

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

令和7年7月15日

資源エネルギー庁 資源・燃料部

# 目次：

1. 第1回官民協議会の振り返り
2. 日本における従来型地熱の現状と課題
3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性
4. 次世代型地熱の目指すべき発電コスト
5. 次世代型地熱における資源量の考え方
6. 次世代型地熱のロードマップ（政府支援方針）案
7. 次世代型地熱の経済波及効果
8. 次世代型地熱によるCO2削減量の試算

# 1. 第1回官民協議会の振り返り

## 次世代型地熱官民協議会の設置目的

令和7年4月14日 第1回次世代型地熱官民協議会 資料4

- 第7次エネルギー基本計画では、安定的な発電・地域へ裨益する地熱発電について、様々な課題を克服して競争力のある電源としていくことを明記。
- 特に、地熱ポテンシャルを現状の4倍以上に拡大する可能性がある次世代型地熱技術の開発を進め、早期の実証を目指すことや、地熱発電の導入加速に向けた具体的な計画や目標等を策定することとした。
- **本協議会では、抜本的な地熱発電の導入拡大を実現し、早期の実用化を目指すため、官民で議論し、資源エネルギー庁がそのロードマップを取りまとめることを目的とする。**

### 第7次エネルギー基本計画 抜粋

海外では、日本企業も参画し、熱水のない場所でも発電が可能なクローズドループや地熱増産システムなどの実証が進められている。また、日本でも、NEDOや産総研等が、地下深くの高温・高圧な熱水を活用した超臨界地熱に関する調査を行っている。抜本的な地熱発電の導入拡大を実現するため、こうした**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。**

～一部省略～

今後、**2040年**に向けて地熱発電の導入を加速させていくための具体的な計画や目標等を策定する。

### 2040年度におけるエネルギー需給の見通し

	2013年度(実績)	2022年度(実績)	2040年度(見通し)
電力需要	0.99兆kWh	0.90兆kWh	0.9~1.1兆kWh程度
産業	0.36兆kWh	0.32兆kWh	0.38~0.41兆kWh程度
業務	0.32兆kWh	0.31兆kWh	0.29~0.30兆kWh程度
家庭	0.29兆kWh	0.26兆kWh	0.23~0.26兆kWh程度
運輸	0.02兆kWh	0.02兆kWh	0.04~0.10兆kWh程度
発電電力量	1.08兆kWh	1.00兆kWh	1.1~1.2兆kWh程度
再エネ	10.9%	21.8%	4~5割程度
太陽光	1.2%	9.2%	23~29%程度
風力	0.5%	0.9%	4~8%程度
水力	7.3%	7.7%	8~10%程度
地熱	0.2%	0.3%	1~2%程度
バイオマス	1.6%	3.7%	5~6%程度
原子力	0.9%	5.6%	2割程度
火力	88.3%	72.6%	3~4割程度

# 1. 第1回官民協議会の振り返り

令和7年4月14日 第1回次世代型地熱官民協議会 資料4

## 次世代型地熱官民協議会の概要

- 本協議会は委員・協議メンバー・オブザーバーで次世代型地熱について議論し、意見を集約。資源エネルギー庁が令和7年中に、次世代型地熱の社会実装に向けたロードマップ等を取りまとめる。
- 取りまとめたロードマップ等は、資源・燃料分科会で報告し、正式決定を予定。

### 構成員等

#### <委員>

- 藤光 康宏：九州大学 大学院工学研究院  
地球資源システム工学部門 教授（座長）
- 長縄 成美：秋田大学大学院 国際資源研究科 資源開発環境学 教授
- 小澤 英明：小澤英明法律事務所 弁護士
- 浅沼 宏：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
福島再生可能エネルギー研究所 再生可能エネルギー  
研究センター キャリアリサーチャー
- 大森 嘉彦：一般財団法人日本エネルギー経済研究所  
理事 クリーンエネルギーユニット担当

#### <オブザーバー>

環境省、林野庁、JOGMEC、NEDO

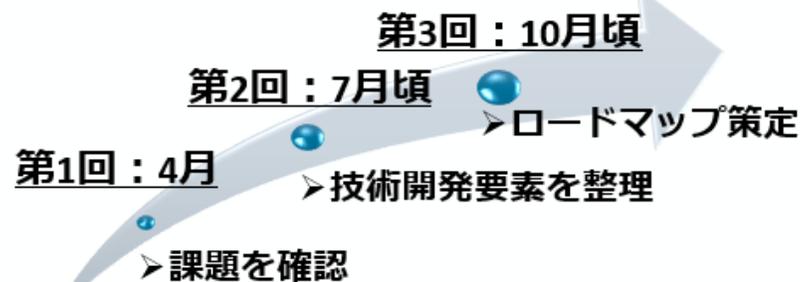
#### <協議メンバー>

地熱発電事業者、掘削事業者等、全76社/団体

#### <事務局>

資源エネルギー庁 資源・燃料部

### 官民協議会開催の流れ



	目標
第1回 (本日)	<ul style="list-style-type: none"><li>● 事務局から、次世代型地熱の取組の方向性を提示</li><li>● 事業者の取組みを紹介</li></ul>
第2回	<ul style="list-style-type: none"><li>● 事務局からロードマップ（案）の提示</li><li>● 事業者の取組みを紹介</li></ul>
第3回	<ul style="list-style-type: none"><li>● 第1・2回での議論を踏まえ、ロードマップ（案）について、最終案を取りまとめ</li></ul>

# 1. 第1回官民協議会の振り返り

## 第1回官民協議会の議事概要

### 次世代型地熱の取組意義・政策目標に関すること

- IEAレポートなど、国際的にも地熱電源は、長期的かつ安定的な電源として期待されている。
- 2040年見通しの1~2%を考慮すると、従来型・次世代型はどのくらいの容量を見込めるのか整理が必要。
- 地熱開発加速化パッケージで公表された次世代型地熱ポテンシャルとして77GWは、政策指針としては過小評価であり、民間事業者が次世代型地熱に取り組む上でも精査すべき。
- そもそも地熱発電事業における高コスト構造の是正という観点を検討する必要がある。
- 目指すべき発電コストとして、事業化する際に必要なコストまでの削減という点では、米国など海外での整理等を参考にメルクマールを検討すべき。

### 具体的な取組に関すること

- 実用化に向けて必要なことは、事業性を踏まえた実証事業の実施。技術開発を踏まえた技術の実証に加えて、事業性の観点も検討する必要がある。その上で、実証事業におけるステージゲートの設置位置や判断基準、検証法などの適切な設定が必要。
- 実証事業を実施する上で、サイト選定も重要な要素。日本の複雑な地層の中で、適切なサイトを選定するためにも、広く地下情報を官民で共有しつつ検討する必要がある。
- 次世代型を実施する上で土地確保やEIAの期間短縮、大深度掘削が可能なリグ確保などの根本的な諸課題についても検討する必要がある。
- 次世代型地熱発電が実用化したときのために、次世代の人材育成も重要。人材確保および育成に関する検討も必要。
- 次世代型地熱における温泉法等の既存の規制法令などとの関係や、新たに整理すべき権利等の法的論点なども検討を進める必要がある。
- 次世代型の技術開発等を実施することで、従来型も並行して盛り上げていくことで、地熱全体が盛り上がるような構図も必要。

## 2. 日本における従来型地熱の現状と課題

### 地熱の偏在とそれに伴う制限

- “従来型”地熱資源は火山活動のある山間地域に偏在しており、国立・国定公園や保安林・保護林等の区域と重なる場合が多く、開発面積に制限がある。また、天然に存在する地熱貯留層の規模（1坑井当たりの出力等含む）が限定的であることから、他電源と比較して大規模・大出力の開発は難しい状況。
- そのため、従来型地熱だけでは限界があり、抜本的な取り組みが必要。

