

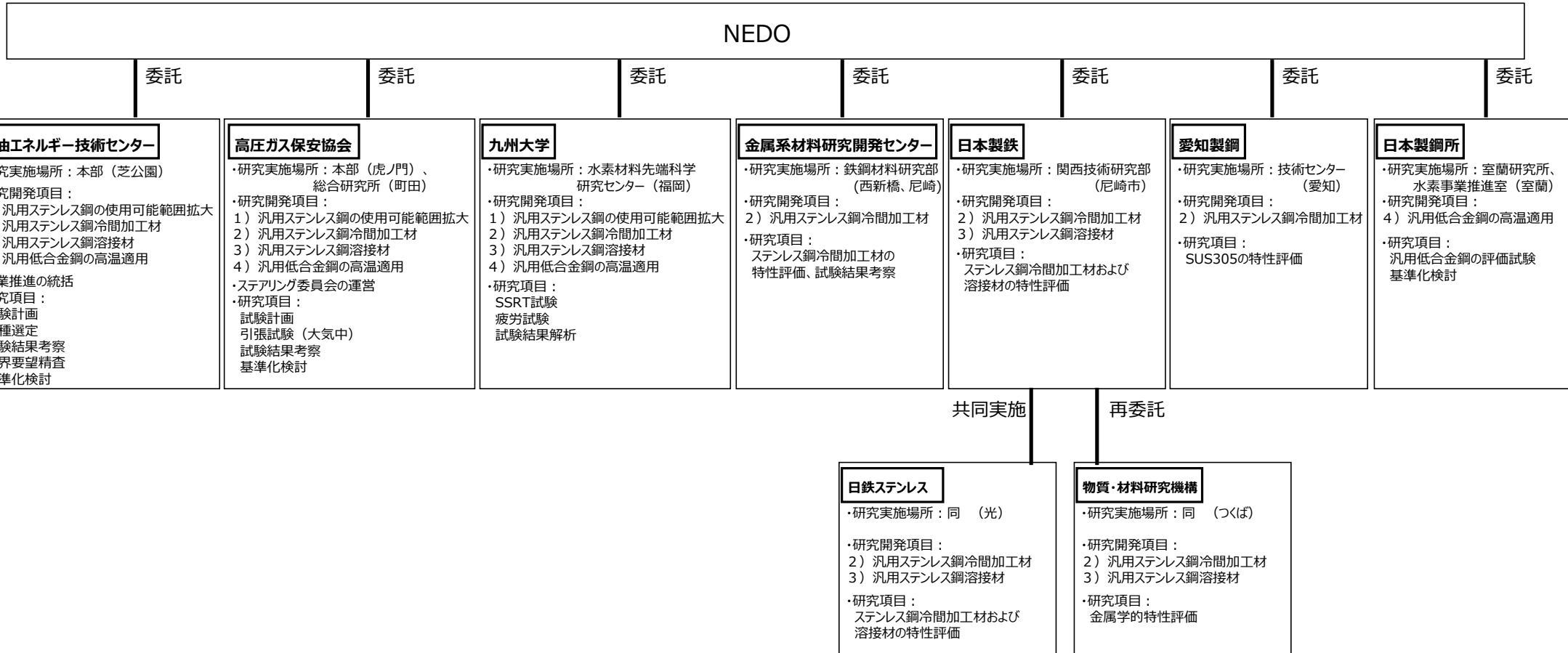
「研究開発項目Ⅰ 規制見直しに関わる技術開発」
テーマ名：新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発
2018年度～2022年度 5年間

プロジェクトの詳細（公開版）

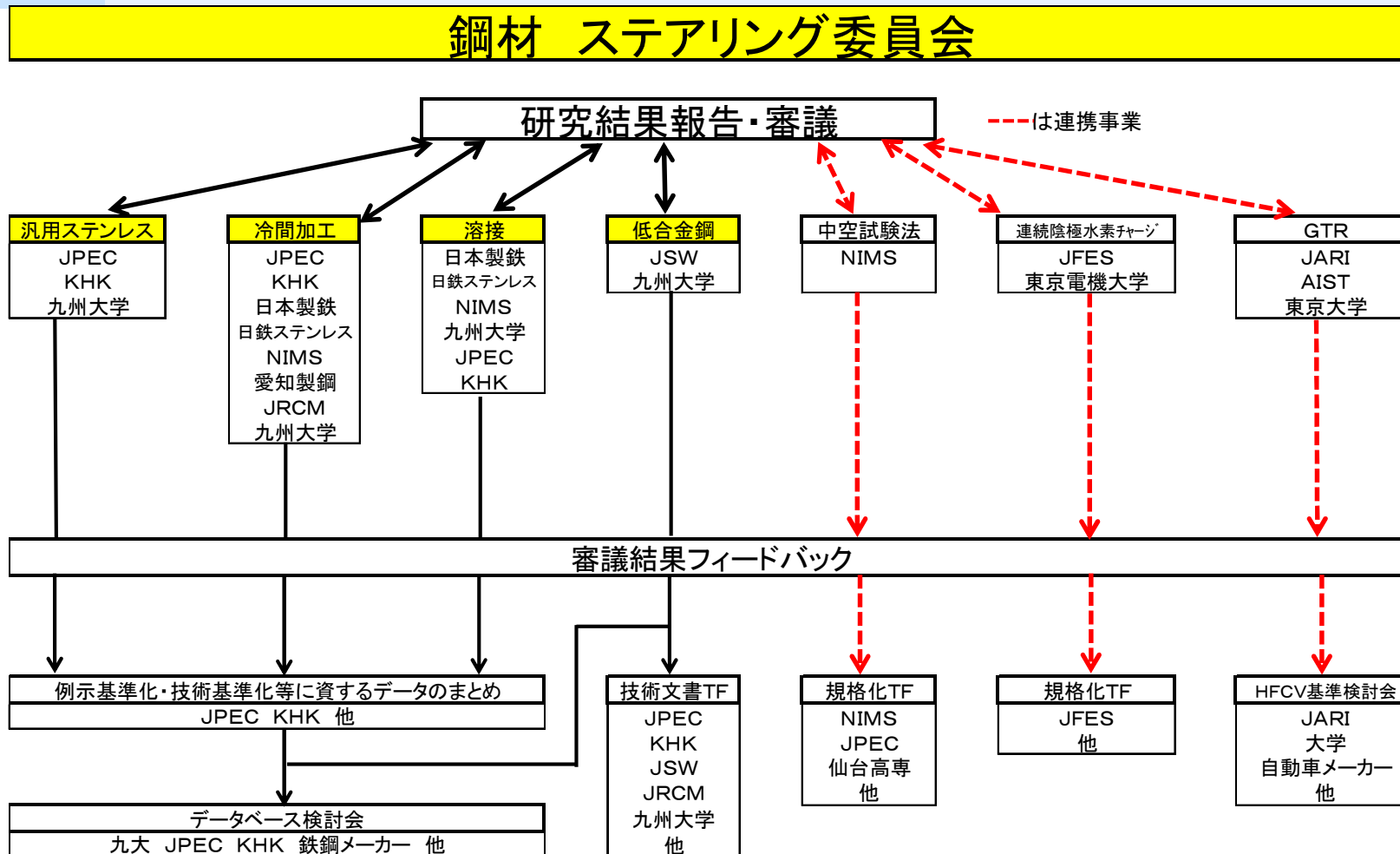
2023年11月21日

発表実施者様 : JPEC

実施体制 (1)



実施体制 (2)



研究開発のスケジュールと予算

研究開発項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	SUS316系の水素適合性検討 SUS316系の基準化検討（新指標） SUS304系の水素適合性検討			中間目標	新指標の判定基準作成 基準化に資する資料作成▽		最終目標
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	SUS316系冷間加工材の水素適合性検討 SUS305冷間加工材の水素適合性、許容引張応力検討				基準化に資する資料作成▽ 適材適所の基準化検討		
	使用条件明確化▽ 使用条件明確化▽				許容引張応力の検討 SUS304系冷間加工材の検討 基準化検討		
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	溶接部の水素適合性検討 技術指針検討				最終目標	技術指針作成▽	
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	低合金鋼の水素適合性検討 技術文書化検討・TF&分科会開催			圧縮機への適用可否判断 技術文書改訂▽			
評価時期			中間評価			事後評価	
予算（億円）	4.6	8.5	5.1	4.8	4.7	-	

テーマ毎の目標達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	新たな水素特性判断基準及びそれを満たす汎用ステンレス鋼を提示し、基準化に資する資料を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> ・伸び基準での新たな水素特性判断基準の考え方を確立した。 ・高圧水素中での安全性や使用者に対する利便性等も考慮し、新たな水素特性判断基準に基づく基準案を作成した。 ・新たな水素特性判断基準を適用する鋼種をSUS305に拡大可能であることを示した。 	○	
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	水素ステーションにおける使用条件を明確化し許容引張応力を検討し、基準化に資する資料を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> ・冷間加工材について水素適合性に関する使用条件を明確化した。 ・冷間加工したSUS316/316L棒材の許容引張応力を設定する上での課題を抽出した。 ・冷間加工したSUS316/316L管の許容引張応力案を策定した。 ・SUS305の冷間加工材がSUH660を代替可能である可能性が示され、許容引張応力の付与に資する実験結果を得た。 ・SUS305母材に関するJIS規格の圧力容器の材料としての新規登録、許容引張応力の付与に資する実験結果を得た。 	○	<p>【課題】 大型の冷間加工材における強度保証方法の確立</p> <p>【解決方針】 加工方法、加工条件の影響を詳細に検討する</p>

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

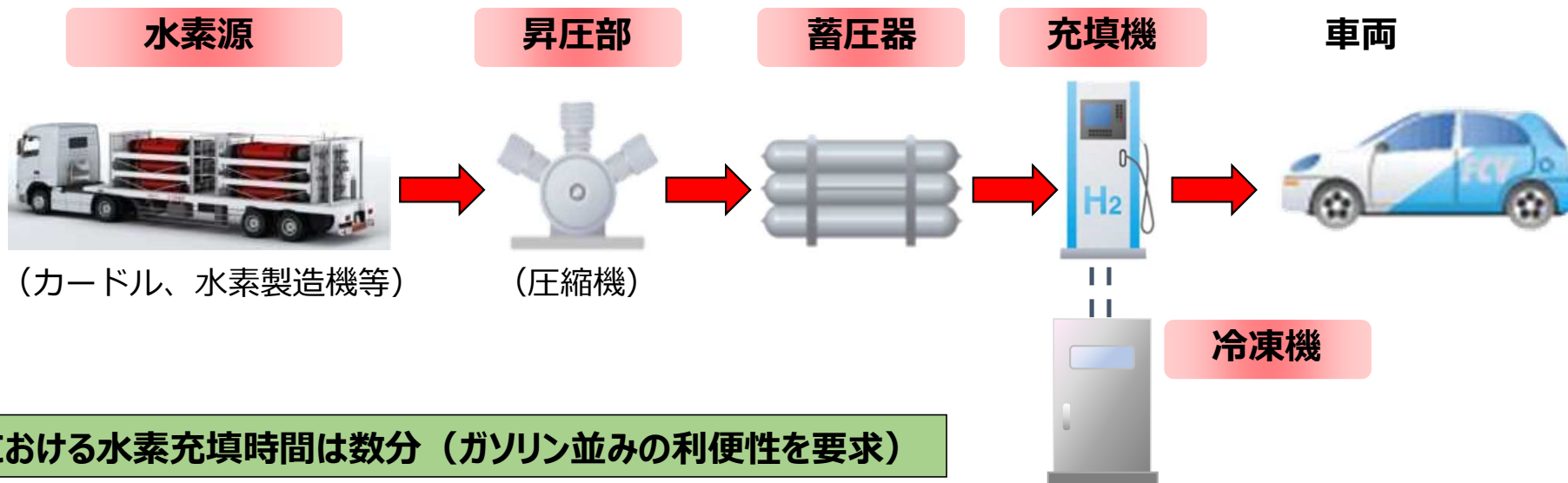
テーマ毎の目標達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	材料特性、水素適合性の測定結果に基づき、技術指針の作成に資するデータを取得し、技術指針案を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> ・材料特性、水素適合性等の技術指針作成に資するデータを取得した。 ・溶接金属のオーステナイト相、フェライト相に求められる要件を整理し、溶接技術指針を作成した。 ・溶接技術指針においてSSRTによる水素適合性の確認が不要となる事例を例示した。 	○	
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断し、検討結果に応じて低合金鋼技術文書を改定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・水素圧縮機の動作状況を模擬した評価方法を確立し、水素適合性を評価した。 ・評価結果を基に、低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003を改訂し汎用低合金鋼の適用温度を圧縮機の範囲に拡張した。 	◎ 成果の前倒し達成 2022年度 ⇒2020年度	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

成果と意義

<はじめに>



水素ステーションにおける水素充填時間は数分（ガソリン並みの利便性を要求）

車両の水素タンク温度の上昇を防ぐため、水素は-40℃程度に冷却

低温・高圧の水素は金属材料への影響（水素脆化）があるため、水素に強い特別な材料を用いる ⇒ Ni当量規制

Ni当量 (12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo) で規制されたオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316/316L)

成果と意義

社会的背景・事業の目的

水素ステーションの普及を着実に進めていくには、水素ステーション事業の自立化に向けたコスト低減のためのさらなる取り組みが必要である。前NEDO事業において水素ステーションで用いられる鋼材の鋼種拡大に取り組んできたが、水素ステーションの超高压水素部に用いることができる材料は、他産業で用いられるものとはかけ離れているのが実情であり、今後は市中に流通するレベルの汎用材を使用可能にしていくことが重要である。また、本検討は第5期規制改革実施計画「No.39 水素特性判断基準に関わる例示基準の改正等の検討」に沿って行うものである。

プロジェクトとしての達成状況

鋼材の材料範囲の拡大に必要な新たな水素特性判断基準の確立、鋼材の用途拡大に向けた冷間加工や溶接に関する研究、高温高压水素での使用可能範囲拡大に向けた低合金鋼に関する研究を実施し、これらの水素適合性や機械的性質等に関する実験結果を基に、基準化に資する技術基準案の作成または技術文書の改訂に取り組んだ。伸びを指標とする新たな水素適合性判断の確立により、SUS316系材料の範囲拡大を可能とする技術基準案を始め、冷間加工材、溶接、低合金鋼についても高压水素での使用に関する基準案や技術指針の作成を完了した。

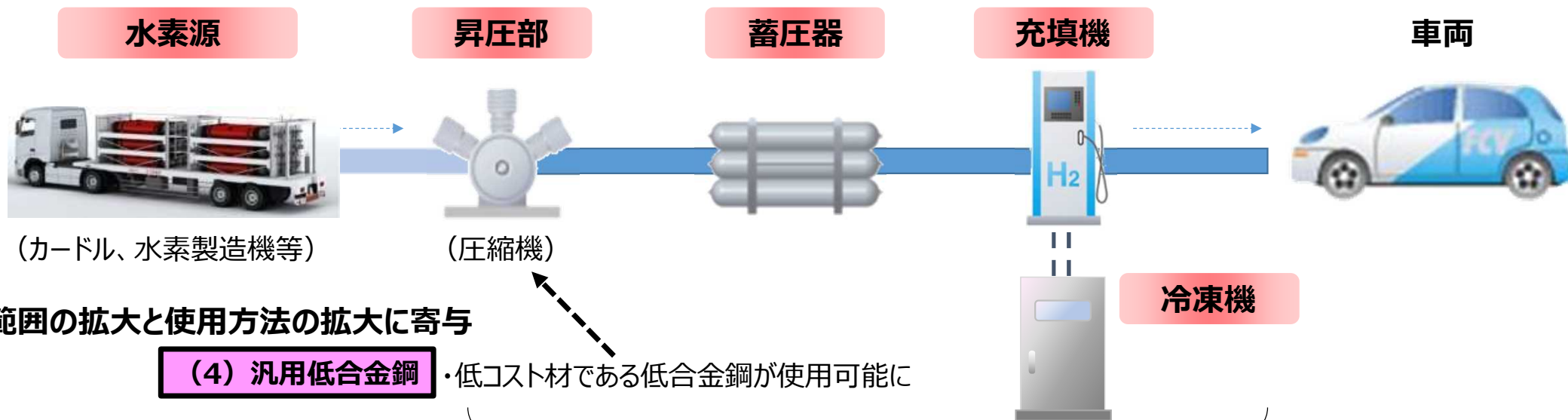
成果の意義

本事業の推進により、新たな水素特性判断基準の検討により纏められた技術基準案は一般則例示基準9.2の改正・規制緩和に大きく貢献、汎用レベルのステンレス鋼の高压水素部への使用が可能となりNi、Moの省資源化や材料の流通性・入手性の改善に繋がる。また、冷間加工材の検討では重要なデータ・知見を得ることができ汎用材による高強度部材の例示基準化に向けた研究の加速が期待できる。さらに、溶接の検討ではAsweldでも高压水素部への使用が可能なることを技術指針に例示・公開し、ガス漏洩に関する信頼性向上に貢献する。また、低合金鋼の検討結果は低合金鋼技術文書の改訂に寄与し、水素圧縮機の高圧部での汎用低合金鋼の使用を可能とせしめ、材料コスト低減、入手性、加工性の改善をもたらす。これらの研究成果は水素ステーションの整備・普及においてより低コスト材料の使用を可能とし、利便性の向上に資するものである。

成果と意義

【本研究の成果の意義】

水素ステーションに関わる、高圧水素機器の部材低廉化と利便性向上



(1) 汎用ステンレス鋼

・規制緩和に資する研究結果

⇒汎用的なSUS316/316Lが使用可能に

(2) 冷間加工

・高圧水素への適用可能を明確化
・許容引張応力の設定に資する研究結果

⇒一般則例示基準化に向けた土台作り

(3) 溶接

・溶接まま(As weld)でも高圧水素で使用可能であることの例示
・高圧水素での使用に好適な組合せ、判断方法を技術指針化

⇒溶接使用における利便性向上
水素漏洩リスクの低減

高圧水素機器・高圧水素配管

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

利用可能

見込

① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

- ・伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準の確立
- ・-45℃高圧水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の基準案の作成
- ・適材適所化に向けた-10℃・20℃高圧水素中の基準案の作成
- ・SUS305への基準案の拡張

② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

- ・水素適合性に関する使用条件の明確化
- ・許容引張応力の設定における課題抽出・管の許容引張応力案の作成
- ・SUS305：水素適合性、許容引張応力に関するデータの取得

③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

- ・母材・溶接材料・溶接部の水素適合性評価
- ・水素適合性の判断基準の明確化と技術指針化
- ・溶接まま(As weld)で使用できる事例の確立と技術指針化

④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

- ・高温での使用を想定した実験手法を確立、各種評価試験完了
- ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了、圧縮機への適用拡大

➡ 例示基準の改正：-45℃基準
使用可能なNi当量を26.9%に低減

➡ 非プレクール部の材料範囲拡大提案

➡ 例示基準材の特定則範囲の曲げ：
規制追加・制限の必要なし

SUS305の圧力容器材料適用

高強度・軽量な汎用材の利用拡大

➡ 溶接の利用促進⇒漏洩リスクの低減
一般申請における技術的補助

➡ 圧縮機高温部での利用：
入手性・工作性・コスト改善

成果と意義

① 汎用ステンレス鋼

開発項目① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

成果 1) 伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準の確立

高压容器の材料 ⇒ 使用条件における**強度・延性・疲労特性**の確保が必要

<伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準の概要>

強度	使用条件となる温度・水素圧力において、強度が低下しないこと 引張強さの相対比 RTS (水素中の引張強さ / 大気中の引張強さ) = 1
延性	使用条件となる温度・水素圧力において、一様伸びを確保していること 使用条件となる温度・水素圧力において、規格材料レベルの伸びを有していること 実材料の伸び × REL (伸びの相対比) \geq 伸びの材料規格値
疲労特性	使用条件となる温度・水素圧力において、疲労限度が大気中と変わらないこと

RELは「超高压ガス設備に関する基準」KHKS 0220記載の式3を用いる。

$REL = 0.6 + 0.4 \times \tanh[(Ni当量 - 26.51) / 1.49]$ (-45℃の場合)

<新たな水素適合性判断基準を満たすSUS316/316LのNi当量> 実験結果に基づき、26.8%以上と結論

意義 伸びを指標とする新たな水素適合性判断の確立によって、その後の基準案の作成、材料範囲の拡大につながった

成果と意義

① 汎用ステンレス鋼

開発項目① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

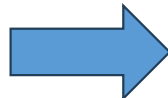
成果 2) -45℃高圧水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の基準案の作成

新指標の実効性（市場での入手性）、従来例示基準との整合性、材料形状の影響も加味し基準案を作成

＜伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準に基づく-45℃における材料範囲の基準案＞

(本事業開始時)

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 (60%) に対し 75%以上	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上



新基準案 (施行済み)

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 の通り	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

温度範囲	材料形状	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	棒	57%以上	26.9% 以上
	管	50%以上	
	鍛鋼	42%以上	

