

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo.13

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

発表：2026年7月22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

西村 伸（九州大学）

九州大学, HySUT, CERi, QST, NOK, 高石工業, PILLAR, NTN, JRMA, キッツ, フジキン

問い合わせ先 国立大学法人九州大学 E-mail:kikaku@hydrogenius.kyushu-u.ac.jp TEL:092-802-3924

事業概要

1. 期間

開始：2023年4月

終了（予定）：2028年3月

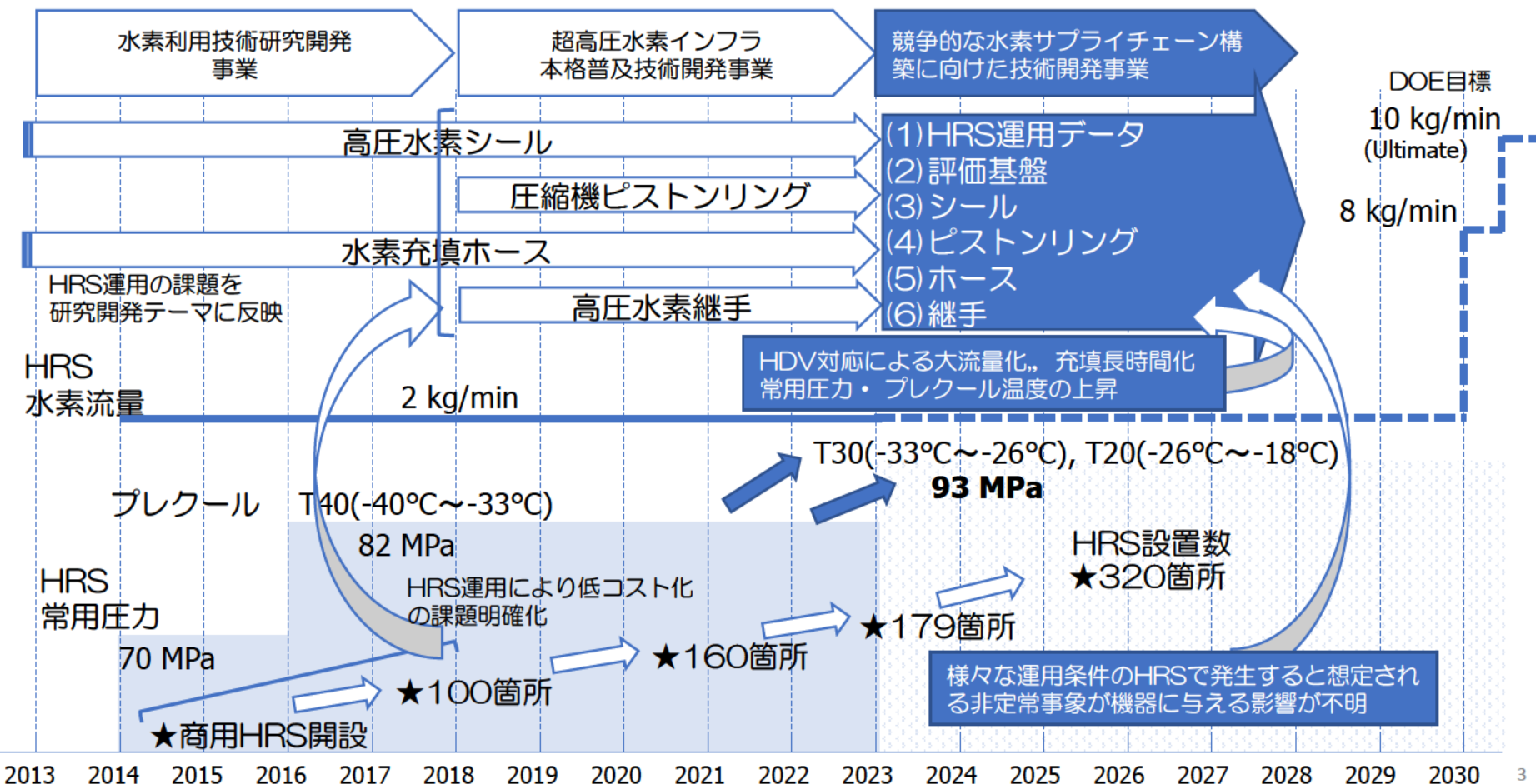
2. 最終目標

- ・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

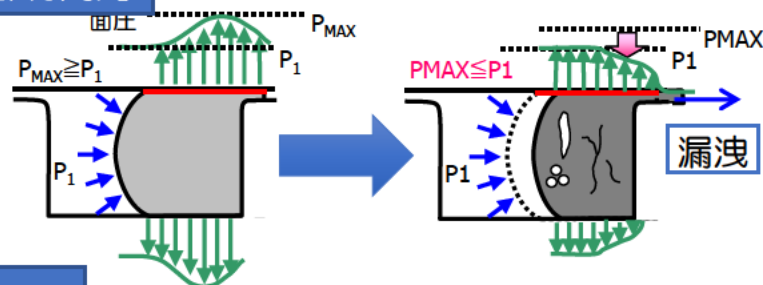
- ・水素ステーションから収集した運用ログや事故データを統計的に解析し、部材ダメージとの相関把握やデータ駆動型の故障予兆検知技術開発、大規模言語モデル(LLM)を用いた事故データの品質評価基盤構築を推進.
- ・化学物質評価研究機構 (CERI) では新規に建設した高圧ガス試験棟に導入した次世代型高圧水素曝露装置を活用し、シール部材メーカーと連携しシール部材開発を進めた.
- ・非定常事象への適合および大流量化に伴う課題を踏まえ、ゴム・樹脂材料の高圧水素適合性評価データの解析、新規シール部材、エラストマー材料の開発を実施した.
- ・高圧水素ガス圧縮機からの回収ピストンリング調査結果、モデル複合材の各種特性評価結果を踏まえ、寿命対策材を作製し、実機評価を行なった. その結果、摩耗量が従来の1/5～1/10に低減した.
- ・水素充填ホース加速耐久性評価法としてホース自由曲率設定による高温ホース・冷却水素ガス流通による水素インパルス試験、水素ステーションにおけるホース形状検出・ホース大変形挙動解析法開発を実施した.
- ・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

