

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.B2-8

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/ 水素ステーション低コスト化・高度化基盤技術開発

西村 伸

国立大学法人九州大学

一般社団法人水素供給利用技術協会

一般財団法人化学物質評価研究機構

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

NOK株式会社

高石工業株式会社

株式会社PILLAR

NTN株式会社

一般社団法人日本ゴム工業会

株式会社キッツ

株式会社フジキン

2025年7月16日

(再委託) 国立大学法人大阪大学

(再委託) 国立大学法人横浜国立大学

(再委託) 国立大学法人弘前大学

連絡先：

国立大学法人九州大学

snishimu@mech.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

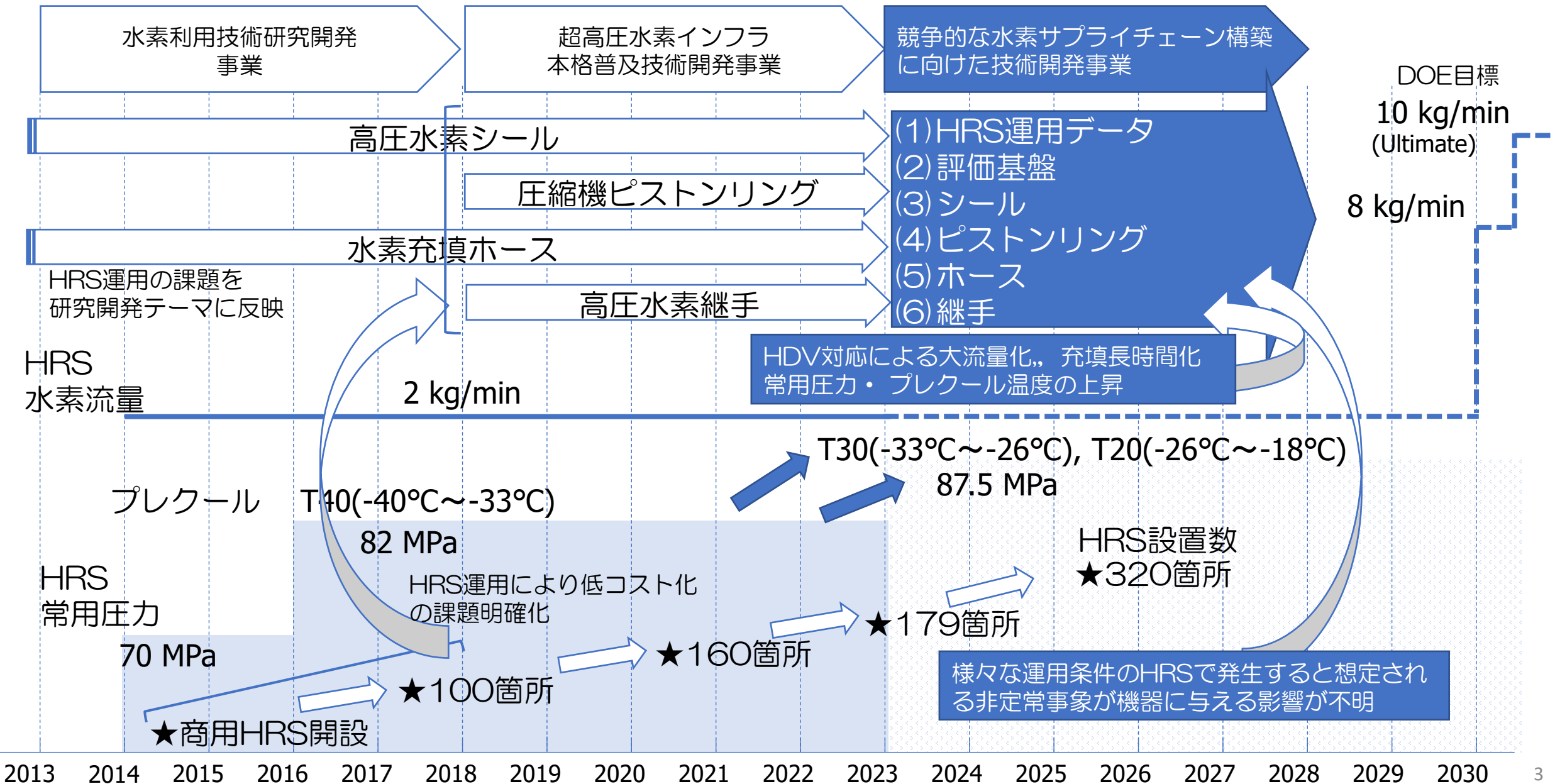
2. 最終目標

- ・水素ステーションにおける非定常事象を考慮した高圧水素機器・部材加速耐久性評価法の決定
- ・実水素ステーション充填回数30,000回以上の耐久性を有する高圧水素機器・部材の試作

3. 成果・進捗概要

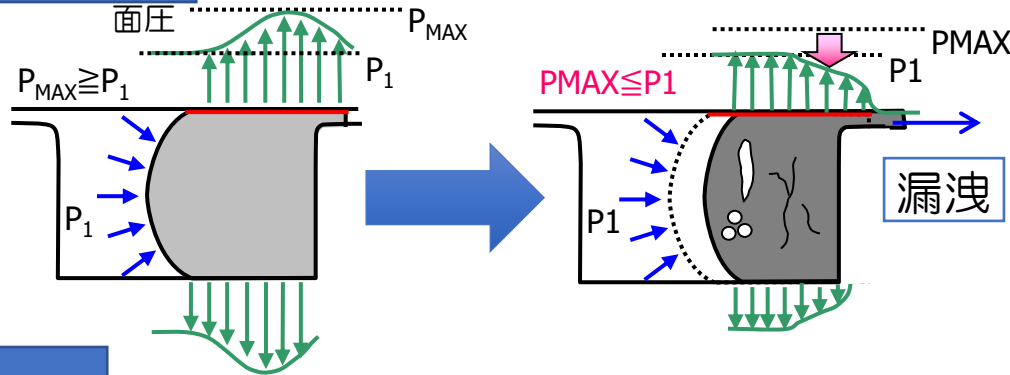
- ・水素ステーション運用データ解析を実施し、各種統計データおよび圧力変動パターンの分類を行った。その結果、始業前に行われる保圧試験、圧縮機吐出口の加圧時の圧力変動が非定常事象として抽出された。
- ・化学物質評価研究機構 (CERI) では新規に建設した高圧ガス試験棟において、種々のプロトコルを模擬した試験が可能となる次世代型高圧水素曝露装置を導入した。
- ・非定常事象への適合および大流量化に伴う課題を踏まえ、ゴム・樹脂材料の高圧水素適合性評価データの解析、新規シール部材、エラストマー材料の開発を実施した。
- ・高圧水素ガス圧縮機から回収ピストンリングを調査し、摩耗メカニズムに関する知見を蓄積するとともに、ピストンリング用複合材の各種特性評価を行い、データベース構築を進めた。
- ・水素充填ホース加速耐久性評価法としてホース表面直接加温し、冷却ガスを流通する方法の提案・検証、ホース劣化・破壊因子解明のため高圧水素環境下での構造解析、ホース大変形挙動解析を実施した。
- ・水素ステーションにおける継手締結部の微量漏洩抑制のため、水素ステーションのメンテナンス状況の調査、継手の締結、サイクル負荷、ねじり負荷の要素試験による漏洩条件の解明を実施した。

1. 事業の位置付け・必要性

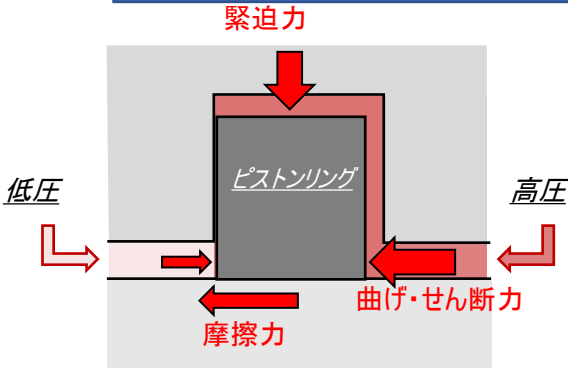


1. 事業の位置付け・必要性：HRS機器の漏洩事象の解明

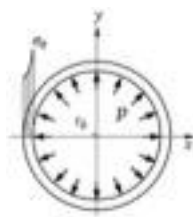
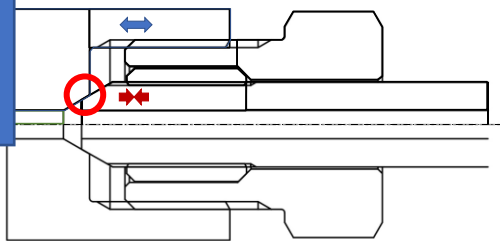
実施項目③
高圧水素シール部材開発



