

もっと身近な地中熱の利活用のために ～地下水情報を活用した地中熱ポテンシャル評価～

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム
(兼)地質調査総合センター 地下水研究グループ

内田 洋平



再生可能エネルギー研究センター

再生可能エネルギー「熱利用」とは

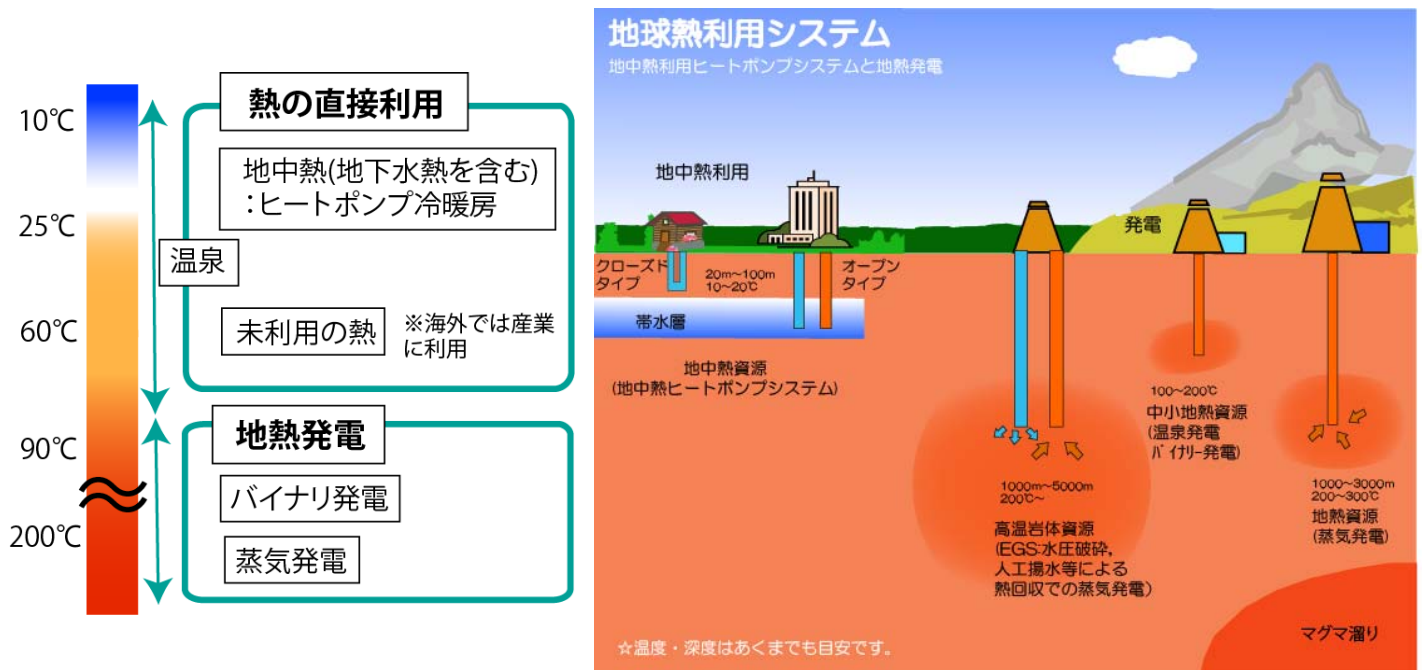
「発電」は電気をつくることが目的



「熱利用」は電気を使わないこと（省エネ）が目的

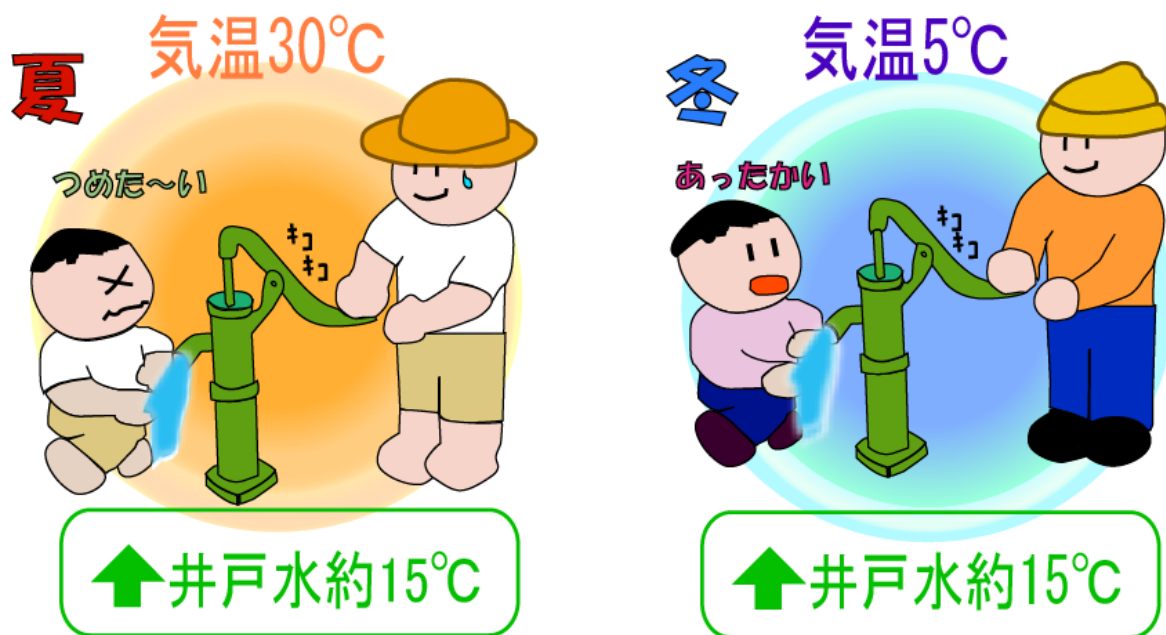


地球の熱を利用するシステム



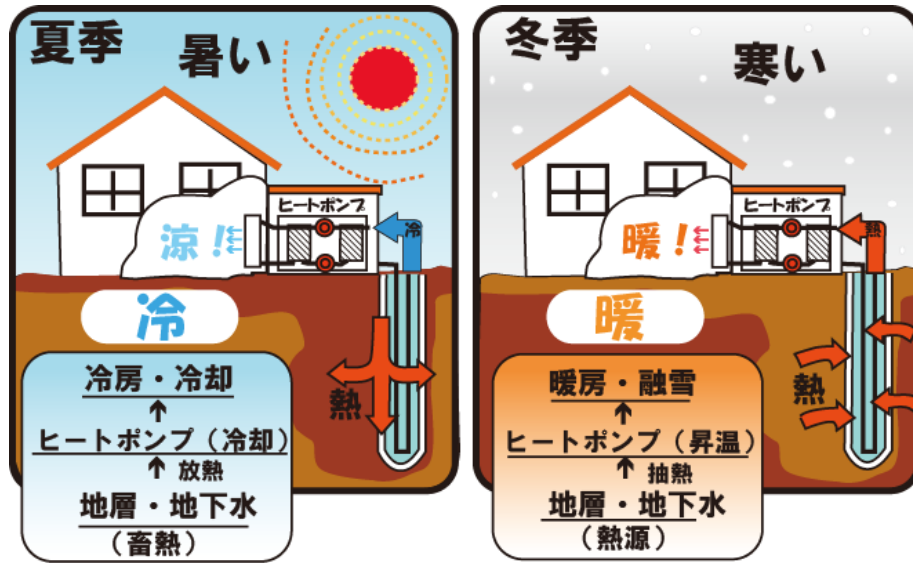
様々な地球熱利用システムの形態と温度範囲 (NEDO, 2006より)

地中熱利用の原理



夏と冬の井戸水の感じ方の違い
 井戸水は一年中15°C(関東の場合)と一定なので、夏は冷たく、冬は暖かく感じる

地中熱ヒートポンプを用いた冷暖房

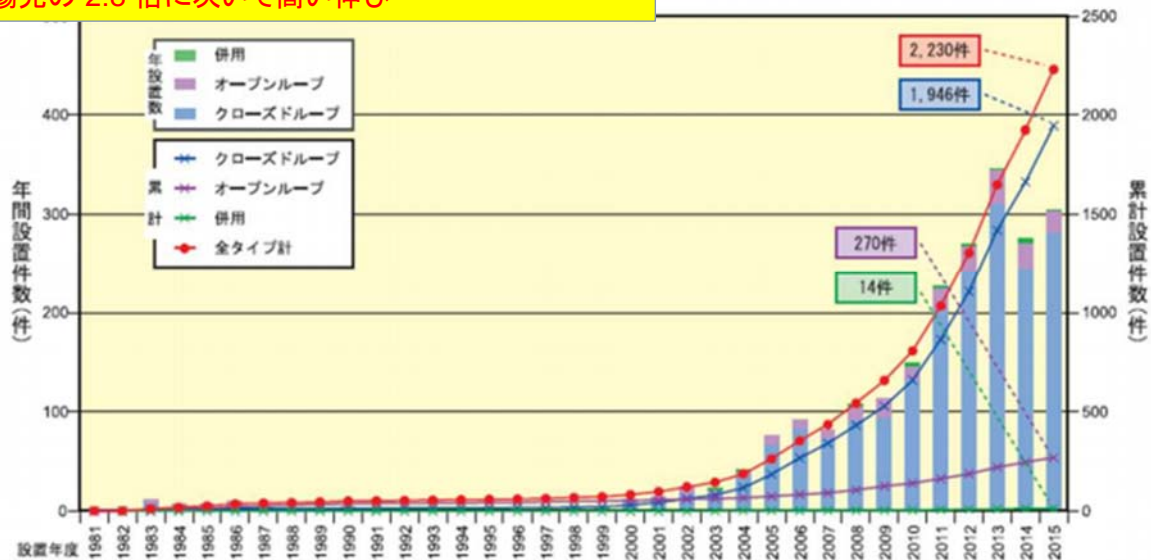


- ◆ 地中の温度は年間を通してほぼ一定(関東の場合、地下50mで16度前後)
- ◆ 夏は外気より冷たく、冬は外気より暖かいという地中温度と外気温との温度差が生じる
