

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.B1-2

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業/
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発/
長寿命高压水素シール部材・継手部材及び機器開
発に関する研究開発

発表者： 九州大学

西村 伸

一般社団法人水素供給利用技術協会，国立大学法人 九州大学
一般財団法人 化学物質評価研究機構，N O K 株式会社
高石工業株式会社，日本ピラー工業株式会社，株式会社キッツ
株式会社フジキン，株式会社タツノ，トキコシステムソリューションズ株式会社

2023年7月13日

連絡先

一般社団法人水素供給利用技術協会

E-mail:hysut@hysut.or.jp

TEL:03-3560-2802

事業概要

1. 期間

開始 : 2018年6月 ~ 終了 : 2023年3月

2. 最終目標

- 継手部材, シール部材の耐久性を, 水素ステーションにおける充填回数30,000回相当とする.
- 継手部材, シール部材の加速耐久性評価法を確立する.

3. 成果・進捗概要

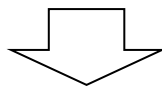
開発項目	成果
① セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理	商用水素ステーションの水素微量漏えい事例について、設備区分および部位を整理し、経時的な傾向の推移、充填回数に対する漏洩事例発生頻度の傾向について確認。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	劣化要因に基づいたシール材の強制劣化手法と加速耐久性評価法を検証。強制劣化の程度と充填回数の関係性を確認するため検証試験を実施し、強制劣化手法の妥当性を確認。
③ シール基盤・改良開発	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高圧水素シール部材15k~30k回充填相当劣化モデル作製-高圧水素シール性評価による加速耐久性評価法開発, 加速評価法案設定, Oリング面圧時分割評価システムを開発。HRS使用済みシール部材の回収, 調査を実施。 30,000回充填寿命担保シールシステム、シール部材の提示 高圧水素圧縮機ピストンリング材の摩耗に伴うトライボケミカル反応による硫化水素発生を確認。
④ 継手基盤・機器開発	シール部の軸力低下の原因、完全緩みを生じる曲げモーメントを推定。 締結によるメステーパ面のシール部の塑性変形と繰返しにより変形の進行を確認。 継手のFEM解析で、締付けトルクやシール部軸力などが計算可能。 改良継手の検討、施工・保全指針案作成
⑤ シール成果に基づく機器開発	基盤・改良開発成果に基づき設計製作した機器 (バルブ、フィルター等) の加速耐久性評価法による評価を実施。

1. 事業の位置付け・必要性

社会的背景

水素基本戦略（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議が 2017年12月26日発表）では、モビリティにおける水素利用の中核は燃料電池自動車と水素ステーションの普及と位置づけられており、水素ステーションについては 2020 年度までに 160 箇所、2025 年度までに 320 箇所の整備を目標とし、2020 年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指すとの国家方針が示されている。

事実、2018年度末の商用水素ステーション数は100ヶ所を越し、着実に導入が進んでいる。



事業の目的

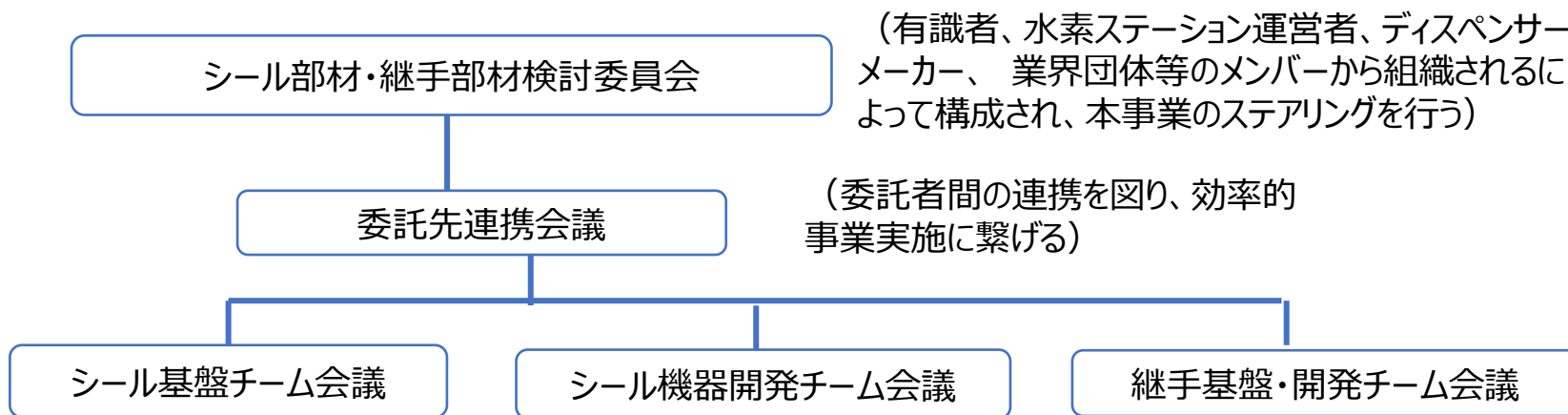
高圧ガス保安協会から報告された水素ステーションにおける事故は2011～2015年度に28件を数え、その原因は全て水素の漏えいである。更に、漏えい部位の3/4が締結部とシール部である。

今後の水素ステーションの増加と、充填頻度の上昇によって、今後更に漏えい事故が増加すると予想されるために漏えい防止の過半を占める締結部とシール部の漏えい防止対策が急務となっている。

2. 研究開発マネジメントについて 研究開発目標と根拠、研究開発の実施体制/進捗管理

研究開発項目	研究開発目標	根拠
長寿命・高信頼性のシール、 継手、機器の開発 中間目標（2020年）	<ul style="list-style-type: none"> 継手部材、シール部材の耐久性を、水素ステーションにおける充填回数15,000回相当とする。 継手部材、シール部材の加速耐久性評価法案を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本事業開始前の現状として、シール、継手の耐久性は充填回数2,200回相当であり、使用期間は1年間に満たない。 使用期間約2年間に相当する充填回数15,000回相当を事業目標とする。 （2020年：水素ステーション160ヶ所、FCV 4万台前提） 事業期間3年間で、使用期間2年間の機器開発を行うため、短期間で耐久性評価を可能とする加速耐久性評価法が不可欠である。
最終目標（2022年）	<ul style="list-style-type: none"> 継手部材、シール部材の耐久性を、水素ステーションにおける充填回数30,000回相当とする。 継手部材、シール部材の加速耐久性評価法案を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> 使用期間約2年間に相当する充填回数30,000回相当を事業目標とする。 （2022年：水素ステーション200ヶ所、FCV 5万台前提） 事業終了後も継続される機器開発のため、機器製造者、機器利用者等、関係者が適用しうる加速耐久性評価法の確立が不可欠である。

進捗管理



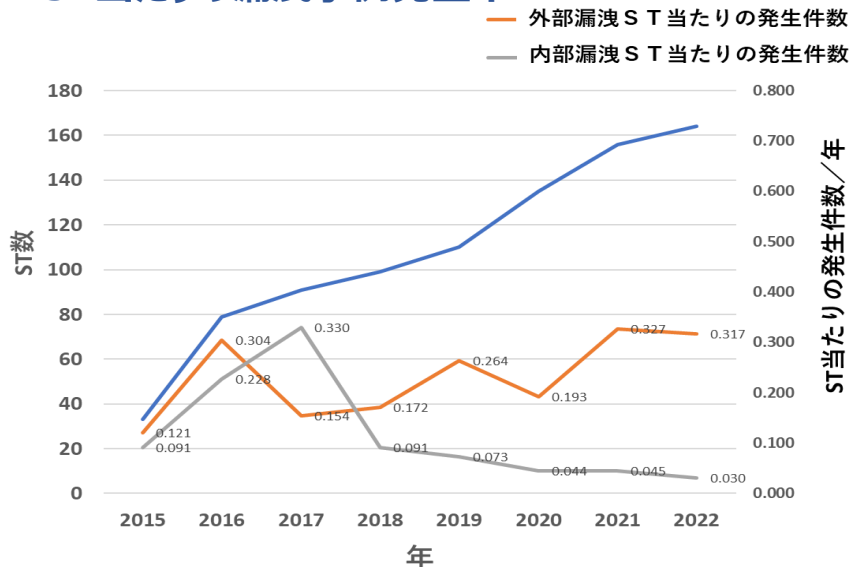
2. 研究開発マネジメントについて 研究開発のスケジュール、知的財産等に関する戦略