・絞りの基準を撤廃

・-45℃において使用できるNi当量の低減

28.5%⇒26.9%

意義 例示基準化に寄与：事業期間中（2020年11月）に、基準案の内容が例示基準化された

成果と意義

① 汎用ステンレス鋼

研究成果の社会実装

一般則例示基準9.2改正のパブリックコメントにおける新旧対照表

材料の種類	常用の圧力 (82MPa 以下) における常用の温度	ニッケル当量 (注1)
JIS G 3214 (2009) 压力容器用ステンレス鋼 鍛鋼品 (SUSF316, SUSF316L に限る。)	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 42%以上にあつては、26.9 以上)
	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 42%以上にあつては、26.9 以上)
	20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G 3459 (2016) 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP, SUS316LTP に限る。)	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
	20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G 4303 (2012) ステンレス鋼棒 (SUS316, SUS316L に限る。(注2))	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
JIS G 4304 (2012) 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316, SUS316L に限る。)	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
JIS G 4305 (2012) 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316, SUS316L に限る。)	20℃以上 250℃以下	26.3 以上

(注1) ニッケル当量は次式によって求めること。

$$\text{ニッケル当量 (質量\%)} = 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$
 ここで、Cは炭素、Siはケイ素、Mnはマンガン、Niはニッケル、Crはクロム及びMoはモリブデンの各質量分率の値(%)を示す。
 また、「伸び」とは、規格材料の引張試験又はミルシートにおける伸びを示す。
 (注2) ただし、熱間加工ままの状態を除く。

基準案①のとおり例示基準化

材料の種類	規格材料の引張試験又はミルシートにおける絞り	圧力・温度の条件	常用の温度におけるニッケル当量 (注1)
JIS G 3214 (2009) 压力容器用ステンレス鋼鍛鋼品 (SUSF316, SUSF316L に限る。)	75%以上	常用の圧力 : 82MPa 以下 常用の温度 : -45℃以上 250℃以下	-45℃以上 -10℃未満である場合にあっては 28.5 以上
JIS G 3459 (2004) 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP, SUS316LTP に限る。)			-10℃以上 20℃未満である場合にあっては 27.4 以上
JIS G 4303 (2005) ステンレス鋼棒 (SUS316, SUS316L に限る。)			20℃以上 250℃以下である場合にあっては 26.3 以上 (下図参照。)
JIS G 4304 (2010) 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316, SUS316L に限る。)			
JIS G 4305 (2010) 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316, SUS316L に限る。)			

(注1) ニッケル当量は次式によって求めること。

$$\text{ニッケル当量 (質量\%)} = 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$
 ここで、Cは炭素、Siはケイ素、Mnはマンガン、Niはニッケル、Crはクロム及びMoはモリブデンの各質量分率の値(%)を示す。

図 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

成果と意義

① 汎用ステンレス鋼

開発項目① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

成果 3) 適材適所化に向けた基準案の作成 (-10℃・20℃高圧水素中、SUS305への拡張)

材料の種類	常用温度の範囲	Ni当量 (平山の式)
JIS G3214 圧力容器用ステンレス鍛工品 (SUSF316、SUSF316L)	-45℃以上250℃以下	28.5%以上 (伸びが42%以上の場合にあっては26.9%以上)
	-10℃以上250℃以下	27.4%以上 (伸びが42%以上の場合にあっては 26.0% 以上)
	20℃以上250℃以下	26.3%以上 (伸びが42%以上の場合にあっては 24.6% 以上)
JIS G3459 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LTP)	-45℃以上250℃以下	28.5%以上 (伸びが50%以上の場合にあっては26.9%以上)
	-10℃以上250℃以下	27.4%以上 (伸びが50%以上の場合にあっては 26.0% 以上)
	20℃以上250℃以下	26.3%以上 (伸びが50%以上の場合にあっては 24.6% 以上)
JIS G4303 ステンレス鋼棒、 JIS G4304 熱間圧延ステンレス鋼板および鋼帯、 JIS G4305 冷間圧延ステンレス鋼板および鋼帯 (SUS305 、SUS316、SUS316L)	-45℃以上250℃以下 (注)	28.5%以上 (伸びが57%以上の場合にあっては26.9%以上)
	-10℃以上250℃以下 (注)	27.4%以上 (伸びが57%以上の場合にあっては 26.0% 以上)
	20℃以上250℃以下 (注) 注：SUS305は許容引張 応力が付与された温度まで	26.3%以上 (伸びが57%以上の場合にあっては 24.6% 以上)

Ni当量の低減

・-10℃～250℃

27.4%⇒26.0%

・20℃～250℃

26.3%⇒24.6%

今後、METIへ提案予定

① 汎用ステンレス鋼

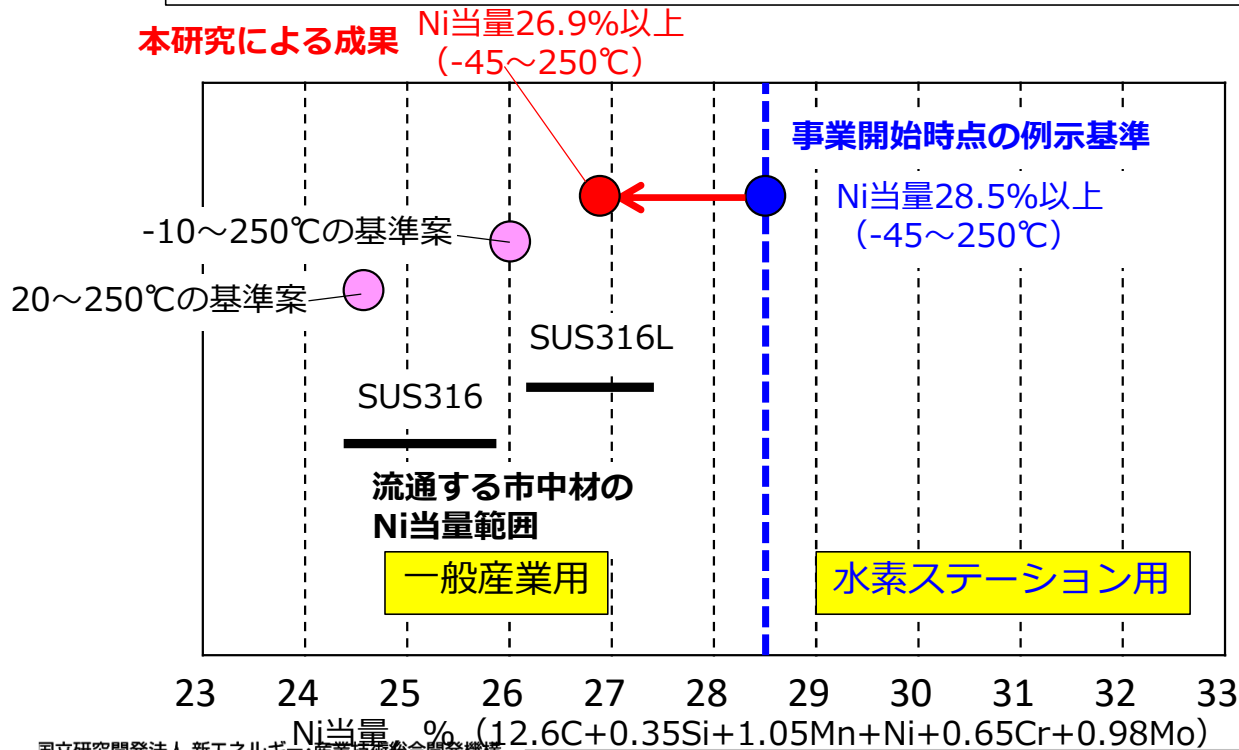
成果と意義

開発項目① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

本研究成果の意義

Ni当量規制の緩和：一般則例示基準9.2表 (三)

高圧水素において使用できるステンレス鋼の材料範囲を拡大



事業開始時点

一般産業用途で用いられるSUS316/316Lは-45°Cの高圧水素で使用できない (材料の特殊化)



本研究成果

-45°CにおけるNi当量を引き下げたことにより汎用レベルのSUS316/316Lが使用可能に

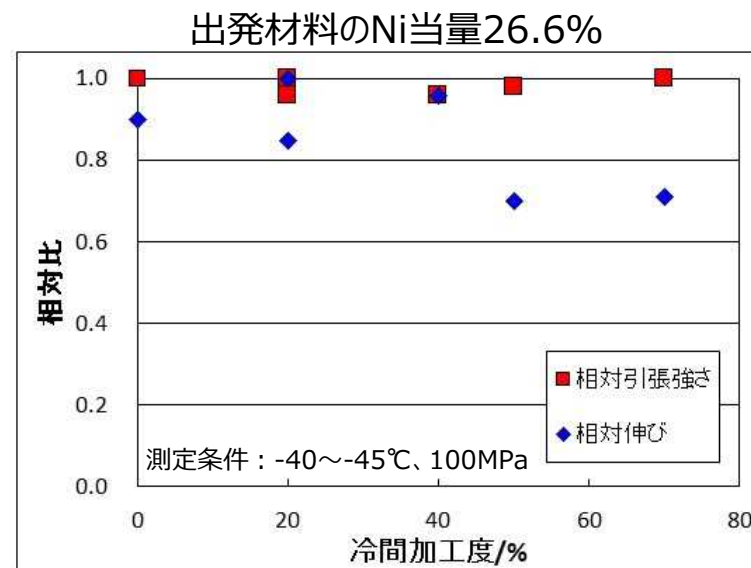
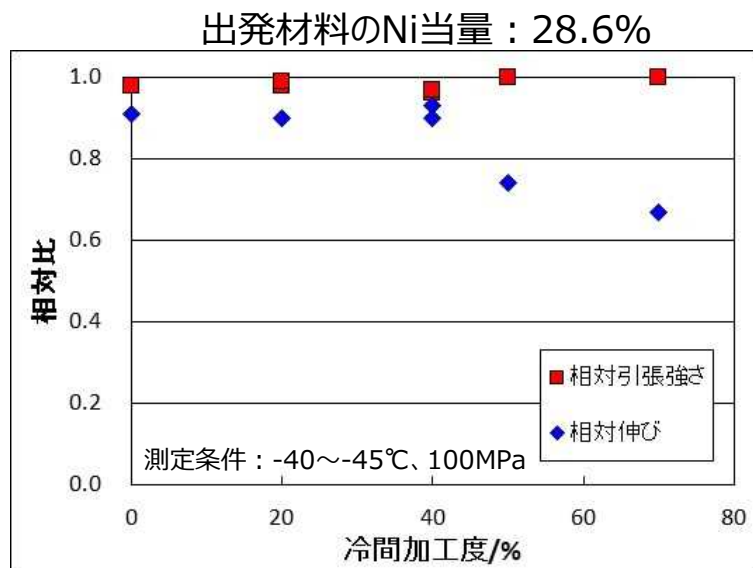
非プレクール部(-10°C)ではほぼ全ての市中材のSUS316Lが使用可能になる見込み
さらに、20°C以上で使用する場合はSUS316の使用が視野に入る

成果と意義

②冷間加工

成果 1) 水素適合性に関する使用条件の明確化

＜水素適合性に対する冷間加工度の影響＞



伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準に適合する材料を冷間加工 ⇒ 冷間加工度40%まで影響なし

意義 特定則（別添）の管の曲げ半径（曲げ＝冷間加工の一種）の範囲では水素適合性に影響しないことがわかった
 曲げに関しては特定則に従えば高圧水素で使用でき、水素適合性に関する新たな条項・制限の追加の必要はない

成果と意義

開発項目②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

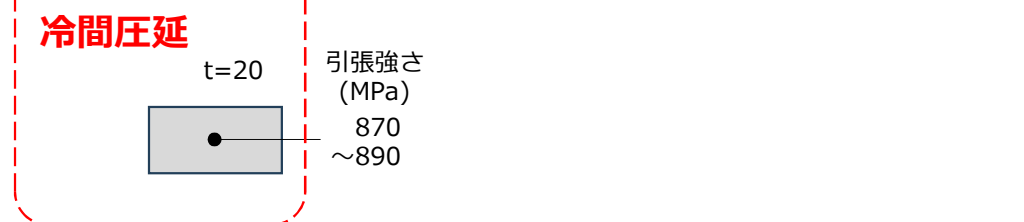
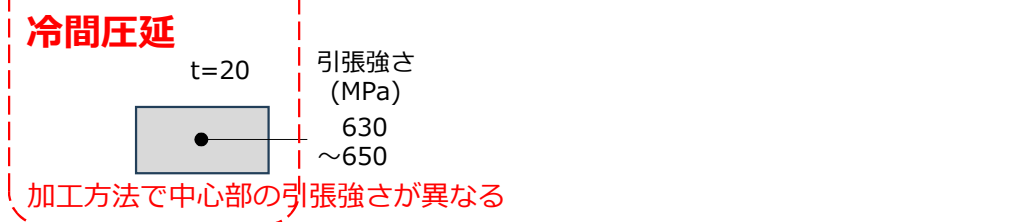
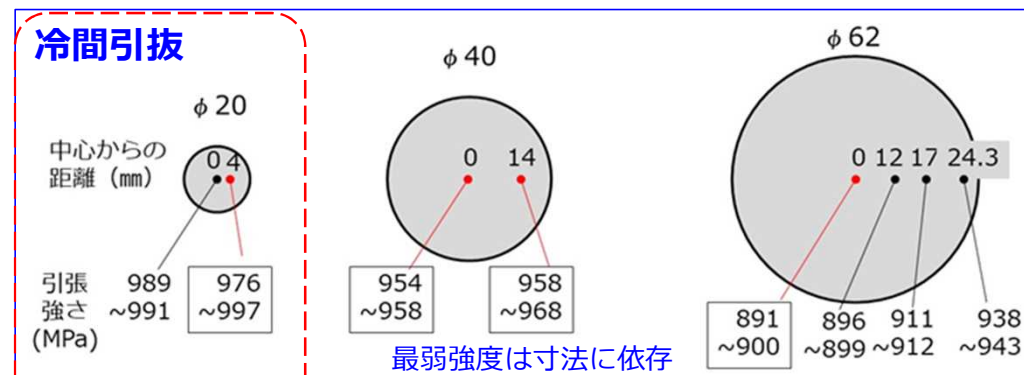
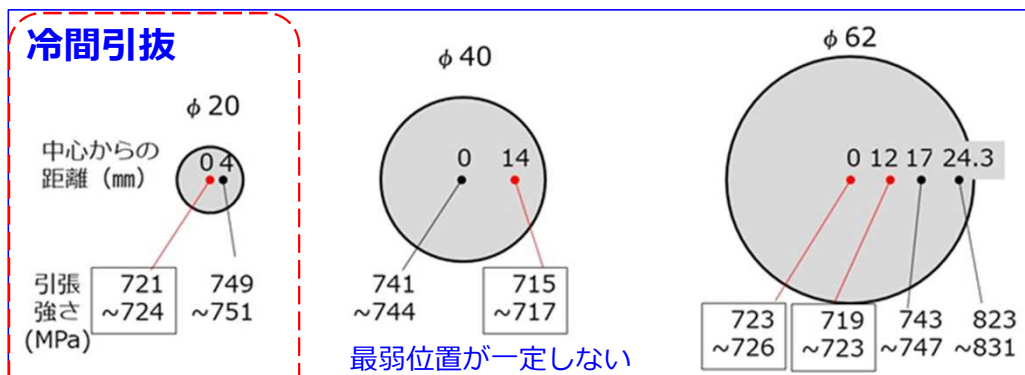
成果 2) 許容引張応力の設定に関する検討

棒材・板材：材料寸法・加工度・加工方法が影響

内部への加工の入り方の違いが原因と考えられる

冷間加工度20%

冷間加工度40%



意義 基準化に向けた重要な知見

許容引張応力の設定には材料強度の保証が必要、材料強度の保証方法の確立を課題として抽出

成果と意義

②冷間加工

管：冷間加工した管の機械的性質値と許容引張応力の案を作成

全断面試験片を用いることで材料の強度保証が可能

⇒11号試験片（管状）の使用を要求

水素インフラにおける事前評価状況、ニーズを反映した機械的性質値

○JISG3459 SUS316TP/SUS316LTPを冷間加工した管の規格値（機械的性質値）案

	0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り	備考
機械的性質	500MPa	800MPa	12%	-	<ul style="list-style-type: none"> ・11号試験片を使用 ・外径25.4mmまで ・使用上限300℃

○JISG3459 SUS316TP/SUS316LTPを加工した管の許容引張応力案

実測による表とKHKS 0220の強度低下係数による表の2案を比較検討

温度 (°C)	~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
許容引張応力 (MPa)	200	188	184	181	177	175	172	171	169	168	168
(備考) 加工後の引張強さは800MPa以上であること (11号試験片によること) 加工後の0.2%耐力は500MPa以上であること (11号試験片によること) 冷間加工度 (減面率) の範囲は20%~50%であること											

意義 加工しない管に比べ約1.6倍の許容引張応力値

使用実績、確立された理論に立脚した許容引張応力案 ⇒基準化に資する

成果と意義

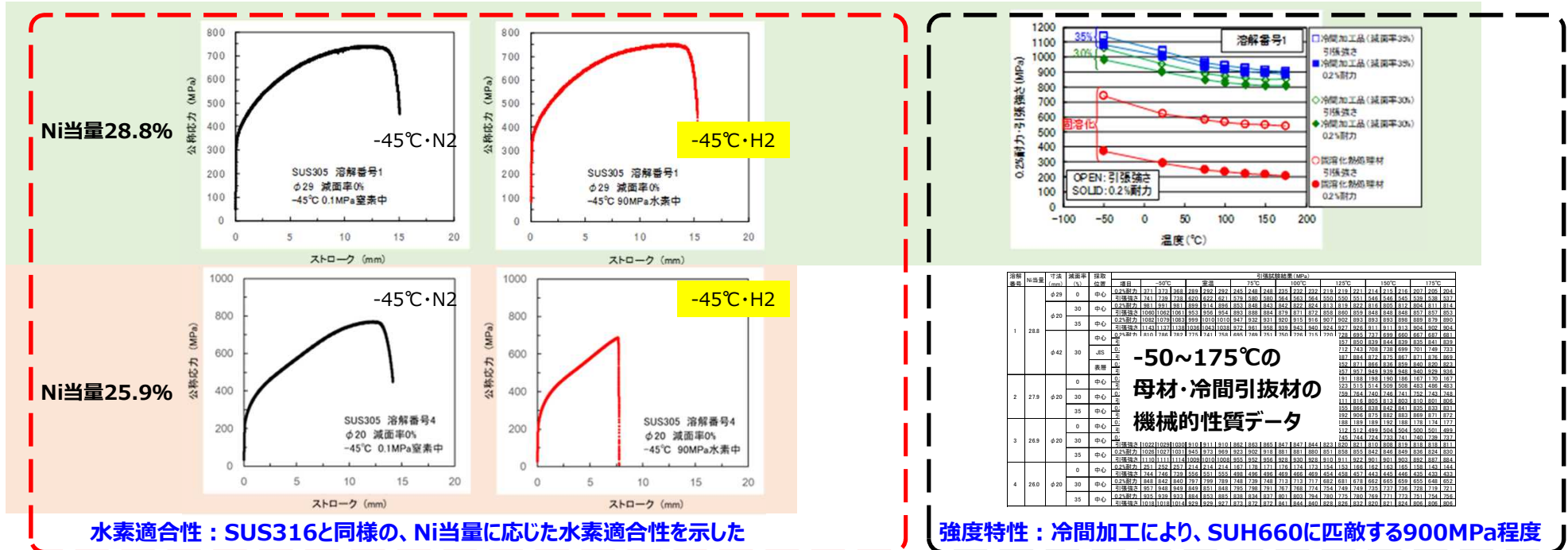
開発項目②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果 3) SUS305に関する水素適合性、許容引張応力に関するデータの取得

SUS305 : SUS316やSUS304と同じ構造を有するオーステナイト鋼。

Moを含まず省資源性・快削性・冷間加工による高強度化 ⇒ SUH660の代替の可能性

Ni当量4種、外径φ20~42、冷間加工度0~35%のSUS305冷間引抜材：水素適合性・強度特性に関するデータ群の構築



意義 SUS305の冷間加工材がSUH660を代替可能である可能性が示され、許容引張応力の付与に資する実験結果が得られた
 SUS305の母材について基準化に資する水素適合性の結果が得られた

(3)溶接

成果と意義

開発項目③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

成果 1)母材・溶接材料・溶接部の水素適合性評価

As weld(溶接まま)での母材・溶接材料・溶接部の水素適合性、金属組織を評価

表 -40℃×70MPa高圧水素環境下での水素適合性評価結果(SSRT試験)

