

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.A2-17

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発/ 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

日本ピラー工業株式会社

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

2024年7月19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）：2026年3月

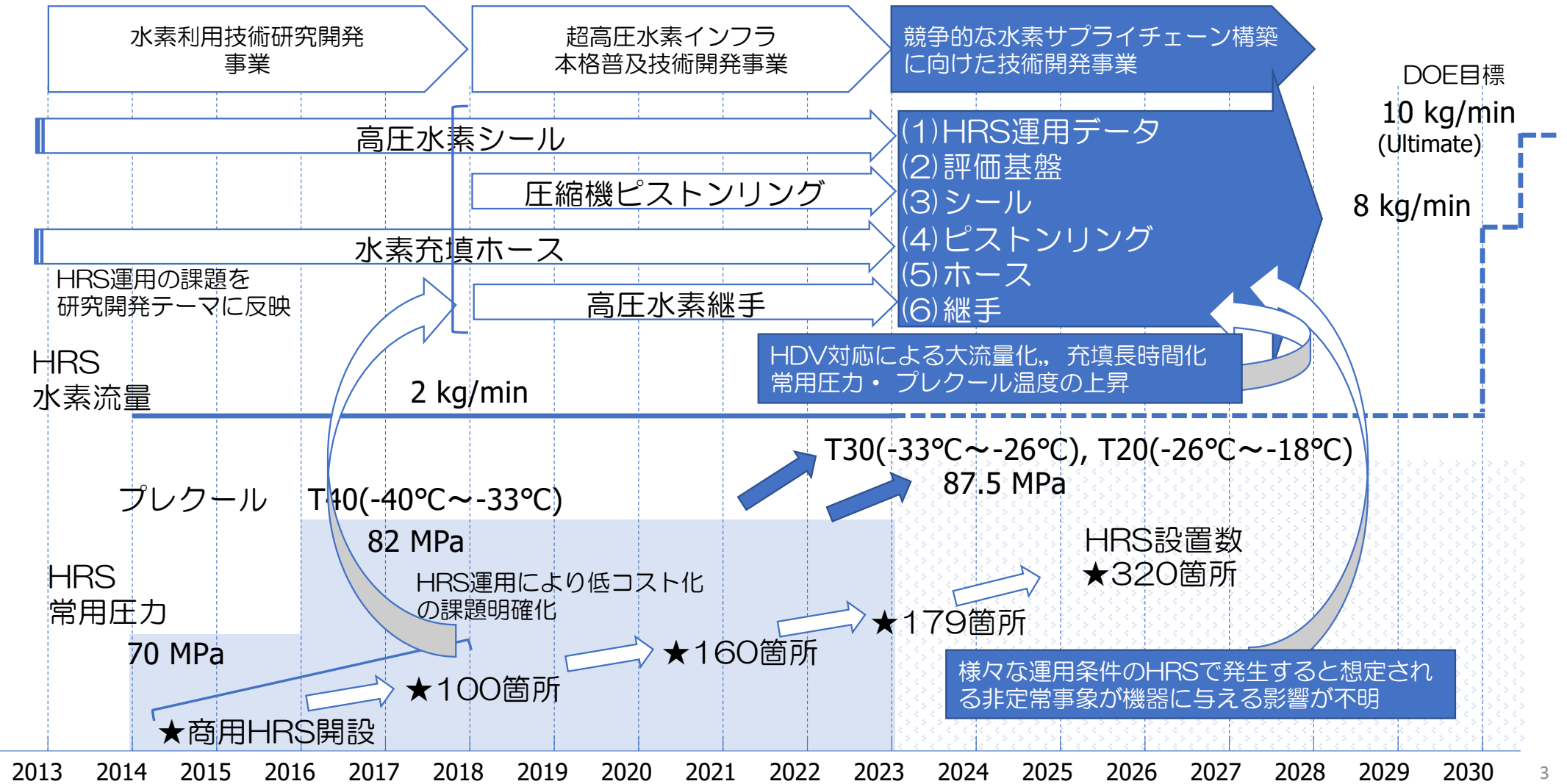
2. 最終目標

- ・ 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

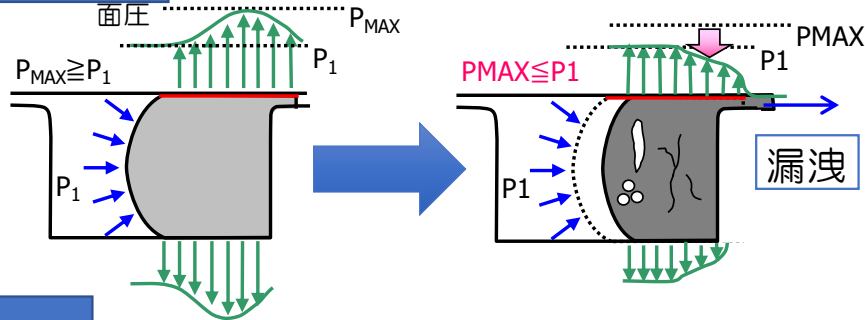
- ・ 水素ステーション運用データ解析を実施し、各種統計データおよび圧力変動パターンの分類を行った。その結果、始業前に行われる保圧試験、圧縮機吐出口の加圧時の圧力変動が非定常事象として抽出された。
- ・ 化学物質評価研究機構 (CERI) では新規に建設した高圧ガス試験棟において、種々のプロトコルを模擬した試験が可能となる次世代型高圧水素曝露装置を導入した。
- ・ 非定常事象への適合および大流量化に伴う課題を踏まえ、ゴム・樹脂材料の高圧水素適合性評価データの解析、新規シール部材、エラストマー材料の開発を実施した。
- ・ 高圧水素ガス圧縮機から回収ピストンリングを調査し、摩耗メカニズムに関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

