

2024年6月20日(木) サンシャイン計画50周年記念シンポジウム (於：ベルサール六本木)

# これからの再生可能エネルギー：地熱発電



岩手県八幡平市 安比地熱発電所 14,900kWe  
2024年3月1日営業運転開始 (安比地熱(株)写真提供)

## ～ 内容 ～

1. はじめに-地熱発電の必要性と意義ほか-
2. 在来型地熱発電
3. 我が国の地熱発電の政策
4. 次世代型地熱発電
5. おわりに-まとめ-

 MITSUBISHI MATERIALS

三菱マテリアル株式会社  
再生可能エネルギー事業部  
有木和春

## 1. はじめに

# はじめに -地熱発電の必要性と意義-

---

1. 火山国日本の足元に豊富に賦存する純国産エネルギーであり（2,347 万kW、世界第 3 位）、 輸入燃料が不要なため日本のエネルギー自給率を向上させ、エネルギー安全保障に貢献。
2. 昼夜・天候に左右されず、ベースロードを担う安定電源。
3. 温室効果ガス排出量の少ないクリーンな再生可能エネルギーであり、地球温暖化防止に貢献。
4. 長寿命かつ高い設備利用率の、長期的視点で経済的な再生可能エネルギー。
5. 我が国の世界最高水準の地熱発電設備は世界No.1の技術とシェアを誇る輸出産業。
6. 地熱資源を有する山間地など立地地域の振興に貢献ができ、地震や台風等の自然災害に強い分散型電源。
7. 熱利用（ハウス栽培や養殖事業）によるエネルギーの多段階利用が可能。

<備考> 赤色文字：“我が国の地熱発電”の特長、 青色文字：“地熱発電”の特長、 黒色文字：再生可能エネルギーの特長

<出典>「日本地熱協会(2023)：地熱発電開発促進のための政策要望（令和5年度）。」を一部修正。  
<https://www.chinetsukyokai.com/news/70.html>

1. はじめに

# 地熱資源および地熱発電事業の特性

## 【地熱資源の特性】

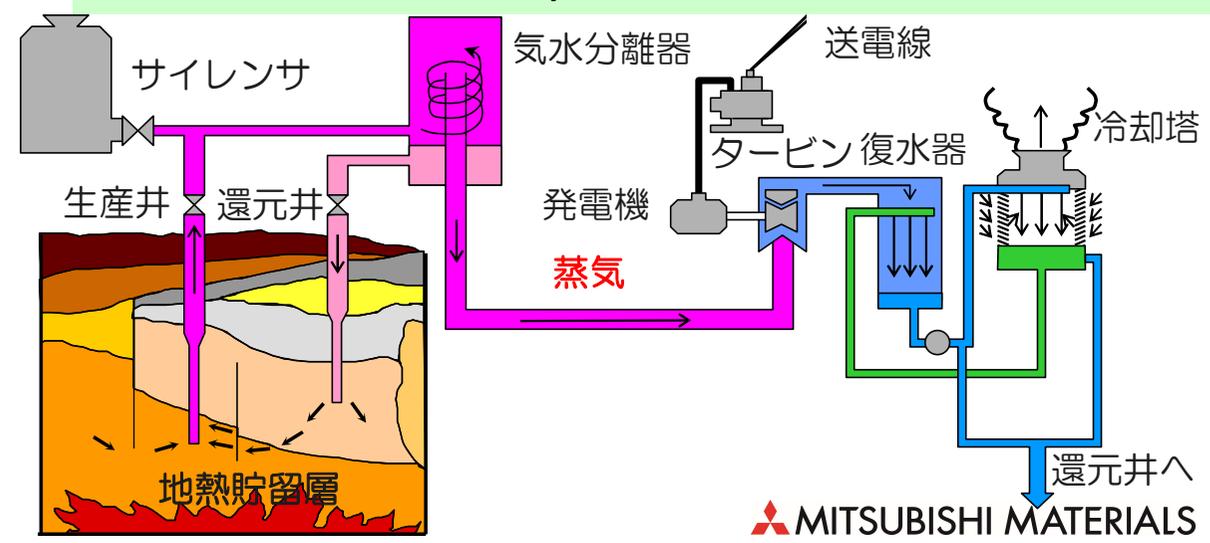
- ①地下資源、偏在性、開放系  
⇒探査技術および評価技術が重要
- ②エネルギーの質、再生可能（持続性）  
⇒生産管理技術が重要

## 【地熱発電事業の特性】

- 地熱発電事業は、“**地下の地熱資源開発**”と“**発電所建設・操業（電力供給）**”という2つの特徴を持つ。
- ①地熱発電は地熱資源のあるところで行わなければならない。
  - ②地熱発電の一番難しいところは、資源の実態の把握である。
  - ③資本費が大きく、資源調査開始から発電所操業開始までのリードタイムが長い。
  - ④政策の影響が大きい。
  - ⑤特殊な環境問題（温泉，自然公園）。