- ◆ この温度差を利用し、地中熱をヒートポンプの熱源とするシステム(COP 3.5以上)

※ COP: 消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力を表した値、成績係数
冷房機器の場合「冷房能力(kW)÷冷房消費電力(kW)=冷房COP」
空気熱源ヒートポンプのCOP平均値2.8 (NEDO資料より)

地中熱ヒートポンプの普及状況

- 環境省の速報値によると、地中熱ヒートポンプの設置件数は2012~13年の2年間に523件増加
- 絶対数では少ないが、この2年間で1.5倍の伸び
- 同じ期間で比較すると、再生可能エネルギーの中では太陽光の2.8倍に次いで高い伸び



平成28年度 環境省 地中熱利用状況調査の集計結果より

地中熱の特徴と導入事例

◆地中熱の特徴

- ① **【再生可能エネルギー】** に位置付けられる低温熱源
- ② 地中熱利用技術は、発電ではなく **【省エネ技術】**
- ③ 通年で一定温度の地中熱は **【どこにでも存在する】**
- ④ **地域特性【地下水・地質】** でポテンシャルが決まる

◆地中熱利用システムの導入事例

東京スカイツリー（空調）	羽田空港国際線ターミナル（空調）
J Pタワー（空調）	東京スクエアガーデン（空調）
J R東北本線福島駅（駅空調）	小田急電鉄（駅空調）
I K E A立川（空調）	長野市役所（空調） 他多数

