

次世代水素ステーションの低コスト化に向けた技術検討

新エネルギーカンパニー 水素事業推進部 水素技術開発グループ 福永 明彦



1. はじめに

近年、地球温暖化対策の一つとして、走行中に温室効果ガスを一切排出しない燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle; 以下「FCV」) への期待が高まりつつある。FCVの普及に向けて、その室内空間を犠牲にすることなく、600km以上の航続距離¹⁾を可能とするためには、水素を70MPa程度の高圧ガスの状態で搭載する必要がある。そこで、水素ガスを電気自動車より圧倒的に早い時間で充填できる70MPa級水素ステーションが四大都市圏(関東、中京、関西、北九州地区)を中心にすでに100ヶ所以上整備されている^{2,3)}。それとともに、2014年12月から商用販売されたFCVも2018年度末には登録台数が3000台を超える見込みである。

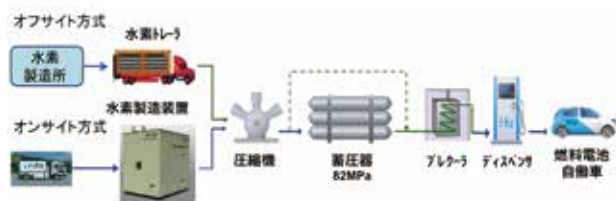


図1 水素ステーションの主要構成機器

水素ステーションの主要構成機器は図1に示す通りである^{4,5)}。受け入れた水素を圧縮機により82MPaまで昇圧し、蓄圧器に貯蔵する。FCVへ充填する際は、ブレイカーと呼ばれる熱交換器により水素を冷却し、ディスペンサ(水素充填機)を介して蓄圧器との差圧によりFCVタンクへ充填する。その水素ステーションの仕様を決めているのはFCVへの充填能力及び法規制(主に高圧ガス保安法)である。2011年1月の民間13社の「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」以来、1時間に6台のFCVへ各5kgの水素を3分程度で急速充填できることを標準的な水素ステーションの仕様としてきた。すなわち、圧縮機に必要な能力は、30kg/hr程度となる。加えて、FCVタンク温度が急速充填中の発熱で85℃を超えないよう、充填プロトコルに従い水素を-40℃程度に冷却して充填する必要がある。その充填プロ

トコルとは、水素の供給温度に対して外気温度毎に充填速度(圧力上昇率)を定めたものであり、米国自動車技術会(Society of Automotive Engineers; 以下「SAE」)のSAEJ2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles(以下「SAEJ2601」)⁶⁾をもとにし、現在、石油エネルギー技術センター(以下「JPEC」)が「圧縮水素充填技術基準(圧縮水素スタンド関係)」(以下「JPEC-S0003」)⁷⁾として定めている。また、高圧ガス保安法においてもその基準が例示基準に引用されている。その水素供給温度と充填速度(圧力上昇率及びその公差幅を含む)を実現するために、水素ステーションの蓄圧器本数や、冷凍機能力、ディスペンサ内の配管やバルブ類等が設計されている。しかしながら、水素ステーションの整備費(建設費)は、3.9億円(2014年度末時点補助金実績額の平均)、運営費は年間約4千万円強⁸⁾と、ガソリンスタンドはもとより機器構成が似ている天然ガススタンドと較べても大変高額であり、官民一体となってコストダウンに取り組んでいるところである。

そこで、本研究において、次世代水素ステーションの低コスト化に向けた技術検討のために、「FCV来店実績を踏まえた普及期の適正な水素ステーション仕様の検討」、「充填プロトコルの安全性検証」、さらに、「次世代プロトコルの検討」を行ったので以下に報告する。

2. FCV来店実績を踏まえた普及期の適正な水素ステーション仕様の検討

2.1 ENEOS水素ステーションへのFCVの来店実績

満充填可能な2014年度プロトコル(JPEC-S0003(2014))が2016年度から各ステーションに展開された。その結果、FCVの航続距離も10%以上伸び、600kmを達成することができるようになった。この満充填可能なプロトコルに変更後、各ENEOS水素ステーションに来店するFCVタンクの初期圧分布を関東地区、中部地区、九州地区別に調査した。その結果、各地区とも、初期圧5MPa以下で来店するFCVはほとんど無いことが確認できた。例えば、図2に示す最もFCV来店台数の多い中部地区の水素ステーションでは、5MPa以下の頻度は、わずか1%であり、平均値は、20.8MPaであった。そこで、適

正なステーション仕様の検討を行う際の、FCV タンクの最低の初期圧は 5MPa、平均初期圧は 20MPa とした。

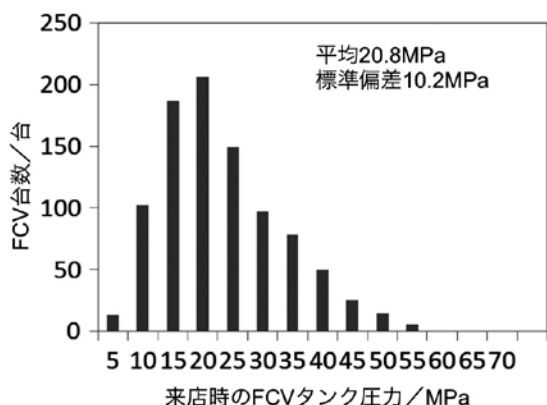


図 2 FCV 来店時の初期圧分布例 (中部地区繁盛店)