## 地熱の3要素

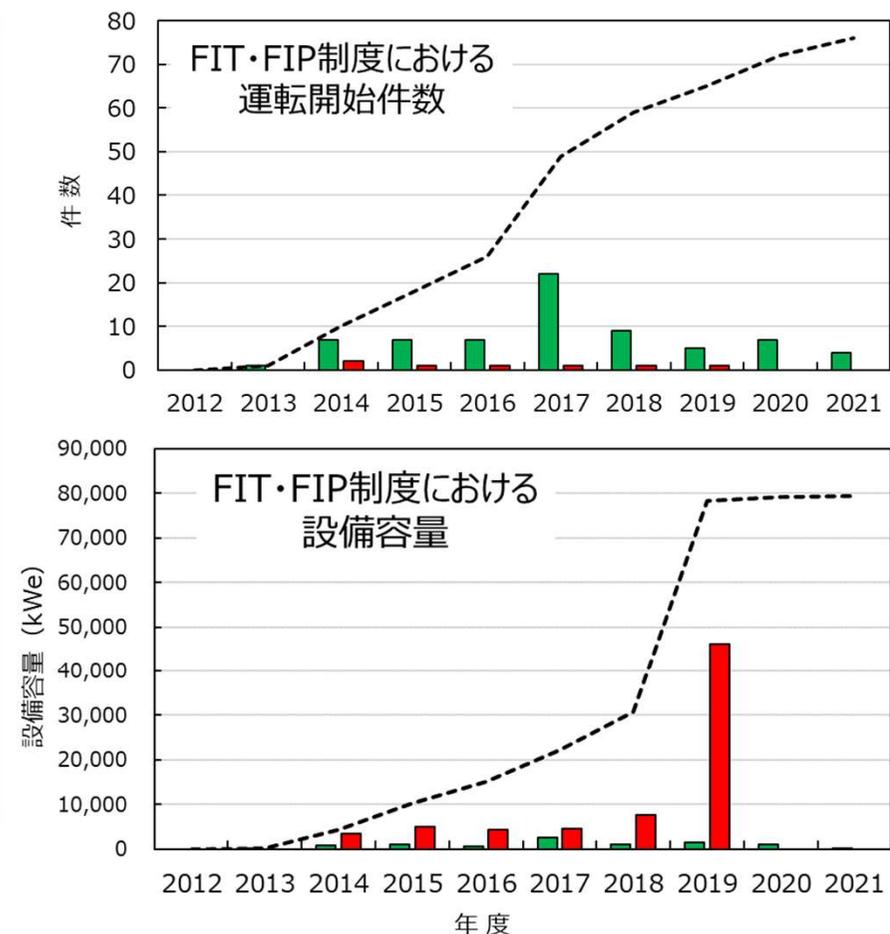
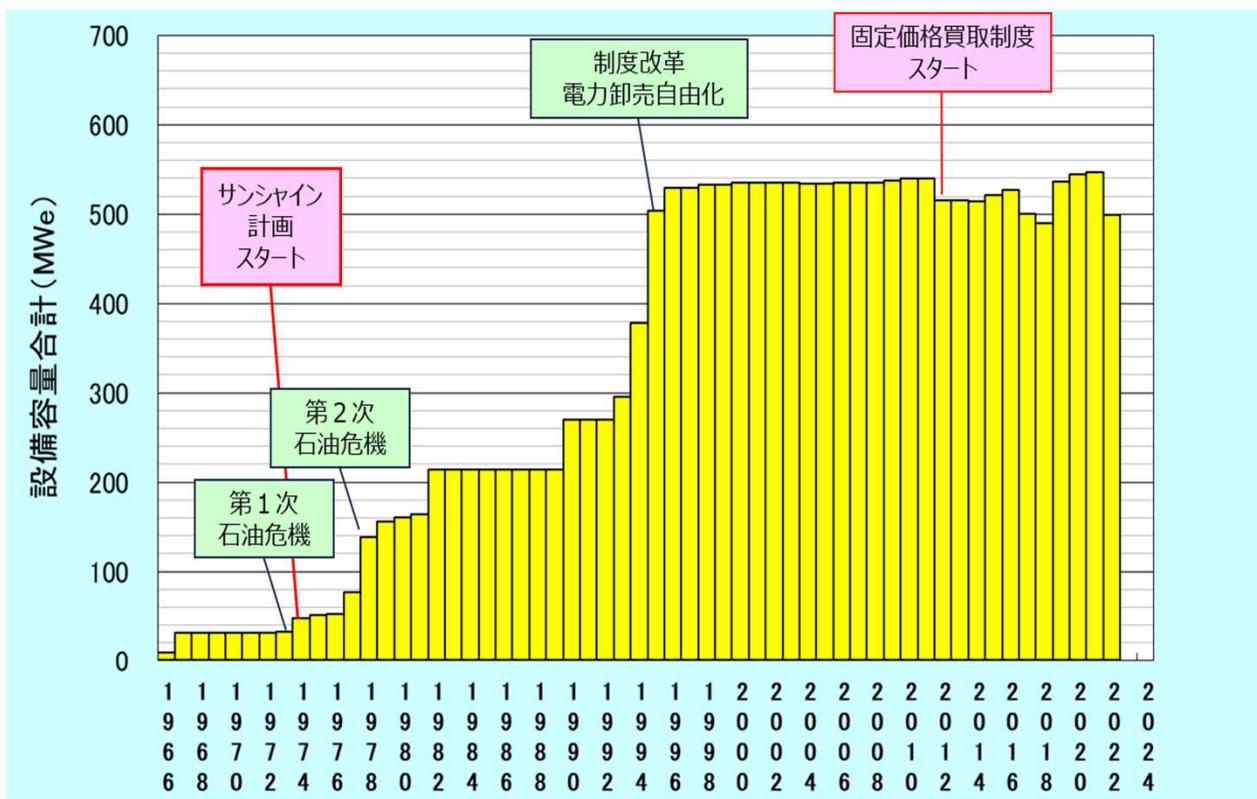
- ①**水**の流れ。
- ②水を温める**熱源**（マグマや貫入岩体）。
- ③岩石にできた**断裂**の間に熱水が貯まり、流動している場所（地熱貯留層）。