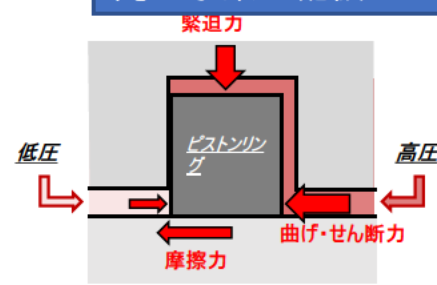


1. 事業の位置付け・必要性：HRS機器の漏洩事象の解明

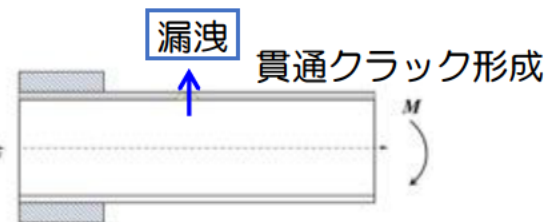
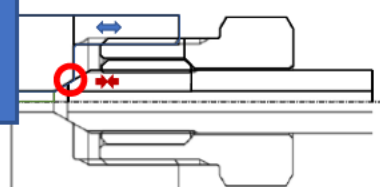
実施項目③
高圧水素シール部材開発



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

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

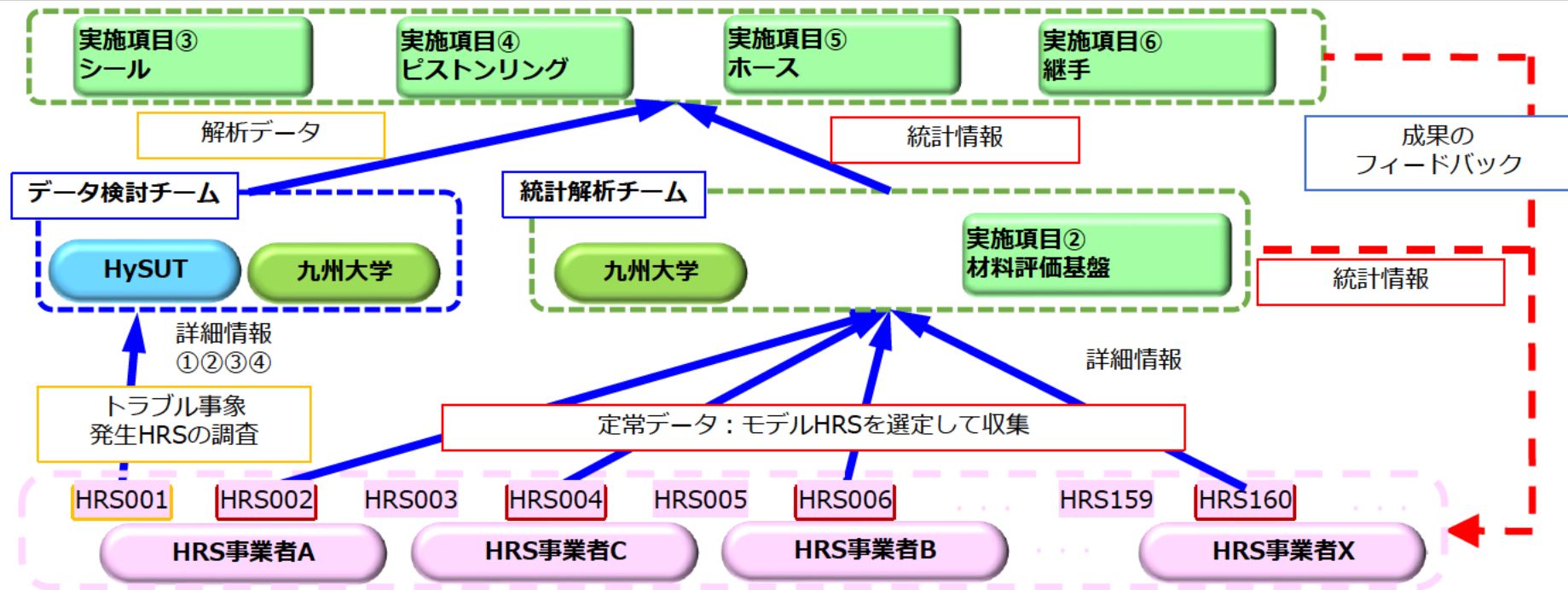
テーマリーダー：西村 伸（九州大学）
九州大学 日本ゴム工業会（JRMA）

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

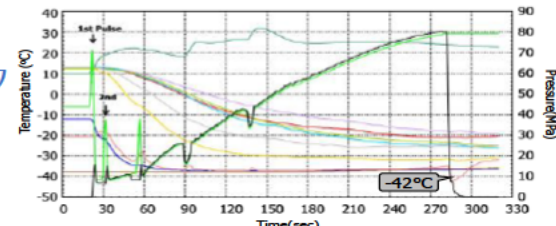
テーマリーダー：杉村丈一（九州大学）
九州大学 キッツ フジキン

材料評価
分析支



漏洩解析基礎データ

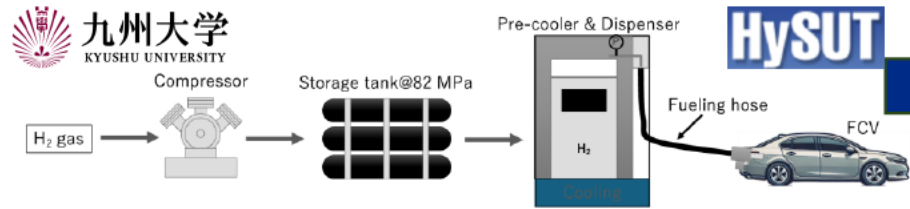
- ① 緩み・漏洩の状況
- ② 配管の幾何学的構成
- ③ メンテナンス情報
- ④ 振動源・熱源情報



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

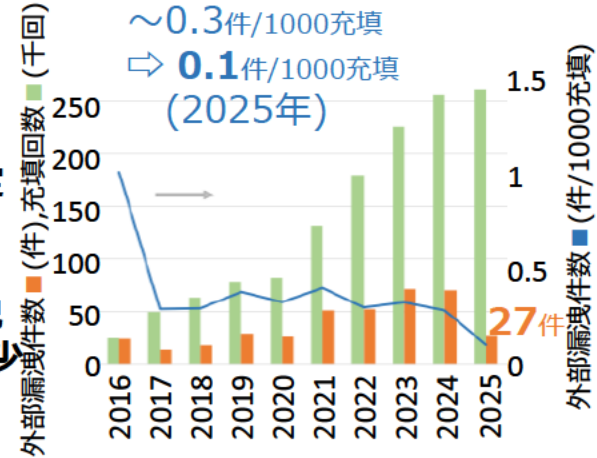


ID	解析対象充填事象数	充填車両	ディスペンサーログデータ取得間隔
HRS1	4591	PFCV:19 %, BUS:79 %, その他:2 %	1 Hz
HRS2	1855	PFCV: 99 %, その他: 1 %	1Hz
HRS3	12827	PFCV: 10 %, BUS: 82 %, その他: 8 %	1Hz
