

地中熱研究紹介

内田洋平¹⁾

1. 福島再生可能エネルギー研究所における地中熱研究のポリシー

福島再生可能エネルギー研究所・地中熱チームでは、研究のポリシーとして「地域の地質環境・地下水環境と調和した地中熱のシステム開発」を掲げています。

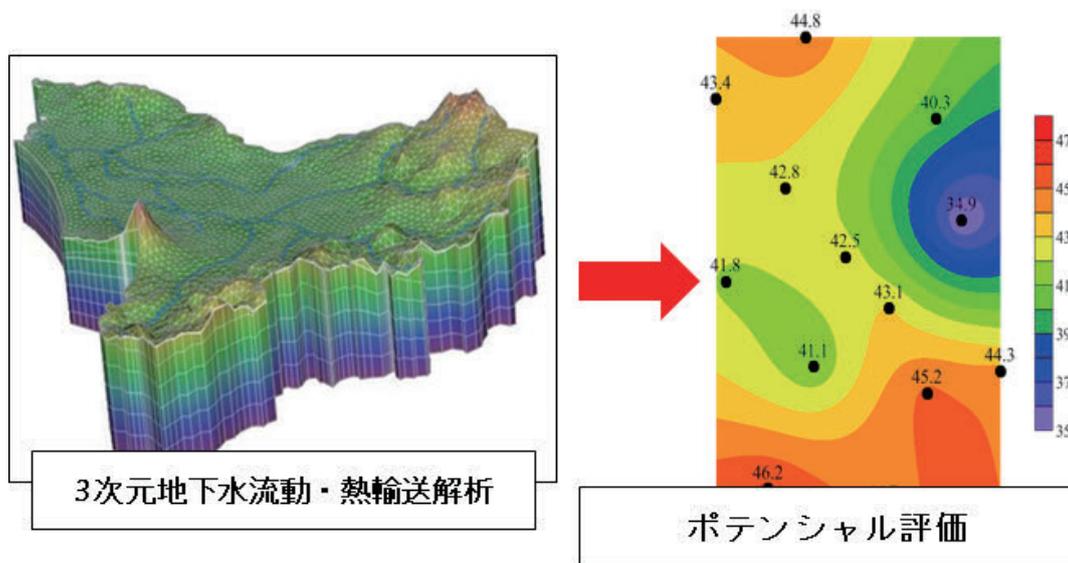
地中熱利用システムは、太陽光や風力、地熱発電とは異なり、発電する技術ではなくエネルギーを賢く使う省エネ技術です。全体の消費電力量を削減することはもちろん、エネルギーの最大需要量を削減することにより、ピークカットや発電設備の最大出力低減にも貢献できるものとされています。この技術は、もともと世界オイルショックを契機として1980年代から欧米諸国で広まった技術です。技術的には新しいものではないものの、日本においては欧米諸国と地質構造が大きく異なること、大都市における地下水の汲み上げ規制などの理由により、その普及が停滞しています。そこで「地中熱ポテンシャル評価」と「地中熱システムの最適化技術開発」を主要な研究テーマとして取り組み、海外以上に効率の良い「地中熱利用システム」をこの福島県から広めていくことを目指しています。

2. 実施中の研究

2.1 地中熱のポテンシャル評価

地中熱ポテンシャル評価とは、地域に賦存している地中熱エネルギーの潜在能力を明らかにすることです。地中熱ポテンシャルの指標としては、地質構造や熱伝導率、地下水の流速などが挙げられます。

