

平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査
(総合調査)

調査報告書

平成 28 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	
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 水素パイプライン供給に関する事例調査及び保安規制実態調査	7
4. 4 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出と、 技術基準の整備に向けた事前検討	7
4. 5 過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総取りまとめ	8

II. 調査結果

1. 他調査の実施者に対する助言等	
1. 1 水素拡散挙動調査	9
1. 2 配管における水素置換挙動調査	9
1. 3 配管材料の水素適用性調査	10
2. 委員会の設置、運営	
2. 1 特別専門委員会	11
2. 2 推進ワーキンググループ	11
3. 水素パイプライン供給に関する事例調査及び保安規制実態調査	
3. 1 事例調査の目的	14
3. 2 調査の概要	14
3. 2. 1 調査の進め方	14
3. 2. 2 ヒアリング項目	14
3. 3 調査結果	15
3. 3. 1 ヒアリング実績	15
3. 3. 2 調査内容の整理	15
3. 3. 3 調査報告	18
4. 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出と、 技術基準の整備に向けた事前検討	
4. 1 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出	38
4. 1. 1 事業スキームの想定	38
4. 1. 2 法令面・技術面の課題整理	38

4. 2	技術基準の整備に向けた事前検討	44
5.	過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総取りまとめ	
5. 1	過去の水素パイプライン供給に係る委託事業の経緯	55
5. 2	とりまとめの進め方	55
5. 3	とりまとめの内容構成	56
6.	謝辞	58

(別紙) 過去事業のとりまとめ(10年レビュー)

I. 調査概要

1. 背景と目的

平成 26 年 4 月に閣議決定されたエネルギー基本計画にて、水素は電気や熱と並ぶ重要な二次エネルギーとして位置づけられた。平成 26 年 6 月に資源エネルギー庁より発表された水素・燃料電池戦略ロードマップでは、2030 年頃から純水素型燃料電池が普及し、そこへ供給するための水素パイプラインが地域限定であるが出現すると記載された。

また、近年では、各自治体等において、水素の製造・供給・利用段階における将来構想や実証事業等が計画されており、その中で水素パイプラインに関する計画も少なからず進められている状況にある。

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事業」（以下、「本調査」という。）を実施している。平成 25 年度までの 3 年間に於いて外管に関する調査が完了し、平成 26 年度からの 2 年間に於いて内管を対象とした技術調査を実施した。

2. 調査実施概要

平成 23 年度より水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業を開始され、平成 25 年度に外管に関する調査が完了した。平成 26 年度からは、内管に関する水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業が開始され、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 26 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 27 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）～（５）の項目を実施した。

（１）他調査の実施者に対する助言等

本年度実施する消費者領域における配管に関する調査（平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素拡散挙動調査）、平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（配管における水素置換挙動調査）及び平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（配管材料の水素適用性調査））（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、他調査を含めた水素ネットワーク構築導管保安技術調査全体の事業の計画、進捗及び成果について評価等を実施した。

（３）水素パイプライン供給に関する事例調査及び保安規制実態調査

水素社会の構築に向けた水素パイプライン供給の保安確保に関し、国内における水素パイプライン供給に係る事業者に対してヒアリング調査等を実施した。

（４）水素パイプライン供給に係る技術面及び法令面の課題等の抽出と、技術基準の整備に向けた事前検討

上記（１）～（３）及び過去事業の調査結果を踏まえ、国内で水素パイプライン供給の運用を図る際、現行ガス事業法の技術基準等に照らした場合の技術面及び法令面の課題等を抽出するとともに、将来的な技術基準等の整備に伴う影響や制約を受ける関連法規について調査した。

（５）過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総取りまとめ

上記（１）～（４）及び過去事業の調査結果を包括した、水素パイプライン供給に係る課題を整理し、取りまとめを行った。

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。

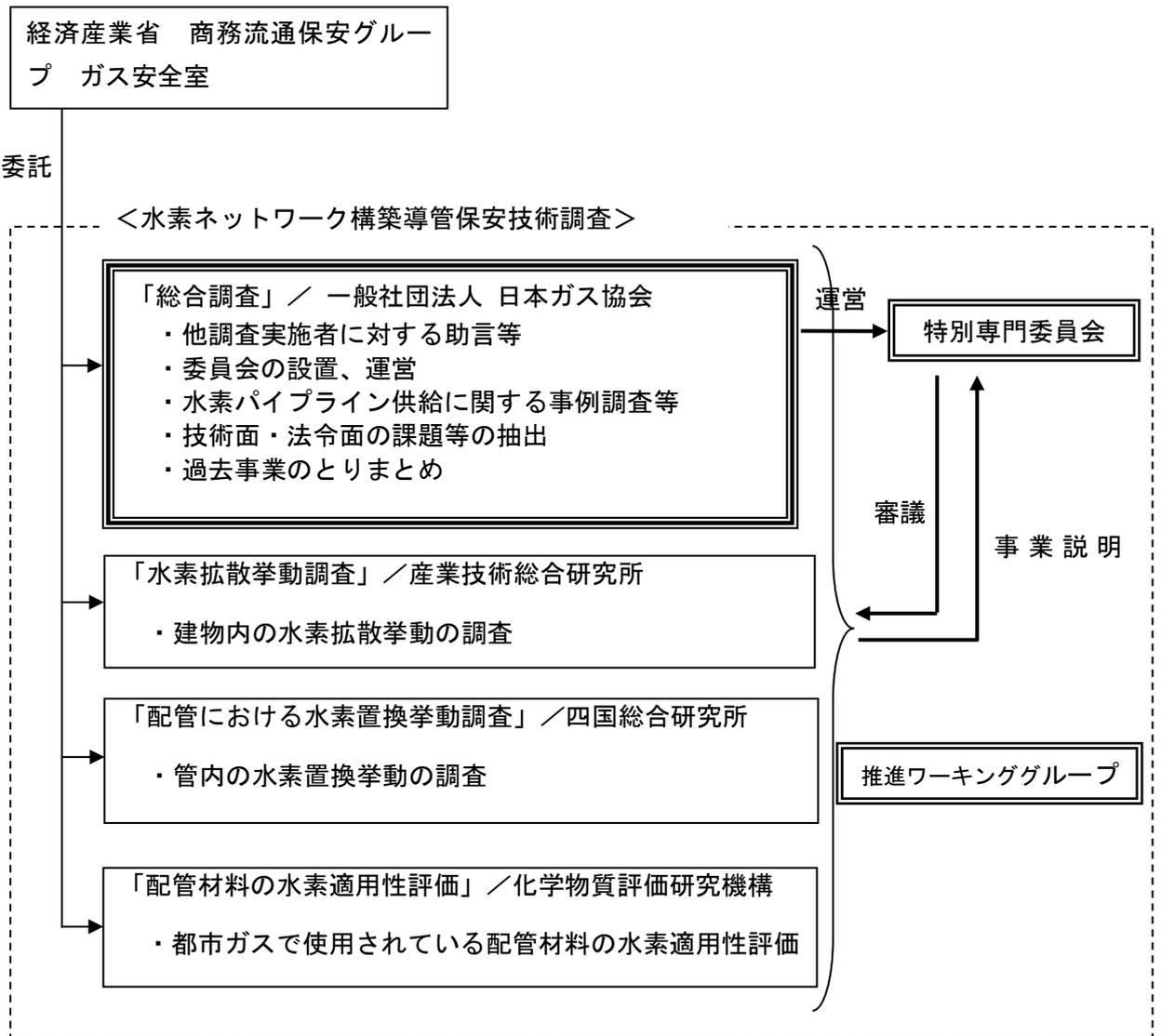


図 1. 3. 1 調査実施体制（全体関連図）

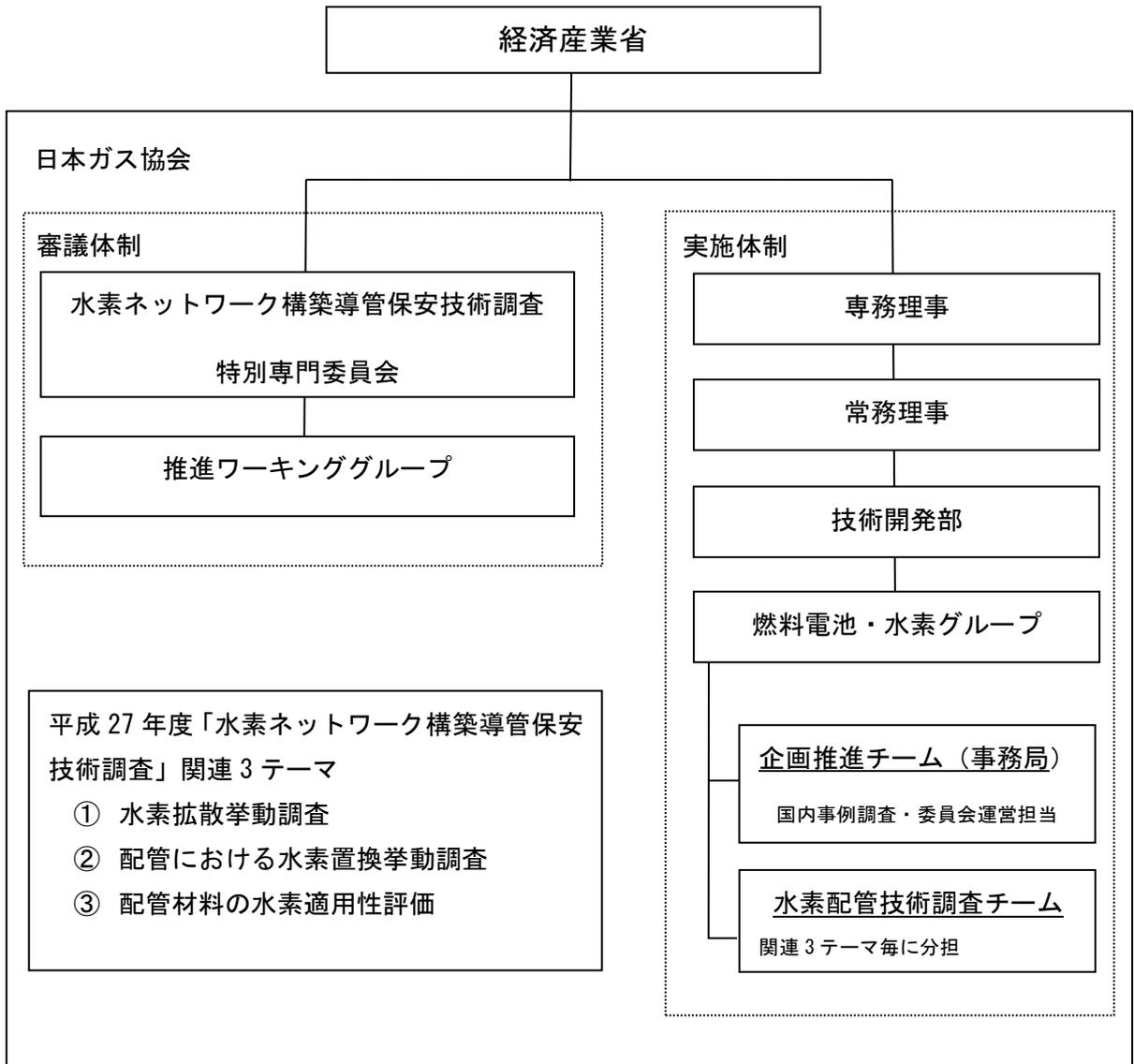


図 1. 3. 2 調査実施体制（日本ガス協会）

表 1. 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	倉渕 隆	東京理科大学工学部建築学科 教授
委員	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
	甲谷 寿史	大阪大学 建築環境工学 准教授
	岩本 薫	東京農工大学 大学院 工学府 機械システム工学専攻 准教授
	門 正之	東京ガス株式会社 基盤技術部長
	西川 秀昭	大阪ガス株式会社 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
	根岸 寿実	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
	萬上 俊隆	経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室 技術係長
	篠原 敏訓	経済産業省 商務流通保安グループ ガス安全室 都市ガス保安専門職
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 1. 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	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 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
	白方 博教	株式会社四国総合研究所 電子技術部長
	大武 義人	一般財団法人化学物質評価研究機構 高分子技術センター長
	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
	阪 正憲	同 上
	宮木 誠二	同 上
	安河内 勇人	同 上
	沼田 香織	同 上
	小澤 由規	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 1. 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	富田 鏡二
技術開発部長	森田 哲司
技術開発部マネジャー	山口 祐一郎
企画推進チーム	真鍋 義人、中山 歩、鈴木 雅之、矢野 拓也
水素配管技術調査チーム	鍵屋 慎一、阪 正憲、宮木 誠二、安河内 勇人、 沼田 香織、小澤 由規

4. 調査内容

4. 1 他調査の実施者に対する助言等

平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（水素拡散挙動調査）、平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（配管における水素置換挙動調査）及び平成 27 年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（配管材料の水素適用性評価）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「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・置換、材料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 水素パイプライン供給に関する事例調査及び保安規制実態調査

国内において、近い将来地域的な水素インフラ社会の構築を検討している自治体に対し、各自治体で検討している水素の取り組み内容や国内の技術基準等に対するニーズや課題を把握するためのヒアリング調査を実施した。

4. 4 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出と、技術基準の整備に向けた事前検討

平成 23 年度から平成 26 年度に実施された中低圧導管に関する水素ネットワーク構築導管保安技術調査と、本年度実施する他調査の結果を踏まえ、国内で水素パイプライン供給の運用を図る際、現行ガス事業法の技術基準に照らした場合の技術面及び法令面の課題を抽出するとともに、将来的な技術基準等の整備に伴う影響度や、水素のパイプライン供給に際してガス事業法以外に制約を受ける関連法規を調査した。調査に際しては、想定される国内の水素パイプライン供給について、事業スキーム等に一定の仮定を置いた上で、昨年度すでに検討・調査した情報に追記する形で整理を行った。

4. 5 過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総取りまとめ

平成 17 年度から平成 26 年度の間において実施された中低圧導管等に関する水素導管技術調査と、平成 27 年度で実施する他調査及び上記「4. 1」～「4. 4」の調査結果をまとめ、水素のパイプライン供給に係る過去事業を包括した報告書を作成する。

過去事業の報告書をベースに整理を行うとともに、必要に応じて、過去の委託事業の受託事業者へ内容確認を行った。また、技術調査結果について追加調査・情報更新等が必要なものについては、新たに調査を行い、報告書作成においては、今後委託事業成果を活用しやすいよう、事業成果および課題について体系的なとりまとめ（以下、10年レビューという。）を行った。

II. 調査結果

1. 他調査の実施者に対する助言等

他調査の各実施者との会議（以下、連携会議という。）や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。また、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 水素拡散挙動調査

本調査に関しては、集合住宅におけるパイプシャフト等の閉空間での水素漏れを想定し、パイプシャフト・換気開口部の寸法、漏れ量、漏れ位置等について、現場の設置状況等を交えつつ助言を行った。

（1）調査概要

一般集合建物内への水素配管供給を行った際の、パイプシャフト内における配管継手部からの水素漏えいを想定し、模擬空間内への水素の流入が可能な環境を構築した上で、模擬空間内における水素の拡散挙動を確認する。また、実験で得られた水素の濃度変化をシミュレーションにより再現し、実験結果との比較検証を実施する。

（2）実施した助言等（主なもの）

- ①集合住宅におけるパイプシャフトスペース、開口部の大きさの提案
- ②模擬空間内の漏えい位置、漏えい量の提案
- ③シミュレーションの境界条件取得位置の提案

等、上記助言を行い、実験およびシミュレーションの条件設定や考察に反映させた。

（3）調査結果

いずれの条件でも天井付近が最大濃度となるが、漏えい口付近を除いて 4vol%を越える濃度は観測されず、パイプシャフト内発熱体と扉加熱の影響については、換気を促進させ、水素濃度を下げる結果となった。

1. 2 配管における水素置換挙動調査

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）調査概要

試験用模擬配管を用いて、不活性な窒素ガスを介して空気から水素へ、あるいは水素から空気へ置換する際の管内ガスの挙動（ガス境界面の濃度分布変化）について調査を実施する。

(2) 実施した助言等（主なもの）

- ①集合住宅におけるパイプの形態、口径、配管要素の提案
 - ②都市ガス事業で実施しているガス置換作業方法およびその手順の提案
 - ③ガス置換作業時に必要となる流速等の条件の提案
- 等、上記助言を行い、管内のガスを置換する際の条件設定に反映させた。

(3) 調査結果

いずれの配管要素形態においても、管内全域が水素により完全に置換されることを確認した。また、実験により得られた配管内置換挙動が、本調査において用いたシミュレーション手法により良好に再現されていることを確認した。

1. 3 配管材料の水素適用性調査

本調査に関しては、都市ガス供給で使用されている配管材料の種類・サイズの選定について、現場の使用状況、施工方法等を示すなどの助言を行った。

(1) 調査概要

一般集合建物内への水素配管供給を想定し、現行の都市ガス供給で使用されている配管部品の水素への適用可否について、気密性試験を実施する。長期水素暴露中でのシール部材への影響を調査するため、長期水素暴露影響の評価方法の検討およびその手法による評価を実施した。

(2) 実施した助言等（主なもの）

- ①シール部材の長期水素暴露方法後の調査内容について提案
 - ②施工要領に関する情報提供
 - ③試験方法（条件や暴露方法等）に関する提案
- 等、上記助言を行い、配管部材の水素気密試験、シール部材の長期水素暴露による影響評価手法を検討する際の条件設定に反映させた。

(3) 調査結果

各シール材について、劣化パラメータのアレニウスプロットより活性化エネルギー及び劣化促進比を算出した。劣化促進比から期待寿命に相当する促進暴露処理を配管材料に行い、全ての配管で水素気密性を確保していることを確認した。

2. 委員会の設置、運営

2. 1 特別専門委員会

平成27年度は、全3回の特別専門委員会を開催した。第1回（平成27年7月21日開催）は、事業計画の審議、第2回（平成27年11月19日開催）は、中間進捗状況報告、第3回（平成28年2月16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27年7月21日（火） 15:00～17:15

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27年度「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」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27年11月19日（木） 10:00～12:00

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27年度「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」事業進捗状況の審議
② その他

(3) 第3回特別専門委員会

日時： 平成28年2月16日（火） 15:00～17:15

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27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27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27年7月28日開催）は、推進ワーキンググループの活動計画内容および第1回特別専門委員会における意見への対応協議、第2回（平成27年11月4日開催）は、各事業の進捗状況の共有、第3回（平成27年12月2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、第4回（平成28年1月18日開催）は、各調査事業の進捗状況の確認、第5回（平成28年2月5日開催）は、第3回特別専門委員会に向けた報告内容の確認、第6回（平成28年3月8日開催）は、第3回特別専門委員会における意見への対応協議および最終報告に向けた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27年7月28日(火) 14:00~16:30

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 推進ワーキンググループ活動計画内容について
② 各事業の第1回特別専門委員会での報告内容及び主なご意見について
③ その他

(2) 第2回推進ワーキンググループ

日時： 平成27年11月4日(火) 14:30~17:00

場所： 亀の井ホテル 2階 梅の間
(大分県別府市中央町5-17)

- 議題： ① 各事業の進捗状況について(第2回特別専門委員会報告内容)
② 総合調査の進捗状況について
③ その他

(3) 第3回推進ワーキンググループ

日時： 平成27年12月2日(水) 13:30~15:30

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 各事業の第2回特別専門委員会での報告内容及び主なご意見について
② その他

(4) 第4回推進ワーキンググループ

日時： 平成27年1月18日(火) 13:30~16:30

場所： 四国総合研究所 会議室
(香川県高松市屋島西町2109番地8)

- 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 総合調査の進捗状況について
③ その他

(5) 第5回推進ワーキンググループ

日時： 平成28年2月5日(金) 13:30~16:30

場所： 日本ガス協会 7階 702・703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各事業の報告について
② その他

(6) 第6回推進ワーキンググループ

日時： 平成28年3月8日(火) 14:00~16:30

場所： ニューウェルシティ宮崎 2F 橋の間
(宮崎市宮崎駅東1丁目2番地8)

議題： ① 第3回特別専門委員会での報告内容および最終報告に向けた進捗報告
② その他

3. 水素パイプライン供給に関する事例調査及び保安規制実態調査

3. 1 事例調査の目的

水素社会の構築に向けた水素パイプライン供給に関し、国内において、近い将来地域的に水素インフラ社会の構築を検討している民間事業者または自治体を訪問し、水素パイプラインに関する技術基準等に対するニーズや課題を把握するため、ヒアリング調査を実施した。

3. 2 調査の概要

3. 2. 1 調査の進め方

調査は、「①事前調査」⇒「②ヒアリング調査」の順で行った。①事前調査では、水素インフラ構築を検討している民間事業者または自治体の洗い出しを行い、公開情報等による水素インフラ社会構想での検討内容について調査した。その後、②ヒアリング調査が有益と思われる調査先（パイプラインの構想のある）を選定し、水素パイプライン供給に関する技術基準に対するニーズや課題について、ヒアリング調査を行った。

3. 2. 2 ヒアリング項目

ヒアリング調査においては、以下の項目について調査を行った。

<ヒアリング項目>

①自治体での水素関連の取り組みについて

⇒協議会、ビジョン構想の有無、実証事例（検討を含む）

②検討事業の概要について

⇒事業スキーム、目的、内容、期間、参画事業者 等

③検討事業におけるパイプラインによる水素供給の可能性について

⇒構想の有無、水素供給源、パイプライン敷設ルート、延長、利用目的 等

④水素パイプラインの技術基準等に対する要望について

⇒技術基準整備へのニーズ、パイプライン供給に対する課題 等

⑤（水素パイプライン供給構想がある場合の）スペック内容

⇒口径、配管材料、供給圧力、保安措置 等

⑥現在、取り組んでいる水素パイプライン供給に関する技術調査のご紹介

⇒過去事業の概要紹介、10年レビューに対する要望 等

3. 3 調査結果

3. 3. 1 ヒアリング実績

事前調査の結果から、パイプラインに関する計画がある自治体や具体的な実証事業を実施している自治体を優先して選定し、ヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の実績を表3. 1に示す。

表2. 3. 1 ヒアリング実績一覧

訪問先	対応	日程
北海道室蘭市	経済部 産業振興課	平成27年11月7日
青森県弘前市	都市環境部 スマートシティ推進室	平成27年11月20日
岩手県	環境生活部 環境生活企画室	平成27年12月18日
神奈川県川崎市	総合企画局 スマートシティ戦略室	平成27年10月14日
山梨県	産業労働部	平成28年2月24日
愛知県	産業労働部 産業科学技術課	平成28年1月8日
山口県	商工労働部 新産業振興課	平成27年12月10日 他
山口県周南市	経済産業部 商工振興課	平成27年9月14日 他
福岡県	商工部 新産業振興課	平成28年1月25日
福岡県北九州市	環境局 環境未来都市推進部 水素社会創造課	平成27年10月29日
長崎県五島市	再生可能エネルギー推進室	平成27年12月17日
宮崎県	総合政策部 総合政策課	平成28年3月8日

3. 3. 2 調査内容の整理

事例調査の結果より、各自治体での検討内容について、検討ステップや取り組み内容の観点から、整理を行った。

(1) 検討ステップ

各自治体での水素に関する取り組み検討の多くは、「(「セミナー・シンポジウム」⇒)「①協議会設立」⇒「②ビジョン策定」⇒「③実証事業」⇒「④事業化」といったステップを踏んでいる。

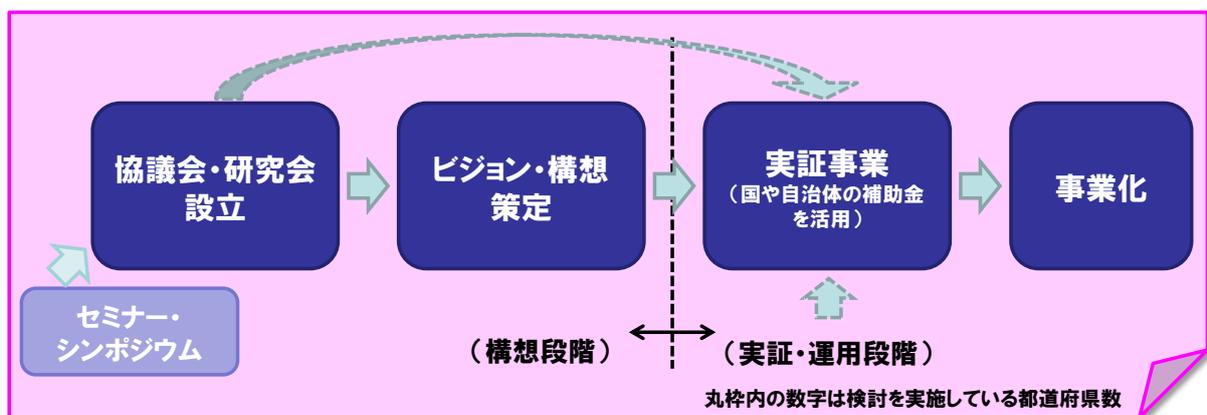


図2. 3. 1 検討ステップ

(2) 水素供給源

各実証事業での水素供給源について、分類・整理を行った。現状では、太陽光発電や下水消化ガスからの水素製造が多く検討されている傾向にある。これは、環境省や国土交通省等の省庁が主導している補助事業や検討会に起因するものである。

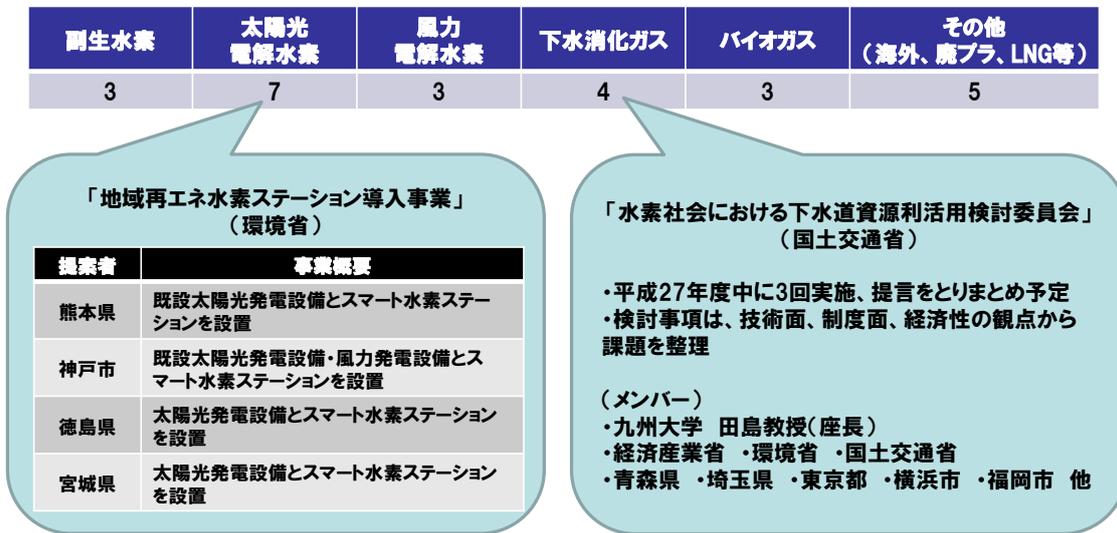


図2. 3. 2 実証事業等における水素供給源（公表されているものに限る）

(3) 取り組み内容

都道府県別に水素関連の取り組み状況を整理すると、現状、半数以上の都道府県において水素関連の取り組みを実施・検討している。（(1) 検討ステップのいずれかの取り組みを対象）

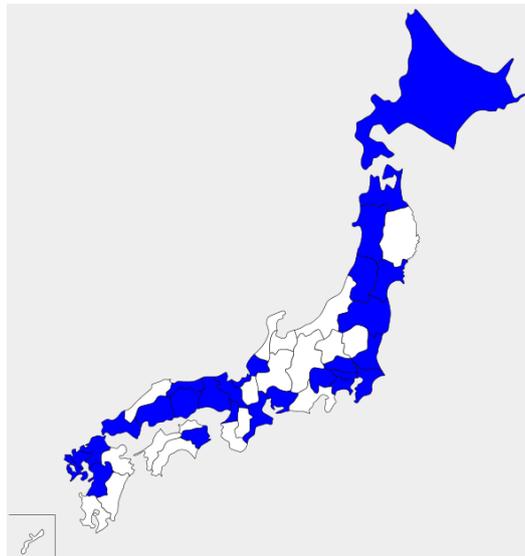


図2. 3. 3 水素の取り組みを実施・検討している都道府県

また、取り組み内容について整理すると、現状では「燃料電池自動車（FCV）・水素ステーション」に関連する取り組みが多い状況となっている。

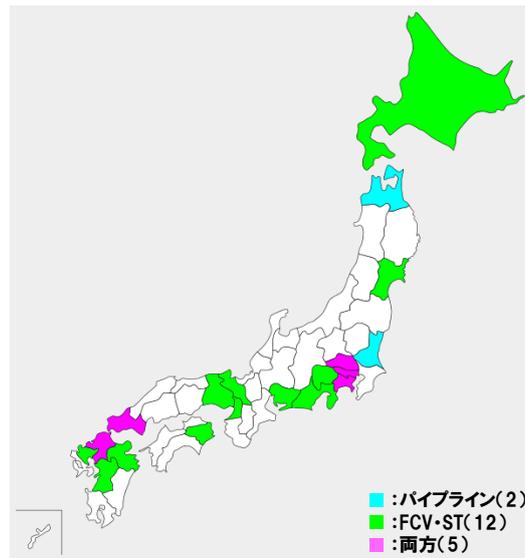


図 2. 3. 4 各都道府県での取り組み内容

最後に、パイプラインに関して、現状では、以下の 6 箇所の自治体にて水素パイプラインが検討されている。いずれも利用段階では、定置用燃料電池（FC）が中心となっている。

表 2. 3. 2 今後水素パイプライン供給を検討している事例

	概要	補助事業
青森県弘前市	下水処理施設にて製造した水素を近隣の工業団地へパイプライン供給し、定置用 FC で利用。現在、実証事業計画を検討中。	—
埼玉県	下水処理施設にて製造した水素を近隣の物流倉庫へパイプライン供給し、定置用 FC や FC フォークで利用。協議会において、実証事業化に向けた検討を実施。	—
東京都	東京オリ・パラにおける選手村にて水素パイプライン供給を検討。	—
神奈川県川崎市	使用済プラスチックから得られる水素を精製し、パイプラインで輸送し、業務施設等の定置用 FC 等で利用する。水素パイプラインの仕様・ルートを検討中。	（環境省）地域連携・低炭素水素技術実証事業
山口県周南市	水素 ST に隣接する地方卸売市場に設置された定置用 FC へ水素をパイプラインにて供給。パイプラインの仕様・ルートを検討中。	（環境省）地域連携・低炭素水素技術実証事業
福岡県北九州市	北九州水素タウン PJ の後継事業を検討中。関連企業と意見交換会を実施し、今後の事業計画を策定。	—

3. 3. 3 調査報告

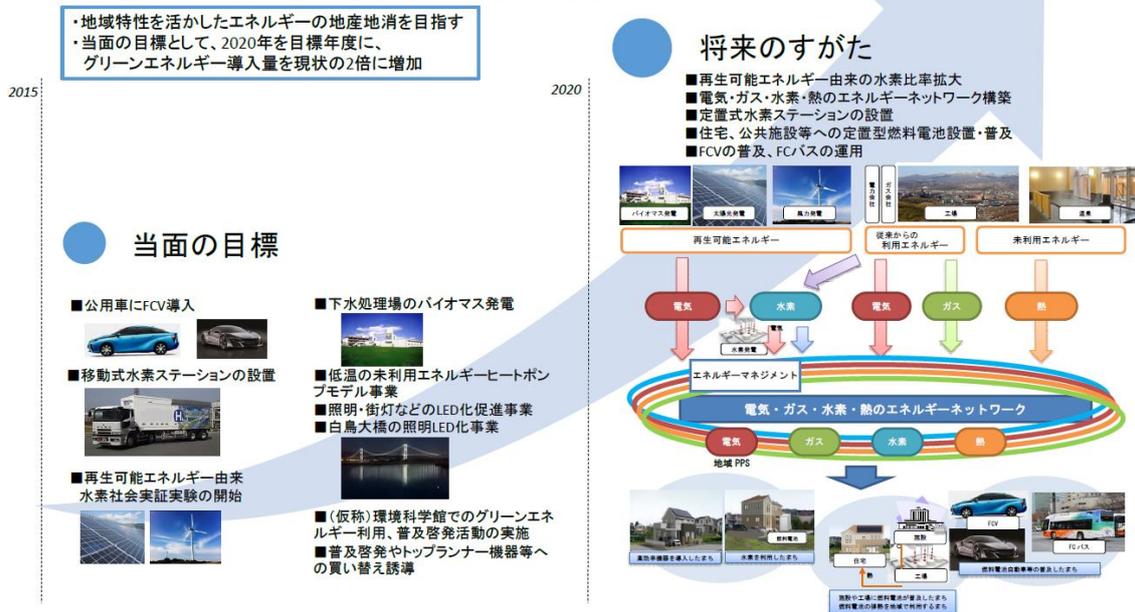
(1) 北海道室蘭市

- 日 時：平成 27 年 11 月 27 日（金）
- 場 所：室蘭市役所（室蘭市幸町 1 番 2 号）
- 訪問先：（室蘭市）経済部 産業振興課
- ヒアリング内容：

<室蘭市における水素関連の取り組み概要>

○室蘭グリーンエネルギータウン構想（平成 27 年 2 月策定）

室蘭グリーンエネルギータウンの実現に向けて



- ・室蘭グリーンエネルギータウン構想では、モデルプロジェクトを設定。その中に、再エネ（特に風力）を活用した水素製造事業を検討。
- ・再生可能エネルギーにて水素を製造し、水素ネットワークを介し、定置用燃料電池や FCV に供給する。水素ネットワークについては、近隣ではパイプラインを、遠方へはローリー輸送（水素貯蔵合金）を考えている。
- ・上記モデルプロジェクトについては、平成 21 年度に、国土交通省事業にて実施。実施者は日本製鋼所。風力からの水素製造～貯蔵～定置用 FC での利用について室蘭工業大学寮にて実証試験を実施。貯蔵は水素吸蔵合金、定置用 FC は 3kW 機を設置。水素吸蔵は高圧ガス保安法の適用外の運用が可能なのが利点と考えている。
- ・最終的には、住宅等への水素供給による「街づくり」を目標としている。

<その他>

- ・家庭用燃料電池エネファームを来年春より導入予定。
- ・喫緊では、水素 ST の整備、FCV の普及を契機に、水素エネルギー活用をスタートさせていきたいと考えている。
- ・今年度中に、移動式水素 ST を整備予定。風力からの水素製造を考えている。
- ・来年 4 月より、下水からのバイオガス（消化ガス）での発電事業を予定。水素製造については、断念した。
- ・社会受容性の向上についても、非常に重要であるといった認識を持っており、これまでに 10 回以上の市民参加のワークショップやシンポジウムを開催している。

(2) 青森県弘前市

- 日 時：平成 27 年 11 月 20 日（金）
- 場 所：弘前市役所（青森県弘前市大字上白銀町 1-1）
- 訪問先：（弘前市）都市環境部 スマートシティ推進室
- ヒアリング内容：

<弘前市における検討事業の概要>

○下水汚泥からの革新的な高純度水素直接製造プロセスの研究開発

（期間）

平成 25 年度～26 年度（2 年間）

（実施事業者）

東北大学、大和三光株式会社

（補助制度）

戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（NEDO）

（内容）

- ・NEDO 事業から得られた課題は、純度が低いこと（実験室レベルでは高純度）と、製造コストが高い（350 円/m³）。
- ・当初は、水素 ST を整備し、FCV 用途を考えていた（弘前市は、車社会であるため）が、現状の純度を考慮すると難しい。
- ・純度向上には触媒量の増加が必要であるが、その分コスト増となる。触媒のコストダウンが課題であり、今後はそれらに取り組む必要あり。
- ・今後については、後継事業を検討中。下水道法の監督官庁である国土交通省へ働きかけを実施している。
- ・水素の利用用途については、定置用 FC も検討していく（1 世帯当たりのエネルギー消費が日本一、汚泥処理は常時行われるため、安定供給も可能）。

- ・利用段階（例：パイプライン供給を行い、定置用 FC で利用）を含めた実証試験を検討中。具体的には、処理場の近隣に工業団地があり、そこでの水素利用を想定（500m 程度）。
- ・現在、国土交通省にて下水道事業におけるエネルギー供給の検討会が実施されており、九州大学田島教授、福岡県、埼玉県、弘前市、東京都、横浜市、エネルギー総合研究所、METI などが参加している。

（3）岩手県

- 日 時：平成 27 年 12 月 18 日（金）
- 場 所：岩手県庁（岩手県盛岡市内丸 10-1）
- 訪問先：（岩手県）環境生活部 環境生活企画室
- ヒアリング内容：

<岩手県における検討事業の概要>

- ・岩手県は、風力発電、地熱発電のポテンシャルが全国 2 位である。また、環境影響評価の調査等が進められている風力発電、地熱発電の開発計画状況は、風力が 1156.1MW、地熱が 33MW である。
- ・一方で、風力と地熱の賦存量が豊富な地域の多くは、電力インフラが脆弱なため、送電線連系が困難な状況が生じている。また、東北電力が公表している風力発電の接続可能量の残りは 710MW（平成 27 年 9 月末時点）となっており、周辺県（秋田、青森等）の風力発電の開発状況から考えて、近い将来太陽光発電と同様、無制限の接続制約となる可能性が高く、多くの余剰電力が生ずる可能性がある。
- ・このような状況を踏まえ、送電インフラの課題解決及び地域特性を活かしたエネルギー活用方策として、余剰電力を水素に変換し、有効活用できないかと考えている。
- ・そこで平成 27 年度は、国の施策の現状や研究開発の取組などを紹介する水素エネルギーフォーラムを 12 月に開催した。
- ・平成 28 年度は、岩手県における活用可能性を検討するため、学識経験者や県内の民間事業者との意見交換を行いながら、再生可能エネルギーから生成する水素の活用事例について知見を深めていくこととしている。