### 国立・国定公園特別地域における主な地熱発電所

環境省による規制緩和により国立・国定公園内での調査も進んでいるが、過去と比較して最近の大規模開発は少ない。

発電所	運転開始年	認可出力 [万kW]
松川	昭和41年	2.35
大沼	昭和49年	0.95
鬼首	昭和50年(令和5年リプレイス)	1.25→1.49
八丁原	1号機：昭和52年 2号機：平成2年	1号機：5.5 2号機：5.5
大岳	昭和42年(令和2年リプレイス)	1.25→1.37
葛根田	1号機：昭和53年（令和4年廃止） 2号機：平成8年	1号機：5.0 2号機：3.0

### 国有林における制限

- 地熱開発に限らず**使用許可面積は5ha=50,000m<sup>2</sup>**  
※国有林の管理経営に関する法律

### 保安林における制限

- 変更区域面積：0.2ha=2,000m<sup>2</sup>**、許可期間は原則2年
- 開発移行時には保安林解除申請  
※現在、林野庁と地熱協会が試掘時の保安林解除手続きガイドを作成中。

### 地熱生産井の出力の目安

- 一般的には**3,000~10,000kW程度**とされている。

※ ただし、坑井仕様や地熱フィールドの温度・圧力・透水性などによって異なる。

＜参考＞国内最大の掘削リグフルスペックで稼働する場合必要な敷地は約12,000m<sup>2</sup>  
※掘削能力:7,500m  
※主に石油・天然ガス・CCS掘削で使用



※ 提供：エスケイエンジニアリング（株）

## 2. 日本における従来型地熱の現状と課題

### 従来型地熱の発電コスト

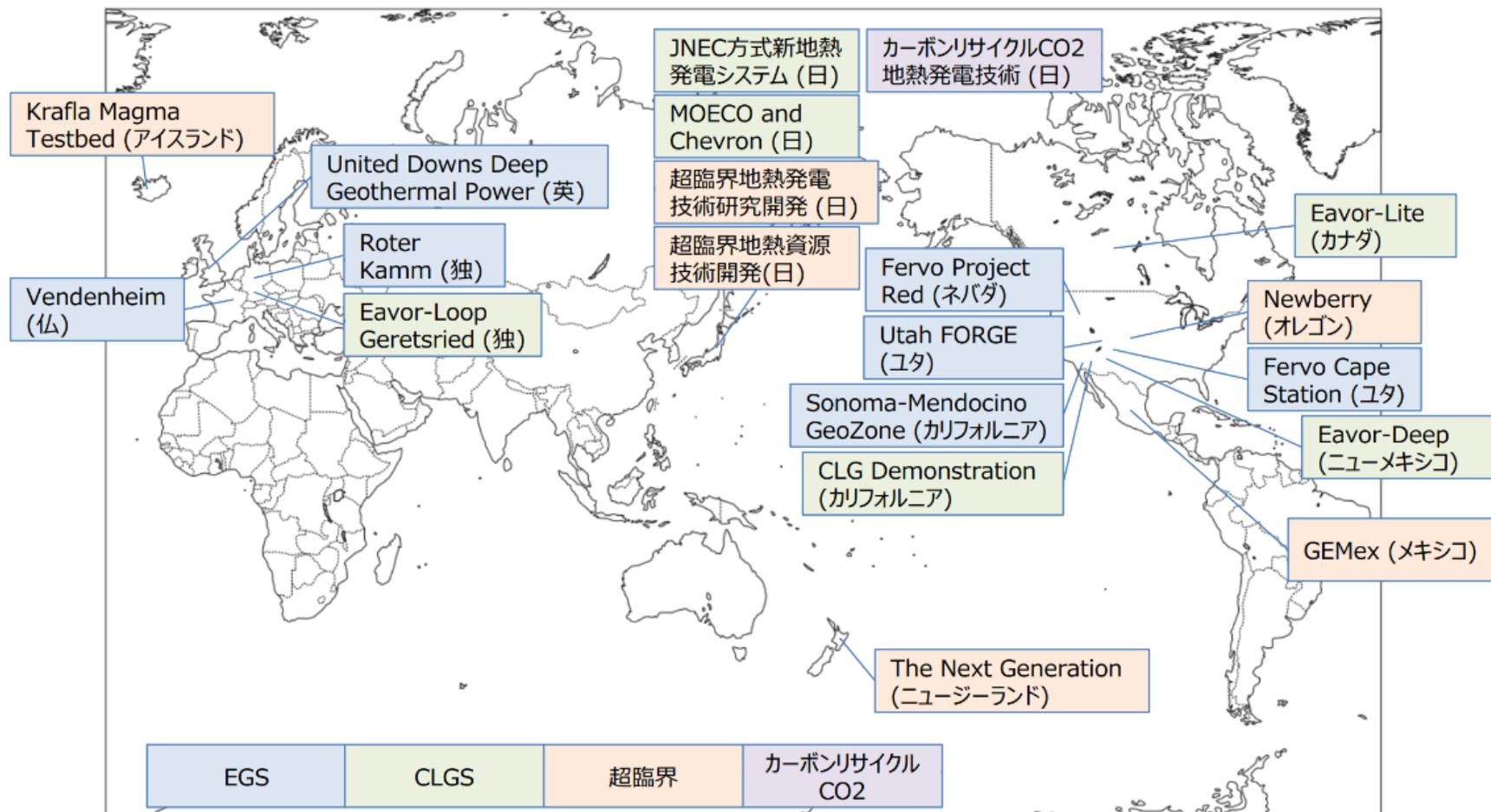
- “従来型”地熱発電のコストは、不確実性が大きく、依然として高水準にある状況。さらに、昨今のインフレによりコスト削減については、業界より厳しい意見が相次いでいる。
- カーボンニュートラルに寄与し、自立的かつ日本の電源の主要たる電源を目指すためには、「地熱開発加速化パッケージ」の従来型の施策に加え、抜本的な取組みが必要。

引用元	発電コスト検証WG 令和7年2月報告書	第98回 調達価格等算定委	次世代型地熱 推進官民協議会
出力	30,000kW	1,000～15,000kW	14,900kW
従来型地熱 発電コスト	政策経費あり：16.1～16.8円/kWh 政策経費なし：10.9円/kWh	資本費：126万円/kW 運転維持費：6.9万円/kW	資本費：4.33～11.5円/kWh 運転維持費：9.49～25.31円/kWh ----- 資本費＋運転維持費＝13.82～36.81円/kWh  ※ 第98回調達価格等算定委資料を基に試算 ※ 割引率を考慮していない
試算前提	稼働年数:40年 稼働率:83% ※モデルプラントに基づき試算	定期報告データ	稼働年数:15・40年 稼働率:83%

