

第3章 地中熱ポテンシャルの再推計

本章では、地中熱オープンループタイプに関して既存文献及びヒアリング調査から最新技術動向等を調査しポテンシャルの推計可能性を検討した。

3.1 はじめに

3.1.1 検討の背景

過年度調査では、地中熱に関して、導入実績の多いクローズドループタイプ（ヒートポンプ）を対象として推計を行い、情報を公開している。

本年度は、近年導入事例が増加しているオープンループタイプを対象として、地中熱ポテンシャルの推計可能性を調査した。

調査の対象範囲は、オープンループタイプのうち、住宅・ビル等の冷暖房・給湯などの採用事例が多いヒートポンプ式とした。また、ビニールハウスなど農業用途などにも利用されているが、利用形態が異なり、推計方法が大きく異なることが予想されることから、調査対象外とした。

3.1.2 オープンループ方式の概要

地中熱には、地下水以外の熱媒体を利用する「クローズドループ方式」と地下水を熱媒体として揚水する「オープンループ方式」があり、「オープンループ方式」には、揚水した地下水から採熱し、空調等に用いた後、河川・水路等へ放流する「放流方式」と地下へ還元する「還元方式」がある（図 3.1-1）。「還元方式」には、還元井を利用して帯水層へ注入する「還元井型」と浸透枘や浸透池などを利用して地中へ浸透させる「浸透枘型」がある。

地中熱利用方式選定の流れを図 3.1-2 は示す。オープンループ方式は地下水を実際に汲み上げるため、地下水採取が可能である場合に選択が可能である。また、汲み上げた地下水の放流が可能な場合は放流型の選択が可能であり、逆に放流不可の場合で、地下水還元が必要な場合は、還元型を選択する必要がある。

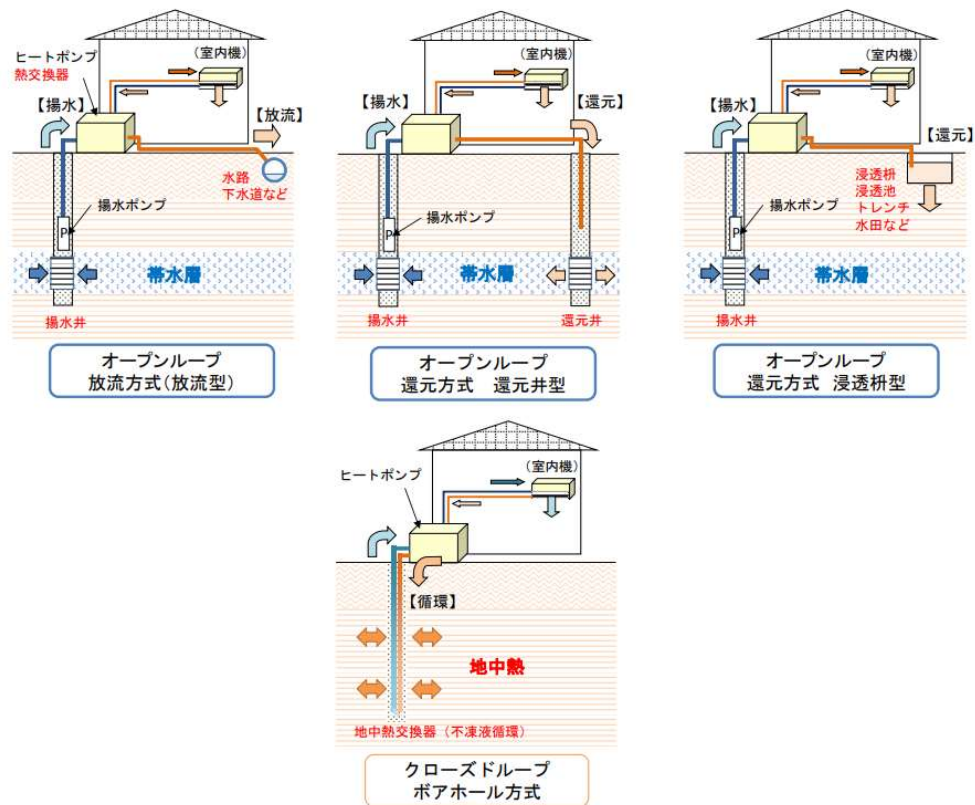


図 3.1-1 オープンループとクローズドループの形態

出典：地中熱ヒートポンプシステムオープンループ導入ガイドライン第1版, 地中熱利用促進協会, 2017

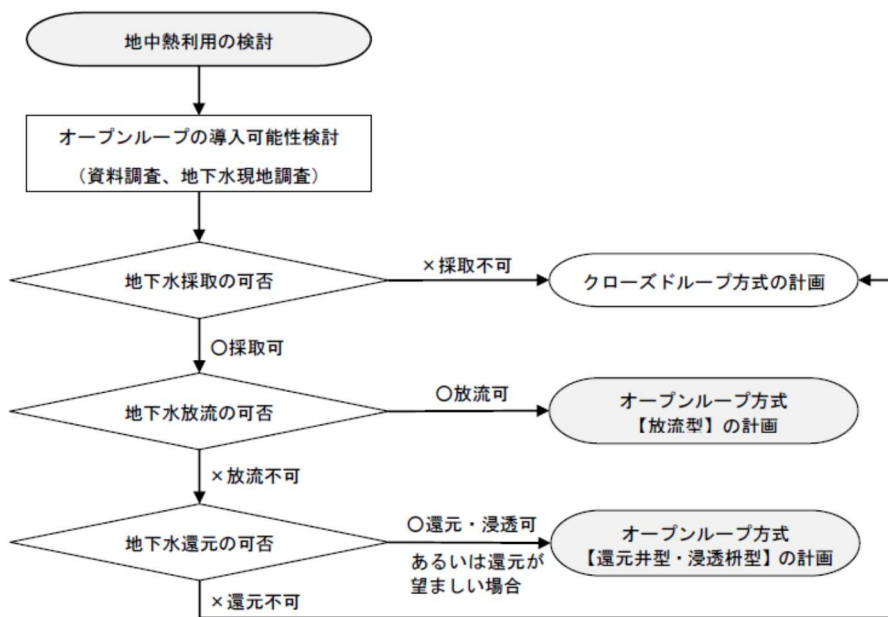


図 3.1-2 地中熱利用方式選定の流れ

出典：地中熱ヒートポンプシステムオープンループ導入ガイドライン, 地中熱利用促進協会 第1版, 2017

3.2 最新技術動向等の調査

オープンループタイプ（ヒートポンプ式）の最新技術動向および社会受容性（地盤沈下、土壌・地下水汚染（水質）等）を把握するため、既存文献を調査・整理した。

調査結果を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 最新技術動向および社会受容性の調査調査結果

No.	事業者等	文献名	概要
1	NEDO／日本地下水開発（株）、秋田大学、産総研	再生可能エネルギー熱利用技術研究開発／地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化	高効率帯水層蓄熱システムの研究開発とともに、「COPの向上を目指したヒートポンプユニットの開発」や「密閉式井戸築造技術の開発」等を行っており、従来よりも2割の設置コスト削減と、2割の運用コストの削減を達成。
2	NEDO／（一財）地域地盤環境研究所、（株）環境総合テクノス、（国大）岡山大学	再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発実証事業	大阪うめきた地区を対象として、観測井の構築技術開発、地下水管理のための観測井データ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究、地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発を実施。
3	大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討会議	大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討報告書	帯水層蓄熱利用システムの設備・構造に係る要求事項等を検討・設定。地下水と大気接触を避け地下水を帯水層にそのまま戻す還元方式をとり、水質変化防止、地下水位維持、それらの監視（モニタリング）などが求められている。
4	京都市	京都市地中熱利用可能性調査業務報告書	市内における地中熱の利用可能性について、クローズドループとオープンループの両方について整理されている。
5	NEDO／岐阜大学、東邦地水（株）、（株）テイクコク	再生可能エネルギー熱利用技術開発／再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発	オープンループに適した通常地域とは異なる特性を有するエリアを特定し実証試験を行い、既設の吸収式冷温水機空調システムと比べて運用コスト面において、ヒートポンプや地下水熱交換ユニットによるポンプの動力コストを削減。

NEDO／日本地下水開発、秋田大学、産総研による「再生可能エネルギー熱利用技術研究開発／地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」においては、高効率帯水層蓄熱システムの開発も研究開発の一つとして実施している。「COPの向上を目指したヒートポンプユニットの開発」や「密閉式井戸築造技術の開発」等を行っており、従来よりも2割の設置コスト削減と、2割の運用コストの削減を達成している。密閉式井戸を使用することにより汲み上げから還元までになるべく空気に接触させないシステムにすることにより鉄の腐食を回避しているところに特色がある。密閉式にすることにより、通常揚水井1本に対して還元井が複数本必要のところ、揚水井・還元井ともに1本で済みコスト削減につながる。他方、密閉式井戸を設置すること自体は従来井戸よりもコストアップというデメリットがあり、両者のバランスを考慮する必要がある。

NEDO／（一財）地域地盤環境研究所、（株）環境総合テクノス、（国大）岡山大学「再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発実証事業」においては、大阪うめきた地区を対象として、観測井の構築技術開発、地下水管理のための観測井データ解析と継続利用可能な帯水層の特性研究、地盤環境・事業性予測評価システムの研究開発を実施しており、観測井構築の際のコスト削減につながるサンプリングツールの開発が行われている。なお、本研究開発では、1層目の帯水層は停滞的な地下水流動で不適であり、2層目の帯水層が利用適地となっていると報告している。

社会受容性（地盤沈下、土壌・地下水汚染（水質）等）に関して、大阪市は「大阪市区における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討」を2016年から2018年にかけて実施し、地下水の地中熱利用の影響を検討している。その検討において、うめきた地区の実証実験では、長期間の連続運転による地盤沈下の影響についても調査を行っており、地盤沈下が生じなかったと報告している。

この検討においては、専らオープンループ方式を対象としており、他自治体のクローズドループとオープンループの両方を対象としたものやクローズドループを主対象とした地中熱導入推進とは異なるものとなっている。

大阪市の事例では、地中熱の利用にあたり、帯水層蓄熱利用システムの設備・構造に係る要求事項等を定めており、オープンループ方式のうち、地下水と大気接触を避け地下水を帯水層にそのまま戻す還元方式をとり、水質変化防止、地下水位維持、それらの監視（モニタリング）などが求められている。すなわち、大阪市の事例では、行政側の法整備によるところが大きいと考えられる。また、背景として、大阪市においては、地下水採取規制により地下水位が徐々に回復し、現在では地盤沈下はほぼ沈静化したことなども推進の要因の一つとなっている。

