

- **日本における地熱発電の現状**
- **出光興産の地熱事業への取り組み**

**2017年12月19日**  
**出光興産株式会社**

# 日本における地熱発電の現状

## 地熱発電の特長

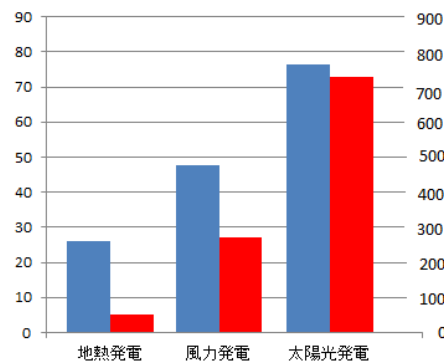
- ◆ 他の再生可能エネルギーに比べて発電コストが低く、また、**設備利用率が約83%**と格段に高い**安定電源**である
- ◆ **発電時のCO<sub>2</sub>排出量がほぼゼロ**であり、環境適合性に優れている
- ◆ **日本は世界有数の地熱資源**を有している

電源別の設備利用率

地熱	約 83%
風力(陸上)	約 20%
太陽光(住宅)	約 12%

<出典>長期エネルギー需給見通し関連資料  
(資源エネルギー庁)(平成27年7月)

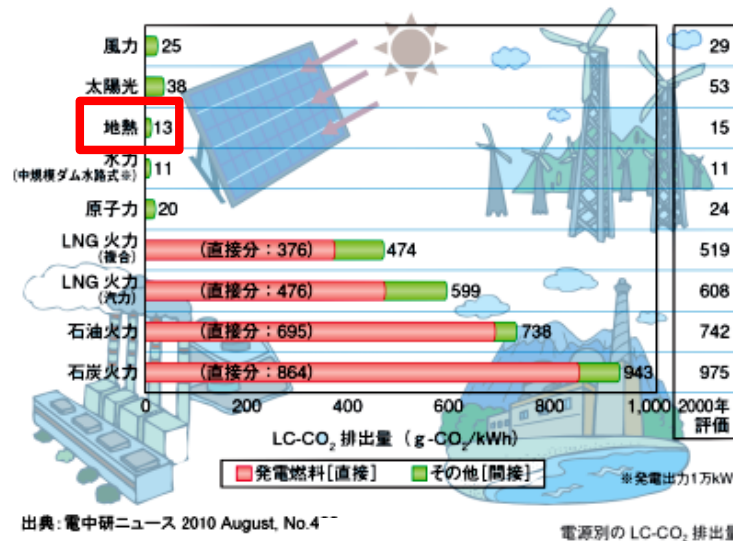
設備容量・発電電力量比較



■ 年間発電電力量 [億kWh] (左軸)

■ 設備容量 [万kW] (右軸)

電源別のCO<sub>2</sub>排出量



注記; 滝上地熱発電所(大分県九重町)  
九電/出光 は95%の設備利用率  
※変動が小さく、安定的に発電が可能

主要国における地熱資源量及び地熱発電設備容量

国名	地熱資源量 (万kW)	地熱発電設備容量 (万kW)
アメリカ合衆国	3,000	309
インドネシア	2,779	119
日本	2,347	52 (2016年ベース)
ケニア	700	16
フィリピン	600	190
メキシコ	600	95
アイスランド	580	57
ニュージーランド	365	62
イタリア	327	84
ペルー	300	0

<出典>JICA作成資料(平成22年)及び産業総合技術研究所作成資料(平成20年)等より抜粋して作成

<出典>「電気事業便覧 平成25年版」(電気事業連合会)

# 国内の地熱発電所(2017年3月)

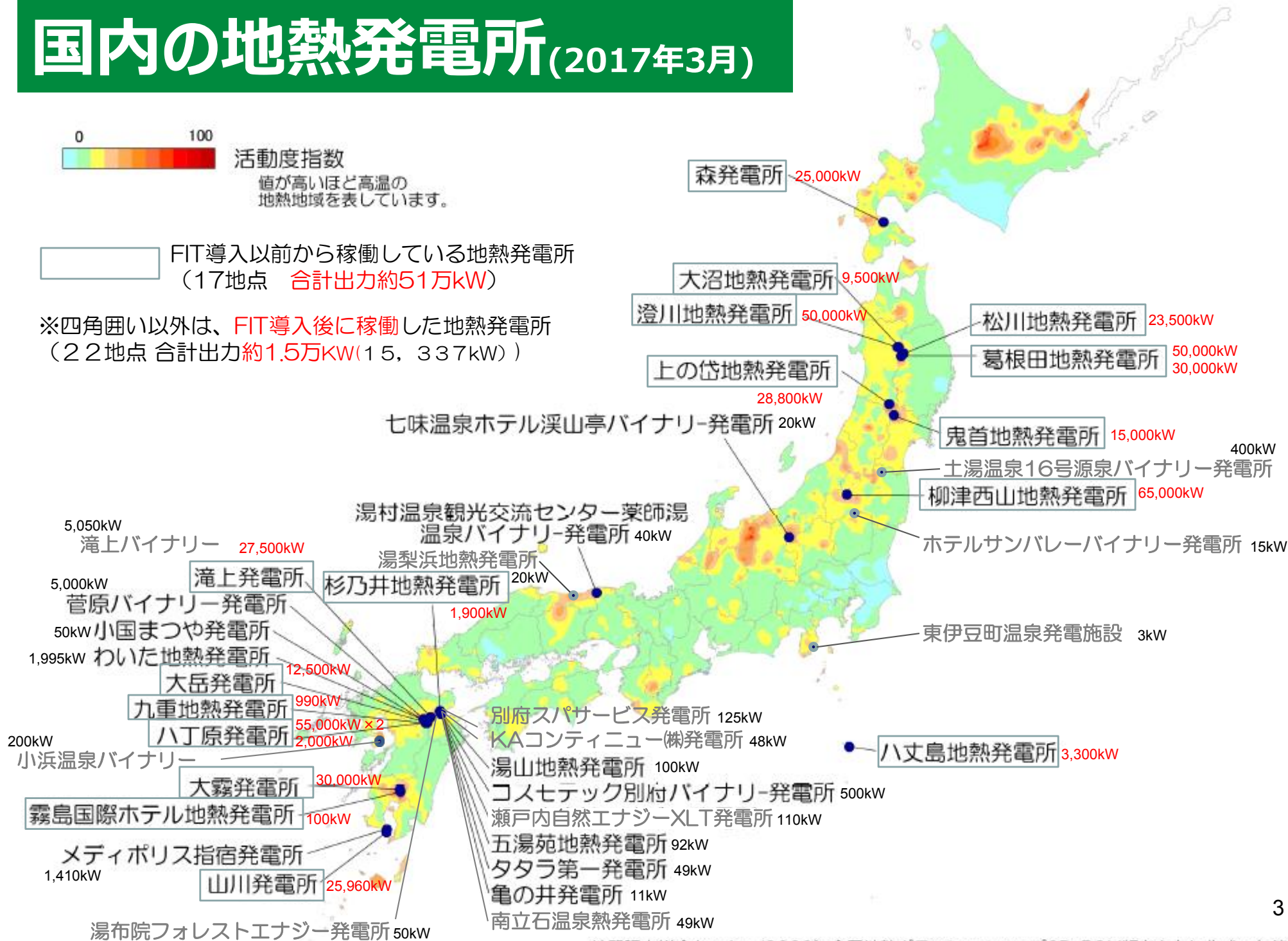


活動度指数

値が高いほど高温の地熱地域を表しています。

□ FIT導入以前から稼働している地熱発電所  
(17地点 合計出力約51万kW)

※四角囲い以外は、FIT導入後に稼働した地熱発電所  
(22地点 合計出力約1.5万kW(15,337kW))





# 国内での地熱を取り巻く動向

2010年6月：エネルギー基本計画を閣議決定

～CO2の25%削減に向け（1990年比 2020年まで）

→原子力発電の構成を53%まで引上げ

→再生可能エネルギー等の構成を21%まで引上げ

## 東日本大震災による再生可能エネルギー事業環境の変化

2011年3月11日、東日本大震災による福島第一原発事故発生

⇒ 縮・原発世論の高まり、エネルギー基本計画の見直し

2011年8月：再生可能エネルギー特別措置法成立

→再生可能エネルギー普及に向けた法的環境整備

2012年3月：環境省自然環境局長通知

→国立・国定公園内の地熱開発にかかる規制緩和

2012年7月：再生可能エネルギーの固定価格買取制度施行

2012年9月：JOGMEC地熱資源開発助成金制度新設

2014年4月：エネルギー基本計画(第四次)を閣議決定

→風力・**地熱**の導入加速に向けた取組の強化

# 2030年における地熱発電の導入見込量

- 既存の設備容量は約52万kW。その上で、①大規模開発については、現行の環境規制の下で開発が進んだ場合、②中・小規模開発については、現在把握されている案件の開発を見込むと、2030年度で約90万kWとなる。
- 上記に加え、中・小規模開発について、今後も開発が順調に進行すると想定した場合の導入量は、2030年度で約108万kWとなる。
- さらに、大規模開発について、環境規制の緩和が実施されたと想定した場合の導入量は、2030年度で約140万kWとなる。
- 国が新たに空中物理探査を全国5地点程度で実施し、3万kW級の開発を5カ所程度の創出に成功した場合、更に導入の拡大が期待される(2030年度までにプラス15万kW)。

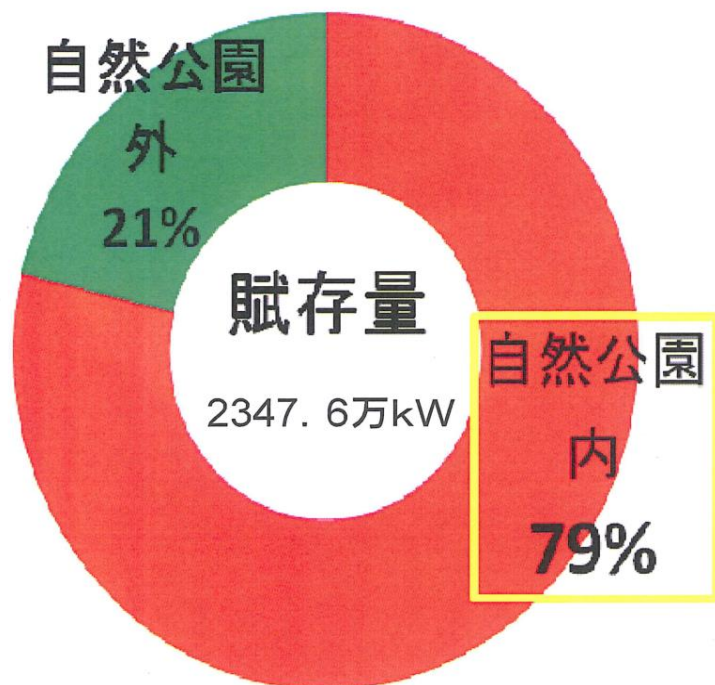
	大規模開発について、現行の環境規制の下での開発を見込み、中・小規模開発について、現在把握されている案件の開発を見込む場合	さらに、中・小規模開発について、今後も開発が順調に進行すると想定した場合	さらに、大規模開発について、環境規制の緩和を想定した開発を見込み、中・小規模開発について今後も開発が順調に進行すると想定した場合	さらに国が空中物理探査を5カ所程度実施し、3万kW級の開発を創出する場合
大規模開発	約32万kW	約32万kW	約61万kW	
中・小規模開発	約6万kW	約24万kW	約24万kW	+約15万kW
既存発電所	約52万kW	約52万kW	約52万kW	
合計	約90万kW (65億kWh)	約108万kW (79億kWh)	約140万kW (102億kWh)	約155万kW (113億kWh)

日本全体で発電される電力量の約1%

# 国内の地熱資源賦存量

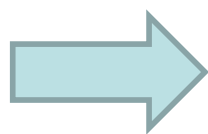
我が国における地熱資源の賦存量と可採資源量

(単位:万kW)



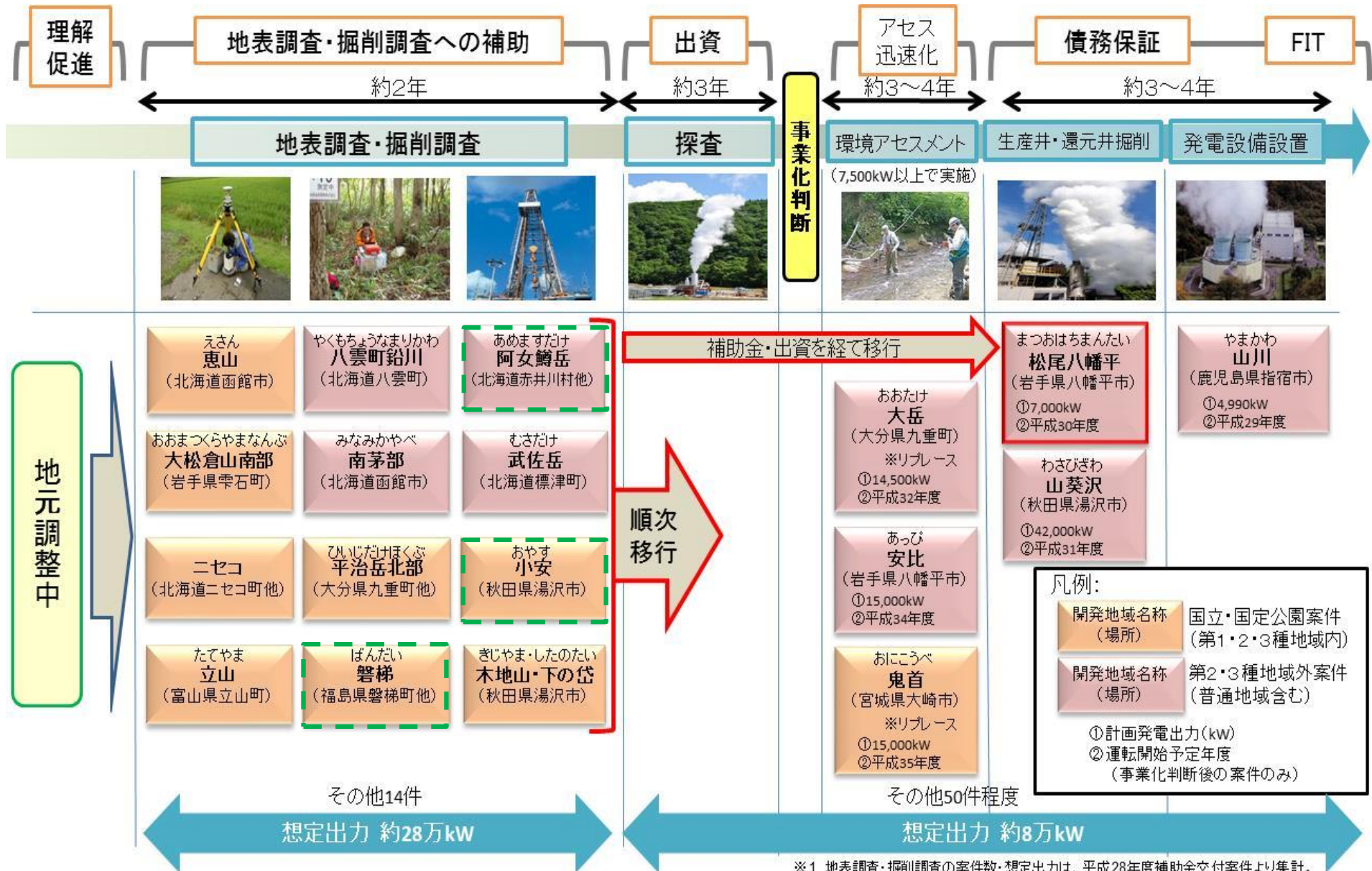
自然公園内の分類		賦存量	
特別保護地区		717.2	
特別地域	第1種	1,021.2	258.1
	第2種		248.1
	第3種		515.0
普通地域		109.0	
自然公園外		501.0	
合計		2,347.6	