実施項目④
高圧水素圧縮機ピストンリング開発



実施項目⑥
継手締結部の漏えい
防止に関する研究
開発



実施項目⑤
非定常状態を
考慮した高圧
水素ホース評価
法開発

面圧低下による漏洩

材料破壊による漏洩

外力

温度

内圧

水素侵入

材料物性

材料強度

実施項目①
HRS運用データ解析技術開発

実施項目②
高圧水素適合性高分子材料評価設備開発

2. 研究開発マネジメントについて：研究体制

実施項目①：HRS運用データ解析技術開発

テーマリーダー：西村 伸（九州大学）
九州大学 水素供給利用技術協会（HySUT）

ステアリング委員会

ステーションオーナー等外部有識者

HRS運用
統計情報
解析データ

実施項目②：高圧水素適合性高分子材料評価基盤設備開発

テーマリーダー：藤原広匡（CERI）
九州大学 化学物質評価研究機構（CERI）

実施項目③：高圧水素シール部材開発

テーマリーダー：西村 伸（九州大学）
九州大学 CERI 量子科学技術研究開発機構 NOK 高石工業 PILLAR

再委託

大阪大学 横浜国立大学

実施項目④：高圧水素圧縮機ピストンリング開発

テーマリーダー：澤江義則（九州大学）
九州大学 NTN PILLAR

実施項目⑤：非定常状態を考慮した高圧水素ホース評価法開発

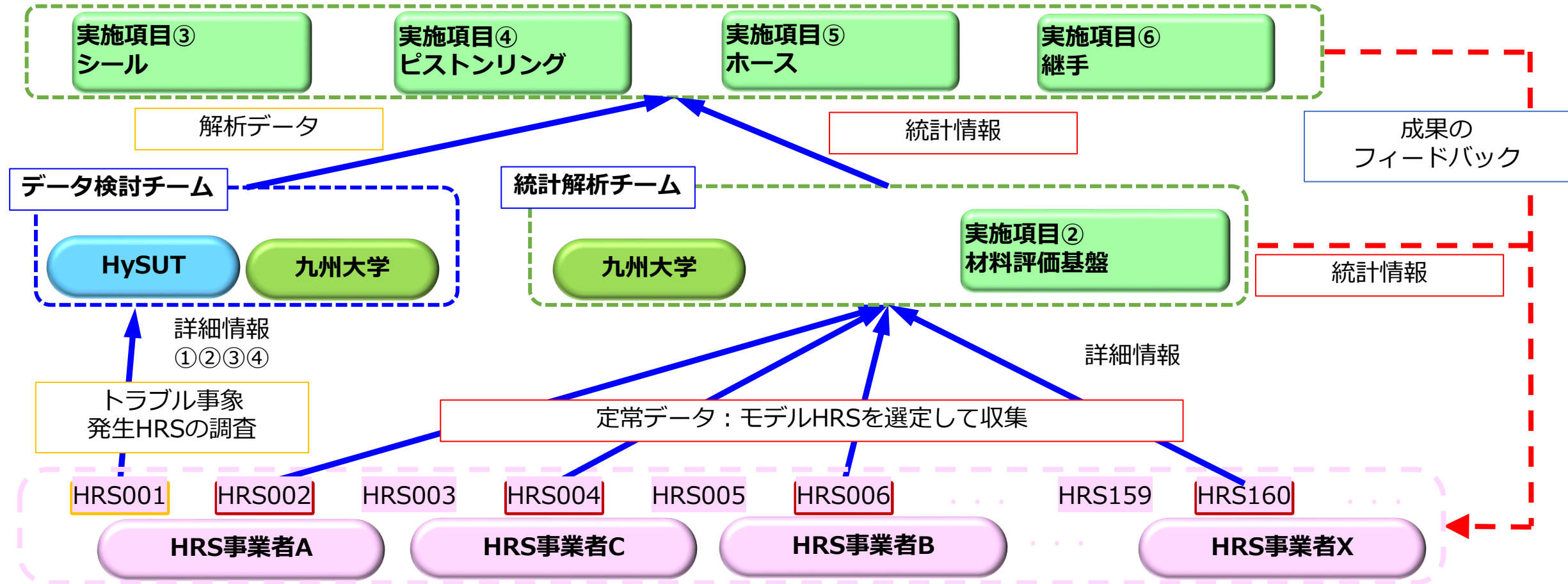
テーマリーダー：西村 伸（九州大学）
九州大学 日本ゴム工業会（JRMA）

再委託 弘前大学

実施項目⑥：継手締結部の漏えい防止に関する研究開発

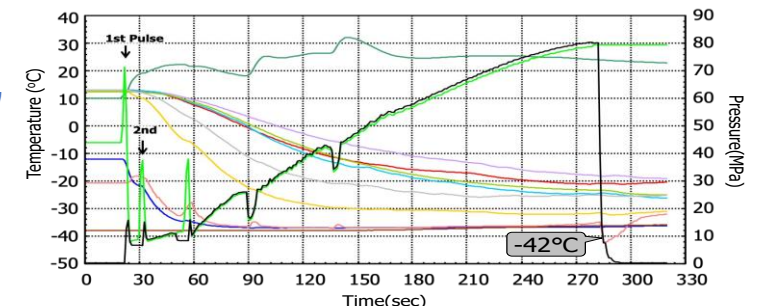
テーマリーダー：杉村丈一（九州大学）
九州大学 キッツ フジキン

材料評価
分析支援



漏洩解析基礎データ

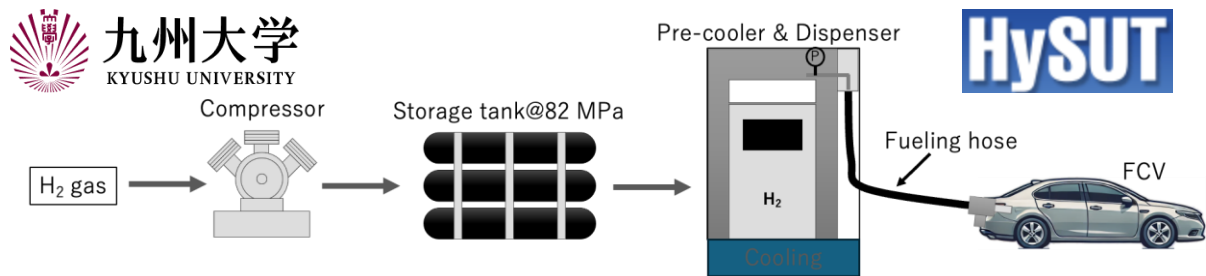
- ① 緩み・漏洩の状況
- ② 配管の幾何学的構成
- ③ メンテナンス情報
- ④ 振動源・熱源情報



⑤ 充填時の温度・圧力情報

3. 研究開発成果について 実施項目①：HRS運用データ解析技術開発

九州大学・HySUT

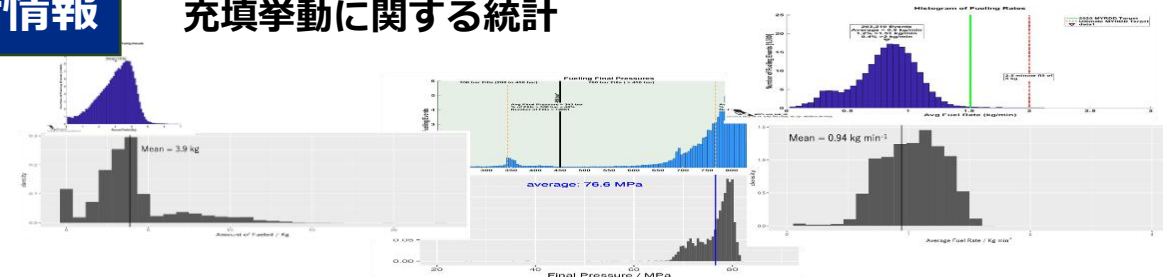


ID	解析対象充填事象数	充填車両	ディスペンサーログデータ取得間隔
HRS1	4591	PFCV:19 %, BUS:79 %, その他:2 %	1 Hz
HRS2	1855	PFCV: 99 %, その他: 1 %	1Hz
HRS3	12827	PFCV: 10 %, BUS: 82 %, その他: 8 %	1Hz
HRS4	2608	PFCV: 99 %, その他: 1 %	1Hz
HRS5	10482	PFCV: 99%, その他: 1 %	1Hz

