

2025年度 JPECフォーラム

H D V 用水素充填プロトコルの研究開発

2025年5月13日

一般財団法人カーボンニュートラル燃料技術センター
水素エネルギー部

－ 禁無断転載・複製 ©JPEC 2025 －



① 充填プロトコルとは

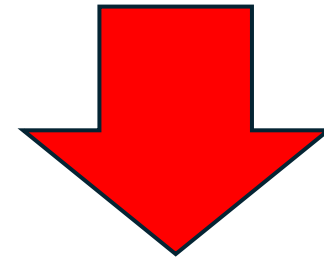
(充填プロトコルはなぜ必要なのか)

- **ガソリン**は液体で取扱いやすいが、運転時に消費されると**CO₂**を排出するため、**地球温暖化**の原因となる。
- **水素**は気体で取扱いにくいが、運転時に消費されても**H₂O**しか排出しないため、**地球温暖化防止**に寄与できる。
ただし、ガソリン車並みに走行できる燃料を確保するためには水素を**圧縮（高圧化）**してコンパクトに車載容器に搭載する**必要**がある。



写真 FCVへの充填

(引用 : <https://www.suzukishokan.co.jp/suiso/>)



FCV等に水素を**安全**に
効率よく**充填**するため
の**手順** = **充填プロトコル**

① 充填プロトコルとは (充填プロトコルはどのようなものなのか)

外気温度 (°C)	t.final (s)								
	MAT (°C)								
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	5	0
>50	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可
50	1859	1919	1979	2039	2099	2159	2219	2279	2339
45	9	19	29	39	49	59	69	79	89
40									
35									
30									
25									
20									
15									
10									
5									
0									
-10									
-20									
-30	112	145	190	252	332	431	546	676	732
-40	103	104	133	174	231	304	395	503	624
<-40	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可

霧困気温度

供給水素温度

充填スピード
(圧力上昇率)

外気温度 (°C)	制限圧力 (MPa)										
	初期圧力 (MPa)										
	0.5	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70
>50	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可
50	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
45	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
40	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
35	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
30	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
25	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
20	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
10	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
0	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
-10	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
-20	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
-30	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
-40	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5	83.5
<-40	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可

水素充填プロトコルには上記2種のマップがある。

安全な充填のための羅針盤
(充填プロトコル)

本日の発表内容

- ①HDV用水素充填プロトコル研究開発の意義
- ②HDV用水素充填プロトコルの事業概要
- ③事業体制とJPEC担当ミッション
- ④HDV向けに開発した新規プロトコル
- ⑤開発したプロトコルの海外展開
- ⑥まとめと今後の展開

①HDV用水素充填プロトコル研究開発の意義

(これまでの充填プロトコル方式と課題)

【既存充填プロトコルの方式】

- ルックアップテーブル方式 (**L/T**)

最初に開発されたプロトコルで、外気温に応じた一定の圧力上昇率で充填を行う方式

- MC フォーミュラ方式 (**MC-F**)

外気温及び充填水素温度に応じて圧力上昇率を制御しながら充填時間の短縮を図る方式

- MC マルチマップ方式 (**MC-MM**)

MC-Fにおいて、水素ST設備熱容量の実測値を反映して取り入れることで水素のプレクール温度の緩和と、更なる充填時間の短縮を図る方式

【既存充填プロトコル方式の課題】

- 車載タンクが大容量になることで圧力損失が増加する

- 既存プロトコルでは充填流量値を大きくとれず、充填が長時間化し、タンク内水素の断熱圧縮による高温化、温度ムラや局所的なホットスポットが発生
→ **大流量充填を可能とする設備改造と対応した充填プロトコルの開発必要性大**
→ CFDによる温度分布の解析と対策で安全を担保

①HDV用水素充填プロトコル研究開発の意義

(HDV向け充填プロトコル開発の意義)

