

## 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。

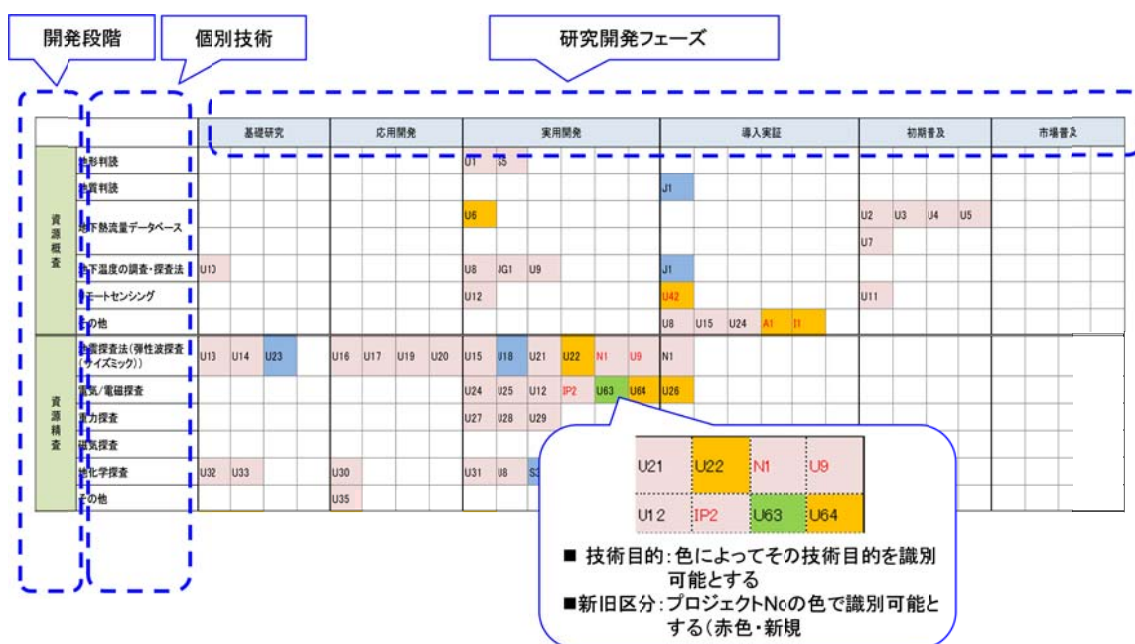


図 43 技術開発（プロジェクト）マップの構成図

## 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ポ ④補 ⑬ポ	⑩補 ⑪融 ⑭技	②短 ④補 ⑮短 ⑯技	③技 ⑥補 ⑩補 ⑫債	⑦補 ⑫債	③技 ⑤補 ⑧補 ⑭技 ⑯補 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	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	債	電力価格 引き上げ						

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			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 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			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			
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						
オーストラリア	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			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			
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 (GEOFUND)	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パルツェンギリソースパーク等が該当する。



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
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されやすい公開システムが整備されていない	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>■ リモートセンシング技術の精度向上/低コスト化</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 海外技術開発事例(国内未実施) <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>U: [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)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補 【日本】(環境省)地熱開発加速化支援・基盤整備事業</li> <li>融 【日本】(JOGMEC)資源探査への出資</li> <li>ホ 【日本】(環境省)再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査</li> <li>ホ 【日本】(JOGMEC)地熱資源調査支援事業</li> </ul>
	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・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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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)</li> <li>■ 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</li> <li>■ 坑井を利用した高精度フラクチャシステムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>■ 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</li> <li>■ 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</li> <li>■ 高温岩体発電、マグマ発電の事業性評価ツールの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国内技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>JG1: (JOGMEC)地熱貯留層探査技術開発</li> <li>JG2: (JOGMEC)地熱貯留層評価・管理・活用技術開発</li> </ul> </li> <li>■ 海外技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>U16: [米国]地震から発生する断裂の特定方法をEGSへの活用</li> <li>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</li> <li>IP2: [IPGT]地熱資源の把握のための3D解析技術</li> <li>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</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補 【日本】(JOGMEC)地熱資源開発調査事業助成金</li> <li>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</li> <li>融 【インドネシア】調査井掘削に対する融資&lt;融資&gt;</li> <li>融 【その他】Geothermal Risk Mitigation Facility(GRMF)</li> <li>融 The Geothermal Energy Development Program(GEOFUND)</li> <li>技 【EU】欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)</li> </ul>
			A-5				
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ リモートセンシング技術、MT法による資源精査/精査技術の改善による資源ポテンシャル調査の精度向上</li> <li>■ 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の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国内技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>JN4: (NEDO)硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発</li> <li>JN5: (NEDO)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</li> </ul> </li> <li>■ 海外技術開発(国内未実施) <ul style="list-style-type: none"> <li>U45: [米国]EGSが経済に及ぼす影響に関する分析</li> <li>U48: [米国]地熱システムの運用及び分析</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補 【日本】(環境省)地熱開発加速化支援・基盤整備事業</li> <li>短 【日本】(環境省)風力発電等環境アセスメント基礎情報整備モデル事業</li> <li>短 【日本】(NEDO)環境アセスメント調査早期実施実証事業</li> <li>短 【ニュージーランド】資源管理法改正</li> <li>技 【日本】(NEDO)地熱発電技術研究開発事業</li> </ul>	
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 風洞実験に代わる硫化水素の拡散シミュレータの開発(一部着手済み)</li> <li>■ 傾斜方位ツール(MWD)の低コスト化・高温耐久化</li> </ul>				

