

【類型4 理研計器株式会社】 技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の概要】

対象業務（法令）	ガス事業法施行規則第17条、第22条、第78条、第90条、第126条及び第144条に係るガスの成分・特性の検査・測定
実証の全体像	<p>本技術実証は上記法令の対象業務の内、下記(1)～(4)に挙げる測定業務と校正業務を対象としたものである¹⁾。</p> <p>(1) 1日1回行う、ガスの「熱量」の測定業務 (2) 1日1回行う、ガスの燃焼性の内の「ウォッベ指数」の測定業務 (3) 1日1回行う、ガスの燃焼性の内の「燃焼速度」の測定業務 (4) 上記の測定前に行う測定機器の毎日の校正業務用を要する。</p> <p>これらの法定測定は、JIS K 2301：2022に基づき、ガスクロマトグラフなどの分析機器を用いて測定することが求められている。 従来の分析機器は結果を得るまでのプロセスが複雑で（図1）、正常に分析が行われるための機器の維持や、使用環境の整備に多くの費用を要する。</p> <p>本実証技術において活用する技術は、ガス中を伝わる「光」と「音」の速度をセンサーで測定し、理研計器が独自に開発した演算処理により、「熱量」「ウォッベ指数」「燃焼速度」を求めるものである。 結果を得るまでのプロセスがシンプルで、容易な操作で測定ができる。また、センサーの感度劣化が発生しないため、校正の頻度を減らしても長期にわたって高い精度を維持することができる。</p> <p>本実証事業では、本技術が法令で求められている熱量及び燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定を、精度よく且つ容易な操作で行える能力を有し、校正頻度を減らしても、長期にわたってその精度を維持できることを実証する。</p>
実施体制	技術実証：理研計器株式会社 アドバイザー：群馬大学 名誉教授 角田 欣一、産業技術総合研究所 下坂 琢哉、化学物質評価研究機構 上原 伸二 データ提供：一般社団法人 日本ガス協会 会員 都市ガス会社 A、B、C社
実施期間	2024年 1月11日～2024年 2月22日

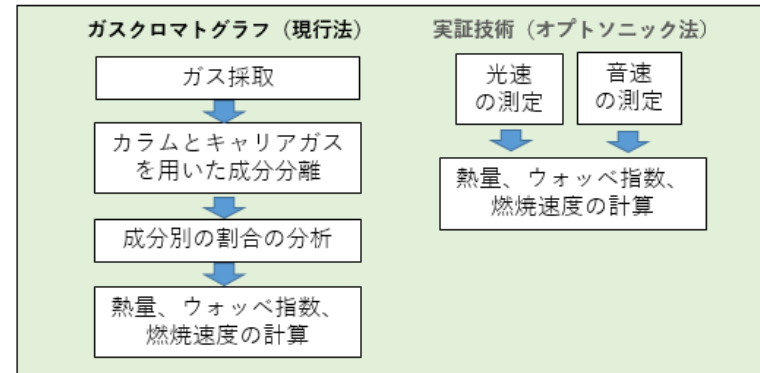


図1： 測定結果を得るまでのプロセスの違い



図2：オプトソニック法を搭載した熱量計

1) ガス事業法施行規則第22条、90条は、全硫黄、硫化水素、アンモニア、ナフタレン、水分などの成分（特殊成分）の検査方法に関するものであるが、本技術実証は特殊成分の検査方法を対象とはしていない。

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実施条件

本実証事業における KPI（重要成果指標）と検証方法

KPI 重要成果指標	検証方法
【ア】 本技術が、現行のガスクロマトグラフ等によるガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定を同等以上の精度で実施可能であるか。	繰り返し精度と再現精度を検証することで、本技術が現行のガスクロマトグラフ等によるガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定を同等以上の精度で実施できることを示す。
【イ】 本技術に用いているセンサー（屈折率センサー、音速センサー）等の経年劣化による、ガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定精度の低下が考慮されているか。	期間検証を実施することで、センサー等の経年劣化による測定精度の低下がなく、長期にわたって高い精度を維持できることを示す。
【ウ】 ガスの熱量、燃焼性の点検を行うガス事業者の実務である、ガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定に対応する技術であるか。	真度を評価することで、本技術がガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の測定に対応する技術であることを示す。
【エ】 ガスの熱量、燃焼性の点検を行うガス事業者にとって、技術導入が容易な、汎用性の高い技術である。	導入、運用、保守に係る費用を検証し、ガス事業者にとって導入が容易な技術であることを示す。

