

**超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業/
国内規制適正化に関わる技術開発/
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる
研究開発
(中間評価)
(2018年度～2020年度 3年間)
プロジェクトの概要 (公開)**

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)

2020年12月17日

1/64

事業概要 (1)

1. 期間

開始 : 2018年6月

終了 (予定) : 2021年2月

技術基準案 :

一般高圧ガス保安規則等の改正に資する資料
例示基準への引用に資する資料

2. 最終目標

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	最終目標 (2020年度)
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出、その課題に対する対策とその進め方の明確化
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	無人運転を可能とする技術課題の整理、それを可能とする安全対策案の検討・立案
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	最終目標
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準 (省令や例示基準) の改訂に資する技術基準案の作成
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成

2/64

事業概要（2）

2. 最終目標

③（1） 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	最終目標
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容や役割の明確化
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成

③（2） 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	最終目標
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化

3/64

事業概要（3）

3.成果・進捗概要

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	<ul style="list-style-type: none"> 法技術的な課題の抽出と整理 理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成 	○
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	<ul style="list-style-type: none"> 従来のリスクアセスメントでの人による安全対策の抽出 従業員等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 遠隔監視のための安全対策の立案 緊急時の対応策の立案 	○
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	<ul style="list-style-type: none"> 省令に資する技術基準案及び省令（一般則7条の4、製造細目告示、基本通達）制定に向けた対応 例示基準案 安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 運営のガイドライン案 	△ 2020年度未達成見込

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 検討方針策定 リスクシナリオ抽出結果 リスクアセスメントのガイドライン 	△ 2020年度未達成見込
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> 二次元モデル（PFD、P&ID等も含めて） 三次元モデル 	○
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	<ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント結果 合理的な安全対策 シビアアクシデント対応策 	△ 2020年度未達成見込
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準（省令・例示基準）の見直し案 	△ 2020年度未達成見込
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 検査・点検方法の見直し項目は無いとの結論 	○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

4/64

事業概要（4）

3.成果・進捗概要

③（1） 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	・専任ステーションの事業者、保安監督者、従業者の職務と保安体制を整理	○
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	・兼任スタンドモデル構築・課題抽出	○
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	・m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメント結果	○
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	・兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業者の必要要件抽出・整理	○
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	・ 危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 ・ 基本通達制定に向けた対応	○

③（2） 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	成果内容	自己評価
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	・高圧ガス保安法での実施⇒保安距離確保が困難 ・ガス事業法での可能性を提案	△ 2020年度未達成見込

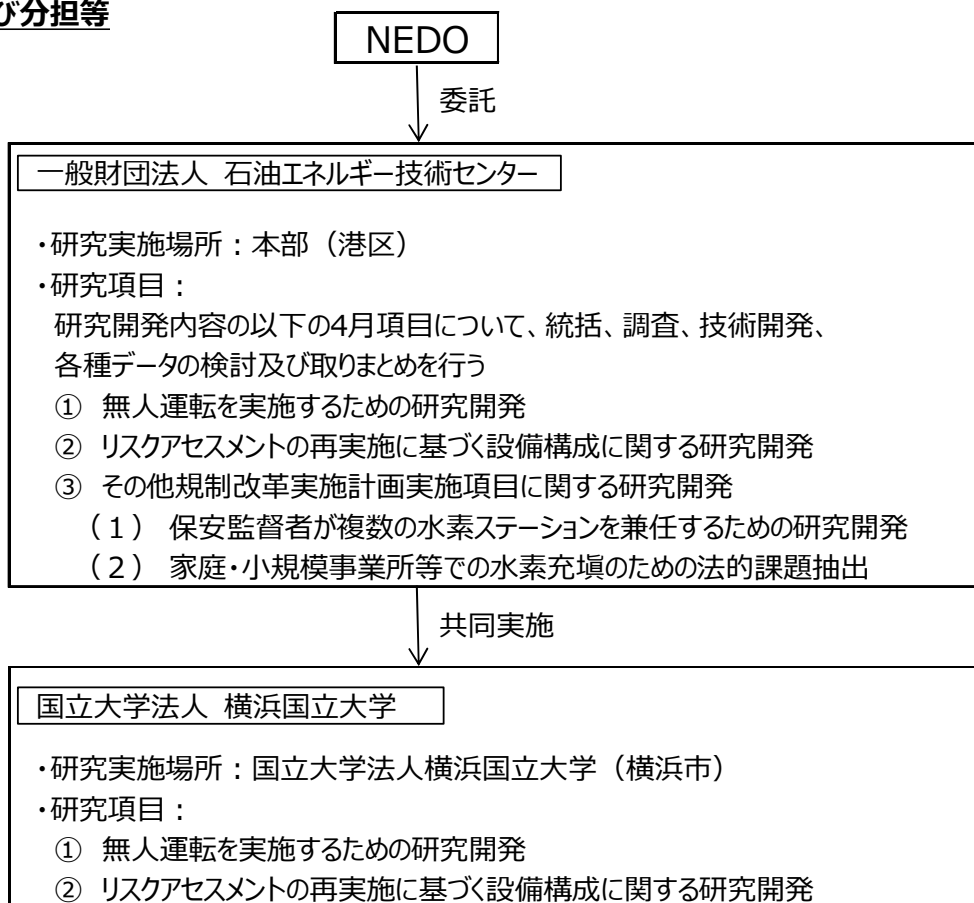
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

5/64

事業概要（5）

●実施体制および分担等

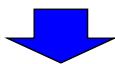
体制図



6/64

社会的背景

- ・2014年閣議決定の「第4次エネルギー基本計画」で、エネルギーの3E+Sのため、水素社会の包括的な検討を進めるべき
- ・2016年改訂の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で水素ステーションとFCVの目標数が示された
- ・2017年閣議決定の「規制改革実施計画」では水素ステーションやFCVに係る37項目
 - No.29a：保安監督者の複数スタンド兼任の許容
 - No.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容
 - No.32：一般家庭等における水素充填の可能化
 - No.38：水素スタンド設備に係る技術基準の見直し
- ・2017年の「水素基本戦略」で2030年の水素価格やステーション目標数提示達成には上記規制改革案件の早期実行が求められる
- ・2018年閣議決定の「第5次エネルギー基本計画」もこれらの目標数を踏襲
- ・2019年3月の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で個別テーマのスケジュール提示



事業の目的

- ・ロードマップで示された2020年160か所、2025年320か所の実現には、事業自立化に向けたステーション整備費・運営費・水素調達コストの低減が不可欠で、それに向けた技術開発が重要

⇒2018年度からのNEDO事業『超高压水素インフラ本格普及技術研究開発』

(上記事業のNEDO公募要領)

2025年以降の水素ステーション本格普及、

2030年以降の水素ステーション事業自立化、に向け、

国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化の研究開発

水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発

NEDOの研究開発の目標

- ・国内規制適正化に向けた省令等の制定・改訂に資する技術的裏付けデータ取得及び技術基準案の作成
- ・本格普及期を想定した水素ステーションのガイドライン案作成

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性③

水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ (全体)

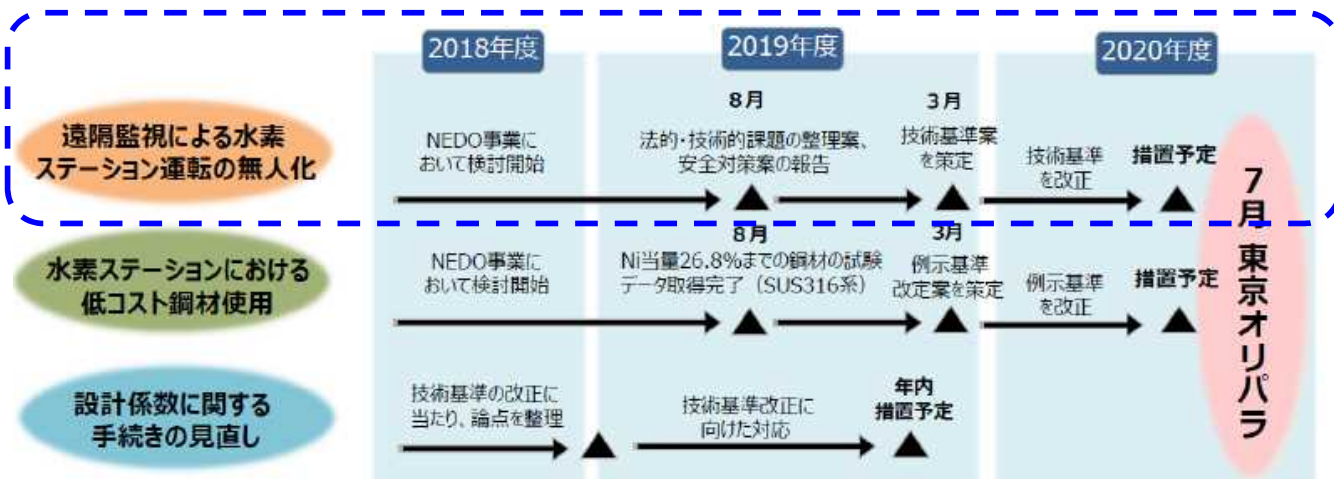
- 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、
- ① 目指すべきターゲットを新たに設定(基盤技術のスペック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定
- ② 有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施

	基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組
利用	FCV 20万台@2025 80万台@2030	2025年 ● FCVとHVの価格差 (300万円→70万円) ● FCV主要システムのコスト (燃料電池 約2万円/kW→0.5万円/kW 水素貯蔵 約70万円→30万円)	● 徹底的な規制改革と技術開発
	ST 320か所@2025 900か所@2030	2025年 ● 整備・運営費 (整備費 3.5億円→2億円 運営費 3.4千万円→1.5千万円) ● ST構成機器のコスト (圧縮機 0.9億円→0.5億円 番圧器 0.5億円→0.1億円)	● 全国的なSTネットワーク、土日営業の拡大 ● ガルガスタ/コボニ併設STの拡大
	バス 1200台@2030	20年代前半 ● FCバス車両価格 (1億500万円→5250万円) ※トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める	● バス対応STの拡大
発電	商用化@2030	2020年 ● 水素専焼発電での発電効率 (26%→27%) ※1MW級ガスタービン	● 高効率な燃焼器等の開発
	グリッドパリティの早期実現	2025年 ● 業務・産業用燃料電池のグリッドパリティの実現	● セルスタックの技術開発
供給	水素コスト 30円/Nm ³ @2030 20円/Nm ³ @将来	20年代前半 ● 製造：褐炭ガス化による製造コスト (数百円/Nm ³ →12円/Nm ³) ● 貯蔵・輸送：液化水素タンクの規模 (数千m ³ →5万m ³) 水素液化効率 (13.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 褐炭ガス化炉の大型化・高効率化 ● 液化水素タンの断熱性向上・大型化
	水電解システムコスト 5万円/kW@将来	2030年 ● 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW) ● 水電解効率 (5kWh/Nm ³ →4.3kWh/Nm ³)	● 浪江実証成果を活かしたモデル地域実証 ● 水電解装置の高効率化・耐久性向上 ● 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性④

水素・燃料電池戦略ロードマップからの抜粋

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画(2017年6月9日閣議決定)で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



青破線：「規制改革実施計画」のNo.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容
本事業の①無人運転を実施するための研究開発 に該当

本研究開発
 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発 を
 国が支援する多くの理由として、NEDO提示の選択肢からは、

- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献
- 規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要

が該当

2. 研究開発マネジメントについて (1) 研究開発目標の妥当性①

◆研究開発目標と根拠

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出 その課題に対する対策とその進め方の明確化	無人運転実現には一般則に新規条項制定が不可欠 国内法規と無人運転が先行している海外法規から課題を抽出、解決策や進め方検討が必要
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	無人運転を可能とする技術課題の整理 それを可能とする安全対策案の検討・立案	無人運転実現に必要な技術課題を挙げ、遠隔監視などの設備面やソフトウェアの安全対策の検討と立案が不可欠
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成 省令案以外の各種技術基準案の作成	省令制定には、それに資する技術的裏付けとそれを記載した技術基準案が不可欠、省令以外の例示基準改訂などにも技術基準案は不可欠

一般則：一般高圧ガス保安規則

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性・汎用性の高いリスクアセスメント実施には最新の知見を活かした水素ステーションに最適なリスクアセスメント手法の構築が不可欠
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築	リスクアセスメントの対象となる水素ステーションモデルは多様な設備構成をカバーでき、リスク影響が敷地外に及び易い狭小なモデルが必要
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案	定量的なリスクアセスメント結果を技術的な裏付けとするベースに安全対策の合理化案の提案が不可欠
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準（省令や例示基準）の改訂に資する技術基準案の作成	省令や例示基準の改訂には、それに資する技術的裏付けとそれを記載した技術基準案が不可欠
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成	安全対策の合理化により設備の検査・点検方法に変更が生じるときには検査・点検に関する技術基準の見直し案が必要

2. 研究開発マネジメントについて（1）研究開発目標の妥当性②

◆研究開発目標と根拠

③（1）保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業者の業務内容や役割の明確化	保安監督者兼任の要件を考えるためには、現状の専任されている保安監督者の業務だけでなく、事業者や従業者の役割の把握も不可欠
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成	保安監督者兼任の要件検討には、特に緊急時のリスクアセスメントが必要であるが、特に人に関わるモデルを作成することが必要
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施	保安監督者兼任ステーションの緊急時対応の要件抽出のためにはヒューマンファクターを考慮した緊急時を想定したリスクアセスメントが不可欠
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	保安監督者兼任のための保安監督者、事業者、従業者、立地等の要件の設定が規制の見直しには不可欠
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	省令解釈変更の裏付けとなる、上記要件を反映した各種技術文書は省令解釈変更に不可欠

③（2）家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	研究開発目標	根拠
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出のためにはベースとなるモデルが必要
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	そのモデルの家庭への設置における法的課題の抽出は本テーマに不可欠

13/64

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性①

◆研究開発のスケジュール

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	→				
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	→	→	→	一般則7条の4第1項対応 ・遠隔ステーションの保安監督者兼任の法整備過程対応	
c)無人運転実施のための技術基準案の策定			→	-----	-----→

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	→		→		
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	→				
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案		→			
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し			→	-----	-----→
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し			→		

実施計画書： → 参考： ----->

14/64

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性②

◆研究開発のスケジュール

③（1）保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出		→			
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出		→			
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施		→			
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討		→			
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成			→→		

保安監督者兼任の法整備過程対応

③（2）家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	→	→			
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出		→	→		

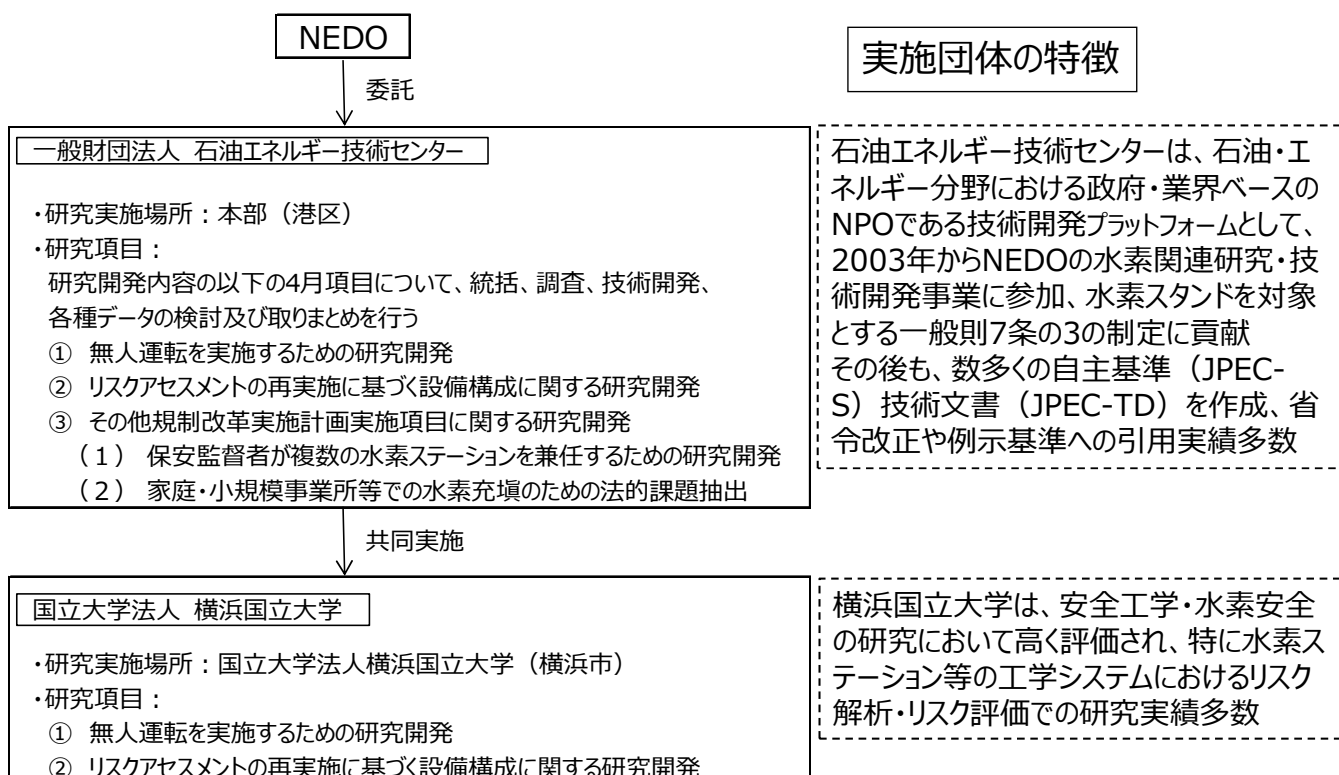
実施計画書： → 参考： ……→

15/64

2. 研究開発マネジメントについて（3）研究開発の実施体制の妥当性①

◆研究開発の実施体制

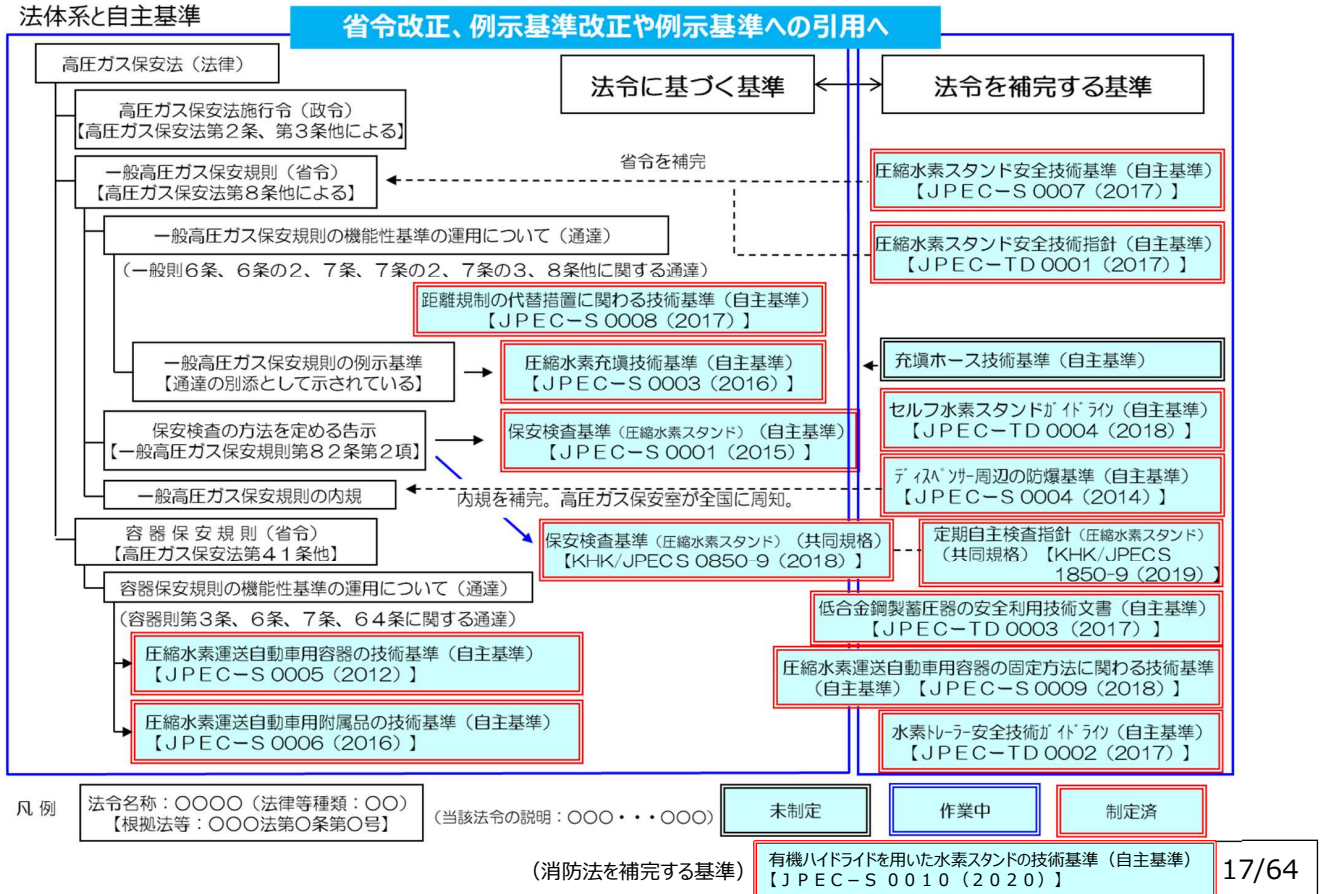
左図は再掲



16/64

2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性②

JPECが制定した自主基準 (JPEC-S) や技術文書 (JPEC-TD) と法体系の相関関係



2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性①

◆研究開発の進捗管理

本事業の委員会・検討会体制

国内規制適正化検討委員会 (事務局：JPEC、開催頻度：3-4回/年程度)

役割：本事業全体の方針や方向性を検討会等の状況を踏まえ決定すると共に、進捗状況の管理、事業の成果 (技術基準、指針の検討案及び関係資料等) を検証し審議する

委員会構成：外部の学識経験者、関連する団体の有識者を委員として選任し、関係省庁、NEDO、関係団体等から適宜オブザーバー参加を要請する

遠隔監視型セルフ水素スタンド検討会 (略称：遠隔監視スタンド検討会) (事務局：JPEC)

検討項目：①無人運転を実施するための研究開発

③ (1) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

リスクアセスメント検討会 (事務局：JPEC)

検討項目：②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

③ (2) 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

2. 研究開発マネジメントについて（4）研究開発の進捗管理の妥当性②

◆研究開発の進捗管理

委員会・検討会開催実績と内容・研究の進捗管理

国内規制適正化検討委員会

2018年度：11/8, 3/22 計2回開催

2019年度：7/9, 1/10, 3/30 計3回開催

2020年度：6/24, 10/6, 12/9 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

遠隔監視スタンド検討会

2018年度：10/12, 12/21, 2/20 計3回開催

2019年度：4/22, 6/25, 9/24, 10/30, 12/5, 2/6, 3/17 計7回開催

2020年度：5/18, 9/16, 11/20 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

リスクアセスメント検討会

2018年度：10/15, 1/15, 3/12 計3回開催

2019年度：6/26, 10/4, 12/10, 3/19 計4回開催

2020年度：6/16, 9/9, 11/27 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

19/64

2. 研究開発マネジメントについて（5）知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆知的財産権等に関する戦略

本研究開発で実施する4テーマについては、秘匿情報も含んでいるので、委員会・検討会等では、秘密保持を周知・徹底

本研究開発のアウトプット（技術基準案等）は、省令化や例示基準化、自主基準化に繋げ、広く事業者にも使用してもらうものなので、特許出願等を行わない

20/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	国内外法規制の整理と課題抽出、課題に対する対策と進め方の明確化	<ul style="list-style-type: none"> 法技術的な課題の抽出と整理 理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成 	○	
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	技術課題の整理、安全対策案の検討・立案	<ul style="list-style-type: none"> 従来RAでの人による安全対策の抽出 従業者等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 遠隔監視のための安全対策の立案 緊急時の対応策の立案 	○	
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成	<ul style="list-style-type: none"> 省令に資する技術基準案及び省令（一般則7条の4、製造細目告示、基本通達）制定に向けた対応 例示基準案 安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 運営のガイドライン案 	△ (2020年末)	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

21/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

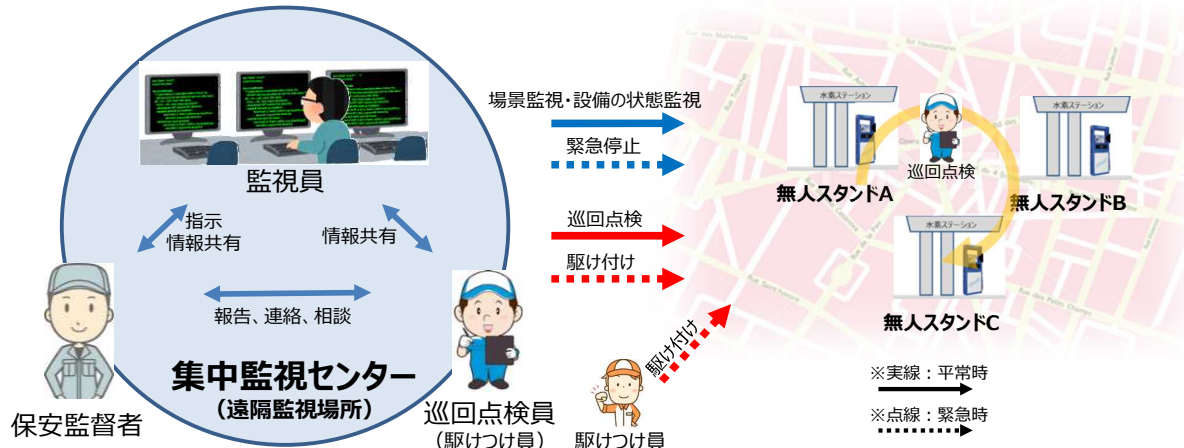
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

背景・検討の進め方

- 水素ステーションの製造設備：現状でも無人運転可能
- FCVへの水素充填等の高圧ガス製造：高圧ガス保安法のもとでは、保安監督者や従業員の常駐が必須
⇒無人運転ステーションの実現をめざし、水素ステーション保安と顧客の安全なセルフ充填の観点から「法技術的な検討」と「安全対策に係る検討」を行い、技術基準案を策定

遠隔監視による無人運転水素スタンドのイメージ



遠隔監視場所や事務所等、図面やその他の情報にアクセスが可能で常に連絡が取れるところ

緊急時に、所定時間に駆けつけられるところ

図：第10回公開の場資料より抜粋

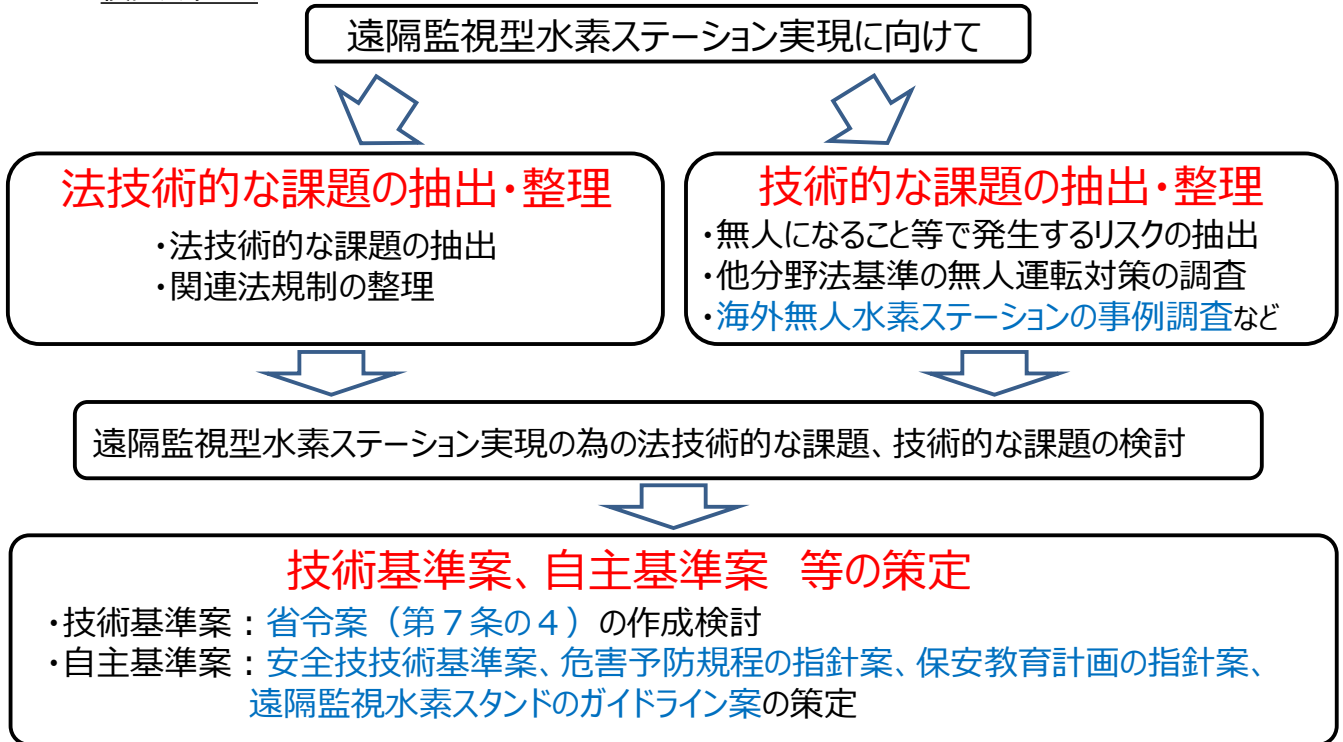
22/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

検討スキーム



23/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

国内法規制の整理

国内法規の整理 → 遠隔監視による水素スタンドの無人運転の実現のためには

- ・高圧ガス保安法
- ・一般則
- ・例示基準

- **脱圧したノズルの着脱は高圧ガス製造ではないとする**
法：第5条第1号、第8条第2号等 一般則：第7条の3第3項第2号
例示基準：59の9. 車両の誤発進防止
- **スタンドでの充填前のFCV容器期限確認を不要とする**
法：第46条、第48条第1項第1号、第5号 規制改革要望⑳
- **複数スタンドでの保安監督者兼任を可能とする**
法：第26条、第27条の2第1項 規制改革要望㉑-a
一般則：第63条第2項第2号、第64条第2項第5号、内規（64条関係）
- **遠隔監視、巡回点検、緊急時対応で従業者の常駐を不要とする**
法：第36条 一般則：第84条 規制改革要望㉒
一般則：第7条の3第3項第1号
例示基準：49. 設備の点検・異常確認時の措置

