

日本の次世代型地熱発電の導入促進に向けて —海外動向からの示唆—

理事 クリーンエネルギーユニット担任 大森 嘉彦
同ユニット 主任研究員 碓井 良平

要旨

現在、米欧を中心として次世代型地熱発電が注目を集めている。日本では、2024年11月に資源エネルギー庁・環境省共管で「地熱開発加速化パッケージ」が公表され、次世代型地熱発電を含む地熱エネルギーは新たな促進フェーズとされた。また、2025年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」では、次世代型地熱技術について、2030年代の早期の実用化を目指し、研究開発・実証を進め、事業化につなげることが明記されている。

次世代型地熱発電とは、従来型地熱発電の3要素である「熱」「水」「器」のうち、1～2要素が欠けている点を人工的に補う、かつ開発深度が相対的に深い地熱発電方式をいう。次世代型地熱発電は、①多用途で安定的なクリーンエネルギーであり、②市場性が世界中に広がりがつつあり、③石油・ガス産業との親和性が高いために世界的にも注目を浴びている。

次世代型地熱発電の世界・日本における技術ポテンシャルは見過ごすことはできない量であり、熱供給や重要鉱物抽出等の発電以外のメリットも含めた経済性の確保が鍵となる。

海外に目を転じると、米国を筆頭に欧州諸国やニュージーランド等、次世代型を支援する具体的政策によって、導入の加速を図っている国・地域もある。

ただし、世界一般的に、誘発地震リスク対応、掘削コスト削減、井戸整備等の技術的課題、そして、周辺コミュニティの理解、開発リスク緩和、許認可プロセス短縮等の政策的課題も依然として残っている。

これらの課題に対し、日本はさまざまな政策を既に導入しているが、海外の政策等からも示唆はある。日本としては、次世代型特有の政策としての具体的な目標・ロードマップの設定、開発リスク緩和のための資金援助制度の整備、次世代型・従来型共通の政策としての開発リードタイムの短縮や、更なる官民の議論の深化などを通じ、技術・市場ポテンシャルが高い次世代型地熱発電の開発を一層促すことが重要であろう。

目次

要旨	1
目次	1
1. はじめに	2
2. 次世代型地熱発電について	3
(1) 次世代型地熱発電とは	3
(2) 次世代型地熱発電の個別技術のメリット・デメリット	4

(3) なぜ今、次世代型地熱発電が世界で脚光を浴びているか?.....	5
3. 次世代型地熱発電のポテンシャル.....	6
(1) 技術ポテンシャル(世界).....	6
(2) 技術ポテンシャル(日本).....	7
(3) 市場ポテンシャル(世界).....	7
(4) 発電「+α」のメリット.....	8
4. 次世代型地熱発電に注力している国々の政策.....	9
(1) 世界の主な次世代型地熱発電プロジェクト(2016年以降).....	9
(2) 米国の次世代型地熱発電(EGS)の国家開発目標.....	10
(3) 米国の次世代型地熱発電(CLGS)の国家開発目標.....	11
(4) 米国の次世代型地熱発電の開発目標を支える具体的政策.....	11
(5) 欧州・ニュージーランド等の動向.....	12
5. 次世代型地熱発電の課題.....	13
(1) 世界の主な次世代型地熱発電プロジェクト(2016年以降)の進捗状況.....	13
(2) 次世代型地熱発電の商用化に取り組む企業.....	14
(3) 次世代型地熱発電の主な技術的課題.....	15
(4) 次世代型地熱発電の主な政策的課題.....	16
6. 日本と次世代型地熱発電.....	16
(1) 政策的課題に対応する日本の政策.....	16
(2) 今後どのように日本の次世代型地熱発電の導入を促進していくか?.....	18
7. おわりに.....	19

1. はじめに

現在、米欧を中心として次世代型地熱発電が注目を集めている。日本では、2024年11月に資源エネルギー庁・環境省共管で「地熱開発加速化パッケージ」が公表され、次世代型地熱発電を含む地熱エネルギーは新たな促進フェーズとされた。また、2025年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」では、次世代型地熱技術について、2030年代の早期の実用化を目指し、研究開発・実証を進め、事業化につなげることが明記されている。さらに、2025年4月からは「次世代型地熱推進官民協議会」が始動している。

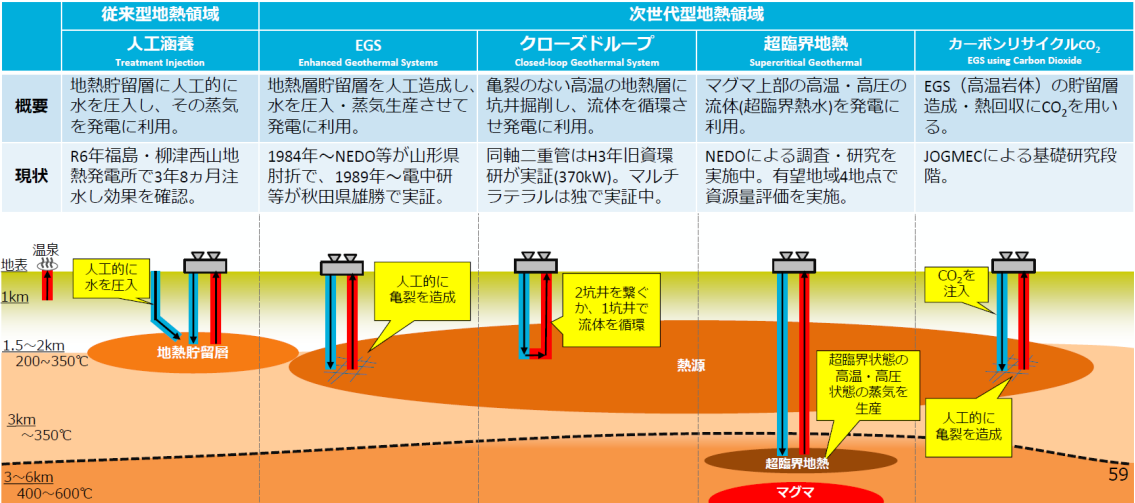
そこで本稿では、まず次世代型地熱発電の定義・ポテンシャル等を整理し、国際動向(政策・プロジェクト等)を踏まえ、日本が次世代型地熱発電の導入を促進するためにはどのような政策オプションの可能性があるか展望する。

2. 次世代型地熱発電について

(1) 次世代型地熱発電とは

次世代型地熱発電とは、従来型地熱発電の3要素である「熱」「水」「器」¹のうち、1～2要素が欠けている点を人工的に補う、かつ開発深度が相対的に深い地熱発電方式をいう。具体的には、次世代型地熱発電は①EGS (Enhanced Geothermal Systems)、②CLGS (Closed-Loop Geothermal Systems)、③超臨界地熱、④カーボンリサイクルCO₂地熱の4種類に大別される(図1)。

図 1 次世代型地熱発電の種類



出典) 資源エネルギー庁&環境省(2024)「地熱開発加速化パッケージ」 p.59

EGSは、「熱」「水」「器」の3要素のうち、「水」と「器」がないところに水圧破碎の技術を用いて「器」を造り、人工的に「水」を注入して蒸気を採り出し、蒸気タービンで発電する方式をいう。

CLGSは、3要素のうち、「水」と「器」がないところに「器」を造成することなく、閉じられたループのなかに「水(流体)」を循環させ、地中熱を採取して発電する方式をいう。CLGSはEGSと異なり水圧破碎を必要としない。

超臨界地熱は、3要素のうち、従来は高温高圧によって採り出せなかった「熱」について、耐性のある設備・計器類を用いて、いわゆる気体でも液体でもない374℃以上、22.1MPa以上の超臨界水を採取して発電する方式をいう。

カーボンリサイクルCO₂地熱は、EGSの水の代わりにCO₂を用いて発電する方式をいう。基礎研究段階ではあるが、水より低圧で岩盤破碎が可能であることや、地下で岩石と反応してCO₂を鉱物として固定化できる可能性があるといわれている。