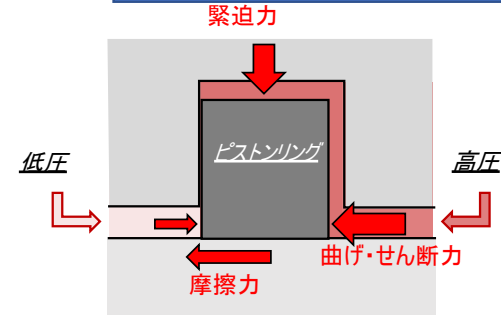


1. 事業の位置付け・必要性：HRS機器の漏洩事象の解明

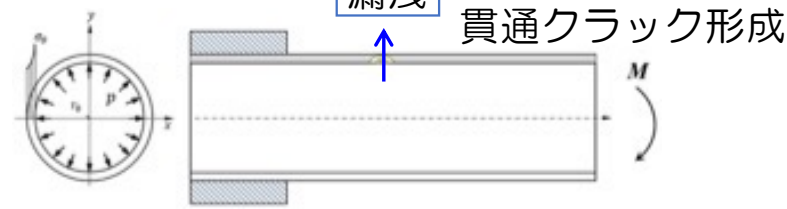
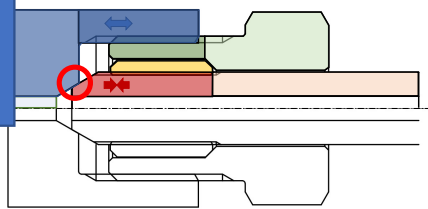
実施項目③
高圧水素シール部材開発



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 日本ピラー工業

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 日本ピラー工業

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）

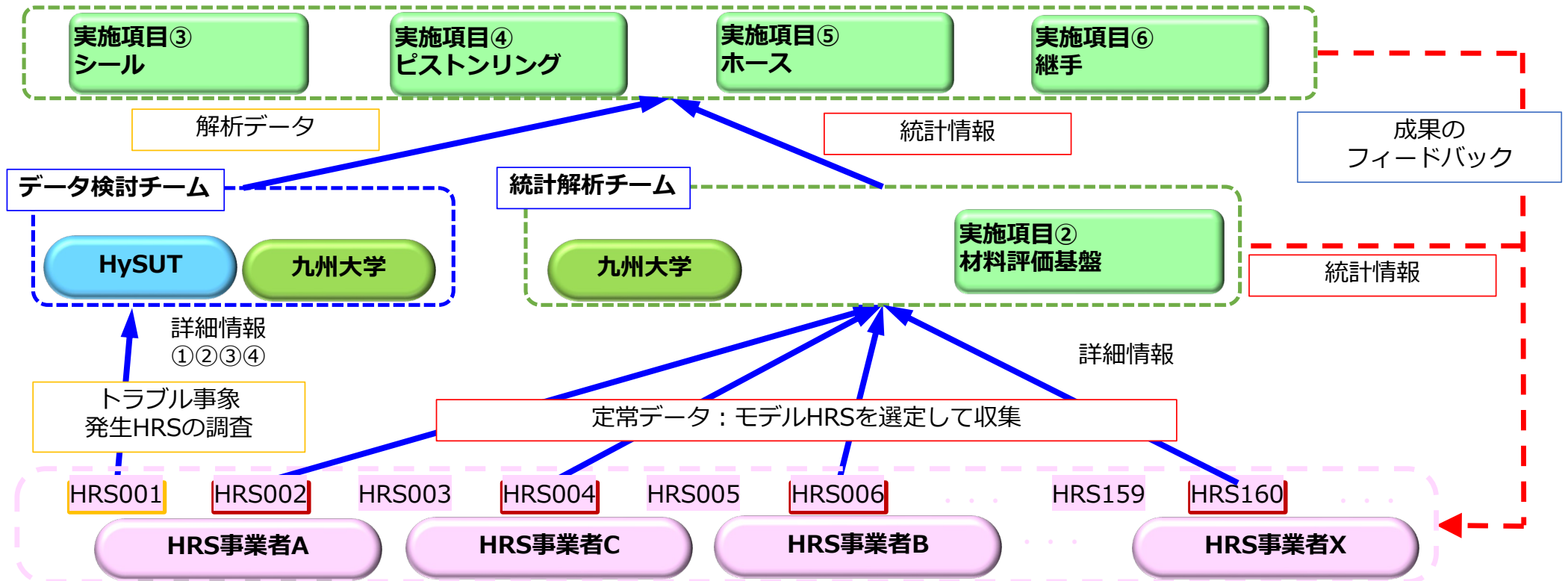
再委託 大阪大学 弘前大学

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

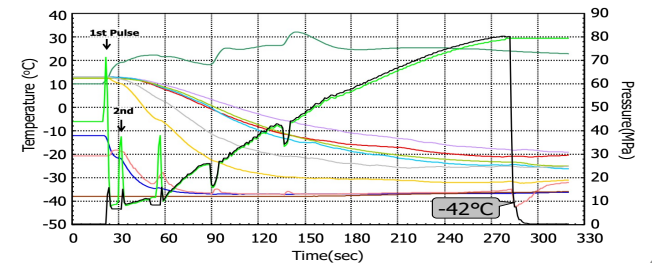
材料評価
分析支援

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



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

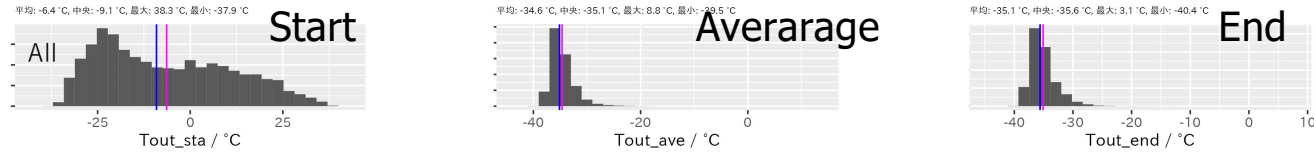


⑤ 充填時の温度・圧力情報

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

ステーションオーナー数社とNDAを締結し2015～2023年の水素充填データ約11,000回分を受領，解析実施。

ガス温度



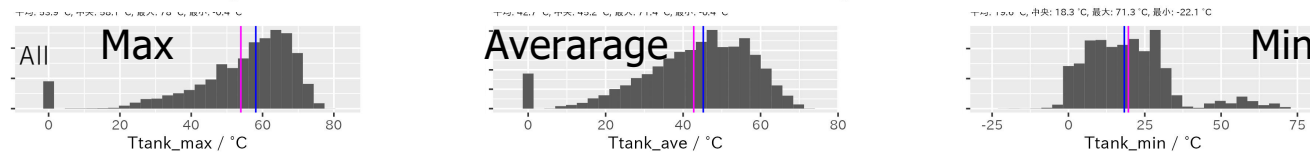
ガス圧力
(ディスペンサ出口)