研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
	充填相当回数2200回 ▽		充填相当回数15,000回 ▽		充填相当回数30,000回 ▽
①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理	SDB情報の整理・展開				
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討		加速試験評価方法の検討 (現状品分析等)	加速試験評価方法の検討 (実条件と加速条件の相関)	加速試験評価方法の検討 (評価方法の検討) (改良シールの試験)	加速試験評価方法の妥当性検証
③シール基盤・改良開発	水素機器用高分子材料水素特性DBの拡充				
	シール加速試験評価方法の検討			シール加速試験評価方法の確立	
	改良シール材の開発			改良シールシステム提案	
⑤シール成果に基づく機器開発	現行機器の劣化等 状況把握	新規機器 (バルブ、フィルタ) の開発 (加速試験評価法を適用)			
④継手基盤・機器開発	漏洩発生条件の整理 要素評価試験装置 及び供試体の開発 FEM解析スキーム検討	要素評価試験による諸因子の影響評価	漏洩評価方法確立、漏洩リスク低減指針作成		
		FEM解析、表面トポグラフィモデル検討	新型/改良型継手の開発と評価		
			理論解析による評価の裏付け		

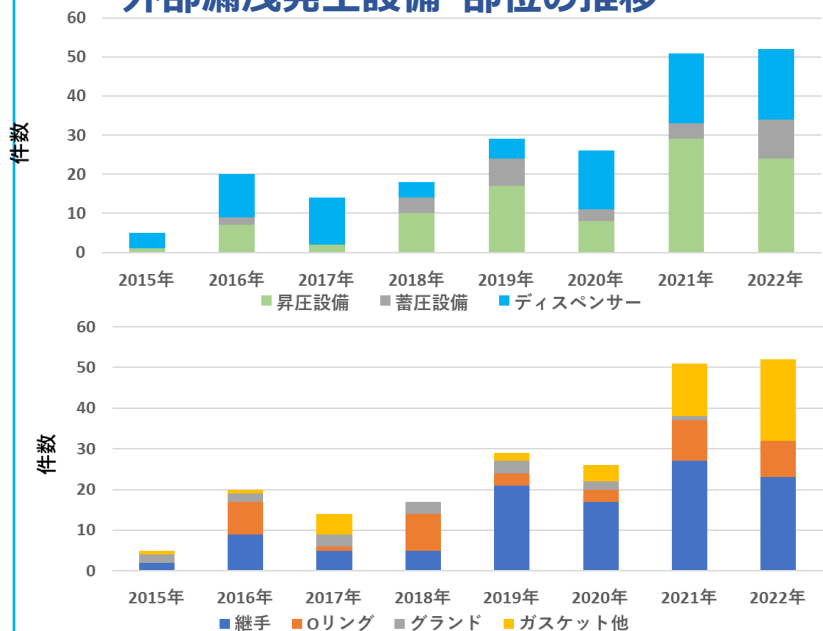
知的財産権等に関する戦略

- 本事業の実施により得られた知的財産権は、発明者等が属する参加者の職務発明規程等に基づき当該参加者に承継させる。
- 本事業共同実施者には基本特許の無償実施について基本合意 (国内標準となる部分については普及を妨げないオープン特許戦略)

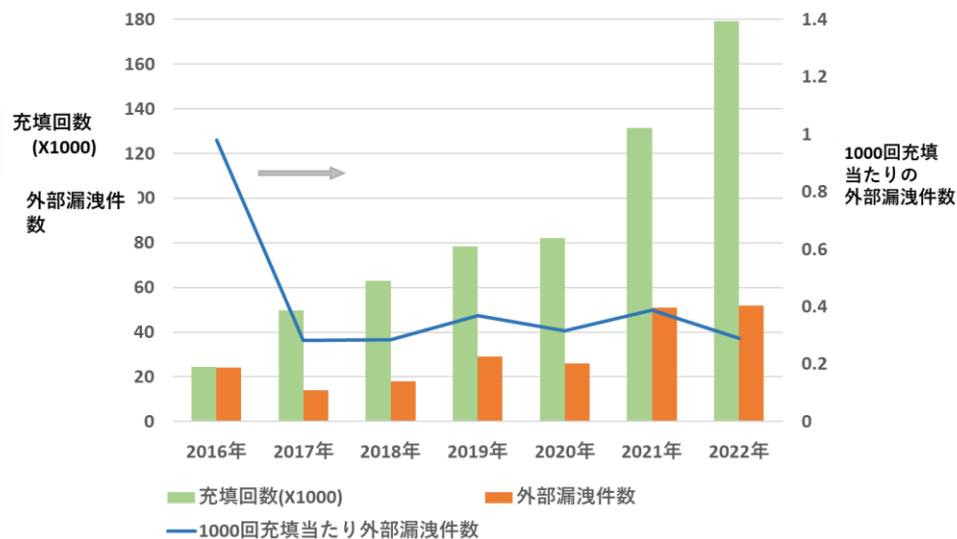
1 ST当たりの漏洩事例発生率



外部漏洩発生設備・部位の推移



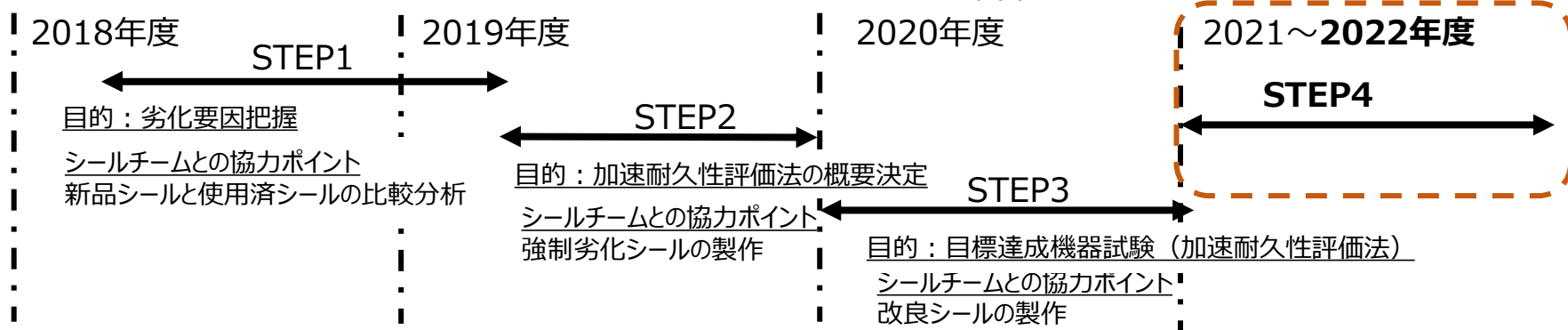
充填回数の推移と漏洩事例発生率



- ST数は年々増加し、2022年には164箇所
- 外部漏洩のST当たりの発生頻度は、2017年以降年間0.2～0.3回程度で推移
- 国内総充填回数は年々増加し、2022年には、約18万回
- 2017年以降、外部漏洩は充填回数1000回当たり年間0.3回前後の発生頻度で推移
- 外部漏洩発生設備ではディスペンサーと昇圧設備が大半
- 2019年以降、継手からの漏洩が多いが最近ではガスケット他のシール部からの発生も顕著

