

住宅用地中熱ヒートポンプ実証試験結果

埼玉県環境部 エネルギー環境課・環境科学国際センター

目的

地中熱は再生可能エネルギーのうち太陽光に次いで本県での利活用が期待できる。そこで、実証設備を設置し、住宅用地中熱ヒートポンプの省エネルギー性能などについて検証を行うことにより、本県における地中熱の有効性を明らかにする。

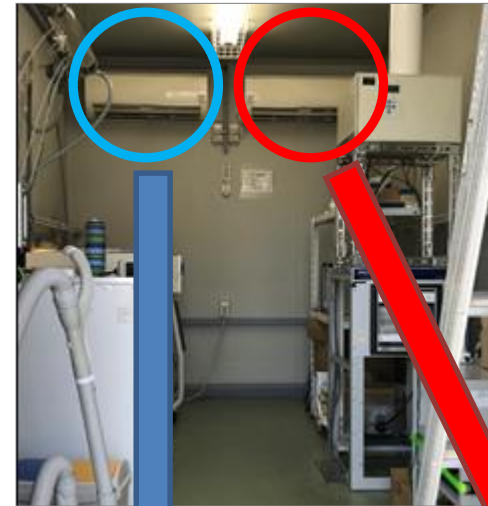
課題（背景）

- (1) 導入事例が少なく、県内で運転した場合の省エネ効果が不明
- (2) 導入コスト（特に熱交換井の掘削）が高額

実証試験の概要

- (1) 場所 県内の大気測定局の局舎等
- (2) 内容
 - ① 省エネルギー効果の解析
 - ② 最適掘削深度の評価
 - ③ 地下環境への影響評価
- (3) 方法
 - ① **地中熱**と**空気熱**でそれぞれ運転
 - ② 熱交換井に一定間隔で温度計を設置
 - ③ 熱交換井の周辺に観測井を設置

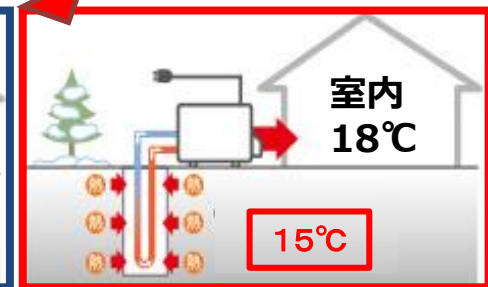
大気測定局 局舎（内部）



大気測定局 局舎（外観）



空気熱ヒートポンプの暖房イメージ
(0°Cの空気から熱を集める)

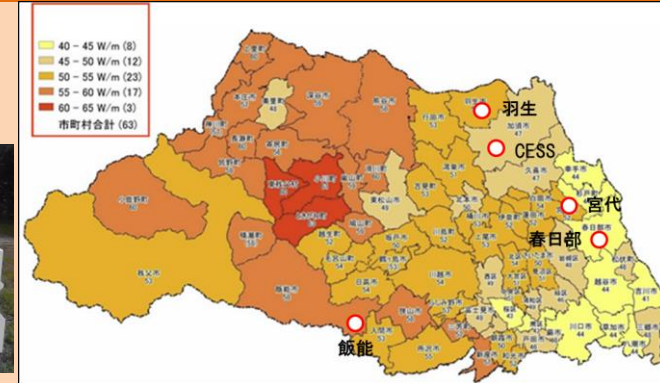
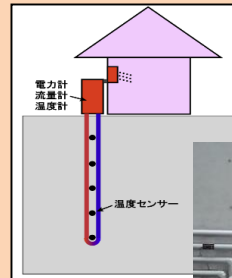


地中熱ヒートポンプの暖房イメージ
(15°Cの地中から熱を集める)

実証試験の目的

実証設備の設置・データ収集

- ・県内 5 地点に実証設備を設置
(環境科学国際センター (CESS)、飯能、羽生、宮代、春日部)
- ・深度100m (CESSは100m、70m、30m) の熱交換井、地中熱、空気熱のヒートポンプと室内機の設置
- ・電力消費量や各種温度等のモニタリングデータを収集