資料:産業技術総合研究所 (2011)



**国内の地熱資源量の約80%は自然公園内に賦存している**

# 新規調査・開発に向けた動き



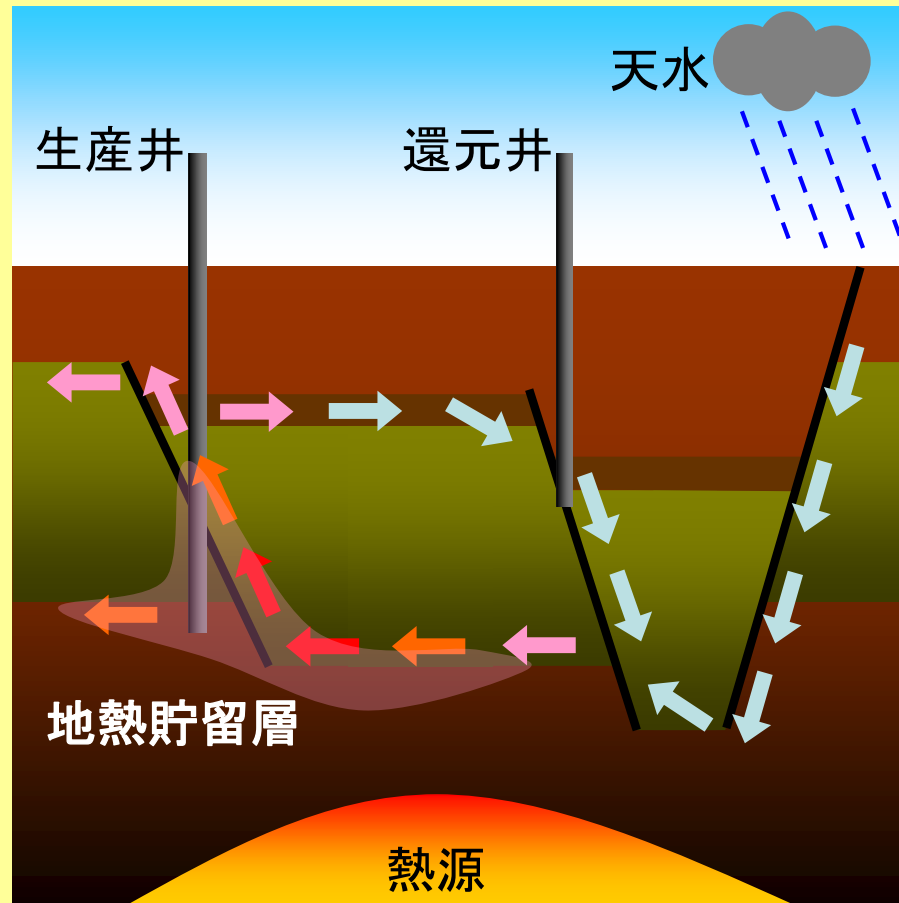
➤ **リードタイムが長い案件も、各種支援および規制緩和により着実に調査・開発が進行中**



# 地熱調査の概要

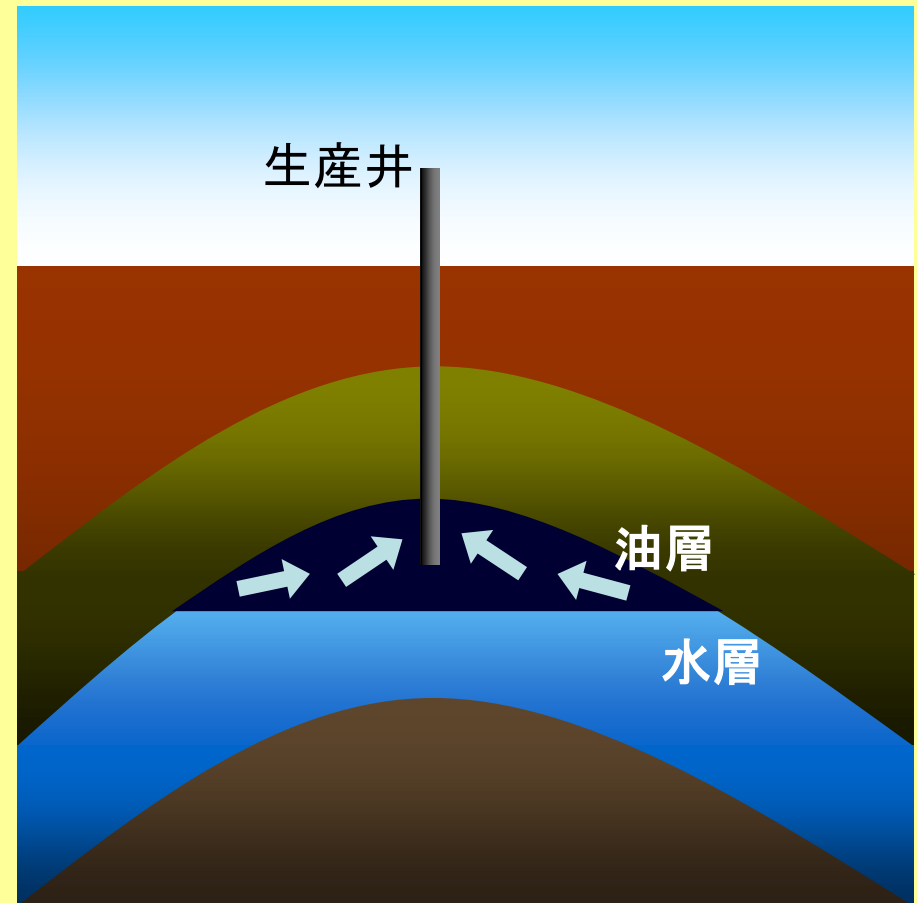
# 地熱開発と石油開発の違い

## 地熱開発



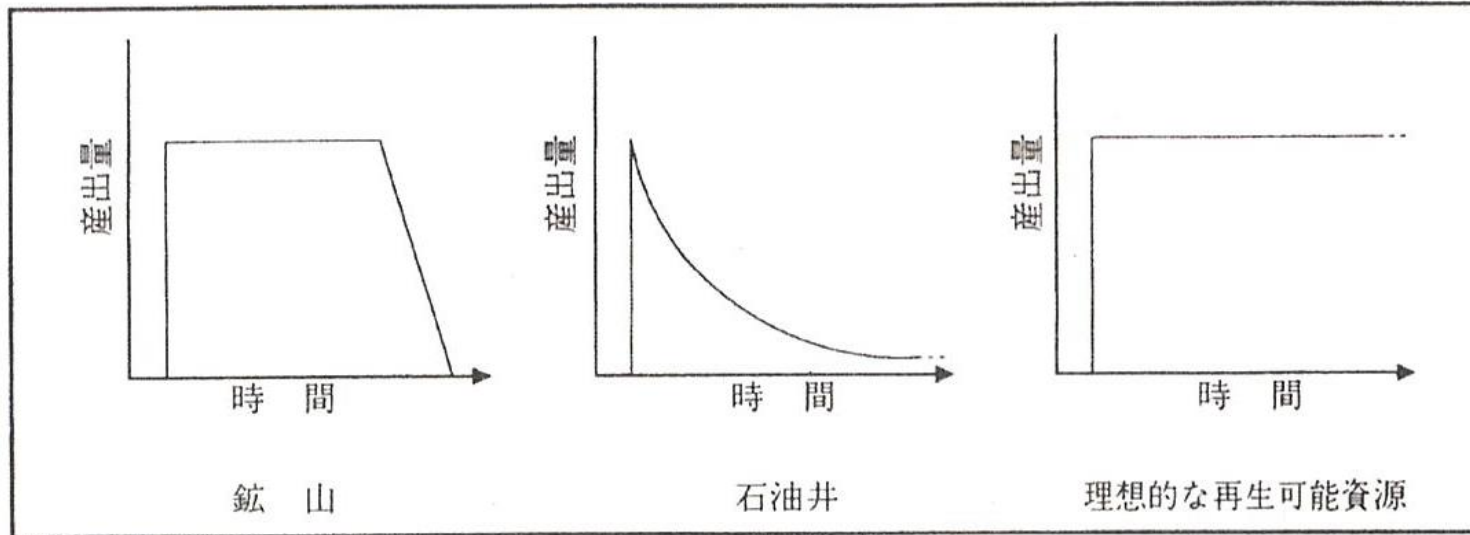
- 長期安定運転のため、熱と水の循環バランスにより貯留層温度・圧力を保持する事が重要。
- フラクチャーの広がりや繋がり、運転実績を確認しながら、順次開発エリアを拡大。

