

# FCVに関する基準・標準整備の状況

## - 高圧水素関連 -

福本 紀

(一財)日本自動車研究所 FC・EV研究部

〒105-0012 東京都港区芝大門1-1-30

### Current Status of Standardization for Fuel Cell Vehicles in Japan - Safety of High Pressurized Hydrogen -

Hajime FUKUMOTO

FC-EV Research Division, Japan Automobile Research Institute (JARI)

1-1-30, Shibadaimon, Minato-ku, Tokyo 105-0012, Japan

This paper will show current status and topics of standardization for fuel cell vehicles especially focused on safety of high pressurized hydrogen such as hydrogen tank on board, fueling connector and fueling protocol. In 2005 JARI S001 was published as the first regulation for hydrogen tank onboard, currently HFCEV-gtr (global technical regulation) for hydrogen tank is discussed. Launching hydrogen market in 2015, standardization of fuelling interface becomes urgent issue. Fueling interface consists of fueling connector (hardware) and fueling protocol (software). It succeeded to make a consensus on 70 MPa connector geometry as ISO/DIS17268 in 2011. From point of view of safety and performance of fueling, the fueling protocol based on SAE J2601 becomes a hot issue between US, EU and Japan.

Keywords: Tank onboard, Connector, Fueling protocol

#### 1. はじめに

一般財団法人日本自動車研究所(JARI)はISO/TC22/SC21(電気自動車)、IEC/TC69(電気自動車)の国内審議団体であり、かつ自動車研究に係る研究設備を所有していることから、試験研究による技術データ・研究成果の提供から、ISO、IECの規格案作成・審議まで一連の活動を行うことができる特徴を有している。

高圧水素技術に関する国際標準化についてはISO/TC197が扱っており、国内審議団体は一般財団法人エンジニアリング協会であるが、特に燃料電池自動車に関する技術審議については、主としてJARIが主催する高圧水素標準化ワーキングの場で審議を実施している。平成22年度～24年度にかけては、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」の委託を受け、これら一

連の活動から着実な成果を収めてきている。

本稿では、高圧水素を使用するに至る燃料電池自動車固有の基準・標準化対象を概括するとともに、2015年の市場創生を目指して現在整備が進められている国内外の基準・標準化活動を紹介し、併せて、今後の課題について述べてみたい。

#### 2. 燃料電池自動車における基準・標準化

燃料電池自動車は、周知のように水素ガスを燃料として燃料電池により発電し、電動車両を駆動する構造を有し、排出物は水のみであることから、究極のエコカーとして開発が開始された。

可燃性ガスである水素を安全に搭載する必要から、開発初期においては、ガソリン・メタノール改質、液体水素や水素吸蔵合金の利用も試みられたが、現在では、圧

縮水素ガスを高圧容器に貯蔵する搭載方法が主流となっている。2005年には、35MPa仕様の高圧水素を搭載した燃料電池自動車が公道走行を開始したが、その後、航続距離延伸の観点から70MPa仕様の車両が主流となり、今後の実証事業等で建設される水素ステーションも70MPa充填仕様が標準とされている。

### 3. 高圧水素容器安全に係る基準・標準

燃料電池自動車に搭載する高圧水素ガスを安全に扱うため、国際的に技術基準・標準の整備が進められている。図1は、JARIが担当する燃料電池自動車に係る標準化活動の俯瞰図であるが、本稿においてはこのうち、高圧水素ガスを安全に車載するための「高圧水素容器」、水素ステーションのディスペンサーから燃料電池自動車に高圧水素を充填する際の締結部分となる「充填コネクタ」ならびに水素ステーションにおいて高圧水素ガスを車両に安全に充填するための「充填プロトコル(充填手順)」、車両事故等を想定した「水素安全」に注目し、国内外の技術基準・標準整備状況について紹介する。