HRS4	2608	PFCV: 99 %, その他: 1 %	1Hz
HRS5	10482	PFCV: 99%, その他: 1 %	1Hz

セーフティーデータベース

調査した漏洩事象に対する防止対策設定

2025年の外部漏洩発生件は数大きく減少
HRS当たりの発生件数低下



統計情報

充填間隔

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.
HRS間の比較によるHRSの特徴把握

漏洩事象との相関検討

初期圧力

充填時間

終了圧力

データベースの品質向上

ループバック設定, LLMによるデータ品質評価



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



九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

特色を活かした連携



一般財団法人 化学物質評価研究機構
Chemicals Evaluation and Research Institute, Japan

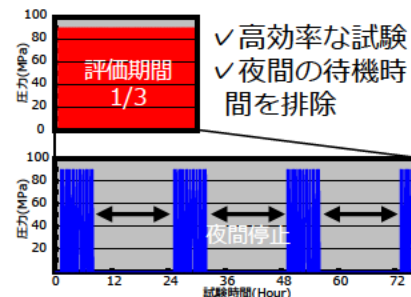
- 高圧水素曝露設備、高圧水素透過試験設備の整備
- ✓2機関での評価体制の整備により、高ガスバリア材の開発に対応、高圧水素適合性データ取得の迅速化
- ✓24時間稼働可能な加減圧速度制御サイクル曝露システム及び高圧水素特性評価装置を整備し、長時間評価プロトコルの検証を行い、国際的相互認証評価を見据えたデータ取得

- 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

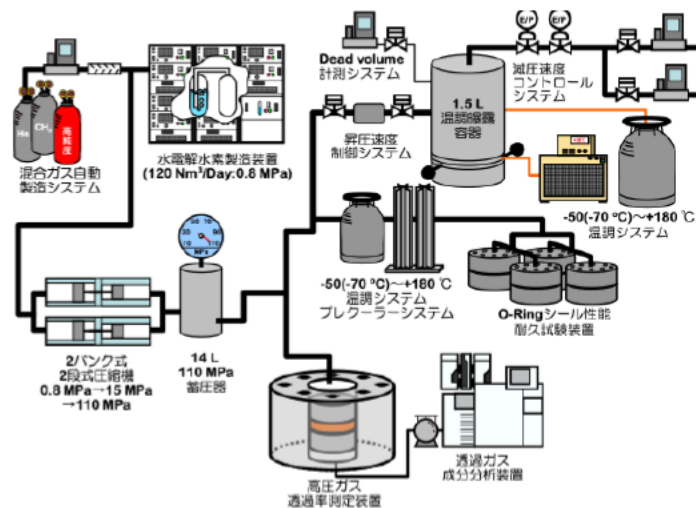
非定常状態を考慮した高圧水素ホース評価法開発

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.