加速耐久性評価法（シール部材と機器試験の連携）

規定充填回数後のシール材と相応の劣化状態を、加速的に与える評価方法を確立させる取り組み



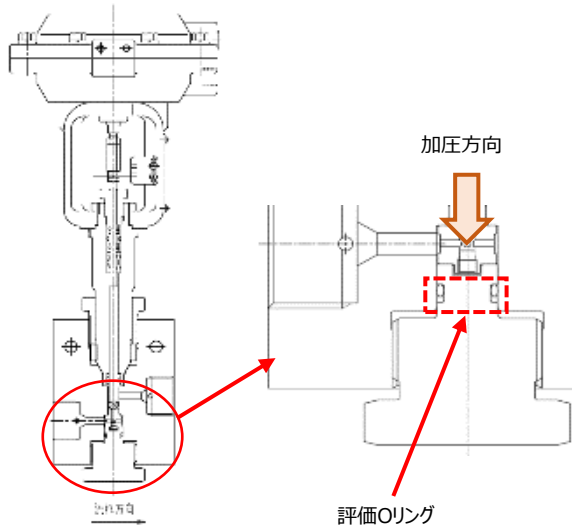
No.	目的	シール供試体	取り組み方法	次STEPへ進む為の判定基準
STEP1	商用STで使用したシール材の劣化要因を把握	新品シール 使用済シール	新品シールと使用済シールを比較分析し、劣化因子を調査する	劣化因子が絞り込めること
STEP2	加速耐久性評価法案の概要決定	強制劣化シール	STEP1で絞り込んだ劣化因子を、強制的に付与した強制劣化シール材を製作・使用し、加速耐久性評価法案を決定する	リークが発生すること
STEP3	加速耐久性評価法による充填回数15,000回相当の達成	改良シール	STEP2で決定した加速耐久性評価法案を用いて、目標充填回数相当に耐える機器を開発する	15,000回相当の試験に合格すること
STEP4	評価方法の妥当性検証 充填回数30,000回相当の達成	改良シール	STEP3で開発したシール材、機器を実証試験で評価する	30,000回相当の試験に合格すること

底プラグオリングの加速耐久性評価試験

2020年度までに設定した加速耐久性評価条件を用いて、評価試験を実施。
 評価用オリングは、シールチームの高石工業様にて改良された引裂き強さ向上品を使用した。

➤ 評価方法

改良オリング 圧力サイクル試験(ガス温度：-40℃)



※オリングは固定シールだが加減圧により溝内を動く。充填回数15,000回 & 30,000回相当の移動距離をオリングに付与し強制劣化品を製作。

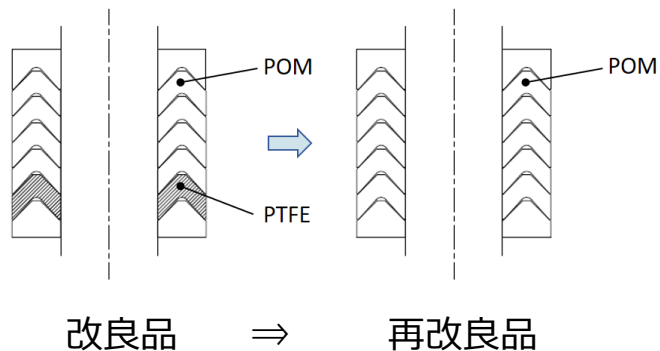
オリングは九州大学様で考案された、機械的疲労(つぶし疲労)方法にて強制劣化させた。

No.	Oリング					評価結果
	強制劣化回数※ ¹	相当充填回数※ ²	潰し率(%)	加速倍率※ ³	合計回数	
1	0	5,333	19.1	1	5,333	漏洩なし
2	0	5,333	16.4	1	5,333	漏洩なし
3	0	5,333	13.7	1	5,333	漏洩なし
4	15,000	5,333	18.7	1	20,333	漏洩なし
5	15,000	846	16.0	1	15,846	15,846回で漏洩(2,000ppm超)
6	15,000	5,333	13.3	1	20,333	漏洩なし
7	30,000	4,956	19.1	1	34,956	漏洩なし(500ppm以下の反応有)
8	30,000	4,956	16.0	1	34,956	漏洩なし(500ppm以下の反応有)
9	30,000	5,333	13.7	1	34,956	漏洩なし(500ppm以下の反応有)
10	0	5,333	18.7	2	10,666	漏洩なし(500ppm以下の反応有)
11	0	5,333	16.0	2	10,666	漏洩なし(500ppm以下の反応有)
12	0	5,333	13.3	2	10,666	漏洩なし(500ppm以下の反応有)

改良オリングは充填回数15,846回相当で漏洩が発生したものの、その他は**充填回数30,000回相当以上の耐久性を有しており、性能向上によるメンテナンスコスト削減が見込めることが確認**できた。

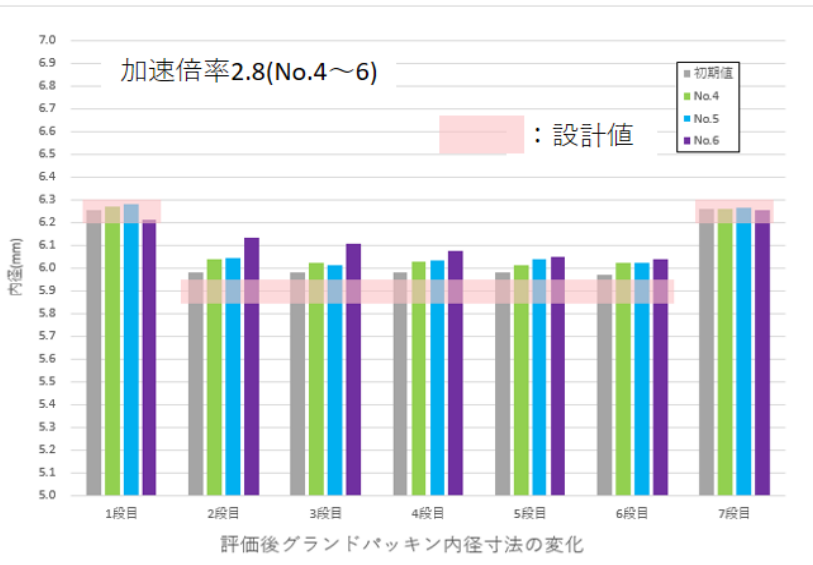
グランドパッキンの加速耐久性評価試験

再改良品グランドパッキンについて、HTCでのフィールド評価を試験（充填回数7123回）
 その後、圧力サイクル試験を実施



再改良グランドパッキン 圧力サイクル試験結果

No.	グランドパッキン				評価結果
	開閉回数	相当充填回数※1	加速倍率	合計回数	
1	30,000	10,000	1	10,000	漏洩なし
2	30,000	10,000	1	10,000	漏洩なし
3	30,000	10,000	1	10,000	漏洩なし
4	40,000	13,333	2.8	37,332	漏洩なし
5	40,000	13,333	2.8	37,332	漏洩なし
6	40,000	13,333	2.8	37,332	漏洩なし

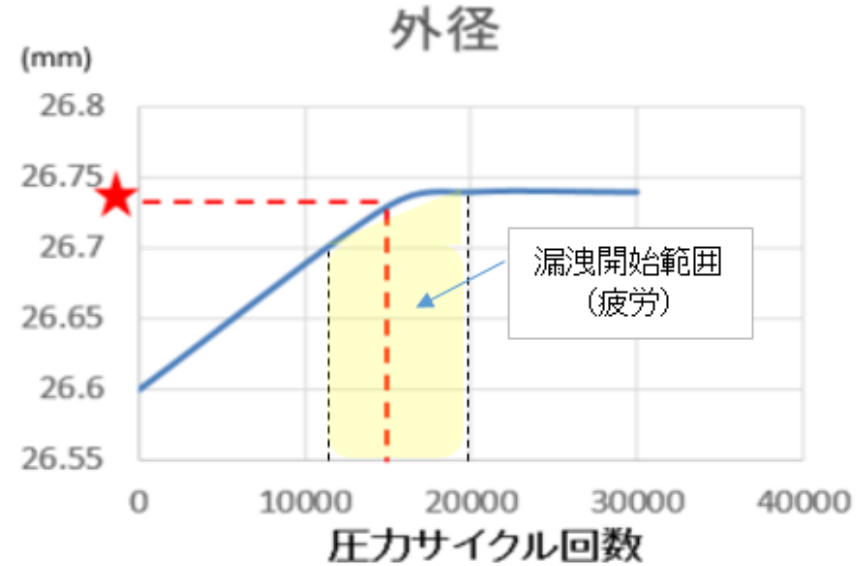
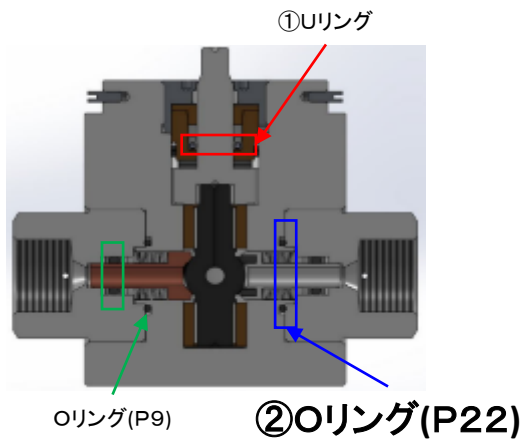


