

2024年度 JPECフォーラム

# HDV用水素充填プロトコルの研究開発

2024年5月14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 2024—



# 充填プロトコルとは

FCV等に水素を安全に効率よく充填するための手順



写真 FCVへの充填

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

# 本日の発表内容

- 研究開発の背景と意義
- NEDO事業の概要(期間・体制・内容)
- 研究内容の詳細
  - (1) シミュレーションの活用とMAP作成
  - (2) 水素充填基準の整備
- まとめと今後の予定

# 研究開発の背景

- 日本は、世界に先駆けて燃料電池自動車(FCV)を市場投入し、水素・燃料電池分野では世界をリードしてきた。
- 日本は、FCV及び水素ステーションの本格普及に向けて、規制適正化、国際標準化や水素ステーションのコストを低減する研究開発を行ってきた。

※LDV: Light Duty Vehicle(小型車)



これまでのFCVは、LDV中心

- 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CO<sub>2</sub>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である。

HDVが主役に

※HDV: Heavy Duty Vehicle(大型車)



大型FCトラック (イメージ)

# 研究開発の意義

## 【これまでのLDV対応としての背景】

- 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(最大**-40°C**)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、そのためにLDV向けのプロトコルをそのまま適用すると充填に**多くの時間**を要する。

- 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。

# 事業テーマ：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

実施者：一般社団法人水素供給利用技術協会、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

## 事業の目的

## @プロジェクト開始時

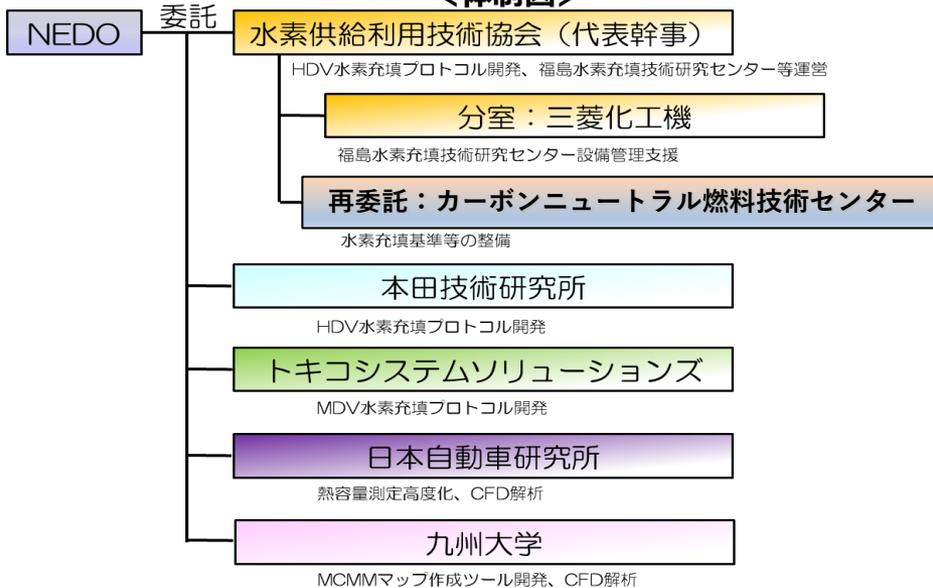
様々な燃料電池モビリティ、特にHDVへの大流量水素充填時における充填プロトコルに関する技術開発とその基準化を目的とする。また、HDVに関する各種技術課題を検証するため、福島水素充填技術研究センター等を活用して、我が国が世界を先導して国際基準に資するデータの取得を実施する。

## 事業期間

<2023年度～2024年度> (ステージゲート有最長2027年度迄)

