

2023年度 JPECフォーラム

水素充填に関する技術基準化

2023年5月10日

一般財団法人石油エネルギー技術センター
水素エネルギー部

0. はじめに

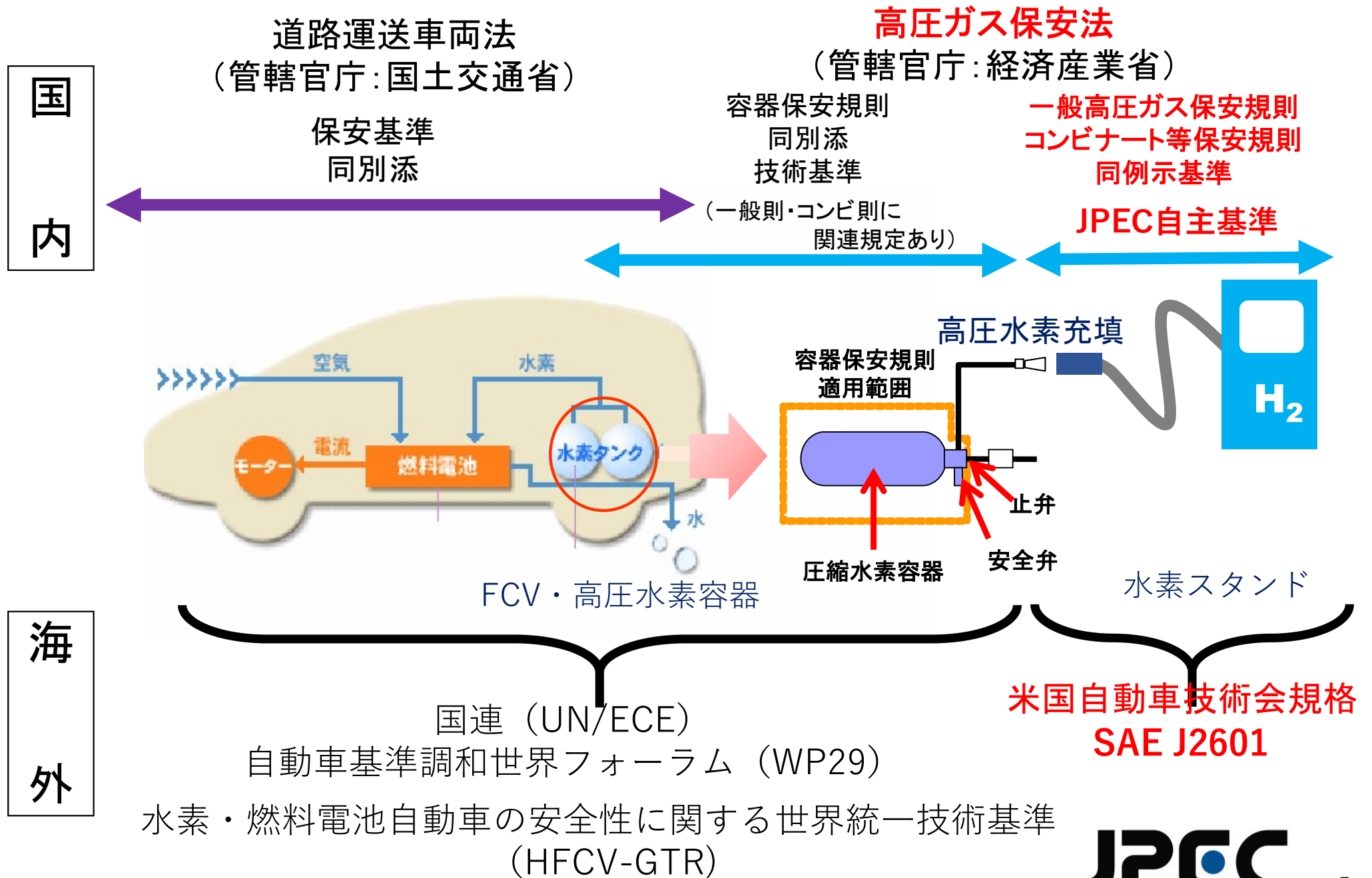
なぜ水素の充填には特別な充填方法の規格（プロトコル）が必要か？

- FCV等の普及にはガソリン車並みの燃料補給時間であることが必要である
（対してEVは満充電に相当の時間がかかる）
- 当初、充填最高圧力は35MPaでスタートしたが、それではガソリン車並みの走行距離を稼げない
⇒ 最高充填圧力を70MPaに変えた
- すると（5kg）3分程度の充填時間では、車載容器の耐熱温度の規格を守れない
⇒ 水素を充填前に冷却するプレクールを導入（最大-40°Cまで）
- 加えて、充填速度を急速に上げても車載容器の耐熱温度を超えないようにするため、外気温度等の環境に応じて充填速度（昇圧率）を制御する必要が生じた
⇒ 商用の水素スタンド開業前に多くのシミュレーションを実施し、安全な充填プロトコルを作成することとなった

本日の説明内容

1. FCV・高圧水素容器ならびに高圧水素充填に係る基準・規格体系
2. 高圧容器への充填基準とは
3. 表(ルックアップテーブル)方式による充填基準
4. MC-F(フォーミュラ)方式による充填基準
5. MC-MM方式による充填基準
6. 技術基準案の策定と業界自主基準 JPEC-S制定まで

1. FCV・高圧水素容器ならびに高圧水素充填に係る基準・規格体系



JPEC-S 0003と引用する例示基準

圧縮水素充填技術基準

(圧縮水素スタンド関係)
JPEC-S 0003 (2016) 抜粋

1. 目的及び本資料の位置づけ

本資料は、一般高圧ガス保安規則（以下「一般則」という。）第7条の3及び同コンビナート等保安規則（以下「コンビ則」という。）第7条の3に規定される圧縮水素スタンド（一般則第8条の2に規定される移動式圧縮水素スタンドを含む。）における安全かつ効率的な充填を実施するための具体的かつ包括的な基準を提示するものである。本資料の一部の規定は、充填における安全性を担保するため、以下に示す規則関係条項及び例示基準において、適宜引用されている。

