

## 2021年度成果報告会

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/  
高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発/  
オープンループ方式地中熱利用における  
最適設計方法の研究開発

(国)東海国立大学機構岐阜大学  
再委託先:(株)日建設計総合研究所、  
(一財)地域地盤環境研究所、(株)テイコク

問い合わせ先  
岐阜大学工学部  
大谷 具幸  
E-mail: tmohtani@gifu-u.ac.jp  
TEL: 058-293-3080

# 事業概要

1. 期間 開始:2020年6月, 終了(予定):2022年3月
2. 最終目標
  - ・ オープンループ方式地中熱利用システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差25%以内で予測できるようにする。
  - ・ 地下水利用可能量・還元可能量を実測値に対して誤差25%以内で予測できるようにする。

## 3.成果・進捗概要

### ① システムシミュレーションツールの研究開発

LCЕМモジュールのプロトタイプが稼働することを確認した。また、井水配管の圧力モニタリングを実施し、推定値と実測値の相違を確認した。

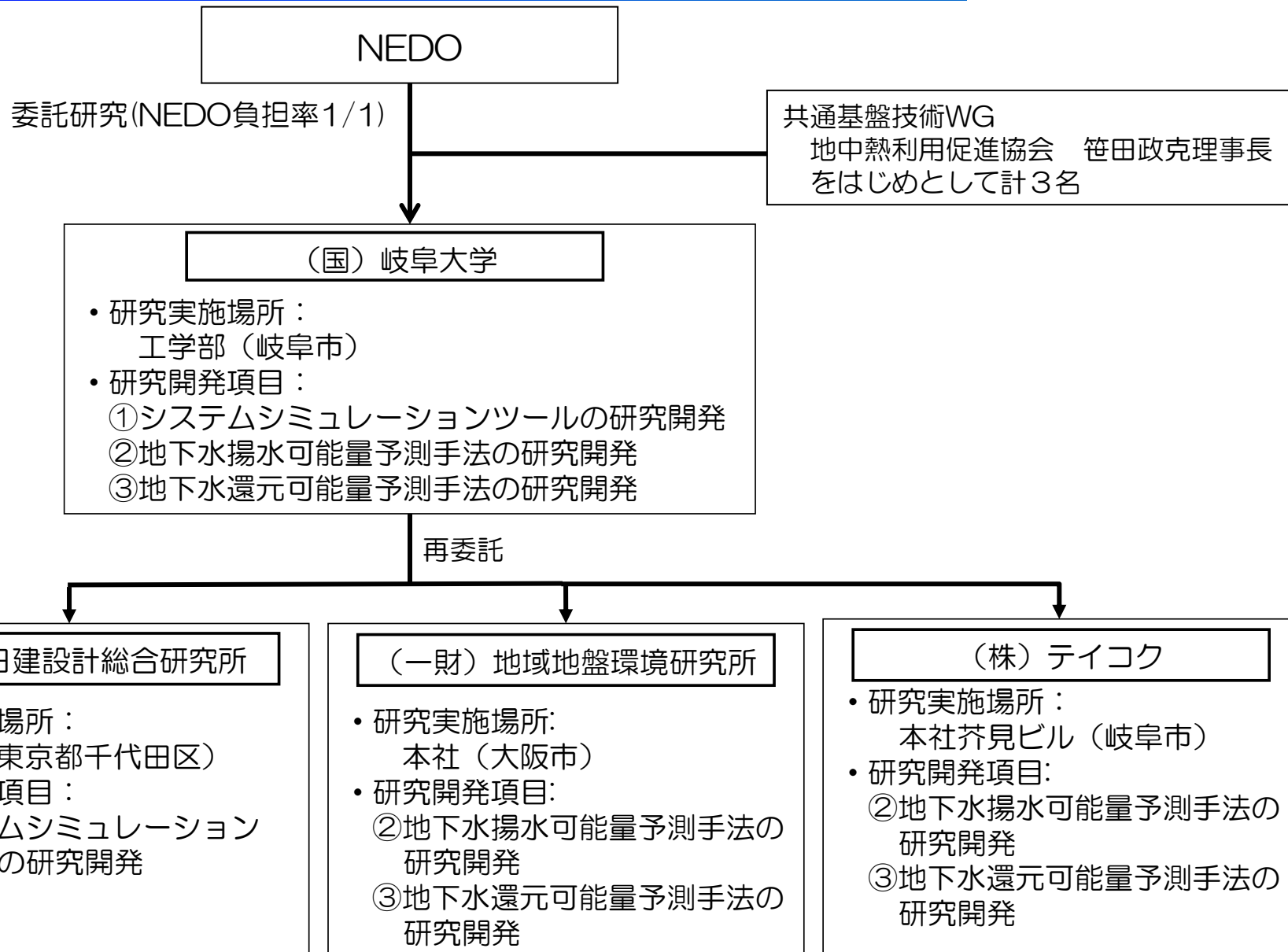
### ② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

既存ボーリングデータによる帯水層の透水係数の推定について、大阪平野の粒度試験結果からの推定値が実測値の10倍以上となる事例があり、今後他のパラメータを考慮する推定値の精度向上を図る予定である。全国地下水資料台帳による透水係数の推定では、大阪平野の推定値算出を行い、今後、実測値との比較を経て、広域的な透水係数推定手法の提案を行う予定である。

### ③ 地下水還元可能量予測手法の研究開発

還元井の能力低下(水位上昇)に関する既存データ収集し、急激な水位上昇と緩やかな水位上昇が存在することを確認した。大阪平野の現場透水試験の注水法と回復法を比較することにより、注水法で得られる透水係数は回復法より1～2桁低い値を示すことを確認した。

