
2019年度成果報告会

予稿集No.U-10

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効率化技術開発及び規格化/
共生の大地への地中蓄熱技術の開発

団体名 (国立大学法人)福井大学 三谷セキサン株式会社

問い合わせ先
福井大学 宮本重信
E-mail:miyamotoshi@gmail.com
TEL:09082608108
三谷セキサン(株) 佐々木貴史
E-mail:t-sasaki@m-sekisan.co.jp
TEL:082-242-3307

2019年10月17日

事業概要

1. 期間 開始:2014年8月 終了:2019年2月

2. 目標と成果・進捗

①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発

PHC(Prestressed High Strength Concrete)杭内面貯水が施工可能な杭長30m以下で漏水防止と水質の課題を克服する。従来ボアホール方式比で設置費を68%削減(目標60%)した。PHC基礎杭内壁にUチューブ固定では設置費を従来比で50%削減(目標50%)した。杭打ち機利用専用杭も追加開発し、削減率48%とした。兼用利用での杭への温度や送水ポリ管の基礎頭部への影響などを明らかにし、安全性を検証した。

②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発

現場の柱状地盤改良機を利用しWUチューブの圧入、H型コンクリート杭へのUチューブ外付けで、従来価格性能比で、それぞれ設置費を64%,74%(目標65%,55%)削減した。

③システムの開発(①②の地中技術の利用で)

(a) 空気熱・地中熱のハイブリッドの床暖房と給湯・冷房のシステムの開発

対応する数値シミュレーションソフトを開発した。空気熱・地中熱の強みを活かした運転で、地中熱単独に比べて杭長を3/8に減らしながら、節電は同じになることを福井と札幌の数値シミュレーションで示した。ハイブリッドHPを床暖房と早朝の貯湯、冷房排熱貯湯、朝の床暖房立ち上がりへの貯湯からのアシスト、低暖房時の貯湯に活用した。福井市内保育園での実施データから、地中熱相当設置費で21%、運用費で37%、設置費・15年間運用費で55%削減が得られた。

(b) 群杭効果利用地中蓄熱融雪システム

実施で、夏の蓄熱循環流量をインバーターで半減化し、年間消費電力は6割減(目標3割)となり、初冬蓄熱温度低下もなく、年間COPは7.3から19に向上した。

④地下水循環利用技術の開発

浅層地下水利用で、水質基準を桁違いに超える鉄分の酸化析出には井戸内水面と管路での酸素遮断で、細砂と遊離炭酸からのCO₂気泡には、井戸内への細長い網戸防虫金網カバーの布袋フィルターで対処し、2カ所3年間の運転を継続できた。

背景と目的

日本では崩れやすい硬い多層地盤でボーリング工法では掘削費が高くて地中熱利用の桎梏となっている。一方、沖積平野に都市が発展した日本では、ビルや住宅での基礎杭や地盤改良の兼用する、建築現場の杭打ち機で熱源杭や井戸をつくれば大幅なコスト縮減になる。

基礎杭メーカーは建物支持での仕事が多いため、熱分野展開へのインセンティブは大きくはない。杭メーカーからすれば支持力は単体で売れるが、熱はヒートポンプなど自社だけでは最終供給にならなくて手離れが悪く売りにくい。

その上、基礎杭利用では集熱法が多様で、リスクが生じ、普及を阻んでいる。提案者らは25年余 多様な工法を実用実施したが、漏水・目づまり・腐食・温度応力・施工法の違いによる集熱性能の相違への対応に課題がある。これらの解決が今後の展開に不可欠となっている。

建物内の基礎杭だけでなく、冷暖房や管、給湯などとの共生で普及となる。

この視点から地中熱交換杭では支持力杭との融合（共生）、システム開発では空気熱や燃焼熱との共生を目指す。

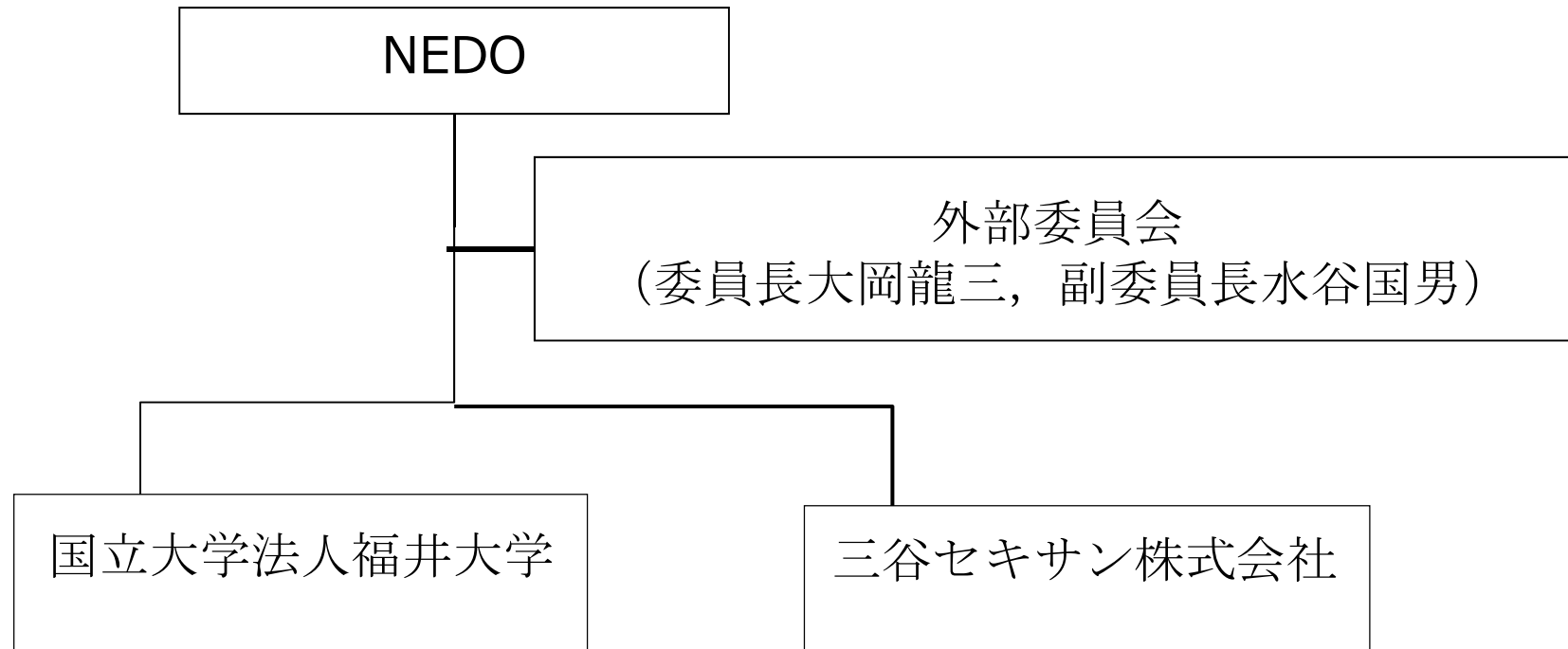
こうして建物内の基礎や熱設備との共生、環境との共生する大地を目指す。
そのための技術開発を目的とする。