¹ 「熱」「水」「器」の詳しい意味は、「熱」が「マグマが加熱すること」、「水」が「降水が地下へ浸透すること」、「器」が「岩石に生じる亀裂が器の役目、不透水層が蓋の役目を果たして、蒸気・熱水を閉じ込めること」である。

このほか、CLGSのなかに、同軸二重管方式²やマルチラテラル方式³といった詳細区分が用いられることもあるが、次世代型地熱発電は上の4方式に大別できる。

(2) 次世代型地熱発電の個別技術のメリット・デメリット

次に、次世代型地熱発電の個別技術(EGS、CLGS、超臨界地熱)のメリット・デメリットについて説明する(表1)。

表 1 従来型・次世代型地熱発電の個別技術のメリット・デメリット

	従来型	EGS	CLGS	超臨界地熱
メリット	・自然に対流する熱水を用いて効率的かつ持続的に地下の熱を採取できる	・天然の熱水が不要なため、 <u>広範囲な地熱資源が活用可能</u> となる。 ・世界的に(日本を含め)数十年にわたる研究開発・実証の実績があり広く <u>商用化に最も近い</u> 技術である。 ・米国で既に商用化が進んでいる。	・天然の熱水が不要なため、 <u>広範囲な地熱資源が活用可能</u> となる。 ・ <u>誘発地震のリスクが低い</u> 。 ・ドイツで既に商用化が進んでいる。	・1箇所100MWクラス以上の <u>比較的大規模な発電が期待できる</u> 。 ・ <u>誘発地震のリスクが極めて低い</u> 。
デメリット	・適地探索が難しい。 ・温泉資源や環境資源との共生に関する懸念がある。	・水圧破碎等による <u>誘発地震の懸念がある</u> 。	・熱伝導によるため、採熱量に物理的の限界があり、 <u>規模拡大には難易度の高い長大な坑井掘削が必要</u> となる。 ・欧米とは異なり、 <u>日本の複雑な地質構造への適用の難しさが懸念</u> される。	・深度深くマグマだまり近くの <u>高温高圧や酸性に耐えることのできる設備・計器等の材料が必要</u> である。 ・利用可能な <u>超臨界流体の存在は日本では未確認</u> である。

出典) 資源エネルギー庁&環境省(2024)「地熱開発加速化パッケージ」p.60、第1回次世代型地熱推進官民協議会等を参考に筆者作成。

従来型地熱発電は、メリットとして、自然に対流する熱水を用いて効率的かつ持続的に地下の熱を採取できる一方、デメリットとして、「熱」「水」「器」の3要素が揃った適地探索が難しく、温泉資源や環境資源との共生に関する懸念もあった。

これに対し、EGSは天然の熱水が不要であるため、かなり広範囲な地熱資源が活用可能となり、世界的に既に数十年にわたる研究開発・実証の実績もあって、次世代型技術のなかで、最も商用化に近い技術である点がメリットと考えられる。他方、デメリットとして、水圧破碎の技術を用いるため、誘発地震のリスクが高まるかもしれないという懸念が挙げられる。

また、CLGSも天然の熱水が不要であるため、広範囲な地熱資源が活用可能となる。CLGSは水圧破碎を行わないため、誘発地震のリスクが低い点もメリットとなる。ただしデメリットとして、規模拡大のためには難易度の高い長大な井戸を掘る必要があり、特に日本では断層や粘土層などが入り混じる複雑な地質構造への適用が難しいのではないかという懸念が

² 同軸二重管方式は、同軸に配置された二重管を使用して、地中熱を効率的に回収する地熱発電技術をいう。
³ マルチラテラル方式は、一本の主井戸から複数の側方井戸(ラテラル井戸)を掘削し、広範囲にわたる地熱資源を効率的に利用する地熱発電技術をいう。

ある。

一方、超臨界地熱は1箇所でも100MWクラス以上の比較的大規模な発電を期待でき⁴、また、超臨界水の存在する地層がプラスチックのような延性領域のため、誘発地震リスクが極めて低いなどのメリットがある。ただし、デメリットとして、マグマ溜まり近くの地層の高温高压、酸性等の特徴に耐えることのできる設備・計器類の材料が必要であり、また利用可能な超臨界流体の存在が日本では未確認であるという状況を挙げることができる。

カーボンリサイクルCO₂地熱は基礎研究段階にあるため説明を省略するが、次世代型地熱発電の個別技術にはそれぞれ一長一短があるといえるだろう。

(3) なぜ今、次世代型地熱発電が世界で脚光を浴びているか？

上記において、その定義・特徴を説明した次世代型地熱発電が、なぜ今、世界で脚光を浴びているか説明しておきたい⁵。

第一の理由は、地熱は元来、国産エネルギーとしてエネルギー安全保障に寄与する⁶、「多用途」で「安定的」な「クリーン」エネルギーであるということである。「多用途」というのは、地熱エネルギーが、24時間体制で発電・熱生産等のサービスを提供できるということ、また「安定的」というのは、地熱発電の平均設備利用率が75%以上と風力・太陽光に比べ高いこと、そして「クリーン」というのは、地熱発電のライフサイクルCO₂排出量が、他電源に比べ非常に少ないことを意味する。

第二の理由は、米国の石油・ガス開発で改良された、2～3kmを超える深さで資源を探索する水圧破碎や水平掘削等の掘削技術の転用によって、地熱エネルギーのポテンシャル増大・コスト低減の可能性が飛躍的に高まり、その結果、市場性が世界中に広がりつつあることだ。

第三の理由として、地熱産業と石油・ガス産業との間には、技術・人材を相互に活用できるなどの親和性が高く、将来的には石油・ガス産業のトランジションに寄与する可能性があることが挙げられる。

なお、米国のトランプ大統領が、石油・ガス産業との親和性が高い地熱エネルギーについては、他の再生可能エネルギーと異なり推進する方針であるとの報道がなされている。たとえば、Newsweek誌では、「ドナルド・トランプ大統領は就任初日に米国のエネルギー政策を再構築し、石油、ガス、石炭といった伝統的な化石燃料を優先した。しかし、再生可能エネルギーの一つである地熱エネルギーは例外とされた。(後略)」と述べられている⁷。また、インフレ抑制法(IRA)に基づく税額控除制度の廃止が取り沙汰されていたが、2025年7月に成立した米国減税・歳出法(OBBBA)では、地熱プロジェクトに関する税額控除制度は維持され

⁴ 日本における超臨界地熱は、場所によっては、1箇所でも200MWクラスの開発が可能という説もある。

⁵ IEA (2024)「The Future of Geothermal Energy」、電力中央研究所 (2016)「日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価」等を参考に整理した。

⁶ 米欧日においては、主に国内のサプライチェーンを活用することで、エネルギー安全保障のみならず、経済安全保障にも寄与するといえよう。

⁷ Daftari, A. (2025, January 23). Trump Embraces One Renewable Energy Solution. *Newsweek*. <https://www.newsweek.com/trump-embraces-geothermal-renewable-energy-solution-2019753>.