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## 世界の次世代型地熱発電技術の実証マップ

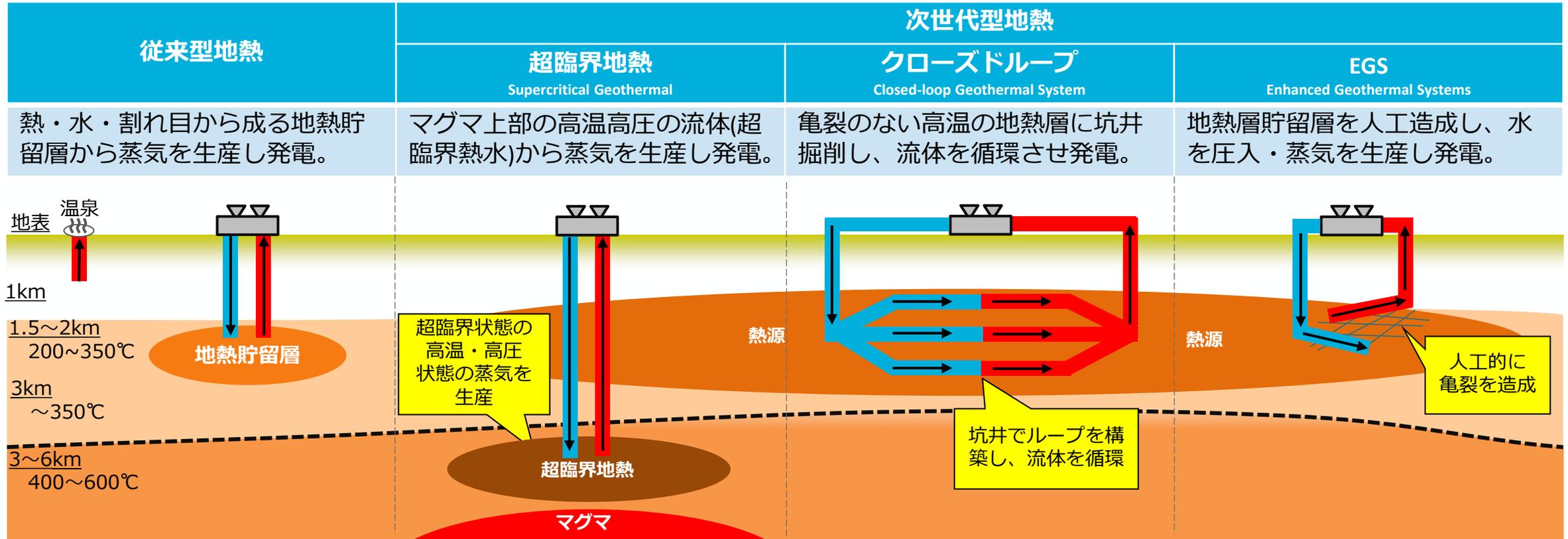
- 次世代型地熱発電技術は、北米・欧州をはじめ様々な国で開発が行われている。



※出典：第1回次世代型地熱推進官民協議会 一般財団法人 エネルギー経済研究所 資料

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## (参考) 主な次世代型地熱技術

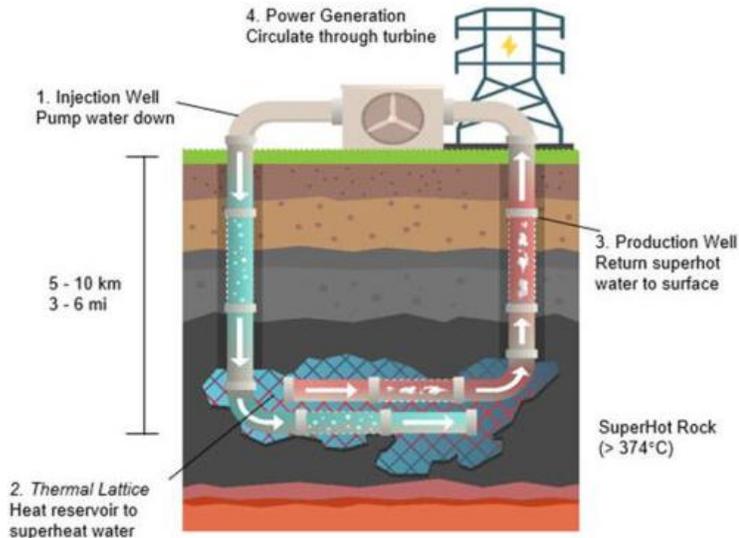


# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## (参考) 世界の主な次世代型地熱プロジェクト



- 米国発のスタートアップ。米DOEの支援を受け、Superhot Rock（超高温岩体）へ掘削し、実証予定。



※ 出典：Mazama Energy ホームページ



- カナダ発のスタートアップ。クローズドループの商用化に向けて、ドイツにて実証中。**中部電力、鹿島**も出資。



※ 出典：鹿島建設ホームページ



- 米国発のスタートアップ。Google社とEGS発電で3,500kWのデータセンター用販売契約を締結。**三菱重工**も出資。



※ 出典：Googleホームページ

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## 次世代型地熱の取組意義

- “従来型地熱”に加えて、長期的かつ安定的な脱炭素電源として魅力的な地熱発電をさらに拡大するためには抜本的な課題解決が必要であり、次世代型地熱はそれに寄与する技術と整理。

### 従来型地熱における主な課題

地熱貯留層（熱・水・亀裂）を見つける必要性

火山周辺の山間地域に偏在性

偏在地域に伴う規制（温泉法・自然公園法等）の多さ

発電出力に対する発電コストの大きさ

それらを総合的に勘案した運転開始までの長いリードタイム

### 次世代型地熱に期待する課題解決

熱があれば開発可能 → 資源リスクの低減・試掘の成功率向上

山間地域以外での展開 → 開発地域の拡大

温泉や自然公園の回避が可能 → 規制リスクの低減

坑井の出力増大・掘進率の向上 → 発電コストの低減

開発リードタイムの短縮

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## 超臨界地熱の世界的動向

- 米国では2025年より、超高温岩帯の掘削技術の開発・実証に係る坑井掘削が予定。
- アイスランドでは、Iceland Deep Drilling Project (IDDP) で超臨界の掘削コストを試算。  
ニュージーランドでは試験井の掘削を2026年に行う予定。

国・地域	項目	世界的動向と革新性
米国	掘削技術の開発及び実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>• オレゴン州ニューベリー火山付近での実証プロジェクトでは、実証主体のMazama Energyが掘削コストの削減のため、<b>Superhot Rock (超高温岩体) における水平坑井掘削を含めた掘削技術、高温・高圧条件に耐え得る掘削機材・配管、ケーシング及び、長期的な坑井性能の予測シミュレーションシステム</b>を開発。</li> <li>• <b>2025年及び2026年に2つの新しい坑井を掘削し、Superhot Rock (超高温岩体) の掘削技術等を実証予定。</b></li> </ul>
アイスランド (IDDP)	掘削コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 国内の従来型地熱井の掘削コストは4.4-6.8M USDであるのに対し、IDDP-1、2におけるFS調査の試算では14-18M USD。</li> <li>• <b>将来的には5km級生産井の掘削コストを8-9M USD/本まで低減すると試算。</b></li> </ul>
ニュージーランド	GNS Scienceによる技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GNS Scienceは2019年～2024年にわたり超臨界地熱に係る基礎研究開発を実施し、<b>2026年末までに試験井の掘削を開始する予定。</b>また、ニュージーランド政府は<b>超臨界地熱発電技術開発への支援のための6,000万NZD (約53億円) の資金を確保</b>することを発表。</li> </ul>
日本	NEDOによる技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 特定の条件下で<b>10万kWの発電が可能、発電コストは10.9～18.9円/kWh (30年) とNEDOが試算。</b>一方で、高腐食性や高温対応、シリカの析出を加味した技術が開発が必要と整理。</li> </ul>

出典：Mazama Energy、<https://mazamaenergy.com/>、KTVZ21、<https://ktvz.com/news/business/2024/12/20/mazama-energy-receives-20-million-dept-of-energy-grant-to-test-super-hot-rock-geothermal-system-at-newberry-volcano/>、ICDP、<https://www.icdp-online.org/projects/by-continent/europe/iddp-2-iceland/>、Friðleifsson et al., The IDDP-2 DEEPEGS Demonstrator at Reykjanes – Overview (2021年4月)、<https://worldgeothermal.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/31002.pdf>、GNS SCIENCE、<https://www.geothermalnextgeneration.com/knowledge>  
2021年度～2023年度成果報告書 地熱発電導入拡大研究開発/超臨界地熱資源技術開発/超臨界地熱資源量評価 (九重地域) (葛根田地域) (湯沢南部地域) (八幡平地域)