京都市は、「京都市地球温暖化対策計画（2011～2020）」（2017年3月改定）において、「小水力、小風力、地中熱など市内で活用が進んでいない再生可能エネルギーについても、利用可能性を追求するとともに、未利用エネルギーを回収して有効利用の拡大を図る」とし、それを受けて、「京都市地中熱利用可能性調査業務」（2018年3月）を実施し、市内における地中熱の利用可能性について、クローズドループとオープンループの両方について併記という形でとりまとめている。地盤沈下や水質等のオープンループ方式の社会受容性に関する項目に関しては、本報告書において特に触れられてはいないが、「伏見区総合庁舎」（施設の詳細は後述「3.3 導入事例調査」参照）など市内でオープンループ方式を取り入れた事例もみられ、「井戸水を上手に活用する」といった記述がみられオープン方式の利用に前向きな姿勢が伺える。

NEDO／岐阜大学、東邦地水、テイコクによる「再生可能エネルギー熱利用技術開発／再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発／オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発」においては、オープンループに適した通常地域とは異なる特性（夏季：地下水温度低下、冬季：地下水温度上昇）を有するエリアを特定し実証試験を行い、既設の吸収式冷温水機空調システムと比べて運用コスト面において、ヒートポンプによる効率化で31%、地下水熱交換ユニットによるポンプ動力削減の効果で42%、合計73%の削減を達成している。なお、地下水熱交換ユニットは、従来現場施工で組み立てていた井水と不凍液間の設備機器をユニット化しインバーター制御することで効率化するという特徴を有している。

3.3 導入事例調査

3.3.1 既存文献調査

(1) 導入事例

本項では、これまでのオープンループタイプの導入事例を、文献調査およびヒアリングにより整理した上で、メリット・デメリット、課題、コスト情報等を分析した。

環境省「平成30年度地中熱利用状況調査の集計結果」によると（図3.3-1）、2017年度末までに、ヒートポンプ式の地中熱利用システムの設置件数は2,662件存在し、クローズドループタイプが2,314件、オープンループタイプが327件、併用が21件となっている。

また、図3.3-2は地中熱ヒートポンプシステムの都道府県別設置件数であるが、岐阜県、愛知県、長野県、北海道、富山県、山形県、岩手県といった比較的寒冷地における導入実績が多くみられる。うち、東海地域においては、地中熱利用ヒートポンプシステムへの導入数に対するオープンループタイプの導入割合が高くなっている。一方で、北海道、東北地域においては、その割合は逆に低くなっている。

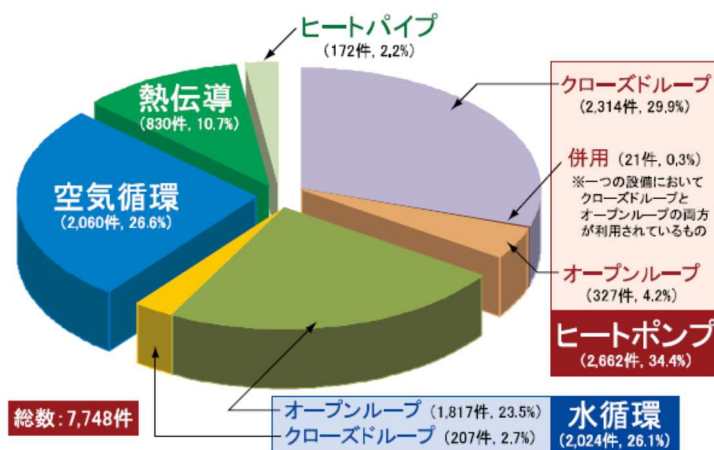


図 3.3-1 地中熱利用システムの方識別設置件数（2017年度末）

出典：2018年度地中熱利用状況調査の結果について、環境省、2019

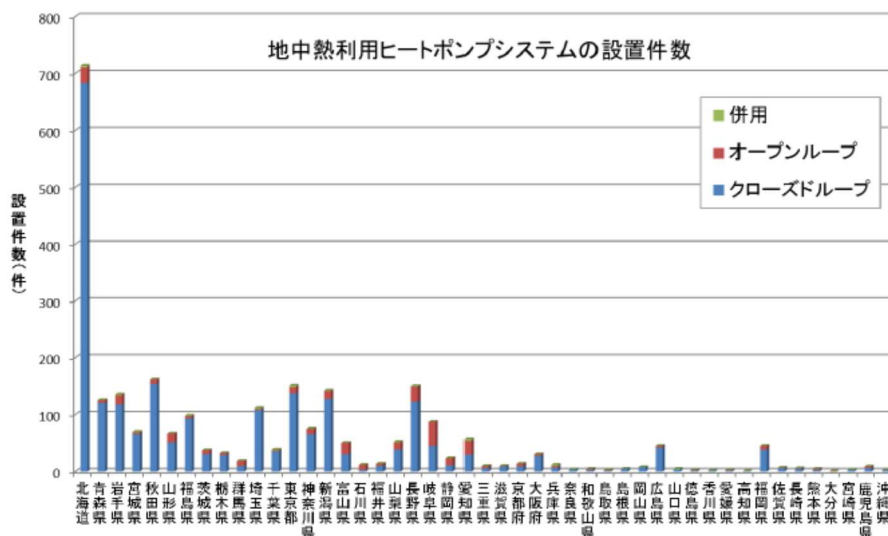


図 3.3-2 地中熱ヒートポンプシステムの都道府県別設置件数（2017年度末）

出典：2018年度地中熱利用状況調査の結果について、環境省、2019

詳細情報を把握した23の個別施設の内訳では、事務所等、庁舎等でおおよそ半分を占めた。そのほか業務系施設としては、福祉施設、商業施設、病院が含まれている。業務系施設以外では、工場と家庭（一戸建て住宅）が含まれている（図 3.3-3）。用途としては、冷暖房利用用途が多いが、病院、福祉施設、温浴施設、プールといった施設では、給湯用途として利用されている。ヒートポンプの冷暖房能力は、10～1,000kWの範囲でみられ、小規模は家庭（一戸建て住宅）、小規模の事務所や商業施設が該当し、大規模は庁舎や病院などとなっている。

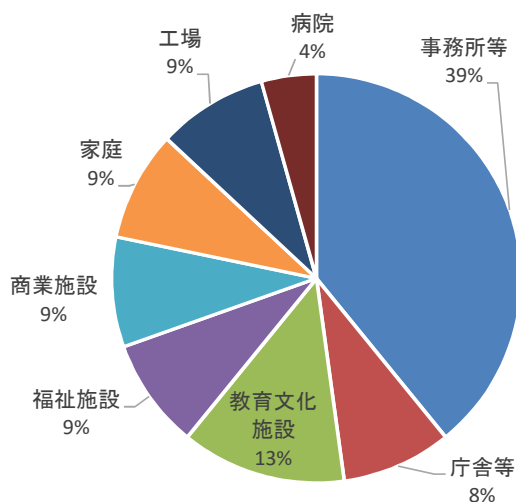


図 3.3-3 詳細情報を把握した23個別施設の施設用途分類内訳

形式としては、還元井型が半分程度を占めるが、一部の小規模な施設（住宅を含む）や水が豊富な地域を中心に放流型がみられる。

把握可能な事例のみに限られる結果ではあるが、省エネ効果については、20～50%の範囲の事例が多くみられる。

個別の地中熱（オープンループ方式）の導入事例一覧を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 地中熱（オープンループ方式）の導入事例一覧

No.	施設名	内容	コスト情報	情報源
1	岐阜市役所本庁舎 (岐阜県岐阜市)	設置年度：2020年5月現在建設中 対象延床面積：14,000㎡(当時想定) 揚水井：－(不明) ヒートポンプ暖房能力：－(不明) 冷房能力：1,124kW(当時想定) 流量：550㎡/日 形式：還元井型 その他：クールシティ推進事業(H18～22)	参考：年間26GJ削減(省エネ効果：20～50%、当時想定)	1)
2	立科温泉 権現の湯 (長野県立科町)	設置年度：2008年設置 対象延床面積：－(不明) 揚水井：－(不明) ヒートポンプ加熱能力：165.6kW×2 給湯能力：83.2kW×2 流量：550㎡/日程度 形式：還元井型 その他：クールシティ推進事業(H18～22)	参考：年間1,263.4GJ削減(省エネ効果：27.4%)(灯油ボイラ)	1)
3	日本地下水開発(株)社屋(山形県山形市)	設置年度：2009年設置 対象延床面積：840㎡ 揚水井：－(不明) ヒートポンプ暖房能力：90～100kW 冷房能力90～100kW 流量：夏季約100㎡/日 冬季約260㎡/日 形式：還元井型 その他：クールシティ推進事業(H18～22)	参考：年間126GJ削減(省エネ効果：20%)(電力、灯油、ガス)	1)
4	日本環境科学(株) (山形県山形市)	設置年度：2016年設置 対象延床面積：180㎡ 揚水井：72m×4本 ヒートポンプ暖房能力：26.8kW 冷房能力28.1kW 流量：40～120L/分 形式：還元井型 その他：－	参考：冷房電力14GJ削減、暖房電力15GJ削減(46%削減)	2)
5	あべりあ福智の丘 (福岡県直方市)	設置年度：2014年設置 対象延床面積：不明(RC7階建) 揚水井：不明×1本 ヒートポンプ加熱能力：100.2kW 給湯能力115.5kW 設計流量：240L/分 形式：還元井型 その他：－	参考：年間電力860GJ削減(40%削減)	2)

No.	施設名	内容	コスト情報	情報源
6	三菱マテリアルテクノ(株) (秋田県鹿角市)	設置年度：2015年設置 対象延床面積：215.6㎡ 揚水井：40m×1本、還元井：40m×2本 ヒートポンプ暖房能力：5kW×5台 冷房能力5kW×5台 設計流量：90L/分 形式：還元井型 その他：－	参考：冷房電力21GJ 削減、暖房電力44GJ 削減（34%削減）	2)
7	日本地下水開発(株) 本社（山形県山形市）	設置年度：2011年設置 対象延床面積：800㎡ 揚水井：73m×1本、還元井：53m、54m ヒートポンプ暖房能力：180kW 冷房能力206kW 設計流量：400L/分 その他：還元井型	参考：冷房電力79GJ 削減、暖房重油・電力975GJ削減（65%削減）	2)
8	住宅（東京都練馬区）	設置年度：2016年設置 対象延床面積：151.92㎡ 揚水井：6m ヒートポンプ暖房能力：10kW 冷房能力10kW 設計流量：－ 放流型（タンク貯留） その他：2016年度実証事業	ヒートポンプ：100万円、 タンク式熱交換器： 30万円	3)
9	川田工業(株)富山本社（富山県南砺市）	設置年度：2011年設置 対象延床面積：259㎡ 揚水井：80m×1本、還元井：不明×1本 ヒートポンプ暖房能力：25.0kW×2 冷房能力22.4kW×2 設計流量：120L/分 形式：放流・還元井併用型 ※地下水はトイレ、風呂、消雪など多くの用途に用いており、地中熱HP利用はごく一部 その他：2011年度実証事業	一式830万円（室外機・室内機・井水配管一式）	3)
10	(株)秀建コンサルタント本社事務所（山梨県中央市）	設置年度：2010年設置 対象延床面積：52.8㎡ 揚水井：70m×1本（自噴） ヒートポンプ暖房能力：不明、冷房能力：不明、 設計流量：70L/分（利用分）、放流型 ・2010年度実証事業	設備費260万円（※通常エアコンより80万円割高だが、電気代が30～40万円削減で2～3年で回数可）	3)
11	関西電力(株)京都支社(京都市)	設置年度：2009年設置 対象延床面積：10,627㎡ 揚水井：44m×1本、還元井：44m×1本 ヒートポンプ暖房能力314kW 形式：還元型	－	12)
11	伏見区総合庁舎（京都市京都市）	設置年度：2008年稼働 対象延床面積：14,773㎡、揚水井：不明、ヒートポンプ暖房能力：341kW、冷房能力：305kW、 設計流量：－（不明） 形式：放流型	－	4)
12	(株)鼓月 本社工場棟（京都市京都市）	設置年度：2013年稼働 対象延床面積：880㎡ 揚水井：不明 ヒートポンプ暖房能力：559kW、冷房能力：504kW 設計流量：不明 形式：還元井型	－	4)

