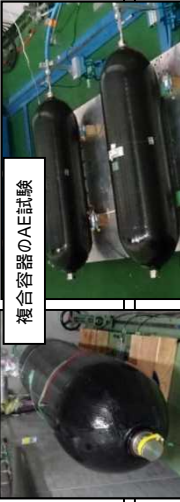


(1-6)「水素利用技術研究開発専業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」

委託先：千代田化工建設(株)

成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)
 ・アルミライナーの砂時計型/平板型試験片の疲労試験中のAEデータから疲労進展に伴うAEパラメータを明らかにした。
 ・炭素繊維破壊のAE、AE波の水中伝播、ガス流入ノイズなどの外乱はAEの解析に影響を与えないことがわかった。
 ・複合容器の疲労劣化をAE法で評価する新しい解析手法を提案し、複合容器の供用中検査への適用可能性を示した。



背景/研究内容・目的

安全で安心な水素ステーションの普及と経済的な運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素充填による昇圧とFCVへの水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂はアルミライナー内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基盤整備が求められている。

研究目標

実施項目	最終目標
アルミ合金の疲労試験時にAE発生挙動調査	アルミライナー試験片のラポ疲労試験時のAE計測/分析から、疲労損傷の進展を評価できるAEパラメータを特定する。
アルミ合金の水中疲労試験時のAE発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体のAE信号に及ぼす影響を把握する。
CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	複合容器の疲労試験時のCFRP破壊のAE挙動を評価する。
Type -CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	TypeII複合容器のラポ疲労試験時のAE計測/分析から、特定のAEパラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価する。
実水素ステーションでの実証試験	実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE分析に影響する環境を把握する。

実施体制及び分担等

NEDO 千代田化工建設株式会社

一部の試験は(一財)石油エネルギー技術センターのNEDO事業「複合圧力容器蓄圧器の基盤整備に関する研究開発」に併せて実施し、各種データの提供を受けた。

これまでの実施内容 / 研究成果

アルミライナー試験片の疲労試験中のAE挙動の分析により、アルミ合金のような延性材料でもAEが検出され、アルミライナーでは複数の疲労起点が予想されるが、疲労き裂進展に伴うAE周波数帯域に着目すれば定期AE検査によって疲労進展が把握できる事を明らかにした。試験片の予ひずみの有無とAE挙動の関係調べの結果、複合容器の目撃処理がAE分析に影響を与えない事が示唆された。また、応力振幅の相違がAE挙動に影響することから、複合容器への部分充填時のAE挙動が予測された。一方、水素SSで想定される非常に高い昇圧速度でもAE計測できる事、水素ガスの流入ノイズがAE分析に影響しない事など実験的に確認した。試験片実験での成果に基づき、複合容器の水中疲労試験中のAEデータの分析の結果、疲労進展に伴って発生するAE波をMT法で分類し、分類されたAE波の特定の周波数帯域に着目した振幅比の経時変化によって複合容器の疲労進展が評価できる事を示した。

今後の課題

提案した新しいIAE分析法を本事業終了時まで他に複合容器の疲労試験データを対象として有効性を再確認する。実水素ステーションにAE計測機器を持ち込んだ各種作業ができたので、具体的な計測手順、計測時間、運用方法について検討する必要がある。

実用化の見通し

本研究開発は基礎技術を確認したステップにある。今後、計測精度などの検証のため、種類が増えることと予想される複合容器の運営下でのAEデータベース構築を行い2030年の実用化を目指す。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査	特定の周波数帯域のAEパラメータを用いて、疲労き裂進展が評価できる事を示した。	
アルミ合金の水中疲労試験時におけるAE発生挙動調査	水中疲労試験により、液体媒体が疲労評価のためのAE分析に影響しない事を確認した。	
CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	CFRP破壊のAE信号は疲労評価のためのAE周波数帯域と異なる事を確認した。	
Type -CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	波形分類と振幅比の併用による新しいIAE分析法によって複合容器の疲労評価の可能性を見出した。	
実水素ステーションでの実証試験	現場計測はできなかったが、実水素ステーションを模擬した複数のラポ試験によって本手法の通用性を評価した。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	0	0

課題番号：I-6

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発

千代田化工建設株式会社

1. 研究開発概要

エネルギー源のベストミックスの確保のため、「エネルギー基本計画」に基づき、燃料電池自動車（以下、FCV と示す）の普及に向け実証的な取り組みを強化しており、水素供給事業者が水素ステーションの整備を進めている。水素ステーションの整備に当たり、問題となっているのはその建設コストである。通常のカソリンスタンドの建設費が 7~8 千万円に対し、水素ステーションの建設費は現在 5~6 億円と言われており、その中でも水素蓄圧用の炭素繊維を用いた複合容器は高価であり建設費に占める割合は大きく課題となっている。普及初期においては、水素ステーションの運営は容易ではなく、水素ステーションの整備が進まなかった場合には、FCV の普及が困難になるという悪循環は避けなければならない。

安全・安心に加えて経済的な水素ステーションの普及と運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素トレーラー等からの水素充填による昇圧と FCV への水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂は炭素繊維に厚く包まれたアルミライナーの内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基準整備が求められている。

本研究開発では、耐圧 82MPa で容量 300 の Type -CFRP 複合容器（以下、複合容器）を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用について検証・実用化し、定期的な AE 試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を可能とする。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法 保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する。

2. 研究開発目標

本研究開発の実施項目と最終目標を表 1 に示す。本研究開発の目標は、複合容器の水素ステーション供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用を検討する。すなわち、水素ステーション運用中に定期的な AE 試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認し、疲労劣化による水素漏洩を未然に防ぐことを目的とした。

現在、水素ステーションの複合容器は耐圧性能と強度を確認する保安検査の基準が整備されておらず、供用中の定期的な目視点検や非破壊検査、あるいは水素ステーションの運用を一時停止した複合容器の開放点検が求められている。しかしながら、供用中の目視点検ではアルミライナーの疲労評価は不可能であり、超音波探傷や放射線検査などでも炭素繊維が積層された外部からアルミライナーの微小な疲労き裂の検知は極めて困難である。また、Type -複合容器は残留圧縮応力がアルミライナーに付加されている為、開放して内面からの目視点検、超音波探傷でも疲労き裂の非常に微細な起点を検知することは難しい。複合容器内面から疲労き裂検知が可能な非破壊検査として PT（浸透探傷試験）があるが、PT は疲労き裂部に浸透液を使用する為、試験後に完全に除去することが不可能な為、容器内が汚染され、99.99%以上の水素純度を要求される FCV 用水素燃料には使用できなくなる。以上のように供用中あるい

は開放点検時の保安検査技術が現有しない為、本研究開発の目標を上述のように設定した。

表 1 本研究開発の実施項目と最終目標

実施項目	最終目標
アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査	アルミライナー試験片のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、疲労損傷の進展を評価できる AE パラメータを特定する。
アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を把握する。
CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の CFRP 破壊の AE 挙動を評価する。
Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査	TypeIII 複合容器のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、特定の AE パラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価する。
実水素ステーションでの実証試験	実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE 分析に影響する環境を把握する。

3 . 研究開発成果

本研究開発は以下に示す(1)～(5)の研究開発項目を実施することによって目標達成を試みた。次節に各々の目標、成果、自己評価の達成度(、 、 、 x)について示す。

- (1) : アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (2) : アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (3) : CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (4) : Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (5) : 実水素ステーションでの実証試験 (達成度:)

3 . 1 研究開発成果、達成度

(1) アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

砂時計型試験片による弾性領域での引張圧縮疲労試験時の AE 発生挙動

砂時計型試験片の引張圧縮疲労試験中の AE 計測を実施した。試験片形状は図 1 に示すような ASTM E466 準拠の砂時計型で、中央直径は 6.35mm、応力集中係数は 1.085。AE センサは AE-144A(富士セラミック製)であり、AE 計測装置は AMSY-5(Vallen 製)を使用した。



図 1 引張疲労試験機

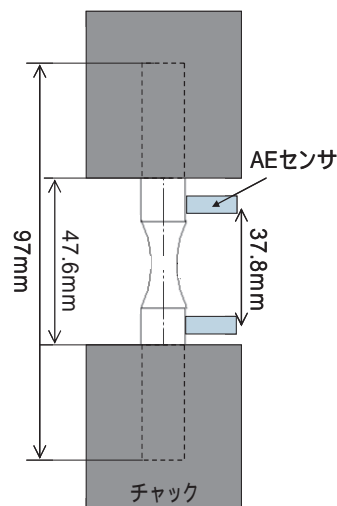


図 2 AE センサ配置

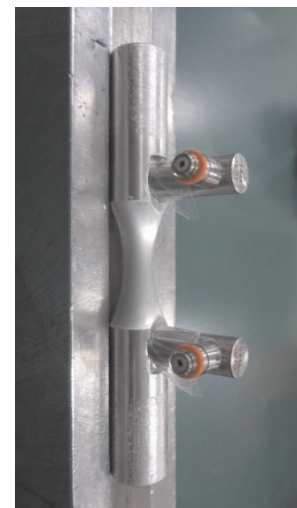


図 3 AE センサ取付状況

表 2 砂時計試験片の試験条件と S-N データ (JPEC 殿提供)

試験片	直径 mm	試験周波数 Hz	最大応力 MPa	最小応力 MPa	応力振幅 MPa	平均応力 MPa	破断 繰り返し数
A28	6.37	15	205	-275	240	-35	1.66×10^4
A29	6.36	15	165	-235	200	-35	9.03×10^4
A30	6.36	15	125	-195	160	-35	4.91×10^5
A31	6.38	15	105	-175	140	-35	2.19×10^6

4本の試験片の AE 計測を実施した。試験装置、AE センサ設置状況を図 1~3 (JPEC 殿提供) に示す。疲労試験の負荷条件と破断回数を表 2 に示す。事前に実施した予備試験と文献値から A6061-T6 の耐力は約 245~280MPa 程度なので疲労試験中の応力場は弾性領域である。

約 20 万回で破断した A31 試験片の AE 振幅と AE 発生数と試験機変位の経時変化を図 4 に示す。AE 振幅と AE 発生数は最終破断の 30%程度から値が上昇し始めて右肩上がりになって大きく疲労破断に至っていることがわかる。他の試験片でも概ね同様の AE 挙動が観察されたことから、AE 法によって延性材であるアルミ合金でも疲労状態を管理できる可能性が示された。

砂時計型試験片は応力を試験片中央部に集中させ、疲労き裂の起点のエリアを限定した。一方、複合容器のアルミライナーの内面は砂時計型試験片に比較して大面積であり、応力集中部が無いように設計されているので、複数の位置で疲労亀裂が発生することが予想される。つまり、AE の振幅や発生数を定期検査の指標にすることは難しい場合が考えられるため、周波数分析を行った。図 5 にサイクル数と AE 波形と周波数スペクトラムの変化を示す。図中上の AE 振幅の経時変化に示した ~ に対応した周波数スペクトラムから疲労進展に伴って AE 波の高周波成分が増加する現象が観察された。これにより、周波数成分に着目すれば疲労き裂の発生源が複数あったとしても疲労状態を評価できる可能性が示唆された。

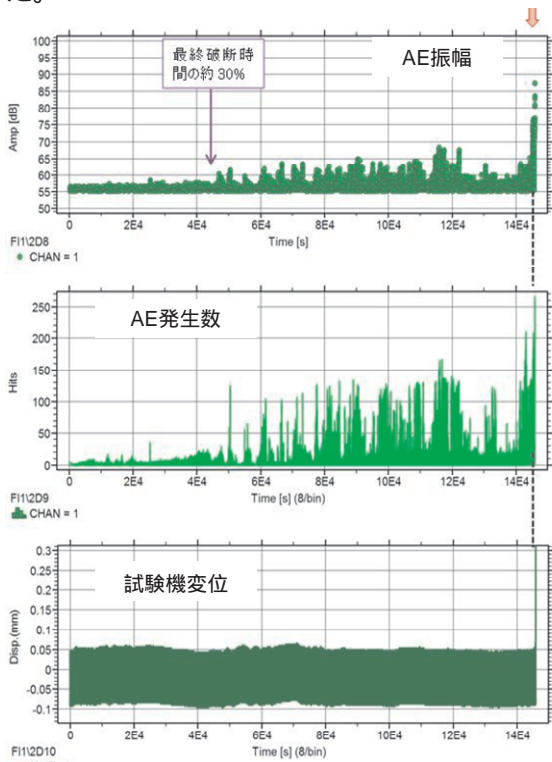


図 4 AE 振幅・AE 発生数・変位の経時変化

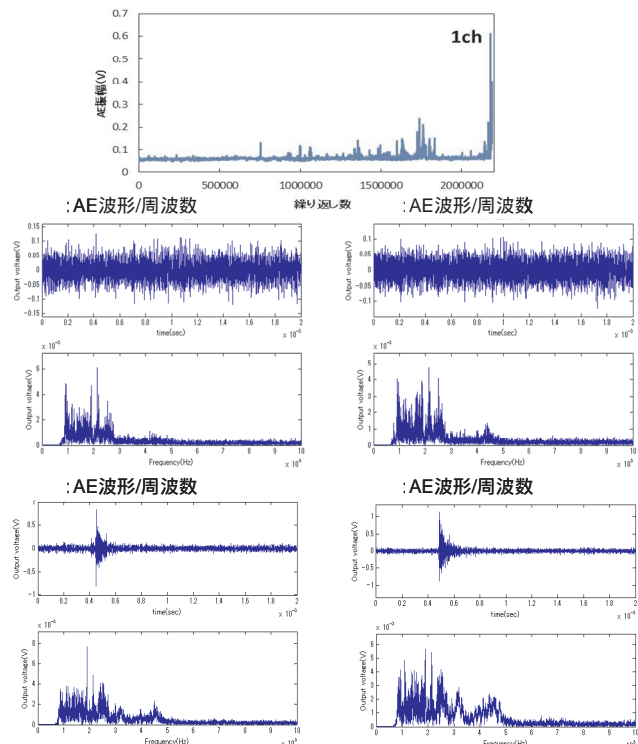


図 5 サイクル数と AE 波形・周波数の変化

平板試験片による弾性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動について複合容器で疲労亀裂が発生、進展するのはアルミライナーの内側からであり、応力集中箇所が限定さ

れずに大面積のエリアから複数の疲労亀裂が発生すると考えられる。そこで、幅 30mm、厚さ 12mm、長さ 250mm の平板試験片を用いて複数の疲労亀裂発生の場合の AE 挙動を調べた。

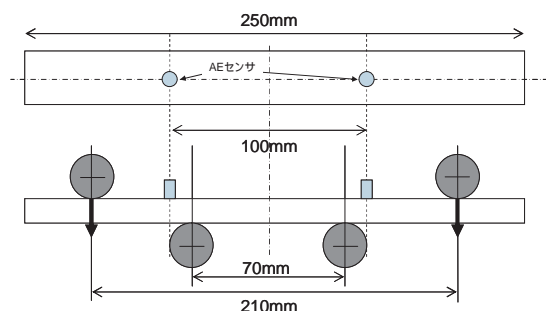


図 6 平板試験片の AE センサ配置

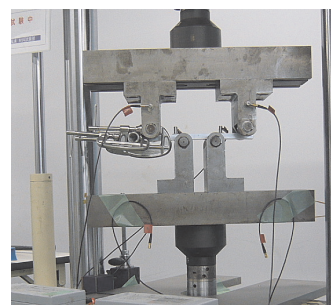


図 7 片振り四点曲げ疲労試験装置 写真

平板試験片のセンサ設置位置と上下圧子の位置関係を図 6 に示す。AE センサは平板試験片に設置し疲労亀裂検知を目的とした 2 個と、圧子と平板試験片の接触摩擦に伴うノイズなど外乱要因を検知するための参照用センサ 2 個を設置した（図 7 参照）。センサ毎の AE 波の到達時間差を用いて、疲労亀裂発生エリアのみの AE 波を選択的に抽出し、四点曲げの四つの圧子の接触面でのノイズ信号と区別した。AE センサおよび AE 計測装置は砂時計型試験片の試験と同様のものを使用した。

表 3 弾性領域での平板試験片の試験条件と S-N データ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準1	平板	240	240 ~ 0.8	0.00	10	323,779	破断
標準2	平板	192	192 ~ 0.8	0.00	12	10,000,000	未破断
標準3	平板	216	216 ~ 0.8	0.00	10	1,784,807	破断
鏡面4	平板	240	240 ~ 0.8	0.00	10	9,453,099	破断

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 3 に示す。約 30 万サイクルで破断した試験片のサイクル数と AE 振幅の変化を図 8 に示す。砂時計型試験片の場合と異なり、疲労寿命の早期から AE が観察され、中期と後半では大きな振幅の AE が発生して最終破断直前が最も大きい値にはならなかった。この結果は、試験片の応力集中度に起因するものと推察された。すなわち、複数の疲労亀裂が発生し、各々の AE が重なるように観察されており、その内の 1~2 つの疲労き裂が応力集中のために成長して貫通に至る。図 9(a) に試験時の試験片表面写真を示すが、複数の表面き裂が観察され、図 9(b) に示すように最終破断は試験片中央に発生した。図 10 上図は試験片全域に位置標定された AE イベントの経時変化であり、AE 振幅と同様に疲労寿命の早期から AE が発生していたことがわかる。一方、図 10 下図は最終破断の位置のみを抽出した結果であり、最終破断部に限定すれば AE イベントでも砂時計型試験片と同様の右肩上がりの上昇が観察された。

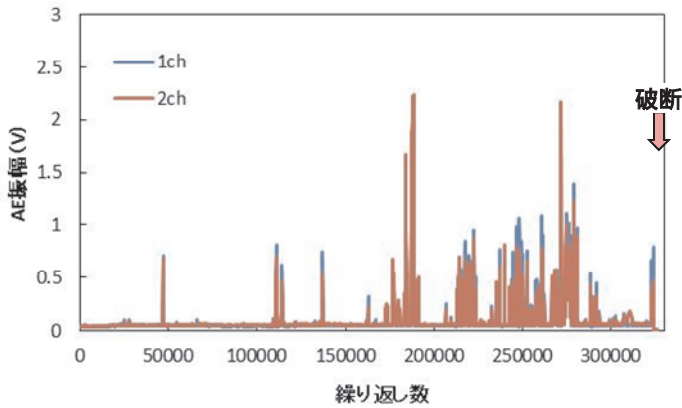


図 8 サイクル数と AE 振幅の関係

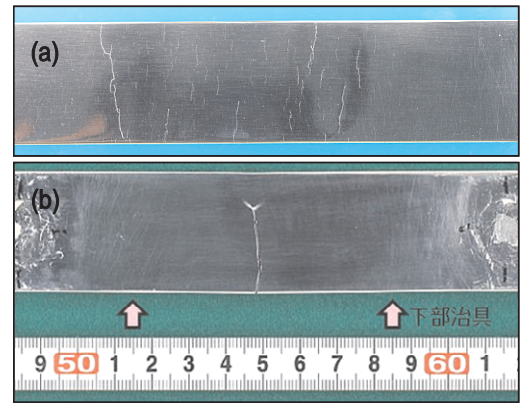


図 9 (a)疲労試験中の試験片と(b)破断後の試験片

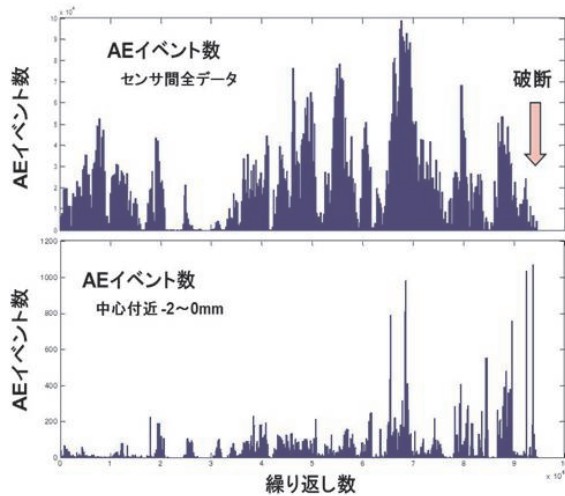


図 10 試験片全域 (上) と破断部のみ (下) の AE イベント

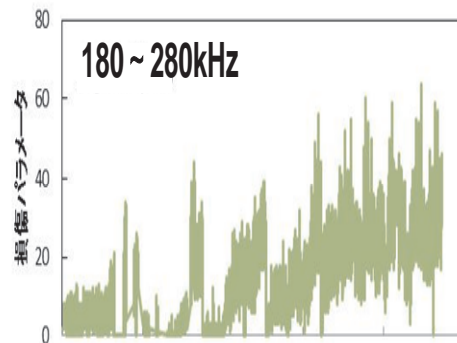


図 11 200kHz ~ 300kHz 成分の変化

上述の分析から複数の疲労起点が考えられる場合は AE 振幅や AE イベントだけでは疲労状況の評価は難しいのがわかった。そこで、周波数分析を試みたところ、疲労進展に伴って 200kHz ~ 300kHz の周波数成分が増加していることが観察され、図 11 に 180kHz ~ 280kHz の AE が観察された割合とサイクル数の関係を示す。図 11 から 180kHz ~ 280kHz の周波数成分を多く含む AE を選択的に分析すれば疲労状況が把握できる可能性があることがわかる。200kHz ~ 300kHz の AE は金属のき裂進展に伴う AE に多く含まれる成分であることが報告(文献 1)されており、以降の分析ではこの周波数帯域に注目することとした。

平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動

前述の、の実験は弾性応力下での疲労現象について AE 法の適用を検討したが、水素ステーションの複合容器には予め自緊処理が施されているのでアルミライナーは塑性域の変形も伴うと考える。本実験は塑性領域での自緊処理の影響を考慮した実験を行った。

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 4 に示す。いずれの試験条件も最大負荷はアルミ合金の耐力以上の塑性応力下での疲労試験とした。本実験の分析結果については、「(4) Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査」の節で後述する。

表 4 塑性領域での平板試験片の試験条件と S-N データ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準4	平板	384	384 ~ 0.8	0.00	5	33,321	破断
標準5	平板	336	336 ~ 0.8	0.00	7	59,372	破断
標準6	平板	288	288 ~ 0.8	0.00	7	169,582	破断
鏡面2	平板	336	336 ~ 0.8	0.00	7	140,859	破断
鏡面3	平板	288	288 ~ 0.8	0.00	7	2,134,329	破断
鏡面4	平板	288	288 ~ 259(90%)	0.90	20	22,091,783	未破断
鏡面5	平板	336	336 ~ 302(90%)	0.90	20	鏡面4の継続 9,860,145 累積 31,951,928	未破断
鏡面6	平板	336	336 ~ 168(35%)	0.50	13	22,048,771	未破断

(2) アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

複合容器の疲労試験は安全確保のため、一般的に圧力媒体には液体を用いる。そのため、疲労き裂による AE はアルミライナーや炭素繊維層の伝搬だけではなく、液体で満たされたアルミライナーの中で反射を繰り返して伝搬して AE センサに到達する。液体中を伝播した AE は振幅の減衰と周波数成分が変化する可能性がある。そこで、図 12 に示したような平板試験片を用いた水中での片振り四点曲げ疲労試験を実施した。

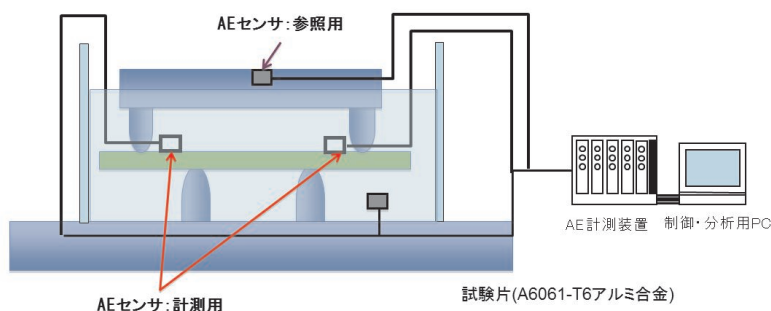


図 12 水中片振り四点曲げ疲労試験装置・AE 計測装置の概要

表 5 水中平板試験片の試験条件と S-N データ

	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
水道水1	336	336 ~ 0.8	0.00	6	54,187	破断
イオン交換水1	336	336 ~ 0.8	0.00	6	133,768	破断
イオン交換水2	288	288 ~ 0.8	0.00	8	152,780	破断

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 5 に示す。液体には水道水とイオン交換水を用いたが、水道水の場合はイオン交換水と比較して早期に疲労破断した。大気中より水中の方が試験片表面のき裂が多く観察されたことから、圧力媒体に液体を用いる場合は、実際の水素での加圧よりも多くの初期き裂の発生が予想される。試験片に設置した片方の AE センサからパルス (10Vpp, 150kHz) を入力し、もう片方の AE センサの検出波から伝播挙動を調べた結果、信号の持続時間は短くなるが周波数成分には大きな差異が無く AE 分析に影響しないことが確認された。

(3) CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度 :)

複合容器は自緊処理を行っている為、カイザー効果が特に顕著な CFRP の破壊は発生しないはずである。しかしながら、複合容器輸送中の表面傷などが起点になって炭素繊維層の破壊が起こり、それに伴う AE 発生も考えられる。そのため、炭素繊維層破壊の AE 波形の特徴を把握し、アルミライナーの疲労き裂の AE 波と区別できるか否かを検討した。

CFRP 試験片は複合容器の炭素繊維積層部を剥離切断して短冊試験片に加工し、試験片中央部に幅 1mm、深さ 5mm のノッチを予め導入した試験片を用いた。図 13 に試験片と引張破壊試験機を示し、試験開始から約 450 秒でスリットからのき裂が進展して破壊した。



図 13 CFRP 引張破壊試験

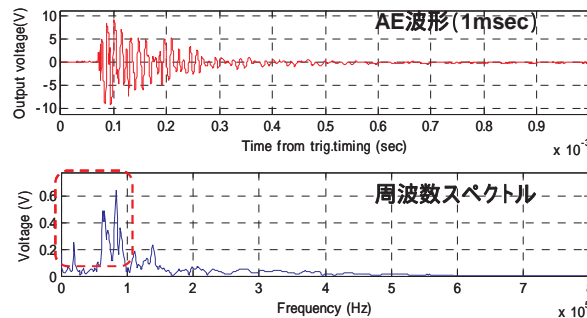


図 14 AE 波形と周波数スペクトラム

試験開始直後から AE は検出された。代表的な AE 波形と周波数スペクトラムを図 14 に示す。AE 波形は突発型で高振幅であったが周波数成分は 200kHz 以下であり、特に 70kHz の成分が多く含まれていた。この結果より、周波数フィルタで 100kHz 以下の成分を除去することで、アルミ合金の疲労き裂進展に伴う 200 ~ 300kHz の AE と炭素繊維層破壊の AE とは分別可能であることがわかった。後述する複合容器の疲労試験中の AE データの分析には全て 100kHz のハイパスフィルタを施した。

(4) Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度 :)

設計圧力 45MPa、容量 30 の複合容器に対して JPEC 殿が実施した圧力サイクル試験時に AE 計測を実施した。複合容器の外観と AE センサ設置の様子を図 15 に示す。



図 15 複合容器(45MPa,30)と AE センサの外観 (JPEC 殿提供写真)

圧力媒体はイオン交換水で、3 基の複合容器の疲労試験時の AE 発生挙動を調査した。表 6 に試験条件と漏洩までのサイクル数、JPEC 殿で行った弾塑性解析による周方向応力範囲、漏洩後の破面観察の結果を示す。弾塑性解析により、複合容器は製造時の自緊処理により 253MPa の残留圧縮応力が負荷されており、アルミライナーの耐力が 245 ~ 280MPa であることから内圧が無い状態では塑性域に近い応力状態の可能性はある。き裂部位はいずれも胴部であるが、応力範囲が圧縮側主体であることから、き裂方向が開口型ではなくせん断方向のものが多く観察された。これは JPEC 殿で実施した他の試験からも同じ傾向の観察がなされている。せん断型のき裂では疲労破面で見られるストライエーションが確認できず、摩擦などにより損傷・消滅したか、ストライエーションは生成されなかったものと思われる。容器 1 と 2 では同じ試験条件だが、き裂方向に相違が見られた。これは局部的な圧縮残留応力の差異の影響と考え

られる。

表 6 複合容器疲労試験の試験条件と S-N データ、試験後破面観察結果 (JPEC 殿提供)

	圧力範囲 (MPa)	繰り返し周波数 (Hz)	周方向応力範囲 (MPa)	漏洩までの繰り返し数	き裂部位	き裂方向	ストライエーション
容器1	1~75	0.05	-253~5	24,925	胴部	せん断	観測不能
容器2	1~75	0.05	-253~5	20,460	胴部	板厚	一部観察
容器3	1~65	0.05	-253~45	62,894	胴部	せん断	観察不能

図 16 に AE センサの設置レイアウトを示す。12 個のプリアンプを内蔵した VS150-RIC センサ (Valien 製) を複合容器両端の口金部と炭素繊維層の上に設置した。また、試験片試験と同じ AE-144A センサ (富士セラミック製) を 2 個口金部近傍へ設置した。実際の水素ステーションでは複合容器は多段式ユニットに収められるため、現場計測は口金へ AE センサを設置することが求められると考える。AE 計測装置は AMSY-5 (Valien 製) を使用した。

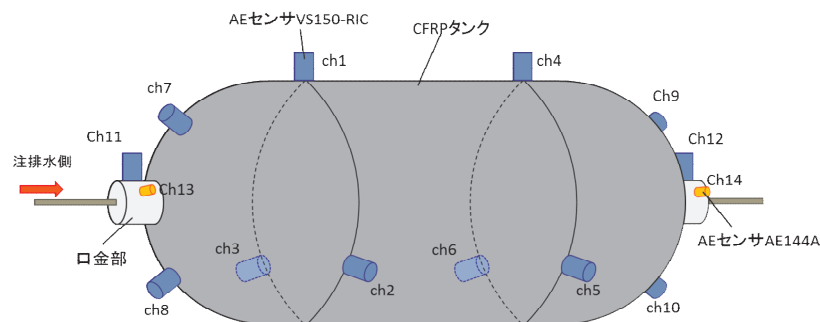


図 16 複合容器と AE センサレイアウトのイメージ

AE 計測の前に複合容器への各センサ位置の圧力媒体が液体の場合の減衰率を計測した。口金のネジ部は大きな減衰が危惧されたが、口金両端の間の減衰率は約 30dB であり十分にアルミライナー全体の AE を検知できる感度であった。但し、複合容器内部が水素ガスの場合の減衰率は液体の場合と比較して小さい事が予想されるため、計測試験を別途実施し後述する。一方、炭素繊維層は減衰が大きく、音響異方性も有する為、炭素繊維層の外表面に設置した複数の AE センサでは疲労き裂の位置標定が困難であることがわかった。

図 17 に容器 1 の全ての周波数の AE 振幅と漏洩までのサイクル数の関係を示す。容器 1 は 45MPa の設計圧力に対し 75MPa の内圧を負荷し、約 2 万 5 千回のサイクルで漏洩が確認された。き裂は胴部からせん断型で貫通しており、ストライエーションは確認できなかった。貫通き裂部の位置は両端の口金センサまでの到達時間と炭素繊維層の減衰率を勘案すると検出した AE はアルミライナー胴部で発生したものであると確認された。図 17 より、早期から高振幅の AE が検出され、漏洩直前には高振幅の AE は検出できなかった。試験片の疲労試験とは大きく異なる AE 挙動が観測された。

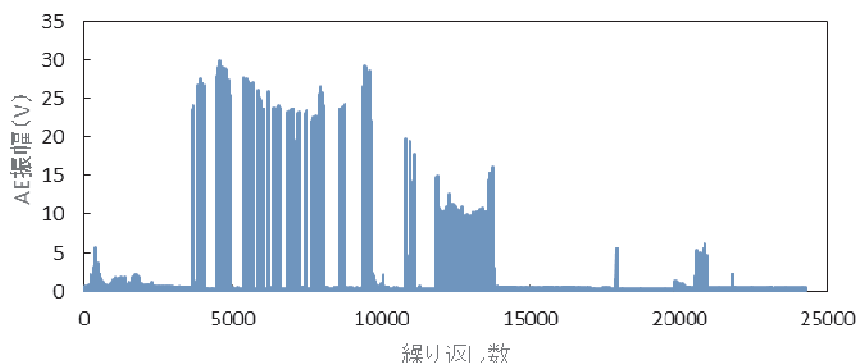


図 17 容器 1 の複合容器と AE 振幅とサイクル数

試験片での疲労試験によって 200kHz ~ 300kHz の周波数帯の AE が疲労き裂生成に伴う AE であると推察されている。そこで、図 17 の AE 信号から炭素繊維層からの AE を除去するために 100kHz 以下の AE を除去して 200kHz ~ 300kHz の周波数帯域の AE を抽出して図 18 に示した。

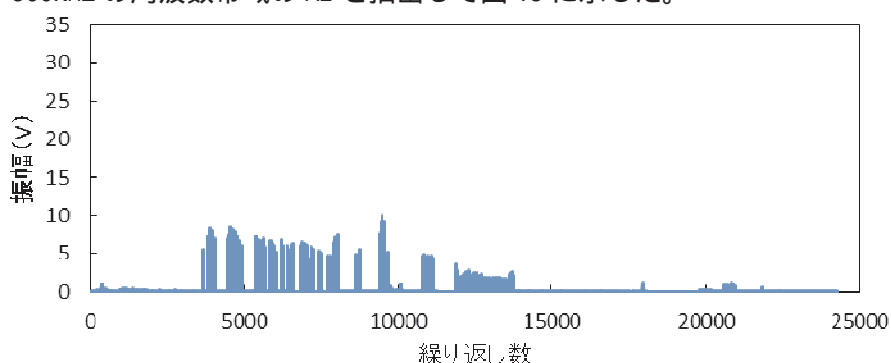


図 18 容器 1 の 200kHz ~ 300kHz の AE 振幅とサイクル数

図 18 から 200kHz ~ 300kHz の AE の経時変化を観察しても、試験片で確認されたようなサイクル数と共に右肩上がりに疲労破壊直前で最大となるようなパターンにはならなかった。この現象を解釈するために、複合容器の製造工程と試験後の疲労き裂破面観察などに基づいて、試験片の場合には想定しなかったアルミライナーで発生する AE 挙動について以下の(a) ~ (d)の仮説を立てた。

- (a) 自緊処理により、アルミライナーは塑性変形した可能性がある。そのため、試験開始前からすべり線が生成しており、疲労き裂がすべり線に沿って発生する場合は AE 振幅は小さく、発生数も少なくなる場合がある。
- (b) 圧縮残留応力に局部的集中があることやアルミライナー加工時の微小傷が試験開始前に存在するため、それらの箇所から選択的に初期き裂が発生するので比較的早期から AE が発生する場合がある。
- (c) 圧縮残留応力は耐力近傍の大きさであり、せん断方向にき裂が進展してせん断破壊による AE が発生する場合、開口型破壊と比較して AE の放射方向が 90 度異なるために AE 振幅が小さくなる場合がある。
- (d) せん断方向にき裂が進展しても、き裂先端では開口型破壊が発生するという報告(文献 2)もある。しかしながら、板厚方向へき裂が進展する場合と比較して約半分の応力しかき裂先端には働かないので、AE 振幅が小さくなる場合がある。

以上の仮説に基づいて図 18 を考察すると、比較的高振幅な早期に発生する AE は局部応力集中や初期欠陥が起点となって発生したと考えられる。また、疲労き裂に伴う AE は低振幅であるために振幅値の経

時変化では観察が難しくなると考えられる。そこで、200kHz～300kHz の周波数成分の全周波数帯域との比率、すなわち振幅比の分析を行った。

図 19 に 200kHz～300kHz の振幅比とサイクル数の関係を示す。複合容器の疲労試験では、試験中に口金の 0 リング破損を数回交換や口金ネジ部が変形するなどの試験中断が複数回あり、そのタイミングを図中に矢印で示した。試験中断の前からは疲労とは無関係な不具合によって振幅比が若干上昇し、その影響もあってバラツキがあるものの振幅比が約 0.2 程度から疲労進展に伴って右肩上がりに上昇していることがわかる。容器 1 と同様の振幅比の分析結果を容器 2 と容器 3 にも実施し、その結果を図 20、21 に示した。容器 1 の場合と同様に数回の試験中断の影響が見られるものの、いずれも振幅比 0.2 程度から 0.4 程度にサイクル数に伴って上昇している。容器 3 の 55000 サイクル以上では、複数回の試験停止があったので、計測条件が大幅に変わってしまった可能性がある。

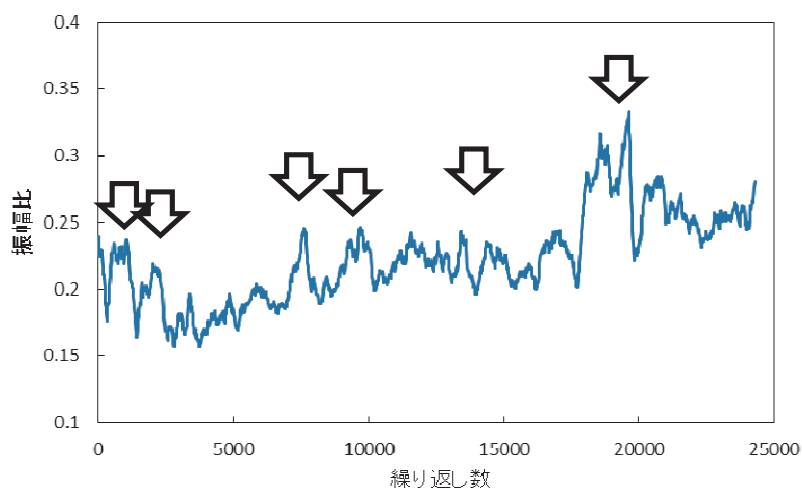


図 19 容器 1 の 200kHz～300kHz の振幅比とサイクル数

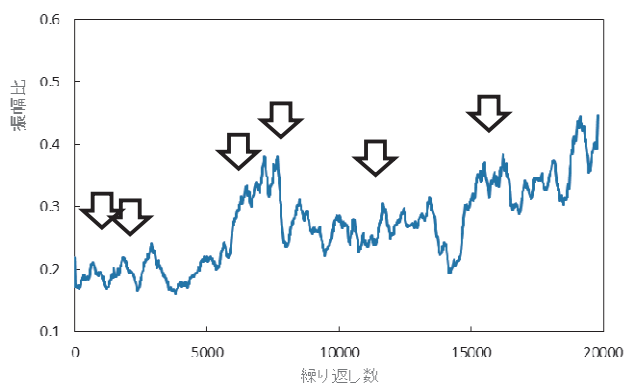


図 20 容器 2 の振幅比とサイクル数

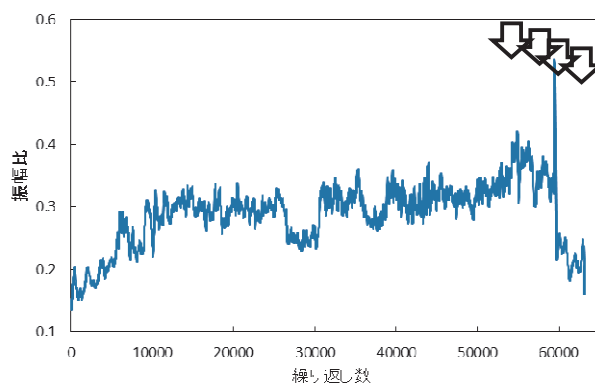


図 21 容器 3 の振幅比とサイクル数

アルミライナー疲労進展に伴う AE は主に 200kHz～300kHz の周波数成分を持ち、前述した 4 つの仮説に従えば振幅が小さいために振幅値では明瞭な検知はできないものの、他の全ての周波数成分との比率である振幅比を観察し、振幅比を疲労損傷の指標とすることで複合容器の健全性を評価できる可能性が図 19～図 21 によって示唆された。そこで、異なる仕様の大型複合容器についても同様の AE 分析方法が適用できるか否かを試みた。

設計圧力 82MPa、容量 200、外径 488mm、全長 2805mm の大型複合容器に対して水圧サイクル疲労試験時に AE 計測を実施した。複合容器の外観と AE センサ設置の様子を図 22 に示す。大型複合容器においては、主な AE センサは口金部のみとし、胴部にはノイズ等の参照用のセンサを設置した。疲労試験条件は、応力範囲 2～102.5MPa、繰り返し速度 3 サイクル/min で、12,799 サイクルで漏洩した。

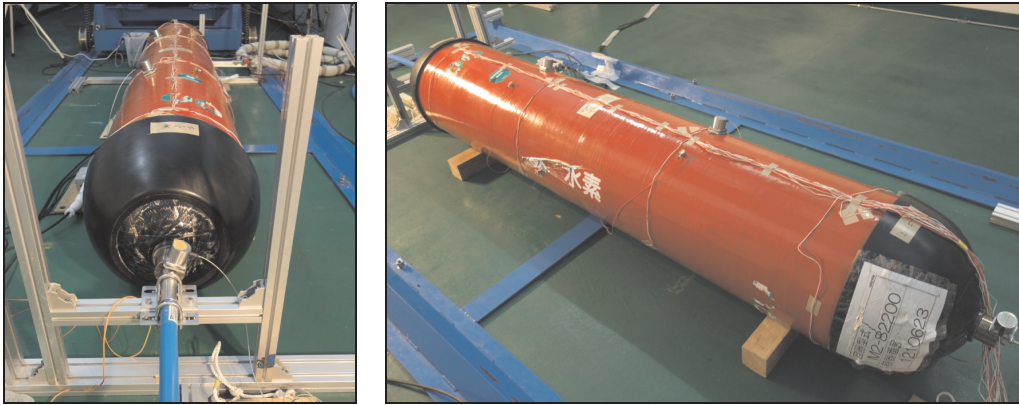


図 22 大型複合容器(82MPa,200)と AE センサの外観

図 23 に 200kHz ~ 300kHz の振幅比とサイクル数の関係を示す。大型複合容器の口金ネジ部が変形するなどの試験中断が複数回あり、そのタイミングを図中に矢印で示した。試験中断の前からは疲労とは無関係な不具合によって振幅比が若干上昇し、その影響もあってバラツキがあるものの振幅比が約 0.26 程度から疲労進展に伴って右肩上がりに上昇していることがわかる。この結果から、提案した AE 振幅比を用いる分析方法を用いれば、複合容器の疲労損傷が評価できることが示唆された。

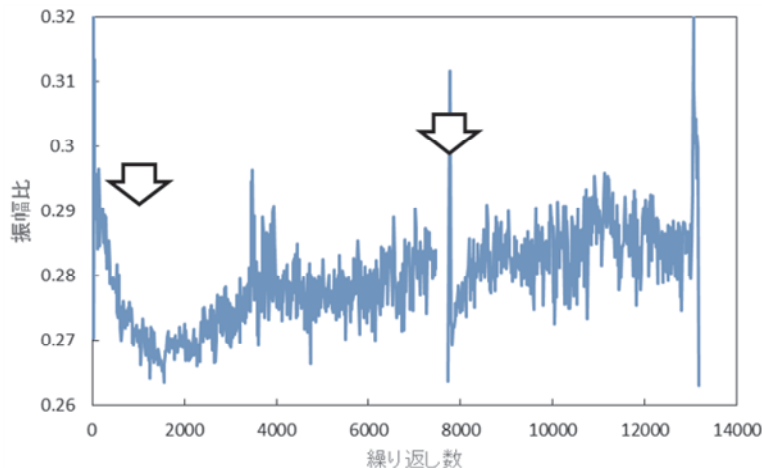


図 23 大型複合容器 (82MPa,200) の 200kHz ~ 300kHz の振幅比とサイクル数

一方、上記の AE 振幅比の経時変化の 4 つの図中に矢印で示した試験停止のタイミングで振幅比が上下しており、この振幅比が上下する現象が疲労とは完全に無関係な事象であることは確認できていない。実際の水素ステーションにおいては、運用中に口金部が変形したり、Oリングが損傷したりする事象は少ないと想定されるので、本試験のようなバラツキは観察されないと予想される。また、容器メーカーのヒアリングから、Type 複合容器の製造工程を考慮すると、容器内部が大気圧の場合はアルミライナーと CFRP 層が完全に密着して一体化している事を確認しておらず、製造時の熱膨張率の相違を鑑みると非常にわずかではあるがアルミライナーと CFRP 層には隙間がある事が考えられる。従って、試験中に一時停止して、大気圧まで減圧されると、隙間が再生し、再び昇圧する際にはアルミライナーと CFRP 層が擦れるノイズ、またはアルミライナー座屈の AE 発生が観察される可能性がある。水素 SS においては、複合容器が運用開始されれば、大気圧まで減圧されることはほとんどないので、このようなノイズの混入は無いと考える。

一方、これらの複合容器の疲労試験は設計圧力を 100% とすると 125% から 168% の応力振幅であり、最大負荷は塑性応力近傍である。つまり、非常に厳しい疲労環境での試験であり、通常運転中の水素ステーションの応力振幅は 60% ~ 100% 程度のマイルドな疲労環境で計測される振幅比はもっと小さい可能性が高い。

複合容器の疲労試験で観察された AE 振幅比と疲労劣化の関係性を検証するために、前述した試験片を用いた「(1) アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査」の項目のうち、塑性領域での疲労試験を実施した「平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動」で得られた分析結果について以下に示す。疲労試験の負荷条件と破断回数を表 3 (前出) に示す。いずれの試験条件も最大負荷はアルミ合金の耐力以上の塑性応力下での疲労試験とした。負荷変動 0.8MPa ~ 336MP、約 5 万サイクルで破断した試験片のサイクル数と AE 振幅の変化を図 24 に示す。

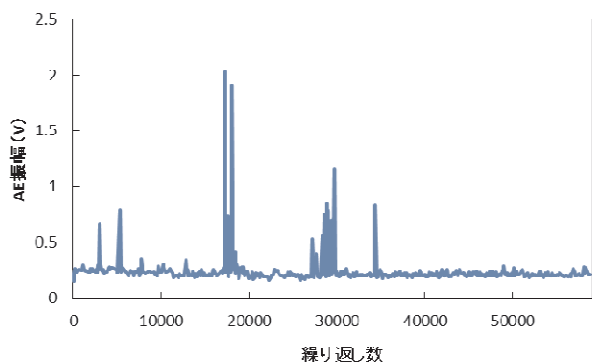


図 24 サイクル数と AE 振幅の関係

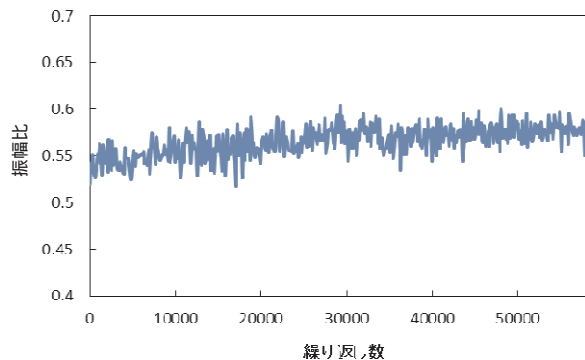


図 25 サイクル数と振幅比の関係

図 24 より、高振幅の AE が早期に検出され、疲労破断直前でも大きな AE は検出されておらず、複合容器の試験結果と同じ傾向を示した。疲労き裂進展に伴う AE は 200kHz ~ 300kHz の周波数帯域で低振幅であるという前述した仮説に基づいて、当該周波数の振幅比を図 25 に示し、わずかではあるが振幅比がサイクル数の増加と共に上昇しているのが確認された。この結果は、疲労環境が厳しければ試験直後から振幅比が 0.5 以上という高い値を示すという推定を導く。そこで、疲労寿命は応力振幅に強く影響されるので、応力振幅と振幅比を図 26 に整理した。図には後述する予ひずみを与えた実験結果も併記した。