【これまでのLDV対応のプロトコル】

- FCVの普及にはガソリン車並みの
利便性：燃料補給時間 3分程度
性能：走行距離600km程度
70MPaと高圧充填が必要。



- 水素は3分程度で急速充填すると、ガス温度が急上昇し、FCV車載容器の耐熱温度の規格を守れないため、充填前に水素を冷却するプレクールを導入（ -40°C まで）した。

【これからのHDV対応に向けた課題・方向性】

- HDVは大量の水素を必要とし、そのままLDV向けのプロトコルを適用すると充填に多くの時間を要する。



大型FCトラック (イメージ)

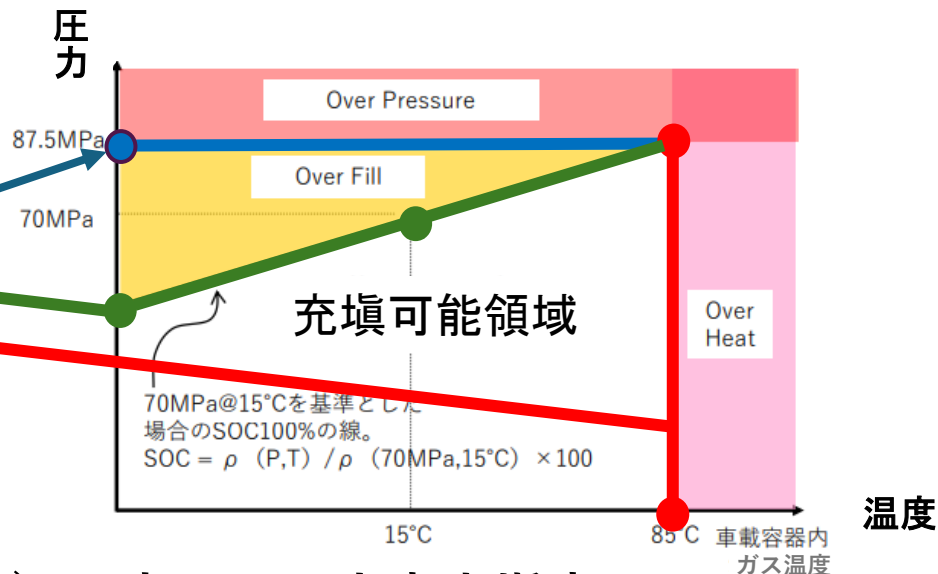
- 以上の背景から、HDV向けの充填において適切な時間で、なおかつ安全に充填が行われるように、HDV向けに適した充填プロトコルを開発する必要がある。

①HDV用水素充填プロトコル研究開発の意義 (シミュレーションの活用とマップの作成)

水素を充填する
容器の**安全**は、

- ・ 容器ガス圧力 < **87.5MPa**
- ・ 充填率SOC※ < **100%**
- ・ 容器ガス温度 < **85°C**

により**担保**される。(右図)