## 事業体制

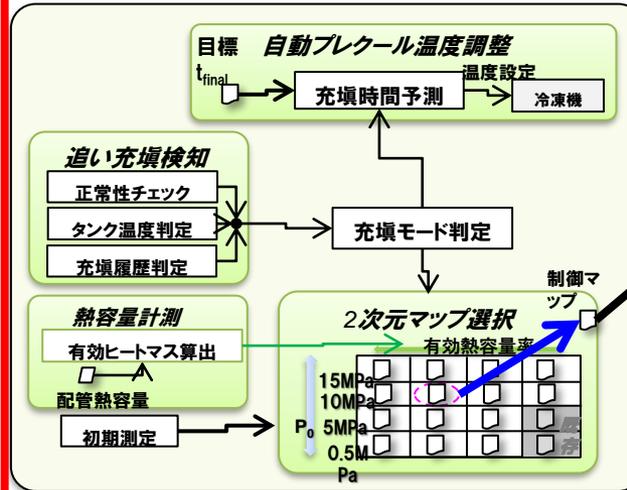
### <体制図>



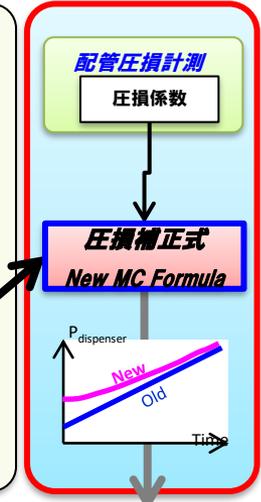
## 事業内容概略

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。

### MC-MM



### HDV



HDV充填プロトコル開発・検証

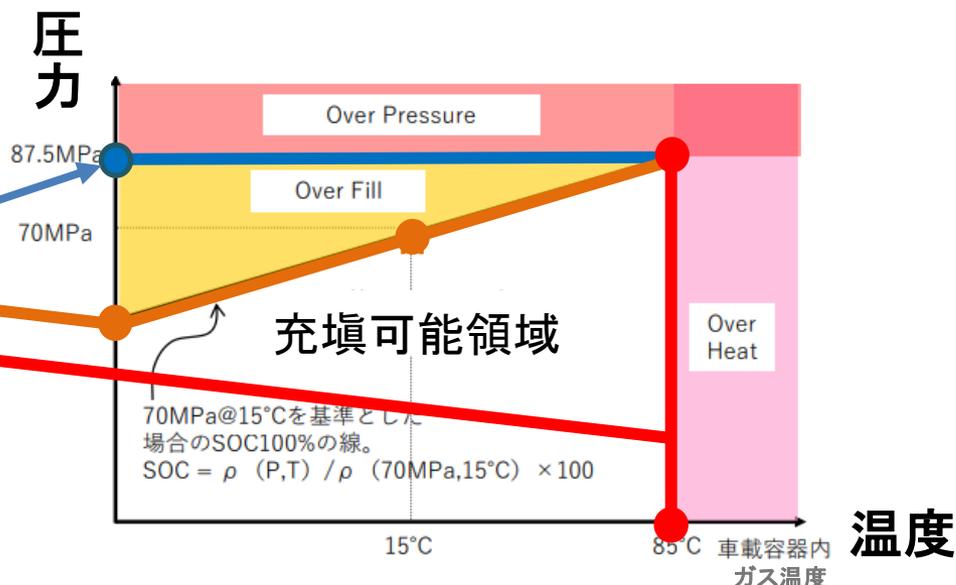


# シミュレーションの活用とマップの作成

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

# マップ(MAP)事例

水素充填プロトコルには次の2種のマップが存在する。

外気温度 (°C)	t <sub>final</sub> (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	1519	1213	934	689	473	289	14519	9708
45	914	770	643	537	451	3956	3559	3143	2778
40	473	770	1213	1902	2649	3956	5056	6066	7076
35	340	537	834	1236	1680	2278	2976	3730	4519
30	283	429	611	834	1086	1417	1813	2243	2722
25	243	355	509	738	984	1299	1691	2093	2572
20	214	304	435	611	830	1086	1376	1695	2093
15	194	271	382	530	716	935	1182	1453	1795
10	177	243	338	465	626	815	1030	1265	1544
5	163	206	279	375	506	674	872	1097	1344
0	153	187	248	330	444	594	779	995	1244
-10	144	177	231	304	404	539	707	905	1127
-20	136	163	212	283	375	494	646	829	1039
-30	129	155	201	269	359	473	619	799	1005
-40	112	145	190	252	332	431	546	676	824
<-40	104	133	174	231	304	395	503	624	764