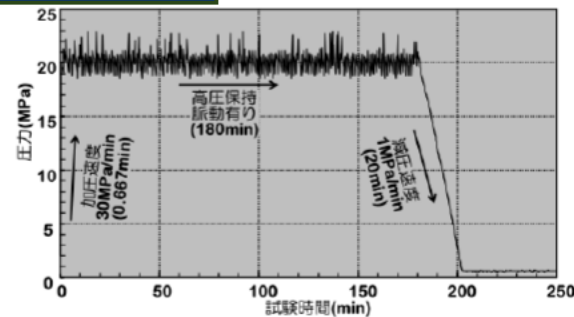
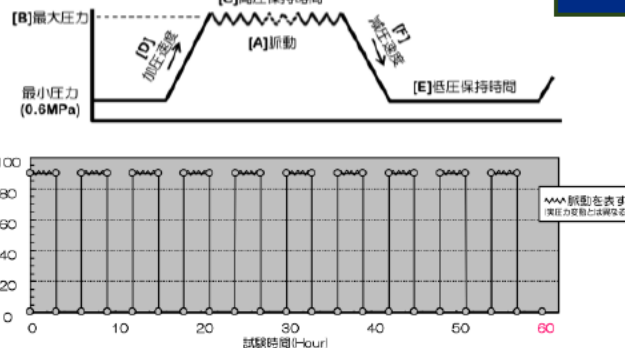
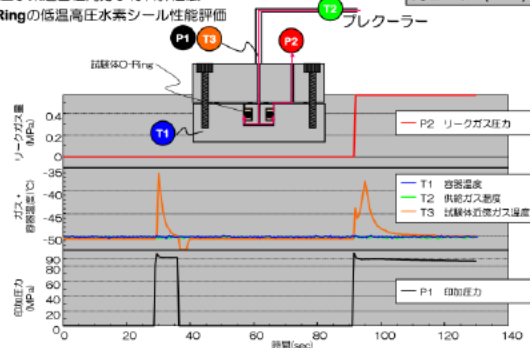
CERi Facility of Testing for High Pressure Hydrogen : CFaTH₂



脈動の影響評価

高圧水素適合性高分子材料評価法
Ringの低温高圧水素シール性能評価

高石工業・(NOK)



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）

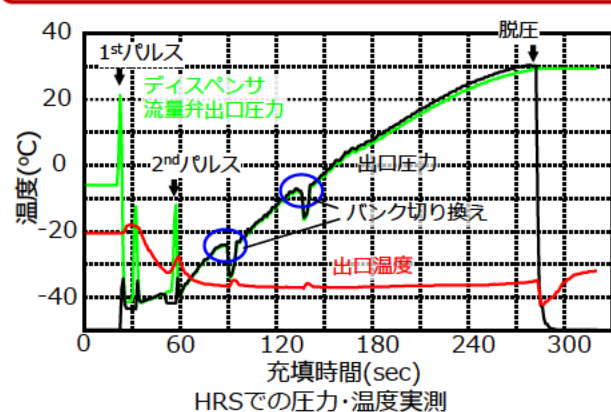
③-a (九州大学, CERI)

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



統計情報
↑
評価結果
代替特性
↓
統計情報
HRS運用データ統計
情報
実施項目①
↓
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

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）

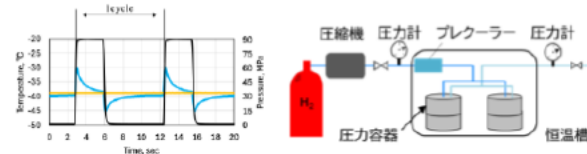
シールシステム、シール部材開発

NOK



高圧水素と繰返し高圧負荷による疲労の要因を調査。

- FEMの結果から高圧水素の繰返し曝露による疲労の影響はほとんどない
- 高圧水素による透過試験により、水素透過係数、拡散係数の温度依存性を確認
- 機械的強度が低い場合シリコンゴム材において、水素曝露による損傷を起点にOリング損傷が発生しやすい可能性を示唆



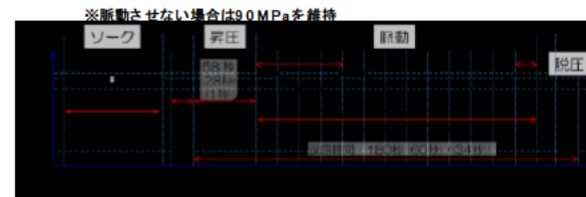
CERI

高石工業



実ステーションの非定常事象下でのシール信頼性向上を目指し、破壊モード、低温リーク、摺動破壊を検証。破壊モード検証では、サイクルタイムが長いほど損傷が深刻化することを確認。

新たに導入した樹脂製半円凹状バックアップリングによる損傷抑制効果を実証。



PILLAR

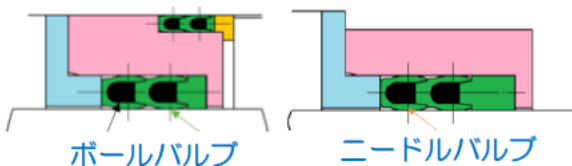


摺動シール用樹脂材料であるポリアセタール、高密度ポリエチレンについて、ガンマ線照射量・熱処理により表面硬さが向上し、耐摩耗性を劇的に改善(約1.5倍)。



開発材料にて設計したシール部材を装着したバルブを用い、実機環境を模擬した高圧水素下での摺動試験及び加減圧インパルス試験を実施し、部材の耐久性をシステムレベルで検証。

CERI



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

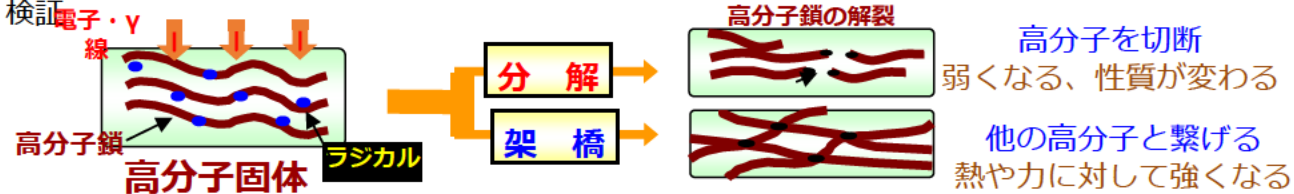
九州大学・CERI・QST・NOK・高石工業・PILLAR・
大阪大学（再）・横浜国立大学（再）

