

(1)技術開発概要

①【技術開発の概要・目的】

- ・地上より坑井に循環水溶液(淡水)を注水して地下の熱を吸収させ熱水とし、その熱水から取得した蒸気により発電を行う、新たな地熱発電方式となる「熱水循環型発電」の実証を目的とする。
- ・本技術の実証・実用化により、従来のフラッシュ型発電方式の課題となる、①熱水供給量不足、②熱水の水質(強酸・強アルカリ)、③温泉組合からの反対などの課題を解決することで事業リスクを低減し、地熱開発の促進、総発電量の増加に寄与する。
- ・本技術の開発有望地域を抽出し、成果として広く公表する。これは地熱発電事業に参画する事業者に、技術的・社会的リスクを低減する新技術・地点選定機会を提供することで、わが国のCO2排出削減、地球温暖化対策に貢献するものである。

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1.【地上循環設備の設計・製作】

循環水の熱交換効率を評価するパラメータを確認して、安全性を確保した設備を設計・製作する。地上循環設備の概念設計、実証試験の特性にあわせた詳細設計は完了している。詳細設計内容に基づき、地上循環設備本体の製作をした後、検討会にて委員の皆様からコメントを受け、コメント箇所について改良を実施した。

A2.【坑内循環設備の設計・設置】

深度500mで掘削した坑井内に、岩盤と循環水を遮断する外側の配管と内側の内管の二重管を設置する。実証試験場所まで資機材を搬入する工事用道路の整備を行い、櫓設置などの掘削準備を経て、計画通り深度500mまで掘削が完了した。

A3.【熱水循環実証試験(単一坑)の設計と実施】

坑内循環設備(単一坑)に循環水を注入し、効率的に熱交換ができる各パラメータ(流量・温度)を確認する。試験を行うにあたっては、A1.の地上循環設備とA2.の坑内循環設備を利用する。試験設計は文献から推定した実証地点の地熱特性を利用して、試験の前に行う。また、試験前解析の確度向上を目的として、坑内循環設備のために掘削する井戸から得られる実証試験地の地下温度データも利用し、試験前解析を行う。これらの解析結果から立案した試験設計を用いて循環実証試験を実施した。

B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

わが国の地熱特性の多様性を鑑み、実証研究では制御可能な複数パラメータを用いて地上循環設備・坑内循環設備で構成される全体システムの実証試験を行う。実証試験により得たデータから、本技術が適用可能な地熱特性の科学技術指標を作成する。それにより、わが国での事業性評価(有望地点選定評価)を行い、本技術の普及・促進を推進する。

③【システム構成】

- ・熱水循環型発電は、地上から送った水(循環水)により地下の熱を取得し、その熱を利用して発生する蒸気でタービンを動かし発電を行う。この発電方式は、循環水の入口流量と温度、タービン入口の圧力・温度、タービン出口の圧力・温度の制御が可能である。
- ・循環水は地上循環設備→坑内循環設備(二重管外管と内管の間)を下降→坑井最深部に到達・循環水温度上昇→坑内循環設備(二重管内管内側)を上昇→地上循環設備の順に循環する。(図1)
- ・地点の地熱特性に応じて、熱交換に最適な「坑内循環設備(二重管)」を設計・設置し、蒸気の取得に最適な制御パラメータを設定する「地上循環設備」を設計・製作し、「熱水循環型発電」の実証を行う。