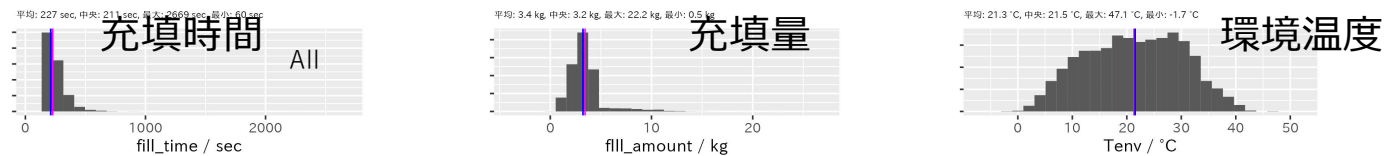
流速



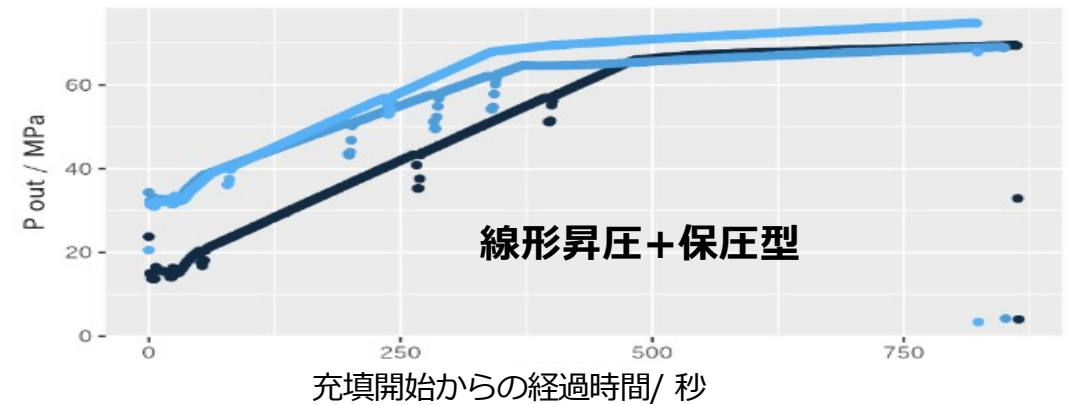
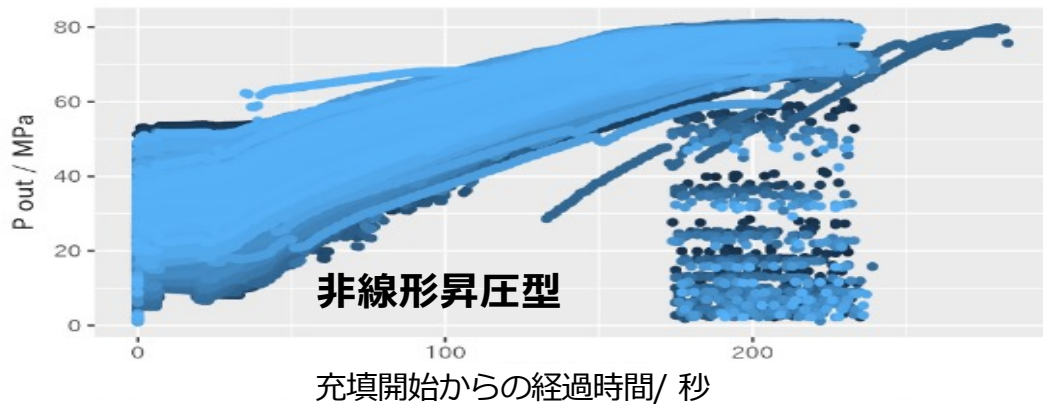
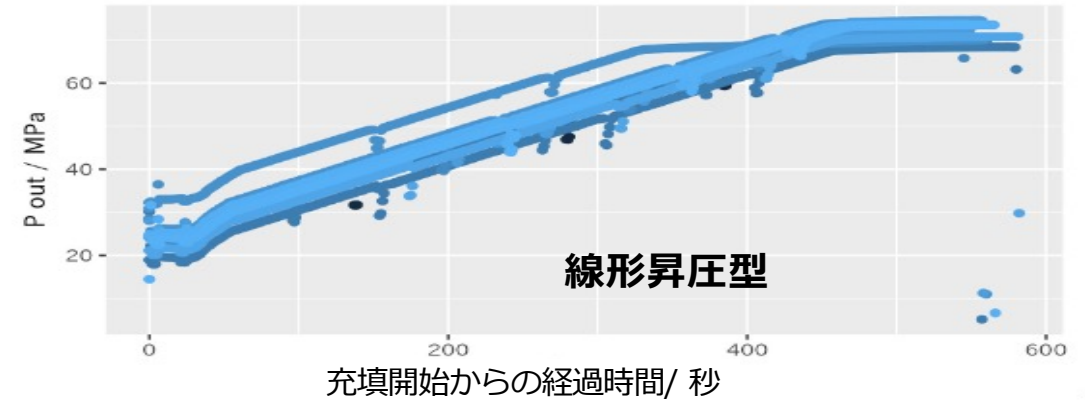
FCVタンク温度



FCVタンク圧力



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



車両への充填時以外、待機時のデータも解析
始業前の保圧試験（常用圧力10分以上保持）によるシール部材、ホースへの影響が懸念される

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



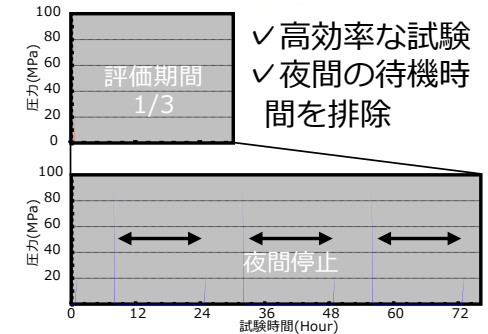
特色を活かした連携



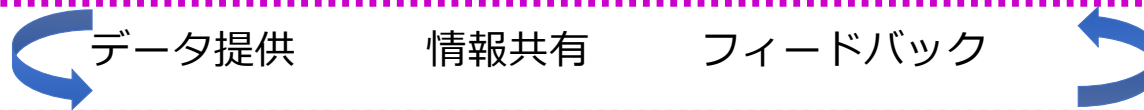
- 高圧水素曝露設備, 高圧水素透過試験設備の整備
- ✓2機関での評価体制の整備により, 高ガスバリア材の開発に対応、高圧水素適合性データ取得の迅速化
- ✓24時間稼働可能な加減圧速度制御サイクル曝露システム及び高圧水素特性評価装置を整備し, 長時間評価プロトコルの検証を行い、国際的相互認証評価を見据えたデータ取得