本資料の規定に関連する規則関係条項及び例示基準

一般則関係 :

第7条の3第1項第5号・第11号・第2項第8号・第28号、[例示基準55の2](#)

第7条の3第3項第4号、[例示基準59の4](#)

コンビ則関係 :

第7条の3第1項第5号・第11号・第2項第8号・第28号、例示基準62の2

第7条の3第3項第4号、例示基準66の4

例示基準 抜粋

55の2. 過充填防止のための措置（圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンド）

1. 充填設備には、充填中の圧力を検知する装置を備え、当該圧力が、燃料装置用容器の最高充填圧力以下であって、外気温度と燃料装置用容器の初期圧力に応じてあらかじめ定めた圧力に達したときに、自動的に充填を停止する装置を設けること。あらかじめ定める圧力は、「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003(2014)」（平成26年10月10日一般財団法人石油エネルギー技術センター）又は「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003(2016)」（平成28年3月4日一般財団法人石油エネルギー技術センター）に従うこと。

59の4. 圧縮水素の充填流量の制限に係る措置（圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンド）

1. ディスペンサー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、「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003(2014)」（平成26年10月10日一般財団法人石油エネルギー技術センター）又は「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003(2016)」（平成28年3月4日一般財団法人石油エネルギー技術センター）に従いあらかじめ設定すること。

2. 高圧容器への充填基準とは

HFCV-GTRに準拠した高圧容器は使用上限温度を85℃、使用圧力上限を87.5MPaとし、さらに、70MPa@15℃を満充填とした密度線を超えないような充填を行う必要がある。

- ✓ 一定圧力上昇率で充填を行い、目標圧力で充填を終了する

ルックアップテーブル（参照表：容器区分、圧力区分、供給燃料温度区分、通信、非通信毎）

- 外気温度に応じた圧力上昇率
- 外気温度及び初期圧力に応じた目標圧力

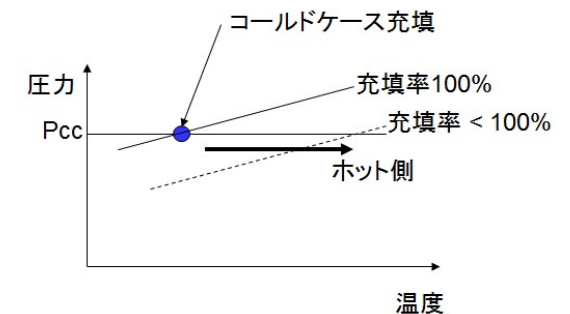
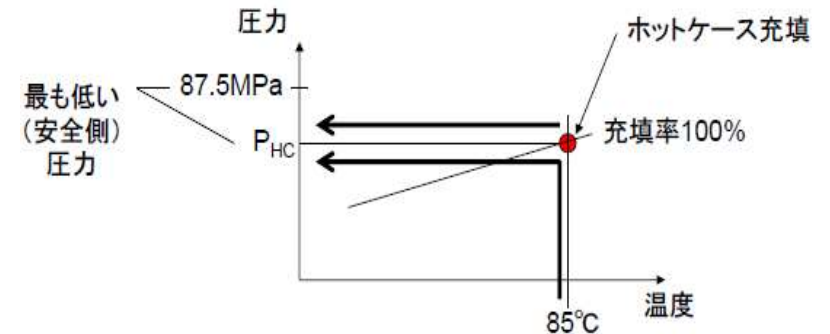
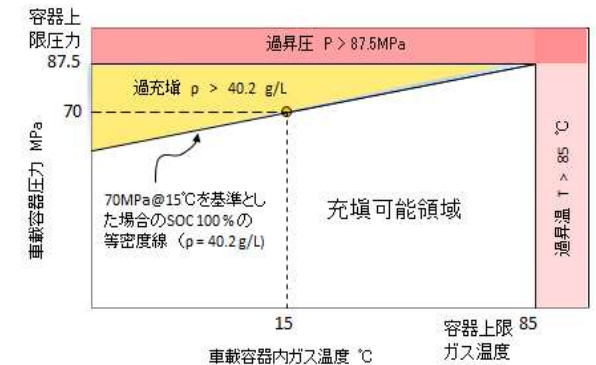
この充填可能領域を超えないように熱力学的充填モデルに基づき、ワーストケースを想定したシミュレーションを繰り返し、最適な値を求める