地中熱ヒートポンプのデータ解析・評価

(1) 省エネルギー効果の解析

- ・実証施設のモニタリング結果の解析により、地中熱と空気熱のエネルギー性能を比較・評価する。
- ・埼玉県における省エネ効果を明らかにする。

(2) 最適掘削深度の評価

- ・県内全域の地質情報や地下水情報等から、住宅用地中熱利用に最適な掘削深度をマップ化する。
- ・地中熱の浅層化に関する評価を行う。

地下環境への影響評価

(1) 地下温度観測

- ・熱交換井、周辺観測井の深度別温度データの解析により、地中熱利用に伴う周辺への温度影響を明らかにする。
- ・長期利用を想定した地中温度影響のシミュレーション手法を検討する。

(2) 地質環境への影響

- ・地下温度の変動による地質中の重金属類の溶出リスク等を評価する。

(3) 土壌微生物環境への影響

- ・影響評価の前提となる土壌微生物の実態等を把握する。

(4) 地下水質への影響

- ・地中熱利用に伴う地下水温と水質の関係から、地中熱利用の障害となりうるスケール生成の可能性を評価する。

【結果】地中熱ヒートポンプのデータ解析・評価①

(1) 省エネルギー効果の解析

・4地点の大気測定局（飯能、羽生、宮代、春日部）において、地中熱ヒートポンプと空気熱ヒートポンプの省エネ性能やCO₂・電気料金削減効果を算定。

○SCOP（システム成績係数※1）

	地中熱					空気熱				
	飯能	羽生	宮代	春日部	平均	飯能	羽生	宮代	春日部	平均
冷房	5.2	5.6	5.7	5.5	5.5	2.8	4.0	3.9	3.0	3.4
暖房	3.5	2.9	3.2	3.3	3.2	2.9	2.6	2.5	2.5	2.6

※1 ヒートポンプの性能を示す指標で、数値が大きいほど省エネ性能が優れている。

○標準住宅※2に適用した場合の年間CO₂削減効果（単位：kg-CO₂）

	飯能	羽生	宮代	春日部	平均
冷房	336.9	56.9	85.3	169.1	162.1
暖房	42.9	84.2	150.2	176.5	113.5
計	379.8	141.1	235.5	345.6	275.5

○標準住宅※2に適用した場合の年間電気料金削減効果（単位：円）

	飯能	羽生	宮代	春日部	平均
冷房	21,847	3,310	5,121	10,766	10,261
暖房	2,758	5,654	10,317	12,060	7,697
計	24,605	8,964	15,438	22,826	17,958