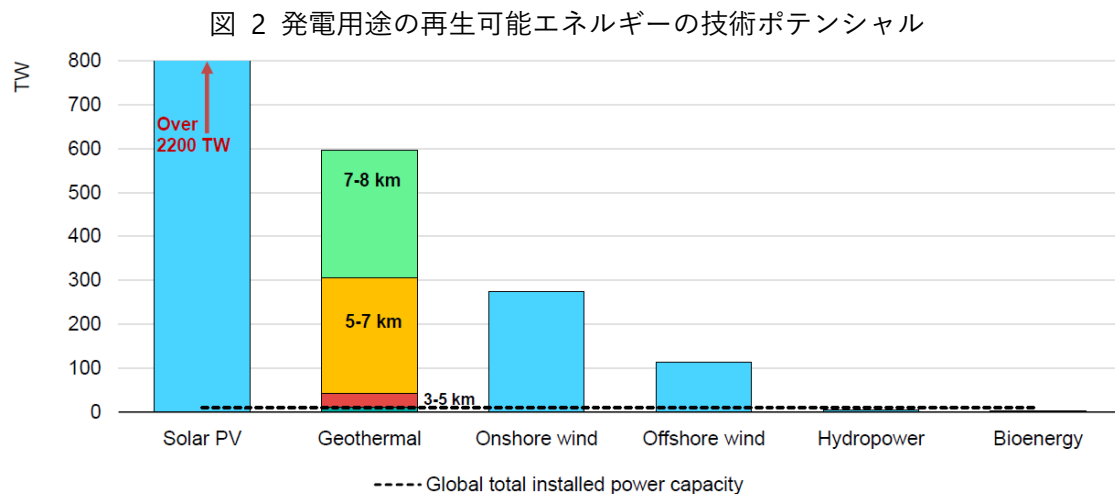
ている。

3. 次世代型地熱発電のポテンシャル

本章では、技術ポテンシャル、市場ポテンシャル、発電以外のメリットについて俯瞰し、次世代型地熱発電の世界的及び国内的なインパクトを定量的及び定性的に確認する。

(1) 技術ポテンシャル(世界)

国際エネルギー機関(IEA)によると、世界の次世代型地熱発電⁸の技術ポテンシャル⁹は、従来型地熱発電のそれを大きく上回る(図2)。



出典) IEA(2024)「The Future of Geothermal Energy」p.45

世界全体の技術ポテンシャルは発電容量ベースで600TWになる。また、設備利用率を考慮した発電電力量ベースで4,000PWhとなり、これは現在の世界の年間電力需要の150倍に相当する。もっとも、深さ5km未満のポテンシャルは42TW、深さ5～8kmで550TWとなり、地下の深いところでのポテンシャルが大きいと考えられている。

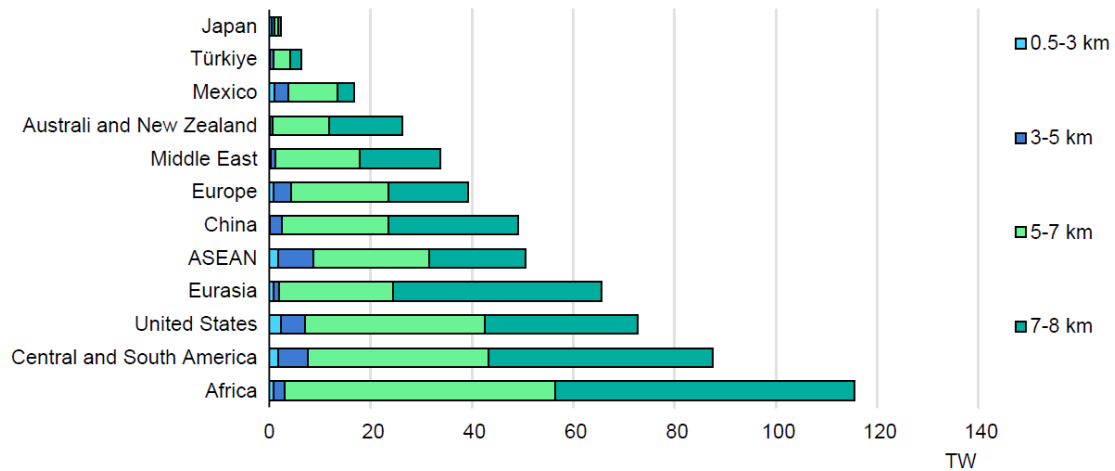
この600TWという技術ポテンシャルは、再生可能エネルギーのなかで太陽光の2,200TW超に次ぐ2番目の大きさであり、陸上風力、洋上風力、水力、バイオエネルギーに比べても、非常に大きなインパクトが予想される。

また、世界の技術ポテンシャルを地域別・国別にみると、次世代型地熱発電の技術ポテンシャルは世界中に広がっている(図3)。地域別では、アフリカが115TWと最大のポテンシャルで、ASEANが50TW、欧州が40TWと試算されている。国別では、米国が70TWと最大で、中国は50TWと2番目に大きく、インドは地下深部においてポテンシャルが大きく14TWと計算されている。図3のグラフには日本も含まれており、日本の技術ポテンシャルはグラフから約2～3TWと確認することができる。

⁸ IEAは技術ポテンシャルの対象となる次世代型地熱発電技術としてEGSを想定している。

⁹ 技術ポテンシャルとは、特定のエネルギー源、ここでは地熱エネルギーの技術の成熟度等を考慮した、技術的に導入可能な潜在量を意味する。

図 3 国・地域の深度別の次世代型地熱発電容量の技術ポテンシャル



出典) IEA (2024) 「The Future of Geothermal Energy」 p.47

(2) 技術ポテンシャル(日本)

一方、日本政府は、日本国内の次世代型地熱発電の技術ポテンシャルを77GW以上と説明している(図4)。このうち、11GW以上は超臨界地熱によるものと想定されている。

図 4 日本の次世代型地熱発電ポテンシャル



*1) 村岡ほか (2008) など。

*2) 日本地熱学会刊行 地熱エネルギーハンドブック、837-839頁では「基礎岩上面から深度1kmの範囲の地熱資源量を77GW」と推定し、これをEGSの資源量とみなしている。これを元に簡易的に計算し、77GW-超臨界地熱11GW=66GWを高温岩体(延性域高温岩帯も含む)における地熱ポテンシャルとした。

*3) NEDOにより高温井が存在する20地域を対象にした調査結果より推定。

*4) NEDOが調査対象としなかった火山、カルデラ等にも相当量の超臨界地熱資源が存在すると想定される。

出典) 資源エネルギー庁&環境省(2024)「地熱開発加速化パッケージ」 p.58

上述のIEAの見通しでは日本のポテンシャルはもっと大きいと考えられているように、今後の調査次第でポテンシャルは増加する可能性もある。

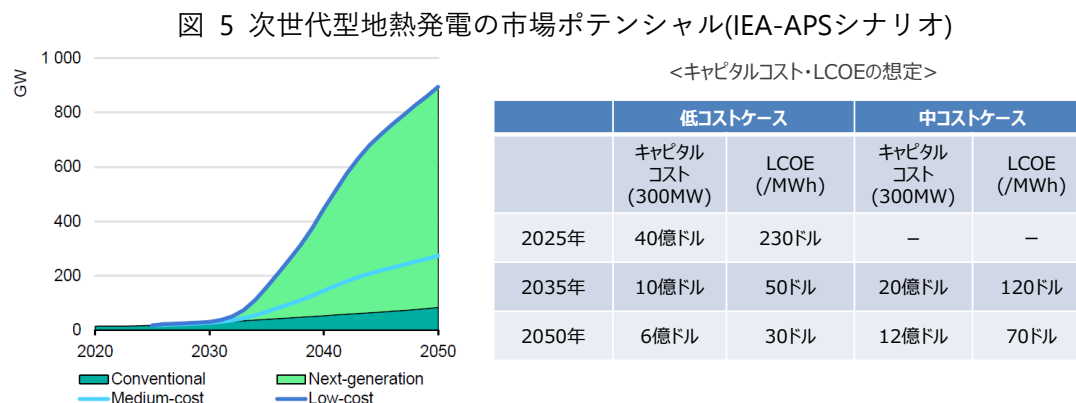
いずれにしても、次世代型地熱発電ポテンシャルの77GWと従来型地熱発電ポテンシャルの23.5GWの合計は100GW超となり、日本の総発電設備容量が約300GWであることを考慮すれば、無視することはできないポテンシャル量であるといえよう。

(3) 市場ポテンシャル(世界)

再びIEAレポートによると、IEAのAPSシナリオ¹⁰を用いた地熱低コストケースでは、世界

¹⁰ IEAのAPSシナリオは、各国が発表した気候目標や公約が、完全かつ期限どおりに実施されることを想定している。

の地熱の市場ポテンシャル¹¹は、2035年に120GW、2050年に800GWと試算されている(図5)。



出典) IEA(2024)「The Future of Geothermal Energy」p.79-80、p.87

この低コストケースでは、地熱発電が2050年までの総発電量の増加分の15%を提供することになると言われており、原子力や水素・アンモニアによる発電量より多く導入される見通しであることが示唆されている。

