

# 『次世代型ヒートポンプシステム研究開発』

研究評価委員会

発表資料(公開)

## 地下水制御型高効率ヒートポンプ 空調システムの研究開発

清水建設株式会社

(再委託先:独立行政法人産業技術総合研究所)

国立大学法人信州大学

平成26年10月17日

研究開発期間:平成22年7月1日 ~ 平成25年2月28日

# 発表内容

1. 研究開発の背景、目的、目標
2. 研究開発の計画、研究体制
3. 技術内容と成果
4. 実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組み

# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1.0. テーマの位置付け

業務用次世代型ヒートポンプシステムとして、未利用熱の一つである地下水熱を活用するシステムの構築を目的とした研究開発を行う。

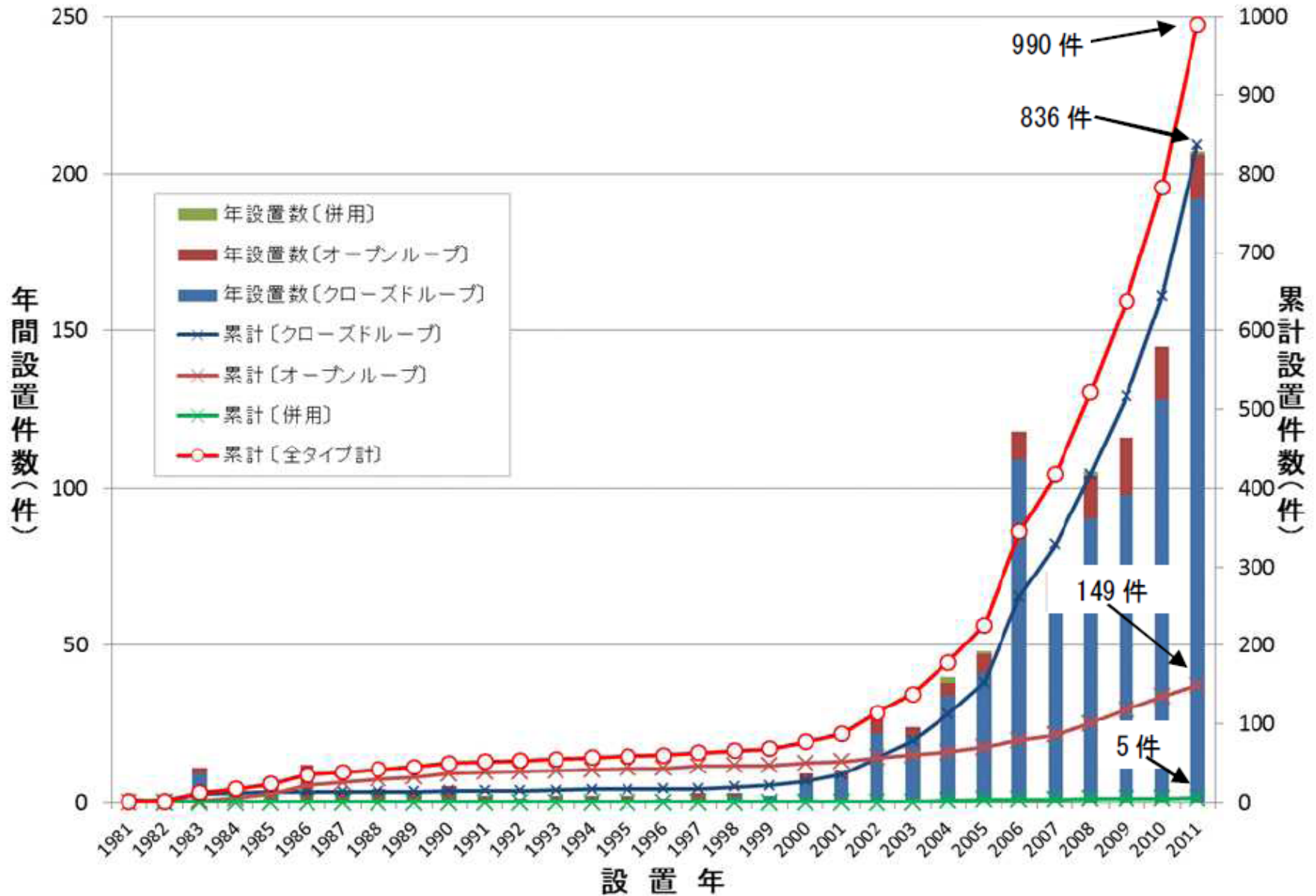
研究開発項目		重要課題			
分野	テーマ名	多様な未利用熱の活用	実負荷に合わせた年間効率の向上	生成熱の最大限の活用	高温熱の効率的な生成
家庭	デシカント・蒸気圧縮式ハイブリッド型ノンフロストヒートポンプの研究開発		○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：寒冷地		
業務	次世代型ビル用マルチヒートポンプシステムの革新的省エネ制御の研究開発		○ 対象：冷暖房 条件等：低負荷		
	実負荷に合わせた年間効率向上ヒートポンプシステムの研究開発		○ 対象：冷暖房 条件等：低負荷		
	地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発	○ 対象：冷暖房 条件等：地下熱			
産業 (インフラ)	都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技術	○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：下水熱、熱移送		○ 対象：冷暖房、給湯 条件等：下水熱、熱移送	
	高密度冷熱ネットワークの研究開発			○ 対象：冷房 条件等：下水熱、熱移送	
調査事業	次世代型ヒートポンプシステムの性能評価ガイドライン策定と運用に関する検討				