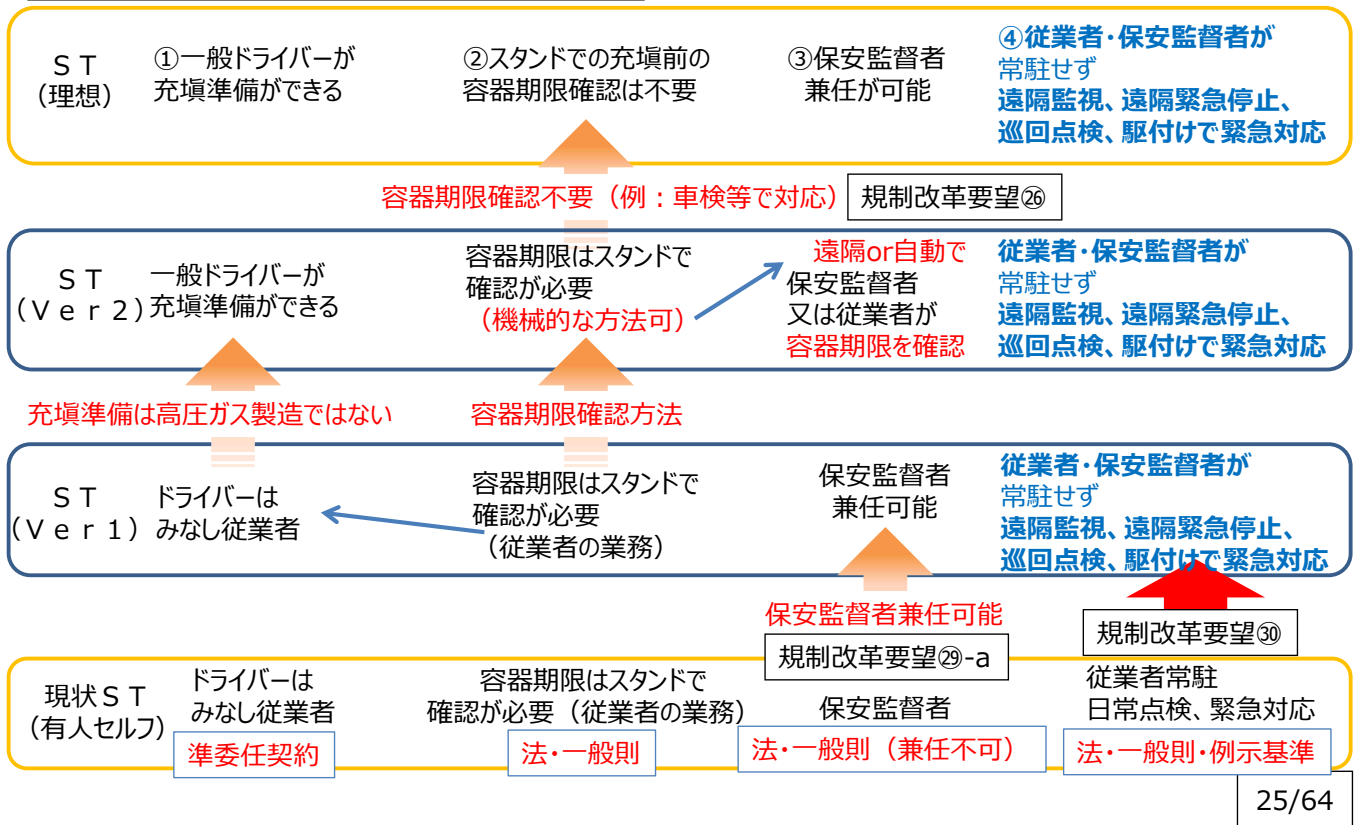
24/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

理想の遠隔監視型水素スタンドに向けたロードマップ

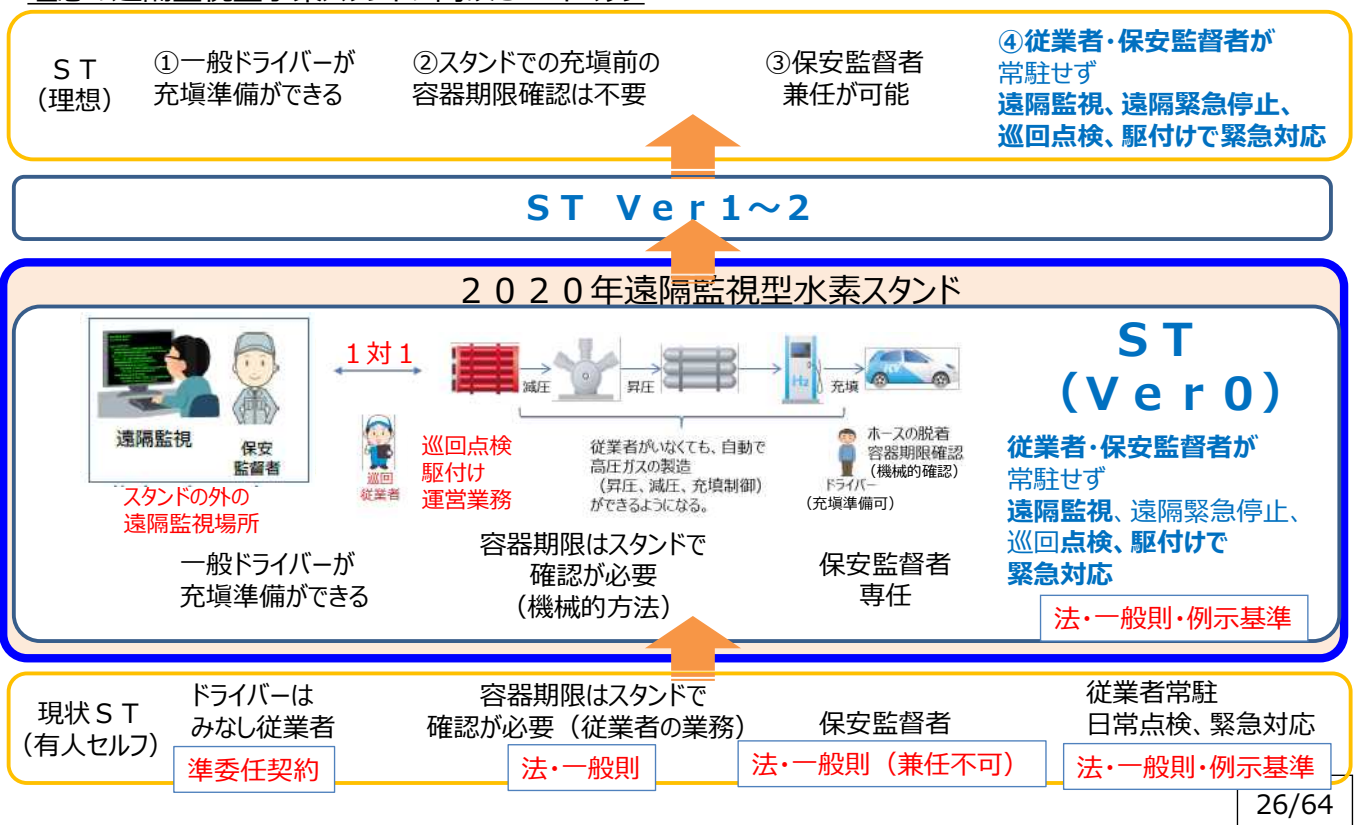


3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

理想の遠隔監視型水素スタンドに向けたロードマップ

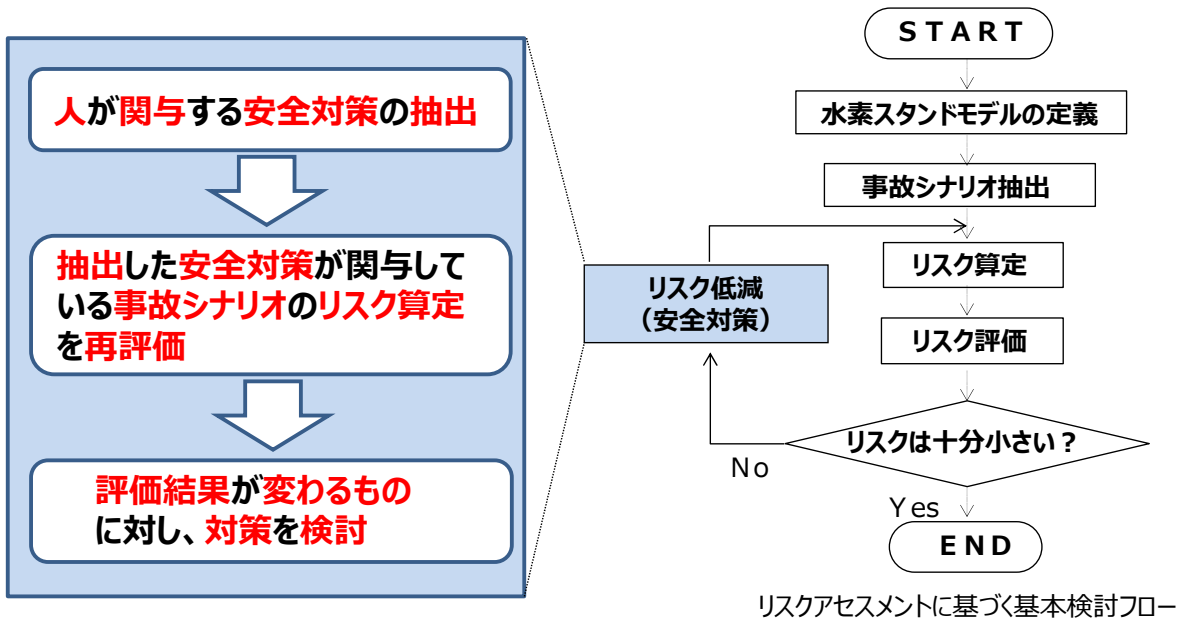


3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

現行水素スタンドに用いた従来リスクアセスメントでの人による安全対策の抽出と対応検討



日常点検（発生頻度低減）、従業者が押す充填停止ボタン（発災後の拡散抑制）
→巡回点検、遠隔緊急停止、一般人が押せる緊急停止ボタンの設置で対応可能

27/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

緊急時の従業者の作業の整理と対応検討

「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」

(平成25年度～平成26年度 NEDO事業 水素利用技術研究開発事業にてJPECが作成)

における初期事象から発災に至る過程で、現場の従業者が行う安全対策を分類・整理

・「遠隔監視」「遠隔緊急停止」「駆けつけ」により対応可能（6項目）

- ① インターロックによる設備の運転の停止を確認
- ② 手動で設備の運転を停止、遮断弁を閉止
- ③ 製造設備の運転状況や事業所付近の状況を確認
- ④ 水噴霧装置又は散水設備が自動で起動していることを確認
- ⑤ 必要に応じ、水噴霧装置又は散水設備を手動で起動
- ⑥ 蓄圧器を脱圧する

・「関係機関への連絡体制の構築」、「火気不使用の徹底」、「構内放送等の設置」により対応可能（3項目）

- ⑦ 関係各署に連絡
- ⑧ 事業所内の火気を直ちに消す
- ⑨ 顧客、車両等の避難誘導

・要検討項目：以下の3項目に関しては、消防や警備会社等の協力会社との連携などの仕組みづくりが重要

- ⑩ 構内火災が発生した場合の初期消火について
- ⑪ 蓄圧器元弁の閉止操作について
- ⑫ 周辺住民への周知、避難誘導の方法について

28/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

海外の水素ステーションの事例調査 (米国カリフォルニア州)

水素スタンド運営事業者であるFirst Element Fuel、Shell、ITM Powerの3社にヒアリングを行うとともに、実際に11箇所の水素スタンドを視察

【視察した水素スタンド】

スタンド名	UC Irvine	Long Beach	Hollywood	Riverside
外観				
立地	街中	街中	街中	郊外
形態	単独型	コンビニ、GS併設	GS併設	GS、CNG・LPGスタンド併設

【調査結果の概要】

- ✓ カリフォルニア州においては、**遠隔監視による無人運転の水素スタンドが一般的**
- ✓ 巡回点検や緊急時対応の方法等、**法規制に無人運転に係る規定は無く、保安確保についての具体策は事業者自らが定め、自主的に実施**
 例：巡回点検や駆け付けを行う者への教育・研修を定期的を実施
 近隣消防と、緊急時対応の取り決めを行うとともに、スタンドの情報を事前に共有
- ✓ **遠隔監視による集中監視システム**は水素インフラ全体の運営費低減に寄与

図：第9回公開の場資料より抜粋

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

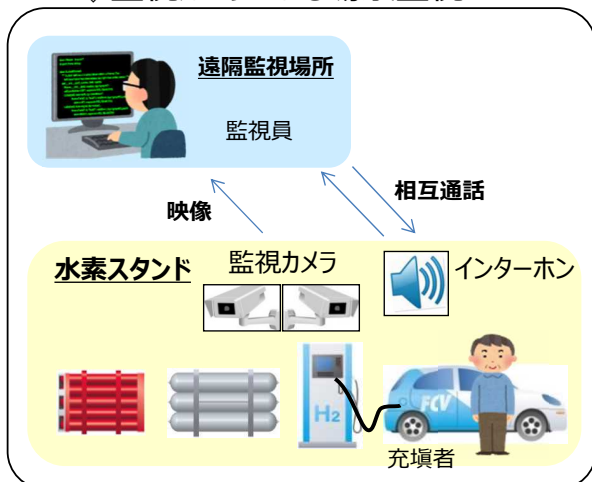
①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

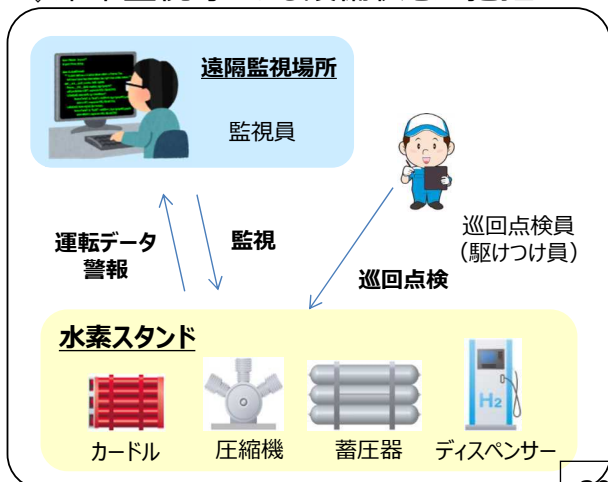
必要要件 1) 従業者不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策

	ハード対策	ソフト対策
平常時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所でのスタンドの場景監視措置 設備の運転状況監視措置 	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者、遠隔監視員、巡回点検員、駆けつけ員による保安体制の確立
緊急時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所での警報、緊急停止措置 インターロック、停電・サイバー対策 	<ul style="list-style-type: none"> 同時発災も含めた、緊急時の保安体制、駆けつけ体制の確立

◇監視カメラによる場景監視



◇集中監視等による設備状態の把握



図：第10回公開の場資料より抜粋

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

必要要件 2) セルフ充填を可能にする追加的安全対策

※赤字は、遠隔監視スタンド特有の安全対策



図：第10回公開の場資料より抜粋

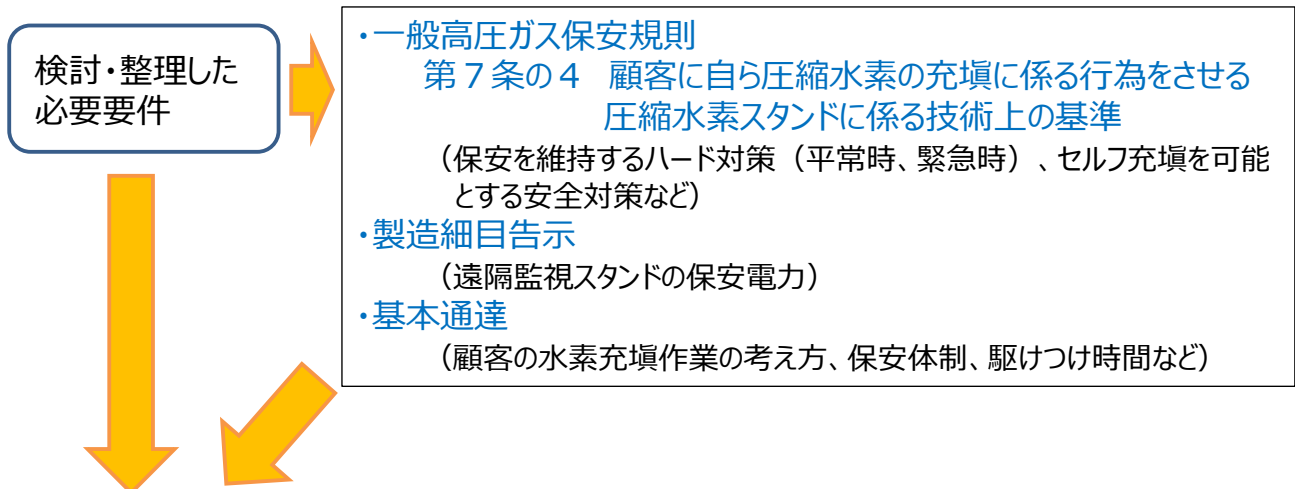
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための技術基準案の策定

省令に反映：2020年8月6日公布、8月7日施行



自主基準案化：2020年度末完成見込み

- 顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせる圧縮水素スタンドの
- 安全技術基準案
 - 危害予防規程の指針案
 - 保安教育計画の指針案
 - ガイドライン案（設置、運営に係る具体的なガイドライン）

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

省令等への反映後の残課題（プロジェクトの進捗に従い、新たに見出された開発項目別残課題）

①一般高圧ガス保安規則 7 条の 4 第1項の記載内容の検討

本則第 1 項は、郊外型ステーションとの位置付けであり保安距離により安全を確保するもの（しかしながら）ステーションが遠隔監視下で無人となるため、都市型ステーションに必要としている安全設備（一般則 7 条の 3 第 2 項）の大部分を要求

過剰の安全対策である可能性があり、事業者にとって建設費や運営費増加

追加された安全設備の 1 項ステーションにおける必要性を、1 件ごとの効果の定量化による必要性確認が必要

②遠隔監視ステーションにおける保安監督者兼任の法制化の検討

遠隔監視ステーションにおける保安監督者の兼任の要件の検討は本事業で実施済

（規制当局）法制化検討は、新しい2件の概念導入であり、それぞれの運用実績をベースとした法技術的・技術的な課題の検証、それらの要件への反映が必要

遠隔監視による無人ステーションと（有人での）保安監督者兼任のステーションの運用実績をベースとした法技術的・技術的な課題を必要要件に反映 ⇒ 法制化に資する技術基準案へ

33/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	リスクアセスメント手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 検討方針策定 リスクシナリオ抽出結果 リスクアセスメントのガイドライン 	△ (2020年度末)	
b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーするSTモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> 二次元モデル（PFD、P&ID等） 三次元モデル 	○	
c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	安全対策の合理化案の提案	<ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント結果 合理的な安全対策 シビアアクシデント対応策 	△ (2020年度末)	
d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準（省令・例示基準）の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準（省令・例示基準）の見直し案 	△ (2020年度末)	
e) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	技術基準の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 検査・点検方法の見直し項目は無いとの結論 	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、X未達

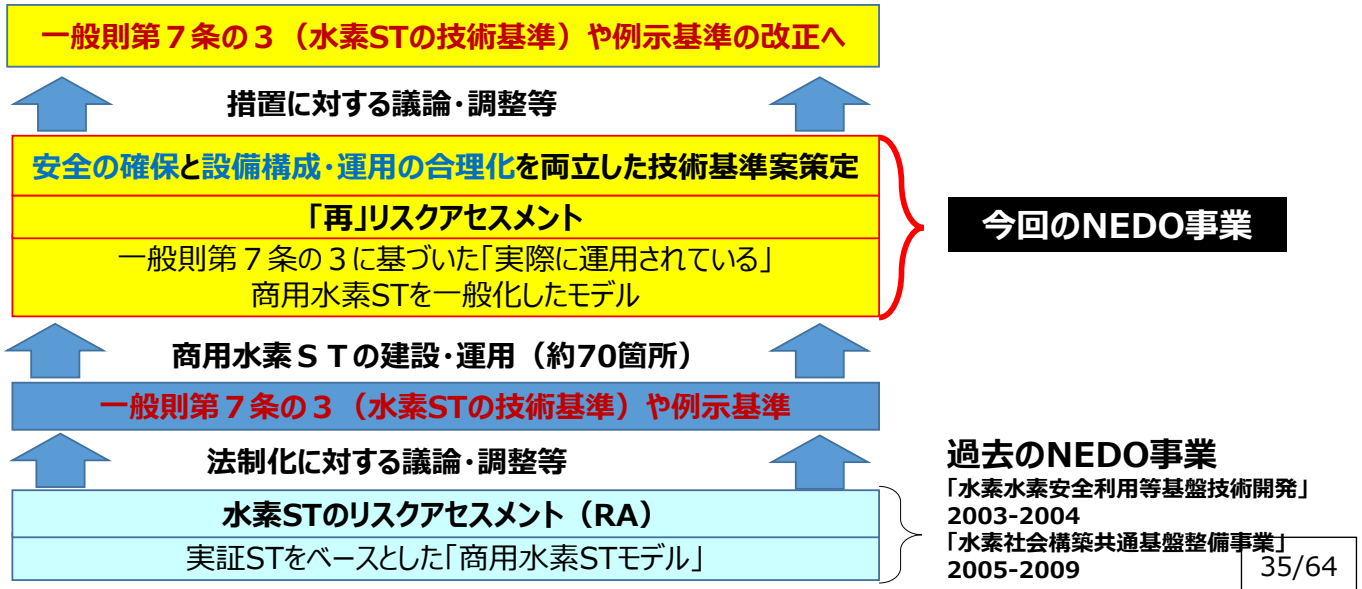
34/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

背景・検討の進め方

- 水素ステーションに関する技術基準は一般則第7条の3で規定、これは産業界が実施のリスクアセスメントの結果に基づき規制当局が検討の上で制定されたもの
- これまでの運用経験を踏まえ事業者が行う再リスクアセスメントの結果により得られる科学的根拠に基づき技術基準の見直しを実施、なお、再リスクアセスメントにおいては、技術の進歩、重大事象への対応、社会情勢の変化等の様々な要件を踏まえた実施が不可欠 (METI第5回公開の場検討会 高圧ガス保安室提示)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築

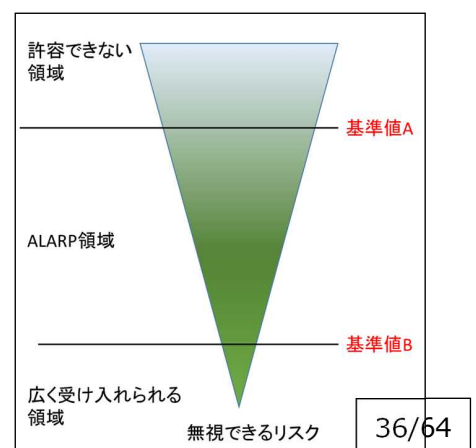
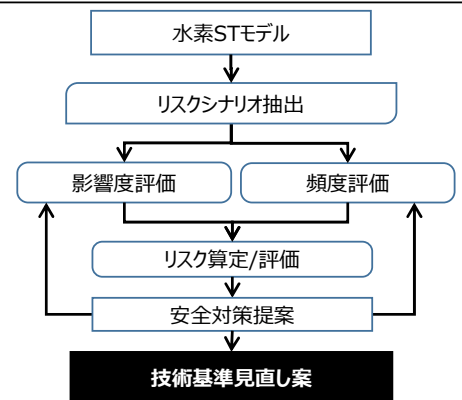
- リスクシナリオの特性に応じたふたつの定量的リスクアセスメント手法の採用
 - QRA (種々の事故原因のリスクの総括的評価)
 - シナリオベース評価 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

- リスクシナリオ抽出
 - HAZOP、FMEA、手順HAZOP

- 日本学術会議が推奨する工学システム安全目標 (A基準) をリスククライテリアに設定

- 敷地外の人々の死亡率 : $10^{-6}/\text{yr}$
 - * 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017

- 本研究の手法を取りまとめたガイドラインの作成



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

本研究のリスクアセスメントのフレームワーク

	事故のトリガーによる リスクシナリオの分類	リスク分析手法			評価精度			対象となるリスクシナリオ
		リスクシナリオ 特定	頻度分析	影響度分析	頻度評価	影響度評価	リスク評価	
I 内的要因	内的要因に起因する事故 ・機器故障 ・機器故障の連鎖 ・設計不良、施工不良 ・ヒューマンエラー ・その他	HAZOP 作業HAZOP FMEA	漏洩頻度DB パーツカウン (狭義のQRA(TNO式))	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	漏洩頻度データにより頻度の定量化が可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I a 機器故障の連鎖 ・遮断弁誤作動→圧力上昇→漏洩	FMEA	機器故障率DB ETA	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	故障率データによりリスクの定量化が精度よく可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I b ヒューマンエラー ・誤操作 ・その他	作業HAZOP	ヒューマンエラー頻度DB ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能ナリスク
II 外的要因	外的要因に起因する事故 ・近隣火災 ・内部火災 ・地震(外力の作用) ・車両誤発進 ・車両飛込み 等	HAZOP What-if	類似事象の頻度データ ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能ナリスク

[赤背景部分] QRAを適用 (種々の事故原因のリスクの総括的評価)

[青背景部分] シナリオベース評価を適用 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

※ 上表の他に、リスク評価が困難なシビアアクシデントに対して、別途対応検討を実施し、リスクアセスメントとしての網羅性を高めた

3. 研究開発成果について

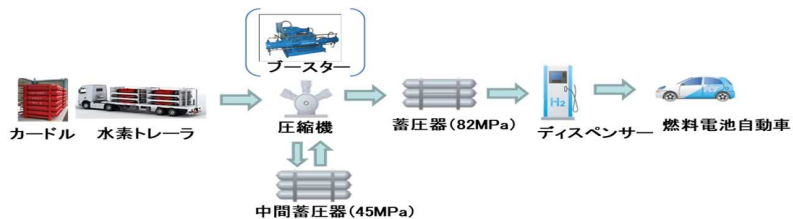
(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築

7条の3第2項による
都市型STの狭小モデル

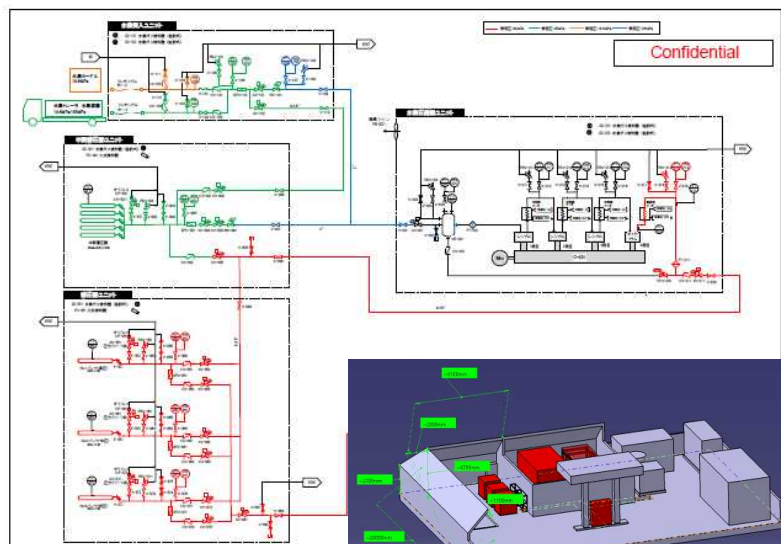


□ 図面類

- ・ PFD (プロセスフローダイアグラム)
- ・ P&ID
- ・ 平面配置図
- ・ 立面図
- ・ 三次元モデル

□ 資料

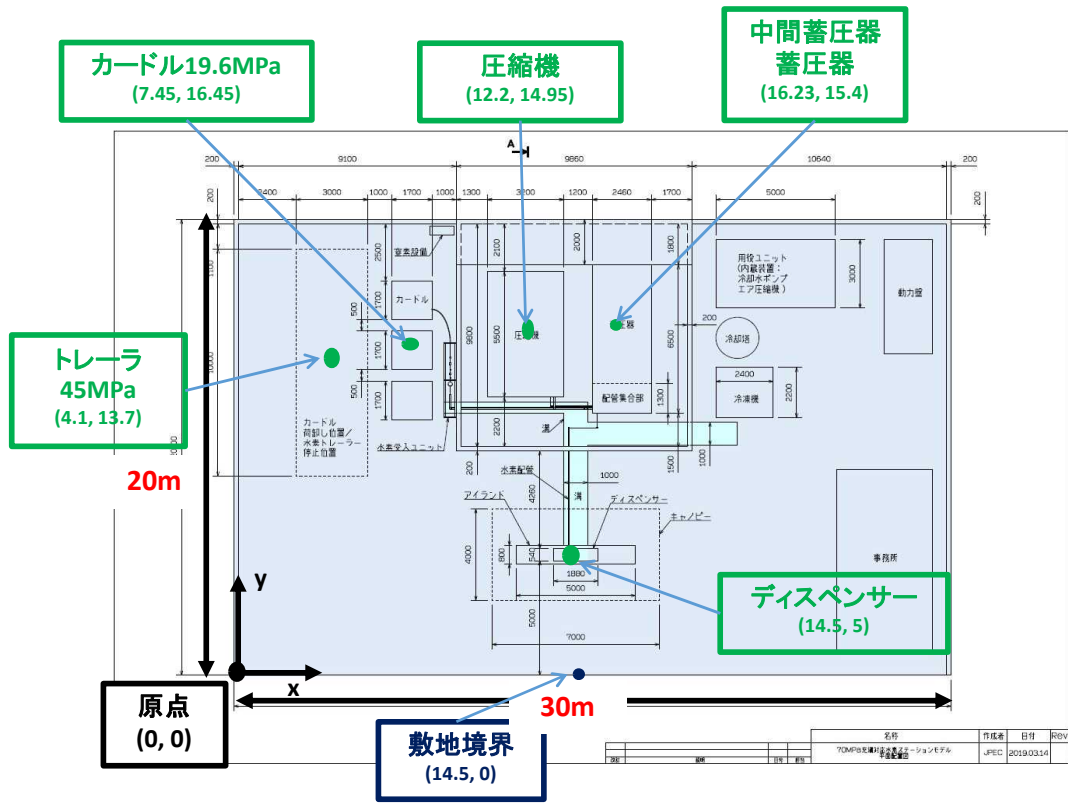
- ・ 設備構成の概要説明
- ・ 運転モードと機器動作シーケンス
- ・ 異常時の機器動作シーケンス
- ・ オペレーションマニュアル (水素カードル/水素トレーラの脱着作業)



◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ 水素ST平面上的の各機器の配置とリスク観測点



◆各個別テーマの成果と意義

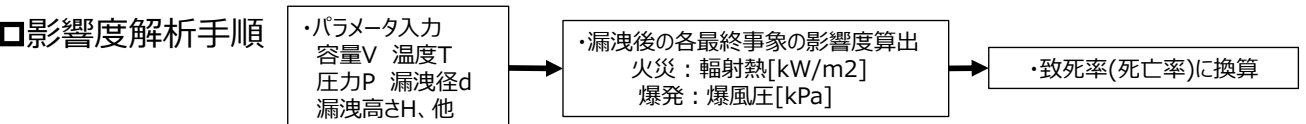
②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案

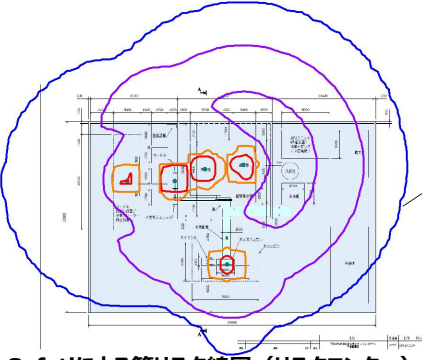
QRAによるリスク算定方法

QRA：プラントシステム等に対する一連のシステマティックなリスク定量化方法。
構成機器毎の漏洩頻度データベースを元に、種々の事故原因のリスクを総括的に評価。

□漏洩頻度データ：米国Sandia Lab Report(2017)の水素ST設備の漏洩頻度DBに準拠

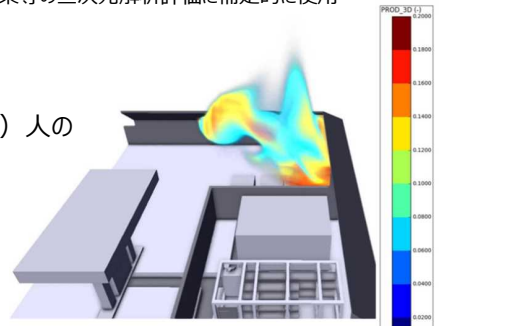


□解析ソフトウェア (二次元)：DNV社 PHAST-Safeti ver 8.11 ※二次元解析のため、障壁効果は評価できない
(三次元)：GexCon社 FLACS ※障壁効果等の三次元解析評価に補足的に使用



青線上に留まる(24時間365日)人の死亡リスクが10⁻⁶/年

- 赤: 10⁻³人/y
- 橙: 10⁻⁴人/y
- 紫: 10⁻⁵人/y
- 青: 10⁻⁶人/y



FLACSによる障壁の火災遮蔽効果シミュレーション

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■QRAで使用した漏洩頻度データ

米国Sandia国立研究所による水素ステーション機器の漏洩頻度DBを採用

- 水素STを含む高圧水素ガス設備の漏洩頻度のデータベースであり、QRAの基礎データとする目的で作成された
- 一般設備（LPガス、産業ガス、石油・化学プラント等）の漏洩頻度データに対し、高圧水素ガス設備の漏洩頻度データを用いてベイズ推定という統計手法にて補正したもの
- 我々が入手可能な最良のデータ

水素ST構成機器の開口サイズ別漏洩頻度[/y]

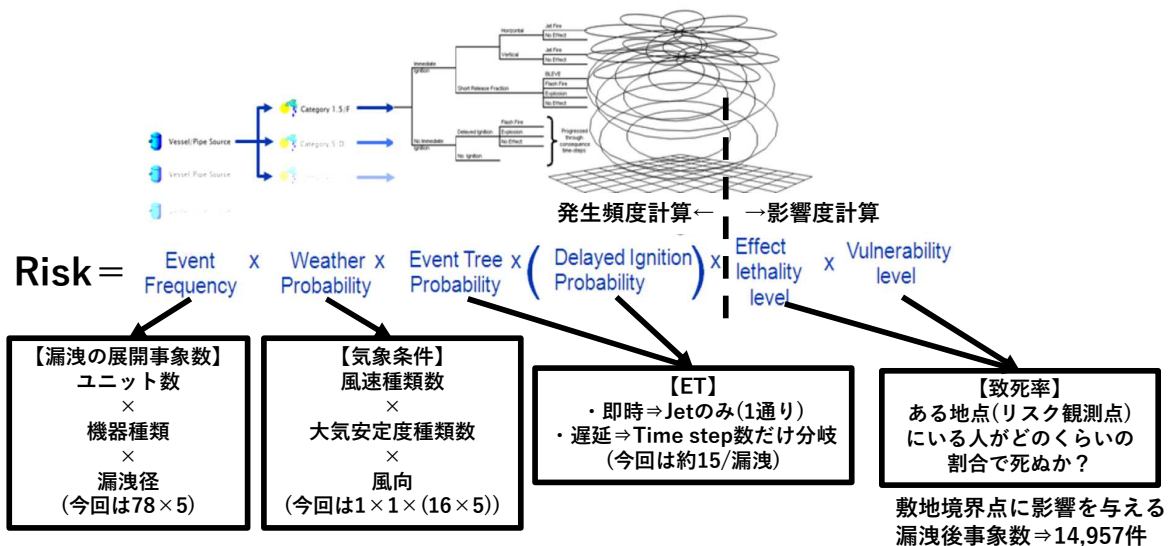
分類番号	損傷機器	サイズ	頻度	分類番号	損傷機器	サイズ	頻度
1	圧縮機 Compressors	Very Small	1.83E-01	26	継ぎ手 Joints	Very Small	7.05E-05
2		Minor	2.23E-02	27		Minor	3.56E-06
3		Mideum	8.01E-03	28		Mideum	7.80E-06
4		Major	2.06E-04	29		Major	6.96E-06
5		Rapture	3.04E-05	30		Rapture	6.21E-06
6	蓄圧器 Cylinders	Very Small	1.18E-06	31	配管 Pipes	Very Small	8.78E-06
7		Minor	9.98E-07	32		Minor	4.57E-06
8		Mideum	6.80E-07	33		Mideum	1.80E-06
9		Major	3.90E-07	34		Major	9.12E-07
10	Rapture	2.09E-07	35	Rapture	6.43E-07		
11	フィルター Filters	Very Small	3.77E-02	36	バルブ Valves	Very Small	5.71E-03
12		Minor	1.60E-02	37		Minor	7.50E-04
13		Mideum	1.44E-02	38		Mideum	9.92E-05
14		Major	6.87E-03	39		Major	4.13E-05
15	Rapture	6.94E-03	40	Rapture	1.49E-05		
16	フランジ Flanges	Very Small	7.86E-02	41	計器類 Instruments	Very Small	8.31E-04
17		Minor	4.82E-03	42		Minor	2.78E-04
18		Mideum	2.72E-03	43		Mideum	1.73E-04
19		Major	3.74E-05	44		Major	1.84E-04
20	Rapture	1.55E-05	45	Rapture	1.11E-04		
21	ホース Hoses	Very Small	1.15E-03				
22		Minor	2.06E-04				
23		Mideum	1.79E-04				
24		Major	1.60E-04				
25		Rapture	7.47E-05				

出典：Groth, Katrina M. et al., Int. J. Hydrogen Energy, 42, 7485-7493(2017)

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■QRAのリスク算定における事象展開（漏洩後）



$$\text{Risk} = \text{Event Frequency} \times \text{Weather Probability} \times \text{Event Tree Probability} \times \left(\text{Delayed Ignition Probability} \right) \times \text{Effect lethality level} \times \text{Vulnerability level}$$

【漏洩の展開事象数】
ユニット数
×
機器種類
×
漏洩径
(今回は78×5)

【気象条件】
風速種類数
×
大気安定度種類数
×
風向
(今回は1×1×(16×5))

【ET】
・即時⇒Jetのみ(1通り)
・遅延⇒Time step数だけ分岐
(今回は約15/漏洩)

【致死率】
ある地点(リスク観測点)
にいる人がどのくらいの
割合で死ぬか？

敷地境界点に影響を与える
漏洩後事象数 ⇒ 14,957件

それぞれの展開事象に
初期の発生頻度が
与えられる

水素ST機器
漏洩頻度DB

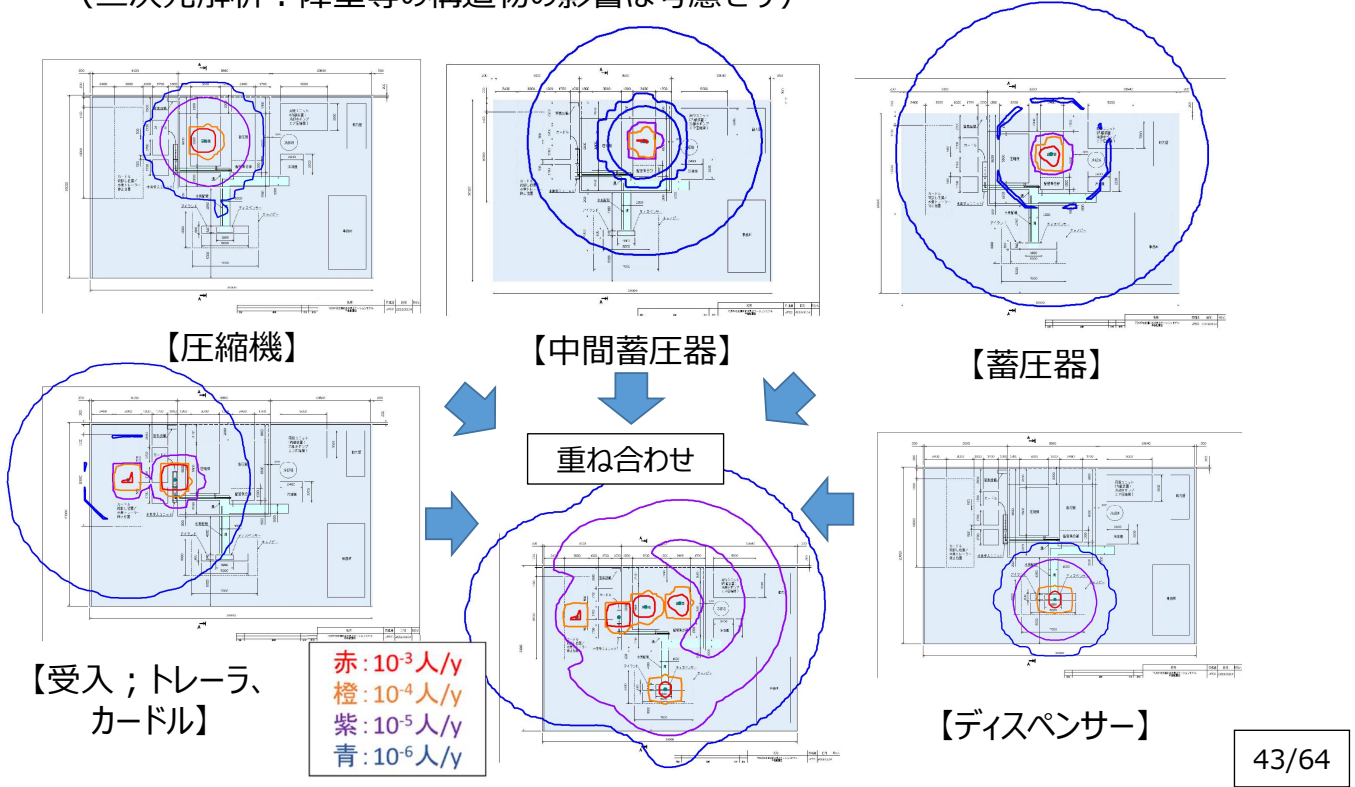
検討した漏洩後の展開事象件数
= (78×5) × (1×1×16×5) × 15
= 約468,000件

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ QRAのリスク算出結果 (等リスク線図)

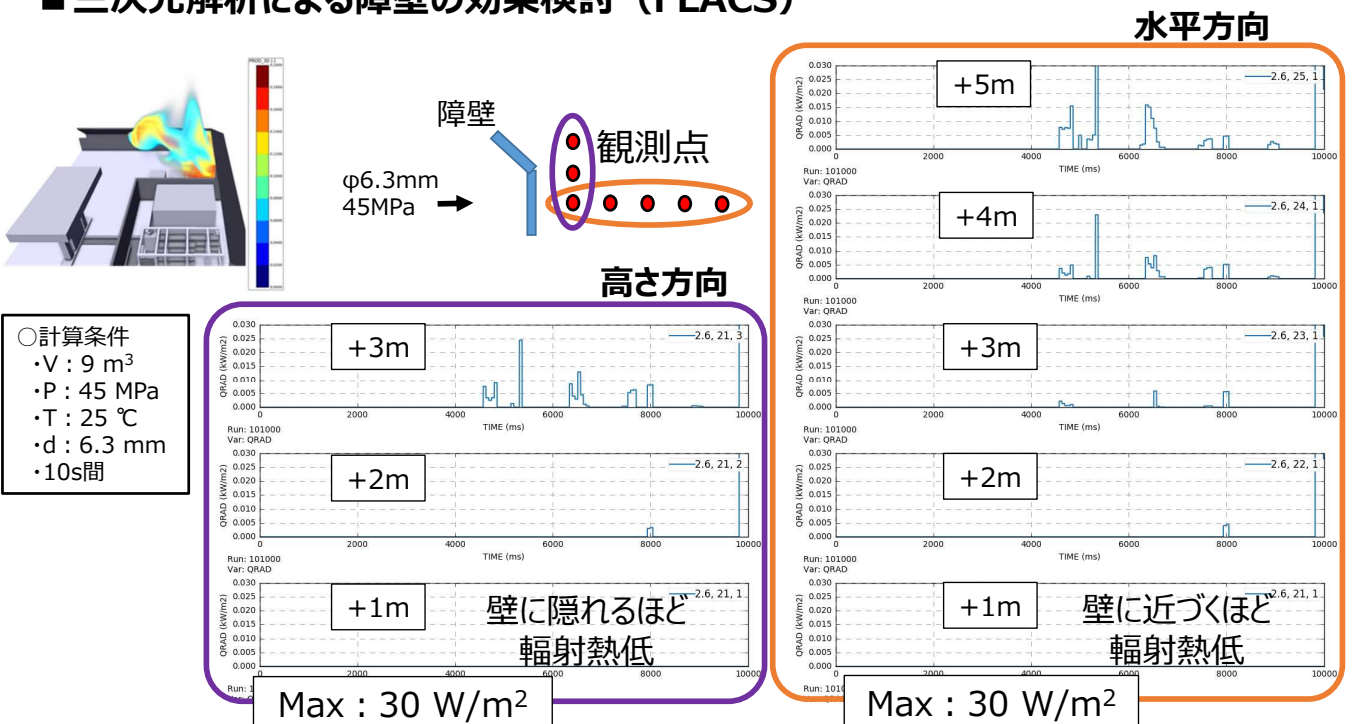
(二次元解析：障壁等の構造物の影響は考慮せず)



◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ 三次元解析による障壁の効果検討 (FLACS)



※ 0.9 kW/m^2 : 太陽 (真夏) 放射熱強度 ← 上のグラフのフルスケールはこれの1/30
 1.3 kW/m^2 : 人が長時間曝されても安全な強度
 (石油コンビナートの防災アセスメント指針 (2013))

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

シナリオベース評価によるリスク算定方法

QRAでは、

- 種々の事故原因のリスクを総括的に評価可能
- 一方で、個別の事故原因に着目したリスクや安全対策効果の評価は困難

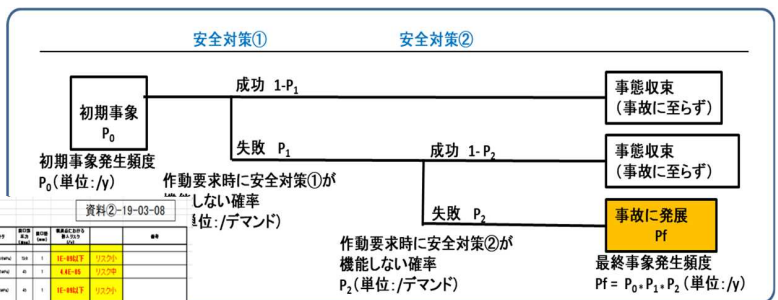
そこで、水素ステーション特有の事故原因については、リスクシナリオ単位で個別に評価実施

□ 評価対象の事故原因：機器故障、ヒューマンファクター（操作ミス等）、外乱（火災）、天災（地震等）

□ リスクシナリオ毎のETA（イベントツリー分析）を実施し、漏洩頻度を算出
 元データ：国内原発の機器故障率DB（JANSI-CFR-02）、北海油田プラットフォームの機器故障率DB（OREDA2015）、国内原発のヒューマンファクターDB、その他

- 影響度評価とリスク算定
- 上記漏洩頻度算出結果を用い、PHASt-Safetiで影響度とリスクを算定
 - 結果を一覧表に整理（全64シナリオ）

ETA(イベントツリー分析)



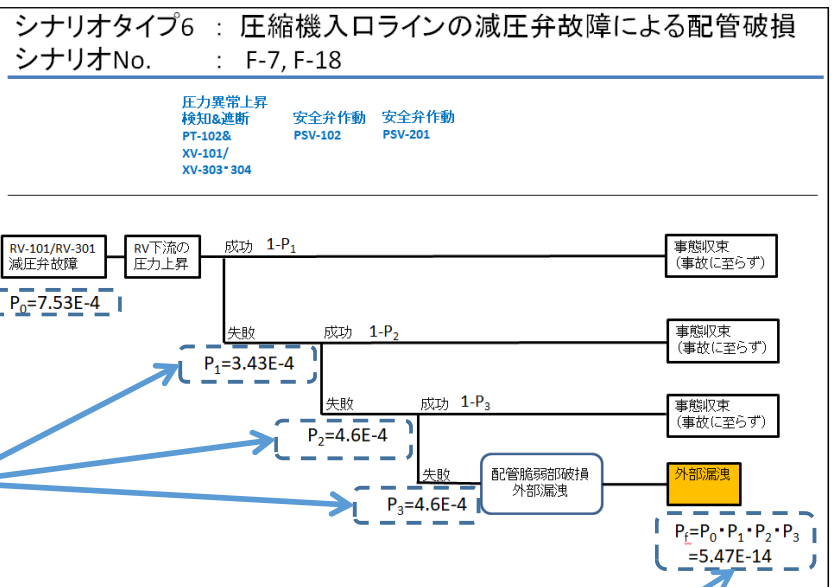
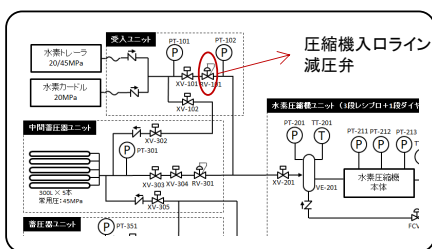
ヒューマンファクター、外乱・地震シナリオ評価一覧表

シナリオNo.	シナリオ名	初期事象発生頻度 P_0 [単位:/y]	安全対策①の機能しない確率 P_1 [単位:/デマンド]	安全対策②の機能しない確率 P_2 [単位:/デマンド]	最終事象発生頻度 P_f [単位:/y]
1
2
...
64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

ETA (イベントツリー分析) と外部漏洩頻度の算出 (例)



トリガー事象の発生頻度 P_0 [単位:/y]

安全対策の不作動確率 P_1, P_2, P_3 [単位:/デマンド]

【元データ】

- 国内原発の機器故障率DB（JANSI-CFR-02）
- 北海油田プラットフォームの機器故障率DB（OREDA2015）
- 国内原発のヒューマンファクターDB
- 消防庁危険物施設事故DB、他

外部漏洩事象の発生頻度 P_f [単位:/y]

$P_f = P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

QRA & シナリオベース評価 によるリスク評価結果

- [QRA] 敷地境界上の水素ステーションのリスクは、 10^{-6} /year以下であることを確認
 - ディスペンサー側の公道境界上（ディスペンサーから5m地点）のリスクは、 10^{-6} /year以下と算出された。
 - 設備側敷地境界上のリスクは、二次元評価（PHAST-Safeti）では 10^{-6} /yearを上回るが、境界線上の障壁により敷地外への影響は十分低減されることが三次元評価（FLACS）で確認された。
- [シナリオベース] 全リスクシナリオのリスク（敷地境界上の死亡リスク）が 10^{-6} /year以下であることを確認



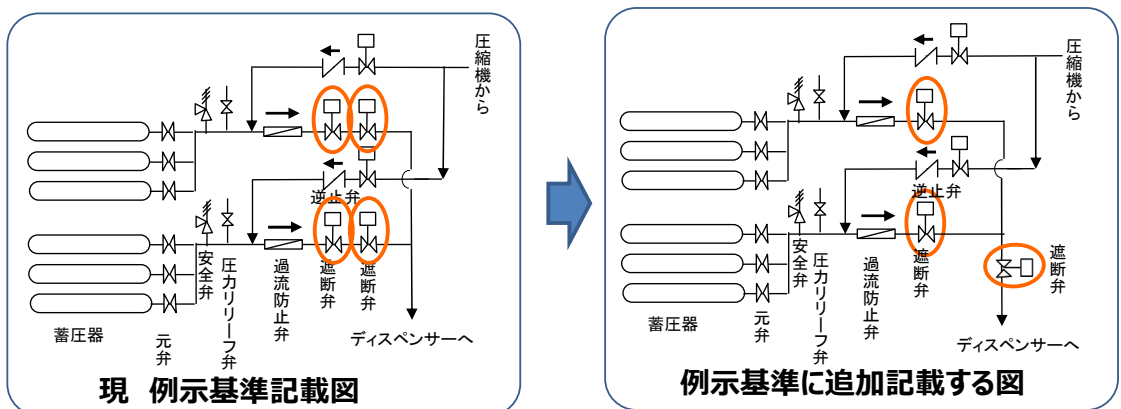
- 現行技術基準（省令・例示基準）に対し、新たに追加すべき安全対策は無し
- 現行技術基準に規定される安全対策のリスク低減効果を評価
 - ⇒ 以下の4項目について、リスクを増大させること無く簡素化が可能
 - 蓄圧器出口遮断弁二重化 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の配置 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の代替安全対策 → オリフィスで代替
 - 圧カリーフ弁設置条件の見直し → 圧カリーフ弁を省略できる条件提示

47/64

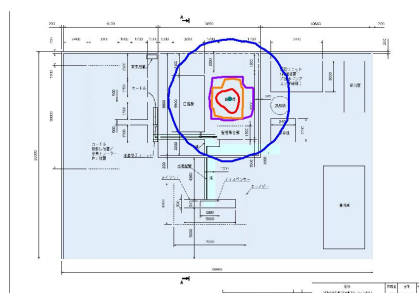
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

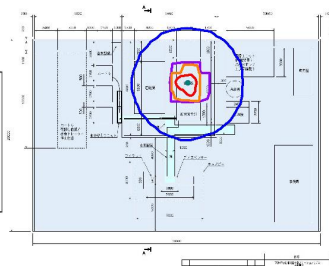
■ 検討事例：遮断弁の二重化（蓄圧器出口配管）について配置の合理化



機器数が減るため漏洩頻度は減少、遮断弁のPFD<<検知器のPFDなので不作動率変化なく、リスクコンターもほとんど変化なし



赤: 10^{-3} 人/y
 橙: 10^{-4} 人/y
 紫: 10^{-5} 人/y
 青: 10^{-6} 人/y



48/64

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■シビアアクシデントへの対応検討

●リスクアセスメントをさらに網羅的にするため、シビアアクシデントへの対応策を検討

●2013-2014年度NEDO事業「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」等を参考に、最新知見を活かし、右表の6つのシビアアクシデントの進展シナリオを整理

●6つのシナリオに対し、詳細な事象進展、保安監督者や従業員の取るべき行動、事業者や行政との連携などにも踏み込んだ対応策を明確化

外力による蓄圧器遮断弁下流の配管破断	過大な外力が配管に負荷 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
外力による蓄圧器の損傷、蓄圧器遮断弁上流の配管破断	過大な外力が蓄圧器に負荷 ⇒ 蓄圧器の損傷、蓄圧器遮断弁上流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
熱による蓄圧器遮断弁下流のシール部損傷、配管破断	火災 (熱) による配管の過熱 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流のシール部損傷、配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
熱による蓄圧器、蓄圧器遮断弁上流のシール部損傷、配管破断	火災 (熱) による蓄圧器の過熱 ⇒ 蓄圧器、蓄圧器遮断弁上流のシール部損傷、配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
蓄圧器の流出	冠水 ⇒ 蓄圧器の流出 ⇒ 蓄圧器、弁弁、蓄圧器遮断弁上流の配管の破損 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
圧縮機の異常運転による圧力上昇	サイバー攻撃 ⇒ 制御系異常 ⇒ 圧縮機異常運転による圧力上昇 ⇒ 水素の漏洩

事象進展 (イベントツリー)

水素ST従業員の判断・行動

事業者との連携、行政組織 (消防・警察等) との連携

顧客・近隣住民の対応

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し

項目	対象基準	要点	見直し提案内容
遮断弁二重化に関する配置の合理化	例示基準 19の2	緊急遮断装置のうち一つは蓄圧器から圧縮水素を送り出す集合配管に設置することが可能	例示基準に当該配置図を追加記載
過流防止弁の配置の合理化	例示基準 59の5	ディスペンサーに供給する配管に過流防止弁を設置することが可能 (蓄圧器フレーム内)	左記を例示基準に追記
過流防止弁代替安全対策 (オフィス)	例示基準 59の5	過流防止弁の代替としてディスペンサー出口の最大流量 (ホース破断時) を60g/sec以下となる措置 (オフィス等) を可能	左記を例示基準に追記
圧カリーフ弁設置条件の見直し	一般則 7条の3 2項10号	蓄圧器配管の安全装置が揚程式バネ式安全弁で吹き出し量が一定以下の場合、圧カリーフ弁は不要とする	安全弁に仕様条件を提示し、安全弁の放出口が上向きの場合とする



省令・例示基準の改正の実現により、水素ステーション建設コスト・運営コストの低減に寄与することができる

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容・役割の明確化	・専任ステーションの事業者、保安監督者、従業員の職務と保安体制を整理	○	
b)兼任した場合の保安体制等のモデル構築と課題抽出	兼任するための要件検討及びリスクアセスメントのためのモデル作成	・兼任スタンドモデル構築・課題抽出	○	
c)兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターを考慮した兼任要件に繋がるリスクアセスメントの実施	・m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメントを実施	○	
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案(必要要件)の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	・兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業員の必要要件を抽出・整理	○	
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	・危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 ・基本通達制定に向けた対応	○	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

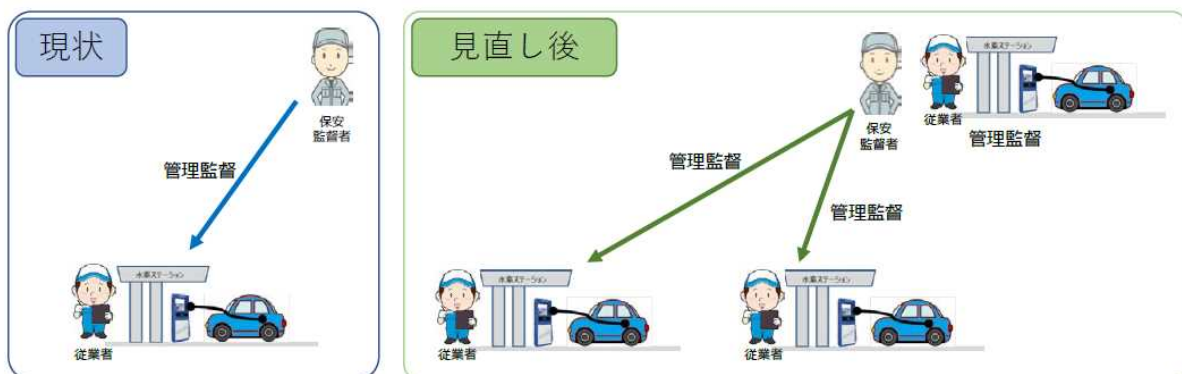
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

背景・検討の進め方

「平常時・緊急時に保安監督者が職務を全うできるか」
 「仮に複数の水素スタンドが同時に発災した場合、従業員を含め適切な対応が取れるか」
 に関し、現状において十分に検証されていないことから、実態として兼任が実施されていない(METI第11回公開の場検討会 高圧ガス保安室提示)



図：第6回公開の場検討会資料から抜粋

平常時、緊急時の事業者、保安監督者、従業員の職務を整理し、兼任の要件を検討

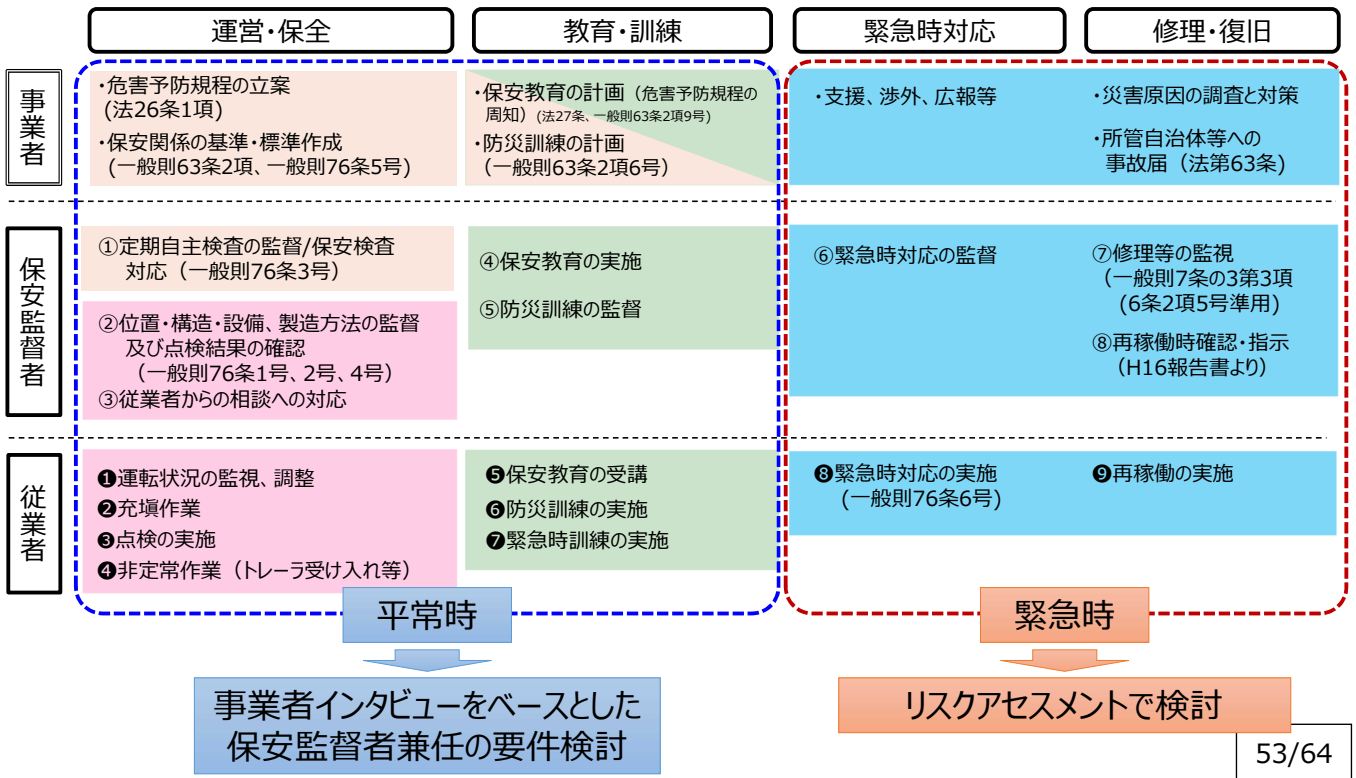
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