No.	施設名	内容	コスト情報	情報源
13	ローソン海老名上今泉二丁目店(神奈川県海老名市)	設置年度:2012年設置 対象延床面積:200㎡ 揚水井:25m ヒートポンプ暖房能力:4.5kW 冷房能力20.3kW 形式:還元井型(一部散水)	参考:電力消費約30%削減	5)
14	木曾川スイミングスクール(愛知県一宮市)	設置年度:2013年設置 対象延床面積:1,497㎡(プール加温、シャワー加温)、 揚水井:不明(既設井戸使用) ヒートポンプ加熱能力:156kW 給湯能力:175kW 形式:放流型	ランニングコスト 概算あり(灯油66000Lが95%削減で430万円削減)	5)
15	棚橋工業(株)関工場(岐阜県関市)	設置年度:2014年設置 対象延床面積:3,140㎡、揚水井:30m(適正揚水量:470L/分)、 ヒートポンプ暖房能力:170kW、冷房能力172kW 形式:浸透樹型	—	5)、6)
16	東部地域振興ふれあい拠点施設(埼玉県春日部市)	設置年度:2012年設置 対象延床面積:10,529㎡(うち地中熱で冷暖房の16%をカバー) 揚水井:28.3m×18本+22.9m×18本 ヒートポンプ暖房能力(3台):計156kW 冷房能力計140kW 形式:放流型(修景水路、トイレ洗浄水利用)	—	5)
17	うちだ歯科クリニック(山梨県中巨摩郡)	設置年度:2012年設置 対象延床面積:160㎡ 揚水井:75m ヒートポンプ暖房能力:37.5kW 冷房能力:33.4kW 形式:放流型、	参考:電力消費34%削減	5)
18	一戸建て住宅(岐阜県羽島郡)	設置年度:設置年不明 対象延床面積:112㎡ 揚水井:23m ヒートポンプ暖房能力(2台):計10kW 冷房能力計8kW 形式:放流型	インシャルコスト 概算あり(180万円)	5)
19	岐阜市みんなの森ぎふメディアコスモス(公共複合施設)(岐阜県岐阜市)	設置年度:2015年竣工 対象延床面積:15,131㎡ 揚水井:不明(井水ポンプ:7.5kW×2) ヒートポンプ暖房能力:367kW×2台冷房能力284kW×2台 形式:—(不明)	—	6)
20	魚沼基幹病院(新潟県南魚沼市)	設置年度:2015年竣工 対象延床面積:不明、用途:空調・給湯、出力: 冷房530kW、暖房445kW×2台、冷房363kW、給湯447kW×2台、揚水井:70~85m×3本(還元井50~85m×3本、モニタリング井85m×1本、将来井戸85m×1本) 形式:還元井型	—	7)

No.	施設名	内容	コスト情報	情報源
21	関川愛広園（福祉施設）（新潟県関川村）	設置年度：2013年竣工 対象延床面積：不明、用途：空調・給湯、出力：130kW×3、井戸：50m×2本、流量：600L/分、形式：放流型 その他：2013年度経産省地域再生可能エネルギー熱導入促進事業	参考：エネルギー（石油利用）約3分の2削減	7)
22	長野信用金庫本店（長野県長野市）	設置年度：2014年導入 対象延床面積：不明 用途：冷暖房、出力：175kW×4+52kW×2=804kW、揚水井：60m×2本（還元井：60m×2本） 形式：還元井型 その他：2014年度再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業	インシャルコスト、ランニングコスト 概算あり （インシャルコスト：約2.8億円、ランニングコスト：738万円から391.6万円になる（灯油換算：13,000L/月削減））	8)
23	事務所（広島県）	設置年度：1990年導入 対象延床面積：不明、用途：冷暖房・給湯 ヒートポンプ暖房能力：25.0kW、冷房能力18.0kW、給湯能力：10.0kW、揚水井：30m×1本（還元井：なし） 形式：－（不明）	－	11)
参1	【参考】 うめきた2期暫定利用区域（大阪府大阪市）	「帯水層蓄熱のための低コスト高性能熱源井とヒートポンプのシステム化に関する技術開発」（環境省 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業）（事業期間 2015～2018 年度）	－	9)、10)
参2	【参考】 舞洲障がい者スポーツセンター アミティ舞洲（大阪府大阪市）	複数帯水層を活用した密集市街地における業務用ビル空調向け新型熱源井の技術開発」（環境省 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業）（事業期間：2018～2020 年度）	－	9)

- 1) 地中熱利用にあたってのガイドライン改訂増補版, 環境省, 2015
- 2) 地中熱利用促進協会 HP
- 3) 環境省 ETV 事業 HP
- 4) 京都市地中熱利用可能性調査業務報告書, 京都市, 2018
- 5) 地中熱利用ヒートポンプシステム, 地中熱利用促進協会, 2014
- 6) 岐阜地中熱利用研究会 HP
- 7) 新潟県地中熱利用研究会 HP
- 8) 金融調査情報, 信金中央金庫地域・中小企業研究所
- 9) 帯水層蓄熱利用の普及に向けた取組み, 大阪市
- 10) 夏と冬の熱を地下の帯水層に溜めて空調に、大阪の中心部で35%の省エネ効果, スマートジャパン掲載記事
- 11) ミサワ環境科学提供資料
- 12) 関西電力京都支店ビルの井水を活用した空調熱源システムの改修計画と評価, 関西電力(株)

(2) メリット・デメリット・課題

既存事例等を調査した上でのオープンループ方式をクローズドループ方式と比較したときのメリット、デメリット・課題を表 3.3-2 に整理した。

表 3.3-2 地中熱（オープンループ方式）のメリット、デメリット・課題

メリット	<ul style="list-style-type: none">・揚水量を調整することで熱負荷に応じた採熱量を人為的に管理可能であり、熱源として安定した出力が期待できる。・揚水量の調整が可能のため大規模化に適している。・コスト面でクローズドループ式に比べて安価。・既存の井戸が使える可能性がある。（コスト面でのメリット。既設のため、環境面のデメリットもなくなる）
デメリット・課題	<ul style="list-style-type: none">・地下水が賦存する場所のみで利用可能。・揚水量の事前予測が難しい。・水収支悪化下では地盤沈下、水質汚染（例：塩水化）が懸念される。・設備の腐食・スケール生成の可能性（目詰まりの可能性）があり、オープンループと比較してメンテナンスコストが高い。

(3) コスト情報

オープンループタイプの地中熱導入コストについては、イニシャルコストは主として調査費＋井戸掘削費＋設備費（地中熱交換器＋ヒートポンプシステム）＋機器設置費が、ランニングコストは主として消費電力料金（揚水・還元ポンプ、ヒートポンプ本体、室内機）＋メンテナンス費が想定される。

- ・イニシャルコスト＝調査費＋井戸掘削費＋設備費（地中熱交換器＋ヒートポンプシステム）＋機器設置費
- ・ランニングコスト＝消費電力料金（揚水・還元ポンプ、ヒートポンプ本体、室内機）＋メンテナンス費

既存資料を基にコスト情報を調査した結果を下記に整理した。

○環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版」(2018.3)

本ガイドラインではコスト情報について以下のとおり記述されている。

イニシャルコストを考える上での参考として、地中熱利用ヒートポンプの出力規模とイニシャルコストの関係は、事例によって幅はあるものの、クールシティ推進事業の事業者のヒアリングによるとクローズドループ方式では出力 kW あたり概ね 25～60 万円程度、オープンループ方式では出力 kW あたり概ね 10～30 万円程度となっています。オープンループ方式のイニシャルコストはクローズドループよりも安価となっていますが、汲み上げた地下水を地下に還元しなければならない場合や公共用水域へ放流する際に排水処理が必要となる場合にはランニングコストが高くなり、結果的にトータルコストが多くかかる場合もあるので、全体を俯瞰する必要があります。

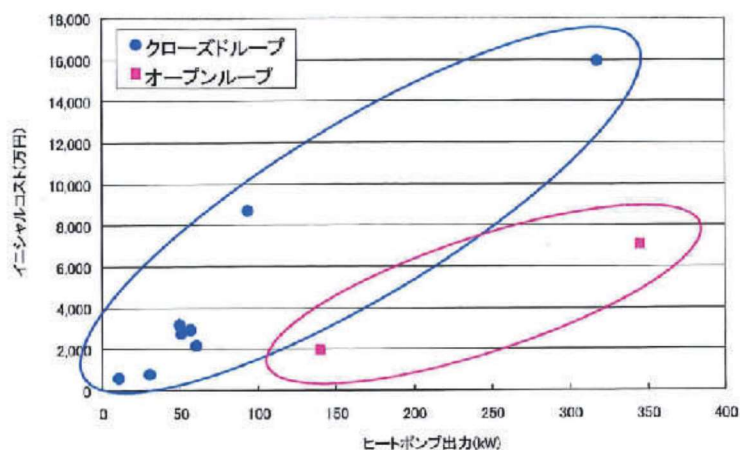


図 3.3-4 ヒートポンプ出力あたりのイニシャルコストの事例

○群馬県吉岡町「吉岡町地中熱利用可能性調査報告書」

本報告書に示されたコスト試算条件、及びコスト情報を以下に示す。

対象施設		冷暖房面積 (㎡)	熱負荷 (kW)	
1階	図書室	532	76.1	
	児童学習室	40	9.3	研修室相当
	事務室	64	7.7	100W/㎡
	計	636	93.1	
2階	研修室	158	36.8	
	視聴覚室	130	30.3	研修室相当
	和室	92	21.4	研修室相当
	工芸学習室	79	18.4	研修室相当
	計	459	106.9	
総計		1,095	200.0	