	母材 (Ni当量)	SUS304L (23.5%)	SUS304LN (25.2%)	SUS316L (26.5%)	高Ni当量 SUS316L(28.5%)
溶接材料 (Ni当量)	水素適合性	REL: 29.4% RRA: 18.1%	REL: 72.3% RRA: 51.7%	REL: 46.2% RRA: 40.8%	REL: 94.9% RRA: 79.7%
YS308L (24.7%)	REL: 43.3% RRA: 30.9%	—	—	—	RRA: 27.6% (母材/溶接金属)
308LN (26.4%)	REL: 91.6% RRA: 82.4%	—	—	—	RRA: 72.9% (母材/母材)
YS316L (29.4%)	REL: 114.9% RRA: 94.4%	RRA: 18.4% (溶接金属/母材)	RRA: 56.2% (溶接金属/溶接金属)	RRA: 32.6% (溶接金属/母材)	RRA: 66.1% (溶接金属/溶接金属)
YS309LMo (33.9%)	REL: 89.8% RRA: 93.3%	RRA: 16.3% (溶接金属/母材)	RRA: 69.1% (溶接金属/溶接金属)	RRA: 46.6% (溶接金属/母材)	RRA: 94.3% (母材/溶接金属)

← 母材の水素適合性

→ 母材希釈率の影響を深掘り

溶接部の水素適合性

↑ 溶接材料の水素適合性

意義 溶接技術指針の作成、好適な溶接材料組み合わせ検討の基礎となる実験結果が得られた

成果と意義

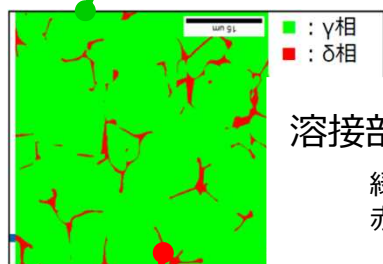
(3) 溶接

開発項目③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

成果 2)水素適合性の判断基準の明確化と技術指針化

＜As weldでの水素適合性判断基準＞ **溶接金属部分の水素適合性に関するオーステナイト相・フェライト相の要件整理**

- 溶接金属の**オーステナイト相**：Ni当量26.8%以上であること ⇒低温高圧水素中で強度・延性・疲労が確保できる
(EPMAで解析可能) (伸び基準の水素適合性を満たすオーステナイト相)



溶接部のEBSD解析例

緑色：オーステナイト相
赤色：フェライト相

凝固モードの違いにも言及

Ni当量を確認する位置 FAモード：δフェライトの近傍

AFモード：オーステナイト粒内の中央
オーステナイト相のNi当量が、低くなり易い所で26.8%以上

- 溶接金属の**フェライト相**：溶接金属内で連通せずオーステナイト中に分散

- ・フェライト相が分散 ⇒ 水素適合性に影響しないとの研究報告あり
- ・フェライト相が連通 ⇒ フェライト相でき裂進展し、溶接部が破断する現象はNG

水素適合性が高いオーステナイト相 & 阻害しないフェライト相

意義 EPMA・EBSDで溶接金属の水素適合性が判断可能であり、SSRTを用いないことは事業者の負担を軽減できる

成果と意義

開発項目③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

成果 3)As weldで使用できる事例の確立と技術指針化

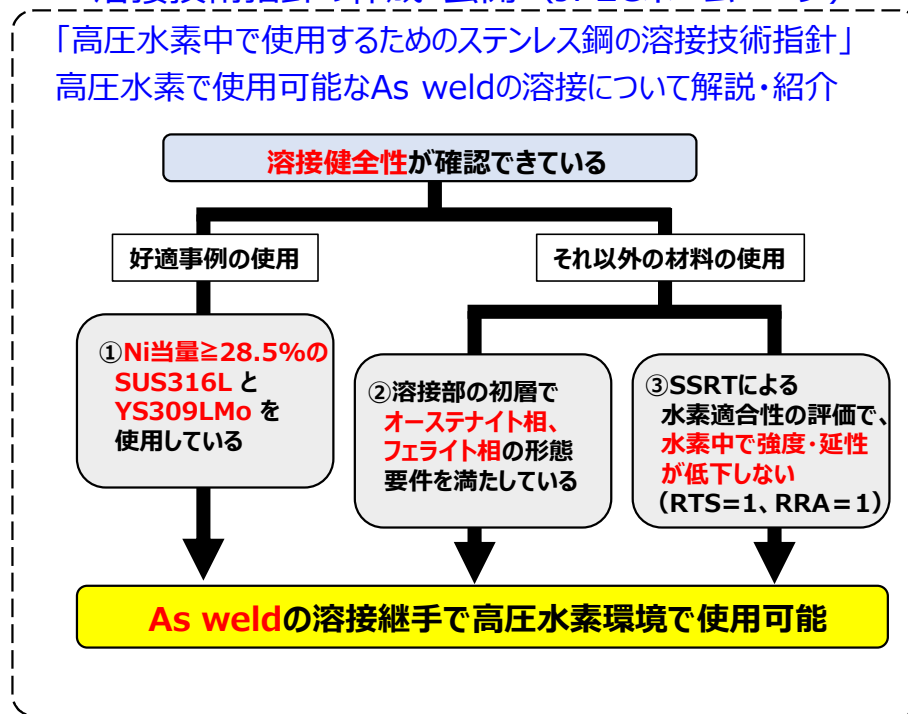
好適事例：Ni当量28.5%以上のSUS316LとYS309LMoの組合せ

母材希釈率 0% ^①	24.39% ^②	40.18% ^③	59.68% ^④	74.83% ^⑤	100% ^⑥
入熱量 6-10 kJ/cm ^②	12kJ/cm ^③	15 kJ/cm ^④	12 kJ/cm ^⑤	16.5 kJ/cm ^⑥	9.2kJ/cm ^⑦
光学顕微鏡像 ^⑧					
EBSD 像 ^⑨					
δフェライト量 ^⑩	13.2% ^⑪	12.9% ^⑫	8.5% ^⑬	6.5% ^⑭	5.1% ^⑮
オーステナイト相-Ni当量 (平山の式) ^⑯	32.3% ^⑰	32.1% ^⑱	31.4% ^⑲	30.7% ^⑳	27.6% ^㉑
フェライト相構造 (基準：非貫通構造) ^㉒					
良 ^㉓	良 ^㉔	良 ^㉕	良 ^㉖	良 ^㉗	良 ^㉘
オーステナイト相構造 (Ni 当量 (平山の式) 26.8%以上) ^㉙					
良 ^㉚	良 ^㉛	良 ^㉜	良 ^㉝	良 ^㉞	良 ^㉟
水素適合性判定結果 ^㊱					
良 ^㊲	良 ^㊳	良 ^㊴	良 ^㊵	良 ^㊶	良 ^㊷
(参考値) 溶接金属部 SSRT (-40℃、水素圧 70MPa) ^㊸					
RRA: 0.933 ^㊹	0.999 ^㊺	1.080 ^㊻	1.089 ^㊼	0.951 ^㊽	0.663 ^㊾
REL: 0.898 ^㊿	1.093 ^㊿	1.109 ^㊿	0.912 ^㊿	1.222 ^㊿	0.829 ^㊿
RTS: 0.986 ^㊿	1.015 ^㊿	1.016 ^㊿	1.011 ^㊿	1.021 ^㊿	1.019 ^㊿

母材希釈率0~100%
で溶接部組織を確認
・フェライト相
・オーステナイト相

母材希釈率0~100%
でSSRTで確認した
水素適合性も良好

溶接技術指針の作成・公開 (JPECホームページ)
「高圧水素中で使用するためのステンレス鋼の溶接技術指針」
高圧水素で使用可能なAs weldの溶接について解説・紹介



意義

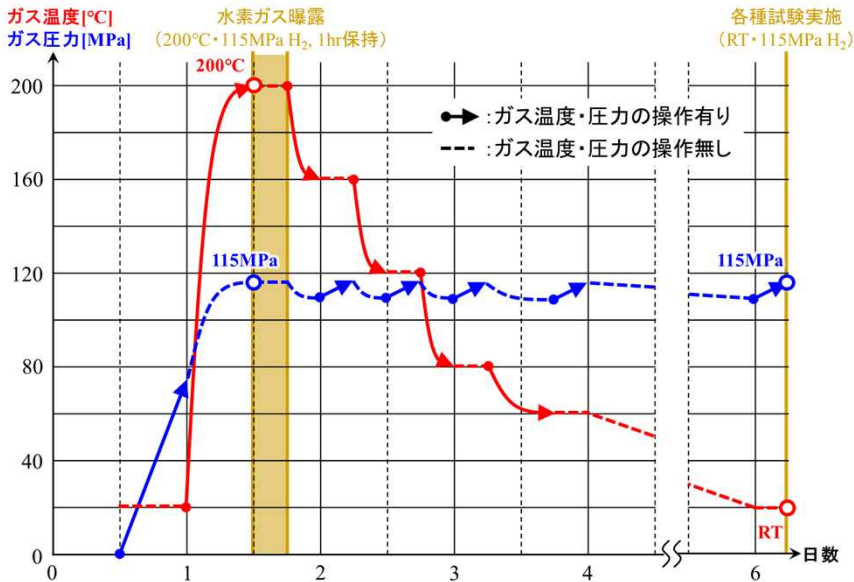
高圧水素で使用可能であり水素適合性の確認不要なAs weldの汎用ステンレス鋼の例示、判断基準の解説を技術指針として公開 ⇒ 一般申請での活用を期待、溶接の利用を促すことで水素漏洩リスクの低減に資する

成果と意義

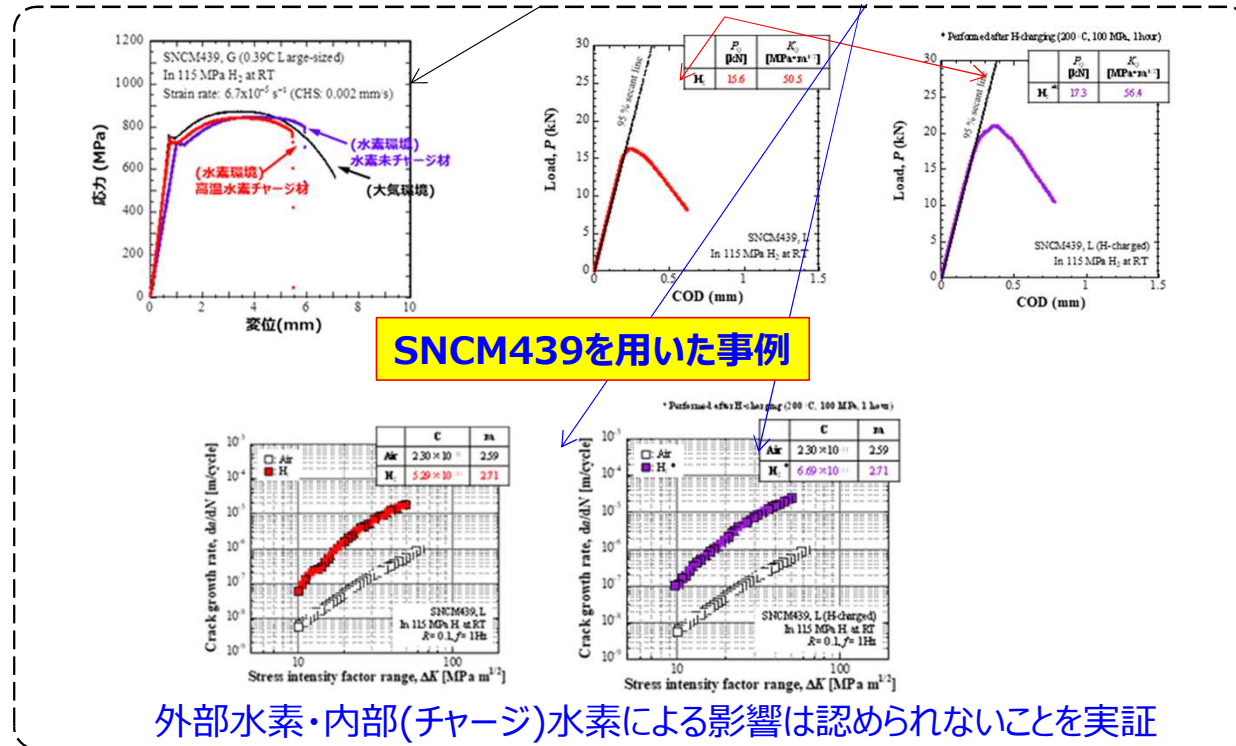
開発項目④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

成果 1) 高温での使用を想定した実験手法を確立、各種評価試験完了

○水素圧縮機内の環境を模擬した高温高压水素チャージプロセス



○水素チャージ材によるSSRT、き裂進展、破壊靱性の評価

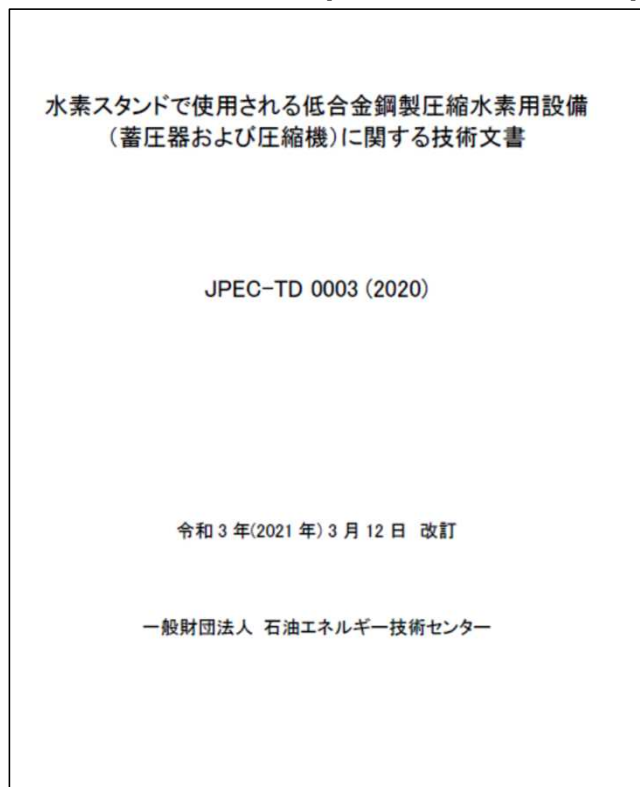


意義 汎用低合金鋼を水素圧縮機の高温部に使用できる技術的な根拠が得られた

成果と意義

開発項目④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

成果 2)低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了、圧縮機への適用拡大



1 適用範囲

本技術文書においては、水素スタンドで使用される鋼製蓄圧器の詳細基準事前評価申請を想定し、高圧水素環境下での長期使用を鑑み、現行の特定設備検査規則及び特定設備の技術基準の解釈の規定以外に考慮すべき注意事項及び判定根拠を技術文書として例示する。

常用の圧力：	40MPaを超える圧力とする。
設計圧力：	高圧水素環境下で当該材料特性を評価した際の試験圧力を超えないこと。
設計温度：	下限温度を-30℃、上限温度を200℃と想定する。
構造：	溶接構造を有する蓄圧器は除く。

- ・SNM439等の低合金鋼を対象
- ・上限温度を85℃⇒200℃に改訂
- ・適用範囲に圧縮機を追加
- ・最新版はJPECホームページより入手可
- ・計画よりも大幅前倒しで完遂（2022⇒2020年度）

意義 技術文書の改訂により、事前評価等で、水素圧縮機への汎用低合金鋼の使用の妥当性を主張できる
従来使用されていたSUH660への代替が可能となり、入手性・加工性・コスト面での改善に資する

特許出願及び論文発表

対外発表件数は以下のとおり。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	3		2		1	6
研究発表・講演	12	7	3	4	2	28
新聞・雑誌等への掲載	2		1		2	5

※2023年3月31日時点

本研究に関する進捗・トピックについては毎年のJPECフォーラムで報告している。

さらに、技術文書の作成・改訂があった場合はJPECレポート（JPECホームページ）等で公開。

- ・低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003の改訂
- ・溶接技術指針の作成

特許出願及び論文発表

◆知的財産権の確保に向けた取組

規制緩和に資する研究であり、汎用的な材料を幅広く使用できる環境の構築が本研究の趣旨である。

よって、成果の特許化は行わない。

本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

当該研究開発により得られた材料範囲の基準に関する技術案が、例示基準に反映、または技術文書化され、事前評価・一般申請において活用されることを指す。

より汎用・低コスト材料の使用を可能とする土台を整備すること、あるいは申請等における利便性の向上を提供することで水素事業の発展に貢献する。

実用化に向けた具体的取組

開発項目① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

- ・-45℃～250℃におけるSUS316/316Lの材料範囲の拡大案 ⇒ 例示基準化済み
- ・-10℃～250℃、20℃～250℃における材料範囲の拡大案、SUS305の適用
⇒ JIS B8265の改訂後、METIに対し例示基準化の要望を予定

開発項目② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

- ・SUS305（母材） ⇒ JIS B8265の改訂審議中（圧力容器材料としての認定、許容引張応力の付与）
- ・SUS305（冷間加工材） ⇒ 日本高圧力技術協会にデータ提出、許容引張応力について審議中
- ・残課題（強度保証方法の確立） ⇒ 後継事業において検討予定

開発項目③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

- ・溶接技術指針 ⇒ 公開済み。事前評価や一般申請における技術資料に活用可能

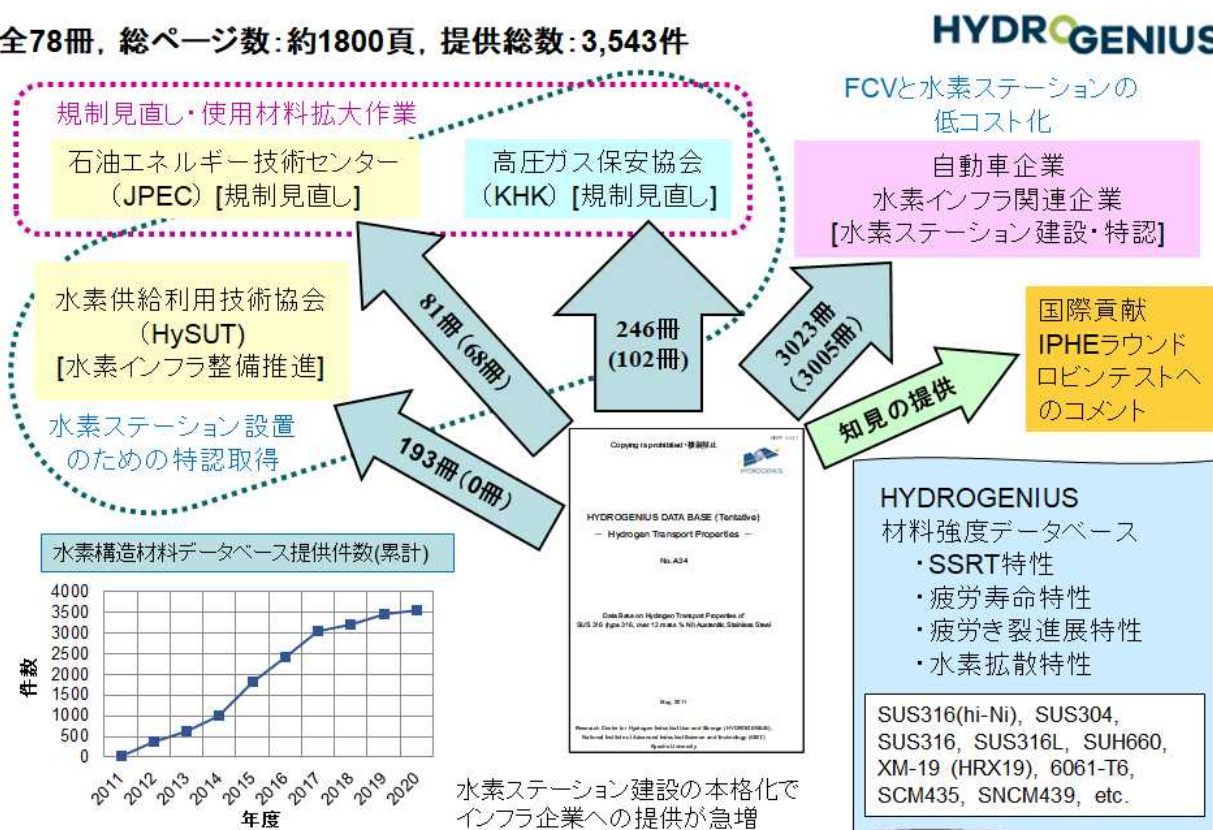
開発項目④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

- ・低合金鋼技術文書 ⇒ 改訂・公開済み。事前評価に利用可能

波及効果

<NEDO鋼材データベース検討会の設置>

全78冊, 総ページ数:約1800頁, 提供総数:3,543件



事前申請、規制緩和、国際規格の議論
における技術的根拠として活用

・本事業で得られた有用なデータを一般に利用できる仕組み ⇒社会に還元

**「研究開発項目Ⅱ 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」
テーマ名：長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する
研究開発**

2018年度～2022年度 5年間

プロジェクトの詳細（公開版）

2023年11月21日

発表実施者様：一般社団法人水素供給利用技術協会

実施体制



・**シール部材・継手部材検討委員会**
水素ステーション運営事業者、ディスペンサーメーカー、水素事業関連の業界団体(FCCI)や研究開発法人など外部有識者が参画し、本事業の審議を行った。