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)



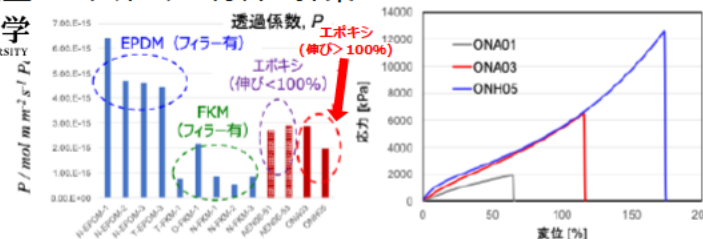
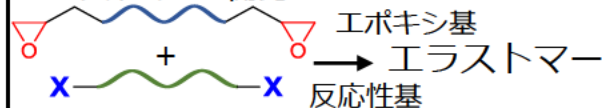
高圧水素耐性改善，高分子・フィラー界面の接着強化，摩擦・摩耗特性改善を目的として，放射線照射を利用した高圧水素シール部材の開発．ゴムシール部材・ピストンリング部材への照射効果を検証



国立大学法人横浜国立大学
(再委託)



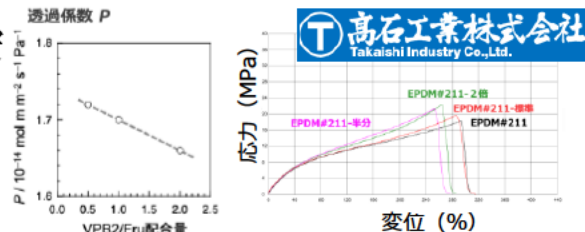
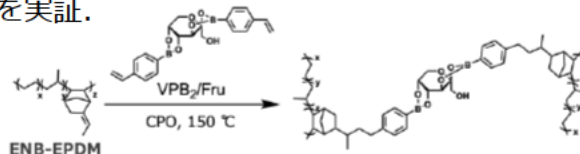
脂肪族エポキシ樹脂などをベースとした熱硬化型エラストマー材料を探索
フッ素ゴム(FKM)代替となり得る
低い水素透過性と低Tg・高い力学
特性を高度に両立する新規エポキシ系
エラストマーを開発



国立大学法人大阪大学
(再委託)

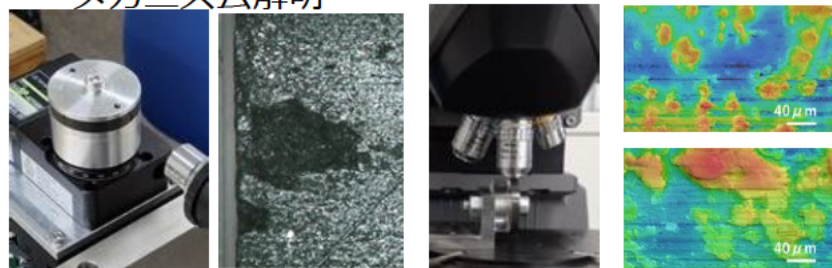


ボロン酸エステル結合を用いた可逆的結合を有する「自己修復性EPDM」を開発し，切断後の接触による粘着性回復を確認するとともに，架橋密度の制御による水素透過係数の低減を実証．



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

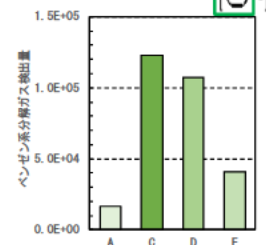
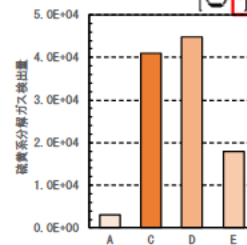
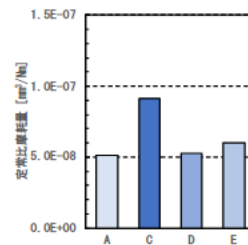


摩耗：アブレシブ摩耗，凝着摩耗，焼き付き摩耗
破損：破折，降伏，せん断，疲労破壊，表面疲労損傷

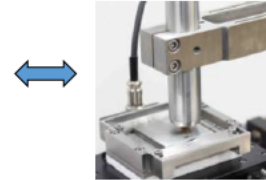
③ 寿命対策検討用ピストンリング材の試作と評価



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



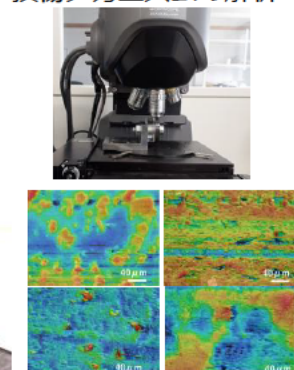
マイクロスコープ観察

mmスケールの観察による摩耗形態・摩耗量分析



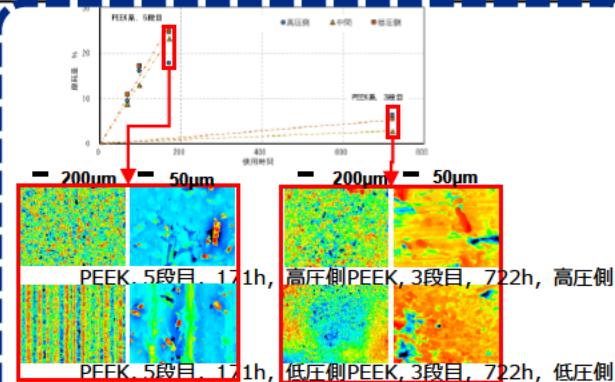
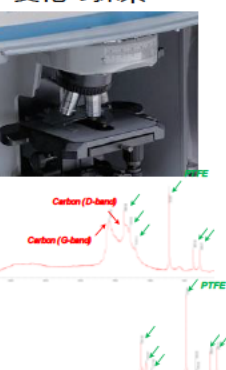
共焦点レーザー顕微鏡観察

