

圧縮水素スタンドの
配管等の有効熱容量測定の
性能評価基準
JPEC-S 0012 (2023)
(圧縮水素スタンド関係)

令和 5 年 4 月 4 日 制定

一般財団法人石油エネルギー技術センター

まえがき

この技術基準は、一般財団法人日本自動車研究所（JARI）が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*1において作成した技術基準「圧縮水素スタンドの配管等の有効熱容量測定の性能評価基準」を JPEC「水素インフラに係る自主基準の制定・維持管理事業」において、2023 年 4 月 4 日に当センターの技術基準として制定したものである。*2

*1：「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」

*2：当センターにて規格化(JPEC-S)していただきたいという JARI からの依頼を受けたものの

免責条項

一般財団法人石油エネルギー技術センターは、この基準に関する第三者の知的財産権にかかわる確認について責任を負いません。この基準に関連した活動の結果発生する第三者の知的財産権の侵害に対し保証する責任は使用者にあることを認識し、この基準を使用しなければなりません。

一般財団法人石油エネルギー技術センターは、この基準にかかわる個別の設計、製品等の承認、評価又は保証に関する質問に対しては、説明する責任を負いません。

この基準に関する質問等について

1. 技術的内容に関わる質問

この基準を使用するにあたって、規定について不都合があり改正が必要と考えられる場合、追加の規定が必要と思われる場合、又は規定の解釈に関して不明な点がある場合には、以下の方法に従って技術的質問状を提出してください。技術的質問状は、一般財団法人石油エネルギー技術センターの公正性、公平性、公開性を原則とする技術基準策定プロセスを用いて運営される委員会又は分科会（以下、「委員会等」という。）により検討された後、書面にて回答されます。

1.1 技術的質問状の作成方法

1.1.1 必要事項

技術的質問状には、以下の事項について明確に示してください。

a) 質問の目的

下記の中の一つを明示してください。

- 1) 現状の基準の規定の改正
- 2) 新しい規定の追加
- 3) 解釈

b) 背景の情報

一般財団法人石油エネルギー技術センター及びその委員会等が、質問の内容について正しく理解するために必要な情報を提供してください。また、質問の対象となっている基準の名称、発行年、該当箇所を明示してください。

c) 補足説明の必要性

技術的質問状を提出する人は、その内容に関してさらに詳細な説明をするため、又は委員会等の委員から受けるであろう質問に関しての説明を行うため、委員会等の会議に出席することができます。

当該説明の必要がある場合には、その旨明記してください。

1.1.2 書式

a) 基準の規定の改正又は追加の場合

基準の改正又は追加に関する質問を提出する場合には、下記の項目を記してください。

1) 改正又は追加の提案

改正又は追加の提案を必要とする基準の該当規定を明確にするため、該当部分のコピーに手書き等で明示するなど、できるだけわかりやすく示したものを添付してください。

2) 必要性の概要説明

改正又は追加の必要性を簡単に説明してください。

3) 必要性の背景の情報

一般財団法人石油エネルギー技術センター及びその委員会等が提案された改正又は追加について、十分に評価し検討できるように、その提案の根拠となる技術的なデータ等の背景情報について提供してください。

b) 解釈

解釈に関する質問を提出する場合には、下記の事項を記してください。

1) 質問

解釈を必要とする規定について明確にし、できるだけ簡潔な表現を用いて質問の提出者の当該規定に関する解釈が正しいか又は正しくないかを尋ねる形式の文章により提出してください。

2) 回答案

解釈に関する質問を提出する人が、上記 1) に対する回答案がある場合には、“はい”又は“いいえ”に加えて簡単な説明又はただし書きを付した形式の回答案を付してください。

3) 必要性の背景の情報

一般財団法人石油エネルギー技術センター及びその委員会等が提案された解釈に関する質問について、十分に評価し検討できるように、その提案の背景を示してください。

1.1.3 提出形式

技術的質問状は原則ワープロ等で作成し、必要に応じて明瞭な手書きの書類等を添付してください。技術的質問状には、質問者の名前、所属先名称、住所、電話番号、FAX 番号、電子メールアドレスを明記し、下記宛に電子メール、FAX 又は郵送により送付してください。なお、提出された情報（個人情報も含む）は、一般財団法人石油エネルギー技術センター及びその委員会等における必要な作業を行うために利用され、原則的に一般に公開する委員会等において公表されることがあります。また、一般財団法人石油エネルギー技術センター及びその委員会等から質問の内容について確認のための問い合わせを行う場合があります。