供給水素温度

t-final マップ

オーバーヒートをもたらさない  
最短充填時間を示す

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	87.0	85.8	83.1	82.1	80.9	79.4	78.0
45	83.5	83.5	83.5	83.5	86.9	85.4	83.8	82.9	80.8	79.7	78.0
40	83.5	83.5	83.5	83.5	86.6	84.9	82.9	80.8	78.6	77.1	76.2
35	83.5	83.5	83.5	83.5	86.6	84.2	82.3	80.1	77.7	76.2	75.0
30	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
25	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
20	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
10	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
0	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
-10	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
-20	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
-30	83.5	83.5	83.5	83.5	86.4	84.0	81.5	78.9	76.2	74.7	73.3
-40	83.5	83.5	83.5	83.5	84.4	81.0	77.8	74.7	71.6	68.5	65.4
<-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

タンク初期圧力

P-target マップ

過充填防止のために充填  
を終了させる圧力を示す

# マップのイメージ

水素充填プロトコルには次の2種のマップが存在する。

外気温度 (°C)	t <sub>final</sub> (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	1519	14519						
45	9							9708	
40									
35									
30									
25									
20									
15									
10									
5									
0									
-10									
-20									
-30	112	145	190	252	332	431	546	676	
-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

供給水素温度

充塡スピード  
(圧力上昇率)

雰囲気温度

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	不可
50	83.5											
45												
40	83											充填不可
35	83											充填不可
30	83											充填不可
25	83											充填不可
20	83											充填不可
10	83											充填不可
0	83											充填不可
-10	83											充填不可
-20	83											充填不可
-30	83.5	83.5	83.5	83.5	84.4	81.4	82	75.0	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可
-40	83.5	83.5	83.5	84.4	81.4	77.8	74.7	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可
<-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	充填不可

タンク初期圧力

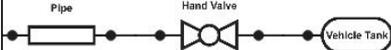
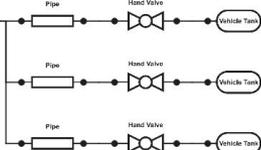
充塡のゴール  
(目標圧力)

雰囲気温度

充塡設計図  
(充塡プロトコル)

# シミュレーションの活用とマップの作成

【充填プロトコル設計上考慮する環境条件】O/H:オーバーヒート

		温度上昇しやすい条件 (過昇温のワーストケース)	温度上昇しにくい条件 (過充填のワーストケース)
FCV 車載 容器	①材質	Type IV (プラスチック製ライナー) →熱伝導率は小さい	Type III (アルミ製ライナー) →熱伝導率は大い
		CFRP  プラスチック ライナー	CFRP  アルミ合金 ライナー
	②構成	大型容器1本のみ (表面積/容積が小さい) →放熱しにくい	小型容器が複数個 (表面積/容積が大きい) →放熱しやすい
			
HRS	③プレクール 温度	許容制御範囲の上限 (T40※では-33°C)	許容制御範囲の下限 (T40※では-40°C)
環境	④外気温の 影響	容器内ガス温度 > 外気温 (例: 炎天下に駐車してから充填)	容器内ガス温度 < 外気温 (例: 冷房したガレージに 駐車してから充填)
	⑤容器内 ガス温度降下	なし	あり (長距離走行でタンクのガスが著しく 減少し、断熱膨張により 容器内ガス温度が低下)