各応力振幅の疲労寿命 (未破断の場合は試験期間) の初期 0 ~ 10% の平均の振幅比を青丸で、後期 80% ~ 100% の振幅比を赤丸で示した。図中に点線で囲った 3 条件の応力振幅の試験は 2000 万サイクルでも未破断であったので試験中止した。図 26 より、応力振幅が非常に小さければ振幅比は 0.3 以下で破断に至らないが、応力振幅が大きいと振幅比は 0.3 以上から始まり 0.5 ~ 0.6 で破断することがわかる。

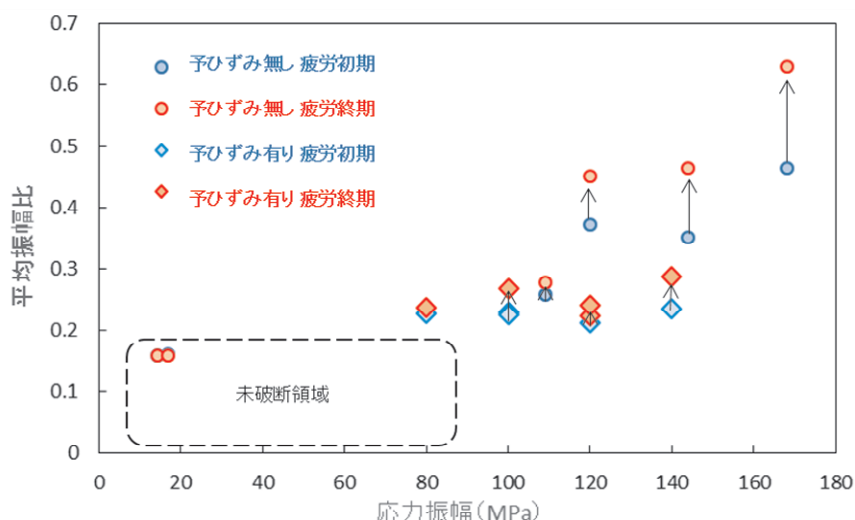


図 26 応力振幅と振幅比の関係 (予ひずみの有無)

試験片に予ひずみ約 1% (残留ひずみ 0.56%) を付与した試験片を作成し、表 7 の疲労試験条件で予ひずみの有無による応力振幅と AE 振幅比の関係を調べた。図 26 に応力振幅と振幅比の關係の予ひずみの有無の影響をまとめた。菱形印が予ひずみ有り、丸印が予ひずみ無しのデータを示した。同じ応力振幅

で予ひずみの有無を比較すると、AE 振幅比もその変化量も小さくなる傾向があった。これは初期の塑性変形(自緊処理)の影響が AE 振幅比に影響する事が示された。また、応力振幅(部分充填)が小さい程、AE 振幅比は小さくなる傾向があり、80MPa より下回ると破断しない結果となった。

表 7 予ひずみを負荷した試験片の試験条件と S-N データ

引張-圧縮疲労試験	最大応力	最小応力	応力振幅	R	試験周波数	予歪	実績	
	MPa	MPa	MPa				Hz	破断の有無
試験1-1	140	-140	140	-1.0	10		破断	344,000
試験1-3	120	-120	120	-1.0	10		破断	750,000
試験1-4	100	-100	100	-1.0	10		破断	4,150,000
試験1-5	80	-80	80	-1.0	15		未破断	10,000,000
試験1-6	100	-140	120	-1.4	10		破断	1,532,760

提案した AE 振幅比を用いる分析方法を仕様の異なる複合容器でさらに検証するために、設計圧力 20MPa、容量 20 の小型複合容器(図 27)の 0-100%疲労試験時の AE 計測/分析を実施した。AE センサは口金部と胴部設置し、疲労評価は口金の AE センサの出力を用いた。183,473 サイクルで漏洩した。漏洩までの AE 振幅値の経時変化を図 28 に示す。図より、疲労き裂進展に伴って AE 振幅が増加しているように観察された。



図 27 小型複合容器と AE センサの外観

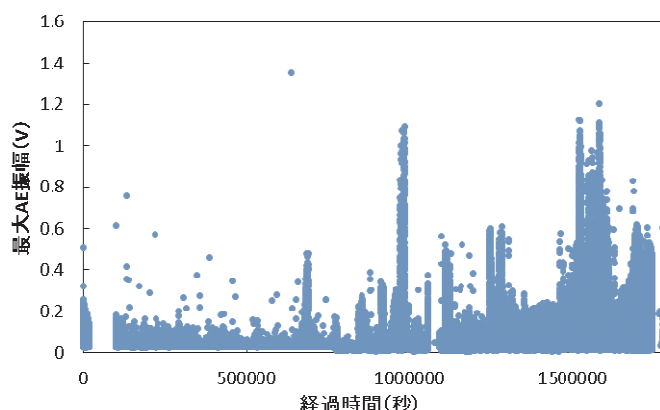


図 28 AE 振幅の経時変化

一方、AE 振幅比の経時変化を図 29 に示すが、試験後半に上昇するものの、試験前半にも高い値を示し、右肩上がりの振幅比の増加パターンにはならなかった。同様の傾向が同じロッドの別の複合容器でも観察されたため、詳細な分析を行った。

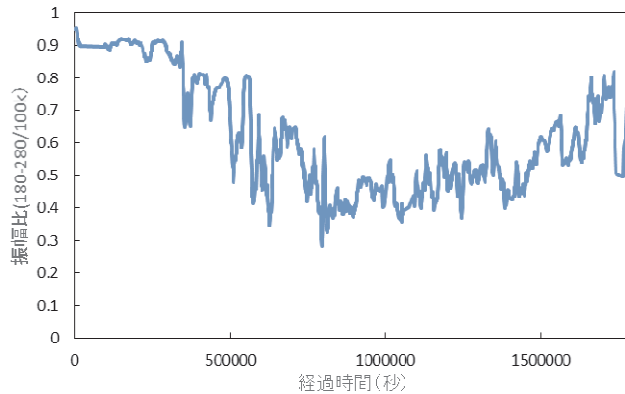


図 29 AE 振幅比の経時変化

AE 振幅比法では、200-300kHz の周波数帯域の AE 振幅を 100kHz 以上の周波数帯域 AE 振幅で除するので、各々の分布を図 30 左に示した。実験初期の 30 万秒までを青、実験中期の 150 万秒までをオレンジ、実験後期の漏洩までを黄色でプロットした。図 30 左より、時間経過（劣化進展）に伴って AE 波形が異なる事が示唆された。また、各々の時間帯の揭示変化を図 30 右に示し、各々の時間領域の AE 波形を抽出して特徴を調べた。

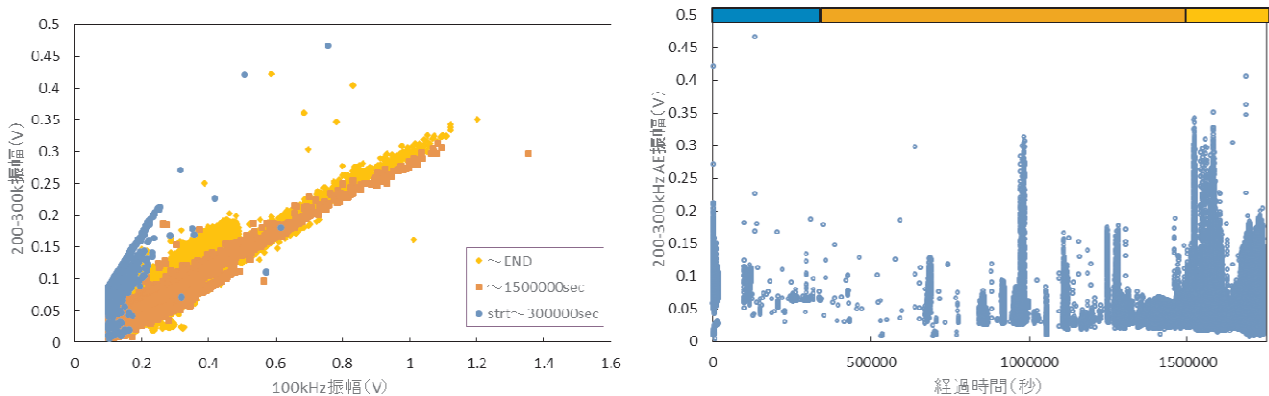


図 30 200-300kHz と 100kHz 以上の周波数帯域の分布（左）と経時変化（右）

試験終了近くで漏洩直前の前述の黄色プロットで観察された代表的な波形を図 31 に示し、試験開始すぐの青色プロットで観察された代表的な波形を図 32 に示した。疲労亀裂進展に伴う AE 波には 200-300kHz の周波数が含まれ、図 31 から当該周波数帯域が観察されるので漏洩に至る疲労亀裂進展の AE であると考えられる。また、300kHz 以上の成分も広く含まれ、疲労亀裂界面の擦れ等に起因していることが予想される。この波形群を波形パターン A と呼ぶ。一方、図 32 においても、200-300kHz が含まれる AE 波形が含まれているが、周波数ピークが 150-200kHz に集中しており、特に 300kHz 以上の周波数成分がほとんど無いという特徴を持つ。この波形群を波形パターン B と呼ぶ。

波形パターン B の AE がどのような損傷に伴って発生したか明らかにはできていないが、対象とした複合容器が未使用であり、製造時にアルミライナーと CFRP 層に僅かな隙間が生じる可能性があることなどから、アルミライナー塑性加工時の初期欠陥の進展やアルミライナーと CFRP 層の擦れなどが考えられる。図 29 において、試験前半でも振幅比が大きくなってしまった原因は、最終的な疲労亀裂進展に関与が少ないと考えられる波形パターン B が原因になっていると仮定し、この波形パターンを除去する方法を検討した。

本研究では、計測した全 AE 波形を対象とした波形の類似性に基づいて波形分離する手段として統計手法の一種である MT 法（マハラノビス・タグチメソッド）を用いた。波形パターン A および B の波形を、4 つの周波数帯域に分割し（100kHz 以上、180-280kHz、280-380kHz、130-180kHz）して基本空間とし、基本空間からのマハラノビス距離（MD 値）を全ての AE 波形について計算して、MD 値が 10 以下の波形を類似性のある AE 波形として整理した。但し、MD 値での分類では波形パターン A と B が類似している部分もあるので、完全には分離できない波形もあることに注意する。本報では MT 法の詳細説明は割愛する。

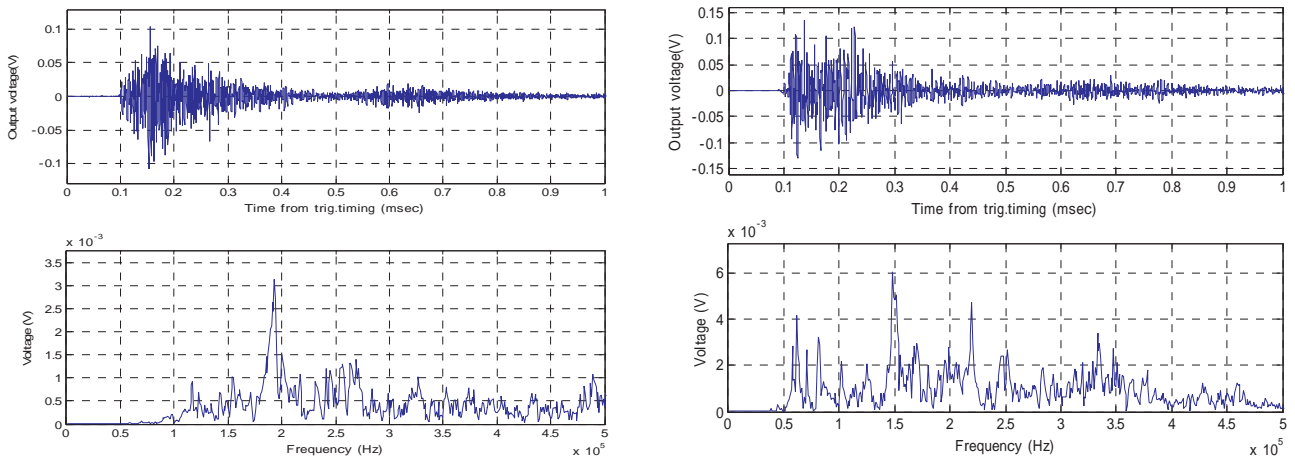


図 31 疲労試験終了近くの AE 波形 (下段は FFT) 【波形パターン A】

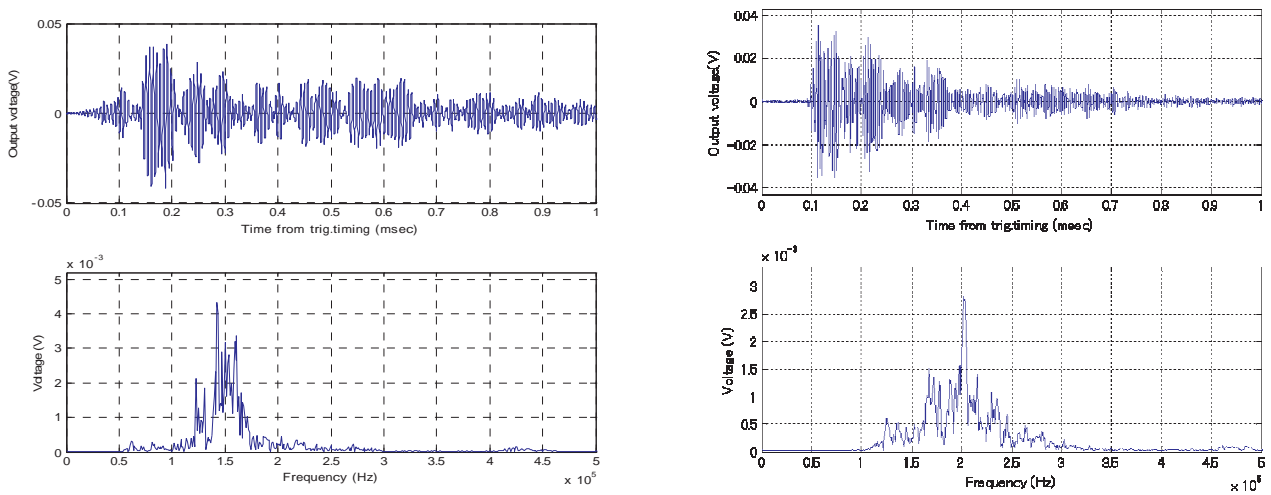


図 32 疲労試験開始近くの AE 波形 (下段は FFT) 【波形パターン B】

計測された全ての AE 波形 (約 150 万) から、波形パターン B を削除し、波形パターン A の振幅比の経時変化を図 33 に示し、振幅比は右肩上がりに疲労進展に伴って上昇する。以上のような波形分類と振幅比を併用する分析方法を用いれば、試験前半のノイズに影響されずに疲労損傷を評価できることがわかった。事業終了までに、本提案手法を実施してきた他の複合容器疲労試験結果にも適用して、妥当性を検証する予定。

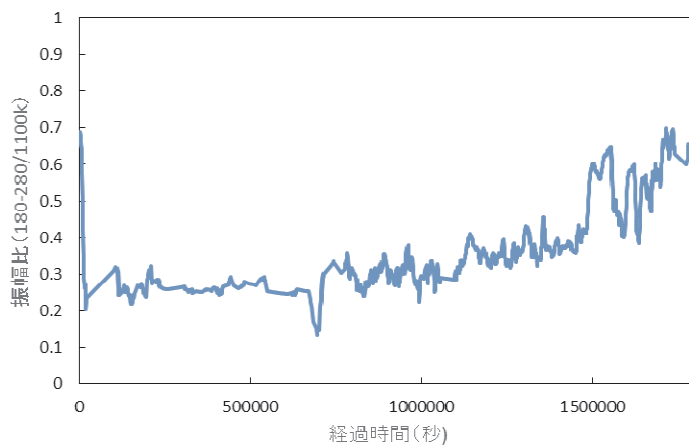


図 33 疲労損傷に伴う AE の振幅比の経時変化

(5) 実水素ステーションでの実証試験（達成度： ）

前述した各種成果に基づいて、実水素ステーションでの AE 実証試験を実施する予定であったが、水素ステーション事業者との調整が付かず、実水素ステーションへ AE 計測装置を持ち込んで計測試験はできなかった。しかしながら、3 か所の実水素ステーションの見学と事業者へのヒアリング等によって実水素ステーションの構造や AE 計測環境を把握できたため、実水素ステーションを模擬したラボ試験によって各種検証を実施した。検証項目は、昇圧速度の AE 計測への影響、300 大型容器での減衰の影響、ガス流入ノイズの AE 計測への影響、防爆 AE 計測装置の検討の 4 項目である。これらの検証結果によって実水素ステーションで本 AE 手法を適用できることがわかり、基礎的なデータベースを整備できた。以下に各検証内容について示す。

昇圧速度の AE 計測への影響

水素ステーションの複合容器は 3 バンク方式（低圧、中圧、高圧）で FCV へ水素を供給する。AE 計測は複合容器の昇圧時に行うことから、ラボ試験と比較して非常に遅い昇圧速度である。代表的な各バンクの昇圧速度は、低圧バンクは約 0.05MPa/s、中圧バンクは約 0.07MPa/s、高圧バンクは 0.1MPa/s である。一方、(4) 節で実施した複合容器のラボ試験での昇圧速度は約 7MPa~10MPa/s であり、水素ステーションと比較して 2 桁早い。そこで、試験片による低速昇圧速度での検証実験を行った。

予ひずみ約 1%（残留ひずみ 0.56%）を与えた平板試験片（図 34）を用いて、最大応力 130MPa(R=-1)で試験周波数を 6Hz と非常に低速な 0.0008Hz を交互に切り替える疲労試験中の AE を計測した。0.0008Hz は約 0.1MPa/s に相当する。疲労試験は 100 万回で破断した。代表的な計測期間の昇圧速度と最大 AE 振幅（HPF:100kHz）の関係を図 35 に示す。図より昇圧速度の低下直後は AE 振幅も小さくなるが、疲労進展に伴う高振幅 AE は遅い昇圧速度でも発生/検出されていることがわかる。このことから、水素ステーションの低速な昇圧速度でも疲労進展に伴う AE が検出/分析できることがわかった。

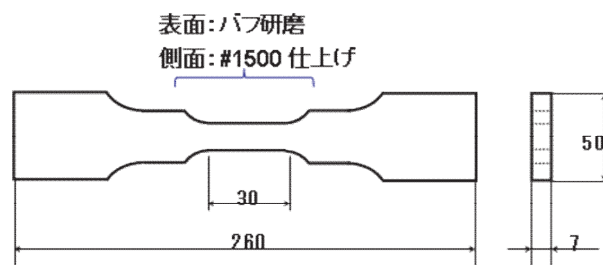


図 34 平板試験片の形状

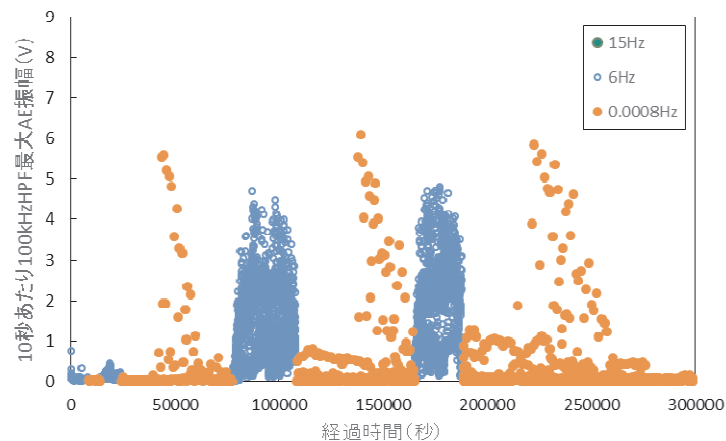


図 35 昇圧速度の相違による AE 振幅

300 大型容器での減衰の影響

水素ステーションにおける複合容器の圧力媒体は水素ガスであるので、ラボ試験時の複合容器内部が

液体で満たされていた時の減衰とは異なる。容量 80 の空の容器を用いて、アルミライナー内部から AE センサ設置位置（口金部）までの AE 減衰特性を計測した。図 36 に示すように、口金部と胴部外側に AE センサを設置し、容器内部から鉄球を落下させた音を検出/分析した。その結果、複合容器の胴部内面の減衰率は-2.0dB/mであり、口金部の減衰率は-8.9dB であった。水素ステーションで用いられる 300L の大型複合容器全長は約 5m であることから、水素ステーションでの計測に考慮すべき減衰は-13.9dB となり、疲労進展に伴う 60dB 以上の高振幅 AE を十分に検知できることを確認した。

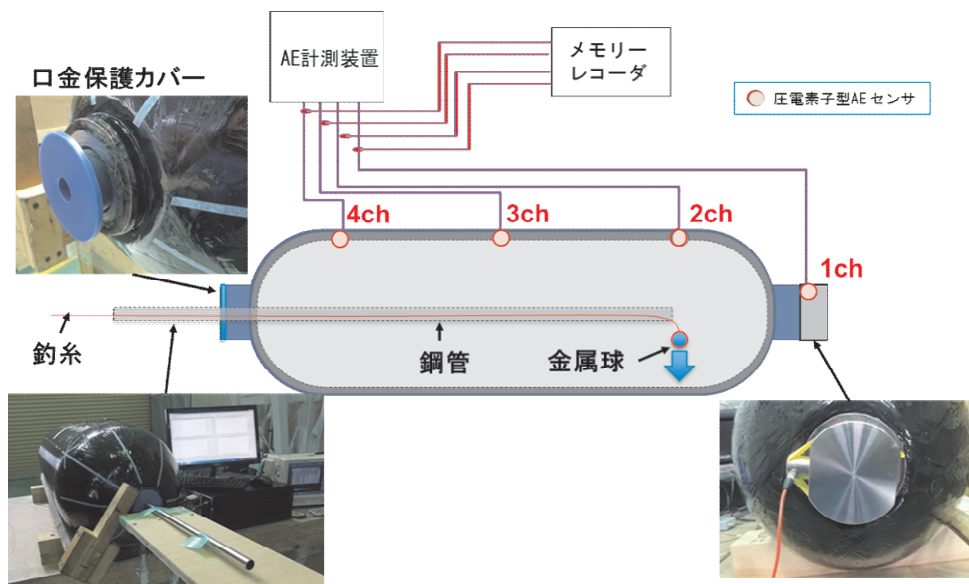


図 36 複合容器内面の減衰測定

ガス流入ノイズの AE 計測への影響

水素ステーションの AE 計測時に考慮しなくてはならないガス流入ノイズの影響を調査した。ラボ試験時の液流入ノイズとは異なる。図 37 に 80 複合容器の気密試験室での実験の様子を示す。昇圧速度は約 230MPa/h から 110MPa/h の間で計測した。図 38 に昇圧速度とガス流入ノイズの関係を示し、平均値約 30dB、最大値 60dB 以下であり、疲労進展の AE 計測には影響がすくない事を確認した。また、いずれの昇圧速度でも 0-100%（フル充填）に比較して 60-100%、80-100%（部分充填）の場合は高振幅ノイズは認められなかった。

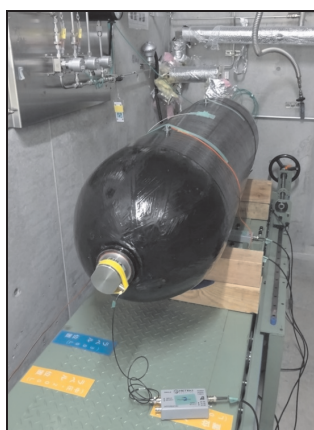


図 37 気密試験室でのガス流入実験

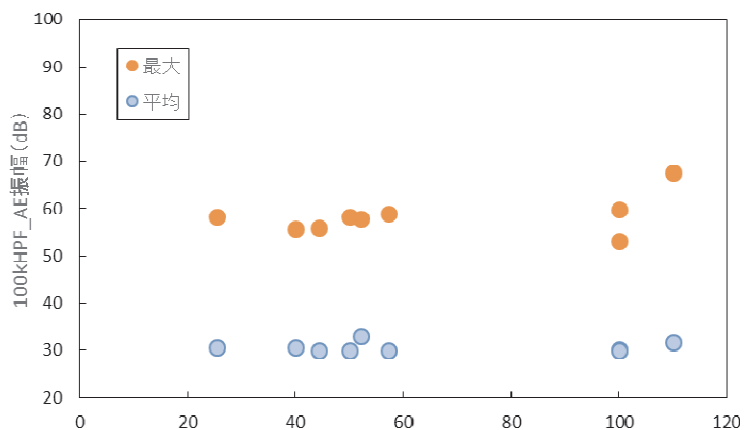


図 38 昇圧速度とノイズ（AE 振幅）の関係

防爆 AE 計測装置の検討

水素ステーションの水素蓄圧器の設置場所周辺は防爆エリアであり、国内で防爆認証された AE 計測装置を使用する必要がある。従来型の AE センサは圧電素子を内蔵したセンサであり、防爆認証タイプのセ

ンサも存在するが構造が大型で水素ステーションでは使用できない。そこで、光ファイバのドブラー効果を利用する光ファイバ型 AE センサの性能を検証した。図 39 に複合容器の口金部への設置状況を示す。写真の光ファイバ型センサより更に小型化も可能であり、本質安全防爆性を有するため防爆エリアでの AE 試験が可能となる。図 40 にセンサ出力例を示すが、従来型 AE センサより感度も S/N も良好である事がわかった。

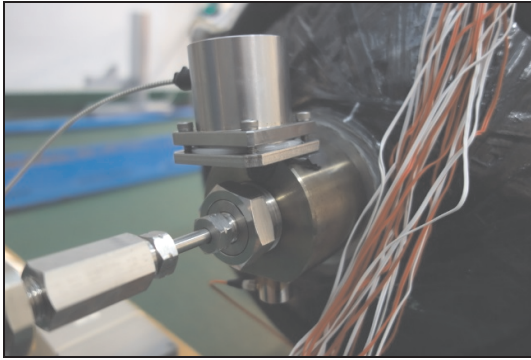


図 39 光ファイバ AE センサ設置状況

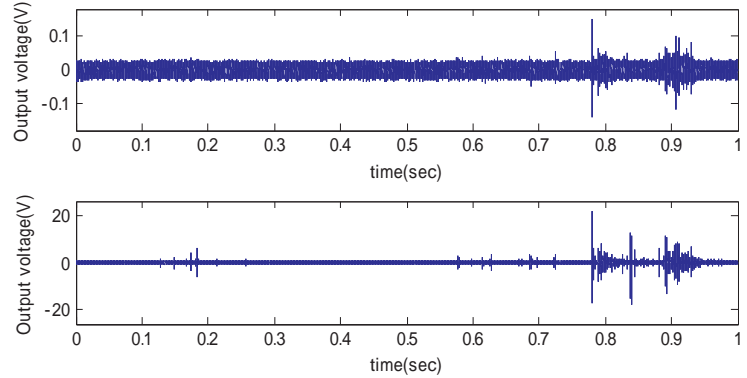


図 40 圧電型 AE センサ(上段)と光ファイバ AE 出力(下段)

実際の水素ステーション見学により、複合容器設置部は防爆エリアであるが、光ファイバケーブルによって接続できる範囲に事務所等の非防爆エリアがあることを確認しており、非防爆エリアに AE 計測装置および PC を設置することで、AE 計測/分析を実施することができる。

3.2 成果の意義

水素ステーションの安心安全で経済的な運用には複合容器の耐圧性能と強度確認の保安検査は不可欠であるが、実用的な保安検査は存在しない。複合容器の経年劣化の主な要因はアルミライナーの疲労き裂進展であり、炭素繊維層で包まれたアルミライナーの極めて微細なき裂の生成であることが検査を困難にさせている。圧縮残留応力を負荷されたアルミライナーの疲労き裂は貫通するまで炭素繊維層にほとんど影響を与えないので、外側からの目視点検やひずみ測定では検知できない。炭素繊維層が厚く、疲労き裂は圧縮残留応力で閉じられて微細なために外側からの放射線透過試験や超音波探傷試験、磁粉探傷試験、渦電流探傷試験でも検知は困難である。水素ステーションの運用を休止し、複合容器の内面からファイバースコープカメラによる目視点検でも微細なき裂の検知は難しい。内面から浸透探傷試験であれば微細なき裂の検知が可能かもしれないが、浸透液によって容器内部を汚染する。このような保安検査不在の中、アルミライナーの疲労き裂進展に伴う AE 波の特徴を振幅比によって強調すれば疲労進展を AE 法で評価できることを世界ではじめて本研究開発で示した。本成果を水素ステーション運用中の保安検査に用いれば、わが国の安全安心な水素ステーションの普及に貢献できる。また、海外の水素ステーション普及にも貢献できることから、水素社会における日本のイニシアチブ強化に寄与する。

水素ステーション用複合容器に係わる世界唯一の規格として「繊維強化プラスチック製圧力容器規格 付属書 8: 定置式水素ガス用非荷重分担ライナーを有する圧力容器 ASME Section(2011a)Appendix 8」がある。この中に製品製造時、耐圧試験時、膨張試験および自緊処理の課厚地に潜在欠陥を見つけることを目的として、試験手順と解析方法、合格基準が示されているが、ASME 規格で実施することが規定されている米国でも AE 試験を実施した容器は無いとされている。本研究開発の成果は水素ステーション運用中の保安検査技術としての新しい AE 検査手法であるが、製品検査としての適用も可能だと考えられ、検討する意義は大きい。

複合容器の設計圧力サイクル数(使用可能回数)は、試験圧力サイクル数を疲労設計安全率 K_n で除した回数と規定されている。疲労設計安全率 K_n は高压ガス保安協会の KHK TD5202 の疲労強度の確認試験に供した容器の数 n によって異なり、 $n=2$ のとき $K_n=4.0$ 、 $n=3$ のとき $K_n=3.5$ 、 $n=4$ のとき $K_n=3.0$ 、 $n=5$ のとき $K_n=2.6$ である。例えば、10 万回の設計圧力サイクル数の複合容器の場合、 $K_n=4.0$ の時は約 2 万 5 千回、 $K_n=2.6$ の時は 3 万 8 千回が使用可能回数である。現在は、使用可能回数までの安全確認のため

の保安検査技術はないが、本研究開発で開発した AE 法を適用すれば使用可能回数まで安全を確認しながら運用することが可能となり、水素社会の普及に寄与することができる。

一方、現行の使用可能回数は試験圧力サイクル数の 50%も使用しないことになる。本研究開発の AE 検査は保安検査のうち複合容器の耐圧性能と強度確認に係る部分に限定されるが、他の保安検査基準が複合容器の使用可能回数を許容する場合、AE 検査を適用して使用可能回数を超えても疲労き裂進展の兆候が観察されていなければ複合容器の使用を延長することも検討に値すると考える。水素ステーションの複合容器の運用コスト低減について次のような投資対効果の仮説が導ける。例えば、5 年間使用できる CFRP タンクを 1 水素ステーションに 10 本備えるとして、複合容器コストを仮に 1 千万円/本とし、10 年間使用すると 2 億円必要となる。しかし、AE 法による保安検査を実施することで使用期間が 2 倍になれば、複合容器の運用コストは 1 億円となる。水素ステーションでの実証試験が未着手であるが、半年に 1 回の AE 検査を実施すると仮定して検査費用が仮に年 100 万円程度とすると、10 年間の AE 検査コストは約 1000 万円となる。すなわち、10 年間で約 9000 万円のコストダウンが期待でき、水素ステーション事業者の負担低減となる。また、現在は使用可能回数を超えた容器は廃棄処分となるが、炭素繊維を大量に使用した複合容器の廃棄処分は容易ではなく、水素ステーションが普及するに伴って今後の社会問題となる可能性もある。AE 法を用いた保安検査によって複合容器の使用回数が増えれば、廃棄処分の問題低減にも貢献できる。

3.3 開発項目別残課題

(1) : アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

Type -複合容器のアルミライナー材料である A6061 アルミ合金の試験片を用いたラボ疲労試験時の AE 計測/分析から疲労損傷を評価できる AE パラメータを特定した。特定の周波数帯域の AE に着目することで、アルミライナー材の疲労き裂進展が評価できる事を示した。

(2) : アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

ラボでの複合容器疲労試験の圧力媒体は液体であり、水素ガスの充填とは AE 伝播挙動が異なる。水中疲労試験を実施し、液体媒体が疲労評価のための AE 分析に影響しない事を確認した。

(3) : CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

CFRP 層破壊の AE 性状を実験的に評価したが、疲労評価のための AE 周波数帯域とは異なる事を確認した。

(4) : Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題あり。

本研究開発で提案した、疲労損傷に伴う AE 波形分類と 200-300kHz の周波数成分の振幅比分析を併用する AE 分析方法について、本事業終了時までには他の複合容器の疲労試験データを対象として有効性を確認する。

(5) : 実水素ステーションでの実証試験 (達成度:)

残課題あり。

実水素ステーションでの AE 計測に大きな弊害となると危惧された 4 つの項目 (昇圧速度の AE 計測への影響、 300 大型容器での減衰の影響、 ガス流入ノイズの AE 計測への影響、 防爆 AE 計測装置) について、疑似的なラボ試験を実施し、本 AE 計測手法が適用できることを確認の上、基礎的なデータベースを整備した。しかしながら、実水素ステーションに AE 計測機器を持ち込んだ各種作業ができなかったため、具体的な計測手順、計測時間、運用方法について検討する必要がある。

4 . まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究開発では、安全・安心な水素ステーションの早期普及に寄与するため、複合容器の損傷評価手法として AE 法の適用を検討し、AE 法を用いた新しい保安検査の基礎技術を確立した。複合容器の主な劣化損傷形態はアルミライナーの疲労き裂進展であり、疲労き裂進展に伴う小さな AE 波の特徴的な周波数分布に着目し、複合容器の製造時に発生する局部応力集中などに起因する大振幅 AE と分別するために振幅比での評価方法を提唱した。複合容器の疲労試験時の振幅比は疲労劣化に伴って上昇する傾向を示し、振幅比を定期的に計測することによって保安検査に活用できる。また、応力振幅の小さい疲労試験の結果から、振幅比が小さく安定して推移すれば、疲労き裂が貫通して漏洩にいたるような事態は避けられ、この考え方は応力振幅の小さい部分充填を主な運用とする水素ステーションに適用できると考える。

本研究は、複合容器の供用中検査として AE 法の適用方法に関する基本技術を確立した段階である。今後、計測精度などの検証のため、種類が増えてくると予想される複合容器の運用下での AE データベース構築などを行い実用化を目指す。ここでは実用化の見通しについて示す。表 8 に示すように、水素ステーション数の設置ロードマップを鑑み（2015 年（普及開始期）：100 箇所、2020 年（普及拡大期）：140 箇所以上、2030 年（普及将来期）：600 箇所以上）、2030 年の実用化を目指す。

複合容器は有限寿命容器と考えられ、設計圧力サイクル数（使用可能回数）は試験圧力サイクル数を試験個数に対応する Kn 係数で除するサイクル数となる。従って、設計圧力サイクル数までは保安検査は不要であるという考え方もある。一方、本提案技術の実用化は複合容器の試験圧力サイクル数まで、安全を担保しつつ、経済的な長寿命化を実現することである。途中のマイルストーンとして 2020 年に設計圧力サイクル数までの AE 法の特徴を把握できるデータベースを構築する。データベースには振幅比の定量的データが含まなくてはならない。本研究開発で疲労試験に供した複合容器は 10 本程度であり、疲労試験開始時の振幅比は 0.2 前後、漏洩直前には 0.5 前後であったが、その値にはバラツキがあった。振幅比の値は複合容器の仕様にも依存すると考えられ、データベース構築が必要である。

今後のデータベース構築などの実用化については、Type 複合容器の長寿命化を望む水素ステーション事業者や容器メーカーと連携して実施することが好ましい。

表 8 実用化までのスケジュール

水素ステーション 設置ロードマップ			2015年	→(普及開始期)→ 100箇所			2020年	→(普及拡大期)→ 140箇所以上	2030年
	(H25)	(H26)	(H27)	(H28)	(H29)	⇒(普及将来期) 600箇所以上	
基本原理確認	→			↑ 研究開発終了					
基本技術確立			●	→					
データベース化						● データベース構築 現場検証作業 特性把握(中間)	○ データベース増強 信頼性確認・向上		■ 実用化

5 . 研究発表・特許等

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016年6月16日	特願 2016-119547	圧力タンクの検査方法、検査システム及び検査プログラム	千代田化工建設株式会社

参考文献

(文献1) : 岩岡ほか、「高圧水素貯蔵用 A6061-T6 合金の引張・疲労試験での AE 特性に関する研究」、日本機械学会論文集、Vol180, No.818, 2014

(文献2) : 坂本ほか、「圧縮残留応力下での疲労き裂進展挙動」、日本機械学会論文集、Vol175, No.759, 2009

(1-7)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」

委託先：(一社) 水素供給利用技術協会、(株)住化分析センター、(一財)日本自動車研究所

成果が得られた実施期間：平成25年度～平成29年度（住化分析センター：平成27年度～29年度）
 サブテーマ1（水素供給利用技術協会）：全水素ステーションの品質管理方法を規定する運用ガイドラインを平成26年9月に作成、その後2回の改定を行い、幅広く利用されている。高圧と低圧双方の試料採取可能な装置を開発し、170回以上のステーション試料採取に活用した。ISOの全13成分を分析可能な簡易分析装置の開発を進め、10成分の分析条件を確立し、残る3成分の分析条件確立に取り組み中。取り組みが完了すれば、分析コスト（従来の1/4）と分析時間（従来の1/20）達成見込み。
 サブテーマ2（住化分析センター）：固体捕集サンブラーを用いた、より小型で簡便なサンプリングキットを開発し、分析コストは従来の1/4、分析時間は従来の1/5を達成した。更に現地分析を可能にし、分析コストを削減した。現地分析装置の小型化や運用方法の改善などによる、更なる費用削減により分析コスト(従来の1/10)を達成見込み。
 サブテーマ3（日本自動車研究所）：本事業で得られたデータを基に水素品質規格の改定に係る国際審議をリードし、DIS投票に平成29年度内に移行予定。水素品質の確保に必要な品質管理規定も、新たに日本提案で策定し、発行段階に到達する見込み。

背景/研究内容・目的

水素品質ISO国際規格を遵守しつつ、安価・簡便な品質管理を目指す。そのために、水素品質管理ガイドライン、簡便な試料採取方法、水素ステーション現場で試料採取から分析までを行なう簡易分析装置や簡便なサンプリング方法が必要である。また、水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案と、品質管理新提案（ISO19880-8）の国際標準化を目指す。

研究目標

実施項目	目標
1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定 高圧及び低圧の水素ガス試料採取装置の検証 簡易分析装置の検証（分析コスト：現行200万円の1/4、分析時間：現行120hrの1/20） 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証ほか
2	固体捕集サンブラーと現地分析の組合せで分析費用を現行の1/10、分析時間を1/5に低減する。
3	水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案・国際標準化

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- 1 全ての水素STの品質管理方法を規定する水素品質管理ガイドラインを予定通りに策定し、改定した。高圧と低圧の双方の資料採取可能な装置を開発し、商用ステーションを含む170回以上のステーション試料採取に活用した。ISO全13成分を対象とする簡易分析装置として、TOFMSを選定し、10成分の分析条件を確立し、全硫黄化合物は確立の目的を立て、残る2成分の分析条件確立に取り組み中である。水素中の微粒子量を把握し、フィルタ目開きに関するガイドライン改定を実施した。
- 2 従来液体捕集を行っていた成分について固体捕集サンブラーが適用可能であることを確認し、より小型で簡便なサンプリングキットを開発した。また、現地分析を可能にし、分析費用と分析時間を従来より低減した。
- 3 ISO14687-2（水素燃料仕様）に改訂提案に加え、ISO19880-8（水素品質管理）の新規提案を日本が実施し標準化を推進した。ISO14687改訂に必要な有機ハイドライド、ホルムアルデヒド等の不純物の影響を調査した。

今後の課題

- 1 TOFMSによるISOの残3成分分析法の確立と、更なるコストダウン
適切なタイミングでのガイドラインの改定
- 2 分析装置や運用方法の改善などによる更なる低価格化を進める
- 3 水素品質の過剰規定の排除及び新たなプロセス・市場課題への対応のための不純物調査とその国際標準化活動

実用化の見通し

- 1 ISO全13成分分析可能なTOFMSを用いた従来費用よりも安価な受託分析事業を目指す。
- 2 ST運営事業者にとって従来より負担の少ない安価・簡便な受託分析事業を行う。
- 3 適正な規格を策定することにより、安価な水素供給システムが確立され、FCVの普及拡大に貢献する。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定 高圧及び低圧の水素ガス試料採取装置の検証 簡易分析装置の検証	
2	供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証ほか	
3	分析コストと分析時間の低減	○
	水素燃料仕様の国際標準化および水素中不純物の燃料電池への影響評価	
特許出願	論文発表	外部発表
8	3	7
		受賞等
		0

課題番号： I - 7

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発

一般社団法人 水素供給利用技術協会 (HySUT)
株式会社住化分析センター
一般財団法人 日本自動車研究所 (JARI)

1. 研究開発概要

水素供給インフラの整備に当たって、高純度水素燃料の適正かつ安価・簡便な品質管理を実施し、トラブルなく安定した品質の水素燃料を FCV に供給することが必要である。水素燃料の品質標準として ISO 国際規格(ISO14687-2: Hydrogen fuel - Product specification - Part2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles)が 2012 年 12 月に発行しており、日本の水素ステーションはこの ISO 国際規格を遵守して水素供給を行なっていくこととなる。

しかしながら、ISO 国際規格においては水素純度の規定や不純物濃度規定が定められているのみであり、水素品質測定の詳細、頻度等の品質管理に関する規定が無い。

また、水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)、燃料電池システム等実証研究(JHFC2)および地域水素供給インフラ技術・実証(JHFC3)の実証研究において水素燃料の品質分析は実施されてきたが、実験的であり、分析の専門知識が必要で、かつ分析コストが高い。2015 年の FCV および水素供給インフラの普及期においては、JHFC1~3 での水素分析に比較して、より安価・簡便な品質管理方法の研究開発が必要である。

更に、現在の ISO 国際規格は、黎明期の FCV および水素供給インフラを前提に作成されている。ISO 国際規格は定期的改訂が行われており、2015 年からの FCV および水素供給インフラの普及初期に合致した新たな国際規格の策定が必要である。

本研究開発は、水素供給利用技術協会(以下、HySUT と記す)及びその研究分室(岩谷産業)と再委託先(東京大学)、住化分析センター(以下、SCAS と記す)及びその再委託先(日本サーモ、日本カノマックス)、日本自動車研究所(以下、JARI と記す)の 3 機関が共同し、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の確立と国際標準化について進めるものである。

HySUT 及びその研究分室、再委託先は、サブテーマ 1: 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発を進める。SCAS 及びその再委託先は、サブテーマ 2: 更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発を進める。JARI は、サブテーマ 3: 水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化を進める。

以下に、サブテーマ毎の各テーマを記す(カッコ内は担当社)。

サブテーマ 1: 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

(1)水素品質管理の運用ガイドラインの検討 (HySUT)

(2)供給水素ガス試料採取容器・方法の開発 (HySUT、岩谷産業)

(3)水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発) (HySUT、岩谷産業)

- (4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討 (HySUT、東京大)
- (5) 水素ステーションでの検証 (HySUT、岩谷産業)
- (6) 新規・画期的な分析装置の探索 (HySUT、岩谷産業)
- (7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 (HySUT、岩谷産業)

サブテーマ 2：更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発

- (1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発 (SCAS)
- (2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発 (SCAS、日本サーモ、日本カノマックス)

サブテーマ 3：水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化

- (1) 水素燃料仕様の国際標準化 (JARI)
- (2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価 (JARI)

図 1 に本事業の研究体制を示す。

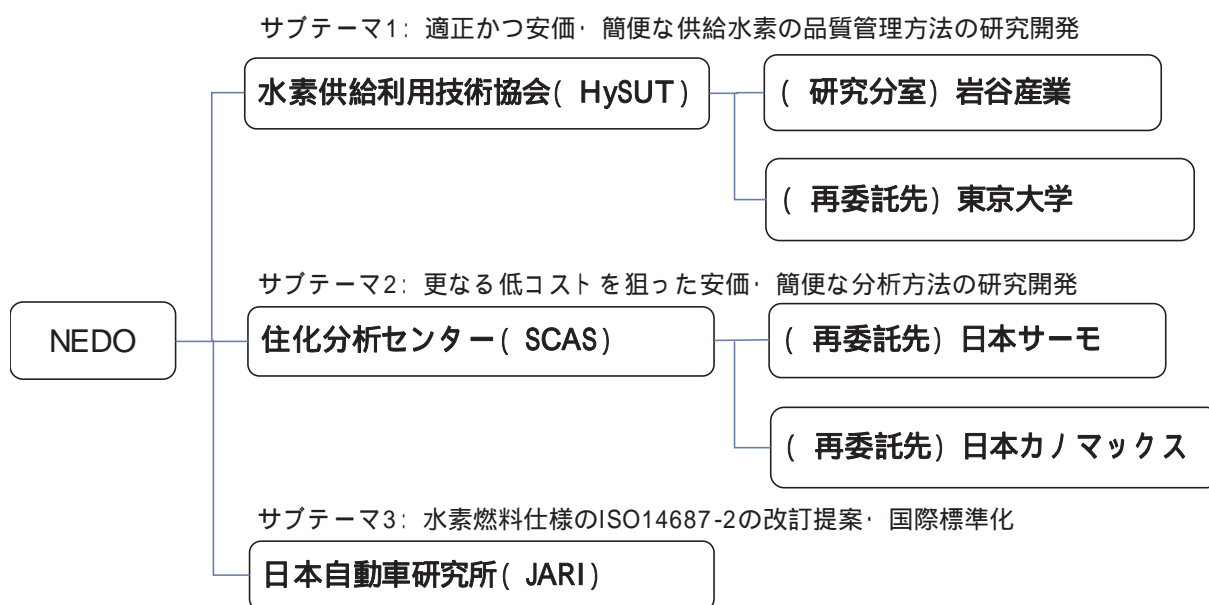


図 1 研究体制 (平成 28～29 年度)

