

令和4年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託費
(水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査)

報告書

2023 年 3 月



みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

(空白ページ)

<目次>

第1章	本検討の目的及び調査実施体制.....	1
1.1	本検討の背景と目的.....	1
1.2	実施項目.....	1
1.3	実施体制.....	3
第2章	水素の特性.....	6
2.1	水素の特性.....	6
2.2	水素の特性に関する一般消費者に対する周知についての課題.....	8
第3章	今後のガス事業における想定される水素の利用方法の調査整理.....	9
3.1	今後のガス事業における想定される水素の利用方法の調査整理.....	9
3.2	今後のガス事業における水素設備の概要.....	30
第4章	海外における水素利用の調査整理.....	31
4.1	欧州における水素活用計画.....	31
4.2	米国における水素活用計画等.....	39
4.3	既設水素パイプラインの状況.....	45
4.3.1	Air Liquide 社の水素パイプライン技術.....	45
4.3.2	Air Products 社の水素パイプラインの技術.....	48
4.4	海外技術基準について.....	51
4.5	欧米における付臭の考え方.....	61
第5章	水素供給に係る現行のガス事業における要求事項の整理.....	62
5.1	現行技術基準における水素設備に対する要求事項.....	62
5.2	水素導管供給システムの安全性評価事業.....	68
5.3	晴海選手村地区における水素導管供給事業における安全性評価事例.....	71
第6章	ガス事業法における今後の水素の利用についての課題等の検討整理.....	77
6.1	ガス事業法で足元の対応の可能性がある水素設備.....	77
6.2	今後の検討課題とされる水素設備.....	79
第7章	水素導管供給に関する基準等の整備のあり方についての検討.....	83
第8章	今後の課題.....	87
8.1	今後の課題.....	87
8.2	次年度以降の調査の提案.....	90

(空白ページ)

第1章 本検討の目的及び調査実施体制

1.1 本検討の背景と目的

地球温暖化等を原因とする気候変動問題の解決が喫緊の課題となっている。我が国では、令和2年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言しており、気候変動対策として、カーボンニュートラルの実現に向けた取組が必要となっている。

令和3年12月に取りまとめられた産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会産業保安基本制度小委員会「産業保安分野における当面の制度化に向けた取組と今後の重要課題」において、「水素社会の実現を見据え、水素のサプライチェーン（製造、輸送・貯蔵、利用）の各段階において、保安規制の面から、安全を前提としつつ、利用環境の整備を着実に実施していくことが重要である。」とされた。

こうした状況の中、水素の導管供給についても順次取組が進められており、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会の選手村地区跡地においての水素を導管により供給する事業や静岡県裾野市におけるトヨタ自動車の工場跡地における WovenCity など、街区に設置した燃料電池へ水素ガスを供給することを想定した事業が進行している。

一方、経済産業省は、平成17年度からこれまでの水素導管供給に関する委託事業において、既存の都市ガス事業で用いられている個々の要素技術について、水素導管への適用が可能であるかの評価を行ってきているところである。

水素ガスの利用について、現状は燃料電池へ水素ガスを供給することによる電力利用が中心的であるが、今後、燃料電池のみならず、現状の都市ガスの利用と同様のガス消費機器による燃焼等、多様な方法で利用される可能性がある。一方、これらの利用方法におけるガス事業法上の安全確保、技術上の課題については、必ずしも十分に検討されていない。

こうしたことから、ガス事業における今後の水素導管供給に向けた適切な保安規制の在り方について、予想される利用形態等を国内外の事例を基に調査するとともに、現行のガス事業法における技術上の要求事項との関連を整理し、必要な調査・検討等を行った。

1.2 実施項目

1.1 に示す調査目的を踏まえ、以下の①から⑥の項目について実施する。

① 今後の導管供給による水素利用において想定される利用方法の調査整理

国内水素ガスプロジェクトについて文献等により調査し、プロジェクトのステークホルダーを整理した。なお、プロジェクトのステークホルダーに対してアンケート又はヒアリング等によりプロジェクトのステークホルダーが想定する水素利用方法及びそのニーズ等を調査し、整理する。

② 海外における水素利用の調査整理

先進的な事例を持つ4か国以上における導管供給による水素利用について、文献調査による調査・整理を行う。調査に当たっては、各国の水素ガスの保安管理制度の成り

立ち、背景の考え方について整理する。

③ 水素供給に係る現行のガス事業における要求事項の整理

①及び②を踏まえ、現行のガス事業法における技術上の要求事項との関連を整理する。

④ ガス事業法における今後の水素の利用についての課題等の検討整理

③を踏まえ、今後のガス事業における水素ガスの利用方法について、技術的な課題等を検討し、対応が必要と想定される事項等について整理する。

⑤ 水素導管供給に関する基準等の整備についての検討

④を踏まえ、特に中低圧水素導管供給システムに必要となる要素について、その安全を確保するための手法や保安のレベルのあり方等を検討することにより、水素導管供給に関する基準の整備のあり方についての検討を行う。

⑥ 委員会の設置、運営

上記①～⑤を効率的かつ円滑に実施するため、都市ガスの保安技術、水素導管供給システムの設計、水素のエネルギー利用等の各分野についてそれぞれ学術的、実務的に精通した専門家で構成される委員会を設置し、運営する。

委員会では、今後のガス事業法における水素の利用についての課題等の検討、整理を実施する。

1.3 実施体制

本検討の実施にあたっては、都市ガスの保安技術、水素導管供給システムの設計、水素のエネルギー利用等の各分野についてそれぞれ学術的、実務的に精通した専門家で構成される検討会である「水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査検討会」（以下、「検討会」という。）を設置し検討を実施した。

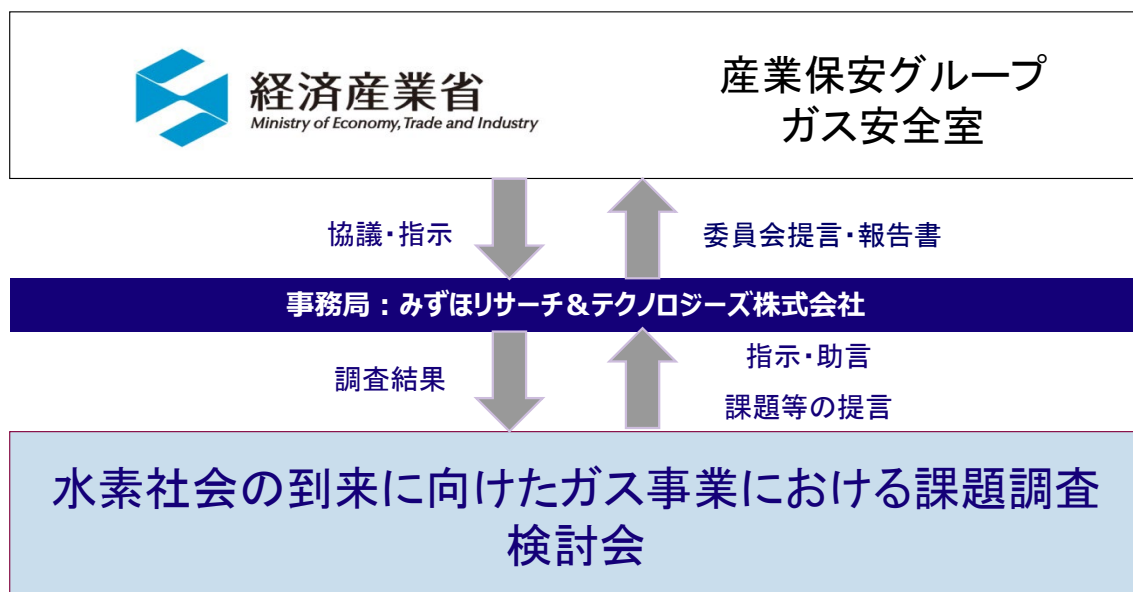


図 1.1 実施体制図

表 1.1 水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査検討会
委員名簿

座長（敬称略）

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

委員（五十音順、敬称略）

大畑 充 大阪大学大学院 工学研究科
マテリアル生産科学専攻 教授

澁谷 忠弘 横浜国立大学 先端科学高等研究院 教授

久本 晃一郎 特別民間法人高压ガス保安協会 理事

三浦 佳子 消費生活コンサルタント

オブザーバー（五十音順、敬称略）

一般財団法人日本ガス機器検査協会

一般社団法人日本ガス協会

東京ガスネットワーク株式会社

東邦ガスネットワーク株式会社

事務局

経済産業省 産業保安グループ ガス安全室

みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 サイエンスソリューション部

表 1.2 検討会開催状況

	開催日	主な議題
第1回	令和5年2月10日	・検討会設置主旨 ・国内事例調査結果と水素供給に係わる現行のガス事業における要求事項の整理 ・海外事例調査結果についての説明
第2回	令和5年3月3日	・水素の特性について ・中低圧導管に係る安全性評価に係る経緯とHARUMI FLAGの概要について ・海外事例に関する追加調査について ・ガス事業法における今後の水素利用の課題及び基準等の整備のあり方について
第3回 書面審査	令和5年3月27日～ 令和5年3月31日	・報告書案の審議

第2章 水素の特性¹

2.1 水素の特性

水素は分子式 H_2 で表される、常温・常圧で気体の物質である。あらゆる気体の中で最も軽い、無色・無臭、拡散しやすい・漏洩しやすい、金属材料を脆化させる、着火しやすい、爆発しやすいといった独自の性質を有しており、特に産業保安の観点からは、これらの性質に十分に注意を払う必要がある。以下に気体の水素の主な特性を示す。

- ・ 空気より軽い：水素はあらゆる気体の中で最も軽いという特徴を持つ。（水素の比重は空気に対して 0.071）。
- ・ 無色・無臭・無毒：水素単体は無色・無臭・無毒の気体である。そのため、付臭等の処置を施さなければ、人間の感覚では検知することが難しい。なお、水素が燃焼したときの火炎も紫外域であり発光はほとんど目に見えず、水素が燃焼していても目視にて確認することは難しい。
- ・ 拡散しやすい・漏洩しやすい：水素は密度が最も小さいことから、軽いだけでなく、あらゆる気体の中で拡散係数も最も大きい（ $0.61\text{cm}^2/\text{s}$ （常圧、 20°C 、空気中））という特徴を持つ。この特徴ゆえに、漏洩した場合には、上方に拡散しやすく、その速度は他のガスに比べて速い。さらに、その拡散のしやすさから、目視では確認できないほどのごくわずかなき裂からも漏洩する。そのため、高圧水素を用いる際には特にこの点に注意を払う必要がある。
- ・ 金属材料を脆化させる：水素は、金属材料の種類によっては材料中に侵入して延性や靱性といった材料強度を低下させる性質を持つ（なお、この現象は水素脆化と呼ばれる）。この現象は特に高圧下で顕著であり、材料強度の低下を原因とした漏洩等で重大な事故につながることはないよう、適切な材料を用いる必要がある。
- ・ 着火しやすい：水素の最小着火エネルギーは 0.02mJ で、これはメタンが主成分の天然ガスの $1/10$ 以下に相当する。さらに、空気中で燃焼可能な濃度範囲が広く（ $4\sim 75\text{vol}\%$ ）静電気程度のわずかなエネルギーでも着火する。そのため、メタンなどで有効な静電気対策でも水素では不十分である可能性がある。
- ・ 爆発しやすい：水素は燃焼速度が大きい（空気中で 2.91m/s 、メタンは 0.37m/s ）ため、爆風圧が大きく、閉鎖環境下で一度着火してしまうと爆発を起こし、爆風により周囲に被害を及ぼす可能性がある。

水素、アンモニア、メタン（天然ガスの主成分）、LP ガスの物性の比較を表 2.1 に示す。

¹ 水素保安戦略の策定に係る検討会報告書－水素保安戦略－（中間とりまとめ）2023 年 3 月 13 日

表 2.1 各エネルギー源の物性比較

	水素	アンモニア	メタン (天然ガス)	プロパン (LP ガス)
ガス比重 (空気=1)	0.07	0.5967	0.6	1.6
拡散係数 (cm ² /s) (常圧、空气中、 20℃)	0.61	— (情報なし)	0.16	0.12
最小着火エネルギー (mJ)	0.02	約 170	0.28	0.24
燃焼範囲 (Vol%) (空气中)	4.0～75.0	15.4～33.6	5.0～15.0	2.1～9.5
燃焼速度 (m/s)	2.91	0.07	0.37	0.43

また、水素を輸送・貯蔵するための担体（水素キャリア）には、圧縮水素、液化水素、アンモニア、有機ハイドライド、メタネーション等の形態が存在し、保安面の留意点も異なる。表 2.2 に各水素キャリアの特徴を示す。

表 2.2 水素キャリアの種類と特徴

	圧縮水素	液化水素	アンモニア	MCH (有機ハイドライド)	e-methane (合成メタン)
体積 (対常圧水素)	約 1/200 (20MPa の場合)	約 1/800	約 1/1300	約 1/500	約 1/600
液体となる 条件	—	-253℃・常圧	-33℃・常圧	常温常圧	-162℃/常圧
水素含有量 (重量%)	100	100	17.8	6.16	25.1
貯留時の 留意点	高圧下での 取扱いとな る。	極低温下で の取扱いと なる。	低温や高圧 下での取扱 いとなる。毒 性がある。	脱水素後の トルエンは 毒性がある。	低温や高圧 下での取扱 いとなる。

2.2 水素の特性に関する一般消費者に対する周知についての課題

2.1 章においては、水素の特性については、「水素保安戦略の策定に係る検討会報告書－水素保安戦略－（中間とりまとめ）」における科学的な説明を示した。一方、本業務において設置した検討会においては、2.1 章に示す説明では、水素の持つ着火しやすい、爆発しやすいといった性質に対しては、不安を覚える消費者もいることから、自治体と連携し、消費者への説明の機会を創出し、より丁寧に説明することが必要であるといった意見が得られた。

以上から、今後消費者に近いところで水素をガス事業として活用する場合には、各事業者は、自治体と連携し、消費者への説明の機会を創出し、リスクコミュニケーションを行い、消費者の理解を得る必要があることが示唆された。

第3章 今後のガス事業における想定される水素の利用方法の調査整理

3.1 今後のガス事業における想定される水素の利用方法の調査整理

本検討においては、今後のガス事業において想定される水素の利用方法について、実証事業が終了したもの、実証事業中のもの、今後の構想等も含め、幅広く情報収集を行った。これらの事例については、導管利用の事例の他、現在高圧ガス保安法が適用されているものも含め、情報収集を実施した。

ここでは、これらの情報について、類別化を行い、「水素製造設備」、「水素貯蔵設備」、「輸送設備」、「水素利用設備」の分析を実施した。

なお、本報告書において、導管、配管、パイプラインの定義としては、以下の定義とした。

- ・導管：事業所の外に出る管（主にガス事業法が適用）
- ・配管：事業所内に設置されている管（主に高圧ガス保安法が適用）
- ・パイプライン：導管及び配管の総称

(1) 水素利用方法の類別化

水素利用については、その活用方法について、約 40 事例を分析し、(2)～(7)に示すように、主に6つのパターンに分類した。水素の供給方法としては、導管以外においても、車両を活用したもの等が想定されている。

表 3.1 に水素活用方法の類別化を示す。

表 3.1 水素活用方法の類別化

水素 利用法	名称	供給方法	説明	水素利用者
純水素 利用	分類1: 湾岸部での水素受入地からの水素供給(海外からの水素受入)モデル	配管/導管	海外で水素製造を行い、湾岸部での輸入水素の受入を想定、この水素拠点から直接水素を供給するモデル	主として事業者
	分類2: 現地にて水素製造・利用するモデル	水素 ステーション	国内にて水素製造し、工場等の企業で水素利用を想定したモデル	主として事業者
	分類3: 水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給モデル	導管	水素製造拠点および水素ステーションから水素導管での供給を想定したモデル	主として事業者 ／消費者
	分類4: 水素製造拠点からの車両運搬供給モデル	車両運搬	水素製造拠点等から車両運搬等で水素供給を想定したモデル(LPガスの代替を含む)	主として消費者
	分類5: オンサイト型水素ステーションによる水素供給モデル	—	オンサイト型水素ステーションにて水素製造および供給を想定したモデル	主として消費者
水素 変換	分類6: 水素変換による活用モデル	—	水素を都市ガスに混合、または水素からメタンを合成し都市ガスとして混合して供給することを想定したモデル	主として消費者

(2) 分類 1：湾岸部での水素受入地からの水素供給（海外からの水素受入）モデル

分類 1 は、海外で水素製造を行い、湾岸部での輸入水素の受け入れを想定し、この水素拠点から、国内に水素供給を行うモデルである。

輸入水素の形態は、主には液化水素、有機ハイドライド方式が想定され、水素の供給先は、主には発電所や製鉄所の大型需要家が想定される。

図 3.1 に湾岸部での水素受入基地からの水素供給モデルイメージ（分類 1）、表 3.2 に湾岸部での水素受入基地からの水素供給事業の例（分類 1）、図 3.2 湾岸部において液化水素受入から水素供給を行うイメージ（1—①）、図 3.3 に湾岸部において MCH 受入から水素供給を行うイメージ（1—②）、図 3.4 に水素航空機導入初期の空港周辺インフラの想定（1—⑥）を示す。

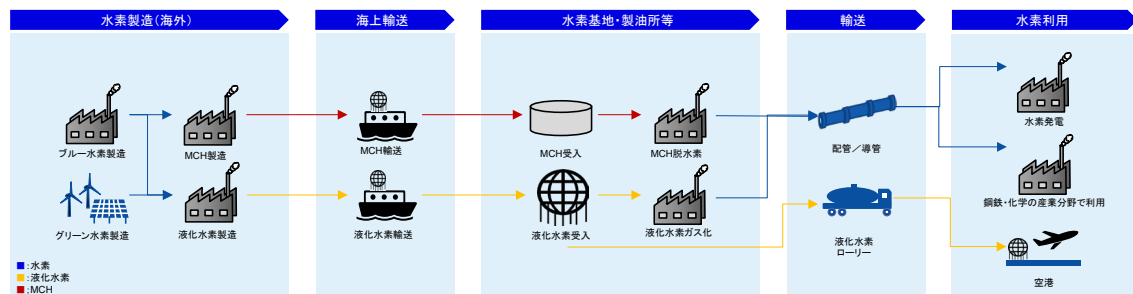


図 3.1 湾岸部での水素受入基地からの水素供給モデルイメージ（分類 1）

表 3.2 湾岸部での水素受入基地からの水素供給モデル例（分類 1）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
1－①	京浜臨海部における水素インフラ構築	配管/導管（中圧、高圧）	液化水素貯槽	発電所、工場等	実証予定/実証事業の結果によるが、実現性あり	臨海部における水素インフラ構築の構想。川崎臨海部に CO ₂ フリー水素の拠点を設け、この設備からパイプラインにて周辺発電所等へ水素供給を行う構想。
1－②	MCH 受け入れから水素供給	配管/導管（中圧、高圧）	脱水素設備、MCH タンク	発電所、工場等	実証予定/実証事業の結果によるが、実現性あり	MCH 受入拠点を臨海部に設け、脱水素を行い、水素を供給する構想。
1－③	水素スマートシティ神戸構想	—	液化水素貯槽、水素ステーション	ガスタービン発電、燃料電池	実証済/電気事業に展開	現在、NEDO 事業により液化水素貯槽タンクが神戸市で開発。これらを活用し、周辺地域に水素供給が実施される計画である。神戸港での液体水素の受入から貯蔵までの実証と水素での火力発電の実証を行う。
1－④	伊勢湾地区における水素サプライチェーン構築	配管/導管（中圧、高圧）	—	—	構想段階	伊勢湾地区における発電所や工業地帯等で用いられる水素を需要地近傍に大規模な受け入れ供給拠点を整備する計画。多くの産業が集積する伊勢湾地区にて、水素サプライチェーン構築に向け検討するものである。
1－⑤	勿来地区と広野地区とのパイプライン敷設計画	導管/配管（中圧、高圧）	—	発電所	構想段階	福島県いわき市の海寄りの地域に全長約 50 キロメートルの水素パイプラインを敷設する構想。火力発電所がある勿来（なこそ）地区と、福島県広野町の間を地下パイプラインで結ぶ計画。
1－⑥	空港内のハイドランドシステムでの水素供給	配管（低圧、中圧、高圧）	液化水素貯槽	航空機	航空機の開発動向にもよるが 2030 年以降可能性あり	2035 年以降、水素航空機の実証が開始することが想定され、将来的に現在の空港のハイドランドシステム（ケロシン供給配管）が水素に置き換わることが想定されている。

※ 配管/導管の区別、圧力分類については、各事例の状況に鑑み、みずほリサーチ&テクノロジーズが推定した



図 3.2 湾岸部において液化水素受入から水素供給を行うイメージ（１―①）²



図 3.3 湾岸部において MCH 受入から水素供給を行うイメージ（１―②）

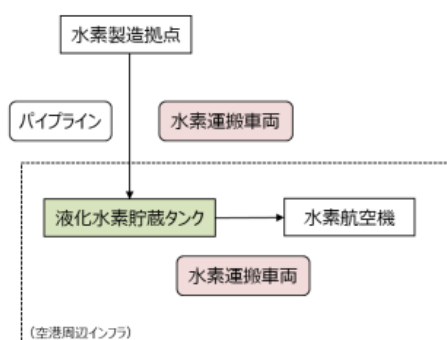


図 3.4 水素航空機導入初期の空港周辺インフラの想定（１―⑥）³

² 「ENEOSの水素社会実現に向けた取組みと保安規制上の課題」（ENEOS 株式会社），第 1 回水素保安戦略の策定に係る検討会資料

³ 令和 3 年度産業経済研究委託事業（水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ調査）調査報告書（みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社）