都心の大規模施設の再エネ選択は「地中熱」へ

国立研究開発

<http://www.corona.co.jp/geosis/merit/>

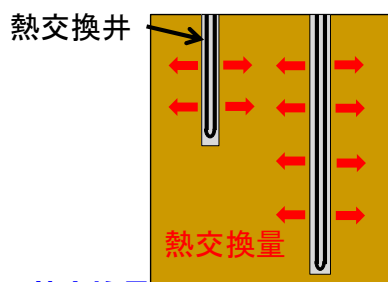
福島再生可能エネルギー研究所

地中熱ポテンシャル評価

（地中熱利用のためのポテンシャル評価技術を開発）

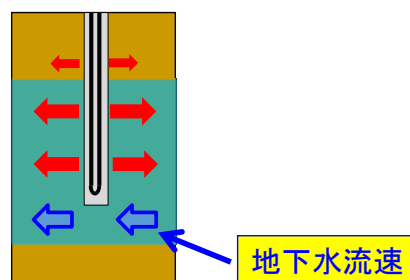
地中熱ポテンシャル = 熱交換量、可能採熱量、適度

地質・地下水位・地下水流速・地下温度・水質など



熱交換量 小 大

熱伝導



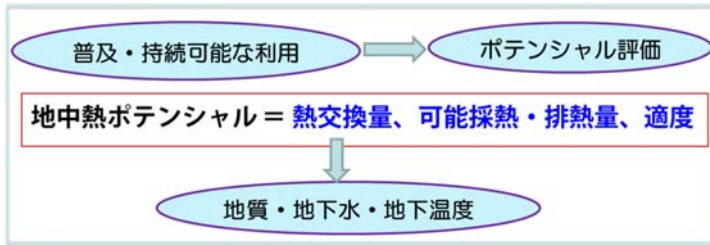
熱伝導+熱移流

地下水を考慮した地中熱ポテンシャルマップは世界初・産総研発のアイデア

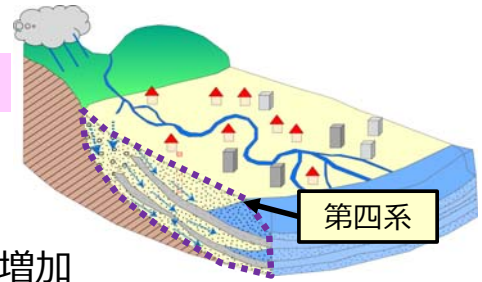
地中熱利用(GSHP)システム:

浅層地下との熱交換により、冷暖房・融雪・給湯を行う**未利用熱の利用技術**
(省エネルギー効果が高い)

省エネ社会を実現するためにGSHPシステムの普及は重要課題



地中熱ポテンシャルマップ
効率的かつ環境調和型の熱利用を前提に作られた開発可能性マップ



地中熱利用システムの**普及と持続可能な利用を目指す**

日本の都市 = 平野・盆地に立地

- ・**第四系**の礫・砂・泥など → 豊富な地下水が賦存
- ・地下水流れ(熱の移流効果)→**見かけの熱伝導率**の増加

地域の**地質構造・地下水流動**を考慮した地中熱ポテンシャルマップを作成

※浅部：地下100m程度

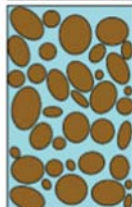
3種類の熱伝導率

地中熱ヒートポンプシステムの性能を大きく左右するもののひとつに、地盤の熱特性(熱伝導率)がある。地中熱の研究分野においては、熱伝導率については以下の3種類がある。