2.2 普及期の需要予測

水素・燃料電池戦略協議会(事務局:経済産業省)が 2010年3月22日に策定した「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版」⁸⁾に基づき FCV 台数と水素ステーション箇所数から普及期の需要予測を行った。

表 1 の上段にその FCV 台数と水素ステーション件数を示した。普及期の営業時間を 8 時～ 22 時の 14 時間と仮定し、1 時間当たり 5 台の来店を想定した設備を設けた場合、1 日当たり 5 台/時間×14 営業時間=70 台の充填が可能となる。表 1 の中段で示したように、2025 年までは、1 日当たり平均 70 台を超えずシングルディスペンサーで対応可能なことが分る。

表 1 水素・燃料電池戦略ロードマップ(2016年3月改訂版)の FCV 台数、水素 ST 件数および予想充填回数

年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
FCV台数/台	1,000	3,000	8,000	16,000	25,000	40,000	200,000	800,000
水素ST件数/件	80	100	110	120	135	160	320	900
ST1日の充填量/kg	4	10	24	44	61	82	206	293
平均充填回数/回	1	3	8	15	20	27	69	98
繁盛店充填回数/回	2	6	16	30	40	54	138	196

前提条件:FCVの年間走行距離9000km FCVの燃費105km/kg

2.3 普及期の適正なステーション仕様の検討

(1) 圧縮機の必要能力

FCV への平均的な充填を、2.1 の来店実績から初期圧 20MPa からの 3.1kg 充填 (FCV タンク容量:122.4L) と仮定し、2.2 で述べたように 1 時間当たり 5 台の来店を考えると、1 時間の充填量は 3.1kg×5 = 15.5kg となる。したがって、この充填量を 1 時間で昇圧できる圧縮機能力が適正な能力 (すなわち 180Nm³/hr 程度) と考えられる。

(2) 蓄圧器の必要本数

蓄圧器からの差圧により FCV タンクへ充填する際には、十分な充填速度 (圧力上昇率) を稼ぎ、満充填とするためには、充填中にバンク切替と呼ばれる使用蓄圧器の切替

を次々に行う必要がある。全てのバンク切替終了後は、圧縮機からの水素供給により徐々に昇圧することになる。シミュレーションを行ったところ、充填時間を短くする為には、2 回のバンク切替では不十分であり 3 回のバンク切替を行うことが有効であった。そこで、1st バンクを 300L 蓄圧器 2 本とし、2nd バンク、3rd バンクを 300L 蓄圧器各 1 本としたケース (①、②) と、1st、2nd、3rd バンクを 300L 蓄圧器各 1 本としたケースで、若干各バンク蓄圧器の圧力を変えて、2.1 で求めた最低の初期圧 5MPa から実充填試験を行った。なお、圧縮機の能力は、2.3 (1) の検討から 180Nm³/hr とした。表 2 に各バンクの圧力条件と充填結果を示す。4 ケースとも、ほぼ満充填にすることができた。その中で、設備コストが安いケースは、1st、2nd、3rd バンクを 300L 蓄圧器各 1 本としたケース (③、④) であるので、次に 3 バンクを 300L 蓄圧器各 3 本とし、圧縮機能力を 180Nm³/hr とした場合に、5 台連続の満充填が可能であるか検証を行った。

表 2 初期圧 5MPa からの実充填試験結果 (圧縮機能力:180Nm³/hr)

ケース	1stバンク圧力 /MPa	2ndバンク圧力 /MPa	3rdバンク圧力 /MPa	充填結果 (満充填)
①	82	82	82	◎
②	82	80	80	◎
③	82	82	-	◎
④	82	80	80	○

(3) 5 台連続充填による仕様検証

実際に商用ステーションでは、FCV タンクの初期圧は、図 2 に示すようなバラツキを有するため、10MPa 程度から 40MPa 程度までの初期圧の異なる充填タンクを準備しディスペンサーの両側に車両を並べ 5 台連続充填試験を行った (図 3:ディスペンサーの右側に充填試験車両 2 台分、左側に FCV3 台を配し交互に充填を実施)。充填のインターバルは、12 分以内とし、12 分以内に復圧を完了した際には、すぐに次の車両へ充填を開始した。5 台連続充填において、ノズルの氷結、締結部位からの微量漏洩等のトラブルは全く見られずに全車両とも充填が完了した。表 3 に各車両の初期圧、充填量及び充填結果を示す。また、図 4 に 5 台連続充填時のディスペンサー圧力、各バンク圧力、圧縮機吐出圧力、および供給水素温度の推移を示した。図 4 に示す通り、1 台目 (充填番号⑤) の充填後、復圧完了前に、2 台目 (充填番号⑥) の充填を開始したが、問題なく充填できていることが分る。各 5 台とも表 3 に示す通り全て満充填 (SOC98%: State of Charge (充填率)) とすることができた。今回の検証試験において、5 台合計で 14.8kg の充填を行い、3300 秒で復圧まで完了した。1 時間当たりに換算すると 16kg の水素が充填・復圧できることが明らかになった。本検討により、普及期における適正な水素ステーション仕様は、圧縮機能力 180Nm³/hr 程度、蓄圧器 3 本 (各 300L) 3 バンクであることが確認できた。



図3 5台連続の充填検証の様子(場所:山梨県水素技術センター) (a) 充填開始前、(b) 充填終了後

表3 5台連続充填時の各初期圧力および充填結果(300L蓄圧器×3バンク、圧縮機能力180Nm³/hr)

