

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／
水素ステーションの低コスト化・高度化に係る技術開発／
プレクール冷凍設備に替わる新プロセス技術の開発
(膨張タービン式水素充填システムの開発)

発表者名 国立大学法人 九州大学 迫田 直也
団体名 国立大学法人 九州大学
国立大学法人 佐賀大学 (再委託)
トキコシステムソリューションズ (株)
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
発表日 2025年7月16日

連絡先：国立大学法人 九州大学 水素材料先端科学研究センター
(<https://hydrogenius.kyushu-u.ac.jp/>)

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年4月
終了（予定） : 2028年3月

2. 最終目標

水素ステーションにおける-40 °Cプレクール設備に替わる高速回転（50万rpm）可能な水素膨張タービンの開発および充填方法の確立.

3. 成果・進捗概要

- ・水素実ガスを用いた膨張試験において、44万rpmの高速回転を実現
- ・水素充填試験において、昇圧率一定の挙動とともに充填圧力41 MPa(G)を達成.
- ・窒素ガスを用いた冷熱性能試験では、熱落差-93.6 Kを確認.
- ・タービン出口温度が-40 °Cを下回る充填初期の挙動に対して、蓄冷器用の二重円管再生熱交換器を考案.

1. 事業の位置付け・必要性

- 本事業を実施する背景，目的

水素ステーションでは，バスやトラック等HDVに向けた開発を背景に，プレクーラーも大容量化する中，ステーション自体の小型化，高効率化，省エネ化，低コスト化が求められる．本事業では，水素の充填ラインに膨張タービンを設置し，ガス膨張による温度降下を利用した，既存のプレクール冷凍設備に替わる，新たなプレクールプロセスの実現を目的とする．

- 本事業の位置づけや意義，必要性

現状のプレクーラーは，

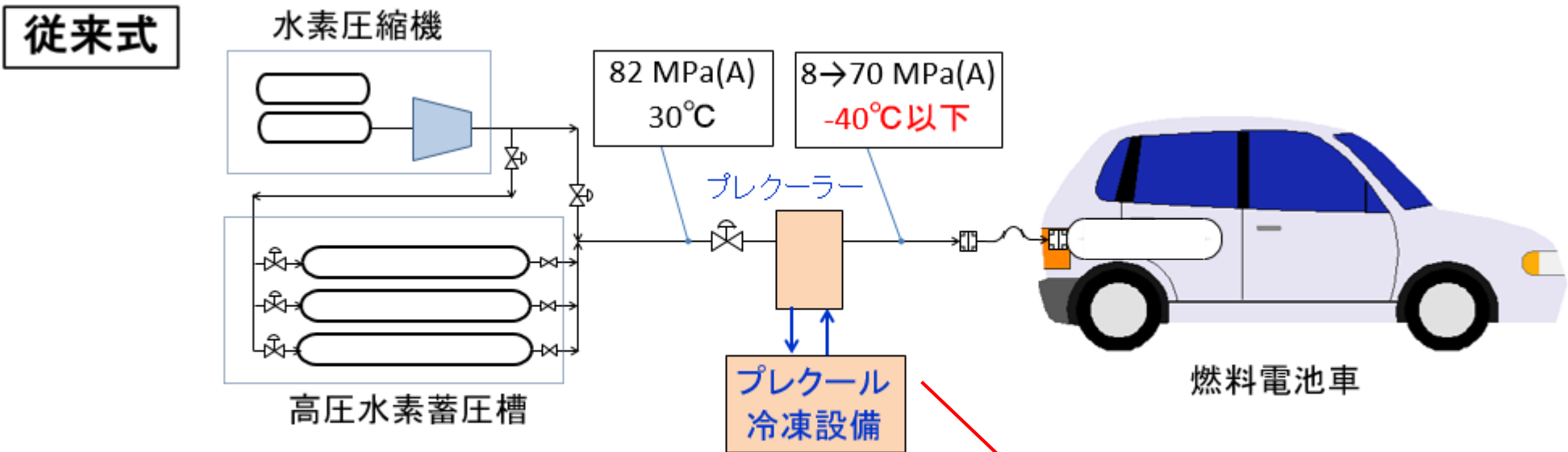
- 1) プレクーラー冷凍設備は大きな設置面積が必要．HDVに対し大型化，コスト増．
- 2) 設備運用に多大な運転電力が必要．
- 3) 機器据付および配管の工事が必要となり，建設コストへのインパクトが大きい．

といった課題があり，膨張タービンの開発によりこれらを低減，解決する．

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の目標と目標設定の考え方

HDV用水素ステーションでは、プレクーラーによって -40°C に冷却された水素が最大 180 g/s で充填されることから、水素実ガスにおいて50万rpmという高速回転可能な膨張タービンの開発を目標とし、既存の充填方法をベースにタービンを実装したプレクールプロセスの実現を目指す。



- 現状の水素燃料電池車への水素充填では、車載タンクの温度上昇を抑制するため、プレクール冷凍設備で -40°C まで冷却して充填している

膨張タービンへ

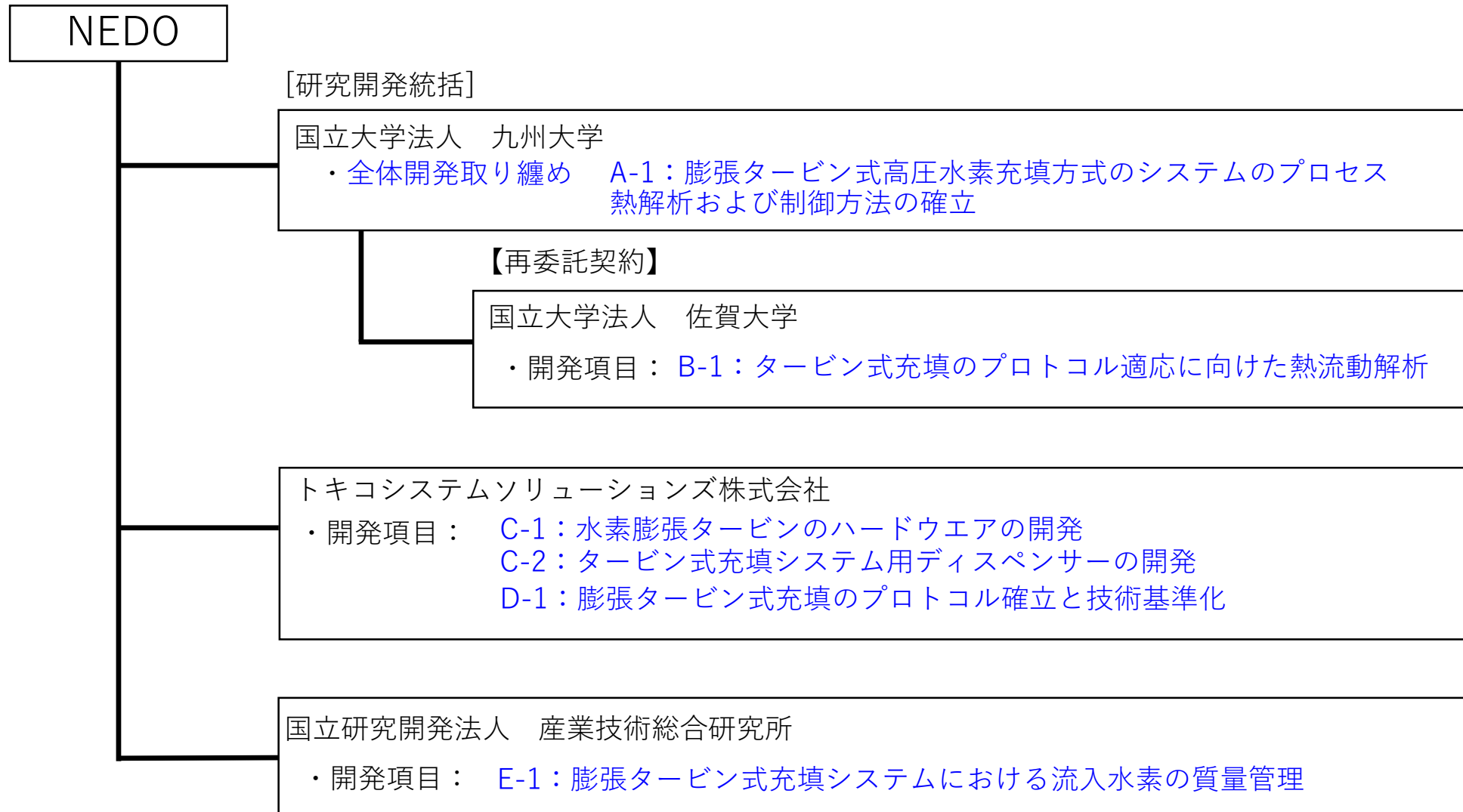
2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発のスケジュール