現状スタンドにおける職務整理

■: 建設時に行うこと ■: 定期的に行うこと ■: 日常的に行うこと ■: 緊急時対応以降に行うこと



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための必要要件

インタビューの結果から得られた要件

リスクアセスメント検討結果から得られた要件

事業者がやるべきこと(必要要件)を明確化

現状の保安体制の要件

兼任後の保安体制の要件

兼任のための必要要件

同時防災訓練の実施 + 立地条件

「事業者のサポート体制・バックアップ体制」の強化

準保安監督者 (資格不要) の配置 (常駐)
要件: 圧縮水素製造経験1年以上又はそれと同等の能力。ST設備構成・運転熟知。要領に従い適切に職務を遂行 (平常時、緊急時)。(経験の浅い従業者と区別)

兼任のための追加要件: 監督経験6ヶ月以上。設備構成把握。従業者を指揮できる能力。週1回以上の巡視、異常時は24時間以内にスタンドへ駆けつけ。

凡例:

- 全体
- 事業者
- 従業者
- 保安監督者
- 設備

保安監督者 (免状保持 + 製造経験)

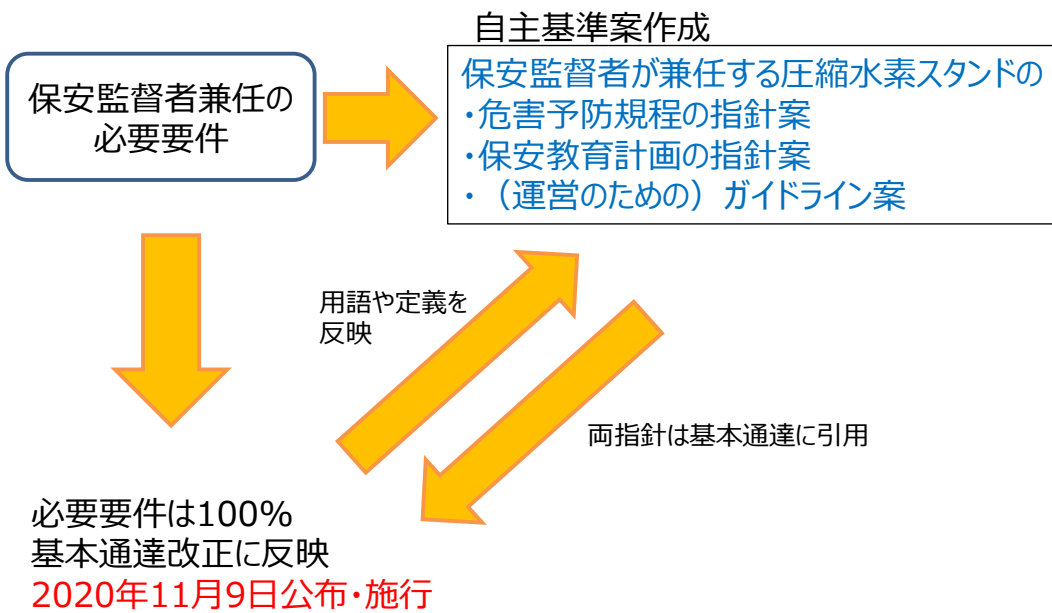
ヒューマンファクタを排除した安全な設備

⇒上記の兼任後の保安体制を各事業者が確実に満たすため、保安監督者が兼任する圧縮水素スタンドの **危害予防規程の指針、保安教育計画の指針、(運営のための) ガイドライン**を業界が作成

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための技術基準案



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○	
b) 充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	・高圧ガス保安法での実施 ⇒保安距離確保が困難 ・ガス事業法での可能性を提案	△ (2020年度末)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

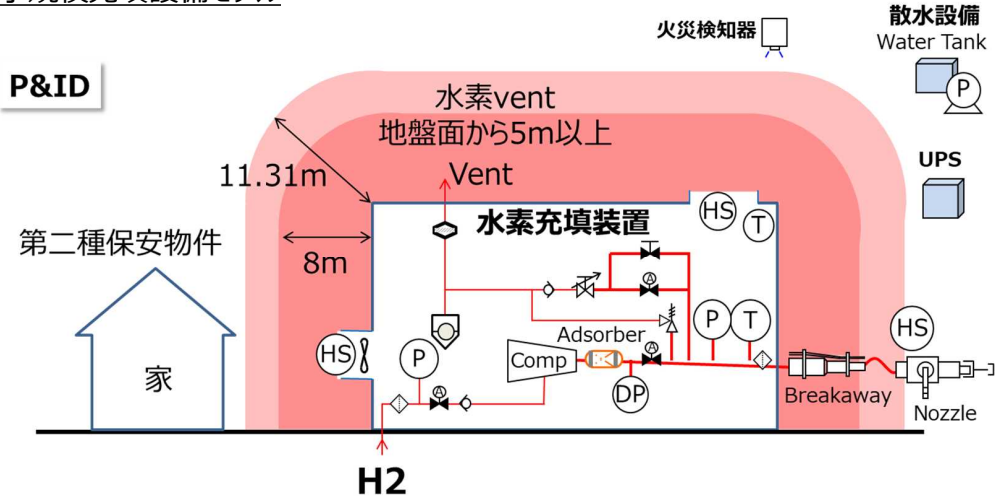
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

背景・検討の進め方

- ・一般則において、一般家庭等におけるFCVへの水素充填を想定した基準は十分に整備されておらず、一般家庭のように事業者が存在しない運用形態における法技術的課題を明確にする必要性
- ・家庭用水素充填設備に関するモデルの調査を実施し、一般家庭等における水素充填に関する法的課題を抽出、明確化

家庭用小規模充填設備モデル

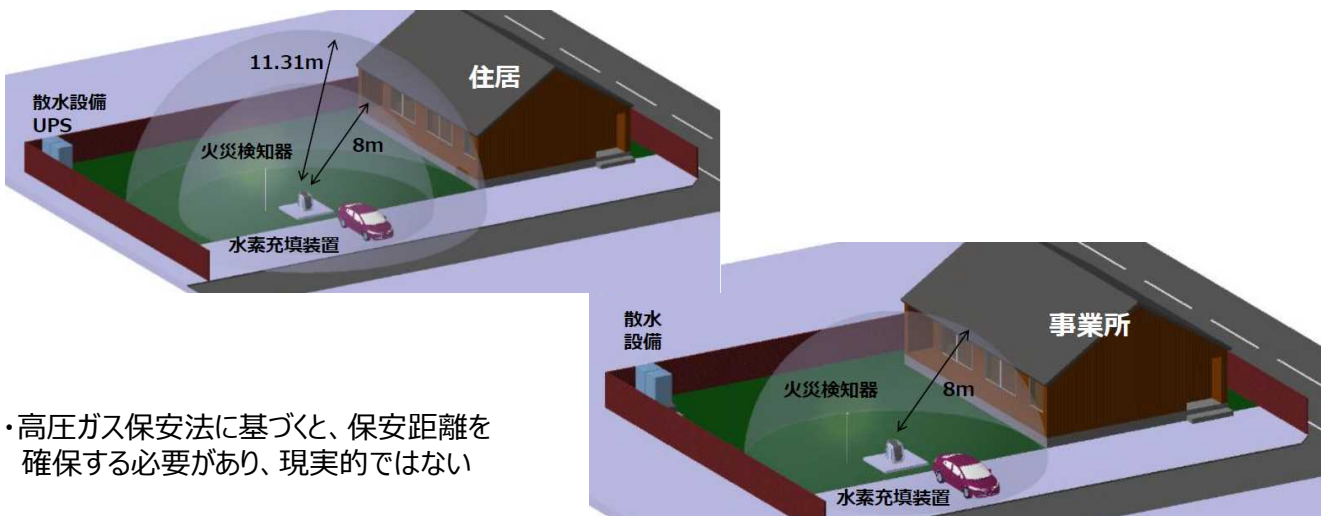


57/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

高圧ガス保安法のもとでの検討



- ・高圧ガス保安法に基づくと、保安距離を確保する必要があり、現実的ではない

58/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

ガス事業法のもとでの検討

CNG小型充填装置



- ・場所：東京ガス株式会社浜松町本社1F
- ・吐出圧：19.6MPa
- ・吸込み圧：1.96kPa
(都市ガスパイプラインより供給)
- ・流量：8m³/h(50Hz)
- ・電源：3相200V
- ・適用法規：ガス事業法（昇圧供給装置）



- ・ガス事業法
 - ・ガス工作物の技術上の基準を定める省令
 - ・ガス工作物技術基準の解釈例
(天然ガス自動車用昇圧供給装置技術指針)
- を検討
⇒コンパクトな設置の可能性

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆成果の普及

	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文			1	1
研究発表・講演		2	2	4
JPECフォーラム、JPECレポート		2	4	6
計		4	7	11

※2020年10月9日現在

- 本テーマの成果は、規制当局により、省令、例示基準、基本通達等のかたちで規程化され、事業者は、そのビジネスモデルを実行することが可能
- 本テーマの成果は、JPECが自主基準化し、規程の内容を解説することで、事業者にとって、使い易いものとしていく
- これらの自主基準はJPECのホームページから閲覧可能

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本テーマの成果は、省令化や例示基準化、自主基準化に繋げ、広く事業者使用起来してもらうものなので、特許出願等を行わない

61/64

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトの目的は、各テーマのミッションに対応した技術基準案を作成し、それらが省令等に反映されることで、水素スタンドの普及につなげることを踏まえ、「実用化・事業化」の考えは以下

- 本テーマの成果をもとに、規制当局が、新たな省令制定、省令や例示基準の改訂および基本通達を制定
⇒ 事業者は、そのビジネスモデルを実行可能に（普及の第一歩）
- 本テーマの成果を、JPECが自主基準化（省令等を分かり易く具体的に解説）
⇒ 実行を考える事業者の一助として活用可能（普及の加速）
- JPECは研究開発や自主基準化の経験
⇒ 事業者の実行時に事業者をサポート・バックアップ可能（普及の加速）

62/64

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	平成2023年度～2025年度～2030年度	
水素・燃料電池戦略ロードマップ	ST:160か所 FCV:4万台					ST:320か所 FCV:20万台	ST:900か所 FCV:80万台
①無人運転を実施するための研究開発	7条の4制定に資する技術基準案（省令案）策定		中間評価	<ul style="list-style-type: none"> ・7条の4第1項STの設備構成の見直し ・保安監督者兼任の遠隔監視STの法整備対応 		<ul style="list-style-type: none"> ◇水素ステーションの多様化 <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視水素ST ・保安監督者兼任水素ST ・保安監督者が兼任する遠隔監視ST ・保安監督者による出荷設備併設水素ST ・家庭・小規模水素充填設備 ◇設備の簡素化 <ul style="list-style-type: none"> ・建設費・運営費（保安検査等）低減 ・充填バンク数低減ST <p>⇒水素ステーションの普及と自立化、FCV市場拡大、水素社会の実現</p>	
②リスクアセスメント（RA）の再実施に基づく設備構成に関する研究開発	7条の3第2項の安全設備に関する技術基準見直し案（省令案・例示基準案）策定						
③(1)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	【基本通達】制定に資する技術基準案（通達案）策定						
③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出	高圧ガス保安法とガス事業法における法的課題抽出						
③その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目	-----				最終目標		
	<ul style="list-style-type: none"> ・出荷設備に係る保安統括者等の専任の緩和 ・常用圧上限緩和 						63/64

ご清聴、ありがとうございました

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／ 国内規制適正化に関わる技術開発／ 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)

プロジェクトの概要 (公開)

- 一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
- 高压ガス保安協会 (KHK)
- 国立大学法人九州大学
- 一般財団法人金属系材料研究開発センター (JRCM)
- 日本製鉄株式会社
- (共同実施) 日鉄ステンレス株式会社
- (再委託) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)
- 愛知製鋼株式会社
- 株式会社日本製鋼所 (JSW)

2020年12月17日

1/50

事業概要

1. 期間

開始 : 2018年6月

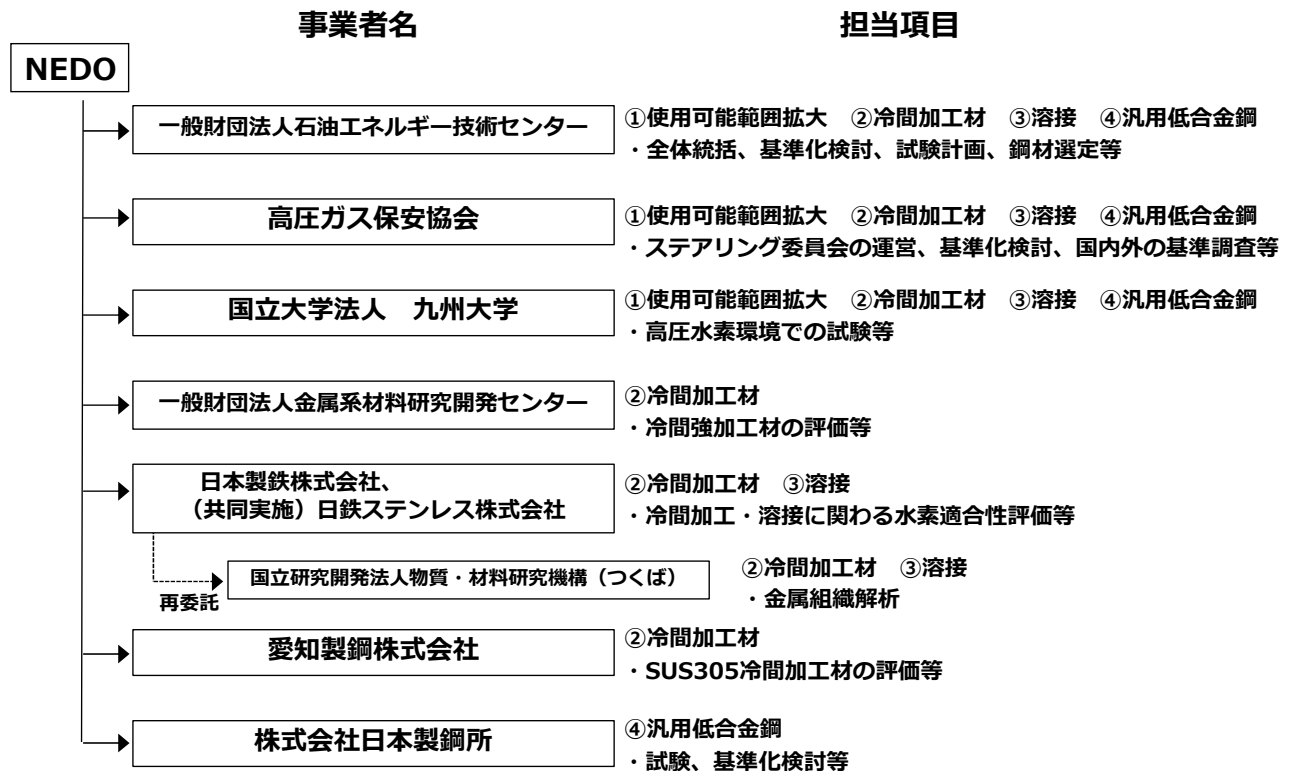
終了 : 2021年2月

2. 中間目標

実施項目	中間目標 (2020年度)
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	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。
②汎用ステンレス鋼冷間加工材 に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。
③汎用ステンレス鋼溶接材に 関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。
④汎用低合金鋼の高温適用に 関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータ取得により水素圧縮機への適用可否を判断し、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)へ反映を検討する。

2/50

●実施体制および分担等



3.進捗概要

実施項目	成果内容	自己評価 (2020.10末時点)
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	<ul style="list-style-type: none"> ・新指標の判定基準を構築するため、水素適合性評価試験を実施した。Ni当量下限値を見極めるため、既存データを補完するデータを取得 (Ni当量24.2%, 25.1%, 26.6%, 26.8%) した。 ・SSRTにより、引張強さ・伸び・絞りのNi当量依存性、温度依存性、水素圧依存性を確認した。 ・疲労試験：低温・高圧水素中で疲労限度が低下しないことを確認した。 ・例示基準改正に資するデータをまとめた。 	○
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立した。 ・上記の考え方にに基づき使用条件を明確化した。 ・許容引張応力の設定に向けたデータを取得した。 	○
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化した。 ・水素適合性の判断基準として必要な検討項目を明確化した。 	○
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮機の高温での作動状況を模擬した実験手法確立した。 ・各水素適合性評価試験を実施した。 ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)の改訂の目的を得た。 	◎

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

②水素ステーション

(出典) 2019.3.12 METI
水素・燃料電池戦略ロードマップ

<ロードマップ>

- 水素ステーションについて、官民一体となって2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所を整備し、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。
- 水素調達コストについて、2020年代後半には水素販売差益(粗利⁵⁾で500円/kg程度を目指す。
- 水素ステーションの整備費・運営費について、2020年頃までに導入初期との比較で半減(整備費:2.3億円、運営費:2.3千万円)し、2025年頃までに導入初期との比較で大幅削減(整備費:2.0億円、運営費:1.5千万円)することを目指し、要素技術毎に下表のとおりコスト目標を定める。
- 標準化・規格化については、水素ステーションの各機器の仕様や制御方法を統一するため、2020年度までに各機器についての業界統一規格を策定することを目指す。

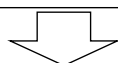
	導入初期	2016年	2025年頃
圧縮機	1.40億円	0.90億円	0.50億円 (100台/年・社)
蓄圧器	0.50億円	0.50億円	0.10億円 (500本/年・社)
フレクター	0.30億円	0.20億円	0.10億円 (100台/年・社)
ディスペンサー	0.60億円	0.20億円	0.20億円 (100台/年・社)
その他工事費	1.80億円	1.70億円	1.10億円
整備費計	4.60億円	3.50億円	2.00億円
運営費	4~5千万円	3.4千万円	1.5千万円

5/50

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

社会的背景

水素ステーションの普及目標として、2020年に160か所、2025年に320か所の整備が掲げられている。これを実現するためには水素ステーション事業の自立化に向け、コスト低減のためのさらなる取り組みが必要である。



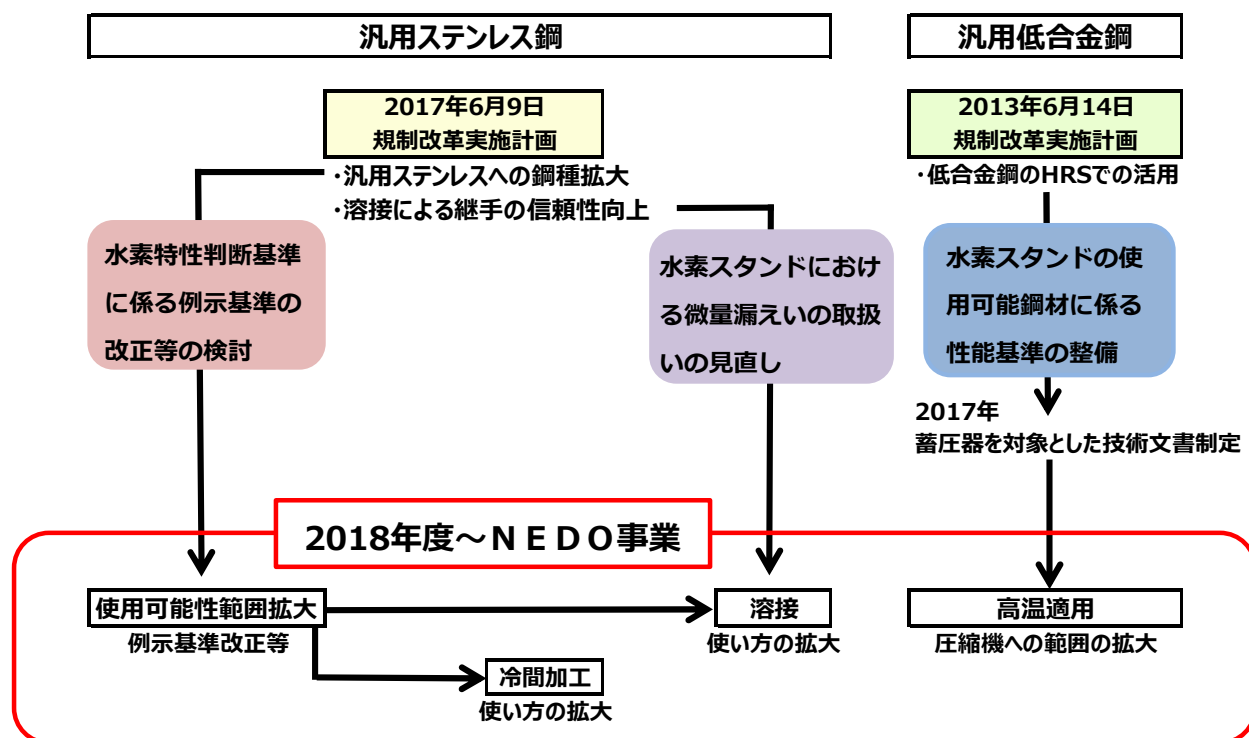
事業の目的

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、今後は市中に流通する汎用材を使用可能にしていくことが重要である。

そこで、本事業では新たな水素特性判断基準の導入に関する研究に取り組み、水素ステーションの建設コスト低減に向けた例示基準の見直しに資する成果を生みだすことを目的としている。

6/50

規制改革実施計画に沿った研究開発を実施している。



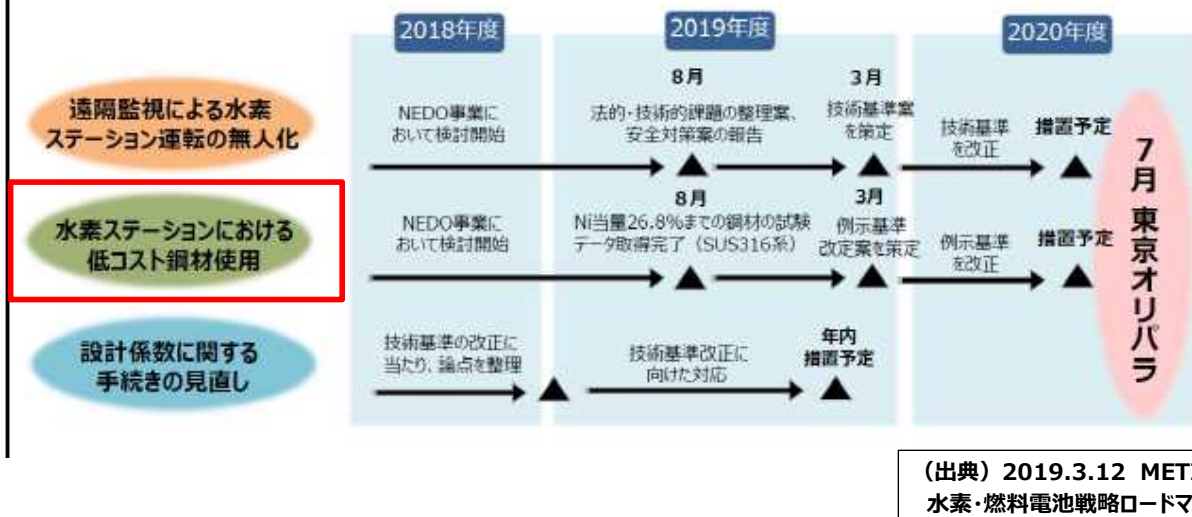
新たな水素特性判断基準の導入に関する研究は第5期規制改革実施計画「No.39 水素特性判断基準に関わる例示基準の改正等の検討」に沿ったものである。

水素ステーションの高圧水素部に使用できる材料の使用範囲を拡大し水素ステーション事業者が簡便に利用できるようにするためには、検証結果の例示基準化・技術文書化が、最も有効な方策である。

これらの研究を行うには、水素ステーションの現状の事業内容、市場規模を勘案すると民間単独での対応は困難であり、国による研究支援が求められる。

1. 事業の位置付け・必要性 (2) 国が支援する妥当性

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画(2017年6月9日閣議決定)で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



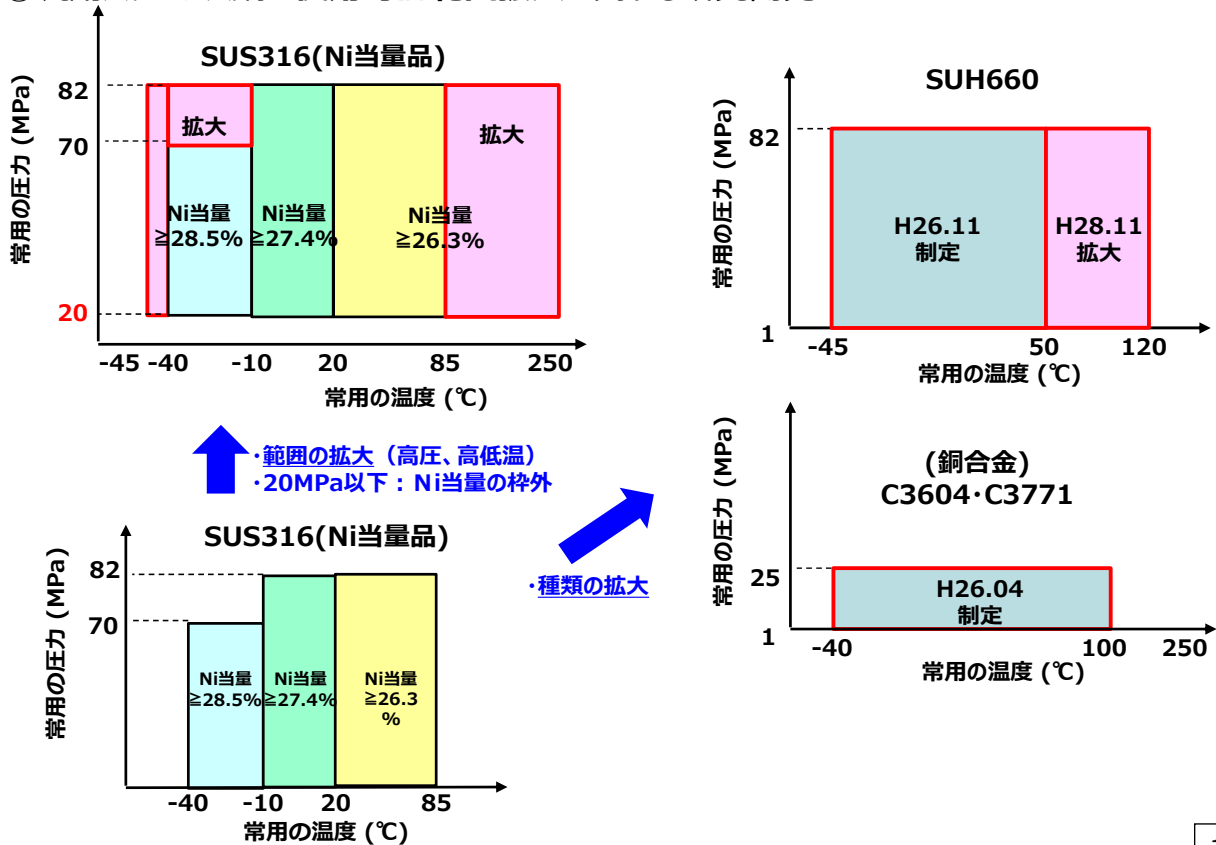
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
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	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。 また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	現在の例示基準の根拠となっている絞り特性から新たな水素特性判断基準に置き換え、その結果としてNi当量を緩和させるには、低温、高圧の水素中での様々な挙動を評価し、安全性を立証することが必要である。
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	部材の薄肉化や部品の小型化を可能とし低コスト化に寄与する。将来の例示基準化を視野に入れた、当該材料の水素適合性や許容引張応力の検討が必要である。
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	配管接続に汎用ステンレスの溶接が使用可能になれば部品点数の削減や漏えいリスクの低減に効果的であると考えられる。 実使用に耐える溶接を実現するための検討と実施に向けた技術指針の作成が必要である。
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の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する。	汎用低合金鋼は素材コストや加工性に優れるものの、水素圧縮機の温度範囲での水素適合性が未知のため現状では使用できない。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

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 前事業の成果 (例示基準化実績)

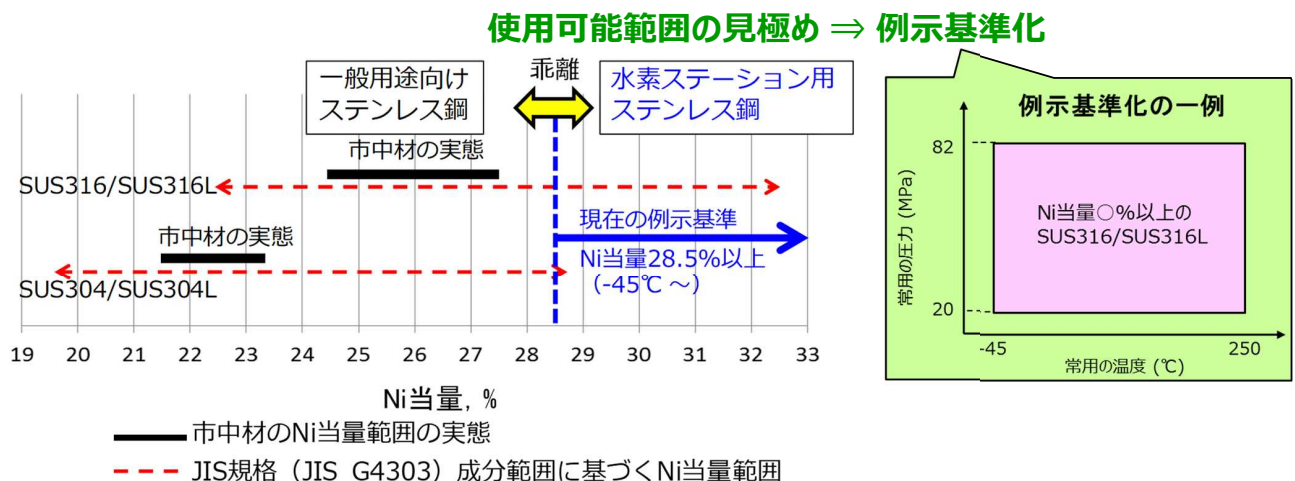


11/50

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

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

- ・市中に流通する汎用材 (SUS316系) の使用を念頭に、例示基準におけるNi当量範囲の拡大を目指す。
- ・SUS304域までNi当量低減し適材適所の使用拡大を目指す。