(3) 分類2：現地にて水素製造・利用するモデル

分類2は、国内にて水素製造を行い、工場等の事業所で水素利用を想定したモデルである。

水素は主に再生可能エネルギーを利用した水電解装置を活用し製造を行う。利用設備としては、敷地内の水素ステーションを介し、フォークリフト、定置用燃料電池である。

図 3.5 に現地水素製造・利用モデルイメージ（分類2）、表 3.3 に現地水素製造・利用モデルの例（分類2）、図 3.6 にトヨタ自動車九州宮田工場における太陽光発電で製造したCO2フリー水素を燃料電池、フォークリフトで活用するモデル（2―①）、図 3.7 に中部国際空港セントレアの水素活用（2―④）を示す。

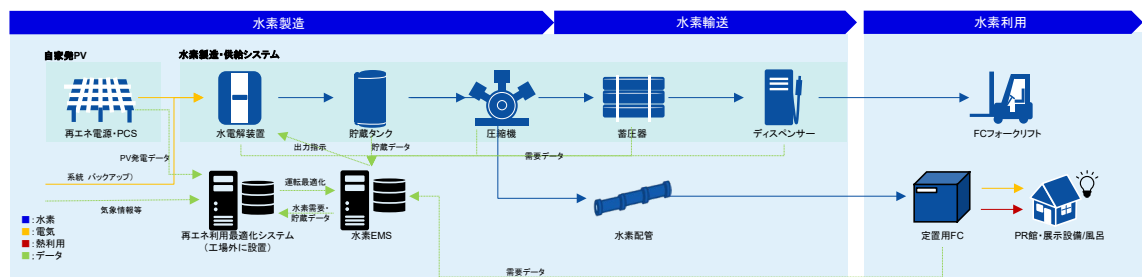


図 3.5 現地水素製造・利用モデルイメージ（分類2）

表 3.3 現地水素製造・利用モデルの例（分類2）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
2－①	太陽光発電で製造したCO ₂ フリー水素を燃料電池フォークリフトで活用	配管	水素ステーション	FC フォークリフト、定置用燃料電池、入浴施設への熱供給	補助事業で実現済みである	経済産業省、環境省、国土交通省の補助事業を活用し、工場内に設置した太陽光発電を利用し水を電気分解して製造したCO ₂ フリー水素を貯蔵・輸送・供給する一貫システムを整備し、燃料電池フォークリフトや定置用燃料電池で利用する事業を実施した。加えて、定置用燃料電池を設置し、展示設備の照明などの電力や入浴施設に熱を供給することも実施した。
2－②	再エネ由来の水素を製造・供給するステーション	－	水素ステーション	FC フォークリフト	一部実現済みである	トヨタ自動車元町工場において工場敷地内にある太陽光で発電した電力を利用して、水の電気分解により低炭素水素を製造し、さらに圧縮・蓄圧した上で、燃料電池フォークリフトに充填するまでの工程を一貫して対応できる水素ステーションを2019年4月に設置。
2－③	水素エネルギー利活用センター	－	水素ステーション	FC フォークリフト	実現済み	東芝府中事業所内に「水素エネルギー利活用センター」を開設。電力を安定的に供給できるCO ₂ フリーの自立型水素エネルギー供給システムを導入し、FC フォークリフト2台の稼働を実施。
2－④	セントレアの水素活用	－	水素ステーション	燃料電池（乗用車、バス等）	実現済み	乗用車・バス向けの商用ステーション、産業車両向けの水素供給設備の設置、水素フォークリフトを導入し、貨物地区の業務への利用、イオンモール常滑とセントレア間を結ぶシャトルバスの一部が水素バスとなっている。

(4) 分類3：水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給モデル

分類3は、国内における水素製造拠点や水素ステーションから、導管供給により、定置型燃料電池、水素ステーション等に水素供給を行うものである。

水素製造は、主に再生可能エネルギーを利用した水電解装置、副生水素、他の水素製造設備からの供給が主体である。利用設備としては、定置用燃料電池、水素モビリティが想定される。

図 3.8 に水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給イメージ（分類3）、表 3.4 に現地水素製造・利用モデルの例（分類3）、図 3.9 に HARUMI FLAG 水素事業の概要（3—①）、図 3.10 に Woven City における CO2 フリー水素供給（3—②）、図 3.11 に九州における余剰再エネ等ゼロエミ電源を用いた水素社会地域モデル（3—③）、図 3.12 に洋上風力発電の余剰電力による水素製造および利活用に向けた調査事業（3—④）を示す。

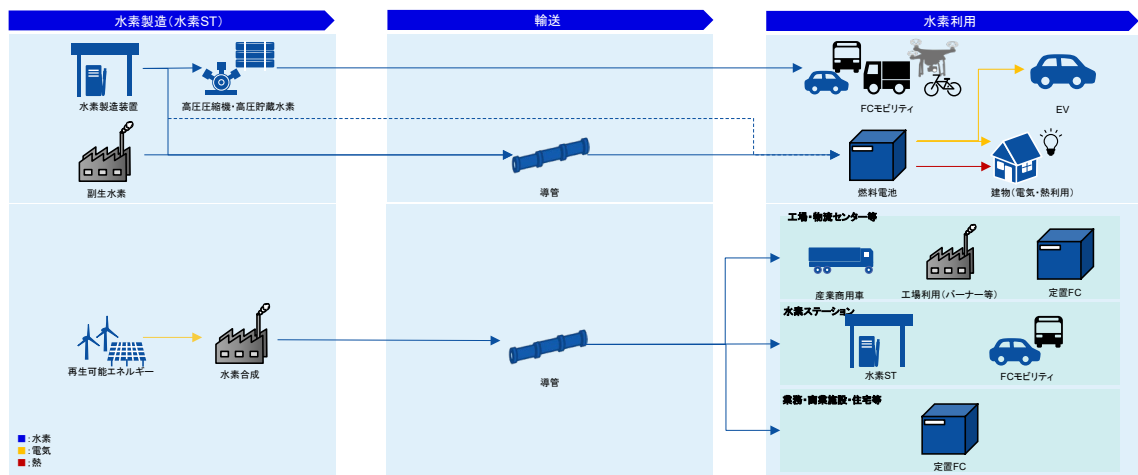


図 3.8 水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給イメージ（分類3）

表 3.4 水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給の例（分類3）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
3-①	HARUMI FLAG	導管（低圧、中圧）	水素ステーション	燃料電池	2024 年より供用開始	オリンピック・パラリンピック 2020 東京で活用された選手村である HARUMI FLAG に水素を供給する構想。
3-②	Woven City における CO ₂ フリー水素供給	導管（中圧）	水素ステーション、水電解装置	燃料電池、各種モビリティ	2022 年開発に合意済み、近い将来実現する可能性あり	トヨタが実証を計画する Woven City における CO ₂ フリー水素を供給する計画。
3-③	九州における余剰再エネ等ゼロエミ電源を用いた水素社会地域モデル	導管（中圧）	水素製造装置	FCバス、FCトラック、FCフォークリフト、化学プラント、鉄鋼所	2025 年実証運用開始予定	ゼロエミ電源を用いた水素の地産地消を目的に、九州大学の水素ステーションの活用、大規模需要家向けに SOEC（固体酸化物形電解セル）型水素製造装置の導入および運用に向けた調査・検討を行う。
3-④	洋上風力発電の余剰電力による水素製造および利活用に向けた調査事業	導管（中圧）	水素ステーション	水素モビリティ	2026 年には水素製造計画あり、導管供給については未定	太陽光や風力などの再生可能エネルギーを使い、水素の製造や利活用の可能性を探る調査を開始。同村のむつ小川原開発地区を拠点に、東北地方への水素サプライチェーン（供給網）の構築をめざす。
3-⑤	つくば市における実証実験、水素配管を敷設した建物	導管（低圧、中圧）	—	燃料電池	実証済み/今後の計画は現段階ではない	国土交通省において、共同構内の水素配管の敷設の実証事業、建物内の水素配管敷設の検討が行われた。
3-⑥	北九州水素タウン	導管（低圧、中圧）	—	燃料電池、その他水素機器	実証済み/今後の計画は現段階ではない	日本製鉄の工場からの副生水素を住宅の燃料電池にパイプラインで供給する実証実験、2018 年より、水素導管供給実証試験を実施。

表 3.4 水素製造拠点及び水素ステーションからパイプラインによる水素供給の例（分類3）（2/2）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
3-⑦	柱上パイプラインによる水素の輸送実証	柱上パイプライン：導管（低圧、中圧）	—	燃料電池	実証済み/今後の計画は現段階ではない	水素供給方式として、柱上パイプラインによる水素の輸送実証が実施。
3-⑧	既設パイプラインを利用した水素パイプラインの安全対策等に関する共同事業の実施	導管（低圧、中圧）※既設通信用管路内	水素ステーション	公共・商業施設、データセンター/通信ビル、燃料電池、各種モビリティ	構想段階	通信用管路（洞道等）を地用したパイプラインの利用による都市部（公共・商業施設、データセンター/通信ビル、燃料電池、水素ステーション等）への水素供給を目指した安全対策等に関する研究開発を実施。
3-⑨	なみえ水素タウン構想	導管（低圧、中圧）	水素ステーション	燃料電池自動車、FCバス、FC農機、ビニールハウスFC、純水素FC	構想段階	ゼロカーボンシティ達成に向け、町内で様々な水素利用に関するプロジェクトが実施。モビリティとして水素燃料電池自動車の他、FCバス、FC農機、ビニールハウスFC、純水素FCが想定されている。

※配管/導管の区別、圧力分類については、各事例の状況に鑑み、みずほリサーチ&テクノロジーズが推定した

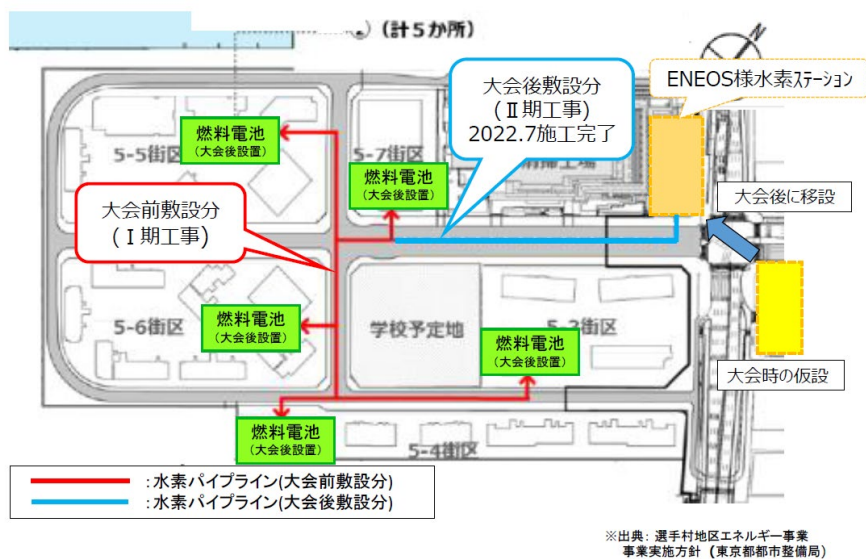


図 3.9 HARUMI FLAG 水素事業の概要 (3-①) ⁶

Woven City水素ステーションのイメージ

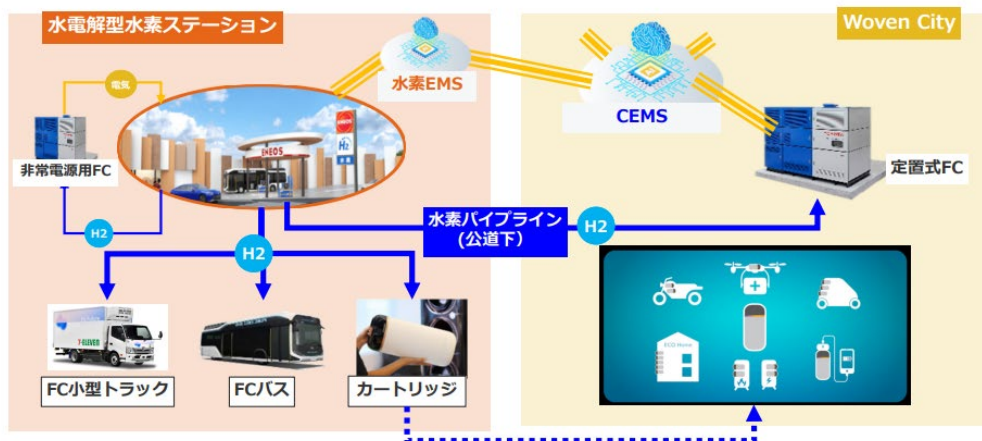


図 3.10 Woven City における CO2 フリー水素供給 (3-②) ⁷

⁶ 「HARUMI FLAG への水素供給について (東京ガス)、第2回水素保安戦略の策定に係る検討会

⁷ 「ENEOSの水素社会実現に向けた取組みと保安規制上の課題」(ENEOS 株式会社), 第1回水素保安戦略の策定に係る検討会資料

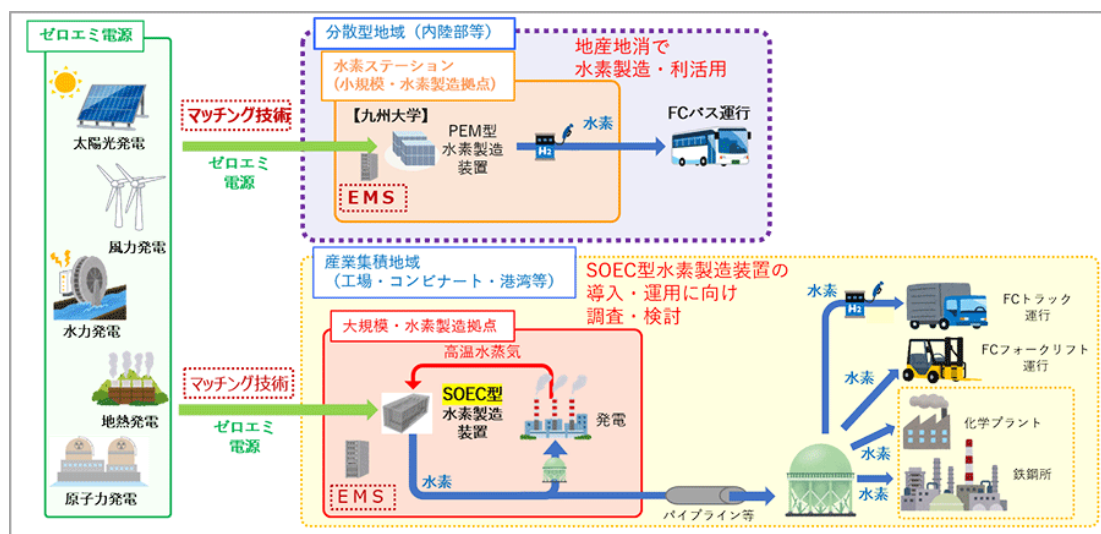


図 3.11 九州における余剰再生エネ等ゼロエミ電源を用いた水素社会地域モデル

(3—③)⁸



図 3.12 洋上風力発電の余剰電力による水素製造および利活用に向けた調査事業

(3—④)⁹

⁸ 九州電力 HP

⁹ グリーンインベストメント HP

(5) 分類４：水素製造拠点からの車両運搬供給モデル

分類４は、水素製造拠点から車両運搬を通じ水素を供給するモデルである。水素貯蔵は、圧縮水素貯蔵容器、水素吸蔵合金が想定される。複数の水素供給拠点からの供給や、既存の供給網を活用することが可能である。

図 3.13 に水素製造拠点からの車両運搬供給イメージ（分類４）、表 3.5 に水素製造拠点からの車両運搬供給モデルの例（分類４）、図 3.14 に既存の LPG 配送網を活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築（４－①）、図 3.15 に CO2 フリーの水素エネルギー社会実現に向けた P2G システム技術開発（４－②）、図 3.16 図 3.11 になみえ水素タウン構想（生協による水素配送実証 FS）（４－④）を示す。

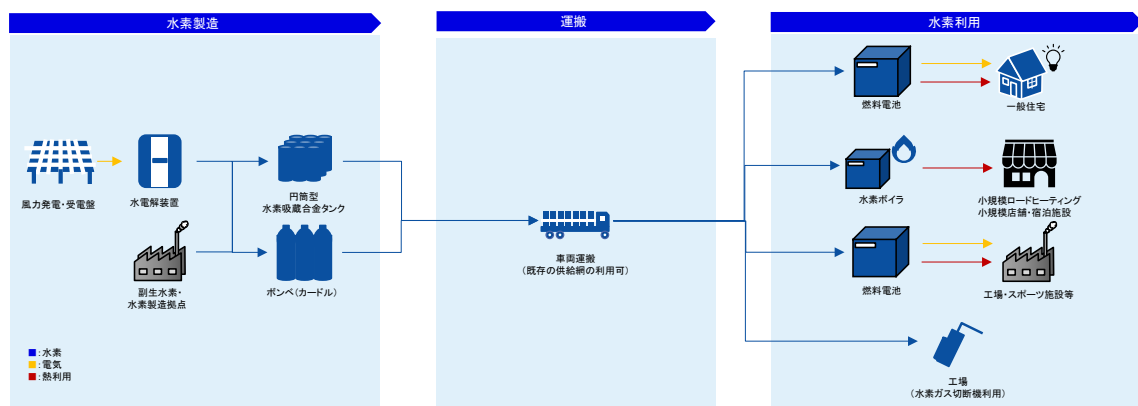


図 3.13 水素製造拠点からの車両運搬供給イメージ（分類４）

表 3.5 水素製造拠点からの車両運搬供給の例（分類 4）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
4－①	既存の LPG 配送網を活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築・実証	－	水電解装置	一般住宅の他、小規模ロードヒーティング、小規模店舗、宿泊施設、金属加工工場	実証段階であり、実現性は実証やニーズによる	北海道室蘭市が所有する祝津風力発電所で発電した電気を使い、水電解水素製造装置で水素を製造、既存のガス配送網に混載可能な円筒型水素吸蔵合金タンク（以下「MH タンク」）に充填し、需要家まで配送。
4－②	CO ₂ フリーの水素エネルギー社会実現に向けた P2G システム技術開発・実証研究	－	水電解装置	純水素型燃料電池	実証済み、実証後事業継続	山梨県甲府市内の米倉山において、太陽光発電による電力により、年間 45 万 m ³ の水素を製造、貯蔵、利用する P2G システムの確立を目指すもの。NEDO の委託事業で実施。
4－③	停電時でも発電を可能とする水素混焼発電機	－	水電解装置	生協・児童クラブ	実証済み現在発電の実証中	みやぎ生協の物流センターの太陽光発電システムで発電した電力を用い、水電解装置で作られた水素を水素吸蔵合金カセットに吸収させ、みやぎ生協の既存物流ネットワークを利用して家庭 3 軒、みやぎ生協店舗ならびに児童クラブに配送し純水素型燃料電池により電気や熱として利活用。またその水素を利用し、停電時でも発電を可能とする水素混焼発電機を設置した。
4－④	なみえ水素タウン構想	－	水素ステーション	燃料電池自動車、FC バス、FC 農機、ビニールハウス FC、純水素 FC	構想段階	ゼロカーボンシティ達成に向け、町内で様々な水素利用に関するプロジェクトが実施。モビリティとして水素燃料電池自動車の他、FC バス、FC 農機、ビニールハウス FC、純水素 FC が想定されている。

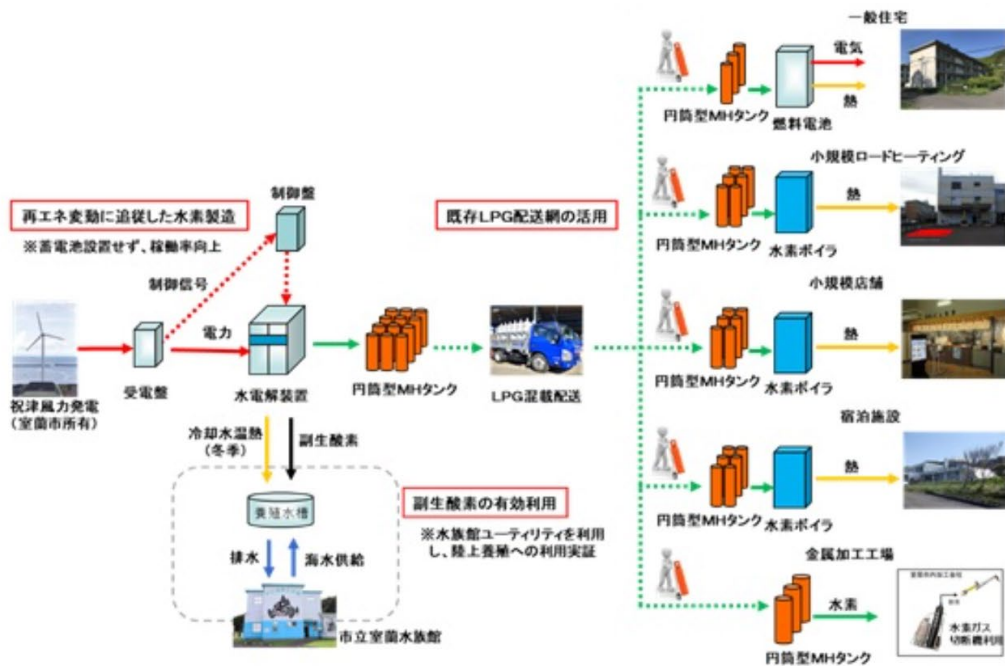


図 3.14 既存の LPG 配送網を活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築

(4-①) 10

P2Gシステムの開発と実証による水素エネルギー社会の実現



山梨県企業局 東レ株式会社 東京電力ホールディングス株式会社 株式会社東光高岳

図 3.15 CO2 フリーの水素エネルギー社会実現に向けた P2G システム (4-②) 11

10 エア・ウォーターHP

11 山梨県 HP

表 3.6 オンサイト型水素ステーションによる水素供給の例（分類5）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	今後について	概要
5－①	カーボンニュートラルへの取り組み 水素製造・供給・利 活用の推進	－	水素ステー ション	燃料電池自動車	実現済み	千住、浦和、豊洲にて水素ステーションを運営。
5－②	バイオガスからの 水素活用事例	－	水素ステー ション	燃料電池自動車、 燃料電池	実現済み	北海道鹿追町における地域特性を最大限に生かした地域循環型のエネルギー供給システムであり、これまで処理に困っていた家畜ふん尿から発生するメタンガスから水素を発生させ、その水素を使って、役場及び町内企業が導入した水素自動車 19 台が町内を走っている。
5－③	福岡市水素リーダ ー都市プロジェクト（下水バイオガ スから作った水素 を地産地消）	－	水素ステー ション	燃料電池自動車	実証後、事業化 せず	中部水処理センターにおいて下水汚泥を処理する過程で発生するバイオガスから水素をつくり、燃料電池自動車（FCV）へ供給する実証。
5－④	水素ステーション の建設	－	水素ステー ション	未定（燃料電池）	将来構想	段ボール原紙を製造していた王子マテリア名寄工場の閉鎖に伴う跡地の利用について、北海道名寄市では、水素ステーションとして活用したいとの要望があったため、水素ステーションの規制の概要の問い合わせあり。