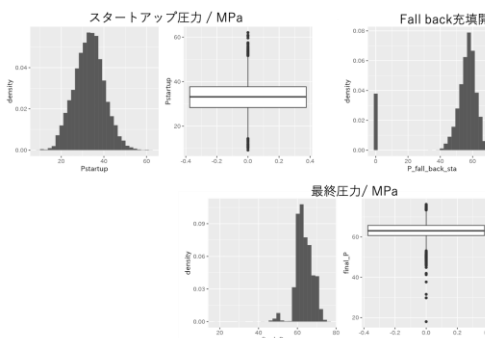
HRS運営事業者様からご提供いただいたHRS運用ログデータを解析。
非定常事象として水素ステーション機器・部材に影響を与える因子を抽出，詳細な解析実施。

統計情報

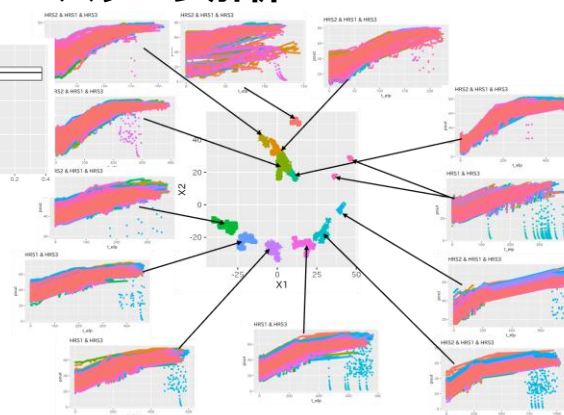
充填挙動に関する統計



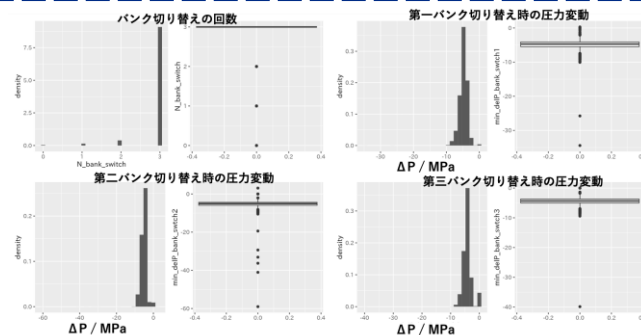
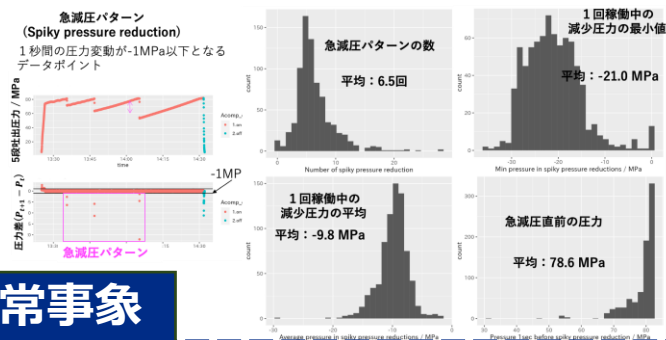
出口圧カプロフィールの特徴量抽出



出口圧カプロフィールのパターン解析

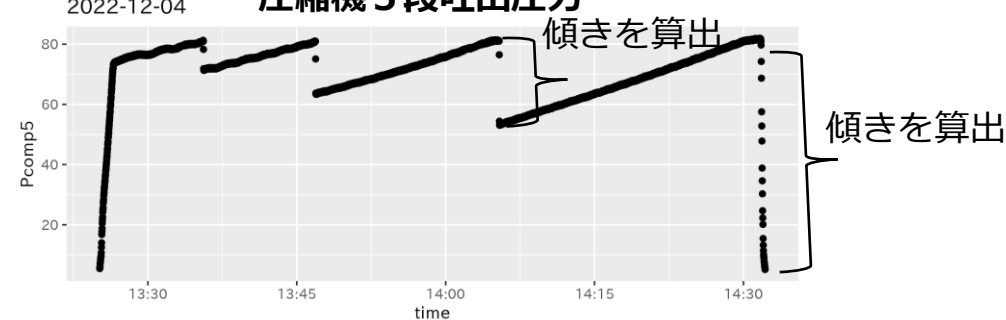


非定常事象



2022-12-04

圧縮機5段吐出圧力



3. 研究開発成果について 実施項目②：高圧水素適合性高分子材料評価基盤設備開発 CERI・九州大学



特色を活かした連携



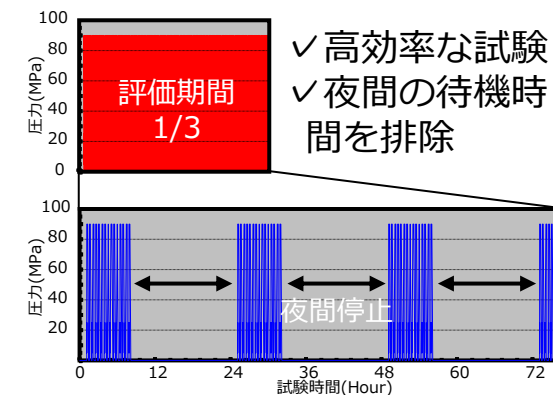
- 高圧水素曝露設備，高圧水素透過試験設備の整備
 - ✓2機関での評価体制の整備により，高ガスバリア材の開発に対応、高圧水素適合性データ取得の迅速化
 - ✓24時間稼働可能な加減圧速度制御サイクル曝露システム及び高圧水素特性評価装置を整備し，長時間評価プロトコルの検証を行い、国際的相互認証評価を見据えたデータ取得

- 高圧水素適合性データ取得およびステークホルダーへの共有
 - ✓メーカー独自で設備保有は困難であり、各種部材開発に資するデータ提供

- ゴム・高分子材料高圧水素適合性代替特性の設定
 - ✓減圧直後のデータ取得、材料物性、構造変化の把握



非定常模擬
高圧曝露試験機



Oリング



高圧水素ホース



データ提供

情報共有

フィードバック



実施項目③
高圧水素シール部材開発

実施項目④
高圧水素ガス圧縮機ピストンリングの耐久性・信頼性向上

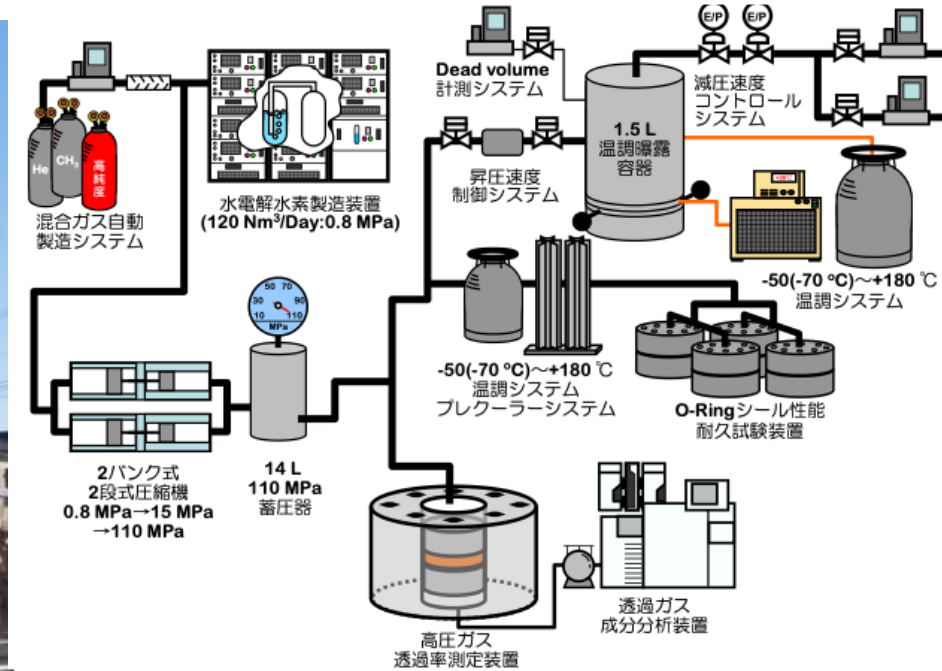
実施項目⑤
非定常状態を考慮した高圧水素ホース評価法開発

3. 研究開発成果について 実施項目②：高圧水素適合性高分子材料評価基盤設備開発 CERI・九州大学

- ・ 高圧ガス試験棟 CFaTH₂を整備
- ・ CFaTH₂に次世代高圧ガス評価設備を設置.
- ・ 安全対策, 緊急時対応体制整備により24時間連続の屋内高圧ガス製造が認められた.
- ・ 連続の加減圧試験など実施可能.