研究開発のスケジュール		ステージゲート			参考
研究開発項目	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
A-1：膨張タービン式水素充填方式のシステム熱解析と制御方法の確立	水素物性データベースとの連携，熱解析				
B-1：膨張タービン式充填のプロトコル適応に向けた熱流動解析	二重円管再生熱交換器の開発				
C-1：膨張タービンハードウェアの開発	50万rpmタービン開発				
C-2：膨張タービン式充填システム用の水素ディスペンサー製作					
D-1：膨張タービン式充填のプロトコル確立と技術基準化					
E-1：膨張タービン式充填システムにおける流入水素の質量管理	流入水素の質量流量の冷却効率への影響解析				

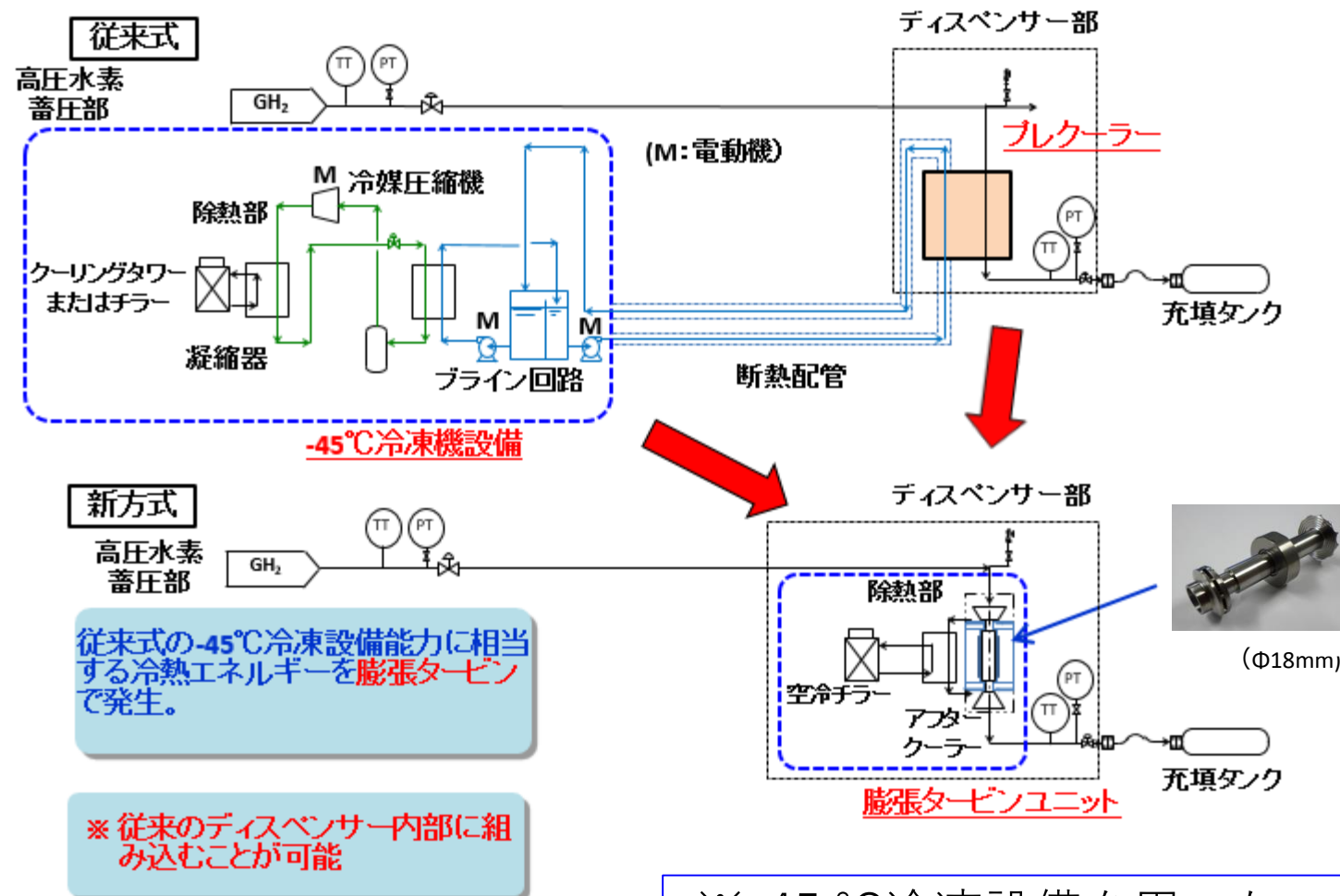
2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制



