

NEDO水素・燃料電池成果報告会2025

発表No.B2-3

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

発表者 吉田 剛

一般社団法人水素利用供給技術協会
株式会社本田技術研究所
トキコシステムソリューションズ株式会社
一般財団法人日本自動車研究所
国立大学法人九州大学
一般財団法人 カーボンニュートラル燃料技術センター（再委託）
三菱化工機株式会社（分室）

2025年 7月16日

連絡先：
一般社団法人 水素供給利用技術協会
(<http://hysut.or.jp/>)

1. 期間

開始 : 2023年6月

終了（予定） : 2028年3月

2. 最終目標

HDV(Heavy Duty Vehicle)へ大流量水素を安全に短時間で充填するため、Lookup Table、MCフォーミュラ、MCマルチマップ及びcTPRの各方式によるMF(Medium Flow:90g/sec)充填プロトコルを開発する技術開発とその基準化

3. 成果・進捗概要

- HDV 実車及び模擬容器搭載車両(HySUT4号)への水素充填試験を様々な条件で実施
- 新水素充填方式（タンク一定昇圧/Constant Tank Pressure Ramp rate : cTPR)を開発
- MF Single/Twin Lookup Tableの各種マップを作成、MCフォーミュラのマップ作成に着手
- HDV搭載容器の充填時温度分布等を模擬する3次元数値シミュレーション解析を実施
- 各種充填方式の開発に向けて水素充填シミュレーションソフトの改造/開発を推進

1. 事業の位置付け・必要性

- カーボンニュートラル社会の実現に向けては、運輸部門が日本国内のCO2排出量の2割近くを占める中、そのうち4割の貨物輸送部門（トラック、船舶、鉄道等）の脱炭素化が不可欠と言われている。
- 日本は、世界に先駆けて、2014年に燃料電池自動車（FCV）を市場投入、2017年に水素基本戦略を策定するなど、技術及び政策の両面にわたり水素・燃料電池分野で世界をリードしてきた。
- FCV(LDV & HDV)の本格普及及び水素ステーション(HDV用ステーション)の整備に向け、規制適正化、国際標準化や水素ステーションのコスト低減に関する研究開発は重要な課題であると認識。
- 2023年6月に改定された水素基本戦略においても、「大型バス・トラック等では、各国で燃料電池化が急速に進展しているため、より多くの水素需要が見込まれ FCV の利点が発揮されやすい商用車に対する支援を重点化していく。・・・（水素ステーションの）技術開発については、商用車の普及に向け、（略）大流量水素の充てん技術確立するべく、開発、実証を加速させる。」と記されている等、2020年代後半から運用開始が計画されている燃料電池商用車(大型トラック)に対応した水素充填プロトコルの開発及び基準化が求められている。

FC商用車の普及（グリーン成長戦略）

- ✓ 8トン超の大型の商用車
 - ◆ 2020年代に5,000台の先行導入
 - ◆ 2030年までに、2040年の電動車の普及目標



大型FCトラック（イメージ）

（引用：モビリティ水素官民協議会 中間とりまとめ、2023年7月）

2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の目標

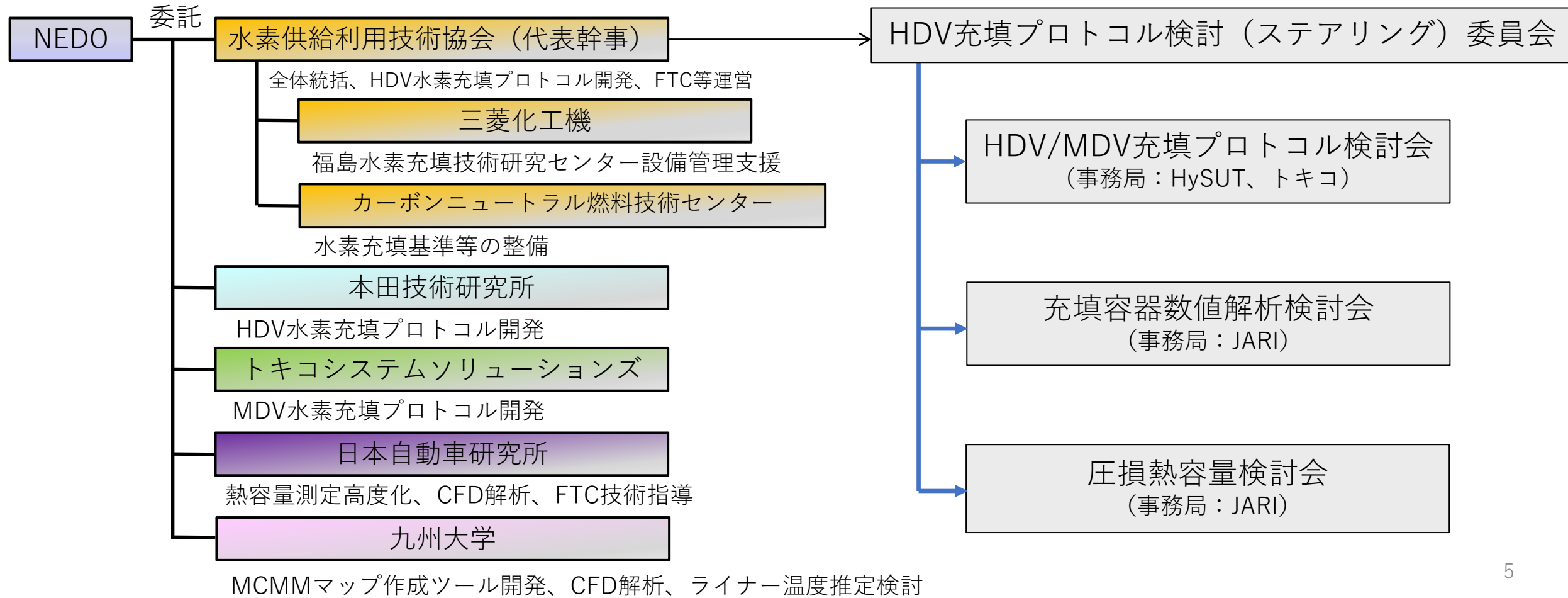
HDV(Heavy Duty Vehicle)へ大流量水素を安全に短時間で充填するため、Lookup Table、MCフォーミュラ、MCマルチマップ及びcTPRの各方式によるMF(Medium Flow:90g/sec)充填プロトコルを開発する技術開発とその基準化