※SOC (State Of Charge) : 容器への水素充填率

「**安全な充填**」 = 車載容器内**圧力**/ガス**温度**が上図の「充填可能領域」を逸脱しない充填

このための条件を見つけるために、シミュレーションによる計算を行い、適合条件から**圧力上昇率**や**目標圧力のマップ(参照表)**を作成する

②HDV用水素充填プロトコルの事業概要

事業の目的

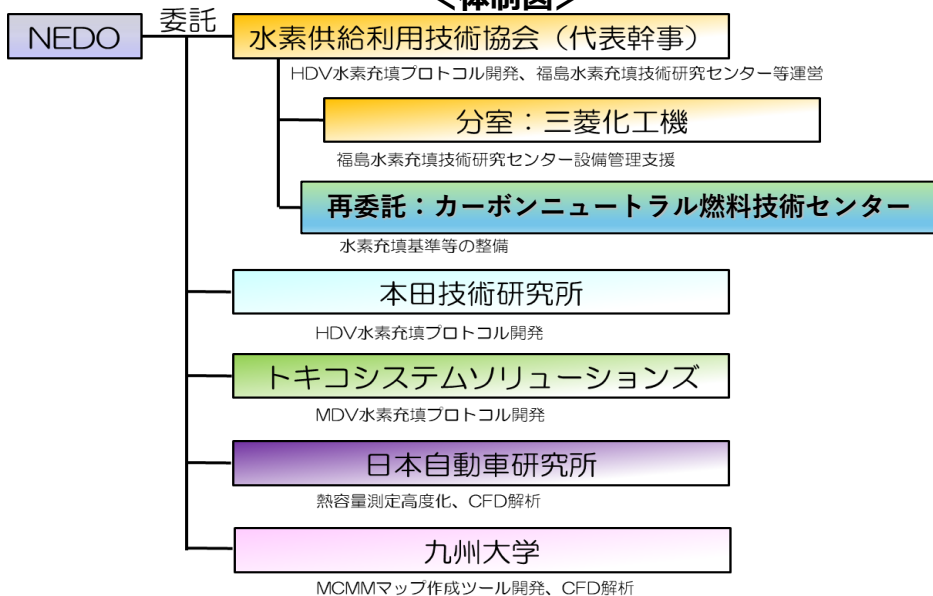
様々な燃料電池モビリティ、特にHDVへの大流量水素充填時における充填プロトコルに関する技術開発とその基準化を目的とする。また、HDVに関する各種技術課題を検証するため、福島水素充填技術研究センター等を活用して、我が国が世界を先導して国際基準に資するデータの取得を実施する。