非常常模擬
高圧曝露試験機



- 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



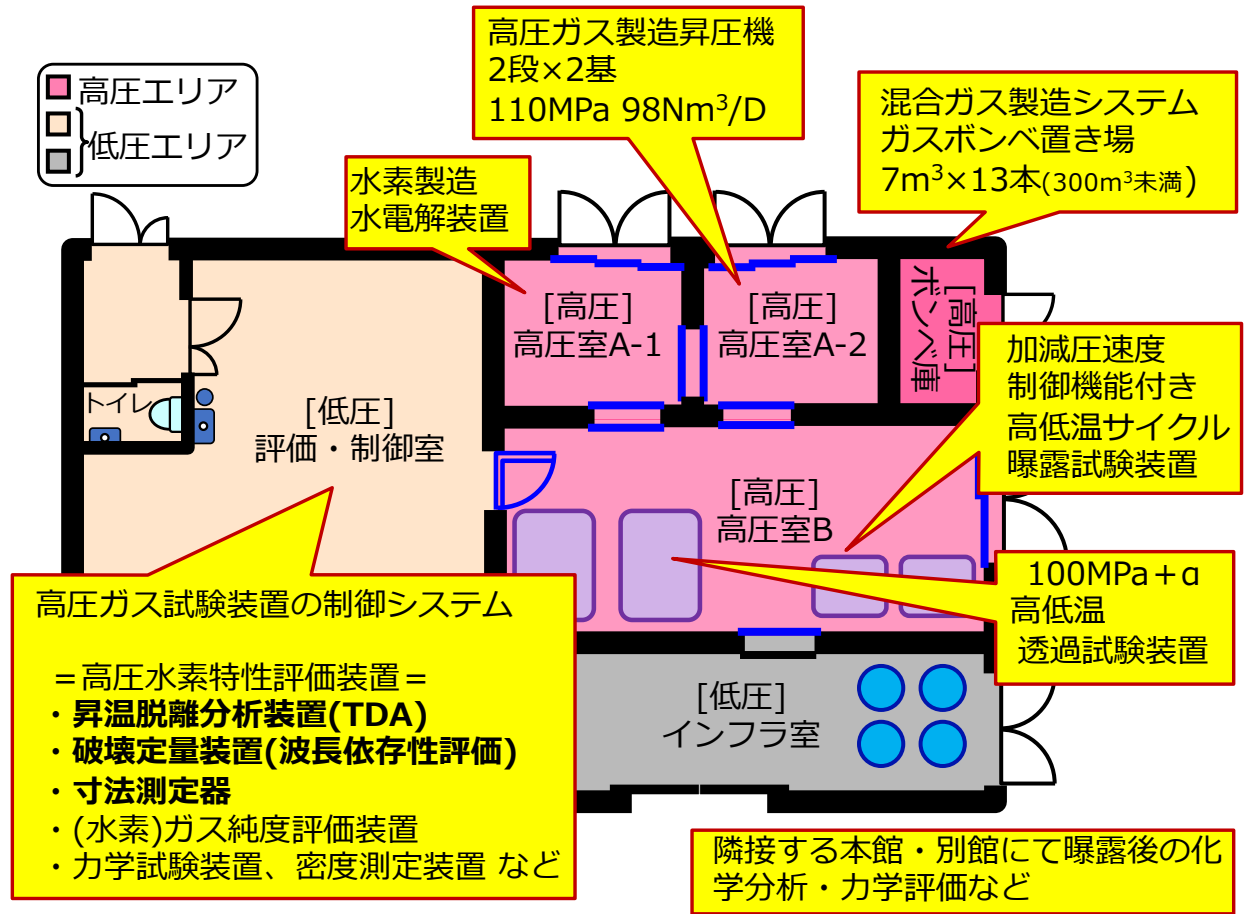
実施項目③
高圧水素シール部材開発

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
非常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

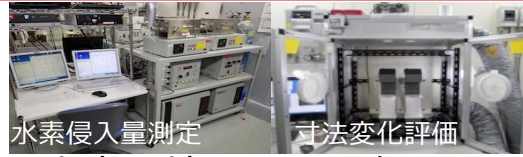
新規に建設した高圧ガス試験棟において、
種々のプロトコルを模擬した試験が可能となる
次世代型高圧水素曝露装置を導入した。



24時間屋内で高圧ガス製造を無人で行う事が可能

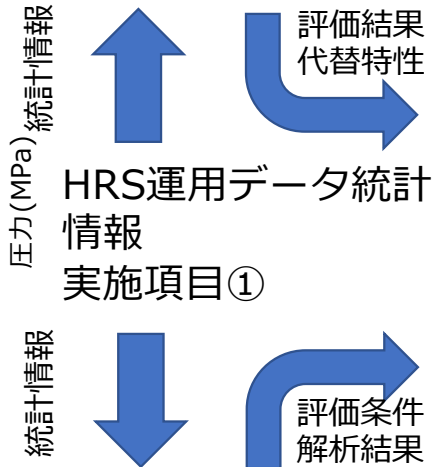
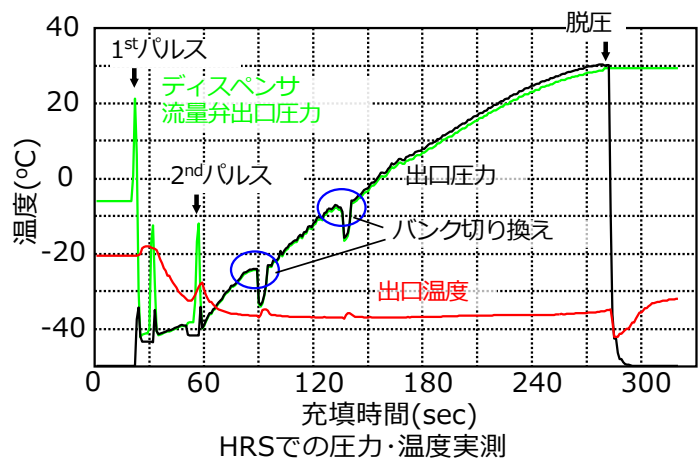
3. 研究開発成果について 実施項目③：シール基盤・応用開発