表 10 文化センター学習棟の冷暖房面積と熱負荷量

図 3.3-5 吉岡町地中熱利用可能性調査報告書__コスト試算条件

種別	細別	単位	数量	単価	金額
揚水孔施工	φ200mm×70m	孔	2	2,500,000	5,000,000
還元井	φ200mm×30m	孔	4	600,000	2,400,000
熱交換器	開放型ステンレス	基	2	6,000,000	12,000,000
空冷式HPチラー		台	2	23,000,000	46,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	2	500,000	1,000,000
ファンコイル		台	38	100,000	3,800,000
その他	場外配管・不凍液等				3,000,000
合計					73,200,000

表 11 オープンループ方式地中熱交換器の直接費

図 3.3-6 吉岡町地中熱利用可能性調査報告書__コスト試算結果①

種別	細別	単位	数量	単価	金額
熱交換器	開放型ステンレス	基	1	3,000,000	3,000,000
地中熱ヒートポンプ	10Kw×5 連結	台	5	1,000,000	5,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	1	500,000	500,000
ファンコイル		台	9	100,000	900,000
その他	場外配管・不凍液等				1,500,000
小計					10,900,000
群馬県補助金	上限 300 万円				▲ 3,000,000
合計					7,900,000

表 12 試験孔利用したオープンループ方式地中熱交換器の直接費

図 3.3-7 吉岡町地中熱利用可能性調査報告書__コスト試算結果②

種別	細別	単位	数量	単価	金額
揚水孔施工	φ200mm×70m	孔	1	2,500,000	2,500,000
還元井	φ200mm×30m	孔	2	600,000	1,200,000
熱交換器	開放型ステンレス	基	1	9,000,000	9,000,000
空冷式 HP チラー	100kw	台	1	23,000,000	23,000,000
空冷式 HP チラー	50kw	台	1	16,000,000	16,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	2	500,000	1,000,000
ファンコイル		台	29	100,000	2,900,000
その他	場外配管・不凍液等				3,000,000
小計					58,600,000
経済産業省補助金	一次側の 1/2 補助				▲ 26,350,000
合計					32,250,000

表 13 試験孔と新設揚水孔によるオープンループ方式地中熱交換器の直接費

図 3.3-8 吉岡町地中熱利用可能性調査報告書_コスト試算結果③

○NEDO/日本地下水開発、秋田大学、産総研「平成 26 年度—平成 30 年度成果報告書 再生可能エネルギー熱利用技術研究開発、地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/地下水を活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」報告書

本報告書におけるコスト情報を以下に示す。従来型のイニシャルコストは、ヒートポンプ 30kW で 1,662 万円 (55.4 万円/kW)、高効率型が 1,314 万円 (43.8 万円/kW) と試算しているが、他の事例より高く見積もられていることに留意する必要がある。

表 1.5-1 イニシャルコストの比較

名称	仕様	高効率帯水層蓄熱システム			従来型オープンループシステム		
		単価	数量	金額	単価	数量	金額
揚水井	φ150mm	42,700	72	3,074,400	36,700	72	2,642,400
注入井 1	φ150mm	42,700	72	3,074,400	36,700	72	2,642,400
注入井 2				0	36,700	72	2,642,400
小計①				6,148,800			7,642,400
井戸ビット	材工共	500,000	2	1,000,000	500,000	3	1,500,000
揚水設備	ポンプ揚水管	450,000	2	900,000	450,000	3	1,350,000
オーバーフロー	余水吐管			0	120,000	2	240,000
熱交換器	S&T 型			0	1,000,000	1	1,000,000
配管等	上記用ラインP			0	500,000	1	500,000
横引工	井戸-機器室	500,000	2	1,000,000	500,000	3	1,500,000
接続工	既設放熱管	500,000	1	500,000			0
小計②				4,140,000			6,290,000
ヒートポンプ	30kW 級③	95,000	30	2,850,000	80,000	30	2,400,000
合計 (①+②+③)				13,138,800			16,617,200

¥3,478,400 (21%の削減)

図 3.3-9 NEDO 報告書_コスト試算結果①

表 1.5-3 年間ランニングコストの比較

実稼働 1 年目		高効率帯水層蓄熱システム		従来型オープンループシステム	
ランニングコスト		種別項目	金額	種別項目	金額
2016 年度冬 ～	暖房 (187 日間)	電気料金	157,425	電気料金	188,390
		逆洗経費	0	逆洗経費(10 回)	10,600
2017 年度夏	冷房 (125 日間)	電気料金	49,176	電気料金	93,418
		逆洗経費	0	逆洗経費(8 回)	8,480
		合計	206,602	合計	300,888
 ¥94,286 (31%) の削減					

実稼働 2 年目		高効率帯水層蓄熱システム		従来型オープンループシステム	
ランニングコスト		種別項目	金額	種別項目	金額
2017 年度冬 ～	暖房 (168 日間)	電気料金	106,167	電気料金	144,244
		逆洗経費	0	逆洗経費(9 回)	9,540
2018 年度夏	冷房 (120 日間)	電気料金	27,455	電気料金	47,774
		逆洗経費	0	逆洗経費(8 回)	8,480
		合計	133,622	合計	210,018
 ¥76,396 (36%) の削減					

図 3.3-10 NEDO 報告書_コスト試算結果②

○NEDO/地域地盤環境研究所、環境総合テクノス、岡山大学「再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発実証事業」報告書

本報告書では、大阪平野の事業性予測評価マップが示されており、その中で以下のコスト情報が示されている。

- ・施設費用を求めるにあたり、井戸施工単価を定める必要がある。井戸施工単価は掘削業者が公開しているコスト試算を基に決定した。掘削径 600mm, 70m の掘削で観測井 2 本(1 対)につき 3,000 万円であるので、井戸施工単価は観測井 1 本あたり、3,000 万円 ÷ (70m × 2 本) = 214 千円/m とした。
- ・掘削総延長は、揚水井戸と還元井戸の 2 本必要になるとして掘削深度(地表面から対象帯水層下端までの深さ)の 2 倍とし、井戸施工単価に掘削総延長を掛け合わせることで算出。

項目	単位	値	設定方法	値の説明
透水係数k	cm/sec	0.01	ユーザーが設定	設定値
帯水層厚さ	m	20	マップから自動入力	D _{r1} , 2, 3 のそれぞれの層の値
掘削深度	m	40	〃	地表面からD _{r3} 底面までの距離
掘削半径	m	0.3	定数(変更可能)	
利用温度差	°C	5	〃	
年間熱量	GJ/yr	811.2	計算で得られる値	年間運転時間2000h/yrと仮定
kW換算出力	kW	112.7	〃	1J/s=1W
掘削総延長	m	80	〃	揚水×1, 注水×1と仮定
井戸施工単価	円/m	214,000	〃	掘削単価(214千円)
井戸施工費用	円	17,120,000	〃	井戸施工単価×掘削総延長
システム導入単価	円	151,951	〃	井戸施工費用/kW換算出力

図 3.3-11 システム導入単価の算出例

○京都市「京都市地中熱利用可能性調査業務報告書」(2018年)

本報告書では農業施設でのコスト試算例が掲載されている。

表 12 パターン⑤検討条件

パターン ⑤	
1 設定	地中熱利用として、地下水を汲み上げた熱源を使用して、地中熱ヒートポンプを運転することより、既設の農業施設の空調用に使用する。
2 施設	
地域	郊外の既設の農業施設
種類	温室
規模	敷地面積2,000㎡(温室面積1,000㎡)
3 地中熱利用	
方式	オープンループ方式 地下水を熱源として、地中熱ヒートポンプを運転して温室を空調する。
用途	温室空調用
熱媒体	地下水
熱媒体温度	16℃
対象設備	空調面積1,000㎡
ヒートポンプ	あり
機材	地中熱ヒートポンプ 1台
規模	200kW(消費電力35kW)
設備費	4,500万円(機材費、機材設置費、掘削費等)
地中熱交換機	方式:オープンループ放流方式 長さ・本数:10m×1本
4 運転状況	
時間	8,760時間/年(通年)

表 13 パターン⑤効果算定結果

地中熱システム シミュレーション効果算定結果				
パターン⑤	農業施設用(既設)		(地下水 オープンループ方式)	
①条件設定				
地中熱システム				
設備費用	4,500 万円	使用エネルギー	ヒートポンプ	35 kW
既設井戸流用	3,000 万円			
補助金	1,000 万円			
従来型システム				
設備費用	0 万円	使用エネルギー	灯油ヒーター	10 L/h
			エアコン	50 kW
稼働時間	8,760 h	電気料金	25 円/kWh	
		灯油料金	80 円/L	
②地中熱システム エネルギー使用量				
	35 kW ×	8,760 h =	306,600 kWh/年	
	306,600 kWh/年 ×	25 円/kWh =	766.5 万円/年	
③従来型システム エネルギー使用量				
	50 kW ×	4,380 h =	219,000 kWh/年	
	219,000 kWh/年 ×	25 円/kWh =	547.5 万円/年	
	10 L/h ×	4,380 h =	43,800 L/年	
	43,800 L/年 ×	80 円/kWh =	350.4 万円/年	
			合計	897.9 万円/年
④省エネ効果				
	897.9 万円/年 -	766.5 万円/年 =	131.4 万円/年	
⑤単純投資回収年数				
補助金無し	4,500 万円 ÷	131.4 万円/年 =	34.3 年	
既設井戸流用	3,000 万円 ÷	131.4 万円/年 =	22.9 年	
補助金有り	2,000 万円 ÷	131.4 万円/年 =	15.3 年	
⑥CO ₂ 排出量削減効果				
	43,800 L/年 ×	2.489 kg-tCO ₂ /L =	109 t-CO ₂ /年	
	219,000 kWh/年 ×	0.493 kgt-CO ₂ /kWh =	107.9 t-CO ₂ /年	
	-306,600 kWh/年 ×	0.493 kgt-CO ₂ /kWh =	-151.1 t-CO ₂ /年	
		合計	65.8 t-CO ₂ /年	
(関西電力2016年度CO ₂ 排出係数 0.493kg-CO ₂ /kWhを使用)				
(灯油CO ₂ 排出係数 2.489kg-CO ₂ /Lを使用)				

図 3.3-12 京都市報告書_コスト試算結果

3.3.2 導入者を対象としたヒアリング調査

地中熱オープンループ方式についてさらに詳細な情報を把握するため、導入者を対象としたヒアリング調査を実施した。実施したヒアリング調査の結果概要を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 導入者ヒアリング調査結果概要