# 1. 研究開発の背景、目的、目標

## 1. 1. 背景

- ・再生可能エネルギーとして活用が期待されている地中熱HPシステムは「大別してクローズドタイプ(地中に熱交換器を埋設するタイプ)とオープンタイプ(揚水して熱交換後、還水するタイプ)」に分けられる。
- ・近年、両タイプとも普及が加速されてきている。(別図参照)
- ・地中熱利用HPは、メリットとして効率が高いことが挙げられるが、オープンタイプでは揚水、還元井の設置コスト、クローズドタイプでは地中熱交換器の設置コストが普及の阻害要因となっている。
- ・本テーマはもともと効率が高いと云われているオープンタイプの弱点である熱交換によるエクセルギー損失を抑えることで効率をさらに高めることが狙い。
- ・これにより一層の普及によるCO2削減などが期待される。
- ・効率目標は全体プロジェクトの目標値をさらに底上げして高い目標を掲げた。  
(1.5倍 → 1.7倍)

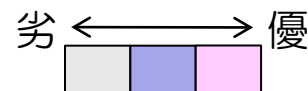
# 地中熱利用ヒートポンプシステムの年間および累計設置件数



## 1. 2. 課題・目的

- ・ ヒートポンプシステムの普及展開を推進していくためには、高効率化に加えて、経済性に優れ、適用可能地域が大きいシステムを開発することが重要と考えられる。
- ・ そこで本研究では、地下水を循環利用して、地下水熱を熱源としたヒートポンプと二次側空調システムを有機的に結合し、システム全体として高効率化すると共に、経済性および適用性に優れた地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムを開発する。また、本システムの長期連続運転を可能にすることも目的とする。
- ・ なお開発に際しては、新規性の高いヒートポンプの開発も視野に入れているが、このような特殊機器の将来的なコストダウンも普及展開に影響するため留意して開発を進める必要がある。

# 従来システムの課題



項目	(C) クローズド型	(O1) オープン型 (従来方式)	(O2) オープン型 (地下水制御)	備考
ボアホールあたりの出力量	小	中	大	
蓄熱・再利用の効果	小	中	大	(O2)蓄熱可能な <b>ATES</b> (Aquifer Thermal Energy Storage) タイプ
地盤環境への影響	小	大	大	(O1)(O2)揚水による地盤沈下、注水による隆起
周辺地下水の汚染	大	小	小	(C)不凍液の漏洩による汚染が懸念される
地下熱環境への影響	中	大	小	(C)付加した熱は管理できない (O1)蓄熱による地下熱環境への影響が懸念 (O2)影響範囲をコントロールできる
システムの導入実績	多	少	なし	
維持管理のしやすさ	中	中	中	(C)U字管は埋設するためメンテナンスできない (O1)(O2)地盤の目詰まり

## 【オープン型（従来方式）の課題】

- ・クローズド型に比べ蓄熱効果は高いが、再利用の効率は高くない
- ・地下水流動がない場所では季節間の熱貯留で熱干渉が生じる可能性あり
- ・地下水流動が大きい場所では、蓄熱ロスも大きくなる

# 1. 3. 事業最終目標

全体目標 (主目標)	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
地下水制御型高効率HP空調システムの開発	従来システムに比べ1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率HP空調システムの実現 (PRJ全体目標を上回る値として設定)	未達成
研究課題目標	達成目標(値)と設定理由	開発当時の 技術レベル
(1)水質制御技術の開発	目づまり防止を確実にできる技術レベルに達成していることを明示 (6月以上の目詰まりの発生がない状況)	室内実験で可能性が確認
(2)実証実験による基盤技術の実証	実証実験機的设计・運転による環境性能1.5倍の達成 (全体目標は1.7倍であったが室使用用途が異なることから1.5倍としている。)	簡易シミュレーションで可能性が把握される
(3)商用実機の性能・経済性検討	現状システムの1.7倍及び単純回収年数が10年以内を明示 (10年は設備寿命が来る前に十分にメリットが出る目安として設定した)	未達成