※2 「建物エネルギー消費性能基準」で定められている標準住戸（床面積120.08㎡）。

解析結果

・埼玉県においても**地中熱ヒートポンプの省エネ効果が高いことを確認**

・冷房・暖房ともに地中熱ヒートポンプの方が空気熱ヒートポンプと比べて省エネ効果が高い（冷房1.6倍、暖房1.2倍）

・平均で年間275.5kgのCO₂削減、1万8千円の電気料金削減が可能

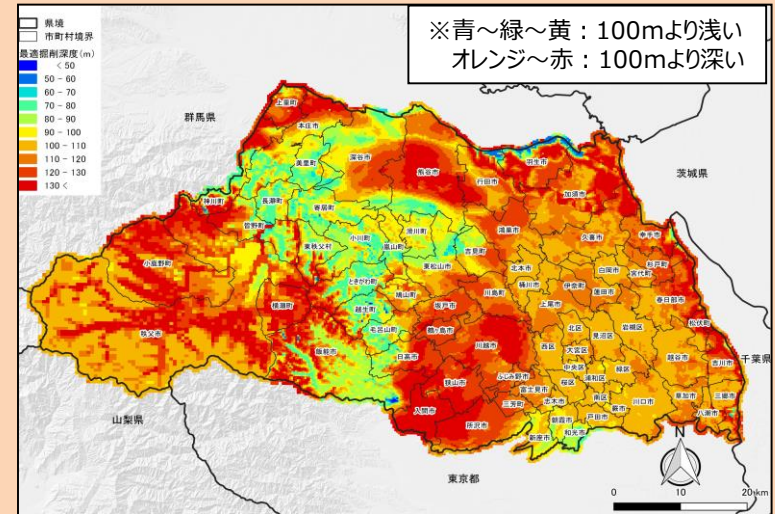
【結果】地中熱ヒートポンプのデータ解析・評価②

(2) 最適掘削深度の評価

・見かけ有効熱伝導率（地盤の熱伝導率に地下水流動による移流効果を含んだ値）と地下温度から地中熱交換井の必要深度を算出し、冷暖房の最適掘削深度をマッピングした。



- ・最適掘削深度が100m前後を示す地域が多い。これは、戸建て住宅の地中熱利用システムにおける熱交換井深度と同程度であり、埼玉県内における地中熱の適用性は高いと考えられる。
- ・県西部を中心に、県内面積の23.9%の地域で最適掘削深度が100m未満となり、地中熱利用に特に有利な地域の存在が示された。



・CESSにおいて、深度の異なる熱交換井（100m、70m、30m）における省エネ性能を測定した。

	SCOP (システム成績係数)	
	冷房	暖房
100m	3.2	3.1
70m	2.8	2.9
30m	1.8	2.1



・深度が浅くなるほど、省エネ性能が低下し、地中熱の優位性が損なわれる

→掘削深度を浅くする場合、交換井を複数設置することなどが必要

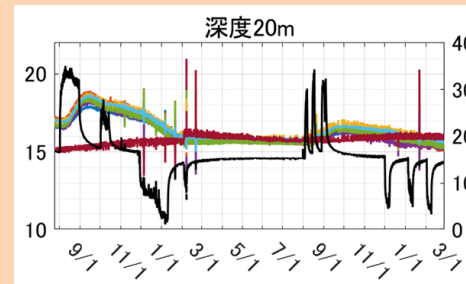
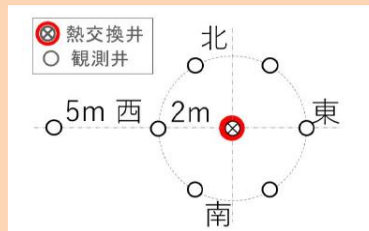
【結果】地下環境への影響評価①

(1) 地下温度観測

・熱交換井とその周辺の温度観測により、地中熱利用による地下温度への影響を把握した。

○熱交換井の長さの異なる熱交換井における温度変化 (CESS) ○熱交換井の周辺観測井の温度変化(CESS)

熱交換井長さ	平時	冷房期最大	暖房期最小
100m	15℃前後	35℃	1℃
70m	15℃前後	40℃	0℃
30m	15℃前後	50℃	-7℃



黒 : 熱交換井
赤 : 5m観測井
その他 : 2m観測井

5m観測井 : 1か所
2m観測井 : 5か所

・浅層の温度は、地表面の温度変動の影響を受けやすい
・熱交換井が短いと運転時の地下の温度変化が大きくなりやすい

・2mの観測井では、熱交換井の温度変化に追従して変化
・5mの観測井では、ほとんど影響を受けていない

→ 上記の特徴を考慮し設計に反映させることで、複数の基礎杭を用いるような浅層型も効果的に利用できる。

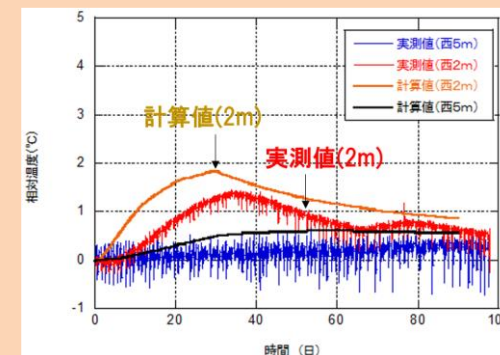
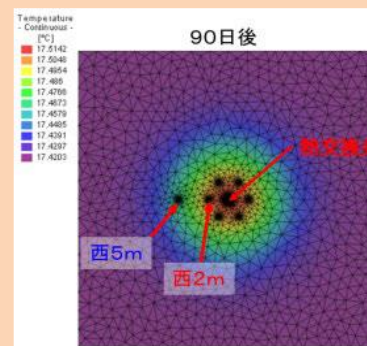
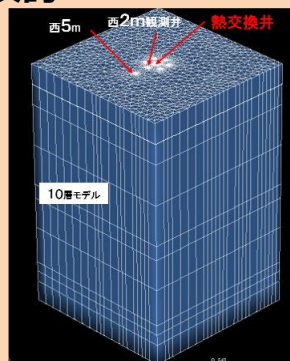
・熱交換井を5m以内に設置すると、影響を受ける可能性あり