充填番号	初期圧/MPa	充填車両	充填量/kg	充填結果(満充填)
⑤	11.4	ミライ(白)	3.9	◎
⑥	35.4	HySUT号A	1.8	◎
⑦	12.4	ミライ(青)	3.8	◎
⑧	40.9	HySUT号B	1.5	◎
⑨	16.1	クラリティ(黒)	3.8	◎

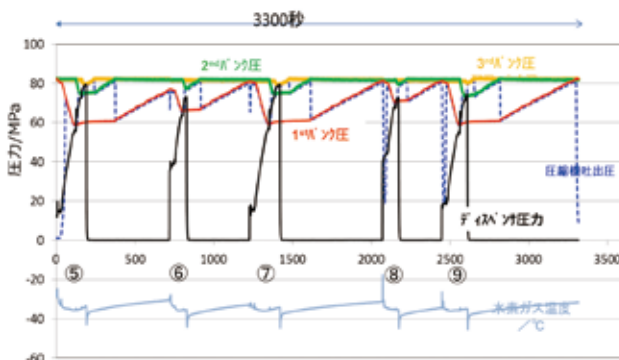


図4 5台連続充填時のディスペンサ圧力、各バンク圧力、圧縮機吐出圧力、および供給水素温度の推移

2.4 まとめおよび更なる仕様の検討

普及期(2020年度想定)における適正な水素ステーション仕様を、実来店実績およびロードマップより検討した結果、圧縮機の能力は180Nm³/hr程度であり、蓄圧器の構成は3バンク300L蓄圧器3本であることが判明した。これは、当初標準仕様としてきた圧縮機能力(340Nm³/hr)や蓄圧器仕様(200L×5本)より少ない値であり、今後のコストダウン要素になると考えられる。

FCV販売エリアの片寄りおよび水素ステーションの利便性等の要因から、2倍程度の繁盛店が存在すると仮定すると、2020年度以降、徐々にダブルディスペンサ化が必要になる(表1下段参照)と考えられる。また、ロードマップによると2025年度以降の本格普及期においては、ダブルディスペンサによる充填が標準になると思われる。現在

の圧縮機能力340Nm³/hr(30kg/hr)を用いれば、1時間10台程度の充填が可能であることはシミュレーションにより既に確認している。そこで、コストダウンを達成するためには、高価な圧縮機等の設備をできるだけ共有化し、同時充填を可能とする蓄圧器の適正な構成やその制御システムの検討および実証が今後必要になると考えられる。

また国内の水素ステーションは、高压ガス保安法の一般高压ガス保安規則7条の3等により、常用の圧力は、82MPa以下であることが規定されている。海外と同様に蓄圧器の圧力を90MPa以上にしたり、現行の標準的な蓄圧器容量200Lまたは300Lを400L程度まで大きくできれば、蓄圧器の本数を3バンク3本から2バンク2本のシステムにコストダウン可能であることがシミュレーションおよび予備検討により判明している⁹⁾。今後の容器開発や法整備を含めた更なる仕様検討を行うことにより整備費のコストダウンが期待される。

3. 充填プロトコルの安全性検証

3.1 ディスペンサ圧力の許容範囲(公差幅および最大圧力上昇率)について

高压ガス保安法の例示基準59の4.圧縮水素の充填流量の制限に係る措置の1項によると「ディスペンサに設けた圧力発信器により圧力上昇率を監視し、外気温度に応じた圧力上昇率で充填を行うよう自動的に制御することにより、流量を制限すること。また充填途中に、圧力許容範囲を逸脱した場合(充填開始直後及びバンク切替に伴う一時的な圧力の変動によるものを除く。)に自動的に充填を停止する装置を設けること。なお、圧力上昇率及び圧力許容範囲は、JPEC-S0003(2014)に従いあらかじめ設定すること。」が謳われている。図5に示されているのが、ディスペンサで計測する圧力の許容範囲(公差幅および最大圧力上昇率)であり、オリジナルは米国SAEJ2601である。しかしながら、実充填から定められた許容範囲(公差幅および最大圧力上昇率)ではなく、ディスペンサ側に求める圧力制御が大変精緻であるため、過剰安全により途中で充填が停止し、設備コストのみが肥大化するリスクが懸念されている。そこで、安全性検証として、圧力を十分制御しつつ、表4に示す4ケースでディスペンサ圧力の公差幅又は最大圧力上昇率を逸脱させ不安全事項の有無を確認した。加えて公差および最大圧力上昇率の逸脱により最も懸念される、FCVタンク温度の上昇についても比較検討した。なお、日本国内では過充填に対する懸念については、すでに払拭されており、充填後半の下限公差は撤廃することが可能である⁷⁾。

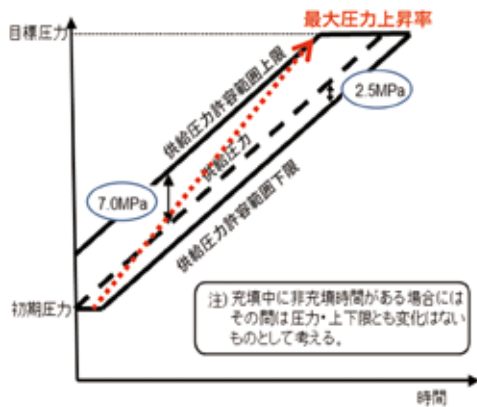


図5 ディスペンサ圧力の許容範囲 (公差幅および最大圧力上昇率)