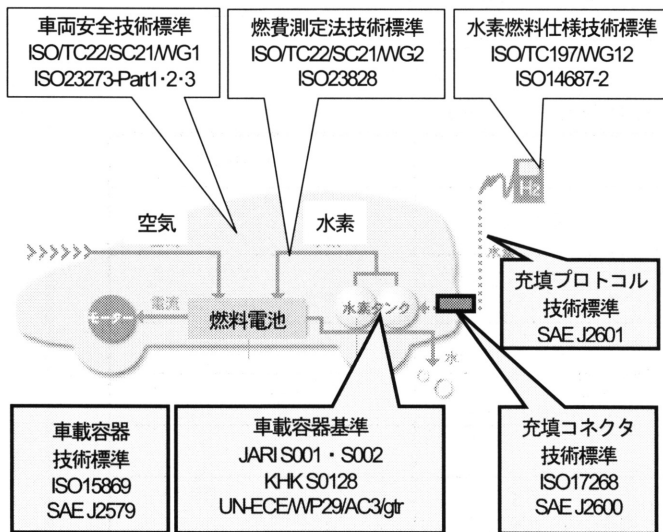


図1. 燃料電池自動車に係る基準・標準

#### 3. 1. 高圧水素容器の標準化

高圧水素容器ならびに附属品は、可燃性ガスである水素を取り扱う上で安全を担保する必要から、安全確認のための試験方法が規定されており、後述するように、国内基準・海外規格・国際基準・国際標準等に区分される。(社)日本自動車工業会は、国際基準議論に影響力の大き

い海外規格と連携しつつ、規制力の強い国内基準と調和する国際基準の発行を図り、国際標準を整合させる戦略を選定し、JARIもその遂行に協力した。

各基準・標準の検討履歴と相関について整理した図2を参照しつつ、現状について紹介する。

#### 1) 国内技術基準 (KHK S0128)

日本国内では、高圧水素容器の安全は高圧ガス保安法容器則で規制されるが、世界に先駆け、2005年3月に天然ガス用車載容器の例示基準別添9を基本とし、最高充填圧力35MPaの水素仕様に拡張した圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準(JARI S001)ならびに、圧縮水素自動車燃料装置用附属品の技術基準(JARI S002)を発行した。

その後、燃料電池自動車の大量普及を考慮し、(社)日本自動車工業会を中心に、高圧ガス保安協会の協力を得て、最高充填圧力を70MPaまで拡張するとともに、車載容器が生涯に受ける連続負荷の概念を加味した試験方法の適正化が議論された。新規に検討された試験方法は、2011年にKHK S0128規格として成文化され、今後、省令通達を経て例示基準として発行する予定である。

#### 2) 海外技術規格 (SAE J2579)

一方、高圧水素容器の国際規格に関する議論に関しては、2005年12月に米国SAEにおいて、車両搭載中の経年劣化後(End of Life)の安全担保を考慮した高圧水素貯蔵システムに関する安全規格としてJ2579が提案され、日米欧の自動車メーカーにより精力的な協議が継続された。日本も本審議に参画し、前項で述べた国内基準改定との整合を考慮しつつ積極的なコメント活動が継続された。

本議論においては、材料の水素脆化に関する安全担保が論点のひとつとなり、日本が主張した高圧水素環境下における材料試験の要求が採用されるとともに、欧米自動車メーカーが主張した極端温度条件を含む水素ガスサイクル試験による、容器負荷試験が採用された。議論の結果は、2010年にTIR(Technical Information Report)-J2579として発行され、後述するHFCV-gtrの雛形となった。

#### 3) 国際基準 (HFCV-gtr)

自動車に関する国際的な最上位規制として、UN (United Nations)・ECE (Economic Commission for Europe) / WP29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations) / AC3 (Administrative Committee for cooperation of work for WP29 (3: steering group of gtr)) / gtr

(global technical regulation) (以下、「HFCV-gtr」という)が重要であるが、2009年初から車載用水素容器のHFCV-gtr策定作業に着手された。作業着手にあたり、国際自動車工業連合会OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles)において原案を作成することで合意され、先に述べたSAE TIR-J2579が雛形とされた。米国NHTSAの担当者がHFCV-gtrドラフトを執

筆する書記を務めたこともあり、SAE会議における合意事項がHFCV-gtrドラフトに反映される速度が速いことから、日本自動車業界は積極的にSAEとの議論を進め、HFCV-gtrの議論を先導すべく努力した。