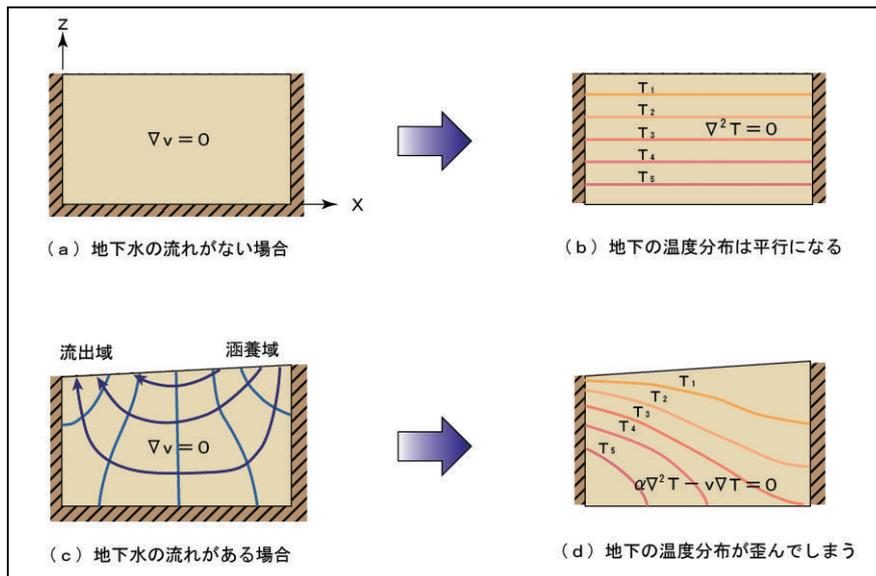
安定大陸に位置する欧米諸国の地質構造は、主に岩盤である場合が多いですが、日本における大都市の地形・地質の多くは堆積平野や堆積盆地であり、欧米諸国と比べて第四紀層が厚く堆積しています。第四紀層とは、約260万年前から現代までにおける、人類の出現や氷河に覆われた時代の地層を指します。地質は砂・礫・泥などで構成されており、軟弱地盤で地下水の流れが活発です。その熱伝導率は、たとえば花崗岩の場合は $3.0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 程度ですが、第四紀層の熱伝導率は $1.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 程度で、岩盤に比べて4割から5割程度の値となっており、熱伝導率から見ると地中熱システムには不利な地質条件と言えます。ところが、第四紀層の透水係数は高く、優良な帯水層を形成している場合が多いのです。地下水の流れが活発であれば、熱の移流効果により有効熱伝導率（見かけの熱伝導率）



第1図 3次元地下水流動・熱輸送開発モデル（左）と地中熱ポテンシャルマップ（右）。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：地中熱、水文地質、地下水流動、熱輸送、最適化



第2図 地下水流動と地下温度構造の関係 (Domenico and Palciauskas, 1973) .

が高くなり、地中熱利用に適してきます。つまり、日本で地中熱システムの普及を考える場合、地域の地下水流動を考慮することにより、効率の良いシステム設計が可能になると思われます。以上の点を踏まえ当研究チームでは、地中熱利用を念頭に置いた地質データベースやポテンシャルマップの研究・開発に取り組んでいます。

現在、地中熱チームでは福島県、宮城県、青森県、山形県、秋田県の代表的な平野や盆地において3次元地下水流動・熱輸送解析モデルを構築し、地中熱ポテンシャル評価を行っています(第1図)。

2.2 日本の地下環境を活かした「地中熱システムの最適化技術」の研究

先にも述べましたが、大陸地域の地質は第四紀層が薄く、地下数mで岩盤が分布する地域が多いため、地中熱利用システムの設計については熱の伝導のみを考慮しています。一方、日本の都市域の地質は第四紀層が厚く、地下水が活発に流れているため、地中熱利用に関するポテンシャル評価や環境影響評価には、熱の伝導だけではなく、地下水の流れによる熱の移流効果を考慮する必要があります。

地下の温度は、地表面温度と地殻熱流量だけではなく、様々な要因によって変化します。実際の地下の温度分布は地下水の流れによる熱移流の影響を強く受けており、その分布には大きな偏りがあります。特に浅層部分の地下温度分布は、その地域における流域規模の地下水流動の影響を受けているだけではなく、揚水などの人為的な影響も受けており、複雑であることが予想されます。第2図に地下水流動と地下温度構造の関係を示します。地下水の流れが存在しない状態(第2図a)の温度分布は、熱伝導のみに支配され一様な温度勾配をもちます(第2図b)。一方、地