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## 超臨界地熱の革新性

- 超臨界地熱は、従来型地熱の現状と比較し出力が大きく、それによる発電コストの低減が期待される。
- 一方で、世界的な動向から、高温・高圧対応の掘削・生産（噴気）の手法、事業性のある掘削・発電技術開発（持続的に生産が可能な坑井仕様に向けた技術開発、高温・耐腐食性を加味した発電設備のエンジニアリング等）の課題が挙げられている。

求められる  
革新性

抜本的な出力の増大

大出力の生産能力

高温・高圧対応技術の確立

坑内冷却技術・耐高温資機材の開発

事業性のある  
掘削・発電技術の確立

事業性のあるエンジニアリング

技術革新を  
達成するための  
指標

坑井能力・生産流体の確認

- 1.5～5万kW/本の生産能力
- 発電技術の検討に向けた生産流体の確認

適切な掘削・生産(噴気)技術  
の確立

- 従来技術でも坑内を冷却して掘削する手法の検討
- 生産に耐え得る耐高温機材の開発

生産流体に応じた対応

- 坑井能力・生産流体の確認を加味したエンジニアリング開始時期と、必要な基礎研究項目の整理

<参考>  
現状

- 従来型地熱では、
  - 0.5～1.5万kW級の発電所の新設が多い状況
  - 0.3～1.0万kW/本の生産能力が一般的

- 石油・天然ガス開発では
  - 約100MPaの高圧井掘削は可能
  - 高温対応は最大で300℃程度であるが、坑内冷却と掘削用水の大量確保で対応可能

- 資源開発において、生産流体の性状が不明な段階で詳細なエンジニアリングは実施しない

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## (参考) 超臨界地熱調査：NEDO地熱発電導入拡大研究開発（2025Fy）

- 2025年度に実施中の追加検討にて社会的制約等の条件を再考慮した結果、これまでの想定より多く（1地域あたり、10万~20万kW程度、特定の条件下、30年間）の発電可能性が示唆された。

### 推定される潜在資源量（最大値）

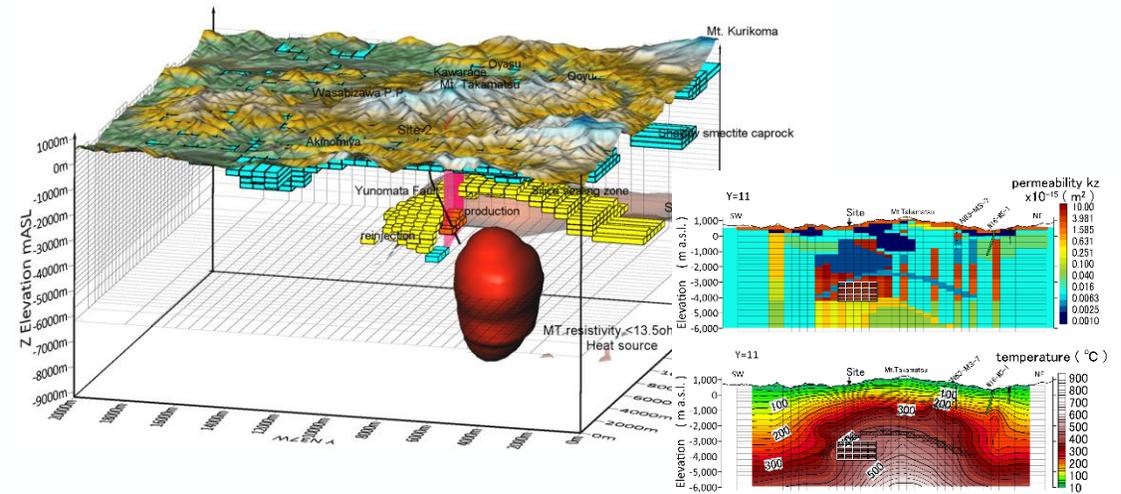
地域	潜在資源量
湯沢南部	精査中 (10万~20万kW程度)
葛根田	
八幡平	
九重	
地域A	-
地域B	-

2025年度事業にて最大発電量を検討中

2025年度事業にて追加候補地を検討

2026年度以降検討

### シミュレーション例（湯沢南部地域）



\* 経済性や社会的制約等の実現可能性を加味し、現時点における最大発電量（30年間の平均発電量）を推定

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## クローズドループの世界的動向

- ドイツでは、マルチラテラル方式のクローズドループの商用運転に向けた工事が進められており、電力供給のみならず熱の併用により事業性の向上に取り組んでいる。
- 米国では既存の地熱井を利用した同軸二重管方式による商業実証が実施されており、既設地熱発電所の出力を高いコスト効率で増強できる技術として期待されている。

国・地域	項目	世界的動向と革新性
ドイツ	地下構造システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>• カナダのEavor社は独自の楕型クローズドループを開発し、カナダと米国での実証を経てドイツのバイエルン州ゲーレッツリート (Geretsried) 市にて世界初の商用クローズドループ発電施設を建設中。</li> <li>• 深さ最大5,000メートルまで掘削された2本の垂直井と、4つのループに繋がる12対の水平井（水平長：3 km）で構成されているが、掘削コストを含めた事業費の削減が大きな課題。</li> </ul>
	掘削コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eavor社は<b>Eavor-Link™アクティブ磁気測距 (AMR) システムの導入に成功</b>。この革新技术により、掘削中にリアルタイムで正確な磁気測距を可能となり、従来のワイヤライン方式のように数キロメートル地下にケーブルを挿入する必要がなく、<b>掘削の効率と速度が大幅に向上することが期待</b>。</li> </ul>
米国	地下構造システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 米Greenfire Energy社は、2025年5月にThe Geysersにおいて同軸二重管方式による商業デモンストラーションを実施し毎分300-350ガロンの流量と310°F (154℃) という予想以上の出力を確認。</li> </ul>
	掘削コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Greenfire Energy社の提唱するプロセスは、新規に水平井を掘削する必要がなく、既存の低出力地熱井を改修するだけで実現できる点でコスト競争力を持つとされている。</li> </ul>

出典：中部電力、Eavorクローズドループを用いた商業案件(ゲーレッツリート案件)の概要（2025年4月）、[1\\_12.pdf](#)  
 RECHARGE、Unlimited, on-demand renewable energy anywhere in the world — is Eavor-Loop climate change’s holy grail?、<https://www.rechargenews.com/transition/unlimited-on-demand-renewable-energy-anywhere-in-the-world-is-eavor-loop-climate-changes-holy-grail/-2-1-901385>  
 Eavor、[Eavor Deploys Revolutionary New Active Magnetic Ranging System, Drastically Reducing Drilling Rig Time to Connect Lateral Wells – Eavor](#)  
 ThinkGeoEnergy、<https://www.thinkgeoenergy.com/greenfire-energy-demonstrates-energy-production-from-idle-geothermal-wells-in-the-geysers>

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## クローズドループの革新性

- クローズドループは、熱水・蒸気がない地域での開発により、従来型地熱と異なり様々な地域での拡大が期待される。
- 一方で、貯留層における継続的な熱供給や熱伝導率、発電量に見合う掘削コスト削減等、の課題が挙げられている。