・**委託先連携会議**
委託先が10社と多数であること、また各々の実施内容を共有し連携して効率的な事業推進を図るために、委託先メンバーによって組織される連携会議を設置した。

研究開発のスケジュールと予算

年度	2018	2019	2020	2021	2022
研究開発目標			充填相当回数15,000回		充填相当回数30,000回
①セーフティーデータベース (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)	(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	
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	要素評価試験装置による諸因子の影響評価、 (装置・供試体開発と評価方法の確立) 継手ゆるみ理論解析 (ねじのゆるみとシール面での漏洩) (諸因子の影響評価)	評価にもとづき新型/改良型継手開発 (トポグラフィモデル検討と組込)	(新型/改良型継手の開発と評価試験)	(新型/改良型継手の検証)
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 (設計)		(加速試験評価法を適用) (試験：H2)	(試験：H2耐久試験)
評価時期			中間評価		終了時評価
予算 (億円)	項目1～5：委託 2.9	2.8	2.5	2.3	2.5

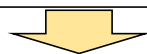
テーマ毎の目標達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
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、解析	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・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。	○	漏洩防止対策や高耐久性機器の開発に活用できる漏洩事例詳細情報入手の仕組み構築 水素ステーションを構成する各種高圧水素機器、ホース等各種部材の高信頼性化、長寿命化による低コスト化をさらに進めるため、また、今後想定されるHDV向け高流量水素ステーションへの対応をも踏まえ、基盤となる研究開発をさらに推進する必要がある。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	部材・機器の加速耐久性評価方法の確定	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	HRSにおける充填回数30,000回相当のシール部材開発 シール部材の加速耐久性評価法案設定	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。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	機械継手の漏洩の評価方法の確立 漏洩リスク低減の指針作成、漏洩のない機械継手の開発	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プ面のシール部の塑性変形と繰り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	シール開発成果に基づく高耐久性機器開発	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。	○	

成果と意義

社会的背景・事業の目的

水素基本戦略のもと着実に導入が進んでいる水素ステーションにおける事故の原因は全て水素の漏えいである。**漏えい部位の大半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、**締結部とシール部の漏えい防止対策が急務**である。



プロジェクトとしての達成状況

水素漏洩事例の整理解析や高圧水素機器用シール部材、レシプロ圧縮機用ピストンリング、継手締結部を対象とする材料や評価法に関する基盤技術研究を実施した。シール部材の加速耐久性評価法の開発、継手締結力喪失による水素漏えいの基本原理の解明、ピストンリング部材のトライボロジー特性と分解ガス生成挙動など、水素ステーションを構成する各種機器・配管の高信頼性化、長寿命化、低コスト化に資する**開発成果**を得るとともに、高圧水素環境下における評価を含む**各種評価設備の整備、基盤となる知見の蓄積**を進めてきた。



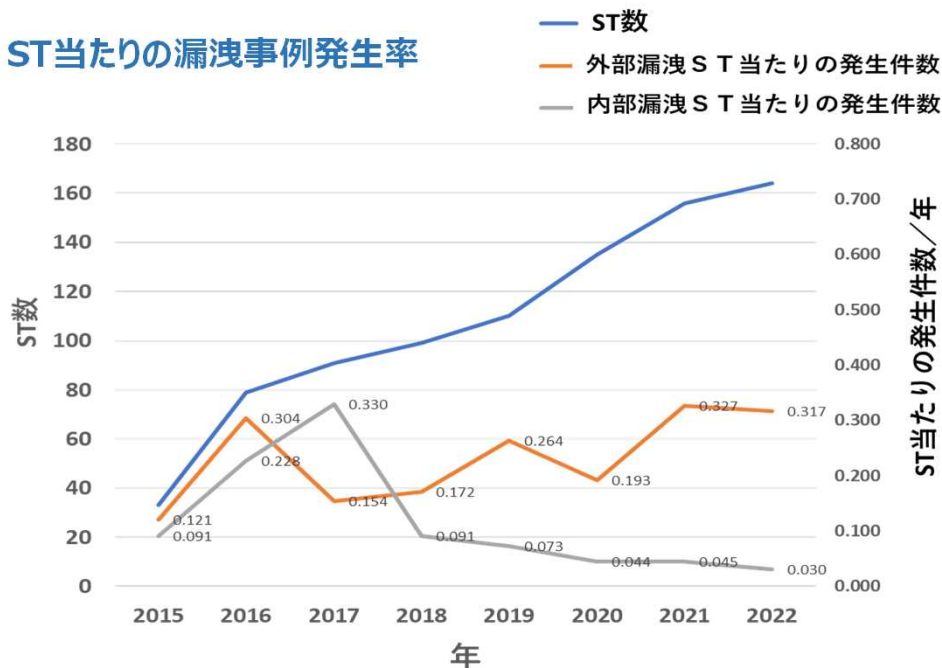
成果の意義

水素ステーション、FCVの導入が進み、FCバスやFCトラックの**開発**などが進んでいる。水素ステーションとそこで使用される設備、機器の性能・信頼性及び安全性がますます重要となっている。本事業の実績を踏まえ、水素ステーションを構成する各種高圧水素機器、ホース等各種部材の高信頼性化、**長寿命化による低コスト化**をさらに進めるため、また、今後想定されるHDV向け高流量水素ステーションへの対応をも踏まえ、**基盤となる研究開発をさらに推進する必要**がある。

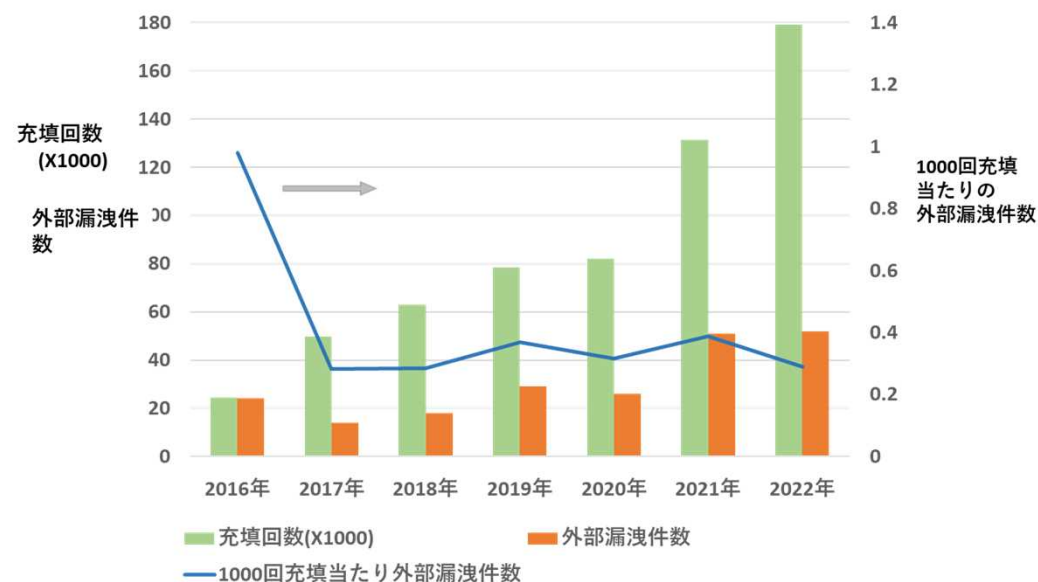
成果と意義

サブテーマ①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理 (HySUT)

1 ST当たりの漏洩事例発生率



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

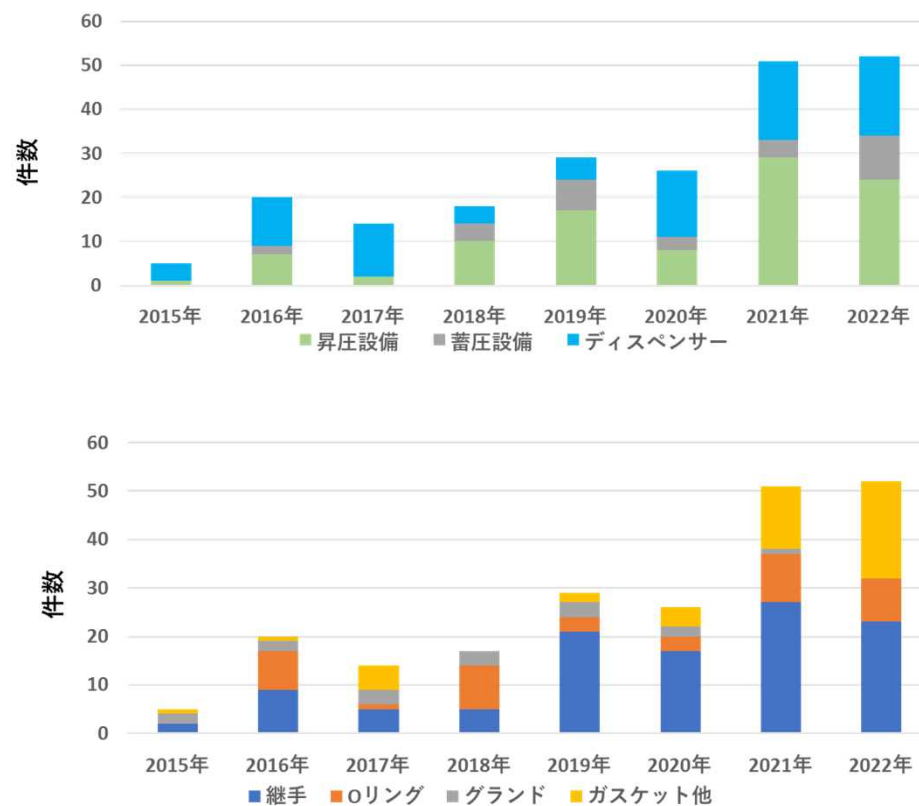
成果と意義

サブテーマ①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理 (HySUT)

発生年	外部漏洩						計	内部漏洩
	ディスペンサー		昇圧設備		蓄圧設備			
	シール部	継手	シール部	継手	シール部	継手		
2015	2	1		1			4	3
2016	9	4	2	6	1	2	24	18
2017	6	2	2	2		2	14	30
2018	3	1	5	4	4		17	9
2019	3	2	3	14	2	5	29	8
2020	8	7	1	7		3	26	6
2021	8	10	14	15	2	2	51	7
2022	7	11	16	8	6	4	52	5

- 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
- 充填に伴う温度、圧力変化（ディスペンサー機器）、振動の発生（圧縮機等の昇圧設備）が要因として示唆される
- 2019年以降、継手からの漏洩が多いが最近はガスケット他のシール部からの発生も顕著

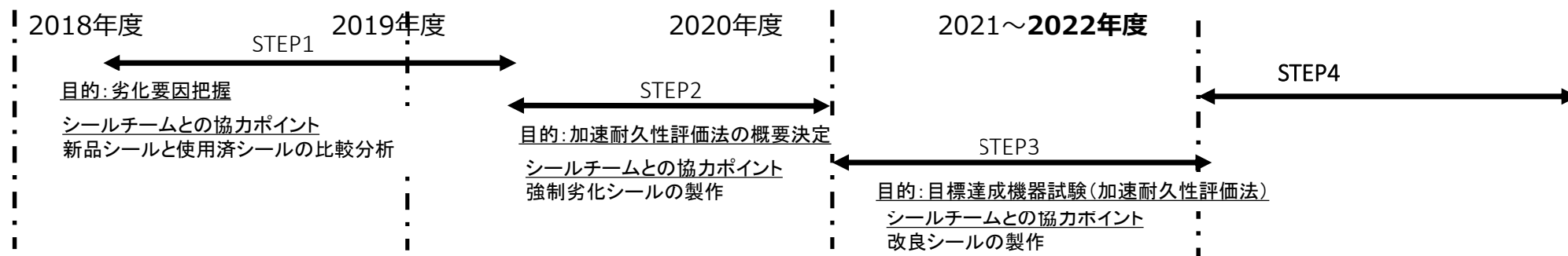
外部漏洩発生設備・部位の推移



成果と意義

サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 (HySUT,キッツ、フジキン、タツノ、トキコシステムリユージョンス) 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

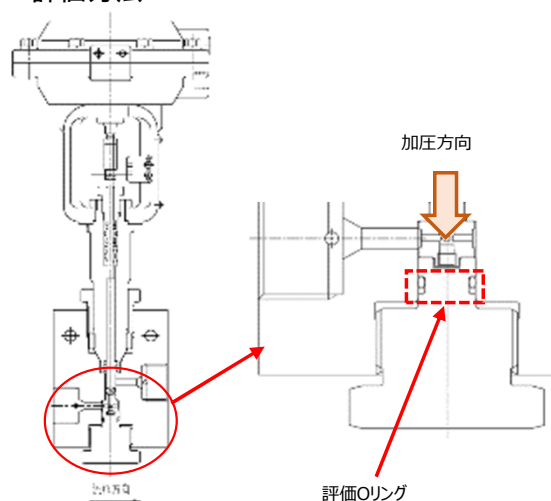
成果と意義

サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発 (フジキン)

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O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。

底プラグOリングの加速耐久性評価試験

＞評価方法



※O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Oリングに付与し強制劣化品を製作。

O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。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

改良Oリング 圧力サイクル試験(ガス温度:-40℃)

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)

※1 強制劣化回数：予めOリングに付与した潰し疲労の劣化回数

※2 相当充填回数：評価で付与した回数(サイクル数×1/3)

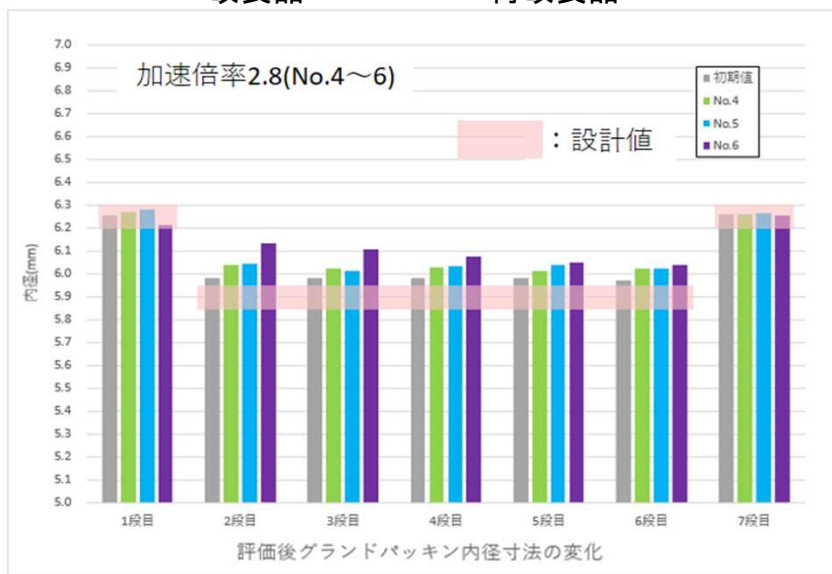
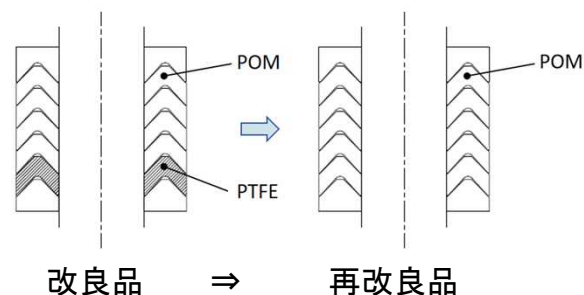
※3 加速倍率：バックアップリング内径拡大で得られる倍率(2.1.3項参照)

改良O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。

成果と意義

サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討

グランドパッキンの加速耐久性評価試験



サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発

(フジキン)

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。

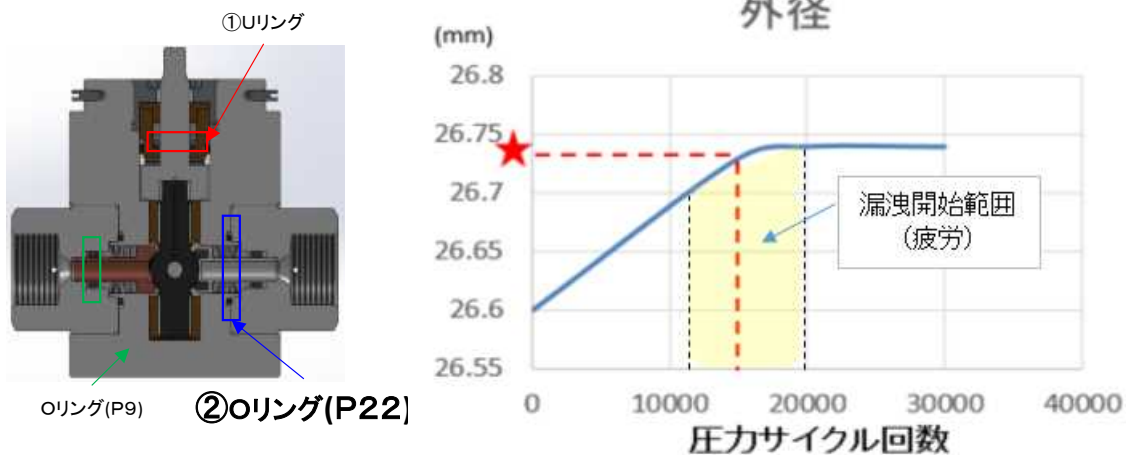
再改良グランドパッキンは、**充填回数30,000回相当以上の耐久性を有しており、性能向上によるメンテナンスコスト削減が見込めることが確認できた。**

成果と意義

サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討

リングの加速耐久性評価法

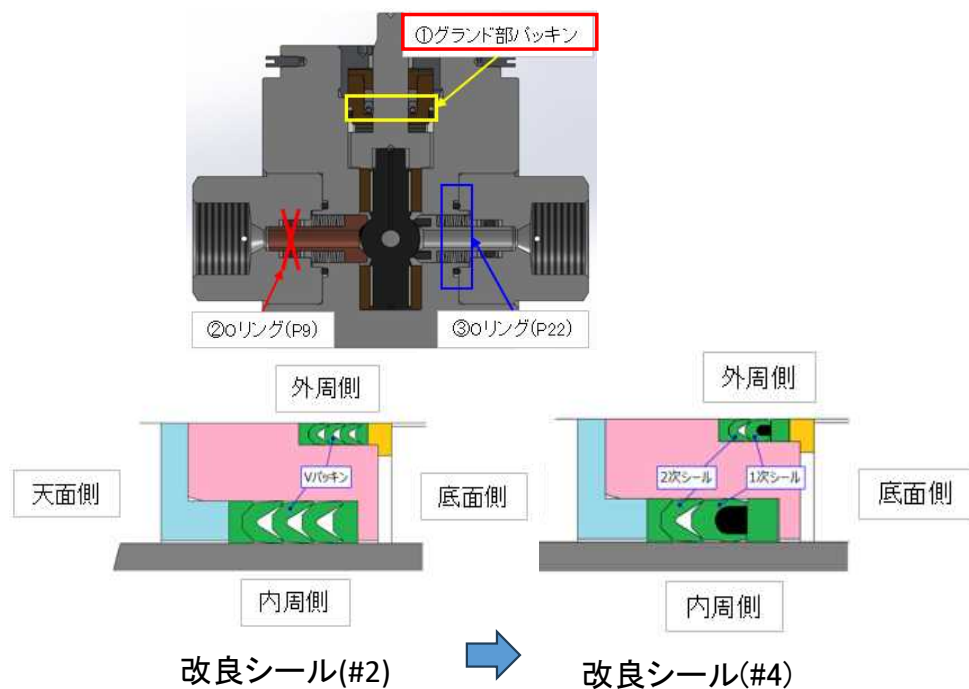
強制劣化15000回潰し率138%の外径平均値が26.73mmであり、その時の圧力サイクル回数が約15,000回を示すことから、潰し回数とほぼ合致している。また、約20,000回付近で外径は飽和している



- ・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。

サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発 (キット)