国内基準(JARI S001・KHKS0128)ならびに国際基準案(HFCV-gtr)における安全試験要求事項の対比を、表1.に例示するので参照されたい。

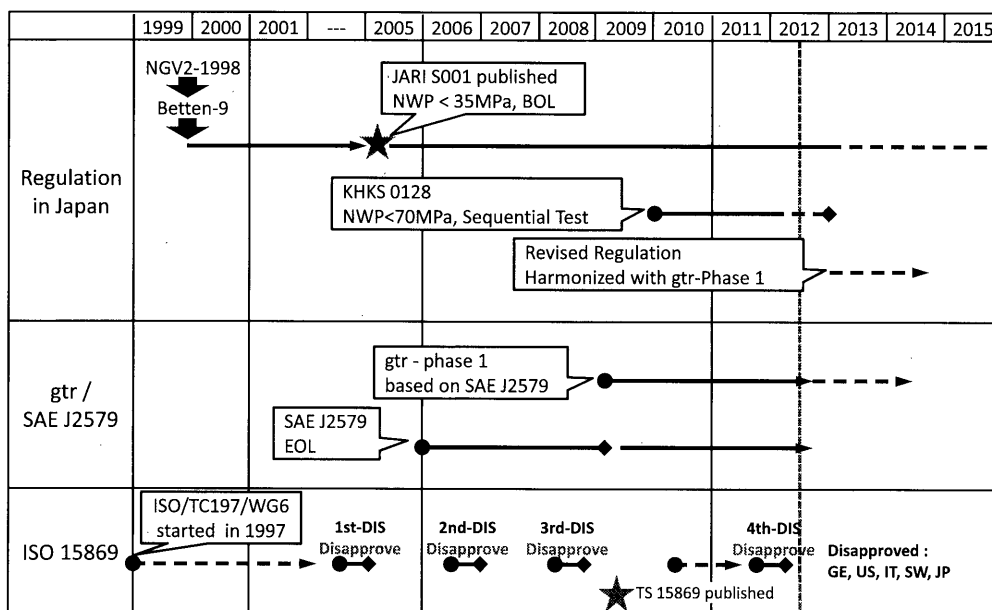


図2. 高圧水素容器に係る基準・標準化検討経緯

表 1 国内外容器基準における試験要求事項対比

| 項目                      | JARI S 001                          | KHKS 0128  | HFCV-gtr (Draft)   |
|-------------------------|-------------------------------------|--|--|
| 設計要件                    | 有り                                  | 有り   | 無しが基本 (Performance based)  |
| 対象範囲                    | 容器 (PRD, 遮断弁は JARI S002 で規定)        | 容器 (PRD, 遮断弁は JARI S002 で規定)                     | 貯蔵システム (容器, PRD, 遮断弁, チェック弁)   |
| 容器タイプ                   | タイプ 3 または 4 に限る                     | タイプ 3 または 4 に限る                                  | タイプ指定無し  |
| 使用圧力 (MPa)              | 35MPa 以下                            | 70MPa 以下   | 70MPa 以下   |
| 容器使用期間                  | 15 年                                | 15 年   | 15 年   |
| 試験方法 (単体負荷試験または連続負荷試験)  | 単体負荷試験<br>各試験を新品容器で実施               | 連続負荷試験を設定<br>ただし落下試験は含まない                        | 連続負荷試験を設定<br>落下試験を含む   |
| 破裂圧試験 (新品容器)            | 使用圧力の 2.25 倍                        | 使用圧力の 2.25 倍                                     | 使用圧力の 2.25 倍   |
| 水圧圧力サイクル試験 (リーク無し/破裂無し) | 11,250 回 (リーク無し)<br>45,000 回 (破裂無し) | (乗用車) 5500 回/22,000 回<br>(商用車) 11,250 回/45,000 回 | リーク無し: 5,500 回 (15 年) を下限とし, 11,000 回までの間で各国で決定する.<br>破裂無し: 22,000 回 |
| ガスサイクル試験                | Type4 容器のみ,<br>常温 1,000 回           | Type4 容器のみ,<br>常温 1,000 回                        | 全容器に極端温度を含み<br>500 回   |
| ガス透過試験                  | 2cc/L/hr<br>(新品容器@15°C)             | 5cc/L/hr<br>(新品容器@15°C)                          | 46cc/L/hr<br>(劣化後容器@5°C)   |
| 火炎曝露試験                  | 全面火炎試験                              | 全面火炎試験   | 部分火炎試験を含む  |
| 金属材料                    | A6061-T6 SUS316L                    | A6061-T6 SUS316L                                 | 材料評価法を Phase2 で審議  |

4) 国際規格 (ISO15869)

車載用高圧水素容器の国際標準は、1997年にNWIPが採択され、ISO/TC197/WG6としてプロジェクトが発足し、文書番号ISO15869として審議を継続している。