※T40はプレクール温度のカテゴリーで-40°C < T < -33°C

# シミュレーションの活用とマップの作成

【充填プロトコル設計上考慮する環境条件】O/H:オーバーヒート

		温度上昇しやすい条件	温度上昇しにくい条件
FCV 車載 容器	①材質	<b>O/Hしやすい条件</b> (プラスチック製ライナー) →熱伝導率は小さい	<b>過充填になりやすい条件</b> (アルミ製ライナー) →熱伝導率は大い
	②構成	大型容器1本のみ (表面積/容積が小さい) →放熱しにくい	小型容器が複数個 (表面積/容積が大き) →放熱しやすい
HRS	③プレクール温度	<b>許容制御範囲の上限</b> (T40※では-33°C)	<b>許容制御範囲の下限</b> (T40※では-40°C)
環境	④外気温の影響	<b>容器内ガス温度 &gt; 外気温</b> (例: 炎天下に駐車してから充填)	<b>容器内ガス温度 &lt; 外気温</b> (例: 冷房したガレージに駐車してから充填)
	⑤容器内ガス温度降下	<b>ホットケース</b>	<b>コールドケース</b>

※T40はプレクール温度のカテゴリーで-40°C < T < -33°C

# シミュレーションの活用とマップの作成

【充填プロトコル設計思想】

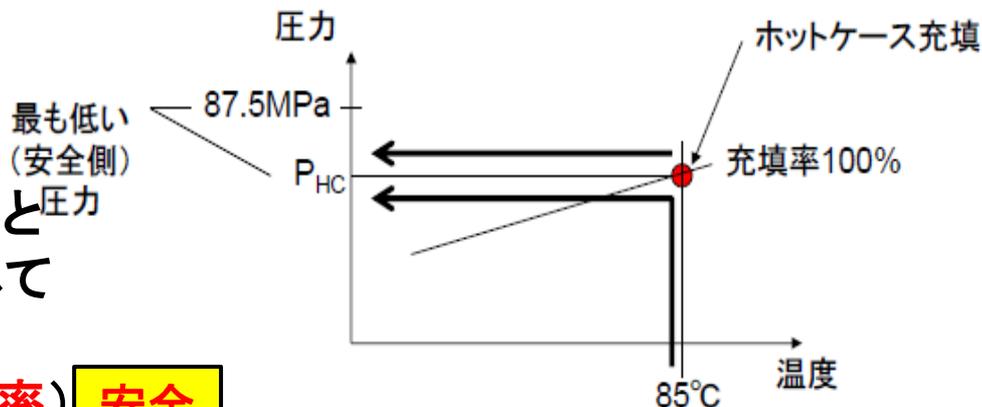
充填条件を2段階で計算する

この充填可能領域を超えないように熱力学的充填モデルに基づき、ワーストケースを想定したシミュレーションを繰り返し、最適な値を求める

STEP① 圧力上昇率 **スピード**  
(ホットケース: O/Hになりやすい)

上限温度85°Cまたは充填率100%となる $P_{HC}$ を求め、充填時間で割り返して圧力上昇率を求める

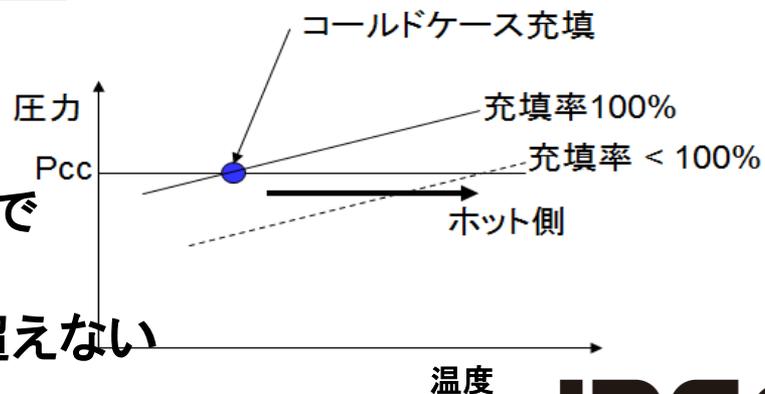
(上限温度85°Cにならない圧力上昇率) **安全**



STEP② 目標圧力(制限圧力) **ゴール**  
(コールドケース: 過充填になりやすい)