事業期間

<2023年度～2027年度> 2025年にステージート通過で延長

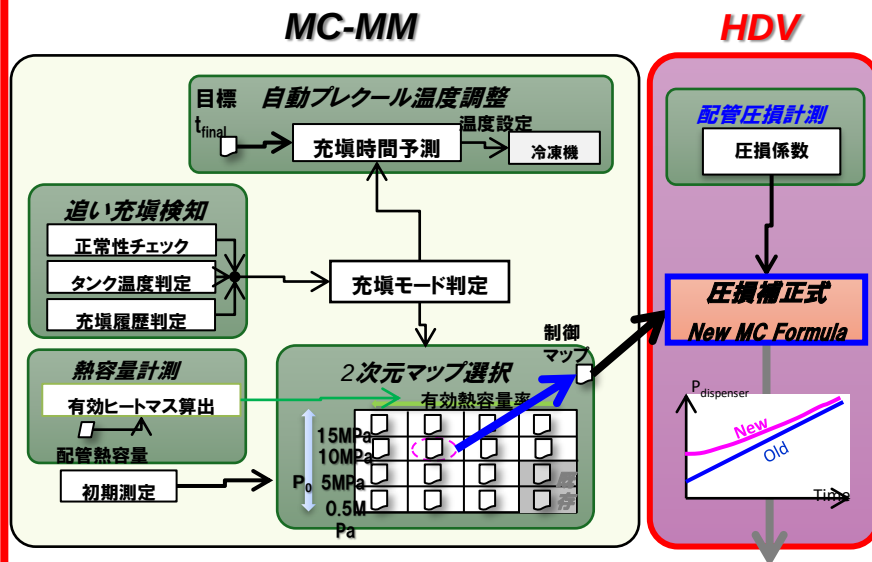
事業体制

@プロジェクト開始時 <体制図>



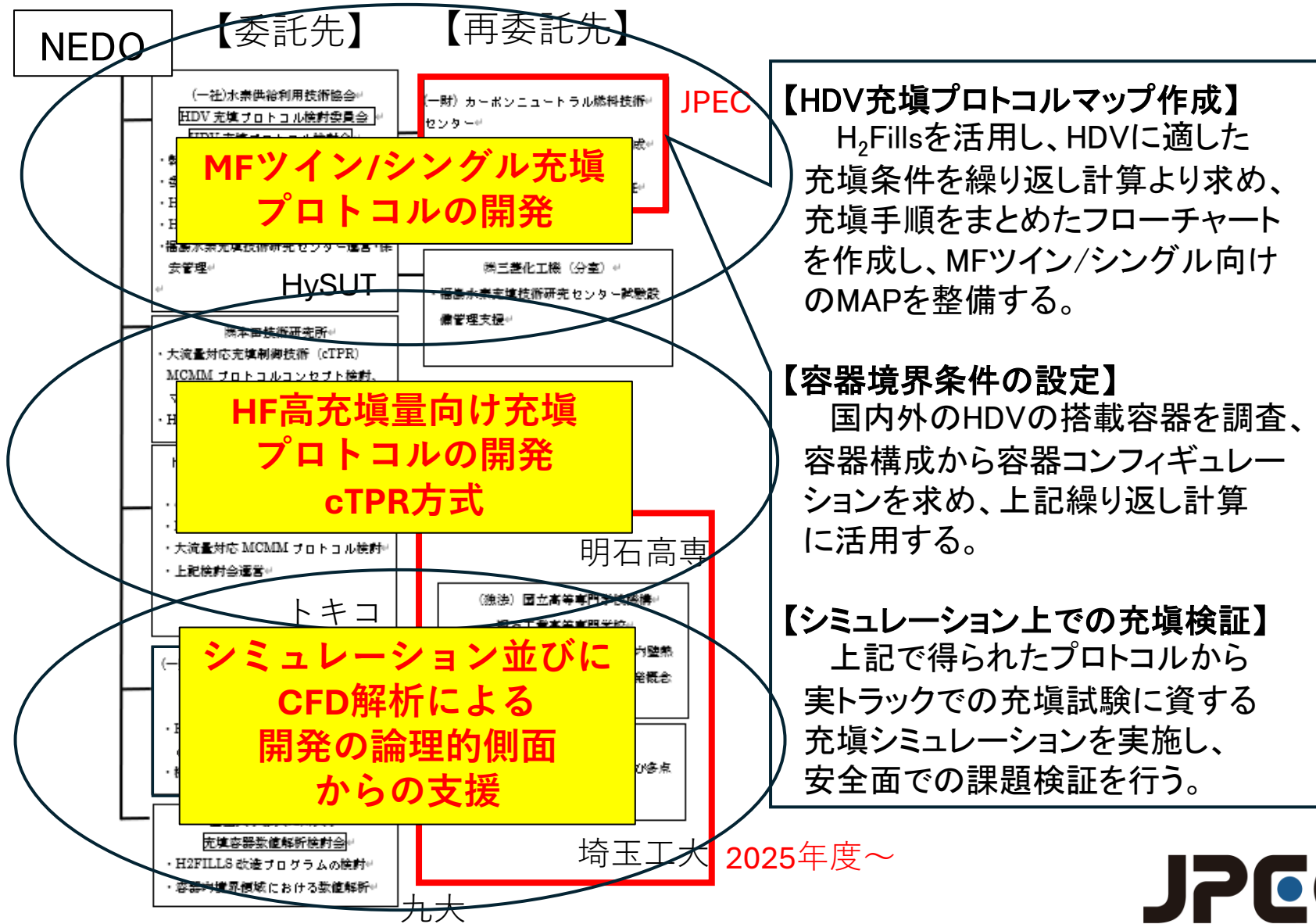
事業内容概略

乗用車用 (LDV) に作成した充填プロトコル (MC-MM方式) を、HDV用に拡張・開発する。NEDO委託事業において開発した水素充填シミュレーションプログラムを活用して、HDV用充填プロトコルの開発・検証を実施する。国内の水素ステーションにおけるHDV用充填プロトコルの安全性検証のため、容器内温度層問題やプレクール設備の能力、配管・バルブ等の差圧などの高圧水素充填に与える実影響について、福島水素充填技術研究センター等の設備を活用して試験・検証を実施する。これらの成果を基に、HDV用水素充填プロトコルに関する国内基準 (JPEC-S 0003改正) を作成した上で、ISO等への提案を、ISO/TC197国際標準化活動 (NEDO事業) と連携して行う。