また、中コストケースでは、2035年に30GW、2050年に190GWの市場ポテンシャルと試算されており、低コストケースの約4分の1の規模となる。

低コストケースを実現する最大の鍵はキャピタルコストの削減とされている。地熱の場合、ランニングコストに比べ、キャピタルコストが大きいためである。

(4) 発電「+α」のメリット

次世代型地熱発電のポテンシャル量に加え、発電以外のメリットについて説明する(表2)。

IEAレポートによると、次世代型地熱エネルギーには発電以外に、熱供給、リチウム等の重要鉱物抽出、雇用創出、電力システムの柔軟性、エネルギー貯蔵などのメリットがある。

もっとも、電力システムの柔軟性については、地熱発電の場合、原則としてベースロード運転が望ましく¹²、エネルギー貯蔵については、地中で岩石等に圧力をかけると誘発地震の可能性が高まるリスクがあるなどの議論があるため、この2つのメリットについては十分な検証が必要であろう。

また、雇用創出も他エネルギー産業における雇用との関係で相対的なメリットとなる可能性があるため、明確に言える発電以外のメリットは、熱供給と重要鉱物抽出ではないだろうか。次世代型地熱プロジェクトの経済性評価に際しては、これらのメリットも考慮に入れた評価枠組みも検討されるべきかもしれない。

¹¹ 市場ポテンシャルは、他のエネルギー源の価格・潜在量との関係を考慮した、市場の潜在的な需要量を意味する。

¹² 地熱発電の調整力については、欧米の文献によると技術的には可能だが経済的課題が残るとの意見が多いが、井戸のバルブを一度閉じると蒸気が再噴出しなくなるリスクがあるなど技術的課題もあるとの意見もある。他方、特にCLGSではクローズドループのバルブ開閉により調整力を柔軟に利用できるとの見方もある。

表 2 次世代型地熱発電の発電以外のメリット

「+α」のメリット	概 略
(1) 熱供給	従来型同様、地域熱供給(地域冷暖房)、産業プロセスのための地中熱の直接利用、地熱ヒートポンプ等での活用(場所的範囲の拡大)。
(2) 重要鉱物抽出	地下深部の塩水はリチウム(米欧)、シリカ(NZ)、ヘリウム(中)、亜鉛、マンガンなどの重要鉱物を副産物として抽出する可能性を提供。
(3) 雇用創出	従来型地熱産業：雇用者14万人(50%：発電所建設、25%：機器製造、25%：運用・保守) ⇒次世代型地熱産業：エンジニア、地質学者、経験豊富な掘削技術者などの熟練労働者が必要。 ⇒次世代型地熱産業は、クリーンエネルギーへの移行に伴い、大きな影響を受ける石油・ガス産業のための雇用創出の一部の受け皿に。
(4) 電力システムの柔軟性	可変再生可能エネルギーである太陽光・風力の増加に伴い、季節的な負荷変動に対する柔軟性を提供。蓄電池と異なり、希少・重要な鉱物資源に依存することなく、グリッド負荷を緩和。
(5) エネルギー貯蔵	太陽熱を貯蔵したり、太陽光・風力の余剰電力を熱に変換して貯蔵することなどにより、エネルギーを地中に貯蔵することが可能。

出所) IEA (2024) 「The Future of Geothermal Energy」

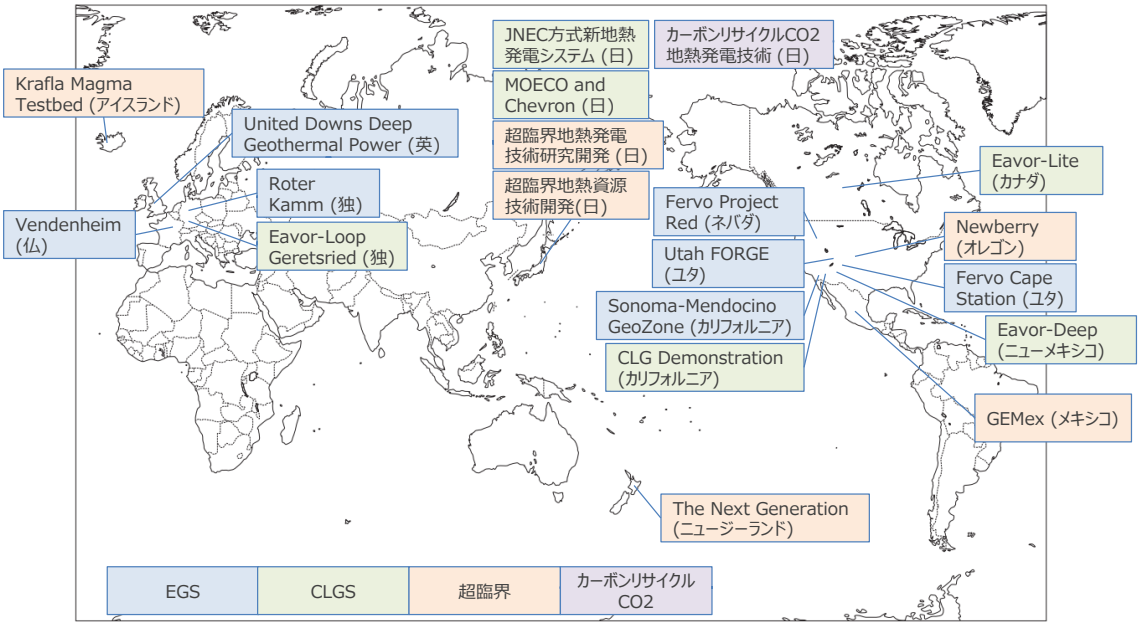
4. 次世代型地熱発電に注力している国々の政策

本章では、海外の政策やプロジェクト等の動向をみる。

(1) 世界の主な次世代型地熱発電プロジェクト(2016年以降)

まず、海外の主な次世代型地熱発電プロジェクトをみると、米国、欧州、日本において多く取り組まれていることがわかる(図6)。

図 6 世界の主な次世代型地熱発電プロジェクト(2016年以降)



出典) 各種資料に基づき筆者作成。

米国では、EGSプロジェクトとして、Utah FORGE (ユタ州)、Fervo Project Red (ネバダ州)、Fervo Cape Station (ユタ州)などがある。CLGSプロジェクトとして、CLG Demonstration (カリフォルニア州)やEavor-Deep (ニューメキシコ州)、超臨界地熱プロジェ

クトとして、Newberry (オレゴン州) がある。特に、Fervo Energy社のEGSの2案件は商用化を目指している。

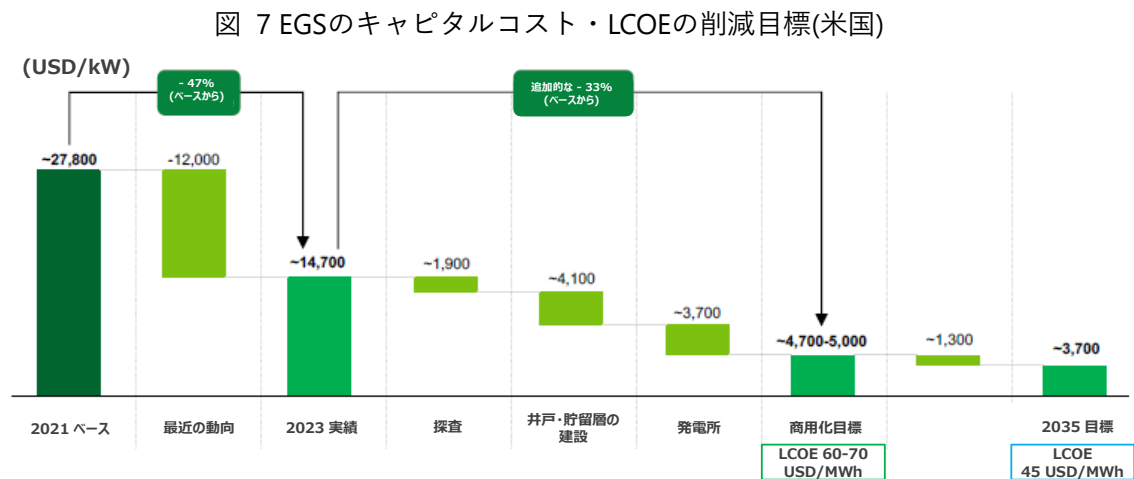
欧州では、早くからEGSプロジェクトの実証が行われ、2016年以降もドイツ、イギリス、フランス等で取り組まれている。CLGSのGeretsried案件(ドイツ)は商用化を目指している。超臨界地熱についてもアイスランドで研究開発・実証が進められている。