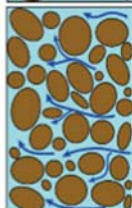
Lower



熱伝導率 : 地層や岩石の固相が有する熱物性。**空隙は不飽和**(水分量ゼロ)状態



有効熱伝導率 : 地層や岩石の空隙が**水で飽和された状態**における熱伝導率

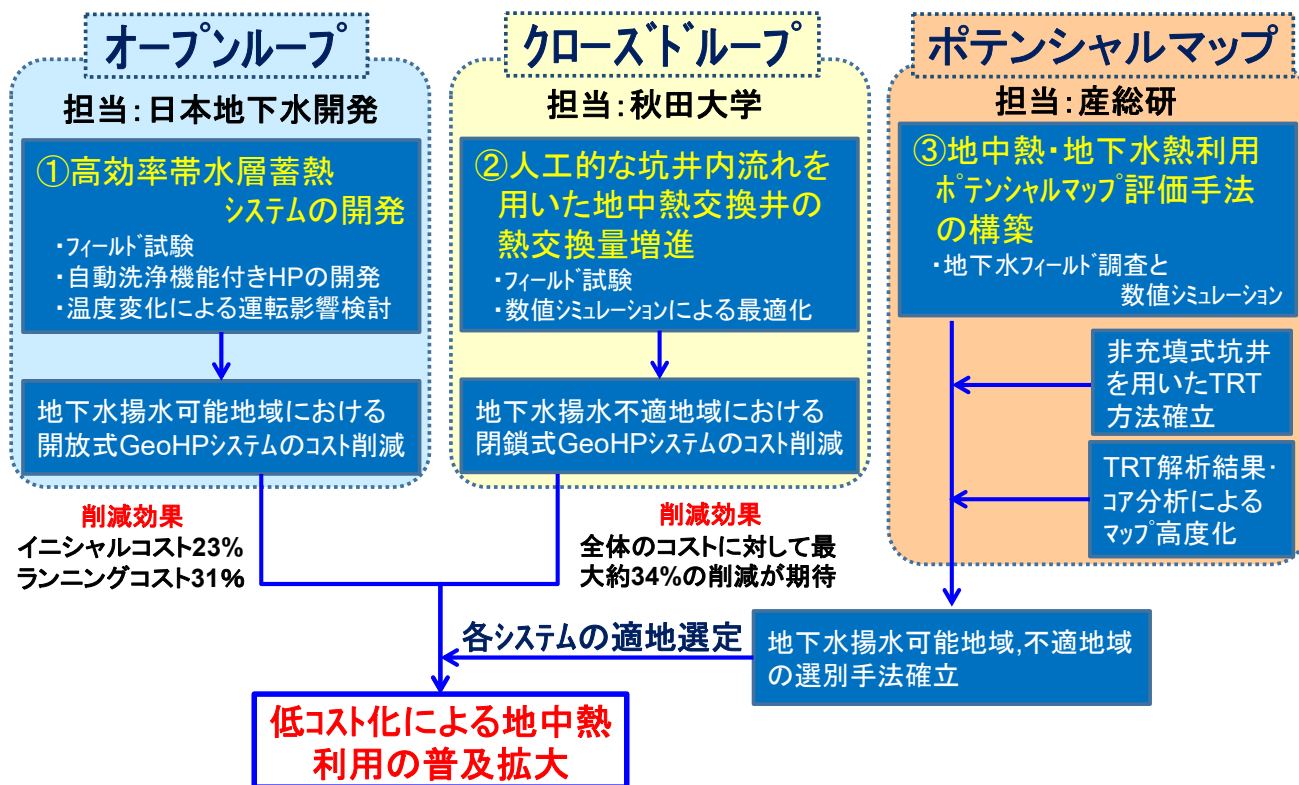


見かけ熱伝導率 : 地層や岩石の空隙中の**水が流動している状態**における熱伝導率

Higher

地中熱の分野では、通常は見かけ熱伝導率が指標となり、地下水の流れが速いほど、見かけ熱伝導率の値が大きくなり、地中熱システムの冷暖房において採熱・廃熱の効率の良い地盤であることを示す。

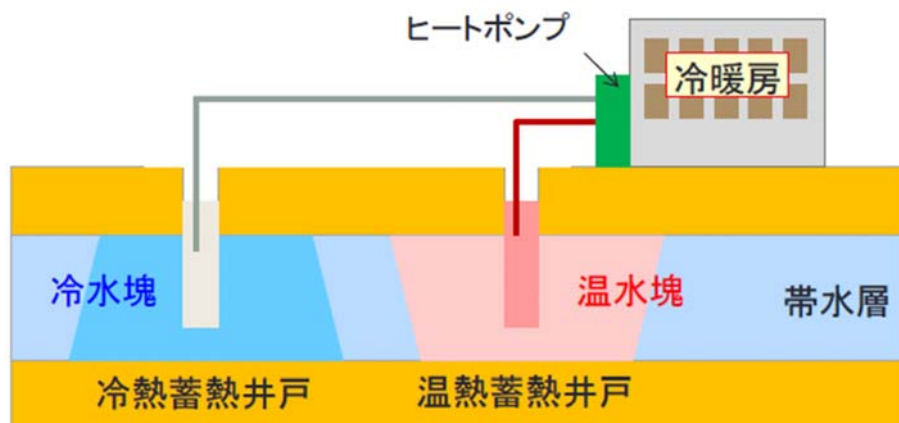
H26~H30 NEDO 委託業務「再生可能エネルギー熱利用技術開発」



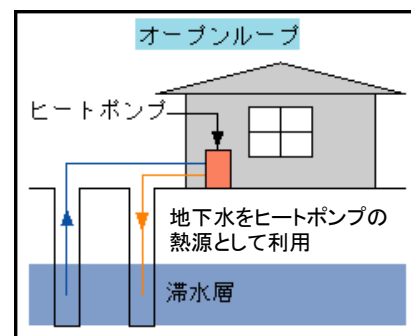
帯水層蓄熱冷暖房システム

Aquifer Thermal Energy Storage system (ATES)

- オープン・ループシステムの種類
- 2本の井戸を通じて地下水帯水層を蓄熱槽として利用し、ヒートポンプを介して冷暖房を行うシステム



帯水層蓄熱による冷暖房システムの概念図(一例)



一般のオープンループシステム

研究実施内容と目標

東北各主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

- ✓ オールコアボーリング試料による熱物性データの測定および同地点での熱応答試験 (TRT) による見かけ熱伝導率の関係を評価
- ✓ 現地地質調査・地下水調査を実施し、
 - ① 平野・盆地単位の広域地下水流動・熱輸送モデル構築
 - ② 熱交換量予測シミュレーション
 に基づく地中熱ポテンシャルマップを作成・提供



目標: クローズド型・オープン型それぞれの適地評価方法の確立



TRTによるポテンシャルマップの精度向上
 モデル対象地域内において数地点のTRTを実施し、
 ポテンシャルマップ高度化

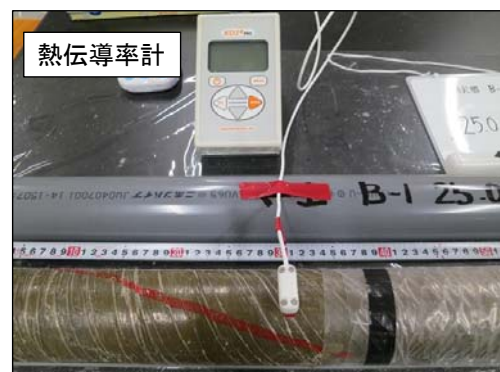
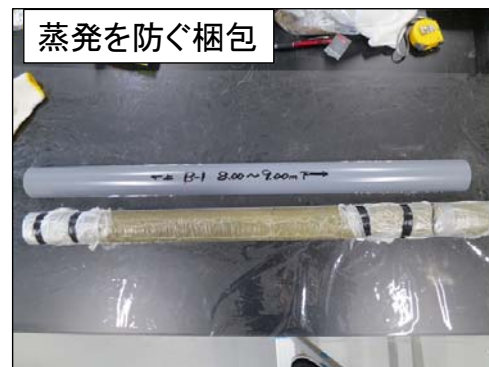


調査地域

ボーリングおよびコア試料の熱物性計測



ボーリングによる地質資料採取
 (深度100mまでのオールコアサンプリング)



コア資料(右上)と熱伝導率測定(右下)

