

平成17～21年度

水素社会構築共通基盤整備事業

水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

議題6-2-1.

水素インフラに関する安全技術研究

平成22年12月3日

(財)石油産業活性化センター

三菱重工業(株)、(株)日本製鋼所

(社)日本産業・医療ガス協会、(株)タツノ・メカトロニクス

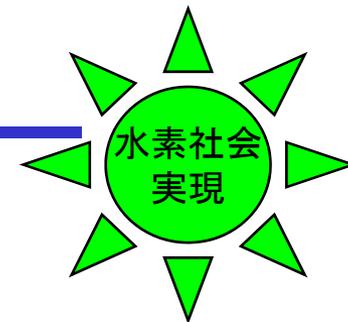
出光興産(株)、(財)エンジニアリング振興協会、大陽日酸(株)

住金機工(株)、高圧昭和ポンベ(株)

目次

1. 研究の背景、目的
2. 主要研究課題
3. 実施体制
4. 成果の概要と自己評価
5. 関係各機関との連携
6. 実用化の見通し

1. 研究の背景、目的

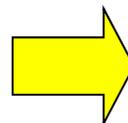


研究の背景

- ・世界的な環境意識の高まり
- ・燃料電池自動車 (FCV) と水素スタンドの普及促進
- ・水素関連業界 (燃料電池実用化推進協議会: FCCJ など) からの要請

研究の目的

水素スタンド安全性評価や
規制見直しの根拠データ収集



<成果>
普及促進につながる
規制見直しのための
技術基準案 (ドラフト)

ポイント

- ・安全性の確保と規制緩和のバランス
- ・FCV と水素スタンドの普及台数に即した規制緩和 (導入期 ~ 普及期)

安全性の確保



水素スタンドの
規制緩和

2-1. 主要研究課題

① 70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証

- 水素スタンドの係わる安全性評価および安全対策の検討【PEC】
- 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認【MHI】
- 水素スタンド構成金属材料(鋼材)の評価【JSW】
- 蓄圧器の製造技術検討【SK、KSB】
- 水素スタンド構成機器の安全性検証
 - ✓ 機器・配管【JIMGA】
 - ✓ 圧縮機【JSW】
 - ✓ ディスペンサー【TM】
- 35MPa実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証実水素スタンド【ENAA、出光】

② 液体水素スタンドの安全性検証

- 水素スタンドに係わる安全性評価および安全対策の検討【PEC】
- 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認【MHI】
- 水素スタンド構成機器の安全性検証【JIMGA】

2-1. 主要研究課題

③ 水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討【PEC】

- セルフ式ガソリンスタンドへの水素スタンド併設
- 水素スタンドの屋内給油取扱所への併設
- 水素スタンド単独設置時の離隔距離短縮
- SS併設型水素スタンドにおける水素ガスエンジン自動車への水素充てん
- 危険物を原料とする改質器無人暖機運転

④ その他

- 圧縮水素運送自動車用容器等の安全性検証【JIMGA、TNSC】

2-2. 検討スケジュール

	H15 年度	H16 年度	H17 年度	H18 年度	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22年度～
先行NEDO事業 35MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証			★					
	35MPa充てん対応水素スタンドの規制見直し(高圧ガス保安法、消防法改正)							
① 70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証							★	
							70MPa充てん対応水素スタンドの技術基準案作成、規制官庁へ提出	
② 液体水素スタンドの安全性検証						★		
						液体水素スタンドの技術基準案作成		
③ 水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討						★		
						消防庁検討委員会報告書		
後継NEDO事業 ・容器,配管設計基準 ・複合容器設計基準								