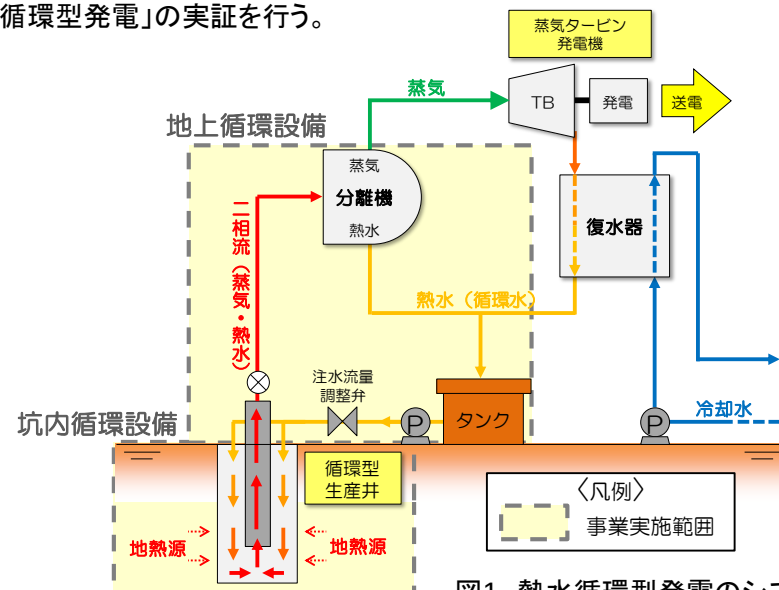


図1 熱水循環型発電のシステム構成

④【技術開発の目標・リスク】

- 想定ユーザ・利用価値: 従来型(フラッシュ型地熱発電)の技術的・社会的な理由による事業中止リスクを解消したい事業者。
- 目標となる仕様及び性能: 地熱発電の事業化を試みる事業者に、従来型(フラッシュ型)の適用のみならず、本技術(熱水循環型)の適用可能性を示すことで、地熱開発・発電事業の普及・促進を目指す。
- 開発工程のリスク・対応策: 実証試験周辺の温泉事業者、試験内容を丁寧に説明して理解を得ることで、試験への反対が起きるリスクを低減している。さらに、実証試験中は近隣の温泉事業の源泉で温泉モニタリングを行い、実証試験の影響がないことを確認しながら実施している。また、万一の事態の補償対応に備えて、民間の補償保険にも加入している。

(2) 技術開発計画

①【実施体制】

技術開発代表者

株式会社大林組
副部長 田中 達也

要素技術担当者①
地上設備の設計(H28)

株式会社大林組
主任 長井 千明

【過去の業績】
100度を超える循環水を対象とした
地上設備の設計実績あり。

要素技術担当者②
坑内循環設備設計(H28)

株式会社大林組
主任 名雪 利典

【過去の業績】
坑底温度200度を超える地熱調査井
の掘削、坑内試験、設備設置の計画・
監理の実績あり。

要素技術担当者③
熱水循環実証試験(単一坑)の設計(H28)

株式会社大林組
副部長 田中 達也

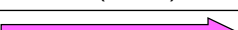
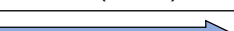
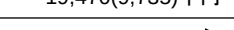
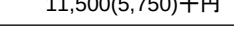
【過去の業績】
循環型発電システムの数値シミュレ
ーション、システム設計の実績あり。
坑井の掘削、各種試験の計画、監理
の実績あり。

要素技術担当者④
事業性の予備評価(H28)

株式会社大林組
副部長 吉川 宏

【過去の業績】
地熱開発に関する事業性評価実績
多数あり。

②【実施スケジュール】

実施内容	平成29年度	平成30年度
平成29年度 実施内容① (1) 地上循環設備の組立・設置	 32,570(16,285)千円	
平成29年度 実施内容② (2) 坑内循環設備の設計・設置	 150,670(75,335)千円	
平成29年度 実施内容③ (3) 単一坑・熱水循環実証試験の設計・実施	 56,760(28,380)千円	
平成29年度 実施内容④ (4) 実証試験結果に基づく事業性予備評価	 8,000千円	
平成30年度 実施内容① (5) 並列二坑を利用した熱水循環実証試験の計画と実施		 169,030(84,515)千円
平成30年度 実施内容② (6) 循環試験による地下温度影響評価		 19,470(9,735)千円
平成30年度 実施内容③ (7) 地熱源へ与える影響評価手法確立の検討		 11,500(5,750)千円
平成30年度 実施内容④ (8) 熱水循環型発電の事業性評価		 17,000千円

