

**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/
地中熱・流水熱利用型クローズドシステム技術開発**



発表者: ジオシステム(株) 高杉 真司

ジオシステム(株)
(国研) 農研機構 農村工学研究部門
(国) 東北大学
八千代エンジニアリング(株)
(国) 金沢大学(再委託)
(株)角藤(再委託)

2019年10月17日

問い合わせ先: ジオシステム(株) 高杉
takasugi@geo-system.jp, 03-3920-9971

事業概要

1. 期間

開始 : 2014年7月

終了 : 2019年2月

2. 最終目標

● 目的

浅層地下水熱や農業用水熱の空調熱源としての低コストな有効利用技術の開発

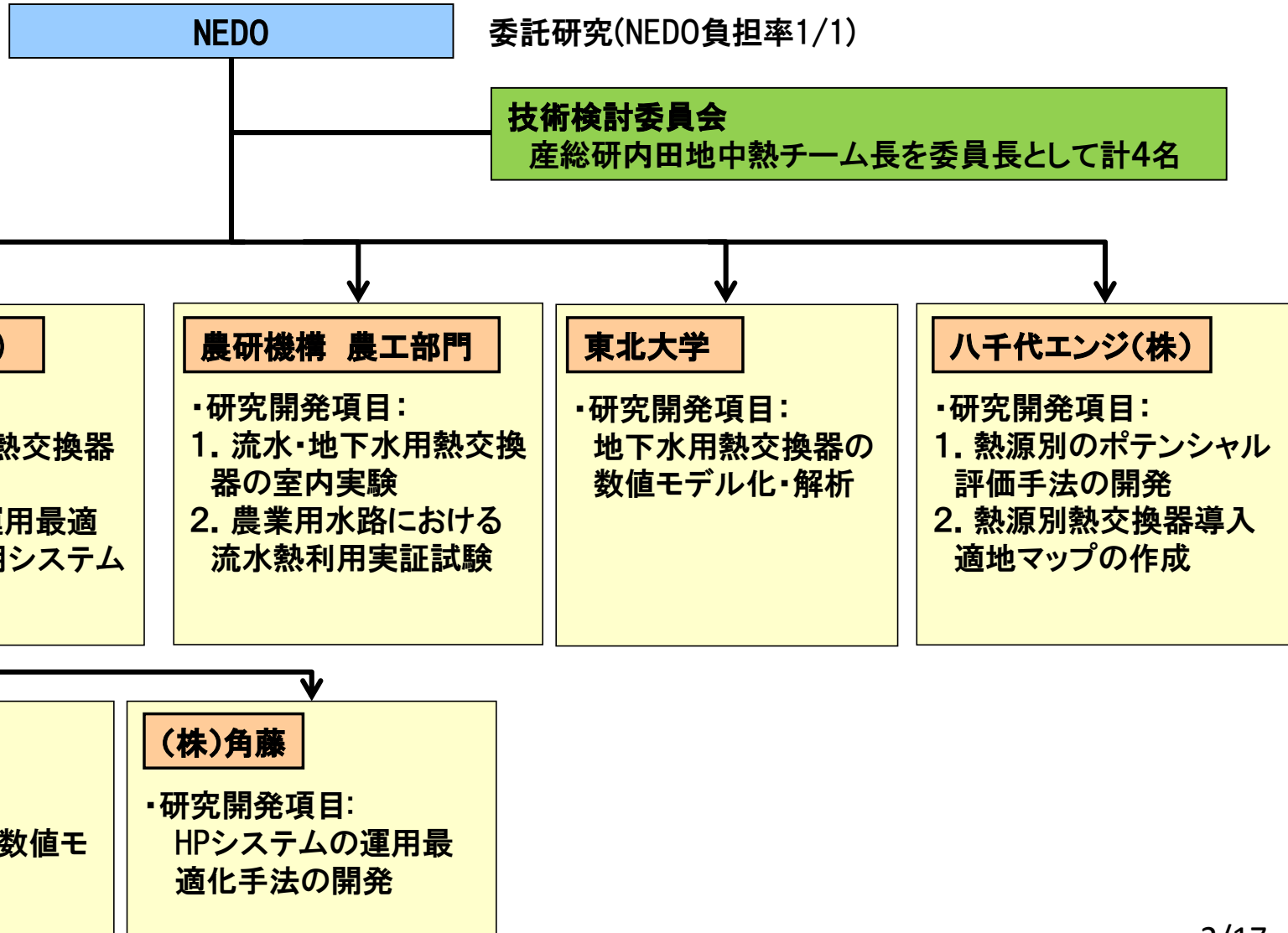
● 目標

- ・ 浅層地下水熱や用水熱の利用に適した熱交換器の開発と実証。
- ・ HP運用最適化と不凍液不使用システムの開発。
- ・ 浅層地下水熱や流水熱利用の普及のため、現地データに基づく導入適地マッピング技術を開発する。