（4）神奈川県川崎市

- 日 時：平成 27 年 10 月 14 日（水）
- 場 所：川崎市役所（神奈川県川崎市川崎区宮本町 1 番地）
- 訪問先：（川崎市）総合企画局 スマートシティ戦略室
- ヒアリング内容：

<川崎市における検討事業の概要>

○有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証

(期間)

平成 27 年度～32 年度 (6 年間)

(実施事業者)

千代田化工建設株式会社

(補助制度)

平成 27 年度水素社会構築技術開発事業 大規模水素エネルギー利用技術開発 (NEDO)

(内容)

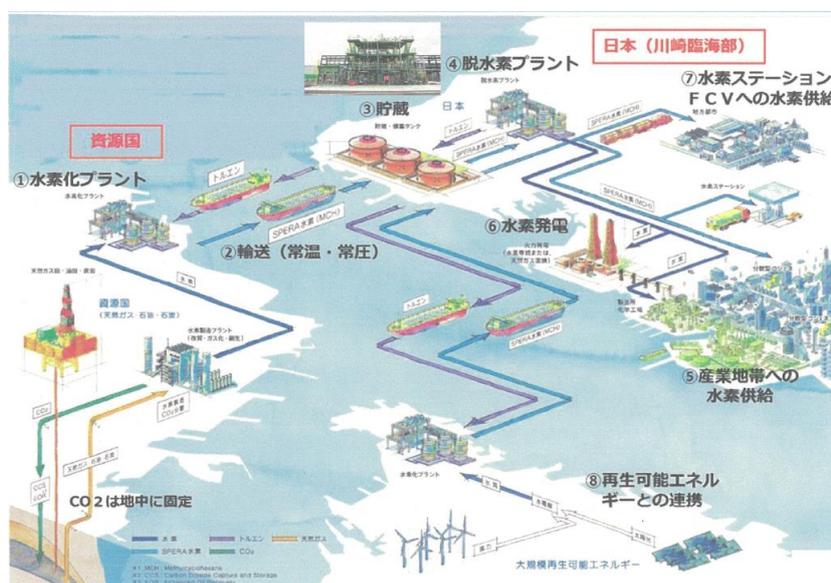


図 2. 3. 6 水素サプライチェーン全体イメージ

- ・海外水素を MCH にて輸送し、国内（川崎市）で脱水素を行い、エネルギー利用やケミカル利用を行う
- ・実証場所など、今後の展開を考慮した事業計画の策定が必要と考えている。
- ・全体イメージにある通り、湾岸部において水素パイプライン供給の可能性もある。
- ・利用段階においては、水素発電も検討している。電源としての魅力（優位点）についても検証する予定。
- ・平成 27 年度では、輸送の効率性を考慮した実証場所の選定および、全体の事業計画を策定する。
- ・脱水素の課題は触媒。最初の 2 年間にて、汎用性ある低コストな触媒を用いることを検討する。

○再生可能エネルギーと水素を用いた自立型エネルギー供給システム共同実証事業

(期間)

平成 32 年までの実証運転を予定

(実施者)

東芝、川崎市（市は土地およびユーティリティの提供）

(内容)



図 2. 3. 7 東扇島川崎マリエン H2One 設置状況

- ・東芝にて開発中の自立型水素エネルギー供給システム「H2One」を設置し、EMS を用いた評価・制御の運転実証を行う。通常時はピークシフトへの貢献、非常時は、近隣住民へ電力および温水を提供。
- ・実証場所は、川崎マリエン（東扇島）という市の施設。
- ・20 フィートコンテナサイズであり、既存のコンテナ輸送手段（船、車、飛行機）を用いて輸送することが可能。

○使用済みプラスチック由来低炭素水素を活用した地域循環型水素地産地消モデル実証

(期間)

平成 27 年度～31 年度（5 年間）

(実施事業者)

昭和電工株式会社

(補助制度)

平成 27 年度地域連携・低炭素水素技術実証事業（環境省）

(内容)

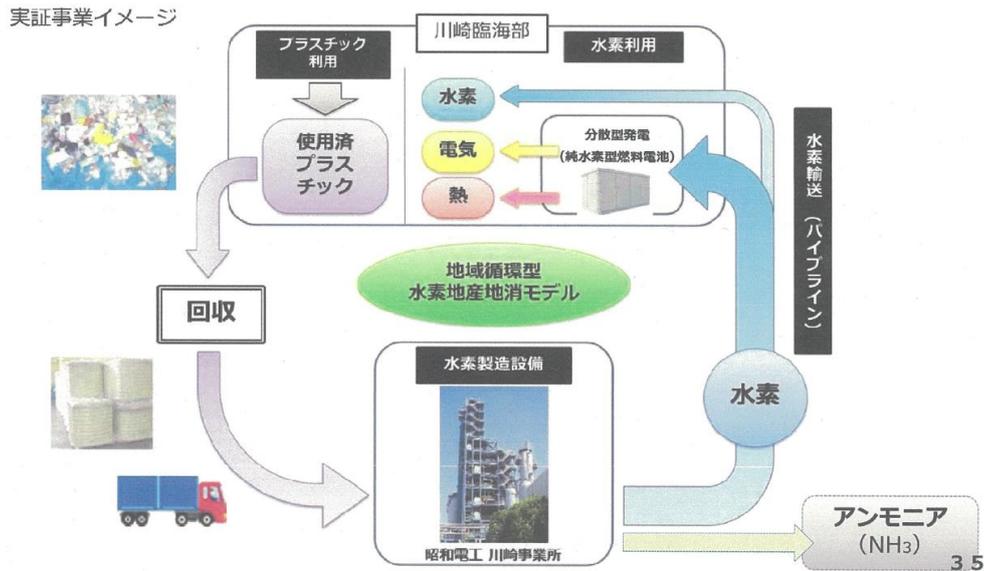


図 2. 3. 8 実証事業イメージ

- ・昭和電工川崎事業所にて、使用済みプラスチックからアンモニアを製造する設備を所有。環境省事業にて、設備増強（改造）にて水素製造設備を構築。
- ・使用済プラスチックから得られる水素を精製し、パイプラインで輸送し、業務施設や研究施設の定置用燃料電池等で利用する。
- ・水素製造設備は、プラスチックに限らず、ごみからも水素製造が可能であり、LCA 評価でも低炭素と評価されている。
- ・ごみを有償で引き受け、水素を製造し販売することで、価格面でも競争力が高いと認識している。
- ・水素の輸送にはパイプラインを検討している。設計から施工までを昭和電工にて実施予定。
- ・パイプラインの検討はこれからだが、数 km レベルの延長を考えている。圧力はそれほど高くないと思われる。
- ・今年度、仕様の検討を行い、来年度以降に敷設予定。
- ・水素利用は定置用燃料電池を想定。市内の別の場所への設置を検討中。

○京浜臨海部での低炭素水素活用実証プロジェクト

(期間)

平成 27 年度～30 年度（4 年間）

(参画事業者)

- ・代表申請者：トヨタ自動車
- ・共同実施者：岩谷産業、東芝、トヨタタービンアンドシステムズ、神奈川県、横浜市、川崎市

(補助制度)

平成 27 年度地域連携・低炭素水素技術実証事業（環境省）

(内容)

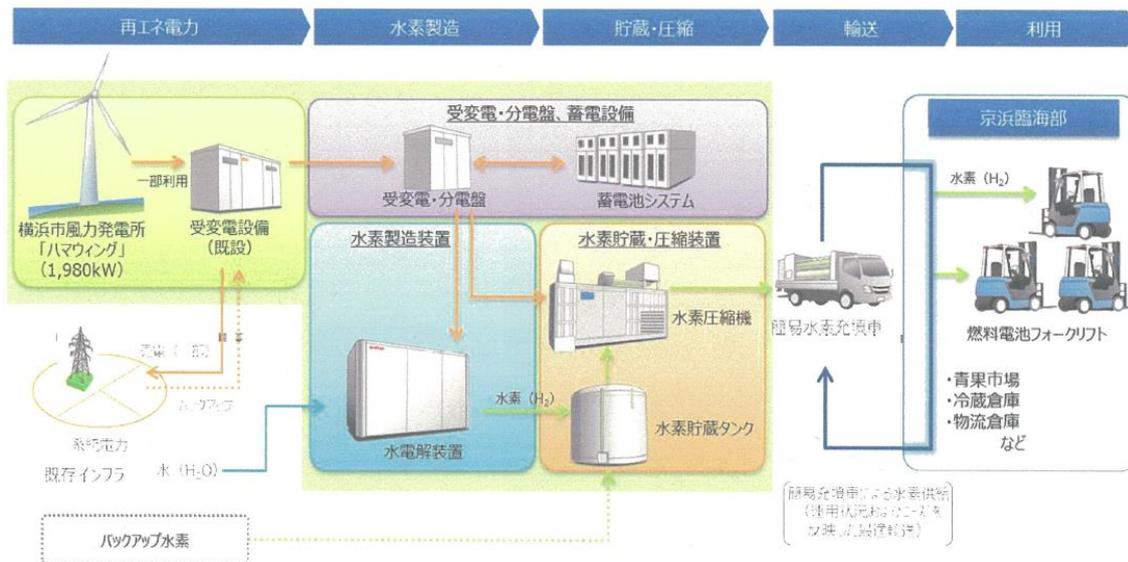


図 2. 3. 9 実証イメージ

- ・ 風力発電等により製造した水素を、簡易な移動式水素充填設備を活用したデリバリーシステムにより輸送し、地域の倉庫、工場や市場内の燃料電池フォークリフトで利用する。
- ・ 風力発電システムが横浜市に設置されており、環境省の別事業で発電実証を実施。後継事業として、水素製造への利用を検討した。
- ・ 京浜臨海部の物流倉庫等は川崎市にあるため、簡易水素充填設備から燃料電池（FC）フォークでの利用については川崎市にて行われる予定。

<その他>

- ・ 上記事業の他にも、世田谷区や JR 東日本と包括協定を結び、シンポジウム等も開催している。

(5) 山梨県

- 日 時：平成 28 年 2 月 24 日（水）16:00～17:00
- 場 所：山梨県庁（山梨県甲府市丸の内 1 丁目 6 番 1 号）
- 訪問先：（山梨県）産業労働部 成長産業創造課、エネルギー局 エネルギー政策課
- ヒアリング内容：

<山梨県における水素関連取り組みの概要>

○やまなしエネルギービジョン

- ・ 外部有識者（大学や企業等）の意見を聞きながら、今年度策定。
- ・ 水素については、燃料電池技術や水素電力貯蔵の研究等に取り組んできた強みを生かし水素エネルギー社会の実現を目指す。具体的には今後検討していくが、平成 28 年度は普及

啓発のシンポジウムを開催。将来的には、ロードマップの作成等を検討する。

- ・喫緊の取り組みとしては、系統安定化対策として、太陽光発電からの水素製造実証試験を行う。(企業局にて実施)



図 2. 3. 10 水素による電力貯蔵実証の概要

- ・現状は、FCV や定置用 FC の普及拡大を進めていくことにより、住民への認知度や受容性の向上を図る。
- ・FCV については、別途普及促進計画があり、その中では、2025 年までに FCV800 台、FC バス 10 台の導入目標を掲げている。
- ・水素パイプラインについては、民生用や産業用において、どのようなコストメリットがあるかを検討していく必要があると考えている。
- ・山梨県では、再生可能エネルギーに関する取り組みが活発であり、それらを水素で利活用することは可能性があると考えている。
- ・水素に関する取り組みは、全体ビジョンから具体的取り組みを進めていくのではなく、個別案件について関係者が連携して進めている。
- ・山梨大学では、燃料電池(膜や触媒技術等)に関する研究開発が活発。山梨大学を中心に燃料電池産業の集積を図りたい。

(6) 愛知県

- 日 時：平成 28 年 1 月 8 日(木) 15:30~17:00
- 場 所：愛知県庁(愛知県名古屋市中区三の丸三丁目 1 番 2 号)
- 訪問先：(愛知県)産業労働部 産業科学技術課
- ヒアリング内容：

<愛知県における水素関連取り組みの概要>

○水素エネルギー社会形成研究会

- ・地域の産学行政連携のもと、水素エネルギーに関する情報共有やプロジェクトの立案・推進を図るため、平成27年3月に設立。
- ・過去3回セミナーを開催し、企業の取り組みを紹介するような場を設けている。
- ・愛知県では、水素ステーション整備・配置計画を策定しているが、水素社会に的を絞った計画・構想・ビジョンは現状は作成していない。
- ・WGによる利活用モデルの検討を実施。
 - ⇒WGは、「漁港」、「港湾」、「空港」のエリアを想定し、それぞれのエリアでの利活用モデルの構築に向け、検討を実施。
 - ⇒エリアを限定する方が、特徴的なモデルを検討することが可能と考えている。
 - ⇒「漁港」エリアでは、波力発電など再生可能エネルギーの余剰電力で水素製造を検討。現在、FS調査を実施中である。
 - ⇒「港湾」エリアでは、作業車両のFCV化を検討。これにより、水素需要が局所的に高まり、水素STを誘致しやすくなると期待している。国の実証事業を検討中で、現在はそのFS調査を実施。
 - ⇒「空港」エリアでは、空港の水素ステーションを活用したFCバスやFCフォークリフトの導入促進について検討している。

エリア	WG参加者	利活用モデルの概要
漁港	電気・機械メーカー、エネルギー事業者、地元自治体等	波力・太陽光等再生可能エネルギーで発電した電力の余剰分を水素に転換し、非常時のエネルギー源として貯蔵・利用
港湾	港湾関係者、電気・機械メーカー等	港湾地域での作業車両のFCV化
空港	空港関係者、水素供給事業者、輸送機器メーカー等	中部国際空港の実証用水素ステーションを利用したバスやフォークリフトのFCV化

- ・現在は、水素パイプラインは検討外で、まずはFCV・STを中心に検討している。「過去事業のとりまとめ」を活用させて頂き、今後検討を進めていければと考えている。

(7) 山口県

- 日 時：平成 27 年 12 月 10 日（水）9:30～11:00
平成 28 年 3 月 3 日（木）10:15～11:15
- 場 所：山口県庁（山口県山口市滝町 1 番 1 号）
- 訪問先：（山口県）商工労働部 新産業振興課
- ヒアリング内容：

<山口県における検討事業の概要>

○苛性ソーダ由来の未利用な高純度副生水素を活用した地産地消・地域間連携モデルの構築
（期間）

平成 27 年度～31 年度（5 年間）

（事業費）

約 15 億円（5 年間）

（参画事業者）

コンソーシアムメンバー

- ・代表申請者：トクヤマ
- ・共同実施者：東ソー、山口県、下関市、周南市

（事業名）

平成 27 年度地域連携・低炭素水素技術実証事業（環境省）

（内容）

水素ステーション（ST）からのパイプライン供給

- ・水素 ST に隣接する地方卸売市場に設置された 0.7kW 純水素燃料電池へ水素をパイプラインにて供給する予定。
- ・水素 ST は 8 月に開所し、営業を開始している。
- ・水素 ST から卸売市場までは 100m 程度あり、その間をパイプライン供給する。
- ・周南市が主担当で、山口県は事業全体の総括補佐を担当している。

○やまぐち次世代産業クラスター構想における純水素型燃料電池システムの実証試験（山口県による補助事業）

（期間）

平成 26 年度～（最大 5 年間） ※平成 27 年度も継続実施中

（参画事業者）

山口リキッドハイドロジェン、東芝燃料電池システム、長府工産、岩谷産業

（内容）

- ・純水素型燃料電池システムの開発・実証を実施。
- ・平成 27 年 3 月より周南市徳山動物園にて実証試験を開始している。
- ・水素 ST 近隣の施設に純水素型燃料電池システムを設置し、実証運転を行うことを検討中。

- ・設置する燃料電池システムは、家庭用（0.7kW）と業務用（数 kW 級、ボイラーなし）を予定。どちらか一方には、水素 ST からパイプラインにて水素を供給することを検討している。
- ・この実証試験での設置先としては、一般住宅は想定していない。
- ・本件では、安全性を担保しつつ、コスト低減が図られるような取り組みとしたいと考えている。（過去の周南市や北九州市の成果を踏まえ、コスト高にならないようなものを検討したい）
- ・これからは、将来普及するようなモデルを検討していかなければならないと考えている。
- ・ただし、パイプライン供給については、本事業の本筋ではなく、燃料電池実証の内容に付随するものといった位置付けである。
- ・3月には、水素ボイラーを搭載した実証用システムを導入する予定。

(8) 山口県周南市

■日 時：平成 27 年 9 月 14 日（月）13:00～14:30

平成 28 年 3 月 2 日（水）14:30～17:00

■場 所：周南市役所（山口県周南市徳山港町 1-1）

■訪問先：（周南市）経済産業部 商工振興課 企業活動戦略室

■ヒアリング内容：

<周南市における検討事業の概要>

○苛性ソーダ由来の未利用な高純度副生水素を活用した地産地消・地域間連携モデルの構築

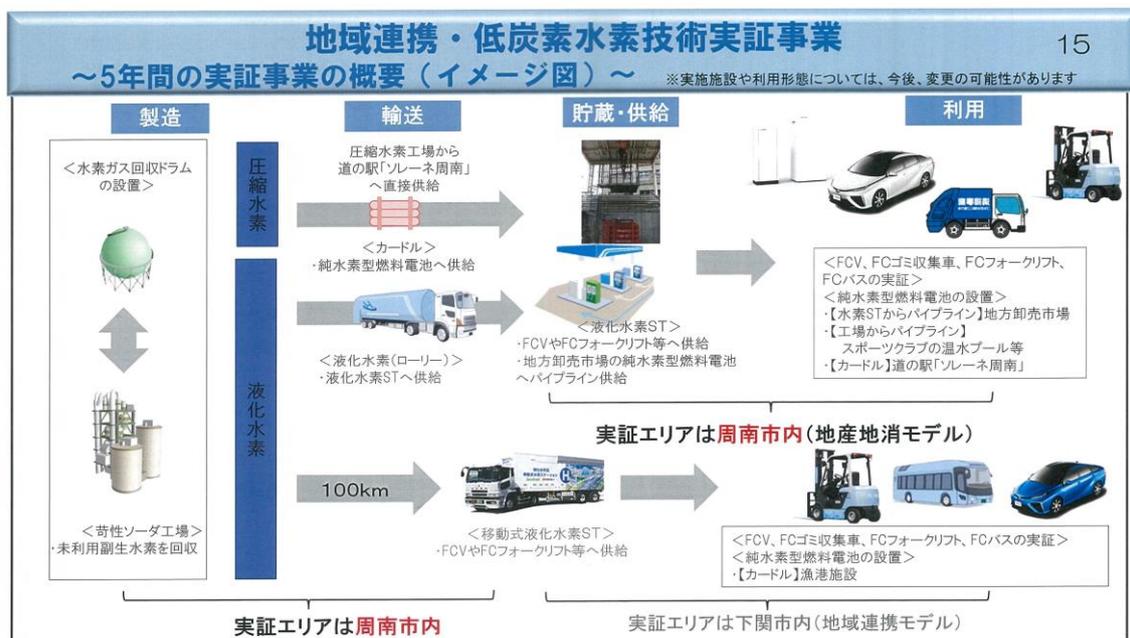


図 2. 3. 1 1 事業全体イメージ

(期間)

平成 27 年度～31 年度 (5 年間)

(事業費)

約 15 億円 (5 年間)

(参画事業者)

コンソーシアムメンバー

- ・代表申請者：トクヤマ
- ・共同実施者：東ソー、山口県、下関市、周南市

(補助制度)

平成 27 年度地域連携・低炭素水素技術実証事業 (環境省)

(内容：平成 27 年度)

①工場間パイプラインでの水素融通

- ・工場間 (東ソー⇄トクヤマ) にてパイプラインでの水素融通実証を行うことを予定。
- ・過去の事業 (RING 事業等) では、資本関係のある企業間融通しか行っていないと認識している。
- ・パイプラインのスペックやルート等については、現在検討中。(ただし、平成 28 年度中にパイプライン敷設まで完了させる予定)
- ・ルートは、①公道、②コンビナート内、③他企業所有の既存パイプライン利用のいずれかを検討している。
- ・圧力はおそらく低圧になる。

②水素ステーション (ST) からのパイプライン供給

- ・水素 ST に隣接する地方卸売市場に設置された 0.7kW 級純水素燃料電池 (東芝製) へ水素をパイプラインにて供給する予定。
- ・水素 ST から卸売市場までは 100m 程度あり、その間をパイプライン供給する。
- ・ルートは、敷地内となり、一部は露出配管が中心となる。
- ・純水素燃料電池はすでに設置されており、これまではボンベ供給を行っている。

(内容：平成 28 年度以降)

- ・水素製造工場から隣接するスポーツ施設へ水素のパイプライン供給を検討。スポーツ施設には 100kW 級純水素燃料電池を設置予定。
- ・水素 ST 近傍の物流倉庫に FC フォーク用のディスペンサーを設置してもらい、水素 ST から高圧で水素パイプライン供給ができればとも考えているが、現実には難しいと思う。
- ・平成 28 年度には、水素 ST から地方卸売市場へのパイプライン供給により、同市場において 100kW 純水素燃料電池を整備する予定。

③3.5kW 純水素燃料電池実証

- ・道の駅にて 3.5kW 純水素燃料電池システムの実証試験を実施。3 月には試験を開始する予定である。
- ・水素供給は、当面はカードルで行う予定。

<山口県での水素研究事業>

- ・周南地域地場産業振興センターに設置される3.5kW級純水素燃料電池（東芝製）へ水素STからの水素パイプライン供給実証を予定。
- ・水素STから振興センターまでは300～400m程度あり、その間をパイプライン供給する。
- ・パイプラインのスペックについては、現在検討中。（ただし、平成27年度中にFC設置を完了させる予定）
- ・ルートは、おそらく公道を通ることになると思われるが、パイプラインについてはメンテナンスを考慮し埋設せず、既存の側溝または新たに整備する側溝へ通す予定。

<水素ST・FCV戦略について>

- ・水素STは、月曜日（9時～17時）～土曜日（9時～13時）に営業している。
- ・水素STの稼働率はまだ低いですが、これからFCフォークの実証試験（豊田自動織機にて）等により稼働率が上がるものとみている。
- ・周南市でもFCV購入補助を行っており、100万円/台の購入補助をしている（内、50万円は山口県からの補助金）。今年度は3台の申請があった。
- ・山口県や周南市、地場企業にてFCVを数台所有している。

<その他>

- ・環境省事業での東芝、岩谷産業、豊田自動織機の位置付けは、事業の一部についてそれぞれ再委託の形式となっている。
- ・平成27年度の水素利活用協議会は1月27日に開催。平成28年度については、1～2回の開催を検討している。

（9）福岡県

- 日 時：平成28年1月25日（月）16:00～17:00
- 場 所：福岡県庁（福岡県福岡市博多区東公園7番7号）
- 訪問先：（福岡県）商工部 新産業振興課
- ヒアリング内容：

<福岡県における水素関連取り組みの概要>

○北九州水素タウンプロジェクトの後継事業（検討中）

- ・北九州水素タウンの後継事業については、意見交換会（関係する企業や自治体で構成）にて活用を検討している。
- ・後継事業を実施するのであれば、来年度の実施を検討する。
- ・以前の実証とは異なった目的をもった事業を検討していきたい。現状は、水素供給が可能かといったものではなく、より現実的なもので事業化を見据えた内容を検討していく。

○地産地消グリーン水素ネットワークモデル

(期間)

平成 27 年度 (1 年間)

(事業費)

1 事業当たり 3,000 万円

(参画事業者)

福岡県、豊田通商株式会社、九電テクノシステム株式会社、九電みらいエナジー株式会社、西日本環境エネルギー株式会社、九州大学

(補助制度)

地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業 (経済産業省)

(内容)

- ・再生可能エネルギーの導入拡大に向け、水素エネルギーによる電力貯蔵システムのビジネスモデル構築に着手。
- ・来年度以降、県内の工場等に水素製造装置や水素利用機器を設置し、電力のピークカットや変動する再生可能エネルギーの出力の平準化するための水素利活用モデルの構築を目指す。
- ・平成 25 年 2 月に設置した「福岡県地域エネルギー政策研究会」にて、産学官連携の下、水素エネルギーによる電力貯蔵システムの開発を進めるべきといった提言が契機。

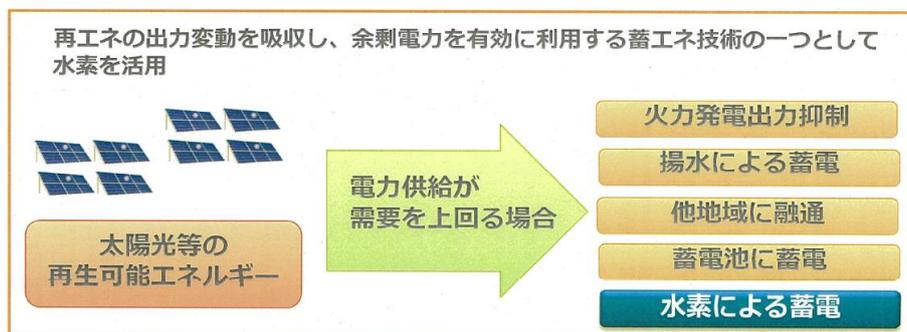


図 2. 3. 1 2 水素による電力貯蔵システムの実用化

<その他>

- ・「福岡水素戦略 (Hy-Life プロジェクト)」は、「研究開発」、「社会実証」、「人材育成」、「新産業の育成・集積」、「世界最先端の情報拠点」の 5 つの柱で推進している。



図 2. 3. 13 福岡水素戦略 (Hy-Life プロジェクト) の全体概要

- ・「社会実証」では、「福岡水素タウン (家庭用燃料電池 150 台の集中設置)」や「北九州水素タウン」などの事業を展開。福岡水素タウンは今年度末にて実証を終了。
- ・「ふくおか FCV クラブ」を設立し、FCV と水素 ST の一体的な推進を実施している。

研究開発 水素製造・輸送・貯蔵から利用までの多様な研究

九州大学に集積する世界最先端の研究開発拠点において、国内外のトップレベルの研究者が水素社会の実現を加速させる産学共同研究を実施

- 「水素材料先端科学研究センター-HYDROGENIUS」(H18.7. 経済産業省)
 - ・水素純化の基本メカニズムを解明するとともに、水素純化を大幅に減少させる熱処理方法を発明
- 「カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 I2CNER」(H22.12 設立、文部科学省)
 - ・水素の製造・貯蔵・利用及びCO2回収・貯留等に関する様々な課題を究明し、持続可能なカーボンニュートラル・エネルギー社会を実現するための研究を実施
- 「次世代燃料電池産学連携研究センター-NEXT-FC」(H24.1 設立、経済産業省)
 - ・企業との緊密な産学連携により、次世代型燃料電池の開発・早期実用化を可能とする産学連携研究拠点

＜スマート燃料電池社会実証＞
 平成26年10月、NEXT-FCにおいて、「グリーンアジア国際戦略総合特区」を活用した実証がスタート。

- 更なる高効率化、耐久性向上に向け、次世代型燃料電池をキャンパスで利用
- 再生可能エネルギーからの水素製造・FCVへの供給

水素人材育成 全国唯一の水素関連人材育成機関

平成17年10月、全国初の水素関連人材育成機関「福岡水素エネルギー人材育成センター」(校長: 渡邊浩之トヨタ自動車㈱ 顧問)を開講。産業界の人材育成を支援。

① 経営者コース 水素関連分野への参入を目指す経営者等を対象 (延べ受講者474名)	② 経営者 (燃料電池自動車) コース 自動車関連企業の経営幹部等を対象に、2015年の市場化に向けたFD開発動向と業界予測を講義 (延べ受講者134名)	③ 技術者育成コース 水素関連企業の最前線で活躍する技術者を育成 (延べ受講者260名)	④ 高度人材育成コース 将来の水素エネルギー新産業を支える若手人材を育成 (延べ受講者169名)
---	--	---	---

社会実証 水素エネルギー社会を具現化する社会実証

- 「福岡水素タウン」 「水素エネルギー社会」を実証するため、家庭用燃料電池150台を集中的に設置する世界最大の「水素タウン」
- 「水素ステーション」 北九州市(東田地区)、福岡市(九州大学)の2カ所に水素ステーションを整備
- 「北九州水素タウン」 副生水素をパイプラインで市街地に直接供給し、地域で本格利用する世界初のモデル地区 (経産省「水素利用社会システム構築実証事業」)

水素エネルギー新産業の育成・集積

- 「水素エネルギー製品研究試験センター HyTreC」
水素エネルギー新産業への中小・ベンチャー企業の参入促進を図るため、水素関連製品の試験評価を実施

【平成26年4月22日、大型水素貯蔵タンク用新試験機 (CRADLE機) が運用開始】
 世界最高性能の試験設備を整備、小型FCV用から大型水素ステーション用までほぼ全ての水素貯蔵タンクの試験が可能に!

- 地元企業に対する製品開発支援
地元企業の参入促進を図るための製品開発を支援

世界最先端の水素情報拠点の構築

- 「国際標準化機構ISO TC197 (水素技術)」総会 (H26.12.3~5)
世界各国の水素・燃料電池分野の専門家が、水素ステーションなどの国際標準について討議
- 「水素先端世界フォーラム2015」(H27.2.3~4)
水素分野の専門家が一堂に会する世界唯一のフォーラム
開催実績: 世界10カ国 約600名が参加

図 2. 3. 14 福岡水素戦略 (Hy-Life プロジェクト) の取り組み内容

(10) 福岡県北九州市

- 日 時：平成 27 年 10 月 29 日（木）14:00～15:30
- 場 所：北九州市役所（北九州市小倉北区内 1 番 1 号）
- 訪問先：（北九州市）環境局 環境未来都市推進部 水素社会創造課
- ヒアリング内容：

<北九州市における検討事業の概要>

○北九州水素タウンプロジェクトの後継事業（検討中）



図 2. 3. 15 北九州水素タウン事業

- ・北九州水素タウンの後継事業については、意見交換会（行政や北九州水素タウンPJ 参画企業、地元企業等により構成）にて検討していく。
- ・事業プランの検討次第ではあるが、パイプラインの延伸の可能性もある。
- ・後継事業での水素利用は、定置用燃料電池を想定しているが、集合住宅での大型燃料電池活用も考えている。
- ・想定スケジュールは、今年度中に実証事業構想の策定およびコンソーシアム形成、来年度に詳細計画を検討し、再来年度に後継実証を開始できればと考えている。（→現状では遅れが生じている状況、年度内のコンソーシアム形成困難）
- ・過去 PJ では、水素を安全に供給できることを確認することを目的にしていたが、今後は、ビジネス展開を見据えた低コスト化および課金制度の構築を目的としたいと考えている。
- ・課金制度については、水素計量なのか、電力・熱の計量なのかといったことから検討したいと考えている。さらに、スマートメーターや EMS を活用し、CEMS との連携についても検討したい。

<その他>

- ・「北九州市水素戦略」では、LPG 簡易ガス網といった既存のインフラを水素に転用できないかと考えている。北九州水素タウンPJの後継事業はそのための実証試験や研究開発といった位置付けを考えている。
- ・東田地区はあくまで実証（研究）サイトといった位置付けを想定している。事業化は別の地域になると思われる。



図2. 3. 16 既存インフラを活用した水素供給網の形成

- ・水素はグローバル企業が中心となって進められてきているが、当然北九州市としては地場企業に参画頂きたいと考えている。
- ・福岡県とは、連携しながら検討を進めてきている。
- ・北九州市では、来年5月にエネルギー大臣会合が予定されており、北九州水素タウンをPRしたいと考えている。そのため、後継事業が決まっていない状況でも、現状設備にて臨時で水素供給を再開できればと考えている。

(11) 長崎県五島市

- 日時：平成27年12月17日（木）10:30～12:00、13:00～14:30
- 場所：五島市役所（長崎県五島市福江町1番1号）
- 出席者：（五島市）再生可能エネルギー推進室
- ヒアリング内容：

<五島市における検討事業の概要>

○浮体式洋上風力発電実証事業

（期間）

平成22年度～27年度（6年間）

（参画事業者）

戸田建設(株)

(補助制度)

浮体式洋上風力発電実証事業 (環境省)

(内容)

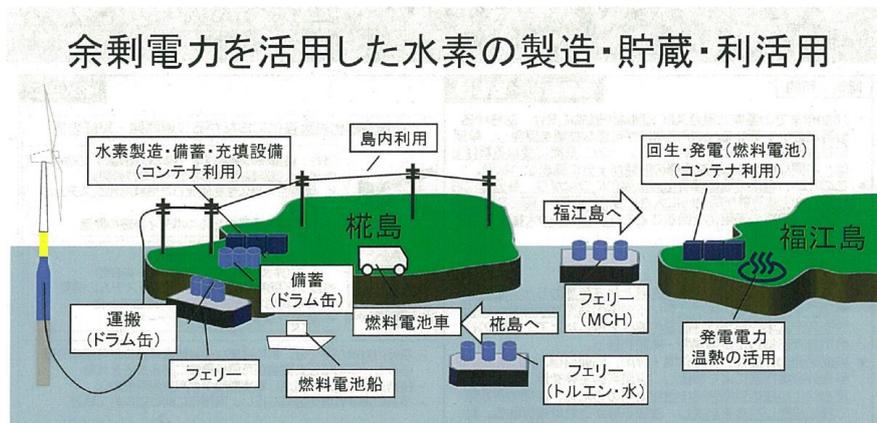


図 2. 3. 17 事業全体イメージ

- ・ 余剰電力を利用してコンテナプラントにて水素を生成。
⇒ 発電能力 2000kW に対し、系統容量が 600kW であるため、その余剰分で水素を製造。
- ・ 製造した水素を MCH にて輸送し、輸送先にて MCH より水素を取り出して利用。
- ・ 水素の利用は、エンジンコージェネや燃料電池船にて利用。
- ・ 本年度にて実証試験を終了予定。(現在、撤去作業を実施中)

○ 小型船舶の低炭素化 [燃料電池] の技術開発・実証

(期間)

平成 25 年度～27 年度

(参画事業者)

戸田建設(株)、(一財) 日本海事協会、長崎総合科学大学

(補助制度)

CO2 排出削減対策協会誘導型技術開発・実証事業 (環境省)

(内容)



図 2. 3. 18 燃料電池船

- ・ 小型船舶の低炭素化の手法として、リチウム電池船（航行時間 1 時間程度）に代わる手法として燃料電池船を開発。
- ・ 上記、浮体式洋上風力発電実証事業（環境省）と連携して、航行実証試験を実施。

<五島市における戦略について>

- ・ 平成 26 年 8 月に「五島市再生可能エネルギー基本構想」を策定。再エネの導入を推進している。検討は、地場企業を中心とした「五島市再生可能エネルギー推進協議会」を設立し、海洋再生可能エネルギーを軸とした構想・計画を産学官民一体となり、検討・策定。
- ・ 再エネ導入において、系統容量に課題があり、余剰分を本土に送電できない。そのため、余剰電力を水素へ変換し、その利活用について検討を実施している。
- ・ 現状での一番の課題は、コスト面にある。水素製造コストも現状は非常に高い。

<その他>

- ・ 環境省事業において、「潮流発電技術実用化推進事業」を実施中（平成 26 年度～平成 30 年度）。現在は、設置のための海域調査を実施している。



図 2. 3. 19 潮流発電イメージ

⇒上記実証は、日本初の試み。3m/sec の流速が必要となる。

⇒潮流発電は、再生可能エネルギーの中で唯一予測が可能なシステム。

(12) 宮崎県

■日 時：平成 28 年 3 月 8 日（火）10:00～12:00

■場 所：宮崎大学 工学部（宮崎市学園木花台西 1-1）

■出席者：（宮崎県）総合政策部 総合政策課

■ヒアリング内容：

<宮崎県における検討事業の概要>

○水素エネルギー等利活用構想策定基本調査事業

- ・平成 28 年度より、宮崎県における水素利活用構想策定のための調査事業を予定。
- ・燃料電池等を活用した地域づくりの方向性等に関する調査研究として、以下の 3 テーマ等について検討を実施。
 - ①農山村における燃料電池等を活用した生活利便の維持確保方策の検討
 - ②県内の水素賦存量（工場等の副生水素発生量、天然ガスの湧出状況等）の把握
 - ③水素・燃料電池技術を活用したソーラーフロンティア構想の今後の展開検討 等
- ・過疎地域における水素 ST 等のあり方についても検討していきたい。
- ・4 月に勉強会をスタートしたいと考えている。
- ・再生可能エネルギーの有効活用として、水素によるエネルギー貯蔵等を検討。