<出典>「與良三男（1979）：地熱開発の常識。昭和53年度地熱開発技術講習会テキスト，地熱資源開発促進センター。」を一部修正

## 2. 在来型地熱発電

### 地熱発電設備容量の推移および固定価格買取制度における運転開始件数と発電設備容量



<出典>「火力原子力発電技術協会(2023、2024)：地熱発電の現状と動向（2022年版・2023年版）。」より作成。

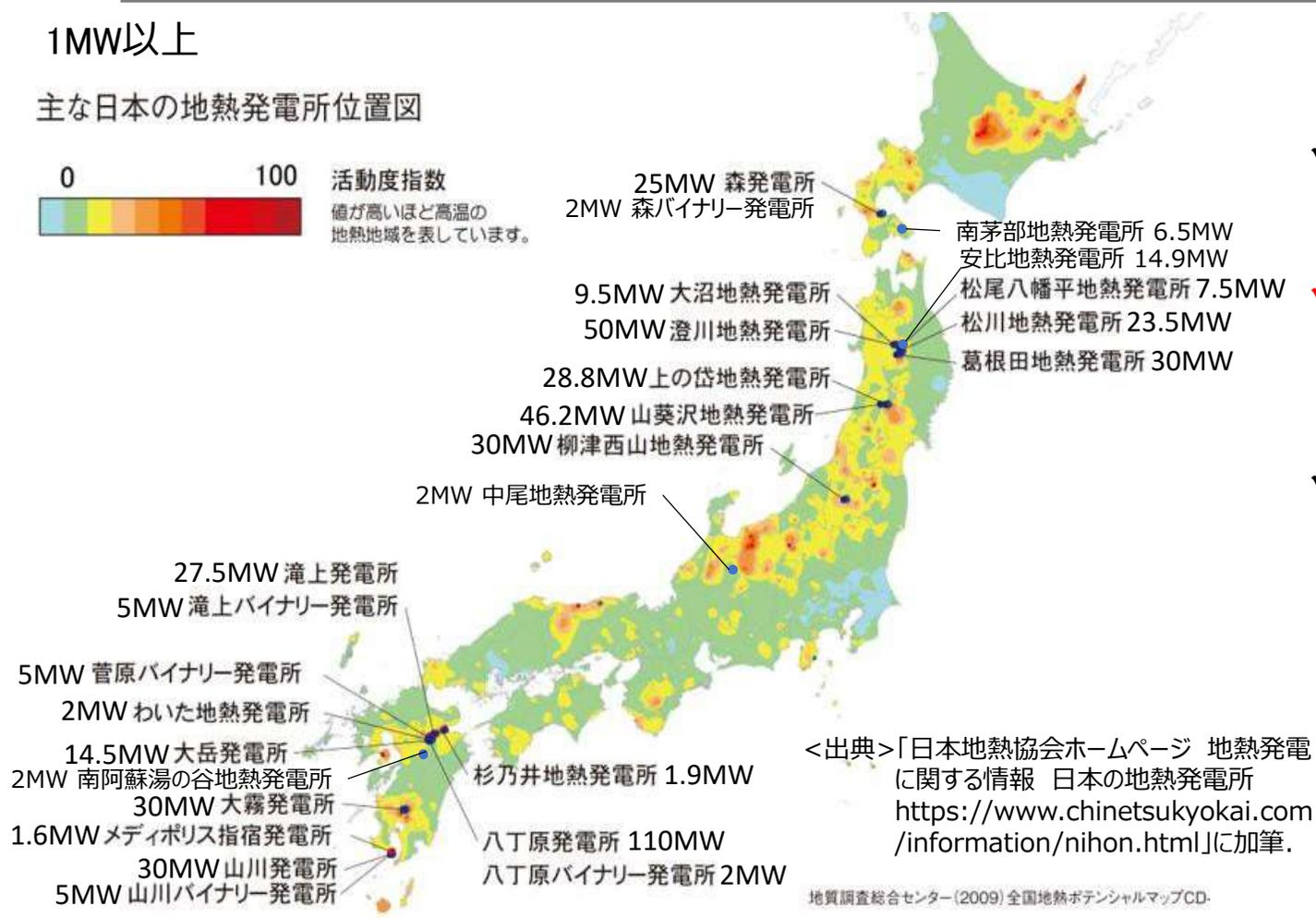
■ 発電出力 (1,000kWe未満) ■ 発電出力 (1,000kWe以上) --- 累積

## 2. 在来型地熱発電

# 我が国の主な地熱発電所

1MW以上

主な日本の地熱発電所位置図



- ✓ 2023年3月現在、1MW以上の地熱発電所。小規模も含めると設備容量は計50万kW。
- ✓ 我が国の地熱発電のポテンシャルは2,347万kWあるものの、開発・建設中も含めて、約3%の約60万kWしか利用されていない。
- ✓ 日本の主要な地熱地域は、火山が多く地熱資源が豊富な東北地方と九州地方。北海道も地熱資源が豊富であるが、送電網のない山岳地などが主でほとんど未開発。