2005年1月に1st-DIS15869が否決され、2007年9月のバンクーバー会議でTS (Technical Specification)発行に移行することで合意されたが、ISO/TC197議長の強い指導により、2008年に一部前述のTIR-J2579に記載された経年劣化後容器の安全確認試験を選択枝として追記した3rd-DIS15869が投票に付された。しかしながら、J2579における議論も進行中である等、技術議論が不十分のため時期尚早でありTS発行が妥当とする反対投票が多数投じられた。3rd-DIS15869が否決されたことから、ISO/TC197判断により2009年2月にTS15869が発行された。TSが発行された後一時休眠状態となったものの、2010年末にISO発行プロセスが再開され、4th-DIS15869が投票に付された。日米欧自動車メーカーは、既に議論が進行していたHFCV-gtrとの整合を主張して反対投票を投じた結果、否決された。日本としては、まず国内基準と調和する国際基準の発行を図り、その後、国際規格を整合させることを意図している。

3. 2 水素充填コネクタの標準化

水素充填コネクタは、水素ステーションにおいて高圧水素を充填する際に、車両とステーションの結合部となる部位であり、世界規模で互換性が要求される。従って、燃料電池自動車の普及に向けて最も標準化が必要な部品と言える。

本製品の標準化にあたっては、まず2002年に米国SAEにおいて35MPa仕様までの水素充填コネクタ規格J2600が発行された。本規格を雛形とし、迅速法(Fast Track)によりISO/TC197/WG5において、国際標準化が進められ、2006年にISO17268として発行された。ISO17268発行時の投票においては技術的コメントが多数付されたものの、発行後直ちに改訂作業に着手することで合意を形成し、国際標準として成立させた経緯が特徴的である。同時に70MPa仕様の充填コネクタ規格選定を主とする改訂作業に着手し、主として米国SAEの場で議論が進められた。高圧化を鑑みシール形状を小径に変更した70MPa構造が提案され、米国SAEならびにISOにおける審議の結果、レセプタクル側に70MPa用O-ringを保持するレセプタクル側シール構造(図3)とノズル側に70MPa用O-ringを保持するノズル側シール構造(図4)が最終選考

に残ったものの、現行規格であるISO17268に規定された安全要求を70MPa仕様に拡張した評価試験では、ともに合格要件を満足し、優劣を判断することは困難であった。

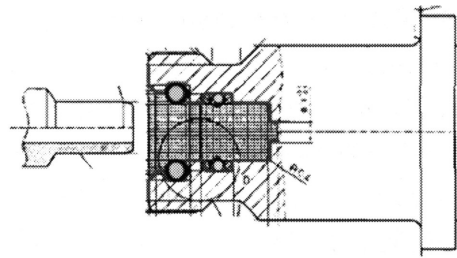


図3. レセプタクル側シール構造案(70MPa)

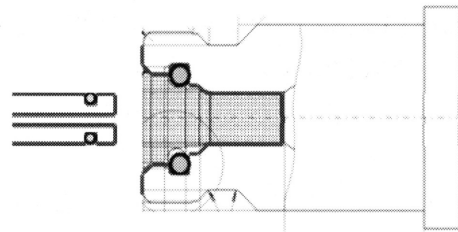


図4. ノズル側シール構造(70MPa)

欧米においては当面の70MPa実証試験用途に対する標準構造選択の必要があったことから、現地における試験車両搭載の実績を有するレセプタクル側シール構造を暫定標準とするSAE TIR-J2799 (Technical Information Report)発行に合意した。

70MPa標準構造選定審議の過程において、後述する充填プロトコルでは -40°C程度に冷却した水素ガス充填が想定される等、従来規格では想定していない過酷条件が指摘された。

両構造の技術的優劣を確認するため、SAEならびにISO会議において過酷耐久試験が提案され、図5.に示す体制により日米共同で実施した。過酷耐久試験においても、レセプタクル側シール構造・ノズル側シール構造ともに全ての試験に合格し、技術的な優劣は見出せなかった。

