

平成 25 年度 水素ネットワーク構築
導管保安技術調査事業
(総合調査)

調 査 報 告 書

平成 26 年 3 月

一般社団法人 日本ガス協会

目 次

I. 調査概要

1. 背景と目的	1
2. 調査実施概要	1
3. 調査実施体制	2
4. 調査内容	7
4. 1 他調査の実施者に対する助言等	7
4. 2 委員会の設置、運営	7
4. 3 水素パイプライン等の利用と保安に関する事例調査	7
4. 4 将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめ	8
5. 概略スケジュール	8

II. 調査結果

1. 他調査の実施者に対する助言等	9
1. 1 水素置換挙動調査	9
1. 2 水素導管圧力解析調査	10
1. 3 施工方法の安全性評価調査	11
1. 4 付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査	12
2. 委員会の設置、運営	13
2. 1 特別専門委員会	13
2. 2 推進ワーキンググループ	14
3. 水素パイプライン等の利用と保安に関する事例調査の実施結果	17
3. 1 目的	17
3. 2 調査結果の概要	18
3. 3 調査結果の詳細	19
3. 3. 1 調査実績	19
3. 3. 2 TWI	20
3. 3. 3 LINDE 社	23
3. 3. 4 Perrin 社	28
4. 将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめ	32
4. 1 他調査概要の整理	32
4. 2 他調査結果に関連する技術基準の抽出	33

III. 平成 23 年度～平成 25 年度実施成果のまとめ

1. 全体概要	34
2. 他調査結果の整理	35
3. 海外事例調査	41
4. まとめ	42
5. 謝辞	43

I. 調査概要

1. 背景と目的

平成 21 年 7 月の総合資源エネルギー調査会都市熱エネルギー部会において「低炭素社会におけるガス事業のあり方」についての政策提言がなされ、「省 CO2 を図りつつ安定的なエネルギーの供給を確保するためには（中略）二次エネルギーとして将来的に水素を活用することが重要」であり、「水素ステーションを起点に水素パイプラインを通じて水素を供給できるようなネットワーク（ローカル水素ネットワーク）を構築していくことが重要な課題」と提起された。

また、平成 23 年 1 月に国内の自動車メーカー及びエネルギー供給事業者 13 社が水素を燃料とする燃料電池自動車（FCV）の平成 27 年国内市場導入と、これを可能とする水素供給ステーションの先行整備について共同声明を発出し、現在、その取り組みが進められている。

しかしながら、水素のパイプライン供給に関する取り組みは、過去に水素供給に関連する調査事業として、地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査「水素供給システム安全性技術調査事業」（平成 17 年度～平成 19 年度）及び「水素漏えい検知技術調査事業」（平成 18 年度～平成 20 年度）等が実施されてきたが、保安の確保に関して系統的な整理・検討はなされていない。

そこで、水素のパイプライン供給の保安確保に向けた系統的な整理・検討のため、「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」（以下、「本調査」という。）を実施した。

2. 調査実施概要

経済産業省では、平成 23 年度より 5 つの調査で構成される水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業を開始し、平成 25 年度も各調査に対して一般競争入札が実施された。一般社団法人日本ガス協会（以下、「日本ガス協会」とする）は、そのうち「平成 23 年度・平成 24 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（総合調査）」に引き続き、「平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（総合調査）」を受託した。

本調査事業は、パイプライン供給時に必要となるガス工作物を抽出・整理し、現行の水素への適用技術レベルを明確にすること、将来的なガス工作物の技術基準等の見直しに反映させる際に有益な知見となる基盤技術を調査・整理することを主目的としており、総合調査では下記の（１）～（４）の項目を実施した。

（１）他調査の実施者に対する助言等

平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素置換挙動調査）、平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査）、平成 25 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）及び平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素導管圧力解析調査）（以下「他調査」という。）の実施者に必要な助言等を行った。

（２）委員会の設置、運営

上記（１）を効率的かつ円滑に実施するため、都市ガスの保安技術並びに水素のエネルギー利用等に係る学術的及び実務的に精通した専門家からなる委員会を設置し、他調査を含めた本調査事業全体の計画、進捗及び成果について評価等を実施した。

（３）水素パイプライン等の保安に関する事例調査

安全性確認評価に必要な水素パイプライン等の保安に関する技術情報の調査等を行った。

（４）調査結果を踏まえた将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめ

現行ガス事業法の技術基準等に照らした見直しの方向性及び根拠について整理した。

3. 調査実施体制

本調査実施にあたっては、日本ガス協会内に設置した事務局組織（技術開発部燃料電池・水素グループ）を中心に、都市ガス事業で培われたガス導管供給に関する専門的な知見を生かし、水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業全体（他調査を含む）を運営した。また、事業運営に関しては、円滑な進捗のため、適宜、各調査の進捗状況の確認を行いつつ、調査計画策定から最終的な取りまとめの方向性に対する助言を行った。

調査事業の成果に関しては、「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」（以下、委員会とする）を設置し（委員の選任を含む）、学識経験者、各調査分野の専門家、ガス事業者等との協議を経た取りまとめを行った。

また、上記委員会の下部組織として「推進ワーキンググループ」を設け、委員会が効率的に運営できるよう、各調査の計画及び進捗状況等について、適宜確認を行った。

図3. 1に事業全体の調査実施体制、図3. 2に日本ガス協会内の調査実施体制を示し、表3. 1～3. 3には委員会等の名簿を示す。

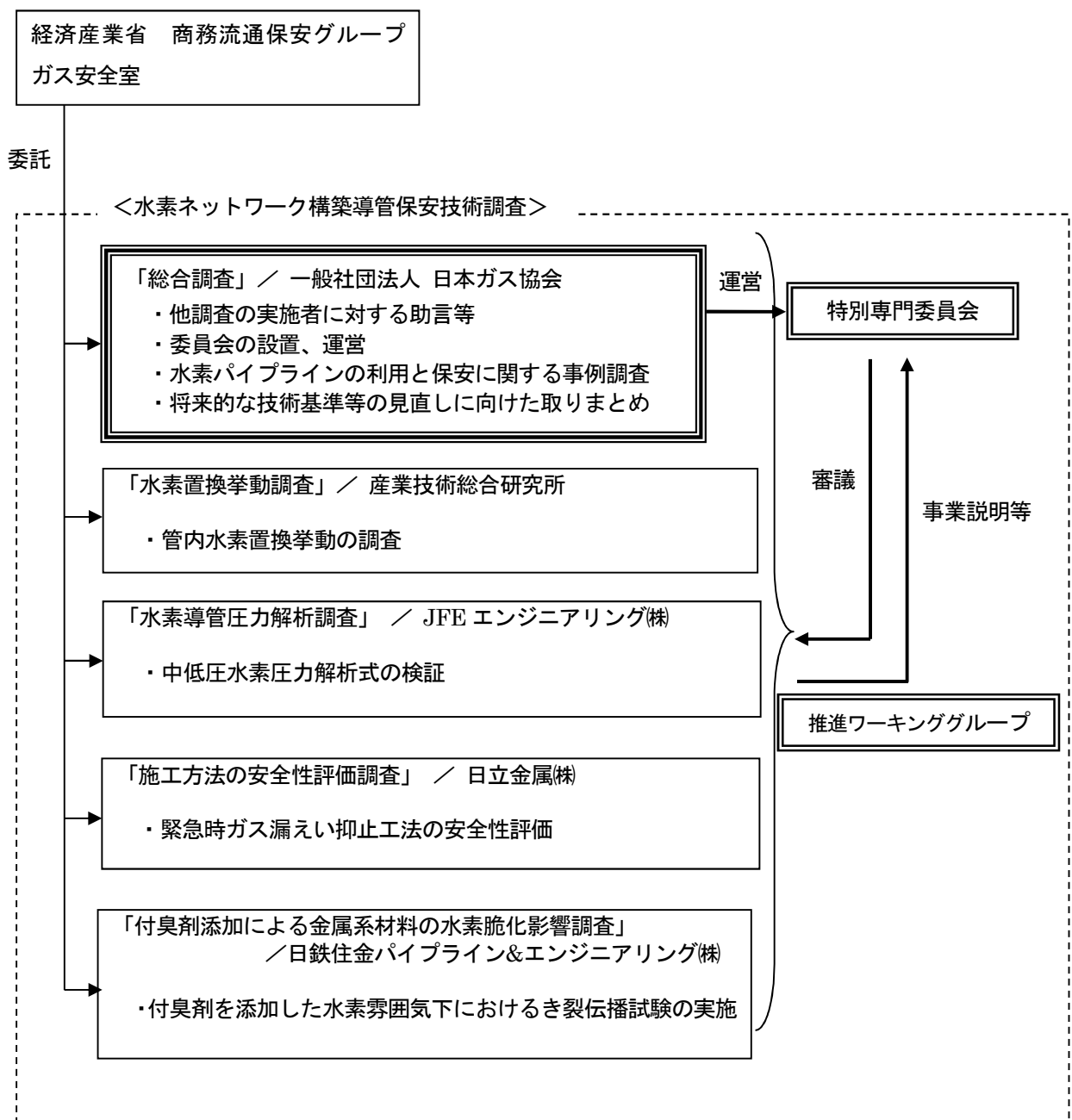


図3. 1 調査実施体制（全体関連図）

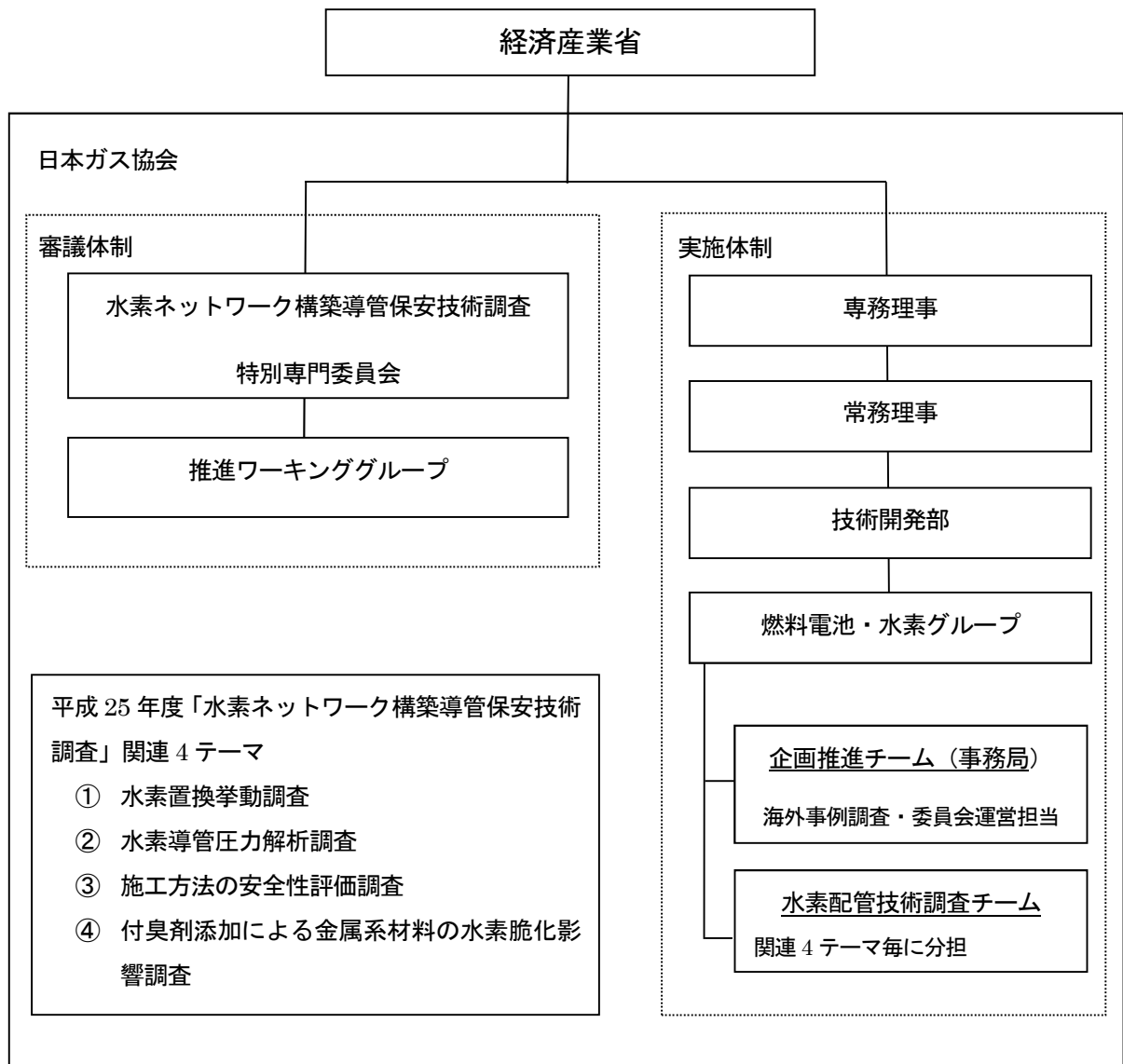


図 3. 2 調査実施体制（日本ガス協会）

表3. 1 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名簿

委員長	岡崎 健	東京工業大学大学院 理工学研究科 機械制御システム専攻教授
委員	栗飯原 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ibro科学部門教授
	井上 雅弘	九州大学大学院 工学研究院地球資源システム工学部門 水素エネルギー国際研究センター准教授
	田辺 修	東京ガス株式会社 技術開発本部 基盤技術部長
	西川 秀昭	大阪ガス株式会社 執行役員 導管事業部 導管部長
関係者	大本 治康	経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室 ガス安全室長
	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・熱供給保安担当補佐
	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・熱供給保安係長
事務局	日本ガス協会	技術開発部 燃料電池・水素グループ

表3. 2 推進ワーキンググループ名簿

リーダー	山口 祐一郎	日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ マネジャー
メンバー	和田 有司	産業総合技術研究所 安全科学研究部門
		爆発利用・産業保安研究グループ 研究グループ長
	櫻井 彰一郎	日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社
		技術・品質本部 技術部長
	徳 多加志	日立金属株式会社 桑名工場 技術部長
	境 禎明	JFE エンジニアリング株式会社 パイプライン本部
		技術部 主幹
	鍵屋 慎一	日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ
	伊藤 久敏	同 上
	樋口 裕思	同 上
	鈴木 清	同 上
	川口 忍	同 上
	後藤 忠広	同 上
	根木 俊輔	同 上
	中山 歩	同 上
事務局	日本ガス協会	技術開発部 燃料電池・水素グループ