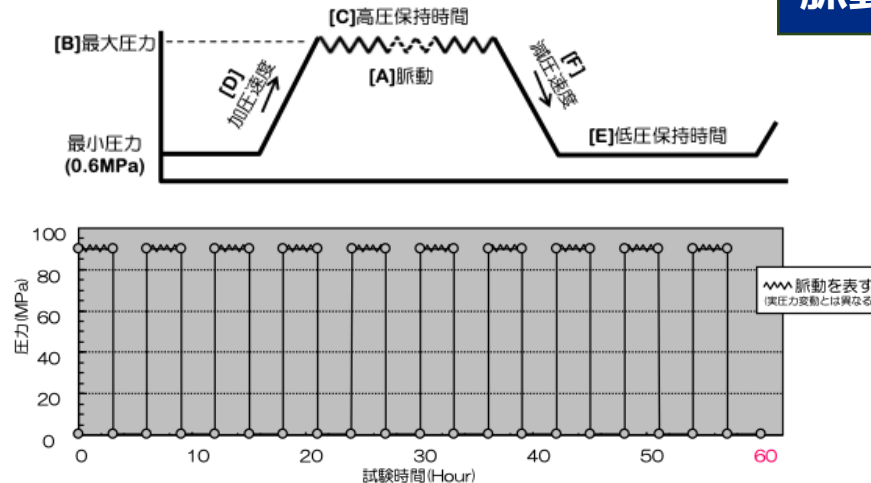
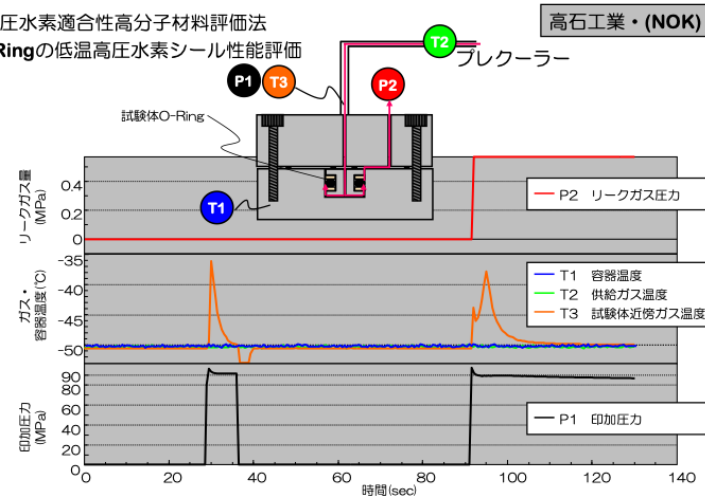


