

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.1-5

再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発
/再エネ熱利用システムに資する要素技術開発/

消雪井戸における取水深度の特定技術の開発

発表：2025年7月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 阪田義隆

* (国) 金沢大学、(株) エオネックス / (国研) 産業技術総合研究所、苫小牧高専

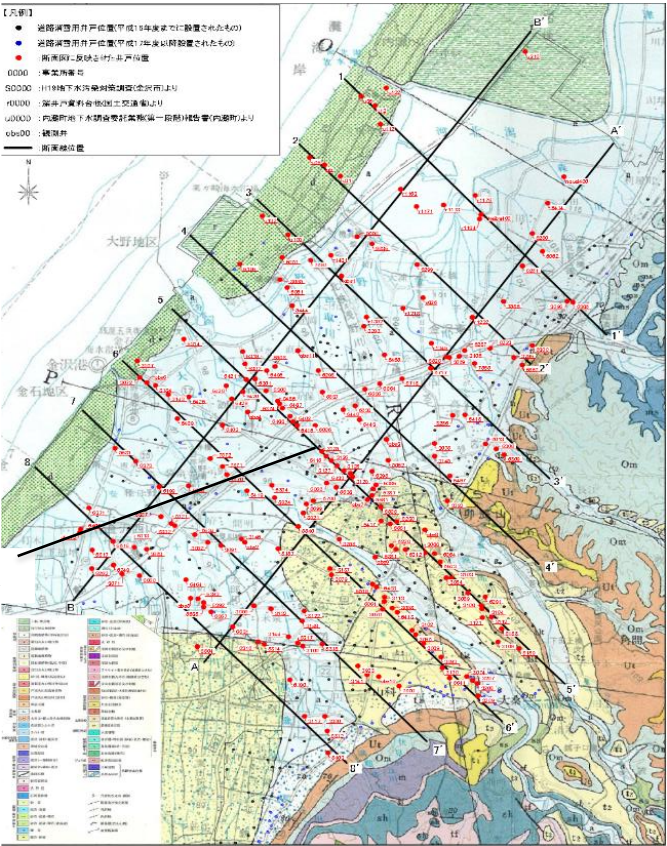
問い合わせ先 (国) 金沢大学 E-mail: y-sakata@se.kanazawa-u.ac.jp

研究開発の背景：消雪井戸の面的熱利用に向けて

北陸地域にみられる消雪井戸群

潜在的な都市インフラ

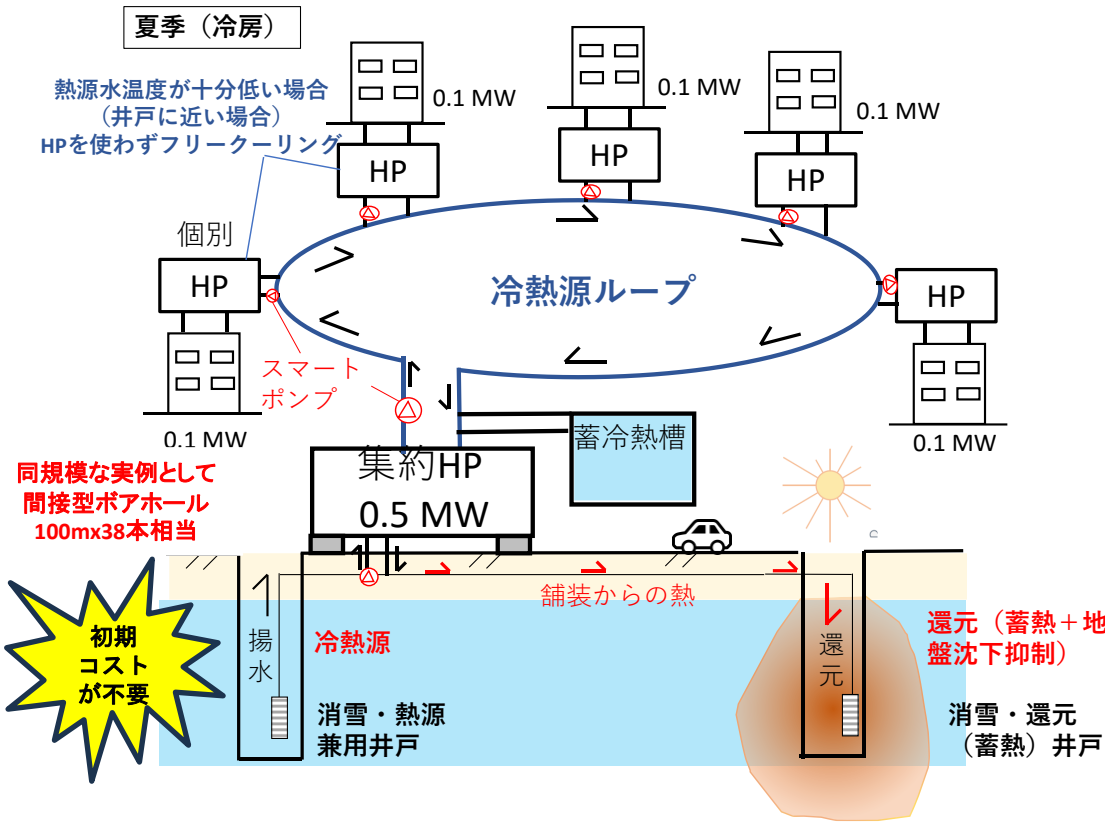
再生可能エネルギー **地下水熱** の面的利用へ



金沢市内における消雪井戸の分布
約1000本, 年間揚水量 10^7 m^3
1万世帯(市内5%)の熱エネルギーに相当

出典：H29地盤沈下量等解析業務報告書
(エオネックス・金沢市)