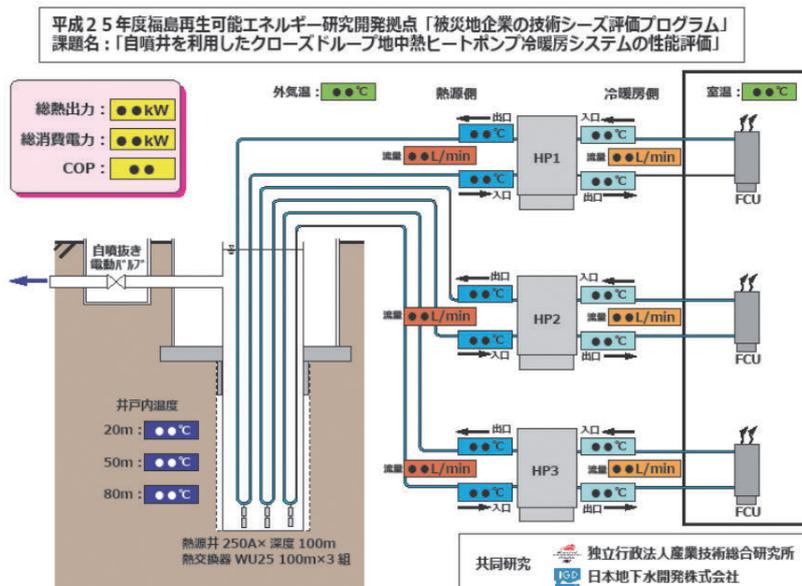
下水流動が生ずる場合(第2図c)の温度分布は、地下水の涵養域と流出域において地下温度分布に熱伝導のみで形成された温度からのずれが生じます(第2図d)。地下水流動の速度が速くなるほどその差異が大きくなり、地下水の流れがないときの温度勾配一定に対して地下水涵養域では下に凸、流出域では上に凸の温度分布が現れ、同一深度の地下温度は涵養域でより低温、流出域でより高温となります。我が国は、地下水資源(温泉も含む)が豊富です。この豊富な地下水を活用することにより、欧米とは異なる、独自の地中熱利用システムの発展の可能性ががあります。そのためには、地域の地下水流動と地下の温度構造を把握・理解するための研究が重要です。

地中熱ヒートポンプシステムには、地中から熱を取り出すために流体(水/不凍液)を循環させる方式と、揚水した地下水から熱を取り出す方式があり、それぞれクローズドループ(第3図左)、オープンループ(第3図右)と呼ばれています。オープンループは、汲み上げた地下水の熱を直接利用するため、熱交換のエネルギー損失がクローズドループより少なくシステムとしては効率的ですが、地下水を汲み上げて熱を交換するため、地下水の揚水規制がある地域では、現時点では導入が難しいとされています。オープンループについては、今後、汲み上げた地下水をほぼ完全に地下へ還元できるシステム開発や、自然に湧き出ている湧水の利用などが期待されています。

当研究チームでは、様々な地下水・地質特性に最適化された地中熱利用システムの研究を地元大学や企業と共同で実施しています。

2.3 被災地企業との共同研究

福島再生可能エネルギー研究所のミッションの一つとし



第5図 自噴する井戸を利用した新熱交換方式の概要。

実用までを包含する高度人材の輩出が期待されています。

また、6月より地中熱チームでは福島大学から修士課程の学生1名をリサーチアシスタントとして雇用し、現在、会津地域における水文調査や地下温度構造解析などを担当してもらっています。

3. 研究実施体制

地中熱チームには、常勤研究員4名、契約職員2名（うち1名はRA）が所属しておりますが、研究テーマ数や内容が多岐にわたるため、地圏資源環境研究部門や地質情報研究部門との連携を進めています。特に、福島大学との共同研究テーマである「会津盆地における第四紀地質構造解析および水理構造解析」では、地質構造解析や物理探査の研究者に加えて、首都大学の先生にも参加して頂いております。

また、地中熱研究のアジア展開を目指して、CCOP地下水プロジェクトの一環として、タイ・チュラロンコン大学とインドネシア・バンドン工科大学、秋田大学との共同研究をH25年度より開始しています。CCOPのメンバー国では、今後、大きな経済発展が見込まれており、それに伴う消費電力の激増が予測されています。そのような中で、省エネルギー効果の高い地中熱システムが、これらの国々の中で徐々に注目を集め始めています。

4. 今後の展望

「地中熱」は他の再生可能エネルギー技術とは大きく異なり、電気を生み出すことはできません。しかし、その高い省エネ効果により、全体の消費電力量を削減することはもちろん、エネルギーの最大需要量を削減することが可能です。したがって、地熱発電や太陽光、風力発電等の自然エネルギーの発電技術と、地中熱システムのような省エネ技術を併用することにより、再生可能エネルギーのベストミックスが実現可能となります。

地中熱チームの中期計画では、福島県を中心とした東北地域における「地中熱のポテンシャル評価」と「地中熱システム的最適化技術」の研究開発を実施します。長期計画では、これらの技術開発を日本全国へ展開すると共に、他の再生可能エネルギーとの連携を目指し、日本の再生可能エネルギーのビジョンを支えていきたいと考えています。また、大学や企業との共同研究を通じて、再生可能エネルギー関連新産業の創出に努めていきます。

文 献

Domenico, P. A. and Palciauskas, V. V. (1973) Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **84**, 3803-3814.

UCHIDA Youhei (2014) Introduction of research on shallow ground source energy at FREA.

(受付：2014年8月20日)