2. 技術的内容に関わる質問以外の質問

技術的内容に関わる質問以外の質問については、一般財団法人石油エネルギー技術センターの担当が答えいたしますので、電子メール、FAX 又は郵送により下記宛にお問い合わせください。

3. 問い合わせ先及び技術的質問状の送付先

この基準に関するご質問は下記までお問い合わせください。また、技術的質問状については書面で下記宛にお送り下さい。

記

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 自主基準担当宛

〒105-0011 東京都港区芝公園 2-11-1 住友不動産芝公園ビル 5F

Email : jpecstandard@pecj.or.jp

TEL : 03-5402-8506

FAX : 03-5402-8527

目次

1. 本規格の背景と目的	1
2. 適用範囲	1
3. 用語の定義	1
3. 1 構成部品類	1
3. 2 試験流体	1
3. 3 外部由来の有効熱量	1
3. 4 部品等の有効熱容量	2
3. 5 部品等の S U S 換算の有効質量	2
3. 6 継手等の質量	2
3. 7 継手等の有効質量	2
3. 8 部品の S U S 換算の有効質量	2
3. 9 Joule-Thomson 係数	2
3. 10 環境温度（初期温度）	2
3. 11 入口温度	2
3. 12 出口温度	3
3. 13 出口温度の補正值	3
3. 14 定常出口温度	3
3. 15 定常出口温度の補正值	3
3. 16 部品表面の温度	3
3. 17 入口圧力	3
3. 18 出口圧力	3
3. 19 質量流量	3
3. 20 試験流体の低圧比熱	3
3. 21 S U S の比熱	3
3. 22 試験流体に移動する外部由来の熱量	4
3. 23 試験流体に移動する部品等の熱量	4
3. 24 試験流体に移動する熱量	4
3. 25 試験流体に移動する外部由来の総熱量	4
3. 26 試験流体に移動する部品等の総熱量	4
3. 27 試験流体に移動する総熱量	4
4. 記号及び単位	5
5. 試験装置	6

6. 試験手順	6
6. 1 質量の計測	6
6. 2 模擬充填	7
6. 3 評価値の計算	7
7. 試験成績の表示	10
8. 規格適合表示	10
付録 A 水素の Joule-Thomson 係数の近似式	11
付録 B 水素の定圧比熱の近似式	11
付録 C 試験成績書の様式例	12
参考文献	13

1 本規格の背景と目的

水素社会の実現に向けて、圧縮水素スタンドの低コスト化が重要な課題となっている。従来の水素充填プロトコルは、圧縮水素スタンドの構成部品類の熱容量等をワーストケース想定として作成されている。従って、ワーストケースより熱容量の小さい構成部品類を使用した圧縮水素スタンドでは、充填時の水素温度の上昇は抑制される。これは、過剰なプレクールを行っていることを意味しており、この点を適切にすることで、充填時間を延長することなくプレクール温度の緩和（より高い温度での水素供給）が可能である。プレクール温度の緩和は、冷凍機の導入費用および使用時の電気代の低減を可能とし、圧縮水素スタンドの低コスト化につながるものである。

プレクール温度の緩和を実現するには、圧縮水素スタンドの構成部品類の熱容量を正確に把握する必要がある。構成部品類の性能に基づくプレクール温度の緩和を考慮した水素充填プロトコルを使用することで、適切な水素充填が実現可能となる。

本規格では、プレクール温度の緩和を実現するため、圧縮水素スタンドに用いられる構成部品類の熱容量を正確に求めることを目的とし、構成部品類の熱容量に関する性能評価の試験法を定める。

2 適用範囲

この規格で定めている性能評価の試験法は、定置式・移動式、第一種・第二種の圧縮水素スタンドの充填ホースとディスペンサーの筐体との接続部近傍に設置した供給燃料温度センサー以降に設置される構成部品類に適用される。

