平成24年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査 (施工方法及び供給設備の安全性評価調査) 調査報告書

平成25年3月日立金属株式会社

目次

I		調査内容	3
	1	. 目的	3
	2	. 調査体制	3
	3	. 調査内容	5
		3. 1 導管分岐工法の安全性評価調査	5
		3. 2 鋼管穿孔時の安全性評価調査	
		3.3 供給設備の安全性評価調査	5
II		導管分岐工法の安全性評価調査	6
	1	. ガスバック遮断性能調査	
	_	1. 1 供試試料	
		1. 2 実験装置	
		1. 2. 1 水素供給配管	
		1. 2. 2 試験配管	
		1. 2. 3 試験条件	
		1. 2. 4 測定方法	. 10
		1. 2. 5 測定結果	. 11
	2	. スクイズオフ遮断性能調査	. 17
		2. 1 測定試料	
		2. 2 実験設備	
		2. 2. 1 水素供給配管	
		2. 2. 2 試験配管	
		2. 2. 3 測定内容	
		2. 2. 4 測定方法	
		2. 2. 5. 測定結果	
	0	2. 2. 6 結果の考察	
	3	. ノーブローバイパス工具の気密性能3. 1 測定試料	
		3.2 実験設備	
		3.2.1 水素供給配管	
		3.2.2 試験配管	
		3. 2. 3 測定內容	
		3. 2. 4 測定方法	
		3. 2. 5. 測定結果	
	4	. 調査結果まとめ	. 27
Ш		鋼管穿孔時の安全性評価調査	28
		. 目的	
		. 水素濃度分布測定の原理	
	_	2.1 光学的水素ガス濃度計測技術	. 28
		2. 2 ラマン散乱によるガス濃度計測の原理	
	3	. 水素濃度分布測定試験方法	
		3.1 水素ガス放出条件の設定	
		3. 2 鋼管穿孔作業を想定した水素ガス放出系の製作	
		3. 2. 1 水素ガス放出系の構成	
		3. 2. 2 ガスセルの製作	. 32
		3. 3 水素ガス濃度分布計測装置の構成	. 34
		3. 4 水素ガス濃度の測定	. 37
	4	V4/E/IB/(+	
		4. 1 水素ガス放出系及び水素ガス濃度計測装置機能試験	
		4. 2 穿孔機内水素ガス濃度計測試験結果	
		. 考察	
	6	まとめ こうしゅうしゅう しゅうしゅう しゅうしゅう しゅうしゅう しゅうしゅう	43

IV.	供給設備の安全性評価調査	44
]	1. 調査研究の目的等	44
	1. 1 目的	44
	1. 2 調査研究の概要	44
	1. 3 調査内容	44
2	2. ダイヤフラム水素透過性試験	45
	2. 1 供試試料	
	2. 2 試験機材	45
	2.3 試験配管	45
	2. 4 試験条件	48
	2. 5 試験方法	48
	2. 6 試験結果	49
	2. 7 考察	53
3	3. 整圧器本体気密性能試験	55
	3. 1 試験供試品	55
	3. 2 試験機材	
	3.3 試験配管	
	3. 4 試験条件	
	3. 5 試験方法	
	3. 6 試験結果	
	3. 7 考察	
	3. 7. 1. 透過試験結果との比較	59
	3.7.2 都市ガス用ガバナボックスに設置した場合の安全性の検証	
4	4. 整圧器特性試験	
	4. 1 試験供試品および試験条件	
	4. 2 試験機材	
	4. 3 試験配管	
	4. 4 測定項目	
	4. 5 試験方法	
	4. 6 試験結果	
	4. 6. 1 静特性試験結果	
	4. 6. 2 動特性試験結果	
	4. 6. 3 P1-P2 特性試験結果	
	4. 6. 4 考察	
5	5. 調査結果まとめ	69

I. 調査内容

1. 目的

一般需要家向けの水素のパイプライン供給に際して、保安確保のために必要となる導管等のガス工作物について、そのネットワークとしての運用に係る安全基準や工法等の具体的措置を明確化するため、これに有用な基盤技術、知見を整理し、ガス事業法の技術基準等の見直しに反映させることで、水素ネットワーク社会構築における保安確保を図ることを目的とする。

このため、水素のパイプライン供給に対して、現行の都市ガス工法及び供給設備が安全に使用できるかの安全性評価調査を実施する。

2. 調査体制

経済産業省では、平成24年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査を実施した。本調査事業は全体を5事業に分割公募され、日立金属株式会社はそのうちの「施工方法及び供給設備の安全性評価調査」を受託した。

本調査にあたっては、「総合調査」の受託を受けた一般社団法人日本ガス協会の事務局にて設置された表I-1に示す有識者、ガス事業者の代表から構成される「水素ネットワーク構築導管保安技術調査特別専門委員会」に合計 3 回の事業の内容、進捗、成果について報告を行い、審議を受けつつ事業を推進した。また、特別専門委員会の下部組織として 5 事業の横のつながりも持たせる「推進ワーキング」や「テーマ別連携会議」によって事業の内容、進捗について確認を行いながら推進した。

図Ⅰ−1に調査実施体制(全体)を示し、図Ⅰ−2には、調査実施体制(日立金属)を示す。

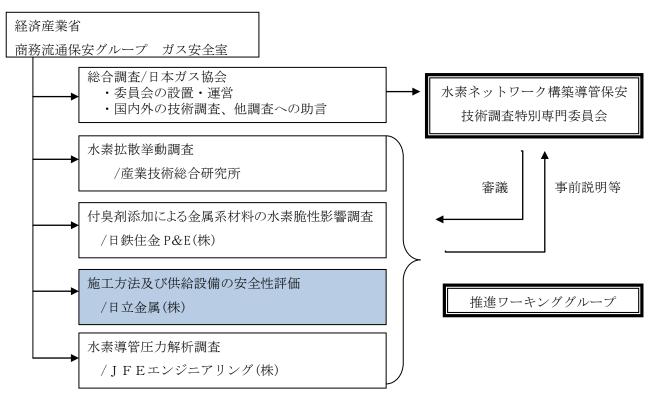


図 I - 1 調査実施体制

表 I — 1 水素供給システム安全性技術調査特別専門委員会名簿

委員長 岡崎 健 東京工業大学大学院 理工学研究科大学院理工学研究科教授

委員 粟飯原 周二 東京大学 工学系研究科システム創成学専攻教授

> 吉川暢宏 東京大学 生産技術研究所革新的シミュレーション研究センター教授

西村 寛之 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

先端ファイブロ科学部門教授

九州大学大学院工学研究院 地球資源システム工学部門 井上 雅弘

水素エネルギ国際研究センター准教授

東京ガス株式会社 技術開発本部 基盤技術部長 菱沼 祐一

西川 秀昭 大阪ガス株式会社 理事 導管部長

関係者 堀越 裕太郎 経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室 ガス供給保安担当補佐

> 川原 佑介 経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室 ガス熱供給保安担当補佐

日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ 事務局

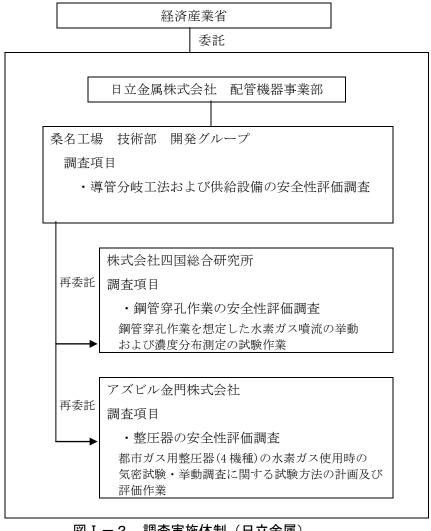


図 I - 2 調査実施体制(日立金属)

3. 調査内容

平成24年度水素ネットワーク構築導管保管技術調査(施工方法及び供給設備の安全性評価調査)仕様書を受けて以下に示す調査を実施した。

3. 1 導管分岐工法の安全性評価調査

現行の都市ガス導管分岐工法に用いられるガス遮断工具を用いて、導管である鋼管、ポリエチレン管にて実際に水素を使用した遮断性能調査を実施する。

遮断性能に関しては、選定した工具の仕様通りの使用で、①水素へ適用できる可能性を確認、②水素用として安全に適用できる条件を抽出することを目的とする。

ガス遮断工具は、都市ガス用として一般的に使用されている以下の3種類とし、工具の遮断方式が異なり、作業としてのバラつきも想定する必要があるため、定量的な比較を行うのではなく、定性的な比較(例えば、水素の燃焼下限を基準に比較など)を行うこととした。また、発生可能性のある異常状況(ガスバック内圧力)での遮断性能も合わせて確認することとした。

- 1. ガスバック
 - ① パラソル型ガスバック
 - ② フラグロン
 - ③ TS型ガスバック
- 2. スクイズオフ
- 3. ノーブローバイパス工法用工具(2種類)

3.2 鋼管穿孔時の安全性評価調査

平成23年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(施工方法の安全性評価調査)で実施した鋼管穿孔作業時の温度評価結果を受け、穿孔作業時における安全性に影響を及ぼすと想定される穿孔箇所の水素濃度の分布調査を実施する。

調査は、穿孔機を模擬した容器を製作して、鋼管に孔が開く瞬間に穿孔容器内への水素噴 出を想定した条件にて実施する。測定方法に関しては、小空間で、かつ、非常に短い時間で の変化を確認するため、測定対象に対し、非接触で、応答性が良い、レーザー計測を適用す る。

3.3 供給設備の安全性評価調査

現行の都市ガス供給にて使用されている整圧器の内、都市ガス用として一般的に使用されている整圧器を選定し、水素を流した場合の整圧器の挙動(動特性・静特性)を確認することで、水素への適用可能性を調査し、また、実際に水素を使用した気密試験を行い、水素の対する安全性の評価調査を実施する。

整圧器は、都市ガス本支管指針に記載されている圧力制御方式の異なる直動式整圧器、パイロット式整圧器(ローディング型、アンローディング型)とする。

Ⅱ. 導管分岐工法の安全性評価調査

1. ガスバック遮断性能調査

1. 1 供試試料

導管分岐工法に用いられるガス遮断工具のうち、ガスバック遮断性能調査を行うガスバックについては、一般的に使用されているものを選定した。選定したガスバックを表II-1に示す。尚、試験口径は100Aとした。

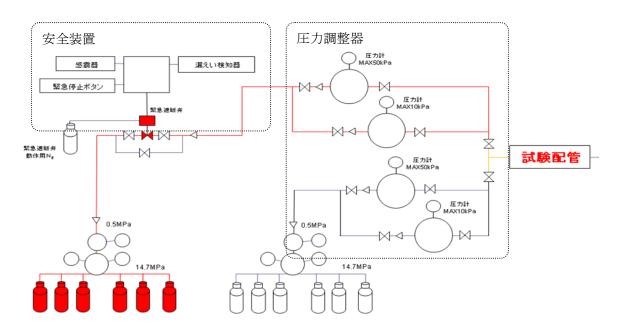
表II-1 ガスバック測定試料

適用管種	工具種類	ガスバック外観	適用可能範囲	バック内 規定圧力 (k Pa)
	パラソル型		2. 0kPa 以下	80
配管用炭素鋼鋼管 (SGP管)	フラグロン	25daJ. 100	5. 0kPa 以下	100
	TS型 ガスバック	COL-SL ST	2. 3kPa 以下	15
ポリエチレン管 (PE管)	TS型 ガスバック	COLST AND THE PARTY OF THE PART	2. 3kPa 以下	15

1. 2 実験装置

1. 2. 1 水素供給配管

水素供給配管の概略図を図II-1に示し、外観を図II-2に示す。水素供給配管には、安全装置として感震器、漏えい検知器、緊急停止ボタンを設置し、いずれかが異常を検知した場合、緊急遮断弁が作動することとした。



図Ⅱ-1 試験配管概略図



圧力制御用減圧弁



感震器



漏えい検知器



非常停止ボタン





圧力調整器

図Ⅱ-2 水素供給配管外観

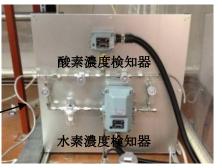
1. 2. 2 試験配管

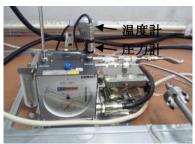
試験配管図を図Ⅱ-3に示し、各測定器の仕様を表Ⅱ-2に示す。

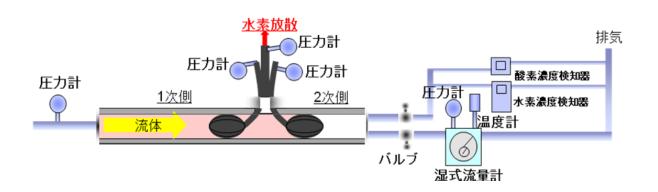
遮断性能確認時の漏れ量の測定は、湿式流量計を用いて実施した。試験時の窒素置換、水素 置換の確認を行うため、酸素濃度検知器、水素濃度検知器を設置した。

また、試験配管 2 次側に設置した湿式流量計には、圧力計を設置し試験配管 2 次側の圧力確認による漏れの有無の確認を行えるようにした。









図Ⅱ-3 試験配管図

表Ⅱ-2 測定器仕様

測定器		型式	仕様	メーカ
湿式流量計		W-NK-0.5B	0.016~5.0L/min、 0.01L/パルス 精度±0.15%(~2.5L/min)	株式会社シナガワ
	圧力計	VPRNP	10kPa	株式会社バルコム
圧力計	-	ATM. 1 ST /Ex	10kPa、100kPa	光進電機工業株式会社
酸素検知器		KD-12	0∼25. 0vo1%	新コスモス電機株式会社
		PD-12	0~100%	新コスモス電機株式会社

1. 2. 3 試験条件

ガスバックの測定は、都市ガスの標準工法通り、ガスの上流側および下流側に1個ずつ、計2個を用いて、表 $\Pi-3$ の条件にて実施した。尚、ガスバック数の1ヶは、通常使用状態ではないが、参考値として測定を実施した。

また、ガスバック圧力は、発生可能性のある異常状態を想定して規定内圧より変動させて測定を行った。

ガスバック 数	ガスバック圧力 ※ 1	試験圧力 (kPa)	測定時間 (分)	流体	測定項目					
	規定値×0.9				・試験圧力 ・ガスバック圧力					
2	規定値				・漏れ量・流量計 1 次側圧力					
	規定値×1.1倍	2. 5 5. 0	30	窒素	・大気放散部圧力 ・温度					
	規定値×0.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0		水素	試験圧力
1	規定値				・ガスバック圧力					
	規定値×1.1倍				・漏れ量					

表Ⅱ-3 測定条件

※1:ガスバック圧力は、各ガスバックの規定圧力に対して、0.9~1.1倍とした。

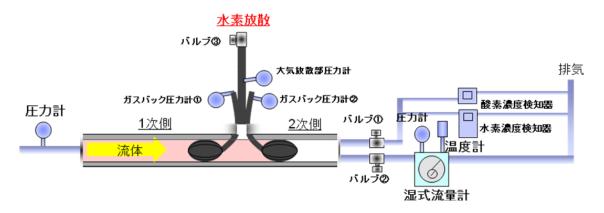


図Ⅱ-4 測定状況

1. 2. 4 測定方法

測定は、以下の要領にて実施した。

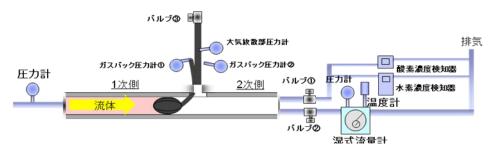
- (1) 標準工法の場合
- ① バルブ①開、バルブ②③を閉の状態で試験配管内の窒素パージを行い、酸素検知器にて 酸素がゼロを確認する。
- ② その後、水素パージを行い、水素検知器にて水素濃度が 99.9%以上であることを確認する。
- ③ バルブ①を閉後、試験配管内の圧力を試験圧力に調整する。
- ④ ガスバック2ヶを測定条件まで加圧する。
- ⑤ バルブ②③を開にする。
- ⑥ 試験圧力、ガスバックが測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。