【類型4 理研計器株式会社】 技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

技術実証の方法	技術検証項目	検証内容
	真度検証	組成の明らかな複数のテストガス、あるいは組成をガスクロマトグラフで明らかにした都市ガスを用いる。これらのガスの熱量、ウォッベ指数、燃焼速度を本技術で測定し、その測定結果と、組成から計算で求められる理論値との差を真度として求め、これが評価基準を満足するかを評価する。
	繰り返し精度検証	組成の明らかな複数のテストガスを用いる。それぞれのガスの熱量、ウォッベ指数、燃焼速度を同一条件下で繰り返し測定し、その繰り返し許容差（標準偏差の1.96倍）が評価基準を満足するかを評価する。
	再現精度検証	組成の明らかな複数のテストガス、あるいは組成をガスクロマトグラフで明らかにした都市ガスを用いる。これらのガスの熱量、ウォッベ指数、燃焼速度を、同一条件下ではない、温度や時間、季節などが異なる条件下（再現条件下）で測定する。この時の測定結果と組成から計算で求めた理論値との差を求め、その再現許容差（標準偏差の1.96倍）が評価基準を満足するかを評価する。
	期間検証	試験機のセンサー感度調整は製造時にのみ行い、実証試験時には現場等での感度調整を一切行わない条件で評価を行う。製造/調整から数ヶ月～数年経過した時点での、熱量、ウォッベ指数、燃焼速度の測定に対する、真度、繰り返し精度、再現精度の評価を行い、それぞれの評価基準を満足するかを評価する。
	その他の検証	本技術の導入、運用、保守に係る費用が、従来の測定方法の技術のそれらと比較して低く抑えられており、ガス事業者にとって導入が容易なものであるか評価する。 本技術が、法定測定で求められる熱量、ウォッベ指数、燃焼速度を全て測定できることを示し、本技術が汎用性の高い技術であるかを評価する。

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実証試験① 場所：オランダ 国際法定計量認証機関 NMi Certin B.V

試験内容：7種類の認証標準ガス物質^{注1)}の測定

センサー校正：2022年1月

データ取得日：2022年10月4日^{注2)}

解析/評価期間：2024年1月11日～1月17日

表1：7種類の標準ガス物質と、熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度の参照値

ガス		a	b	c	d	e	f	g
組成 [mol/mol]								
メタン	CH4	0.7514	0.7776	0.7877	0.8886	0.9899	0.7880	0.7999
エタン	C2H6	-	-	0.0506	0.0405	-	0.1207	0.1500
プロパン	C3H8	-	-	0.0204	0.0204	0.0101	0.0409	0.0502
ノルマルブタン	n-C4H10	-	0.0100	-	-	-	-	-
ノルマルペンタン	n-C5H12	-	0.0035	-	-	-	-	-
ノルマルヘキサン	n-C6H14	-	0.0020	-	-	-	-	-
窒素	N2	0.1987	0.1570	0.1111	0.0404	-	0.0403	-
二酸化炭素	CO2	0.0499	0.0499	0.0304	0.0101	-	0.0100	-
熱量 [MJ/m3]		29.9975	33.2758	37.0286	40.3628	40.5410	44.0300	47.4922
比重 [空気=1]		0.6859	0.6951	0.6754	0.6216	0.5652	0.6808	0.6779
ウォッベ指数		36.221	39.912	45.054	51.195	53.925	53.360	57.679
燃焼速度 MCP		29.467	30.826	33.495	35.518	36.139	36.491	37.740