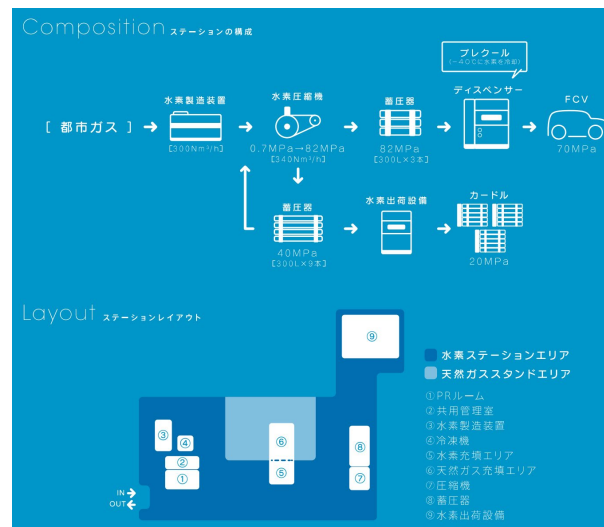


図 3.18 東京ガスにおけるカーボンニュートラルへの取り組み水素製造・供給・利活用の推進（５－①）¹³



図 3.19 しかおい水素ファーム：バイオガスからの水素活用事例（５－②）¹⁴

¹³ 東京ガス HP

¹⁴ しかおい水素ファーム HP

(7) 分類 6：水素変換による活用モデル

分類 6 は、水素からメタンを合成（e-methane）し都市ガスとして供給すること、または水素を都市ガスに混合し都市ガスと同等の燃焼範囲内のガスを供給することを想定したモデルである。利用側については、通常の都市ガスと同様の利用設備が想定されるが、後者の水素を都市ガスに混合するモデルは、需要機器側への影響への留意が必要である。

図 3.20 に水素変換による活用モデルイメージ（分類 6）、表 3.7 に水素変換による活用モデルの例（分類 6）、図 3.21 に SOEC メタネーションに関する研究開発（6—①）、図 3.22 に再エネ電解水素の製造及び水素混合ガスの供給利用実証事業（6—④）を示す。

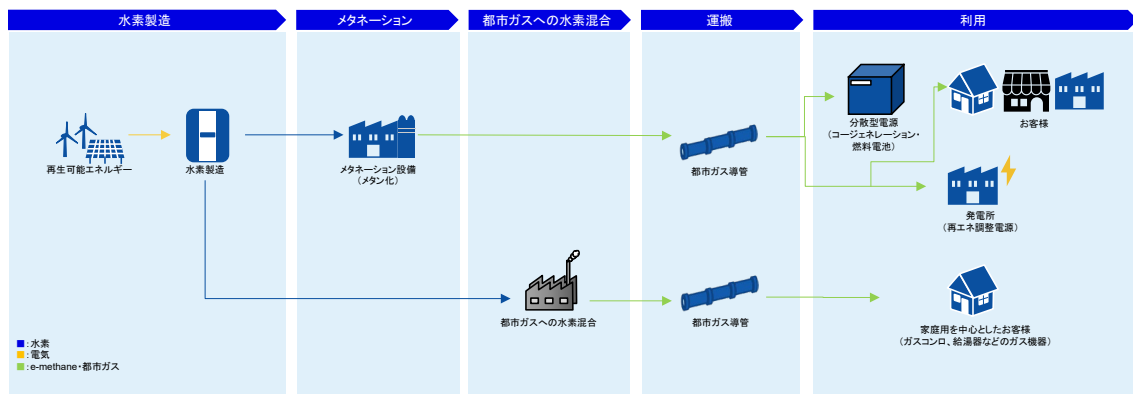


図 3.20 水素変換による活用モデルイメージ（分類 6）

表 3.7 水素変換による活用モデルの例（分類6）

NO	テーマ	パイプライン	水素設備	ユーザー設備	実現性	概要
6－①	再エネ水素を活用した都市部メタネーション実証/SOECメタネーションに関する研究開発	既設導管(将来展開)	水電解装置、メタネーション設備、共電解装置	－	実証予定/実証の結果次第で実現の可能性あり	水素は、再エネ等を用い、水を電気分解することで製造を想定。
6－②	メタネーション実証試験	既設導管(将来展開)	水電解装置、メタネーション設備	－	実証予定/実証の結果次第で実現の可能性あり	電気分解で水素を製造し、メタネーションすることで都市ガスの原料に利用。
6－③	水素混合LPガスの供給利用調査	既設導管（低圧、中圧、高圧）	水素混合ガス製造装置	－	調査事業を実施、調査事業の結果に応じ実証の可能性あり	LP供給ガスベースの都市ガスに水素を20%程度混合し、都市ガスと同等の燃焼範囲内のガスを製造して導管供給をすることを目的に、水素の混合技術の検討、CO ₂ 削減効果の検証等を行うもの。 NEDO事業。
6－④	再エネ電解水素の製造及び水素混合ガスの供給利用実証事業	既設導管（低圧、中圧）※実証は模擬ガスパイプにて実施	水電解装置、水素混合ガス製造装置	ガスこんろ、給湯器等の市販ガス機器において利用	実証済み/今後の計画は現段階ではない	秋田県能代市所在の風力発電の電力を用いて水を電気分解し、水素を製造、熱量の高い秋田県産の天然ガスを模擬した模擬ガスと水素を混合し、ガス事業法で定める都市ガス13A規格に適合した水素混合ガスを製造する。最終的に、製造した水素混合ガスをガス配管で隣接地に設置した利用場所へ供給し、ガスこんろ、給湯器等の市販ガス機器において利用する実証を実施。

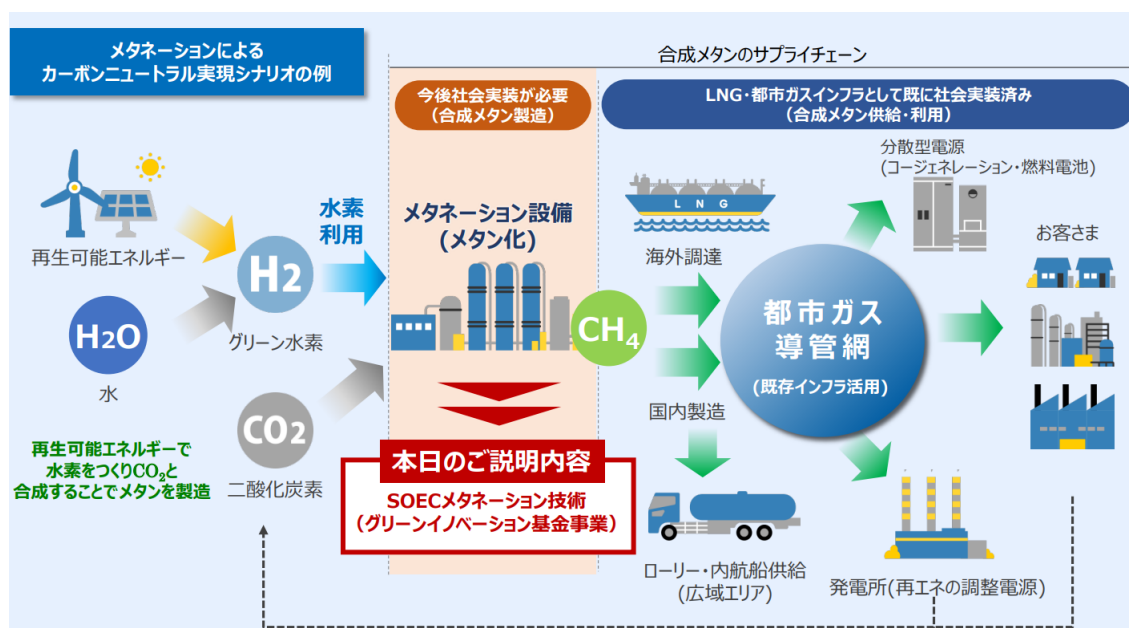


図 3.21 再エネ水素を活用した都市部メタネーション実証/SOEC メタネーションに関する研究開発（6—①）¹⁵

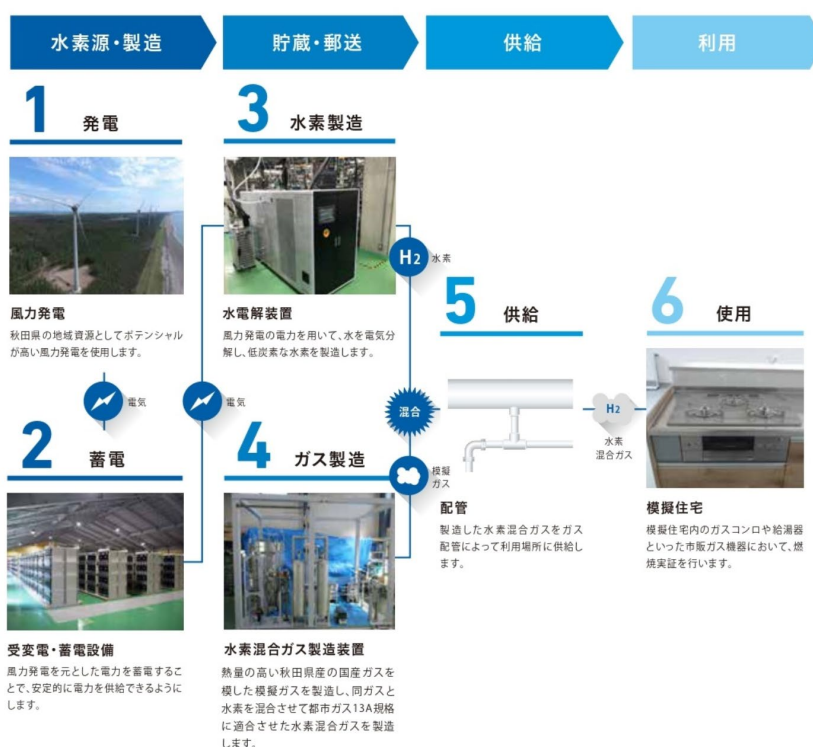


図 3.22 再エネ電解水素の製造及び水素混合ガスの供給利用実証事業（6—④）¹⁶

¹⁵ 「グリーンイノベーション基金事業 SOEC メタネーション技術」大阪ガス、第8回メタネーション推進官民協議会

¹⁶ 「再エネ電解水素の製造及び水素混合ガスの供給利用実証事業」エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所

3.2 今後のガス事業における水素設備の概要

3.1 における調査結果より、今後ガス事業における国内に設置される水素設備として、以下の設備が想定されることが分かった。

表 3.8 に今後設置される可能性がある水素設備を示す。

表 3.8 今後設置される可能性がある水素設備

設備項目	具体的な設備
水素製造設備	水電解装置＋再エネ設備
	バイオガスからの水素製造設備
水素貯蔵設備	液化水素貯槽
	MCH タンク＋脱水素設備
	水素ガスホルダー
水素輸送設備	水素パイプライン（導管／配管）
	水素ローリー
	水素貯蔵容器
	水素吸蔵合金
水素利用設備	定置式燃料電池（集合住宅、戸建て住宅、等）
	車載用燃料電池（燃料電池自動車、バス、等）
	その他燃料電池（電動アシスト自転車、ドローン、草刈り機等）
	工場・製鉄所、発電所
	水素給湯器
その他設備	メタネーション設備
	都市ガスへの水素混合プラント
	ガス改質による水素製造設備

第4章 海外における水素利用の調査整理

本章においては、先進的事例を持つ4か国以上における導管供給による水素利用について調査・整理を行う。

4.1 欧州における水素活用計画

(1) ロッテルダム港における水素活用事例

ロッテルダム港では、港で水電解された水素を企業に供給し、既設パイプラインと接続することで、オランダ全土に供給する計画がある。

今後は水素輸入を促進するためのターミナル建設の計画もあり、2050年に水素搬入量2,000万トンという高い目標を掲げ、早ければ2023年から①様々な水素製造源からの水素製造、②パイプラインによる水素輸送、③輸送・民生・産業等の分野での水素利活用を、順次実施する予定（水素輸入基地の稼働予定時期は2030年）である。

なお、本プロジェクトには、日本企業として、千代田化工建設、三菱商事が参入し、ロッテルダム港湾公社、クレーターミナル社と共同調査に関する覚書を締結、国際間サプライチェーン構築を目指す。



図 4.1 ロッテルダム港における水素活用事例¹⁷

¹⁷ Hydrogen Economy in Rotterdam Handout（三菱商事 HP）

(2) ドイツ、ヘルゴラント島における水素活用事例

AquaVentus イニシアティブは、北海での水素製造から陸上の需要家に水素を輸送するプロジェクトであり、北海に浮かぶドイツ唯一の島であるヘルゴラント島をハブとし、そこから1本の集中パイプラインで水素を本土へ輸送する計画である。

最初の実証プロジェクトでは、風車の基礎部分に水電解装置を組み込んだ洋上風車2基を設置し、各14MWの風車2基は、パイプラインを経由し系統に接続し、同時に洋上風力発電で発電した電気を活用し水素製造を行い、試運転を得てヘルゴラント島に水素を供給する計画である。

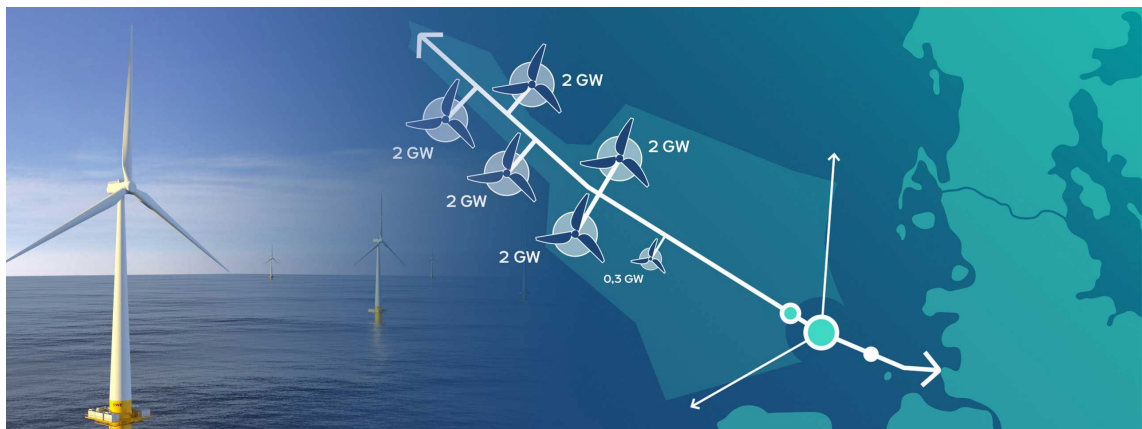


図 4.2 ドイツ、ヘルゴラント島における水素活用事例 ¹⁸

¹⁸ AquaVentus イニシアティブ (RWE 社)

(3) H100 Fife プロジェクトにおける水素活用計画

(a) プロジェクトの概要

H100 Fife プロジェクトは、英国スコットランド東海岸において、既設天然ガスパイプラインに水素を供給する計画である。水素は洋上風力発電の電力を活用し、水電解装置により生成する。生成した水素については、既設天然ガスパイプラインを用いて、周辺家庭（約 300 世帯を対象）に供給を行い、主に暖房用のボイラーとして活用するほか、水素調理器具への利用が想定されている。本プロジェクトは、2022 年建設開始、2024 年に水素ネットワークの稼働、2027 年 3 月まで運用される予定である。

本プロジェクトにおいては、以下の検討を実施予定。

- ◆ 関連法規に準拠していることを実証するとともに、ガス安全規則の関連セクションの見直しの実施
- ◆ 天然ガスの運用と水素の運用の相違点の確立
- ◆ SGN（イングランド南部及びスコットランド全土の 590 万の家庭及び企業にガスを供給するガス事業者）における安全フレーム（技術面、管理面の両方での安全上重要な事項の特定）の確立

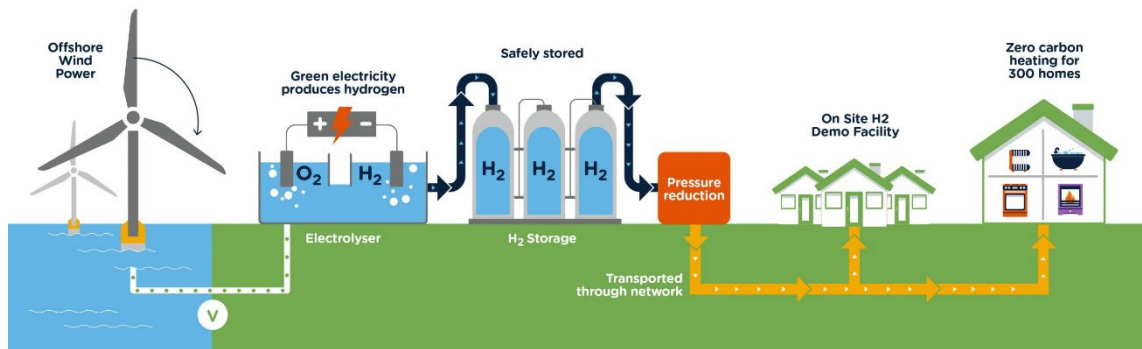


図 4.3 H100 Fife プロジェクトの概要¹⁹

本事業における水素利用条件は、以下の通りである。

- ◆ 容器の最大圧力：30bar（約 3MPa）²⁰
- ◆ 低層建物への供給圧力：75mbar（約 7.5kPa）

本実証事業においては、材料（金属材料、ポリエチレン管）、付属品、溶接部の試験を実

¹⁹ SGN HP

²⁰ 欧州では、圧力機器については、Pressure Equipment Directive 2014/68/EU（圧力機器指令 PED）に準拠する必要がある、（圧力 P×体積 V）の値に応じ、認証方法が異なる。圧力が 30bar の場合、体積 V=6.7L（Group2 と 3 の境界）、33L（Group3 と 4 の境界）に応じて、要求される認証制度が異なる。なお、対象の設備の体積についての記載は確認できなかった。

施予定である。

水素については、付臭を想定しており、5つの臭気物質から選定する計画である。通常の天然ガスでは、硫黄ベースの化合物を用いて付臭を行っているが、水素の付臭については、複数の付臭材を用い、実験室でのテストを行い決定する計画である。

水素の検知については、世界中で利用可能なガス検知器から選定し、テストを実施する計画である。検知器のテストは、極端な温度及び圧力下での作動、湿度の影響、水素と天然ガスの応答等、多くの「性能要件」でテストを行う計画である。どの検知器が天然ガスと水素の感度で応答するか、新しいガス検知器を作成するか検討する計画である。

(b) 火炎可視化リスクについて

H100 Fife プロジェクトでは、水素火炎の可視性リスクについて評価が実施された。

本評価は、作業員や一般の人が、火災発生時に接触する可能性があることから、十分な評価が実施された。具体的には、350mbar から 60bar の範囲の圧力で、水素放出試験を行い、水素の視認性について確認された。2bar の圧力、ポリエチレン管を用いた天然ガス、水素の漏えい比較テスト（直径 25mm の欠陥からの漏えいを想定）では、水素の場合についても視認性が高いと結論づけられた。また、6bar の 6 インチパイプラインにおいては、0.5mm の欠陥を想定し、夜間での視認性が確認された。



図 4.4 H100 Fife における水素火炎の可視化実験²¹

H100 Fife プロジェクトでは、水素火炎の可視性リスクの評価を実施した結果として、以下の評価を得た。

- ◆ 水素火炎の視認性は、天然ガス火炎に比べ、低い可能性がある
- ◆ 水素火炎の視認性に影響を与える要因は、以下の通りである
 - リリース圧力：2bar (0.2MPa) 以上の放出圧力では、視認性が高くなる
 - リリースの方向性：影響を与える放出は、特に人と接触している場合、目に見える可能性が高くなり、また地面から粉塵微粒子を巻き込む可能性が高くなる
 - 周辺光レベル：低光レベル（夜間など）での放出は、目に見える可能性が高くなる

²¹ Project report Flame Visibility Risk Assessment 10172283-1 (SGN)