委託期間： サブテーマ 1 及び 3：平成 25 年 5 月 1 日から平成 30 年 2 月 28 日まで
 サブテーマ 2：平成 27 年 9 月 3 日から平成 30 年 2 月 28 日まで

2. 研究開発目標

サブテーマ 1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

水素分析コストは現行 200 万円/ST を 1/4 以下とし、水素分析時間は現行 120 時間/ST を 1/20 とすることを目標とする。

- (1) 水素品質管理の運用ガイドラインの検討

平成 25 年度で準備し、平成 26 年度に策定した水素品質管理ガイドライン案 (GL 案) を見直し、業

界団体等への提言を行なう。

(2) 供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

高圧部分からの試料採取については、METI からの法令照会結果を得て平成 26 年度に試料採取装置を製作して試験充填が可能となった。適正で簡便・安価な方法の確立のために、可能な限りの多くの水素ステーションにおいてその有効性を確認する。

低圧部分からの試料採取については、少量の試料を正確に分析するための容器改善を平成 26 年度に実施したので、(3)の簡易分析装置と併せて水素ステーションでの検証を平成 26～29 年度に実施し、その有効性を確認する。

(3) 水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)

平成 26 年度に 3 方式から選定した飛行時間型質量分析装置(TOFMS)を平成 27 年度に改良開発し、低圧試料採取装置と組み合わせた水素ステーションでの検証を実施する。

(4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

水素品質規格 ISO14687-2 に規定されている微粒子については、水素ステーション設置のフィルタでその管理を実施する。平成 25 年度にフィルタの実態調査を行い、供給水素中の微粒子重量が十分に ISO 水素品質規格(1mg/kg)を満足していることを確認した。その後、ISO 国際規格にフィルタ捕捉効率規定またはフィルタ目開き規定が盛り込まれる動きとなったため、当初予定されていなかったフィルタ捕捉効率試験を実施し、品質ガイドライン案に反映する。

(5) 水素ステーションでの検証

上記(2),(3),(4)の開発結果の確認のために、水素ステーションにおける検証を実施する。

(6) 新規・画期的な分析装置の探索

国内外の新規分析装置について調査し、(3)簡易分析装置の開発にフィードバックする。

(7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

水素ステーションでの検証結果を蓄積し、水素燃料仕様 ISO14687-2 の改訂に資する。

サブテーマ 2 : 更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発

(1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発

水素品質は担保しつつ、簡便で安価な水素品質管理分析を可能とするため、従来は液体捕集を行っていた成分について、固体捕集サンプラーを適用し、より小型で取扱いやすいサンプリングキットを開発する。これにより、これまでの分析費用を 1/4 以下、分析時間 1/5 以下を達成する。

(2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発

(1)で製作したサンプリングキットにセンサー等を利用して現地分析を可能にし、更なる分析費用と分析時間の短縮を目指し、分析費用 1/10 を達成する。

サブテーマ 3 : 水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化

(1) 水素燃料仕様の国際標準化

当該国際規格である ISO14687-2(FCV 燃料仕様)について、日本が議長国として国際審議を進捗し、平成 24 年に第 1 版の発行に至った。本事業でもこれまでの進め方を継承し、NEDO の事業間連携や産業界との連携さらには国際連携を視野に入れ、効率的かつ国内の産業育成にも有効な標準化活動を進める。

具体的には、ISO14687-2 改訂に向けて、日本がコンピナ(議長)を務める ISO/TC197(水素技術)

WG12(水素燃料仕様) および後継のWG27の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きいSAE(米国自動車技術会)での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。また、円滑な国際標準化の進捗のため、米国、仏国などと、当該標準化に係るワークショップ等を開催し、問題点、課題など改訂提案前に情報共有し、改訂に向けたコンセンサスを形成する。なお、国際標準化活動は、FCCJと密接に連携し、共同提案者であるHySUTとともに、産学官連携による国内対応委員会を運営しながら、事業を着実に進める。特に、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、サブテーマ1で並行して検討・策定される水素品質管理手法との整合を取る必要がある。また、当該国際規格に関連して水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)さらにはそれより独立した水素品質管理規格ISO19880-8(水素品質管理:WG28)等について、その国際審議をリードし、国際規格間の整合を期す。

一方、平成26年度までは、標準化活動に資するデータ取得を進めるため、その技術審議は別途受託している「NEDO固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業/基盤技術開発/セル評価解析の共通基盤技術」で実施し、当該テーマと密接な連携を取りつつ進捗を図る。また、ISO/TC197(水素技術)の国際標準化活動については、ISO/TC197の国内審議団体である一般財団法人エンジニアリング協会(ENAA)と連携し推進する(平成27年まで)。これらの連携に係る体系は図2のようである。

(2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価(平成27年度より)

水素ステーションの普及拡大を促進するためには、水素供給コスト低減が重要課題であり、水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術が必要となる。その中で、有機ハイドライドを利用した水素供給技術は、有機溶媒であるトルエンと水素を反応させ、メチルシクロヘキサンとして貯蔵・輸送し、ステーションにおいて脱水素反応、水素精製処理により製品水素を製造するプロセスであり、次のような理由で有望視されている。すなわち、従来の圧縮水素ガスと比べて約2.5倍の量の輸送が可能となり、また、常温・常圧で安定な液体であるという特性から既存の自動車燃料供給設備(タンクローリー等)の有効利用も可能となる。そのため、経済産業省/文部科学省連携プロジェクトにおいて、有機ハイドライドを水素キャリアとして利用する新規水素供給技術の開発が、2020年東京オリンピック・パラリンピックにおける実証を目標に進められている。

有機ハイドライドを利用して水素が供給される場合、トルエン等の不純物が混入することが予見される。トルエン等の不純物は、現行の燃料品質規格においては全炭化水素として規定はされるものの、規格策定時には想定しなかった成分であるため、現行の燃料品質規格を満たす水素燃料であっても、FCVに性能低下の問題が生じる懸念がある。

そのため、水素キャリア(有機ハイドライド)を利用する新規水素供給技術に由来する不純物によってFCVの性能に問題を生じないか、すなわち、現行の燃料品質の規格値が燃料品質目標として十分な規定であるか、2020年の実証に向けて平成27年度より調査を開始する。発電試験の実施にあたっては「基本性能測定用電気化学測定装置」を導入し、有機ハイドライド由来の不純物が燃料電池の触媒表面積に及ぼす影響の調査も行う。

なお、これらの技術・解析に係るデータ取得を進めるにあたり、試験計画の妥当性の検討や、取得される試験データの解析・審議のために、平成27年度より外部有識者、関連団体等により構成される燃料性状WGを技術解析活動として新規に組織する。また、ISO/TC197(水素技術)の国際標準化活動については、引き続きISO/TC197の国内審議団体である一般財団法人エンジニアリング

(ENAA)協会と連携し推進する。これらの連携に係る平成27年度の体制は図3のようである。

また、燃料電池自動車用水素品質規格 (ISO14687-2) の改訂作業 (ISO14687) が平成27年度から開始され、品質規格で定められた不純物の許容濃度に関する見直しが進められている。そのうち、ホルムアルデヒド (HCHO)、ギ酸 (HCOOH) に関する一部緩和が欧州側から提案されている。しかし、その根拠となるデータは、現状のFCVのFCV技術 (出力、作動温度、触媒量等) を反映していない。FCVの常用温度である60°C付近でのデータはなく、これらのデータがない状況で欧州との議論に臨むことは現状のFCVにとって、不利益となる可能性が高い。そのため、HCHO、HCOOHが燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、ISO14687-2改訂 (ISO14687) の議論に資する。

なお、平成28年度より、ISO/TC197の国内審議団体は(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) に変更され、それに伴い、以後標準化活動についてはHySUTと連携し推進する。これらの連携に係る平成28年度以降の体制は図4のようである。

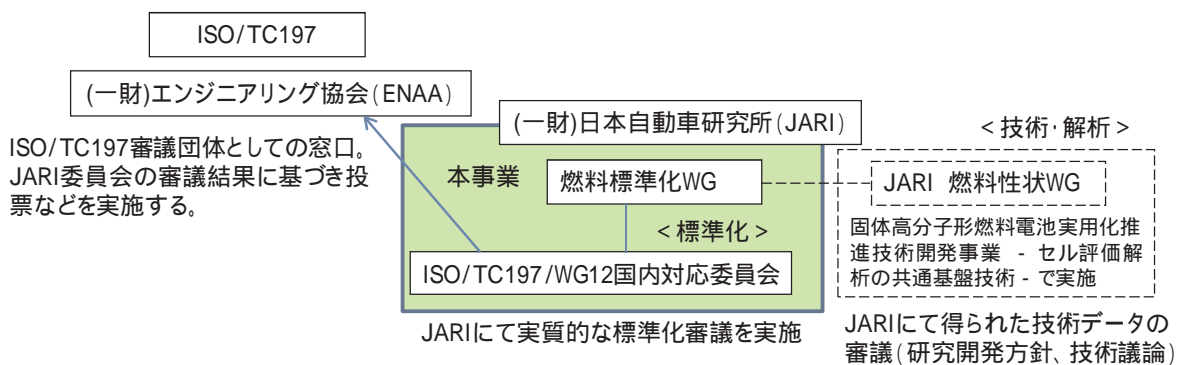


図 2 平成 26 年度までの水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

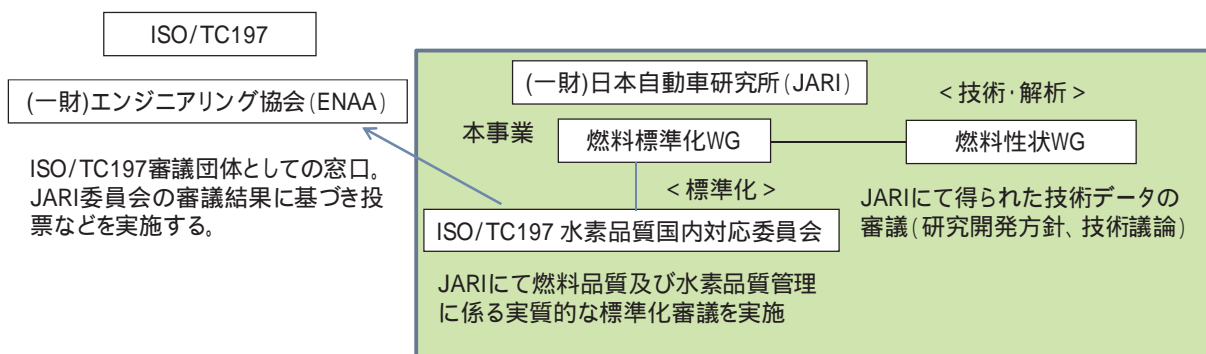


図 3 平成 27 年度の水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

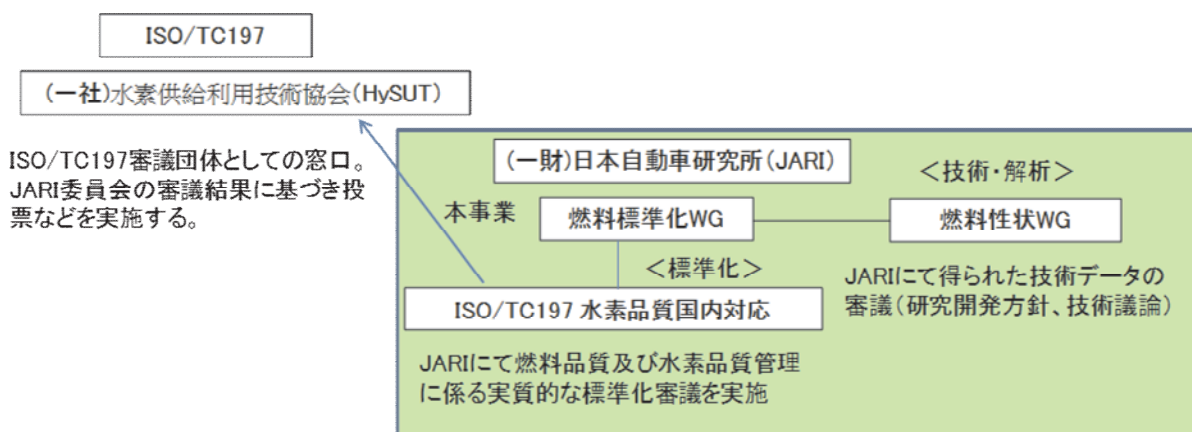


図 4 平成 28 年度以降の水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

3.1.1 サブテーマ1の研究開発成果、達成度

(1) 水素品質管理の運用ガイドラインの検討

水素燃料仕様 ISO 国際規格 (ISO14687-2) は水素品質測定の詳細規定や測定頻度規定が無いため、適切な水素品質管理の実施のためには、これらを規定した水素品質管理ガイドラインが必要である。ガイドライン案の策定に当たり、水素の原料や製造法毎に混入可能性のある不純物を検討し、管理すべき不純物の項目と品質管理頻度を定めた。

平成 25 年度にガソリンや天然ガス等に関する類似ガイドラインの調査を行い、素案を作成し、その素案をブラッシュアップして平成 26 年度にガイドライン案を作成した。作成にあたって、燃料標準化 WG、FCCJ 水素品質 TF にも諮り、関係者の合意形成を図った。このガイドラインは予定通り、平成 26 年 9 月に完成し、FCCJ に提出した。FCCJ での審議を経て、平成 26 年 12 月に業界自主ガイドラインとして正式制定した。

その後、平成 27 年度及び 28 年度に、品質管理対象不純物の明確化や品質管理方法の簡素化を盛り込み、品質ガイドライン案を改定した。

水素ステーションの品質管理方策として初めて作成されたガイドライン案であり、正式制定されたガイドラインは、既に国内の全ての水素ステーションにて広く用いられている。

(2) 供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

簡便かつ安価な試料採取容器・方法の確立を目的として、高圧および低圧での試料採取の問題点を抽出してその解決方法を検討し、水素性状を把握できる低圧試料採取箇所の見極めを行った。高圧試料採取については、7 条 3 ステーションで試料採取することを高圧ガス保安法上で可能とするため、経済産業省から検査充填の法令照会の結果を得た。この結果に基づいた高圧試料採取装置を製作し、移動式製造設備として監督官庁へ申請し、許可を得た。高圧試料採取装置のイメージ図および実際に水素ステーションにて運用する際の配置図をそれぞれ図 5,6 に示す。この高圧試料採取装置は高圧ガス保安法に則った日本初の検査充填装置であり、開発の意義は大きい。

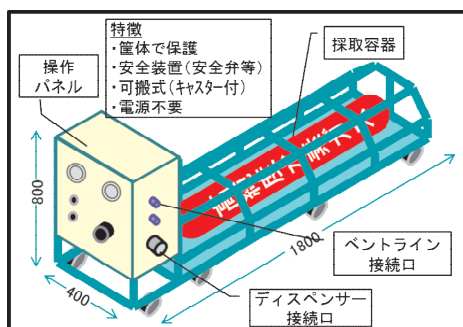


図5 高圧試料採取装置概要

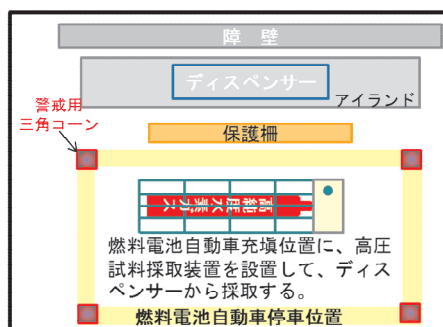


図6 高圧試料採取装置 配置図

低圧試料採取装置については、フィールド試験を実施した有明および大阪水素ステーションでの結果をもとに装置を製作した。装置には背圧弁を設置しており、試料の圧力を一定にして操作できるシステムとなっているが、急激な圧力上昇の際は安全弁で圧力を開放できるようにしている。また試料を容器へ導入するラインと水分計へ導入するラインが備わっている。

試料採取容器については、容器壁面への吸着がなく、安定して試料が貯蔵できる容器表面を開発することを目的に、ヒューズドシリカコーティング処理 (Si 処理) および高濃度オゾン酸化処理の評価を実施した。その結果 Si 処理の結果が最も優れており、Si 処理を採用した。

本テーマは計画通り進捗しており、事業終了時には目標達成の見込みである。

(3)水素ステーション現場での分析手法の開発 (簡易分析装置の開発)

簡易分析装置として飛行時間型質量分析計 (TOFMS : Time-of-Flight Mass Spectrometer) 、水素分離型四重極質量分析計 (HEMS : Hydrogen Elimination Mass Spectrometer) および小型ガスクロマトグラフの3方式の評価を行い、性能を比較した。評価項目としては、ISO成分の分析可否を判断すべく、濃度既知の各成分を含む標準ガスを希釈装置にて2および3水準の濃度に調整して装置に導き、分析値の直線性を評価した。また可搬性や操作性、装置の完成度についても評価項目とした。結果を表1に示す。

表1 各種分析装置の評価結果(平成26年度)

主装置名		TOFMS	HEMS	小型 GC
ISO成分の分析可否	水分	-	-	×
	全炭化水素			
	酸素			×
	窒素			
	二酸化炭素			
	一酸化炭素			
	硫化水素			×
評価項目	アンモニア			×
	精度		×	
	再現性		×	×
	直線性			
	立上時間			×
	可搬性			
	操作性			
完成度				

表1より、TOFMSは水分を除くすべての成分の測定が可能であり、立上時間や可搬性の面からも

優れており、他の分析装置に比べ優位性が認められた。そのため、簡易分析装置は TOFMS に限定して、ISO 項目の分析法の確立を進めた。その結果を表 2 に示す。ISO 項目（全 13 成分）については、ほぼ分析条件を確立しており、全炭化水素、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物については、主要成分の分析条件は確立している。今後は、全炭化水素、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物の分析手法の確立を進めるとともに、コスト、時間も含めて、水素ステーション現場での実証を進め、本年度中に装置完成度を向上させる。

表 2 TOFMS の分析可否状況

	ISO 規格値	分析可否	備考
水分	5	-	水分計により分析
全炭化水素	2		メタンは
酸素	5		
ヘリウム	300		
窒素	100		
アルゴン			
二酸化炭素	2		
一酸化炭素	0.2		
全硫黄化合物	0.004		硫化水素は
ホルムアルデヒド	0.01		
ギ酸	0.2		
アンモニア	0.1		
全ハロゲン化合物	0.05		塩化水素は

(4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

ISO 国際規格は水素中の微粒子の重量濃度 1 mg/kg 以下が規定されているが、過去の技術・社会実証で複数ステーションでの測定結果は 1~2 桁下回った結果を得ている。微粒子については発生要因、発生場所を踏まえた管理が必要であり、現状では発生は定常的でなく突発的と考えられるため定期的・ルーチンの測定での把握は困難であり、ステーション設備に設置のフィルタによる捕捉が現実的と考える。このため、水素ステーションの設置フィルタ仕様やフィルタ捕捉微粒子について検討し、適切なフィルタ管理方策を検討した。

平成 25~26 年度は、水素ステーションの各機器設置フィルタの点検結果を調査した。平成 27 年度は、実証水素ステーション 10 箇所で、充填水素中の微粒子重量の測定を行い、ISO 規格値を満たしていることを確認した。

更に、水素品質管理に関する ISO 国際規格 (ISO19880-1) に微粒子粒径と捕捉率が規定される方向となったため、平成 27 年度以降、当初予定していなかったフィルタ捕捉効率測定試験を実施し、フィルタ目開きと捕捉効率の関係を把握した。この結果を踏まえ品質ガイドライン案にフィルタ目開き規定 (5 μ m) を追記・改定した。

(5) 水素ステーションでの検証

水素ステーションの設備仕様や高圧ガス保安法上での容器充填等の実施の可否について検討し、適切な水素ステーションにおいて各々の有用性を検証している。実証水素ステーション 10 箇所にて試料採取を行い、品質確認試験を実施した。結果を表 3 に示す。

表3 実証ステーションでの高圧試料採取装置で採取した水素分析結果(平成26年度)

ステーション名	海老名	千住	北九州	神の倉	エコフルタウン	大阪	成田	羽田	有明	霞が関	ISO規格値	分析機器
水分	1.4	1.2	1.2	<0.5	<5	0.7	1.4	0.5	<0.5	3.8	5	水分計
メタン	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
非メタン	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		
酸素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5	酸素計
ヘリウム	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	300	GC-TCD
窒素	2.0	0.5	<0.5	<0.5	1.0	<0.5	<0.5	2.2	<0.5	38	100	GC-HPID
アルゴン	<0.2	2.4	0.5	<0.2	0.3	0.4	<0.2	1.3	<0.2	2.9		GC-MS
二酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
一酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	GC-FID
SO ₂ ²⁻	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	IC
ホルムアルデヒド	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	HPLC
ギ酸	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	IC
アンモニア	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	IC
F ⁻ +Cl ⁻ +Br ⁻	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	IC

ステーションによっては、不純物が検出されたが、それらを含めてすべてのステーションにおける分析値はISO規格値を満足し、高圧試料採取装置の有効性を確認した。現在、高圧試料採取装置は、延べ170ヶ所以上の使用実績があり、耐久性においても確認している(図7参照)。

次に、TOFMSのフィールド評価試験として、平成27年度から実証、商用水素ステーションでの試験を開始した。表4から、ほとんどの成分が定量下限値未満であったが、ISO規格値以下ではあるが窒素成分のみが検出されていた。引き続き評価を実施し、TOFMSの有効性を確認する。

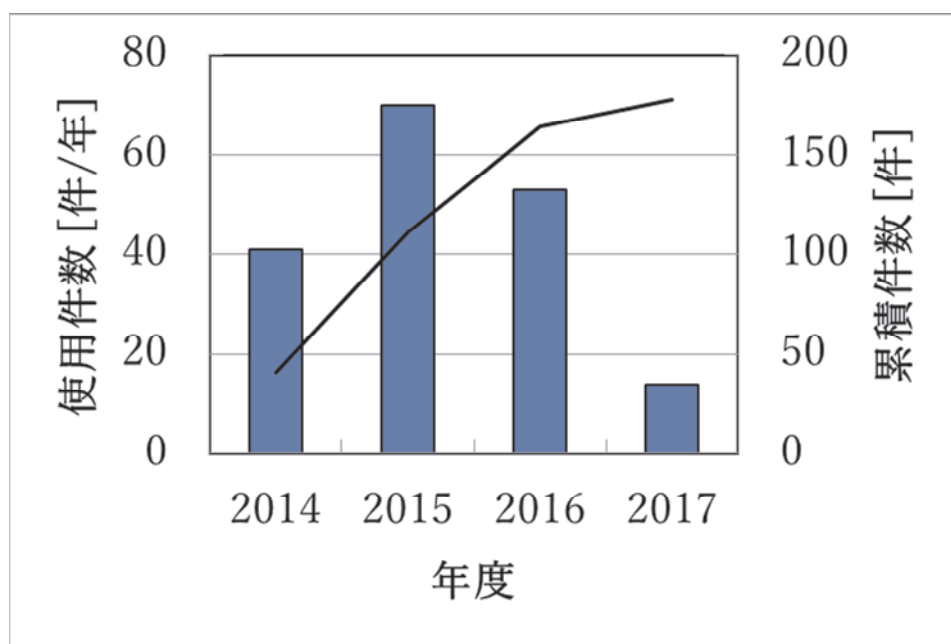


図7 試料採取装置の使用状況

表 4 商用水素ステーションでの簡易分析装置のフィールド評価(平成 28 年度)

ステーション名	商用 A		商用 B		ISO 規格値	従来法の分析機器
	従来	TOFMS	従来	TOFMS		
水分	<0.5	<2	<0.5	<2	5	水分計
メタン	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
非メタン	<0.2	-	<0.2	-		
酸素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5	酸素計
ヘリウム	<20	<300	<20	-	300	GC-TCD
窒素	<3	0.7	<3	1.6	100	GC-TCD
アルゴン	<3	<3	<3	<3		
二酸化炭素	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2	GC-FID
一酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	GC-FID
H ₂ S	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.004	IC
ホルムアルデヒド	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	HPLC
ギ酸	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	0.2	IC
アンモニア	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	0.1	IC
F ⁻ +Cl ⁻ +Br ⁻	<0.05	-	<0.05	-	0.05	IC

本テーマは計画通り進捗しており、平成 30 年 2 月には目標達成の見込みである。

(6)新規・画期的な分析装置の探索

上述の(3)項、水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)テーマで評価した HEMS を新規・画期的な分析装置と位置付けて評価を行った。これまでのところ、検出器の変更など、装置の改良を重ね、アンモニアと硫黄成分以外は測定できる条件を確立した。今後はそれら成分の測定とデータの再現性や分析操作性を考慮した装置完成度の向上が課題である。

(7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

170 回以上、水素ステーションで水素品質検証を実施した。その結果を水素燃料仕様 ISO14687-2 の改定に活用した。

3.1.2 サブテーマ 2 の研究開発成果、達成度

(1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発(Step-1)

従来は液体捕集を行っていた成分について、固体捕集サンプラーを適用することにより、サンプリングキットを小型化した。このキットにより、ISO 規定成分の内、全ハロゲン、ギ酸、アンモニア、ホルムアルデヒドの 4 成分を固体捕集サンプラーで、その他の 6 成分は低圧シリンダー捕集、水分、酸素は現地測定を可能とした。サンプリングキットの機能検証のため、商用水素ステーション 3 箇所 4 回の実証試験を実施し、従来法及び、サブテーマ 1 法との比較の結果、同等の結果が得られ、水素品質評価に適用できることを確認した。また、サブテーマ 1 で開発した低圧試料採取装置を利用することで、水素ステーションでの試料ガスの採取と試料ガスの濃縮の作業を 4 時間以内に行うことが可能となった。更に、採取ガス及び固体捕集サンプラーを分析ラボに輸送後、分析時間を加えても 24 時間以内で分析結果が得られることを確認し、分析費用 1/4 以下、分析時間 1/5 以下の目標を達成した。

固体捕集サンプラーの適用により、従来の方法と比較し機材の輸送が簡便になり、小型化も図れることから、更なる安価・簡便な品質管理分析が見込めることを確認した。

表5 固体捕集サンプリング方式キットの商用STにおける実証実験結果

実施場所	商用ST①	商用ST②	商用ST①②回目	商用ST③
目的	・Step-1法キットの動作確認 ・Step-2用ポータブルGCの動作確認	・Step-1法キットとSCAS従来法の比較	・サブテーマ1開発法とStep-1法キットの比較	・Step-1法キットとSCAS従来法の比較
結果	○	○	○	○
サブテーマ1比較結果	—	—	○	—
SCAS従来法比較結果	—	○	—	○

(2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発

(1)で低圧シリンダー捕集し、ラボで分析する6成分について、成分別に適切なセンサーまたはポータブル型分析装置を組み込んだ分析キットを作成し、水素ステーションでの現場分析を可能とした。装置の立上げ時間等を考慮しても分析時間1/5以下の目標を達成することを確認した。現場分析装置は現時点では複数かつ大型であるため輸送などの課題があるが、改善を重ねることで更なるコストを削減する。

表6 分析時間の検証

単位:時間

方法	ST内での作業時間 (準備、サンプリング、片付け)	輸送時間	ラボ作業時間 (分析・報告)	合計
従来法	高圧ボンベ採取	高圧ガス輸送	ラボ分析	120
低圧サンプリング(2-1)	≤4	≤12	≤8	≤24
低圧サンプリング+現場分析(2-2)	6	≤12	≤6	≤24

表7 分析費用の検証

方法	コスト削減		
従来法	2,000千円	輸送・サンプリング	ラボ分析
低圧サンプリング(2-1)	75%削減	輸送・サンプリング	ラボ分析
低圧サンプリング+現場分析(2-2)	約80%削減	輸送・分析・サンプリング	ラボ分析
事業化後	約90%削減	輸送・分析・サンプリング	ラボ分析

3.1.3 サブテーマ3の研究開発成果、達成度

(1)水素燃料仕様の国際標準化の成果

a. 概要

標準化事業の推進のため、燃料標準化WGを設け、平成26年度までは本事業以外のNEDO事業「NEDO 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業 / 基盤技術開発 / セル評価解析の共通基盤技術」等で得られた成果、さらに平成27年度以降は本事業で得られた技術検討の成果を活用し、国際規格、国際標準化に関する技術検討を行った。

ISO/TC197(水素技術)の中で自動車に関わるWG12(水素燃料仕様)について、FCV導入期の水素燃料仕様であるISO14687-2(2012年)発行後、FCV普及期を想定した水素燃料品質規格の改訂に向けて、標準化活動を積極的に実施した。

さらに、FCCJ及びインフラ業界とも十分な連携を取りながら実証試験の結果を反映しISO14687-2

(FCV用水素燃料仕様)改訂版の規格案を検討し、特にCO、炭化水素系及びホルムアルデヒド等の成分について、国内のインフラと自動車業界との合意の上、規格値を設定するため、審議を実施した。

その際、特に標準化に必要なデータ等の情報をフィードバックし、当該事業での効率的データ取得に資することが出来た。また、米国DOE、独国NOW、日本NEDOで開催された水素インフラ・輸送のワークショップの燃料品質に係るTFに参加し、欧米の主要な関係者と、品質規格と品質管理の考え方について共通認識を得て、改訂に向けた検討課題をすり合わせるとともに、共通認識の醸成を実施することができた。

さらには、日米欧自動車業界間で、ISOの議論に多大な影響を及ぼすSAE(米国自動車技術会)の当該会議に参画し、SAE J2719(水素燃料仕様)に関連し、欧米の自動車メーカーならびに燃料供給者による水素燃料仕様議論を把握し、ISO141687-2改訂議論と乖離しないよう整合した改訂版の作業を提案する点について合意を得た。

一方、当該国際規格ISO14687-2に関連して水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)等についてその国際審議に参加し、国際規格間の整合を期した。特に欧州の認証関係との連携を強め、燃料仕様の規格値(ISO14687-2)の重要性の理解を高め、それに適合する燃料の供給のため品質管理手法について取りまとめた。その結果、水素品質管理について別途国際規格を策定することになり、ISO19880-8として新規提案を日本から行い、承認を受け、策定に向けて審議を進めた。

b. 成果の具体的内容

平成25年度はNEDO他事業で実施したJARI燃料性状WGの成果及びFCCJ、HySUTからのインフラ側からの情報を元に、改訂版に向けた検討課題を整理し、具体的検討に着手した。その結果を踏まえ、ISO/TC197総会に参加し、ISO改訂に向けた各国の意識合わせを実施した。その際、特に欧州での燃料仕様に対する考え方について、これまでのISOにおける審議の理解がないまま進められる懸念があったため、欧州産業ガス協会(EIGA)を中心に意見交換を実施した。

また、欧米のFCV用水素品質の実情を把握し、改訂版の策定に資するため、燃料使用者である自動車会社の委員とともに現地(北米)調査を実施した。

平成26年度は前年度の成果をもとに、抽出した課題について、技術検討をFCCJ等と連携して、粒子の制御のためのステーション規格でのフィルター規定の設定、オイル・その他ISO14687-2における未検討成分などの検討を進めた。特に、フィルター規定については、別途実施されるフィルターの性能評価等を通じて適切な規定を定めることとした。また、有機ハイドライド等、水素供給システムに関連して検討すべき成分も提案され、その他の成分と併せて改訂に向けた検討の重要性が認識された。さらに、現状のISO14687-2の内容を、COを中心に引き続き精査し、改訂が必要な箇所についての確認を実施した。

また、米国DOE、独国NOW、日本NEDOで開催された水素インフラ・輸送のワークショップの燃料品質に係るTFに参加し、欧米の主要な関係者と、品質規格と品質管理の考え方について共通認識を得て、改訂に向けた検討課題のすり合わせるとともに、共通認識の醸成を実施することができた。

さらに、水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)等についてその国際審議(ISO/TC197/WG24:水素ステーション)に参加し、その中の水素品質管理の規定において、水素品質規格との整合を明確にすることができた。特に、平成27年2月に開催のWG24国際会議に出席し、水素品質管理に係る内容について原案を取り纏め、WG24における概合意を得た。

平成27年度は前年度の結果に基づきISO14687-2改訂版策定に必要な改訂内容を、技術検討を継続しながら取りまとめた。ISO/TC197からの指示もあり、水素燃料規格ISO14687-1, -2, -3の3部作を1つの文書

に統合することも含めて、平成27年7月に日本より新規提案し、承認され、同年10月にISO14687改訂のためWG27（共同議長：高木東京都市大学名誉教授、田島山梨大学客員教授）が発足した。さらに、統合版のISO/WD14687原案を策定し、平成28年2月開催のWG27福岡会議に提示した。

また、ISO19880-1における水素燃料品質管理規定について、その原案を参加各国と協調し作成した。本文書は、ISO/TS19880-1として発行された。さらに、ISO19880-1から水素燃料品質管理規定を分離し、平成27年7月、新たに日本よりISO19880-8として国際規格の新規提案を行い、承認され、同年10月にWG28（議長：JARI富岡）が発足した。WG28会議は平成27年度中に2回開催し、本規格の策定手順について合意した。

平成28年度は、まず水素燃料規格については、2回（平成28年6月・独国ミュンヘン、同年12月・オランダ・アムステルダム）のWG27国際会議を経て、平成29年3月にCD投票を開始した。特に、平成28年12月のWG27会議において、主にEIGAより提案のあった修正項目の中で、希ガス、メタン等の改訂提案については合意し、主にホルムアルデヒド系の成分について、追加検討とした上で、CD投票に付した。水素品質管理については、平成28年5月にCD投票が承認されたが、100件余のコメントが提出された。WG28国際会議とWebEx会議、メール審議などを駆使し、最終的に平成29年2月までにDIS案の最終合意に至った。

平成29年度は、まず水素燃料規格については、平成29年6月開催のWG27韓国ソウル会議において、CD投票時の120件余りのコメントについて審議が終了した。ホルムアルデヒド系の成分について、日本からのデータの検討をもって最終決定をする条件で、暫定合意し、改訂案を策定、CD2投票が、平成29年9月から開始されている。これらの最終的な合意は、平成29年11月開催のWG27米国加州会議でなされる予定で、平成29年度内のDIS移行が確実とされている。

水素品質管理については、平成29年6月よりDIS投票が開始され、同年9月に終了した。その結果、反対無しにて承認された。技術的コメントが有るため、平成29年11月開催のWG27米国加州会議でコメント審議を実施し、年度中にFDIS投票が実施される見込みである。

以上から、当初目標どおりの成果が得られ、目標を十分に達成する見込みである。

(2)水素中不純物の燃料電池への影響評価

水素の大量・長距離輸送を可能とする有望なプロセスとして、トルエン/メチルシクロヘキサンの水素化/脱水素化反応を利用した有機ハイドライドによる水素供給技術が開発されている。このプロセスでは製品水素中にトルエン等の炭化水素が不純物として混入することが予見される。現行の燃料電池自動車（FCV）用水素品質規格（ISO14687-2:2012）において全炭化水素は2 ppm以下（C1換算）と規定されているが、これらの不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響は調査されていない。そこで有機ハイドライド由来の不純物による影響を調査し、現状のISO14687-2:2012で定められた濃度が問題ないかを明らかにした。FCVのシステムを考慮した水素循環系を有する単セル発電装置において、ISO14687-2:2012の許容濃度（トルエンとして0.3 ppm：C7）に安全率（10倍）を想定した3 ppmのトルエンを水素中に添加して電圧への影響を調査したときのセル電圧を図8に示す。セル温度は60°C、アノード/カソード露点は電圧低下が見られた60/25°Cとし、パーシ率は1%とした。電流密度を1~2 A cm²とした条件でも、トルエンを添加したときの電圧は低下せず、高純度水素の場合と同等であった。このように水素循環系での試験結果から、トルエンなどの有機ハイドライド由来不純物の影響は、現行の水素品質規格で定められた許容濃度では問題とならない可能性が高いことを示すことができた（ ）

ISO14687-2:2012の改訂の議論にあたり、欧州からホルムアルデヒド(HCHO)の許容濃度を現行の0.01 ppmから0.2 ppmに緩和することが提案されている。しかし、その根拠となるデータは、現状のFCVの燃料電池技術を反映しておらず、FCVで使用頻度が高いと考えられる60°C付近でのデータは示されていない。そこで、FCVを想定した膜-電極接合体(MEA)の仕様および運転条件で、HCHOが燃料電池の発電性能に及ぼす影響を明らかにした。電圧への影響有無を判断するため、HCHO濃度は緩和の要望に対して4倍高い0.8 ppmとして、JARI標準セルを使用して発電試験を実施した。HCHOを添加した水素を使用したときのセル電圧の電流密度依存性を図9に示す。実際のFCVを想定したMEA仕様および運転条件では、HCHO濃度が0.8 ppmで電圧が低下することが明らかになった。なおセル温度や湿度を変えた場合であっても、顕著な運転条件依存性が見られないこともわかった。

このように、ISO14687-2:2012の改訂スケジュールに合わせて緊急に試験を進めた結果、HCHOは燃料電池の電圧を低下させることが明らかとなった。この結果を、ISO14687を審議する平成29年6月開催のWG27韓国ソウル会議で報告するとともに、HCHO許容濃度の改訂のためには、更にデータを取得した上で許容濃度を議論する必要があるとの認識を得た()。

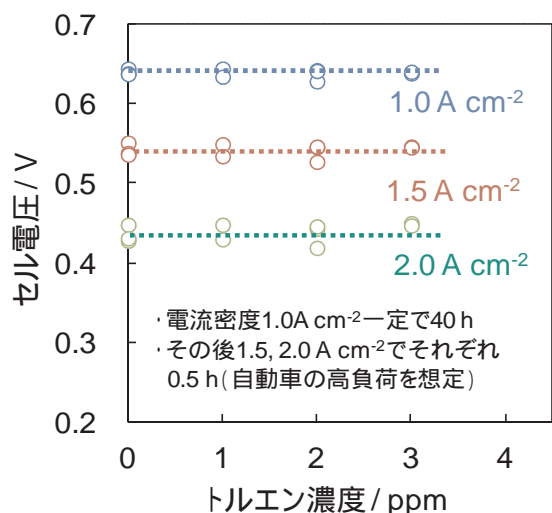


図8 水素循環系におけるトルエン濃度と電圧との関係(0~3 ppm、セル温度60°C、触媒Pt/C、アノード/カソード担持量0.05/0.4 mg cm²、膜厚15 μm)

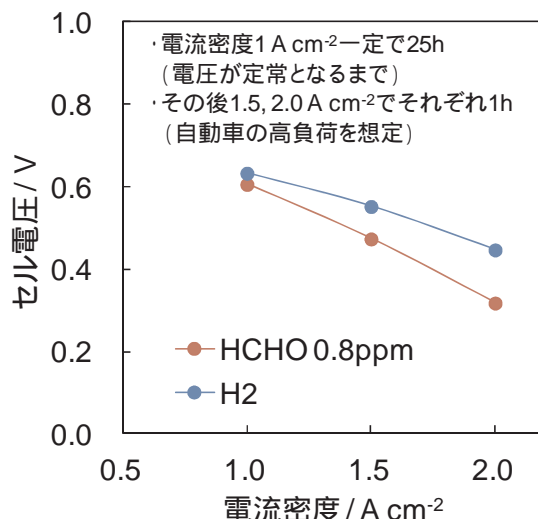


図9 出口開放系でH₂またはHCHO(0.8 ppm)を添加した水素を燃料としたときのセル電圧の電流密度依存性(セル温度60°C、触媒Pt/C、アノード/カソード担持量0.05/0.4 mg cm²、膜厚15 μm)

3.2 成果の意義

3.2.1 サブテーマ1の成果の意義

本事業において、これまでに水素試料採取から分析までを簡便・安価に、かつ安定して行う技術の確立に目途をつけた。

水素品質管理運用ガイドラインについては、水素燃料仕様 ISO14687-2 を遵守しながら、簡便で実際的な水素品質管理に関する日本で初めての基準であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられており、その意義は大きい。

試料採取については高圧試料採取方法を確立したことで、現在の品質ガイドラインで定められているディスペンサー出口での試料採取による品質管理を安全、簡便に行うことが可能となった。高圧試料採取装置は、高圧ガス保安法に則った検査充填用の国内初の装置であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられている。その特徴や有意性について特許出願を行った。また低圧試料採取方法を確立したことにより、今後、高圧採取の代替として、水素性状を的確に把握することができる試料採取箇所の見極めも可能になる。

分析では、ISO に規定されている 13 成分の不純物を測定するのに従来法ではガスクロマトグラフなど 5 種類の分析装置が必要であったのに対して、簡易分析装置 (TOFMS) の製品化の達成により、1 台で分析可能となった。現在の市場には ISO 成分を 1 台の分析装置で対応できるものはなく、他の分析装置とは差別化を図れる装置である。これにより分析業務を簡素化することができ、分析コストおよび時間の低減が図れるとともに、今後、更に装置の完成度を向上させることで、高度な分析技術を駆使することなく、簡単に誰もが分析業務を遂行することができるようになる。

また水素ステーションでの実証テーマにおいて、ステーション毎のタイプ (オンサイト or オフサイト、水素製造方法の違いなど) が品質に与える影響や各ステーションのレイアウト等特性を把握することができたことは、今後、分析事業を展開する上での情報収集となり、事業化へのスムーズな移行を可能にすると考えられる。

供給水素中の微粒子管理のためのフィルタについては、水素ステーションの現状と過去の実績を踏まえてのフィルタ仕様をガイドラインに盛り込み済みであり、更に、粒径と捕捉効果の管理のための標準的はフィルタ試験方法の確立とガイドラインへの反映を予定している。

3.2.2 サブテーマ2の成果の意義

サブテーマ 1 の開発品である低圧試料採取方法を利用して、低圧水素ガスを固体捕集サンプリングし、ガス捕集または現場分析の組合せによる分析キットを用いることで、ISO 規定項目 13 成分の分析結果を 24 時間以内に得ることが可能になった。また従来法と比較し、機材の輸送が簡便となり、輸送コストの低減が可能になった。分析装置をキット化することで、サンプリング時の水素ステーションの占有面積の低減及び電源等のユーティリティが不要となることから、現場での負担の低減にもつながる。

分析キットは対象成分毎に最適な機器を選択しているため、分析対象成分を限定した分析が必要な場合は、成分毎に適した機器を選択でき、ユーザー側に多くの選択肢を提供する事も可能である。

3.2.3 サブテーマ3の成果の意義

FCV に充填する水素ガス品質については、日本が議長・国際幹事を務めて諸外国を主導して ISO 国際規格 (ISO14687-2) が既に成立している。また、ISO 国際規格は初版発行後、定期的 (通常 5 年毎) に見直しが行われるが、初回のみ 3 年目で見直しが実施される。そこで平成 24 年 12 月に成立した ISO14687-2

(FCV 用水素燃料規格) は平成 27 年頃に改訂を開始された。2012 年 12 月に発行された初版は、黎明期の FCV、すなわち実証試験あるいは導入期の限定された台数の FCV を暫定的に守ることを主目的に規格値が策定された。そのため、自動車・インフラ双方とも直ちに改訂作業に取り掛かることを前提として、国内外の合意を形成した経緯があった。次期改訂 ISO 国際規格は、今後の普及初期 (2015 年~2025 年) 特にその後半の拡大期 (2020 年~) の大量普及を想定した FCV 技術、燃料供給インフラビジネスに適した燃料規格を目指している。FCV 側からみれば、大量普及のために高性能化、小型化、低コスト化に取り組む中で、高電流密度化、白金触媒担持量の低減など、不純物への耐性が減少する方向に研究開発が進められていることもあり、FCV の耐久性向上の制御技術ともバランスした規格であることが求められる。

一方、インフラ側からは、コスト低減のため、全般的に可能な限り規格値の緩和が求められている。特に CO は出荷基準に直接結びつくだけに、特に重要な成分と認識されている。また、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、本事業で並行して策定・検討される水素品質管理手法との整合を取る必要がある。さらに、水素供給コスト低減のための手法として、水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術の開発が求められており、有望なプロセスとして、有機ハイドライドを利用した水素供給技術が検討されている。また、ISO14687 改訂にあたり、分析コストの低減のため欧州側から HCHO 等の許容濃度に関する見直しが提案され、議論が進められている。これらの不純物について、燃料電池に及ぼす影響という視点から必要な検討を実施し、必要に応じて品質規格に反映することも必要である。

本研究開発の成果により、これらの状況に対応し、必要な技術的検討を実施することにより、次期のより成熟した燃料仕様規格策定が、日本主導で実施可能となる。

3.3 開発目標別課題

3.3.1 サブテーマ1 開発目標別課題

水素ステーションの品質確認を行うにあたり、本事業開始前の従来の分析手法では分析時間が 120 時間、分析コストが約 200 万円かかっていた。これに対して本事業の最終目標 (平成 29 年度末) は、分析時間を 1/20、分析コストを 1/4 にすることである。これは ISO 主要 13 成分の分析を目指した簡易分析装置による水素ステーション現地での分析を可能にすれば達成できる。簡易分析装置はほぼ完成しており、改善すべき点は現地までの輸送および短時間での装置立上、試運転、分析となるが、平成 27 年度に実施した現地分析試験において課題であった輸送時の装置の大気解放対策等は既に施しており、今後は更に実績を積むことで課題解決ができる見込みである。また試料採取方法は試料を現地にて分析装置に導く方法、もしくは低圧容器に採取して分析装置に導く方法を確立する必要があるが、これは昨年度までの試料採取試験から得た知見により試料採取装置を設計し、製作を開始している。立上、試運転の後、本装置を活用することで達成できる。

事業終了までの間、コスト、時間も含めて、水素ステーション現場での実証を進め、装置完成度を向上させる。

3.3.2 サブテーマ2 開発目標別課題

固体捕集サンプラーと現場分析を組合せた分析キットにより、サンプリング翌日の分析結果報告が可能になった。分析費用は、高圧ガス輸送を不要にしたことで輸送にかかる費用を大幅に削減したが、開発当初には想定し得なかった可燃物である水素ガスを、ユーティリティとして組み込む必要があるため、一般的な輸送が利用し難く、輸送コストの削減に課題が残った。今後、輸送コストについては、輸送会社との

契約等による低減を検討して行く。

3.3.3 サブテーマ3 開発目標別残課題

(1)水素燃料仕様の国際標準化（最終目標：平成 29 年度）

最終目標については、上記の標準化活動を継続し、ISO 議長国として関連 WG の国際標準化審議を責任を持って運営をし、平成 29 年度まで ISO14687 は照会原案の策定、ISO19880-8 は国際規格として発行段階の到達を目指す。また、SAE J2719 等関連する規格について、その整合を確認するとしているが、これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