広域地下水流動・熱輸送モデル

手法

解析範囲(流域)



3次元モデル化

- 適切な地質情報
- 適切な境界条件

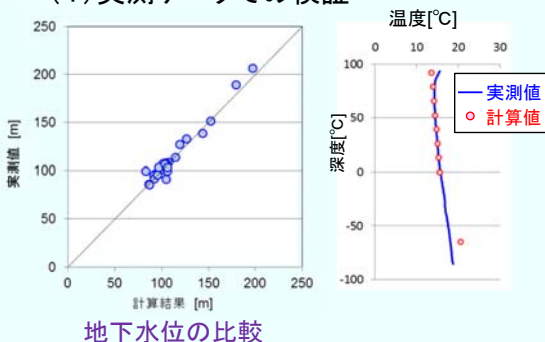
帯水層と仮定

	第四系	新第三系
透水係数 K_{xy} [m/s]	7.6×10^{-5}	2.2×10^{-8}
透水係数 K_z [m/s]	7.6×10^{-6}	2.2×10^{-9}
有効間隙率 [-] ²⁾	0.2	0.1
縦／横分散長 [m]	100／10	100／10
熱容量 [J/kgK]	2.6×10^6	2.6×10^6
熱伝導率 [W/mK]	2.89	1.57

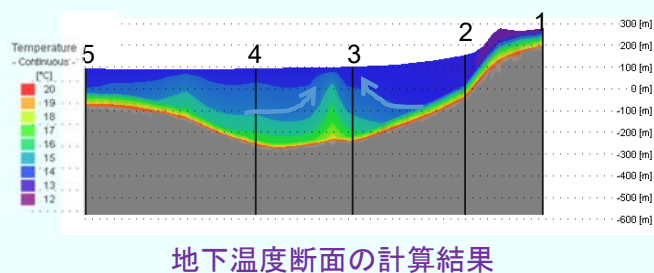
現地調査結果より決定

結果

(1) 実測データでの検証



(2) 地下水流動・地下温度の推定

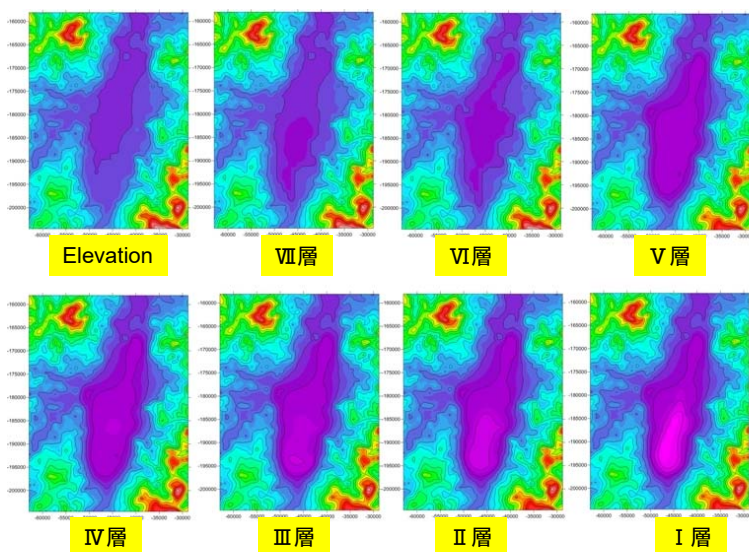


地下温度断面の計算結果

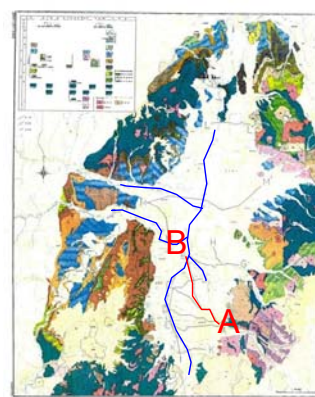
山形盆地の水文地質モデル

第四系を堆積サイクルによって、I～VII層に分割(東北農政局計画部、1994)