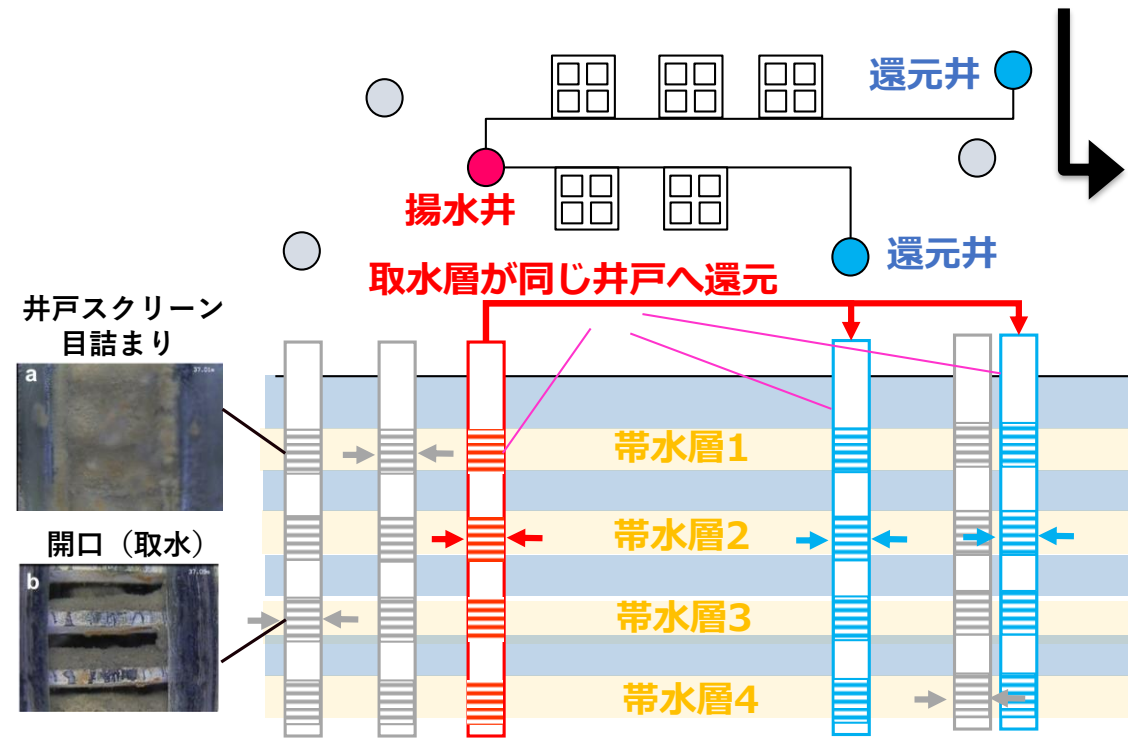
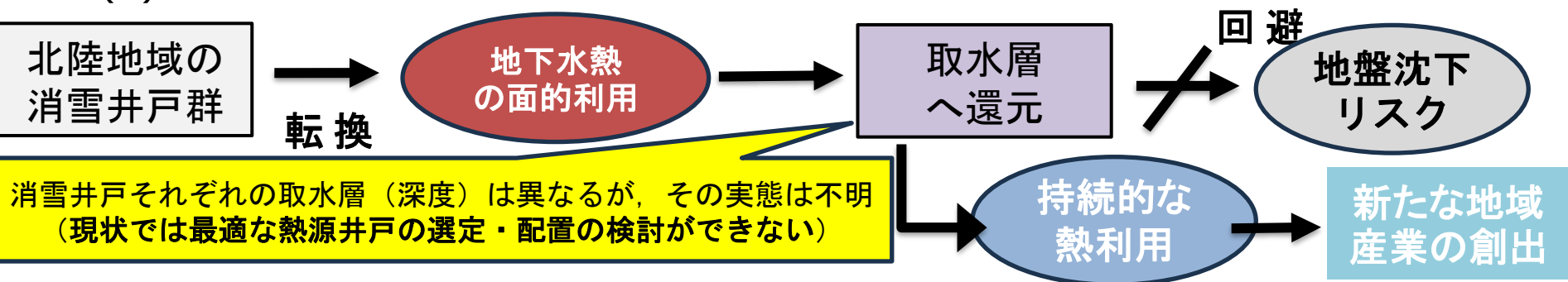
わが国が誇る地球資源



消雪井戸を利用した面的熱利用コンセプト

1. 研究開発の内容・実施体制

1.1 (1) 研究開発の着眼点



消雪井戸を面的熱利用するための技術課題

面的利用する地区ごとに、多数の消雪井戸群から、効率的に同一の取水層となる井戸の組み合わせを抽出する技術

消雪井戸における取水深度を特定する技術開発

- ①ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発
- ②孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発
- ③機器校正・教師データ取得のための室内再現試験
- ④実消雪井戸による開発機の実証試験

1. 研究開発の内容・実施体制

1.1 (2) 研究開発の内容

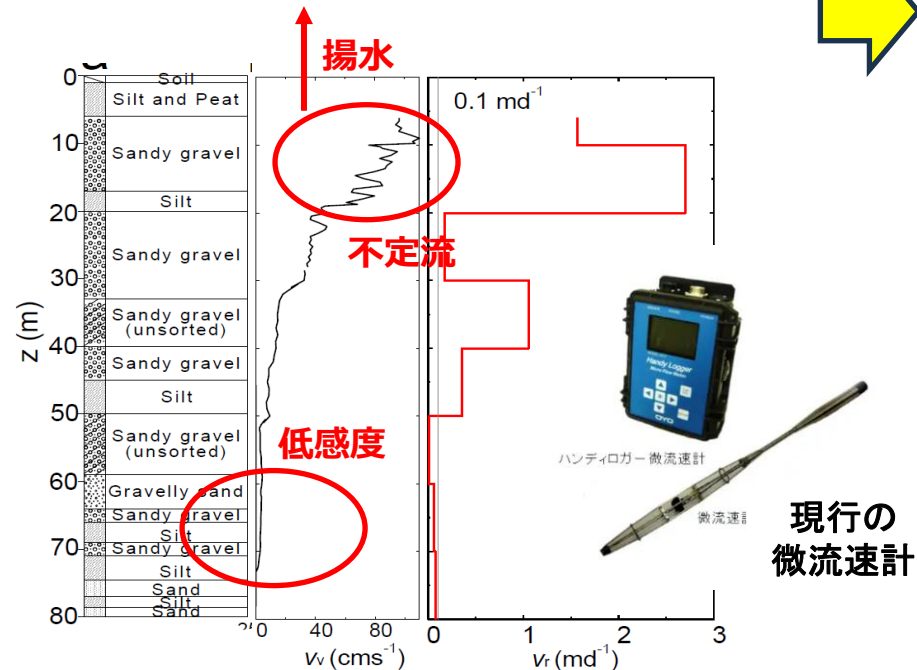
従来技術：回転式微流速計による鉛直1D流速測定

課題1：回転翼が不安定・壊れやすい

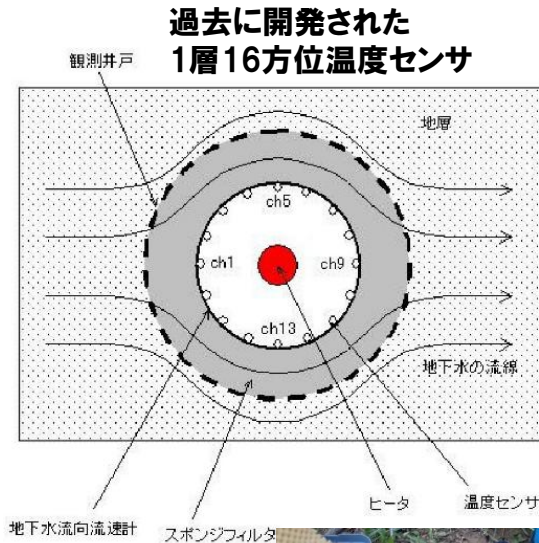
課題2：低流速に対する感度が低い

課題3：高流速の不定量に対応できない

**熱トレーサー
型を採用する**



微流速計による測定例 (Sakata et al. 2017)