3. 研究開発成果について

従来式と新方式との比較

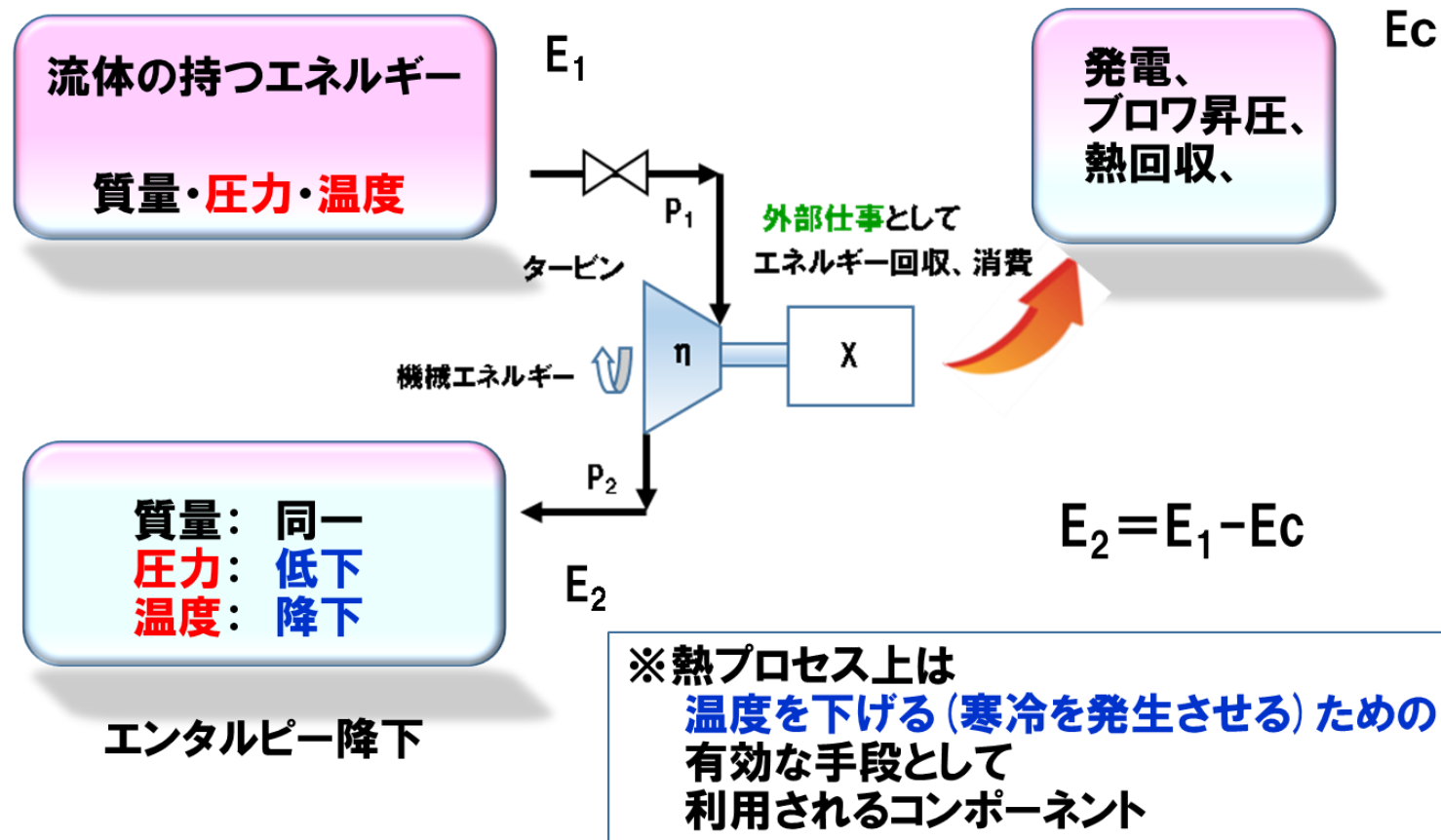


※-45℃冷凍設備を用いない
プレクールシステムを実現

3. 研究開発成果について

膨張タービン

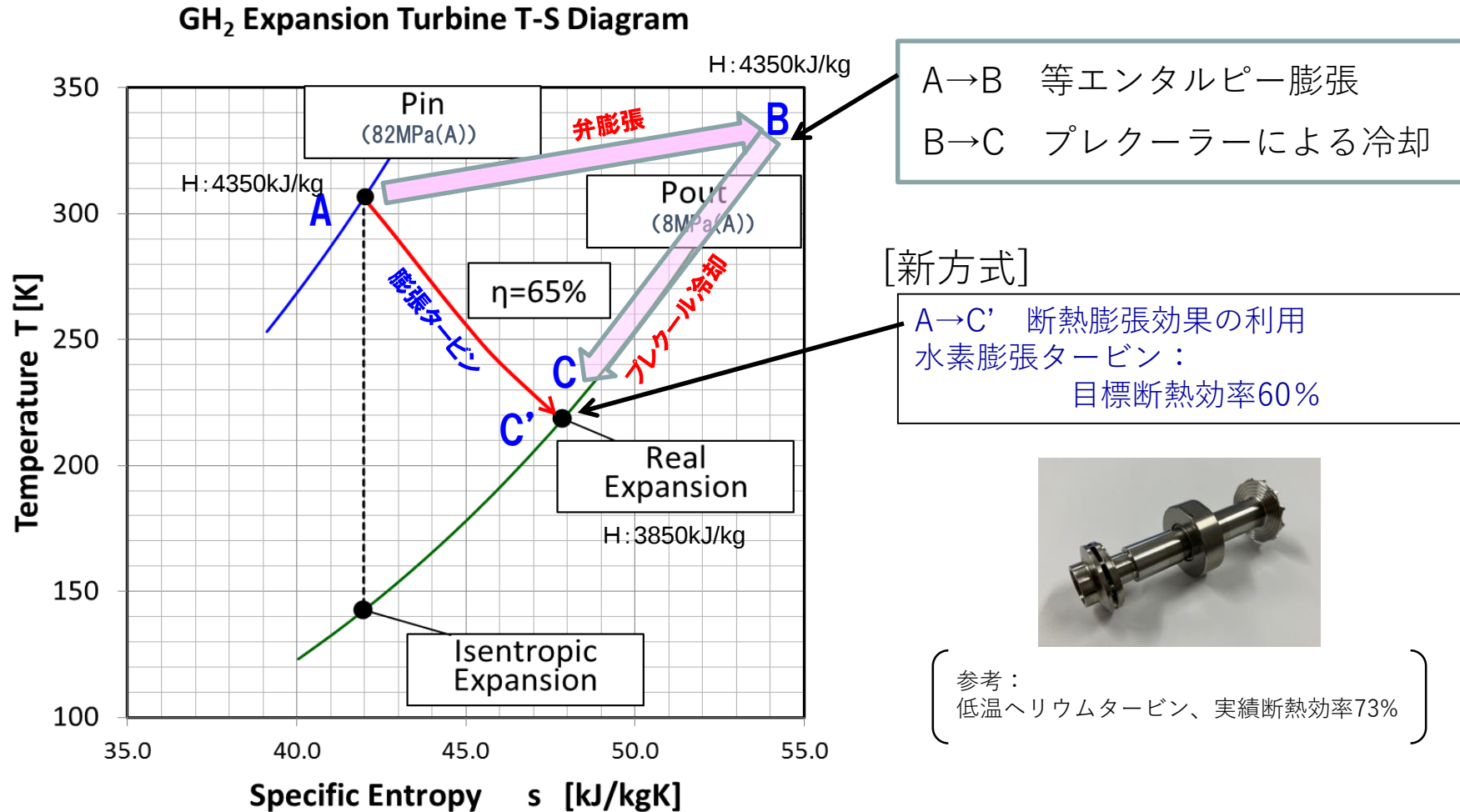
= 流体の持つエネルギーの一部を機械エネルギー（回転力）に変換



試作水素タービン
インペラー径： $\phi 18$ mm
全長：66 mm

3. 研究開発成果について

膨張タービンによる水素膨張過程（温度-エントロピー線図）

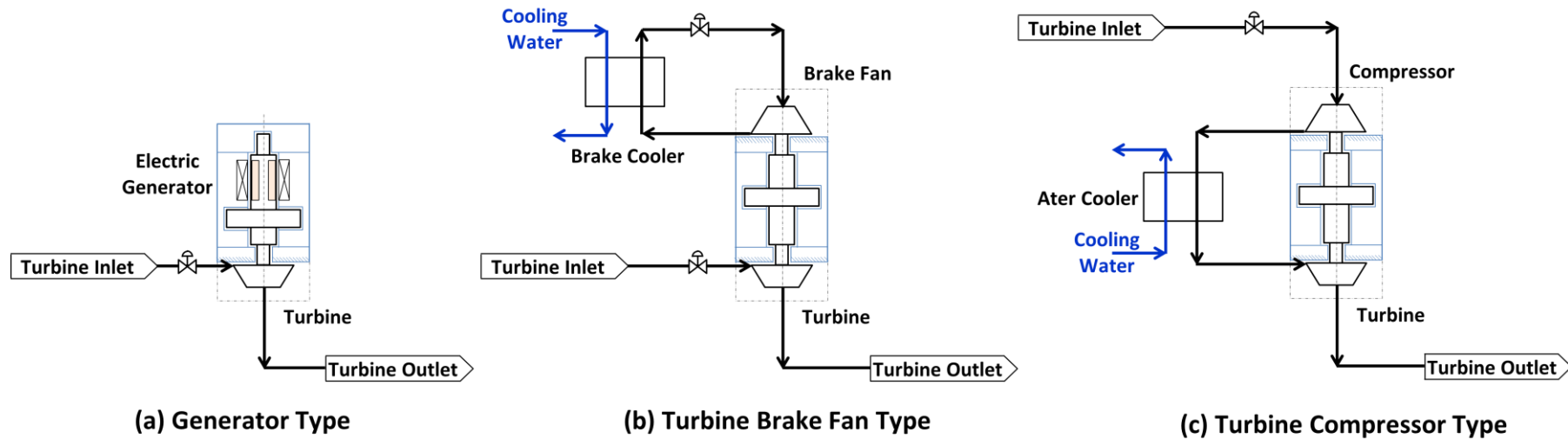


従来の併膨張式 : A → B (併膨張) 温度上昇, B → C (プレクーラー間接冷却)
膨張タービン式 : A → C' (膨張タービンによるエンタルピー降下)