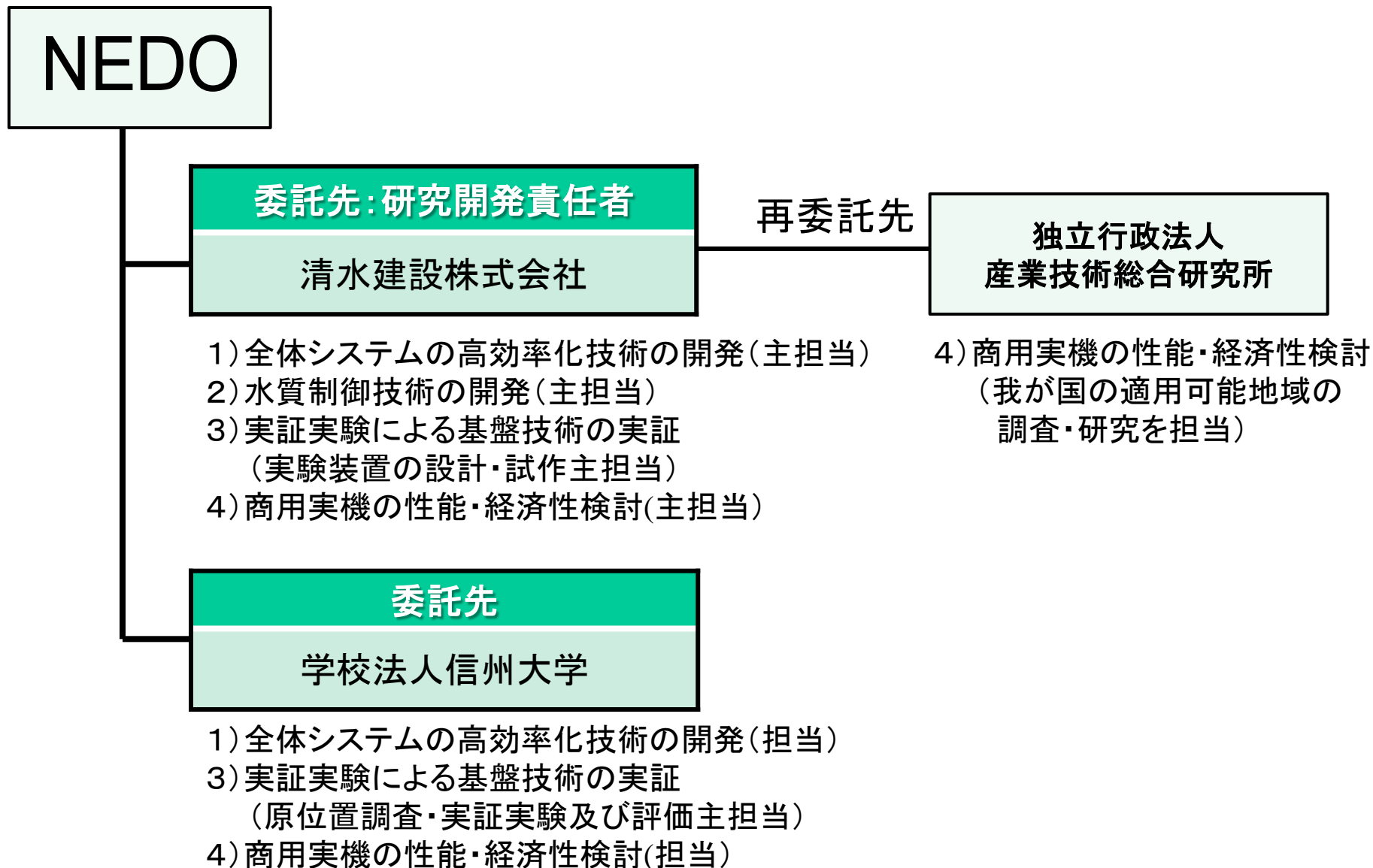


## 2. 研究開発の計画、研究体制

### 2.1. 実施計画

	2010Fy	2011Fy	2012Fy
1) 全体システムの高効率化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二次側空調システムの検討</li> <li>・ヒートポンプの開発</li> <li>・地下水制御技術の開発</li> </ul>		
2) 水質制御技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内実験</li> <li>・水質制御装置の設計</li> </ul>		
3) 実証実験による基盤技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原位置調査および評価</li> <li>・実証実験計画案の策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・装置の設計</li> <li>・装置の製作</li> <li>・実証実験及び評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証実験及び評価</li> </ul>
4) 商用実機の性能・経済性検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適用可能地域の調査研究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商用実機の検討条件設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商用実機的设计検討及び評価</li> </ul>
<b>研究開発費総計 227,8百万円</b>	<b>48.9百万円</b>	<b>150,6百万円</b>	<b>28,3百万円</b>