新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO

連名委託

(財)石油産業活性化センター PEC

水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討

出光興産(株)、(財)エンジニアリング振興協会 ENAA

SS併設型スタンドによる安全対策の検討と検証

SS併設型スタンドによる規制見直し適合性の検討

住金機工(株) SK、高圧昭和ポンペ(株) KSB

蓄圧器製造技術の検討

三菱重工業(株) MHI

水素の拡散・着火、爆発の挙動確認

(株)日本製鋼所 JSW

水素スタンド構成金属材料(鋼材)と蓄圧器の評価

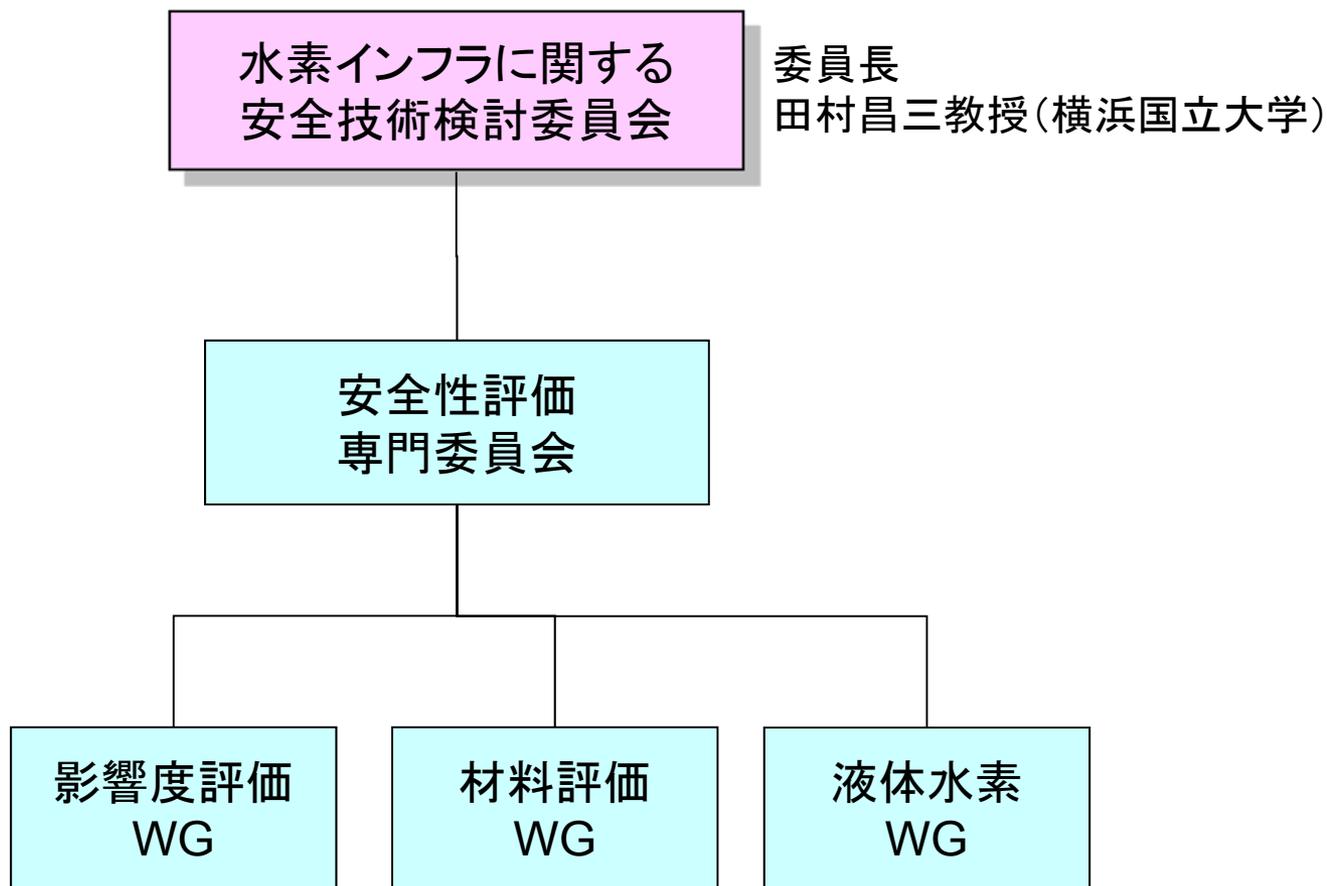
(社)日本産業・医療ガス協会 JIMGA

機器・部品の安全性検証

(株)タツノ・メカトロニクス TM

ディスプレイの安全性検証

3-2. 委員会組織



4. 成果の概要と自己評価

項目	目標	成果	自己評価
①70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証	平成21年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた ・平成22年3月に規制監督官庁へ同見直し案を提出した 	○目標達成
②液体水素スタンドの安全性検証	平成18年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた ・液体水素スタンドの新規建設の計画が無いため、監督官庁への基準見直し提案はペンディング中 	○目標達成
③水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討	消防法見直しのための検討とデータ取得・提供	<ul style="list-style-type: none"> ・水素スタンドに関する規制見直し(5項目)の安全性検証データを提供した。 ・このうちの4項目について、その安全性が認められ消防庁の検討委員会報告書へ反映された。(1項目は机上検討における安全性が認められた) 	○目標達成

成果外部発表、特許出願など

(1) 論文・研究発表・講演件数 (76件/5年)

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17～H21年度
(財) 石油産業活性化センター	9	6	9	6	0	30
三菱重工業 (株)	11	6	2	2	0	21
(株) 日本製鋼所	3	2	5	6	5	21
出光興産 (株)	0	0	3	1	0	4
合計	23	14	19	15	5	76

(2) 出願特許件数 (4件/5年)

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17～H21年度
三菱重工業 (株)	0	0	1	0	0	1
(株) 日本製鋼所	0	0	2	1	0	3
合計	0	0	3	1	0	4

(3) 受賞実績 (1件)