3. 研究開発成果について

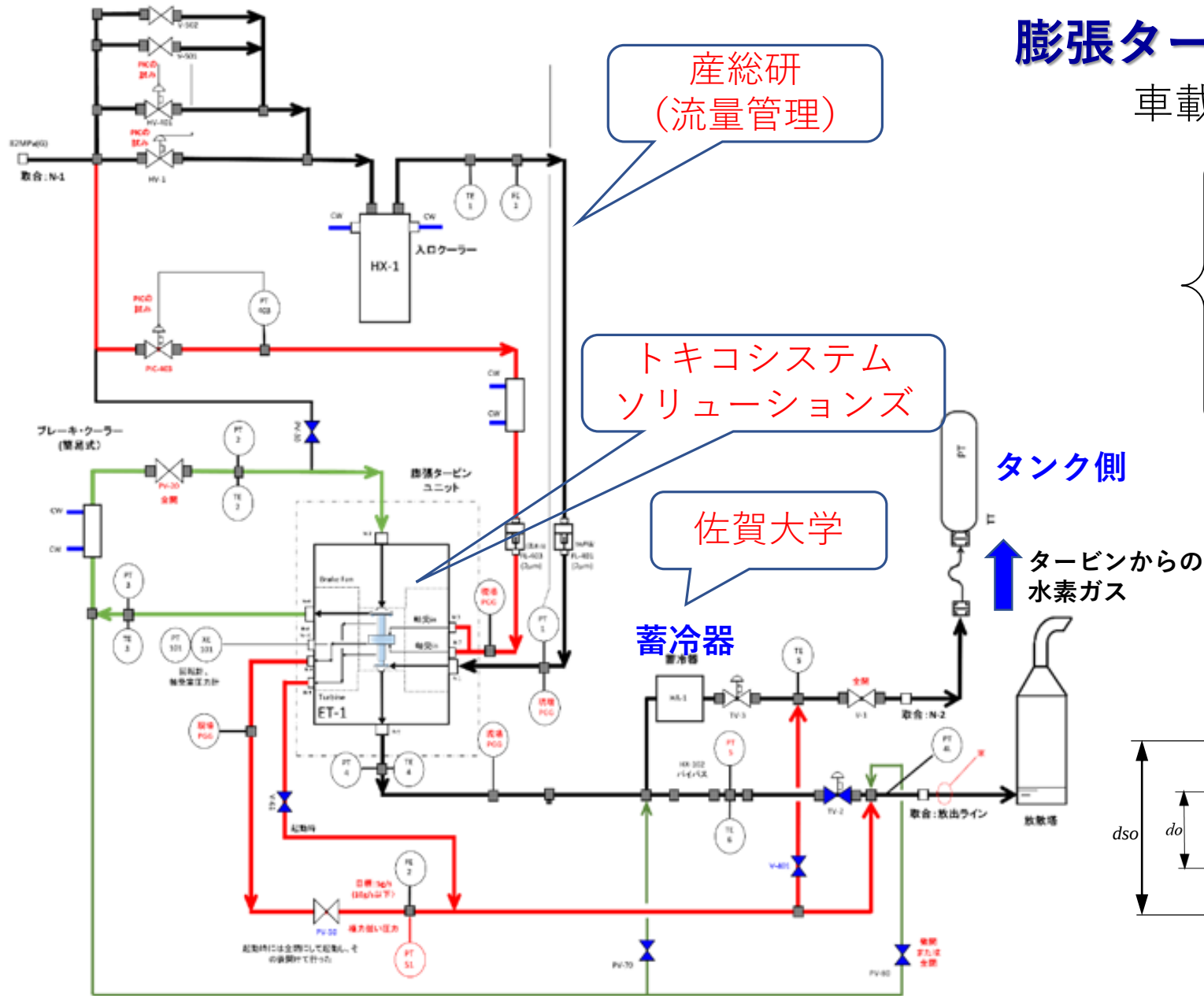
膨張タービンのエネルギー消費と回収あるいは再利用回路

膨張タービンは膨張過程で入口ガスの持っているエネルギーの一部を回転エネルギーとして外部仕事に変換し、回収あるいは再利用する必要がある。



(b), (c)は膨張タービン回転体のタービンのインペラの反対側に遠心ファンまたはコンプレッサのインペラを配置しており、プロセスガスを昇圧・昇温することでエネルギーを消費する。この昇温されたガスを冷却水や冷却空気等の外部冷却流体と熱交換させる。

3. 研究開発成果について



膨張タービン試験の全体図と役割

車載容器内水素の状態変化

質量保存 $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}}$

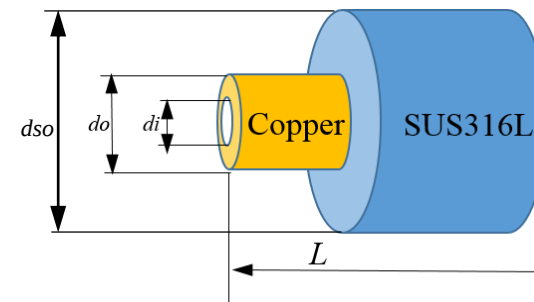
エネルギー保存 $\frac{d(mu)}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} h_{\text{in}} + \dot{Q}$

狀態方程式

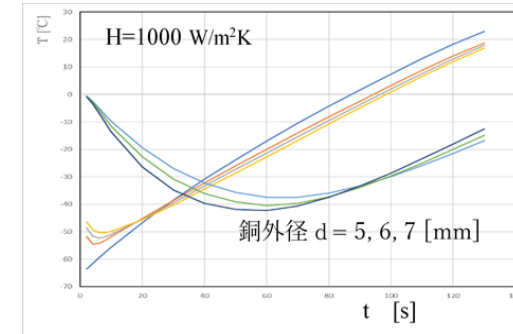
$$Z(\rho,T)=1+B(T)\rho+C(T)\rho^2+D(T)\rho^3$$

性能向上に向けた熱力学解析および
充填システムの確立を目指す.