3. 成果・進捗概要（研究成果）

- ① 流水熱交換器の開発・実証試験（想定した熱交換性能、施工性、設置コストを確認）
- ② 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験
（想定した熱交換性能、施工性、設置コストを確認）
- ③ ヒートポンプの運用最適化（不凍液不使用制御達成）
- ④ 流水再生可能エネルギー熱交換器の開発
（流水熱の採放熱量と最適熱交換器形状確認）
- ⑤ 導入適地マッピング技術の開発
（精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術の確立）
（情報提供ツールのソフトウェア作成）

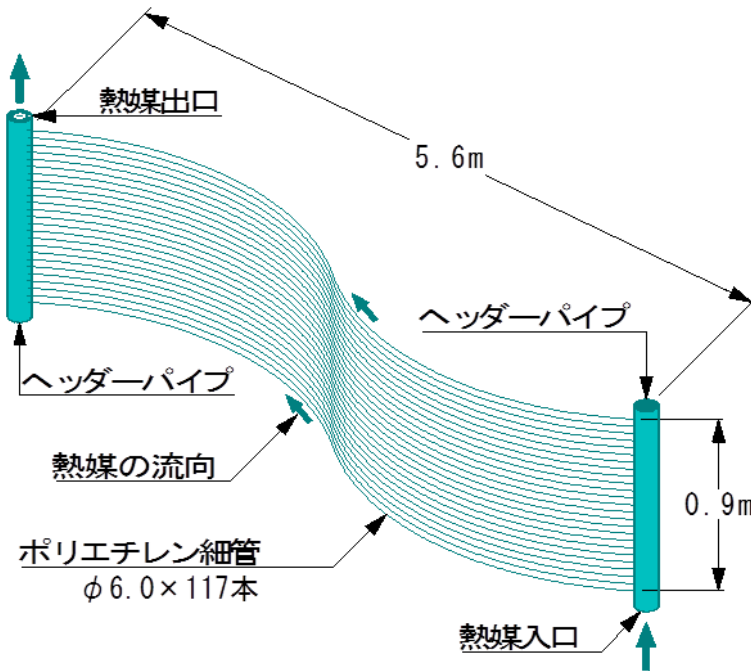
事業実施体制



1. 流水熱交換器の開発・実証試験

農業用水路への平面設置や垂直設置方法及び形状の開発

水路の流速変化による採熱量シミュレーションの実施、実験水路による効果検証、
実際水路での採熱効果実測



農業用水路等に設置するポリエチレン製
シート状熱交換器（G-カーペット）の形状

1. 流水熱交換器の開発・実証試験

農業用水路内に流水路 熱交換器設置

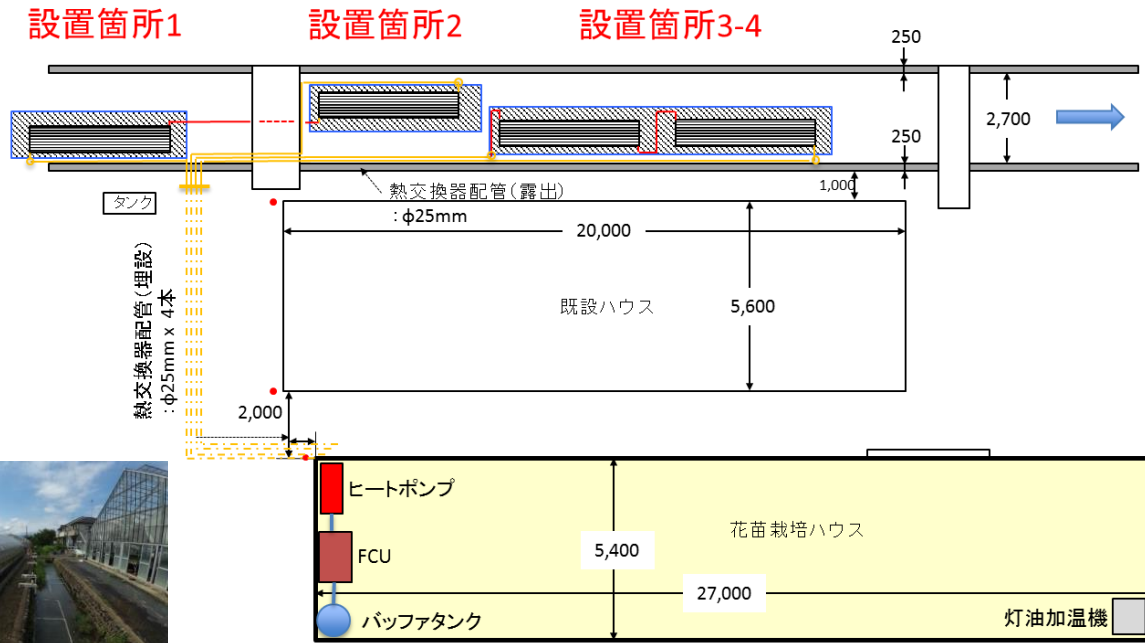
(地中熱HP10kWを使用)