日本では、2016年以降、主にCLGS・超臨界地熱について研究開発が進められている。

また、この間、2017年に韓国ボハンでEGS開発に伴う誘発地震(マグニチュード5.5)があったことには留意すべきであろう。

(2) 米国の次世代型地熱発電(EGS)の国家開発目標

米国は、次世代型地熱発電(EGS)の開発について高い目標を掲げている(図7)。



出典) US DOE (2024) 「Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power」 p.3

2016年5月、米国エネルギー省(US DOE)が「What is an Enhanced Geothermal System (EGS)?」を公表し、これが米国における次世代型地熱発電の導入促進のきっかけの一つになった。2022年9月、US DOEは「Enhanced Geothermal Shot」政策¹³を打ち出し、EGSを米国に広く普及させるために、そのコストを2035年までに90%削減し、45USD/MWh¹⁴にするという目標を発表した。2024年3月、US DOEはこのコスト目標が達成されれば、2035年までに30～35GW、2050年までに90～100GWの次世代型地熱発電所が稼働する可能性があると報告している¹⁵。

この2024年のUS DOEの報告書では、EGSのキャピタルコストの削減目標を示している。2021年には27,800USD/kWだったが、2023年には既に14,700USD/kWまで下落しており、2030年に4,700～5,000USD/kWまで、2035年には3,700USD/kWまで、特に探査及び開発コストの

¹³ 米国の「Enhanced Geothermal Shot」政策は、クリーンエネルギー技術の革新と普及を加速するための包括的な取組であるエネルギーアースショット政策の一環として実施されている。

¹⁴ 為替レートが1USD=150円とした場合、日本円換算では6.75円/kWh。

¹⁵ 米国の2023年末の総発電設備容量は約1,200GW。

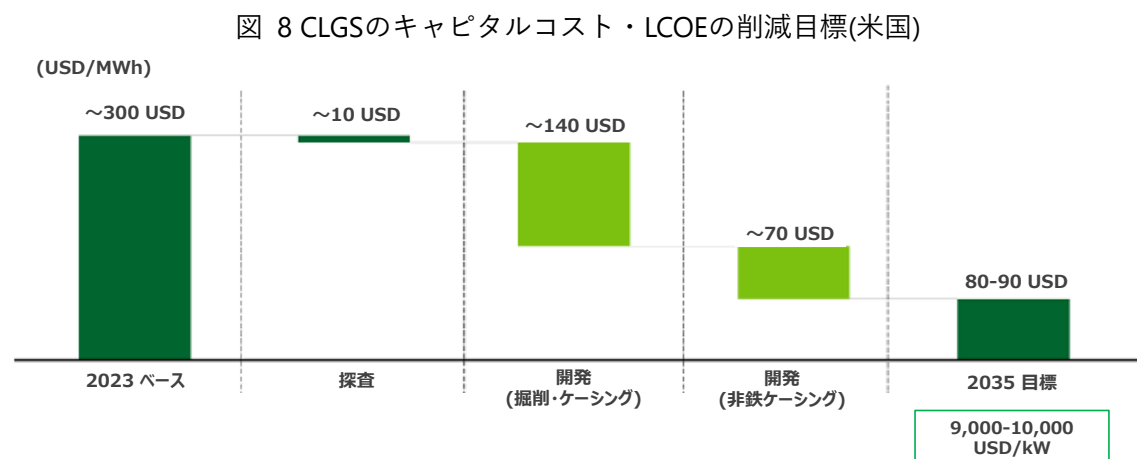
削減によって低減させることを目標としている。この2030年のキャピタルコスト目標をLCOE換算すると60～70USD/MWh、2035年の目標は45USD/MWhとなり、前述の「Enhanced Geothermal Shot」政策における目標と整合性が取れる。

もっとも、本稿執筆時点において、米国の第二次トランプ政権は関税による保護主義的な政策を採用しており、次世代型地熱発電所の設備・機器類が国内のサプライチェーンで賄えない場合にはキャピタルコストが高止まりする可能性も否めない。

2024年の報告書「Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power」は、2022年の「Enhanced Geothermal Shot」政策の実現に向けたロードマップの性格を有するといえるだろう。

(3) 米国の次世代型地熱発電(CLGS)の国家開発目標

米国は前述のEGSについてのみならず、CLGSについても高い開発目標を掲げている(図8)。



出典) US DOE (2024) 「Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power」 p.28

US DOE は、2024 年の報告書「Pathways to Commercial Liftoff: Next-Generation Geothermal Power」のなかで、CLGSのLCOEは、足元で300USD/MWh程度だが、2035年には80～90USD/MWhにまで低減することを目標にしている。これをキャピタルコストに換算すると、9,000～10,000USD/kW程度になるという。ただし、EGSと同様、トランプ政権の関税政策がキャピタルコストに影響する可能性もある。

(4) 米国の次世代型地熱発電の開発目標を支える具体的政策

米国のEGS・CLGS開発目標を支える具体的政策をみると、次世代型・従来型に共通の政策に加え、次世代型特有の支援策を導入し始めている点に大きな特徴があるといえそう(表3)。

次世代型特有の主な政策として、上述のコスト目標と導入量目標の設定がある。これに加え、開発リスク緩和のための資金援助として、EGS向け助成金制度がある。助成金は既に第1ラウンドにおいて6,000万USDが決定し、第2ラウンドが公募中で1,420万USDが予定されている。

表 3 次世代型地熱発電の開発目標を支える具体的政策(米国)

<次世代型特有の主な政策>				
目標設定	・発電コスト: EGSコストを2035年までに90%削減し、45USD/MWhにする。 (導入量: 2035年: 30-35GW; 2050年: 90-100GW。)			
資金援助 (リスク緩和)	・ EGS向け助成金 (第1ラウンド: 60百万USD決定済; 第2ラウンド: 14.2百万USD未定)			
	トピックエリア1	トピックエリア2	トピックエリア3	トピックエリア4
	既存インフラを活用したEGS発電	新規EGS発電	超臨界地熱発電	米国東部でのEGS発電
(第1ラウンドではトピックエリア1～3、第2ラウンドではトピックエリア4の次世代型地熱案件を公募)				
<次世代型・従来型共通の主な政策>				
資源評価 データ共有	・ 関連データへの公開アクセスが可能な地熱データベースを作成 (Geothermal Data Repository (GDR))。石油・ガス会社とのデータ共有協定も。			
許認可 プロセス	・US DOEの報告書のなかで、 中央集権的な連邦許認可事務所の設立を推奨 、環境に低影響の地熱案件を完全な環境影響評価から除外することを推奨。			
資金援助 (報酬スキーム)	・クリーン電力投資税額控除(CEIC) 風力・太陽光・水力・蓄電池・海洋・原子力・地熱等のクリーン発電設備に、 投資額の6%、一定の雇用条件を満たす場合には、最大5倍または30%までの税額控除を認める。 (IRA)			
	・クリーン発電税額控除(CEPC) 上記の発電設備からの電力に、0.3USセント/kWhの税額控除を認める。※CEICとの併用は不可。			
研究開発	・US DOEの地熱技術オフィス(GTO)が2010年以降、 470百万USD以上を投資。 FORGE案件では次世代地熱の開発を促進し、掘削コストを20%以上削減。 Fervo Cape Station案件でもコスト削減に貢献。			