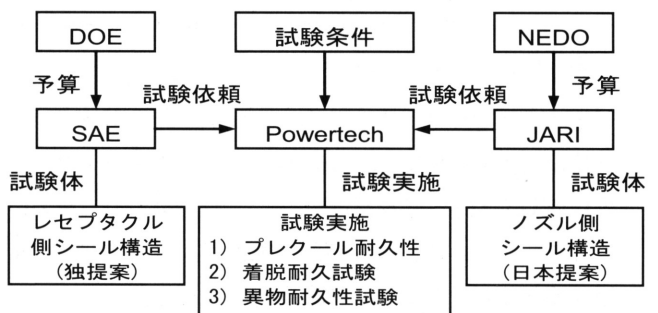


図5. 70MPa水素充填コネクタ過酷試験実施体制

2009年9月バンクーバー会議においては、レセプタクル構造が簡素でコスト削減が期待出来るとしてノズル側シール構造が70MPa標準構造として採択され、2010年1月にDIS投票に付されたが、欧米自動車メーカーの反対があり否決された。

70MPa標準構造として、レセプタクル側シール構造とノズル側シール構造が対立する状況となったものの、過酷耐久試験においても技術的優劣が認められず、選定の決め手を欠き議論は膠着した。

ISO/TC197事務局は、本状況を打開するために自動車メーカーやステーション供給者等の業界関係者を広く招聘し、2010年11月にワークショップを開催して意見を聴取した後、ISO/TC197議長は、2010年3月にレセプタクル側シール構造を掲載した2nd-DIS投票を助言した。

この助言を受け、国内では高圧水素標準化WG主査を中心としてインフラ業界の意見を聴取し、競合するレセプタクル構造には技術的優劣が見出せないこと、2015年を想定したインフラ整備の観点からは、早期に世界標準を決定する必要があること等鑑み、レセプタクル側シール構造が採択された場合でもISO17268を順守することで国内合意を得た。国際統一規格の合意形成を重要視した日本は、2nd-DIS投票において賛成票を投じた結果、2011年10月に反対票なしで採択され、現在ISO発行に向けてFDIS投票プロセスが進行している。

### 3. 3. 充填プロトコル(充填手順)の標準化

高圧水素容器を搭載した車両は、水素充填ステーションにおいて圧縮水素を充填する必要があるが、充填時の安全を担保する世界共通の標準手順が必要である。また顧客利便性の観点からは、充填所要時間は3分間程度とする要望も強く、安全担保に加えて充填効率も考慮しなければならない。

水素ガスを70MPaまで急速充填すると、断熱圧縮現象により温度が急激に上昇し、安全性低下の要因となることから、連成して変動する温度・圧力両者の制約を勘案した適正な充填手順が必要であり、充填プロトコルとして整備が進められている。

水素ガス充填時の安全担保を整理すると、車載容器の使用温度上限は85°Cに規定されていることから、ガス温度は85°C未満とする必要があり、これが第一の安全要件となる。このためには充填前の水素ガスを-40°Cレベルまで冷却するプレクール技術も併用される。

一方、極寒地における高速走行後に充填する場合には、

車載容器内の水素ガス温度が非常に低下しており、充填後の水素ガス温度が基準温度よりも低い状態も想定される。低温から基準温度に戻ると所定の圧力を超過する過充填現象も懸念されることから、充填後の基準温度においてSOC(State of Charge)<100%であることが要求され、これが第二の安全要件となる。

米国SAEは、2002年より規格番号J2601として充填プロトコル議論に着手し、当初はステーション-車両間の通信を想定した充填手順の検討が先行された。日本は充填技術の基本となる非通信充填時のプロトコル策定が重要と主張し、充填開始時の諸条件(容器内圧力、容器内温度、雰囲気温度)から充填終了条件(目標昇圧率、目標圧力)を規定する一連の手順を提案し、適正な充填諸条件を参照表として整理した充填マップの概念を提案した。

国内では、高圧水素標準化WGの傘下に組織した充填プロトコルSWGを中心として、JARIで取得した急速充填試験データの解析をもとにした充填マップ検討を進める一方、本提案の重要性を認識した欧米自動車メーカーは、初期温度の設定に余裕度を加味したり、目標SOCを90%に制約する等、安全を担保するための前提条件を想定し、充填温度シミュレーションにもとづき欧米版充填マップとしてLookup Tableを提案した。

充填マップ検討時の知見にもとづき、SAE提案のLookup Tableを検証した結果、十分に安全を担保し得ると判断され、日本は当該Lookup Tableが掲載されたTIR-J2601 (Technical Information Report)発行に合意した(2010年3月発行)。