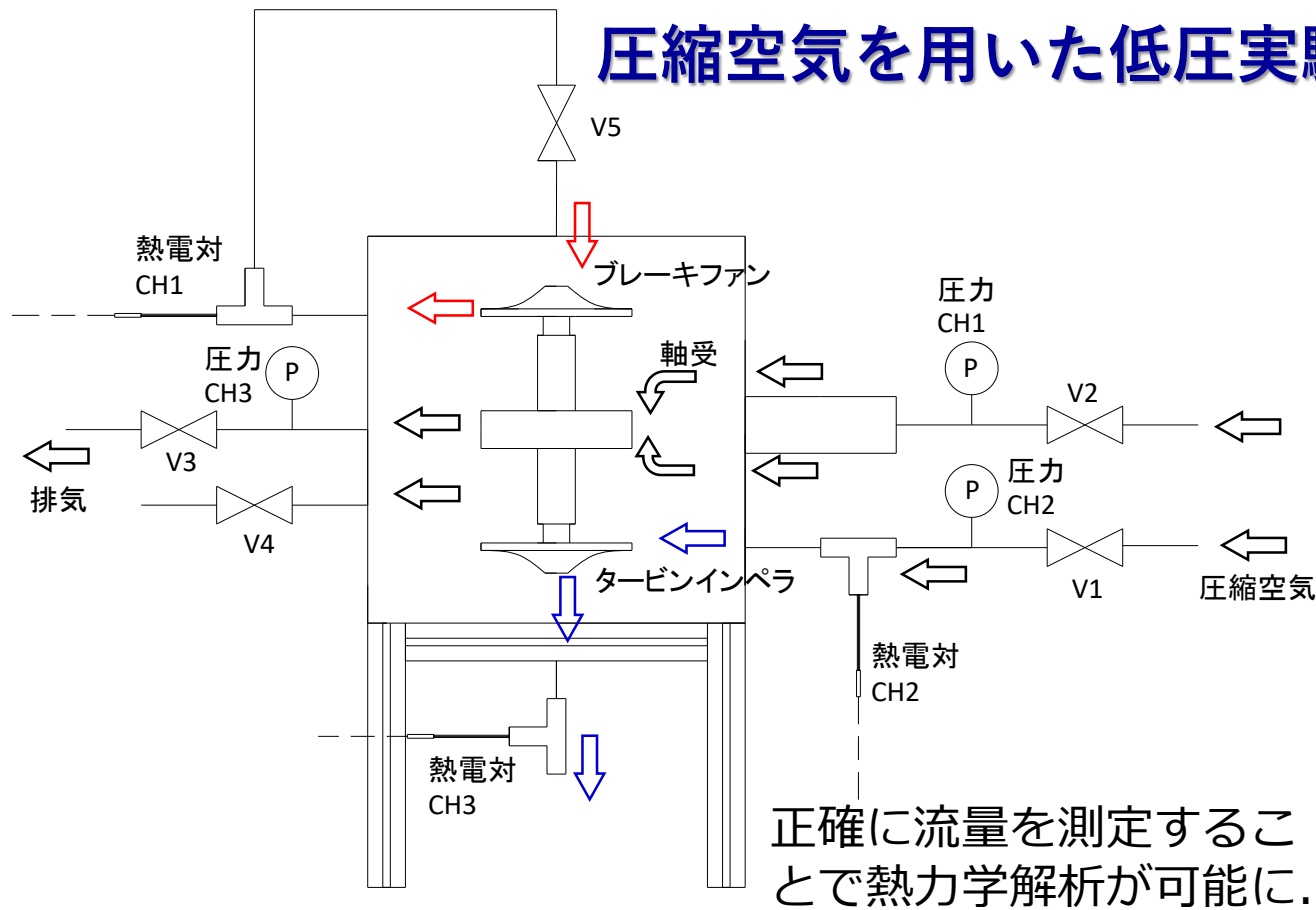
九州大学



二重円管再生熱交換器の概念図



3. 研究開発成果について

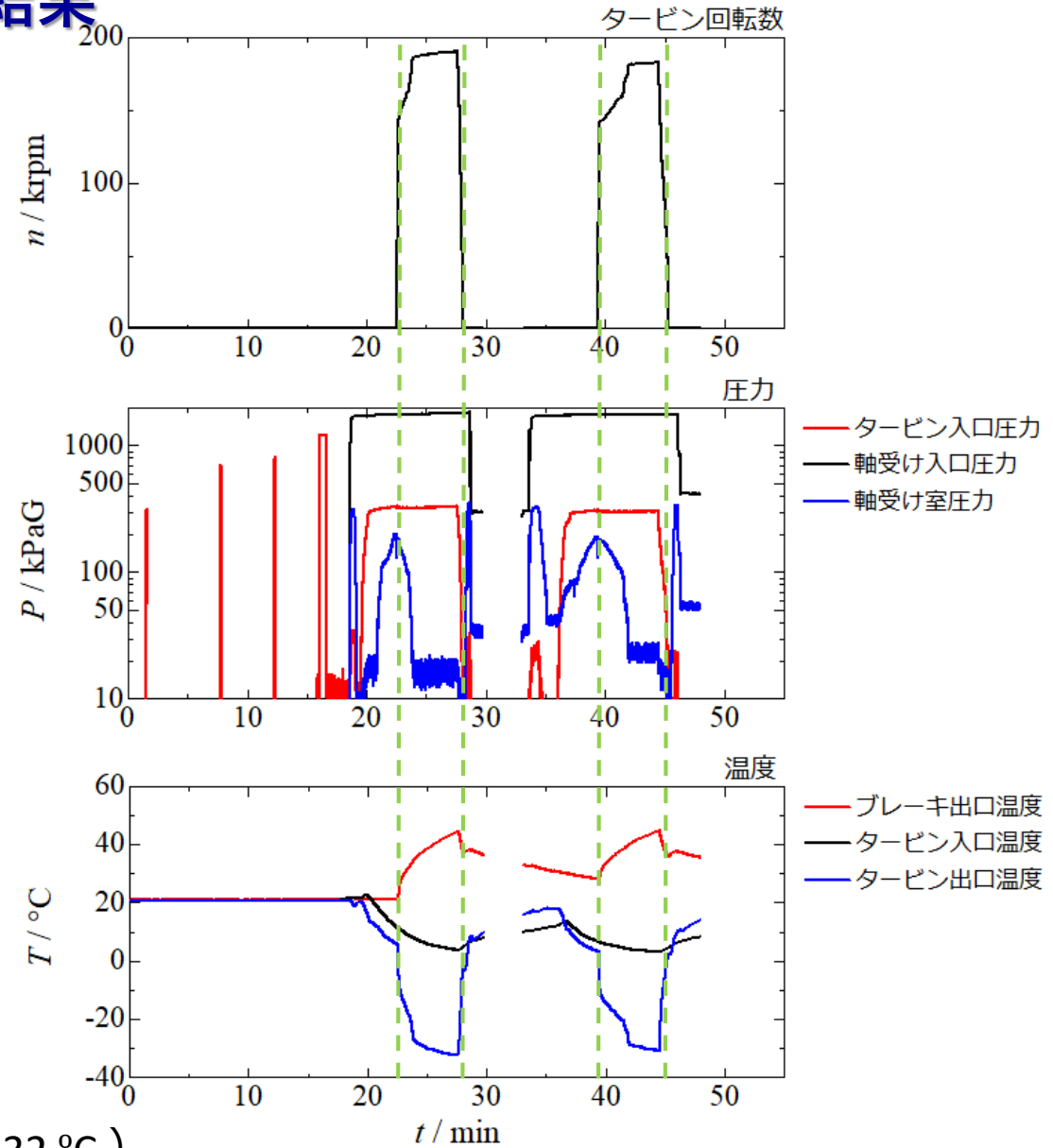


タービン入口が下記条件のとき

$$t = 3.8^{\circ}\text{C}, P = 332 \text{ kPaG} \quad \longrightarrow \quad s = 3.387 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

断熱効率100%で膨張としたときのタービン出口温度

$$s = 3.387 \text{ kJ}/(\text{kg K}), P = 101 \text{ kPa(Abs.)} \quad \longrightarrow \quad t = -90^{\circ}\text{C} \quad (\text{実験では } t = -32^{\circ}\text{C})$$



3. 研究開発成果について

水素膨張タービンのハードウェアに関する開発

I. 低圧窒素ガス試験での要素開発

- 1) 高速回転メカラン試験：冷却温度熱落差-93.6Kを達成
- 2) 連続起動停止耐久試験：連続100回(3.5分ピッチ)で問題無いことを確認
- 3) 3次元翼高性能化インペラでの試験開始：20%低い回転数で冷熱性能を確認

II. 水素実ガス試験

- 1) 高速回転試験：安定回転数44万rpmを達成（最終目標50万rpmの約88%）
- 2) 水素充填試験運転：充填圧力41 MPa(G)を達成（昇圧速度ほぼ一定）