図II-5 測定図 (ガスバック2ヶの場合)

(2) ガスバック1ヶの場合

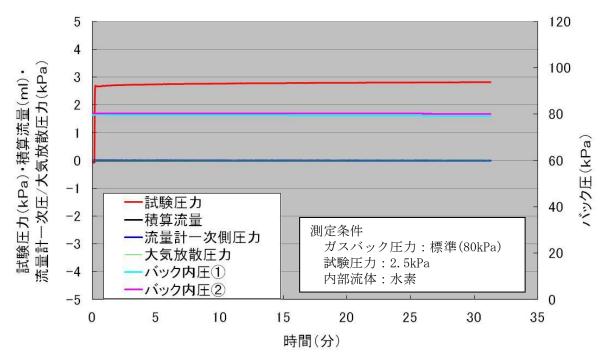
- ① バルブ①開、バルブ②③を閉の状態で試験配管内の窒素パージを行い、酸素検知器にて 酸素がゼロを確認する。
- ② その後、水素パージを行い、水素検知器にて水素濃度が 99.9%以上であることを確認する。
- ③ バルブ①を閉後、試験配管内の圧力を試験圧力に調整する。
- ④ ガスバック1ヶを測定条件まで加圧する。
- (5) 試験圧力、ガスバックが測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。



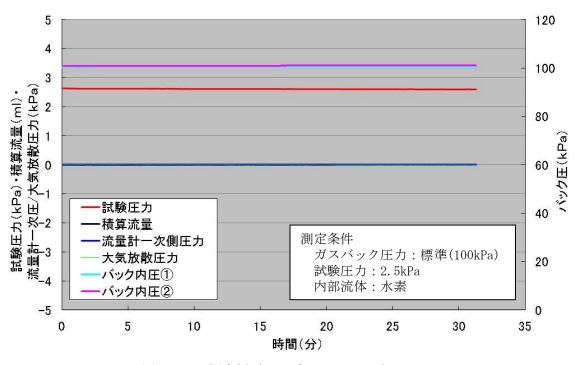
図II-6 測定図 (ガスバック1ヶの場合)

1. 2. 5 測定結果

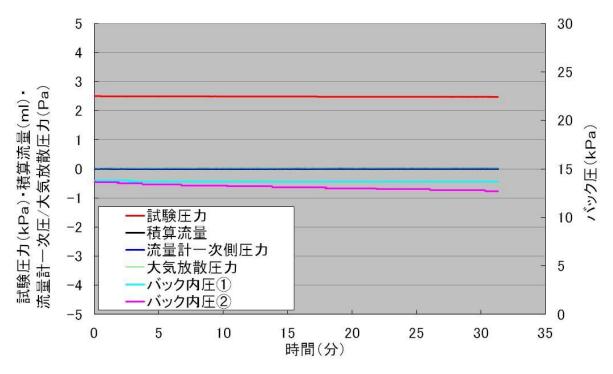
ガスバック 2 r の場合の漏れ量確認の結果を表 $\Pi - 4$ 、 $\Pi - 5$ に示す。尚、表中の \blacksquare 部は、各ガスバックの仕様範囲を示す。また、各ガスバックの測定結果(測定条件:内圧 2.5 kPa、ガスバック圧力標準、水素)を図 $\Pi - 7 \sim \Pi - 1$ 0 に示す。漏れの有無については、測定時間内の積算流量で検出されないこと、及び流量計 1 次側圧力の上昇が見られない場合、流量計の最小測定値 0.01L 未満の漏れ量と判定した。



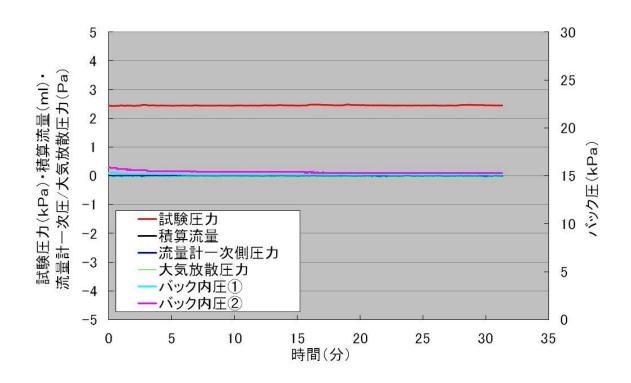
図II-7 測定例 (パラソル型ガスバック SGP)



図Ⅱ-8 測定例 (フラグロン SGP)



図II-9 測定例 (TS型ガスバック SGP)



図II-10 測定例 (TS型ガスバック PE管)

表II-4 窒素での試験結果 (ガスバック2ヶの場合)

ガスバック	バック	漏れ量 (NL/min)			
種類	管種	内圧	2.5 kPa	5.0 kPa	10.0 k Pa
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
パラソル型			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
ガスバック	SGP	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
(規定圧力 80kPa)			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
ラニ おこく			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
フラグロン (規定圧力 100 k Pa)	SGP	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
() () () () () () () () () ()			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1. 1 倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
		標準	0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
	SGP		0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
TS型		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
ガスバック			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
(規定圧力 15kPa)			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
., ., ., ., ., ., .,		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
	PΕ	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満

表II-5 水素での試験結果(ガスバック2ヶの場合)

ガスバック	バック	漏れ量 (NL/min)			
種類	管種	内圧	2.5 kPa	5.0 kPa	10.0 k Pa
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
パラソル型			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
ガスバック	SGP	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
(規定内圧 80kPa)			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
フラグロン			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
(規定圧力 100 k Pa)	SGP	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
(/yL/C/11/7 100 K1 a)			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
	SGP	標準	0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min 以上
			0.01 未満	0.01 未満	5L/min以上
TS型		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	5L/min以上
ガスバック			0.01 未満	0.01 未満	5L/min以上
(規定圧力 15kPa)		0.04	0.01 未満	0.01 未満	0. 124
		0.9倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
	D.D.	4-mi >//tc	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
	ΡЕ	標準	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1 1 1	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
		1.1倍	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
			0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満

また、ガスバック1ヶでの測定結果を表II-6、II-7に示す。

表II-6 窒素での測定結果(ガスバック1_ケ)

18 2 1		3 1.	漏れ流量 (NL/min)					
ガスバック	管種	バック	2. 5	kPa	5. 0	kPa	10.0	k Pa
種類		内圧	測定値	最大値	測定値	最大値	測定値	最大値
			1.60		2.65		4. 38	
		0.9倍	1. 37	1.60	2. 26	2. 65	3. 65	4. 38
パラソル型			1.41		2. 28		3. 72	
ガスバック			1.11		1. 91		3. 26	
(規定内圧 80kPa)	SG	標準	1. 26	1. 26	2. 10	2. 10	3. 44	3. 47
	Р		1. 16		2.09		3. 47	
			1.09		1.85		3. 12	
		1.1倍	1.16	1. 20	1. 98	1. 98	3. 26	3. 27
			1. 20		1. 96		3. 27	
			0.17		0.34		0.68	
		0.9倍	0. 22	0. 22	0.39	0.39	0.73	0.74
フラグロン			0. 21		0.38		0.74	
(規定圧力 100 k	0.0		0.16		0.31	0. 35	0.63	
Pa)	S G P	標準 1.1倍	0.2	0.20	0.35		0.67	0.68
			0. 19		0.34		0.68	
			0.13	0.18	0. 26		0.54	
			0. 17		0.31	0. 32	0.61	0.62
			0.18		0.32		0.62	
			0.44		1		5以上	
		0.9倍	0.21	0.44	0.47	1.00	5以上	5 以上
			0. 22		0.52		5 以上	
	8.0		0.26		0.69	0. 69	5以上	
	S G P	標準	0.17	0. 26	0.39		5以上	5 以上
	1		0. 17		0.4		5以上	
TS型			0.2		0.47		5以上	
ガスバック		1.1倍	0.14	0.20	0.31	0. 47	5以上	5 以上
(規定圧力 15kPa)			0.15		0.33		5以上	
(死足上力 15Ki a)			0.13		0.28		5以上	
		0.9倍	0.09	0. 13	0.21	0. 28	5以上	5以上
			0.1		0. 24		5以上	
			0.12		0. 22		5以上	
	ΡЕ	標準	0.08	0. 12	0.19	0. 22	5 以上	5 以上
			0.09		0.21		5以上	
			0.09		0.2		5以上	
		1.1倍	0.08	0.09	0.16	0. 20	0.74	5 以上
			0		0.18		0.66	

表Ⅱ-7 水素での測定結果(ガスバック1ヶ)

15		.S 4			漏れ流量	(NL/min)		
ガスバック	管種	バック	2. 5	kPa	5. 0	kPa	10.0	k Pa
種類		内圧	測定値	最大値	測定値	最大値	測定値	最大値
			3. 43		5 以上		5以上	
		0.9倍	2. 99	3. 43	5 以上	5 以上	5以上	5 以上
パラソル型			2. 98		5 以上		5以上	
ガスバック			2. 41		4. 70		5 以上	
(規定内圧 80kPa)	SGP	標準	2. 70	2.70	4. 70	4.72	5以上	5 以上
			2. 69		4. 72		5以上	
			2. 95		5 以上		5以上	
		1.1倍	2. 47	2.95	4. 40	5 以上	5以上	5 以上
			2. 48		4. 37		5以上	
			0.36		0.77		1. 54	
		0.9倍	0.41	0.41	0.76	0.77	1.55	1.55
			0.39		0.76		1.53	
フラグロン (担党にも 1001 P.)) SGP	標準	0. 33		0.69		1. 42	
(規定圧力 100 k Pa)			0. 37	0. 37	0.71	0.71	1. 43	1.43
			0. 36		0.69		1.4	
		1.1倍	0. 32	0.34	0. 67	0. 67	1.3	
			0.34		0.65		1. 31	1.31
			0.33		0.64		1.3	
		0.9倍	0.83	0. 83	2	2.00	5 以上	
			0.4		0.96		5 以上	5以上
			0.38		1.03		5 以上	
			0.53		1. 32		5 以上	
	SGP	標準	0.34	0.53	0.77	1.32	5 以上	5 以上
			0.31		0.78		5 以上	
T. C. 刑			0. 41		0. 91	0. 91	5以上	
TS型 ガスバック		1.1倍	0. 28	0.41	0.64		5以上	5 以上
(規定圧力 15kPa)			0. 28		0.64		5以上	
(/ya/e/==)			0. 2		0.51		5以上	
		0.9倍	0. 19	0. 20	0.4	0.51	5以上	5以上
			0. 19		0.44		5以上	
			0. 2		0. 53		4. 53	
	PΕ	標準	0. 16	0. 20	0.36	0.53	5以上	5以上
			0. 17		0.38		5以上	
			0. 18		0.47		0.85	
		1.1倍	0. 14	0. 18	0.31	0. 47	1. 9	1. 90
			0. 14		0.33		1. 3	

2. スクイズオフ遮断性能調査

2. 1 測定試料

導管分岐工法のP E 管に用いられるガス遮断工具としてスクイズオフ工具を選定した。 選定したスクイズオフ工具を表II -8 に示す。尚、試験口径は100 A とした。

 適用管種
 工具種類
 工具外観
 適用サイズ

 PE管
 スクイズオフ工具

表Ⅱ-8 スクイズオフ工具

2. 2 実験設備

2. 2. 1 水素供給配管

スクイズオフの遮断性能を確認する水素供給配管は、ガスバック遮断性能調査と同一設備にて 実施した。

2. 2. 2 試験配管

試験配管図を図II-11に示す。尚、測定器はガスバック遮断性能調査と同一とした。



図Ⅱ-11 試験配管図

2. 2. 3 試験条件

スクイズオフの測定は、表Ⅱ-9に示す。尚、スクイズオフのばらつき条件として管の公差、環境温度、管遮断時の工具の操作速度、工具の締め方等が考えられるが、本調査では、標準作業での遮断による遮断性能確認を行うものとした。

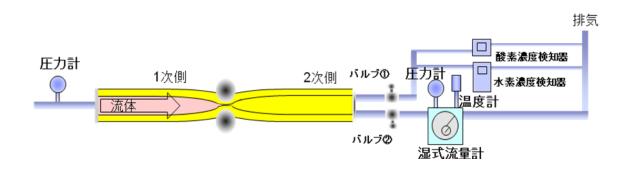
スクイズオフ	試験圧力 (kPa)	測定時間 (分)	流体	測定項目
標準作業	2. 5 5. 0 10. 0	30	水素	・試験圧力・漏れ量・流量計1次側圧力・温度

表Ⅱ-9 測定条件

2. 2. 4 測定方法

測定は、以下の要領にて実施した。

- ① バルブ①開、バルブ②を閉の状態で試験配管内の窒素パージを行い、酸素検知器にて酸素がゼロを確認する。
- ② その後、水素パージを行い、水素検知器にて水素濃度が 99.9%以上であることを確認する。
- ③ バルブ①を閉後、試験配管内の圧力を試験圧力に調整する。
- ④ バルブ②を開にする
- ⑤ スクイズオフを実施する。
- ⑥ 試験圧力が測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。



図Ⅱ-12 測定図

2. 2. 5. 測定結果

スクイズオフを実施し30分間の漏れ量を測定した結果を表Ⅱ-10に示す。

	• •				
Ν -	漏れ量(NL/min)				
No	2. 5kPa	5. 0kPa	10. 0kPa		
1	0.01	0. 02	0.04		
2	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満		
3	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満		

表Ⅱ-10 測定結果

2. 2. 6 結果の考察

スクイズオフ工具の遮断性能確認では、通常のガス供給圧での通過が確認されたが、ガス事業者の実際の作業として想定した場合、自主基準として実施している以下の対応をおこなうことにより作業時の着火可能性を抑制できると考えられる。

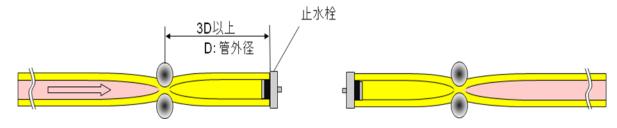
対応①

明らかな臭気、ガス圧が確認された場合には、そのまま作業は行わず再度遮断を行い通 過量が少ないことを確認して作業を行う。

対応②

導管切断箇所に対して、切断した導管先端を開放しておくことはなく通常、導管内への 異物混入防止、接合面の保護の観点より止水栓等で閉塞を行う。(図 $\Pi-1$ 3)

この場合、止水栓が気密性を有していれば、スクイズ位置から切断位置までの圧力上昇、すなわち導管内の水素濃度は表II-11に示すように3%以下となり、水素の着火下限とされる4%を下回ることとなる。