3 用語の定義

3.1 構成部品類

2 適用範囲で定める構成部品類は充填ホース、緊急離脱カプラー、充填ノズル、配管等とする。充填ノズルは、車側のレセプタクルに接続することが必須であるため、充填ノズルとレセプタクルは一体として扱う。

3.2 試験流体

評価試験に使用する流体で、水素を想定している。水素の Joule-Thomson 係数と定圧比熱を付録 A と B にそれぞれ示す。

3.3 外部由来の有効熱量

評価試験時に構成部品類が外部から受ける熱のうち、実際に試験流体の温度上昇に寄与した熱量で、部品の表面積と熱伝達率の積で表せる物理量の有効値。計測値から計算で求め

られる。

3.4 部品等の有効熱容量

温度センサー間に設置する部品等（評価対象の構成部品類およびその他の継手等）が初期状態で保有していた熱のうち、評価試験時に実際に試験流体の温度上昇に寄与した熱容量で、部品等の質量と比熱の積で表せる物理量の有効値。計測値から計算で求められる。

3.5 部品等の SUS 換算の有効質量

3.4 で示す部品等の有効熱容量を 3.21 で示す SUS の比熱で除した値。

3.6 継手等の質量

温度センサー間に設置する評価対象の構成部品類以外の継手等の合計質量。継手等は SUS 製とし、なるべく軽量で短くして影響を小さくする。試験流体に直接暴露しない付属物は除く。なお、3.1 で示すように車側のレセプタクルは継手等を含めない。6.1 で示す作業によって求められる。

3.7 継手等の有効質量

3.6 で示す継手等の質量の有効値で、継手等の質量の 70%とする。

3.8 部品の SUS 換算の有効質量

3.5 で示す部品等の SUS 換算の有効質量から 3.7 で示す継手等の有効質量を引いた値で、本規格の評価値である。

3.9 Joule-Thomson 係数

気体の膨張時に温度が変化する現象を Joule-Thomson 効果と呼ぶ。一般的に、Joule-Thomson 効果による温度変化 ΔT と圧力変化 Δp には比例関係があり、その比例定数を Joule-Thomson 係数 μ_{JT} と呼ぶ。Joule-Thomson 係数 μ_{JT} は、温度と圧力の近似式で求められる。付録 A に水素の Joule-Thomson 係数の近似式を示す。

$$\Delta T \cong \mu_{JT} \Delta p \quad (1)$$

3.10 環境温度（初期温度）

評価試験時の外気温で、温度センサー間に設置する評価対象の構成部品類およびその他の継手等の初期温度とする。構成部品類の近傍に設置した温度センサーにより測定する。

3.14 で示す定常出口温度よりも十分高い温度とする。

3.11 入口温度

評価対象の構成部品類に対する上流側の試験流体の温度で、温度センサーにより測定する。

3.12 出口温度

評価対象の構成部品類に対する下流側の試験流体の温度で、温度センサーにより測定する。

3.13 出口温度の補正值

Joule-Thomson 効果による温度変化を考慮して、試験流体の 3.12 で示す出口温度を補正した値。

3.14 定常出口温度

3.12 で示す出口温度が温度平衡の定常状態に達した時の 30 秒間の平均温度。定常状態の判断基準は、3.11 で示す入口温度と 3.13 で示す出口温度の補正值の差の 30 秒間の変動幅が 0.3°C 以下とする。

3.15 定常出口温度の補正值

Joule-Thomson 効果による温度変化を考慮して、3.14 で示す定常出口温度を補正した値。

3.16 部品表面の温度

3.11 で示す入口温度と 3.12 で示す出口温度の平均値。部品表面を代表する温度を計測することが難しいため、平均値で近似する。

3.17 入口圧力

評価対象の構成部品類に対する上流側の試験流体の圧力で、圧力センサーにより測定する。

3.18 出口圧力

評価対象の構成部品類に対する下流側の試験流体の圧力で、圧力センサーにより測定する。

3.19 質量流量

試験流体が単位時間あたりに流れる質量で、流量計により測定する。

3.20 試験流体の定圧比熱

単位質量あたりの試験流体が、1K 上昇するために必要な熱量。一般的に温度と圧力の近似式で求められる。付録 B に水素の定圧比熱の近似式を示す。気体では定圧比熱と定容比熱が示される事が多いが、この評価試験では収縮膨張が制限される定容状態ではないので定圧比熱を用いる。