表3. 3 日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ名簿（事務局）

常務理事	和田 洋幸
技術開発部長	団栗 知男
技術開発部マネジャー	山口 祐一郎
企画推進チーム	村中 一郎、安河内 勇人、原 裕司 島村 誠、富田 秀之
水素配管技術調査チーム	鍵屋 慎一、伊藤 久敏、樋口 裕思、鈴木 清、 川口 忍、後藤 忠広、根木 俊輔、中山 歩

4. 調査内容

4. 1 他調査の実施者に対する助言等

平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素置換挙動調査）、平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素導管圧力解析調査）、平成 25 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）及び平成 25 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査）（以下「他調査」という。）の実施者に対し必要な助言等を行った。

日本ガス協会内に、検討のための組織（技術開発部燃料電池・水素グループ企画推進チーム及び水素配管技術調査チーム）を設置し、調査テーマ毎に配置された、各分野に精通したメンバーが、他調査の実施者と必要に応じ協議、助言等の連携を図りながら、本事業を実施・推進した。この際、他調査の実施者との協議・連携を効率的・効果的に推進するために「事業者連携会議」を設け、適宜開催し業務を遂行した。

4. 2 委員会の設置、運営

水素ネットワーク構築導管保安技術調査を効率的かつ円滑に実施するため、水素の拡散・燃焼、材料、都市ガスのガス導管施工方法等に係る学術的及び実務的に精通した専門家を選任、委嘱し、その専門家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（以下、本委員会という。）を設置した。

なお、本委員会においては、他調査を含めた事業全体を対象とした調査計画・進捗についての助言、そして、その調査結果に対する評価を実施した。

本委員会の運営については、日本ガス協会内に設置する「技術開発部 燃料電池・水素グループ 企画推進チーム」において専門的に実施した。また、本委員会の下部組織として「推進ワーキンググループ」を設置し、各調査の進捗および結果など情報の共有化することでの事業者間の連携強化、各調査の取りまとめに関する方向性の調整等を実施した。

4. 3 水素パイプライン等の利用と保安に関する事例調査

欧州において、水素インフラを運営する事業者及びガス供給設備を運営・製造している事業者に対する調査を実施し、水素取り扱いに関する安全性確保のための取り組みや参照している技術基準等、現在の動向を含む海外の技術的な到達レベルを確認した。

そして、その結果をもとに、今後検討すべき技術的な課題の抽出・整理を実施した。

<主な調査項目>

- ・水素供給設備設計時の運用基準・自主基準の有無
- ・水素供給設備に用いる材料選定に対する考え方
- ・水素供給設備仕様決定に対する考え方
- ・水素供給設備の維持管理（通常時・緊急漏えい対応時等）に対する考え方
- ・水素供給設備の運用状況

4. 4 将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめ

水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業中の他調査によって得られた結果を導管によるガス供給の技術的な内容に関する実用例等をわかりやすく解説している「ガス工作物技術基準解釈例」中の該当する箇所と比較しつつ例示する形で整理し、将来的な技術基準等の見直しに備える形で取りまとめを実施した。

5. 概略スケジュール

上記、4. 1から4. 4に示す事業内容に関する概略スケジュールを表4. 1に示す。

表5. 1 概略スケジュール

	平成 25 年						平成 26 年		
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
他調査の実施者に対する 助言等									
委員会の設置、運営									
水素パイプライン等の利用 と保安に関する事例調査				—					
将来的な技術基準等の見直し に向けたとりまとめ									

II. 調査結果

1. 他調査の実施者に対する助言等

「事業者連携会議」、「推進ワーキンググループ」、等を通じて他調査の実施者との連携を図りながら、必要な協議、助言等を実施した。他調査の調査目的と調査結果に対する考察を以下に示す。

1. 1 水素置換挙動調査

本調査に関しては、ガス開通時等に、安全かつ効率的に管内ガスを置換するための基礎データとなるよう、実施工条件・現場の状況説明を交えつつ助言を行った。

(1) 調査目的

- ・新設パイプラインのガス開通時等で管内のガスを置換（空気から水素等へ）する際の水素の挙動について調査を実施し、計算式等の形で法則性を導出する。

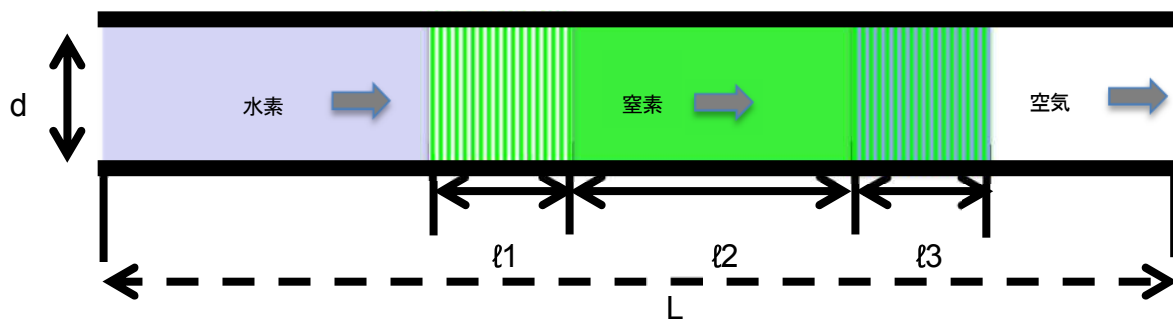


図 1. 1 水素置換状況イメージ

(2) 結果および考察

- ・平成 25 年度は、平成 24 年度の「水素と空気のために部分的に挿入する窒素（不活性ガス）の層が放散側まで保持される条件がある」という結果を受け、窒素量や導管口径等の条件を変化させた試験を実施した。もっとも拡散が進行しやすいと想定される、水素と窒素の混合層に対する解析を中心に検討を進めた結果、あくまで、試験を実施した条件下の範疇ではあるが、下記に示す通り、Re 数を用いた無次元的な整理ができた。

表 1. 1 Re 数を用いた整理結果

$L \leq 20$	$20 < L \leq 80$
$\ell_1 = (0.0227 \text{Re}_{\text{H}_2} + 202) \cdot d$	$\ell_1 = (0.0833 \text{Re}_{\text{H}_2} + 328) \cdot d$

L : 導管延長(全長)
 ℓ_1 : 水素/窒素混合層長さ
d : 導管口径

※ Re_{H_2} （水素の Re 数） ≤ 2000 （窒素の Re 数 ≤ 14000 ）に限る

1. 2 水素導管圧力解析調査

本調査に関しては、水素の導管圧力解析に活用できる流量－圧力式を導出するとの視点から、データ解析・取りまとめ方法に対する助言、実際の運用に必要な考え方の助言を行った。

(1) 調査目的

- ・平成 23 年度から平成 24 年度の 2 年間に亘り導出した、水素ネットワークの効率的な導管網形成のための直管を対象とした中圧および低圧水素導管用の暫定圧力解析式が、簡易な導管網に対して適合すること、もしくは限定的な利用となるのであれば、その適合範囲を確認する。

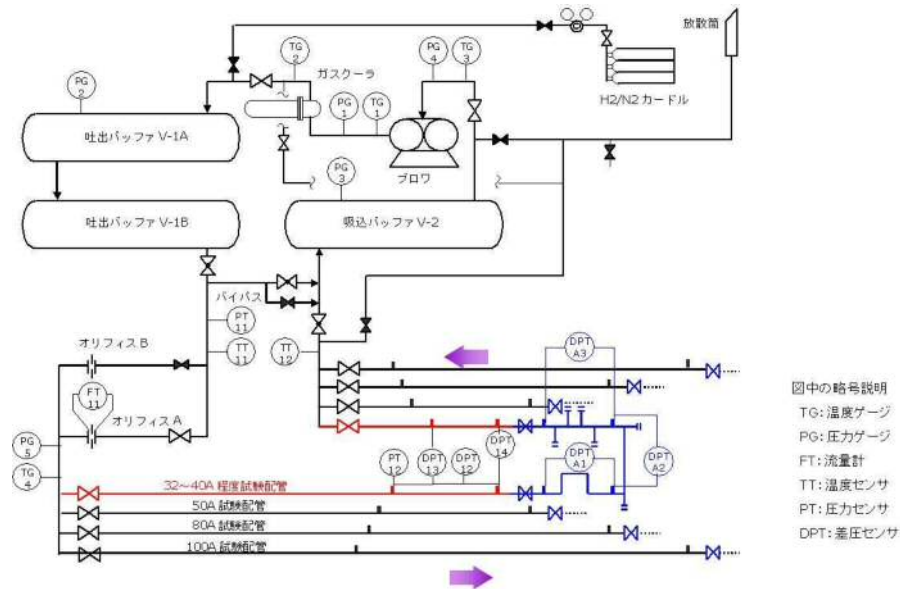


図 1. 2 水素導管圧力損失測定設備イメージ

(2) 結果および考察

- ・平成 25 年度は、中低圧に亘る幅広い圧力領域において、可能な限り同一な条件（導管設備）で試験を実施することで、平成 23 年度および平成 24 年度に導出した両式の整合を図ることができ、結果として中低圧を 1 つの式で表すことができた。
- また、直管のみではなく、代表的に用いられる異形管に対する圧力損失特性も確認することで、簡易な導管網へ適用する際の考え方に関しても、以下に示す形で取りまとめることができた。

Re 数により整理される流体に普遍的な圧力損失特性は、水素においても例外なく相似性があり、比重の軽さといった相対的特徴とは無関係と考えてよい。

そのため、直管に関しては、下記の一般式の係数を水素特有の物性を加味したものとする事で解析が可能となり、異形管に関しても、他の流体同様に直管相当長法の適用も可能である事が確認できた。

$$\Delta P = K_P \frac{TL}{D^5} \frac{Q_0^2}{2P_1} \quad (\text{一般式})$$

$$K_p = 3.87 \times 10^{-18} (\log Re)^{-2.43}$$

$$\text{ただし、} 10^4 < Re < 10^5$$

ΔP	: 導管入口出口間の圧力損失	[MPa]
Q_0	: 標準状態体積流量	[Nm ³ /h]
K_p	: 圧力損失係数	[-]
T	: 温度	[K]
L	: 導管長さ	[m]
P_1	: 導管入口圧力	[MPaA]
D	: 管内径	[m]
Re	: レイノルズ数	[-]

1. 3 施工方法の安全性評価調査

本調査に関しては、必要とされるガス漏えい時応急修理工法の選定や応急処置で対応可能と想定される条件等を示すなどの助言を行った。

(1) 調査目的

- ・水素パイプラインからの漏えいを想定した際、漏えい箇所発見から修繕作業に取り掛かるまで、2次被害を抑制する応急的な処置方法を調査・選定し、水素に対する適用レベルを確認する。

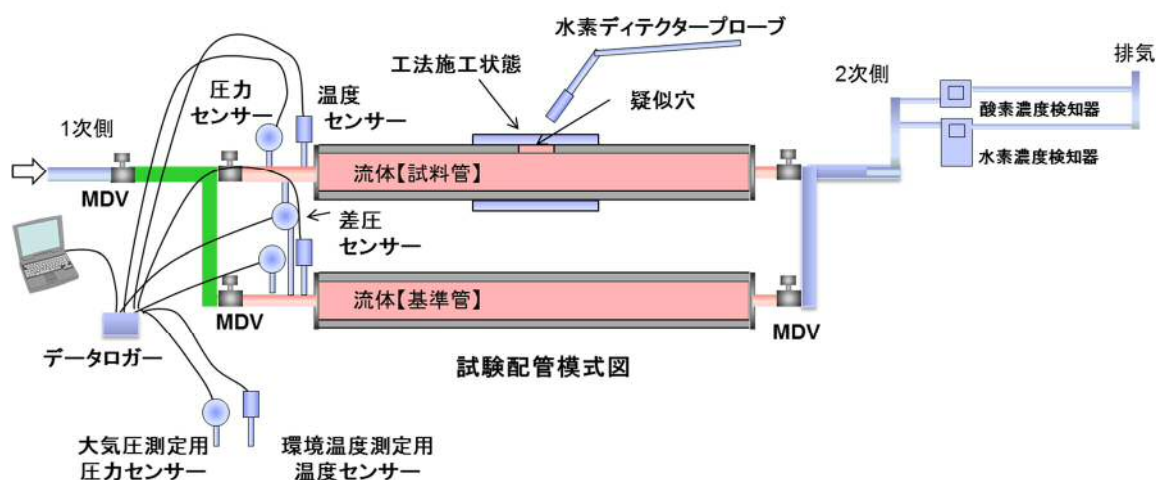


図1. 3 応急処置方法評価設備（試験配管）

(2) 結果および考察

水素への適用性を図るため、流体を問わず、漏えい抑制用として一般的に利用されている工具もしくは工法の調査を実施し、水素漏えいを抑制できる可能性のある工具および工法を評価した。

評価方法に関しては、応急処置への対応を目的としたため、施工性とシール性の観点での評価を実施した。なお、シール性に関しては必要な間の漏えいを確実に抑制するという観点で試験条件を設定し、上記試験配管の圧力変化と水素ディテクターによる漏えいの有無で判定（表1. 2）した。

表1. 2 応急処置方法評価結果のまとめ

シール方式	評価項目		総合評価
	施工性	シール性	
ゴムパッキン方式	○	○	○
ゴムパッキン方式	○	○	○
多層シール方式	○	○	○
自己融着方式	△	×	×

1. 4 付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査

本調査に関しては、都市ガス事業者として知見を有する付臭剤について、調査事業者が最適な選定ができるよう、付臭剤として必要な条件や試験条件に関する助言を行った。また、付臭剤の候補となり得る物質を日本ガス協会から提案した。

(1) 調査目的

- ・ 安価で、かつ、不特定多数の安全を管理する上で重要な付臭剤が、金属系材料（都市ガスで使
用頻度が高い金属材料を選定）の水素脆化に対して与える影響の有無を確認する。



図 1. 4 疲労き裂進展試験装置

(2) 結果および考察

- ・ 平成 25 年度は、金属材料を STPG、水素に添加する付臭剤は、平成 24 年度同様、シクロヘキ
センと 2-ヘキシンを選定し調査を実施した。STPG 材の水素脆化に対して、2 種類の付臭剤が
悪影響を与えないことが確認できた。また、シクロヘキセンに関しては、比較的安価であり、
価格面において、高い汎用性が期待できるものであった。