- 背景色：より暗い背景に対する放出は、目に見える可能性高くなる
- ◆ これらの要因については、天然ガスにも当てはまることが言えると整理

以上の調査結果に加え、詳細な人的被害コストの見積等を行い、低圧放出による死亡事故発生リスクに大きな影響を与えないと評価された。

(4) HyNet プロジェクトにおける水素活用計画

(a) プロジェクトの概要

HyNet プロジェクトは、英国北西部のリバプール市～マンチェスター市付近で計画されている地元で生産されている低炭素水素を、産業や企業等の熱源としてパイプラインを通じて供給するプロジェクトである。

水素製造は、Essar Oil UK と Progressive Energy のジョイントベンチャーである Vertex Hydrogen の製造設備で生産され、CADENT 社の地下パイプラインを介し、産業に輸送され、天然ガスの代替エネルギーとして活用される。

本計画の中には、地下貯蔵設備も活用する計画であり、INOVYN 社が所有する天然ガスを地下貯蔵している岩塩の洞窟を再利用し、35,000 トンの水素を貯蔵し、エネルギー需要のピークとオフピークを管理する計画である。

(b) パイプラインの概要

Vertex Hydrogen の製造設備で製造された低炭素水素は、産業顧客に輸送するため、延長125km の新設の地下埋設パイプラインの開発を計画している。パイプラインは地下に設置されるが、ルート上には、10 か所の水素地上設備が設けられる計画である。

本計画は、2025 年に着工開始を目指し、現在、許認可の協議を実施している。

図 4.5 に HyNet North West 水素パイプラインの計画を示す。

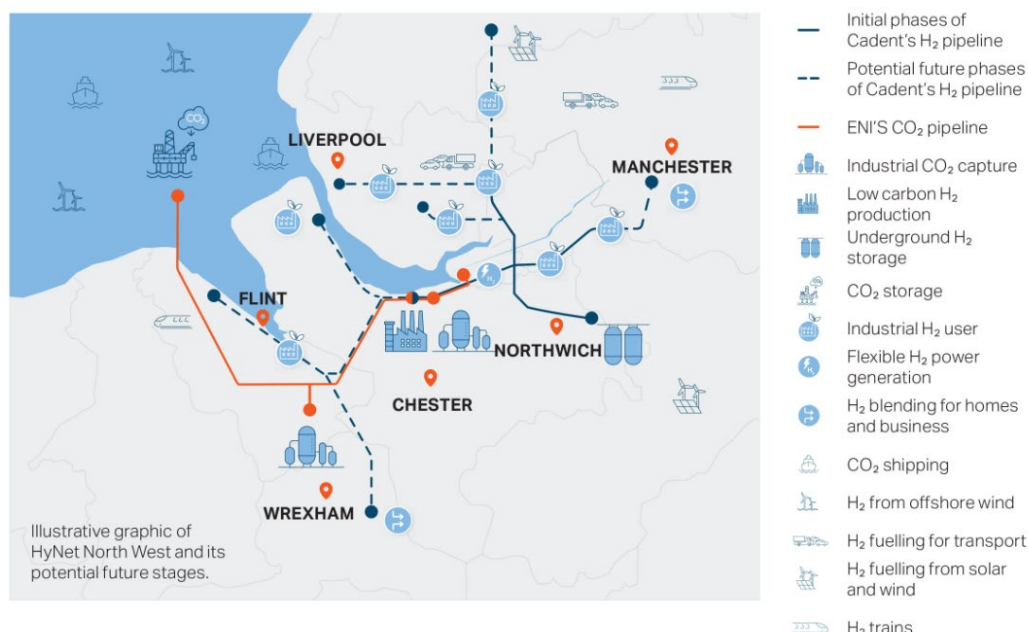


図 4.5 HyNet North West 水素パイプラインの計画 ²²

²² HyNet North West Hydrogen Pipeline HP

(5) European Hydrogen Backbone

European Hydrogen Backbone は、2021 年より開始された天然ガスパイプライン、既設水素パイプライン及び新設水素パイプラインを活用した水素パイプラインの整備に係るプロジェクトである。

本プロジェクトは、欧州 28 か国の 31 のガスパイプライン運用者で構成されている。

本プロジェクトでは既存の天然ガスパイプラインを水素パイプラインへ転用することで根本的な脱炭素の取組につなげ、既存インフラが座礁資産となることを防ぎ、新たな付加価値の創出を狙うものである。

2030 年までに 28,000km、2040 年までに 53,000km の基幹水素パイプラインを整備する目標であり、このうち一部は既存の天然ガスパイプライン（全体の約 60%）を使い、一部は既設水素パイプライン、新設水素パイプラインを活用する計画である。

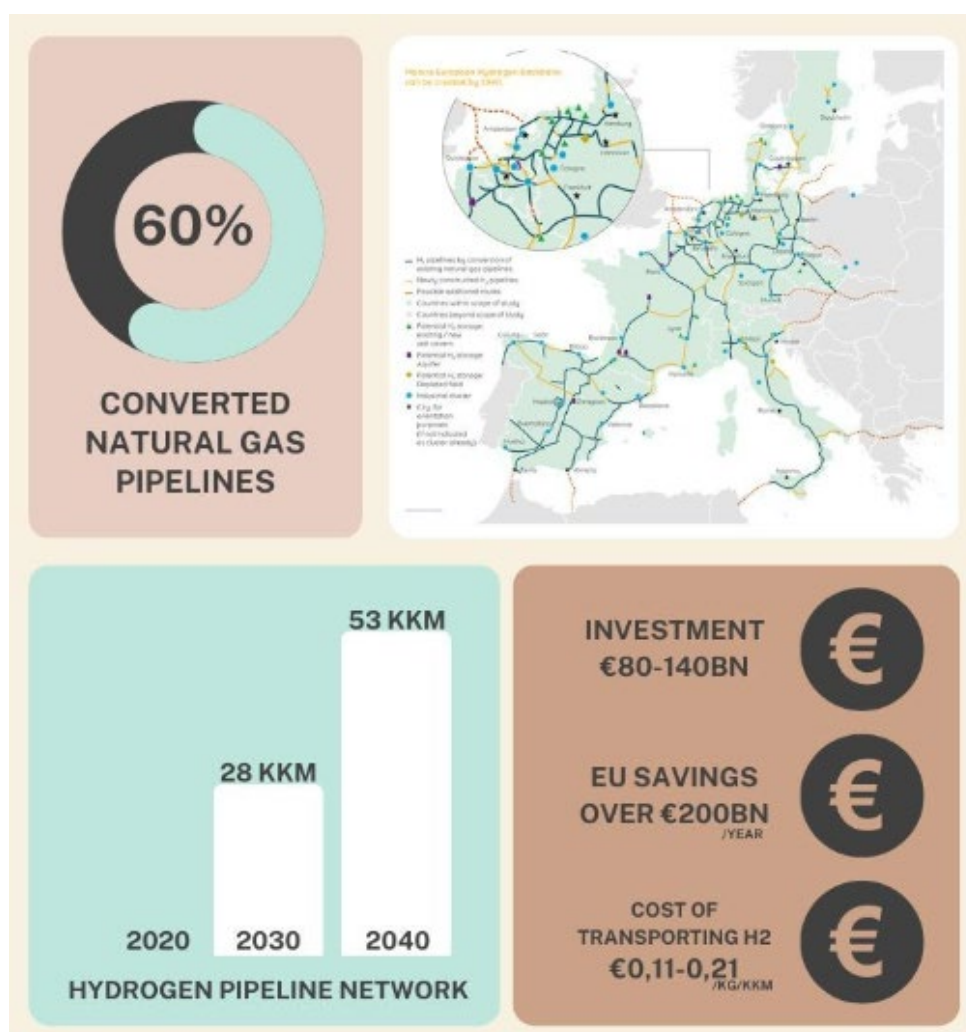


図 4.6 European Hydrogen Backbone の水素パイプライン計画²³

²³ European Hydrogen Backbone HP

(6) その他欧州における水素活用計画

(1)～(4)に示す水素活用計画以外に、以下の計画が存在する。

対象国	プロジェクト名	主なプレイヤー	概要
オランダ	Green Octopus (Hydrogen Valley)におけるグリーン水素大規模製造プロジェクト)	Clean Hydrogen Partnership, Roland Berger, Inycom	フランス・ベルギー・オランダ・ドイツ間でのパイプライン (Hydrogen Backbone) によるグリーン水素供給・利用計画
オランダ	DUWAALプロジェクト	Duwaal	オランダで風力発電設備から直接電力を調達、需要地までの約600マイルを水素パイプラインで輸送
オランダ	PosHYDonプロジェクト	Nexstep, TNO, 他	洋上風力設備上で水電解を行うための1MWの電解槽導入、海上プラットフォームを活用し、海水を原料に水素製造し、水素は天然ガスと混合してパイプライン輸送
ドイツ	Westküste 100	Thysenkrupp	洋上風力の電力から水素を製造、製油所での利用の他、パイプラインで輸送しセメント工場由来CO2と合わせて合成メタノール・燃料を製造、水素はモビリティ・熱供給でも利用
ドイツ	プロジェクト名不明 (ドイツBMWファンド)	Siemens, Air Liquide	ドイツNRW州のOberhausenで30MWの電解槽導入計画、Air Liquideの既設水素・酸素パイプラインに電解装置を統合、産業分野、ほかモビリティ向けに水素供給。
ドイツ	プロジェクト名不明 (ドイツ、連邦政府・ザクセンアンハルト州プロジェクト)	ITM Power, Linde	Lindeの保有するLeunaの化学プラントに電解装置を導入、Lindeとの合弁会社で運営、パイプラインを通じて産業顧客に水素を供給する。液化グリーン水素をモビリティ向けにも供給
スペイン	Green Hyslandプロジェクト	—	太陽光由来水素を、車両・パイプライン輸送を経て商用車や建物、港湾部電力供給で利用する計画

(2) カリフォルニア州における水素活用事例

Southern California Gas Co. (SoCalGas) は、同社の現在の天然ガス生産能力の 25%に相当するグリーン水素を供給できる水素パイプラインシステムの計画と開発プロセスを公表した。アンヘレスリンクと呼ばれるこのプロジェクトは、100%クリーンエネルギーを動力源とする電解槽から、ロサンゼルス流域の主に発電、重輸送、重工業などのエンドユーザーに水素を供給することになると、公表した。SoCalGas は 2045 年までに事業を完全に脱炭素化することについても、同時に公表した。

(3) HyBlend 計画について

米国のエネルギー省（DOE）の水素燃料電池技術局（HFTO）を中心に天然ガスパイプラインにおける水素混合する際の技術的障壁に対して検討を行う HyBlend 計画を開始。

米国には、約 300 万マイル（480 万 km）の天然ガスパイプラインと 1,600 マイル（約 2,500km）を超える水素専用パイプラインのネットワークが存在する。クリーン水素を天然ガスのパイプラインに注入することができれば、天然ガスのみよりも低い排出量で熱・電力供給が可能となる。

混合の制限は、現在のパイプラインの材料、機器及び天然ガスを利用するアプリケーションの設計と状態によって異なる。HyBlend チームは、水素の影響に対する感受性を評価するため、最大 100bar（10MPa）の圧力で、様々なパイプラインの材料をテストし、以下のツールを開発した。

- ◆ ガスの混合コストと、代替経路（再生可能な天然ガスなど）と比較して排出量を削減する可能性を評価するツールの開発及び公表
- ◆ 使用中の材料、システムの使用年数、混合濃度を考慮して、パイプラインシステムへの混合のリスクを評価するツールの開発及び公表

本プロジェクトについては、2021 年に開始し 2023 年まで継続予定であり、合計 1,500 万ドル（内 1,100 万ドルが連邦資金）の資金で実施される。

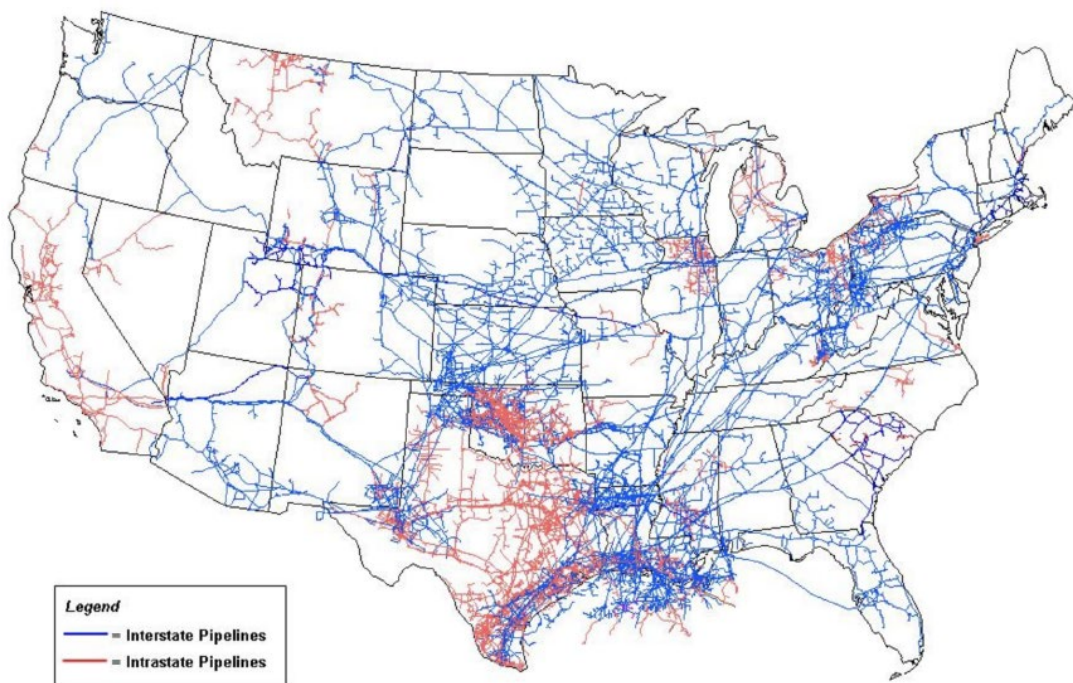
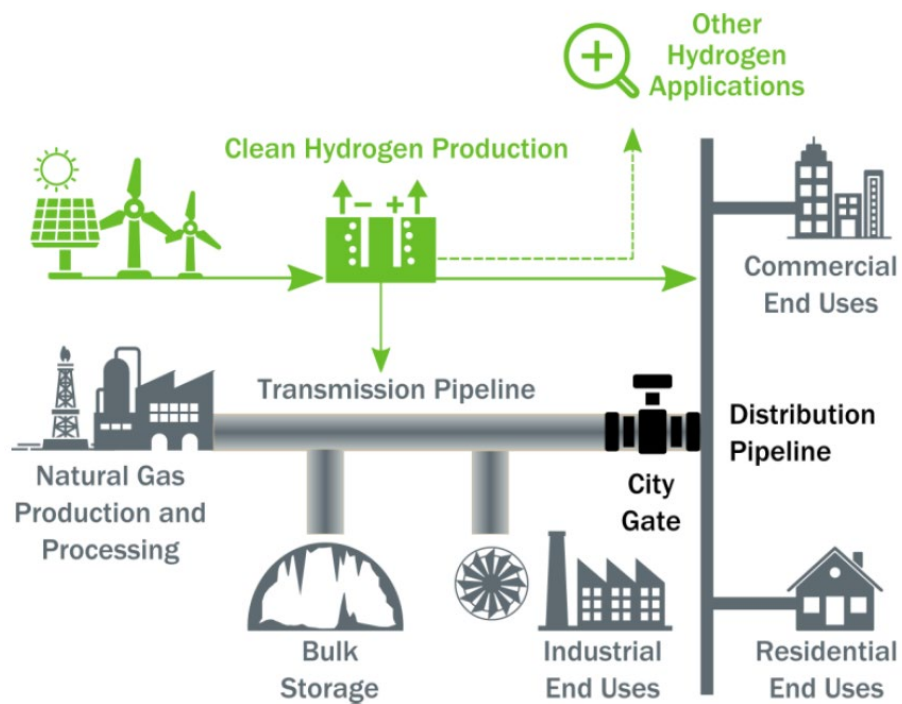


図 4.9 米国における天然ガスパイプライン網²⁵

²⁵ DOE 水素・燃料電池技術室 HP



Supply chain and components of blending in natural gas networks

図 4.10 天然ガス混合のサプライチェーンと設備²⁵

(4) NREL（米国再生可能エネルギー研究所）における研究

(a) 研究概要と水素混合に関する課題

米国国立再生可能エネルギー研究所（NREL）においては、水素混合が天然ガスパイプラインシステムへ及ぼす影響についてレビューをまとめている。レビューでは既存の天然ガスパイプラインシステムを利用して水素混合を実施する際に生じうる課題を以降の様に整理している。

表 4.1 水素混合による天然ガスパイプラインへの影響²⁶

水素混合による課題	影響を受ける箇所
・ パイプライン鋼の疲労亀裂進展の促進	輸送・供給
・ パイプライン鋼の破壊抵抗の低下	輸送・供給
・ エネルギー伝達容量の減少	輸送・供給
・ エネルギー需要を満たす際の圧力損失の増加	輸送・供給
・ ガス速度の増加	輸送・供給
・ 必要な圧縮力の増加	輸送
・ 遠心圧縮機回転数アップ	輸送
・ シフトされた遠心圧縮機の動作エンベロープ	輸送
・ 原動機とエンドユーザーの NO _x 排出量の増加	輸送・供給
・ 過度の燃焼ダイナミクス、火炎のリフトオフ、逆火	輸送・供給
・ 内燃機関の燃料過早着火	輸送
・ メーターの精度と耐久性	輸送・供給
・ バルブの漏れと耐久性	輸送・供給
・ ガス組成分析精度	輸送・供給
・ ポリエチレン配管の水素漏れ	供給
・ 地下貯蔵における生化学的水素変換	貯蔵
・ 地下貯蔵におけるキャップロックによる水素損失	貯蔵

※ ガスの輸送とは高圧導管・中圧導管等のガスを輸送するための設備、ガスの供給とは中圧導管、低圧導管等の需要家にガスを供給する設備、ガスの貯蔵とは、ガスを貯蔵する設備であり、海外では枯渇ガス田等に天然ガスを貯蔵する事例が見られる。

²⁶ Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology (NREL)

(b) 水素混合による天然ガスパイプラインへの影響

本研究においては、水素混合ガスによる亀裂進展速度試験及び破壊靱性試験の結果が明記された論文を引用している。

図 4.11 に示すグラフは、亀裂進展速度を示し、一般的な鋼管である API X52、60、80、100 を用いた場合においても、大きく変化がないことが示されている（破線は、ガス状水素の一般的な疲労亀裂相関としてモデル化した曲線として 2021 年に公表されたデータ）。

図 4.12 に示すグラフは、破壊靱性を示し、引張強さが大きい配管の方が、破壊靱性が小さく、破壊しやすいことを示している。

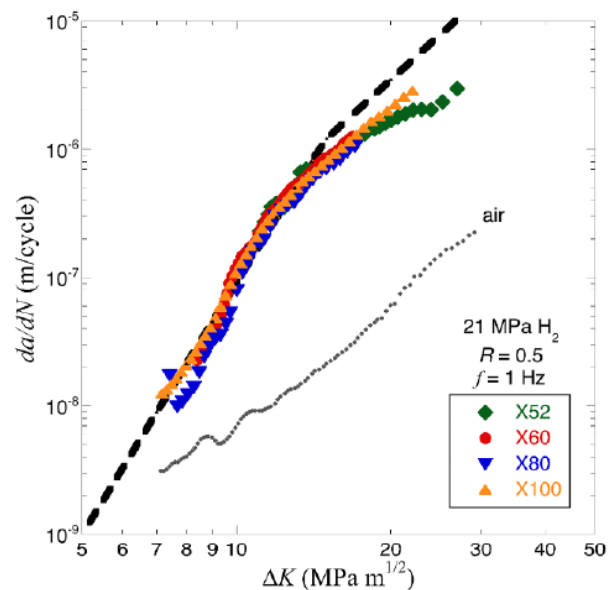


図 4.11 応力拡大係数の差と亀裂進展速度の相関²⁶

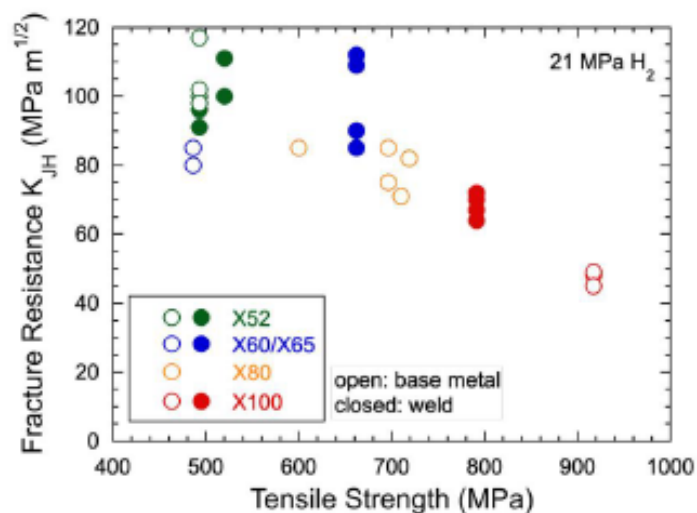


図 4.12 引張強さと破壊靱性の相関²⁶

4.3 既設水素パイプラインの状況

4.3.1 Air Liquide 社の水素パイプライン技術 ²⁷

(1) 水素パイプライン敷設状況

Air Liquide 社の北ヨーロッパにおける水素パイプラインの敷設状況を図 4.13 に示す。

図 4.13 に示すように、同社は、ベルギーにおける水素製造工場を拠点としたオランダ、フランスへの 880km の水素パイプラインを有している。またその他に、ドイツにおける 240km の水素パイプライン、米国に 390km の水素パイプラインを保有している。