3.21 SUS の比熱

3.5 で示す部品等の SUS 換算の有効質量を求める時に使用する SUS の比熱は、 $500\text{ J}/(\text{kg K})$ の一定値とする。

3.22 試験流体に移動する外部由来の熱量

評価試験時に構成部品類が外部から受ける熱のうち、実際に試験流体の温度上昇に寄与した単位時間あたりの熱量。計測値から計算で求められる。

3.23 試験流体に移動する部品等の熱量

温度センサー間に設置する評価対象の構成部品類およびその他の継手等が初期状態で保有していた熱のうち、評価試験時に実際に試験流体の温度上昇に寄与した単位時間あたりの熱量。計測値から計算で求められる。

3.24 試験流体に移動する熱量

評価試験時に試験流体が受ける単位時間あたりの熱量。試験流体に移動する外部由来の熱量と試験流体に移動する部品等の熱量の和。

3.25 試験流体に移動する外部由来の総熱量

評価試験時に構成部品類が外部から受ける熱のうち、実際に試験流体の温度上昇に寄与した総熱量。3.22 で示す試験流体に移動する外部由来の熱量を時間積分した値。

3.26 試験流体に移動する部品等の総熱量

温度センサー間に設置する評価対象の構成部品類およびその他の継手等が初期状態で保有していた熱のうち、評価試験時に実際に試験流体の温度上昇に寄与した総熱量。3.23 で示す試験流体に移動する部品等の熱量を時間積分した値。

3.27 試験流体に移動する総熱量

評価試験時に試験流体が受ける総熱量。3.25 で示す試験流体に移動する外部由来の総熱量と 3.26 で示す試験流体に移動する部品等の総熱量の和。

4 記号及び単位

この規格で使用する記号及び単位を表 1 に示す。

表 1 記号及び単位

参照箇条番号	名称	記号	SI 単位
3.3	外部由来の有効熱量	Ah	W/K
3.4	部品等の有効熱容量	MC	J/K
3.5	部品等の SUS 換算の有効質量	M_{SUS}	kg
3.6	継手等の質量	M_0	kg
3.7	継手等の有効質量	M_{0eff}	kg
3.8	部品の SUS 換算の有効質量	M_{part}	kg
3.9	Joule-Thomson 係数	μ_{JT}	K/Pa
3.10	環境温度（初期温度）	T_{amb}	K
3.11	入口温度	T_{in}	K
3.12	出口温度	T_{out}	K
3.13	出口温度の補正值	T'_{out}	K
3.14	定常出口温度	T_{eq}	K
3.15	定常出口温度の補正值	T'_{eq}	K
3.16	部品表面の温度	T_s	K
3.17	入口圧力	p_{in}	Pa
3.18	出口圧力	p_{out}	Pa
3.19	質量流量	$\dot{m}$	kg/s
3.20	試験流体の定圧比熱	C_g	J/(kg K)
3.21	SUS の比熱	C_{SUS}	J/(kg K)
3.22	試験流体に移動する外部由来の熱量	q_{out}	W
3.23	試験流体に移動する部品等の熱量	q_{part}	W
3.24	試験流体に移動する熱量	q_{in}	W
3.25	試験流体に移動する外部由来の総熱量	Q_{out}	J
3.26	試験流体に移動する部品等の総熱量	Q_{part}	J
3.27	試験流体に移動する総熱量	Q_{in}	J

5 試験装置

概要を図 1 に示す。測定対象の構成部品類の前後に温度センサーと圧力センサーを設置する。構成部品類の前後の継手等は SUS 製とし、表面は断熱材で覆って外部からの熱の影響を小さくする。流量計はプレクーラの上流、または出口の温度センサーと圧力センサーの後方に設置する。構成部品類の近傍に外気温を測定する温度センサーを設置する。空気の流れが構成部品類への熱伝達に大きく影響を与えるため、風の影響が少なくなるような措置をとる。