採熱用の熱媒に水を使用。
不凍液不使用システムによる暖房運転を実施、バッファタンクを追加設置して、
システムの安定化・COP改善



※流水熱交換器はボアホールの約50%で導入可能と確認できた。

※従来の不凍液使用運転と比較して、暖房の熱媒温度上昇による**運用コスト低減**



昭島市植田農園の地中熱空調システム

- ・ 流水路中に流水路熱交換器設置
- ・ 流水温度モニタリング継続中
- ・ 不凍液不使用システム
- ・ 熱源水凍結防止運転による出力制限/
加温機バックアップによる運用最適化

1. 流水熱交換器の開発・実証試験

流水路熱交換器のコスト設置比較

流水熱交換器はボアホール^{の約50%}で導入^{可能}と確認できた。

- 前提条件
 - ・10kWHPの熱源として想定
 - ・熱量kW当りの設置費で比較
 - ・設置場所: 東京都昭島市用水路
 - ・比較対象: ボアホール

●流水路熱交換器のコスト

(採放熱量: 10kW⇒4枚設置、2.5kW/1枚と仮定)



用水路にG-カーペットを4枚設置

項目	諸元	数量	単価	合計	円/kW
G-カーペット	5.6m × 0.9m	4枚	100,00	400,000	
工事費		一式		600,000	
合計				1,000,00	100,00

●ボアホール熱交換器のコスト

(採放熱量: 10kW⇒75m × 2本掘削、67W/mと仮定)

項目	諸元	数量	単価	合計	円/kW
ボアホール掘削	75m × 2本	150m	15,000	2,250,000	
工事費		一式		200,000	
合計				2,450,00	245,000

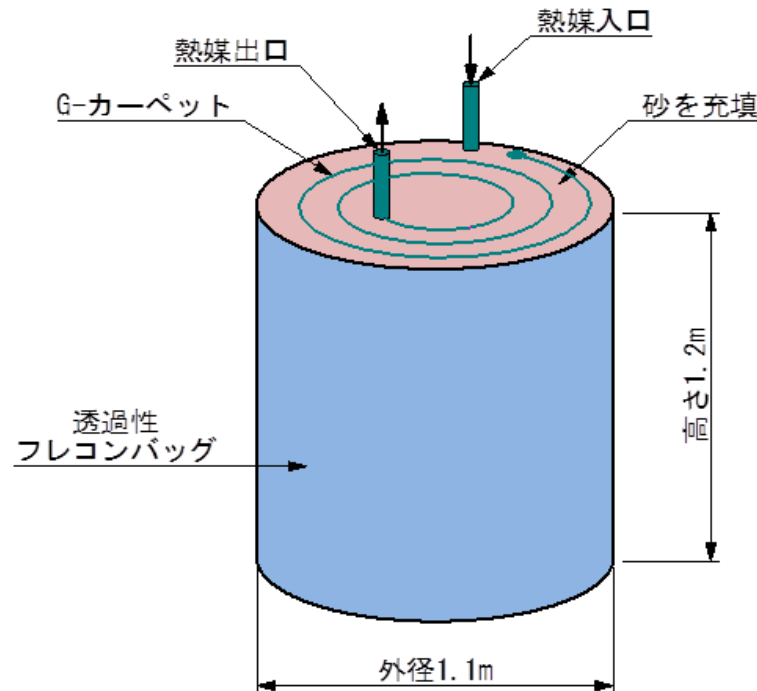
2. 運用コスト

不凍液不使用システムを開発、運用を確認した。熱源水温度が低下しないためCOPは高く維持されているが、空気熱源を使用しているので消費電力は増える。

2. 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験

2-1 浅層地下水中設置用コンパクト化を目指した熱交換器、設置方法の開発

コンパクト化した浅層地下水熱交換器の性能予測シミュレーションの実施、熱交換器を現地設置して熱応答試験の実施、空調システムとして実装性能試験を実施。従来熱源とのハイブリッドシステムを開発。