導入者	ヒアリング日時	ヒアリング結果概要
大阪市	2020 年 9 月 15 日	<p>○オープンループ導入の背景・メリット・課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・関西電力等、大阪市立大学、大阪市の産学官連携により実証事業を 2015 年にスタートした。 ・オープンループ方式は、クローズドループ方式と比較した場合、大容量化するときに物理的メリット、コストメリットがある。 ・他のシステムも同様であるが、目詰まりや故障などの異常時でも空調が止まらないように、導入の際はリスクの回避策、予防策を検討することも重要である。 ・大阪市域の地層の調査結果から、第 2 帯水層以深の地層は十分に過圧密の状態であり、空調用として帯水層蓄熱を行っても地盤沈下をおこさないと考えられたことから第 2 帯水層以深を利用した。 ・将来の導入拡大時には、隣地下への熱の影響や熱干渉といった都市部ならではの課題にも備える必要がある。
コンビニエンスストア ※当時の状況を把握するため施工者（東邦地水㈱）を対象とした	2020 年 10 月 29 日	<p>○導入背景・経緯について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下水が浅い位置にあったので、経済的にもクローズドループよりオープンループが有効と考えた。揚水井と還元井は約 10m ほど離隔し掘削した。地下水への環境影響が少なく、水質も悪くなかった。 ・地下水の状況については、周辺の既存データを調べることでおおよそ把握可能。井戸情報や KuniJiban のデータを見て判断する。 <p>○小規模施設におけるオープンループの適用条件について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用条件は施設の需要に加え次の要素を考慮する。1 番は地下水位置が浅いか、2 番目に地下水規制にかかるか、3 番目に水質である。 ・大規模でも小規模でも条件が合えばオープンループが有効だと思うが、地下水規制で適用できない場合もある。 <p>○オープンループ方式拡大に向けて</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国の施設に地中熱を積極的に導入し、効果を情報発信してもらえると、地方自治体にも広がり、一般市民への認知度もあがるのではないかと。 ・現在の地下水規制は、地下水を汲み上げる行為に対する規制であり、地下水を戻すという概念が不足している。熱利用の視点で地下水を戻すときの具体的な条件が明記されれば、それに合わせた施工が可能になる。

3.4 専門家ヒアリング調査

上記 3.2 および 3.3 で収集した最新技術動向、導入事例、コスト、及び各種資料を元に立案したポテンシャル推計方法（案）について、専門家ヒアリングを実施した。ヒアリング結果概要を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 専門家ヒアリング調査候補例

対象	ヒアリング日時	ヒアリング結果概要
専門家①	2020 年 4 月 21 日	<p>○技術動向、導入事例について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下水が豊富な地域でオープンループを施工することがある。施設用途は、事務所空調、温水プール加温、農業ハウスで、いずれもヒートポンプ方式である。 ・オープンループは初期コストが安価なのでコスト面でクローズドループより有利である。さらに利用できる既設井戸があればオープンループは有利である。 ・イニシャルコストとしては、地中熱交換機、ヒートポンプシステム、室内機とそれらの設置費（井戸採掘含む）と事前調査費で概ねカバーされる。ランニングコストとしては、電気料金と修繕費（メンテナンス費）である。 ・NEDO 研究でも整理されている帯水層蓄熱利用技術は夏と冬でシステムの最適化を図る最新技術である。 ・オープンループについては法規制の取り組み（緩和方向）が進んでいる印象である。大阪市では特区を設けて、設置しやすくしている。 ・地下水規制が設定されている地域が多い。また、事前に水質の状況がわからず、掘って確かめてみないと使えるかわからない、事前に汲み上げ可能水量の把握が困難であるといった課題がある。特に水質の問題について、水質が悪いと水質処理の必要があり、余分なコストがかかる。こういった前提条件をクリアできれば適用可能である。
専門家②	2020 年 9 月 14 日	<p>○技術動向、導入事例について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境省技術開発実証事業の実証成果が認められ、大阪の帯水層蓄熱利用の普及に向けた国家戦略特区が認定された。 ・オープンループ方式はメンテナンス費用がかかるため、建物規模が大きいほうが適している。 <p>○ポテンシャル推計について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・井戸間の距離について、クローズドループの場合は 144m² で 4 本という目安があるが、オープンループ方式の場合数値として明確に決められたものはない。揚水井と還元井は離れたほうが良いという程度。ただし敷地がせまい場合、井戸を 2 本掘るのは難しい。できれば 1 本の井戸ですませたほうがコスト的にはよい。 ・帯水層蓄熱利用技術は今後利用拡大が進むと思われる。本技術

対象	ヒアリング日時	ヒアリング結果概要
		は、地下水流速が低いエリアでの利用が適している。
専門家③	2020年 12月21日	<p>○オープンループタイプの最新技術動向、導入事例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ NEDO 事業における岐阜大学等の取組では、これまでは現場施工で組み立てていた井水と不凍液間の熱交換部分をユニット化し、インバーター制御で効率化することで大幅にコストダウンを果たした事例がある。 ・ 大阪市の取組では、地下水位や地下水速度等が測定可能なフローメーターを活用することで帯水層の状況をこれまでより正確に把握する取組が行われた。 ・ NEDO 事業における日本地下水開発（株）等の取組では、密閉式井戸を開発・設置することで還元井設置本数を減らしコストダウンを図っている特徴がある。他方、密閉式井戸の設置は従来井戸よりコストが高いため双方のバランスを考慮する必要がある。 <p>○オープンループタイプのポテンシャル推計の可能性について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全国情報を用いて推計するのであれば、推計の限界を踏まえたうえで推計する必要がある。 ・ 日本地熱学会の論文では帯水層の分布の検討において、国土交通省の全国地下水資料台帳を使用して推計している。個人情報保護法の関係で、緯度経度は掲載されていないが、住所でほとんど特定できる。Kuni jiban は地下水そのもののデータではないので、地下水資料台帳のデータベースを活用するという方法が現実的ではないか。 ・ 帯水層蓄熱技術はオープンループの技術の一つであり魅力的ではあるが流速が低いことが条件となるため本検討で考慮することは難しいのではないか。 ・ 揚水最大可能量について、ある建物で地中熱システムを導入するときにどれくらいの揚水量が必要かという場合に建物規模という概念が必要である。ポテンシャルとして考える場合は、地域の地下水を還元前提で汲み上げられるだけ汲み上げて最大限使うとどこまで使えるかが最大揚水可能量になる。 ・ 水温は、年平均気温とほぼ合ってくる。札幌で10℃程度。 ・ 採放熱温度差は、ヒートポンプメーカーの仕様で5℃となっているものもある。温度差をどう設定するかで、ポンプ動力との関係が出てくる。今回は環境省調査であり、環境配慮であり大きい温度差ではないほうがいいのでは。7℃か5℃かのどちらかで、10℃は大きいと感じる。 <p>○コスト情報について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ オープンループについては情報がとても少ないのが現状である。環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版」に掲載のコスト情報のほかあまり情報はない。 ・ 地中熱利用技術ハンドブック（未販）でもコスト情報は扱って

対象	ヒアリング日時	ヒアリング結果概要
<p>専門家④</p>	<p>2021年 1月15日</p>	<p>いるに限られている。</p> <p>○オープンループタイプの最新技術動向、導入事例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新しい導入事例としては、山形県河北町新庁舎の帯水層蓄熱システムがある。2014年～2018年「再生可能エネルギー熱利用技術開発事業」が終了したのちに、新庁舎の準備が立ち上がり、適地マップを見て導入が決まった経緯がある。 <p>○コスト情報について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地中熱に関するコストはほとんど公表されていない。現在地中熱促進協会のWGでコスト情報を集めている。整理されれば協会から公表されるのではないかと。ただし、オープンループはクローズドループと違って比較が難しい。地域によって深さや地下水利用量などが異なる。 <p>○ポテンシャル推計の課題と対応策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地下水台帳はボーリングデータであり、地質学的につなげるには、堆積した年代を考慮してつなげる必要がある。地層は交互に入り組んでおり、簡単に柱状図をつないで帯水層分布図を作成できるわけではない。それだけで一大プロジェクトになる。 ・帯水層分布図の作成は、北海道大学の長野先生がNEDO事業で取り組んでおり、簡易バージョンが公表される予定。北大のプロジェクトは、2023年度が最終年度であるため2024年くらいには簡易版が公表されるのではないかと。
<p>専門家⑤</p>	<p>2021年 1月28日</p>	<p>○オープンループタイプの最新技術動向、導入事例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011～2013年まで環境省事業で帯水層蓄熱の研究を3年間行った。環境省事業で帯水層蓄熱の問題点が顕在化し、その問題をNEDO事業で解決していった。 <p>○コスト情報について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・オープンループのコスト情報でまとまっているものはないと思われる。2011～2013年の環境省事業の中にコストに関する記載がある。それをもとに実施したNEDO事業では、コストが21%低下した。 <p>○オープンループタイプのポテンシャル推計の可能性について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地中温度の設定は年平均気温でいいと思うが、地下水温は年平均気温より1～2度低いと言われている。 ・採放熱温度は、5℃が妥当。熱設計上安全側で考える必要がある。弊社開発の高効率帯水層蓄熱システムでも5℃で設計している。 ・全国地下水資料台帳は、日常的に問い合わせがあったときに使用している。それに自社のデータをあわせて評価している。まず地下水を得られるかどうか第一の判断になるので、基本評価には十分使えるデータである。 ・帯水層の内挿補間は、地層の情報をどこまで把握できるかというところにかかっている。地下水台帳だけでなく、地質図を

対象	ヒアリング日時	ヒアリング結果概要
		<p>使っての線引きが必要。地表面に固い岩盤が出ているようなところはオープンループが採用できない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・揚水限界量は、一概には決められないと思う。口径と深度を設定する必要がある。

3.5 導入ポテンシャル推計方法の検討

3.5.1 推計手法の立案

(1) 既存文献におけるポテンシャル推計方法の調査

国内における導入ポテンシャルの推計事例について、既存の文献調査を行い、推計方法について整理した結果を表 3.5-1 に示す。オープンループの導入ポテンシャルの推計方法まで記載された事例は 4 件みられた。

表中の 1) 東北地域と 2) 大阪平野のマップはいずれも産総研による推計であり、オープンループの適地を示すマップとなっている。3) 大阪市のマップは 2) とは異なり、大阪市が別途作成したものであり、帯水層の蓄熱ポテンシャルを示したものとなっている。4) 濃尾平野のマップは岐阜大学が構築したものであり、当該建物用途における電力消費の増減を示すものとなっている。これら 4 件に加え、5) は全国マップで北海道大学の推計であり、クローズドループを対象としたものであるが、地下水データを構築していることから、オープンループでも適用できる可能性があり、有効熱伝導率分布を示したものとなっている。