表4 公差幅の逸脱試験条件および懸念事項

ケース	ディスペンサ圧力	想定される懸念点
⑩	目標圧力+10MPa	FCVタンクの異常昇温
⑪	目標圧力-5MPa	特になし(日本)、SAEJ2601エンタルピー増加
⑫	ハンチング	FCVタンクの異常昇温、FCVタンク圧の変動
⑬	圧力昇圧率+5MPa/min	FCVタンクの異常昇温
⑭	目標圧力通り	標準条件：SAEJ2601、JPEC-S0003 (2014)

3.2 ディスペンサ圧力の許容範囲 (公差幅及び最大圧力上昇率) 逸脱充填試験結果

図6に示す通り、各充填とも、公差幅又は最大圧力上昇率の逸脱以外に問題はなく所定時間内に充填を完了することが確認できた。図6(c)に示すディスペンサ側の意図的な圧力変動も、FCVタンク側ではほとんど認められなかった(破線楕円部分)。次に、充填によるFCVタンク側の温度上昇量(ΔT)を比較した。図7にその結果を示す。今回の検討は外気温度3.2~8.3℃の際に行い、初期のFCVタンク温度は、⑩の-5MPaのケースを除き、外気温度に対して+1.0~-4.7℃とわずかな違いであった。標準充填条件(FCVタンク温度の上昇量等の安全性がSAEJ2601、JPEC-S0003(2014)のプロトコル制定時に検証済み)通りに充填をおこなったケース⑭と比較して、ケース⑩(+10MPa)、ケース⑫(ハンチング)および、ケース⑬(昇圧率+5MPa/min)のFCVタンク温度の上昇量はほとんど変わらないことが確認できた。最もFCVタンクの温度上昇量が大きかったケースは、⑪(-5MPa)であった(ケース⑪については、FCVタンク温度が-8.7℃と低い状態で充填を開始したことが原因と考えられる。)

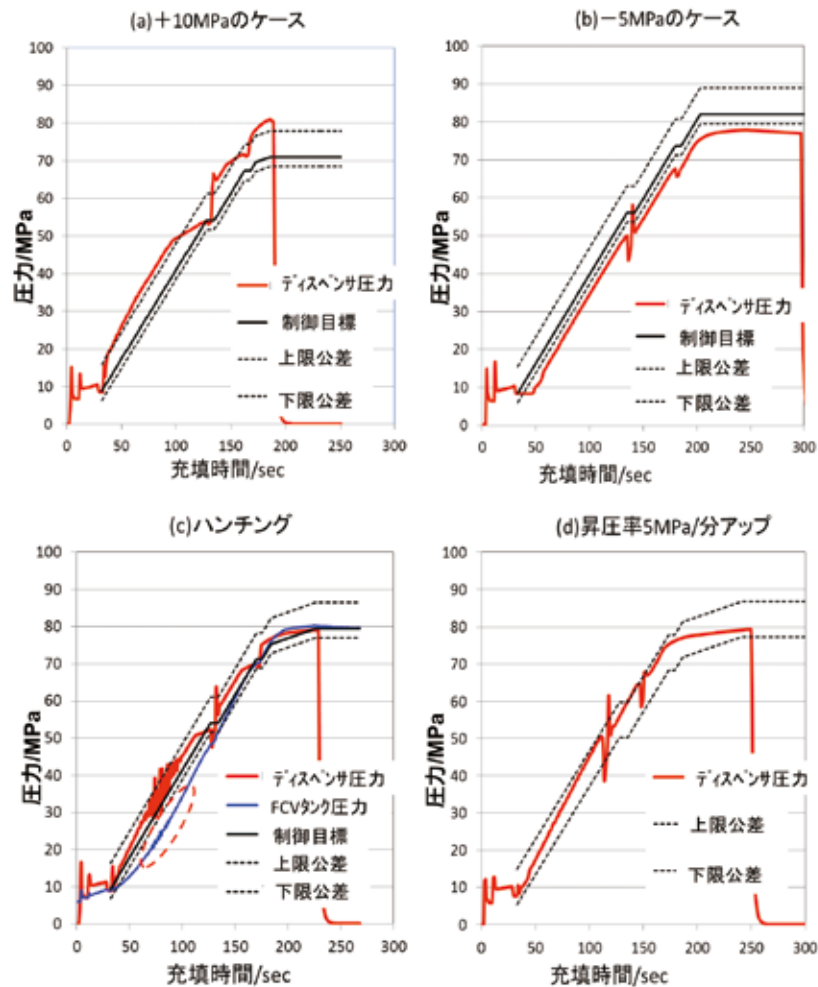


図6 充填中のディスペンサ圧力の制御状況 (5MPa から充填)

(a) +10MPa のケース、(b) -5MPa のケース、(c) ハンチングのケース、(d) 昇圧率 +5MPa/分のケース

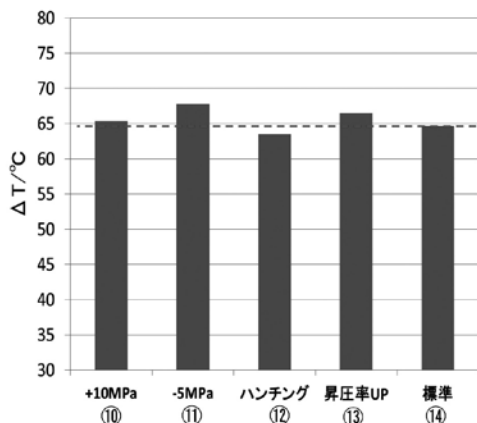


図7 FCVタンク温度上昇量(ΔT)の比較
(外気温度 3.2 ~ 8.3°C)