目標設定の考え方

- 過去のNEDO事業においてLDV用に開発した「水素充填プロトコル(MCMM)」と「水素充填シミュレーションプログラム」をHDV用に拡張・開発することにより、プレクール温度の緩和や充填速度の向上など、HDV用水素ステーションの運営費低減を図る。
- HDV水素充填プロトコル開発に関する各種技術課題を検証するため、欧米の国際機関保有の試験設備に匹敵する福島水素充填技術研究センター（FTC）等を活用して、日本が世界を先導して国際基準に資するデータ取得や技術的検証を実施する。

2. 研究開発マネジメントについて

- ステアリング委員会の下、各課題毎の検討会を設定。検討会決議事項を委員会にて審議。
(原則として、ステアリング委員会は半年ごと、検討会は4半期ごとに開催)
- 毎月末、代表幹事の主催のもと、実施者7者間で進捗会議を実施。



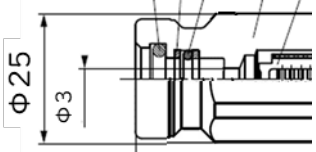
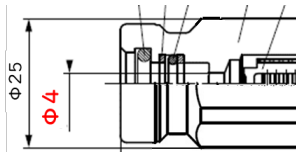
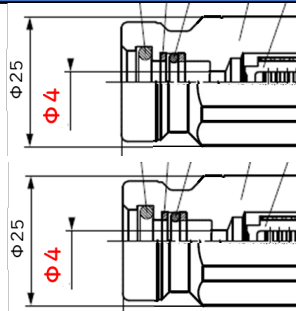
2. 研究開発マネジメントについて

研究開発スケジュール

開発項目	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
1. HDV用水素充填プロトコル		ステージゲート ▼			
(i)MF充填プロトコルの基本構成	マップ作成	検証試験	プロトコル改良	規格化対応	
(ii)大流量対応MCMM充填プロトコルの基本構成 (新規 cTPR充填方式含む)	ミニスケール試験	フルサイズ試験	最終マップ評価	規格化対応	
(iii)MCMMマップ用シミュレーション	大容量		MF		
(iv)HDV水素充填時の容器内数値解析					
(v)HDV充填プロトコルの検証	検証試験、解析	プロトコル検証ツール開発	プロトコル反映		
(vi)HDV用充填プロトコル基準整備	規格化対応				
2. MDV用水素充填プロトコル	マップ作成	検証試験	プロトコル反映		
3. MCMM方式に用いる機器熱容量測定等の高度化	測定装置製作	測定法の高精度化	各種機器の熱容量・圧損測定		
4. 水素充填時の容器内挙動の研究開発					
5. 国際標準化に関する事業との連携					
6. HDV水素ステーション設備海外調査					

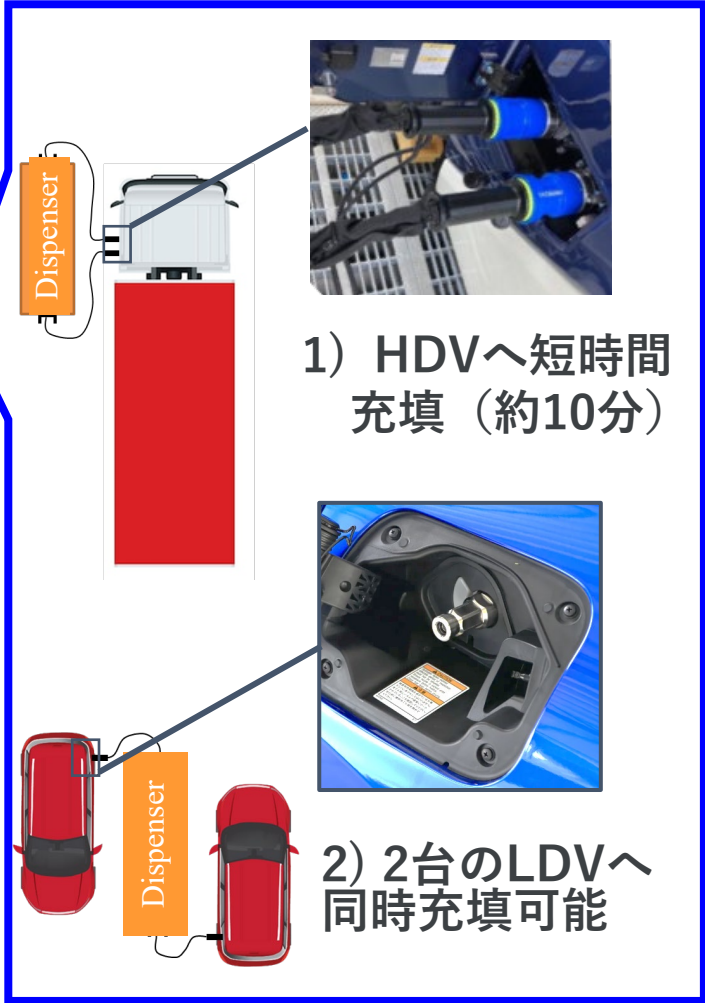
3. 研究開発成果について

幅広いFCEVに対応するMFツインノズルシステムに主に注力・開発中

導入時期	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）

3. 研究開発成果について

- ・ プロトコルはレセプタクル仕様で分類（**NF-Single／MF-Single／MF-Twin**）
- ・ ノズルが2基あるため、LDV2台、LDV+HDV、マニホールドHDV、セパレートHDV、マニホールドHDV+マニホールドHDVなど複雑な組み合わせに対応したマップ選択のためのフローチャートを検討した。
- ・ 新マップでの基本動作の確認を実施した。