遮断弁グランド部の改良シール設計と評価



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

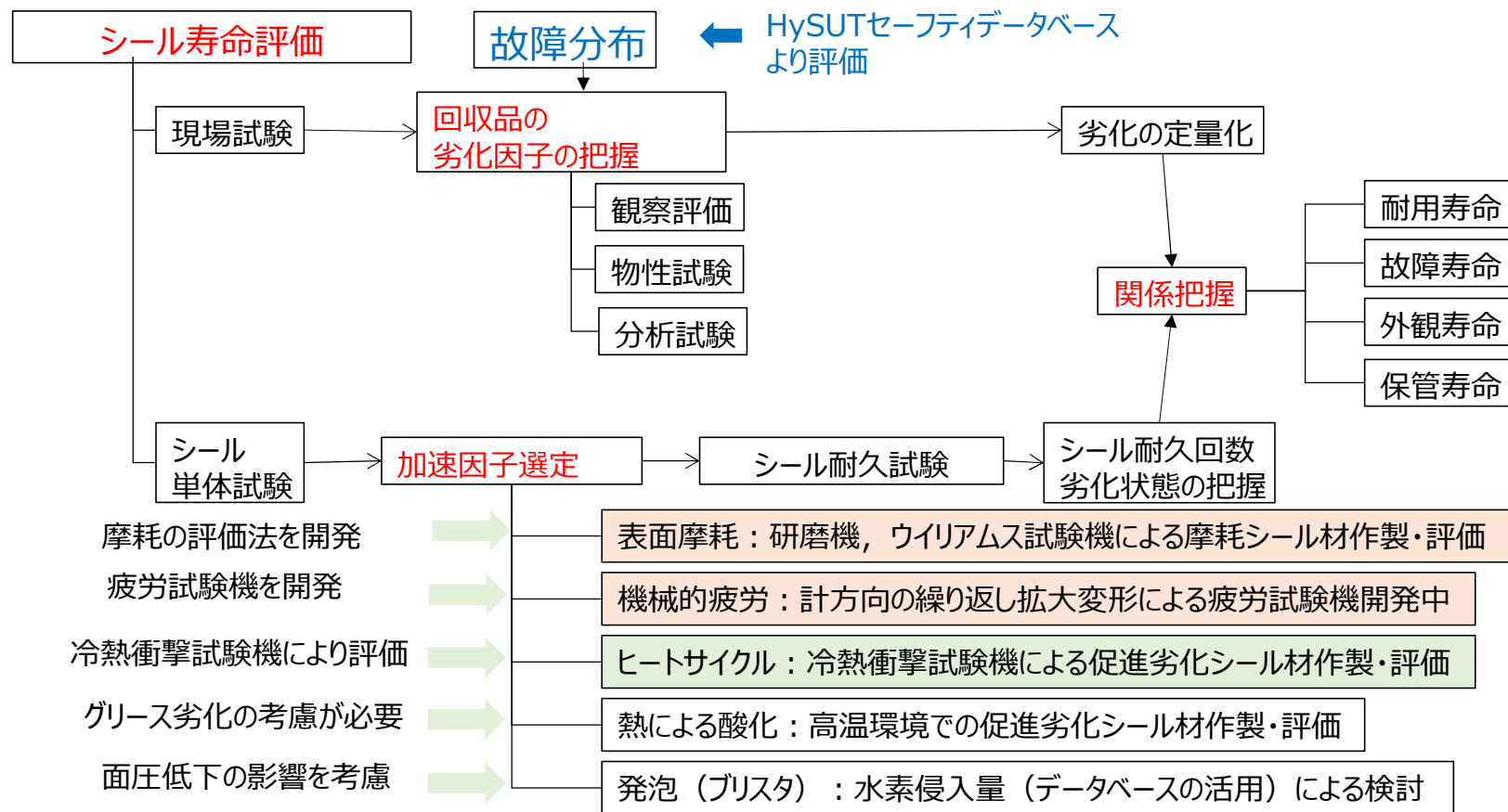
1次シールのDリングが安定して定位に収まれば、漏洩しないシール構造となる。

成果と意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発

(九州大学, CERI, NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)

加速耐久性試験法基本概念図

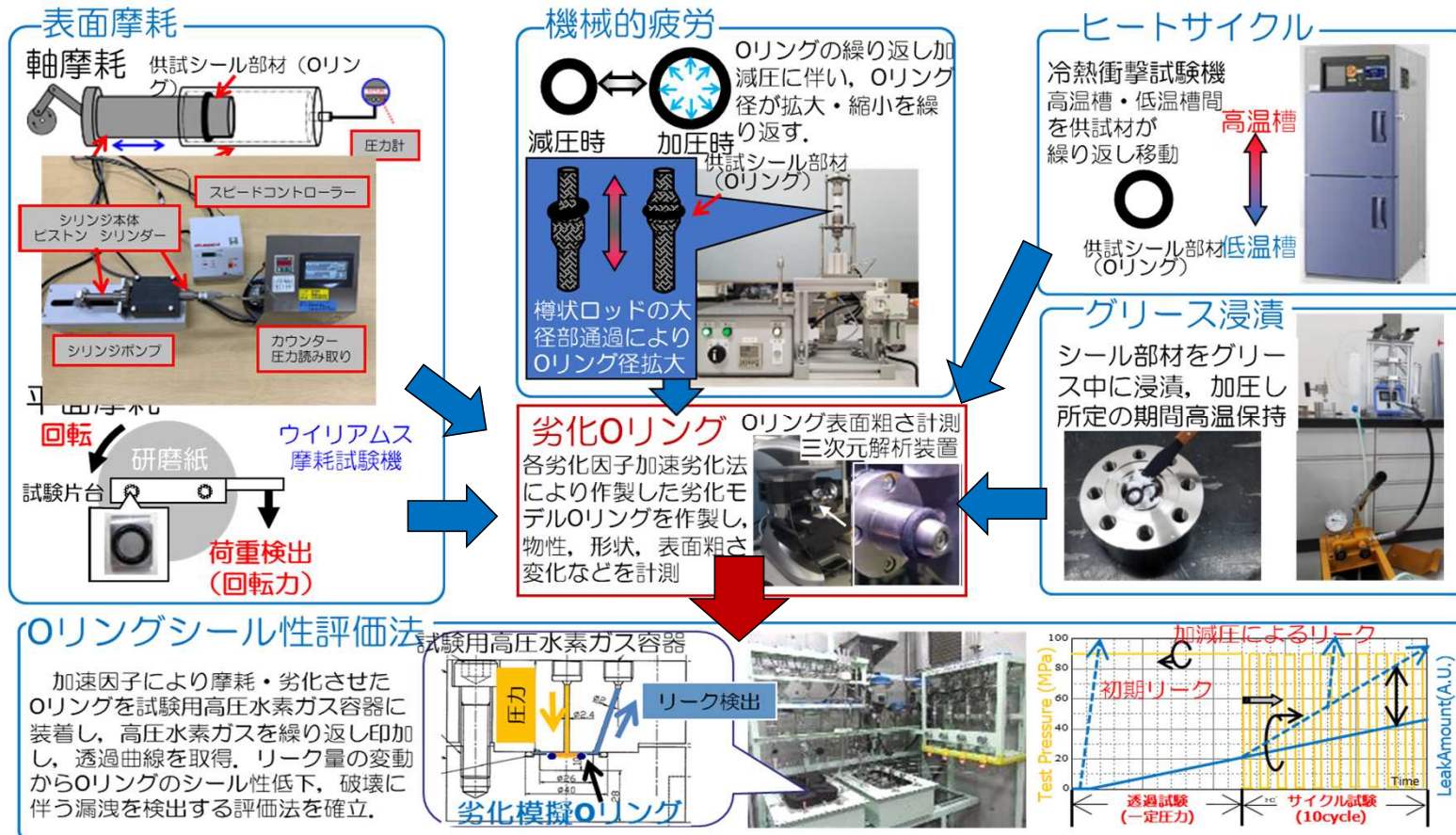


成果と意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発

(九州大学, CERI)

劣化模擬シール部材作製・シール性評価法



- 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。

成果と意義

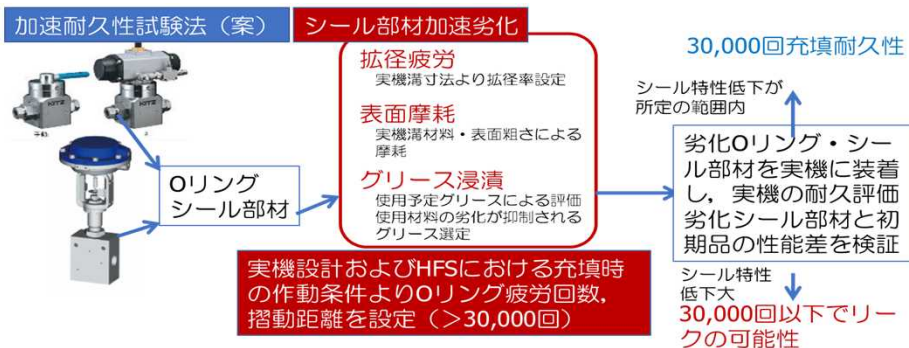
サブテーマ③シール基盤・応用開発

(九州大学, CERI)

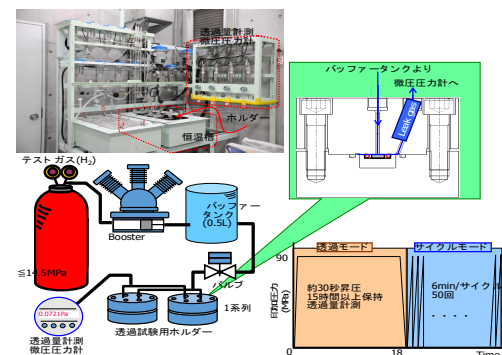
劣化模擬シール部材作製・シール性評価法

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 <u>水素透過量小</u>	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 <u>表面粗さと水素透過量が相関。</u>	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。	
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。 <u>水素透過量は疲労回数の増加により増大。</u>	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(プリスタ)	高圧水素曝露容器	<u>Oリングゴム材の内部破壊によりシール性低下</u>	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



高圧水素耐久試験機



成果と意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発

(九州大学, CERI)

【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 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

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と判定
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






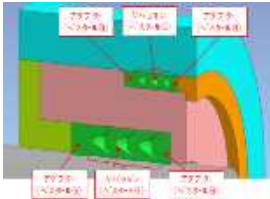
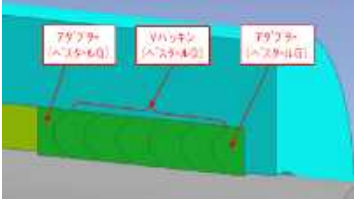
成果と意義

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

(九州大学, CERINOK, 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す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>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) 摩耗粉</p>  <p>グリースA塗布 (30000回)</p> <p>図 耐久試験後Oリングホルダー外観</p>	<p>溝設計、グリース適用による摩耗抑制を検討。 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>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>PEEK PTFE</p>  <p>バックアップリング仕様</p> <p>損傷なし 損傷</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。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>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>ポーフバルブ</p>  <p>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>

成果と意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発

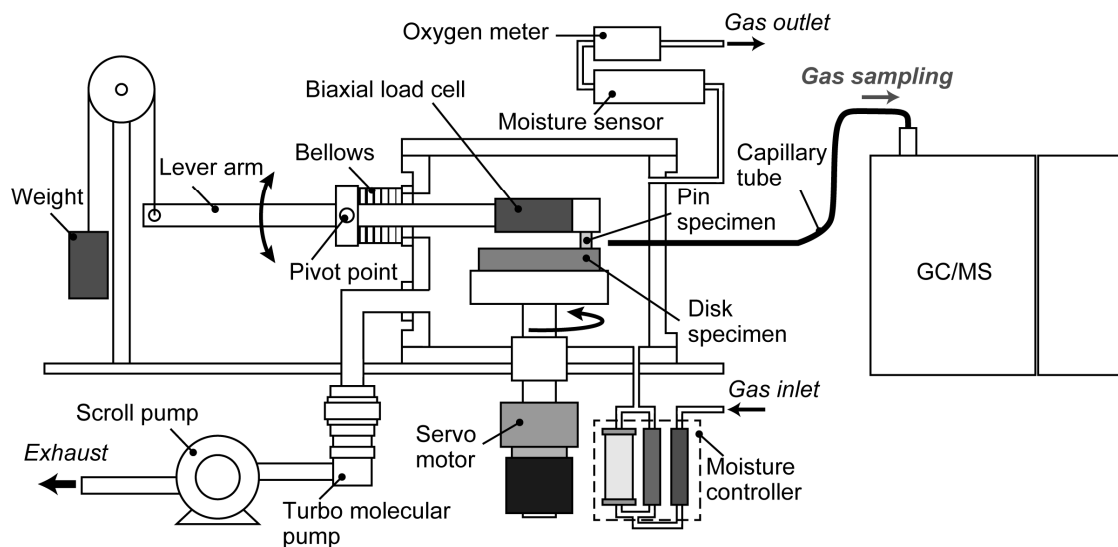
リング材の摩擦摩耗とガスエミッション

(九州大学)

目的 水素ステーションにおいて、吐出ガスに基準値を超える硫化水素が含まれる事例が報告された。硫化水素の発生源として、高圧水素ガス圧縮機のピストンリングに含まれるポリフェニレンサルファイド (PPS) が疑われるものの、これまでにしゅう動部材として用いられたPPSから硫化水素が発生したという事例は報告されていない。このテーマでは、ピストンリング材のしゅう動に伴う硫化水素の発生を実験的に確認するとともに、その発生メカニズムの解明を進める。

【しゅう動試験】

ピン・オン・ディスク型高度雰囲気制御型摩擦試験機を用い、高純度水素ガス雰囲気においてピストンリング材のしゅう動試験を行い、雰囲気ガス中に放出される微量成分 (ガスエミッション, GE) をガスクロマトグラフ質量分析計により分析する



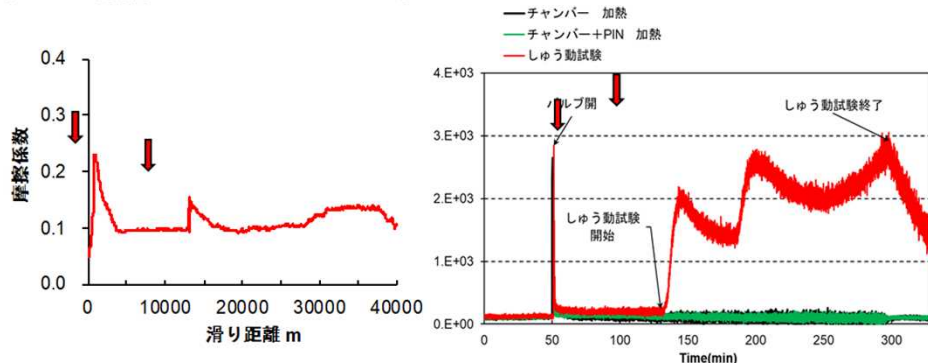
成果と意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発

リング材の摩擦摩耗とガスエミッション

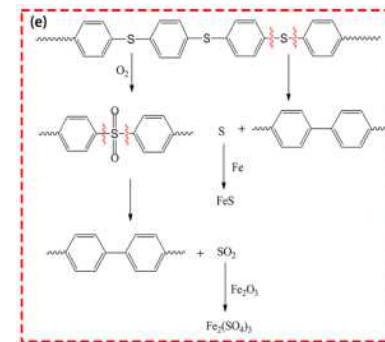
(九州大学)

【リング材摺動によるGE発生挙動】



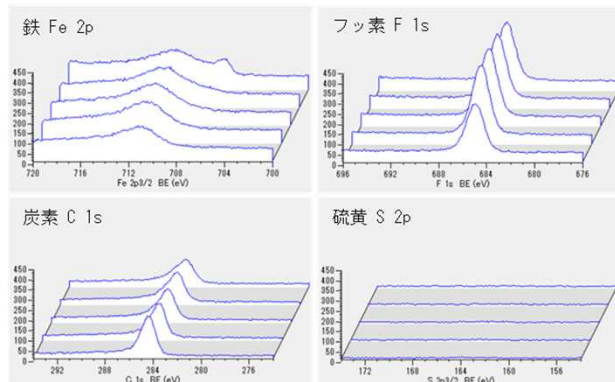
- リング材のしゅう動開始とともにGC/MSによる硫化水素検出量が上昇
- 摩擦係数の上昇にリンクして硫化水素検出量が上昇

【大気中でのPPSのトライボケミカル反応】



- しゅう動による機械的せん断により硫黄とベンゼン環の結合が破断
- 発生した硫黄ラジカルがしゅう動相手面の金属と反応し硫化金属を形成
- 雰囲気中の酸素がPPSから硫黄を引き抜き二酸化硫黄を形成、しゅう動相手面の金属と硫酸塩を形成

【しゅう動試験後のディスク表面分析】



N-GC-07
100°C, H₂, 4MPa, 2m/s, 摩耗量: 1.18 mg, H₂S+: 4549

- しゅう動試験後のディスク表面のXPS分析では、硫化鉄、硫酸化鉄ともに検出されない
- 発生した硫黄ラジカルの一部は周囲の水素と反応し硫化水素を形成、一部は炭素ラジカルと反応し二硫化炭素を形成
- 酸素、水分が十分に存在せず、二酸化硫黄の形成が困難
- 硫黄ラジカルが金属ディスクと反応できずGEとしてガス中に放出
- リング材摩耗による硫黄系GE発生は高純度水素ガス雰囲気特有の現象

成果と意義

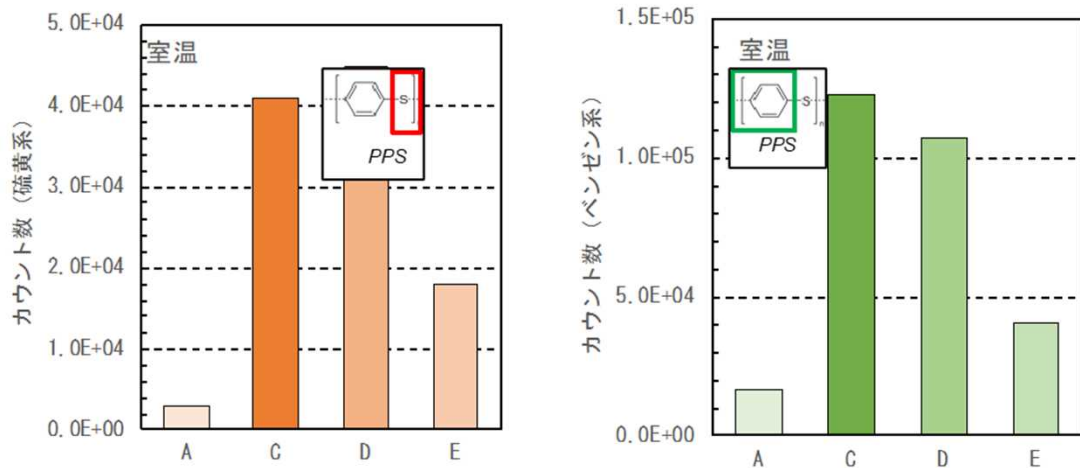
サブテーマ③シール基盤・応用開発

リング材の摩擦摩耗とガスエミッション

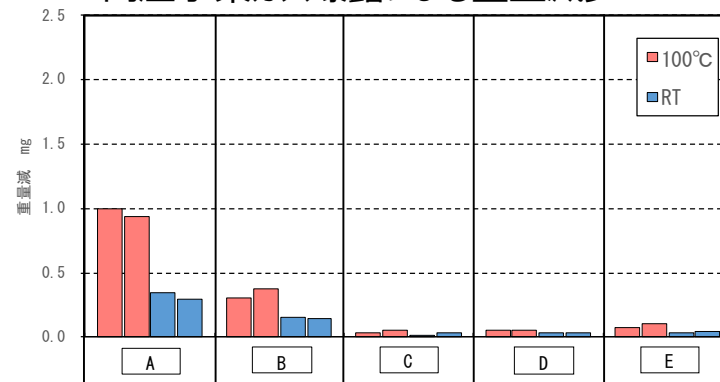
(九州大学)

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

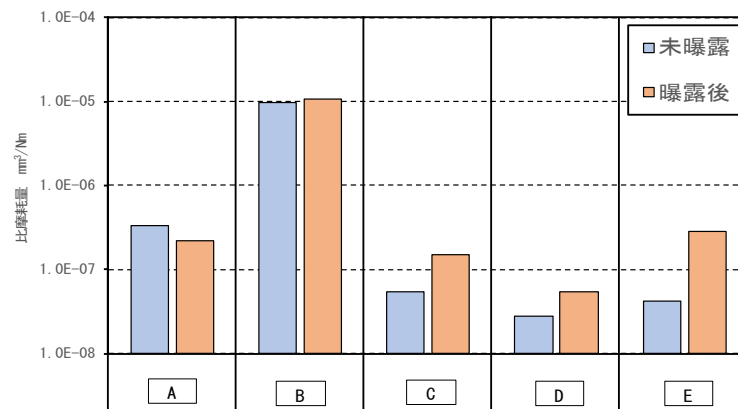
分解ガス検出量の比較



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



成果と意義

サブテーマ④継手基盤・機器開発

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)

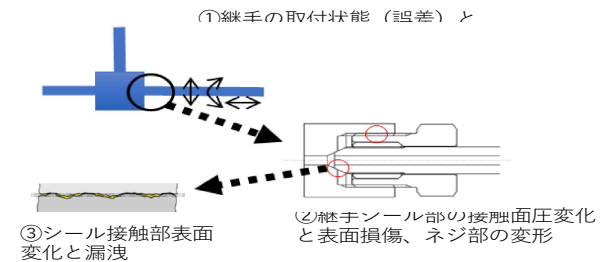
初期ミスアライメント (取付誤差)	なし	軸方向	横方向
締結試験 繰返し締結試験			
軸力試験 軸力サイクル試験			
曲げサイクル試験			