# 実施体制



# 背景・目的

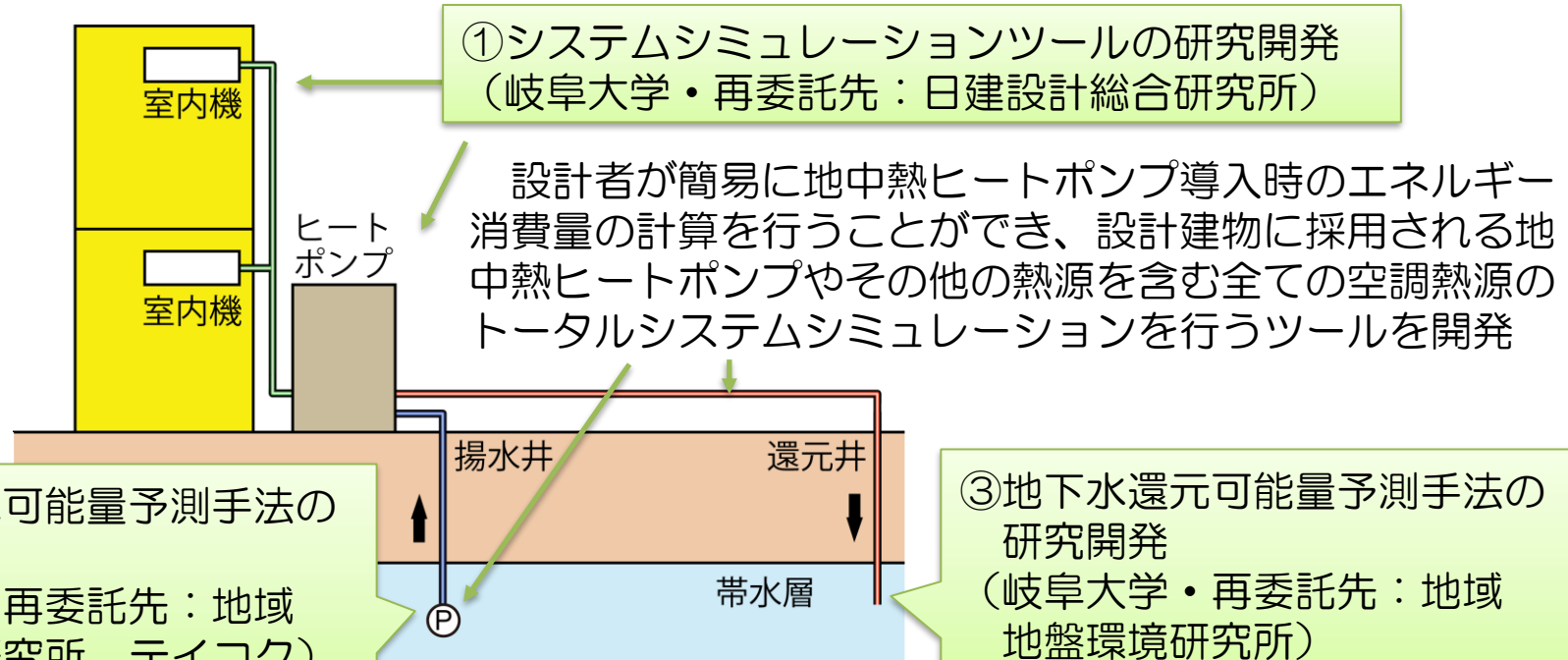
先行プロジェクトであるNEDO再生可能エネルギー熱利用技術開発（2014-2018）において、ポテンシャルマップや設計ツールの開発が行われた。しかしながら、オープンループ方式の地中熱利用システムに関して以下の点が未解決課題として残されている。

- オープンループ方式の地中熱利用システムを対象としたシステムシミュレーションツールが存在しない。
- 地下水の揚水可能量・還元可能量を設計段階で予測する手法が存在しない。

これらの課題を解決するのが本テーマの目的であり、以下の目標を設定する。

- オープンループ方式地中熱利用システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差25%以内で予測できるようにする。
- 地下水利用可能量・還元可能量を実測値に対して誤差25%以内で予測できるようにする。

# 開発項目・実施内容



広域的な透水係数推定手法の研究開発、地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発により設計段階で地下水揚水可能量を予測する手法を開発

既存システムの還元井における還元能力の推移とそれに影響を与える地質・地下水条件の把握、帯水層を模した室内透水実験による透水性の変化の把握により、設計段階で地下水還元可能量を予測する手法を開発

# 研究スケジュール

研究開発項目	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度
①システムシミュレーションツールの研究開発	ツール開発		UI作成・精度検証	
②地下水揚水可能量予測手法の研究開発	大阪平野で開発		濃尾平野で検証	
1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発				
2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発	フィールドAで開発		フィールドBで検証	
③地下水還元可能量予測手法の研究開発	大阪平野で開発		濃尾平野で検証	
	室内浸透実験			