三菱重工業(株)2008年12月4日 日本燃焼学会技術賞
「40MPa高圧水素の燃焼・爆発挙動およびリスク評価」

4-1 水素の拡散・着火、爆発の挙動確認

研究実施者：三菱重工業(株)

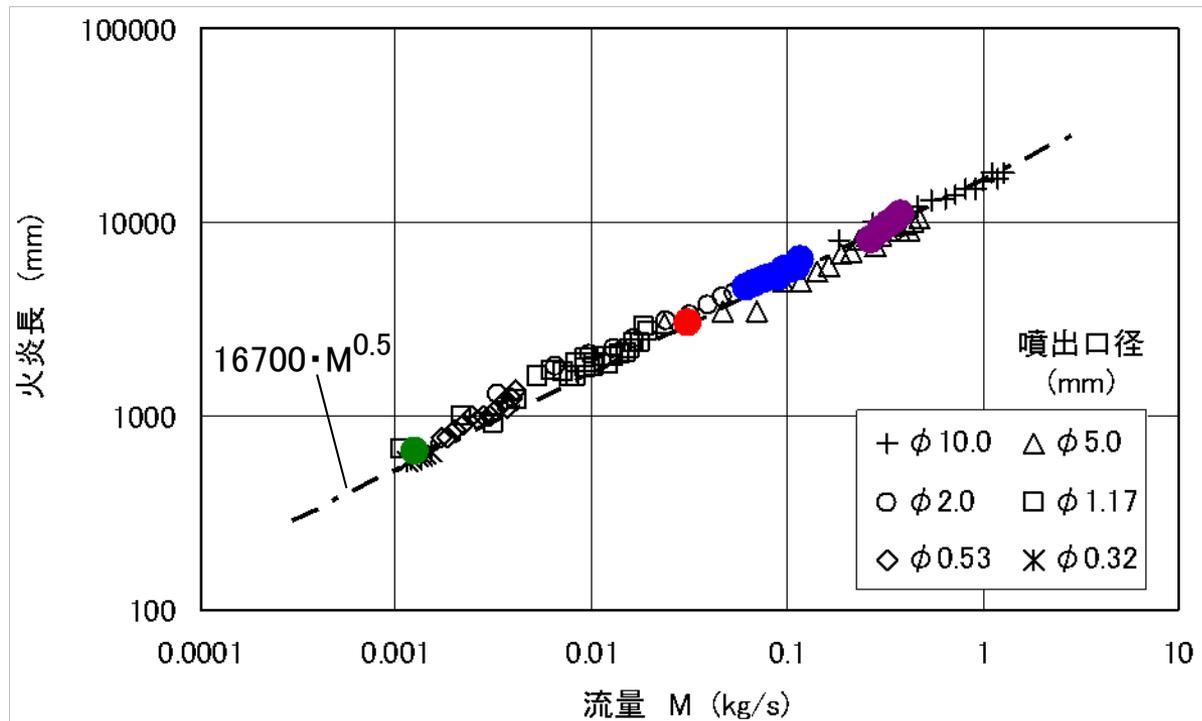
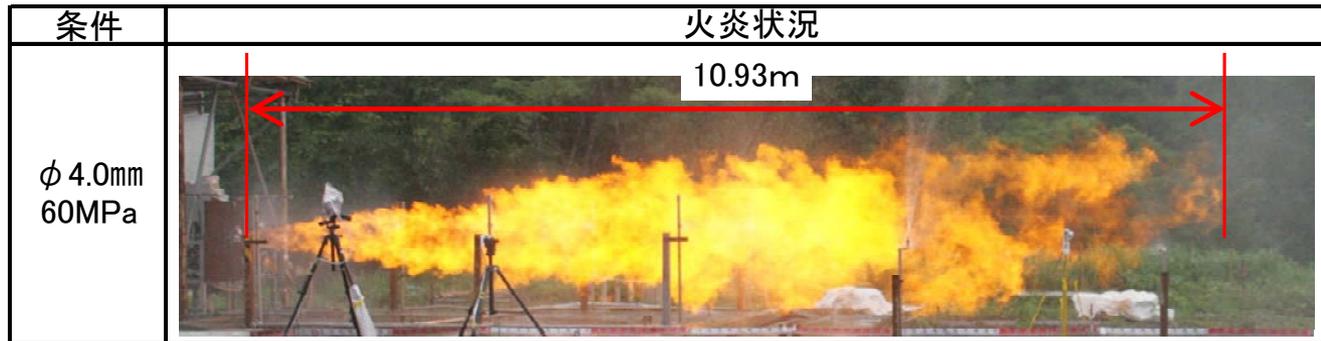
水素スタンドから高圧水素ガスが漏えいした場合を想定し、水素の拡散、着火、爆発の挙動を実験およびシミュレーション(CFD)にて確認した。