## 2. 在来型地熱発電

# 2012年度以降の地熱資源の調査・開発地域

— 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の支援 —

### 助成金交付および出資・債務保証実績（2012年以降）

支援実績	件数
★ 開発調査事業助成案件 (地熱資源開発事業者)	66
★ 開発調査事業助成案件 (地元の地熱関係法人等)	25
● 探査資金出資案件	1
○ 開発資金債務保証案件	7

- 79 由布市奥江地域
- 75 小国町北里南部地域
- 55 小平谷地域
- 56 野矢地域
- 57 宝泉寺温泉地域
- 58 野矢堀田地域
- 59 平治岳北部地域
- 60 小国町西里・北里地域
- 61 石松農園 (小国地域)
- 62 豊札の湯 (小国地域)
- 63 南阿蘇村阿蘇山西部地域
- 64 湯の谷地域

- 42 糸魚川大野地域
- 43 宇奈月温泉地域
- 44 立山温泉地域
- 45 立山山麓地域
- 46 白山ろく地域
- 96 奥飛騨温泉郷安房平周辺地域
- 89 奥飛騨温泉郷大棚周辺地域
- 47 坂巻温泉周辺地域
- 49 フスプリ山地域
- 74 糸魚川焼山北部地域
- 53 皆生温泉地域
- 54 有福温泉地域

- 9 ルスツ地域
- 10 阿女鱒岳地域
- 11 ニセコ地域
- 97 有珠山南部地域
- 12 壮瞥町黄漢地域
- 13 壮瞥町幡溪地域
- 14 洞爺湖温泉地域
- 77 長万部地域
- 15 八雲町鉛川地域
- 16 八雲町熊石地域
- 17 奥尻地域
- 26 岩木山嶽地域
- 27 岩木山地域
- 90 孤ノ森地域
- 35 小安地域
- 95 小安地域地熱資源開発事業
- 36 木地山・下の岱地域
- 37 山葵沢地熱発電所
- 40 磐梯地域
- 86 猿倉嶽地域

- 83 余市岳西部地域
- 8 豊羽地域
- 7 京極北部地域

- 1 美瑛地域
- 2 上川地域
- 3 足寄町地域
- 4 湯沼・アトサヌプリ地域
- 5 羅臼地域
- 6 武佐岳地域
- 99 弟子屈原野地域
- 18 鹿部地域
- 19 南茅部地域地熱資源開発事業
- 88 南茅部地域地熱資源開発事業
- 20 恵山地域
- 21 下風呂地域
- 22 むつ市岳岳地域

- 23 八甲田西部ヶ倉地域
- 24 八甲田北西地域
- 25 黒石市沖浦・青荷川地域
- 93 安比川上流地域
- 76 安比地域地熱資源開発事業
- 28 松尾八幡平地域
- 29 松尾八幡平地域地熱資源探査事業
- 30 松尾八幡平地熱発電所

- 52 田辺市本宮地域
- 48 志賀高原地域
- 84 妙高山東麓地域
- 85 米村秋山郷地域

- 94 塩原地域
- 41 川俣及び周辺地域
- 80 赤城山地域
- 87 丸沼地域

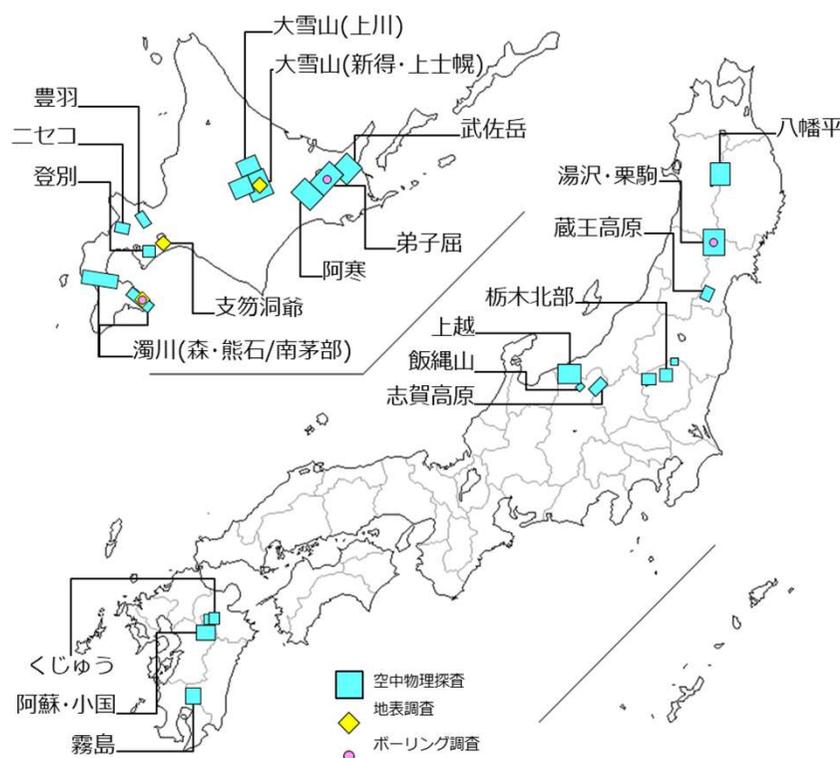
- 98 白水越地域
- 78 えびの市長江川地域
- 65 尾八重野地域
- 66 野々湯地域
- 67 指宿ヘルシーランド周辺地域
- 68 指宿市東方地域

- 92 泉水山北部地域
- 69 山下池南部地域
- 70 涌蓋山東部地域
- 73 大分県九重町泉水山北東山麓地域
- 71 菅原バイナリー発電所

- 50 東伊豆町熱川温泉地域
- 51 下賀茂地域

<出典>小泉暁人(2024) : JOGMEC地熱事業の取組みについて. 地熱発電・熱水活用研究会.