H70	LDV	HDV	
Total Volume Nozzle	2kg-10kg (A:2-4kg VFS:50-100L) (B:4-7kg VFS:100-174L) (C:7-10kg VFS:174-248.6L) (TVL=99,174,248.6L)	10kg-200kg (VFS=248.6-5,000L) (TVL=200,250,350,500,799L)	
		10kg-30kg (VFS=248.6-750L) (TVL=250L)	10kg-200kg (VFS=248.6-5,000L) (TVL=200,250,350,500,799L)
H70 NF	L/T, MCF A,B,C MCMM B,C JPEC-S 0003(2023)	L/T D MCF D JPEC-S 0003(2023)	L/T D MCF D SAE J2601
H70 MF (Single)	NF Single A,B,C L/T NF Single A,B,C MCF NF Single B,C MCMM MF Fueling Protocol	MF Single L/T MF Single MCF MF Single MCMM MF Fueling Protocol	
H70 MF X 2 (Twin)		MF Twin L/T MF Twin MCF MF Twin MCMM MF Fueling Protocol	
H70 HF		MCF-HF-G SAE J2601/5	

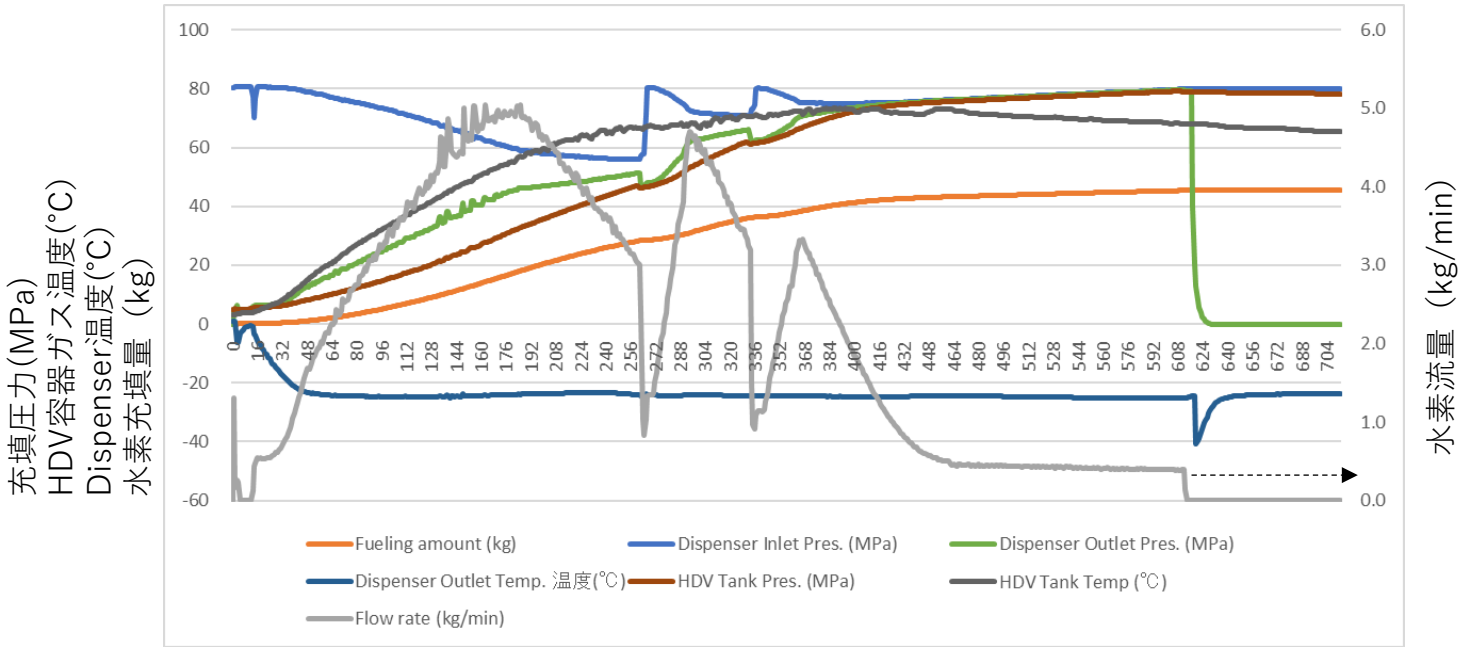
3. 研究開発成果について

HDV実車を使用した水素充填プロトコル試験例（2024冬、2週間）

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fueling approach	MF x 2	MF x 2	MF x 2	MF x 2	MF x 2	NF x 2	NF x 2	NF x 2	NF x 2
Precool Category	T30	T20	T30	T20	T30	T30	T30	T30	T20
Ambient temp. (deg C)	20	7	2	2	9.7	8.3	6.5	5.8	8.3
Target APRR (MPa/min)	11.7	10.9	8	15	13.4	8.3	9.2	7.4	8.3
Chiller gas temp.	-26°C	-25°C	-26°C	-25°C	-26°C	-26°C	-26°C	-26°C	-17.5°C