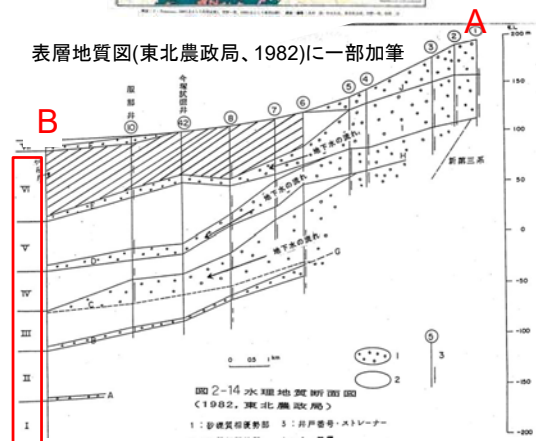
堆積サイクル: 粗粒堆積物 → 細粒堆積物



各層の標高分布



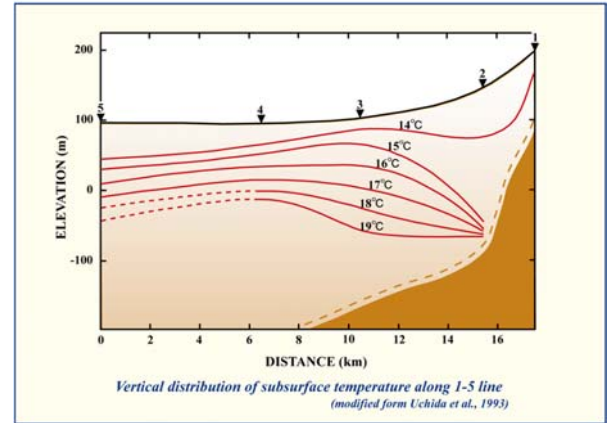
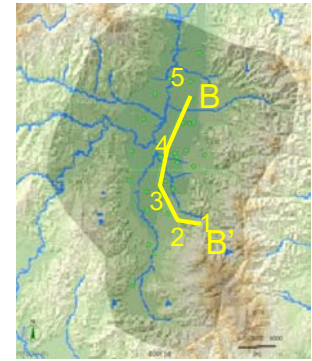
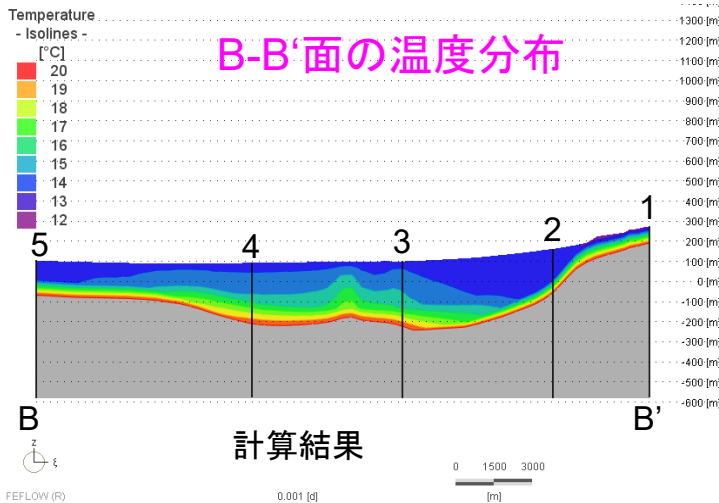
表層地質図(東北農政局、1982)に一部加筆



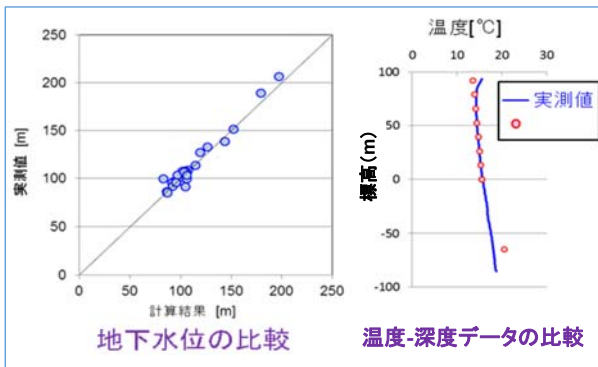
東北農政局計画部(1994)より

広域地下水流動・熱輸送モデルへ反映

モデルと実測値との比較

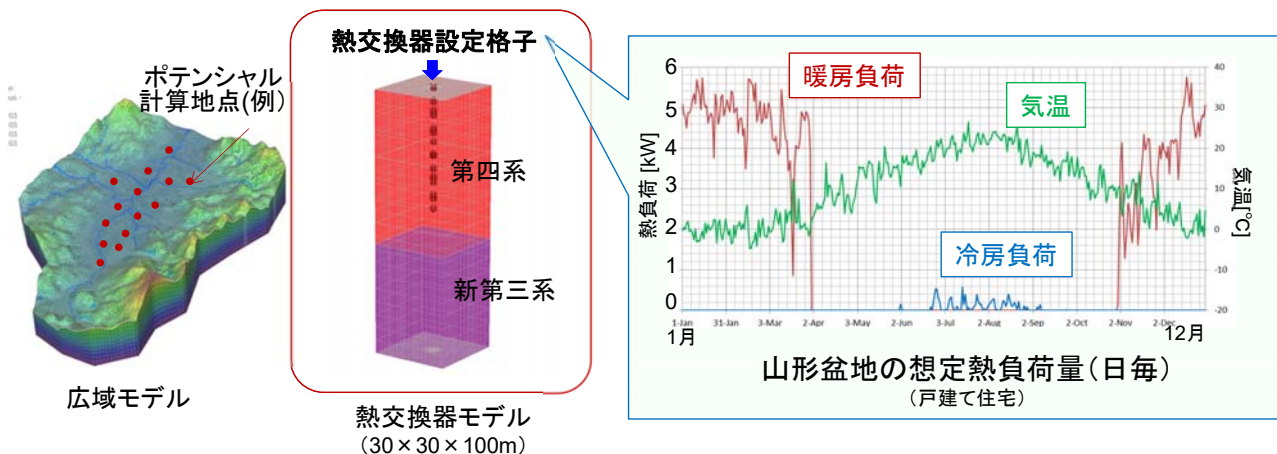


1993年11月の温度断面(実測値)



クローズドループにおける地中熱ポテンシャルの計算方法

- ① 広域地下水流動・熱輸送モデルの結果を反映させた熱交換器モデルを構築
- ② 地域の気象条件に応じた熱負荷を賄うことができる熱交換器長さを計算
- ③ 求められた熱交換器長さの分布を内挿し、ポテンシャルマップを作成



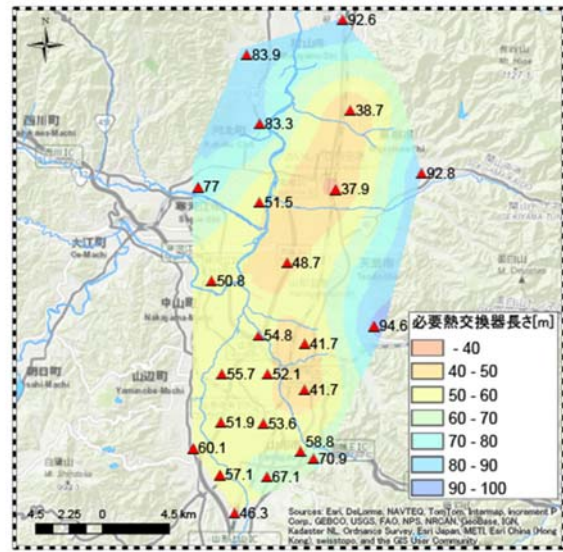
地質、地下水流速、地下温度は計算地点によって異なる

➡ 熱負荷は同じでも必要熱交換器長さは地点によって異なる

山形盆地の地中熱ポテンシャルマップ



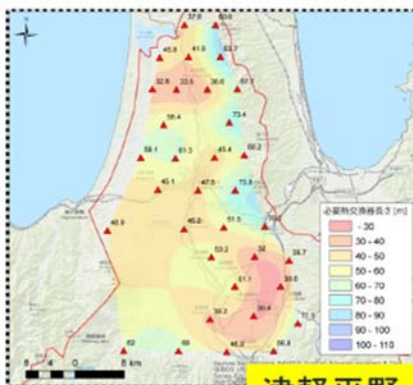
熱交換器モデルによる計算地点(24地点)