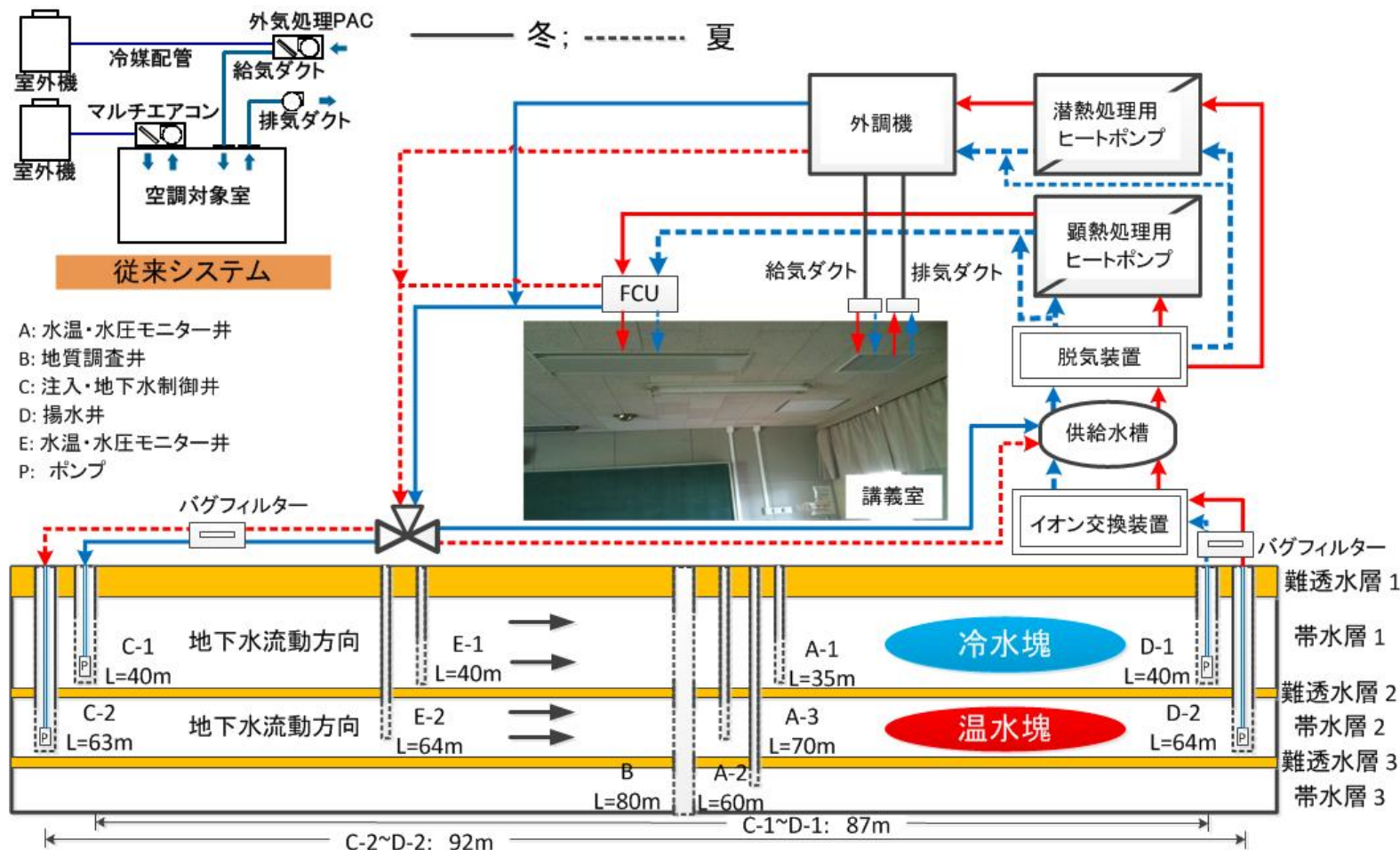
## 2. 2. 研究開発体制



# 3. 技術内容と成果

## 3.1. 成果

### 1) 全体システムの高効率化技術の開発



地下水制御型HPシステム概要

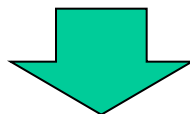


システム全景



水質制御装置

実証運転結果を踏まえて、地中の蓄熱効果を勘案するため2年目、3年目の計算を行った結果、3年目の**効率比は1.53**を得た。従って、蓄熱効果を加味すると十分に目標達成は可能であることが示された。



事務所ビルでは1.7倍以上の効率比が推測された。(目標達成)

## 2) 水質制御技術の開発

### ■ 背景

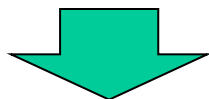
- ・ オープン型地中熱利用を行う場合、溶存イオンが存在することで還元井戸の目づまり・閉塞が課題であった。
- ・ また、空調の二次側まで地下水を流通させると、空調二次側でのスケールの付着などが懸念されるため一般には行われていなかった。

### ■ 目標

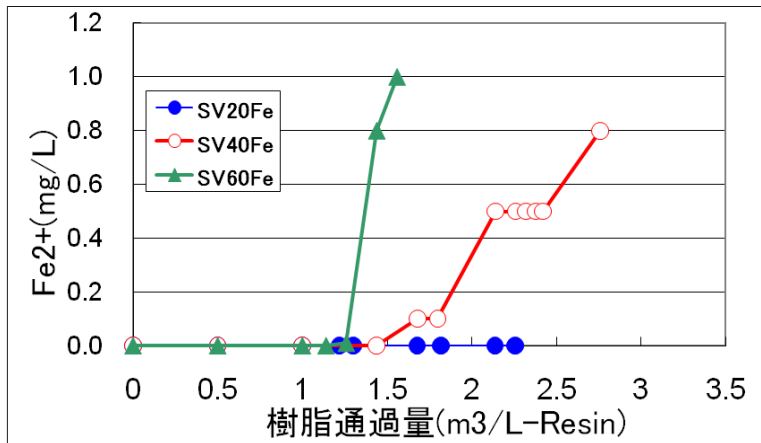
- ・ 目づまり防止を確実に行える技術レベルに達成していることを明示。  
(6月以上の目詰まりの発生がない状況)

