

第8回 ちかすいネット (H23. 12. 10)

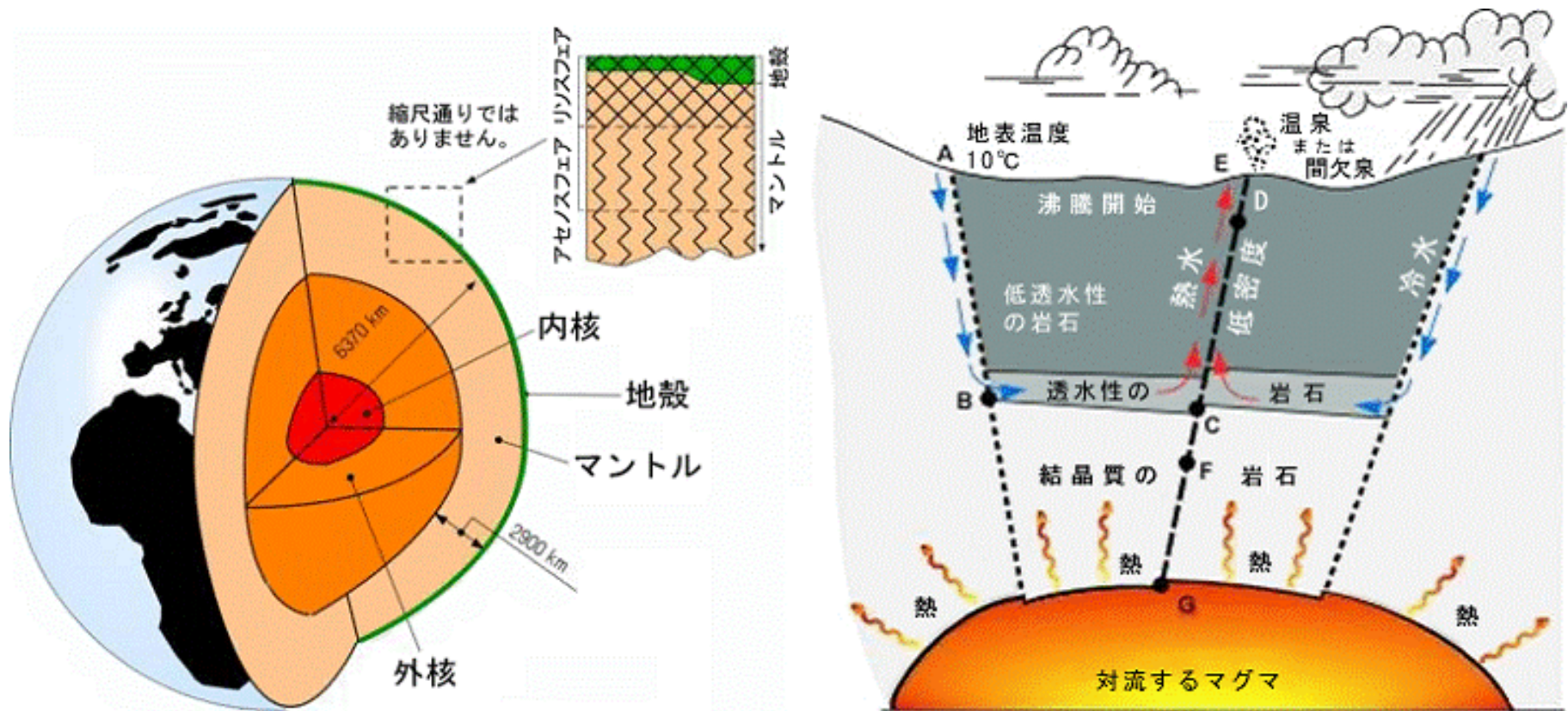
温泉と地熱開発の共存共栄

1. はじめに
2. 地熱発電について
3. 地熱と温泉との共生
4. まとめ

地圏資源環境研究部門 安川香澄

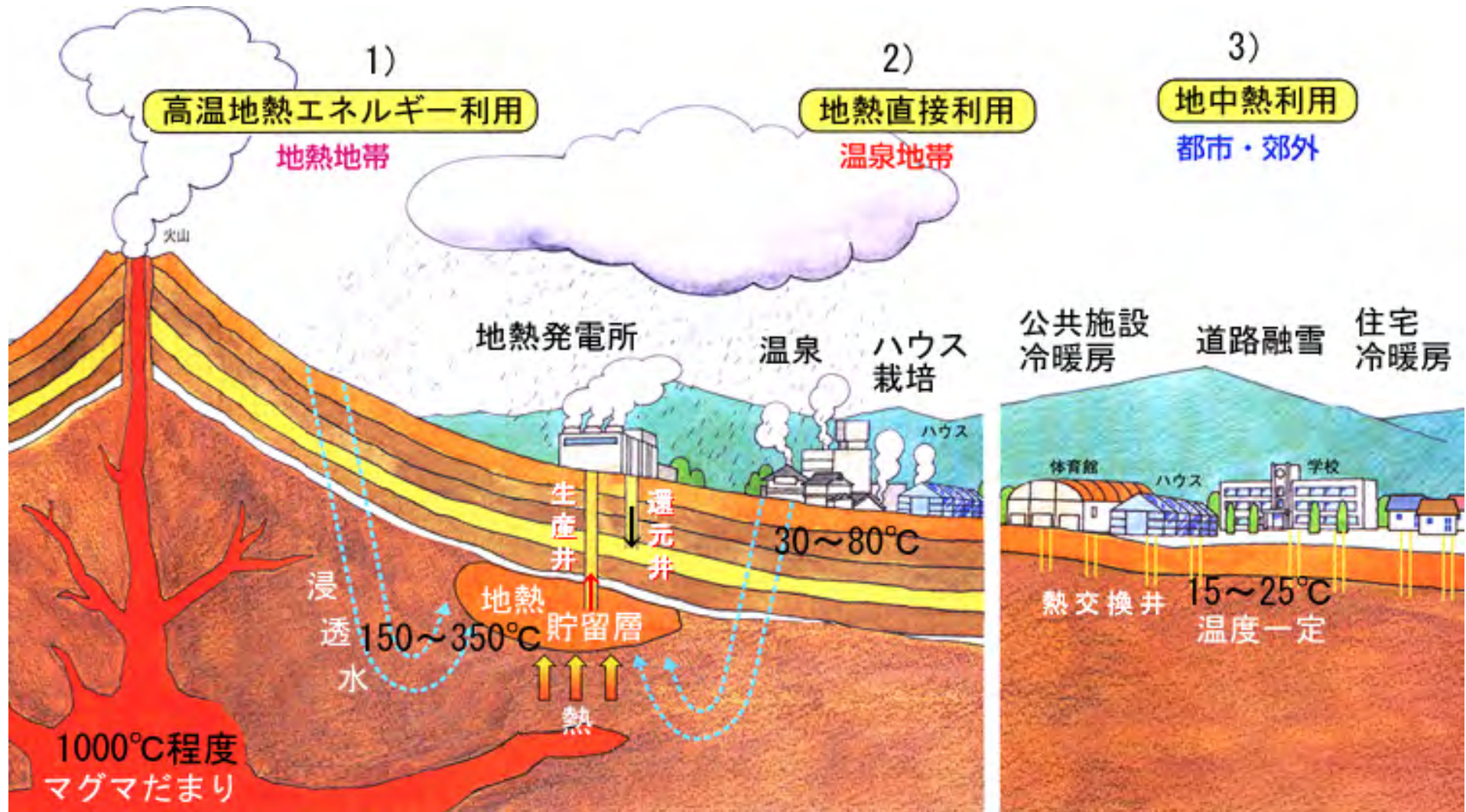
1. はじめに

地球の体積の93%以上は1000°C以上です。中心温度は6000°Cに達します。地球内部の熱は、絶え間なく地上へ流れ出し、私たちの利用を待っています。



「地熱エネルギー入門」 Mary H. Dickson, Mario Fanelli 著・日本地熱学会 訳より

主な地熱利用法



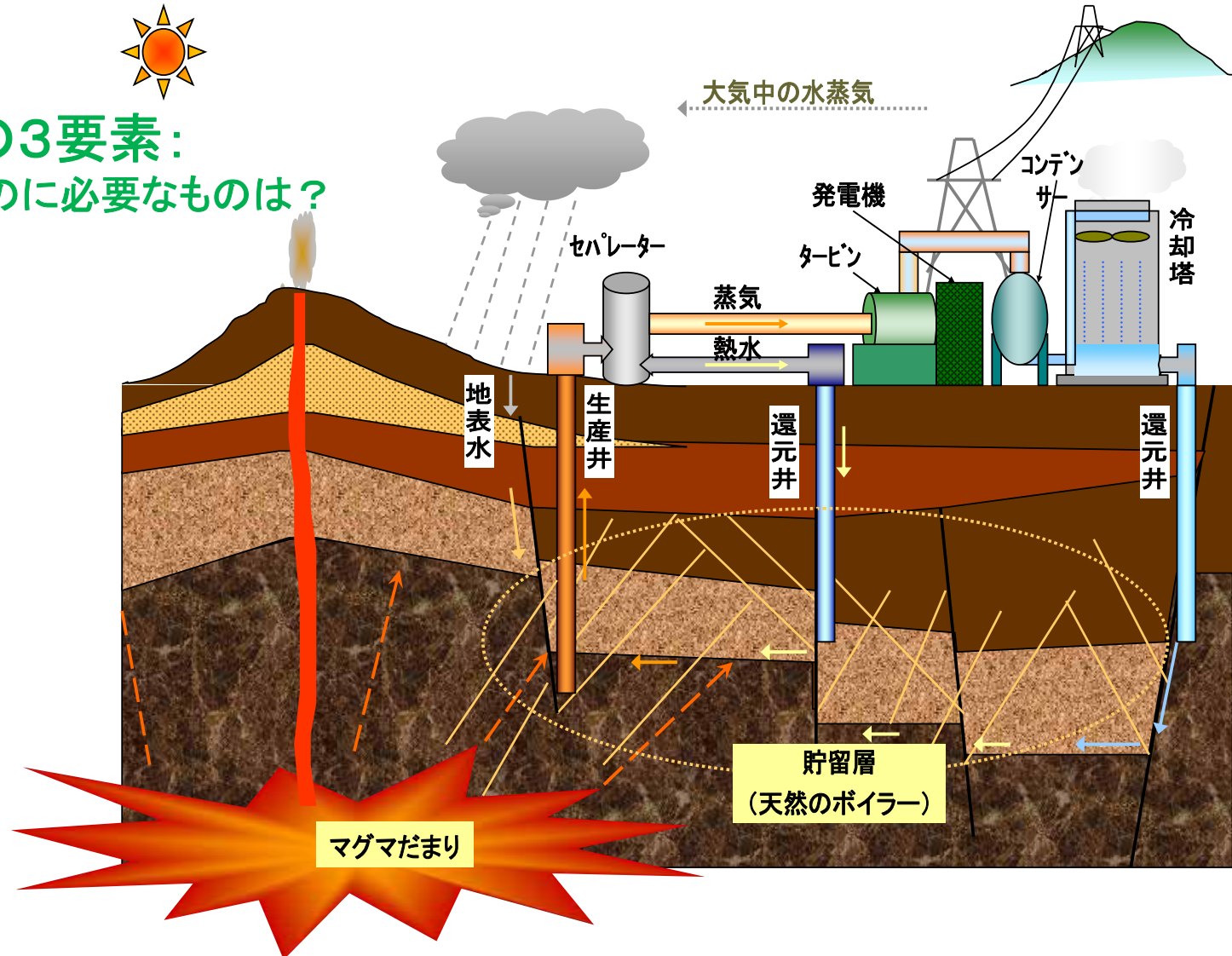
1) 地熱発電 2) 直接利用 3) 地中熱利用システム

2. 地熱発電について

地熱発電は、“地球の水循環”と“天然のボイラー”を使った再生可能エネルギー



地熱資源の3要素：
お湯をわかすのに必要なものは？



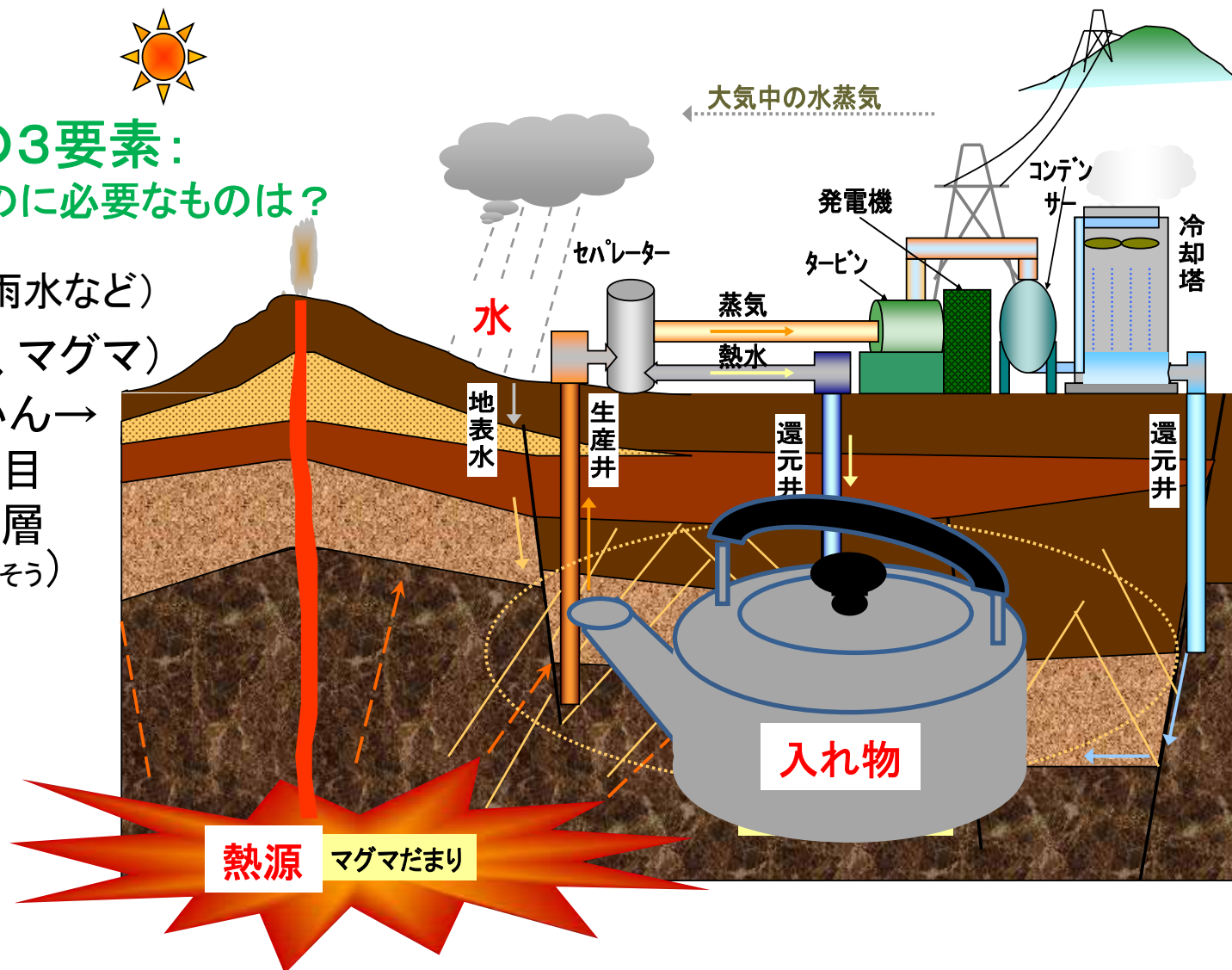
2. 地熱発電について

地熱発電は、“地球の水循環”と“天然のボイラー”を使った再生可能エネルギー



地熱資源の3要素：
お湯をわかすのに必要なものは？

- 水 (水道水→雨水など)
- 熱源 (コンロ、マグマ)
- 入れ物 (やかん→
岩石の割れ目
＝地熱貯留層
ちねつちよりゆうそう)



3.11東日本大震災後も 地熱発電所は全て無事だった！

東北の地熱発電所の多くは、3.11地震の際、一旦送電を自動停止。安全確認後、数時間～数日で送電再開。送電停止中も、出力を落とした発電が続けられた(所内電源は確保)。

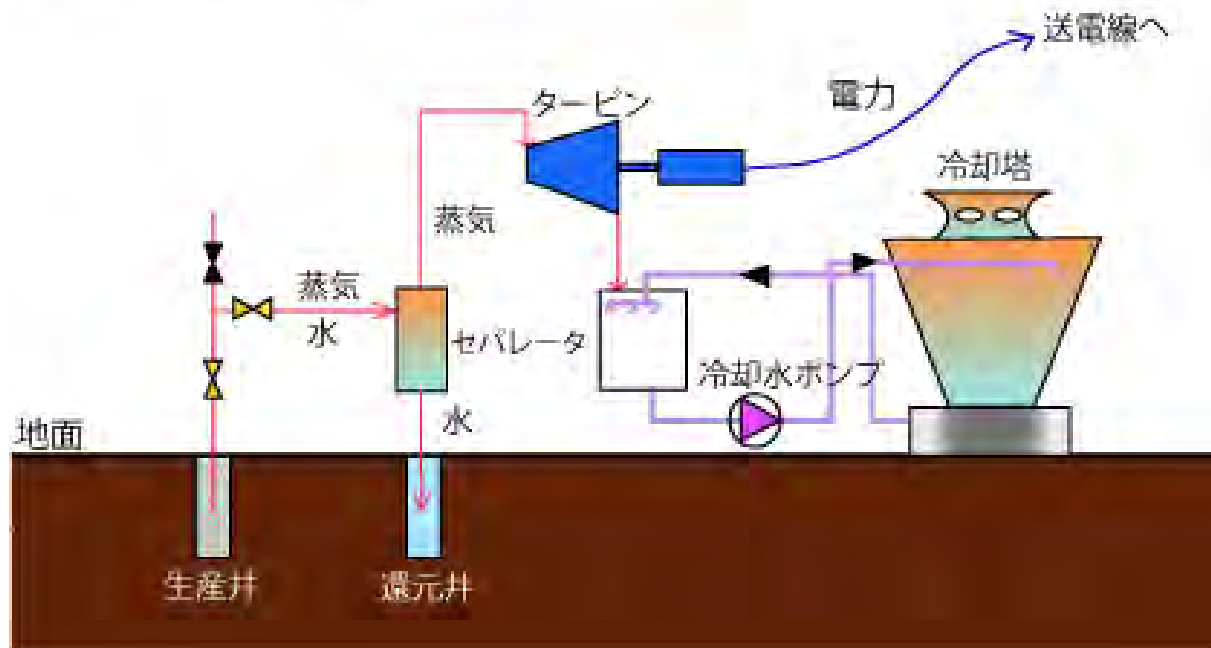


震災後も、地震前と同じ出力レベルで発電中！¥(^-^)/~