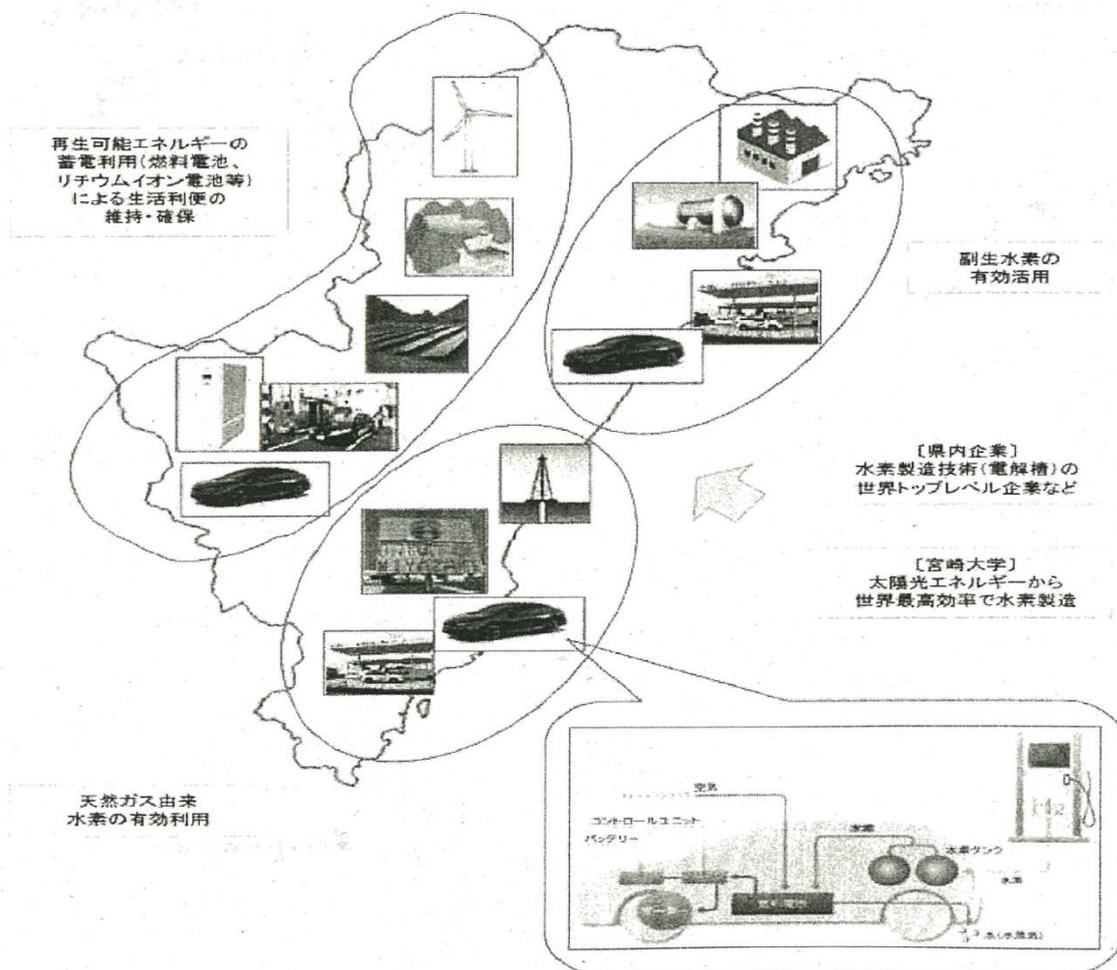


図 2. 3. 20 検討対象

4. 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出と、技術基準の整備に向けた事前検討

4. 1 水素パイプライン等に係る法令面・技術面の課題等の抽出

平成 17 年度から平成 19 年度に実施した「水素供給システム安全性技術調査」、平成 18 年度から平成 20 年度に実施した「水素漏えい検知技術調査」、平成 23 年度から平成 27 年度に実施した「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」の結果を踏まえ、国内で水素パイプライン供給の運用を図る際、現行ガス事業法の技術基準等に照らした場合の技術面及び法令面の課題を抽出し、とりまとめた。

4. 1. 1 事業スキームの想定

技術面及び法令面の課題を抽出するため、水素パイプライン供給の事業スキームを想定した。想定した事業スキームを以下に示す。事業スキームに示す都市ガス事業における外管部分（中・低圧）を対象としており、本スキームをベースとした課題整理を実施した。

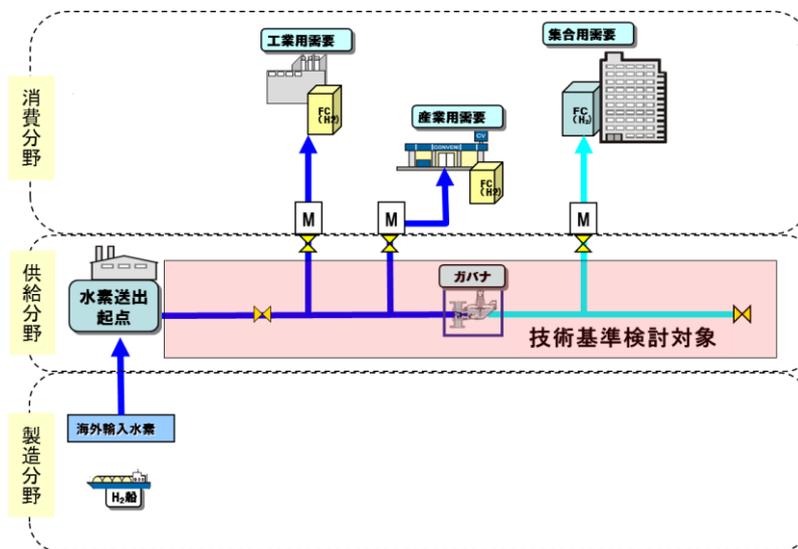


図 2. 4. 1 事業スキーム

4. 1. 2 法令面・技術面の課題整理

上記想定スキームにおいて、ガス工作物の技術基準に関する解釈例をベースとして、該当／関連する条項に対して、懸念となる対象及び水素供給における懸念課題等を示し、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。本年度は、昨年度において既に検討・調査した情報に追記する形で整理を行った。

導管材料に関する懸念課題については、使用する材料を限定すれば将来的な技術基準等の整備に伴う影響度は小さいと考えられる。防護措置に関する懸念課題については、実現場での水素のリスク評価が未実施のため、今後、検討が必要である。

また、表 2. 4. 1 の「水素国プロでの調査状況」の詳細については、後述の「5. 過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総とりまとめ」をご参照頂きたい。

表 2. 4. 1 抽出した懸念課題について

解釈例条項		想定スキームにて懸案となる対象	水素国プロでの調査状況	水素供給における懸念課題等
第 14 条	<p>導管等の材料</p> <p>第 1 項 導管の直管及び曲がり管等の異形管類の規格材料を規定</p>	導管等の材料	<p><H17~H19 事業></p> <p>①SGP (JISG3452 配管用炭素鋼鋼管) および STPG (JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管) の水素脆化影響 (1MPa、50°C) を確認。</p> <p>②PE 管 (JIS K 6774 ガス用ポリエチレン管) および PE 管接合部 (バット融着 (JIS K 6775-1)・EF エレクトロフュージョン継手 (JIS K 6775-3)) の水素影響 (0.1MPa、80°C) を確認。</p> <p><H23~H25 事業></p> <p>SGP および STPG への水素供給用付臭剤による影響を確認。</p>	<p>主要な導管材料 (SGP、STPG 及び PE 管) に対して水素への適用性を調査し、問題ないことを確認している。</p> <p>解釈例に記載されている導管等の材料で水素への適用性について調査していない材料 (ダクタイル鑄鉄管等) がある。もし、水素供給で使用する場合は、調査が必要である。</p>
第 41 条	<p>導管の構造</p> <p>第 2 項 最高使用圧力の区分及び導管の材料の種類に応じて導管の接合の方法を規定</p>	導管の接合方法	<p><H17~H19 事業></p> <p>都市ガス事業での一般的な継手 (ネジ接合、フランジ接合、機械的接合、ユニオン接合、融着) 継手について耐久加速を実施した上で水素気密性を確認。</p> <p><H26~H27 事業></p> <p>集合住宅を想定した場合の内管継手について水素気密性およびシール部材の長期水素暴露影響を調査。</p>	<p>主要な接合方法に対して水素への適用性を調査し、問題ないことを確認している。</p> <p>解釈例に記載されている導管接合方法で水素への適用性について調査していない接合方法がある。もし、水素供給で使用する場合は、調査が必要である。</p>

解釈例条項		想定スキームにて懸案となる対象	水素国プロでの調査状況	水素供給における懸念課題等
第 44 条	伸縮吸収措置 第 1 項 埋設されている以外の導管の温度変化による伸縮を吸収するための措置について規定	埋設されている導管以外の導管（伸縮継手を用いる方法）		伸縮継手（ペローズ型、ドレッサー型）の水素への適用性について調査していない。 水素供給で使用する場合は、調査が必要である。
第 54 条	溶接施工法 溶接施工法に関する確認試験を規定	溶接部	<p><H17～H19 事業></p> <p>SGP および STPG370 の開先溶接部（溶接方法：被覆アーク溶接※、ティグ溶接※）の水素脆化影響を確認。</p> <p>※解説 被覆アーク溶接： 大気中の酸素等の進入を防ぐ為に被覆されたアーク溶接棒を用いて行う溶接</p> <p>ティグ溶接： タングステン電極を用い、不活性ガスを用いた溶接法</p>	<p>解釈例に記載されている一部の溶接方法の溶接部に対してのみ水素への適用性を調査し、問題ないことを確認している。</p> <p>残りの溶接方法（ミグ溶接※又はマグ溶接※等）の溶接部を水素供給で使用する場合は、同様の調査が必要である。</p> <p>※解説 ミグ溶接・マグ溶接： 自動溶接用の溶接法、不活性ガスを用いたものをミグ溶接、炭酸ガスを混合したものをマグ溶接という</p>

解釈例条項		想定スキームにて懸案となる対象	水素国プロでの調査状況	水素供給における懸念課題等
第 57 条	溶接部の継手の形式 第 2 項 導管の溶接部の継手の位置による分類に対応した溶接部の継手の形式を規定	溶接部	<H17～H19 事業> SGP および STPG370 の開先溶接部※（溶接方法：被覆アーク溶接、ティグ溶接）の水素脆化影響を確認。 ※解説 開先溶接： 溶接がしやすいように、部材の溶接される部分に切欠きを設ける溶接法	解釈例に記載されている一部の溶接継手に対してのみ水素への適用性を調査し、問題ないことを確認している。 残りの溶接継手の形式（すみ肉溶接部※等）を水素供給で使用する場合は、同様の調査が必要である。 ※解説 すみ肉溶接： 切欠き加工をせずに、肉盛をする溶接法
第 62 条	非破壊試験の再試験 第 3 項 導管の溶接部の非破壊試験の再試験の方法を規定	再溶接		再溶接部の水素脆化影響について調査していない。 再溶接を認める場合、調査が必要である。
第 77 条	臭気の確認 「容易に臭気によるガスの検知ができる」ことの規定	「容易に臭気によるガスの感知ができる」の確認方法	<H18～H20 事業> 水素の地盤中での拡散挙動を確認。	都市ガスとの区別方法について検討する必要がある。
第 102 条	水取り器 中圧以上の導管に設置する「適切な水取り器について規定」	水取り器		水取り器の水素への適用性について調査していない。 水素供給で使用する場合は、調査が必要である。

解釈例条項		想定スキームにて懸案となる対象	水素国プロでの調査状況	水素供給における懸念課題等
第 104 条	<p>道路面に露出している導管の防護措置</p> <p>中圧以上の導管に設置する「適切な水取器について規定」</p>	道路面に露出している導管		都市ガスで採用している防護方法（例：コンクリート製の管又はトラフ、ガードレール等）が水素供給でも妥当であるか確認する必要がある。
第 105 条	<p>導管の防護措置</p> <p>第 2 項</p> <p>第 3 項</p> <p>埋設される導管に対する防護措置の規定</p>	埋設される導管		<p>防護方法（標識シート、標識プレート、防護シート等）の妥当性について確認する必要がある。</p> <p>本支管を地盤面下 0.6m 以上に埋設する措置についての妥当性について確認する必要がある。</p> <p>都市ガスと平行に敷設されたときの区別方法について検討する必要がある。</p>
第 106 条	<p>本支管に設けるガス遮断装置</p> <p>中圧以上の本支管に設ける導管のガス遮断装置の規定</p>	危急時にガスの遮断操作ができる装置		中圧本支管に設けるバルブ等の水素への適用性について調査する必要がある。

解釈例条項		想定スキームにて懸案となる対象	水素国プロでの調査状況	水素供給における懸念課題等
第 110 条	緊急ガス遮断装置 緊急ガス遮断装置とその設置場所について規定	緊急ガス遮断装置	<H26～H27 事業> 緊急ガス遮断装置の水素適用性（水素気密性）について確認。	ごく微量に透過した水素がキャップ等に滞留する可能性がある場合には、設置方法等の配慮やシール材の検討の必要がある。
第 122 条	ガス遮断措置の基準 ガスをすみやかに遮断することができる措置の規定	ガス事業者の掘削により周囲が露出することになった導管（100m以上）へのガス遮断措置	<H23～H25 事業> 都市ガスの低圧導管で採用されている、ガスバックおよびポリエチレン管に対するスクイズオフの遮断性能を確認。ポリエチレン管のスクイズオフにて若干の越しあり。	ポリエチレン管を採用した場合、スクイズオフ以外の遮断措置（ガスバック等）について検討する必要がある。

4. 2 技術基準の整備に向けた事前検討

技術基準の整備に向けた事前検討として、将来、水素パイプラインの工事・維持管理・運用に際してガス事業での例を参考に、ガス事業法以外に制約を受けると考えられる関連法規の法令名称と関連事項を示し、将来的な技術基準の整備に活用可能なデータとなるように整理を実施した。

表 2. 4. 2 関連法規

法令名称	関連条文	関連事項
道路法	第 32 条（道路の占用の許可） 第 34 条（工事の調整の為の条件） 第 36 条（水道、電気、ガス事業のための道路の占用の特例） 第 40 条（原状回復） 第 43 条（道路に関する禁止行為） 第 47 条の 4（通行の禁止又は制限の場合における道路標識）	道路の占有並びに掘削、埋め戻し、復旧に関する基準及び規制事項
同 施行令	第 9 条（占用の期間に関する基準） 第 11 条の 3（水道管、下水道又はガス管の占用の場所に関する基準） 第 12 条（構造に関する基準） 第 13 条（工事の実施の方法に関する基準） 第 13 条の 6（他埋設物付近を掘削する場合の工事方法） 第 14 条（工事の時期に関する基準） 第 15 条（道路の復旧の方法に関する基準） 第 17 条（工事の計画書の提出を要しない軽易な工事）	
同 施行規則	第 4 条の 3 の 2（電線等の名称等の明示） 第 4 条の 4 の 4（道路を掘削する場合における工事実施の方法） 第 4 条の 4 の 5（掘削により露出することとなるガス管の防護） 第 4 条の 4 の 6（占有のために掘削した土砂の埋め戻しの方法） 第 4 条の 4 の 7（埋戻し又は表面仕上げを行う道路の区分）	
道路橋示方書	I 共通編 5 章付属物等 5. 6 添架物	高速自動車国道、一般国道、県道及び市町村道における重要な橋の設計及び施工に適用する

法令名称	関連条文	関連事項
都市計画法	第 65 条（建築等の制限）	土地の開発行為の許可並びに建築に関する規制事項
同 施行令	第 21 条（適正かつ合理的な土地利用及び環境の保全を図る上で支障がない公益上必要な建築物）	
土地区画整理法	第 76 条（建築行為の制限）	指定区域内での土地の形質の変更、建築等に関する規制事項
同 施行令		
都市公園法	第 6 条、第 7 条（都市公園の占用の許可）	公園又は緑地における占用並びに掘削に関する基準及び規制に関する事項
同 施行令	第 15 条（占用物件の外観、構造等） 第 16 条（占用に関する制限） 第 17 条（占用に関する工事）	
河川法	第 24 条（土地の占用の許可） 第 26 条（工作物の新築等の許可） 第 27 条（土地の掘削の許可） 第 29 条（河川の流水等について河川管理上支障を及ぼす恐れのある行為の禁止、制限又は許可） 第 30 条（許可工作物の使用制限） 第 55 条（河川保全区域における行為の制限）	
同 施行令	第 16 条の 5（汚水の排出の届出） 第 34 条（河川保全区域における行為で許可を要しないもの）	河川、準用河川の流水敷、堤防敷並びに付近地の占用及び掘削の規制に関する事項
同 施行規則	第 12 条（土地の占用の許可の申請） 第 15 条（工作物の新築等の許可の申請） 第 16 条（土地の掘さく等の許可の申請） 第 30 条（河川保全区域における行為の許可の申請）	
河川管理施設等構造令	第 72 条（深さ）	
海岸法	第 7 条（海岸保全区域の占用） 第 8 条（海岸保全区域における行為の制限）	海岸、防潮堤等海岸保全区域の占用並びに掘削に関する基準及び規制に関する事項
同 施行規則	第 3 条（海岸保全区域の占用の許可） 第 4 条（海岸保全区域における制限行為の許可）	
港湾法	第 37 条（港湾区域内の工事等の許可） 第 38 条の 2（臨港地区内における行為の届出等）	漁港、港湾施設等港湾区域内の占有に関する基準及び規制に関する事項
同 施行規則	第 5 条（臨港地区内における行為の届出）	

法令名称	関連条文	関連事項
下水道法	第 24 条（行為の制限等） 第 29 条（行為の制限等）	公共下水道及び都市下水道の占用行為の規制に関する事項
同 施行令	第 16 条（公共下水道管理者の許可を要しない軽微な行為） 第 17 条（公共下水道に設ける施設又は工作物その他の物件に関する技術上の基準） 第 20 条（都市下水路に設ける施設又は工作物その他の物件に関する技術上の基準）	
建築基準法	第 6 条（建築物の建築等に関する申請及び確認） 第 20 条（構造耐力） 第 28 条（居室の採光及び換気） 第 35 条（特殊建築物等の避難及び消火に関する技術的基準） 第 36 条（この章の規定を実施し、又は補足するために必要な技術的基準）	建築物の敷地・構造・設備の基準及び規制に関する事項、整圧器室等の建築確認申請に関する事項、3 階以上の新設共同住宅のガス設備に関する事項
同 施行令	第 20 条の 3（火を使用する室に設けなければならない換気設備等） 第 38 条（基礎）第 3 項 第 112 条（防火区画）第 15 項 第 123 条（避難階段及び特別避難階段の構造） 第 129 条の 2 の 4（建築設備の構造強度）第 2 号 第 129 条の 2 の 5（給水、排水その他の配管設備の設置及び構造） 第 136 条の 3（根切り工事、山留め工事等を行う場合の危害の防止）	
同 施行規則		
同 告示		
共同溝の整備等に関する特別措置法	第 3 条～第 21 条（共同溝整備道路の指定他） 第 12 条（占用の申請）	共同溝に関する占用許可及び埋設物の構造等の基準に関する事項
同 施行令	第 1 条～第 6 条（公益物件の構造等の基準他）	
同 施行規則	第 1 条～第 3 条（共同溝の建設を希望する旨の申し出に添えるべき書面他）	

法令名称	関連条文	関連事項
急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法令	第7条（行為の制限）	指定区域内における占用並びに掘削に関する基準及び規制に関する事項
同 施行令	第2条（法第7条第1項 ただし書の政令で定める行為）	
地すべり等防止法	第18条（行為の制限）	
宅地造成等規制法		
砂防法	第14条（一定行為の禁止、制限）	
自然公園法	第20条（特別地域）	
都市緑地保全法	第8条（緑地保全地域における行為の届出） 第14条（特別緑地保全地域における行為の届出等）	
文化財保護法	第93条（土木工事等のための発掘に関する届出及び指示） 第96条（遺跡の発掘に関する届出、停止命令等）	埋設文化財を有する土地を掘削する場合及び掘削により遺跡等を発見した場合の届出等に関する事項
建設工事公衆災害防止対策要綱	土木工事編 第1（目的） 第2（適用） 第6（現場組織体制） 第7（隣接工事との調整） 第8（付近居住者への通知） 第9（事故発生時の措置と原因調査） 第10（作業場の区分） 第17～第27（第3章交通対策） 第28（軌道経営者との事前協議） 第29（軌道施設等の仮移設等） 第30（協議事項の周知及び遵守） 第31（絶縁工） 第32（鉄道） 第33～第40（第5章埋設物） 第41～第54（第6章土留工） 第55～第67（第7章覆工） 第67（維持管理） 第68～第72（第8章補助工法）	建設工事の施工に当たって当該工事の関係者以外の第三者に対する生命、身体及び財産に関する危害並びに迷惑を防止するために必要な計画、設計、施工の基準に関する事項

	<p>第 73、第 74（第 9 章湧水等の処理）</p> <p>第 75（第 10 章建設副産物の処理）</p> <p>第 76～第 82（第 11 章埋戻し）</p> <p>第 87（機械類の使用及び移動）</p> <p>第 95～98（第 13 章地下推進工事）</p> <p>第 101（落下物に対する防護）</p> <p>第 109～第 111（火災及び酸素欠乏症の防止）</p> <p>第 112（整理整頓）</p> <p>建築工事編</p> <p>第 9（事故発生時の措置）</p> <p>第 10（整理整頓）</p> <p>第 11（飛来落下による危険防止）</p> <p>第 12（粉塵対策）</p> <p>第 14（火災防止）</p> <p>第 15（騒音、振動及び電波障害対策）</p> <p>第 16（周辺構造物への対策）</p> <p>第 17（公共設備等への対策）</p> <p>第 20（現場への車両の出入り）</p> <p>第 27（外部足場）</p> <p>第 30（機械）</p> <p>第 32（仕様及び移動）</p> <p>第 62（改修工事）</p>	
建設副産物適正 処理推進要綱		建設副産物（建設発生土と建設廃棄物） を発生者及び施工者が適正に処理する ために必要な基準に関する事項
廃棄物の処理及 び清掃に関する 法律（廃掃法）	<p>第 3 条（事業者の責務）</p> <p>第 6 条の 3（事業者の協力）</p> <p>第 12 条（事業者の処理）</p>	事業活動に伴って生じた廃棄物の排出 の抑制と分別、保管、収集、運搬、再 生、処分等についての規制に関する事 項
廃棄物の処理及 び清掃に関する 法律施行例	<p>第 2 条（産業廃棄物）</p> <p>第 2 条の 4（特別管理産業廃棄物）</p>	
資源の有効な利 用の促進に関す る法律	第 4 条（事業者等の責務）	副産物や廃製品を開発、設計、使用の 段階から再生資源として利用できるよ うに努めることに関する事項

法令名称	関連条文	関連事項
建設工事に係る 資材の再資源化 等に関する法律 (建設リサイクル 法)	第 10 条 (対象建設工事の届出等) 第 16 条 (再資源化等実施義務)	特定の建設資材について、建設工事に 係る資材の再資源化に関する事項 発注者及び受注者が、コンクリート、 アスコン等の建設資材を適正に分別解 体することに関する事項
同 施行令	第 2 条 (建設工事等の規模に関する基準)	
土壤汚染対策法	第 4 条 (土壤汚染のおそれがある土地の形質 の変更が行われる場合の調査) 第 9 条 (要措置区域内における土地の形質の 変更の禁止) 第 12 条 (形質変更時要届出区域内における土 地の形質の変更の届出及び計画変更命令) 第 16 条 (汚染土壤の搬出時の届出及び計画変 更命令)	土壤の特定有害物質による汚染の状況 の把握に関する措置及びその汚染によ る人の健康に係る被害の防止に関する 措置に関する事項
道路交通法	第 39 条 (緊急自動車の通行区分) 第 40 条 (緊急自動車の優先) 第 41 条 (緊急自動車の特例) 第 71 条 (運転者の遵守事項) 第 74 条 (車両等の使用者の義務) 第 72 条 (交通事故の場合の措置) 第 75 条の 6 (本線車道に入る場合等における 他の自動車との関係) 第 75 条の 9 (緊急自動車の特例) 第 77 条 (道路使用の許可) 第 85 条 (第一種免許)	道路掘削及び道路上工事に関する交通 上の規制事項
労働基準法		工事についての安全基準及び衛生基準
労働安全衛生法	第 2 条 (定義) 第 3 条 (事業者等の責務) 第 10 条 (総括安全衛生管理者) 第 11 条 (安全管理者) 第 12 条 (衛生管理者) 第 14 条 (作業主任者) 第 33 条 (機械等貸与者等の講ずべき措置等) 第 59 条 (安全衛生教育) 第 60 条 (安全衛生教育) 第 61 条 (就業制限) 第 65 条 (作業環境測定) 第 102 条 (ガス工作物等設置者の義務)	並びにガス工事現場の責任者、掘削作 業土止め支保工作業の主任者、アーク 溶接作業の従事者、放射線業務の従事 者、酸素欠乏危険場所での作業の従事 者等に関する事項、石綿を扱う作業の 従事者に関する事項

同 施行令	<p>第 6 条（作業主任者を選任すべき作業）</p> <p>第 10 条（法第 33 条第 1 項の政令で定める機械等）</p> <p>第 21 条（作業環境測定を行うべき作業場）</p>	
労働安全衛生規則	<p>第 16 条（作業主任者の選任）</p> <p>第 35 条（雇入れ時等の教育）</p> <p>第 36 条（特別教育を必要とする業務）</p> <p>第 154 条～第 171 条（調査及び記録）等</p> <p>第 194 条（ガス導管等の損壊の防止）</p> <p>第 261 条（通風等による爆発又は火災の防止）</p> <p>第 262 条（通風等が不十分な場所におけるガス溶接等の作業）</p> <p>第 263 条～第 277 条（ガス等の容器の取扱い他）</p> <p>第 268 条～第 278 条（第三節化学設備等）</p> <p>第 279 条～第 291 条（危険物等がある場所における火気等の使用禁止他）</p> <p>第 333 条（漏電による感電の防止）</p> <p>第 336 条（配線等の絶縁被覆）</p> <p>第 339 条（停電作業を行う場合の措置）</p> <p>第 347 条（低圧活線近接作業）</p> <p>第 355 条～第 367 条（第一款 掘削の時期及び順序等）</p> <p>第 368 条～第 375 条（第二款 土止め支保工）</p> <p>第 518 条（作業床の設置等）</p> <p>第 526 条（昇降するための設備の設置）</p> <p>第 527 条（移動はしご）</p> <p>第 528 条（脚立）</p> <p>第 534 条（地山の崩壊等による危険の防止）</p> <p>第 539 条（保護帽の着用）</p> <p>第 564 条～第 568 条（第二款 足場の組立て等における危険の防止）</p>	
電離放射線障害防止規則	<p>第 18 条、第 46 条、第 47 条（立入禁止他）</p>	
酸素欠乏症等防止規則	<p>第 3 条～第 17 条（第 2 章一般的防止措置）</p> <p>第 18 条～第 25 条の 2（第 3 章特殊な作業における防止措置）</p>	

法令名称	関連条文	関連事項
石綿障害予防規則	第 19 条～第 20 条（作業主任者の選任）	
電気事業法	第 38 条（定義）	電気設備の防爆、電気防食施設の設置基準に関する事項、電気設備がガス管等に接近する場合の制限、防護措置に関する事項
同 施行令		
同 施行規則		
電気設備に関する技術基準を定める省令	第 10 条（電気設備の接地） 第 11 条（電気設備の接地の方法） 第 29 条（電線による他の工作物とへの危険の防止） 第 30 条（地中電線による他の電線及び工作物への危険の防止） 第 54 条（電食作用による障害の防止） 第 56 条（配線の感電又は火災の防止） 第 57 条（配線の使用電線） 第 58 条（低圧の回路の絶縁性能） 第 59 条（電気使用場所に施設する電気機械器具の感電、火災等の防止） 第 62 条（配線による他の配線又は工作物への危険の防止）第 2 項 第 63 条（過電流からの低圧幹線等の保護措置） 第 66 条（異常時における高圧の移動電線及び接触電線における回路の遮断） 第 67 条（電気機械器具又は接触電線による無線設備への障害の防止） 第 72 条（特別高圧の電気設備の施設の禁止） 第 73 条（接触電線の危険場所への施設の禁止） 第 78 条（電気防食施設の施設）	
建設業法	第 18 条（建設工事の請負契約の原則） 第 19 条（建設工事の請負契約の内容）	建設業を営む者の施工技術の確保、請負工事を施工するときの主任技術者の設置に関する事項

法令名称	関連条文	関連事項
環境基本法		建設作業に伴って発生する悪臭、騒音、振動等の規制に関する事項
騒音（振動）規制法	第3条（地域の指定） 第14条（特定建設作業の実施の届出）	
同 施行令	第2条（特定建設作業）	
同 施行規則		
同 告示		
悪臭防止法	第3条（規制地域）	
同 施行令		
同 施行規則		
同 告示		
大規模地震対策特別措置法	第3条（地震防災対策強化地域の指定等）	警戒宣言が発せられた場合の工事の中断等に関する事項
災害対策基本法	第6条（指定公共機関及び指定地方公共機関の責務） 第39条（指定公共機関の防災業務計画） 第40条（都道府県地域防災計画） 第45条（地域防災計画の実施の推進のための要請等） 第47条（防災に関する組織の整備義務） 第48条（防災訓練義務） 第49条（防災に必要な物資及び資材の備蓄等の義務） 第50条（災害応急対策及びその実施責任） 第51条（情報の収集及び伝達） 第53条（被害状況等の報告） 第80条（指定公共機関の応急措置） 第87条（災害復旧の実施責任）	防災に関する計画の作成、組織の整備、行政機関への協力等に関する事項
特定ガス消費機器の設置工事の監督に関する法律	第2条（定義） 第3条（特定工事の監督）	特定ガス消費機器の設置又は変更工事の事業を行う者の工事の監督に関する事項
同 施行令	第1条（特定ガス消費機器）	
同 施行規則	第3条（監督の方法）	

法令名称	関連条文	関連事項
消防法	第 7 条（建築許可等の同意） 第 9 条（火の使用） 第 10 条（危険物の貯蔵及び取扱いの制限等） 第 4 項 第 17 条（消防用設備等の設置、維持） 第 17 条の 4（工事着工の届出） 第 17 条の 5（消防設備士） 第 17 条の 6（消防設備士の免状の種類）	消費機器設置に関する事項、ガス漏れ警報設備に関する事項、漏れたガスが滞留するおそれのある場所でのガス設備の設置制限、規制措置に関する事項
同 施行令	第 7 条（消防設備等の種類） 第 8 条（通則） 第 21 条の 2（ガス漏れ火災警報設備に関する基準） 第 29 条の 4（必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する基準） 第 36 条の 2（消防設備士でなければ行ってはならない工事又は整備） 第 37 条（検定対象機械器具等の範囲）	
同 施行規則	第 13 条（スプリンクラー設備を設置することを要しない階の部分等）第 1 号 第 24 条の 2 の 2（ガス漏れ火災警報設備の設置を要しない防火対象物等） 第 24 条の 2 の 3（ガス漏れ警報設備に関する基準の細目） 第 33 条の 3（免状の種類に応ずる工事又は整備の種類）	
火災予防条例 （例）	第 3 条（炉）14 号のイ 第 3 条の 2（厨房設備）	

法令名称	関連条文	関連事項
計量法	第 2 条 (定義) 第 16 条 (使用の制限) 第 18 条 (使用方法の制限) 第 71 条 (検定の合格条件等) 第 72 条 (検定証印)	自記圧力計の検定等に関する事項 ガスメーターの検定、検査に関する事項
同 施行令	第 2 条 (特定軽量器) 第 5 条 (使用の制限の特例に係る特定計量器) 第 18 条 (検定証印の有効期間のある特定計量器)	
同 施行規則		
特定計量器検定 検査規則	第 473 条 (ガスメーターの使用公差)	
基準器検査規則	第 163～第 182 条 (体積基準器第二款 基準 ガスメーター) 第 234～第 242 条 (検査方法第二款 基準ガ スメーター)	
電波法	第 39 条 (無線設備の操作) 第 40 条 (無線従事者の資格)	無線設備の操作を行う無線従事者の資 格に関する事項
無線従事者操作 範囲令		
電気工事士法	第 3 条 (電気工事士等)	外部電源装置等の配線及び電線の接続 等の作業の従事者に関する事項
同 施行令	第 1 条 (軽微な工事)	
同 施行規則	第 2 条 (軽微な作業)	
住宅の品質確保 の促進等に関する法律		ガス配管の経路、工法等及び都市ガス 警報器の設置に関する事項
個人情報の保護 に関する法律		個人情報の利用、取得、保管等に関する事項

5. 過去行ってきた水素パイプライン供給に係る委託事業の総とりまとめ

5. 1 過去の水素パイプライン供給に係る委託事業の経緯

水素パイプライン供給に係る委託事業は平成 17 年度～19 年度に実施された「水素供給システムの安全性技術調査」からスタートしており、それ以降、平成 18 年度～20 年度に実施された「水漏れい検知技術調査」、平成 23 年度～27 年度に実施された「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」がある。いずれの事業も中低圧導管を対象に、将来の技術基準整備検討に資する技術的知見の蓄積を目的に実施されている。

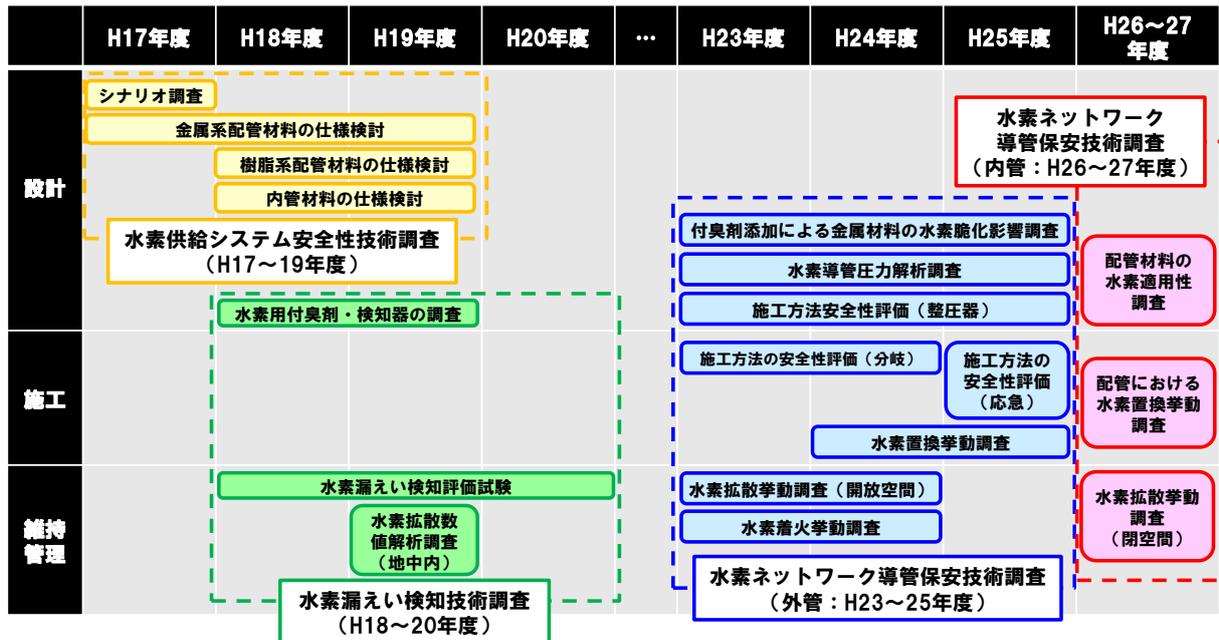


図 2. 5. 1 過去の水素パイプラインに係る委託事業

5. 2 とりまとめの進め方

とりまとめは、単に報告書をレビューするだけでなく、今後利用者が成果を活用しやすいとりまとめとなるよう留意している。そのため、事業ごとのとりまとめではなく、成果項目別に整理することや、できる限り簡素化するなどの作業を行った。

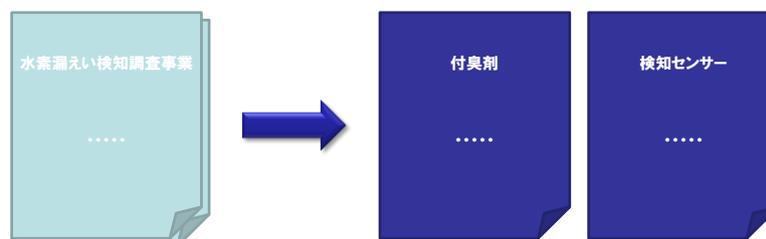


図 2. 5. 2 とりまとめの進め方 (例)

進め方については、「①一次とりまとめ」⇒「②追加調査・事業者ヒアリング」⇒「③最終とりまとめ」の順で行った。①一次とりまとめでは、過去の報告書をベースに、成果項目ごとにとり

まとめを実施している。その後、②追加調査・事業者ヒアリングにおいて、一次とりまとめをベースに、過去の受託事業者へ内容確認のためのヒアリングを実施するとともに、古い情報等については最新情報へ更新を行った。

5. 3 とりまとめの内容構成

上記の進め方に沿って、項目別にとりまとめを実施した。成果項目を整理すると以下の通りであり、作業フローをイメージし、「設計」「施工」「維持管理」の順に整理している。内容は、過去の報告書を参照し、情報更新が可能な内容については、更新を行っている。とりまとめ内容は別紙（「10年レビュー」）参照のこと。

また、本とりまとめは、過去の報告書記載内容を要約し、作成している。活用にあたっては、過去の調査事業報告書を参照頂きたい。

表 2. 5. 1 成果項目一覧

	No.	成果項目	対象事業
基礎	00	水素の基本特性	—
設計	01	金属系材料	①、③
	02	樹脂系材料	①
	03	継手・ガス栓・バルブ等	①、④
	04	シール材	①、④
	05	接合	①
	06	メーター	①
	07	整圧器	③
	08	付臭剤	②
	09	検知センサー	②
	10	圧力解析	①、③
施工	11	分岐工法	③
	12	遮断工法	③
	13	穿孔作業	③
	14	置換作業（外管）	③
	15	置換作業（内管）	④
維持管理	16	漏えい検知	②
	17	拡散挙動（土中）	②
	18	拡散挙動（開放）	③
	19	拡散挙動（密閉）	④
	20	着火挙動	③
	21	応急処置工法	③
その他	22	海外事例（北米）	①、②、③、④
	23	海外事例（欧州）	①、②、③
	24	国内事例	④

①水素供給システムの安全性技術調査

②水漏えい検知技術調査

③水素ネットワーク構築導管保安技術調査（外管）

④水素ネットワーク構築導管保安技術調査（内管）

6. 謝辞

本調査事業の遂行にあたり、ご指導いただいた特別専門委員会の倉淵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、国内の事例調査で多大なるご協力をいただいた各自治体さま、また、過去事業のとりまとめにおいてご協力をいただいた各受託事業者さまの皆さまに厚く感謝の意を表します。

また、本調査事業の実施により、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。

平成27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)

過去事業のとりまとめ (10年レビュー)