### ■ 目標の達成度: 達成

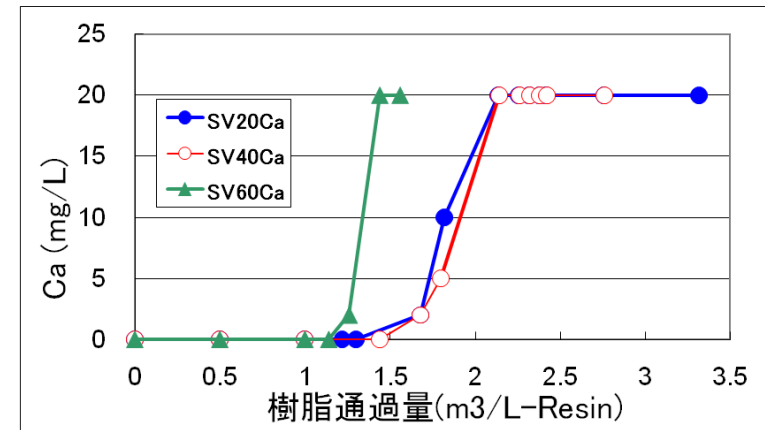
- ・ 技術を確立し、実証実験により1年以上、目づまりがないことが確認された。



技術的に商用実機でも導入が可能な目処が見ついた。

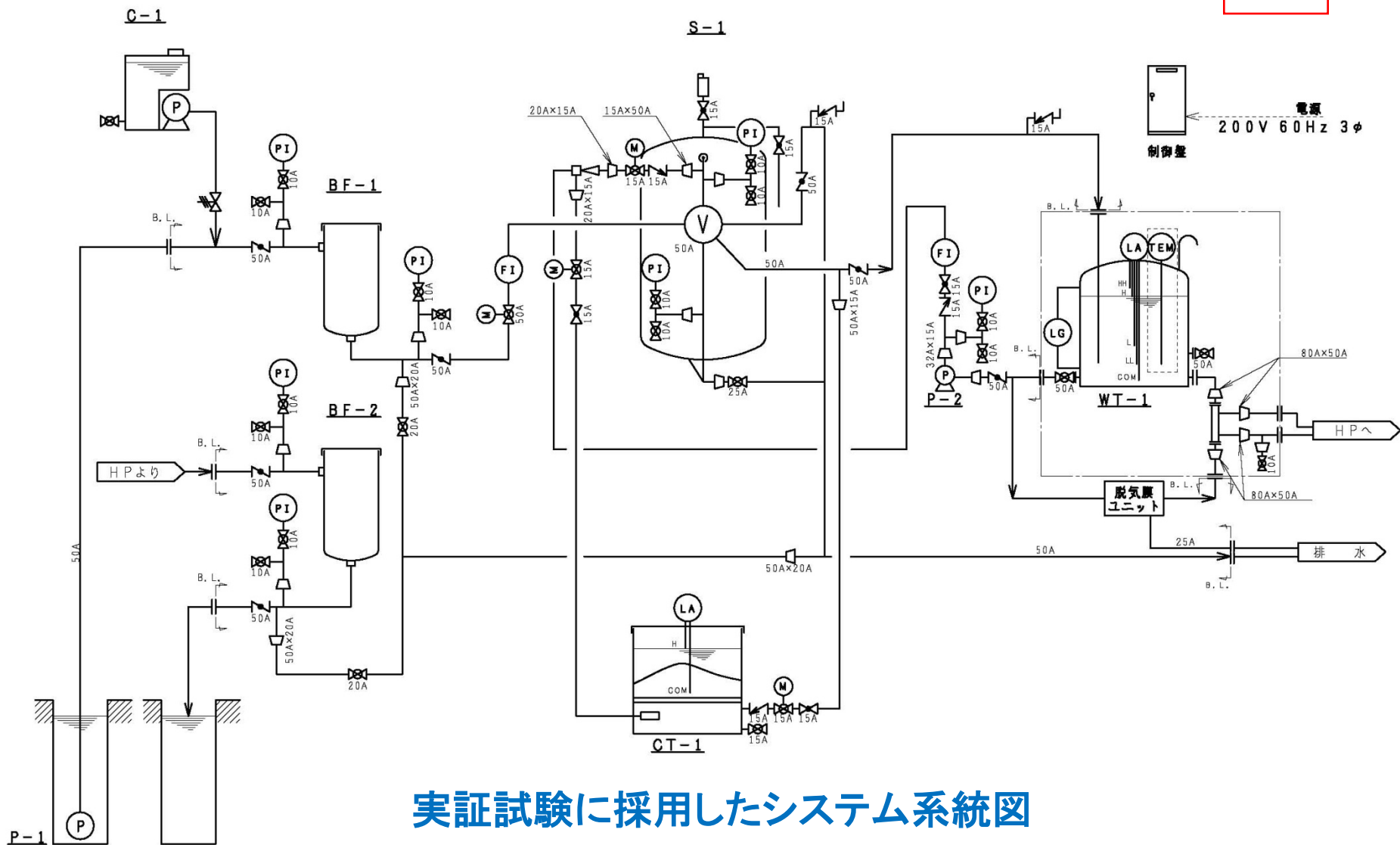


Feイオンに関する1再生あたり  
樹脂通水量



Caイオンに関する1再生あたり樹脂  
通水量

- ・ 実験によりイオン交換樹脂の体積当たりの処理可能水量を求めて、これにより装置設計を行った。(上記、グラフ参照)
- ・ 鉄1 mg/L以下の条件では軟水機(Na型イオン交換樹脂)を採用することで、一般に用いられる除鉄・除マンガン装置に比べ、約1/8にコンパクト化が可能となった。



実証試験に採用したシステム系統図

機器番号	P-1
名称	井戸ポンプ(範囲外)
数量	1台

機器番号	C-1
名称	Fe注入装置
数量	1式(*'ツ'1台,ツ'1基)
ポンプ	電磁パルスポンプ 30ml/min×1.0MPa PVC/PTFE、EPDM
タンク	PE 50L
消費電力	1.5W

機器番号	BF-1、2
名称	No.1,2バッグフィルター
数量	1基
材質	PP
型式	円筒型

機器番号	S-1
名称	イオン交換塔
数量	1基
寸法	φ700×1525SH
材質	SS400
充填材	イオン交換樹脂 300L 支持床 80L
型式	円筒型

機器番号	WT-1
名称	処理水タンク
数量	1基
寸法	3m <sup>3</sup> (φ1625×1625SH)
材質	PE
型式	円筒型

機器番号	CT-1
名称	食塩溶解槽
数量	1基
容量	500L(φ300×870H)
材質	PE
型式	円筒型

機器番号	P-2
名称	再生水ポンプ
数量	1台
容量	13L/min×33.5m
材質	SUS304
型式	渦巻型
消費電力	0.75kW

### 3) 実証実験による基盤技術の実証

#### ■ 目標

実証実験機の設計・運転による環境性能1.5倍の達成  
(全体目標は1.7倍であったが室使用用途が異なることから1.5倍としている。)