# 試算実施（クローズド方式との比較）

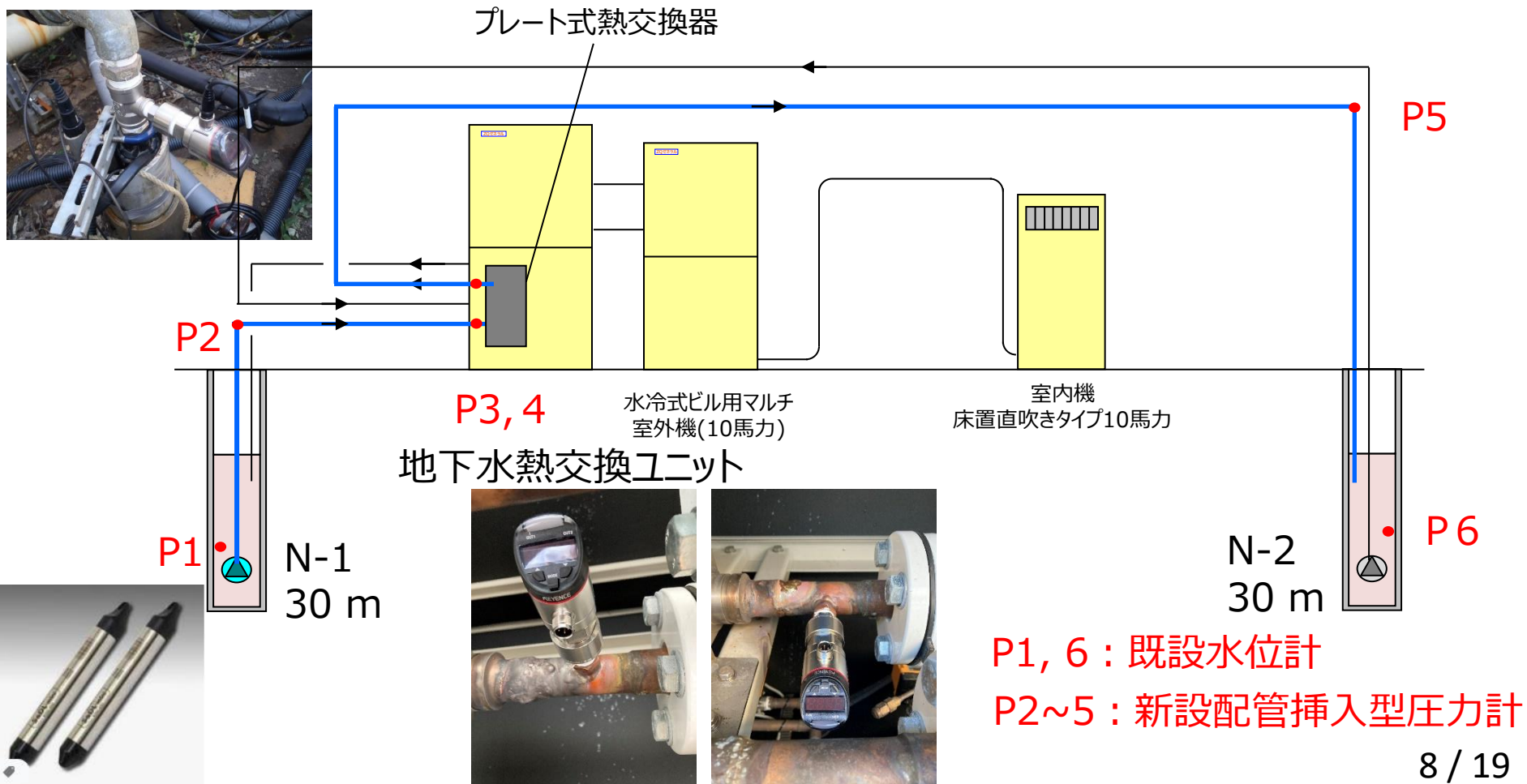
	クローズド方式:従来設計	オープンループ方式
熱源 容量	<p>地中熱HP 50% 169kW + 空冷HPチラー 100% 354kW 150% 容量</p>	<p>地中熱HP 50% 169kW + 空冷HPチラー 50% 162.5kW 100% 容量</p>
採熱方式	地中杭65本による採熱 (設計想定50W/m)	井戸からのくみ上げ 揚水量:595L/min
地盤 物性値 井水温度	容積比熱 $c_p$ : 2009[kJ/m <sup>3</sup> K] 熱伝導率 $\lambda$ : 1.39[W/mK] ※地盤情報が不明な場合のため砂質土と仮定	井水温度年間15℃一定と仮定
イニシャル コスト	約23,000[円/m <sup>2</sup> ] —	
一次 エネルギー 消費量	約1,549,000[MJ/年] —	約1,157,106[MJ/年] <b>25%削減</b>