(2)水素中不純物の燃料電池への影響評価（最終目標：平成 29 年度）

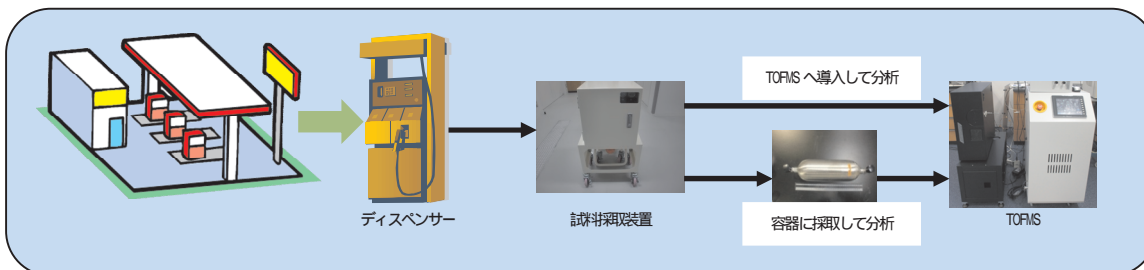
HCHO については現在、FCV のシステムを考慮した水素循環系における影響度を見極め、その結果を 11 月に予定されている ISO/TC197/WG27 の会議において HCHO 許容濃度の議論に活用する必要がある。これまでの実験は順調に進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

以上の技術解析データを提供して水素品質の国際標準化議論を推進することによって、適正な規格を策定する。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴う FCV の普及拡大に貢献する。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 サブテーマ1のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業終了時の達成状況について図 10 にまとめる。



分析対象成分：	13 成分
分析装置：	TOFMS
分析方式：	可搬式 TOFMS 装置を水素ステーションに持ち込み、試料採取装置を介して、その場で分析結果を得る。もしくは試料採取装置を用いて容器に試料を採取し、分析を行う。
分析コスト：	約 500 千円
分析時間：	6 時間以下

図 10 本事業期間での達成状況まとめ

今年度末の達成状況としては、高圧・低圧試料採取装置を用いて、簡易分析装置を可搬式として現地に持ち込み、その場で分析が行えるようになる。これにより分析コストは約 500 千円、分析時間は 6 時間以下になる見込みである。

事業化の内容としては、水素ステーション品質管理における受託分析事業を考えており、その形態としては、簡易分析装置を車載して現地分析する手法および分析拠点を設けて試料採取のみをステーションで効率よく行い、まとめて分析する手法を検討する。イメージ図を図 11 に示す。

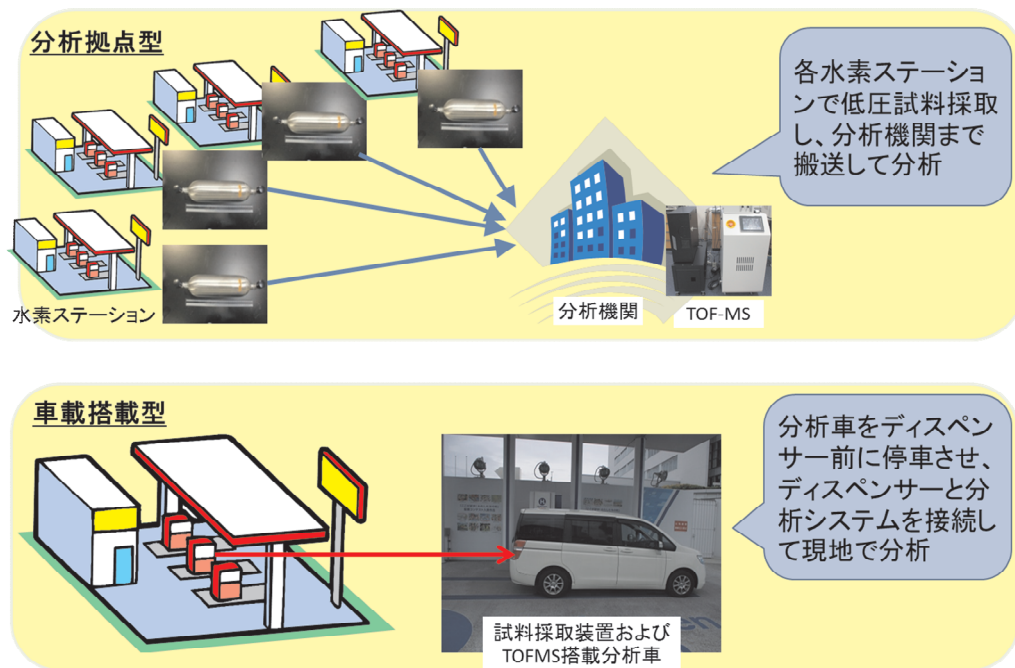
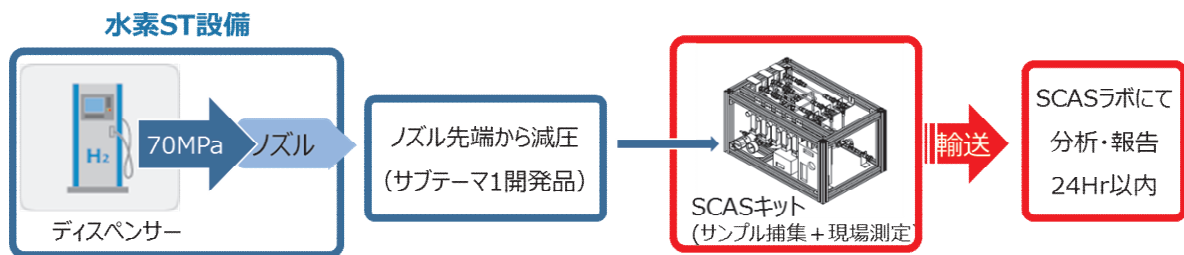


図 11 事業化した際の水素品質管理手法

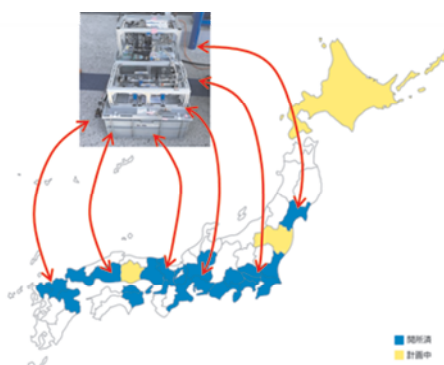
分析拠点型と車載搭載型分析法では、それぞれ一長一短があるが、分析装置の輸送に対する耐久性、精密機器運搬車両等の課題があり、現状では、総合的には、分析拠点型の方が信頼性が高い。しかしながら、水素ステーション運営会社からは車載搭載型の要望が多いため、制定が進められている ISO21087 の内容も考慮して、検討した上で事業化を推進する。

4.2 サブテーマ2のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

開発したサンプリングキットおよび分析キットは、ISO 規定全項目の分析に対応可能であり、これらを全国各地の水素ステーションに輸送することにより、従来法より安価・簡便な分析方法により水素品質管理分析サービスの提供が可能になった。また、分析キットは対象成分毎に最適な機器を選択しているため、例えば、水素品質ガイドラインに記載の後続ルーチン分析にも、分析装置等の組合せで水素ステーション事業者の要望にあわせた柔軟な対応が可能である。また、これらキットを用いることでステーション作業時間を数時間で行えることから、ステーション営業時間後の時間帯でのサンプリングも可能になる。



併せて、機材およびユーティリティの輸送およびサンプリング業務の改善・効率化を今後も継続して検討することにより、水素ステーションの品質管理業務に貢献する。



4.3 サブテーマ3のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

水素燃料仕様の国際標準化は、ISO14687(FCV用燃料仕様:ISO14687-2改訂)およびISO19880-8(水素品質管理)について、日本が国際標準化審議を主導して進めた。ISO14687は平成29年度内の照会原案(DIS)移行が確実であり、またISO19880-8は年度中にFDIS投票が実施される見通しを得ることができた。水素中不純物の燃料電池への影響評価については、トルエンをはじめとする有機ハイドライド由来の不純物が燃料電池に混入したときに、現状のISO14687-2:2012で定められた濃度が問題ないことを確認した。また、欧州から緩和提案が挙がっているホルムアルデヒドについては燃料電池への影響について技術的なデータを取得し、その結果をISO/TC197/WG27(燃料仕様)ソウル会議(平成29年6月開催)における議論に活用した。さらに、平成29年11月開催予定のWG27会議において、日本のポジションを確定させる研究結果を報告する予定である。

今後の課題を以下に示す。まず標準化活動について、ISO14687は平成29年度中にDISの策定、ISO19880-8は平成29年度中に国際規格(IS)として発行段階の到達を目指す必要がある。技術・解析については、水素中不純物の燃料電池への影響評価、特にホルムアルデヒドが燃料電池へ及ぼす影響について、FCVのMEA仕様や運転条件を想定した条件で更なるデータを取得し、ISO14687の議論に資するデータを提供する必要がある。

現在検討が加えられているホルムアルデヒド等の規格値の緩和など品質および品質管理にかかる標準化活動の推進により適正な規格を策定することで、製造、供給、品質保証の各プロセスにおいてコストを低減させることが可能となる。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴うFCVの普及拡大に貢献する。

さらに、次年度以降の取り組むべき課題として、過剰規定の排除および新たな市場課題への対応のための不純物影響評価(例:ハロゲン系成分の特定、規格値検証)とともに、新規の水素製造/輸送/貯蔵技術由来の不純物成分による影響を評価し、水素供給の更なるコスト低減を目指す必要がある。あわせて、標準化からのアプローチとして、得られたデータに基づいた国際規格の改訂を提案かつ反映させることで、国際的に安価な水素燃料を供給する基盤を整え、FCV大量普及に貢献する。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013.5.24-26	1 st International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
2	2014.5.8-9	2 nd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
3	2015.6.24-25	3 rd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
4	2015.2.27	産業技術総合研究所計量標準総合センター主催 平成 26 年度標準ガスクラブ講演会	水素ステーションにおける水素品質管理方法の国際標準化 に関する研究開発	表田 新一
5	2016.5.26	4 th International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	The Prospect of Hydrogen Quality	Dr. Hidenori Tomioka
6	2017.5.16.	粉体工学会 2017 年度春期研究発表会	付着粒子の剥離および再付着挙動に関する数値シミュレーション	東京大学
7	2017.5.18.	5 th International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Shoichi Kaneko Dr. Hidenori Tomioka
8	2017.6.16.	高分子学会 水素・燃料電池材料研究会	水素ステーション関連技術およびインフラ普及に向けた取り組み	小林芳郎
9	2017.7.1.	JARI Research Journal	有機ハイドライド由来不純物が燃料電池性能に及ぼす影響	松田佳之、清水貴弘、橋正好行、富岡秀徳
10	2017.8.19-21.	混相流シンポジウム 2017	DFM-DNS 法による付着性粒子の剥離・再付着挙動の研究	東京大学

- 特許等 -

No	出願日(移行日)	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 26 年 12 月 15 日	特願 2014-253025	試料採取装置及び試料採取方法	岩谷産業
2	平成 27 年 12 月 15 日	PCT/JP2015/085002	試料採取装置及び試料採取方法	岩谷産業
3	平成 29 年 3 月 23 日	特願 2017-058167	水素ガス分析用キット、水素ガス分析方法、及び水素ガスの品質管理方法	住化分析センター
4	平成 29 年 3 月 23 日	特願 2017-058168	水素ガス中の不純物の濃縮キット、水素ガス中の不純物の濃縮方法、及び水素ガスの品質管理方法	住化分析センター
5	平成 29 年 5 月 30 日	KR10-2017-7014697	시료 채취 장치 및 시료 채취 방법	岩谷産業
6	平成 29 年 6 月 5 日	EP15869959.5	SAMPLING APPARATUS AND SAMPLING METHOD	岩谷産業
7	平成 29 年 6 月 8 日	US15/617497	SAMPLING APPARATUS AND SAMPLING METHOD	岩谷産業
8	平成 29 年 6 月 9 日	CN201580067075.4	试样采集装置及试样采集方法	岩谷産業

(1-8)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際標準調和・国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車の水素充填時における過充電防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会、(一財)石油エネルギー技術センター、(一財)日本自動車研究所、(国)九州大学
(HVSUT) (JPEC) (JARI)

成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・商用ステーション普及に合わせ、87.5MPaを上限とする技術基準(FCVおよびFCバス用)を制定した。国内充填基準及びステーション性能を確認するガイドラインを整備し、商業・住居地域での70MPaステーション建設を可能とした。
- ・国内及び国際標準であるSAE(米国自動車技術会)で主導的な役割を果たし、国内に受け入れ可能な充填基準SAE J2601発行することができた。
- ・国内及び国際充填基準を発行するために必要な、シミュレーション開発及びフィールド実証を行った。
- ・低温域で高圧水素の粘性係数および熱伝導率を測定できる装置を開発し、新たな測定方法を確立するとともに、実測データを取得して既存の相関式の評価を行った。

背景/研究内容・目的

70MPa水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するための法改正には、過充電を防止する充填方法を定める技術基準が必要である。水素・FCV関係業界が普及を約束する2015年間に合うタイミングでこれを実現するために、充填技術基準を制定するとともに、ステーション性能を確認するためのガイドラインを策定する。SAEが主導する国際充填基準を国内に受け入れ可能な内容に誘導し発行する。国内外充填基準を作成するための、シミュレーション技術開発及び検証試験を行う。さらに、シミュレーション精度を向上するために、充填に必要な温度域で国際的に未整備な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率を測定する。

研究目標

サブテーマ	目標
1	国内充填基準類(充填基準、ガイドライン)の整備
2	充填基準(プロトコル、ノズル)の国際調和
3	充填技術(シミュレーション・充填試験)開発
4	シミュレーション精度向上のための水素物性値取得

実施体制及び分担等

NEDO	HVSUT (サブテーマ 1、2、3)
	JPEC (サブテーマ 1)
	JARI (サブテーマ 2、3)
	九州大学 (サブテーマ 3、4)

これまでの実施内容 / 研究成果

サブテーマ1:70MPaに加え87.5MPaを上限とする技術基準(FCVおよびFCバス用)を制定した。FCVでは70MPa基準は関連する高圧ガス告示基準が改正され、市街地での70MPa充填が可能になった。また、2つの充填基準に対応するステーション性能を確認するガイドラインを策定し、業界団体(FCCJ)へ提出し、商用ステーション建設で運用された。SAE J2601 改定に伴い、MCフォーミュラ方式の充填基準案を策定した。サブテーマ2: 国内のFCV・インフラ業界の意見を調整し充填における日本の方針を作成した。これに基づき、充填プロトコル規格が議論されるSAE Interface TF 及びWeb会議で積極的な提案を行い、国内で受け入れられる事が出来る内容でSAE規格を発行することができた。SAEに続きISO充填規格対応を行うと共に、バス充填及び小型容器充填プロトコル策定のための技術議論を行い国内方針を作成した。サブテーマ3:国際標準に対する提案及び国内基準を制定するためのシミュレーション及び検証試験を行い、国内外充填基準策定に協力した。また、水素ステーション全体を対象とした充填シミュレーション(ダイナミックシミュレーション)を開発した。充填試験においては、ノズル・セプタクルの水結対応試験及びFCバスやFC二輪車に対応する充填規格を作成するための基礎試験を行い、ISO17268の改定に反映した。サブテーマ4:充填シミュレーション精度を向上するため、これまで実測値が十分でない低温域において、粘性係数および熱伝導率を測定し、既存の相関式を評価した。

研究成果まとめ

サブテーマ	成果内容	自己評価
1	70MPa及び87.5MPaを上限とする、技術基準及びガイドラインを制定した	
2	国際充填規格を国内で受け入れる事が出来る内容に誘導・発行できた	
3	基準作成のためのシミュレーションを開発し、充填試験により基準を検証した	
4	基準制定のためのシミュレーション精度向上に向け、低温域での粘性係数および熱伝導率を測定した	

今後の課題

- ・87.5MPa上限の充填の実現
- ・普及が予想される車両に対するタイムリーな基準整備が必要

実用化の見通し

- ・事業成果である充填基準及び充填性能確認ガイドラインは、該当する全ての商用ステーションに適用され、実用化が行われている。
- ・今後、普及が予想される車両に対しては、普及時期に先行し充填基準を整備し、実用に供していく予定である。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	8	34	0

課題番号： 1 - 8

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発

一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT)
一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
一般財団法人日本自動車研究所 (JARI)
国立大学法人九州大学

1. 研究開発概要

FCV及び水素インフラの普及を実現するために、高圧水素を安全かつ合理的に充填する技術開発及び法的環境を整備する事を事業の目的とする。

水素ガスはガソリン・ディーゼルに代わる自動車用エネルギーとして期待を集めており、一般によく知られた気体であるが生活になじみが薄く、水素充填も日常生活の中には存在しない行為である。また気体である水素はエネルギー密度がガソリンに比べて小さく高圧で車載する必要があるが、水素ガスを高圧に充填すると温度が上昇してしまうという特徴がある。このような水素を我々に生活に取り入れ、普及させるためには、安全かつガソリン並みの時間で簡便に水素を充填する今までにない技術開発が必要である。

さらに日本では1MPa以上の気体の取り扱いが高圧ガス保安法で決められている。日常生活の中で水素充填を実現するためには水素を安全に充填する手順を示す技術基準を整備する必要がある。

また、水素充填に関しては米国自動車技術会 (SAE) において実質的な国際標準が議論されている。この内容を国内で受け入れ可能な内容に誘導し、国際調和する事がFCV及び水素インフラのグローバルな普及のために極めて重要である。

これらの課題を解決するために、課題を以下の4つのサブテーマに分割し国内水素関連機関が役割を分担して取り組む、研究体制を図1に示す。

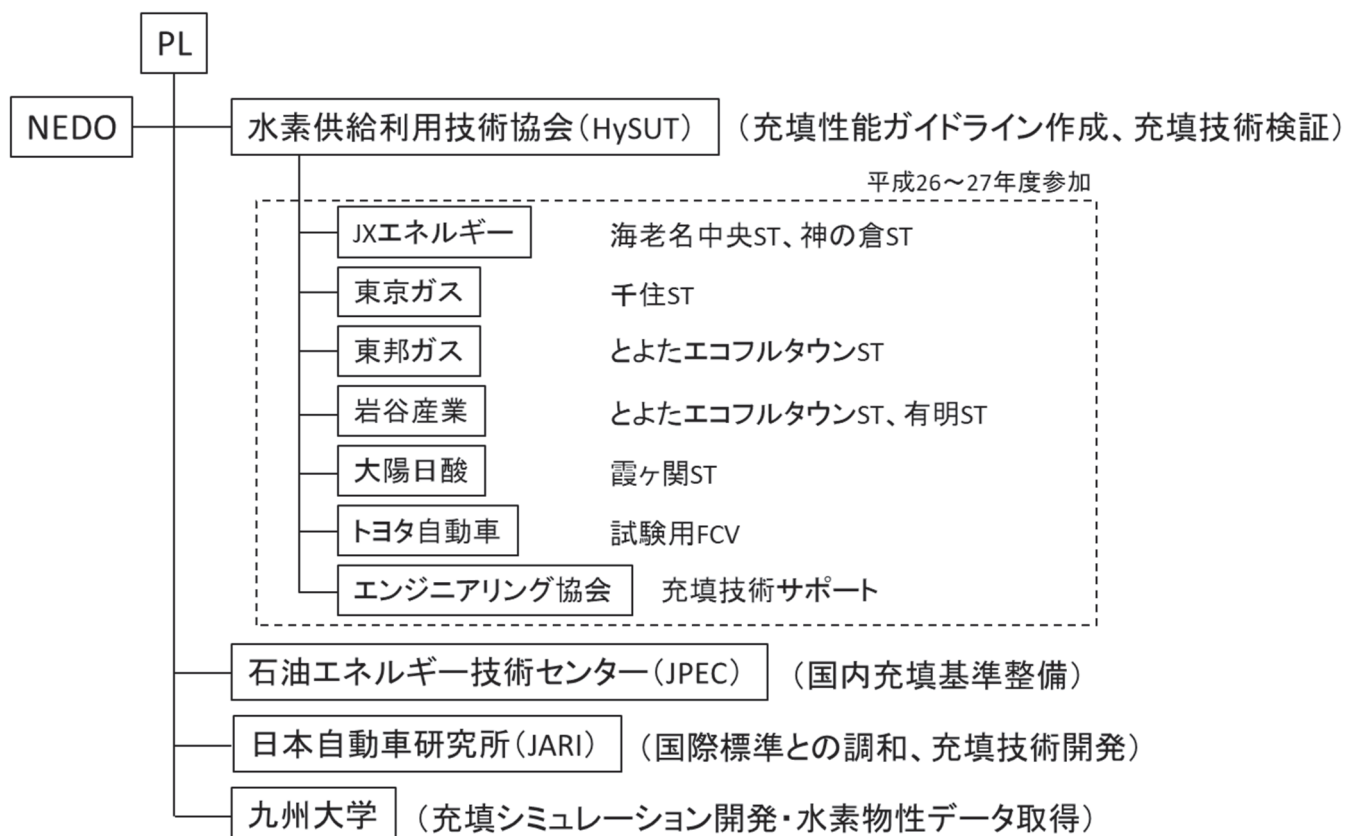


図1 研究体制

- サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定 < JPEC、HySUT >
- サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携 < HySUT、JARI >
- サブテーマ3：充填技術開発 / 充填技術検証 < HySUT、HySUT研究分担先、JARI、九州大 >
(平成25年度は九州大学の代わりに佐賀大学が担当)
- サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 < 九州大 >

2. 研究開発目標

以下にサブテーマ毎の研究開発目標を示す。

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備 < JPEC >

実質的な国際充填標準であるSAE充填基準の改定動向及び国内燃料電池自動車の普及状況に先行し、充填技術基準の改正案を作成する。さらに燃料電池車両の普及を妨げないタイミングでの一般高圧ガス保安規則及び例示基準改正のフォローアップを行う。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定 < HySUT >

水素ステーションがJPECの制定する技術基準に合致する性能を有する事を確認するための検査方法を定めるガイドラインを作成する。ガイドラインはFCV・水素インフラ関連業界に業界自主

基準として提出するとともに、ガイドラインの運用方法について提案する。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映 < JARI >

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特にFCCJを中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進める。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のあるSAEでの審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導する。併せてISO国際規格への展開を図る。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映 < JARI >

ノズルの氷結に係る課題解決のため、サブテーマ3でJARIが実施するデータ取得の成果を活用し、国内の実質的審議を行う。ISO/TC197(水素技術) WG5(水素充填コネクタ)の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のあるSAEでの審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。

(3) 充填技術の国際連携 < HySUT >

水素充填に関する国際基準が制定されても、各国の状況、国内法との関連により国内水素ステーションが全ての項目で国際基準に準拠する事は困難である。そこで、主要各国の国際基準への準拠状況を把握し、課題を共有し、グローバルなFCV及び水素インフラの普及促進に貢献する。

サブテーマ3：充填技術開発/充填技術検証

(1) 新通信充填プロトコル開発 < JARI >

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ステーションで発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FCバスおよびFC二輪など)の開発が必要となっている。これらの充填プロトコルの開発に資する基礎データの取得を実施する。また、充填試験の結果からノズル/レセプタクルの氷結現象の解明および氷結の評価方法を検討する

(2) 水素ST最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - < 九州大学 >

国内外の充填基準制定のためのシミュレーション支援を行うと同時により利便性が高く、ステーションコスト低減につながる新しい充填プロトコルを開発し、国際基準検討機関であるSAE、ISOに提案する。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) < HySUT、HySUT研究分担先 >

国内充填基準の健全性を確認し、将来の例示基準の改正につなげるためには実条件での水素充填技術の検証が重要である。特に、大容量(バス等)充填を行うためのプロトコルの実用性確認などの検証および課題の抽出をHySUTの運営する水素ステーション等を活用して実施する。

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 <九州大学>

水素ステーションからFCVへ水素の充填プロセスの最適設計のため、充填シミュレーションの高精度化が求められているが、水素ステーションには急速充填に伴うFCV車載容器の温度上昇を抑えるためプレクーラーが備え付けられており、低温、高圧域における精度の良い充填シミュレーションが必要とされている。本サブテーマでは、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率の高精度データ及び整理式を得て、-40 ~ 常温、最大圧100 MPaの領域でのシミュレーションモデルの検証及び高精度化に貢献することを目的とする。

3．研究開発成果

3．1 研究開発成果、達成度

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定 <担当：HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備： <担当：JPEC>

<研究開発成果>

FCV への水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備

FCV のメリットを生かし、利便性を向上させるためには、FCV に搭載可能な水素量を増大し、さらに水素の充填においては、安全にかつ迅速に充填する必要がある。

このうち、水素搭載量の向上については、車載燃料容器の高圧化が指向されており、国際的に最高充填圧力を 87.5MPa(@85)とする容器の基準として、国連の WP29 の場で、FCV に関する世界技術基準 HFCV-GTR の策定が進められてきた。その結果、平成 26 年 5 月に採択され、その後、同基準に基づいた高圧ガス保安法の改定が進められ、現在国内でも最高充填圧力を 87.5MPa(@85)とする高圧容器（以下 GTR 容器という）の導入が可能になっている。すでに国内では、平成 26 年 12 月にトヨタ自動車の世界初の市販の FCV 自動車『ミライ』の発売を開始し、次いで平成 28 年 5 月に本田技研工業が FCV 自動車『クラリティ』のリース販売を開始した。これらには上記の新たな基準に準拠した容器が搭載されている。

一方、FCV への水素充填については、迅速な充填を安全に行うため、充填流量、充填水素温度等の運転パラメータを管理し、適切な条件の下で充填を行うことが必要である。そのための安全な充填条件を示す技術基準は充填プロトコルと呼ばれており、現在米国自動車技術会（SAE）において、我が国の自動車メーカー・インフラ事業者も参画して、実質的な国際規格である SAE J2601 の規格化が行われた。

上記の動向を踏まえて、本課題においては、GTR 容器を搭載した FCV の性能を十分に生かし、安全かつ迅速な充填を可能にする充填プロトコルに関する自主基準の制定に取り組んだ。具体的には、SAE J2601 に基づき、国内での実情も踏まえて、自主基準案を作成することとした。さらに、学界及び業界関係者を中心とした専門家による水素充填基準検討会を設置し、自主基準(案)および関連する例示基準改訂(案)についての技術的検討を行うこととした。

まず、SAE 規格 SAE J2601 で包括的に提示された規定を、個々の要件に分解し、それぞれの要件の要求

レベルや国内の状況等を踏まえた自主基準への導入要否などを精査した。さらに、それらの結果を踏まえて、自主基準に盛り込む要件をまとめて、自主基準(案)を作成した。その作成過程において、水素充填基準検討会を4回開催し、検討を行った。その結果、水素充填に係る自主基準(案)として、『圧縮水素充填技術基準(圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0003(2014)』を策定した。

本自主基準(案)においては、SAE J2601で規定された要件を導入したことによる特徴として、以下の諸点が挙げられる。

- 車両から水素ステーションへ、赤外線通信により車両側の容器温度や容器圧力等の信号を通信する機能を車両ならびに水素スタンドが有することを前提とした基準となっている通信充填において、車両から送信される容器温度信号に基づいて、容器への充填状態を推測し、満充填状態に達した場合には充填を終了することとしている
- 上記に加えて、通信充填において車両からの充填終了指令信号等が受信された場合には、充填を終了することとしている。
- さらに、通信充填においては、供給燃料温度の制御性に関する対応性の向上を図るためのフォールバック充填や低初期圧力状態からの充填における充填量の向上を図るためのトップオフ充填に関する要件が追加されている。

一方、本事業に先立ってJPECにおける充填プロトコルの検討過程で指摘されていた、外気温度計測及び供給燃料圧力計測の冗長性の向上に関する要件を自主基準に盛り込むことで、安全性の向上を図っている。さらに、SAE J2601の要件の検討段階では考慮されていなかった、国内特有の以下の課題に対して対応するため、通信充填の場合における供給燃料圧力の下限側の許容圧力の緩和措置に関する要件が盛り込まれている。

- a. ステーションの常用圧力(82MPa)
- b. ステーションにおけるあらかじめ設定された水素量の充填
- c. 容器仕様を絞り込んだステーションの仕様設定

本自主基準(案)により、図2に示した様に、従来の自主基準であるJPEC-S 0003(2012)において充填可能な領域が、70MPaを上限とする赤線で示された領域であったものに対して、新たに策定された自主基準(案)では、GTR容器において充填可能な領域である、87.5MPa(@85)を上限とする、青線で示された領域への充填が可能となった。これにより、FCVに搭載可能な水素量を増大し、さらに安全にかつ迅速な水素充填を可能とするとの、所期の目標が達成された。

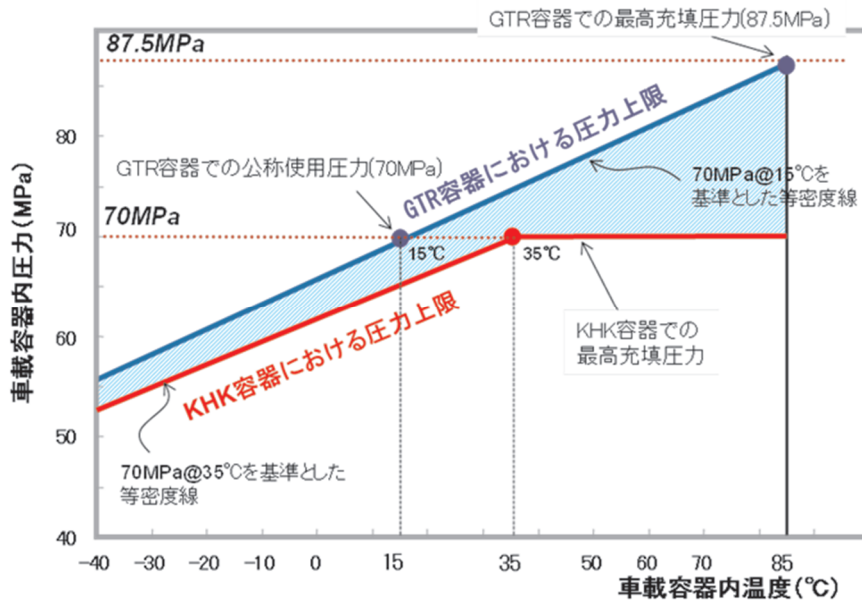


図2 本自主基準での充填可能領域

本自主基準（案）に関しては、HySUT からの助成事業として JPEC が実施している JPEC 自主基準制定維持管理事業において、充填関係基準分科会における審議を経て、水素インフラ規格基準委員会にて承認された。これにより、本自主基準は JPEC-S 0003 (2014) として、平成 26 年 10 月 10 日に発効され、同日 JPEC のホームページに掲載し、公開された。

一方、JPEC-S 0003 (2014) は、高压ガス保安法例示基準に引用される基準であることから、高压ガス保安協会に設置された『燃料電池自動車等に関する水素関連技術の安全性の評価・基準の検討委員会』において審議され、平成 27 年 3 月に本基準は高压ガス保安を図る上で適切なものと判断された後、高压ガス保安法の関連例示基準の改正により本基準が引用され、GTR 容器の機能を生かした、安全かつ迅速な水素充填が可能となった。

また、平成 28 年 12 月に SAE 規格 SAE J2601 の改定が行われ、FCV の水素充填プロトコルに、MC フォーミュラ方式と呼ばれる新しい充填方式が、従来のプロトコルと同等な基準として追加された。これは、長年にわたり、SAE の場で開発を進めていた充填方式で、充填中の燃料供給温度を基に動的に充填制御を行うことにより、安全に充填を行いつつ、充填時間の短縮や、コスト削減が期待されるものである。

JPEC は、今後の FCV の普及に向けて必要な充填基準であると判断し、これまでの充填基準に加え選択肢の一つとして自主基準案の策定を、平成 28 年度後半から水素充填技術検討会を開催し（今年度末までに 4 回開催予定）自主基準案を策定した。

FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

国内において FCV の市販化に並行して、トヨタ自動車と日野自動車が、環境省の支援を受けて、路線バス用の燃料電池バス（FC バス）を開発し、経済産業省の支援を受けて、平成 26 年度から、愛知県豊田市において実証走行試験を開始した。さらに、2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの開催が決定したことを受けて、東京都から 100 台規模の FC バスの導入の意向が示された。このような動向を踏まえ

て、FCバスへの水素充填に係る基準整備の必要性が高まってきた。

FCバスに関しては、欧州及び米国において、すでに導入が進んでいることから、海外の動向を調査したところ、海外のFCバスは全て35MPa仕様に統一されており、さらにノズル・レセプタクル仕様は流量を増大させるため、35MPa仕様のFCV用とは、互換性がないノズル・レセプタクルが設定され、かつFCバス用ステーションはバス事業者専用ステーションとなっていることが明らかとなった。さらに、SAEにおいてSAE J2601の追加規格として、FCバス用プロトコルが検討されており、その動向も把握したところ、前記のようにFCバス用ステーションがFCバス専用ステーションであり、一般の車両に充填する機会がないことから、具体的なプロトコルは、ステーションとFCバスメーカーの合意に基づいて決定され、SAE J2601においては、概括的な要件規定に留まる方向であることが確認された。

一方で、国内で導入されているFCバスは70MPa仕様であり、ノズル・レセプタクルもFCVとの互換性を持っており、公共の水素ステーションでの充填も想定していることから、海外の動向に依らず、国内のFCバスの動向を踏まえた水素充填に係る基準策定が必要となる。

そこで、本事業におけるFCバスへの水素充填に係る自主基準は、海外からの規格の導入ではなく、国内のFCバス及び水素ステーションの仕様を踏まえた、自主基準を作成することにした。具体的にはグローバルな自動車メーカー及びインフラメーカー関係者が、広範なシミュレーションや検証試験結果などを踏まえて、FCVへの水素充填用に策定したSAE J2601及びJPEC-S 0003(2014)の成果を生かしつつ、サブテーマ3においてJARIが取得した基礎データおよび九州大学が行ったシミュレーション結果を活用し、策定を進めた。併せて、FCV用に設置された水素ステーションにおいても、FCバスへの水素充填を可能とすることを要件とした基準の具体化を進めた。

基本的には、JPEC-S 0003 (2014)の策定プロセスと同様に、JPECにおいて基準案を作成し、水素充填基準検討会において技術的な妥当性を検討することとし、平成26年度後半から、基準案の検討に着手し、平成27年12月までに、計5回(第5回は書面開催)に亘る同検討会の審議および承認を経て、自主基準(案)を作成した。この結果は、HySUTからの助成事業としてJPECが実施しているJPEC自主基準制定維持管理事業の水素関係基準分科会で審議、承認後、水素インフラ規格基準委員会により承認され、JPECホームページ上で意見公募を行った後、平成28年3月4日に自主基準JPEC-S 0003(2016)として発行し、JPECホームページにて公開された。

なお、本基準はFCバスへの水素充填を当面の対象として検討しているが、基準自体はFCバスに限定せず、10kg超の容量を有するGTR容器を搭載した水素自動車を対象とした基準としている。

また、この基準を付属書Iとして、FCV用の充填基準であるJPEC-S 0003(2014)に追加する形で、自主基準JPEC-S 0003(2016)を構成している。構成および概要を表1に示した。

この基準は、SAEで現在検討が進められている中負荷車両(MDV)の充填基準の参考資料として、日本

から情報提供がされており、成果が国際的にも有効活用されている。

表1 JPEC-S 0003 (2016) の構成および概要

適用要件	JPEC-S 0003 (2016)				
燃料装置用容器	国際圧縮水素 自動車燃料装置用容器 (GTR)			圧縮水素 自動車燃料装置用容器 (JARIS001) (KHK0128)	
基準	本文 (2014)		付属書 I	別添資料 (2012)	
充填圧力区分	『35MPa』級	『70MPa』級	『70MPa』級	35MPa	70MPa
容器容量区分		2 ~ 4kg	10kg 超	なし	
	2.4 ~ 4.2kg	4 ~ 7kg			
	4.2 ~ 6.0kg	7 ~ 10kg			
初期圧力範囲	0.5 ~ 35MPa	0.5 ~ 70MPa	0.5 ~ 70MPa	2 ~ 30MPa	2 ~ 60MPa
通信充填	有り・なし			なし	
供給燃料 温度区分	-40 ~ -33		-40 ~ -33	-40 ~ -33	
	-33 ~ -26		-40 ~ -26	-22.5 ~ -17.5	
	-26 ~ -17.5		-40 ~ -17.5		
外気温度	-40 ~ 50				

別添資料 (2012) の適用も可 (ただし上限圧力が異なる)

< 達成度 >

本テーマにおける成果としては、下記 2 点が挙げられる。

FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

SAE J2601 の発行及び HFCV-GTR の制定とそれを受けた容器保安規則の改定が当初の見込みより遅れたことなどに起因して、自主基準 (案) 作成ならびに水素充填基準検討会での承認が、平成 26 年 7 月になった。しかしながら、平成 26 年 10 月に、自主基準として JPEC-S 0003 (2014) が制定され、JPEC ホームページに掲載された。また平成 28 年 12 月の SAEJ2601 の改定により追加された新たな充填規格である MC フォーミュラ方式による充填基準案を作成した ()。

FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

FC バスに係る水素充填自主基準については、平成 27 年末に基準 (案) の策定を終了し、平成 28 年 3 月 4 日に JPEC-S 0003 (2016) として制定され、JPEC ホームページに掲載された。これにより、FC バスへの水素充填も考慮に入れた新たな水素ステーションの構築がスムーズに進むことになると考える ()。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：< 担当：HySUT >

JPEC の整備する充填基準に対応するステーション性能を確認するためのガイドラインを制定する。ガイドラインは 70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012)、87.5MPa を上限とする充填基準 JPEC-S0003(2014) 及

び 10kg 超容器を対象に加えた充填基準 JPEC-S0003(2016)に対応する 3 件のガイドラインを作成した。

充填性能確認ガイドライン(2013)の制定

70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012)に対応するガイドラインとして、平成 24 年 3 月に HySUT ガイドラインとして発行した。本ガイドラインは 70MPa 商用ステーションの補助金交付条件として採用されており、水素ステーション性能の標準として運用されている。

充填性能確認ガイドライン(2014)の制定

平成 26 年 10 月に制定された JPEC-S0003(2014)に対応する充填性能確認ガイドライン(2014)を平成 26 年 11 月に発行した。本ガイドラインは、フル充填及び通信充填に対応するステーション性能を確認するガイドラインであり、82MPa 商用ステーションの補助金交付条件として採用されており、水素ステーション性能の標準として運用されている。検査項目としては表 2 に示す、9 つの検査が要求されており、ステーションのフル充填及び通信充填に対応する性能を確認する。

充填性能確認ガイドライン(2016)の制定

平成 28 年 3 月に制定された JPEC-S0003(2016)に対応する充填性能確認ガイドライン(2016)を平成 28 年 3 月に発行した。本ガイドラインは、10kg 超の容量を有する gtr 容器に対する充填性能を確認するガイドラインであり、JPEC-S0003(2016)が高圧ガス保安法例示基準に引用される改訂を待って、商用ステーションで運用される予定である。検査項目としては表 2 に示す、8 つの検査が要求されている。

表 2 充填性能確認ガイドライン 検査項目

(2014)検査項目	(2016)検査項目	確認する内容
①通信確認検査		容器容量決定、車両からの信号で停止確認
②通信 圧力上昇率選択型		82MPaまでの通信標準充填確認
③容積推定精度		容積推定精度確認
④非通信 圧力上昇率選択型		82MPaまでの非通信標準充填確認
⑤通信・非通信移行		通信喪失時の非通信移行確認
⑥高圧力上昇率充填性能		82MPaまでの高圧力上昇率充填確認
⑦低圧力上昇率充填性能		82MPaまでの低圧力上昇率充填確認
⑧フォールバック		フォールバック移行 ^{※1} 確認
⑨トップオフ		トップオフ移行 ^{※2} 確認
	⑧継続充填	継続充填移行 ^{※3} 確認

- 1 フォールバック：プレクール温度が許容範囲から高温に逸脱した場合に、新たな圧力上昇率を設定し充填を継続すること。
- 2 トップオフ：満充填近くまで充填量を増大させるために、充填終了近くで圧力上昇率を低減する充填。
- 3 継続充填：10kg 超容量の gtr 容器において、プレクール温度が許容範囲の上限を超えた場合に、規定の目標圧力、目標圧力上昇率を設定し充填を継続すること。

ガイドライン活用の検討

充填性能確認ガイドラインは国内ステーション標準として運用するために、公開することとし、開示ルールを設定した。また、海外基準との国際調和などのために英訳を行った。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当：HySUT、JARI>

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

概要

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特に FCCJ を中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進めた。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のある SAE での審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導した。併せて ISO 国際規格への展開を図った。また、充填およびステーション関連の国際的な技術情報・標準化情報について収集を行い、国内へのフィードバックを進めた。

一方、国内では、燃料電池 (FC) 二輪車の充填プロトコルの検討のため、小容量タンク充填プロトコル検討 TF を設定し、国内審議を進めた。

成果

日本の業界の意向を反映するため、充填プロトコルが審議される SAE の Interface TF 等の会議に出席した。

国際的に適用が想定されている SAE の規格である J2601 (Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles)、J2799(70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communications) は、平成 26 年に日本の意向も反映した発行に至った。この J2601 (平成 26 年版) は日本の国内基準 (JPEC-S 0003) に採用された。引き続き、J2601 の改定版策定の審議に積極的に参加し、MC-Formula (逐次制御法) を含めた審議の効率的な進捗に貢献した。J2601 の再改訂版は平成 28 年に発行された。さらに、ノンプレクールの簡易充填を目指した新基準の策定を開始し、情報交換を開始した。特に、商用ステーションの充填に問題が生じないよう、十分に注意が必要であることが認識された。

水素ステーションの国際基準である ISO19880-1 (Gaseous hydrogen - Fueling stations) については、SAE J2601 に準拠する方向で審議を進めた。平成 28 年の TS (Technical Specification: 技術仕様書) 発行後の IS (国際標準) 化に向けて、特に充填プロトコルに係る SAE 他の規格、基準との整合等に

務めた。ISO19880-1 は 2018 年度中に発行段階に移行する予定である。さらに充填プロトコルに関する内容を独立し、新たに ISO19880-7 として提案される計画が今後あるものと想定されている。

FC 二輪車の充填プロトコルについては、国内審議を進め、国内での充填の可能性を検討した。充填時の温度上昇の安全性の観点から、FC 二輪車はタイプ 3 容器限定とし、MC-Formula ベースの充填プロトコルの開発を進めた。これらの審議のため、サブテーマ 3 で実施した試験研究のデータ等を活用した。

以上のように、国際的な SAE、ISO 等の基準作成に日本の意向を反映する成果を挙げた（ ）。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

概要

ノズルの氷結に係る課題解決のため、サブテーマ 3 で JARI が実施したデータ取得の成果を活用し、国内で審議を行った。ISO/TC197 (水素技術) WG5 (水素充填コネクタ) での国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のある SAE での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行った。

成果

水素コネクタ (ノズル・レセプタクル) の国際規格である ISO17268 (Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices) の改定審議に積極的に参加し、日本から提案した氷結試験および嵌合試験が反映された。この氷結試験の審議では、サブテーマ 3 で実施した JARI の氷結試験の研究成果を活用した。この改定した規格は 2018 年中に発行予定である。

SAE においても、ISO17268 の改定内容との整合のため、J2600 (Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices) の改定作業に参加した。ISO と同様、氷結試験、嵌合試験等について検討を行った。

以上のように、国際的な SAE、ISO 等の基準作成に日本の意向を反映する成果を挙げた（ ）。

(3) 充填技術の国際連携：<担当：HySUT>

ステーション技術(品質、充填、計量、機器)の国際交流・調和を目的に年 1 度開催する International Workshop 日本代表 NEDO をサポートし、発表項目、資料の取りまとめを行った。また、日本から充填技術に関して、本事業の成果である国内充填基準の整備状況、充填試験及びノズル・レセプタクル氷結試験に加えステーション性能評価のガイドラインの概要を報告し、SAE (CSA)、ISO での検討の基礎となることで貢献を行ってきた。引き続き、国際調和及び国際貢献を目的に今後作成ガイドラインの紹介及び運用状況の報告を積極的に行っていく。

サブテーマ 3：充填技術開発/充填技術検証<担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大>

(1) 新通信充填プロトコル開発：<担当：JARI>

概要

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うためには、商用水素ステーションで発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FC バスおよび

FC 二輪など)を開発する必要がある。そこで、充填中の供給ガス温度の変化などの条件を取り込んだ急速充填試験を実施し、充填プロトコルの開発に資するデータ取得を進めた。

ノズル/レセプタクルの氷結対応に関する試験を実施し、氷結現象の解明を行った。この試験法は、サブテーマ2の国際標準化活動における国際規格への反映に利用された。

FC バス

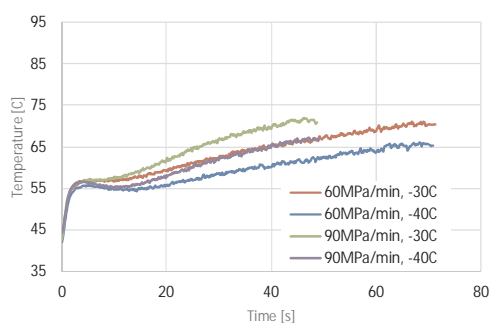
国内の水素ステーションにおいて、FCVに次いで、FCバスを対象に、SAE J2601に準拠した充填プロトコルの策定が検討された。その中で、コールドソーク状態から水素を放出(使用)した後、水素を遅速充填することを想定した場合、容器に充填した水素がSOC(State of Charge)100%を超える(=過充填)ことが、危惧される。そこで、FCバスを想定した放出と充填の試験を実施して検証を行った。

放出試験では、所定の環境温度のもとでSOC100%の状態から容器内圧力が0.5MPaに低下するまで流量21g/minで放出を行った。充填試験では、所定の初期圧力と環境温度のもとで、プレクール温度-40、昇圧率1.0MPa/minでSOC100%まで充填を行った。これらの試験結果は、サブテーマ1で実施のFCバスへの水素充填に係る自主基準の整備に活用され、FCバスを対象とした充填プロトコルの作成に資するデータとなった()。

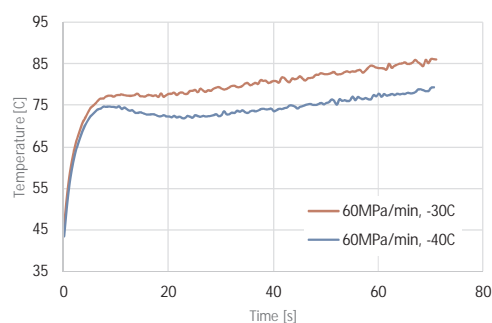
FC 二輪

世界に先駆けてFC二輪車が日本で開発されており、FC二輪車用の充填プロトコルを新規に開発する必要がある。四輪車に比べ、二輪車は容器が小さい(23L以下)ため、現行の水素ステーションでFC二輪車に水素を充填した場合、温度上昇や流量制御等の問題が発生することが想定される。