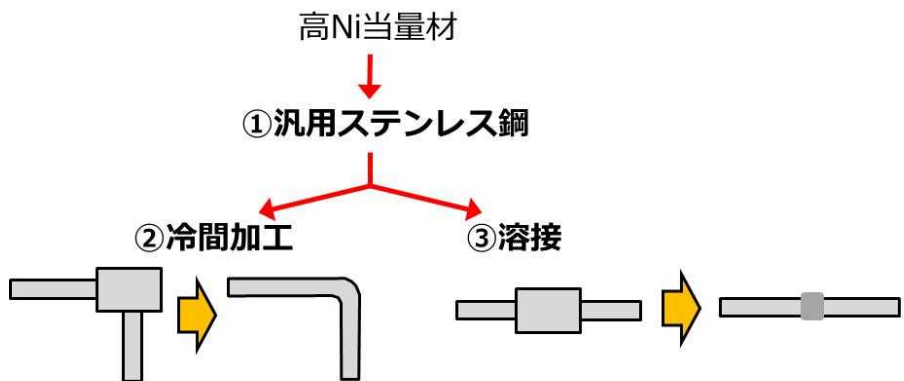


12/50

2. 研究開発マネジメント（1）研究開発目標の妥当性

②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発



曲げ加工、溶接による機械継手削減 ⇒ 水素漏洩リスク低減

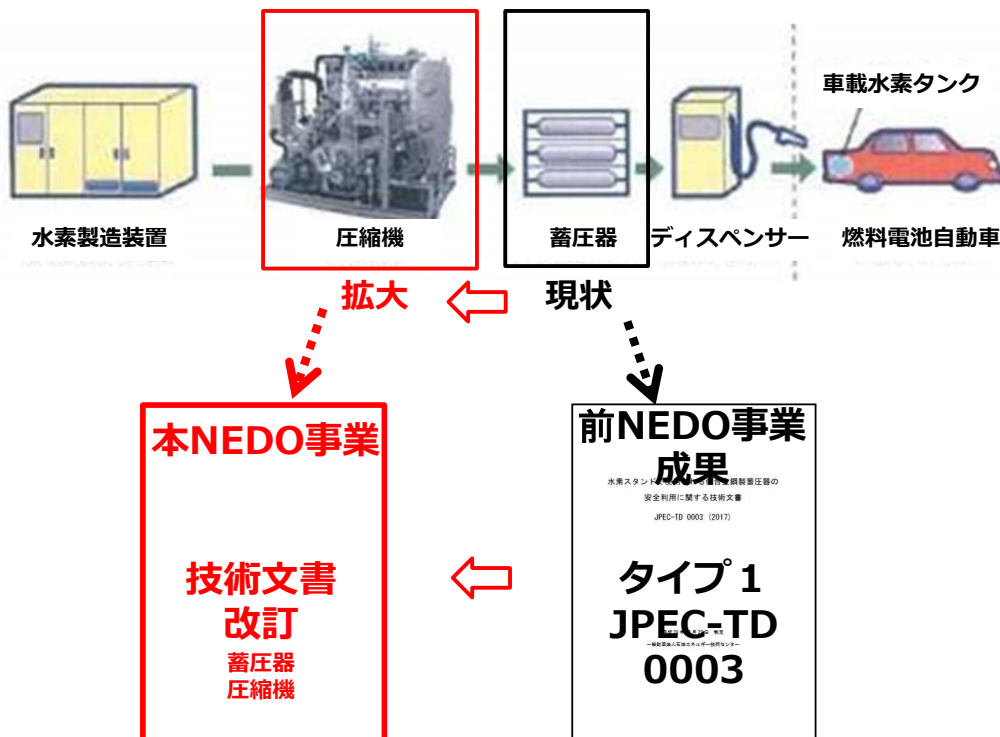
	①汎用ステンレス鋼	②冷間加工	③溶接
建設コスト	低減	機械継手代替	機械継手代替
維持コスト	—	大幅低減	大幅低減
備考 (理由)	安価な量産流通材の使用により、調達期間の短縮・価格低減効果を期待	信頼性向上 機械継手等の接合が不要となり、漏洩等の不具合減少	信頼性向上 機械継手に代替することで漏洩等の不具合減少

13/50

2. 研究開発マネジメント（1）研究開発目標の妥当性

④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

汎用低合金鋼の使用温度域の拡大による圧縮機への適用



14/50

2. 研究開発マネジメント（2）研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

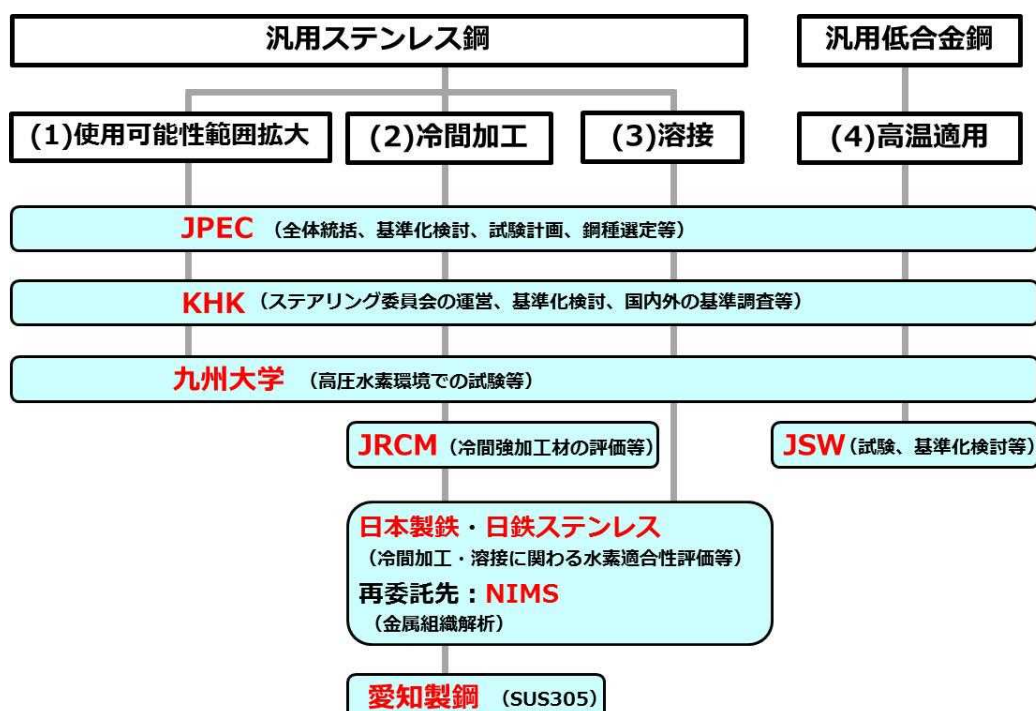
研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (参考)	2022年度 (参考)
①汎用ステンレス鋼の 使用可能範囲拡大 に関する研究開発	SUS316系の水素適合性検討 ▼新指標の判定基準作成 ▼基準化に資する資料作成 SUS316系の基準化検討 SUS304系の水素適合性検討 ▼境界条件を考慮した適材適所の基準化検討 基準化に資する資料作成▼				
②汎用ステンレス鋼 冷間加工材に関する研究開発	SUS316系冷間加工材の水素適合性検討 ▼使用条件明確化 SUS304系冷間加工材の水素適合性検討 ▼使用条件明確化 SUS305系冷間加工材の許容引張応力、水素適合性検討 基準化に資する資料作成▼ 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 ▼検討課題明確化 技術指針提案▼				
④汎用低合金鋼の 高温適用に関する研究開発	▼圧縮機への適用可否判断 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 ▼技術文書改訂				

15/50

2. 研究開発マネジメント（3）研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制

事業ニーズ、法規制、学術知識、材料製造の様々な分野を得意とする機関が集結し、一体となってプロジェクトを推進している。



16/50

◆研究開発の進捗管理

研究開発の進捗管理として、各会議体を開催した。

①ステアリング委員会（有識者、全事業者＋METI、NEDO）を実施した。

2018年度：3回

2019年度：3回

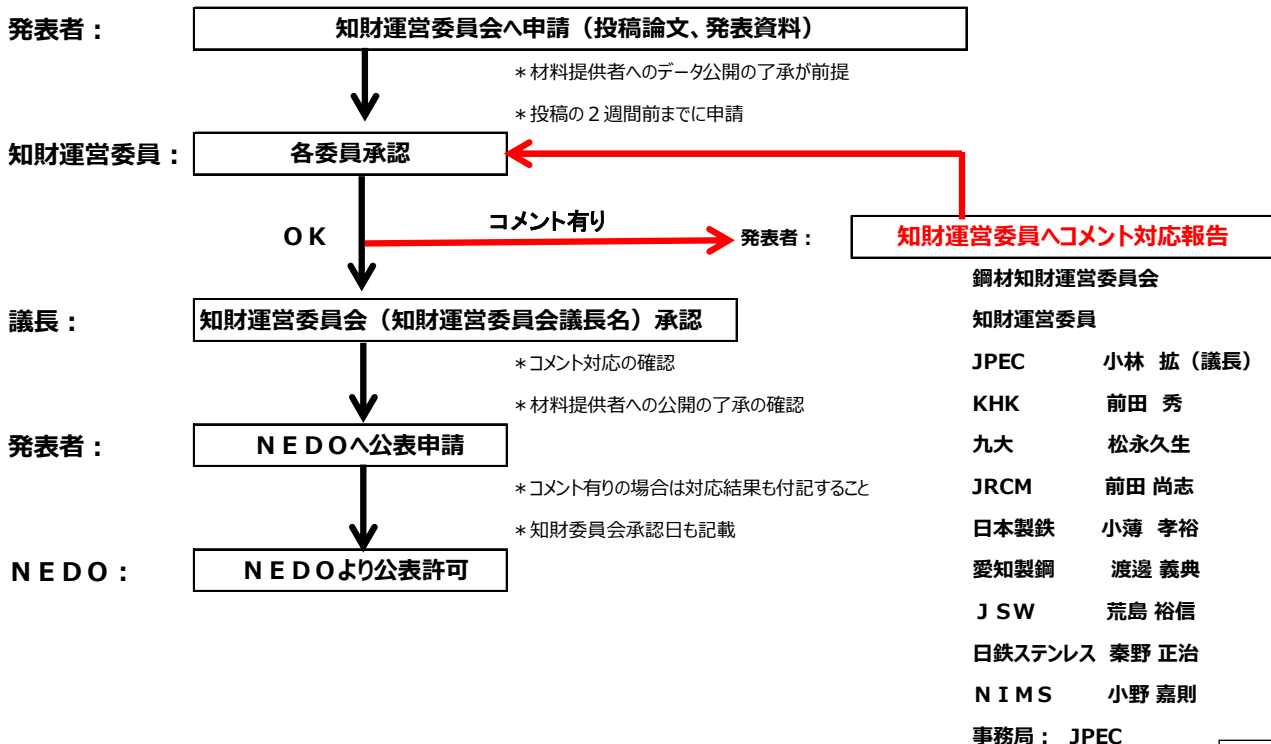
2020年度：2回（年度内3回実施の予定）

②個別進捗確認会議

必要に応じて各テーマ事業者間の個別進捗確認会議を実施した。

◆知的財産権等に関する戦略

知財運営委員会を設置し、対外発表等に際して申請、認可を得る。



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	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	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> 伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立 低温水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大 一般則例示基準の規制内容の見直しに寄与 	○	
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> 例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立 上記の考え方に基づき使用条件を明確化 許容引張応力の設定に向けたデータ取得 	○	

19/50

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	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	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> 高圧水素で使用可能な溶接材料の使用条件の明確化 水素適合性の判断基準として必要な検討項目の明確化 	○	
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータ取得により水素圧縮機への適用可否を判断する。	<ul style="list-style-type: none"> 高温での使用を想定した実験手法の確立 各種評価試験完了 低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了見込み 	◎ (2022年度分前倒し達成)	

20/50

◆ 各個別テーマの成果と意義

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

成果：伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立した。

新たな水素適合性判断基準案に基づく使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案した。

意義：市中材のステンレス鋼が水素ステーションに使用可能になれば建設コストの低減につながる。

◎ 新たな水素適合性についての基本的な考え方

要件：高圧水素ガス環境下における「延性」と「強度」の確保

1. 強度の確保

- SSRTの応力-ひずみ線図において最大荷重点を超過 (RTS=1)

2. 延性の確保

- 伸びの実測値 × REL (相対伸び比) ≥ 伸びの規格値

3. 疲労特性の確保

- 大気中と比較して、水素中で疲労限度が低下しない (右図参照)

◎ 範囲拡大した汎用ステンレス鋼の

低温高圧水素ガス環境下における疲労特性の確認

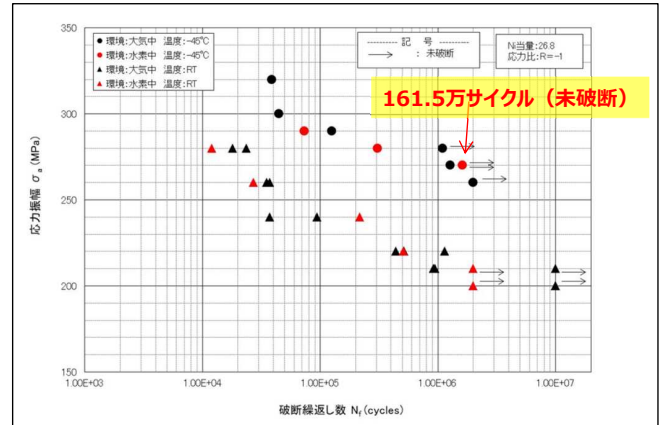


図1 SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

参考 1

ステンレス鋼及び金属の機械的特性について

- ・ステンレス鋼は、ニッケル等が含まれる量によって、水素から受ける影響の度合が変化する特性（機械的特性）を持っている。
- ・ステンレス鋼の水素特性は、「ニッケル等含有量」及び「機械的特性」をパラメーターとする判断基準で検証できる。
- ・金属の機械的特性には、「絞り」、「伸び」、「引張強さ」といった指標が存在。

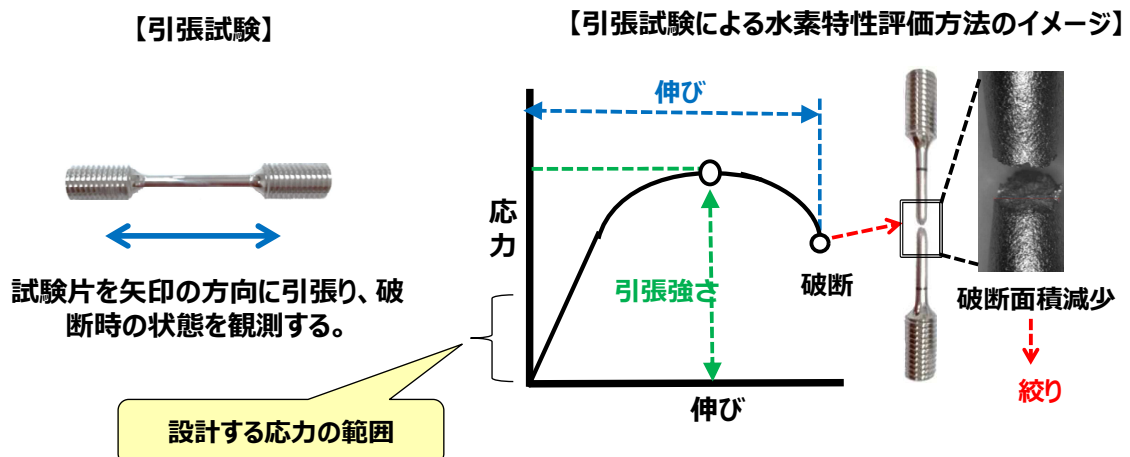


図2 金属の機械的特性について

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

・平成24年の例示基準策定に向けた検討を行った時点では、「伸び」のデータの蓄積が十分でなかったことから、精度が確認されており、かつ最も保守的な指標であった「絞り」を判断基準として例示基準化を図った。
 ・本NEDO事業で「伸び」のデータの補完を進めてきたが、「伸び」を水素特性の判断に係る指標とすることが可能なが確認できた。

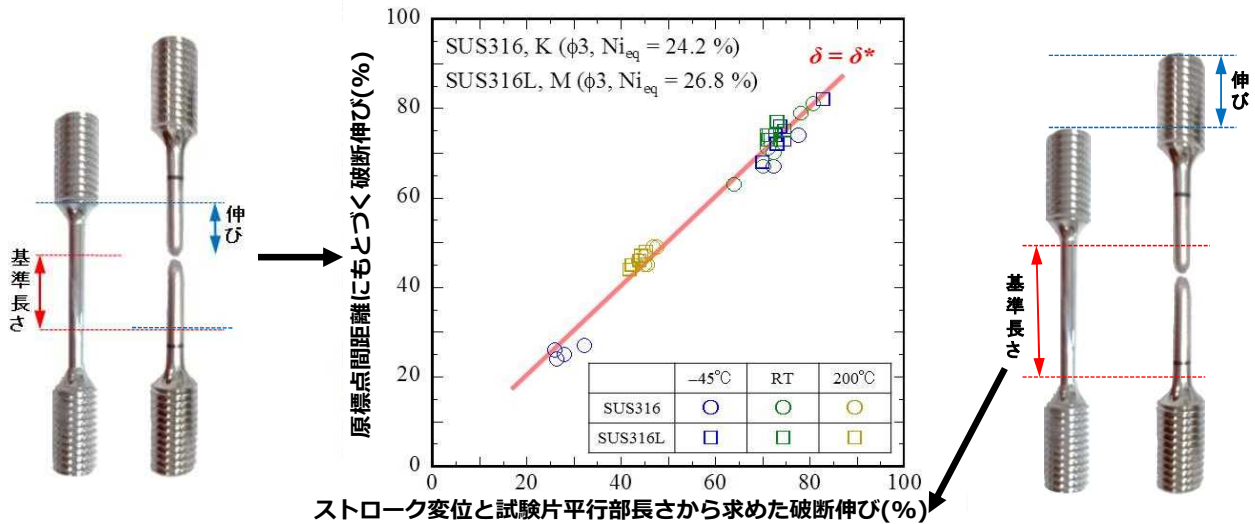


図3 伸びの評価試験方法の違いによる相関の検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

Ni当量24.2%のSUS316に比べて、Ni当量26.8%のSUS316Lは-45°C@高圧水素中においても窒素中との水素適合性の差は認められなかった。

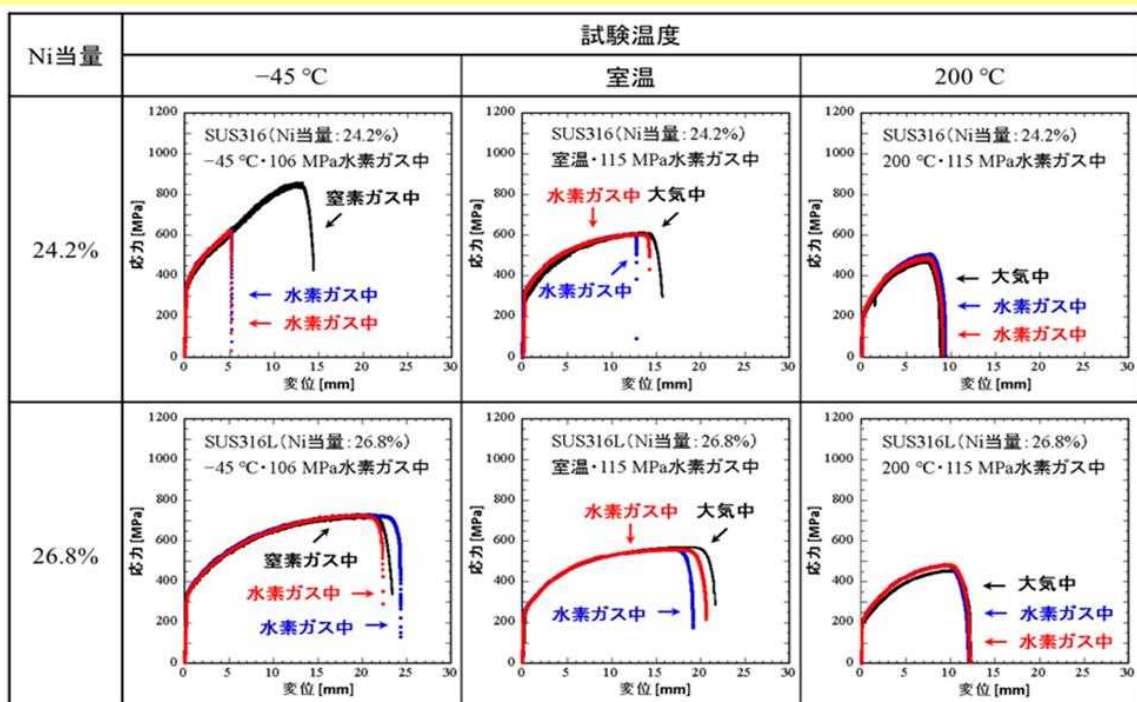


図4 SUS316L (Ni当量24.2%、26.8%) のSSRT結果の例

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

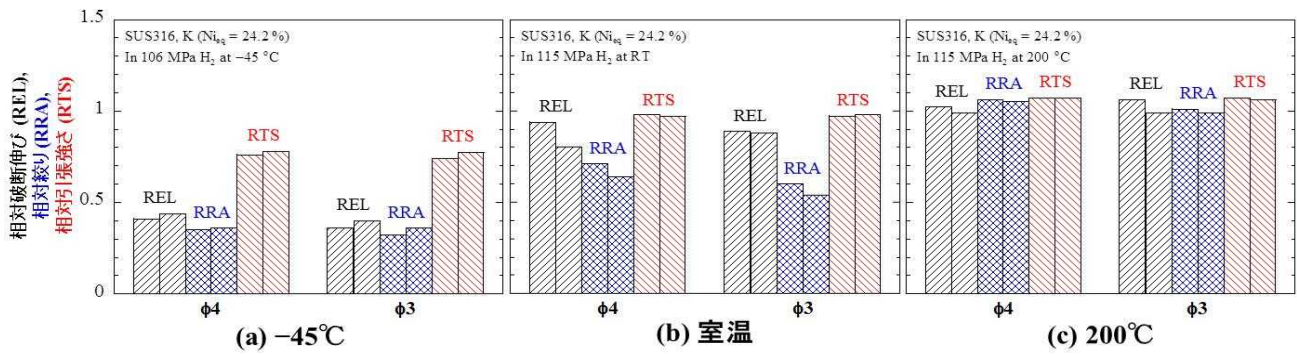


図5 SUS316 (Ni当量24.2%) のSSRT結果の解析

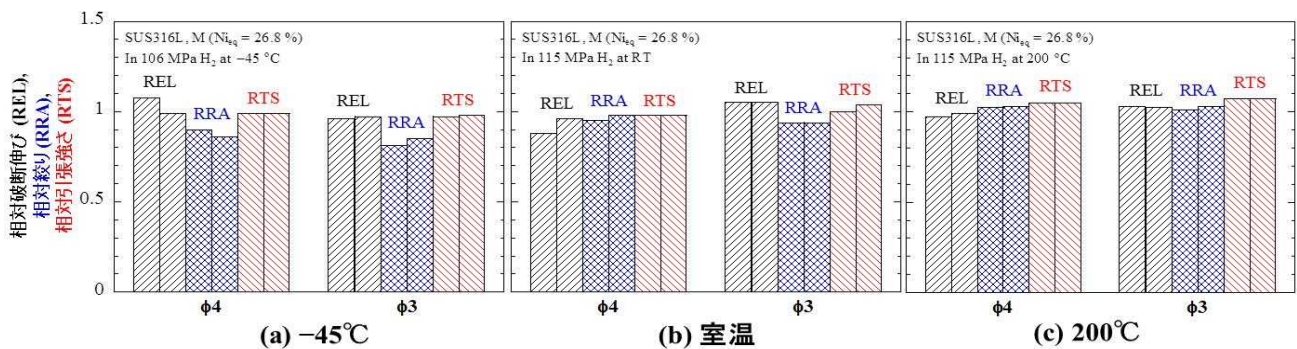


図6 SUS316L (Ni当量26.8%) のSSRT結果の解析

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

大気中と比較して、高圧水素中でも室温と同様に低温において疲労限度が低下しないことを確認した。

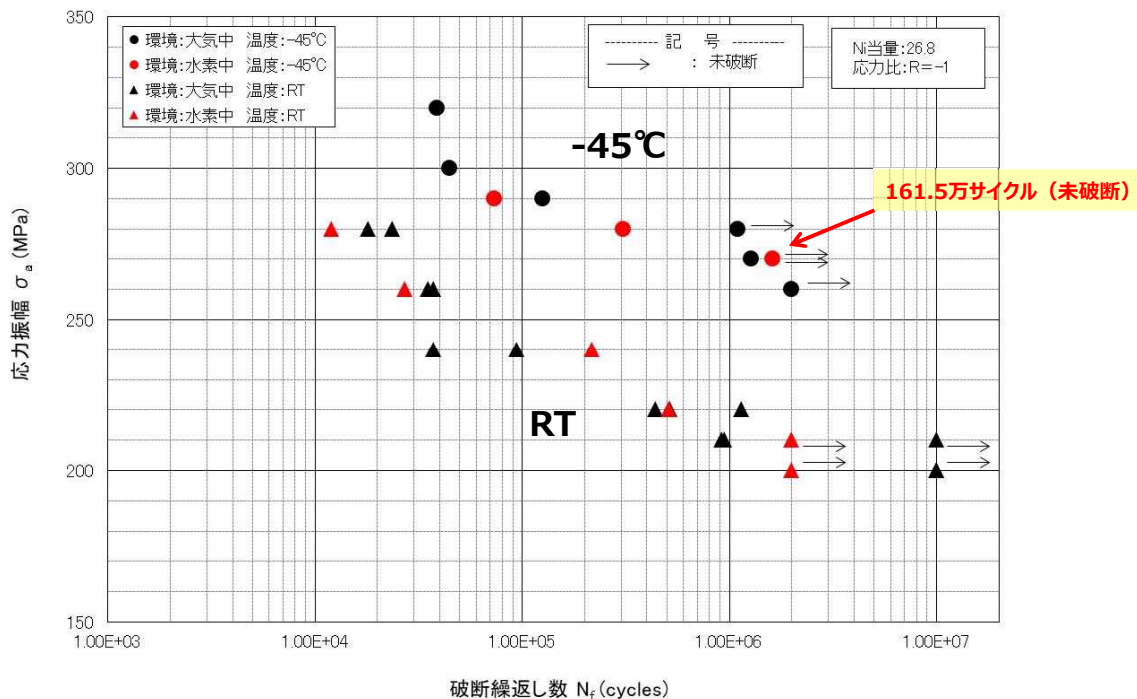


図7 SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

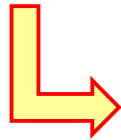
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

「絞り」に代わり「伸び」を指標とすべく、安全性やデータの検証を行い、「伸び」を指標とする新たな水素特性判断基準を作成した。

この検討結果に基づき、使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案し、一般則例示基準の改正に向けた手続が開始された。

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

現行の一般則例示基準における
材料使用可能範囲



注：Ni当量（質量%）

$$= 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

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	

新たな水素特性判断基準に基づく
材料使用可能範囲

参考 2

一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について等の一部を改正する規程
パブリックコメント実施期間：9月30～10月29日 ⇒11月4日 公布・施行

改正後

方法及び試験採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表(三)

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) 圧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、SUS316LP 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)
	-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)
	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、熱間加工済みの状態を除く。

表(四)～表(七) [略]

改正前

方法及び試験採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表(三)

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) 圧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
			-10℃以上 20℃未満である場合にあっては 27.4 以上
			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 3459(2004) 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LP 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	28.5 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
27.4 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)			
26.3 以上			
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒 (SUS316、SUS316L 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	28.5 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
27.4 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)			
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。

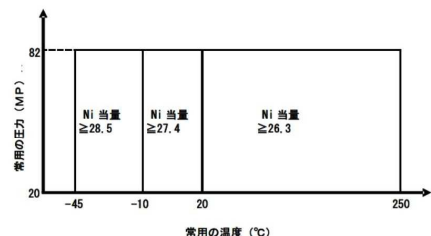


図 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

表(四)～表(七) [略]

◆ 各個別テーマの成果と意義

開発項目② SUS316/SUS316L ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果：室温・低温のいずれの高圧水素ガス中においても、Ni当量が26.6%と28.6%のSUS316/SUS316Lステンレス鋼のSSRT特性の低下量は限定的であった。また、室温において、Ni当量および冷間加工度によらず、水素の影響による疲労限度の低下は認められなかった。これらの結果から、同鋼の冷間加工材を高圧ガス中で安全に使用できる可能性が示された。