平成28年3月16日

一般社団法人 日本ガス協会

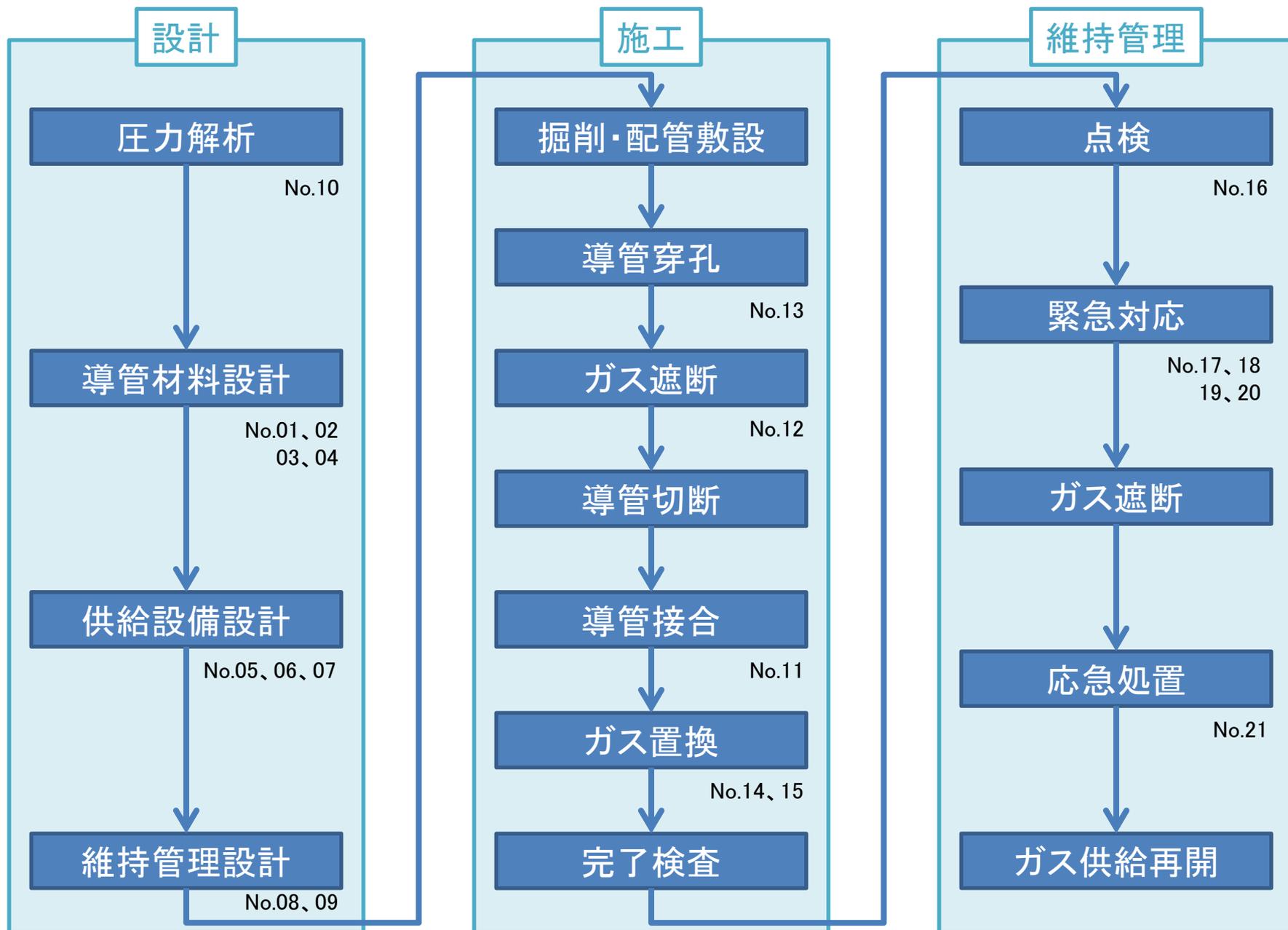
目次

	No.	成果項目	対象事業
基礎	00	水素の基本特性	—
設計	01	金属系材料	①、③
	02	樹脂系材料	①
	03	継手・ガス栓・バルブ等	①、④
	04	シール材	①、④
	05	接合	①
	06	メーター	①
	07	整圧器	③
	08	付臭剤	②
	09	検知センサー	②
	10	圧力解析	①、③
施工	11	分岐工法	③
	12	遮断工法	③

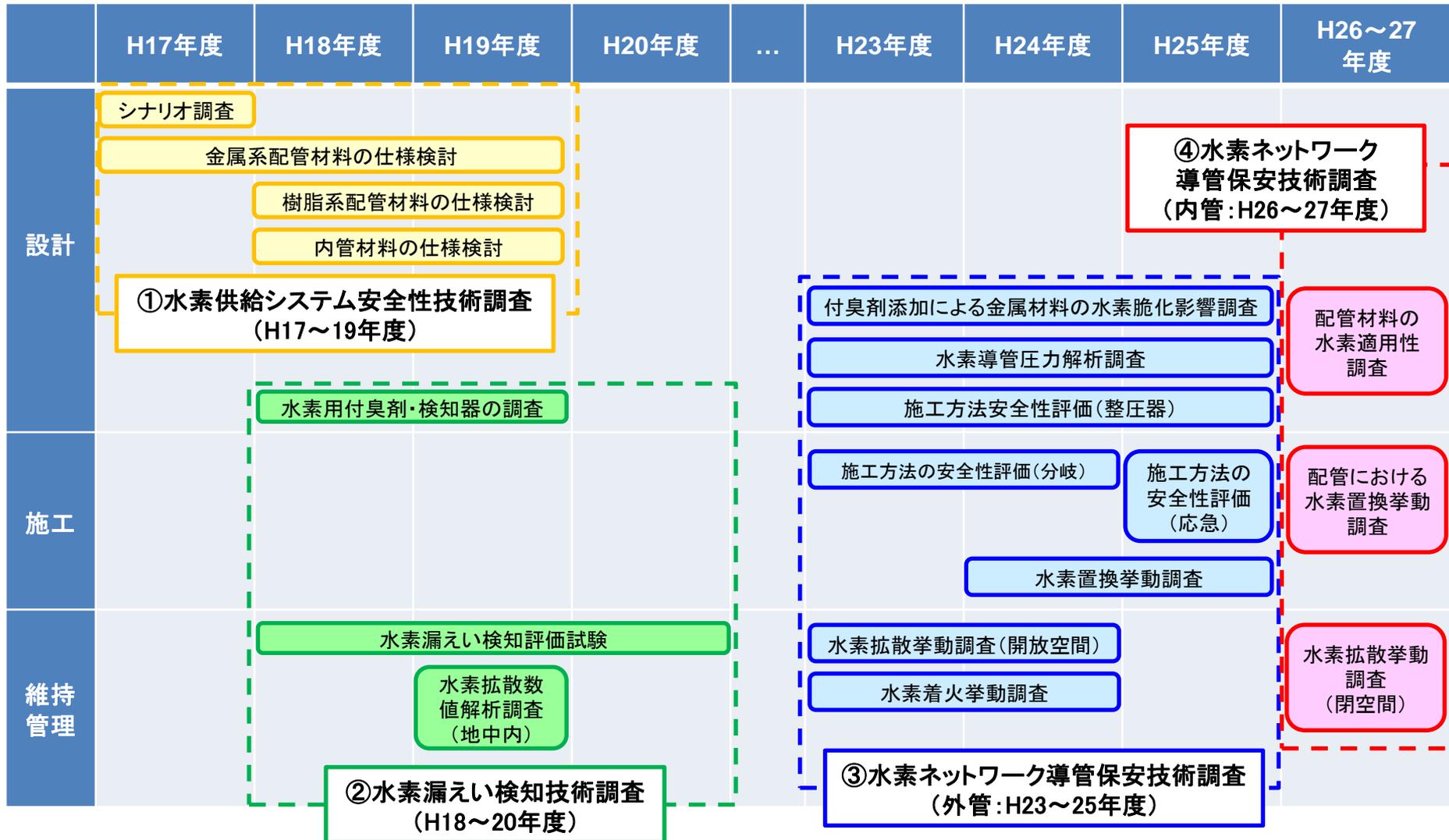
	No.	成果項目	対象事業
施工	13	穿孔作業	③
	14	置換作業(外管)	③
	15	置換作業(内管)	④
維持管理	16	漏えい検知	②
	17	拡散挙動(土中)	②
	18	拡散挙動(開放)	③
	19	拡散挙動(密閉)	④
	20	着火挙動	③
	21	応急処置工法	③
その他	22	海外事例(北米)	①、②、③、④
	23	海外事例(欧州)	①、②、③
	24	国内事例	④

- ①水素供給システム安全性技術調査事業
 ②水素漏えい検知技術調査事業
 ③水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業(H23～25)
 ④水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業(H26～27)

事業対象範囲における作業フロー



水素導管供給に関する技術調査事業の経緯・展開



水素導管供給に関する技術調査事業の概要

事業名	目的と成果
<p>水素供給システム安全性技術調査事業 (平成17～19年度)</p>	<p>《目的》 現行の中低圧導管材料を水素輸送に供する場合の基本的な材料特性調査を行う。</p> <p>《成果》 現行の主な導管材料(炭素鋼鋼管およびポリエチレン管等)の水素脆性や気密性の面について適用性を確認。 (評価した導管材料等の水素脆化は認められず、基本的な継手類の気密性低下もないことから、中低圧の水素供給に適用できる。)</p>
<p>水素漏えい検知技術調査事業 (平成18～20年度)</p>	<p>《目的》 水素が漏えいした場合、需要家がすぐに分かるための付臭等について調査を行う。</p> <p>《成果》 水素付臭剤としてのシクロヘキセンの適用性(土壌透過性)およびガス同等の方法(検知器と臭気感知)で水素漏えいが検知可能であることを確認。</p>
<p>水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業 (平成23～25年度)</p>	<p>《目的》 将来の水素パイプラインネットワークの構築に向け、保安確保のために、現時点で不可欠と考えられる検証データを取得する。【外管を対象】</p> <p>《成果》 施工法の安全性評価、水素漏えい時の拡散挙動確認、水素置換挙動確認、水素導管圧力解析を実施し、成果・課題を整理。</p>
<p>水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業 (平成26～27年度)</p>	<p>《目的》 将来の水素パイプライン供給に向け、建物内とその周辺の水素配管に関する保安確保のために、現時点で不可欠と考えられる検証データを取得する。【内管を対象】</p> <p>《成果》 水素置換挙動調査、配管材料の水素適用性を確認。</p>

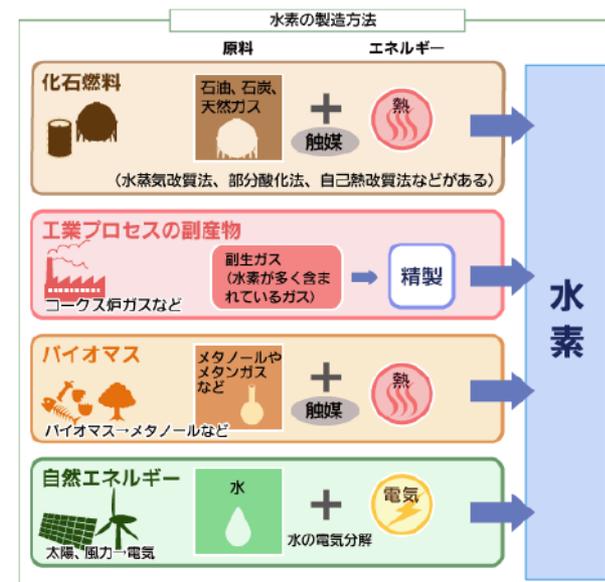
00: 水素の基本特性

水素と都市ガスとの物性の違い

	水素	都市ガス	備考
比重	0.0695	0.65	約1/10
燃焼範囲(%)	4.0~75.6	4.4~14.3	都市ガスの約5倍広い
燃焼速度(cm/s)	282	38~40	約7倍
着火温度(°C)	560	537	ほぼ同じ
着火エネルギー(mJ)	0.02	0.29	約1/10
液化温度(°C)	約-253	約-162	液化温度が低い
発熱量(MJ/m ³)	12	45	約1/4

水素エネルギーを導入する意義※

- **エネルギー・セキュリティの向上**
将来的には海外の褐炭や原油随伴ガスなどの未利用エネルギーや、国内外の再生可能エネルギーを用いて製造できる可能性があり、利活用技術の適用可能性は幅広く、エネルギー・セキュリティの向上に大きく貢献できる。
- **省エネルギー、環境負荷低減**
再生可能エネルギーから水素を製造するといった水素の製造方法次第では、CO₂ 排出量を大幅に削減でき、さらにはCO₂ フリーのエネルギー源として水素を活用し得る。
- **産業振興**
水素・燃料電池関連の市場規模拡大により、大きく成長する分野と期待されている



01: 金属系材料

目的	中低圧都市ガス配管用金属材料の母材と周溶接部を対象に、中低圧の水素環境がその機械的性質に及ぼす影響や、変動荷重および地震による水素配管の繰り返し変形を考慮した金属材料の疲労特性へ及ぼす影響を調査した。
評価項目	<p>中低圧都市ガス配管を想定した水素ガス暴露条件(ガス圧1MPa、温度50℃、100時間暴露)下で、機械的性質、破壊特性等に影響が見られないこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・評価対象母材：フェライト-パーライト組織を主体とする SGP, STPG370 ・溶接：被覆アーク(SMAW)溶接、TIG溶接
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 素材まま(予ひずみ無し)の母材および溶接部は、想定水素ガス暴露条件下では、水素侵入量(拡散性水素(300℃以上での放出水素量))自体は極微量であり、母材の降伏応力以下である実用応力域では機械的性質および破壊特性に水素の影響は見られなかった。 ➢ 高圧ガス導管耐震設計指針のLEVEL1地震動を2回想定した予ひずみを受けた母材および溶接部についても、上記水素ガス暴露条件による水素侵入量の増加は無く、機械的性質および破壊特性の大きな変化は確認されなかった。 <ul style="list-style-type: none"> ・ただし、使用環境より著しく厳しい水素環境(強制水素チャージにより、上記水素ガス暴露での拡散性水素侵入量より2オーダー程度水素侵入量が多い条件)での特性試験において、予ひずみを付与した母材では、絞りや衝撃値の低下が見られた。 ➢ 水素雰囲気下での塑性変形を伴うほどのひずみ振幅の大きい大地震を想定した低サイクル疲労試験において、疲労き裂が発生するまでの繰り返し数は大気中と大きな差は無いと考えられるが、疲労き裂進展速度で5～10倍の上昇が見られた。

【結論】

- ◆ 中低圧都市ガス配管に用いられているSGPおよびSTPG370について、今回想定した実用応力域の水素使用条件では水素による機械的性質、破壊特性の差はみられず、配管の寿命内に発生を想定するLEVEL1地震動を2回想定した予ひずみ材(母材、溶接部)についても水素による機械的性質、破壊特性に大きな変化はみられない。
- ◆ ただし、実用応力範囲外(塑性域のひずみ振幅)において水素雰囲気条件での疲労き裂進展速度に影響が見られ、水素ガス配管への適用には配慮が必要。 ⇒ 別途に詳細調査(p.9参照)

■ 水素環境下における試験結果

試験項目	機械的性質および破壊特性調査 素材まま(予ひずみ無し)		ひずみの影響調査	
	母材	溶接部	±1%32回繰り返し 予ひずみ母材	±0.5%32回繰り返し 予ひずみ溶接部
引張試験	水素の影響なし	水素の影響なし	水素の影響なし	
破壊靱性	水素の影響なし	水素の影響なし	水素の影響なし (僅かな予ひずみ靱性低下、延性き裂抵抗向上)	
高サイクル疲労	水素の影響なし	水素の影響なし	水素の影響なし (試験速度・ひずみ硬化の 影響あり)	—
疲労き裂伝播	実用応力域(0.1%)では 水素の影響なし	—	水素の影響なし	—
	[大ひずみ繰り返し(低サイクル疲労領域)では、 疲労き裂進展速度が5~10倍加速]			
低サイクル疲労	水素の影響なし	SMAW部短命化、TIG部(水素量小)は 影響小 ひずみ集中を考慮した設計が有効	水素の影響なし	

<参照>

- ▶平成17年度水素供給システム安全性技術調査(金属系配管材料の仕様検討)
- ▶平成18年度水素供給システム安全性技術調査(金属系材料接合部等の仕様検討等)／新日鉄エンジニアリング(株)
- ▶平成19年度水素供給システム安全性技術調査(金属系材料の仕様検討等)／日鉄パイプライン(株)

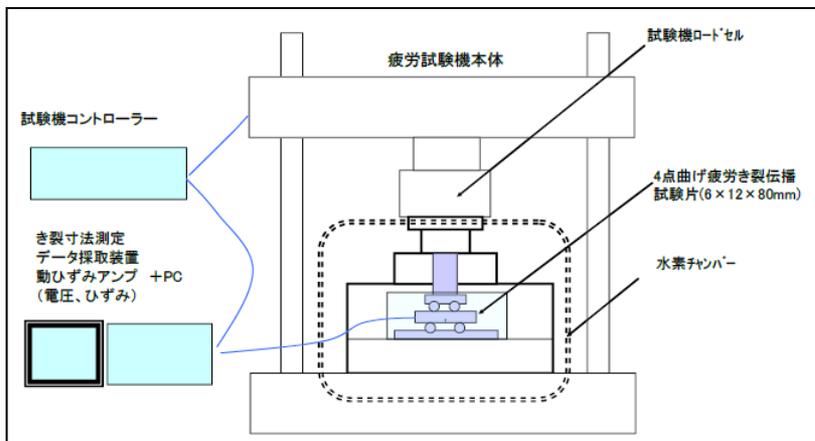
01: 金属系材料(水素脆化)

目的	実用応力域の金属母材の疲労き裂進展特性、特にひずみ振幅が大きく、き裂進展速度が速い領域において水素の影響が見られていた点を踏まえ、疲労試験中新生面に生じる疲労についてのみ付臭材添加による水素脆化影響の調査を実施した。
評価項目	H17～H19年度調査等で金属材料(SGP, STPG)への水素影響の懸念が残る以下の項目について明らかにする。 <ul style="list-style-type: none">・水素ガスへ添加された付臭剤による金属材料の疲労き裂進展特性への影響(き裂の進展により常に新生面が現れることから、何らかの影響を懸念)・試験周波数(1Hz)での水素ガス中疲労き裂進展特性
調査結果	<p>➤ <u>水素ガス添加付臭剤の影響</u></p> <p>2種の付臭剤(シクロヘキセンおよび2ヘキシン)を添加した水素ガス中(ガス圧1MPa、温度50℃、試験前水素保持24時間)でのそれぞれの疲労き裂進展特性は、水素ガス中(濃度99.99%以上)の結果と同等で差は見られない。</p> <p>➤ <u>大気中と水素ガス中の疲労き裂進展特性の比較(水素脆化影響)</u></p> <p>大気中の疲労き裂進展速度の結果は試験片毎の差が水素ガス中での結果に比べて大きく、明確ではなく、データの追加が望ましい。(SGPIについては、大気中に比べ、水素ガス中では応力拡大係数が大きいほど疲労き裂進展速度は増大傾向がみられた。しかし、STPGについては水素による疲労き裂進展速度の加速は見られず、H17～19年度調査の傾向と一致しなかった。この原因として素材の拡散性水素量の影響が原因と考えられる。)</p>

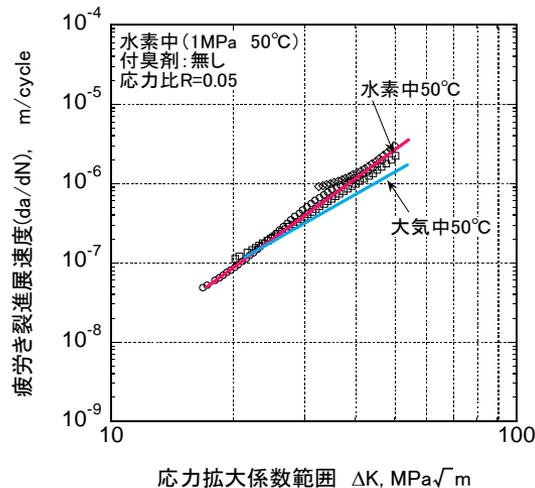
【結論】

- ◆ 金属疲労き裂進展特性への付臭剤の影響は見られない。
- ◆ ひずみ振幅が大きい場合(実用応力範囲外に)の疲労き裂進展速度への影響については、調査による新たな知見は得られていない。

【設計】

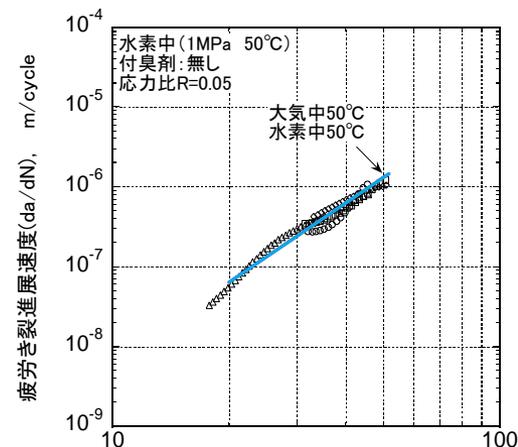


＜疲労き裂伝播試験の概要図＞



応力拡大係数範囲 ΔK , $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$

SGP in H2 @50°C



応力拡大係数範囲 (ΔK), $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$

STPG in H2 temp.=50°C

＜き裂進展特性測定結果の例＞

(大気中および水素中)

水素ガス中の方が、特に応力拡大係数大きいほど疲労き裂進展速度が大きくなる傾向を示している。

↓
水素ガス配管に適用する際に配慮が必要



＜疲労き裂進展試験後の試験片外観＞

[疲労き裂が測定範囲(応力拡大係数範囲)を超えて進展した状況]

＜参照＞

- ▶平成23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)／日鉄パイプライン(株)
- ▶平成24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)／日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)
- ▶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)／日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)

目的

既存ガス事業で積極使用されているPE(ポリエチレン)管について、その母材・融着部に対する水素暴露環境下での機械的性能、水素透過性などを調査した。

- ・これまで、JIS-PE管を含む樹脂管において、水素環境下における物理性能(樹脂物性)および管状態での機械性能(管性能および融着性能)への影響について詳細調査がなされていなかった。
- ・水素は他の気体と比較し分子径が小さいことから、各種分子フィルム(厚み数 $10\mu\text{m}$)に対する透過性が高くなることが知られているが、パイプ形状肉厚(厚み数 mm)での実験データは極めて少なかった。

評価項目

都市ガス供給で用いられるJIS-PE管(JIS K 6774規定のガス用PE管)の物理的性能、機械的性能が、水素暴露環境下でもJIS規格を満足すること。

調査結果

➤ 水素暴露下における性能調査

水素暴露(80°C、0.1MPa、1,270Hr)後においても暴露前と比較して変化は無く、JIS規格を満足している。

➤ 水素透過性調査

JIS PE管の水素透過性は、実配管を考慮した曲げ配管、高加湿環境下においても直管状態およびドライ雰囲気状態と同じであり、施工上の問題はない。

PE管の特徴

- ・腐食しない
- ・金属管よりも低価格
- ・伸びが大きく破断しにくい
(東日本大震災、中越地震でも実証)
- ・軽く曲げやすい
- ・接合が簡単(施工性が良好)



【結論】

- ◆ JIS-PE管は、水素暴露環境下(0.1MPa, 約50年相当想定)でも経時劣化は認められず、JIS性能規定を十分に維持している事を確認した。

【設計】

■ 水素環境下における性能調査試験結果

評価項目 (水素暴露: 80°C × 1,270h後 [約50年相当と想定])		JIS規格	結果
管の物理的性能 (JIS K6774)	熱安定性試験	≥ 20min	○
	ルトマスフローレート試験	変化率 ± 20%	○
管の機械的性能 (JIS 6774)	内圧クリープ	規定時間で異常無し	○
	引張り伸び試験	≥ 350%	○
	耐低速き裂成長性試験	規定時間で破断無し	○
	シャルピ-衝撃試験 (*1)	(≥ 9.8kJ/m ²)	○
継手の機械性能 (JIS K6775)	融着部強度試験	剥離率 ≤ 33.3%	○
気密性 (*1)	直管	—	○
	曲げ配管	—	○
	湿度の影響	—	○

＜調査対象PE管(PE80)の樹脂性能および寸法＞
 ・A社中密度ポリエチレン
 ・MFR=0.21g/10min
 ・密度=939kg/m³
 ・口径=50A、
 外径=60mm、
 内径=48.2mm
 ・最小厚さ=5.5mm

* 1: JIS規格外項目

■ 水素透過性調査結果

- ・各種JIS-PE管の水素透過性は、フィルム形状で測定されていた文献値とほぼ同等の結果を得た。
- ・更に、種々のパラメータの影響に関する調査より、現行採用されている融着工法は水素供給管の融着として問題ないことを確認。

■ バリア層付き試作PE管の水素透過性調査

(既に暖房温水管として欧州・日本で実績のある酸素バリア樹脂多層管の構成を参考に、JIS-PE管の内層にバリア層を導入したバリア層付きPE管を試作して調査)

- ・床暖房用で使用されている汎用のEVOH(エチレン-ビニルアルコール共重合体)を中間に100μm導入することで、水素透過性はJIS-PE管の1/10～1/20のレベルとなり、さらにより高バリアのEVOHを導入することで、水素透過性は更に1桁低減された。
- ・本試作管の性能調査の結果、主要なJIS規格性能を保持していることを確認した。

＜参照＞

- 平成18年度水素供給システム安全性技術調査(樹脂系材料の仕様検討)／三井化学(株)
- 平成19年度水素供給システム安全性技術調査(樹脂系材料の仕様検討)／三井化学(株)

03: 継手・ガス栓・バルブ等

目的	都市ガス内管の埋設部には主にPE管が使用されるが、露出部では鋼管、鋳物継手、ステンレスフレキ管など様々な材料の組合せにより配管されており、これらの水素気密性について調査した。
評価項目	代表的な内管材料(継手、ガス栓、バルブなど)および内管接合部について、長時間使用を想定した耐久加速処理時および外力付加状態において適切な水素気密性が確保されること。
調査結果	<p>▶ 耐久加速処理時</p> <p>所定の圧力で水素を封入した後、継手に対しては耐久加速処理(約20年相当)、ガス栓等に対しては各々の検査規格に記載の開閉回数処理を行った後、48時間の圧力変化量および水素リーク検知器による確認を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全18ケースの内、殆どのケースでは圧力変化は確認されず、かつ水素リーク検知器による確認でも検知されず。 ・ 3ケースでは48時間で1kPaの圧力低下が見られたが、これは微小領域※の確認であり、かつ水素リーク検知器では検出されなかったことから、実運用レベルでは気密性があると考えられる。 ・ 1ケース(フレキ継手B仕様)では、リーク検知器で水素が確認されたが、これはガスケットを通過した水素が継手内部に滞留し易い構造となっており、時間の経過と共に継手内部の水素濃度が検知感度まで上昇したためと考えられるが、圧力変化量は他の継手と同等であり、実運用レベルでは気密性があると考えられる。 <p>※ ガス工作物技術基準の解釈例 第51条第2項第三号に記載の「気密試験方法」の参照により、今回試験方法との換算比較において、3桁程度小さいオーダーの微小領域。</p> <p>▶ 外力付加時</p> <p>適切支持固定された状態において内管材料に発生する最大応力を想定し、引張荷重付加および曲げ荷重状態などにおける水素気密性を調査した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 全23項目試験の内、19項目については、圧力変化およびリーク検知器のいずれにおいても検知されなかった。 ・ 他の項目の試験においては若干の圧力変化が検知されたが、この変化量は初期状態における変化量(初期試験実施時に測定)と同等であること等から、外力付加による影響ではないものと考えられる。 <p>➢ 適切な施工および支持固定が行われていれば、実使用を考慮した外力付加条件下では、十分な水素気密性を有していると確認される。</p>

【結論】

- ◆ 都市ガス用として使用されているバルブ・継手では、長期間使用時および外力付加状態においても実運用レベルでの水素気密性が確保されていることが確認できた。

■ 水素気密性試験(耐久加速処理時)の対象と結果

No	アイテム	呼び径	名称	材質	耐久加速処理条件	圧力値 [kPa(abs)]	確認結果
1	ねじ込み継手	20A	テーパネジ	シール材A		211	○
2	ねじ込み継手	20A	テーパネジ	シール材B		211	○
3	絶縁継手	20A	テーパネジ コーティング	エポキシ樹脂		212	○
4	RSユニオン	20A	ガスケット	NBR硬度70		212	○
5	PCメカニカル継手	25A	パッキン	NBR硬度70	大気雰囲気 90℃ × 1440時間 (20℃環境で約 20年に相当)	212	○
6	トランジション継手	25×20A	パッキン	NBR硬度70		210	○*1
7	鋼管ライザー管	30×25A	パッキン	フッ素ゴム		211	○
8	フレキ継手(A仕様)	20A	パッキン	NBR硬度50		212	○
9	フレキ継手(B仕様)	20A	ガスケット	ノンアシート		211	○*2
10	フレキ継手(C仕様)	20A	パッキン	NBR		212	○
11	鋼管フランジ(ガスケット)	50A	ガスケット	ノンアシート+ペースト		212	○
12	鋼管フランジ(絶縁スペーサー)	50A	Oリング	SBR+NR		212	○
13	メータガス栓(開栓状態)	25A	テーパ栓	グリース	開閉 2000回	124	○
14	メータガス栓(閉栓状態)	25A	テーパ栓	グリース		124	○
15	機器接続ガス栓(開栓状態)	20A	テーパ栓	グリース	開閉 6000回	124	○
16	機器接続ガス栓(閉栓状態)	20A	テーパ栓	グリース		124	○
17	PEボールバルブ(開栓状態)	50A	Oリング シートリング	NBR硬度70	開閉 100回	211	○*1
18	PEボールバルブ(閉栓状態)	50A	Oリング シートリング	NBR硬度70		211	○*1

*1: 微小圧力変化(48時間で1kPaの低下)が確認されたが、水素リーク検知器では検出されず。

*2: リーク検知器で水素が検出されたが、圧力変化は他と同レベル(微小圧力変化)。

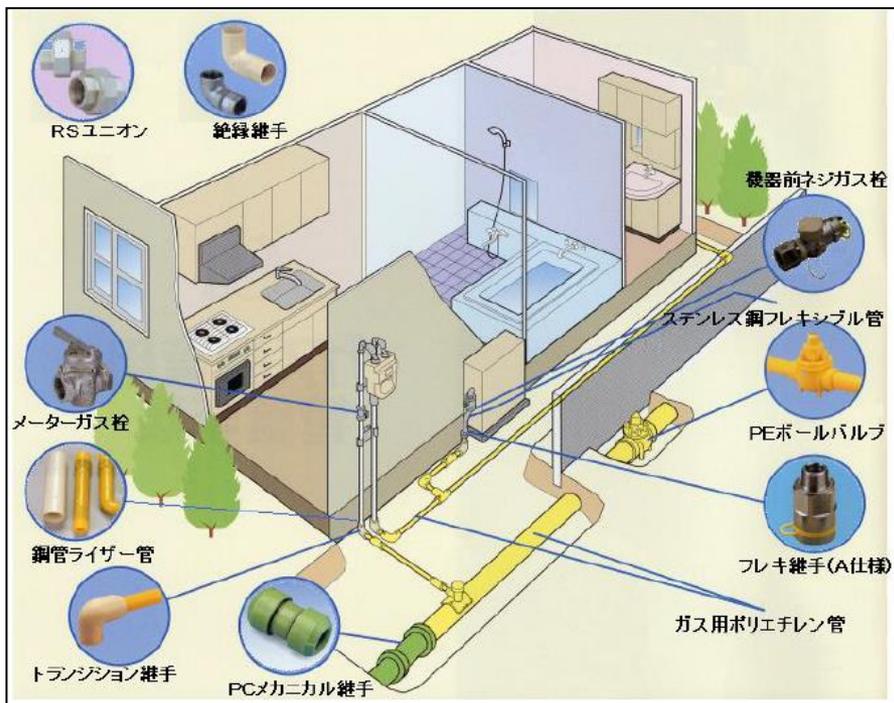
■ 水素気密性試験(外力付加状態)の対象と結果

アイテム	引張	曲げ	振動	衝撃
絶縁継手	○	○	—	—
RSユニオン	○	○	—	—
PCメカニカル継手	—	○	—	—
トランジッション継手	○*	—		
フレキ継手(A仕様)	○	—	○	○
フレキ継手(B仕様)	○	—	○	○
鋼管フランジ(ガスケット)	○	○	—	—
鋼管フランジ(絶縁スペーサ)	○	○	—	—
メータガス栓(開栓状態)	—	○	—	—
メータガス栓(閉栓状態)	—	○	—	—
機器接続ガス栓(開栓状態)	—	○	—	—
機器接続ガス栓(閉栓状態)	—	○	—	—
PEボールバルブ(開栓状態)	○*	○*	—	—
PEボールバルブ(閉栓状態)	—	○*	—	—
項目数	8	11	2	2

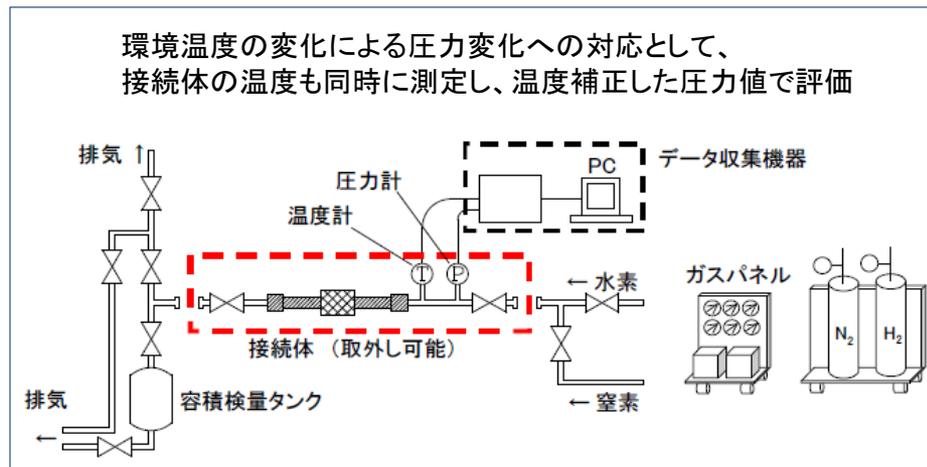
* : PE部の影響として、初期封入圧力 110kPaに対し、-1kPa/2dayの圧力変化が検知されたが、この変化量は初期状態における既試験結果と同じであり、外力付加による影響ではないものと考えられる。

また、この圧力変化量は(耐久加速処理時と同様に)微小領域を確認したものであり、かつ4項目のいずれも水素リーク検知器では検知できなかったことから、実運用レベルでは気密性があると判断される。

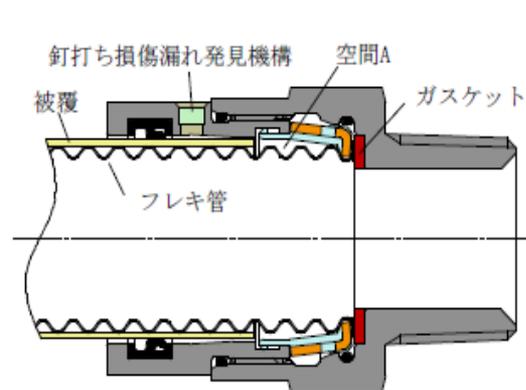
【設計】



＜都市ガス内管材料の配管例＞



＜水素気密性試験装置の模式図＞



ガスケットを透過した水素が継手内部の空間Aに滞留しやすい構造となっており、時間の経過とともに空間Aの水素濃度が上がる。滞留した水素は、釘打ち損傷漏れ発見機構の局所的な穴から外部に出るため、その穴の直近では水素濃度が水素リーク検知器の検出感度まで上昇していると考えられる

＜リーク検知器での水素検知ケース:フレキ継手(B仕様)の断面図＞

＜参照＞

- ▶平成18年度水素供給システム安全性技術調査(内管の仕様検討等)／日立金属(株)
- ▶平成19年度水素供給システム安全性技術調査(内管の仕様検討等)／日立金属(株)

03: 継手・ガス栓・バルブ等(長期性能)

目的	配管材料で使用されるシール部材について、長期水素暴露による影響を評価する適切な劣化評価手法を検討し、期待耐用寿命に相当する促進劣化処理を配管材料に施し、長期水素暴露による影響を評価する																
評価項目	<p>各シール部材について、使用用途と関連性の高い評価項目について各種劣化分析を行い、劣化パラメータを選定された劣化パラメータにおける劣化促進比を導出</p> <p>各シール部材が用いられている配管材料について、耐用寿命に相当する促進劣化処理を配管材料に施し、水素気密性を確認</p>																
調査結果	<p>➤ シリコン系シール材、NBR パッキンは、シール性との関係性が強いとされている永久ひずみを、グリースにおいては明瞭な変化が認められた見かけ粘度をそれぞれ劣化パラメータとして選定した。</p> <p>➤ 各シール材の活性化エネルギーと劣化促進比</p> <table border="1" data-bbox="311 751 1702 979"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>劣化パラメータ</th> <th>活性化エネルギー</th> <th>劣化促進比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NBRパッキン</td> <td>圧縮永久ひずみ</td> <td>88.3 kJ/mol (21.1 cal/mol)</td> <td>474倍 (20°C→80°C)</td> </tr> <tr> <td>シリコン系シール材</td> <td>引張永久ひずみ</td> <td>68.6 kJ/mol (16.4 cal/mol)</td> <td>427倍 (20°C→100°C)</td> </tr> <tr> <td>グリース</td> <td>粘度</td> <td>56.6 kJ/mol (13.5 cal/mol)</td> <td>146倍 (20°C→100°C)</td> </tr> </tbody> </table> <p>➤ 全ての配管材料において、水素ガスのリークは認められず、水素気密性を有していることを確認した</p>	材料	劣化パラメータ	活性化エネルギー	劣化促進比	NBRパッキン	圧縮永久ひずみ	88.3 kJ/mol (21.1 cal/mol)	474倍 (20°C→80°C)	シリコン系シール材	引張永久ひずみ	68.6 kJ/mol (16.4 cal/mol)	427倍 (20°C→100°C)	グリース	粘度	56.6 kJ/mol (13.5 cal/mol)	146倍 (20°C→100°C)
材料	劣化パラメータ	活性化エネルギー	劣化促進比														
NBRパッキン	圧縮永久ひずみ	88.3 kJ/mol (21.1 cal/mol)	474倍 (20°C→80°C)														
シリコン系シール材	引張永久ひずみ	68.6 kJ/mol (16.4 cal/mol)	427倍 (20°C→100°C)														
グリース	粘度	56.6 kJ/mol (13.5 cal/mol)	146倍 (20°C→100°C)														