- 地熱発電所は、地震の際も安全に稼働。
- 山間部の自治体が地熱発電所を持てば、災害時に送電網が切断されても、ベース電力を確保できる！

地熱発電のしくみ(蒸気発電)

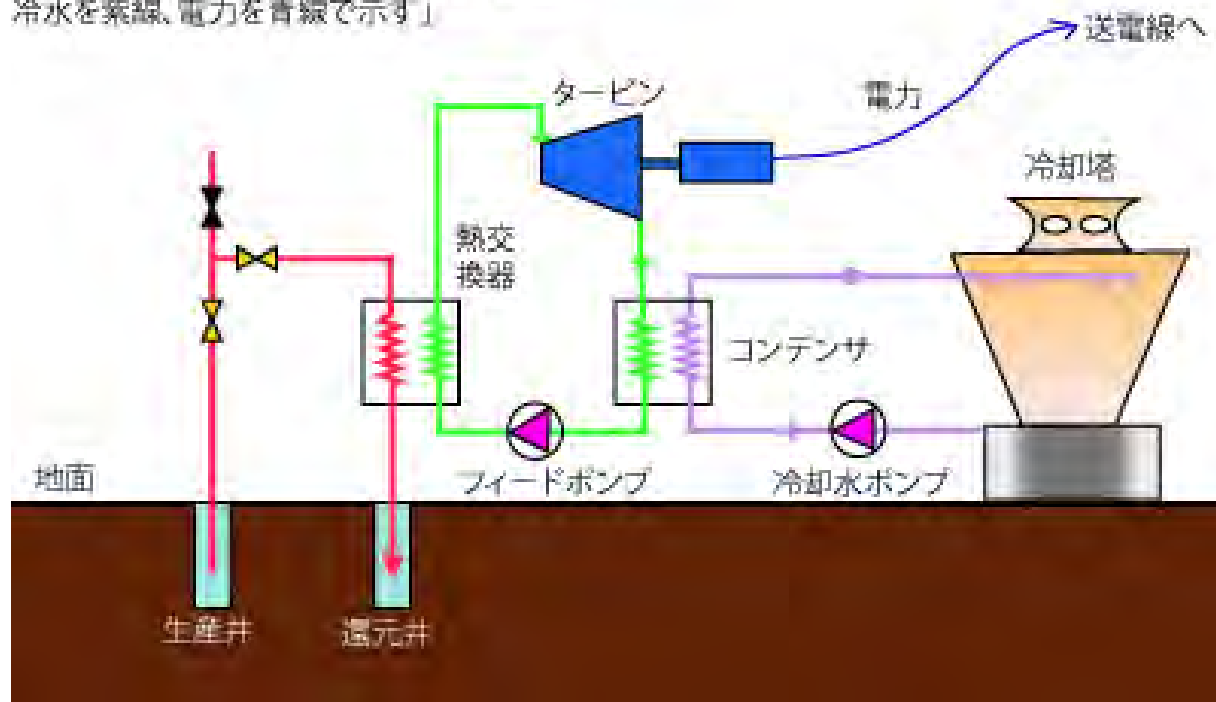
「高温流体(蒸気または水)を赤線、冷水を紫線、電力を青線で示す」



生産井から取り出された、高温高压の地熱流体(蒸気と熱水の二相流)を低温低圧状態に開放すると、高速の蒸気流がタービンを回し、発電ができる。地熱流体の温度は、200°C程度以上が必要。

地熱発電のしくみ(バイナリー発電)

「高温流体(熱水)を赤線、2次流体を緑線、冷水を紫線、電力を青線で示す」



地熱流体の温度が150°C程度の場合、地熱流体はタービンを回す原動力とならないが、低沸点の2次流体と熱交換し、2次流体を気化させてタービンを回すことができる。発電効率は蒸気発電に劣るが、高温の火山地域でなくても地熱発電できるため、バイナリー発電は海外で急速に普及中。

通常バイナリー発電は、2次流体にペンタン等の炭化水素を用いる有機ランキンサイクル。

地熱発電の長所

優れた特徴

地熱エネルギーは、ベース電源として稼働率が高く、CO₂排出量が少ない豊富な国産エネルギー。

安定電源

昼夜、季節による変動が殆ど無い

高い年間設備利用率

地熱(72%) ⇔ 原子力(71%) (共に2009年度)

少ないCO₂排出量

地熱(13), 水力(11), 原子力(20) g-CO₂/kWh

(電中研:日本の発電技術のライフサイクルCO₂排出量評価, 2010)

高いエネルギー収支比(電力生産量/投入エネルギー)

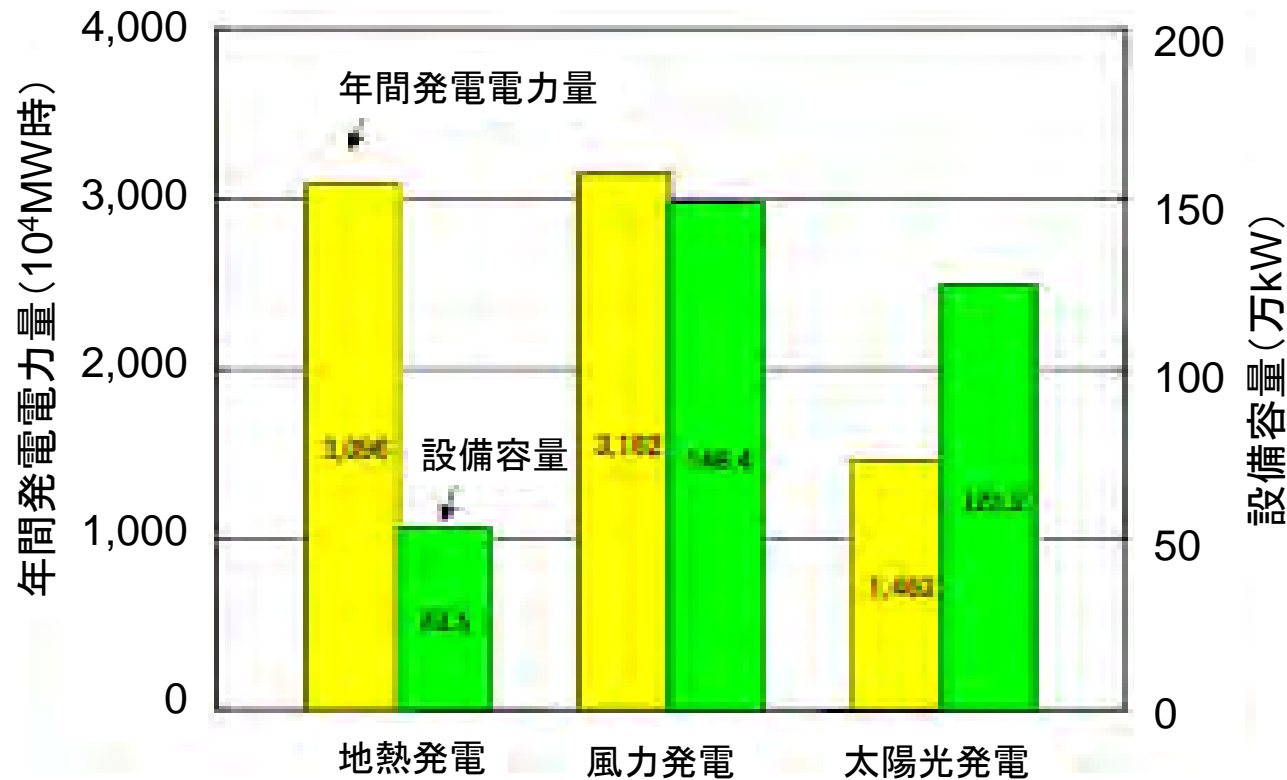
地熱(31), 水力(50), 石油火力(21), 原子力(24), 石炭火力(17)

内山(電中研):発電システムのライフサイクル分析, 1995.