意義：市中材のステンレス鋼の冷間加工材が水素ステーションに使用できれば建設コストの低減につながる。

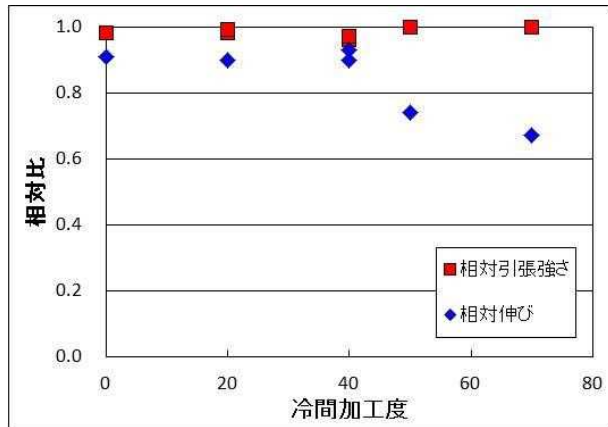


図8 SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の低温SSRT結果

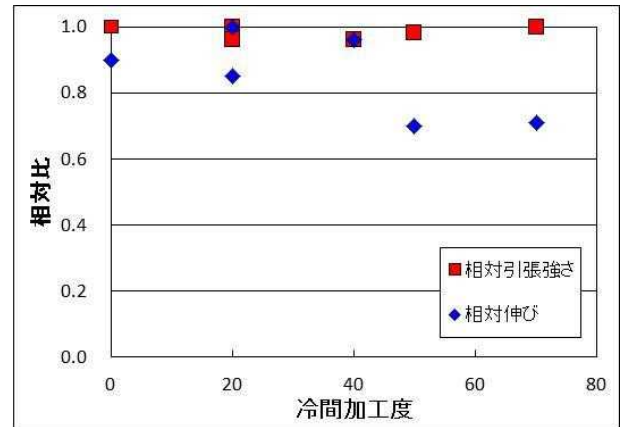


図9 SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の低温SSRT結果

室温・高圧水素ガス中での疲労寿命特性に及ぼす冷間加工度の影響

SUS316/SUS316L ステンレス鋼冷間加工材の疲労寿命特性では、0~40%の冷間加工度によらず、大気中と水素ガス中の疲労限度は同等であった。

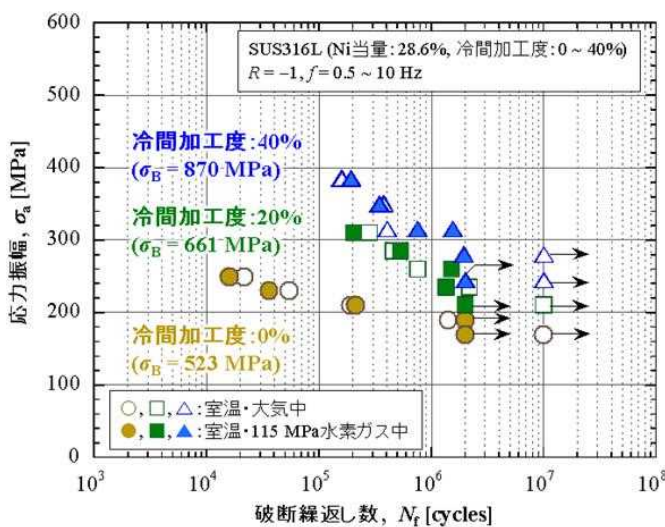


図10 SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の疲労試験結果

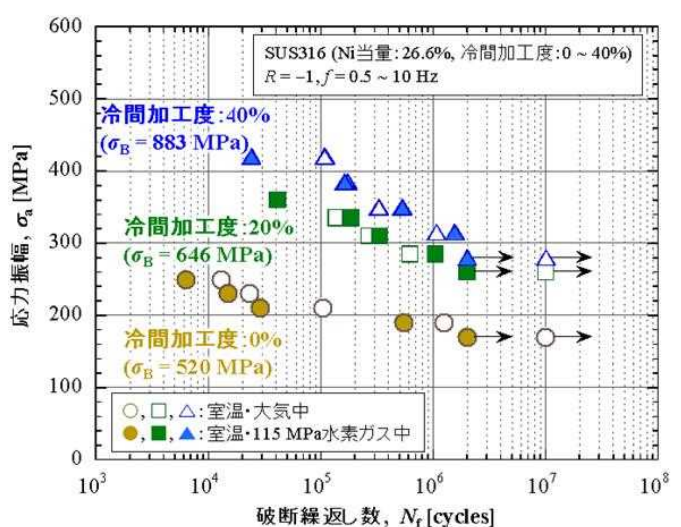


図11 SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の疲労試験結果

開発項目②SUS305ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果：SUS305 (Ni当量：26.0～28.8の4水準) の冷間引抜材 (減面率：30%、35%の2水準) および固溶化熱処理材において、許容引張応力設定に関する材料特性評価として、-50℃～175℃における機械的性質データを取得した。また、高圧水素中SSRTを順次実施し、水素適合性の検証を進めている。

意義：現行のSUH660に匹敵する高強度を有し、SUH660よりNi,Mo等のレアメタル含有量が少なく省資源であり、切削性にも優れたSUS305引抜材に代替することにより、水素ステーション機器において低コスト化を図る。安価な素材への置き換えにより建設コストの低減につながる。

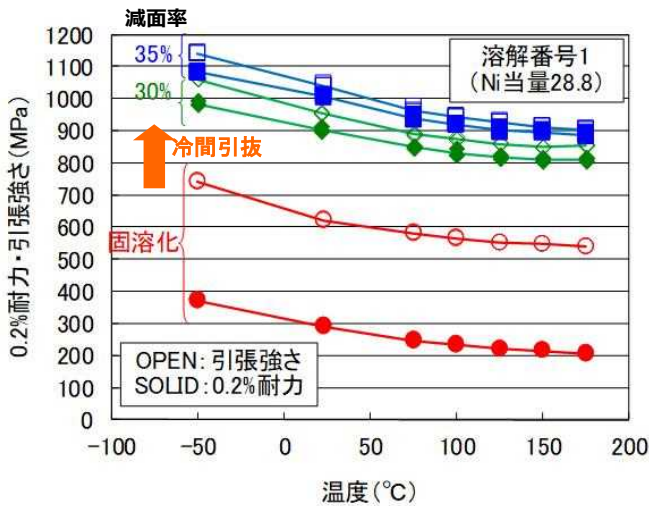


図12 許容引張応力設定に関する材料特性評価結果の例

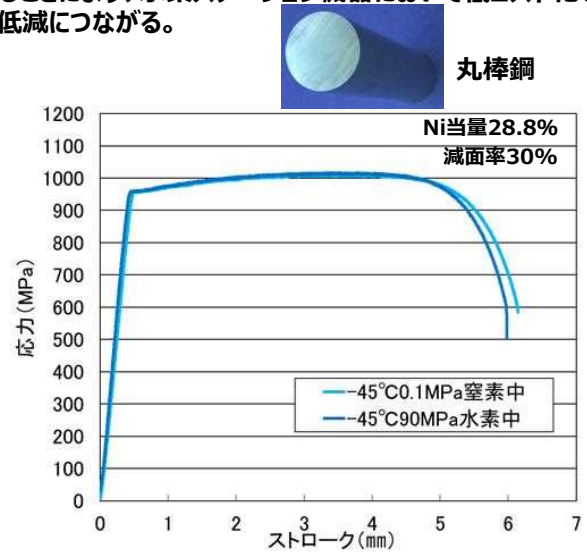


図13 SUS305のSSRT結果の例

◆ 各個別テーマの成果と意義

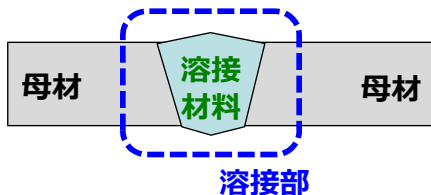
開発項目③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

成果：Ni当量を制御した素材を製造し、圧延加工により溶接試験用板材を製造した。

バタリング溶接により、溶接金属を製作して評価を実施中。

意義：溶接施工者は、溶接継手の水素適合性を評価し、社内データとして保有しているが、As Weld(溶接まま)では水素適合性要件を満足しない懸念があるため、固溶化熱処理を実施して出荷している。

→ As Weldにおける水素適合性が検証できれば、無用な工程を省略出来望ましい。



- 溶接継手は、①母材，②溶接金属，③溶接部からなり、これら全ての水素適合性を検証する必要がある。
- 母材と最適な溶接金属の組合せにより溶接継手を製作し、水素適合性を評価する。

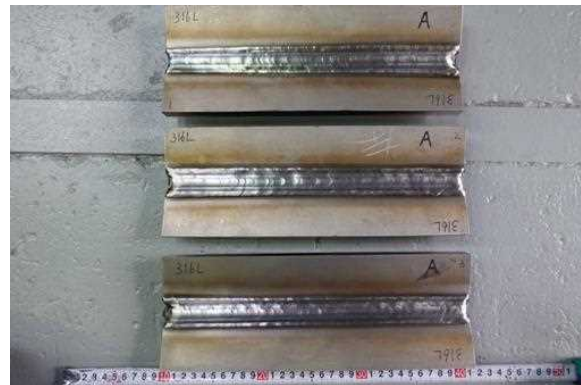


図14 バタリング溶接試験体の例

- ・ 汎用ステンレス溶接材料を用いた溶接金属の水素適合性はNi当量と相関があった。
- ・ $-40^{\circ}\text{C} \times 70\text{MPa}$ 水素環境下では、少なくともNi当量 $\geq 28.5\%$ を有する溶接材料が望ましい。

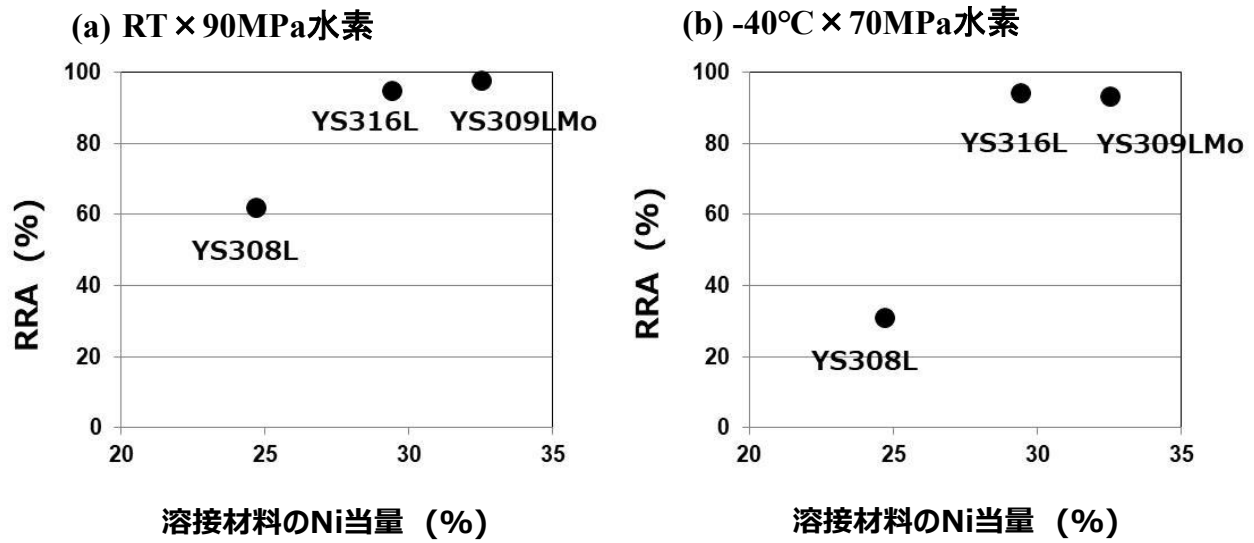


図 1 5 溶接材料のSSRT結果

◆ 各個別テーマの成果と意義

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： 圧縮機の稼働中には 200°C 程度の高温となるため鋼中に水素が侵入し、次回稼働時の特性に悪影響を及ぼす懸念があることから、予備検討として低合金鋼中に水素がチャージされた状態でSSRTを実施し、顕著な劣化が認められないことを確認した。

意義： 水素圧縮機材料として多用されているSUH660は加工が困難であり材料価格も高価であることから、高強度低合金鋼を活用することにより加工費や素材費で低コスト化が期待される。また、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)に、高温使用に対する適切な判断基準を盛り込み、安全使用に必要な要件を明示する。

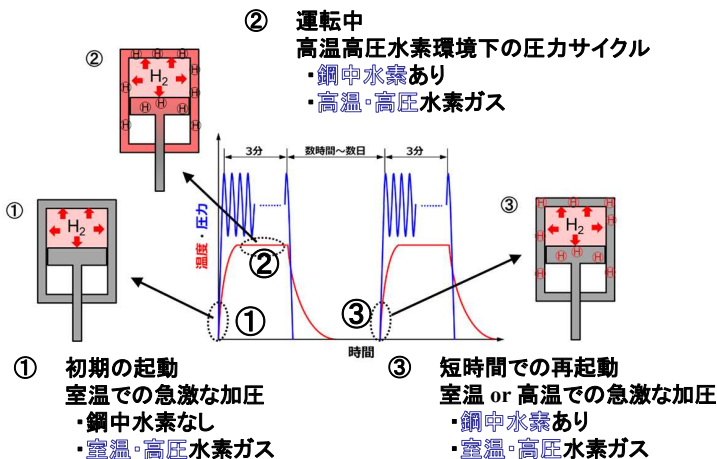


図 1 6 圧縮機の使用環境

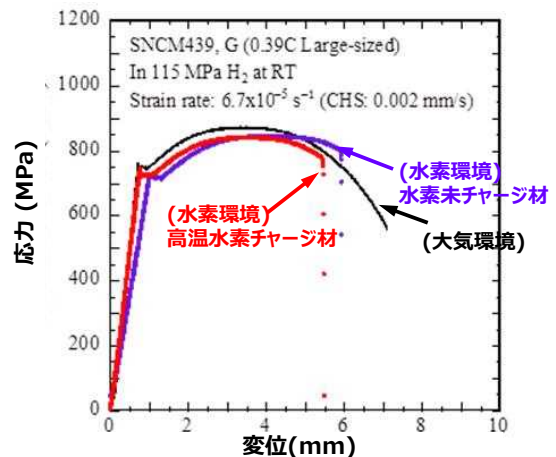


図 1 7 SNCM439のSSRT結果

圧縮機メーカーヒアリング

目的：圧縮機部材の水素適合性の認可取得のために、どのようなデータが必要かヒアリングし、効率的な試験計画を策定する。

1. 水素圧縮機的设计

- (1) 適用法規
- (2) 設計圧力
- (3) シリンダ、シリンダヘッド材料
- (4) シリンダ胴部厚さ計算方法
- (5) 圧縮機の使用回数

2. 事前評価申請の概要

- (1) 使用材料の水素適合性
- (2) シリンダ内周面の疲労解析

認可取得に必要な試験計画を策定

35/50

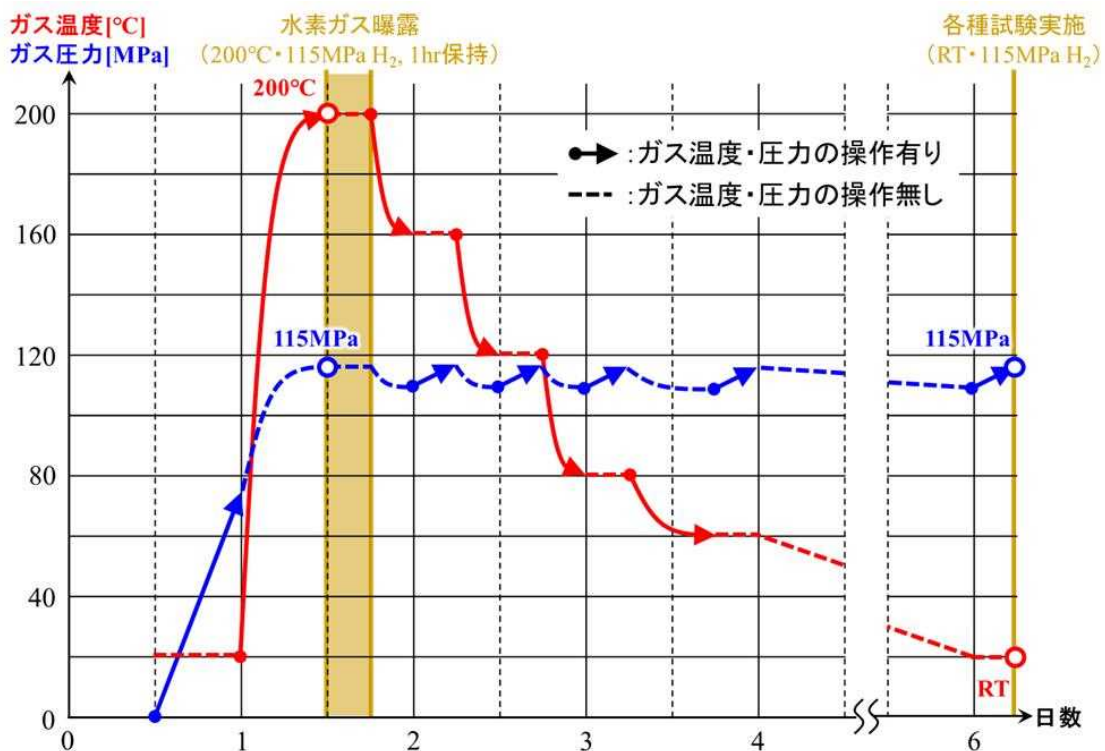
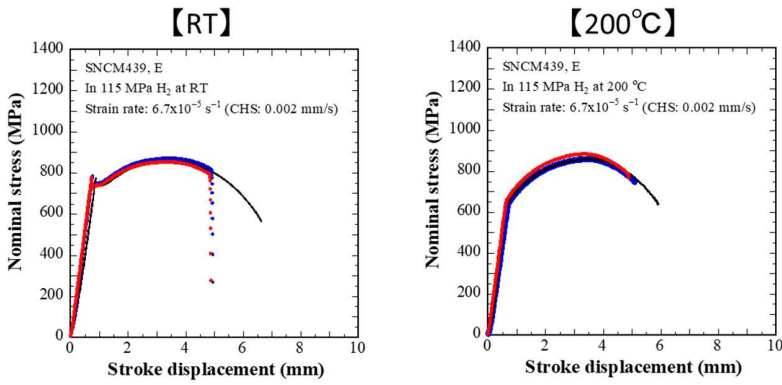


図 18 高温・高圧水素チャージ法の水素ガス温度・圧力のプロフィール

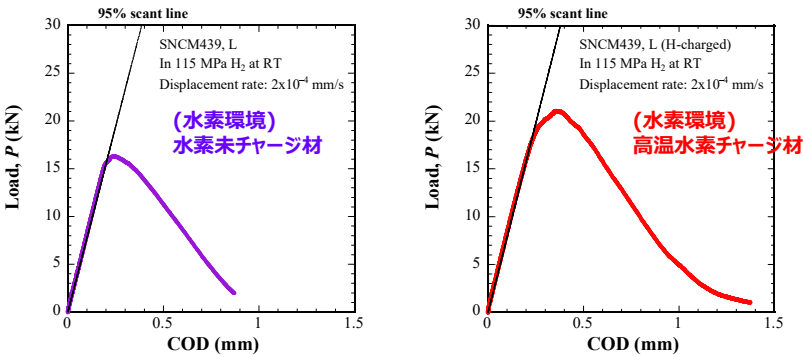
36/50

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義



Test condition		σ_B [MPa]	RTS	δ [%]	REL	ϕ [%]	RRA
RT	Air	856	—	23	—	65	—
	115 MPa H ₂	870	1.02	16	0.70	35	0.54
		855	1.00	18	0.78	37	0.57
200°C	Air	861	—	21	—	60	—
	115 MPa H ₂	861	1.00	17	0.82	40	0.67
		884	1.03	17	0.80	39	0.65

図 19 SNCM439のSSRT@室温、@200°C結果

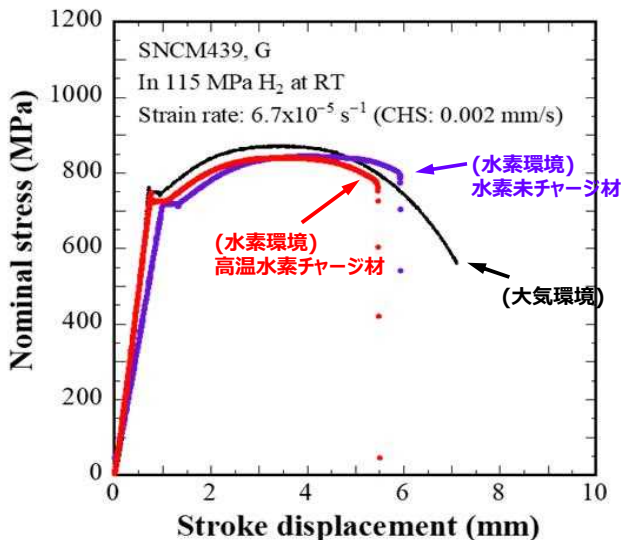


Test condition		P_Q [kN]	K_{I_H} [MPa $\cdot\sqrt{m}$]
RT	115 MPa H ₂	15.6	50.5
	115 MPa H ₂ (After H-charging)	17.3	56.4

図 20 SNCM439の水素助長割れ下限界応力拡大係数 K_{I_H} 試験結果

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

- ・圧縮機の使用環境を想定した内部水素の影響評価試験で、SSRT試験結果、 K_{I_H} 試験結果に対し、水素チャージの影響が無いことを確認した。
- ・水素の影響は、高温(200°C)の方が室温に比べて小さいことを確認した。
- ・水素中室温疲労試験で大気中と水素中の疲労限度は変わらないことは確認されており、水素圧縮機の評価に必要なデータは一通り揃うことを確認した。



Test condition		σ_B [MPa]	RTS	δ [%]	REL	ϕ [%]	RRA
RT	Air	873	—	26	—	67	—
	115 MPa H ₂	845	0.97	21	0.81	35	0.52
	115 MPa H ₂ (After H-charging)	841	0.96	21	0.81	34	0.51

図 21 SNCM439の高温水素チャージ材のSSRT結果

低合金鋼技術文書改正案の構成(圧縮機追加)案

目次

1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語の意味	2
4 材料	3
4.1 水素適合性の判定	3
4.2 硬さ試験	4
4.3 衝撃試験	5
4.4 製品と同等の材料の定義	5
4.4.1 鍛鋼品における「製品と同等の材料」の定義	5
4.4.2 継目無鋼管における「製品と同等の材料」の定義	6
5 設計	6
5.1 許容引張応力の設定	6
5.2 最小厚さ	7
5.3 疲労解析	7
附属書 A 蓄圧器に適用する場合の追加事項	
A.1 適用範囲	8
A.2 破裂前漏洩条件の検証	8
A.3 疲労解析	8
A.3.1 疲労解析における応力振幅の設定方法	8
A.3.2 蓄圧器の使切り繰返し数の設定	8
附属書 B 圧縮機に適用する場合の追加事項	
B.1 適用範囲	10
B.2 圧縮機シリンダ円筒部の疲労解析	10
附属書 C 水素適合性検証の事例	11
解説	

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

個別研究開発項目の達成状況

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を確立
- ・低温高圧水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大
- ・一般則例示基準の規制内容の見直しに寄与

②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

- ・SUS316系、SUS305の冷間加工材の水素適合性の評価を開始した。
- ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工材の水素適合性判断基準の考え方を確立
- ・許容引張応力の設定に向けたデータの取得

③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

- ・高圧水素で使用可能な溶接材料の使用条件の明確化
- ・水素適合性の判断基準として必要な検討項目の明確化
 今後は母材・溶接金属・溶接部の水素適合性評価を行い、技術指針化を進めていく。

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の確立し各種評価試験完了
- ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了見込み

以上、水素ステーションへの低コスト材料の適用をより簡便に行える環境作りを進める。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
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の確立により汎用ステンレス鋼の使用可能範囲を拡大	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	適材適所の利用を含めたさらなる使用可能範囲の拡大に向けた基準化に資する資料を作成
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	冷間加工材の使用可能な条件を明確化 許容引張応力の設定検討中	評価結果に基づく許容引張応力を検討し、基準化に資する資料を作成	許容引張応力、大型化、疲労限度への影響等を検討し基準化に資する資料を作成
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化 技術指針作成に必要な検討項目を明確化	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性の測定結果に基づき技術指針を作成	水素適合性試験を継続し、検討項目について見極めることにより技術指針を作成
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	低合金鋼技術文書を年度内に改訂見込み	検討結果に基づき低合金鋼技術文書を改訂	2020年度に実施完了見込み

41/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

対外発表件数は以下のとおり。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	12	6	1	19
新聞・雑誌等への掲載	6			6

※2020年9月30日現在

42/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

紙面等への発表：6件

年月	発表先	題目	発表者
2018年11月	エネルギー総合工学研究所「エネルギー総合工学」	水素スタンドで使用される材料の選定について	KHK
2018年12月	高圧ガス誌	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学
2018年11月	JRCM NEWS No.385	NEDO事業「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(平成25～29年度実施)の成果概要	JRCM

43/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表：19件

年月	発表先	題目	発表者
2018年12月	溶接接合工学振興会H30年度セミナー	水素インフラの現状と将来展望	JPEC
2019年2月	第8回次世代ものづくり基盤技術産業展「TECH Biz EXPO 2019」	水素ステーションで使用する鋼材の規制と今後の展開	JPEC
2019年2月	FCCJ燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	JPEC
2019年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2019年9月	水素貯蔵技術WG第1回セミナー	水素社会を取り巻く環境、規制、規制緩和 水素ステーションで利用できる金属材料・蓄圧器	JPEC
2019年12月	水素貯蔵技術WG第2回セミナー	水素ステーション用金属部材の今後の例示基準化の方向性	JPEC
2020年1月	九州水素・燃料電池フォーラム&水素先端世界フォーラム2020	水素ステーションで使用する金属材料の規制見直しと今後の方向性	JPEC
2020年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2018年12月	KHK水素保安セミナー	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2019年12月	KHK水素保安セミナー	水素スタンド設備に使用するオーステナイト系ステンレス鋼の選定基準	KHK
2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学

44/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表 (続き)

年月	発表先	題目	発表者
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス環境中における材料強度試験	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼の強度特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼溶接金属317LのSSRT特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	オーステナイト系ステンレス鋼突合せ溶接継手の疲労強度特性に及ぼす内部水素の影響	九州大学
2018年11月	International workshop on standards and codes for hydrogen infrastructure safety Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)	Recent activities for hydrogen compatibility of materials used in hydrogen station in Japan	九州大学
2019年12月	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第2回セミナー	愛知製鋼における高圧水素用ステンレス鋼の開発取り組み	愛知製鋼

45/50

3. 研究開発成果 (4) 知的財産権等の確保に向けた取組

◆知的財産権の確保に向けた取組

当該プロジェクトは活動内容の性格上、広く事業者に利用してもらうものであるため、得られた成果物を特許化することは考慮していない。

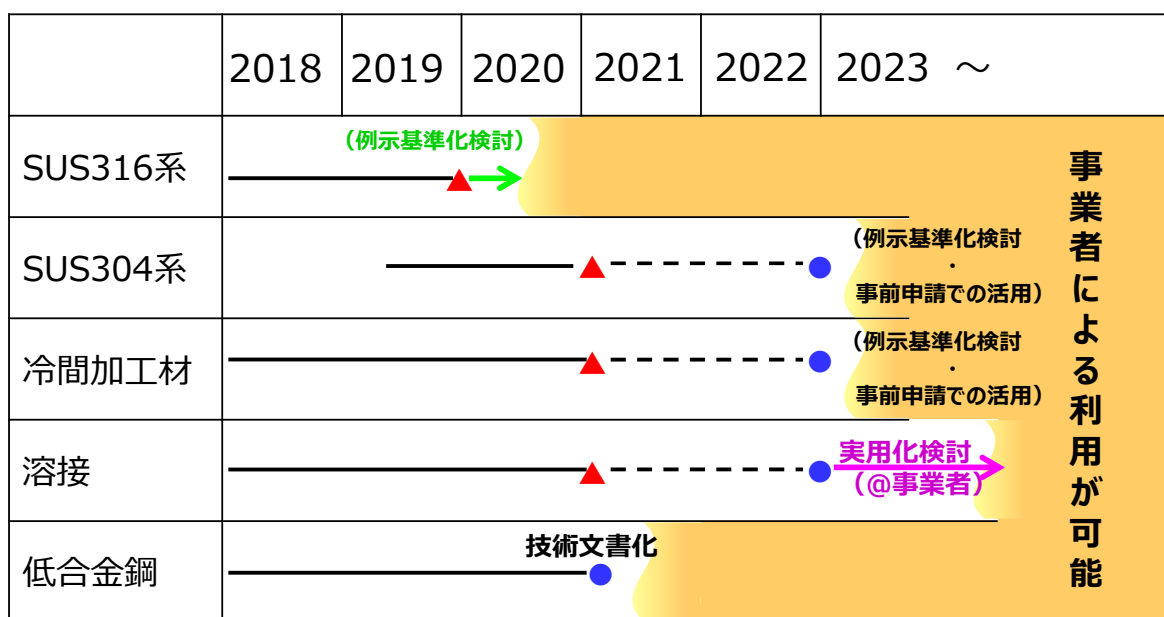
対外発表等については、知財運営委員会、NEDOの許可を得て実施する。

46/50

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に基づく結果が例示基準化あるいは技術文書化されることであり、水素ステーション事業に関わる企業が活用し企業活動(コスト、利便性等)に貢献することを指す。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組



▲ : 判定基準・使用可能範囲 ● : 基準化に資する資料・ガイドライン

◆成果の実用化・事業化の見通し

項目	今後の見通し
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大	本研究で得られた材料範囲の拡大案は一般則例示基準9.2の改正に盛り込まれ、パブリックコメントの募集が開始された。正式認可ののち、水素インフラ事業者での利用を期待する。境界条件を考慮した適材適所の基準化については今後の課題である。
②汎用ステンレス鋼冷間加工材	許容引張応力の設定、大型の冷間加工材、高強度化に伴う疲労限度への影響、冷間加工材の基準化に資する文書化等について検討し、冷間加工材の利用環境を整えていく。
③汎用ステンレス鋼溶接材	汎用ステンレス鋼を用い、適正な母材・溶接金属の組合せによる溶接継手の水素適合性を検証し、良好な水素適合性を示す溶接継手の事例があることを実証するとともに水素適合性を低下させる要因を整理し、技術指針に記載することにより注意喚起を図る。
④汎用低合金鋼	低合金鋼技術文書JPEC-TD0003の改訂が年度内に完了する見込みである。使用可能温度の上限が200℃に引き上げられ、圧縮機の出口部分にも使用可能となる。改訂完了次第、関係団体等への周知を図り、利用を促していく。

◆波及効果

当該研究開発に基づく結果により、一般則例示基準9.2の規制見直しが図られた。

入手が容易な低コスト材料が簡便に使用できることで、水素ステーション事業への将来の新規参入を促す効果がある。

実使用条件での水素適合性を系統立てて明らかにしていくことで、日本のデータが国際標準化においても重要な意味をなし、水素分野における技術力の誇示と水素エネルギーの普及に貢献する。

「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」（中間評価）

（2018年度～2022年度 5年間）

プロジェクトの概要 （公開）

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
 NOK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

2020年12月17日

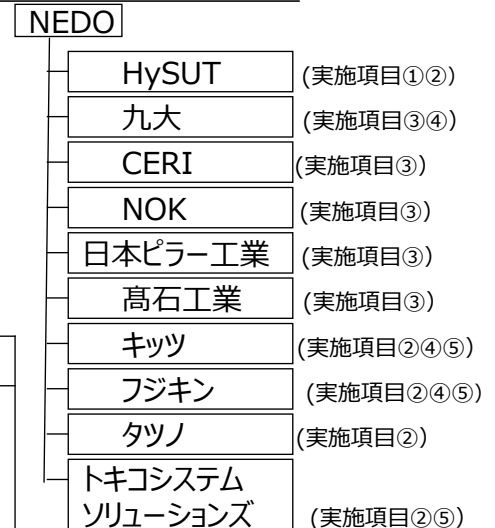
事業概要

1. 期間 開始：2018年6月
 終了：2023年2月（予定）

2. 最終目標

実施項目	最終目標（2022年度）
事業全体	○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。
実施項目	そのために、以下を実施する。 ①セーフティデータベースの解析知見の整理 ②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 ③シール基盤・改良開発 ④継手基盤・機器開発 ⑤シール成果に基づく機器開発