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

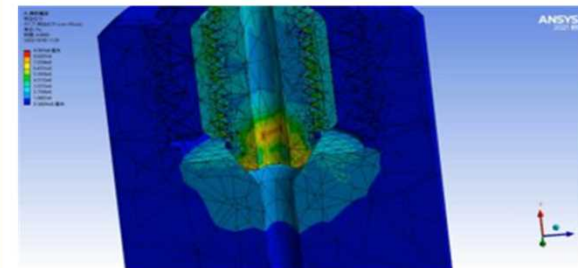
(九州大学、フジキン、キッツ)



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↓



成果と意義

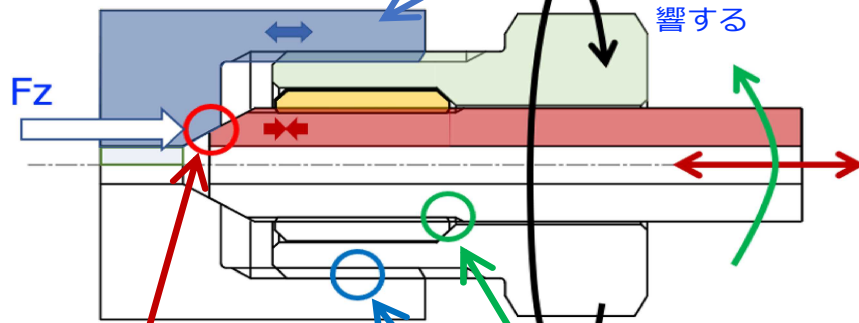
サブテーマ④継手基盤・機器開発

継手の締結とゆるみに関与する過程

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

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

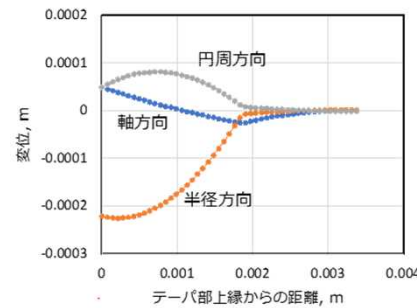
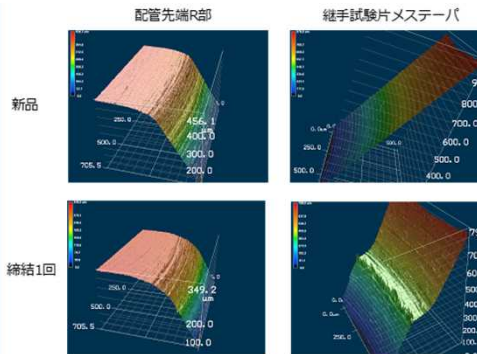
引張力が高いとき塑性変形

繰返し曲げモーメントで緩む可能性

(九州大学、フジキン、キッツ)

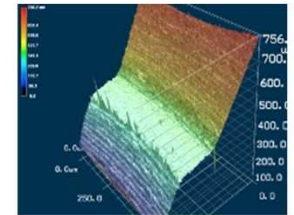
締結試験とシール部の粗さ測定

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

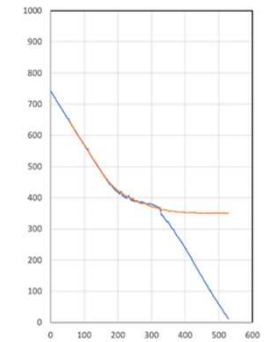


継手テーパ面の変位の分布(FEM解析)

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

成果と意義

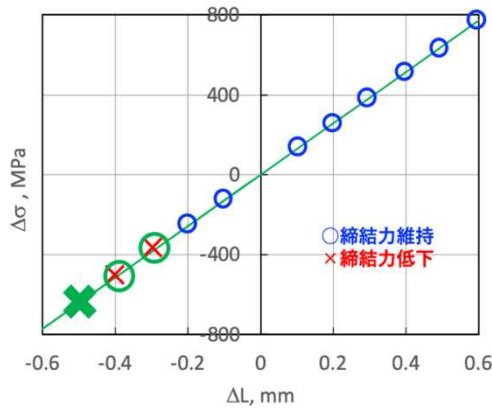
サブテーマ④継手基盤・機器開発

(九州大学、フジキン、キッツ)

継手改良の検討

改良① 高硬度材

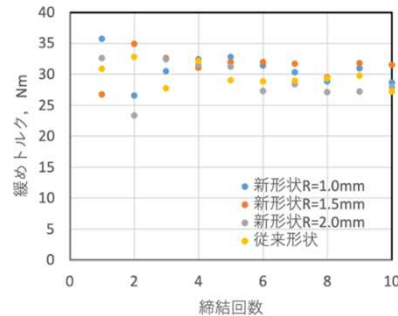
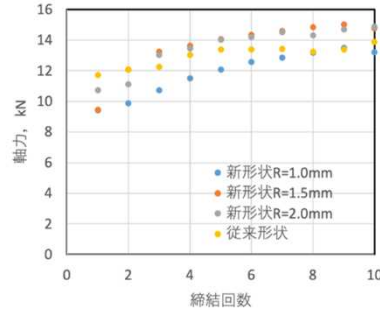
圧縮サイクル試験
(緑印が高硬度材)



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。

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, テーパー角の影響
 - 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。

特許出願及び論文発表

(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

特許出願及び論文発表

研究発表・講演

所属	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
九州大学	水素先端世界フォーラム2019 HYDROGENIUS研究シンポジウム 高分子材料研究部門	2019.1
九州大学、化学物質評価研究機構、NOK(株)	水素先端世界フォーラム2019 HYDROGENIUS研究シンポジウム 高分子材料研究部門	2019.1
九州大学	水素先端世界フォーラム2019 HYDROGENIUS研究シンポジウム 高分子材料研究部門	2019.1
九州大学	水素先端世界フォーラム2019 HYDROGENIUS研究シンポジウム 高分子材料研究部門	2019.1
九州大学	水素先端世界フォーラム2019 HYDROGENIUS研究シンポジウム 高分子材料研究部門	2019.1
九州大学、NOK(株)、高石工業(株)、化学物質評価研究機構	日本ゴム協会 2019年年次大会 研究発表会	2019.5
人化学物質評価研究機構、NOK(株)、高石工業(株) 九州大学	日本ゴム協会 2019年年次大会 研究発表会	2019.5
九州大学	第68回高分子討論会	2019.9
九州大学	第68回高分子討論会	2019.9
九州大学	『特殊な環境や性能に対応するゴム・エラストマー』 高圧水素ガス環境下用ゴム材料の評価	2020.1
九州大学	FT-IR study of state of molecular hydrogen in bisphenol A polycarbonate dissolved by high-pressure hydrogen gas exposure	2019.12
NOK(株)	トライボロジー会議2020春 東京	2020.5
九州大学	第61回高圧討論会 (日本高圧力学会)	2020.11
九州大学、化学物質評価研究機構	第32回エラストマー討論会	2021.11
化学物質評価研究機構、九州大学	第32回エラストマー討論会	2021.11
九州大学	第32回エラストマー討論会	2021.11
九州大学、(株)フジキン、(株)キッツ	2022 HYDROGENIUS & I2CNER TRIBOLOGY SYMPOSIUM	2022.1
九州大学	FCCJ第2回エンジニアリング分科会	2022.11
九州大学	FCCJ第2回エンジニアリング分科会	2022.11
九州大学	2023 HYDROGENIUS & I2CNER TRIBOLOGY SYMPOSIUM	2023.1

特許出願及び論文発表

◆知的財産権の確保に向けた取組

知財戦略に沿った具体的取り組み

- 委託先10社を契約者とする「知財合意書」を締結（契約日：2018年10月19日）
- 知財運営委員会の開催実績
2019年1月～2023年3月 20回開催審議

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	1	0	1	0	2件

本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

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）

アウトカム達成に向けた具体的取組

項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023～2033	
①セーフティデータベース(SDB)の解析知見の整理	SDBデータ解析継続			同左		最終目標 水素ステーション機器 以外への用途展開 水素ステーションでの利用拡大 国内メーカーの国際競争力に寄与	
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			継手実用化機器実用化 実用化検討
⑤シール成果に基づく機器開発	・バルブラボ試験実施 ・15,000回充填相当の検証			・バルブラボ試験 ・HRS実証 ・30,000回充填相当の検証		実用化検討	

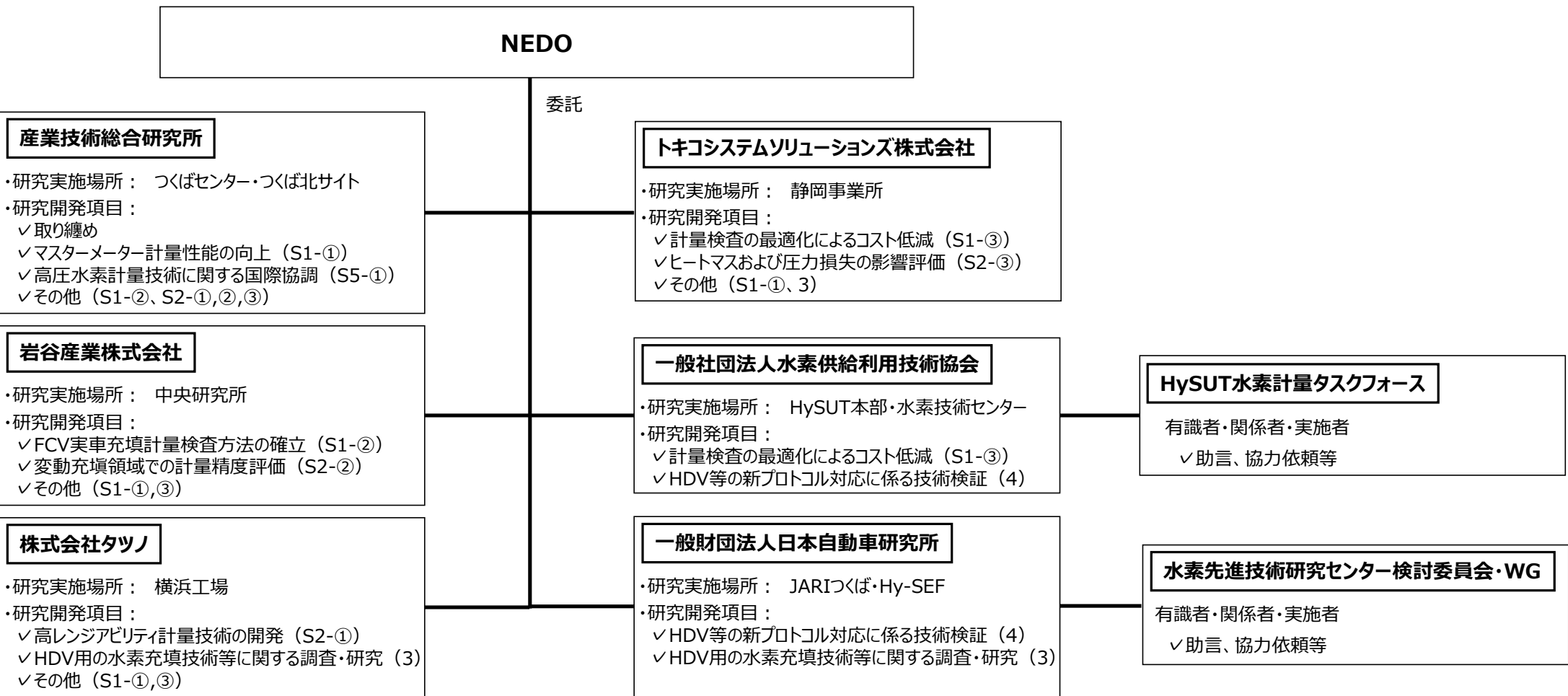
「研究開発項目Ⅱ 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」
テーマ名：HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と
充填技術に関する研究開発
2020年度～2023年度 3年間

プロジェクトの詳細（公開版）

2023年11月21日

発表実施者様：産業技術総合研究所

実施体制



研究開発のスケジュールと予算

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
マスターメーター法計量 精度検査方法の高度化	マスターメーターのトレーサビリティ体系の再構築		マスターメーターの校正不確かさ評価	
	水実流装置完全整備 特別校正流量計準備		流量計性能向上改良 器差±0.2%級	
	マスターメーター法と重量 法の計量検査性能比較	計量システムの経年 劣化要素等による精 度変化影響の把握	ガイドライン案作成	ガイドライン改定
		計量TF連携	計量検査周期見直し検討・審議	
新プロトコルに対応する 水素計量技術の開発	計量精度に影響を与える 要因調査、系統化	中間目標	大流量計測可能な実流水装置改造 高レンジ流量計一次試作性能評価	最終目標
	マスターメーター法計量精 度検査装置に許容される 圧損・ヒートマス明確化		試験 新プロトコル充填 模擬試験 影響評価	
			新プロトコルの水素計量技術に 対する影響評価予測データ作成	
			評価用検査装置製作、圧損・ヒートマス把握	
HDV用の水素充填技 術等に関する調査・研究	HD機器の概略仕様調査・提案	HD機器、HDVの詳細仕様・最新状況調査		
HDV等の新プロトコル対 応に係る技術検証	委員会・WG立ち上げ センター仕様検討	センター 整備	竣工	技術検証
	仕様確定	GTRやISO事業との連携		
高圧水素計量技術に関 する国際協調	高圧水素計量技術 最新動向調査	比較試験による国際整合性評価		
評価時期	中間評価			終了時評価
予算 (億円)	1.2	13.0	35.1	0.5
委託				

テーマ毎の目標達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備の整備 ・実流装置改善による高精度コリオリ流量計の準備 ・実証データ蓄積による精度影響要因の分析・抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備を整備し、計量性能確認開始 ・コリオリ流量計の選定開始 ・STで収集したデータを解析・考察した結果、後続検査周期を2年間から3年に延長できることを確認し、HySUTガイドライン案を完成 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・国際規格目標値の達成→低圧大流量試験設備によるトレーサビリティ体系の再構築と影響要因削減 ・STデータの蓄積および精度影響因子の深堀およびさらなる調査の実施 ・圧損・熱マス・脱圧影響を減らし、マスターメーター法の高精度高信頼性が課題。
新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・高レンジに対応する実流装置の実現 ・変動充填模擬試験完了 ・圧力損失及びヒートマス評価完了 ・大流量用流量計の開発・評価 ・実流装置の高レンジ化、高性能化 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化→マルチ充填技術やワイドレンジ流量計の開発及び圧損及び熱損影響評価 ・模擬試験条件→実証試験設備での系統的データ取得 ・計量精度検査装置の基準化
HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> ・福島水素充填技術研究センターで用いるコンポーネント機器の性能調査と、システムの仕様を調査検討し、センターに最適な仕様を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンポーネント機器の性能の把握 ・流体シミュレーションで充填確認 ・畜ガス量、圧縮機能力、配管口径等の選定、適切な制御 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・充填プロトコルの最適化と基準化が未定 ・能力検証が不十分なので、引き続き検証を行う。(短時間充填の実力、シングル・ツイン、NFMF組合せ等)
HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証	<ul style="list-style-type: none"> ・福島水素充填技術研究センターが完成し、技術検証を開始 	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年秋に完成し、技術検証(充填・計量)を行い、基礎データを取得 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応の充填・計量技術の開発・基準化するために必要な基礎データの取得
高圧水素計量技術に関する国際協調	<ul style="list-style-type: none"> ・水素燃料計量用流量計の性能把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発プロジェクトの内容や使用されている流量計・検査装置等の調査を行い、流量計性能評価試験実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・法規制の相違→相互承認や整合性調査を行い、仲介器の仕様や国際比較スキームを検討

成果と意義：プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

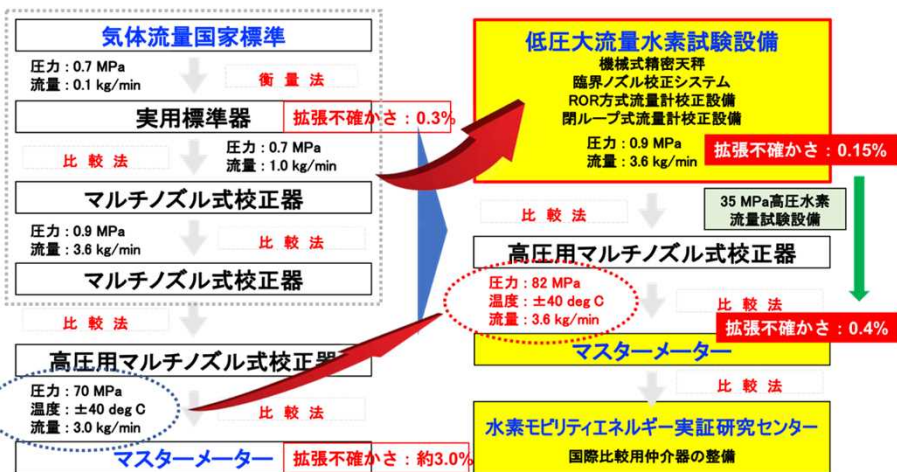
様々な燃料電池モビリティ、特にHDV等の新プロトコルに対応した水素燃料計量システム技術と充填技術の開発に向けた取り組みを開始した。

- HDV対応計量技術においてはマスターメーターを用いた計量方法が優れており、更なる高度化に向けて低圧大流量水素試験設備の整備し、トレーサビリティ体系の再構築に向けた運用を開始した。当設備は国際規格における目標値の達成へ向けて、飛躍的に計量性能の向上が期待できる。
- 本プロジェクトにおいて、STで収集したデータを解析・考察した結果、器差が安定しているディスペンサーにおいては後続検査周期を2年間から3年に延長できることを確認し、これに基づくHySUTガイドライン案を完成させた。これにより、水素ステーション運営コストが低減できた。
- HDV等に関する各種技術課題を検証するための福島水素充填技術研究センターを整備し、HDVに関する水素充填・計量の実証試験を日本で初めて実施してHDV用充填プロトコルの構築に必要な基礎データを取得した。今後、HDV対応の充填・計量技術の開発・基準化において、世界を先導する技術開発成果をもたらすことが期待できる。
- 低圧大流量水素試験設備や福島水素充填技術研究センターは、国際共同研究や国際比較にも活用することを想定しており、成果の国際標準への反映や国際協調の拠点となり得るものである。

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

実施項目1：マスターメーター法計量精度検査方法の高度化

- マスターメーター法による計量精度検査の信頼性向上を目的にトレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備を整備し、トレーサビリティ体系の再構築に向けた運用を開始した。また、検査運用コストの低減を目標に、検査周期や充填試験条件を適正化するための基盤となるデータ取得を開始し、ガイドライン改定に向け、タスクフォースの協力体制を構築し、必要な要件整理等を始めた。



低圧大流量水素試験設備



水素燃料システム計量精度検査の実施

マスターメータートレーサビリティ体系の再構築

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

実施項目2：新プロトコルに対応する水素計量技術の開発

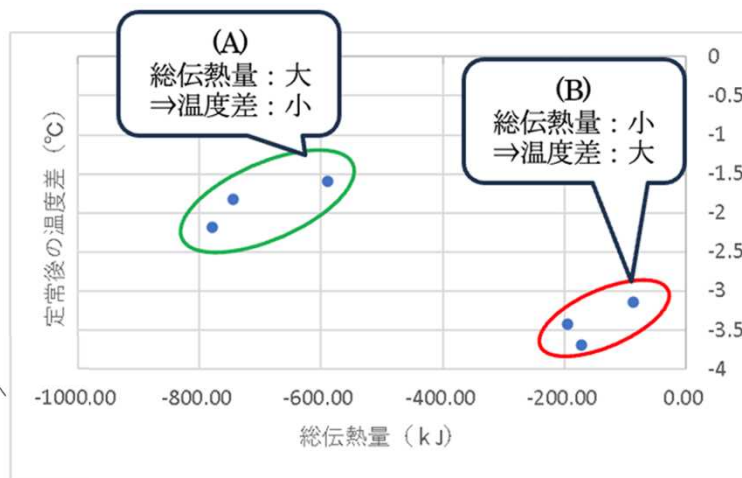
- 2-1：MF,NFタイプの流量計開発を行うと共に1:100以上のワイドレンジ流量計測を実現した。
- 2-2：福島水素充填技術研究センターにおいてNF/MFの充填模擬試験を行い圧力変動、ガス温度が計量精度に与える影響を評価した。
- 2-3：ヒートマス及び圧力損失の影響評価装置により、不確かさ要因としてヒートマス、圧力変動の影響を評価した。(以下)