事業スケジュール

凡例 ——— 設備設置・実験などハード作業
 ----- 運転・解析などソフト作業

		2014年度	2015年度	2016年	2017年度	2018年度
①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発	a).珪酸ソーダによるPHC杭のCa ²⁺ 遮断,漏水防止	試作検証 金属片設置		金属腐食チェック	実施設での導入実験	
	b).杭の温度応力の解析			解析 実験	杭底閉塞など強度解析	
	c). PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発	施工実験	施工実験 熱応答試験			
②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発	a).地盤改良機でのWUチューブ攪拌・圧入工法の開発	Uチューブ工場製作	試験施工			
	b).戸建て住宅H型コンクリート杭でのWUチューブ設置		工場試作・施工		工場試作・施工	
③地中蓄熱システムの開発	a).ハイブリッドヒートポンプ床暖房・給湯蓄熱冷房システムの開発	床暖設置 床暖設置	(株)コロナ内実験	ハイブリッド床暖運転/効果検証 貯湯槽設置 給湯併用運転	FS	WUチューブ性能検証
	b).地中熱ヒートポンプ・ソーラー給湯システム			FS		
	c).地中蓄熱時の熱媒体循環量削減で節電		運転 解析	汎用ソフト作成		
	d).PHC杭での地中蓄熱技術の開発			FS		
④地下水循環利用技術の開発	a).地下水循環での目づまり抑制と耐食検証	金属片設置	運転検証	金属腐食チェック		井戸内布袋フィルターの効果検証
	b).地下水揚水量の事前調査技術の開発	調査実施				
	c).帯水層蓄熱システムの開発		上下2層井戸施工			
			設備工事 運転検証	運転方法改良	FS	

事業実施体制



研究成果説明

①ビル(25階以下)を対象にした熱交換杭の開発

a). PHC杭貯水法

珪酸ソーダによるの Ca^{2+} 遮断,漏水防止

PHC杭に貯水し, その水を循環する図1のシステムは安価で地中熱の集熱も大きい. その循環水はコンクリートからの Ca^{2+} と管路からの二酸化炭素とで炭酸カルシウムを析出した. それが管路の目詰まりとなる例や熱交換器ステンレス鋼の孔食となった例が一部で生じた.

PHC杭貯水の0.4%注入したケイ酸ソーダは, 杭コンクリートの隙間や表面でセメントからのカルシウムと反応し, ケイ酸カルシウム水和物となった. これが Ca^{2+} を遮断し基準値以下に減った. 溶存酸素4ppmの下で, 吊された金属では, 亜鉛が腐食したが(写真), 亜鉛を除き管材金属には孔食は生じていない.

70本のPHC杭貯水利用融雪(上中インターチェンジ橋)では, 図1右のように循環回路を大気密閉管路系にして, 地下水まで杭内水位を下げ漏水をなくし, 同時に酸素と二酸化炭素の遮断で腐食と炭酸カルシウム析出を抑制した. Ca^{2+} は増え続けるが, 漏水での注水も炭酸カルシウム目詰まりも生じていない. これに当初注水時のケイ酸ソーダ添加で信頼性が高まる.

PHC杭の接続箇所での漏水対策として, 水膨張ゴムパッキンで, 20mの水圧でも漏水しなかった(写真). 一連の工法は, ボアホール工法価格性能比で68%削減(目標60%)となった.

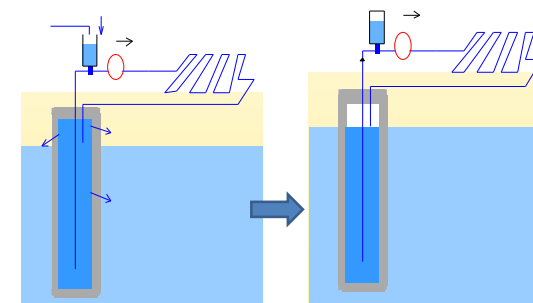


図1 貯水循環の地中熱利用システム
地下水位まで杭内水位を下げ大気密閉回路にし、酸素や二酸化炭素を遮断した

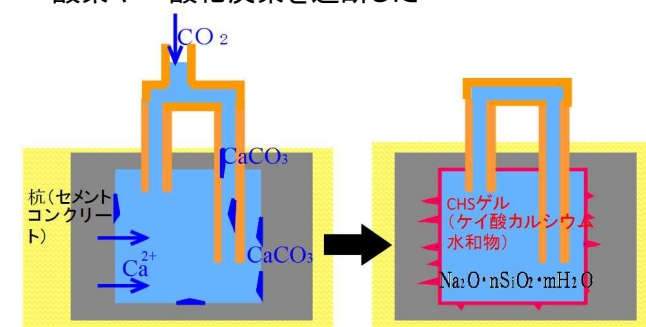


図2 ケイ酸ソーダ添加によるCaイオン浸透と漏水の遮断



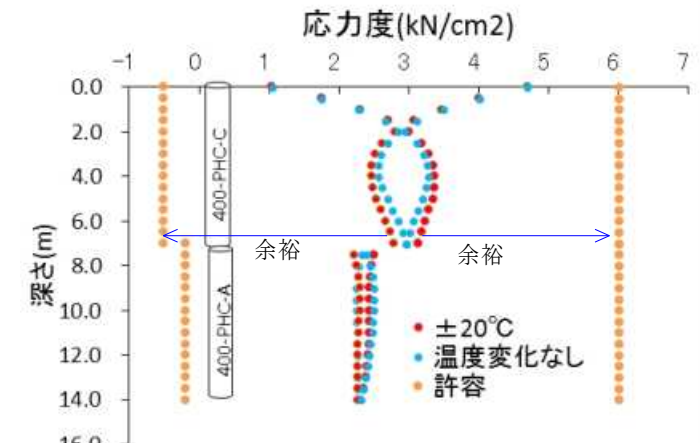
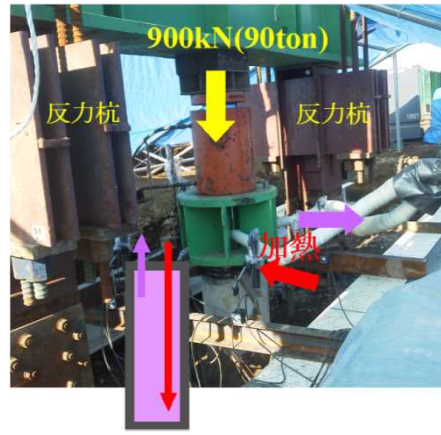
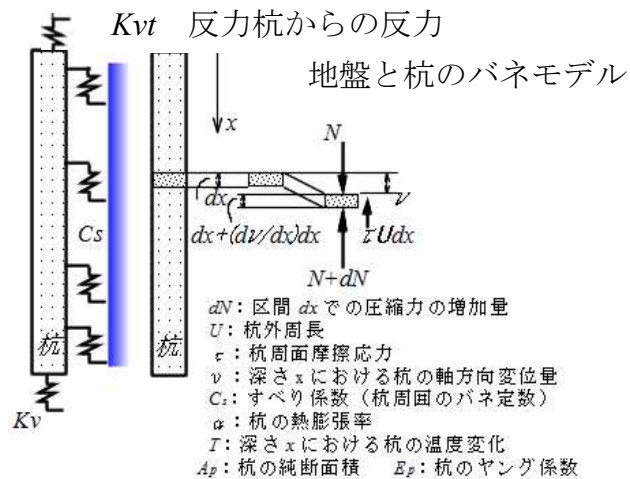
写真 杭内の金属 亜鉛メッキのみ腐食