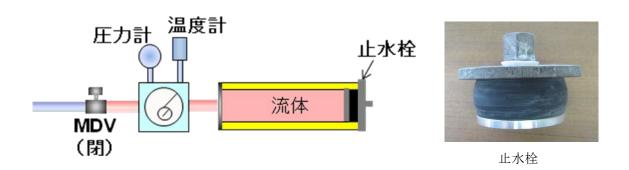


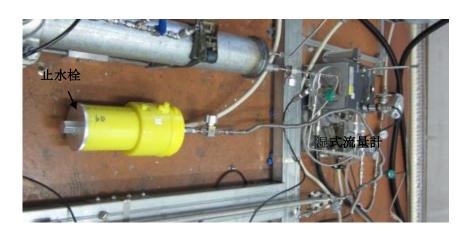
図Ⅱ-13 スクイズオフ施工状況

表Ⅱ-11 止水栓に気密性能を有している場合の配管内の水素濃度

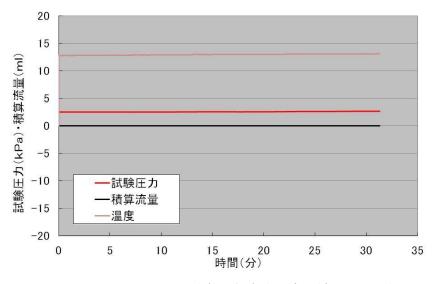
PE 管外径 (mm)	PE 管内径 (mm)	3D で切断した場合の 配管体積 (cm3)	配管内圧 2.5kPa まで 昇圧した場合の水素濃度 (%)
34	26.6	57	2.4
42	33.6	112	2.4
60	48.2	328	2.4
89	71.7	1078	2.4
114	95.9	2470	2.4

止水栓での気密確認を行った結果を図 $II-15\sim17$ に示す。気密確認の結果、止水栓に漏れは見られなかった。

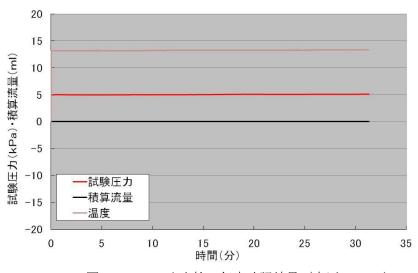




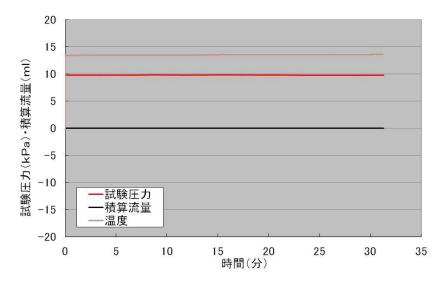
図Ⅱ-14 止水栓の気密試験状況



図Ⅱ-15 止水栓 気密確認結果(内圧 2.5kPa)



図Ⅱ-16 止水栓 気密確認結果 (内圧 5.0kPa)



図Ⅱ-17 止水栓 気密確認結果 (内圧 10.0kPa)

通過量毎に大、中、小と分けて整理した結果を表Ⅱ-12に示す。

今回の測定結果で、ガス供給圧での通過は確認されたが、通常のガス工事で実施している対応①②を行うことにより着火の可能性はなくなると考えられる。但し、自主基準で運用している作業の標準化などの対応は必要となる。

表Ⅱ-12 スクイズオフのガス通過量毎の分類

着火源		配管作業	配管作業 (自主基準対応)	接合(融着)作業
		人体による静電気	人体による静電気	なし (平成 23 年度成果より)
大(明らかに着火可能性がある		着火可能性あり対	着火可能性なし	着火可能性なし
通過量	中 (一般的な着火量 4%)	応① 着火可能性あり 対応② 着火可能性なし	着火可能性あり	着火可能性なし
	小 (着火下限に満たない微少な量)	着火可能性なし	着火可能性なし	着火可能性なし

3. ノーブローバイパス工具の気密性能

3. 1 測定試料

ノーブローバイパス工法に用いられる工具として表II-14に示す工具を選定した。 尚、試験管種は鋼管とし、口径は50Aとした。

適用管種 適用サイズ 工具種類 工具外観 鋼管50、80 TN 型ノーブロー 鋳鉄管100、150 鋼管 鋳鉄管 ガス遮断工具 200, 300 (大肯精密製) PE管100、150 PE管 200 支管ノーブロー 鋼管 バイパス工具 40, **50**, 80 (新和産業製)

表Ⅱ-14 ノーブローバイパス工法用工具

3. 2 実験設備

3. 2. 1 水素供給配管

工具の気密性を確認する水素供給配管は、ガスバック遮断性能調査と同一設備にて実施した。

3. 2. 2 試験配管

試験配管図を図Ⅱ-18に示す。尚、測定器はガスバック遮断性能調査と同一とした。





図Ⅱ-18 試験配管写真

3. 2. 3 測定内容

工具の測定条件を表Ⅱ-15に示す。

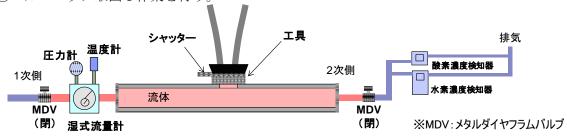
表Ⅱ-15 測定条件

工具の状態	試験圧力 (kPa)	測定時間 (分)	流体	測定項目
シャッター閉	2. 5	30	水素	・試験圧力・漏れ量・流量計1次側圧力・温度
シャッター開	2. 5	30	水素	・試験圧力・漏れ量・流量計1次側圧力・温度
作業状態 (ガスバック 挿入、取出し)	2. 5	作業毎	水素	・試験圧力・漏れ量・流量計1次側圧力・温度

3. 2. 4 測定方法

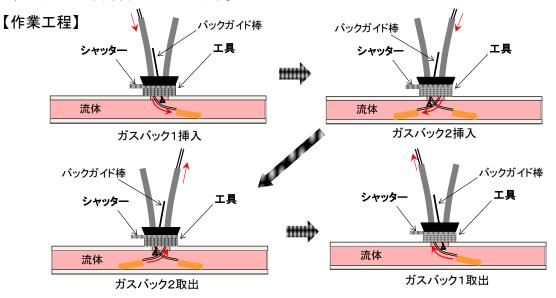
測定は、以下の要領にて実施した。

- ① 工具のシャッターが閉になっていることを確認する。
- ② 1次側および2次側のバルブ開の状態で試験配管内の窒素パージを行い、酸素検知器にて酸素がゼロを確認する。
- ③ その後、水素パージを行い、水素検知器にて水素濃度が 99.9%以上であることを確認する。
- ④ 2次側バルブを閉後、試験配管内の圧力を試験圧力に調整する。
- ⑤ 1次側バルブを閉にする。
- ⑥ 試験圧力が測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。
- ⑦ シャッター閉での試験終了後、シャッターを開にする。
- ⑧ 1次側バルブを開き、試験配管内の圧力を試験圧力に調整する。
- ⑨ 1次側バルブを閉にする。
- ⑩ 試験圧力が測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。
- ① 1次側バルブを開にする。
- ② 試験圧力が測定条件になっていることを確認後、測定を開始する。
- (13) ガスバック挿入作業を行う。
- (4) ガスバック取出し作業を行う。



図Ⅱ-19 測定図

作業工程のイメージ図を図Ⅱ-20に示す。



図Ⅱ-20 作業工程のイメージ図

3. 2. 5. 測定結果

TN型ノーブローガス遮断工具の測定結果を表II-16に示す。

表Ⅱ-16 測定結果

	試験 No	静止状態(NL/30min)		作業状態(NL/各作業) [※]			
		シャッター閉	シャッター開	バック 1 挿入	バック 2 挿入	バック 2 取出	バック 1 取出
TN 型	1	0.01 未満	0.01 未満	0.019	0. 086	0. 106	0. 077
ノーブロー 工具	2	0.01 未満	0.01 未満	0.010	0.086	0. 192	0. 057
(大肯精密)	3	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0. 058	0. 019

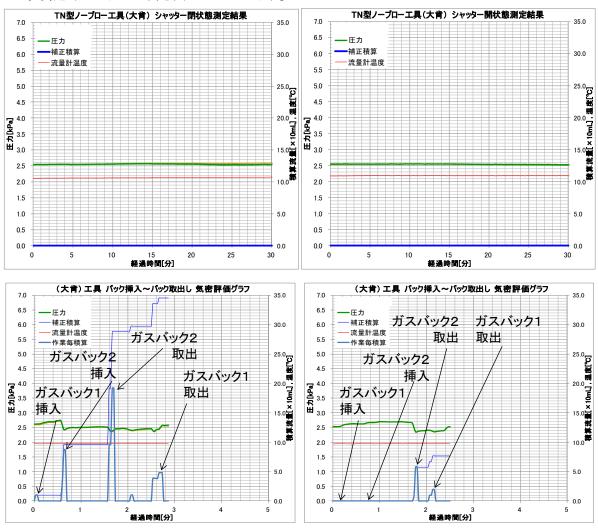
※作業状態ではガスバック挿入や取出し時の配管内容積変化による流量変化(外部には漏れていない分)も積算されている。 支管ノーブローバイパス工具の測定結果を表II-17に示す。

表Ⅱ-17 測定結果

	試験 No	静止状態(NL/30min)		作業状態(NL/各作業) [※]			
		シャッター閉	シャッター開	バック 挿入	ガイド 挿入	ガイド 取出	バック 取出
TN 型	1	0.01 未満	0.01 未満	0.029	0. 010	0.01 未満	0. 039
ノーブロー	2	0.01 未満	0.01 未満	0.019	0. 019	0.01 未満	0. 039
(大肯精密)	3	0.01 未満	0.01 未満	0.019	0. 019	0.01 未満	0. 039

※作業状態ではガスバック挿入や取出し時の配管内容積変化による流量変化(外部には漏れていない分)も積算されている。

また、測定時のグラフの例を図Ⅱ-21に示す。



図Ⅱ-21 測定結果グラフ例

4. 調査結果まとめ

① ガスバック遮断性能評価

通常使用状況(ガスバック 2 ヶ)での漏れ量の把握を行い、ガスバックの仕様圧力範囲 内で、検出限界以上の漏れは見られなかった。都市ガス用のガスバックを水素への適用が 可能であることが確認出来た。

② スクイズオフ遮断性能評価

標準状態でのスクイズオフの漏れ量の把握を行った。本確認では、ガス供給圧にて漏れが見られた。しかし、都市ガスの施工方法同様の対応により着火下限以下での運用は可能であることが確認出来た。但し、作業については自主基準を策定した上での運用が必要となる。

③ ノーブローバイパス工具気密確認評価

工具のシャッターを閉めた状態およびシャッターを開けた状態での気密確認を行い、検 出限界以上の漏れは見られなかった。

ガスバック挿入およびガスバック取出しの作業状態での、漏れ量の把握を行った。

Ⅲ. 鋼管穿孔時の安全性評価調査

1. 目的

本試験は、鋼管用活管分岐継手の穿孔作業時における穿孔機内の水素ガス濃度を計測し、安全性検証の基礎データを取得することを目的とする。穿孔機を模擬して製作した容器(ガスセル)内に施工箇所からの漏えいを想定した条件にて水素ガスを放出し、レーザ計測技術を用いて容器内部における水素ガス濃度の非接触計測を行う。

2. 水素濃度分布測定の原理

2. 1 光学的水素ガス濃度計測技術

ガス濃度計測の手法は、半導体式等に代表される接触式と光学式に代表される非接触式に大別することができる。水素ガスを対象とした場合、一般には、接触燃焼式あるいは半導体式ガスセンサが広く導入されている。

しかし、本試験の目的に照らすと、構造物内部且つ微小領域における水素ガス濃度の時間変化を捉える必要があるため、接触式ガスセンサの設置は、水素ガスの流れそのものに大きな影響を与え、構造物の形状にも一定の制限が生じる。一方で、光学的非接触手法についてみると、構造物が計測に用いる光に対して透明であれば、内部のガスの流れに全く影響を与えることなく濃度計測が可能であり、またセンサ自体は構造物の外部に設置できるため、構造物の形状設計においても自由度が高い。したがって、本試験においては、光学的ガス濃度計測手法の適用が極めて有効であると言える。

ガスの流れに対する光学的計測技術としては、表**Ⅲ**-1に示すとおり、従来から多くの手法について研究開発、技術の確立がなされている。

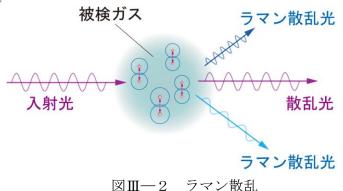
計測手法・	原理	対象物理量	特費	
Shadowgraph		温度・圧力	装置構成が容易. 密度変化の輪郭の可視化が可能.	
LIF		温度・濃度	低濃度計測が可能. 衝突失活の影響がある.	
LDV		流速	流速の二次元分布測定が可能.	
PIV (Mie scattering)	attering) 流速		微小粒子の混合技術が必要. 粒子混合による影響がある.	
Rayleigh scattering		温度・濃度	雰囲気ガス分子の影響がある. Mie 散乱の影響がある.	
D	Stokes	温度・濃度	分子種の特定が可能. 信号が微弱.	
Raman scattering	Anti-Stokes	温度・濃度	S/N 比が大きい. 照射レーザ光の位相整合が必要.	