ステム表面粗さ（加速倍率）を変更した加速耐久性評価においても漏洩は確認されなかった。

再改良グランドパッキンは、**充填回数30,000回相当以上の耐久性能を有しており、性能向上によるメンテナンスコスト削減が見込めることが確認できた。**

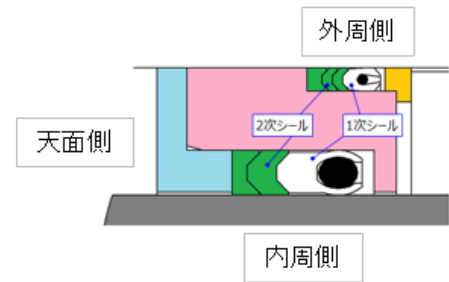
Oリングの加速耐久性評価法

強制劣化15000回潰し率138%の外径平均値が26.73mmであり、その時の圧力サイクル回数が約15,000回を示すことから、潰し回数とほぼ合致している。また、約20,000回付近で外径は飽和している。



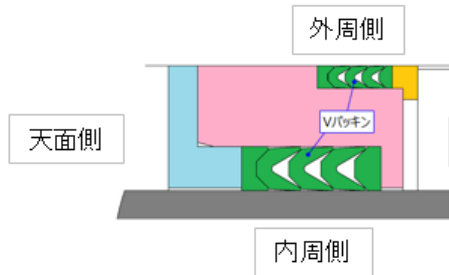
- ・Oリングの30,000のサイクル試験時は継続的な漏洩が発生していないことを考慮すると、強制劣化手法が限界の潰しであったことから、過剰であった可能性もある。潰し率を調整し、漏洩の閾値と変化率を確認することで、精度の高い加速耐久性評価法を策定することが可能と思われる。
- ・30,000回の圧力サイクル試験で継続的な漏洩は発生していないことから、Oリングのシール性能としては問題が無いと言える。

遮断弁グランド部の改良シール設計と評価



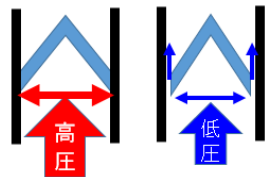
PTFEの剛性と弾性が低い
ため塑性変形が起きやすく、
Oリングが脱落

改良シール(#1)



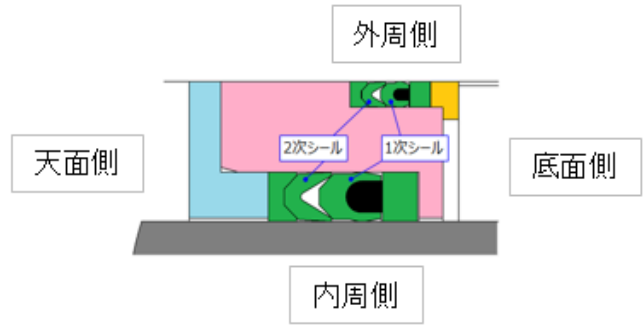
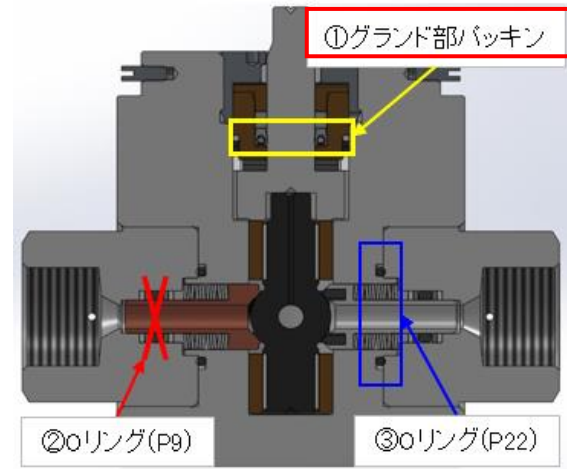
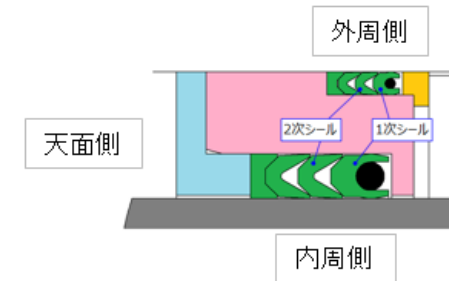
Vパッキンは減圧時
(低圧時)においてシール面圧が
下がってしまう

改良シール(#2)



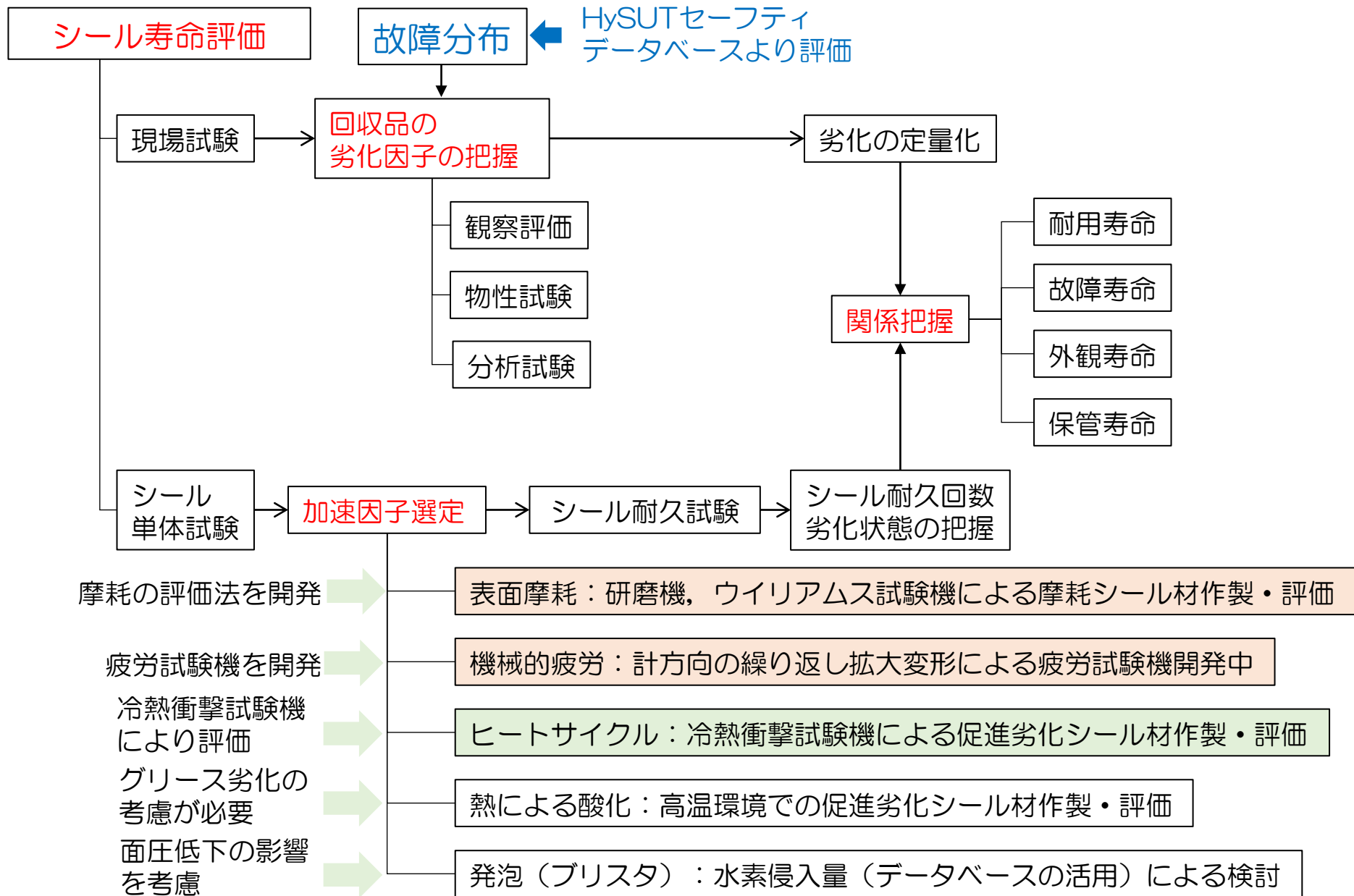
1次シールのOリングがはみ出して
損傷したため与圧機能が低下し
漏洩が発生

改良シール(#3)