図3 水膨張ゴムで杭のジョイントでの漏水を防止

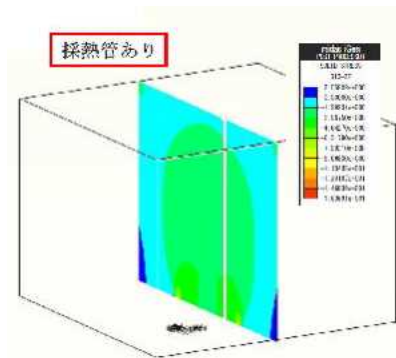
b).基礎杭兼用で杭や建築躯体への影響

杭への熱応力と変位



開発した解析ソフトを実験で検証した。その解析結果から、強度に余裕のない杭頭部は加熱(冷却)で上(下)に変位し熱応力は生じず、熱応力が最大になる杭軸中央部は強度に余裕があり、問題が生じないことを示した。

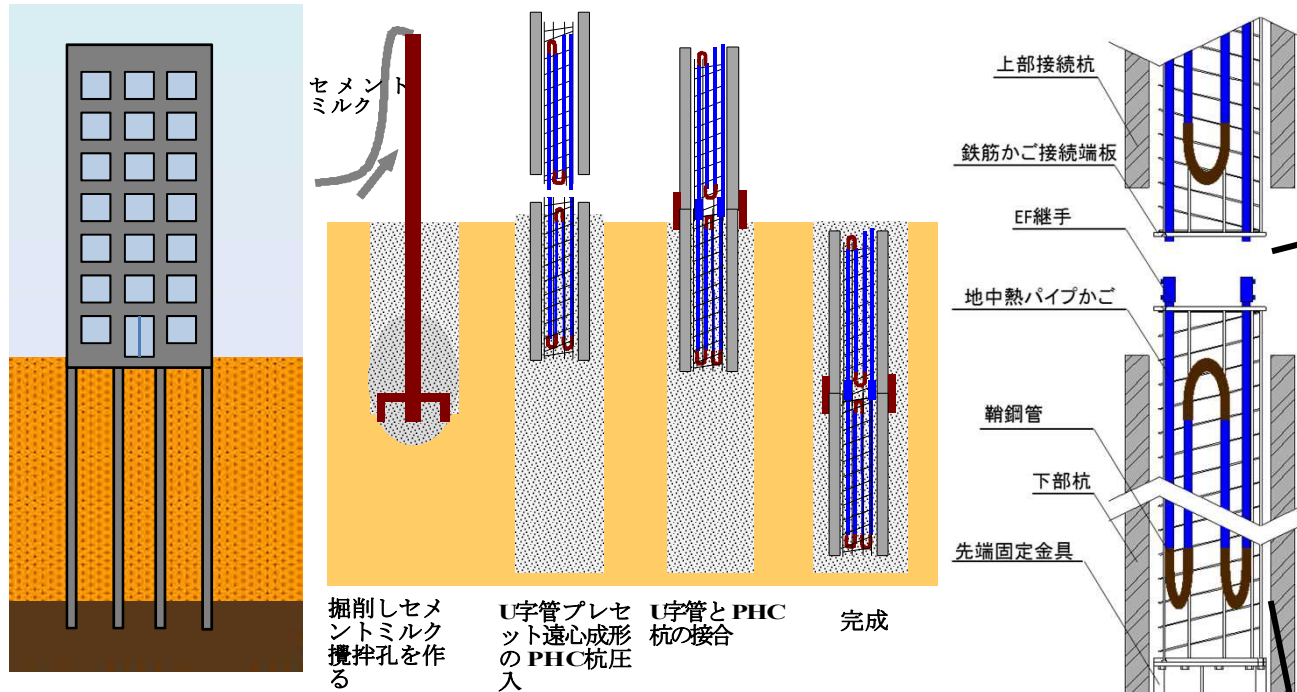
杭上部送水管の躯体応力への影響



ソリッド要素モデル
MAIDAS/Gen解析

項 目	Type1 (管あり)	Type2 (管なし)
長期作用軸力	長期：4500 (KN/柱)	長期：4500 (KN/柱)
基礎スラブ (B×L)	B×L：2 m×2 m	B×L：2 m×2 m
内部応力度 (σ_{zz})	$\sigma_{zz} = 2.96 \sim 6.31 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{zz} = 2.12 \sim 5.79 \text{ N/mm}^2$
許容応力度 $FC = 30 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{ca} = 10.00 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{ca} = 10.00 \text{ N/mm}^2$
検定値 ($\sigma_{zzmax}/\sigma_{ca}$)	0.631	0.579

c).PHC杭壁内側Uチューブ設置法の開発



長さ15m以上の杭での上下の
融着接合
ポリエチレンメーカーの協力で
接合時間を縮減



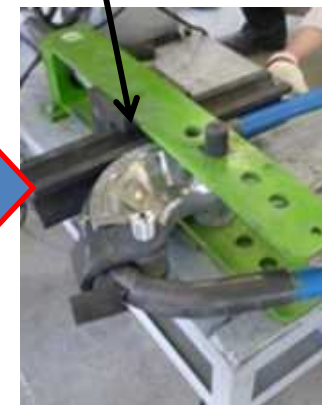
ポリ管のUターン数がボーリング工法の10倍になる。螺旋管では、セメントミルク泥への圧入に直交し、損傷のリスクとなり、上下間隔固定でコストが高い。鉛直圧入で、Uターン部は鋼鞘管でポリ管の保護と漏水リスクをなくし、施工費も削減した。
→