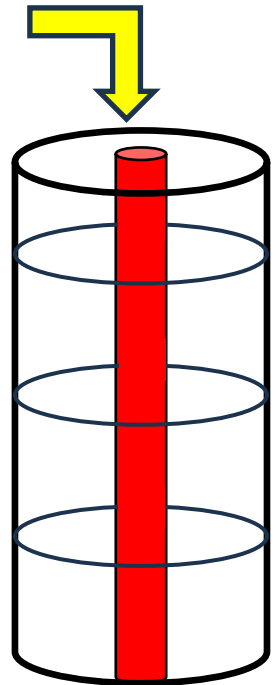


孔内の平面2D流速分布では、目的とした自然地下水流れ (1m/d 以下) を対象とした。現在、製造終了



過去に開発された熱トレーサー計

**三層構造へ
拡張する
(三次元化)**



1. 研究開発の内容・実施体制

研究開発概要

【研究開発件名】再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発／再エネ熱利用システムに資する要素技術開発／消雪井戸における取水深度の特定技術の開発

【事業者名】国立大学法人金沢大学・株式会社エオネックス(再委託・共同実施:国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人北海道大学)

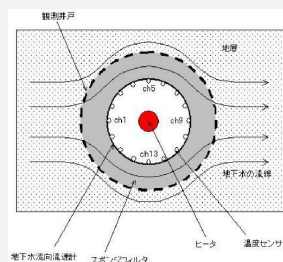
【開発内容】面的利用する地区ごとに多数の消雪井戸群から効率的に同一な取水層となる井戸の組合せを抽出する技術として、井戸の取水深度を特定する技術の研究開発を行う。

- (1) ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発(エオネックス)
- (2) 孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発(金沢大学・北海道大学)
- (3) 機器校正・教師データ取得のための室内再現試験(金沢大学)
- (4) 実消雪井戸による開発機の実証試験(金沢大学・エオネックス・産業技術総合研究所)

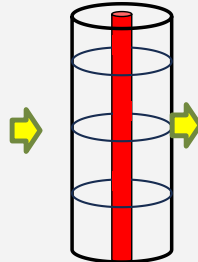
【研究開発期間】2024年10月1日～2027年3月31日

①ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発

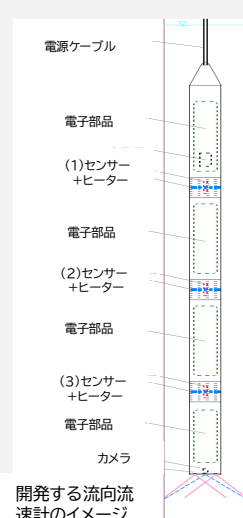
様々な流量条件に対応する三次元温度センサによる熱トレーサ型の孔内流向流速計を開発する。開発する流向流速計にボアホールカメラを実装することで、目視でも実験中のスクリーンから井戸内に流入する状況を確認することができ、可視化により取水深度の特定を確実とする。



既存のヒータ周辺の温度センサ配置での水平流速計



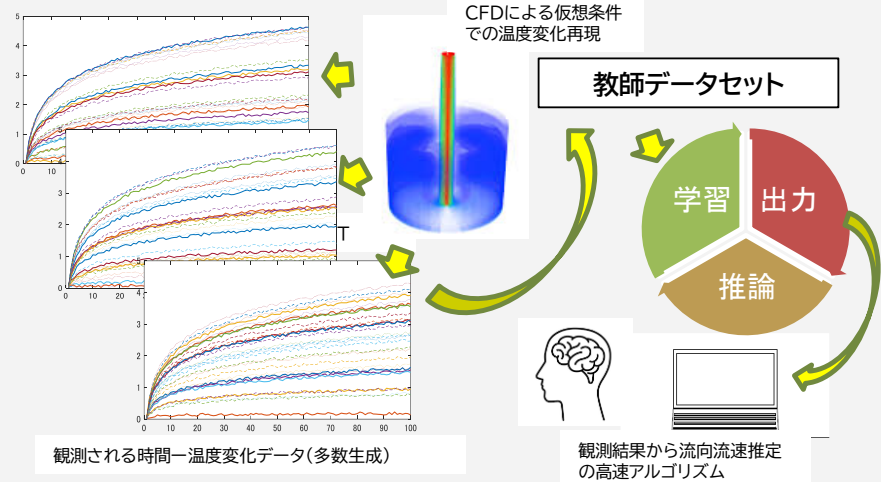
縦方向への連結による鉛直流の測定



1.1 (3) 研究開発の全体概要

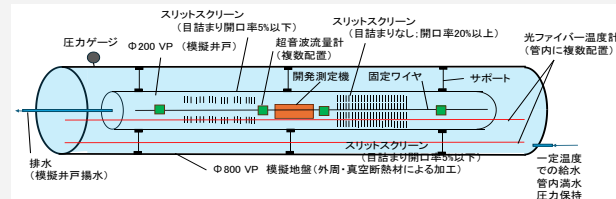
②孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発

①により得られた三次元温度データから高速(瞬時)で流速分布を計算し取水層を特定するため、機械学習に基づくAIアルゴリズムを開発する。

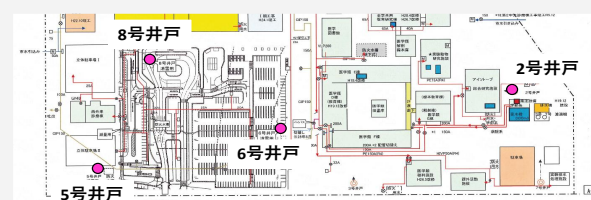


③機器校正・教師データ取得のための室内再現試験 ④実消雪井戸による開発機の実証試験

井戸と地下水環境を模擬した室内実験装置を製作し、開発機器およびAI解析アルゴリズムの検証・校正およびAIに学習させる教師データを取得する。金沢大学宝町キャンパスの消雪井戸、また金沢市が管理する消雪井戸など他箇所でも実証試験を行い、最終的な開発試験機の適用性を確認、評価する。



室内実験装置イメージ



実証試験を行うための金沢大学宝町キャンパスの消雪井戸

1. 研究開発の内容・実施体制

1.2 研究開発実施体制



2. 研究開発項目

面的利用する地区ごとに多数の消雪井戸群から効率的に同一な取水層となる井戸の組合せを抽出する技術として、井戸の取水深度を特定する技術の研究開発を行う。

- ①ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発(エオネックス)
- ②孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発(金沢大学・北海道大学)
- ③機器校正・教師データ取得のための室内再現試験(金沢大学)
- ④実消雪井戸による開発機の実証試験(金沢大学・エオネックス・産業技術総合研究所)