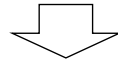
●実施体制および分担等



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、2019年度末の商用水素ステーション数は120ヶ所を超え、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2011～2019年度に43件を数え、その原因は全て水素の漏えいである。漏えい部位多くは締結部とシール部。

今後の水素ステーションの増加と、充填頻度と多様化によって、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。

FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、

- **エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい**
- **水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献**
- **水素供給インフラについてはFCV普及初期の市場が限られるため、民間単独では開発リスクが大きい**
- **水素ステーションの技術開発等、他の事業と連携することで効果的に開発を進めることが可能**

2. 研究開発マネジメントについて（1）研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標（2020年度）	根拠
長寿命・高信頼性のシール、継手、機器の開発	<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"> 事業開始前のシール、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。 このため、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に、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。

4/34

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性

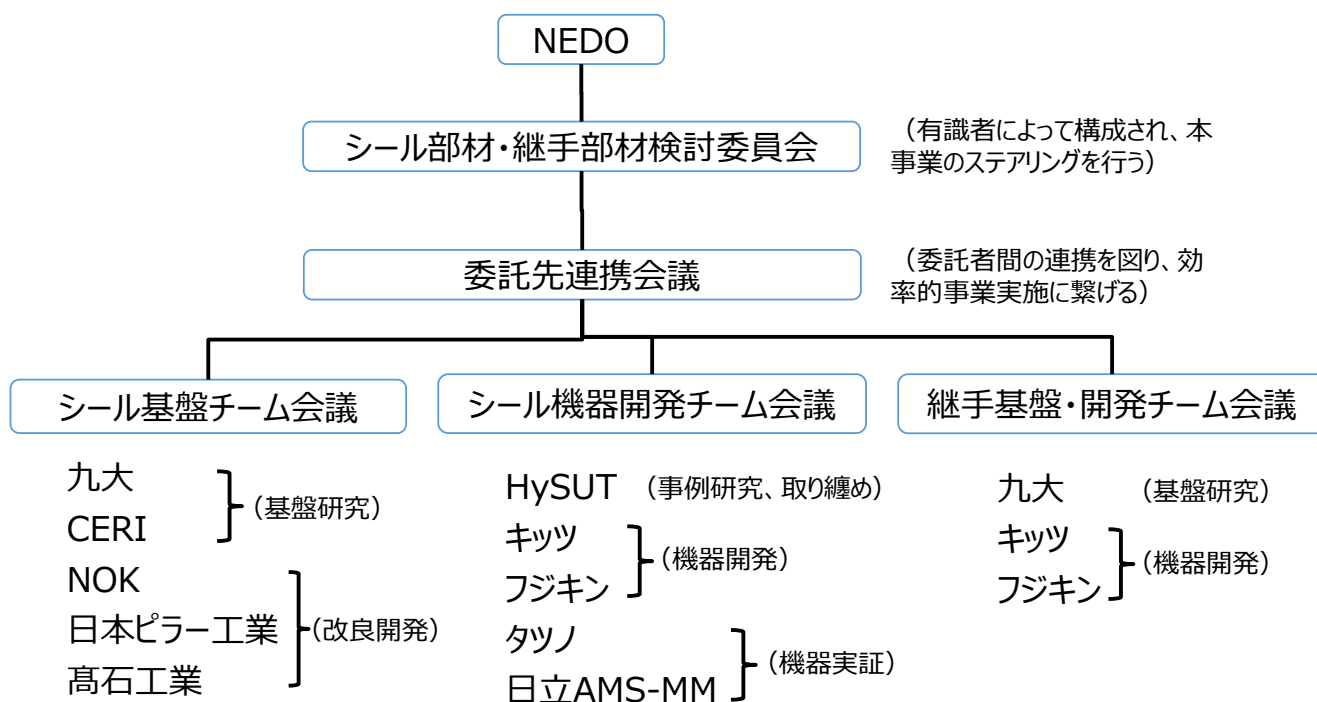
◆研究開発のスケジュール

研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (参考)	2022年度 (参考)
	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			同左	
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) (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			同左	
	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 (設計) (試験：He等) (試験：H2) (試験：H2耐久試験)			(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 要素評価試験装置による諸因子の影響評価、評価にもとづき新型／改良型継手開発				
	要素評価試験装置及び 供試体の開発		要素評価試験装置の確立 (装置・供試体開発と評価方法の確立) (新型/改良型継手の開発と評価試験)		
	継手ゆるみ理論解析（ねじのゆるみとシール面での漏洩）				
	FEM解析スキーム検討		継手ゆるみ理論解析（ねじのゆるみとシール面での漏洩） (トポグラフィモデル検討と組込) (新型/改良型継手の検証)		

5/34

2. 研究開発マネジメントについて（3）研究開発の実施体制の妥当性

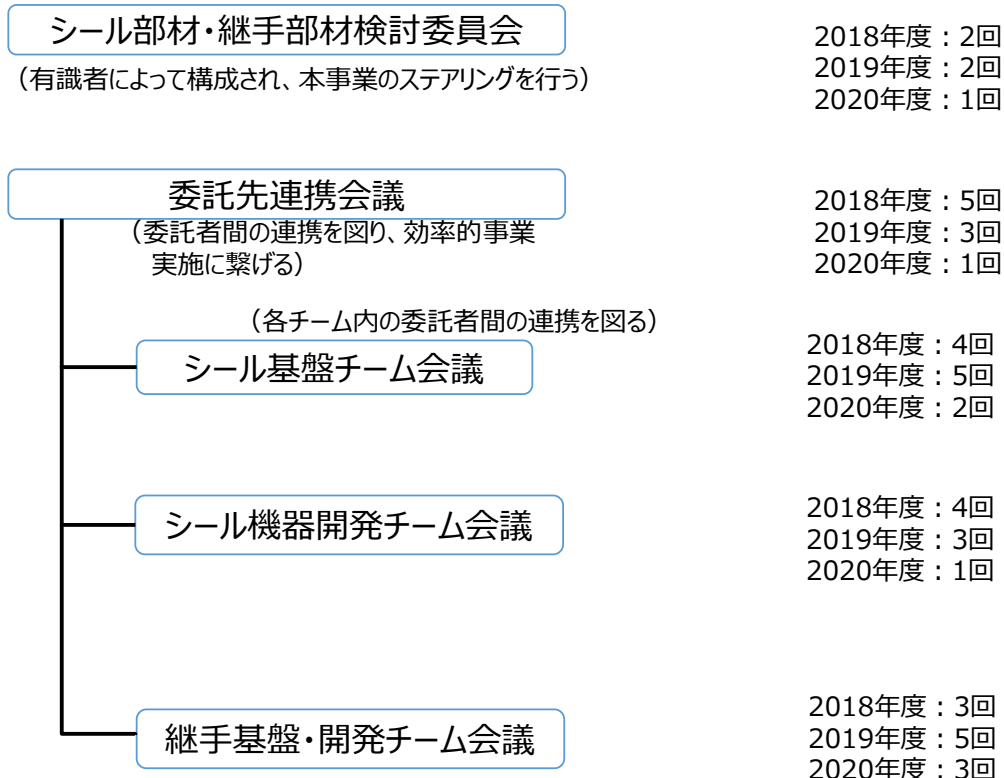
◆研究開発の実施体制



6/34

2. 研究開発マネジメントについて（4）研究開発の進捗管理の妥当性

◆研究開発の進捗管理



7/34

◆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）

3. 研究開発成果 （１）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① セーフティーデータベース（SDB）の解析知見の整理	SDBデータ解析の継続	シール、継手のトラブル事例解析より、プレクーラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	○	引き続き、SDBデータ解析を継続し、研究開発方向の絞り込みを行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	機器の加速耐久性評価法案設定	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○	機器レベルでの加速耐久性評価法を検証し、継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。
③ シール基盤・改良開発	HRSにおける充填回数15,000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標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 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り、硫化水素が発生する事を確認した。	○	開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較によるシール部材加速耐久性評価法の検証 高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策
④ 継手基盤・機器開発	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用を試験と解析により確認した。	○	接触面圧低下条件と水素漏洩の関係の定量的整理。漏洩リスク低減指針の検討。新型/改良型継手の開発。理論解析による検証。
⑤ シール成果に基づく機器開発	HRSにおける充填回数15,000回相当の機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。	○	加速耐久性評価法に基づく目標達成機器の開発

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)

○セーフティデータベース (SDB) 概要、漏えい事例の精査

期間：2003年～2018年1月 (約15年間)

データ件数：シール継手事業に係る465件

SDBより事例の更なる精査・検討のため、水素の漏えい事例につき、部位、原因などが詳述されている101件を抽出した。

・ディスペンサーの漏えいは、シール部位が多い (51件中の44件)。シール部での外部漏えいは19件であり、内18件が遮断弁・その他の弁となった。また、内14件がプレクレー二次側の遮断弁のトラブルであり、3/4がグランド部分で発生し、残りは弁の底部のOリングで発生している。

○ディスペンサーの継手部位が原因の漏えい

外部漏えいは7件であり、全てプレクレー二次側が漏えい発生部位である。

プレクレーの二次側 (出口側) のシール、継手、機器の漏えい防止が重要

設備	種別	外部漏えい		内部漏えい		計
		件数	比率	件数	比率	件数
ディスペンサー	シール	19	73%	25		44
	継手	7	27%	0		7
	計	26	100%	25		51
昇圧設備	シール	4	27%	26		30
	継手	11	73%	0		11
	計	15	100%	26		41
蓄圧設備	シール	5	56%	0		5
	継手	4	44%	0		4
	計	9	100%	0		9
合計	シール	28	56%	51		79
	継手	22	44%	0		22
	計	50	100%	51		101

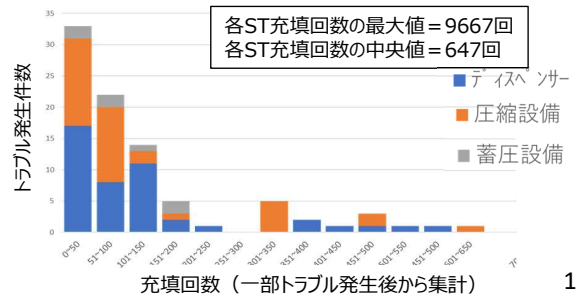
○充填回数とトラブル発生頻度の相関性解析検討

上記の漏えい事例を対象にトラブルが発生するまでの充填回数を集計し、充填回数とトラブル発生頻度の相関性を解析した。

・運営開始、トラブル発生後からの運営再開に関わらず運転初期段階での充填で漏えいが多い。

・充填回数 0～50回での漏えい件数が最も多く、初期の段階でシール部・継手部から漏えいが発生していることを確認した。

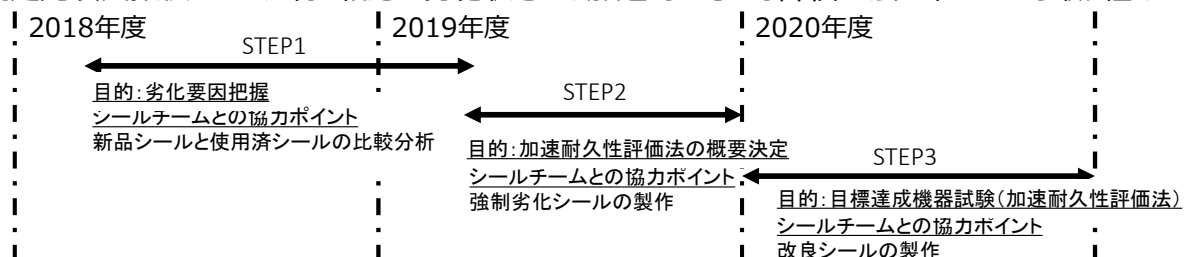
・各STの充填回数の中央値 (充填回数647回) であることから運転初期の段階で漏えいが多く発生していることが明確となった。



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, トキコシステムソリューションズ)

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



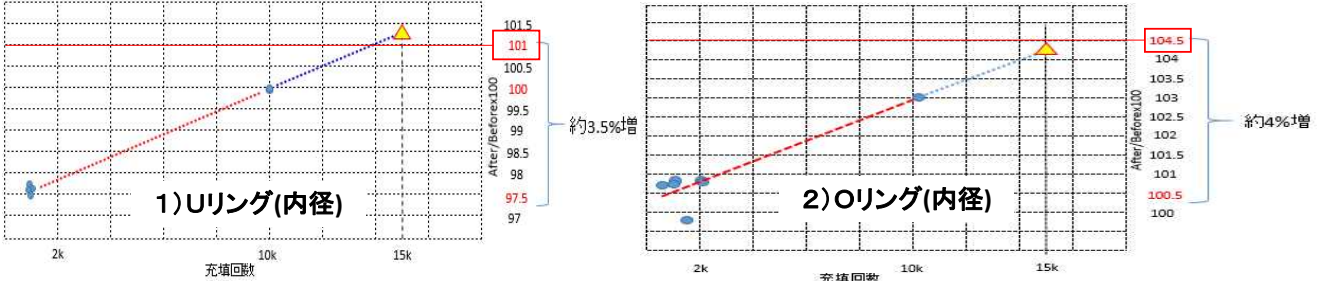
No.	目的	シール供試体	取り組み方法	次STEPへ進む為の判定基準
STEP1	商用STで使用したシール材の劣化要因を把握	新品シール 使用済シール	新品シールと使用済シールを比較分析し、劣化因子を調査する	劣化因子が絞り込めること
STEP2	加速耐久性評価法案の概要決定	強制劣化シール	STEP1で絞り込んだ劣化因子を、強制的に付与した強制劣化シール材を製作・使用し、加速耐久性評価法案を決定する	リークが発生すること
STEP3	加速耐久性評価法による充填回数15,000回相当の達成	改良シール	STEP2で決定した加速耐久性評価法案を用いて、目標充填回数相当に耐える機器を開発する	15,000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

キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

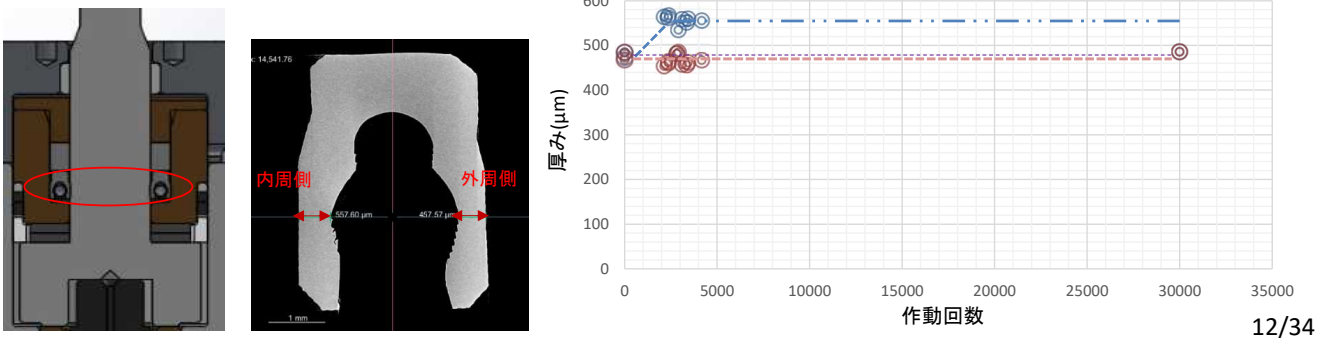
・目的

2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品を分析し、その結果からシール材の内径の拡大及びUリングの変形に注目し、充填15,000回相当の仮想相関図を作成し、漏洩の限界値を想定し強制劣化シール材の作成と加速耐久性評価法を立案し、検証する。

①仮想相関図とシール材の漏洩閾値(充填15,000回相当)

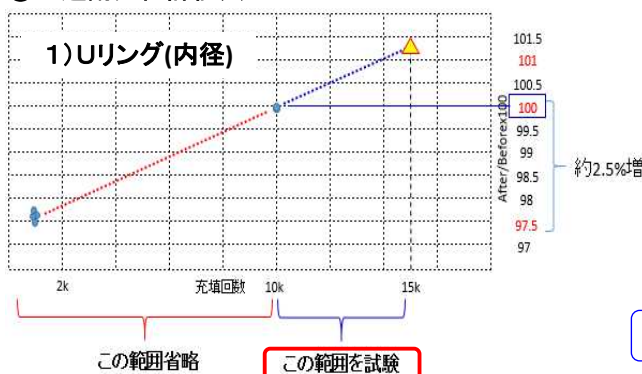


②UリングのCT分析(シール部厚み確認)



キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

③加速耐久性評価法



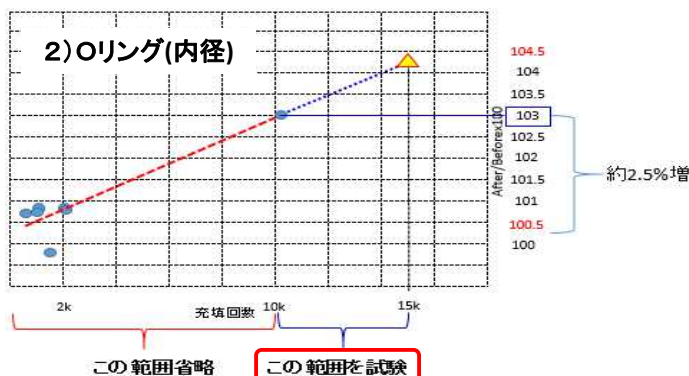
強制劣化シール材製作方法

- 1) Uリング: 治具にて内径を拡大させる。
- 2) Oリング: 樽型ロッドで内径を拡大させる

加速耐久性評価試験方法

- 1) Uリング: 圧力サイクル2,000回を加えた後に定圧連続作動15,000回(充填5,000回分)とする。
- 2) Oリング: 圧力サイクル5,000回(充填5,000回分)

期待する効果



	試験キャパ	日数
充填模擬試験(15K)	150回/日	100日
加速耐久性試験 (Uリング)	圧力サイクル 4,800回/日 定圧作動 6,000回/日	4日
加速耐久性試験 (Oリング)	圧力サイクル 4,800回/日	2日

※ 1日 = 8時間稼働として計算 (準備・撤収日は除外)

商用STのバルブ不具合内容等の把握

商用ST・HTCでの使用済シール部品を回収・調査し、新品シール材からの変化点を確認した。調査シール部品の対象は、底プラグオリング、グランドパッキンの2箇所。

新品対比で以下変化点を確認された。

- ・底プラグオリング：隙間へのはみ出し変形
- ・グランドパッキン：内径側(軸摺動側)摩擦

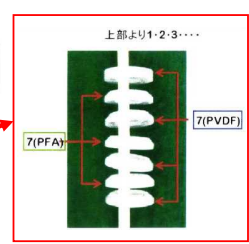
※化学的変化より物理的な変化が主であった



底プラグオリング(固定シール)

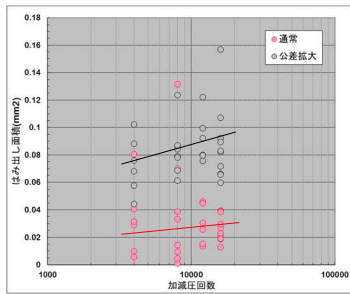
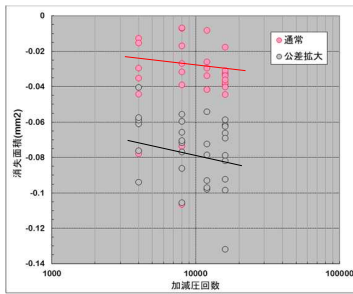


グランドパッキン(運動シール)



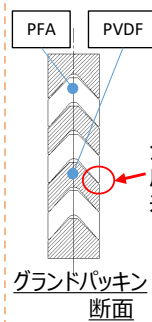
加速耐久性評価法試験の検討

底プラグオリングについて、バックアップリング寸法を変更し、Oリングがはみ出す隙間を変化させ、繰り返し加減圧回数とはみ出し量に対するデータを取得した。充填回数によるはみ出し量を外挿する。※はみ出し量測定方法は九州大学様にて考案頂いた。



充填回数15,000回でのOリングはみ出し量、グランドパッキン内径を外挿できる相関図を作成し、リークする閾値と共に示せるデータ整備を行う。

グランドパッキンについて、内径側摩擦が変化するようにグランドパッキンの角度を変更し、軸との接触量を変化させ、内径変化とリークする関係のデータを取得した。



角度差

グランドパッキン断面

グランドパッキン条件

No.	角度差	内径	備考
1	標準	6mm	標準条件
2	標準×1/2	6mm	角度差を減少
3	0	6mm	角度差をゼロ

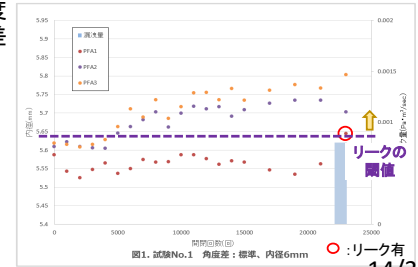


図1. 試験No.1 角度差：標準、内径6mm

■ディスペンサ動作による遮断弁の加速耐久試験法 トキコシステムソリューションズ(株)

目的： 充填制御における遮断弁動作から、加速耐久試験方法を提案する。

意義： 効果的な加速試験法を提案し、短時間で耐久性評価を可能とする。劣化の少ないシール継手の開発に役立てる。

【充填制御概要】

No.	充填内容	開時間目安	充填制御	備考
1	初期圧測定	2~10秒	パルス充填	温度が急激に低下
2	容積計測	10~30秒	定流量または定昇圧率	1-2で200g以下
3	本充填	0~600秒	定昇圧率(プロトコル)	バンク切替あり

【充填による負荷】

- ・1充填当りの遮断弁開閉回数: 3回(*)
- ・遮断弁開閉時の1次側/2次側圧力を右表に示す
(P_{max} : 充填終了圧、 P_0 : 初期圧、 P_1 : 容積計測後圧、 $P_0 \approx P_1$)
- ・脱圧弁開による圧力変動: 1回 ・ガス温度: ブライン設定温度まで低下

遮断弁	初期圧測定時(*)		容積計測時(*)		本充填時(*)		脱圧	脱圧時遮断弁	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次		1次	2次
開時	P_{max}	0	P_0	P_0	P_1	P_1	前	P_{max}	P_{max}
閉時	P_0	P_0	P_1	P_1	P_{max}	P_{max}	後	P_{max}	0

【試験方法】

- ・右表の圧力条件で、遮断弁を3回開閉(開閉時間: 各3秒)、脱圧: 1回、を1セット(1充填)とする(プレクール: あり/なし)
- ⇒24秒~30秒で1充填分(10hで1200回充填相当)

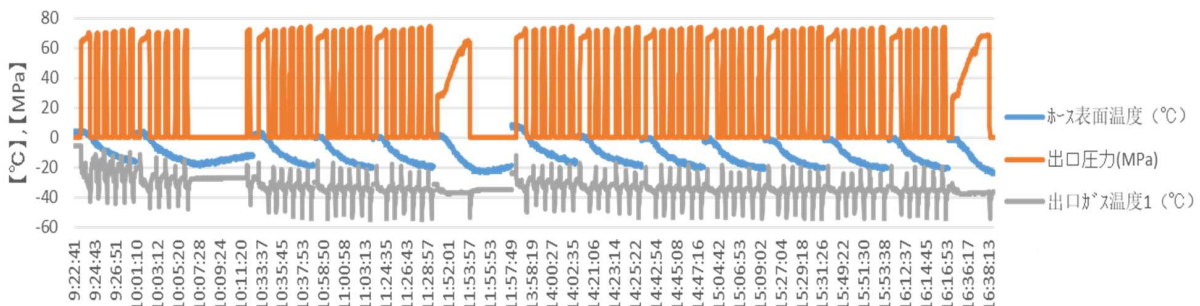
■実ステーション、実環境での耐久サイクル試験 (株)タツノ

目的： 試験室ではなく、実ステーションにて、人間の手で充填操作を行い、リアル環境を実現する。

意義： 効果的な加速試験法を提案し、劣化の少ないシール継手の開発に役立てる。

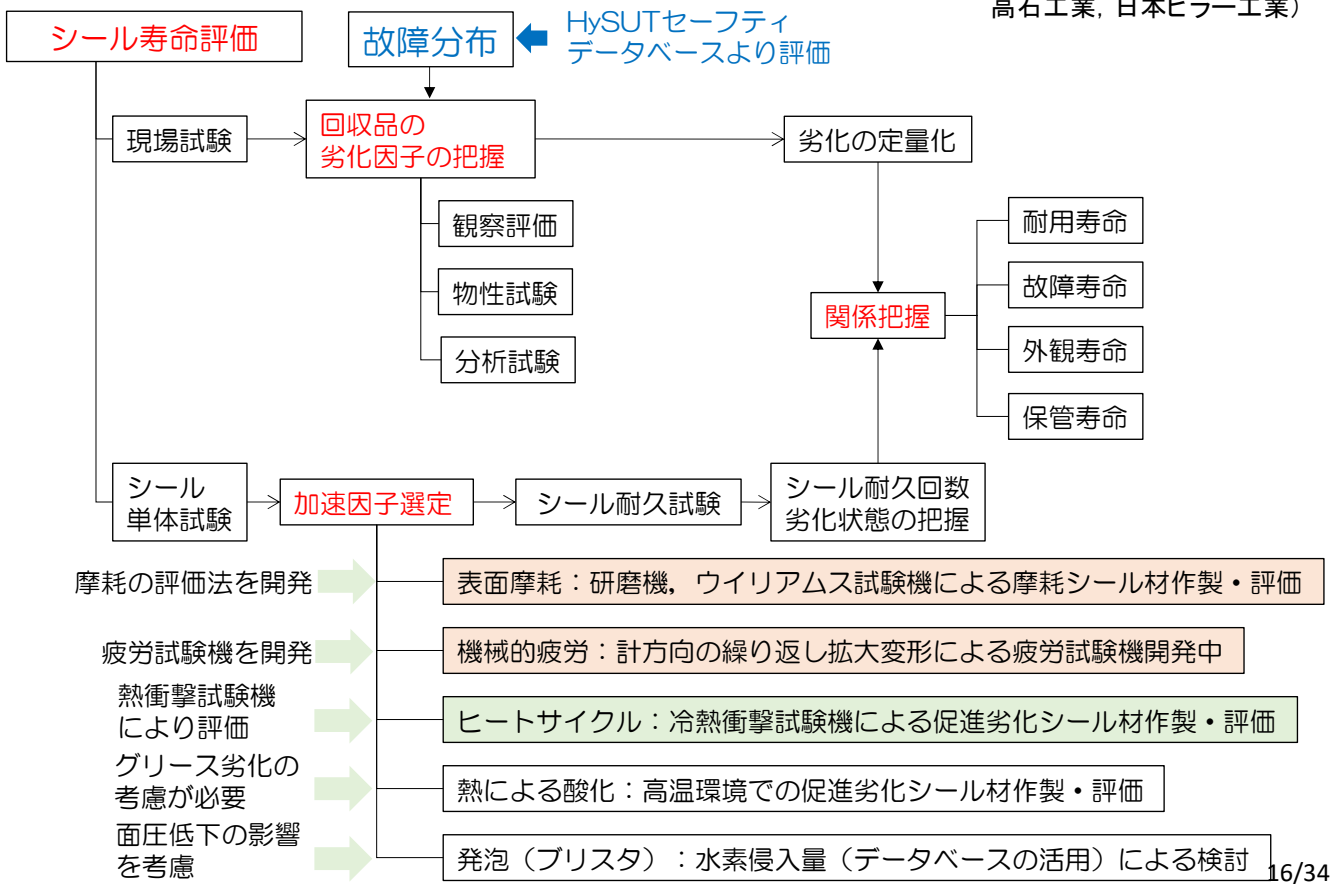
パターン 【300g充填×1、50g充填×5】の少量充填繰り返しと、3kg程度の通常充填の繰返し

⇒フスハンの圧力変動、小幅・大幅な温度変動、手動充填での条件ゆらぎ 最大100回/日充填



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 加速耐久性試験法基本概念図 (九州大学, CERI, NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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(リング)

シリンジ本体

ピストン シリンダー

スピードコントローラー

シリンジポンプ

カウンター 圧力読み取り

平面摩耗

回転 研磨紙

試験片台

ウイリアムス 摩耗試験機

荷重検出 (回転力)

機械的疲労

減圧時 加圧時

リングの繰り返し加減圧に伴い、リング径が拡大・縮小を繰り返す。

供試シール部材(リング)

棒状ロッドの大径部通過によりリング径拡大

劣化リング

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

リング表面粗さ計測 三次元解析装置

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(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

リングシール性評価法

加速因子により摩耗・劣化させた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

リーク検出

劣化模擬リング

Test Pressure (MPa)

Time

初期リーク

加減圧によるリーク

透過試験 (一定圧力)

サイクル試験 (10cycle)

LeakAmount(A.U.)

