最新のEGS EROI評価をプログラムに提出する							

047

技術名称	EGSのライフサイクルにかかる最低限のコストの概算及び分析																																																																																																																																																	
プロジェクト番号	EE0002739																																																																																																																																																	
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月8日	～	2013年9月20日 (2.5年)																																																																																																																																											
開発企業名	Adi Analytics, LLC (Pennsylvania State University, Scitech Patent Art Services, Inc.)																																																																																																																																																	
開発プログラム名	EERE																																																																																																																																																	
開発コスト(内補助金)	\$1,672,550(\$1,335,727): ARRA																																																																																																																																																	
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生																																																																																																																																												
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減																																																																																																																																															
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																																																																																																																																															
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M																																																																																																																																													
個別技術			生産予測シミュレーション		フラッシュ	バイナリー	高温岩体 貯留層管理																																																																																																																																											
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及																																																																																																																																												
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 ・主要コスト要因の評価に基づく高度に粒状な要素ごとのコスト内訳を展開する ・市場、供給、需要、経済性の各コスト要素(例えば技術、地域、ベンダー等)を評価する ・特許分析および、主要EGS(または類似するもの)のコスト要素に関わる研究開発努力に基づいて技術革新のプロファイルを予測することにより、イノベーションのコストへの影響を推定する ・EGS周辺の新技術とプロセス構造やベースラインEGSのライフサイクルコストへの影響を探る 【技術的アプローチ】 厳密なエキスパート誘引・モデリング・特許分析がコアメソッドとなる。 1. エキスパートの誘引 -DOEのベストプラクティスとトレーニングを利用した設計 -他のDOE業務に立脚 -エキスパートの概要を構成 -広く、公式・非公式に実行 2. コストモデリング -DOEのGETEMにレバレッジをかける -他のコスト&プロセスモデリングを統合する -商用のソフトウェアを用いる(Excel,@Risk,Aspen等) 3. 特許分析 -全世界～6000の特許データベースを作成 -多様な特許マップと分析を使用した技術に関するインサイトを開発 -Curves workを学ぶためのアウトプットを相関させる Snapshot of Our Expert Brief <table><tr><th colspan="4">Assumptions</th></tr><tr><th>Key Inputs</th><th>Units</th><th>Reference Case</th><th>Literature Range</th></tr><tr><td>Depth</td><td>m</td><td>10,000</td><td>1,800 – 6,000</td></tr><tr><td>Resource temp.</td><td>°C</td><td>200</td><td>180 – 250</td></tr><tr><td>Flow rate</td><td>kg/s</td><td>30</td><td>30 – 90</td></tr><tr><td>Thermal drawdown</td><td>%</td><td>0.3</td><td>0.3 – 3</td></tr><tr><td>Plant capacity</td><td>MW</td><td>50</td><td>0 – 50</td></tr></table> Estimates will be averaged, averaged, and kept conservative Not necessary to estimate all inputs Reference case and literature range provided for context <table><tr><th colspan="6">Table for Experts to Fill</th></tr><tr><th>Key Inputs</th><th>Units</th><th>Ref. Case</th><th>Lit. Range</th><th>Low</th><th>Median</th><th>High</th></tr><tr><td>Flow rate</td><td>kg/s</td><td>30</td><td>30 – 90</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Thermal drawdown (%)</td><td>%</td><td>0.3</td><td>0.3 – 3</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Extraction cost</td><td>\$/kWhwell</td><td>\$18</td><td>\$2 – \$10</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Production injection ratio</td><td>Number</td><td>2</td><td>2 – 3</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Well cost</td><td>\$/kWhwell</td><td>\$13.1</td><td>\$13 – \$20</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Surface equipment cost</td><td>\$/well</td><td>\$178,000</td><td>\$100 – \$400 k</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Stimulation cost</td><td>\$/kWhwell</td><td>\$2</td><td>\$0.5-\$3.0</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Rate of penetration</td><td>ft/hr</td><td>9.1/4.8</td><td><10 – 50</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Water cost (water injected)</td><td>%</td><td>0%</td><td>2% – 15%</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>O&M cost @ \$/kW</td><td>\$/million</td><td>\$1</td><td>\$1 – \$2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Exploration / confirmation duration</td><td>years</td><td>2</td><td>2-2.5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Exploration wells drilled</td><td>Number</td><td>2</td><td>2-4</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Number of dry wells</td><td>Number</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Exploration success rate</td><td>%</td><td>50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>							Assumptions				Key Inputs	Units	Reference Case	Literature Range	Depth	m	10,000	1,800 – 6,000	Resource temp.	°C	200	180 – 250	Flow rate	kg/s	30	30 – 90	Thermal drawdown	%	0.3	0.3 – 3	Plant capacity	MW	50	0 – 50	Table for Experts to Fill						Key Inputs	Units	Ref. Case	Lit. Range	Low	Median	High	Flow rate	kg/s	30	30 – 90				Thermal drawdown (%)	%	0.3	0.3 – 3				Extraction cost	\$/kWhwell	\$18	\$2 – \$10				Production injection ratio	Number	2	2 – 3				Well cost	\$/kWhwell	\$13.1	\$13 – \$20				Surface equipment cost	\$/well	\$178,000	\$100 – \$400 k				Stimulation cost	\$/kWhwell	\$2	\$0.5-\$3.0				Rate of penetration	ft/hr	9.1/4.8	<10 – 50				Water cost (water injected)	%	0%	2% – 15%				O&M cost @ \$/kW	\$/million	\$1	\$1 – \$2				Exploration / confirmation duration	years	2	2-2.5				Exploration wells drilled	Number	2	2-4				Number of dry wells	Number	2	2				Exploration success rate	%	50				
	Assumptions																																																																																																																																																	
Key Inputs	Units	Reference Case	Literature Range																																																																																																																																															
Depth	m	10,000	1,800 – 6,000																																																																																																																																															
Resource temp.	°C	200	180 – 250																																																																																																																																															
Flow rate	kg/s	30	30 – 90																																																																																																																																															
Thermal drawdown	%	0.3	0.3 – 3																																																																																																																																															
Plant capacity	MW	50	0 – 50																																																																																																																																															
Table for Experts to Fill																																																																																																																																																		
Key Inputs	Units	Ref. Case	Lit. Range	Low	Median	High																																																																																																																																												
Flow rate	kg/s	30	30 – 90																																																																																																																																															
Thermal drawdown (%)	%	0.3	0.3 – 3																																																																																																																																															
Extraction cost	\$/kWhwell	\$18	\$2 – \$10																																																																																																																																															
Production injection ratio	Number	2	2 – 3																																																																																																																																															
Well cost	\$/kWhwell	\$13.1	\$13 – \$20																																																																																																																																															
Surface equipment cost	\$/well	\$178,000	\$100 – \$400 k																																																																																																																																															
Stimulation cost	\$/kWhwell	\$2	\$0.5-\$3.0																																																																																																																																															
Rate of penetration	ft/hr	9.1/4.8	<10 – 50																																																																																																																																															
Water cost (water injected)	%	0%	2% – 15%																																																																																																																																															
O&M cost @ \$/kW	\$/million	\$1	\$1 – \$2																																																																																																																																															
Exploration / confirmation duration	years	2	2-2.5																																																																																																																																															
Exploration wells drilled	Number	2	2-4																																																																																																																																															
Number of dry wells	Number	2	2																																																																																																																																															
Exploration success rate	%	50																																																																																																																																																
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・意思決定のためのデータセット/モデルの欠如、不明瞭な経済的利益、インフラへのEGSの影響に関する洞察力の欠如、限定的な政策分析、調整と統合不足など、数多いプログラムの障壁に対処する。																																																																																																																																																	
技術導入によってもたらされる効果	・(EGSとR&Dの目標達成の可能性を評価する)プログラムのゴール、EGSデモプロジェクトに基づいた技術の準備状況評価、プログラムR&Dゴールに由来する新ツールおよび技術のLCOEの影響評価 ・プロジェクトは、業界がEGS技術を評価し、投資機会を評価するためのデータ・フレームワーク・ツール・モデルを開発する。																																																																																																																																																	
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																																																																																																																																																		
現時点の技術的課題																																																																																																																																																		
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	【マイルストーン&ターゲット】 ・最も高価なコンポーネントの特定(2011/01/01) ・電力の平準化コスト(LCOE)上の各構成要素への影響(2011/2/28) ・他のエネルギー技術とLCOEの比較(2011/03/31) ・構成要素ごとのコスト削減目標の特定(2011/05/31) ・新規参入者のための市場経済評価(2011/05/31) ・コスト上のサプライチェーンヘインパクトの特定(2011/08/31) ・技術発展と学習曲線の説明(2011/12/31) ・技術発展と学習曲線の予測(2011/12/31) ・コスト上の学習曲線の影響(2011/05/31) ・技術ギャップおよび対応するR&Dニーズの特定(2012/12/30) ・IGCC-EGS構成の評価(2011/11/30) ・IGCC-EGS利益の識別(2012/11/30) ・研究結果を抽出し、ステークホルダーに伝達(2012/6/30) ・学生教育のためにパートナーと協働(継続) ・R&Dおよび政策的含意を特定(2012/12/30) ・アウトリーチ活動の予定決定および組織化(継続)																																																																																																																																																	

048

技術名称	地熱システムの運用及び分析							
プロジェクト番号	SNL FY11 AOP1.3							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日	～	2011年8月30日	(2.5年)
開発企業名	Sandia National Laboratories							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	- FY09: \$125k AOP - FY10: \$500k AOP, \$115k spent - FY11: \$275k AOP, \$385k carryover / \$430k spent - FY12: \$230k carryover							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術			生産予測シミュレーション		フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・工学と分析ツール(モデル)に基づいた、地熱の物理的・経済的パフォーマンス評価のためのシステムを開発する。ツールは以下を組み合わせている。 －システムダイナミクスモデリング －分析・確率モデリング －意思決定をサポートするための定量的リスク評価 ・GT-Mod(下図)は、位置・熱抽出技術・地質条件・発電所タイプおよび構成・使用可能な資源・経済に応じて異なる地熱技術のために多次元の物理的・技術的・経済的パラメーター空間を組み合わせる。 【技術的アプローチ】 1. システムダイナミクスモデリングに貯留層のパフォーマンス、井戸の水力学および熱力学、発電、設計考察を含める 2. 推定貯留層モデリングにより、貯留層のパフォーマンス計算に現実的な物理特性を加える 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・“解空間”の定義等により、判断の確実性を向上させる							
技術導入によってもたらされる効果	・地熱探査、サイト選定、サイト開発、熱抽出、熱変換に関連する理解と技術におけるキーギャップを特定し、DOE GTOが彼らの調査・開発・デモンストレーション(R&D)の取り組みについて評価及び優先順位付けを行うことをサポートする							
	・デモサイトと業界データが利用可能になるにつれて、システムエンジニアリングツールはメカニズム(地熱エネルギー生産の経済的競争力改善に関する、これらのデータの融合および理解のためのメカニズム)を提供する							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・システムダイナミクスのフレームワークにおける計算集約的な物理的プロセスモデルのシミュレーション							
	・リスク評価のためのシミュレーション実行時間を最小限に留めること							
	・GETEMとの力学的接続							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・CY11終わりにBeta-2バージョンを配布							
	・物理的モデルの精緻化を継続; 地球統計学的な探査および貯留層における地熱減少を解決するための有限分析アプローチ							
	・特定の問題解決および分析のためのモデルの使用							

49

技術名称	GETEMの開発							
プロジェクト番号	INL FY11 AOP 1							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年7月1日	～	2014年9月30日	(5.3年)
開発企業名	D-2 (Sandia National Laboratories,National Renewable Energy Laboratory)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$350,000 (DOE Funding Level is up to the amount stated and is subject to negotiation.)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術			生産予測シミュレーション		フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	地熱発電技術評価モデル(GETEM)は、熱水資源からの発電コストの評価手法と、技術の進歩がこれらのコストをいかに変化させるかの評価手法として開発された。モデルはコストの明確化および各段階/構成要素/プロジェクト開発でのパフォーマンス改善に重点を置いて、強化地熱システム(EGS)資源からの発電を描くべく改訂されている。 【目的】 GTO(地熱技術事務所)に対し、①技術的・経済的ツールを提供すること、②多様な地熱資源からの発電コストの明確化と、これらの発電コストに対する別プロジェクトの構成要素の寄与の特定を可能にすること 【技術的アプローチ】 1. GETEMのLCOE(電力平準化コスト)の見積もりは、評価シナリオを決定付ける”ユーザー”のインプットに基づく。このインプットは、以下を決定する。 -電力売上または井戸区域のサイズ -発電所のサイズ(地熱ポンプのパワーと売上) -プロジェクトの各フェーズでのコスト 2. 懸念点を特定し、モデルの見積もりを改善するために以下を行う。 -EGSと未発見の熱水資源双方のシナリオを特定し、LCOE上の資源変動のインパクトを提示 -モデル入力の改善 3. 産業界のインプットを要請する。 4. 各資源シナリオ用のインプットの一意のセットを定義する -これらのインプットの相対的な重要性/インパクトを決定付ける特定のインプットの生成コスト感度を定義する -モデル見積もりに使用される手法を改善する 5. 探査・確認コスト 6. LCOE計算 7. 井戸のコスト(Well Cost) ・資源変動については、5つのEGSと5つの未発見熱水シナリオを特定 ・他の再生可能プログラムと一致するLCOEを計算するためのアプローチが組み込まれている							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・プロジェクト開発の全フェーズ&全要素のコストとパフォーマンスを見積もることができる							
技術導入によってもたらされる効果	・発電コストを大幅に減少させる可能性がある							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・一部情報が不十分(例: 坑井刺激のケース、新技術のコストデータ・パフォーマンスやベネフィット) ・深度に伴う掘削コストにおいて多種考えられる代表的な作井コストの特定							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・GETEMの様々なモジュールのアップデートはほぼFY11末までに完了 ・モデルに加えられた挙動に関し業界コメントを取得する ・DOE GTPが達成しようとしているモデルへのなんらかの追加の改善の含有と同様な、表面の装置の描写に使われているコストのいくつかを再考することを含む、モデルのメンテナンス							

030

技術名称	技術の供給曲線の作成							
プロジェクト番号	NREL FY11AOP2.2							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年6月1日	～	2011年9月30日	(1.3年)
開発企業名	National Renewable Energy Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$350,000(\$350,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M			
個別技術			生産予測シミュレーション		フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、地熱技術における開発コストに関連している供給曲線の開発を行う。 ・コプロダクション供給曲線 -石油・ガス生産の間で共産される水からの電力発生のリソースポテンシャル推測 -共同生産システムの開発コスト推測のための、技術-経済的モデルの開発 -供給曲線の開発のために、技術-経済的モデルをリソースポテンシャル推測に適用 ・構造性高圧地層 (Geopressured) -既存のリソースポテンシャルの研究調査 -トータルリソース及び再生可能リソースエネルギー推測実行の為に、文献において十分利用可能なデータの焦点を絞る -電気及び天然ガスのための再生可能なエネルギーの推測 -SAMにおける地層圧システムのためのコストモデルの開発 -再生可能なエネルギーの推測とコストモデルを用いた供給曲線の開発							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	供給曲線は、技術の特定化、資源のポテンシャルサイズ、技術の展開コストの把握に用いられる。							
技術導入によってもたらされる効果	・地層圧を受けている資源及び堆積資源の新しい供給曲線の開発は、新しい技術のポテンシャル評価及び低温資源の発見に繋がる。 ・未知の熱水供給曲線法の更新は、利益分析における利益の定量化に繋がる。 ・EGS供給曲線の更新は、他のエネルギー技術に対してEGSはより競争力を持つようになる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・資源アセスメント/予測データ及びコストモデルが不十分である。 ・近年GTPは熱水及びEGSのみの供給曲線の開発を行っている。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・供給曲線を完成させるための、資源予測とコストモデルの結合 ・技術-経済モデルの開発 ・コストモデルと貯留層シミュレーション結果に基づく資源の経済的実行可能性の検証							

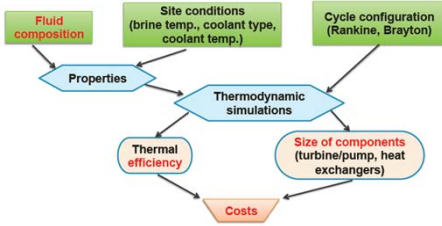
031

技術名称	電気熱交換器技術								
プロジェクト番号	DE-EE0005130								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年9月1日		～	2012年12月30日	(1.3年)
開発企業名	Physical Optics Corporation								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$250,000 (\$200,000) (FY2011)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術					復水器				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・目標は、地熱抽出器のコアコンポーネントとしての蒸気静電コンデンサ(VEC: Vapor Electrostatic Condenser)の技術的実現可能性およびコスト要件を分析し、実証することである。 ・本研究開発のフェーズ1は、以下に対処する: (1)実験室規模のELSTEX熱抽出プロトタイプの開発・設計 (2)ELSTEX熱抽出プロトタイプの実験室での評価 (3)実験データの分析およびELSTEX技術の技術的・経済的パラメータへの実験基盤の確立 (4)寿命を超えたシステムの、推定される経済的実現可能性を示す詳細な技術的・経済的モデルの開発 (5)プロジェクトマネジメントと報告								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性									
技術導入によってもたらされる効果									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	今後実行するタスク: タスク1.0. 評価のためのELSTEXシステムプロトタイプ的设计・製作 タスク2.0. ELSTEXシステムプロトタイプの実験室評価 タスク3.0 データ分析および今後の開発のための意思決定基盤の確立 タスク4.0 オペレーティング・ライフタイムを通じた地質資源の熱的進化を含む、システムの技術・経済モデルの開発 タスク5.0 プロジェクトマネジメントおよび報告								

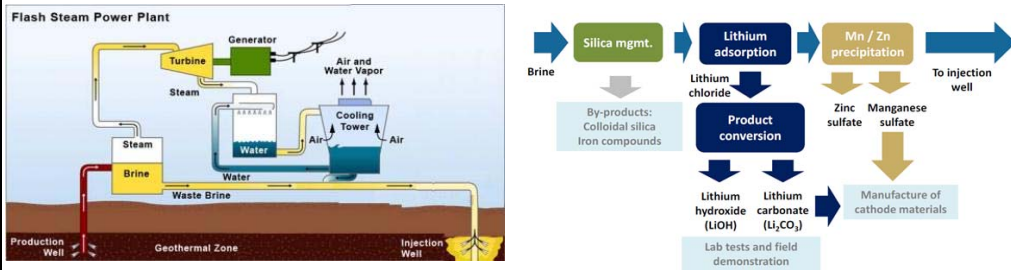
032

技術名称	空冷式のハイブリッド化及び発展							
プロジェクト番号	AID 19985							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日	～	2012年1月30日	(2.5年)
開発企業名	National Renewable Energy Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,079,015(\$1,079,015):ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 【概要】 多くの地熱発電所は空冷であり、これは水資源の問題があるからである。そこで、NRELは温度が高い地域における空冷能力の向上を図っている。近年では、従来の電力産業は、水冷式と空冷式のコンデンサーを並列で使用することに興味を抱いている。 小さな水冷式の設備により空冷による暑い日における伝熱効果の低減を図ることを行っている。 【マイルストーン】 -水冷式と空冷式と複合冷却装置とでの125℃と175℃における、コストを最適化された50MWのバイナリーシステムでの地熱発電所の時系列でのコストおよび動作シミュレーションの実行。 -複合型冷却装置の性能の実地試験を行うために、適切なバイナリのサイクルの特定 -フィールド・テストの実施							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	NRELは複合型冷却の実行のために、コスト最適で、実用的な手法を開発している。							
技術導入によってもたらされる効果	水冷を最小化しつつ、空冷の効果を最大化							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	コスト面							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・特許出願についての決定と商業化 ・冷暖房空調設備等への応用によるコスト低減							

033

技術名称	地熱タービンにおける地熱流体の働き							
プロジェクト番号	AID 20006 (AID 19994)							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月21日	～	2012年9月30日	(3年)
開発企業名	Oak Ridge National Laboratory (Sandia National Laboratories)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$820,760(\$820,760)(\$150,000(\$150,000))							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術					冷却塔	凝縮器	循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、作動流体及び冷却オプションの開発を通して地熱タービンサイクルのパフォーマンス向上を目指す。 ・熱力学的特性の予測及び計測、複雑なタービンサイクルの正確なモデリングを行うことで、作動流体及び冷却オプションの開発を行う。 ・プロジェクトにおいて、下記内容を遂行する。 -ベースラインとなる作動流体の熱力学的特性の計測 -作動流体の熱力学的特性の分子力学的モデリング -冷却オプションを含む地熱タービンシステムの熱力学的モデリング -建設資材と作動流体の適合性調査 -地熱発電所効率の評価、作動流体のパフォーマンスのランキング付け 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・混合流体の構成の発見により、許容範囲内のコストで発電効率を最大化させることができる。 ・そして、サイクル効率が良い、EGS及び低温井の開発が可能になる。 ・また、作動流体の寿命の長さにより、発電所オペレーションコストが抑えることができる。							
技術導入によってもたらされる効果	EGSのエネルギー変換における低コスト、ハイパフォーマンスに貢献する							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・新しい作動流体を把握するには、全ての合成物における混合物が必要である。 ・混合物の性質は実験を行わなければ、確認及び推測はできない。 ・低温地熱資源における、エネルギー変換の高効率化							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・PVT測定データの加工する。 ・PVT測定データを IUPAC ThermoML standard for Thermodynamic Data Communicationsに変換する。 ・NISTと共同で、混合物SF6 + CO2のREFPROPにおける特性データベースを完成させる							

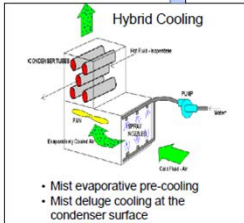
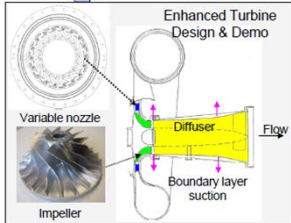
1534

技術名称	地熱流体からの資源発掘技術の開発									
プロジェクト番号	EE0002790									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月29日		～	2012年12月28日		(2.9年)
開発企業名	Simbol Materials									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$9,633,543(\$3,000,000)									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M ブラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術					副生技術					
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・地熱による発電に付随し、既存の発掘よりも低コストかつ環境に配慮した手法である、地熱熱水からの鉱物発掘技術を確立する。これにより地熱発電の事業の収益性の確保が可能になると考える。 ・リチウムを抽出し、販売可能な形(リチウム化合物、シリカ、ケイ酸鉄、リチウム/マンガン電池材料)に精製する。 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本技術を確立することで、地熱資源からの鉱物発掘を行う、地熱鉱業の開発、発展に寄与する。地熱鉱業産業の発展により、リチウムのような資源の内省化、雇用の創出が可能となる。 ・本技術の確立により、地熱発電の収益性の向上が可能となり、同時に高コストである最新技術の導入も可能となる。 【詳細】 ・スケール(シリカ: 二酸化ケイ素)除去のためのシリカマネジメントシステム開発(完了) ・地熱塩水から溶存シリカを抽出するための次世代技術の開発(抽出したものの70%以上を回収できる技術)(4/2012まで) ・選択的に不純物を除去することにより、ケイ酸塩の沈殿物を変換して、リチウムイオン電池正極材料のリン酸鉄リチウム0.5kgサンプルを生成(9/2012まで) ・既存の技術の上に少なくとも3倍の能力が増加し、30から50パーセントの経済的優位性を持つ新しいリチウム抽出材料の開発(4/2012まで) ・リチウム飽和溶液から、高純度炭酸リチウム、炭酸リチウム95%の水酸化リチウム、純度99.5%かつエネルギー消費が5kWh/kg未満の生成。8から120時間の連続テストを実施(9/2012まで) ・既存の地熱熱水から、毎分6ガロンのリチウム抽出実証を実施。リチウムを90%以上の炭酸リチウムに変換。500時間以上の連続稼働。\$1500/t以下の生成コストの実証(9/2012まで) ・地熱熱水からマンガン及び亜鉛を抽出するための技術を開発。回収率90%以上の達成。(9/2012まで) ・地熱熱水からカリウムを除去し、鉱物の抽出率50%～70%超えるための実験技術開発。(4/2012まで) ・抽出したリチウムマンガンスピネル(鉱物)などの正極材料の性能は、既存の正極材料と同等であるかどうかを判断(9/2012まで)									
技術導入によってもたらされる効果	①リチウム及びケイ素発掘・抽出技術の発展 ②地熱流体からのマンガン、亜鉛、カリウム発掘技術の発展及び効率化									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・地熱熱水からのリチウムの商用化は、現状実証されていない ・鉱物の抽出に当たリスクの抑制が必要である ・鉱物の抽出のための機器が腐食性で、ホット(110℃)地熱塩水の存在下で安定している必要があり、金属の抽出・選択可能あること、金属の特性を回復することができる中で、商業スケールで経済性があること 上記の技術的課題を解決する。									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・複数の発掘プロセスにおいて、実用可能性がある技術を実験室で研究、効果を分析 ・実用がより確実と思われる技術(資源発掘技術としては、技術イオン交換、溶媒抽出、析出、電解採取)に関しては、実際の地熱塩水を利用した実物大規模の研究を加えて実施 ・各発掘プロセスの効率性及びコストを明確化し、市場価値と照らし合わせて商業化の実現性及び効果を分析 ・上記に関する報告書を作成									

U55

技術名称	テキサス州の既存の油・ガス井から採取した複合水を利用した地熱発電に関する、技術面及び経済面に関する検証							
プロジェクト番号	EE0002853							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年6月1日 ～ 2013年12月31日 （ 3.5年）			
開発企業名	Universal GeoPower, LLC (Power Engineers, Inc, Pratt & Whitney Power Systems, Southern Methodist University)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$5,969,886(\$1,499,288)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ バイナリー 高温岩体 貯留層管理			
個別技術					副生技術			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及 市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	油・ガス井の同時生成水から得られた地熱電力発電の技術及び経済面におけるフィージビリティ・スタディ							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・井戸選定:技術的要素だけでなく、多くの経済的要素を反映している。(地方政治、真水の利用可能性、電気相互接続の技術的/政治的課題など) ・発電所設計:スタートアップとしてUGPIにとって、“too big a bite to chew”である。 ・経済実行可能性:出力が7800MWであり、4兆SCFの天然ガス無駄をなくし、75000の雇用を生む							
技術導入によってもたらされる効果	油・ガス産業において、広く活用される							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	政府の援助なしに規模拡大を図った場合、経済的に実行可能かを示すための、地球化学と財政モデルの結合							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・井戸の温度及び流量の調査 ・もし、温度もしくは流量が基準を満たさない場合は、代替装置が必要になる可能性がある							

U36

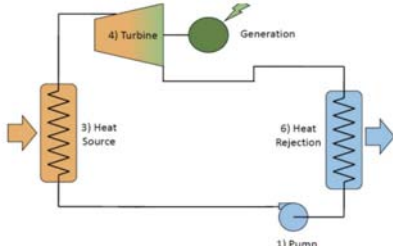
技術名称	高性能タービンを利用した地熱ORCシステムにおけるハイブリッド水冷・空冷熱交換器の最適化							
プロジェクト番号	EE0002738							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年2月1日	～	2012年3月31日	(2.5年)
開発企業名	United Technologies Research Center							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,191,218(\$1,489,022): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						タービン		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	PureCycle ORC system optimization Hybrid Cooling  CONDENSER EVAPORATOR MIST DELUGE COOLING CONDENSER SURFACE • Mist evaporative pre-cooling • Mist deluge cooling at the condenser surface Enhanced Turbine Design & Demo  Variable nozzle Impeller Diffuser Boundary layer suction Flow 【概要】 ・高効率タービンと、ハイブリッド式の熱交換器の開発により、水使用量を減少させつつ、オーガニックランキンサイクルの発電システムの効率の散らばりを減少させると共に、濃い効率化を図る。 ・年間8%の効率向上、および夏季の効率を30%向上させる。 ・空調や冷凍庫、発電所と同じく、地熱でのORCの活用は非常に可能性が高い。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・マイクロチャネル熱交換器の表面におけるミスト冷却のモデリングを実施。 ・高効率な拡散ノズルと、デフューザーの開発 ・ORCの最適化の実施 ・liquid gap membrane distillation(膜蒸留法)による純水の供給可能性のFS							
技術導入によってもたらされる効果	地熱における水の節約および、改善につなげることが可能となる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

U57

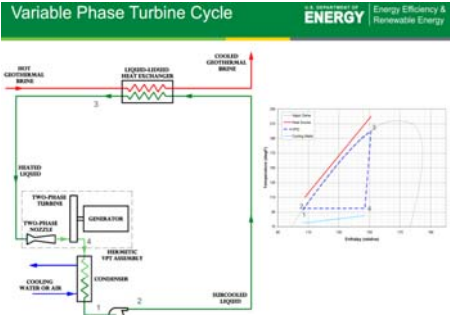
037

技術名称	オイル井・ガス井からの混合流体による発電技術							
プロジェクト番号	EE0002731							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年8月15日	～	2013年9月30日	(年)
開発企業名	University of North Dakota							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$3,467,922(\$1,733,864)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						タービン		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	ノースダコタ州のEncore Acquisitionが操業する油田においてORCを2年間試験導入し、空気を凝集媒質とした有機ランキンサイクル技術(ORC)の活用による、低温の地熱水を利用した発電システムの技術的及び経済的実現性を実証する							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	年間平均50° Fの気候化、及び変化の大きい大陸気候において、ORC技術による地熱発電が実現可能となる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

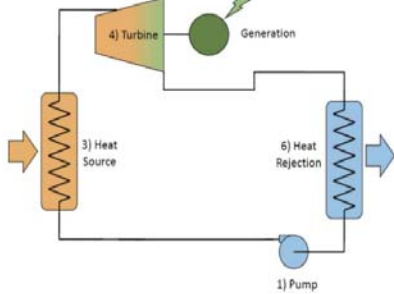
038

技術名称	Beowawe Bottomingバイナリープロジェクト									
プロジェクト番号	EE0002856									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日		～	2011年8月30日		(2.5年)
開発企業名	Beowawe Power, LLC									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$4,394,380(\$2,000,000)									
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生			
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理		
個別技術						タービン				
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及				
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 現在地熱貯留層に存在する低圧・低温(205° F)塩水の熱源を抽出するバイナリー技術を活用し、既存のBeowawe発電所における発電量拡大の技術的・経済的実現可能性を実証する 【技術的アプローチ】 1. 3900 GPM205° Fの塩水から約1.8Mwを生成 2. 対応案 - 機器供給、プラントエンジニアリングのbalance、建設 3. Performed table-塩水スケーリングのポテンシャルへの影響を分析する実験 4. リターン率を把握するために作成された経済モデル 									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・経済的・技術的に実現可能な方法で低温塩水から発電するための革新的アプローチを実証している ・追加の生産井掘削や地熱資源利用をすることなく発電するため、コストの節約とリスクの低減に繋がる ・同量の蒸気および塩水から追加の発電をするため、発電所の効率性を向上できる ・既存の発電所への影響が少ない ・地熱ボトムングバイナリー発電所の運用データベースを提供									
技術導入によってもたらされる効果	・設備は稼働しており、1.8MW以上の発電を行っている									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・経済的合理性のある方法で廃塩水を発電に使用する能力 ・新技術のテストが一定の水準を担保できないリスクがあること									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・既に商業運転を行っており、残り2年でDOEへの報告を行う									

039

技術名称	低温地熱資源利用時における可変位相タービンを用いた発電システムの実証							
プロジェクト番号	G015153							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日	～	2011年8月30日	(2.5年)
開発企業名	Energent Corporation (Terra-Gen)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$2,203,053 (\$2,010,075) (FY2005)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・VPTアセンブリは、プロセス潤滑軸受に支えられた同一シャフト上において、遷臨界・二相流もしくは蒸気流で作動可能なタービンと発電機を保持するよう設計・製造される。 ・熱交換器、VPTアセンブリ、コンデンサは、既存の大規模地熱帯からの低温坑井流を用いて実証される。 ・電力はフラッシュ蒸気発電所で分離された塩水から生成される。 ・生成された電力正味1MWは、デモサイトにおいて既存の電力系統に供給される。 ・システムは低温資源からの安価な発電の実証を行う。 【備考】VPT(Variable Phase Turbine)とは、作動媒体のエンタルピーを気液2相流の運動エネルギーに変換するものである (三井造船資料より) 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・簡素な液体-液体熱交換機がボイラーとセパレータの代わりに作動流体を加熱するため使用される。 ・運動エネルギーのエンタルピーのコンバージョンは、二相ノズル内の作動流体の近接等エントロピー膨張によって達成される。 ・ノズルからの高質量流と低速は、発電機と気密タービン発電機アセンブリの直接駆動を可能にする低速タービンにつながる。							
技術導入によってもたらされる効果	・1 MW可変位相タービン(VPT)の動作を実証する。低温地熱資源の実証は、低温地熱発電のための可変位相サイクル(VPC: 低温排熱回収システム)を適用可能にする。 ・VPCは、ボイラー及びセパレータの代わりに液体熱交換器を使用し、直接ギアボックスを排除して発電機を駆動することにより、他の低温システムに関する資本コストを下げる。 ・VPCは、開発された資源からより多くの電力生産をすることによって、地熱プロジェクトのメガワットあたりのコストを下げる。これは、ORCシステムの伝熱用のピンチポイント制限を排除することで達成される。低温資源に関し30%の電力生産の向上が確認されている。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・熱交換器のスケーリング ・コスト増							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・VPC発電プラントは、2012年5月に委託される。 ・発電所は設計塩水流量で1MWをグリッドに発電し、地熱部門(Geothermal Division)の低温資源目標の5%を達成する。 ・実証プラントのレプリカは商用販売され、DOEの目標を前進させる。 ・VPTは排熱回収用発電プラント向けに販売されている。2つのプロジェクトが2012年に稼動する。 ・本技術は、日本と中国におけるアプリケーション用に認可されている。							

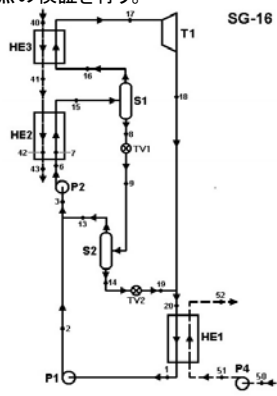
0600

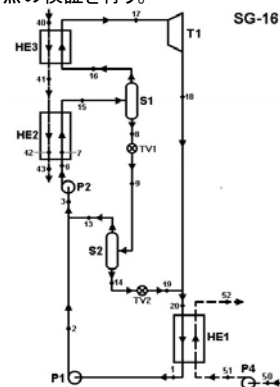
技術名称	Dixie Valleyバイナリー発電プロジェクト							
プロジェクト番号	EE0002860							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月30日	～	2013年1月31日	(2.8年)
開発企業名	Terra-Gen							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$15,484.628(\$2,000,000): ARRA							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	300° F未満の地熱発電所噴射口温度における超臨界サイクルの商用利用を用い、従来にない、223° Fの地熱資源から発電を行うことの技術的・経済的な実現可能性を実証する 【目的】 現在地熱貯留層に存在する低圧・低温(223° F)塩水の熱源を抽出するバイナリー技術を活用し、既存のDixie Valley電所における発電量拡大の技術的・経済的な実現可能性を実証する 【技術的アプローチ】 1. 8500 GPM 225° Fの塩水から約5.0Mwを生成 2. 対応案 - 機器供給、プラントエンジニアリングのbalance、建設-結果はEPCコンタクトだった 3. Performed table-塩水スケーリングのポテンシャルへの影響を分析する実験 4. リターン率を把握するために作成された経済モデル 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・経済的・技術的に実現可能な方法で低温塩水から発電するための革新的アプローチを実証している ・追加の生産井掘削や地熱資源利用をすることなく発電するため、コストの節約とリスクの低減に繋がる ・同量の蒸気および塩水から追加の発電をするため、発電所の効率性を向上できる ・既存の発電所への影響が少ない ・地熱ボトムングバイナリー発電所の運用データベースを提供							
技術導入によってもたらされる効果	・バイナリ発電所を利用した排水による発電の経済的な実現可能性を実証する							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・経済的合理性のある方法で廃塩水を発電に使用する能力 ・新技術のテストが一定の水準を担保できないリスクがあること							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								

61

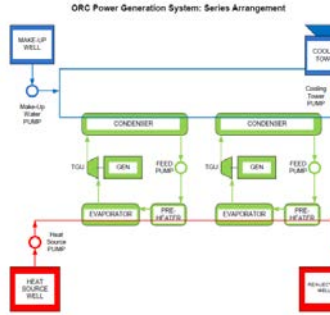
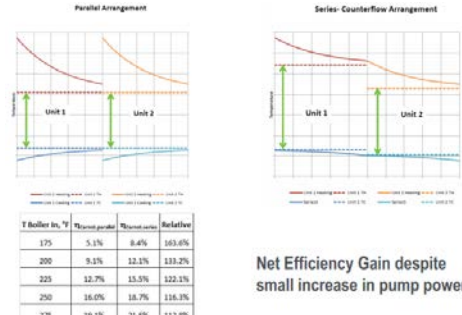
技術名称	低～中温度の熱資源による発電技術								
プロジェクト番号	EE0002854								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年8月15日		～	2013年9月30日	(3年)
開発企業名	University of North Dakota (Berrendo Geotherma,Continental Resources, Inc.,North Dakota Geological Survey)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$3,467,922(\$1,733,864): ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 1. バイナリORC(Organic Rankine Cycle:有機流体サイクル)技術を用いて従来にない低温(150° F～300° F)地熱資源からの発電の技術的・経済的な実現可能性を実証すること 2. 地熱流体温度、流量、電力販売価格を含む物理的パラメータのより広い範囲内で技術がリプレイス可能なことを実証すること 3. 油田地熱資源開発に関する起業家精神を促進し、地球熱学の科学者や技術者を養成するべく、広く、この研究の成果を普及すること 【各目的に対する調査項目】 <1&2> PHASE A1 - 実現可能性検証と工学的設計 Task 1.0. ORCシステム設計とプロジェクト実現可能性 A. サイト評価 評価された事項(実績): CRIが運営/24時間365日有人/電力・インターネットアクセス・水・シェルターが利用可能/地熱水が5箇所の井戸から生産されている Table 1. 水供給および注入井データ B. 最も効率的かつ経済的なORCシステムの決定 エネルギー変換システムの評価事項(実績): 出力(kW)/net kW/設置面積/遠隔操作の可否/冷却方法/機器数/作動流体の種類/デリバリー/コスト/追加インフラ/冷却用の追加コスト/認可/屋外or屋内/出力電圧/輸送負担/性能保証/HEおよびパイプの絶縁体/グリッド接続/サイトへの輸送/Special/インフラ金額/総コスト/kWあたりコスト/年間売上\$.05/kWh/投資回収年数 Table 2. 提案のため接触したエネルギー変換システムの企業 Table 3. エネルギー変換システム分析パラメーター C. 経済的実現可能性 2つのシナリオで経済性を分析。 1.電力売上(想定売上げをベースに投資回収年数を計算) Table 4. 生産電力売上げによる収益 2.現場の電力利用($N_p = ((Q \times C \times L \times P_e) + (EEUR \times P)) \times A - OM$)という方程式を利用し、現場の電力利用の経済的インパクトを分析) Figure 1. 地熱発電所有/無での年次・累積収益 <2> Table 1. 温度要因による生産井・閉鎖井 Table 2. Williston Basinの地熱帯水層 Table 3. Williston Basinの主要地熱帯水層から生産されるエネルギー(ジュール) Figure 1. MADISON層の98℃以上の生産井 Figure 2. 生産油井からの水生産が大きいWilliston Basinの一部ノースダコタ地域								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・取得したデータや知見は、他の油やガス状況における類似の地熱ORCシステム導入を容易にすべく使用できる								
技術導入によってもたらされる効果	・低温地熱資源や、ノースダコタの多様な大陸性気候等、様々な動作条件下で地熱PRC技術をテストする機会を提供する								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・発電の設置およびモニタリングを2013年の夏に開始し、2015年8月まで継続								
	・AAGと協働し、地熱ORCと廃ガス発生器のコンビネーションを装備した生成水浄化システムをインストールする								
	・プロジェクトに関する情報を公開し、提示し続ける								

002

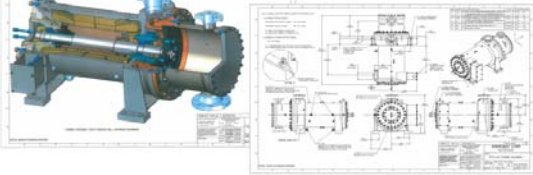
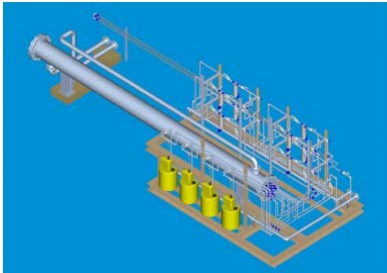
技術名称	Kalex先進的低温バイナリー発電(Bald Mountainプロジェクト)								
プロジェクト番号	EE0004430								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日		～	2011年8月30日	(2.5年)
開発企業名	Oski Energy, LLC (CAL ISO,Graphics Vision,KalexLLC,Technip/Mannvit)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$17,705,766(\$2,000,000)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術						凝縮器			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 特に低温地熱資源流体のために設計された、革新的で先進的なアンモニア-水混合作動流体エネルギー変換サイクル(「アドバンスドサイクル」)の活用を焦点を当て、サイクルのパフォーマンスと経済的利点の検証を行う。 ・エンジニアリングの査定 - Q2 2013 ・最終的なコスト見積り - Q2 2013 ・再生可能なPPAの提案 - Q2 2013 ・財務モデリング -Q2 2013 ・フェーズ1 GO/NO GO/方向転換 - 決定はQ2 2013の見込み(グロス9.6MWe、シングルトレインをターゲット) ・初期状態の貯留層モデル - Q2 2014 ・実証プロジェクトEPC - Q1 2015 ・商業運転/データ収集 - 2015 - 2016 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・アドバンスドサイクル設計は、低温利用(190 - 220° F)における現在の地熱技術に関して、高-中程度の効率性を提供する ・新規システムの設計は、地熱作動流体温度の変化、日次/年間の周辺温度の変化を自己相殺する ・初期のアンモニア-水のパワーサイクルと比した大幅なコスト/パフォーマンスの向上								
技術導入によってもたらされる効果	・アドバンスドサイクルは、低温地熱流体が流れる際の発電レベルを改善し、より少数かつ浅い生産井での生産を可能にし、生産現場開発のコストとリスクを低減することを実証する-リスク要件の全般的な減少により、地熱プロジェクト全体のコストを下げることに繋がる。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・アンモニア-水ベースの初期世代地熱発電サイクルは、作動流体に関する不測の問題によって重要な機器故障を起こしている ・アドバンスドサイクルは既存のORCプロジェクトに比してより多くの機器を必要とする。そのためコストを最小化しながらパフォーマンスを最大化するよう設計・建設されることが重要								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・記述の機器故障は、建設資材の選択に起因すると思われるが、今後故障のメカニズムが十分に理解されれば修正される。 ・機器の改定・建設資材・オペレーション機能強化に関しては、稼働中のプロジェクト後に明らかになるとと思われる。これらの知見の実装は、追加ユニットのコスト効率を向上させる技術に繋がるだろう。								



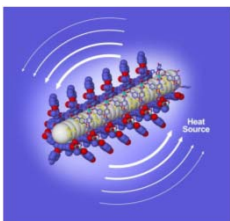
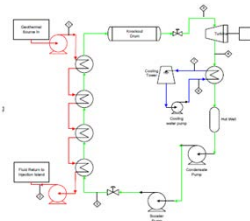
U63