LCЕМモジュールのプロトタイプが稼働することを確認した

# ① システムシミュレーションツールの研究開発

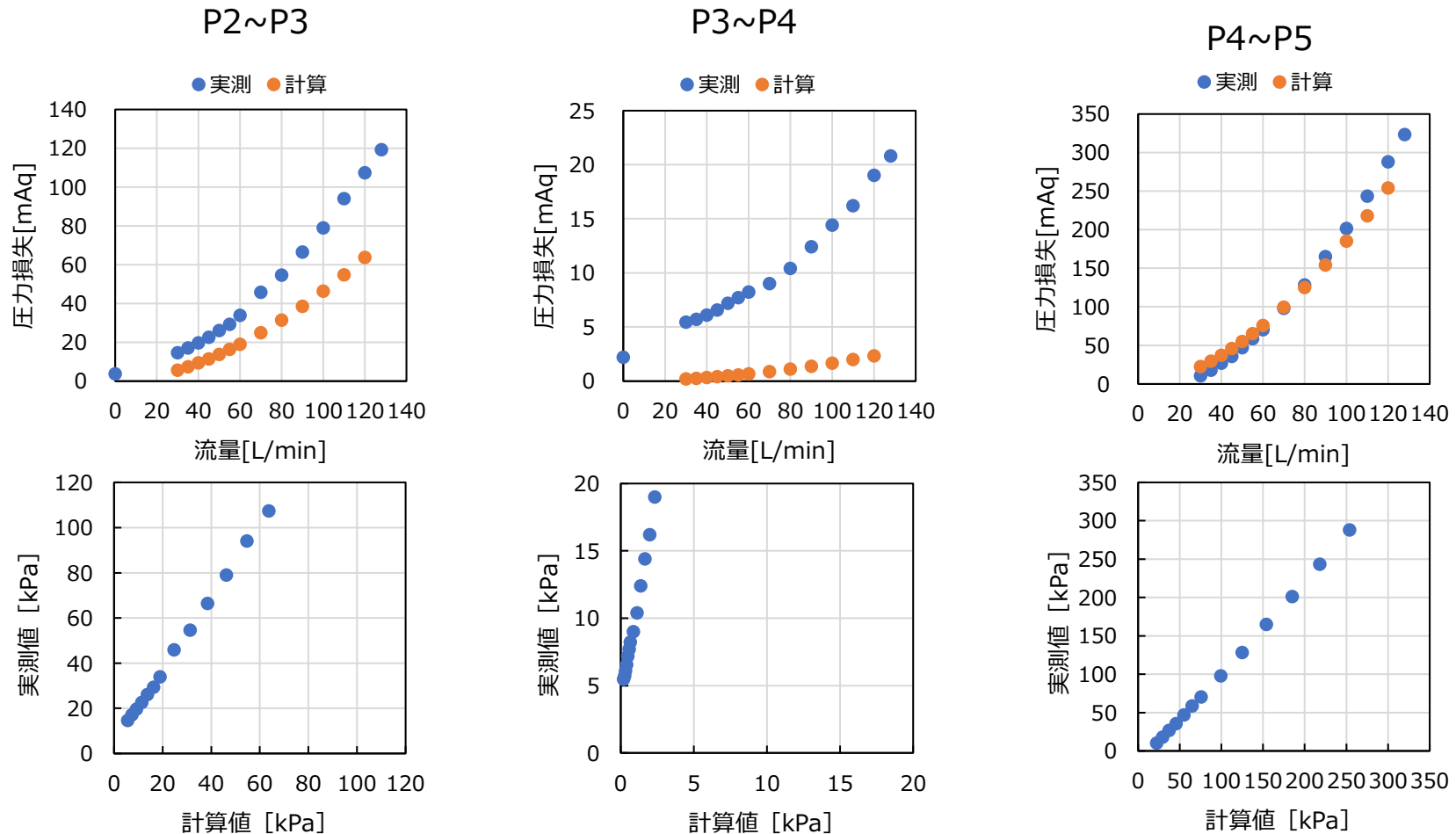
## 井水流量予測手法

● 実証実験サイト（名古屋市緑区・ゼネラルヒートポンプ工業本社工場）において、井水配管に圧力センサを設置し、モニタリングを2021年2月から開始





# 井水配管内の圧力計測



実測値と計算値を比較すると、エルボの占める割合が大きいP2~P3で差が大きく、直線部分の割合が大きいP4~P5では差が小さくなった。

→エルボの配管相当長などを検討する必要がある。（建築設備設計基準など）

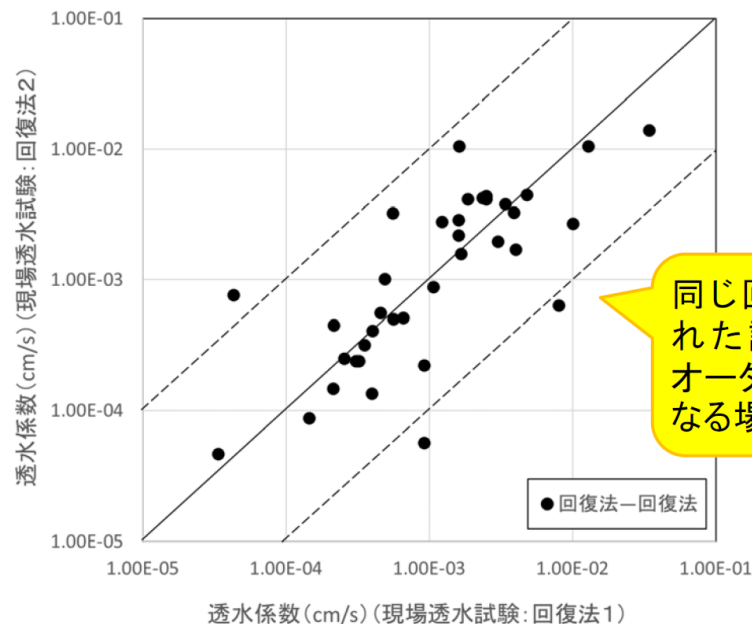
現状の配管相当長の換算を今後、最新の資料を用いて見直す予定

## ②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

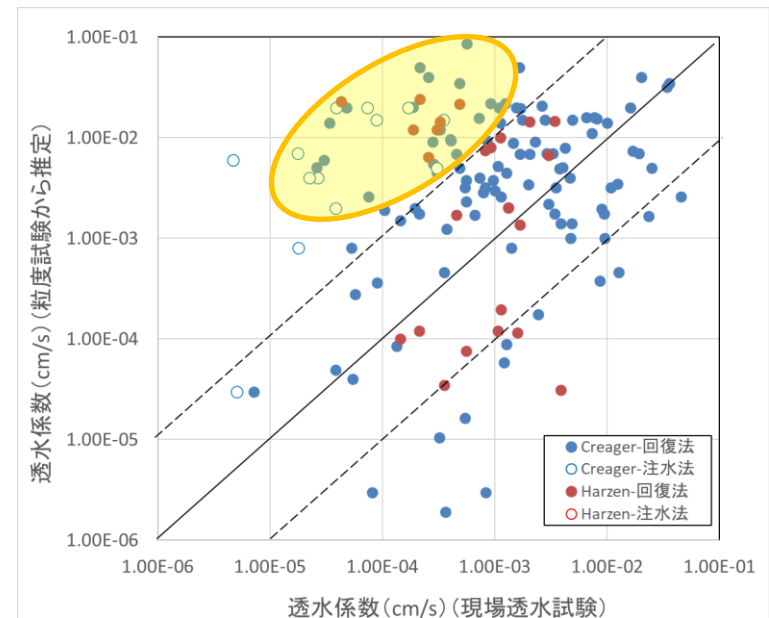
### 1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 (既存ボーリングデータによる推定)

現場透水試験データがある  
既存ボーリング調査地点

モデルフィールド：大阪平野  
透水試験データ数：228  
(ボーリング数：113地点)