温度上昇の過程を把握するため、約10LのFC二輪車用のType3容器とType4容器への充填試験を実施した。環境温度と容器内初期温度が40の条件で、1MPaから一定昇圧率で70MPaまで充填試験を実施した時の容器内の温度上昇履歴を図3に示す。Type4容器への急速充填では、プレクールの条件によっては容器内温度が規定の85を超える可能性があった。流量が少ないため、プレクールの効果が小さくなったことが主要因と考えられる。これらの結果から、FC二輪車用の小容量タンクはType3に限定することが提案され、2017年に国内の基準に導入された。



(1) Type 3



(1) Type 4

図3 一定昇圧率による充填時の容器内温度

水素ステーションでは、初期圧推定や容積推定などを行う短時間の充填(プレショット)が実際の充填

前に実施される。容器容量の大きい四輪車では問題にならないが、二輪車ではプレシヨットでも容器には相対的に大量の水素が充填されるため、温度上昇が大きくなる懸念がある。そこで、Type3 容器を対象に初期圧測定などを想定した短時間の充填試験を実施した。図 4 と図 5 に初期圧測定と容積推定を想定した充填の結果を示す。今回の条件では、85 を超えることなく充填できることが確認できた。

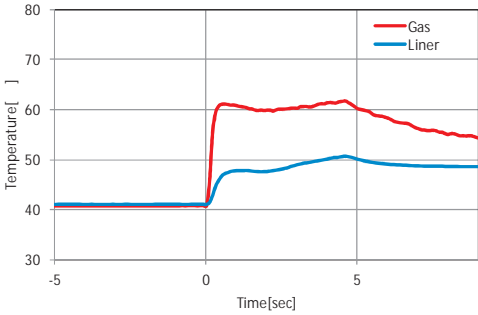


図 4 初期圧測定を想定した充填（40g/4s）の容器内温度

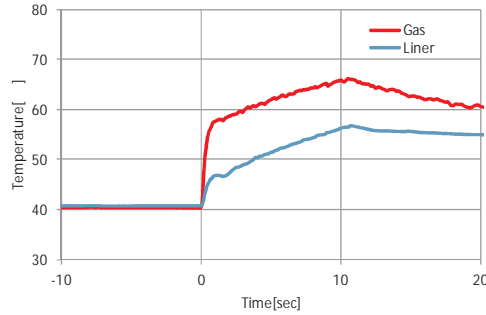


図 5 容積推定を想定した充填（130g/10s）の容器内温度

燃料電池二輪車用の小容量タンクの充填プロトコルは、SAE J2601 に新しく採用された MC-Formula をベースとして新たに開発することになった。MC-Formula は逐次制御する可変昇圧率の充填方式で、従来の一定昇圧率の充填方式とは異なる。昇圧率が可変する時の基礎的なデータ取得を目的として MC-Formula ベースの昇圧率の変化に対応できる充填制御システムの開発を行った。二輪車用の 10L タンクに対して、プレシヨットも含めて充填プロトコルの開発に資するデータの取得を進めた。図 6 にプレシヨットも含めた充填時の圧力履歴を示す。プレシヨットの充填量は設備の配管径や長さ等に依存するが、使用した配管システムでは初期圧 0.5MPa からのプレシヨットで約 7MPa まで上昇した。プレシヨット後の充填制御も昇圧率の可変（0.4~0.6MPa/s）に追従しており基礎データの取得が可能となった。

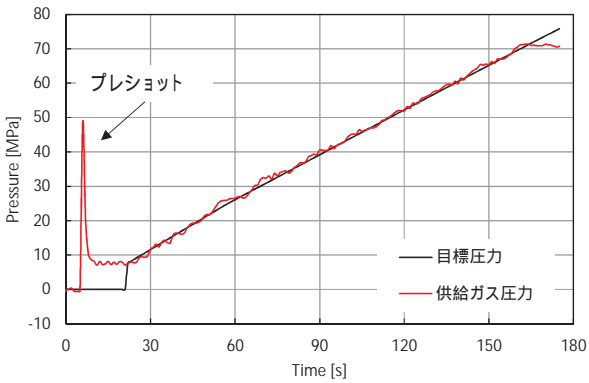


図 6 プレシヨットと MC-Formula ベースの充填時の圧力履歴

これらの FC 二輪車に関する試験結果は、容器に関する国内基準の策定や新規充填プロトコルの作成に資するデータとなった（ ）。

ノズル/レセプタクル氷結固着

プレクールされた水素を繰り返し充填すると、ノズル・レセプタクルに結露した水が氷結してノズルが外れなくなる事例が報告されている。ノズル氷結防止のため、ISO17268(水素コネクタ)への提案を想定したノズル・レセプタクル氷結評価試験法を確立する必要がある。そこで、模擬充填を繰り返して氷結を発生させる試験を行い、氷結現象のメカニズムを解明し、評価試験方法を開発した。図7に示すように温度と湿度を一定に保持した装置内で3分間の水素充填(35MPa, 2kg)を一定の時間間隔で実施し、充填ごとにレセプタクルを切り替えて新しいFCVへの充填を模擬する評価試験方法である。

試験結果から、ノズル離脱後の待機時の冷えたノズルに水蒸気が凝縮し、次の充填時に溜まった水分が氷結したことが氷結現象の主要因と考えられる。氷結の防止には、水蒸気の凝縮を抑制することが重要であり、待機時にノズル充填口にキャップをすることが極めて有効であることが確認された。また、サブテーマ2の国際標準化活動においてこの評価試験方法を提案して採用された()。

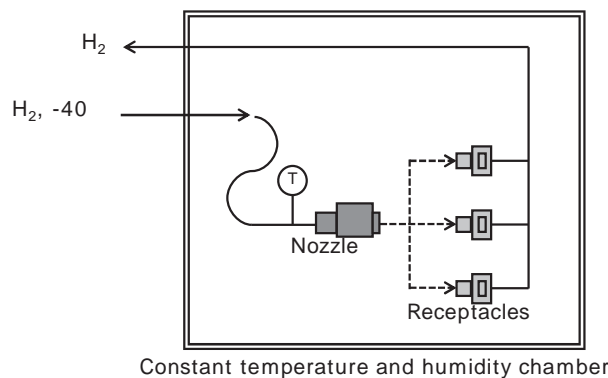


図7 氷結氷解試験の概要

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - : <担当:九州大学>

1. 水素の新充填法の開発

1.1 水素充填の支配方程式

水素ステーションでの水素供給は、概ね図8の機器から構成されている。これらの構成機器を考慮したときの容器内水素に対するエネルギー式は積分形で次式となる。



図8 プレクーラー - からノズルまでの流れ

$$U(p(t), T(t)) - U(p_o, T_o) = Q(t) - W(t) + \int_0^t m_{in} h_{in} dt + \int_0^t (q_{pre}(t) + q_{pipe}(t) + q_{coup}(t) + q_{hose}(t) + q_{noz}(t)) dt \quad (1)$$

ここで、タンク以外の熱マス(非定常伝熱項)は、図8中の各機器となる。プレクーラーや配管の熱マス

の非定常伝熱量は解析的に推定することが可能であるが、それ以外の機器は複雑な形状のため、解析的に検討することは不可能である。SAE J2601 プロトコル作成においても、これらの項については、各機器は初期（周囲）温度から供給水素温度まで冷却されると仮定して、非定常伝熱量が評価されている。

式（1）中の非定常伝熱量、供給水素のエンタルピー、容器膨張に伴う仕事及び充填中の容器壁への伝熱量が時々刻々と求められると容器内の全内部エネルギーが求められる。

一方、充填水素量と初期水素量から容器内の水素量が求められていると、容器内の比内部エネルギーが時々刻々計算される。容器内の水素圧力もステーションで計測されていることから、容器内の水素温度を圧力と比内部エネルギーから推定することができる。この結果、水素充填中の容器内温度を常にステーションでモニターしながら水素充填をすることが可能になる。

1.2 非定常伝熱量の推定と充填水素への影響について

非定常伝熱量は、充填開始後時々刻々と変化するので、配管のように非常に簡単な形状については、時間の関数として推定することも可能であるが、複雑な形状、例えばカップリングなどについては、時間の関数として与えることは不可能に近い状況にある。しかし、式(1)から、状態量である内部エネルギーは最初と最後の状態量だけで決定されることから、もし非定常伝熱が充填終了時まで定常状態になっておれば、非定常時間中の伝熱量を時間の関数として与える必要がなく、非定常に伴う全伝熱量のみ取り扱えばよいことになる。

（1）プレクーラー内の非定常伝熱量の影響

プレクーラー内の配管は、充填開始直後は冷媒温度に保たれているので、充填開始後配管温度は定常状態になるまで温度上昇する。この温度上昇がプレクーラー内の非定常伝熱量となる。この伝熱量は、プレクーラー出口温度を設計温度よりもより低い温度の水素の流出となる。

配管に対する非定常解析から、非定常時間はいずれの場合においても 60 秒以内で終了することが明らかになった。従って、3分程度の水素充填を取り扱う場合、充填終了時における全非定常伝熱量に伴う水素温度を考慮するだけで十分である。図 9 は、1 例として水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合におけるプレクーラー - での非定常伝熱量に伴う充填終了時における水素温度の上昇を示す。

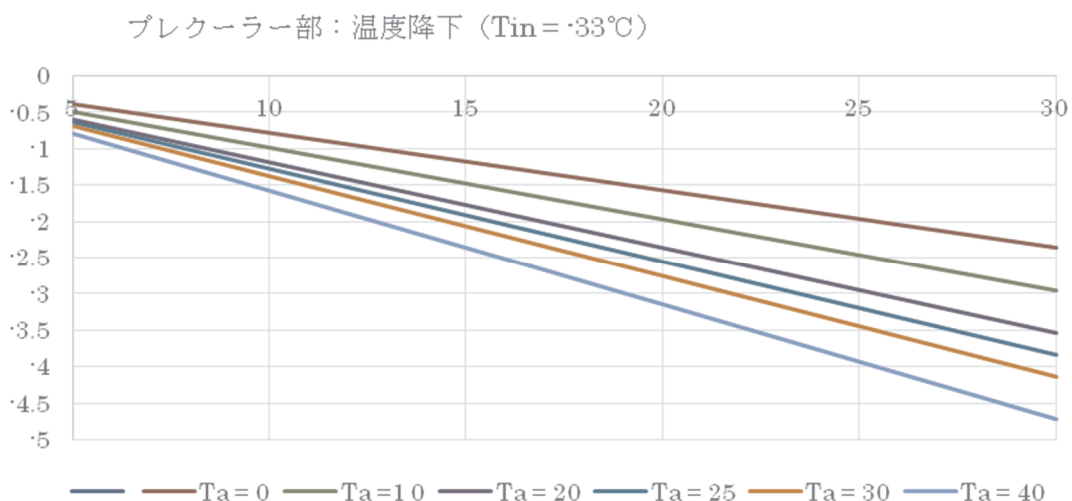


図 9 プレクーラーでの非定常伝熱量に伴う容器内水素温度の降下(横軸：プレクーラー内の配管長さ， T_a :周囲温度)

図 9 から、周囲温度が 40 の場合配管長さに伴って、水素温度が数 度 低下することが分かる。

(2) 断熱円管での非定常伝熱量の影響

プレクールされた水素が断熱配管内を通過するとき、周囲温度に保たれていた配管からの伝熱によって定常状態に到達するまで水素温度は温度上昇する。図 10 は、プレクーラーの場合と全く同じ条件で計算した結果を示す。

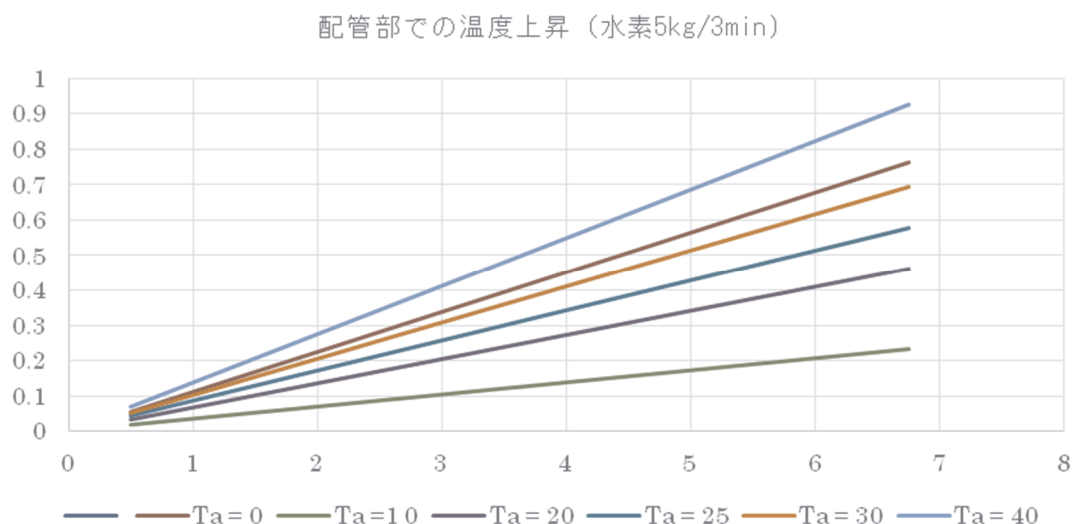


図 10 配管部での非定常伝熱量に伴う容器内水素温度上昇(横軸：配管長さ)

図 10 から、配管での非定常伝熱量に伴う温度上昇は、水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合、管長 7 m でも 1 程度である。

(3) カップリング、ホース、ノズル部での非定常伝熱量の影響

これらの要素は、複雑な形状のため、解析的な検討は不可能である。従って、SAE の基準として参照された熱マスを基に、水素 5kg を 3 分で水素を充填終了した場合の水素温度上昇を計算した結果を図 11 に示す。

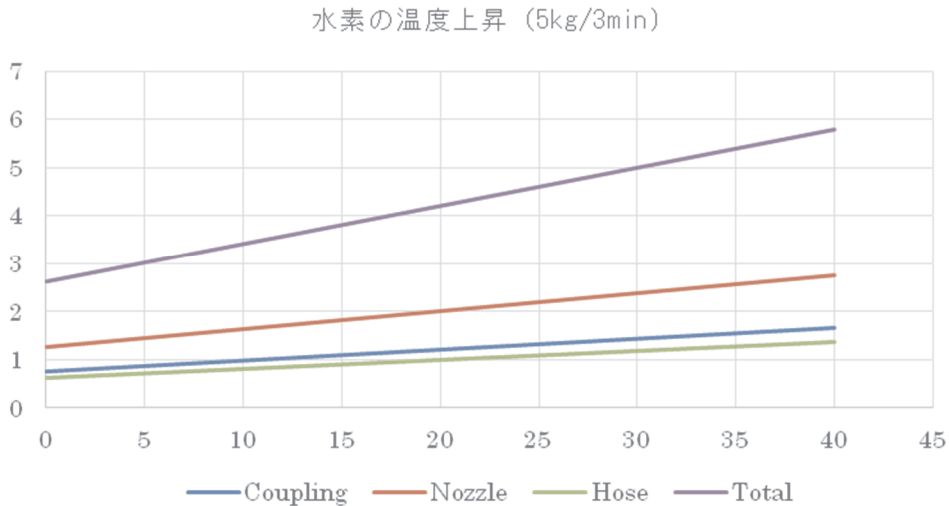


図 11 各要素機器での熱マスに伴う水素温度の上昇(横軸：周囲温度，Ta)

図 11 から、各機器による非定常温度上昇は 2~3 程度であるが、全体では、最大 6 程度の温度上昇となる。

1.3 水素充填中の水素から容器壁への伝熱量について

充填中の容器内の水素温度は、常に 85 以下に保つことが定められているので、水素温度が充填開始後数秒後に 85 になるという最悪のシナリオでの伝熱量を解析的に推定し、その伝熱量の近似式を導出し、式(2)の関数形で与えた。

$$Q^*(t) = \frac{Q(t)}{h_i(T_f - T_o)} = \sum_{n=0}^3 a_n t^n \quad (\text{係数の値、省略}) \quad (2)$$

この結果、式(1)の計算に必要な全ての量が整ったので、水素充填中の容器内水素温度を充填することが可能となる。

図 12 は、充填中の水素温度を推定するための計算の流れ図を示す。容器の容積が与えられている必要があるが、初期圧力と周囲温度が与えられると SAE2601LookUp テーブルの圧力上昇率 (APRR) を基に水素の充填をしながら、ステーションが容器内水素温度を監視しながら充填を実行することが可能となる。

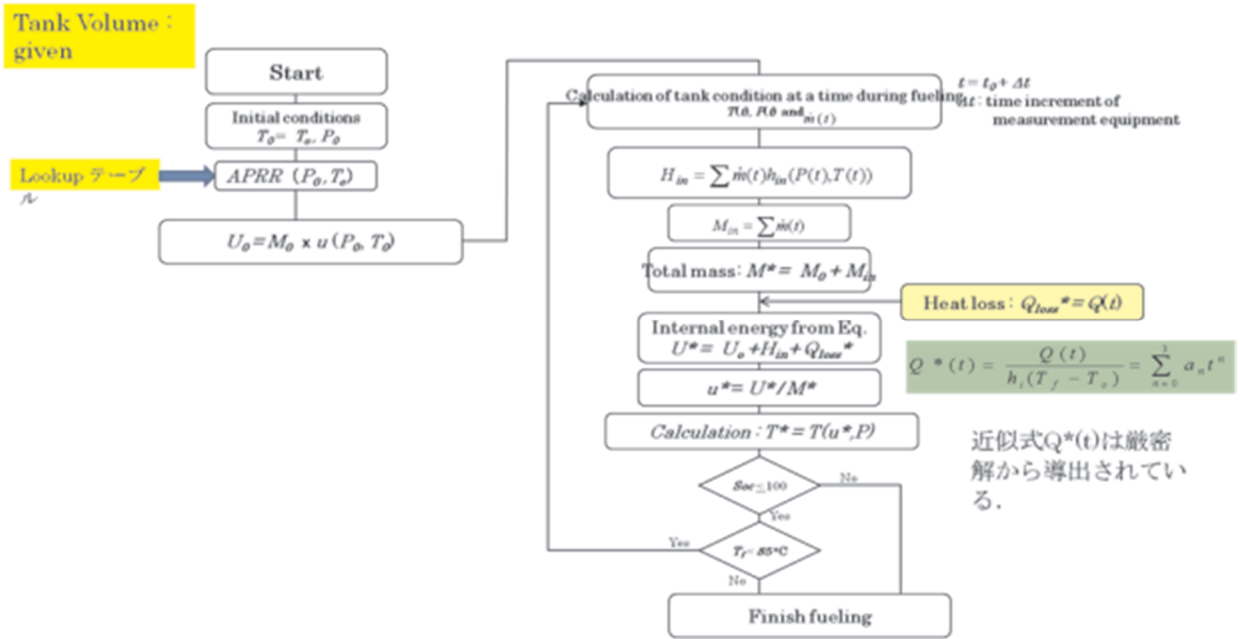


図 12 新水素充填の充填の流れ

図 13 は、1 例として充填条件 T_{amb} 、 $p_0 = 2$ MPa の場合について、図 12 に示される充填手順に従って充填したときの充填中の温度変化の比較を示す。推定された水素温度は、充填開始直後の数秒を除いて、LookUp テーブルでの推定温度と新しい充填方法から推定された温度が非常に一致していることが確認できる。なお、 $p_0 = 2$ MPa で $T_{amb} = 0 \sim 45$ の範囲で新充填法に基づいて水素温度を計算した結果、全ての場合で LookUp テーブルでの温度推定値とほぼ一致することが確認された。

熱マスを考慮した水素温度との比較
($T_{in} = -33^\circ C$)

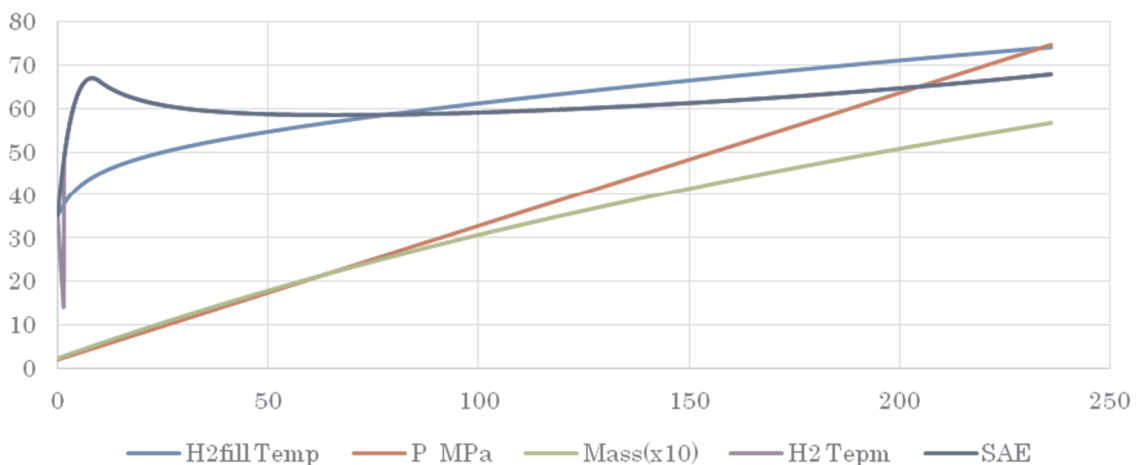


図 13 充填シミュレーションでの推定温度の比較(横軸：時間，秒)

2. ダイナミックシミュレーションの開発

充填される水素に対するエネルギー式や水素ステーションの各機器からの伝熱量の考察に基づき、水素ステーション全体を対象とした水素充填シミュレーション（ダイナミックシミュレーション）を開発した。図14にダイナミックシミュレーションの図を示す。本ソフトは蓄圧器やプレクーラー、各種配管、FCVタンクといった要素機器を通過する水素の温度、圧力および流量を逐次計算することができる。またシミュレーションに用いられる物性値は、水素物性データベースから計算されており、正確な物性値と理論に基づいた水素への伝熱量を求めることで、自由度の高いシミュレーションを行うことができる。さらに本シミュレーションは、水素を一定昇圧率、可変昇圧率および一定流量で供給するなど、様々な条件で水素を供給することが可能である。

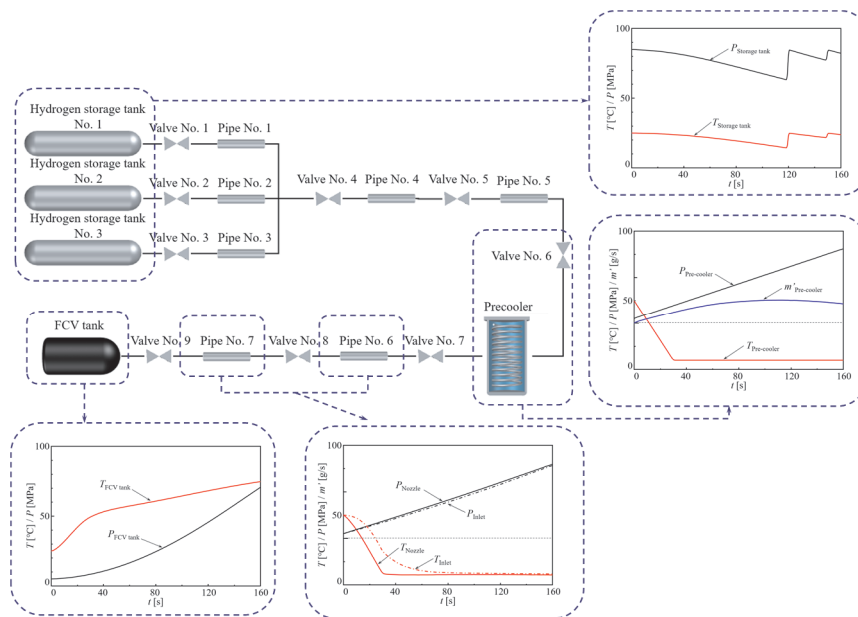


図14 ダイナミックシミュレーション

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) : <担当 : HySUT >

平成25年度の充填技術の検証はNEDO別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証 / 技術・社会実証研究」で実施しており、本事業では平成26年度からの実施となる。本事業で実施した充填試験の一覧を表3に示す。検証試験においてはトヨタ試験車両及びHySUT充填評価装置を活用し、ガイドラインに定められた 昇圧率選択型充填性能確認検査、高昇圧率充填性能確認検査、及び低昇圧率充填性能確認検査 を中心に圧力上昇率の制御性、プレクール温度の制御性を確認した。

表 3 充填試験一覧

ST	実施日	試験目的	成果
千住	2014年7月15日	直充填・差圧充填及びトップオフの組合せ制御性の確認	直充填・差圧充填併用時の昇圧率制御の健全性とトップオフによるSOCメリットを確認した
	2014年7月16日		
	2014年8月20日	トップオフ時のシステム制御性改善	制御追従性の改善を行い、良好な昇圧率追従性を確認
海老名中央	2014年8月6日	昇圧率制御性の確認試験	圧力制御パラメータの最適化を行うためのデータ取得
	2014年8月7日		
	2014年8月27日	HySUT号及びリース車両による、JPEC-S及びリース車モードの充填制御性確認	JPEC-S及びリース車モードに適合した充填の健全性を確認した
	2014年8月28日		
2014年8月29日			
神の倉	2014年9月4日	充填性能確認ガイドラインに沿った3つの昇圧率試験(昇圧率選択、高昇圧率、低昇圧率)	水素保有量の関係から充填を2分割し、ガイドラインに沿った性能を有する事を確認した
	2014年9月5日		
	2014年9月29日		
	2014年9月30日		
とよたエコフル	2014年6月11日	充填性能確認ガイドラインに沿った充填試験の実施	ガイドラインに沿った充填性能を有する事を確認
	2014年11月4日	バス充填プロトコル性能の事前確認	バス目標昇圧率相当での制御の健全性を確認
	2014年11月5日		
	2014年11月20日	水結固着防止対策の効果確認	水結固着防止対策の評価法を検討し、STで検証を実施
	2014年11月21日		
	2015年2月3日	バス充填試験	バス目標昇圧率充填の健全性確認。最低昇圧率制御の課題確認
2015年2月4日			
霞ヶ関	2015年1月15日	移動式STの新型FCV充填健全性の確認	専用プロトコルでの充填健全性確認
有明	2014年11月14日	フレクフル無し新型FCV充填健全性確認	専用プロトコルでの充填健全性確認

千住水素ステーションにおいては、圧縮機からの直接充填及び差圧充填を組み合わせる制御技術、充填終了付近で昇圧率を減少し充填量を増加するトップオフ及び容積推定などの充填要素の検証試験を実施した。 検証試験により直充填・差圧充填を組み合わせてもガイドラインに規定した範囲内で圧力上昇率を制御できる事を確認した。 また、トップオフを行う事により通常停止時に4MPa有ったディスペンサと車両容器の差圧をほぼゼロとする事が出来る事が確認できた。

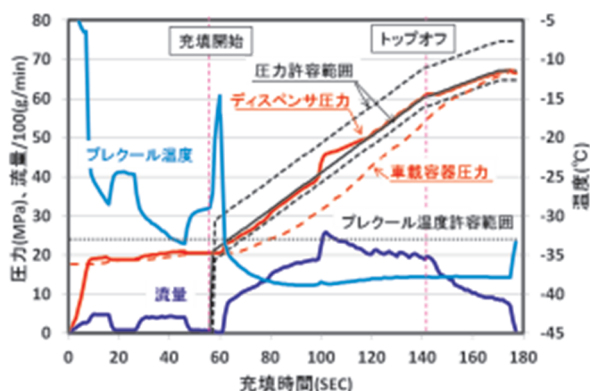


図 15 ガイドライン検証試験（千住試験結果、試験風景）

また、海老名中央水素ステーションでは、リース車充填モード及びガイドラインの両方に適合する条件で、流調弁の制御パラメータの調整をおこない、圧力上昇率制御の健全性を確認した。さらに、神の倉水素ステーションでは、水素保有量の関係で全圧力領域連続での充填が実施できなかったため、圧力領域を2分割し充填試験を実施した。神の倉水素ステーションでの充填試験例を図22に示す。

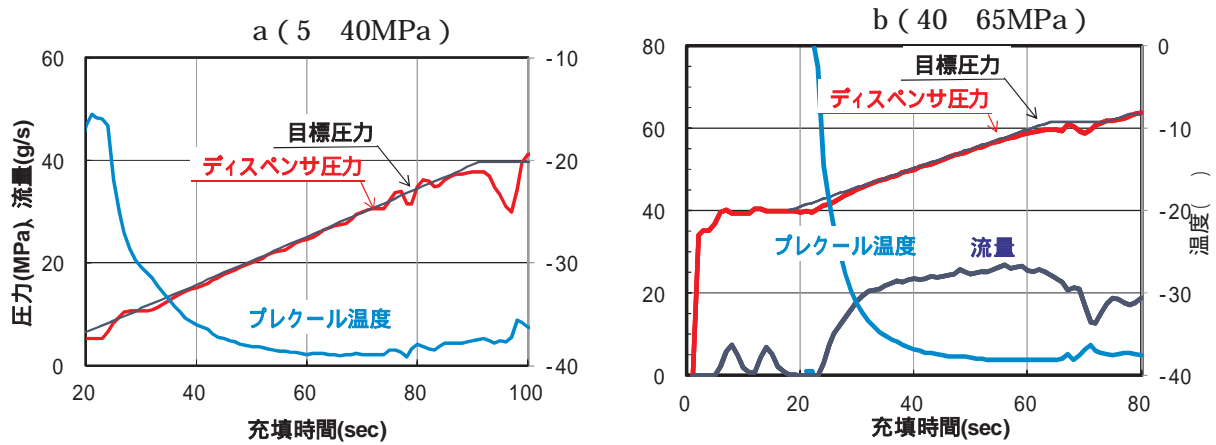
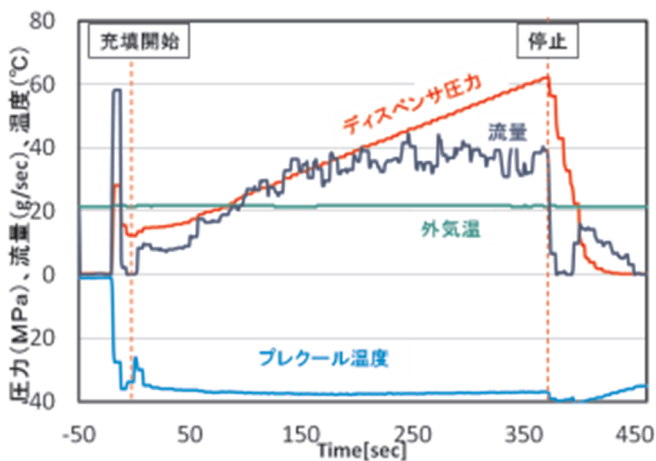


図 16 ガイドライン検証試験（神の倉試験結果）

さらに、とよたエコフルタウンステーションでは、バス用充填基準の制定に先立ち事前確認試験を行った。充填試験の結果、当初計画通りにバスへ充填出来る事を確認できた。バス充填試験結果を図17に示す。



項目	結果	判定基準
昇圧率 (圧力)	Max. +1.3MPa Min. -2.4MPa	+7MPa, -2.5MPa以内
最大流量	44g/sec	60g/sec以下
プレクール	→	-40°C~-33°C
SOC	84%	100%以下
総充填時間	7分50秒	-
充填量	11.3kg	-

図 17 バス充填試験（試験風景、試験結果）

H28年2月の例示基準改正により、gtr容器への、充填時82MPaが許容された。それまで、70MPaを上限としての検証により、ガイドライン(2014)の実用的な運用が可能であることを確認してきたが、70MPa超え領域確認用充填性能評価装置を作成し、データの蓄積を行っている。 充填試験結果の一例を図18に示す。

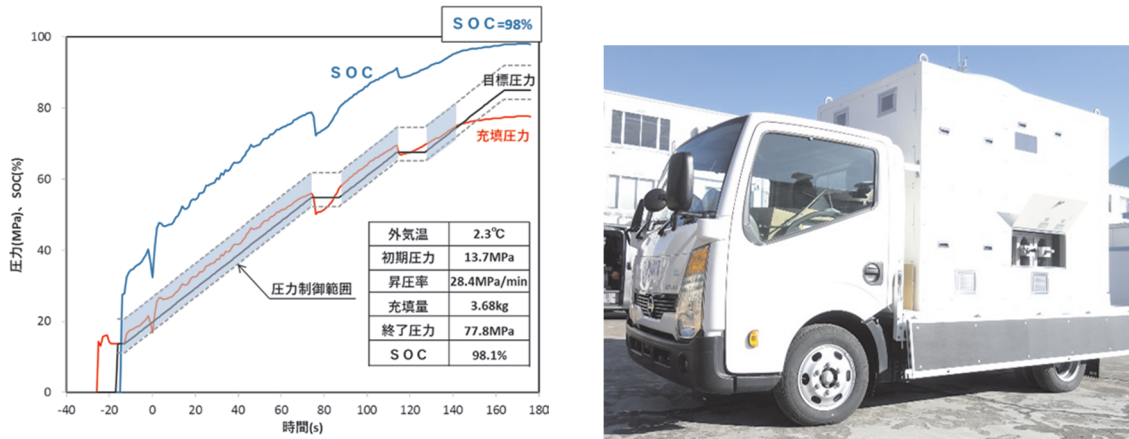


図18 ガイドライン検証試験（82MPa）、70MPa超領域確認用充填性能評価装置

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当：九州大>

水素ステーションからFCVへの水素充填シミュレーションの高精度化を目指し、充填プロセスで必要とされる233 K(-40℃)～常温、最大100 MPaまでの低温、高圧域において、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率を測定し、相関式の高精度化を図る。本研究では、粘性係数測定に振動細線法、熱伝導率測定に非定常短細線法を採用した。これらの方法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また、どちらも高圧容器内に細線を設置してセンサとして使用するなど共通点が多いことから、圧力容器およびプローブを変更するだけの共通の装置を開発することができる。振動細線法では、細線を永久磁石とともに圧力容器内に設置し、磁場中で交流電圧を印加させることでローレンツ力を発生させて細線を振動させる。そして振動の様相から試料の粘性係数を算出する。一般的な振動細線法では、直線状の細線が用いられるが、本研究では圧力容器の小型化と振動モードの固定化を図り、半円弧状の細線を採用した。この方法は、過去に液体ヘリウム測定において見られ、本研究では、幅広い温度範囲での適用性や測定精度に関して検討を行った。図19に振動細線法における細線モジュールの概念図(左図)と実際に用いたプローブ(右図)を示す。試料が充填されている中で振動するセンサの運動方程式は式(3)で記述される。式(4)、(5)は境界条件である。

$$\pi^2 \rho_w \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{\pi^4}{4} E \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \left(D \frac{\partial y}{\partial t} + c' \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) + BI_0 \sin\left(\frac{\pi}{L} x\right) \sin(\omega t) - Q_{vac}^{-1} \omega \rho_w \pi^2 \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3)$$

$$y(0, t) = y(L, t) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=L} = 0 \quad (5)$$

記号表

B	磁束密度
E	センサのヤング率
$H_n^{(1)}$	ハンケル関数
I_0	初期電圧
L	センサ長さ
Q_{vac}^{-1}	内部摩擦係数
r	センサ半径
η	粘性係数
ρ_s	試料密度
ρ_w	センサ密度
ω	角周波数
ω_0	共鳴角周波数

式(3)中のパラメータは式(6)-(10)で表される。

$$D = \pi \rho_s r^2 \omega k'(m) \quad (6)$$

$$c' = \pi \rho_s r^2 k(m) \quad (7)$$

$$m = \frac{r}{2} \sqrt{\omega \rho_s / \eta} \quad (8)$$

$$k + ik' = 1 - \frac{\sqrt{2}(1-i)}{m} \frac{H_1^{(1)}(z)}{H_0^{(1)}(z)} \quad (9)$$

$$z = \sqrt{2}(1+i)m \quad (10)$$

このとき発生する誘導起電力は付加電流の周波数と同位相および90度ずれた位相の成分に分けることができ、式(11)のように記述できる。

$$V(t) = V_i \cos(\omega t) + V_q \sin(\omega t) \quad (11)$$

式(11)中の V_i および V_q はそれぞれ式(12)、(13)となる。

$$V_i = V_{\text{offset}} + \frac{4\lambda^2 \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (12)$$

$$V_q = \frac{2\lambda \omega (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (13)$$

ここで、 $V_0 = V_{\text{max}} - V_{\text{offset}}$ である (V_{max} は共鳴曲線の最大値、 V_{offset} はオフセット値)。本装置の概略図を図20に示す。圧力容器内に設置されたタングステン製の細線(直径50 μm 、長さ24 mm)に、周波数の異なる交流電圧をロックインアンプで印加し、各周波数における細線からの誘導起電力を測定して、図21に示すような共鳴曲線を得る。カーブフィッティングを行って、共鳴周波数 ω_0 と半値幅 2ω を求め、基礎式に従って粘性係数を導出する。本装置は低温域での温度制御を行うために、新たに低温用恒温槽を開発した。0.7 MPaまでの圧力において低温域で測定した水素の粘性係数の結果を図22に示す。得られた粘性係数の測定不確かさは1.4%であり、233 Kまでの低温域において、既存の相関式は実測値と良好に一致していた。

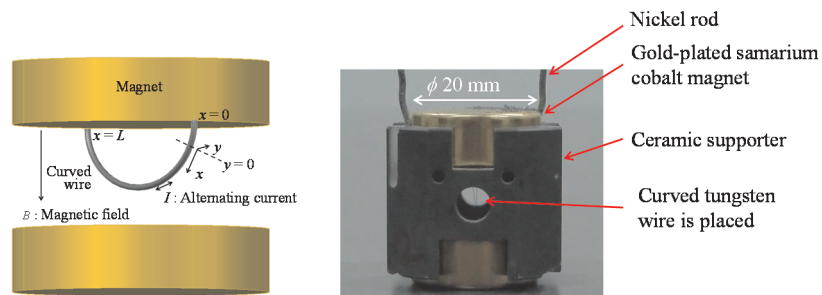


図19 振動細線法に用いられた細線モジュール

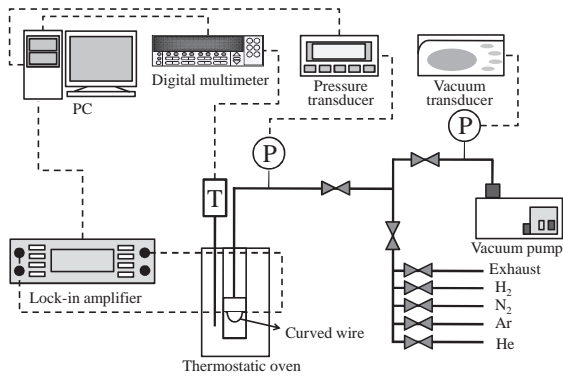


図 20 振動細線法粘性係数装置概略図

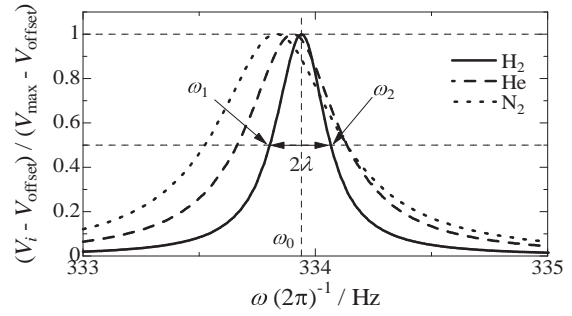


図 21 正規化した水素,ヘリウム,窒素の共鳴曲線(298 K, 0.1 MPa)

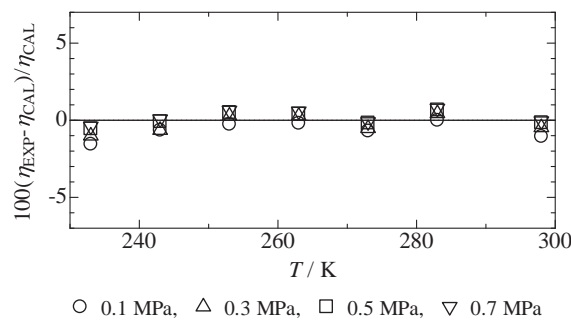


図 22 水素の粘性係数測定値と既存の相関式との比較(0.7 MPa まで)

続いて、低温恒温槽を高圧装置へ設置し、低温域での熱伝導率を測定した。開発した装置を図 23 に示す。非定常短細線法では、圧力容器内に設置した白金細線（直径 10 μm ，長さ 10 mm）に定電流を流すことでこれを加熱し、また白金の抵抗値から温度を測定して、得られる温度上昇と 2 次元熱伝導方程式に基づく数値計算との相関から熱伝導率を求める方法である（図 24 参照）。図 25 は測定された温度上昇と数値解析との相関を示した結果の一例である。

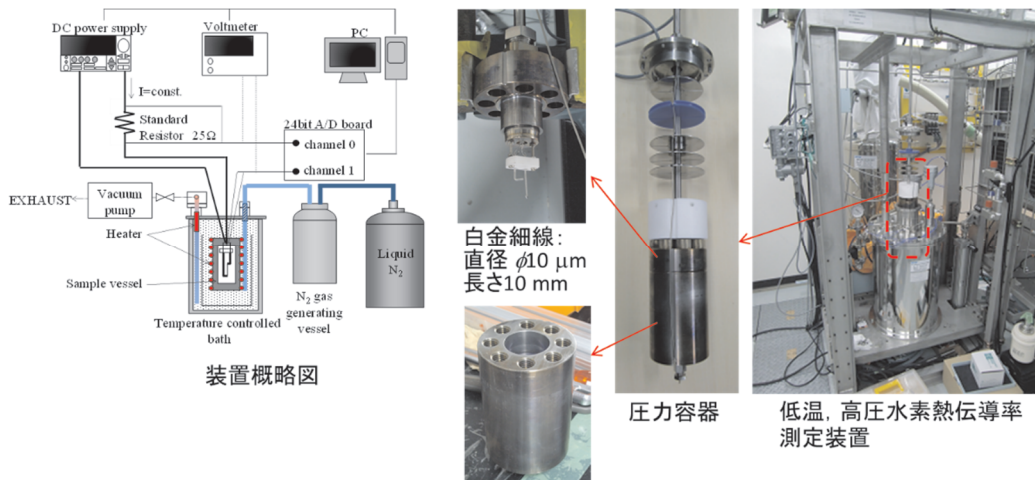


図 23 非定常短細線法熱伝導率装置

最終的に得られた熱伝導率と既存の相関式との比較を図 26 に示す。既存の相関式は、常温では高圧域ま

で実測値と良好に一致しているものの、243 K(-30 ℃)の低温域では、高圧になるにつれ実測値との差が拡大する傾向となった。

2次元熱伝導方程式(円筒座標系)

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q$$

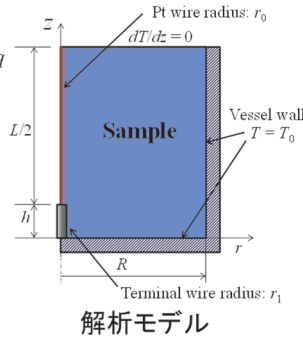
$$q = \frac{Q}{\pi r_0^2} \quad (t > 0, r \leq r_0)$$

$$= 0 \quad (r > r_0, z < h)$$

初期条件: $T|_{t=0} = T_0$

境界条件: $T|_{z=0} = T_0, T|_{r=R} = T_0$

$$dT/dz|_{z=(L/2)+h} = 0$$



非線形最小二乗法を用いて熱伝導率を導出

$$S_{nonlinear} = \sum_{i=1}^{N_{exp}} (T_{exp} - T_i(\lambda, \alpha))^2 \rightarrow \min$$

測定から得られた温度上昇

数値解析から得られた温度上昇

図 24 熱伝導率の測定原理

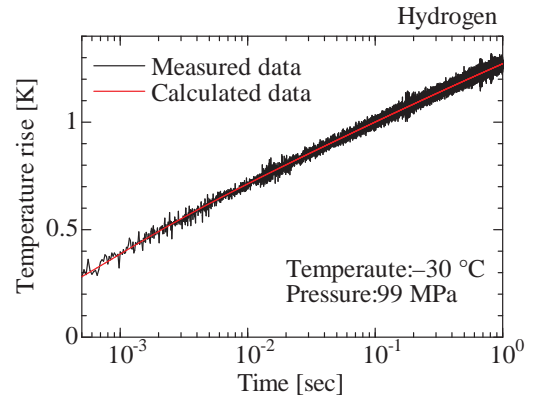


図 25 測定された試料の温度上昇と数値解析との相関(243 K, 99 MPa)

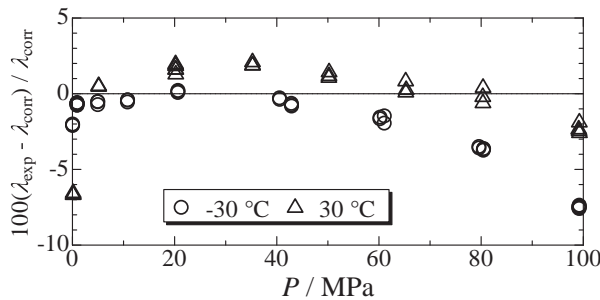


図 26 水素の熱伝導率測定値と既存の相関式との比較

3.2 成果の意義

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定<担当：HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備:<担当：JPEC>

本課題における成果としては、下記2点が挙げられる。

FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

FCV への水素充填に係る自主基準の策定より、水素ステーション設置企業、水素ステーション機器メーカー等の取り組みに対する基盤的知見を提供できることとなり、すでに、70以上の企業・団体に開示されている。また、本課題の成果は、それに基づくHySUTでの取り組みの成果として策定された『水素ステーションの充填性能確認のガイドライン』と相まって、より広範に水素供給インフラの構築に寄与していくことが期待される。

FCバスへの水素充填に係る自主基準の整備

海外では国内に導入される FC バスと異なる仕様の FC バスが導入されており、国内の FC バスに対応した基準やプロトコルは制定されていない。ただし、本事業で制定された FC バス用の自主基準は、海外で普及している SAE J2601 に準拠した FCV 用ステーションに適用可能な基準であることから、SAE において中負荷車両(MDV)用の充填基準として本基準の導入検討が進められている。将来国内の FC バスを海外に普及させる可能性も考慮して策定された本事業の成果は国際的にも有効に活用されつつある。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：＜担当：HySUT＞

充填性能確認ガイドラインを策定した意義の1つとして、国内水素ステーション建設に対する共通目標を設定し、性能レベルを高いレベルで均一化した事が挙げられる。本事業成果である充填性能確認ガイドラインは次世代自動車振興センターの交付する水素ステーション建設補助金の条件として採用されている。さらに、最終性能確認方法が統一された事から、ステーション建設者にとって、ステーションの性能調整・確認が効率的となったこと等、インフラ整備の面から各種の貢献をすることができた。

さらに、ステーションの性能確認においては、ガイドラインの整備、評価装置の製作の点で日本が最も進んでおり、日本の開発内容を紹介する事でステーション性能評価の国際調和で主導的な役割を果たし、水素インフラ領域における日本のプレゼンス向上に貢献した。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携＜担当：HySUT、JARI＞