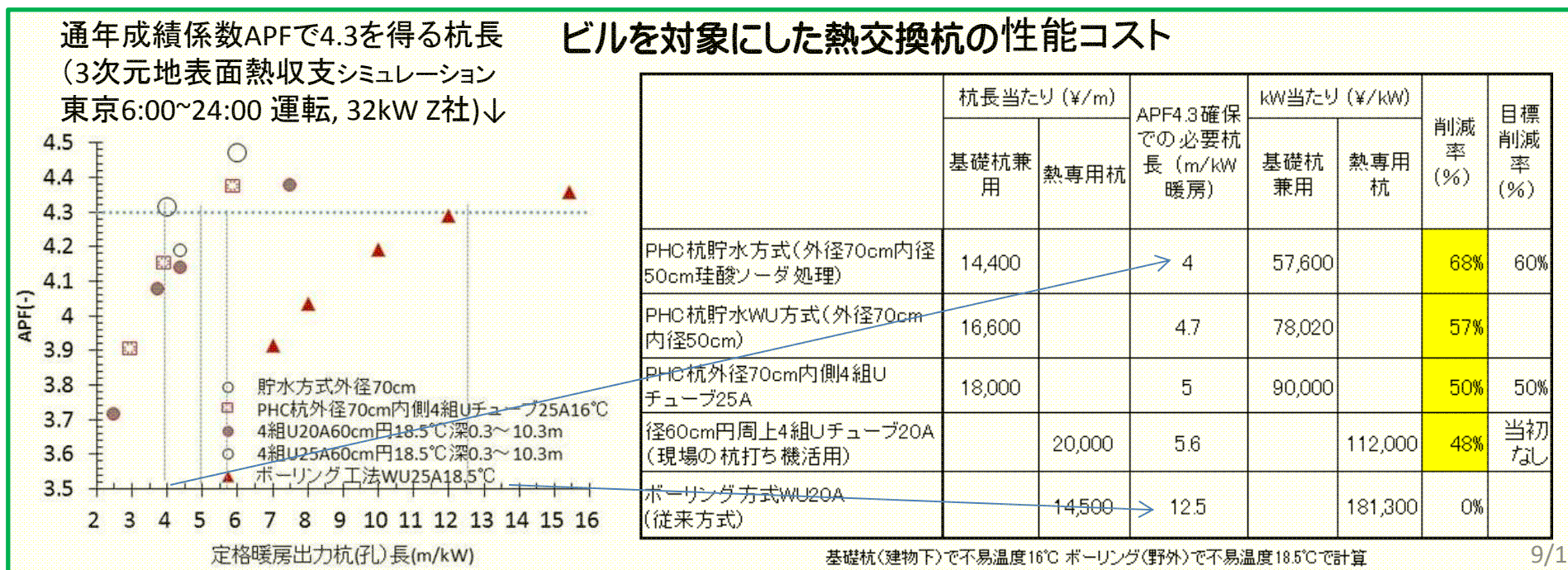
←鉄筋籠は杭用量産品で費用削減し、鉄筋籠固定ポリエチレン管は杭内に納めて輸送。



従来：融着接合でUターン



鋼製鞘管に通してベンダー曲げでUターン

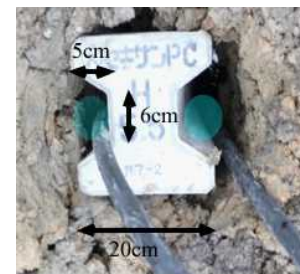


②戸建住宅から中規模施設を対象にした熱交換杭の開発

a.) H型PC(プレストレスコンクリート)杭外付けUチューブ工法



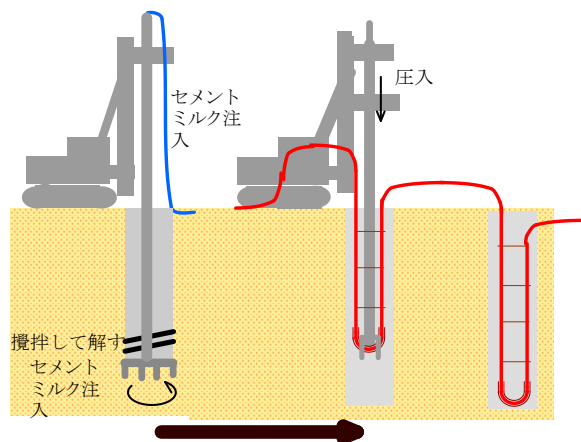
短い杭となるのでUターン箇所数がボアホールの数10倍になる。融着接合では漏水リスクが増えるので鋼製鞘管曲げで漏水なし、コストも削減した。



既往のH杭躯体内へのポリ管設置でなくH杭外側凹みへのポリ管設置で、ポリ管と杭を痛めずに、工場と施工費を削減した。



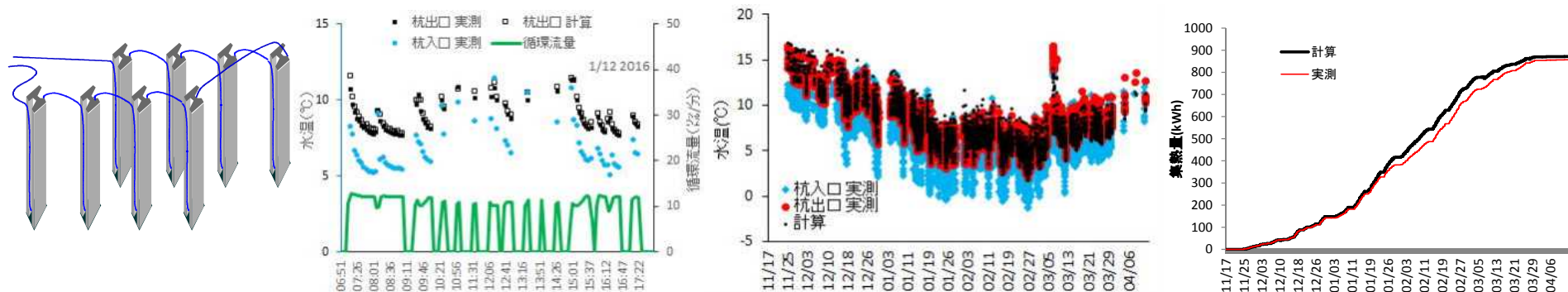
b.) 柱状地盤改良機を利用した攪拌圧入WUチューブ工法



汎用H型鋼利用でコストダウン

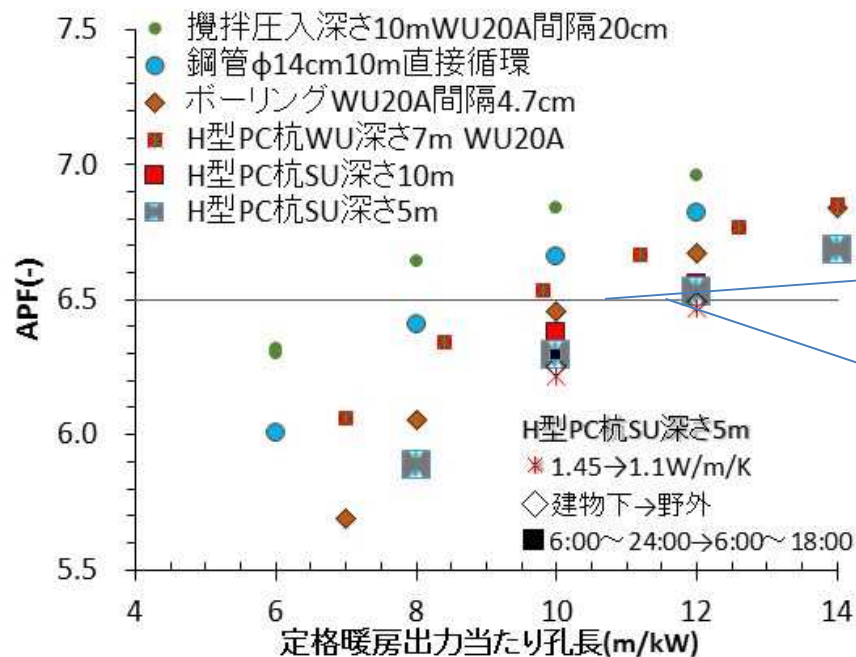


圧入用ロッド引き抜き時に空洞が生じる例が判明→地盤改良杭との兼用は無理



↑杭入口水温, 循環流量を実測値で与え, 杭出口水温の地表2次元地中3次元のシミュレーション値は実測と一致.
開発杭はシミュレーション通りの性能になることを確認

そのシミュレーションで
各工法毎での杭長-通年成績係数を算出↓



出力1kWでAPF6.5を得る杭長(m/kW)での杭設置費

	設置費(¥/m)		APF6.5確保での必要杭長(m/kW)	設置費(¥/kW)		削減率 ¥/kW比較	同左目標削減率
	基礎杭兼用	熱専用杭		基礎杭兼用	熱専用杭		
ボーリング方式WU20A間隔5cm		22,800	10.5		239,400	0%	0%
攪拌圧入WUチューブ20A間隔20cm深さ10m(柱状地盤改良機利用)		12,400	7.0	空洞で不可	86,800	64%	65%
H型PC杭外付けWUチューブ20A深さ7m		12,300	9.6		118,100		
	8,200			78,720			
H型PC杭外付けSUチューブ20A深さ5m	5,300		11.6		61,500	74%	55%