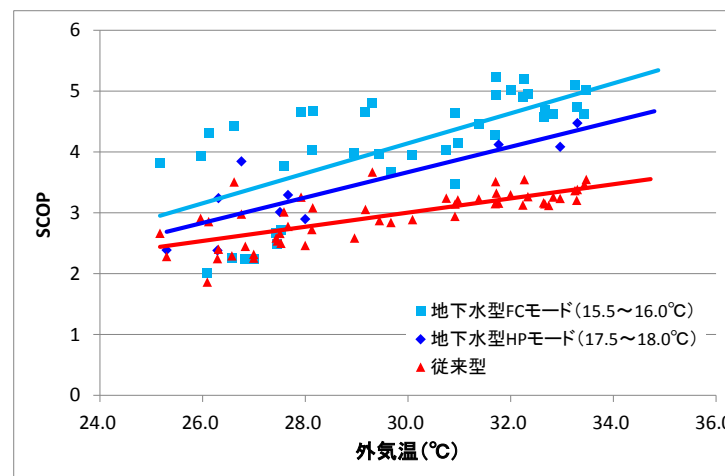
#### ■ 目標の達成度： 達成

年間の運転結果と効率比 (APF比)

		SPF APF	SPF比 APF比	CO2 削減率
地下水型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.53	1.08	47%
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	4.17	1.35	28%
	通年	3.11	1.21	41%
従来型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.35		
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	3.10		
	通年	2.57		
【補正】 地下水型	暖房 (2011/12/21~2012/3/6)	2.99	1.27	54%
	冷房 (2012/7/2~2012/8/31)	4.30	1.39	30%
	通年	3.50	1.36	48%

SPF (Seasonal Performance Factor)

APF (Annual. Performance Factor)



夏季の地下水利用フリークーリング運転、ヒートポンプ運転、従来型システムのCOP

地中の2年目以降の蓄熱効果を勘案するため2年目、3年目の計算を行った結果、3年目の**効率比は1.53**を得た。従って、蓄熱効果を加味すると十分に目標達成は可能であることが示された。



## 4) 商用実機の性能・経済性検討

### ■ 目標

- 1) 現状システムの1.7倍及び単純回収年数が10年以内を明示。  
(10年は設備寿命が来る前に十分にメリットが出る目安として設定した)
- 2) 普及展開を図るため日本全国の適地マップを整備する。

### ■ 実施内容

- 1) 1000m<sup>2</sup>、3000m<sup>2</sup>の事務所ビルを対象に長野、札幌、熊本でシステムの試設計を行い、見積を依頼し、イニシャルコストを算出した。また、システムシミュレーションを実施し、ランニングコストを算出し、回収年数を計算した。
- 2) 全国を対象とし、既往文献やデータより透水係数、地下水面深度、水面勾配などのデータを基に各地域を評価し、マップ化した。

### ■ 目標の達成度； 達成

- 1) 温暖地域を除く2地域でシステム効率が1.7倍以上になることを確認。  
また補助金を考慮すると全地域で単純回数年数がそれぞれ10年以内を達成。
- 2) 適地マップも整備済