## 石油開発

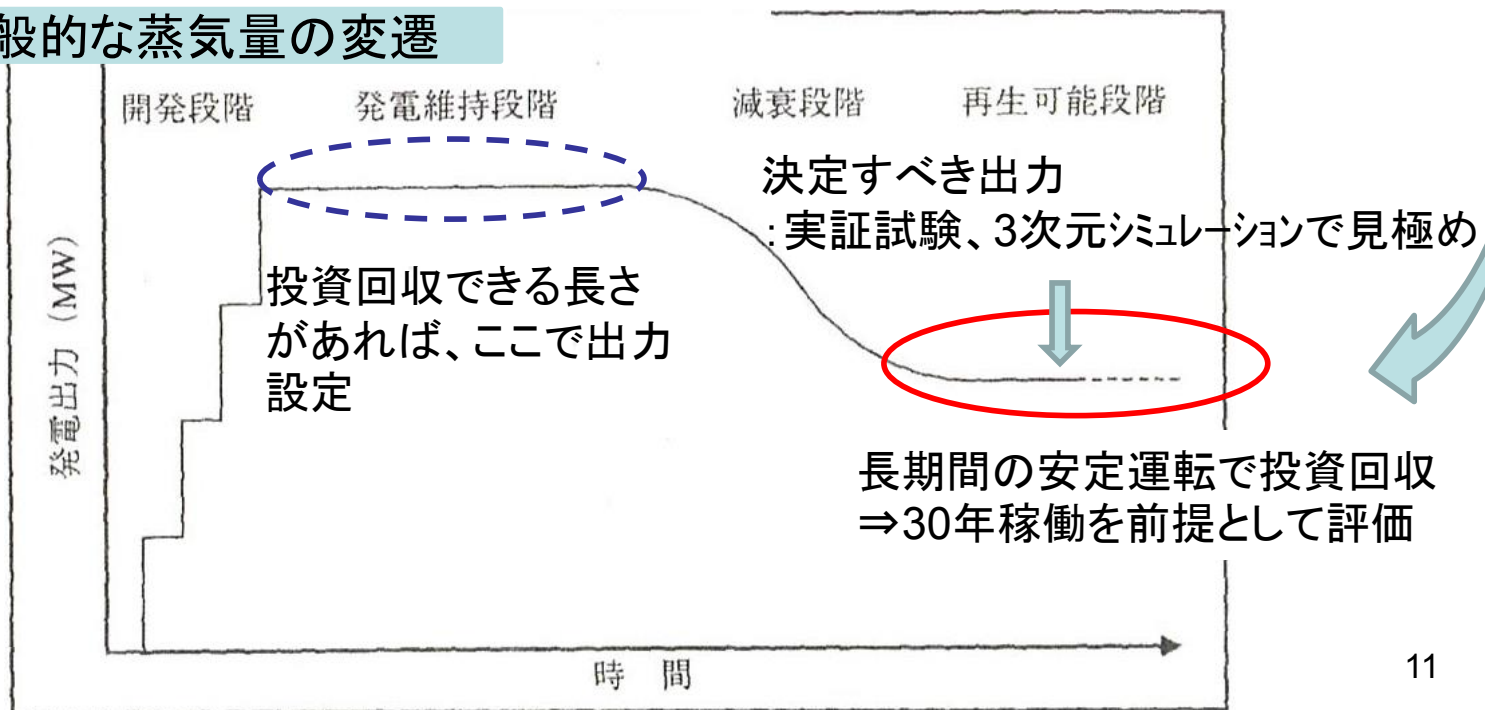


- 油ガスの回収率を高める事が重要。
- 残存鉱量を確認・評価しながら、順次開発エリアを拡大。

# 地熱発電と石油・石炭資源との違い

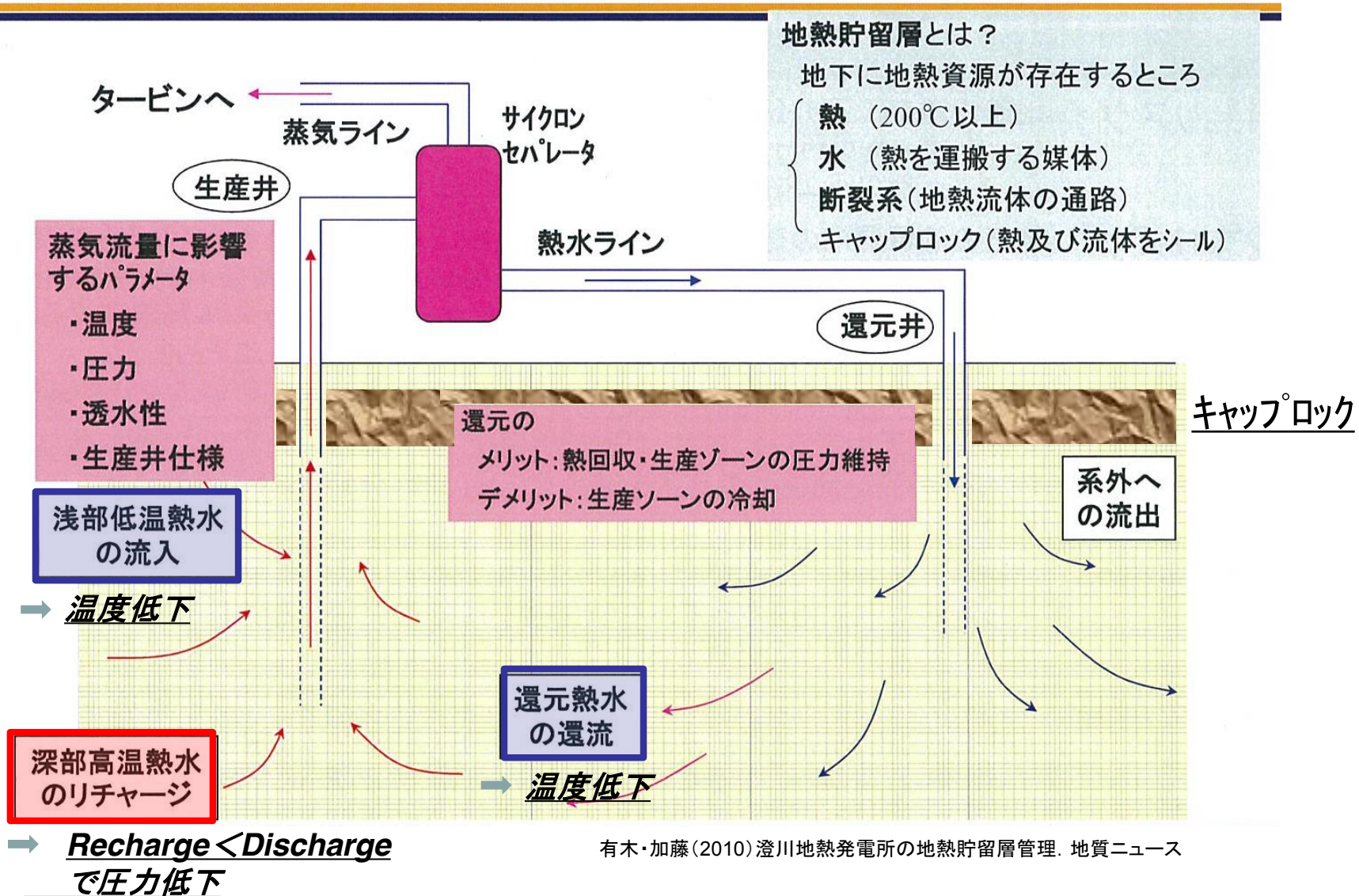


## 一般的な蒸気量の変遷



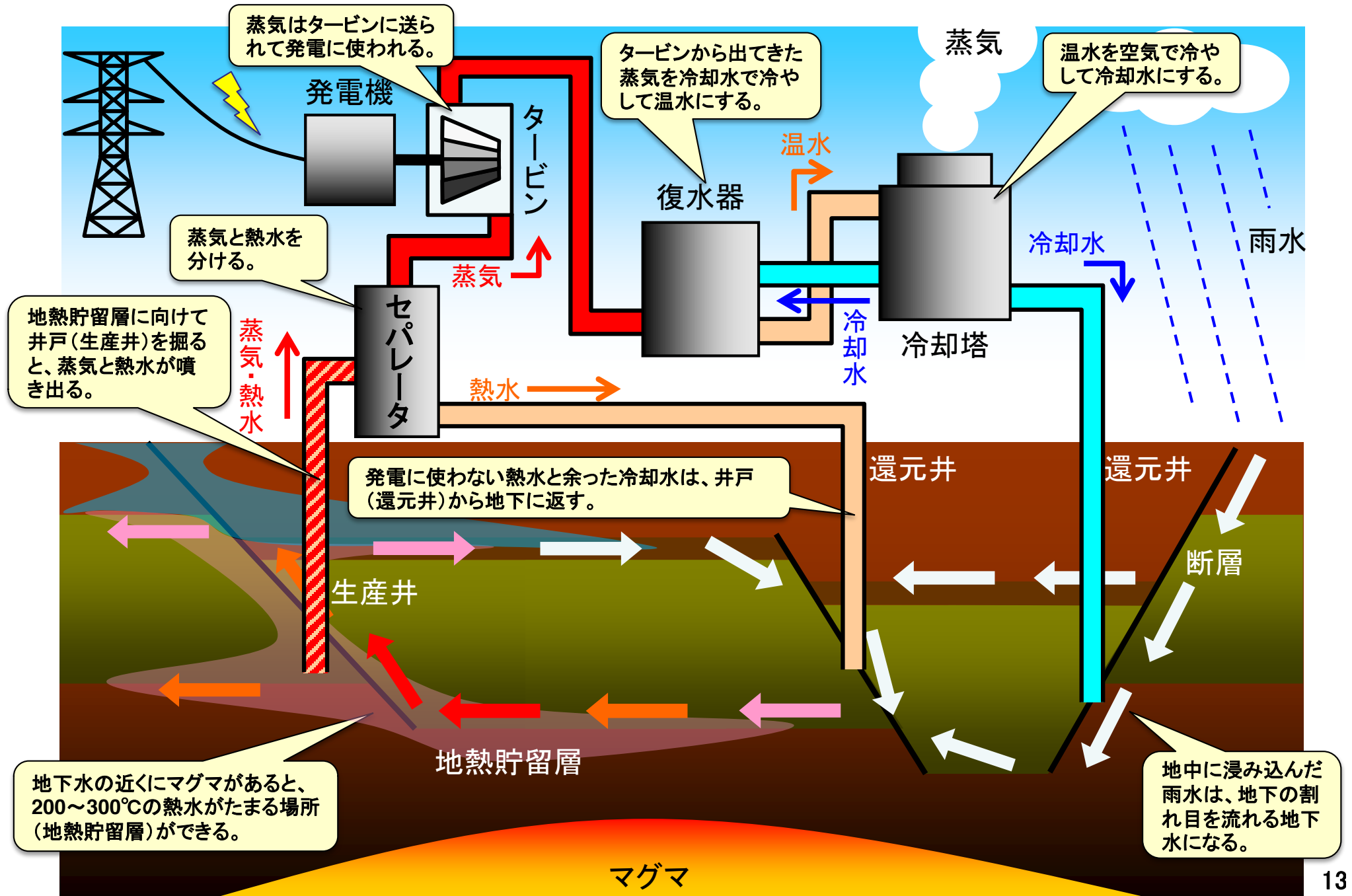
# 地熱流体の挙動

## 地熱発電に伴う生産・還元による地熱貯留層の挙動



有木・加藤 (2010) 澄川地熱発電所の地熱貯留層管理. 地質ニュース

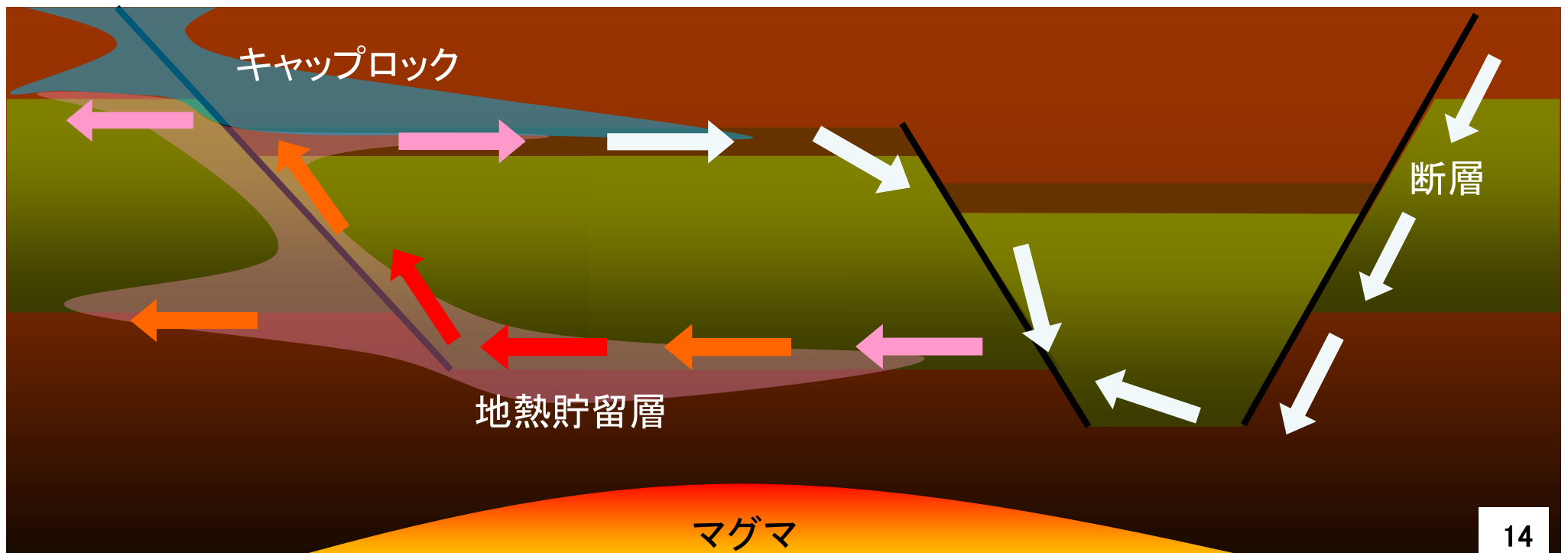
# 地熱発電所のしくみ



# 地熱調査とは

地熱発電所が地下から生産する蒸気・熱水は、地下2～3kmの深さにある**地熱貯留層**に賦存していると考えられています。地熱貯留層は、断層などによって作られた岩石の割れ目に**200℃以上の熱水が溜まったもの**です。その上には、しばしば熱水と岩石の化学反応（熱水変質）によって形成された、**透水性が低いキャップロックと呼ばれる地層**があり、これも重要な構造です。熱水変質した地層は地上で観察できることもあり、これは**変質帯**と呼ばれ、地熱貯留層を見つける手がかりになります。良い**地熱貯留層**は、**高温であるだけでなく、透水性が高く、割れ目が広範囲に広がって周囲から多くの水を集めることができる**必要があります。地熱調査では、様々な調査によって発電に適した地熱貯留層を探索し、また発見された地熱貯留層の能力に見合った最適な発電出力を評価します。

変質帯



# 地熱調査①：地表調査

種々の手法を用いて地表で調査を行い、掘削調査のターゲットを選定します。

調査種別	調査の方法と対象	調査の目的(例)
地質調査	<p><u>方法</u>: 調査地域の踏査、岩石サンプルの分析等</p> <p><u>対象</u>: 岩石の分布・年代、地熱兆候(温泉、噴気、変質帯等)の分布、断層・断裂の分布等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>火山の分布や噴火の年代・規模等から、有望な熱源(マグマ)を探索する。</li> <li>地熱兆候や断層・断裂の分布等から、地熱貯留層を探索する。</li> </ul>
物理探査	<p><u>方法</u>: 調査地域内に配置された測定点での重力、電磁場等の測定と、測定データの解析処理</p> <p><u>対象</u>: 地下の密度、電気抵抗(比抵抗)の分布等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度や比抵抗の不連続な分布となって現れる断層を探索する。</li> <li>熱水変質によって形成され、周囲よりも小さな比抵抗を示すキャップロックを探索する。</li> </ul>
地化学調査	<p><u>方法</u>: 河川水や湧水、井戸から汲み上げられた水の分析等</p> <p><u>対象</u>: 化学組成、温度、pH、同位体比等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水の地下での温度を推定する。</li> <li>水の起源を推定する。(雨水、マグマ成分、海水等)</li> </ul>



地質調査

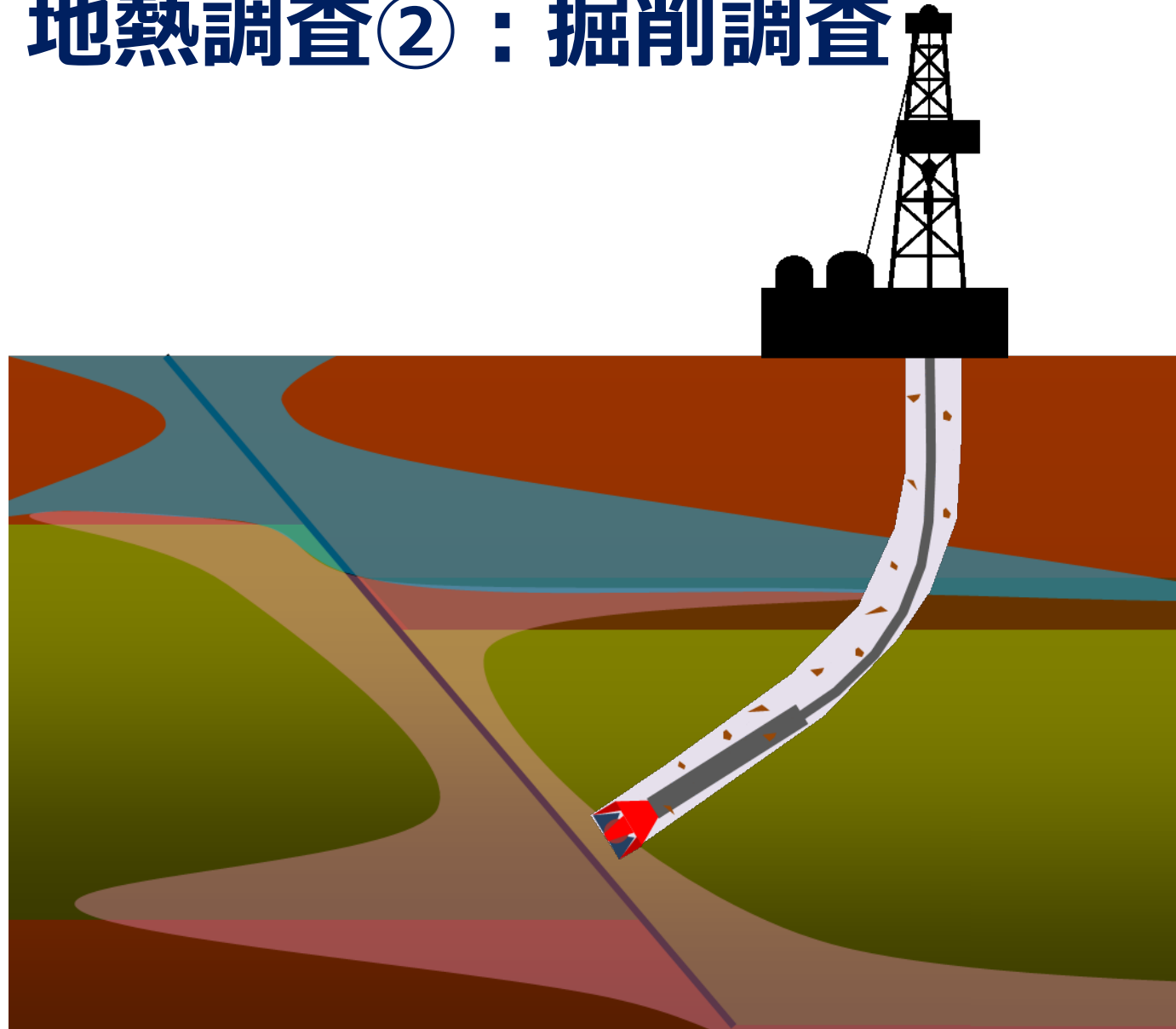


物理探査



地化学調査

# 地熱調査②：掘削調査



掘削工事



検層

地表調査の結果に基づいてターゲットが選定されると、**リグと呼ばれる櫓型の装置を使用してターゲットに向けて井戸(坑井)を掘削**します。掘削された坑井の中にはワイヤーで吊るした測定器を降下し、**温度や圧力等を測定する検層**が実施されます。温度が200℃以上あり、高い透水性を持つ地層や割れ目が見つかれば、地熱貯留層を掘り当てたと言えます。