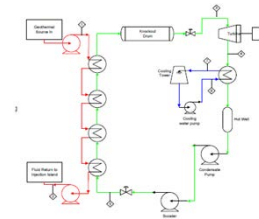
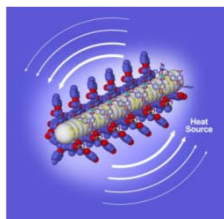
技術名称	低温地熱による革新的なエネルギー変換機器																															
プロジェクト番号	EE0002858																															
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月30日	～	2015年12月1日	(5.6年)																								
開発企業名	Johnson Controls, Inc. (Barber-Nichols, Inc., Oregon Institute of Technology)																															
開発プログラム名	EERE																															
開発コスト(内補助金)	\$2,137,985(\$1,047,714):ARRA																															
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生																									
	開発リスクの低減		社会受容性に関するリスクの低減																													
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																													
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理																								
個別技術						凝縮器																										
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及																										
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 現在利用可能な技術から少なくとも20%低減したコストで低温地熱資源から発電する機器を開発する。 ORC Power Generation System: Series Arrangement  Parallel Arrangement  <table><tr><th>T Boiler In, °F</th><th>Netout grade</th><th>Netout cond</th><th>Relative</th></tr><tr><td>175</td><td>5.1%</td><td>8.4%</td><td>163.6%</td></tr><tr><td>200</td><td>9.1%</td><td>12.1%</td><td>133.2%</td></tr><tr><td>225</td><td>12.7%</td><td>15.3%</td><td>122.1%</td></tr><tr><td>250</td><td>16.0%</td><td>18.7%</td><td>116.3%</td></tr><tr><td>275</td><td>19.1%</td><td>21.6%</td><td>112.8%</td></tr></table> Net Efficiency Gain despite small increase in pump power!								T Boiler In, °F	Netout grade	Netout cond	Relative	175	5.1%	8.4%	163.6%	200	9.1%	12.1%	133.2%	225	12.7%	15.3%	122.1%	250	16.0%	18.7%	116.3%	275	19.1%	21.6%	112.8%
	T Boiler In, °F	Netout grade	Netout cond	Relative																												
175	5.1%	8.4%	163.6%																													
200	9.1%	12.1%	133.2%																													
225	12.7%	15.3%	122.1%																													
250	16.0%	18.7%	116.3%																													
275	19.1%	21.6%	112.8%																													
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	発電に、量産型の「逆冷凍」用チラー装置を使用することで、 ・パフォーマンス上のリスクを最小限に抑えながら、既存製品から得られるスケールメリットと製造経験を活用できる。 ・現在の技術水準においては、より良い作業媒体(液体)と熱管理サイクルの改善によってプロセスの効率を向上させられる。																															
技術導入によってもたらされる効果	・有害物質の排出削減 ・新規雇用創出																															
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																																
現時点の技術的課題	・発電が高コストである点が低温地熱資源の使用を妨げている																															
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・どの作業媒体が最も経済的・環境的にベストな生産を行うかを評価すべく、異なる熱力学サイクルを比較することにより最適な技術アプローチを識別する ・低温資源の選択された熱力学サイクルの変換効率を最適化する																															

U064

技術名称	低温地熱バイナリー発電所のためのスケール抵抗の高い熱交換器								
プロジェクト番号	EE0004423								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年9月30日		～	2013年8月1日 (3年)	
開発企業名	Energent Corporation (Diversified Controls,Terra-Gen)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$2,405,364(\$1,224,704)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術						凝縮器			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 ・低温資源の使用率向上を可能にすべく、スケール耐性熱交換器の設計を利用した地熱発電所の実証 ・作動流体中に浸漬される密閉タービン発電機アセンブリの実証 【技術的アプローチ】 <スケール制御方法> ・抗スケール剤の注入-シリカスケールの形成を防ぐ薬品 ・アブレイダブル熱交換機-熱交換器の表面を磨き、スケール形成を防ぐスポンジボール ・流動床熱交換器 - 流動粒子(すなわち砂、金属)が熱交換器の表面をこすり、スケールを除去 ・電磁デバイス-スケール形成の化学反応を制御 <密閉タービン発電機> ・250kW密閉発電機と二相タービン技術を融合したタービン発電機 ・油分離が必要でないようなシステム内の油の完全な除去を可能にし、冷媒の汚染の可能性をなくす Design of the hermetic Variable Phase Turbine  								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・安価な密閉タービン発電機の開発は、小型発電市場を拡大するとともに、工業廃熱発電にも適用可能と思われる。 ・密閉設計により、軸シールからの漏出がなくなり、必要なメンテナンスを劇的に減少させる								
技術導入によってもたらされる効果	・密閉されたタービン発電機アセンブリの設計がシンプルであることで、低温バイナリーサイクルの実用性が向上し、メンテナンスおよび資本のコストを低減する。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・密閉VPTの発売にあたり、システムビルダーと連携し、システムの熱力学設計と同じようにタービン発電機を供給する ・フルサイズの熱交換器試験は、小規模なスケール試験の結果に依存する。決定は2012年後半に半ばに行われる ・スケール耐性技術・今後の展開は、ベンチテストとフルサイズテスト双方の成功に依存する								

065

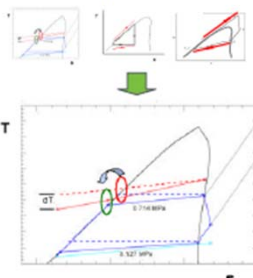
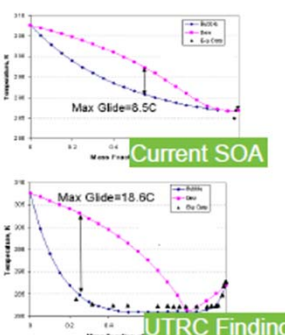
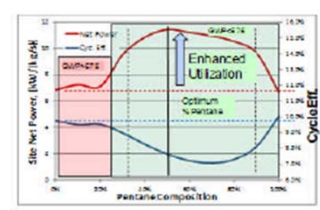
技術名称	臨界地熱システムのための新2相金属有機作動流体の開発							
プロジェクト番号	AID 20001							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月1日	～	2011年9月30日	(2年)
開発企業名	Pacific Northwest National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$875,240(\$875,240)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、作動流体のバルク熱力学的性質によるサイクル効率制限の向上のために、MOHC (metal-organic heat carrier) の導入する。 ・有機ランキンサイクル (ORC) をサポートする一次熱運搬及び交換媒体として多孔性有機金属固体を利用する2相作動流体の開発を行う。 ・プロジェクトにおいて、下記内容を遂行する。 →MOHCとして適合するマテリアルのクラスの探索 →適切なMOHCの熱物理特性の計測 →MOHCがない場合の発電及びプラント効率のためのベースラインとなるデータを得るためのSimple Aspen Plusモデルの開発、及びMOHC改良システムとの比較 →問題を認識するためのパフォーマンステスト、及びその問題を最小/取り除くための適切なオペレーションパラメーターの決定  							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・ナノ流体は、装置の改良もしくはオペレーションの変更なしに、ORCシステムの効率を向上させる。 ・MOHCナノ相材料は、分子レベルで作動流体と相互に作用し合う。それにより、下記のような利点が生まれる。 →キロ単位で熱輸送容量の増加 →蒸発(気化)潜熱を効率化 →不純物を含む作動流体を持つ温度勾配を取り除く							
技術導入によってもたらされる効果	有機ランキンサイクル (ORC) における効率性の向上							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・吸収能力及び熱力学的性質を持つナノマテリアルの開発 ・有機金属構造を持つ非水作動流体分子の基本相互作用の理解不足 ・非水作動流体におけるMOHC微粒子の分散を安定させる方法 ・VLCEサイクルにおけるMOHC微流体のパフォーマンスを決定する装置及び方法 ・熱交換、ポンプ、及びタービン発電機における微粒子の塊、堆積物、もしくは干渉の評価 ・作動流体の物理学的/熱力学的性質による影響							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・MDシミュレーション、粒子間システム分析、及び量子反応の配位置グラフトの影響評価 ・MOHC分野のメジャージャーナルへの投稿							

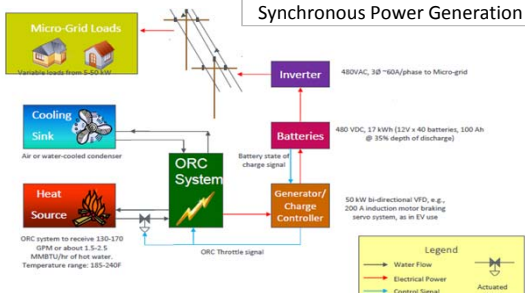
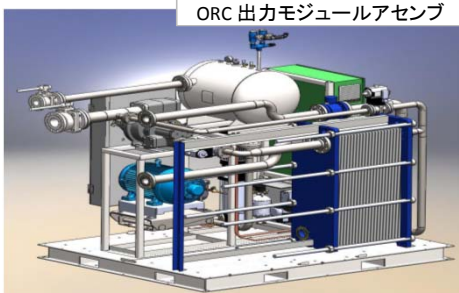


技術名称	次世代バイナリー発電所のためのハイポテンシャル作動流体							
プロジェクト番号	EE0002752							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2013年12月31日	(3.1年)
開発企業名	GE Global Research							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$2,987,763(\$2,390,210)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【Phase I】・超臨界及び3辺形サイクルにおいて作動流体として使用されることで、EGSでのエネルギー発電効率を向上させるというポテンシャルのある流体群を、熱力学及び熱物理的特性に基づいて特定化を行う。 ・この特定化の過程において、熱力学及びサイクル設計のハードウェア分野で最新のものに基づいてサイクル性能モデルを用いる。 【Phase II】・次世代地熱発電所のコストを予測する経済的モデルの開発を行う。(貯留層整備及び運営コストも含む) ・次世代地熱発電所は、EGS貯留層から得られる高温鉱物を使用するバイナリーサイクルでハイポテンシャル作動流体を活用する。 ・この経済的モデルを、Phase Iで開発されたサイクル性能モデルと組み合わせる ・結合した熱経済的モデルの開発と平行して、流体特性データをを用いたポンプ設計、熱交換、拡張への影響を計測し、流体特性の必要な精度の詳細を決定する。 【Phase III】・ここでは主に実験を行う。 ・選ばれた作動流体の熱力学的及び熱物理的特性データは必要な精度を用いて計測し、またサイクルの設計に用いる。 ・このサイクルにおける作動流体のパフォーマンスの予測を実証する為に、パイロットスケールパワーブロック(pilot-scale power block)を設計、建設を行い使用する							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・本プロジェクトでは、次世代地熱発電所のための想定範囲における資源温度のためのハイポテンシャル作動流体の特定化を行う。 ・バイナリー発電において使用される超臨界及び3辺形サイクルに用いる作動流体を特定する ・この作動流体は、有機ランキンサイクル(Organic Rankine Cycle)におけるイソペンタン、イソブタンもしくは冷媒よりも、エネルギー変換効率を20-50%向上させることができる。							
技術導入によってもたらされる効果	バイナリー発電所におけるエネルギー変換効率の向上							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)	流体情報を得るためのメジャーベンダーとのコンタクト							
現時点の技術的課題	・商業的に利用可能な流体の効率的な評価 ・パイロットテストリグ設計用の精度の高いデータ							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・電力機製造の完成 ・電力機テストの高温機能の実証 ・下位尺度における試運転の完了 ・電力機/ポンプシステムの結合、及び流動テスト ・下位尺度の流動テストにおけるシステム能力の実証 ・可能な範囲でのスケールアップ							



067

技術名称	バイナリー発電所のためのテイラー作動流体							
プロジェクト番号	EE0002770							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年12月29日 ~ 2012年4月21日 (2.5年)			
開発企業名	United Technologies Research Center (Georgia Institute of Technology, National Institute of Standards and Technology)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$2,270,382(\$1,816,306)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						凝縮器		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトでは、地熱資源のエネルギー利用率の向上、及びシステムによるエネルギー変換効率の向上を目指す。 ・地熱資源を適合させるために、作動流体を向上させる臨界未満・超臨界グライドの調整を行う。 ・選択された作動流体のための地熱システム及び要素設計の適正度を確認する。(R245fa,n-Pentane) ・プロジェクトにおいて、下記内容を遂行する。 →作動流体のスクリーニング、評価、及び組み合わせの大規模分析を行う。また、臨界未満、超臨界、及び3辺形サイクルにおける、技術の進歩が適切かどうかを判断する。 →選定された作動流体のための熱交換及びタービン設計を向上させる。 →選定された作動流体のための熱部地理的モデル及び実験データの実証を行う。 →選定された作動流体のための熱交換 - 圧力低下データ及び実証された相互関係を特徴付ける。また、熱交換低下の軽減のための分析を行う。 Concept Selection  Fluid Characterization  System Performance 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	本プロジェクトは、資源のkW/gpmを40%向上させるための選定された流体、システム、及び要素設計を行う。							
技術導入によってもたらされる効果	バイナリー発電所のエネルギー変換を40%向上させる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	低温地熱資源における、エネルギー変換の高効率化							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・down-selected作動流体のための忠実性の高い性質予測スキームの設立 ・忠実性の高い混合熱変換分解予測モデルの開発 ・出版に向けた資料化							

技術名称	地熱流体(油田等)から生成した副生熱を利用した小規模発電							
プロジェクト番号	EE0004435							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年10月1日 ~ 2013年12月31日 (3.1年)			
開発企業名	ElectraTherm, Inc. (City University of London、Desert Research Institute、Waste Heat Solutions)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,485,854(\$981,920)							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・低温地熱流体電力の財政的及び技術的実行可能性の検証を行う。 1) 地熱かん水に含まれている熱から、財政的及び技術的に電力を作り出すことができるかの検証 2) HtP装置の一般的な出力範囲についての検証 3) 小規模ではあるが、採掘作業において、低温地熱かん水を使用した自己完結型発電設備の運用から得られたデータの保存及びレポート							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	同期発電(Synchronous Power Generation)では、共生産流体を使用する為に、ORC(Organic Rankine Cycle)出力モジュールアセンブリにおいてSondex製蒸発器を使用する。 ・柔軟性: 太陽光等のクリーンエネルギー技術と簡単に融合ができる。 ・クリーン: カーボンニュートラルアプリケーションの適用 - 燃料浪費等もなくクリーンである。 ・イノベーション: ORCをコントロールするアルゴリズムを活用することで、様々な環境に対応できる拡張的スピードを保有する。ElectraThermのグリッド接続生産(grid-tied products)を向上させるような、効率的なパフォーマンスである。 ・効率性: ORCコンデンサーにより、グリーンハウス、温水プール等に熱を供給することができる。							
								
技術導入によってもたらされる効果	・革新的な方法を用いた、地熱発電の技術及び経済のフィジビリティの実証 ・地熱情報の出版による、研究者、開発者、ベンダー、投資家、エンドユーザーへの新しい知見の獲得							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・ORC技術の適用 ・自動運転の最適化及び自動データ収集 ・クリーンな資材を用いた、予熱器と蒸発器の結合のデザイン ・送電網を利用しない同期操作のための研究及び解決策 ・コスト効率							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・共生産流体活用のための75kWORCのハードウェア設計 ・Nevadaの金採掘地での導入及び委託 ・DOE標準に基づいたデータ収集							

009

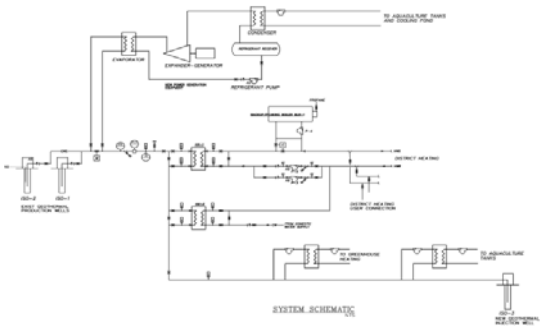
技術名称	クラマスフォールズの低温地熱バイナリー発電プラント								
プロジェクト番号	EE0002857								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日		～	2011年8月30日	(2.5年)
開発企業名	City of Klamath Falls, Oregon								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$109,898(\$54,949): ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ				
個別技術						バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
						その他			
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 低温(210-220° F)の地熱エネルギー生産設備を建設し、複合電力・熱の非従来型資源使用に関する技術的・経済的実現可能性を実証する 【プロジェクトフェーズ】 フェーズ1: 市内の既存の暖房システムに伴う発電所、最初のPacific Power相互研究、発電所と補助装置の最終的な工学デザインの統合分析 フェーズ2: 既存の地熱水資源を使用し約180キロワットを発電すべく、UTC PureCycle 280地熱発電所モジュール、(または同様の装置の)ポンプ・配管・冷却塔システムの購入・導入を行う。また冷媒を再凝縮するための熱を排出する冷却塔、電子制御システム・発電所をつなぐPacifiCorpの新しい480ボルトの電気サービス、発電所を囲む新しい建物を新設する。 フェーズ3: 経済性、性能、運営上の特性に関する運用とモニタリング 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・磁気軸受タービン発電機の実装は、歯車損失・オイルシステムの保守・主要なメンテナンスコストを削減する ・より良いターンダウン機能設計が部分負荷パフォーマンスの改良をもたらす								
技術導入によってもたらされる効果	・既存の地熱地域暖房システムと連結される。既存の用地および地域暖房機能上に建設し、失業率の高い地域によりよい経済状態と高いポテンシャルインパクトを与える。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・プロジェクトの目的に合致した発電装置の可用性。市販のモジュールは特定の温度供給と排熱条件内でしか稼働しないが、これらの閾値条件が存在しない部分負荷の場合でも同様だった。 ・限られた都市部の敷地上での地熱発電所の建設と運営。市内の発電所の建設と運営に関するかなりの追加コストがあることが判明した。								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・プロジェクトは完了したが、チームは、技術進歩の結果として改善された今後のプロジェクトの経済的効果に繋がるような業界の活動をモニタリングしていく ・今後のORCモジュールの研究開発に対しては、磁気軸受ジェネレーターおよびギアドライブの排除によるメンテナンスコストの減少に関する減少摩擦損失という利点を提供することを推奨する								

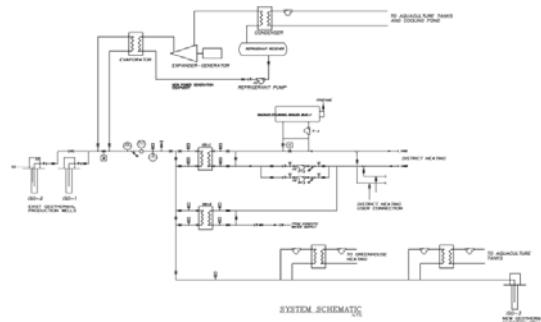
070

技術名称	農業協同組合地熱部門-電気と農業							
プロジェクト番号	EE0003006							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2013年9月30日	(2.5年)
開発企業名	Surprise Valley Electrification Corp.							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$9,513,522(\$2,000,000): ARRA							
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 ・オレゴン州ベイズリーに小規模の低温地熱発電所を開発することが目的。 ・1981年以降灌漑シーズンに使用されている、239° Fの水を1200GPM生産する既存の灌漑井を利用する。現在農場経営者はアルファルファに灌漑するために温水を2つの冷却池に流して放熱しているが、USDAが2008年に実施したフィージビリティ評価により電気生産可能と評価されたことが背景にある。 ・完全操業の地熱発電所をつくることで、地域コミュニティ全体でカスケード接続された事業を展開するプロジェクトのはしりとなる。 本事業の地熱資源は、価格競争力のある発電のみならず温水を利用したティラピア養殖事業にも利用される予定。 【目的】 ・SVEC(Surprise Valley Electrification Corp.)のメンバーオーナーの利益に資する地熱資源の開発 ・コミュニティ内での新規ビジネス創出の促進 ・他のREC(Rural Electric Corp.)が小規模プロジェクト開発に追従できるプロセスの創出 ・SVECの理事会とスタッフの重要なナレッジギャップ ・請負業者の評価、リスクおよび不確定要素の評価 【関連度/インパクト】 ・資源に関する課題: 破碎された/断裂された地質環境における浅層の低温資源を明らかにし検証すること。当該地に関しては地質データや技術知見がなかった。より多くの利用可能なデータを収集すべく、概念作動モデル開発中。 ・地熱エネルギー開発の利益: 最終的には、RECとともに電力生産用の地熱資源開発を行うことがゴール。そのための先例を提供する。 【技術的アプローチ】 地質概念資源モデルの開発: ・UNRが開発した2メートル浅部用プローブ ・地質マッピング ・温度勾配と地球化学井(Geochemistry wells) ・重力探査 ・地質モデルを作成し、立地決定および生産井(#1)の掘削 ・生産井のデータを使用した、注入/2番目の生産井の立地決定に向けたモデル測定 ・牧場主と協力し、地質概念モデルを利用して注入井(#3)の場所を決定 特定された課題と対処: ・地質データの不足→地質学者は、浅層温度測定、重力探査、ドリルログ、坑井温度勾配、地質構造探査を含むフィールドワークを通じて、概念モデルを開発 ・既存稼働中井戸の不確実性→新規に掘削することを決定 ・最初のドリラーが井戸掘削を完了できず→ドリラーを交換 ・#1井の流量が予定より少量→生産用に#2井をテスト ・生産用に#1井と#2井を結合→注入用に#3井の掘削を計画 【技術的達成(フェーズ1)】 ・概念貯留層モデルの開発 ・2つの井戸掘削を成功し、流量テストを実施 ・貯留層モデルの検査を続行し、注入用の#3井のサイトに利用 ・タービンエア、発電所・サイト開発・送電設計の パワーエンジニアと協業							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・小規模/低温の地熱プロジェクトのはしりになりうる ・大規模デベロッパーがターゲットにしてこなかった小規模・低温の地熱資源の利用 ・タービンエアシステムモジュラーの発電所設計							
技術導入によってもたらされる効果	・遠隔・低温資源の経済的実現可能性を実証する ・地域への送電量増加 ・雇用の創出							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・小さな農村電気協働組合が操業発電所を開発する際の課題。チームは知見ギャップを埋め、誰と仕事するかを理解し、関係性をつくり、プロジェクトで成果を出している。 ・本サイトおよび資源に関する地質データが不足。地質学者は、浅層温度測定、重力探査、ドリルログ、坑井温度勾配、地質構造探査を含むフィールドワークを通じて、概念モデルを開発している。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・3本目の井戸を掘削することが決定したため、DOEのチームとも連携しつつ、調査・建設を進めていく							

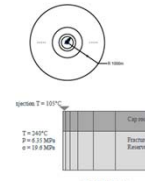
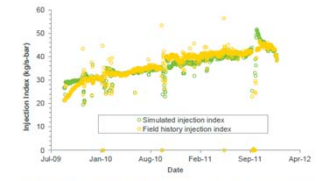


07/1

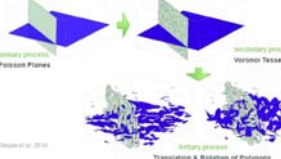
技術名称	Canbyにおけるカスケード利用に基づく地熱開発プロジェクト							
プロジェクト番号	EE0004431							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年2月1日 ~ 2015年12月31日 (4.9年)			
開発企業名	Modoc Contracting Company (Atkins Consulting, Brian Brown Engineering, Evergreen Energy, Halliburton, Plumas Geo-Hydrology, RMT/MHA Environmental)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$3,321,473(\$221,712)(FY2010)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術						その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本件はコミュニティベースのカスケード地熱開発プロジェクトであり、50キロワット刻みの地熱発電をする予定。 ・設計生産能力280 kW PureCycle®もしくは類似の小型発電設備による、工学的で拡張可能かつ複製可能なカスケード式地熱システムモデルの調達・導入・稼働を行う。 ・当該モデルは、バイナリ工場からの廃熱を利用し、既存の67000フィート地熱地域暖房システム・温室運営・水産養殖場などでの直接的な熱利用をサポートする。 ・注入井を掘削し、ISO-2地熱プロデューサーを支援するカリフォルニア州エネルギー委員会(CEC)から廃液を受け入れる ・以下を確実にすべくフィージビリティスタディを行う。フィージビリティスタディには、資本・運用コストや詳細設計段階などの要素を含む包括的な経済分析を組み込む予定 1. Canbyサイトは経済的に発電が可能であり、エネルギー生産に必要な装置を完全に設計/運営する 2. 送電および電力購入契約(PPA)のオプションを分析する 3. 注入掘削サイトを確認するための地熱モデルからターゲットの地熱資源の特性を明らかにする 4. 環境レビューが完了する 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・最大のリターンを可能にするアタックポイントを特定・評価するための手段を提供							
技術導入によってもたらされる効果	・オレゴン技術研究所のGeo-Heatセンターが現在把握している、西部アメリカの街・中都市から5マイル以内に位置するポテンシャル約1500の低・中温の地熱井サイトに対して重要な意味を持つ							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・ISO-2生産井開発 ー井戸注入の指標が2から1.15 gpm/psiに上昇 ・低温地熱における掘削コスト削減 ー蓄積された掘削・地熱データを次の井戸の計画に活かす ・カスケード地熱への社会的認識 ーCanbyカスケードモデルを完成させる							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・Go/No Goの決定(2013/4) ・フェーズ2プロジェクトの実施 ・ドリルISO(2013/3) ・許可取得(2013) ・システム(発電所と熱流通システム)の導入(2014) ・プロジェクトデータの生成(2015)							



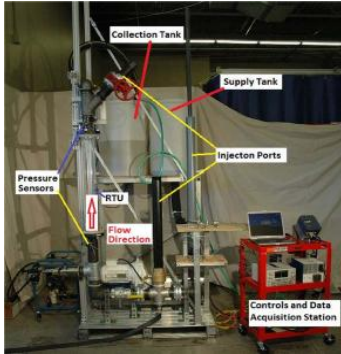
072

技術名称	EGSのための先端予測シミュレーションモデルの開発と実証													
プロジェクト番号	EE0002762													
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月1日	～	2013年12月31日	(4年)						
開発企業名	Colorado School of Mines													
開発プログラム名	EERE													
開発コスト(内補助金)	\$1,191,893(\$1,633,493):ARRA of 2009													
技術目的	低リスク化				低コスト化	環境共生								
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減											
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良											
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理						
個別技術							破碎	流体地化学モニタリング						
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及								
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	General framework: Integral finite differences $\frac{d}{dt} \int_{V_n} \mathbf{M} dV_n = \int_{V_n} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} d\Gamma_n + \int_{V_n} \mathbf{q} dV_n$<table><tr><th>Mass balance equation for Component x</th><th>Energy balance equation</th><th>Force balance equation</th></tr><tr><td>$M^x = \sum_j \delta S_j \rho_j X_j^x$$F_j^x = \sum_j X_j^x v_j$$v_j = -k_{ij} \frac{\rho_j}{\mu_j} (\nabla p_j - \rho_j \mathbf{g})$</td><td>$M^t = (1-\phi) \rho_s C_p T + \phi \sum_j S_j \rho_j u_j$$F^t = \left[(1-\phi) K_s + \phi \sum_j S_j K_j \right] \nabla T + f_s \sigma_s \nabla T^t + \sum_j h_j F_j$</td><td>$M = 0$$F = \frac{3(1-\nu)}{(1+\nu)} v r_n + F_s$$-\frac{2(1-2\nu)}{(1+\nu)} \left[\sum_j \sigma_j p_j + 3\beta K_0 T_j \right]$</td></tr></table>  Verification: Against field data  The injection index comparison between field data and simulation results. The well injection index increased with time indicates well stimulation due to cold water injection which can be captured by the simulation.								Mass balance equation for Component x	Energy balance equation	Force balance equation	$M^x = \sum_j \delta S_j \rho_j X_j^x$ $F_j^x = \sum_j X_j^x v_j$ $v_j = -k_{ij} \frac{\rho_j}{\mu_j} (\nabla p_j - \rho_j \mathbf{g})$	$M^t = (1-\phi) \rho_s C_p T + \phi \sum_j S_j \rho_j u_j$ $F^t = \left[(1-\phi) K_s + \phi \sum_j S_j K_j \right] \nabla T + f_s \sigma_s \nabla T^t + \sum_j h_j F_j$	$M = 0$ $F = \frac{3(1-\nu)}{(1+\nu)} v r_n + F_s$ $-\frac{2(1-2\nu)}{(1+\nu)} \left[\sum_j \sigma_j p_j + 3\beta K_0 T_j \right]$
	Mass balance equation for Component x	Energy balance equation	Force balance equation											
$M^x = \sum_j \delta S_j \rho_j X_j^x$ $F_j^x = \sum_j X_j^x v_j$ $v_j = -k_{ij} \frac{\rho_j}{\mu_j} (\nabla p_j - \rho_j \mathbf{g})$	$M^t = (1-\phi) \rho_s C_p T + \phi \sum_j S_j \rho_j u_j$ $F^t = \left[(1-\phi) K_s + \phi \sum_j S_j K_j \right] \nabla T + f_s \sigma_s \nabla T^t + \sum_j h_j F_j$	$M = 0$ $F = \frac{3(1-\nu)}{(1+\nu)} v r_n + F_s$ $-\frac{2(1-2\nu)}{(1+\nu)} \left[\sum_j \sigma_j p_j + 3\beta K_0 T_j \right]$												
【概要】 開発で生じる亀裂の場所、大きさ、方向、流体の流れを予測するシミュレーションモデルの開発を行う。 【マイルストーン】 - EGSにおける3D破碎/流体シミュレーターの開発 - 水圧破碎の研究所スケールモデル・テストの実施、3Dシミュレーターでの検証 - 水圧破碎における微粒子モデリングの実施。支持材輸送モデルの検証 - EGSにおけるエネルギー生産時の3D熱水破碎シミュレーターのテスト 3D破碎/流体シミュレーターを商業化する計画の策定														
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	EGSの開発で生じる亀裂の場所、大きさ、方向、流体の流れを予測するシミュレーションモデルを構築													
技術導入によってもたらされる効果	EGS貯留層の組成に関する物理的プロセスの量的予測とシミュレーションの実施が可能となる。													
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)														
現時点の技術的課題	フィールドでの検証等													
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	EGSにおいて以下を評価するために実際的なアプローチを提供するのに、開発されたシミュレーターは用いられることができます： - 長期のパフォーマンス設計 - 最適なシステム設計 - 活動戦略 - 商業的な実現可能性													

073

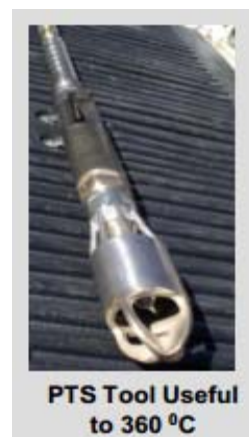
技術名称	EGSにおける判断方法に関する分析									
プロジェクト番号	EE0002743									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年2月29日		～	2011年8月30日		(2.5年)
開発企業名	Massachusetts Institute of Technology									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$706,438(\$549,148): ARRA									
技術目的	低リスク化				低コスト化			環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M		フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術									破碎	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	強化地熱システム(EGS)の開発を評価することのできるコンピュータ化ツール(モジュール)の統合セットからなる、意思決定分析手順を開発する。研究結果はコストと時間分布の形式になる:すなわち、特定の選択肢をとるという決定を、リスク評価に基づいて行うことができるようになる。 ・タスク1&2:誘導性断裂も含む既存の確率的破碎パターンモデルおよび掘削プロセスを形作るトンネルコスト/時間の評価モデルの適応と開発 ・タスク3:タスク2に基づき、単純なサーキュレーション/熱伝導モデルを開発する ・タスク4:上記を、EGS用のコスト/時間分布を生成すべく、熱交換の単純化表現(Simplified expression)で地表下コスト/時間モデルに組み合わせる ・タスク5:別の問題となる側面-追加で生じる不確実性、すなわち探索結果の解釈が生じる計画段階中の探索特徴の配置を特定する。これらは、事業費上の別の探索場所(および数)の効果を比較することができる「仮想探索」ツールを利用して検討することができる。これによりプランナーは最適な探索を選択できる。 ・タスク6:先行するタスクで開発されたサブモデルを合わせ、フィードバック取得者からEGSのステークホルダーへのアクセスを可能にする STOCHASTIC FRACTURE PATTERN MODEL - GEOFRAC GEOFRAC's stochastic processes were implemented and optimized in MATLAB.  FRACTURE PATTERN AND CIRCULATION MODEL MATHEMATICS Poisson planes $P(\mathbf{a}, \mathbf{a}') = c_{\mathbf{a}, \mathbf{a}'}(\mathbf{a}, \mathbf{a}')$ μ - Poisson plane intensity $c_{\mathbf{a}, \mathbf{a}'}(\mathbf{a}, \mathbf{a}')$ - correlation λ - mean Tessellation $\sigma_{\mathbf{a}, \mathbf{a}'}^2$ $\sigma_{\mathbf{a}, \mathbf{a}'}^2 = 0.326 \lambda^2$ GEOFRAC PARAMETERS $P_{10} = \mu$ $E[A] = 1/\lambda$ FRACTURE PROPERTIES $P_{10} = \frac{\sum A_{ij}}{F}$ P_{10} - Fracture intensity $E[A]$ - Mean fracture area FLOW-PATH CONTRIBUTING FRACTURES FLOW PATH COMPUTATION FRACTURE APERTURES - deterministic and probabilistic modeling of fracture aperture "CLEAN" FRACTURES - retaining only fractures that contribute to flow paths, i.e., those intersecting at least (1) two other fractures, or (2) a fracture and a boundary of the model.									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・統合され、かつ効果的な破碎パターン-不確実性を考慮したサーキュレーションモデル ・不確実性を考慮した井戸のコスト-時間モデル ・EGS用の探索およびシステムモデル									
技術導入によってもたらされる効果	・不確実性の最大の影響を受けるEGSの地表下部分を、時間・コストリスクに関連させることができる ・EGSプロジェクトをリスクに基づいて比較することができるようになる ・全モデルは容易にアクセス可能なソフトウェアに基づいている									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・多くの未知のものや変動要因の影響を受けているEGSプロジェクトを開発する方法が課題。 ・不確実性(特に地表下に関するもの)は、コスト・時間・EGSの開発と運用に関するリソースに対し大きな影響がある。検討の際には、地質学の時点から建設・運用に至るまでの多種多様な不確実性が含まれていなくてはならない。 ・研究では、これらの不確実性を正式に評価し、リスク要素に含めることができるツールを開発する予定。									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)										

074

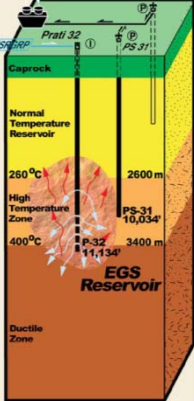
技術名称	地熱井における坑井内外の分離のための高温、高圧力機器							
プロジェクト番号	EE0002771							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2013年1月29日	(3年)
開発企業名	Composite Technology Development, Inc. (A-Power、Brontosaurus Technologies、Sandia National Laboratories)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,180,546(\$940,546)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							破碎	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、形状記憶高分子に基づいた資材及び機会設計、プロトタイプパッカー (prototype packer) の建設、及び地熱産業のニーズに応えられるかの実証を行う。 ・帯状分離装置向上のために、高温高圧パッカーの開発を行う。 ・この装置はEGSにおける、ダウンホールのポジショニングの際の自律的設定、及び帯状分離装置を取り出す能力を持つ。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・帯状分離及び流体コントロールのための密閉処理をおこなうポリマーシステムの拡張 ・多孔質材通る流れにより圧力を高める ・イレギュラーな空間にシール材を満たす ・分布圧により予期せぬ断裂を妨げる							
技術導入によってもたらされる効果	高温環境下のEGS仕上げスキームにおいて、刺激することを可能にし予期せぬ流量区域を密閉するための杭井の部分分離することができる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・高温化学特性をもつPES(Porous Expandable Seal) マテリアルの開発 ・大規模PESマテリアル製造資源の確認 ・小型製造装置のスケールアップ ・ダウンホールテストの実行 ・ライセンス申請							

07/5

技術名称	コールドウェル放牧場の探査及び立証プロジェクト								
プロジェクト番号	EE0004042								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年8月12日	～	2012年8月31日	(2年)	
開発企業名	Geysers Power Company, LLC (Lawrence Berkeley National Laboratory, Thermochem)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$12,130,647(\$5,000,000): ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術								破碎	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・コールドウェル放牧場870エーカーにおける未開発の地熱貯留層の掘削・テスト・経済的実現可能性の確認を行う。 【科学的・技術的アプローチ】 <掘削> 逸泥帯を再開/再掘削する3つの井戸について: ・逸泥帯および不安定な地層を掘削するための通気性流体 ・逸泥帯を固める発泡セメント 貯留帯全体のスロットッド・ライナー <貯留層の特性評価> 全岩・酸素18同位体分析を利用した熱水貯留帯量 高温工具(>350°C) ・定常温度および静圧 (PT) ・流動圧力・温度・流量 (PTS) ・坑井地化学サンプラー 高温貯留層におけるホルンフェルス硬砂岩のコアの取得 <地質/貯留層モデリング> ・NW Geysers EGS用に開発された以前の地質/貯留層モデルを精緻化 ・隣接するコールドウェル放牧場の井戸から収集した新しいデータを使用したデモンストレーションプロジェクト  PTS Tool Useful to 360 °C								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・360°Cという高温の耐熱性能を持つPTS検層器								
技術導入によってもたらされる効果	・本プロジェクトの結果、ユニット11発電所から地域の配電網への配電が22MW追加され、計45MWとなる。 ・コールドウェル放牧場プロジェクトエリアの井戸掘削、パイプライン建設および関連する活動は、直ちに16週間にわたる約59の雇用となる。 ・試掘で実行可能な資源を確認した場合は、8つの追加の井戸の再開と、3つの開発井戸を掘削できる可能性があり、結果32週にわたる118の雇用に繋がる。								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・セメントプラグとリテーナの除去、損傷したケーシングの修理、生産途中にドロップしたコイルドチュービング、開放坑井における橋梁の清掃、逸泥帯の不安定な形成による坑井逸脱								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・井戸試験を完了し、それぞれの貯留層の特性に関する報告書を完成させる ・実験室におけるコア分析を完了させる ・EGSデモンストレーション用に、開発された地質/貯留層モデルを精緻化する								



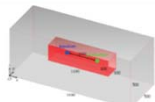
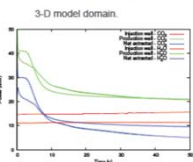
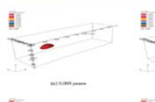
076

技術名称	Northwest Geysers地熱地域におけるEGSの実証試験								
プロジェクト番号	LBNL FY11 AOP 4(GO18201)								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2008年9月30日		～	2014年10月31日	(6.1年)
開発企業名	Geysers Power Company, LLC (LBNL FY11 AOP 4)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$10,720,909(\$6,248,371)								
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生			
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術							導通		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、高温、低浸透性区域からエネルギーを抽出するために必要な技術の実証を行う。 ・コンセプトは、GeysersのHTZ(High Temperature Zone)の深層部へ注入井を深めることである。 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	貯留層に少ししか繋がっていない断裂に注水することで、反応を起こし、熱圧縮と応力削減を通して伝搬する。その後、NTR(Normal Temperature Reservoir)に断裂が繋がれ、既存の生産井からスチームが放出する。これにより、注入水から高品質なスチームを生み出すことができるとともに、非凝縮性ガス及び腐食塩化物による問題を軽減させる。								
技術導入によってもたらされる効果	・5MWを出力するEGSの開発 ・EGSプロジェクトの地域申請の獲得 ・高温浸透性の確保 ・EGSによって生じる蒸気から非凝縮性ガスの減少								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	スチームから生じる非凝縮性ガス及び腐食塩化水素ガス								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・仮決定した注入量で刺激を続行する ・生産井における地震活動、地球化学、及び流量のモニタリング ・井戸における密閉圧力のモニタリング ・検層及び地球化学サンプリングの実行 ・最適注入量の決定 ・トレーサー試験研究								

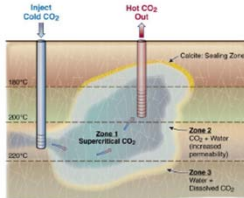
077

技術名称	地熱発電の生産井から噴出するCO2の化学的影響							
プロジェクト番号	AID 19980							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年10月1日	～	2012年6月30日	(1.8年)
開発企業名	Lawrence Livermore National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,025,000(\$1,025,000): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【概要】 EGSにおける超臨界CO2の利用は、鉱物への融解や沈殿により危険がないという仮説があります。ただし、今までは、生産井におけるフィールドデータの欠如、および低温でのR&Dデータの取得にとどまっています。本事業では、生産井における地化学的分析および、現実的な岩石-水比率を用いた、実験結果の実スケールへの拡張シミュレーションを実施する。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	○実験場所は以下である。 ・Broadlands-Ohaaki Geothermal Field, New Zealand - 温度: ~300° C - 水性 CO2: ~0.6 molal (≒ 超臨界CO2) - GNSとのパートナー ・オーマットと共同での調査をBrawley Fieldで実施。 ○鉱物における溶解率の実験結果は右の通り							
技術導入によってもたらされる効果	・ 鉱物を変更することで、EGSにおける熱交換流体としてCO2を使うことの実現可能性の評価と、輸送シミュレーションの制約条件に必要なデータが得られる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	EGSにおける超臨界CO2冷媒の使用は未知数である。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	基礎段階							

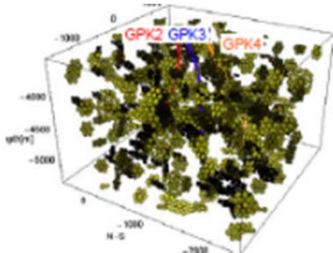
078

技術名称	EGSの貯留層内における超臨界のCO2、地熱流体、及び岩石間の化学反応の予測を目的とした化学的モデルの開発							
プロジェクト番号	EE0002766							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月1日	～	2013年3月31日	(3年)
開発企業名	University of Utah (AltaRock Energy, Inc., Los Alamos National Laboratory, University of Wyoming)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$944,707(\$1,386,214): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	Experimental DesignENERGYEnergy Efficiency & Renewable Energy - Experiments designed to emulate geothermal conditions: Cations meq/kgAnions 16080080160 Na⁺ + K⁺Cl⁻ Ca²⁺HCO₃⁻ Mg²⁺SO₄²⁻ Quartz Granite Granulitic Syenite Monzonite Plagioclase K-Feldspar - Na-Cl dominant water - Ionic strength ~0.1 - Granitic Mineralogy - Equal parts K-feldspar, plagioclase, quartz 4% biotite 75% powder, 25% chip PFLOTRAN 3-D SimulationsENERGYEnergy Efficiency & Renewable Energy  3-D model domain  Net power produced comparison for 50kg/s injection rate.  Saturation of CO₂ over time.							
	【概要】 このモデルを開発するために、EGSにおける圧力と温度で水/塩水/岩/CO2の相互関係が、熱力学と動力学を用いてデータベースに統合されます。 その際、文献検索に加えて、既存のデータの推定と実験的な研究所での調査結果により確認、補正されています。 流体と形成岩の熱力学特性を評価することができる新しい化学モデルを開発します。 CO2/食塩水/岩相互作用の運動率法則を推定すること。水単層、超臨界CO2/水、超臨界CO₂ といった複層と、高いP(圧力)、T(温度)における状況を加味します。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	・EGSにおける貯留層の超臨界CO2の作用と影響に対する考察 ・科学文献の範囲内で不足しているパラメータとデータの提供							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	EGSにおける超臨界CO2冷媒の使用は未知数である。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	基礎段階							

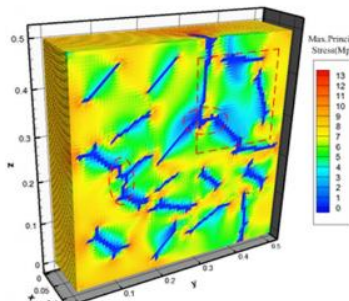
079

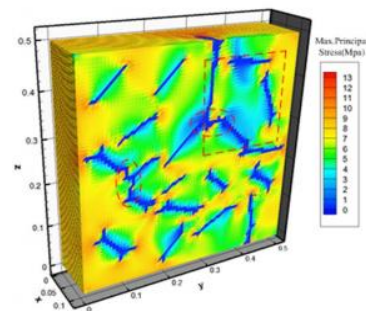
技術名称	CO2を電熱流体とするEGS							
プロジェクト番号	AID 19978(AID 18829)							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年	～	2013年	(3年)
開発企業名	Lawrence Berkeley National Laboratory Idaho National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$622,000(\$622,000): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	Conceptual sketch of EGS with CO₂ as heat transfer fluid   Core holder assembly for CO₂ heat transfer experiments (9.1 cm diameter, 50.8 cm length)  Ottawa silica sand 【概要】 EGSの開発している、ヨーロッパ・日本・オーストラリアにおいては、熱媒体としては水を使うが、同時に欠点も存在する。超臨界CO2を用いることで、欠点を克服しかつ、資源としてCO2の活用かつ貯蔵を行うことができる。 EGSにおける超臨界CO2の活用の場合、3つのゾーンからなります。 1 一つの超臨界CO2から成る内部の地帯またはシステムの「核」 2 CO2と液体の二相混合物を含む中間ゾーン 3 EGS活動に影響を受ける外のゾーン							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・熱伝達流体としてCO2で操作の強化された地熱システム(EGS)の実現可能性を探ること							
技術導入によってもたらされる効果	・CO2と塩水、流体流れと伝熱の研究室での実験結果。 ・モデリングとアップスケール(CO2によって誘発された鉱物の変更、CO2貯水池、ガスの豊富なEGS)によって、現実との乖離をチェックすることが可能。 ○研究結果 ・冷CO2の注入によって、ホットな多孔質システムから熱抽出に関する最初の実験データを取得 ・TOUGH2/ECO2Nシミュレーターで実験をモデル化 ・塩水-CO2混合物の熱物理特性モデルを開発(最大250度)							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	EGSにおける超臨界CO2冷媒の使用は未知数である。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	基礎段階							