図 4.13 Air Liquide 社の欧州における水素製造拠点と水素パイプライン

(2) 水素パイプラインの実績と配管スペック

表 4.2 に Air Liquide 社の水素パイプラインの実績とスペックを示す。

表 4.2 に示すように、ドイツにおいては 50 年近い実績があり、現在でも操業中である。米国のテキサス州で操業していた延長 220km、配管口径 8 インチ、運転圧力 700psi (約 4.8MPa) の水素パイプラインでは、1998 年にコロージョン (化学的な腐食) により破損の事例があり、現在では 350psi (約 2.4MPa) に圧力を減じて、延長 100km の区間で操業している。また、同じくテキサス州における延長 54km、配管口径 14 インチ、運転圧力 740psi (5.2MPa) の水素パイプラインでは事故の実績はなく操業中である。

また、配管の仕様はヨーロッパでは水素脆化の影響の少ない API X42、API X52 を使用

²⁷ Questions and Issues on Hydrogen Pipelines (Air Liquide) , 2005 Hydrogen Pipeline Working Group Workshop

している。また米国においては強度がより高い API X60 を使用している。

表 4.2 Air Liquide 社の水素パイプラインの実績 ²⁸

	ドイツ	フランス～ベルギー	米国
操業年	< 49 年	< 22 年	< 19 年
総延長 (km)	880	240	390
運転圧力 (psig)	250 (1.7MPa)	1400 (9.7MPa)	700 (4.8MPa)
鋼管グレード	< X42	< X52	< X60
配管製法	ERW(電縫管)	ERW(電縫管)	ERW(電縫管)
溶接	SMAW (アーク溶接)	SMAW (アーク溶接)	SMAW (アーク溶接)

(3) リスク評価

リスク評価に関しては、以下のようにコメントを行っている。

- ・ 水素パイプラインには、リスク評価が必要である
- ・ 商用ソフトウェア (PHAST,Canary) を使用することができる
- ・ 1 インチの貫通を想定する
- ・ 爆発やジェットファイアーの可能性を評価する
- ・ 定量的な評価によりリスクを把握する
- ・ リスク評価の結果により、ルートの見直しや緩和をする可能性がある

(4) パイプの敷設

敷設においては道路脇のスペースに埋設しており、場合によってはトンネル、ラックなどの方式で設置されている。主な敷設方式を図 4.14 に示す。敷設にあたっては、他の工業ガスパイプ(窒素、酸素等)と並行に敷設され(各々の離隔は 45cm)、電極防食を実施している。埋設部の埋設深さは 80cm 程度で埋設位置とガス種、緊急連絡先を明示したポールが建てられている (図 4.15 参照)。

²⁸ Questions and Issues on Hydrogen Pipelines を参考にみずほリサーチ&テクノロジーが作成

埋設配管	トンネル配管	ラック配管
		

図 4.14 水素パイプラインの敷設状況 ²⁹

敷設位置を示すポール	ポールの表記
	

図 4.15 埋設位置を示すポール ²⁹

(5) ワークショップにおける結論

2005 年に実施された水素パイプラインワークショップにおける Air Liquide 社の結論として、以下のようなコメントがさされていた。

- ・ 一般的な配管材料を用いた場合において、水素の圧力を 1400psig (9.7MPa) まで上げることに成功した
- ・ 既設パイプラインを、運転圧力を若干小さくすることにより水素パイプラインに転用することができた
- ・ 現在の水素コンプレッサーや水素パイプラインの設計により、燃料電池自動車に水素を供給することが可能である

上記から、一般的な材料を用いた場合においても 10MPa 程度までの高圧配管の実績や、既設の天然ガスパイプラインを水素パイプラインに転用した実績、さらに燃料電池自動車への供給や、都市部への供給等の実績を積んでいる。

²⁹ 平成 17 年度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技術調査）、社団法人日本ガス協会

4.3.2 Air Products 社の水素パイプラインの技術 ³⁰

(1) 水素パイプライン敷設状況

Air Product 社における北米の水素パイプラインの総延長は 350 マイル（約 560km）であり、主にはテキサス州、ルイジアナ州及びカリフォルニア州にて操業しており、これらの主流ネットワークの総延長は 340 マイル（約 544km）である。これらのネットワークは 1970 年代より操業され、現在ではカナダ（アルバータおよびオンタリオ）において 2 つのパイプラインを開発中である。

図 4.16 に Air Product 社の水素パイプラインの敷設地区、表 4.3 に Air Product 社の水素パイプラインの実績を示す。また同社は、ロッテルダム、ブラジル、タイ、インドネシア、南アフリカにおいても約 100 マイル（約 160km）のネットワークを有する。

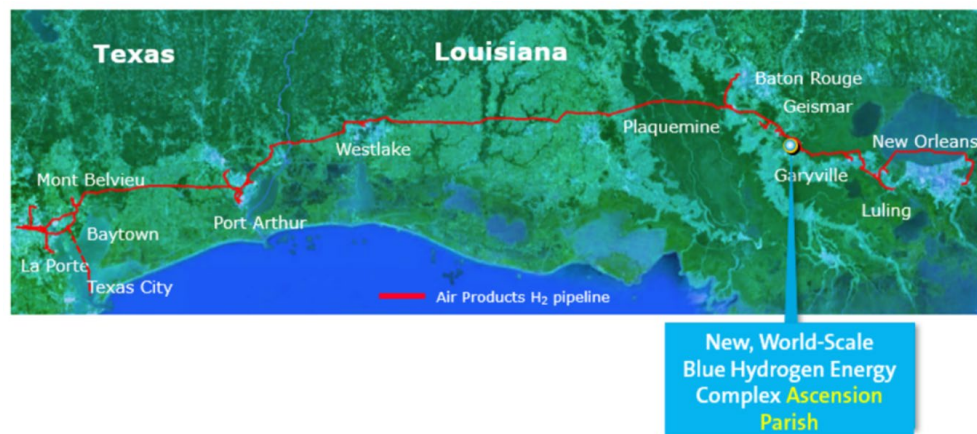


図 4.16 Air Products 社の水素パイプライン敷設地区 ³¹

表 4.3 Air Product 社の水素パイプラインの実績 ³²

	テキサス地区	ルイジアナ地区	カリフォルニア地区
区間	La Porte ～Lake Charles	New Orleans, Plaquemine	
配管延長 (マイル)	228 (365km)	100 (160km)	12 (19km) +4(6.4km)
操業開始	1970 年～	1983 年～	1995 年～
配管口径	8 or 10 インチ	6,8 or 10 インチ	6,8 or 10 インチ
顧客		石油化学工業や石油 精錬が顧客	石油化学工業や石油 精錬が顧客

³⁰ DOE Hydrogen Pipeline Working Group Workshop August (Air Product) , 2005
Hydrogen Pipeline Working Group Workshop

³¹ Air Product 社 HP

³² DOE Hydrogen Pipeline Working Group Workshop August を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

(2) 水素パイプラインの基準

以下に、Air Product 社の水素パイプラインの基準への考え方を示す。

- ・ DOT の基準 CFR49Part192（州法によっては修正することもありうる）に準拠する
- ・ Air Product 社の基準では Class3 以上を採用している（ただし、極端な遠隔地や CFR49Part192 の及ばない地域を除く）
- ・ 環境調査には、デザイン面の配慮を考慮する
- ・ 地方の管轄区域（都市、タウンシップ、教区、郡）においては、さらに追加の基準を課している

(3) 配管技術

Air Products 社の水素パイプライン仕様は天然ガス用のパイプライン仕様とほぼ同じ仕様であり、コストも材料費とほぼ同じである。詳細の仕様について以下に列挙する。

(a) 配管材料

- ・ Air Product 社で使用される水素パイプラインは、腐食対策塗装された炭素鋼配管である
- ・ 配管の強度は、比較的中程度の強度である API 5L X42 もしくは X52 が使用されている
- ・ 溶接方法は API 1104 に準拠した SMAW（アーク溶接）を適用し、100% X 線検査を実施し熱影響部（HAZ）の硬度を制限することにより、通常、溶接後熱処理の必要はないと考えている
- ・ 防食材である FBE によりコーティングを行う
- ・ 上記の材料は Air Product 社が 1970 年より適用している

(b) 材料選定の基礎

- ・ 水素ガスは、鋼管に水素脆化を引き起こすことがある
- ・ 最もよく知られた水素脆化の研究は、石油や石油化学工業でのウェットな H₂S の研究である
- ・ NACE インターナショナル³³は H₂S 供給の材料選定の基準として MR075 を開発し、世界的に認知された
- ・ MR075 においては、H₂S 供給に炭素鋼を使用することを許容しており、引張強さが 115ksi（約 793MPa）以下であれば、問題ないとされている
- ・ 硬度が HR22 以下、引張応力が 115ksi（約 793MPa）以下であれば、クラッキングや水素脆化の影響は受けない
- ・ Air Product 社はより厳しい環境を想定している MR0175 を適用することにより、水

³³ NACE インターナショナル(本部：アメリカ合衆国テキサス州ヒューストン)は、1943 年設立、世界 140 ヶ国、個人会員約 37,000 名の国際的な防食技術者協会(非営利団体)

素脆化の問題はないと考えている

(4) パイプラインの運用

- ・ パイプラインの圧力は顧客の要望により若干の変動はあるが、基本的には一定である
- ・ 配管口径、コンプレッサー、弁、ステーション等によって、パイプラインの流量が決定する
- ・ パイプラインは集中管理されている
- ・ オペレーターは集中管理室でデータの確認ができ、リモートで停止をすることが可能である

(5) パイプラインのメンテナンス

- ・ パイプラインの保守はすべて DOT の基準 CFR49Part192 の必要条件に従って行われる
- ・ Air Product 社では、水素パイプラインの内部検査のデータを有していないが、それはパイプラインが複雑で、等間隔に組み込む設計としていなかったからである
- ・ 水素パイプラインの内部は乾燥しているため、内部腐食のリスクはない
- ・ Air Product 社では、DOT の基準 CFR49Part192 および ANSI B31.8S の評価法に基づいている

(6) パイプラインの敷設

最小埋設深度は 3 フィート（約 90cm）で、大部分の埋設深度は 4 フィート（1.2m）であるが、Alberta 地区の埋設深度はもう少し深い。LAX 地区の埋設深度は約 2m 程度となっているが、これは市街地に敷設されているためである。LAX 地区では、地方都市道路の下に埋設しており、多数の地方自治体と調整する必要がある。埋設している箇所は、Air Products 社の土地ではない。

(7) ワークショップにおける結論

ワークショップ 2005 における Air Product 社の結論として、以下のようなコメントがされていた。

- ・ Air Product 社は大きな事故なしに、1970 年より水素パイプラインを操業してきた
- ・ CGA および EIGA と関連した産業ガスコミュニティーは、最近開発された水素パイプラインシステムのための経験や習慣に関するドキュメント（CGA G-5.6）を出版した

4.4 海外技術基準について

(1) 海外技術基準の概要

米国においては、Pipeline Safety Act（パイプライン安全法）に準拠し、アメリカ合衆国運輸省（DOT）の基準である 49CFR Part192（パイプラインの安全規則）に準拠する必要がある（※水素に限らないパイプラインの安全規則）。本規則においては、様々な基準が承認されているが、その中で、天然ガス配管で一般的に用いられている米国機械学会基準 ASME B31.8（Gas Transmission & Distribution Piping Systems、ガス供給配管システム）がパイプラインの設計に引用されており、米国の天然ガスパイプラインの技術基準として一般的に用いられている（例えば、テキサス州の州法では、天然ガスのパイプラインの要件として明記されている）。一方、同規則においては、水素パイプライン専用の技術的要件は確認できなかった。

水素パイプラインの設計にあたっての技術基準としては、ASME B31.12（Hydrogen Piping and Pipelines：水素配管とパイプライン）や CGA（圧縮ガス協会）の基準が用いられていると思われる。ASME B31.12 は、先行して策定された技術基準である、ASME B31.8 の他、ASME B31.1（電力配管）、ASME B31.3（プロセス配管）を包含し、水素に特化した技術基準となっており、初版が 2008 年に発行され、最新版は 2019 年版である。

また、CGA の技術基準は欧州産業ガス協会（EIGA）と共同で作成された「Hydrogen Pipeline Systems」（CGA G-5.6）であり、初版が 2005 年に発行され、2014 年に再確認された。

欧州における大規模供給事例（Air Liquide 社）では、EIGA（欧州産業ガス協会）のとりまとめ資料（CGA と共同で取り組んで作成した資料で、内容は CGA G-5.6 と同様）、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ことから、欧州においては、EIGA の技術基準（CGA G5.6 と同様）を参考に設計が行われているものと思われる。なお、欧州においては、配管を含む圧力機器については、Pressure Equipment Directive 2014/68/EU（圧力機器指令 PED）に準拠する必要がある、配管も同様である。

表 4.4 米国における水素供給事例に係る設計・施工の概要³⁴

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asket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(将来の実施に向けて基準 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(ボンベ又は他社 バイブライン利用)を需要側に確保	—	—
	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

表 4.5 欧州における水素供給事例に係る設計・施工の概要

調査項目	調査結果(全体的傾向)
設計思想および仕様	- 日本では主に高圧バイブ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	- 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手法(窒素ガス等の不活性ガスによるパージ)で実施。
保守管理状況 (設備維持管理、緊急対応を含む)	- 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	- 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	- 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、ボ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バイブラインで供給代替。 - 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	- 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。

³⁴ 令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業(水素導管供給システムの安全性評価事業)(総合調査) 令和2年3月、一般財団法人日本ガス協会

(2) 49CFR Part192（パイプラインの安全規則）の概要

アメリカ合衆国運輸省 (DOT) の基準である 49CFR Part192 (パイプラインの安全規則) においては、以下の目次により構成されている。

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| A) 一般 | J) テスト |
| B) 材料 | K) アップグレード（運転圧力を高めるための要件） |
| C) パイプの設計 | L) 運転 |
| D) パイプラインを構成する部品の設計 | M) 保守 |
| E) 鋼製パイプラインの溶接 | N) オペレーターの資格 |
| F) 溶接以外の接合 | O) ガス輸送パイプラインの管理 |
| G) 一般的な建設要件 | P) ガス供給パイプラインの管理 |
| H) サービス | |
| I) 腐食対策 | |

パイプラインの埋設深さについては、49CFR Part192 に記載があり、以下の要件が規定されている。

表 4.6 49CFR Part192 における埋設深さの要件

地域	通常の土砂 インチ(mm)	固結した岩盤 インチ(mm)
クラス1地域	30(762)	18(457)
クラス2、3及び4地域	36(914)	24(610)
道路や踏切の直下	36(914)	24(610)

※ 地域クラスとは、1 マイル区間の建物数で決定する要素であり、クラス 1 は建物数が少ない地域であり、クラス 2 及び 3 は建物数が多い地域、クラス 4 は、高層ビルが多く交通量も多い地域である

(3) ASME B31.12 及び CGA 水素パイプラインシステム (CGA G-5.6) の概要

水素パイプラインに特化した技術基準として、ASME B31.12 及び CGA 水素パイプラインシステム (CGA G-5.6) (欧州産業ガス協会 EIGA における技術基準と同様) について調査を実施した。

表 4.7 に ASME B31.12 と GGA 水素パイプライン (CGA G-5.6) の要求事項、表 4.8 に ASME B31.12 及び CGA G-5.6 の材料選定表の例示、表 4.9 に鋼管の肉厚の設計に係る定数の概要及び表 4.10 に溶接方法の例示を示す。

ASME B31.12 と GGA 水素パイプライン (CGA G-5.6) は共通して、水素含有率が 10% 以上のガスが対象とされ、最高圧力 21MPa 未満を対象としている。材料については、それぞれ適用可能な材料が記載されているが、一般的な API の X42、X52 及び X60 といった材料の他、多くの材料が規定されている。ASME の特徴としては、鋼管の肉厚を算定する式において、炭素鋼鋼管の材料係数が規定されており、引張強さが高く、圧力が大きい場合には、安全率が高くなる傾向がある。また、リスク評価については、ASME に規定がなく、CGA G-5.6 を参照することを推奨している。

表 4.7 ASME B31.12 と GGA 水素パイプライン (CGA G-5.6) の要求事項 (1/2)

項目	ASME B31.12		CGA 水素パイプラインシステム (CGA G-5.6)
位置づけ	先行して策定された ASME B31.1 (電力配管)、ASME B31.3 (プロセス配管)、ASME B31.8 (天然ガスパイプライン) をベースに水素に特化した技術基準であり、水素の特性を考慮した材料の性能要件が記載		北米・欧州のパイプライン専門家による技術基準、ガイダンス、出版物、基準ならびに多くの関連情報を引用
対象	気体および液体水素サービスの配管、および気体水素サービスのパイプラインであり、配管と接続する圧力容器および機器に接続するジョイントまで適用されるが、容器および機器には適用しない		純水素及び水素混合物を輸送・供給する水素配管システム
適用ガス濃度	水素濃度 10%以上		水素濃度 10%以上 (CO ₂ 濃度が 200ppm 未満は適用外)
適用圧力	21MPa 未満		1～21MPa (ステンレス鋼を用いる場合 0MPa 以上を対象)
適用温度	-62～232℃		-40～170℃
適用可能な材料	適用可能な材料が明記されており、温度別の許容応力が規定		適用可能な材料が明記されており、温度別の許容応力が規定
肉厚の算定式	鋼管の肉厚の設計計算式 $P = \frac{2St}{D} FETH_f$ D : 設計外径 E : 継手ファクター F : 地域ファクター	Hf : 材料ファクター (炭素鋼の機械的性能に対する悪影響の考慮) P : 圧力 S : 材料固有の設計強度 T : 温度ファクター t : 設計肉厚	規定なし

表 4.7 ASME B31.12 と CGA 水素パイプライン (CGA G-5.6) の要求事項 (2/2)

項目	ASME B31.12	CGA 水素パイプラインシステム (CGA G-5.6)
耐震設計	設計肉厚 t を決定する際には、追加的要件として、地震や地盤の動きなど供用中の二次負荷についても考慮する必要があると明記されている。 しかし一方で、この設計方法の詳細については記載がない。	規定なし
溶接	溶接については、構造、材料、資格、方法とプロセス、施工方法、余熱温度の考え方、溶接後熱処理の要件について詳細に規定されている ・ 溶接及びろう付け構造を対象としてその手法について記載されている ・ 例えば、溶接方法としては、一般的な突合せ溶接や連続フラットによる裏あてリングが用いられた突合せ溶接等について規定されている ・ またろう付けについては、ろう付けジョイントについて規定されている	溶接部の機械的特性、溶接部及び熱影響部の要件について、簡単に記載されている。
リスクアセスメント	居住用の建物が近隣に存在する場合、リスクがあることが明記 リスクアセスメントの方法は、CGA G-5.6 の 4.6 章を参照	水素パイプラインシステムに対するハザードの特定、緩和策、典型的な事故事象、リスク事象の結果生じる事故、シミュレートするためのモデルの考え方、重大事故の基準、パイプライン周辺の調査ゾーン、リスク基準が明記されている

表 4.8 ASME B31.12 及び CGA G-5.6 の材料選定表

ASME B31.12 の材料選定表

CGA G-5.6 の材料選定表

(19)

Table IX-1A Basic Allowable Stresses in Tension for Metal Piping Materials

Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated										
Material	Spec. No.	P-No. [Note (1)]	Grade	Notes	Min. Temp., °F [Note (2)]	Specified Min. Strength, ksi		Basic Allowable Stress, S, ksi [Note (3)], at Metal Temperature, °F		
						Tensile	Yield	Min. Temp. to 100	200	300
Carbon Steel — Pipes and Tubes [Note (5)]										
A285 Gr. A	A672	1	A45	(38)(40)(44)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
SmIs & ERW	API 5L	1	A25	(38)(40)(50)(55)	B	45	25	15.0	15.0	14.7
...	A179	1	...	(38)(40)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2
...	A139	1	A	(10b)(50)	A	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A587	1	...	(38)(40)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A53	1	A	(38)(40)(55)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A106	1	A	(38)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A135	1	A	(38)(40)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A369	1	FPA	(38)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	API 5L	1	A	(38)(40)(50)(55)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
A285 Gr. B	A672	1	A50	(38)(40)(44)	B	50	27	16.7	16.5	15.9
...	A524	1	II	(38)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A333	1	1	(38)(40)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A334	1	1	(38)(40)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A671	1	CA55	(40)(44)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A672	1	A55	(38)(40)(44)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 55	A672	1	C55	(38)(44)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 60	A671	1	CC60	(38)(44)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A516 Gr. 60	A672	1	C60	(38)(44)	C	60	32	20.0	19.5	18.9

Appendix C: Table of nominal alloy compositions and ranges

MATERIAL TYPE OR ALLOY

EN-MAT.NO.
(7)

UNS NO.
(8)

NOMINAL COM

Carbon Steels, Pipe

ASTM A53, Type S Grade A

K02504 C, Mn, Bal. Fe

ASTM A53, Type S Grade B

K03005 C, Mn, Bal. Fe

ASTM A106, Grade A

K02501 C, Mn, Bal. Fe

ASTM A106, Grade B

K03006 C, Mn, Bal. Fe

ASTM A333, Grade 1⁽¹⁾

K03008 C, Mn, Bal. Fe

ASTM A333, Grade 6⁽¹⁾

K03006 C, Mn, Bal. Fe

API 5L Grade A PSL1

C, Mn, Bal. Fe

API 5L Grade B PSL1 and PSL2⁽¹⁾

C, Mn, Bal. Fe

API 5L Grade X42 PSL1 and PSL2⁽¹⁾

C, Mn, Bal. Fe

API 5L Grade X46 PSL1 and PSL2⁽¹⁾

C, Mn, Bal. Fe

API 5L Grade X52 PSL1 and PSL2⁽¹⁾

C, Mn, Bal. Fe

NF A 49-211 TUE 220 b2

C, Mn, Bal. Fe

NF A 49-211 TUE 250 b2

C, Mn, Bal. Fe

NF A 49-400 TSE 220 cl. II

C, Mn, Bal. Fe

NF A 49-400 TUE 250 cl. II

C, Mn, Bal. Fe

L245 NB

1.0457

C, Mn, Bal. Fe

L245 MB

1.0418

C, Mn, Bal. Fe

L290 NB

1.0484

C, Mn, Bal. Fe

L290 MB

1.0429

C, Mn, Bal. Fe

L360 NB

1.0582

C, Mn, Bal. Fe

L360 MB

1.0572

C, Mn, Bal. Fe

P265 NL

1.0453

C, Mn, Bal. Fe

P275 NL1

1.0488

C, Mn, Bal. Fe

表 4.9 肉厚の設計に係る定数の概要

継手ファクター

Table IX-3B Longitudinal Joints Factors for Pipeline Materials

Spec. No.	Pipe Class	E Factor
API 5L	Seamless	1.00
	Electric resistance welded	1.00
	Electric flash welded	1.00
	Double submerged arc welded	1.00
ASTM A53	Seamless	1.00
	Electric resistance welded	1.00
ASTM A106	Seamless	1.00
ASTM A134	Electric fusion arc welded	0.80
	Electric resistance welded	1.00
ASTM A139	Electric fusion welded	0.80
ASTM A333	Seamless	1.00
	Electric resistance welded	1.00
ASTM A381	Double submerged arc welded	1.00
ASTM A671	Electric fusion welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A672	Electric fusion welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00

温度ファクター

Table PL-3.7.1-3 Temperature Derating Factor, *T*, for Steel Pipe

Temperature, °F	Temperature Derating Factor, <i>T</i>
250 or less	1.000
300	0.967
350	0.933
400	0.900
450	0.867

GENERAL NOTE: For intermediate temperatures, interpolate for derating factor.