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	補助金	融資	債券	政策支援	義務化	許	開発許可	技術支援	技術開発支援	その他	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	技	ポ

図 44 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 (1/4)

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
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>■ 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</li> <li>■ 石油・ガス技術の適応(マルチテララドリリング/水圧破砕法等)</li> <li>■ ポータブルリグの実用化</li> <li>■ 掘削期間を短縮化するために、カッティングス除去機能、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</li> <li>■ 傾斜方位ツールズ(MWD)の低コスト化・高温耐久化(再掲)</li> <li>■ マルチレグ掘削技術の開発</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国内技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 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</li> </ul> </li> <li>■ 海外技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; U38: 【米国】OM-300-MWD地熱ナビゲーション装置</li> <li>&gt; A1: 【米国】地熱発電用レーザー掘削</li> </ul> </li> <li>■ 海外技術開発事例(国内未実施) <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; U78: 【米国】Northwest Geversers地熱地域におけるEGSの実証試験</li> <li>&gt; 【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)</li> <li>&gt; S2: 【スイス】熱による破砕掘削</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>補 【日本】(JOGMEC) 地熱資源開発調査事業費助成金</li> <li>債保 【日本】(JOGMEC) 債務保証</li> <li>リ 【アイスランド】国家エネルギー基金(NEF)</li> <li>リ 【スイス】リスク保証</li> <li>リ 【ドイツ】ミュンヘン再保険会社による保険</li> <li>リ 【ドイツ】ドイツ連邦環境省による保険</li> <li>融 【オーストラリア】Geothermal Drilling Program (GDP)</li> <li>技 【日本】(環境省) 地球温暖化対策技術開発事業</li> </ul>
			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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ A-4の資源精査技術</li> <li>■ 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</li> <li>■ 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</li> </ul>			
設計・建設	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 低リスク化のための、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の開発</li> <li>■ 傾斜方位ツールズ(MWD)等の傾斜掘削技術の低コスト化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ A-4の資源精査技術</li> <li>■ 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</li> <li>■ 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)</li> <li>■ フラクチャリング技術の改良</li> <li>■ 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)</li> </ul>		
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 熱水のカスケード利用のための技術開発と地域実証</li> <li>■ 排水から塩物等を回収するコプロダクション技術の開発</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 海外技術開発事例 <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; U58: 【米国】Beowawe Bottoming/バイナリープロジェクト</li> <li>&gt; 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</li> </ul> </li> <li>■ 海外技術開発事例(国内未実施) <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 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</li> <li>&gt; 【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)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>債保 【日本】(JOGMEC) 債務保証</li> <li>減 【米国】事業エネルギー投資税控除(ITC)</li> <li>補 【米国】Renewable Energy Grants: 再生可能エネルギー助成金</li> <li>債 【米国】CRBEs(Clean Renewable Energy Bonds): クリーン・再生可能エネルギー債券</li> <li>融 【その他】The Geothermal Energy Development Program (GEODFUND)</li> <li>融 【ドイツ】EEWaermeG</li> </ul>
			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				
	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ エコジカル・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</li> <li>■ 自然環境への影響を最小化するための掘削手法の開発</li> <li>■ リスク可視化及び3Dのシミュレーターツールの開発</li> </ul>			
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、周辺の景観との調和が求められる	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>■ 景観シミュレーターの開発</li> <li>■ 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</li> </ul>				