■ 補助事業主体 ■ 委託事業主体

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

- ・ 2017年度に、循環型地熱発電方式を用いた熱交換・蒸気取得の実証・実現
- ・ 2018年度に、複数坑井を用いた定常発電運転の実証・実現
- ・ 2020年度に、循環型地熱発電方式における300kW定常発電運転の実現

○事業展開における普及の見込み

年度	2020	2022	2025	2030
目標 設置容量	0.3MW	0.3MW	8MW =1MW×8地区	10MW =1MW×10地区
シナリオ	当社 開発計画	当社 開発計画	国内有望地 (当社調べ)17地区 のうち50% (当社0.3MW含む)	事業者・開発有望 地の拡大に伴い、 事業化普及
総設置 容量	0.3MW	0.3MW	8MW	18MW

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・ 地熱発電事業者の開発リスクを低減するために、国の補助事業で「熱水循環型発電」を対象として採用することが必要

④【エネルギー起源CO2削減効果】

熱水循環型発電1MW当たりのCO2削減量(t-CO2/MW・年)				5,501
年度	2020	2022	2025	2030
CO2削減量 (t-CO2/年)	1,650	1,650	44,010	99,023
累積CO2削減量 (t-CO2/年)	1,650	4,950	52,260	327,323
CO2削減コスト (円/t-CO2)	—	49,495	4,688	748

<算定根拠(発電容量1MW当たり)>

熱水循環型地熱発電による発電量: 1MW

熱水循環型地熱発電により削減できる発電機1MW: 燃料A重油: 0.232t/h

“燃料使用による二酸化炭素排出量

= 燃料使用量 × 単位発熱量 × 排出係数 × 44/12”

0.232t/h × 39.1GJ/kl × 0.0189 tC/GJ × 44/12 = 0.628t/h

0.628 t/h × 24h × 356日 = 5501.28t/年

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- ・循環水の熱交換効率を左右するパラメータ(循環流量・入口温度等)を評価可能なシステムを構築した。
- ・循環水の熱交換効率を左右するパラメータを評価可能なシステムを構築した。
- ・試験地点の地熱特性を反映した循環熱水の温度の非定常変化の特性曲線、蒸気量の計画・予測手法を検証した。
- ・複数の試験条件で実施した数値シミュレーション結果と熱水循環試験結果を踏まえて、地熱特性と熱交換量を評価する技術指標を設定した。
- ・複数の坑内循環設備を用いた熱水循環試験を計画・実施してシステムの評価を行った。
- ・観測坑を用いて地下の温度を連続的に把握して周辺の影響評価を行った。
- ・熱水循環型発電が、周囲の温泉へ与える影響を評価した。
- ・熱水循環型発電が適用できる指標と開発有望地点を示した。

②【CO2削減効果】

- ・事業終了後、2020年、2022年、2030年の段階で期待されるCO2削減効果について示す。

○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン C, I)

- ・規模:熱水循環型発電による発電量0.3MW/地区×1地区
- ・発電量1MWの削減効果:発電機1MWあたり燃料A重油0.232t/h
- ・燃料使用によるCO2排出量:燃料使用量×単位発熱量×排出係数×44/12"
 $=0.232\text{t/h} \times 39.1\text{GJ/kl} \times 0.0189\text{tC/GJ} \times 44/12=0.628\text{t/h}$
- ・2020年度に期待される最大普及量:0.3MW×1地区=0.3MW
- ・年間CO2削減量:1,650万t/年-CO2(0.3MW×0.628 t/h×24h×365日=1,650t/年)

○2022年時点の削減効果 (試算方法パターン C, I)

- ・規模:熱水循環型発電による発電量0.3MW/地区×1地区
- ・発電量1MWの削減効果:発電機1MWあたり燃料A重油0.232t/h
- ・燃料使用によるCO2排出量:燃料使用量×単位発熱量×排出係数×44/12"
 $=0.232\text{t/h} \times 39.1\text{GJ/kl} \times 0.0189\text{tC/GJ} \times 44/12=0.628\text{t/h}$
- ・2022年度に期待される最大普及量:0.3MW×1地区=0.3MW
- ・年間CO2削減量:1,650万t/年-CO2(0.3MW×0.628 t/h×24h×365日=1,650t/年)