改良シール(#4)

1次シールのDリングが定位に収まり、
機能していれば封止性能が十分に発揮
**1次シールのDリングが安定して定位に
収まれば、漏洩しないシール構造となる。**



3. 研究開発成果 サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法 (九州大学, CERI)

表面摩耗

軸摩耗

供試シール部材 (Oリング)

圧力計

速度コントローラー

シリンジ本体
ピストン シリンダー

シリンジポンプ

カウンター
圧力読み取り

ウイリアムス 摩耗試験機

回転

研磨紙

試験片台

荷重検出
(回転力)

機械的疲労

Oリングの繰り返し加減圧に伴い、Oリング径が拡大・縮小を繰り返す。

減圧時

加圧時

供試シール部材 (Oリング)

樽状ロッドの大径部通過によりOリング径拡大

劣化Oリング

Oリング表面粗さ計測
三次元解析装置

各劣化因子加速劣化法により作製した劣化モデルOリングを作製し、物性、形状、表面粗さ変化などを計測

ヒートサイクル

冷熱衝撃試験機
高温槽・低温槽間を供試材が繰り返し移動

高温槽

低温槽

供試シール部材 (Oリング)

グリース浸漬

シール部材をグリース中に浸漬、加圧し所定の期間高温保持

Oリングシール性評価法

加速因子により摩耗・劣化させたOリングを試験用高圧水素ガス容器に装着し、高圧水素ガスを繰り返し印加し、透過曲線を取得。リーク量の変動からOリングのシール性低下、破壊に伴う漏洩を検出する評価法を確立。

試験用高圧水素ガス容器

圧力

リーク検出

劣化模擬Oリング

Oリング耐久性の加速因子として選定した表面摩耗、機械的疲労、ヒートサイクル、グリース浸漬による劣化模擬Oリング・シール部材作製法および評価法を確立。各因子によるOリングの劣化とシール特性の相関把握。

3. 研究開発成果 サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法 (九州大学, CERI)

加速因子試験法まとめ

試験法	劣化試験機	評価項目	評価結果
ヒートサイクル	冷熱衝撃試験機	ヒートサイクル劣化Oリングはシール時の水素透過量小	定圧透過量：不変 サイクル透過量：減少 架橋密度上昇による硬度上昇に伴う面圧の増加によりシール性向上
平面摩耗	ウィリアムス試験機/研磨機	研磨機摩耗劣化Oリングは表面粗さと水素透過量が相関。	定圧透過量：増加 サイクル透過量：不変 加減圧時のOリング摺動による表面摩耗によるリークパス形成，シール性低下
軸摩耗	ピストン型摩耗試験機	劣化Oリングは表面粗さと水素透過量の相関が見られない。	シール性低下
機械疲労(拡径)	Oリング拡径疲労試験機	拡径疲労によりOリング内径が拡大。水素透過量は疲労回数の増加により増大。	可塑剤配合ゴム 定圧透過量：増加 サイクル透過量：減少 可塑剤ブリードによる変形抑制によりシール性低下
高圧水素曝露(ブリスト)	高圧水素曝露容器	Oリングゴム材の内部破壊によりシール性低下	定圧透過量：増加 サイクル透過量：不変 内部破壊に伴うリークパス形成，シール性低下

加速耐久性試験法 (案)

シール部材加速劣化



- 拡径疲労**
実機溝寸法より拡径率設定
- 表面摩耗**
実機溝材料・表面粗さによる摩耗
- グリース浸漬**
使用予定グリースによる評価
使用材料の劣化が抑制されるグリース選定

実機設計およびHFSにおける充填時の作動条件よりOリング疲労回数、摺動距離を設定 (>30,000回)

30,000回充填耐久性

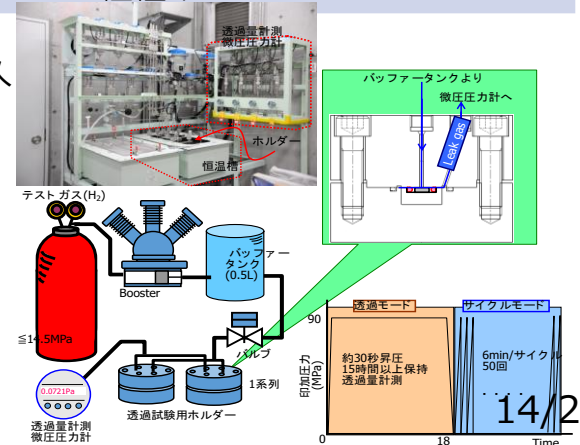
シール特性低下が所定の範囲内

劣化Oリング・シール部材を実機に装着し、実機の耐久評価劣化シール部材と初期品の性能差を検証

シール特性低下大

30,000回以下でリークの可能性

高圧水素耐久試験機



[加速耐久性評価法案]

リングの摩耗および拡張疲労による高圧水素シール機能への影響を想定し、高圧水素機器の高圧水素シール部材として使用されるリングの加速耐久性評価法案策定

手順①

水素ステーションの高圧水素機器について、**水素充填に伴い発生する圧力変動を確認**

手順②

当該高圧水素機器におけるリングシールシステムの設計、①の圧力変動から1回の**水素充填に伴うリングへの負荷を算出** ⇒ リング拡張疲労装置における拡張率、拡張疲労回数、リングシリンジ式軸摩耗装置およびウィリアムス式摩耗試験機における**摩耗距離、摺動回数を設定**する。

手順③

目標とする充填回数（15,000回相当、30,000回相当）の**拡張疲労をリング拡張疲労装置、摩耗試験をリングシリンジ式軸摩耗装置またはウィリアムス式摩耗試験機にて実施**
⇒ 所定の充填回数使用相当の**劣化リングを調整**

手順④




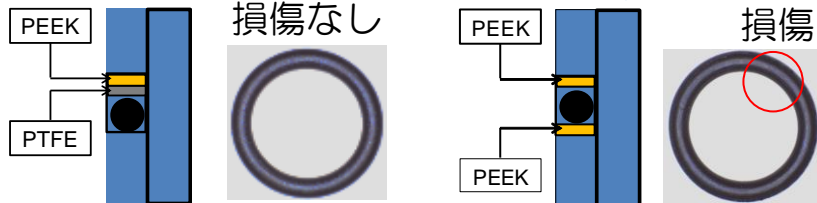

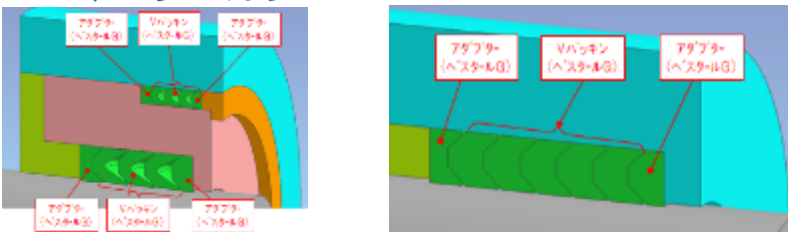
劣化リングを高圧水素機器に装着し、当該機器の所要の試験条件において高圧水素シール性を確認