3.3 まとめ及び今後について

4 ケースでディスベンサ圧力の許容範囲を逸脱させた充填試験を行ったが、不安全事故および有為なFCVタンク温度の変化(上昇)は認められなかった。ディスベンサ圧力の公差幅や圧力上昇率が、FCVタンク温度の上昇に鈍感であることは、現在の充填プロトコルが必要以上の精緻な制御をディスベンサ側に求めている可能性を示唆している。

本検討結果を、2018年9月10日、11日にトロイ市(米国ミシガン州)で開催されたSAE Fuel Cell Standards Committee Interface Task Forceで報告した結果、圧力上限および下限公差の緩和を裏付ける実データとしてチェアマンを含め参加メンバーから認められ、2019年度のSAE J2601改訂版では、充填中の圧力の許容範囲が緩和される見通しとなった。本検討を突破口とした、今後のプロトコルの更なる見直し、流量調整弁や制御システムの簡素化(低コスト化)が期待される。

4. 次世代充填プロトコルの検討

4.1 現行充填プロトコルの課題

現在の充填プロトコル JPEC-S0003 (2014) は、決められた温度範囲 (T40: -40 ~ -33°C) が維持できないと3分程度で充填を完了することができず、充填中何らかの影響で水素供給温度が決められた温度範囲 (T40: -40 ~ -33°C) を逸脱すると、充填停止または下位の温度範囲 (T30: -33 ~ -26°C) で規定される充填速度にフォールバックし充填時間が大幅に延びてしまう問題がある。それを防ぐためにあらゆる条件下(水素流量、環境温度等)で定められた温度範囲の中心値付近を維持できるよう、マージンを十分とり冷凍機やプレクーラと呼ばれている熱交換器および制御系を設計しているのが現状である。このような課題を解決するために、水素供給温度に合わせて逐次充填速度(圧力上昇率)を選択できる「MCフォーミュラ」と呼ばれる新たな充填プロトコルが2016年12月に米国SAEで制定された。

4.2 MCフォーミュラとは

MCフォーミュラとは、以下の式で算出される充填速度(圧力上昇率)をもとに1秒~5秒周期で水素の充填速度を制御するものである。具体的には、外気温度および水素供給温度から、a,b,c,d,の係数を選びシミュレーション上の充填時間(t_{final})を式(2)から求める。その結果および圧力等の計測値を逐次式(1)に代入して圧力上昇率を求めるものである。詳細は、参考文献^{10,11)}を参照願う。

$$PRR = \frac{P_{final} - P_{current}}{t_{final} \left(\frac{P_{final} - P_{current}}{P_{final} - P_{min}} \right) - t_{current}} \quad (1)$$

$$t_{final} = a \times MATC^3 + b \times MATC^2 + c \times MATC + d \quad (2)$$

PRR : 圧力上昇率 (MPa/s)

$P_{initial}$: 初期圧力 (MPa)

P_{final} : 充填シミュレーションにおける終了圧 (83.5MPa)

$P_{current}$: $t_{current}$ 時の圧力 (MPa)

P_{min} : 充填シミュレーションにおける初期圧。5MPa
以上の場合は5MPa

t_{final} : 充填シミュレーションにおいて、 P_{min} から P_{final} まで充填した際にタンク内水素温度が上限の85°Cになる時間

MATC: 質量平均プレクーラ水素温度(水素供給温度)

a,b,c,d: t_{final} と MATC との関係を示す3次近似した際の係数

日本においてもJPECにて検討会が2017年秋から開催され、MCフォーミュラ方式充填技術基準案としてまとめられた。しかしながら、日本と米国は、法規の違いから、水素ステーションでの常用圧力(米国例90MPa~100MPa、日本82MPa以下)が異なり、制御システム(制御弁等)にも違いがある。以前SAE J2601(2014)を国内実証せずに導入した際には、夏場に水素供給温度の維持が難しくなりフォールバックする現象が発生した。そこで、今回日本での新しい充填基準制定の前に、国内の標準的な水素ステーションを用いてMCフォーミュラの導入検討を行った。なおFCV側のタンク温度上昇については、SAEでのプロトコル制定の際に最悪ケースも含め検証済みである。

4.3 MCフォーミュラの導入検討

(1) 各水素供給温度別充填

現行の充填プロトコル(JPEC-S0003(2014))に比べて、MCフォーミュラは、許容される水素供給温度範囲が-40 ~ -17.5°Cと大変広い(現行プロトコル T40: -40 ~ -33°C)。そこで、現行の商用水素ステーション仕様でMCフォーミュラを採用した際の充填制御性および充填中の異常発生の有無を確認するために、水素供給温度を-35°C付近の制御値から、-30°C、-25°C、-20°C付近の制御値まで5°C刻みに温度を上げて、充填試験を実施した。その結果を図8(a)~(d)に示す。蓄圧器の常用最高圧力が

82MPaであっても、各水素供給温度に合せて設定される制御目標圧の上下限から充填終了まで外れることなく、ディスペンサ圧力が制御され、渦流防止弁の作動やFCVタンク温度の異常等もなく正常に充填が完了した。また、各水素温度で充填中の ΔP (1秒毎の制御目標圧力と充填圧力の差)の平均値と ΔP の標準偏差を図8中に示す。