③-a (九州大学, CERI)
 ゴム・高分子材料高圧水素適合性代替特性および水素適合性基準の設定



高圧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



③-c 非定常事象適合・大流量化対応シール部材の開発

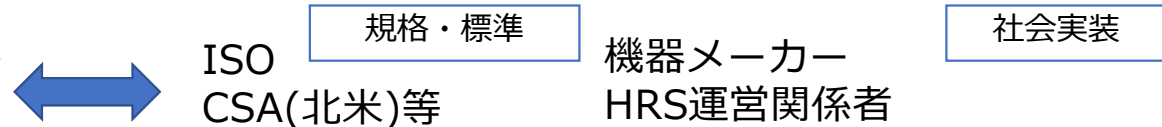
シールシステム, シール部材開発
 (NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)
 新規高圧水素適合性材料開発
 放射線架橋 (量子科学技術研究開発機構)
 新規加硫システム ([再]大阪大学)
 熱硬化型エラストマー ([再]横浜国立大学)

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




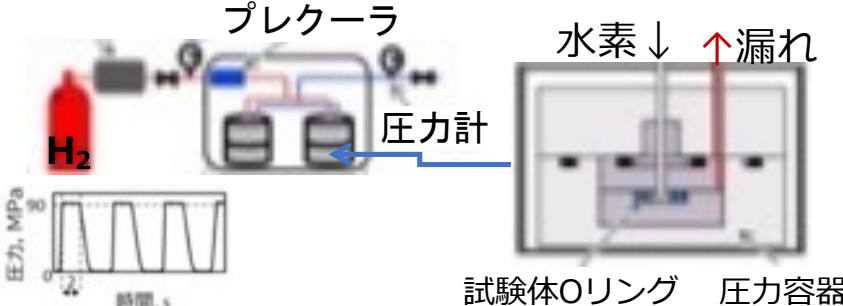


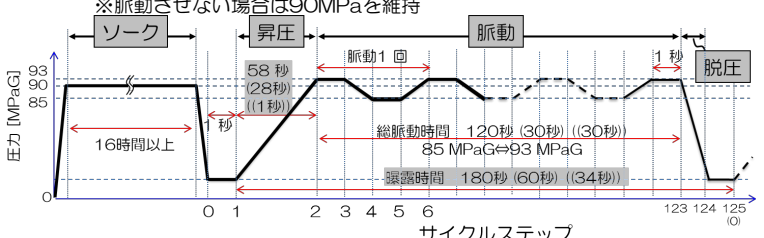

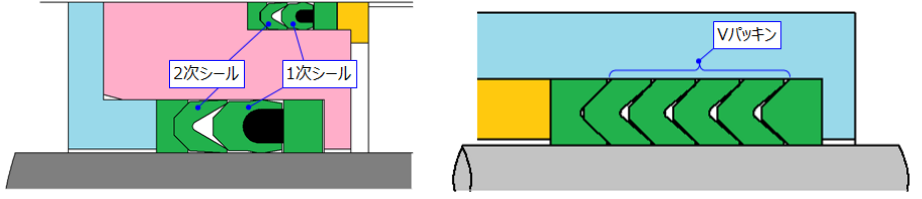
- ・HRS運用データ解析結果 (実施項目①) より非定常状態模擬評価条件設定
- ・非定常状態の影響解析

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




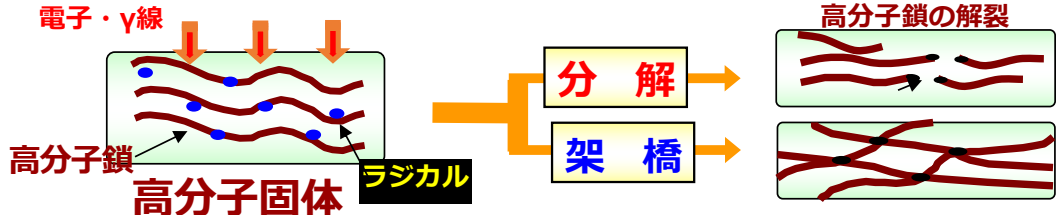

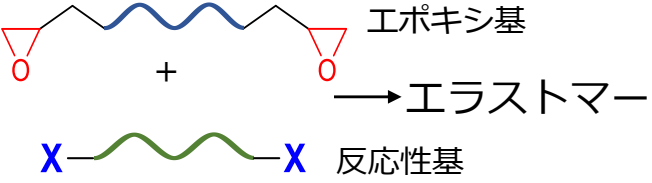
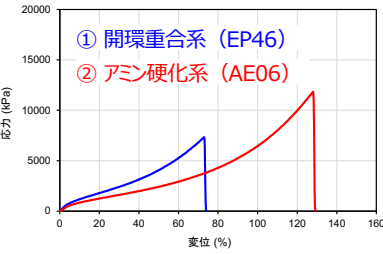

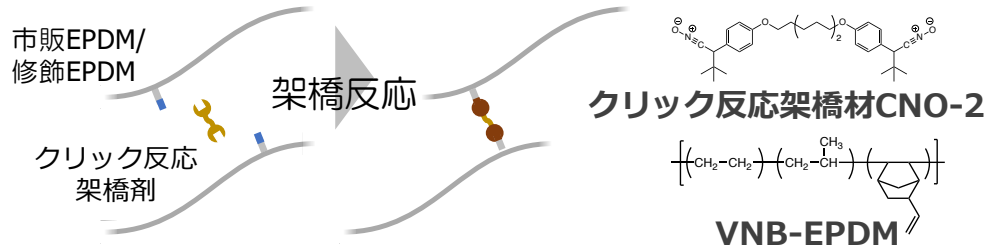
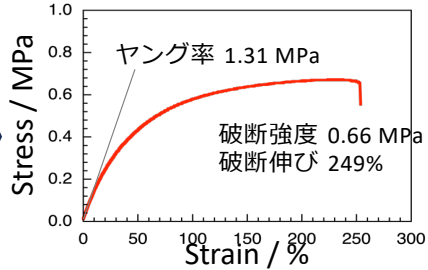
3. 研究開発成果について 実施項目③：シール基盤・応用開発