### 地熱資源ポテンシャル調査実施地域 (データ公開済みの地域のみ表示)



## 2. 在来型地熱発電

# 地熱発電の課題および地熱開発事業者の取り組み

地熱発電開発の現場においては、下記の困難な課題に直面し、その対応に時間や資金を費やしており、苦戦しているのが実態。

1. 地下資源開発のリスク。
2. 合意形成の困難。
3. 社会的規制（温泉法、自然公園法、森林法等）の問題。
4. 系統接続の困難。

<出典>日本地熱協会(2023)：地熱発電開発促進のための政策要望（令和5年度）。」を一部修正

⇒地熱開発事業者の取組み（事業性の確保とリードタイム短縮が重要）。

- ✓ 地下資源である地熱資源を効率よく調査・開発するための努力（技術力向上）。
- ✓ 温泉事業者、自然保護関係者を含めた地域の方々、自治体および許認可手続き関係者を含めたステークホルダーのご理解を得るための努力（温泉モニタリング、自然環境の有識者の指導を仰ぐ、情報共有）。
- ✓ 規制緩和・制度改革などの要望・活動（日本地熱協会の政策要望・関係省庁との協議）。
- ✓ 地熱発電コストを抑制するための努力（掘削工事契約形態工夫、事業者間の協力 他）。
- ✓ リードタイム短縮のための努力（関係機関と共に許認可手続きの短縮）。

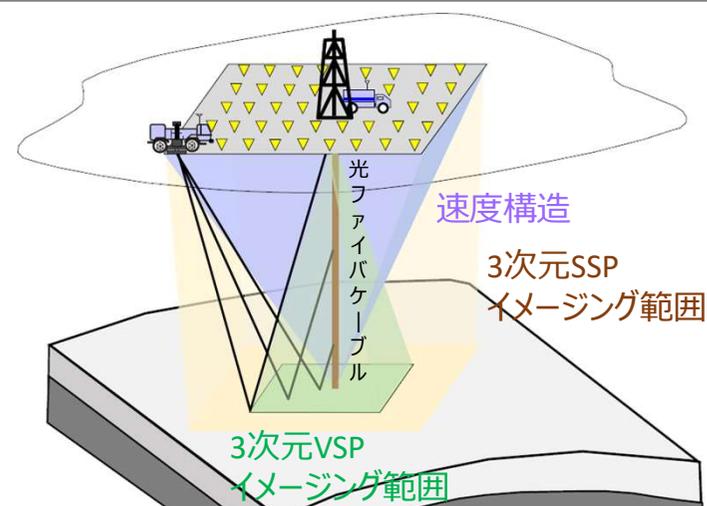
## 2. 在来型地熱発電

# 地熱開発事業者の取り組み： 地熱資源の調査・開発 —技術力向上—

- ✓ JOGMECおよびNEDOが開発している探査技術 DAS-VSP法の活用。
- ✓ 掘削工事における掘進率向上。例えば、PDCビットの活用。
- ✓ JOGMECが技術開発している透水性改善技術の活用。
- ✓ 経験豊富な地熱先進国のコンサルティング会社による知見・第三者評価の活用。
- ✓ 地熱貯留層評価・管理に重要な技術である地熱貯留層シミュレーションの習得。
- ✓ 人材確保・育成

### 【備考】

- DAS-VSP : 「Distributed Acoustic Sensing - Vertical Seismic Profiling」の略称
- PDCビット : 「Polycrystalline Diamond Compact (多結晶ダイヤモンド焼結体) ビット」の略称



VSP: Vertical Seismic Profiling  
SSP: Surface Seismic Profiling

### DAS-VSP法

DAS を坑井内受振器として設置。地表より発振を行う弾性波探査（VSP）においてこれを利用する調査法。耐熱性の高い光ファイバケーブルを使用することで、地熱井近傍の稠密VSP観測が可能となる。

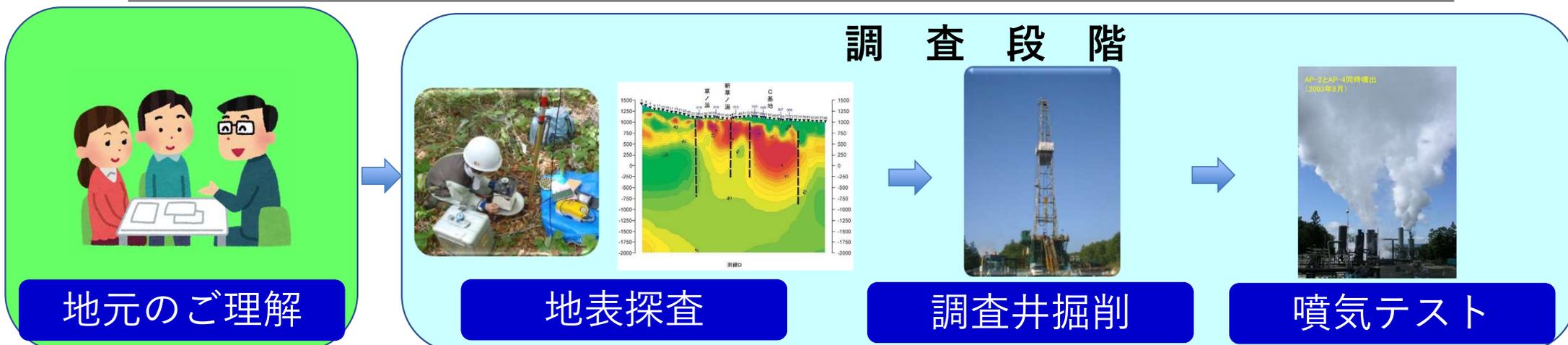
<出典> 青木直史(2020)坑井近傍探査技術の開発。令和元年度地熱統括部事業成果報告会。