3. 研究開発成果について

試作水素タービン

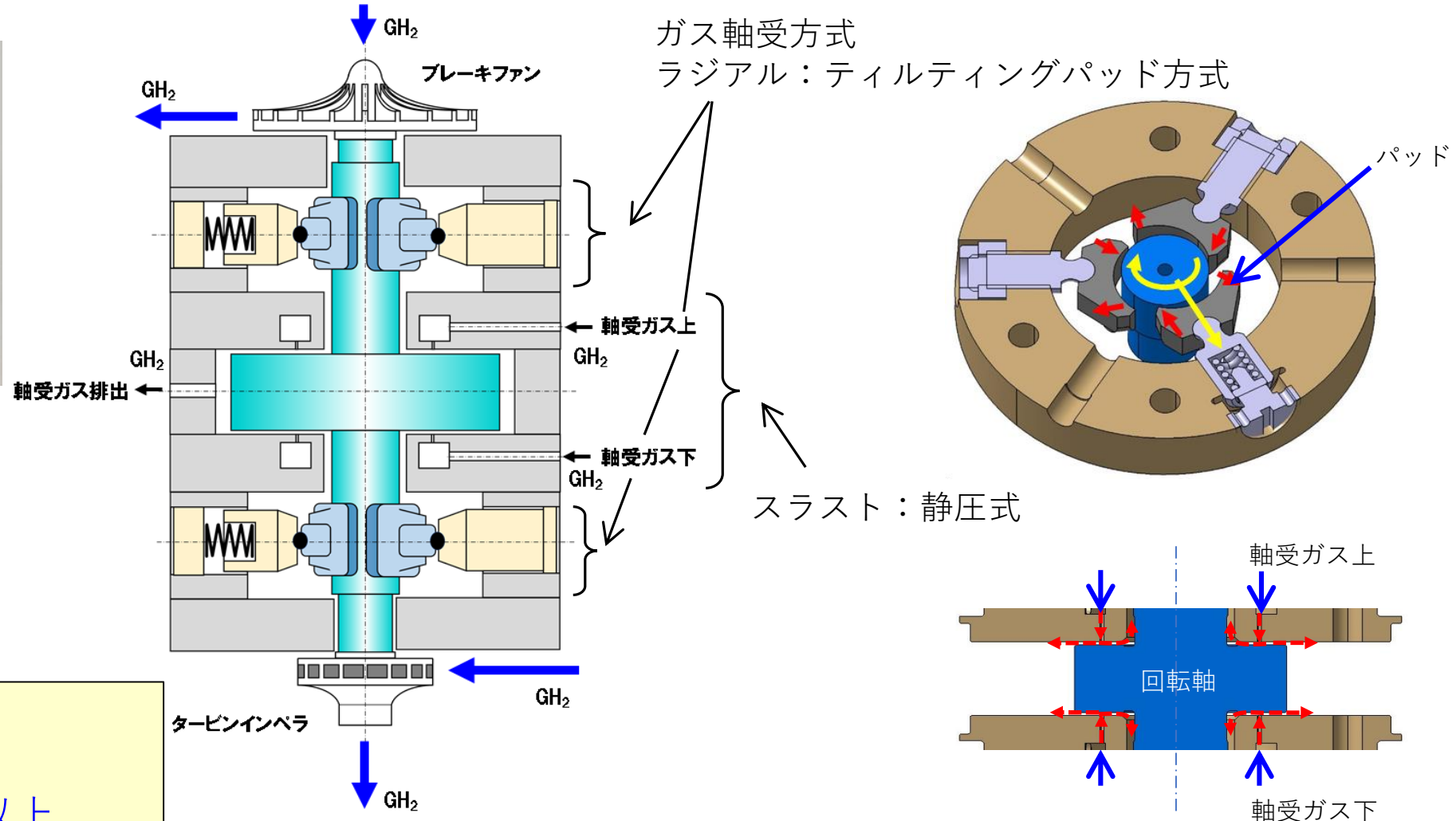
高速回転を支える非接触のガス軸受構造



インペラー径： $\phi 18\text{mm}$
主要材質：チタン合金
軸受構造：ガス軸受

開発目標

- 1) 目標回転数：50万rpm
- 2) 起動停止回数：20回/日以上
- 3) 充填成立に見合う寒冷量の発生



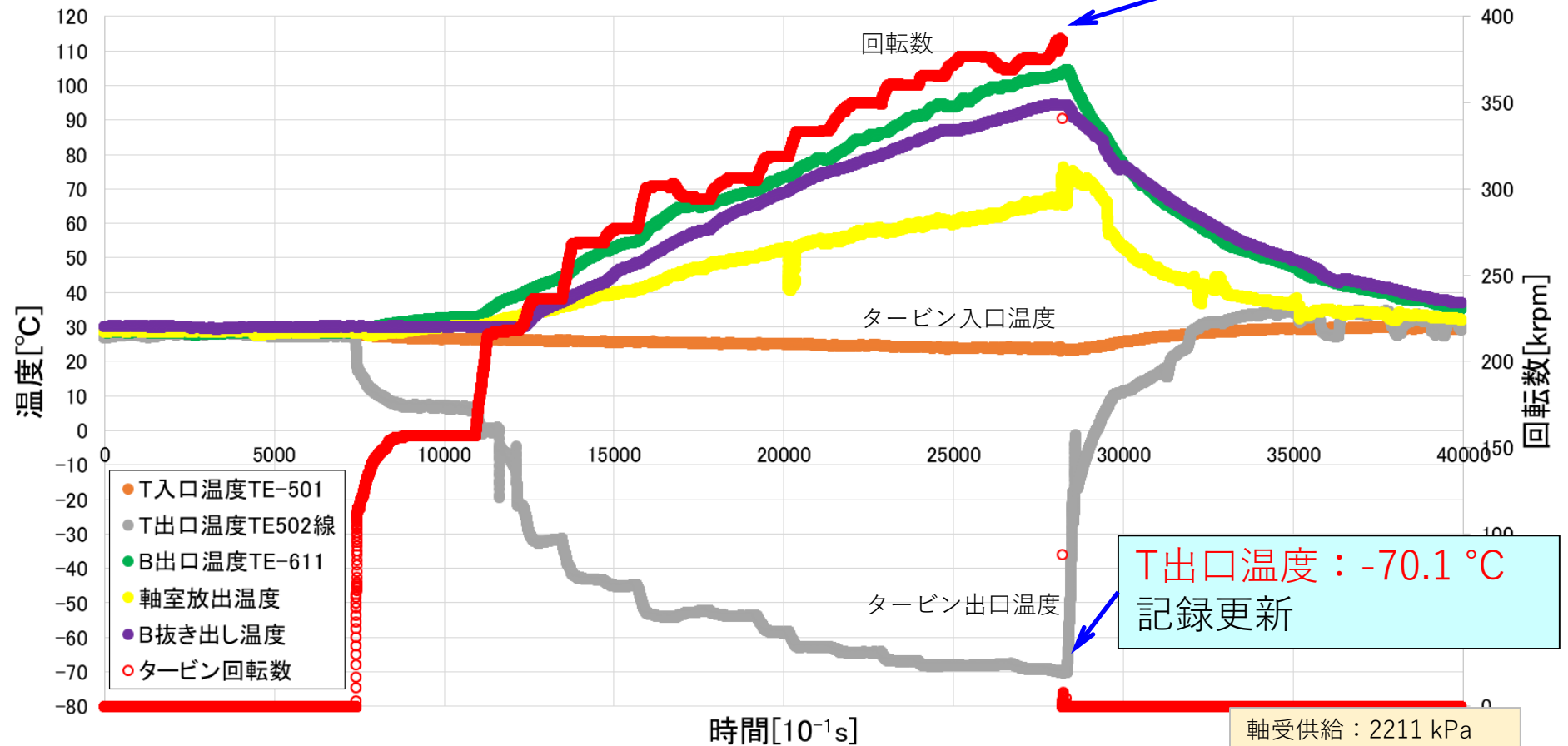
3. 研究開発成果について

1. 低圧窒素ガス試験での要素開発

冷熱発生性能評価試験

回転数・主要温度数値

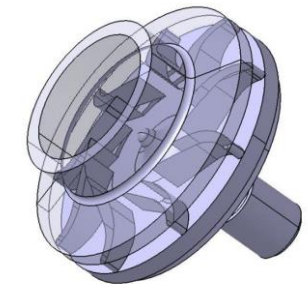
回転数：36万rpm時



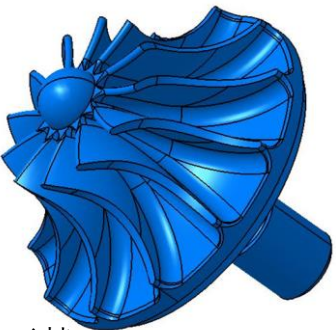
- 1) T出口温度 : -70.1 °C 最低温度記録を更新
- 2) T入口温度との熱落差 : -93.6 Kを達成

軸受供給：2211 kPa
軸受室：251 kPa
T入口：1815 kPa
T入口温度：23.5 °C
T出口温度：-70.1 °C
B出口温度：103.7 °C