080

技術名称	EGSのシミュレーション、及び生産量測定シミュレーターの性能向上									
プロジェクト番号	EE0002763									
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日		～	2013/1/31 (延長中)		(3年)
開発企業名	Science Applications International Corporation									
開発プログラム名	EERE									
開発コスト(内補助金)	\$1,025,953(\$1,282,442): ARRA of 2009									
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生			
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減							
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良							
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術								循環・抽熱	流体地化学モニタリング	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 【概要】 EGSにおける坑井刺激によって作成される地殻組成について、シミュレーションを構築します。 シミュレーターがエネルギー変化と温度変化による張力と変形(そして、それゆえに、多孔性と透過性の変化)に対する効果も加味していることから、EGSの冷水注射と生産に対する長期のシミュレーションを可能としています。 フランスのSoultz EGSサイトですでに実行された水圧シミュレーション実験をモデル化することによって、シミュレーターの精度を検証します。その後、シミュレーターはアメリカ合衆国の複数の実験結果に対して検証していきます。									
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性										
技術導入によってもたらされる効果	商用運転および貯留層管理を行うための、坑井刺激法による貯留層に対する浸透率や亀裂を加味したシミュレーションモデルの開発が可能であり、商用運転および貯留層管理が円滑に行うことが出来る。									
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)										
現時点の技術的課題	・フラクチャーモジュール開発中(亀裂のモデリング) ・フラクチャーの結合効果の反映 ・水理学的開口幅と、幾何学的開港幅の関係性の精査 ・封圧の角度に対する影響。									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	商用運転および貯留層管理が円滑に行うことが可能となる。									

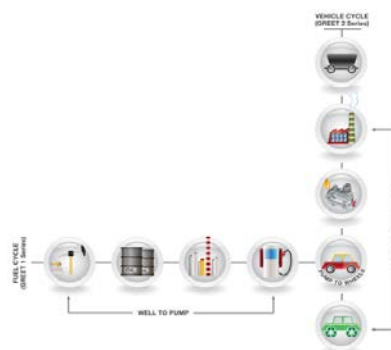
081

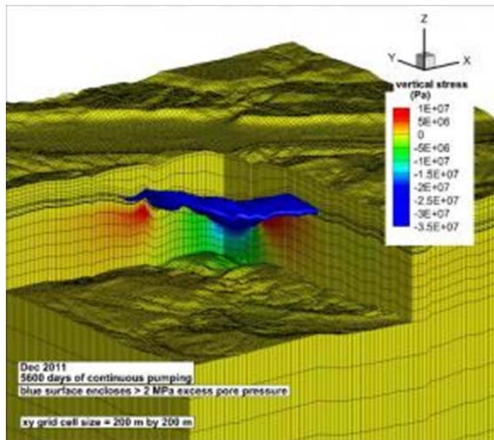
技術名称	断裂派生技術の影響予測を目的とした貯留層モデルの活用								
プロジェクト番号	GO18196								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年6月15日		～	2013年12月31日	(4.5年)
開発企業名	Oklahoma State University (AltaRock Energy, Inc., Lawrence Berkeley National Laboratory, University of Mississippi)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$316,929(\$260,458)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術							循環・抽熱	流体地化学モニタリング	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・複数の断裂のせん断、引張及び面外伝搬シミュレーションモデルのための3D数理モデル、及び地熱貯留層刺激の高精度予測のための断裂クラスターの開発を、最先端アプローチであるVMIB(virtual multi-dimensional internal bond)を用いて行う。 ・プロジェクトにおいて、下記作業を遂行する。 －断裂クラスターの3D分析を行うためのVMIB法の開発 －3D有限要素コードWARP3Dにおけるporo- and 熱弾性マテリアルサブルーチンの開発 －間隙圧力、熱応力及び弾塑性変形の効果を見る際、断裂のクラスターのシミュレーションを可能にするための、VMIB及びWARP3Dにおける新しいマテリアルルーチンの実行 －3D断裂伝搬と断裂合体とクラスター断層のシミュレーション、及びTAMU Rock Mechanics Labsでの室内圧縮試験との比較 －注入量-温度、岩石物性、及び空間応力における、相互作用実験の評価をするモデルの適用 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・2D数理モデル及び簡易分析アプローチのみでは、断裂予測は不十分であり、3D数理モデルを使用する必要がある。 ・地熱岩盤における断裂発生及び伝搬活動をシミュレーションすることで、効率的な貯留層刺激を行えるようになる。								
技術導入によってもたらされる効果	・EGSの安全性に貢献 ・自然の断裂に断裂起爆及び伝搬による刺激を与えることで、浸透性区域が作り出される ・断裂は引張よりも変換において伝搬できる ・貯留層の作成及びコントロール								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題									
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・3D VMIB数理モデルの開発の続行 ・精度向上及び断裂を可能にする、アルゴリズムの開発 ・3Dにおける自然断裂相互作用、多孔質弾性と熱弾性解析								



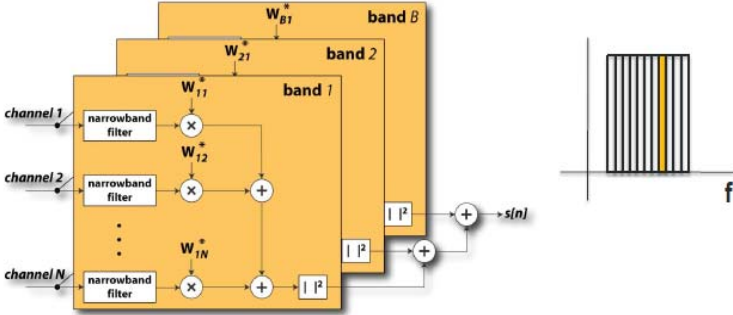
U8z

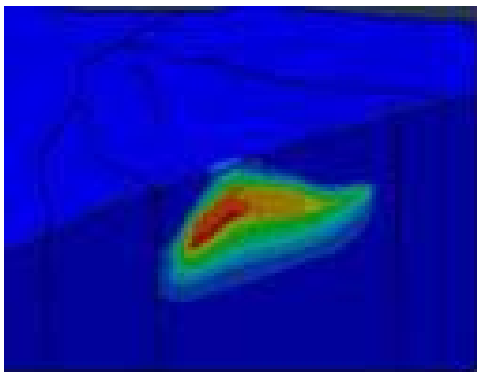
技術名称	地熱システムのライフサイクルに関する分析							
プロジェクト番号	ANL FY12 AOP 1							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年5月1日	～	2012年9月30日	(3.5年)
開発企業名	Argonne National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・従来の水熱技術や強化地熱システム(EGS)に対し、エネルギーおよび温室効果ガス・大気汚染物質の排出のライフサイクル分析(LCA)を実施する。その際GREETモデル(the Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation: 輸送における温室効果ガス、規制排出物、およびエネルギー使用量のモデル)を使用して実施する。(備考参照) ・GREETモデルは、地熱を含む発電技術の多様性のため発電所の運転および建設を含むよう拡張され、かつ、通常の燃料生産および発電所のライフサイクルの消費ステージの現在のパラメーターを含むようアップデートされた。 ・GREETは通常、エネルギーおよび環境影響のため地熱技術と他の電源技術を比較するツールとして機能する。 【備考: GREETモデルとは】 source: Argonne National Laboratory (http://greet.es.anl.gov/) アルゴンヌ国立研究所(DoE-EERE管轄)により提供されているフルライフサイクルモデルであり、改良型 & 新しい輸送燃料・well to wheel(「一次エネルギーが採掘されてから燃料タンクに充填されるまで」の意)からの燃料サイクル・物質回収および車両廃棄を通した車両サイクルのエネルギーおよび環境影響を完全に評価するツール。これにより研究者たちは、燃料サイクル/車両サイクルベースで様々な車両と燃料の組み合わせを評価することが可能になる。 GREETの最初のバージョンは1996年にリリースされ、それ以降アルゴンヌはモデルを更新し、拡大を続けてきた。 ※なお2013年10月時点の最新版として、2013年10月25日にGREET燃料サイクルモデル(GREET1_2013)がリリースされている。本リリースは以下のアップデートを含んでいる。 ・新しい船舶用燃料経路と商用船舶運航 ・新しいソルガムエタノール経路 ・新しいタロー経路 ・電力セクターの技術共有、効率化、排出係数 ・天然ガス経路のためのCH4排出 ・送電および配電(T & D)の排出係数、エネルギー強度、モード分配、距離 ・バイオ燃料の土地利用変化(LUC)データと新しいモデリングオプション ・セルロース系バイオマス原料のアップデート(例: 農業、T & D、乾物ロス) ・バイオ燃料経路に使用する肥料や栄養素 ・石油精製効率 ・軽量車(LDV) テールパイプの排出係数 ・最新DOE H2Aモデルの水素生産 ・基準大気汚染物質(CAP)排出量の都市シェア(石油、電気、LDV) The diagram illustrates the Vehicle Cycle (GREET 1.2013) process. It starts with 'WELL TO PUMP' (represented by a pump icon), which leads to the 'VEHICLE CYCLE (GREET 1.2013)' (represented by a car icon). The vehicle cycle then leads to 'RECYCLE OF MATERIALS' (represented by a recycling symbol icon). The diagram also shows a 'VEHICLE CYCLE (GREET 1.2013)' icon at the top right, which is connected to the 'RECYCLE OF MATERIALS' icon.							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性								
技術導入によってもたらされる効果	・本取り組みの結果およびツールは、GTPとステークホルダーが地熱ライフサイクルの影響を判断・伝達するのに有用 ・以下の影響に対処すべく、ライフサイクル分析(LCA)アプローチが取られる – LCAは地熱技術の環境性能に影響を与える主要なステージおよび問題を識別 – 使用されるシナリオは、ANLの水タスクとNRELの資源評価作業と連動							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・解析プロジェクトのため、重要な技術的障壁には向かい合っていない。 ・従来の & 強化地熱システムの大規模展開のため、地熱システムからの不確実な周辺の環境ライフサイクルへの影響(エネルギーおよび排出量)を低減し、規制と公共認識障害を両立させ、GTPが潜在的な環境関連の課題や障壁を特定するのに支援する							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	(FY12タスク) ・米国GT発電所の温室効果ガス排出量の推定値を更新 – 米国GT発電所からの温室効果ガス排出量の変化量(g / kWh)を測定 ・SCCO2 EGSのLCAを実施 ・GT LCAの探索の影響を定める ・GTの大気汚染LCAを他の発電技術と比較 ・GREETに統合 ・レポート、プレゼンテーション、論文にドキュメントする							

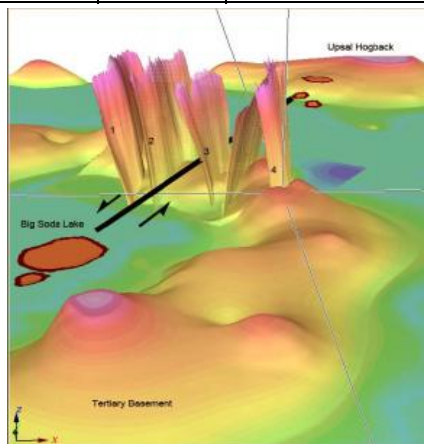


技術名称	地熱貯留層における3D速度構造、地震位置及びモーメントテンソルのための微小地震データを用いた運動学的波形逆解析とノイズとコーダ波の相関データの結合							
プロジェクト番号	EE0002758							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年3月27日 ～ 2013年9月30日 (3.5年)			
開発企業名	William Lettis & Associates, Inc. (U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation,U.S. Geological Survey,Virginia Tech)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,406,745(\$1,093,235)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・地熱貯留層の物理的性質の画像化のために、MEQs (microearthquakes: 微小地震)・環境雑音 (ambient noise) から得られるNCF (noise correlation Green's functions: ノイズ相関グリーン関数)とMEQを活用する。 ・本プロジェクトは下記6つの観点に焦点を絞っている。 ①地震及びノイズの記録によって得られる情報を最大にするツールの開発を行う。 ②EGSシステムにおける、時空間的な断裂及び応力変化をマッピングする。 ③地震発生の物理的有限要素モデルの開発及びテストを行う。 ④空間的水位の予測可能性の向上、及び誘発地震のマグニチュードの最大化を行う。 ⑤コストを抑えたデータ収集及び加工方法の開発を行う。 ⑥EGS及び熱水システムにおける、断裂、応力、及び地震へ高分解機能制約を与える。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	Coso地熱地域及びParadox Valley注入井の地震観測網から得られるMEQ・環境雑音データは、NCFデータの加工と使用、及び全波形反転の導入の利益を検証する為に使用される。							
技術導入によってもたらされる効果	・貯留層特性の3D変動の解像度 (resolution) の向上 ・微小地震発生についての理解の向上 ・3D地殻速度構造を画像化するための全波形インバージョンツールの開発							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・コスト削減及びsite/貯留層の特定化の質の向上 ・連結変形流体移動(coupled deformation-fluid-flow)モデリング、及び誘発地震の理解の向上 ・刺激後の断裂の画像及びモニタリングの向上							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・複数散乱波のセンシビティカーネルを利用した、推定トラベルタイムシフトからの局所的な速度変化の実際の大きさのコーダ波データを反転すること。 ・本プロジェクトが注目する速さでの3D波形反転が可能であるとき、EGS注入テストプログラムをサポートするリアルタイム類似解析を行えるツールが必要となる。							

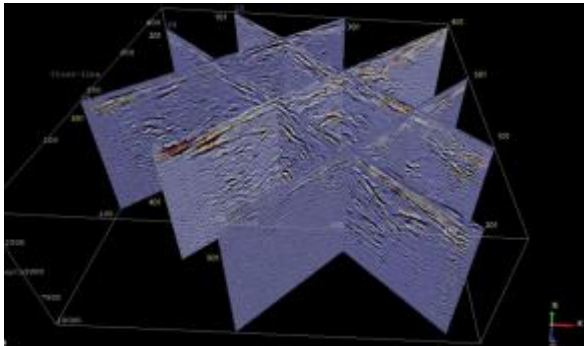
084

技術名称	MFP(整合フィールド処理)を用いた地熱貯留層管理のための非集中型地震活動のマッピング							
プロジェクト番号	AID 19981							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日	～	2012年9月30日	(3年)
開発企業名	Lawrence Livermore National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$925,000(\$925,000)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、地震データから抽出された情報量を増やすことが目的とする。 ・発見されていない地震活動を明らかにすることは、誘発地震の研究及び技術的操作に貢献する。 ・MFP(Matched Field Processing)法を用いて個々の微小地震から地震のマッピングをするための地震画像技術の発展につなげる。 ・MFP: 整合フィールド処理。我々が地熱セッティングに適用する水中音響研究から適応される、非伝統的な微小地震検出およびロケーション技術。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・MFP法を用いて個々の微小地震から地震のマッピングをするための地震画像技術の発展は、従来の地震探知法以上に、リアルタイムかつ多くの地震の発見に繋がる。従来の方法では、地震データがたくさんありすぎる場合や、同時に近くの間所で行く場合は間違いが多かった。 ・モデルCoulombの圧力は地震配分を作る断層により変化する ・EGSシミュレーション及び資源開発前の地震の背景がない場合でも、モデルベースMFPは十分なパフォーマンスを示すと期待されている ・従来の地熱システムにおいて、検証に群発地震データを活用していた。しかし、MFP技術では実際のEGS連続地震データが必要である。							
技術導入によってもたらされる効果	・地震装置のよってM1.0以下の小さい地震も探知できるようになる ・MFPに追加の装置等は必要ない ・地震探知数の増加は、誘発地震緩和計画やEGSオペレーションの効率的なモニタリングの入力情報の質の向上に繋がる ・EGS分野におけるMFP技術の導入の成功は、EGS貯留層作成の成功というGTPゴールへ繋がる。							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・従来の地震探知技術のミス(地震データがたくさんありすぎる場合や、同時に近くの間所で行く場合)							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・初期コード開発の完了 ・時間とともに増え地震活動が動画として見れる機能の追加(リアルタイムなEGSシミュレーションのモニタリングや断層ネットワーク活性化に有効) ・実験に基づいたMFPパフォーマンスとモデルベースMFPとの比較と問題提起 ・Newberry EGSデータベースの使用(スケジュール・資金次第)							

技術名称	EGSにおける誘発地震の研究							
プロジェクト番号	EE0002756							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年6月30日	～	2014年3月31日	(3.7年)
開発企業名	Array Information Technology, Inc. (Helmholtz Centre Potsdam、Lawrence Berkeley National Laboratory、University of California- Berkeley)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,454,616(\$1,164,143)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・EGSの共通の課題として、貯留層への刺激の与えるための水の注入に関する誘発地震の影響である。 ・このプロジェクトでは、貯留層及びM3以上の地震を導く母岩の周りにおける水の注入と物理的性質の誘導変化の関係を提案する。 ・世界のEGSシステムからデータセットを集めて研究を行う。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・震源の再配置によって生じた大きなイベントの原因メカニズムと圧力変化を測定するためにモーメントテンソル分析を活用 ・貯留層における物理的パラメーターの一時的な変化の評価と定量化のために低速度撮影のトモグラフィ画像を活用 ・地力学的流体注入モデリングによって、水注入及び蒸気生産物と貯留層における圧力の状態の関係を理解することができる。 ・また、これらの結果は大規模地力学的モデルを通して未来の潜在的地震の評価に応用することができる							
技術導入によってもたらされる効果	地熱活動と地震発生の関係の理解に繋がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・変則的イベントの感度解析及び不確定要素分析 ・出版に向けたモーメントテンソルワーク ・本震EGFイベントの特定化 ・地震次官室機能の推測及び震源スケールの分析 ・EGF運動有限の震源モデリング ・EGF運動有限の分析							

技術名称	3D-3C反射法地震探査法及び、既知の地熱資源における断裂と透水帯の地震反応を特定するためのデータ結合、ネバダ州Soda Lake, Churchill Co.にて							
プロジェクト番号	EE0002831							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2012年10月31日	(2.8年)
開発企業名	Magma Energy Corp. (University of Nevada, Reno)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$501,375(\$238,110)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、NevadaにおいてSoda Lake地熱システムの3D-3C反射法地震調査を行う。 ・プロジェクトにおいて、下記内容を遂行する。 -生データを加工した地震データの導入 -既存の井戸に加工データを一致させる -貯留層内の断裂システムと浸透性区域の識別化 -新しい地熱井戸の配置							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・3D GISデータベースは、3D可視化のためのコンテンツプラットフォームを得るために、完全に異なるデータセットを異なる単位(計測、地理投影、サンプリング間隔、グリッド密度、など)でひとまとめにすることが可能である。 ・本プロジェクトでは、30年間に渡る過去のデータ収集を行い、デジタルフォーマットに変換した。全ての井戸データのあるデータベースを用いて、GIS、地理的及び他の空間データの結合における全ての井戸データを可視化できる3Dモデルの作成を行う。 ・2Dと3Dマップにおけるデータレイヤーにおけるトグルリング(：アプリケーション間を行き来すること)は、既存及び新しい井戸の関係における調査が可能になる。よって、掘削フォールの決定及びフィールドマネジメントがより正確になる。 ・3Dモデルは既存の岩石学記録の補正が必要かどうかを明確にする。 ・本プロジェクトでは、地熱モデル向上のために、各単位の相関を作るために有線回線地球物理学的ログ(wire line geophysical logs)を活用している。各々の井戸の深さを調査する為にstrip logsをデザインし、有線回線地球物理学データベース(wire line geophysical databases)の再定義を行い、より詳細なストリップログ(strip logs)を開発する。 ・3D地震データの初期値は、地震容積を細かく分割することで、掘削フォール及び他の3Dオブジェクト見ることができる、Target and Oasis Montajのものを使用する。							
技術導入によってもたらされる効果	井戸配置と坑井軌道の最適化による、地熱開発における探査リスクの削減							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・レビューミーティング ・観測井戸の掘削 ・3D GISの結果をまとめる							

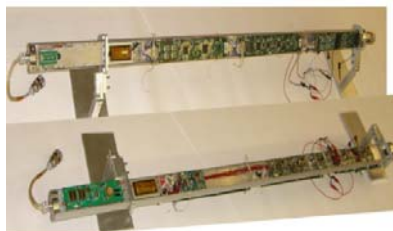
087

技術名称	先進的地震データ分析プログラム (HotPotプロジェクト)							
プロジェクト番号	EE0002839							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年1月29日	～	2014年9月30日	(4.8年)
開発企業名	Oski Energy, LLC							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$8,199,656(\$4,214,086)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・本プロジェクトは、グリッドが長いオフセットの地震研究である。 ・地熱活動の可能性が高い深さにおける地質学構造を決定するために、このデータを分析する。 							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・地震データ処理の目的は3D速度容積の開発である。 ・既存の直接的・間接的な表面データの活用を最大化する。 ・大規模データの再処理は経験豊富なプロジェクトチームによって指示される。							
技術導入によってもたらされる効果	・探査フェーズにおいて、掘削位置決定プロセスのスピードアップ ・掘削位置が早く正確に決まることで、使えない井戸の数が減り、掘削リスクとコストの削減							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	屈折地震は石油及びガス分野で利用可能であるが、地熱分野においては、地質構造は複雑かつ速度コントラストが乏しいため効率的ではない。							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	【FY 2013】 ・スリムホール掘削の準備 -掘削計画の見直し -許可再申請 -連絡通路及び掘削パッドの向上/構				【FY 2014】 ・スリムホールを掘削 ・資源確認井戸の配置選択 ・掘削計画更新及び許可申請 ・掘削及びテスト井戸 ・最終報告書			

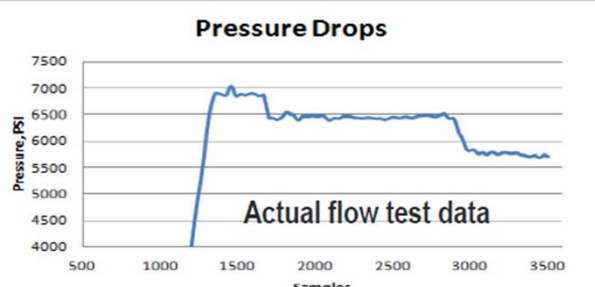
088

技術名称	次世代エネルギー変換システム・空冷式熱交換器																																											
プロジェクト番号	AID 19969																																											
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日	～	2012年2月29日	(2.5年)																																				
開発企業名	Idaho National Laboratory																																											
開発プログラム名	EERE																																											
開発コスト(内補助金)	\$810,000(\$810,000): ARRA of 2009																																											
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生																																					
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減																																									
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良																																									
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理																																				
個別技術							循環・抽熱																																					
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及																																						
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	Off Design Operation • Design low pressure piping for colder air temperatures • Designs with larger heat exchangers make more power • Small advantage in designing turbine for higher air temperatures • Manage parasitic loads • Best combination plant better maintains annual output with resource decline <table><thead><tr><th></th><th>36.6°F Design</th><th>53.1°F Design</th><th>68.7°F Design</th><th>84.4°F Design</th><th>Best Combination</th></tr></thead><tbody><tr><td>Year 1 - Annual MW-hr</td><td>81,383.8</td><td>82,051.3</td><td>81,365.1</td><td>78,909.9</td><td>81,571.0</td></tr><tr><td>Year 1 - Summer MW-hr</td><td>29,972.4</td><td>31,079.6</td><td>31,585.3</td><td>31,321.5</td><td>31,059.1</td></tr><tr><td>Year 25 - Annual MW-hr</td><td>55,324.9</td><td>55,547.7</td><td>56,339.0</td><td>55,818.8</td><td>60,746.4</td></tr><tr><td>Year 25 - Summer MW-hr</td><td>18,931.8</td><td>19,471.8</td><td>20,100.7</td><td>20,272.9</td><td>21,879.3</td></tr><tr><td>ΣMW-hr over 25 year</td><td>1,744,877.0</td><td>1,762,930.6</td><td>1,769,598.2</td><td>1,722,771.4</td><td>1,834,399.5</td></tr></tbody></table> 【概要】 EGS等の地熱開発を実施する際に、熱の有効利用考える場合においては、廃熱の利用を考えることが適切である。本事業では、発電事業からの廃熱利用を含めた多段階利用を検討する。 その際、蒸発熱交換式の廃熱回収システムでは、大量の水を消費する。大して空冷式では、水を使わない代わりに、初期コストが高く、かつ温度低下や、出力低下が起こり結果として売電収益が下がってしまう。 【マイルストーン】 異なるシナリオでの研究を通して、プロジェクト目的を達成する。 ・空冷式のバイナリー発電(10年度の第1四半期までの完成) ・空冷式のフラッシュ発電(10年度の第3四半期までの完成) ・空冷式の混合作動流体の熱交換システム(11年度の第4四半期までの完成)									36.6°F Design	53.1°F Design	68.7°F Design	84.4°F Design	Best Combination	Year 1 - Annual MW-hr	81,383.8	82,051.3	81,365.1	78,909.9	81,571.0	Year 1 - Summer MW-hr	29,972.4	31,079.6	31,585.3	31,321.5	31,059.1	Year 25 - Annual MW-hr	55,324.9	55,547.7	56,339.0	55,818.8	60,746.4	Year 25 - Summer MW-hr	18,931.8	19,471.8	20,100.7	20,272.9	21,879.3	ΣMW-hr over 25 year	1,744,877.0	1,762,930.6	1,769,598.2	1,722,771.4	1,834,399.5
	36.6°F Design	53.1°F Design	68.7°F Design	84.4°F Design	Best Combination																																							
Year 1 - Annual MW-hr	81,383.8	82,051.3	81,365.1	78,909.9	81,571.0																																							
Year 1 - Summer MW-hr	29,972.4	31,079.6	31,585.3	31,321.5	31,059.1																																							
Year 25 - Annual MW-hr	55,324.9	55,547.7	56,339.0	55,818.8	60,746.4																																							
Year 25 - Summer MW-hr	18,931.8	19,471.8	20,100.7	20,272.9	21,879.3																																							
ΣMW-hr over 25 year	1,744,877.0	1,762,930.6	1,769,598.2	1,722,771.4	1,834,399.5																																							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	空冷式の熱交換器における混合作動流体の使用 ・混合物の伝熱係数の検討 ・費用対効果の検証																																											
技術導入によってもたらされる効果	商用運転および貯留層管理を行うための、坑井刺激法による貯留層に対する浸透率や亀裂を加味したシミュレーションモデルの開発が可能であり、商用運転および貯留層管理が円滑に行うことが出来る。																																											
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																																												
現時点の技術的課題	通常の蒸発式に比べて採算性が悪い																																											
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)																																												

089

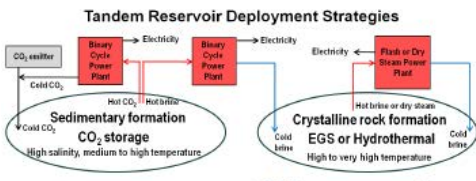
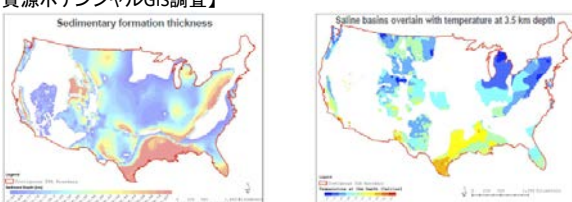
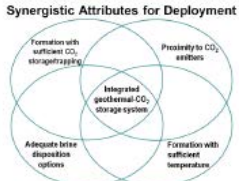
技術名称	高温かつ最深部での技術を活用した断裂探知								
プロジェクト番号	GO18186								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2008年10月1日	～	2012年9月30日	(4年)	
開発企業名	Baker Hughes Oilfield Operation, Inc.								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$3,581,484(\$3,139,365)(FY2008)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術							循環・抽熱	坑井調査	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
	【目的】 ・温度300℃、深度1万メートル程度で利用できる超音波ボアホール・テレビューアを開発する 【技術的アプローチ】 ・音響測定(acoustic measurement)に必要なコンポーネントを特定 ・大規模なラボテスト -300℃での動作 & 安定性に関する材料評価 -変換器の材料互換性検証 ・センサーの均一性・再現性・性能の特徴付け ・センサーの音響・力学的最適化 ・センサーの性能・機能画像化性能の最適化 ・信頼性のある建設方法の選択 ・温度-圧力ビット(temperature-pressure pit)におけるセンサーテスト ・温度-圧力ビット(temperature-pressure pit)におけるシステムテスト 【研究ツールのシャーシ】 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・300℃環境下での超音波ボアホール画像化								
技術導入によってもたらされる効果	・一度でボアホールの典型的なセクションを記録し、記録コストを最小限に抑える								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・超音波センサーがダウンホール環境に物理的に接触する300℃状況下での超音波画像 ・275° C & 20,000 PSI, FY Q3-2012 の状況下での統合システムテスト								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・様々な地熱環境におけるGUFI(Geothermal Ultrasonic Fracture Imager: 地熱超音波断裂イメージャー)のフィールドテスト ・300℃をサポートする機器のアップグレード調査 ・地熱産業のための付加的測定値を提供する他サービスのアップグレードを調査 ・ボアホールから離れたストンリー波の透過性反応と断裂特性を評価するための多極ボアホール音響サービス(multiple borehole acoustic serivices)の利用調査								

1390

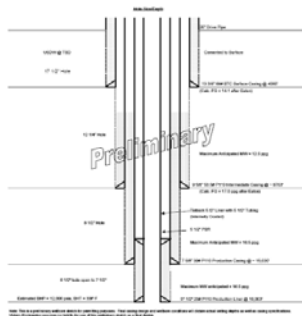
技術名称	EGSにおける坑井内モニタリングシステム							
プロジェクト番号	GO18185							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年1月1日 ～ 2013年3月31日 (4.2年)			
開発企業名	Perma Works LLC (Draka Cableteq USA, Eclipse NanoMed, ElectroChemical Systems Inc., Electronic Workmanship Standards Inc., Frequency Management International, Honeywell SSEC, Kuster Company, Pacific Process Systems, Inc., Tiger Wireline Inc., Viking Engineering)							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$2,200,000(2,969,978):FY2008							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体 循環・抽熱	貯留層管理 坑井調査
個別技術								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 【概要】 - EGSの坑井内のモニタリングシステムを開発することが目的である。 - 現状の機器は、数日しか坑井内に存在できないのに対して、本技術は数日～数年存在可能であることからコスト削減に寄与できる - 坑井内刺激法はコストがかかることから、本技術では、継続的にモニタリングすることで、適切なタイミングで対応することが可能となる。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	- 現状の機器は、数日しか坑井内に存在できないのに対して、本技術は数日～数年存在可能であることからコスト削減に寄与できる - 坑井内刺激法はコストがかかることから、本技術では、継続的にモニタリングすることで、適切なタイミングで対応することが可能となる。 300度以上となるEGS内でも適応可能である。 - Perma Worksでは、Sandia National LabsからHT-SOI(Silicon on Insulator)型のPTCツール(温度計測)の開発のライセンスを取得 300C対応のデジタルクロックを開発中(現在は225度が限度) 300C対応のCNC(Computerized Numerical Controllers)を、セラミック基盤と金属にて構築中 300C対応のバッテリーを開発中(現在は200度が限度) - 耐熱記憶媒体の開発 - スピナー型流量計が時間と共に、故障することから、静的条件で実験中 - 従来型の地熱機器は坑井内での時間が限られており、EGSのためのPW-PT535Aアナログ計測器は販売されていることから、長期間の運用や、刺激井での動作確認を実施中。							
技術導入によってもたらされる効果								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・2013年に開発完了後、ワイアレスバッテリー化							

091

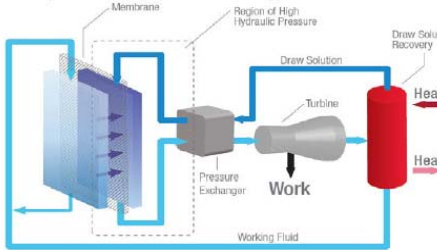
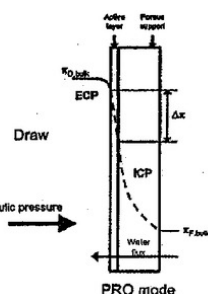
技術名称	単一井低温CO2に基づいたEGS								
プロジェクト番号	EE0004432								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年9月30日	～	2015年9月30日	(5年)	
開発企業名	GreenFire Energy (Foulger Consulting, Lawrence Berkeley National Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, Ridgeway Arizona Oil Company)								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$2,957,813(\$367,728)(FY2010)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 地熱流体として超臨界CO2を利用することの実現可能性検証 【技術的アプローチ】 理想的なCO2-EGSの実証手法に対し、本プロジェクトでは、 ・資金調達とリスク管理の現実に鑑み、単一井”huff-and-puff”実験に加え、関連するログ・コア・地震データからアプローチを構成する ・深度6500mに井戸を計画。ドームのこの部分では、上部を覆う堆積層が約2500mと厚いため、約4000mの結晶基盤岩を掘削する予定 ・掘削時には、可能な限り完全な層の特性化を行うためのロギング手法のパッケージを計画中 ・直面した断層の傾斜と方向を究明する;既存の断層マップはこのような情報を推測するが、ハードデータは現在利用不可 ・コアの状態に応じて、層の水圧破碎を行う可能性がある ・地震データ収集に際しては、最近開発されたGTPプロトコルを利用する ・”huff-and-puff”実験は、井戸の底部またはその付近の地層へのCO2注入し、十分に岩体と平衡するための場所にとどまることを可能にする。その後CO2を再生産する。 ・その再生産中の圧力および温度の変動をモニタリングすることにより、地層の多孔性および透水性、CO2への熱移動に関するデータを推測することが可能になる ・地表下に小規模な発電装置を設置し、サイトと井戸の状態が商用生産に十分であることを実証し、究明されたダウンホールの状況下で稼動する								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性									
技術導入によってもたらされる効果	・3分の2程度に、EGS用MW当たりの資本コストを削減 ・非エネルギープロジェクトからの収入拡大 ・高付加価値利用 ・シングルパス利用 ・より小規模でファンダブルなプロジェクト ・伝導コストと遅延の回避 ・炭素回収コストの削減 ・直接エアキャプチャプロジェクトの状況								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・発電およびCO2のダウンホール/地層での挙動								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・資金調達の強化								

技術名称	堆積岩層における地熱-CO2保管貯留層の管理:エネルギー回収率の向上及びリスク軽減のためのアプローチ						
プロジェクト番号	DE-FOA-0000336						
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2011年4月29日	～	2013年9月30日 (2.5年)
開発企業名	Lawrence Livermore National Laboratory (Ormat Technologies, Inc., Princeton University)						
開発プログラム名	EERE						
開発コスト(内補助金)	\$546,250(\$437,000)						
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減				
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良				
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体二酸化炭素回収貯留(CCS)
個別技術							貯留層管理
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及	
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	【目的】 - CO2ストレージと組み合わせることで、発電コストを低減 - 適応可能な多段エネルギー回収戦略/アプローチを開発 - 以下に基づく、スイートスポットおよび資源ポテンシャルを決定するためのGIS調査、インフラ、かん水オプション分析 - 貯留層特性(透過性、温度、熱流束、かん水組成物) - インフラ因子(CO2エミッタへの近接性、生産塩水用のオプション) - サイトのランク付けと、更なる分析に有望なサイトの選定 - 有望サイト貯留層分析(LCOE, MWe/CO2トン) 【アプローチ】 - 相乗エネルギー回収戦略と井戸パターンアプローチの開発 - 貯留層システムの数値シミュレーション - かん水利用のためのサイト特有のオプションを含む資源ポテンシャル、スイートスポット分析、サイトのランク付けに関するGIS調査 - 経済分析 【相乗エネルギー回収戦略】  【資源ポテンシャルGIS調査】  Synergistic Attributes for Deployment 						
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	- 相乗、適応、多段階、マルチ貯留層アプローチは、特定の現場の状況に合わせ、設備寿命を向上させることができる - 生成かん水は、水不足が展開を妨げる場所の隣接サイトにおけるEGSを可能にする - 産業規模のCO2ストレージに適用可能な熱装置と井戸間隔は、井戸と設備コストの低減により経済的な寿命を拡張することが可能						
技術導入によってもたらされる効果	- CO2ベースもしくはCO2/かん水ベースのシステムは、かん水ベースシステムの展開を妨げる水不足環境や、低透過性が流体再循環の寄生ロスをつりあげる環境等で、設備寿命を改善する - 産業規模のCO2ストレージに適用する大型の熱装置は、典型的な地熱システムに比べ熱減少率の低減をもたらす - 透過性の高いサイトは、典型的な地熱システムと比べ大きな注入/生産間隔を可能にする可能性がある - CO2の捕獲および隔離(CCS)作業を行う共用井インフラは、コストを低減可能						
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)							
現時点の技術的課題							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	- 貯留層システムの最適化/不確定要素管理のフレームワークを開発する - 現場実証プロジェクトとのコラボレーションを展開する						

093

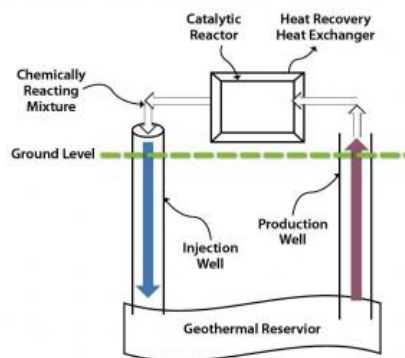
技術名称	ルイジアナ州のSweet Lake Field Cameron Parish における異常高温地熱発電の商業化の実現性の実証								
プロジェクト番号	EE0002855								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月29日		～	2013年3月31日	(3.5年)
開発企業名	Louisiana Tank, Inc.								
開発プログラム名	ERRE								
開発コスト(内補助金)	\$1,819,774(\$867,850) : ARRA								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&Mフラッシュ	パイナリー	高温岩体	貯留層管理	
個別技術							その他		
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及			
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・ルイジアナ州のCameron Parishに存在する高圧の地熱塩水の探索 ・地熱井からの ログ、コア、流量テストデータを用いて貯留層の概念及び数値モデルを作成、及び性質を把握 【目的】 長期フローテストを実施 ・すべての表面装置と発電所を建設し、発電を開始する ・プロジェクトからの直接&間接的な雇用創出を通じた、パフォーマンスの技術的&経済的側面の評価 【技術&設計】 ・発電所は、ガスタービンを回すためのガスおよび熱を二次作動流体(nペンタン)に伝導する一連の熱交換機に送られる高温地熱塩水を利用して、発電用ORCに使用される坑口の高温地熱塩水から可燃性メタンガスが分離されるハイブリッド発電サイクルを採用する。 ・ガスエンジン排気から二次作動流体サイクルへの熱回収は発電を増大し、パワーサイクルの全体的な効率性を改善させることに役立つ。パワーサイクル設計の最適化のプロセスの途中である。  高圧地層貯留層が予想される状況に特化したもの(16,000 ft.								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・地熱井の構造を高圧の地熱塩水の条件に特化したものにする ・16,000フィートの深さでの掘削及び調査								
技術導入によってもたらされる効果	・熱、運動エネルギー、及び地熱塩水に含まれるメタンガス等の天然ガスからの発電の最適化 ・発電所の稼働による直接的・間接的な雇用の創出 ・もし成功すれば、熱、運動エネルギー、および天然ガスを利用する発電技術の中で、初めて経済的に実現可能なものとなる								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・掘削リスクの軽減 – プロジェクトの掘削段階での価値創造に起因する、プライベート・エクイティ市場での困難性 ・東南アメリカ全土での再生可能ポートフォリオ基準の欠如 ・クリーンで再生可能なベースロード発電のメリットにかかわらず、再生可能エネルギー対他の形態において公益事業会社がプレミアムを出すインセンティブがない ・地熱は\$/ kwの容量ベースで他の再生可能エネルギー技術の形態に対し競争力があるが、他の「ブラウン」パワーに対抗しない								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)									

094

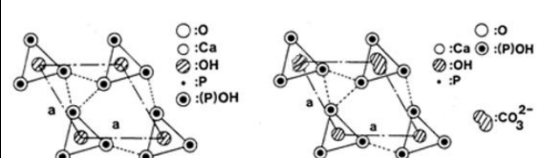
技術名称	低温地熱資源からエネルギーを生産するための浸透圧熱エンジン						
プロジェクト番号	EE0002859						
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年6月1日	～	2013年12月31日（3.5年）
開発企業名	Oasys Water (AltaRock Energy, Inc.)						
開発プログラム名	EERE						
開発コスト(内補助金)	\$2,900,788(\$910,997): ARRA						
技術目的	低リスク化			低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良				
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体 貯留層管理
個別技術						その他	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及	
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象と する課題等も併せて記述)	OHE(Osmotic Heat Engine: 浸透圧熱エンジン)は、低温(40–150℃)地熱もしくは高温地熱リカバリーシステムからの排熱を利用して塩希薄溶液を濃縮塩水と脱イオン淡水成分に分離することでエネルギーを捕捉する。これら塩水と淡水の溶液は、化学エネルギーまたは塩分の差分としてエネルギーを貯蔵する。この捕捉された浸透ポテンシャルは、PRO(Pressure Retarded Osmosis: 圧力遅延浸透(または濃度差発電))プロセスを利用し、電力に変換される。PROにおいて淡水は、半透膜を通して加圧された塩水ドロー溶液(Saline draw solution)に流れ込む。増加した容積は、電気を生成する水力発電タービンを通して消散する過剰圧力を生成する。このように、PROは浸透ポテンシャルを水压ポテンシャル、最終的には電力に変換する。減圧・希釈されたドロー溶液は低温(40–150℃)地熱を用いて再生し、OHEの連続運転を可能にする。  【備考: OHE(浸透圧熱エンジン)とは】 半透膜を用いて浸透圧を電力に変換する。熱エネルギーを機械的な仕事に変換する方法。浸透圧熱エンジン(OHE)として知られている。閉じたサイクルの圧力遅延浸透圧(PRO)プロセスが、高濃度のアンモニア二酸化炭素透過側溶液を使用して、水圧勾配に抗して半透膜を通過する水流束を生成する高浸透圧を生成する。増加した透過側溶液の体積がタービンにて減圧することにより、電力を生成する。プロセスは、希釈された透過側溶液を、再濃縮された透過側溶液と脱イオン化された作動流体とに分離し、ともに浸透圧熱エンジンにて再利用することによって、安定した状態の動作に維持される。イェール大学が特許取得。 source: www.ekouhou.net/%E6%B5%B8%E9%80%8F%E5%9C%A7%E7%86%B1%E3%82%A8%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%83%B3/dis-p-A.2010-509540.html 						
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・既存の水淡水化の取り組みに基づいた技術である ・低温地熱資源を利用して、浸透ポテンシャルエネルギーとして豊富な低温地熱資源の熱を捕捉する方法は、費用対効果が高く効率的であり、環境に優しい発電が行える ・OHEは高温地熱回収プロセス(例: フラッシュプロセス)からの排熱を捕捉することでエネルギー回収を改善し、既存の地熱発電所の冷却コスト低減に有用である						
技術導入によってもたらされる効果	・革新的で初期段階の技術がもし成功すれば大きなインパクトになり、広範に利用されるアプリケーションになりうる ・低温熱キャプチャシステムは、既存の地熱回収システム、特にEGSの経済性を向上させ、豊かで持続可能なエネルギー生産を提供する						
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)							
現時点の技術的課題	・低等級熱(40–100 °C)を経済的に電力に変換できる熱交換プロセスの実証 ・浅地熱井からの発電を有効にし、深い井戸注入システムに関連するリスクを減少させること						
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	OASYSは現在、NH ₃ -CO ₂ ドロー溶質・正浸透淡水化および水処理システムにおけるドロー溶質アプリケーション・OHEシステムの特許を取得している。OASYSは、人工浸透プラットフォームを利用した実験室規模の正浸透パイロット発電所の稼働に成功し、2010年1月には工業規模の水処理パイロットプラントの建設準備を行っている。ドロー溶質最適化・膜研究・パイロット発電所建設を含む正浸透設計における初期の作業結果の多くは、直接OHEシステムに移転可能である。						

095

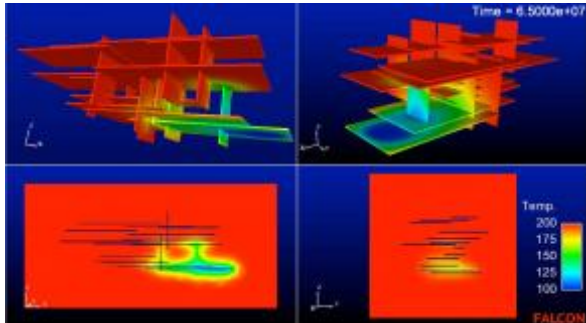
技術名称	地熱利用における化学的熱交換器 (CEC)							
プロジェクト番号	AID 19960							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年9月28日	～	2012年9月30日	(3年)
開発企業名	Argonne National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,273,590(\$1,273,590)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術							循環・抽熱	
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・化学エネルギーとして、EGSから得られる熱の復元のためのCEC(chemical energy carrier)プロセスの開発を行う。 ・本プロジェクトは、環境技術不足により未使用であるEGSから排出されるクリーンなエネルギーを削減することに繋がる。 ・プロジェクトにおいて、下記内容を遂行する。 -CECシステムの確認及び異なるEGS貯留層の互換性の評価 -最有力候補の熱力学解析及びプロセス工学分析、及びCECシステム適用のための設計修正とR&Dニーズの評価 -触媒におけるパフォーマンス向上のための熱力学ターゲットの決定 -熱力学解析実証の為にCECテスト -EGSの特徴に合ったCECシステムの分析、設計、開発 -最有力候補のフィールドテスト							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・CECプロセスは、EGS熱保存及び変換の最新のアプローチである。 ・CECプロセス、閉鎖循環プロセスであり、SO2とCO2排出、及び水の浪費を抑える。							
技術導入によってもたらされる効果	・地熱発電効率の向上 ・温水の節約							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	・地熱貯留層から得られる熱の低いエクセルギーによる、地熱発電効率の低下 ・EGSの温水の大量使用 ・超臨界水は鉱物の溶媒であるため、高温EGS貯留層に断裂を起こす可能性がある ・T>375oC の硬度の岩では、断裂を作るのは難しい。 ・流体データの不足							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)								