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リング・シール部材作製法およびリングシール性評価法を確立。各因子によるリングの劣化とシール特性の相関把握

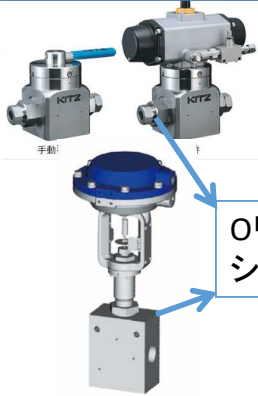
17/34

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)

加速耐久性試験法(案)

シール部材加速劣化



Oリング
シール部材

拡張疲労

実機溝寸法より拡張率設定

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

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

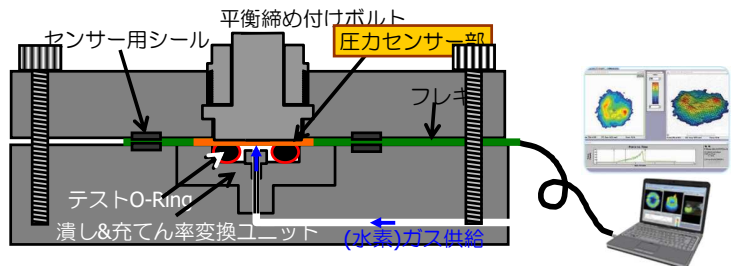
今後の予定

・実機による検証(HyTReC)

サブテーマ⑤機器開発と連携し、新規シールシステムを搭載した機器評価に加速耐久性評価法(案)を適用し、検証を進める。

・リーク挙動の検証

これまでの検討から、リークの発生は、面圧低下によるシール部材と相手材界面からのリークであると想定される。シール部材の摩耗、疲労による形状変化、物性変化による面圧の影響を実測し、面圧変化の解析モデルの策定を検討する。



面圧時間分割計測システム

18/34

サブテーマ③シール基盤・応用開発 水素ステーション使用済みシール部材の評価

(九州大学, CERi)

・底プラグシール用Oリング(フジキン)

実機回収品の調査から底プラグシール用Oリングの体積膨張に伴う破損が確認された。

Oリングゴム材料への水素侵入の結果発生するゴム材料の体積膨張を考慮していないOリングメーカー推奨値を用いた溝設計を行なった結果、破損が発生したと考えられる。

Oリングの体積膨張は、溝設計(つぶし率、充填率)により異なる。異なる設計のOリング溝を用いて高圧水素シール後の体積膨張を評価した。その結果、体積膨張率で充填率を補正した場合、推奨値内では破損が発生しないことが確認された。

Oリングの体積膨張を考慮した溝設計が必要

機器開発にフィードバック

・グランドシールOリング(キット)

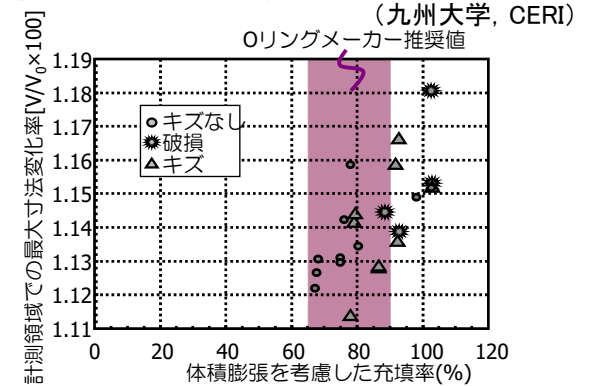
実機回収品およびHyTReC試験品からの回収シール部材を調査した。

Oリングのリップ部(シール面)の部材の厚さの変化、接触面積(シール部接触面長さ)の変化が確認された。

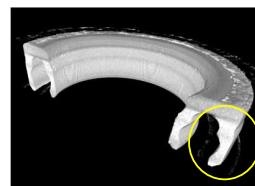
摺動部材から発生した摩耗粉のシール部材への付着が確認され、摩耗粉の付着量に関する評価方法を確立した。

加圧下・非加圧下での開閉操作、水素環境下の作動など、条件を切り分けて変形の要因を明確化するとともに、シール成立のクライテリアを明確にする。

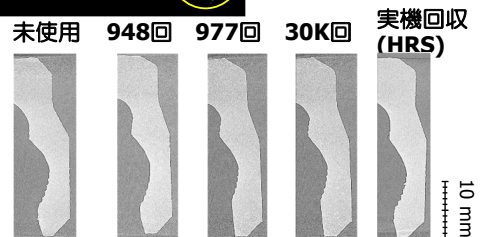
変形要因の明確化によりシール部材の変形に至る作動条件と実機HRS充填時の作動条件の相関を検討し、加速劣化法を策定し、モデル劣化シール部材作製条件を決定する。



Oリング破損に対する寸法変化率・充填率の影響



Oリングの使用によるシール面の変形状況をX線CTにより調査



OリングX線CT画像

10 mm 19/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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 (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、276検体のデータを追加(九州大学)。

<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、15,000回の耐久確認。</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>高温試験後、表面の粗さが増大したOリングの低温シール性確認中。</p> <p>摩耗粉抑制のためのシール材・グリースの組み合わせ、溝設計変更によるフレッチング摩耗の抑制可否検討中。</p>
<p>高石工業</p> <p>高石工業株式会社</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。材料改良により動的疲労おりによる内部発熱抑制、引裂き強さを向上。</p> <p>バックアップリング仕様</p> <p>損傷なし  損傷 </p> <p>PEEK, PTFE</p>	<p>10,000回程度で不具合が発生した試験治具を改良し、加速耐久劣化試験法に基づいた耐久試験により15,000回(最終30,000回)まで継続。</p> <p>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リングの設計を進めている。バルブ評価実施予定。</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>ニードルバルブ</p> <p>ボーフバルブ  ニードルバルブ </p> <p>アダプター(ベスタールG), シール(ベスタールG), 補助シール(PTFE), Oリング(EPDM), ハンキニ(主ベスタールG), ハンキニ(補PTFE), アダプター(ベスタールG), 主シール(ベスタールG), 補助シール(PTFE), Oリング(EPDM)</p>	<p>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シール部材の設計を進めている。</p> <p>今年度試作シールを搭載したバルブの評価を実施予定。</p>

20/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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

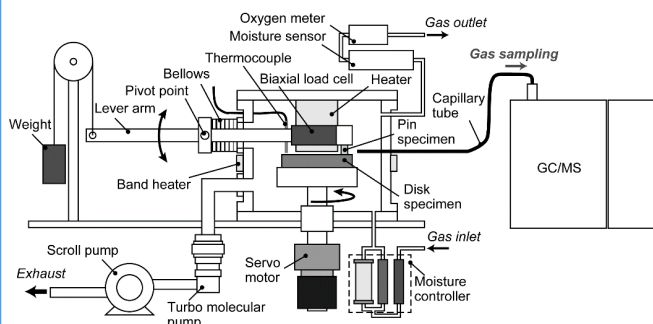
目的 100MPa級高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリングは、高いガス圧と高温にされながら高速でしゅう動するため、一般的な圧縮機のピストンリングと比較し寿命が短くなってしまふ。加えて、ピストンリングに含まれるポリフェニレンサルファイド(PPS)から、硫化水素の発生が疑われている。このテーマでは、高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリング材の摩擦摩耗特性を評価すると共に、しゅう動に伴う硫化水素の発生を実験的に確認し、その発生メカニズムの解明を進める。

【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。

【試験条件】

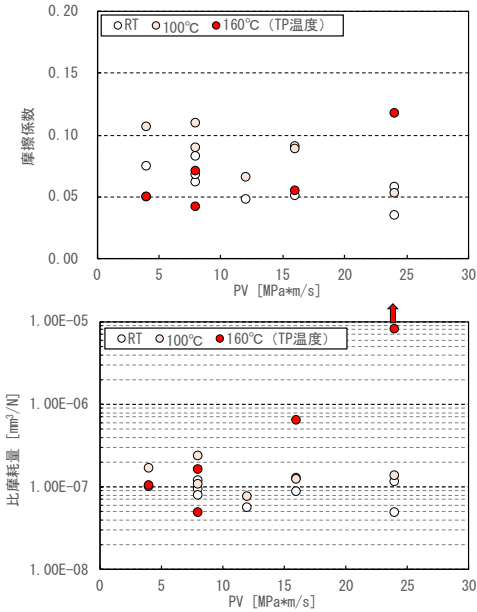
- ピン試験片：ピストンリング材(表面旋削仕上げ)
- ディスク試験片：SUS440C(表面研磨, Ra = 0.05)
- 雰囲気：水素ガス(水分量 5 ppm 以下)
- 雰囲気温度：室温, 100 °C, 160 °C(試験片温度)
- 接触面圧：2, 4, 6 MPa
- 滑り速度：2, 4 m/s
- 滑り距離：50 km



21/34

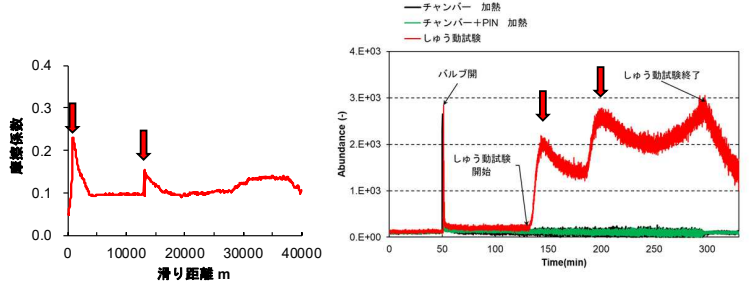
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩擦・摩耗】



- 室温から100℃では比摩耗量が 3×10^{-7} mm³/Nm 以下となり、しゅう動部材として適切な範囲にある。高PV値での著しい摩耗量増加も見られない
- 試験片温度が150℃を超えるとPV値の上昇とともに比摩耗量が指数関数的に上昇した
- 高温下での高速しゅう動はピストンリング材に対し非常に過酷であり、耐摩耗性が著しく低下する

【リング材摺動によるGE発生挙動】



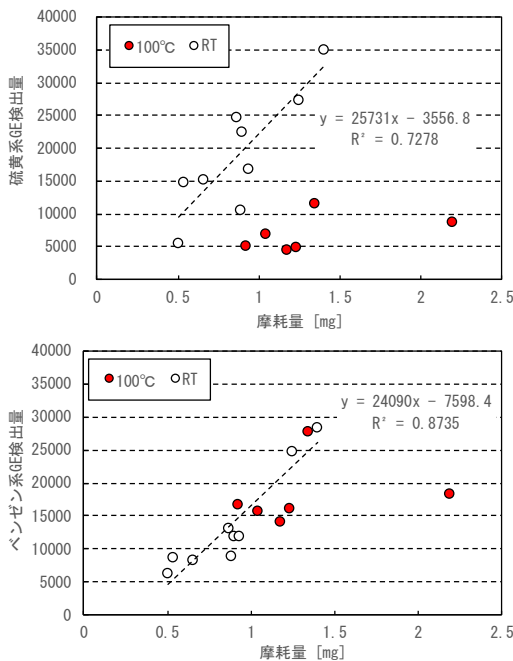
- リング材のしゅう動開始とともにGC/MSによる硫化水素検出量が上昇
- 摩擦係数の上昇にリンクして硫化水素検出量が上昇

【リング材由来のGE検出数】

No.	化合物	カウント数															
		20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	
18	H ₂ O	922851	829220	373181	494952	473002	456667	46724	111060	88929	19727	27804	25927	24193	24781	22008	
19	F	143470	136866	58974	75781	67170	63952	9157	20968	16711	3457	4899	4428	4767	4777	4510	
32	O ₂	382428	30393	24786	147865	97115	97851	13128	19051	16859	13426	18094	16353	14268	13086	11488	
34	H ₂ S	4171	7532	3537	1843	1795	1934	2159	16279	14837	4900	9067	8021	8955	6858	2900	
44	CO ₂	471414	628967	384225	238817	225614	320197	62861	336282	198212	106677	154272	140886	91602	109127	102845	
60	SCO	2358	3418	4837	2802	2372	2457	3127	17742	11791	9105	14109	15355	7651	9026	7019	
69	CF ₃ ⁺	20300	25804	18069	17515	11997	12794	5760	28652	22551	7816	13751	11534	7752	11561	5945	
70	CF ₃ H ⁺	2632	3008	2239	1527	1203	1265	481	1912	1626	467	809	779	622	884	715	
76	CS ₂	890	1035	902	689	764	819	536	1670	1289	345	726	407	295	467	361	
78	Benzene (C ₆ H ₆)	6578	14727	9403	5886	7110	8795	745	8136	8443	544	1987	3539	1090	3233	3950	
79	1,3-Cyclohexadiene	1392	3060	2146	1744	1494	1497	426	2168	2409	525	812	831	583	959	760	
82	Cyclohexane	6588	8227	5320	8166	4877	4916	4769	16259	12219	7277	9801	6888	6076	6849	3110	
84	Cyclohexane	1221	1683	1412	902	744	865	402	1873	1689	412	586	734	461	826	1118	
110	Thiophenol	324	527	435	273	248	222	177	323	365	217	184	194	188	183	183	

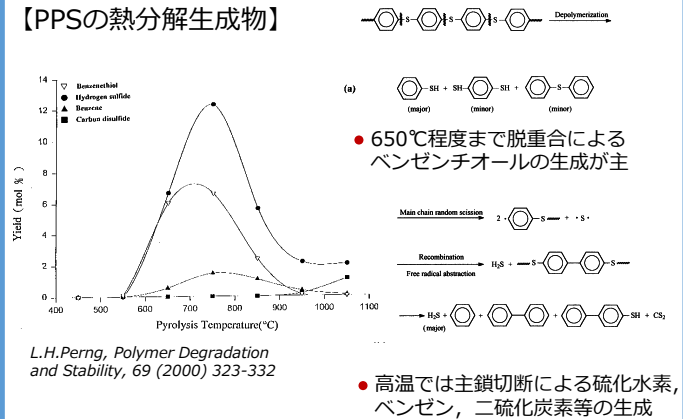
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩耗量とGE検出量】



- 室温条件で硫黄系GEの検出量とリング材摩耗量の間に明確な線形の相関
- 雰囲気温度が100℃に上昇することにより硫黄系GEの検出量が減少
- 雰囲気温度にかかわらずベンゼン系GE検出量とリング材摩耗量の間に明確な線形の相関

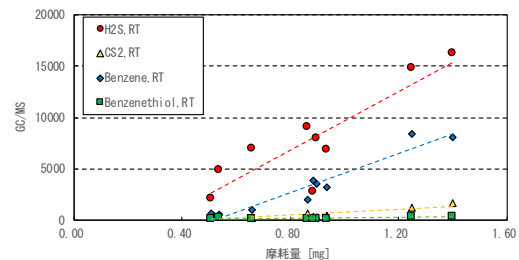
【PPSの熱分解生成物】



L.H. Perng, Polymer Degradation and Stability, 69 (2000) 323-332

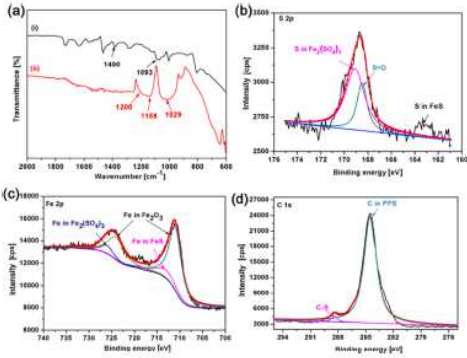
- 650℃程度まで脱重合によるベンゼンチオール生成が主
- 高温では主鎖切断による硫化水素、ベンゼン、二硫化炭素等の生成

【リング材のしゅう動によるGE成分組成】



- リング材のしゅう動によるGE成分組成はPPSの熱分解による分解生成物の組成と大きく異なる
- しゅう動によるGE発生メカニズムは単純な熱分解ではなく機械的せん断による分子鎖の破断を含むトライボケミカル反応

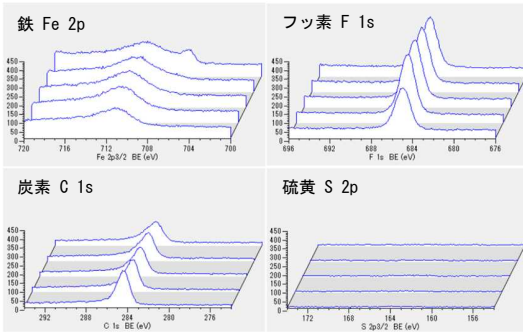
【大気中でのPPSのトライボケミカル反応】



- ・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は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

H. Qi et al., J. Colloid and Interface Science, 514 (2018) 615-624

【しゅう動試験後のディスク表面分析】

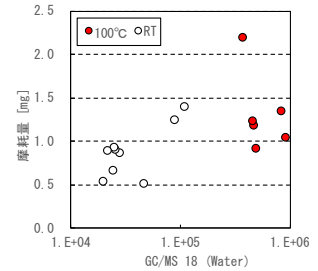


N-GC-07

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としてガス中に発散
- ・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

【水分の影響】



- ・雰囲気温度の上昇により水分増加
- ・増加した水分と硫黄ラジカルの反応による硫黄系GEの減少?

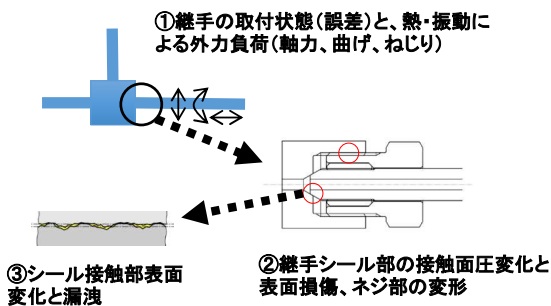
サブテーマ④継手基盤・機器開発

(九州大学、フジキン、キッツ)

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。

継手ゆるみの基本的考え方

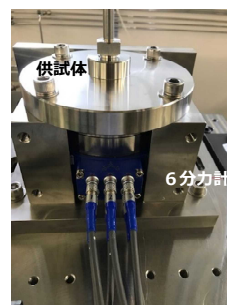
漏えい事故事例の調査から、漏えいに到るプロセスは、(1) 組付け誤差、施工に起因して締結時に初期歪が生じ、(2) 温度変動、振動などの繰返し外力荷荷により継手シール部の接触面圧が低下・不均一化して漏洩に至る、と考えられる。



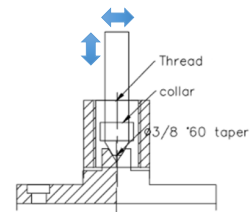
評価法開発の方針

- ① 種々の外力・取付け誤差等の影響因子を個別に又は複合させて付加し、② 影響因子と継手シール部の接触面圧の変化の関係を定量的に明らかにし、③ 接触部表面状態と漏洩の関係を定量的に明らかにする。

継手要素試験装置の開発

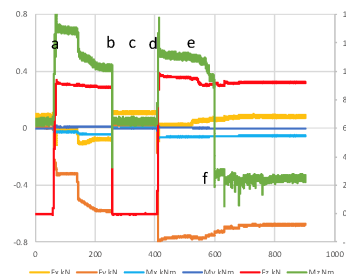


形状、寸法材料、仕上げなどを制御し、かつシール部の6分力を測定可能とするために、市販の継手ではなく、独自の供試体を開発した



締付け時の6分力

Fx, Fy, Mx, My: y1軸 Fz, Mz: y2軸



2回の締め付け(a, d)で軸力Fz(赤)、軸モーメントMz(緑)、横方向力Fx(黄色)、Fy(オレンジ)などから、接触の不均一さを個体ごとに捉えられた

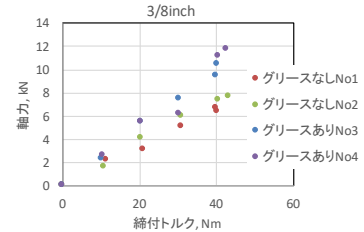
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

継手要素試験の計画

初期ミスアライメント(取付誤差)	なし	軸方向	横方向	ねじり	加工精度、表面粗さ、グリース、テーパ角など
軸力試験	○	○	○	-	一部○
軸力サイクル試験	○	○	○	予定	予定
横力サイクル試験	○	実施中	-	-	予定

おもに3/8in配管、必要に応じて9/16in, 1/4in

締付けトルクと軸力(接触面圧)



締付けトルクと軸力Fxの関係は、テーパ部のグリース塗布や、締付け回数によって変わる

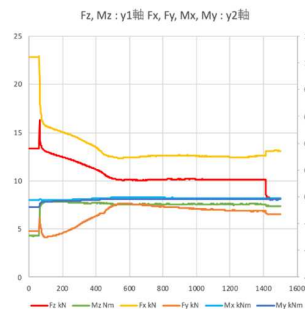
軸力サイクル試験

温度変化による配管の膨張収縮を模擬

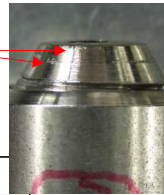


圧縮サイクル試験(片振り、0~-0.3mm, 2 Hz)での6分力の例:
横力Fx、Fy変化大、軸力Fzが大きく低下し(下)、ナットの締付けトルクが減少した(右下)

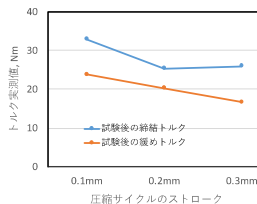
※引張サイクル試験では軸力、横力の低下はみられなかった



配管テーパ部先端に滑りが生じるとともに、表面にかじり発生



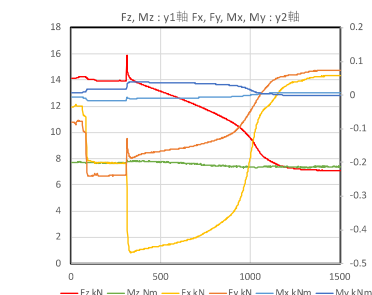
継手テーパ部も塑性変形



横押し+圧縮サイクル



曲げモーメントを加えながら圧縮軸力サイクル試験(下の例は横変位1mm, 圧縮サイクル0~-0.3mm, 2 Hz)。軸力Fzが大きく低下するが、曲げモーメントによる作用は小さい



26/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

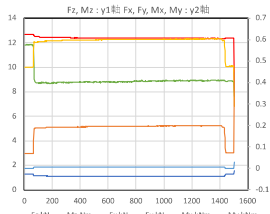
曲げサイクル試験

曲げ振動による継手のゆるみを模擬

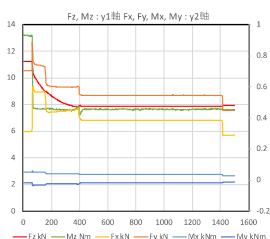


曲げモーメント小(下の①)では継手ナットの緩みはなかった。曲げモーメント大(②)で軸力は3割程度低下して安定し、ナットの緩めトルクも低下した

① 負荷位置
継手から
57mm



② 負荷位置
継手から
35mm

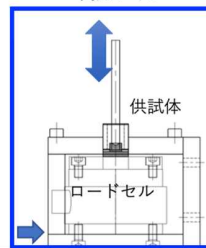


超高压要素試験装置

高压水素ガス(90MPa)を封入した状態で、外力負荷によるガス漏洩を計測する装置を新たに開発した

6分力計を備え、所定の接触面圧を与えたときの密封・漏洩状態を評価する

高压チャンバー



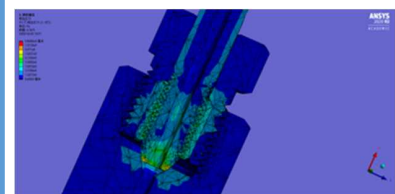
3/8in, 9/16in
継手で軸力を変化させ漏洩時の軸力を計測中

継手ゆるみの理論解析

ANSYS Academic Research Mechanical R1によるFEM弾塑性非線形解析を開始し、継手締めつけから外力付与下の弾塑性変形計算が可能になり、継手シール部、ネジ部の塑性変形発生を確認した



計算モデル例: ナットを時計回りに60°回転させて締付けたのち、チューブ150mmの位置で横に2mm変位



締付け後、曲げモーメント下のMises等価応力の分布例

(成果のまとめ)

- 継手漏洩評価のための新しい評価手法(実験と解析)を確立した。
- 締付け時の潤滑状態によって締付けトルクと接触圧力の関係がかわる。
- 軸力サイクル: 繰り返し圧縮により表面損傷発生、接触面圧低下。
- 軸力サイクル+横力: 横を付加しない場合とかわらない。
- 曲げサイクル: 曲げモーメントが高い場合、接触面圧低下。
- FEM解析により継手シール部、ネジ部の塑性変形を確認した。

(今後の課題)

- 接触面圧低下を生じる条件を定量的に整理し、実際に照らして漏洩低減指針を検討する。加工精度のばらつきと再締結の影響を調査する。
- 超高压要素評価試験装置により、シール部接触面圧、表面粗さ、高压水素ガス漏洩の関係性を解明し、漏洩リスク低減指針を検討する。
- 諸因子を系統的に与えてFEM理論解析を続行し、試験結果の裏付けと理論による予測を検討する。

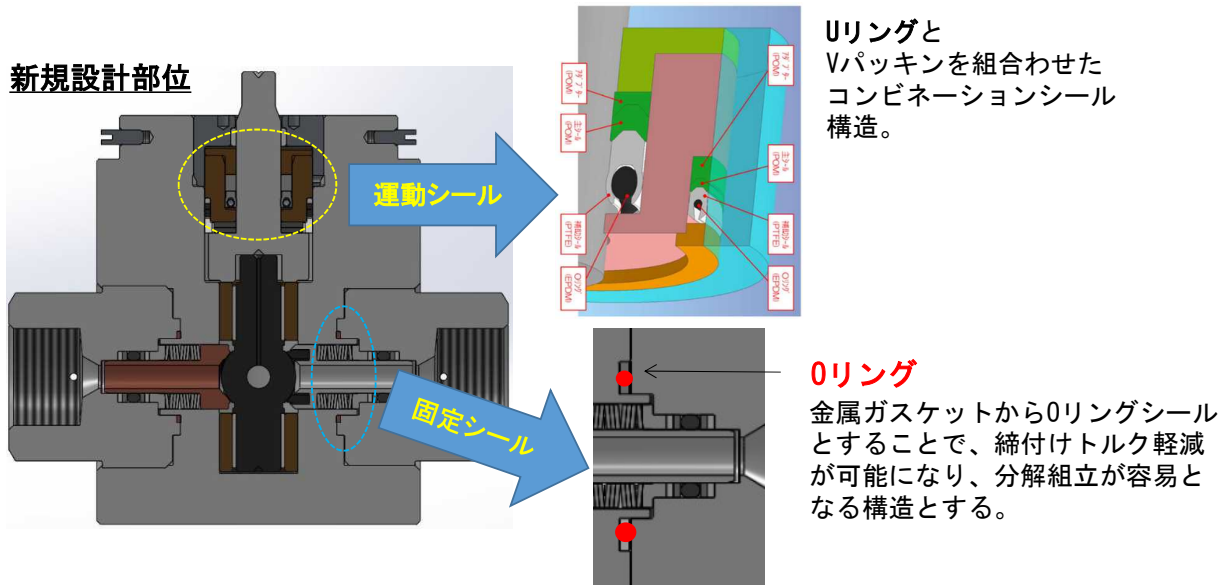
27/34

サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発 (キット、フジキン、トキシステムソリューションズ)

・目的

2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品をシール基盤・改良開発チームにて分析し、その結果から長寿命シール材の開発を基にバルブに組み込み、社内試験合格後、高圧ガス水素ガスにて加速耐久性評価法で現行品との比較評価を実施する。

- ・サブテーマ3のシール基盤・改良開発チームによる新型シール材の基礎設計が完了。
- ・バルブの組立、分解を簡略化するためのシール構造に着手することとした。



サブテーマ5:フジキン

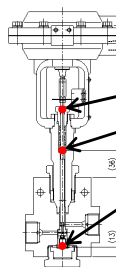
水素ステーション(HySUT山梨HTC)での充填試験

FCVへの連続充填試験を行い、プレクールラインに設置した遮断弁に与える影響を確認した。

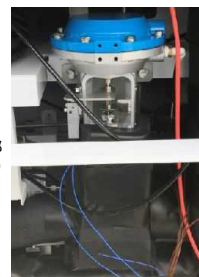
【評価条件】

- 充填圧力：82MPa
- 冷凍機設定温度：-36℃
- 充填回数：合計 32回

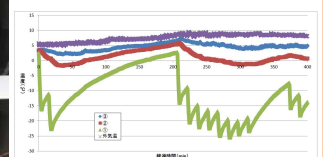
【評価結果】：外部リーク、内部リーク共に発生せず



温度測定位置



試験実施状況

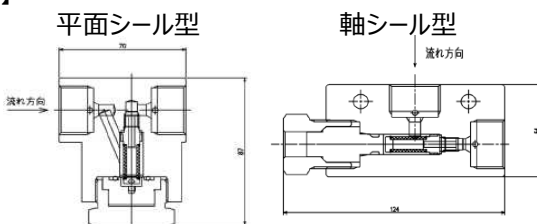


温度測定結果

新型フィルター設計検討、試作品評価

メンテナンス性に優れた構造のフィルターを新規設計検討し、試作品評価を行い、性能を満足しているか確認した。

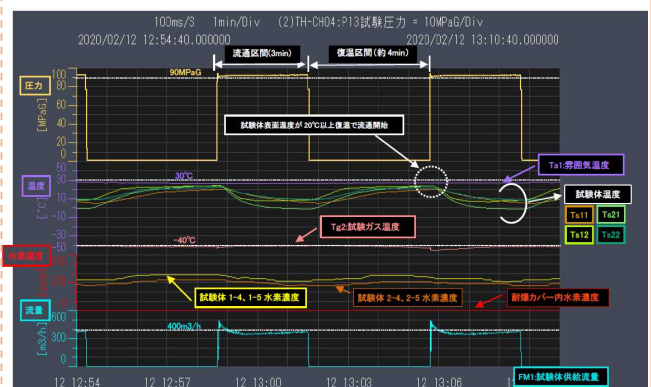
【構造】



【評価項目及び条件】

- 圧力サイクル試験(10,000サイクル)
圧力：1~95MPa、ガス温度：室温
- 低温水素ガス流通試験(100サイクル)
圧力：1~90MPa、ガス温度：-40℃以下

【評価結果】：外部リーク発生せず



低温水素ガス流通試験波形

加速耐久性評価にて、新型構造の信頼性を継続確認し、各構造の優位性を評価する。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性			
開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
① セーフティーデータベース (SDB) の解析知見の整理	シール、継手のトラブル事例解析より、ブレイクラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	SDBデータ解析の継続	SDBのデータ解析結果を基に、引き続き、SDB解析を継続し、水素STに使用されるシール部材・継手部材での潜在的漏洩条件の特定に資する解析・整理を行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	機器の加速耐久性評価法の確立	劣化度と漏えいの相関性検討より、劣化シール材を作成し、機器レベルでの加速耐久性評価法を検証する。検証での分析結果 (シール材劣化状況等) を基に加速耐久性評価法を設定する。継手基盤・機器開発及びシール成果に基づく機器開発で得られた評価試験結果を基に加速耐久性評価法の検討へフィードバックし、確立する。
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標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 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り、硫化水素が発生する事を確認した。	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の確立	2020年度末までに開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較を実施し、シール部材加速耐久性評価法の詳細条件を設定する。引き続き、詳細条件を設定した加速耐久性評価法を用いて実機との比較による検証を実施し、2022年度末までに評価法の確立、実機における30,000回充填相当のシール部材寿命を実証する。 ガスエミッションに係る解析検討を基に高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策を行う。
④ 継手基盤・機器開発	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析により明らかにした。	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	2020年度までに得た成果と評価方法に基づき、2021年度末までに新型/改良型継手を開発し、加速耐久性評価法検討する。2022年度末までに漏洩の評価試験方法を完成させ、漏洩リスク低減の指針を作成する。
⑤ シール成果に基づく機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器 (バルブ、フィルター等) の設計検討を実施した。	HRSにおける充填回数 30,000 回相当の機器開発	加速耐久性評価法に基づく試験を、新たに設計検討した機器 (バルブ、フィルター等) で実施し、目標達成機器 (2020年度: 充填回数15,000回相当、2022年度: 充填回数30,000回相当) を開発する。

30/34

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

	2018	2019	2020	計
論文 (査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演	5	6	0	11件
受賞実績	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

※2020年10月現在

◆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25日 成果発表（5件）に関する審議
 - 2019年4月 9日 成果発表（1件）に関する審議

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

※2020年10月現在

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆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）

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

◆ 実用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

▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

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
 水素ステーションでの利用拡大
 継手実用化
 機器実用化