実測値が幅を持つと考える  
こととする



粒度試験の結果からの推定値が10倍以上  
→間隙比等の他のパラメータを  
考慮する必要がある

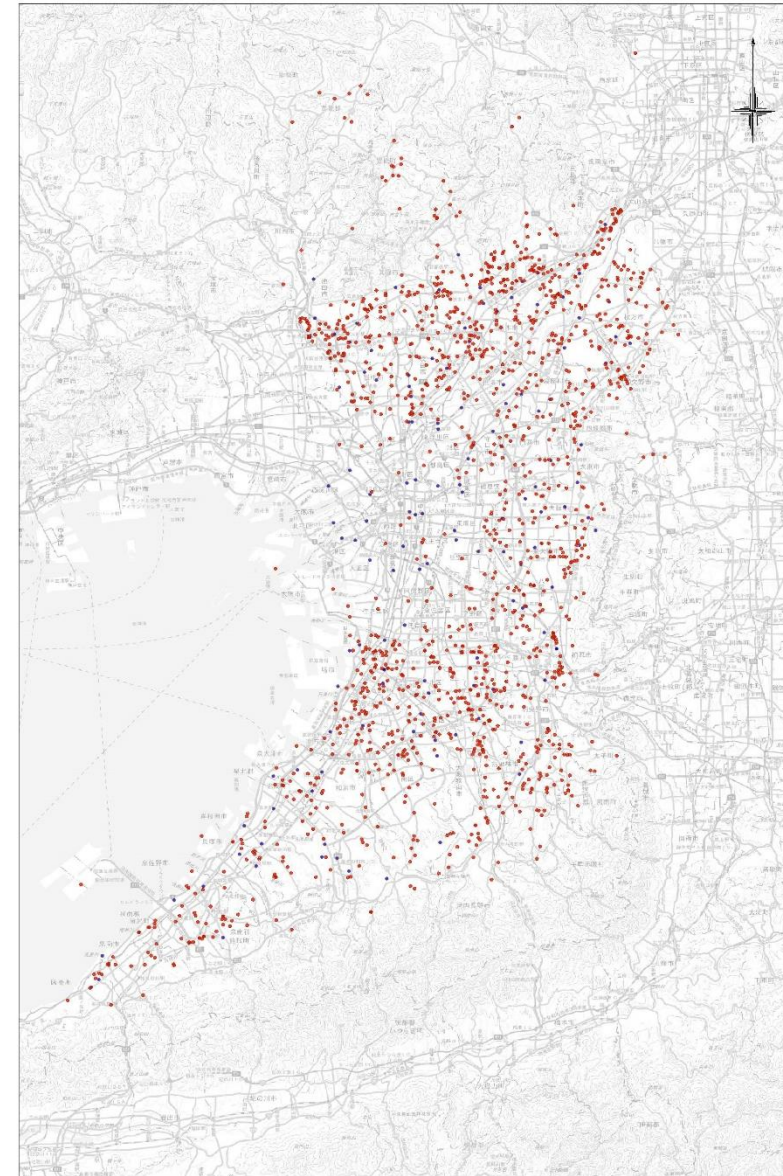
## ②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

### 1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 (全国地下水資料台帳による推定)

#### ● 大阪平野に関する全国地下水資料台帳を整理した

- 収集資料  
全国地下水資料台帳（近畿圏）  
1964年、1975年、1982年、2001年版
- 整理内容  
収録井戸総数 1609箇所  
うち 緯度経度収録 1455箇所  
住所収録 150箇所  
以上 1605箇所について井戸分布図作成
- 宇野ほかの方法（2003）が適用可能な982箇所について帯水層の透水係数を推定

$$k = \frac{T}{H} = \frac{(1.59 \sim 1.33)}{H} \frac{\Delta Q}{\Delta s_0}$$



全国地下水資料台帳による井戸分布図

## ②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

### ● 宇野ほかの方法（2003）による透水係数の推定結果

透水係数推定結果一覧表

帯水層区分	データ数	透水係数推定値 (m/sec)			
		平均値	中央値	最大値	最小値
第一帯水層	156	1.67E-04	1.24E-04	1.03E-03	5.67E-06
第二帯水層	514	1.40E-04	8.36E-05	1.78E-03	2.16E-08
第三帯水層	182	1.32E-04	8.30E-05	3.50E-03	3.97E-07
第四帯水層	130	4.69E-05	2.88E-05	9.94E-04	3.05E-08

- 帯水層毎の透水係数推定値を対比すると、最大値と最小値に大きな差異がみられる。
- 帯水層毎の透水係数推定値において、平均値に帯水層毎の大きな乖離はみられない。
- 帯水層毎の透水係数推定値における中央値をみると、第一帯水層の中央値が最も大きく、第二・第三帯水層の中央値は第一帯水層の7割程度、第四帯水層の中央値は第二・第三帯水層の2割程度にとどまる。