温度センサーの許容誤差は 0.15°C (白金測温抵抗体のクラス A (JIS C1604:2013))、圧力センサーの許容誤差は 0.5MPa 以下とする。流量計の精度は 2% 以下とする。

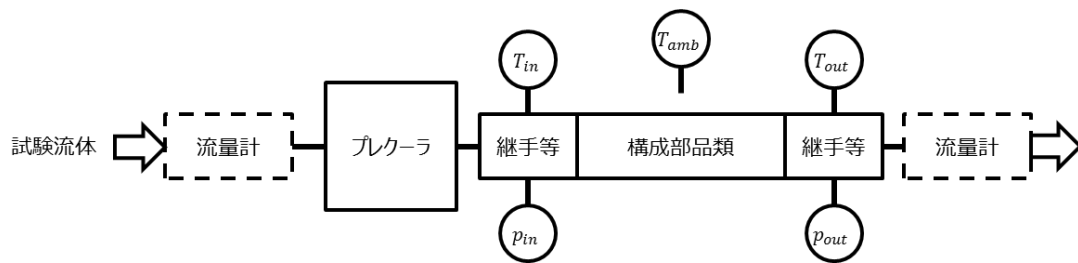


図 1 試験装置の概要

6 試験手順

評価値である外部由来の有効熱量 Ah と部品の SUS 換算の有効質量 M_{part} を求めるための試験および計算の手順を示す。最終の評価値は、3 回以上の試験で得られた値を統計的に処理したものとする。

6.1 質量の計測

質量の計測の精度は 1g 以下とする。

温度センサー間に設置されている測定対象の構成部品類以外の継手等の質量 M_0 を計測する。温度センサーの継手は、接続位置を考慮して継手の質量を調整する。例えば、継手の中央部に温度センサーが接続する場合は、半分の値とする。 M_0 から継手等の有効質量 M_{0eff} を求める。なるべく継手等は少なくする。

$$M_{0eff} = 0.7M_0 \quad (2)$$

なお、充填ノズルの試験では、車側のレセプタクルに接続することが必須であるため、レセプタクルの質量は考慮せず充填ノズルとレセプタクルを一体として扱う。

6.2 模擬充填

環境温度を記録し、試験流体を流して模擬充填を開始する。プレクールは、定常状態で環境温度との差が 30°C 以上、かつ定常状態の温度が -10°C 以下になるように実施する。また、充填開始直後の 3 秒間で 40°C 以上低下しないように調整（例えば、入口温度センサー上流側に余分な配管や継手等を設置）する。流量は、充填開始後 5 秒以内に 900g/min 以上に到達するように制御し、出口温度が定常状態に達するまで平均 900g/min 以上の一定値（ $\pm 100\text{g/min}$ ）に保持する。流量、温度、圧力の変化を計測（ 1Hz 以上）する。出口温度が、定常温度に達するまで模擬充填を継続する。

6.3 評価値の計算

模擬充填では、温度センサー間の部品等が保有していた熱エネルギーが試験流体に移動することで、プレクールされた試験流体の温度は上昇する。また、外部環境からの熱エネルギーが部品等を経由して試験流体に移動することでも、試験流体の温度は上昇する。一方、試験流体が構成部品類を通過するとき、Joule-Thomson 効果による温度変化が生じる。これらの 3 つの影響を考慮しなければならない。