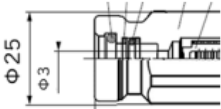
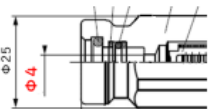
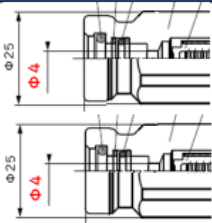


HDV充填プロトコル開発・検証

③事業体制とJPEC担当ミッション



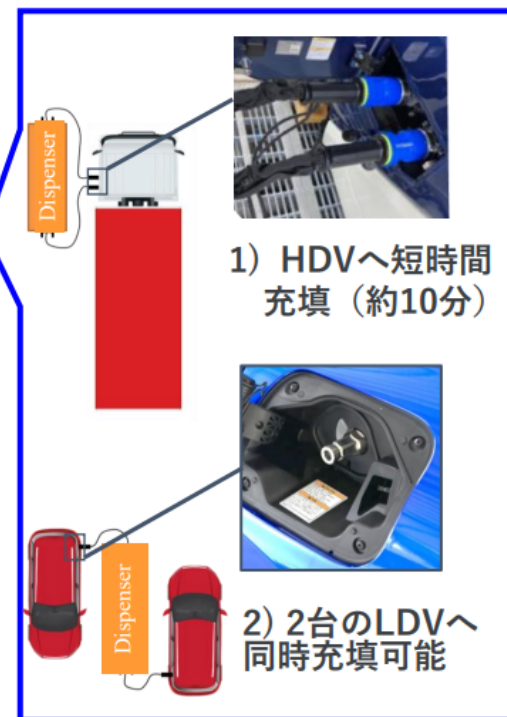
④HDV向けに開発した新規プロトコル (MFツイン/シングルプロトコル開発の意義)

導入時期	～ 2024	2025 ～	
燃料供給法	Normal Flow (NF)	Medium Flow (MF)	MF-Twin (MFT)
レセプタクル形状			
最大流量	60g/sec	90g/sec	180g/sec
既存の水素ステーションで水素充填可能 / 既存のFCEVsが水素充填可能	Yes/Yes	Yes/Yes	Yes/Yes
適応可能な車両			

MFツイン水素充填システムの利点

1. 既存の水素ステーションインフラを有効利用可能
2. 社会インフラの追加コストを最小化可能
3. 既存技術の延長としてコンポーネントの（外挿）設計が可能

メリット



(出典: Toyota)

引用「2024年7月19日 NEDO水素・燃料電池成果報告会2024 発表No.A2-18」より

④HDV向けに開発した新規プロトコル (シミュレーションの活用とマップの作成)

The screenshot shows the 'Set Fill Profile' dialog box in a simulation software. The dialog is divided into several sections:

- General Conditions:** Ambient Temperature [degC] is set to 20.
- Simulation Conditions:**
 - ☒ Use the Following Data:
 - Pressure Ramp Rate [MPa/min]: 15
 - Fuel Delivery Temperature [degC]: -40
 - ☐ Upload Supply Condition Data: No file uploaded.
- Find Optimal Average Pressure Ramp Rate (APRR):** A table with columns for Ambient Temperature, Fuel Delivery Temperature, Vehicle Tank Initial Pressure, APRR Range, Peak Mass Flow Rate, Peak Breakaway Inlet Pressure, and Hose Temperature Profile. The table is partially filled with values.
- Terminating Conditions:**
 - ☒ Pressure [MPa]: 70
 - ☐ Temperature [degC]: 85
 - ☐ State of Charge (SOC) [%]: 97

Below the dialog box, there is a schematic diagram of a fuel system. The components are connected in a line: Breakaway, Hose, Nozzle, Pipe, Hand Valve, and Vehicle Tank. A red arrow points from the 'Breakaway' component in the schematic to the 'Breakaway' component in the 'Set Fill Profile' dialog box.