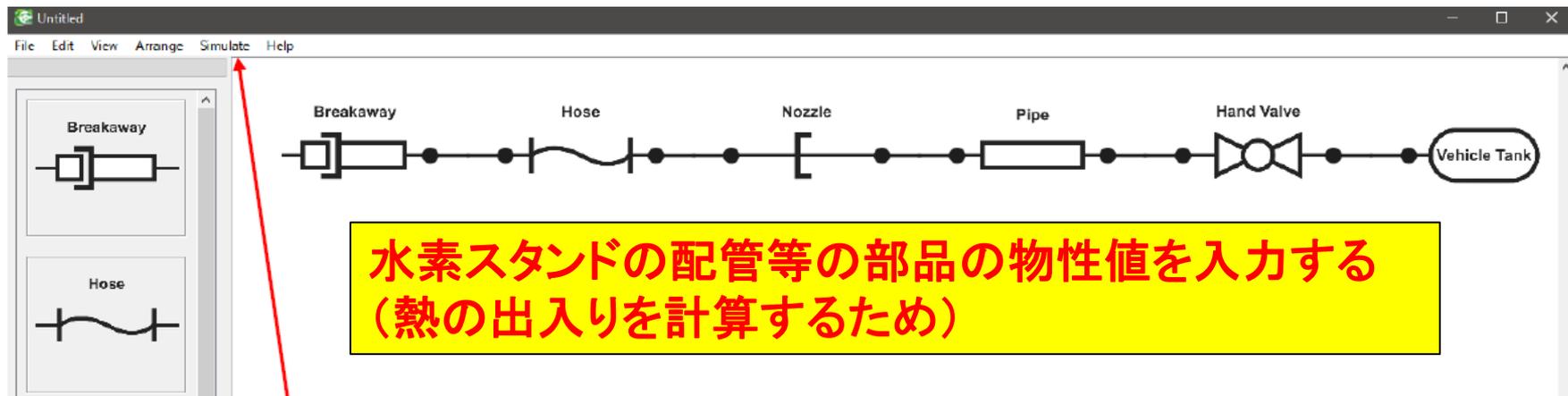
①で求めた圧力上昇率で充填率100%まで充填した際の $P_{CC}$ を目標圧力として求める  
充填後、温度上昇しても充填率100%を超えない

(充填率100%となる最も低い圧力) **安全**



# シミュレーションの活用事例

本シミュレーションは過去のNEDO事業で得られた成果を基にNRELにて作成



Set Fill Profile

General Conditions  
Ambient Temperature [degC]: 21

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):

	Minimum	Maximum	Increment
Ambient Temperature [degC]	-40	50	5
Fuel Delivery Temperature [degC]	-40	50	10
Vehicle Tank Initial Pressure [MPa]	2	5	0.5
APRR Range [MPa]	1	100	

Peak Mass Flow Rate [kg/s]: 0.13  
Peak Breakaway Inlet Pressure [MPa]: 99  
Hose Temperature Profile:  
 Flat  
 Slope  
Maximum Vehicle Tank Temperature [degC]: 85  
Definition of Vehicle Tank Initial Temperature:  
 SAE J2001 Hot Soak Definition  
 Ambient Temperature Initialization

No directory selected  
Select a save directory...

Terminating Conditions  
 Pressure [MPa]: 70  
 Temperature [degC]: 85  
 State of Charge (SOC) [%]: 97  
 H70 SOC Definition  H80 SOC Definition  H85 SOC Definition