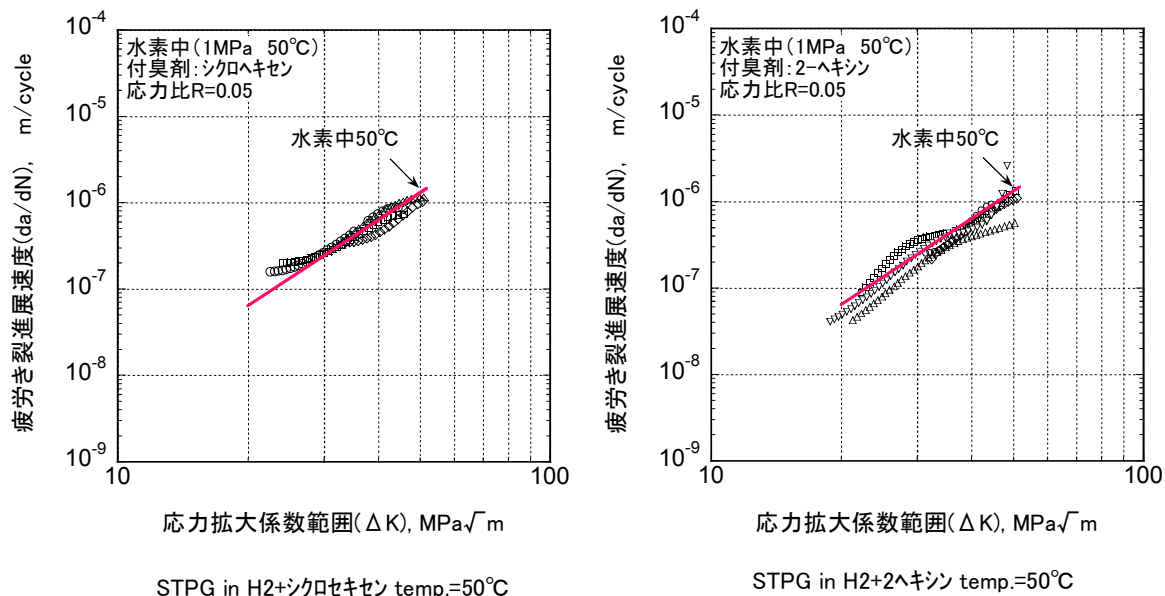


図 1. 5 疲労き裂進展試験結果

2. 委員会の設置、運営

2. 1 特別専門委員会

平成 25 年度は、全 3 回の特別専門委員会を開催した。第 1 回（平成 25 年 7 月 30 日開催）は、特別専門委員会の立ち上げ及び事業計画の審議、第 2 回（平成 25 年 11 月 12 日開催）は、中間進捗状況報告、第 3 回（平成 26 年 2 月 18 日開催）は、事業成果の審議という位置付けのもとに実施した。

以下に、全 3 回の委員会の開催内容について記す。

（1）第 1 回特別専門委員会

日時： 平成 25 年 7 月 30 日（火） 14:30～17:00

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① 委員長挨拶、委員並びに関係者の紹介

② 平成 25 年度「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」各事業計画の審議

③ その他

（2）第 2 回特別専門委員会

日時： 平成 25 年 11 月 12 日（火） 14:00～17:00

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① 平成 25 年度「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」各事業進捗状況及び今後の進め方の審議

② その他

（3）第 3 回特別専門委員会

日時： 平成 26 年 2 月 18 日（火） 14:00～17:00

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① 平成 25 年度「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」各事業成果の審議

② その他

2. 2 推進ワーキンググループ

平成 25 年度は、全 6 回の推進ワーキンググループを開催した。第 1 回（平成 25 年 9 月 5 日開催）は、第 1 回特別専門委員会における意見への対応協議及びスケジュールと進め方の確認、第 2 回（平成 25 年 11 月 6 日開催）は、第 2 回特別専門委員会に向けたスケジュールと進め方の確認、第 3 回（平成 25 年 12 月 10 日開催）は、第 2 回特別専門委員会における意見への対応協議及びスケジュールと進め方の確認、第 4 回（平成 26 年 1 月 14 日開催）は、各調査事業の進捗状況の確認と今後の進め方の協議、第 5 回（平成 26 年 1 月 31 日開催）は、第 3 回特別専門委員会に向けた進捗状況の確認および最終的な方向性の整理、第 6 回（平成 26 年 3 月 5 日開催）は、事業の最終報告およびまとめ方に関する協議、という位置付けのもとに実施した。

以下に、全 6 回の推進ワーキンググループの開催内容について記す。

（1） 第 1 回推進ワーキンググループ

日時： 平成 25 年 9 月 5 日（木） 15:00～17:30

場所： 日本ガス協会 7 階 707 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① リーダー挨拶、メンバー紹介

② 第 1 回特別専門委員会における意見への対応協議及びスケジュールと進め方の確認

③ その他

（2） 第 2 回推進ワーキンググループ

日時： 平成 25 年 11 月 6 日（水） 14:00～17:00

場所： 大阪ガス株式会社 滋賀東支社 会議室

滋賀県彦根市大東町 12 番 11 号

議題： ① 第 2 回特別専門委員会に向けたスケジュールと進め方の確認

② その他

（3） 第 3 回推進ワーキンググループ

日時： 平成 25 年 12 月 10 日（火） 14:00～17:00

場所： 日本ガス協会 7 階 706 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① 第 2 回特別専門委員会における意見への対応協議及びスケジュールと進め方の確認

② その他

（4） 第 4 回推進ワーキンググループ

日時： 平成 26 年 1 月 14 日（火） 14:30～17:30

場所： 東邦ガス株式会社 本社 本館 141 会議室

愛知県名古屋市熱田区桜田町 19 番 18 号

議題： ① 各調査事業の進捗状況の確認と今後の進め方の協議

② その他

(5) 第5回推進ワーキンググループ

日時： 平成26年1月31日(金) 13:30～17:30

場所： 日本ガス協会 7階 707・708 会議室

東京都港区虎ノ門 1-15-12

議題： ① 第3回特別専門委員会に向けた進捗状況の確認および最終的な方向性の整理

② その他

(6) 第6回推進ワーキンググループ

日時： 平成26年3月5日(水) 9:30～11:30

場所： 静岡ガス株式会社 本社 会議室

静岡県静岡市駿河区八幡 1-5-38

議題： ① 事業の最終報告およびまとめ方に関する協議

② その他

表 2. 1 平成 25 年度 水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業活動実績

主要スケジュール		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
平成 25 年度契約関係		◎ 7/29 委託契約締結								◎3/14 報告提出
特別専門委員会		◎ 7/30 第 1 回委員会 ・事業基本計画 【審議】				◎ 11/12 第 2 回委員会 ・事業進捗状況（中間） 【審議】			◎ 2/18 第 3 回委員会 ・事業進捗状況（最終） ・事業成果まとめ方向性 【審議】	
推進ワーキンググループ				◎ 9/5 第 1 回WG ・事業進捗状況 【確認・協議】		◎11/6 第 2 回WG ・事業進捗状況 【確認・協議】	◎ 12/10 第 3 回WG ・事業進捗状況 【確認・協議】	◎ 1/14 第 4 回WG ・事業進捗状況 【確認・協議】 ◎ 1/31 第 5 回WG ・事業まとめ・方向性 【確認・協議】		◎3/5 第 6 回WG ・事業最終報告 【確認・協議】
事業者 連携会議	水素置換挙動調査 産業技術総合研究所				◎10/17 第 1 回連携会議 ・試験内容の詳細計画 【確認・協議】		◎12/26 第 2 回連携会議 ・進捗状況 【確認・協議】	◎1/22 第 3 回連携会議 ・事業成果まとめ方向性 【確認・協議】		
	付臭剤添加による金属系材料の水素 脆化影響調査 日鉄住金パイプライン &エンジニアリング株式会社				◎ 10/30 第 1 回連携会議 ・試験内容の詳細計画 【確認・協議】			◎ 1/20 第 2 回連携会議 ・事業成果まとめ方向性 ・試験設備 【確認・協議】		
	施工方法の安全性評価調査 日立金属株式会社			◎8/28 第 1 回連携会議 ・試験内容の詳細計画 【確認・協議】		◎10/29 第 2 回連携会議 ・進捗状況 【確認・協議】			◎2/5 第 3 回連携会議 ・事業成果まとめ方向性 【確認・協議】	
	水素導管圧力解析調査 JFE エンジニアリング株式会社					◎ 10/31 第 1 回連携会議 ・試験内容の詳細計画 【確認・協議】	◎ 12/6 第 2 回連携会議 ・進捗状況 【確認・協議】	◎ 1/15 第 3 回連携会議 ・事業成果まとめ方向性 【確認・協議】		
海外事例調査					◎ 10/20～10/25 欧州事例調査 ・調査先：イギリス・ドイツ （水素供給事業者・供給設備製造事業者等）					

3. 水素パイプライン等の利用と保安に関する事例調査の実施結果

3. 1 目的

水素パイプラインにより水素の供給を実施している欧州の水素供給事業者、水素利用事業者を訪問し、下記のような視点で、かつ、本調査事業中の他調査と関連すると思われる各事業者の運営方法（参照法規）および技術レベルの調査を実施した。

	設 計 面：水素中の不純物が水素脆化に与える影響 水素配管設計に使用している規格・基準
	施 工 面：新設分岐配管の水素への置換手法 水素遮断バルブに要求する性能
	維 持 管 理 面：水素漏えい時の対応手法 水素配管の点検手法および頻度

各調査先、主な調査目的を含む調査先の概要を表3. 1に示し、他調査との関連について該当する調査を図3. 1に示す。

表3. 1 調査先の概要一覧

訪問先／場所	訪問先概要	訪問目的
TWI／ケンブリッジ （イギリス）	金属材料の水素脆化に関する知見 を有する研究機関	金属材料の水素脆化影響評価手法に 関する知見を調査
LINDE 社／ベルリン （ドイツ）	工業ガスの製造から販売まで及び プラント建設を手掛けるエンジニ アリングメーカー	水素供給設備の維持管理から運用に 係る技術を調査
Perrin 社／ニッデラウ （ドイツ）	バルブ、その他の流体制御用機器 及びその付属品の製造・販売を手 掛けるメーカー	水素遮断技術を調査

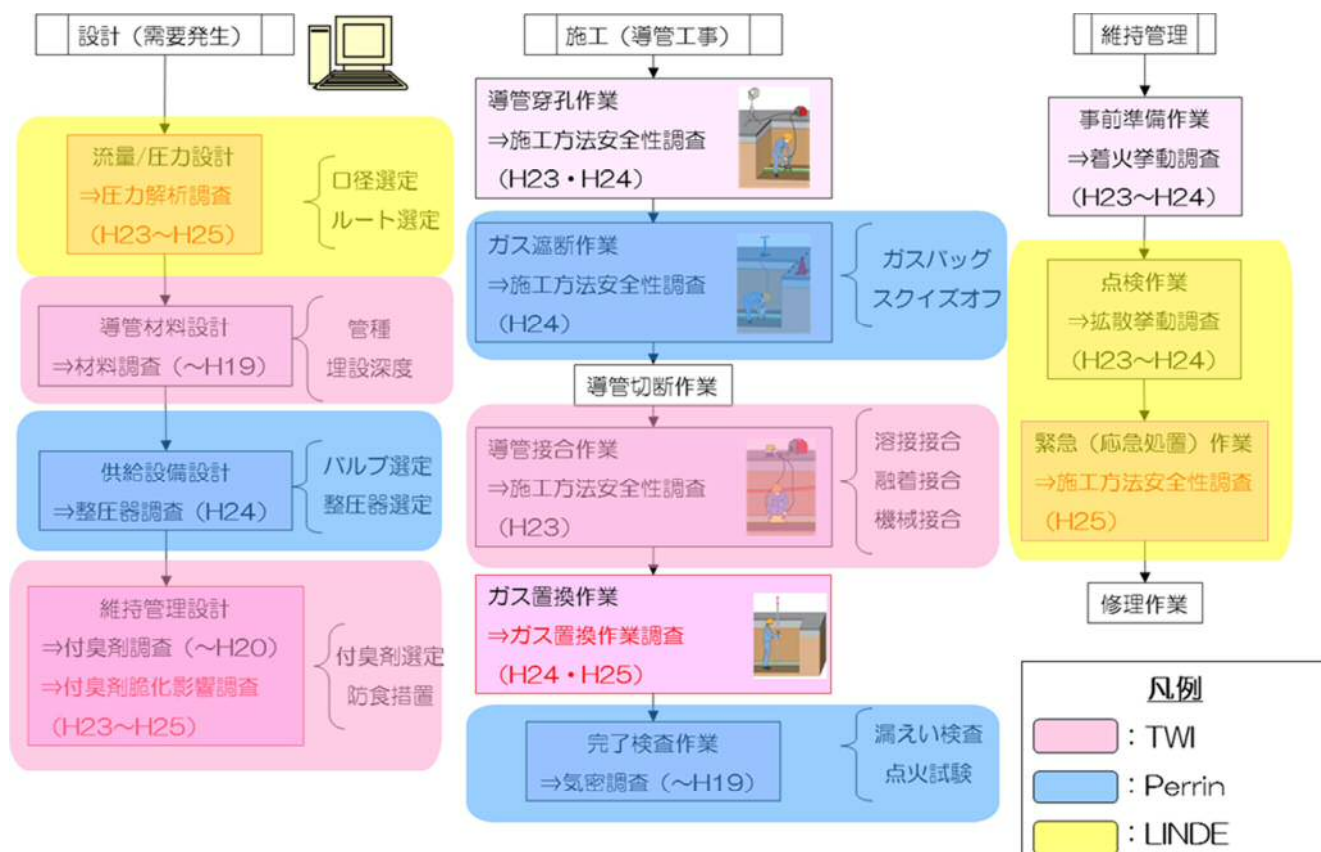


図3. 1 他調査との関連

3. 2 調査結果の概要

設計、施工、維持管理のそれぞれの視点から、以下の項目を中心にヒアリング調査を実施した。

〈調査項目〉

- ・ 水素供給設備構築のための運用基準等
- ・ 供給設備（パイプライン含む）の水素適合技術
- ・ 水素供給設備の維持管理
- ・ 水素利用機器の仕様、使用状況