 MITSUBISHI MATERIALS

## 2. 在来型地熱発電

### 地熱開発事業者の取り組み：

地域の方々のご理解を得るための対応 -温泉モニタリング、説明会・協議会-



#### ①説明会・協議会、勉強会、見学会の開催

- ・地熱発電の仕組みの説明
- ・地熱調査地域の説明
- ・地熱発電プロジェクトの全体計画と年度計画の内容・工程の説明
- ・地熱調査結果・温泉モニタリング結果および進捗状況の説明

#### ②地熱発電開発の合意取得

例えば、調査の進展に応じて、調査開始前および地熱発電所建設前にそれぞれ合意取得。

#### 温泉 モニタリング



三菱マテリアルテクノ（株）写真提供

<出典>「有木和春(2022)：我が国の地熱発電の現状と展望-産業としての地熱発電の現場から-」第10回地熱シンポジウム in 東京。

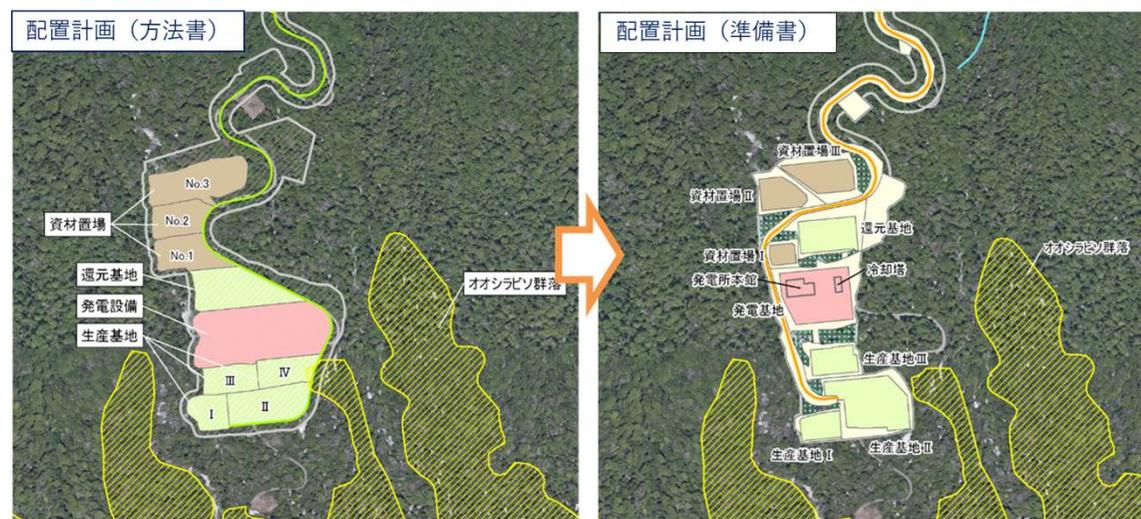
MITSUBISHI MATERIALS

## 2. 在来型地熱発電

### 地熱開発事業者の取り組み：

### 環境保全措置（回避・低減・代償）-安比地熱発電所の事例-

- 自然環境の有識者の指導を受けながら景観・動植物等に関する事前環境調査、環境影響評価、環境保全措置を実施。
- 特定植物群落(オオシラビソ群落)への影響を回避して発電所の配置を変更。
- 希少動物(ヤマネ)や鳥類への影響を低減するため、主要な繁殖期を避けて、初年度工事開始を先送りして実施。
- 希少種(キヌガサソウ等)の個体の移植を実施。
- 小動物への影響を低減するため、発電基地まで新たに敷設する道路の雨水側溝の要所に落下しても脱出できる小動物保護用側溝を設置。



ヤマネ

<出典>松岡一英(2018)：安比地熱発電所設置計画における前倒し環境調査について。  
日本地熱協会技術部会，平成29年度JGA-NEDO情報交換会。

MITSUBISHI MATERIALS

### 3. 我が国の地熱発電の政策

## 我が国の地熱発電の政策：第6次エネルギー基本計画（2021年10月）

世界第3位の地熱資源量を誇る我が国では、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源。発電後の熱水利用など、エネルギーの多段階利用も期待。

- ✓ 自然公園を中心にしたJOGMECによる地熱資源調査。
- ✓ 投資リスク及びコスト低減のためのリスクマネー供給。
- ✓ 探査技術の高度化等の掘削成功率や掘削効率の向上に資する技術開発。
- ✓ 自治体における勉強会の開催等を通じた地域の理解促進。
- ✓ 地熱資源を活用し、農林水産業や観光等の産業振興に取り組む自治体を「地熱モデル地区」として選定・発信。
- ✓ 自然公園法や温泉法、森林法等の規制の運用見直し。
- ✓ 環境省は、2021年4月に表明した「地熱開発加速化プラン」に基づき、改正地球温暖化対策推進法に基づく促進区域の設定の促進、温泉モニタリングなどの科学データの収集・調査や円滑な地域調整を進めることを通じて、最大2年程度のリードタイムの短縮と全国の地熱発電施設数の2030年までの倍増を目指す。