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



PEEK系, 3段目と5段目の摩耗量及び摩耗面形態の比較

寿命を制限する支配的な要因

- ・5段目ピストンリングにおけるピストン下端側への過大な機械的負荷
- ・摩耗粉の介在による顕著なアブレッシブ摩耗, 表面疲労損傷



寿命対策にフィードバック

寿命対策材

P-4, P-5, P-6
N-4, N-5

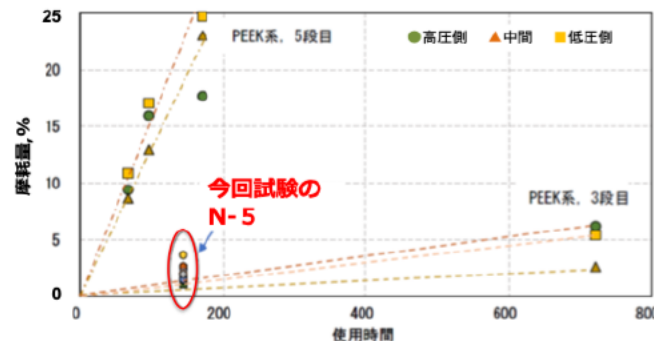
水素曝露影響評価
ピンオンディスク要素試験
高温三点曲げ試験(室温~200℃)

候補材選定

P-5 : PTFE系
N-5 : PAEK系



実機レシプロ圧縮機による
実証運転

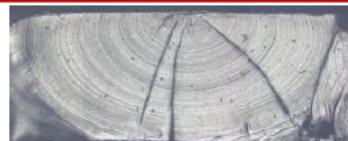


N-5は摩耗量が従来材の5分の1
から10分の1に低減

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

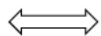


ホース内層樹脂破面解析

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
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

解析結果

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

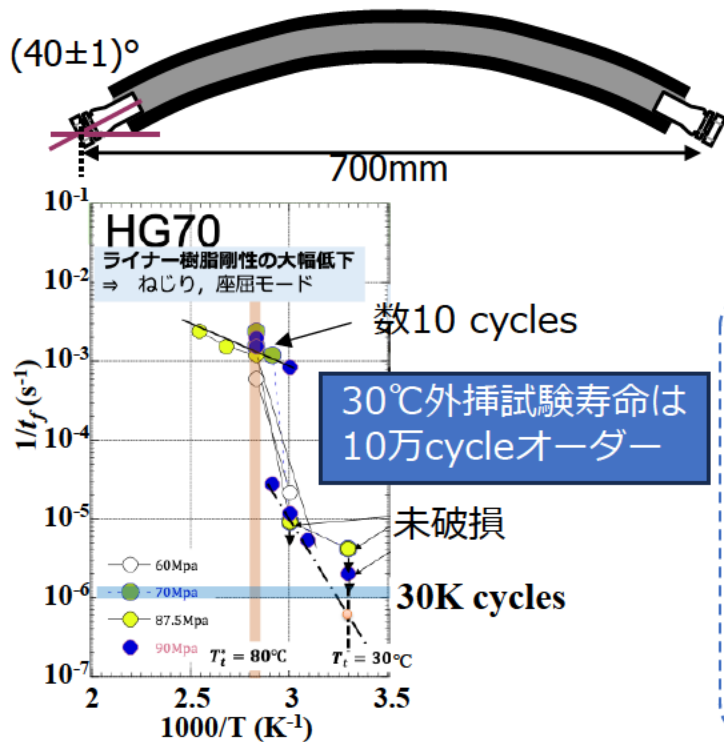
規格・標準

ホースメーカー
HRS運営関係者

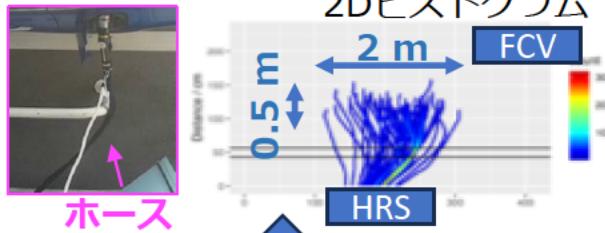
社会実装

自由曲率(Natural Curvature)試験

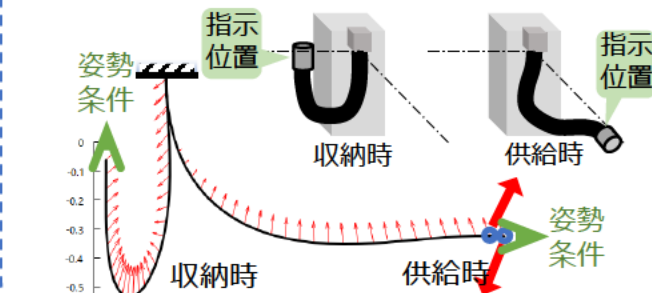
- ・ホース巻き癖の自由曲率設定でのインパルス評価
- ・加圧状態でのホースの変形挙動によりホース破壊が発生
- ・温度による加速を確認。