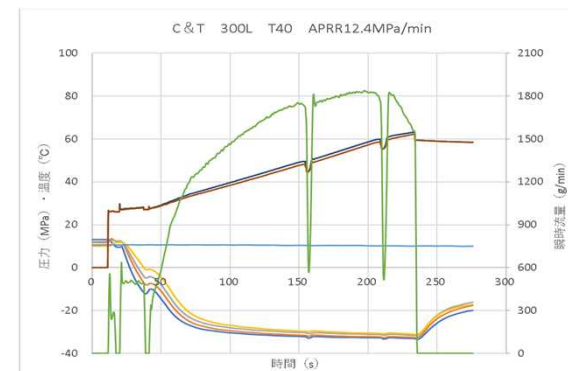
外観写真



ヒートマス及び圧力損失の影響評価装置



定常後の温度差総熱量の関係



Cv値：0.141
TT451A < TT454A：2.18°C
Ta=10.2°C

ヒートマス及び圧力損失の影響評価装置試験結果

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

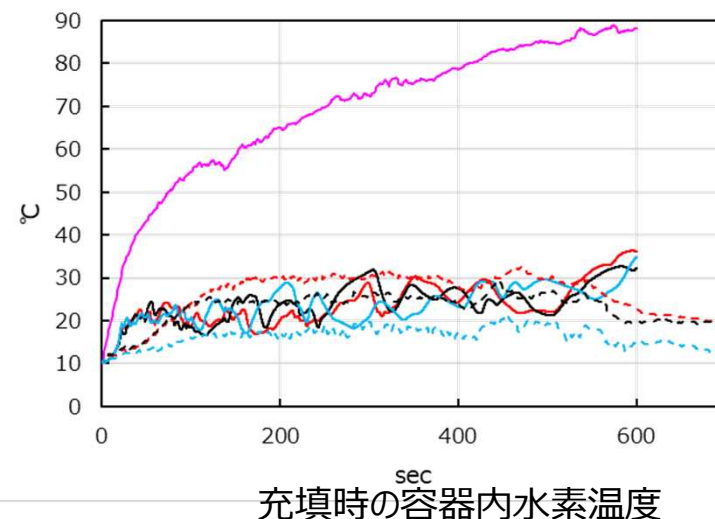
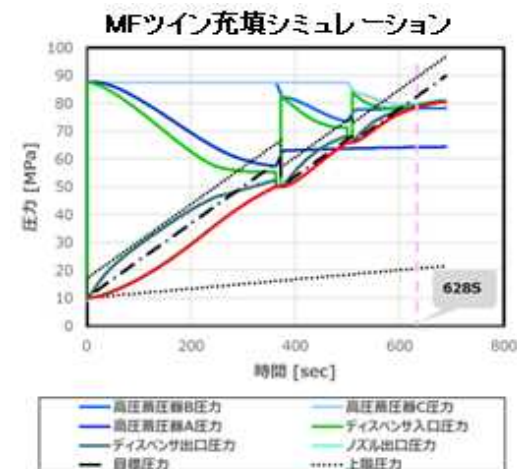
実施項目3：HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究

福島水素充填技術研究センターにおける設備仕様に反映させることを目的に、各種HDV用コンポーネントの流量特性等の調査と、充填シミュレーションを行った。

●**充填シミュレーション** 福島水素充填技術研究センターのMFツイン充填を前提に設備機器の検討と充填性能を照査するためシミュレーションを行った。最終的に、充填量64.7 kg、充填時間628 s (SOC : 98 %) で、充填性能目標を達成できることを確認した。

●**機器の流量特性** 各種高圧機器の性能評価を行った。Cv値評価では、水実測、理論計算、高圧水素での実測比較を行い、同等の値を確認した。

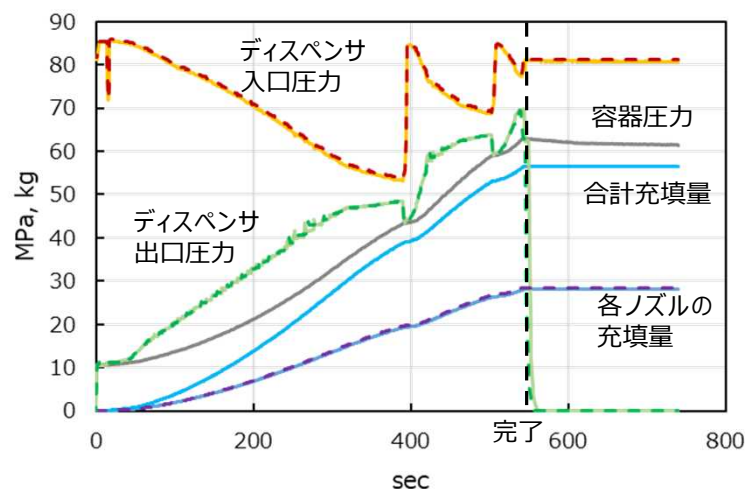
●**模擬容器への充填** HDVの充填で懸念される容器内の温度層の影響について、3次元数値シミュレーションで調査した。充填口と逆側が高温になり、また、壁面近傍の乱流エネルギーが大きい所で水素からの熱伝達が促進され容器温度が上昇していることが確認された。今後、実車容器に対する温度分布の検討を行う必要がある。



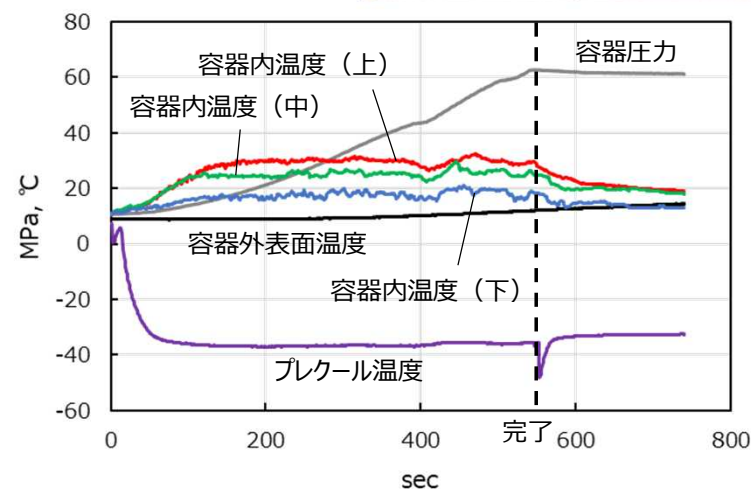
成果と意義：各個別テーマの成果と意義

実施項目4：HDV用の新プロトコル対応に係る技術検証

- 2022年秋に福島水素充填技術研究センター完成 (11/1～ 高圧ガス製造開始)
- 充填性能目標 (80 kgの水素充填が可能な容器に初期圧10 MPaから10分程度で充填完了) をMFツインノズル (H70MF× 2、最大流量180 g/s) 充填で達成
- 充填用の模擬容器内に明確な温度層 (上部が高温) を確認。HDV用充填プロトコル作成において、重要な検討事項であり、今後の検証が必要



H70MF×2 充填時の圧力と充填量

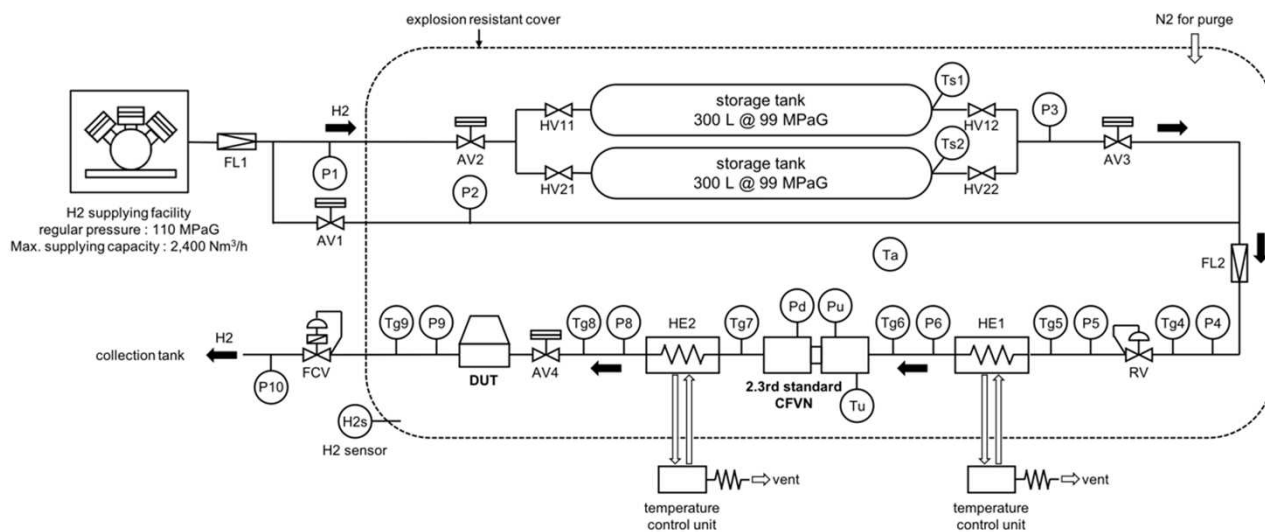


H70MF×2 充填時の圧力と温度

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

実施項目5：高圧水素計量技術に関する国際協調

- マスターメーター法計量精度検査装置を仲介器としたラウンド・ロビンテストを実施するため、各国の水素燃料計量用流量計の高圧水素性能評価試験を実施した。



水素燃料計量用流量計試験フロー

メーカー	国	Max. error [%]
A社	日本	0.3 %
B社	日本	0.2 %
C社	米国	0.3 %
D社	ドイツ	0.3 %
E社	ドイツ	0.4 %
F社	ドイツ	0.5 %

国内外の高圧水素用コリオリ流量計の主な仕様

成果と意義

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成状況
マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・衡量式/定積槽式/閉ループ式校正設備を整備し、運用を開始 ・計量システムの経年変化要素等による精度変化影響の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・流量計性能向上改良 ・器差±2.0%級、不確かさ0.4%の達成 ・計量検査周期見直しによる検査コストを1/3に低減 ・マスターメーター法計量検査基準・安全基準策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・国際規格目標値の達成（器差）は達成。不確かさ0.4%達成にはトレーサビリティ体系の再構築や革新的な技術進展が必至 ・ガイドライン改正は達成。インフラ業界の協力によるデータ蓄積・分析によりコスト低減可能
新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価設備の充実 ・各要素の影響度合いの明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・1:500のワイドレンジにも対応できる流量計測の実現 ・圧力変動、ガス温度の影響評価による器差低減 ・HDV充填に求められる性能要件を基にヒートマス、圧力損失を評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下達成 ・1:100以上のワイドレンジ流量計測を実現した。 ・圧力変動、ガス温度の影響評価を完了した。 ・ヒートマス、圧力損失の影響評価を完了した。
HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応機器の手配・性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応システム機器の詳細仕様を決定し、福島水素充填技術研究センターの試験条件にフィードバックし、技術検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・外製とともに内製HDV対応機器の性能を調査し、最適化することにより達成可能
HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証	<ul style="list-style-type: none"> ・福島水素充填技術研究センターが完成し、技術検証を実施して基礎データを取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・福島水素充填技術研究センターを完成し、HDV等の新プロトコルに対応する技術検証を開始 	<ul style="list-style-type: none"> ・達成
高圧水素計量技術に関する国際協調	<ul style="list-style-type: none"> ・水素燃料計量用流量計の性能評価実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外製流量計との比較試験による国際整合性評価 ・ラウンド・ロビンテストの実施による優位性の立証 	<ul style="list-style-type: none"> ・達成 ・ラウンド・ロビンテストに向けては法規制の相違を見極め、仲介器の仕様や国際比較スキームの検討が必要

特許出願及び論文発表

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	計
論文	0	0	0	0	0
研究発表・講演	0	1	7	1	9
受賞実績	0	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0	0

※2023年9月8日現在

特許出願及び論文発表

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 検査運用コストの低減を目標に、検査周期や充填試験条件を適正化するための基盤となるデータ取得を開始し、ガイドライン改定に向け、HySUT水素計量タスクフォースに協力を依頼した。
- 大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の影響度合いの明確化とHDV対応機器の調査・手配・性能評価を開始した。

本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトにおいて開発される水素燃料計量システム技術及び充填技術は、HDVをはじめとする様々な燃料電池モビリティとインフラの普及に資するものであり、国が策定した第六次エネルギー基本計画や水素基本戦略の目標達成に貢献すると期待される。これらの技術は燃料モビリティユーザーに適正な水素燃料商取引を提供するとともに、水素インフラ事業者に対して運営コストの低減により2020年代後半に設定されている自立化を支えるものである。

アウトカム達成に向けた具体的取組



消費者保護の観点から水素ステーションにおける適正な水素燃料商取引のための水素ディスペンサー計量精度検査が必要



Heavy Duty Truck
fueling 80 kg for 10 min



HDV等、様々なFCモビリティに対応することにより、普及に貢献



福島水素充填技術研究センターにおけるMF-Twinディスペンサー計量試験の実施



操作性に優れ、コンパクトで効率的・低コストな計量検査の実用化



HDV等の新プロトコルに対応した計測技術と充填技術の開発

アウトカム達成に向けた具体的取組

- マスターメーター法計量精度検査装置による検査精度（最大許容誤差）
±2.0%級、不確かさ0.4% ⇒ 国際標準
※トレーサビリティ体系の再構築と革新的な技術進展が必至
- 計量精度検査コストの低減 ⇒ 2020年度比で約3割の削減
- 福島水素充填技術研究センターの運用
- HDV新プロトコル開発
- 国際標準化審議での活用（GTR、ISO、SAE、OIML等）

波及効果

- マスターメーターの計量性能向上を目標として、トレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備を活用し、国際法定計量機関勧告OIML R139での計量精度と不確かさをクリアし、国際調和へ向けた活動を推進する予定である。
- 福島水素充填技術研究センターでの充填技術の効率的技術検証を継続的に実施することで、GTRやISOなどの標準化活動の推進が期待される。

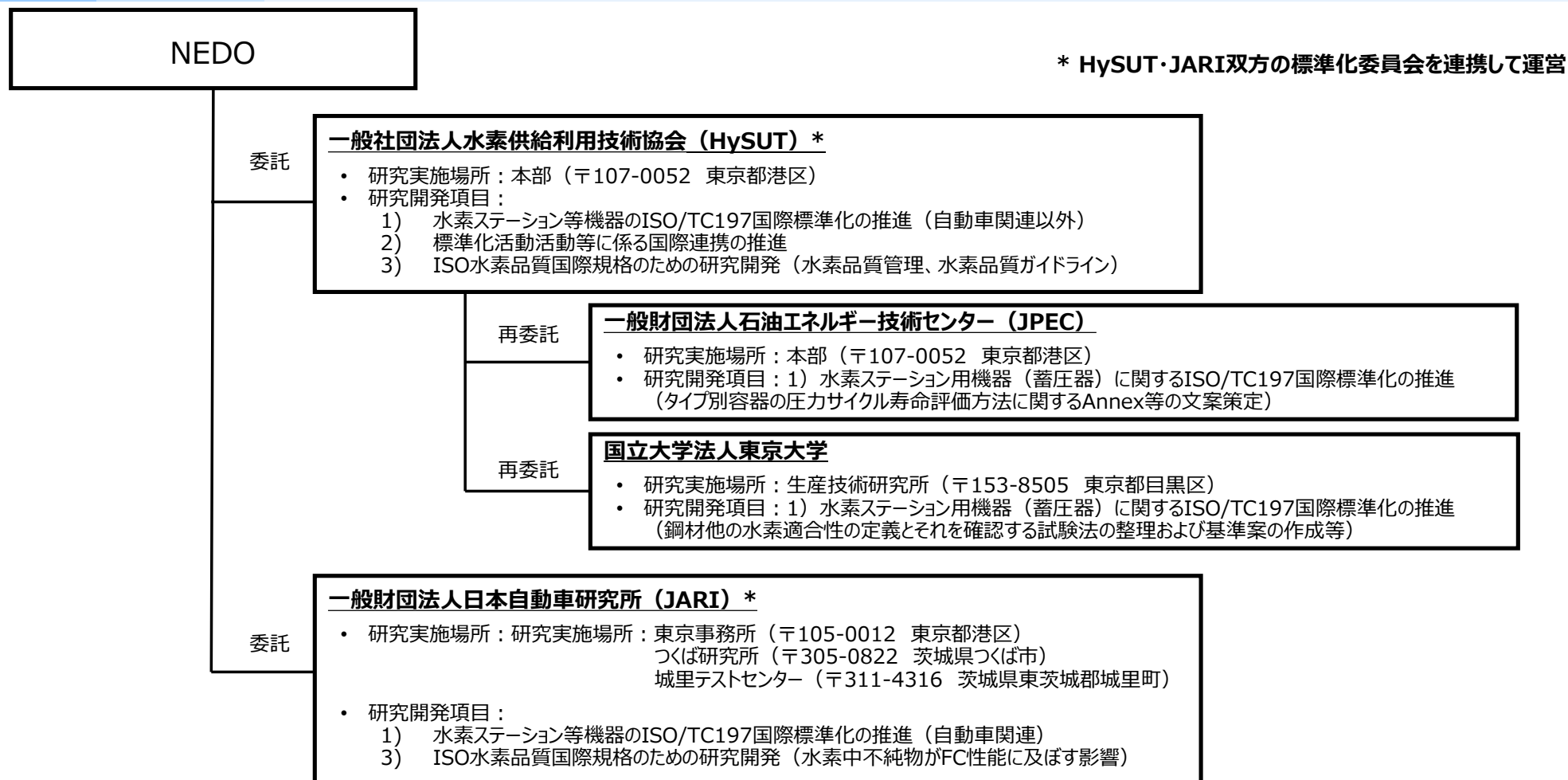
「研究開発項目Ⅱ 国際展開、国際標準化等に関する研究開発」
テーマ名：水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化
の推進と水素品質規格のための研究開発
2018年度～2022年度 5年間

プロジェクトの詳細（公開版）

2023年11月21日

発表実施者様：一般社団法人水素供給利用技術協会

実施体制



研究開発のスケジュールと予算

		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度～	
1) ISO/TC197国際標準化の推進	日本提案準備				中間目標	蓄圧器、O-ring等国際規格策定	TC197国際標準化対応	
	TC197対応		TC197対応				TC197 技術諮問委員会・議長補佐対応	改訂対応
	国際連携関連会議体への参加		CHSへの参加 △					国際貢献関連会議体への参加
2) 標準化活動等に係る国際連携の推進	水素品質改定向け基礎検討				最終目標	データに基づく水素品質規格改定提案	CHS他への国際連携対応	
	水素品質ガイドライン改定		水素品質ガイドライン改定				品質関連規格 技術サポート	
3) ISO水素品質国際規格のための研究開発	評価時期		中間評価				終了時評価	
	予算 (百万円)	HySUT JARI 委託 合計	33.2 18.8 52.0	42.1 19.7 61.8	23.0 10.0 33.0	35.0 22.0 57.0	51.4 41.4 92.8	- - -

テーマ毎の目標達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1) 水素ステーション等機器のISO / TC 197国際標準化の推進	1-1 ISO等国際標準の制定の主導的取り組みと、ISO等国際標準と国内研究開発等との連携強化	2018年度から2022年度までのISO/TC197における国際標準化の実績としては、12件の規格を発行した。内4件は日本が議長国（提案国）として発行した国際規格である。また、当該期間中25件の規格を審議改訂しており、そのうち7件は日本が議長国、提案国として開発した規格である。	○	ISO/TC197の議長国として水素技術の国際標準化の進展に的確に対応し、標準化の推進に貢献する。さらに日本の新規提案を促進する。
	1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進	水素品質、インターフェース関連国際規格改訂に関し日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。	水素品質関連2規格（議長国日本）および充填インターフェース関連2規格を発行した。うち、水素品質規格は日本のデータを根拠に成分を削減し、コネクタは日本が提案した氷結試験方法を内容に反映させた。車両に係る規格は、大量普及期に向けた大型車を対象とした改訂議論が開始されており、予定通り2022年度までの目標を達成した。	○
(2) 標準化活動等に係る国際連携の推進	CHS等国際連携活動の継続	CHSへのStrategic Partnerとしての参加。その他海外の関連事業者との意見交換、論議に積極的に参加し、水素技術の分野の国際標準化に対するプレゼンスを高め、2021年より日本がISO/TC197議長国となったことにつながった。	○	国際標準化の推進への寄与を目的として、今後も水素技術に関連する積極的に関連する海外の関連事業者との意見交換、論議に参加する。

テーマ毎の目標達成状況

研究開発項目		目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(3) ISO水素品質国際規格のための研究開発	3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査	ISO14687で規定されている不純物の許容濃度の妥当性を改めて検討し、許容濃度の適正化を行い、次期改訂に資する。	インフラ事業者の緩和要望をもとに、規格改訂のための根拠が必要な成分を絞り込み、ギ酸削除、ハロゲン絞り込み、酸素緩和（2022年度は短期影響）に関するデータを取得した。このうちギ酸は規格表からの削除が可能であることを示し、ISO/CD 14687案に反映させた。	○	酸素規格値緩和の判断のため、長期的な劣化の影響調査が課題。後継事業で調査する。
	3-2 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発	水素品質管理の国際規格改訂に合わせたガイドライン改訂等の取り組み	もとの水素品質関連のISO国際規格の改訂に合わせて、2度に亘る水素品質ガイドライン改訂案の策定を実施した。また、Sの簡易分析について検知管等の精度を確認し、品質管理の低コスト化の可能性を示した。	○	日本で開発されている特にFCV用水素品質規格に適用する分析法の適用の可能性を調査する。また、ガイドラインへのリスクアセスメント手法の導入案を策定する。