主な検討項目

- 水素ガスの拡散挙動検討(拡散、障壁効果)
- // 爆発検討(爆風圧、障壁効果)
- // 火炎検討(火炎長、輻射熱、障壁効果)
- 保炎性及び濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討

- 配管・充てんホース破断時の過流防止弁の有効性確認

実験の例：火炎実験



※5.0mm、10.0mmの流量は予測値

H21取得データ

- : 60~40MPa、 ϕ 4.0mm
- : 80~40MPa、 ϕ 2.0mm
- : 80MPa、 ϕ 1.0mm
- : 80MPa、 ϕ 0.2mm

図2-3 連続火炎実験データ取得状況

検討結果のまとめ

(1) 拡散

- ✓ 拡散計算を実施し、40MPa以下と同様に、ほぼ無次元距離で濃度が整理できることを確認し、圧力と口径が決まれば、風下地点の濃度を求めることができる見通しが得られた。
- ✓ 80MPaにて0.2mmφからの漏えい時の1/4LFL距離は、実験式より7.6mとなることを確認した。

(2) 爆発影響

- ✓ 爆風圧計算によれば、最大(80MPa, 1mm)の場合でも、6mにおいて最大過圧は700Pa程度と推定された。
- ✓ 実験結果から、 $P=80\text{MPa}$ の水素の定常漏洩時には、最大過圧は、 $d=1\text{mm}$ 、 L (距離)=6mにおいて約400Paであり、影響度としては小さいことがわかった。

(3) 火炎影響

- ✓ 80MPaにおいても、40MPaと同様に、火炎長は流量 M の0.5乗に比例し、1mmφで火炎長は3.3mとなる。火炎スケールを P (圧力)と d (口径)、あるいは M で表す実験式が得られた。
- ✓ 火炎からの輻射熱流束を表す実験式が得られた。また、火炎の高温ガスからの対流熱伝達量がシミュレーションにより得られた。これらを合計した受熱量は、 $P=80\text{MPa}$ 、 $d=1\text{mm}$ 、距離6mにおいて、高さ2mの位置で約2870W/m²であり、10～20sで苦痛を感じるとされる熱量(4650W/m²)よりも小さい値である。

(4) 保炎性及び濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討

- ✓ 火炎が持続しない放出条件があり、保炎範囲の条件(圧力と流量の関係)を実験的に把握。
- ✓ 平均濃度が2%では、影響度としては無視できる程度となることが、限られた条件ではあるが確認。

(5) 過流防止弁の有効性確認

- ✓ 所定の流量で、過流防止弁の作動を確認。
 - ・ 作動時間は0.2ms程度であり、瞬時に作動する。
 - ・ 配管破断から作動までの漏えい量及び作動後の漏えい量は極めて微量であり、影響度としては、ほとんど無視できる程度と考えられる。
- ✓ 過流防止弁の設置により、配管内残留水素の爆発影響度を低減できる効果を確認。
 - ・ 爆発威力(最大過圧)は水素の総流出量のみには依存しない。むしろ、着火時の漏洩流量に依存している。

4-2 蓄圧器構成金属材料の評価

研究実施者：(株)日本製鋼所

70MPa充てん対応蓄圧器で使用される金属材料について、
高圧水素環境下における材料特性評価を行い、信頼性の高い蓄圧器製造
を可能とする。

主な検討項目

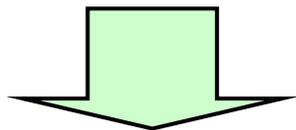
- (1) 候補材の90MPa水素ガス環境下における脆化感受性試験
- (2) SNCM439強度低減材の90MPa水素雰囲気下における材料特性検証
試験
- (3) SNCM439強度低減材を用いた蓄圧器(実容器)の安全解析

検討結果のまとめ

(1) SNCM439の引張り強度を980MPa以下に低減した材料(SNCM強度低減材)が、70MPa充てん対応スタンド蓄圧器の候補材料として適当であることを確認した。