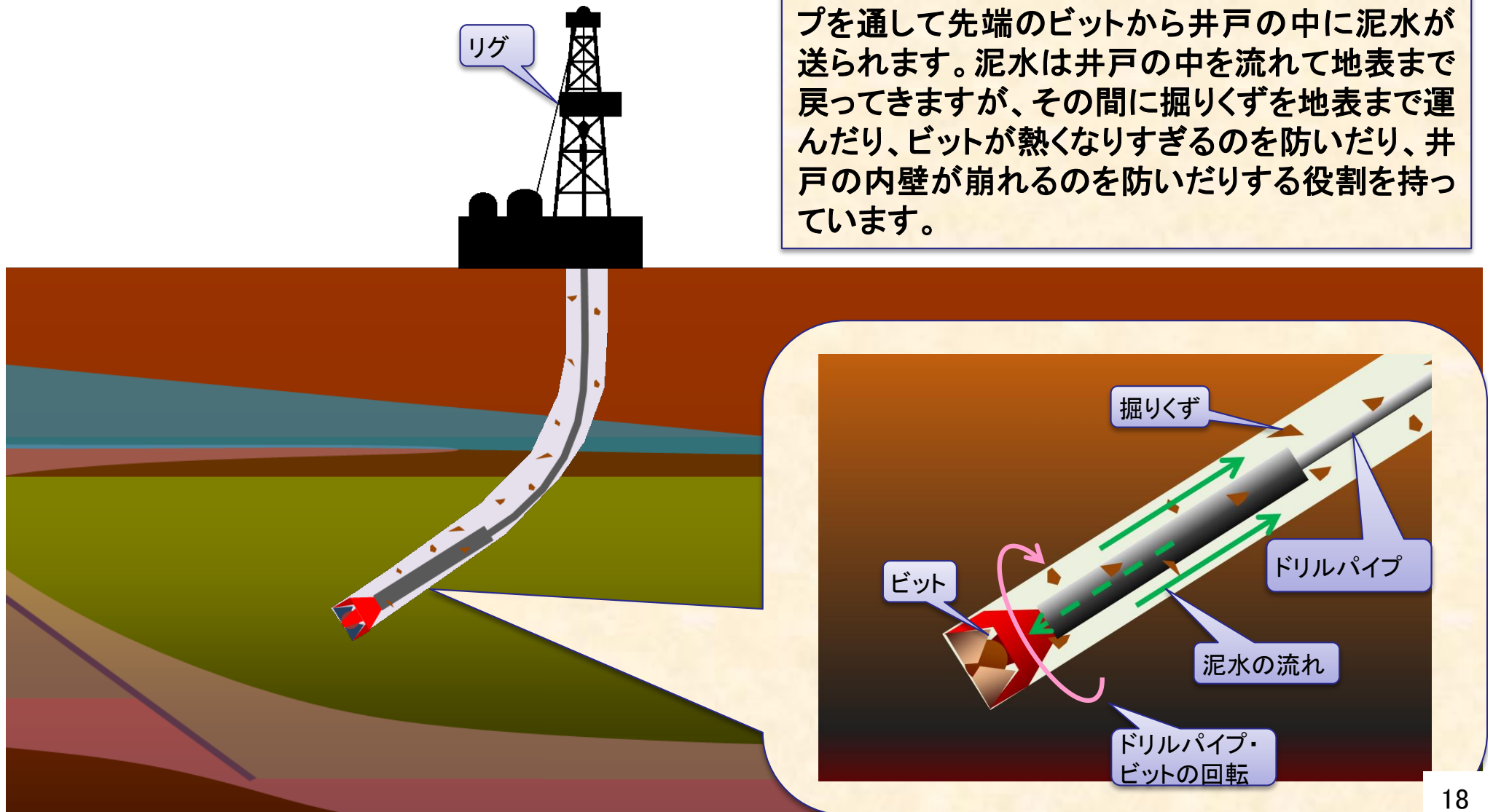


# 掘削調査の風景

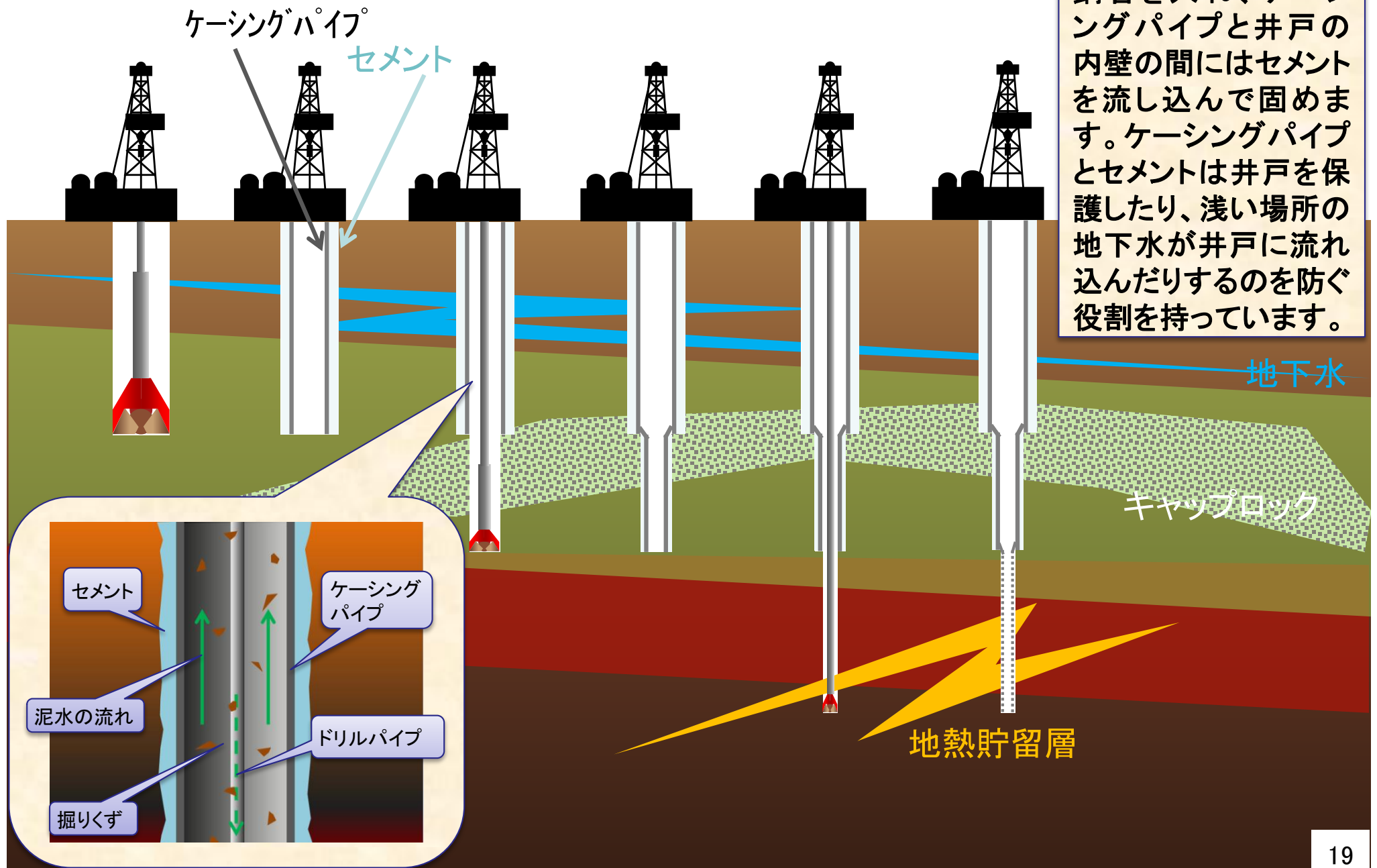


# 井戸の掘り方のイメージ図（1）

井戸を掘る作業では、ドリルパイプと呼ばれる鋼管を吊り下げて回転させ、ドリルパイプの先端に取り付けられたビットと呼ばれる刃で地層を削りながら掘り進みます。その間、ドリルパイプを通して先端のビットから井戸の中に泥水が送られます。泥水は井戸の中を流れて地表まで戻ってきますが、その間に掘りくずを地表まで運んだり、ビットが熱くなりすぎるのを防いだり、井戸の内壁が崩れるのを防いだりする役割を持っています。



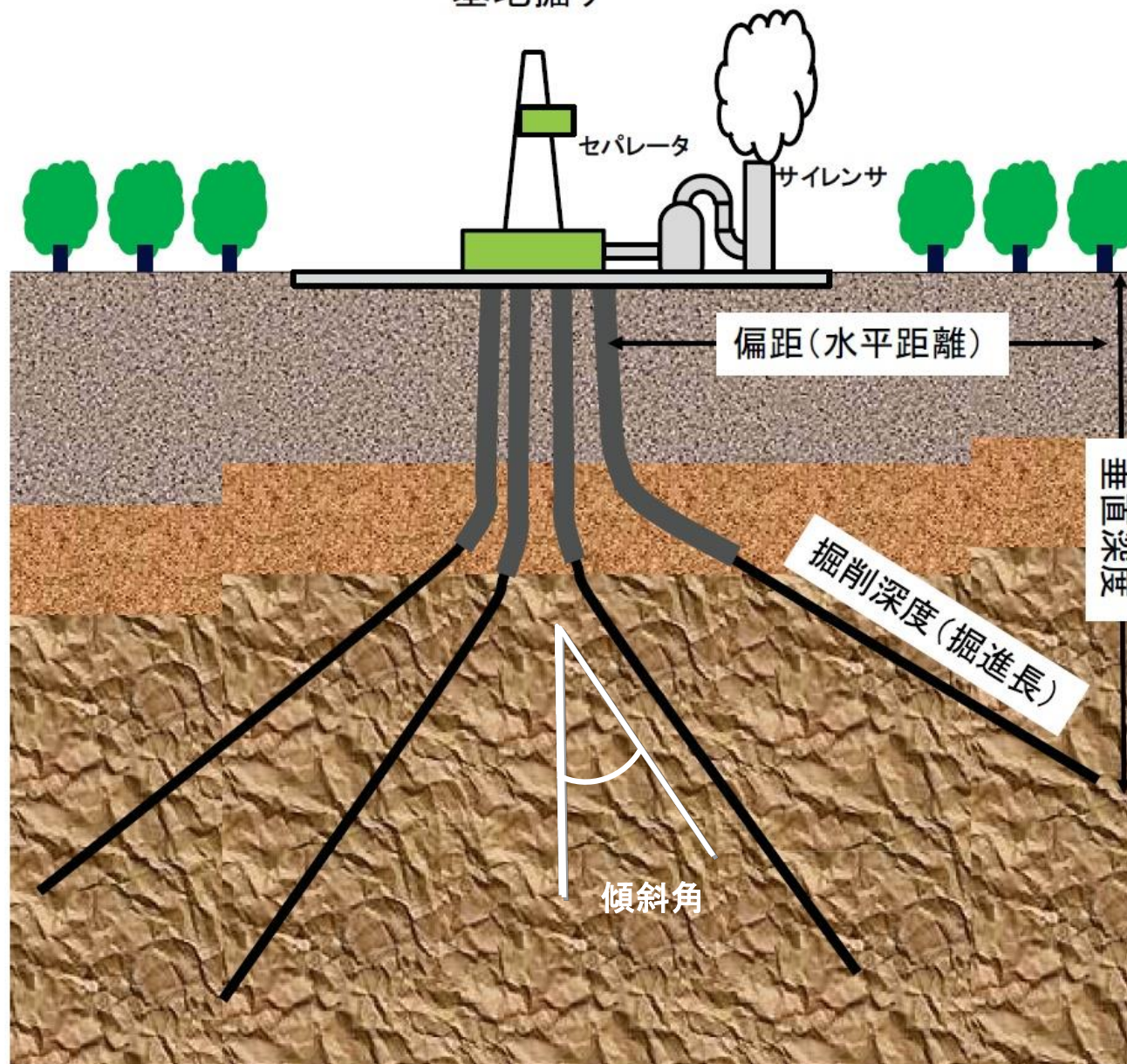
# 井戸の掘り方のイメージ図 (2)



井戸を掘った後には、井戸の中にケーシングパイプと呼ばれる鋼管を入れ、ケーシングパイプと井戸の内壁の間にはセメントを流し込んで固めます。ケーシングパイプとセメントは井戸を保護したり、浅い場所の地下水が井戸に流れ込んだりするのを防ぐ役割を持っています。