シールシステム, シール部材開発

<p>NOK</p> 	<p>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</p> 
<p>高石工業</p> 	<p>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.</p>  
<p>日本ピラー工業</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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.  <p>ボールバルブ ニードルバルブ</p>

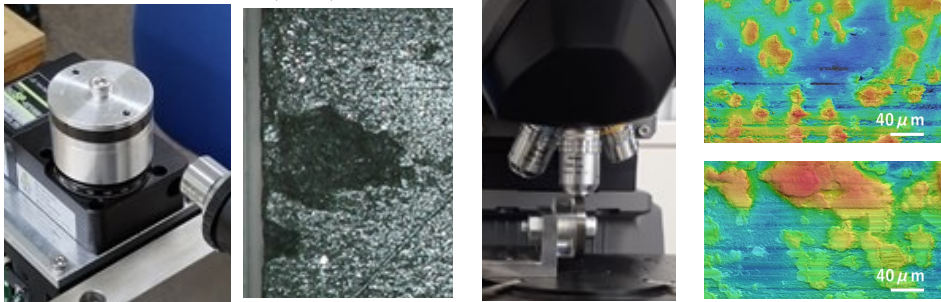
3. 研究開発成果について 実施項目③：シール基盤・応用開発

新規高圧水素適合性材料開発

<p>国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 (QST)</p> 	<p>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</p>  <p>電子・γ線 高分子鎖 高分子固体 ラジカル</p> <p>分解 架橋</p> <p>高分子鎖の解裂 高分子を切断 弱くなる、性質が変わる</p> <p>他の高分子と繋げる 熱や力に対して強くなる</p>
<p>国立大学法人横浜国立大学 (再委託)</p> 	<p>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</p>  <p>エポキシ基 反応性基 エラストマー</p> <p>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</p>  <p>① 開環重合系 (EP46) ② アミン硬化系 (AE06)</p>
<p>国立大学法人大阪大学 (再委託)</p> 	<p>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</p>  <p>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</p>  <p>ヤング率 1.31 MPa 破断強度 0.66 MPa 破断伸び 249%</p>

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

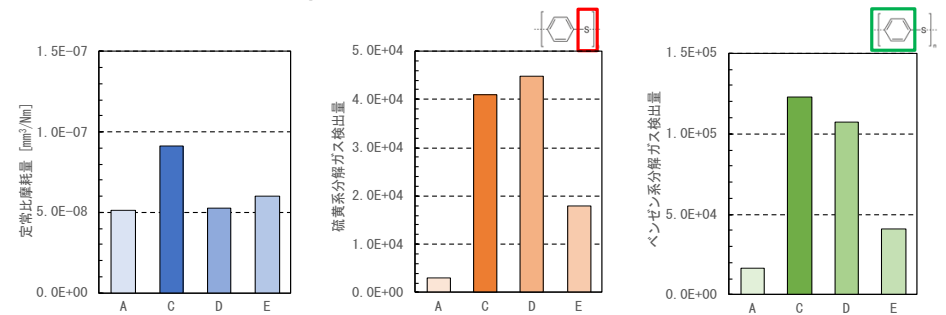


摩耗：アブレッシブ摩耗，凝着摩耗，焼き付き摩耗
破損：破折，降伏，せん断，疲労破壊，表面疲労損傷

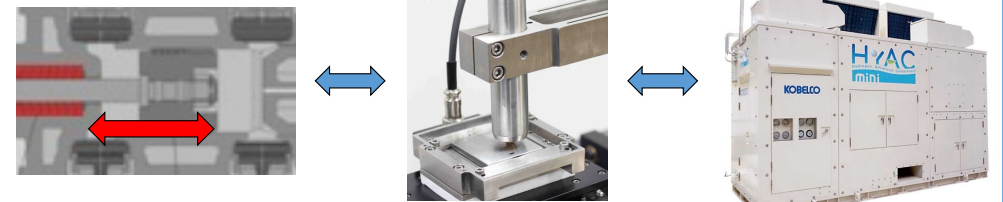
③ 寿命対策検討用ピストンリング材の試作と評価



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

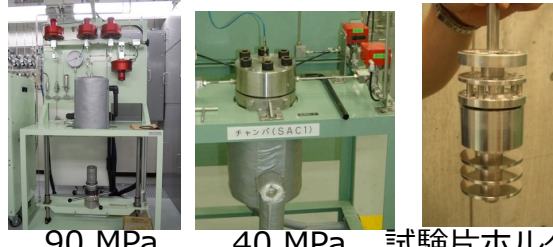
1. 高圧水素ガス圧縮機ピストンリングの長寿命化，安定した平均寿命1000時間以上
2. 高圧水素ガス圧縮機のコンタミフリー化，安全なピストンリング材組成の例示
3. ピストンリングの強度・耐摩耗性評価試験方法の標準化

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

水素透過特性
水素拡散係数
水素溶解度係数
評価



水素曝露容器



水素曝露による内部破壊評価



高温曲げ強度評価

評価対象しゅう動用樹脂複合材

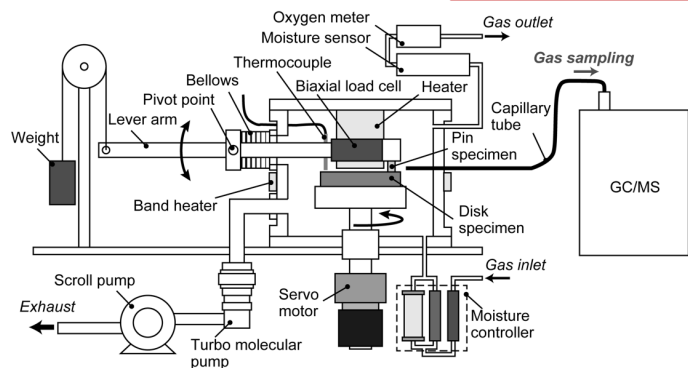
NTN

- ポリアリールエーテルケトン (PAEK) + 炭素繊維 (CF) + 固体潤滑剤 + カーボン
- PAEK + CF + 固体潤滑剤
- ポリイミド (PI) + CF + 固体潤滑剤