CERI Facility of Testing for High Pressure Hydrogen : CFaTH₂

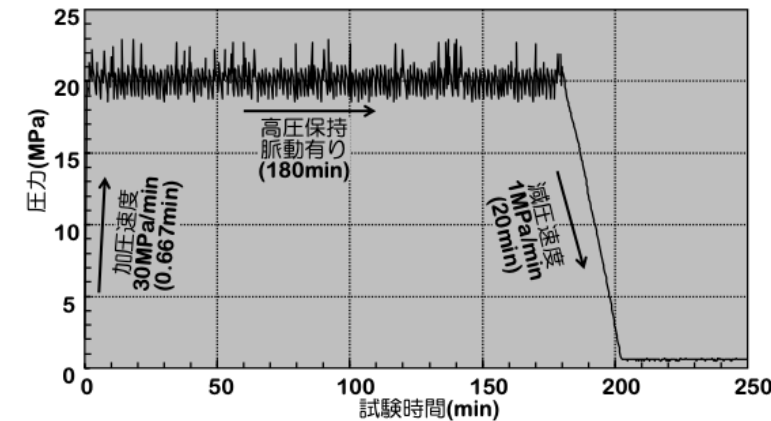


低温軸シール評価

高圧水素適合性高分子材料評価法
O-Ringの低温高圧水素シール性能評価



脈動の影響評価

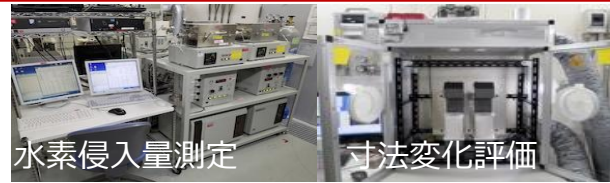


3. 研究開発成果について 実施項目③：シール基盤・応用開発

九州大学・CERI・QST・NOK・高石工業・PILLAR・
大阪大学（再）・横浜国立大学（再）

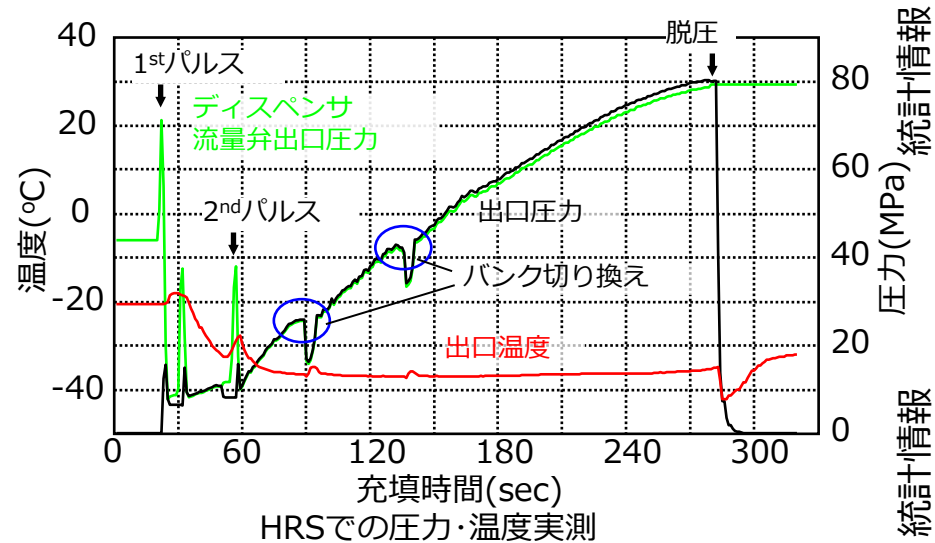
③-a（九州大学，CERI）

ゴム・高分子材料高压水素適合性代替特性および水素適合性基準の設定



高压水素環境下での評価

- ・シール部材適合性について一般的な物性，構造的特徴による代替特性設定
- ・水素適合性基準の設定



HRS運用データ統計情報
実施項目①

評価結果
代替特性

評価条件
解析結果

③-c 非定常事象適合・大流量化対応シール部材の開発

シールシステム，シール部材開発

（NOK，高石工業，PILLAR）

新規高压水素適合性材料開発

放射線架橋（量子科学技術研究開発機構）

新規加硫システム（[再]大阪大学）

熱硬化型エラストマー（[再]横浜国立大学）

③-b（九州大学，CERI）

水素ステーション機器用シール部材の非定常事象への対応



- ・HRS運用データ解析結果（実施項目①）より非定常状態模擬評価条件設定
- ・非定常状態の影響解析

③-d（九州大学，CERI）

ステークホルダーとの情報共有，評価手法の国際的な理解獲得



ISO
CSA(北米)等

規格・標準

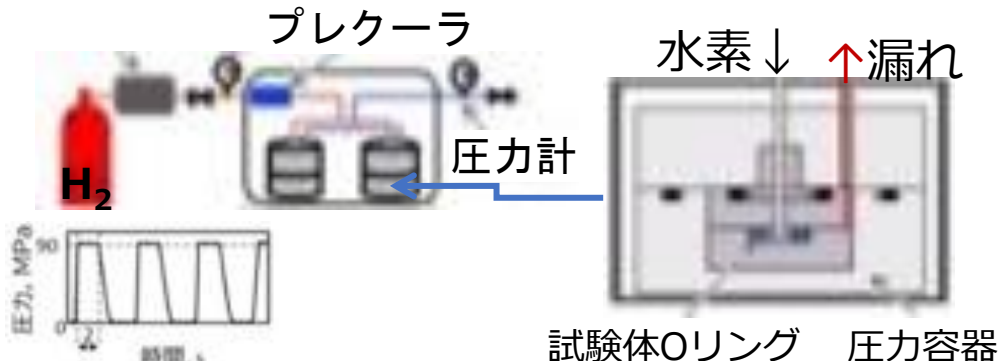
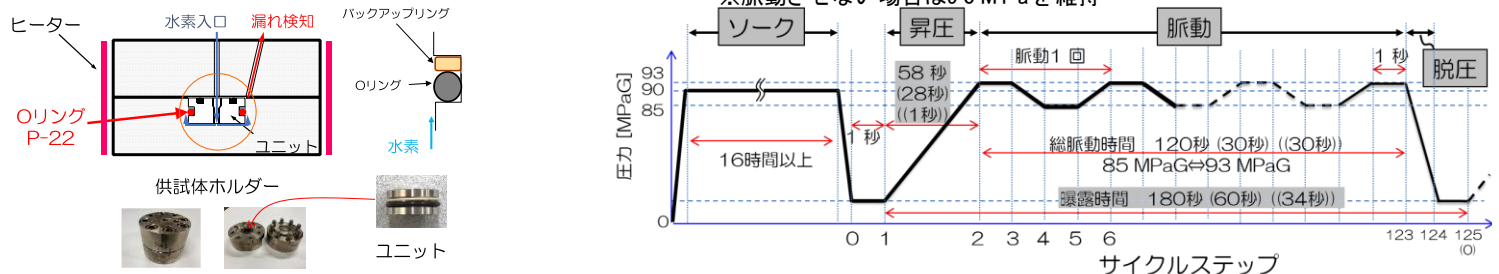
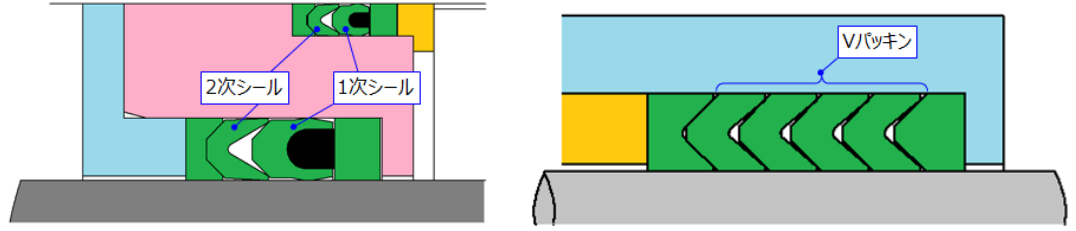
機器メーカー
HRS運営関係者

社会実装

3. 研究開発成果について 実施項目③：シール基盤・応用開発

九州大学・CERI・QST・NOK・高石工業・PILLAR・
大阪大学（再）・横浜国立大学（再）

シールシステム, シール部材開発

NOK 	前事業で得られた圧縮率・充填率・溝すき間・溝底角寸法など溝設計に関する知見を含め相手面粗さ，加工法の影響調査を実施. 充填時間増加による高圧水素曝露時間の増加など，大流量化に伴う懸念点の洗い出しを実施 
高石工業 	加減圧試験の際，脈動を模擬した高圧保持時の圧力変動を加えた条件を設定し，トラブル事象の再現を実施. 破壊モードを分類し，定量化. 
PILLAR 	- 大流量化に伴い、シールへの負荷が大きくなることを想定. シールに用いる樹脂材料の耐摩耗性向上を実施. - 前事業で選択したベスタールG (POM)について，さらなる耐摩耗性向上のためPOM材の改質を実施. 

新規高圧水素適合性材料開発

国立研究開発法人
量子科学技術研究開発機構
(QST)



高圧水素耐性改善，高分子・フィラー界面の接着強化，摩擦・摩耗特性改善を目的として，放射線照射を利用した高圧水素シール部材の開発。ゴムシール部材・ピストンリング部材への照射効果を検証

電子・γ線
高分子鎖
高分子固体
ラジカル

分解
架橋

高分子鎖の解裂
高分子を切断
弱くなる、性質が変わる

他の高分子と繋げる
熱や力に対して強くなる

国立大学法人横浜国立大学
(再委託)



横浜国立大学
YOKOHAMA National University

脂肪族エポキシ樹脂などをベースとした熱硬化型エラストマー材料を探索

エポキシ基
X—反応性基
→エラストマー

柔軟性エポキシ樹脂をベース
に開環重合系，アミン硬化系
を検討，ゴム弾性を示す組成
を確認
→ガラス転移温度(現状0℃)
-40℃程度の低Tg化を探索

① 開環重合系 (EP46)
② アミン硬化系 (AE06)

国立大学法人大阪大学
(再委託)



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

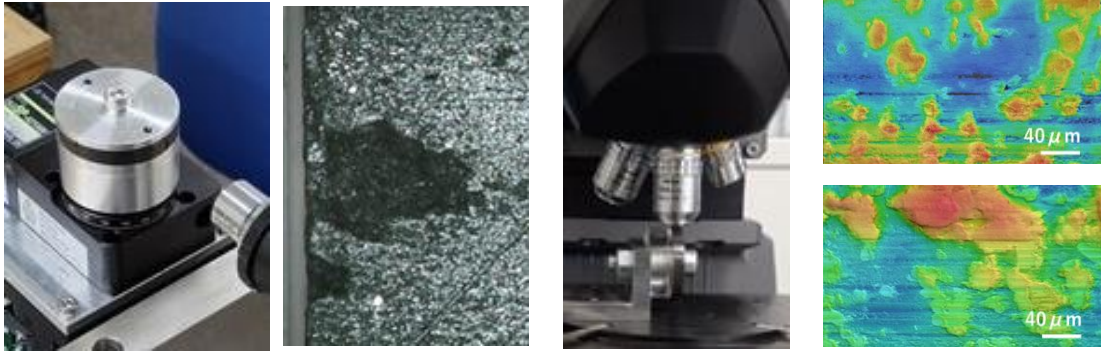
簡便・高速かつ選択的に進行する「クリック反応」によるEPDM加硫系の探索
合成したクリック反応架橋材によるEPDMの加硫反応検証

市販EPDM/
修飾EPDM
架橋反応
クリック反応
架橋剤
クリック反応架橋材CNO-2
VNB-EPDM

ヤング率 1.31 MPa
破断強度 0.66 MPa
破断伸び 249%

3. 研究開発成果について 実施項目④：高圧水素ガス圧縮機ピストンリングの耐久性・信頼性向上

① 実機ピストンリングの分析による破損・損傷メカニズム解明

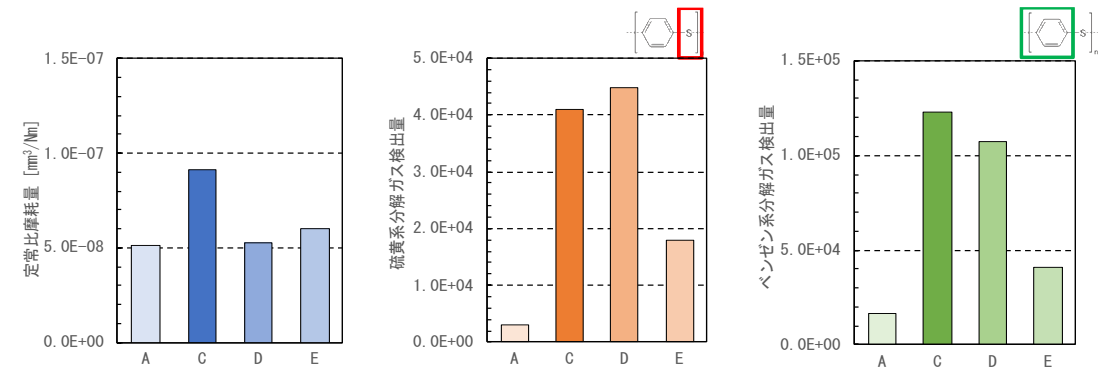


摩耗：アブレッシブ摩耗，凝着摩耗，焼き付き摩耗
破損：破折，降伏，せん断，疲労破壊，表面疲労損傷

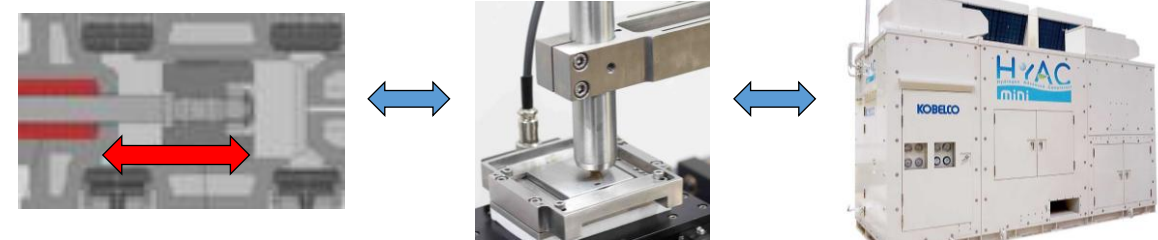
③ 寿命対策検討用ピストンリング材の試作と評価



② 既存樹脂複合材の強度・耐摩耗性・分解ガス発生・高圧水素特性データベースの構築



④ ピストンリング材の強度・耐摩耗性標準評価法規格案の策定



摩耗試験結果の圧縮機実機試験による検証

最終目標

1. 高圧水素ガス圧縮機ピストンリングの長寿命化，安定した平均寿命1000時間以上
2. 高圧水素ガス圧縮機のコンタミフリー化，安全なピストンリング材組成の例示
3. ピストンリングの強度・耐摩耗性評価試験方法の標準化