# 傾斜掘削のイメージ

基地掘り

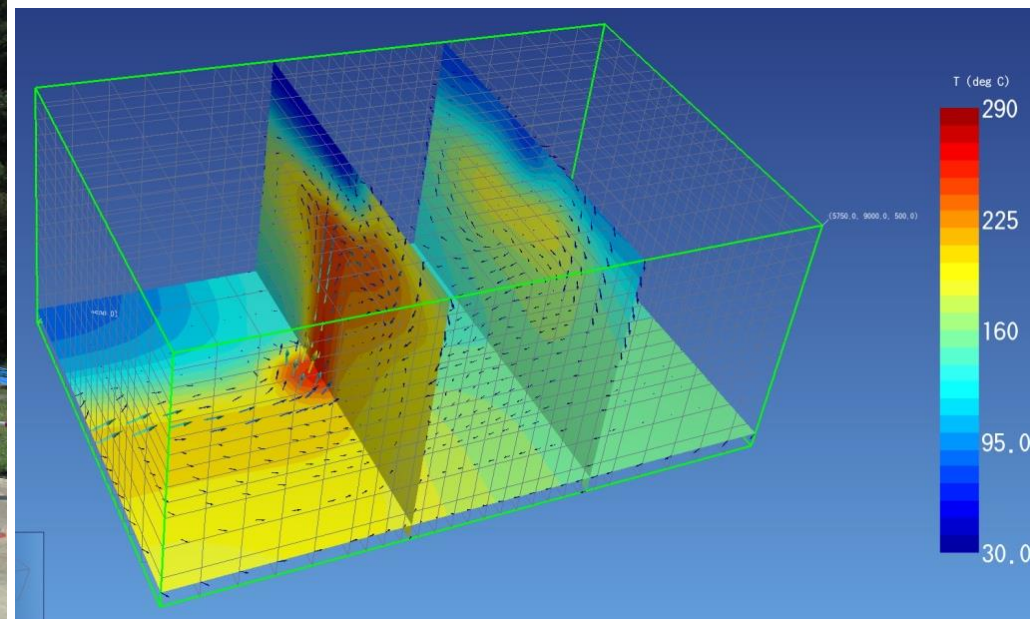


出典: 第2回地熱発電に関する研究会, 資料5, 2009

# 地熱調査③：貯留層評価



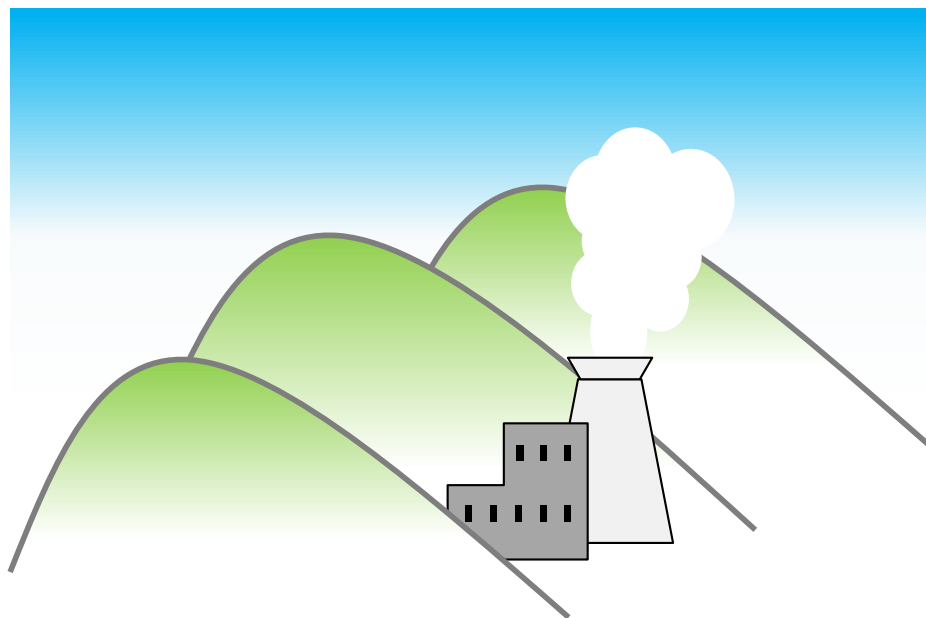
噴出試験の様子



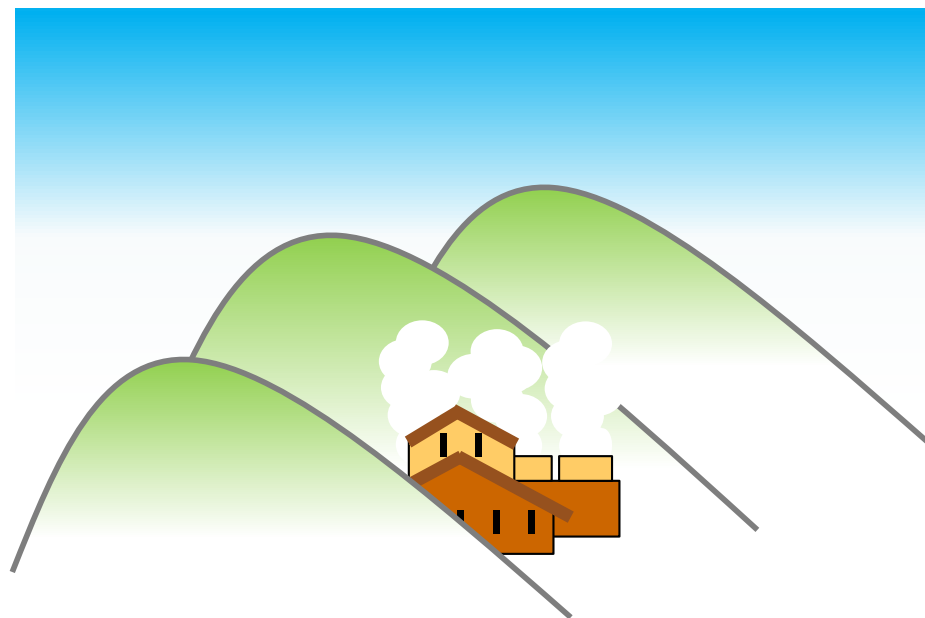
貯留層シミュレーション

掘削調査によって地熱貯留層が確認されると、**噴出試験**を行います。噴出試験では、最大数か月の間蒸気を連続的に噴出させ、安定して生産できる蒸気量を確認します。更に、これまでに得られた全ての情報を手掛かりに地下の透水性や温度・圧力の分布、水の流れをモデル化し、それをコンピュータによるシミュレーションで再現します(**貯留層シミュレーション**)。貯留層シミュレーションによって様々な出力の発電所を建設した際の地熱貯留層の温度・圧力の変化を予測し、最適な出力を決定します。

# 環境への配慮・地域との協調



景観に配慮していない地熱発電所



景観に配慮した地熱発電所

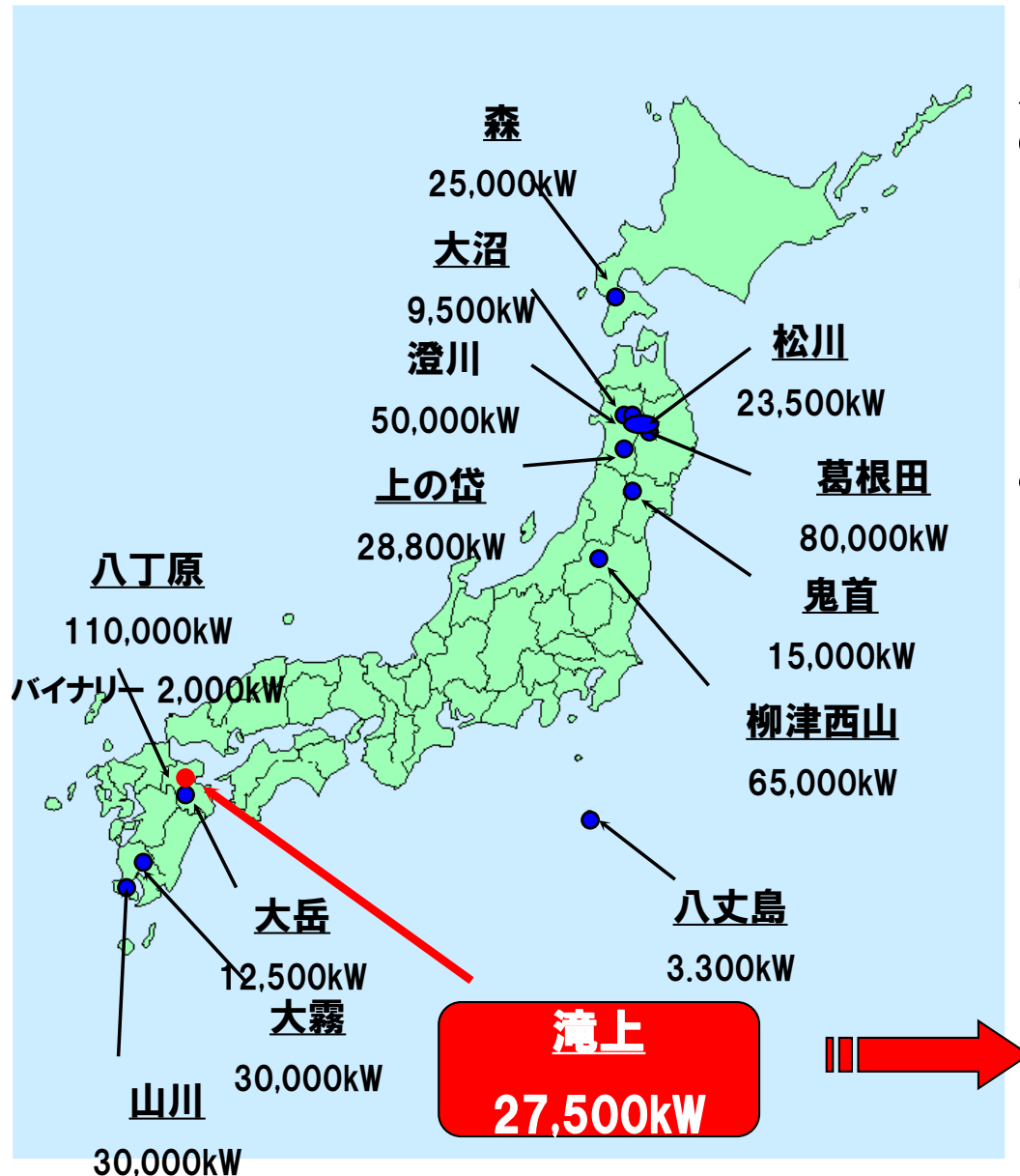
地熱資源は豊かな自然が広がる山間部に賦存していることが多いため、初期段階から自然環境や景観への影響が最小限となる方法を検討・実施しながら調査・開発を進めています。また、自治体や住民等地域の関係者にも調査開始前から頻繁に説明を行い、意見交換を通じた合意のもとに調査・開発を実施しています。多くの地熱発電所にはPR館が併設され、観光や研修に活用されている他、地域での消費や地域事業者の起用、発電所従業員の雇用等による地域の活性化にも貢献しています。

# 出光興産の地熱事業への取り組み



滝上バイナリー発電所（出光大分地熱） 2017年3月運転開始

# 滝上発電所 (大分県九重町)



日本国内には世界の地熱資源量の約10%が賦存しており、2015年現在の国内の地熱発電所の設備容量は合計で52万kWです。

出光は1979年に地熱事業に着手し、1996年には九州電力(株)と共同で滝上発電所の運転を開始しました。

出光は、このクリーンエネルギーの開発に取り組み、我が国の電力の安定供給に貢献しています。





# 滝上発電所の紹介(DVD) 約10分間

# 滝上地域 地熱開発の経緯



IDEMITSU

1979～1983年度

地表調査(地質・地化学・MT)～調査井掘削

1983～1994年度

調査井掘削(転用井含む)～長期噴出試験～  
貯留層評価(シミュレーション)～環境調査

1995年度

滝上発電所(九州電力)建設工事着手(4月)

1996年度

滝上発電所(九州電力)営業運転開始(11月)  
認可出力 25,000kW

2010年度

滝上発電所 認可出力を10%アップ(6月)  
25,000kW → 27,500kW へ

2013年度

滝上バイナリー発電所(5,000kW級)計画  
再生可能エネルギー発電設備認定(12月)

2015年度

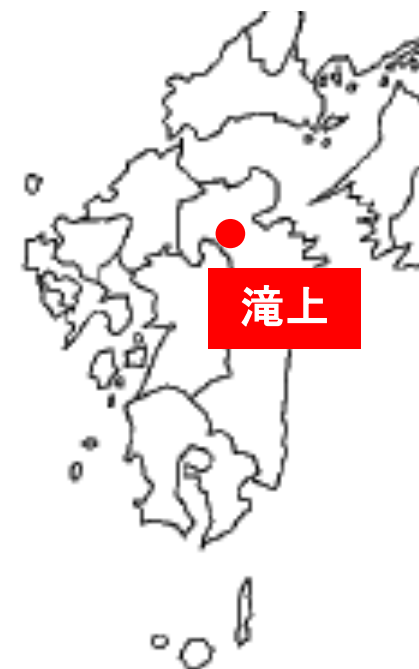
滝上バイナリー発電所 建設着工(3月)

2016年度

滝上バイナリー発電所 営業運転開始(3月)



滝上発電所  
発電:九州電力  
蒸気供給:出光大分地熱

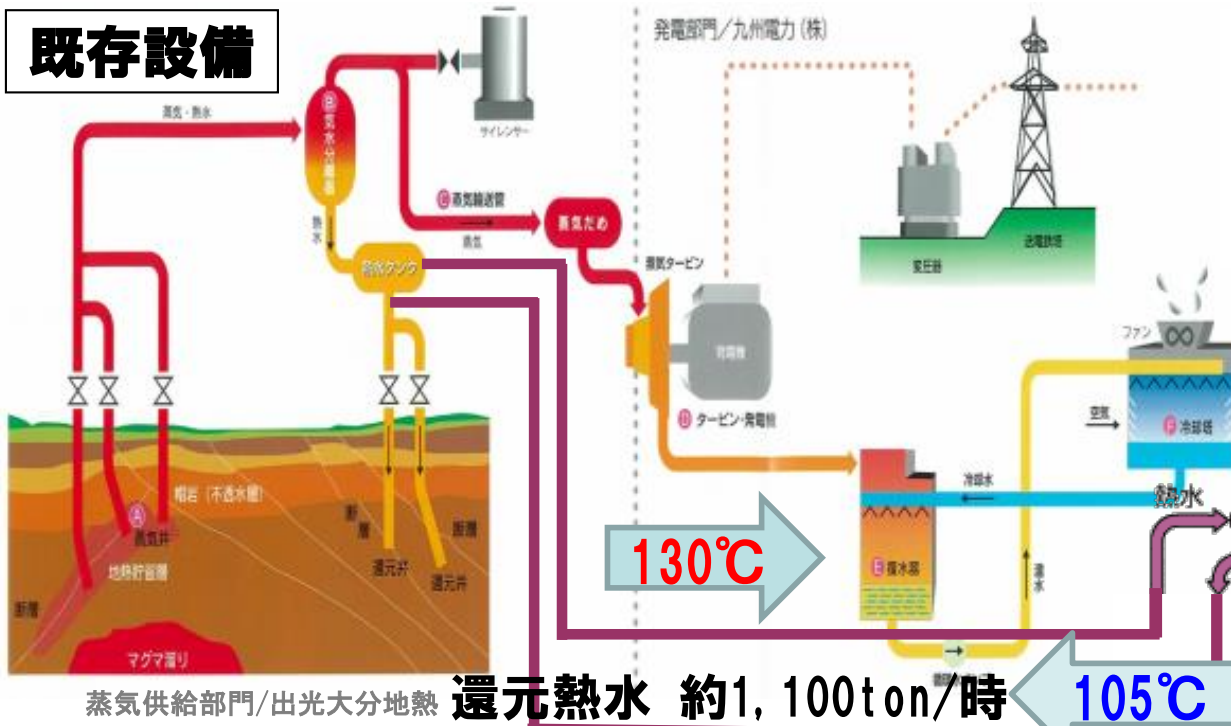


滝上バイナリー発電所

# 滝上発電所と滝上バイナリー発電所の比較

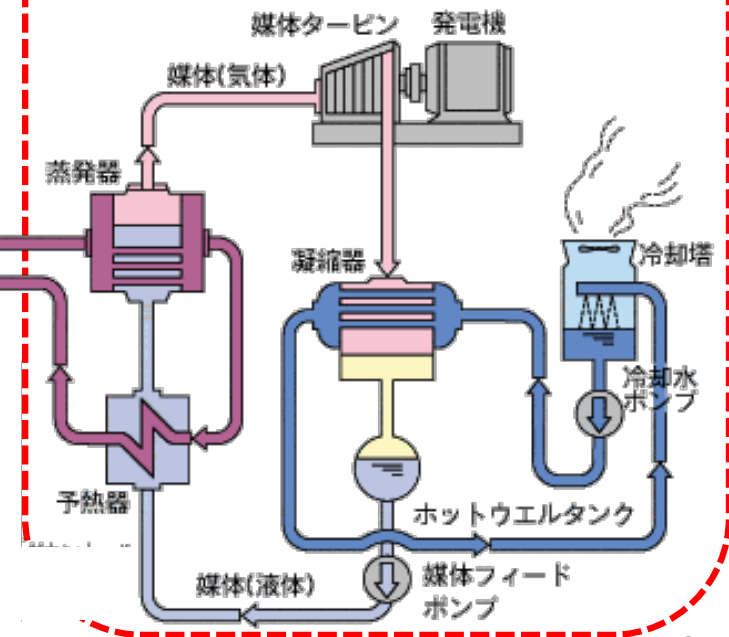
	滝上既存事業	バイナリー発電
発電端容量 発電事業者	27,500kW 九州電力	5,050kW 出光大分地熱
事業内容	蒸気供給事業 (総括原価方式)	再エネ発電事業 (FIT 固定買取方式)