出典) 各種資料に基づき筆者作成。

また、次世代型・従来型共通の主な政策として、米国政府は資源評価のデータ共有のために地熱データベースを構築しており、石油・ガス企業とのデータ共有協定の締結なども行っている。許認可プロセスについては、US DOEがその報告書「GeoVision」のなかで許認可手続きの簡素化を推奨している。報酬スキームとしての資金援助には、インフレ抑制法(IRA)に基づき、クリーン電力投資税額控除(CEIC)制度、及びクリーン発電税額控除(CEPC)制度が存在している¹⁶。研究開発には、US DOE内の地熱技術オフィス(GTO)が、2010年以降、4億7,000万USD以上を投資しており、掘削コスト削減等に貢献している。

(5) 欧州・ニュージーランド等の動向

米国だけでなく、欧州やニュージーランド等も次世代型地熱発電に力を入れ始めている(表4)。もともと欧州各国は、従来型地熱の延長線上でEGS開発を進めていたが、2023年12月、欧州議会が「Innovative technologies in the development of geothermal energy in Europe」を公表し、次世代型地熱の概念に言及した。2024年12月には、EU理事会も地熱エネルギーの利用促進を承認し、EU委員会に「European Geothermal Action Plan (欧州地熱行動計画)」の策定を要求している。今後、このプランに基づき、欧州における次世代型地熱の支援策・規制等が整備されるだろう。

¹⁶ 前述のとおり、第2次トランプ政権下でインフレ抑制法(IRA)に基づく税額控除制度の廃止が取り沙汰されていたが、2025年7月に成立した米国減税・歳出法(OBBBA)では、地熱プロジェクトに関する税額控除制度は維持されている。

また、ニュージーランドでは、2024年11月に、政府が地域インフラ基金から最大6,000万NZD(約53億円)を確保し、超臨界地熱技術の可能性を探るための投資に充てることが決定されている。

表 4 欧州・ニュージーランド等の動向

[欧州]

2023年12月	欧州各国は、従来型地熱の延長線上でEGS開発を進めていたが、欧州議会が「Innovative technologies in the development of geothermal energy in Europe」を公表し、次世代型地熱の概念に言及。
2024年12月	EU理事会が地熱エネルギーの利用促進を承認し、 EU委員会に「欧州地熱行動計画」の策定を要求。

[ニュージーランド]

2024年11月	ニュージーランド政府は、地域インフラ基金から 最大60百万NZD(約48億円) を確保し、 超臨界地熱技術の可能性を探るための投資 に充てることを決定。
----------	--

[国際エネルギー機関(IEA)]

2024年12月	IEAは、次世代型地熱に関する報告書「The Future of Geothermal Energy」を公表。
2025年3月	訪日中のIEAビロル事務局長は、「地熱エネルギーは古い技術だが、 石油ガス産業の水圧破碎・水平掘削等の技術 を用いてより深い地下から取り出すことができる。地熱のコストが下がり、 24時間7日間連続で取り出せるクリーンな電力・熱エネルギー になるかもしれない」と発言。(IEEJ主催シンポジウムにて)

出典) 各種資料に基づき筆者作成。

さらにIEAは、次世代型地熱に関する報告書「The Future of Geothermal Energy」を2024年12月に公表している。2025年3月、訪日中のIEAビロル事務局長は、(一財)日本エネルギー経済研究所主催シンポジウムにおいて「地熱エネルギーは古い技術だが、石油ガス産業の水圧破碎・水平掘削等の技術を用いてより深い地下から取り出すことができる。地熱のコストが下がり、7日間24時間連続で取り出せるクリーンな電力・熱エネルギーになるかもしれない」と発言している。

5. 次世代型地熱発電の課題

次世代型地熱発電はポテンシャルが大きく、米欧の政策も積極的に後押しし始めていることをみてきたが、本章では、海外・日本の次世代型地熱発電に共通の課題を整理する。

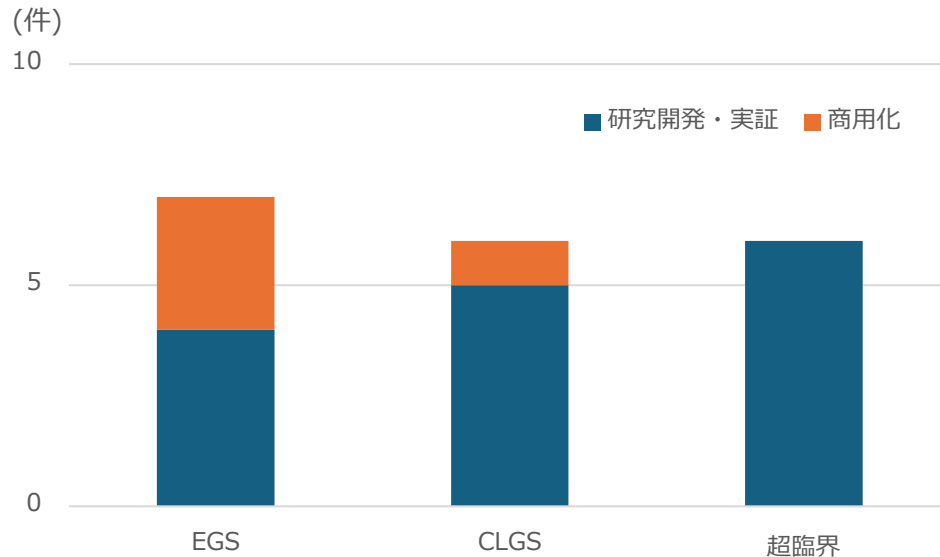
(1) 世界の主な次世代型地熱発電プロジェクト(2016年以降)の進捗状況

2016年以降開始の世界の主な次世代型地熱発電プロジェクトをみると、次世代型地熱発電の商用化は限られていることがわかる(図9)。

図9が示す、EGS商用化案件は英国のUnited Downs、及び米国のFervo Project Red、Fervo Cape Stationの計3件、CLGS商用化案件はドイツのEavor-Loop Geretsriedの1件を指している。また、米国の2案件を牽引する米Fervo Energy社や、ドイツの案件を牽引する加Eavor Technologies社には日本企業が出資しており、次世代型地熱発電プロジェクトは国際化している面もある。

次世代型地熱発電プロジェクトについては、市場は今なお黎明期ではあるものの、米国が特にEGS方式で数歩リードしつつある状況といえよう。

図 9 技術別・開発フェーズ別の主なプロジェクト数(2016年以降)



出典) 各種資料に基づき筆者作成。

(2) 次世代型地熱発電の商用化に取り組む企業例¹⁷

商用化に向けて、次世代型地熱開発企業は多額の資金を調達する必要がある。たとえば、米国のEGSで有名なFervo Energy社は、2023年にGoogleと組んで3,500kWの新型地熱発電所をネバダ州で運転開始した。同社のコア技術は地下を水平掘削して地層を破碎し、亀裂に循環水を注入して地下熱で水を加熱し、発電用の蒸気を生産するというものである。水平の井戸の掘削はシェール開発技術と類似し、ヒューストンに集積する石油産業のノウハウを活用している。同社は、さらにネバダ州同地で115MW、ユタ州では400MWの地熱発電所の運転開始を予定している。同社は、支援・出資の状況について、2024年に総額2億4,400万USDを調達したと発表しており、主な出資者には、日本からも三菱重工業や丸の内イノベーションパートナーズが含まれている。その後、同年9月に1億USD、同年12月に2億5,500万USD、2025年6月には、Breakthrough Energy等から2億600万USDを追加的に調達している。