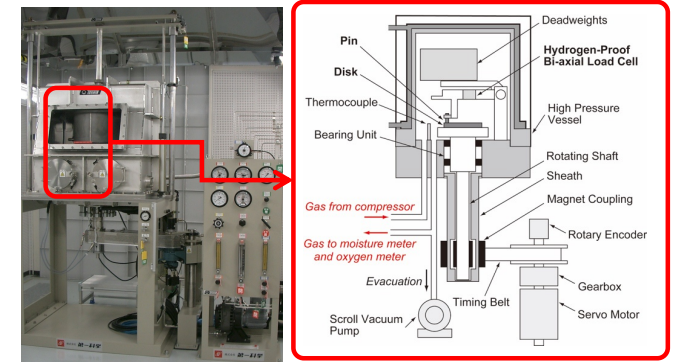
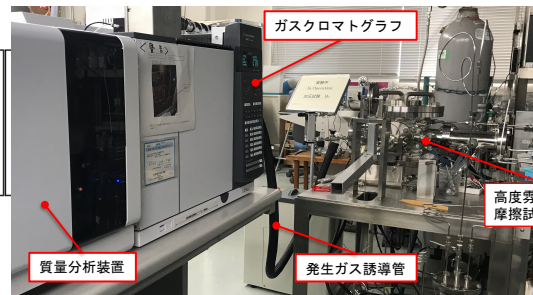
日本ピラー工業

- 四フッ化エチレン (PTFE) + CF
- PTFE + 全芳香族ポリエステル + CF + グラファイト
- PTFE + 全芳香族ポリエステル + カーボン

データベース構築



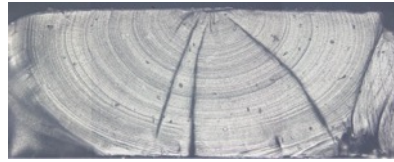
摩擦・摩耗・分解ガス発生の評価



高温・高圧水素ガス雰囲気におけるしゅう動試験

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

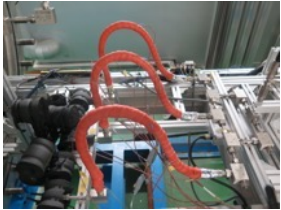


ホース内層樹脂破面解析

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

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

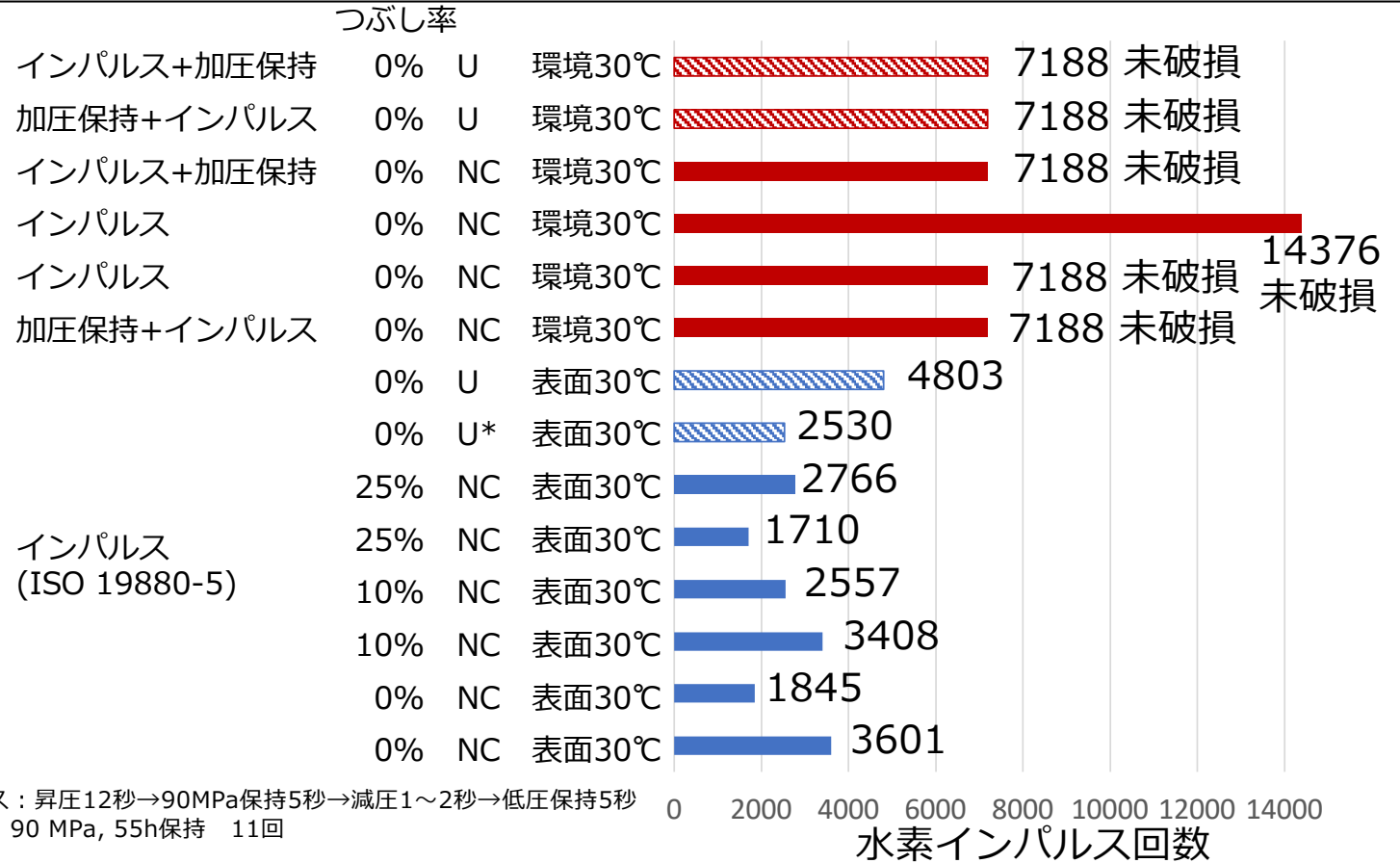
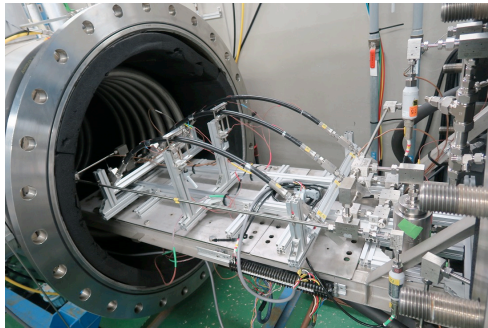
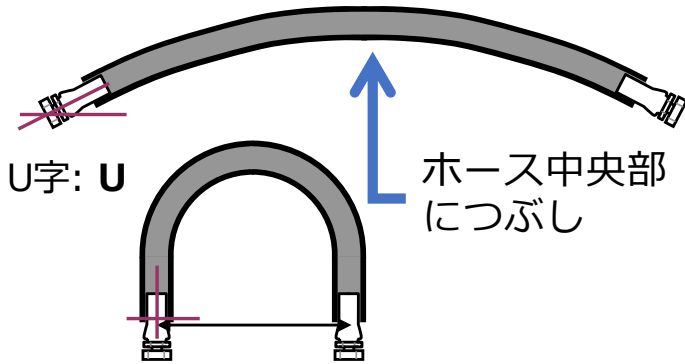
ホースメーカー
HRS運営関係者