地熱発電の長所

安定電源・高い年間設備利用率

地熱発電は、天候に左右されない高い設備利用率(約70%)が特徴で、稼働率は90%以上。

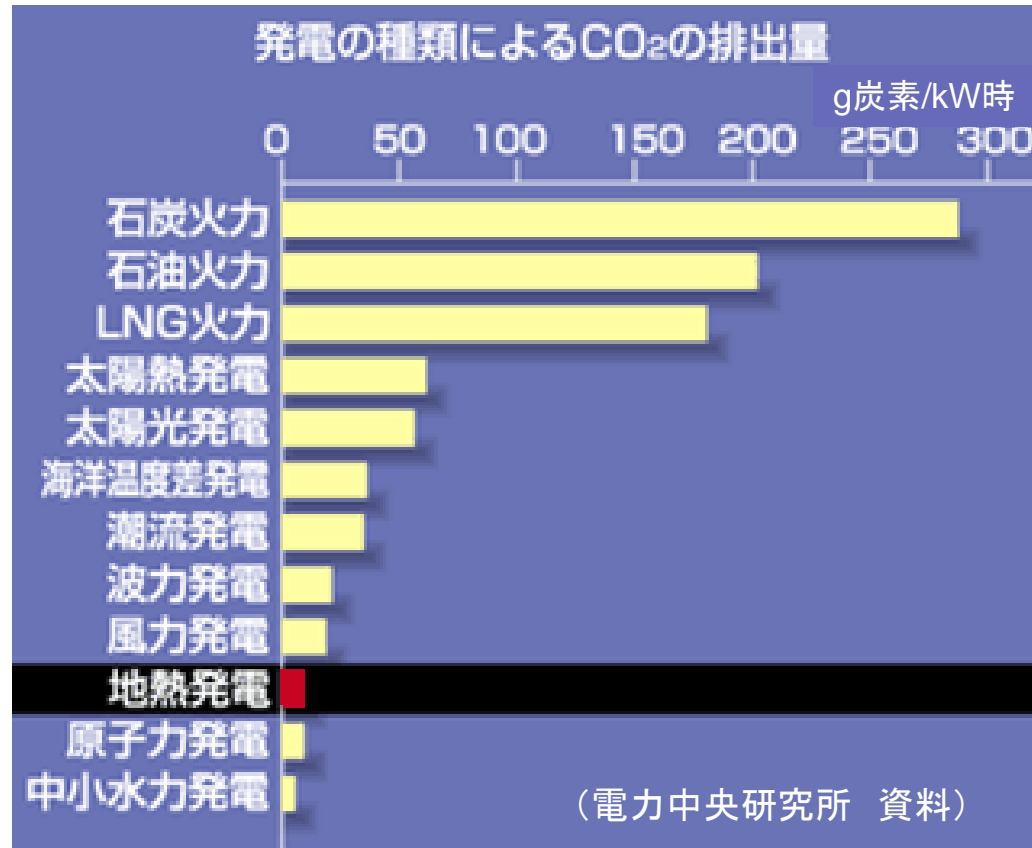


電源	利用率
太陽光	約12%
風力	約20%
地熱	約70%

2007年自然エネルギーの電力量/設備容量比較(日本地熱学会, 2008)

地熱発電の長所

環境に優しい地熱発電 -少ないライフサイクルCO2排出量-



発電時にはCO₂を排出しない再生可能エネルギーだが、発電機作成段階を含めたライフサイクルCO₂排出量はそれぞれ異なり、原子力より少ないのは、中小水力と地熱のみ。水力:11, **地熱:13**, 原子力:20 (g-CO₂/kWh)

世界有数の 地熱保有国日本

各国の地熱資源量は、火山の個数にほぼ比例。日本の地熱資源量は23,470MWと推定されており(産総研, 2008)、世界の三大地熱資源保有国の一つ。

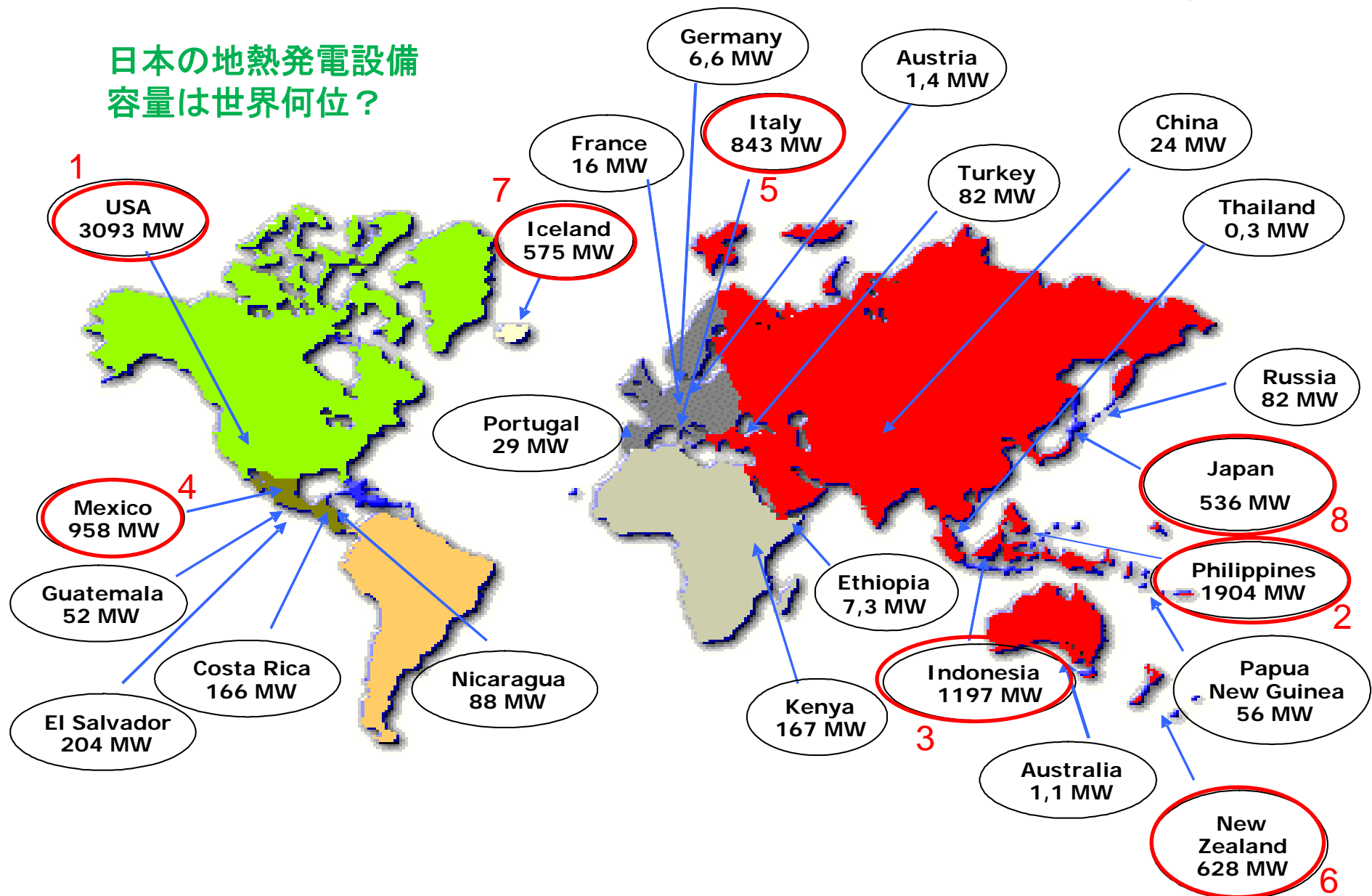


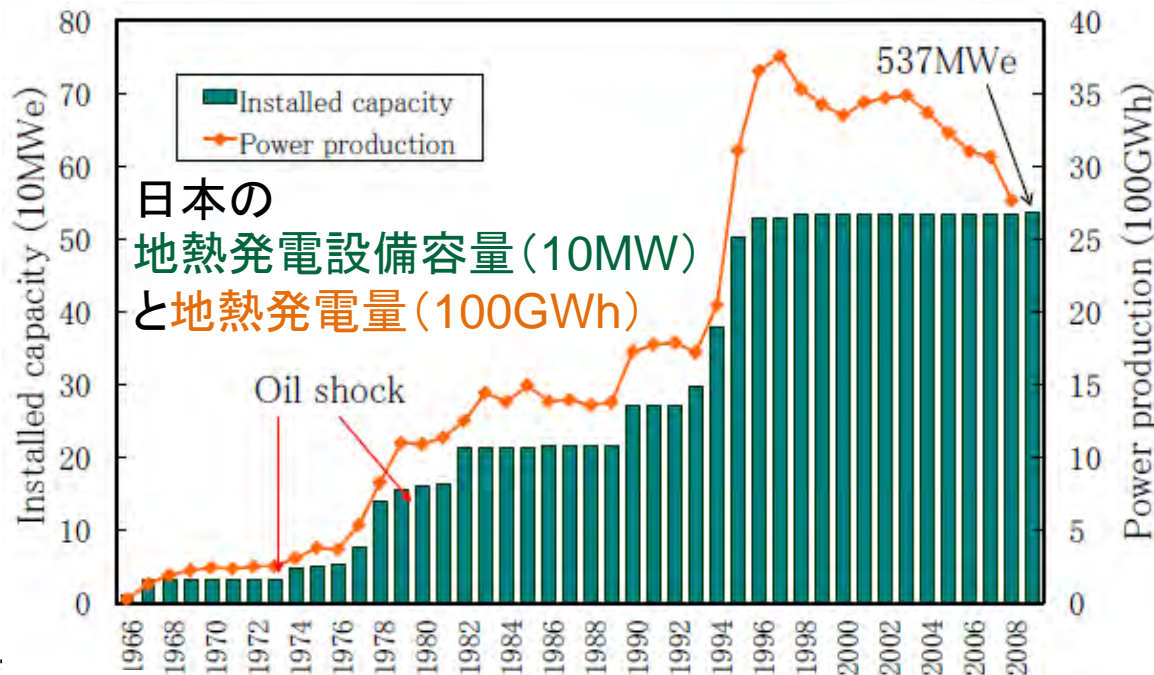
国名	活火山数 (個)	地熱資源量 (MWe)	2010年の地熱発電量 (GWe時)
米国	160	30,000	16,603
インドネシア	146	27,790	9,600
日本	119	23,470	3,064
フィリピン	47	6,000	10,311
メキシコ	39	6,000	7,047
アイスランド	33	5,800	4,597
ニュージーランド	20	3,650	4,055
イタリア	13	3,270	5,520

基盤深度(3km深程度)までに蓄えられている資源量

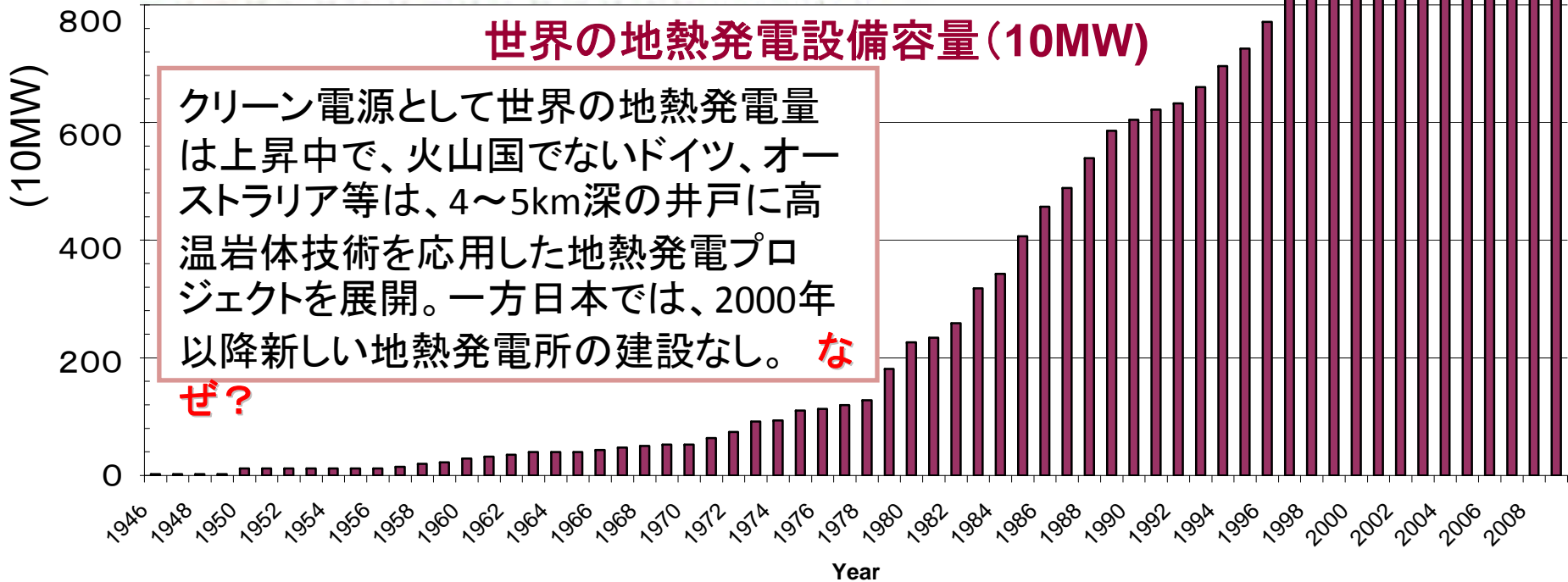
世界の地熱発電設備容量(MW)