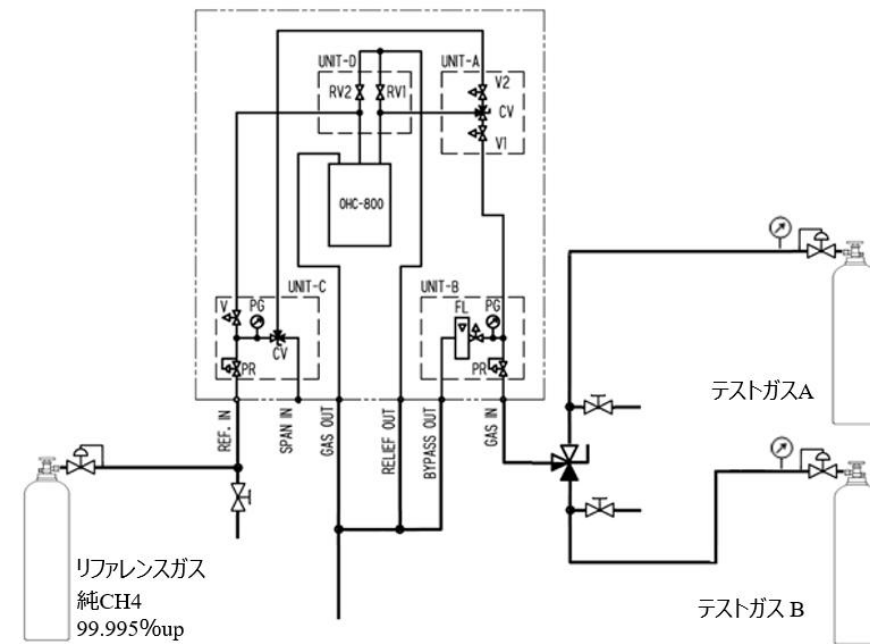


図3：実証試験①の試験系

注1) 認証標準ガス物質 (Certified Reference Gas Material) : ISO/IEC17025の認定を受けた工場で、分析機器の校正や、分析方法の評価のために、高い精度のガス組成で製造された標準ガス。

注2) 実証試験①のデータは、本技術実証の実施期間以前に取得されたもので、本技術実証は、これらのデータの解析および評価を行ったものである

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実証試験② 場所：都市ガス会社 A社、A1工場

試験内容：試験機A（屋外設置）都市ガスの連続測定
 試験機B（室内設置）純メタン、標準ガス①②および都市ガスの切換え測定

センサー校正：2021年

データ取得：2021年 夏季 約4ヶ月 注1)

解析/評価：2024年1月11日～1月17日

表2：標準ガス①

		[vol%]
メタン	CH4	(88.5821)
エタン	C2H6	6.08
プロピレン	C3H6	0.105
プロパン	C3H8	3.61
ノルマルブタン	n-C4H10	0.617
イソブタン	i-C4H10	0.501
ノルマルペンタン	n-C5H12	0.101
イソペンタン	i-C5H12	0.0999
ノルマルヘキサン	n-C6H14	0.101
窒素	N2	0.101
二酸化炭素	CO2	0.102
熱量 [MJ/m3]		45.432
比重 [空気=1]		0.6476
ウォッペ指数		56.456
燃焼速度 MCP		37.022

表3：標準ガス③

		[vol%]
メタン	CH4	(88.65)
エタン	C2H6	6.06
プロピレン	C3H6	0.10
プロパン	C3H8	3.59
ノルマルブタン	n-C4H10	0.6
イソブタン	i-C4H10	0.5
ノルマルペンタン	n-C5H12	0.1
イソペンタン	i-C5H12	0.1
ノルマルヘキサン	n-C6H14	0.1
窒素	N2	0.1
二酸化炭素	CO2	0.1
熱量 [MJ/m3]		45.393
比重 [空気=1]		0.6469
ウォッペ指数		56.456
燃焼速度 MCP		37.017