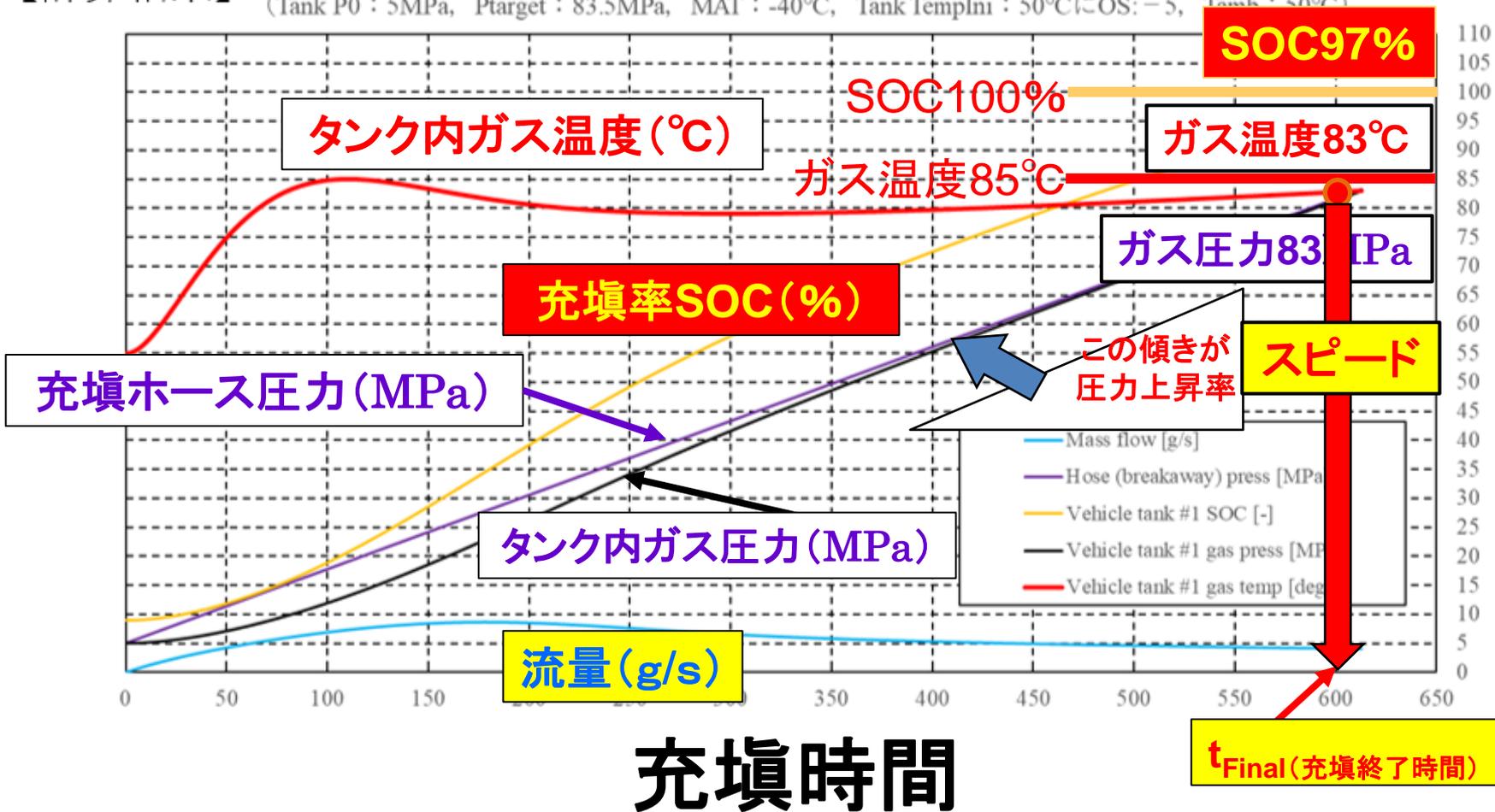
OK Cancel

充填条件を入力する  
(初期水素圧、充填終了の条件、温度の刻み幅等)