(1) 水素供給設備構築のための運用基準等

- ・ 水素供給設備を構築する際に適用している基準を確認した。

(2) 供給設備（パイプライン含む）の水素適合技術

- ・ 水素という特異な性質を持つ流体に対して、供給設備を適合させるための技術を確認した。

(3) 水素供給設備の維持管理

- ・ 水素中の不純物が導管や供給設備を構成する金属材料に対して与える影響を確認した。
- ・ 水素供給設備の維持管理手法を確認した。

(4) 水素利用機器の仕様、使用状況

- ・ 主な水素の利用先として想定される水素ステーションに供給するために要求される仕様、そこでの使用状況を確認した。

3. 3 調査結果の詳細

3. 3. 1 調査実績

平成 25 年度実施した調査は、パイプラインにより実際に水素を供給をしている企業や水素供給を受けて使用している企業、そしてさらに、その水素供給を行うための設備を製造している企業を対象とし、水素パイプライン及び供給設備の仕様、そして、その利用状況や保安管理状況に関する情報収集・意見交換を実施した。

調査日程と調査概要について表 3. 2 に、今年度訪問した調査先の位置関係を図 3. 2 に示す。また、調査団メンバーを表 3. 3 に示す。

表 3. 2 調査日程と調査概要

日程	スケジュール	調査内容	宿泊地
10/20(日)	出国	—	ロンドン
10/21(月)	TWI 訪問	・金属材料の水素脆化影響	ロンドン
10/22(火)	移動及び資料整理		ベルリン
10/23(水)	LINDE 社訪問	・水素利用設備・技術	ベルリン
10/24(木)	Perrin 社訪問	・水素遮断技術	機内
10/25(金)	帰国	—	



出典：google Map

図 3. 2 海外調査訪問先位置図

表 3. 3 調査団メンバー

特別専門委員	岡崎 健	東京工業大学大学院 理工学研究科 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
	田辺 修	東京ガス株式会社 技術開発本部 基盤技術部長
	西川 秀昭	大阪ガス株式会社 執行役員 導管事業部 導管部長
事務局	山口 祐一郎	日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ マネジャー
	村中 一郎	日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ
	安河内 勇人	日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素グループ

3. 3. 2 TWI (The Welding Institute)

- ・ 日 時：平成 25 年 10 月 21 日（月） 10:00～14:30
- ・ 場 所：TWI 本社
(Granta Park, Great Abington Cambridge CB21 6AL UK)
- ・ 面 会 者：Mr. Fred Delany(Consultant/ International Development)
Mr. Christopher Miller
(Project Leader Ferritic Steels/ Metallurgy, Collosion & Surfacing Technology Group)
Mr. Michael (サウサプトン博士課程大学院生)
Dr. Bernadette Craster(Ms.)
(Polymer Materials Specialist/ Materials Performance and Ferrous Alloys)
Mr. Mike Troughton
(Technoloty Manager- Plastics/ Advanced Materials and Processes)
Mr. Richard J Pargeter
(Technoloty Fellow, Ferritic Steel & Sour Service/ Metallurgy, Corrosion & Surfacing Technology Group)
- ・ 調査目的：金属材料の試験設備とその仕様を調査し、海外における評価技術レベルを確認する。また、金属材料や高分子材料を供試材とした際の水素脆化影響評価、そして、その水素中に不純物が混入した場合に水素脆化に対して与える影響がどのように変化するのか等、情報交換を実施し、知見を収集する。

・ 調査概要：

(1) 会社概要

- ・ 1946年設立の溶接・塗装（防食）・材料処理技術を有する研究機関であり、水素脆化等材料評価に関する知見を有している。
- ・ 非破壊検査技術を活用した導管の維持管理・運用に関するコンサルタントも実施している。
- ・ 金属材料の腐食や超音波を用いた測定技術にも長けており、日本国内にも数多くの開発品を輩出している。

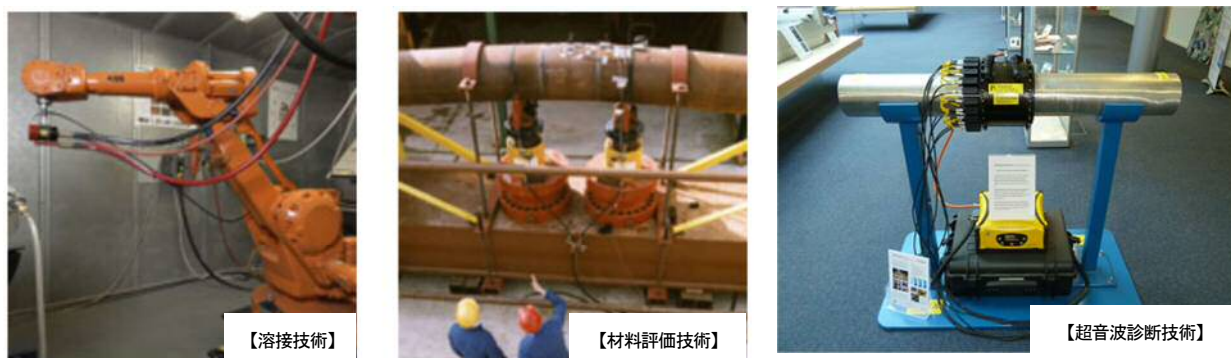


図3. 3 TWIの取り組み

(2) 金属材料の試験設備とその仕様について

1) 設計に対する考え方

上限 100MPa までの高圧水素を用いた試験を実施するため、試験装置外に水素が漏えいすることが無いよう細心の注意を払って設計されていた。水素と直接接触する稼働部には、開示不可の技術が施されていた。

また、試験装置外に水素が漏えいした際のことも想定し、試験室内に侵入不可（施錠状態）であることが確認されないと試験が開始されないとする安全管理を施してあった。

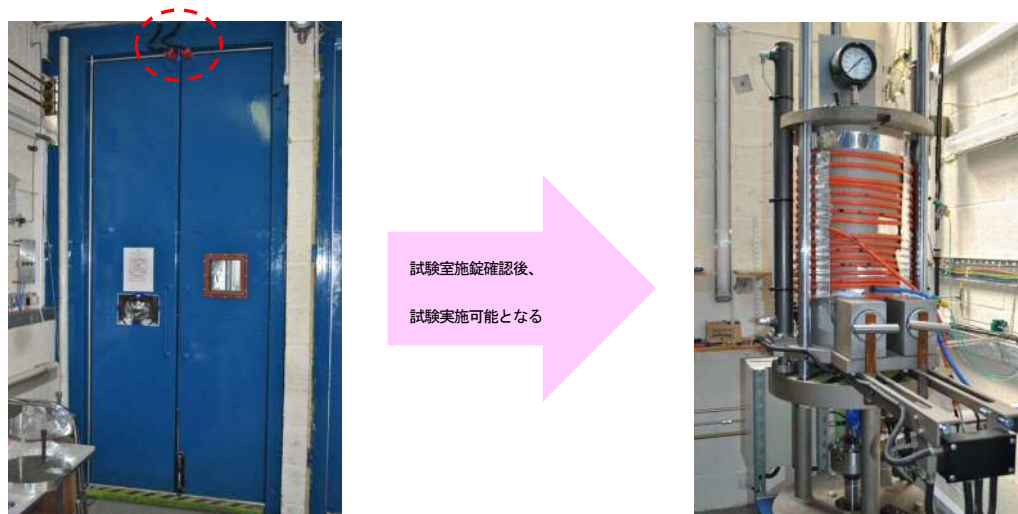


図3. 4 装置および試験室の外観

2) 試験装置の仕様について

2 つタイプの試験装置を所有しており、下記に示すように使用上限圧力と最大荷重に差異があるものであった。

①45MPa 試験用装置

【仕様】

使用圧力：45MPa

使用温度：室温～100℃

※チャンバー内温度を測定し制御

周波数：0.01Hz～5Hz

最大荷重：50kN

(引張は最大 100kN)

荷重方法：3 点曲げ

(4 点曲げも対応可能)



図 3. 5 45MPa 試験装置外観

【試験装置】

図 3. 6 に示すとおり、内部は複数のシール材を用いて外部への水素漏えいが無い状態で、3 点曲げ荷重・引張試験（4 点曲げも可能）が実施可能な機構を備えた試験装置。



図 3. 6 45MPa 試験装置内部

②100MPa 試験用装置

【仕様】

使用圧力：100MPa

使用温度：-50℃～85℃

※供試体の温度を測定

周波数：0.01Hz～5Hz

最大荷重：100kN

【試験装置】

45MPa 用の試験装置と比較し、試験可能な温度範囲と温度を管理している

場所が（供試体温度を直接測定）が異なり、より低温で、かつ、より高い水素圧力

中での試験が実施可能となっていた。また、45MPa 用の試験装置よりも高い精度での試験を実施するため、荷重をかけた際の試験容器内の圧力補正を行う機構も付加されていた。



図 3. 7 100MPa 試験装置外観および内部

(3) 金属材料や高分子材料に対する水素脆化影響評価について

金属材料や高分子材料に対する水素脆化を分析する際には、図3. 8に示すように、可能な限り発生した事象を再現した上で、当該部位を詳細分析し評価を実施しているとのことであったが、そのノウハウに関しては開示不可ということであったため、確認できなかった。



図3. 8 金属材料および高分子材料不具合再現モデル

(4) まとめ

- ・金属材料、および高分子材料評価に関して、非常に多くの知見を有している研究機関であり、試験装置も充実していた。
- ・水素中に含まれる不純物の影響に関しては、試験実績もなく明確な知見は得られなかったが、金属材料の水素脆化に関する知見を多々有しており、現在は、水素導管を想定した材料腐食に関して注力しており、今後、成果が期待されるものであった。

3. 3. 3 LINDE 社

- ・日 時：平成 25 年 10 月 23 日（水） 13：00～16：00
- ・場 所：①Total 水素ステーション（Heidestrase 19, 10557 Berlin）
②Shell 水素ステーション（Sachsendamm 90-92, 10829 Berlin）
- ・面 会 者：Mr. Alexander Zörner
(Projektleiter/ Wasserstoffanwendungen Vertriebsregion Ost, Chemie)
- ・調査目的：水素を使用する設備として想定され、現在、一部地域で実運用されている水素ステーション及びその設備を構成する配管や整圧器の仕様や使用状況を調査し、水素供給設備への要求仕様を確認する。
また、水素を安全に利用するための維持管理・運用方法を調査し、維持管理に必要な要件を確認する。

・ 調査概要：

(1) 会社概要

- ・ 工業ガスおよびプラント建設等のエンジニアリングを手掛けるドイツのメーカー。

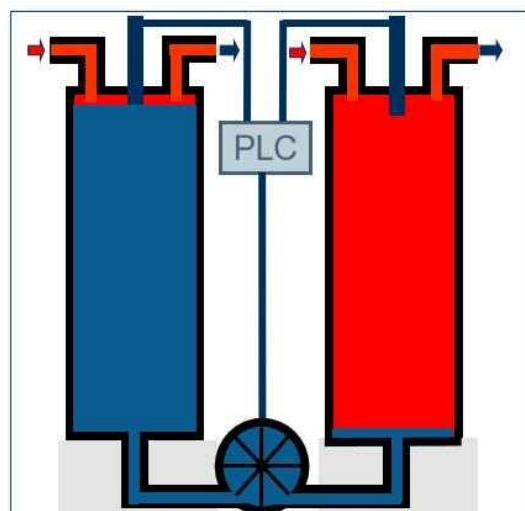
水素の製造から消費まで一通りの技術を有しておりドイツ国内で約 135km の水素導管網を維持している。



出典：LINDE 社ホームページより

図 3. 9 水素パイプライン網イメージ

また、水素ステーションの建設ノウハウ、非常に高い水素圧縮技術（図 3. 10 に示すように特殊な液体をピストンとして水素を 5 段階に分けて圧縮）を有しており、欧州内での水素ステーション建設実績や日本への導入実績がある。



出典：岩谷産業提供資料より

図 3. 10 水素圧縮技術概要

(2) 水素利用設備（水素ステーション等）について

水素を使用する設備として想定される水素ステーションに関して、構造および維持管理状況が異なる2通りのものを調査した。

1) TOTAL 水素ステーション

【仕様】

供給圧力：70MPa（乗用車用）

水素純度：99.9999%

原料水素：バイオマス由来水素

水素配管：

運用圧力 20MPa, 87.5MPa

配管材質 ステンレス鋼

埋設深度 0.5m（一部露出）

防護処置 保護テープ

そ の 他：

- ・水素ステーションまでの輸送手段はトレーラー
- ・水素以外にガソリン、CNG も販売

【水素供給設備】

下図に示す各設備は配管にて接続されており、設備仕様は以下の通り。

貯蔵容器：20MPa 容器 * 5 本

圧 縮 機：20MPa⇒87.5MPa（40kg 貯蔵） ※液体型ピストン構造

ディスペンサー：87.5MPa FCV 用（普通車）

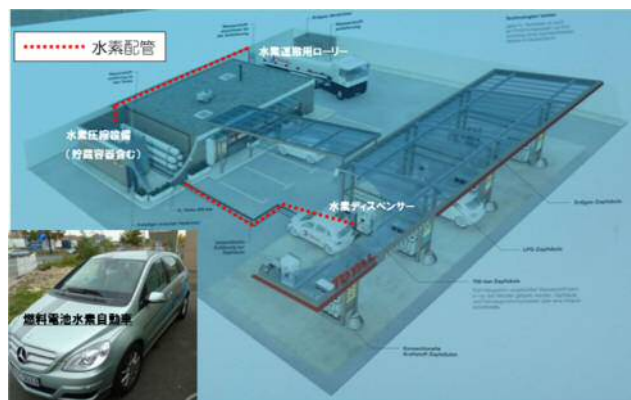


図3. 1 1 水素ステーションイメージ

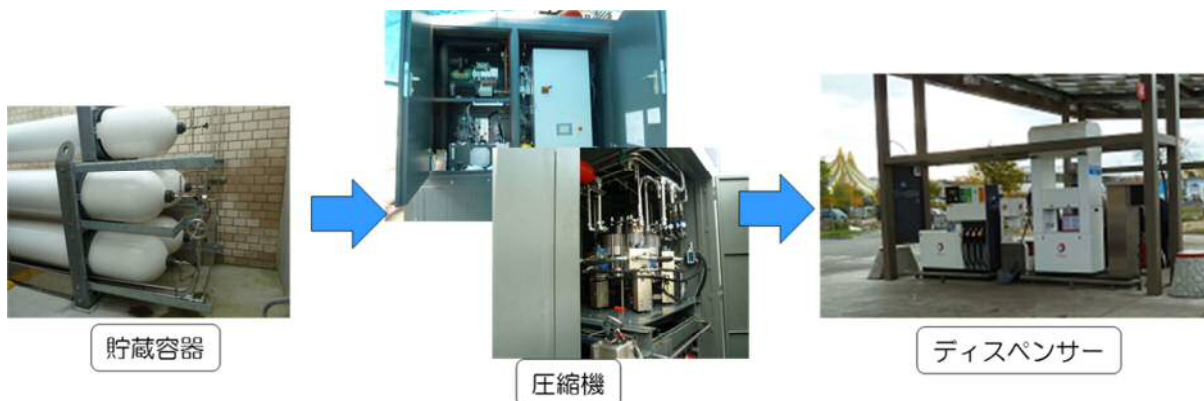


図3. 1 2 水素供給フロー

【維持管理】

- ・TÜV（ドイツ技術検査協会）の基準に則り設計から維持管理までを実施。
- ・離隔基準に関しては、水素用設備用と他工作物用のものに、特殊な差はなく、一般的建築物の火災用防火壁としての基準と同様。
- ・露出配管に対する定期的漏えい検査は実施しているが埋設配管に対する定期的な漏えい検査は未実施。