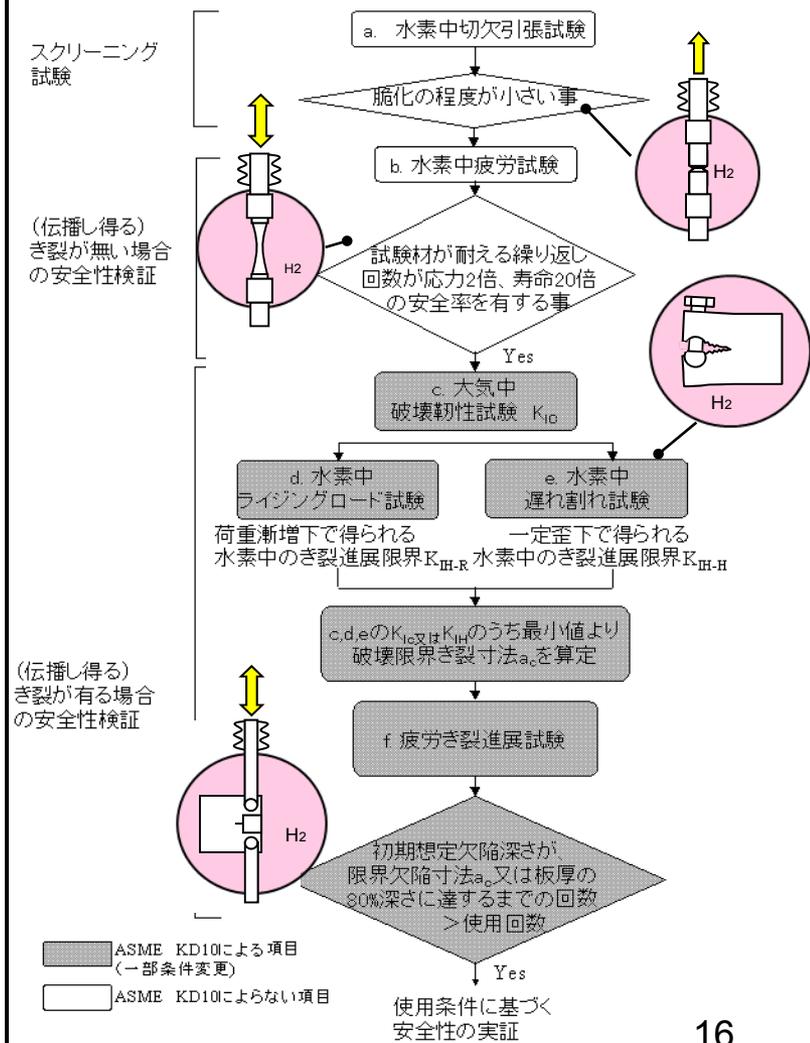
(2) 破壊靱性試験、ライジングロード試験、遅れ割れ試験などにより、90MPa水素環境下におけるSNCM439強度低減材の材料特性を把握した。

(3) 疲労亀裂進展試験により、亀裂特性を把握した。



SNCM439強度低減材を用いた実容器設計・製作を行い、信頼性の高い蓄圧器製造が可能であることを確認した。

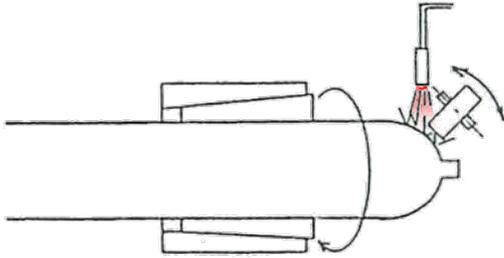
蓄圧器の安全性検証評価フロー



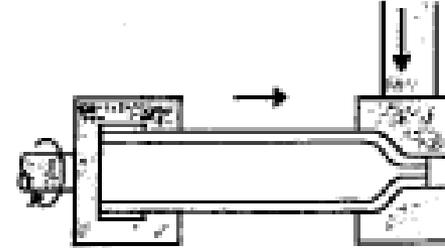
4-3 70MPa充てん対応ボンベ型蓄圧器の製造技術検討

研究実施者：住金機工(株)、高圧昭和ボンベ(株)

絞り加工による蓄圧器製造(住金機工)



鍛造加工による蓄圧器の製造(高圧昭和ボンベ)