FTCでのHDV実車試験

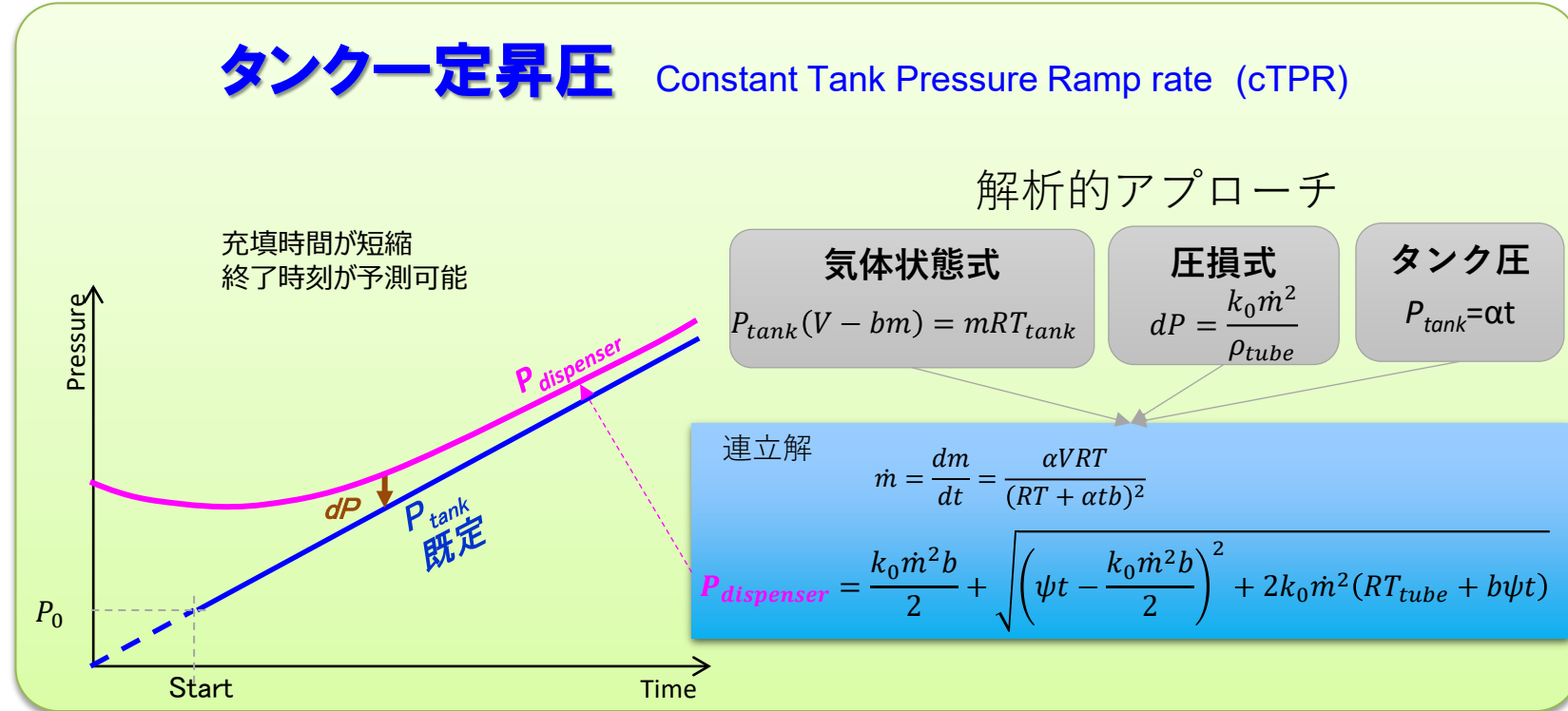
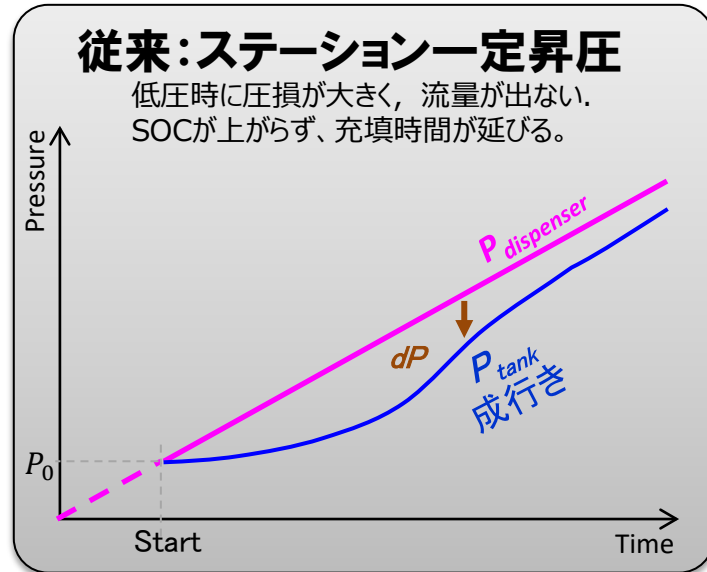


水素充填プロファイル例（上表No.4 試験条件）

Test conditions & results

- MFツイン充填
- プレクール: T20
- 車載容器 ≒ 1,200 L (H70 type IV tank)
- 外気温: 2 °C
- 昇圧率: 15MPa/min
- 初期圧: 5.0 MPa
- 終了圧: 79.1 MPa
- 最高温度: 73.5 °C
- 充填時間: 10 分15 秒 (車両SOC: 97%)
- 充填量: 45.4kg