2026年度中間目標

- ①三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の試作機を完成させる。
- ②AI高速解析アルゴリズムに用いる機械学習のメソッド（ニューラルネットワークなど）を確定させ、ラップトップ上で入出力など実証可能なフレームワークを完成させる。
- ③④室内実験（金沢大学角間キャンパス）および実証試験（同宝町キャンパス消雪井戸）により試作機の機器校正およびAI高速解析アルゴリズムの教師データの収集を行い、実機制作に向けた課題整理および実機制作の基本設計を行う。

2028年度最終目標（参考）

- ①ボアホールカメラを実装した三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の実機を完成させ、金沢大学およびその他の消雪井戸での実証試験により精度0.1 cm/s（ $\phi 500$ mmで、10 L/minの検知精度）の測定可能であることを確認した上で、製品化に向けた設計図、取り扱いマニュアル、製品紹介（予告）パンフレット等を作成する。
- ②～④AI高速解析アルゴリズムにCFD解析および室内試験を通じ教師データを蓄積させ、想定揚水量0.1～2 m³/sに応じて精度0.1 cm/sを解析可能なことを実証試験で確認、あるいは適用限界を明確化した上で、クラウドからスマホなどで運用可能な孔内流向流速計の解析ソフト（アプリ）として製品化に向けたパッケージ化をする。

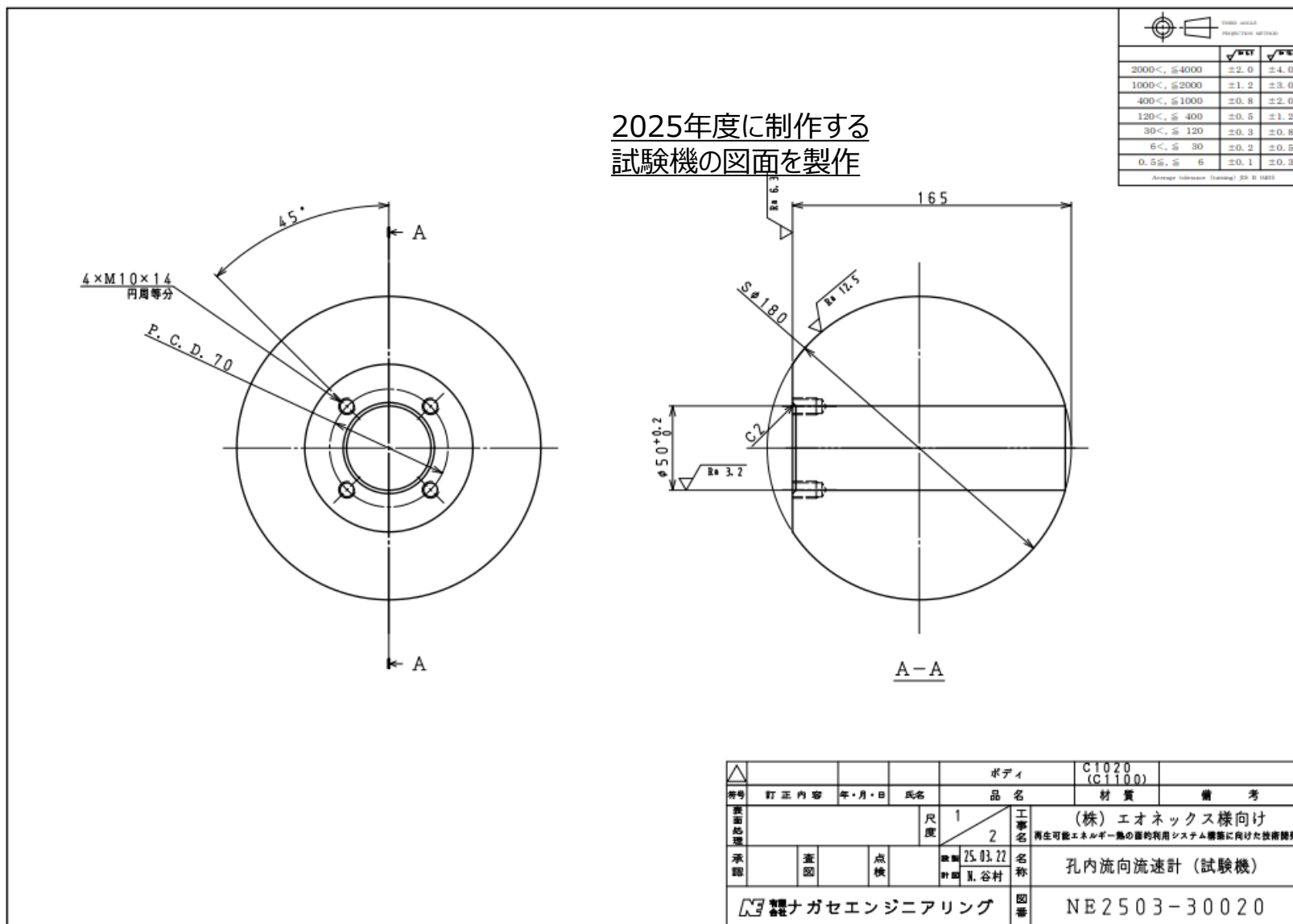
3. 研究開発の進捗・予定

(1) ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発①

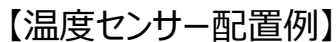
各装置	品名等	2024年度進捗状況	2025年度実施内容
地下水流向流速計 ボアホールカメラ	設計	球状、柱状 20パターンを製図	温度センサー取り付け部 ヒーター取り付け部の設計検討
	本体材質・形状	電熱理論により材質（鉄、銅を想定）に応じた表面温度を計算 本体形状を球状、柱状と想定	試験機本体の作成、ヒーター、 温度センサー各部の組立 室内実験装置での実験、結果検証
	ヒーター部	ヒーター形状の検討 加熱量の想定（1kW、5kW）	必要性能の想定、メーカーとの 打合せ、試験品の購入、検証
	温度センサー部	センサー精度の確認 白金温度センサー2種の比較	本体への取り付け、信号出力確認、 画像表示、試験機への組み込み
	水中カメラ本体 カメラコントローラー 制御用ノートパソコン カメラケーブル320m	仕様確定、発注、購入、検収済	（株）キュー・アイ製 WTC-310HD 自社にて保管中 電源ウインチ、吊下げシーブ、 センターライザーの購入
実証試験用装置	揚水管	仕様検討、見積徴収、仕様確定、 発注、購入、検収済	（株）辻さく製 100×4,000 SUS 38本 自社にて保管
	水中ポンプ その他付属品の選定	仕様検討、見積徴収、 グルンドフォスポンプ（株） 納期確認（約150日）	実証試験用井戸の諸元確認 ポンプ性能の検討 発注時期の調整