表Ⅲ-1 ガスの流れに対する光学的計測手法

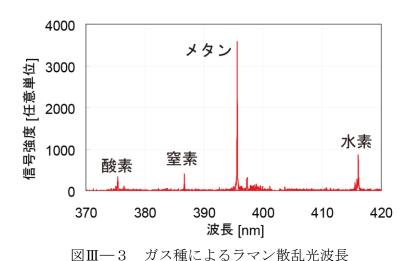
ガス流に対する濃度計測手法としては LIF 法(レーザ誘起蛍光法)、レイリー散乱、ラマン散乱の適用が考えられる。本試験の測定対象である水素ガスについてみると、LIF 法については水素分子が汎用レーザ装置の波長域に顕著な吸収帯を持たないため適用は困難であり、レイリー散乱については混合ガス中における水素分子の特定が困難であり妥当でない。一方、ラマン散乱については、混合ガス中においても水素分子の特定が可能であり、水素分子の特性としてラマン散乱が強く生じるため、一般に微弱なラマン散乱であっても十分に計測が可能となる。したがって、本試験についてはラマン散乱によるガス濃度計測手法の適用が妥当であると考えられる。

2. 2 ラマン散乱によるガス濃度計測の原理

図Ⅲ—2に示すとおり、ガス分子にレーザ光を照射した際、分子と光の相互作用により照射したレーザ光に対し波長の異なる光が散乱される現象をラマン散乱といい、散乱された光をラマン散乱光という。

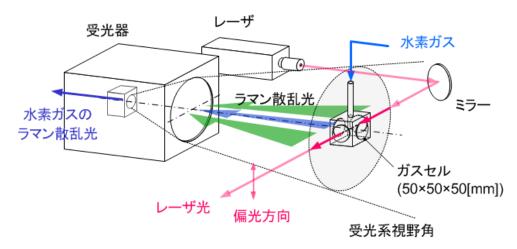


図Ⅲ—3に355nmのレーザ光を照射した際の酸素、窒素、メタン及び水素ガスのラマン散乱 光スペクトルを示す[1]。ラマン散乱光は分子種固有の波長となり、スペクトルの波長を捉えることで混合ガス中の分子種を同定することができる。

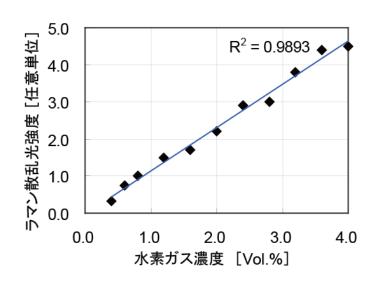


ラマン散乱光の強度はレーザ光強度と分子密度に比例する。図図Ⅲ—4に示す実験方法によって測定された水素ガス濃度とラマン散乱光強度の関係を図Ⅲ—5に示す。水素ガスを充填したガ

スセルにレーザ光を通過させ、水素ガスの濃度を変えてラマン散乱光信号強度を受光器で測定したものである^[1]。



図Ⅲ-4 水素ガス濃度測定方法



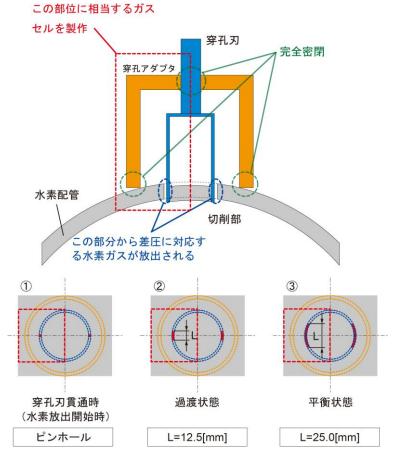
図Ⅲ-5 水素ガス濃度とラマン信号強度

図Ⅲ—4において、受光器の視野内におけるレーザ光はガスセルと大気中を通過するため、ガスセル内の水素分子によるラマン散乱光と共に、大気中における窒素分子や酸素分子によるラマン散乱光が同時に観測される。ここで、水素分子のラマン散乱波長を選択する光学フィルタを用いてラマン散乱光強度を測定することにより、混合ガス雰囲気中においても水素ガス濃度を測定することができる。この手法を用いると、図Ⅲ—5の測定結果事例に示すように、濃度 0.6%以上の水素ガスが検量線に対し誤差 10%以内で測定可能であり、検量線の濃度 0.4%までの水素ガスの検知が可能である。

3. 水素濃度分布測定試験方法

3. 1 水素ガス放出条件の設定

図Ⅲ─6に本試験おける穿孔機内水素ガス漏えいの概念図を示す。



図Ⅲ-6 穿孔機内水素ガス漏えいの概念図

本試験では、鋼管の穿孔過程を図Ⅲ—6のようにモデル化した。穿孔刃中心軸から左右対称に穿孔過程が進行するものと想定し、穿孔機を垂直に分割した片側に注目した。穿孔機容量は32A分岐用及び50A分岐用についてそれぞれの半分に設定した。穿孔刃が鋼管を貫通する過程に生じる水素ガスの漏えい口については貫通の開始から終了時までの4段階を想定し、それぞれに対応する4種類の放出口を設定した。水素ガス放出条件を表Ⅲ—2に示す。

表皿―2 水素カス放出条件					
鋼管種	32A 分岐用	50A 分岐用			
穿孔機相当体積[cc]	97.5	250.5			
(穿孔機模擬容器寸法 W×D×H[mm])	(25×39×100)	(33×52×146)			
穿孔機内初期圧力/充填ガス種	大気圧/大気				
放出口形状[mm]	ピンホール: 🗆 0.6、 🗆 1.2				
放西口形从[mm]	スリット: 0.6×12.5、0.6×25.0				
放出圧力[kPa](ゲージ圧)	10、2.5				

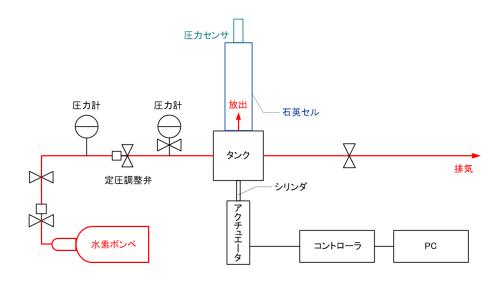
表Ⅲ-2 水素ガス放出条件

3. 2 鋼管穿孔作業を想定した水素ガス放出系の製作

上述の水素ガス放出条件を実現し、且つ光学計測が可能な水素ガス放出系及びガスセルを 次のとおり製作した。

3. 2. 1 水素ガス放出系の構成

図Ⅲ-7に本試験に用いた水素ガス放出系の配管系統図を示す。

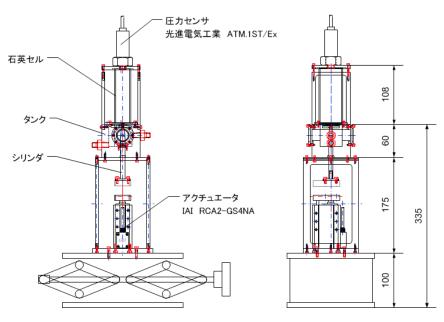


図Ⅲ-7 本試験に用いた水素ガス放出系配管系統図

ボンベから供給された水素ガスは定圧調整弁を介してタンクへと導入される。その際、微 圧計により、放出圧力のモニターを行った。

3. 2. 2 ガスセルの製作

図Ⅲ─8にガスセル全体図、表Ⅲ─3に構成部品一覧を示す。

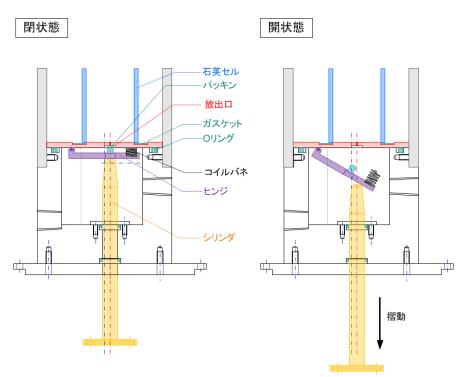


図Ⅲ-8 ガスセル全体図

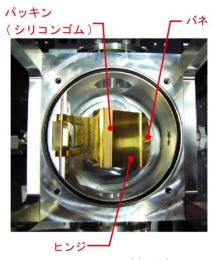
表Ⅲ-3 ガスセルの構成部品

品 名	メーカ/型式
タンク, 固定治具, シリンダ	日東クラフト社製/特注仕様
石英セル	市川特殊ガラス社製/特注仕様
アクチュエータ	IAI 社製/RCA2 - GS4NA
圧力センサ	光進電気工業社製/ATM.1ST/Ex

また、水素ガスの放出口の開閉については、タンク上部にヒンジを配置し、シリンダアクチュエータの上下摺動により行った。図III-9に放出口の開閉方法、図III-10にヒンジ部外観を示す。



図Ⅲ-9 放出口の開閉方法



図Ⅲ-10 ヒンジ部外観

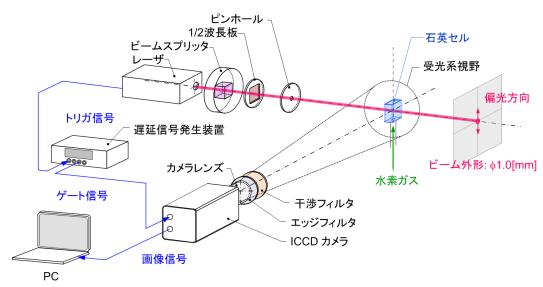
本ガスセルに供給される水素ガスは、タンク内に設定圧力条件下で充填される。タンク上の石英セル内にはあらかじめ大気圧条件にて大気が充填されており、アクチュエータの降下に伴いヒンジが開放され、タンク内の水素ガスは石英セル内に放出される。タンク上部に取り付けられた放出口を交換することで漏えい口の形状を変更する。また石英セルを交換することで、32A分岐用、50A分岐用穿孔機容量を再現する。

石英セルはレーザ光及び水素ガスからのラマン散乱光を透過するため、石英セル内部に放出 された水素ガスの濃度計測が可能となる。

また、石英セル内の圧力は、セル上端に配置された圧力センサによりモニターされている

3. 3 水素ガス濃度分布計測装置の構成

本試験における水素ガス濃度分布計測装置の構成を図Ⅲ—11、表Ⅲ—4に装置仕様をそれぞれ示す。



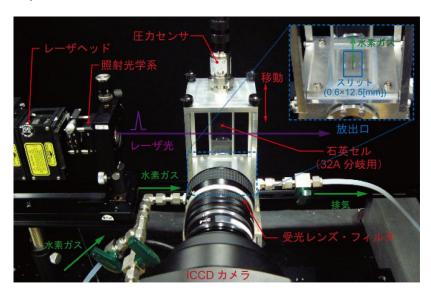
図Ⅲ-11 装置構成

表Ⅲ—4 試験装置仕様

表Ⅲ─4 試験装置仕様					
光源					
種 別	半導体レーザ励起 Nd:YAG レーザ				
メーカ/型式	Quantel / Centurion				
波長	355 [nm]				
パルスエネルギ	4[mJ]				
パルス幅	5 [ns]				
繰返し周波数	100[Hz]				
空間モード	TEM_{00}				
ビーム外径	φ1.0 [mm]				
ビーム広がり角	0.1 [mrad]				
	エッジフィルタ				
メーカ/型式	Semrock / LP02-355RU-25				
レーザ波長遮断率	>10-6				
ラマン散乱波長透過率	>95 [%]				
	水素ガス測定用干渉フィルタ				
メーカ/型式	Andover/ANDV9844(416.5/1.0nm)				
透過中心波長	416.5 [nm]				
半値全幅	1.0[nm]				
集光レンズ					
種 別	カメラレンズ (接写リング付)				
メーカ/型式	Nikon/50mm, 1.2				
受光開口径	φ 50[mm]				
開口数	F=1.2				
接写リング	Nikon/PK-11A 8				
種 別	ICCD カメラ				
メーカ/型式	Princeton Instruments / PI-MAX512 SB-SG-43				
露光前遅延時間	65 [ns]				
露光時間	10 [ns]				
露光積算回数	25 [回]				
A/D コンバータ	16 [bit]				
信号処理ソフトウェア					
メーカ/型式	Princeton Instruments / WinSpec/32				
積算回数/更新周期	1 [回] / 4[FPS]				
平滑化処理	ガウシアン 5×5				

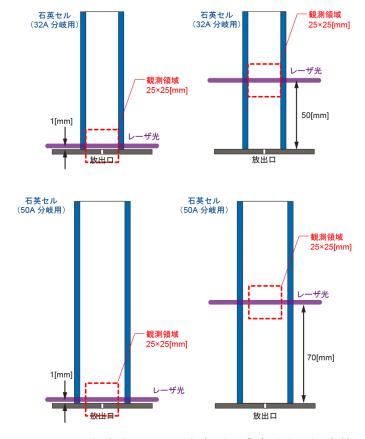
光源に Nd:YAG レーザ第 3 高調波(波長 355nm)を用い、観測領域に照射した。ラマン散乱光はレーザ照射光軸に対して直角方向から広角カメラレンズにより集光し ICCD カメラで画像として捉えた。

一般的に、ラマン散乱光は極めて微弱であるため、測定にあたっては太陽光や照明光などの外乱光とレーザの散乱光を抑制する必要がある。また、大気を構成する窒素ガスや酸素ガス等によるラマン散乱光との分離が必要である。ここでは、外乱光を抑制し水素ガスのラマン散乱光を選択するために中心波長 416.5nm、半値全幅 1.0nm の狭帯域光学バンドパスフィルタを使用し、レーザ光の散乱光を遮断するためにラマンエッジフィルタを用いた。また、外乱光の影響を低減するために、ICCD カメラのシャッタ開放のタイミングをレーザ光のパルス発振と同期させ、ICCD の露光時間をレーザパルスと同程度の 10ns とした。ラマン散乱光は励起レーザ光の電界の振動方向に対して直角に強く放射される。したがってレーザ光の偏波面は観測方向に対して垂直方向に調整した。



図Ⅲ-12 装置外観

水素ガス濃度測定状況を図III ー 1 2 に示す。水素ガスはタンク中央部から放出し、レーザ光を石英セルの横方向から照射する。水素ガスからラマン散乱光画像はレーザビームと直交した位置から ICCD カメラで撮影する。レーザ光の照射位置は、図III ー 1 3 に示すとおり石英セル内の放出口直上 1mm の位置及び各石英セルの中心部(30A 分岐用は 50mm、50A 分岐用は 70mm)とし、水素ガス濃度は同位置中央 10×10 ピクセルの領域(0.5×0.5mm の領域に相当する)における平均値を計測した。



図Ⅲ-13 本試験における水素ガス濃度分布の測定箇所

3. 4 水素ガス濃度の測定

図III-11に示す測定系において、ICCDカメラに導入されるラマン散乱光強度 P_R は

$$P_{R} = P_{0} KG\Delta LN \frac{A}{r^{2}} \sigma T(r)$$
 (1)

 P_0 : 励起レーザ光出力

K: 受光光学系透過効率

G: 光学的結合効率

AL: 単位素子の観測領域

A: 受光開口径

r:離隔距離

□:ラマン散乱断面積

N: 分子密度

T(r):大気透過率

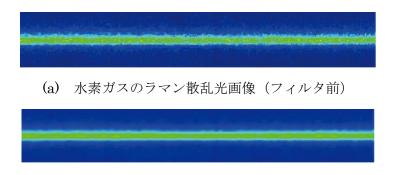
で表される②。導入されたラマン散乱光は ICCD カメラ内部のイメージインテンシファイア(以下 I.I.)によって増幅され、この際離散的なノイズ成分が重畳する。そして CCD イメージセンサの各素子が光を検出し O/E 変換を行う。これらの過程を基に、ここでは以下の手法により水素ガスの空間濃度分布を評価した。

まず、I.I.によるノイズ成分を除去するために、取得画像に空間的な平滑化処理として 5×5 ガウシアンフィルタを適用した。図III-1 4に用いたフィルタのパラメータを示す。

<u>1</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>1</u>
256	256	256	256	256
<u>4</u>	<u>16</u>	<u>24</u>	<u>16</u>	<u>4</u>
256	256	256	256	256
<u>6</u>	<u>24</u>	<u>36</u>	<u>24</u>	<u>6</u>
256	256	256	256	256
<u>4</u>	<u>16</u>	<u>24</u>	<u>16</u>	<u>4</u>
256	256	256	256	256
<u>1</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>1</u>
256	256	256	256	256

図Ⅲ-14 5×5 ガウシアンフィルタマスクパラメータ

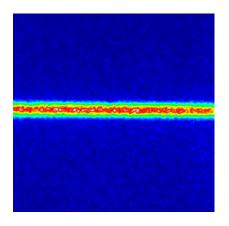
ガウシアンフィルタは各要素の和が 1 となるように重み付けされており、画像処理におけるノイズ除去手法として一般的に用いられるものである。図III—15に水素ガスのラマン散乱光画像へのガウシアンフィルタ適用画像例を示す。図III—15(a)についてみると、背景領域においても離散化した輝点が確認される。これは前述の I.I.によるノイズ成分であり、熱雑音により発生した光電子が増倍され輝点として画像に反映されたものである。このノイズは、同様に水素ガスのラマン散乱光画像における水素ガス分布領域の輝度にも重畳されている。これに対し、図III—15(b)についてみると、平滑化処理を適用することで離散した輝点が大きく減少し、輝度の分布をより連続的に観測できることがわかる。