036

技術名称	超臨界の二酸化炭素による貯留岩の炭素化メカニズム																													
プロジェクト番号	AID 19965																													
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年7月1日	～	2012年9月30日	(2.3年)																						
開発企業名	Brookhaven National Laboratory																													
開発プログラム名	EERE																													
開発コスト(内補助金)	\$334,000(\$334,000):ARRA of 2009																													
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生																							
	開発リスクの低減	社会受容性に関わるリスクの低減																												
新旧区分	新技術の創出			既存技術の改良																										
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理 流体地化学モニタリング																						
個別技術																														
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及																								
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 ○Replacement of OH Groups in HOAp by CO2, sequestering CO2 Ca5(PO4)3(OH)x →Ca5(PO4)3(OH)x-y (CO3)y 【概要】 超臨界CO2は、現在香料類の中で使用される様々な原料から揮発性油と芳香の合成物を抽出するためのより一般的な流体になる。 更に、水のそれと比較して、伝熱流体としてのその使用は、熱い貯留岩からの熱への耐性もあり非常に魅力的である。 しかしながら、1つの懸念は、水溶性・非水溶性の環境中の岩石中の流体・鉱物との反応によるものであり、この反応が水溶性の炭酸塩の構成に結びつく場合、そのような構成は坑井に対して完全に有害である可能性があり、本事業にて解明する。 【目的】 ・超臨界CO2の、水溶性・非水溶性の環境中の岩石中の流体・鉱物との反応に関する解明 ・超臨界CO2に関する化学モデルの構築 Scientific/Technical Approach Energy Efficiency & Renewable Energy Rock and Clay Mineral Formation at Coso EGS <table><tr><td rowspan="6">Rock mineral</td><td colspan="2">Major</td><td>Minor</td></tr><tr><td rowspan="3">Granite</td><td>Na,K-based Albite</td><td>Diorite</td></tr><tr><td>Na-based Albite</td><td>Quartz</td></tr><tr><td>Quartz</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Biotite mica</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Hornblende</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">Clay mineral</td><td>Illite</td><td>Kaolinite</td></tr><tr><td>Smectite</td><td></td></tr></table>								Rock mineral	Major		Minor	Granite	Na,K-based Albite	Diorite	Na-based Albite	Quartz	Quartz		Biotite mica			Hornblende			Clay mineral	Illite	Kaolinite	Smectite	
Rock mineral	Major		Minor																											
	Granite	Na,K-based Albite	Diorite																											
		Na-based Albite	Quartz																											
		Quartz																												
	Biotite mica																													
	Hornblende																													
Clay mineral	Illite	Kaolinite																												
	Smectite																													
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・水溶性・非水溶性の環境の異なる鉱物学の構成から成る超臨界二酸化炭素と貯留岩の間の炭酸飽和反応機構を包括的に解明する、また 貯留岩相互作用CO2の化学のモデリングを開発すること STEP1:坑井サンプルからの化学組成の分析 STEP2:鉱物と炭素に関する研究 STEP3:炭素環境下における鉱物の反応解析 STEP4:貯留層化のCO2のモデリング STEP5:報告資料のとりまとめ																													
技術導入によってもたらされる効果	・EGSにおける、高温下による溶媒としてのCO2の適用の可否 ・CCSへのCO2隔離技術への高度化の提示																													
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)																														
現時点の技術的課題																														
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・本事業では、250℃の超臨界CO2/水への鉱物の反応度合いは、それらの化学の配置および構成に依存することが判明した。 ・以下についてが今後の研究課題である。 -濡れ炭酸飽和状態における粘土鉱物での反応の分析 -岩鉱物の濡れ炭酸飽和状態の反応に引き起こされた副産物の構成分析。 -岩と粘土鉱物の両方に関する乾燥状態における、炭酸飽和と研究。 -温度と露光時間の機能としての岩および粘土のぬれた炭酸飽和状態における動力学および定量分析。																													

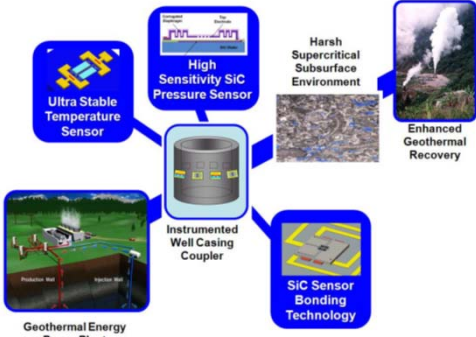
09/

技術名称	FRACSTIM/I:水圧破砕刺激及び地熱流体の動きに関する、貯留層内のシミュレーション								
プロジェクト番号	AID 19971								
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月1日		～	2012年9月30日	(3年)
開発企業名	Idaho National Laboratory								
開発プログラム名	EERE								
開発コスト(内補助金)	\$1,108,755(\$1,108,755)								
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生		
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減						
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良						
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ		バイナリー	高温岩体	貯留層管理 流体地化学モニタリング
個別技術									
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及		市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・動的な断裂刺激、流体流量、岩石変形と熱変化を予測する為に、連続した多層の流れを持つ断裂のためのDEM、及び熱変換モデルの結合によって、物理学ベースの岩の変形及び断裂伝搬シミュレーターの開発を行う。 ・提案モデルは、刺激後の地球物理学及び水力学モニタリングデータの評価を行い、生産井のターゲッティングの向上及びオペレーションの最適化を行う。 								
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・全ての支配方程式を解く際、実行に時間はかかるが、1980年代以降連成問題を解く最もいいアプローチである、Fully Globally Implicitソルバーを使用する ・大規模並列フレームワーク:実際の空間スケール問題を適正時間で解くことができる ・ハイパフォーマンスコンピューティング:線形及び非線形ソルバー、適用可能なメッシュ改良、物理ベースの条件付けなど								
技術導入によってもたらされる効果	・EGS貯留層生成物及び長期間の浸透性変化のインサイトを得ることができる ・刺激と貯留層マネジメントシナリオを評価することで、熱減少を最小限に留めることができる ・どんなTHMCプログラムにも対応できる								
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)									
現時点の技術的課題	・“de-couples”プロセスが不可欠 ・計算時間が遅い ・合成手法(coupling method)の効果はあまり理解されていない								
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・本プロジェクトの発展(制御ボリュームFEMの導入、超臨界条件化への拡張、等) ・Raft RiverでのEGS実証実験のシミュレーションを行う(断裂領域の基本システムの開始、全貯留層の検査) ・共同研究及びライセンス申請								

098

技術名称	工学的地熱貯留層のための予測刺激反応							
プロジェクト番号	AID 19979							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2009年10月31日	～	2012年10月31日	(3年)
開発企業名	Lawrence Livermore National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$999,065(\$999,065)							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理 流体地化学モニタリング
個別技術								
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	・単一坑井付近の刺激の効果だけでなく、複数の坑井の刺激が貯留層規模での熱変換にどのぐらい影響があるのかを調査できるモデルを開発する。 ・開発においては下記の作業を行う。 –既存及び今後のEGSにおいて活用可能なデータの収集 –爆薬破碎伝搬においてALE3Dを活用した新しい技術を用いたモデリング評価 –水力伝搬刺激処理の為に、FAST断裂伝播モデルをALE3Dプログラムに組み込む –熱変化により層を冷やした時、及び断裂浸透性におけるポテンシャル増加したとき、熱断裂ネットワークをどのぐらい使用するかの評価の為に、NUFTコードの活用 –NUFTとALE3D/FASTの浸透性分野のモデルの結合 –断裂浸透性変化における非均衡、熱化学効果の結果の評価 –ALE3D/FASTモデルにおける断裂伝播の局所的な応力場への影響調査 –ALE3D/FASTの能力、確率論的な断裂浸透性生成作用素、EGS刺激モデルを評価するためのNUFTの熱及び反作用伝達シミュレーション能力の結合 –熱変化時のEGS刺激におけるインサイトを与える結果のまとめ							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・硬岩石層における断裂システムの水力及び爆薬伝搬に関するEGS刺激反応シナリオを調査するためのコンピュータベースのモデルである。 ・このモデルは、場所ごとに長期にわたる浸透性強化のためのインサイトを得ることができる。							
技術導入によってもたらされる効果	・注入及び爆破技術による断裂伝搬の試行が減少することによるコスト削減 ・どんな特徴を持つ層が探査時間とコストの削減に繋がるのかの理解に繋がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	探査リスクとコスト:地熱貯留層の選択、設計、開発							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・異方向の圧力と初期断裂分配のような異なる場面での水力破碎の調査 ・規模の違うモデルに応じた水力破碎に関する熱伝達向上の評価 ・GEOS 3-D FE 断裂コードへ水力破碎シミュレーションの特徴を結合させる							

099

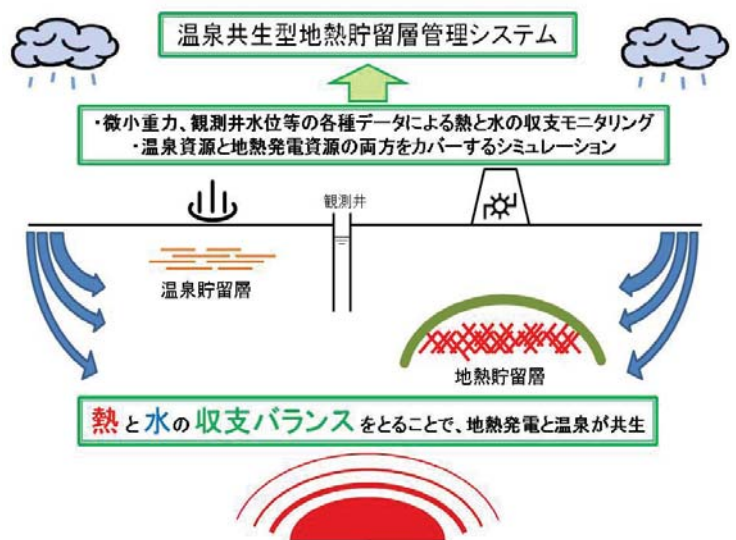
技術名称	厳しい環境下における炭化ケイ素検知技術							
プロジェクト番号	EE0002753							
開発状況	完了	開発中	開発前	開発期間	2010年4月1日	～	2013年2月28日	(2.9年)
開発企業名	Brookhaven National Laboratory							
開発プログラム名	EERE							
開発コスト(内補助金)	\$1,777,617(\$2,222,022): ARRA of 2009							
技術目的	低リスク化				低コスト化		環境共生	
	開発リスクの低減		社会受容性に関わるリスクの低減					
新旧区分	新技術の創出		既存技術の改良					
開発段階	資源概査	資源精査	F/S、環境アセス	掘削	O&M フラッシュ	バイナリー	高温岩体	貯留層管理
個別技術								坑井調査
研究開発フェーズ	基礎研究	応用研究	実用研究	導入実証	初期普及	市場普及		
技術概要、及び概要図 (概要に加えて、対象とする課題等も併せて記述)	 【概要】 SiCセンサー技術の開発は、貯留層の管理、モニタリングに役立つと考えられる。現状の機器であると300度以下しか対応せず、それ以上であると臨界する。よって、高温の耐熱性がある素材の開発が必要であり、600度に耐えうるものを開発する。 【目的】 ・高温、高圧に耐えうる2種類の計測器を開発する。							
技術の特性、及び他技術と比較した場合の優位性	・厳しい超臨界条件の中で作動することができるSiC圧力センサーの開発 ・ケーシング・カプラーへのSiCセンサーの付着 ・小規模圧力容器中のセンサー材料開発および実際のセンサー・デバイスの実験の接触試験(220本の棒および374℃での)の実施							
技術導入によってもたらされる効果	高温下でも継続的に使用できる計測機器の開発に繋がる							
導入に必至となる条件(地理的、発電容量等の条件)								
現時点の技術的課題	高温度帯での計測・モニタリング機器がないこと							
今後の展開(技術開発、新規参入市場等)	・実環境でのフィールド実証							

H22-24環境省 地球温暖化対策技術開発等事業 「温泉共生型地熱貯留層管理システムの開発」

(独)産業技術総合研究所

背景と研究概要

- 我が国の地熱発電開発は、温泉との共生を図っていかなければ進展しない。
- しかし、地熱と温泉との共生に特化した技術開発は、これまで行われてこなかった。
- 本事業では、温泉への影響を監視し、評価する総合的な地熱貯留層管理システムを開発し、それをモデル地域に適用することで、温泉への悪影響がない地熱発電が可能であることを実証する。



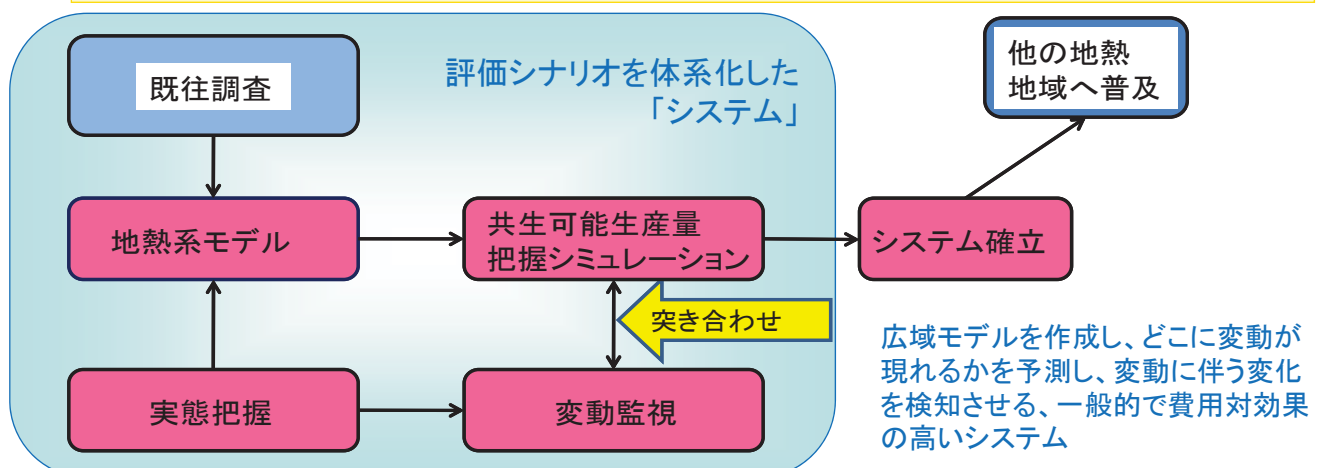
本研究の目標

- 適切な事前調査・モニタリングに基づく地熱貯留層管理を行えば、温泉に影響しない地熱発電が可能であることを実証→**モデル地域での実証研究**
- 温泉への影響を監視し、評価する**汎用システムの開発**

「温泉共生型地熱貯留層管理システム」

- 温泉影響評価についてNEFのマニュアルがあるものの、あまり活用されていないことから、**同マニュアルを実践し、有効な技術を抽出・向上させ、評価シナリオを体系化する。**
- モデル地点に特化されず、汎用性のあるシステムにする。
- なるべく負担の少ない普通の手法を用いた評価シナリオを作成する。

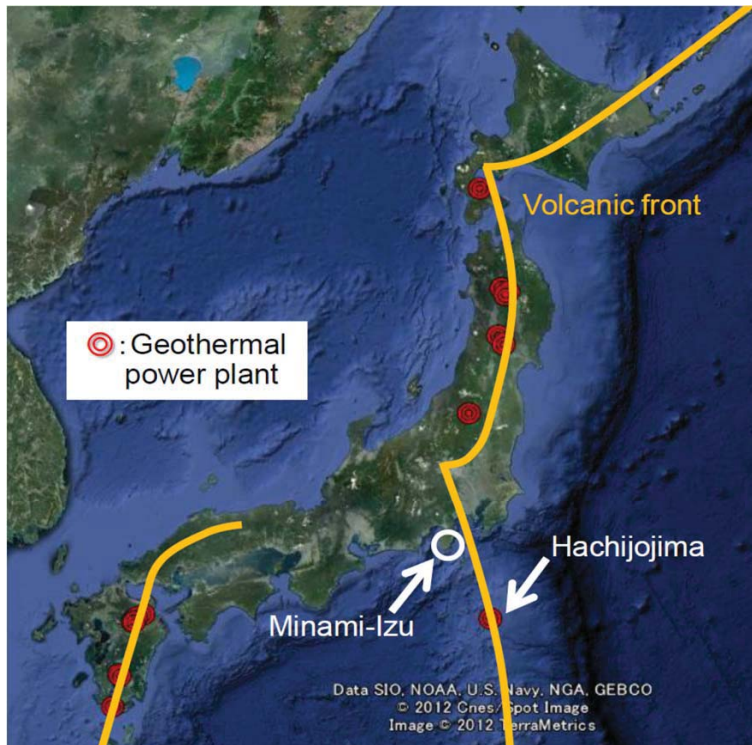
大規模な開発と、小規模な開発の場合では、予算的にも評価シナリオが違う→2つのモデル地域



本研究のモデル地域



八丈島の地熱発電所



八丈島

(既開発地点・企業規模)での技術開発と実証

- 設備容量3,300kWの地熱発電所。
- システム開発対象地域は5×5km程度。
- 地熱発電所の開設に先立つ調査データおよび運開後の地熱流体モニタリング・データあり。

南伊豆

(未開発地点・温泉規模)への適用性確認

- 下賀茂温泉には、70～125℃の高温温泉が多数分布
- システム適用対象地域は2×2km程度。
- 温泉の過去の温度、湧出量などの文献あり。

開発内容(開発項目とその目標)

(1)地熱系モデル開発及びシステム統合化

- 地熱開発が温泉に及ぼす影響の評価手法を組み込んだ統合システムを構築。
- その統合システムには最新の探査・モニタリング手法を組み込む。
- 現実の地熱-温泉系のデータを適用したモデル構築と解析を通じて、手法を検証。
- モニタリング結果や解析結果の公開を行う。

※最終年度は「システム統合化」を別項目として研究

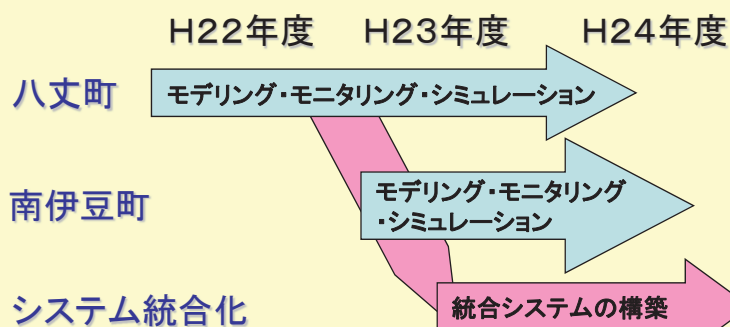
(2)モニタリング技術開発

- 地熱資源の開発に伴う温泉への影響を的確にとらえるモニタリング手法を確立。
- 高精度連続観測用重力計を用いた微小重力モニタリング手法の開発では、10cmオーダーの精度で地下水位、温泉水位の変動を検知できることを目標とする。

(3)変動予測シミュレーション

- 地域の特性やデータ量に合わせた標準的なシミュレーションモデル作成方法及び簡易資源量評価方法を整備。
- 八丈島については帽岩より上位(約100m深以浅まで)の変動も評価できるようにする。

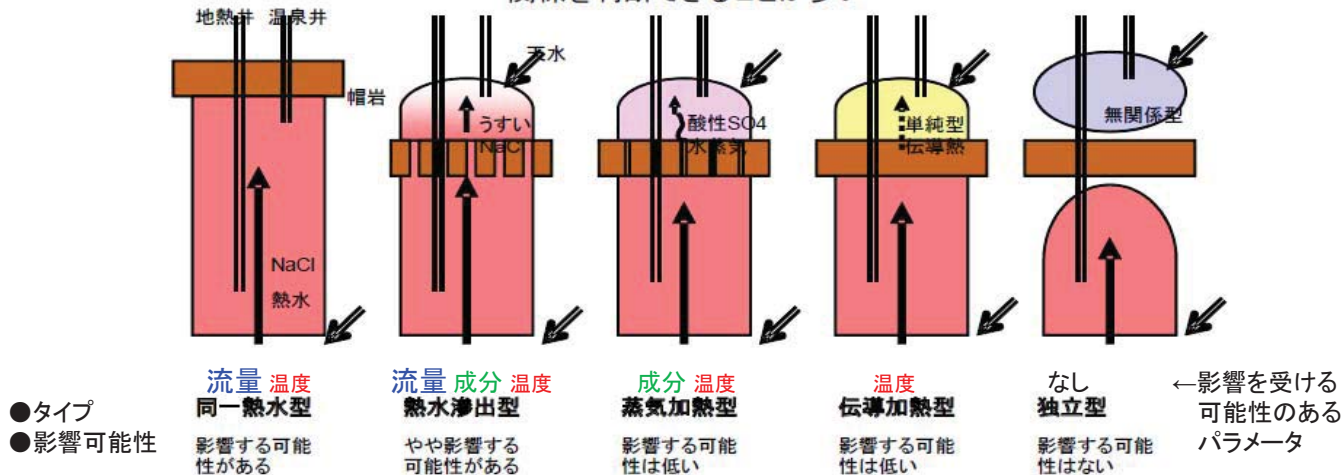
3年間の年次展開



地熱貯留層・温泉帯水層・帽岩の関係

温泉温度	>53℃	>53℃	~	>25℃	~
泉質	Cl ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	~	~

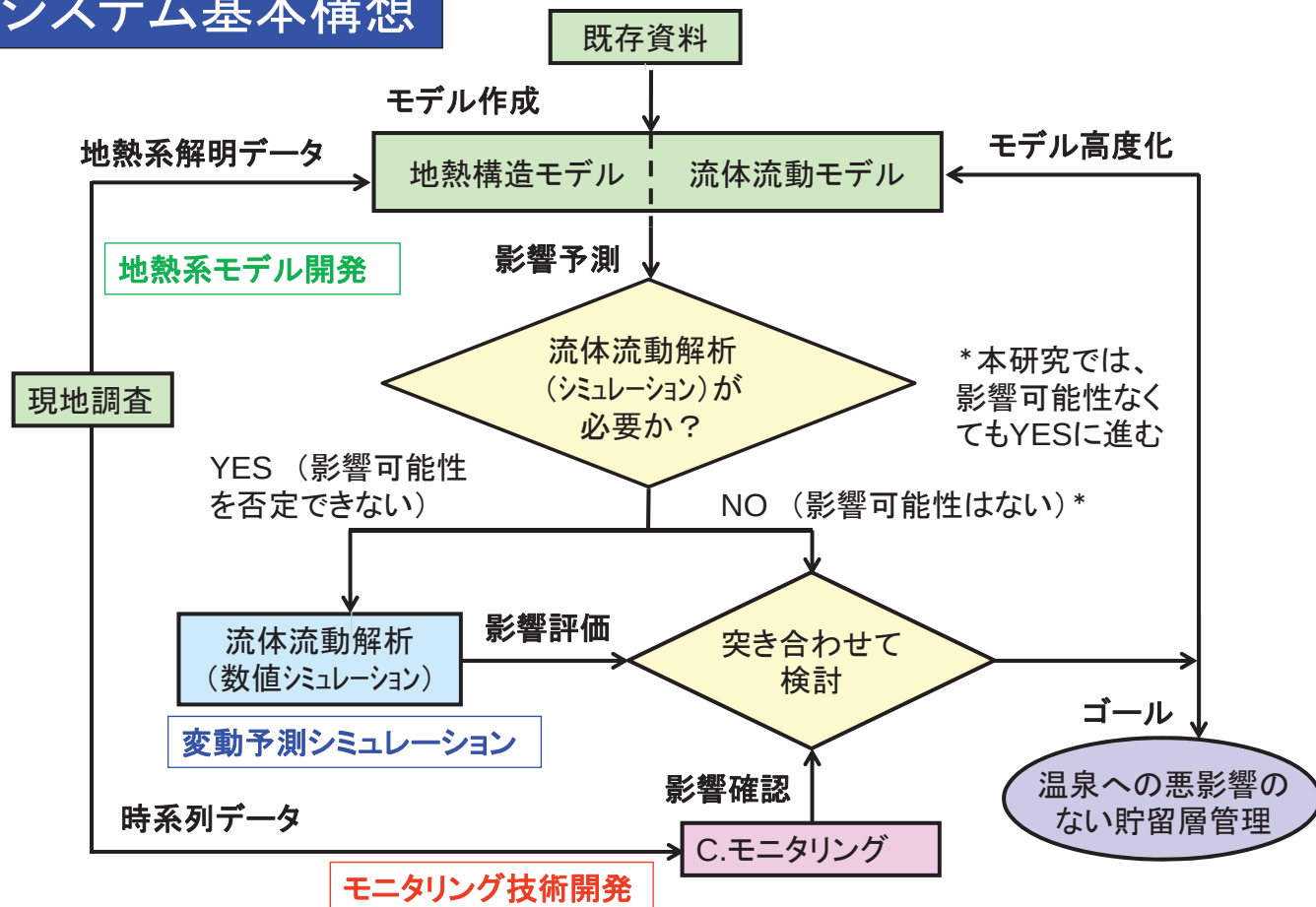
両者の温度、水位、泉質、位置(深度、水平距離)で関係を判断できることが多い



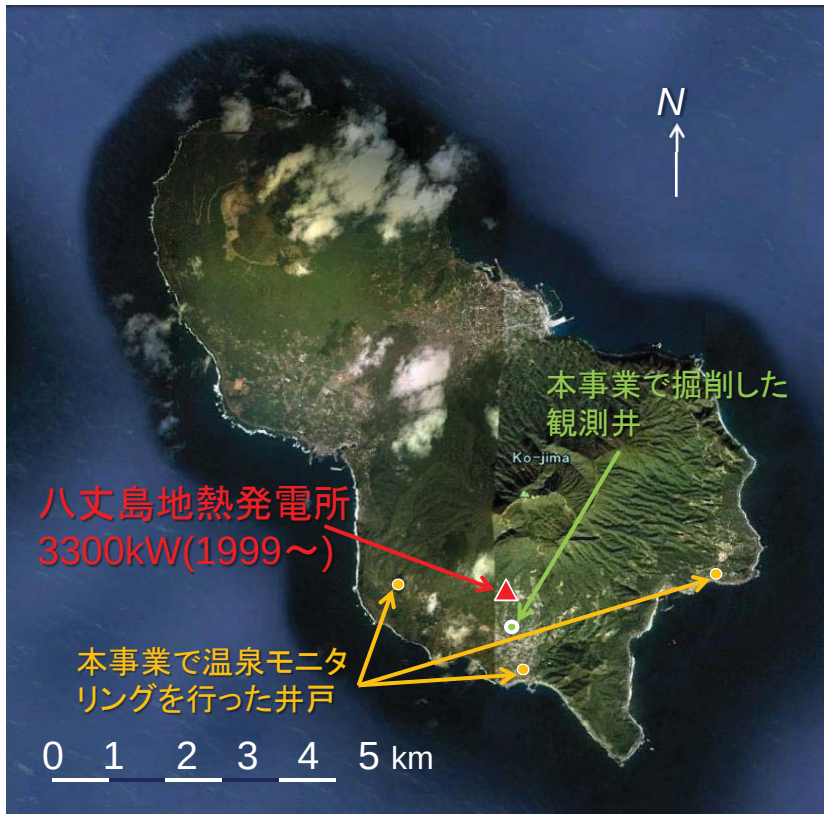
熱水の取り過ぎにより地熱貯留層の圧力が低下する場合に影響が生じる。地熱貯留層の収支バランスがとれていれば影響は生じない。また、温泉相互の関係と、他の人為的、自然的影響があり得るので判断には注意を要する。

(日本地熱学会, 2010)

システム基本構想

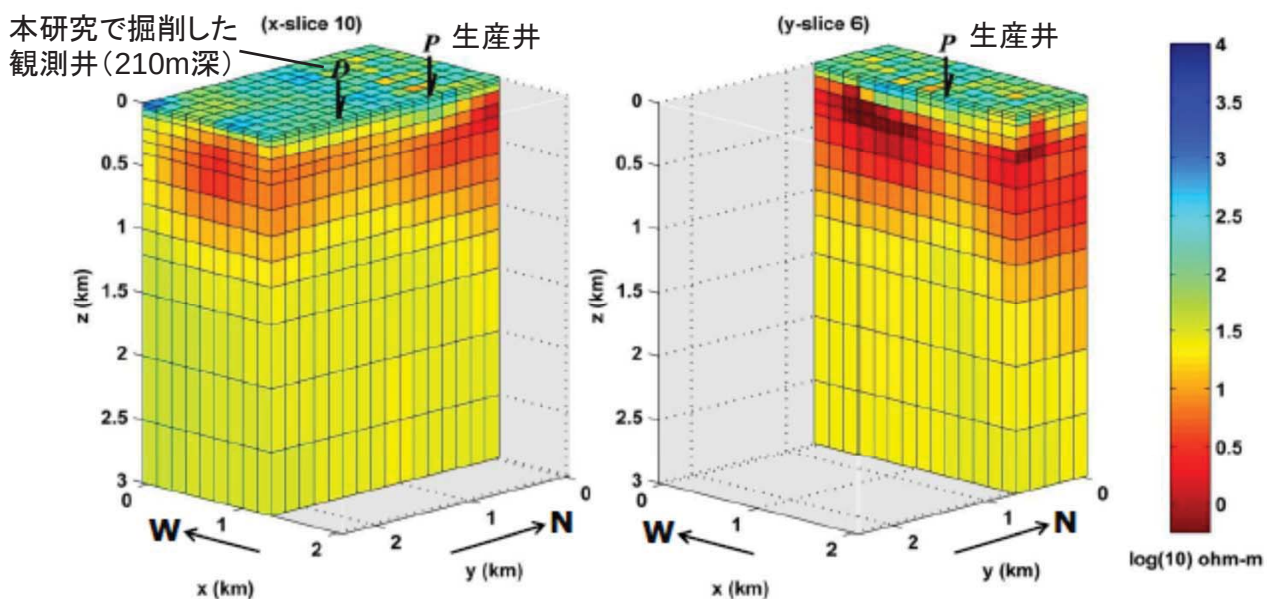


八丈島における研究



- 地熱発電所のオペレーション・データ（発電量、流量、流体成分の時系列データ）を利用できる。
- 地熱開発目的で作成した詳細な数値シミュレーション・モデルが存在する（地熱貯留層の範囲のみ）。
- 本事業では、
 - 追加的な地質調査、地化学調査、物理探査を行い、数値モデルを温泉帯水層まで拡張
 - 新たに掘削した観測井および3箇所の温泉での圧力、温度、成分のモニタリング
 - 微小重力モニタリング技術開発を行った。
- ✓ 以下のスライドでは、さまざまな調査・測定・解析を行った中で、エッセンス的な部分を紹介。

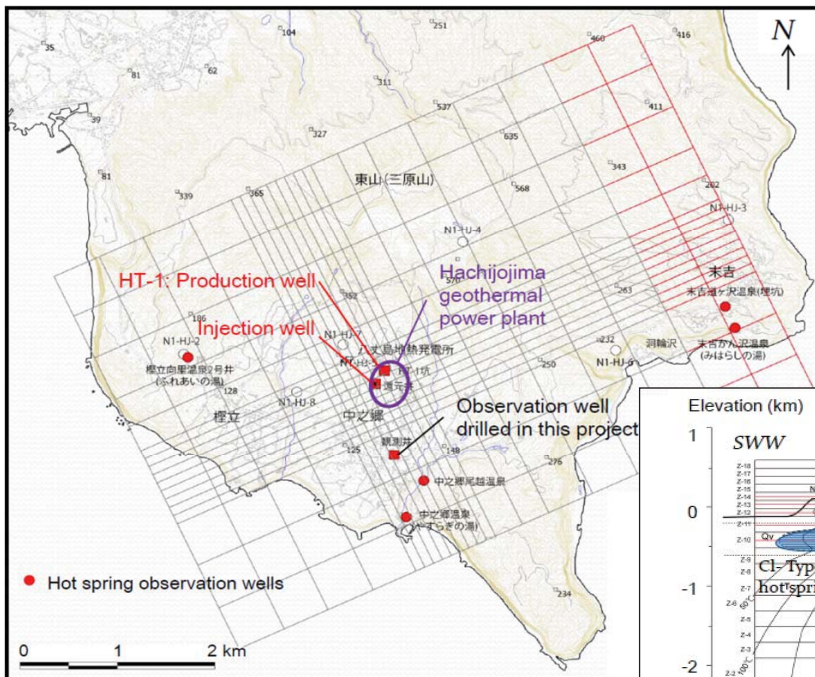
八丈島における研究



3D 比抵抗モデル(MT法・AMT法データの3Dインバージョンによる)

- 浅部を高解像度で再現。
- 低比抵抗部分はキャップロック(帽岩)に対応すると考察される。

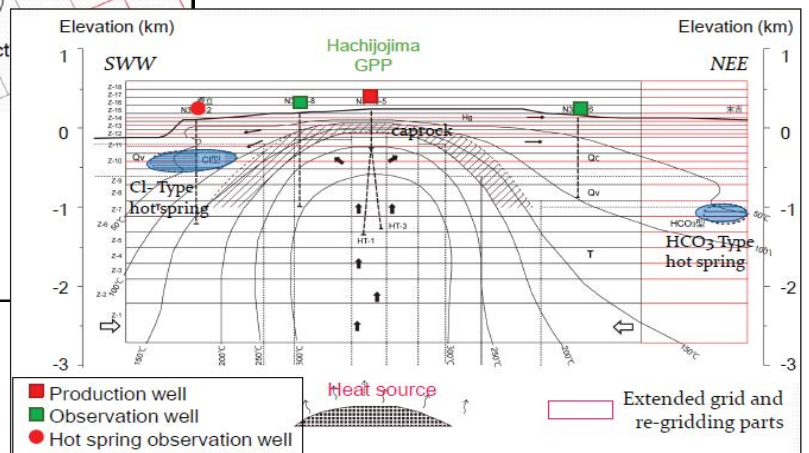
八丈島における研究



既存の八丈島地熱貯留層モデルを、

- 温泉帯水層を含むようエリアを拡張し、
- 浅部の温泉帯水層を表現するために浅部を再分割した。

※拡張・再分割にあたり、新たな地質、地化学、物理探査データを利用

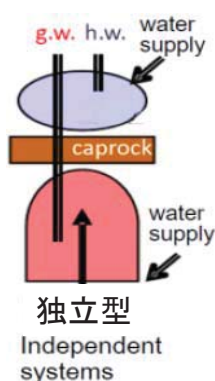


数値シミュレーション

八丈島における研究

シミュレーション計算結果によれば、

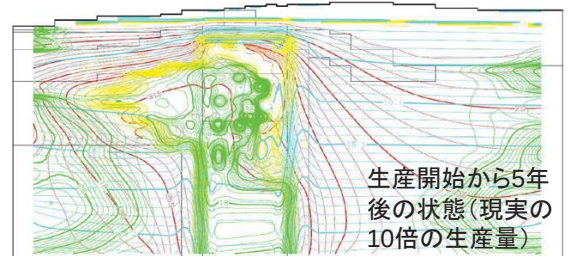
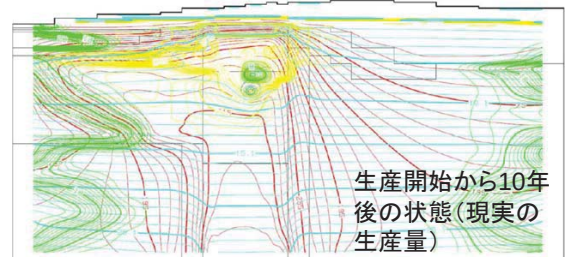
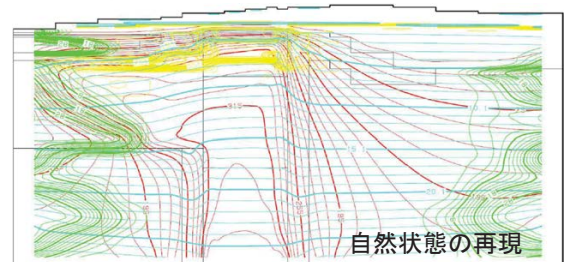
- 現状の10倍の生産を行っても、浅部の温泉帯水層に影響なし。



この計算結果は、地熱構造モデル・流体流動モデルから、本地域は独立型と判断されていることと調和的。

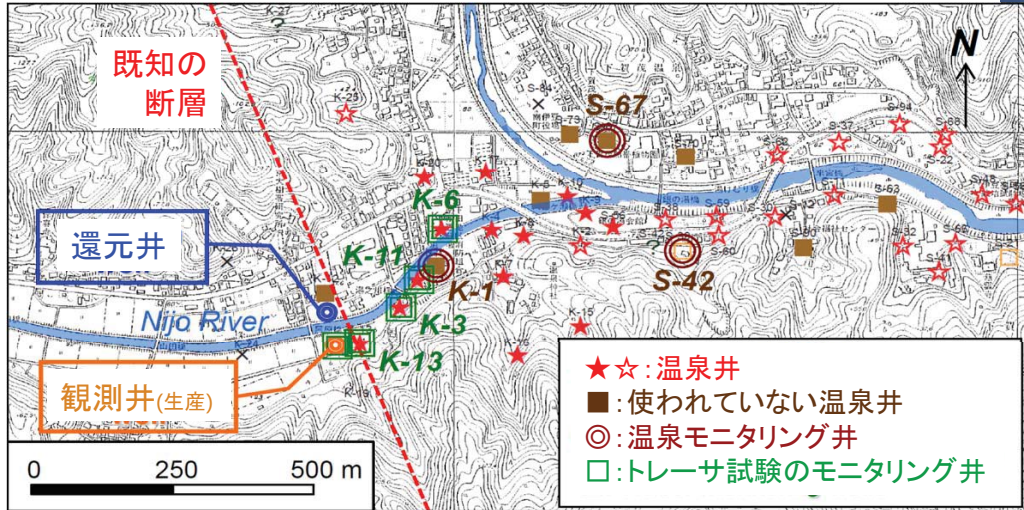
数値シミュレーション

赤: 温度コンター
青: 圧力コンター
緑: 塩分濃度
黄: 蒸気飽和度



南伊豆における研究

- 複数の温泉井(150–200深, 100°C)が断層東側に点在。
- より深部については、情報なし。
- 本事業では、新たに
 - 地質調査、地化学調査、物理探査
 - 695m深の観測井と200m深の還元井の掘削、生産還元試験を行い、深部と浅部との水理的つながりを調べた。

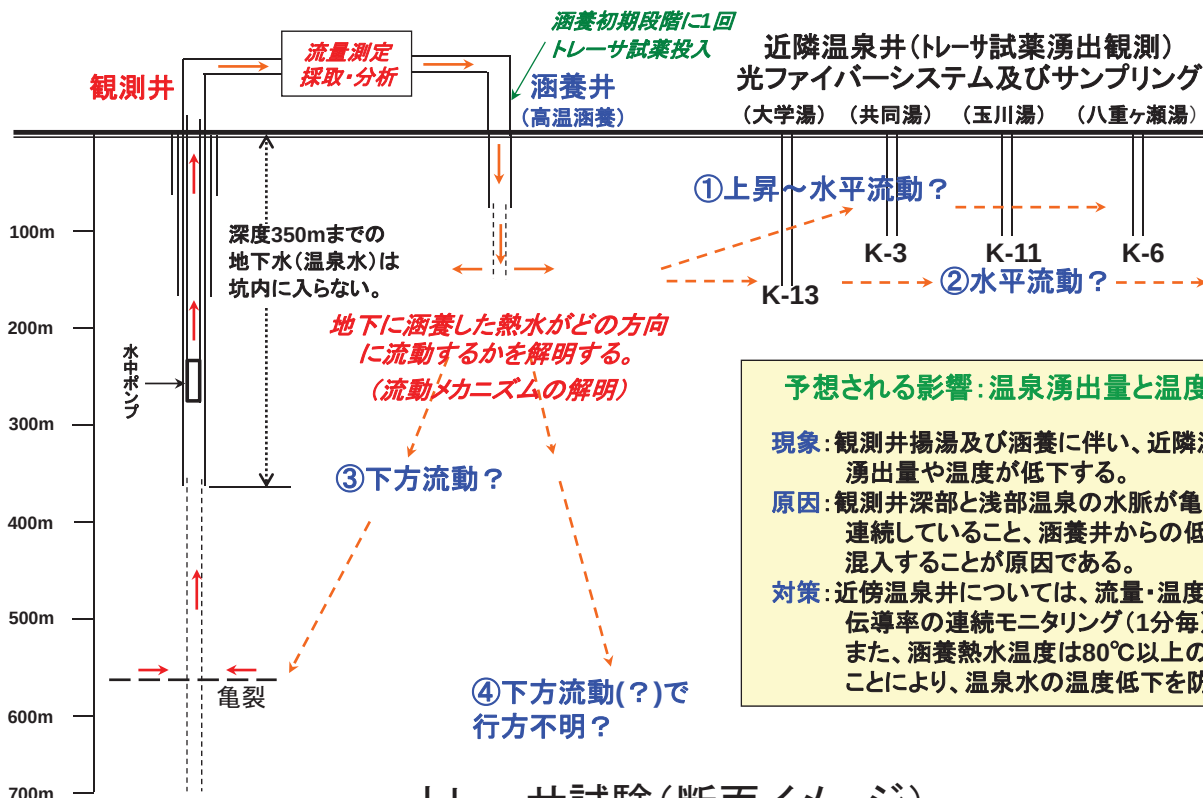


南伊豆における温泉井、観測井、還元井の位置

以下のスライドでは、さまざまな調査・測定・解析を行った中で、エッセンス的な部分を紹介。

27

南伊豆における研究

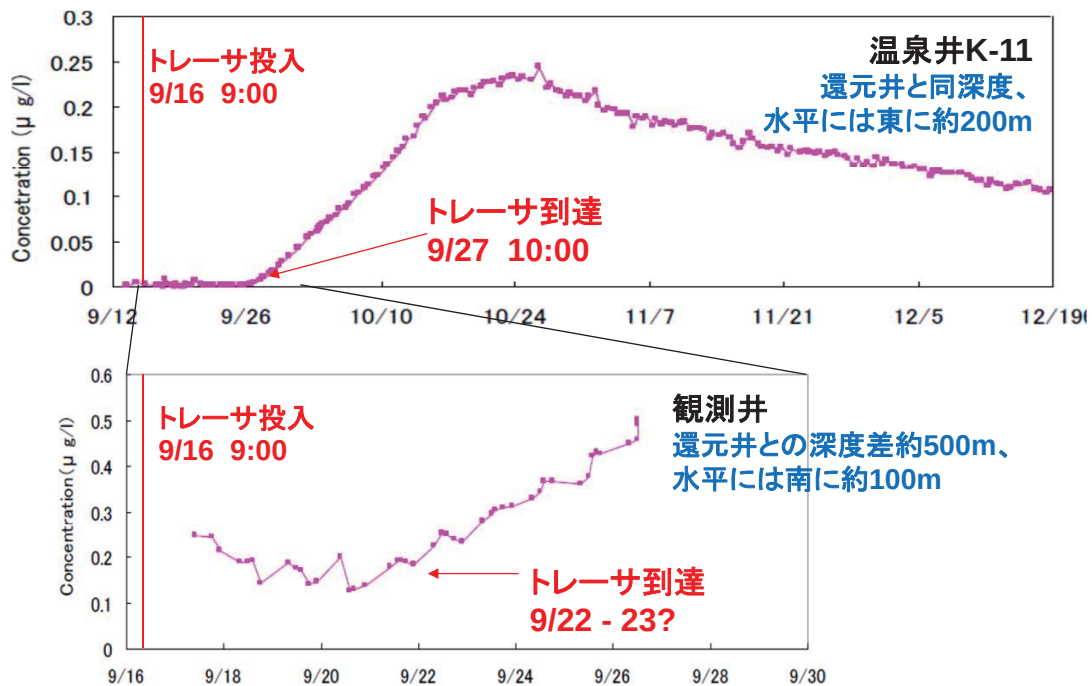


トレーサ試験(断面イメージ)

予想される影響: 温泉湧出量と温度の低下

- 現象:** 観測井揚湯及び涵養に伴い、近隣温泉の湧出量や温度が低下する。
- 原因:** 観測井深部と浅部温泉の水脈が亀裂によって連続していること、涵養井からの低温水が混入することが原因である。
- 対策:** 近傍温泉井については、流量・温度・pH・電気伝導率の連続モニタリング(1分毎)を実施する。また、涵養熱水温度は80°C以上の高温とすることにより、温泉水の温度低下を防止する。