成果と意義：プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

○ 達成状況

プロジェクト全体としては、下記のように事業目的に対して十分な成果を収めている。

1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進

1-1. ISO/TC197における国際標準化の実績として、12件の規格を発行し、内4件は日本が議長国（提案国）として発行した国際規格である。また、期間中25件の規格を審議改訂しており、そのうち7件は日本が議長国、提案国として開発した規格である。特にステーション用蓄圧器（WG15：日米共同議長体制）、HRS用O-ring規格の日本提案は顕著な成果である。

1-2. 水素品質および水素充填インターフェース関連のISO国際規格について、日本の意見を十分に反映して発行と改訂を推進した。

2 標準化活動等に係る国際連携の推進：HySUTはCHSにStrategic Partnerとして影響力を行使するとともに、IEA HTCP会議、NOW、DOE等との国際会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を実施した。

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

3-1. 実験データに基づいて水素品質規格からギ酸を削除することで分析コストを低減、また、ハロゲン化物の絞り込みおよび酸素規格値緩和の根拠となるデータを取得した。

3-2. 水素中の硫黄等に関する分析方法・検知限度・コスト等を調査するとともに、簡易分析法として検知管の適用可能性を検討した。水素品質ガイドライン改訂案の策定を2回にわたり実施した。

○ 成果の意義

ISO/TC197（水素技術）関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、日本の水素・FCV関連の市場での国際競争力強化を図る上で意義が大きい。

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進

1-1 ISO等国际規格の主導的な制定の取組みと、ISO等国际標準と国内研究開発等との連携強化

○ 達成状況

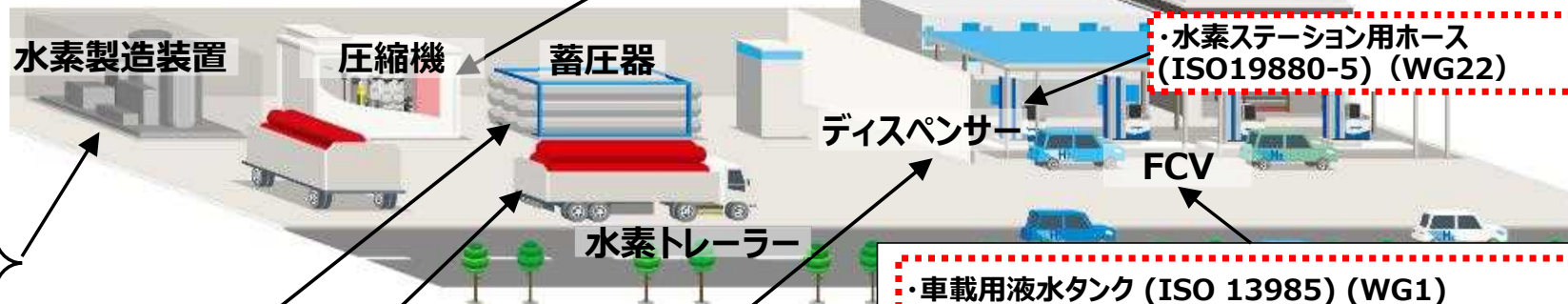
水素ステーション用機器等水素関連技術に関する国際標準化を進め、グローバル動向を踏まえつつ、日本の技術・知見を活かして制定を主導的に取り進めた。ISO/TC197及びその傘下のWG等の国際会議への有識者の派遣、関係団体との連携等を行うとともに国内委員会活動を充実させ日本が主導的な立場で水素関連技術の国際標準化を推進できるよう活動した。

- 実施期間中（2018年度～2022年度）に12件の国際規格を発行した。内4件は日本が議長国（提案国）として発行したものである。
- 期間中25件の規格を審議・改訂しており、そのうち7件は日本が議長国、提案国として開発した規格である。
- 特に、ステーション用蓄圧器（WG15：日米共同議長体制）、水素ステーション用O-ring規格の日本提案は当初想定外の顕著な成果である。

○ 成果の意義

ISO/TC197関連の国際標準化活動を積極的に実施する中で、特に日本を議長国とする新規項目も含めて国際規格の策定が的確に進んでいる。今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。

ISO/TC197 対象範囲



・水素ステーション
(ISO19880-1) (WG24)

・水素充填プロトコル
(ISO19885) (WG24)

・液水充填プロトコル
(ISO 13984) (WG35)

・水電解水素製造装置
(ISO 22734-1) (WG34)

・水電解水素製造装置の電力網
に対する性能試験
(ISO/TR22734-2)(WG32)

・改質器 (ISO 16110-1, -2)

・水素精製装置(PSA)
(ISO/TS 19883)(WG17)

・定置式水素蓄圧器
(ISO 19884) (WG15)

・水素吸蔵合金容器 (MH) 容器
(ISO 16111) (WG25)

・水素ステーション用バルブ類
(ISO 19880-3) (WG20)

・水素ステーション用フィッティング (継手)
(ISO 19880-6) (WG23)

・水素検知器
(ISO 26142)

・水素ステーション用コンプレッサー
(ISO 19880-4) (WG21)

・水素燃料サンプリング方法
(ISO 19880-9) (WG33)

・水素ステーション用 O-ring
(ISO 19880-7) (WG31)

・水素ステーション用ディスペンサー
(ISO 19880-2) (WG19)

・水素燃料仕様(ISO14687)(WG27)

・水素品質管理(ISO 19880-8)
(WG28)

・FCV用水素の分析方法(ISO 21087)
(TC158/JWG7)

・水素システムの安全に関する基礎検討項目
(ISO/TR 15916) (WG29)

・水素ステーション用ホース
(ISO19880-5) (WG22)

・車載用液水タンク (ISO 13985) (WG1)

・車載用高圧水素タンク+TPRD(熱作動式圧力逃
がし装置)(ISO 19881, ISO 19882) (WG18)

・水素充填コネクタ (ISO 17268) (WG 5, WG36)

・水素自動車燃料系部品 (ISO 19887) (JWG30)

・燃料電池自動車用水素仕様
(WG27 Task 1)

・定置用燃料電池水素仕様
(WG27 Task 2)

・厨房・ボイラー用水素仕様
(WG27 Task 3)

日本提案・議長

規格新規策定中

規格改訂中

規格発行済

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進

1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進

○ 達成状況

水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行と改訂の対応。

- 日本が議長国である水素品質規格ISO 14687 (WG 27) および水素品質管理ISO 19880-8 (WG 28) は、2021年から改訂審議が開始。両ISOとも更なる水素ステーションの管理コスト低減を目指し、規格緩和に向けた議論を海外機関と共に進めている。(2024年改訂版発行予定)
- 水素充填コネクタ ISO 17268 (WG5) は2020年2月に発行後、HDVを考慮した改定議論が開始されており、日本からHDV用に内径4 mmのコネクタ形状を提案し議論を加速している。水素充填プロトコルは ISO 19885 (WG 24) とし、充填プロトコル概念、通信制御、HDV用充填プロトコルの3つの規格開発を開始。日本としてはMF充填 (流量 180g/s (90g/s × 2)) に焦点を置いて検討を進めている。
- 液水充填プロトコル ISO 13984 (WG36) は、1999年発行第1版をベースに技術の進捗に合わせた改定を始めた。CcH2充填コネクタは、ISO17268-3 (WG35) とし、市場での問題なく運用できるよう、レセプタクル、保護キャップ (車載用)、ノズル、通信ハードウェアを規定する議論を開始している。

○ 成果の意義

ISO/TC197 (水素技術) 関連の国際標準化活動を積極的に実施する中で、日本の意見を十分に反映して発行・改訂を推進することは、今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

2 標準化活動等に係る国際連携の推進

○ 達成状況

- ISO/TC197関連国際標準化の円滑な活動に資するため、安全に関する国際連携を目的として、2019年度より HySUTはCHS（Center for Hydrogen Safety）にメンバーとして参加し、2019年10月にCHSとして開催する初の国際会議（サクラメント）において日本の状況を報告した。また、2020年7月より、Strategic Partner としてメンバー資格を上げ、より影響力を行使できる体制を築き、引き続きCHSの活動に貢献した。
- グローバルな関連技術動向の把握のため、IEA HTCP会議、NOW、DOE等との国際インフラワークショップ会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を行い、国際連携の推進に積極的に取り組んだ。特にIEA HTCP会議においては、水素安全TF（TF43）において日本から参加のエキスパートがタスクリーダーとして貢献している。

○ 成果の意義

上記のように国際連携に必要な活動を積極的に実施する中で、日本の水素技術の分野の国際標準化に対するプレゼンスを高め、今後の国際協調に必要なプラットフォームへの参画を容易とする基盤を醸成した。

これらの活動の成果の一つとして、2021年より日本がISO/TC197議長国となったことにつながった。

成果と意義：各個別テーマの成果と意義

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査

○ 達成状況

2020年度までにインフラ事業者の緩和要望をもとに、規格改訂のための試験データが必要な成分について取り纏めた。2021年度はこれらの成分に対するデータ取得も含めた具体的検討を開始した。2022年からは酸素緩和に関する短期的な影響の影響評価も実施した。

○ 成果の意義

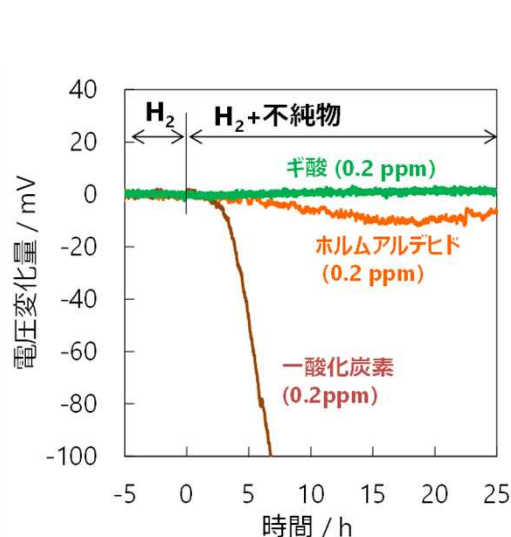
水素供給事業者の要望を踏まえて自動車メーカーの理解を取りつつ次期水素品質規格の改訂提案を行い、水素品質管理の負担を低減させることで、分析コストの低減と、水素品質管理に係る新規参入者の増加が期待でき、水素およびFCVの普及拡大に貢献できる。

改訂候補成分	分析コスト低減への寄与方法	必要な検討項目	得られた成果と課題
ギ酸の水素品質規格からの削除	規格から削除して分析項目を減らし、コスト低減（効果大）	規格から削除する場合の根拠データが必要	2021年度にデータを取得、高濃度でも影響が小さいことをデータで示した。DIS段階ではギ酸規格値を削除し、炭化水素の項に含める方向となった。
ハロゲン化物の絞り込み（Clのみ）	ハロゲン化物の分析成分数を削減（4 → 1種）することによるコスト低減	Cl以外のBr, Iを規格から除外する根拠となるデータが必要	日米欧の研究機関からなる専門家会議で、欧州でのハロゲンの燃料電池触媒への影響評価結果を共有した。日本では2022年に燃料電池性能への影響評価を実施し、ハロゲン化物の絞り込みに向けた検討に活用した。
酸素許容濃度の緩和	5→50 ppmとすることによる品質管理負担低減	緩和することによる性能・耐久性に関する知見が必要	2022年度に短期的な影響と、水素循環系における濃縮挙動の基礎データを取得した。今後長期影響に関する燃料電池劣化への影響に関する知見が必要。

成果と意義

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査



濃度2ppm、10時間添加

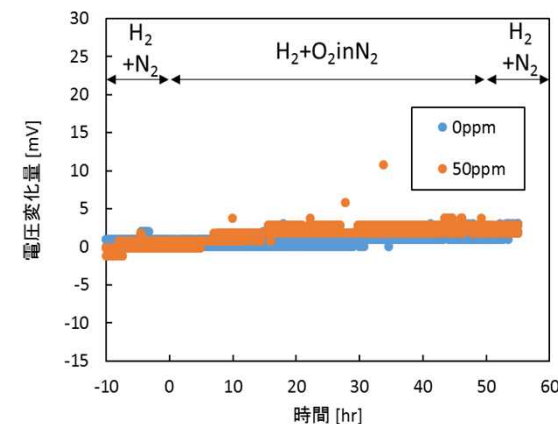
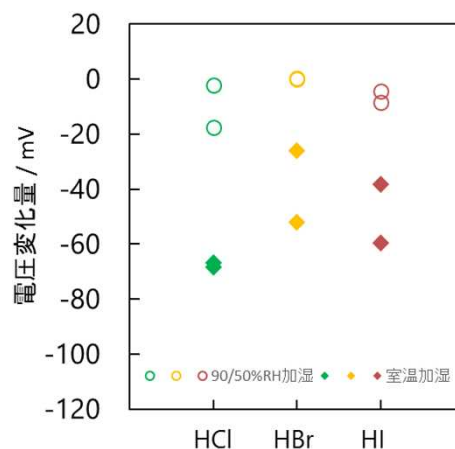


図 ギ酸、ホルムアルデヒド、COによる燃料電池電圧への影響 (60°C、1.0 A cm⁻²)

図 種々のハロゲン化物による燃料電池電圧への影響 (60°C、1.0 A cm⁻²)

図 酸素による燃料電池電圧への影響 (60°C、1.0 A cm⁻²)

- ギ酸に関するデータを取得し、現状の規格値で十分に燃料電池への影響が小さいことを示した (規格表から削除、炭化水素に含める)。
- ハロゲン化物 (許容濃度0.05 ppm) は低加湿条件で電圧が低下 (種類によらず不可逆的)。
- 酸素は50 ppmでも短期的には電圧低下は見られない。(今後長期での材料劣化への影響を調査)

成果と意義

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

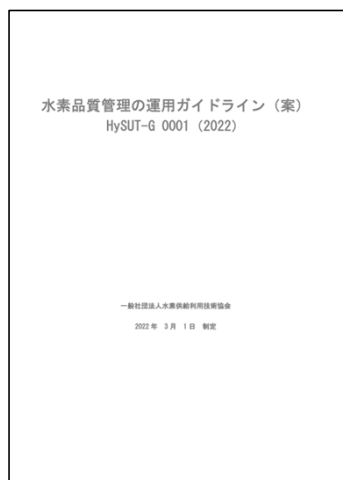
3-2水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発

○ 達成状況

- 硫黄等の分析方法について、分析方法・検知限度・コスト等を調査した。特に水素中の硫黄等に関する、検知管等による低コストの品質管理手法の可能性を示した。
- 品質異常発生時の対応、及び水素品質規格 ISO14687の改訂版発行に伴う品質管理手法の整合のため、2度にわたる水素品質ガイドライン改定案を策定した。

○ 成果の意義

上記の品質管理手法の検討、コスト解析、技術動向に合わせたガイドラインの改定により水素供給の発展向上、低コスト化に資することが出来る。



実水素ステーションガスを用いた簡易分析法（検知管）による濃度試験

- 今回の試験より、 H_2 ガス中の 4 ppb 程度の H_2S 濃度の概略測定を行うことは可能と思われる。再現性もある。
- 不純物の影響等但し、 H_2S 以外のS化合物その他は、不明である。



変色前



変色後

特許出願及び論文発表

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	0	1 (査読有)	0	0	2	3
研究発表・講演	0	1	1	4	6	11
受賞実績	0	1	0	0	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	0	0	1
展示会への出展	0	0	0	0	0	0

※2023年9月8日現在

特許出願及び論文発表

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

- 本プロジェクトにおける現状の国際標準化活動の中で、知的財産権を発生する状況を想定していないが、試験法、資料採取法等に係る技術が発明された際は、それらの技術情報について知的財産権を確保し、NEDO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している。（国内標準または国際規格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）

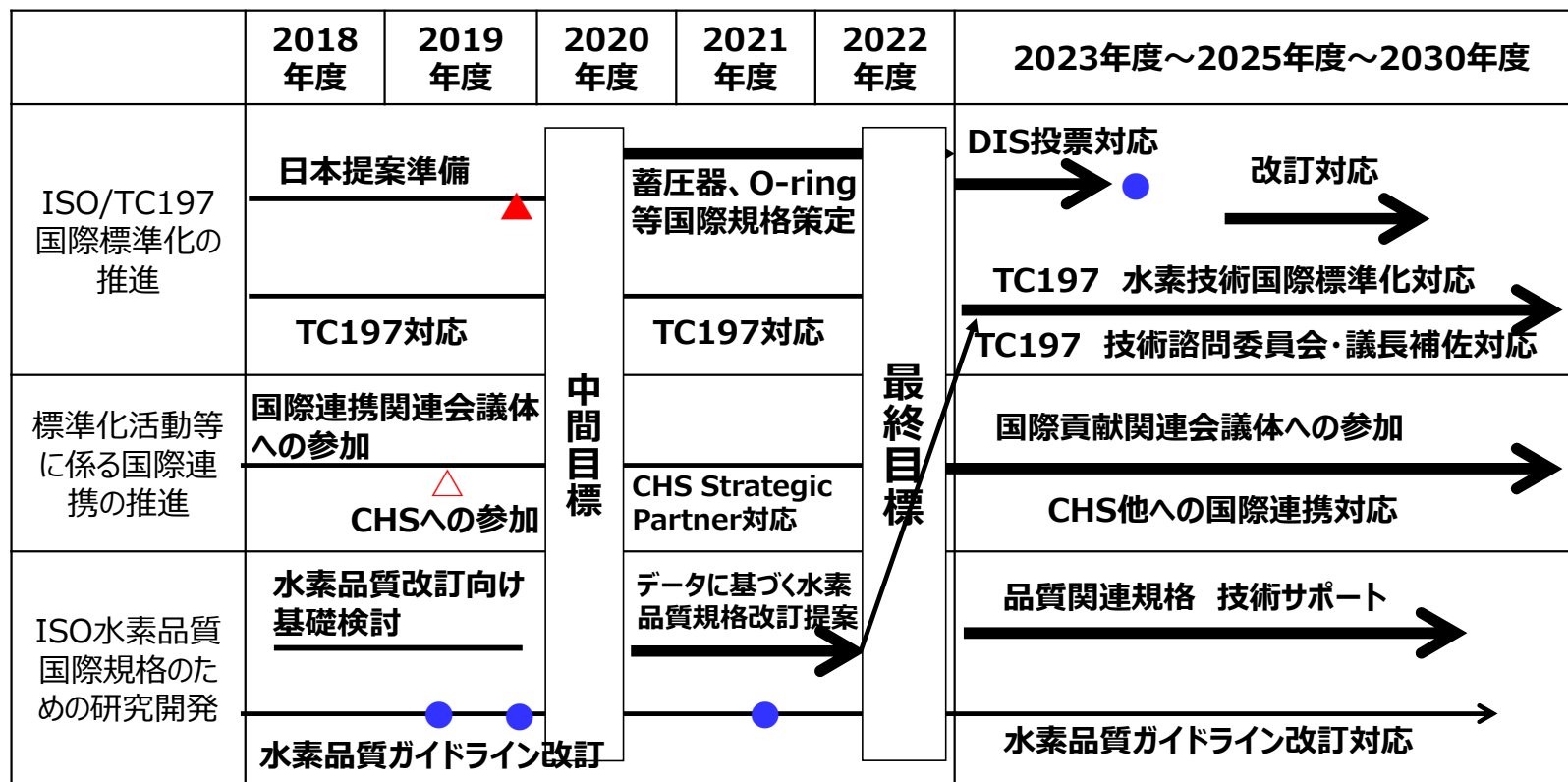
本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトは、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197（水素技術）が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組みを実施するものである。更に標準化活動等に係る国際連携を推進し、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。また、上記のISO国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行う。

このように、ISO/TC197関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、水素・FCV関連の市場における日本の国際競争力を強化することが可能となる。以って水素・FCVの大量普及に資することが出来る。

アウトカム達成に向けた具体的取組

◆ 国際連携・国際標準化に向けた具体的取組



▲：新規業務提案 ●：発行 △：その他のイベント

波及効果

◆ISO/TC197 国際標準化活動推進による波及効果

日本にとってのメリット：

- 今後も中心的な位置での活動を継続することにより、水素技術に係る国際標準化におけるプレゼンスがますます高まる。
 - これまでも日本の高い水素関連技術から、各国際標準化案件への積極的な参画により、当該TCでの日本の一定のプレゼンスはあったが、世界の水素関連技術への取り組みが活発化する中で、日本の活動を一層推進することにより、影響力、発言力は、さらに高まる。
 - TCの決定事項に対して、不利を避けられる。
 - 今後の大型車（Heavy Duty Vehicle; HDV）の展開など、先端技術に関する情報をいち早く収集できる。また、NEDO 他事業との連携により高度な貢献を可能と出来る。

その他の波及効果：

- 日本の水素・FCV関連の国際競争力の強化
 - 日本の持つ高い技術力に対して、国際標準化の側面からそれを裏打ちすることから、国際市場における日本の国際競争力を維持・発展することが出来る。
- 人材育成
 - 日本からの議長、エキスパートおよび事務局の国際標準化審議に参加することで、国際標準化対応に優れた人材の育成につながる。