(b) 水素ガスのラマン散乱光画像 (フィルタ後) 図Ⅲ—15 水素ガスのラマン散乱光画像へのガウシアンフィルタ適用画像例

次に、得られたラマン散乱光画像の輝度から、水素ガス濃度を求める。前述のラマン散乱光強度を表す式(1)に示すように、同一の測定条件において計測されたラマン散乱光信号強度はガス濃度に比例する。したがって、本装置では、事前に取得した既知濃度の水素ガスによるラマン散乱光画像を取得し、その輝度を基に検量線を得ることにより、正確にガス濃度を求めることができる。

図III -16 に本装置により得られた石英セル内に濃度 100%の水素ガスを充填した場合におけるラマン散乱光画像を示す。



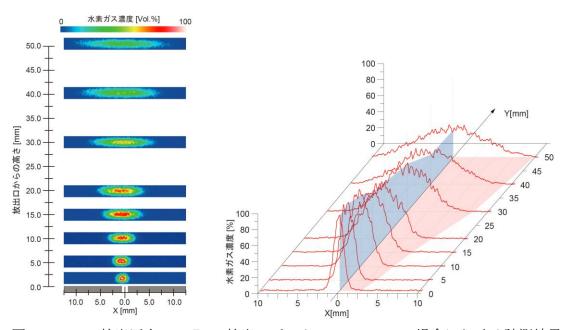
図Ⅲ-16 石英セル内に濃度 100%の水素ガスを充填した場合におけるラマン散乱光画像

本試験では、図Ⅲ-16により得られた輝度を基に、以下水素ガス濃度測定を行った。

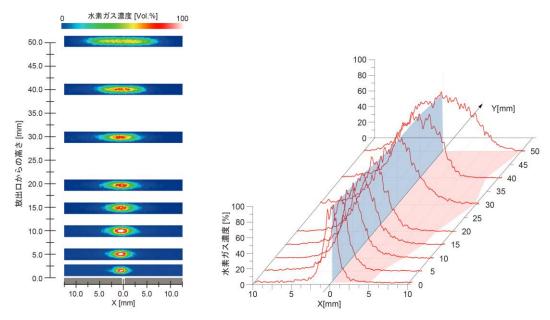
4. 測定結果

4. 1 水素ガス放出系及び水素ガス濃度計測装置機能試験

まず、本試験に用いる水素ガス放出系及び水素ガス濃度計測装置の機能を確認するため、石英セルを取外した状態でヒンジを開放し、大気中に水素ガスを放出させ、水素ガス噴流の空間濃度分布計測試験を実施した。図III-17に放出圧力 10 k Pa、放出口ピンホール $\phi1.2$ mm の場合における計測結果を、図III-18に放出圧力 10 k Pa、放出口スリット 0.6×12.5mm の場合における計測結果をそれぞれ示す。



図Ⅲ―17 放出圧力 10 k Pa、放出口ピンホールφ1.2mm の場合における計測結果



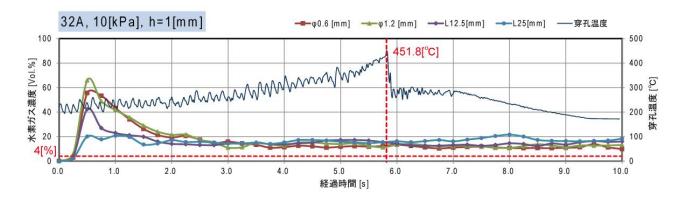
図Ⅲ-18 放出圧力 10 k Pa、放出口スリット 0.6×12.5mm の場合における計測結果

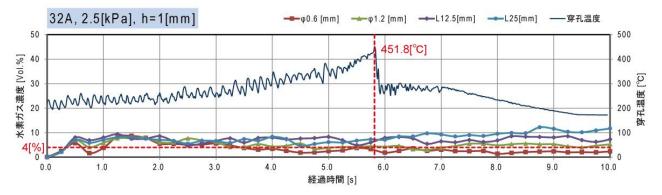
図Ⅲ—17及び図Ⅲ—18に示す結果は、左側に放出口から垂直方向における各位置において取得した水素ガスのラマン散乱光画像であり、右側に同ラマン散乱光画像の輝度を基に計測した水平方向の水素ガス空間濃度分布を示している。また、ラマン散乱光画像では、信号強度を画像の彩度として示している。

設定された圧力により大気中に放出された水素ガスは噴流を形成する。ラマン散乱光画像によれば、水素ガス分子が存在する領域のみ輝度が増加していることがわかる。これは、大気中に存在する窒素及び酸素を含む水素ガスの混合雰囲気に対し、本装置が水素分子のみを特定して検知し、画像として取得していることを意味する。また、空間濃度分布をみると、放出口直上においては水素ガス濃度がほぼ100%を示し、放出口から遠ざかるにつれ、水素ガスの分布領域が拡大し、中央部の濃度が低下していることがわかる。これは、水素ガス噴流の濃度分布を特徴的に捉えているものであり、本手法の水素ガス濃度計測機能が正常に動作していることを意味している。

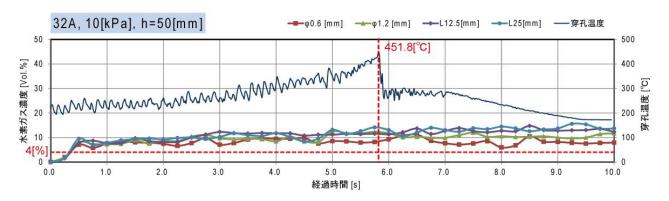
4. 2 穿孔機内水素ガス濃度計測試験結果

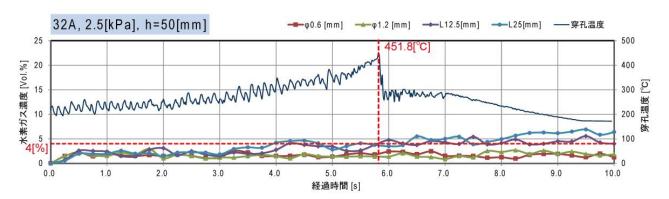
本試験に向け製作した水素ガス放出系及び水素ガス濃度計測装置を用いて、表III-4に示す放出条件の基、水素ガス濃度計測試験を実施した。各条件における水素ガス濃度の時間変化を図 III-19から図III-22に示す。なお、測定箇所については図III-13に示すとおりであり、各鋼管について穿孔時における切削部の温度変化を重ねて示した。



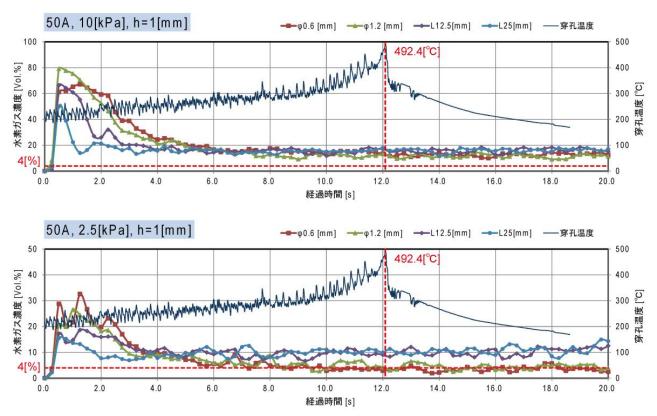


図Ⅲ-19 32A 分岐用、放出口から高さ 1mm、放出圧力 10kPa(上)、2.5kPa(下)

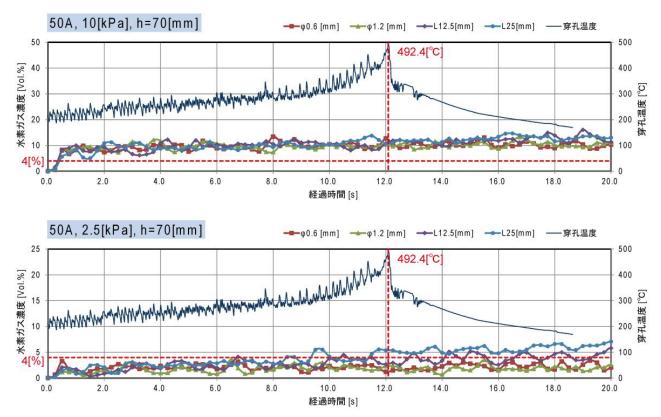




図Ⅲ-20 32A 分岐用、放出口から高さ 50mm、放出圧力 10kPa(上)、2.5kPa(下)



図Ⅲ-21 50A 分岐用、放出口から高さ 1mm、放出圧力 10kPa(上)、2.5kPa(下)



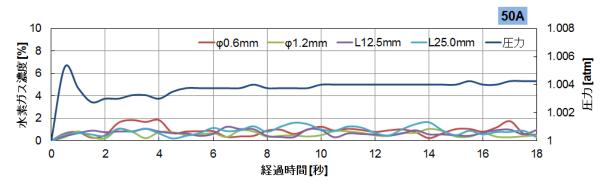
図Ⅲ-22 50A 分岐用、放出口から高さ 70mm、放出圧力 10kPa(上)、2.5kPa(下)

5. 結果の考察

放出口直上の測定において、穿孔終了時間における水素濃度は、放出口形状により $4\sim10\%$ 程度となる結果であった。また、穿孔終了時間も作業者ごとのばらつきが想定されるため。水素の着火可能性は否定できない結果であった。

一方、ガス事業者の実際の作業を想定した場合、特に中圧供給での穿孔では導管内を減圧する手法がとられている。そこで、導管内を減圧したことを想定して放出圧力 $1.0 \mathrm{kPa}$ での水素濃度測定を実施した。測定は、穿孔終了時の水素濃度に高い傾向が見られた $50\mathrm{A}$ にて実施した。結果を図 Π - 2 3 に示す。

測定の結果、水素濃度は水素の着火下限とされる4%を下回る結果であった。



図Ⅲ-23 50A 分岐用、放出口から高さ 1mm、放出圧力 1.0kPa

6. 調査結果まとめ

穿孔機を模擬して製作したガスセル内に導管内からの水素放出を想定し、ラマン散乱を用いた水素ガス濃度計測装置により容器内部における水素ガス濃度計測を行った。

所定の放出条件下における水素ガス放出時のラマン散乱光画像を毎秒4コマの周期で取得し、 同画像から得られる放出口直上及びセル中央部の水素ガス濃度の時間変化を明らかにした。

水素放出口形状について貫通の開始から終了時までの 4 段階で想定した放出形状にて水素濃度を測定した結果、穿孔終了時間の水素濃度は 10%程度まで上昇する結果であったが、都市ガスの施工方法と同様に導管内を減圧することにより、水素の着火下限以下になることが確認出来た。但し、施工の可否については、本調査結果と平成 23 年度水素ネットワーク導管保安技術調査の「施工方法の安全性評価調査」の結果と合わせた判断が必要となる。

Ⅳ. 供給設備の安全性評価調査

1. 調査研究の目的等

1. 1 目的

現行の都市ガス供給にて使用されている整圧器が、水素に対しても同様の制御性を示すのか、また、水素を制御可能な場合において、安全に使用できるのかを調査する。

1. 2 調査研究の概要

水素は天然ガスに比して透過が発生しやすい気体である。比重は0.06952(空気=1)、粘度は $0.0088(20^{\circ})$ であり、天然ガスとの性状は大きく異なる。

ゴム製のダイヤフラムで2次圧を感知し、設定スプリングによる出力とのバランスで2次圧を制御する整圧器において水素透過は必至であり、透過の程度および実機における気密性を把握しておくことが必須となる。また、水素の性状が整圧器の制御性にどのような影響を与えるかについても把握する必要がある。

本試験では、一般的な都市ガス用整圧器により中低圧の水素パイプライン供給を想定した場合に 考え得る、整圧器のダイヤフラムにおける水素の透過挙動、整圧器本体気密性および制御性に関 わる調査を実施した。

透過性試験・気密試験においては、想定される制御範囲の上限近傍圧力および一般家庭向けに おける圧力において評価試験を実施した。また試験供試体としては、直動式・直動レバー式・パイロット式ローディング型・パイロット式アンローディング型の4種の整圧器に対して評価を実施した。

1. 3 調査内容

整圧器の調査項目を表Ⅳ-1に示す。

項目	目的				
ダイヤフラム 水素透過試験	都市ガス用整圧器として使用されている、ダイヤフラムと同材質の基布入りゴムシートを使用し、水素の透過量を確認する。				
整圧器本体気密試験	水素透過試験の結果を受け、実際の整圧器として組み立てた際の、ダイヤフラム膜面だけでなくダイヤフラム側面などからの水素の透過を機器全体として確認する。				
整圧器特性試験	都市ガス用整圧器に水 素を流した場合の制御特性を確認する。	①静特性試験 静的流量変化に対する制御性の確認、最大流量、オフセット、あおり有無 ②動特性試験 動的流量変化に対する制御性の確認 オーバー/アンダーシフト、静定時間 ③P1-P2特性試験 P1変化に対する制御性確認、最低動作 差圧			

2. ダイヤフラム水素透過性試験

2. 1 供試試料

・ 直動レバー式 整圧器用ダイヤフラム素材による試験体

厚さ:0.76mm

· 直径:50mm

ゴム:NBR(ニトリル含有率29.5%)

・ 基布:ナイロン

数量:3枚(圧力条件ごとに1枚)

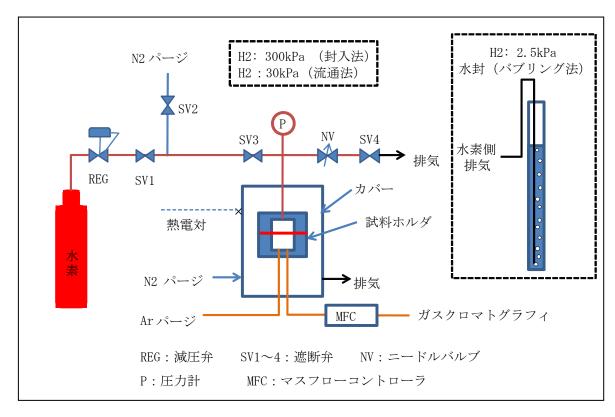
2. 2 試験機材

サンプルホルダ :ステンレス製・開口部直径 2.5cmガスクロマトグラフィ :GC-TCD(ジェイサイエンスラボ製)

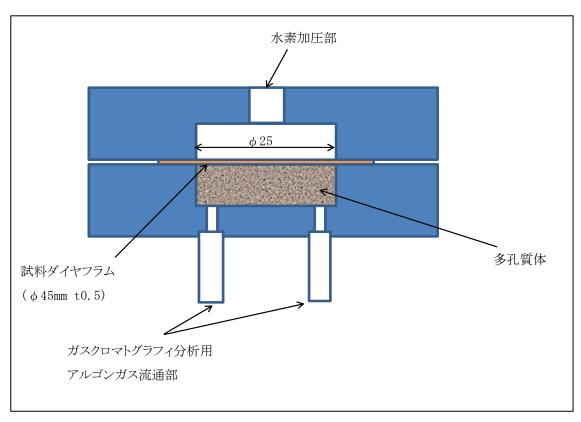
・ 圧力センサ : DP-340(コスモ計器製)

2. 3 試験配管

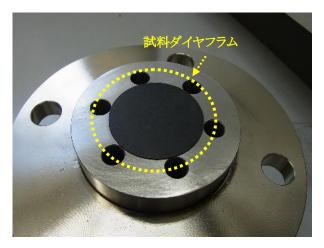
試験配管のフロー図、試料固定状況を図W-1、W-2に示し、試験状況を図 $W3\sim8$ に示す。