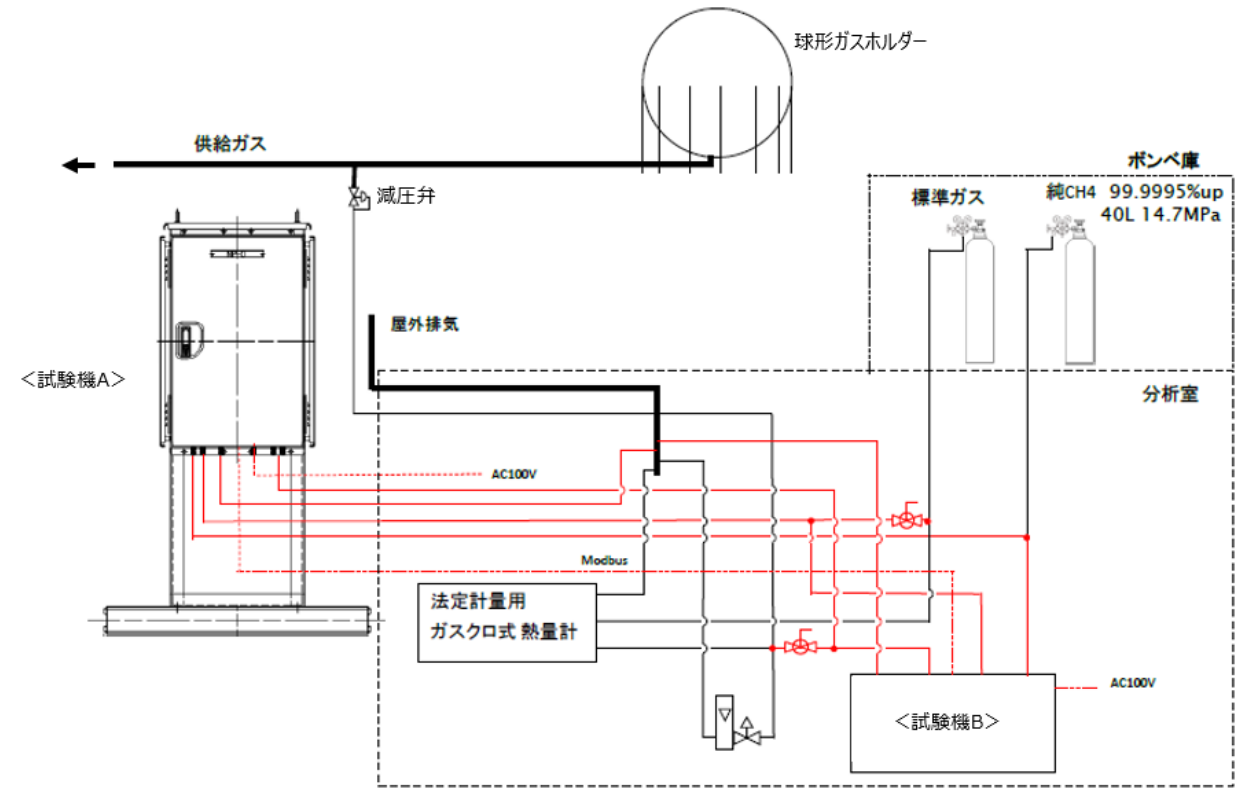


図4：実証試験②の試験系

注1) 実証試験②のデータは、本技術実証の実施期間以前に取得されたもので、本技術実証は、これらのデータの解析および評価を行ったものである

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実証試験③ 場所：都市ガス会社 A社、A2工場

試験内容 : 試験機A（屋外設置）都市ガスの連続測定
 試験機B（室内設置）純メタン、標準ガス③④
 および都市ガスの切換え測定

センサー校正 : 2021年

データ取得 : 2021年～2022年 冬季 約4ヶ月 注1)

解析/評価 : 2024年1月11日～1月17日

表4：標準ガス③

[vol%]

メタン	CH4	(84.977)
エタン	C2H6	4.96
プロパン	C3H8	5.0
ノルマルブタン	n-C4H10	0.508
イソブタン	i-C4H10	0.401
ノルマルペンタン	n-C5H12	0.101
イソペンタン	i-C5H12	0.153
ノルマルヘキサン	n-C6H14	0.1
窒素	N2	2.01
二酸化炭素	CO2	1.79
熱量 [MJ/m3]		44.318
比重 [空気=1]		0.6772
ウォッペ指数		53.854
燃焼速度 MCP		36.101

表5：標準ガス④

[vol%]

メタン	CH4	(84.979)
エタン	C2H6	4.98
プロパン	C3H8	4.99
ノルマルブタン	n-C4H10	0.498
イソブタン	i-C4H10	0.396
ノルマルペンタン	n-C5H12	0.102
イソペンタン	i-C5H12	0.154
ノルマルヘキサン	n-C6H14	0.101
窒素	N2	2.00
二酸化炭素	CO2	1.80
熱量 [MJ/m3]		44.308
比重 [空気=1]		0.6770
ウォッペ指数		53.850
燃焼速度 MCP		36.099