# シミュレーションによる計算事例

【計算結果】

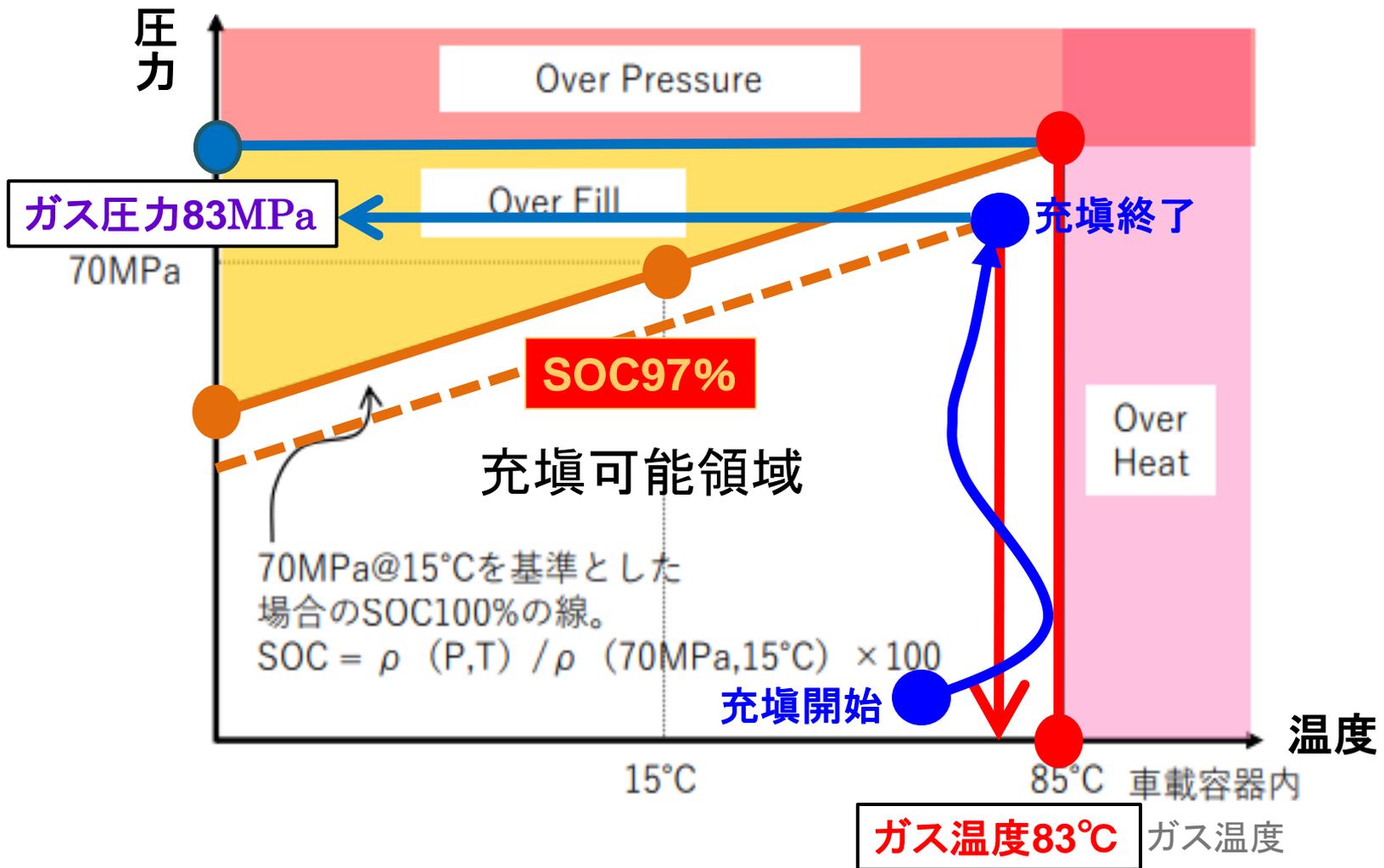
Vessel : TypeIV-4kg, TMR = 80, Find Optimal APRR モードにおける下記条件下の結果  
 (Tank P0 : 5MPa, Ptarget : 83.5MPa, MAT : -40°C, Tank TempIni : 50°CにOS: -5, Tamb : 50°C)