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

J2601 の発行後、国内の充填基準の見直し方向についての提案を行った。また、ISO19880-1 ステーション規格中の充填プロトコルの規定等、ISO に関連する充填プロトコルに係る事案について、国内基準との整合を目指し、審議に積極的に参加することにより、充填プロトコルに関連してプロトコル及び評価ガイドラインを欧米(SAE、ISO)に提案し、充填基準の国際標準化に貢献した。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

ノズル/レセプタクルの氷結に係る試験法を策定し、業界の要望に応じて、新規提案に結びつけた。併せて SAE J2600 への提案も実施することにより、ノズル/レセプタクルの改定案が ISO、SAE とともに審議され、双方整合した国際標準化に貢献した。

(3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

水素充填基準整備を北米、欧州と協調を図りながら推進し、FCV・水素インフラ整備で世界をリードする日本としての役割を果たした。また、欧米との情報共有で得た情報を国内関係者に発信することで、海外の状況及び日本の位置づけを共通認識として持つ事に貢献した。

サブテーマ3：充填技術開発/充填技術検証＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大＞

(1) 新通信充填プロトコル開発：＜担当：JARI＞

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FCバスおよびFC二輪など)の開発に資する試験データの取得を進めた。これらの成果は、FCバスおよびFC二輪用の充填プロトコルの作成に寄与してお

り、今後のFCバスおよびFC二輪車の普及に繋がるものである。

また、水素ステーションでの充填時のノズル/レセプタクル氷結現象のメカニズム解明を行った。この成果は、国際規格改定に必要なデータとなった。氷結を防止する充填方法の確立に貢献するものである。

(2)水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - : <担当:九州大>

新しいプロトコルの開発によって、LookUp テーブルに基づく充填が必要でなくなる。また、充填が水素ステーションでの計測だけで安全に実行される。充填中に水素温度が決められたカテゴリーから逸脱する場合の救済措置として、フォールバック充填が行われることになっているが、この充填が不要になる。新しい充填法によって、充填システムの自動化がより簡単化される可能性がある。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) : <担当:HySUT>

充填基準及び充填性能確認ガイドラインを事前に検証し、その安全性及び有効性を確認した。また実際の商用ステーション建設において、スムーズな運転調整・確認を行えるようになり、商用ステーション建設の時間短縮に貢献した。

サブテーマ4: 充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当:九州大>

水素の粘性係数測定について、半円弧状の細線を用いた振動細線法における測定および新しい解析手法を確立した。振動細線法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また熱伝導率と共通の実験装置で測定ができるようになった。233 K までの低温を実現する恒温槽を開発し、低温、高圧域での測定が可能となった。

3.3 開発項目別残課題

サブテーマ1: 国内基準類の改正案作成及び制定<担当:HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備: <担当:JPEC>
特になし

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定: <担当:HySUT>
特になし。

サブテーマ2: 国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当:HySUT、JARI>

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映: <担当:JARI>

充填に伴うコスト削減および充填基準の適用範囲の拡大(タンク容量の範囲拡大、ノンプレクール充填の導入など)のための充填技術について、国際標準化および技術基準・指針の策定が必要である。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映: <担当:JARI>

充填プロトコルの適用範囲の拡大、および大流量充填対応のため、それぞれのためのノズル/レセプタクル規格の開発および国際標準化が必要である。

(3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

特になし

サブテーマ3：充填技術開発／充填技術検証＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大＞

(1) 新通信充填プロトコル開発：＜担当：JARI＞

充填に伴うコスト削減および充填基準の適用範囲の拡大（タンク容量の範囲拡大、ノンプレクール充填の導入など）のための充填技術について、その策定に必要な技術開発が必要である。

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - ＜担当：九州大＞

水素ステーション全体を対象として、各機器を通過する水素の温度、圧力および流量を逐次計算することが可能なダイナミックシミュレーションを開発した。本シミュレーションは正確な物性値を用いている他、各機器からの水素への伝熱量を理論に基づいて計算していることから、自由度の高い正確なシミュレーションであると言える。充填方法も様々な条件で実行できることから、水素ステーションの設計および様々な容器に対する充填方法の検証をも可能にするものである。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積)：＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先＞

商用ステーションでの 82MPa 充填試験では、ガイドラインの実用性確認を行い、問題点は提起されていない。データの蓄積を行っていく。

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得＜担当：九州大＞

水素の粘性係数測定について、半円弧状の細線を用いた振動細線法における測定および新しい解析手法を確立した。振動細線法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また熱伝導率と共通の実験装置で測定ができるようになった。低温の温度制御を可能にする恒温槽を開発し、最終的に粘性係数のデータを取得して既存の相関式に対する評価を行った。また、熱伝導率についても非定常短細線法を用いて低温域のデータを取得し、既存の状態方程式は高圧域で偏差が拡大する傾向があることを示した。

4．まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本テーマの目標は、4事業者が各自の分担した役割を達成することにより、FCV・水素インフラ普及に必要な法的環境及び技術を整備することである。事業成果は既に段階的に実用化が開始されており、現在進行中の水素ステーション普及拡大に貢献している。各事業者の分担及び成果の概要を以下に示す。

石油エネルギー技術センター（JPEC）

70MPa 水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するために必要な技術基準の整備を行う。具体的には NEDO 別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証 / 技術・社会実証研究」で制定した 70MPa までの技術基準を改定し、87.5MPa を上限とする充填基準を制定した。これにより、水素充填量が増加

する事で、FCV の航続距離が延長でき利便性がさらに向上する。さらに FC バスにも適用できる基準を追加策定した。今後関連する高圧ガス保安規則関連の例示基準が改定されれば、FC バス用のステーションや、FC バスに充填可能なステーションの拡充が図れることになる。

水素供給利用技術協会 (HySUT)

水素ステーションが JPEC の制定する充填技術基準に合致する性能を有する事を確認するためのガイドラインを作成した。70MPa ステーションの充填性能確認ガイドライン(2013)、87.5MPa を上限とする充填性能確認ガイドライン(2014)及び10kg 超の容器に適用可能な充填性能確認ガイドライン(2016)を制定した。本ガイドラインはそれぞれ該当する商用ステーション建設補助金交付の要件となっており、ステーションの性能標準として実用化されている。

日本自動車研究所 (JARI)

充填基準の世界標準を議論する SAE の会議等に参加し、国内の自動車・水素インフラ関係者の意見を集約して対応した。この結果、SAE 充填基準を国内で受け入れ可能な内容で発行することができた。また、国内外の基準を作るために必要な充填検証試験を実施し、新規充填プロトコルの開発に資する基礎データの取得ができた。ノズル・レセプタクルの氷結問題の評価試験方法を開発し、ISO に取り入れられた。

九州大学

国内及び海外充填基準を作成するために必要な充填シミュレーションを行い国内充填基準作成及び海外への技術提案のサポートを行った。また、充填プログラムは充填中にディスペンサで計算可能な計算容量で十分な精度を確保するための改良を行い、新しいプロトコル開発の準備を行った。また、シミュレーション精度向上のために必要な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率データ取得のために、計測装置を開発し、計測手法を確立した。一部の温度、圧力領域についてはデータの収集を行っている。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014 年 3 月	European Hydrogen Energy Conference	Vibrating Wire Method with Semi-circle Wire for Measuring Hydrogen Viscosity	T. Hisatsugu, T. Uehara, K. Furusato, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata
2	2014 年 9 月	KU-KAIST セミナー	VISCOSITY MEASUREMENT OF HYDROGEN IN THE TEMPERATURE REGION FROM -40 ℃ TO 25 ℃ WITH SEMI-CIRCLE WIRE	T. Hisatsugu, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata

3	2014年10月	World of Energy solution at Stuttgart, Germany	New Method for Hydrogen Refueling at Hydrogen Station	M. Monde
4	2014年10月	自動車技術会秋季大会学術講演会	水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験	開渉, 三石洋之
5	2014年11月	第35回日本熱物性シンポジウム	半円弧状振動細線法による-40 から25 の温度域における水素の粘性係数測定	久次達也, 新里寛英, 迫田直也, 河野正直, 高田保之
6	2014年11月	Fuel Cell Seminar at Los Angeles, USA	New Method for Fueling Hydrogen into High Pressure Tank	M. Monde
7	2014年11月	日本機械学会 熱工学コンファレンス2014	高圧水素の熱物性計測 水素インフラの普及に向けた研究の取組み	迫田直也, 粥川洋平, 新里寛英, 河野正道, 門出政則, 高田保之
8	2015年4月	SAE 2015 World Congress	New Method for Refueling Hydrogen into High Pressure Tanks	門出政則
9	2015年5月	The Journal of Chemical Thermodynamics	Measurements of Hydrogen at High Temperatures up to 573 K by a Curved Vibrating Wire Method	N. Sakoda, T. Hisatsugu, K. Furusato, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata
10	2015年7月	JARI Research Journal	水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験に関する研究	開渉, 山田英助
11	2015年8月	石油学会誌「ペトロテック」	水素ステーション整備に向けた規制見直し状況と今後の課題	川付正明
12	2015年9月	14th UK Heat Transfer Conference 2015	Heat Transfer Rate from Hydrogen to Tank Wall during Fast Refuelling Process	M. Monde, T. Kuroki, N. Sakoda, Y. Takata
13	2015年10月	World Hydrogen Technologies Convention	Thermal comparison during hydrogen fast filling to type iii and type iv tank	開渉, 山田英助, 村松仁

			developed for motorcycles	
14	2015年10月	International Conference on Hydrogen Safety	Freeze of nozzle/receptacle during hydrogen fueling	開渉, 三石洋之
15	2015年10月	同上	Hydrogen fast filling to a type IV tank developed for motorcycles	山田英助, 開渉, 村松仁
16	2015年10月	自動車技術会秋季大会学術講演会	燃料電池二輪車用の高圧水素容器への急速充填	山田英助, 開渉, 村松仁
17	2015年10月	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2015	水素急速充填中の車載水素容器形状が水素温度上昇に及ぼす影響	黒木太一、門出政則、迫田直也、新里寛英、高田保之、河野正道
18	2015年11月	Fuel Cell Seminar & Energy Exposition	Thermal Characteristics of Hydrogen Tank Developed for Fuel Cell Motorcycles during Fast Filling	山田英助, 開渉, 村松仁
19	2016年3月	SAE FC Interface Task Force Meeting	Hydrogen Fueling Protocol for 70MPa Class FC Bus	三枝省五
20	2016年3月	日本機械学会 九州学生会 第47回卒業研究発表講演会	低温高圧域における水素の熱伝導率測定	田中丈晴、迫田直也、新里寛英、河野正道、高田保之
21	2016年4月	日本機械学会誌 特集号 2016年4月号	水素ステーションでの高圧水素充填方法	門出政則
22	2016年4月	日本機械学会誌 特集号 2016年4月号	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
23	2016年6月	機械の研究(養賢堂出版)	燃料電池自動車への高圧水素充填方法について	門出政則

24	2016年9月	第48回化学工学会秋季大会)	高圧水素インフラ構築に向けた水素の熱物性計測と水素物性データベースの応用	迫田直也,黒木太一,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
25	2016年9月	第13回 佐賀大学海洋エネルギーシンポジウム 2016	水素インフラ構築に関わる高圧水素の熱物性研究	迫田直也,黒木太一,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
26	2016年9月	日本機械学会年次大会	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	池田哲史
27	2016年9月	東京工業大学 エネルギービジネスにおける参加のデザイン	水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
28	2016年10月	11th Asian Thermophysical Properties Conference, ATPC2016	Measurement of the Thermal Conductivity of Hydrogen at Low Temperature and High Pressure	田中丈晴,迫田直也,新里寛英,河野正道,高田保之
29	2016年10月	自動車技術会 2016年秋季大会学術講演会	水素ステーションでのノズル氷結現象の発生メカニズム解明に関する研究	山田英助,開渉
30	2016年11月	The Fourth International Forum on Heat Transfer	Dynamic Behavior of Hydrogen Temperature and Pressure during Filling	黒木太一,迫田直也,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
31	2016年12月	水素エネルギー協会誌	高圧水素熱物性の精密測定と水素物性データベースの応用	迫田直也
32	2017年1月	日本機械学会関東支部講習会	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
33	2017年1月	山梨大学 燃料電池関連製品開発人材養成講座	国内の水素供給インフラにおける主要技術と普及に向けた取り組み	小林芳郎,山梨文徳
34	2017年2月	HYDROGENIUS AND I2CNER JOINT RESEARCH SYMPOSIUM	Prediction of temperature and pressure of hydrogen	黒木太一,迫田直也,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之

			passing through filling equipment	
35	2017年3月	自動車技術会論文集, 48, 3, 667-671	水素ステーションでの ノズル氷結現象の発生 メカニズム解明に関する 研究	山田英助, 開渉
36	2017年3月	日本機械学会九州支 部第70期総会・講 演会	配管壁面からの対流伝 熱を伴う水素温度の予 測	黒木太一、迫田直也、 新里寛英、河野正道、 門出政則、高田保之
37	2017年6月	高分子学会主催 水 素・燃料電池材料研 究会	水素ステーション関連 技術およびインフラ普 及に向けた取り組み	小林芳郎
38	2017年7月	FCCJ FCV・水素イン フラWG	HySUTの活動状況	小林芳郎
39	2017年7月	The 7th World Hydrogen Technology Convention	Dynamic Simulation Software for Prediction of Hydrogen Temperature and Pressure during Refueling Process	黒木太一，迫田直也， 新里寛英，河野正道， 門出政則，高田保之
40	2017年7月	THE 7th WORLD HYDROGEN TECHNOLOGY CONVENTION	Freeze lock mechanism of nozzle after pre- cooled hydrogen filling	山田英助，開渉
41	2017年7月	長崎大学 文教キャン パス	高圧水素および低GWP 冷媒の熱物性測定	迫田 直也
42	2017年9月	The 28th International Symposium on Transport Phenomena- 2017	Thermal Problems of Hydrogen at High Pressures	Y.Takata,N.Sakoda, T.Kuroki,K.Shinzato, M.Monde

(1-9)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和、国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」

委託先：(一財)日本自動車研究所

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・燃料電池自動車の世界統一基準(以下、FCV-GTR Phase2)で審議される予定である安全性評価試験法(車載容器の同所火炎暴露試験法、衝突試験後の車室内水素濃度測定法、水素パージガス試験法)に関わるデータを取得した。
- ・事故後処理に必要な安全弁作動確認手法や水素漏洩音によって安全に車両へ接近する手法を確立し、FCVの消火救助マニュアルや教育教材へ反映させた。
- ・車両から水素容器が取り外された状態での容器単体での安全かつ合理的なくず化処理工程を開発し、容器くず化工程マニュアルに反映させた。
- ・二輪車特有の課題をデータ提供し、2016年、道路運送車両保安基準の細目告示(別添118)により、世界初のFC二輪車の安全基準が策定された。

背景/研究内容・目的

燃料電池自動車(以下、FCV)の普及拡大には、国際基準等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠であり、さらには、安全な事故後処理・廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化や安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究では、国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発、および燃料電池自動車のFCVの普及及び国際競争力確保に資することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
A FCVの国内規制・国際基準調和に資するデータ取得	国際基準(HFCV-GTR Phase2)に必要なデータ取得を進める。
B FCVの国際標準化	本事業のデータを活用し、国内規制を考慮しながら日本が主導的になるよう国際基準・国際会議を進める。
C 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得	安全なFCVの事故後処理方法を明確にするためのデータ取得とFCV用容器くず化マニュアルに資するデータ取得を行う。
D FC二輪車の安全に関するデータ取得	FC二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資するデータ取得

実施体制及び分担等

NEDO
 一般財団法人日本自動車研究所
 (実施項目A, B, C, D)

これまでの実施内容 / 研究成果

- ✓ 車載用容器の同所火炎暴露試験の誤差範囲の影響、衝突試験後の車室内の水素濃度や水素パージガス濃度の閾値に関わるデータを取得した。
- ✓ 火災後のCFRP複合充填容器の取り扱い方や緊急的な脱ガス方法、水素漏洩音により車両へ安全に接近する手法などの事故後処理に関わるデータを取得し、消防関係団体から発行されるFCVの消火・救助マニュアルや教材に反映させた。
- ✓ 容器単体での水素容器のくず化処理工程を開発し、作業マニュアルへ反映させた。
- ✓ 車両搭載状態での水素脱ガスツールを開発し、標準書のツール仕様を定めた。
- ✓ 実火災に生じた問題点の抽出、本事業で開発した事故後処理手法を検証した。
- ✓ FC二輪車の安全性を評価し、道路運送車両保安基準へ反映させた。
- ✓ イグニッションオフ後の水素遮断特性や車載用水素センサー仕様を提案し、合意を得た。また、事故車両の識別やFCV廃車処理に関する標準化について、JEVS(日本電動車両規格)(案)を作成し、年度内に発行される予定。

研究成果まとめ

実用化の見通し

- ✓ FCV試験法を検証および国内での実施体制整備 日本国主張の裏付けデータとして国際基準策定および国内メーカー開発に貢献
- ✓ 事故後処理安全手法を開発 FCV事故後処理に関する標準化活動へ提案可能となり、かつ消火・救助マニュアル等へ反映し、事故後処理の人材育成へ貢献
- ✓ 安全かつ合理的なFCV廃車、容器くず化工程の開発 くず化マニュアルへ反映し、FCVの普及へ貢献

実施項目	成果内容	自己評価
A	HFCV-GTR Phase 2の審議で日本提案が国際基準へ反映させるためのデータ取得	
B	FCV安全に関わる国内基準、国連基準、国際基準との整合を図った。	
C	事故後処理手法およびFCV用容器のくず化工程マニュアルに資するデータ取得	
D	道路運送車両の保安基準に関わるデータ取得し、規制見直しに反映。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	6	32	0

課題番号：1 9

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発

一般財団法人日本自動車研究所(JARI)

1. 研究開発概要

FCVの普及開始と国際競争力強化の観点から、FCV及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を、産学官の互いのノウハウ等を持ちより、協調して実施する必要がある。

また、国際商品であるFCVの普及拡大には、国連基準であるUN/ECE/WP29/HFCV-GTR(水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準)等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献できる。

そこで、本研究開発テーマでは、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、FCVの水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCVの普及及び国際競争力確保に資する。

また、2015年以降のFCVやFC二輪車の本格的な普及により、既存の交通体系の中でFCVが現行車と共存することになる。そこで、FCVやFC二輪車の安全な事故後処理および廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究開発テーマでは、FCVやFC二輪車の安全な事故後処理および廃車処理に関わる標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアルの策定に資する。

2. 研究開発目標(設定の理由、妥当性も含め)

図2.1に水素・燃料電池自動車に関する規制を示す。FCVやFC二輪車を取り巻く主な規制は、車両については道路運送車両法、圧縮水素容器・附属品については高圧ガス保安法で規制されている。本研究開発事業では、車両(圧縮水素容器および附属品を除く)に関わる安全技術の確立や基準・標準の整備、ならびにFCVやFC二輪車の事故後処理や廃車処理などを考慮した安全性確保に関わる知見の拡充に注力し、FCVやFC二輪車の実用化・普及展開および国際競争力の確保に資するデータを取得することを目的とする。

水素・燃料電池自動車に関する規制

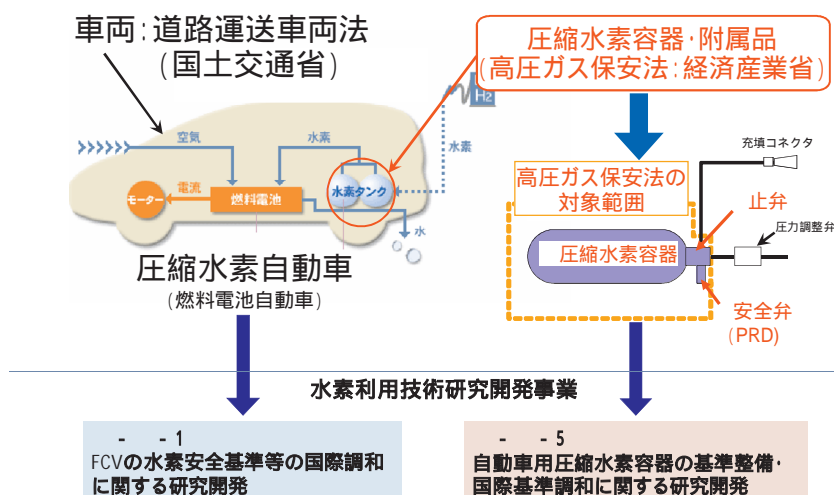


図 2.1 水素燃料電池自動車に関する規制

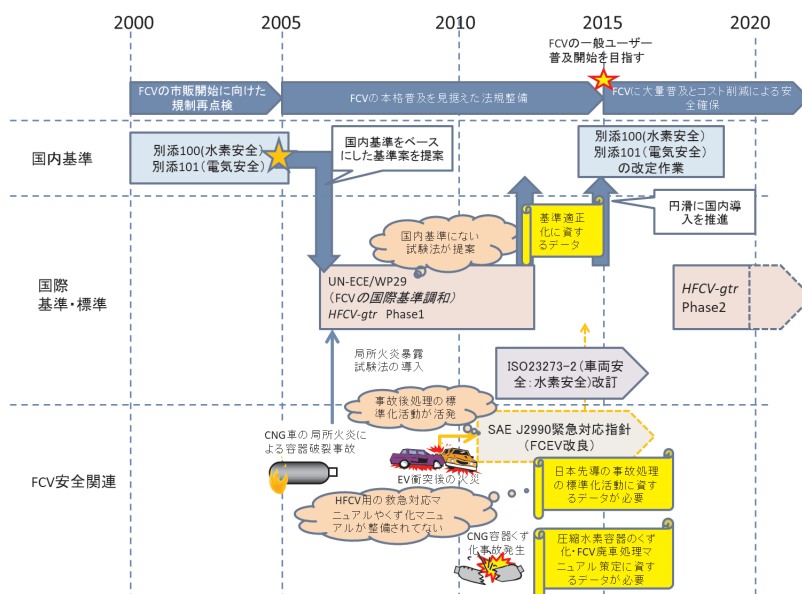


図 2.2 FCVの車両に関わる規制およびFCVの安全に関わる現状と今後

FCVの基準整備の取り組みとしては、2005年において政府による燃料電池の実用化に向けた規制再点検が完了し、FCVの市販開始に必要な導入初期段階の基準整備は完了した。その後、国連欧州経済委員会に設けられた自動車基準調和世界フォーラム (UN/ECE/WP29) の場において、HFCV-GTR(水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準)Phase1の策定が2005年に作成した日本の技術基準を基に進められた。その際、例えば圧縮天然ガス(CNG)自動車の火災時の容器破裂事故などにより、国内基準にはなかった試験法がGTR No.13(HFCV)で新たに導入された。今後、2017年の10月からのHFCV-GTR Phase2の審議開始、および国連の98年合意に基づいた国内取り込みに向けた検討が必要であることから、基準適正化に向けたデータを取得する必要がある。

一方、2015年からのFCVの一般ユーザーへの普及開始に伴い、交通事故や火災事故の

発生が予想され、事故後処理（救助、消火、解体・撤去）の安全確保を目的とした対応方法に関する研究が必要である。普及期において、これらの事故処理対応を確立していなかった場合、重大な二次災害が生じる場合が想定され、FCV の普及促進に対しての影響が生じる可能性がある。そのため、事故後の乗員救助や車両の安全な除去方法の指針となる消防庁の「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂などに資するデータを、普及開始に向けてできるだけ早急に取得する必要がある。

また、2010～2013年の間、リチウムイオン電池を搭載した電動車両の衝突後の出火事故の発生により、北米ではハイブリット自動車・電気自動車の救急対応の指針となる SAE J2990 (Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice) 規格が誕生した。この規格は、今後、FCV へ対応させるための改定作業が 2013 年から開始されたため、FCV の安全な事故後処理に関する国際標準化や基準化の動きに対しても、他国に先行している日本がリーダーシップを発揮しながら活動を進める必要がある。一方、2011 年の東日本大震災により被災した圧縮天然ガス自動車の容器のクズ化作業に伴う死亡事故を受け、水素車両の安全な廃車処理手順についても普及開始に向けて早急に解決策を見出す必要がある。そこで、本研究では、FCV の水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCV の普及及び国際競争力確保に資することを目的とし、以下の 4 項目を実施する。

- (1) F C V の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得
- (2) F C V の国際標準化
- (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得
- (4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

- (1) F C V の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

GTR No.13(HFCV)では、国内の技術基準には採用されていない試験法が新たに追加された。FCV の車両安全に関連した試験項目としては、自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験と衝突試験後の車室内水素濃度計測試験がある。

自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験では、容器に耐性を持たせる方法と車体側で容器を保護する方法の二種類が選択できる。GTR No.13(HFCV)では、前者の方法が議論の中心となっていたが、HFCV-GTR Phase2 では、後者の方法による車載状態にある容器(以下、車載容器と称する)の局所火炎暴露試験法の議論が進むことから、本事業では、局所火炎暴露試験法の車両への適合性評価を進める必要がある。

また、米国から新たな試験法として提案された衝突試験後の車室内水素濃度計測試験については、これまでの日本の研究により試験の再現性に問題があることが明らかになり、本試験法開発の審議については HFCV-GTR Phase2 で行われることになった。今後、再現性のある試験法策定のために、日本がリーダーシップを発揮して試験法の改良を進める必要がある。

そこで、本事業では、日本がリーダーシップを発揮して議論を推進させるために、FCV の車両安全に関わる HFCV-GTR Phase2 の策定に資するデータ取得を進めるとともに、国連の 98 年合意に基づいた HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図るためのデータ取得を実施する。

(2) FCVの国際標準化

本事業での基準・標準化活動の推進体制を図 2.3 に示す。

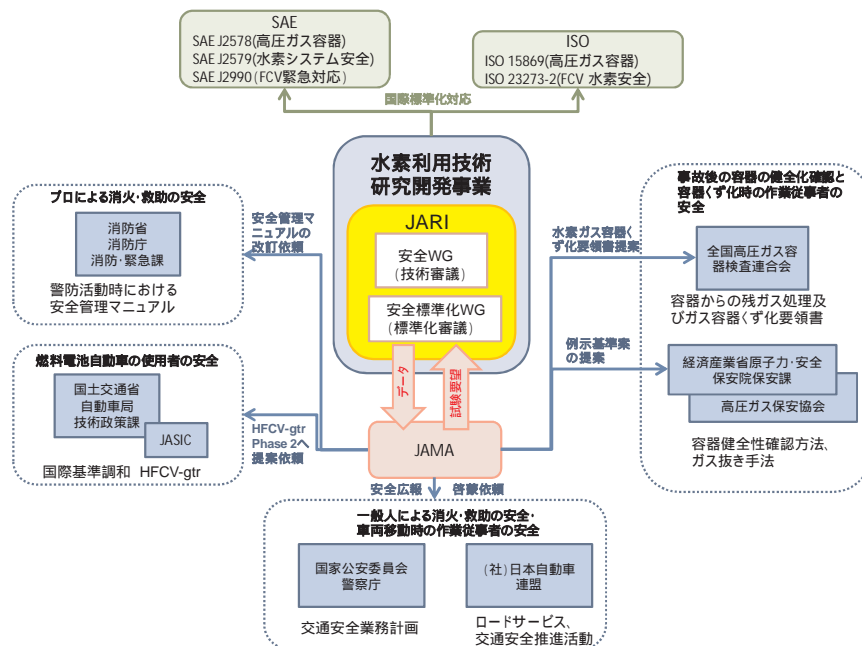


図2.3 本事業での基準・標準化活動の推進体制

本事業の試験計画の妥当性検討や、取得される試験データの解析・審議のために、外部有識者、関連団体委員等により構成される安全WGを組織し、試験計画およびその解析結果について、その妥当性、方向性等を含めて審議する。また、車両安全の標準化に関し、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、HFCV-GTR Phase2を視野に入れた議論を推進し、国際標準化活動に資する。また、当該活動を円滑に推進させるために安全標準化WGを組織し、FCVの安全に係る国際標準化活動方針の審議、提案ドラフト作成およびコメント作成を行い、FCV安全標準化に係る国際会議等に対応する。

この推進体制により、本事業で得られた試験結果を活用し、HFCV-GTR Phase2に対して、日本がリーダーシップを発揮して審議を進めるため、一般社団法人日本自動車工業会と協力しながら、HFCV-GTRに影響するISO/TC22/SC21/WG1(FCV等の車両安全規格)等を国連基準に調和させるための国際標準化活動を行う。併せて、上記HFCV-GTRの事前協議の場として有効なSAE(Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会)会議にも積極的に参画し、上記HFCV-GTRとの整合を図るための活動を行う。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

FCVの事故後の安全確保に関しては、一般社団法人日本自動車工業会と連携し、図2.4および図2.5に示される衝突・火災事故時に発生する事象を網羅し、適切な対応を実施する上で、新たに評価すべき課題と試験内容の明確化を進めてきた。

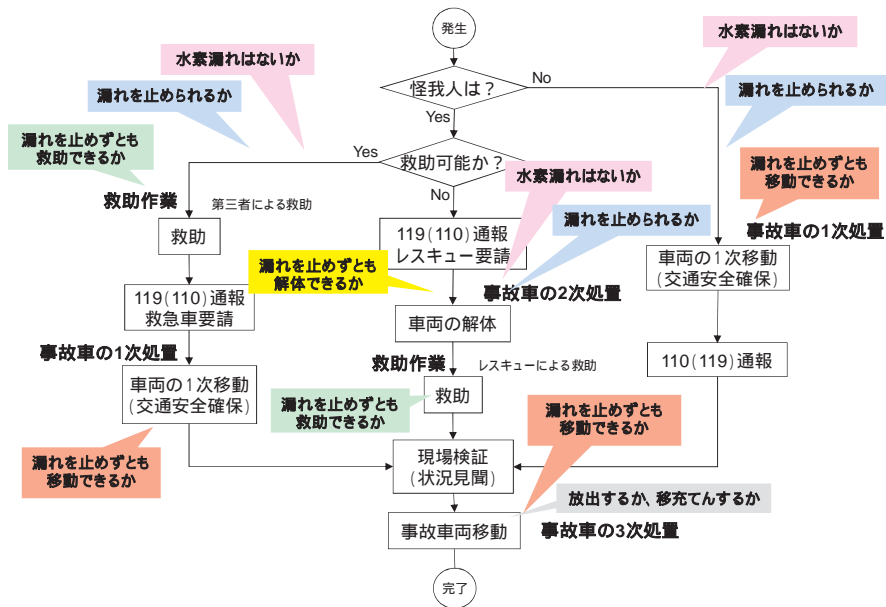


図 2.4 車両衝突時の事故後処理作業と水素安全への配慮

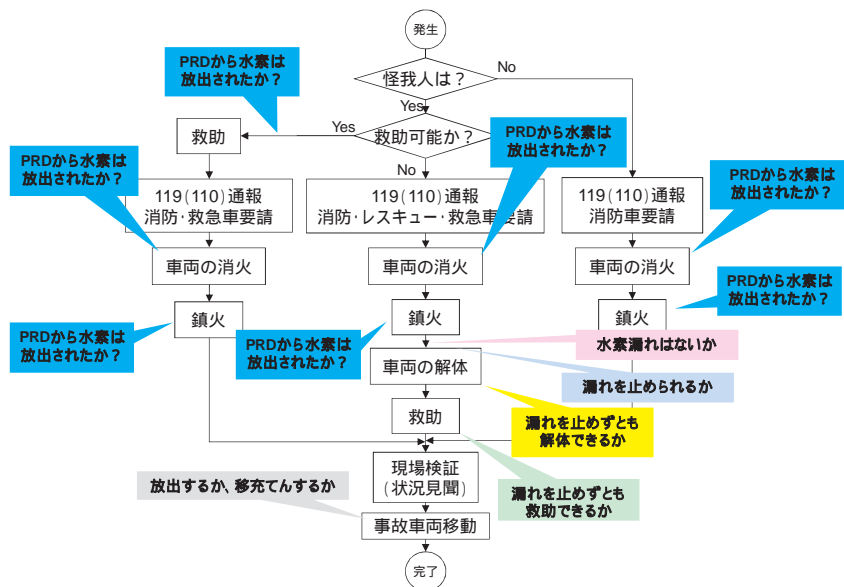


図 2.5 車両火災時の処理作業と水素安全への配慮

これらの必要とされる項目に基づき、本事業では、以下の項目を取り組む。

- 鎮火後の CFRP 容器の残存強度
- 傷を負った CFRP 容器の残存強度
- 安全弁の作動時の周囲影響
- 教育訓練用ツールの開発（燃料電池自動車火災シミュレータの開発）
- 高圧水素配管切断時の安全性評価
- 事故車両へ安全に接近する手法（水素漏洩音による安全な接近手法）
- 事故後容器の脱ガス手法
- 安全弁の作動確認手法
- 緊急時における水素脱ガス方法

また、FCVの安全な廃車処理の手順を検討するため、一般社団法人日本自動車工業会、一般社団法人日本ガス協会やリサイクル・廃棄処理の関連団体などと協力しながら、既存の圧縮天然ガス自動車の廃棄処理方法を水素燃料電池自動車に応用した場合の懸念事項を見出す必要があり、以下の項目を実施し、FCVの容器クズ化マニュアルの改訂に資するデータを構築する。

中圧ガス脱ガスツール開発

水素容器クズ化処理工程の開発（水置換工程、真空引き工程）

水素トレーラの事故後処理

（４）FC2輪車の安全に関するデータ取得

2015年からのFC2輪車の市場投入を促進するため、FC2輪車に係る保安基準の策定、型式認定制度の整備方策について検討することが閣議決定されている。FC2輪車はUN/ECE/WP29において、安全の担保を目的とした世界統一技術基準GTR No.13（HFCV）の範囲外になっており、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定める必要がある。具体的には、GTR13ならびに道路運送車両の保安基準 細目告示別添100（水素安全）および別添101（電気安全）を参照し、さらにFC2輪車の特性を考慮した安全要件を整備する必要がある。

FC2輪車の安全要件を整備するためには、転倒の可能性が高いFC2輪車の特性を考慮し、適正な安全要件を検討する必要がある。さらに、2輪車固有の問題である停止時の転倒や走行中の転倒に対する安全性を、FC2輪車への要件の追加適用の必要性についても検討する必要がある。

そこで、本事業では、（一社）日本自動車工業会と連携しながら、FC2輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することを目的とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

（１）FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

燃料電池自動車の世界統一基準（HFCV-GTR phase2）にて審議される可能性がある、以下の事項について、各試験法の問題点抽出およびそれらの課題を検討した。

- 水素パーセントガス濃度の合理化検討
- 車載容器局所火炎暴露試験法
- 衝突試験後の車室内の水素濃度測定法

水素パーセントガス濃度の合理化検討

<目的>

2013年6月のUN/ECE/WP29（自動車基準調和世界フォーラム）で採択された国連基準GTR No.13（HFCV）では、米国の自動車メーカーで実施されたFCVの排気管を模擬した空気/水素予混合気の連続流動下での着火試験の結果に基づき、閾値が規定された。しかし、実際のFCVにおける水素の排気条件（水素パーセントガス中の酸素濃度や湿度の影響、単発的な水素の放

出など)によっては、最小可燃限界(LFL)、保炎限界などの燃焼特性や、着火した際の排気管出口周囲部のリスクが異なることが想定される。本研究では、現行のGTR No.13(HFCV)で規定されている水素パーシガス濃度の許容値に関する着火の条件や着火時のリスクを再評価し、安全性を担保しつつ、より合理的な閾値の設定や試験方法の見直しに資するデータを取得することを目的とする。試験では、空気流量を変化させた場合のLFL、保炎限界、逆火限界および燃焼特性に及ぼす酸素濃度、湿度の違いによる影響を調べた。

< 結果 >

その結果、GTR No.13(HFCV)で根拠とされた保炎限界は8[Vol.%)以上であり、空気流量が2000[NL/min]の条件でなければ、適合しない。水素パーシガス中の酸素濃度や湿度の違いは、許容値の見直しを図る上では重要な要素ではないことが分かった。現在、さらに実車の排気に近い条件を把握するため、空気流中で単発的に水素を流した状態でのLFL、保炎限界などの燃焼特性および着火した際の排気管出口周囲部のリスクを調査し、水素濃度の閾値の設定や試験方法の見直しに資するデータを取得しており、HFCV-GTR Phase2の審議において活用される予定。

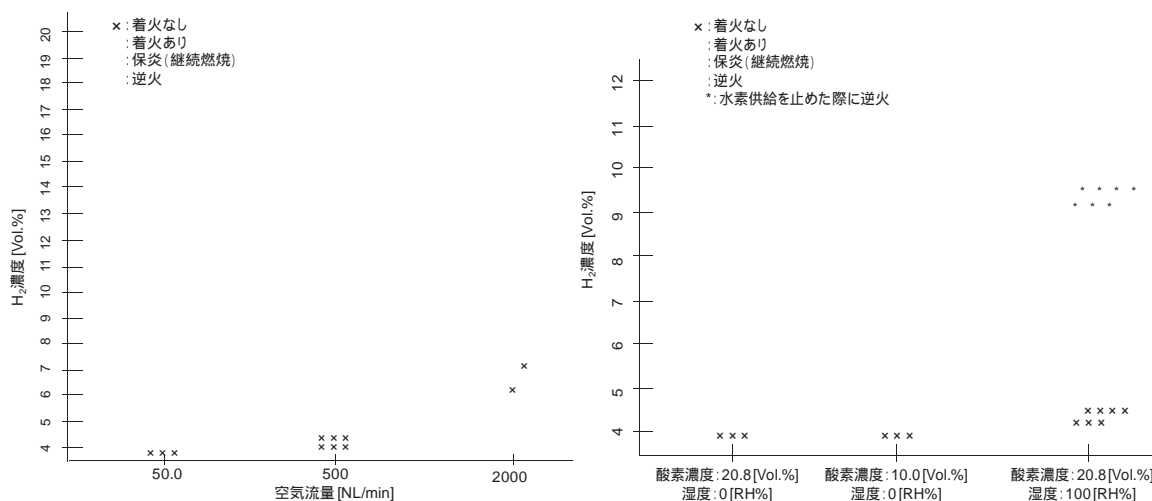


図 3.1 空気流量の違いによる LFL、保炎限界、逆火限界 (酸素濃度 20.8 Vol.%)、湿度 0 RH%) 保炎限界、逆火限界 (空気流量 50NL/min)

車載容器局所火炎暴露試験

< 目的 >

現在、燃料電池自動車の世界統一基準 GTR No.13(HFCV)の Phase1 では、車載容器の局所火炎暴露試験が制定されている。本研究では、規定されている試験条件や試験手順に関する影響を把握するため、バーナと燃料システム間の距離、局所火炎域(許容差: 250 ± 50mm)の影響、局所火炎温度(600 ~ 900)の影響を調査した。

< 結果 >

その結果、局所火炎域(250 ± 50mm)や局所火炎温度(600 900)の許容差は、試験結果へ影響を及ぼすことが分かった。これらの成果は、HFCV-GTR Phase2の審議の場で、日本の主張の裏付けデータとして活用される予定。

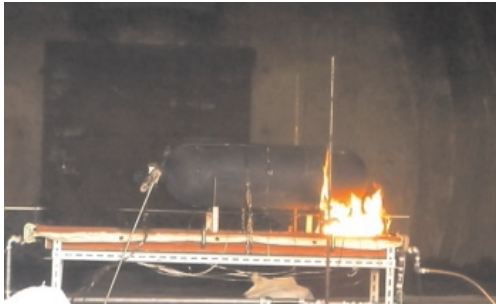


図 3.3 容器単体局所火炎暴露試験

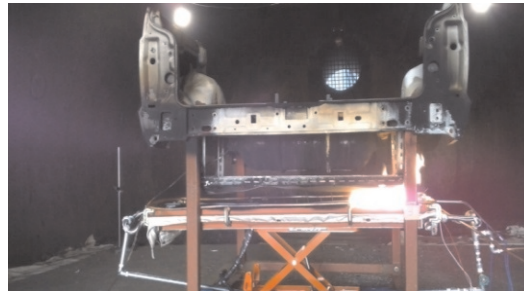


図 3.4 車載容器の局所火炎暴露試験

衝突試験後の水素漏洩試験

< 目的 >

現在、燃料電池自動車の世界統一基準 GTR No.13 (HFCV)において、衝突試験後の車室内空間での水素濃度計測が試験法として取り上げられ、前事業において、衝突移動バリアの存在や微風(0.1m/s)によって車室内の水素濃度が変化するため、試験車自体の性能を評価していないことを指摘し、正確で再現性の高い結果が得られる試験ではないことが理解された。そこで、衝突試験後の車室内水素濃度試験方法については、規定の在り方も含め、HFCV-GTR Phase 2での再検討課題として了承された。そこで、本研究では、車室内水素濃度が4Vol.%になる水素漏洩量を調査し、風などの外乱影響を受けずに、衝突試験後の車室内の水素濃度を規定する方法を検討した。

< 結果 >

その結果、衝突後、車両の窓ガラスの一部が割れて開口すれば、車両の容積に問わず、車室内の水素許容濃度が4vol.%を超えない水素漏洩量は、約26~35NL/minでほぼ一定量になる(図3.5)。よって、衝突後、窓が開口すれば、水素漏れ許容量を26NL/min以下にすることで、車室内の水素濃度計測を不要にすることができる。しかしながら、窓ガラスが割れなかった場合、微量な漏れ量でも車室内の水素濃度は上昇し続けるため、衝突後の車両の開口条件によっては、許容漏れ量による方法は困難であることが分かった。

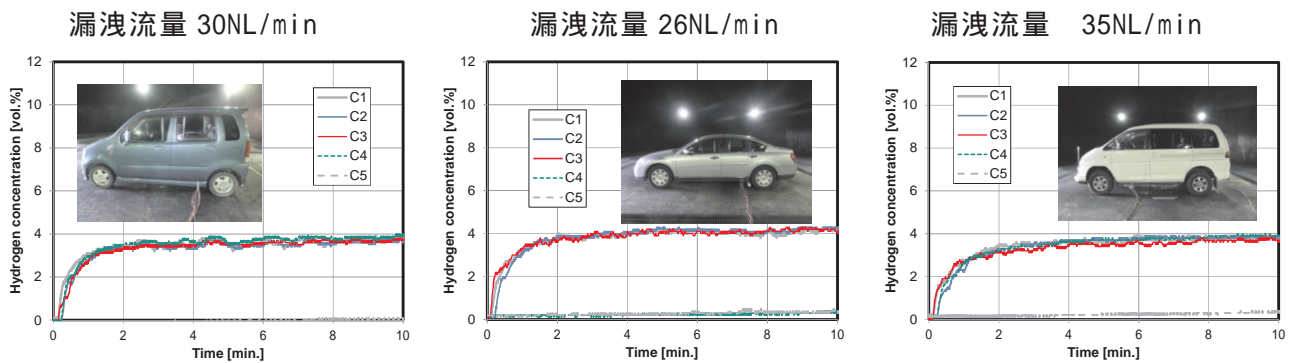


図 3.5 車室内の最大水素濃度が4Vol.%となる水素ガス流量での濃度変化

(2) FCVの国際標準化

国際標準化活動

ISO/TC22/SC37/WG1(FCVの安全規格)のISO6469-2(FCVを含む電動車両の運転操作上

の安全)及びISO6469-3(FCVを含む電動車両の電気安全)において、FCV特有であるイグニッションオフ後の水素遮断特性について提案を行い、基本的な合意を得た。また、米国SAE J3089(車載用水素センサー仕様)の審議に対応するために、水素センサーSWGを組織し、国連基準GTR No.13(HFCV)の要求を達成するためのセンサー性能や車載部品として要求される信頼性確認試験項目や試験条件、試験手順などを提案した。

国内標準化

ファーストレスポonder及びセカンドレスポonderの安全のためのFCVへの推奨実施事項に関わる標準化について、JEVS(Japan Electric Vehicle Standard、日本電動車両規格)(案)を策定した。また、FCVの事故後処理および廃車処理の標準化については、平成27年度に実施した「車載状態で圧縮水素容器から水素を脱ガスに用いるガス抜きツールの開発と安全性評価」の研究成果を活用し、脱ガスツールの標準化および作業手順に関わるJEVS「燃料電池自動車の高圧水素ガスを安全に抜くためのガス抜きツール及びガス抜き方法」(案)の策定を行った。これらの規格は、今年度に発行する。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

火災後容器の残留強度

<目的>

自動車用CFRP複合容器には、火災による容器の破裂を防ぐために、熱作動式安全弁(TPRD)が装着される。しかし、TPRDが作動する前に消火活動などで鎮火した場合、火災に晒された容器には、高圧ガスが取り残された状態になる。本事業では、このような状況に至った容器の適切な取扱い方法を検討するため、最悪、安全弁が作動しない状況下を想定し、事前に安全弁を取り外した自動車用CFRP複合容器を用い、ガスが充填された状態で最大限、火災に晒した容器の残存破裂強度を調べた。

<結果>

その結果、表3.1に示すように、容器の残存強度(火災暴露後の容器破裂圧 B_{Paf} /充填圧 P_{fill})は、最低でも約2倍以上あった。故に、仮に安全弁が作動しなかった場合でも、焼損後に常温まで戻った容器は充填されているガスの圧力に耐える強度を保持しており、緊急的に脱ガスをする必要性はないこと、また、火災時の消火活動では放水によって火源を絶ち、容器を冷却することが重要であることが分かった。

表 3.1 各種条件での残存強度



図 3.6 破裂直前に水冷させた容器

試験#	供試容器	充填圧 P_{fill} [MPa]	火災暴露 条件	冷却 方法	火災暴露後の 容器破裂圧 B_{Paf}	B_{Paf}/P_{fill}	B_{Paf}/P_{new}	
2	20MPa Type3	20	全面火災	水	84.2MPa以上	4.21以上	0.92	
3				自然	84.7MPa以上	4.24以上	0.92	
5	25MPa Type4	25	全面火災	局所火災	水	82.7MPa	4.14	0.89
7				水	77.5MPa	3.1	0.63	
8				自然	79.8MPa	3.19	0.65	
10				水	111.1MPa	3.17	0.90	
11	35MPa Type3	35	全面火災	自然	73.3MPa	2.09	0.60	
13				水	188.4MPa	2.69	1.00	
14	70MPa Type4	70	全面火災	自然	187.9MPa	2.68	1.00	
16				水	173.4MPa	4.95	0.94	
18	70MPa Type3	70	全面火災	水	197.5MPa	2.82	0.87	
20				水	193.0MPa	5.51	0.85	

傷を負った容器の残存強度

< 目的 >

衝突事故などによって傷を負った容器を安全に取り扱うためには、与えられた傷の程度から容器の損傷程度を評価する必要がある。本研究は、傷の与え方および傷の深さや大きさを変化させた場合の自動車用 CFRP 複合容器の強度特性を調べる。試験では、容器へ傷を与える試験の一つである SAE J2579 の High Strain Rate Impact Test をベースとした損傷試験（供試容器は 70MPa Type4 容器である。弾丸は直径 7.62mm の通常弾）を実施し、損傷した容器の残存強度を使用した。