SCM435、SNCM439(強度低減材)を用いたボンベ型蓄圧器の製造技術

(1)口絞り部内面しわ軽減対策

- ①スピニング成型の有効性を確認、予熱温度条件として1100～1200℃を確認
- ②内面しわが生成しにくい加工方法の確立

(2)熱処理条件決定;引張試験、シャルピー衝撃試験組織観察等より確認

(3)ボンベ型蓄圧器に内圧で発生する応力は水素中の疲労限度を満足することを確認

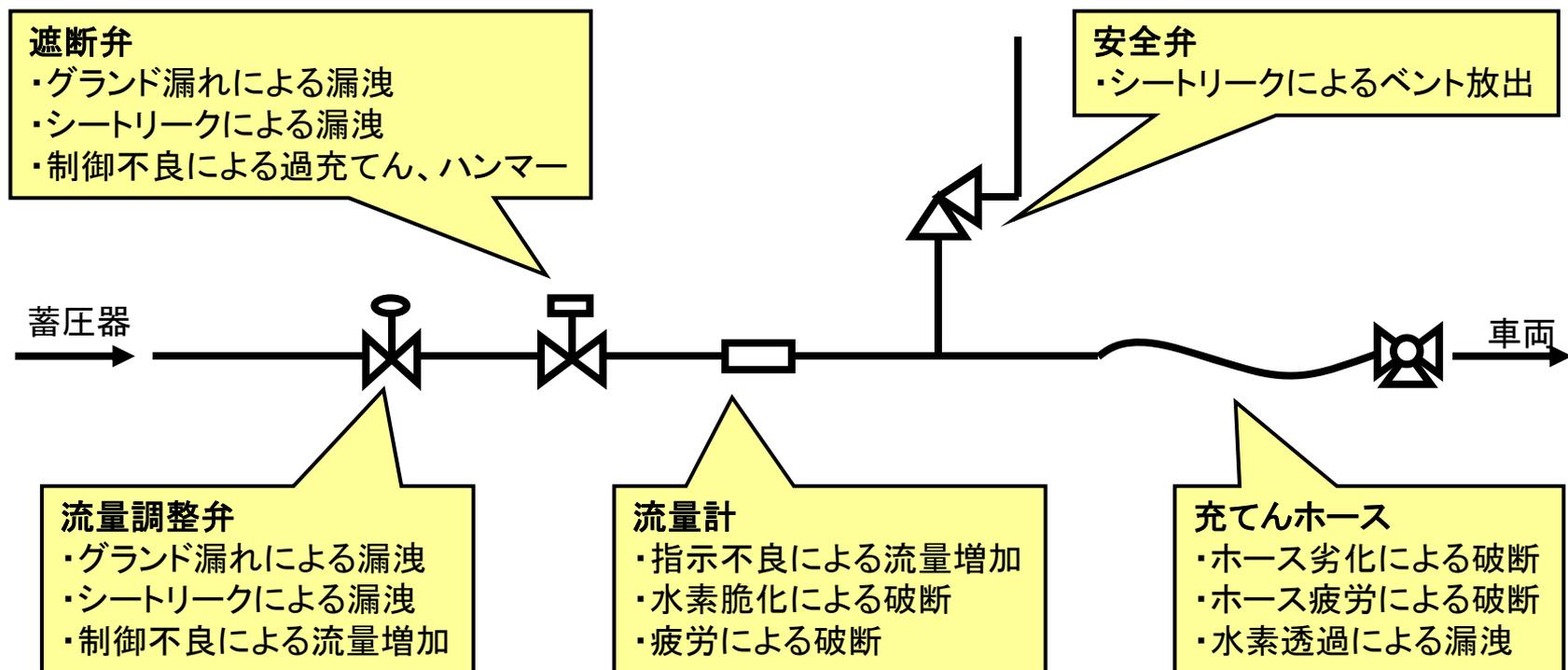
(4)実容器を製作し、KHKの事前評価審査を受験し合格した

SNCM439(強度低減材)を素材として、
耐水素脆化特性に優れた70MPa充てん対応ボンベ型蓄圧器製造技術を確立した。

4-4 ディスペンサーの安全性検証

研究実施者: (株)タツノ・メカトロニクス

ディスペンサーの主な機器の想定事故シナリオ(以下の図)
⇒シナリオに対しての各機器の安全性検証データ取得および評価



実験の例：低温屈曲繰返し試験

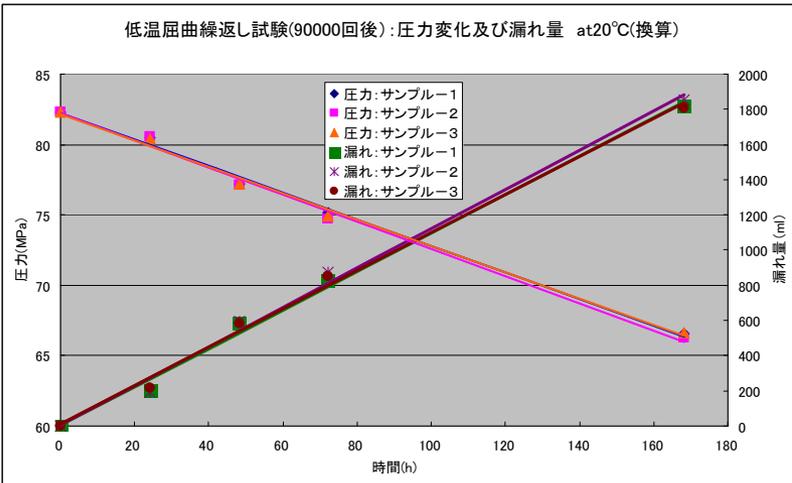


屈曲状況

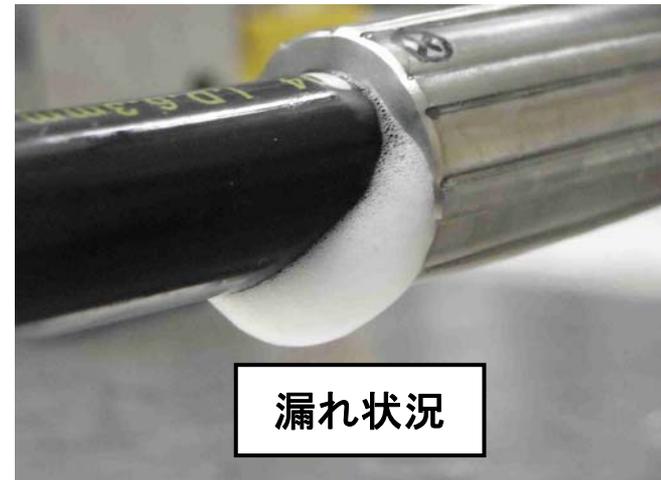


■結果 ・90000回後の気密試験(水素ガス)

低温屈曲繰返し試験(90000回後)：圧力変化及び漏れ量 at20°C(換算)



実使用時
0.43ml/min



漏れ状況

検討結果のまとめ

- H17年度～H21年度までの各種安全性検証では、実際の使用状況に即して検証してきたが、想定事故シナリオで指摘された水素大量漏洩にいたる事象は全く発生しなかった。

(1) 遮断弁及び流量調整弁の安全性検証

事故想定：グランド漏れ及びシートリーク

実験結果：**極微少な漏れが発生したものの、その量はガス検知器でも反応しないレベルであった。**