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

NC/U字設定による水素インパルス試験

自由曲率 Natural curvature: **NC**



NC/U字設定にてホース表面温度をバンドヒーターを用いて30℃に加温することで水素インパルス試験を加速可能。環境温度による加温では加速できない。
 ISO TC197 WG22において環境温度制御によるCold Gas in Warm Hoseによる試験が議論されているが、環境温度ではなく表面温度の制御が必要であると考えられる。

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

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

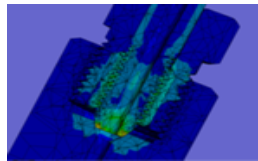


- ①緩み・漏洩の状況
- ②配管の幾何学的構成
- ③温度・圧力の情報
- ④メンテナンス情報
- ⑤振動源・熱源情報

漏えいの因果関係のパターン解明

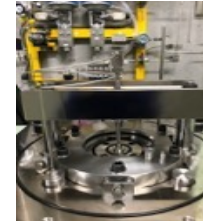
実施項目①と連携

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

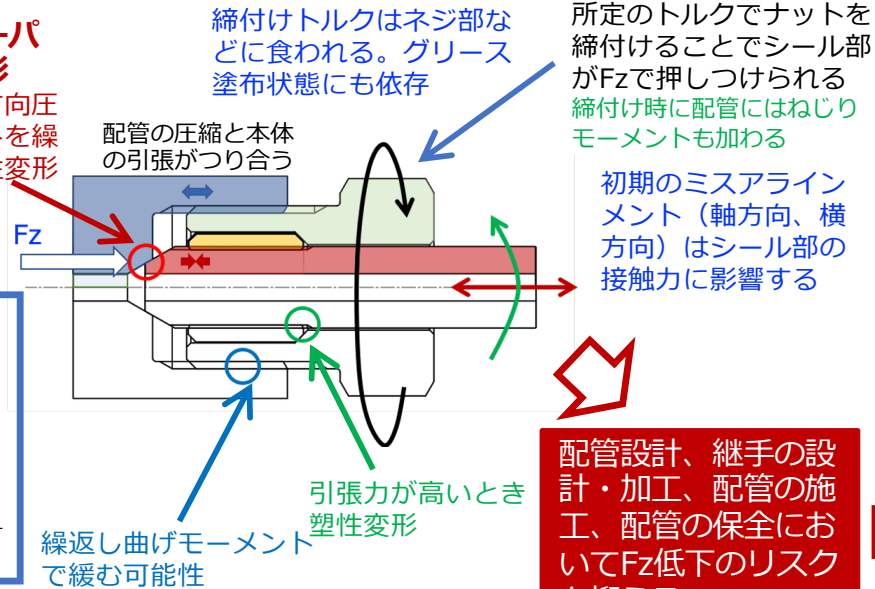
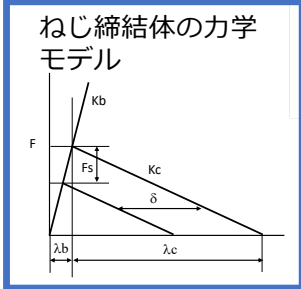


- ・3/4インチ以上の大口径配管用継手評価試験の実施
- ・大口径配管用継手の開発指針検討

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

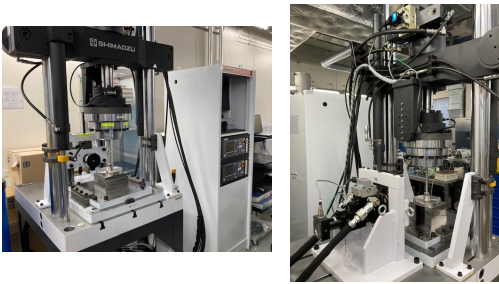
締結するたびにテーパシール部は塑性変形

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

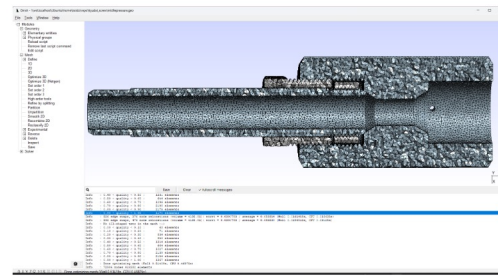


配管設計、継手の設計・加工、配管の施工、配管の保全においてFz低下のリスクを抑える

大容量継手要素評価試験



モデル解析



③温度・圧力の情報

①緩み・漏洩の状況

④メンテナンス情報

②配管の幾何学的構成

⑤振動源・熱源情報

水素ステーション調査 実施項目①と連携

測定例

単純化した検討モデル

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)を実施する.
第1回進捗報告会を2024年2月2日, 九州大学にて開催.
第1回進捗報告会の記録は下記URLより申請のうえ, 閲覧可能.

HRS低コスト化・高度化基盤技術開発 第1回進捗報告会(2024年2月2日) 視聴URL申請フォーム

<https://forms.office.com/r/bxDi4sQ0DS>



(ご参考) **HYDROGENIUS SYMPOSIA
2024年9月12日(木)~13日(金)
九州大学椎木講堂**

https://hydrogenius.kyushu-u.ac.jp/activities/sympo2024/pdf/240912symposium_en.pdf