C社直膨ヒートポンプ性能使用(暖房定格5kW)
東京気象データ, 運転時間6:00~24:00

ハイブリッド(空気熱5kWと地中熱3kW)の効果

ハイブリッド 8kW	熱源	1)H型PC杭外付けUチューブ 7本杭長8m9℃	2)空気熱	1)2)計 消費電力に床循環ポンプ加算
	COP(-)床暖房循環なし	3.16	3.03	
	SCOP(-)			3.07
	積算出力(kWh/y)	4,901	9,834	14,735
	消費電力量(kWh/y)	1,553	3,245	4,798
	30分毎最大消費電力(kW)			2.39
	同上一時熱源温度(℃)	-2.61	-6.83	
地中熱 HP 8kW	熱源		H型PC杭外付けUチューブ18本 杭長8.3m計 149m床下	ボーリングWUチューブ 139m野外
	SCOP(-)		2.73	2.69
	積算出力(kWh/y)		14,928	14,795
	消費電力量(kWh/y)		5,464	5,497
	30分毎最大消費電力(kW)		2.40	2.65
	同上一時熱源温度(℃)		-0.95	0.81
	年電気代(¥/y)		145,639	150,921
空気熱 HP 8kW	SCOP(-)	2.70		
	積算出力(kWh/y)	15,139		
	消費電力量(kWh/y)	5,603		
	30分毎最大消費電力(kW)	3.07		
	同上一時熱源温度(℃)	-3.77		
	年電気代(¥/y)	160,739		

ハイブリッド制御のゆっくり増減も節電に寄与

料金:業務用

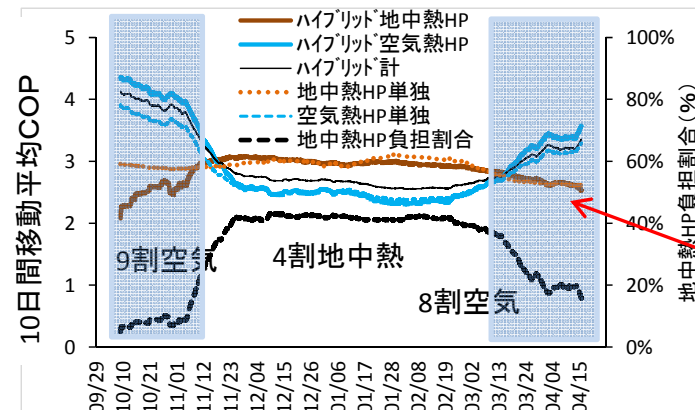
杭29万円の増は10.5年で償還

ハイブリッド HP 8kW	熱源	1)H型PC杭外付けUチューブ 6本杭長7m	2)空気熱 定格 5kW	1)2)計 消費電力は床循環ポンプ加算
	COP(-)床循環ポンプなし	4.31	3.67	
	SCOP(-)			3.83
	積算出力(kWh/y)	1,559	5,226	6,785
	消費電力量(kWh/y)	361	1,423	1,773
	30分毎最大消費電力(kW)			2.73
	同上一時熱源温度(℃)	2.93	0.93	
地中熱 HP 8kW	熱源	ボーリングWUチューブ20A 野外 96m	H型PC杭外付けUチューブ床下18本 本杭長6.9m総長 110m	
	SCOP(-)	3.42	3.48	
	積算出力(kWh/y)	6,892	6,920	
	消費電力量(kWh/y)	2,013	1,988	
	30分毎最大消費電力(kW)	2.10	2.28	
	電力量料金+再生エネ賦課	37,196	36,731	
	基本料金	39,004	42,476	
空気熱 HP 8kW	年電気代(¥/y)	76,200	79,207	
	SCOP(-)		3.13	
	積算出力(kWh/y)		6,981	
	消費電力量(kWh/y)		2,231	
	30分毎最大消費電力(kW)		3.49	
	電力量料金+再生エネ賦課		41,225	
	基本料金		64,895	
	年電気代(¥/y)		106,119	

杭26万円の増は11.5年で償還

杭44万円の増は15年で償還

札幌24時間運転数値シミュレーション



福井市 運転時間8:00~19:00 部屋面積70m² 数値シミュレーション

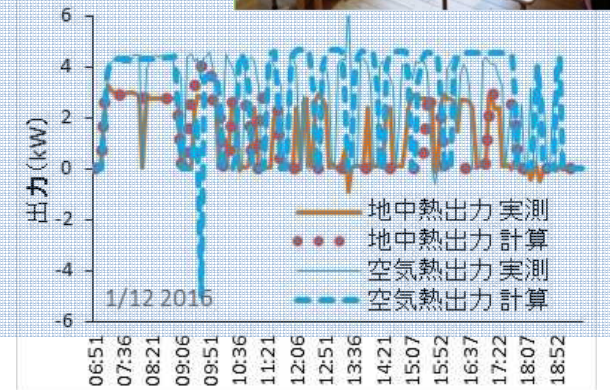
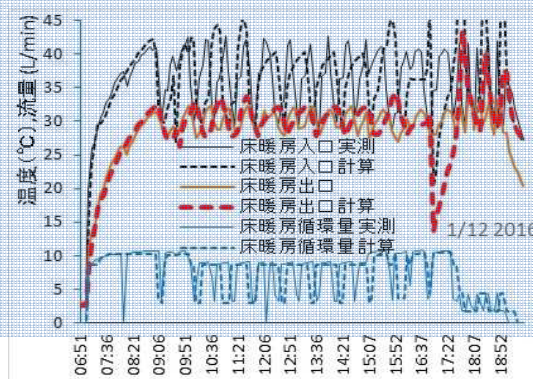
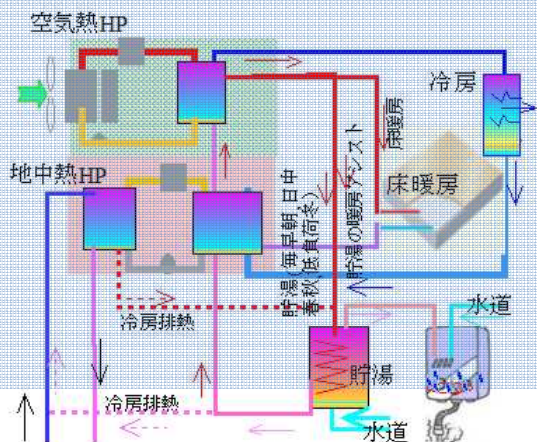
外気温4℃以上 空気熱 以下地中熱を優先運転で
地中熱100%に比べ杭長を3/8に減らしながら

札幌例で運用費8%減 SCOP12%向上
福井例で運用費10%増 SCOP7%向上
空気熱, 地中熱の強みを活かしている

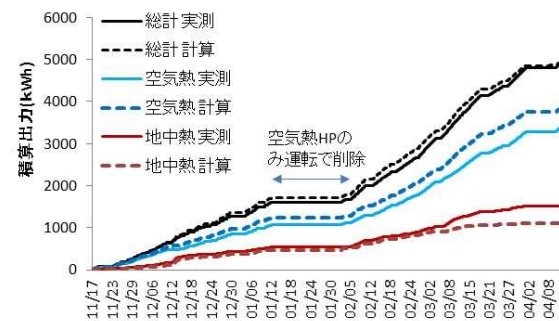
③システム開発

空気・地中熱ハイブリッドHPの床暖房・給湯・冷房システムの開発。

②の開発地中熱交換Uチューブを用いた地中熱と空気熱のヒートポンプの直列加熱で床暖房するシステムを福井市内保育園で運転。地中熱HPの熱交換器の改良。対応シミュレーションソフトを開発し、実測で検証。