## 既存設備



## バイナリー設備

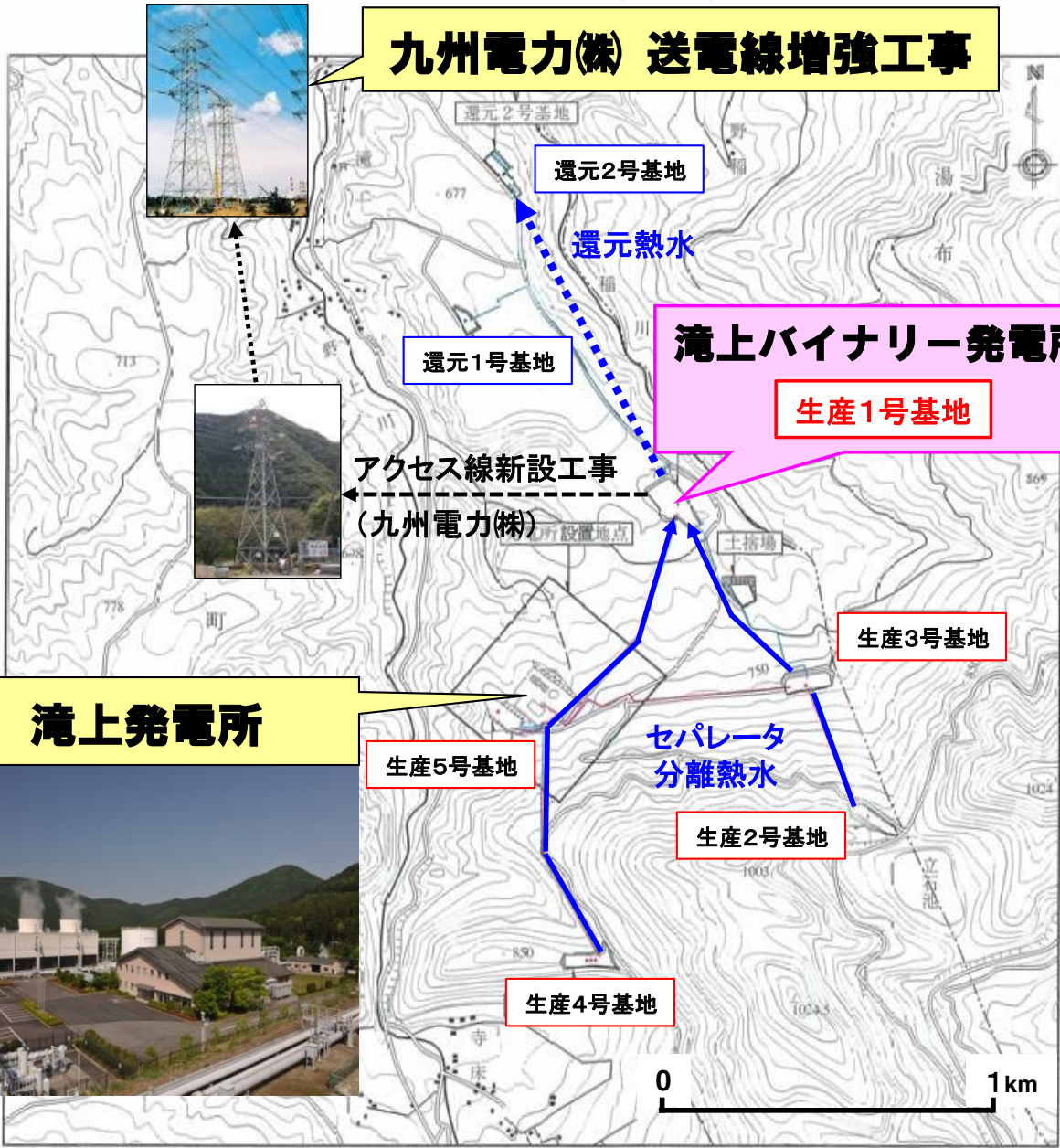
還元熱水を熱源に、低沸点媒体を気化させて発電機を回す方式



- ①未活用の還元熱水からの熱回収(Δ25℃)で、滝上地熱系の総合熱効率を約15%向上させる
- ②還元熱水を利用したバイナリー発電は国内初  
(エネルギー高効率利用)

# 滝上バイナリー発電所の概要

## 九州電力(株) 送電線増強工事



## 主要工程

○本体工事着工	2016年 3月
○試運転開始	2016年12月
○営業運転開始	2017年 3月

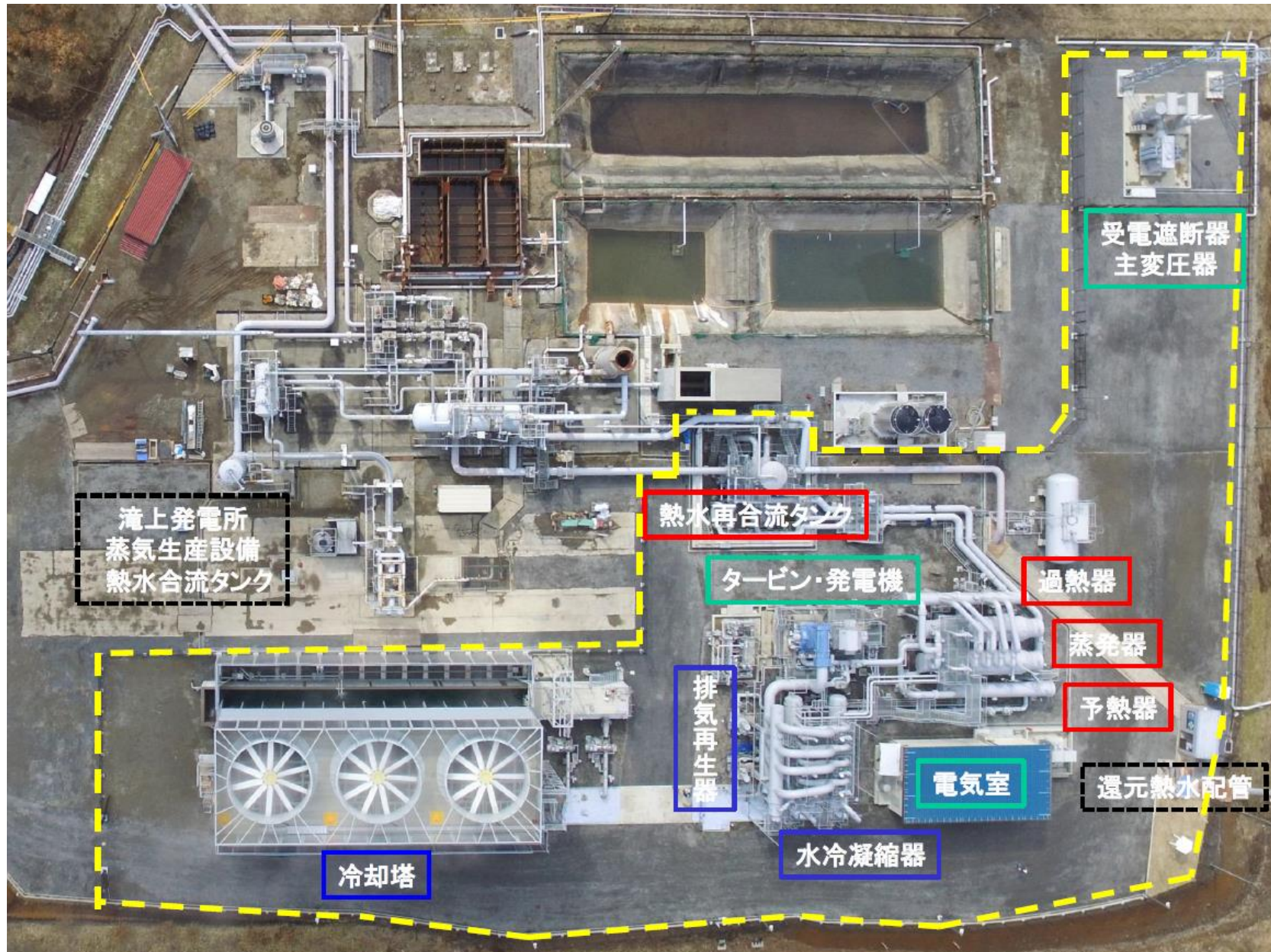
## 滝上発電所



滝上バイナリー発電所

「この地図は、国土地理院の2万5千分の1の地形図（湯平）を使用したものである。」

# 滝上バイナリー発電所の設備配置図



# 新規調査・開発 プロジェクトの概要



## 【阿女鱒岳・小安】

3社による共同事業  
(出光・INPEX・三井石開)  
オペレータとして主導

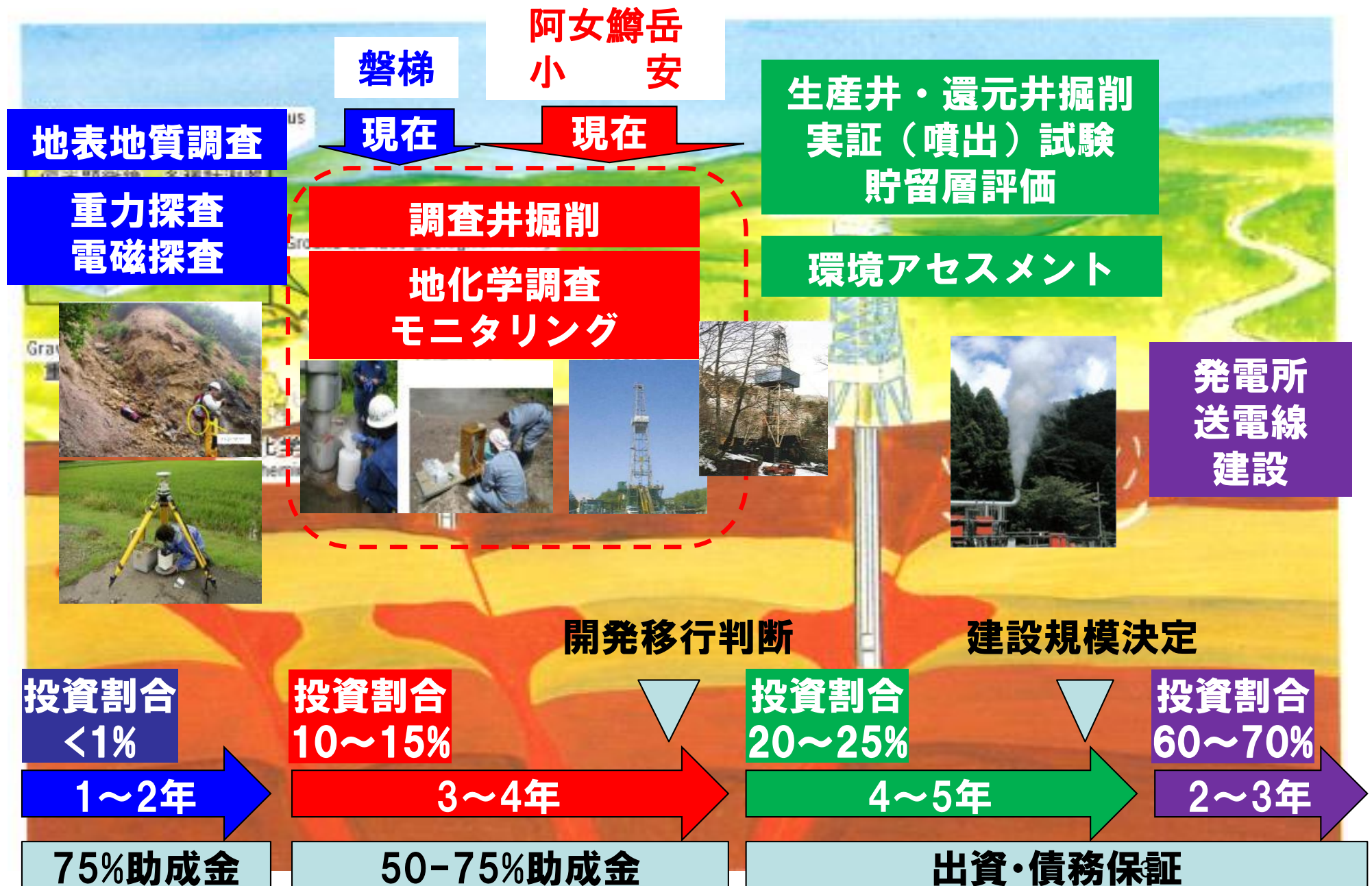
- 2011 地表調査
- 2012 アクセス道整備等
- 2013～15 両地域で各々4坑掘削
- 2016 阿女鱒岳1坑, 小安2坑掘削
- 2017 阿女鱒岳1坑, 小安1坑掘削