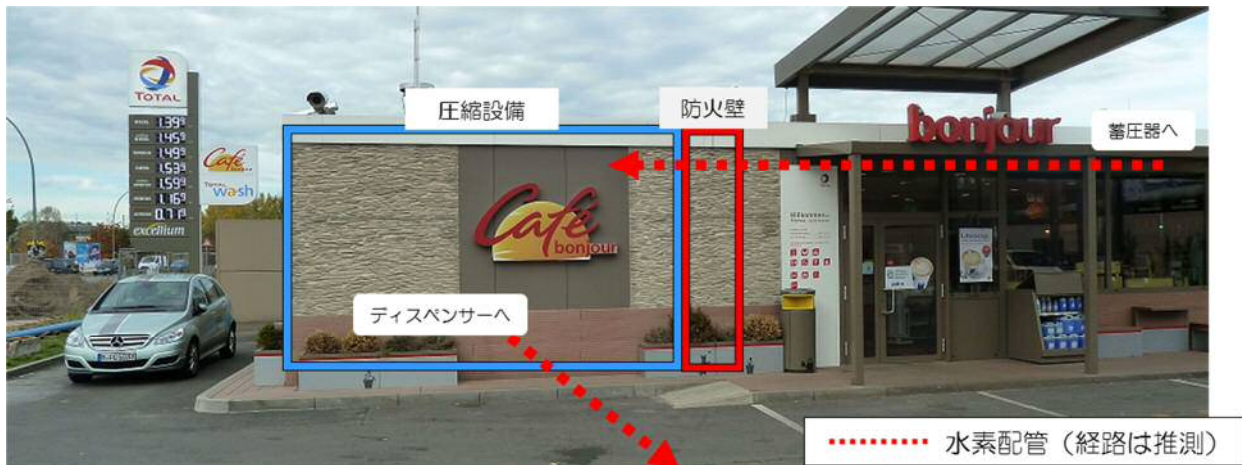


図3. 13 水素ステーション内設備外観

2) Shell 水素ステーション

【仕様】

供給圧力：35MPa, 70MPa（バスおよび乗用車用）

水素純度：99.9999%

原料水素：液化水素

水素配管：

運用圧力 20MPa, 87.5MPa

配管材質 ステンレス鋼

その他：

- ・地下空間に水素圧縮設備を設置している



図3. 14 水素ステーションイメージ

【水素供給設備】

貯 蔵 量：1200kg

圧 縮 機：45MPa⇒87.5MPa ※液体水素圧縮構造

ディスペンサー：87.5MPa FCV用（普通車）



図3. 15 水素供給フロー

【維持管理】

- ・TOTAL 水素ステーション同様、TÜV（ドイツ技術検査協会）の基準に則り設計から維持管理までを実施。
- ・水素ガスの漏えいに関しては、管理センターや担当者が遠隔監視を行っており、緊急時には、遠隔操作が可能。
- ・緊急時対応とし、特殊成分の不活性ガス（ N_2 ・Ar を主成分）を準備しており、配管及び設備内部のパージに使用。

（3）まとめ

- ・水素を使用する設備が実際に運用されている状況を調査し、高純度の水素輸送が必要であることが確認できた。
- ・水素供給設備の製造やそれを構成する部材に関しては、TÜV（ドイツ技術検査協会）の基準に則り運用され、また、水素供給設備の設置等に関しては、一般流通している可燃性気体を取扱う際の基準に準じて運用されており、水素ということで別途の安全対策を有するものではなかった。
- ・水素を安全に利用するための維持管理・運用方法に関しては、如何にして、水素を空間内に長時間閉じ込めない対策が施せるかが重要だということが確認できた。

3. 3. 4 Perrin 社

- ・ 日 時：平成 25 年 10 月 24 日（木） 13：30～16：00
- ・ 場 所：Perrin 社 本社
(Siemensstr.1 D-61130 Nidderau, Germany)
- ・ 面 会 者：原 俊幸 (KITZ EUROPE GmbH Chairman)
五味 健 (Perrin Engineering Department Designer)
- ・ 調査目的：水素を遮断する技術および現状の遮断性能を調査し、緊急時対応に活用可能なものであるかどうかを確認する。
また、日本と海外の規格差に伴う製品仕様の差異、製品設計の思想を確認する。
- ・ 調査概要：

(1) 会社概要

1900 年に機械工場として創業し、1968 年にボールバルブの開発を開始しているメーカーである。ドイツ国内に 2 箇所の製造拠点をもち、バルブ、その他の流体制御用機器およびその付属品の製造・販売を実施している。

製造するボールバルブには、静電気の帯電防止構造を備えたものや飛び出し防止ステム（ファイアセーフ）等の特長を備えたものがある。

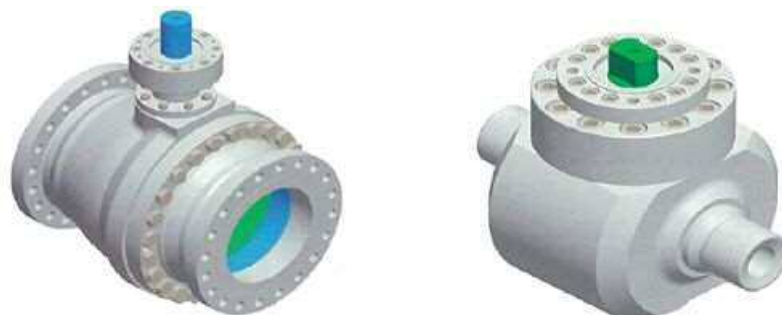


図3. 16 Perrin 製バルブの一例

欧州以外にも日本、中国、東南アジアにも製造拠点を有しており、保有する高い溶射技術と研磨技術を生かして、水素を高精度で遮断する水素専用のバルブ（ボール型）を開発・販売（限定）している。



図3. 17 溶射・研磨技術

（２）水素用バルブについて

欧州と日本におけるそれぞれの仕様に合わせて、同一思想で水素用バルブを製造された２種類のバルブを調査し、比較を行った。

【仕 様】

表 3. 4 日本仕様と欧州仕様の比較

	日本仕様	欧州仕様
最高許容圧力 (MPa)	98	103
温度範囲 (°C)	-40～85	-50～85
Cv 値	2.1	2.1
材質	SUS316L STH2	1.4401(SUS316 同等) 1.4404(SUS316L 同等)
参照基準	KHK	DIN
重量 (kg)	7.0	2.4
外観		

※本体重量差は日本と欧州の安全率設定の違いによる。

【欧州仕様バルブの特徴】

- ・バルブ内のボールとシートの接触面に高い押しつけ力を付加させるシール構造
- ・DIN EN 12516 に基づく強度計算
- ・操作軸に抜け出し力が作用しない構造
- ・小型軽量、省スペース設計

【バルブ開発時の性能評価】

水素用バルブ開発に伴い実施された評価項目（下記）の調査を実施した。

- ・高圧曝露試験
- ・ベアリング性能試験
- ・Pin on Disk 試験（膜の健全性を評価）
- ・O リング高圧負荷試験
- ・低圧および高圧内部封止性能試験
- ・低圧および高圧外部封止性能試験
- ・高差圧負荷耐久性能試験
- ・ヒートサイクル負荷耐久性能試験

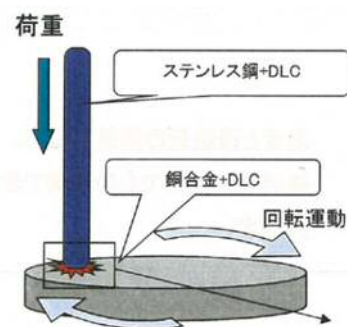


図 3. 18 Pin on Disk 試験イメージ

【バルブ製品出荷時の性能評価】

欧州内に水素製品を評価する機関は存在するが、安全増しの考えから下記の項目を自主的に確認し、出荷しているとのことだった。

- ・ 外観検査
- ・ 漏れ検査（外部）：バルブ本体から外部へ漏えいがないことを確認（10min）
- ・ 漏れ検査（内部）：バルブ上流から下流へ漏えいがないことを確認（3min）
- ・ 加圧状態での操作性検査：所定の荷重で開閉が可能であることを確認

【水素用バルブに関するノウハウ】

①遮断性能の向上

バルブ内のボールとシート間の押しつけ力を高めることで遮断性能を向上させており、接触面（図3. 19斜線部）に付加される高い押し付け力へ対応するため、特殊なコーティング（Diamond-Like Carbon）を採用しているとのことであった。

このコーティング採用にあたり、剥離を防止するためのコーティングするステンレス鋼の表面処理とコーティング膜厚にノウハウがあるとのことであった。

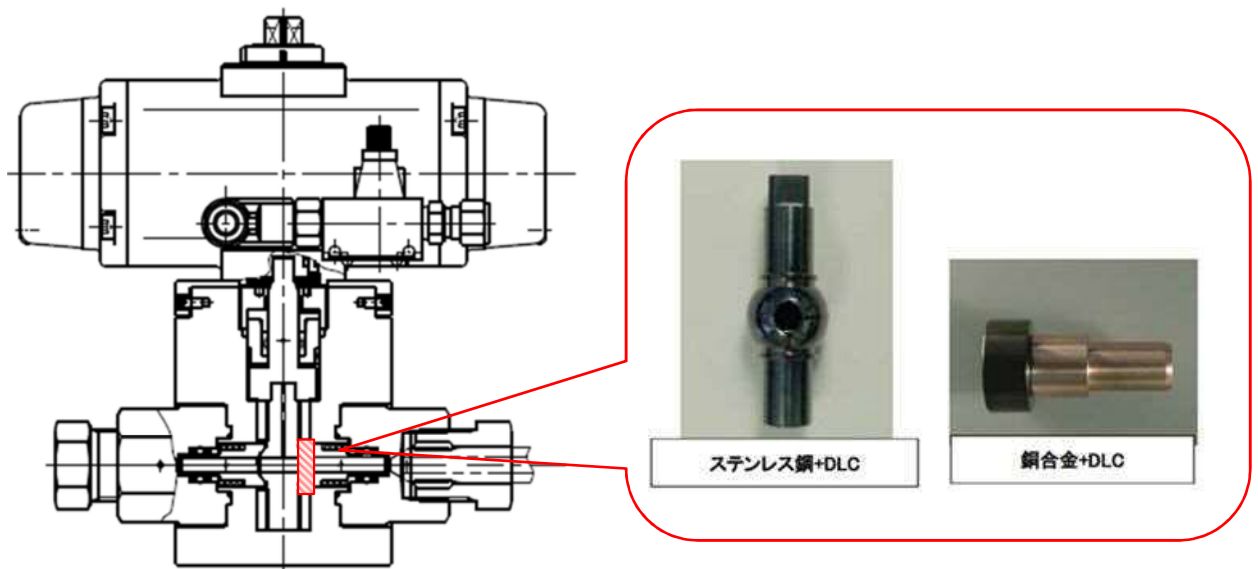


図3. 19 バルブ内シール状況

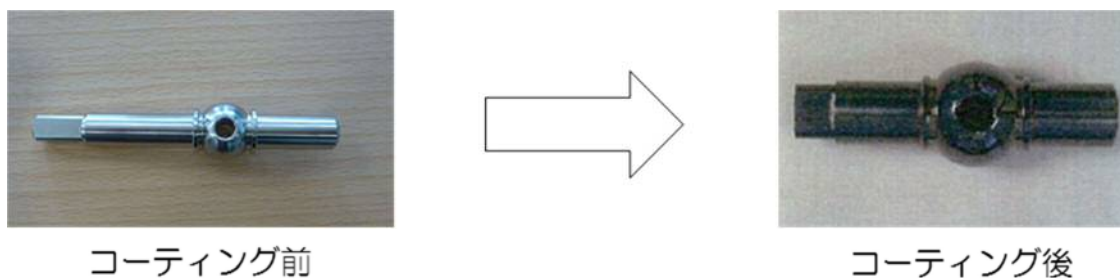


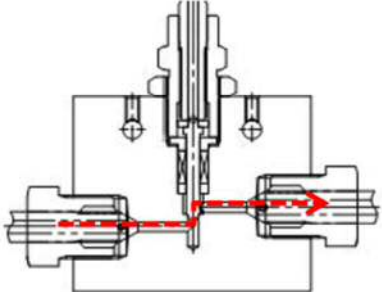
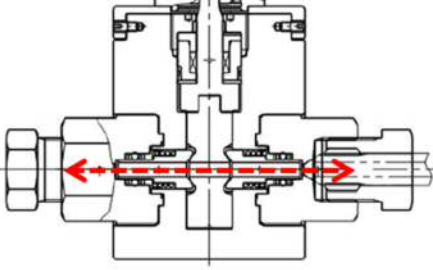
図3. 20 DLCコーティングの外観