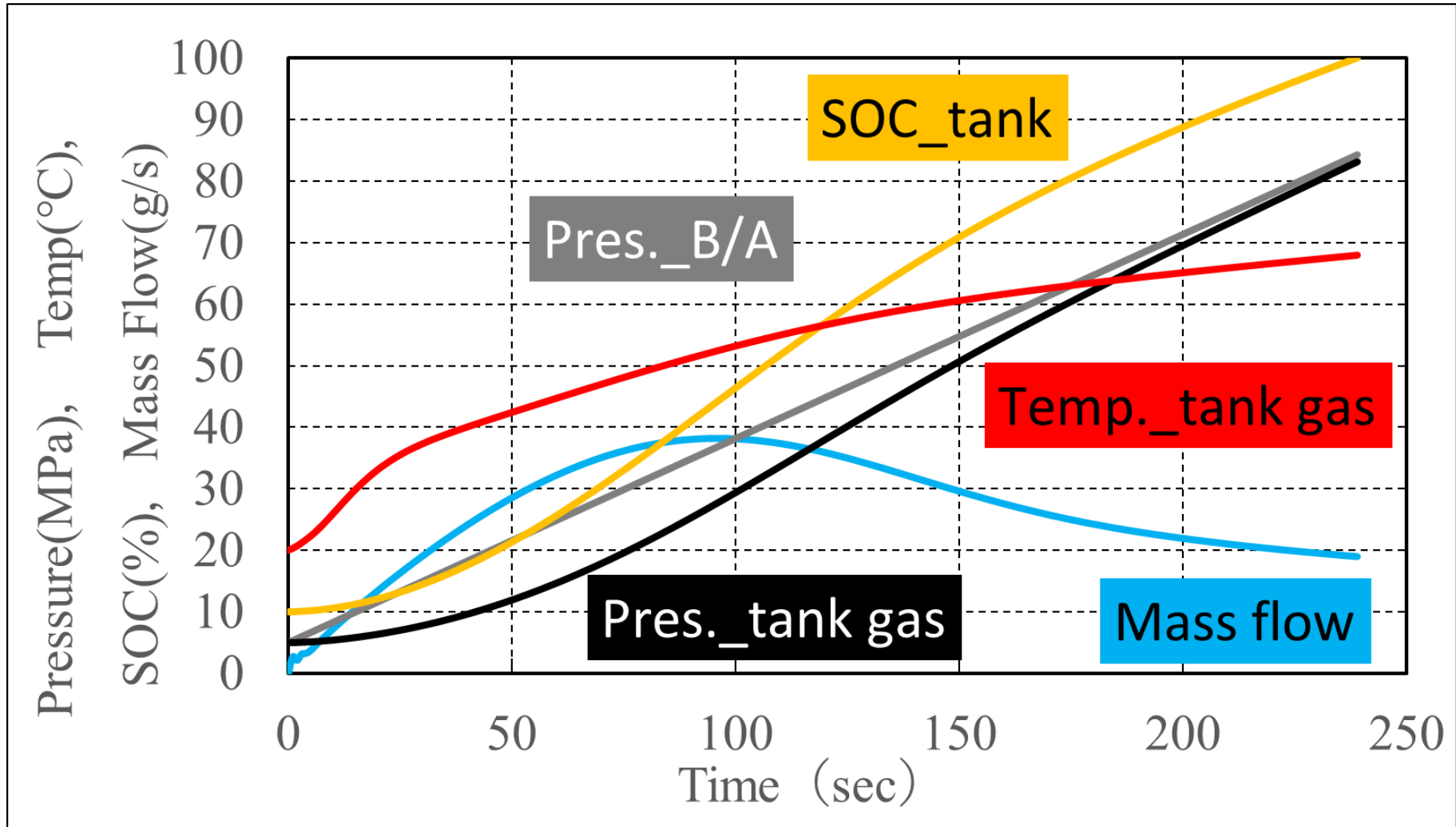
① t-Finalマップ作成用のモデルを読み込む

ステーション配管および車両配管をJ2601 Appendix Aに従って設定
タンクサイズを対象サイズに設定

② 解析条件設定

- ・ 雰囲気温度 (下限・上限・刻み)
- ・ 初期圧 (下限・上限・刻み)
- ・ 昇圧率 (下限・上限)
- ・ 上限流量値
- ・ 上限供給圧力
- ・ 上限流量値 (LDVだと0.06 kg/sec)
- ・ 30秒ルール (Frat: 無 Slope: 30秒ルール有)
- ・ Soak条件 (Hot Soak / 雰囲気温度)
- ・ データの保存箇所指定
- ・ 収束条件

④HDV向けに開発した新規プロトコル (シミュレーションで安全な充填条件の導出)



④HDV向けに開発した新規プロトコル (シミュレーションで得られた圧力上昇率マップのイメージ)

MF-Twin L/T For Pini $\geq$ 5MPa

※prerequisite condition : MAX Flow Rate $\leq$ 90(g/sec)、SOC $\leq$ 95(%)、MAX APRR $\leq$ 28.4(MPa/min)

VFS 250

Tamb (°C)	T40-APRR(MPa/min)				
	TVL 200 (8kg)	TVL 250 (10kg)	TVL 350 (14kg)	TVL 500 (20kg)	TVL 800 (32kg)
50	##.#	##.#			
45	##.#	##.#			
40	##.#	##.#			
35	##.#	##.#			
30	##.#	##.#			
25	##.#	##.#			
20	##.#	##.#			
10	##.#	##.#			
0	##.#	##.#			
-10	##.#	##.#			
-20	##.#	##.#			
-30	##.#	##.#			
-40	##.#	##.#			

VFS 500