日本の地熱発電設備
容量は世界何位？





世界で地熱発電
が増加する中、
日本は？



日本で地熱発電開発が進まなかった理由

発電コストと地下リスク: 発電単価(円/kWh)が火力・原発より高い。他の再生可能エネルギーより発電単価は低いですが、初期投資が高く地下リスクがあるため敬遠されてきた。

※日本では諸外国に比べ高コスト＝法制面の問題あり

国立公園内の資源賦存: 資源の80%以上が国立公園内にあり、開発不可だった。最近ようやく一部規制緩和の動きがある。

温泉との対立: 地元の温泉事業者の理解が得られず、開発が中止になった例も・・・

法制改革で、かなり改善される

これは？

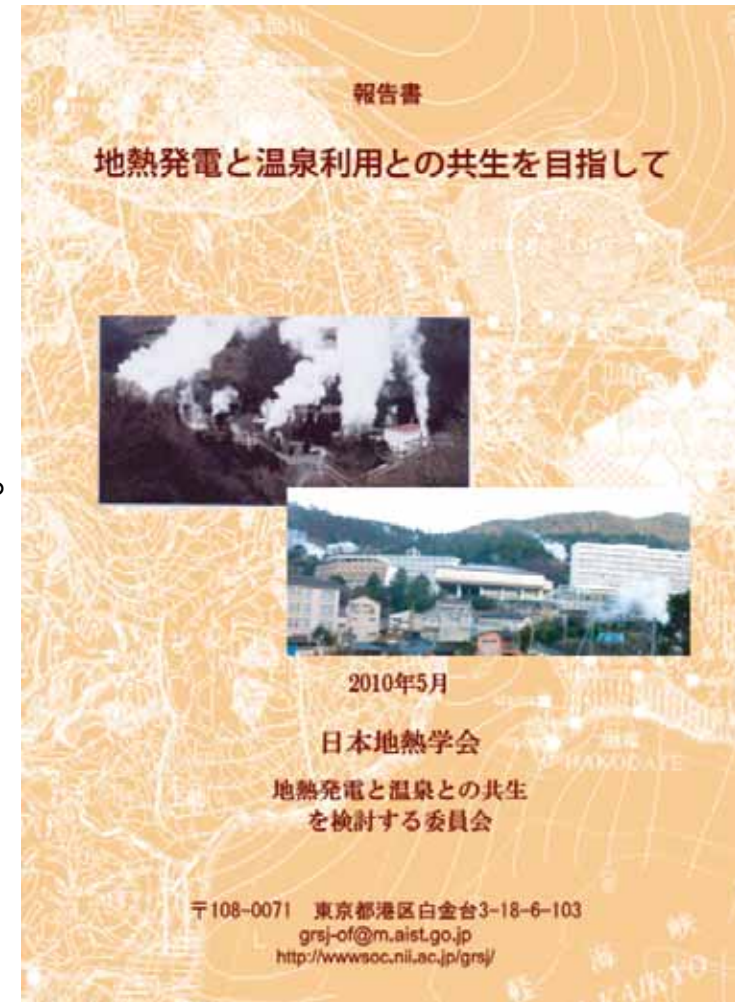
3. 地熱と温泉との共生

唯一、法制改革だけでは片付かない問題:

地熱発電の温泉への影響を危惧する温泉事業者が一部にいるが、多くは理解不足や誤解によるもので、適正規模の開発ならば地熱発電と温泉の共生は可能。

共生の方法として、以下を挙げて説明する。

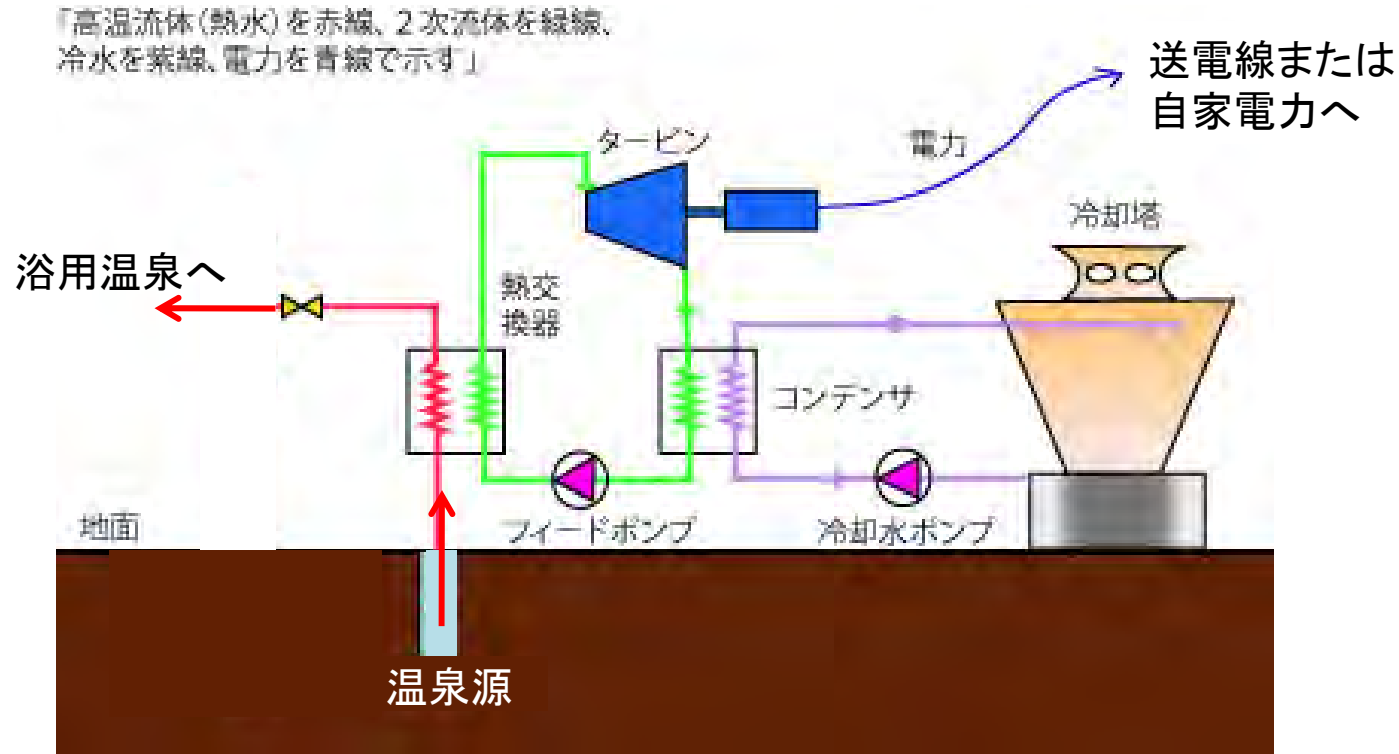
- (1) 温泉発電
- (2) 温泉共生型地熱貯留層管理
- (3) 地熱エネルギーの多目的利用
 - 3-1 カスケード利用
 - 3-2 地中熱の活用



日本地熱学会による報告書「地熱発電と温泉利用との共生をめざして」

温泉と地熱開発との共生により、より豊かな温泉地作りを目指せる！

(1) 温泉発電(低温バイナリー発電)



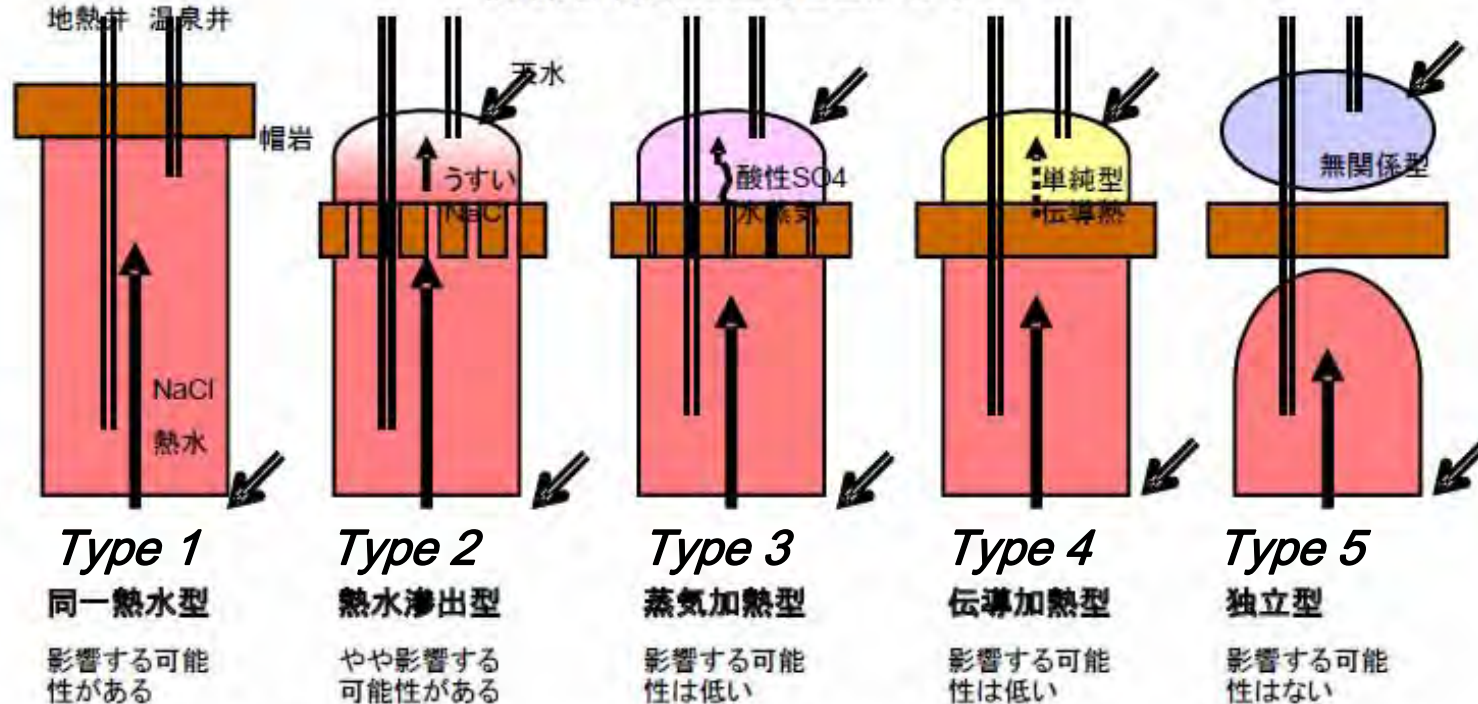
2次流体に水とアンモニアの混合物を用いるカーリーナサイクルでは、通常のバイナリー発電(ランキンサイクル)より低温の100°C未満(85°C<程度)でも発電が可能。