3. 研究開発成果について 実施項目④：高圧水素ガス圧縮機ピストンリングの耐久性・信頼性向上

リング損傷のマクロ分析

圧縮段，リング位置による損傷と摩耗の分析

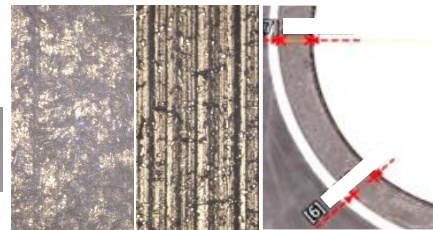
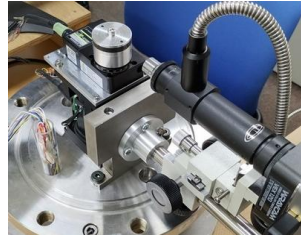


材質	使用時間	1	2	3	4
PTFE系	171h				
	67h				



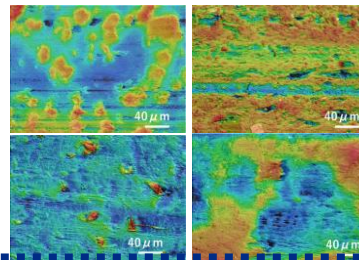
マイクロスコープ観察

mmスケールの観察による摩耗形態・摩耗量分析



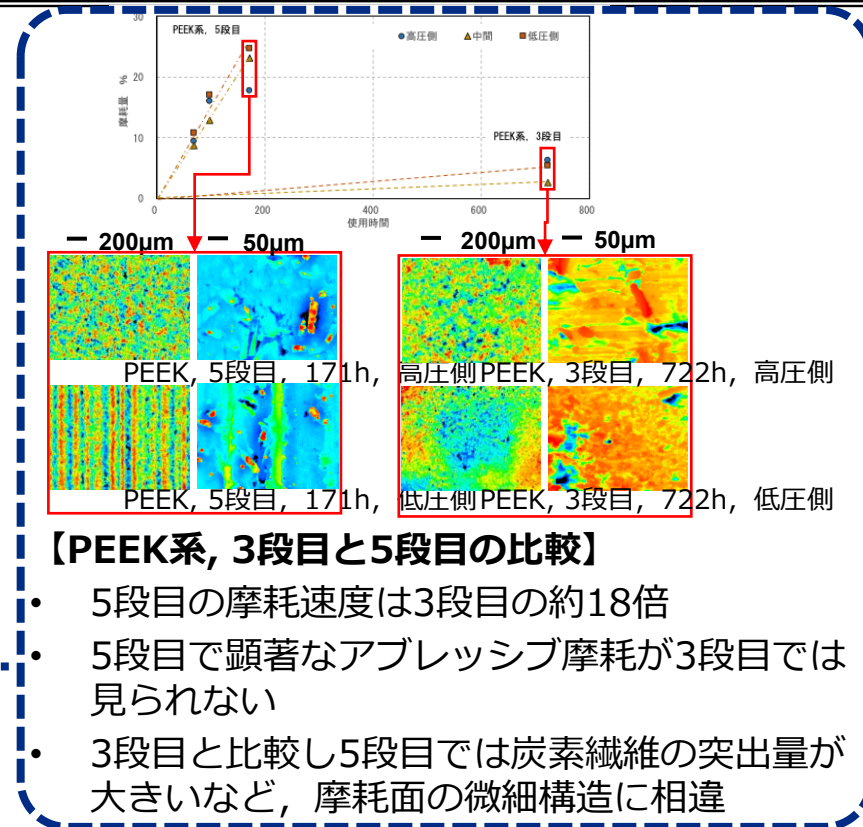
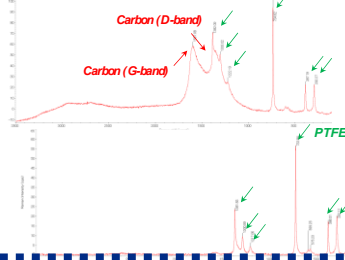
共焦点レーザー顕微鏡観察

mm スケールの観察による損傷メカニズムの解析



顕微ラマン分析

摩耗面の化学組成変化の探索



寿命阻害要因

【5段目ピストンリング, PTFE系】

- 特にピストン下端側で過大な機械的負荷による破損
- 初期なじみ課程における比較的大きな初期摩耗の可能性
- 水分量など把握できていない外的因子による摩耗増加の可能性
- 長期の使用では硬い摩耗粉やシリンダ側の粗さによるアブレッシブ摩耗

【5段目ピストンリング, PEEK系】

- 特にピストン下端側で0.15%/h程度の大きな摩耗率
- 機械的負荷の増加に対するフィラー/レジン界面の強度不足による摩耗増加の可能性
- 比較的初期から顕著なアブレッシブ摩耗

寿命対策へのフィードバック

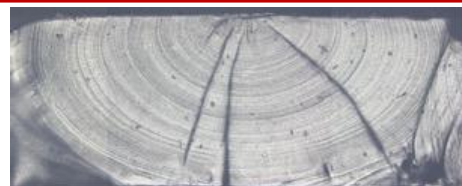
【3段目ピストンリング, PEEK系】

- 大きな破損，表面損傷が生じておらず，摩耗率（1時間あたりの摩耗量）は0.01%/h以下
- アブレッシブ摩耗，フィラーの突出等も生じていない
- 現状におけるベンチマークと捉える状態

3. 研究開発成果について 実施項目⑤：非定常状態を考慮した高圧水素ホース評価法開発

⑤-a (九州大学)

水素充填ホースの劣化・破壊因子
に対する非定常負荷の影響解明



ホース内層樹脂破面解析

漏洩（破壊）ホース調査（九州大学）
内層樹脂疲労特性評価（九州大学）
内層樹脂構造変化解析（[再]大阪大学）
ホース大変形挙動解析（[再]弘前大学）



非定常負荷条件
長尺・大口径ホース評価条件

揺動水素インパルス法



ホース収納時・充填時を模擬
ホース伸長状態で水素加減圧

評価結果

試作ホース

統計情報

統計情報

HRS運用データ統計
情報
実施項目①

解析結果

評価条件
試作ホース

⑤-b (九州大学)

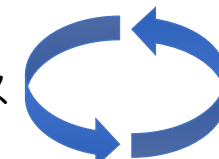
水素充填ホースの長尺化
(>10 m)・大口径化(>12 mm), 低コスト化開発

長尺・大口径ホース試作（ホースメーカー）

試作ホース

評価結果

ホース評価（九州大学）



⑤-c (九州大学, JRMA)

非定常負荷を考慮した水素充填ホース加速耐久性
評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定

高圧水素ホース加速耐久性評価法
規格化WT

（九州大学, JRMA, ホースメーカー, 有識者）



規格案

⑤-d (九州大学, JRMA)

ステークホルダーとの情報共有, 評価手法
の国際的な理解獲得



ISO
CSA(北米)等

規格・標準

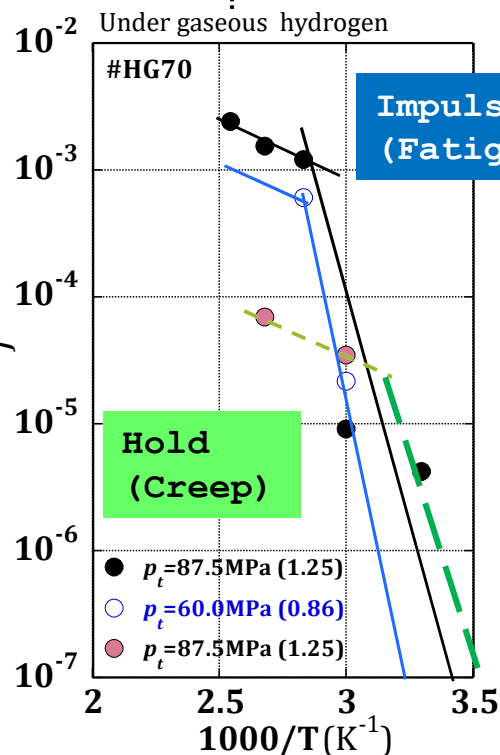
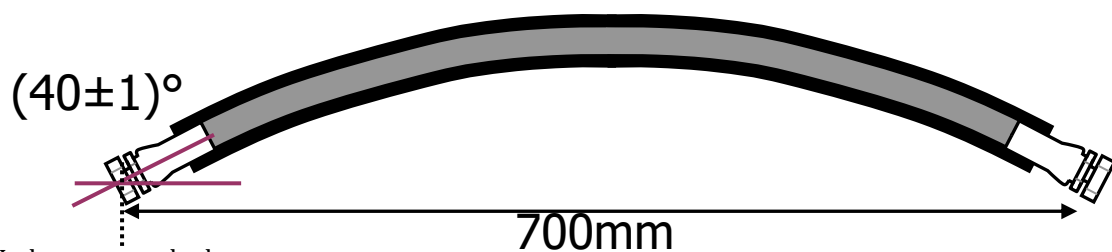
ホースメーカー
HRS運営関係者

社会実装

3. 研究開発成果について 実施項目⑤：非定常状態を考慮した高圧水素ホース評価法開発

自由曲率(Natural Curvature)試験

- ・ホース巻き癖の自由曲率に設定し，インパルス評価
- ・加圧状態でのホースの変形挙動によりホース破壊が発生
- ・温度による加速を確認.