ハイブリッド床暖房運転
シミュレーションvs実測



地中熱熱交換器の改良効果

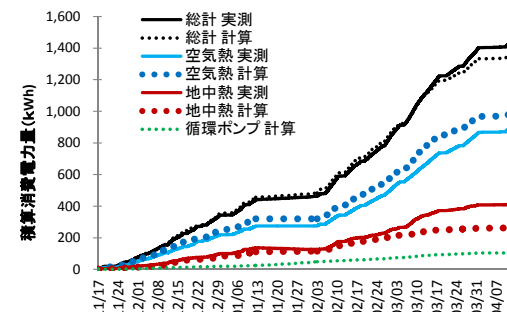
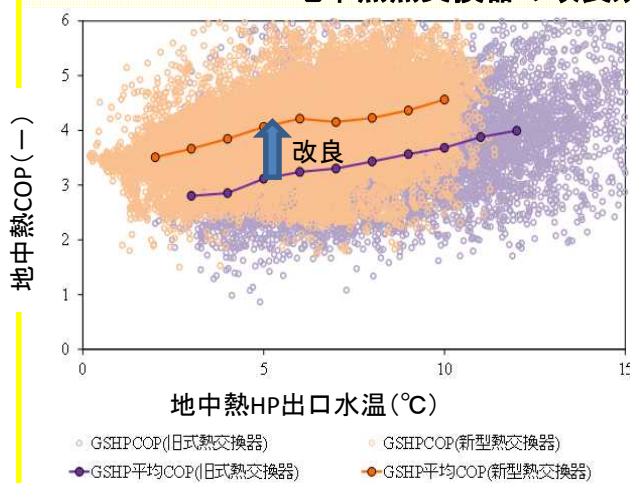
・外気温5°C条件('16.2.4 9:00~12:00)

外気温°C	地中への戻り温度°C	出力 kWh	消費電力 kWh	SCOP (-)
5.13	5.95	10.85	3.54	3.06

↓ ハイブリッド全体SCOP 9%向上

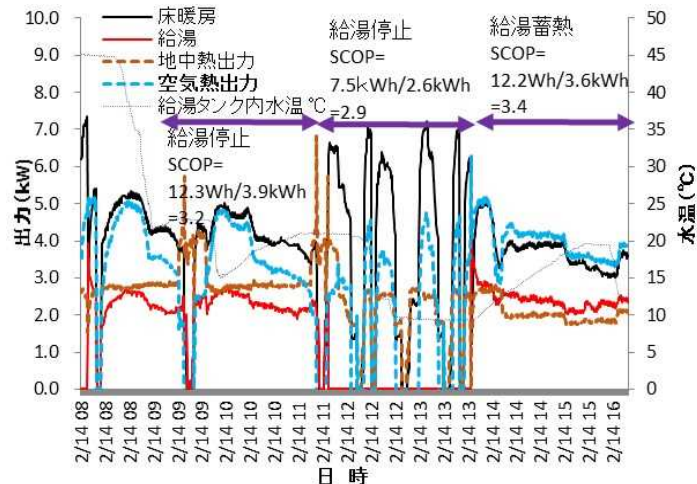
外気温4°C条件('17.2.7 9:00~12:00)

外気温°C	地中への戻り温度°C	出力 kWh	消費電力 kWh	SCOP (-)
4.37	5.76	11.45	3.43	3.34

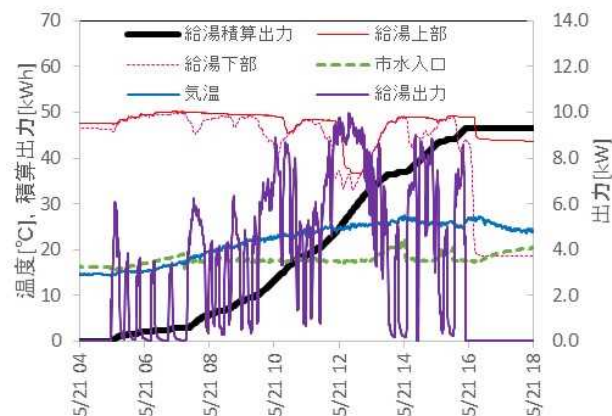


給湯との共生(床暖房ハイブリッドHPを使う)
 業務用プロパンガス(効率0.85込み)料金:¥10/kWh
 基本料金は床暖房負担なので電気料金:¥15.5/kWh
 HPの暖房出力に余裕がある時
 COPが1.55以上での給湯利用は運用費削減

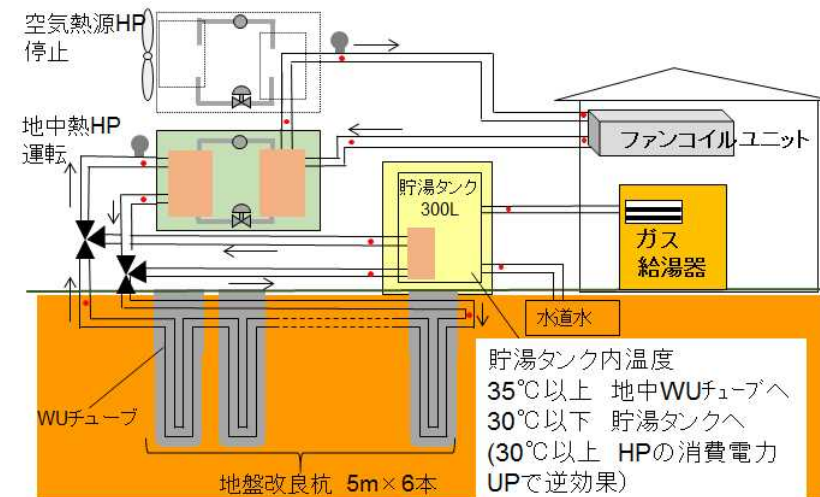
冬: 床暖房低負荷時の貯湯で 断続運転が回避され
 SCOP12%UP 貯湯2kW*8hr/day



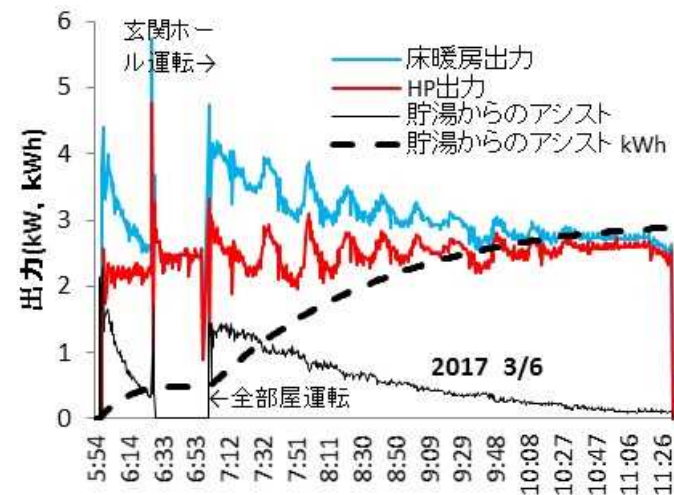
秋春: 空気熱HP運転 COP3.8



夏: 冷房温排熱で貯湯
 SCOP 3.38→3.89' 16.8/19~9/2
 SCOP 4.61(排熱給湯 94.1kWh/8day' 17
 7/20~7/28