【結論】

- ◆ 都市ガス用として使用されているバルブ・継手では、期待寿命相当の長期水素暴露においても実運用レベルでの水素気密性が確保されていることが確認できた。

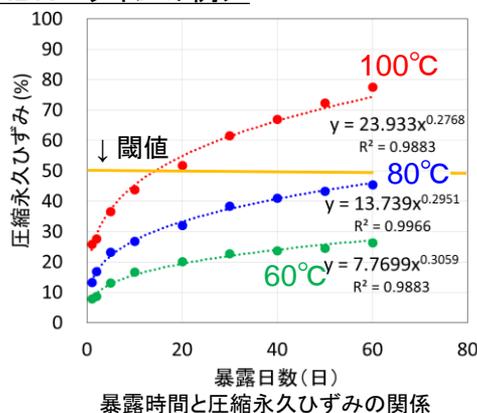
【設計】

対象部材	シール材	短期水素気密性※1	長期水素気密性※1 (30年相当)
フレキユニット	NBRパッキン	○	○
ねじ込み継手	シリコン系シール材	○	○
フレキ継手	NBRパッキン	○	○
鋼管用サドル	NBRパッキン	○	○
メーターユニオン	NBRパッキン	○	○(10年想定)
ボールバルブ	PTFE	○	○
緊急遮断バルブ(ボールバルブ型)	PTFE	○	○
緊急遮断バルブ(ハネ式)	NBRパッキン	△※2	△※2
検査口付ねじガス栓	NBRパッキン	○	○
ボールスライドジョイント	NBRパッキン	○	○
エキスパンション継手	NBRパッキン	○	○
検圧プラグ	NBRパッキン	○	○

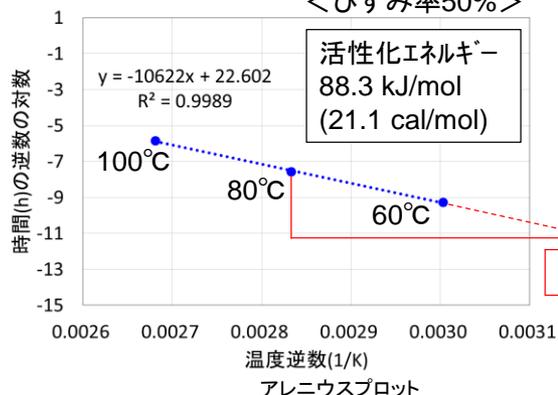
※1
耐用圧力の1.1倍の圧力の水素ガスを封入し、24時間における圧力降下を測定(○:圧力降下なし)

※2
圧力低下はないものの、水素気密性試験後の配管材料を水素リークディテクターで確認したところ、保護キャップ内で最大20 ppmの水素を検知した

<NBRパッキンの例>



<ひずみ率50%>



$$\text{促進比} = \frac{20^\circ\text{Cでひずみ50\%に達する時間}}{80^\circ\text{Cでひずみ50\%に達する時間}} = 474$$

80°C処理は、20°C処理の**474倍**の促進となる

<参照>

- 平成26年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(配管材料の水素適用性調査)／化学物質評価研究機構
- 平成27年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(配管材料の水素適用性調査)／化学物質評価研究機構

目的 内管材料にパッキン、リングやガスケットとして用いられる代表的シール用材料について、水素透過性(初期および経時劣化時)を評価した。

水素の初期透過量に対し、耐久加速処理(大気雰囲気中での熱処理)後の透過量が影響を受けないこと。

<調査対象としたシール用材料>

材料	厚さ
・NBR硬度50	1mm
・NBR硬度70	1mm, 1.5mm
・フッ素ゴム	1mm
・ノンアスシート®	1mm, 1.5mm

- NBRは、ブタジエンとアクリロニトリルの共重合体からなっており、その優れた耐油性から、工業用品のリングやオイルシールとして最も多く使用されているゴムの一つ。
- フッ素ゴムは、フッ化ビニリデン系のものが一般的であり、耐熱性・耐薬品性などが他のゴムと比較して非常に優れているもの。
- ノンアスシート®は、無機繊維とアラミド繊維に無機充填剤を加え、バインダーにゴムを配合したもので、主に配管のフランジ用ガスケットとして使用されるもの。

調査結果

> 初期水素透過係数

- ・文献値とほぼ同じオーダーであり、最も水素透過係数が小さいシール材料はフッ素ゴム。
- ・NBR50およびノンアスシート®では、[厚さ]が異なっても透過係数はほぼ同じ値。
- ・ノンアスシート®に限って、測定温度によらず水素透過係数がほぼ一定。これは他のゴム系材料と比較して、分子運動の温度依存性が小さいためと推察される。

> 経時劣化による水素透過係数の変化

- ・NBRでは初期状態に対し、耐久加速処理後の水素透過係数は僅かに小さくなっている。
- ・フッ素ゴムでは殆ど変化が見られない。
- ・ノンアスシート®では、大気中90℃×720時間の熱処理(20℃環境での約10年に相当)後に透過係数が3倍程度へ増加、1,440時間の熱処理(約20年に相当)では更なる係数増加は見られない。(この原因は明らかにできなかった)

【結論】

- ◆ 経時劣化(0.1MPa, 約10年及び約20年相当)後の水素透過性では、ノンアスシート®で透過係数が初期の約3倍となったが、他の材料では大きな影響は見られなかった。

■ 測定方法

試験片によって隔てられた一方(低圧側)を真空に保ち、他方(高圧側)に試験ガスを導入。試験片を通過して低圧側へ透過したガス量をガスクロマトグラフ法によって測定してガス透過度を算出する方法。

(JIS K 7126-1 準拠)

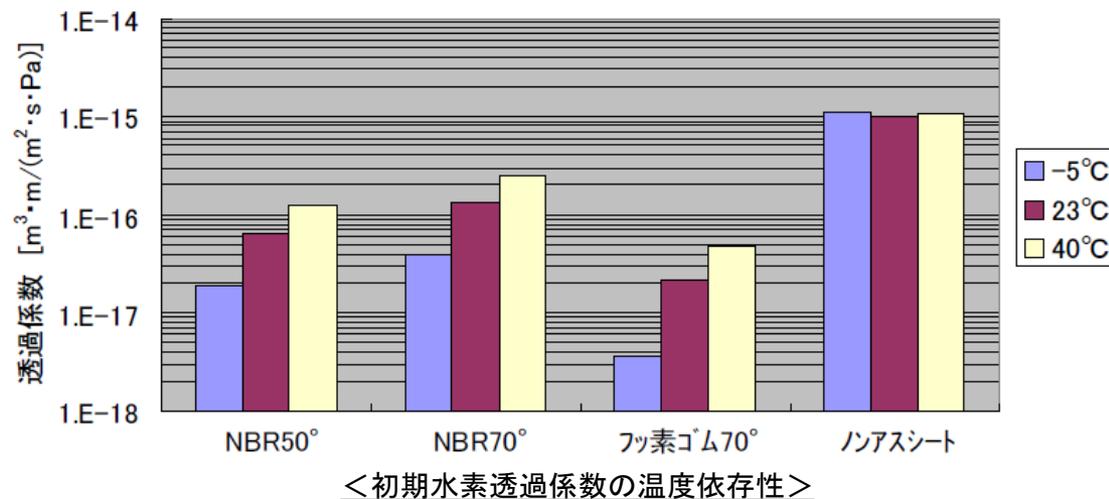
(1) 耐久加速処理(2ケース)

- ・大気中、90°C×720時間 の熱処理
⇒ 20°C環境での約10年経過に相当
- ・大気中、90°C×1,440時間 の熱処理
⇒ 20°C環境での約20年経過に相当

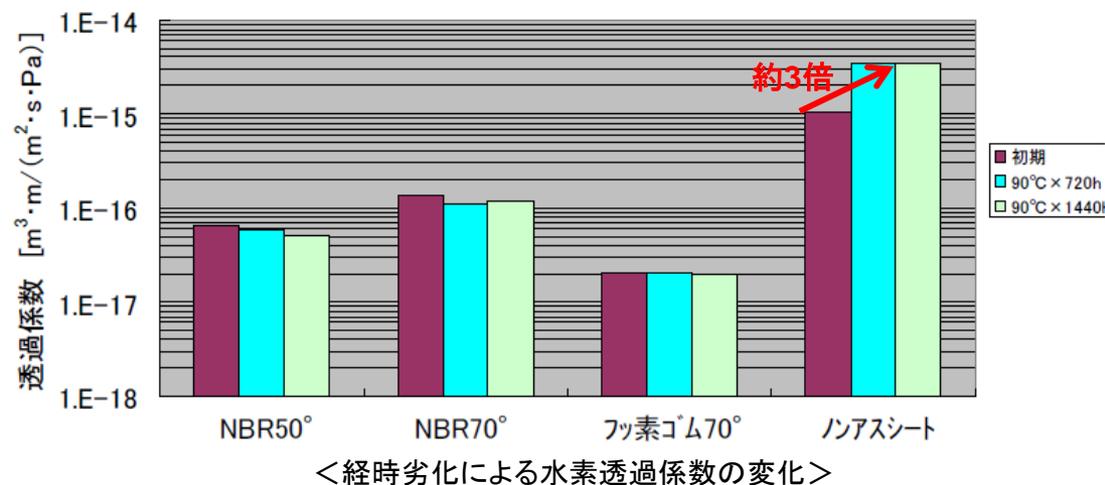
(2) 測定により得られた透過量と膜厚、透過面積などの条件から、透過係数を算出。

■ 測定結果

各温度におけるシール材(初期状態)の気体透過係数 H₂(乾燥状態) 1mmt



耐久加速処理後のシール材の気体透過係数 H₂(乾燥状態) 1mmt 23°C



<参照>

目的	中低圧都市ガス配管用金属材料のメカニカル接合部として一般的なフランジ接合を用い、水素環境下における気密性を調査した。
評価項目	水素ガス環境下で最高使用圧力の気密試験を行ったとき、漏えいがないことを確認 ・対象： 中低圧都市ガス配管用のメカニカル接合部として一般的なフランジ接合 ・試験条件： 0.99MPa、保持時間 2時間
調査結果	<p>➤ <u>試験体</u> メーカー推奨取り付け方法に基づいた組立を実施したフランジ構造（前面座EF、平面座RF）を供し、対象とするフランジ接合のガスケットも、一般的に適用されている次の2種を使用。</p> <ul style="list-style-type: none">・非金属平形ガスケット（ジョイントシート）・うず巻形ガスケット（外輪付きうず巻き方ガスケット） <p>➤ <u>試験方法</u> ・水素ガス検知器（検出感度1ppm）を使用し、これが作動しないことにより気密性を判定。 ・参考データとして、圧力測定器具により気密保持時間以上保持し、その始めと終わりの測定圧力差が測定器具の許容誤差内にあることを確認することによる判定も実施 ・ガス工作物技術基準・同解釈例の解説（2次改訂 H18.3）第51条 を参考とした。</p> <p>➤ <u>試験結果</u> 全4体（各1体）の試験体に対し、水素ガス検知器および圧力測定器具による水素漏えいは確認されなかった。</p>

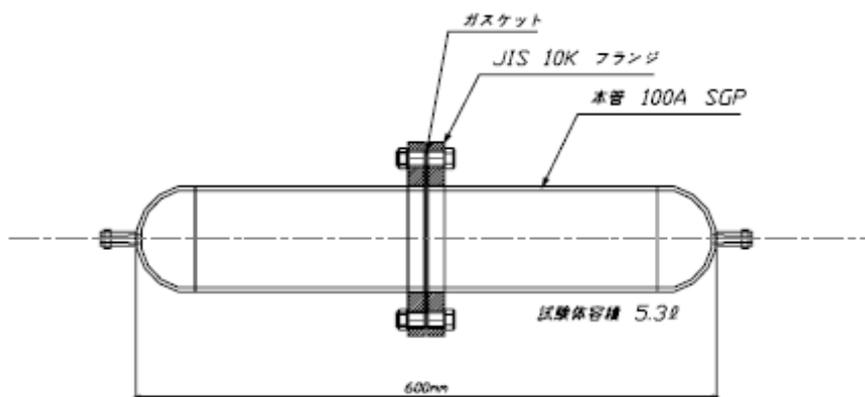
【結論】

- ◆ 都市ガス配管用として一般的なメカニカル接合（フランジ接合）部では、本試験条件下において、水素気密性を確保されていることが確認された。

【設計】

■ メカニカル接合部の水素気密性に関わる試験結果

試験体	ガスケット座の種類	ガスケット仕様		内容積 (l)	水素気密性の試験結果				
		名称	厚さ (mm)		ガス検知器	圧力測定器具			結果 (保証精度 0.0114MPa)
						ゲージ圧(MPa)		120分後圧力変化 (温度補正実施)	
						初期圧/温度 (MPa) (°C)			
1	全面座 (FF)	汎用NAジョイントシート TOMBO No.1995 (ニチアス株製)	1.5	5.3	検知不可	0.993/12.7	0.009	N.D	
2			3.0	5.3	検知不可	0.991/15.9	0.006	N.D	
3	平面座 (RF)	ガスケットペースト塗布 #9400 (ニチアス株製)	1.5	5.3	検知不可	0.996/17.9	0.008	N.D	
4		NAボルテックス®ガスケット TOMBO No.1834R-NA (ニチアス株製)	4.5	5.3	検知不可	0.991/14.4	0.006	N.D	



<試験体模式図>



<全面座(FF)>



<汎用NAジョイントシート>



<平面座(RF)>



<NAボルテックス®ガスケット>

<参照>

>平成18年度水素供給システム安全性技術調査(金属系材料接合等の仕様検討等)/新日鉄エンジニアリング(株)

目的	現在使用されている家庭用を主とするガスメータ、ガス流量計及び、現在開発中あるいは今後予測される水素ガスメータ候補等の仕様を調査することで、家庭用を主とする水素ガスメータとしての使用可能性(改造を含む)を調査した。
評価項目	家庭用水素ガスメータへの要求仕様 <ul style="list-style-type: none"> ・供給水素ガス: 燃料電池からの発生水素ガスで純度99.999%、水分なし。ただし供給時には混入の可能性あり。 ・圧力: 5~100kPa、温度: -5℃~40℃、その他、現行家庭用ガスメータに準じる。
調査結果	初期調査(文献および評価者経験による)に基づき 水素ガスメータ化の可能なガスメータ(5機種)、流量計(8機種)、新提案流量計(2機種)の計15機種を選択。 ここから再評価により7機種へ絞り込み、その結果に対し家庭用水素ガスメータとしての可能性の観点から評価した。

【結論】

◆ 家庭用水素ガスメータ化へ向けた可能性の結論

- ◆ 現状のまま改造なしで、家庭用水素ガスメータに転用できるガスメータは無い。
- ◆ 10kPa以内において膜式ガスメータは原理的には使用できる可能性があると考えられるが、耐久性の確認が必要。
- ◆ 超音波式ガスメータは、低圧水素ガスの計測が難しいが、H17~19年度の研究開発プロジェクト(九大、他)にて試作もなされている*ことから、水素ガスメータに使用できる可能性があるものと思われる。

(※ 文科省 H20年度科学技術振興調整費の評価結果[需要家用水素ガス計量システムの研究開発] より)

◆ 安全性の結論

- ◆ 水素防爆: 現在のマイコンガスメータは本質安全防爆構造を基本とした設計思想となっており、都市ガスが水素ガスに変わっても同様の考えで良いと思われる。そのために屋外設置の義務付けが必要。
- ◆ 耐水素脆性材料: 機能部品の強度の劣化や気密、性能への影響について今後調査研究が必要。
- ◆ 気密性: ガasket材、シール材の耐水素ガス、10年間に耐え得る耐久気密性の調査研究が必要。

【設計】

■ 絞り込まれた7機種的方式と評価結果

No.	分類		計量原理構造	主計測分類	水素化価格予測	法定精度予測	対水分	耐水素ガス	脈動流対策	可能性評価	可能性結論	評価判定理由・特徴、他	
1	ガスメータ	実測式	膜式 (家庭用)	体積	*L (注1)	A	△	○	○	○	有り	<ul style="list-style-type: none"> ・水素計測で使用実績 ・現状のガスメータの使用の可能性あり ・低開発費 	<ul style="list-style-type: none"> ・従来ガスメータ使用の可能性あり
2		推量式	フルイディック (流体振動式)	体積	L	A	△	○	○	○	小	<ul style="list-style-type: none"> ・家庭用ガスメータとして完成している ・MEMSセンサ使用でコスト低減が望める ・膜式について有力 	<ul style="list-style-type: none"> ・流体素子で計量、微小流量域はμフロ
3			超音波式	体積	L	B	△	○	△	△	*有り (注3)	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG家庭用としてほぼ完成 ・高圧水素ガス流量計が開発中 ・H17水素ガスメータ開発プロジェクト外発足 	<ul style="list-style-type: none"> ・全流域を超音波で計量
4			タービン式	体積	L	B	△	○	△	△	小	<ul style="list-style-type: none"> ・20年前に技術確立 ・小型低コスト 	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊な樹脂製タービンで計量、微小流量は切替えてノズルより噴射
5	流量計	渦式	カルマン渦	体積	L	B	△	○	必要	△	[*有り] (注4)	<ul style="list-style-type: none"> ・新規提案 ・μフロセンサ渦検出により体積計測 ⇒ 水分に強い 	<ul style="list-style-type: none"> ・大、中流量はカルマン渦、小流量はμフロ
6		熱式	フローセンサ	質量	L	A	▲ (注2)	○	必要	△	[*有り]	<ul style="list-style-type: none"> ・水素ガスが計測できる唯一の流量計 ・質量流量のため計量法改正が前提 	<ul style="list-style-type: none"> ・μフロセンサで全流域を計量 ・水分が誤差に繋がる
7	新提案	差圧式 & Mフロー式	新ピトー管	体積	L	A	○	○	必要	△	[*有り]	<ul style="list-style-type: none"> ・新開発ピトー管流量計 ・小流量域はμフロセンサ ・水分に強い 	<ul style="list-style-type: none"> ・大、中は差圧センサ、小流量域はμフロ ・オフィスに比べ更に水分に強い

→ A: 器差、精度等、現行計量法で定める合格範囲をクリア B: 改造でクリア
→ L: 現行膜式メータと比較して、同等(改良等により低減できる可能性あり)

注1: * 1(膜式)が製品単価、改造開発費、メンテナンス費を含めて最廉価。

注2: ▲は△より劣る。

注3: * は新規設計開発が必要、注4: [] はガスメータに比べレベルが低い。

<参照>

➤ 平成18年度水素供給システム安全性技術調査(内管の仕様検討等/日立金属(株)24

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水素に対する気密性を評価した。
評価項目	整圧器のダイヤフラムにおける水素の透過挙動、整圧器本体の気密性および制御性 ・制御性: 静特性および動特性 ・安全性: 本体およびダイヤフラムの気密性
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ <u>制御性</u>: 都市ガス用整圧器で水素2次圧力の制御性が確認され、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。 ➢ <u>水素透過性および気密性</u>: 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なかった。

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。
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。
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 <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・動的特性試験: 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 ・P1-P2特性試験: P1変化に対する制御性確認、最低動作圧

＜整圧器の調査項目＞

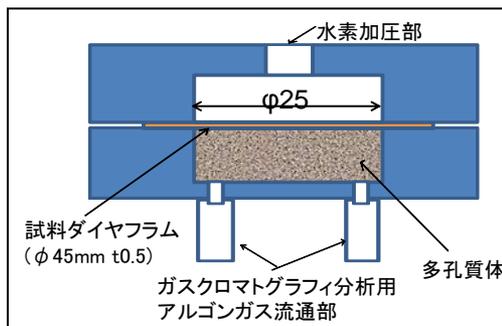
【結論】

- ◆ 都市ガス用整圧器による水素2次圧力の制御性が確認され、都市ガス用整圧器室と同様環境への設置が可能なレベルの水素気密性を保持していることが分かった。

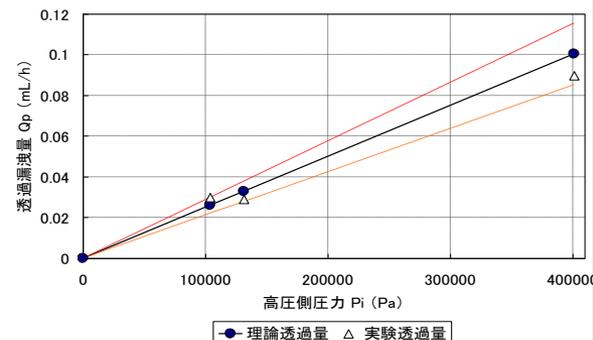
【設計】

■ ダイヤフラム水素透過性試験

理論透過計算式による透過量と実験結果では、ゴム材の不均一さによる僅かな誤差は見受けられたが、漏えい検知液でも検出不可な程度の微量な漏えいであった。



<透過試験用試料ホルダ>

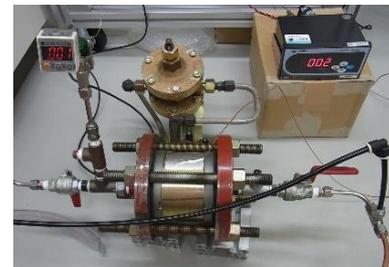


<透過量[理論値と実験値]の比較グラフ>

■ 整圧器本体気密性能試験

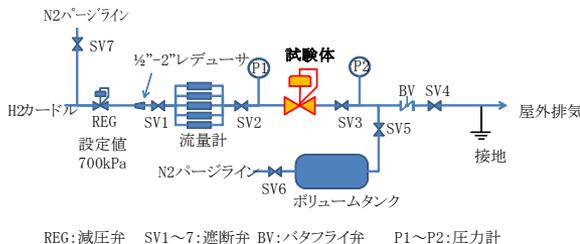
約20時間の整圧器本体気密性試験の結果、微量ではあるが圧力降下が確認された。しかし、透過試験結果からダイヤフラム膜面の水素透過量を算出すると、圧力降下分のほぼ全量がダイヤフラムからの透過量と推測され、整圧器本体の気密性には問題ないという結果が得られた。

この整圧器を、都市ガス用の整圧器室と同様環境に設置し、風速・換気回数等を想定した場合、整圧器室内の漏えい水素ガス濃度は $2.37 \times 10^{-4}\%$ と計算され、水素爆発下限濃度(4%)と比較しても十分に小さい値と判断される。



<パイロット式アンローディング型整圧器>
(300kPa)

■ 整圧器特性試験



<特性試験フロー>

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
直動	あり	あり	早い	なし	
パイロット	微小	微小	遅い	弱くあり	微小流量で弱いあおり有るも、流量増に伴って解消し制御可能
パイロット	微小	微小	遅い	弱くあり	
パイロット	(微小)	微小	遅い	強くあり	あおりで静特性は中止したが、動特性では安定制御であり、大流量制御は可能と推察

目的	水素ガスの万一の漏えいの際に臭気を確実に認知でき、安全性を確保できる付臭剤候補を明らかにした。
評価項目	<p>土中埋設の水素供給における付臭剤として具備すべき主な要件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人が検知できる独特の臭い(異臭)を有する、燃料電池への影響が無い無硫黄性、等 ・土壌透過性を有する(土中パイプライン供給時) <p>想定試験前提: 水素ガス漏えい微小漏れ(60L/H)、代表的埋設深さ(1.2m)、など</p>
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 国内外の事例調査より、有臭の既知合成化合物より無硫黄の候補物質を13種リストアップ ➢ 要素試験を通じた適性評価により4種へ絞り込み ➢ 実スケールでの土中水素漏えい検知評価試験(臭気倍率2000倍)の結果、付臭剤[シクロヘキセン]で良好な土壌透過性が示された。(臭気棒試験の結果、漏えい中心から2.5m離れた深さ50cm地点で臭気を認知)

都市ガス・LPG用付臭剤に求められる要件

- 人に対して安全
- ガス漏れをすぐに検知させる臭い
- 物理的・化学的に安定
- 安全に燃焼し、燃焼後は無臭・無毒
- 水に溶けない
- 嗅覚疲労をおこさない
- 土壌透過性が良い
- LPGボンベ中に濃縮されない
- 腐食性が無く金属やゴムに影響を与えない
- 添加量が少なくすみ、安価

燃料電池用水素付臭剤に求められる要件

<燃料電池システム>

- ・電極触媒を被毒しない
- ・電解質膜を劣化させない
- ・水素吸収合金の性能を低下させない

<付臭剤の物理的・化学的物性>

- ・高圧充填時に凝縮せずに適切な臭気強度を保てる蒸気圧を有する
- ・高圧充填時に水素化や分解等が起こらず化学的に安定
- ・充填容器材料を劣化させない
- ・漏えい時に水素に追従して拡散する

【結論】

- ◆ 「シクロヘキセン」が水素ガス用の低硫黄付臭剤候補として最有力であることが確認された。
(実スケール検知評価試験において 都市ガス漏えい検査と同等の方法で漏えい検知可能なことを確認)

【設計】

■ 付臭剤の候補物質(13種)と要素試験結果による適性評価

#	化合物名	臭気強度 (ppb)	曇点	蒸発残渣 (%)	浮遊物	水への溶解度 (%)	沸点 (°C)	土壌透過性	適性評価結果	備考
1	ジアセチル	◎ 0.267	△: 融点から室温まで観測されず	△ 2.36	◎ なし	△ 完全溶解	◎ 88	△	△: 低硫黄付臭剤候補として有力	JARI*における検討中の燃料電池自動車向け無硫黄付臭剤候補 ※(財)日本自動車研究所
2	エチルシュガーラクトン	0.020	—(室温で固体)	0.68	なし	136.1 (g/L)	103 0.5mmHg	—		
3	イソ酪酸エチル	8.01	観察されず	0.00	なし	0.20	110	—		
4	5-エチリデン-2-ノルボルネン	2.10	観察されず	4.16	なし	0.10	147	—		
5	アクリル酸メチル	○ 66.7	◎ 観察されず	○ 0.09	◎ なし	○ 17.0	◎ 80	○	○: 低硫黄付臭剤候補として有力	水素用無硫黄無窒素付臭剤
6	アクリル酸エチル	◎ 0.5	◎ 観察されず	○ 0.02	◎ なし	○ 15.0	◎ 99	○	○: 低硫黄付臭剤候補として有力	ドイツ都市ガス用無硫黄付臭剤の主成分
7	プロピオンアルデヒド	4.37	観察されず	7.86	なし	76.00	46	—		水素用無硫黄無窒素付臭剤の少量成分
8	アミルアセテート	21.86	融点から室温まで観察されず	0.93	なし	0.30	148	—		
9	サリチル酸メチル	7.08	融点から室温まで観測されず	0.57	なし	0.00	224	—		
10	アセトフェノン	15.49	—(融点19-20°C)	0.95	なし	4.7 (g/L)	202	—		
11	インデン	8.27	融点から室温まで観察されず	2.20	なし	0.00	182	—		ドイツ都市ガス用無硫黄付臭剤の成分
12	メチルエチルピラジン	2.20	観察されず	2.07	なし	完全溶解	169-171	—		
13	シクロヘキセン	○ 61.5	○: -5°C以下で僅かに濁り、-5°C以上では観察されず	◎ 0.00	◎ なし	◎ 0.10	◎ 83	◎	◎: 低硫黄付臭剤候補として最有力(実スケール検知評価試験で確認)	国内都市ガス用低硫黄付臭剤の主成分(無硫黄成分)

<参照> ▶ 平成18年度水素漏えい検知技術調査(地中内水素拡散試験)／JFEテクノロジー(株)
▶ 平成19年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等)／JFEテクノロジー(株)

目的	水素ガスの万一の漏えいを確実に検知し、安全性を確保できるかどうかを調査・検証した。
評価項目	実用水素センサとして具備すべき要件 ・水素検知性：検出感度(爆発下限界の1/4[1/4LEL]検知) ・水素選択性 ・可搬性
調査結果	<p>➤ 水素検知性： 実用化済み検知方式および新しい検知方式を対象とした国内外の情報収集調査により、半導体式、接触燃焼式、Pd/Ni式、電気化学式で検知可能であることを確認。 ただし、FID式(水素炎イオン化型検出器)は原理的に水素への適用不可。</p> <p>➤ 水素選択性： Pd/Ni式は原理的に水素選択性あり。</p> <p>➤ 可搬性： 代表的な可搬型センサ製品を対象に情報収集、ヒアリング調査を実施。</p> <p>➤ 代表的可搬型検知器(4種)を用いた実スケールの水素ガス土中漏えい検知試験の結果、漏えい開始数時間後 漏えい点直上部において検知可能であることを確認。</p>

【結論】

- ◆ 現行ガス事業で使用される可搬型検知器で水素検知は可能(FID式を除く)である。
- ◆ ただし、実用化済み検知器には水素選択性がないため、今後の技術進歩に期待。

■ 水素ガス検知方式の比較

検知方式		原理	特徴	検出範囲	応答時間	水素選択性	可搬型センサ事例
実用化済み方式	接触燃焼式	水素の触媒燃焼に伴う生成熱による素子の温度上昇を検出	定量性に優れる	1000ppm ~4%	5~10秒	なし	・新コスモス:XP-3160 ・理研計器:GP-88AS
	熱線型半導体式	SnO ₂ 等金属酸化物表面の酸素と水素反応による電気伝導度変化を検出	低濃度検知が可能	100ppm ~1%	~20秒	なし	—
	気体熱伝導式	水素混合に伴う気体熱伝導率の変化を検出	低感度だが水素選択性が比較的高い	1vol%~ 100vol%	5~10秒	なし	—
新しい方式	電気化学式	電解液中の2つの電極間に反応等が生じることで発生する異常電位を検出	応答性の速さ 水素選択性も可能	100ppm	数秒	なし (フィルター、触媒材料、電解液等の組合せで向上可能)	・MST(独):H2 SE 4% ・ドレーゲル(独): PackⅢ
	Pd/Ni触媒方式	水素ガスがPd, Niなどの金属に吸蔵されることによる電気抵抗変化を検出	応答性の速さ 水素選択性	15ppm~	数秒	あり	・H2Scan(米):HY-ALERTA MODEL 500
	FET型半導体式、熱電式、固体電解質式、等		研究段階	—	—	—	—

<参照>

- 平成18年度水素漏えい検知技術調査
- 平成19年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等)／JFEテクノリサーチ(株)

目的	水素導管で想定されている1MPa未満の中低圧導管を対象に、各種計測(圧力・流量等)に際して活用可能な圧力解析式を導出した。
評価項目	<ul style="list-style-type: none"> 汎用性: 中低圧の直管ならびに異形管など、水素導管網全体の圧力解析式として活用できること 簡略性: 解析式は現行の都市ガス指針式レベル同等に簡略利用できること
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 中低圧水素直管部に汎用する圧力解析式 実証確認(実際の水素ガスを使用した圧力損失測定)を通じた実測値と、導出した圧力解析式による理論値が一致することを確認した。 ▶ 異形管を対象とした圧力解析上の取扱い方法 一般の導管で古くから利用されてきた既往手法(直管相当長手法)が適用可能であることを導き出し、水素導管に特有する点などに留意した上で同様に活用できることを確認した。

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

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

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	[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	[-]

<圧力解析式>

H23: 低圧PE管を対象にした圧力解析式を導出。

(実際の水素ガスを使用した圧力損失測定を実施し、測定データを基に多数の既往圧力解析式の原形であるDarcy-Weisbachの式を原点にして測定条件に限定される暫定解析式を導出)

H24: 実証確認を通じてネットワークの中圧水素の直管部に汎用する圧力解析式を導出。

H25: ネットワーク全体の圧力解析手法整備を目的に、中圧直管部以外へ取り組む。

[条件]: 低圧水素直管部に汎用する圧力解析式を導出。(中圧水素直管部向け解析式を低圧にまで適用可能なことを証明)

[対象]: 異形管(ティ、エルボ等)を対象に、一般のパイプラインで以前より広く利用されてきた既往手法が適用できることを証明し、水素導管に特有する点などに留意した上で、そのままの活用を提言。

【結論】

- ◆ 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一つに定められることが確認できた。

【設計】

➤ 水素ネットワークにおける圧力解析式

(1) 圧縮性流体の圧力解析式：パイプラインの基本的な設備仕様の管径と延長に対して、始発点の圧力と流量が求められる。

$$P_1^2 - P_2^2 = K_p \frac{TL}{D^5} Q_0^2$$

Q_0 : 標準状態体積流量 [Nm³/h]
 P_1 : ライン入口圧力 [MPa]
 P_2 : ライン出口圧力 [MPa]
 T : 温度 [K]
 L : ライン長さ [m]
 D : 管内径 [m]
 K_p : 圧力損失係数 [-]

(2) 圧力損失係数 K_p の一般式は次式であり、流体の物性値と摩擦係数で示される。

$$K_p = 2.400 \times 10^{-16} f \frac{zG}{\tau^2}$$

f : Fanning の摩擦係数 [-]
 G : 空気に対する比重 [-]
 z : 圧縮係数 [-]
 z_0 : 標準状態における圧縮係数 [-]

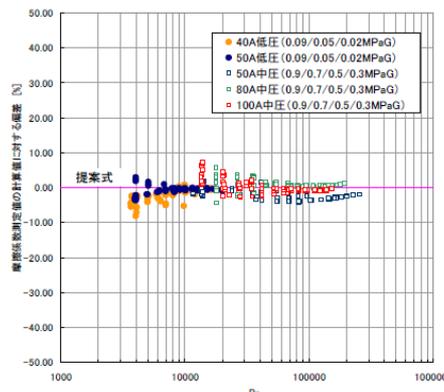
(3) 水素ネットワークにおける適用範囲として、摩擦係数 f をレイノルズ数を用いて表す次式として提案。

$$f = 0.231(\log Re)^{-2.43}$$

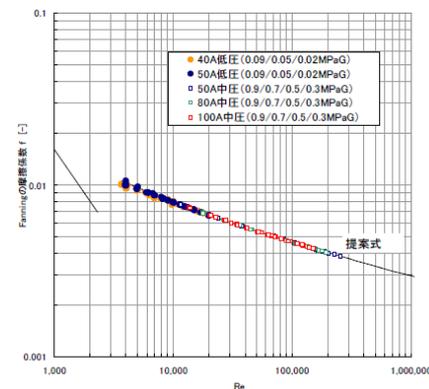
$$K_p = 3.87 \times 10^{-18} (\log Re)^{-2.43}$$

適用範囲 $0.1 \leq P < 1.0$ のとき $10^4 \leq Re \leq 10^5$
 $P < 0.1$ のとき $4,000 \leq Re \leq 15,000$
 Re : レイノルズ数 [-]
 f : Fanning の摩擦係数 [-]
 K_p : 圧力損失係数 [-]
 P : 運用圧力 [MPaG]

(4) 上記式に、低圧および中圧の試験結果を合せてプロットしたグラフを右図に示すが、摩擦係数の提案式は低圧から中圧まで一貫して試験結果と良好な一致を示す。



<摩擦係数測定値と提案式計算値の偏差>
(低圧、中圧全データ)>



<レイノルズ数と摩擦係数の関係>
(低圧、中圧全データ)>

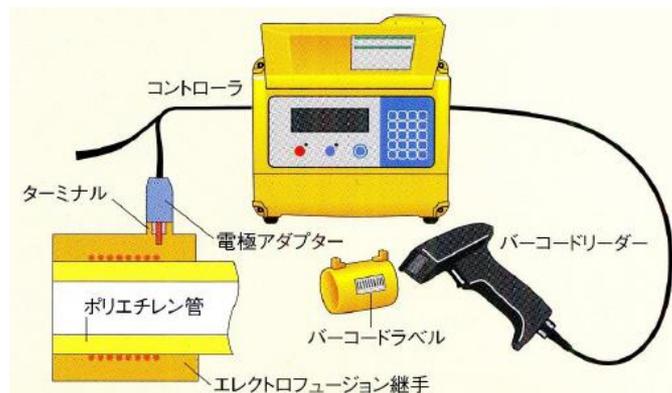
➤ 解析式では包含できない異形管部の圧力損失の取扱い

- 都市ガス導管における圧力解析同様、直管相当長手法(消防法)を活用し、管形状が変化している部分のみ(接合部の影響は直管に含む)を追加計上するという形で運用していく一般的な方法で対処できる。
- ただし、一般のパイプライン同様に全ての圧力損失の発生源を見込めない点を補う安全率が必要である事、さらに一般のパイプラインよりも圧力損失値を過剰に計上する事を認識した上で活用する必要がある。

<参照> ➤平成18年度水素供給システム安全性技術調査(金属系材料接合部等の仕様検討等)／新日鉄エンジニアリング(株)
 ➤平成23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)／三井化学産資(株)
 ➤平成24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)／JFEエンジニアリング(株)
 ➤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)／JFEエンジニアリング(株)