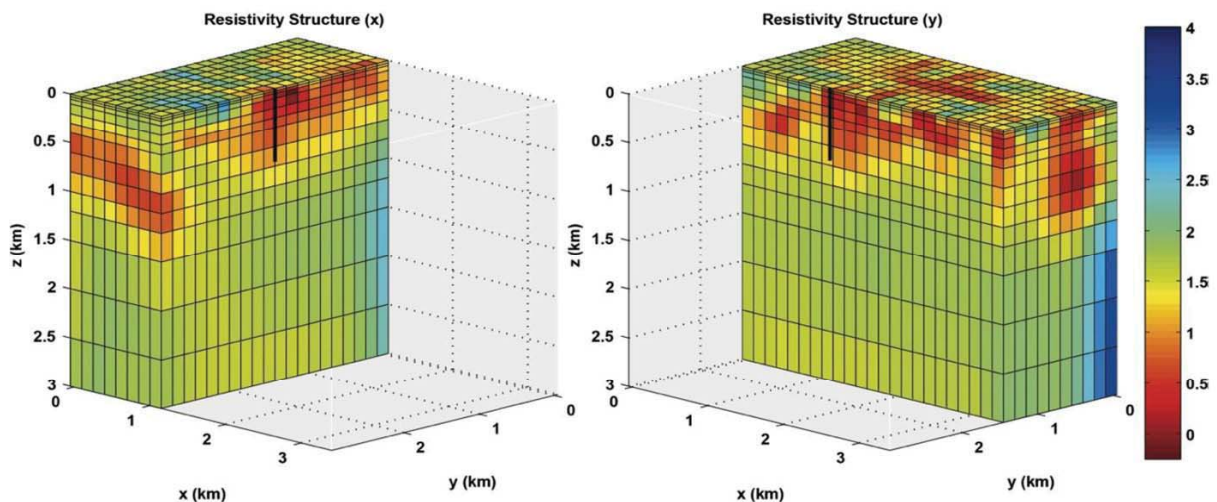
南伊豆における研究



トレーサ試験の結果

浅い還元井から投入したトレーサが、同深度の温泉井K-11に達するより5日ほど早く、500m深い観測井に到達した。このことは、浅部と深部との水理的つながりが大きいことを示唆している。

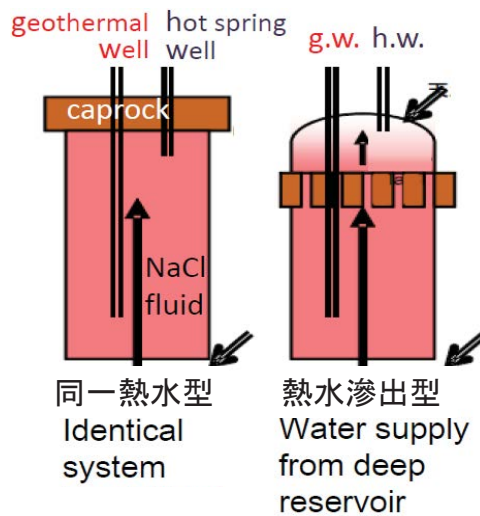
南伊豆における研究



3D 比抵抗モデル (MT法・AMT法データの3Dインバージョンによる)

- 浅部を高解像度で再現。
- 低比抵抗部分は浅い貯留層に対応すると考察される。
- 浅部と深部の間にキャップロック的な構造は見られない。
 → 縦方向の水理的繋がりが強いことを示唆

南伊豆における研究



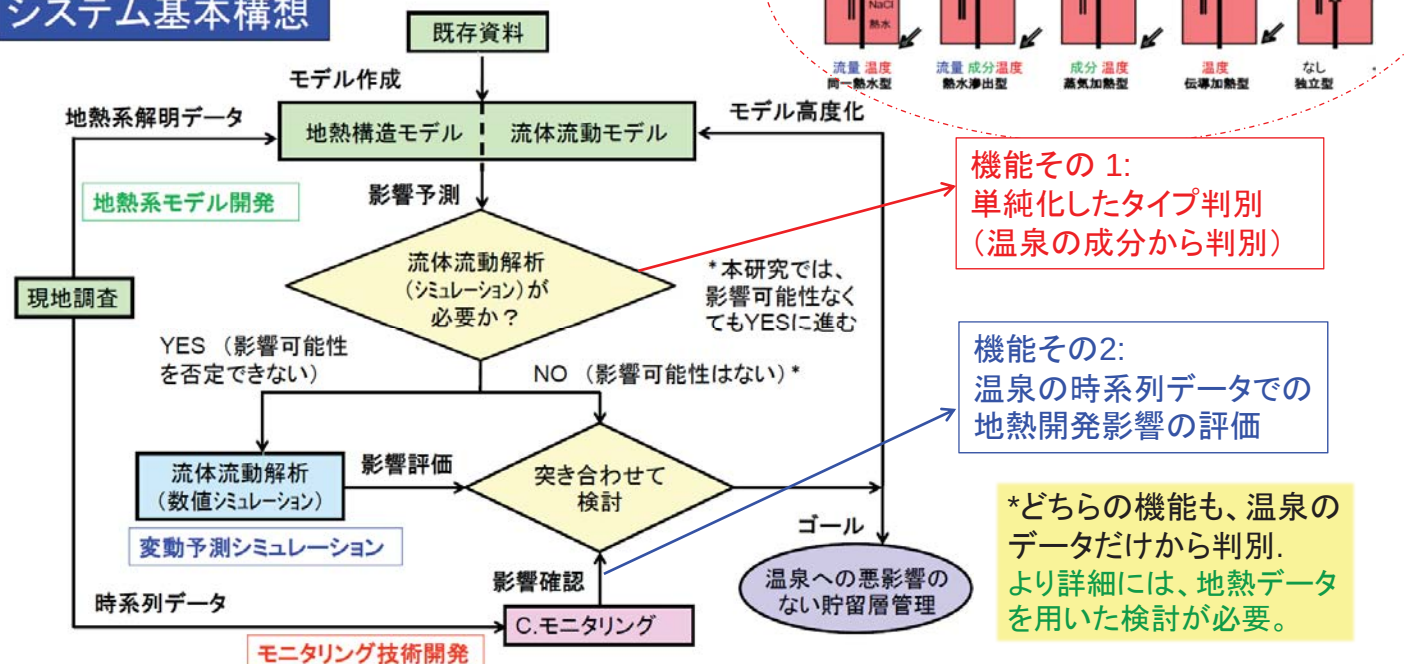
トレーサ試験、比抵抗調査ほかの結果から、この地域は浅部と深部の水理的つながりが強いことが判明。

- この地域の700m深以浅では、同一熱水型または熱水滲出型。
- 地熱開発を行う際は、天然の水涵養量と熱水生産量のバランスが均衡するよう、注意深い貯留層管理が必要であり、温泉流量のモニタリングが重要。

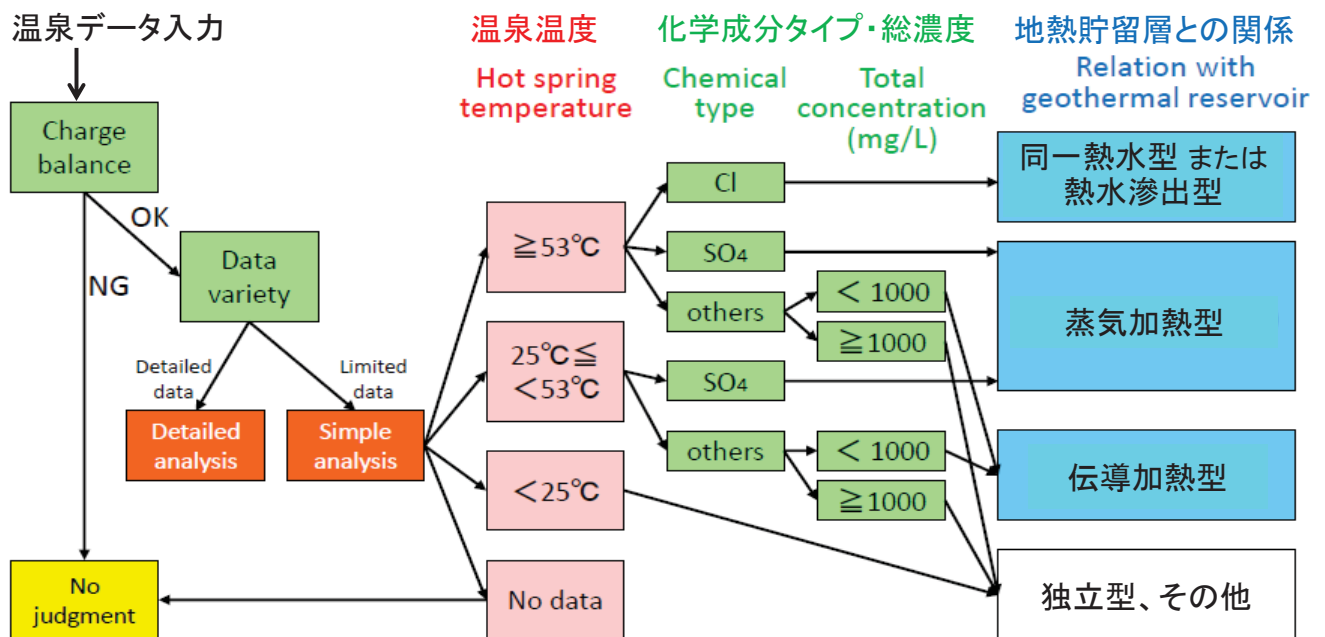
プロトタイプ システムサポート・ソフトウェア

簡易的なタイプ判別と、簡易的なモニタリング・データ解析を行うソフトウェア: 温泉事業者にご利用してもらう

システム基本構想

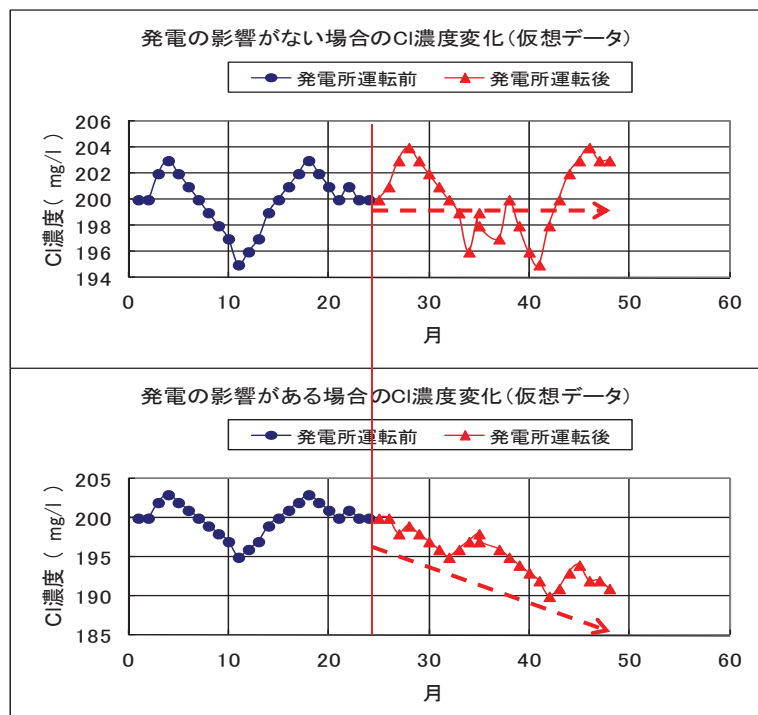


プロトタイプ システムサポート・ソフトウェア



機能1: 温泉データのみに基づくタイプ判別

プロトタイプ システムサポート・ソフトウェア



時系列解析 二標本t検定

	t値	判定
上図	-0.365	自然変動の範囲内
下図	6.202	自然変動の範囲外

自然変動の範囲内ならば,
 $-2.013 \leq t \leq 2.013$.
 となる(統計学的に95%信頼区間に入る場合)。

下図は、影響があると判定される。

機能2: 時系列解析による地熱発電影響の有無の判定

まとめ

- 温泉に悪影響を及ぼさない地熱開発・利用を行うための統合的な地熱貯留層管理システム(評価シナリオ)をとりまとめた。このシステムは、**(1)地熱系モデル、(2)モニタリング、(3)変動予測シミュレーション**の3つから成る。
- このシステムを**南伊豆**と**八丈島**の2つのモデル地域に適用して総合的な調査を行い、評価を行った。その結果、**南伊豆は同一熱水型または熱水滲出型、八丈島は独立型**と評価された。南伊豆で地熱開発を行う場合は、温泉の流量モニタリングを重視した地熱貯留層管理が必要と考えられる。
- プロトタイプ of システムサポート・ソフトウェアを作成した。これは温泉データだけを用いて簡易的なタイプ判別と、簡易的なモニタリング・データ解析を行うソフトウェアであり、**温泉事業者による利用**を想定している。より詳細には、**地熱貯留層管理システム**を用いた統合的な評価が必要。
- なお、このソフトウェアは、データ欠損の場合や変動が大きい時系列データの処理が不十分であり、一般向けにするには改良が必要。

H22-24環境省 地球温暖化対策技術開発等事業 「温泉共生型地熱貯留層管理システムの開発」 補足資料

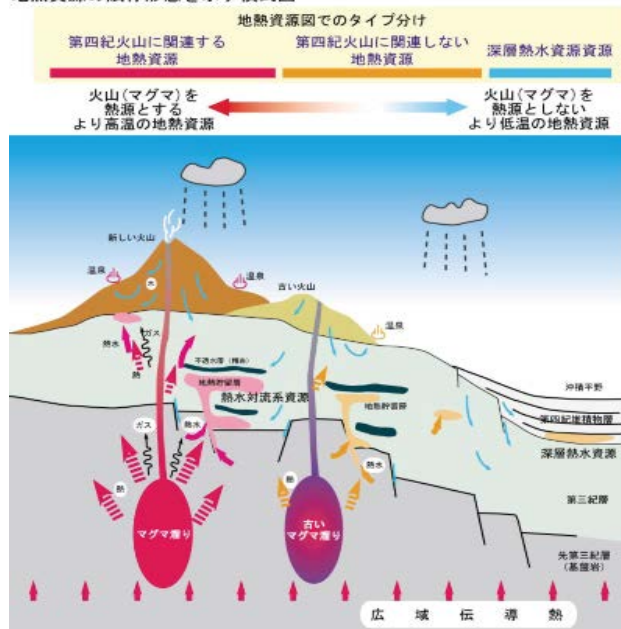
◆地球温暖化対策技術開発等事業(環境省)

施策概要

エネルギー起源二酸化炭素削減対策技術の開発及び先端的技術の実証研究を行い、国家戦略の柱であるグリーンイノベーションを推進する

地球温暖化対策技術開発等事業は、環境研究・環境技術開発の推進戦略を踏まえ、エネルギー起源CO2削減技術の開発成果の社会還元を加速しグリーンイノベーションを推進するため、**技術開発の成果を社会実装する実証研究**、他の環境問題との間のトレードオフを解消する研究開発、その他早期に実用化が必要かつ可能なエネルギー起源二酸化炭素の排出抑制技術のうち現状の取組が不足している開発を通じて、地球温暖化対策を推進することを目的とする。

地熱資源の賦存形態を示す模式図



【事業名】温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究

【代表者】独立行政法人産業技術総合研究所 安川香澄

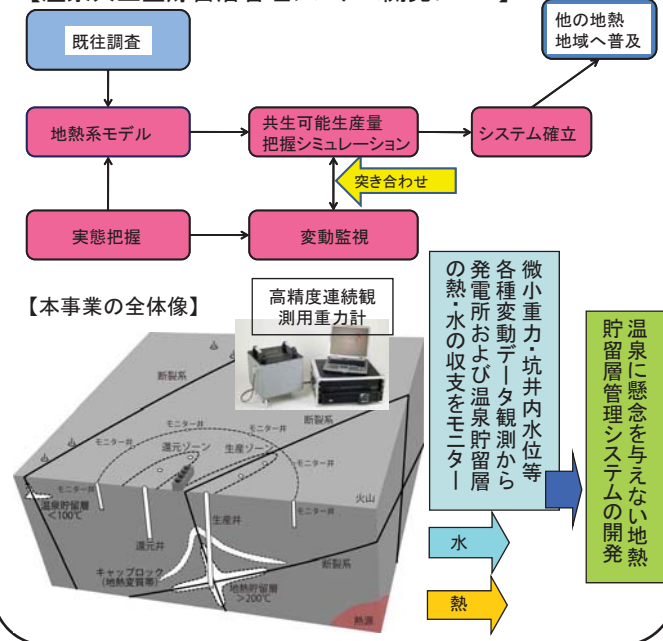
【実施年度】平成22～24年度

事業概要

我が国の地熱発電開発は、温泉との共生を図っていかねばならない。本事業では、温泉に対する悪影響がない発電が可能であることを実証する総合的な地熱貯留層管理システムを開発する。

システム構成

【温泉共生型貯留層管理システム開発フロー】



目標

新規性：世界初の温泉との共生を目指した地熱貯留層管理システムの開発
波及効果：我が国特有の地熱開発障壁の打破による地熱発電開発の急拡大
新技術1：数10nGalの感度を有する高精度連続観測用重力計を導入して高精度連続測定を実現
新技術2：熱、水、重力、自然電位、比抵抗、観測井水位など多様変動データによる地熱発電所および温泉貯留層の監視

導入シナリオ

＜事業展開におけるコストおよびCO2削減見込み＞

実用化段階コスト目標：5000円/kW、133.8円/トン

実用化段階単純償却年：10年程度（初期コスト差額1億円÷ランコスト差額1000万円）

年度	2010	2017	2020
事業展開による地熱発電設備容量(MW)	0	2500	5000
CO2削減量(万吨-CO2/年)	0	623	1246

＜事業スケジュール＞

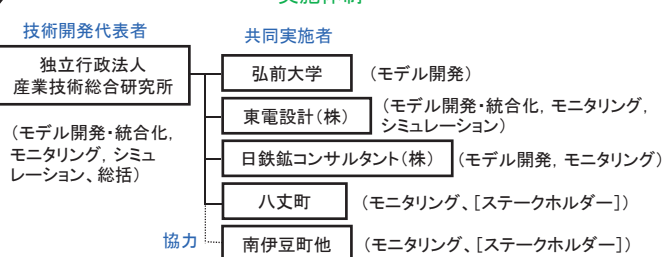
2013年頃には固定買取価格制度の導入や、2016年頃には自然公園内開発の一部緩和など、いくつも政策的支援の可能性がある。本事業はこれに同期させて、空前の商業チャンスを開くものであり、普及については地熱開発時の標準的導入を目指す。

年度	2010	2013	2016	2020
本事業	→			
固定買取価格制度の導入		→		
自然公園内開発の一部規制緩和			→	

スケジュール及び事業費

地熱系モデル開発及びシステム統合化			
モニタリング技術開発			
変動予測シミュレーション			
	143973千円	170100千円	150280千円

実施体制



技術・システムの技術開発等の詳細

(1)地熱系モデル開発及びシステム統合化

・地熱開発が温泉に及ぼす影響の評価手法を組み込んだ統合システムを構築する。その統合システムには最新の探査・モニタリング手法を組み込む。
・我が国において現実の地熱-温泉系のデータを適用したモデル構築と解析を通じたその手法の検証を行い、さらにシステムを通じたモニタリング結果や解析結果を公開する。

(2)モニタリング技術開発

・地熱資源の開発に伴う温泉への影響を的確にとらえるモニタリング手法を確立する。

・高精度連続観測用重力計を用いた微小重力モニタリング手法開発では、10cmオーダーの地下水位、温泉水位の変動を検知することを目標とする。

(3)変動予測シミュレーション

・地域の特性やデータ量に合わせた標準的なシミュレーションモデル作成方法及び簡易資源量評価方法を整備する。
・八丈島については帽岩より上位(約100m深以浅まで)の変動も評価できるようにする。

成果発表

(1)学会発表、論文発表等

- ・重力と水ワークショップ(2010.9)：八丈島におけるSG観測計画。杉原・名和
- ・日本地熱学会(2010.11)：スーパーハイブリッド重力モニタリングの可能性。杉原ほか
- ・日本地熱学会(2010.11)：八丈島における超伝導重力計を用いた温泉・地熱貯留層モニタリング計画。名和ほか
- ・日本地熱学会(2011.10)：八丈島の温泉地域におけるgPhoneおよびCG3Mを用いた重力連続観測。名和・杉原
- ・The 9th Asian Geothermal Symposium (2011.11)：Development of an advanced geothermal reservoir management system for the harmonious utilization with hot spring resources. 安川ほか
- ・10th SEGJ International Symposium, Kyoto, Japan (2011.11)：Gravity monitoring at the Hachijojima geothermal field, Japan. 杉原ほか
- ・サイエンス&テクノロジー社刊“地熱発電の潮流と開発技術”(2011.11)：地熱貯留層モニタリング。pp.215-228. 石戸
- ・日本地球惑星科学連合大会(2012.5)：八丈島の温泉地域におけるgPhone-109 重力計を用いた連続観測。名和ほか
- ・日本地球惑星科学連合大会(2012.5)：黒潮蛇行による八丈島での重力変化。杉原・名和
- ・日本地熱学会(2012.10)：南伊豆町下賀茂温泉加納地区での観測井掘削。阪口ほか
- ・日本地熱学会(2012.10)：南伊豆町加納地区における自然電位調査。安川ほか
- ・日本地熱学会(2012.10)：八丈島熱水系の変動予測シミュレーション。石戸ほか
- ・日本地熱学会(2012.10)：深部温泉井水位モニタリングに関する一考察。當倉ほか
- ・Stanford Geothermal Workshop (2013.2)：Interpretation of MT and SP survey results at Minami-Izu geothermal field, Japan. 安川ほか
- ・静岡県温泉協会平成24年度温泉管理講習会(2013.2)：“温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究”の概要 1. 全体概要。阪口

※プロジェクト終了後も複数の発表あり

(2)マスコミ報道等

- ・伊豆新聞2011.12.1「温泉分布科学的に解析 一来南伊豆ボーリング調査開始」1面記事
- ・伊豆新聞2012.1.9「地熱資源の可能性探る一産業技術総合研究所加納で600メートル掘削」1面記事
- ・伊豆新聞2012.2.18「地熱多様利用を一産業技術総合研南伊豆で講演会町民に調査報告も」記事
- ・日経産業新聞2012.4.11「地熱開発、温泉と共存へ」7面(先端技術)記事
- ・北海道新聞2012.5.1「地熱発電熱い視線新技術の開発次々と」7面(特集)記事
- ・毎日新聞2012.05.09静岡版「ふるさとのエネルギー：東電設計 静岡・南伊豆町で講演会町民に調査報告も」記事
- ・千葉日報2012.5.12「観光浴びる地熱発電周知への影響なくせ 評価技術の開発進む」16面記事
- ・岐阜新聞2012.6.18「地熱開発、開発進むか環境への影響、評価技術が鍵」17面(地球環境)記事
- ・伊豆新聞2012.7.12「温泉資源分布把握へ 南伊豆で産業技術研地表の自然電位調査」記事

期待される効果

【一般発電(453g-CO₂/kWh)、地熱発電(47g-CO₂/kWh)のCO₂削減原単位406g-CO₂/kWh(村岡ほか、2009)、地熱発電の設備利用率70%(実績から)】

○2017年時点の削減効果 (試算方法パターン その他、II-II)

・本事業普及による発電設備容量増加分2500MW

・年間CO₂削減量：623万t-CO₂/年

250万kW×24時間×365.25日×0.7×406g-CO₂/kWh=623万t-CO₂/年

○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン その他、II-II)

・本事業普及による発電設備容量増加分5000MW

・年間CO₂削減量：1246万t-CO₂/年

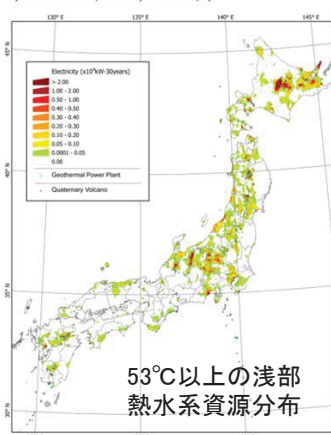
500万kW×24時間×365.25日×0.7×406g-CO₂/kWh=1246万t-CO₂/年

本研究の背景と意義

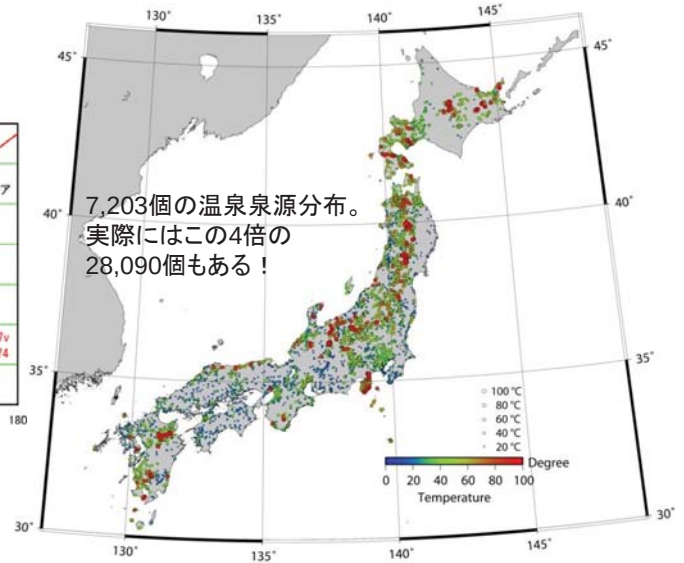
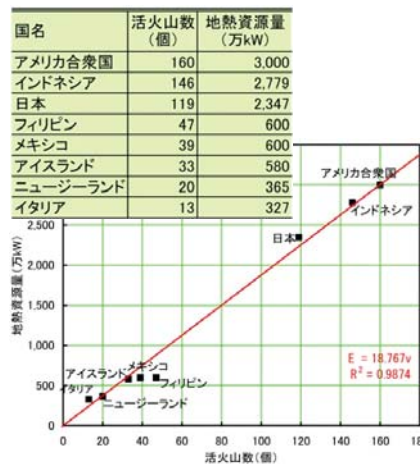
地熱資源はCO₂排出量の極めて少ない、我が国に豊富にある純国産資源

しかし周辺温泉事業者の懸念を解消しなければ開発が進まない

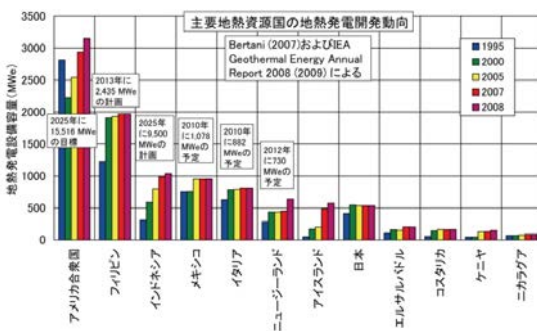
Electricity (53°C<=Reservoir Temperature)
[Reservoir Bottom Depth < Gravity Basement Depth]



53℃以上の浅部
熱水系資源分布



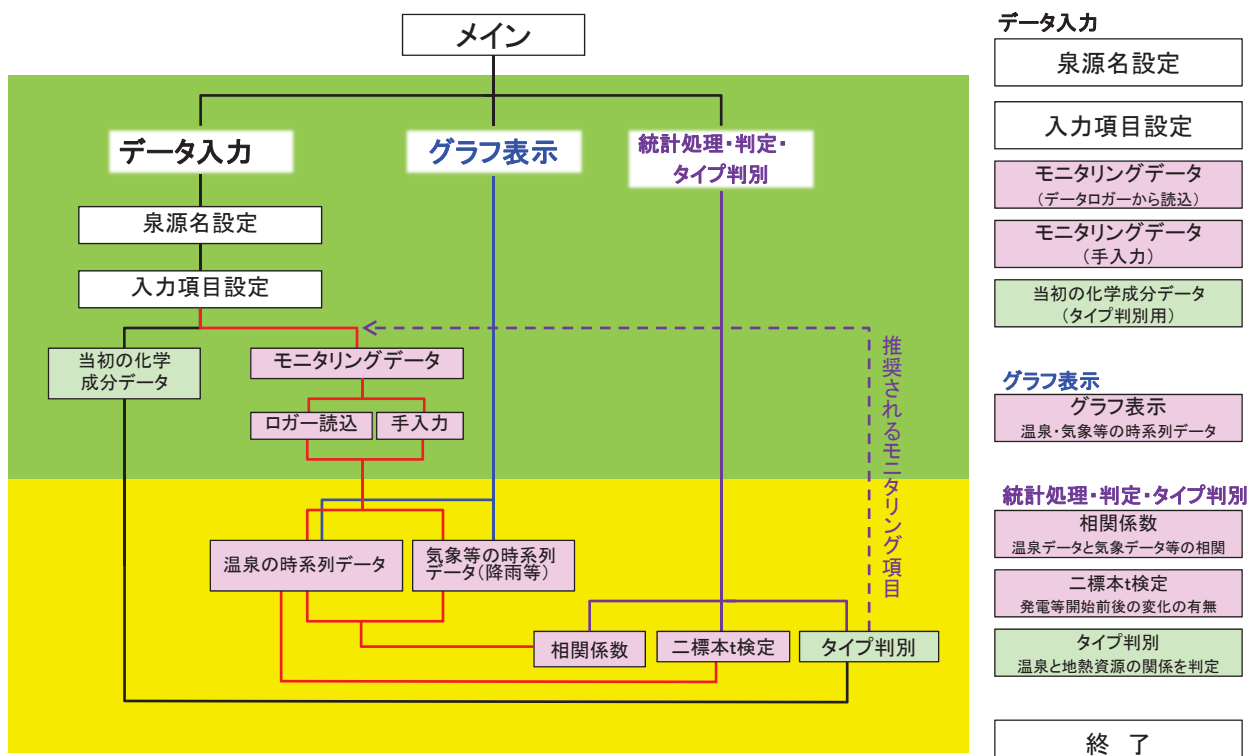
わが国は世界第3位の地熱資源大国、しかし・・・



世界の地熱発電開発が急増する中、日本の地熱開発は最近10年間以上停滞している。

地熱発電開発には周辺の温泉の理解が必要だが、理解を得られないケースもある。これまで、その解決のための本格的技術開発は行われてこなかった。この問題を技術的に解決すれば、地熱発電開発が進み、再生可能エネルギー供給の増加への貢献と二酸化炭素排出量削減が可能。

プロトタイプ システムサポート・ソフトウェア



「地熱開発技術に関する検討会」

環境省委託事業：自然環境への悪影響を回避・最小化した
地熱発電に関する技術開発について



平成26年1月23日

内容

- I. 事業概要について
- II. 実証試験について
- III. コスト分析ツールの開発・検討について
- IV. マニュアル作成について
- V. 技術開発事業進捗状況のまとめ

I. 事業概要について

事業名:地球温暖化対策技術開発・実証研究事業

(自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発)

担当課:地球環境局地球温暖化対策課

◆ 業務の目的

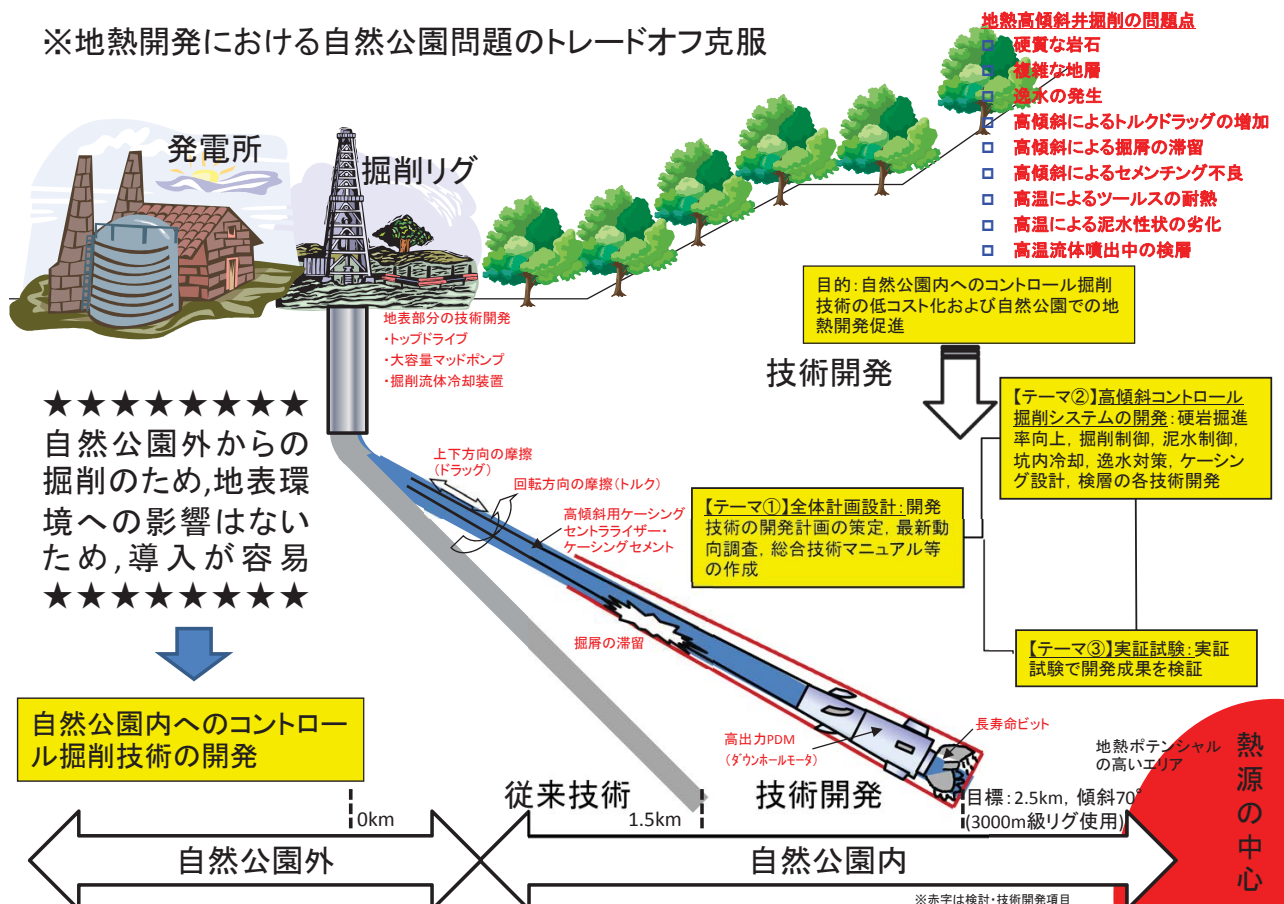
我が国の自然公園内の地熱エネルギーポテンシャルは極めて大きい、その開発には自然環境保護との**トレードオフ**が生じるため、現状では開発が進んでいない。自然環境保護を行いながら地熱開発を推進するためには、自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発が必要である。その一つに、**コントロール掘削技術を用い自然公園外から自然公園内の地下の地熱エネルギーを採取する手法**がある。本技術開発では、効率的な地熱発電開発のために、**高傾斜井掘削のためのコントロール掘削技術を低コスト化する技術開発を実施し、自然環境保護と両立した、自然公園内の地下に存在する地熱資源の開発を可能にすることを目的とする。**

◆ 業務期間

契約日～平成26年3月

自然環境への悪影響を回避・最小化した地熱発電に関する技術開発

※地熱開発における自然公園問題のトレードオフ克服



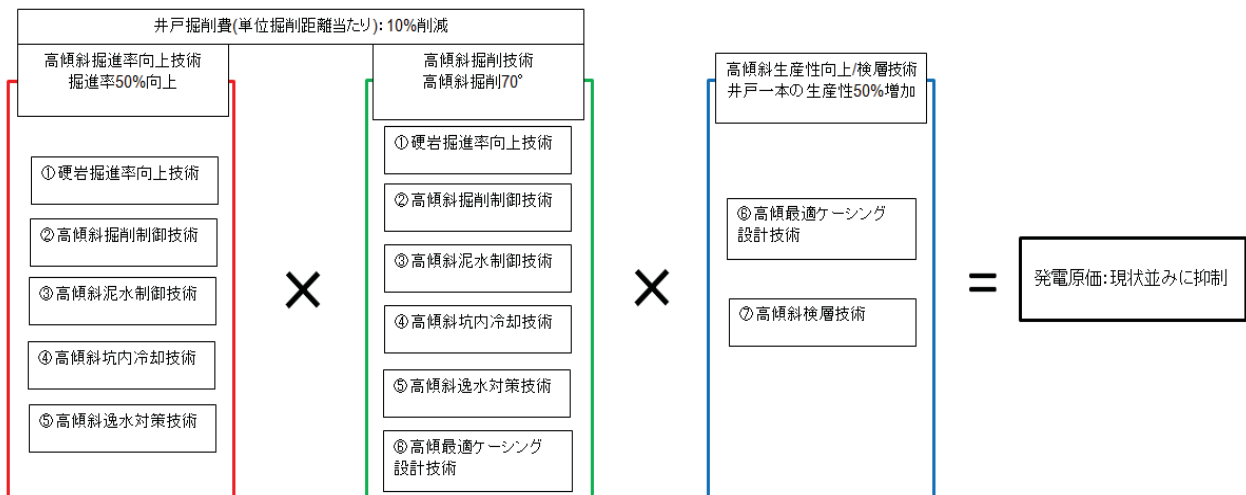
事業計画概要(3年間)

年度	調査項目	平成23年度			平成24年度			平成25年度		
調査の位置づけ		机上調査/一部要素試験			個別技術評価/実証試験並選定			実証試験(コスト検証/マニュアル化)		
全体計画設計	①全体システムの設計		概念設計		設計			まとめ		
	②石油ガス開発分野での最新技術の動向調査		最新技術調査・各技術開発へのフィードバック		最新技術調査・各技術開発へのフィードバック			まとめ		
	③実証試験等の計画・準備		実証試験の候補井の選定		実証試験井の選定・実証試験計画の策定			作業計画作成/実証試験/レビュー		
	④掘削コスト低減のコスト分析ツールの開発・検討		仕様検討及び基本設計		コスト分析ツールの作成			実証試験井へ適用・評価		
	⑤マニュアルの作成		マニュアル構成設計・目次書き案の作成		マニュアル統合化案の策定			マニュアル作成		
高傾斜コントロールシステムの開発	①硬岩掘進率向上技術 -高出力モーター/ビット/TDS		調査/設計		設計/試験			個別マニュアル/実証試験/マニュアル統合		
	②高傾斜掘削制御技術 -最適坑跡計画/MWD		調査/設計/一部試験		調査/試験			個別マニュアル/実証試験/マニュアル統合		
	-BHA/トルクドラッグ/掘削流体		調査/設計		調査/計測			個別マニュアル/実証試験/マニュアル統合		
	③高傾斜泥水制御技術 -ハイドロリクスの検討・評価・実験		計画	実験	解析			実験/個別マニュアル/実証試験/マニュアル統合		
	-大型マッドポンプ		調査		設計			評価/個別マニュアル/ハイドロリクスとマニュアル統合		
	④高傾斜坑内冷却技術 -冷却装置		調査		設計			評価/個別マニュアル/まとめ		
	-坑内温度シミュレーション		設計/一部製作	チェック	評価			改良/実証		
	⑤高傾斜逸水対策技術 -エアレイティッド掘削/超圧比重セメント		調査		設計/評価			評価/個別マニュアル/まとめ		
	⑥高傾斜最適CSG技術 -坑内流動シミュレーション		設計/一部製作	チェック	評価			改良/実証		
	-セントラライザー/セメンティング最適化		調査/設計		設計/評価			評価/個別マニュアル/まとめ		
	⑦高傾斜換層技術		設計・製作	試験	まとめ			マニュアル作成/実証試験/レビュー		
			改良	ラボ試験	坑内試験	まとめ				
実証試験	長間新掘削による要素技術の検証		高出力モーター試験/換層器試験		高出力モーター試験/換層器試験					
	実証試験井による全体技術の検証							作業計画確認/実証試験/結果まとめ		
委員会(運営: GERD)			委員委嘱	1	2	3		1	2	3
報告書(とりまとめ: GERD)			報告書作成		報告書作成			報告書作成		
委託事業者打合せ			●	●	●		●	●	●	

7つの要素技術の組合せによる最終目標の達成

最終目標

- ・井戸掘削費(単位掘削距離当たり): 10%削減
- ・井戸一本の生産性: 50%増加
- ・発電原価: 現状並みに抑制



技術開発によるコスト削減のプロセス

(1)現状の掘削費

	現行の標準	自然公園内高傾斜掘	備考
掘削長(m)	2,000	3,000	自然公園内で2,000mから4,000mの傾斜掘削を実施
標準掘削費※1	1	1.63～1.92	2,000m級(4段CSG)、3,000m級(4段CSGと5段CSG)
発電コスト※1	1	1.25	生産井1本当たり蒸気量40t/h、還元井深度1,500m

※現状では、自然公園内開発で発電コストは25%アップが予想される

(2)掘削費削減の効果

	現状	改良点	備考
掘削長(m)	3,000	3,000	自然公園内で2,000mから4,000mの傾斜掘削を実施
標準掘削費	1.77	1.593	標準掘削費を10%削減
発電コスト※1	1.25	1.23	※1掘削費・発電コストの係数: NEDO「平成9年度 革新的坑井掘削技術に関する調査」に基づき算定。

(3)自然公園内の熱源に近づくことにより貯留層温度上昇により生産量が増大する効果

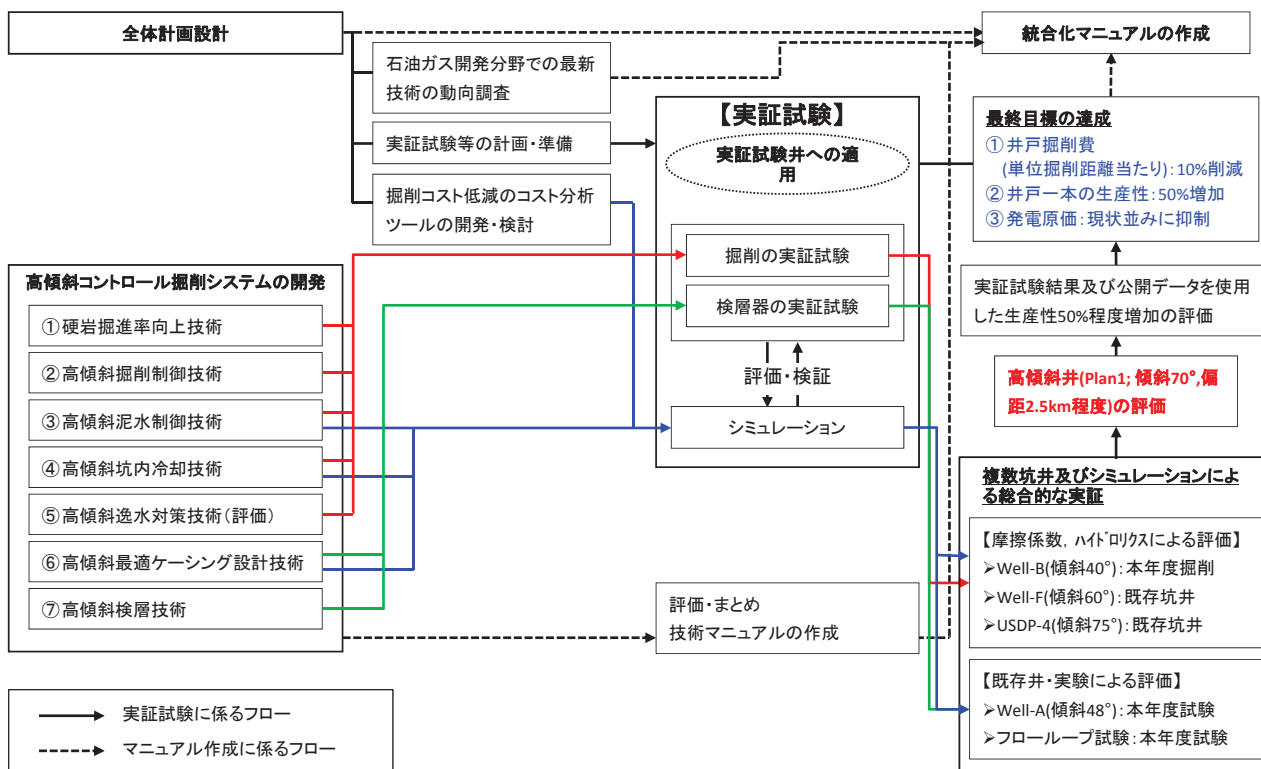
	現状	改良点	備考
蒸気量	1	1.5	50%の増産を期待する
発電コスト※1	1	0.9	※1掘削費・発電コストの係数: NEDO「平成9年度 革新的坑井掘削技術に関する調査」に基づき算定。
掘削費を含めた発電コスト	1.23	1.10	

増産が期待できる理由: ①対象となる自然公園内は一般に火山等熱源の中心があり温度が上昇するため蒸気の量が増える。②高傾斜井は偏距(到達距離)が大きい→高透水性の縦型断層系(熱水の通路)を複数通過するため、より多くの地熱流体の採取が可能である

(4)高傾斜掘削で基地を集約できることによる地上配管の短縮による効果

	現状	改良点	備考
工事費用	1	0.5	配管工事・取り付け道路造成・土地取得・気水分離器等の費用
発電コスト※2	1	0.97	※2発電コストの係数: NEF「平成2年度 地熱開発技術マネジメント研修会資料」より算定
掘削費削減・蒸気増加を含めた発電コスト	1.10	1.07	ほぼ現状レベルの発電コスト(7%アップ程度)を達成

事業計画 概要(フロー)