今後、実測値との比較を経て、広域的な透水係数推定手法の提案を行う予定



## ②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

### 2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

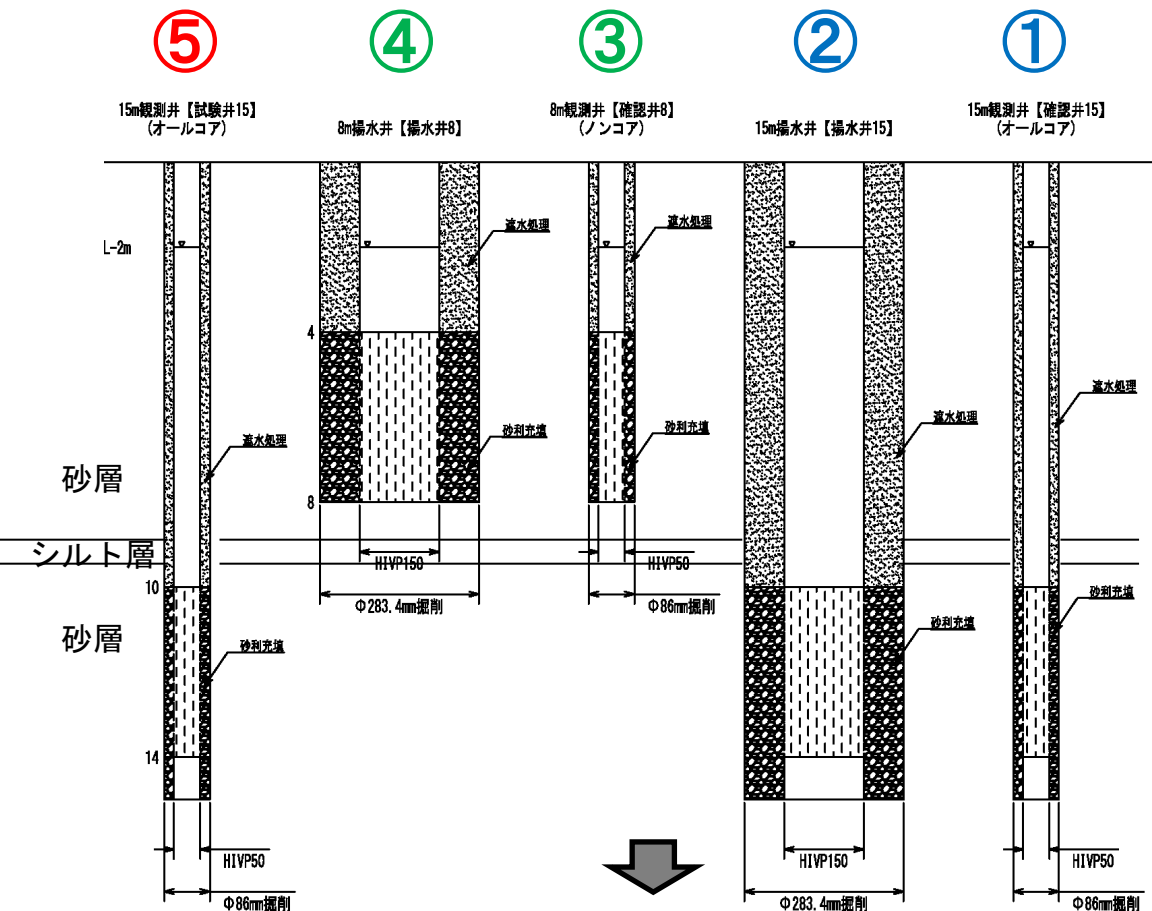
調査地点：東邦地水株式会社 本社敷地内（四日市）

※ 当初予定していたゼネラルヒートポンプ工業株式会社本社工場（名古屋）より変更



## ②地下水揚水可能量予測手法の研究開発

小口径の地盤調査ボーリング孔を揚水可能量の予測に活用するために、複数の掘削工法で掘削を行い多深度で現場透水試験を実施して、大口径の揚水井における揚水試験結果と比較