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン C, I)

- ・規模:熱水循環型発電による発電量1MW/地区×10地区
- ・発電量1MWの削減効果:発電機1MWあたり燃料A重油0.232t/h
- ・燃料使用によるCO2排出量:燃料使用量×単位発熱量×排出係数×44/12"
 $=0.232\text{t/h} \times 39.1\text{GJ/kl} \times 0.0189\text{tC/GJ} \times 44/12=0.628\text{t/h}$
- ・2030年度に期待される最大普及量:8MW+1MW×10地区=18MW
- ・年間CO2削減量:99,023万t/年-CO2(18MW×0.628 t/h×24h×365日=99,023t/年)

③【成果発表状況】

■日本地熱学会 平成30年学術講演会(東京大会)

日時:平成30年11月15日(木)

場所:北とぴあ(東京都北区) C会場(7階 第二研修室)

【発表内容】

熱水循環型発電の実証試験その1 -実証試験場所の調査結果-
上原 志穂・長井 千明・田中 達也・安藤 賢一(大林組)
海江田 秀志(電中研)・盛田 耕二(産総研)

熱水循環型発電の実証試験その2 -試験結果と解析-
長井 千明・上原 志穂・田中 達也・安藤 賢一(大林組)
海江田 秀志(電中研)・盛田 耕二(産総研)

熱水循環型発電の実証試験その3 -別府北部域貯留層シミュレーション-
井上 兼人(地熱解析)・渡辺 公雄(リナジス)
田中 達也・長井 千明・上原 志穂・戸田 亜希子(大林組)

■大分合同新聞 平成30年3月10日朝刊にて「熱水循環型」の実証研究 紹介

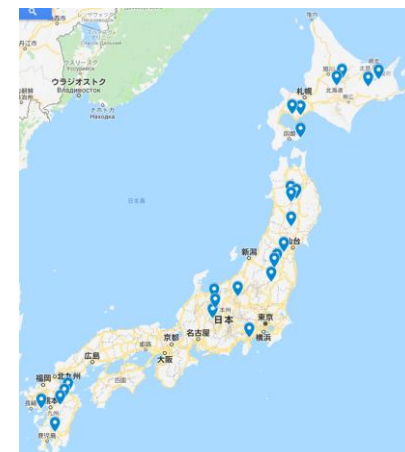
○技術開発成果を踏まえた事業化のシナリオ

- ・2017年度に、単一坑を用いた熱交換・蒸気取得の実証・実現
- ・2018年度に、複数坑井を用いた熱交換・蒸気取得の実証・実現
- ・2022年度に、循環型地熱発電方式の開発地点を選定
- ・2025年度に、循環型地熱発電方式の発電実証

○シナリオ実現上の課題

- (1) 地下の伝熱特性の把握
- (2) 内管の断熱性の向上
- (3) 開発有望地点の選定

番号	地域	火山名	番号	地域	火山名
1	北海道	阿蘇山	15	関東	那須岳
2		雄阿蘇岳	16		箱根火山群
3		大雪山山群	17	中部	御嶽山
4		十勝岳火山群	18		草津白根山
5		倶利伽羅・登別火山群	19		弥陀ヶ原(立山)
6		有珠山	20		焼岳
7		恵山	21	九州	鶴見岳・伽藍岳
8	東北	秋田焼山	22		九重山
9		岩手山	23		阿蘇山
10		秋田駒ヶ岳	24		雲仙岳
11		栗駒山	25		霧島山
12		蔵王山			
13		吾妻山			
14		磐梯山			



選定した開発有望地点(例)