11:分岐工法

目的	都市ガスの通常工法である活管分岐工法について、その際の各部位が水素の着火エネルギーの小ささ故に火気設備と成り得るかどうかを調査し、都市ガス施工への使用時と同様の取扱いでの安全性を調査した。
評価項目	PE管融着作業時の継手およびEFコントローラが水素ガスの着火源となる可能性 <ul style="list-style-type: none"> ・PE管EF継手※で発生の可能性のある異常状況(電熱線短絡時の局部的加熱等)を想定した通電時の融着面温度 ・EFコントローラで発生の可能性のある異常温度状況を想定したコネクタ一部と内部部品の温度
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ➤ PE管EF継手施行異常時における温度 EF継手施工異常時の管内面最高温度は 197.5℃。(参考に測定した通電時のワイヤー最高温度は 453.8℃) ➤ EFコントローラにおける異常発生時の温度 <ul style="list-style-type: none"> ・コントローラ内部の最高温度は、想定異常状態において 115℃。 ・ターミナル部の最高温度は、接触不良状態の想定条件下で 246℃。



＜EF継手システム例＞

※ PE管EF継手(PE管エレクトロフュージョン継手):

継手の内面に電熱線を埋め込んだ継手で、主にガス低圧配管に使用されており、左図システム例のような構成となっている。

EF継手の接合は、継手の内面に埋め込んだ電熱線にEFコントローラより電流を供給することによる発熱で継手内面のポリエチレンを加熱溶融させ、パイプと一体構造とする融着接合方式である。

【結論】

- ◆ PE管の接合に際し、必要な工具(コントローラ等)の使用時でも、水素が着火すると想定される温度(一般的な値として500℃)に到達することは無く、施行時の安全性が確保できることを確認した。

【施工】

■ PE管EF継手に関する高温度想定調査・試験

想定状況	異常状態	測定内容
管の過剰変形による融着時の電熱線の短絡	電熱線短絡による局部加熱	<ul style="list-style-type: none"> 電熱線を部分的に接触させた継手を製作して測定 短絡による継手抵抗値の15%低下を想定した供給エネルギーを投入して測定
クランプ工具不良でのクランプ力不足による電熱線短絡		
2度融着、環境温度の誤認による通電時間増加	過剰融着による加熱	<ul style="list-style-type: none"> 同一継手で融着作業を2回行うことを想定し、標準通電時間の2倍の融着による温度測定

<想定異常状況>

測定部位	測定内容	最高温度 (n=3 実測最大値)		
		環境温度 -5℃	23℃	40℃
管内面	・電熱線短絡条件での局部加熱による温度上昇	—	130.6℃	—
	・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℃
電熱線	(参考) 継手の参考温度部位の融着時の温度確認	463.1℃	453.8℃	439.5℃

<管内面温度の測定結果>

■ EFコントローラに関する高温度想定調査・試験

測定部位	想定状況	異常状態	測定内容
EFコントローラ内部部品	経年劣化による接触不良	内部部品温度の加熱	a) 古品EFコントローラの温度上昇測定
	継手短絡による電流値変動	電流変動時の内部部品の加熱	b) 電熱線短絡による温度上昇の測定
	フィルター目詰まり	外気導入不可時の冷却不良による内部部品の加熱	c) フィルター閉塞状態での温度上昇の測定
ターミナル部	経年劣化による接触不良	ターミナル部の接触抵抗増による温度上昇	ターミナル勘合ゆるめでの温度測定
	EF継手とコントローラ勘合部のゆるみ		

<想定異常状況>

測定内容	通電条件	コントローラ製造年月	最高温度	
			コイル	抵抗
a) 経年劣化時	99分	11年2月	108.6	97.0
	99分	03年9月	114.8	105.9
b) 電熱線短絡	20分, 短絡想定電流変動	03年9月	71.4	88.7
c) フィルター閉塞状態	99分	11年2月	114.8	106
	99分	03年9月	114.8	105.9
a)+c)	20分×5回連続融着	03年9月	93.5	101.4

<EFコントローラ内部温度の測定結果>

<参照>

▶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)／日立金属(株)

12: 遮断工法

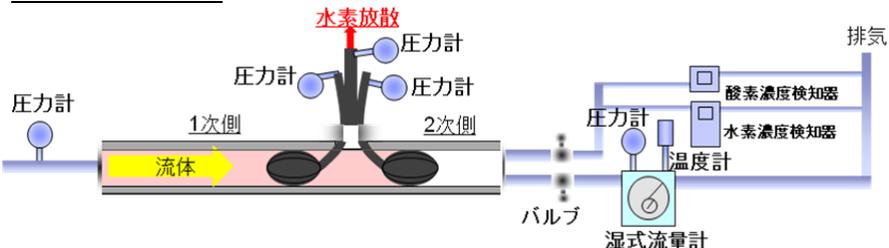
目的	現行の都市ガス分岐工法に用いられる工具を用い、鋼管、PE管にて実際に水素を使用した場合の遮断性能を調査した。																			
評価項目	選定した都市ガス用工具の仕様通りの使用のもとでの、 ・水素へ適用できる可能性 ・水素用として安全に適用できる条件																			
調査結果	<p>➤ <u>ガスバック遮断性能評価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用管種、工具等: 右表 ・通常使用状態(ガスバック2ヶ)での漏れ量の把握を行った結果、ガスバックの仕様圧力範囲内で検出限界以上の漏れは見られず、都市ガス用ガスバックの水素への適用が可能であることを確認。 <p>➤ <u>スクイズオフ遮断性能評価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用管種: PE管(100A) ・標準状態でのスクイズオフの漏れ量の把握を行った結果、通常ガス供給圧での漏れが見られたが、都市ガスの施行方法同様の対応(明らかな臭気が確認された場合には再度の遮断実施、など)により着火下限(4%)以下での運用は可能であることを確認。ただし、作業については自主基準を策定した上での運用が必要。 <p>➤ <u>ノーブローバイパス工具気密確認評価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・適用管種: 鋼管(50A) ・2種の工具について、シャッターを閉めた状態および開けた状態での気密確認を行った結果、検出限界以上の漏れは見られなかった。また、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を把握した。 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>適用管種</th> <th>バッグ種類</th> <th>適用可能範囲</th> <th>バック内規定圧力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">SGP管 (100A)</td> <td>パラソル型</td> <td>2.0kPa以下</td> <td>80kPa</td> </tr> <tr> <td>フラグロン</td> <td>5.0kPa以下</td> <td>100kPa</td> </tr> <tr> <td>TS型</td> <td>2.3kPa以下</td> <td>15kPa</td> </tr> <tr> <td>PE管 (100A)</td> <td>TS型</td> <td>2.3kPa以下</td> <td>15kPa</td> </tr> </tbody> </table>	適用管種	バッグ種類	適用可能範囲	バック内規定圧力	SGP管 (100A)	パラソル型	2.0kPa以下	80kPa	フラグロン	5.0kPa以下	100kPa	TS型	2.3kPa以下	15kPa	PE管 (100A)	TS型	2.3kPa以下	15kPa
適用管種	バッグ種類	適用可能範囲	バック内規定圧力																	
SGP管 (100A)	パラソル型	2.0kPa以下	80kPa																	
	フラグロン	5.0kPa以下	100kPa																	
	TS型	2.3kPa以下	15kPa																	
PE管 (100A)	TS型	2.3kPa以下	15kPa																	

【結論】

- ◆ 都市ガス用の遮断工具を、その仕様に基づく使用方法で、また通常の施工方法同様の対応を行うことで、水素へ適用可能な遮断性能を有することが確認できた。

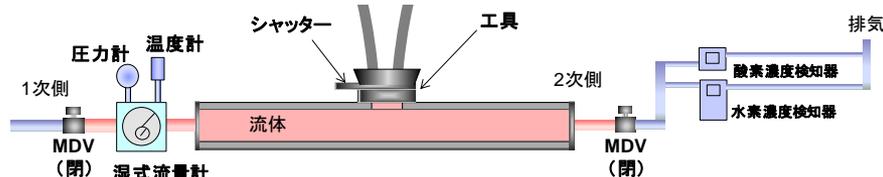
【施工】

■ ガスバック



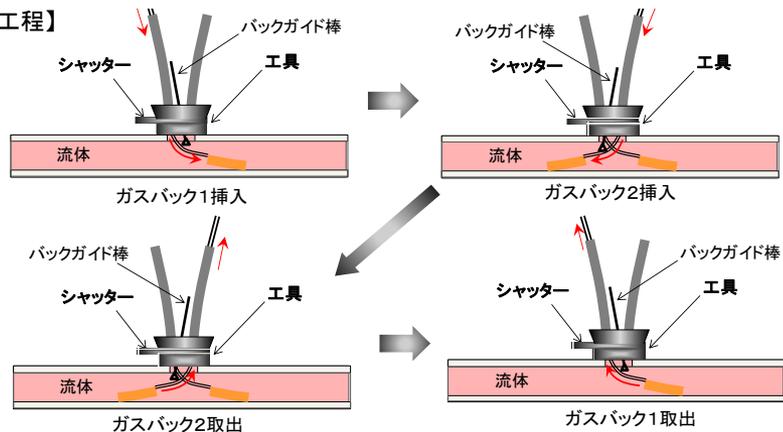
＜試験配管模式図(ガスバック2ヶの場合)＞

■ ノーブローバイパス工具



測定模式図

【作業工程】

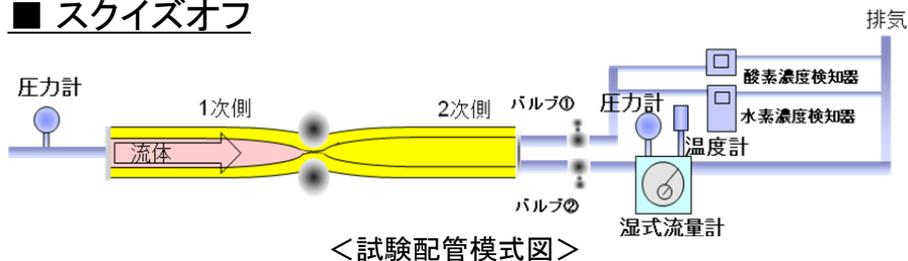


＜作業工程イメージ図＞

＜参照＞

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)／日立金属(株) 36

■ スクイズオフ



＜試験配管模式図＞

通常的气体供給圧での通過が確認されたが、実際の施工時には自主基準として実施されている以下の対応を行うことで、着火可能性を抑制可能と判断される。(下表参照)

- (1) 明らかな臭気、ガス圧が確認された場合には、作業を継続せず再度の遮断を行い、通過量が少ないことを確認して作業。
- (2) 導管切断箇所に対し、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、接合面保護の観点より止水栓などで閉塞を行う。

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
通過量	大 (明らかに着火可能性がある量)	着火可能性あり ↓ 対応(1)	着火可能性なし	着火可能性なし
	中 (一般的な着火量4%)	着火可能性あり ↓ 対応(2)	着火可能性あり 着火可能性なし	着火可能性なし
	小 (着火下限に満たない微量)	着火可能性なし	着火可能性なし	着火可能性なし

13: 穿孔作業

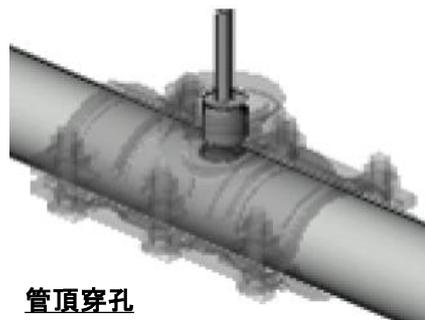
目的	導管工事で使用する工具が水素の着火エネルギーの小ささ故に火気設備と成り得るかどうかを調査し、都市ガス施工への使用時と同様の取扱いの下での安全性を調査した。
評価項目	<p>鋼管用活管分岐継手の穿孔時における以下の状況を明らかにする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋼管と穿孔用の摩擦による穿孔部管内面の温度上昇が水素着火温度(500℃)に達しないこと (現在、国内ガス用活管分岐継手の穿孔方式として使用されている「管頂穿孔」と「管側面穿孔」で確認) ・穿孔時における穿孔機内の水素ガス濃度が着火下限(4%)以下であること
調査結果	<p>➤ <u>穿孔管の内面温度測定</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・最も温度上昇が想定される施工条件を一般的な平板鋼板を用いた予備実験により導き出し、これを鋼管における測定へ適用し測定した結果、最高温度が最も高くなった時、管頂穿孔で 492.4℃、管側面穿孔で 419.7℃。 (管頂穿孔より管側面穿孔の方が最高温度は低い、これは穿孔刃の管との接触長さが短いためと推察) ・仕様外の異常な使用状態(グリス無しなど)を想定しても、水素着火温度には達していないことを確認したが、十分に安全とは言い切れない温度範囲であった。 <p>➤ <u>穿孔機内の水素ガス濃度測定</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・穿孔機を模擬して製作した容器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、容器内部における水素ガス濃度を非接触測定した。 ・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 4～10% 程度であったが、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された。

【結論】

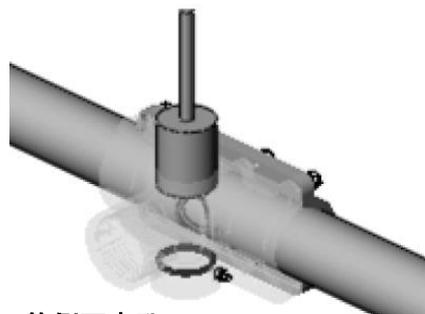
- ◆ 穿孔管の内面温度の上昇は、特定の条件を想定した範囲のものではあるが、水素が着火すると想定される温度を上回る結果は認められなかった。ただし、一般的な解釈を行う際には注意が必要。
- ◆ 穿孔管内の水素濃度は、都市ガス施工と同様に導管内を減圧することを想定すれば、水素の着火下限以下とすることが可能なことが確認された。

【施工】

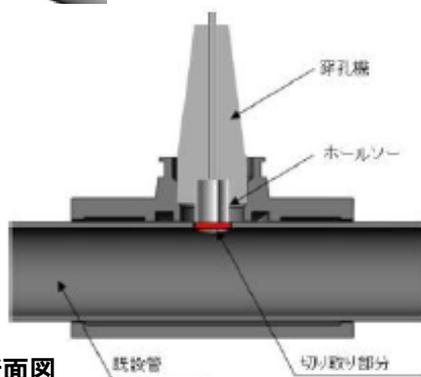
■ 穿孔方式の概念



管頂穿孔

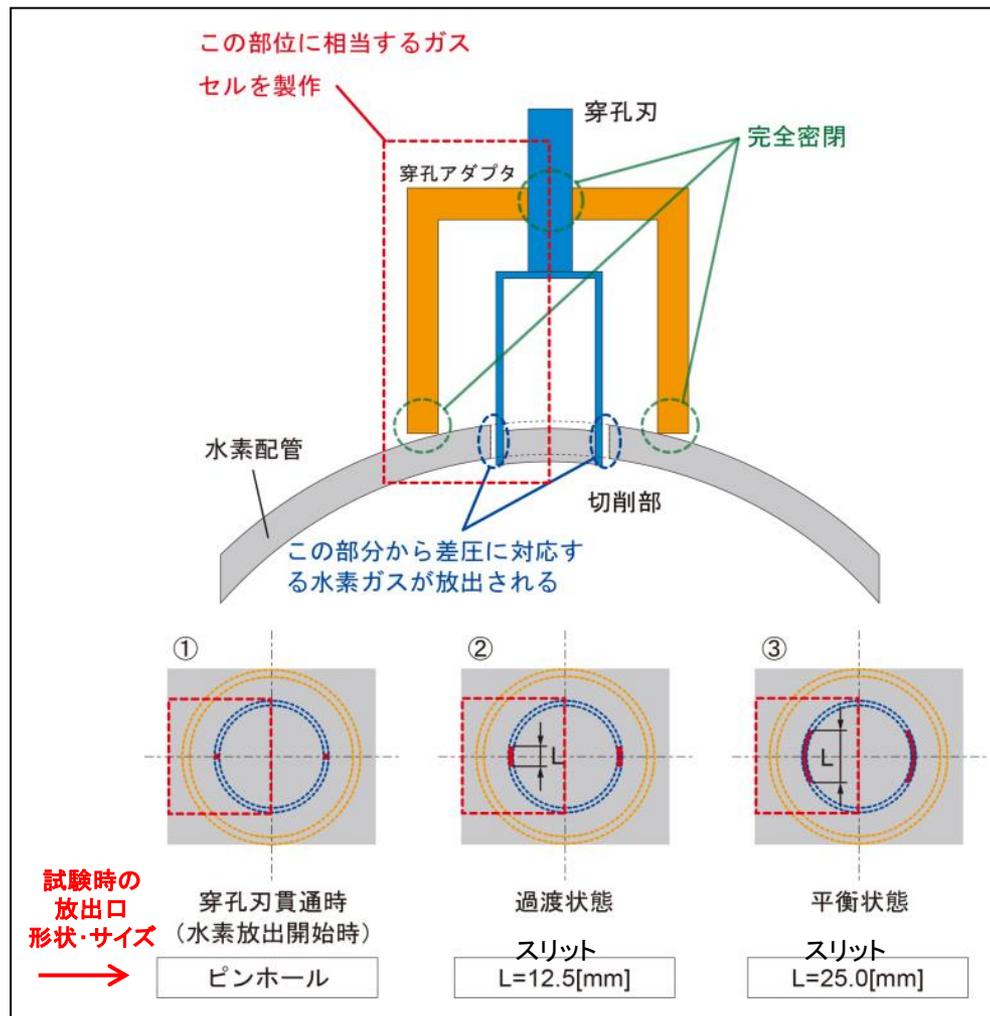


管側面穿孔



管頂穿孔時断面図

■ 穿孔機内の漏えいイメージ



＜穿孔過程のモデル図＞

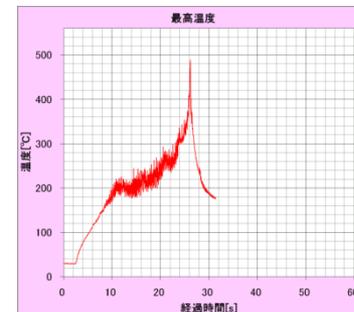
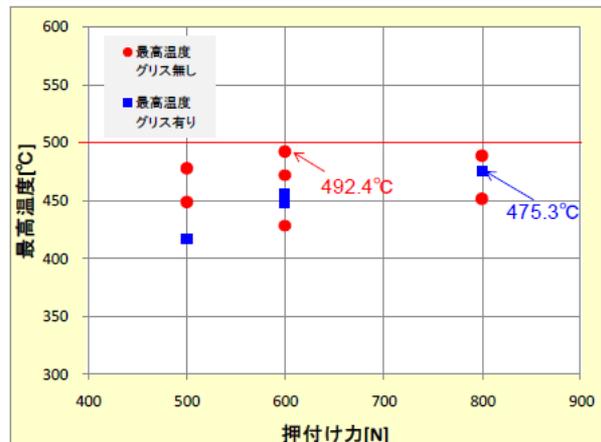
【施工】

■ 穿孔管の内面温度測定

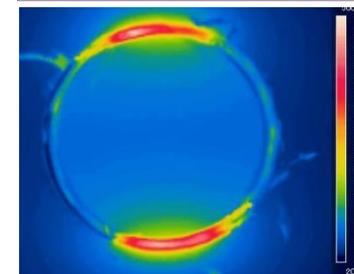
項目	測定条件
押し付ける力	管頂: 500N, 600N, 800N 管側面: 500N, 600N, 700N
グリスの有無	無し、有り
回転速度 (無負荷)	450rpm (最大)
穿孔刃の状態	新しい刃
穿孔径	管頂: 32A, 50A 管側面: 80A

<測定条件>

【管頂穿孔(50A・グリス無)の測定結果】

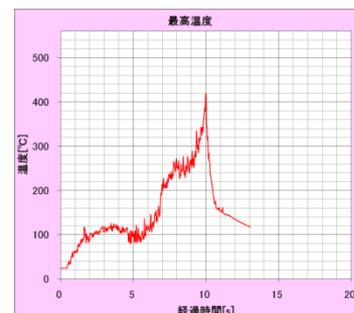
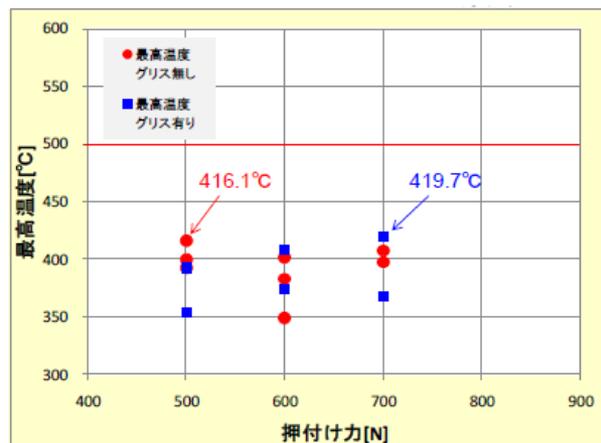


<最高温度の推移
(押し付け力 800N)>

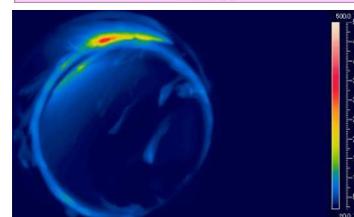


<最高温度時
(押し付け力
800N、26秒経過)
のサーモ映像>

【管側面穿孔(50A・グリス無)の測定結果】



<最高温度の推移
(押し付け力 700N)>



<最高温度時
(押し付け力
700N、10秒経過)
のサーモ映像>

【施工】

■ 穿孔機内の水素ガス濃度測定

鋼管種	32A分岐用	50A分岐用
穿孔機相当体積[cc] (穿孔機模擬容器寸法 W×D×H [mm])	97.5 (25×39×100)	250.5 (33×52×146)
穿孔機内初期圧 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 スリット: 0.6×12.5, 0.6×25.0	
放出圧力[kPa] (ゲージ圧)	10, 2.5 (導管内減圧の想定では1.0kPa)	

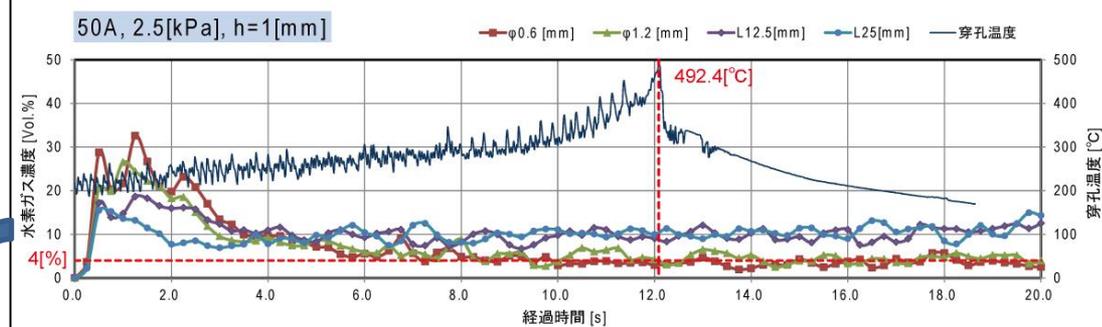
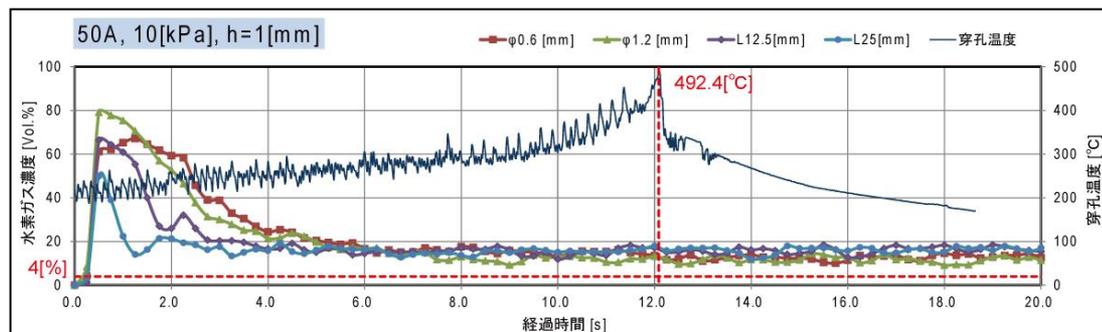
＜水素ガス放出条件＞

測定の結果、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。

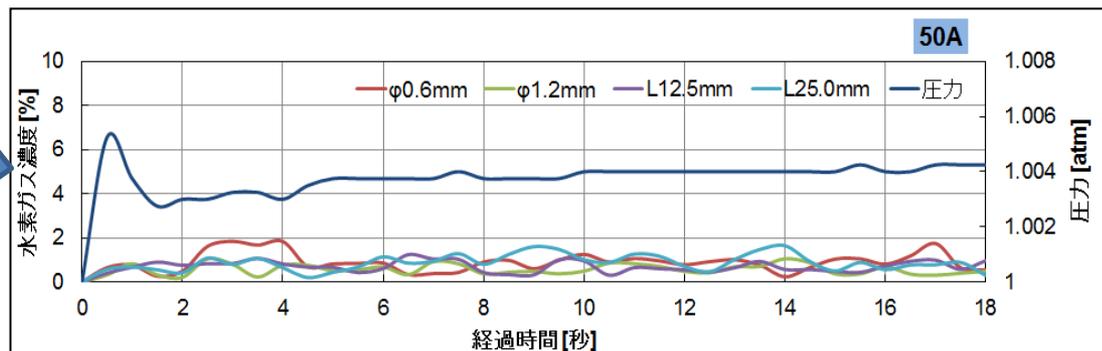
しかし、ガス事業者の実際の作業を想定した場合、特に中圧供給での穿孔では導管内を減圧する手法がとられている。そこで次に、導管内を減圧したことを想定し、放出圧力 1.0kPa での水素濃度測定を実施。

その結果、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(4%)以下になることが確認出来た。

減圧



＜水素ガス濃度（50A分岐用、放出口から高さ1mm、放出圧力10kPa(上)、2.5kPa(下)＞



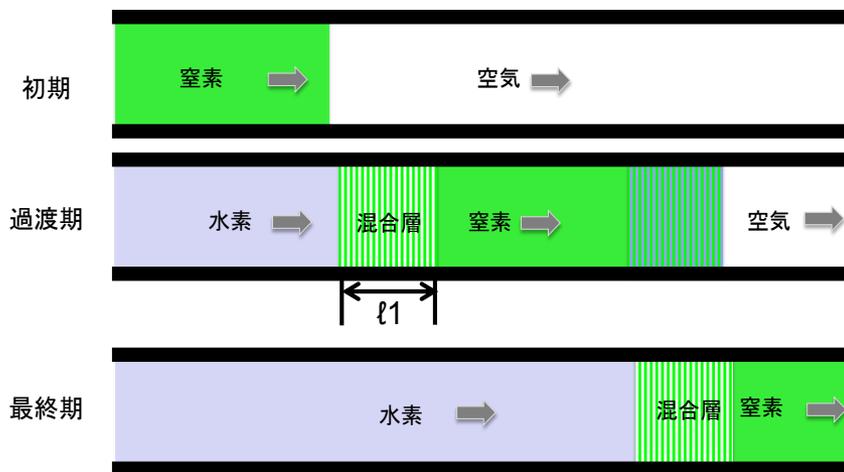
＜水素ガス濃度（50A分岐用、放出口からの高さ1mm、放出圧力1.0kPa）＞

＜参照＞

- 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)／日立金属(株)
- 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)／日立金属(株)

14: 置換作業(外管)

<p>目的</p>	<p>中低圧の水素導管を想定し、ガス開通時等に導管内のガスを置換(空気から水素へ)する際に、水素に先行して不活性ガス(窒素等)を導入する方法を念頭に置き、窒素と水素の挙動について調査した。 (都市ガスの場合、窒素や酸素の分子量・粘性・拡散速度は大きくは異なるが、窒素と水素の間には大きな隔たりがあり、置換作業における窒素と水素が接した界面では拡散混合や浮力の及ぼす影響が無視できなくなることが懸念されていた。)</p>
<p>評価項目</p>	<p>管内ガス置換作業時に水素と空気の混合気体が形成されない条件や法則性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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
<p>調査結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 新設導管への水素置換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)量の存在が確認された。 ➢ 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(下式)を導出・確認した。



■ 安全な置換のための最低窒素量 (これに加えて安全率を考慮必要)

・導管口径 50A以上の場合

$L \leq 20$	$20 < L \leq 80$
$l1 = (0.0227ReH_2 + 202) \cdot d$	$l1 = (0.0833ReH_2 + 328) \cdot d$

※水素のレイノルズ数: $ReH_2 \leq 2,000$ (窒素のRe数 $\leq 14,000$) の範囲に限る

L: 導管延長(全長)、

l1: 水素/窒素混合層(窒素が2%~98%)長さ

d: 導管口径、

・導管口径 25Aの場合

80m以下の導管延長であれば導管全てを窒素で置換できるだけの量を供給するのが妥当

【結論】

- ◆ 新設導管への水素置換作業時における、空気と水素の接触を抑止できる不活性ガス(窒素)量の存在が法則性として確認された。

【施工】

■ ガスの置換現象の考え方

- ・各気体の界面で一切の混合が生じなければ初期に導入した窒素層Vがその長さを保持したまま末端まで移動することになるが、現実には必ず気体分子の拡散に伴う混合が生じる。
- ・その結果、 l_1 および l_3 が気体の進行と共に増加し l_2 が減少する。
- ・「水素と空気が混合しない条件」を見出すことは、空気と l_3 が完全に排出された時点で管内の l_2 が残存している条件を見出すことに等しい。
- ・このため、 l_1 、 l_2 、 l_3 の挙動解析が求められる。

■ ガスの進行時挙動解析から導かれること

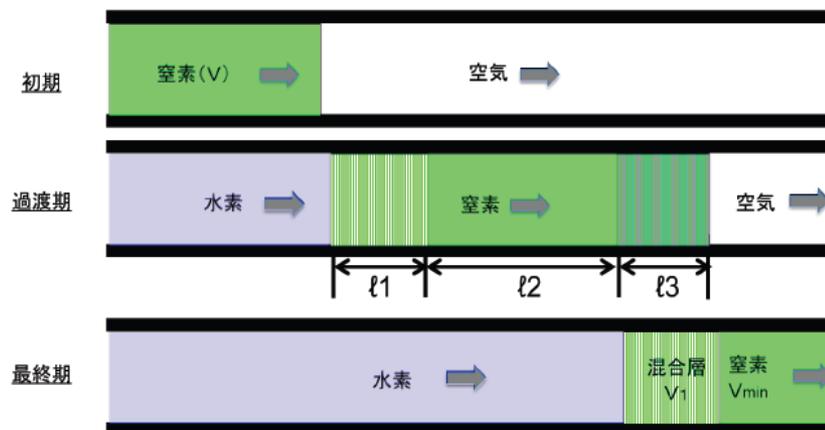
- ・導管内を進行する水素の流速には鉛直方向依存性がある。
 - 上部または中央の到達時間が短く、下部の到達時間が長い。
 - 導管口径が大きく流速が遅いほど、この傾向が顕著。
 - これは、水素と窒素の密度差に依る浮力の影響に由来。
- ・50A以上の口径の場合、鉛直方向の窒素に対する水素の拡散はほぼ距離に比例して生じており、また水素と窒素の界面に係る現象は水素に先行する窒素、並びに空気の状態にはほとんど影響を受けない。

■ 導管内の鉛直方向位置とレイノルズ数の関係

- ・等しい距離における導管内の上部、中央部、下部ごとの解析から、上部では水素レイノルズ数の増大に伴って l_1/d は減少するが、下部では逆に増加する傾向が導かれた。この l_1/d の減少は窒素に対する水素の拡散の抑制を意味し、逆に l_1/d の増加は水素の拡散の促進を意味する。
- ・一般にはレイノルズ数の増加に伴い気体の拡散は抑制を受けるとされるが、導管上部ではこれに従うものの、下部では管壁の摩擦を強く受けながら流れが進行していることで逆の現象を示していると考えられる。（気体の密度差に由来）

■ 安全な置換のための最低窒素量算定の考え方

- ・管延長方向の距離が長くなるほど l_1/d は増加し、本水素レイノルズ数の範囲内では気体進行に伴う拡散は避けることができない。
- ・安全対策の観点から l_1/d は、上部/中央/下部のうち最も大きな値を示すL(導管延長)の値を採用するのが妥当。



l_1 : 水素窒素混合層長さ (窒素が2%~98%)

l_2 : 窒素層混合層長さ (窒素が98%超)

l_3 : 窒素空気混合層長さ (窒素が98%~80%)

V: 導入した窒素の初期体積

V_{min}: l_3 まで導管から排出された時点の l_2 の占める体積

V₁: l_3 まで導管から排出された時点の l_1 の占める体積

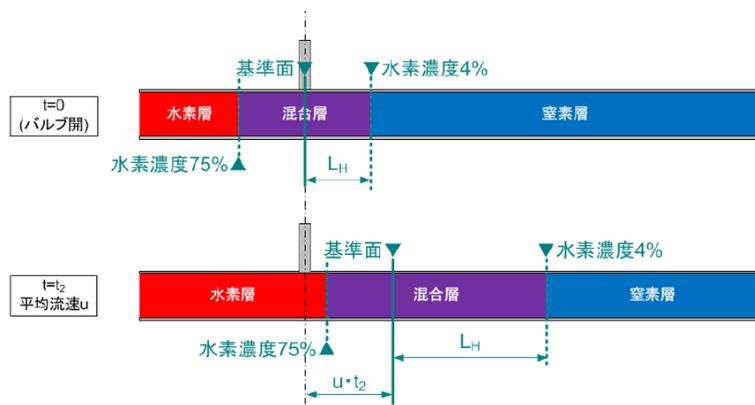
<参照>

➢平成24年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査)／産業技術総合研究所

➢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)／産業技術総合研究所 42

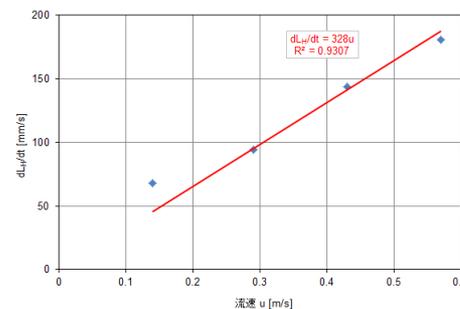
15: 置換作業(内管)

<p>目的</p>	<p>一般集合建物内へ水素 配管供給を想定した際のガス開通作業時において、配管内で水素と空気の混合をさせずに完全に置換作業を行える条件等の検証を行うため、不活性ガスを介して空気から水素へ置換する際の管内挙動について調査を実施。</p>
<p>評価項目</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 各配管要素で残留ガス等がなく、置換ガスで完全に置換されることを確認。 ➢ 試験で得られた濃度分布がシミュレーションにより再現可能かどうかについて評価。
<p>調査結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ いずれ要素形態についても、管内全域が置換ガスで満たされること確認した。 ➢ 本調査にて用いたシミュレーション手法により、各種要素配管内におけるガス置換挙動が再現され、いずれの条件も試験結果と極めて良好に一致することを確認した。 ➢ 水素混合層の発達挙動について、水平直管、鉛直直管、曲管のそれぞれについて解析し、混合層長の発達量を見積もる手法(流速に対する一次関数)が示された。



■ 水平直管内流れにおける混合層長の見積り

$$L_H = 328u \cdot t + 250 \quad [mm] \quad (t \geq 1.0)$$



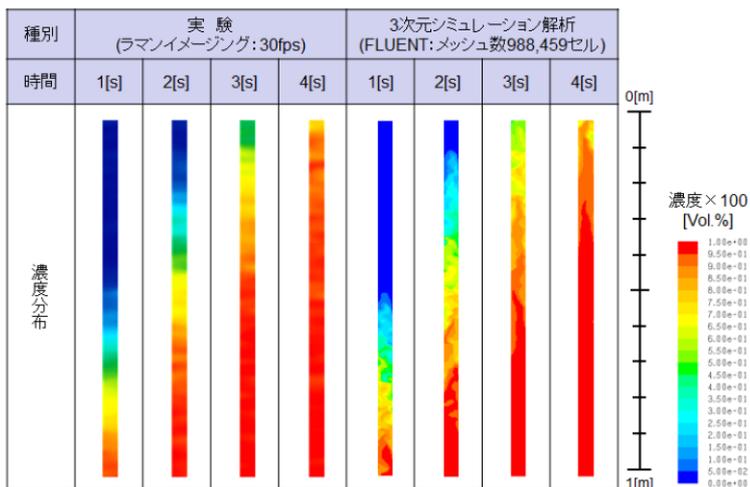
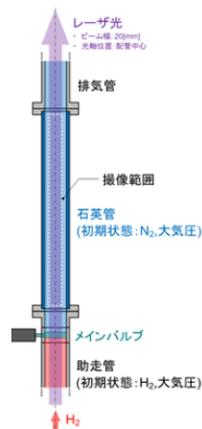
< 発達勾配の流速(Re数)依存性(水平直管) >

【結論】

- ◆ 新設配管への水素置換作業時における、空気と水素の接触を抑止できる不活性ガス(窒素)量の存在(混合層の発達状況)が法則性として確認された。

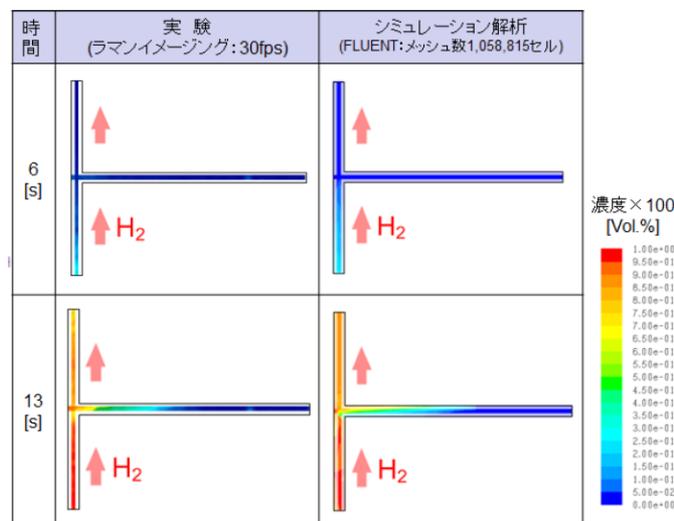
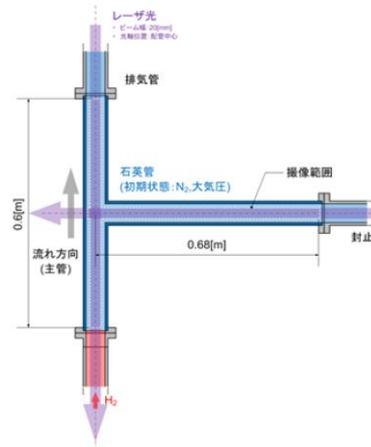
【施工】