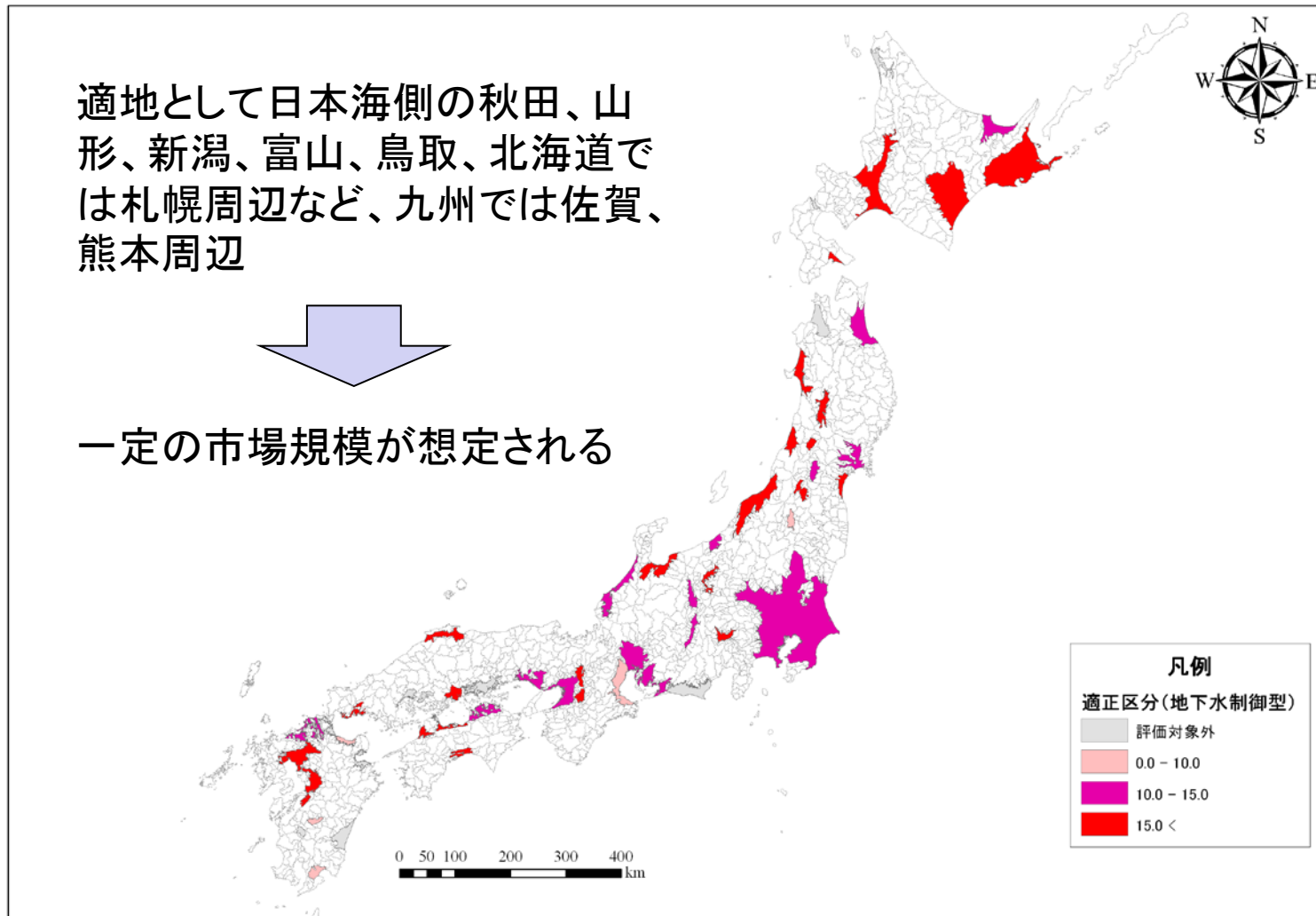
## 商用実機熱源方式別比較(蓄熱効果考慮、補助率:1/2)

地域		長野			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャルコスト	建築設備	70,000,000	26,800,000	95,520,000	32,960,000
	井戸・水質制御装置	37,725,000	18,945,000	-	-
	合計	107,725,000	45,745,000	95,520,000	32,960,000
ランニングコスト減		1,650,250	550,083	基準	基準
単純回収年数		7.4	23.2	基準	基準

地域		札幌			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャルコスト	建築設備	68,800,000	26,800,000	98,560,000	34,320,000
	井戸・水質制御装置	30,350,000	15,675,000	-	-
	合計	99,150,000	42,475,000	98,560,000	34,320,000
ランニングコスト減		1,742,000	580,667	基準	基準
単純回収年数		0.3	14.0	基準	基準

地域		熊本			
システム構成		地下水熱利用システム		空冷マルチHPシステム	
延べ床面積		3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>	3000m <sup>2</sup>	1000m <sup>3</sup>
イニシャルコスト	建築設備	70,000,000	27,000,000	87,440,000	30,480,000
	井戸・水質制御装置	28,000,000	14,625,000	-	-
	合計	98,000,000	41,625,000	87,440,000	30,480,000
ランニングコスト減		1,530,000	510,000.0	基準	基準
単純回収年数		6.9	21.9	基準	基準

10年以内  
を達成



地下水制御型高効率ヒートポンプシステムの適地マップ

## 3. 2. 最終目標達成状況

全体計画	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
地下水制御型高効率HP空調システムの研究開発	従来システムに比べ、1.7倍の性能を持つ地下水制御型高効率HP空調システムの実現		達成
個別研究項目	最終目標(値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
(1)水質制御技術の開発	目づまり防止を確実にできる技術レベルに達成していることを明示 (6月以上の目詰まりの発生がない状況)	室内実験で可能性が確認	達成
(2)実証実験による基盤技術の実証	実証実験機の設計・運転による環境性能1.5倍の達成 (全体目標は1.7倍であったが室使用用途が異なることから1.5倍としている。)	簡易シミュレーションで可能性が把握される	達成
(3)商用実機の性能・経済性検討	現状システムの1.7倍及び単純回収年数が10年以内を明示 (10年は設備寿命が来る前に十分にメリットが出る目安として設定した)	未達成	達成

### 3. 3. 特許出願状況

・H22年度～ H24年度 国内2件(外国出願0件)

出願番号	名 称	出願人
特願2011-45237	地中熱利用空調システム	清水建設株式会社
特願2011-102551	地中熱利用システム	清水建設株式会社

### 3. 4. 論文等

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014. 06	日本建築学会技術報告集	地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発	鈴木道哉 他