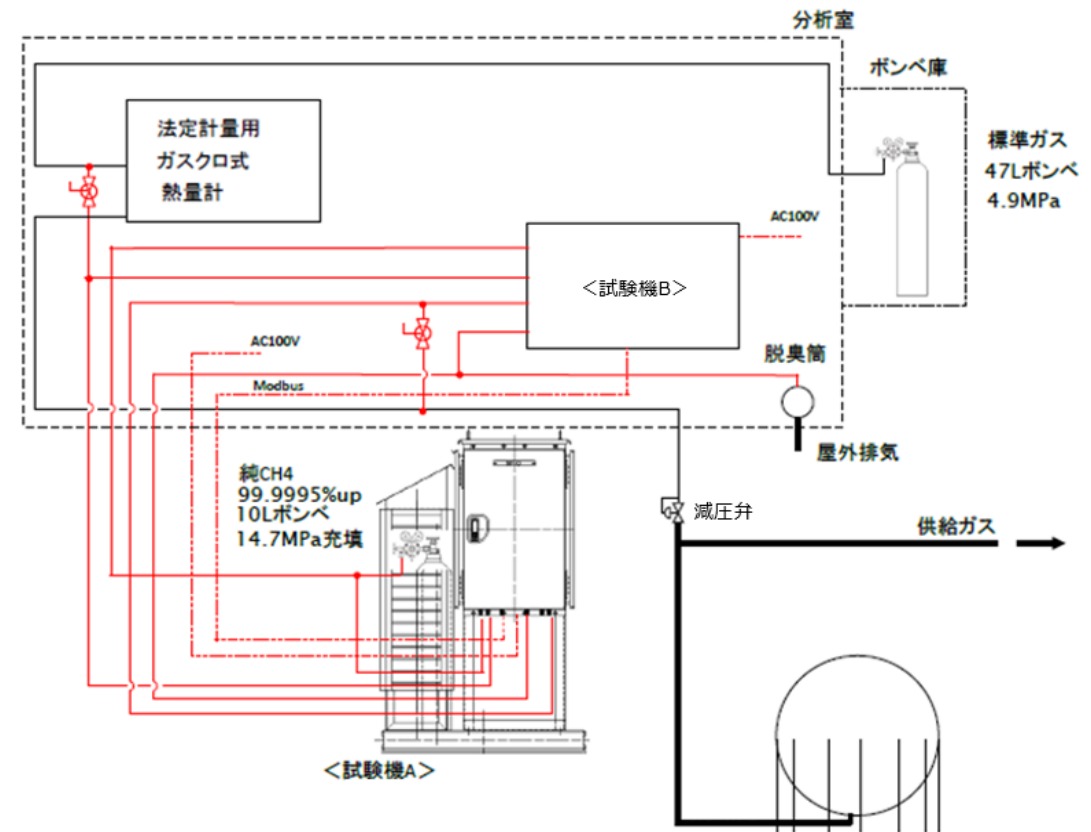


図5：実証試験③の試験系

注1) 実証試験③のデータは、本技術実証の実施期間以前に取得されたもので、本技術実証は、これらのデータの解析および評価を行ったものである

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実証試験④ 場所：都市ガス会社B社 B1工場、 都市ガス会社C社 C1工場

試験内容：都市ガス（LNG+ブタン）の測定
 センサー校正：2017年
 データ取得：2022年～2023年 約12ヶ月 注1)
 解析/評価：2024年1月11日～1月17日

試験内容：都市ガス（LNG+プロパン）の測定
 センサー校正：2019年 8月
 データ取得：2022年～2023年 約12ヶ月 注1)
 解析/評価：2024年1月11日～1月17日