高温の温泉では、泉源の熱湯を発電に利用し、適温に下がってから浴用に使う、温泉発電が可能。新潟県十日町市にて実証研究中

●わざわざ冷ます必要がなくなる ●温泉源泉の有効成分はそのまま浴用に

(2) 温泉共生型地熱貯留層管理

地熱貯留層と温泉帯水層との関係: 両者の温度, 水位, 泉質, 位置(深度, 水平距離)で
5つのタイプ
関係を判断できることが多い

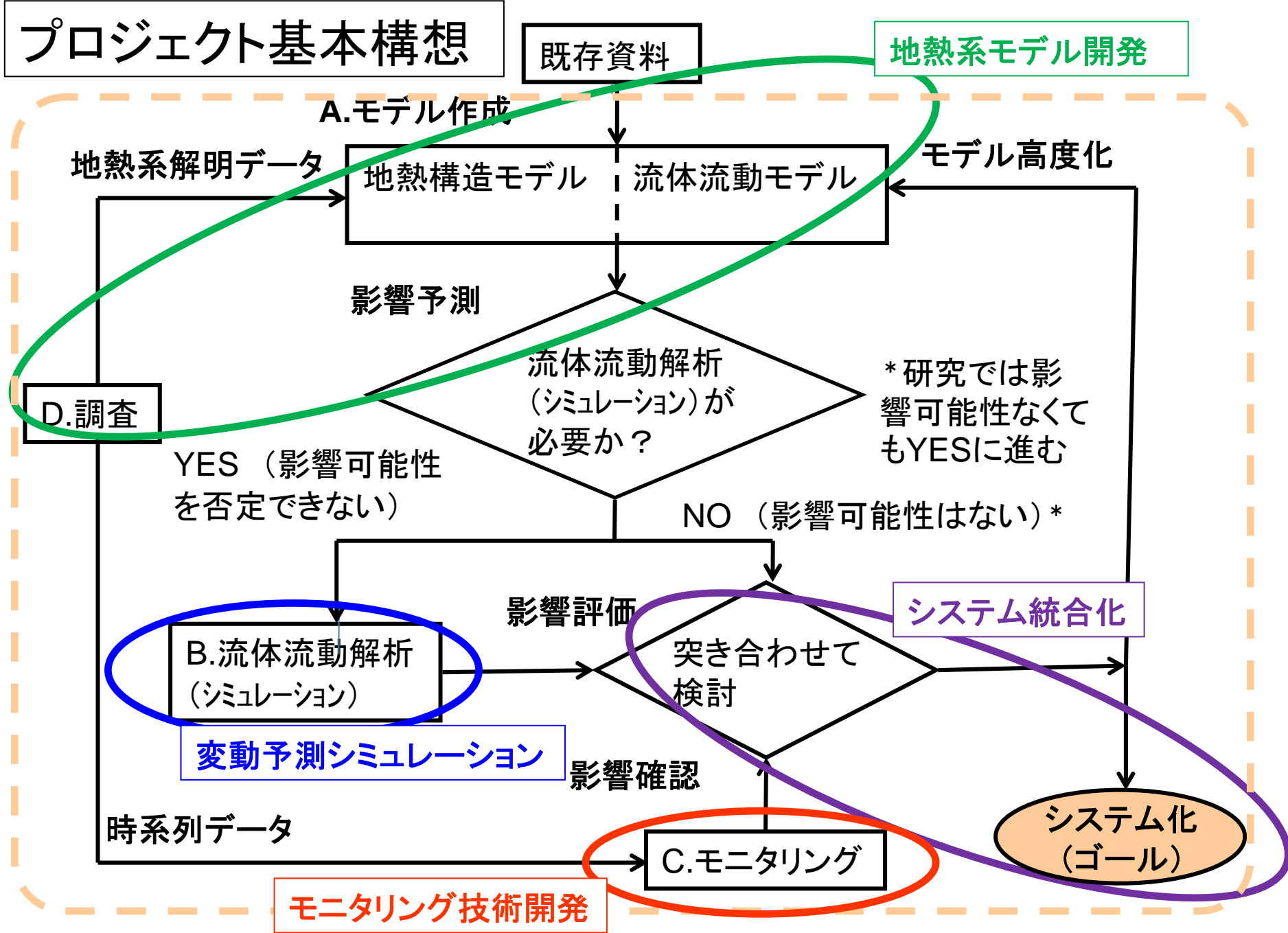


適正規模の開発ならば地熱発電と温泉の共生は可能。

- ・天然の熱と水の供給量と、温泉＋地熱発電の利用量の収支バランスが合えば、問題ない
- ・温泉源と地熱貯留層の間に遮蔽層(水の流れを遮断する地層)があれば、問題ない

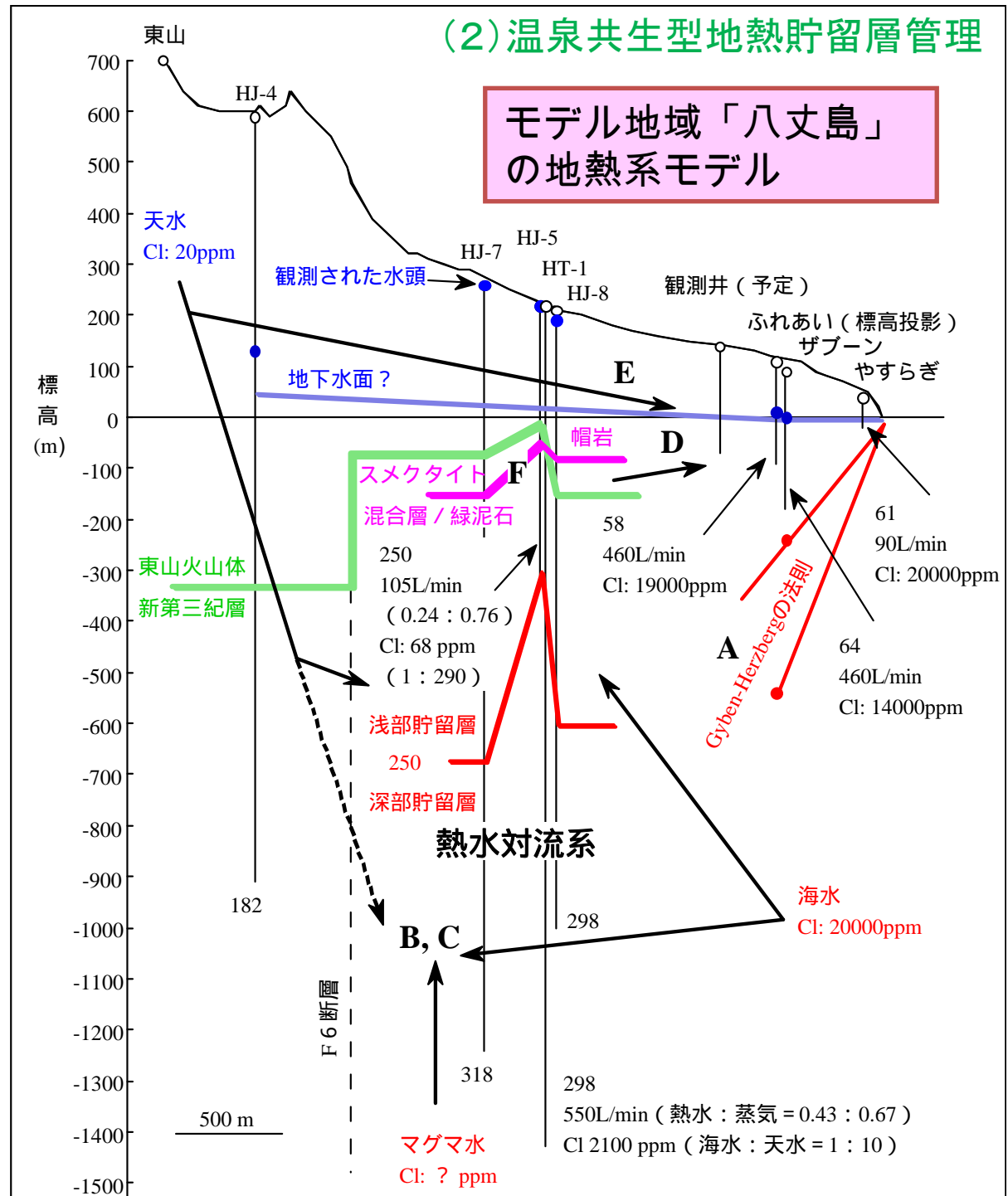
産総研は環境省委託事業「温泉共生型地熱貯留層管理システム実証研究」を実施中(H22-24)

※温泉系の熱源に関する科学的理解を深め、永続的に温泉利用するためにも、こういった調査は必要



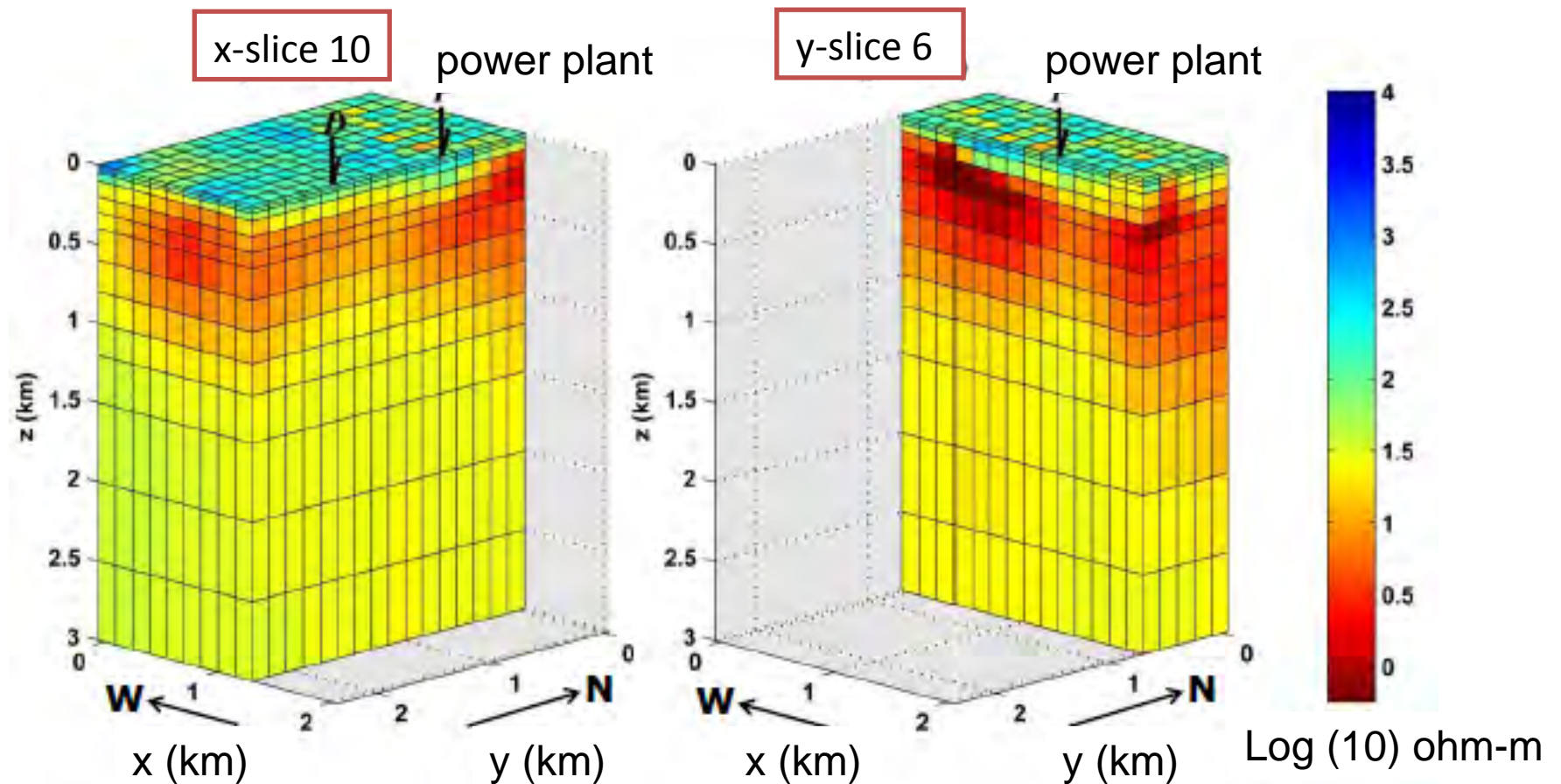
地熱系モデル 開発

- モデル地域「八丈島」について、新たな観測井や温泉観測井を含む坑井にて、水頭や温度、化学成分などを調べた。
- さらに地形効果なども考慮して、地熱系モデルを作成した。
- その結果、八丈島の地熱貯留層は *Type 5* と判断された。



地熱系モデル開発

3D比抵抗探査(電気比抵抗)による構造解析



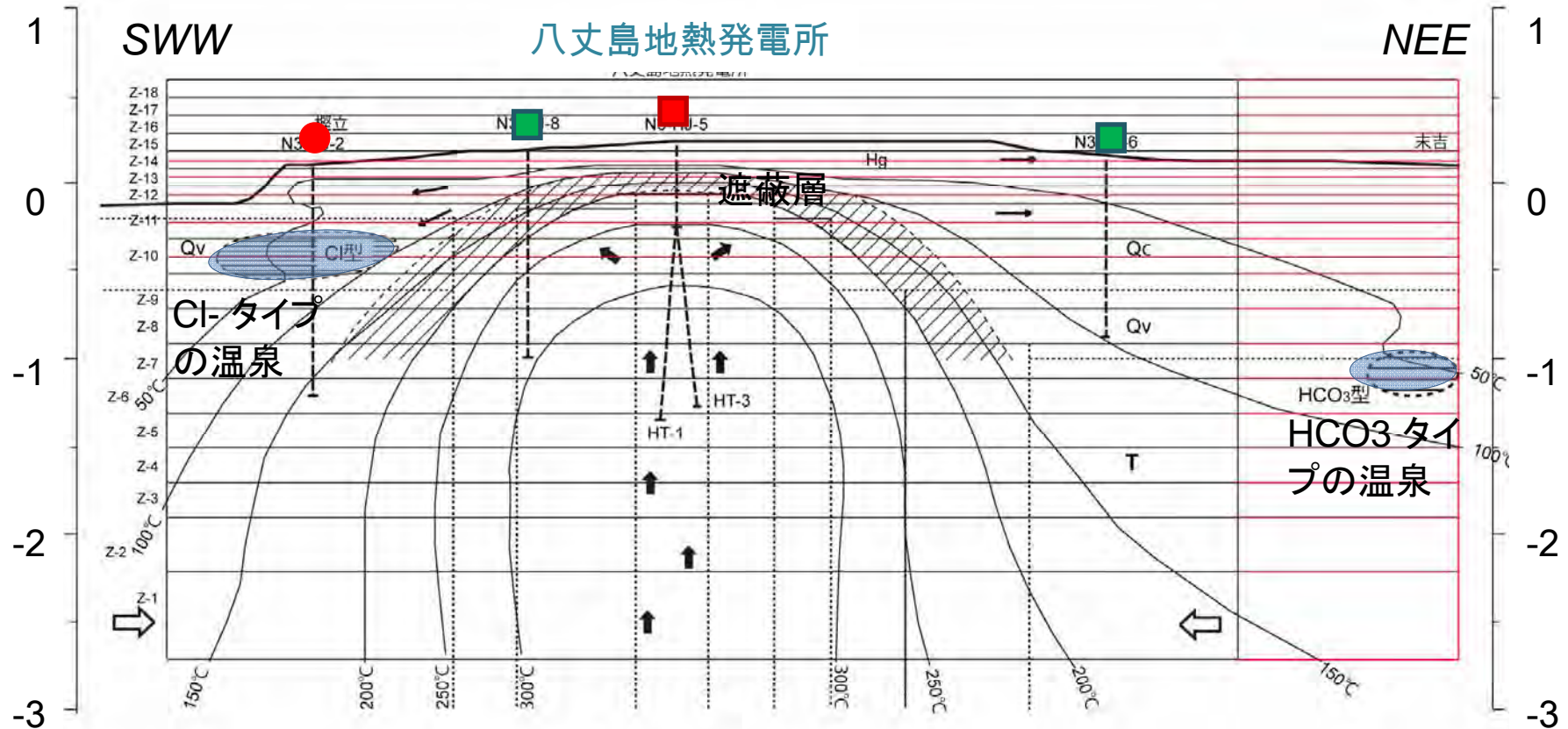
Result of 3D inversion of MT and AMT data taken at Hachijojima