⇒ 所定の高圧水素シール性が確認された場合、設定した充填回数相当の耐久性を確認できたと判定する。所定の高圧水素シール性が確認できなかった場合、設定した充填回数以下で漏洩等の事象が発生すると判定

3. 研究開発成果 サブテーマ③シール基盤・応用開発 長寿命シール部材の開発

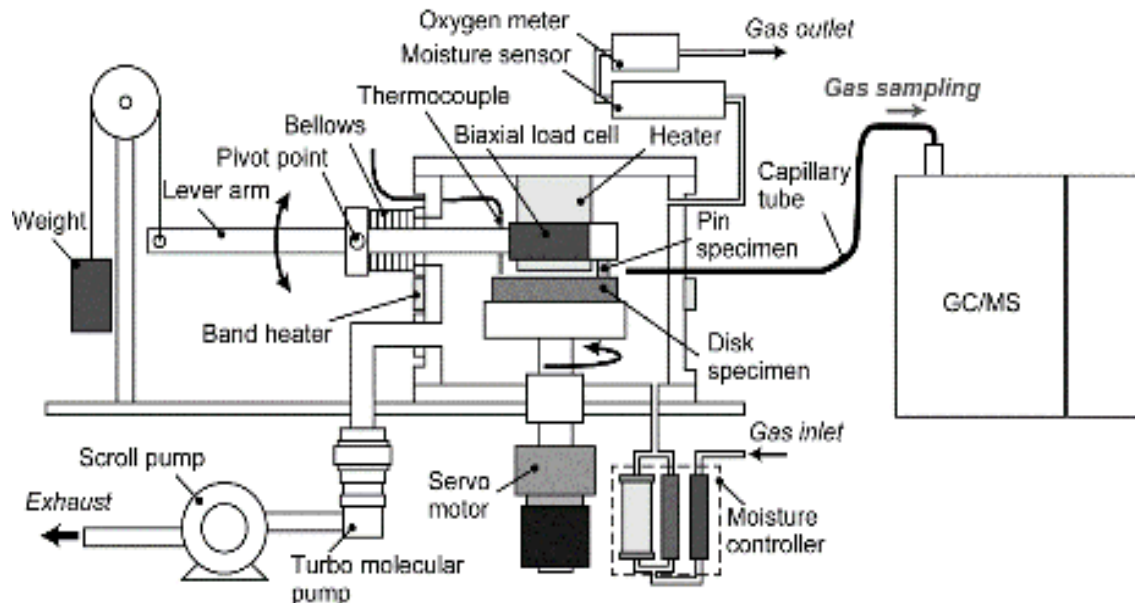
(NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)

設定した加速耐久性評価方法により高圧水素機器に実装しうる長寿命シール部材開発に向け、既存材料、現行材料の実力値把握、シール部材評価手法の確立が重要である。各社において、評価法を検討し、既存材料、現行材料評価を実施
また、開発の基盤データとして水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充、5年間で108種、980検体のデータを追加

<p>NOK</p> 	<p>高温・低温環境ともにグリース塗布による摩耗粉発生抑制に対する有効性を確認。</p> <p>グリース塗布なし (25000回) グリースA塗布 (30000回)</p>  <p>摩耗粉</p> <p>図 耐久試験後Oリングホルダー外観</p>	<p>溝設計およびグリース適用による摩耗の抑制を検討。 グリース有無ともに35%圧縮で10%圧縮に比べ摩耗を抑制。 溝内周すき間の縮小が内周側はみだし抑制に有効。 35%圧縮では、充填率75、85%で屈曲座屈破損を抑制。</p>
<p>高石工業</p> 	<p>Oリング損傷を抑制するバックアップリング仕様を決定。材料改良により30,000サイクルの耐久確認。実機での評価を含め信頼性の検証を実施。</p> <p>バックアップリング仕様</p> 	<p>引裂き強度を向上によるOリング損傷抑制を目的に配合開発。改良材料の耐久性評価を行い、高圧水素の圧力サイクル試験、加速劣化試験により30,000回をクリアした。 サブテーマ⑤のバルブメーカーと評価用バルブに適用するOリングを設計し加速劣化評価実施。</p>
<p>日本ピラー工業</p> 	<p>水素透過特性、摩耗特性から、ベスタールG(POM)を選定、バルブ用シール部材を設計。</p> <p>ボールバルブ ニードルバルブ</p> 	<p>ボールバルブ：OリングまたはDリングを内包したPOM製Uリング+Vパッキンに変更。2022年度、30,000回相当の充填に耐え得るシールを確立。 ニードルバルブ：オールPOM製Vパッキンに変更して試験継続中。 2022年度、30,000回相当の充填に耐え得るシールを確立</p>

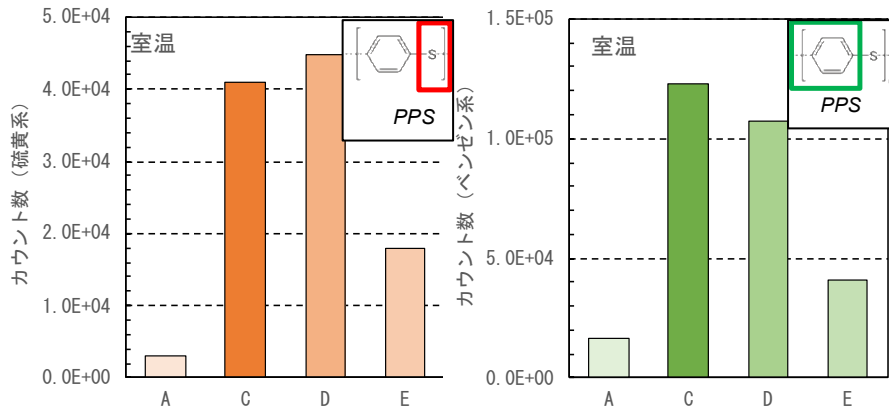
3. 研究開発成果 サブテーマ③シール基盤・応用開発 ピストンリング材の摩擦摩耗とガスエミッション

- 協力企業 2 社より提供された高圧水素ガス圧縮機用ピストンリング材について，高度雰囲気制御摩擦試験機を用いたしゅう動試験により，高温・高純度水素ガス雰囲気における摩擦特性，耐摩耗性を評価
 - ✓ 試験片材質
 - ・樹脂ピン試験片：現行ピストンリング材5種
 - ・ディスク試験片：SCM435
 - ✓ 試験条件
 - ・PV値（接触面圧 × 滑り速度）：2～16
 - ・しゅう動面温度：室温～180℃
- ピストンリング材とSCM435のしゅう動試験中に，ピストンリング材より発生する分解ガスの成分と発生量をGC/MSにより評価



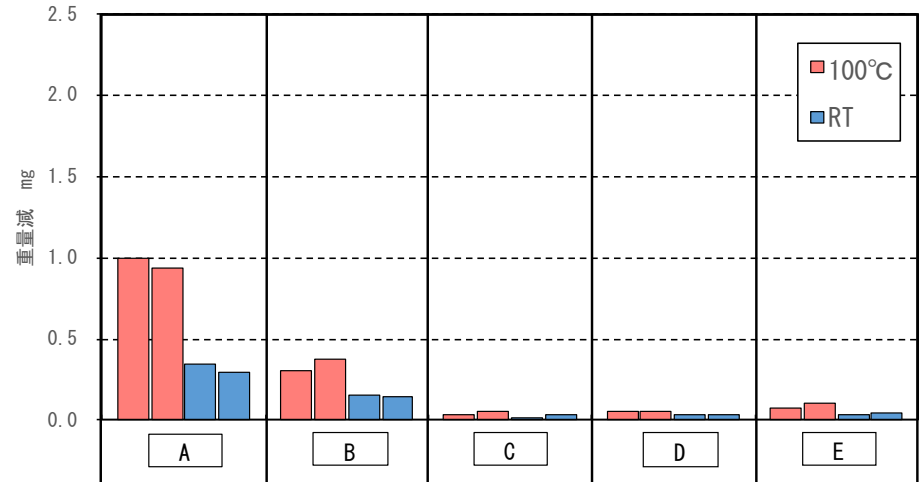
3. 研究開発成果 サブテーマ③シール基盤・応用開発 ピストンリング材の摩擦摩耗とガスエミッション