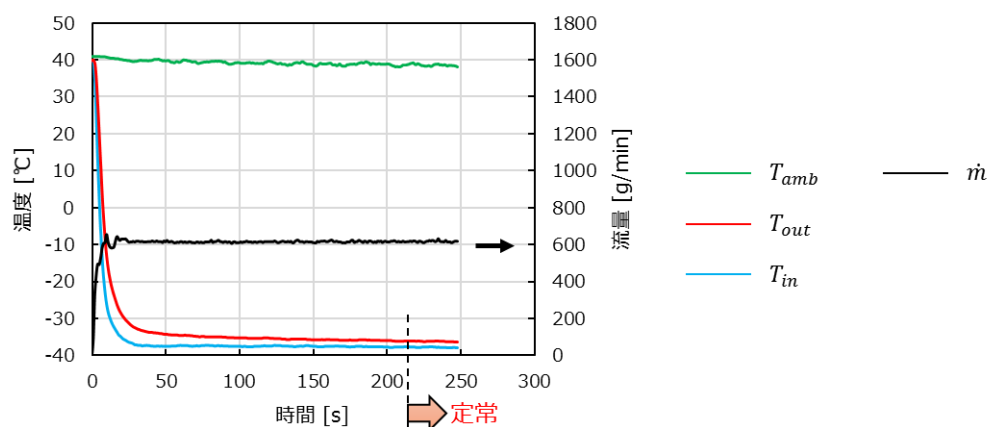


図 2 測定結果サンプル

図 2 に模擬充填で得られた測定結果のサンプルを示す。模擬充填の開始とともに T_{in} と T_{out} は環境温度から低下し、210 秒付近で T_{out} は定常状態に達したと判断できる。この定常状態では、部品等の温度も定常に達しており、試験流体の温度上昇は外部環境からの熱エネルギーによるものとみなせる。図 1 の温度センサー間の継手等は断熱材で覆っていることから、継手等への外部環境からの熱エネルギーの移動は無視することができる。

構成部品類を経由して試験流体に移動する外部由来の熱量 q_{out} は、以下の式で示される。 q_{out} は環境温度と構成部品類の表面温度の差に比例するが、構成部品類には複雑な形状のものもあり表面温度を計測して定義することが難しいこともあるため、ここでは試験流体の平均温度を表面温度とする。

$$q_{out} = Ah(T_{amb} - T_s) \quad (3)$$

定常状態で試験流体が受ける熱は、Joule-Thomson 効果を考慮した定常出口温度の補正値 T'_{eq} を用いて以下の式で示される。

$$q_{in} = \dot{m}C_g(T'_{eq} - T_{in}) \quad (4)$$

定常状態では、 $q_{out} = q_{in}$ が成り立つため、外部由来の有効熱量 Ah は、式(3)と(4)から以下の式で示される。

$$Ah = \dot{m}C_g \frac{T'_{eq} - T_{in}}{T_{amb} - T_s} \quad (5)$$

ここで、 Ah は定常状態の 30 秒平均として式(6)で求める。 t_{eq} は定常状態の始まる時刻を示す。

$$Ah = \frac{1}{30} \sum_{n=t_{eq}}^{t_{eq}+30} \dot{m}_n C_{g,n} \frac{T'_{eq,n} - T_{in,n}}{T_{amb,n} - T_{s,n}} \quad (6)$$

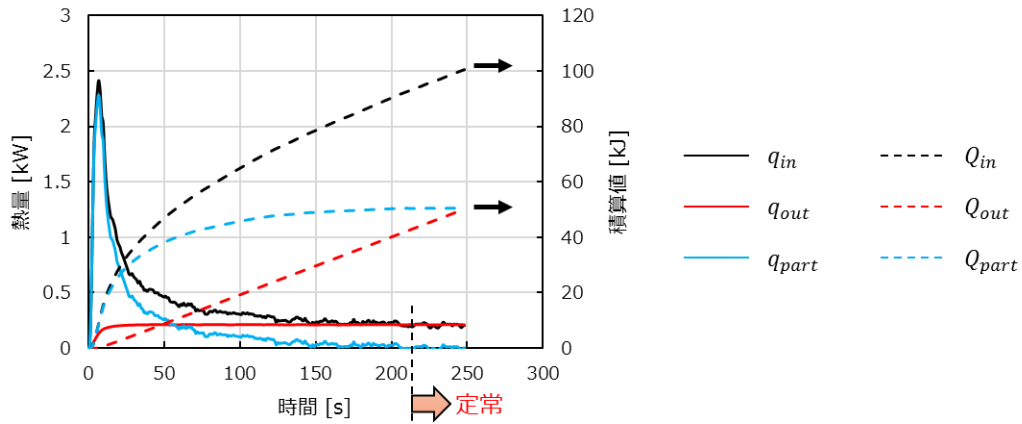


図 3 計算結果サンプル

図 2 の計測値から計算で求められる各種の値を図 3 に示す。式(6)で求められた外部由来の有効熱量 Ah を式(3)に代入することで、試験流体に移動する外部由来の熱量 q_{out} が求まる。試験流体に移動する熱量 q_{in} は、式(7)で示される。定常状態では $T'_{out} = T'_{eq}$ が成り立つので式(7)は式(4)となる。