Ⅱ．実証試験について

Ⅱ－１．掘削試験

Ⅱ－２．検層試験

Ⅱ－１．掘削試験

(1)掘進率向上について

□使用機器（例）



トップドライブシステム
(TESCO製, 型式500HS750)



高出力掘削用モーター

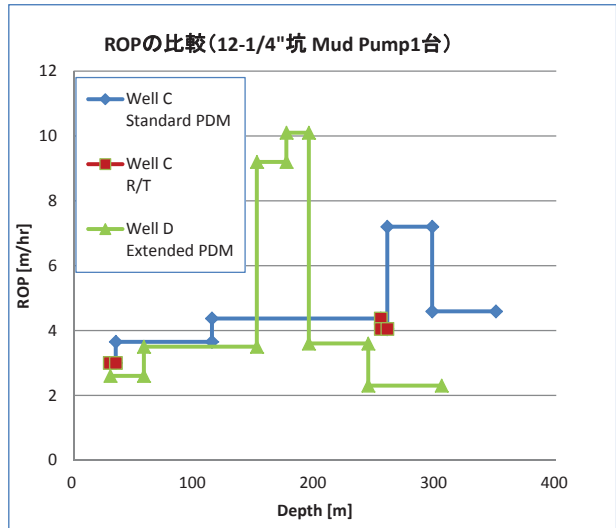
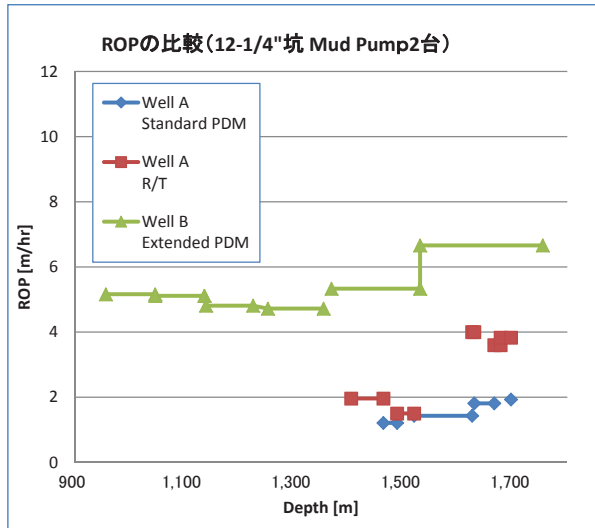


高出力掘削用
モーター

12-1/4"モータービット
12-1/4"モータービット
(高速回転対応長寿命
リコンビット)

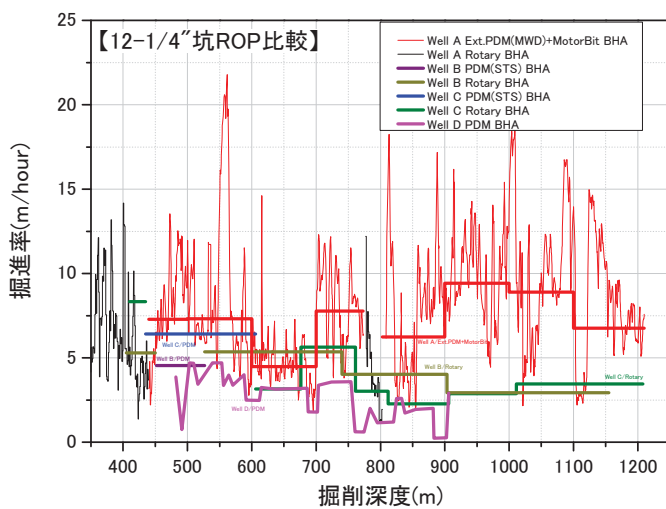
□地熱地帯Aでの実施例

- 国内で従来使用されてきたStandard Type と高出力型であるExtended Type のPDMを使用した現場での掘削率データを入手し、掘進率を比較した。
- Extended Typeを使用することにより掘進率の大幅な向上が確認できた(約1.5～3倍)。Mud Pump (8P-80)を2台使用の場合。
- Mud Pump (8P-80)が1台しか使用できない掘削では掘進率向上の効果が確認できなかった。



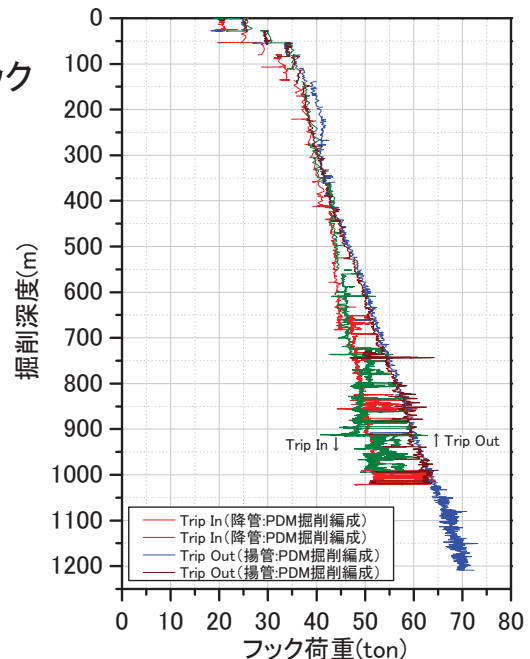
□地熱地帯Bでの実施例

12-1/4"坑における掘進率の比較およびフック荷重状況



12-1/4"坑における掘進率の比較(同一地域)

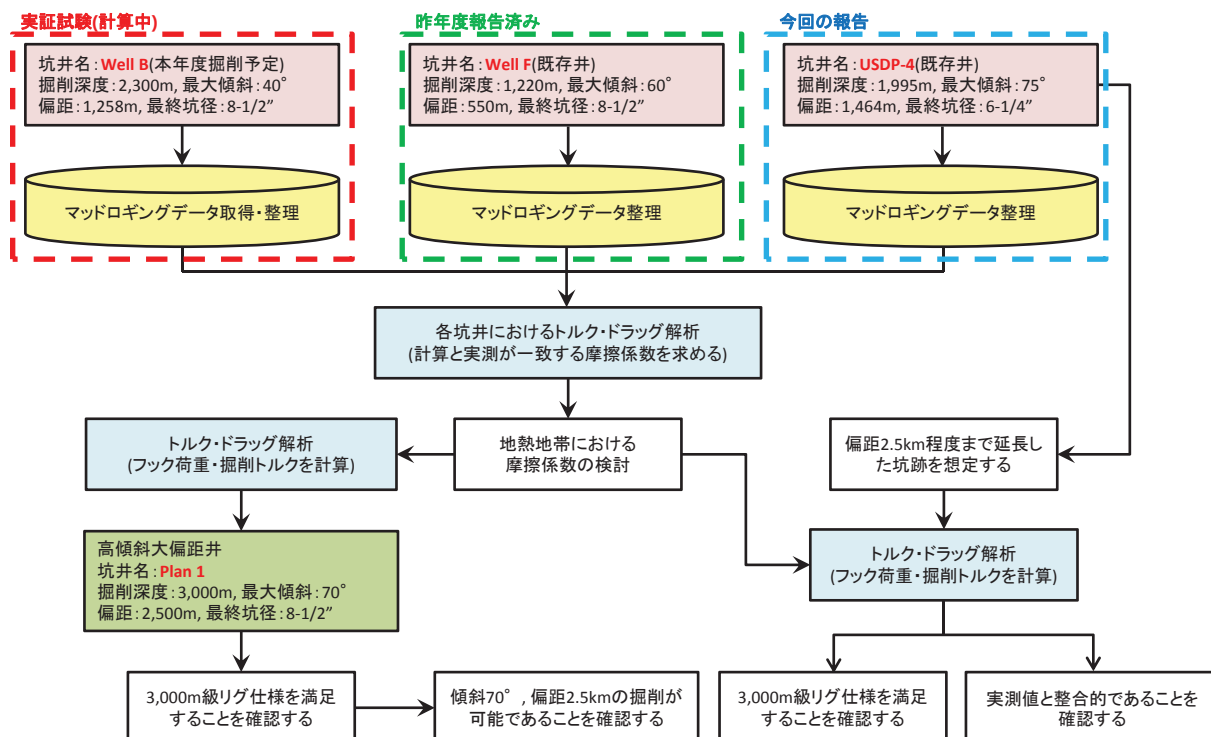
➤ 同一地域における近隣坑井との比較では、Extended タイプのPDM(高出力掘削用モーター)を使用することにより全体的に掘進率の大幅な向上(約1.5～3倍)を確認することができた。



12-1/4"坑におけるフック荷重状況

➤ マッドログで得られたフック荷重の実測値とトルク・ドラッグ解析結果との比較検討により、地熱井での摩擦係数を求めることで、今後、トルク・ドラッグ解析精度の向上を図ることが可能である。

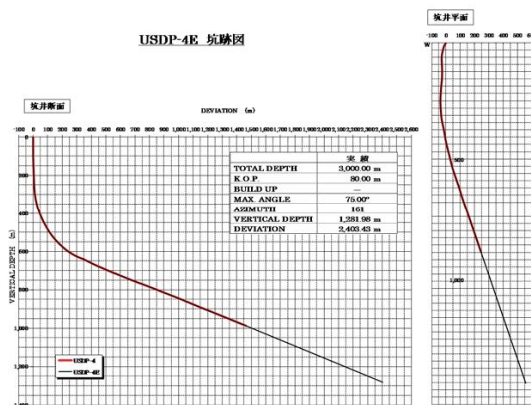
(2)実証試験に基づく目標高傾斜井(Plan1)掘削の評価



目標高傾斜井Plan1 評価のフロー

USD-4Eのトルク・ドラッグ解析結果とPlan1の掘削評価

USD-4Eのマッチング結果から、摩擦係数は、傾斜45°未満の裸坑区間:0.25, 傾斜45°以上の裸坑区間:0.50



上図: USD-4E 坑跡図

下図: USD-4E 解析結果

Trip IN	フック荷重 [ton]	掘削トルク [kgf-m]
13-3/8" CSG	50	-
12-1/4" DRLG	58	1,880
9-5/8" CSG	55	-
8-5/8" DRLG	77	1,870
7" CSG	60	-
6-1/4" DRLG	87	2,180

- USD-4を偏距2.5km程度まで延長したUSD-4Eについてトルクドラッグ解析を実施した。



- USD-4E解析結果:
 - フック荷重および掘削トルクとも3,000m級リグの許容範囲内にある。
 - 掘削トルクは3-1/2" DPの締付けトルクよりも大きくなるため5" DPをコンビネーションで使用する必要がある。
- Plan1の掘削評価:
 - 単純増角であるPlan1は方位の転換が無い為、Well X(Ver.延長)およびUSD-4Eに比べ比較的掘削しやすい坑跡である。
 - そのため、3,000m級リグと適切なストリングを使用することによりPlan1についても十分掘削可能であることが示唆される。

※3-1/2" DP(S-135)締付けトルク: 1,515kgf-m(Class2)
 ※ 5" DP(S-135)締付けトルク: 3,407kgf-m(Class2)

I - 2. 検層試験

□ 試験目的:

- 高傾斜用プロダクション検層ツールズの実証試験を実施し、井戸1本の生産性が50%程度増加していることを示す。
- 高傾斜井におけるプロダクション検層が可能であることを示す。
- 高傾斜検層ツールズの試験井を選定し、流体生産中に試験を実施することにより性能を評価し、問題点や課題等を把握する。

□ 試験場所: 国内地熱地域

□ 試験坑井: 生産井A

- 坑井深度: 1,750 m
- 最大傾斜: 48.5°
- 偏距: 984 m
- 最終坑径: 8-1/2" (7" CSG slotted liner)

□ 試験条件: 流体生産中(プロダクション検層)

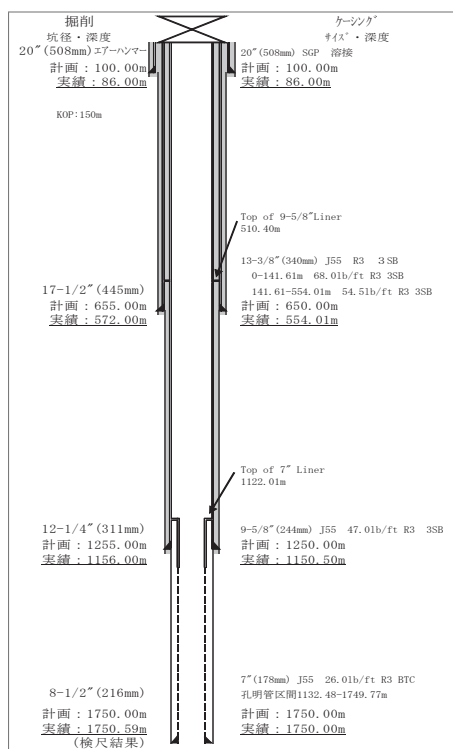
- 坑口圧力: 1.8 MPaG
- 蒸気: 20 t/h
- 熱水: 1 t/h未満

□ 試験方法:

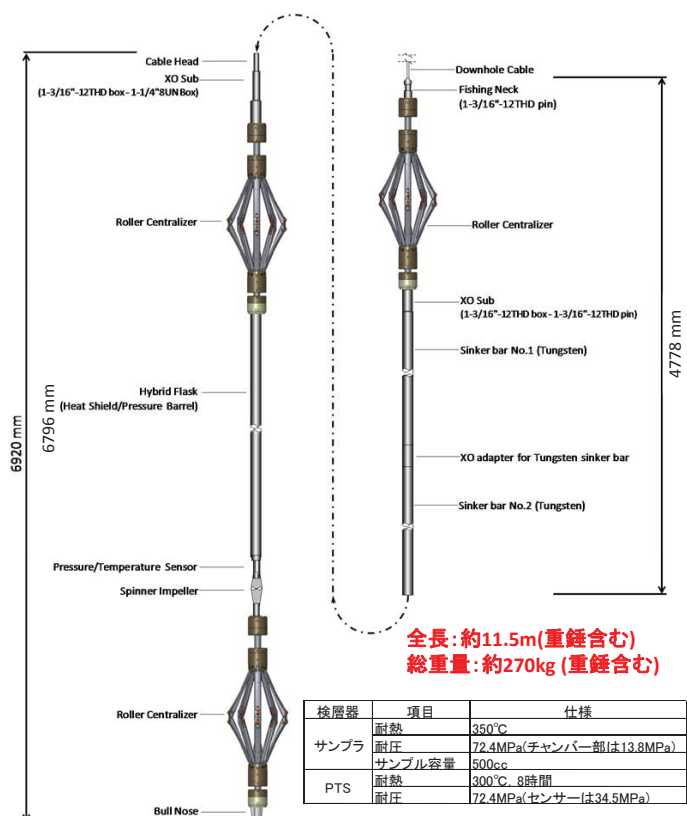
- 坑口地表配管より流体サンプルを採取する(熱水、蒸気)。
- 高傾斜検層ツールズにローラーセントラライザーを取付けて、以下を実施する。
 - 坑底付近まで検層する(PTSデータ取得)。
 - ライナーハンガー付近で数回の昇降を繰り返し、通過状況を確認する。
 - 所定の深度で検層ツールズをセットし、坑内試料を採取する(坑内サンプル取得)。
 - 検層ツールズを巻き上げ、データおよび坑内サンプルを回収する。

□ 試験期間: 9月26日～10月2日

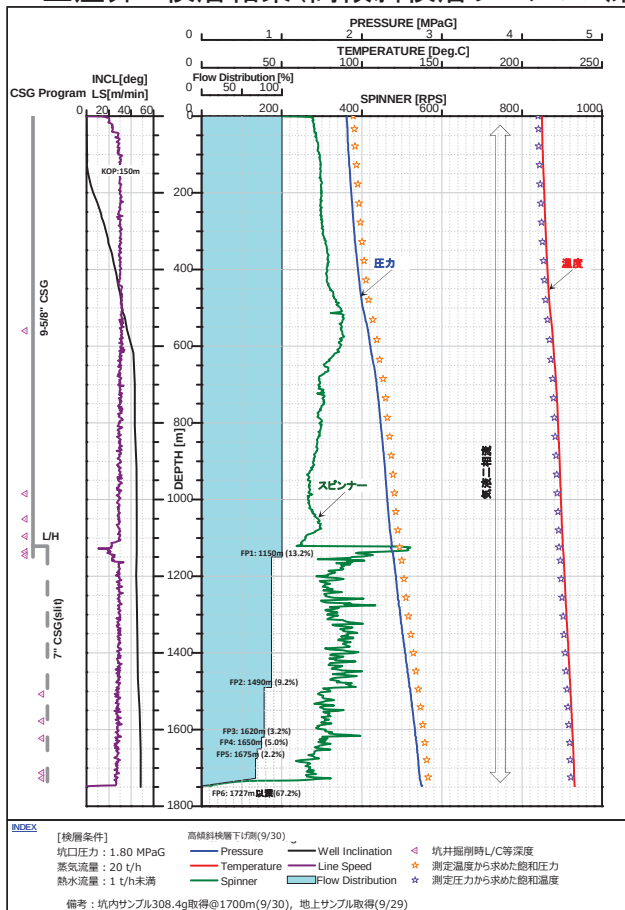
□ 坑井ケーシングプログラム



□ 仕様と検層ツールズ編成



□生産井A 検層結果(高傾斜検層ツールス:深度軸)

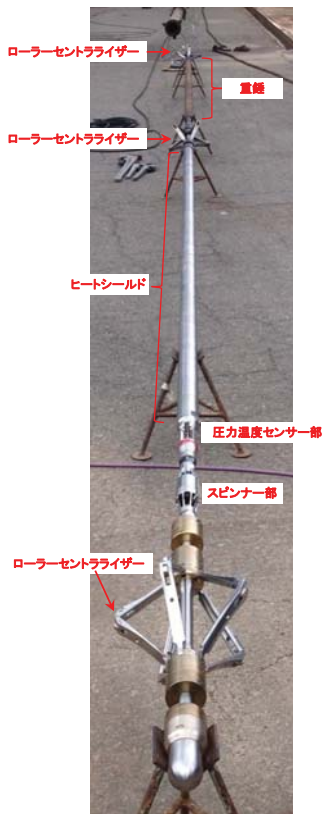


- 高傾斜検層ツールスの降下深度は1747mであった。
- 降下途中は特にテンション異常は認められなかった。
- 深度1747mにおける坑内圧力は2.85MPaG, 坑内温度は232.96℃であった。
- 深度1122mのライナーハンガー(傾斜45°)でラインスピードを変えて数回の昇降を繰り返し、特に問題なく通過することを確認した。
- 検層区間における坑内流体は気液二相域であり、飽和温度と飽和圧力は実測値と一致していることを確認した。
- スピナー回転数および温度変化等から6カ所の流体流入深度が確認された。
- 高傾斜検層ツールスは深度1700mにセットし、坑内サンプルを308.4g取得した。
- 坑内サンプルは前日に取得した地上サンプルとともに現在分析中である。



採取した坑内サンプル(採取深度1700m)

□現地試験写真



高傾斜検層ツールス

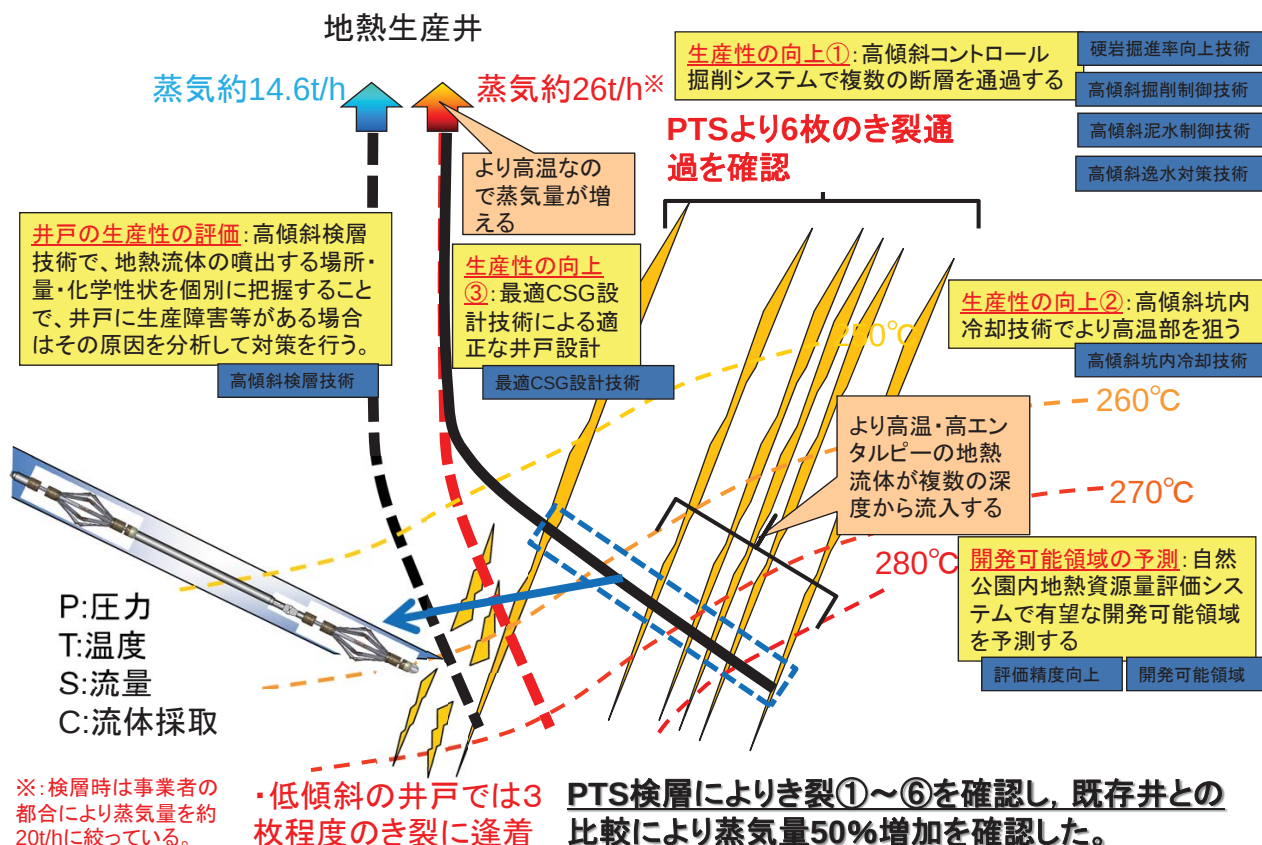


高傾斜検層ツールスによるプロダクション検層状況



坑内サンプルの抽出

実証試験に基づく井戸1本の生産性について



Ⅲ. コスト分析ツールの開発・検討について

□技術開発による掘削コスト削減効果は適切に評価する必要がある。⇒コスト分析ツール開発の必要性⇒開発したツールにより、掘削費目、掘削深度、作業時間毎に掘削費用の集計、グラフ表示を行い掘削費用に関する分析・評価を行う。

□工期短縮により費用削減可能項目

- リグレンタル費
- 傾斜掘サービス費
- TDS費等

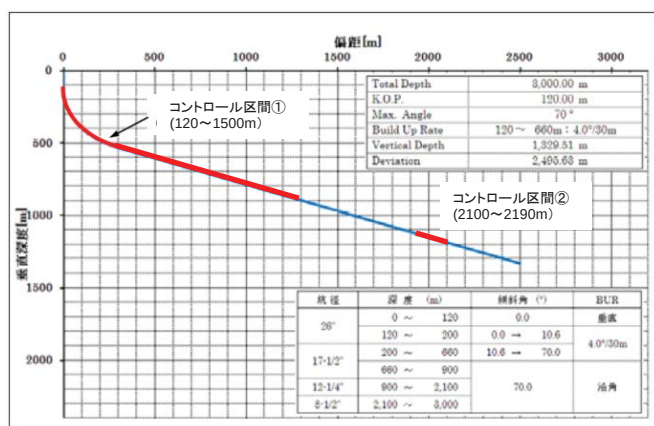
□費用削減困難な項目

- ケーシングパイプ費用
- 坑口バルブ費用
- 敷地造成費用
- リグアップ費用等

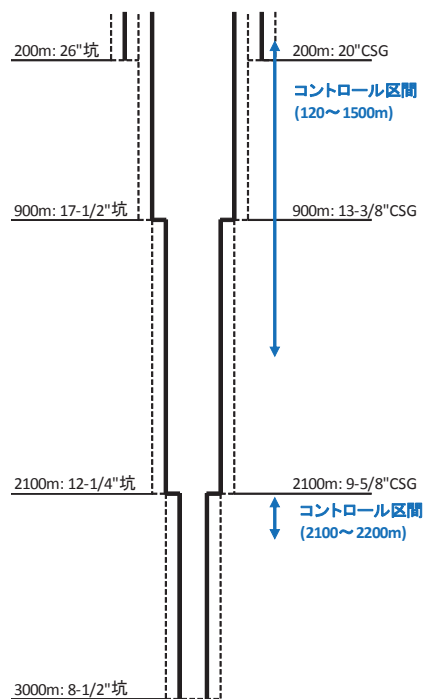
□高性能機器による掘進率増加(工期短縮)⇔費用増加

□ ケーススタディ(坑跡: Plan1)

- 掘削深度: 3,000m
- 偏距: 2,500m
- 最大傾斜: 70°
- コントロール区間①: 120~1500m
- コントロール区間②: 2100~2190m



坑跡プラン (Plan1)



ケーシングプログラム

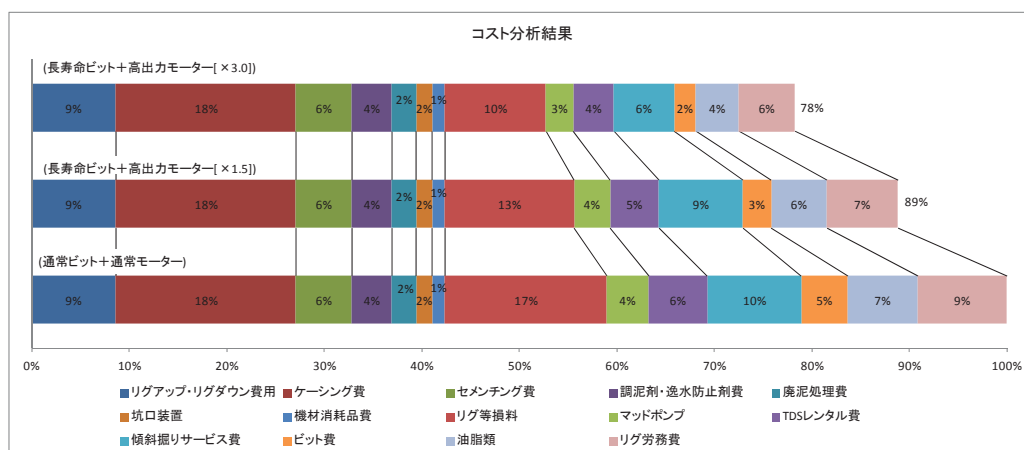
□ ケーススタディ用シナリオ

①高速回転対応長寿命トリコンビット、②高出力掘削用モーターを使用した場合についてコスト分析を実施した。高速回転対応長寿命トリコンビットを使用した場合はビット寿命を2倍とし、高出力掘削用モーターに関しては、実証試験において掘進率が1.5~3.0倍向上することが確認されているため、1.5倍のケースと3倍のケースについて分析を実施した。

設定した主な費目

- 掘削リグ(損料、労務費)
- MWD(コントロール掘削時)
- ケーシング
- マッドポンプ
- 掘削用モーター(コントロール掘削時)
- トップドライブシステム
- ビット

□ コスト分析ツールを使用した計算結果

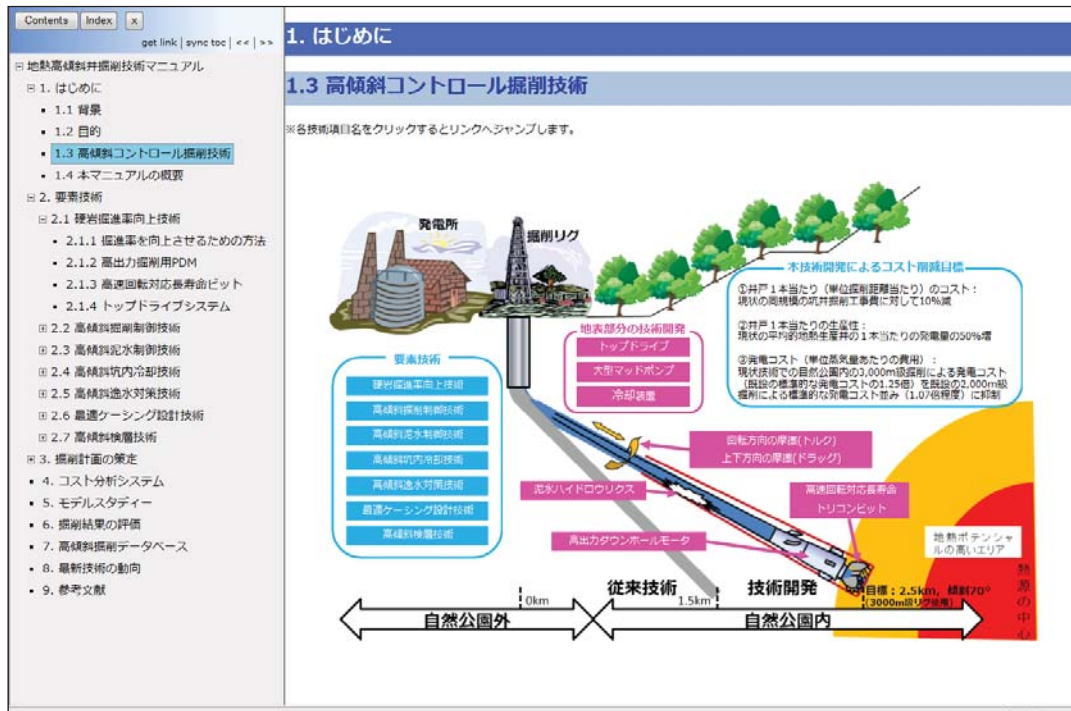


Plan1(傾斜70°，偏距2.5km)のコスト分析結果は、本技術を適用することにより、**約11~22%程度コスト削減**が可能であることが分かった。

IV. マニュアルの作成について

□地熱高傾斜井掘削技術マニュアル

- ▶ 本マニュアルにおいて技術(機器)選定できるようにし、それによる掘削コストをコスト分析ツールにより試算できるようにする。



□高傾斜掘削データベース例(DB登録)

井筒情報登録画面

ファイル ツール ヘルプ

< 基本情報登録 >

* 坑井名: N20-SD-1

* 地区: 中部

* 都道府県: 新潟

* 地域: 佐渡

坑口位置

* 緯度(dms): 37.8875

* 経度(dms): 138.4348

* 標高(m): 36.00

* 掘削深度(m): 2524.36

* 最大傾斜(deg): 53.36

最高温度

* 最高温度(degC): 104.00

測定条件: Ø2967.0m, ST22hr

例: Ø1500.2m, ST48hr

* 掘削時期(年): 2008

作成日: 2013/08/09 16:13:17

更新日: 2013/11/05 18:31:51

備考

新規坑井 < > SAVE キャンセル データ登録 Exit

基本情報登録

登録データ選択画面

データ登録用印刷メニュー画面

< データ登録 >

坑跡

ドリリングチャート

ケーシングプログラム

総合柱状図

地質柱状図

掘進率

ビット使用記録

選水対策記録

使用機器

トルクドラッグデータ

入泥・排泥温度

入泥・排泥流量

温度検層結果

浸透率検定結果

ユーザー任意データ

Exit

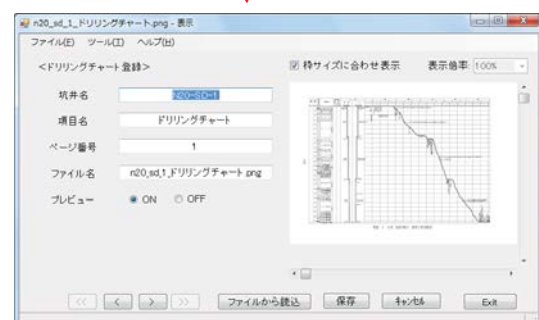
坑跡データ登録

坑井名: N20-SD-1

掘削深度(m)	傾斜(deg)	方位(deg)	東西偏距(m)	南北偏距(m)	垂直深度(m)	偏距(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96.80	0.50	56.00	0.35	0.24	96.80	0.19
197.00	1.00	283.00	-0.14	0.68	196.99	-0.45
296.94	2.17	171.00	-0.69	-0.99	296.94	-0.13
406.20	1.50	2.00	-0.32	-1.60	406.15	0.49
504.80	1.83	304.00	-1.60	0.60	504.71	-1.69
604.00	1.75	310.00	-4.08	2.46	603.86	-4.76
694.30	2.08	310.00	-6.39	4.40	694.11	-7.72
802.40	3.17	325.00	-9.61	8.11	802.10	-12.33
901.40	4.50	334.00	-12.88	13.84	900.88	-17.97

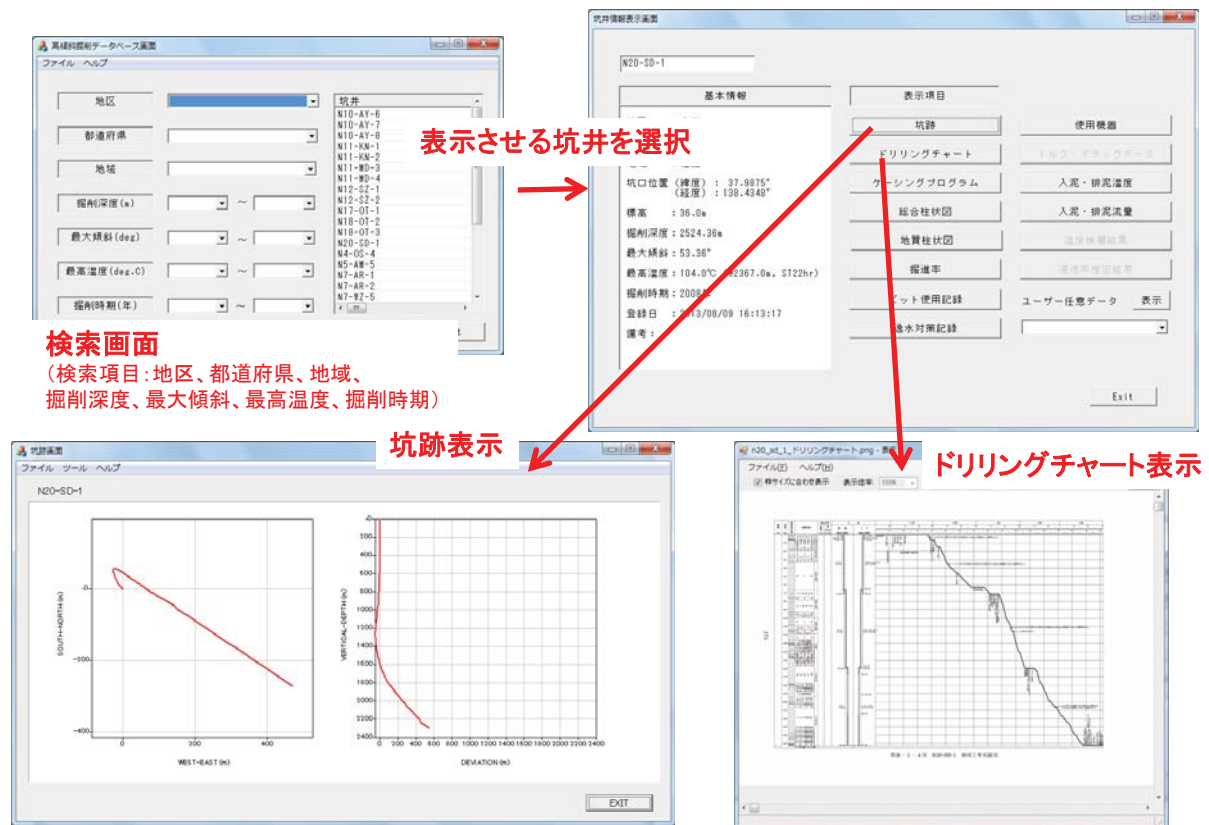
ファイルから読み込み 保存 キャンセル Exit

坑跡データ登録



ドリリングチャート登録

□高傾斜掘削データベース(登録データ表示)



V. 技術開発事業進捗状況のまとめ

- 本年度は、地熱地帯Cにおける坑井で掘削の実証試験を実施した(現在結果を取りまとめ中)。
- これまでに技術を適用した坑井では、掘進率の大幅な向上が確認され、当初「硬岩掘進率向上技術」の目標であった掘進率50%程度増を達成した。
- 泥水挙動の検討のために、掘削中の坑内圧力(アニユラス圧)を国内の地熱井で初めてリアルタイムで取得した。
- 国内で既に掘削されている高傾斜井2坑井の掘削データを使用したトルクドラッグ解析の結果、フック荷重および掘削トルクとも3000m級リグの仕様の許容範囲内であることが分かった。
- 国内地熱地域で公園内に高傾斜(傾斜約50°)で掘削された坑井において流体生産中に高傾斜検層技術で開発した検層器の実証試験を実施した。
- ほとんど蒸気のみを生産する比較的強い坑井であったが、検層器は坑内をスムーズに降下し、問題なくPTSデータを取得することができた。また、深度1700mにおいて、坑内サンプルを308.4g取得した。
- PTS検層の結果、き裂を6枚貫いていることが分かった。一方、同地域の比較的傾斜が小さな坑井では平均的にみるとき裂枚数は2～3枚程度である。高傾斜井の蒸気量は、比較的傾斜が小さい坑井のそれより約1.7倍程度大きい。高傾斜で掘削することにより、高温になるとともにき裂をより多く貫くことができ、蒸気量が50%程度増加していることを確認した。

□今後の展開

□高傾斜井掘削実績の蓄積⇒データベース化

□知見・ノウハウの蓄積

□マニュアルのアップデート

ご清聴, ありがとうございました。

GERD

TDC TEISEKI DRILLING
CO., LTD.
INPEX CORPORATION

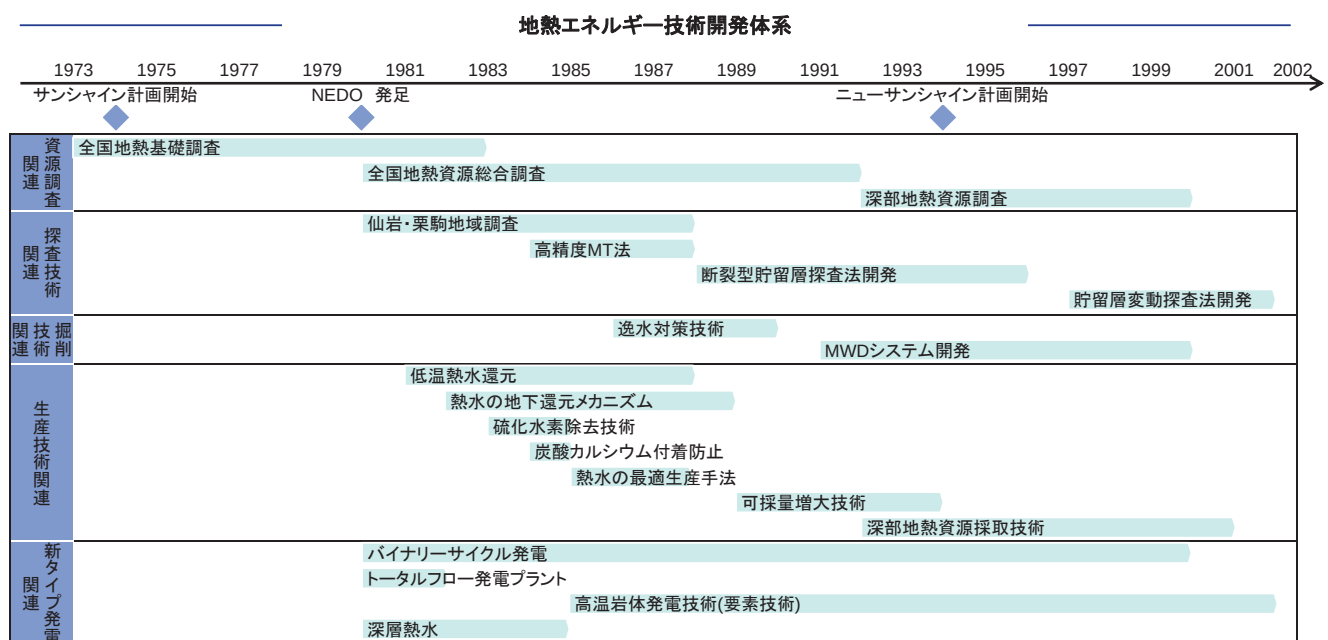
SKE
SK ENGINEER CO.LTD.
JAPEX

 THE UNIVERSITY OF TOKYO

国内の過去の技術開発の体系及び動向

2.日本の過去の技術開発体系 (1/2)

1974年からのサンシャイン計画、1980年のNEDO発足、1994年からのニューサンシャイン計画により、大規模・組織的に地熱技術開発が行われ、地熱開発技術が体系的に整えられている。この結果、314MWの地熱発電量の増大に本プロジェクトが大きく貢献している。



出所:「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)
地熱技術開発動向について

2.日本の過去の技術開発体系 (2/2)

1974年からサンシャイン計画、1980年からのNEDO発足、1994年からのニューサンシャイン計画により、大規模・組織的に地熱技術開発が行われ、地熱開発技術が体系的に整えられている。この結果、314MWの地熱発電量の増大に本プロジェクトが大きく貢献している。

地熱エネルギー技術開発推進と計画

一般会計		特別会計	
1. 地熱エネルギー探査技術	3. 地熱用材料の開発	全国地熱資源総合調査	熱水利用発電プラント等開発
全国地熱基礎調査	地熱用材料の開発に関する研究	1. レーダー法調査	1. バイナリーサイクル発電プラントの開発
地熱地帯における岩石の物理・化学的特性の研究	4. 熱水利用発電技術	2. キューリー法調査	(1) 10MW級デモンストレーションプラントの開発
地熱地域の熱水系に関する研究	バイナリーサイクル発電システムの開発	3. 重力法調査	(2) 熱水の生産還元に関する研究
地熱探査技術等検証調査	5. 高温岩体発電技術	4. 地熱有望地域抽出	(3) 硫化水素の除去技術の開発
広域深部地熱資源賦存に関する研究	高温岩体発電方式移管するフィージビリティスタディ	5. 有望地域総合解析	(4) 地熱井における逸水対策技術の研究開発
深部地熱資源探査技術に関する研究	高温岩体破砕抽出技術に関する研究	6. 総合解析手法の開発	(5) 地熱井掘削時坑底情報検知システムの開発
国土地熱資源基本図作成に関する研究	IEA高温岩体協定による共同研究	7. 広域熱水流動系調査	2. トータルフロー発電プラントの開発
国土地熱資源評価技術に関する研究	IEA高温岩体エネルギーシステム	8. 新資源調査手法検討	3. 高温岩体発電システム開発
広域地熱構造調査法の研究開発	6. 環境保全・多目的利用技術	9. 深部地熱資源調査	(1) IEA共同研究分担金
2. 熱エネルギー採取技術	地熱流体処理技術の開発	10. 電源多様化技術開発評価費	(2) 要素技術の開発
地熱環境下で使用可能な泥水の開発	地熱熱水から砒素を除去する技術開発	地熱探査技術検証調査	4. 深層熱水供給システム開発
地熱環境下で使用可能なセメントの開発	地熱熱水からのスケール付着を防止する技術の開発	1. 地表調査	5. 深部地熱資源採取技術の開発
高温地層掘削技術の開発	硫化水素を除去する技術の開発	2. 坑井調査	6. 電源多様化技術開発評価費
高温地層掘削機器の開発	地熱熱水の完全利用に関する研究	3. 高精度地磁気地電流法	(1) 可採量増大技術開発に伴うデータの解析・評価
自動掘削装置の開発		4. 断裂型貯留層探査法開発	(2) 地熱井掘削時坑底情報検知システムの解析・評価
地熱井掘削技術等に関する研究		5. 貯留層変動探査法開発	(3) 検知・伝送機構の解析・評価
坑井内測定技術の開発		6. 深部地熱資源調査	(4) 高温岩体熱抽出システムの解析・評価
熱水の地下還元メカニズムの調査研究		7. 電源多様化技術開発評価費	(5) 深部地熱資源採取技術の解析・評価
		(1) 仙台・栗駒地域総合解析	(6) 深部地熱用金属材料の解析・評価
		(2) 断裂型貯留層探査の解析・評価	(7) 深部地熱用高分子材料の解析・評価
		(3) 貯留層変動探査の解析・評価	
		(4) 深部地熱資源調査の解析・評価	

出所：「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)
地熱技術開発動向について

3.日本の過去の技術開発動向 (1/4)