3. 研究開発の進捗・予定

(1) ボアホールカメラ内蔵，三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発②

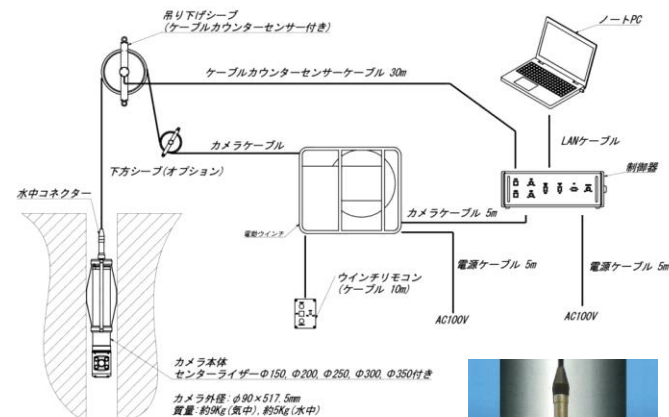


(1) ボアホールカメラ内蔵、三次元配置温度センサによる孔内流向流速計の開発③

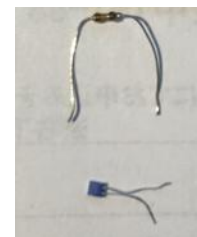
[illegible]

Technical drawings of the test machine body. The left drawing shows a spherical body with a diameter of 180 mm and a height of 185 mm. The right drawing shows a cylindrical body with a diameter of 180 mm and a height of 200 mm. Both drawings include detailed views of the top and bottom flanges with dimensions and tolerances.

【試験機本体 球状】



【ボアホールカメラ】



【温度センサー】

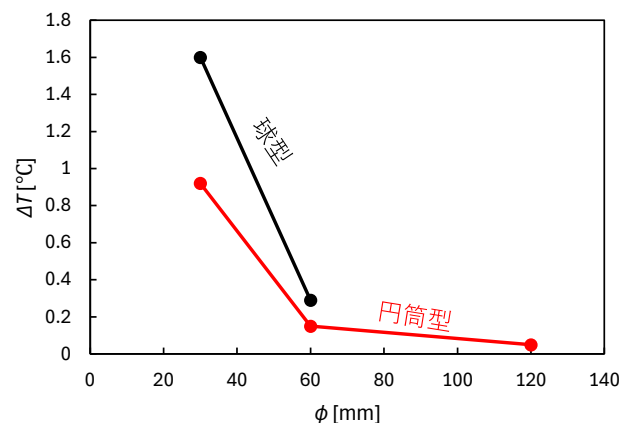
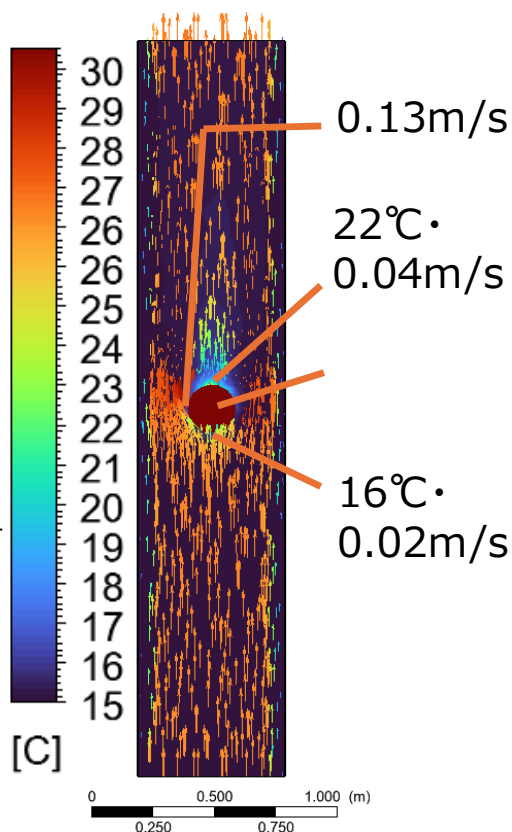
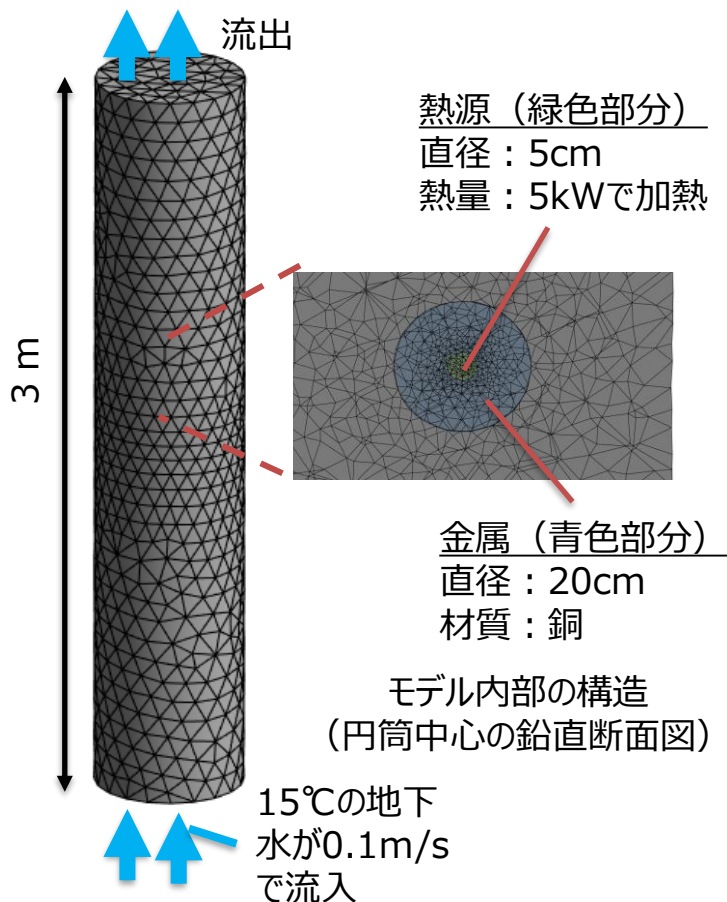