数値シミュレーション

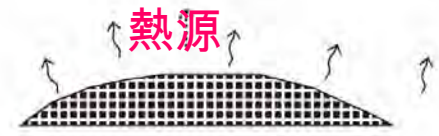
●従来の地熱貯留層シミュレーションモデルを、
温泉の範囲まで拡張して、影響を予測

Elevation (km)

Elevation (km)



- 地熱生産井
- 観測井
- 温泉観測井



グリッドの拡張と細分化

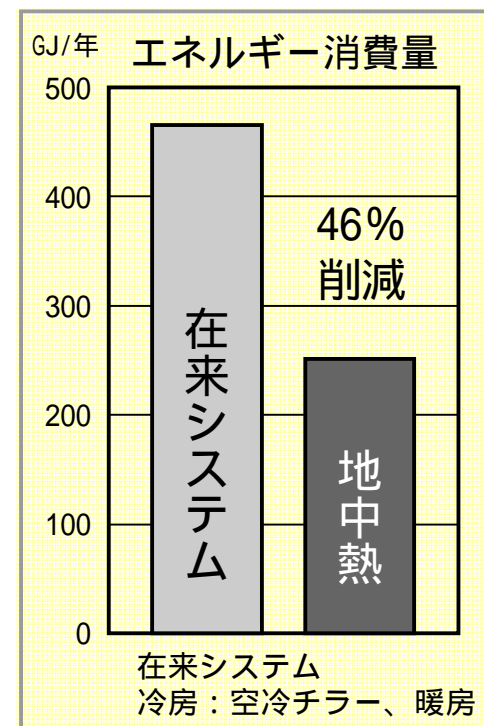
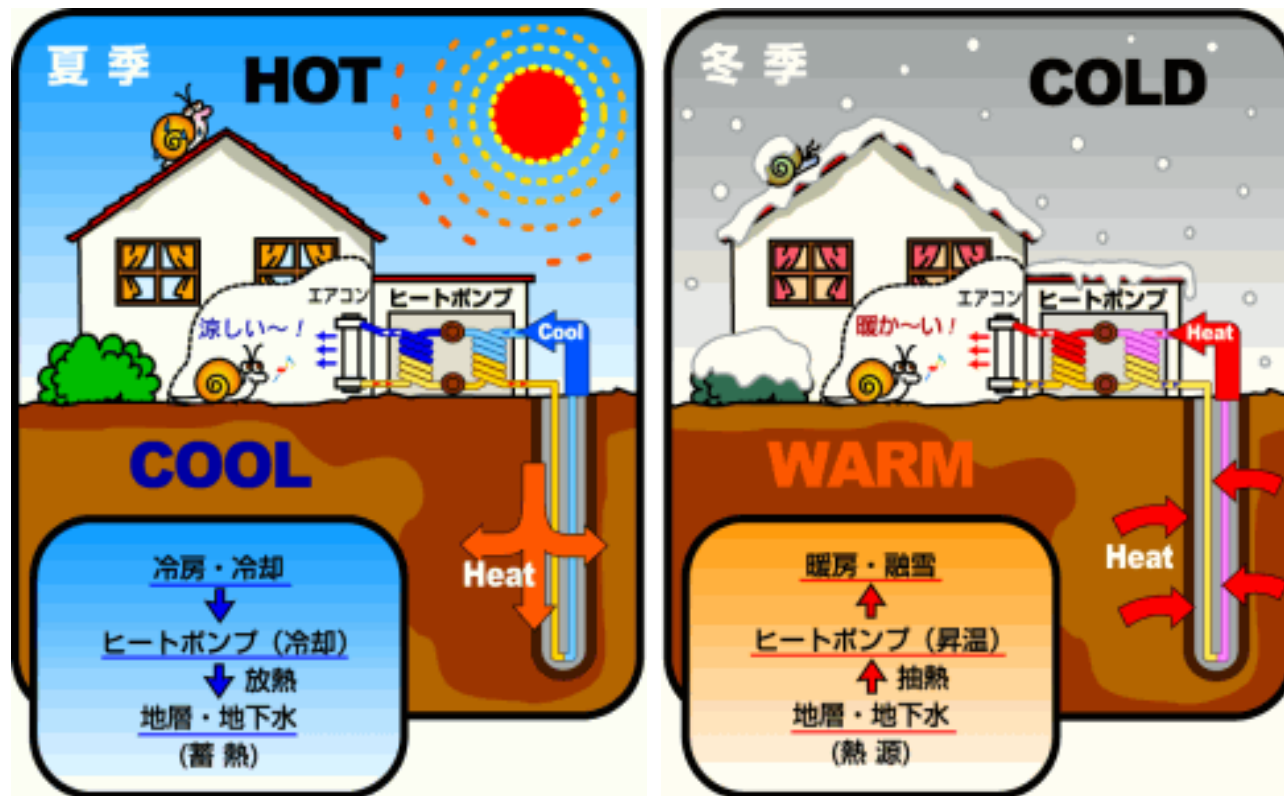
モニタリング技術開発

- 温泉の圧力(水位・流量)、温度、化学成分など、各種モニタリング項目について、地熱開発後の変動が、自然変動幅の範囲内(95%信頼区間内)にあれば、温泉への影響は出ていないと考える。そのため、影響確認のためのモニタリング技術を開発する。
- 水位に関しては、観測井が無い場合にも変化を捉える目的で、微小重力による観測手法を確立する。高精度連続観測用重力計を用いた微小重力モニタリング手法開発においては、10cmオーダーの地下水位、温泉水位の変動を検知し、モニタリング手法として活用することを目指している。

3-2 地中熱の活用

(3) 地熱エネルギーの多目的利用

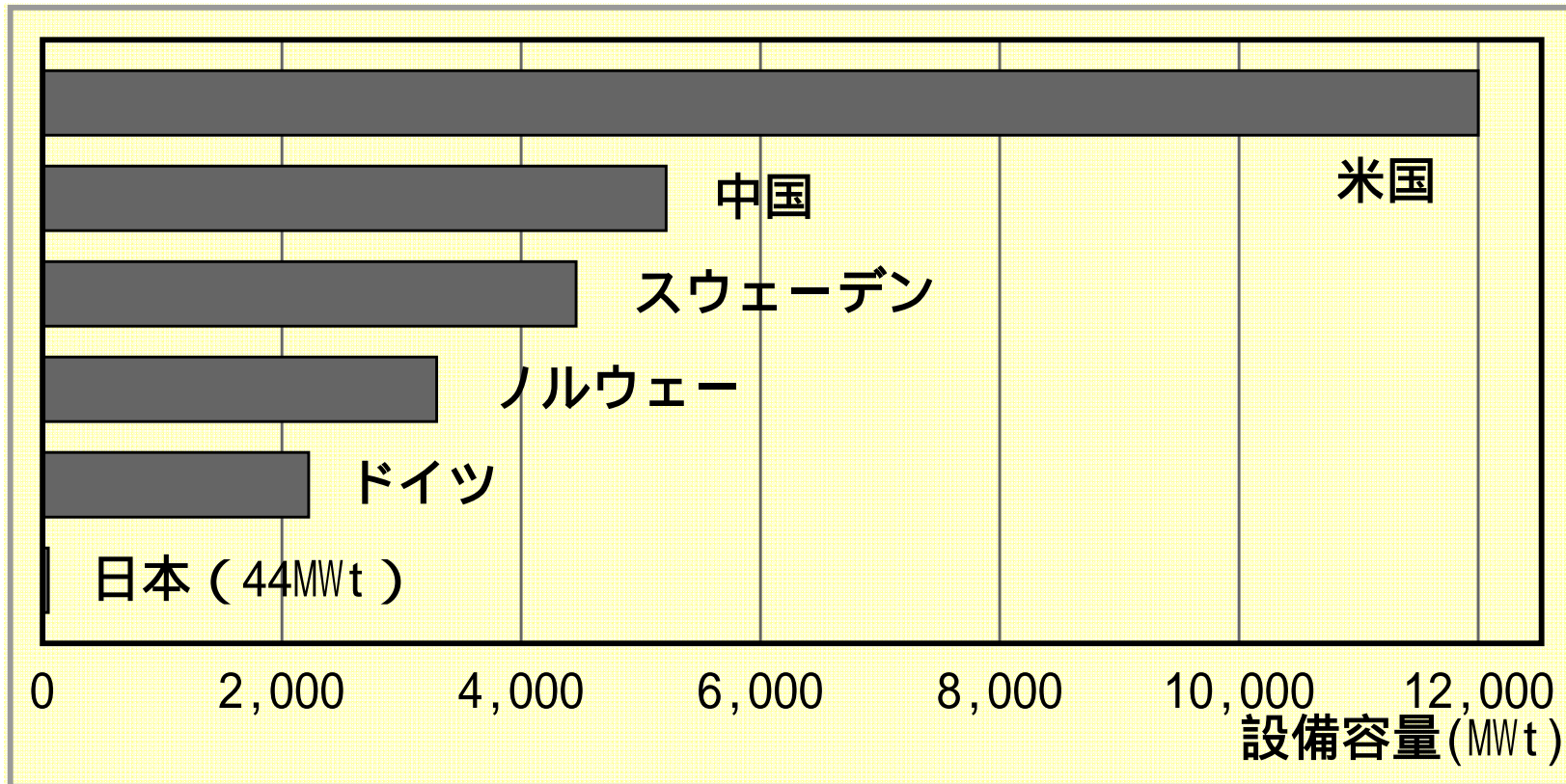
地中の温度は年間を通してほぼ一定なため、夏は外気より冷たく、冬は外気より暖かい。この温度差を利用し、地中熱をヒートポンプの熱源とするシステム(成績係数3.5<)



地中熱HPの省エネ効果
弘前市の地中熱冷暖房・融雪設備の2004-08年の稼働実績と(石上ほか,2010)

- ① 省エネ、節電 地中熱利用の概念図
- ② 化石燃料ボイラーからの置き換えでCO₂排出削減
- ③ ヒートアイランド対策:大気に熱放出しない(冷房時) 真夏のピークカットに効果的
- ④ デフロスト運転不要(暖房時) 温泉の熱を熱源とする「温熱利用のみ」も可

世界の地中熱利用ヒートポンプシステムの 設備容量



各国の地中熱ヒートポンプ普及状況 (Lund, 2010)

米国の設備容量12,000MWtは同国家庭用(12kWt)100万台に相当

日本は2009年までの累積で、設置件数580件(環境省, 2010)

日本で普及が遅れた理由

- 複雑な地質構造で地下の熱伝導率を把握しにくい、安価な家庭用エアコンの普及、欧米と違い通気性の良い木造家屋が多いこと、など様々な理由が挙げられている。
- 本当の理由は、1970年代の第一次石油ショック時に代替電源(地熱で言えば地熱発電)だけを考えた日本と、熱利用を考えた欧米諸国との差。地中熱先進国(米国、スウェーデン、スイス)と日本では20~30年の開きがある。
- ちなみに、欧州でも積極的に技術開発と地中熱導入政策に取り組んだ国と、そうでない国とで、導入割合に差がある。
- 現在、普及している国では、初期に比べ現在のほうが導入価格が下がっている。
- 従って、今後、日本でも普及の取り組みが進んで(政策面も含め)価格が下がれば、大幅な導入が見込まれる。