浅層地下水熱交換器
(透水性フレコンバッグにG-カーペットを
丸めて収納し空隙に珪砂を充填)

2. 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験

2-2 浅層地盤設置用の浅層地下水熱交換器の開発

熱交換器を利用した熱応答試験 (TRT: Thermal Response Test) 実施。
測定データで数値モデルを解析、地下水流速が 5×10^{-5} m/秒と確認
地下水としては極めて速い流速。



熱交換器埋設状況
(地下水位GL-1m、着底深度GL-2.5mに4個埋設)

2. 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験

設置コスト

浅層地下水熱交換器としてのフレコン熱交換器の設置コストは、ボアホールより約40%安価であることを確認した。

- 前提条件
 - ・120kWのHP熱源として想定
 - ・熱量kW当りの設置費で比較
 - ・設置場所：黒部川扇状地
 - ・比較対象：ボアホール

●フレコン熱交換器のコスト

(採放熱量：120kW⇒32個設置、15kW/4個と仮定) (円)

埋設深度	総額(消費税含む)	円/kW	重機回送費
GL-2.5m	12,000,000	100,000	含む

●ボアホール熱交換器のコスト

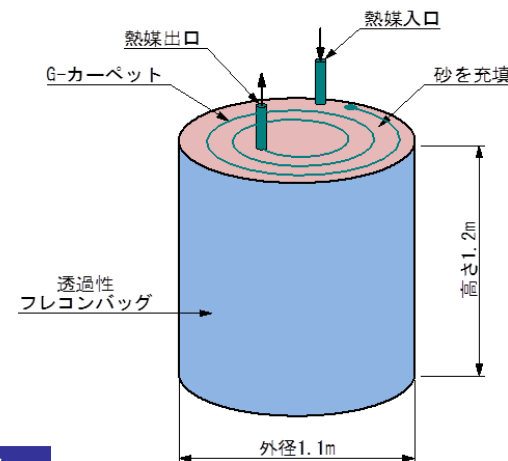
(採放熱量：120kW⇒100m×12本掘削、100W/mと仮定) (円)