○地中温度影響のシミュレーション手法の検討

地中熱利用に伴う長期的な温度変化を把握するためには、継続したモニタリングは困難であり、数値シミュレーションが有効

実際の地質情報からモデルを設定し、熱の拡散シミュレーション手法を検討

実証設備の実測結果とおおむね一致



・本手法により、長期間の熱交換量や地中の熱の広がり方を把握することが可能

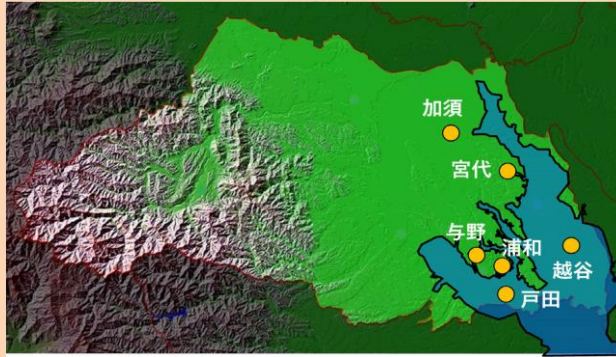
【結果】地下環境への影響評価②

(2) 地質環境への影響

・地中熱利用に伴う地下温度の変動による、重金属類の地下水への溶出リスクの評価を行った。

○重金属類溶出濃度の温度依存性

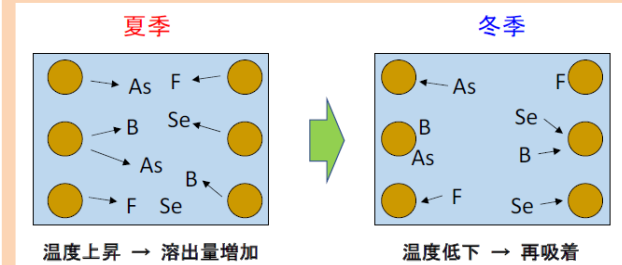
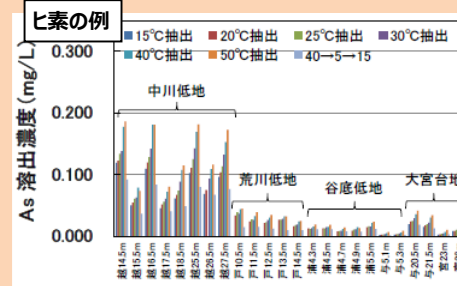
・県内の6地点の地質試料を使用し、温度変化と重金属類の溶出量の関係进行调查



約6千年前の海岸線（青い部分が海）

・海由来の海成堆積物において、温度上昇に伴い溶出濃度が高くなる傾向（特に越谷地域に代表される中川低地で顕著）

・一方、再び温度を下げると再吸着により溶出量も低下することが判明
→年間を通じて、溶出、吸着を繰り返すが、海成堆積物の地層では間隙水の移動が非常に遅いため、地下水汚染につながる可能性は低い