課題：車両信号を昇圧率制御に使用せずに、HDVの大流量（圧損）対策を検討。

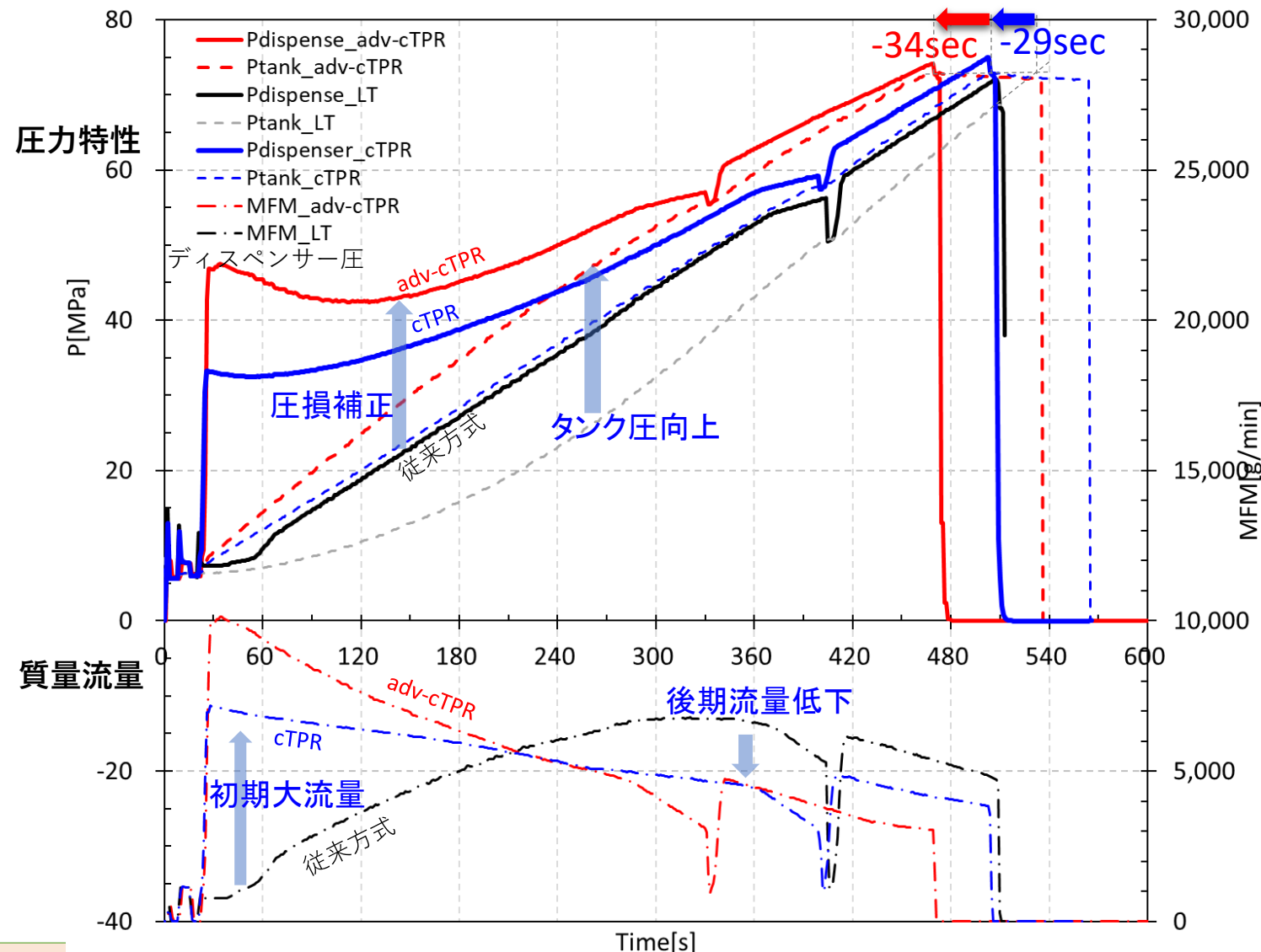
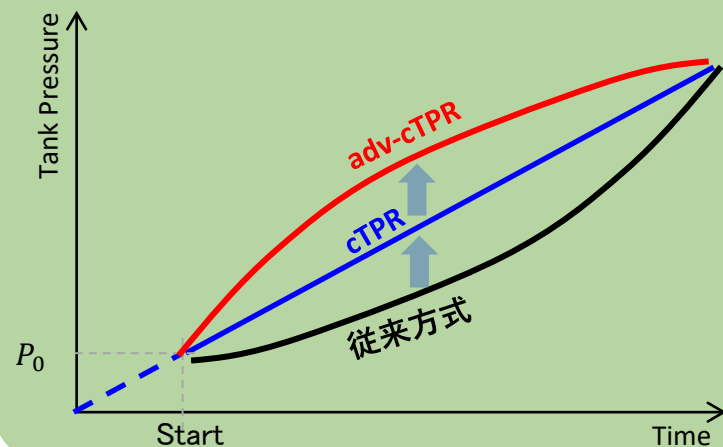


- ・FCV水素充填制御の解析解は世界初。
- ・FCVのコストを上げることなく、水素ステーションのみの制御で圧損対策が可能。
- ・水素ステーション設備の蓄圧器の削減が可能

2024年度：フルサイズ・タンク +

タンク非線形昇圧 (adv-cTPR)

充填時間が短縮
終了時刻が予測可能



- フルサイズ充填テストを実施し、発展型 (adv-cTPR) も含め充填時間短縮を確認した。
- 車両信号を昇圧率制御に (基本的に) 使用しないので、FCVのコストを従来同等に維持できる。

