

# NEDO プロジェクトにおける研究成果 その2 —オープンループの地中熱ポテンシャル評価方法—

吉岡真弓<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

地中熱利用システムの普及促進に向けて、「地中熱ポテンシャルマップ」の作成が求められている。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、平成26年度から「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業として、地中熱利用システムについてシステムトータルの導入及び運用コストをそれぞれ20%低減させるための技術開発と共に、効率的なシステム導入の促進に資するポテンシャル評価技術開発を進めている。産総研再生可能エネルギー研究センター地中熱チームでは、日本地下水開発株式会社および秋田大学と共に本プロジェクトに参画し、東北地域を中心としたクローズドループシステムの地中熱ポテンシャル評価およびオープンループ/帯水層蓄熱冷暖房(Aquifer Thermal Energy Storage, 以下、ATES と記載)システムの適地評価技術開発を進めてきた。クローズドループシステムは、水文地質環境に依らず導入・利用が可能であることから、その「利用可能性=ポテンシャル」を評価することが求められている。一方、オープンループシステム(ATESシステムもオープンループシステムの種類)は地下水を直接利用するシステムであるため、水文地質環境によっては利用できない地域も存在する。そのため、オープンループシステムに関しては、「適地」を評価することが重要である。本稿では、本事業において構築したオープンループ/ATESシステムの適地評価手法について、その概要を述べる。

## 2. オープンループ/ATESシステムの適地評価手法

当チームでは、地域の地質・地下水環境の視点からオープンループ/ATESシステムの適地評価を行った。また、対象とするオープンループは揚水した地下水を再び地下に戻す地下水還元型のシステムとする。その前提において、オープンループシステムの導入では、①システムに必要な地下水が揚水可能であること、②採排熱後の地下水が

同一帯水層へ還元可能であること、が適地の選定条件となると考えられる。さらに、帯水層を季節間蓄熱槽として利用するATESシステムにおいては、③冬季/夏季に蓄熱した冷水/温水塊が稼働停止期間中(主に春と秋)に移流拡散により消失せず、季節間で揚水井と還元井を入れ替えることによりエネルギーメリットを得られる地下水環境であることも重要である。これらの①、②、③を満たす地域はATESシステム最適地と考えられ、①、②のみを満たす地域では、帯水層を蓄熱槽としない通常型のオープンループシステムが最適であると考えられる。対象地域に対し、これらの①②③の条件を選定するため、当チームでは、平野や盆地を対象とした3次元地下水流動熱輸送モデルを構築し、地下水流向・流速や地下温度分布を推定することで、オープンループ/ATESシステムの適地を評価した。それぞれの条件の詳細について以下に述べる。

まず、①システムに必要な地下水が揚水可能である条件については、ここでは、対象帯水層を第四紀堆積物(以下、第四系)とし、第四系内における帯水層厚さが20m以上ある範囲を、条件を満たす地域として抽出した。次に、②の採排熱後の地下水の還元に関する条件については、広域の地下水流動シミュレーション結果より、鉛直方向上向きの地下水流速が大きい地域、あるいは地下水流向が下向きの地域を抽出した。これは、鉛直方向上向きの流れが卓越する地域(例えば自噴井がある地域など)では、採排熱した地下水を帯水層に還元することが難しいと考えられるためである。最後に、③の冷暖房期の蓄(冷)熱塊が稼働停止中に移流拡散により消失しにくい地下環境については、最も支配的であると考えられる水平方向の地下水流速分布から、適地を抽出することとした。その際、水平方向の地下水流速について基準を設ける必要がある。そこで、本事業では、単純な帯水層を数値シミュレーション上で構築し、一定条件(揚水/還元井の距離、帯水層の厚さ、必要熱負荷など)において、地下水流速のみを変えた場合の季節間蓄熱効果について検討を行った。その結果、本事業では、ATESに適する水平方向の地下水流速を年間約15