**冬: 貯湯300Lで床暖房をアシスト. 部屋面積70
 m²(従来定格8kWヒートポンプ)は7kWで賄える.
 アシストを要する低気温時は貯湯は給湯に使わず, 床暖房ア
 シストに備える,**



HPC杭外付けUチューブとシステムでの開発 コスト削減効果（定格8kWに給湯タンク1台福井市内想定）

	従来 ボアホール地中熱8kW, 床暖房・冷房		開発 H型杭外チューブ地中熱3kW熱交換器改良, 空気熱5kW 床暖房・冷房 給湯, 貯湯での暖房アシスト	
設置費	部屋面積70m ² /8kW	¥3,115,000	部屋面積70m ² /7kW×(7kW+1kW)=80 部屋面積80.0 m ² を70m ² でファンコイルを削いで換算 (¥279368+ ¥501600+ ¥150000) / 70m ² / 72.5m ² =	¥1,542,000
	部屋面積1m ² 当たり 床マットを除く	¥44,500/m ²	部屋面積1m ² 当たり床マットを除く ¥1,107,000/80m ² =	¥19,275/m ²
		100%	システム削減率57% 地中熱換算削減率21%	43%
	ボアホールWUチューブ8kW 96m ¥273,600/kW ¥22,800/m	¥2,188,800	H型外付けSUチューブ兼用杭3kW6本 7m ¥93,123/kW 出力当たり削減率66%	¥279,368
メーカー施工 者受け取りの 1.2倍	ヒートポンプ 定格暖房:2台4kW ファンコイルユニット(冷房用)	¥718,080 ¥208,269	ヒートポンプ 空気定格暖房:5.0kW 地中熱定格暖房:3kW ファンコイルユニット(冷房用)	¥501,600 ¥208,269
			給湯タンク300L, 制御バルブ, 熱交換器 1 ¥600,000 *600000*1=	¥600,000
			空調電気代¥69555-給湯費増減¥44871=	¥24,684/年間
			システム削減率37% システム削減率×8kW/3kW= 地中熱換算削減率97%	63%
電気代+ ガス代	空調電気代 ¥39,745+¥38,900=	¥78,645	空調電気代(ハイブリッド化, 熱交換器改良, 給湯利用, 貯湯槽で暖房アシスト)	¥42,256+¥27,300= ¥69,556/y
	電気基本料金 2.48kW*¥1550.2/kW/月*12月*0.86=	¥39,745/y	電気代年基本料金 2.48kW*(1-0.13)*(1-0.08)*¥1550.2/kW/月*12月=	¥42,256/y
	30分毎平均値最大2.48kW 計算補正值:地中熱単独2.44/ハイブリッド2.83=0.86		地中熱HP熱交換器改良 1-3.28/3.58=8%向上	
	1550.2/kW/月		30分毎平均値最大2.48kW 実測値 1550.2/kW/月	
15年間分	電力量料金 15.53/kWh 259331+12967=	¥38,900/y	電力量料金 ¥15.53/kWh 20489+16322+3313=	¥27,300/y
	冬期ハイブリッド実績 1,360kWh 計算補正值:地中熱単独2.92/ハイブリッド3.59=1.23		冬期実績 1,360kWh *2/14 給湯利用の断続運転回避での向上12% 1360kWh*¥15.53/kWh*(1-0.12)	¥18,588/y
	1360kWh*¥15.53/kWh*1.23=	¥25,933/y	夏 冬の5割推定 680kWh COP給湯なし5.1/給湯あり4.72 680kWh*¥15.53/kWh*5.1/4.72=	¥11,412/y
	夏 冬の5割推定 680kWh 680kWh*¥15.53/kWh*1.23=	¥12,967/y	地中熱HP熱交換器改良×上記計 2016 2/4 SCOP9% 向上 9%	-¥2,700/y
			給湯費 (プロパンガス減+電気代増)	***** 38825-83696= -¥44,871/y
			ガスからHPへの転換給湯熱量 8,283kWh/y/園 1園の25%での 15861+6626+3337+13001=	電気使用料金¥38,825/y
			15→80℃食器洗浄器全出力 27.035kWh/y/園	
			給湯/秋・春HP化 29.3kWh/d*20d/M*5M=3,221kWh '17 5/21 他平均7:00~16:00 cop=3.2 3221kWh/3.2*¥15.53/kWh=	¥15,861/y
			給湯/冬負荷 8h/d*2kW*22d/M*4M=1,408kWh '17 2/14 7:00~16:00 cop=3.3 1408kWh/3.3*¥15.53/kWh=	¥6,626/y
			給湯/夏排熱 13.3*30.5*2.5M=1,014kWh '17 7/20-7/28 7:00~16:00 cop=4.7 1014kWh/4.7*¥15.53/kWh=	¥3,337/y
			給湯早朝 10kWh/d*22d/M*12M=2,640kWh/y '17 5/21 5:00~7:00 cop=3.2 2640kWh/3.2*¥15.53/kWh=	¥13,001/y
			業務用プロパンガス料金増 効率0.85込み ¥10.1/kWh -8136-3557-2562-6669=	-¥30,696/y
			給湯/秋・春 -3,221kWh '17 5/21 他平均7:00~16:00 -3221kWh*¥10.1/kWh=	-¥32,545/y
			給湯/冬負荷 -1,408kWh '17 2/14 7:00~16:00 -1408kWh*¥10.1/kWh=	-¥14,227/y
			給湯/夏排熱 -1,014kWh '17 7/20-7/28 7:00~16:00 -1014kWh*¥10.1/kWh=	-¥10,247/y
			給湯早朝 -2,640kWh/y '17 5/21 5:00~7:00 -2640kWh*¥10.1/kWh=	-¥26,676/y
合計		¥4,295,000/15年間 100%		¥1,912,000/15年間 45%