Tamb (°C)	T40-APRR(MPa/min)				
	TVL 200 (8kg)	TVL 250 (10kg)	TVL 350 (14kg)	TVL 500 (20kg)	TVL 800 (32kg)
50	##.#	##.#	##.#	##.#	
45	##.#	##.#	##.#	##.#	
40	##.#	##.#	##.#	##.#	
35	##.#	##.#	##.#	##.#	
30	##.#	##.#	##.#	##.#	
25	##.#	##.#	##.#	##.#	
20	##.#	##.#	##.#	##.#	
10	##.#	##.#	##.#	##.#	
0	##.#	##.#	##.#	##.#	
-10	##.#	##.#	##.#	##.#	
-20	##.#	##.#	##.#	##.#	
-30	##.#	##.#	##.#	##.#	
-40	##.#	##.#	##.#	##.#	

④HDV向けに開発した新規プロトコル (シミュレーションで得られた規格本文のイメージ)

ISO 19885-3:202X

Draft

Annex C^{4,1}

MF-Single/Twin-LT fueling protocol⁴

C.1 Scope⁴

The focus of Annex C is to define MF (medium-flow) fueling protocols, including their process limits for fueling of compressed gaseous hydrogen vehicles at maximum flow rates 60, 90 and 180 g/sec with compressed hydrogen storage system (CHSS) volume capacities between 248.6 and 5000 L which have been qualified to UN GTR #13.^{4,1}