求められる  
革新性

開発可能エリアの増大

需要地近傍での開発等

自然由来の貯留層に依存しない熱回収手法

長大かつ複雑な坑井掘削

確実な熱回収

技術革新を  
達成するための  
指標

地質不確実性の低減

- 循環流体が減耗しない or 許容できる減耗率の地層の確認
- 裸坑仕上時の坑壁安定性の確立

事業性のある掘削技術の確立

- 熱回収量に応じた掘削コストの削減（掘進率の向上、坑井仕上げ技術の確立）

熱回収の不確実性の低減

- 発電に伴って温度低下しない（熱供給が維持される）貯留層の確認

<参考>  
現状

- 日本のような複雑な地層においては、断層の通過や地層の変化による坑壁維持の困難さや、大規模逸泥・逸水が発生することも想定される

- 石油・天然ガスにおけるマルチラテラル坑・高傾斜井掘削は多くの実績あり
- 中部電力によるとEavor社は10円/kWh程度\*まで低減可能と想定

- 過去の高温岩体実証等では、発電に伴って坑井近傍の貯留層の温度低下と、その温度回復時間が課題として挙げられている

\*) 資源エネルギー庁 第1回次世代型地熱推進官民協議会 資料12 中部電力（株） p12 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/geothermal/nextgeneration/data/1\\_12.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/nextgeneration/data/1_12.pdf)

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## EGSの世界的動向

- 米国では商用化レベルまで開発が進んでおり、石油・天然ガス技術の活用等により掘削コストの大幅な削減や熱回収効率の向上に成功。

国・地域	項目	世界的動向と革新性
米国	掘削コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOEは2035年までに<b>EGSのコストを90%削減し、45 USD/MWh（約6.5円/kWh）</b>に低減することにより、EGSを再エネの選択肢の一つとしていくというDOEの開発目標「Enhanced Geothermal Shot」を発表。</li> <li>• Fervo社は石油・天然ガス技術の地熱分野への適用により、<b>掘削時間を70%短縮し、坑井1本あたりの掘削コストを5割ほど削減</b>することに成功。</li> </ul>
	微小振動の抑制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EGSの安全性と社会受容性を高めるため、DOEは微小振動緩和プロトコル（ISMP）の策定を行い、DOEが支援するプロジェクトに対して、<b>ISMPによる微小振動のモニタリング・低減策の検討を義務づけ</b>。</li> <li>• Fervo社はISMPに沿って微小振動のモニタリングを実施し、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等の操業管理を行っている。</li> </ul>
	EGSシステムの総合設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 独立評価機関DeGolyer &amp; MacNaughtonによる報告で、Cape Station地域は13,000フィート（約4 km）の深さで5GW以上の開発が可能と評価し、<b>Fervoの独自技術により、従来の地熱技術の3倍の熱回収効率（50～60%）を実現</b>。</li> <li>• Fervo社は三菱重工傘下のTurboden社と協力しEGS発電のモジュール化の開発を行っている。</li> </ul>

# 3. 次世代型地熱の世界的動向と革新性

## EGSの革新性

- EGSは、熱水・蒸気がない地域での開発により、従来型地熱と異なり様々な地域での拡大が期待される。
- 一方で、発電量に見合う掘削コスト削減、期待される生産量に見合うフラクチャリング、循環流体の回収率の向上、微小振動の抑制等、の課題が挙げられている。

求められる  
革新性

開発可能エリアの増大

需要地近傍での開発等

自然由来の貯留層に依存しない熱回収手法

低コストの坑井掘削

確実な熱回収

技術革新を  
達成するための  
指標

地質的不確実性の低減

- 循環流体の回収率の向上
- Traffic Light System等の微小振動抑制基準の確立

事業性のある掘削技術の確立

- 掘削コストの削減（掘進率の向上、低コストのフラクチャリング技術の確立）

熱回収の不確実性の低減

- 日本に合った貯留層造成技術（フラクチャリング、貯留層シミュレーション等）の確立

<参考>  
現状

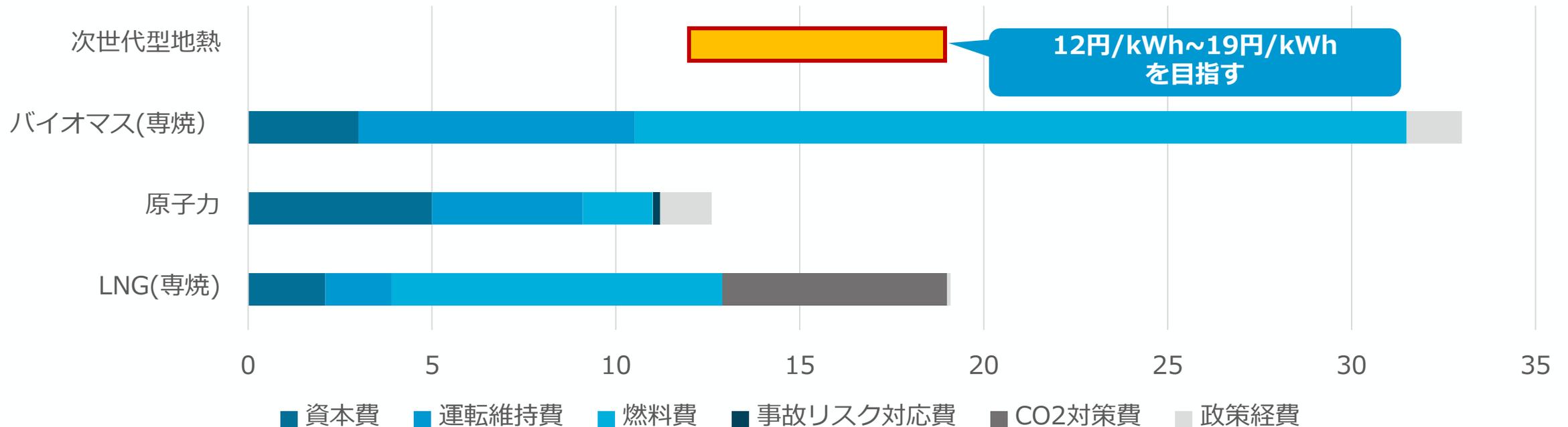
- 日本のような複雑な地層においては、断層の通過や地層の変化により大規模逸泥・逸水が発生することも想定される

- 米国では、石油・天然ガス開発が盛んであり、それに伴い掘削産業も活発で、コスト競争が激しい
- 国内の掘削産業は他業界と比較して小規模

- シェール革命以降で多段階フラクチャリングの技術は確立・普及
- 国内では、ニューサンシャイン計画で、肘折・雄勝で実証されて以降は取組無し

## 4. 次世代型地熱の目指すべき発電コスト

- 次世代型地熱技術の発電コストは、従来型地熱と同等かそれより安価、または他電源との競争を考慮すると、従来型地熱の発電コスト（7頁参照）を切る水準を可能な限り早期に達成しつつ、将来的には12円/kWh～19円/kWhの水準を目指していくべきではないか。
- その達成時期については、技術動向や量産技術の確立に向けた支援の在り方を踏まえて今後設定していくこととしてはどうか。



# 5. 次世代型地熱における資源量の考え方

- 今般、第44回資源・燃料分科会で示した“地熱資源量の考え方”に基づく、**次世代型地熱ポテンシャル77GWは、“現時点では開発不可”とされる「潜在資源量」と定義し、まずはこれを「期待資源量」「条件付き資源量」への格上げできる実証や技術開発等を支援すべきではないか。**
- なお、資源量の定義については、今後「地熱発電推進に関する研究会」にて従来型・次世代型併せて議論予定。