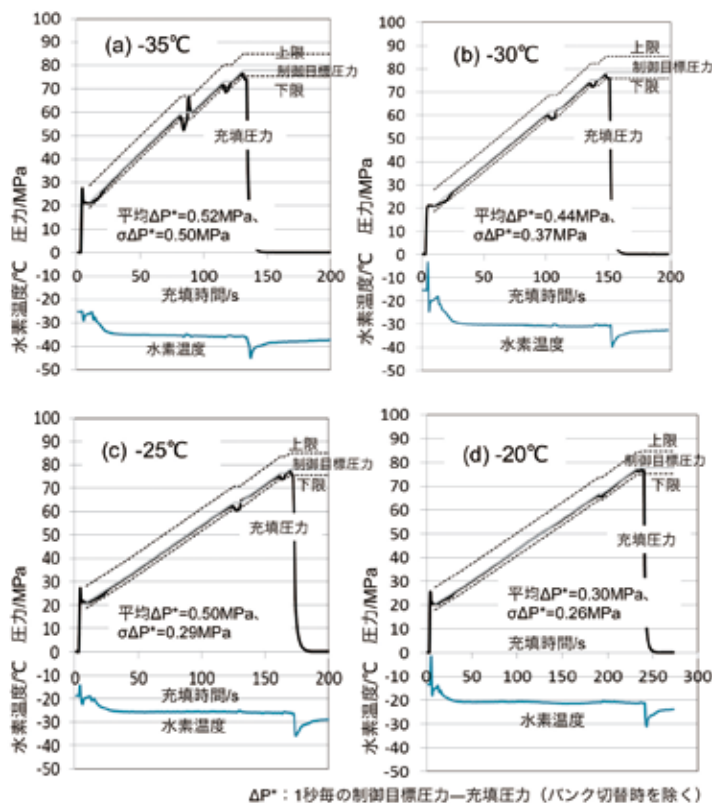


図8 MC フォーミュラを用いた充填結果例 (20MPa から充填、外気温度 2 ~ 7°C)
(a) -35°C、(b) -30°C、(c) -25°C、(d) -20°C付近

(2) ロバスト性の確認

MC フォーミュラは、水素供給ガス温度に追従して充填速度 (圧力上昇率) が変化する。プレクーラの故障等の何らかの原因で水素供給ガス温度が、大きく変化した際にも、通常のスーション仕様で充填速度を追従させることができ安全性に問題ないか、異常終了しないか、検証試験を実施した。

図9 (a) に、充填中に冷凍機の運転が停止し、充填中に水素供給温度が急激に上昇する (-35°C ⇒ -17.5°C) ケースの検討結果を示した。圧力上昇率が5秒毎に再設定され低くなり (破線楕円)、それに合わせてディスペンサの制御目標圧力も変化しているのが分かる (実践楕円)。実際の圧力は、制御目標圧の上下限を充填終了まで外れることなく上昇を続け、正常に充填が完了した。充填中の ΔP (1秒毎の制御目標圧力と充填圧力の差)の平均値と ΔP の標準偏差を図9 (a) 中に示す。

図9 (b) には、充填当初は冷凍機の能力が発揮されず、途中から水素供給温度が急激に低下 (-20°C ⇒ -35°C) するケースの検討結果を示した。充填前半に圧力上昇率が

5秒毎に再設定され高くなり (破線楕円)、それに合わせてディスペンサの制御目標圧も変化しているのが分かる (直線との傾きを比較)。実際の圧力は、制御目標圧の上下限を充填終了間際まで外れることなく、正常に充填が完了した。充填中の ΔP (1秒毎の制御目標圧力と充填圧力の差)の平均値と ΔP の標準偏差を図9 (b) 中に示す。

充填中に万が一トラブル等で、水素供給温度が大きく変化しても、異常終了せずに、FCVタンク温度の異常等もなく安全に充填が完了することが確認できた。また、充填中の ΔP の平均値と ΔP の標準偏差は、-35°C ⇒ -17.5°Cのケースが0.35MPa、0.42MPa、-20°C ⇒ -35°Cのケースが、0.40MPa、0.37MPaであり、(1) 各水素供給温度別充填ケースとほぼ同じであることが確認できた。このことから、本充填システムはMCフォーミュラ導入に十分な制御性を備えていることが分る。加えて、上記手法を用いることにより現行のプロトコルに比べて許容される水素供給温度範囲が大幅に広いMCフォーミュラの検証 (Validation) も、1回の充填で容易に行える可能性があることが分った。