3. 研究開発の進捗・予定

(2) 孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発①

ANSYS FluentとQuickersimを導入し
初期モデル作成

熱源周囲の温度上昇・速度変化が適切
に再現できていることを確認



直径と球上下の温度差の関係

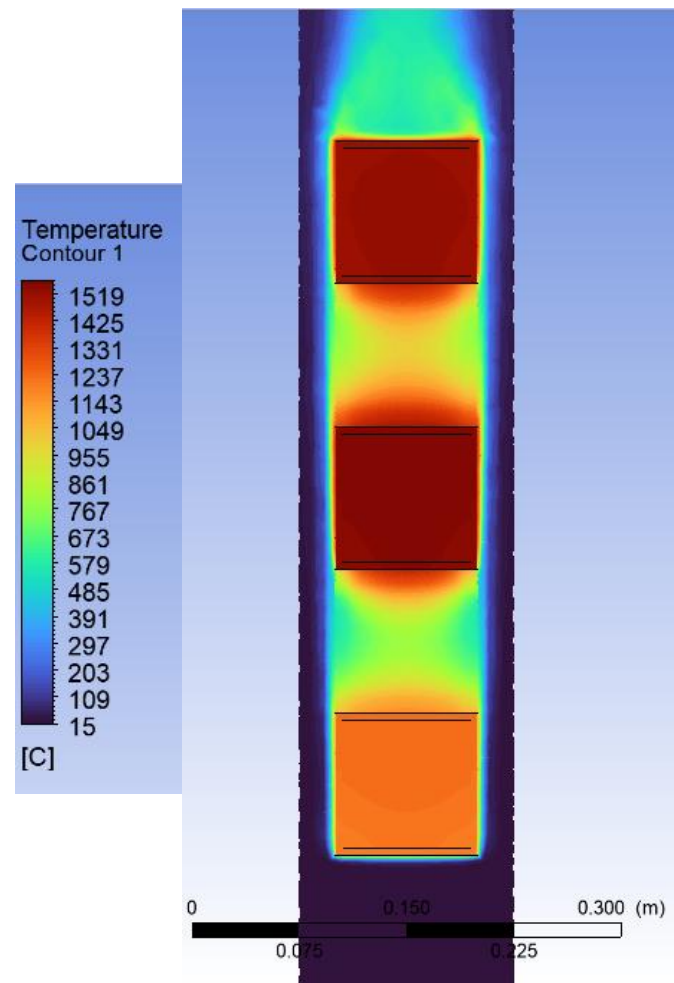
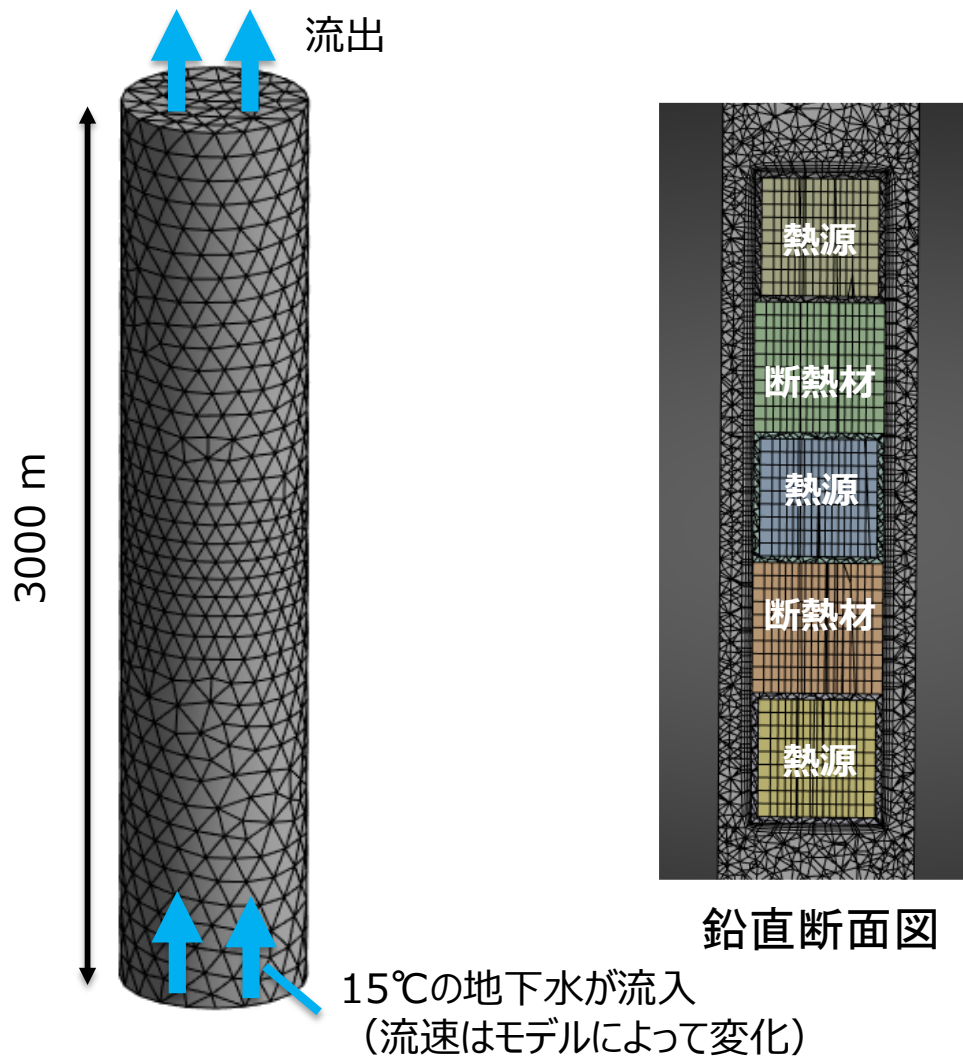
同じ加熱量では、直径が
小さいほど球上下の温度
差は大きくなる傾向

モデルの外観図
(節点数：約5000)