監視カメラ画像からのホースひずみ検出



ホース3次元大変形挙動解析 ホース変形抽出3次元動作解析開発

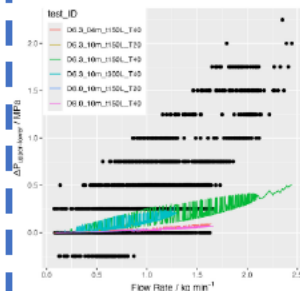
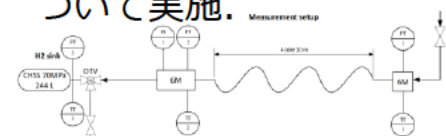


ホース大口径化の課題抽出

- ・大口径ホース(油圧用)の水素インパルス評価
内径6.3, 8, 12.8, 25 mm

内径 mm	外径 mm	MWP MPa	BP MPa	MBR mm
8.2	14.1	68.5	177	80
12.8	20.4	68.5	147	130
8.0	15.2	128	294	165
25.0	36	68.5	147	280

- ・圧力損失測定
4 m, 10 mホースについて実施。



水素流量と
圧力損失の
相関計測

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

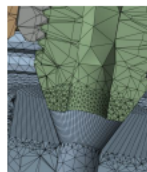
九州大学・フジキン・キッツ

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と連携）

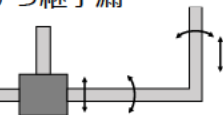


漏えいの因果関係の
パターン解明

⑥-c-1 モデル解析



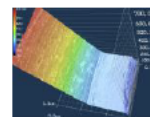
- ・継手の応力と変形に関する数値解析、接触モデル解析、振動の数値解析
- ・⑥-a, ⑥-bと数値解析結果から継手漏えいに関わる要因のパターンとばらつきを分析



⑥-b 継手要素評価試験と継手改良



- ・サイクル負荷試験、加振試験、加熱冷却試験、ねじり試験、引張漏洩試験など
- ・継手改良の検討、評価
- ・表面トポグラフィーと接触状態の評価



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

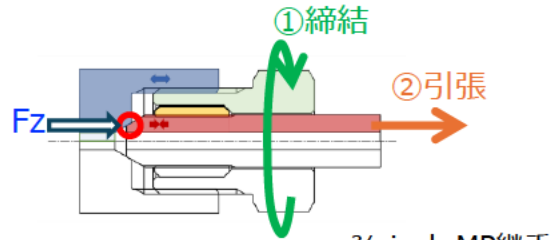
- ・3/4インチ以上の大口径配管用継手評価試験の実施
- ・大口径配管用継手の開発指針検討



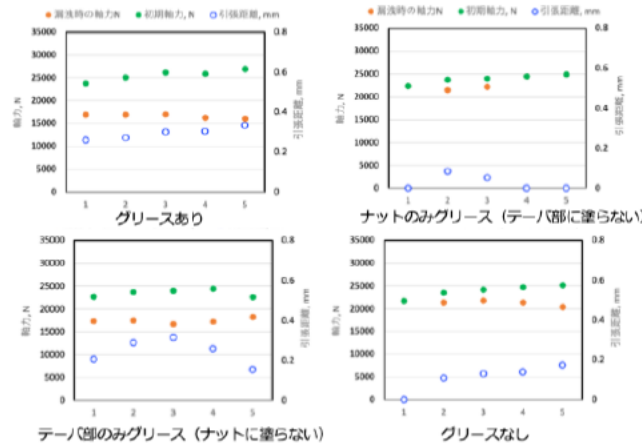
3. 研究開発成果について 実施項目⑥：超高压水素インフラの継手締結部の漏えい防止に関する研究開発

九州大学・フジキン・キッツ

■締結 & 引張漏洩試験 (90MPa水素)



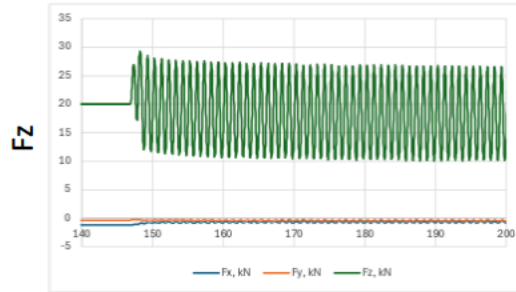
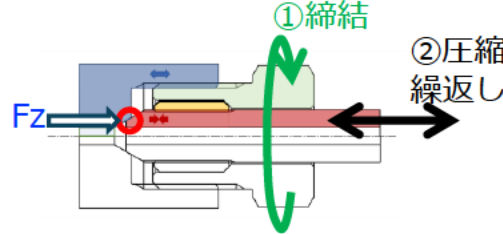
3/4 inch MP継手



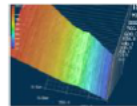
①締結時の軸力Fz (緑) と②引張下で漏洩が生じるときのFz (オレンジ) のグリース塗布位置による影響