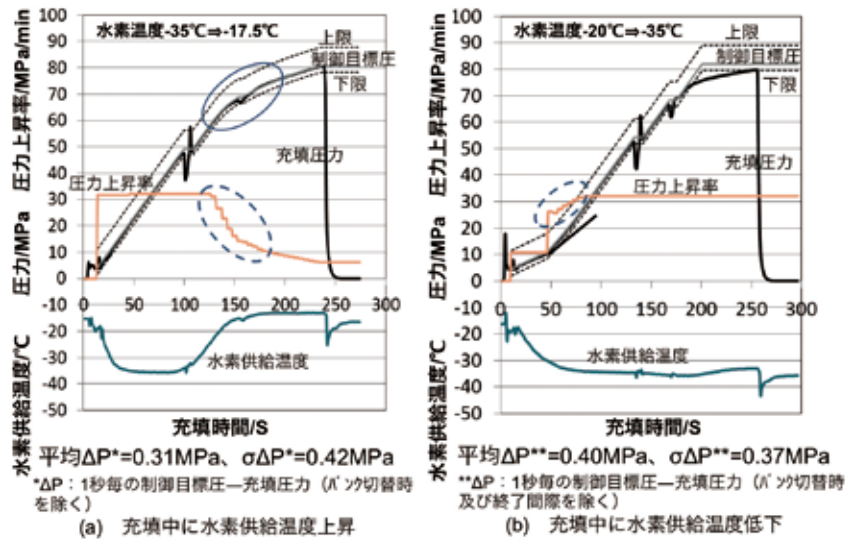


図9 MCフォーミュラのロバスト性確認試験(外気温度0°C)
 (a) 充填中に水素供給温度が上昇するケース、(b) 充填中に水素供給温度が低下するケース

(3) 現行の充填プロトコルとMCフォーミュラの比較

各水素供給温度での充填時間を現行プロトコルであるJPEC-S0003(2014)のT40, T30とMCフォーミュラで比較した。その結果、冬季及び秋季(春季)の外気温度においては、MCフォーミュラは、JPEC-S0003(2014)より充填時間が短くなることが確認できた。その比較例を図10に示す。一方、MCフォーミュラを用いるとJPEC-S0003(2014)と同じ充填時間を維持するための水素供給温度は、高くすることができると考えられる。そこで、図10に示す破線等からMCフォーミュラを採用することによる水素供給温度の緩和程度を求めた。その結果を図11に示す。外気温度0~20°C(冬季及び中間季節)であれば、緩和の効果があることが明らかになった。特に外気温度が10°C以下の冬季であれば、水素供給温度は-30°C以上とすることができる。

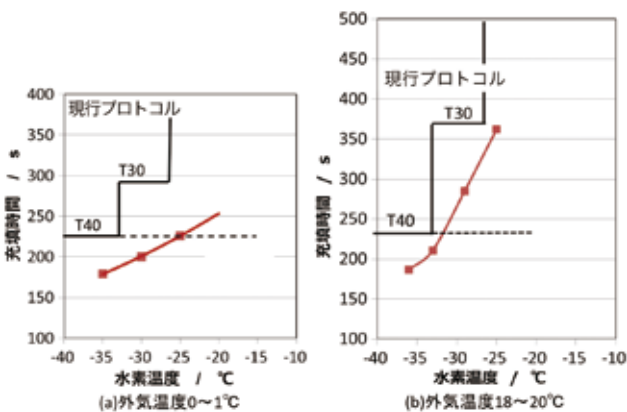


図10 現行プロトコル(JPEC-S0003(2014))とMCフォーミュラの充填時間比較(a)外気温度0~1°Cのケース、(b)外気温度18~20°Cのケース

(4) 既設水素ステーションへの導入検討

MCフォーミュラを用いる際には、水素供給温度に合わせて逐次充填速度(圧力上昇率)を変えるので、水素供給温度の計測が重要となる。しかしながら、既設水素ステーションに導入するには冗長化のハード改造が難しいケースが考えられる。そこで計器追加による冗長化以外に、万が一水素供給温度の計測系が故障した際に他のプロセス温度で検知できないか検討を行った。その結果、今回検証を行った充填システムでは図12に示すように、充填中の冷凍機出口のライン温度と水素供給温度の差はほとんどないことが分った(最大2°C程度;各水素供給温度での ΔT (1秒毎の水素供給温度とライン供給温度の差)の平均値と ΔT の標準偏差を図中に示す)。このライン供給温度を監視項目に加えることにより、水素供給温度計測系の故障検知が可能と考えられる。

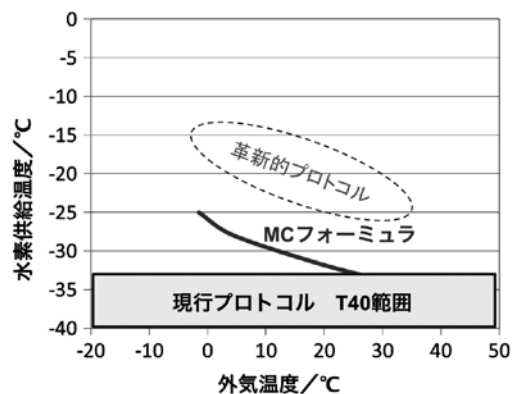


図11 現行プロトコル(JPEC-S0003(2014))とMCフォーミュラの水素供給温度比較(充填時間を同じにした場合)