$$q_{in} = \dot{m}C_g(T'_{out} - T_{in}) \quad (7)$$

試験流体に移動する部品等の熱量 q_{part} は、式(8)で示される。

$$q_{part} = q_{in} - q_{out} \quad (8)$$

試験流体に移動する外部由来の総熱量 Q_{out} 、試験流体に移動する Q_{part} 、試験流体に移動する総熱量 Q_{in} は、それぞれ q_{out} 、 q_{part} 、 q_{in} の時間積分値を示すので、式(9)となる。

$$Q_{part} = Q_{in} - Q_{out} \quad (9)$$

Q_{in} と Q_{out} は、式(7)と式(3)を時間積分することで、それぞれ式(10)と式(11)から求まる。

$$Q_{in} = \sum_{n=0}^{t_{eq}+30} \dot{m}_n C_{g,n} (T'_{out,n} - T_{in,n}) \quad (10)$$

$$Q_{out} = \sum_{n=0}^{t_{eq}+30} A h_n (T_{amb,n} - T_{s,n}) \quad (11)$$

定常状態では図 3 に示すように $q_{out} = q_{in}$ となるため、式(9)の Q_{part} は一定値に収束する。従って、部品等の有効熱容量 MC は以下の式から、定常状態で収束した Q_{part} を用いて求められる。

$$MC = \frac{Q_{part}}{T_{amb} - T'_{part}} \quad (12)$$

$$T'_{part} = \frac{T_{in} + T_{eq}}{2}$$

ここで、 T'_{part} は、部品の定常状態の温度であり、定常状態の入口温度と定常出口温度の補正值の平均値とする。 T_{amb} は、全測定値の平均とする。

SUS の比熱 c_{SUS} を用いて、以下の式で部品等の SUS 換算の有効質量 M_{SUS} を求める。

$$M_{SUS} = \frac{MC}{c_{SUS}} \quad (13)$$

M_{SUS} から式(2)で示される継手等の有効質量 M_{0eff} を引くことで、部品の SUS 換算の有効質量 M_{part} を求める。

$$M_{part} = M_{SUS} - M_{0eff} \quad (14)$$

M_{part} は定常状態で一定の値に収束する傾向を示すが、測定の不確かさが含まれる。測定

の不確かさを考慮するため、最終の評価値は N 回の試験で得られた M_{part} を統計処理した結果から求める。 N は、 M_{part} が正規分布かどうかを確認するのに十分な回数として 3 回以上とする。各回の試験結果において、定常状態の時間範囲の位置を変更することで M_{part} の分布が得られ、これらを N 回分合計した分布が正規分布に近似できることを確認し、正規分布の平均値 μ に標準偏差 σ の 2 倍を足した $\mu + 2\sigma$ を最終の評価値とする。正規分布の特徴から M_{part} は、 $\mu + 2\sigma$ 以下の範囲に約 97.8%の確率で含まれる。約 2.2%の確率で M_{part} が安全上問題になるが、実用的には複数の部品の M_{part} を足して利用するため、最終の評価値として $\mu + 2\sigma$ を M_{part} とすることで、全体の M_{part} が安全上問題になる確率は十分低くなる。

7 試験成績の表示

すべての測定結果および計算結果は、試験者（代理機関）によって表にまとめる。

8 規格適合表示

この規格に適合することを、試験報告書、カタログ及び販売資料において、記述する場合は次の文言を用いる。

「この機器の有効熱容量は、JPEC-S 0012（圧縮水素スタンドの配管等の有効熱容量測定の性能評価基準）に適合する」

付録 A 水素の Joule-Thomson 係数の近似式

圧力 p [MPa]（絶対圧力）と温度 T [K]の 3 次関数として、水素の Joule-Thomson 係数 [K/MPa]の近似式を以下に示す。5～35MPa、230～330K の範囲のデータ^[1]をもとに近似している。