3. 研究開発成果について

MCMM方式に用いる機器熱容量測定等の高度化

目標：

熱容量測定の精度向上。大流量に対応した専用の測定装置（圧損熱容量測定検査装置）を製作する。

進捗状況：

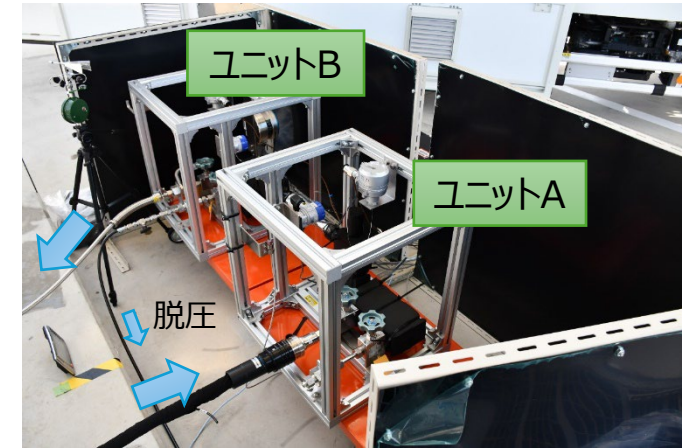
圧損熱容量測定検査装置を用いて、福島水素充填技術研究センターでHDV規模の大流量の試験を行った。装置はユニットAとBで構成され、その間に測定対象部品を設置する。流量が増加するにつれて圧力損失が大きくなり、その影響が示唆される結果が得られた。

目標達成に向けたアプローチ：

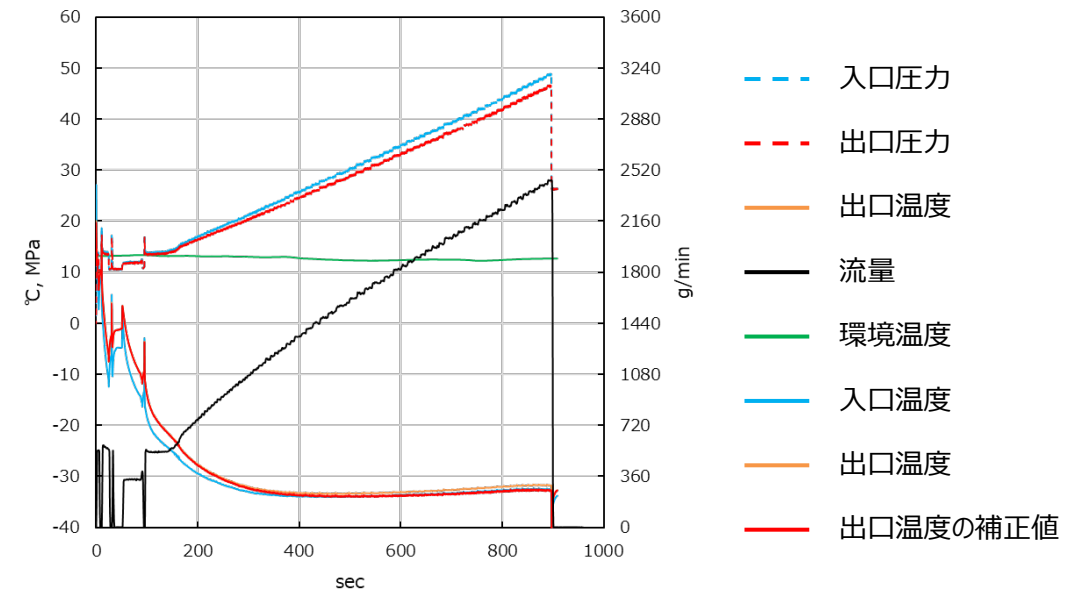
圧力損失の影響を検討し、継続してHDV規模の大流量の依存性を検証する。

研究開発の成果と意義：

大流量では、圧力損失の影響が大きいことが確認された。



圧損熱容量測定試験装置の設置状況



圧損熱容量測定試験装置による試験結果

3. 研究開発成果について

HDV水素充填における容器内数値解析

目標：

流体の高圧水素と容器固体の熱伝導を連成した3次元数値シミュレーション（CFD）により、水素充填時の容器の熱流動挙動の傾向を把握し、安全なHDV用の水素充填プロトコルの開発につなげる。

進捗状況：

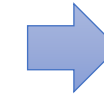
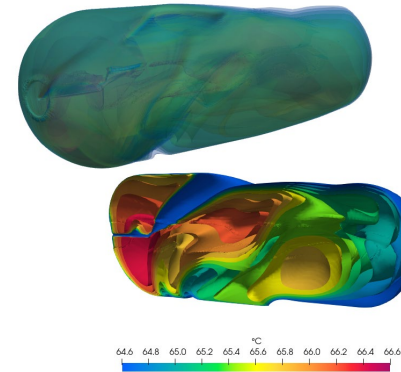
HDV用大型容器への充填試験を数値シミュレーションで模擬した。充填途中からの数値シミュレーションにより、充填終了時の温度分布を模擬できる可能性を示した。計算負荷の低減が期待される。