## <地熱資源量の考え方のイメージ>

※資源量は、プロジェクト単位で評価されるものと定義。

※既発見とは、想定される地質構造（地温勾配を含む）が、掘削等によって確認され、さらに割れ目・水が確認できれば発電が期待できる状態と定義。

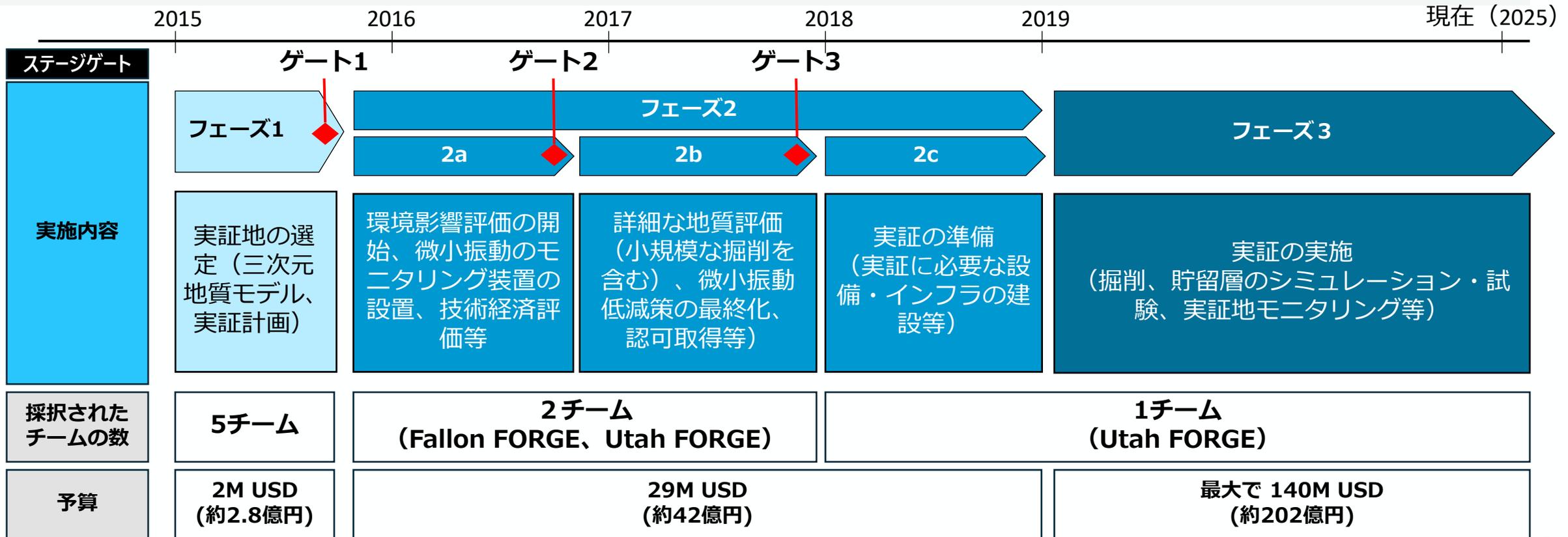
資源量		定義	評価できるフェーズの例
商業化	<b>開発資源量 = 導入発電容量</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既発見で、開発プロジェクトを実施することにより見込まれる発電容量 (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各プロジェクトのFID以降</li> </ul>
商業化 検討中	<b>条件付き資源量</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質データがあるため開発するまで成熟していないが、将来商業的に発電が見込まれる発電容量 (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者による掘削調査～FID前まで</li> </ul>
商業性 無し		<ul style="list-style-type: none"> <li>既発見の地熱資源のうち、商業的に開発不可と評価されるが、もし開発できた場合に、潜在的に発電が見込まれる発電容量 (kW)</li> </ul>	
未発見	<b>期待資源量</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>未発見ではあるが、将来的に開発する場合に、発電が期待される発電容量 (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JOGMECポテンシャル調査や事業者による調査等</li> </ul>
	<b>潜在資源量</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>未発見の地熱資源のうち、現時点の技術では開発不可と評価されるが、将来開発できた場合に、潜在的に発電が見込まれる発電容量 (kW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JOGMEC・事業者による予察調査</li> <li>FS・実証段階の次世代型地熱資源調査</li> </ul>

次世代型地熱への実証や技術開発等を支援することで創出を目指す指標

# 6. 次世代型地熱のロードマップ（政府支援方針）案

## 米国実証事業FORGEの支援事例

- 米国のFORGE事業では、3つのフェーズに分けて事業者・実証地を選別し、最終的に1つの実証地で集中的にEGS技術の実証試験・技術開発が行われている。



# 6. 次世代型地熱のロードマップ（政府支援方針）案

## （参考）米国のFORGE事業

- 各チームは大学・研究機関や政府機関や民間企業から構成されており、地質や地域の特性等に合わせた実証計画の提案がされていた。

チーム名	チームの構成	実証地・技術提案（フェーズ1）の特徴
Utah FORGE	University of Utah（リーダー）、NREL、ENEL、Geo Energie Suisse、Utah Geological Survey等	ユタ州ミルフォード盆地（Milford Graben）を実証候補地として提案し、高温岩盤が浅い深度に存在し、単純な地層が特徴。既存の地熱施設からの地質データ等を活用して効率的なシステムの構築や掘進率の向上のための技術開発等を提案。
Fallon FORGE	Sandia National Lab（リーダー）、Lawrence Berkeley National Lab、the U.S. Navy、Ormat等	ネバダ州ファロン（Fallon）を実証候補地として提案し、火山性地質、比較的に硬い高温岩盤が広範囲に存在することが特徴。継続的なサイトモニタリングデータの収集や「傾斜掘り」の技術の活用等を提案。
Newberry FORGE	Pacific Northwest National Laboratory（リーダー）、Alta Rock、Oregon State University	オレゴン州ニューベリー火山（Newberry Volcano）を実証候補地として提案し、火山性地質で、高温岩盤が広範囲に存在しているが、地層が多様であることが特徴。環境にやさしい水圧破碎技術の活用や地域特性に応じたモジュール型地熱システム等を提案。
Snake River FORGE	the Idaho National Laboratory（リーダー）、Baker Hughes、Univ of Wyoming等	アイダホ州スネークリバー平原（Snake River Plain）を実証候補地として提案し、高温岩盤が広範囲に存在し、玄武岩質の地質構造であることが特徴。最先端の貯留層シミュレーションツールの活用やBaker Hughes社の技術（OnTrak™）の活用等を提案。
West Flank FORGE	Sandia National Lab（リーダー）、Lawrence Berkeley National Lab、Coso Operating Company、Schlumberger等	カリフォルニア州コソ（Coso）を実証候補地として提案し、高温岩盤が浅い深度に存在しているが、地層が複雑で、地震活動が活発であることが特徴。安全性を重視し、高温耐性センサー、リアルタイムモニタリングの開発等を提案。

出典：

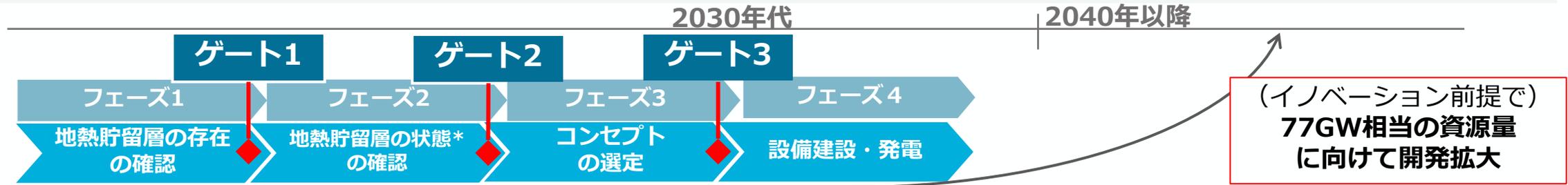
DOE、FORGE Phases and Sites、<https://www.energy.gov/eere/geothermal/forge-phases-and-sites>  
University of Utah Phase 1 Report、<https://www.energy.gov/eere/forge/articles/university-utah-phase-1-report>  
Blankenship, Douglas A et al., Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy: Phase 1 Topical Report Fallon, NV、<https://www.osti.gov/biblio/1432175>  
Pacific Northwest National Laboratory Phase 1 Report、[https://www.energy.gov/eere/forge/articles/pacific-northwest-national-](https://www.energy.gov/eere/forge/articles/pacific-northwest-national-laboratory-phase-1-report)