$$\begin{aligned}\mu_{JT} = & (a_{33}p^3 + a_{23}p^2 + a_{13}p + a_{03})T^3 \\ & + (a_{32}p^3 + a_{22}p^2 + a_{12}p + a_{02})T^2 \\ & + (a_{31}p^3 + a_{21}p^2 + a_{11}p + a_{01})T^1 \\ & + (a_{30}p^3 + a_{20}p^2 + a_{10}p + a_{00})\end{aligned}\tag{15}$$

$$a_{33} = 9.7075E - 13 \quad a_{23} = -9.3936E - 11 \quad a_{13} = 3.5324E - 9 \quad a_{03} = -4.6598E - 8$$

$$a_{32} = -9.4878E - 10 \quad a_{22} = 9.3598E - 8 \quad a_{12} = -3.6078E - 6 \quad a_{02} = 4.9583E - 5$$

$$a_{31} = 3.1340E - 7 \quad a_{21} = -3.1887E - 5 \quad a_{11} = 1.2808E - 3 \quad a_{01} = -1.9077E - 2$$

$$a_{30} = -3.4747E - 5 \quad a_{20} = 3.7353E - 3 \quad a_{10} = -1.6150E - 1 \quad a_{00} = 2.2225$$

付録 B 水素の定圧比熱の近似式

圧力 p [MPa]（絶対圧力）と温度 T [K]の 3 次関数として、水素の定圧比熱 C_g [J/(kg K)]の近似式を以下に示す。5～35MPa、230～330K の範囲のデータ^[1]をもとに近似している。

$$\begin{aligned}C_g = & (a_{33}p^3 + a_{23}p^2 + a_{13}p + a_{03})T^3 \\ & + (a_{32}p^3 + a_{22}p^2 + a_{12}p + a_{02})T^2 \\ & + (a_{31}p^3 + a_{21}p^2 + a_{11}p + a_{01})T^1 \\ & + (a_{30}p^3 + a_{20}p^2 + a_{10}p + a_{00})\end{aligned}\tag{16}$$

$$a_{33} = -1.4784E - 12 \quad a_{23} = 1.5133E - 10 \quad a_{13} = -4.4926E - 9 \quad a_{03} = 9.1360E - 8$$

$$a_{32} = 1.6798E - 9 \quad a_{22} = -1.7535E - 7 \quad a_{12} = 5.4004E - 6 \quad a_{02} = -1.1084E - 4$$

$$a_{31} = -6.4831E - 7 \quad a_{21} = 6.9635E - 5 \quad a_{11} = -2.2718E - 3 \quad a_{01} = 4.5448E - 2$$

$$a_{30} = 8.5552E - 5 \quad a_{20} = -9.6069E - 3 \quad a_{10} = 3.4540E - 1 \quad a_{00} = 8.1835$$

付録 C 試験成績書の様式例

性能試験成績書						
試験者	株式会社〇〇					
住所	〇〇					
構成部品類	〇〇					
識別番号	型式					
試験方法	圧縮水素スタンドの構成部品類の性能評価法					
試験年月日	〇〇年〇〇月〇〇日					
実施場所	〇〇					
試験流体	水素					
性能評価値						
	環境 温度 ℃	定常時の平 均質量流量 g/min	定常時の 入口温度 ℃	定常時の 出口温度 ℃	外部由来 の有効熱 量 W/K	部品の SUS 換算の有効 質量 kg
1						
2						
3						
平均						
標準偏差	-	-	-	-	-	
評価値	-	-	-	-	-	
この機器の性能は、JPEC-S 0012（圧縮水素スタンドの配管等の有効熱容量測定の方法）に適合した方法で測定されており、本性能評価値は JPEC-S 0003 (MC-MM 方式) での制御に用いることができる。						

参考文献

- [1] Eric W. Lemmon, Mark O. McLinden and Daniel G. Friend, "Thermophysical Properties of Fluid Systems" in NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. P.J. Linstrom and W.G. Mallard, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899, <https://doi.org/10.18434/T4D303>

圧縮水素スタンドの配管等の有効熱容量測定の性能評価基準 JPEC-S 0012 (2023)

2023 年 4 月 4 日 発行

発行 一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)

〒105-0011 東京都港区芝公園 2 丁目 11 番 1 号 住友不動産芝公園タワー

<http://www.pecj.or.jp>

※ 無断転載禁止