また、CLGSで世界的に有名なカナダ企業のEavor Technologies社は、マルチラテラル方式のクローズドループ発電技術を開発しドイツで実証中であり、近いうちに部分的な商業運転を開始予定である。同社は、支援・出資の状況に関し、2023年に1億8,200万CADを調達するなど、計2億7,800万CADを調達している。主な出資者には、日本からも中部電力、鹿島建設、ジャパンエナジーファンドが含まれ、このほかbp Venturesなども含まれている。同社はドイツのGeretsreid案件に対しては、別途、EUイノベーション基金から9,160万ユーロの補助金、および国際協力銀行(JBIC)、欧州投資銀行、みずほ銀行等から1億3,000万ユーロ

¹⁷ 資源エネルギー庁&環境省(2024)「地熱開発加速化パッケージ」p.65、各社HP等

の資金を調達している。

(3) 次世代型地熱発電の主な技術的課題

IEAレポートや各国におけるプロジェクト等から導き出される次世代型地熱発電の技術的課題として、次世代型地熱発電の開発・運用プロセスにおける誘発地震リスク、掘削コスト削減、井戸整備などが挙げられる(表5)。

表 5 次世代型地熱発電の主な技術的課題

技術的課題	概 略
(1)誘発地震 リスク	地熱開発は地震を誘発する可能性があり、 従来型、CLGSにも、貯留層や岩石の長期的な冷却の点で関連している。EGSは、貯留層の刺激が誘発地震の追加リスク要因となる。 ⇒ 2012年に、US DOEはEGSプロジェクトに関する誘発地震に対処するための一般的なガイドラインを記したプロトコルを発表。 ⇒ 誘発地震の要因を理解し、関連リスクを軽減するための研究プロジェクトも進められている。 ⇒最近では、石油・ガス開発の教訓から、マイクロ地震の監視を通じた進展や、多段階刺激技術を使用することで、潜在的な地震の振幅を制限することも可能とされている。 ⇒国際的な研究開発イニシアティブにより大規模な地震回避も進められている。
(2)掘削コスト	事業採算性の観点から、 掘削時間の短縮が重要。 ⇒石油・ガス産業の知見を活用し、 貫入率の向上、ドリルビットの寿命延長、サプライチェーン効率化と物流改善による運用加速とダウンタイム削減。 (ex. 高パルス電力掘削、熱衝撃掘削、ミリ波レーザー掘削、打撃掘削、高圧水ジェット支援掘削、方向性鋼ショット掘削、プラズマベース掘削)
(3)井戸整備	液体と蒸気の流体が機械的な問題を引き起こす可能性がある。 ⇒ 高温及び腐食に耐える地下設備の研究が進められている。

出典) IEA (2024) 「The Future of Geothermal Energy」等

技術的課題の第一は誘発地震リスクである。IEAによると、そもそも地熱開発は振動を誘発するリスクがあり、従来型やCLGSにも、貯留層や岩石の長期的な冷却の点で関連している。これに加え、EGSの場合には、貯留層を水圧破碎等により刺激することが誘発地震の追加リスク要因になる。この点、2012年には、US DOEがEGSプロジェクトに関する振動に対処するための一般的なガイドラインを記したプロトコルを発表している。現在、米国のEGS開発現場では振動のモニタリングが常時行われ、振動の規模に応じてモニタリングを継続しながら操業を停止するなどの操業管理が行われている¹⁸。また、米国以外の国も誘発地震リスク軽減のための研究プロジェクトを進めている。さらに、カーボンリサイクルCO₂地熱は、岩盤破碎を水よりも粘性の低いCO₂で行うことにより、微小振動が生じるリスクはあるものの、マグニチュードの大きな誘発地震を予防する効果を有するといわれている。

第二の技術的課題として、事業採算性の向上のための掘削時間の短縮に代表される掘削コストの削減が挙げられる。この目的のため、石油・ガス産業の知見を活用し、貫入率の向上、ドリルビットの寿命延長、サプライチェーン効率化と物流改善による運用を加速しダウンタイムを削減することが重要と考えられている。

第三の課題は井戸整備である。液体と蒸気の流体が機械的な問題を引き起こす可能性があるため、高温及び腐食に耐える地下設備の研究が進められている。

¹⁸ 資源エネルギー庁(2025)「第2回 次世代型地熱推進官民協議会 次世代型地熱推進ロードマップの策定に向けて」

(4) 次世代型地熱発電の主な政策的課題

次世代型地熱発電の主な政策的課題について、IEAレポートや各国の政策を参考にしつつ、再整理した(表6)。主な政策的課題は、①目標設定、②周辺コミュニティの理解、③資源評価のデータ共有、④開発リスクの緩和、⑤許認可プロセスの短縮、⑥リスク緩和スキームとしての資金援助、⑦報酬スキームとしての資金援助、そして⑧研究開発と8つにまとめることができる。

表 6 次世代型地熱発電の主な政策的課題

政策的課題	概 略
①目標設定	導入目標やコスト目標を国のエネルギー計画に明確に織り込む。
②周辺コミュニティの理解	地元住民、温泉事業者等の反対を抑え、周辺コミュニティの支持を得る。
③資源評価のデータ共有	地熱開発者や金融機関等が、開発前段階で、正確かつ標準化された地下地質データへのアクセスを行える体制を整備する。
④開発リスクの緩和	国営企業が単独、又は民間企業と協力する形で地熱資源の探査・開発を行い、投資がなされないリスクを緩和する。
⑤許認可プロセスの短縮	鉱物や化石燃料等の他の地下資源と同じ法的枠組みで規制、許認可のための責任省庁が分散、地熱行政の能力不足などを解消する。
⑥資金援助(リスク緩和)	政府やMDBs等による助成金制度や公的保険スキームなど、掘削が成功しない財務リスクを緩和する。
⑦資金援助(報酬スキーム)	FITやFIP等により、地熱発電所の運用中の長期的な収益の安定性を向上させる。
⑧研究開発	次世代型地熱エネルギーの展開を遅らせる技術的、環境的、経済的な障壁を克服する。

出典) IEA (2024) 「The Future of Geothermal Energy」等を参考に筆者作成。

これらは従来型地熱と共通の課題でもあり、各国において、既に対応がなされているものもあるが、次世代型地熱発電の導入促進のためには、課題ごとの対応策が十分に検討されるべきであろう。

6. 日本と次世代型地熱発電

最後に、国際動向を踏まえ、日本の次世代型地熱発電に関する政策についての分析と提案を行いたい。

(1) 政策的課題に対応する日本の政策

まず、前章でまとめた、世界一般的な主な政策的課題に対応する、日本の主な地熱政策をみてみよう(表7)。

日本は次世代型・従来型共通のさまざまな政策を既に導入している。「①目標設定」については、日本は「2030年に1.5GW」という導入量目標を設定しているが、次世代型の導入時期は2030年代以降と想定されているため、実質的には、この目標は従来型に関する目標と考

えてよい。また、第7次エネルギー基本計画の関連資料である「2040年度におけるエネルギー需給の見通し」では、地熱の2040年度の導入量目標は「2040年度の総発電電力量(1,100～1,200TWh)の1～2%」とされている¹⁹。しかし、この点、米国のように次世代型地熱発電のコスト目標、導入量目標があった方がよいのではないだろうか。

表 7 政策的課題に対応する日本の政策(例)

国際的な政策的課題	日本の現行政策(例)
①目標設定	・2030年度に1.5GW ・2040年度に総発電電力量(1,100～1,200TWh)の1～2%
②周辺コミュニティの理解	・経産省による地熱開発官の新設、及び環境省の地熱発電等調整専門官との連携 ・JOGMECによる市町村や都道府県、地元住民等への説明
③資源評価のデータ共有	・JOGMEC 地熱データベースシステム ・産総研 地熱情報データベース
④開発リスクの緩和	・JOGMECによる先導的資源量調査+今後、掘削・噴気試験も実施
⑤許認可プロセスの短縮	・国が全面的に支援する地熱フロンティアプロジェクト ・経産省・環境省・林野庁の緊密な連携による許認可対応のフォロー
⑥資金援助(リスク緩和)	・JOGMECによる地熱資源量調査助成金 ・JOGMECによる探査出資 ・JOGMECによる開発債務保証
⑦資金援助(報酬スキーム)	・FIT ・FIP
⑧研究開発	・NEDOによる技術開発 ・JOGMECによる技術開発(地下構造の探査手法の高精度化、坑井掘削の期間短縮化・低コスト化等のための技術開発など)