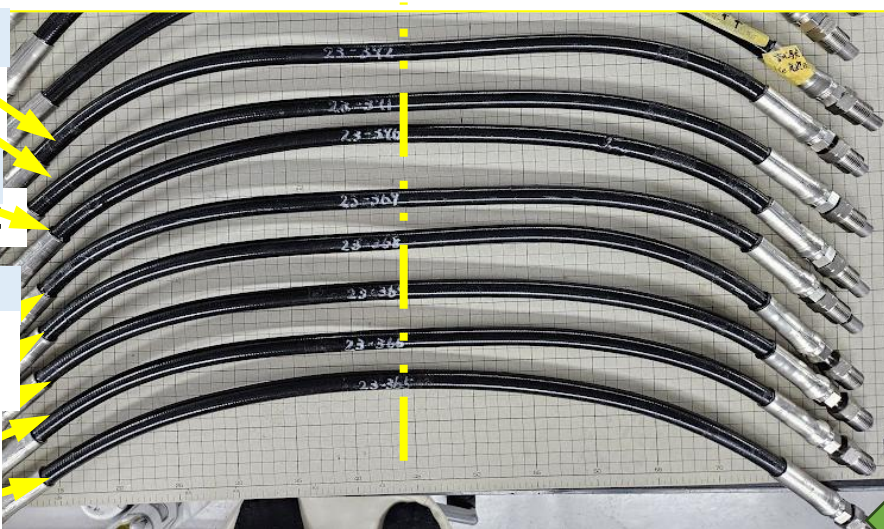


実水素ステーションで同様の条件を検出

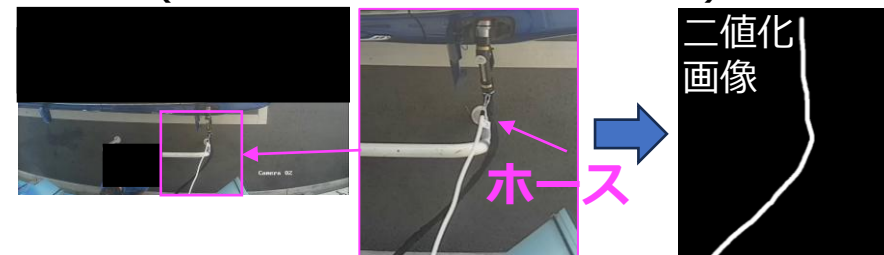
$p_t=60\text{MPa}$
 $T_t=80^\circ\text{C}$
 $T_r=60^\circ\text{C}$

$p_t=44\text{MPa}$
 $T_t=100^\circ\text{C}$

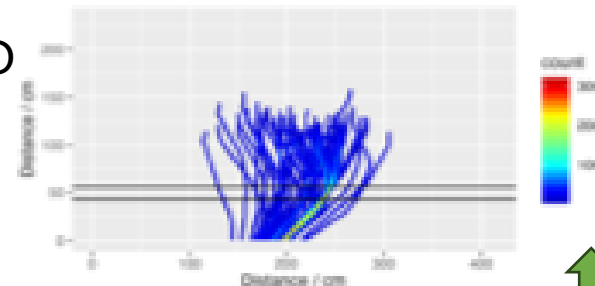
$p_t=87.5\text{MPa}$
 $T_t=120^\circ\text{C}$
 $T_t=100^\circ\text{C}$
 $T_r=60^\circ\text{C}$
 $T_t=30^\circ\text{C}$



監視カメラ画像からのホースひずみの検出 元画像(監視カメラ動画より抽出)



位置情報の2D
ヒストグラム



3Dホース大変形解析



3. 研究開発成果について 実施項目⑥：超高压水素インフラの継手締結部の漏えい防止に関する研究開発

九州大学・フジキン・キッツ

⑥-a 継手関連の設計・運転・メンテナンス・事故の情報の収集と解析

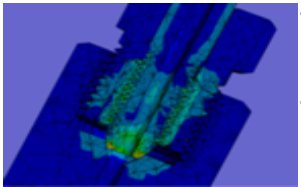


- ①緩み・漏洩の状況
- ②配管の幾何学的構成
- ③温度・圧力の情報
- ④メンテナンス情報
- ⑤振動源・熱源情報

漏えいの因果関係のパターン解明

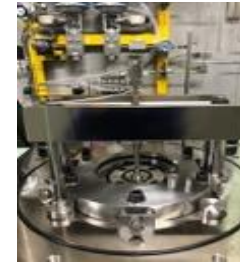
実施項目①と連携

⑥-c-1 モデル解析



- ・継手の応力と変形に関する数値解析, 接触モデル解析, 振動の数値解析
- ・⑥-a, ⑥-bと数値解析結果から継手漏えいに関わる要因のパターンとばらつきの関係を分析

⑥-b 継手要素評価試験と継手改良



- ・継手要素評価試験機、超高压継手要素評価試験機、大容量継手要素評価試験機によるサイクル負荷試験、加振（共振）試験、加熱冷却試験、ねじり試験
- ・継手改良を検討、評価

⑥-c-2 技術ガイドラインの検討



微量漏えいゼロをめざした継手の設計、施工、保全方法に関する技術ガイドライン

⑥-d 配管大口径化へ向けた継手の開発指針の検討



- ・3/4インチ以上の大口径配管用継手評価試験の実施
- ・大口径配管用継手の開発指針検討

3. 研究開発成果について 実施項目⑥：超高压水素インフラの継手締結部の漏えい防止に関する研究開発

継手の締結とゆるみに関する過程

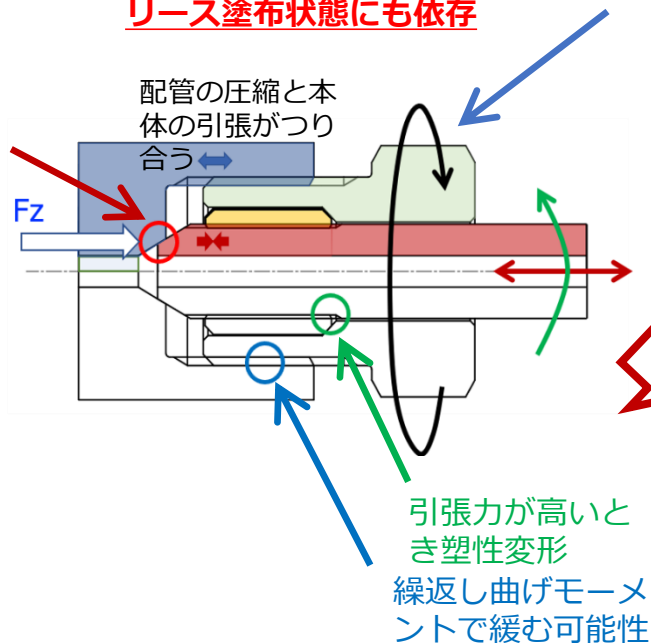
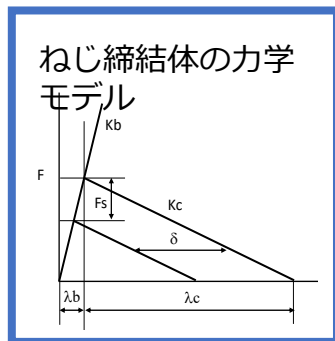
③締付けトルクはネジ部、
テーパ部などに食われる。グ
リース塗布状態にも依存