②利便性の向上

下記の理由から、一般的に水素用として流通しているニードルバルブ型ではなく、ボールバルブ型を採用し利便性を高めているとのことだった。

- ・ 流路を確保しやすくコンパクトな設計が可能
 - ・ 外部への漏えいを抑制し、安全性向上に寄与
 - ・ 流体が流れる方向には影響されず、作業性向上
- ※水素ステーション用としてはバルブ前後で圧力勾配が変化
- ・ 内部孔（通常は円）の形状を変化させることで、流量制御が容易に可能

表 3. 5 ニードルバルブとボールバルブの比較

	ニードルバルブ	ボールバルブ
代表構造		
操作性	マルチターン	クォーターターン（90°開閉）
流量特性	低Cv値	高Cv値
流れ方向	限定方向流れ	両方向流れ
流量調整	可	基本的には全開及び全閉使用
課題（一般論）	軸シール	内部封止性能（ボールシート）
水素ステーションにおける住み分け	流量調節弁 メイン配管以外の遮断弁（流量の必要ない箇所）	メイン配管（大流量を流す必要のある箇所）

（3）まとめ

- ・ 水素を遮断する技術に関するノウハウおよび現状の遮断性能技術を確認できた。
- ・ 日本と海外の規格差に伴う製品仕様の差異、製品設計の思想を確認できた。
- ・ 日本で水素用として用いられている設備や工具は使用条件に配慮すれば、安全な状態を維持しより利便性を高めることができる可能性があることが確認できた。

4. 将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめ

4. 1 他調査概要の整理

平成 23 年度から平成 25 年度調査の実施概要をまとめ、その結果に対応する技術基準等を示す形で取りまとめを実施した。

取りまとめを行った調査に関しては、単年もしくは複数年で結果をまとめており、各調査の内容は下記に示す 8 つの調査テーマに整理することができた。

表 4. 1 他調査の実施概要

調査テーマの名称	実施年度	概要
水素漏えい拡散挙動調査 事業名称：「H23 水素漏えい・拡散挙動調査」 「H24 水素拡散挙動調査」	平成 23 年度～ 平成 24 年度	・腐食や破損に起因する漏えい孔から噴出する水素の大気中における拡散範囲を調査
水素着火挙動調査 事業名称：「H23 水素漏えい・拡散挙動調査」 「H24 水素拡散挙動調査」	平成 23 年度～ 平成 24 年度	・腐食や破損に起因する漏えい孔から噴出する水素に着火した際の火炎の形状、温度影響範囲を調査
水素置換挙動調査 事業名称：「水素置換挙動調査」	平成 24 年度～ 平成 25 年度	・管内の水素と空気の間、窒素を挟み込み、水素と空気が混合しない条件およびその法則性を導出
水素導管圧力解析調査 事業名称：「水素導管圧力解析調査」	平成 23 年度～ 平成 25 年度	・1MPa 未満の圧力を持つ中低圧水素導管において、簡略化された水素用導管圧力解析式を導出
施工方法の安全性評価調査 (分岐工法) 事業名称：「H23 施工方法の安全性評価調査」 「H24 施工方法及び供給設備の安全性評価調査」	平成 23 年度～ 平成 24 年度	・活管状態の水素導管に分岐を施工する際に、着火要因となる作業（穿孔/遮断等）を抽出・評価
施工方法の安全性評価調査 (応急処置) 事業名称：「H25 施工方法の安全性評価調査」	平成 25 年度	・水素ガスの漏えいに対して、取替え等の修繕を実施するまで、一時的にガスの漏えいを抑制できる工法・工具を抽出し安全性を評価
供給設備の安全性評価調査(整圧器) 事業名称：「H24 施工方法及び供給設備の安全性評価調査」	平成 24 年度	・都市ガス用整圧器の水素における特性を確認し、適用可能性を評価
付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査 事業名称：付臭剤添加による金属系材料の水素脆化影響調査	平成 23 年度～ 平成 25 年度	・疲労き裂伝播試験を用いて、水素中の金属材料に対する付臭剤の影響を調査

4. 2 他調査結果に関連する技術基準の抽出

平成 23 年度から平成 25 年度に実施した調査結果を受け、ガス工作物技術基準をベースとして、該当/関連する条文を示し、将来的な技術基準の見直しに活用可能なデータとなるよう整理を実施した。

なお、技術基準等の条文に関しては、「ガス工作物技術基準・同解釈例の解説」（4 次改訂版）から、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」と、その具体的な技術内容・仕様規格の例を示した「ガス工作物技術基準の解釈例」中の該当する、もしくは影響する可能性が高いものを抽出した。

表 4. 2 他調査結果の技術基準等該当箇所一覧

調査テーマ名称 ※事業名称は前頁参照	ガス工作物の技術上の基準を 定める省令	ガス工作物技術基準の解釈例
水素漏えい拡散挙動調査	第 11 条（火気設備との距離）	第 8 条（火気設備との距離）
水素着火挙動調査	第 13 条 第 3 項（ガスの置換等）	第 11 条（フレアースタック）
水素置換挙動調査	第 13 条 第 2 項（ガスの置換等）	第 10 条（ベントスタック）
水素導管圧力解析調査	第 18 条 第 1 項（計測装置等）	第 73 条（計測装置等）
施工方法の安全性評価調査 （分岐工法）	第 11 条（火気設備との距離） 第 54 条（防護の基準）	第 8 条（火気設備との距離） 第 122 条（ガス遮断措置の基準）
施工方法の安全性評価調査 （応急処置）	第 54 条（防護の基準）	第 120 条（漏えい防止措置の基準）
供給設備の安全性評価調査 （整圧器）	第 4 条（立ち入りの防止等） 第 57 条（ガス遮断装置等）	第 1 条（立ち入りの防止等） 第 124 条（圧力上昇防止装置）
付臭剤添加による金属系材料 の水素脆化影響調査	第 14 条（材料）	第 12 条（材料） 第 14 条（導管等の材料）

Ⅲ. 平成 23 年度～平成 25 年度実施成果のまとめ

1. 全体概要

本事業は、一般需要家へガス体（水素）を供給するという形態から、類似の形態をもつ都市ガス供給をベースとした水素ネットワーク社会モデルイメージ（図 1. 1）を起点としている。調査範囲は公道部（都市ガス事業における外管部分）に特化したものであり、公道部分に設置される設備や、その設備の運用中に発生する作業を満遍なく調査（調査テーマの一覧に関しては図 1. 2 に示す）し、現行の技術や設備が水素ネットワークに対して適用できるレベルの確認や整理を行った。

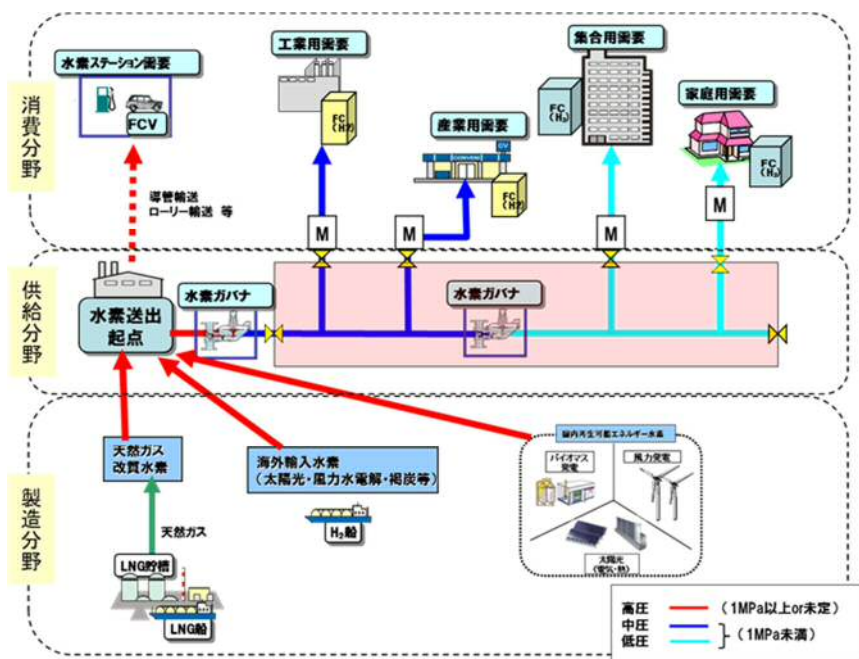


図 1. 1 水素ネットワークモデルイメージ（内が本事業の対象範囲）

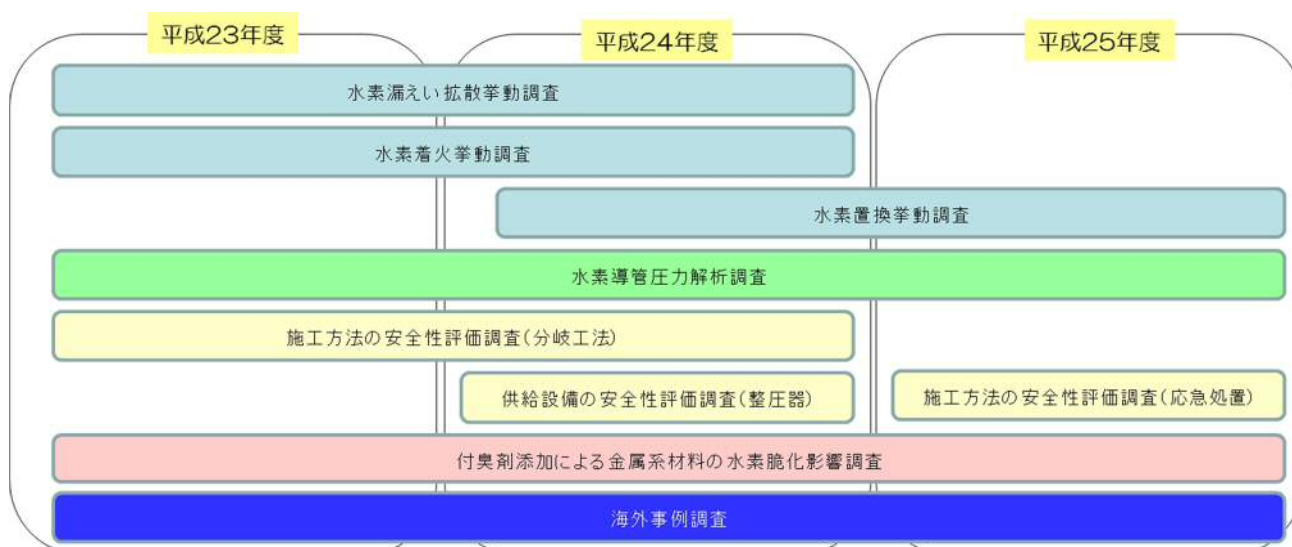


図 1. 2 調査テーマ一覧

2. 他調査結果の整理

本事業の調査範囲である公道部（都市ガス事業における外管部分）の水素供給ネットワークの設備や作業に関しては、図2. 1に示すような設計、施工、維持管理の各フェーズに生じる作業をフロー化して整理を行ったため、未調査部分はないと思われる。

各調査結果の要点を抜粋し整理した結果を表2. 1に示す。なお、本調査は現行技術が水素供給ネットワークに適用できる範囲を確認したものであるため、実適用においては各々の適用範囲を十分に考慮して結果を取扱う必要がある。