地域ファクター

Table PL-3.7.1-1 Basic Design Factor, *F* (Used With Option A)

Location Class	Design Factor, <i>F</i>
Location Class 1, Division 2	0.50
Location Class 2	0.50
Location Class 3	0.50
Location Class 4	0.40

Table PL-3.7.1-2 Basic Design Factor, *F* (Used With Option B)

Location Class	Design Factor, <i>F</i>
Location Class 1, Division 2	0.72
Location Class 2	0.60
Location Class 3	0.50
Location Class 4	0.40

※地域クラスとは、1 マイル区間の建物数で決定する要素であり、クラス 1 は建物数が少なく、クラス 2 及び 3 が建物数が多い、クラス 4 は、高層ビルが多く交通量も多い地域

※ Option A : 従来設計法

Option B : 性能設計法

炭素鋼材料ファクター

Table IX-5A Carbon Steel Pipeline Materials Performance Factor, *H_f*

Specified Min. Strength, ksi		System Design Pressure, psig						
Tensile	Yield	≤1,000	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	3,000
66 and under	≤52	1.0	1.0	0.954	0.910	0.880	0.840	0.780
Over 66 through 75	≤60	0.874	0.874	0.834	0.796	0.770	0.734	0.682
Over 75 through 82	≤70	0.776	0.776	0.742	0.706	0.684	0.652	0.606
Over 82 through 90	≤80	0.694	0.694	0.662	0.632	0.610	0.584	0.542

GENERAL NOTES:

- (a) Tables IX-5A, IX-5B, and IX-5C are for use in designing carbon steel, low, and intermediate alloy piping and pipeline systems that will have a design temperature within the hydrogen embrittlement range of the selected material [recommended lowest service temperature up to 300°F (150°C)]. If the system design temperature is out of this range, use the design allowable stresses from Table IX-1A for piping or the specified minimum yield strength for pipelines from Table IX-1B.
- (b) Table IX-5A was developed for pipeline systems and as such the design factors are based on the specified minimum yield strength of the material ranges shown.
- (c) Design factors may be calculated by interpolation between pressures shown in the tables.
- (d) For materials not covered by Tables IX-5A, IX-5B, and IX-5C, use the allowable stresses in Table IX-1A.

設計応力

(19) Table IX-1B SMYS for Steel Pipe Commonly Used in Pipeline Systems

Specification No.	Grade	Type [Note (1)]	SMYS	
			psi	MPa
API 5L [Note (2)]	A25	ERW, S	25,000	172
	A	ERW, S, DSA	30,000	207
	B	ERW, S, DSA	35,000	241
	X42	ERW, S, DSA	42,000	290
	X52	ERW, S, DSA	52,000	317

突合せ溶接の例示

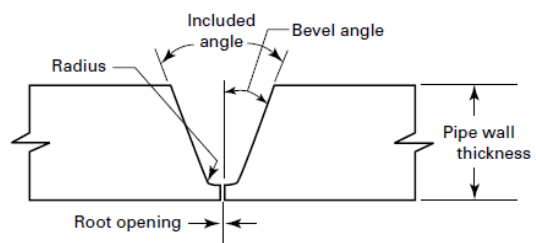
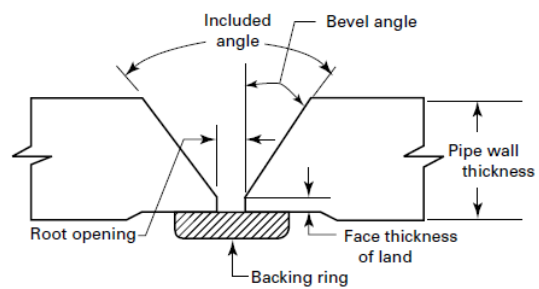
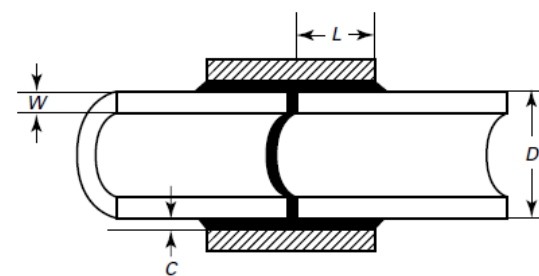


表 4.10 溶接方法の例示

裏あてリングを用いた



ろう付けジョイントの例示



(4) 海外技術基準における材料試験の要求

海外技術基準における材料試験の要求として、水素パイプラインに用いられている API 5L の要求事項について調査した。

API 5L については、以下の試験を要求していることが確認された。

- ◆ 引張試験
- ◆ 扁平試験
- ◆ 曲げ試験
- ◆ ガイド曲げ試験
- ◆ 破壊靱性試験
- ◆ 静水圧試験
- ◆ 寸法試験
- ◆ 表面検査
- ◆ 外観検査
- ◆ 非破壊検査

なお、国内で水素材料に要求されている低ひずみ速度引張試験である SSRT 試験（Slow Strain Rate Technique）についての要求は確認できなかった。

4.5 欧米における付臭の考え方について

(1) 欧州

欧州においては、英国、ドイツ、フランスを含む多くの国では、天然ガス供給の際に、付臭措置を国の規制として要求している。

表 4.11 欧州における天然ガス供給における付臭措置の規定³⁵

国	付臭措置
英国	- 英国においては、1996 年に国内ガス品質基準 GSMR (Gas Safety Management Regulations 1996) を制定 - 同資料には、ガスに付臭を行うことを明記 - ガスの品質として、ウォッベ指数、硫黄分、硫化水素分等が決められている
ドイツ	- ドイツにおいては、付臭に関する技術基準として、以下の 2 つの基準が適用されている ➤ ISO 13734:2013 : Natural gas – Organic components used as odorants – Requirements and test methods (天然ガス – 臭気物質として使用される有機成分 – 要件と試験方法) ➤ ドイツ国内基準である「ガスおよび水道分野における革新と基準設定」における DVGW G 280:2018-12 (ガスの臭い)
フランス	- フランスにおいては、以下の国内法にてガスの付臭について規定されている ➤ Décret n°2004-251 du 19/03/2004 (ガス部門における公共サービス義務に関する政令)

(2) 米国

米国においては、連邦法 49CFR Part192 (パイプラインの安全規則) § 192.625 にて天然ガスの付臭について規定されている。

本規定においては、ガスの品質についてまで細かい規定はないが、爆発限界の 1/5 の濃度で、通常の臭いが分かる人が、容易に検出できることを要求している。

³⁵ Natural Gas Odourisation practices in Europe (MARCOGAZ) を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

第5章 水素供給に係る現行のガス事業における要求事項の整理

5.1 現行技術基準における水素設備に対する要求事項

3.2 章において整理した今後のガス事業における国内に設置される可能性がある水素設備について、現行のガス事業法の技術基準における水素設備への要求事項について整理する。

次頁以降、表 5.1 に現行のガス事業法における要求事項を示す。

現行のガス事業法で要求される設備において、今後もガス事業法で対応する可能性がある設備について、以下に示す。

- ◆ 水素ガスホルダー（1MPa 未満）
- ◆ 低圧及び中圧水素導管
- ◆ 高圧水素導管
- ◆ 柱上水素パイプライン
- ◆ 水素給湯器
- ◆ 水素混合ガス

表 5.1 現行のガス事業法における要求事項（1/4）

分類	対象設備	現行のガス事業法における要求事項	他法令の適用等
水素製造設備	水電解装置＋再エネ設備	ガス発生設備としては、以下の規定あり ・ ガスの置換等（第 13 条） ・ 材料（第 14 条） ・ 構造等（第 15 条） ・ 安全弁（第 17 条） ・ 計測装置等（第 18 条） ・ 警報装置（第 19 条）など	・ 1MPa 以上の場合、高圧ガス保安法が適用可能 ・ 一方、水電解装置に関する技術基準が存在しないため、現状は高圧ガス保安法が適用外となる 1MPa 未満で適用されている ・ 1MPa 未満の場合は、条件によっては、労働安全衛生法が適用される ・ 再エネ設備は電気事業法が適用される
	バイオガス製造装置	ガス発生設備としては、以下の規定あり ・ ガスの置換等（第 13 条） ・ 材料（第 14 条） ・ 構造等（第 15 条） ・ 安全弁（第 17 条） ・ 計測装置等（第 18 条） ・ 警報装置（第 19 条）など	・ 1MPa 以上の場合、高圧ガス保安法が適用可能 ・ 1MPa 未満の場合は、条件によっては、労働安全衛生法が適用される
水素貯蔵設備	液化水素貯槽	なし	・ 国内で 2,500m³ クラスであれば、高圧ガス保安法で実績あり ・ 大規模貯槽については、現状、技術基準が存在しないため、今後の課題である

表 5.1 現行のガス事業法における要求事項（2/4）

分類	対象設備	現行のガス事業法における要求事項	他法令の適用等
水素貯蔵設備	MCH タンク＋脱水素設備	なし	・ MCH タンクは、消防法の規制対象設備（危険物第4類・第1石油類に該当） ・ 脱水素設備は、電気事業法でその取扱い方法について整理済み
	水素ガスホルダー	・ ガスホルダーの構造（第32条） ・ ガスホルダーの遮断装置（第33条）	・ 水素ガスホルダーの技術基準が存在しないことから、今後の課題となる可能性あり
水素輸送	パイプライン（導管） 中圧・低圧	・ 工作物の材料（14、15、57、58条） ・ 設計・接合方法（16条） ・ 検査（16条）、防食措置（47条） ・ 防護措置（4、48、54条） ・ 付臭措置（22条）、 ・ 他工事管理（54、55条） ・ 定期漏えい検査（51条） ・ 非常時対応（5、49条） ・ 熱量・燃焼性の測定（施行規則17条） ※ 中圧、低圧の場合は、水素導管についても技術基準に適合可能であることを確認済み	—

表 5.1 現行のガス事業法における要求事項（3/4）

分類	対象設備	現行のガス事業法における要求事項	他法令の適用等
水素輸送	パイプライン（高圧導管）	・ 現行の技術基準は存在するが、水素への適用性、安全性評価の事例は存在しないことから、今後の課題	・ 発電所の利用においては、電気事業法が適用 ・ コンビナート内等での事業所管供給においては、高圧ガス保安法が適用
	パイプライン（配管）	・ 中低圧に関しては、「パイプライン（導管）低圧・中圧」と同様の要求事項 ・ 高圧に関しては、「パイプライン（導管）高圧」と同様に今後の課題	・ 1MPa 以上であれば、高圧ガス保安法が適用
	柱上パイプライン	・ 中低圧に関しては、「パイプライン（導管）低圧・中圧」と同様の要求事項 高圧に関しては、「パイプライン（導管）高圧」と同様に今後の課題	1MPa 以上であれば、高圧ガス保安法が適用
	水素ローリー	なし	・ 高圧ガス保安法が適用
	水素吸蔵合金	なし	・ 現状は、消防法の危険物が適用 ・ 将来、70 戸以上の集合団地等に供給される場合には、ガス事業法が適用される可能性あり
	水素貯蔵容器	なし	・ 高圧ガス保安法が適用

表 5.1 現行のガス事業法における要求事項（4/4）

分類	対象設備	現行のガス事業法における要求事項	他法令の適用等
水素利用	定置用燃料電池	・ なし	・ 電気事業法が適用
	車載用燃料電池	・ なし	・ 高圧ガス保安法、道路運送車両法が適用
	その他燃料電池（電動アシスト自転車、ドローン等）	・ なし	・ 高圧ガス保安法が適用
	水素給湯器	・ 技術基準適合義務等（ガス事業法第 145 条） ・ 消費機器に関する周知及び調査（ガス事業法第 159 条） ・ 基準適合命令（ガス事業法第 161 条） ・ 基準提号義務（ガス事業法第 162 条） ※給湯器直前のガス栓までの導管についても、ガス事業法が適用される	・ 消費生活用製品安全法も併せて適用
その他	メタネーション	ガス発生設備としては、以下の規定あり ・ ガスの置換等（第 13 条） ・ 材料（第 14 条） ・ 構造等（第 15 条） ・ 安全弁（第 17 条） ・ 計測装置等（第 18 条） ・ 警報装置（第 19 条）など	・ 1MPa 以上の場合、反応器は高圧ガス保安法で対応 ・ 国内では 1.0MPa 未満で運用されている事例あり ・ 1MPa 未満の場合は労働安全衛生法が適用される可能性あり
	都市ガスへの水素混合	熱量等の測定義務	・ 高圧の場合は高圧ガス保安法でも適用可能

		(ガス事業法 18 条、52 条、78 条、91 条) ※水素混合ガスについては、その安全性の 検討事例がなく、今後検討する必要あり	なケースもある
--	--	--	----------------

5.2 水素導管供給システムの安全性評価事業

水素パイプライン供給に係る委託事業は、平成 17 年度からガス事業法による水素導管供給の可能性を評価するための調査として実施されてきた。将来の水素社会における水素パイプラインの想定（前提条件）を、中圧及び低圧による少数需要家向けの供給とし且つ、新設するローカルな水素導管と設定し、ガス工作物（技術基準）の水素適合性評価を目的に技術調査を行ってきた。

本検討の前提条件とした想定イメージを図 5.1 に示す。

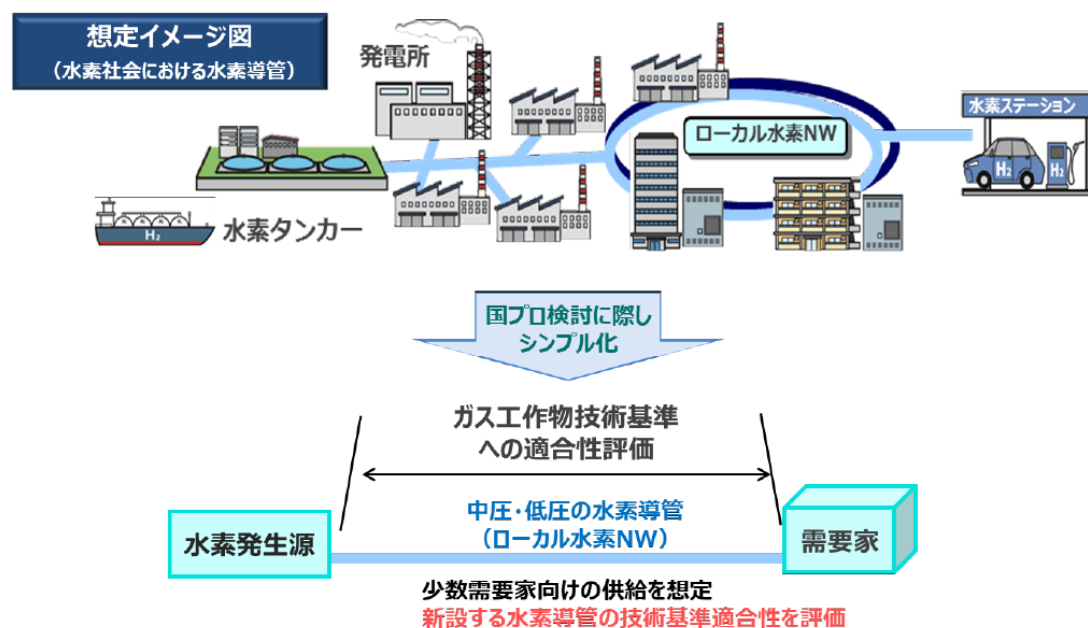


図 5.1 水素社会における水素導管の想定イメージ ³⁶

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」から事業を開始し、それ以降、平成 18 年度～20 年度の「水素漏えい検知技術調査」、平成 23 年度～27 年度の「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」がある。いずれの事業も中圧及び低圧導管を対象に、水素供給に向けた技術的知見を蓄積してきた。

また、平成 28 年度～令和元年度までの 4 年間は、委託事業の最終事業として「水素導管供給システムの安全性評価事業」にて、水素導管供給の維持管理に関する技術調査を実施してきた。

図 5.2 に委託事業の経緯及び図 5.3 に委託事業の概要を示す。

³⁶ 令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（水素導管供給システムの安全性評価事業）（総合調査）令和 2 年 3 月、一般財団法人日本ガス協会



図 5.2 委託事業の経緯 ³⁶

事業名	目的と成果
①水素供給システム 安全性技術調査事業 (H17～H19年度)	《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。 《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合性を確認。 （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合できる。）
②水素漏えい 検知技術調査事業 (H18～H20年度)	《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。 《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。
③水素ネットワーク構築 導管保安技術調査事業 (H23～H25年度)	《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】 《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。
④水素ネットワーク構築 導管保安技術調査事業 (H26～H27年度)	《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】 《成果》 水素置換の挙動、配管材料の水素適合性を確認。
⑤水素導管供給システムの 安全性評価事業 (H28～R1年度)	《目的》 実用化が想定される水素導管の供給形態を見据え、実際に運用していく際の、維持管理に関する技術的課題を調査する。 《成果》 遮断弁シール材料、緊急時の活管遮断工法の水素適合性を確認。地中および大気中の拡散挙動、大規模な損傷事故時のリスク評価、付臭措置並びに付臭代替措置を調査し、成果・課題を整理。

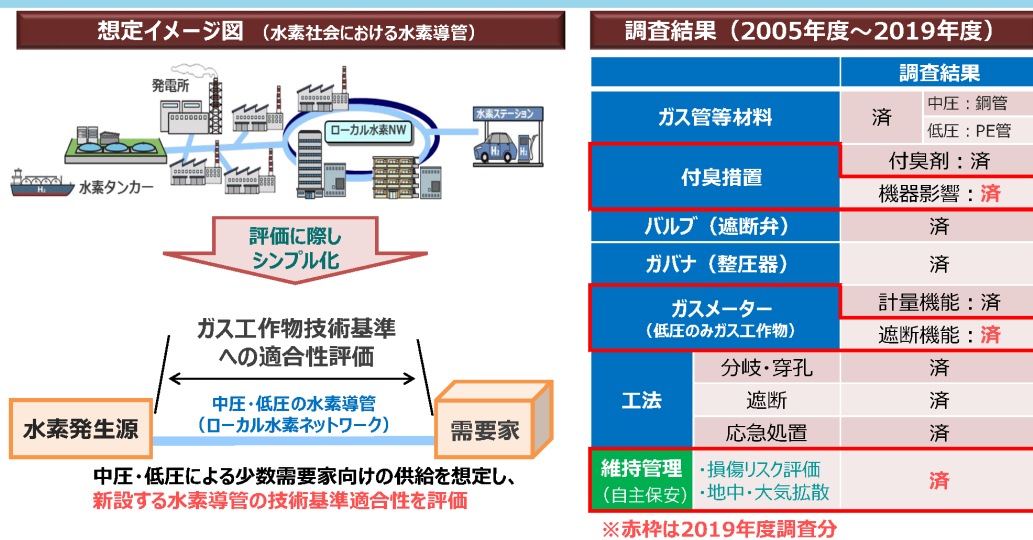
図 5.3 委託事業の概要 ³⁶

これらの事業においては、2019 年度（令和元年度）に実施された「令和元年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（水素導管供給システムの安全性評価事業）」にて以下の成果が得られたことが報告された。

- ◆ これまで、現行定められているガス工作物に係る技術基準が、新設する水素導管による供給（中圧・低圧）に適合できるかを評価・整理してきた。
- ◆ その結果、現行の技術基準が適合できることが確認された。
- ◆ なお、本結果の事業の総括として、令和 2 年 3 月 11 日に開催された経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会ガス安全小委員会においても報告された（下図参照³⁷⁾。

2. 結果

- 現行定められているガス工作物に係る技術基準が、新設する水素導管による供給（中圧・低圧）に適合できるかを評価・整理した。その結果、現行の技術基準が適合できることが確認された。
- 事業者による水素導管供給の検討に資するよう、過去の事業成果をとりまとめ・公開