STEP①圧力上昇率

（ホットケース：最も温度が上がり得る条件）

STEP②目標圧力

（コールドケース：最も充填密度が高くなる条件）



3.表(ルックアップテーブル)方式による充填基準

～既存の充填プロトコル（表方式）における充填領域順守の基本的考え方

<充填例> NWP:70MPa、プレクール温度:-40°C、タンク容量:4-7kgにおいて、
外気温度:25°Cで充填前の初期圧力:10MPaの場合

圧力上昇率:18.5MPa/min

目標圧力:74.5MPa

初期圧力:10MPa

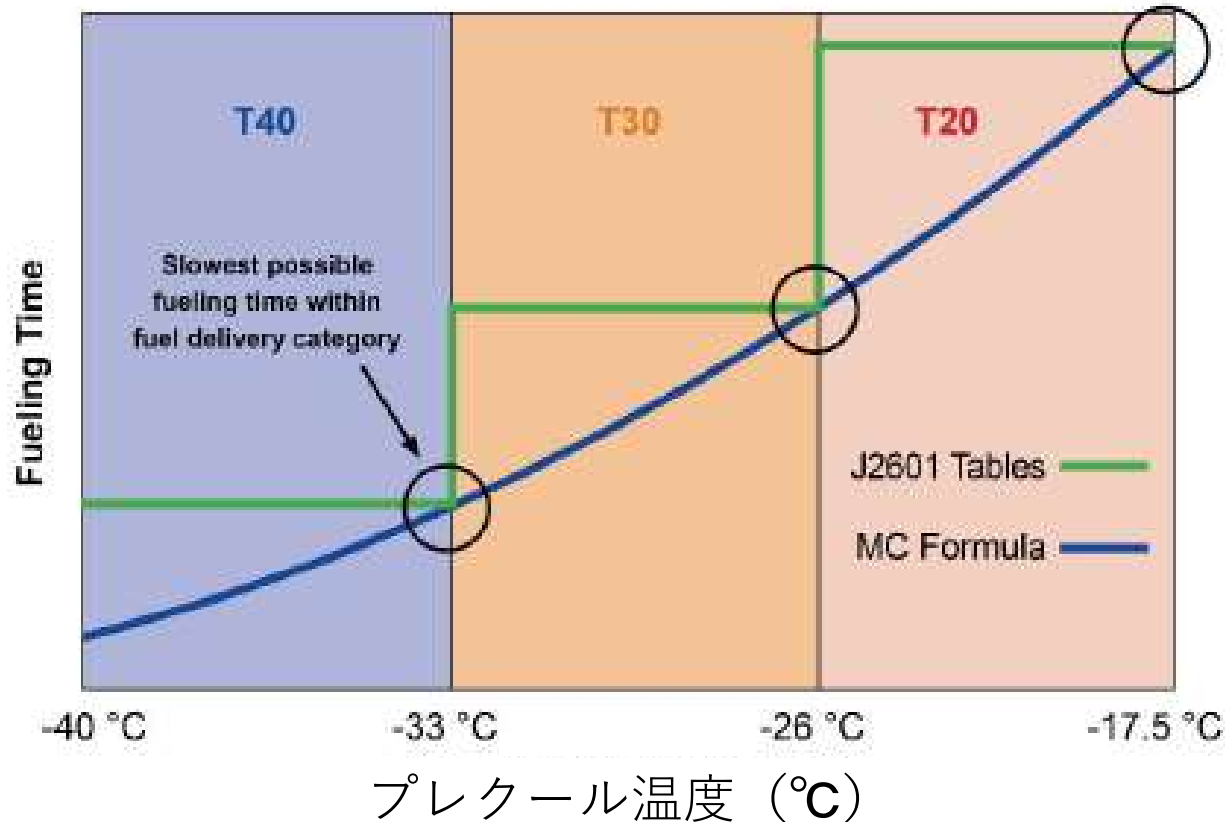
Lookup Table: 70MPa, -40 to -33°C, 4-7kg (included Step 2-1 SOC = 100%)

H70-T40 4-7kg		Average Pressure Ramp Rate, APRR (MPa/min)	Fueling Target Pressure, Ptarget (MPa)													
			Initial Tank Pressure, P0 (MPa)													
			0,5	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70		
Ambient Temperature, Tamb (°C)	> 50	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling
	50	5,1	77,8	77,6	77,3	76,9	76,6	76,2	75,7	75,3	74,7	73,9	72,8	no fueling		
	45	8,1	76,3	77,2	76,9	76,5	76,4	76,2	75,6	75,3	74,7	73,9	72,7	no fueling		
	40	11,5	73,2	75,6	76,8	76,3	76,4	76,2	75,6	75,3	74,6	73,9	72,7	no fueling		
	35	12,4	72,9	75,3	76,4	76,0	76,1	75,9	75,3	75,1	74,5	73,8	72,7	no fueling		
	30	15,2	70,6	73,9	75,8	75,2	75,4	75,1	74,3	74,1	73,3	72,4	71,3	no fueling		
	25	18,5	69,0	72,8	75,1	74,5	74,7	74,3	73,3	73,0	72,0	71,1	no fueling	no fueling		
	20	21,8	67,9	72,1	74,5	73,7	74,0	73,4	72,2	71,9	70,7	69,7	no fueling	no fueling		
	10	28,0	66,3	71,1	74,1	73,2	72,4	71,6	70,9	69,6	68,4	66,9	no fueling	no fueling		
	0	28,5	74,0	73,4	72,4	70,6	70,7	69,6	68,6	67,1	65,7	64,0	no fueling	no fueling		
	-10	28,5	73,4	72,9	71,9	70,0	70,0	68,4	66,5	64,4	62,9	61,2	no fueling	no fueling		
	-20	28,5	72,9	72,3	71,3	71,0	69,5	68,0	65,7	62,4	60,0	no fueling	no fueling	no fueling		
	-30	28,5	72,1	71,6	70,6	70,4	69,0	67,4	65,2	61,8	58,7	no fueling	no fueling	no fueling		
	-40	28,5	71,6	71,1	70,2	70,0	68,5	66,9	64,8	61,5	58,5	no fueling	no fueling	no fueling		
	< -40	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling		