## 【磐梯】(福島)

オールジャパン体制 (11社)  
幹事会社 (オペレータ3社の内) として主導  
⇒ 磐梯地域で地表調査に着手

- 2013～15 地表調査
- 2016 2坑掘削
- 2017 有望性 (ポテンシャル) 評価

# 地熱調査開発の流れ



# 阿女鱒岳地域 (北海道：赤井川村)





# 調査計画のあらまし

## 第1段階 … 1年次 (2011年度実施済み)

### 地表調査

- ✓ 地質/断裂/変質帯調査
- ✓ 電磁探査/重力探査

## 第2段階 … 2～8年次 (2012～18年度予定)

### 掘削調査、搬入路整備等

1500～2000m程度の**構造試験井の掘削**を行い、地質構造、地下温度、透水性などを調査する。

### モニタリング調査(2013年度より実施中)

- ✓ 温泉モニタリング/貯留層モニタリング
- 温泉水の化学成分、温度、湧出量、井戸の水位等を調査する。

有望となれば…



## 第3段階

### 掘削調査

実際の生産井、還元井と同規模の**試験井**を掘削して、数週間の生産、還元能力試験を行う。

### 貯留層評価

これまでの調査結果に基づいて地熱貯留層モデルを構築し、貯留層シミュレーションを行う。

### 環境調査開始 (配慮書段階)

事業化可能と見込まれれば…



## 第4段階

### 環境影響評価

大気/水質、動植物、騒音/振動、温泉等の調査結果に基づき、環境影響評価 (アセスメント) を行う。

### 生産井/還元井掘削

生産井/還元井を掘削する。

### 実証試験

数ヶ月の長期にわたり生産、還元試験を行い、貯留層の安定性を確認して、発電出力を決定する。

発電所建設

# 噴気試験状況(噴気期間:2017.6月~9月)



AME-1,3号井 仮噴気中(9/16)



AME-1,3号井 仮噴気中(9/16)



プルエット圧力観測(7/3)



三角堰(スケール)(9/20)

# 環境調査：クマゲラの繁殖・巣立ち確認

調査項目	回数	調査実施日
繁殖確認調査	1回	平成29年6月5日～7日
幼鳥巣立ち確認調査	2回	平成29年6月22日、7月12日
営巣木調査	1回	平成29年7月12日



写真 1-1 概況

写真 2-1 調査状況

# 小安地域 (秋田県湯沢市)

# 小安地域



# 調査計画のあらまし

## 第1段階 … 1年次 (2011年度実施済み)

### 地表調査

- ✓ 地質/断裂/変質帯調査
- ✓ 電磁探査/重力探査

## 第2段階 … 2~7年次 (2012~17年度予定)

### 掘削調査、搬入路整備等

- ✓ 1500~2000m程度の**構造試錐井の掘削**を行い、地質構造、地下温度、透水性などを調査する。

### モニタリング調査

- ✓ 温泉モニタリング/貯留層モニタリング  
温泉水の化学成分、温度、湧出量、井戸の水位等を調査する。

有望となれば…



## 第3段階

### 掘削調査

実際の生産井、還元井と同規模の**試験井**を掘削して、数週間の生産、還元能力試験を行う。

### 貯留層評価

これまでの調査結果に基づいて地熱貯留層モデルを構築し、貯留層シミュレーションを行う。

### 環境調査開始 (配慮書段階)

事業化可能と見込まれれば…



## 第4段階

### 環境影響評価

大気/水質、動植物、騒音/振動、温泉等の調査結果に基づき、環境影響評価 (アセスメント) を行う。

### 生産井/還元井掘削

生産井/還元井を掘削する。

### 実証試験

数ヶ月の長期にわたり生産、還元試験を行い、貯留層の安定性を確認して、発電出力を決定する。

発電所建設

# 関係者への説明履歴

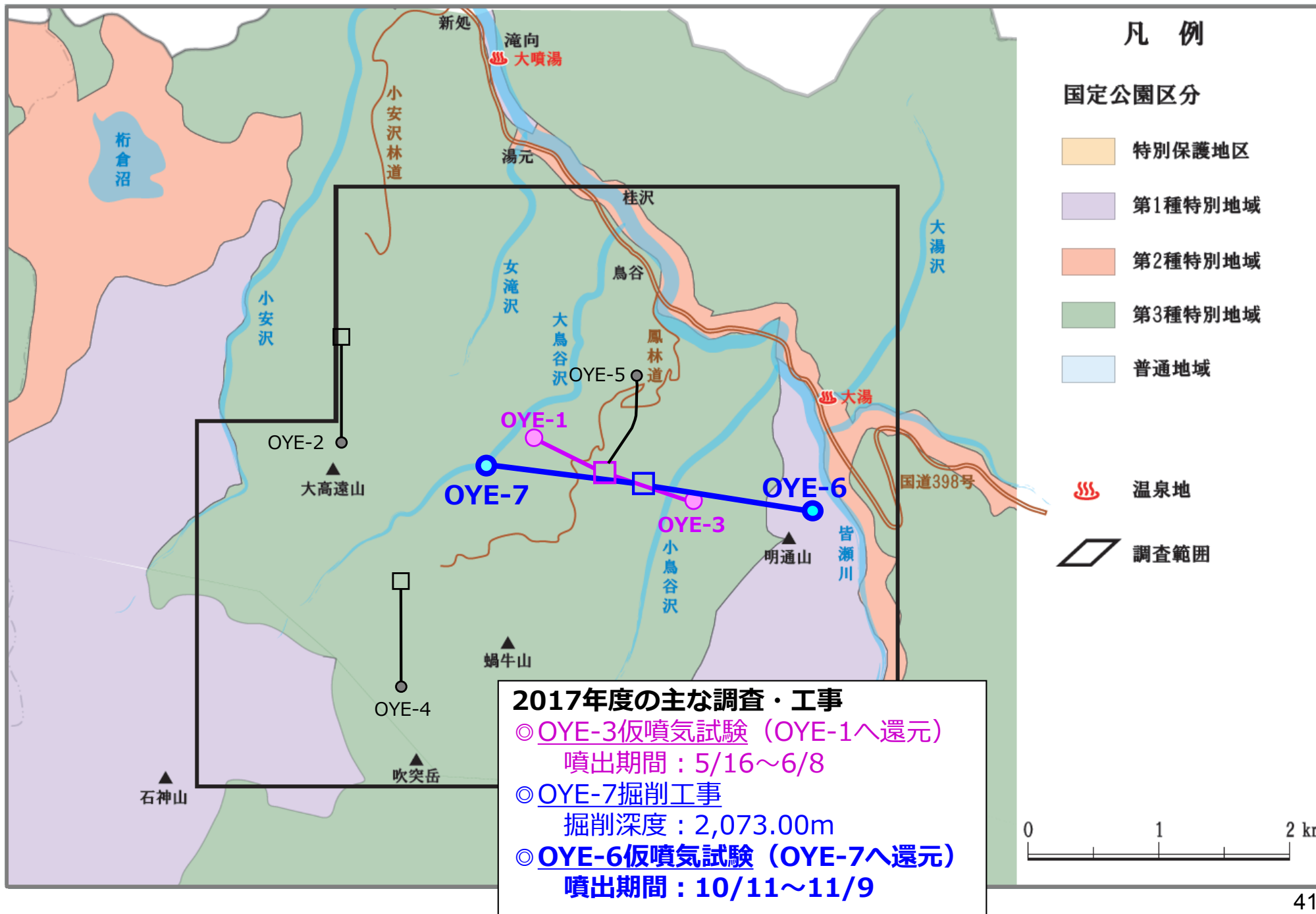
その他の関係機関には調査計画を適宜説明しています。

		説 明 履 歴
2011年	4月	湯沢市（調査計画を説明）
	6月	湯元集落住民説明会（調査計画を説明）
2012年	6月	湯元集落住民説明会（2012年度調査計画を説明）
	7月	湯沢市小安地域地熱資源活用協議会（構造試錐井OYE-1号掘削合意）
2013年	1月	湯元集落住民説明会（2013年度調査計画を説明）
		湯沢市小安地域地熱資源活用協議会（構造試錐井OYE-2号掘削合意）
	9月	掘削工事現場見学会（OYE-2掘削現場に協議会委員及び地元住民をご案内）
2014年	1月	湯元集落住民説明会（2014年度調査計画を説明）
		湯沢市小安地域地熱資源活用協議会（構造試錐井OYE-3, 4号掘削合意）
	9月	掘削工事現場見学会（OYE-3掘削現場に協議会委員及び地元住民をご案内）
2015年	2月	湯元集落住民説明会（2015年度調査計画を説明）
		湯沢市小安地域地熱資源活用協議会
	6月	皆瀬小・皆瀬中現場見学会
	12月	湯元集落住民説明会（2016年度調査計画を説明）
		湯沢市小安地域地熱資源活用協議会（構造試錐井OYE-5, 6号掘削合意）
2016年	3月	JOGMEC大規模開発助成金申請について協議会委員及び湯沢市の理解取得
2017年	2月	湯元集落住民説明会（2017年度調査計画を説明）
		湯沢市小安地域地熱資源活用協議会（構造試錐井OYE-7, 8号掘削合意）

その後計画変更し、2017年度はOYE-7号井 1本のみ掘削することとした。



# 2017年度の主な調査・工事内容



# OYE-6号井仮噴気試験



IDEMITSU



2017年10月11日撮影  
大気開放で約50t/hの蒸気量



2017年10月16日撮影 上空より

# 掘削基地の眺望景観にかかる配慮

施工前

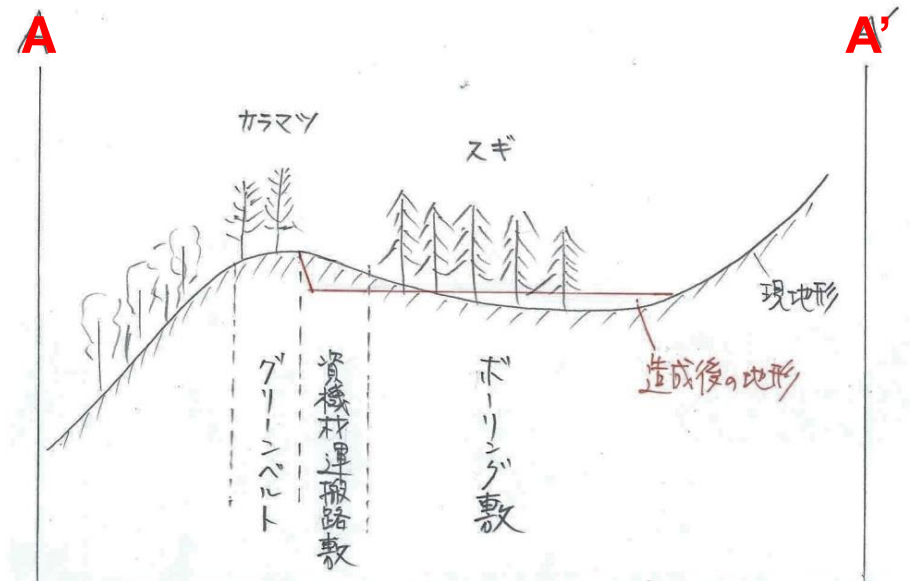
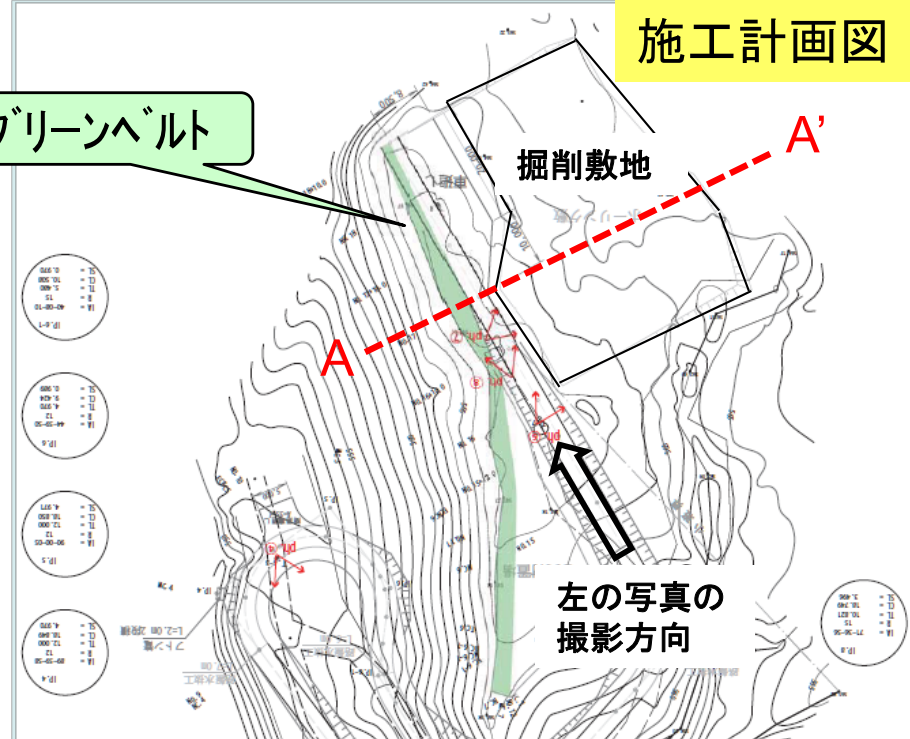


施工後



施工計画図

グリーンベルト



視点1 (国道398号)から撮影

## OYE-1掘削時 (2013/11/9) の遠景写真



国道398号線から撮影  
(焦点距離55mm)



OYE-1 掘削櫓 = OYE-5号井 掘削予定地

OYE-6号井 掘削予定地

国道398号線から撮影  
(焦点距離200mm)