[laboratory-phase-1-report](https://www.energy.gov/eere/forge/articles/pacific-northwest-national-laboratory-phase-1-report)

Idaho National Laboratory Phase 1 Report、<https://www.energy.gov/eere/forge/articles/idaho-national-laboratory-phase-1-report>  
Blankenship, Douglas A et al., Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy: Phase 1 Topical Report West Flank of Coso, CA、<https://www.osti.gov/biblio/1455367>

# 6. 次世代型地熱のロードマップ（政府支援方針）案

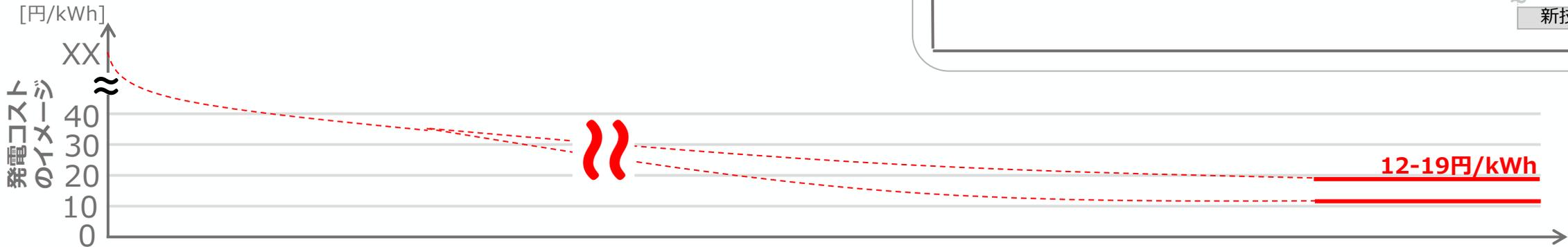
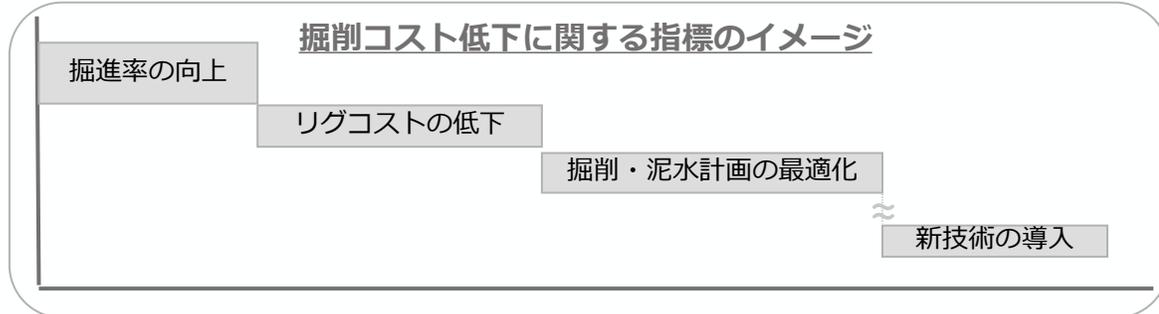
- 次世代型地熱の主な革新性とその不確実性は、次の通り。
  - ① 「開発エリアの拡大・開発出力増大」と、それに伴う「地質的不確実性」
  - ② 「新たな熱回収方法」と、それに伴う「事業性のある技術開発・掘削コスト」
- これら不確実性の低減策（革新性を達成するための指標等）を踏まえて、社会実装に向けた課題を検討・スクリーニングし、実証・技術開発の支援を検討。
- 実証着手後は、その達成状況踏まえ、事業性が見込まれる次世代型地熱技術の実証・技術開発等へのさらなる支援を検討し、2030年代早期の実用化を目指す。



\*) 超臨界：超臨界地熱貯留層の性状、クローズドループ：熱回収の可能な地層、EGS：貯留層の造成が可能な地層

## <実証で解決すべき主な課題>

- 超臨界：大出力の生産能力と流体性状の確認
- クローズドループ：掘削コストの低減策と、地質・熱回収不確実性の低減
- EGS：掘削コストの低減策と、地質（微小振動）・熱回収不確実性の低減

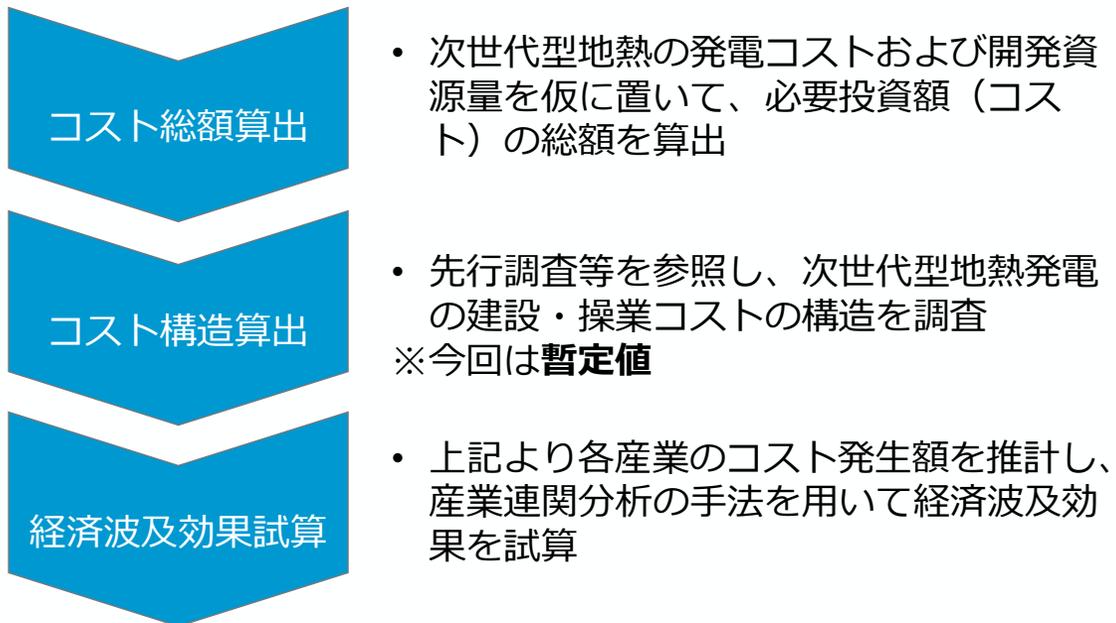


# 7. 次世代型地熱の経済波及効果

## 試算の前提

- 発電コスト目標および“仮に”次世代型地熱ポテンシャルの10%の7.7GW<sup>\*1</sup>と置いて、次世代型地熱発電の整備・操業コストによる経済波及効果を試算。