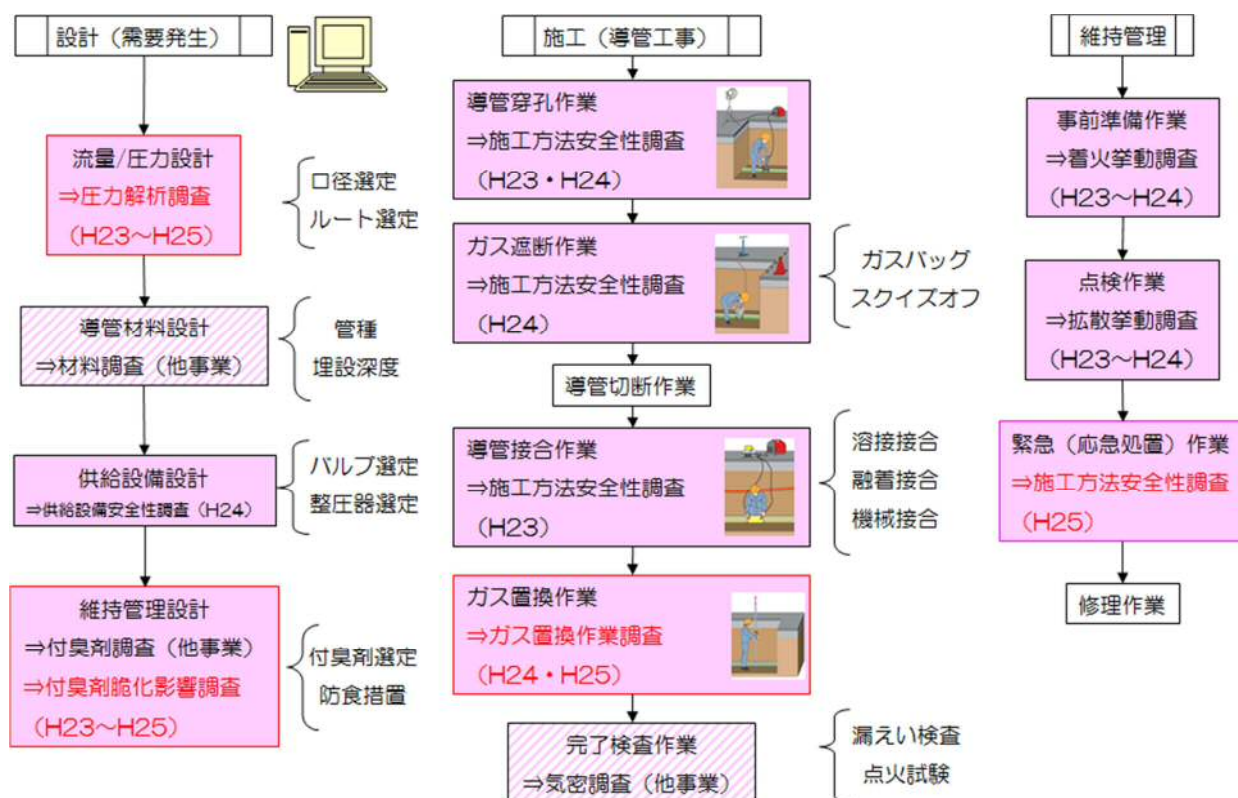
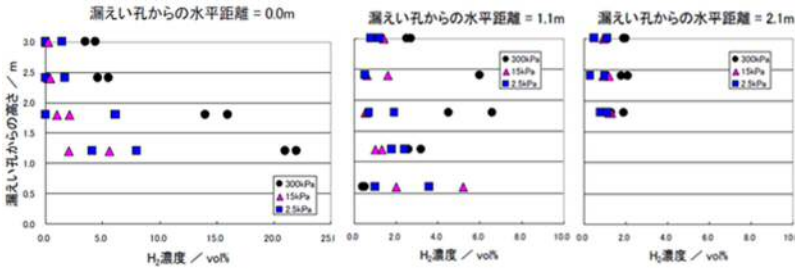
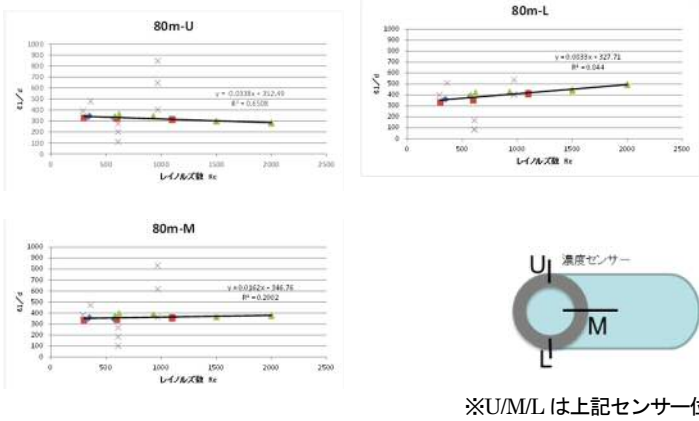
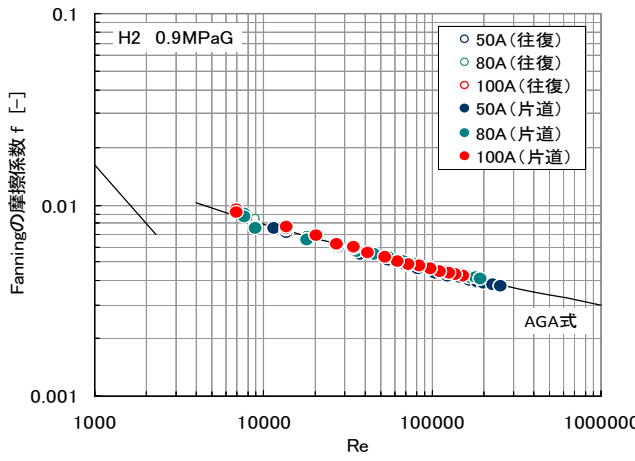
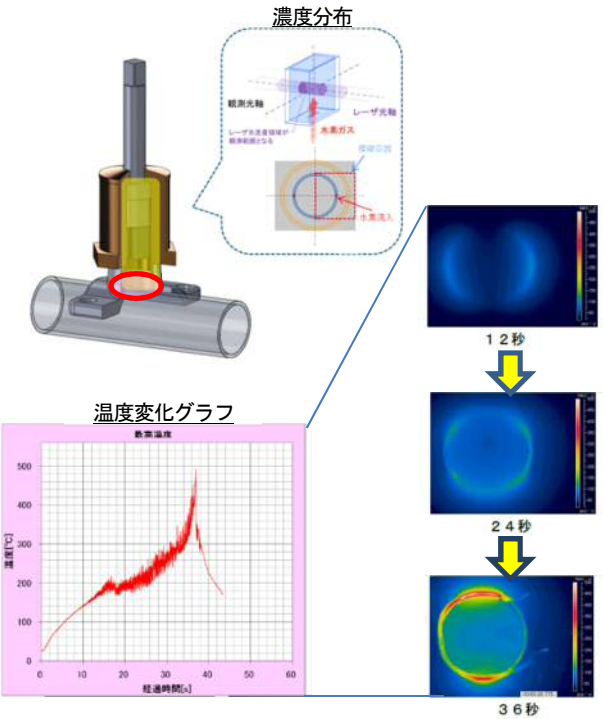


図2. 1 調査範囲における実施項目の整理

表 2. 1 他調査結果の整理について

調査名称 ／調査年度	調査目的	調査内容	調査結果抜粋	技術基準類（解釈例等）参照条項																									
水素拡散挙動調査 （平成 23～24 年度）	水素が滞留する空間位置を確認し、現行のガス工作物の設置される空間への対応を検討する。	・大気中における水素濃度分布	・着火の危険性を有する水素濃度範囲は、水平方向への拡がり小さく、鉛直方向の拡がり大きいことが確認され、特定の噴出条件下（噴出孔径、圧力等）において、着火可能性のある範囲を確認した。 	第 6 条（ガスの滞留防止） ⇒省令第 9 条 「滞留しない構造」とは、ガスの性質、処理又は貯蔵するガス量、設備の特性、室の広さ等を考慮した構造のもの。 【補足】 水素製造設備を想定した記載であるが、導管工事時の掘削溝内を『滞留する可能性がある空間』として検討を実施																									
	水素の大気中における濃度分布を確認し、ガス工作物との必要な離隔距離を導出する。			第 8 条（火気設備との距離） ⇒省令第 11 条 「適切な距離」とは、当該ガス工作物又は当該移動式ガス発生設備の外側から火気を取扱う設備に対し 8m 以上の距離をいう。																									
水素着火挙動調査 （平成 23～24 年度）	水素火炎及び水素火炎による輻射熱の影響範囲を確認し、人体との必要離隔距離を導出する。	・水素火炎の温度範囲 ・水素火炎の形状（サイズ）	・水素供給圧力が低圧（0.1MPa 未満）であり、かつ、特定の噴出条件下（噴出孔径、圧力等）において火傷や爆風圧等の影響が生じる可能性がある範囲を確認した。 <table border="1"> <tr> <th></th><th>0.8mm</th><th>2mm</th><th>5mm</th><th>10mm</th></tr> <tr> <td>2.5kPa</td><td>数 cm</td><td>数 cm</td><td>20cm 程度</td><td>1～2m</td></tr> <tr> <td>15kPa</td><td>数 cm</td><td>数 cm</td><td>40cm 程度</td><td>2m 程度</td></tr> <tr> <td>100kPa</td><td>数 cm</td><td>数 cm～10cm</td><td>1m 程度</td><td>2.5m 程度</td></tr> <tr> <td>300kPa</td><td>不明（※）</td><td>10cm 程度</td><td>2m 程度</td><td>3m 程度</td></tr> </table>		0.8mm	2mm	5mm	10mm	2.5kPa	数 cm	数 cm	20cm 程度	1～2m	15kPa	数 cm	数 cm	40cm 程度	2m 程度	100kPa	数 cm	数 cm～10cm	1m 程度	2.5m 程度	300kPa	不明（※）	10cm 程度	2m 程度	3m 程度	第 11 条（フレアースタック） ⇒省令第 13 条第 3 項 「発生するふく射熱が周囲に障害を与えないよう適切な措置を講じ・・・」 【補足】 水素製造設備を想定した記載であるが、『周囲』を人体に置き換えて検討を実施
	0.8mm	2mm	5mm	10mm																									
2.5kPa	数 cm	数 cm	20cm 程度	1～2m																									
15kPa	数 cm	数 cm	40cm 程度	2m 程度																									
100kPa	数 cm	数 cm～10cm	1m 程度	2.5m 程度																									
300kPa	不明（※）	10cm 程度	2m 程度	3m 程度																									

水素置換挙動調査 (平成 24～25 年度)	導管内において、空気と水素を分離できる不活性ガス量を導出する。	・空気と水素の間に挟み込む窒素量 ・新設導管条件に依存した窒素量の法則性	・新設導管への水素置換（通ガス）作業時に空気と水素の接触を抑止できる不活性ガス（窒素）量が存在することを確認した。 (導管内を全量窒素とすることは不要) ・空気と水素の接触を抑止できる不活性ガス量に関する法則性を導出・確認した。  ※U/M/L は上記センサー位置	第 10 条（ベントスタック） ⇒省令第 13 条第 2 項 「適切な措置」とは、周囲の環境等に応じてベントスタックの高さ、位置又は放散をコントロールすることができるバルブ等の設置を考慮し、ベントスタックを設置することをいう。 【補足】 設備面からの適切な措置に加え、ソフト面（挿入する流体や放散量を制御）での措置の追加を検討。
水素導管圧力解析調査 (平成 23～25 年度)	水素の計測（流量・圧力等）に際し、従来の算出方法（理論式）の活用が可能かどうか調査し、水素の安定供給に必要な物性を整理する。	・低圧水素圧損特性 ・中圧水素圧損特性 ※1MPa 未満 ・簡易導管網を活用した簡易式の適用性	・中低圧において、水素の圧力損失特性（実測値）は、理論式と一致することを確認した。  ・流体の性質を示す損失係数を Re 数で整理し、水素を供給する Re 数領域を限定すれば、既存の簡易式を流用して、高精度な圧力解析式を 1 つに定められることを確認した。 $\Delta P = K_P \frac{TL}{D^5} \frac{Q_0^2}{2P_1} \quad (\text{一般式})$ $K_P = 3.87 \times 10^{-18} (\log Re)^{-2.43}$ ただし、$10^4 < Re < 10^5$ ΔP : 導管入口出口間の圧力損失 [MPa] Q_0 : 標準状態体積流量 [Nm³/h] K_P : 圧力損失係数 [-] T : 温度 [K] L : 導管長さ [m] P_1 : 導管入口圧力 [MPaA] D : 管内径 [m] Re : レイノルズ数 [-]	第 73 条（計測装置等） ⇒省令第 18 条第 1 項 「計測又は確認できる適切な措置」とは、最高圧力が中圧又は低圧のガス発生設備にあっては、その流量及び圧力を計測できるものをいう。

施工方法の安全性 評価調査（分岐工法） （平成 23 年度）	導管工事で使用する工具が水素の着火エネルギーの小ささ故火気設備と成り得るかどうかを調査し、固定式火気設備と同レベルの取り扱いが必要かどうか整理する。	・ PE 融着工具や継手が着火源となる可能性	・ PE 管を接合するにあたり、必要な工具（コントローラー等）もしくは継手の電氣的な異常を加味した条件下でも水素が着火すると想定される温度（今回は一般的な値として 500℃とした）に到達することが無いことを確認した。 <table><thead><tr><th rowspan="2">測定部位</th><th rowspan="2">測定内容</th><th colspan="3">最高温度 (n=3 実測最大値)</th><th rowspan="2">温度分布</th><th rowspan="2">融着後外観</th></tr><tr><th>-5℃</th><th>23℃</th><th>40℃</th></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="2">管内面</td><td>a)電熱線短絡条件での局部加熱による温度上昇</td><td>—</td><td>130.6℃</td><td>—</td><td></td><td></td></tr><tr><td>b)2倍通電時間条件での温度上昇</td><td>178.4</td><td>195.0℃</td><td>197.5℃</td><td></td><td></td></tr><tr><td>管内面</td><td>(参考)標準条件での温度確認</td><td>109.2</td><td>113.2℃</td><td>117.5℃</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	測定部位	測定内容	最高温度 (n=3 実測最大値)			温度分布	融着後外観	-5℃	23℃	40℃	管内面	a)電熱線短絡条件での局部加熱による温度上昇	—	130.6℃	—			b)2倍通電時間条件での温度上昇	178.4	195.0℃	197.5℃			管内面	(参考)標準条件での温度確認	109.2	113.2℃	117.5℃			第 8 条（火気設備との距離） ⇒省令第 11 条 「火気を取扱う設備」とは、ボイラー、加熱炉、燃焼炉、焼却炉、喫煙室等通常定置されているものをいう。 【補足】 水素の拡散性の大きさ・着火温度の低さから、電気機器であるコントローラーが、「火気を取扱う設備」となり得る可能性を検討。
測定部位	測定内容	最高温度 (n=3 実測最大値)				温度分布	融着後外観																											
		-5℃	23℃	40℃																														
管内面	a)電熱線短絡条件での局部加熱による温度上昇	—	130.6℃	—																														
	b)2倍通電時間条件での温度上昇	178.4	195.0℃	197.5℃																														
管内面	(参考)標準条件での温度確認	109.2	113.2℃	117.5℃																														
施工方法の安全性 評価調査（分岐工法） （平成 23～24 年度）	導管工事で使用する工具が水素の着火エネルギーの小ささ故火気設備と成り得るかどうかを調査し、固定式火気設備と同レベルの取り扱いが必要かどうか整理する。	・ 穿孔刃の温度状況（導管との接触面）	・ 穿孔刃と管の接触面の温度に関しては、仕様外の異常な使用状態においても、水素が着火すると想定される温度（今回は一般的な値として 500℃とした）以下ではあることを確認した。 ただし、十分に安全とは言い切れない温度範囲であったため、環境温度変化に配慮した使用が必要である。 	第 8 条（火気設備との距離） ⇒省令第 11 条 「火気を取扱う設備」とは、ボイラー、加熱炉、燃焼炉、焼却炉、喫煙室等通常定置されているものをいう。 ・ 水素の拡散性の大きさ・着火温度の低さから、高温部位となる穿孔刃先端が、「火気を取扱う設備」となり得る可能性を検討。																														