■鉛直直管内流れ



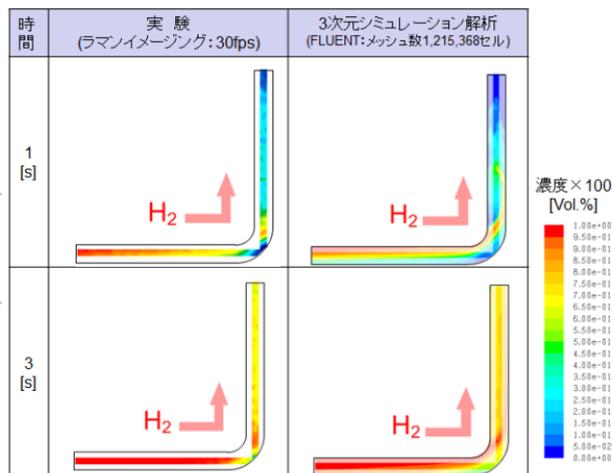
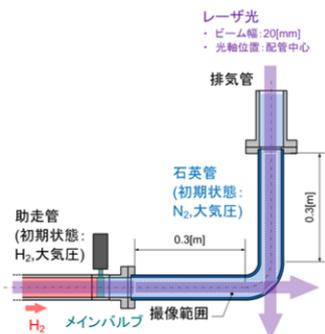
界面の形成に伴い、水素が窒素側へ浮上すると共に、水素側へ窒素が一定量降沈する。初期段階では水素と窒素の混合ガスとなっており、高濃度水素層の進行までに一定時間を要する

■分岐管内流れ



閉止方向に向けても徐々に水素が進行し、これに伴い、分岐部から排出される窒素ガスが主管の分岐部下流側の流れへ少しずつ混合する。

■曲管内流れ



屈曲部において水平間上方に先行していた水素層が、鉛直配管の外周側へ大きく回り込み剥離する挙動が確認される

< 参照 >

- 平成26年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(配管における水素置換挙動調査) / 株式会社四国総合研究所
- 平成27年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(配管における水素置換挙動調査) / 株式会社四国総合研究所

<p>目的</p>	<p>水素供給事業における安全性確保のため、地中の導管から水素が漏えいした場合の検知において十分有効な手段を調査した。</p>
<p>評価項目</p>	<p>実現場を模擬した実スケール試験(大規模試験、トレンチ試験)において、現行の都市ガス事業で規定される漏えい検査と同等の方法により、以下のような検知が可能であること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地表上でガス検知器により漏えい水素ガスが検知できること、または一定間隔(例えば5m)のボーリング(例えば深さ50cm)により水素ガスが検知器で検知できること。 ・水素ガスに付臭してある場合には拡散してくるガスの存在が臭気(ニオイ)により検知できること。
<p>調査結果</p>	<p>通常想定される漏えい形態や敷設条件(土被り、土質条件)を考慮した大規模試験およびトレンチ試験を実施。</p> <p>➤ <u>大規模試験</u></p> <p><水素></p> <ul style="list-style-type: none"> ・漏えい開始数時間後、漏えい点直上部において、水素検知器で検知可能 ・地上面から50cmの深さにおいて水平方向2.5m程度までの拡散を確認 <p><シクロヘキセン></p> <ul style="list-style-type: none"> ・臭気棒試験の結果、漏えい中心から2.5m離れた深さ50cm地点で臭気を確認 <p>➤ <u>トレンチ試験</u></p> <p><水素></p> <ul style="list-style-type: none"> ・漏えい開始数時間後、漏洩点直上部において、水素検知器で検知可能。 ・臭気棒試験の結果、地表面から50cmの深さにおいて、トレンチ軸方向に最大3.5m程度まで水素を検知 ・ガスクロデータより、軸と垂直方向に1m程度まで、検知器に検知可能なレベルで拡散を確認 <p><シクロヘキセン></p> <ul style="list-style-type: none"> ・臭気棒試験の結果、地表面から50cmの深さにおいて、トレンチ軸方向で最大3.5m程度まで臭気認知を確認 ・ガスクロデータより、軸と垂直方向は1m程度まで、検知可能なレベルで付臭剤の拡散を確認

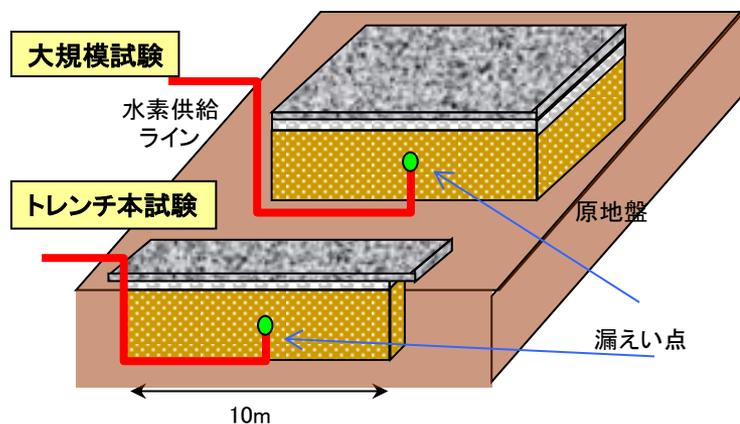
【結論】

◆ 現行の都市ガス事業と同等の方法(検知器、臭気)で水素の漏えい検知が可能であることが示された。

【維持管理】

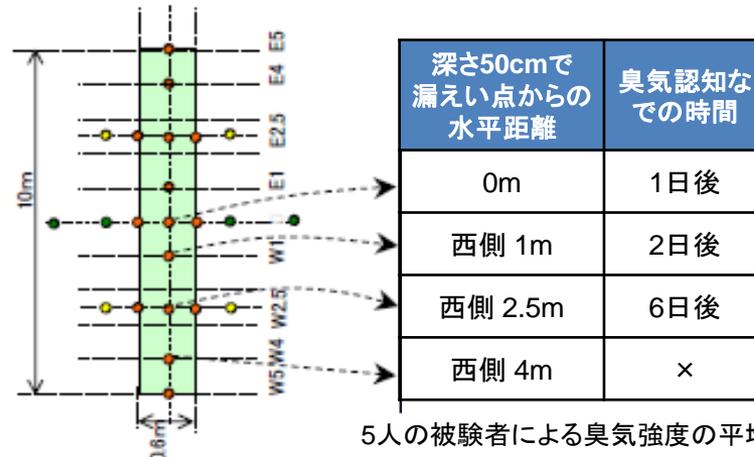
■ 実試験概要

	大規模試験	トレンチ予備試験、本試験
試験フィールド [※]	10×10×2m	0.6×10×1.5m
試験フィールド [※] 境界	地表面: As 側面: 原地盤 底面: 遮水シート	地表面: As 側面、底面: 原地盤
試験ガス	水素+シクロヘキセン(臭気強度2000倍程度)	
漏えい量	60リットル/hr	
漏えい位置	深さ1.2m	
実験時間	漏えい点から水平2.5m、深さ0.5mの水素が定常傾向となるまで	
サンプリング [※] 間隔	漏えい開始から3、6、9、12、27時間後、以降は24時間間隔	



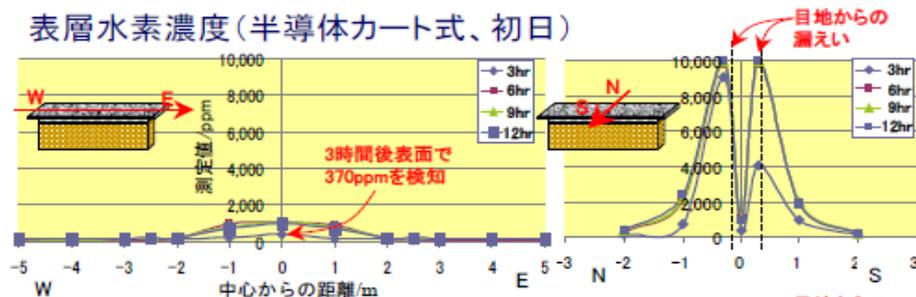
＜試験フィールド断面図＞

■ 臭気試験結果

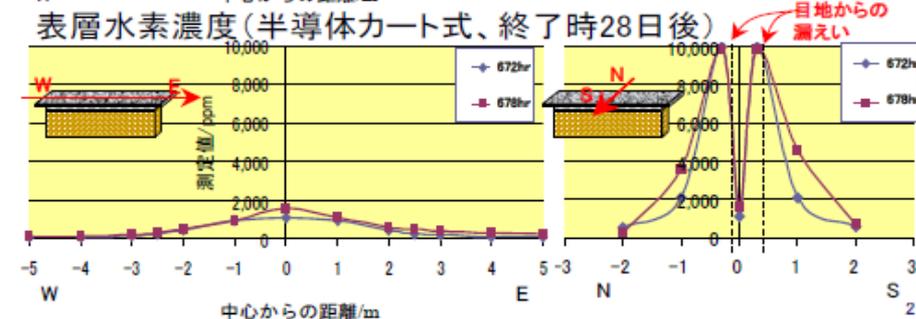


■ ガス検知器測定結果

表層水素濃度(半導体カート式、初日)



表層水素濃度(半導体カート式、終了時28日後)



＜参照＞

- 平成18年度水素漏えい検知技術調査
- 平成19年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等) / JFEテクノロジー(株)
- 平成20年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等) / JFEテクノロジー(株)

17: 拡散挙動(土中)

目的	水素ガスの万一の漏えいの際の土中における水素拡散の挙動について、実験およびシミュレーションにより解明した。
評価項目	一般市道レベルの道路性状を想定し、以下のような通常想定される漏えい形態や敷設条件(土被り、土質条件)を考慮。 ・水素ガス漏えい: 微少漏れを想定 60 リットル/時、代表的な埋設深さ 1.2m ・埋め戻し土壌・土質: 代表的な土の種類、代表的な土質 (基本的な条件(均一な山砂の上にアスファルトが施工されているケースなど)を実験で確認した上で、土質、地中構造物、地下水位など土中の拡散挙動に影響を及ぼすと想定される条件については、数値シミュレーション解析にて補完し確認)
調査結果	・実験により、土中での拡散状況および地表面での水素濃度状況が明らかにされた。 ・拡散挙動シミュレーションにより、最も厳しい敷設条件(土壌、土質)においても、土中漏えい時には道路表面上に検知可能な濃度の水素ガスが存在することが確認された。

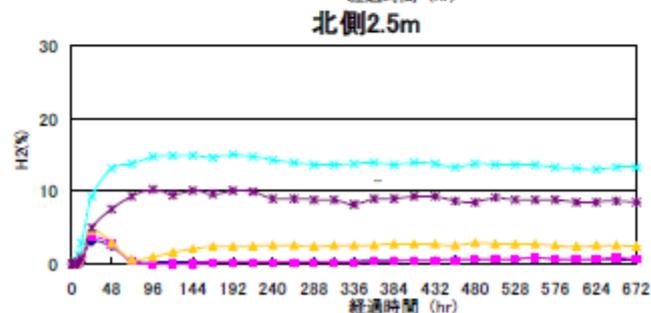
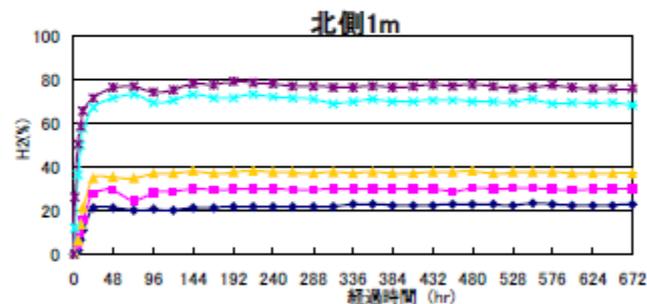
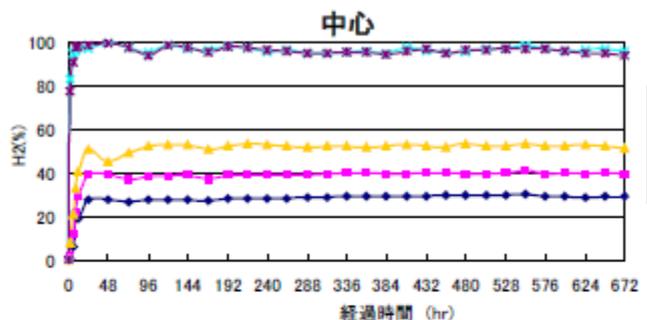
性能要件	評価項目	結果	
土中に漏えいした水素の検知に影響すると考えられる要件	拡散範囲	中心から、水平方向3m 程度まで検知可能レベルで拡散した。	
	拡散形状	大規模試験	水平方向の濃度分布は同心円状、等方的。 定常時においては、上方への拡散流により、上部にいくに従って濃度が低下する。
		トレンチ試験	トレンチ対して垂直方向については、埋め戻し土を超えて若干原地盤にも拡散があり、水平方向の濃度分布はトレンチ軸が長軸となる楕円状となる
	地表面水素濃度	漏えい試験開始数時間後には、漏洩点直上部において水素検知器で検知可能。	
実スケール試験以外に実施した実験および解析手法	小規模試験:「30cmφ垂直アクリルパイプ」による	土壌の性状の違いによる影響の大きさや、各種の付臭剤の土中内挙動を把握するために、小規模試験を考案し、本調査で課題となったいくつかの事象を検証した。	
	水素拡散シミュレーション:「3次元地中拡散プログラム」*による *東京ガス、大阪ガス、フランスガス公社による共同開発[1992年]	都市ガスの知見を参考に、種々の埋設状況についてケーススタディを実施し、その結果を用いて安全性確認に際して実用的な範囲で最も厳しい埋設条件(地表面にガスが浮上しにくい条件)によるシミュレーションを実施したところ、道路舗装の表層上にはガス検知器で十分検知できる濃度の水素ガスが存在することを解析により確認した。	

【結論】

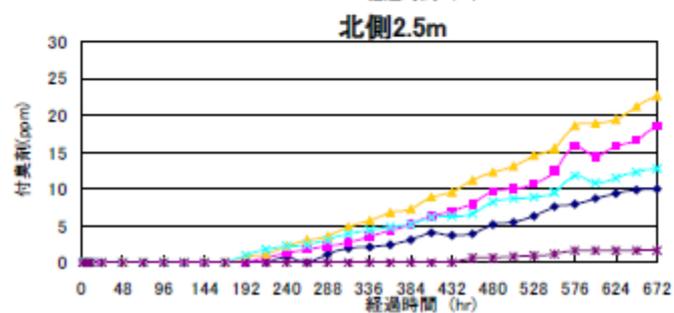
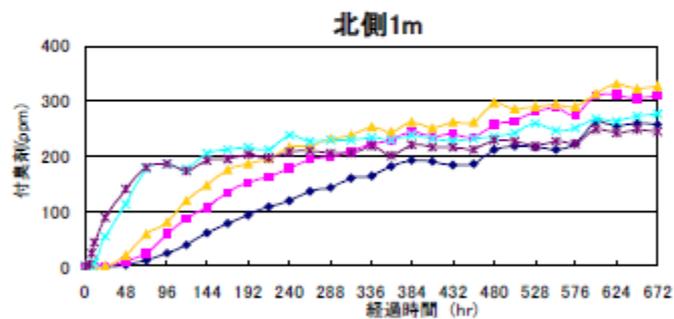
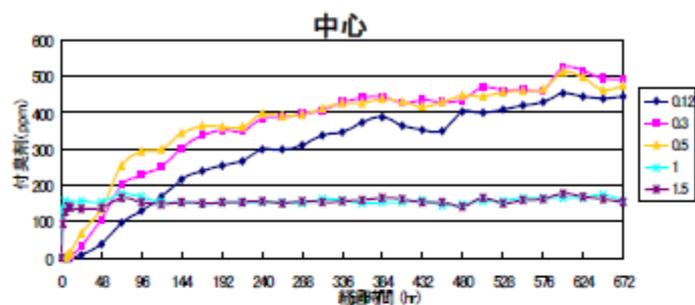
- ◆ 試験測定により、土中での水素拡散挙動について概ね明らかにすることができ、シミュレーションによる拡散挙動予測も有効な手段となることを確認できた。

■土中におけるガス拡散実験結果(大規模試験における経時変化)

水素濃度の経時変化



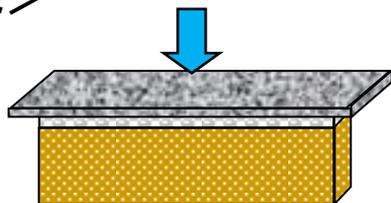
シロヘキセン濃度の経時変化



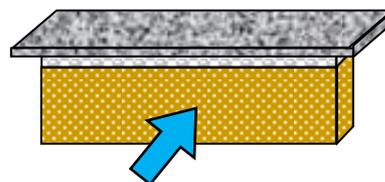
【維持管理】

■土中におけるガス拡散実験結果(大規模試験 672hr経過時点)

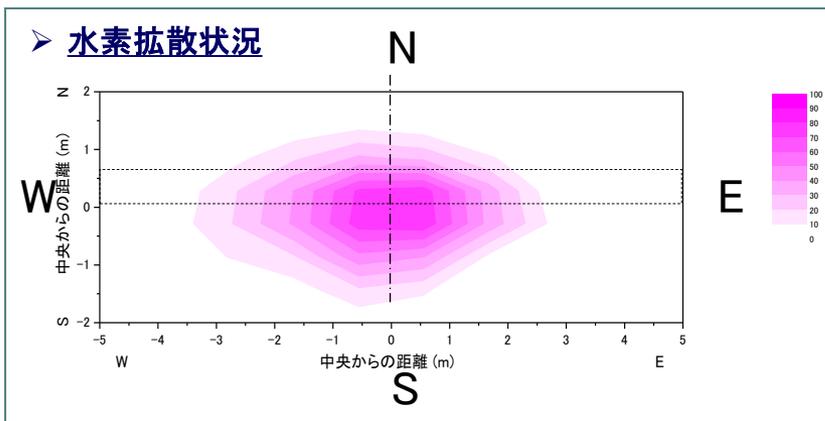
<平面状況>



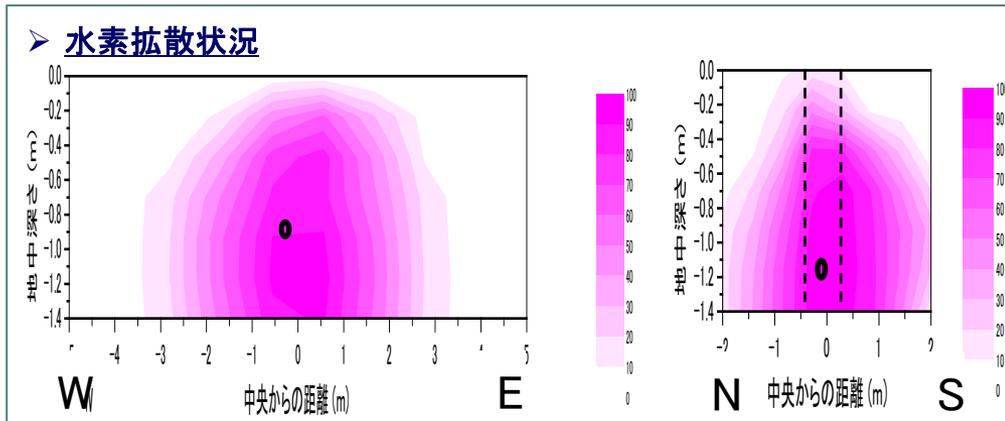
<断面状況>



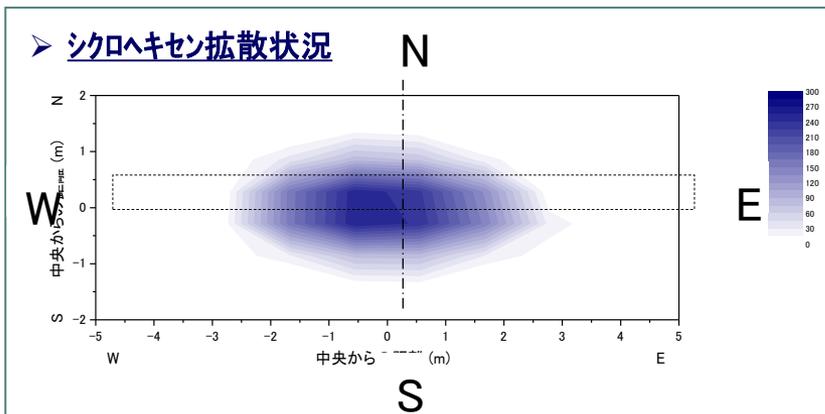
➤ 水素拡散状況



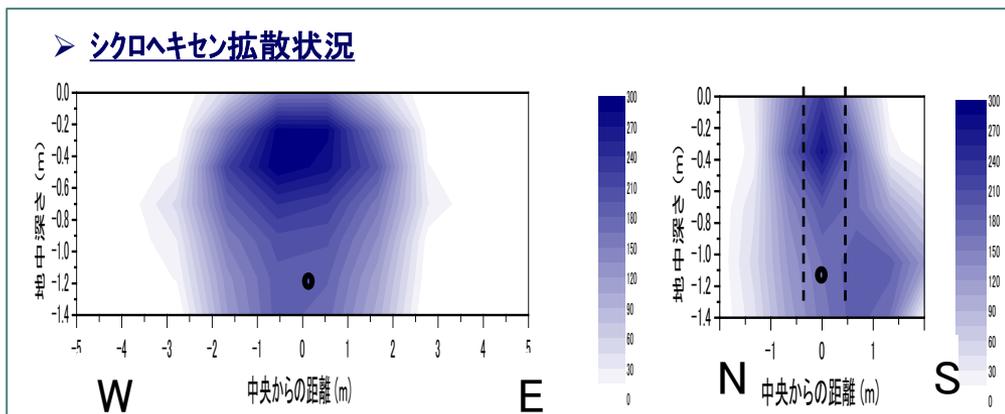
➤ 水素拡散状況



➤ シクロヘキセン拡散状況



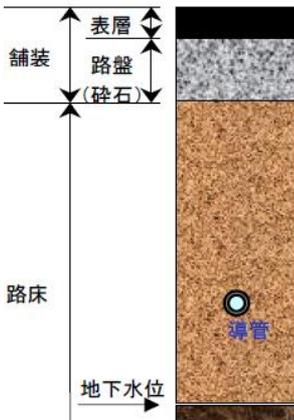
➤ シクロヘキセン拡散状況



【維持管理】

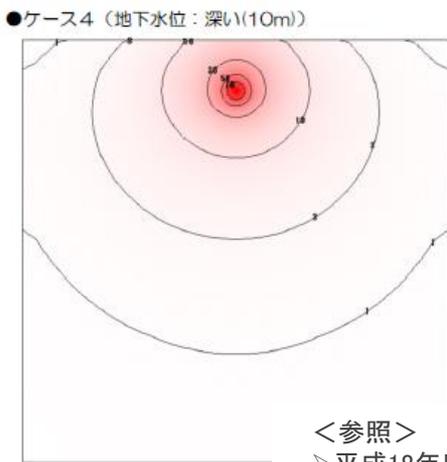
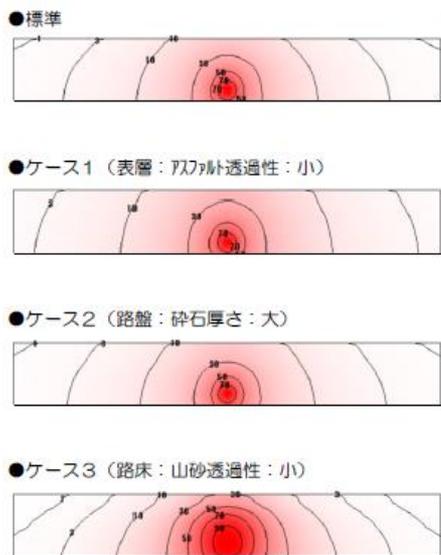
■ 水素拡散シミュレーションにおける様々な条件のケーススタディ

各種パラメータ	標準	ケーススタディ			
		①	②	③	④
表層	アスファルト透過性:標準	○		○	○
	アスファルト透過性:小*1		●		
路盤	砕石厚さ:標準 15cm	○	○		○
	砕石厚さ:大 40cm			●	
路床	山砂透過性:標準	○	○		○
	山砂透過性:小*2			●	
地下水位	標準 2m	○	○	○	
	深い 10m				●



*1: 空気間隙率 5.0%, *2: 空気間隙率 9.4%

濃度分布 (定常状態: 240h)



<参照>

- ▶平成18年度水素漏えい検知技術調査
- ▶平成19年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等)／JFEテクノロジー(株)
(水素拡散数値解析調査等)／みずほ情報総研(株)
- ▶平成20年度水素漏えい検知技術調査(水素漏えい検知評価試験等)／JFEテクノロジー(株)
(水素拡散数値解析調査等)／みずほ情報総研(株)

■ 最も厳しい埋設条件下における濃度分布予測

実用的な範囲で最も厳しい埋設条件ケース
[砕石厚さ:大、地下水位:深い]

漏えい点からの水平距離 (m)	地中水素濃度 [計算値] (VOL%)	地表水素濃度 [推測値] (ppm)	地表水素濃度 [推測値] (ppm)
0.0	16.5	1,138	939
1.0	10.1	696	498
2.0	4.0	276	77
2.5	2.8	193	0
3.0	1.8	124	0
4.0	1.0	69	0
5.0	0.5	34	0

(* 風などの外乱要因によるバラツキを考慮)



カート式濃度計により路線上を漏えい調査することで
検知可能であることが確認できた

18: 拡散挙動(開放)

目的	腐食や破損に起因する漏えい孔から、非着火状態として噴出する水素の大気中における拡散範囲を調査した。
評価項目	閉空間での漏えいを想定した場合、最大の被害程度を推定するには漏えい量が重要であるが、開放空間での漏えい事故における被害想定には、漏えい後の拡散による濃度分布がより重要であるため、実測およびシミュレーションにより、水素ガス漏えい拡散時の濃度分布を明らかにする。
調査結果	<p>➤ <u>屋外測定</u></p> <p>漏えい孔上3m×3m×3mの空間内に50個の水素濃度センサを設置した[やぐら]を用い、濃度変化状況を測定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・漏えい孔の鉛直線上では、孔に近いほど水素濃度は高く、離れるにしたがって濃度は減衰。ただし、漏えい孔径が小さくなるほどバラつきが顕著になる。 ・漏えい孔から上方への噴出による速度依存性が顕著で、噴出速度が大きいと多くが上方へ達し水平方向には検出されにくい。 ・ただし、噴出速度や噴出量が大きくとも上方には高水素濃度の領域が存在すること、および[やぐら]よりも上部では水平方向にも水素濃度の高い領域が広がると考えられるので注意が必要。 ・また、多くの時間は水素濃度が低くとも、突発的に高濃度の水素が接近することがあることにも十分留意すべき。 <p>➤ <u>水素濃度変化の再現シミュレーション</u></p> <p>流体解析ソフトを用い、ピンホールからの水素漏えいシミュレーションを実施。(拡散屋外実験とも確認)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管内圧力の増加による漏えい範囲の拡大よりも、漏えい孔径の増加による範囲拡大の方が顕著。

【結論】

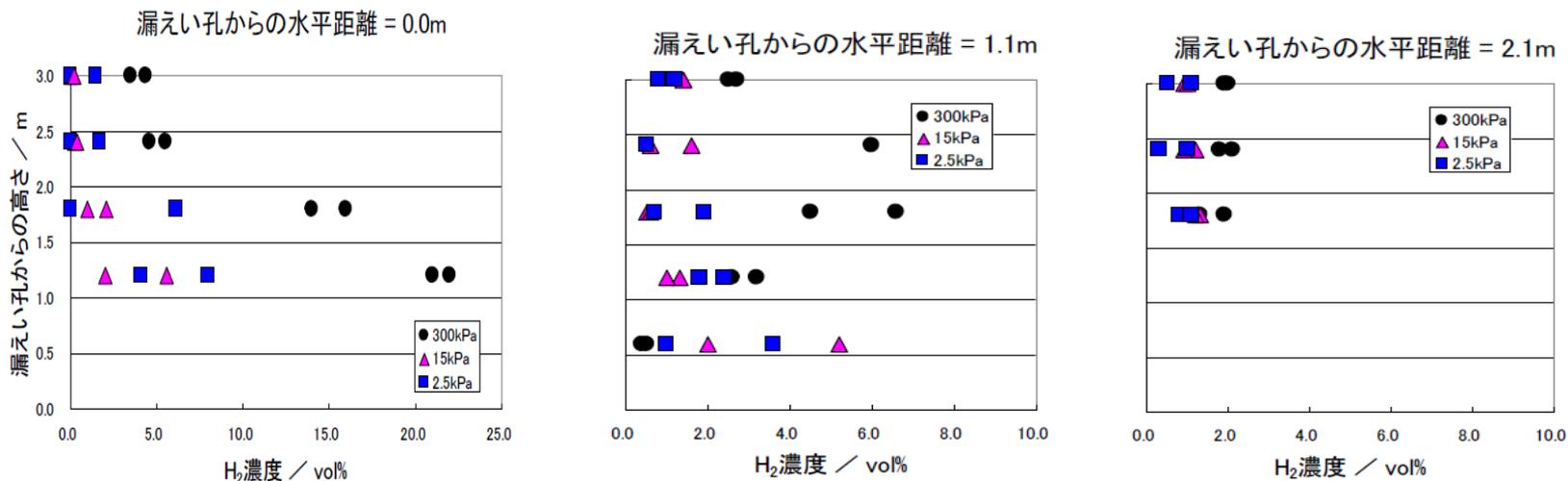
- ◆ 屋外測定により、着火の危険性を有する水素濃度範囲は、噴出速度が大きいほど、水平方向への拡がりよりも鉛直方向の拡がり大きいことが確認された。



＜計測やぐら＞

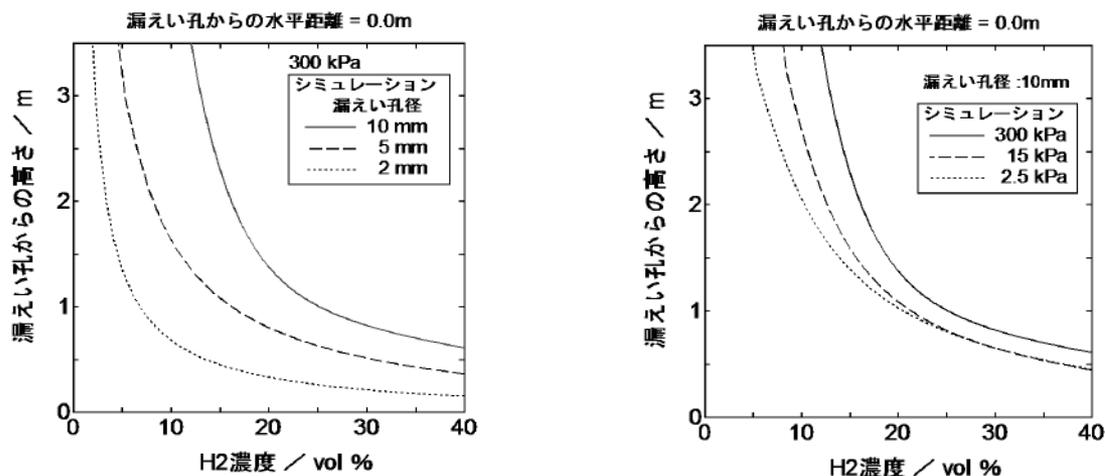
【維持管理】

■ 屋外測定結果



<漏えい孔上方向への水素濃度分布> (漏えい孔径=5mmの場合)

■ シミュレーション結果



<水素濃度分布に及ぼす漏えい孔径の影響>

<水素濃度分布に及ぼす圧力の影響>

<参照>

- ▶ 平成23年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素漏えい・拡散挙動調査) / 産業技術総合研究所
- ▶ 平成24年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査) / 産業技術総合研究所

19: 拡散挙動(密閉)

目的	一般集合建物内への水素配管供給を行った際の、パイプシャフト内における配管継手部からの水素漏えいを想定した水素の拡散挙動(濃度分布の経時変化)を調査する。
評価項目	パイプシャフト内における様々な条件が水素の拡散挙動に与える影響を調べるため、 ・漏えい量、 ・漏えい位置、 ・機器配置(内部機器の発熱)の有無、 ・日射等を想定した扉温度分布の有無、 ・換気口面積 を変えた実験およびシミュレーションを実施。
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 模擬空間に発熱体がある場合や扉面が加熱される(日射等により)場合には、空間内の水素濃度は明確に低くなった。 ➢ 模擬空間内で換気を阻害すると考えられる大きな構造体の存在や、換気口面積の制限は、拡散挙動に影響を与えるが、水素濃度の最大値に大きな影響は見られなかった。 ➢ 水素放出口付近以外で、水素濃度が水素の爆発下限界濃度である4vol%を超えている部分はないと考えられる。 ➢ 実験中に大きな外部環境要因により、模擬空間内の水素濃度が急激に低下する様子が観測されており、実際のパイプシャフトにおいては、外部流れ場の影響も考慮しておく必要がある。

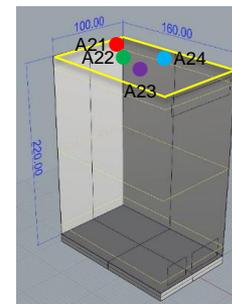
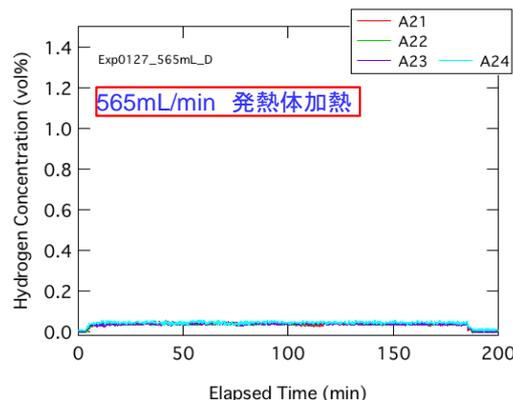
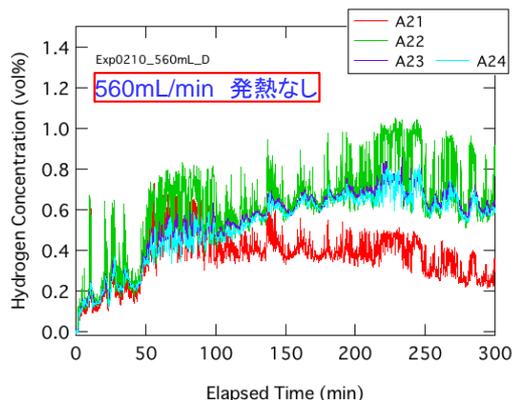
	漏えい量	漏えい位置	設置機器	発熱体	扉加熱	換気口面積
設定条件	50ml/min 130ml/min 550ml/min	上部 下部	あり なし	あり なし	あり なし	100cm ² 500cm ² 以上

【結論】

- ◆ 今回の想定条件下では水素放出口付近以外で、水素濃度が水素の爆発下限界濃度である4vol%を超えている部分はなく、発熱体がある場合や扉面が加熱される(日射等により)場合には換気が促進される傾向にある。

【維持管理】

検討内容	作業内容	実験結果
流量の影響	漏えい量を模擬した放出量をおよそ50, 130, 550 ml/min と変化させた	50, 130, 550ml/min と水素流量の増加に従い、濃度増加の傾向を定量的に示した
漏えい位置	放出口を、模擬空間の床面付近(下部漏えい)から天井付近(上部漏えい)に変えて放出した	50, 130, 550 ml/min のいずれの流量でも、天井付近では上放出が高い濃度を示した
発熱体効果	燃料電池を模擬した発熱体を設置し40°Cに加熱した場合の影響を調べた	換気が促進されたと考えられ水素濃度は大きく減少した
扉加熱効果	扉が日光で加熱された場合を想定し40°Cに加熱して影響を調べた	換気が促進されたと考えられ水素濃度は大きく減少した
障害物効果	燃料電池を模擬した構造物を設置し対流を阻害する影響を調べた	わずかに天井付近での濃度上昇、全体的な濃度上昇速度の上昇が見られた
換気口サイズ	換気口有効面積を上下各100cm ² とし対流を阻害する影響を調べた	中央部は水素濃度上昇の傾向はあるものの最大濃度は若干低くなった



<参照>

- 平成26年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査)／産業技術総合研究所
- 平成27年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査)／産業技術総合研究所