## 4. 次世代型地熱発電

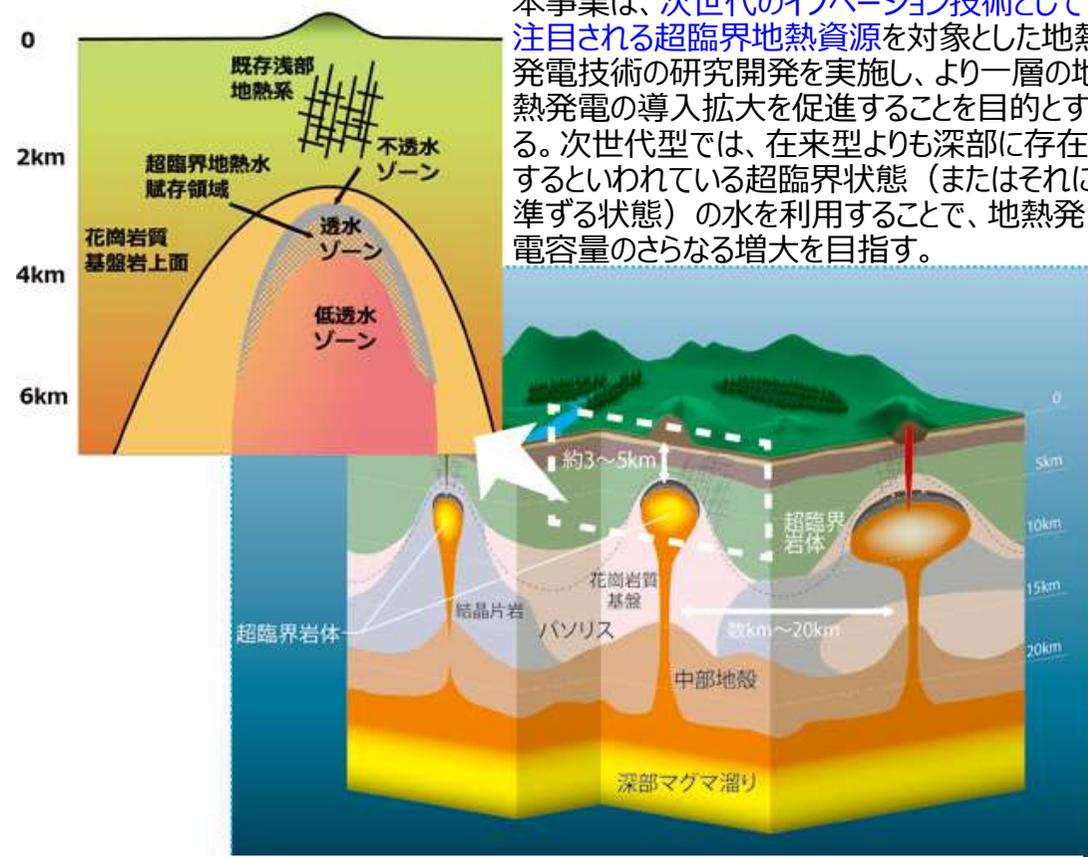
# 次世代型地熱発電：超臨界地熱発電

### 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021年6月)

2050年のカーボンニュートラルの実現に向けては、**超臨界地熱発電等の次世代型の地熱発電技術**を世界に先駆けて実現し、これまで開発できていなかった地熱資源を開発し、我が国における抜本的な地熱発電の導入を進めるとともに、**超臨界地熱資源**の探査技術や大深度掘削技術、地上・地下の配管、タービンを含めた発電システム全体をパッケージで海外に売り込むことで、我が国地熱産業における海外展開の更なる拡大に取り組む。

### NEDO 超臨界地熱発電技術研究開発

本事業は、**次世代のイノベーション技術として注目される超臨界地熱資源**を対象とした地熱発電技術の研究開発を実施し、より一層の地熱発電の導入拡大を促進することを目的とする。次世代型では、在来型よりも深部に存在するといわれている超臨界状態（またはそれに準ずる状態）の水を利用することで、地熱発電容量のさらなる増大を目指す。



<出典> 内閣官房ほか(2021)：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略。  
[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/pdf/green\\_honbun.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf)