・地下温度の変動に伴う重金属類等による**地下水汚染リスクは著しく低い**

○土壌の酸性化抑制による重金属類溶出リスクの低減

地下温度上昇

土壌中の硫酸化細菌等が活性化

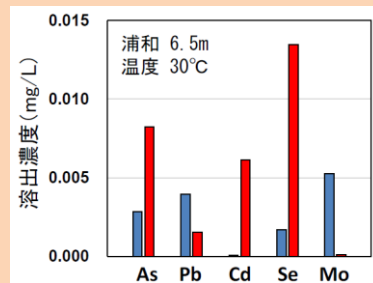
←大気、水の存在

海成堆積物に含まれる黄鉄鉱の酸化により硫酸が生成

土壌が酸性化

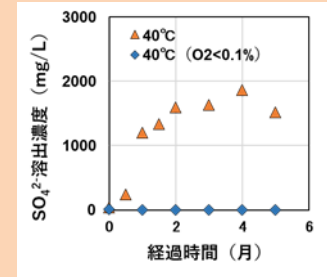
重金属類の溶出

・酸性化の進行により重金属類の溶出量は増加する。



青→赤：酸性化の進行

・大気（酸素）を遮断することで酸性化は抑制される。



オレンジ：大気あり
青：大気なし

土壌と大気の接触を遮断することで酸性化（重金属類溶出）を抑制

・海成堆積物の地層が存在する地域での施工に際しては、必要に応じて、掘削孔の内壁処理（ベントナイト被覆など）を検討

【結果】地下環境への影響評価③

(3) 土壌微生物環境への影響

・地中熱利用に伴う地下環境の変化によって、土壌微生物への影響を評価するための第一段階として微生物の実態を把握した。

地中熱地用
(温度など地下環境の人為的な変化)

土壌中の微生物組成に変化？

微生物組成の変化による
様々な影響が懸念
(土壌の酸性化など)

そもそも・・・

- ・土壌中の微生物組成は
どうなっているか？
- ・環境変化の兆候をどのように
捉えるか？

県内4地点の地質試料中の
微生物分析を実施

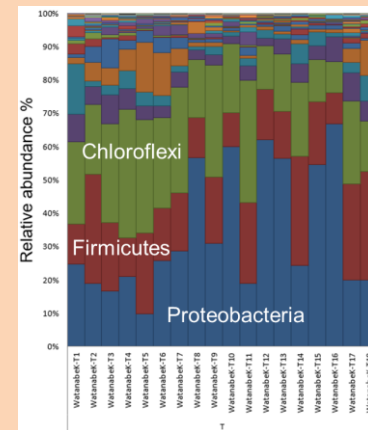
種
属
科
目
綱
門
界

生物の分類階級

「属」レベル
共通の特徴なし



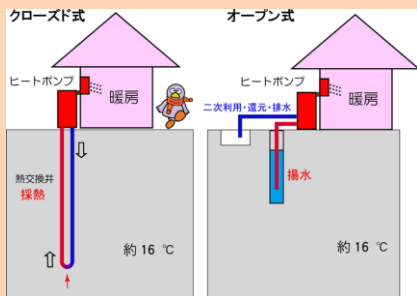
「門」レベル
全試料共通の特徴あり
Proteobacteria門
Firmicutes門
Chloroflexi門の3種で
全微生物種の約60%を占める



・地下環境への影響評価には、**門レベルの微生物種の割合の変動を調べる**ことが有効

(4) 地下水質への影響

・地中熱利用に伴う地下温度の変動により、地下水質に与える影響や地中熱利用によるスケール生成の可能性を試算した。

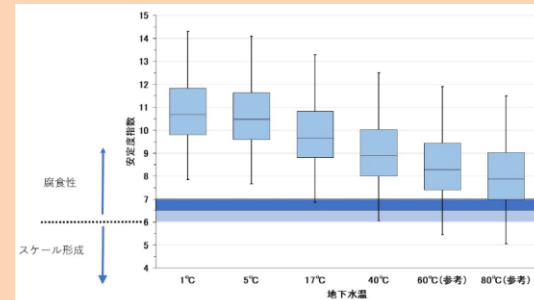


・CESS、宮代の実証施設において、熱交換井の周辺観測井の水質を調査

地中熱利用に伴う温度変化の範囲では、ほとんど影響は見られなかった

・県内158地点の地下水について6段階（1℃～80℃）の温度で水質調査を実施し、クローズド式におけるスケール形成の目安となる指標（R I）を試算

通常の運転を行う限り、スケール生成による影響はない



スケール生成により、クローズド式であれば、熱交換器の効率低下、オープン式であれば揚水障害が懸念される。

地中熱利用による**地下水への影響リスクは限定的**である。またクローズド式におけるスケール生成の可能性について試算したが、**通常の運転を行う限り影響はない。**