³⁷⁾ 第 21 回産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 ガス安全小委員会資料、経済産業省

5.3 晴海選手村地区における水素導管供給事業における安全性評価事例

平成 29 年 3 月に東京都が公表した晴海選手村地区（以下、「晴海フラッグ」という。）におけるエネルギー整備計画を踏まえて、東京ガス株式会社が提案した「選手村地区エネルギー事業における水素導管の仕様」について、安全性及び技術基準との適合性について、「水素導管供給に関する安全性評価等委員会」を設置し、平成 29 年度、平成 30 年度と 2 年間にわたり評価が行われた。

また、晴海フラッグの事例では、「熱量・燃焼性の測定方法の妥当性」及び「付臭剤が水素の品質に与える影響」について、一般財団法人日本ガス機器検査協会に設置した「水素熱量測定検討委員会」において安全性の評価を行った。その結果、当該委員会では、この提案について安全上問題ないとの結論を得た。

ここでは、中圧導管を対象に水素供給事業を行うにあたり実施した安全性評価について、その概要を示す。

(1) 事業概要

以下の表に事業の概要を示す。

項目	設計条件
延長	約 1.0km（安全性評価を実施した段階では、約 1.2km）
口径	鋼管 φ 150mm
供給圧力	0.10MPa（都市ガス中圧 B と同等）
最高使用圧力	0.99MPa
供給水素流量	約 130m ³ /h（安全性評価を実施した段階では、100m ³ /h）
水素ガス組成	水素純度 99.97%
適用法令	高压ガス保安法、ガス事業法、電気事業法

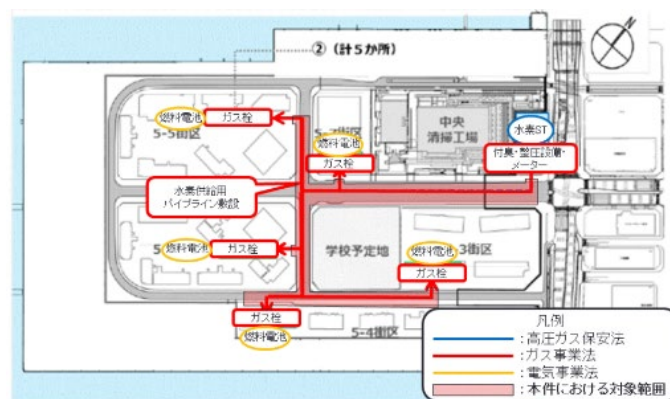


図 5.4 晴海選手村地区水素導管供給事業に係る各種法令 ³⁸

³⁸ 平成 29 年度水素導管供給システムの安全性評価事業－総合調査（水素導管供給に関する安全性評価等調査）平成 29 年 12 月、一般財団法人日本ガス機器検査協会

(2) 評価対象

本検討では、平成 29 年度に主に埋設部の検討が行われ、平成 30 年度は、事業者敷地内及び街区敷地内の検討が行われた。

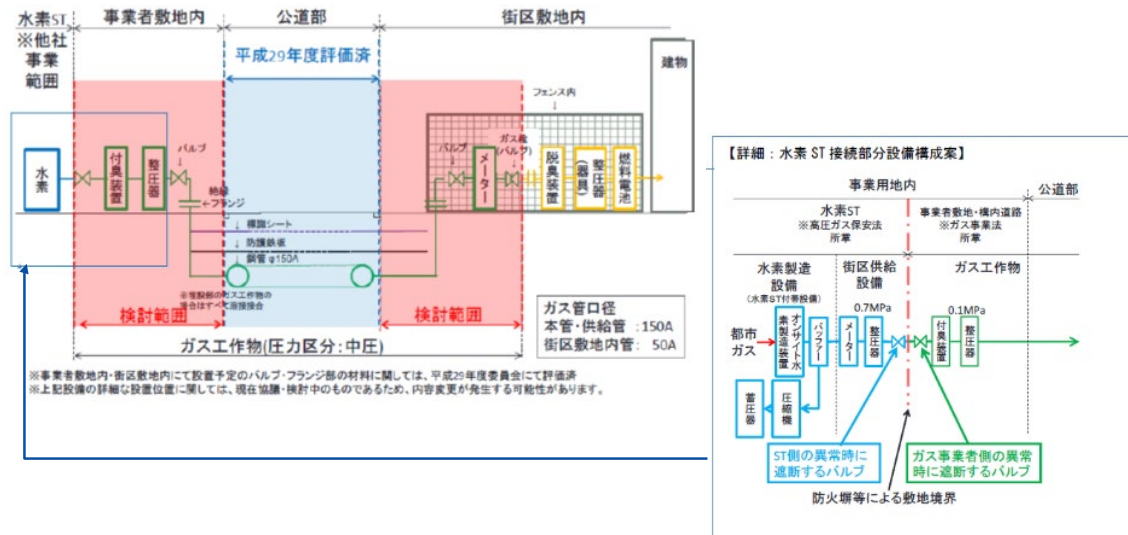


図 5.5 評価対象 39

(3) 前提条件と評価結果

本検討の条件としては、「付臭水素」を用いることを前提に検討が行われた。

本評価結果として、検討対象である中圧の新設水素導管を対象に、現行の技術基準に適合することが確認された。また、本評価結果として、水素の特性を踏まえて、必要とされる保安措置を実施することにより、本事業の安全性が確認された。

表 5.2 及び表 5.3 に水素の特性を踏まえ必要とされる保安措置、表 5.4 に保安措置を考慮した水素設備の仕様を示す。

39 平成 30 年度水素導管供給システムの安全性評価事業－総合調査（水素導管供給に関する安全性評価等調査）平成 31 年 2 月、一般財団法人日本ガス機器検査協会

表 5.2 水素の特性を踏まえ必要とされる保安措置（平成 29 年度調査）³⁸

項目	内容
標識シート・防護鉄板の設置	- 水素の着火エネルギーや燃焼範囲、爆風のピーク圧力がそれぞれ都市ガスよりもリスクが大きく、都市ガスの他工事事故発生状況から水素導管における他工事による導管損傷の可能性を考慮し、導管の埋設部には標識シート及び防護鉄板を設置することとしている - このため、中圧の水素導管について、標識シート及び防護鉄板を措置させるなど、掘削等による損傷を防止するための適切な措置を講じさせることが必要である
他埋設物との距離	- サンドブラストによる導管損傷対策のため、水道管との離隔距離を並行部、交差部ともに0.3 m以上とし、当該距離を確保できない場合には導管と水道管の間に耐摩板を講じることとしている - これらの措置については、過去の都市ガスの事故事例等を踏まえたもので、必要である
非常時の対応	①24時間365日の受付・出動体制とすることや、②漏えい通報時の一般的な対応として、臭気やガス検知器反応があった場合には漏えいガスの成分分析を実施してわずかでも水素漏えいの可能性があると判断された場合は、水素供給遮断すること、③水素供給遮断後に管内の水素ガスを放散・パージし適切な修理を施すこと、及び④災害時に水素供給を速やかに停止できる対策を実施すること等としている - こうした取組については、非常時の対応として保安確保の上では必要である
標識テープ	- 道路法施行令第12条の規定を考慮し、埋設部の導管には管理者、埋設年等を明示した標示テープを措置することとしている - このため、埋設部の導管に標示テープを措置させることは必要である
導管の埋設深さ	- 提案者は、道路法施行令第11条の3の規定を考慮し、埋設部の導管の深度1.2 m以上を確保することとしている - このため、導管埋設部の適切な深度の確保は必要な措置である
定期漏えい検査の頻度	- 中圧の導管は、ガス工作物の技術上の基準を定める省令において、定期漏えい検査の頻度が4年に1回以上の義務とされているところ、提案者は1年に1回以上の頻度で実施することとしている - 本件について、ガス事業における水素導管供給が初めての事例であることや水素の特性、その供給圧力を踏まえると、定期漏えい検査を1年に1回以上の頻度で実施する必要がある

表 5.3 水素の特性を踏まえ必要とされる保安措置（平成 30 年度調査）³⁹

項目	内容
他埋設物との距離	・ 提案者は、サンドブラストによる導管損傷対策のため、水道管との離隔距離を並行部、交差部ともに 0.30 m 以上とし、当該距離を確保できない場合には導管と水道管の間に耐摩板を講じることとしている。また、その他の埋設物については可能な限り並行部 0.30 m 以上、交差部 0.15 m 以上確保することとしている ・ これらの措置については、過去の都市ガスの事故事例等を踏まえたもので、昨年度の公道部埋設導管についても必要な措置という結論に至ったことから、敷地内においても同様に必要な措置である
立ち入り防護措置	・ 地上設置工作物周辺をフェンスや柵などで囲うこととしている ・ これは地上設置工作物の保安確保並びに公衆の安全確保のために設置しているもので、水素導管供給が初めての事例であることを考えると、自主的な保安対策として必要な措置である
非常時の対応（緊急遮断方法）	・ ①大地震発生時（SI 値が 6.0 カイン以上）の揺れを感知した場合は、水素供給遮断すること、②水素導管の折損や災害などにおいて、大規模な漏えいが発生した場合には、水素供給遮断することとしている ・ こうした取組については、非常時の対応として保安確保の上で必要な措置である
非常時の対応（圧力上昇防止措置）	・ 整圧器の下流側圧力が上昇することを防止する措置を施すこととしている ・ これは整圧器が故障した場合などを想定した措置であり、安全を確保する上で必要な措置である
非常時の対応（水素パージ）	・ ①水素漏えいの可能性がある場合は、当該箇所の前後のバルブを閉止した後に、バルブ近傍に設置したノズルを用いて、放散減圧・窒素パージを行うこと、②区間遮断後の放散減圧・窒素パージ作業は、周囲に着火源が無いまたは排除した場合にて、放散量を有人作業で調整しながら行うこと等としている ・ こうした取組については、非常時の対応として保安確保の上で必要な措置である
定期漏洩検査の頻度	・ 中圧の導管は、ガス工作物の技術上の基準を定める省令において、定期漏えい検査の頻度が 4 年に 1 回以上の義務とされているところ、提案者は 1 年に 1 回以上の頻度で実施することとしている ・ 本件について、ガス事業における水素導管供給が初めての事例であることや水素の特性、その供給圧力を踏まえると、自主的な保安対策として必要な措置である

表 5.4 水素導管の仕様概要 (1/2) 39

配管材料	➤ 直管部：炭素鋼鋼管 ➤ 異形部、フランジ部：炭素鋼鋼材
付臭装置の材料	➤ 気密性と耐圧性を有することを確認したものを使用
整圧器の材料	➤ 気密性と耐圧性を有することを確認したものを使用
ガスメーターの材料	➤ 気密性と耐圧性を有することを確認したものを使用
接合方法	➤ 埋設部及び熱の影響を受ける場所は溶接接合 ➤ 露出部は基本的に溶接接合とし、溶接接合ができない箇所はフランジ接合
検査	➤ 放射線透過試験あるいは浸透探傷試験を実施（溶接箇所の全数） ➤ 気密試験を実施 ➤ 漏えい検査を実施
防食措置 (敷地内)	【埋設部】 ➤ 管材料への外面にポリエチレン被覆ライニングされた鋼管を使用 ➤ 接続部等の現地塗覆装に熱収縮性ポリエチレン被覆を措置 ➤ 埋設部は流電陽極法による防食措置を実施 ➤ 導管の防食状況（管体地電位）について掘削を伴わず確認・管理できるようターミナルを一定間隔に措置 【地上部】 ➤ 露出部に用いる鋼管は亜鉛めっき・錆止め塗装を措置
防護措置	【埋設部】 ➤ 導管埋設部深度：0.6m 以上 ➤ 他埋設物との離隔：交差部 0.15m 以上、並行部 0.30m 以上を確保 ➤ サンドブラスト対策：水道管に対し、並行部、交差部ともに 0.30m 以上を確保。遵守できない場合は耐摩板を措置 ➤ 水素導管埋設部に標識シート及び防護鉄板を措置 ➤ 標示テープを設置 【地上部】 ➤ 地上設置工作物周辺をフェンスや柵などで囲う措置
他工事管理	➤ 他企業工事照会を行い、他企業工事前の事前協議・保安措置依頼を徹底し、必要に応じて工事立会・現場措置を実施 ➤ 建物管理会社―水素供給事業者間における他工事照会の連絡体制を構築

表 5.4 水素導管の仕様概要 (2/2)

付臭措置	➤ シクロヘキセンを添加
定期漏えい検査	➤ 1 回/年以上の頻度による定期漏えい検査を実施
非常時対応	➤ 受付・出動体制は 24 時間体制を構築 ➤ 水素漏えいの可能性がある場合は、当該箇所の前後のバルブを閉止した後に、放散減圧・窒素パージを実施 ➤ 区間遮断後の放散減圧・窒素パージ作業は、周囲に着火源が無いまたは排除した場所にて、放散量を有人作業で調整しながら実施 ➤ 災害時（大地震発生時（SI 値が 60 カイン以上）、大規模漏えい発生時には速やかに供給停止を実施 ➤ 整圧器の下流側圧力が上昇することを防止する措置

第6章 ガス事業法における今後の水素の利用についての課題等の検討整理

本検討においては、第3章に調査を行った国内における水素活用の実証事業の事例や水素設備を参考に、今後のガス事業における課題について整理する。

6.1 ガス事業法で足元の対応の可能性がある水素設備

第3章で行った国内における今後の水素活用のうち、足元の対応の可能性がある設備として、分類3の主に中圧導管を用いた水素導管供給が想定される。特に、水素ステーションの水素や再生可能エネルギーを用いた水電解装置により製造した水素を導管供給し、定置型燃料電池で発電を行う事業が複数挙げられた。水電解装置については、高压ガス保安法が適用されない 1MPa 未満での活用となっており、その場合はガス事業法の技術基準の適用の可能性が想定される。また、定置型燃料電池への水素供給では高压を必要としないが、中圧での供給が前提となるため、中圧導管での水素供給に関する技術基準の整備については、足元でニーズがある。

中圧導管については、水素導管供給システム安全性評価事業において、現行の技術基準が適用可能であると評価されたが、一方、晴海フラッグの事例においては、国内初の水素導管供給ということもあり、非常時対応も含め、水素の特性を踏まえた必要とされる保安措置を行うことにより、安全性が評価された経緯がある。

今後の中圧導管の案件については、晴海フラッグを参考に事業計画を検討するとともに、個別案件ごとに安全性の評価を実施することが必要になると思われる。これらの安全性評価を積み上げることにより、安全対策の考え方がさらに整理されるものと思われる。

さらに、晴海フラッグでの運用実績、各実証事業等で得られた科学的データを積み上げることにより、水素の特性を踏まえた保安措置の評価を行い、技術基準の策定へと発展することが期待される。

また、晴海フラッグの検討では、コストの課題として、燃料電池の性能劣化をもたらす可能性を排除するための付臭水素の脱臭が挙げられた。付臭の代替措置となる新たな技術が得られた場合には、ニーズが得られ、足元の課題となるものと思われる。

表 6.1 ガス事業法で足元の対応の可能性がある水素設備

対象設備	ガス事業法の課題	具体的なニーズ
導管（中圧）	・ 中圧導管に対しては、晴海フラッグの事例において、非常時対応等も含め、水素の特性を踏まえた必要とされる保安措置を含め安全性が評価された ・ そのため、検証済みの案件の検証結果も踏まえて、個別案件ごとに安全性の評価を実施することが必要になると思われる ・ これらの安全性評価を積み上げることにより、安全対策の考え方がさらに整理されるものと思われる ・ さらに、晴海フラッグでの運用実績、各実証事業等で得られた科学的データを積み上げることにより、水素の特性を踏まえた保安措置の評価を行い、技術基準の策定と発展することが期待される	・ Woven City 構想、九州水素社会地域モデル等、水素ステーションや水電解装置からの水素供給のニーズが複数存在する
付臭措置	・ 晴海フラッグの事例より、付臭に関するコスト的な課題が明らかになった ・ 付臭措置の代替となる新たな技術が得られた場合には、短期的な課題として、安全性評価の実施が求められる	・ 晴海フラッグの事例より明らかなニーズあり

6.2 今後の検討課題とされる水素設備

第3章で行った国内における今後の水素活用のうち、以下の事例については、実証事業が行われているものの、具体的なニーズについては、現状把握できていない事例である。

以下に今後のガス事業法の課題となる設備等について、以下に示す。

- ◆ 高圧導管
- ◆ 低圧導管
- ◆ 特殊な敷設方法（柱上パイプライン、既設洞道内での敷設）
- ◆ 混合ガスの既設導管への適用
- ◆ 消費機器への対応
- ◆ 水素ガスホルダー
- ◆ 水素吸蔵合金

表 6.2 ガス事業法で今後の課題とされる水素設備 (1/3)

対象設備	ガス事業法の課題	具体的なニーズ
導管（高圧）	- 高圧導管については、現行の技術基準での水素の適用性については、未評価である - 現状明確なニーズも確認されないことから、今後の課題と認識し、動向を注視することが望まれる	- 今後、水電解装置を活用し 1MPa 以上の水素供給が可能となった場合には、ニーズが創出される可能性がある - 本検討会においては、ニーズが創出される可能性が高いと示唆あり - 今後、ニーズが創出される場合には、対応の必要あり
導管（低圧）	- 低圧導管については、現行の技術基準が適用可能であることが確認済み - 一方、具体的な案件の安全性評価の実施事例がなく、非常時対応等の水素の特性を踏まえた必要とされる保安措置についての検討事例が存在しない - 以上の状況を鑑み、実用案件が提案された場合には、安全性評価を実施、実証事業の実施、データの取得を行った後に、技術基準の検討を行うのが望ましいのではないかとと思われる	- 現在、水素給湯器の開発が行われているが、低圧導管のニーズも含め、一般家庭での水素のニーズが確認できない状況である - 今後、ニーズが創出される場合には、検討の必要性あり
特殊な敷設方法	- 現在、新たな敷設方法として、柱上パイプライン（実証済み 1 件）、既設洞道を活用し、他のケーブルとの共有（将来構想 1 件）が挙げられている - これらの敷設方法については、現行の技術基準での水素の適用性については、未評価である - これらの敷設方法についても、実証事業を実施している状況であり、今後実用のニーズが創出される可能性がある - 現状は、今後の課題と思われるが、実証事業の動向を注視し、対応について検討する必要がある	- 柱上パイプラインの実証事業について 1 事例確認済みであり、昨年度実証事業が終了、今後の計画は未定 - 既設配管内への水素導管の二重配管の実証事業を実施、将来的には通信用洞道等を活用した水素供給を構想 - 今後、ニーズが創出される場合には、検討の必要性あり

表 6.2 ガス事業法で今後の課題とされる水素設備 (2/3)

対象設備	ガス事業法の課題	具体的なニーズ
混合ガスの既設導管への適用	・ 海外においては、天然ガスと水素の混合ガスの検討事例が多数ある ・ 国内においては、既設導管を活用した LP ガスとの混合ガスの検討事例が 1 件確認（現在、調査事業を実施中） ・ 既存都市ガス導管による水素混合ガスの供給にあたっては、消費機器側への影響があることや CO2 削減効果が限定的であること十分に留意する必要がある。 ・ また、混合ガスの適用については、現行の技術基準での水素の適用性については、未評価である ・ 今後の課題と思われるが、調査事業の動向を注視し、対応について検討する必要がある	・ 混合ガスの適用に関する調査事業が実施中 ・ 今後、ニーズが創出される場合には、検討の必要性あり
消費機器への対応	・ 現在、消費機器として給湯器の開発が行われたことが確認済み ・ 水素消費機器については、まずは「ガス用品の技術上の基準等に関する省令」での水素の適用性について検討する必要がある ・ 現状は、今後の課題と思われるが、これら技術開発の動向を注視し、対応について検討する必要がある	・ 水素給湯器の開発事例あり ・ 今後、家庭用・業務用での水素ガス利用のニーズが創出される場合には、検討の必要性あり
水素ガスホルダー	・ 現状、水素ガスホルダーの利用の想定はあるものの、1MPa 以上であれば、高圧ガス保安法が適用可能であり、水素ステーション等での実績があり課題はない ・ 一方、1MPa 未満の場合においては、水素は熱量が少ないことから、貯蔵可能な水素量が限定的であり、現実的なニーズはないものと思慮される ・ 以上から、ガスホルダーについては、課題がないものと思慮	・ 1MPa 以上であればニーズはあり、高圧ガス保安法が適用可能 ・ 一方、貯蔵量の問題により、1MPa 未満のニーズはないものと思慮される

表 6.2 ガス事業法で今後の課題とされる水素設備（3/3）

対象設備	ガス事業法の課題	具体的なニーズ
水素吸蔵合金	・ 現在、水素吸蔵合金による宅配の実証事業が実施中であることが確認済み ・ 水素吸蔵合金については、70 戸以上の集団住宅等に供給する場合は、簡易ガス事業に該当する可能性があることから、実証事業の動向を注視し、対応について検討する必要がある	・ 実証事業を現在実施中 ・ 今後、ニーズが創出される場合には、検討の必要性あり

第7章 水素導管供給に関する基準等の整備のあり方についての検討

本検討により、水素導管に関する現状としては、以下の状況であることを確認した。

- ◆ ガス事業法においては、中低圧の導管について一定の技術基準の適用性について確認済みであるが、水素を活用したガス事業に適用されるためには、非常時対応等、水素の特性を踏まえた必要とされる保安措置が現状必要であることが分かった。
- ◆ 水素導管供給の安全性が確認された事例としては、現状、晴海フラッグの事例1件のみである。
- ◆ 晴海フラッグの事例においても、2023年度末に供給開始予定であり、国内において水素導管供給に関する科学的データが得られていない状況である。
- ◆ 一方、中圧導管については、一定のニーズが確認されるが、6.2章に示す高圧導管、低圧導管、特殊な敷設方法、混合ガスの適用、消費機器への対応については、現在実証事業段階又は開発段階であるとともに、明確なニーズが確認できない状況である。いずれにせよ、現段階で技術基準を整備するためには、十分な科学的データや根拠が得られていない。