その他に参考事例として、東京都、埼玉県、神奈川県、栃木県、佐賀県などは、地中熱のポテンシャルマップを作成している。対象は概ね、クローズドループ方式となっている。

表 3.5-1 導入ポテンシャル推計事例

No.	導入ポテンシャル推計事例	対象システム*	推計元、公開元
1)	東北地域（津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地）の地中熱ポテンシャルマップ	CL、OP	産総研（地検資源環境研究部門）
2)	大阪平野における地中熱ポテンシャル	CL、OP	産総研（地圏資源環境研究部門）
3)	大阪市帯水層蓄熱情報マップ	OP	大阪市等
4)	濃尾平野におけるオープンループ型地中熱利用システムのポテンシャルマップ	OP	岐阜大学
5)	全国の地盤・地下水データベースおよびポテンシャル評価マップの開発	CL	北海道大学
	<※以下参考>		
a)	東京地中熱ポテンシャルマップ	CL	東京都
b)	埼玉県地中熱ポテンシャルマップ（地中熱採熱予測図）	CLと思われる	埼玉県
c)	神奈川県地中熱ポテンシャルマップ	CL	神奈川県
d)	栃木県 地中熱交換量マップ	CL	栃木県
e)	佐賀県 佐賀平野の地中熱ポテンシャルマップ	CL	佐賀県

※OP：オープンループタイプ、CL：クローズドループタイプ

1) 東北地域の地中熱ポテンシャルマップ

産総研（地圏資源環境研究部門）は、NEDO の委託業務である「地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」の結果をもとに、東北地域の5つの平野や盆地（津軽平野、秋田平野、仙台平野、山形盆地、郡山盆地）における、クローズドループとオープンループ（帯水層蓄熱）の地中熱利用適地マップを作成し、2019年に、ウェブサイトで公開している¹。

このプロジェクトでは、3次元地下水流動・熱輸送モデルを構築している。3次元地下水流動・熱輸送モデルは地下構造の熱伝導率、透水係数、間隙率をパラメータとしており、現地で測定された水位データと比較して、地下水涵養量や透水係数を調整し、地下水流動を再現している。



図 3.5-1 オープンループ（帯水層蓄熱）の地中熱利用適地マップ [津軽平野]

¹ <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>

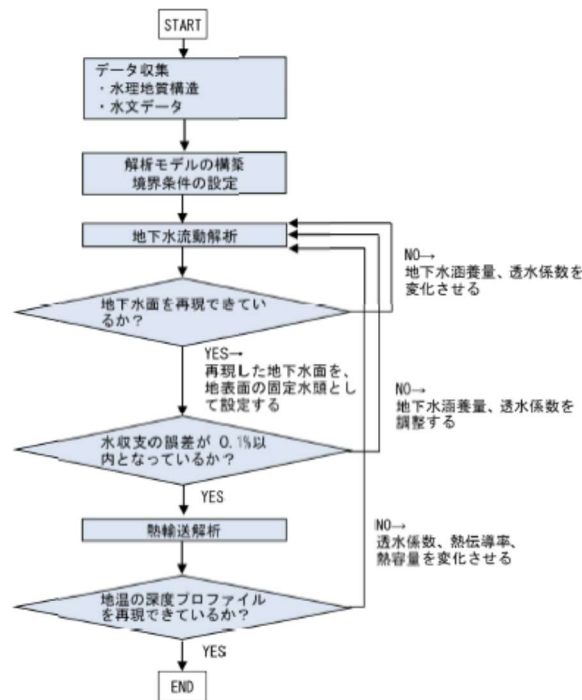


図 3.5-2 地下水流動・熱輸送モデルの解析フロー

また、オープンループの適地評価で、下記のように記述している。

地下水還元型のオープンループの地中熱利用システムを実現するためには、以下の2つの条件が必要です。

- ・十分な厚さの帯水層がある
- ・地下水の湧出域ではない（地下水の上向き流れが卓越しておらず、地下水を地下に戻すことが可能である）

このため、オープンループの適地マップでは、第四紀層を帯水層と考え、まず第四紀層の厚さが20m以上の地域を抽出し、そこから3次元地下水流動・熱輸送モデルによって上向きの流速が一定以上と予想される地域（地下水流動系の湧出域）を除くことで適地を特定しています。

2) 大阪平野における地中熱ポテンシャル

産総研（地圏資源環境研究部門）は、東北地域と同様に、大阪平野が持つ地中熱ポテンシャルを「見える化」し、クローズドループとオープンループの地中熱利用適地マップを作成し、公開している²。

² https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190614/pr20190614.html

その推計方法等に関しては、産総研の地質調査所・地質調査総合センター速報「大阪平野における地中熱ポテンシャルマップ」で解説している。基本的な推計方法は1)の東北地域の推計と同じである。

地中熱オープンループ方式は導入可能である場所と適さない場所が存在するため、「適地マップ」としている。

マップ構築には、①まず、3次元地下水流動・熱輸送解析で構築したモデルから、地下水面標高、第一帯水層の下面標高を抽出。②次に、地下水面標高と第一帯水層の下面標高の差異（帯水層厚さ）が20m以上ある範囲を対象として抽出。既存事例をもとに「適地」を設定し、それ以外の地域には「事前調査必要地域（揚水能力）」としている。③上向きの地下水流速が卓越する地域は「事前調査必要地域（還元能力）」としている。

なお、この推計方法では、基本的に第一帯水層を想定しており、それ以深の帯水層は対象となっていないことに留意が必要である。

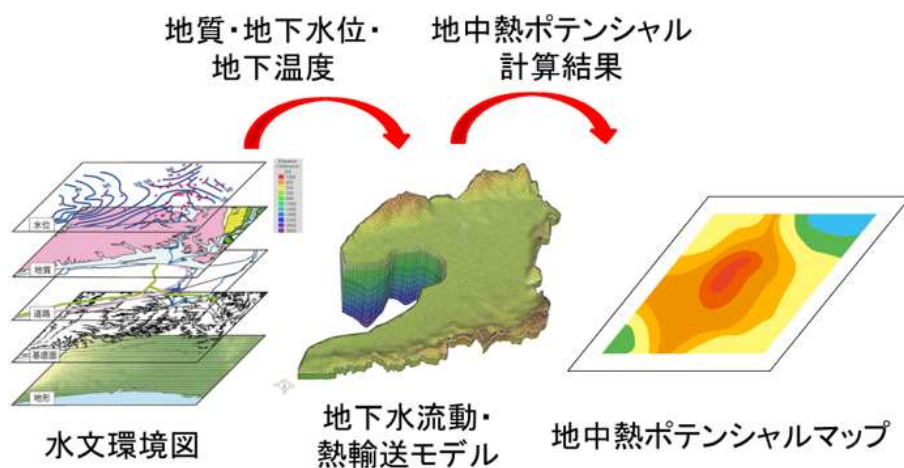


図 3.5-3 ポテンシャルマップ作成方法のイメージ



図 3.5-4 「オープンループ」の適地を示した地中熱ポテンシャルマップ

3) 大阪市帯水層蓄熱情報マップ

大阪市は帯水層蓄熱情報マップを作成し、公開している³。大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討会議の「大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討報告書」（2019年2月）によると、「平成27年度大阪市 地中熱等導入促進事業調査業務委託 その2（ポテンシャル調査等）」（株ニュージェック）において、地中熱のポテンシャルを推計している。推計方法は広域モデルシミュレーションに基づく、地下水位（水頭）、地下水流速等の分布から推計しているようである。

なお、大阪平野においては、1層目の帯水層は利用できず、2層目の帯水層の地下水が利用可能対象となっている。

³ <https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000476996.html>

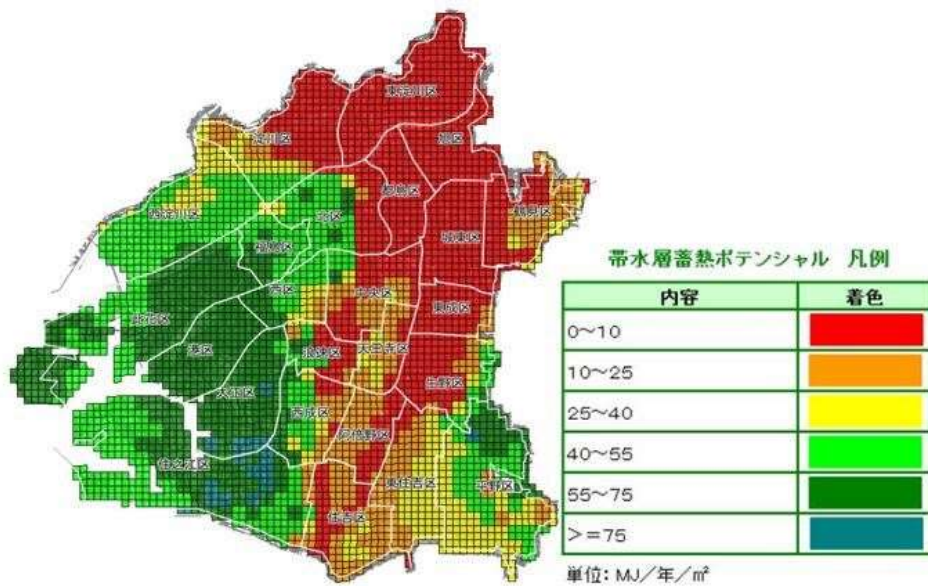


図 3.5-5 大阪市帯水層情報マップ

4) 濃尾平野におけるオープンループ型地中熱利用システムのポテンシャルマップ

岐阜大学は、NEDO の委託業務である「オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発」の結果をもとに、「濃尾平野におけるオープンループ型地中熱利用システムのポテンシャルマップ」を整備・公開している⁴。

このマップでは、病院、ホテル、事務所、商業施設といった建物用途での年間電力量比（対基準点（地下水温 17℃、地下水面深度 15m）における消費電力量）を表示することができる。図 3.5-6 は濃尾平野におけるポテンシャルマップ（病院の年間消費電力量比、%）を示したものであり、赤から青になるほど消費電力量が小さくなっている。

⁴ <https://openloopgifu.jp/>

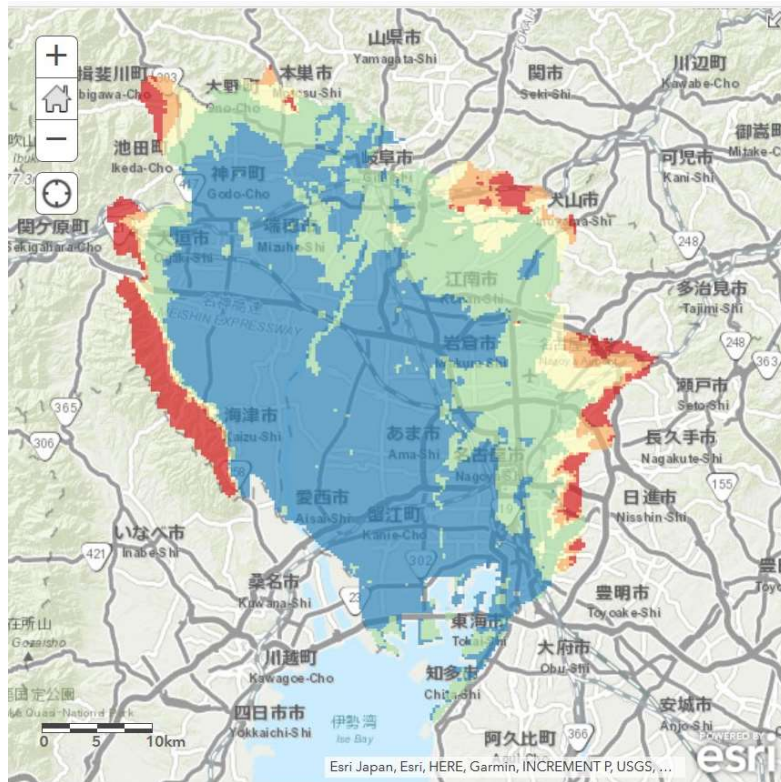


図 3.5-6 濃尾平野におけるポテンシャルマップ(病院の年間消費電力量比 %)