9/16inに比べ3/4in MP配管継手で顕著にあらわれ、無潤滑状態では漏洩リスクが著しく高まる

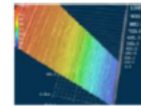
■圧縮サイクル試験



圧縮 (熱膨張を想定) の繰返しによりテーパー部の塑性変形が進みFzが徐々に低下。同一圧縮量でもFzが低下し続ける場合と収束する場合がある



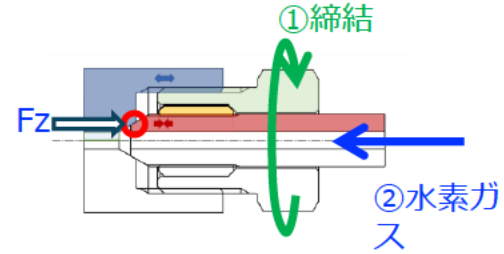
3/4in MP
グリース
あり



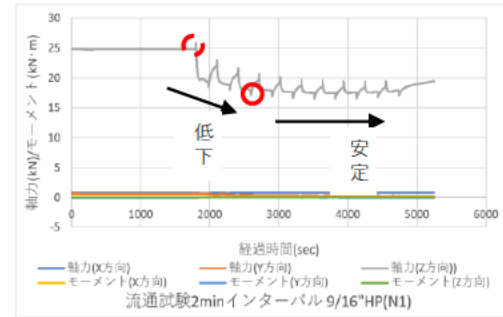
3/4in MP
SUH660
グリースあり

高強度材を用いた場合は標準材に比べ塑性変形低減し軸力差大。漏洩リスク低減に有効。

■水素ガス流通試験



■低温高压水素ガス流通サイクル試験



軸力Fzは徐々に低下し安定する

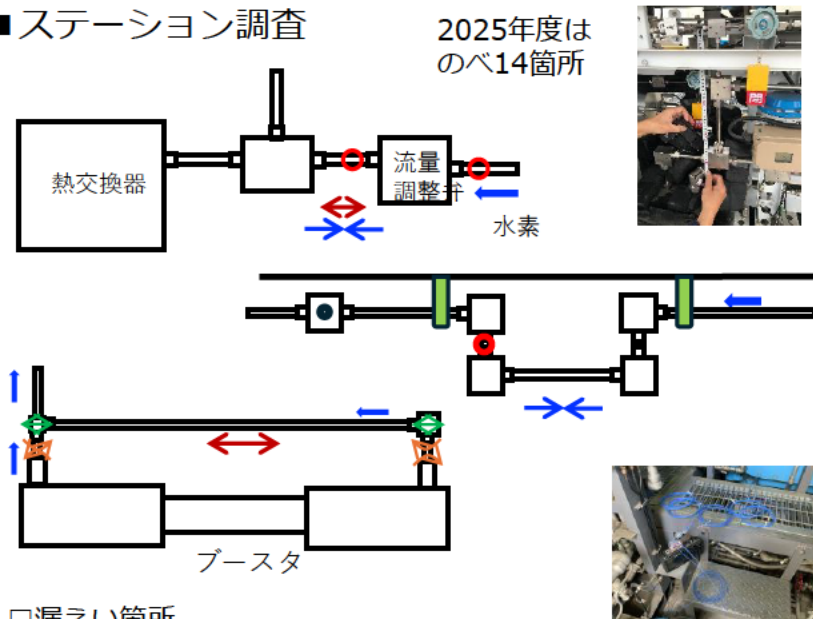
■常温高压水素ガス流通サイクル試験

軸力Fzの変化は小さいが、圧力変化による温度変化があり、3/4 inch MP継手では温度差が100°以上になった

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

■ステーション調査



□漏えい箇所

<温度変化>

温度変化が大きい配管の伸縮
温度変化が大きい配管につながる短い配管の曲げ

<振動>

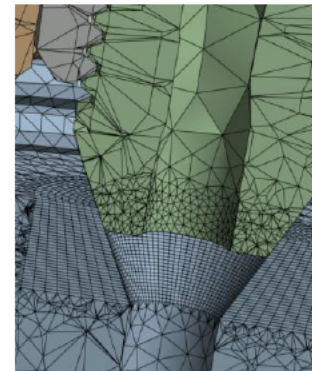
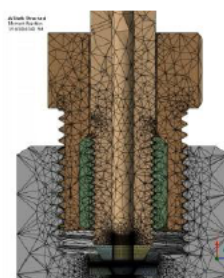
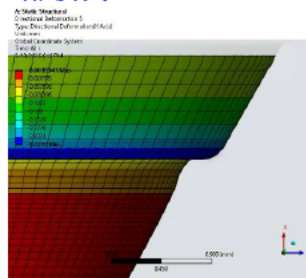
圧縮機等による曲げ振動の大小と継手の緩みやすさの間に
明確な相関は見出せない

<温度・振動以外の要因>

著しい温度変化や振動ないが、短い配管で連結している部分
考えられる要因 締結力（軸力）不足、グリース塗布不足
軸心と長さのミスアラインメントなど

■モデル解析

継手の応力と変形に関するFEM解析において六面体メッシュを採用して高度化を図り、圧縮サイクルや温度変化、圧力変化を受ける継手テーパ部の塑性変形や接触面圧変化を、半定量的に裏付けることが可能になった。



各部位の摩擦係数の違い（グリース塗布の有無に相当）による、締結時のカラー回転の挙動の違いを解析で示すことができた

■技術指針の文書案検討

(1) 継手締結部の緩みと漏えいに関与する諸因子

a. 継手締結時の因子（初期因子）

b. 継手運用時の因子

(2) 締結力低下の過程

引張力 P_t が作用したときの軸力減少量の最大値

$$F_z = F_{z0} - F_s(\Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 + \Delta\delta_3 + \dots) - P_t$$

(3) 現場の実機で定量的に捉えられる因子

(4) 現場の継手を受ける外的因子の簡略化

(5) ガイドライン作成のために

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5回実施．引き続き実施する．
第6回進捗報告会を2026年10月頃，東京にて開催．