目標達成に向けたアプローチ：

温度層の発達は、充填の速度と方向、容器形状などが大きく関与すると考えられる。これらの条件を考慮した数値シミュレーションを実行し、影響を検証する。

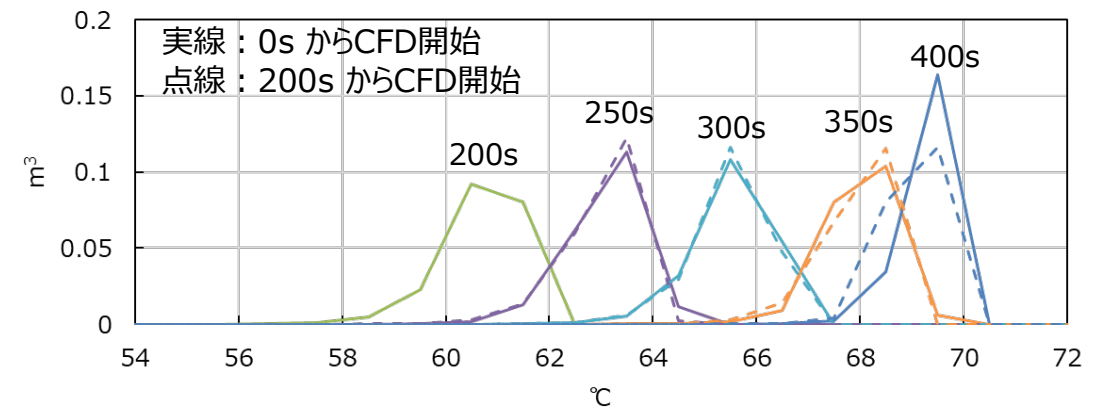
研究開発の成果と意義：

温度層と充填速度や容器形状の関係が解明されれば、1.1.3で開発している充填シミュレーション（DS）へ反映することが可能となる。



水素と固体容器部分の各平均温度を均一分布の条件として、充填途中から3次元CFDを開始。0次元の充填シミュレーションの途中結果を、3次元CFDの初期条件に適用することを想定。

充填途中の水素温度分布



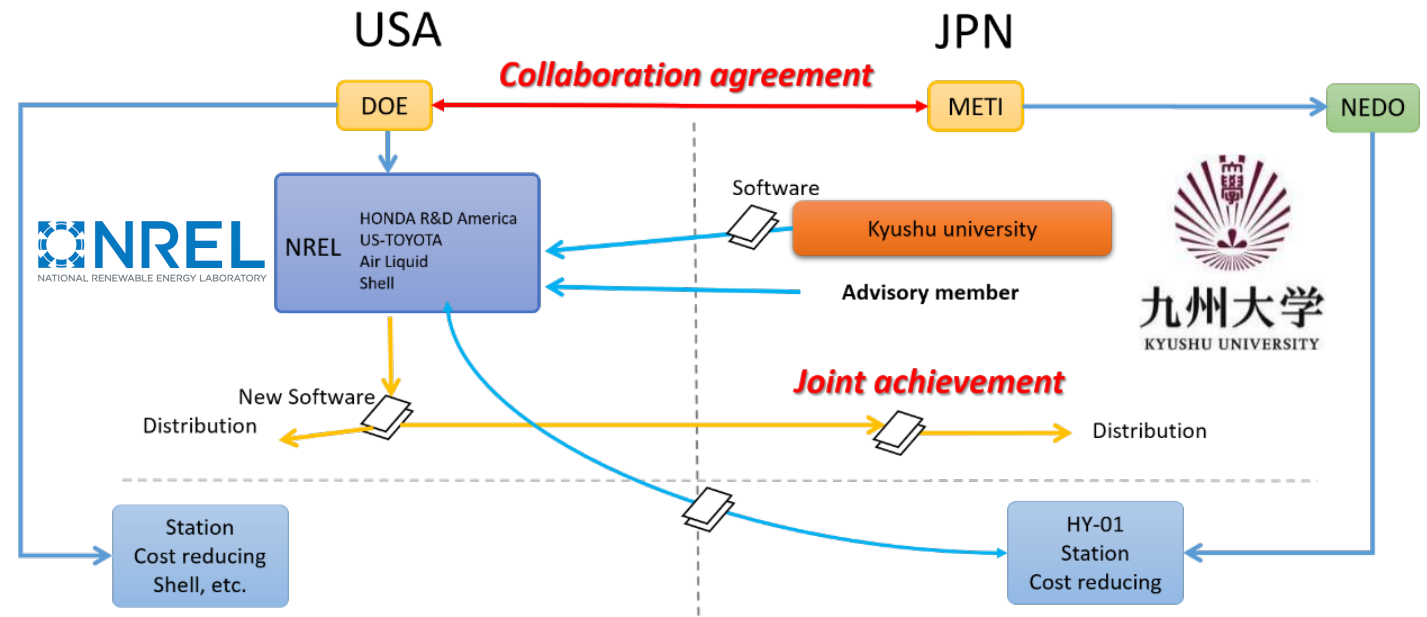
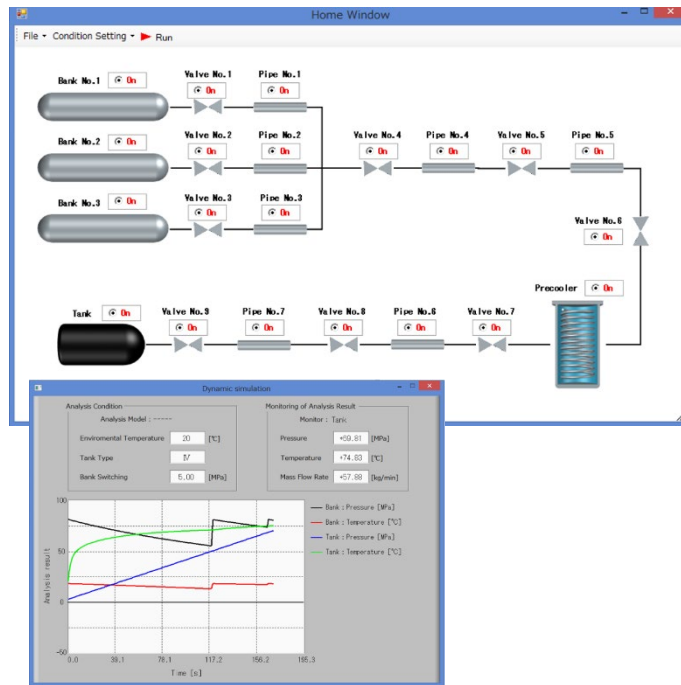
体積に占める温度分布の推移