外気温度:
25°C

4. MC-F方式による充填基準 ～MC-F方式検討の背景

供給燃料温度許容温度域



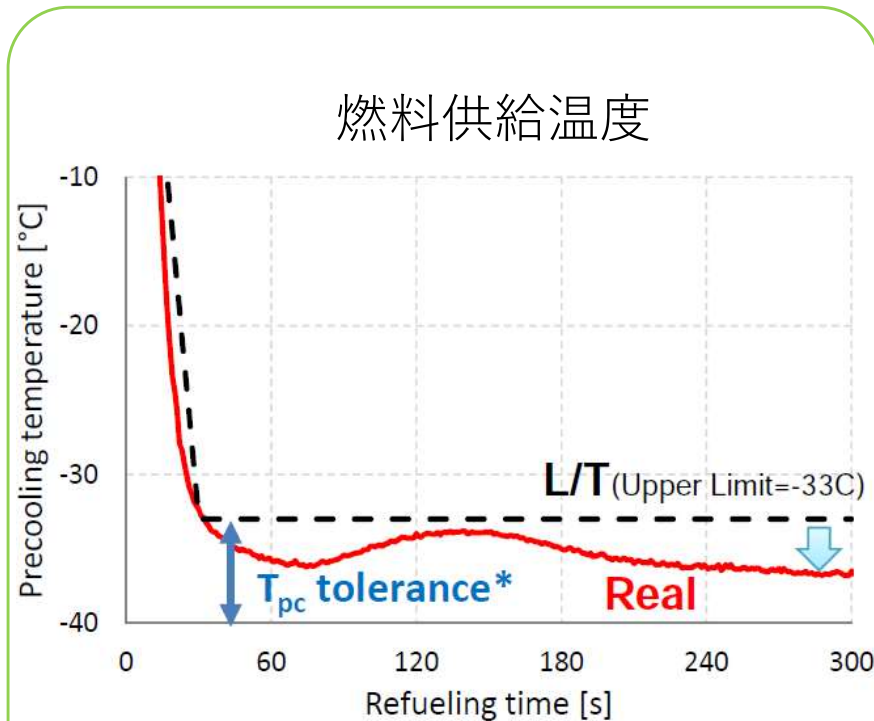
■ 表方式では供給燃料温度を3区分に分けているため、各区分の上限温度でシミュレーションを行い、安全な昇圧率を設定。このため、上限温度を除いて、余計に燃料を冷却することになる。

さらに温度区分を増やし、参照表を作成すれば、必要以上に燃料を冷却する必要はなくなるが参照表が増え、好ましくない。

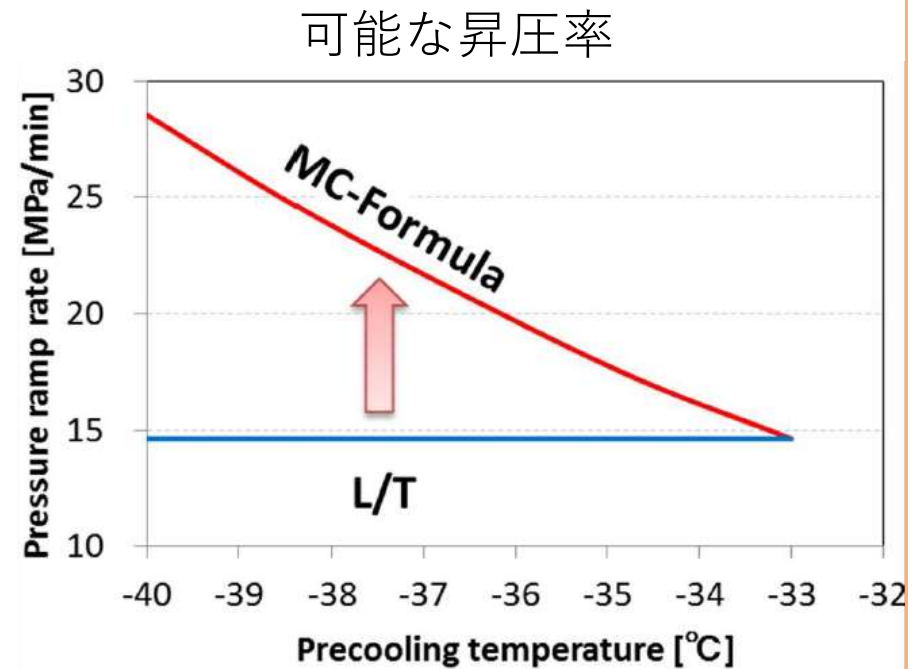
□ 表方式の供給燃料温度区分を無くして連続化したものが、MC-F方式で、表方式のと同じワーストケースシミュレーション結果から、供給燃料温度 (MAT) の関数として最小充填時間 (t_{final}) を求め、充填中変化する燃料供給温度から逐次昇圧率を設定するため、理想的な充填を行うことができる。