掘削数量	総額(消費税含む)	円/kW	重機回送費
100m×12本	23,000,000	192,000	含む

- ・上記ボアホールコストは、3社より見積りとり最安値を採用

運用コスト

不凍液不使用システムを開発、運用を確認した。熱源水温度が低下しないため、COPは高く維持されるが、空気熱源も使用する場合があるので消費電力は増える。



浅層地下水熱交換器

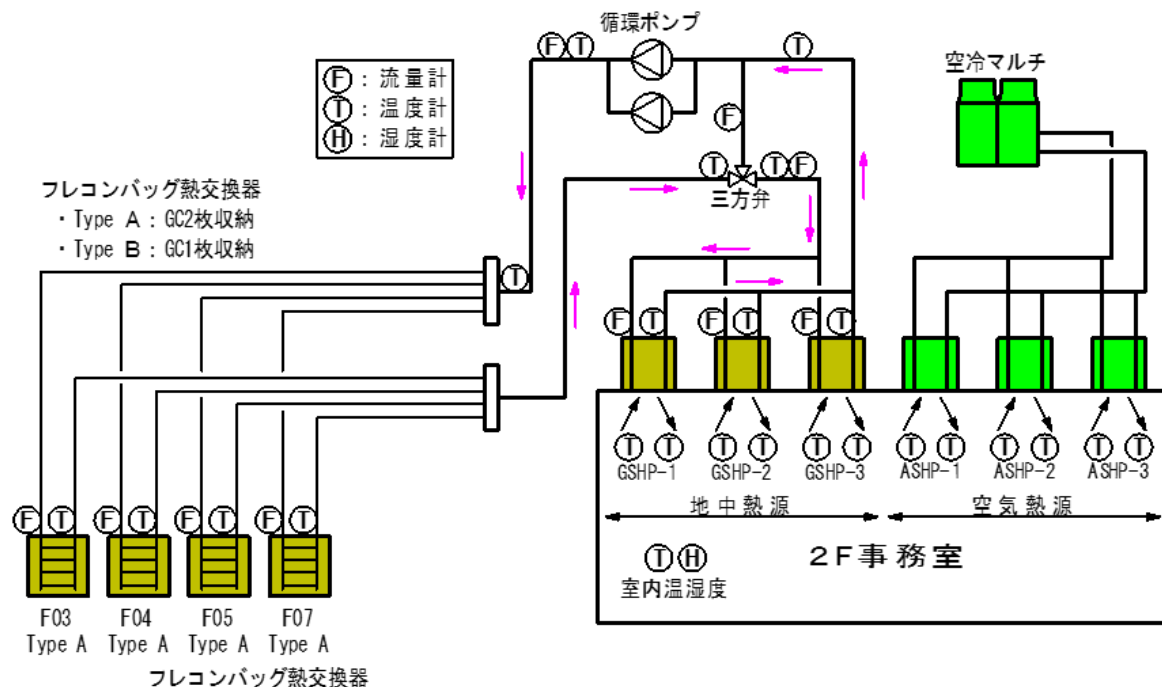
3. ヒートポンプの運用最適化

浅層地下水熱交換器4セット トで、地中熱HP15kWによる 冷房運転実現

冬季は地中熱HP15kWを優先運転、空気熱HP15kWをバックアップ運転により、**不凍液不使用で暖房運転実現**

※環境に配慮した、**地中熱&空冷統合制御設備開発**及び費用追加

※不凍液使用と不凍液不使用のシステム運転を比較、暖房熱媒温度上昇による運用コスト低減



YKK古御堂工場の地中熱&空冷空調システム

- ・ 浅層地盤の中に浅層地下水熱交換器設置
- ・ 浅層地下水温度モニタリング継続中
- ・ 不凍液不使用システム
- ・ 熱源水凍結防止運転による地中熱/空冷HPの統合制御により運用最適化運転実施

流水を由来とする熱エネルギー：浅層地下水や農業用水



流水等再生可能エネルギー

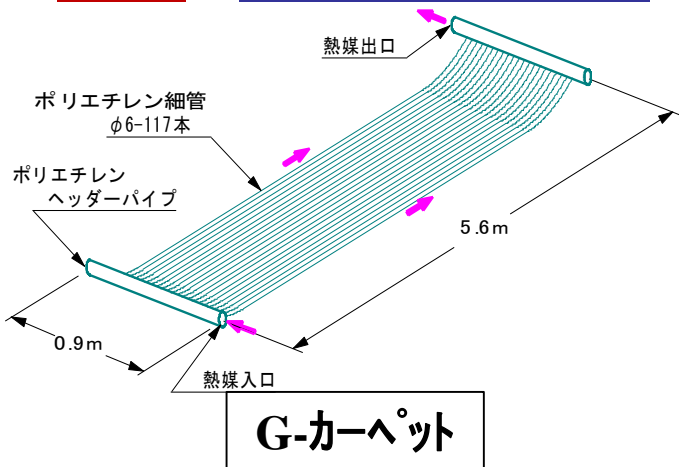
自然系水熱源：海水、湖水、温泉水、農業用水、湧水

別用途水熱源：小水力発電

流水での高効率・低価格な熱交換器の評価

4. 流水等再生可能エネルギー利用熱交換器の開発

G-HEXは、ポリエチレン製の多条細管ヘッダー型熱交換エレメント(G-カーペット)を組み込んだ水-水熱交換ユニット。ポリエチレン素材の採用により、金属素材特有の問題(錆・目詰まり・性能劣化)を払拭し、熱源水の水質に左右されない、水-水熱交換に最適な熱交換ユニットを開発できた。**流水等再生可能エネルギー熱回収用熱交換器**や**水冷HPの熱源**として広く利用可能である。



バスケット型



平板型



タンク型

G-HEXの特長

G-HEX

- ① 小型だが大きな熱交換能力(13.9kw/エアレーション有)を持ち、流路の圧力損失は7.5kPa(30L/min時)と小さい
(※上記性能値は、バスケット型での実測値)
- ② 50年超の推定寿命を持つポリエチレン樹脂(PE100)で構成され、長寿命
- ③ 海水や温泉水等の腐食性の水質に強く、サビ対策も不要
- ④ 目詰まりに強く、水質を気にせず使用できる。

4. 流水等再生可能エネルギー利用熱交換器の開発

名称		設置場所 流速 (m/min)	熱交換量(kW)		代表的寸法 (mm)	面積当りの 熱交換量 (kW/m ²)	定格流量 (L/min)	材質	耐熱温度 (℃)	圧力損失 (kPa)
			エアレーション							
			有	無						
バスケット型 (G-カーペット1枚)		貯水槽 熱交換槽 貯湯槽 蓄熱槽 など	13.9	9.7	φ 500 x H1,200	49(エア無)	30	PE100	60	7.5 (30L/min)
他 社 製 熱 交 換 器	架橋ポリエチレン 熱交換器 13A		－	2.2	φ 500 x H1,353	11(エア無)	6.7	架橋ポリ エチレン	80	100 (7L/min)
	防蝕ステンレス フレキ熱交換器 10m巻、15A		－	1.1	φ 200 x H595	35(エア無)	－	SUS836L	－	100 (14L/min)