地中熱ヒートポンプシステムの 技術的課題

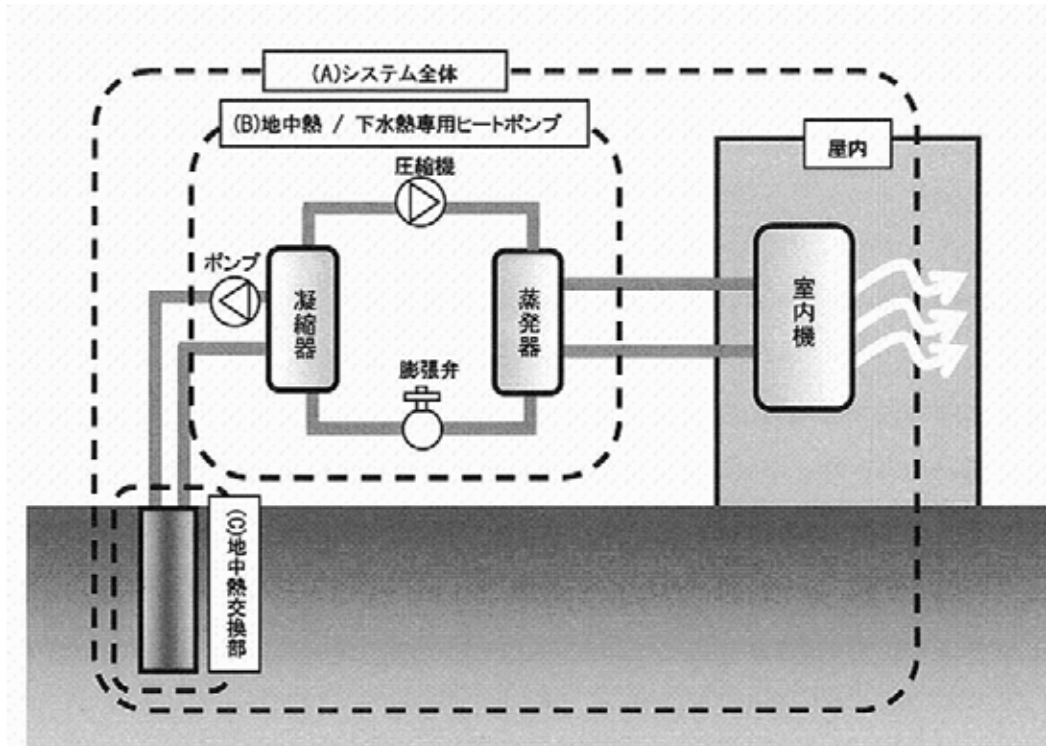


図 2 地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム技術¹

システム全体

- ・高効率化
- ・設計の最適化

ヒートポンプ

- ・高性能化
- ・高品質化
- ・低コスト化

地中熱交換機

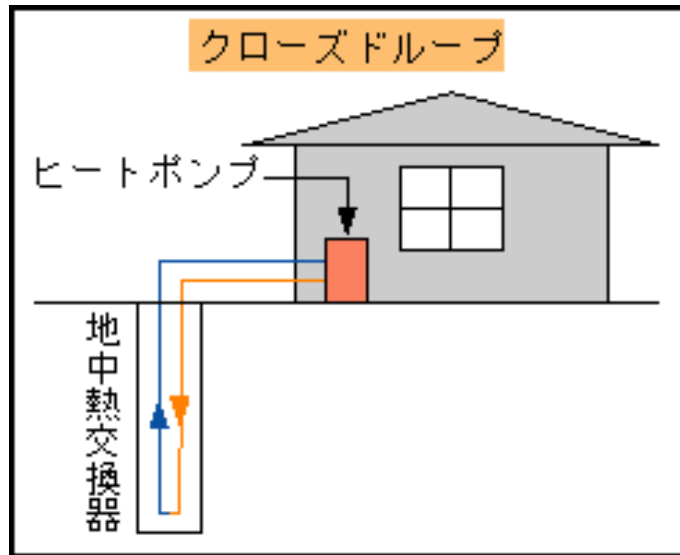
- ・高性能化
- ・掘削の低コスト化

地質・地下水

- ・データ整備
- ・環境影響評価

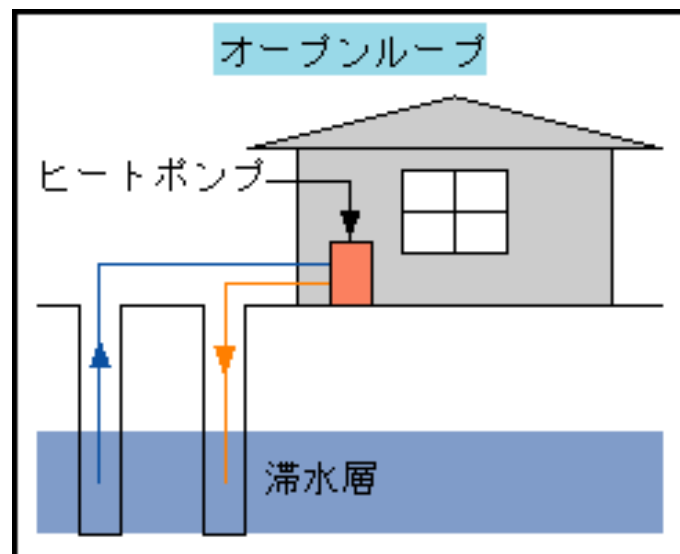
地下の温度、熱伝導率によって、必要な熱交換井の深さなどの設計が変わってくるので、事前にある程度予測するための地下情報の整備が、導入コスト削減につながる→研究

地下との熱交換方法:クローズドvs.オープン



クローズド方式(地中熱交換井を利用)

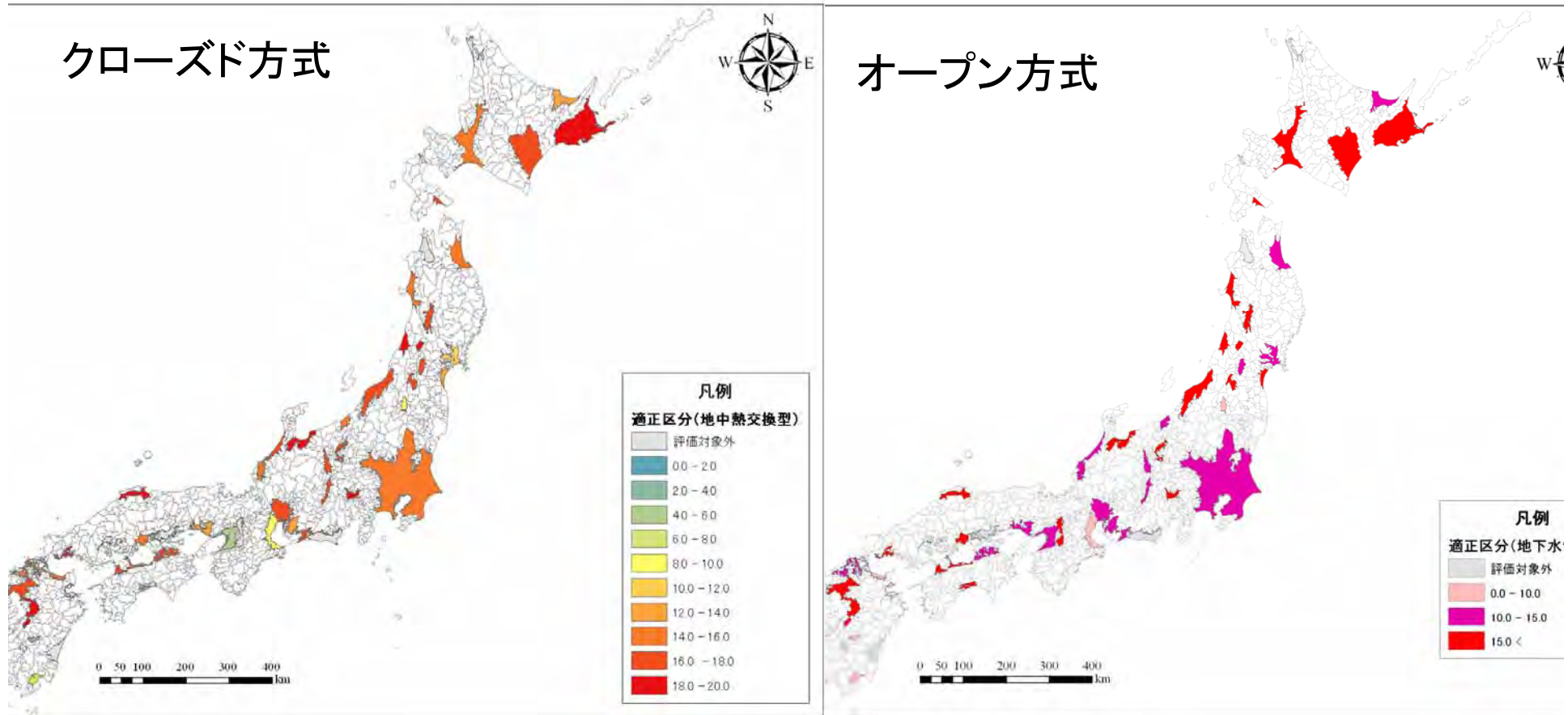
- 揚水規制を受けず、基本的にどこでも利用可能
- 場所によっては熱交換効率の差異が生じる
(岩石種、地下水位、地下水流速の違いによる)



オープン方式(地下水を汲上げ、利用後に還元)

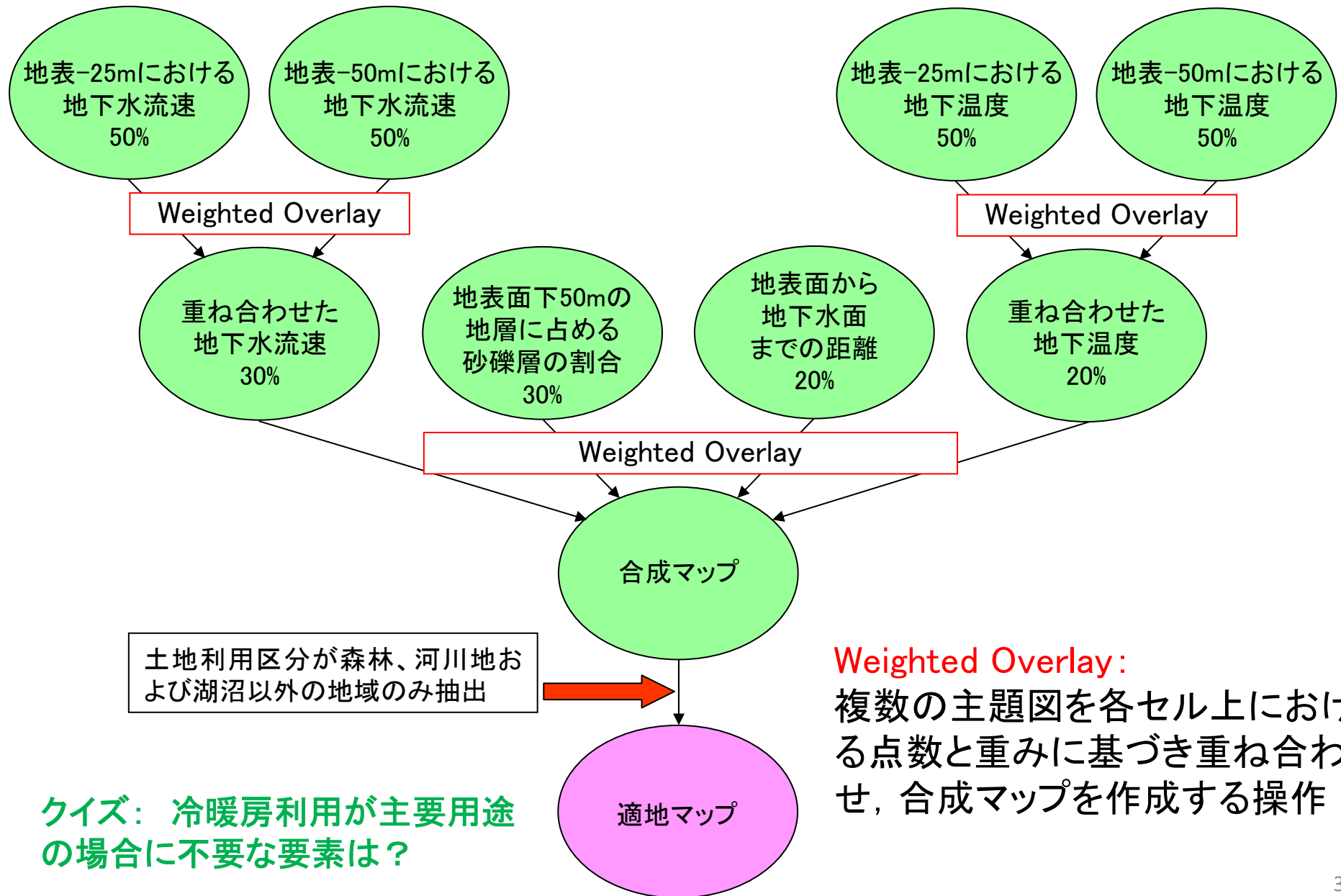
- 揚水規制のある地域では利用不可
- 帯水層(地下水)の存在が必須
- 最低二坑井が必要なため、小型システムの場合
は掘削費が割高
- 地下水の熱を直接利用するため、高効率で運転コストが低く、制約さえクリアすれば大規模な開発向き。**

産総研での研究: 地中熱利用システム適地マップ



◆ コンパイルした水理地質情報に対し、各評価指標(透水係数、地下水位、地下水流速等)を用いて、**62か所**の地下水盆毎の合計評価点を求め、合計評価点による各方式の適地マップを作成。