4. MC-F方式による充填基準 ～より速い充填の原理

■実際の燃料供給温度に対応した充填速度



実際の温度は
表方式の前提温度よりも低い



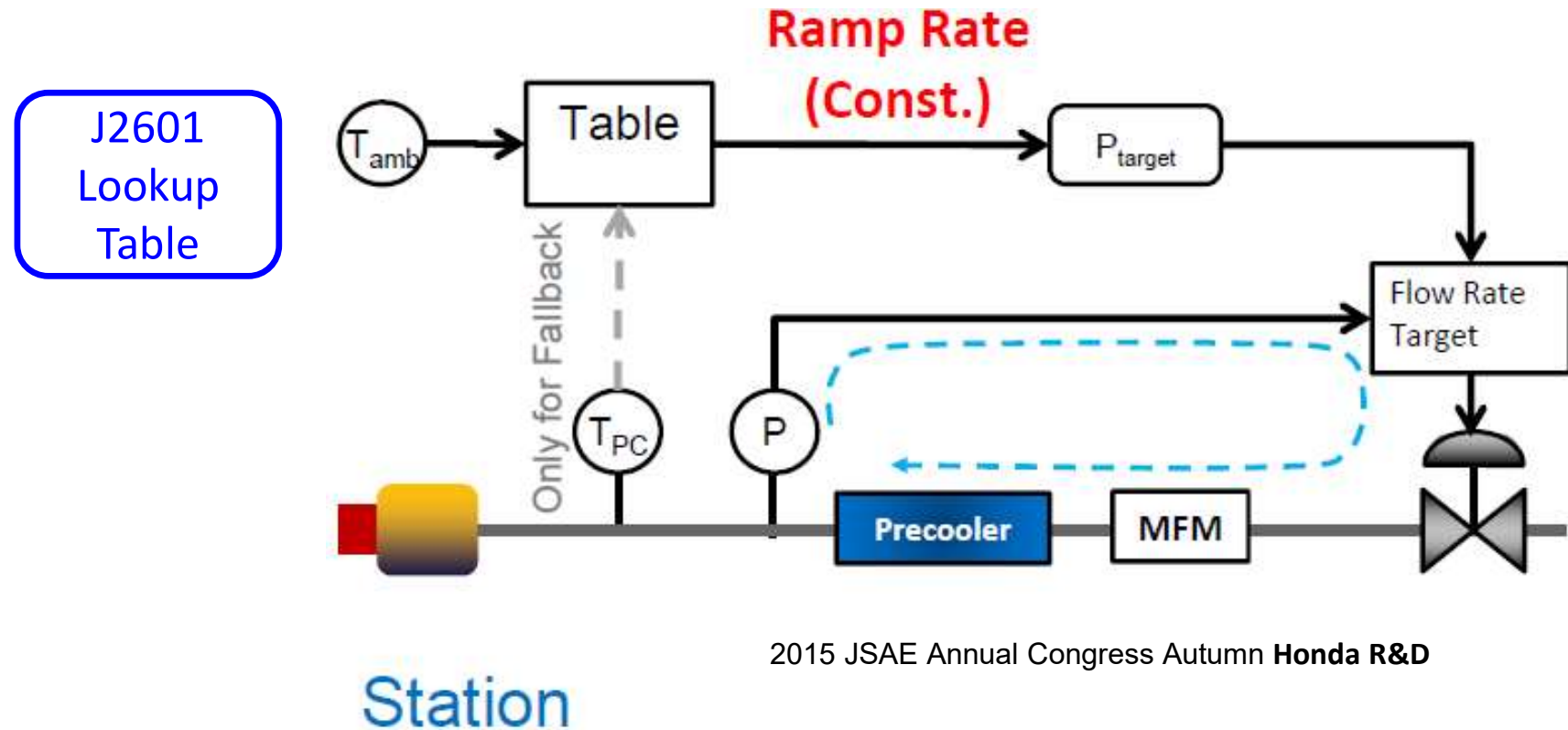
燃料供給温度は
充填速度に影響する

2015 JSAE Annual Congress Autumn Honda R&D

4. MC-F方式による充填基準 ～既存の方式との比較

表（ルックアップテーブル）方式

- 圧力上昇率は外気温度 (T_{amb}) に依存した一定値が用いられ、燃料供給温度は考慮されていない（唯一フォールバック充填が認められているのみ）。



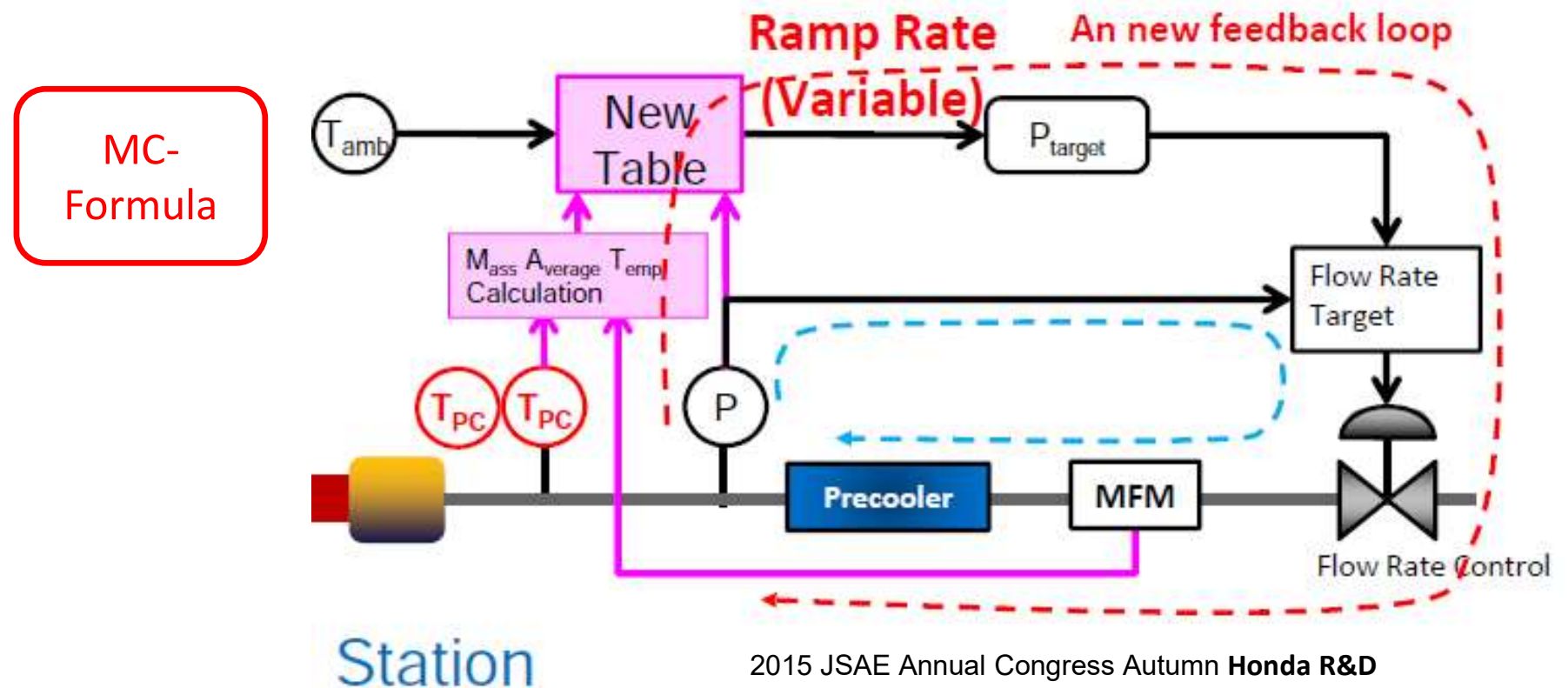
2015 JSAE Annual Congress Autumn Honda R&D