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

キーワード：NEDO、地中熱利用、地下水、オープンループ、帯水層蓄熱、適地、地下水流動、熱輸送

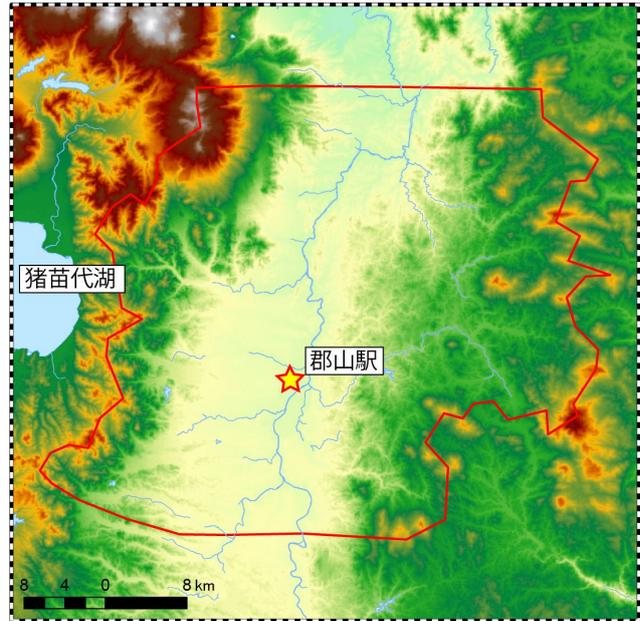
m以下とし、この条件を満たす地域を、広域の地下水流動熱輸送シミュレーション結果より抽出した。以上の条件を満たす地域を重ね合わせることで、オープンループ/ATESの最適地分布を求めた。

### 3. 郡山盆地のオープンループ/ATESシステムの最適地分布

本NEDO事業では、東北5地域について適地評価を行っているが、本稿では福島県の郡山盆地の例について述べる。第1図は本事業で実施した広域地下水熱輸送解析の計算範囲である。計算には、有限要素法による3次元地下水流動熱輸送シミュレーションソフトウェアであるFEFLOW(DHI製)を使用した。計算に用いた地質情報については、越谷・丸井(2012)によるデータを使用した。入力した熱・水理物性を第1表に示す。透水係数等の水理物性値については文献(例えば、柴崎・佐東, 2011; 萩原ほか, 2004など)を参考に試行錯誤的に決定した。熱物性値については、郡山市内で採取されたボーリングコアの熱物性計測結果を与えた。地下水流動に関する境界条件としては、側面を水頭固定境界とし、上面は地下水面固定境界、下面は非流動境界とした。熱輸送解析に関する境界条件として、側面は断熱境界とし、上面および下面は温度固定境界とした。上面と下面の温度については、郡山市内で実測された地下温度プロファイル(地表面~深度100m

程度)の地温勾配を元に決定した。計算結果については、郡山市内で定期観測されている地下水・地下温度観測井(4地点)の測定結果と比較検証し、計算結果は実測値とよい一致を示していることを確認した。

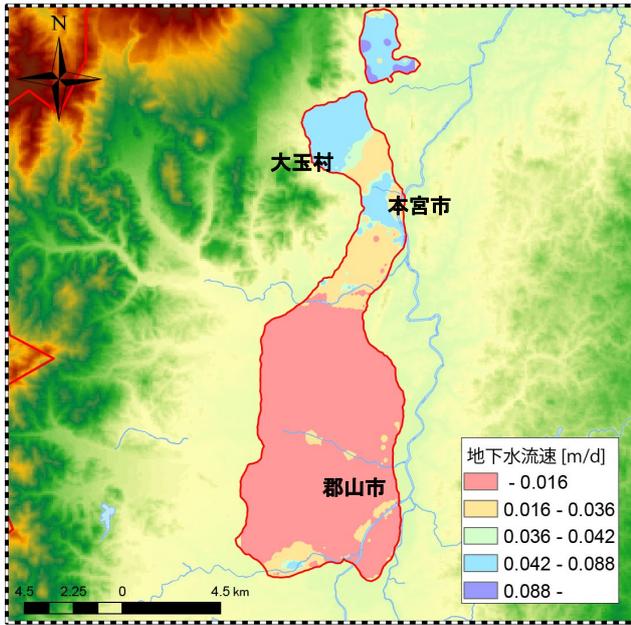
第2図として、郡山盆地における対象帯水層(ここでは第四系)の厚さが20m以上を有する範囲における水平方向の地下水流速の分布を示す。図より、郡山市街地の大部