○参考資料



写真① 循環試験実施状況



写真② 掘削設備の設置状況



写真③ 蒸気発生ユニット



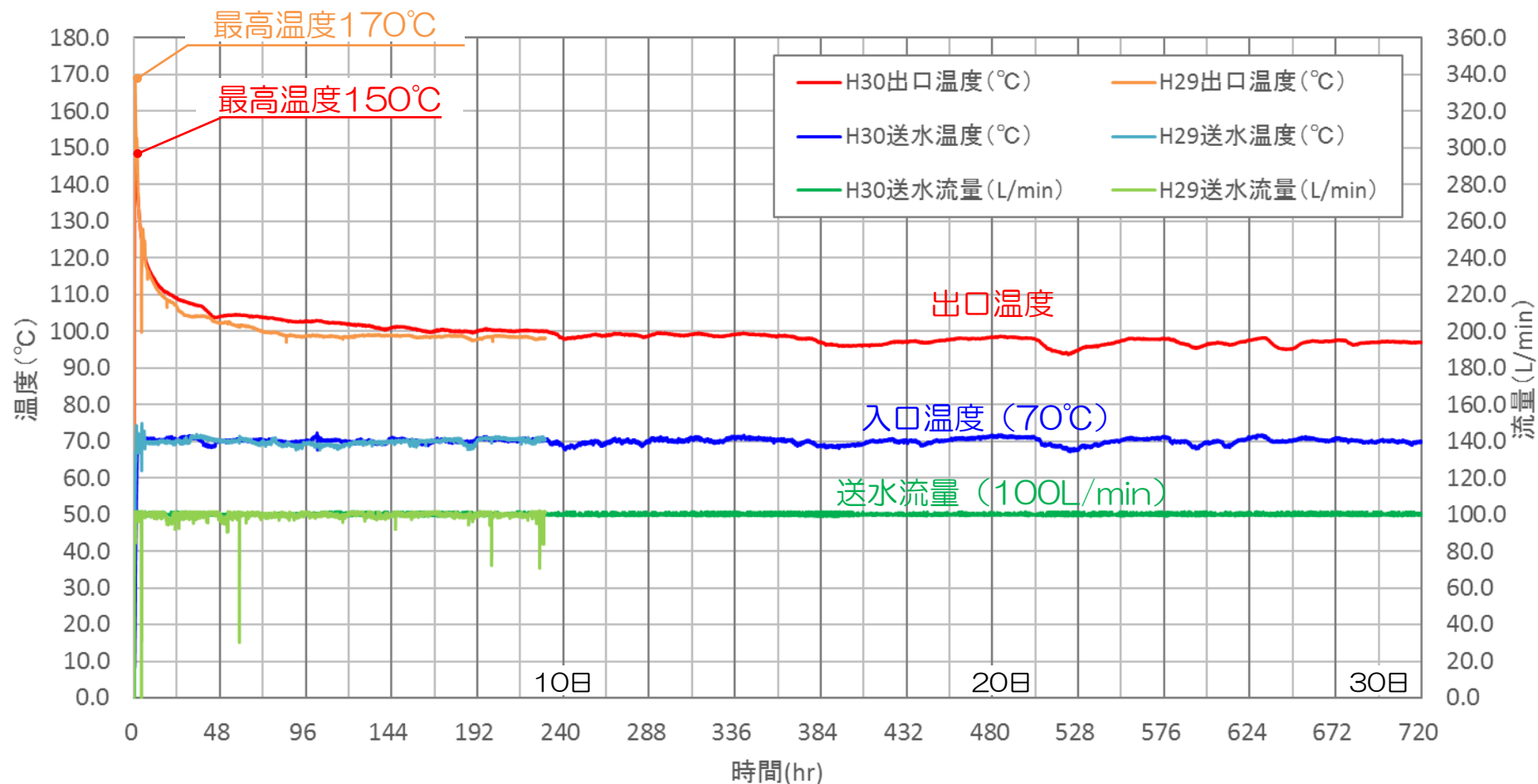
写真④ 調温ユニット

○参考資料

平成29年度と平成30年度の循環試験結果

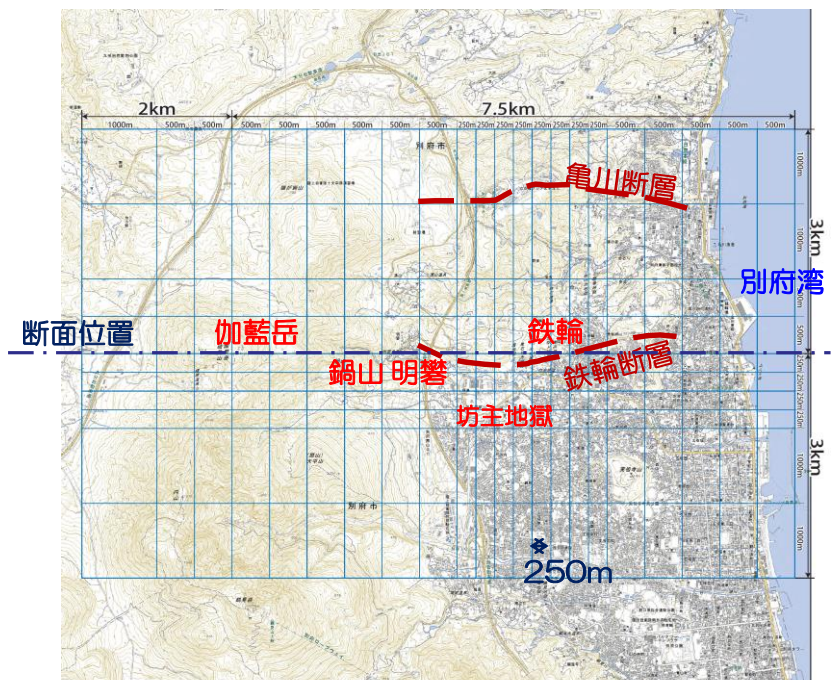
【試験条件】 注入量：100L/min、注入温度：70℃、

【試験期間】 10日（H29年度）、30日（H30年度）

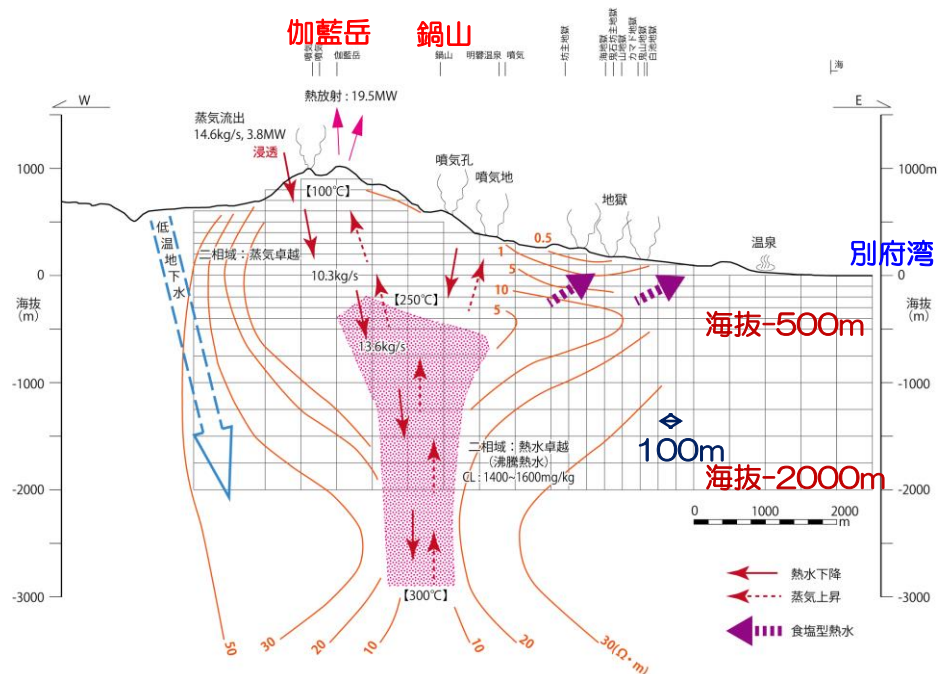


出口温度経時変化

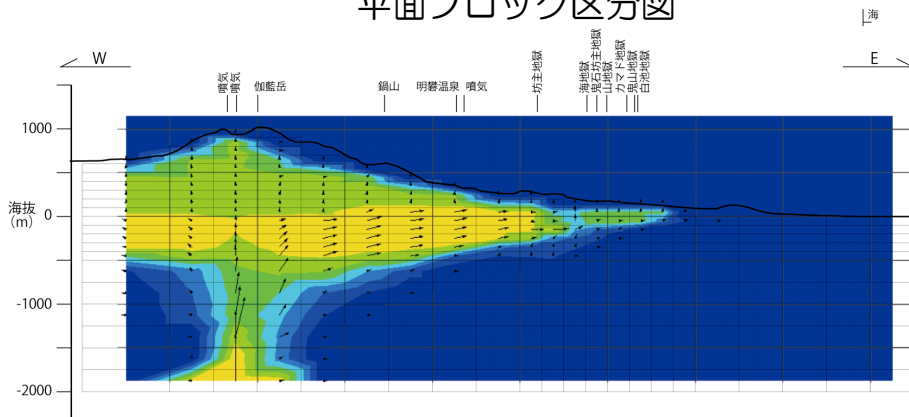