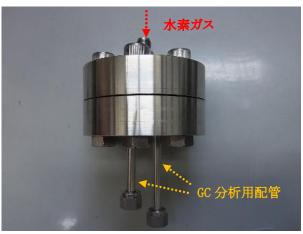
図Ⅳ-1. ダイヤフラム水素試験フロー



図IV-2. 透過試験用試料ホルダ



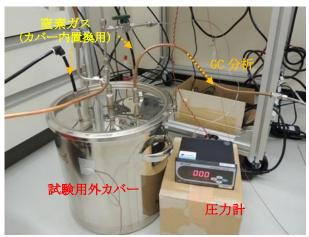
図Ⅳ-3. 試料設置状況



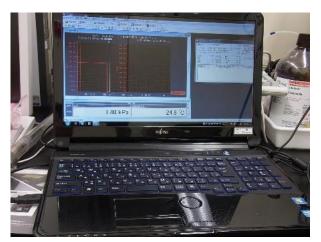
図IV-4. 試料ホルダ



図IV-5. 試料ホルダ設置状況



図IV-6. 外カバー設置状況



図IV-7 . データ収集用 PC



図IV-8. ガスクロマトグラフィ分析装置(GC-TCD)

2. 4 試験条件

試験条件は以下とし、透過側水素濃度(検出感度 10ppm リークレート約 10⁻¹¹Pa/m3・sec に相当)の測定を実施した。

· 圧力媒体 :水素

・ 温度 :室温(空調により約25℃)
 ・ 試験圧力 :2.5kPa、30kPa、300kPa

・ アルゴンパージ流量:50ml/min

2. 5 試験方法

- ① 試験体設置後、加圧側の窒素パージおよび透過側のアルゴンパージを実施する。
- ② 加圧側の水素パージを実施する。
- ③ 加圧側に水素を流通させ所定圧力に調整後、試験を開始する。
- ④ 5分毎に透過側の水素分析を実施する。

2. 6 試験結果

水素透過濃度の測定結果を表IV-2に示す。また、圧力条件毎の測定結果を図 $IV-9\sim14$ に示す。尚、透過濃度は、以下の式により、透過濃度(ppm)を透過量(m1/min)に換算した。

水素透過量① (m1/h) = 透過濃度 (ppm) × 50 $(m1/min: アルゴンパージ流量) ÷10000000×60 水素透過量②<math>(m1/(cm^2 \cdot h))$ = 単位面積当たり水素透過量 $(m1/(cm^2 \cdot h))$

= 水素透過量① ÷ $(2.5^2 \div 4 \times \Pi)$

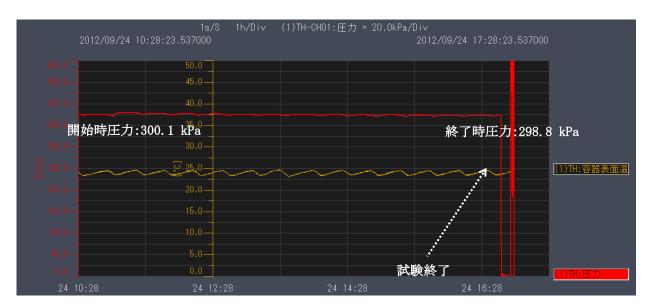
表IV-2. 水素透過試験結果

P(kPa)	透過濃度(ppm)	水素透過量①(m1/h)	水素透過量②(m1/(cm ² ·h))
300	29. 92	8. 97×10 ⁻²	1.83×10 ⁻²
30	9. 69	2. 91×10 ⁻²	5. 93×10 ⁻³
2.5	9. 96	2. 99×10 ⁻²	6. 09×10 ⁻³

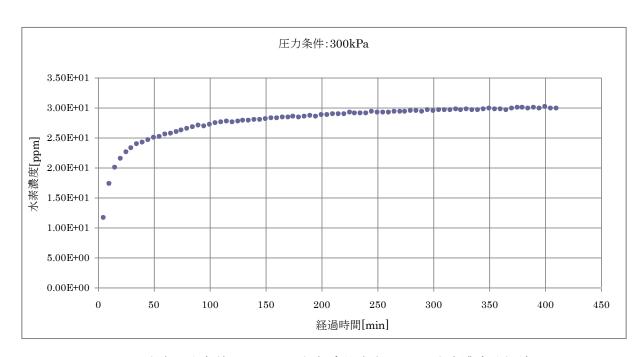
※透過濃度については、試験終了前30分間(6データ)の平均を使用した。

※水素透過量①:時間あたりの水素透過量を表す。

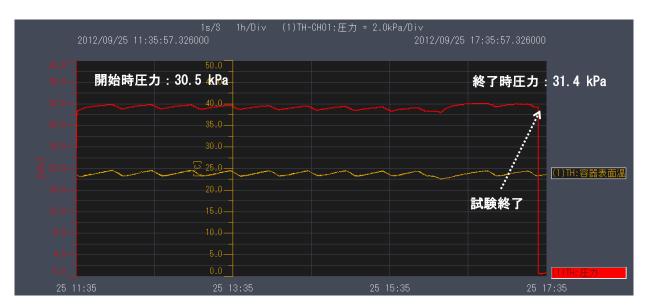
※水素透過量②:単位面積あたりの水素透過量を表す。



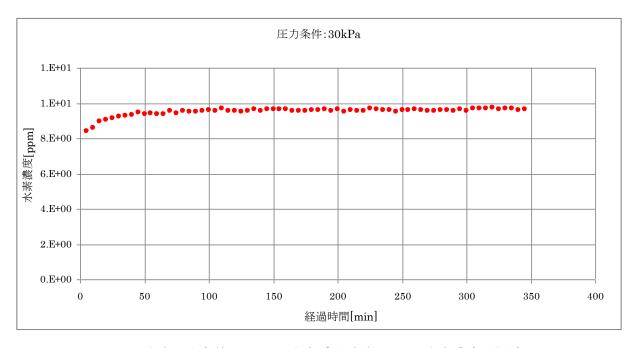
図IV-9. 水素圧力条件 300kPa の水素透過試験における圧力、温度変化



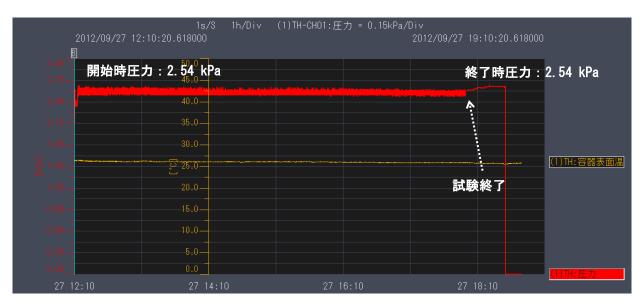
図IV-10. 水素圧力条件 300kPa の水素透過試験における水素濃度分析結果



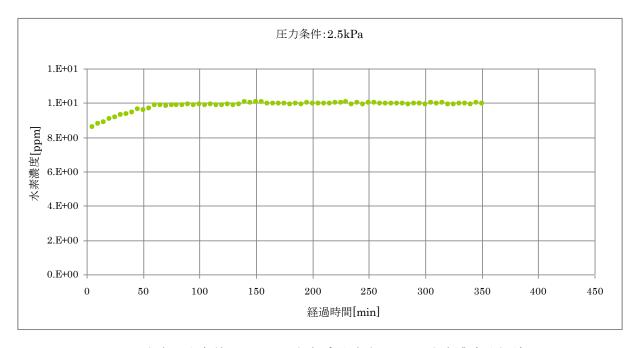
図IV-11. 水素圧力条件 30kPa の水素透過試験における圧力、温度変化



図IV-12. 水素圧力条件 30kPa の水素透過試験における水素濃度分析結果



図IV-13. 水素圧力条件 2.5kPa の水素透過試験における圧力、温度変化



図IV-14. 水素圧力条件 2.5kPa の水素透過試験における水素濃度分析結果

2. 7 考察

透過量計算式および透過係数より算出した理論水素透過量と実験結果の比較を表IV-3、図IV-15に示す。尚、理論水素透過量は下式より算出した。

 $Qp = K(A/\ell) (Pi - P_0)$

Qp : 透過漏洩量(Pa·m³/s)

A : 透過断面積(m2)

⇒ 透過部直径 2.5cm より算出

K : 透過係数(m2/s)

⇒ 日本バルカー工業㈱ハンドブック記載の資料より算出

ℓ : 透過長さ(m)

⇒ ダイヤフラム膜厚を適用(0.76mm)

Pi : 高圧側圧力(Pa)

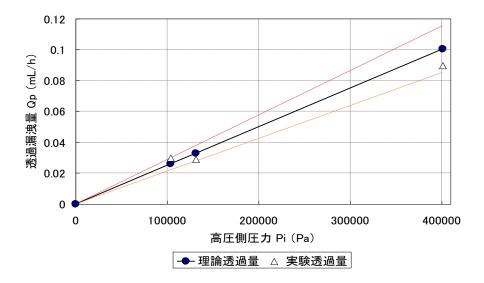
⇒ 水素分圧で計算。純水素であるため印加圧をそのまま使用。

P₀ : 低圧側圧力(Pa)

⇒ 水素分圧で計算。透過側に水素は存在しないため、0で計算する。

表IV-3. 理論計算による水素透過量と実験結果の比較

_						
項目		項目	単位	P=2.5kPa	P=30kPa	P=300kPa
	A	透過断面積	M^2	0.00049	0.00049	0.00049
	K	透過係数	M^2/s	1. 091E-11	1. 091E-11	1. 091E-11
	ł	透過長さ	M	0.00076	0.00076	0.00076
I	Рi	高圧側圧力	Pa	103825	131325	401325
	P_0	低圧側圧力	Pa	0	0	0
	0	透過漏洩量	Pa•m³/s	7. 32E-07	9. 25E-07	2.83E-06
Ľ	Qp	透迴倆伐軍	atm·ml/h	2.60E-02	3. 29E-02	1.00E-01
		実験結果	atm•m1/h	2. 99E-02	2. 91E-02	8. 97E-02



図Ⅳ-15. 理論値と実験値の比較グラフ

理論透過計算式による透過量と実験の結果では、ゴム材質の不均一さによる僅かな誤差は見受けられたが、漏洩検知液でも検出ができない量{ 0.36mL/h(1×10-4mL/sec)以下}程度の微量な漏洩であった。

なお、透過係数については日本バルカー工業株式会社 HANDBOOK 記載の透過係数を参考とした。ニトリル配合量により透過係数が異なるが、今回使用したゴム(29%ニトリル)に適する透過係数がなかったため、補間計算により算出した。

表IV-4. 各種エラストマーおよびふっ素樹脂の各種気体に対する透過係数(単位: $\times 10^{-12} \ m^2/s$)

エラストマー、樹脂種類	Не	H_2	N_2	O_2	CO ₂	CH_4
ニトリル含量 18%ニトリルゴム	_	_	1.9	_	48. 0	_
ニトリル含量 20%ニトリルゴム	_	20.0	2. 1	6. 3	49. 0	_
ニトリル含量 27%ニトリルゴム	9. 3	12.0~ 12.1	0.81~ 0.86	2.9~ 3.0	23.5~ 24.0	_
ニトリル含量 32%ニトリルゴム	7. 5	9.0~ 9.4	0.46~ 0.50	1.8	14.0~ 14.1	_
ニトリル含量 39%ニトリルゴム	5. 2~ 8. 0	5. 4~ 9. 0	0.18~ 0.46	0.70~ 1.8	3.3~ 5.7	_

出典 : 日本バルカー工業株式会社 VALQUA HAND BOOK 技術編

ニトリル含有 27%ニトリルゴム透過係数 : 12.0~12.1(中間値:12.05)

ニトリル含有 32%ニトリルゴム透過係数 : 9.0~9.4(中間値:9.2)

(単位: ×10⁻¹² m²/s)

この両中間値からニトリル含有29%ニトリルゴムの透過係数を、補間計算で算出する。

ニトリル含有 29%ニトリルゴム透過係数 = $12.05 - (12.05 - 9.2) \div 5 \times 2$ = $10.91 \times 10^{-12} \,\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$

3. 整圧器本体気密性能試験

3. 1 試験供試品

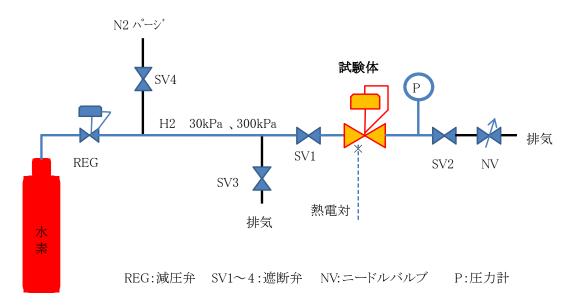
- ⑤ 直動レバー式 整圧器 :1台
- ⑥ パイロット式アンローディング 整圧器 :1台

3. 2 試験機材

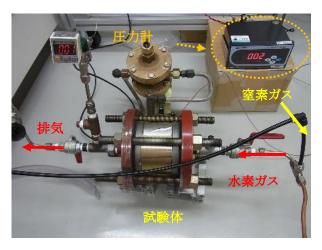
⑦ 圧力センサ :DP-340(コスモ計器製)

3. 3 試験配管

試験配管のフロー図、試料固定状況を図 $\mathbb{N}-1$ 6に示し、試験状況を図 $\mathbb{N}-1$ 7~21に示す。



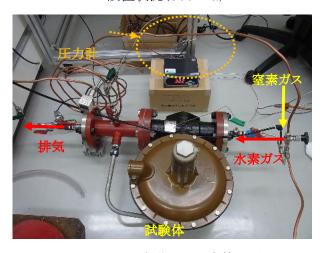
図IV-16. 水素気密試験フロー



図IV-17. パイロット式アンローディング型整圧器 設置状況(300kPa)



図IV-18. パイロット式アンローディング型 整圧器外観



図IV-19 直動レバー式整圧器 設置状況(30kPa)



図IV-20. 直動レバー式整圧器外観



図IV-21. データ収集用 PC

3. 4 試験条件

試験条件は以下とし、水素の圧力変化及び試験体温度の測定を実施した。

① 圧力媒体 :水素

② 温度 :室温

③ 印加圧力 :30kPa(直動レバー式整圧器)

300kPa(パイロット式アンローディング型整圧器)

3. 5 試験方法

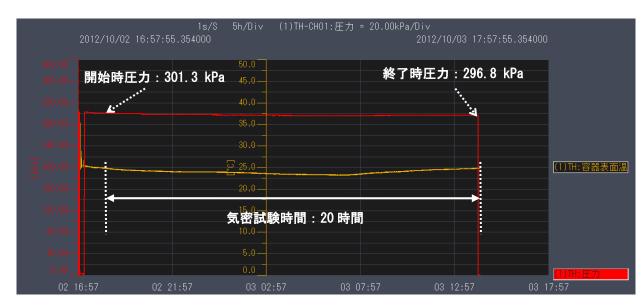
- ① 試験体設置後、窒素パージを実施する。
- ② 水素パージを実施する。
- ③ V1弁・V2弁開として水素を流通させ所定圧力に調整後、V1弁・V2弁を閉じ、内圧の安定を確認後、試験を開始する。
- ④ 20時間経過後、試験終了(水素停止後、窒素パージ実施)