杭単価
66%削減,
それを
3/8しか使
わない
杭削減率
83%に

運用費
空調は1
割削減,
給湯削減
が多い.
貯湯タン
ク設置費
が増える

55%削減

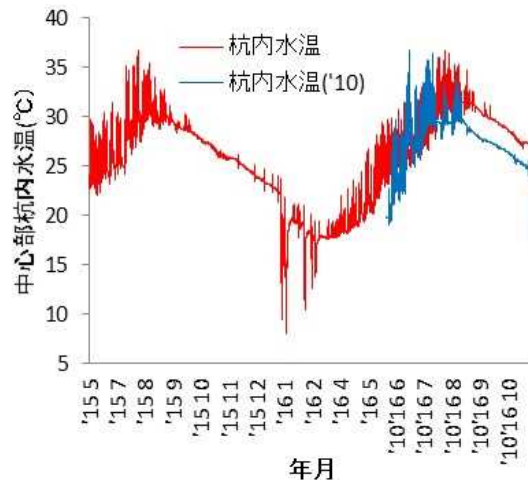
b).熱干渉の群杭効果で 夏の熱を冬まで地中蓄熱 融雪システムでの節電



速く
回す

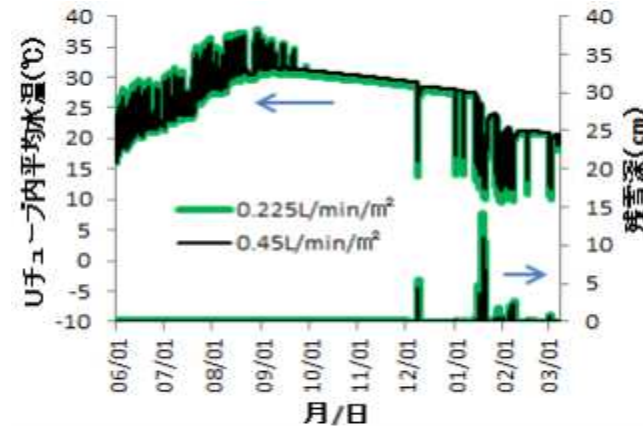


ゆっくり回す



従来2010年より、流量1/2
化後の2016年11月の地中
温度は27°Cで高い

福井駅北通り
実証導入(H29年度～)
夏:間欠運転に変える

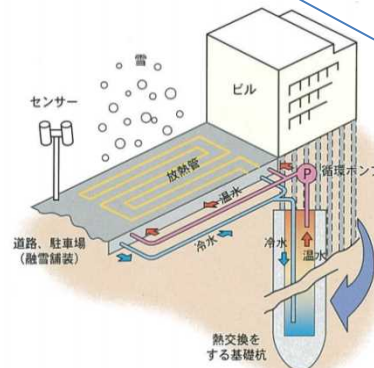


蓄熱時インバーターで流量1/2にして実証
融雪出力17kWh/m²/y(暖冬年)

消費電力 蓄熱:2.04 → 0.61kWh/m²/y
融雪:0.30 → 0.30 kWh/m²/y
年間:2.34 → 0.91 kWh/m²/y

60%削減(目標30%) COP:7.3→19

杭間隔が5mと離れた基礎
杭兼用利用でも
夏蓄熱法が設置費+運用費
で37%安価に



←夏の蓄熱で流速を半
分にしても蓄熱効果は
変わらない(計算).

連日の蓄熱で地中は
熱飽和し拡散しない.



実証施設(H27,28年度)
インバーター利用

開発(蓄熱)←従来(蓄熱なし)

杭総長/融雪面積	1m/m²	2.5m/m²
蓄熱運転時間	476hr/y	0
循環ポンプ使用量5W/m2	2.4kWh/y/m²	0kWh/y/m²
電力量料金12円/kWh	28.6円/y/m²	0円/y/m²
融雪運転時間	114hr/y	133hr/y
循環ポンプ使用量5W/m2	0.6kWh/y/m²	0.7kWh/y/m²
電力量料金16円/kWh	8.9円/y/m²	10.3円/y/m²
電力基本料金1550円/kWM	93.円/y/m²	93.円/y/m²
電気代(運用費)30年間	3,912 円/m²	3,098 円/m²
融雪面設置費	8,000 円/m²	8,000 円/m²
杭配管熱源設置費	14,400 円/m²	36,000 円/m²
制御・ポンプ等	10,000 円/m²	10,000 円/m²
設置費計	32,400 円/m²	54,000 円/m²
設置費+30年間運用費	36,312 円/m²	57,098 円/m²
標準年最大残雪深(面平均)	1.8 cm	2.4 cm

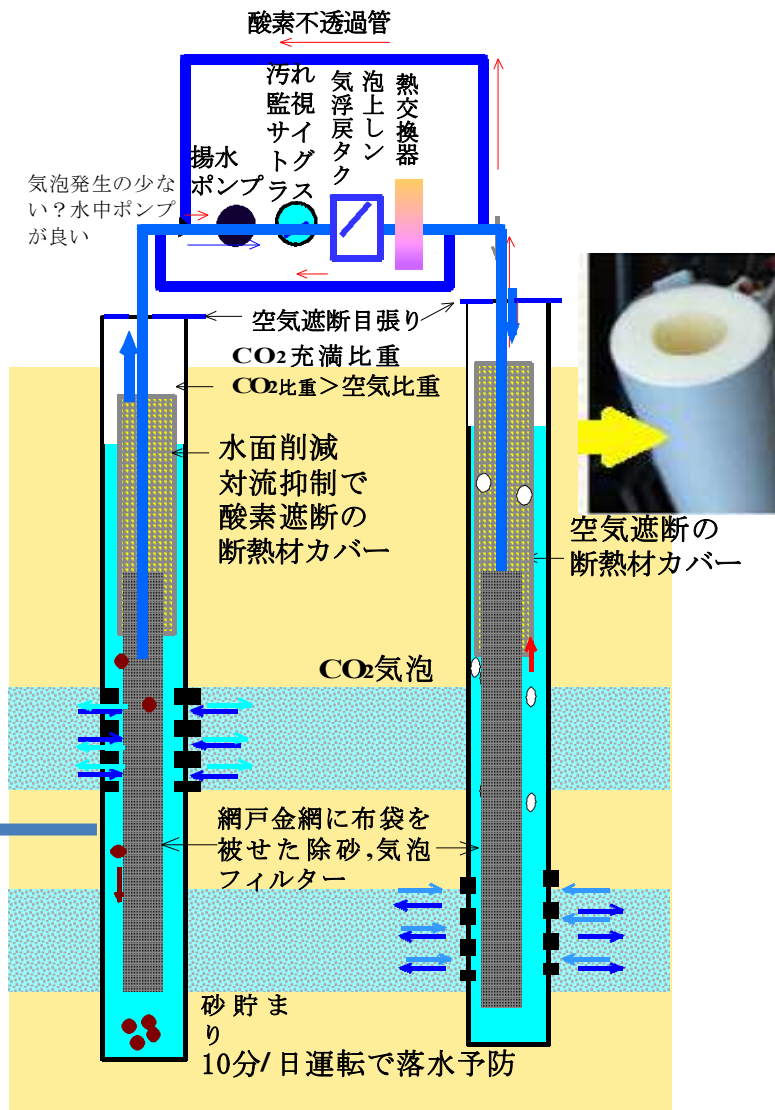
④.地下水循環利用技術の開発 鉄, 遊離炭酸, 細砂の地下水を酸素遮断と布袋で循環

福井平野での井戸利用深さ80mが6m~20mにすれば井戸設置費は1/3になる. この浅い地下水は鉄分や遊離炭酸が冷凍機使用基準の数十倍である. 鉄分は空気に触れ酸化析出し, バクテリアが増殖し, 井戸や熱交換器は目詰まりする.

管路を金属管で酸素を遮断し, 揚水管とケーシングの隙間を断熱材で詰め井戸内対流と水面の面積を減らし酸素を遮断した. それでメンテナンス無しで2カ所各3年運転できた. 1カ所で融雪水(酸素)が揚水井戸に入ると観察サイトガラスが赤黒くなり, 酸素遮断の不可欠性だと示された.

深さ6~8m帯水層の揚水では簡易スクリーンは10分間で砂で目詰した. スクリーン面積が100倍の網戸防虫金網に細長く巻いた円筒布袋を井戸内の揚注水管の周りに設置すると1シーズン運転できた.

注水井戸を透明にして, 地上で可視化した. この布に細かいCO₂気泡が付着し纏まり浮上していた.



簡易スクリーンは10分間で砂で目詰まり



網戸防虫金網に布袋を被せたスクリーン
砂は底に落下 面積100倍



注水井戸↓
透明管 & 地上→見える
注水管
↓
ケーシング
↓
布袋に付着するCO₂気泡
まとまって浮上