日本の過去のプロジェクト一覧

導入フェーズ	プログラム名称	実施機関	調査期間(年度)	予算[補助金](百万円)	概要及び結果
1.資源概査・精査(地熱エネルギー開発調査の概況)	全国地熱基礎調査	工業技術院(現:地質研究所)	1973~1975	- ¹	・全国100以上にのぼる既知の地熱地域のうちから30箇所を選定し、将来の地熱開発に資する基礎データを得ることを目的とし、地熱探査を実施した。 ・この調査は、「全国地熱基礎調査報告書」として報告されている。
	地熱開発精密調査	資源エネルギー庁	1974~1977	- ¹	「全国地熱基礎調査報告書」に基づき、各探査が行われた地域について地質構造、貯留層の確認等を行うことを目的に500m級の試錐による調査を実施した。
	地熱開発基礎調査	資源エネルギー庁	1977~1979	- ¹	「全国地熱基礎調査報告書」に引き続き地熱有望地域を対象とする第2次基礎調査を実施した。
	全国地熱資源総合調査	NEDO	第1次: 1980~1983 第2次: 1984~1986 第3次: 1987~1992	19,239 [19,133]	・地熱資源の賦存状況を体系的に把握することを目的として、全国で実施された。 ・第1次調査として、主に航空機や人工衛星等を用いて日本全国(約37万km ²)を調査し、地球有望地域(1地域約数百km ²)を抽出・分類した。 ・第2次調査として、地熱有望地域のうち火山関連等の4地熱タイプ地域をモデルフィールドとして地表調査を行い、それぞれの地域の地熱資源調査を行った。 ・第3次調査として、総合解析手法開発及び新資源調査手法検討を行った。総合解析手法開発では、各種広域調査(全国6地域)データを効率的に管理・利用して地熱有望区域を抽出・評価する総合解析システムを開発した。新資源調査手法検討では、新資源タイプ地熱資源(高温岩体、マグマ、深部地熱、中高温熱水)について、空中地磁気法及びリモートセンシングを用いた調査手法の検討を実施した。
	地熱開発促進調査	NEDO	1980~2010	110,526 [110,278]	・調査リスクなどにより民間が未開拓である有望地点について、NEDOが先進的な調査を行うことによって民間企業の開発を誘導し、その推進を図ることを目的に、実施された。調査はA・B・Cと3レベルのプログラムにより実施された。 ・調査Aでは、100~300km ² を対象とした地上調査中心の広域調査を3年間、調査Bでは、50~70km ² を対象に3年間調査を行った。調査Cでは、5~10km ² を対象とし、地熱促進量の把握まで踏み込んだ調査を行った。調査結果については、「地熱開発促進調査報告書」として、各地域別に報告・公開されている。
	発電用地熱開発環境調査(環境審査等調査)	資源エネルギー庁	1977~1979 1980~1997	4,485	・地熱開発業者により、地熱発電所が計画されている地域において環境調査のため1,000~1,500mクラスのボーリングを実施し、蒸気・熱水を噴出させ植生、河川水、地下水、温泉等への影響について調査及び評価を実施した。 ・環境審査等調査として電源立地に伴う環境保全に万全を期するため、地熱発電所立地予定地区や運転中の地区で水理水質調査・微小地震観測・気象調査・植生環境調査、及び自然噴出蒸気・熱水の調査を実施し、環境保全上の検討を行い、地熱発電所立地に伴い事業者が行う環境影響調査に関してクロスチェックのための調査を行った。

¹ データなし
出所：「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)
地熱技術開発動向について

3.日本の過去の技術開発動向(2/4)

日本の過去のプロジェクト一覧

導入フェーズ	プログラム名称	実施機関	調査期間(年度)	予算[補助金](百万円)	概要及び結果
1.資源概査・精査(地熱エネルギー開発調査の概況)	大規模深部地熱発電所 環境保全実証調査	資源エネルギー庁	1978～1985	・ ¹	熊本県及び大分県にわたる豊肥地域において、広域の深部地熱構造を把握し、深部地熱資源を利用した大規模発電の可能性を探るとともに、深部地熱流体の採取・還元が周辺環境に与える影響を調査する目的で実施した。
	地熱発電環境保全技術調査	資源エネルギー庁	1981～1992	1,161	・自然公園及び温泉地域等に立地する地熱発電所のための環境影響予測手法、環境保全技術等の開発を実施した。 ・1997年までに、地熱発電所景観予測評価手法調査、冷却排気拡散調査、温泉影響小予測技術調査を行った。 ・1998年より、中小地熱発電所に係る環境保全技術及び環境影響予測評価手法を確立するために中小地熱発電所環境保全技術調査を行った。 ・これらの結果は、環境保全のためのマニュアルとして取りまとめられている。
	地熱発電環境保全実証調査	資源エネルギー庁	1993～1998	485	・地熱発電環境保全技術調査により構築された温泉影響予測手法を用いてケーススタディを行い、予測結果とモニタリングの結果の比較により、温泉影響予測手法の妥当性について実証した。 ・これらの結果は、温泉・地下水系影響予測マニュアルとして取りまとめられている。
2.掘削(地熱開発に関する助成)	地域発電所調査井掘削費等補助事業(地熱発電開発補助事業)	資源エネルギー庁 NEDO	1980～1998 1999～	[28,750]	地熱開発事業者に対し、調査井の掘削について補助金の交付を行い地熱発電の実現促進を図っている。補助率は1/2以内である。
	地熱発電開発費補助事業	資源エネルギー庁 NEDO	1986～1998 1999～	855 (2009年度分)	地熱開発事業者による地熱発電設備に係る坑井掘削等について、補助金の交付を行うこととし、1986年度に地熱発電開発補助金制度を設立した。補助率は20%である(※調査井掘削事業に係る補助率は50%以内)。2007年度からは、バイナリーサイクル発電設備については「地域新エネルギー等の導入促進事業」で1/2以内、「新エネルギー等事業者支援対策事業」で1/3以内の補助率が適用となった。

¹ データなし

出所: <http://www.nedo.go.jp/content/100084909.pdf>; 「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)

地熱技術開発動向について

3.日本の過去の技術開発動向(3/4)

日本の過去のプロジェクト一覧

導入フェーズ	プログラム名称	実施機関	調査期間(年度)	予算[補助金](百万円)	概要及び結果
3.他(地熱利用普及・促進)	地熱発電所地域原熱水供給システム実証調査	財団法人新エネルギー財団	1995～2002	・ ¹	地熱発電所の立地円滑対策として、当該地熱発電所に係わる原熱水の直接供給の技術を確立させるため、原熱水中の有害物質であるヒ素を除去する技術の実証として大規模原熱水供給システム実証調査を行った。
	簡易型中小地熱概算設計	NEDO	1986～1988 1989～1995	・ ¹	・200kW復水型及び300kW背圧型の2種類の発電システムの設計・製作、大霧地域における試運転を行った。 ・また、同システムを蒸気条件の異なる地域(霧島国際ホテル)に移設後、長期実証試験を行った。 ・結果として、背圧型、復水型ともに激しい電力負荷変動に対する追従性及び適用性について安全運転性能が確認され、さらに商用電力との系統連系によって安定した電力供給システムとして評価できた。
	中小地熱バイナリー発電システム利用検討調査	NEDO	1994～2000	・ ¹	全国的に分散する中低温地熱資源の利用開発を展開させるため、小規模(100kW級)及び中規模(500kW級)地熱バイナリー発電システムの開発、実証試験、経済性等の評価を実施した。
4.資源概査・精査(地熱探査技術等検証調査)	(モデル地域の各種探査・高精度地磁気電流法の装置と解析法の開発)	NEDO	1980～1988	・ ¹	・日本の代表的な地熱構造地域である仙岩地域(秋田県、岩手県)及び栗駒地域(宮城県)の2つのモデル地域で地表によって検証し、さらに各種探査技術の有効性を評価するとともに、地熱探査技術の体系化を行った。 ・地磁気地電流法の探査向精度向上を目指し、広域の中から効率的に地熱有望地を抽出し、地熱貯留層を補給する探査技術が確立された。 ・これらの成果として、地下における地熱流体の貯留と流動を大きく支配しているのは、地層中の断裂であることが明らかになった。
	断裂型貯留層探査法開発	NEDO	1988～1996	・ ¹	断裂型の地熱貯留層を制度良く探索する技術の開発を目指し、弾性波を利用した探査法(高精度反射法、VSP、弾性波トモグラフィ)、電磁波を利用した探査法及び微小地震を利用した探査法の開発を行った。
	貯留層変動探査法開発	NEDO	1997～2002	3,894	貯留層に存在する地熱流体に着目し、貯留層の水理特性、広がり、蒸気生産に伴う変動、さらに将来の変化を的確に予測する技術の開発を目指した。この技術開発は、地熱発電所の出力増大や出力安定に大きく貢献する。
	深部地熱資源調査	NEDO	1998～2002	・ ¹	深部地熱資源開発のリスクを低減するため、地下深部における地熱資源の賦存状況及び浅部地熱を含めた地熱系の全体像を明らかにし、深部地熱資源の利用可能性について調査研究を行った。この調査結果より、熱原岩を含む深部地熱系の実態把握、地層温度500℃を超える深部高温掘削の実況等の成果が得られた。

¹ データなし

出所: <http://www.nedo.go.jp/content/100089520.pdf>; 「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)

地熱技術開発動向について

3.日本の過去の技術開発動向(4/4)

日本の過去のプロジェクト一覧

導入 フェーズ	プログラム名称	実施機関	調査 期間 (年度)	予算 [補助金] (百万円)	概要及び結果
5.貯留 層評価 (貯留層 評価手 法開発)	地熱貯留層評 価手法開発	NEDO	1984~ 1992	- ¹	・地熱開発地域の地熱貯留層の生産能力、最適発電規模等を適正に評価・予測するために地熱貯留層評価手法開発を実施した。具体的には地熱貯留層シミュレータ(SING)及び地熱坑井二相流シミュレータ(WENG)の開発とモデルフィールド調査(観測井掘削、坑井調査)、シミュレーション及び解析・評価を実施した。 ・1984~1987は、地熱貯留層を多孔質、流体を純粋として取り扱う手法を開発した。 ・1988~1992は、断裂系と流体の溶存成分も加味した手法開発を行った。

¹ データなし

出所:「地熱発電の現状と動向」レポート(一般社団法人 火力原子力発電技術協会)

地熱技術開発動向について

地熱技術開発検討会_海外ヒアリング報告

2014 年 1 月 23 日

デロイト トーマツ コンサルティング株式会社

ヒアリング行程

ヒアリング行程_米国

日程	ヒアリング先	
10/29（火）	米国エネルギー省地熱部局	省庁
10/30（水）	GeothermEX	コンサルティング企業
10/31（木）	Calpine	電力会社
11/1（金）	ThermaSource	掘削事業者

ヒアリング行程_アイスランド、スイス

日程	ヒアリング先	
11/20（水）	Landsvirkjun	電力会社
	HS Orka	電力会社
	Reykjavik Energy	電力会社
11/21（木）	Manvit	エンジニアリング企業
	Iceland Geosurvey	地質探査企業
	National Energy Authority	省庁
11/23（土）	スイス連邦エネルギー庁	省庁

ヒアリング行程_ニュージーランド

日程	ヒアリング先	
12/10（火）	GNS Science	研究機関
	Contact Energy	電力会社
12/11（水）	NZ Heavy Engineering Research Association（HERA）	金属業界の研究機関
	オークランド大学	大学
12/12（木）	ビジネス・イノベーション・雇用省	省庁

ヒアリング先情報

ヒアリング先概要_米国

ヒアリング先	米国エネルギー省地熱部局
ヒアリング参加者	■ Jay Nathwani（チーフエンジニア） ■ Arlene F. Anderson（地熱データベースサイエンティスト） ■ Winston K.H Chow（インターナショナルプログラムアドバイザー） ■ Christopher Richard（シニアリサーチアナリスト）

組織概要	■ 民間、研究機関と連携し、米国内における革新的でコスト競争力の高い地熱技術の創出を促進する。 ■ 主な技術開発エリアとして、EGS、資源探査、低温地熱資源の開発、システム分析を上げている。

ヒアリング先	GeothermEX
ヒアリング参加者	■ SUBIR K. SANYAL（シニアアドバイザー）
組織概要	■ 資源探査、掘削、発電、デューデリジェンス等の地熱利用全般をカバーするコンサルティング会社であり、50 カ国以上でコンサルティングサービスを提供した経験を有する。 ■ クライアントは金融機関、電力会社、資源探査企業、政府機関等、多岐にわたる。

ヒアリング先	Calpine
ヒアリング参加者	■ Jim Horne（アセット管理マネージャー） ■ Guy Tipton（リージョナルコントローラー） ■ Bruce Carlsen（環境サービスディレクター）
組織概要	■ 米国の 20 の州、及びカナダにて合計 27,500MW の電力を供給している電力会社である。 ■ 地熱発電、及び天然ガスによる発電所の開発、建設、保有に特化し、環境に配慮した最新の技術による発電を実施している。 ■ 電力を供給するだけではなく、クレジットの販売をしている（Geysers で発電した電力を証書化して売っている）。

ヒアリング先	ThermaSource
ヒアリング参加者	■ Richard Chow（CEO） ■ Alan Frazer（プレジデント） ■ Marc Brennen（ビジネス管理シニアディレクター） ■ David Wetherbee（掘削部部長）
組織概要	■ 掘削、セメンチング(cementing)、泥水検層の 3 つの業務を運営している。 ■ 地熱、石油・ガス業界で 150 年以上の経験を持ち、グローバルの大規模プロジェクトの経験も有する。 ■ ニカラグア、チリでもビジネスを展開しており、日本における掘削にも興味を持っている。

ヒアリング先概要_アイスランド、スイス

ヒアリング先	Landsvirkjun
ヒアリング参加者	■ Bjarni Pálsson（発電部 R&D マネージャー）
組織概要	■ 2007年に国営の電力会社である Landsvirkjun 社の子会社として設立された国有の電力会社である。 ■ 地熱発電所 2 箇所（ビヤルトナルフラグ、クラブラ）、水力発電所 13 箇所保有している。発電量の割合は地熱 4%、水力 96%である。 ■ 発電した電力の内、80%はアルミニウム工場に売電され、残りは漁業等のその他の産業、及び Reykjavik Energy、HS Orka に売電している。

ヒアリング先	HS Orka
ヒアリング参加者	■ Albert Albertsson（CEO）
組織概要	■ 民間向けの電力を提供する電力会社である。 ■ スバルツエンギ、レイキャネースにてリソースパークを展開し、地熱資源の多段階利用にもとづいたビジネスモデルを確立している。

ヒアリング先	Reykjavik Energy
ヒアリング参加者	■ Jakob Singuraður Friaríksson（ビジネス開発マネージャー） ■ Ingólfur Hrólfsson（チーフエンジニア）
組織概要	■ レイキャビク市が所有する企業でアイスランド国内の 20 の自治体、67%の人口に対し、電力、温水を供給しており、2012 年末時点で社員数は 426 名。 ■ ヘトリスヘイジ地熱発電所、ネーシャヴェトリル地熱発電所を所有している。

ヒアリング先	Manvit
ヒアリング参加者	■ Sigurður St. Arnalds（シニアエネルギーアドバイザー） ■ Haukur Garðarsson（プロジェクトマネージャー マーケティング&デベロップメント） ■ Lilja Tryggvadóttir（メカニカルエンジニア）
組織概要	■ アイスランド最大のエンジニアリング会社であり、プロジェク

	ト管理を得意とする。 ■ 地熱資源の探査業務からスタートした。現在ではモニタリング、掘削計画の策定、コスト計算、F/S、タービンメーカーとの交渉等の管理、環境アセスメント、建設管理、O&M 等についてコンサルティングサービスを提供している。

ヒアリング先	Iceland Geosurvey
ヒアリング参加者	■ Bjarni Richter (マーケティング兼プロジェクトマネージャー) ■ Benedikt Steingrimsson (地質リサーチャー)
組織概要	■ 開発業者からの得るサービス料によって運営費は賄えるため、政府からの資金援助は受けておらず、ほぼ独立した民間企業として活動している。 ■ 資源探査、掘削等の「下もの」に関するコンサルティングサービスを提供している。逆に「上もの」のコンサルティングは Manvit が展開している。

ヒアリング先	National Energy Authority
ヒアリング参加者	■ Kristinn Einarsson (エネルギー兼資源探査シニアマネジャー) ■ Skuli Thoroddsen (リーガルアドバイザー)
組織概要	■ 商工省の傘下であり、エネルギー分野の研究発注、管理、普及等に関して、大臣への助言を行っている。 ■ 水力、地熱、水資源、石油の政府管轄のライセンス付与、及び監督機関であり、政府の地熱開発のロードマップを作成している。

ヒアリング先	スイス連邦エネルギー庁
ヒアリング参加者	■ Gunter Siddiqi (エネルギーリサーチ長)
組織概要	■ スイス連邦環境・運輸・エネルギー・通信省の下部機関であり、エネルギーの供給、利用を管轄している。 ■ バイオマス、太陽光、風力、地熱の再生可能エネルギーの普及促進、技術開発も担当している。

ヒアリング先概要_ニュージーランド

ヒアリング先	GNS Science
ヒアリング	■ Andrea (Andy) Blair (ビジネス開発マネージャー)

参加者	■ Greg Bignall (地熱科学グループ長)
組織概要	■ 民間の研究機関であり、政府、及び民間にコンサルティングサービスを提供しており、活動資金の半分は政府からの研究資金、残り半分は民間へのコンサル料から得ている。 ■ 民間企業として活動し、業務に対して政府から制約は受けないものの、主な株主は政府である。 ■ IPGT の取締役会にも GNS Science から職員を派遣している。

ヒアリング先	Contact Energy
ヒアリング参加者	■ Mike Dunstall (ジェネラル・マネージャー)
組織概要	■ ニュージーランドの 25%以上の電力を供給している電力会社である。 ■ 複数の地熱発電所を所有し、主なものではワイラケイ、オハーキ、ポイヒピロード (Poipihi road)、テフカ (Te Huka) があげられる。 ■ 硫化水素の処理設備であるバイオリアクターを保有している。

ヒアリング先	NZ Heavy Engineering Research Association (HERA)
ヒアリング参加者	■ Nick Inskip (ジェネラル・マネージャー) ■ Dr Boaz Habib (シニアリサーチエンジニア)
組織概要	■ 1978 年に設立された金属産業の非営利の研究機関である。 ■ 低温、及び排熱利用のための有機ランキンサイクル (ORC: Organic Rankine Cycle) をはじめとした、地熱発電や地熱の直接利用に関する設備を開発するリサーチプラットフォームである AGGAT (Above Ground Geothermal Allied Technologies) を設置している。

ヒアリング先	オークランド大学
ヒアリング参加者	■ Rosalind Archer (工学部教授) ■ Gary Putt (エグゼクティブディレクター)
組織概要	■ 資源探査、モデリング、貯留層管理等を専門とする研究開発機関である。 ■ 地下イメージング技術や、弾性波探査による微小地震のモニタリング、深部地熱資源の活用といった研究を実施している。

ヒアリング先	ビジネス・イノベーション・雇用省
ヒアリング参加者	■ Vanessa Bennett（マニファクチュアリング&リソース セクターリーダー） ■ Seishi Gomibuchi（インターナショナルリレーションシップ シニア・アドバイザー）
組織概要	■ 技術開発のための「コアファンディング（Core funding）」と「競争的資金（Contestable funding）」という資金供与プログラムを用意している。

ヒアリング項目

Lv1	Lv2	No	質問項目
技術	資源概査	1	データベースについて
	資源精査	2	資源精査の最新手法について
	F/S、環境アセス	3	アセスメントの短縮化について
	掘削	4	コスト削減手法について
		5	リグの稼働率の最大化について
		6	マルチプルレグ掘削について
		7	傾斜掘削について
		8	その他
	O&M	9	コプロダクション技術について
		10	貯留層管理手法について
		11	各種メンテナンスについて（スケール対策含む）
		12	硫化水素処理について
		13	環境保護技術について
支援制度		14	技術開発支援について
		15	その他支援プログラムについて
その他		16	EGS について
		17	地元理解について
		18	技術開発プロジェクトについて
		19	人材確保について
		20	教育について

上記の項目について重点的にヒアリングを実施した。各項目に関するヒアリング先の見解

を以下に取りまとめている。なお、詳細情報は「ヒアリング情報比較シート」及び議事録を参照されたい。

質問事項と回答機関の対応

		米国				アイスランド				スイス		ニュージーランド					
		米国エネルギー省地球部局	Geotherm EX	Calpine	Therma Source	Landavirkjun	HS Orka	Reykjavik Energy	Manvit	Iceland Geosurvey	National Energy Authority	スイス連邦エネルギー庁	GNS Science	Contact Energy	NZ Heavy Engineering Research Association (HERA)	オークランド大学	ビジネス・イノベーション・雇用局
技術	資源調査	省庁	コンサルティング会社	電力会社	掘削事業者	電力会社	電力会社	電力会社	電力会社	電力会社	省庁	研究機関	電力会社		大学	省庁	
		●								●		●					
		●	●							●		●			●		
	F/S、資源アセス	●	●	●							●		●				
		掘削		●	●	●									●	●	
						●											
	O&M															●	
●						●							●				
●					●	●									●		
主役制度			●	●		●	●	●					●				
			●	●													
			●		●								●				
			●		●												
					●												
					●												
その他	●		●														
	●	●	●							●					●		
	●										●						

ヒアリング結果取りまとめ

1：資源概査_データベース

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 • NGDS（National Geothermal Data System）は DOE が所有するデータベースではなく、各委託研究機関がデータプロバイダーとなり、メンテナンス自体も委託研究機関が実施する。各委託研究先は DOE の指示に従い、データ項目を入力する。 • 現在は試作段階であり一般ユーザーに公開されていないが、2014 年に開始を予定している本格運用時には、各データベースが相互連携し、信頼度の高い情報を提供するプラットフォームとして活用されることを想定している。
アイスランド	【Iceland Geosurvey】 ■National Energy Authority のデータベース • 管理は Iceland Geosurvey が有償で担当しており、ほとんどのデータは Iceland Geosurvey が提供している。 • アイスランドでは、民間企業が、それぞれ必要なデータを保持しており、広く一般に開放されているデータベースはない。 ■Iceland Geosurvey のデータベース • 圧力、温度、化学成分等の地熱資源に関する情報は、Iceland Geosurvey 自身で取りまとめたもので、Reykjavik Energy 等の電力会社や開発業者のために作成しており、一般には公開されていない。
スイス	【スイス連邦エネルギー庁】 • スイス全体の地熱資源に関するデータベースは存在しない。それぞれの州が独自に蓄積、管理している。2008 年に新しい法律が施行され、政府が州にデータの提出を義務付けることが可能となったが、政府としてこういったデータ項目を提出させるかは未定である。
ニュージーランド	【GNS Science】 ■ Geothermal and Groundwater Database（GGW） • 個々の科学者がそれぞれ紙ベースで所有していたデータを収集し、データベースを構築した。現在では、発電所からの情報の追加、及び定量分析が可能なフォーマットへの変換等を施しながらデータベースを管理している。 • 環境アセスの中で公表されたデータや各発電所から得られた情報は特徴ごとに分類してデータベースに加えた上で、オンラインにて一般に公開している。

2：資源精査_資源精査の最新手法

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 - 現在の技術では熱源の大まかな位置がわかっても、その熱源の存在する深度や水分の存在量が正確にはわからないため、新たな地域における初期段階の調査で貯留層の位置を特定できる確率は 20%前後であると考えている。 【GeothermEX】 - 石油、ガス掘削と異なり、地熱の掘削では電磁法（MT）探査が主流であり、その他のツールが豊富にあるわけではない。
アイスランド	【Iceland Geosurvey】 - MT 法はコンピュータの性能が向上したこともあり、電磁探査の資源探査手法として主流になりつつある。またその解析も 3 次元で実施可能となりつつある。 - 電磁探査とは他に資源探査手法として、微小地震を探知する弾性波探査も活用している。特に火山帯の高温エリアでは従来の地震探査はうまく機能しないため、弾性波探査が使われており、フラクチャーの位置や大きさの特定に活用されている。 - 地質化学の観点からは、トレーサ試験の精度向上に取り組んでいる。
ニュージーランド	【GNS Science】 - 精緻化が進んだ地震探査法や空中からの赤外線リモートセンシング等の最新技術を用いて、過去に収集した地下 1km の浅部に関する情報のアップデートと精緻化に努めている。 - 最近では MT 法を用いて、更に深部（～5km）の情報収集に注力している。 - 地震探査法、MT 法の進化はめざましい。MT 法では収集したデータを解析するソフトウェアの進化により、3D 分析が可能となっている。 【オークランド大学】 - 現在ではコスト削減と探査フェーズにおける環境負荷の低減のために、物理探査の手法（特に地震探査法と MT 法）を組み合わせ、貯留層の構造やつながり、深度等の把握をするのが一般的である。 - 他の国でも 1 つの革新的技術として認識されているかと思うが、ボアホールによる微小振動観測も活用している。

3：F/S、環境アセス_短縮化

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 - DOE 傘下の国立再生可能エネルギー研究所（NREL）では、様々な規制についての整理・分析を行っており、環境アセスの短縮等も検討課題としている。 【GeothermEX】 - 米国では通常 5－7 年かかり、これを劇的に短くする技術はない。 - 開発の期間を短縮化するためには、環境アセスを先行して始め、開発許可が降りたら直ぐに、資源探査、掘削に速やかに移行できるように調整すれば、2 年ほどの短縮は可能である。 【Calpine】 - 新規に発電所を建設する場合は、水蒸気が噴出するまで、発電所の規模は分からないが、考えうる限り最大の発電所を想定してアセスを実施し申請する。 - 環境アセスを短縮化する特別な技術はない。ただし、他の既存の発電所を建設する際に使用した際に使用したデータを再度活用することで申請の短縮化をはかっている。
アイスランド	【National Energy Authority】 - 期間は 3 - 4 年要する場合もあるが、たいていは約 1 年で完了する。 - 検討段階ではあるものの、National Energy Agency では環境アセスメントを短縮化するために、複数のライセンス申請を同時に審査すること等を実施している。 - モデリングやシミュレーションによるデータの提出も認めているが、最終的には現地調査（モニタリング）を必須としている。
ニュージーランド	【Contact Energy】 反対意見がだされ法廷に持ち込まれると、プロセスは長期化するケースがあるため、事前に地域住民や関係者に周到な根回しを進めておくことで、反対意見が出ることを防ぐことがプロセスの迅速化につながるのではないか。

4：掘削_コスト削減

米国	【GeothermEX】 地熱における掘削コスト削減のためのブレークスルーは今のところ存在しない。

	- 掘削コストを削減するのであれば、日時で発生する掘削コストを最小化するような掘削スケジュールを構築すべき。 【ThermaSource】 - カイザーでも実施しているが、マルチプルレグが有効であり、その精度も上がってきている。 - 地熱では掘削ポイントによって、掘削フローが異なる。どのような掘削ポイントであっても、同じレベルで掘削できる人材を揃えておき、綿密に計画をたてることが重要である。掘削で発生する人的、及びリグのコストは日割りで請求する仕組みとなっているため、計画通りに掘削が進むかが最終的なコストを左右する。 - 石油、ガス掘削で開発された AC モーターを搭載したリグによって、掘削時間の短縮化が期待される。 - カスタマイズ不要のターンキー契約もコストを下げる 1 つの手法であると思うが、安全性を損なう危険性もある。 - トラック搭載型のリグの導入は検討しているが、これは基本的に小さなリグとなるため、生産井の構築等の本格的な掘削には向かず、探査フェーズでの試掘の低コスト化にはつながるのではないかと。
アイスランド	【GNS Science】 - 掘削のコストは上昇傾向にあるが、主な要因はケーシング等の材料費の高騰であり、探査の技術やノウハウによるコスト削減の余地は小さい。 【オークランド大学】 - 一般的なコメントになるが、地熱の開発エリアは硬く高温の地層を掘削するため、そのコストを劇的に削減する技術の開発は難しいと感じる。 - 資源探査にもとづき正確に貯留層を掘り当て、生産井あたりの出力を増大することができれば、同じ出力の発電所を設置する場合でも、掘削本数を 20%削減することが可能と考える。こちらによるコスト削減の効果の方が、掘削自体のコスト削減効果より大きいのではないかと。 【NZ Heavy Engineering Research Association (HERA)】 - 掘削に使う機器は重量がかさむため、ドリルストリングにアルミニウムを活用する技術の検討が進められている。 - ニュージーランドの MB century 社では、貯留層の温度、圧力を計

	測する掘削坑内（ダウンホール）センシングの技術を有している。またオークランド大学でもダウンホールセンシングの研究開発に取り組んでいる。 また、M tech 社はトレーラー・トラックの荷台に泥水処理設備を積みこむことで、掘削地点間の移動を簡素化し、コスト削減を図る技術を持っている。

5：掘削_リグ稼働率の最大化

米国	【ThermaSource】 - 掘削地域に最適なリグを選ぶことが非常に重要である。 - また同じ型のリグを複数用意し、及び替えの部品を準備しておくことで、故障等が起きた時に迅速な対応が可能である。 - 石油掘削では既に使用されており、地熱掘削ではまだ実用化されているかは不明であるが、パッドドリリングという最新の掘削手法がある。この手法は 1 つの穴から掘削し、地中で複数方向に掘削するものであり、そのリグは移動にクレーンを必要とせず、手間がかからない。

6：掘削_マルチプルレグ掘削

米国	【Calpine】 - ウップスタックというリグを用いて掘削する。特別な技術というわけではなく、ThermaSource 等の掘削会社なら可能な技術である。 - カイザーでは既に長年に渡り実施しており、水蒸気量の増大、掘削コストの削減、地表ダメージの最小化というメリットがある。 - 但し初めから複数本掘るということではなく、1 本目の井戸の生産性が悪い、もしくは水蒸気量が低下した場合のみに実施する手法である。
アイスランド	【Landsvirkjun】 - マルチプルレグは実施したことがあるが、意図して複数本の井戸を掘ったのではなく、貯留層の生産性が予想より低い等の理由からやむを得ず実施しただけである。 - マルチプルレグ掘削のではリグが取り出せないというリスクがある。 - イタリアの ENEL 社では実施したことがあり、技術的には可能である。但し、リグを一度地上まで取り出して、再度掘削するため新しい井戸を掘削する場合と同程度のコストがかかっている。

7：掘削_傾斜掘削

アイスランド	【Landsvirkjun】 - 深度 50・800 メートルの掘削において、地表のダメージを最小化するために、1 つの掘削パッドから複数の井戸を傾斜掘削で掘ることを推進している。 【Manvit】 - アイスランドでは、近年の地熱開発の多くにおいて傾斜掘削を実施している。

8：掘削_その他

アイスランド	【Iceland Geosurvey】 地熱開発に使用されるビットとしてはトライコーンビットが主流であったが、最近では PDC（Polycrystalline Diamond Compact）ビットという新しいビットが開発されつつあり、最新のモデルはトライコーンビットと PDC ビットを組み合わせたものである。
ニュージーランド	【オークランド大学】 地下に人工的にひび割れを作る水圧破碎では、浸透率を最大化しつつ、誘発地震のリスクを最小化する技術が求められる。5～10 年後には、低圧力で地下に浸透率を高めるための割れ目を作る技術の実用化が期待される。

9：O&M_コプロダクション

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 リチウムに関してはジオケミストリー、つまりその地域の地質によるところが大きい。ネバダ州のシルバーピーク付近のようなリチウムを豊富に含む土壌であれば、コスト的に見合う。
アイスランド	【HS Orka】 - 金等のコプロダクション技術は構想段階のものであるため、コスト分析等は実施していない。 - リチウム抽出についてはかつて検討したことがあったが、土壌における含有度が低いので断念した。
ニュージーランド	【GNS Science】 - ニュージーランドではリチウムやホウ素が熱水に高濃度で含まれることが多く、これらの鉱物の価値、抽出のしやすさを検討している。 - 比較的高温の熱水を蒸発させることでシリカを抽出し、様々な用途

	に使っている。 【Contact Energy】 どのようなレアメタルを採取できるか検討し、高純度シリカやリチウムの抽出について、それぞれ別々の企業と共同で実験を行っている段階である。

10 : O&M_貯留層管理

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 Water Energy Nexus Program Plan にてバイナリーとフラッシュにおける水の利用について取りまとめており、貯留層内の LCA についても検証されている。
アイスランド	【Landsvirkjun】 - トレーサ試験を実施している。カリウム等の従来のトレーサでは高温の貯留層に注入すると消失してしまうため、この夏からアルコール性のトレーサの使用を開始した。 - マイクロサイスミック技術（割れ目が形成される時に発生する地震波を観測し、フラクチャーを解析する手法）を用い、貯留層が形成されている箇所の特定に役立てている。 【HS Orka】 - 年に 2、3 回、PT 検層機を用いて井戸内のエン트로ピーを検査している。 - 圧力、温度が低下した場合は、貯留層内の熱水と同じ成分の水（地熱かん水）を注入する。 【Iceland Geosurvey】 - 貯留層の管理を行う際の主な指標として、地表の兆候、地下水の状態、地盤沈下、圧力、温度、熱水に含まれる化学成分の変化、水量があげられる。 - 年に数回、サンプル検査を実施し、上記の項目の検査をしている。
ニュージーランド	【オークランド大学】 オークランド大学には地熱フィールド全体をカバーできるような 3D モデリングを開発するチームがあり、こういった取り組みを進めている組織は世界的に見ても少ないのではないかと。

11 : O&M_各種メンテナンス

米国	【Calpine】 - プラントにもよるが、タービンのメンテナンスは大体 5 年から 9 年に 1 度実施し、発電機に関しては 10 年に 1 度ほどの頻度でメンテナンスを実施する。タービンの導入メーカーである東芝は 2 年に 1 度を推奨しており、このメンテナンスの間隔の長さが高い稼働率（稼働率 90%以上）につながっている。 - 還元井は 10 年に一度取り替える。還元井のメンテナンス回数を減らすためにはなるべくきれいな水を注入する必要がある。不純物を多く含む水であると、井戸のツマリ、ヒビ割れの原因となる。 【GeothermEX】 ■スケール対策 - 溶液を注入することで、20 年ほど前に概ね解決されたと考えている。問題はその溶液のコストが高いことである。 - ORMAT はネバタとカリフォルニアのプロジェクトで熱交換器に輝安鉱（Stibnite）が付着するというスケール問題を抱えていたが、輝安鉱の比較的柔らかいという性質を利用し、ブラシによって除去することで解決した。それ以外は方解石（Calcite）が ORMAT が抱える発電所におけるスケールの原因としてあげられるが、ホスホン酸の溶剤によって解決している。
アイスランド	【HS Orka】 ■スケール対策 - シリカの形成がスバルツエンジンにおける主な問題である。 - 化学物質は使用せず、タービンを通じた水流に中和剤を混ぜることで、スケールをコントロールすることができる。 - それでもスケールが付着した場合は 1 年に 1 度、1 週間ほどタービンを停止し、清掃、点検を実施している。 【Reykjavik Energy】 ■スケール対策 - 弊社の地熱発電所では非常に純度の高い蒸気が噴出しているため、タービン等へのスケールは今のところ大きな問題になっていない。 - 熱水についてはシリカが大量に含まれているため、スケールが発生する可能性があり、タービンからの蒸留水（30%程度）を混ぜてシリカの濃度を下げた水を還元するようにしている。

	還元井に注入する水には CO2 を混ぜて pH を下げる方法を試験的に検証しており、将来的にはこの方法を採用したいと考えている。
ニュージーランド	【Contact Energy】 - 熱交換器等の機器を分解し、手作業によるクリーニングが主流であるが、化学薬品や酸性溶液の熱水への注入も実施している。また、スケールが付着しづらいように、蒸気の流速や温度の管理も実施している。 - バイナリーの熱交換器に付着する輝安鉱（Stibnite）のスケールに対しては、機器を分解した物理除去を実施している。ワイラケイのバイナリー発電所はメンテナンスを実施しやすい設計になっており、またその他の設備のメンテナンスを合わせて行うことで、設備の休止を最小限（年間数日程度）にとどめるよう努めており、設備利用率は約 97%/年と非常に高くなっている。

12 : O&M_硫化水素処理

米国	【Calpine】 - 熱水に含まれる硫化水素を除去し、固形化する機器のことであり、固形化した硫黄分は肥料製造会社へ売却する。これより得られる収入は大した額ではないが、産業廃棄物として処理すると多額の費用がかかるため非常に助かっている。 - カイザーにおいてこの機器を導入したのは Trimeric 社。但し技術自体は新しいものではなく、日本では神戸製鋼がこの技術を保有している。
アイスランド	【Landsvirkjun】 - アイスランドでは、2014 年から新しい法律（2010/514）により硫化水素に対する排出基準が厳格化される（1 日平均排出量：50mg/m³、年平均排出量：5±30%mg/m³に改正）。弊社では硫化水素を薬剤処理する、地下に注入する、排出ポイントを高くする等の新技術を検討している最中である。 - 地下に注入する技術に関しては、硫化水素を二酸化炭素等の他のガスと分離することはコストに係るため考えておらず、全てのガスを圧縮して適切な深度まで注入することを検討している。

13 : O&M_環境保護技術

アイスランド	【Landsvirkjun】 フットプリントの最小化

	・ 景観の保護（井戸、及びパイプラインを極力目立たないように配置、配色する） ・ 騒音の低減（気水分離器を消音器取り囲む、冷却塔を岩で取り囲み騒音がもれないようにする等の取組を実施している。岩による方法で Iceland Deep Drilling Project (IDDP) では掘削地から 10m 離れた地点における騒音を 70 デシベルまで低下させた。） ・ 掘削に使用する水量の最小化（掘削時に地上に吸い上げた泥水を循環使用可能とするため、水と切土に分離し、水量を最小化する技術を検討している。）
ニュージーランド	【Contact Energy】 ・ 最も注意しているのは河川に放流する排水についてであり、地中への還元を増やす取り組みを進めている。現在は 1 日に 36,000 トンもの水を放出しているが、還元設備の増強を進め、最初の発電所稼働時の 23,000 トンにまで減らす予定である。 【オークランド大学】 ■地盤沈下 ・ 地盤沈下を防ぐには、水を再注入（還元）することが有効であり、ワイラケイ地熱フィールドでは河川に放出していた熱水を還元することにより、地盤沈下を沈静化することができた。

14：技術開発支援

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 ・ 正式なプログラムはないが、プロジェクトベースで終了後の支援も行っている。 ・ DOE 全体の取り組みとしては、Tech to Market (T2M) と呼ばれる商業化支援プログラムがあり、また DOE 傘下の国立研究所には商業化支援チームが設置され、これらの研究所経由の補助事業に対する実務的な支援体制が整備されている。
スイス	【スイス連邦エネルギー庁】 ・ スイスにおける技術熟度は、ファンダメンタルリサーチ、オリエンテッドリサーチ、プロジェクトリサーチ、プロトタイプ開発、実証実験、マーケットに分類されており、各技術熟度に応じて、開発を担当する機関がわかれている。
ニュージーランド	【ビジネス・イノベーション・雇用省】 ・ MBIE からの資金供与は、「コアファンディング (Core funding)」

	と「競争的資金（Contestable funding）」の2つに大別される。 • コアファンディングでは、分野ごとに設置された政府所有の企業である Crown research institute（CRI）に資金が分配され、CRI の判断によって研究機関、大学に資金供与がなされる。なお地熱分野における CRI は GNS Science である。MBIE が資金の分配に関して、CRI に指示や条件を出すことはない。 • 競争的資金は MBIE が公募要綱を公表し、それに対し研究機関から資金供与の申請がなされるものである。地熱が対象となる主な競争的資金のプログラムは、「高付加価値製造」（High Value Manufacturing Services）、「環境技術研究ファンド」（Environmental Research Fund）、「エネルギー・資源ファンド」（Energy and Minerals Fund）の3つであり、競争的資金が供与される研究エリアは、コアファンディングが対象としていない分野に重点が置かれている。

15：その他支援プログラム

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 • 地熱発電に対する主な支援措置としては、再生可能エネルギーの発電量に比例した減税措置である生産量税額控除（PTC: Production Tax Credit）や、投資額に応じた法人税の相殺措置である投資税額控除（ITC: Investment Tax Credit）が挙げられる。 • これらの税制措置は法人税を納める黒字企業しか利用できず、当初は赤字をかかえることが多い再生可能エネルギーの事業者には有効ではないといわれている。そこで、master limited partnership と呼ばれるスキームを組み、黒字状態の第三者企業へ税額控除の権利を売却できるようにする試みが行われている。 • 米国で再生可能エネルギーに対する有力な支援策として取り上げられた 1705 条項債務保証プログラム（Section 1705 Loan Guarantee Program）は、技術革新を伴った事業展開を対象としており、残念ながら地熱関連の事業は1件も採択されなかったようである。 • 地熱発電は農業省の農村部に対する補助金事業の対象となるようだが、規模は小さくあまり活用は進んでいないようである。
アイスランド	【National Energy Authority】 • アイスランドには国家エネルギー基金（NEF: the National Energy Fund）があり、資金の拠出元は政府である。主に新しいエリアにおける掘削のリスク保険を目的としたものであり、掘削失敗時に費用の

	80%が補償される。
スイス	【スイス連邦エネルギー庁】 地熱プロジェクトの成功可能性を上げるため、スイス政府、及び州政府が、技術開発、パイロットプロジェクト、実証実験に年間 CHF4-5mil（約 5 億円）拠出している。 プロジェクトの失敗に備えて、CHF150mil（約 150 億円）を確保している。この制度は、開発プロジェクトが失敗した場合にかかるコストの最大 50%を補償するものである。

16 : EGS

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 - 少数の生産井によって広範囲の貯留層を利用できるという点では、EGS は非常に有望な技術と考えている。 - EGS は既存の生産井の蒸気量回復に有効であるため、全米中の既存の発電所において EGS を導入すれば、10GW の出力の増強につながると見込んでいる。ネバダ州デザートピークで ORMAT が実施しているプロジェクトでは、一つの実証井 EGS によって大量の水蒸気を取り出すことに成功し、1.7GW の電力生産に成功した。 【GeothermEX】 - 米国国内でいうと、過去 10 年で実用的な成果をあげたことはないし、近い将来に実用化される可能性は低い。DOE はその成果を誇張しているだけであり、成功したと公言しているネバタの例も 1MW という小規模のものである。 - DOE が予算をつぎ込んでいるものの、注目すべき事例は 1 つもない。 【Calpine】 - Calpine で実施しているのは世間で言う、人工的に亀裂を作る EGS ではなく、既存の貯留層に地中に水を注入するタイプである。 水の注入と地震との関係もモニタリングしている。注入した水によって発生した小規模地震（マグニチュード 4.0 前後）を監視し、それが地中のどこに浸透・貯留しているか推測できる。

17 : 地元理解

米国	【Calpine】 コミュニケーションを厭わないことが最も重要であると考えてい

	る。そのコミュニケーションと通じて、騒音や悪臭等に関する彼らの意見に耳を傾けることが有効である。 • Calpine は月に 1 度、コミュニティのリーダーを対象とした会合を開催し、プラントの運営方針等について説明・議論を行っている。また自治体と密に連携して、説得に当たることも重要であり、必要に応じて自治体のリーダーにも自治体との会合に参加してもらう。 • まずはコミュニティの行事への参加を通じ、メンバーとして認識されることを重要としている。また、Calpine では各コミュニティに分配する予算を年度ごとに用意しており、コミュニティの施設（室内プール等）を建設する際にはその建設費を補助することによって、住民感情に対する配慮に努めている。
アイスランド	【Reykjavik Energy】 • 居住区から離れているため、地元住民からの反対はないが、自然保護団体からの反対はある。 • 但し、レイキャビク市とその周辺に電力だけではなく温水も供給しているので、開発に支障をきたすようなレベルの反対運動は起きていない。
ニュージーランド	【オークランド大学】 • ニュージーランドの地熱発電所は、マオリ族を長期に渡り友好的な関係を築くよう努力してきた。例えば、雇用の創出等の経済的なメリットを明示したり、地熱発電に関する教育の提供等を実施している。 • マオリ族所有の土地において開発を行う場合は、マオリ族と法的に合意する必要がある。

18：技術開発プロジェクト

米国	【米国エネルギー省地熱部局】 • EERE のプロジェクトシート参照のこと
スイス	【スイス連邦エネルギー庁】 ■GEOSIM（地震リスクをシミュレーションするソフトウェアの開発） ■Thermal Spallation Drilling（炎を使って掘削する技術の開発） ■COTHERM（高温貯留層の深度、容量ごとの熱量等の把握） ■GEOBEST（誘発地震のモニタリング、及び警報システムの開発） ■GeoMol - CH（南アルプス等における 3D モデルを活用した地震帯の把握） ■GEOTHERM（革新的なシミュレーション技術を用いた EGS の貯留層

	管理技術の開発)
ニュージーランド	【ビジネス・イノベーション・雇用省】 ■Geothermal Supermodels:integrated modelling tool for geothermal systems ■From Waste to Wealth

19：人材確保

米国	【Calpine】 - Calpine のカイザーで働く人間の平均年齢は 55 歳であり、米国でも新しい世代の人材の確保という問題を抱えている。特に掘削を専門とする人材を雇うことに苦労している。 - 高い給与が得られる、環境配慮型の仕事ができる、自然に囲まれた中で仕事ができる等のポイントをアピールしつつ、フィリピン、南アメリカ等の海外、及び石油業界等の経験者を採用しようとしている。 【ThermaSource】 - 若い世代の雇用は米国でも 1 つの課題となっている。ベテランのメンバーの知識を集約した標準手順書：SOP (Standard Operating Procedure) 等を準備し、若いメンバーへの技術の伝承に努めている。 - GRC (Geothermal Resources Council) でも若手向けの教育プログラムも提供されている。