<結果>温度分布・流速ベクトル図

3. 研究開発の進捗・予定

(2) 孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発②

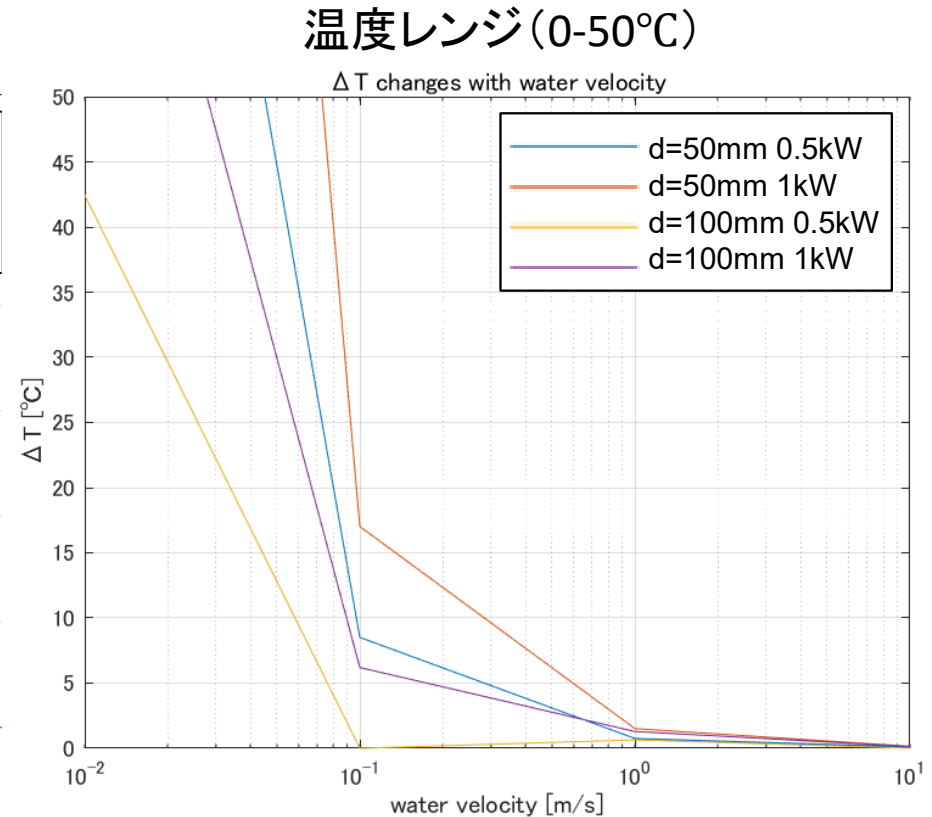
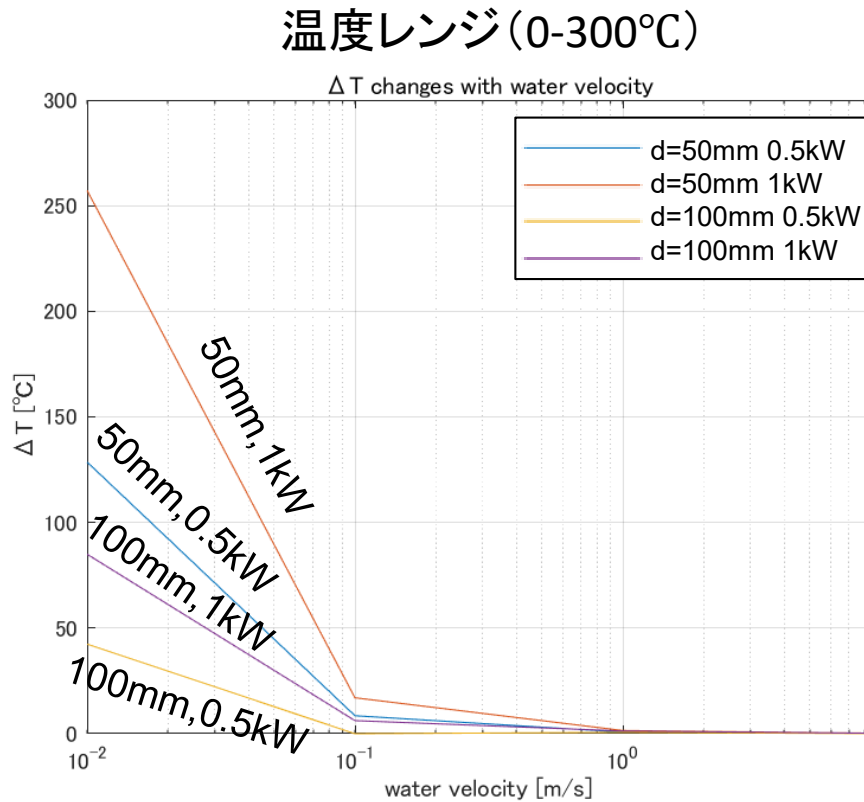


計算結果例) 加熱量1kW×3個、直径100mm、流速1mm/sの結果

3. 研究開発の進捗・予定

(2) 孔内温度時空間分布のAI高速解析アルゴリズムの開発③

加熱した際の測定器の表面温度の分布が流速に応じて依存 → 機械学習



流速・熱源の直径・加熱量を変化させた場合の円筒熱源上下の温度差の変化

3. 研究開発の進捗・予定

(3) 機器校正・教師データ取得のための室内再現実験

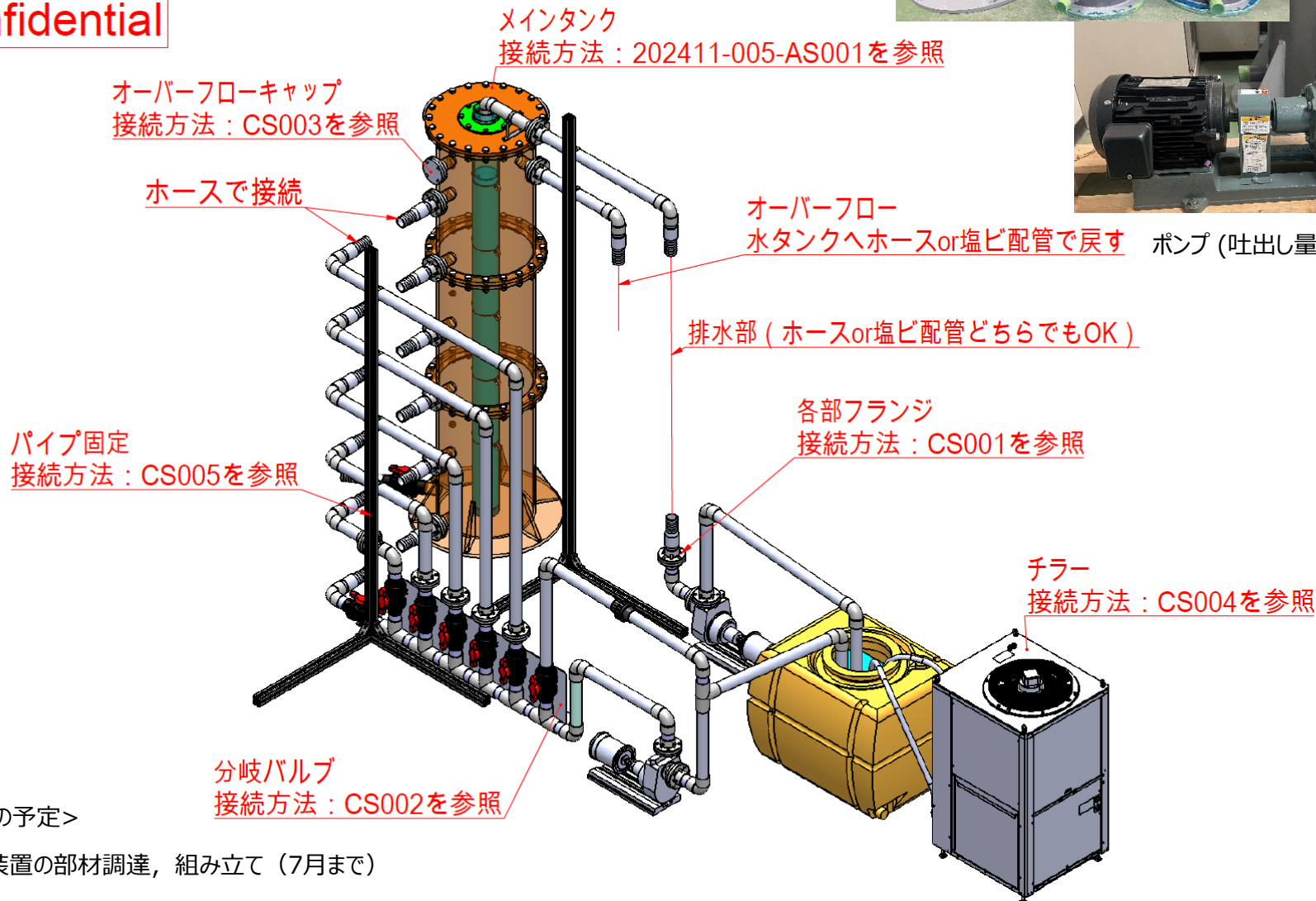
Confidential



メインタンク
(高さ1m×3段)