①所定のトルクでナットを締
付けることでシール部がFzで
押しつけられる
締付け時に配管にはねじりモー
メントも加わる

②初期のミスアライン
メント（軸方向、横方
向）はシール部の接触
力に影響する

④締結するたびにテーパ
シール部は塑性変形

締結状態でさらに軸方向圧縮力や曲
げモーメントを繰返し作用させると
塑性変形が進行しFzが低下

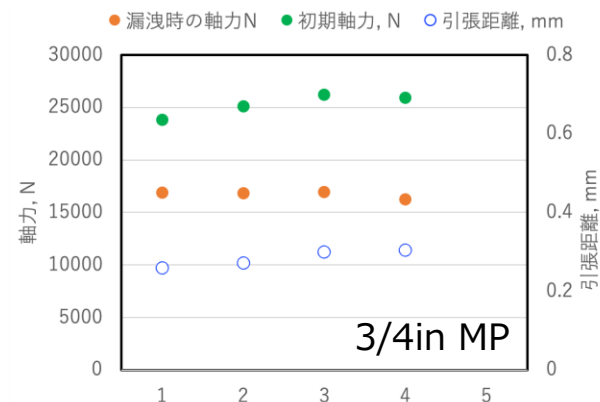
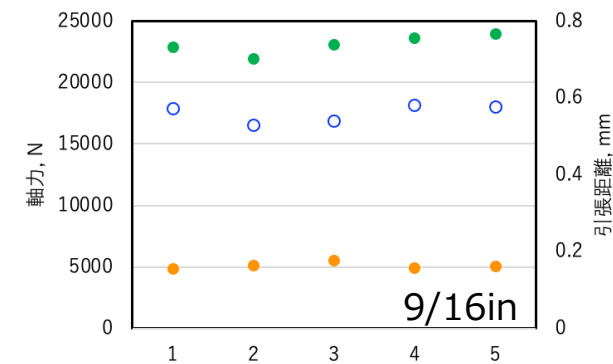


配管設計、継手の設
計・加工、配管の施
工、配管の保全にお
いてFz低下のリスク
を抑える

九州大学・フジキン・キッツ

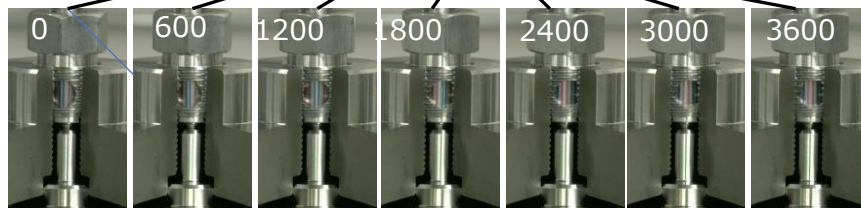
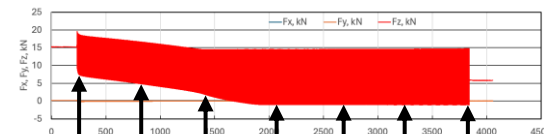
■ 高圧継手要素評価試験機・
高圧設備を用いた試験

・ 9/16in配管、3/4in配管(MP)の
試験



■ 継手要素評価試験機 (3/8in配管)
ナットとカラーの回転の測定方法開発
圧力サイクル試験では
1800サイクル辺りまで
ナットとカラーがつれ回り、
それ以降カラーのみが回った

圧縮サイクル試験 (0~-0.4mm)



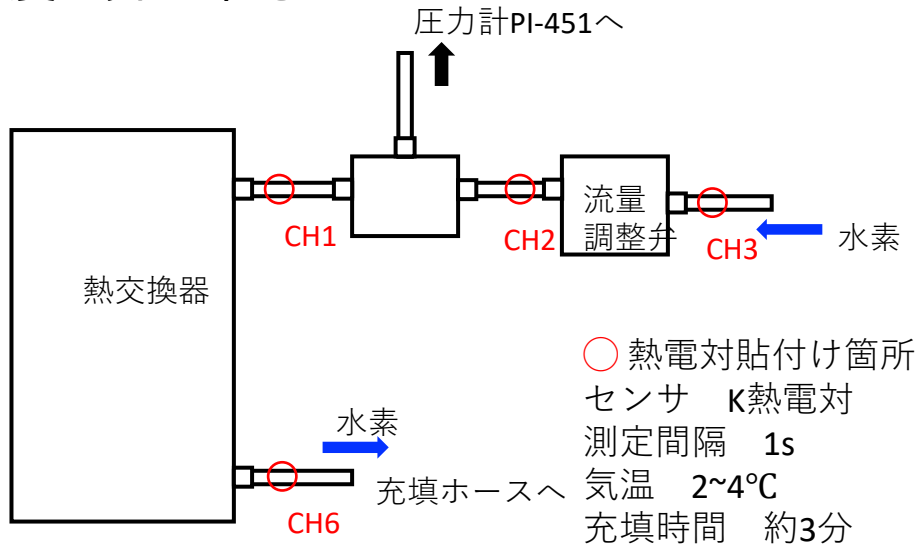
90MPa水素ガス漏えい時の軸力Fzは9/16in継手
でおよそ5 kNであるのに対し、3/4in MPではお
よそ17 kN. 締結時の軸力との差が小さい
→漏えいリスクが高い

3. 研究開発成果について 実施項目⑥：超高压水素インフラの継手締結部の漏えい防止に関する研究開発

水素ステーション実機調査実施

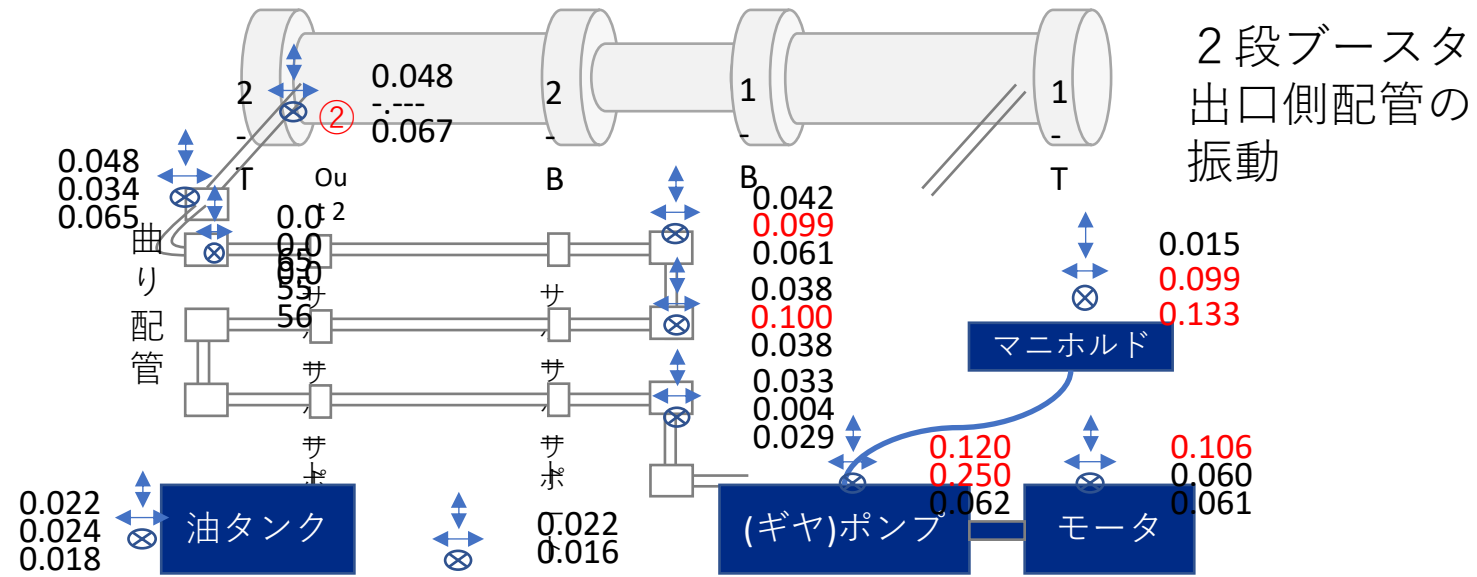
九州大学・フジキン・キッツ

充填開始時のプレクーラー入口での
温度上昇を確認.



ブースタ型の圧縮機では圧縮機本体より補機の振動の影響確認

19



4. 今後の見通しについて

- 水素ステーション機器に用いられるシール部材，圧縮機ピストンリング，水素充填ホース，継手の信頼性・耐久性向上を目的とした研究開発を推進し，交換・メンテナンス間隔の拡大による水素ステーション運営コスト低減を実現する．
- 引き続き，水素ステーションの大流量化の課題を調査・整理する．
- 引き続き，本プロジェクトに対するユーザーの意見聴取，研究成果の普及のため，本プロジェクトの進捗報告会（公開）をこれまで3回実施．引き続き実施する．
第4回進捗報告会を2025年10月3日，東京にて開催．

(ご参考) **HRS低コスト化・高度化基盤技術開発
第4回進捗報告会（2025年10月3日）**