熱交換性能の向上が課題であった樹脂製投げ込み式熱交換器に対して、水に空気を吹き込む**エアレーション機構**を搭載することにより、既存の樹脂製投げ込み式熱交換器と比べて、熱交換性能を約6倍に高め、**単位熱交換能力あたりの費用を従来の樹脂製投げ込み式熱交換器の約1／2に低減しました**。また117本の細管で構成する熱交換器の採用により、既存の樹脂製熱交換器と比べて循環水の**圧力損失を約1／10に抑えることで、流水からの安価な熱回収を実現しました**。

4. 流水等再生可能エネルギー利用熱交換器の開発

HPにおける放熱方法別の特質比較

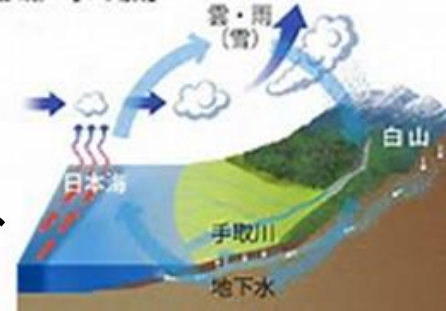
空冷HP	水冷HP			
	気化熱利用	地中熱利用		流水熱利用
		クローズループ方式	オープンループ方式	
冷媒温度≫気温 (熱ロス大)	(熱ロス小)	(熱ロス小)	(熱ロス小)	(熱ロス小)
(設備コスト小)	(設備コスト小)	ボーリング費大 (設備コスト大)	井水設備必要 (設備コスト中)	(設備コスト小)
(メンテ・コスト小)	水質管理費大 (メンテ・コスト大)	(メンテ・コスト小)	(メンテ・コスト小)	(メンテ・コスト小)
メジャー・エレメント 需要は安定的	メジャー・エレメント 需要は減少中	マイナー・エレメント 需要は拡大中	新規・エレメント 需要は有望 G-HEX対象市場	新規・エレメント 需要は有望 G-HEX対象市場

5. 導入適地マッピング技術の開発

5-1. 開発目標

流水や浅層地下水の熱交換システムは、これまでにない新しいタイプの熱交換器であるため、熱交換特性を評価する手法が考案されていない。流水熱を利用するため、水流速や水量、水温により熱交換特性の変化を把握、定量化を図る