20：教育について

アイスランド	【Iceland Geosurvey】 - アイスランド国内外にて、国連大学を通じた教育プログラムに参画している。 【National Energy Authority】 - National Energy Authority の知見は主に、レポートにして一般に公開している。また、大学や研究機関に対しては情報共有を積極的に進めている。 - アイスランドには国連大学の地熱プログラムが設置されており、学生、特にケニアや中米等の発展途上国からの学生に対して、探査技術（地質学）、掘削技術、貯留層管理等の様々な領域の教育プログラムを提供している。

ニュージー ランド	【GNS Science】 • 高校等の教育機関には地熱に関する教育プログラムを、また大学では地質科学、地球物理学等に関する研究成果についてアドバイスを実施している。

特筆すべきビジネスモデル、及び技術

No	名称	国
1	ガイザーズ地区における EGS 発電	米国
2	スバルツエンギリソースパークにおける熱水のカスケード利用に基づいたビジネスモデル	アイスランド
3	スバルツエンギリソースパークにおける CRI プラント	
4	Iceland Deep Drilling Project (IDDP)	
5	Carbfix プロジェクト	
6	バイオリアクター	ニュージーランド

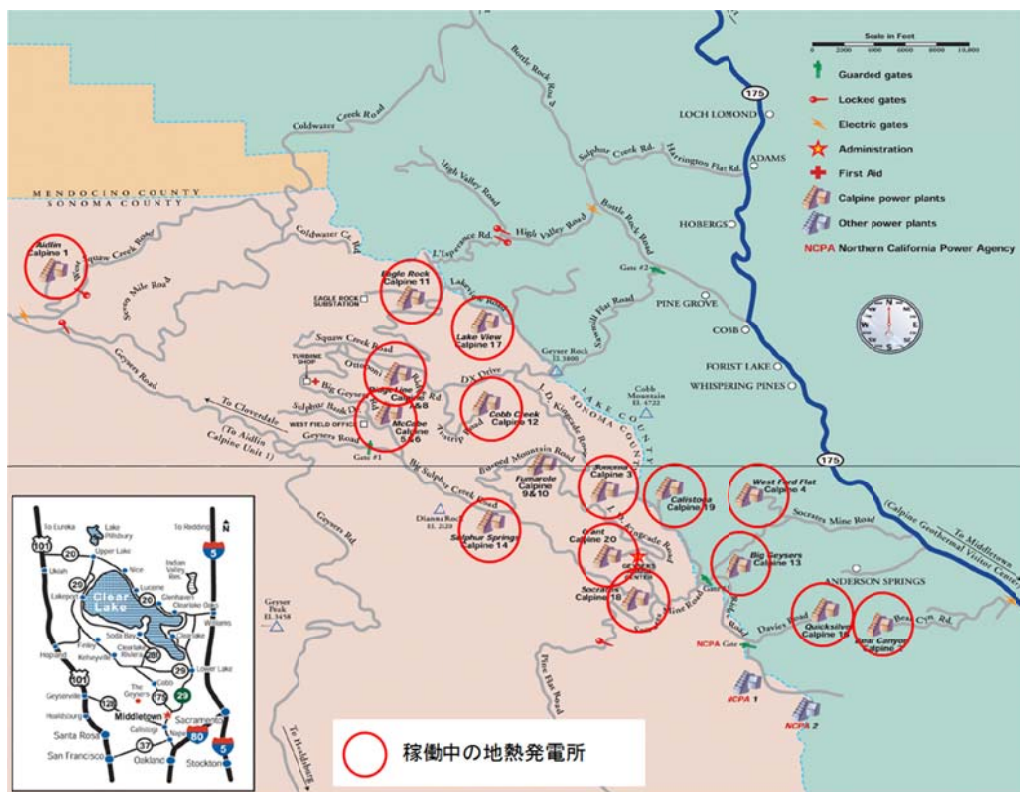
ガイザーズ地区における EGS 発電

【概要】

- ガイザーズ地区はサンフランシスコから北へ 120km ほどのところに位置し、総面積は約 116 km²。
- 独立系発電事業者である Calpine はガイザーズ地区にて、15 箇所の地熱発電所を運営しており、総出力容量は 725MW である。
- 335 本の生産井、53 本の還元井を有しており、最深坑井は 2,590m である。
- ガイザーズ地区における EGS は、人工的に亀裂を作る EGS ではなく、既存の貯留層に地中に水を注入するタイプである。
- 1980 年台から発電量が減少したことを受け、貯留層に注水することとした。
- 注水される水は都市排水が活用され、約 6,000 万リットル/日が注入されている。

【ヒアリングから得られた情報】

- 水の注入と地震との関係もモニタリングしている。注入した水によって発生した小規模地震（マグニチュード 4.0 前後）を監視し、それが地中のどこに浸透・貯留しているか推測できる。
- もし大規模地震が発生した場合は、それはカリフォルニアのサンアンドレアス断層によるものと考えられるが、この断層はカイザーには存在しない。
- 地熱蒸気に含まれる硫化水素を除去し、固形化する設備を保有している。固形化された硫化水素は肥料製造会社に売却している。



(Calpine のホームページの地図を事務局が編集)
 ガイザーズ地区と稼働中の地熱発電所



硫化水素除去装置



固形化された硫化水素

(事務局が撮影)

硫化水素除去装置と固形化された硫化水素

スバルツエンジニアリソースパークにおける熱水のカスケード利用に基づいたビジネスモデル

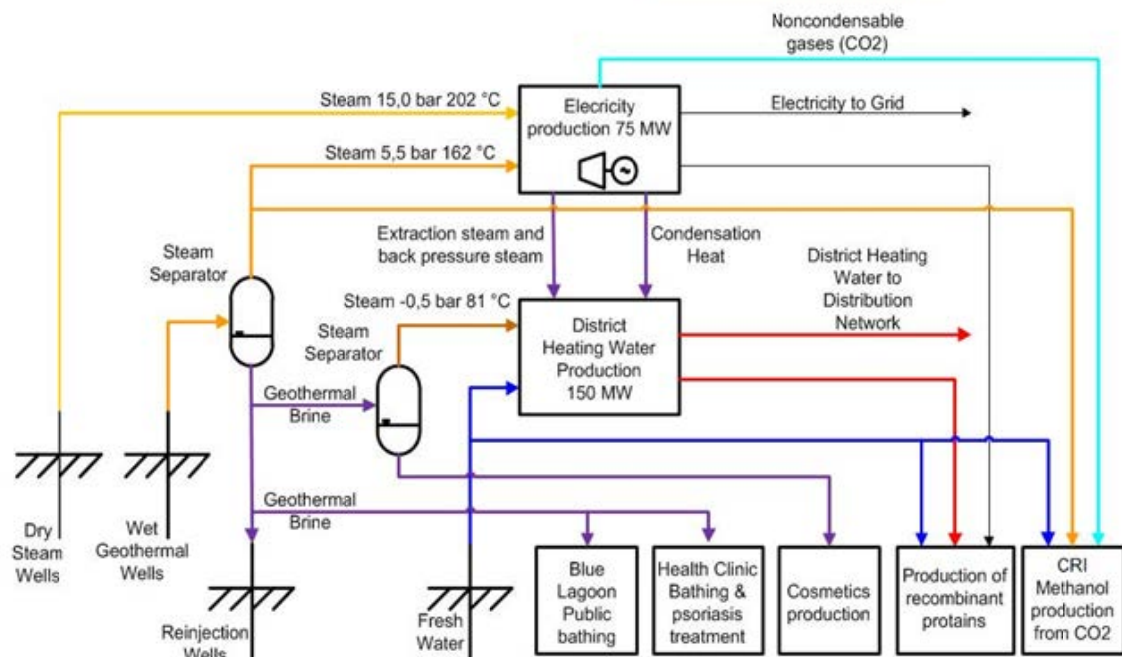
【概要】

- 1976年にHS（現HS Orka社）がアイスランド南西部のスバルツエンジニアに設立した。
- 自然資源の包括的な活用すること、環境、経済、社会の面で持続的な発展を成し遂げること、技術的、及び社会的文化のつなぎ役となること、永続的に続くこと、をキーコンセプトとしている。
- 主に以下の設備を構成要素としている。
 - 地熱発電所
 - スキンケア製品の研究開発
 - 教育センター
 - CRIプラント（後述）
 - ブルーラグーン（スパ）
 - 皮膚病に特化した病院
 - 分子農業
 - ホテル
- スバルツエンジニアリソースパークと同様のコンセプトで運用されているレイキャースリソースパークでは、養殖場、養殖魚の処理工場が併設されている。
- 従業員数はスバルツエンジニアリソースパークだけで約300名。

【ヒアリングから得られた情報】

- スバルツエンジニア地熱発電所は単なる発電所ではなく、「リソースパーク」というコンセプトに基づいて、地熱エネルギーのカスケード利用が行われている。
- このリソースパークにおける熱水は、地熱発電の他、ブルーラグーンと呼ばれる複合型温泉施設における熱水利用、地域暖房、温泉成分を利用したクリニック、藻類やヒラメの養殖、メタノールの生産等に使われている。
- これら全てから収益が上がっている。正確な数字は不明であるが、収益の殆どは発電と熱水供給によるものである。

Resource Park Svartsengi



(HS Orka からの受領資料)

スバルツエンジニアリングソースパークの熱水のカスケード利用に基づいたビジネスモデル概要



(HS Orka からの受領資料を事務局が編集)

スバルツエンジニアリングソースパークの設備の一例

スバルツエンジニアリソースパークにおける CRI プラント

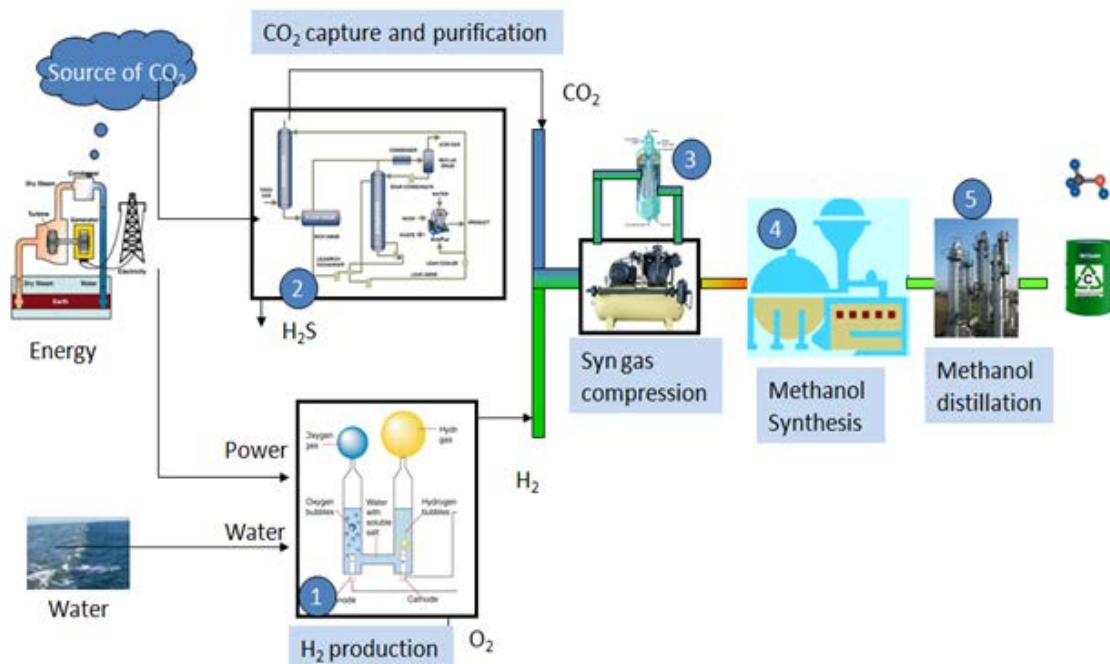
【概要】

- スバルツエンジニア地熱発電所から排出される二酸化炭素と水分解によって生成した水素によってメタノールを製造する装置である。
- 水分解に必要な電力はスバルツエンジニア地熱発電所から供給される。
- 建設費は約 8 百万ドルであり、2009 年に建設を開始し、2012 年に稼働を開始した。
- 産業部門からの二酸化炭素からメタノールを製造する技術を提供している Carbon Recycling International 社が所有し、HS Orka が共同運用している。

【ヒアリングから得られた情報】

- 年間 5 百万リットルのメタノールを生成することが期待されている。
- 生成されたメタノールの売り込みを開始した段階にあり、オランダの企業と契約を締結した。
- 来年の始めよりアイスランドにおいてもガソリンとメタノールの混合が認められるため、現在生産を拡大している。
- プラント自体は小規模でコスト競争力は低いものの、このプラントはおそらく世界に 1 つしかない技術である。
- 生成されるメタノールもグリーンメタノールという付加価値を付けて販売可能と考えており、特に再生可能燃料の導入を進めているヨーロッパ本土への輸出を検討している。

CRI Methanol Plant



(HS Orka からの受領資料)

Iceland Deep Drilling Project (IDDP)

【概要】

- 2000年に3つの電力企業、HS社(現 HS Orka 社)、Landsvirkjun 社、Reykjavik Energy 社の共同プロジェクトとして開始された。実際の掘削はクラブラにて 2009 年に着工された (IDDP-1)。
- 中央海嶺のプレートにおける 400-600℃の地熱資源利用の経済的妥当性を検証するため、地下 4-5km まで掘削するプロジェクトである。
- IDDP-1 の坑口の温度は最高で 450℃、密閉圧力は最大で 145bar、エンタルピーは 3,200KJkg⁻¹ にまで到達し、最大で 36MW 規模の発電所が建設可能とされている。
- 現在 2 本目の掘削となる IDDP-2 (深度：～3.5km) の準備がレイキャネースにて進められている。

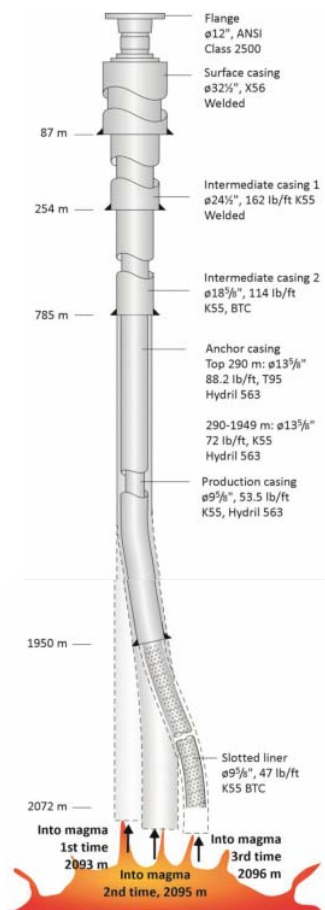
【ヒアリングから得られた情報】

<Landsvirkjun>

- 従来の掘削からは流体流量が 10kg/s である場合、5kg の熱水と 5kg の蒸気 (180℃) である。IDDP では、同じ条件で 2.5kg の熱水と 12.5kg の蒸気を得ることができている。

<National Energy Authority>

- 大深度の地熱エネルギー利用を目指した研究開発である Deep Drilling プロジェクトには政府が融資を行っており、NEA は融資を受けているプロジェクトの監督機関である。
- この Deep Drilling プロジェクトの初期の実験結果としては、当初深度 5km で目標としていた温度には深度 2km で到達したものの、圧力は不十分なものであり、超高温流体のエネルギー密度が期待していたものより低かったことや、その取り扱いが難しいことなど色々と課題が残されている。このプロジェクトを継続するかどうかは参加企業が検討中であるが、資金面からみて否定的な声が多くなっているようである。



(IDDP 公表のレポート)

IDDP-1 の概要

Carbfix プロジェクト

【概要】

- Reykjavik Energy、アイスランド大学、コロンビア大学、フランス国立科学研究センターの共同プロジェクトとして 2007 年に開始された。現在はこの 4 組織に加え、コペンハーゲン大学、Amphos 21 が参加している。
- 目的は、産業部門から排出される二酸化炭素を水に溶かし、地中（400－800m）に注入することで、玄武岩質岩に閉じ込める技術を開発することである。
- Reykjavik Energy が所有するヘトリスヘイジ地熱発電所で実証実験が実施された。本発電所では、蒸気と分類された熱水を地中に還元しており、年間 40,000 トンの二酸化炭素を排出している。この二酸化炭素と還元水を利用して、実証実験がなされた。

【ヒアリングから得られた情報】

- 地熱蒸気に含まれる CO₂ と硫化水素を抽出し、水と一緒に地中に戻すプロジェクトであるが、実証実験は完了しており、理論上は成功することが証明されている。
- 但し、硫化水素と CO₂ を分離する技術をコストに見合う形で導入できていないため、フルスケールのプラントの建設までは至っていない。
- 硫化水素については近々強化される環境規制に対応するために必要になると考えられるが、排気の 65%を占める CO₂ については今のところコストをかけてまで分離・回収するインセンティブはない。純粋な CO₂ については、地中に戻さずにグリーンハウス向けに販売することも可能かと思うが、今のところ需要はない。
- アイスランドでは貯留層には十分過ぎる水分が含まれているため、貯留層を回復させるために米国で検討されている CO₂ の地中注入の必要性はない。

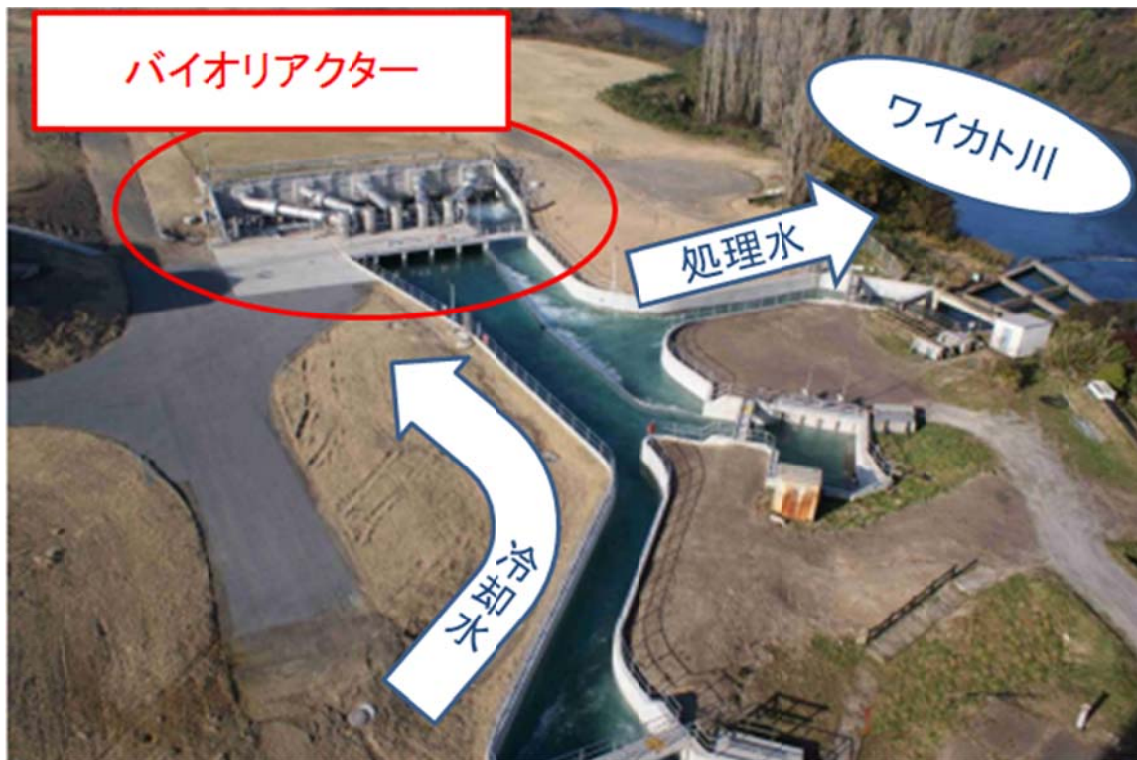
バイオリアクター

【概要】

- 従来はワイラケイ発電所では、ワイカト川の水を冷却に使用しており、冷却の過程で硫化水素を含有した水を川に直接戻していた。この冷却水に含まれる硫化水素をバクテリアによって分解するのが本装置である。
- 2001 年にその構想が開始され、2012 年 8 月に完成した。建設費は約 3,000 万 NZ ドル（約 25 億円）であった。
- 冷却水は本装置に入ってから約 4 分間でワイカト川に放水される。
- 最大で 17 m³/秒（13,000 リットル）の水量を処理することができ、156MW の発電能力を持つ当発電所の排水処理に十分な処理能力である。

【ヒアリングから得られた情報】

- バイオリアクターはサッカー場ほどの大きさとなっているが、この中では排水を通す非常に長いパイプが何重にも折り曲げられており、枝状に形成されるバクテリアのコロニーが大量に繁殖したパイプの中を排水がゆっくりと流れることにより、硫化水素の濃度が徐々に下がっていくという仕組みとなっている。
- バクテリアは自然界に生息するもので、環境を整えれば勝手に増殖する。バクテリアの働きを最適化するためには、水温（約 30℃が適温）と水流の管理がもっとも重要である。
- バイオリアクターは蒸気に含まれる硫化水素の処理にも応用することができる。表面積が多くバクテリアの生息環境として適している松の木の樹皮を内包する装置を排気口に装着することで、排出する蒸気の中の含まれる硫化水素を低減することができる。ただし、ガスが高温（約 60℃）になるとバクテリアは死滅してしまうので、排気を適切な温度まで下げた上で装置を通すことが重要である。



(Contact Energy アニュアルレポートを事務局が編集)

Japanese delegation visiting Svartsengi Resource Park October 30th 2013

Resource Parks

Albert Albertsson
Dep. CEO



HS Orka hf

- Predecessor of HS Orka founded in 1974
- 60 employees
- Svartsengi Power Plant, 1976
 - 75MW_e and 150MW_{th}
- Reykjanes Power Plant, 2006
 - 100MW_e
 - Plans for expansion to 180MW_e



The Resource Park Concept consist of four topics

- Integrated usages of a variety of subjective and objective resources of different nature.
- The Resource Park is to equally accentuate ecological balance, economic prosperity and social progress, doing so it fully supports the sustainable development in society as defined by the Brundtland commission.
- The Resource Park is to bridge different technical and social cultures
- The inherent time scale of the Resource Park activities spans centuries.



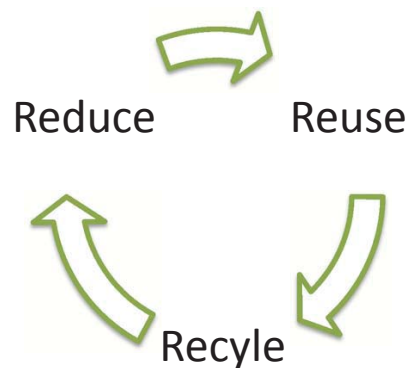
Resource Park Concept

- Society without waste
- Goals
 - Ecological balance
 - Economic prosperity
 - Social progress



Ecological balance

- Minimizing effects on the ecosystem
- Highest possible efficiency in harvesting local resources
- “One man’s waste is another man’s resource”
- Responsible disposal of waste



Economic prosperity

- Creation of jobs for various disciplines
 - Harnessing geothermal resources
 - Energy Production
 - Geothermal chemicals
 - Fish Drying
 - Fish Farming
 - R&D
 - Tourism
 - Education and training
 - Integration of geothermal and bio industries



Social progress

- A center for innovation, development and education
- Creating exciting new job opportunities for the local community
- Environmental awareness
- Sustainable community



Current activities and jobs

- Water work, district heating, electricity, supply of: geothermal steam, geothermal brine, geothermal condensate and geothermal CO₂
- Service rendered to: fish farms, fish drying facilities, methanol production plant, molecular farming facility, geothermal spa, geothermal clinic, algae farm, mineral extraction facility, educative tourism, schools and research institutions by transfer of technology and knowhow and more
- A conventional power plant has only one revenue stream generated by electricity. The Resource Park has multiple revenue streams resulting in distributed risk.
- Today the resource park in Svartsengi employs around 300 people and the park at Reykjanes employs around 55 people. Stolt fish farm in full production employs around 85 people. Total around 300+55+80= 435 employees
- Multiple interdisciplinary activities of the resource parks entail innovation and new specialized products.
- Interdisciplinary research and development for over 4 m USD per year.

Next steps

- Investigate further opportunities for the expansion of the resource parks
- Approach companies with business ideas that align with the Resource Park concept
- Planning and installation of necessary utilities for future Resource park projects



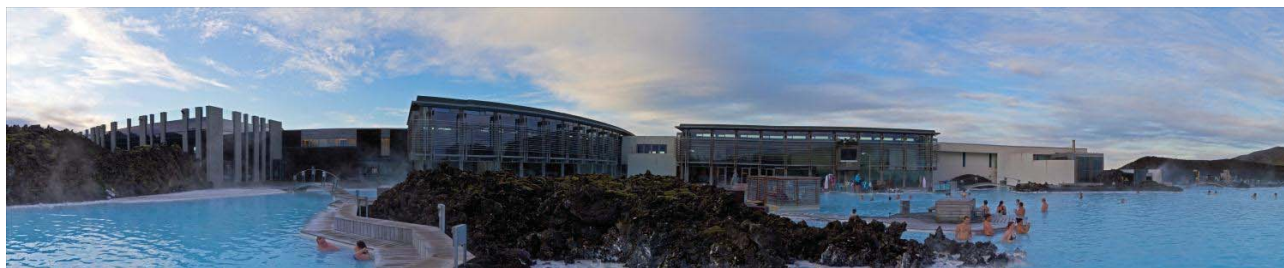
Conclusions

- The Resource Park Concept has proofed to be successful for treading the bumpy road of supporting sustainable development in the local society.
- It is unwise to look at the geothermal resource as a sole source of energy/enthalpy/power.
- Innovative thinking, research and development, interdisciplinary cooperation of different entities and entrepreneurial spirit are vital components of an active Resource Park.
- Commercially the multiple revenue streams generated in the Park and distributed financial risk is of great importance.
- Do what you can with what you have where you are.
- If you can dream it, you can do it.
- Nothing ages faster than the future.

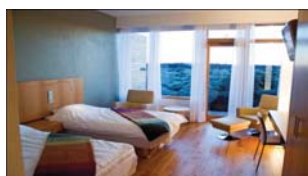
Svartsengi Power Plant – Blue Lagoon – Hotel Northern Light Inn



Blue Lagoon facilities



Blue Lagoon Health Clinic



Blue Lagoon development center



Novel bacteria types

Microbial diversity studies based on DNA molecular analysis show that 60% of different bacterial types found in the Blue Lagoon are novel species.

The most characteristic micro-organisms found in the Blue Lagoon are;

Blue Lagoon coccoid algae
Blue Lagoon filamentous algae
Silicium bacter lacuslarulensis



Blue Lagoon

Anti-aging and skin barrier function

BLUE LAGOON ACTIVES	PROPERTIES	EFFECTS
Silica	⇒ Improves the skin barrier function	⇒ Skin repair – skin protection
Coccoid algae	⇒ Protection of uv-induced collagen degradation	⇒ Skin anti-aging – diminishes wrinkle appearance
Filamentous algae	⇒ Stimulates production of collagen	⇒ Skin rejuvenation – diminishes wrinkle appearance

Clinical research – healing power



71 year old man from the Faeroe Islands. 2 years history of psoriasis.

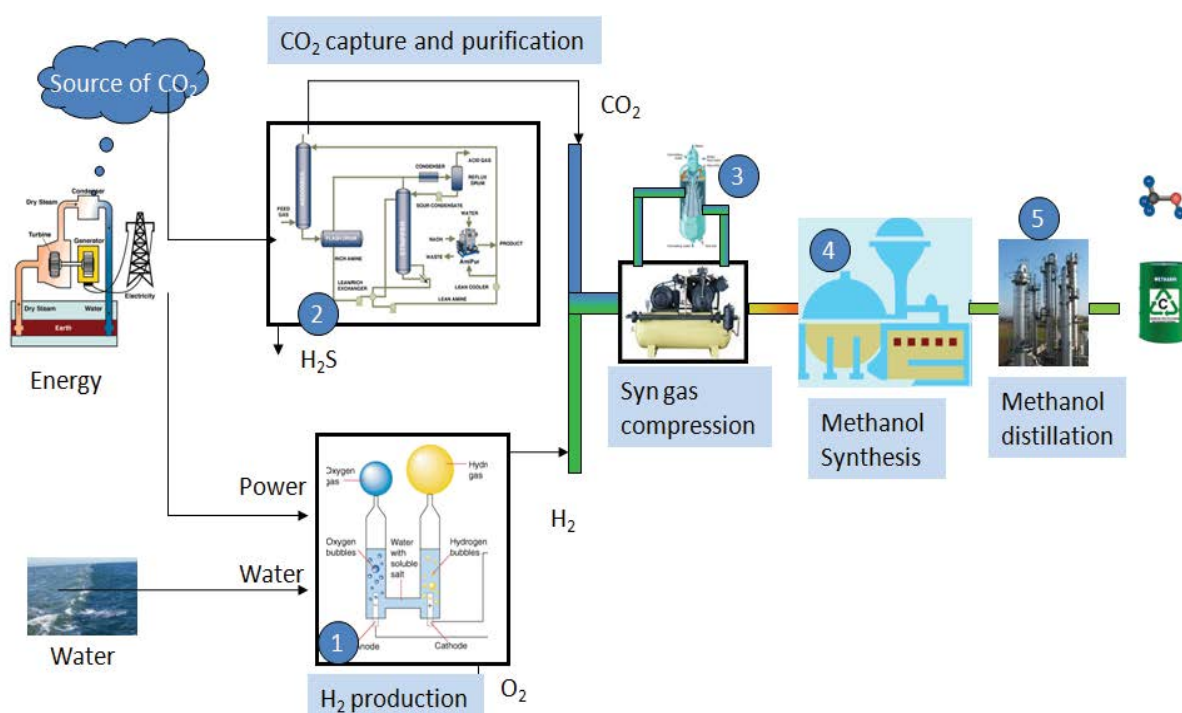


4 weeks treatment at Blue Lagoon Medical Clinic.

CRI Methanol Plant



CRI Methanol Plant



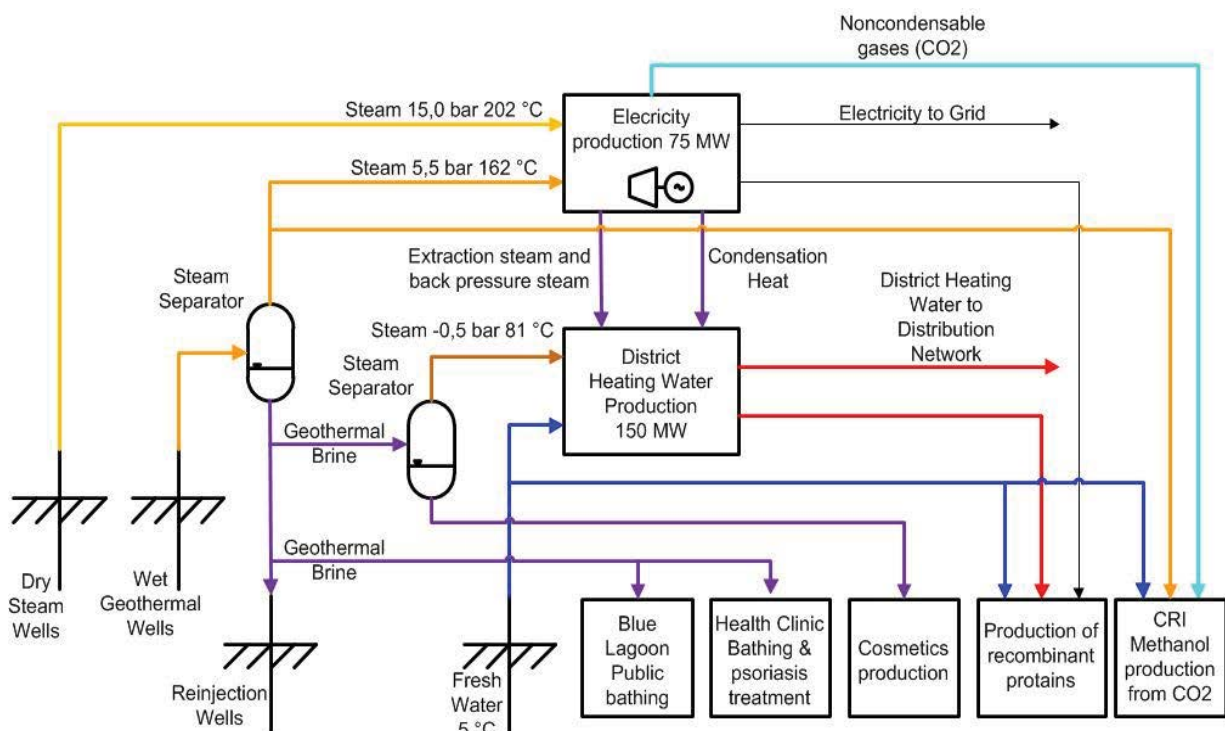
ORF's green house growing barley

By gene manipulation specific human proteins are produced in the barley seeds.

- From HS: hot water, ground water, and power



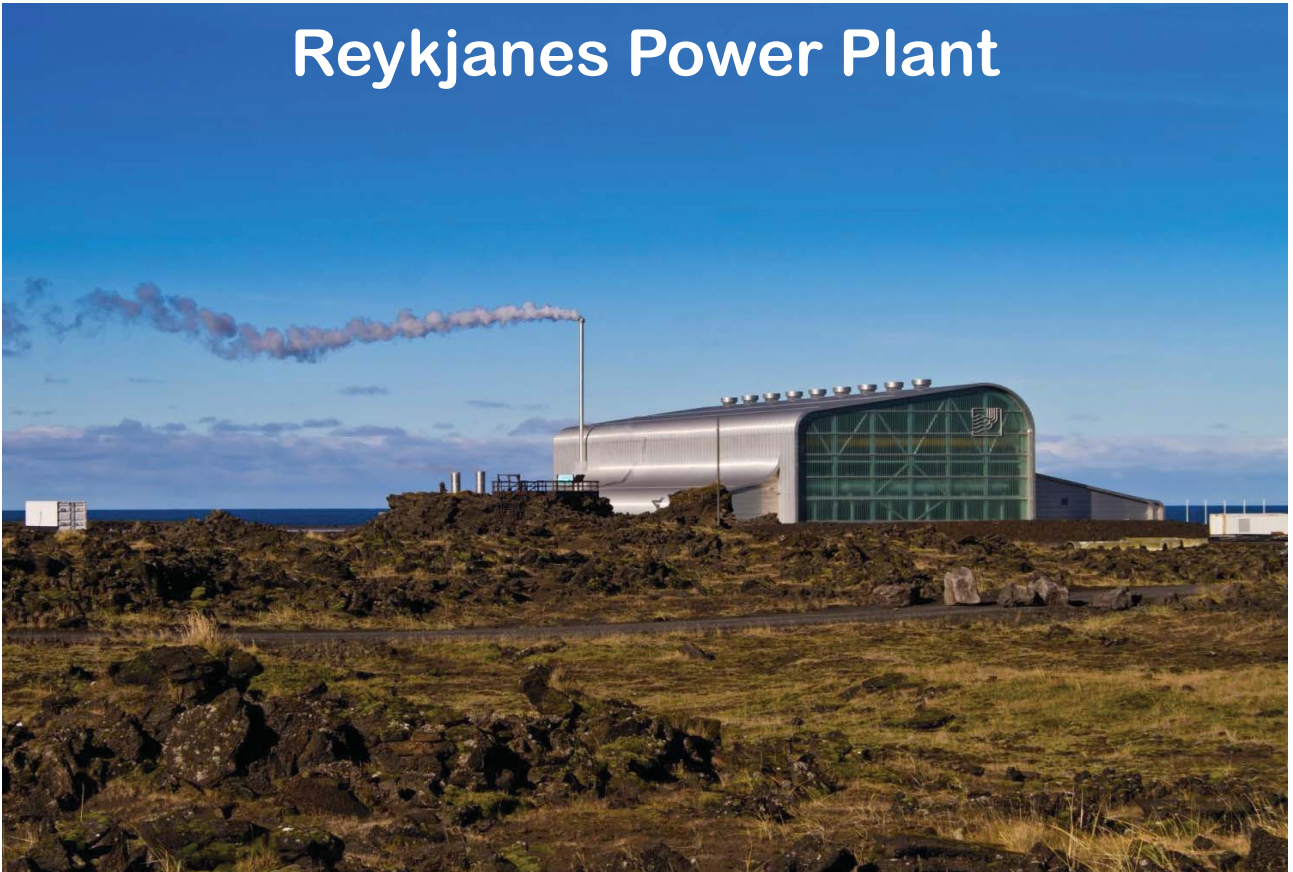
Resource Park Svartsengi





HS Orka hf
hsorka.is

Reykjanes Power Plant

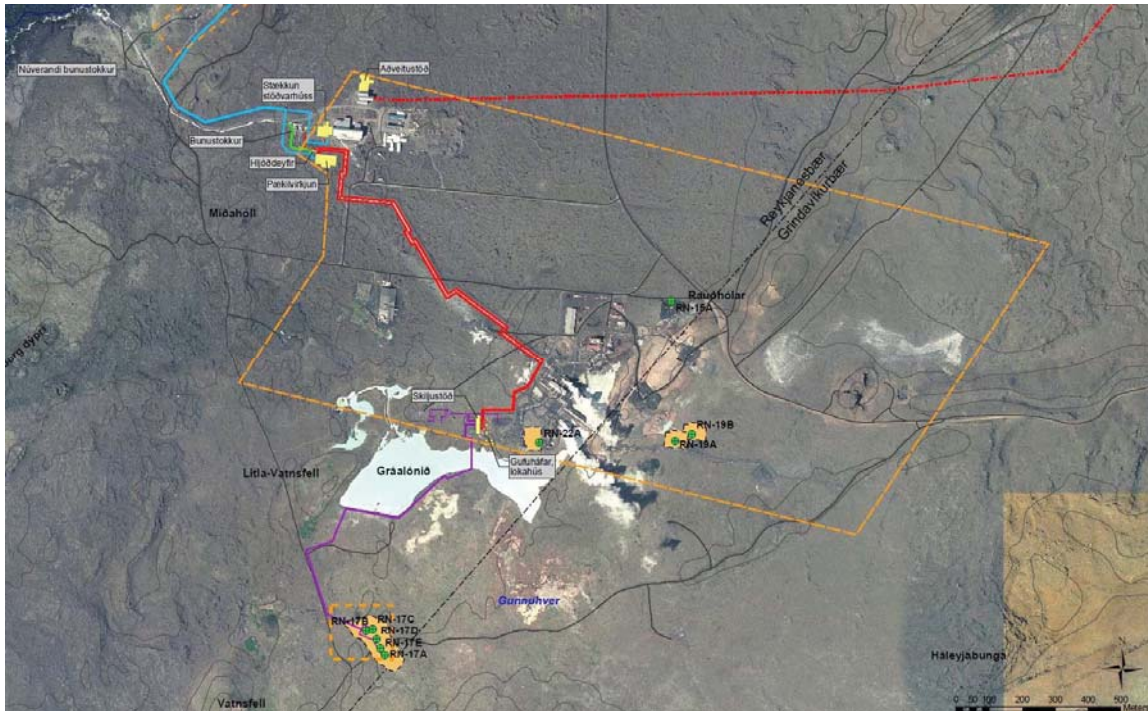


HS Orka hf
hsorka.is

Reykjanes Power Plant



Reykjanes Power Plant



Reykjanes Power Plant

- Commissioned in 2006
- Current setup 100 MW_e
- Planned expansion to 180MW_e
- Main design challenges:
Scaling and corrosion
due to combination of
high salinity and
temperatures above
300°C



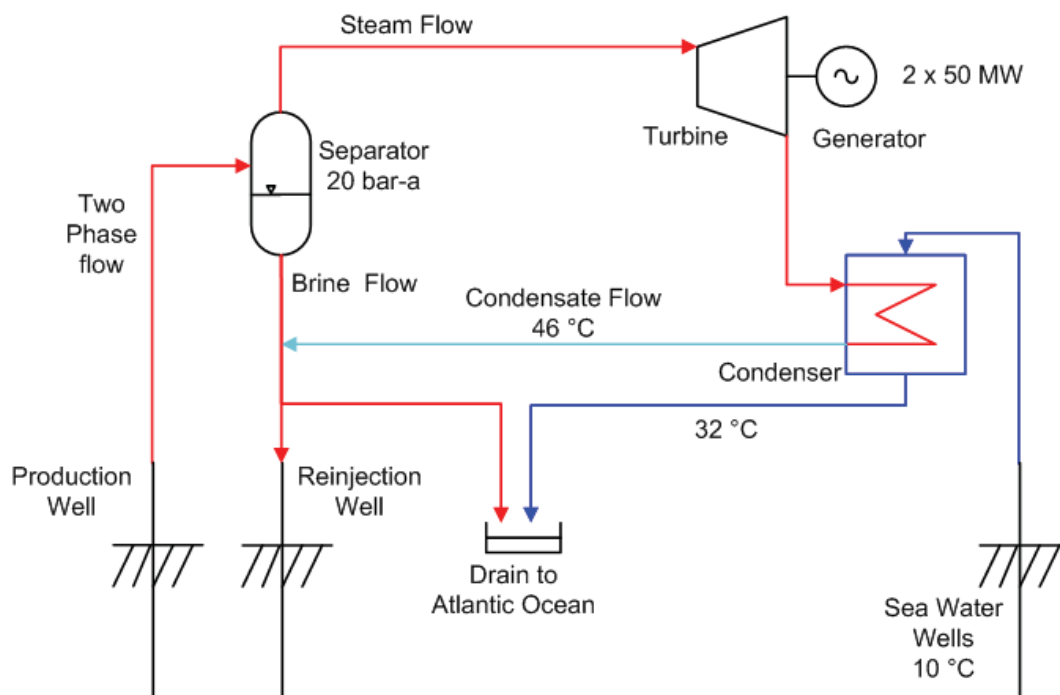


Power Plant overview

- 2 x 50 MW_e Double Flow Turbines
 - Inlet pressure 19 bar-a, 210 °C
- 2 x 2000 l/s Shell and tube condensers, lava filtered sea water from wells 5-8 °C
- 2 x Separators, Silencers, Steam and Sea Water Valves, Electrical and Control Equipment.
- Outflow to sea is joint for both systems through a canal called „bunustokkur“



Power Plant overview



Reykjanes, sea water facility



Fish farming

- Stolt Sea Farm
 - High-tech aquaculture company
 - Production of Sole Senegalensis
- 70 employees on site
- 70 other in derived jobs
- 15% with graduate degrees
- Today in operation



Holistic fish processing

- Haustak
 - Dried fish (Chowder fish)
 - R&D
 - Cod liver oil
 - Fish meal
- Háteigur
 - Dried fish
- Total of 48 employees



Reykjanes Resource Park:
an integrated biological-geothermal park.
**Sustainable fish feed, clean fish, protein,
enzymes, fish liver oil, algae, sea vegetation**
**Geothermal vents in the oceans an important
part of the ecosystem of the planet.**



Sustainable fish feed

- Long term, fish farms can't feed fish on fish.
- Sustainable fish feed has to be developed.
- Today the crucial know how to develop sustainable fish feed possibly exists in the Resource Parks at Reykjanes and Svartsengi: ORF's genetic proficiency, fish processing expertise, fish farming expertise etc.

Reykjanes

- Under water picture at the out flow into to the Atlantic Ocean– algae – fluid at 55-60 C° at discharge point



Innovative production in development

- Codland – *Value from Waste*
- Enzymes derived from cod
 - Cosmetics
 - Health product
- Cod liver oil
 - Health products rich in omega 3 and 6
- Fish meal
 - Protein
 - High quality fertilizer



Other possibilities

- Metal and material extraction from the geothermal brine
 - Rich in gold, silver and other precious metals
- Gas extraction from geothermal fluid
 - CO₂ and other gases
- Tourism
 - Power Plant Earth exhibition
 - Geothermal heated sea bathing combined with northern lights, winter darkness or 24h summer daylight
 - Hiking and more



The mission statement of HS Orka hf

- Harness renewable geo-resources in a sustainable way
- The Resource Park concept is the tool to attain the goal

Citations - The visionary mindset of a leader

- Do what you can with what you have where you are. *(Theodore Roosevelt)*
- If you can dream it, you can do it. *(Walt Disney)*
- There is a better way, find it. *(Edison)*
- You see things and you say why? But I dream things that never were and say why not? *(George Bernhard Shaw)*
- Neither a man ("company") nor nation can exist without a sublime idea. *(Dostoevsky)*
- Taking a new step, uttering a new word, is what people fear most. *(Dostoevsky)*
- *Read the Nature, Be Alive to the wonderful mechanism of Nature*
(Albert Louis Robinson).
- *Miracle Earth supplies all of us with objective subjects that our everyday life needs today and in the future* *(Albert Louis Robinson) .*
- Getting together is a start, staying together is progress, working together is success. *(Henry Ford (1863-1947))*