分解ガス検出量の比較

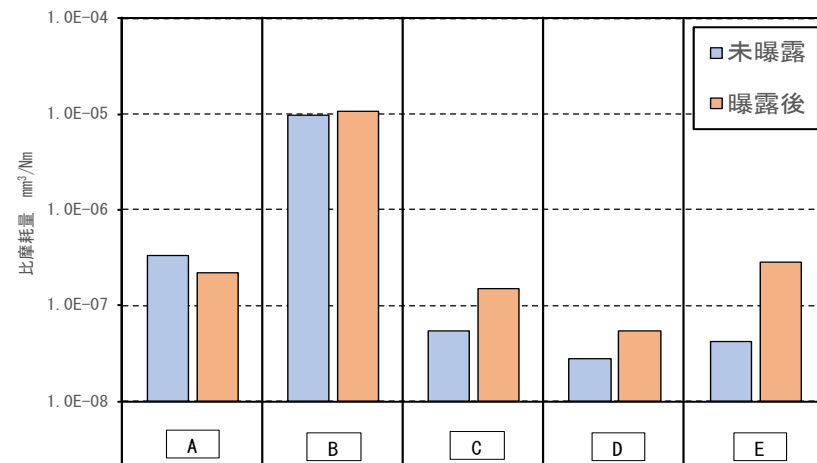


- A** : 高温で良好なしゅう動特性, 低温でのなじみ性不足
分解ガスによるコンタミフリー, 摩擦による水分の上昇, 高圧水素曝露で重量減, 緻密な組織
- B** : 他の材料と比較し高温での耐摩耗性が劣る. 180°Cでシビア摩耗遷移
分解ガスの発生大, 水素侵入量大, 緻密な組織
- C** : 他の材料と比較し高温でのしゅう動特性が劣る. 180°Cで摩擦上昇
分解ガスの発生大, 摩擦による水, 二酸化炭素の発生, 内部に欠陥
- D** : 高温で良好なしゅう動特性, 摩擦・摩耗への温度の影響小
分解ガスの発生大, 摩擦による二酸化炭素の発生, 内部に欠陥多
- E** : 高温で良好なしゅう動特性, 摩擦・摩耗への温度の影響小
分解ガスの発生小, 摩擦による二酸化炭素の発生, 水素侵入量大
内部に微小欠陥多

高圧水素ガス曝露による重量減少

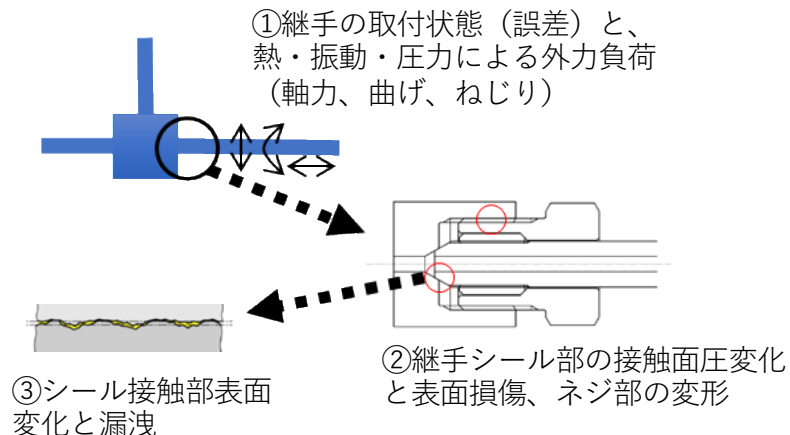


耐摩耗性に対する高圧水素ガス曝露の影響



目的 継手のゆるみと接触界面での漏れ発生に及ぼす、施工時・運転時・メンテナンスにおける配管の組付け精度、温度変化、圧力変化、振動などの因子による影響を明らかにして、新型あるいは改良継手の開発を行い、**機械継手の漏洩リスクの評価方法と漏洩リスク低減の指針**を作成する。

試験装置 C/T継手シール部の**接触面圧変化を6分力計により捉える**継手要素試験装置、**超高压継手要素試験装置**を開発



継手要素試験（主に3/8in配管）

初期ミスアラインメント（取付誤差）	なし	軸方向	横方向
締結試験 繰返し締結試験			
軸力試験 軸力サイクル試験			
曲げサイクル試験			

超高压継手要素試験（主に9/16in配管）

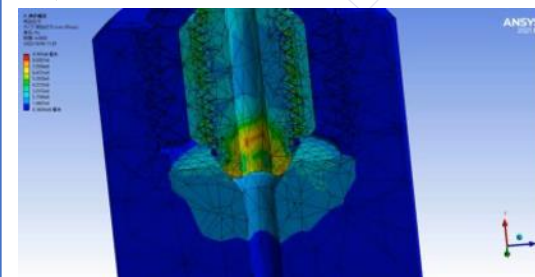
初期ミスアラインメント（取付誤差）	なし	軸方向	横方向
締結試験 繰返し締結試験			
引張漏洩試験			
内圧サイクル試験			

負荷力、負荷モーメントのほか
グリース塗布状態（塗布位置）、管先端の曲率半径、テーパ角などの影響も調査

継手ゆるみの理論解析

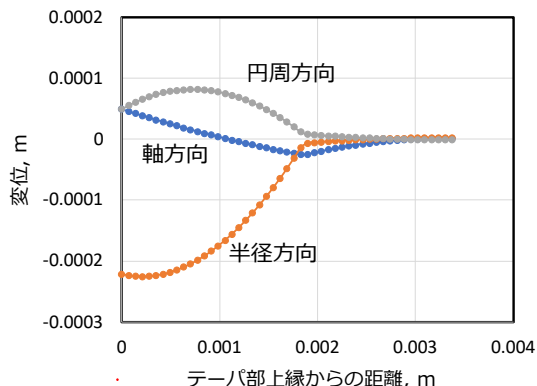
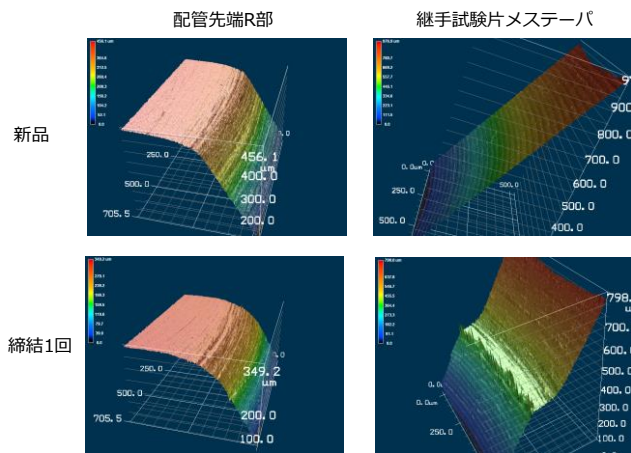
FEM弾塑性非線形解析

締付け後、圧縮下の
Mises等価応力例



締結試験とシール部の粗さ測定

C/T継手では、締付けと外力付与でシール部は大きく塑性変形し**巨視的・微視的**表面形状が変化



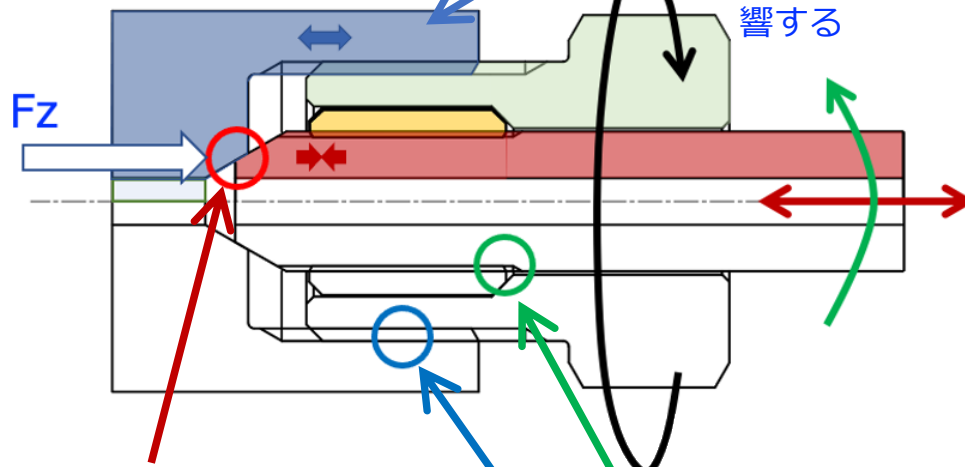
継手テーパ面の変位の分布(FEM解析)