200sの途中開始の結果は、0sからの結果と同等の温度分布を示す。充填初期段階を計算負荷の少ない0次元で代用することで、全体の計算負荷の低減が可能と考えられる。

3. 研究開発成果について

水素充填シミュレーションソフト（Dynamic Simulation, DS）を用いたHDV用充填プロトコルの開発に向けて、LDV用シミュレーションソフトを拡張開発中

Light-Duty Vehicles (LDV)用シミュレーションソフトウェア



九州大学にてHDV用MCMMソフトウェアの開発中

九州大学のDSシミュレーションソフトウェア

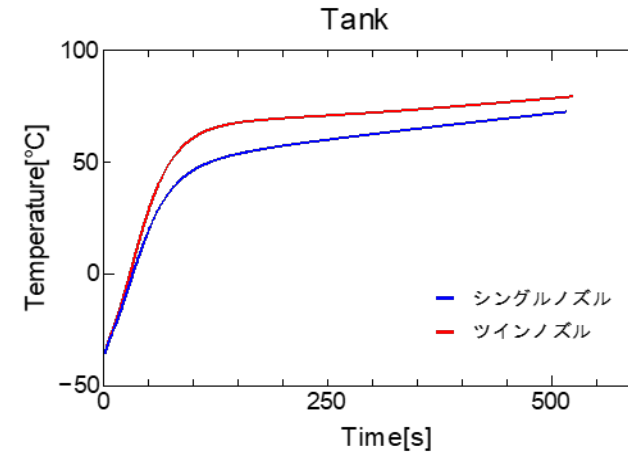
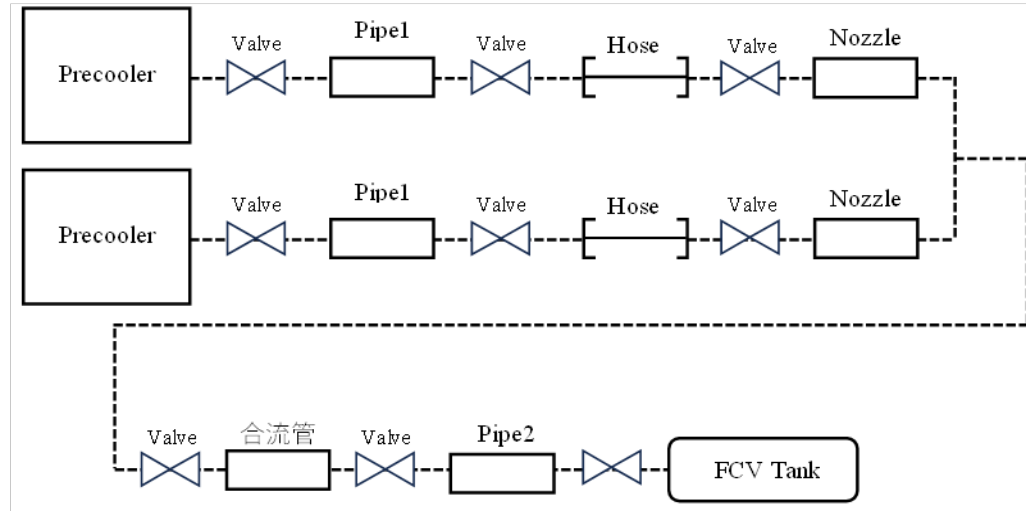


NRELのH2FillSシミュレーションソフトウェア

3. 研究開発成果について

【HDV用の熱力学モデルの開発】

Precoolerから車載Tankまでのツインノズル
充填における熱力学モデルを開発中



質量保存

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$$

エネルギー保存

$$\frac{d(mu)}{dt} = \dot{m}_{in}h_{in} - \dot{m}_{out}h_{out} + q_{in}A_{wall}$$

配管熱伝導モデル

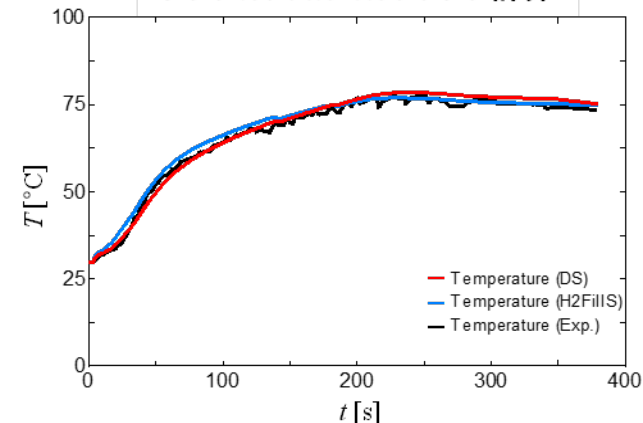
非定常一次元熱伝導方程式 $\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$

↓ 離散化

$$\frac{\rho c(y_{i+1} - y_{i-1})}{2\Delta t} (T_i - \hat{T}_i) - \frac{2\lambda}{y_i - y_{i-1}} (T_i - T_{i-1}) = 0$$

[Δt : タイムステップ $\hat{T}_i$: 次回タイムステップの温度]

シングルノズルマルチタンク計算



車載Tank内の温度（実験値、シミュレーション値）を極めて良好に再現

4. 今後の見通しについて

実用化・事業化のイメージ（成果がどのように使われるか）

本事業で開発した水素充填プロトコルが基準化され、2020年代に導入されるHDVに実装される

今後の課題と方針

- 各研究開発テーマの前進が、全体の研究開発の成果最大化・効率化に繋がる仕組みを構築する。
- 研究開発結果を踏まえて、国内技術基準（JPEC-S 0003等）やISO等国际標準への提案対応も行う。