必要熱交換器長さの分布(=ポテンシャルマップ)

- 山形盆地内における必要熱交換器長さは、最大で2.5倍の差が見込まれる
- 山形空港～さくらんぼ東根駅周辺および山形駅北部の羽前千歳駅周辺にポテンシャルが高い地域が推定された

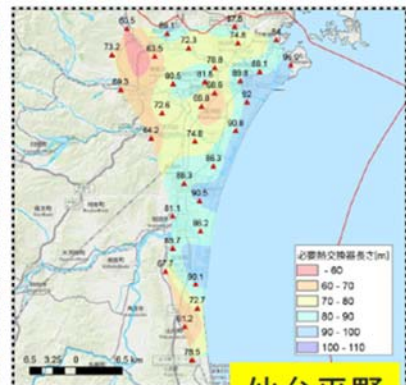
東北地域の地中熱ポテンシャル



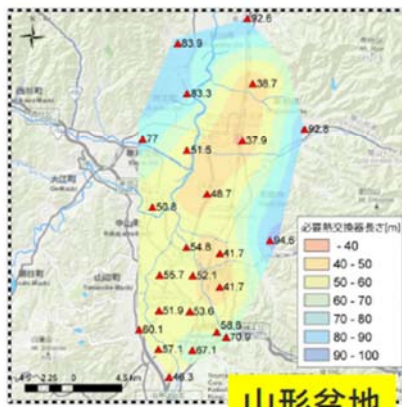
津軽平野



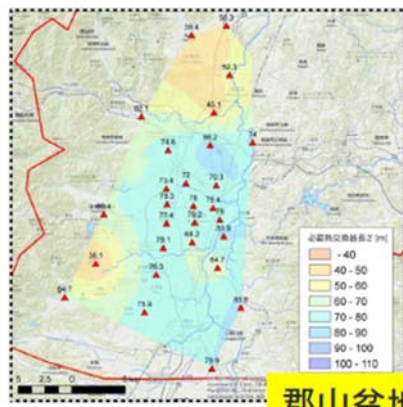
秋田平野



仙台平野



山形盆地



郡山盆地

オープンループ／ATESシステムの適地評価方法

オープンループ*の適地

- ① 地下水の揚水が可能
- ② 採排熱後の地下水を同一帯水層へ還元可能

*ここでは、地下水還元型のオープンループを対象

ATESの適地

- ③ 季節間での蓄熱が可能
(=季節間で揚水・還元井を入れ替えることでメリット有り)

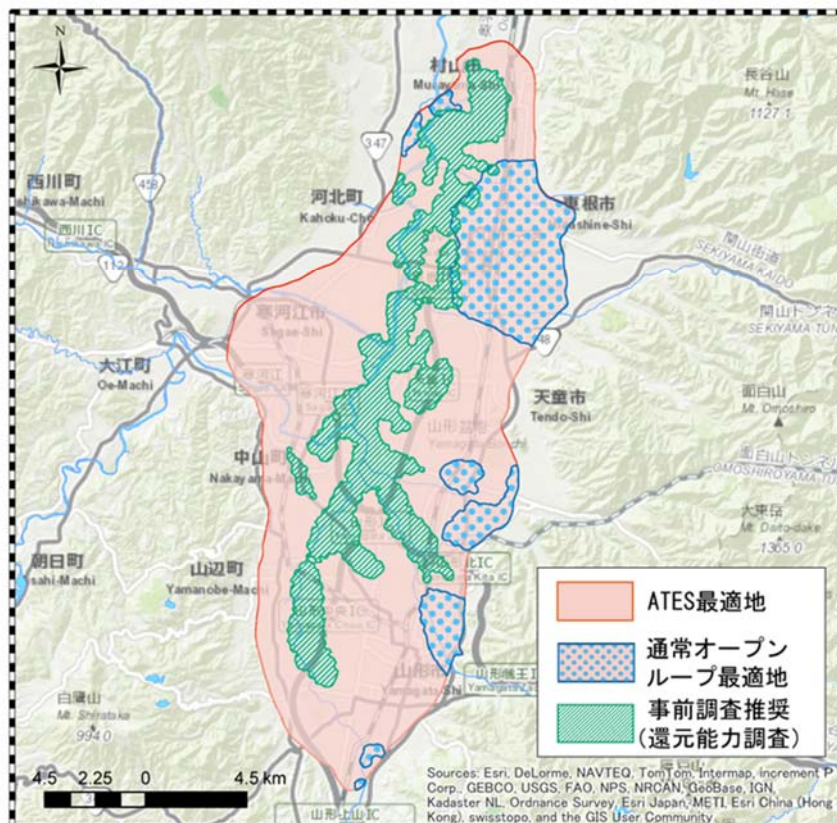


条件を満たす地域を選定

重ね合わせる

- ①・・・帯水層を有する地域(ここでは帯水層厚さ20m以上)
→地質モデルから抽出
- ②・・・地下水がUp-flow(流出域)ではない地域
→広域地下水流動モデル結果(流向分布)から抽出
- ③・・・地下水の流速が十分遅い地域(季節間で蓄熱が移流しにくい)
→広域地下水流動モデル結果(流速分布)から抽出

山形盆地のオープンループ／ATES適地マップ



東北地域のオープンループ／ATES 適地マップ



東北地域の地中熱ポテンシャルマップおよび取扱説明書は、産総研・地圏資源環境研究部門のHP内で公開中
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>