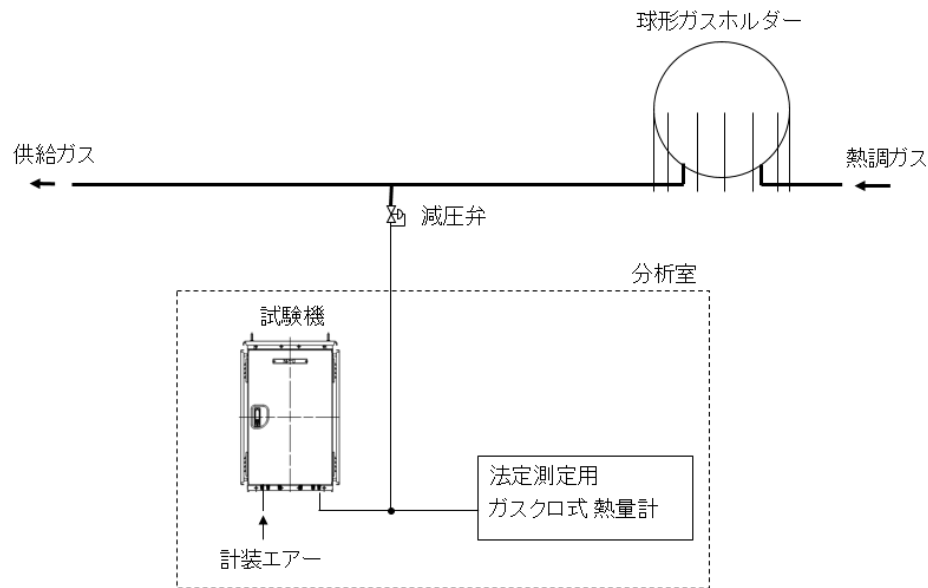


図6：実証試験④ B社 B1工場の試験系

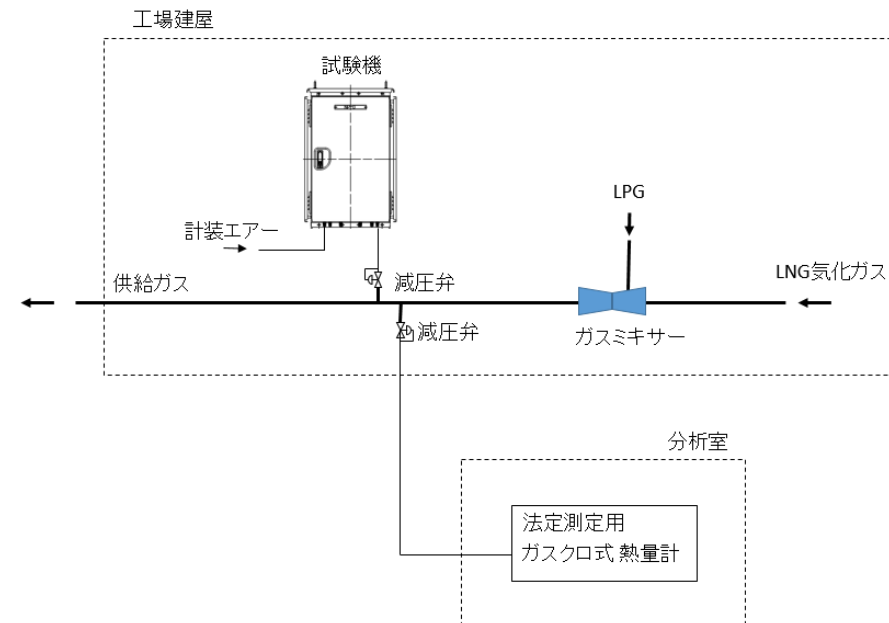


図7：実証試験④ C社 C1工場の試験系

注1) 実証試験④のデータは、本技術実証の実施期間以前に取得されたもので、本技術実証は、これらのデータの解析および評価を行ったものである

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

実証試験⑤ 場所：理研計器株式会社 開発センター（埼玉県 春日部市）

試験内容 : 実証試験①で用いた試験機を用いて、有識者立会のもとで実施する試験
純メタン、CH₄+C₂H₆+C₃H₈ブレンドガス
および10種混合、11種混合の標準ガスの測定

センサー校正 : 2022年1月

試験実施日 : 2024年1月26日

表6：純メタン

メタン	CH ₄	99.995 %up
熱量 [MJ/m ³]		39.935
比重 [空気=1]		0.5553
燃焼速度 MCP		36.00

表7：ブレンドガス

メタン	CH ₄	85
エタン	C ₂ H ₆	10
プロパン	C ₃ H ₈	5
熱量 [MJ/m ³]		46.033
比重 [空気=1]		0.6544
ウォッペ指数		56.905
燃焼速度 MCP		37.402

表8：標準ガス⑤

メタン	CH ₄	(88.6626)
エタン	C ₂ H ₆	6.08
プロピレン	C ₃ H ₆	0.0985
プロパン	C ₃ H ₈	3.56
ノルマルブタン	n-C ₄ H ₁₀	0.599
イソブタン	i-C ₄ H ₁₀	0.497
ノルマルペンタン	n-C ₅ H ₁₂	0.101
イソペンタン	i-C ₅ H ₁₂	0.101
ノルマルヘキサン	n-C ₆ H ₁₄	0.100
窒素	N ₂	0.0999
二酸化炭素	CO ₂	0.101
熱量 [MJ/m ³]		45.378
比重 [空気=1]		0.6467
ウォッペ指数		56.428
燃焼速度 MCP		37.015