TIR-J2601は、実質的に充填プロトコルの世界標準と認識され、国内においても、海外と国内における前提条件の相違を考慮したLookup Table修正版を作成し、国内基準に対応した充填マップを策定してJHFC千住ステーションに導入された。

また、2015年に想定される初期市場創成を目指した実証ステーション建設に先立ち、充填プロトコルの安全検証が必要であることから、JARIにおいてTIR-J2601に準じた急速充填試験を実施した結果、図6に示すとおり、全ての試験条件において、安全要件であるガス温度<85°CならびにSOC<100%を満足していることを確認した。

また、2010年にビジネスモデル検証を目的として設立されたHySUT(水素供給・利用技術研究組合)の活動や、規制・コストを加味したJPEC(一般財団法人石油エネルギー技術センター)の活動等を通じ、車両-インフラ共

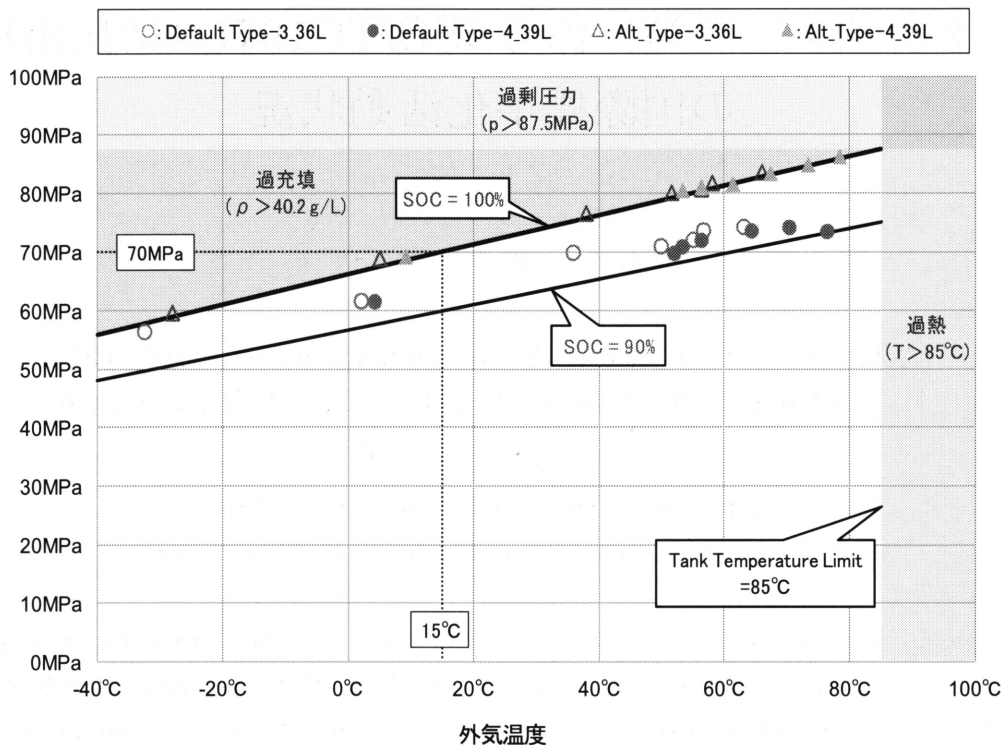


図6. 充填プロトコルの安全検証試験結果

同体制が充実していく過程で、TIR-J2601充填プロトコルが要求する一定昇圧率精度やプレクール温度精度が精査され、実現のためには、相当の設備コスト上昇が発生するものと認識された。

充填プロトコルを商用水素ステーションに実装するためには、安全性・利便性・経済性の全てを満足する必要があることから、充填プロトコルSWGを中心にTIR-J2601修正案が検討され、新規プレクール温度区分の追加や昇圧率公差の拡大等、安全で実践的な規格となるようSAEに提案しており、2012年末に正規規格J2601発行することを目標に協議を進めている。

#### 4. まとめ

燃料電池自動車の普及に向け、2015年の市場形成を目指した活動が加速することを鑑み、JARIにおいては、今後も国際標準および基準作成の議論の中で、日本の立場を有利に進めるべく、安全に係る試験データ・研究成果を提供しながら、技術基準・標準等の整備に貢献していく予定である。

本稿で示す一連の成果は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託によりJARIが実施した水素社

会構築共通基盤整備事業ならびに水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発の一部であることを記し、謝意を表す。