出典) 各種資料に基づき筆者作成。

「②周辺コミュニティの理解」については、地熱開発官の新設や、JOGMECによる地方自治体、地元住民への説明など、地熱導入促進に向けて、政府機能を強化している面はあるといえる。他方、賛否はあるかもしれないが、ケニアにみられるような自治体への財政的インセンティブの付与や、地元住民のリスクリングも含めた地熱発電所の運営・維持管理(O&M)要員等の周辺コミュニティでの雇用創出などが検討されてもよいだろう。

「③資源評価のデータ共有」については、JOGMECや産総研がそれぞれデータベースを構築し公開しているが、これらのデータベースが今までに日本の官民が掘削してきた地下データを一元的に管理しているといえるのか疑問が残る。次世代型地熱の導入に向けては、掘削ポイントの増加が予想されるため、民間企業が掘削した際の地下データの共有も含め、資源評価のデータ共有について改善の余地があるのかもしれない。

「④開発リスクの緩和」に関し、従来型地熱に対しては、政府実施機関であるJOGMECが先導的資源量調査に加え、今後は掘削・噴気試験も実施していくことになる。ただし、これは、地熱開発加速化パッケージで従来型地熱に関する施策とされているが、次世代型地熱開発についても類似の体制が整えられることが望ましい。

¹⁹ 地熱発電所の設備利用率を75～80%として簡易計算を行うと、2040年度の地熱導入量目標(発電容量ベース)は1.6～3.7GWとなる。

「⑤許認可プロセスの短縮」の点では、地熱フロンティアプロジェクトや省庁間の緊密な連携がとられるなど、一定の政策効果はあると考えられる。もっとも、そもそも地熱を一元的に取り扱う「地熱法」の検討や、自然公園内の開発に関する規制緩和、環境影響評価プロセスの短縮など、許認可プロセスの短縮施策を更に加速させてもよいのではないだろうか。

「⑥開発リスク緩和のための資金援助」に関し、従来型地熱開発に対してはJOGMECによる助成金・出資・債務保証が存在している。しかしながら、この枠組みは、次世代型地熱には対応していないようだ。次世代型地熱の導入促進という意味では、この枠組みを次世代型にも適用できるような検討を行うとともに、さらに上乗せ支援として、米国やニュージーランドにみられる次世代型特有の資金援助スキームを整備するということが必要ではないだろうか。日本ではグリーンイノベーション基金の活用などが想定される。

一方、「⑦報酬スキームとしての資金援助」ということでは、日本にはFIT・FIP制度が既に存在し、15MW未満の調達価格・基準価格は40円/kWh、15MW以上の調達価格・基準価格は26円/kWhと設定されている。次世代型地熱にも従来型と同様に適用されるならば、ある程度手厚い補助水準と考えてよいのではないだろうか。ただし、その調達価格・基準価格は、資本費、運転維持費、設備利用率等のパラメータについて、従来型地熱の既存プロジェクトを参照して決定されている。従来型と次世代型とで当面は乖離が大きい資本費については、上記の「⑥開発リスク緩和のための資金援助」にて基本的に支援されるものと考えるが、次世代型地熱の導入当初は資本費の一部をFIT・FIPにて補完することも考えられるだろう。

最後に「⑧研究開発」について、現状、NEDO・JOGMECによる技術開発支援が行われているが、次世代型の個別技術(EGS、CLGS、超臨界地熱等)の研究開発・国内実証の加速、及び人材育成の支援といった観点から、より中長期的かつ大規模な研究開発・人材育成への支援が必要ではないかと考える。

(2) 今後どのように日本の次世代型地熱発電の導入を促進していくか？

今後どのように日本の次世代型地熱発電の導入を促進していくか？ということを考えたとき、諸外国の政策やプロジェクト等から学ぶべき点も多く、諸外国の例から日本への政策的示唆が浮かび上がってくる。日本の政策への提言をまとめると以下のとおりである。

第一に、次世代型地熱発電特有の政策として、

- (a) 具体的な目標・ロードマップの設定²⁰
 - (b) 開発リスク緩和のための次世代型向け資金援助制度の整備
 - (c) 次世代型の個別技術(EGS、CLGS、超臨界地熱等)の研究開発・国内実証の加速、及び人材育成の支援
 - (d) 石油・ガス産業、CCS産業との技術交流・人材交流の強化
- などを通じて、技術・市場ポテンシャルが高い次世代型地熱発電の開発へのシフトを促す。

²⁰ 具体的な目標・ロードマップがEGS・CLGS・超臨界地熱の個別技術毎に設定された場合には、各技術間の競争と協力が同時に促進され、なお効果的であろう。

また第二に、次世代型・従来型地熱発電共通の政策としては、特に、

- (a) 周辺コミュニティの理解
- (b) 資源評価のデータ共有
- (c) 許認可プロセスの短縮

のための政策を強化し、試掘前後の開発リードタイムをさらに短くすることを図る。具体的には、地方自治体への財政的インセンティブ付与、リスクリングも含めたO&M要員等の周辺コミュニティでの雇用創出、一元化された地下データベースの整備・共有、「地熱法」の検討、自然公園内の開発に関する規制緩和、環境影響評価プロセスの短縮などの施策である。

これらの次世代型地熱発電の導入促進策によって、従来型地熱発電の、①開発に時間がかかる割に、②リスクが大きく、③発電容量という意味でのリターンがあまり大きくない、という課題を大きく緩和することができないだろうか。

7. おわりに

今後、日本が次世代型地熱発電の導入を促進するためには、事業者がEGS、CLGS、超臨界地熱等の個別技術それぞれのデメリットを克服する技術開発を加速するとともに、事業者の活動を後押しする政府支援が欠かせない。

次世代型地熱を脱炭素化に向けたゲームチェンジャーとするためには、産官学が協力し、EGSでは誘発地震リスク低減、CLGSでは発電容量拡大・地下配管整備、超臨界地熱では超臨界水の発見・材料技術の改善などの技術開発に注力しつつ、政府支援のもと、日本における実証に取り組むことが急がれる。同時に、政府には、次世代型特有の政策としての具体的な目標・ロードマップの設定、開発リスク緩和のための資金援助制度の整備や、次世代型・従来型共通の政策としての開発リードタイムの更なる短縮などの政策的課題に対応する制度的支援が求められる。この点、現在、資源エネルギー庁が次世代型地熱の目標・ロードマップや資金援助制度等の検討を行っていることは非常に高く評価できる²¹。

また、次世代型地熱発電の実証・商用化に際しては、供給側のみならず、需要側との組合せを考慮して導入を進めることも肝要であろう。具体的には、発電所の開発をデータセンター建設とセットで進めるなど、次世代型地熱発電所を地産地消の産業集積に組み込むことである。これによって、次世代型地熱の環境性・安定性を評価しつつ、より効率的な電力需給マッチングが可能になるだろう。

次世代型地熱発電は、日本のエネルギー政策の分析視座である「S+3E」(S: 安全性(Safety)、3E: エネルギー安定供給性(Energy Security)、経済効率性(Economic Efficiency)、環境性(Environment))のそれぞれの要素に大きく貢献する潜在力を有している。今後、次世代型地熱推進官民協議会等の場における産官学の議論の深化を通じ、早期の実証・実用化への道筋の立案・共有が期待されている。

以上

お問い合わせ: report@tky.iej.or.jp

²¹ 資源エネルギー庁(2025)「次世代型地熱の推進に向けて」、資源エネルギー庁(2025)「第2回 次世代型地熱推進官民協議会 次世代型地熱推進ロードマップの策定に向けて」、他。