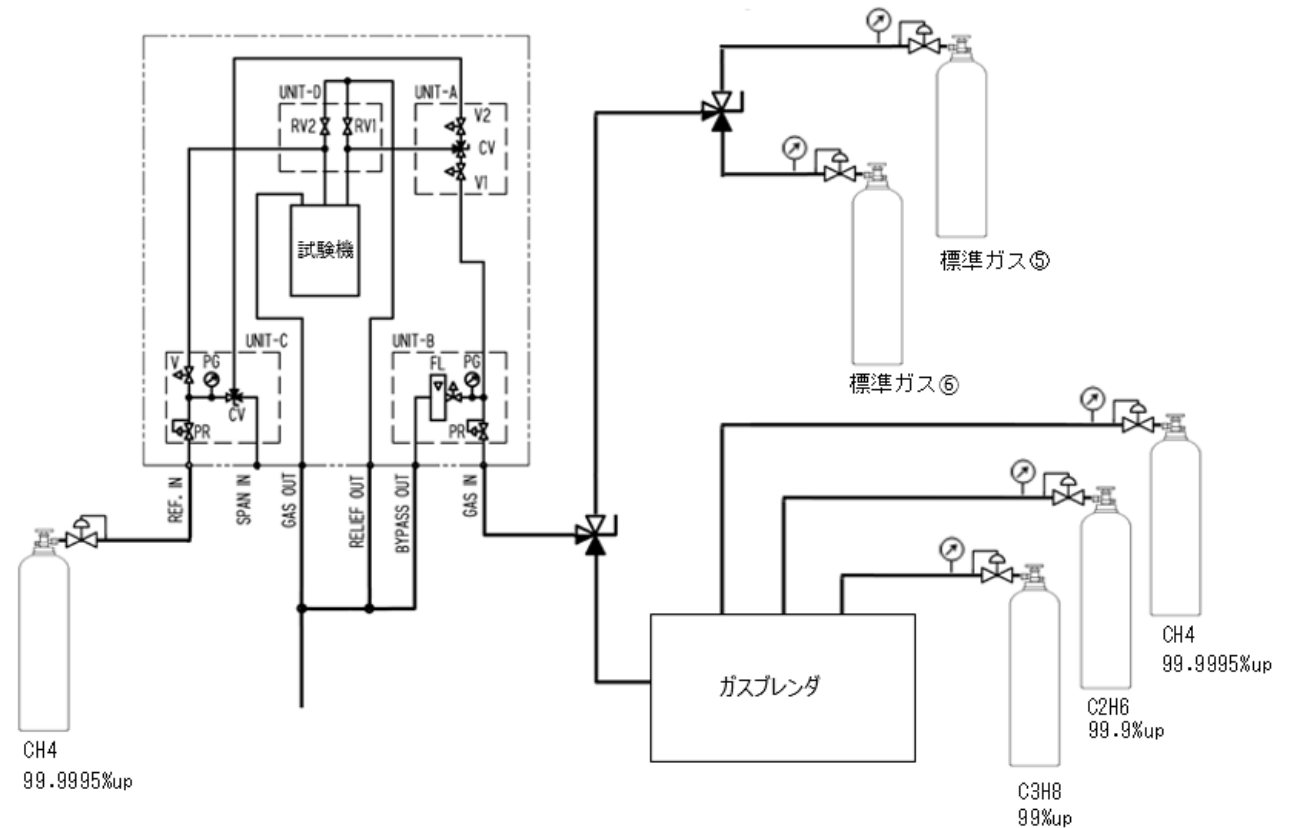


図8：実証試験⑤の試験系

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

結果の 評価の観点	<p>真度評価 : ガス中を伝播する「光の速さ」と「音の速さ」から、熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度を求める本技術で、正確な熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度の値を与えることができるのか？</p> <p>繰り返し精度評価 : 現行のガスクロマトグラフや、法令の測定目的が要求する性能を有しているか？</p> <p>再現精度評価 : 夏季、冬季の屋外のような同一条件ではない環境下で、その正確さを維持できるのか？</p> <p>期間評価 : 校正頻度を減らしても、その正確さを維持できるか？</p>									
結果の評価の ポイント・方法	<p>真度評価 : テストガスの組成から求めた理論値、あるいは法定測定用のガスクロマトグラフの分析結果を参照値とし、本技術による測定結果と参照値との差（かたより）が、表9に示す評価基準の範囲内であること。</p> <p>繰り返し精度評価 : 組成が同じガスを同一環境下で繰り返し測定した時の、繰り返し精度（95%信頼性区間）が表9に示す評価基準の範囲内であること</p> <p>再現精度評価 : 夏季、冬季の屋外のような、同一環境ではない条件下での測定の再現精度（95%信頼性区間）が表9に示す評価基準の範囲内であること。</p> <p>期間評価 : 長期間使用を続けても、真度、繰り返し精度、再現精度を維持すること。</p>	<p style="text-align: center;">表9：評価基準</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>熱量</td> <td>: ±0.20 MJ/m³</td> </tr> <tr> <td>比重</td> <td>: ±0.003</td> </tr> <tr> <td>ウォッベ指数</td> <td>: ±0.28</td> </tr> <tr> <td>燃焼速度</td> <td>: ±0.5</td> </tr> </table>	熱量	: ±0.20 MJ/m ³	比重	: ±0.003	ウォッベ指数	: ±0.28	燃焼速度	: ±0.5
熱量	: ±0.20 MJ/m ³									
比重	: ±0.003									
ウォッベ指数	: ±0.28									
燃焼速度	: ±0.5									

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の実施結果	技術実証項目	実証結果
	<p>【熱量】</p> <p>本技術による熱量の測定結果は、真度、繰り返し精度のいずれも評価基準を満足した。</p> <p>また夏季、冬季の屋外における非同一条件下での測定精度（再現精度）も、評価基準を満たした。</p> <p>センサー感度調整後4ヶ月後～79ヶ月後における熱量測定でも、真度および精度を維持した。</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="784 382 1600 1139"> </div> <div data-bbox="1633 382 2448 1139"> </div> </div> <p style="text-align: center;">図9：測定結果と参照値（熱量）</p> <p style="text-align: center;">図10：測定結果と参照値（A部拡大）</p>