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番号(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	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 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	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ スケールの付着の回避及び除去の期間、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)</li> <li>■ 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</li> <li>■ 地熱貯留層の涵養に関する技術の開発</li> <li>■ 腐食に強いケーシング用材質の低コスト化</li> <li>■ 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・圧力等が取り扱可能な貯留層シミュレータの開発</li> <li>■ 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</li> <li>■ 非定常状態対応の坑井シミュレータの高性能化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 効率的に熱を取り出すための循環/抽熱技術の開発</li> <li>■ 人工貯留層をモニタリングする技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>➢ 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</li> <li>➢ 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補 【日本】(環境省) 温泉エネルギー活用加速化事業</li> <li>補 【日本】(資源エネルギー庁) 固定価格買取制度(FIT)</li> <li>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</li> <li>補 【スイス】固定価格買取制度(FIT)</li> <li>補 【ドイツ】固定価格買取制度(FIT)</li> <li>減 【米国】生産税控除(PTC)</li> <li>減 【フィリピン】再生可能エネルギー法</li> <li>融 【その他】The Geothermal Energy Development Program (GEFUND)</li> <li>備 【インドネシア】地熱発電の電力買取価格を引き上げ</li> <li>技 【日本】(環境省) 地球温暖化対策技術開発事業</li> <li>技 【日本】(NEDO) 地熱発電技術研究開発事業</li> </ul>	
				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	■ 低価格で不燃性の熱媒体の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> <li>➢ U64: 【米国】バイナリー発電所のためのテララー作動流体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> </ul>		
		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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 閉開が容易である等の、開放点検を短時間で完了することが可能なタービンの設計/開発</li> <li>■ 不純物/不凝縮ガス(水素イオン、塩化物イオン、硫酸水素等)による腐食を最小化するタービン設計及び材質の開発</li> <li>■ スケールが付着しにくいタービンの材質の開発</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蓄エネシステムを利用した発電システムの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> </ul>
		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	■ 蓄エネシステムを利用した発電システムの構築				
		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	■ 低コストの埋坑技術あるいは坑井密閉技術の確立				
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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)</li> <li>■ 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 高温岩体発電 ➢ U78: 【米国】EGSの貯留層内における超臨界のCO<sub>2</sub>、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</li> </ul>					

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	
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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)</li> <li>■ 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</li> <li>■ 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</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 海外技術開発事例(国内未実施) <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 【米国】ガイゼーズにおける海養地熱型の地熱発電(海外調査報告参照)</li> <li>&gt; 【アイスランド】スバルツェンギリソースパーク(海外調査報告参照)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>補 【オーストラリア】連邦政府補助金</li> <li>補 【オーストラリア】州補助金</li> <li>補 【ニュージーランド】技術開発補助金</li> <li>融 【米国】Loan Guarantee Program</li> <li>リ 【EU】リスク保証</li> <li>許 【フィリピン】地熱法</li> <li>許 【インドネシア】新地熱法制定</li> <li>技 【米国】Tech to Market (T2M)</li> <li>技 【米国】GTP(Geothermal Technology Program)</li> <li>技 【米国】米国エネルギー省地熱技術部局による技術支援</li> <li>技 【スイス】技術開発支援</li> <li>技 【EU】欧州委員会の第7次研究枠組み計画(FP7)</li> </ul>	
		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				<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 周辺の地熱系の正確な把握を可能にするツールの開発</li> </ul>
		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				<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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</li> </ul>

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 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																					
	リモートセンシング									U12										U7												
	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	I1		U26		S2															
F / S、 環	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	フラッシュ	蒸気タービン																		
		発電機																		
		復水器																		
		温水ポンプ																		
		冷却塔																		
		冷却水設備																		
		不凝縮ガス抽出装置																		
		副生技術																		
		その他																		
		バイナリー	タービン																	
凝縮器																				
循環ポンプ																				
予熱器																				
蒸発器																				
その他																				





技術目的	 開発リスクを低減する技術	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 ニューージーランドにおける技術開発	
	 社会受容性リスクを低減する技術		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	
	 環境共生型技術		JN NEDOの技術開発	S スイスにおける技術開発		
	 低コスト化技術		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 49 技術開発（プロジェクト）マップ（2/3）

		基礎研究				応用開発				実用開発				導入実証				初期普及				市場普及				
高温岩体	破碎	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															
貯留層管理	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											J1							
	その他	U10								JG2									N2							

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	A 米国ARPAEの技術開発	N ニュー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)