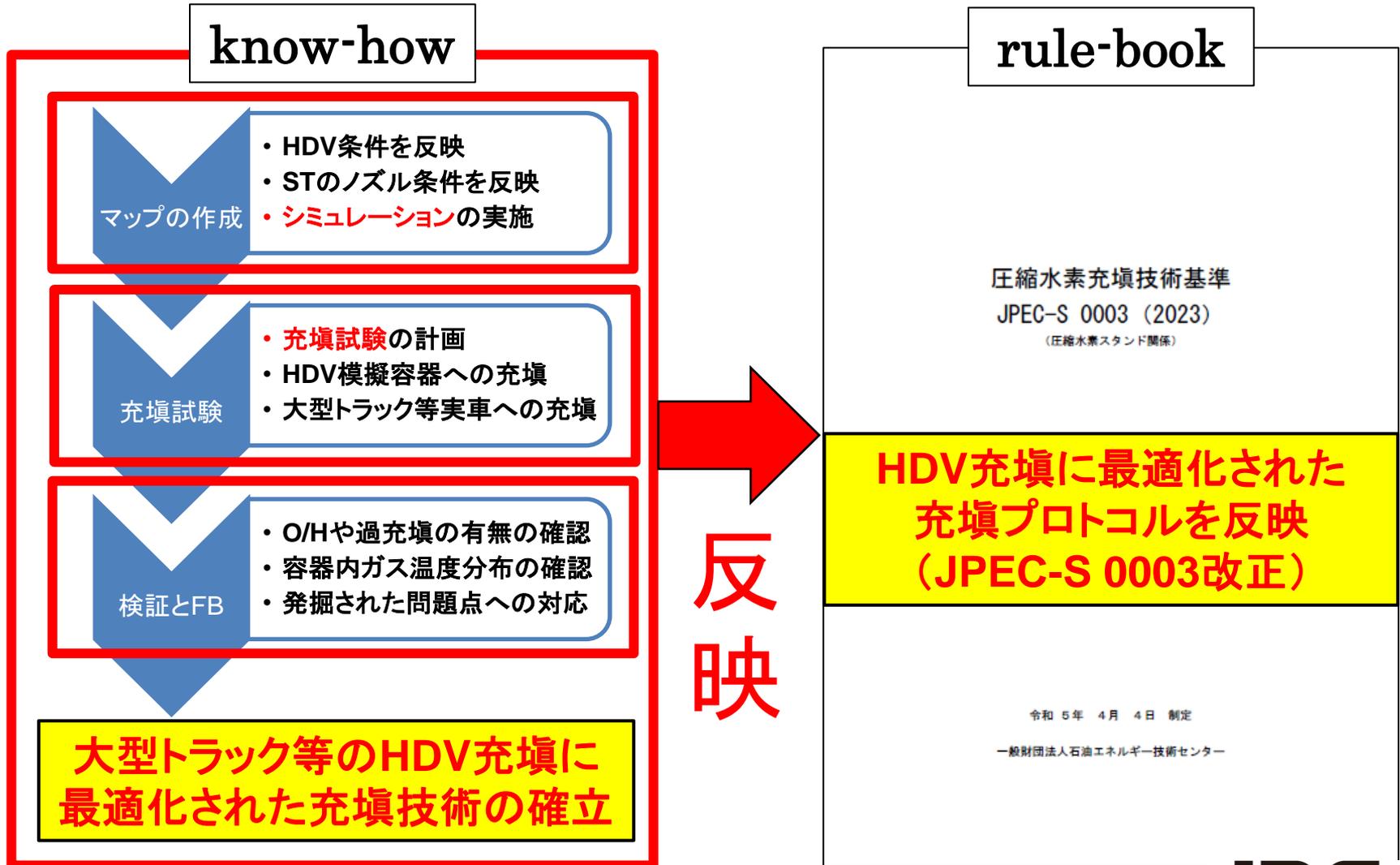
各指標 (温度・圧力等)

シミュレーションによる繰り返し計算を行い、このような条件を満たす充填条件から  $t_{final}$  値が得られ、圧力上昇率等が求まる

# シミュレーションによる計算事例



# 水素充填基準の整備 (JPEC-S 0003の改正)



# まとめと今後の予定

- ・JPECの充填事業では、**安全面での妥当性等**について**検証・確認**しながら進めてきたが、今回は、**プロトコル策定の一翼をマップ作成部分**について担い、**技術開発**についても協力して進めていく
- ・JPECのLDV向けの**充填技術基準**(JPEC-S 0003)策定のknow-howを最大限生かして、HDV向け**充填技術基準**の策定を図る

# 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」（プロジェクトコード：P23004）  
の結果得られたものです。

\*New Energy and Industrial Technology Development Organization