目的	漏えい孔から大気中へ噴出する水素に着火した際の、人体および建築物への影響範囲を調査した。
評価項目	<ul style="list-style-type: none">・着火する瞬間の爆風圧・着火し火炎が継続的に存在する状態での火炎サイズ、熱発生の特性
調査結果	<p>▶ <u>爆風圧の影響</u></p> <p>安定した漏えい状態で着火し、計8個の爆風圧センサによって測定。</p> <ul style="list-style-type: none">・ピーク爆風圧はほぼ等方的に減衰し、その減衰の程度はほぼ距離の2乗に対し反比例の関係となる。・等しい漏えい孔径であっても、管内の水素圧力が増加し漏えい量が増すごとに発生爆風圧は大きくなる。同様に等しい管内圧力であっても、漏えい孔径が拡大し漏えい量が増すごとに発生する爆風圧が大きくなる。・漏えい孔径10mm、圧力300kPa、漏えい孔から1.5m地点における人体への影響としては、比較的軽微なレベル（鼓膜への影響が発生するとされる爆風圧の約1/16）に留まっている。一方、建築物に対しては1.5mという近接距離ではあるが一般的に窓ガラスが割れる程度に等しい。 <p>▶ <u>火炎・熱の影響</u></p> <p>着火状態で、高速度カメラを用いて可視化された火炎（水素火炎は視認できない）を撮影して測定、また輻射熱センサ等で温度を測定。</p> <ul style="list-style-type: none">・火炎が安定に存在する条件では、輻射熱は距離のほぼ2乗に反比例して減衰している。・水素の火炎は輻射熱が非常に小さく、ラボスケールではほぼ無視できるレベルであることが知られているが、漏えい時のような大量に水素を消費して燃焼するようなケースでは、その輻射熱は接近した状態においては無視できるレベルではない。

【結論】

- ◆ 水素供給圧力が低圧（0.1MPa未満）の場合、水素噴出孔（5mm以下に限る）から1m以上の離隔があれば、概ね、火傷、爆風圧等の影響が生じることは無いことが確認された。
- ◆ ただし、水素では火炎が視認できず、接近に従い急激に熱・温度が増加するため、火炎の存在を認知していない場合は逆に危険であり、強く注意することが必要。

【維持管理】

■ 漏えい水素の火炎



＜炭酸ナトリウム噴霧により可視化された火炎映像＞



＜赤外線フィルムによる可視化映像＞
(炭酸ナトリウム噴霧なし)

■ 人体へ影響(火傷等)を及ぼさない安全距離

漏えい時のように、大量に水素を消費して燃焼するような条件では、それに応じた量の高温の水蒸気が発生し、そこから発生する輻射熱があること、及び火炎が周囲の気体を巻き込み熱を伝えることによって輻射熱が発生すること等に由来し、相当量の輻射熱が発生している。

そこで、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(噴出口径、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。

孔径 圧力	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

＜接近しても火傷を負わないと考えられる大凡の距離＞
(火炎がほぼ鉛直に形成されている場合)

火炎は自然風等の影響を受けるので単純な漏えい孔との距離関係だけでなく十分に安全率を考慮する必要がある。

＜参照＞

- ＞平成23年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素漏えい・拡散挙動調査)／産業技術総合研究所
- ＞平成24年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査)／産業技術総合研究所

21: 応急処置工法

目的	水素の導管供給時のガス漏えいに対して、漏えい個所の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・工具を調査し、その安全性を評価した。
評価項目	工法の気密性および施工性
調査結果	<p>➤ <u>緊急時ガス漏えい抑制工法の調査</u></p> <p>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/工法から、水素漏えい抑制の可能性あるものを11種リストアップした。</p> <p>➤ <u>抑制工法の安全性評価</u></p> <p>リストアップされた工法から適用性が高いと思われる4種を代表として選定し、基本性能(施工性、水素シール性)に関する評価試験を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工性評価結果: いずれの工法でも10kPa吹き出しでの施工は可能、ただし一部工法(自己融着テープ方式)では、施工ばらつきが生じる可能性がある。 ・シール性評価結果: 自己融着テープ方式以外では、室温以外の温度環境においても漏れが見られなかった。

工法	評価項目		総合評価
	施工性	シール性	
ゴムパッキン方式-A	○	○	○
ゴムパッキン方式-B	○	○	○
多層テープ方式	○	○	○
自己融着テープ方式	△	×	×

○ 良い
△ 課題あり
× 悪い

<代表的方式に対する評価結果>

【結論】

- ◆ 代表的な工具や工法(4種)を対象とした評価の結果、「ゴムパッキン方式」、「多層テープ方式」については、緊急時の水素ガス漏えい抑制工法として十分な性能を有していた。

【維持管理】

■ リストアップされた緊急時ガス漏えい抑制工法(11種)

(朱記した工法・製品は、次ページの安全性評価に使用した)

施行位置	分類	No.	工法・製品名	シール方式	採用事業者		適用管種			販売元メーカー
					都市ガス	その他	都市ガス用		水道用	
							鋼管	鋳鉄管		
管外面側	継手 取付	1	アダムスクランプ	ゴムパッキン方式	○		50~300A	50~300A		ニシヤマ
		2	割スリーブ	ゴムパッキン方式	○			80~150A		日立金属
		3	クランプ	ゴムパッキン方式	○		50~200A			日立金属
		4	フクロジョイント	ゴムパッキン方式		水道			塩ビ管 40~200A	大成機工
		5	漏水補修バンド	ゴムパッキン方式		水道			鋳鉄管 75~200A	コスモ工機
		6	カバージョイント	ゴムパッキン方式		水道			鋳鉄管 75~400A	コスモ工機
		7	パイププロテクター	ゴムパッキン方式		水道			塩ビ管 50~150A	コスモ工機
	テープ 巻き	8	リヴァイブ工法	多層テープ方式	○		20~150A			東京ガス・エンシ
		9	金属テープシール工法	多層テープ方式	○		25~80A			大阪ガスエンジ
		10	LLFA® TAPE	自己融着テープ方式		水道				マテックス
		11	アロンテープ	自己融着テープ方式		水道				ユニテック
管内面側			(該当なし)							

<本調査の対象外としたケース>

- ・圧力が中圧
- ・当該箇所が露出していない
- ・当該箇所が大規模
- ・現場状況により本修理への移行が長時間になると想定される



【維持管理】

■ 安全性評価の対象（適用性が高いと考えられる4種を選定）



適用外径 59.7~66.8 mm
 クランプ長さ 150 mm
 施工方法 ボルト締め

適用外径 PE2層被覆鋼管 50A
 配管用炭素鋼鋼管 50A
 クランプ長さ —
 施工方法 ボルト締め

適用外径 配管用炭素鋼鋼管
 補修長さ ラップ巻きにより限度なし
 施工方法 テープ巻き付け

適用外径 配管用炭素鋼鋼管
 補修長さ ラップ巻きにより限度なし
 施工方法 テープ巻き付け

＜ゴムパッキン方式-A＞

＜ゴムパッキン方式-B＞

＜多層テープ方式＞

＜自己融着テープ方式＞

■ 安全性評価結果(概要)（適用管種:PE被覆鋼管 50A, 疑似穴径:10mm, 内圧:10kPa）

参考: 実腐食孔の径 1~2mm (ピンホール)
 工事現場の工具 5~6mm

工法	作業時間の短さ	施行ばらつきの少なさ
ゴムパッキン方式-A	○	○
ゴムパッキン方式-B	○	○
多層テープ方式	○	○
自己融着テープ方式	○	△*

工法	水素シール性能		
	室温	-5℃	40℃
ゴムパッキン方式-A	○	○	○
ゴムパッキン方式-B	○	○	○
多層テープ方式	○	○	○
自己融着テープ方式	×*	—	—

○ 漏れ無し
 (検知器反応なし)
 × 漏れ有り
 (検知器反応1ppm以下)

* : 自己融着テープ方式はテープを引張りながら巻き付ける必要があり、この引張り力がばらつきを生む要因となる。また、テープを巻く際に異物を巻き込んでしまうとそこから漏えいにつながるため、これもばらつきの要因となる。

○ 良い
 △ 課題あり
 × 悪い

* : 自己融着テープ方式では微量ながら水素検知器での反応があったことから、漏れ有りと判定した。そこで試験圧力を下げて2.5kPaの試験圧での測定も行ったが、差圧の変化がみられ、水素検知器の反応もあったので、漏れ有りと判定。

＜施工性の評価結果＞

＜シール性の評価結果＞

【維持管理】

■ 緊急時ガス漏えい抑制工法の安全性評価結果(詳細)

➤ 施工性の調査方法

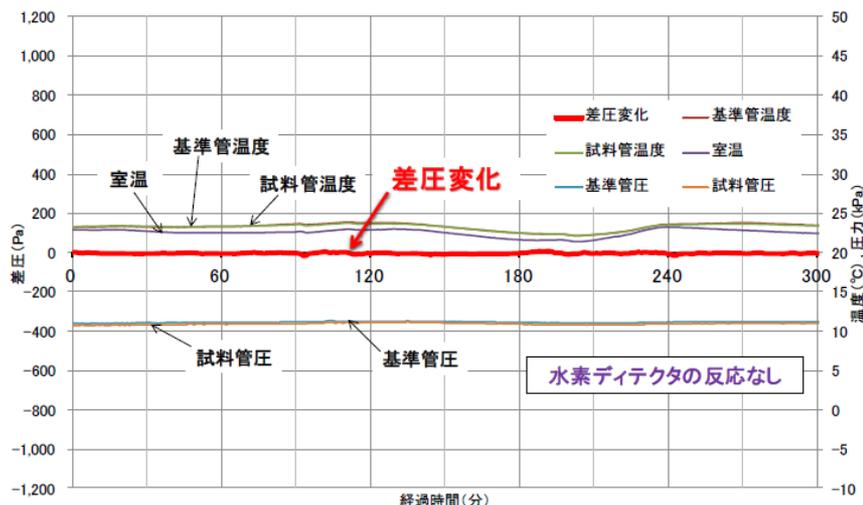
- 1) 10mm の穴をあけた試料管に10kPa の圧力が加わるようにレギュレータにて調整。
- 2) 試料管の穴から10kPa で噴き出していることを圧力計で確認。(※圧縮空気を使用)
- 3) 調査対象のそれぞれの工法で試料管の穴を塞ぐ作業を実施。
- 4) 目視および噴き出し時の音等から、噴き出しを止めることができたかを確認。
- 5) 噴き出しを止めるところまでの作業時間の相対的な比較を実施。

- ・いずれの工法でも10kPa 噴き出しでの施工は可能であった。
- ・施工時間に関しては、いずれの工法でも、試料管の穴から流体が噴き出しても通常の施工状態と変わらずに施工でき、特別な問題はなかった

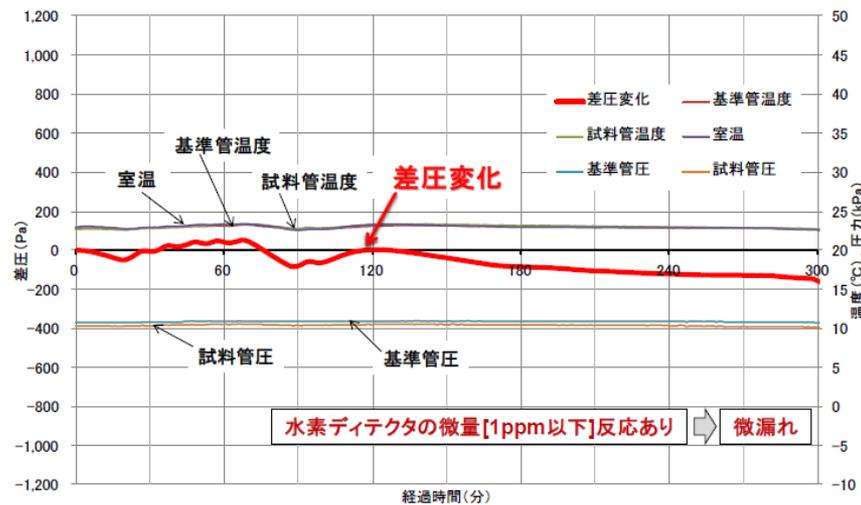
➤ 気密性(シール性)の測定方法

- 1) ガス漏えい抑制工法(工具)を施した試料を試験配管に接続
- 2) 試験配管内に窒素パージ、差圧測定により漏れが無いことを確認。
- 3) 試料内に水素パージ実施。水素検知機にて水素置換確認。差圧測定計測、あわせて検知器により漏れ有無を確認。

- ・測定項目: 差圧、圧力、温度、漏えい有無
- ・内圧: 10 kPa (使用想定圧力を上回る圧力)
- ・疑似穴径: 10 mm (想定径より大、かつ応急措置可能な最大径)
- ・環境温度: 室温(23°C程度)、-5°Cおよび40°C(温度環境試験室にてヘリウムを代替使用)
- ・測定時間: 5時間(漏えい箇所の特定から切断工事迄の最大時間)
- ・測定装置: 差圧計、圧力計、温度計、水素(ヘリウム)検知器



<ゴムパッキン方式-Aの気密確認測定結果グラフ>



<自己融着テープ方式の気密確認測定結果グラフ>

<参照>

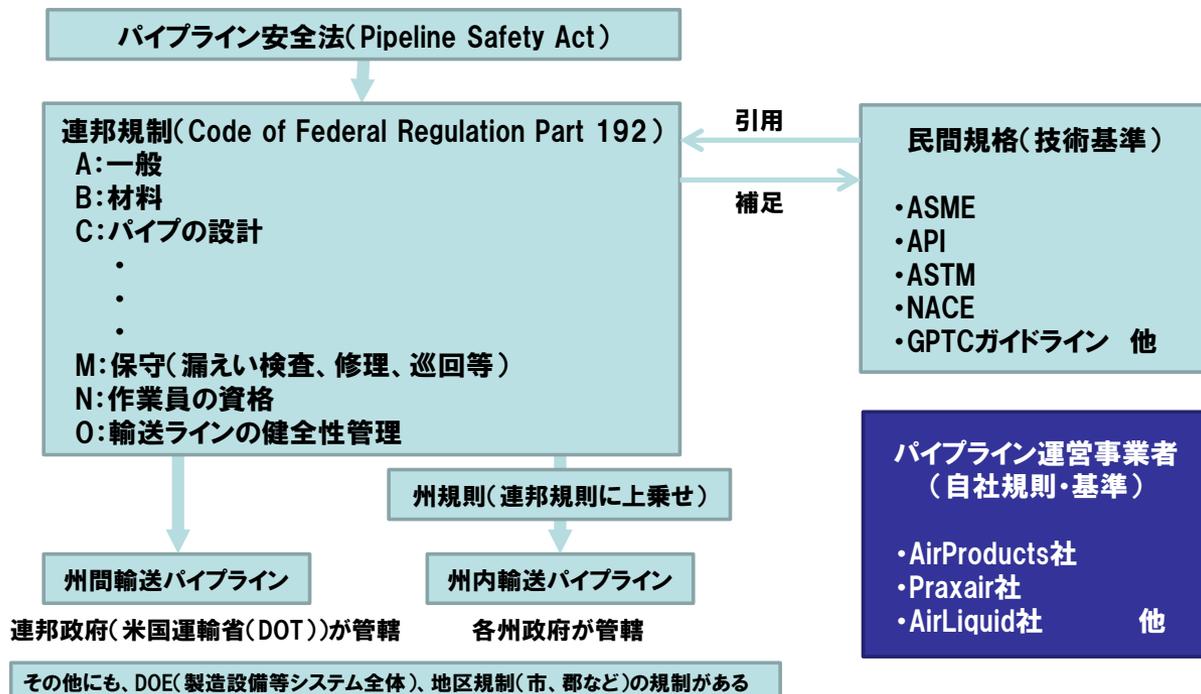
22: 海外事例(北米)

■ 訪問調査先一覧

訪問先	調査内容
【H17年度:水素供給システム安全性技術調査】	
・Air Products 社	水素製造技術、パイプライン技術、運転管理・メンテナンス、技術基準等の調査
・Los Alamos National Lab.	水素貯蔵施設および燃料電池の開発に関する情報収集
・SRI International	水素爆発実験、水素脆化メカニズム、鋼材へのコーティング材料等の情報収集
【H18年度:水素漏えい検知技術調査】	
・H2SCan 社	同社製水素検知センサ(Pd/Ni触媒方式)の測定原理・性能等を確認
・Air Products 社 他	水素漏えいに関する米国の規制、漏えい管理の考え方および取組み内容
【H19年度:水素漏えい検知技術調査】	
・Praxair 社	パイプライン水素供給に関する国の漏えい管理方針や安全性確保の考え方を確認
【H24年度:水素導管の保安技術調査】	
・TOYOTA 社	水素パイプライン供給による水素STにおけるパイプライン活用課題を調査
・OCSD	水素パイプライン供給により稼働している水素STの運用状況を確認
・Elster 社	現行都市ガスメータを水素用ガスメータとして利用する際の課題を確認
・Emerson (Fisher) 社	水素用として利用されている整圧器の運用状況や今後の課題を確認
・Air Liquid 社	水素パイプラインの維持管理方法や設備構築時に用いている基準を確認
【H26年度:水素ネットワーク構築導管保安技術調査】	
米国運輸省(DOT)	水素パイプライン供給の保安に関する規制の実施実態を調査
テキサス州鉄道委員会	水素パイプライン供給の保安に関する規制の実施実態を調査
米国機械学会(ASME)	水素パイプライン供給の保安に関する技術基準整備の状況を調査
Air Products 社	水素パイプライン供給の事業運営実態を調査

22: 海外事例(北米)

■ 米国におけるパイプライン事業の枠組み

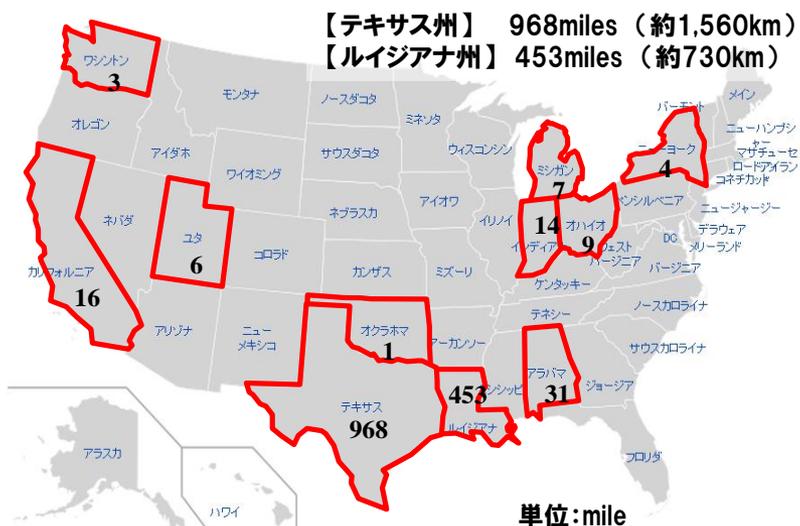


- Subpart A - 一般
- Subpart B - 材料
- Subpart C - 管設計
- Subpart D - パイプライン構成要素の設計
- Subpart E - 鋼材の溶接
- Subpart F - 溶接以外による材料の接合
- Subpart G - 一般建設要求条件
- Subpart H - 顧客メーター、サービスレギュレーター、供給管路
- Subpart I - 腐食管理に関する要求事項
- Subpart J - 試験要求事項
- Subpart K - 昇圧
- Subpart L - 運用
- Subpart M - 維持管理
- Subpart N - 認証・認可
- Subpart O - 輸送管路の保全管理
- Subpart P - 配給管路の保全管理

No.	基準名	概要
B31.12	Hydrogen Piping and Pipelines	水素パイプラインの設計、運転、維持管理全般に関する基準
B31.8	Gas Transmission and Distribution Piping Systems	パイプラインの設計、運転、維持管理全般に関する基準。(連邦規則に引用)
B31.8S	Supplement to B31.8 on Managing System Integrity of Gas Pipelines	陸上輸送パイプラインの健全性評価に関するガイドライン(連邦規則に引用)

22: 海外事例(北米)

■各州における水素パイプライン延長



総延長	約2,600km (10年前までは、半分程度以下の延長)
主な事業者	Air Products社、Praxair社、Air Liquid社
主な州	テキサス州、ルイジアナ州、カリフォルニア州に集中 (上記3州で、米国全土の2/3を占める)
用途	エネルギーとしての利用ではなく、化学プラント等の原料ガスとして利用
その他	1970年代より水素パイプライン事業が開始 州内および州間パイプラインにて分類 (州間パイプライン: 連邦政府管轄、 州内パイプライン: 州政府管轄)

■その他

◆ NRELのガイドブック

DOEの再生可能エネルギー研究所(NREL)は2015年1月にHydrogen Technologies Safety Guideというガイドブックを発行。包括的な文書で現存する規格や規制にも触れている。今まで水素を扱ったことがない人達が今後、水素に関連した仕事に就くことを想定した入門書のようなもので、水素のテクノロジーの歴史などにも触れながら平易な説明が展開されている。

◆ NISTの管材に関する報告

現状の水素パイプラインの規格が古いデータに基づいている懸念があり、アメリカ国立標準技術研究所(NIST)で管材に関する研究が行われている。この研究にはPraxAir、AirLiquidなどの大手ガス会社やASMEも参画している。

◆ Sandia研究所による水素脆化に関する報告

DOEの水素・燃料電池プロジェクトの一環で2007年に始まった。2015年に中間報告がなされた。本プロジェクトでは水素影響下の金属疲労による亀裂進展や溶接部への影響などを調べている。オークリッジ研究所、NIST、ASMEなどとの共同研究である。

22: 海外事例(北米)

■ パイプラインによる水素供給事例の概要比較

推進者 (実施エリア)		Air Liquid 社 (メキシコ湾沿岸部)	Air Products & Chemicals 社 (テキサス, ルイジアナ, カリフォルニア)	PraxAir 社 (ヒューストン)
用途(供給先)		産業用(石油精製・石油化学)	テキサス:石油精製・化学が主, 40社 カリフォルニア:石油精製, 5社	主に製油所など約100件
設計	適用基準	ASME B31.8 – 2010, B31.12 CGA G-5.6 自主基準: Air Liquid Design Standards	設計係数: 0.3 (自主的にASMEのクラス3以上の設計係数を適用)	—
	材質, 管径	API X60, 10インチ (14、20インチもある)	API 5L X42 または X52, 4~12インチ 外面 FBEコーティング+電気防食	12インチ以下が殆ど、最も多いのが10インチ 外面コーティング+電気防食
	延長	約530km	全米総延長 約560km	総延長 約670km
	供給圧力	顧客ニーズに依る (5MPa, 3MPa が主)	2.4~13MPa (設計圧力)	6.3MPa
	埋設深さ	通常 1.2m (専用道路下)	1.2mが主、最小で0.9m	—
	接合	溶接が主 ガスケットによるフランジ接合もあり	溶接(API 1104準拠)のみ、施工時に全線のX線検査実施	埋設部は全て溶接
施行	分岐取り出し	潜在需要向けの分岐バルブ事前設置 活管穿孔は未実施(将来の実施へ向けて基準準備中)	—	—
	窒素パージ	パージ範囲:顧客消費機器の手前まで 完了目安:酸素含有量 0.4%以下 (昇圧・減圧を2~3回繰り返す) 水素はベントにて大気拡散	—	—
維持管理	漏えい時対応	緊急減圧用の大気放散STを設置 作供給停止時のバックアップ(ポンペ又は他社パイプライン利用)を需要側にて確保	—	—
	漏えい管理	付臭剤は未使用 IMPという社内プログラムのもと、24時間稼働の管理センターにて圧力と流量を監視。 定期的な空中からのモニタも実施。 保守は連邦法や州法の要求よりも厳格な基準で運営	微小漏えいは、検知センサによる定期検査での発見を前提(付臭剤は未使用) 大規模漏えいはExcess Flow Valve(設置間隔 1.6km)による自動/遠隔遮断で対応 他工事損傷は路線巡視(1回/日)で対応	付臭剤は未使用 テキサス州WoodlandにPipeline Business Centerという管理センターがあり、純度、圧力、流量などを常時リアルタイムで監視。この監視センターはDOTのPHMSAの規則に準拠
	基準	—	DOT CFR 49 Part192(定期漏えい検査)に加え、自主基準を作成	DOT CFR 49 Part192(定期漏えい検査)に点検頻度や項目などを上乗せした自主基準

23: 海外事例(欧州)

■ 訪問調査先一覧(1)

訪問先	調査内容
【H17年度:水素供給システム安全性技術調査】	
・Ecole Polytechnique	材料疲労研究に関する調査
・Air Liquide 社 (Antwerp Site)	水素製造技術、ポンプライン技術全般に関する調査
・Infraserv Höchst 社	副生水素を昇圧しての配管供給技術に関わる調査
・Gastec Technology 社	欧州における水素輸送に関する検討状況、パイプ材料評価試験に関する調査
・Icelandic New Energy 社	水素燃料電池バス実証試験、今後のインフラ構築計画などの調査
【H18年度:水素供給システム安全性技術調査】	
・MPA NRW 社	樹脂管評価技術(主に樹脂管のガス透過性評価)に関する調査
・Degussa 社	高機能樹脂管材料、樹脂管評価技術、水素供給への取組みに関する調査
・Arkema 社	高機能樹脂管材料、樹脂管評価技術、水素供給への取組みに関する調査
・Georg Fisher 社	既往樹脂管材料・高機能樹脂管材料、樹脂管評価技術、水素供給への取組みに関する調査
・Hewing 社	高機能樹脂管材料、樹脂管評価技術、水素供給への取組みに関する調査
・Kiwa-Gastec 社	屋内ガス用樹脂管の開発・実用化状況、樹脂管評価技術(主に樹脂管のガス透過性評価)、水素供給への取組みに関する調査
【H19年度:水素供給システム安全性技術調査】	
・Danish Gas Tech. Centre 社	水素配管試験について、気密性能試験・材料への影響等、実機試験設備などに関する調査
・Gasunie Eng. & Tech. 社	Naturalhy Project の取組み内容、天然ガスへの水素添加に関する課題、パイプライン材料に関する課題などの調査
・Gas de France 社	水素混入による天然ガスパイプラインの耐久性への影響評価に関する情報収集
・Infraserv Höchst 社	Zero Regio Project の水素供給実証試験設備における材料面からの水素影響、トラブル事例調査

23: 海外事例(欧州)

■ 訪問調査先一覧(2)

訪問先	調査内容
【H18年度:水素漏えい検知技術調査】	
・MST 社	同社製水素検知センサの検知原理・性能・価格等の調査
・Energie Technologie 社	水素漏えいに関する技術動向、案件に関する考え方などの調査
・Linde 社	水素の付臭剤に関する調査
・Symrise 社	付臭剤(燃料電池向け無硫黄)に関する調査
・DEW21 社	都市ガスにおける無硫黄付臭剤への変更に関する考え方、実施上のポイント
・ケンブリッジ大 (曾我研究室)	地中内拡散シミュレーションの解析モデルに関する技術調査
【H19年度:水素漏えい検知技術調査】	
・Air Liquide 社 (グルノーブル研究所)	EUにおける水素供給パイプラインや水素STに関する現状
・ドレーゲル・セイフティ社	同社製水素検知センサの検知原理・性能・価格等の調査
・Icelandic New Energy 社	水素社会デモプログラムにおける安全性確保の考え方、水素に関する社会受容性等の調査
【H20年度:水素漏えい検知技術調査】	
・Fabbrica del Sole社 (Hydro Lab Project)	公道埋設パイプラインに関し、漏えいに関する考え方や管理方法等を調査。
・StatoiHydro社 (Hynor Project)	地下にタンクを埋設した次世代型70MPa水素STに関する調査
・Infraserv Höchst 社 (Zero Regio Pj.)	次世代型水素STと高圧水素供給設備の実証試験に関する調査

訪問先	調査内容
【H23年度:水素導管の保安技術調査】	
・LOK/SEAS-NVE	ロラン島実証事業の進捗状況、水素を一般家庭へ供給する際の必要設備、課題等
・Fabbrica del Sole 社	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
・Air Liquide 社	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
・Enel 社	水素利用手段として想定される水素燃焼機器の現状と課題
【H25年度:水素導管の保安技術調査】	
・TWI	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
・Linde 社	水素を利用する設備に必要な仕様現在の運用状況
・Perrin 社	水素供給実施に関わる日本と欧州における規格の差とその影響

23: 海外事例(欧州)

■ パイプラインによる水素供給に関わる事例調査結果の概要

調査項目	調査結果(全体的傾向)
設計思想および仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・日本では主に高圧パイプライン用として用いられているAPI規格のX材が多く用いられている。 ・日本の中・低圧供給に用いられるようなロースペック配管を用いている事例は見受けられなかった。
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ・新設配管の敷設については日本と同様手法で実施。 ・既設配管からの分岐については、予め将来の需要家を想定し分岐バルブを先行設置して対応。(コストよりも施行を重視) ・管内ガスの置換では、水素における一般的な手法(窒素ガス等の不活性ガスによるパーージ)で実施。
保守管理状況 (設備維持管理、緊急対応を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・水素漏えい検知については、各事例で異なる手法により実施されており、確実かつ安価な手法は見受けられなかった。 ・都市ガス同等の点検頻度、点検内容で実施されているが、経年劣化による水素脆化等に起因する漏えい、大きな不具合は発生していない様子。
設計・施工・維持管理のための 運用法規および自主基準	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模供給事例(Air Liquide社)では、EIGA(欧州産業ガス協会)のとりまとめ資料、および体系的に整備された社内基準に基づいて取り組んでいる。 ・他の小規模プロジェクト(実証事業等)では、主に自国の都市ガス基準に基づいて取り組まれている。
水素利用機器の仕様、使用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・産業用大口需要家では、化学プラント原料および還元剤として利用。 ・小規模産業需要家では、ポンベ供給されていた金の宝飾品製造向け水素還元炎加工用ガスの一部をパイプラインで供給代替。 ・研究向けでは、水素タービン発電用燃料。 ・家庭向けでは、再生可能エネルギー発電(風力等)の余剰電力で製造された水素を特定地区へ供給し(Power to Gas)、燃料電池用として利用。(実証プロジェクト)
一般家庭への水素供給取組み状況	<ul style="list-style-type: none"> ・家庭用供給の実証を行っている事例では、将来的に一般家庭への供給事業実施も視野に入れている。一般家庭、一般の集落で、85,000時間の再生可能エネルギー由来の水素によるエネルギー供給の実証実験で成功しているのはロラン市ヴェステンスコウの事例のみ。 ・小規模産業向け事例でも、同様に一般家庭向け供給事業を行う構想もある。 ・ただし両事業ともに、消費機器の主力となる家庭用燃料電池の価格や耐久性に課題があり、現時点ではまだ現実的な計画とはなっていないとの認識。

23: 海外事例(欧州)

■ パイプラインによる水素供給事例の比較

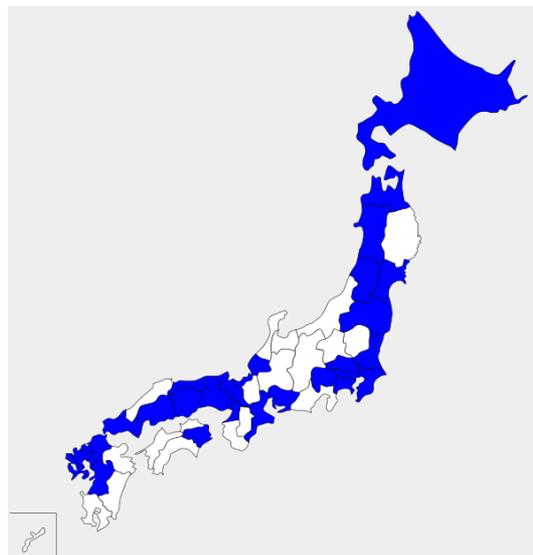
推進者 (実施エリア) パートナー企業等	イタリア (アレツォ市 プロジェクト) ファブリカ・デル・ソル社、 トスカーナ州政府、アレツォ市 SAPIO, COINGAS, EXERGY	ノルウェー (Hynorプロジェクト) StatoilHydro社	デンマーク (Lollandプロジェクト)	Air Liquide 社	
用途 (供給先)	金の宝飾品製造工業団地向けに水素還元炎加工用として供給 (2008年5月～)	ノルウェー東部から西部への580kmの幹線道路に7カ所の水素ST設置を計画(実証プロジェクト)	風力発電余剰電力で製造した水素の一般家庭向け小規模水素供給実証 (2011年～)	化学プラント等、広範囲の産業用大規模供給事業(1970～)	
設計	材質, 管径	1インチ管、SUS304(耐圧0.5MPa、最高使用圧0.35MPa)、電気防食	製造工場～陸揚:フィヨルドの地下20mのトンネル内に2重管(外管に窒素封入) 陸揚～水素ST:SUS316L	API X42、1インチ管	API X42、X52 4～10インチ管
	延長	約1km			
	供給圧力	運用圧力0.3MPa、Max80m ³ /h	水素STでは0.5MPaで受入れ	0.4MPa	主に 5MPa(最高圧力 10MPa)
	埋設 深さ	公道地下1.2m			道路脇埋設(深さ80cm)、トンネル配管、ラック配管、他工業ガスとの並行配管(45cm離隔)
維持 管理	漏えい 管理	シンプルな圧力検知(50m毎に圧力センサ設置) 付臭剤は未使用(理由:影響が不明確、金加工には不適)	外管の窒素圧力モニタリングにより水素漏えいを検知 付臭剤は未使用(FCVへの影響を懸念)		

■ 欧州における水素導管に関する法令・規格

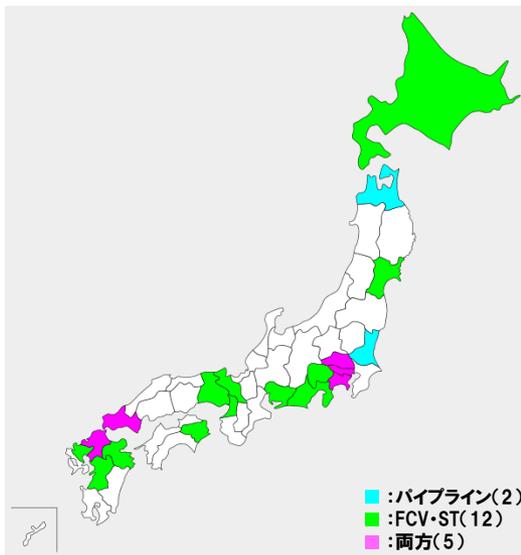
- 欧州には米国のDOT(日本の国交省に該当)のような域内全体を一元的に管理する主体がない
- 法令に関しては各国政府の担当官庁に委ねられる。殆ど国で一般のパイプラインに関する安全規格や法令はあるが、水素導管に限定した物は存在しない。
- 運用においては、一般パイプラインの法令の範囲内であつ、水素の特性を考慮した設計を敷設業社が行っているのが現状と考えられる。
- 規格については、EIGAがHydrogen RCSの一環として2004年に発行した「Hydrogen Transportation Pipelines - IGC Doc 121-04」という安全基準が水素導管に特化したものである。

24: 国内事例(国内)

■ 国内における水素関連取り組み状況



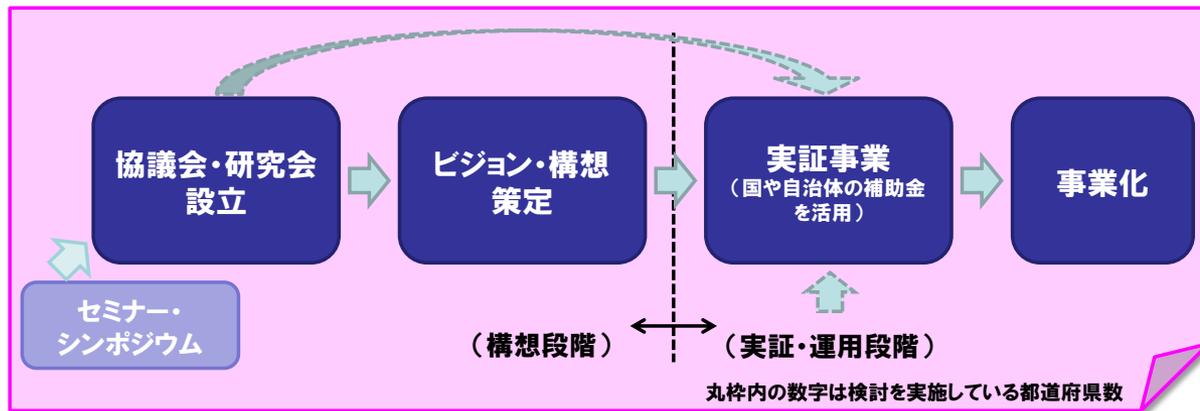
<水素の取り組みを実施・検討している都道府県>



<各都道府県での取り組み内容>

- ・都道府県別に水素関連の取り組み状況を整理すると、現状、半数以上の都道府県において水素関連の取り組みを実施・検討している
- ・取り組み内容について整理すると、現状では「燃料電池自動車 (FCV)・水素ステーション (ST)」に関連する取り組みが多い状況となっている。

■ 検討ステップ



- ・各自治体での水素に関する取り組み検討の多くは、「セミナー・シンポジウム」⇒「①協議会設立」⇒「②ビジョン策定」⇒「③実証事業」⇒「④事業化」といったステップを踏んでいる。
- ・①協議会等において、自治体独自の②構想を策定し、モデルケースについて③実証事業を行っている。

24: 国内事例(国内)

■ 今後水素パイプライン供給を検討している事例

	ヒアリング先	概要	補助事業
青森県弘前市	都市環境部 スマートシティ推進室	下水処理施設にて製造した水素を近隣の工業団地へパイプライン供給し、定置用FCで利用。現在、実証事業計画を検討中。	—
埼玉県	—	下水処理施設にて製造した水素を近隣の物流倉庫へパイプライン供給し、定置用FCやFCフォークで利用。協議会において、実証事業化に向けた検討を実施。	—
東京都	—	東京オリ・パラにおける選手村にて水素パイプライン供給を検討。	—
神奈川県川崎市	総合企画局 スマートシティ戦略室	使用済プラスチックから得られる水素を精製し、パイプラインで輸送し、業務施設等の定置用FC等で利用する。水素パイプラインの仕様・ルートを検討中。	(環境省)地域連携・低炭素水素技術実証事業
山口県周南市	経済産業部 商工振興課	水素STに隣接する地方卸売市場に設置された定置用FCへ水素をパイプラインにて供給。パイプラインの仕様・ルートを検討中。	(環境省)地域連携・低炭素水素技術実証事業
福岡県北九州市	環境局 環境未来都市推進部 水素社会創造課	北九州水素タウンPJの後継事業を検討中。関連企業と意見交換会を実施し、今後の事業計画を策定。	—