3. 6 試験結果

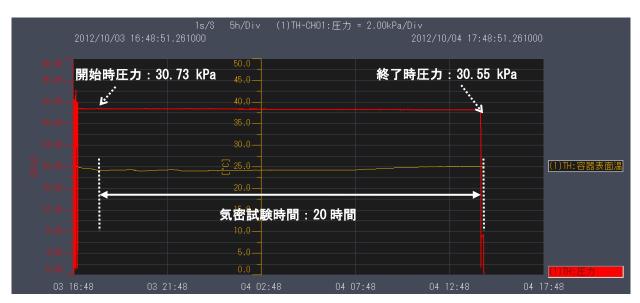
水素気密試験結果を表IV-5に示す。また、試料ごとの圧力測定結果を図IV-22, 23に示す。

表Ⅳ-5. 水素試験結果と時間当たり外部漏洩量の算出

機種		直動レバー式	パイロット式
内容積	ml	3250	350
開始時圧力	kPa(abs)	132.06	402.63
開始時温度	K	297. 55	298. 15
終了時圧力	kPa (abs)	131.88	398. 13
終了時温度	K	298. 25	297. 95
開始時圧力	kPa(abs) (25℃)	132. 32	402.63
終了時圧力	kPa(abs) (25℃)	131.83	398. 39
開始時水素体積	ml (atm·25°C)	4244. 21	1390. 76
終了時水素体積	ml (atm·25°C)	4228. 47	1376. 14
外部漏洩体積	ml (atm•25°C•20h)	15. 73	14. 62
時間当たり外部漏洩体積	m1/h (atm•25°C)	0. 79	0.73



図IV-21. パイロット式アンローディング型整圧器の気密試験における圧力、及び試験体表面温度の変化



図IV-22. 直動レバー式整圧器の気密試験における圧力、及び試験体表面温度の変化

3.7 考察

3. 7. 1. 透過試験結果との比較

外部漏洩した水素が、全てダイヤフラムからの透過であったと仮定した場合、以下のような結果となった。

表IV-6. 気密試験結果によるダイヤフラムからの透過漏洩量計算と透過試験結果の比較

機種	直動レバー式	パイロット式	
時間当たり外部漏洩体積	m1/h	0. 79	0. 73
ダイヤフラム面積	cm^2	453. 7	18.5
単位面積当たり外部漏洩量(気密試験)	m1/(cm ² ·h)	1.73E-03	3. 95E-02
単位面積当たり外部漏洩量(透過試験)	m1/(cm ² •h)	5. 93E-03	_

整圧器本体の気密性を約20時間測定した結果、微量ではあるが圧力降下が確認された。 しかし、透過試験結果からダイヤフラム膜面の水素透過量を算出するとほぼ全量がダイヤフラム からの透過量という推測ができ、水素を流体とした場合においても、整圧器本体の気密性には問 題ないという結果が得られた。

3. 7. 2 都市ガス用整圧器室に設置した場合の安全性の検証

現状の都市ガス用整圧器室に関する換気回数に関する計算式は下式にて算出される。

S = NAH/V

S: 換気口 開口部断面積 (m²)

N : 換気回数 (回/h) A : 床面積 (m²)

H : 高さ (m)

V: 通常当該施設付近において想定される風速 (m/h)

上式により、屋外設置用整圧器室の換気回数を計算すると以下となる。なお、通常当該施設付近において想定される風速については、0.1m/secと仮定する。

(0.1m/sec は、気象庁風速測定における最小計測単位に基づく)

換気口開口部面積 (S) : 0.0063 (m²) 床面積 (A) : 1.444 (m²) 高さ (H) : 1.395 (m)

風速 (V) : 360 (m/h) {= 0.1m/sec}

N = S V / (A H) = $0.0063 \times 360 \div (1.444 \times 1.395)$ = 1.13 (\Box /h)

換気回数及びダイヤフラム水素透過試験の結果より、整圧器室内の水素濃度を以下に 試算した。

整圧器室内平均水素濃度 : 5.38 ÷ (2013964×1.13) ×100 = 2.37×10⁻⁴ (%)

単位面積当たり水素漏洩量(透過試験): 5.93×10⁻³ m1/(cm²·h)

ダイヤフラム面積 : 453.7 cm²

整圧器内設置数 : 2 台(メイン・サブ)

整圧器室内水素漏洩量 : $5.93 \times 10^{-3} \times 453.7 \times 2 = 5.38$ mL/h

整圧器室内容積: 2013964 cm³

幅 : 133.8 cm 奥行 : 107.9 cm 高さ : 139.5 cm 換気回数 : 1.13 回/h

水素爆発下限界濃度が 4%と比較すると上記条件における水素濃度は十分に小さい値である と判断できる。なお、当該濃度はダイヤフラム水素透過量、整圧器室内容積、換気回数(換 気口開口面積・風量)などに依存するので、機種・流体条件・設置条件により個別に確認す ることが必要と考える。

4. 整圧器特性試験

4. 1 試験供試品および試験条件

① 供試品:表IV-7による

② 流体 :水素

③ 圧力 :表IV-7による

表IV-7. 試験供試品・ 圧力条件組み合わせ表

機種	1 次圧力	2 次圧力(kPa)			
7及7里	(kPa)	2.5	10	140	
直動レバー式	700	0	0	_	
直動式	700	_	_	0	
パイロット式アンローディング型①	700	0	0	-	
パイロット式アンローディング型②	700	_	_	0	
パイロット式ローディング	700	0	0	0	

台数: 各1台

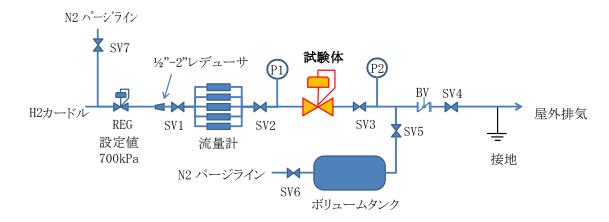
4. 2 試験機材

④ 流量計 :CMS2000 水素用(アズビル製) 5連並列(Max600Nm3/h)

⑤ 圧力センサ :DP-340(コスモ計器製)⑥ 記録計 :GR-3500(キーエンス製)

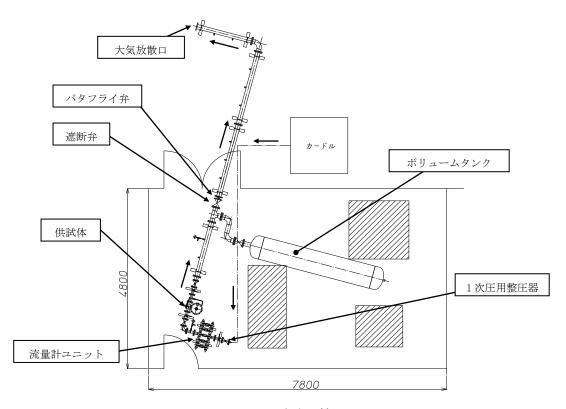
4. 3 試験配管

試験配管のフロー及び配管図を図 $\mathbb{N}-23$, 24に示し、試験状況を図 $\mathbb{N}-25\sim33$ に示す。



REG:減圧弁 SV1~7:遮断弁 BV:バタフライ弁 P1~P2:圧力計

図Ⅳ-23. 整圧器特性試験フロー



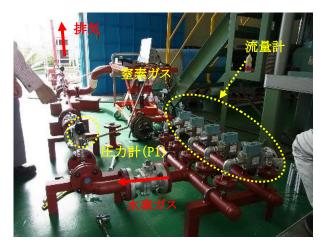
図IV-24. 試験配管図

整圧器2次側配管容量

● 4B配管 : $100A \times 3m = 0.02 \text{ m}^3$

● ボリュームタンク : 600A×3.5m = 0.90 m³

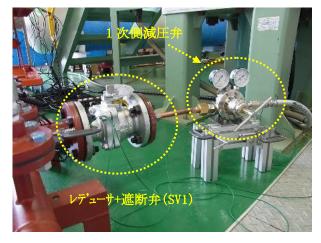
● 合計 : 0.92 m³



図IV-25. 試験実施状況①



図Ⅳ-26. 試験実施状況②



図Ⅳ-27. 試験実施状況③



図IV-28. 圧力計及び計測用 PC



図IV-29. 直動レバー式整圧器設置状況



図IV-30. 直動式整圧器 設置状況



図 \mathbb{N} —31. パイロット式アンローディング型整圧器① 図 \mathbb{N} – 3 2 パイロット式アンローディング型整圧器②



図IV-32 バイロット式アンローティンク型整圧器② 設置状況



図IV-33 パイロット式ローディング型整圧器 設置状況

4. 4 測定項目

- 水素流量
- · 1次圧(整圧器上流側圧力)
- · 2次圧(整圧器下流側圧力)

4. 5 試験方法

- ① 試験体設置後、配管内の窒素パージを実施した後、水素ガスに切り替える。
- ② V1弁開、V2弁閉として1次圧・2次圧調整後、静特性試験開始
- ③ V3弁をゆっくり操作し、流量を $0\rightarrow 400\rightarrow 0$ Nm³/hで漸増・漸減させる。
- ④ 動特性試験実施 V3弁で流量を50、100Nm³/hに調整後、V4弁で全閉⇔全開を3回繰り返す。
- ⑤ P1-P2特性試験実施V1弁を全閉、V3弁を微開としてブローダウンする。
- ⑥ V4弁2次側は大気放散とする。(低圧のため水素回収不可)

4. 6 試験結果

試験ごとの結果を以下に示す。また、試験結果グラフについては、添付資料 $1-1\sim3-2$ (添付図 $1\sim35$)にまとめる。

4.6.1 静特性試験結果

試験結果を表IV-8に示し、結果のまとめを表IV-9に示す。

表IV-8. 静特性試験結果

	Do ∄L'⇔	実際の P2	400Nm³/h 時オフセット		参考
機種	P2 設定 (kPa)	設定 (kPa)	圧力値 (kPa)	%	Q=400Nm³/h 時 P1(MPa)
直動レバー式整圧器	2. 5	2. 49	2. 095	16	0. 594
直動レバー八金川・船	10	9. 91	8. 986	9	0.622
直動式整圧器	140	136. 3	124. 1	9	0.601
パイロット式アンローディング型	2. 5	2. 49	2. 45	1.6	0. 623
整圧器①	10	10. 14	10.11	0.3	0.656
パイロット式アンローディング型整圧器②	140			1	_
0 > 1 _ L > > > > > > > > > > > > > > > > > >	2. 5	2.5	2.42	3. 2	0.675
パイロット式ローディング型 整圧器	10	9.88	9. 79	0. 9	0.594
1E/1-71F	140	140. 2	140	0.1	0. 591

表Ⅳ-9 静特性試験結果まとめ

	機種	結果				
直動式		オフセット(流量増大に伴う2次圧の低下)が見られるが、安定的な制御である。オフセットについては、流量増加に伴ってP1が下がってしまうことも影響しているため、P1がほぼ一定となる実際の流送においては今回の試験結果よりも小さいオフセットになると考えられる。				
パイロット式	アンローディング型 整圧器① ローディング型 整圧器	微少流量において小さなあおりが発生したことによる2次圧の バイブレーションが確認されたが、流量増に伴って影響は小 さくなり、400Nm³/h では安定的に制御した。パイロット式であ るため、直動式に比べてオフセットも小さく、P1低下の影響も 小さい。				
	アンローディング型 整圧器②	微小流量時のあおりが大きく発生したため試験中止。※1				

※1:パイロット式アンローディング整圧器②の静特性試験を中止した理由について

整圧器の仕様に見合わない小流量での試験であり、事前よりあおりの発生を予想していたが、試験体1次圧整圧用の整圧器にまで影響を与え、かつ、試験設備に対策が必要な大きなあおりであったため、試験中止に至った。

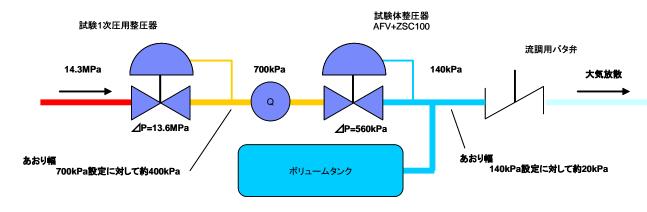


図36. あおり発生時の試験配管フロー

再試験に関しては、以降で報告する動特性試験で、流量変動に対する追従性は良好であったこと、動特性試験結果とP1-P2特性試験の結果を合わせて判断すると、特定領域ではあるが静特性試験結果を類推可能であると判断したため中止とした。

尚、あおりの発生に関しては、整圧器の仕様範囲外での使用が主要な原因と推測でき、他機種のパイロット式整圧器でも静特性に問題がないことを確認した。

4. 6. 2 動特性試験結果

試験結果を表 \mathbb{N} -10、11に示し、結果のまとめを表 \mathbb{N} -12に示す。

	P2 設定	50Nm³/h	オーバーシュート		アンター	静定時間	
Q=50Nm ³ /h	(kPa)	P2 (kPa)	圧力値 (kPa)	%	圧力値 (kPa)	%	(sec)
直動レバー式整圧器	2.5	2. 43	2.61	7.4	1	1	5. 3
旦動レバー八歪圧値	10	9.87	10.21	3.4	9.85	-0.2%	5. 3
直動式整圧器	140	134.9	143. 4	6.3	133.9	-0.7%	4. 2
パイロット式アンローディング型	2.5	2.49	2.95	18.5	1.91	-23.3%	6. 3
整圧器①	10	10. 15	10.67	5. 1	9.68	-4.6%	7. 5
パイロット式アンローディング型 整圧器②	140	139.8	141	0.9	139. 4	-0.3%	17. 6
。ノー 1 十一 ゼ ハノが刊	2.5	2. 46	3. 26	32. 5	2. 28	-7.3%	5
パイロット式ローディング型 整圧器	10	9.88	10.71	8.4	9.6	-2.8%	7. 1
1E/15/11	140	139.8	140.5	0.5	139. 2	-0.4%	21. 1

表IV-10. 動特性試験結果(Q=50Nm3/h)

表IV—11. 動特性試験結果(Q=100Nm³/h)

	P2 設定 100Nm³/h		オーハ・ーシュート		アンダーシュート		静定時間
Q=100Nm3/h	(kPa)	P2 (kPa)	圧力値 (kPa)	%	圧力値 (kPa)	%	(sec)
直動レバー式整圧器	2.5	2. 36	2. 72	15.3	_	-	4. 3
巨勁レバ 八歪圧船	10	9. 72	10. 28	5.8	-	-	4. 2
直動式整圧器	140	136. 6	143. 4	5.0	133	-2.6	7
パイロット式アンローディング型	2.5	2. 54	3. 66	44. 1	1.55	-39.0	6. 4
整圧器①	10	10. 14	11.1	9.5	9.38	-7.5	7.8
パイロット式アンローディング型 整圧器②	140	141. 3	142. 7	1.0	140. 9	-0.3	11.3
パイロット式ローディング型 整圧器	2.5	2. 49	3. 77	51.4	2. 1	-15. 7	6. 6
	10	9.85	11. 17	13. 4	9. 2	-6.6	10.6
上上和	140	140. 5	142. 1	1.1	136. 9	-2.6	37. 5

表Ⅳ-12 動特性試験結果まとめ

機種	結果								
直動式	オーバーシュート・アンダーシュートともに大変小さく、設定圧の数%以内に								
	留まる。静定時間は 4~7 秒程度かかるが、圧力変化が小さいので制御的								
	には影響しないと捉えられ、安定制御しているといえる。								
パイロット式	ローディング型・アンローディング型に関わらず、直動式に比してオーバー								
	シュート・アンダーシュートともに大きく、圧力・流量によっては数十%に至る								
	場合もある。また静定時間は、5~30 秒程度かかる。								