この計算においては、「地下水位」と「地下水温」から汲み上げる高さとし、汲み上げる量(熱量)を推計し、汲み上げる高さとし、汲み上げる量から消費電力量を推計している。

5) 全国の地盤・地下水データベースおよびポテンシャル評価マップの開発

北海道大学は、NEDO「再生可能エネルギー熱利用技術開発/地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/低コスト・高効率を実現する間接型地中熱ヒートポンプシステムの開発と地理地盤情報を利用した設計・性能予測シミュレーションツール・ポテンシャル評価システムの開発」において、「地盤・地下水データベースおよびポテンシャル評価マップの開発」を実施している。

具体的には、地中熱利用に必要な地盤地層データおよび地下水・地盤データのデータベースを全国約5万本のボーリングデータから全国500mメッシュ単位で作成している。また、間接型地中熱ヒートポンプシステムにおける全国に適用可能なポテンシャル評価手法を構築するとともに、対象施設の地中熱交換器の仕様や規模を簡易に算定可能なポテンシャル評価マップを全国を対象に整備している。

当該ポテンシャル評価マップは、オープンループを対象としたものではないが、オープンループの適地選定においても利用できる可能性がある。

第1章 地中熱利用ポテンシャルマップ作成 フロー

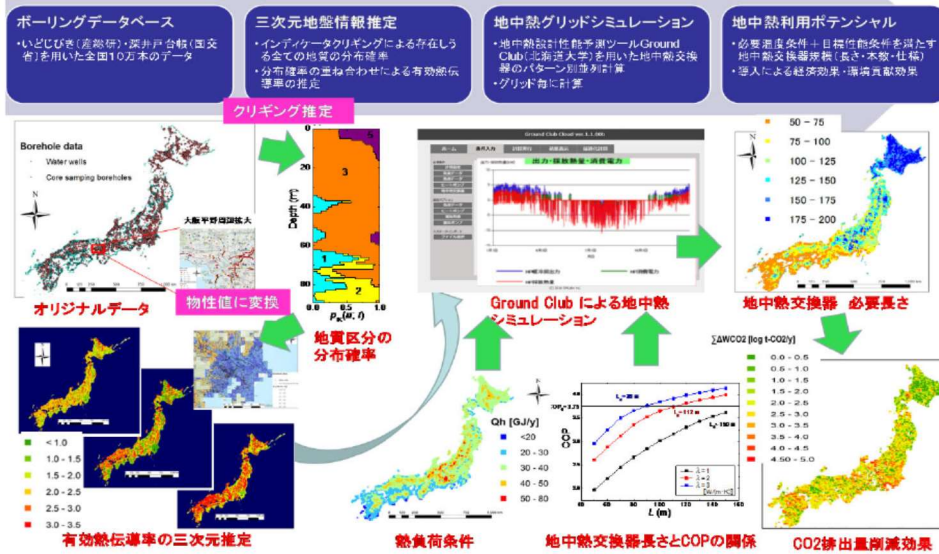


図 3.5-7 地中熱利用ポテンシャル評価手法の全体イメージ

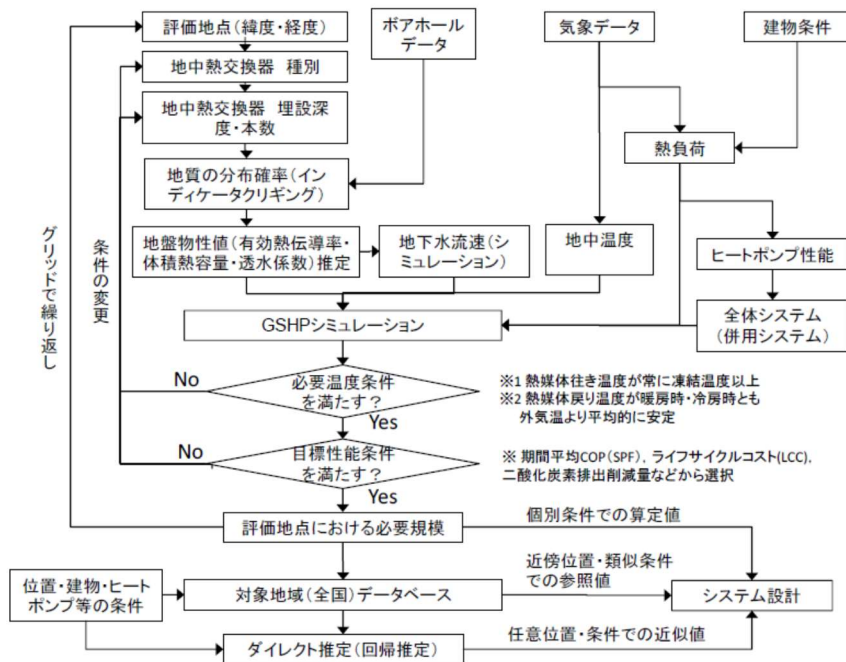


図 3.5-8 地中熱利用ポテンシャル評価フロー

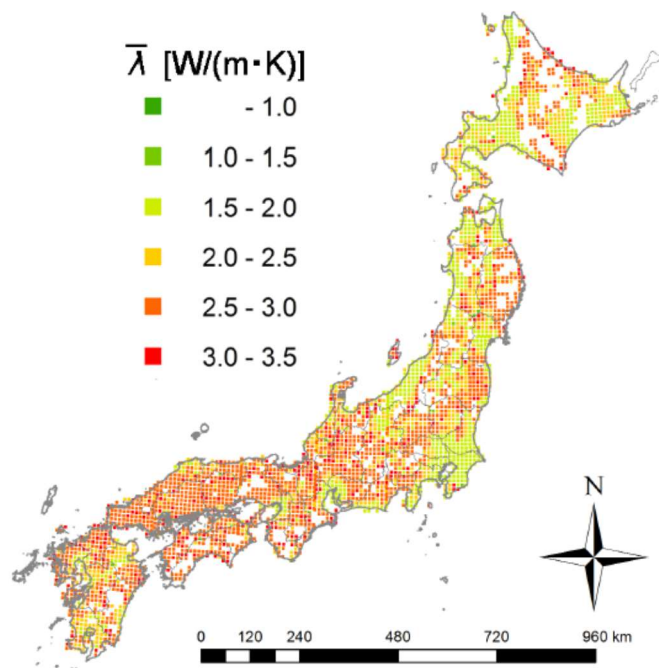


図 3.5-9 推定した有効熱伝導率分布 (10km 解像度, 深度 50m)

(2) 推計方法の検討・立案

1) 推計目的の設定

本再エネポテンシャル調査業務のこれまでの背景・経緯から、推計目的を以下のとおり設定する。

- ・全国における地中熱オープンループ方式のポテンシャルを把握する。
※全国一律の情報を用いることを前提とする。
- ・オープンループの認知度・興味・関心の向上に資するデータを作成する。

2) 地中熱オープンループ方式に係るデータの整理

過年度業務において整理した関連データを表 3.5-2 に示す。

表 3.5-2 地中熱利用（ヒートポンプ）に関するゾーニング基礎情報整備項目一覧

区分	情報源	整備状況	検討結果等	
地質	地質構成・帯水層厚・岩盤深度	【全国的な地質分布データベース】 ・日本シームレス地質図（産業技術総合研究所）	未	
		【全国的な柱状図データベース】 ・地質柱状図（国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」）	済	2014年検討システムにリンクを掲載することにより利用者に紹介する。
		【地域地質・柱状図データベース】 ・関東平野の地下地質・地盤データベース（産業技術総合研究所）	未	
		・全国電子地盤図（地盤工学会）	未	
		・地域地質データ：マッピングぐんま（群馬県）	未	
		・神奈川地質マップ（神奈川県）	未	
		・地質環境関連データベース（千葉県）	未	
		・地下環境データベース（青森県） など	未	
	・地下水利用適正化 報告書	未	2015年検討 ヒアリング先から資料入手。PDF形式でシステムにより公開することの可否を済産産業省経済産業政策局地域産業G産業施設課に確認。結果は得られてない。	
地盤物性	有効熱伝導率	【全国レベルのデータ】 ・本業務で推計した地域別の採熱率	済	2014年検討 産総研に許諾の確認実施（システム搭載時に改めて正式に申請書の提出が必要）。GISデータ化実施。
		【地域レベルのデータ】 ・青森県地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業報告書 など	未	
		【地域レベルのデータ】 ・群馬県（平野部）地盤情報	未	
		・文献情報、一般値 など 【個別事業毎の試験結果】 ・TRT結果 など	未	
地温	【GIS・エクセルベースデータ】 ・日本温泉・鉱泉分布図及び一覧（第2版）（産業技術総合研究所）	済	2012年地熱発電に関する導入ポテンシャル精緻化に向けた検討にてGISデータ化実施。 （2015年に再度入手し、念のため再度GISデータ化実施）	

区分	情報源	整備状況	検討結果等	
	・日本の坑井温度プロファイルデータベース（日本原子力研究開発機構）	未		
平均気温	【全国的な気温データベース】 ・アメダスデータ（気象庁） ・拡張アメダス気象データ（日本建築学会）	未		
土質区分	【全国的な柱状図データベース】 ・地質柱状図（国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」）	未	前出	
透水係数	【文献資料・一般値】 ・参考書「水理公式集」（土木学会）、 「地下水用語辞典」、など 【個別報告書・論文等】 ・土木建設調査に関する報告書 ・研究論文等	未		
地下水	地下水位	【全国的な柱状図データベース】 【地域地質・柱状図データベース】 【全国的データベース】 ・水文環境図（産業技術総合研究所）	2014、2015年検討 販売停止中のデータがあるため、販売再開後または改訂版発行後に再度検討する。利用すること自体は可との回答を得ている。	
		・水文水質データベース（国土交通省）	未	
		【地域的な地下水位データ】 ・地下水保全条例制定自治体などの報告書（地下水位等高線図、温度計測結果、自噴域の分布など）	未	
		【全国工業用地下水賦存量分布図】 ・「平成21年度地下水賦存量調査」（経済産業省）	済	2015年検討 報告書の図の画像をGeoTIFF化。
		【全国の堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル】 ・「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（第一報）（越谷賢、丸井敦尚）」の計算結果エクセルデータ（1kmメッシュ）	済	2015年検討 一般向けには、Q（第四紀）の層厚、N（新第三紀）の層厚の2種類の主題図を作成。 特定の利用者にオリジナルデータを配布する手段は、システム仕様と合わせて今後検討する。
		【全国の地下水位推定】 ・短報「日本全国の地盤調査ボーリングデータを用いた地形・地質条件に基づく地下水面の推定（越谷賢、丸井敦尚）地下水学会誌 第53巻第2号 179～191(2011)」1kmメッシュの推定地下水位エクセルデータ	済	2015年検討 GISを利用して等値線、またはそれに類する表現方法で作図。
		【全国の水理地質図】 ・日本水理地質図（産業技術総合研究所）	未	2015年検討 ヒアリング先から画像データ等入手。 地質図Navi（産総研）ですでにWeb上に公開されているため、地質図Naviのデータの提供を依頼したが、不可。入手した画像の利用はCC BYで可能なため、画像の位置補正をサンプルで1面実施し、今後の作業手順を検討するための材料を作成。
地盤沈下	【全国の地盤沈下地域】 ・全国の地盤沈下地域の概況	済	2015年検討 システムから本文書の掲載URLをリンク表示する。	
温度	【全国的なデータベース】 ・水文環境図（産業技術総合研究所）	未	前出	