OYE-1号井掘削時には、掘削櫓と視点との間に既存樹林帯を残したことにより、眺望景観への影響が軽減された。

OYE-6号井掘削の際も同様に、樹林帯を残すことによって眺望景観への影響を軽減することができると思う。

# 磐梯地域 (福島県猪苗代町)

# 福島プロジェクト

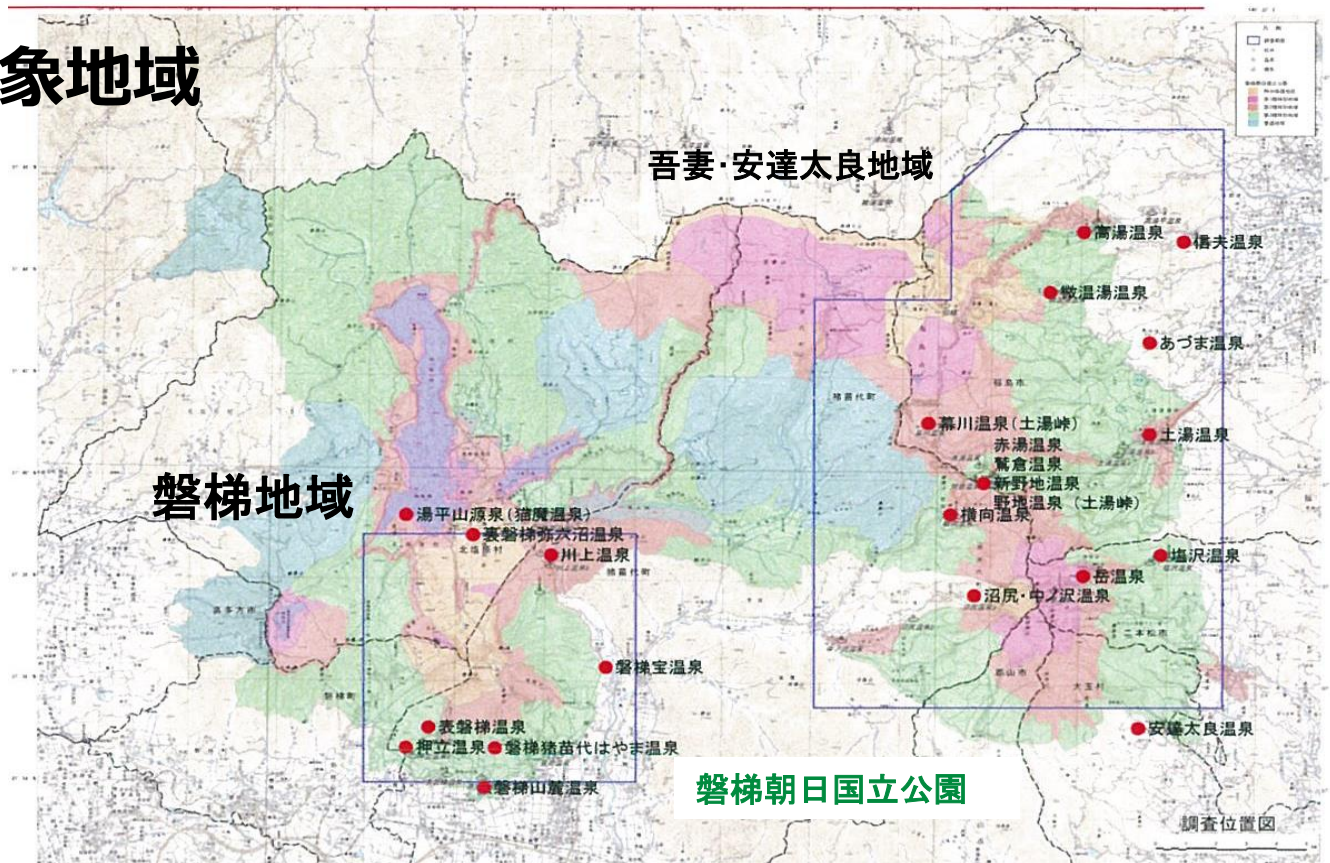


## 参画会社

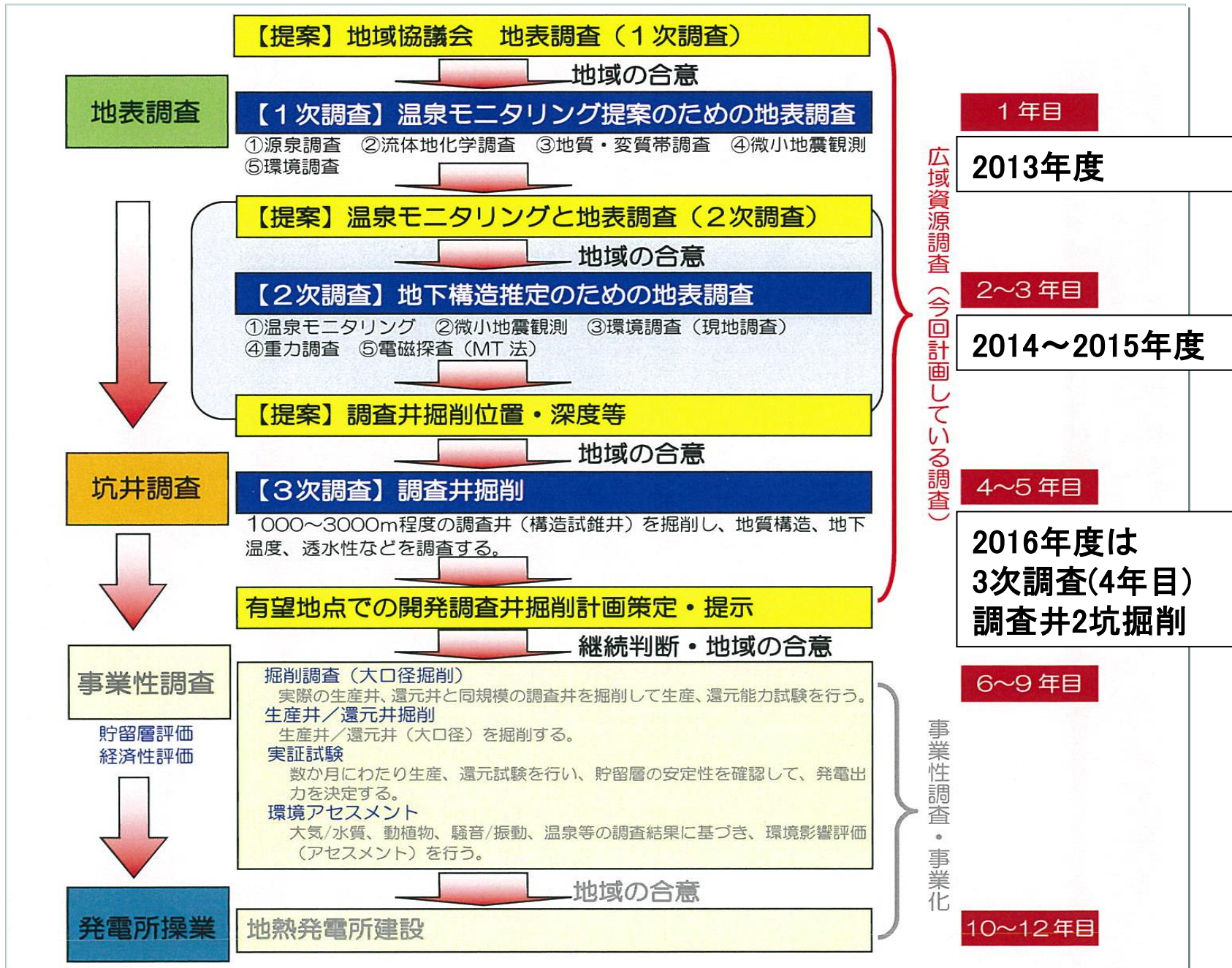
★ オペレータ

出光興産（株） ★	石油資源開発（株） ★
国際石油開発帝石（株）	三井石油開発（株）
三菱マテリアル（株） ★	三菱商事（株）
三菱商事パワー（株）	住友商事（株）
三菱ガス化学（株）	地熱技術開発（株）
日本重化学工業（株）	

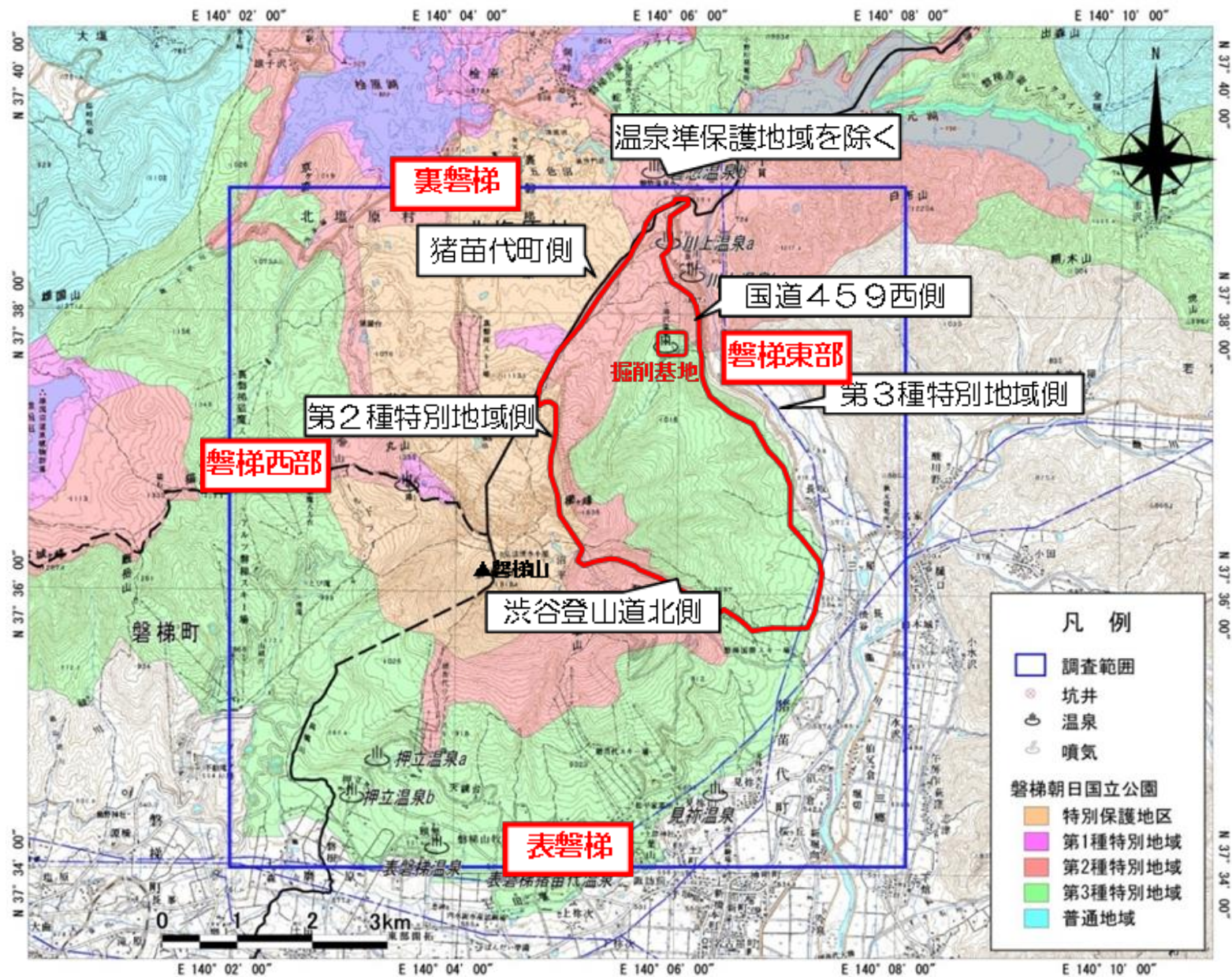
## 調査対象地域



# 磐梯地域調査の進捗

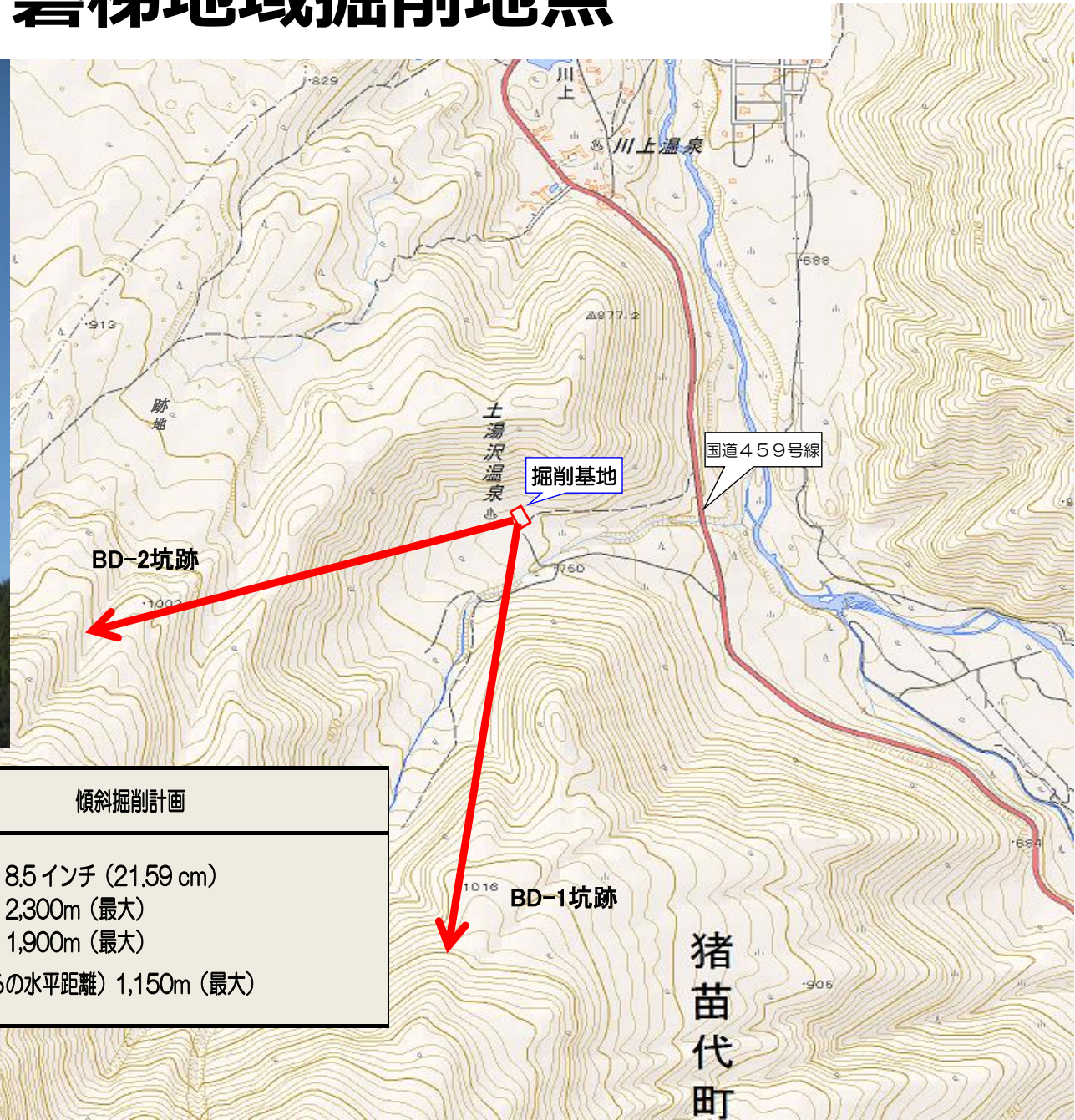


# 2016年度 掘削調査範囲





# 磐梯地域掘削地点



No.	掘削基地	方位	傾斜掘削計画
BD-1	温泉跡地	南方向西に約 10°	最終坑径 8.5インチ (21.59 cm) 掘削長 2,300m (最大) 垂直深度 1,900m (最大)
BD-2	温泉跡地	南方向西に約 70°	偏距 (口元からの水平距離) 1,150m (最大)



IDEMITSU

以 上