○参考資料 【地熱貯留層モデルの作成】



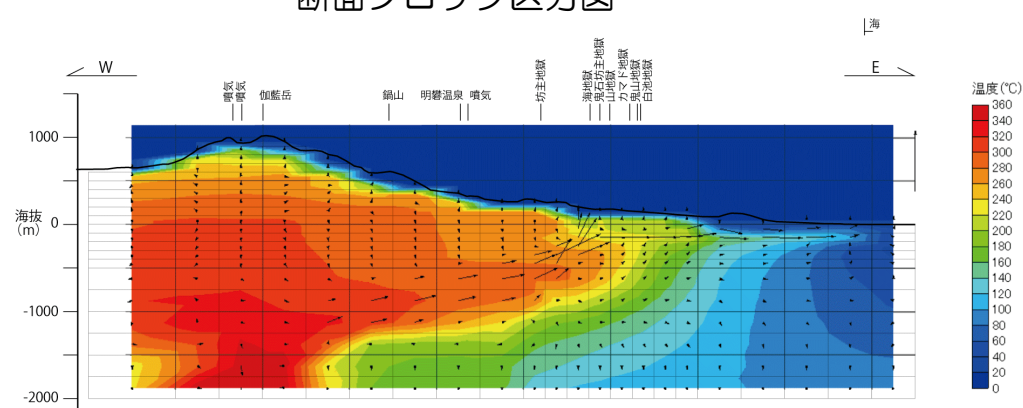
平面ブロック区分図



断面ブロック区分図



シミュレーション結果 (東西断面図・蒸気飽和率)



シミュレーション結果 (東西断面図・温度)

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

▪ 評価点 6.6点（10点満点中）

▪ 評価コメント

〔評価された点〕

- ー 日本における地熱発電は世界有数の賦存量を持ちながらその普及が進んでこなかったが、本技術は温泉を直接使うものでないことから温泉事業と共存できる可能性を持つ点が評価できる。
- ー 熱水循環型発電の実用化に必要な評価手法を開発し、実証によりその有効性を明らかにした点は評価できる。

〔今後の課題〕

- ー 実証実験の結果に発電量や経済性については、引き続き十分なデータの取得が望まれる。
- ー 熱水循環の場合と、通常的地熱発電の場合の条件の違いを明らかにし、設備コストを踏まえた現実的な事業性を評価し、事業コスト削減の方策を示すことが望まれる。
- ー 今回の成果を活用して実用化を早期に進めることが望まれる。また、実用化においては、熱利用も視野に入れて地域密着型のシステムの可能性を検討することが望まれる。

〔その他特記事項〕

- ー 本システムの他地域での運転上の問題等を、単なるシミュレーションではなく実践的な検討を行い、普及をめざすことを期待する。