施工方法の安全性 評価調査（分岐工法） （平成 23～24 年度）	導管工事で使用する工具が水素と空気の混合気をつくる可能性を調査し、着火を抑止する条件を整理する。	・穿孔刃を格納する容器内の濃度分布	・導管内圧力を穿孔作業時に適切な圧力へ調整することで、導管と穿孔刃の接触面付近の濃度を水素着濃度（4%）以下とすることが可能であるということを確認した。	第 8 条（火気設備との距離） ⇒省令第 11 条 「火気を取扱う設備」とは、ボイラー、加熱炉、燃焼炉、焼却炉、喫煙室等通常定置されているものをいう。 ・水素の拡散性の大きさ・着火温度の低さから容器内が着火濃度範囲となり得る可能性を検討。																						
施工方法の安全性 評価調査（分岐工法） （平成 24 年度）	導管工事で使用する工具の水素における遮断性能を調査し、遮断方法が異なる工具の適合性を整理する。	・ガスバッグ等ガス遮断工具の遮断性能	・正規の工具使用方法では、導管接合箇所の安全性に影響を与えないことを確認した。（参考として確認を実施した、遮断工具単体での遮断性能に関しては、改良の余地が見受けられるものも確認された）	第 122 条（ガス遮断措置の基準） ⇒省令第 54 条 「ガスをすみやかに遮断できる措置」とは、バルブ等を設置する以外に、低圧ガス導管においてはバッグを挿入するための穴を設ける措置、水封器を設ける措置又はポリエチレン管にあってはすみやかにスクイズオフできる措置をいう。																						
施工方法の安全性 評価調査（応急処置） （平成 25 年度）	水素漏えい時の 2 次被害を抑制するための工法を調査し、安全性向上につながる、一つの要因（指標）として、取りまとめを実施する。	・導管修理工法の気密性 ・導管修理工法の作業性	・水素漏えいを抑制できる可能性のある工具および工法をリストアップし、水素ガス漏洩抑制工法として十分な性能を有する工具および工法であることを確認した。 <table><tr><th rowspan="2">シール方式</th><th colspan="2">評価項目</th><th rowspan="2">総合評価</th></tr><tr><th>施工性</th><th>シール性</th></tr><tr><td>ゴムパッキン方式</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>ゴムパッキン方式</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>多層シール方式</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>自己融着方式</td><td>△</td><td>×</td><td>×</td></tr></table>	シール方式	評価項目		総合評価	施工性	シール性	ゴムパッキン方式	○	○	○	ゴムパッキン方式	○	○	○	多層シール方式	○	○	○	自己融着方式	△	×	×	第 120 条（漏えい防止措置の基準） ⇒省令第 54 条 「漏えいを防止する適切な措置」とは、押輪がけ、外面シールとする。
シール方式	評価項目		総合評価																							
	施工性	シール性																								
ゴムパッキン方式	○	○	○																							
ゴムパッキン方式	○	○	○																							
多層シール方式	○	○	○																							
自己融着方式	△	×	×																							

供給設備の安全性 評価調査（整圧器） （平成 24 年度）	都市ガス仕様整圧器の水素への適合性を調査し、周辺環境への適合レベルの取りまとめを行う。	・都市ガス仕様の整圧器の気密性 ・都市ガス仕様の整圧器の制御性	・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、整圧器室への設置が可能なレベルであることを確認した。 ・制御性に関しては、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した。 <table><tr><th>制御方式</th><th>オフセット</th><th>シフト</th><th>応答性</th><th>微小流量での あおり</th><th>制御性総括</th></tr><tr><td>直動</td><td>あり</td><td>あり</td><td>早い</td><td>なし</td><td rowspan="2">オフセット・シフトはあるも問題ない レベルで、良好な制御であった</td></tr><tr><td>直動</td><td>あり</td><td>あり</td><td>早い</td><td>なし</td></tr><tr><td>パイロット</td><td>微小</td><td>微小</td><td>遅い</td><td>弱いあおり有り</td><td rowspan="2">微小流量で弱いあおり有るも、流量 増に伴い解消し、制御可能となった</td></tr><tr><td>パイロット</td><td>微小</td><td>微小</td><td>遅い</td><td>弱いあおり有り</td></tr><tr><td>パイロット</td><td>（微小）</td><td>微小</td><td>遅い</td><td>強いあおり有り</td><td>あおりで静特性は中止したが、動特 性(50・100Nm³/h)では安定制御で あり、大流量制御は可能と推察。</td></tr></table>	制御方式	オフセット	シフト	応答性	微小流量での あおり	制御性総括	直動	あり	あり	早い	なし	オフセット・シフトはあるも問題ない レベルで、良好な制御であった	直動	あり	あり	早い	なし	パイロット	微小	微小	遅い	弱いあおり有り	微小流量で弱いあおり有るも、流量 増に伴い解消し、制御可能となった	パイロット	微小	微小	遅い	弱いあおり有り	パイロット	（微小）	微小	遅い	強いあおり有り	あおりで静特性は中止したが、動特 性(50・100Nm³/h)では安定制御で あり、大流量制御は可能と推察。	第 1 条（立ち入りの防止等） ⇒省令第 4 条 「適切な措置」とは、整圧器にあつては、整圧器を室に設置する措置、整圧器を地下のマンホール及びピット内等の内に設置する措置をいう。 第 124 条（圧力上昇防止装置） ⇒省令第 57 条 「ガスの圧力が異常に上昇することを防止する装置」とは、出口側の圧力を感知し、それが異常に上昇した場合、入口側においてガスの供給を遮断することができるものであること。 【補足】 整圧器の制御性能を確認することで、通常時の水素の圧力上昇を抑制できる範囲を検討。
制御方式	オフセット	シフト	応答性	微小流量での あおり	制御性総括																																	
直動	あり	あり	早い	なし	オフセット・シフトはあるも問題ない レベルで、良好な制御であった																																	
直動	あり	あり	早い	なし																																		
パイロット	微小	微小	遅い	弱いあおり有り	微小流量で弱いあおり有るも、流量 増に伴い解消し、制御可能となった																																	
パイロット	微小	微小	遅い	弱いあおり有り																																		
パイロット	（微小）	微小	遅い	強いあおり有り	あおりで静特性は中止したが、動特 性(50・100Nm³/h)では安定制御で あり、大流量制御は可能と推察。																																	
付臭剤添加による 金属系材料の水素脆化 影響調査 （平成 23～25 年度）	導管材料に対し、付臭剤が化学的な影響を与える可能性の有無を調査し、水素用付臭剤の導入指標となる条件を整理する。 都市ガス用導管材料の水素への適合性を整理する。	・付臭剤が導管材料の水素脆化に影響を及ぼす可能性 （疲労き裂進展速度にて評価）	・選定した付臭剤（2 種類）が、金属材料（SGP/STPG）に対し悪影響を及ぼさず、水素導管供給の安全性確保に使用可能であることを確認した。 <table><tr><td>付臭剤影響</td><td></td><td></td></tr><tr><td>水素脆化影響（指標）</td><td></td><td></td></tr></table>	付臭剤影響			水素脆化影響（指標）			第 12 条（材料） ⇒省令第 14 条 「最高使用温度及び最低使用温度において材料に及ぼす化学的及び物理的影響に対し、設備の種類、規模に応じて安全な機械的性質を有するもの」とは、第 13 条から第 17 条に定めるものをいう。 第 14 条（導管等の材料） 製造設備以外のガスを通ずる配管の材料は第 1 項及び第 2 項の規定を準用する。 【参考】 第 12 項：JIS G 3454 第 37 項：JIS G 3452																												
付臭剤影響																																						
水素脆化影響（指標）																																						

3. 海外事例調査

3年間の訪問先・調査概要の取りまとめ結果を表3. 1に示し、調査範囲の取りまとめ結果を図3. 1に示す。なお、調査範囲のまとめに関しては、各調査先を調査・研究から実運用までのステージに区分するとともに、調査内容が設計・施工・維持管理のどの段階に該当するかの区分を行うことにより、本調査事業の他調査の該当箇所との対比ができるようにした。

表3. 1. 海外訪問先・調査概要のまとめ

調査年度	訪問先	国・地域	調査結果概要
平成23年度	LOK/SEAS-NVE	デンマーク/Lolland	・ロラン島実証事業の進捗状況を調査し、水素を一般家庭へ供給する際の必要となる設備、そうでない設備等、課題が確認できた。
	Fabbrica del Sole社	イタリア/Arezzo	・一般家庭へ供給する際の水素パイプラインの維持管理状況や保安管理に必要な課題を確認できた。
	Air liquide社	ベルギー/Antwerp	・水素パイプライン敷設に必要な基準や現状の維持管理状況が確認できた。
	Enel社	イタリア/Venice	・水素利用手段として想定される水素燃焼機器の課題と現状が確認できた。
平成24年度	TOYOTA社	アメリカ/Los Angeles	・水素パイプラインを用いて供給している水素ステーションを調査し、水素パイプライン活用時に必要な課題を確認できた。
	OCSD	アメリカ/Los Angeles	・敷地内に敷設された水素パイプラインを用いた水素利用設備（水素ステーション）運用状況を確認できた。
	Elster社	アメリカ/Omaha	・現行都市ガス用メーターを用いて、水素用ガスメーターとする際の課題が確認できた。
	Fisher社	アメリカ/Mckinney	・水素用として用いられている整流器の運用状況や今後必要となる課題が確認できた。
	Air liquide社	アメリカ/Houston	・水素パイプラインの維持管理方法や設備構築時に用いられている基準を確認できた。
平成25年度	TWI	イギリス/Cambridge	・金属材料の水素脆化に関する研究状況や今後の取り組みに関して確認できた。
	Linde社	ドイツ/belrin	・水素を利用する設備に必要な仕様、現在の運用状況を確認できた。
	Perrin社	ドイツ/Frunkfurt	・水素供給を実施するにあたり、日本と欧州における規格の差とその影響に関して確認・整理することができた。

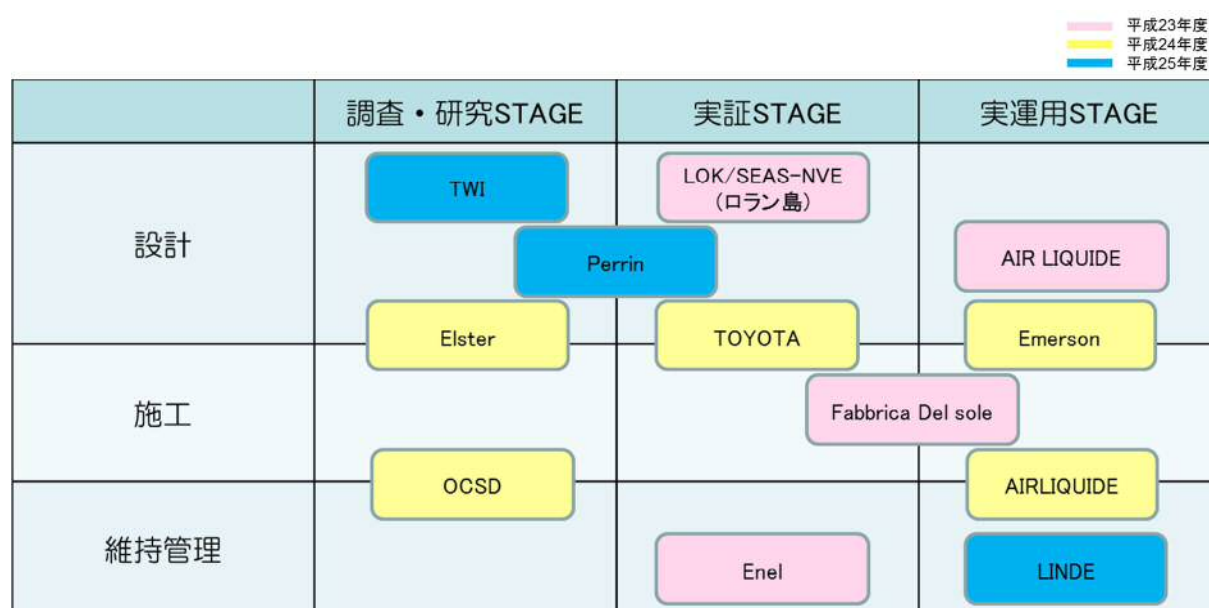


図3. 1 海外調査範囲のまとめ

4. まとめ

本調査事業においては、将来の水素エネルギー社会に向け、公道に埋設される導管を用いた水素供給（1MPa未満の供給圧力）を想定し、現行技術レベルの適用可能な範囲を調査した。

他調査も含めた本調査事業全体の主たる調査成果を以下に示す。

（１）水素の大気中、もしくは導管内での挙動について

大気中における挙動に関しては、水平方向に比べて鉛直方向への広がりが大きいことが確認された。これらの結果と水素の拡散速度が非常に速いことを鑑みると、火気等の危険物との離隔距離等は、ガス工作物上の技術基準等に示されている範囲を逸脱しない範囲で設定できる可能性が高いことがわかった。

導管内の挙動に関しては、比重や密度など他流体と差異が大きいことが影響し、Re数が小さくなり他流体と同程度の流量を取扱う際には注意が必要であるが、流体特性（圧力損失特性等）については他流体と同様の取扱いが可能であることがわかった。

（２）都市ガス用供給設備、もしくは工具の適用について

設備・工具の使用時の条件（温度、圧力等）を考慮し、適したものを選定すれば、都市ガス用の供給設備もしくは工具であっても使用できる可能性が高いことがわかった。

ただし、使用できるか否かに関しては、運用時の安全レベル設定の考え方にも依存するものであるため、注意が必要である。

（３）水素用の付臭剤について

過去の国家プロジェクトで示された水素用の付臭剤が、一般的な導管材料（SGP/STPGを選定）に対して悪影響を与えないことが確認された。

ただし、付臭剤に関しては、今後更に良い性能を持つもの、あるいは汎用性が高く価格面で優位なものが出てくる可能性もあるため、その際には同様の評価が必要である。

（４）海外の事例調査について

欧州・北米における水素利活用状況について、研究開発段階から実運用段階までの事例等を幅広く調査し、水素供給開始に向けた課題や海外で整備されていない技術基準等が整理・確認できた。

ただし、水素供給に係る全範囲を網羅できたわけでもなく、また、海外事業者の自主基準等、秘匿情報も多々あったため、今後も引き続き、海外動向を調査していくべきだと思われる。

（５）将来的な技術基準等の見直しに向けた取りまとめについて

本事業の成果を「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」と、その具体的な技術内容・仕様規格の例を示した「ガス工作物技術基準の解釈例」と比較する形で取りまとめることができた。

この取りまとめに関しては、あくまで本調査範囲におけるものであるため、今後は水素供給に必要とされる分野（製造、消費等）の他調査に合わせて同様の取りまとめが実施され、水素供給に向けた環境が整備されていくことを期待する。

5. 謝辞

本事業の遂行にあたり、3年間を通じてご指導いただいた特別専門委員会の岡崎委員長ならびに委員の皆さま、調査の実施や内容のまとめでお世話になった推進ワーキンググループの皆さま、また、海外の事例調査で多大なるご協力をいただいた海外メーカー様、また、その準備にご尽力いただきました、TWI JAPAN、岩谷産業(株)、(株)KITZ、日本エア・リキッド(株)、トヨタ自動車(株)、アズビル金門(株)、日本フィッシャ(株)、の皆さまに厚く感謝の意を表します。

また、本事業の実施により、水素ガス導管供給における基本的な保安の確保に関する重要な知見を得ることができ、事業を立案・実施いただいた経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室殿に深く感謝の意を表します。