以上の状況を鑑み、本調査において実施した有識者検討会においては、今後の基準等の整備について、以下の意見が挙げられた。

＜有識者のご意見＞

- ◆ 先行技術に関しては、技術基準を成り立たせる前に、個別案件として評価を行うというのは、どの分野においても必要である。
- ◆ 高圧ガス保安法では詳細基準事前評価などの制度があるので、ガス事業にもそのような制度があれば、そうした場で制定していくのが良い。
- ◆ ガス事業法でも適合性評価があるので、その枠組みでも良い。
- ◆ スピード感をもって対応するためには、保安戦略に記載されている高圧ガス保安法の事前評価制度、ガス事業法では、適合性評価委員会といった制度を活用すればよい。
- ◆ 安全性評価の事例を積み上げ科学的データを蓄積することは、安全な水素供給のために必要。
- ◆ 基準を整備するためには、実績を積み上げることが重要である。
- ◆ 水素導管供給の保安レベルが都市ガスパイプライン供給と同等の保安レベルに届くには、多くの実績を積み上げることが肝要である。

以上を踏まえ、今後の水素導管供給に関する基準等の整備のあり方としては、以下の方針とすることを提案する。

＜本業務による技術基準の整備のあり方についての提案＞

- ◆ 水素導管供給を含む、ガス事業法で対応する水素設備において、技術開発・実証段階の当面においては、水素保安戦略に記載の詳細基準事前評価制度の適用、または適合性評価委員会といった制度を活用し、スピード感をもって、対応することが望まれる。ただし、ガス事業法は高圧ガスと異なり、消費者に近いため、ガス事業法の特性に沿った評価制度となるような制度設計が必要である。
- ◆ 今後、新たな水素設備に対して、その適合性について評価実績を積み上げるとともに、晴海フラッグの水素供給実績、さらに各種実証実験を通じた科学的データの蓄積を積み上げることが重要である。
- ◆ 上記の科学的データや、根拠が積みあがった後に、技術基準の整備について検討することが望まれる。

○参考資料：水素保安戦略の策定に係る検討会報告書－水素保安戦略－（中間とりまとめ）
に示す、今後の道筋の明確化⁴⁰

○2. 今後の道筋の明確化（からの抜粋）

まず、技術開発・実証段階では、実用化の可否に向けた検討において一定のスケジュールの下、迅速に結論を得ることが求められている。その際、適用法令における技術基準に適合する必要があるが、内容の新規性から例示基準等に記載はなく、国・自治体等の許認可権者による技術基準への適不適の確認に時間を要することが想定される。現在、高圧ガス保安法においては、図 10 に示すように、詳細基準事前評価制度等、高圧ガス保安協会による技術的評価制度があり、第三者の保安技術専門家による、客観的な技術的評価を受けることにより省令以下の技術基準等の適合状況を確認することができる。当該制度は保安の専門家による技術的評価であるため、安全確保の手段として非常に有用であると考えられる。これまでも水素分野では、FCV や水素ステーション分野等において活用されてきた。一方で、申請者の要望に応じて詳細基準事前評価の結果を公開するファストトラック制度は十分活用されていないのが現状である。例えば、同制度の審査結果を公開することも可能であり、今後は企業の競争領域となる情報には配慮した上で、安全確保に有益な共有領域に属する情報については、積極的に公開していくことで、水素社会の段階的な実装に向けた取組を加速化する取組にも繋がり得る。

また、例示基準どおりであっても、技術的に自治体で審査が難しいもの又は時間を要するものなどについては、高圧ガス保安協会等による技術上の基準に関する評価結果等を申請書に添付することで、自治体はそれを活用することが可能である。このような制度を積極的に活用することにより、自治体による許認可の判断の迅速化にもつながると考えられる。

さらに今後、高圧ガス分野以外の分野においても、ガス事業法において安全性評価を行った実績があるように、技術開発・実証段階における技術基準の適合性判断において、専門的かつ迅速な対応が求められる場合、事業規模等を考慮の上、同様のスキームを設けることも視野に入れた検討も望ましい。

※ 上記に示す図 10 は原文の図番号である。

※ 原文と関連する図 10 及び図 11 を次頁に示す。

⁴⁰ 水素保安戦略の策定に係る検討会報告書－水素保安戦略－（中間とりまとめ）2023 年 3 月 13 日

図 10 高圧ガス保安法における自主保安の促進と機動的な制度

- 高圧ガス保安法では基準の性能規定化（新技術や民間における創意工夫の導入促進のため、安全確保上必要な要件について、具体的な手段、材料、方法で規定するのではなく、必要な安全上の性能のみを規定）を図っており、法令改正を要望されるものの多くは、既存法令の機動的な制度を活用すれば、対応が可能なものとなっている。

- 大臣特認制度：関係規則（省令）に定められている規定によることができない場合に、事業者の申請により、同等の安全性が担保できるものと大臣が認めた代替措置をもって、例外が認められる制度（KHKによる特定案件事前評価が必要）。事業者の創意工夫により、規定されている規則以外の措置が可能。
- これまでの活用事例（水素関係）：
 - ・火気との距離、粗暴な取扱い、容器の刻印方法等

例示基準は、各規則の性能規定化された技術上の基準（機能性基準）を満たす技術的な内容を例示したものである。なお、十分な保安水準を確保できるものとして、機能性基準を満たす場合には例示基準によらない方法も認められている。

例示基準によらない方法については、以下の制度により審査が可能となっている。

- 自治体への審査等申請時に事業者の創意工夫により、安全性を立証するための規格、試験データを添付する。
- 詳細基準事前評価制度：例示基準によらない方法について、事業者の申請により、機能性基準に適合することをKHKが評価する制度。
- 一般詳細基準審査：例示基準の追加・改正を目的に、事業者等からの申請を受け、KHKが申請内容の機能性基準への適合性を評価する制度。
- これまでの適用事例（水素関係）
 - ・材料、敷地境界との距離、障壁の構造等

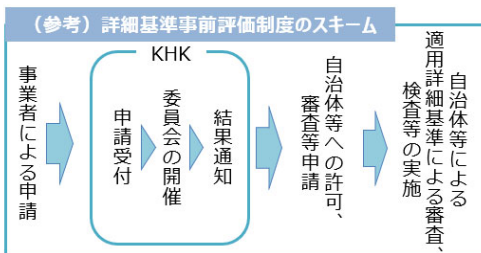
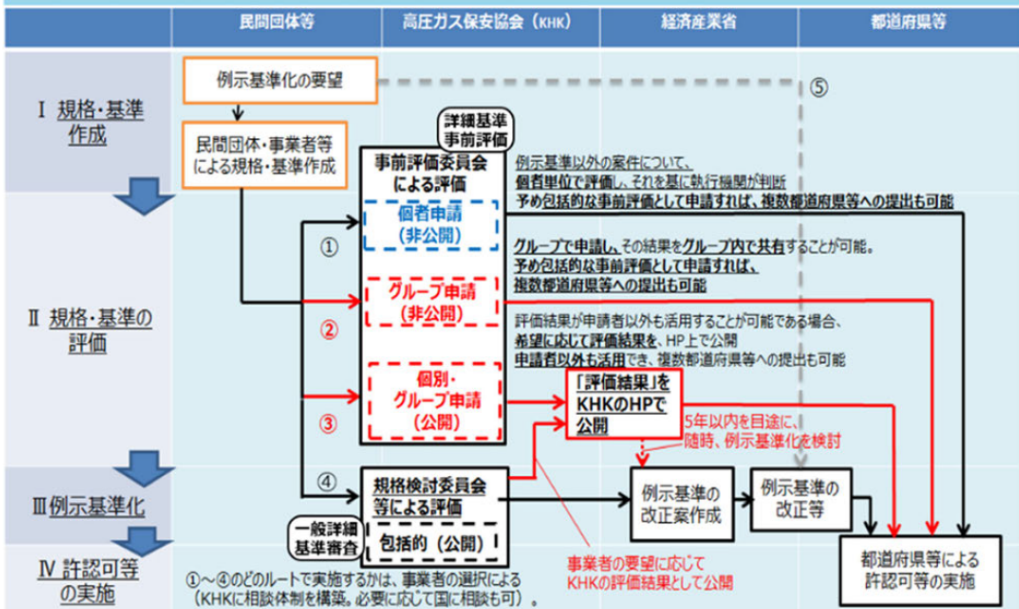


図 11 高圧ガス分野における
詳細基準事前評価及び一般詳細基準審査（ファストトラック制度）のフロー

出典：水素・燃料電池自動車交通規制に関する検討会第1回資料2-1 (https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/suiso_nenryo/pdf/001_02_01.pdf)を一部修正

- 高圧ガス分野では、例示基準に例示がない場合の判断方法の1つとして、高圧ガス保安協会（KHK）が基準への適合を技術的に評価する「事前評価」の仕組みが設けられている。また、民間の創意工夫や新技術に円滑・迅速に対応するために、「事前評価結果」の共有活用や、民間策定規格等を評価し取り込む制度として、ファストトラック制度が存在。



※ 上記に示す図番号は引用元の図番号を示す

出所：水素保安戦略の策定に係る検討会報告書－水素保安戦略－（中間とりまとめ）2023年3月13日

第8章 今後の課題

8.1 今後の課題

本検討においては、今後予想される水素ガスの利用形態等を調査し、現行のガス事業法における技術上の要求事項との関連を整理した。また、ガス事業法における水素利用についての課題及び今後の基準等の整備についての検討を行ってきた。

本検討において実施した、「水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査検討会」において、水素利用の実現に向けて、有識者である委員や実務者であるオブザーバーより得られた意見を集約し、今後の課題として以下にとりまとめた。

◆ 消費者とのコミュニケーションの重要性

- ガス事業は高圧ガス事業、電気事業に比べ、消費者の生活に近い場所で行われる事業であることから、自治体と連携し、消費者とのリスクコミュニケーションを行う必要がある。
- 消費者の生活に近いところで水素を活用するニーズが得られた際には、水素の特性について、そのメリットのみではなく、そのリスクも含め、説明する機会を設け、わかりやすく説明することが必要である。
- 例えば、水素が日常生活にどのように役立ち、どのような基準に基づいた安全対策をしているのかといったことも含めて、消費者の理解に努めることが必要である。

◆ ガス事業法における水素利用への対応

- 本検討においては、ガス事業法に適用される可能性がある設備を現行のガス事業法に照らし合わせ、今後の課題について検討を行った。
- 一方、現行のガス事業法において、水素利用で活用される可能性がある対象設備に対してどのように対応すべきかを含め、前提条件について検討することが望まれる。

◆ ガス事業における需要側のニーズの把握

- 本検討においては、水素を活用した実証事業等について幅広く情報収集が行われた。
- 今後は、これらの実証事業の成果や、需要側のニーズも含め情報収集し、後述する優先順位の考え方に反映することが必要である。
- 水素を利用した事業が創出され、需要が生じた場合には、継続する事業として成立する。このような状況となった場合には、必要となる設備やその要求性能が明確になり、要求性能に対しての課題が明確になる。
- これらの動向を把握し、ガス事業法の対応すべき優先順位に反映することが望まれる。

◆ 技術的課題への対応

- ガス事業にて水素を活用する際の大きな技術的な課題として、耐震設計を含めた材料の考え方、水素が漏えいした際の安全距離・危険区域設定、消費者に近い場所での活用方法が挙げられた。
- これらの課題については、今後の適合性評価や技術基準の策定に向けた根本の技術であり、検討に時間を要する課題であることから、国内他法令や海外の法令や技術基準での要求事項や考え方についての情報収集、整理することが望まれる。
- 技術的課題への対応については、水素保安戦略の方針に従い、将来的な技術基準の共通化を睨み、他法令にて取り組まれている検討と足並みをそろえることが望まれる。
- 今年度の調査においては、欧米における水素パイプラインの実証事業の検討に関する情報収集を行った。特に欧州は新設水素パイプラインの計画が複数あることが分かった。引き続きこれらの進捗について注視し、情報の更新を行うことが望まれる。

◆ 優先順位と時間軸の明確化

- 技術的課題や需要側のニーズの把握に合わせて、ガス事業法で対応すべき設備の優先順位と時間軸を明確にし、対応すべき事項及びロードマップ（図 8.1 に現状でのイメージを示す）を明らかにする必要がある。
- 本調査においては、国内における検討事例として事業者間の事業の他、消費者への水素供給事業の構想も確認された。先に示したように、消費者が直接水素を活用するにあたっては、十分なコミュニケーションを行い、そのリスクも含め、理解される必要がある。理解されるためにも、事業者間の水素供給事業の優先順位を高くし、水素導管供給事業の実績を積み上げる必要がある。
- 事業者間の水素利用の方法としては、中圧導管を活用した水素ガス利用のニーズが確認できた。中圧導管について、晴海フラッグの事例においては水素特有の課題への対応も含め、安全性評価が行われ、安全性確保のための方策について一定の整理が行われた。今後は晴海フラッグや他の実証事業等で得られた科学的データを収集・分析し、新たな知見が得られた場合には、安全性担保の考え方について適宜反映することが望まれる。
- 中圧導管以外の事業者間の水素利用の方法として、水電解装置の高圧化へのニーズが高まった場合には、高圧水素導管を活用した水素ガス利用のニーズが得られる可能性があることが分かった。高圧水素導管のニーズへの対応に向け、耐震設計を含めた材料の考え方、水素が漏えいした際の安全距離・危険区域設定について検討を開始することが望まれる。
- 中圧導管、高圧導管以外の水素ガス利用として、低圧導管、水素混合ガスの適用、

柱上パイプライン等、事業者側から様々な水素ガス活用が提案されている状況である。これらの動向については、実証事業の動向を注視し、事業者のみではなく、需要家側のニーズについても把握し、必要に応じて優先順位について柔軟に考えることが必要である。

◆ 消費者の生活に近い場所での水素利用への対応

- 優先順位は相対的に低いが、消費者に近い場所で実施される水素ガス利用についても検討がされている。
- 水素ガス消費機器が開発される等、将来的には、消費者の生活に近い場所で実施される水素ガス利用についても提案されると考えられる。そのため、実証事業の動向を注視し、事業者のみではなく、需要家側のニーズについても注視することが必要である。
- 水素の性質や取り扱い方法は都市ガスとは異なるため、需要側のニーズが顕在化した場合には、現在ガス用品として指定されていない業務用機器などの品目についても、何等かの技術基準を検討する必要がある、情報収集を開始することが望まれる。

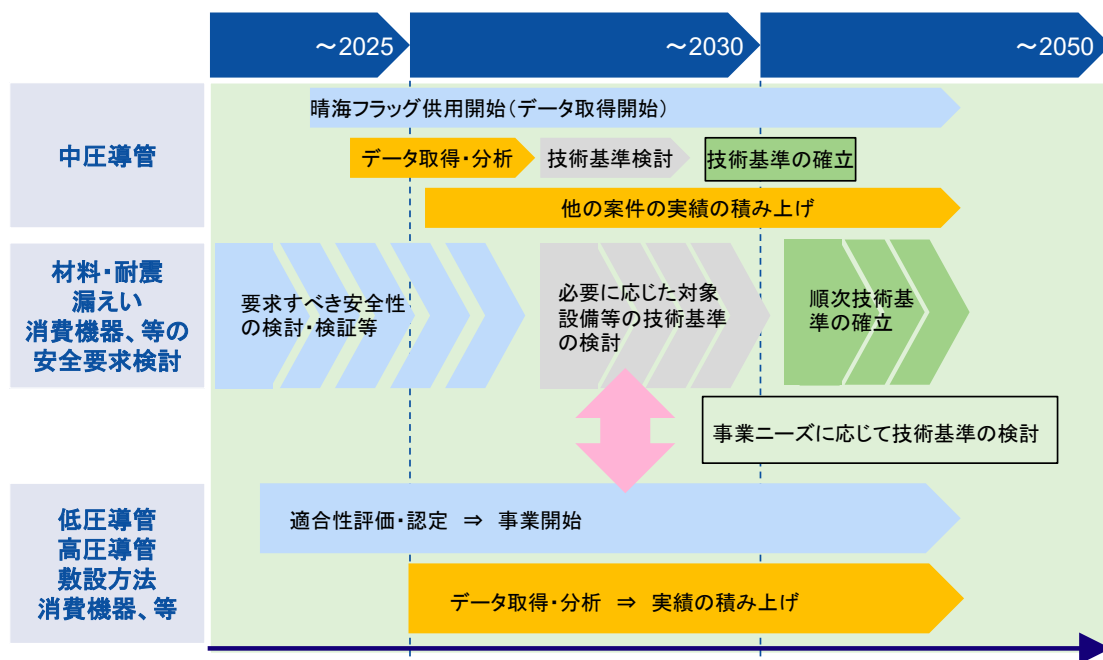


図 8.1 ロードマップのイメージ

8.2 次年度以降の調査の提案

8.1 章に示した今後の課題の解決に向け、次年度以降、以下の検討を実施することを提案する。

- ◆ ガス事業法における技術基準の策定に向けた方針の検討
 - 今年度の調査においては、幅広く水素ガス利用に係る可能性があるガス事業について、調査を実施した。
 - 今後は、これらの事業に対する供給側のみではなく、需要側のニーズについて調査を行い、時間軸を含めた優先順位について検討するとともに、ガス事業法で対応すべき設備を明らかにする。
 - 上記で検討した設備を対象に、水素活用にあたっての技術的課題を明らかにするとともに、将来の技術基準の策定に向けた方針の検討を行う。

- ◆ 技術的課題に対する検討
 - 水素ガス利用に対応すべき設備の技術的課題について、要求すべき安全性の考え方の整理・検討を行う。
 - 水素ガス利用に係わる技術的課題としては、限られた区域のみではなく、幅広いネットワークを有することを鑑み、以下の課題を含めることとする。
 - ◇ 耐震設計を含めた導管材料の考え方
 - ◇ 導管等から水素漏えいが発生した際の安全距離・危険区域の設定の考え方
 - ◇ 消費機器を含めた消費者の生活に近いところでの活用に係る安全性の考え方
 - 上記について、現状の国内他法令における要求事項を整理するとともに、海外の法令や技術基準との対比を行い、国内外の水素に対する考え方を調査・整理する。必要に応じ、類似する設備等における考え方についても調査・整理する。
 - 欧州においては水素導管供給の実証事業が開始されつつあることから、その動向等について引き続き注視し、情報の更新を行う。
 - これらの検討にあたっては、水素保安戦略の方針に従い、将来的な技術基準の共通化を睨み、他法令での検討との足並みをそろえる。

- ◆ 水素利用及び技術課題へのロードマップの作成
 - ガス事業法における水素利用及び技術的課題への対応について時間軸を明確にするとともに、ロードマップを作成する。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：

令和4年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託費（水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査）報告書

委託事業名：

令和4年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託費（水素社会の到来に向けたガス事業における課題調査）

受注事業者名：

みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

頁	図表番号	タイトル
15	図 3.6	トヨタ自動車九州宮田工場における太陽光発電で製造したCO2フリー水素を燃料電池、フォークリフトで活用するモデル（2―①）
15	図 3.7	中部国際空港セントレアの水素活用（2―④）
20	図 3.11	九州における余剰再エネ等ゼロエミ電源を用いた水素社会地域モデル（3―③）
20	図 3.12	洋上風力発電の余剰電力による水素製造および利活用に向けた調査事業（3―④）
23	図 3.14	既存のLPG配送網を活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築（4―①）
23	図 3.15	CO2フリーの水素エネルギー社会実現に向けたP2Gシステム（4―②）
24	図 3.16	なみえ水素タウン構想（生協による水素配送実証FS）（4―④）
26	図 3.18	東京ガスにおけるカーボンニュートラルへの取り組み水素製造・供給・利活用の推進（5―①）
26	図 3.19	しかおい水素ファーム：バイオガスからの水素活用事例（5―②）
29	図 3.22	再エネ電解水素の製造及び水素混合ガスの供給利用実証事業（6―④）
31	図 4.1	ロッテルダム港における水素活用事例
32	図 4.2	ドイツ、ヘルゴラント島における水素活用事例
33	図 4.3	H100 Fifeプロジェクトの概要
34	図 4.4	H100 Fifeにおける水素火炎の可視化実験
36	図 4.5	HyNet North West 水素パイプラインの計画
37	図 4.6	European Hydrogen Backboneの水素パイプライン計画
39	図 4.7	天然ガスパイプラインへの水素混合率と単位フィート当たりの熱量

(様式 2)

頁	図表番号	タイトル
39	図 4. 8	各州の水素パイプライン網の合計延長（単位：マイル）
41	図 4. 9	米国における天然ガスパイプライン網
42	図 4. 10	天然ガス混合のサプライチェーンと設備
44	図 4. 11	応力拡大係数の差と亀裂進展速度の相関
44	図 4. 12	引張強さと破壊靱性の相関
45	図 4. 13	Air Liquide社の欧州における水素製造拠点と水素パイプライン
47	図 4. 14	水素パイプラインの敷設状況
52	表 4. 4	米国における水素供給事例に係る設計・施工の概要
52	表 4. 5	欧州における水素供給事例に係る設計・施工の概要
57	表 4. 8	ASME B31. 12及びCGA G-5. 6の材料選定表
58	表 4. 9	肉厚の設計に係る定数の概要
59	表 4. 10	溶接方法の例示