定期的な点検(例：1回／年)などで安全性確保が可能であるデータを取得できた。

(2) 流量計の安全性検証

事故想定：流量指示不良による流量増加、水素脆化によるフローチューブの破断

実験結果：**圧力の繰り返し及び高圧水素暴露後の気密性が確保され、精度変化も無かった。**

水素脆化等の影響は現時点(10年間相当の使用)では無いと考えられる。

(3) 充てんホースの安全性検証

事故想定：カシメ部ゆるみ、ホース劣化損傷

実験結果：**極微少な漏れはあるものの、カシメ部ゆるみ、ホース強度劣化などは無いことが判明した。**

定期的な点検(例：1回／年)などで安全性確保が可能であるデータを取得できた。

4-5 35MPa実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証

検討実施者：出光興産(株)・ENAA

ガソリンスタンド併設実水素スタンドを使用し、保安検査等の簡素化のため、長期間にわたる各種稼働状態(間欠稼働、フル稼働等)での安全対策や個別構成機器の作動安定性・耐用性の確認検証等を行うとともに、新法令・自主基準により追加された安全対策等の確認検証、検討を実施した。

1. 出光興産

- 1) 圧縮機を3000時間以上、連続運転し、ダイヤフラム劣化・シリンダー磨耗、自動弁(Oリング等)の耐久性を確認。
- 2) 通常運転時で過流防止弁が誤作動しないことを確認。
- 3) 圧力リリーフ弁の作動が良好であることを確認。
- 4) 蓄圧器シャッターの遮熱効果があることを確認
- 5) 始業点検時に行う10分間の気密試験方法が有効であることを確認。

2. ENAA

- 1) 水素純度測定に関する検討：ISOとJHFC基準を比較、検討した結果、連続監視対象組成としてのCO濃度がISOより高い事を確認。
- 2) 車両への静電接地を省略しても、静電気による着火は防止出来る事を確認。