3次元翼高性能化インペ
ラーでさらに高性能化を
実現



従来形状



新設計形状
Φ18mm

3. 研究開発成果について

II. 水素実ガス試験の進捗

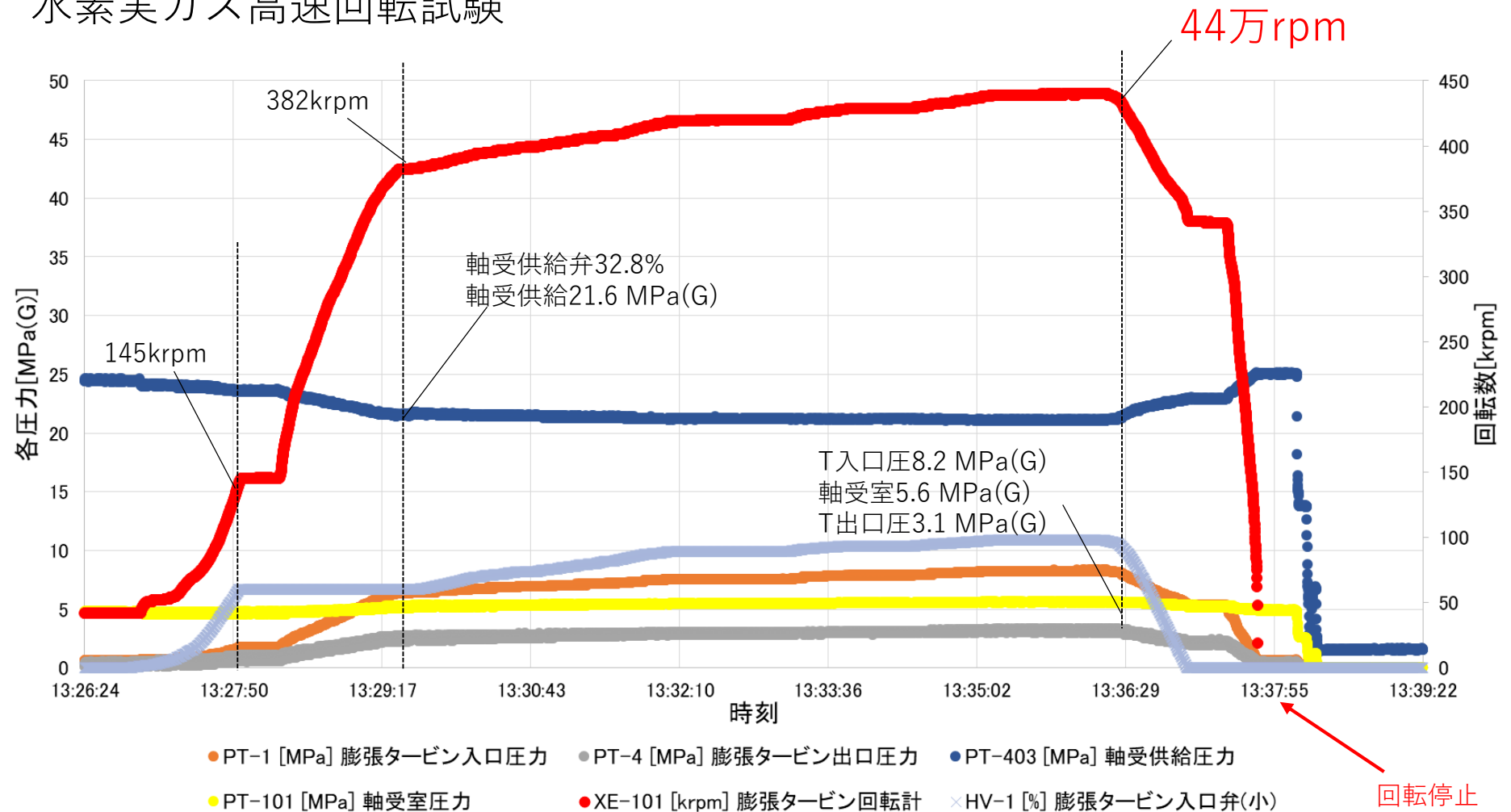
高速安定回転範囲の拡大

水素実ガス高速回転試験

回転数44万rpmまでの
安定回転の確認



目標回転数：50万rpm
約88%まで到達



3. 研究開発成果について

II. 水素実ガス試験

タンクへの充填運転試験

タンク充填運転試験 充填運転範囲の拡大

水素充填経緯比較

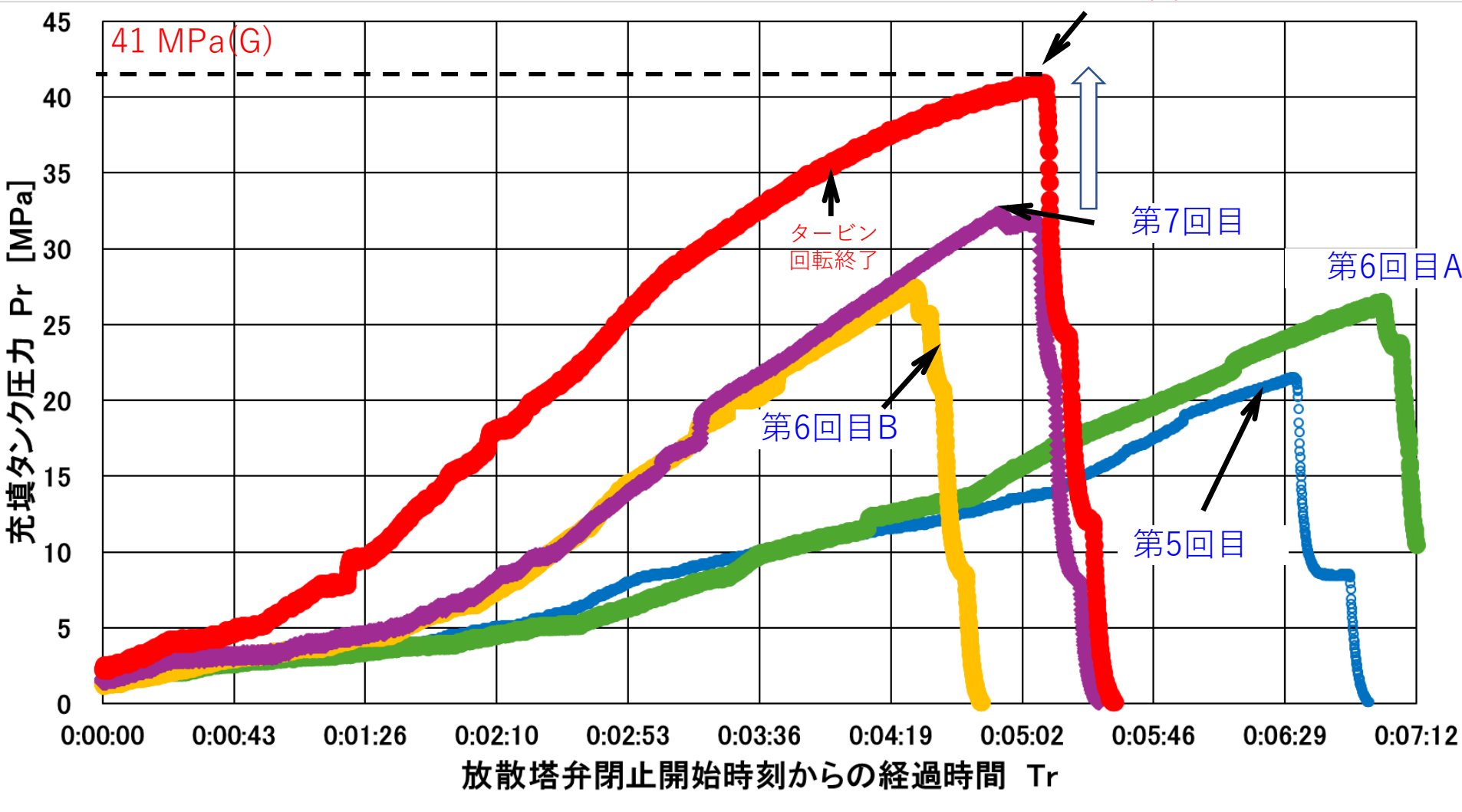
第8回目

第7回目

第6回目A

第6回目B

第5回目



ほぼ昇圧率一定の充填を模擬

順次圧力範囲、充填速度の高速化を試験継続中

3. 研究開発成果について

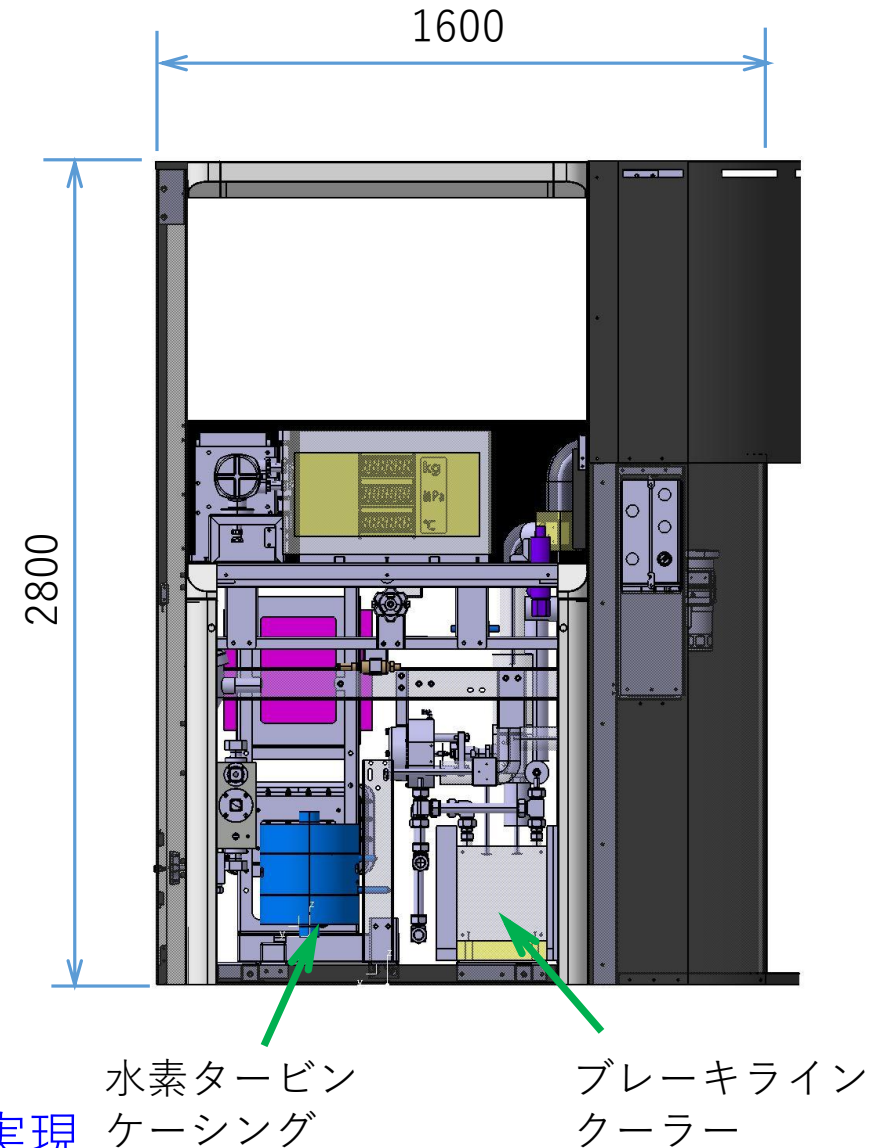
水素タービン搭載のディスペンサーの空間設計

水素タービン搭載
ディスペンサーの設計状況

水素タービン
ケーシング

ブレーキライン
クーラー