< 結果 >

その結果、70MPa で充填された容器は、損傷がライナー層まで達する損傷を受けているにも関わらず、容器に充填したガスが漏れることなく、その容器の残存強度（損傷試験後の容器破裂圧 BP_{af} /充填圧 P_{fill} ）は、1.8 倍だった（表 3.2）。このことから、直径約 7mm 程度の深い傷がある場合でも、充填されているガスの圧力に耐える強度を保持しており、緊急的に脱ガスをする必要性はないことが分かった。

表 3.2 損傷試験および残存強度確認試験結果

充填圧 MPa	損傷結果	残存強度 (BP_{af}/P_{fill})
10	0.064[MPa/min] の 漏れ	-
70	漏れなし	1.8

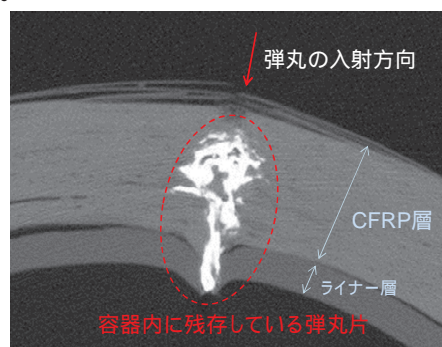


図 3.7 損傷試験後容器の X 線 CT 撮影画像

安全弁作動時の周囲影響

< 目的 >

FCV 火災時の安全な消火活動を行うための消防庁「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂に資するデータを取得するため、FCV 火災時における安全弁作動時の周囲影響を調べた。70MPa 級の圧縮水素容器（容器本数：2 本、容積：36L、充填圧：70MPa）を搭載した FCV 模擬車両に対して車両火災試験を実施し、安全弁作動時の火炎長や熱流束、温度、騒音などの安全性を評価した。

< 結果 >

安全弁作動時の状況を図 3.8 に示す。容器 1 本から安全弁が作動した時の車両後方での火炎規模は最大約 4m であった。その作動後 3.5 秒後、もう一方の容器の安全弁が作動し、車両後方での火炎規模は最大 6m を超え、その際、輻射熱は車両後方 6m 位置においても火傷を負うレベルであった。この結果から、消火・救助作業において車両へ接近する場合、安全弁が作動する前には、水素ガスの放出方向となる車両の後方から接近するべきではないこと、また、安全な消火活動を行うためには、複数の安全弁が同時に作動することを考慮した行動が必要であることが分かった。

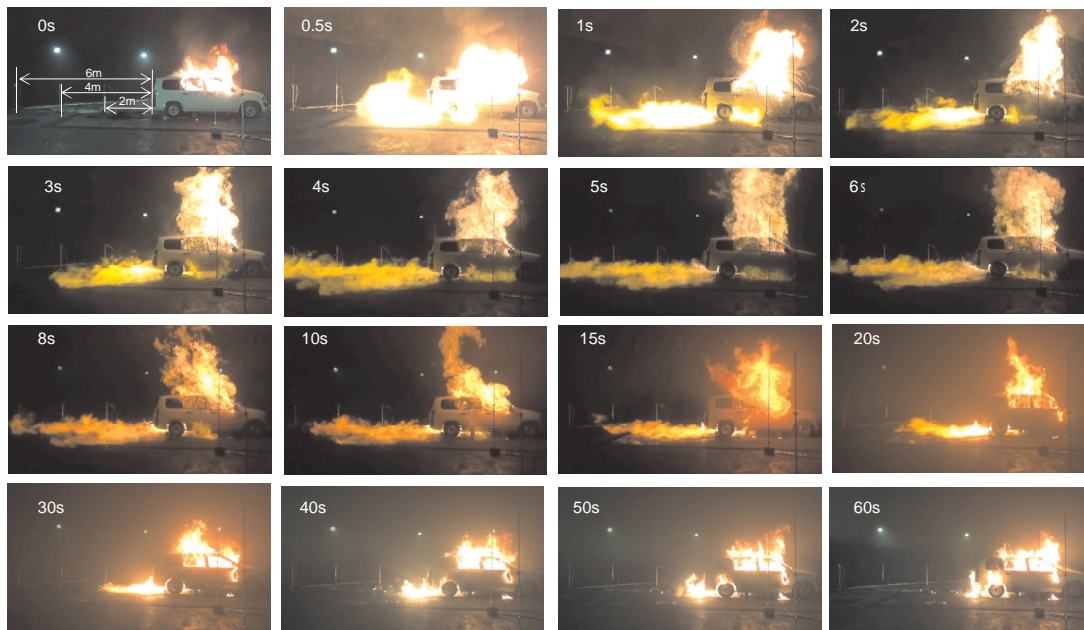


図 3.8 安全弁作動時（3.5 秒後、もう一方の容器の安全弁が作動）の水素噴出火災の状況

教育訓練用ツールの開発（燃料電池自動車火災シミュレータの開発）

< 目的・結果 >

事故や火災時の消火活動を安全に行うための教育・訓練用ツールとして、FCV の火災シミュレータを開発・作成し、消防関係者を招いた消火試験を実施した。

高圧水素配管切断時の安全性評価

< 目的・結果 >

レスキューや車両整備や廃車処理における車両解体時の安全作業に関わるマニュアルを策定するため、高圧水素配管(最大圧力 10MPa) の切断時における周囲影響を調査した。その結果、ハサミやバンドソーの配管切断によって着火することはなかったが、切断時に強制着火させた場合には、聴覚に支障を及ぼす可能性のある 110dB を超える騒音が発生した。

事故車両へ安全に接近する手法（水素漏洩音による安全な接近手法）

< 目的 >

本研究では、人が水素の漏洩を検知するひとつの手段である水素の漏洩音によって、事故車両へ安全に接近する手法を開発する。都市部での交差点のような騒音が大きい場合、事故車両からの水素漏洩音を人が認知できない場合が想定されるため、交通騒音環境下でのセダンタイプと SUV タイプの車両からの水素漏洩音を 20～60 代の被験者が認知可能な流量を調査した。

< 結果 >

74dB 程度の騒音環境下で水素が漏れた場合、切断配管では被験者の年齢が高くなるにつれて、漏洩音を認知出来ない人数が増加した。一方、非切断配管では、漏洩音を認知できない被験者はほとんどおらず、認知可能な流量は平均で車両中心から 5m の距離では最大で 500NL/mini の流量、10m の距離では最大で 547NL/min の流量であった。水素漏洩量が

2000NL/min 未満であれば、風速 10m/s 以上の送風を送ることで着火リスクが低減できるため、車両の中心から 5～10m の距離ではじめて水素漏洩音が聞こえた場合、風速 10m/s 以上の送風を送ることによって、安全に車両へ近づきながら救助作業を実施することができる。

事故容器の脱ガス手法

< 目的・結果 >

最悪、脱ガスできない場合における容器からの脱ガスを抜く手法を開発することを目的とし、ドリルによって CFRP 複合容器に穴を開ける方法を検討した。ドリル 2～6mm を用い、容器の胴部中央部を開けた場合、容器は破裂することなく、ガスを抜くことができた。



図 3.9 CFRP 容器の穴あけ時状況

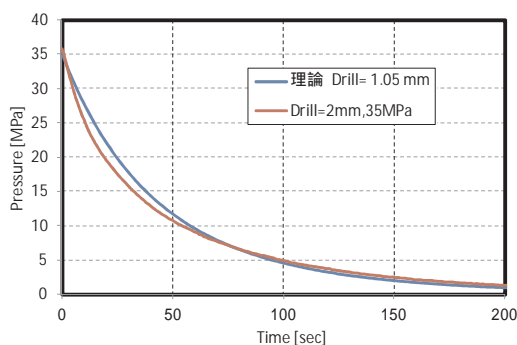


図 3.10 ドリル 2mm 容器内圧と理論値

安全弁の作動確認手法

< 目的 >

圧縮水素容器が搭載された火災車両を安全に移動や保管する場合や、焼損した容器を廃棄処理するためには、熱作動式安全弁 (TPRD) の作動の有無を確認し、容器内に高圧の水素が残されているかどうかを把握する必要がある。本研究では、火災現場において容易に TPRD の作動の有無を判断する手法を開発するために、火災後の容器内に残存する水素などのガスを、TPRD のガス放出口部で水素濃度計を用いて検知する手法により、TPRD の作動の有無を判断できるかを調べた。

< 結果 >

鎮火 24 時間以内であれば、容器の種類に問わず TPRD のガス放出口を接触燃焼式の水素濃度計で検知することにより、容易に TPRD 作動を判断できることが明らかになった。本手法は、2014 年 10 月に発生した水素輸送トレーラ火災の火災後処理において実証され、さらには安全かつ効率的な事故後処理に貢献した。

緊急時における水素脱ガス手法

< 目的・結果 >

万が一、水素容器の水素ガスを放出できなくなった場合の容器内の水素ガスを放出させるための手段として、安全弁を強制的に加熱し、ガスを放出させる方法がある。本研究では、ハロゲンヒータ、ヒートガン、リボンヒーター、窒化アルミヒーターの 4 種類を用い、安全弁を強制的に加熱させた場合の安全弁作動試験を実施した。この結果、ハロゲンヒータの場合には、安全弁を作動させるためには困りが必要であったが、それ以外のヒータで

は直接、安全弁を作動させることが確認でき、ヒータ加熱は緊急時の容器脱ガス手法として使用することができることが分かった。

中圧ガス脱ガスツール開発

< 目的 >

車両に搭載された状態で圧縮水素容器から水素ガスを放出するためのツールを開発するために、放出管径、放出流量、放出管の先端形状を変えた条件でガス放出試験及び着火試験を実施し、放出管に必要な仕様を調査した。試験は、1)ガス放出時の放出管周囲の水素濃度と騒音計測、2)ガス放出中及びガス放出停止時に水素ガスに着火した場合の着火時の騒音と放出管外温度計測、3)放出管内への逆火の有無を調査した。放出管には、逆火防止弁が装着されていない。放出口の先端形状はストレート型およびL型の2種類を、放出管径は 3/4inch(内径:16.57mm)と 1/2inch(内径:10.70mm)の2種類、および水素の放出流量は 500, 1000, 1500NL/min の3通りをパラメータとした。

< 結果 >

その結果、本試験条件では放出口から 4m 離れていれば、水素は検知できなかった。また、万が一、放出口で着火した場合でも、放出管は人が触れても火傷を負うような温度には到達せずに、かつ水素ガスの供給を停止した場合でも、放出管内へ逆火することはなかった。以上のことから、逆火防止弁が装着されていない本仕様の放出管は、車載状態で圧縮水素容器から水素ガスを放出するための標準ツールとして使用することができることが分かった。

水素容器くず化処理工程の開発

a. 廃棄水素容器の水置換工程の開発

FCV 用水素容器に対するくず化要領書の作成・整備及び車の解体手順書の作成に向け、安全かつ合理的な容器内の水素脱ガス手法を確立する必要がある。本試験では、容器のくず化処理中にて、容器くず化作業中に容器の口金を外す際、容器内に残存していた大気圧の水素ガスに何らかの原因で着火した場合の周囲に与える影響を評価した。その結果、直接、人体へ影響を与える範囲は開口部の限定的な範囲であったが、作業する際には注意を払う必要があることがわかった。

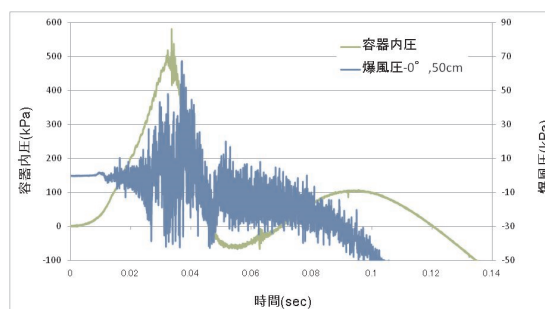


図 3.11 容器内の残留水素に引火試験

図 3.12 容器内の水素に引火した際の圧力変化

b. 廃棄水素容器の真空引き手法の検討

CNG 容器のくず化要領書には、容器内を真空引きし、容器内のガスを除去することが記載されている。水素容器のくず化要領書にも CNG 容器のくず化容器と同じ作業工程を検討されている。本研究では、どの程度真空引きすれば容器内の水素ガスが内の水素ガスを安全域にまで除去できるかを把握するため、容器内の水素濃度と真空度の関係を調査した。その結果、容器の真空度が 4kPa(abs)まで真空引きを実施すれば、容器内の水素濃度は 4%以下となり、水素の可燃範囲以下になることを実証した。



図 3.13 くず化業者での真空引き試験

水素トレーラの事故後処理

平成 26 年 10 月、CFRP 複合容器を搭載した水素輸送トレーラの火災が発生し、火災後に生じる問題点の抽出、および本事業で開発した事故後処理手法を検証した。その結果、事故後処理においては、容器内に水素ガスが残されているかを確認する必要があるが、安全弁の作動の判定は、外観観察では判断できないこと、また、配管内の脱圧は接合部の緩みによる方法しかないことなどの問題点があることが分かった。また、安全弁のベント管内を水素濃度計により残留水素ガス濃度で調べると、鎮火約 1 ヶ月を経過しても 3.5%以上の水素ガスが残されており、安全に廃棄処分を行なうには、容器内のガスを窒素ガスなどで置換する必要があることが分かった。その他、焼損した容 CFRP 複合容器の残存強度を調べ、これらのデータは「トレーラ安全技術検討会」へ提供した。



図 3.14 焼損容器の残存強度確認試験

(3) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

FC 二輪車の安全弁放出方向要件に関わる安全性評価試験

< 目的 >

FC2 輪車用の道路運送車両の保安基準において、4 輪車と比較して重量の軽い FC2 輪車が安全弁作動時の推力によって車両が移動する危険性が懸念された。本研究では、FC2 輪模擬車両から安全弁が作動した場合(放出径 1,2mm)の車両の移動の有無や推力を測定した。

< 結果 >

その結果、転倒時、直立時における二輪車の挙動を確認したが、二輪車が動くことはなく、二輪車が動かないように、PRD から安全に水素を放出することが十分に可能であることが分かった。



図 3.15 安全弁作動時の状況

FC 二輪車の水素センサー取付け要件に関わる水素漏洩試験

< 目的 >

FC2 輪車の安全弁作動時の安全基準に資するデータを取得するために、二輪車は半閉鎖空間がほとんどなく、かつ転倒の可能性があるため、FC 二輪車から水素が漏洩した場合、四輪車と同様に、車両に設置した水素検知器が水素漏れを検知可能であるのか。また、漏洩水素に着火した場合の人への影響を評価した。

< 結果 >

その結果、適切な箇所に漏れ検知器を設置すれば水素漏洩を検知でき、かつ着火しても人に危害を及ぼすレベルではなかった。故に、FC 二輪車も四輪車と同様に、漏れ検知器を設置し、単発的な漏洩になるように、水素漏洩の検知により主止弁を直ちに閉じる機構を備えた方が良いことが明らかになった。

3.2 成果の意義

(1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

国際商品であるFCVの普及拡大には、水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 HFCV-GTR などの国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献し、HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図ることができる。そのためには、HFCV-GTR Phase2 の審議を日本がリーダーシップを発揮しながら活動する必要がある。本課題の成果は、この活動のために寄与され、国際標準化に貢献する。

(2) FCVの国際標準化

FCVの安全に関わる標準化および世界統一技術基準 HFCV-GTR Phase2 の審議を、日本がリーダーシップを発揮しながら活動するためには、審議に合わせた関連データを迅速に入手する必要がある。また、事故後処理についても、米国にて、FCVの事故処理に係わる基準・標準化 (SAE J2990-1) が活動しており、これらの活動が国際標準化活動へ波及する可能性がある。本事業では、FCVの国際標準化活動を円滑に推進させるために、安全標準化WGを組織し、一般社団法人日本自動車工業会などの関連業界と連携しながら、国際標準化活動を行っている。この活動を継続することにより、審議に合わせたデータの要求・入手が可能となり、日本がリーダーシップを発揮してFCV安全標準化に係る国際会議を進行すること

ができ、FCVの安全基準の国際標準化・国内基準に貢献する。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

事故後処理に関わるデータを得ることで、FCVの事故後処理の標準化活動に対応可能であり、かつ警防活動時等における安全管理マニュアルなどにも反映し、事故後の二次災害の発生を抑制・防止できる。また、安全かつ合理的な容器くず化工程に関わるデータを得ることにより、水素容器くず化マニュアル等の手順書に反映され、そのマニュアルを元にこれらの作業に携わる人材が育成し、FCVの安全かつ合理的な廃車処理が実用化される。

(4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

FC2 輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することで、FC2 輪車に関わる道路保安法および高圧ガス保安法の策定に活用され、これによりが発効され、国内でのFC2 輪車の普及拡大が可能となるとともに、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定めることができる。

3.3 開発項目別残課題

(1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

特になし。ただし、当初、HFCV-GTR Phase2の審議が本事業に合わせて開催される予定であったが、その審議が平成29年10月からの開催になったため、新たな課題が現れた場合、それに迅速に対応できる体制を継続する必要がある。

(2) FCVの国際標準化

同上。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

特になし。

(4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

特になし。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 FCVの国内規制・国際基準調和に資するデータ取得

HFCV-GTR Phase2の審議に必要な水素パーセントガス濃度に関わる閾値の設定、車載用容器の局所火炎暴露試験の誤差範囲の影響、衝突試験後の車室内の水素濃度や水素パーセントガス濃度の閾値や測定方法に関わる方法を開発し、当初計画どおりの成果を挙げた。

4.2 FCVの国際標準化

ISO/TC22/SC37/WG1(FCVの安全規格)やSAE FCV Safety TF(FCVの水素・電気安全・事故後処理)の活動方針の審議、ドラフトやコメント作成を実施した。今後、平成29年10月に開始されたHFCV-GTR Phase2インフォーマルワーキング(IWG)にて、日本案を提案し、国際基準への反映を実現する。また、国内のFCVの事故後処理および廃車処理の標準化規格を策定し、年内に発行する。

4.3 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

鎮火後および傷を負った容器の残存強度調査、安全弁作動確認手法、水素漏洩音による車両へ接近できる手法などの研究を実施し、安全に事故後処理するための手法を開発し、これらは消防機関の対応要領例に係る教材・安全マニュアル等へ反映させた。また、水素容器単体における安全かつ合理的な水素容器のくず化処理工程を開発し、容器くず化業界で発行される「FCV用容器残ガス処理および容器くず化要領書」へ反映させた。

4.4 FC2輪車の安全に関するデータ取得

FC2輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資する全データを取得し、道路運送車両の保安基準の策定に貢献した。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 4 月	2013 SAE World Congress	Validity of Low Ventilation for Accident Processing with Hydrogen Leakage from Hydrogen-fuelled Vehicle	田村陽介
2	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	水素の漏洩音による水素漏洩車 両への安全な接近方法の検討	前田清隆
3	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	衝突試験後の車室内水素濃度測 定法に関する妥当性	田村陽介
4	平成 25 年 6 月	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2013)	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
5	平成 25 年 6 月	The Fifth World Hydrogen Technologie Convention(WHTC 2013)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a Hydrogen Storage System	田村陽介
6	平成 25 年 6 月	International Journal of Hydrogen Energy	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
7	平成 26 年 4 月	SAE 2014 World Congress	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
8	平成 26 年 5 月	International Jornal of Hydrogen Energy	Effectiveness of a Blower in reducing the hazard of hydrogen leaking from a hydrogen-fuelledvehicle	田村陽介
9	平成 26 年 5 月	日本火災学会研究発 表会	水素漏洩を伴う水素燃料自動車 への送風による有効性	田村陽介
10	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	火災を想定した CFRP 容器の機能 限界温度に関する研究	田村陽介
11	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	水素漏洩音による水素漏洩車両 への安全な接近方法の検討 (第 2 報) - 74dB 程度の交通騒音環境	前田清隆

			下での認知可能な水素流量とその安全性 -	
12	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	圧縮水素容器のくず化処理工程の合理化に関する研究 - 真空引き工程の省略化の検討 -	山崎浩嗣
13	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a hydrogen Storage System	田村陽介
14	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	A Study of Rational Scrapping Methods for Automotive Compressed Hydrogen Cylinders	山崎浩嗣
15	平成 26 年 9 月	SAE International Jornal of Passenger Car	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
16	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	Thermotolerance of Automotive CFRP Cylinders in Case of Fire and Their Handling Method After Fire	田村陽介
17	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	A Rational Scrapping Method for Automotive Compressed Hydrogen Cylinder	山崎浩嗣
18	平成 27 年 5 月	自動車技術会 2015 年 春季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 1 報)	前田清隆
19	平成 27 年 6 月	24th ESV 2015	Evaluation of the Test Procedure for Post-Crash Hydrogen Concentration Measurement	田村陽介
20	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 2 報)	前田清隆
21	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる一考察	田村陽介
22	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年 秋季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 2 報)	前田清隆
23	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年 秋季大会	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる一考察	田村陽介

24	平成 27 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	Characteristics of hydrogen leakage sound from a fuel-cell vehicle by hearing	前田清隆
25	平成 27 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	The possibility of an accidental scenario for marine transportation of fuel cell vehicle-hydrogen releases from TPRD by radiant heat from lower deck	田村陽介
26	平成 28 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	Study of scrapping procedure for compressed hydrogen cylinders -Evaluation of safety on opening the valve	山崎浩嗣
27	平成 28 年 6 月 10 日	JARI Research Journal	聴覚による燃料電池自動車から の水素漏洩音の特性	前田清隆
28	平成 28 年 8 月 19 日	JARI Research Journal	年報：研究活動紹介	田村陽介
29	平成 28 年 9 月 23 日	International Journal of Hydrogen Energy	Characteristics of hydrogen leakage sound from a fuel-cell vehicle by hearing	前田清隆
30	平成 28 年 10 月 1 日	International Journal of Hydrogen Energy	The possibility of an accidental scenario for marine transportation of fuel cell vehicle-hydrogen releases from TPRD by radiant heat from lower deck	田村陽介
31	平成 28 年 10 月 22 日	International Journal of Hydrogen Energy	Study of scrapping procedure for compressed hydrogen cylinders -Evaluation of safety on opening the valve	山崎浩嗣
32	平成 28 年 10 月 20 日	自動車技術会 2016 年 秋季大会	燃料電池二輪車における水素漏 洩検知の有効性	前田清隆
33	平成 28 年 10 月 20 日	自動車技術会 2016 年 秋季大会	自動車用 CFRP 複合容器の焼損後 の残存強度	田村陽介
34	平成 28 年	第一回グローバル燃	Summary of GTR 13 (FCV-GTR)	山下郁也

	11月8日	料電池車大会		(JAMA)
35	平成29年 2月10日	JARI Research Journal	自動車用CFRP複合容器の焼損後の残存強度	田村陽介
36	平成29年 5月25日	自動車技術会2017年 春季大会	圧縮水素容器の安全弁作動確認 手法に関する検討	山崎浩嗣
37	平成29年 9月11日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2017)	The residual strength of automotive hydrogen cylinders after exposure to flames	田村陽介
38	平成29年 9月11日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2017)	A study on the effectivity of hydrogen leakage detection for hydrogen fuel cell	前田清隆

- 特許等 -

なし

(I-10)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会 / (一財)エンジニアリング協会

成果サマリ(実施期間：平成26～27年度、平成28年度、平成29年度)

- ・ISO等国際標準の制定動向調査：NEDO関連研究開発成果反映等の連携や、国際コンピナ（議長）による日本主導の規格化の推進などを進め、14全てのWG運営を滞りなく行い、制定状況の把握、日本意見の適切な反映と国際競争力の強化を図った。
- ・海外の水素ステーション機器メーカーの開発動向調査：米国（特にカリフォルニア州）とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの導入政策、設置状況、機器調査などの開発動向の調査を行った。
- ・ISO等国際標準と国内技術等との比較調査：既に国際規格（IS）等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。

背景/研究内容・目的

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、NEDOの関連研究開発などの事業と連携して、ISO等国際標準制定動向調査と国内技術等との比較調査を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
A：ISO等国際標準の制定動向調査	水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する
B：海外水素ステーション調査	海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する
C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査	ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術と比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。

実施体制及び分担等

NEDO	水素供給利用技術協会（平成28、29年度）
	エンジニアリング協会（平成26～27年度）

これまでの実施内容 / 研究成果

- ISO等国際標準の制定動向調査
 - ・充填・品質・ホース・コネクタ等のNEDO研究開発事業の成果反映等の連携
 - ・ISO/TC197(水素技術)国内対応委員会活動の充実化
 - ・日本主導の国際標準化項目の積極的国際標準化活動の推進
 - ・ISO/TC197国際WG会議及び総会への積極的な我が国の有識者の派遣を進め、全14のWG運営を滞りなく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映を行った。
- 海外の水素ステーション機器メーカーの開発動向調査
 - 米国（特にカリフォルニア州）とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの導入政策、設置状況、機器調査などの開発動向の調査を行った。
- ISO等国際標準と国内技術等との比較調査
 - 既に国際規格（IS）等を発行済の10のWGを対象に、13のISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	充填・品質・ホース等のNEDOの他の研究開発事業と連携し、14全てのWG運営を滞りなく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映と国際競争力の強化を図った。	
B	米国（特にカリフォルニア州）とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの開発動向の調査を行った。	○
C	既に国際規格（IS）等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。	○

今後の課題

NEDO他関連研究開発事業と連携した日本主導での適正な国際規格策定の推進及び国際競争力の強化。

実用化の見通し

日本主導で適正な国際規格を策定することにより、水素供給システムの確立と、FCVの普及拡大に貢献する。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	3	0

課題番号：I - 10

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討

一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT) (平成 28, 29 年度)
一般財団法人エンジニアリング協会 (ENAA) (平成 26 ~ 27 年度)

1 . 研究開発概要

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発などの事業が進められている。

本研究開発は、水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO/TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）において発行されたISO規格およびWG（作業グループ）によるISO規格ドラフトと、国内関連規格・国内技術とを比較することで技術課題の抽出を行い、もって適切なISO規格の作成することにより、FCV及び水素供給インフラの本格普及及び国際競争力確保に資する。

2 . 研究開発目標

本研究では、水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO/TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）に関する以下3項目の研究を行った。研究項目と最終目標を表1に示す。

項目A：ISO等国際標準の制定動向調査（平成26～29年度）

項目B：海外水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況調査（平成26年度）

項目C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査（平成28年度、平成29年度）

表1 研究項目と最終目標

実施項目	最終目標
A：ISO等国際標準の制定動向調査（平成26～29年度）	水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する。
B：海外水素ステーション調査（平成26年度）	海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する。
C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査（平成28、29年度）	ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。

3 . 研究開発成果

3 . 1 . 研究開発成果、達成度

(1) ISO 等国際標準の制定動向調査

平成 26～29 年度の研究成果を以下に示す。

ISO/TC197(国際標準化機構水素技術専門委員会)国内対応委員会活動の充実化

ISO/TC197 の目的である、「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」に対応するため、水素の安全利用と水素インフラに関する安全指針、技術指針などをベースに新規国際標準規格に向けての課題抽出を行い、日本からの国際標準提案を積極的に行った。日本からの新規国際標準提案の例として、既に正式制定されている水素燃料仕様に関する 3 つの ISO 規格を統合し、必要な内容改定を行う ISO14687 (水素燃料仕様 : WG27) (平成 27 年 8 月提案) や、FCV 用の水素品質管理についての ISO19880-8 (水素品質管理 : WG28) (平成 27 年 8 月提案) がある。

またそのため、水素エネルギー技術標準化委員会やテーマ毎の WG の組織化・会議の設定を行い、ISO/TC197 国内対応委員会活動の充実を図った。平成 29 年度の検討体制を図 1 に示す。

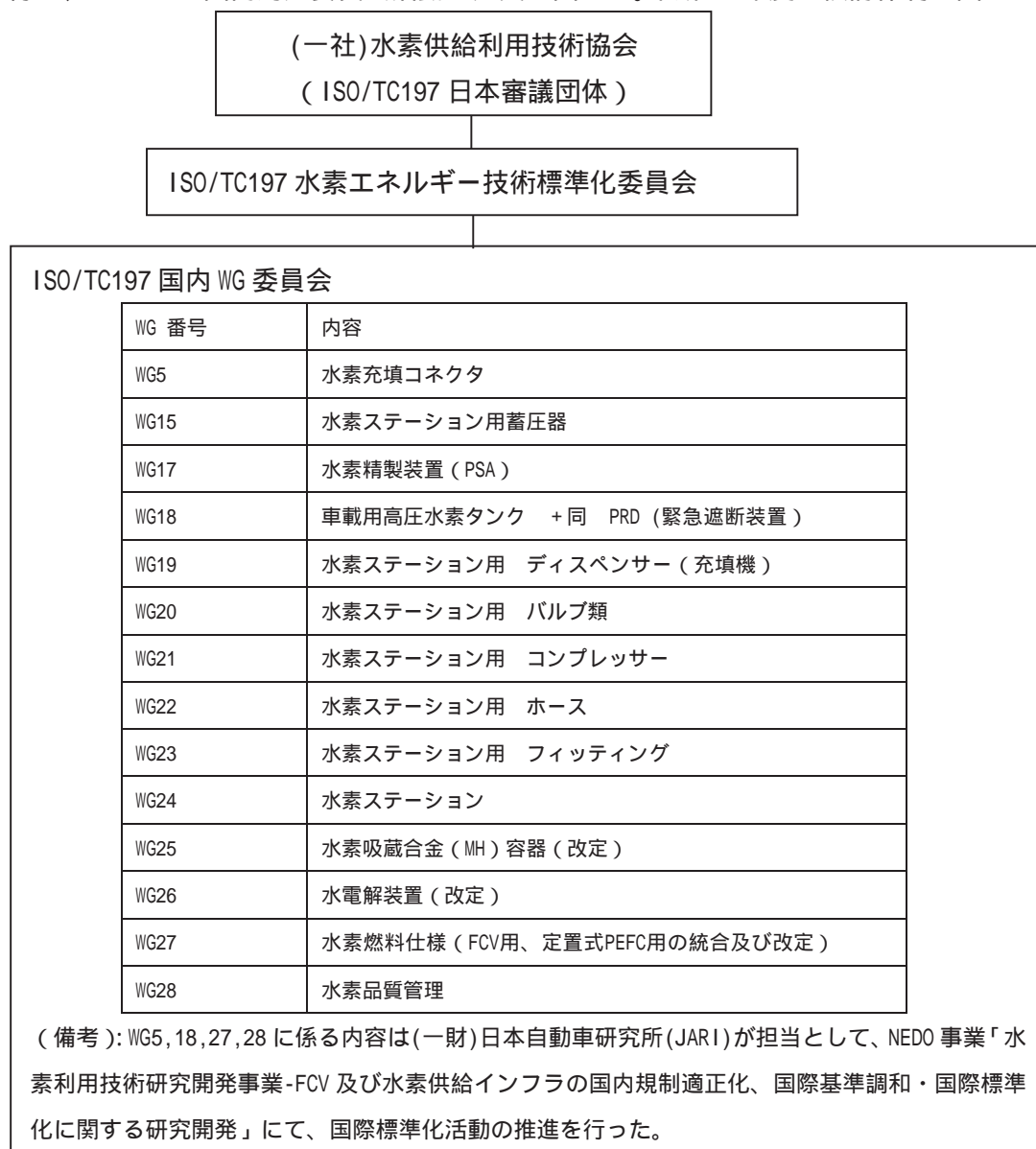


図 1 ISO/TC197 国内体制図

各 WG の平成 28 年度末の制定状況を表 2 に示す。

表 2 活動中の 14WG の国際規格制定状況

WG	内容	H28 年度末の制定状況
WG5	水素充填コネクタ	H28 年 4 月に DIS を発行した。日本から 2 種類の試験法を提案し、採用された。
WG15	水素ステーション用蓄圧器	CD2 段階。日本から数項目の問題点を指摘し、国際 WG で議論した。
WG17	水素精製装置 (PSA)	H28 年 12 月に TS (技術仕様) が発行した。
WG18	車載用高圧水素タンク + 同 PRD (圧力遮断装置)	H28 年度中に DIS 段階とする目標は、ほぼ達成された。今後、GTR 規格との整合を取ることが必要。
WG19	水素ステーション用ディスプレイ	H28 年度末に DIS 段階に到達した。但し、関連する WG24 (ISO19880-1) の DIS 化を待っている。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG20	水素ステーション用バルブ類	H28 年度末に DIS2 段階に到達した。但し、関連する WG24 (ISO19880-1) の DIS 化を待っている。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG21	水素ステーション用コンプレッサー	WD2 段階。日本の圧縮機メーカーは積極的に参加して、意見反映している。
WG22	水素ステーション用ホース	CD2 段階。NEDO ホース事業の研究成果の試験法の提案や、日本メンバーによる ISO 文書作成を行い、策定加速に貢献している。
WG23	水素ステーション用フィッティング	WD 段階。
WG24	水素ステーション	CD2 段階。WG19～23 と関連が深い規格であり、内容整合を各コンビナと取りつつ進めている。
WG25	水素吸蔵合金 (MH) 容器	H28 年度に CD 段階、H29 年度は DIS 段階である。対象容器容積を 150L 以上とする新規提案が行われており、並行して審議を進めている。
WG26	水電解水素製造装置	WD 段階。既に IS となっている 2 つの規格の統合版とし、最近の技術進展も加えた規格として策定中。
WG27	水素燃料仕様	CD 段階。既に IS となっている 3 つの規格を統合し、TG1 (FCV 用水素燃料仕様) と TG2 (定置式 PEFC 用水素燃料仕様) が各々の規格値を議論中。NEDO 水素品質事業の研究成果を提案している。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG28	水素品質管理	DIS 段階。日本の品質ガイドラインの管理方法を提案し、品質管理方法の 1 つとして採用されている。日本コンビナが議論を主導して進めている。

各 WG のより詳しい進捗状況を表 3-1 ~ 3-4 に示す。

表 3-1 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況 (その 1)

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
19	日本	ディスペンサ	<p>・ディスペンサの安全性要求及び安全性試験に係る規格。</p> <p>安全性要求：ディスペンサユニット出荷時の検査規定</p> <p>安全性試験：構造要件、気密、衝撃、緊急停止、ホース破断、ホース離脱等</p>	<p>関連する WG24 の進捗に合わせて現在 DIS 審議中。</p>
20	日本	バルブ類	<p>・ディスペンサに使用されるバルブ類の性能・安全性に係る規格。</p> <p>性能・安全性：耐圧、気密、水素ガスサイクル、作動耐久等。日本メーカーの技術意見を取り入れた。</p>	<p>2017年 7月の DIS2 国際審議結果に基づいて、FDIS の発行準備中。</p>
27	日本	水素燃料仕様	<p>用途別の 3 つの国際規格を一つに統合する日本提案が 2015 年に承認され、WG27 として活動を開始。議長は WG12 と WG14 の各日本議長が二人で共同議長として就任。3 規格の統合に合わせて FCV 用の燃料仕様については、大量普及時代を勘案した規格として、改訂作業中</p> <p>欧州は、欧州指令に基づく品質規格を ISO と別途制定するが、ISO14687 との整合が必要であることを認識している。</p>	<p>2017 年 5 月の CD 国際審議結果に基づいて、DIS の草案を検討中。</p>
28	日本	水素燃料品質管理	<p>FCV 用水素燃料仕様を遵守するための品質管理法に関する規格。日本の品質管理法 (品質ガイドライン) の方法と、欧州中心の品質管理法であるリスクアセス方法の双方の方法が規定されている。</p>	<p>2016 年 6 月の国際会議結果に基づく DIS の国際審議中。</p>

(備考) : WD=Working Draft(作業ドラフト)、CD=Committee Draft(委員会ドラフト)、DIS=Draft of International Standard (国際標準ドラフト)、FDIS=Final Draft of International Standard (最終国際標準ドラフト)

表 3-2 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況（その 2）

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
5	カナダ	水素充填コネクタ	・ 充填機ノズルと燃料電池自動車側のレセプタクル（燃料充填口）についての設計・安全に係る規格。日本コネクタメーカーの技術意見と大きく取り入れた。	2016 年 12 月の CD 国際審議結果に基づく DIS の国際審議中。
6 18	カナダ	車載用水素容器 +PRD（安全弁）	・FCV 用タンク及びタンクに装着する安全弁に関する性能要件（材料、設計、製造等）に係る規格。タンクに充てんする燃料は高圧水素。UN-GTR13 との整合については以下。材料：各国独自の要求に従うことが付記され、UN-GTR13 との整合性を確保。 設計：タンクは Category B 分類を設定し、本 Category を UN GTR13 同等の設計要求とした。製造：組試験の設定にて生産品質を確保。（ISO19881，19882）	2016 年 9 月の Pre-DIS 国際審議結果に基づき、2017 年 9 月 DIS 投票で国際審議中。
8 26	カナダ	水電解装置（改定）	・ 水素ステーションなどに設置する工業用水電解水素製造装置及び各家庭において FCV に水素を供給する水電解水素製造装置について、その安全性及び性能に係る規格。安全性：水電解水素製造装置の設計指針と出荷時の検査規定 性能：構造要件、耐圧気密要件、耐火性能、水素漏洩検知、緊急停止等	2017 年 5 月の WD 国際審議結果に基づいて、CD の草案を検討中。
10 25	フランス	水素吸蔵合金容器（改定）	輸送可能な水素吸蔵合金容器システム（バルブ・付属品含む）の規格 内容積 150L，最高使用圧力 25MPa の輸送可能な水素吸蔵合金容器（車載用水素水素吸蔵合金容器は対象外）の材料、設計、製造、型式試験 内容積 150L を越える容器、自動車用容器他、ISO 16111 の対象とならない技術内容について、新たに技術報告書にまとめるための新規提案を予定している。	既存国際規格 ISO16111 の定期見直しとして DIS の国際審議中。

表 3-3 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況 (その 3)

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
15	フランス	蓄圧器	水素ステーション用蓄圧器の設計・製造・試験要求に係る規格。 Type 1, 2, 3, 4 容器を対象として最大圧力 110MPa、最大容量 10,000L と規定。 材料の水素脆化を考慮。	2017 年 6 月に ISO PRE DIS 19884 に対するコメントが収集され検討中。日本コメント、提案資料を提出。
17	中国	水素精製装置 (PSA)	・水素製造装置における安全要件に係る規格。 安全要件：：水素精製装置の構成要素の安全面を中心にした規格。	2017 年 3 月 TS 発行を以って当面の活動休止。
21	アメリカ	コンプレッサ	・コンプレッサの材料、設計、試験等に対する規格。 材料：特に規定しない 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、機能安全、メカランなど、製造者がおこなうべき試験法の規定	現在、WD の国際審議中。
22	アメリカ	ホース	・ホースの製品、及び、試験等に対する規格。 材料：内面に金属を用いたホースは除外。内面材料の電気的特性を規定。 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、引張、液圧および水素ガスによる繰り返し加圧等の試験法の規定。 国内基準化との整合性を重視して、日本メンバーが国際規格原案を起草し、議長を強力に支援している。	2017 年 2 月の国際会議結果に基づく CD2 の国際審議中。 また、DIS 草案準備中

表 3-4 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況（その 4）

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
15	フランス	蓄圧器	水素ステーション用蓄圧器の設計・製造・試験要求に係る規格。 Type 1, 2, 3, 4 容器を対象として最大圧力 110MPa、最大容量 10,000L と規定。 材料の水素脆化を考慮。	2017 年 6 月に ISO PRE DIS 19884 に対するコメントが収集され検討中。日本コメント、提案資料を提出。
17	中国	水素精製装置 (PSA)	・水素製造装置における安全要件に係る規格。 安全要件：：水素精製装置の構成要素の安全面を中心にした規格。	2017 年 3 月 TS 発行を以って当面の活動休止。
21	アメリカ	コンプレッサ	・コンプレッサの材料、設計、試験等に対する規格。 材料：特に規定しない 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、機能安全、メカランなど、製造者がおこなうべき試験法の規定	現在、WD の国際審議中。
22	アメリカ	ホース	・ホースの製品、及び、試験等に対する規格。 材料：内面に金属を用いたホースは除外。 内面材料の電気的特性を規定。 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、引張、液圧および水素ガスによる繰り返し加圧等の試験法の規定。 国内基準化との整合性を重視して、日本メンバーが国際規格原案を起草し、議長を強力に支援している。	2017 年 2 月の国際会議結果に基づく CD2 の国際審議中。 また、DIS 草案準備中

日本主導の国際標準化項目の積極的国際標準化活動の推進

我が国がコンビナ（国際議長）として提案した WG については、日本主導による国際標準化の推進が重要なため、特に注力して推進した。WG19（水素ステーション用ディスペンサー=充填機）、WG20（水素ステーション用バルブ類）、WG27（FCV 用 PEFC、定置用 PEFC 等のための水素燃料仕様）、WG28（FCV 用水素の品質管理）については日本の技術が国際的にも優れており、これらの国際規格化は我が国の国際競争力の充実化を図る上で、重要項目であった。

上記 4WG において 5 人のコンビナが我が国メンバーである（WG27 はコンビナ 2 名体制）。現在、国際規格を策定中の WG 数は 14 で、16 人のコンビナの内、日本は 5 人と米国と並んで最多である。これらの結果を表 4 に示す。

表 4 WG のコンビナの国別人数

【現行の14WGのコンビナ数】

コンビナ総数	16
日本	5
米国	5
フランス	3
カナダ	2
中国	1

注：WG24、27はコンビナ各2名

NEDO 他事業との連携

NEDO 他事業の研究開発内容を元にした ISO 国際規格への提案を数多く行ってきた。また、ISO 国際規格案会議での議論の NEDO 他事業（研究開発事業）へのフィードバックも行っており、国際協調、連携の成果を挙げている。

NEDO 研究開発事業の成果が ISO 国際規格に貢献してきた例を表 5 に示す。

表 5 NEDO 研究開発事業の成果の ISO 国際規格への貢献

ISO番号	内容	NEDO研究開発事業	貢献内容
ISO19880-1	水素ステーション	(充填)	水素ステーションの代表仕様を基に柔軟性を加味した充填圧力上昇率の緩和(日本独自規格) をSAE及びISO充填プロトコル規格へ紹介。
ISO19880-1	水素ステーション	(充填)	バス充填の昇圧率(日本独自規格) のSAE及びISO充填プロトコル規格への提案・受け入れ。
ISO14687	水素燃料仕様	(品質)	水素中不純物の影響評価結果(CO、HCHO、有機ハイドライド関連炭化水素など) の試験データをISO14687改定の審議に提示。ISOで規格値の論議中。
ISO19880-8	水素品質管理	(品質)	日本の品質ガイドラインの品質管理方法をISO国際規格への提案・受け入れ。なお、提案内容が品質管理方法の1 つとして採用。
ISO19880-5	水素ステーション用ホース	(ホース)	水素インパルス試験(高圧・低温条件と常圧・常温条件の繰り返し試験) が有効なホース寿命評価法であることをISOに提案・受け入れ。
ISO17268	水素充填コネクタ	(コネクタ)	FCV連続充填の氷結防止策に基づく改良仕様(形状)、氷結試験法の提案・受け入れ。

(2) 海外水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況調査

平成 26 年度(2014 年度)に普及期を迎える水素ステーションの機器、及び設置状況の調査を海外対象に行った。

米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの開発動向の調査を行った。

調査した全ての国が、2015 年の水素ステーションの導入計画を策定していた。

2015 年時点での導入計画数、及び運用中の水素ステーション数は、以下表 6 の通りである。

表 6 日本及び海外の水素ステーション導入計画数及び運用数

国	2015 年計画数	2015 年度末の運用数
日本	100 ヶ所	74 ヶ所
米カリフォルニア州	68 ヶ所	37 ヶ所
ドイツ	50 ヶ所	18 ヶ所(2016)
韓国	43 ヶ所	—

導入計画数そのものは、日本が一番多いことが判る。

更に、実際に建設・運用された数においても、日本が一番多いことが判る。

加えて、各水素ステーションの設備仕様の調査結果から、最新仕様のステーション(SAE J2601 充填プロトコルによる 70MPa、-40 プレクール充填)の数も日本が最多である結果を得た。

このことから、日本の水素ステーションは、数においても、質においても世界的に最も進んでいると評価できる。

表 7 に各国の商用化へ向けた各国の水素ステーション整備状況を示す。

表 7 各国の商用化へ向けた各国の水素ステーション整備状況

日本	米国	ドイツ	韓国
<ul style="list-style-type: none"> 2015年度までに4大都市圏を中心に100カ所整備する計画 水素供給設備補助事業補助金交付決定内容(NeV)平成25~27年度:81カ所(うち開所:28カ所) FCV新規需要創出活動補助金(METI NeV)(平成27年2月~) FCV新規需要創出活動助成金(自動車会社 HySUT)(平成27年7月~) 	<ul style="list-style-type: none"> <カリフォルニア州> 2015年までに68カ所整備する計画 CECを中心とした州政府が予算(建設・運営補助)および技術開発サポート <連邦政府> 商用ステーションの整備に向けてH₂USA発足(産学官連携) DOEは主に技術開発をサポート 	<ul style="list-style-type: none"> 2015年度までに50カ所整備する計画 CEPプログラム下での整備 2023年度までに累積400カ所整備する計画 H2Mobilityを中心とした商用ステーション整備 	<ul style="list-style-type: none"> 2015年までに43カ所整備する計画 2020年までに168カ所整備する計画

(3) ISO 等国際標準と国内技術等との比較調査

ISO 規格と国内関連規格・国内技術との比較を実施した。

- ・ ISO 規格・規格ドラフトと国内関連規格・国内技術との比較
- ・ 国内規格・国内技術に関する情報収集・調査
- ・ その他海外技術動向の調査

以下に平成 28 年度の調査結果を示す。

既に国際規格 (IS) 等を発行済の 10 の WG が作成した 13 の国際規格 (IS) や技術仕様 (TS) の国内利用状況等を調査した。対象の ISO 規格を以下に示す。

ISO16110-1	水素発生器 安全性	2007 年 3 月発行
ISO16110-2	水素発生器 性能試験方法	2010 年 2 月発行
ISO22734-1	水電解プロセスを用いる水素発生器 工業及び商業用途	2008 年 7 月発行
ISO22734-2	水電解プロセスを用いる水素発生器 住宅用途	2011 年 11 月発行
ISO16111	水素吸蔵合金容器	2008 年 11 月発行
ISO26142	固定型水素検出装置	2010 年 6 月発行
ISO/TS19880-1	水素ステーション	2016 年 7 月発行
ISO/TS15869	気体水素等陸上車両燃料タンク	2009 年 2 月発行
ISO19881	気体水素陸上車両燃料タンク	
ISO19882	気体水素陸上車両燃料タンク用熱作動式安全弁	
ISO17268	気体水素陸上車両燃料補給接続装置	2012 年 12 月発行
ISO14687-2	FCV 用水素燃料仕様	2012 年 12 月発行
ISO14687-3	定置式 PEFC 用水素燃料仕様	2014 年 2 月発行