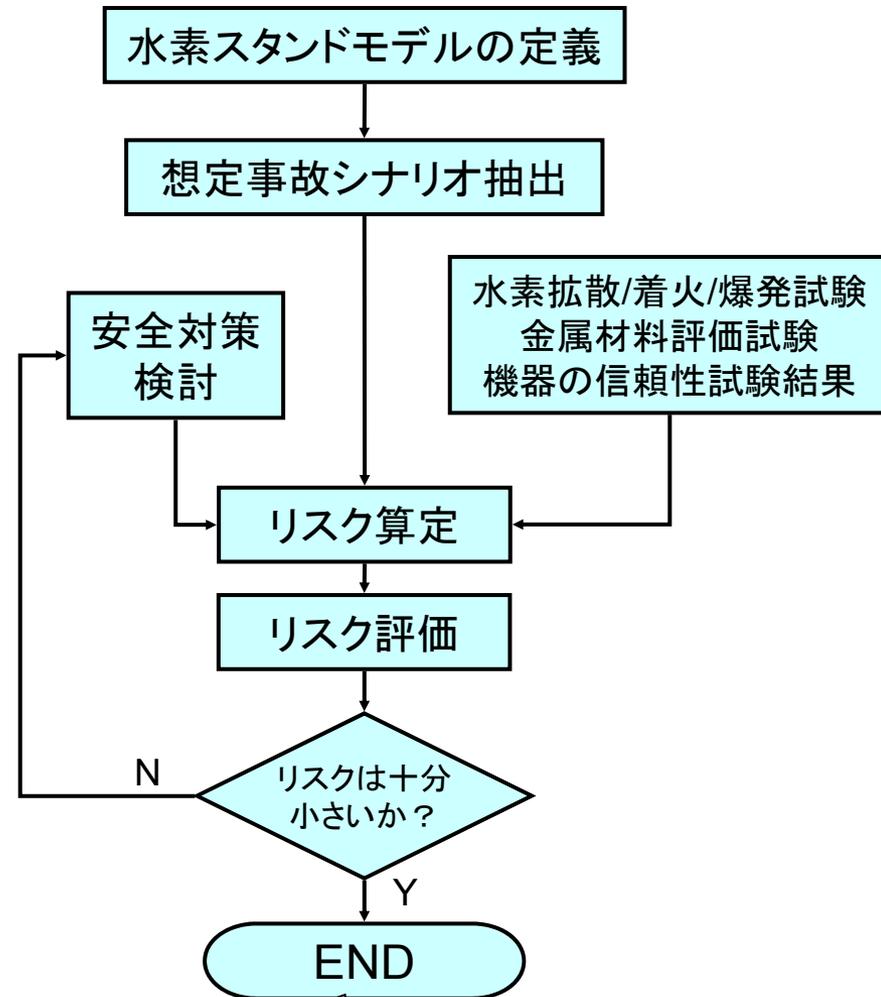
4-6 水素スタンドのリスク評価

検討実施者: PEC、JIMGA

- 水素スタンドにて必要となる安全対策を特定するために、リスク評価検討を行った。
- リスク評価にあたっては、本プロジェクトの各研究実施者による検討結果を、評価の基データとして活用した。

本検討がカバーする範囲

- 水素スタンドの常用圧力 $\leq 80\text{MPa}$
- オンサイト改質型、オフサイト型
- プレクール設備(冷凍機型)
- 非通信充てん
- JHFC商用スタンドモデル(13モデル)を包含



※検討のアウトプット
=「水素スタンドに必要な安全対策」

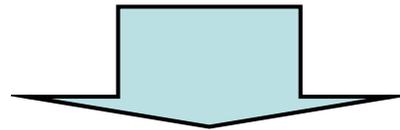
70MPa充てん対応スタンドの特徴（35MPaスタンドとの比較において）

(1) 圧力が2倍

- ①漏えい時の水素ガス挙動(拡散、火炎、爆発影響)が異なる
- ②金属材料に対する水素脆化の影響が異なる

(2) システム構成が複雑になった

- ①異なる圧力系が混在している(80MPa系、40MPa系、1MPa系)
- ②80MPa蓄圧器から35MPa車両へ充てんを行う
- ③水素の車両ボンベ充てん時に車両ボンベ温度が上昇するため、プレクール設備による冷却と充てん速度制御が必要



リスク評価の結果において

- 35MPa充てん対応水素スタンドと同様な安全対策が必要となった。
- 上記70MPaスタンドの特徴を反映した安全対策が必要とされた。

5. 関係各機関との連携

JHFCプロジェクト

ENAA
国際標準化

エンジニアリング
振興協会ENAA

日本自動車
研究所JARI

JARI
国際標準化

水素スタンド設備

燃料電池自動車

推進側

資源エネルギー庁
省エネルギー・新エネルギー部
政策課燃料電池推進室

NEDO

技術開発
各社

PEC-Gr

水素スタンド安全性検証

監督官庁など

原子力安全・
保安院保安課

高圧ガス
保安協会

消防庁
危険物保安室

危険物
保安技術協会

国土交通省住宅
局市街地建築課

材料関係
金属材料研
究開発
センター
(JRKM)

規制見直し要望
燃料電池実用化
推進協議会(FCCJ)
石油連盟
日本ガス協会
機器・部品メーカーなど

水素基礎物性
産業技術総合
研究所
エネルギー総合工
学研究所
九州大学

6. 実用化の見通し

(1) 成果の実用化可能性

- ・70MPa充填対応水素スタンドについては、規制見直し案を監督官庁へ提出済み。
→実用化の可能性大
- ・液体水素スタンドの安全性検証が終了し法令案が完成していることから、業界ニーズを見極め、業界団体(FCCJ)と連携して官庁折衝を行なう。
→実用化の可能性あり
- ・鋼製蓄圧器メーカー(日本製鋼所、住金機工、高圧昭和ポンベ)において、70MPa充てん対応蓄圧器の製造技術を確立した。
- ・タツノ・メカトロニクスでは、本事業の成果を水素ディスペンサー開発に反映。

(2) 波及効果

- ・プロジェクトの実施自体が水素インフラに関連する研究開発や人材育成を促進しており、**波及効果大**