Station

4. MC-F方式による充填基準 ～既存の方式との比較

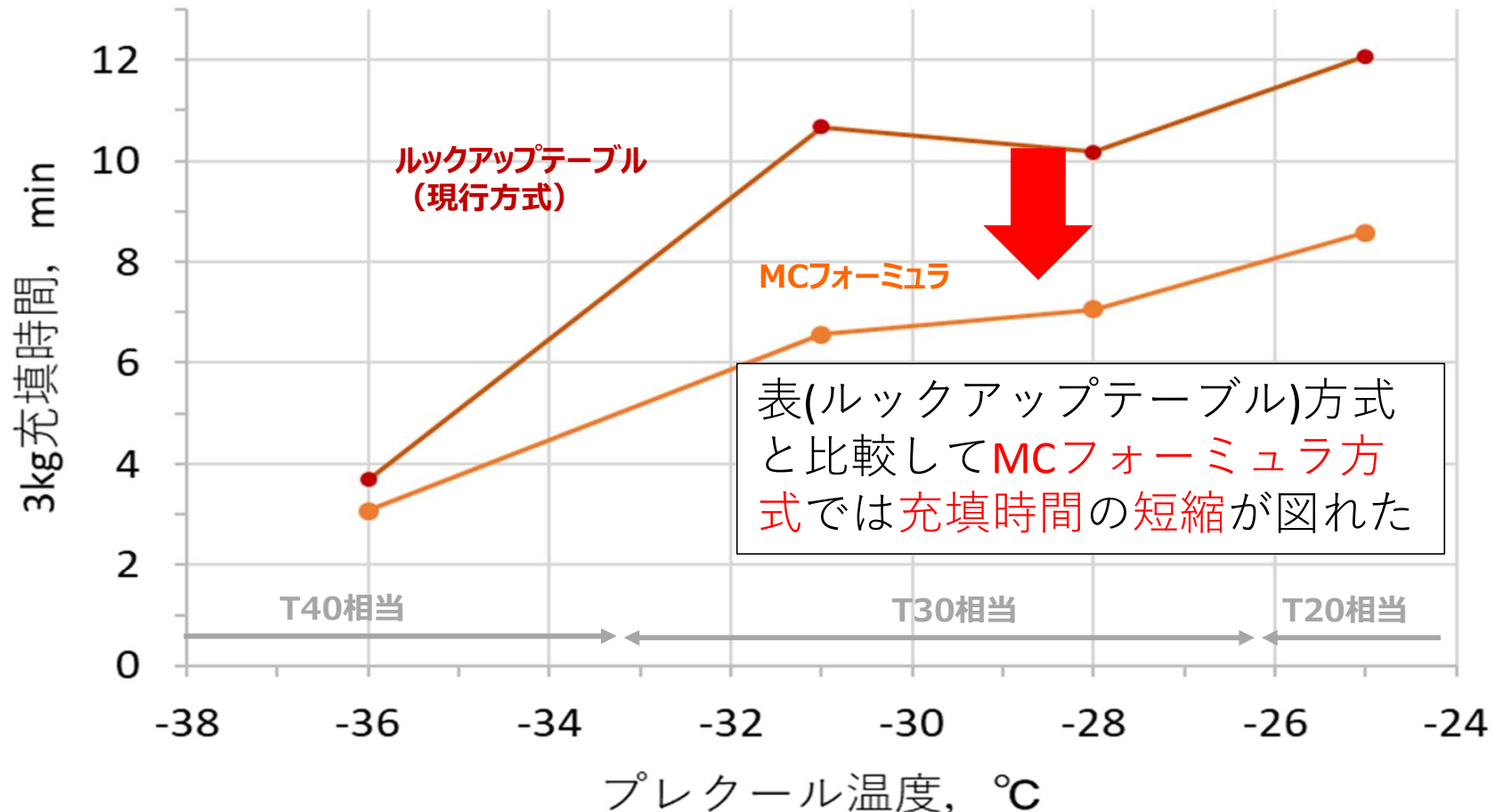
MC-F（フォーミュラ）方式

- 圧力上昇率は外気温度 (T_{amb})と燃料供給温度 (T_{pc})に依存



4. MC-F方式による充填基準 ～効果の検証

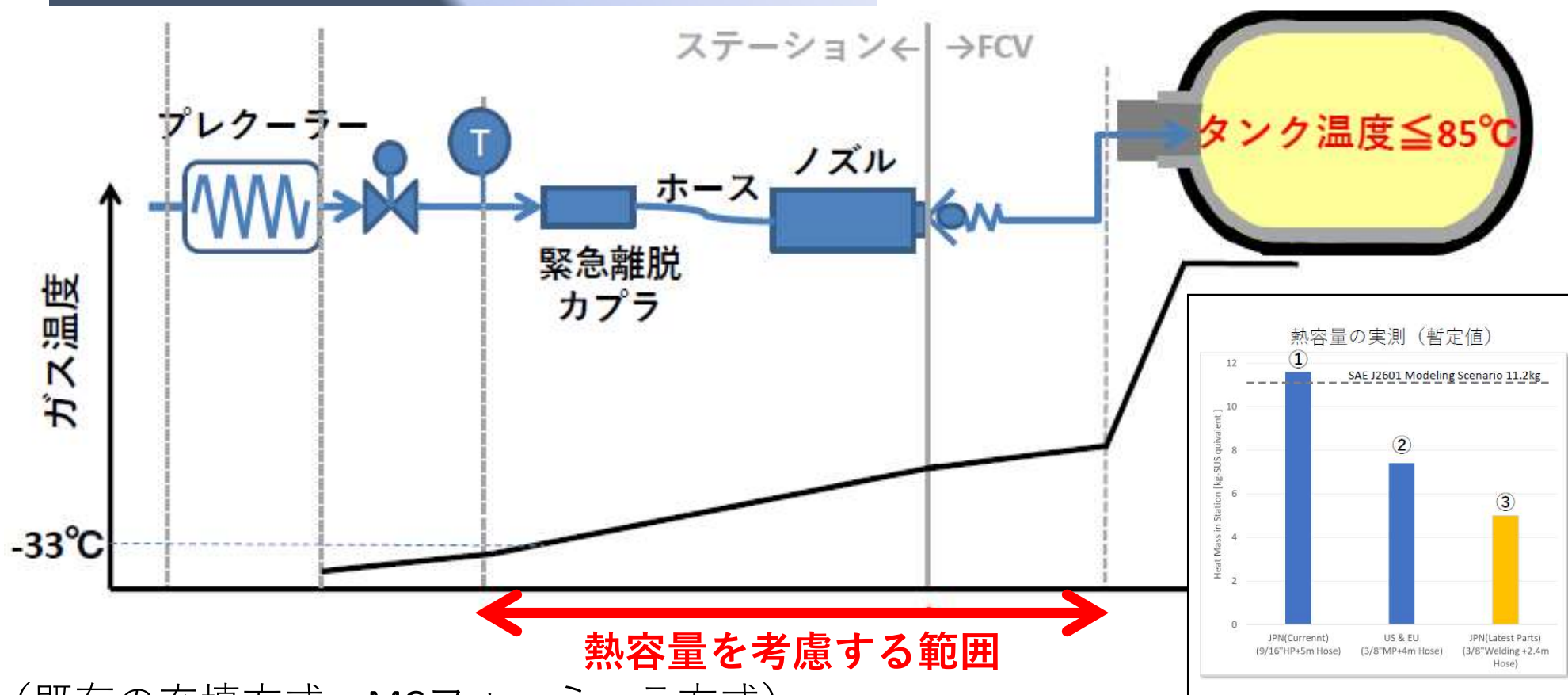
2018年NEDO事業(HY-01)でMCフォーミュラ方式の効果を検証
【米国試験の結果（10月）】