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の実施結果	技術実証項目	実証結果
	<p>【ウォッベ指数】 本技術によるウォッベ指数の測定結果は、真度、繰り返し精度のいずれも評価基準を満足した。</p> <p>また夏季、冬季の屋外における非同一条件下での測定精度（再現精度）も、評価基準を満たした。</p> <p>センサー感度調整後4ヶ月後～79ヶ月後におけるウォッベ指数の測定でも、真度および精度を維持した。</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="766 365 1602 1133"> <p>図11：測定結果と参照値（ウォッベ指数）</p> </div> <div data-bbox="1628 365 2463 1133"> <p>図12：測定結果と参照値（B部拡大）</p> </div> </div>

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の実施結果	技術実証項目	実証結果
	<p>【 燃焼速度 】</p> <p>本技術による燃焼速度の測定結果は、真度、繰り返し精度のいずれも評価基準を満足した。</p> <p>また夏季、冬季の屋外における非同一条件下での測定精度（再現精度）も、評価基準を満たした。</p> <p>センサー感度調整後4ヶ月後～79ヶ月後における燃焼速度の測定でも、真度および精度を維持した。</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="764 364 1592 1135"> </div> <div data-bbox="1630 364 2458 1135"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="917 1163 1401 1199"> <p>図13：測定結果と参照値（燃焼速度）</p> </div> <div data-bbox="1783 1163 2267 1199"> <p>図14：測定結果と参照値（C部拡大）</p> </div> </div>

【類型4 理研計器株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の結果分析

【ア】 実証試験①⑤の繰り返し精度検証の結果より、本技術による熱量、ウォッベ指数、燃焼速度の測定における繰り返し許容差が評価基準を満足することを示した。また実証試験②～④で行った、季節や設置場所の異なる条件下での測定精度（再現精度）が、評価基準を満足することを示した。

本技術実証で定めた評価基準は、JIS K2301：2022の要求規格または燃焼性の管理目的から検討して決めたものであり、これら評価基準を満たしたことから、本技術が 現行のガスクロマトグラフ等によるガスの熱量、燃焼性（ウォッベ指数、燃焼速度）の点検を同等の精度で実施することが可能であることを実証した。

【イ】 センサー感度調整は評価試験機の製造時にのみ行い、その後、現場等での調整を一切行わない条件で評価を行った。 製造/調整から4ヶ月後～79ヶ月後の、熱量、ウォッベ指数、燃焼速度の測定に対する「真度」、「繰り返し精度」、「再現精度」は、何れも評価基準を満足しており、長期にわたり劣化のない測定ができることを実証した。

【ウ】 組成が異なり、かつ組成の明らかな複数のガスの、熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度を本技術で測定し、組成から計算で求められる理論値との差（かたより）を評価し、その結果が評価基準を満足することを示した。

本技術の測定方法が熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度の正確な値を与える能力を有することを実証した。

【エ】 本技術の導入費用は 450万円程度、運用/保守に係る費用は 46万円/年程度を想定している。これは従来の測定技術の費用と比較して、半分程度以下に抑えられており（当社調べ）、本技術がガス事業者にとって導入が容易なものであると言える。

また、本技術が法定測定で求められる熱量、ウォッベ指数、燃焼速度を全て測定できることを示し、汎用性の高い技術であることを実証した。

【今後の運用について】

今後の運用 について

本技術実証では、校正を行うことなく長期間にわたって、高い精度での測定が行える事を示したが、この結果は、保守点検の必要性/重要性を否定するものではない。

本技術は、センサーの感度低下等が発生し難い原理及び構造となっているが、機器の破損が無く、全ての機能が健全に動作していることを確認するための保守点検は必ず必要になってくる。

本技術による熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度の測定値の、高い繰り返し精度、再現精度、真度は確認されたが、この技術は近似解を求めるものであるため、真度のかたより（測定結果-参照値）の差が零になるものではない。

このかたよりが発生する原因は、本技術の正確さの問題にだけに依存するものではなく、参照値自体が持つ不確かさによるもの含まれる。それでも参照値が、業界やJISの合意値として扱われる場合は、本技術による測定結果を参照値に合わせる必要性が出てくる。

今後、本技術を用いてガスの熱量、比重、ウォッベ指数、燃焼速度などの法定測定を行うようにするためには、機器の健全性の確認方法、参照値との合わせ込み（オフセット調整）の方法、その頻度等について、関係省庁、業界団体と協議を進める必要がある。