調査結果を以下の 4 ケースに整理した。

- ケース 1 制定した ISO 国際規格が活用されているケース：6
- ケース 2 ISO 規格制定過程で日本の技術貢献が大きなケース：3
- ケース 3 技術的に進んでいる日本メーカーにとって ISO 規格が有利なケース：1
- ケース 4 ISO 国際規格よりも国内規格等が優先されるケース

ケース 1 の、制定した ISO 国際規格が活用されているとは、世界統一基準として用いられていたり、他 ISO に引用されていたり、EU 規格が整合を取る予定があるケースを指す。該当の 6 規格は以下の通りである。

ISO16111 水素吸蔵合金容器、ISO26142 固定型水素検出装置、ISO17268 気体水素陸上車両燃料補給接続装置、ISO14687-2FCV 用水素燃料仕様、ISO14687-3 定置式 PEFC 水素燃料仕様、ISO19880-1 水素ステーション

ケース 2 の ISO 規格制定過程で日本の技術貢献が大きなケースとは、NEDO 研究開発成果が ISO 規格に貢献したケースを指す。3 ケースの貢献内容を以下に示す。

ISO17268 (水素充填コネクタ) 日米が共同で H70 コネクタの評価を行い、仕様 (形状) を決定した。

ISO14687-2(FCV 用水素燃料仕様)13種の不純物規格値の根拠データの大半はNEDO事業で取得した成果である。

ISO14687-3(定置式PEFC水素燃料仕様)13種の不純物規格値の根拠データの大半はNEDO事業で取得した成果である。

ケース の技術的に進んでいる日本メーカーにとってISO規格が有利なケースとは、ISO26142(定置式水素検出装置)である。ISOが規定する検知濃度範囲は0~40000ppmと広い。日本製検知器は、ISO規格濃度範囲を全てカバーできるが、欧米製は低濃度の検知が出来ないので、ISO規格は技術的に進んでいる日本製に有利な規格となっている。

ケース のISO国際規格よりも国内規格等が優先されるケースとして、以下の2例を示す。

ISO16110-1&2(燃料処理技術を使用する水素発生器)の場合、水素発生器メーカーはISO国際規格を用いずに、メーカー独自の規格を適用している。ISO22734-1&2(水電解装置)の場合、装置メーカーは、ISO規格でなく、高圧ガス保安法を適用している。

調査した全ての国際規格に関するまとめを表8に示す。

表 8 国内規格 / 国内技術との関係の調査結果

ISO 番号	内容	特記事項	国内規格 / 国内技術との関係
ISO16111	水素吸蔵合金容器	国連危険物輸送に関する勧告に引用 航空輸送時の国連包装基準制定。 IEC 規格にも引用。	この ISO 規格を基にした国連包装基準制定を受けて、国土交通省告示で航空法施行規則が一部改正され、水素吸蔵合金容器の貨物輸送機での輸送が可能に。
ISO26142	固定型水素検出装置	水素ステーションの全体規格である ISO/TS19880-1 は、水素検知システムの水素検知器が適合すべき規格として推奨。	海外の水素検知器が爆発下限界 (LEL) の 25% (10000ppm) 程度までしか精度良く測定できないのに対し、日本の検知器は数百 ppm の低濃度でも精度よく測定可能な高感度である。 検知器の要求仕様において広い水素濃度レンジ (100 ~ 40000ppm) が対象で、特に日本が得意な水素 数百 ppm レベルの低濃度側にも本規格で要求スペックが設けられていることによって、国内検知器メーカーにとり有利な内容になっている。
ISO/TS19880-1	水素ステーション	水素ステーション全体の要求事項をまとめた国際規格の発行に先立つ技術仕様書 (ISO 規格の前段階規格)	高圧ガス保安法、消防法、建築基準法 他に準拠して水素ステーションの建設・運営する日本の要求事項が他国と共に例示されており、日本の基準がこの ISO 規格でも認められている。
ISO17268	気体水素陸上車両燃料補給接続装置	燃料電池車 (FCV) は国際商品であり、すべての FCV と水素ステーションでこのコネクタ規格に準拠。 実環境 (市場) で生じた不具合を防止する試験法の追加を WG5 で検討中。	国内規格は高圧ガス保安法に基づく耐圧試験のみ必須。ただし、品質保証の観点からすべてのコネクタはこの ISO 規格に準拠。 日米が共同で H70 コネクタの評価を行い、仕様 (形状) を決定した。
ISO14687-2 ISO14687-3	FCV 用水素燃料仕様 定置式 PEFC 用水素燃料仕様	日本が提案・主導して制定された、FCV 用水素燃料の国際統一規格。 ISO14687-1 3 の統一化を日本主導の WG27 で検討中。	提案の基となった規格値の大半は NEDO 事業で取得した成果による。 見直し対象の微量不純物 (CO, HCHO, HCOOH 等) の許容濃度について評価試験を実施中。
ISO16110-1 ISO16110-2	水素発生器 安全性 水素発生器 性能試験方法	対応する国内基準は特になし	日本メーカーは、本規格でなく、メーカー自己規格に基づいて製品製造していると考えられる。
ISO22734-1 ISO22734-2	水電解プロセスを用いる水素発生器 工業及び商業用途 水電解プロセス	高圧、大容量、新技術を加えた標準の見直しを WG26 で検討中。 住宅用水電解装置の安全性も扱う。	国内では 1MPa 以上の水素製造は高圧ガス保安法で水素製造所に該当し、高圧ガス保安法が優先的に適用。

	を用いる水素発生器 住宅用途		
ISO/TS15869	気体水素等陸上車両燃料タンク	関連する UN GTR13 との整合が取れていない。	新たな ISO 規格として WG18 で制定中。
ISO19881 ISO19882	気体水素陸上車両燃料タンク 気体水素陸上車両燃料タンク用熱作動式安全弁	関連する UN GTR13 と比較して、内容が旧く陳腐化している。	UN GTR13 phase2 を審議・制定を優先して進めている。

3.2. 成果の意義

NEDO 関連研究開発成果の連携を強力に行い、国際コンピナ（議長）による規格化の推進を日本主導で進めた意義は大きい。また、14 全ての WG 運営を遅滞なく行った。

日本の水素ステーションが国際的に最も先進的に進められていることを明らかにした。

これらの事業全体の成果は、FCV の普及展開及び国際競争力確保に有効である。

3.3. 開発項目残課題

本研究開発と同様に、NEDO 関連研究開発成果と連携し、日本主導での適正な国際規格策定の推進を図っていくことが必要である。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

日本主導で適正な国際規格を策定することにより、水素供給システムの確立と、FCV の普及拡大に貢献することを目指す。

このように、日本主導で適正な ISO 国際規格を進め、その結果を業界団体や関係企業にフィードバックを行うことにより、日本企業活動の活発化が図れ、ひいては、国際競争力の向上に繋がれ、国益に資することが可能となる。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 12 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	ENAA
2	平成 27 年 11 月	燃料電池実用化推進協議会/FCCJ)平成 27 年度 FCV・水素インフラ WG/ 標準動向説明会	ISO TC197 の国内外の動向や国内委員会の取り組み	ENAA
3	平成 28 年 1 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	ENAA
4	平成 28 年 12 月	ISO TC197 オランダ総会	日本の商業水素ステーションと燃料電池自動車の普及のための取り組み	ENAA
5	平成 28 年 12 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	HySUT
6	平成 29 年 3 月	燃料電池実用化推進協議会/FCCJ)平成 27 年度 FCV・水素インフラ WG/ 標準動向説明会	ISO TC197 の国内外の動向や国内委員会の取り組み	HySUT

- 特許等 -

なし

(1-1-1)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素スタンダードの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター

成果別(実施期間：平成25年度～平成26年度)
 既存水素ステーションの災害のきっかけとなる事象として、過去の事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シナリオ(事故の開始と結果)を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案を作成し、高圧ガス保安協会主催の委員会へ報告した。また、保安設備作動時の水素スタンダード事業者の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドライン(名称：水素スタンダード緊急時対応基準作成のガイドライン)を作成した。

これまでの実施内容 / 研究成果
 シビアアクシデントに対する設備面での対応を例示基準案として策定し、非常措置マニュアル等に記載すべき従業員の対応等を明確にするため以下の検討を実施した。
 水素ステーションの事故に関する調査
 既存ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査を実施し、水素ステーションにおける潜在的なリスクを整理した。
 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定
 災害のきっかけとなる事象として、事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シナリオ(事故の開始と結果)を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。
 シビアアクシデント対応策の策定
 シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策「蓄圧器の破裂防止措置」として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案を作成した。また、保安設備作動時の水素スタンダード事業者の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた「水素スタンダード緊急時対応基準作成のガイドライン」を作成した。
 審査過程における対応
 蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する方法については、一般高圧ガス保安規則の例示基準化に向け、高圧ガス保安協会による審査会に出席し、検討結果の説明を行った。

背景 / 研究内容・目的

自動車メーカーがFCVを4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者がFCVの販売台数の見通しに応じて水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。
 水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時に水素スタンダードの安全の確保するため水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施し、高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
水素ステーションの事故に関する現状把握	・ステーションの事故事例調査 ・高圧ガス設備の災害事例調査
水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定	・事故シナリオの検討 ・重大性の高い災害事象の抽出
シビアアクシデント対応策の策定	・リスクアセスメントの実施 ・緊急時対応ガイドライン作成
審査過程における対応	・例示基準案の審査過程における対応実施

実施体制及び分担等

NEDO	石油エネルギー技術センター	項目	～
------	---------------	----	---

今後の課題

特になし

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
	事故事例の調査と潜在的リスクの整理	
	重大性の高い災害事象の抽出	
	「水素スタンダード緊急時対応基準作成のガイドライン」作成	
	例示基準案作成と審査会対応実施	

実用化の見通し

水素スタンダード事業者により、水素スタンダード緊急時対応基準作成のガイドラインが活用される。
 また、作成した「蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案」は、一般高圧ガス保安規則の新たな例示基準59の11として制定された。

特許 出願	論文 発表	外部 発表	受賞 等
0	0	0	0

課題番号：I - 11

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究 / 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討

一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）

1. 研究開発概要

FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が 2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

このような背景の下、本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

主な検討項目は以下の通りである。

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

研究開発の目標を以下のとおりとする。

水素ステーション等の高圧ガス設備に関する事故事例を調査し、水素スタンドのリスクに関する現状把握を行う。それらの事故事例を参考に水素スタンドでのシビアアクシデントの想定を行う。シビアアクシデント対策として、蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する例示基準案の作成と、緊急時における従業員のための非常措置マニュアルや危害予防規程に記載すべき項目案を作成する。また、これらの内容を基準化するための審査過程における対応を行う。

(1) 水素ステーションの事故に関する現状把握

- ・既存ステーションの事故事例調査
- ・高圧ガス設備の災害事例調査

(2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

- ・過去の事故事例の整理
- ・劣化、ヒューマンエラー等の災害のきっかけとなる事象の想定
- ・事故シーケンス（事故の開始と結果）の検討
- ・災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出

(3) シビアアクシデント対応策の策定

- ・ハード面での対策：蓄圧器の破裂を防止すべく、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・ソフト面での対策：保安設備作動時の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目について検討し、緊急時対応ガイドラインの作成

(4) 審査過程における対応

- ・例示基準案の審査過程における対応実施

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 水素スタンドの事故に関する現状把握

国内の水素スタンドでは、人身事故や火災のような大きなトラブルは発生していないが、水素スタンドの事故想定を行うため、国内の高圧ガス設備の重大事故の発生状況とその原因について調査を実施した。事故事例の調査は、高圧ガス保安協会のデータベースにより、1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故について、発生件数と原因について整理を行った()

1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故は247件あり、326人の方がいる。これらの事故の一次事象と発生件数及び事故の原因となったガスの種類を表1に示した。

表1 高圧ガス設備の事故

一次事象	発生件数	原因
爆発	93件	LPG 39、アセチレン 29、水素 3
漏洩	45件	アンモニア 9、硫化水素 8
破裂	44件	アンモニア 8、空気 7、炭酸ガス 6、水素 1
火災	42件	LPG 17、酸素 14、アセチレン 7、水素 1
中毒	7件	一酸化炭素
その他	16件	酸欠等

出典：KHK 事故事例データベース

表1で示した高圧ガス設備の事故のうち、水素が関係している事故は5件であった。

a. 火災

- ・トラック追突による水素カードル容器の破損・火災(1972/5/25)
水素ガスが噴出、着火、運転手死亡、通行人2人負傷、商店、民家類焼

b. 破裂

- ・水添脱硫装置の水素循環用リサイクルコンプレッサーの破裂(1965/6/16)
圧縮機ハウジング内の圧力上昇しカバーボルトが破断、カバーが飛散

c. 爆発

- ・焼鈍炉の水素ガス爆発(1970/3/24)
爆発、作業員死、濃度計の故障、焼鈍炉内混合ガス残留
- ・ガス発生炉での水素ガス爆発(1973/11/9)
分析計爆発、分析計サンプル水素ガス漏えい、赤外光源が火源
- ・重油間接脱硫装置の熱交換器ふた板の飛翔(1992/10/16)
触媒交換作業を完了後のスタートアップ準備作業中、ボルト締付け作業、水素ガス漏えい、爆発火災、熱交換器構成部品飛散、タンク、配管類に被害

国内の水素スタンドでは火災等の事故は発生していないが、海外の水素スタンドでは火災・爆発の事例があり、それらについて以下に示す。

a. ロチェスター国際空港水素ステーション

発生日時：2010年8月26日 12:45頃

発生場所：米国ニューヨーク州 ロチェスター国際空港敷地内水素ステーション

事故概要：水素供給のためのトレーラトラック交換中に爆発事故が発生。

2台のトレーラーが破損した。負傷者は2名で、燃料供給会社の作業員が火傷を負い、道路向かいの店員が軽症（耳痛）。

空港が50分間に渡り閉鎖。周辺道路や建物、店舗も閉鎖。

ホースあるいはコネクタ部の欠陥と考えられている。

b. エメリービル市ACトランジット水素ステーション

発生日時：2012年5月4日 7:45頃

発生場所：米国カリフォルニア州 アラメダ郡エメリービル市

ACトランジット水素ステーション

事故概要：蓄圧器ユニットについていた安全弁が破損し、この結果300kgのほぼ全量の水素を放出。

ベントで水素が着火し、キャノピーに当たって可視炎となった。放出水素の静電気による着火と考えられる。

2つの学校を含む近隣住民に避難指示が出された。

(2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

シビアアクシデントとは、設計基準を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な対応が難しい事象をいう。水素スタンドでのシビアアクシデントは、水素スタンドに著しい損傷を与える事故や災害、水素スタンドの従業員や顧客並びに周辺住民の生命に危害の及びおそれのあるものと考えられる。

リスク評価方法

水素スタンドにおける事故を検討するため実施されたリスク評価の手順は、図1の通りである。

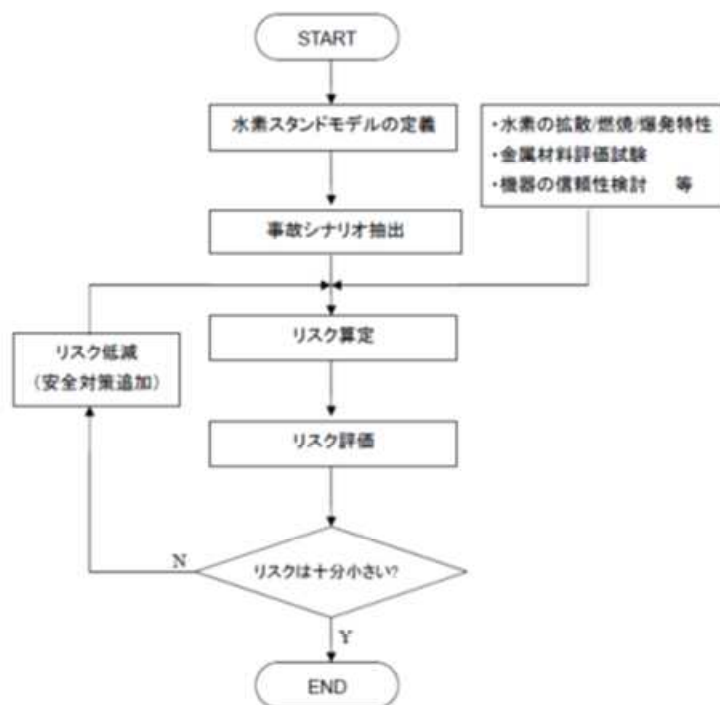


図1 リスクアセスメントに基づく基本検討フロー

トリガー現象の抽出

事故シナリオを抽出するため、危険源抽出方法として広く有効性が認められているHAZOPとFMEAを用いてリスク源の検討が行われた。水素が漏えいし、着火、爆発する事故に至る場合、何段階かのステップが存在している。こうした事故を引き起こす直接的な原因を「トリガー現象」と呼ぶこととし、水素スタンドでの事故を引き起こす可能性のあるトリガー現象をリストアップした。

- ・ 劣化故障
- ・ ヒューマンファクター
- ・ 天災
- ・ その他

リスク評価

水素スタンドの想定事故シナリオについて、そのリスクが許容される範囲であるか否かについて評価が行われた。事故の発生する「可能性」とその「影響度」によりリスクマトリクスを作成し、リスクランクに分類した。事故の発生する可能性、影響度、リスクマトリクスを以下に示す。

a. 可能性評価

水素スタンド設備の寿命を約20～30年と仮定し、その期間中に発生する可能性を検討した。事故発生の可能性レベルについて表2に示した。

表2 事故発生の可能性レベルの定義

可能性ランク		説明
A	ほとんど起こりえない	可能性はある。しかし、その可能性はきわめて小さい。
B	起こりにくい	スタンドの設備の一生において起こりにくいと考えられる。
C	可能性がある	スタンドの設備の一生において1回程度は考えられる。
D	十分起こりえる	スタンドの設備の一生において複数回考えられる。

b. 影響度ランク

影響度の評価については、人的影響、設備的影響について検討が行われた。人的影響は、最も重視すべき影響であり、水素スタンド内外について評価が行われた。設備的影響については、水素スタンド外の隣接家屋等への影響を評価し、スタンド内については事業者自らの責任で対応すべきものとし評価対象とされていない。影響度レベルについて表3に示した。

c. リスクアセスメント結果

水素スタンドのリスクの大きさは、事故シナリオの発生の可能性と発生したときの影響度の組み合わせにより算定される。リスクに大きさに関しては、以下の基準でH（高い）、M（中程度）、L（低い）の3段階にランク分けし、可能性と影響度およびリスクの関係を表4のリスクマトリクスに示した。

・スクランクH

許容できないリスクであり、更なる安全対策を講じなければならない。

・リスクランクM

原則として許容できない。更なる安全対策が可能かどうかを検討し、現実的な対策が見つからない場合に限ってこれを許容する。

・スクランクL

許容できる。更なる安全対策は必ずしも必要でない。

表3 影響度レベルの定義

影響度ランク	設備的影響	人的影響
極めて重大な災害	敷地外の隣接建屋が全壊する程度の極めて重大な災害	周辺住民、歩行者の死亡災害 (「敷地外で死亡者」と同意)
重大な災害	敷地外の隣接建屋が半壊する程度の重大な災害	顧客、従業員の死亡災害 (「敷地内で死亡者」と同意)
中規模災害	敷地外の隣接建屋の窓ガラスは大小に関わらず壊れ、窓枠にも被害が及ぶ程度の中規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)入院が必要な重傷災害
小規模災害	敷地外の隣接建屋一部の窓ガラスが破損する程度の小規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴う休業災害
軽微な災害	敷地外の隣接建屋に影響なし	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴わない軽微な災害

表4 リスクマトリクス

		可能性			
		A	B	C	D
影響度		ほとんど 起こりえない	起こりにくい	可能性がある	十分 起こりえる
極めて重大な災害		H	H	H	H
重大な災害		M	H	H	H
中規模災害		M	M	H	H
小規模災害		L	L	M	H
軽微な災害		L	L	L	M

リスクアセスメントの結果、リスクランクが高いとされたものについては、その後の法令の見直しにおいて、過流防止弁の設置、感震装置と緊急遮断インターロック、車両衝突防止ガード設置、35MPa 車両に 70MPa 充填ノズルを接続できない構造にするなどの様々な安全対策がとられることとなり、リスクを低減させることが可能となった。しかしながら、これらハード面の対策を実施しても高いリスクがあるもの(リスクランク H)として、地震、近隣敷地の火災、構内火災、暴走車両の飛び込み、航空機などの墜落、隣接敷地のクレーン倒壊、竜巻等の項目が残された()

(3) 緊急時対応方法の検討

水素スタンドのシビアアクシデント対応を検討するため、災害発生時の従業員の対応策について、以下の手順で実施した()

- 1) シビアアクシデントを引き起こすトリガー現象の想定を行う。
- 2) トリガー現象の発生状況確認及び被害予測を行う。
- 3) トリガー現象により水素スタンドに起こる初期事象を想定する。
- 4) 水素スタンドの安全対策の抽出を行う。
- 5) 初期事象の発生と災害拡大のシナリオをイベントツリー解析により行う。
- 6) イベントツリーによる事故シナリオにより、その時の従業員による対応方法について検討を行う。

トリガー現象の想定

シビアアクシデント発生のきっかけとなるトリガー現象としては、過去の水素スタンドのリスクアセスメントの結果、ハード面の対策を行っても高いリスクがある(リスクランクH)とされたものを選定した。さらに、国内の災害発生状況を参考に、過去の検討で想定していなかった自然災害について含めることとした。また、近年のコンピューターへの不正侵入等による、制御系へのサイバー攻撃についても検討を行うこととした。

災害等の発生状況と被害予測

トリガー現象となる災害について、気象庁や自治体のホームページ等に掲載されている過去の事例について調査し、その発生状況、被害予測、それによってスタンドに引き起こされる初期事象について検討を行った。

初期事象の想定

前項の災害による被害予測の結果、トリガー現象として地震が発生した場合には、水素スタンドには外力による配管の損傷、近隣火災、構内火災、地盤沈下などが引き起こされる可能性があることが分かった。トリガー現象により水素スタンドの設備に起こる異常を「初期事象」と定義した。トリガー現象が異なっても、水素スタンドに起こる初期事象はいくつかのパターンになることが分かった。そこで、スタンドに起こる初期事象について整理し検討を行い、A~Hの8パターンに分類した。想定されるトリガー現象と初期事象を表5に示す。

表5 トリガー現象と初期事象

トリガー現象		初期事象	
1	地震	外力による配管の損傷	A
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災
		地盤沈下	13.地盤沈下
2	近隣火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
3	構内火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
		火災による配管の損傷	D
		火災による蓄圧器の損傷	F
4	暴走車飛び込み	外力による配管の損傷	A
5	航空機等の墜落	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災
6	クレーン倒壊	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
7	竜巻	外力による配管の損傷	A
8	津波・高潮	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
9	豪雨・洪水	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
10	火山の噴火	外力による配管の損傷	A
		輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
11	豪雪	外力による配管の損傷	A
12	土砂災害	外力による配管の損傷	A
13	地盤沈下	外力による配管の損傷	A
14	サイバー攻撃	圧縮機の異常運転による圧力上昇	H

水素スタンドの安全対策

水素スタンドには、様々な安全対策が施されているが、各水素スタンドに共通の技術基準は、一般高圧保安規則（以下「一般則」）第7条の3に規定されており、水素スタンドにはこの安全設備が設置されている。

水素スタンド事故のシナリオと対策

水素スタンドでは、配管が破断し水素の漏洩が起きた場合には、ガス検知器が作動し緊急遮断装置が働いたり、過流防止弁が機能したりすることにより災害を防ぐようになっている。

大規模災害発生時には、こうした安全装置が働かないケースを想定する必要がある。そこで、リスク評価手法

の1つであるイベントツリー解析(ET)を行った。イベントツリー解析は、災害や事故が発生した場合に、どのように事象が進展していくかを安全設備や防災活動の成否により、枝分かれ的に展開し最終事象を導くものである。

イベントツリーの始まりは、初期事象8パターンとした。初期事象に対し、どのような安全設備が対応するか、その安全設備の動作が成功したか失敗したかによって事象分岐を行い、その時の従業員の取るべき行動について、水素スタンドの運用例などを参考に対応案を作成した。

例として外力による配管損傷のイベントツリーを図2に示す。

(1) 初期事象とトリガー現象

初期事象 A : 外力による配管の損傷

トリガー現象 : 地震、暴走車飛び込み、航空機墜落、クレーン倒壊、竜巻、津波・高潮、豪雨・洪水、火山の噴火、土砂災害、地盤沈下

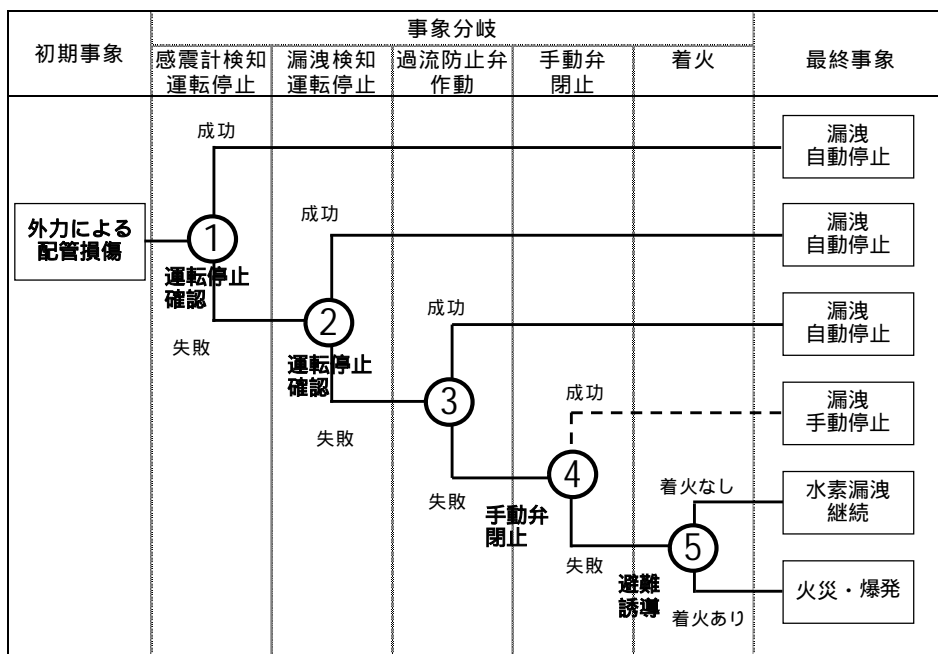


図2 外力による配管損傷 ET

(2) 安全設備と従業員の対応

振動・衝撃等の検知時

安全設備

- ・地盤の振動を検知し、製造設備の運転を自動的に停止する装置が設置されている。

[一般則7条の3第2項第17号]

- ・設置例としては、150gal(震度5強)以上の加速度を検知した場合、インターロックにより運転停止(圧縮機運転停止、蓄圧器遮断弁閉止、ディスペンサー遮断弁閉止等)が行われる。

従業員の対応

- ・事業所内の火気を直ちに消す。
- ・インターロックによる設備の運転の停止を確認し、停止していない場合は手動で設備の運転を停止し、遮断弁の閉止を行う。
- ・設備の損傷状況を確認し、水素漏洩の確認を行う。

- ・必要に応じ、蓄圧器の元弁を閉止する。
- ・事業所付近の構造物（壁・家屋等）や道路の異常を確認する。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ連絡を行う。
- ・地震の場合は、テレビ・ラジオ等から地震情報を得る。
- ・顧客及び車両を安全な場所に誘導する。

水素漏洩検知をした場合

安全設備

- ・可燃性ガスが滞留するおそれのある場所に、漏洩を検知し製造設備の運転を自動的に停止する装置が設置されている。[一般則7条の3第2項第16号]
- ・水素漏洩を検知することにより警報が鳴動し、インターロック処理により設備の運転が自動停止される。警報設定値は、爆発下限界の1/4以下の値となる。

従業員の対応

- ・インターロックによる設備の運転の停止を確認し、停止していない場合は手動で設備の運転を停止、遮断弁の閉止を行う。
- ・水素濃度を確認しながら、設備の損傷状況や水素漏洩箇所の確認を行う。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ水素漏洩の連絡を行う。
- ・あらかじめ定められた避難場所に顧客を誘導する。

過流防止弁の作動

安全設備

- ・蓄圧器の出口には、圧縮水素の流量が著しく増加することを防止するための措置が取られている。[一般高圧ガス保安規則7条の3第2項第12号]
- ・大量流出防止措置の設備として、過流防止弁が設置されている。過流防止弁は車両に充填する流量の3倍以上で確実に作動することとされており、流量が少ない場合には作動しない。

従業員の対応

- ・過流防止弁の作動を、蓄圧器の圧力や漏洩水素濃度の変化により確認する。

手動弁の閉止

従業員の対応

- ・水素の漏洩が微小の場合、周囲の水素濃度を測定し、爆発の危険がないことが認められる場合には、蓄圧器元弁等の手動弁を閉止し漏洩を停止する。

水素漏洩が継続する場合

従業員の対応

- ・漏洩ガス量が多い場合には周辺住民に周知し、火気の使用停止を依頼する。
- ・水素スタンドが危険であると判断される場合には、消防・警察と協力し周辺住民に対し危険状態であることを周知し、周辺住民の避難誘導に努める。

これ以外に下記の初期事象に対し同様の検討及び解析を行い、対応案を作成した。

- ・外力による蓄圧器の損傷
- ・輻射熱および火炎による配管の損傷
- ・輻射熱および火炎による蓄圧器の損傷
- ・冠水による蓄圧器の流出

- ・ 圧縮機の異常運転による圧力上昇

緊急時対応基準作成のガイドラインについて

大規模災害等により水素スタンドに起こりうる初期事象について整理し、イベントツリー解析を行い、安全装置が作動しない場合にどのようなことが起こるか、その際に従業員の取るべき行動について検討を行った。これについては、別冊の『水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン』に取りまとめた。

このガイドラインは、各事業者が緊急時対応基準等の作成の際に参考となる事項を示したものであり、水素スタンドの安全性を高めることを目的としている。緊急時対応基準の運用については、より実効性を高めるために、平時より関係各署との連携を取ることや周辺住民との十分なリスクコミュニケーションを図ることも求められる。作成したガイドラインの表紙と目次を図3に示す。

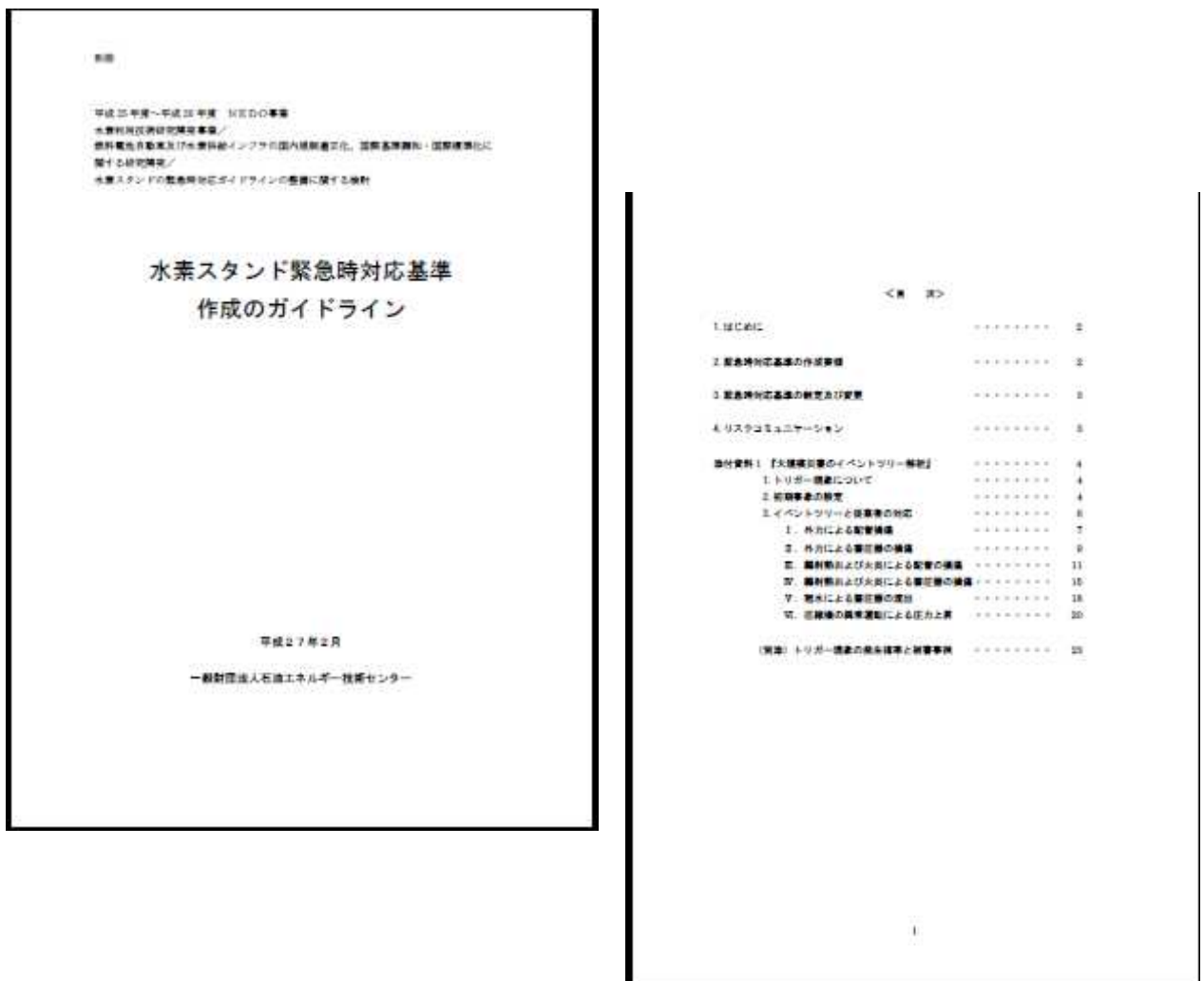


図3 水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン

(4) 審査過程における対応 (蓄圧器の緊急時脱圧について)

一般高圧ガス保安規則第7条の3は、圧縮水素スタンドの技術基準を定めたものであるが、この基準の常用圧力を40MPaから82MPaへの変更を行う際に、「緊急時に蓄圧器内の水素を安全に放出すること」が定められた。これについては、例示基準がないため、水素を安全に放出する方法について、基準化を見据えて検討を行うこととなった。

一般高圧ガス保安規則の改正

平成24年11月に一般規則が改正され、第7条の3第2項35号として蓄圧器が危険な状態となったときに、蓄圧器内の水素を安全に放出するための適切な措置を講ずることが追加された。

蓄圧器が危険な状態となる場合

水素スタンドは、第7条の3の技術基準に従って設置されており、通常想定される事故について保安は確保されている。ここでの蓄圧器が危険な状態になる場合とは、大規模地震等の発生により安全設備が作動しない場合が対象であり、前章ではイベントツリー解析を行い、どのような場合に蓄圧器内の水素放出が必要になるか検討を行ってきた。

蓄圧器内の水素放出が必要となる初期事象としては、外力による蓄圧器の損傷、輻射熱や火災による蓄圧器の損傷、冠水による蓄圧器の流出が想定された。図4に輻射熱を初期事象とした場合のイベントツリー解析結果を示した。

この例では、防火壁が機能せず、散水設備が作動しないか、あるいは散水が終了した場合に、蓄圧器水素の放出を行うか否かの判断を行うことになる。

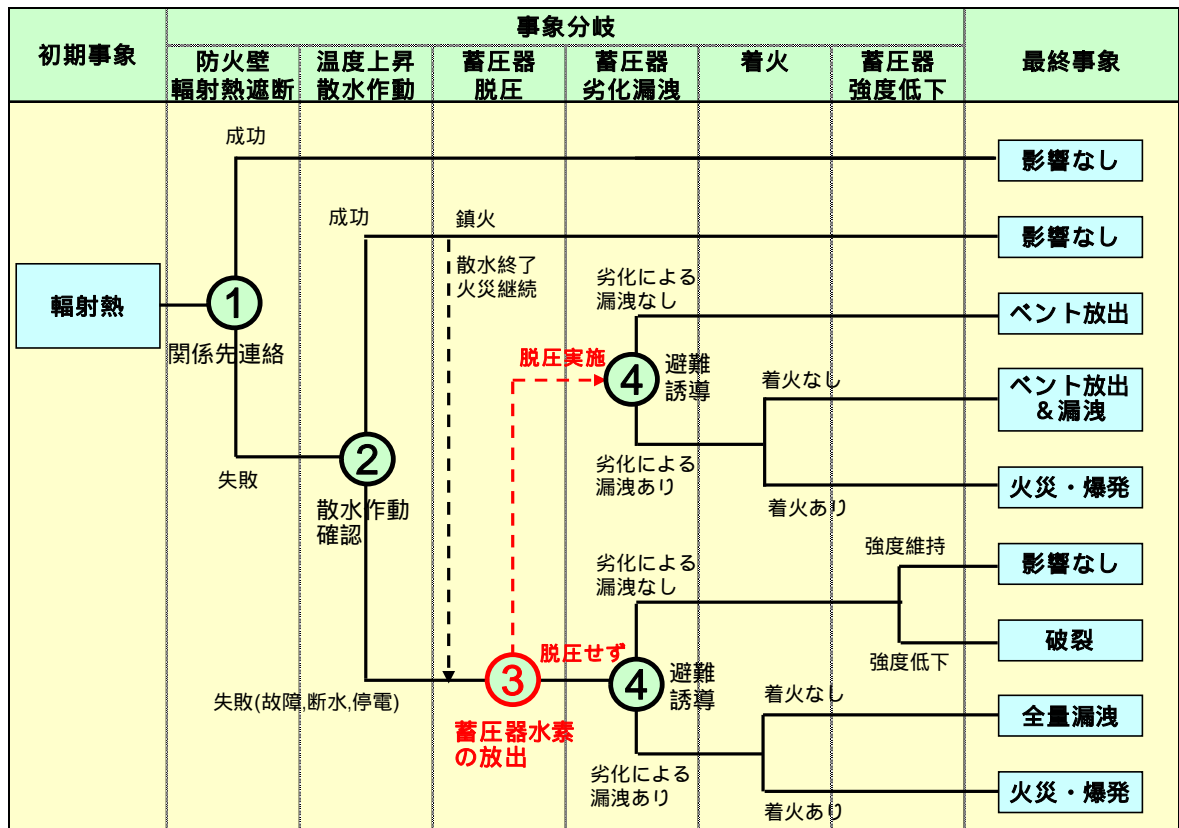


図4 蓄圧器水素の放出ET

平常時の蓄圧器水素の放出方法

水素の放出方法の検討のため、水素スタンドの蓄圧器からベントラインまでのフローについて調査を行った。水素スタンドの仕様により異なるが、蓄圧器の近傍には、溶栓式安全弁、バネ式安全弁、手動弁が設けられベントラインにつながっている。また、ディスペンサーの近傍にも手動弁、遮断弁が設けられておりベントラインにつながっている。

次に、平常時の水素放出方法の検討のため、定期整備時の蓄圧器水素放出方法について水素スタンド運用者にヒアリングを行った。水素スタンドによって方法は異なり、蓄圧器近傍の手動弁により放出する方法や、ディスペンサー近傍の手動弁または遮断弁を通じて放出する方法があり、いずれの場合もベントラインより放出されていることが分かった。

緊急時の蓄圧器水素の放出方法

a. 水素の放出に使用するライン

定期整備等の平常時には、ディスペンサー近傍の配管を通じて水素を放出する方法もあるが、緊急時に水素を放出する場合には水素流量が増えると過流防止弁が作動し、水素の流れが止められる可能性がある。過流防止弁は、例示基準 59 の 5 に示されており、蓄圧器の出口又は充填容器等から圧縮水素を受け入れる配管内の圧縮水素の流量が、著しく増加する事を防止するために設けられたものである。従って、緊急時に水素を放出するためのラインは、過流防止弁によって流れが遮断されないように、過流防止弁の上流側とする。

b. 水素放出に使用する弁

高圧ガス設備内部の圧力を低下させる安全装置としては、バネ式安全弁、溶栓式安全弁、手動弁、遮断弁、溶栓弁等がある。これらの特性について以下に示した。

- 1) バネ式安全弁：許容圧力以下に戻すための装置(1 項 1 号,2 項 1 号)として規定されており、多くのスタンドで採用されている。
設定圧力以下になると吹き止まるため、全量放出が出来ない。
- 2) 溶栓式安全弁：設定温度で溶栓が溶け、全量放出が可能である。温度依存であり、能動的に操作できない。
- 3) 手動弁：定期整備で使用している。計装が障害を起こした場合も操作可能である。作業員が近づけない場合には操作できない。
- 4) 遮断弁：充填ノズルの残圧放出等で使用している。緊急時に放出する弁としては、遮断弁ではなく遠隔操作弁という言い方とする。
- 5) 圧力リリーフ弁：安全弁が作動する前に圧力を放出するもの(2 項 10 号)に規定され、安全弁が作動する前に動作する。
設定圧力以上で自動的に開になり、圧力を下げるもの。

上記のうちバネ式安全弁については、設定圧力までしか水素を放出できないため、緊急時に水素を放出する弁から除外する。圧力リリーフ弁についても設定圧力までしか下がらないが、計器室からの操作により設定圧力の変更可能なものもあり、設定圧力を 0 とすることで全量放出が可能となり、この場合には緊急時に水素を放出する弁として有効と考えられる。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、手動弁、遠隔操作弁のいずれか一以上によることとし、圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができることを技術基準案とした。

図 5 に緊急時の蓄圧器水素放出ラインの例を示す。

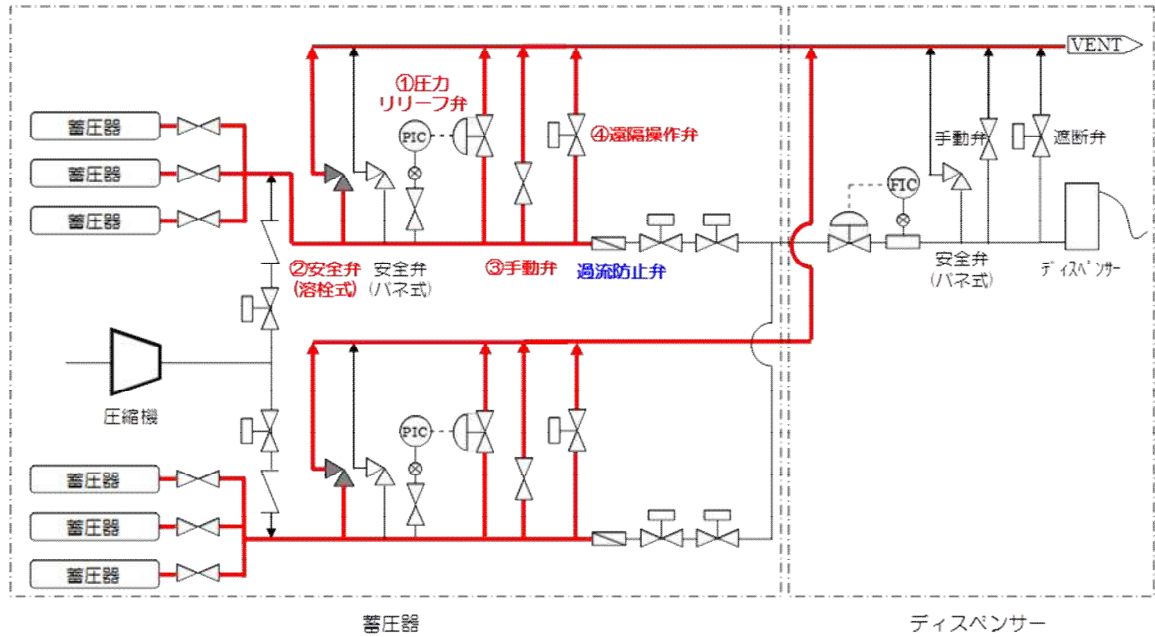


図 5 緊急時の蓄圧器水素放出ライン

c. 水素の放出時間や放出時期について

水素放出の時間や時期については、火災の規模、近隣施設との距離、水素の保有量、蓄圧器の種類、防消火設備の内容、消火活動の状況等様々な違いがあり、それによって脱圧の必要性や脱圧時間が変わってくることが考えられる。従って、本検討では水素の放出時間や放出時期について定めることはせず、安全装置の作動状況や周囲の火災の状況、消火活動の状況を踏まえて、各事業者が、圧縮水素を放出するか否かを判断すべきであるとし、水素の放出時間や放出時期については基準に含めないものとした。従業者の水素放出の判断基準としては、緊急時対応指針のガイドラインを参考としていただくこととする。

d. 技術基準案

以上の検討結果より、検討会での例示基準案は次の通りとした。

蓄圧器内の水素を安全に放出する方法

規則関係条項 第 7 条の 3 第 2 項第 35 号

蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための措置は、次の基準によるものとする。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、過流防止弁より上流側にあたる箇所とし、その出口側は本基準 14.の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、遠隔操作弁、手動弁のいずれか一以上によること。

圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができること。

検討会の後、高圧ガス保安協会主催による、緊急時に蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための技術基準案の検討が行われ、弁の位置を蓄圧器と過流防止弁の間にするものとした。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、電力の喪失等が生じても操作可能である手動弁を設置することを第1とし、緊急時に手動弁を操作出来ない恐れがある場合には、遠隔操作弁等を併設することとし、以下のように基準案の修正が行われた。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、蓄圧器に設けた過流防止弁と蓄圧器の間に設置することとし、その出口側は本基準 14.の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は手動弁とする。
ただし、緊急時に手動弁の操作をすみやかに行うことが困難と予想される場合には、上記手動弁に加え、当該蓄圧器に有効な遠隔操作弁、溶栓式安全弁、計器室から操作可能な圧力リリーフ弁のいずれかを併設し、これによっても水素が放出できるようにすること。

これを基に、一般高圧ガス保安規則第7条の3第2項第35号に関する例示基準59の11「蓄圧器内の水素を安全に放出する方法」が制定された()

3.2 成果の意義

本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

本件等により、

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成

を行い、水素スタンドの緊急時の安全確保のための基準等を整備することができ、水素インフラの普及拡大に寄与することができた。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

本テーマは平成26年度で終了しており、開発目標はすべて達成されている。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

作成した「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」は業界関係者に周知され、水素スタンドにおける緊急時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練などを記載する危害予防規程や非常措置マニュアル等の作成に反映される。

本検討の成果である例示基準案については、平成26年度に高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、その後高圧ガス保安室により安全性が確認された後に、新たな例示基準59の11として制定された。

5.研究発表・特許等

特になし。