【水循環／水の旅】

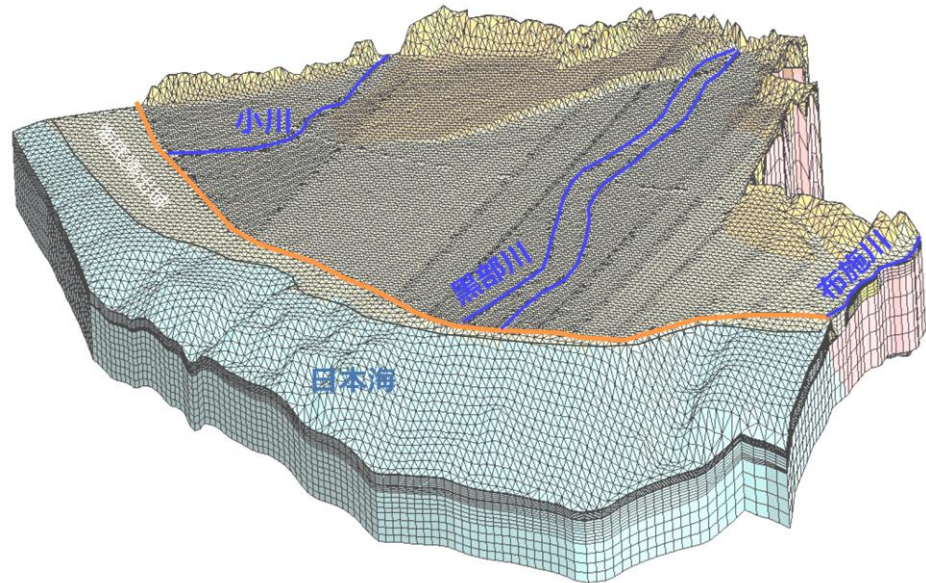


5-2. 導入適地マップの作成

室内模型実験データ収集、各種調査・解析データ等を組み合わせて、導入適地マップを作成

※熱交換器による熱交換量は、流水路利用型では水路流速・水路水温、浅層地下水利用型では地下水面の高さ（不飽和層の厚さ）・地中温度・地下水流速の影響を強く受ける

※流速、水温等の水理的条件で決定される熱交換量を推計するため、実験データを代理モデルとする応答曲面近似法の適用により、推計式を作成した



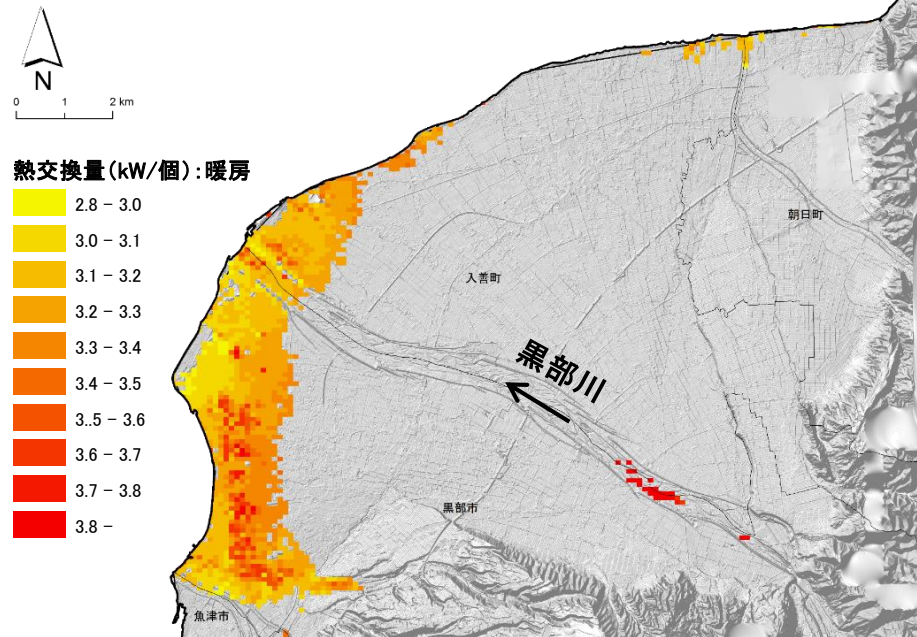
浅層地下水環境を評価するために作成した黒部川扇状地の地下水解析モデル

5. 導入適地マッピング技術の開発

浅層地下水利用型の導入適地マップ (浅層地盤設置)

モデル地域：黒部川扇状地

年間暖房
負荷最大時



- * 浅層地下水熱交換器の埋設の施工性を踏まえて、不飽和層厚 3 m 未満の地域がマップ作成対象
- * 飽和度が高く、流速が早い箇所ほど導入適地
- * 実証試験サイトの採熱量調査結果 (3.1~3.3 kW/個) とほぼ同程度の推計結果が得られた
- * 本結果を参考に、扇面面積のうち約18 %が導入適地とした場合、国内で1,648km²が導入適地となる

流水路利用型の導入適地マップ (流水路設置:河川起源農業用水路)

モデル地域：
手取川扇状地
(七ヶ用水)