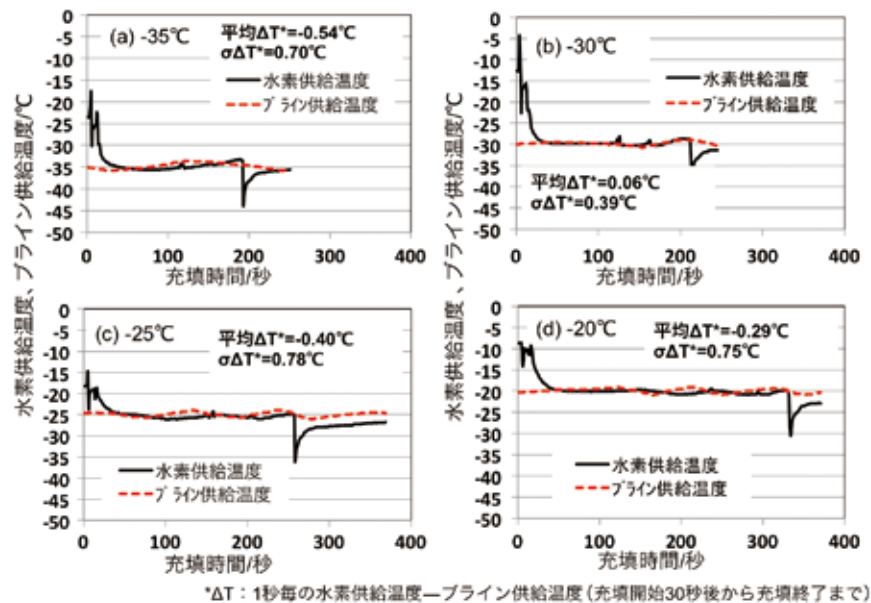


図 12 水素供給温度とブライン供給温度の推移例 (5MPa からの充填、外気温度 0 ~ 1°C)
 (a) -35°C、(b) -30°C、(c) -25°C、(d) -20°C 付近

4.4 まとめおよび更なる充填プロトコルの検討について

MC フォーミュラを国内の標準的な水素ステーションで検証した結果、MC フォーミュラで規定されている水素供給温度範囲 (-40 ~ -17.5°C) に対して、各温度および、充填途中に大きく温度が変化しても異常終了することなく安全に充填が完了することが分った。MC フォーミュラと JPEC-S0003 (2014) の充填時間を比較すると、同じ水素供給温度では、充填時間を短くすることができた。一方、現在の充填時間 (JPEC-S0003 (2014)) と同じ充填時間であれば、冬季及び中間季節の水素冷却温度は緩和できることが判明した。その結果、MC フォーミュラを採用することによる、冷凍機の電気代削減が期待できる。

MC フォーミュラを含めた充填プロトコルは、黎明期の水素ステーションの仕様 (ワーストケースとして機器は 4 倍の安全率を採用等) をもとにシミュレーションから算出されてきた。水素ステーションも普及期を迎え、主要機器の仕様も当時から低熱容量化 (軽量化) が進んできている。加えて FCV の商品化も進みタンク廻りの仕様も検討されている。そこで、実水素ステーション等の仕様に合せた放熱計算から充填プロトコルを開発することにより更に水素供給温度の緩和を図ることができると考えている。このような新たな革新的プロトコルを開発する事業を今年度より 5 年計画でスタートさせた。図 11 の中に革新的プロトコルの開発目標イメージを示す。

水素供給温度の緩和 (冷却温度の上昇) は、冷凍機の電気代低減のみならず、ホースやシール部材に採用されているゴム材料や樹脂材料の長寿命化、信頼性向上に繋がることが定量的に明らかになりつつある。よって、それに伴う修繕費 (運営費) の低減が大変期待される。加えて、

冷凍機や熱交換器の小型化、低容量化も可能となり、設備仕様の最適化とともに整備費の低減にもつながると考えられている。

5. おわりに

2014 年 12 月の世界初の FCV 発売に始まり、2020 年には、東京オリンピックとともに水素ステーションも普及期を迎える。法整備も進み市街地にもガソリンスタンド併設の水素ステーションが営業されるようになり、水素の認知度も高まりつつある。2030 年の本格普及期には、カーボンフリーの観点から well to wheel ベース (自動車からの CO₂ 排出において油田からタイヤを駆動するまでを考慮する) での再考も加え、本研究を核とした革新的プロトコルが次世代水素ステーションに搭載され、水素社会が花開くことを期待している。

6. 謝辞

本研究の充填試験データは、NEDO 水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 実環境下における安全運用技術の研究開発 / (3) 低コストステーション技術の安全性検討 (HySUT 分室: JXTG エネルギー、日立オートモティブシステムズメジャメント) において、2017 年 12 月、2018 年 1 月に実施した内容の一部および、NEDO 超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発①低コスト対応プロトコルの開発

(JXTG エネルギー、本田技術研究所、日立オートモティブシステムズメジャメント)において2018年8月、10月に実施した内容の一部です。関係各位に深く感謝致します。

－ 参考文献 －

- 1) トヨタミライ；カタログ, <http://toyoto.jp/mirai/performance>, (accessed 2018-12-03).
- 2) 燃料電池実用化推進協議会；商用水素ステーション情報, <http://fccj.jp/hystation/index.html#hystop>, (accessed 2018-12-03).
- 3) 一般社団法人次世代自動車振興センター；水素ステーション整備状況 http://www.cev-pc.or.jp/suiso_station, (accessed 2018-12-03).
- 4) 福永明彦；溶接学会誌, 2014年1月, 83, 1, p63-69
- 5) 福永明彦；腐食防食学会, 2016年5月, 第69回技術セミナー資料 p29-38
- 6) SAE International Surface Vehicle Standard “Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles,” SAE Standard J2601
- 7) 一般社団法人石油エネルギー技術センター；JPEC-S0003：圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）」
- 8) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 燃料電池推進室；水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版 <http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160322009/20160322009.html> (accessed 2018-12-03)
- 9) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構；平成27年度～平成29年度成果報告書 水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／実環境下における安全運用技術の研究開発, p88-93
- 10) 判田圭, Steve Mathison; 自動車技術論文集, 47, 407 (2016)
- 11) SAE International Surface Vehicle Standard “Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles,” SAE Standard J2601 (2016)