最後に揚水試験を実施

### ①【観測井A】※下部砂層

- ・ロータリーバイブレーション (無水掘)
- ・SPT (半ペネ半コア)
- ・現場透水試験 (試験内容は要検討)
- ・粒度試験

### ②【揚水井A】】※下部砂層

- ・ロータリーバイブレーション (清水堀)
- ・フローメータ試験

### ③【観測井B】】※上部砂層

- ・ロータリーバイブレーション (無水掘)
- ・SPT (半ペネ半コア)
- ・現場透水試験
- ・粒度試験

### ④【揚水井B】】※上部砂層

- ・ロータリーバイブレーション (清水堀)
- ・フローメータ試験

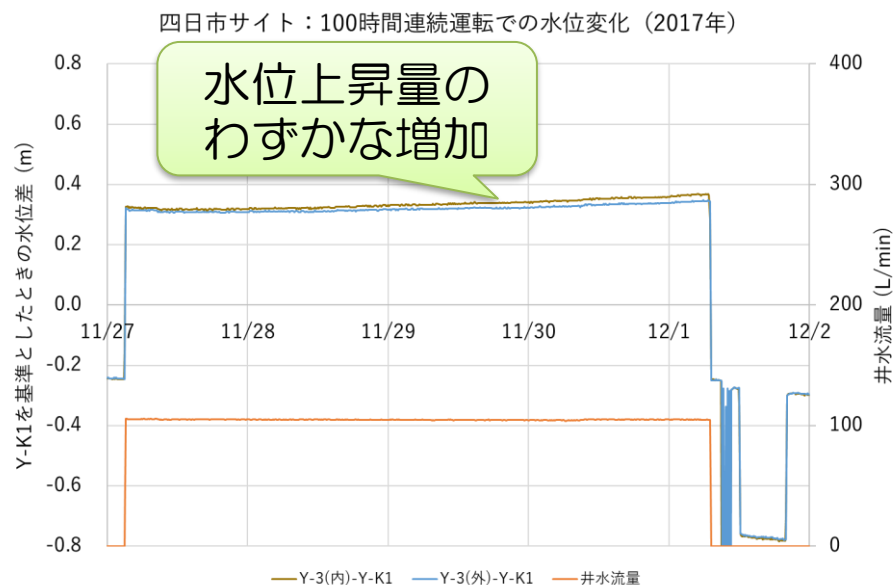
### ⑤【確認井】※全層対象

- ・ロータリー (泥水堀)
- ・SPT (半ペネ半コア)
- ・粒度試験
- ・現場透水試験
- ・フローメータ試験
- ・密度検層

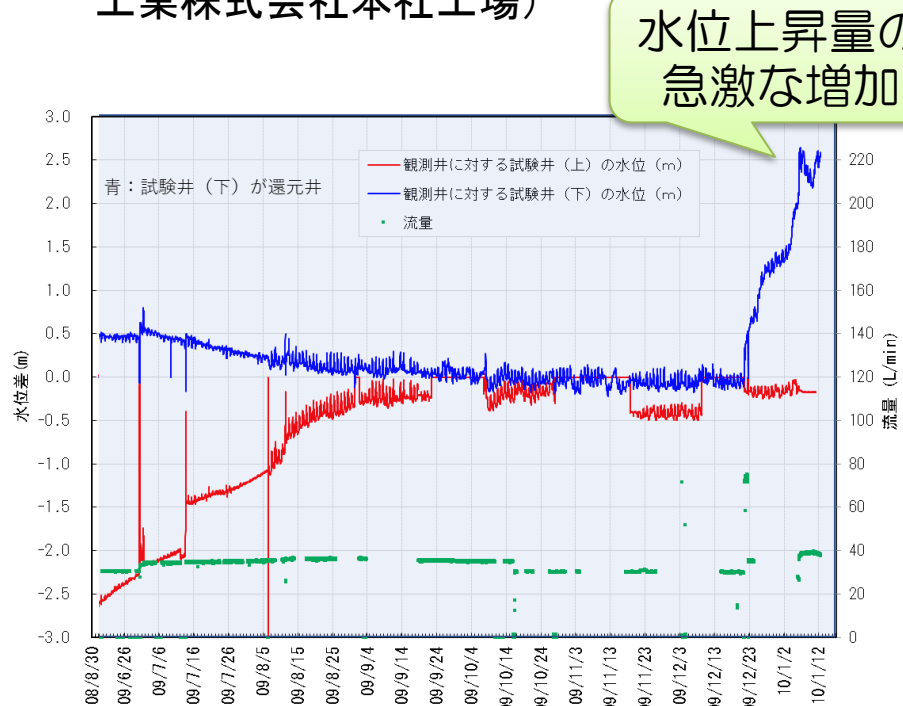
# ③地下水還元可能量予測手法の研究開発

還元井の能力低下（水位上昇）に関する既存データ収集し、その傾向を把握した

四日市サイト（東邦地水株式会社本社）



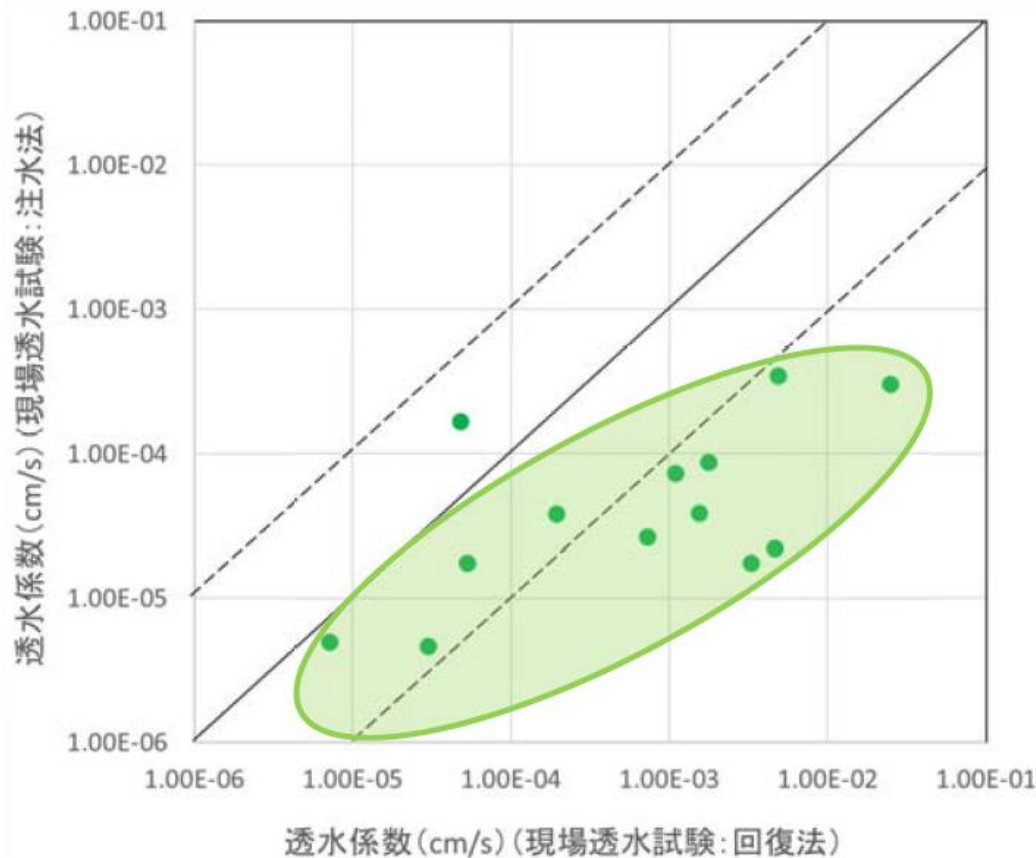
名古屋サイト（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社本社工場）