4. 6. 3 P1-P2 特性試験結果

試験結果を表 $\mathbb{N}-13$ に示し、結果のまとめを表 $\mathbb{N}-14$ に示す。

表IV-13. P1-P2特性試験結果

	P2	P2 実測値(kPa)										
設	設定 (kPa)	P1= 700 kPa	P1= 600 kPa	P1= 500 kPa	P1= 400 kPa	P1= 300 kPa	P1= 200 kPa	P1= 150 kPa	P1= 100 kPa	P1= 50 kPa	P1= 20 kPa	P1= 10 kPa
直動レバー式整 圧器	2. 5	2.51	2.45	2.41	2.38	2.35	2. 29	2. 25	2. 21	2.14	2. 18	2.08
	10	9. 91	9.85	9.80	9. 73	9.65	9. 58	9. 53	9.49	9.45	9.36	-
直動式 整圧器	140	140	145	149	154	156	159	149	-	-	-	1
パイロット式 アンローディング型 整圧器①	2. 5	_	2.54	2. 54	2.55	2.57	2.60	2.61	2.59	2.59	0.50	0.22
	10	10. 17	10. 19	10. 20	10. 21	10. 23	10. 26	10. 27	10.21	10. 23	2.63	_
パイロット式 アンローディング型 整圧器②	140	145. 3	144. 1	142. 2	140. 0	138. 1	135. 3	133. 8	I	ı	ı	-
パイロット式 ローディング型 整圧器	2. 5	2.51	2. 53	2. 55	2.56	2. 56	2. 56	2.56	2.55	2.55	2.50	1.99
	10	9.88	9.89	9. 91	9. 92	9. 92	9. 91	9. 91	9. 91	9.88	9.78	-
	140	139. 9	140. 2	140. 2	140. 0	140. 2	140. 2	138. 4	-		_	-

4.6.4 考察

・ 直動式整圧器の制御性について

直動式整圧器の特性をよく表した結果となった。

静特性では、大流量時にP2が下がる現象(オフセット)が発生しているが、直動式特有の現象であり、制御としては良好であった。

動特性では、流量・圧力変動が小さく、静定時間も短くなっていた。

P1-P2特性では、P1低下に伴ってP2が変化する現象が発生しており、整圧器の構造上、直動レバー式ではP2低下、直動式ではP2上昇が発生しているが、これについても直動式特有の現象であり、制御としては良好であった。

・ パイロット式整圧器の制御性について

パイロット式整圧器の特性をよく表した結果となった。

静特性では、微少流量制御であおりが発生したものの、大流量時においても安定したP2制御を行った。

微少流量のあおりに関しては、流体が空気や天然ガスの場合でも、パイロット式は直動式に 比べて微少流量での2次圧安定性は良くないことが知られており、今回は仕様流量範囲外の試 験により、あおりが発生したと考える。

動特性では、直動式に比して流量・圧力変動が大きく現れ、静定時間も長くかかる結果となったが、これはパイロット式特有の現象であり、制御としては良好であった。

P1-P2特性では、P1が低下しても設定したP2近傍になるまでは、ほぼ安定的な制御を行うことを確認した。

5. 調査結果まとめ

①水素透過性および気密性について

NBR製ダイヤフラムからの微量な水素透過は確認されたが、整圧器全体やシール部分からの 漏れは確認されず、都市ガス用整圧器室への設置が可能なレベルであることを確認できた。

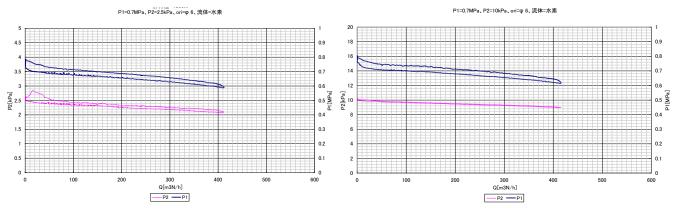
② 制御性について

都市ガス用整圧器で、水素2次圧力の制御性を確認した。

供給に必要な水素量に対する適切な選定を行うことにより、本調査で確認出来た領域に限られるが、水素流量の急激な変化に対しても追従可能なものであることを確認できた。

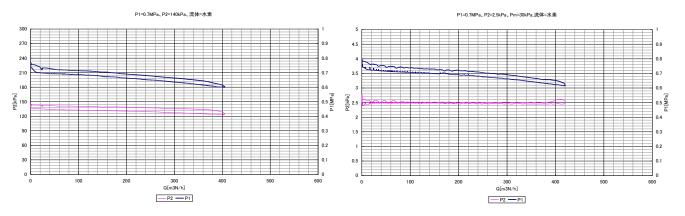
以上

添付資料 1-1 静特性試験結果



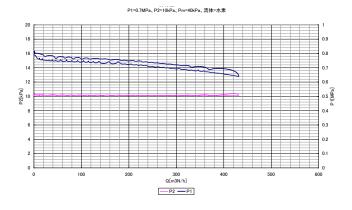
添付図 1. 直動レバー式静特性試験結果 (P2 設定=2.5kPa)

添付図 2. 直動レバー式静特性試験結果 (P2 設定=10kPa)



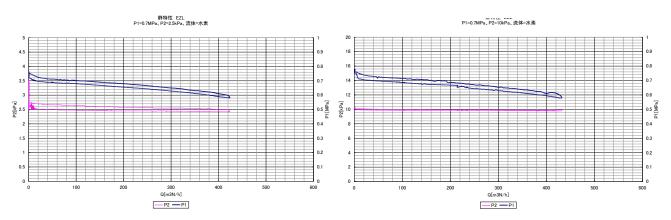
添付図 3. 直動式静特性試験結果 (P2 設定=140kPa)

添付図 4. パイロット式アンローディング型①静特性試験結果(P2 設定=2.5kPa)



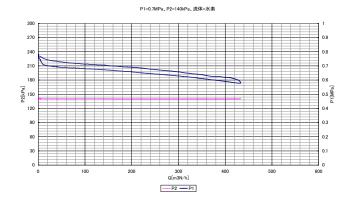
添付図 5. パイロット式アンローディング型①静特性試験結果(P2 設定=10kPa)

添付資料 1-2 静特性試験結果



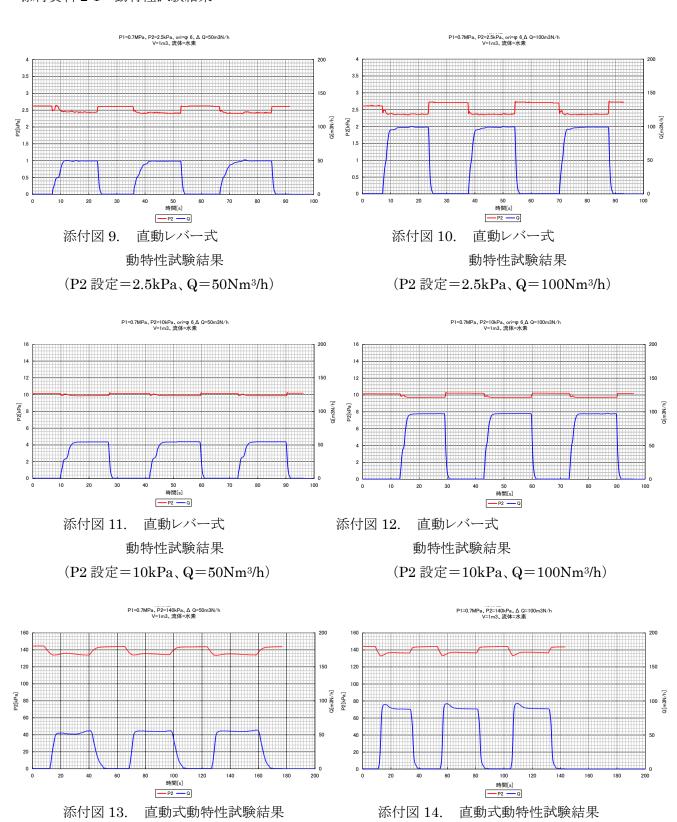
添付図 6. パイロット式ローディング型 静特性試験結果 (P2 設定=2.5kPa)

添付図 7. パイロット式ローディング型 静特性試験結果 (P2 設定=10kPa)



添付図 8. パイロット式ローディング型 静特性試験結果 (P2 設定=140kPa)

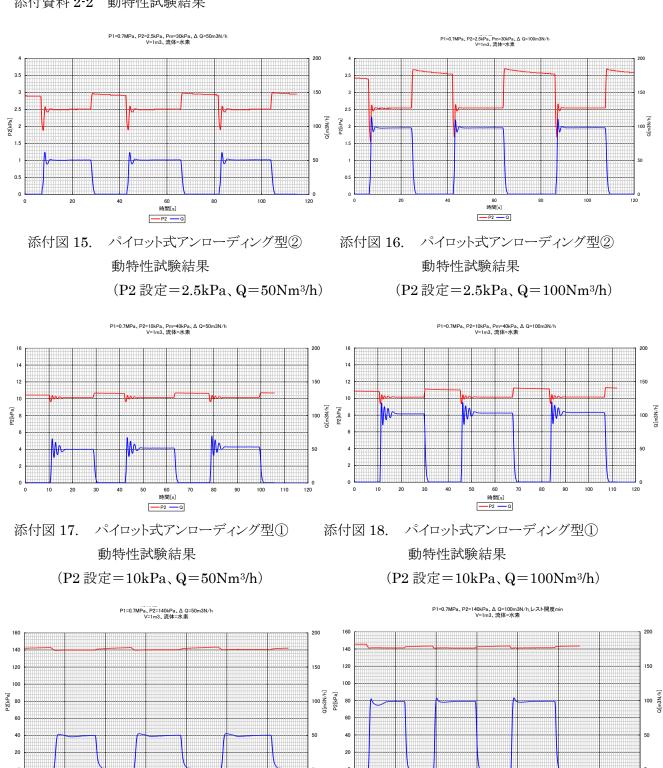
添付資料 2-1 動特性試験結果



(P2 設定=140kPa、Q=100Nm³/h)

(P2 設定=140kPa、Q=50Nm³/h)

添付資料 2-2 動特性試験結果



添付図 19. パイロット式アンローディング型②

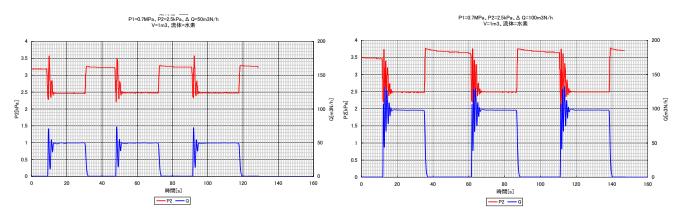
動特性試験結果

(P2 設定=140kPa、Q=50Nm³/h)

添付図 20. パイロット式アンローディング型② 動特性試験結果

(P2 設定=140kPa、Q=100Nm³/h)

添付資料 2-3 動特性試験結果

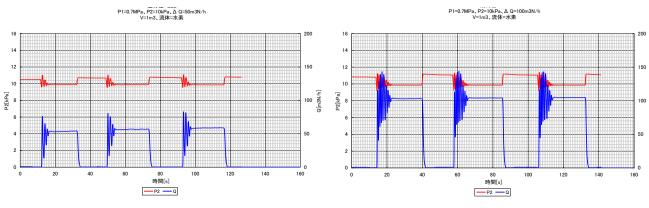


添付図 21. パイロット式ローディング型 動特性試験結果

(P2 設定=2.5kPa、Q=50Nm³/h)

添付図 22. パイロット式ローディング型 動特性試験結果

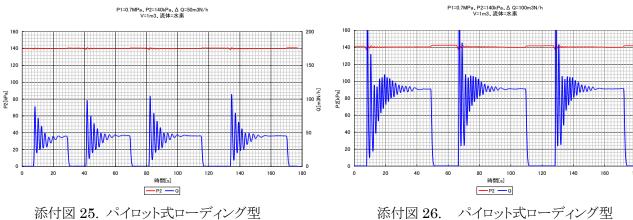
(P2 設定=2.5kPa、Q=100Nm³/h)



添付図 23. パイロット式ローディング型 動特性試験結果

(P2 設定=10kPa、Q=50Nm³/h)

添付図 24. パイロット式ローディング型 動特性試験結果 (P2 設定=10kPa、Q=100Nm³/h)

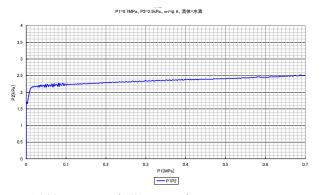


添付図 25. パイロット式ローディング型 動特性試験結果 (P2 設定=140kPa、Q=50Nm³/h)

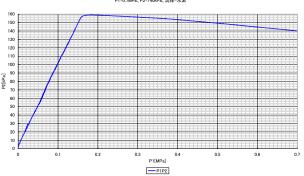
(P2 設定=140kPa、Q=100Nm³/h)

動特性試験結果

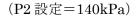
添付資料 3-1 P1-P2 特性試験結果

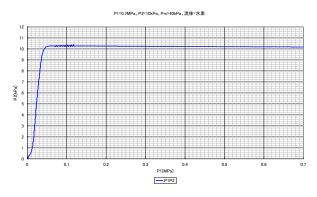


添付図 27. 直動レバー式 P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=2.5kPa)

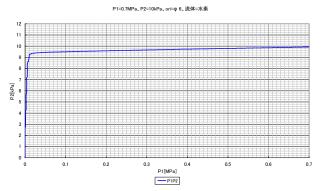


添付図 29. 直動式 P1-P2 特性試験結果

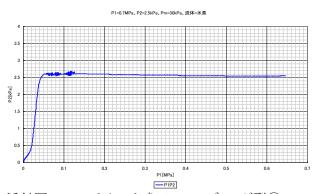




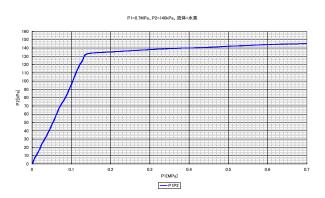
添付図 31. パイロット式アンローディング型① P1·P2 特性試験結果 (P2 設定=10kPa)



添付図 28. 直動レバー式 P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=10kPa)

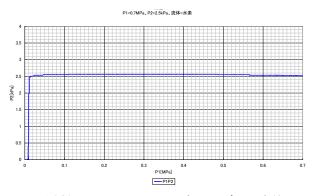


添付図 30. パイロット式アンローディング型① P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=2.5kPa)

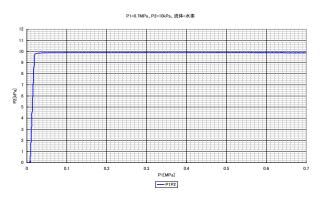


添付図 32. パイロット式アンローディング型② P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=140kPa)

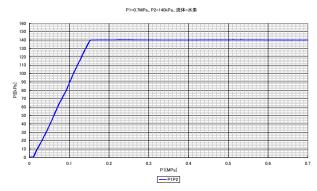
添付資料 3-2 P1-P2 特性試験結果



添付図 33. パイロット式ローディング型 P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=2.5kPa)



添付図 34. パイロット式ローディング型 P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=10kPa)



添付図 35. パイロット式ローディング型 P1-P2 特性試験結果 (P2 設定=140kPa)