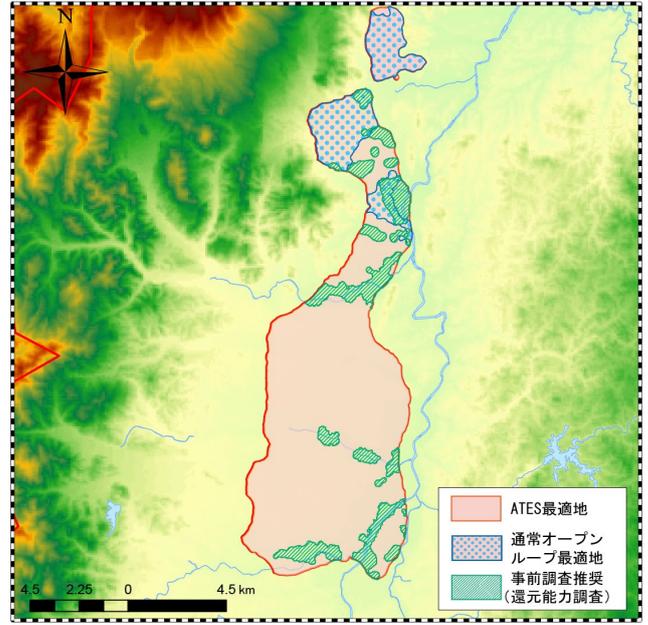
第1図 解析対象範囲(赤線)。背景地図は国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を利用。

第1表 計算に用いた熱・水理物性値

Layer	地層	透水係数 [m/s]	間隙率 [-]	熱伝導率 [W/(m·K)]	熱容量 [MJ/(m <sup>3</sup> K)]	縦/横分散長 [m]
1	沖積層	2.7x10 <sup>-5</sup>	0.2	1.40	2.9	
2	上部更新統	2.7x10 <sup>-5</sup>	0.2	1.40	2.9	
3-5	同上 郡山層	2.7x10 <sup>-5</sup>	0.2	1.40	2.9	
6-8	火山噴出物	2.7x10 <sup>-5</sup>	0.2	1.56	2.9	
9	中部更新統	2.7x10 <sup>-5</sup>	0.2	2.1	2.9	300 / 30
10-12	下部更新統	7.8x10 <sup>-6</sup>	0.2	2.1	2.9	
13-15	新第三系鮮新統	7.8x10 <sup>-6</sup>	0.2	2.1	2.9	
16-22	新第三系中新統	7.8x10 <sup>-8</sup>	0.1	2.1	2.9	
23-25	仮格子	1.0x10 <sup>-8</sup>	0.1	2.1	2.9	
流体(水)	-	-	-	0.6	4.2	-



第2図 計算によって求められた地下水流速分布(水平方向)。赤線は、対象帯水層厚さが20 m以上の範囲を示す。背景地図は国土地理院の数値地図50 mメッシュ(標高)を利用。



第3図 郡山盆地のオープンループおよびATEsシステムの適地分布。背景地図は国土地理院の数値地図50 mメッシュ(標高)を利用。

分では、比較的遅い地下水流速が推定されたが、本宮市や大玉村付近では、年間約15 mを超える地下水流速(第2図中の0.042 m/d以上に相当)が見込まれた。広域地下水流動熱輸送解析結果より推定された郡山盆地のオープンループおよびATEsの最適地分布を第3図に示す。図中、ピンク色で塗り分けられた範囲はATEsシステムに適していると考えられる地域であり、青色のドットで塗られているのは通常のオープンループが適していると考えられる地域である。通常オープンループが適していると考えられる地域では、水平方向の地下水流速が速く、揚水井と還元井を季節間で入れ替えないシステムの方が効率がよいと考えられる。緑色の斜線で示した地域は、上向きの地下水流向が生じている範囲であり、主に河川近傍に集中している。このような地域では、採排熱した地下水の還元が難しい可能性があり、帯水層の地下水還元能力について事前に十分な調査が必要であると考えられる。

#### 4. おわりに

本稿では、NEDO事業において実施した、オープンループ/ATEsシステムの適地評価手法および同手法を郡山盆地に適用した際の適地マップを紹介した。今後、オープンループおよびATEsシステムの普及と共に、マップの精度向上が求められるであろう。今回、紙面の都合上、詳細な

記述が叶わなかったが、評価手法や他の地域の適地分布については、NEDO事業の成果として今後、公表していく予定である。

#### 文 献

- 萩原 茂・坂本義昭・武部慎一・中山真一(2004) わが国における浅地中埋設処分深度に分布する透水係数に関するデータ。JAERI-Data/Code, 2004-003, 159p.
- 越谷 賢・丸井敦尚(2012) 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(第一版)。地質調査総合センター研究資料集, no.564, 産総研地質調査総合センター。
- 柴崎直明・佐藤真一(2011) 阿武隈川流域の地下水盆とくに福島地下水盆の実態と今後の地下水盆管理について。阿武隈川流域の環境学, 201-228, 福島民報社。

YOSHIOKA Mayumi (2019) Research results of NEDO project part 2 - Evaluation of suitable area for open-loop groundwater heat pump system -.

(受付：2019年3月6日)