年間冷房
負荷最大時

熱交換量
(kW/ユニット)
<冷房時>

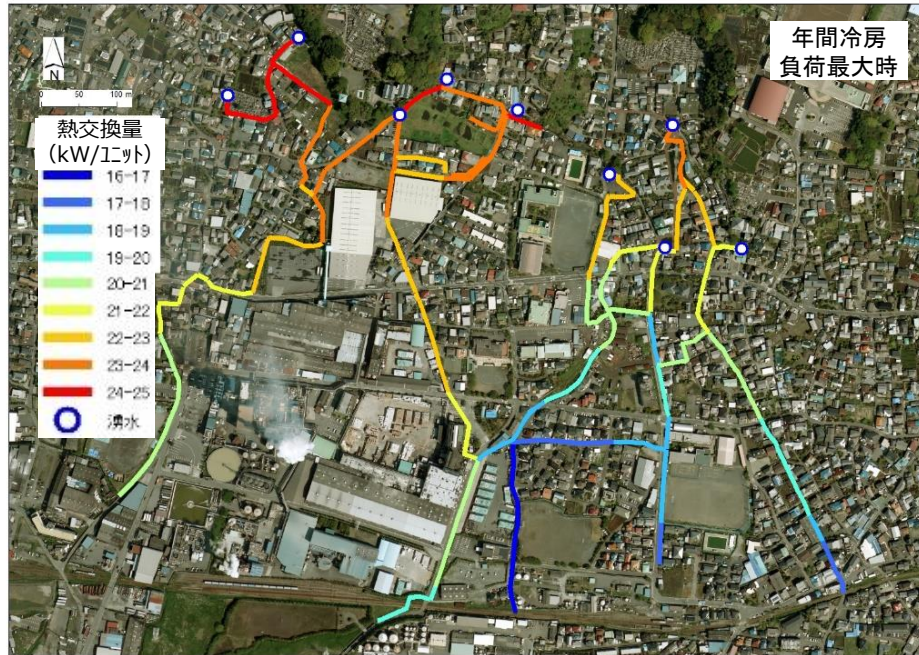


- * 水温と気温との差が大きい上流ほど導入適地
- * 冷房負荷最大時の熱交換量は8~18kW/枚
- * 4つの土地改良区へのヒアリングにより、ニーズがあることを把握した
- * 通年利用には冬季の水温低下や流量減少が課題

5. 導入適地マッピング技術の開発

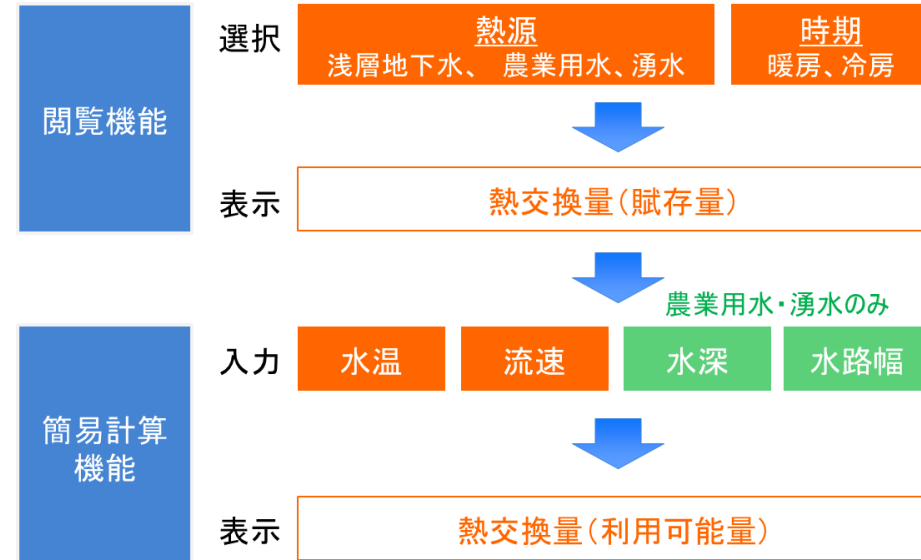
流水路利用型の導入適地マップ (流水路設置:湧水起源小河川)

モデル地域: 富士市 (湧水起源小河川)



- * 冷房時は、水源とする湧水の気温が低い（暖房時は逆転）ほど、気温との差が大きい上流ほど、導入適地
- * 冷房負荷最大時の熱交換量は16~25kW/枚
- * 河川起源農業用水路と比較して、冬季の水温低下や流量減少が生じにくい点が熱源として有利

導入適地情報提供ツールの ソフトウェア開発



- * 導入適地マップがより多くの方に利用され、開発した熱交換器の導入促進に資するよう、マップを利用者自らが閲覧できる、既存のWEBサイトに追加しやすいブラウザ駆動型ツールを開発
- * ユーザが保有する現地の水温や流速データを入力することで熱交換量を再計算する簡易計算機能も搭載

研究成果容(担当事業者)

① 流水熱交換器の開発・実証試験(6組織¹)

農業用水で、流水熱交換器はボアホール¹の約50%で導入可能と確認

② 浅層地下水熱交換器の開発・実証試験(ジオシステム、角簾)

流水熱交換器はボアホール¹の約50%で導入可能と確認

③ ヒートポンプの運用最適化(ジオシステム、角簾)

不凍液不使用制御達成

④ 流水等再生可能エネルギー熱交換器の開発(6組織¹)

エアレーション機構を搭載

既存の樹脂製投げ込み式熱交換器と比べて、熱交換性能を約6倍
単位熱交換能力あたりの費用を従来の樹脂製投げ込み式熱交換器
の約1/2に低減

既存の樹脂製熱交換器と比べて循環水の圧力損失を約1/10に低減
流水からの安価な熱回収を実現

⑤ 導入適地マッピング技術の開発(八千代エンジ)

精度と簡便性のバランスの取れた導入適地マッピング技術の確立
情報提供ツールのソフトウェア作成

(6組織¹: ジオシステム、農研機構、東北大学、八千代エンジ、金沢大学、角簾)