## 経済波及効果試算の流れ



## 今回試算の前提

コスト総額	<ul style="list-style-type: none"><li>• 仮に開発資源量を7.7GW<sup>*1</sup>、発電コスト12円/kWh~19円/kWhの条件で、単純化して全て建設期間5年、その後10年間稼働と仮定し、コスト総額を算出</li><li>• 設備利用率を90.6%<sup>*2</sup>、所内率を8%<sup>*2</sup>、設備稼働期間を30年として試算</li><li>• 現時点での価格を想定し、インフレ率等は考慮していない</li></ul>
コスト構造	<ul style="list-style-type: none"><li>• 次世代地熱発電のコスト構造は調査中であり、今回は一例として超臨界地熱発電の実証事業<sup>*2</sup>を基にしたコスト構造を参照している</li><li>• 今後次世代型地熱発電のコスト構造が精緻に判明すれば、波及効果の数値も変化する</li></ul>

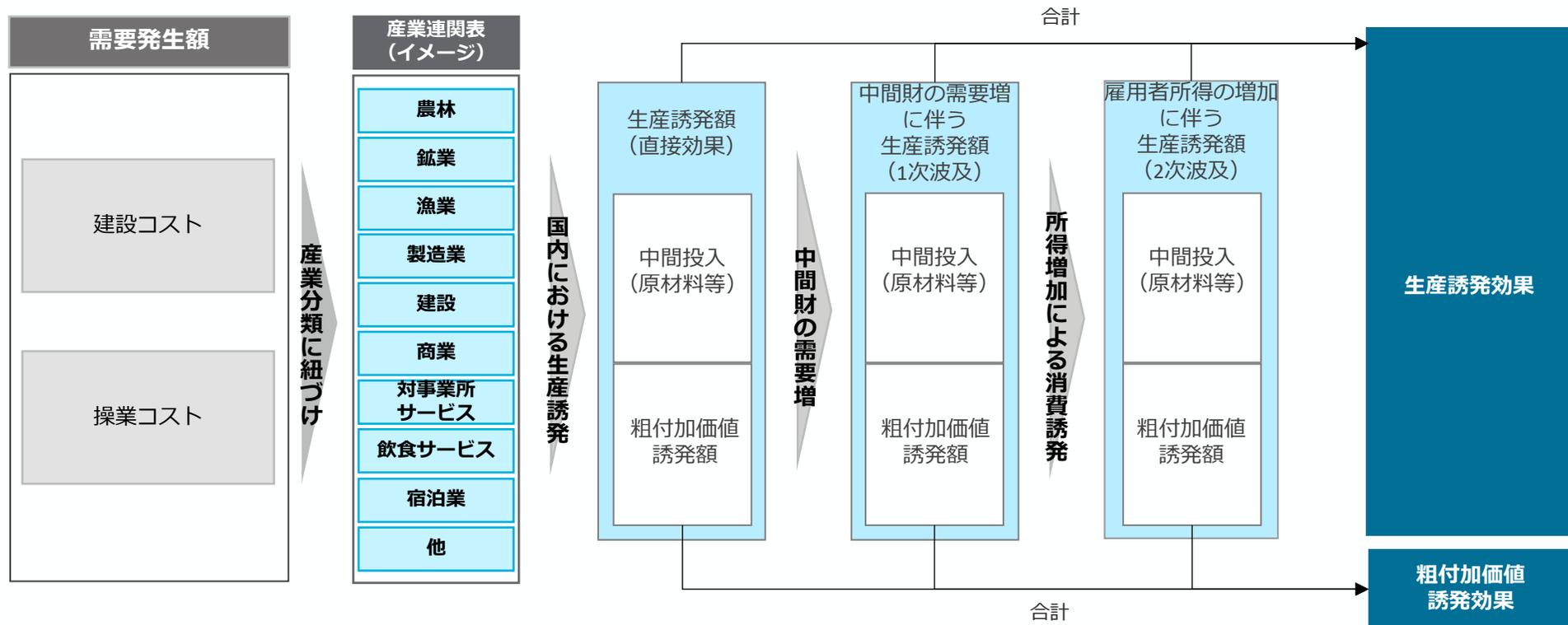
\*1) 次世代型地熱の導入については、非連続なイノベーションの実現により大幅な価格低減を進めていくことが前提

\*2) 2021年度~2023年度成果報告書 地熱発電導入拡大研究開発/超臨界地熱資源技術開発/資源量評価（葛根田地域）（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）

# 7. 次世代型地熱の経済波及効果

## (参考) 産業連関分析について

- 産業連関分析では「産業連関表」を基にしたモデルを用いて、建設・操業コストの発生に伴う各産業への中間財需要や雇用者所得の増加の影響を含む経済波及効果を試算。



# 7. 次世代型地熱の経済波及効果

## 試算結果

- 前述の前提に従って試算を行った結果、建設および10年間の操業コストに伴う経済波及効果（生産誘発額ベース）は約29兆円～約46兆円と試算された。

## 必要投資額の推計

開発資源量	コスト	建設	操業（10年間計）	合計
7.7GW	12円/kWh	10.2兆円	3.2兆円	13.4兆円
	19円/kWh	16.2兆円	5.0兆円	21.3兆円

<参考：定義>

直接効果：消費や投資等の最終需要の増加により国内に生じる需要の増加

- 第一次波及効果：直接効果によって生じた原材料等の生産誘発によって、国内の各産業に次々と生じる生産波及の効果
- 第二次波及効果：上記により誘発された雇用者所得の増加が消費に転換され、その新たな消費により国内の各産業に次々と生じる生産波及の効果
- 総合効果：上記各効果の合計

## 経済波及効果試算結果

	総合効果			
	直接効果	一次波及効果	二次波及効果	
生産誘発額	29.1兆円～ 46.0兆円	12.6兆円～ 20.0兆円	10.6兆円～ 16.8兆円	5.8兆円～ 9.2兆円
粗付加価値誘発（GDP影響額）	14.2兆円～ 22.5兆円	5.8兆円～ 9.1兆円	5.0兆円～ 8.0兆円	3.4兆円～ 5.4兆円

<留意点>

- 次世代型地熱の導入については、非連続なイノベーションの実現により大幅な価格低減を進めていくことが前提である。
- 一事例における調査結果および前述の前提に基づき必要とされるコストをインプットとして試算したものであり、今後コスト水準やコスト構造等の前提条件、経済情勢等が変化すれば波及効果も変化する可能性がある
- あくまで次世代型地熱発電の整備・操業コストに伴う効果を対象としており、代替による他電力の需要減やそれに伴う燃料輸入削減等の影響は考慮していない

# 8. 次世代型地熱によるCO<sub>2</sub>削減量の試算

- 次世代型地熱技術によるCO<sub>2</sub>削減量は、“仮に”次世代型地熱ポテンシャルの10%の7.7GWを開発した場合、火力発電平均との比較で**3,654万ton-CO<sub>2</sub>**。

※ 暫定的な試算であり、今後変わりうる。

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{CO}_2\text{削減量} \\ \text{[t-CO}_2\text{/年]} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{次世代型地熱技術の} \\ \text{導入容量[kW]} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline 8760\text{[時間/年]} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{設備稼働率[\%]} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{CO}_2\text{排出係数} \\ \text{(火力平均)} \\ \text{[t-CO}_2\text{/kWh]} \\ \hline \end{array}$$

パラメータ	データ	前提・出所等
次世代型地熱技術の導入容量[kW]	7.7GW	仮置き
設備稼働率[%]	90.6%	下記資料を基に設定 * 2021年度～2023年度成果報告書 地熱発電導入拡大 研究開発/超臨界地熱資源技術開発/資源量評価（葛根田 地域）（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合 開発機構）
CO <sub>2</sub> 排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]	0.598 kg-CO <sub>2</sub> /kWh	総合エネルギー統計