継手の締結とゆるみに関する過程

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

配管の圧縮と本体の引張がつり合う



締付けトルクはネジ部の摩擦に食われる。グリース塗布状態にも依存

初期ミスアライメント（軸方向、横方向）はFzに影響する

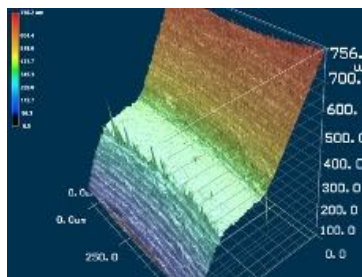
締結するたびにテーパシール部は塑性変形

締結状態で軸方向圧縮力や曲げモーメントが繰返し作用すると塑性変形が進行しFzが低下

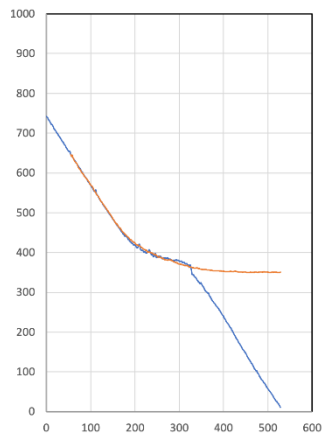
引張力が高いとき塑性変形

繰返し曲げモーメントで緩む可能性

変形後の接触状態



圧縮サイクルを受けたテーパ部



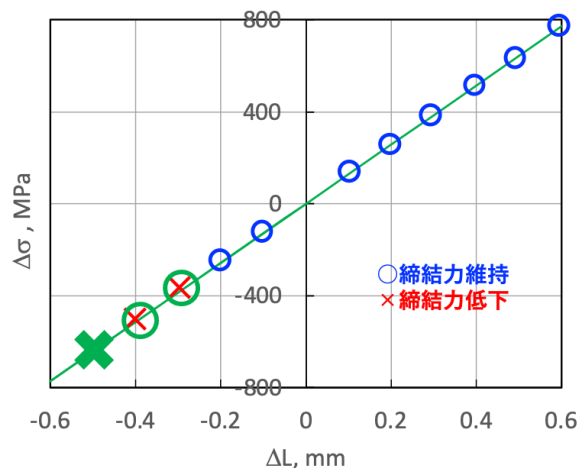
締結後の継手テーパ部と管先端の表面プロファイル

二面ともに塑性変形し、湾曲した接触域が拡大
 ・ ・ 面圧分布要検討

継手改良の検討

改良① 高硬度材

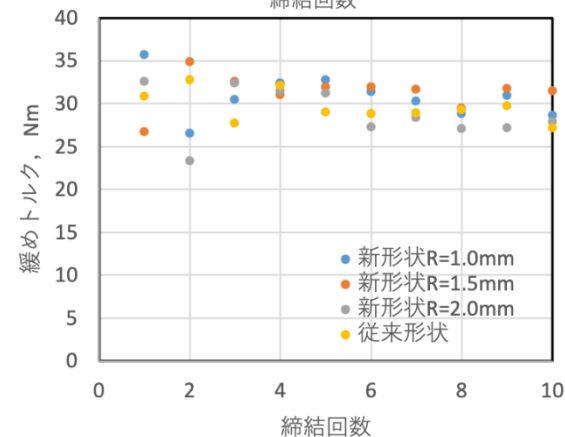
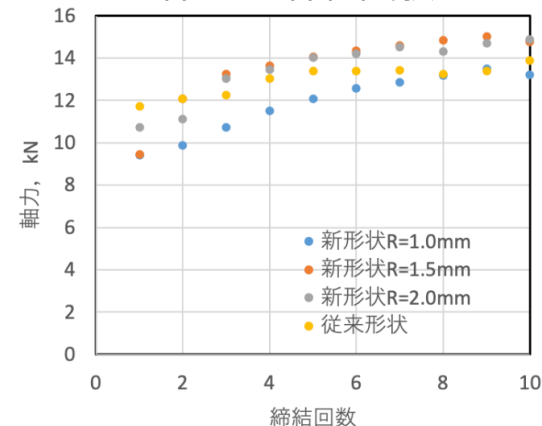
圧縮サイクル試験
 (緑印が高硬度材)



高硬度材は総じて締結力を確保でき外力の作用による緩みを生じにくいことが明らかになったが、シール部での塑性変形によるなじみ性と密封性確保の優劣についてさらに検討が必要。

改良② 新形状継手

繰り返し締結試験



新形状の継手は外力の作用による締結力消失の面では改善がみられなかったが、締結状態のばらつきは小さかった。

2022年度のまとめ

- **要素評価試験・超高压要素評価試験**を続行し、ねじのゆるみとシール性に及ぼす諸因子の影響を整理した（九州大学、フジキン、キッツ）
 - 1) 管先端の曲率半径，テーパ角の影響
 - 2) 圧縮方向ミスアラインメントの影響
 - 3) ガス圧の繰り返し変動の影響
 - 4) シール部表面の形状と表面粗さの測定
- 継手に生じる応力の**FEM弾塑性解析**から、継手テーパ部の**局所的な塑性変形**とともに**巨視的な塑性変形**を裏付け
- 諸因子と漏洩の因果関係にもとづき、**継手の改良（材料、形状）**を検討し、要素評価試験を実施して改良の効果を確認した
- 取付状態と外部負荷と継手の締結力消失（シール部の軸力低下）の関係，および軸力低下と漏洩の関係から**漏えいリスク低減に向けた設計・施工・保守管理の指針**を作成した。

3. 研究開発成果 特許や論文, 学会発表, 広報等の取り組み

(年度)	2018	2019	2020	2021	2022	計
論文(査読付き)	0	0	0	0	0	0件
研究発表・講演	5	6	2	4	3	20件
受賞実績	0	0	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0	0	0件
特許出願(うち外国出願)	0	1(0)	0	1	0	2件

漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。

具体的な成果として、

- 水素ステーションの休業日数の削減：1日/年
- メンテ期間の短縮：2～3日/定修（定修はほぼ1回/年）
- 運営コスト低減：1～2百万円/年

従って、日本全体の水素ステーションでは3.2～6.4億円/年の低減が見込まれる。（2025年度 水素ステーション数：320）

4. 今後の見通しについて 実用化・事業化に向けた具体的取組

項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023~2033
①セーフティーデータベース (SDB) の解析知見の整理	SDBデータ解析継続			同左		最終目標
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	・加速耐久性評価条件案決定			・加速評価条件確立		規格化検討
③シール基盤・改良開発	・使用済みシール部材調査 ・シール部材加速耐久性評価法案確立			・シール部材加速耐久性評価法確立		規格化検討
	・データベース構築	・新規シール部材候補材選定		・新規シール部材		各種水素機器への適用検討
④継手基盤・機器開発	・要素評価試験 ・評価方法の確立 ・理論解析モデル構築			漏えいリスク低減指針 ・新型/改良型継手開発		実用化検討
⑤シール成果に基づく機器開発	・バルプラボ試験実施 ・15,000回充填相当の検証			・バルプラボ試験 ・HRS実証 ・30,000回充填相当の検証		実用化検討

▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

水素ステーションでの利用拡大
水素ステーション機器
以外への用途展開
国内メーカーの国際競争力に寄与