従来のディスペンサーと同じ大きさを実現



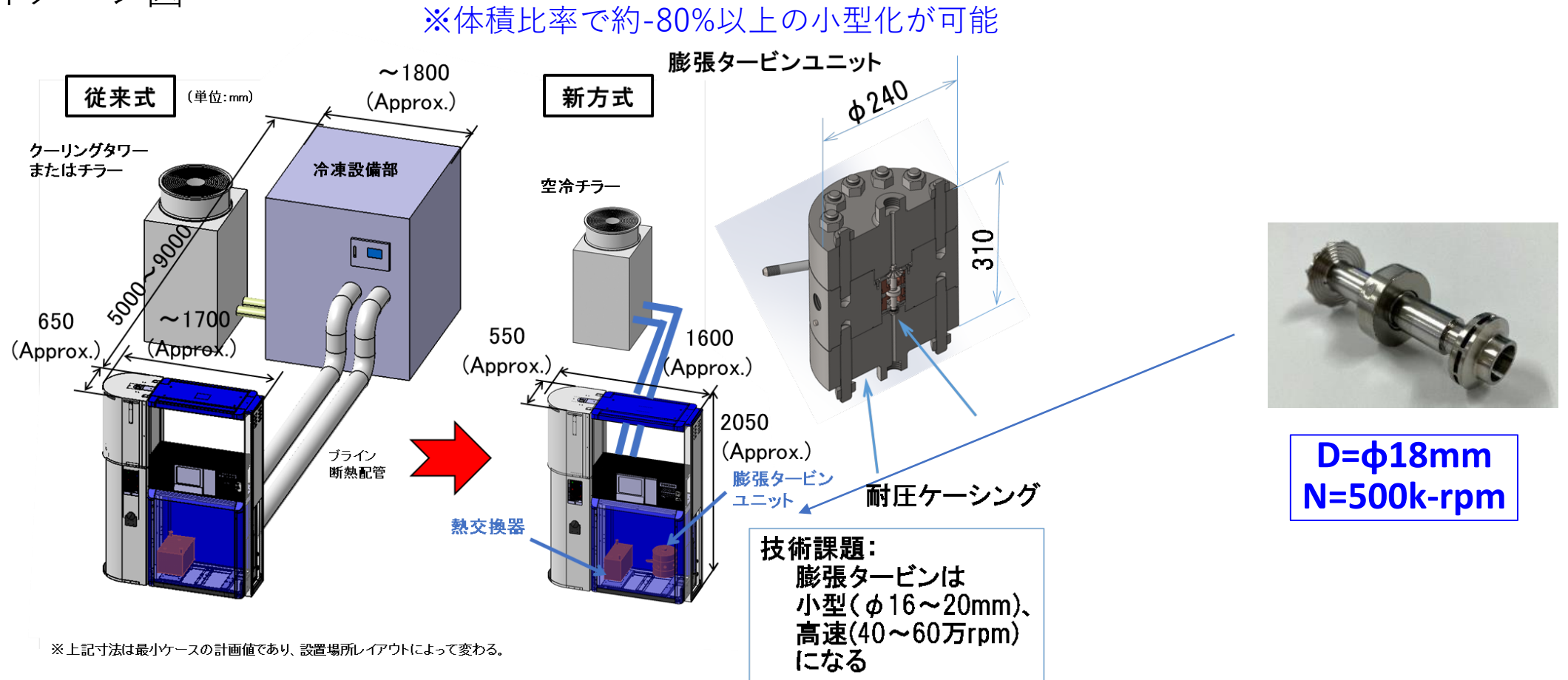
3. 研究開発成果について

特許の出願状況

	出願番号	国内・外国・PCT	出願日	状態	名称
1	PCT/JP2023/024831	PCT	2023/7/4	出願中	回転機械、制御装置
2	PCT/JP2023/028593	PCT	2023/8/4	出願中	膨張タービン
3	2024-022241	国内	2024/2/16	出願中	軸受用のテイルテイングパッド、軸受
4	2024-025793	国内	2024/2/22	出願中	制御システム、制御方法
5	2024-055937	国内	2024/3/29	出願中	軸受用のテイルテイングパッド、軸受
6	2024-055931	国内	2024/03/29	出願中	軸受装置

4. 今後の見通しについて

社会実装イメージ図



- 1) 2026年度までの事業で、プロセス技術および水素タービンハードウェアの確立を行う。
- 2) 並行してタービン利用方式の新たな水素充填プロトコルを検証し、2030年度の製品投入を計画