ポンプ (吐出し量: 0.4m³/min)



<今後の予定>

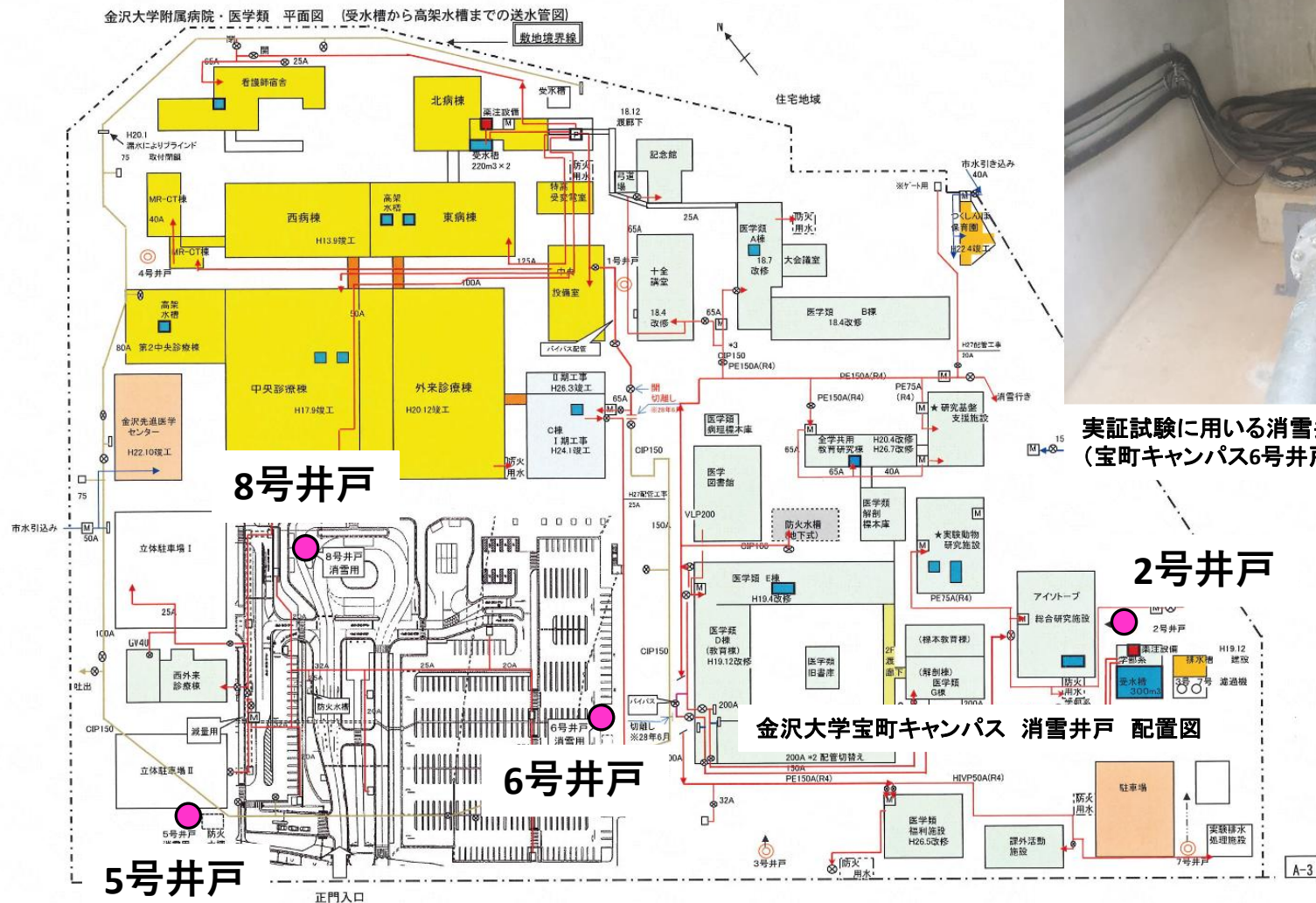
- ・実験装置の部材調達，組み立て（7月まで）
- ・試作機に対し，様々な条件で実験を繰り返し，試験機の仕様を検討
- ・教師データの初期セットを取得する。

3. 研究開発の進捗・予定

(4) 実消雪井戸による実証実験

・実証試験を行う金沢大学宝町キャンパス
(金沢大学病院)での消雪井戸に関する
資料を収集した

	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号
設置年	S54.3	S39.9	S41.6	S43.7	S57.10	S59.2	H14.3	H24.10
掘削深度(m)	201.6	200	160	160	200	203	180	187
井戸径(mm)	400	400	350	400	400	350	350	350
備考	雑用	消雪	飲用(雑用)	雑用	消雪	消雪	飲用(雑用)	消雪
	病院	校舎	校舎	病院	病院	病院・校舎	病院	病院



実証試験に用いる消雪井戸
(宝町キャンパス6号井戸)

3. 研究開発の進捗・予定

研究開発項目	担当	2024				2025				2026				2027 (参考)				2028 (参考)			
		1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
(1)ボアホールカメラ内蔵、 三次元配置温度センサによる 温度センサによる孔内流向流 速計の開発	株式会社 エオネックス	基本 設計						設計見直し			カメラ部 の制作			室内実験・実証試 験に基づく改良							実用化の ための 最終調整
(2)孔内温度時空間分布の AI高速解析アルゴリズムの 開発	金沢大学、 苫小牧高 専（北海 道大学）	解析準備 手法検討						多数計算 プログラム			機械学習			高速計算アルゴリズム							
(3) 機器校正・教師データ 取得のための室内再現試験	金沢大学	試験装置 の設計						試験機の 検証			試験機の 検証			試験機の 検証							試験機の校正
(4)実消雪井戸による開発機 の実証試験	金沢大学、 エオネックス、 産業技術総 合研究所							試験装置 製作			金沢大角間キャン パスでの実証			金沢大角間キャン パスでの実証							金沢市内井戸 での実証

→ 計画

→ 実績

ご清聴ありがとうございました