急激な水位上昇と緩やかな水位上昇が存在することを確認

# ③地下水還元可能量予測手法の研究開発

大阪平野：現場透水試験の注水法と回復法を比較



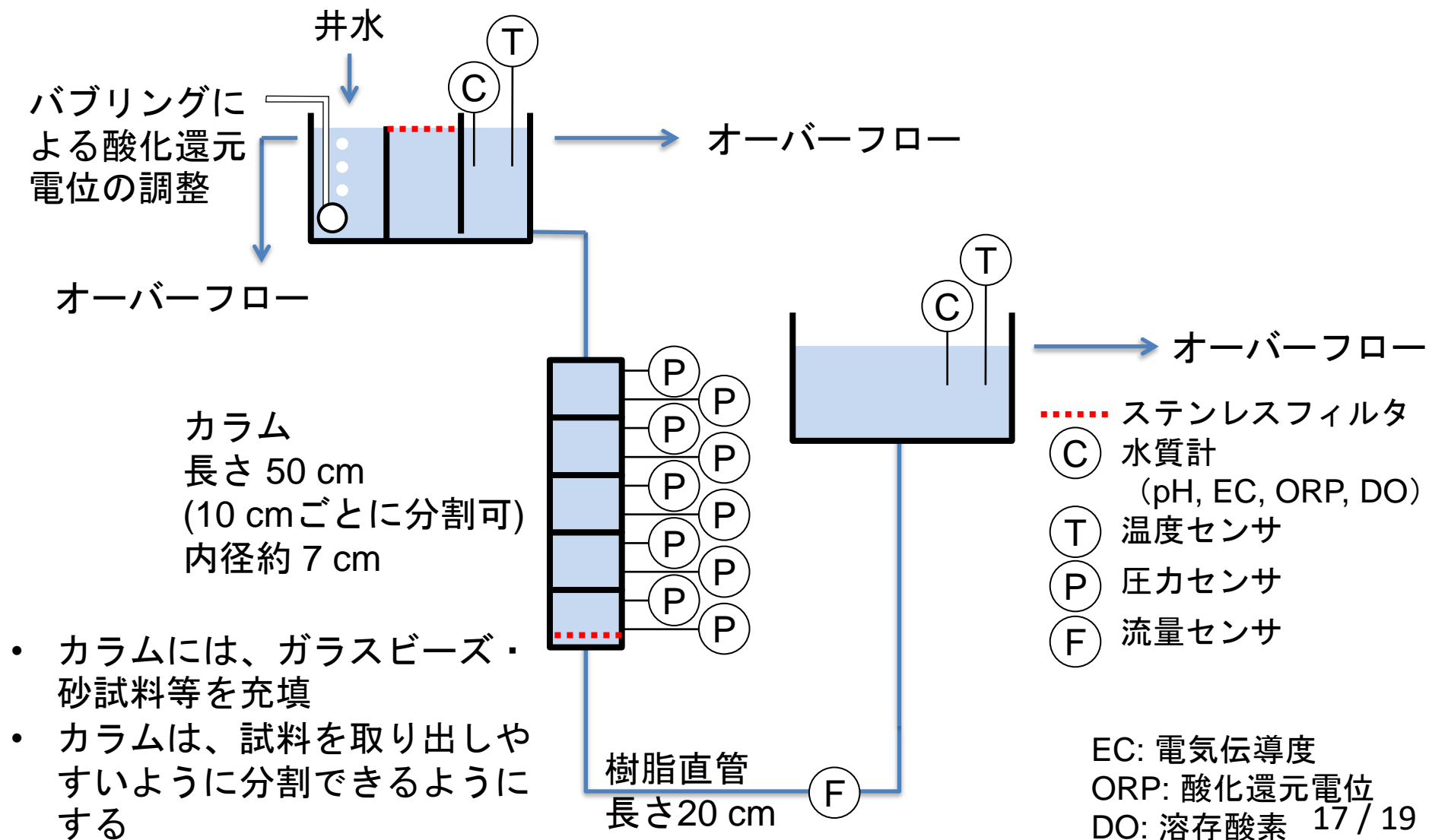
注水法で得られる透水性係数は、回復法より1～2桁低い値を示す

注水に伴う透水性係数の減少を評価する必要がある



# ③既存システムの還元能力の推移

## 室内透水実験装置



# 本技術開発における設計ツールの特徴

項目		北大チーム	岐阜大
概要	設計ツール名称	Ground Club Advanced CO	LCEM
	使用言語	日本語（英語, 中国語ほか）	日本語
	プログラミング言語	MATLAB, Fortran, Java	Excel
	開発要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CL・OL統合(CO)、実務者向けの簡易ツール＋高度検討可能なオプション</li> <li>・ 地中熱の全種類の方式を地下（地下水、地質）データ含め網羅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ OL用LCEM構築シート</li> <li>・ 補機動力（揚水ポンプ）の消費エネルギー、井水配管に伴う流量の変化を考慮し計算</li> </ul>
適用範囲	地中熱源	CL・OL（蓄熱有(ATES)・無）	CL・OL(蓄熱無)
	その他	別熱源方式(空気熱源・太陽熱等再エネ)とのハイブリッド	LCEMで利用可能な他の熱源とのハイブリッド
データ	インプット	地中温度・有効熱伝導率・帯水層厚・地中熱交換器形状・ヒートポンプ仕様など	地下水温度・揚水可能量・還元可能量(OLの場合)、外気温、冷暖房熱負荷
	アウトプット	各種運転状況、熱源水温度、蓄熱量、設備消費電力、SPF、CO2排出量、LCC	各種機器運転状況・消費電力・効率、地中採放熱量、熱源水温度
開発後の運用	想定ユーザー	設備設計・施工監理技術者	設備設計・施工監理技術者
	ツール管理者	民間ソフトウェア会社	民間コンサル会社、大学(未定)
	提供方法	基本機能版無料／高機能版有料	無料

# まとめ

## ① システムシミュレーションツールの研究開発

- LCEMモジュールのプロトタイプが稼働することを確認した。
- 井水配管の圧力モニタリングを実施し、推定値と実測値の相違を確認した。

## ② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

- 既存ボーリングデータによる帯水層の透水係数の推定について、大阪平野の粒度試験結果からの推定値が実測値の10倍以上となる事例があり、今後他のパラメータを考慮する推定値の精度向上を図る予定である。
- 全国地下水資料台帳による透水係数の推定では、大阪平野の推定値算出を行い、今後、実測値との比較を経て、広域的な透水係数推定手法の提案を行う予定である。

## ③ 地下水還元可能量予測手法の研究開発

- 還元井の能力低下（水位上昇）に関する既存データ収集し、急激な水位上昇と緩やかな水位上昇が存在することを確認した。
- 大阪平野の現場透水試験の注水法と回復法を比較することにより、注水法で得られる透水係数は回復法より1～2桁低い値を示すことを確認した。