C.1.1 Table Summarizing Content^{4,1}

Table C.1.1 Content of Annex H^{4,1}

Pressure Class ^{4,2}	H70 ^{4,2}	H70 ^{4,2}	H70 ^{4,2}
Protocol Name ※ ^{4,2}	MF-Single-LT ⁴ (Comm. & Non-comm.) ^{4,2}	MF-Twin-LT ⁴ (Comm. & Non-comm.) ^{4,2}	NF-Single-LT ⁴ (Comm. & Non-comm.) ^{4,2}
VFS Capacity Range (liters) ^{4,2}	248.6 to 5000 ^{4,2}	248.6 to 5000 ^{4,2}	248.6 to 5000 ^{4,2}
VFS Capacity Range (kilograms) ^{4,2}	10 to 200 ^{4,2}	10 to 200 ^{4,2}	10 to 200 ^{4,2}
Range of Tank Sizes Within ⁴ the CHSS (liters) ^{4,2}	50 to 800 ^{4,2}	50 to 800 ^{4,2}	50 to 800 ^{4,2}
Maximum Flow Rate (g/sec) ^{4,2}	90 ^{4,2}	90 × 2 ^{4,2}	60 ^{4,2}
Fuel Delivery Temperature ⁴ Categories ^{4,2}	T40D (-40 to -33 °C) ^{4,2}	T40D (-40 to -33 °C) ^{4,2}	T40D (-40 to -33 °C) ^{4,2}
	T30D (-40 to -26 °C) ^{4,2}	T30D (-40 to -26 °C) ^{4,2}	T30D (-40 to -26 °C) ^{4,2}
	T20D (-40 to -17.5 °C) ^{4,2}	T20D (-40 to -17.5 °C) ^{4,2}	T20D (-40 to -17.5 °C) ^{4,2}

※ NF-Twin-LT (Comm. & Non-comm.) is out of scope.^{4,2}

C.1.2 Explanatory Material^{4,1}

Table C.1 provides an overview of the fueling protocols in this Annex. This Annex provides fueling protocols which are applicable to the 70 MPa pressure class (H70). There are three sets of fueling protocols; MF-Twin-LT, MF-Single-LT, and NF-Single-LT. The naming convention of “MF-Twin-LT” is medium flow-twin nozzles-lookup table method, “MF-Single-LT” is medium flow-single nozzle-

⑤開発したプロトコルの海外展開

(ISO TC197 WG24※¹/SAE※² ITF等での取組状況報告)

1.ISO-19885-3に掲載する内容として、MF-Twin/Singleの充填プロトコル:Annex-H(案)を事務局に提出し、その内容に対するコメントにつき対応する旨表明(ISO TC197 WG24)した(HySUT)。

2.SAE ITFにおいては、上記内容に関するMF-Twin/Singleの充填プロトコルの日本国内における開発状況について説明を行なった(HySUT/JPEC)。

3.これに先立ち、JPECの紹介と本事業の体制(HySUTがJPECに再委託して行っている事業)を説明(共通理解のため説明は省略)

※1 ISO TC197 WG24: 充填プロトコルの規格 ISO-19885-3 を策定するWG

ISO TC197 WG38: 充填における通信規格 ISO-19885-2 を策定するWG

これらは切っても切り離せない密接な関係にあるため、両者のJoint-TFも並行して開催

※2 SAE: SAE International (SAEインターナショナル)は、モビリティ専門家を会員とする米国の非営利団体で、Society of Automotive Engineers の略。SAEの発行する充填規格はISO規格のない時代の事実上の国際標準

⑤開発したプロトコルの海外展開



引用「ISO/TC 197/WG 24 N 766：ATTENDANCE LIST WG 24 November 2024」

※本写真に映っている参加者18名中、7名が日本人（約40％）

⑥まとめと今後の展開

- ・HDV事業で、H2Fillsのシミュレーションを用いて世界に先駆けてMFツイン/シングル向け充填プロトコルを開発した。
- ・この新規プロトコルはSAEやISOでの採用を目指し活動中
- ・国内向けに本プロトコルはJPEC充填技術基準(JPEC-S 0003)に反映する。

ご清聴ありがとうございました

謝辞

以上の発表に関する技術開発成果は、
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO*）からの委託事業
「競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／水素ステーションの低コスト化・高度化に係る
技術開発／HDV用水素充填プロトコルの研究開発」
の結果得られたものです。

*New Energy and Industrial Technology Development Organization