区分	情報源	整備状況	検討結果等	
	【GIS・エクセルベースデータ】 ・日本温泉・鉱泉分布図及び一覧（第2版）（産業技術総合研究所）	済	前出	
	・日本の坑井温度プロファイルデータベース（日本原子力研究開発機構）	未		
	【地域の温度分布図】 ・地下水温度分布図（神奈川県）	未		
水質	【全国的なデータベース】 ・水文環境図（産業技術総合研究所）	未	前出	
	【個別報告書・論文等】 ・水質測定計画実施自治体などの報告書にデータあり ・研究論文等	未		
流速	【個別報告書・論文等】 ・土木建設調査に関する報告書 ・研究論文等	未		
賦存量	【地下水賦存量分布詳細図】 ・「平成21年度地下水賦存量調査」（経済産業省）	済	前出	
流動方向	【地域的な地下水位データ】 ・地下水保全条例制定自治体などのHP、報告書（地下水位等高線図） 【個別報告書・論文等】 ・土木建設調査に関する報告書 ・研究論文等	未		
適正揚水量	【主要な都市における安全揚水量分布図】 ・「平成21年度地下水賦存量調査」（経済産業省）	済	前出	
	【個別報告書・論文等】 ・井戸設置時の報告書	未		
自噴量	【地域的な自噴井戸データ】 地下水保全条例制定自治体などの報告書（自噴量モニタリング結果、自噴域の分布など） ・研究論文等	未		
法規制	工業用水法	【全国的なデータベース】 ・全国の地盤沈下地域の概況 他	済	2013、2015年検討 GISデータ化実施
	建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）	【全国的なデータベース】 ・全国の地盤沈下地域の概況 他	済	2013、2015年検討 GISデータ化実施
	揚水規制等の条例	【全国的なデータベース】 ・地下水採取規制に関する条例等（環境省）	済	2013、2015年検討 GISデータ化実施
	地盤沈下防止等対策要綱	【全国的なデータベース】 ・全国の地盤沈下地域の概況 他	済	2013、2015年検討 GISデータ化実施
	水質汚濁防止法（第3条第3項の規定に基づく排水基準）	【全国的なデータベース】 ・地方自治体資料 等	済	2013年検討 GISデータ化実施
	自然公園法	【全国的なデータベース】 国土数値情報 自然公園地域データ（2010年度）	済	2013年検討 GISデータ入手済

区分	情報源	整備状況	検討結果等
地滑り等防止法	・地方自治体資料 等	未	2013年検討 GIS データ化が今後必要
大深度地下利用法	・地方自治体資料 等	未	2013年検討 GIS データ化が今後必要
補助金	【エクセルベースデータ】 ・2013年度全国の地方自治体における地中熱に活用できる補助金・融資制度について(地中熱利用促進協会)	未	

※網掛けは整備済みのデータを示す。

3) 推計にあたっての検討課題への対応策の検討

前述 3.4 における推計方法（案）に対する専門家ヒアリングによる妥当性検証を踏まえてのオープンループタイプ地中熱利用（ヒートポンプ）の推計にあたっての検討課題について対応策を表 3.5-3 に整理した。

表 3.5-3 オープンループタイプ地中熱利用（ヒートポンプ）の推計に対する課題例と対応策

No.	課題項目	課題内容	対応策
1	導入可能な対象建物	建築面積が小さい建物では設置が難しい場合がある。	建築面積のみでは掘削可否は判断できない。建築前に設置するケースや敷地内に設置するケースもある。また、建築面積が小さいからといって熱需要が小さいとも言えないため、一概に対象外とすることはできないことから、導入可能な対象建物は ArcGIS データコレクション プレミアムシリーズに掲載されている全建物とする。
2	処理方式の設定（※1）	処理方式として放流方式と還元方式があり選択する必要がある。	地域の下水処理設備や規制等を網羅的に把握することはできないため還元方式を採用する。
3	還元方式の設定（※1）	還元方式として還元井型と浸透樹型があり選択する必要がある。	個別地域の放流可能性や水の浸透性は十分に把握することが難しいため還元方式環元井型とする。
4	還元井の本数の設定（※1）	地下水に含まれる鉄が酸化し酸化物として沈殿し目詰まりの原因となり還元能力が低下することがある。	還元井を揚水井より 1 本多くする。 (還元井本数=揚水井本数+1本)
5	揚水井と還元井の設置位置関係（※1）	熱干渉を避けるため、ある程度の距離を確保する必要がある。	熱干渉の程度を把握することは困難なことから考慮しないこととする。

No.	課題項目	課題内容	対応策
6	最低掘削深度	地盤沈下を考慮し最低掘削深度を設けるか。	具体的に何 m 以上が安全とは言い切れないため設けないこととする。
7	帯水層の設定	オープンループタイプは帯水層を必要とする。また、十分な帯水層があることが望ましい。	NEDO「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」の「見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化」(2020～2024)において開発が進められている帯水層分布図を活用する。
8	水頭位置の設定 (※1)	水頭位置を設定する必要がある。	2015年調査でGIS化した全国地下水位推定情報を使用し設定する。
9	掘削深度の設定 (※1)	掘削深度を設定する必要がある。	想定帯水層上面深度から5m
10	揚水可能量の設定	揚水を行う帯水層の地域内における水収支バランスに配慮する必要がある。	No. 7のデータ、平均的な口径、深度、建物区分等を踏まえ設定する。 ※今回の調査では具体的な対応策は見つかっておらず今後の検討課題である。(一社)全国さく井協会資料では、「適正揚水量は、限界揚水量の70～80%程度であるが、各地域の周辺環境を考慮して決定することが望ましい。」としている。
11	地下水温の設定	水温を設定する必要がある。(参考値として)	市区町村別の年間平均気温を元に、市区町村別に(年間平均気温-1℃)に設定する。
12	採放熱温度差の設定	熱交換器の性能や地域性なども考慮して設定する必要がある。	ヒートポンプメーカーの仕様データを参考に5℃で統一設定する。
13	腐食・スケール等の影響 (※1)	オープンループタイプでは地下水に含まれる成分により設備類に腐食・スケール等の影響を及ぼす。	地域ごとの地下水質までの把握は困難であるため腐食・スケールの影響の程度を把握することはできない。一律にメンテナンス費用を計上する。

※1 主にシナリオ別導入ポテンシャルに影響がある課題項目であり、導入ポテンシャル推計に直接的には関係しない。

4) 推計方法の検討

専門家ヒアリング結果を踏まえ検討した地中熱利用オープンループ方式の導入ポテンシャル推計方法を下記に示す。なお、地中熱クローズド方式と同様にメッシュ単位での推計を想定する。

メッシュ単位の地中熱利用オープンループ方式の利用可能熱量 (Wh/年)
=対象メッシュにおける建物数×揚水最大可能量 (L/建物/min) ×60 (min) ×24 (h) ×
365 (d) ×採放熱温度差 5 (°C) ×1.16 (kWh/kcal)

メッシュ単位の地中熱利用オープンループ方式の導入ポテンシャル (Wh/年)
=Min (メッシュ単位の地中熱利用オープンループ方式の利用可能熱量,
メッシュ単位の冷暖房熱需要量)

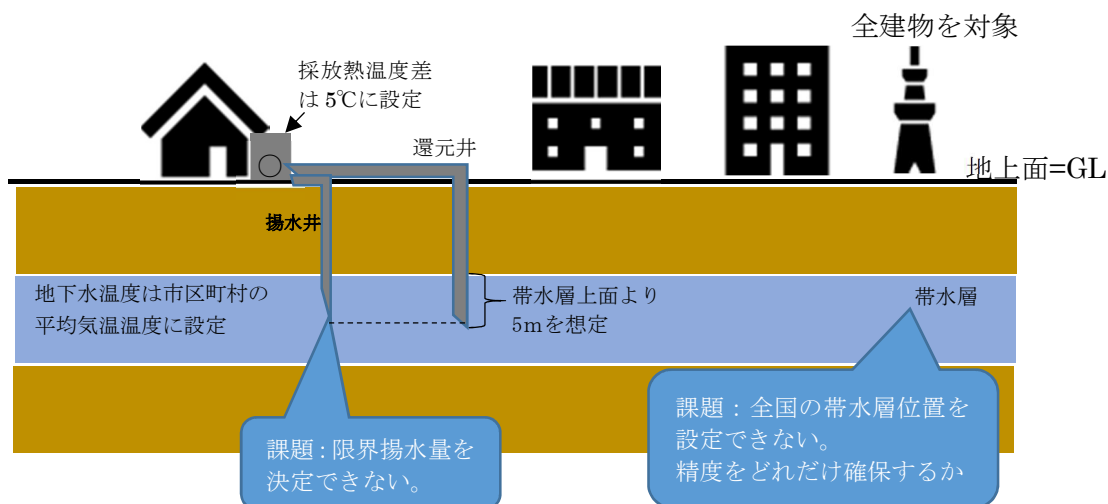


図 3.5-10 地中熱オープンループ方式の推計条件の設定イメージ

(3) 妥当性の検証

上記で検討した推計方法について、3.4項で示した専門家ヒアリング調査において妥当性を検証した。

地中熱オープンループタイプ (ヒートポンプ) に関して、最新の導入事例や技術動向を調査し、ポテンシャル推計の可能性を検討した結果、全国の建物を対象としてポテンシャル推計できる可能性があることが示されたが、専門家ヒアリングにより、1) 帯水層分布データの整備、2) 揚水最大可能量の設定、の2点が課題であることがわかった。今後は2024年以降に公開される可能性のある帯水層分布図のデータを踏まえ揚水最大可能量の設定方法を検討することが求められる。