※3kg充填時間の計算方法：MIRAIに3kg充填する場合を想定し、23→82MPaの昇圧にかかる時間を各プロトコルの昇圧率から求めた。さらにスタートアップ時間（操作、初期圧チェック等）を一律0.5分加えた。

5. MC-MM方式による充填基準～MC-MM方式検討の背景

充填時の配管系を通過する際の熱容量の影響



(既存の充填方式・MCフォーミュラ方式)

実際の水素スタンドでは、配管等部品はSAE J2601の前提(5.58kJ/K=11.2kgのステンレス鋼相当)の半分程度の熱容量に過ぎず、安全に尤度を持たせているが、(MC-MM方式)

現実のスタンドの実態に合わせて実測して適切なサーマルマスで適切な充填条件へ測定方法は別途JPEC-S 0012 (2023)として規格化

5. MC-MM方式による充填基準

■ **制御マップ**は**初期圧 (P_{min})**と**有効配管熱容量率 (%)**に依存した2次元マップ

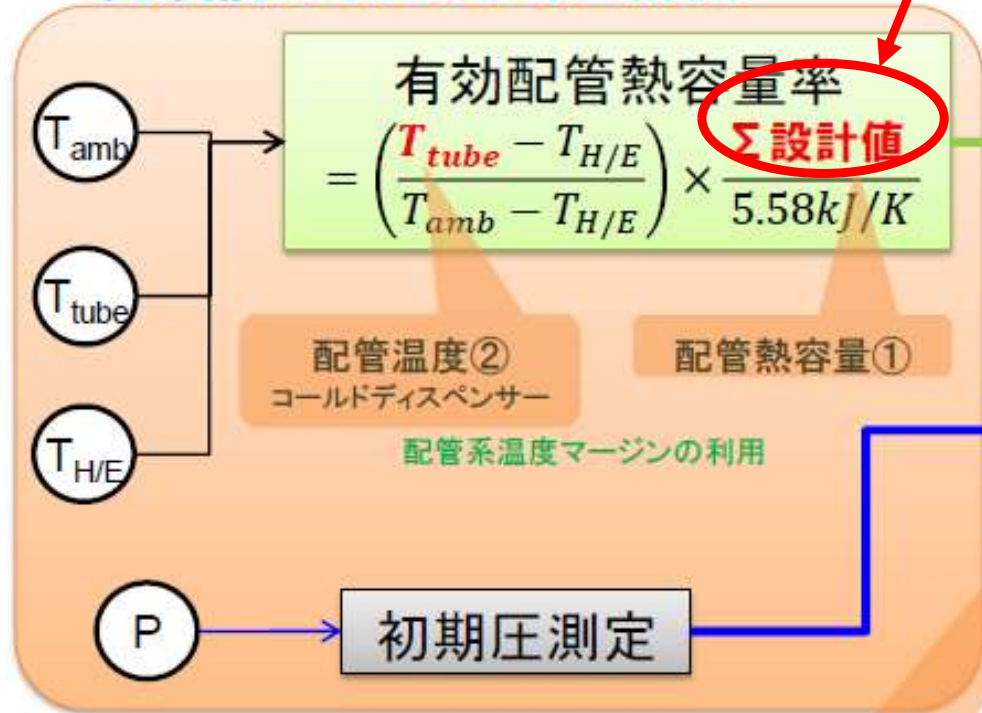
MC-MM

現実のスタンドの実態に合わせて実測

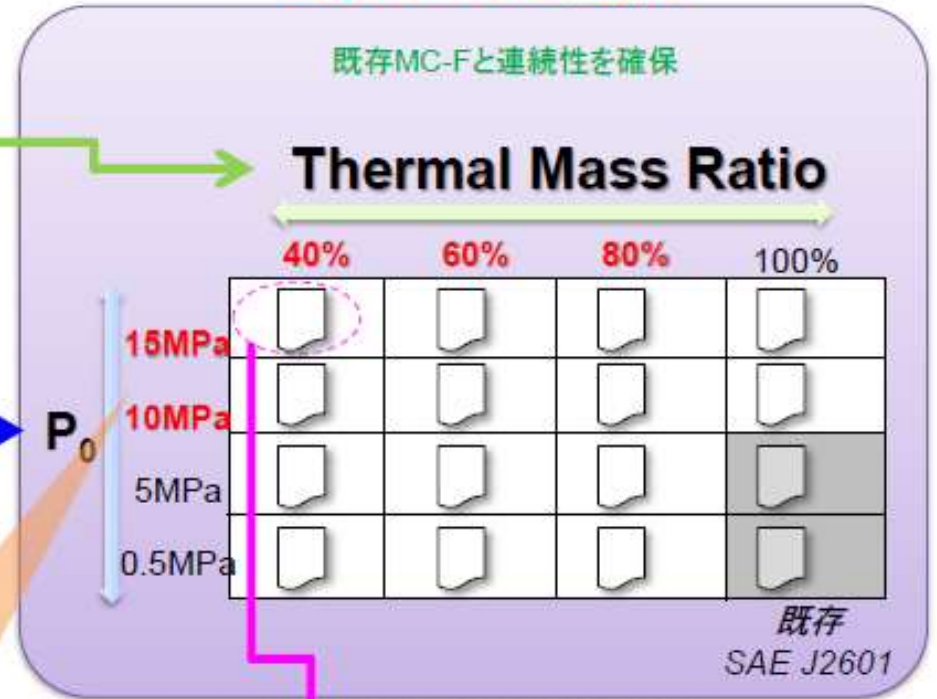
測定方法を規格化

※JPEC-S 0012 (2023)

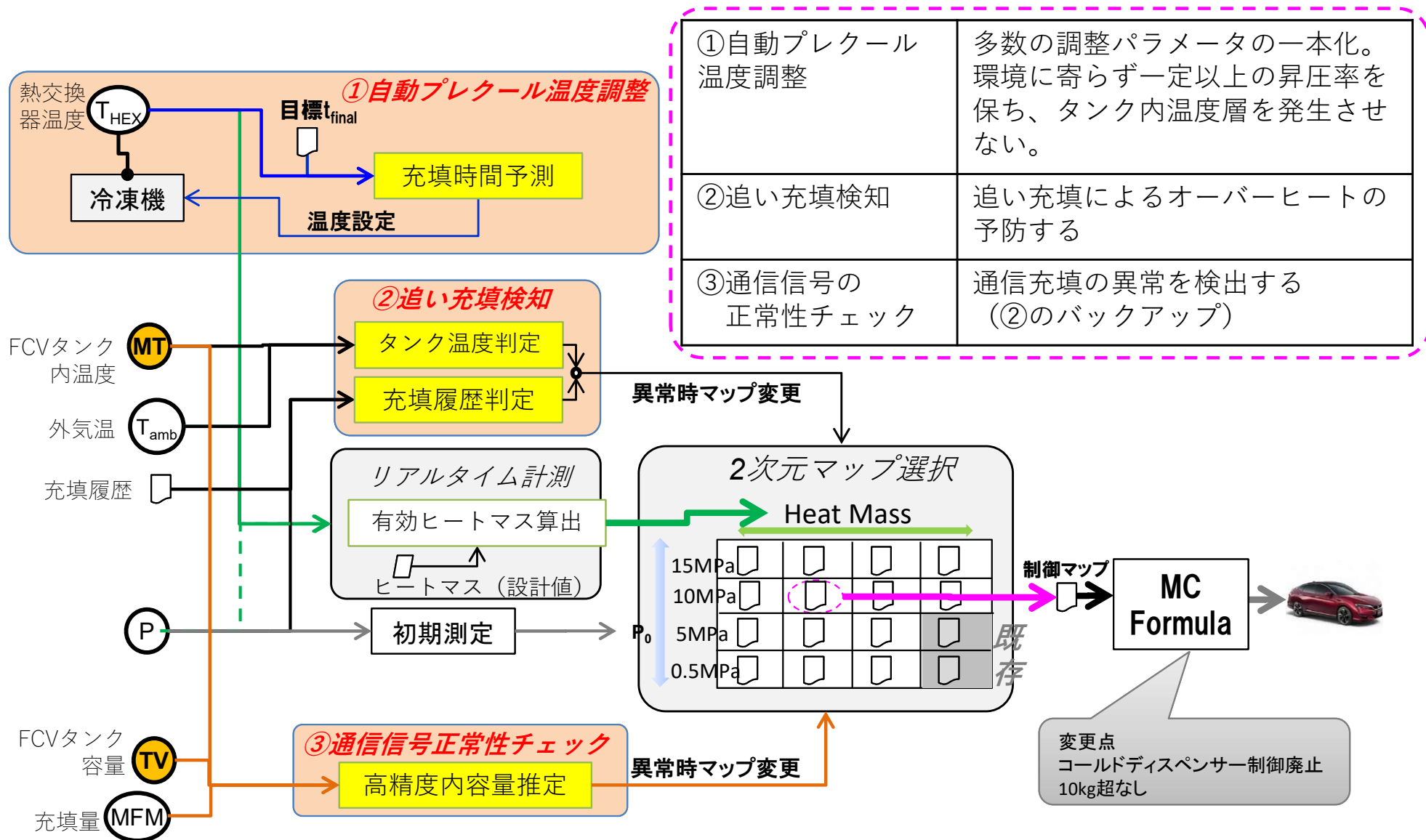
充填前のリアルタイム計測



2次元マップ選択



5. MC-MM方式による充填基準(MC Multi Map 制御全体像)



現実の水素スタンドの様々な状況に対応するため、3つの制御を追加

6.技術基準案の策定と業界自主基準JPEC-S制定まで

- 業界自主基準としてタイムリーにJPEC-Sを作成
FCVのトヨタMIRAIが市場投入されるのに合わせて
JPEC-S 0003 (2014) : 表 (ルックアップテーブル) 方式
FCバスSORAの市場投入に合わせて
JPEC-S 0003 (2016) : 付属書I (10kg超容器向け充填)
バス充填用プロトコルとして世界に先駆けて発行
充填速度の向上をめざして
JPEC-S 0003 (2021) : MCフォーミュラ方式を反映
更なる水素スタンドの普及のため、運営費削減をめざして
JPEC-S 0003 (2023) : MC-MM方式を反映予定
※JPEC-S 0012 (2023) : 上記手法で用いる熱容量測定法

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
「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（プロジェクトコード：P18011）
の結果得られたものです。

* New Energy and Industrial Technology Development Organization