山形盆地



郡山盆地

大阪平野 地中熱ポテンシャルマップと説明書

産総研・地質調査総合センター HP
<https://www.gsj.jp/HomePageJP.html>

「出版物とサービス」

NEDOプロジェクトで開発した手法を適用し、大阪平野の地中熱ポテンシャルマップを構築・公表

その他の出版物

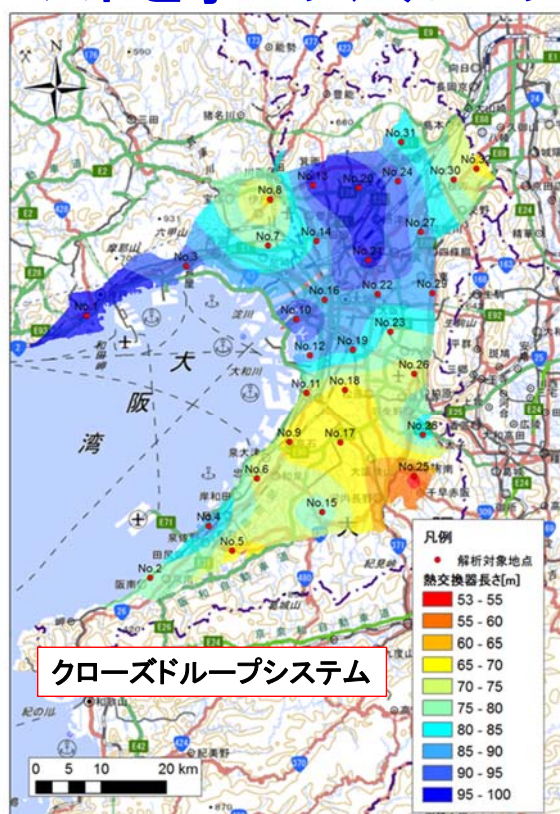
↓
 地質調査所・地質調査総合センター速報

内田洋平・吉岡真弓・シュレスタ ガウラヴ・富樫 聡・石原武志 (2019): 大阪平野における地中熱ポテンシャルマップ. 地質調査総合センター速報, no.78, 36p.

収集したデータ

資料	データ元
地層構造 大阪平野の第四系を、水理地質構造を考慮し、3層に分離したときの地層の上下面境界 地下水ポテンシャル分布	<ul style="list-style-type: none"> ・NEDO(2019)による成果を引用
地下水水位観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水地盤環境に関する研究協議会(2018) ・大阪府より提供 ・国土交通省 水文水質データベース, http://www1.river.go.jp/
河川水位観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省 水文水質データベース, http://www1.river.go.jp/
気温データ	<ul style="list-style-type: none"> ・気象庁アメダスデータ http://www.jma.go.jp/jma/index.html
海水温観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省 大阪湾水質定点自動観測データ配信システム 近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所 http://222.158.204.199/obweb/
地温深度プロファイル	<ul style="list-style-type: none"> ・水文環境図 No. 11 大阪平野 (井川ほか, 2019)

クローズドとオープンループシステムのポテンシャル比較





CCOP 地中熱サブプロジェクト

Development of Renewable Energy for Ground-Source Heat Pump (GSHP) System in CCOP Regions



研究目的

- ・ 東南アジア地域における**GSHPシステムの実証試験**
- ・ GSHPシステムの熱帯地域への適応・高度化
- ・ 広域地下水流動・熱輸送モデルによる東南アジア地域における地中熱ポテンシャルマップの開発

実施体制

- ・ CCOP GW プロジェクトの中に、データベースを利用するサブプロジェクトを2013年4月より開始
- ・ タイ・チュラロンコン大学, 鉱物資源局, 秋田大学, ベトナム地球科学鉱物資源研究所, 産総研との共同研究で実施

研究成果

- ・ 適正なシステム設計により、タイでも地中熱システムによる**冷房運転の可能性を実証!**
- ・ チュラロンコン大学では、通常のアエアコンと比較して、**消費電力35%削減**に成功
- ・ CCOPプロジェクトの成果を活用し、民間企業と共同提案「**JICA 2018年度 中小企業・SDGs ビジネス支援事業案件化調査 調査名:タイ王国 帯水層の地中熱利用による高効率冷房システム案件化調査**」が採択



チュラロンコン大学・総長室



タイ・国立地質博物館



ベトナム地球科学鉱物資源研究所 27



まとめ

- NEDOプロジェクトにおいて、**地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ**の評価手法を構築
- 東北主要地域の地下水流動・熱輸送解析の実施し、**クローズドループ**、**オープンループ**および**帯水層蓄熱システム**に対応するポテンシャルマップを作成
- NEDOプロジェクトにおいて開発した手法を適用し、**大阪平野における地中熱ポテンシャルマップ**を構築
- 我が国の住宅地は第四系堆積平野に集中しており、その地下温度構造は地下水流動の影響を強く受けている場合が多い
- マップは、それぞれ地域の地下水流動系の影響を受けた分布形態を示しており、システムの導入計画に際して、**地域に適した熱交換方式**をマップで示すことに成功

今後の展開

- 水質を考慮したオープンループシステム適地評価手法の開発
- 冷房負荷の割合が多くなる、関西～九州地域の地中熱ポテンシャル評価手法の開発
- 東南アジアにおける地中熱システム実証試験の拡大およびマーケットの育成

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

「SDGs」とは

国連は、極度の貧困、不平等・不正義をなくし、私たちの地球を守るための計画「アジェンダ2030」を2015年9月25日採択

この中で「**持続可能な開発目標 SDGs** :Sustainable Development Goals」記載

17の目標と169のターゲットに全世界が取り組むことによって
誰も取り残されない世界を実現しようというチャレンジ

地中熱の普及は・・・



ご清聴ありがとうございました

(福島県 猪苗代湖 : 日本国内で4番目に広い湖)