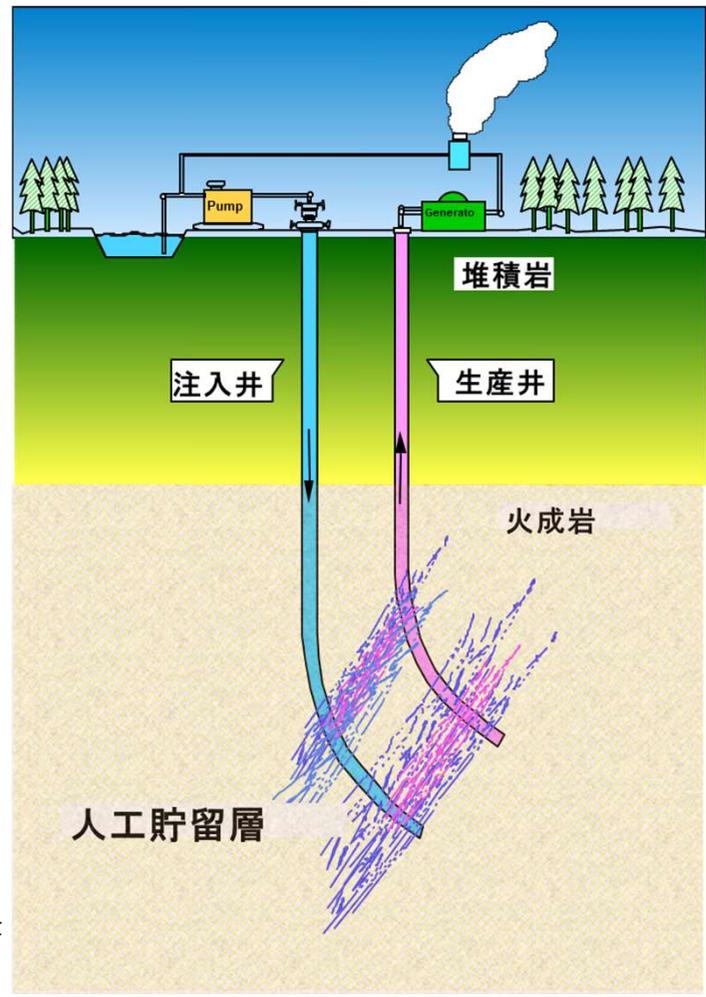
<出典> 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページより  
[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100145.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100145.html)

#### 4. 次世代型地熱発電

### 次世代型地熱発電：EGS = Enhanced/Engineered Geothermal System (地熱増産システム)

#### 貯留層造成型EGS① (高温岩体発電)

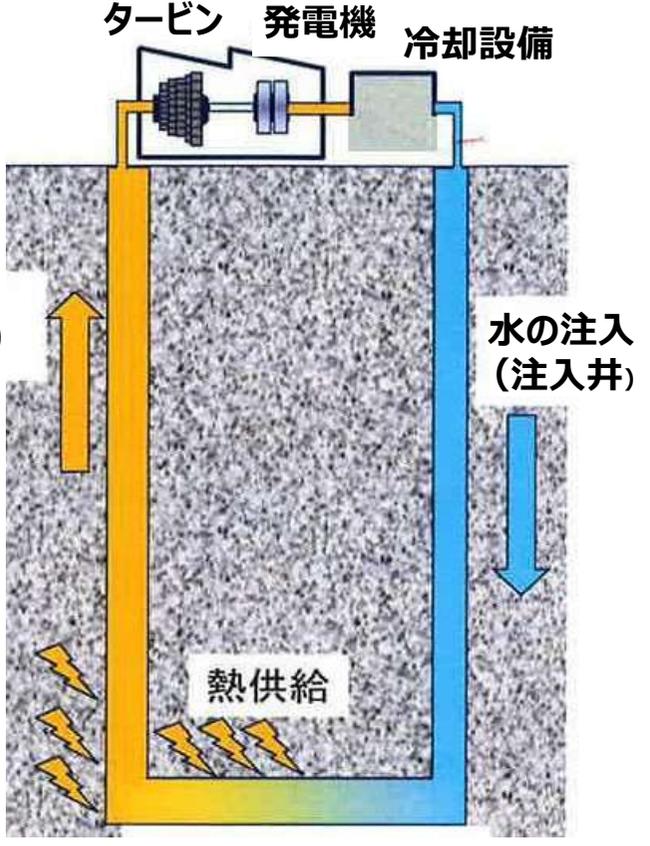
地下が高温で自然の熱水系が存在しない地域において高温の岩体がある場合、その岩体を破碎し、人工注水によって蒸気または熱水を取り出して発電に利用するシステムを高温岩体発電という。



<出典> 海江田秀志(2008)：高温岩体を利用した地熱発電開発，金沢大学特別講演，2008年2月8日。

#### 貯留層造成型EGS② Uループ方式

**高温蒸気の噴出 (生産井)**  
 高温かつ適切な地層形成がなされていても蒸気が存在しないために開発を行えなかった地域において、配管に水を注入することにより蒸気を人工的に発生させて発電をする技術。



<出典> 資源エネルギー庁(2020年12月7日)：資料5 2050年カーボンニュートラルに向けた地熱をとりまく現状について，第1回 2050年カーボンニュートラルに向けた地熱発電技術のイノベーションに関する検討会。

## おわりに -まとめ-

1. 2012年以降、固定価格買取制度（FIT制度）施行をはじめ、規制・制度改革、JOGMECによる先導的地熱資源調査、経済的支援、技術開発、ガイドライン策定等が行われ、地熱発電を取り巻く事業環境は改善され、新規事業者も多数参入し、多くの地熱調査・開発が実施されている。
2. しかし、現状は、本格的な資源調査が不要でリードタイムの短い小・中規模案件が先行。地熱発電導入拡大のため、今後、大規模案件の調査・開発を加速することが重要である。
3. 更に、JOGMEC先導的資源量調査の調査内容の拡充による新規案件（特に、有望な地熱資源が豊富に存在し、一定の規制緩和の進んだ自然公園内）の発掘を期待している。
4. 地熱開発事業者は、地熱資源開発リスクを抑制するための更なる研鑽が求められるとともに、引き続き、ステークホルダーの理解を得ながら、関係省庁・関係機関（経済産業省、環境省、林野庁、JOGMEC、NEDO、AIST等）と共に地熱発電導入拡大を目指していきたい。
5. 次世代型地熱発電であるEGSと超臨界地熱発電の早期実用化およびそれらの技術開発で得られた技術の在来型地熱発電への活用により、地熱発電導入の飛躍的な拡大を期待し、目指していきたい。