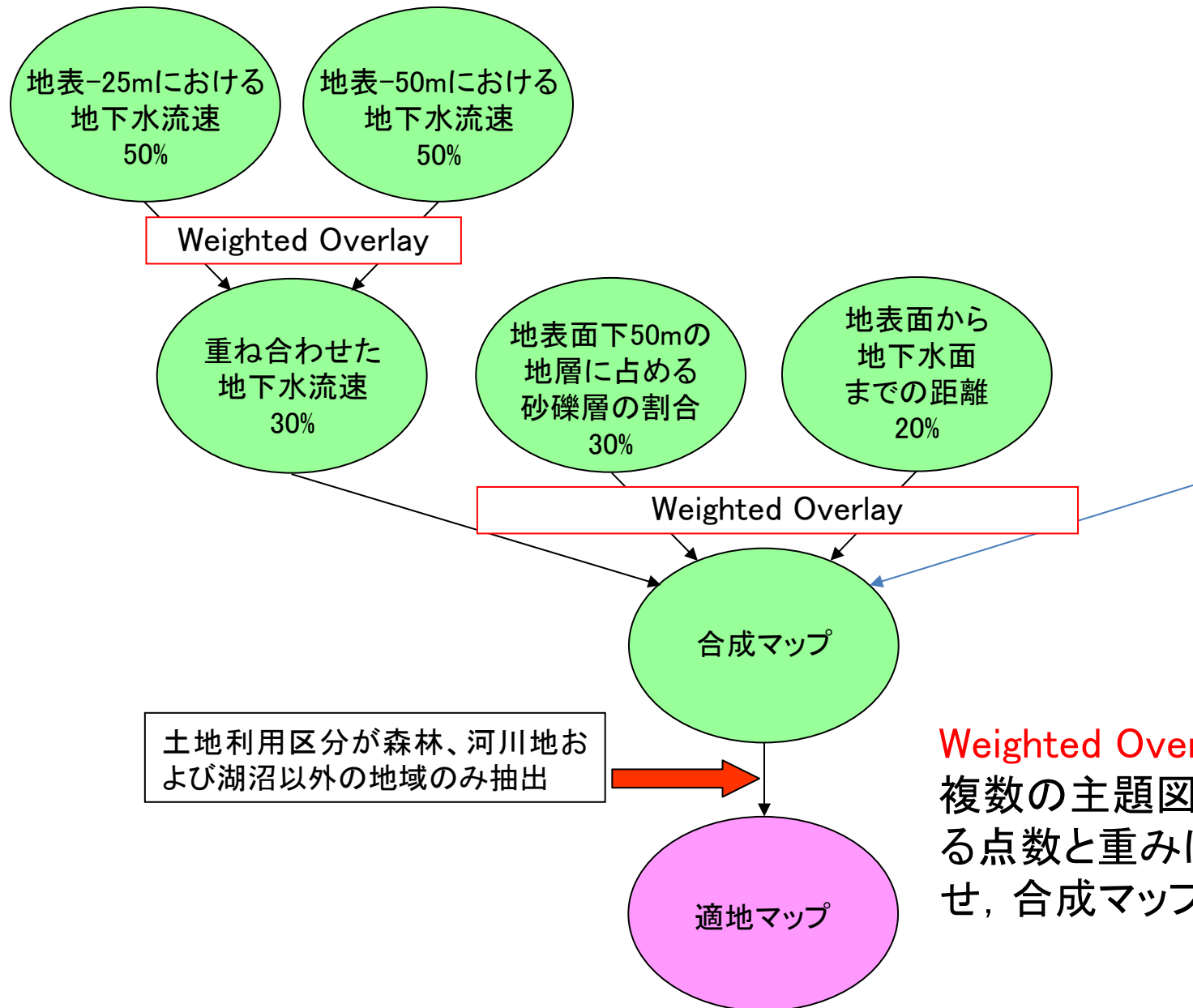
融雪利用を主要用途とした適地選定モデル



クイズ： 冷暖房利用が主要用途の場合に不要な要素は？

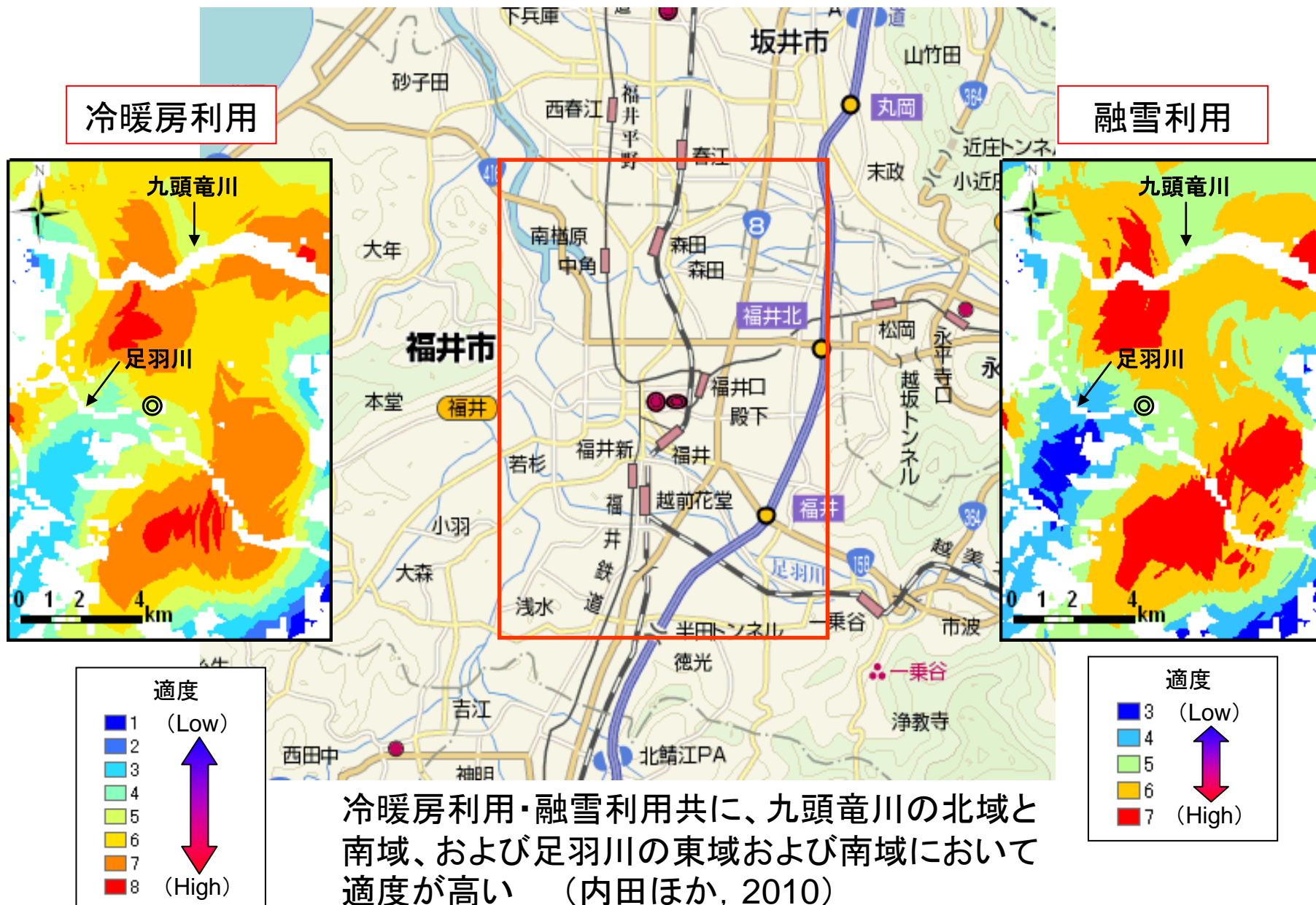
Weighted Overlay:
複数の主題図を各セル上における点数と重みに基づき重ね合わせ、合成マップを作成する操作

冷暖房利用を主要用途とした適地選定モデル



Weighted Overlay:
複数の主題図を各セル上における点数と重みに基づき重ね合わせ、合成マップを作成する操作

地中熱利用の適地マップ作成例 (3) 地熱エネルギーの多目的利用



(3) 地熱エネルギーの多目的利用

東京スカイツリー地区に地中熱システム採用



東京スカイツリーの完成予想図

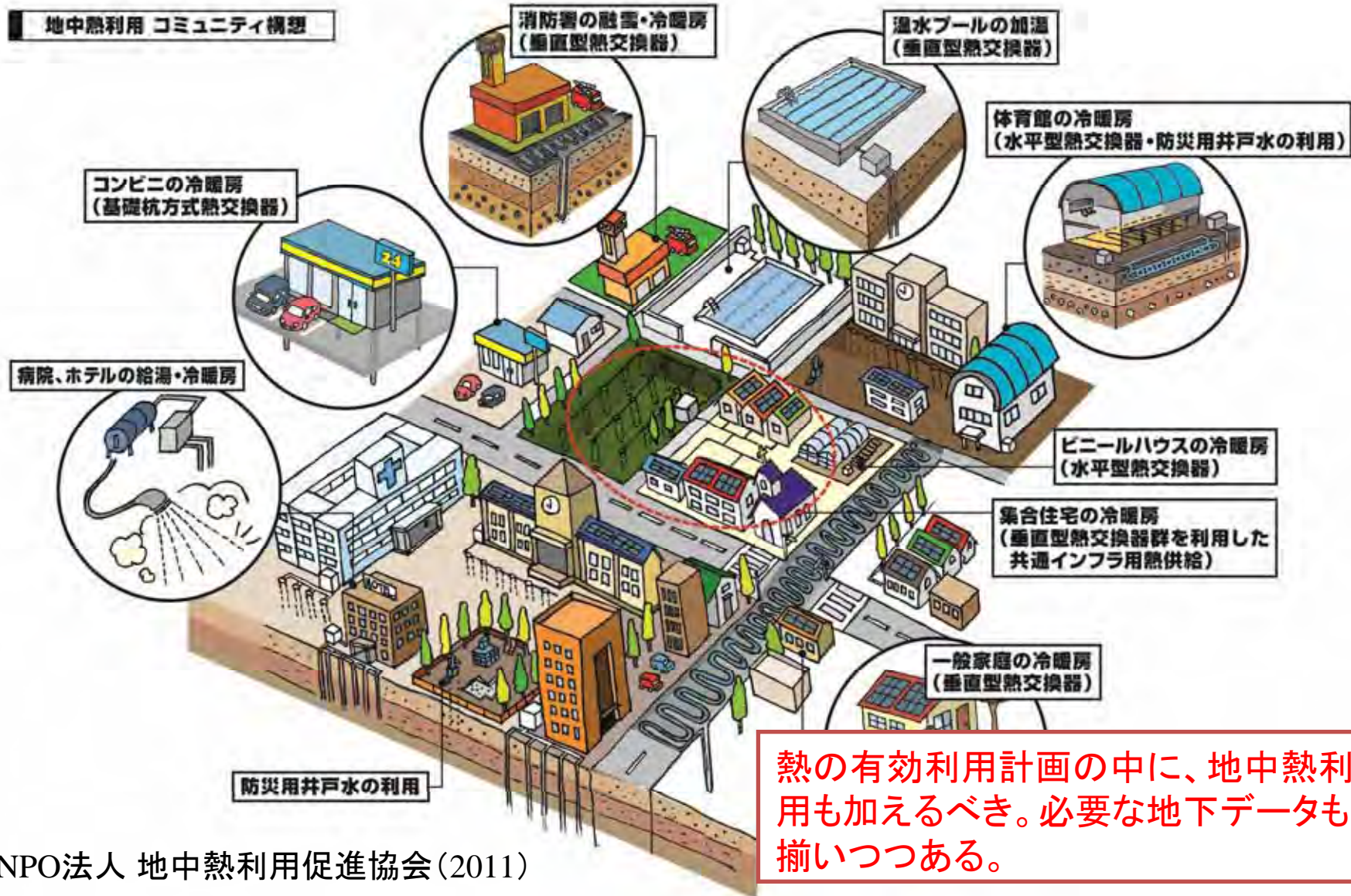


東京新聞 2010年7月8日より

地中熱で地域冷暖房のすべてをまかなうわけではないが、ガスボイラーなどを使う従来方式と比べ、年間消費エネルギーは48%、二酸化炭素(CO₂)排出量は40%少なくできる見通し。

地中熱利用システムを取り入れた省エネルギー ・スマートコミュニティ構想

地中熱利用 コミュニティ構想



熱の有効利用計画の中に、地中熱利用も加えるべき。必要な地下データも揃いつつある。

4. まとめ

温泉と地熱開発の共存共栄のポイント

1. 地熱発電所は、大地震の際も安全に稼働。山間部の自治体等で地熱発電所を持てば、災害時に送電網が切断されても、ベース電力を確保可能。
2. 日本の豊かな地熱資源を有効に活用すれば、電源確保と共に、産業の活性化が可能。
3. 発電のみならず、熱の有効利用が重要。熱利用による新たな産業も。

4. まとめ

温泉と地熱開発の共存共栄のポイント

4. 温泉と地熱開発との共生により、より豊かな温泉地作りを目指せる。その方法としては、例えば;
 - (1) 温泉発電
 - (2) 温泉共生型地熱貯留層管理
 - (3) 地熱エネルギーの多目的利用
 - カスケード利用
 - 地中熱の活用などが考えられる
5. 熱の有効利用の中に地中熱利用も加えるべきであり、必要な地下データも揃いつつある。