## 3. 4. 学会発表等(1)

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
2011年3月1日	第4回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	複数の揚水・注入井を組み合わせたATESの高効率化に関する研究	富樫聡・藤縄克之
2011年5月28日	日本地下水学会 2011年春季講演会	地下水制御型帯水層蓄熱(ATES)システムの開発	富樫聡・藤縄克之
2011年5月28日	日本地下水学会 2011年春季講演会	地中熱利用システムにおける基礎情報データベースの構築 その2	内田洋平・吉岡真弓・ 丸井敦尚 百田博宣(清水建設)
2011年6月	3rd International Conference on Energy and Sustainability	Enhanced aquifer thermal energy storage for cooling and heating of Shinshu University Building by using a nested well system	A.Tomigashi end K.Fujinawa
2011年9月8日	土木学会 第66回年次学術講演会	地下水利用型ヒートポンプシステムの適用可能地域の検討	百田博宣・ 内田洋平
2011年3月1日	第4回地下熱利用とヒートポンプシステム研究会	複数の揚水・注入井を組み合わせたATESの高効率化に関する研究	富樫聡・藤縄克之
2011年5月28日	日本地下水学会 2011年春季講演会	地下水制御型帯水層蓄熱(ATES)システムの開発	富樫聡・藤縄克之
2011年5月28日	日本地下水学会 2011年春季講演会	地中熱利用システムにおける基礎情報データベースの構築 その2	内田洋平・吉岡真弓・ 丸井敦尚 百田博宣
2011年6月	3rd International Conference on Energy and Sustainability	Enhanced aquifer thermal energy storage for cooling and heating of Shinshu University Building by using a nested well system	A.Tomigashi end K.Fujinawa

## 3. 4. 学会発表等(2)

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
2011年9月8日	土木学会 第66回年次学術講演会	地下水利用型ヒートポンプシステムの適用可能地域の検討	百田博宣・内田洋平
2011年9月8日	土木学会 第66回年次学術講演会	地下水利用型ヒートポンプシステムの地盤蓄熱効果に関する解析検討	米山一幸・百田博宣
2011年10月20日	日本地下水学会 2011年秋季講演会	帯水層中の物質移動パラメータ同定のためのトレーサー試験と適用結果	富樫聡・藤縄克之他
2011年11月9日	アーバンインフラ・テクノロジー推進会議, 第23回技術研究発表会	地下水利用型地中熱ヒートポンプシステムの開発	米山一幸・百田博宣・森野仁夫・鈴木道哉・岡村和夫
2011年12月1日	NEDO省エネルギー技術フォーラム2011	地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発	百田博宣
2012年2月9日	アーバンインフラ・テクノロジー推進会議, 技術研究論文発表・講演会	地下水利用型地中熱ヒートポンプシステムの開発	米山一幸・百田博宣・森野仁夫・鈴木道哉・岡村和夫
2012年5月18日	INNOSTOCK2012, the 12th International Conference on Energy Storage	Cooling and Heating System of Shinshu University Building by Enhanced Aquifer Thermal Energy Storage,	K.Fujinawa and A.Tomigashi
2012年5月26日	日本地下水学会 2012年春季講演会	SIFEC3dpと共役傾斜法を用いた塩水トレーサー試験の逆解析法の開発／地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その2)	富樫聡・藤縄克之
2012年5月26日	日本地下水学会 2012年春季講演会	ケルビンの線源関数と共役傾斜法を用いた熱応答試験の逆解析法の開発とその適用／地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その3)	上原健人・藤縄克之

### 3. 4. 学会発表等(3)

日付	発表媒体	発表タイトル	発表者
2012年5月26日	日本地下水学会 2012年春季講演会	地下水制御型ヒートポンプシステムによる信州大学工学部講義棟暖房運転結果について／地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その4)	石原貴之・藤縄克之 (信州大学)
2012年8月9日	the 34th International Geological Congress	A Groundwater-Source Heat Pump System with Enhanced Aquifer Thermal Energy Storage (E-ATES) for Cooling and Heating of Shinshu University Building	A.Tomigashi, K.Fujinawa and T. Ishihara
2012年9月13日	2012年度日本建築学会大会 学術講演会	地下水制御型高効率ヒートポンプシステムの評価	高木直樹
2012年9月27日	日本地下水学会 2012年秋季講演会	地下水制御型ヒートポンプシステムの冷房運転結果と帯水層への蓄熱状況について／地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その5)	石原貴之・富樫聡・藤縄克之
2013年3月8日	土木学会 中部支部研究発表会	地盤環境が熱応答試験結果に与える影響に関する実験的研究	濱野太宏・藤縄克之
2013年3月8日	土木学会 中部支部研究発表会	地下水位観測と有限要素解析比較による信州大学工学部キャンパス周辺域の地下水流動検討	中山宏之・藤縄克之・矢澤英之



### 3. 4. その他外部発表(プレス発表等)等

年月日	発表媒体・内容等
2010年7月21日	新聞発表: 信濃毎日新聞 見出し: 地下水利用の冷暖房システム ー信大、効率化へ共同研究 取材先: 信州大学
2010年11月20日	テレビ放映: SBC信越放送 タイトル: 豊富な地下水を活用! 次世代冷暖房システム、サイプラススペシャル 発表者: 信州大
2011年8月31日	新聞発表: 日本経済新聞地方版 見出し: 信州大学工学部, 地下水空調, 時間差を活用, 冷房後の温水, 冬の暖房に 取材先: 信州大学
2011年11月15日	新聞発表: 建設産業, 建設通信, 日本経済新聞・長野版, 建設工業, 日刊工業 他 見出し: システムの実証実験開始. 地下水制御型高効率ヒートポンプ空調 取材先: 清水建設, 信州大学
2012年6月20日	テレビ放映: NHK長野放送 放送内容: イブニング信州～冬の寒さを夏に ～空調新システム～ 発表者: 信州大学
2013年3月10, 17日	テレビ放映: BSフジ 放送内容: ガリレオX～日本のエネルギーの未来 新たな体制作りへの課題 発表者: 信州大学