

第1章 検討の目的等

第1節 目的

東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会（以下「東京2020大会」という。）後の選手村地区では、火を使用せず、直接水素を使用する燃料電池発電設備の設置が計画されている。火災予防条例（昭和37年東京都条例第65号。以下「都条例」という。）の規制対象となる燃料電池発電設備（以下「火を使用する燃料電池」という。）は「火を使用するものに限る」であり、火を使用しない設備は、都条例の対象とならない。

しかし、発電部分の構造は、火を使用するものと同様であり電気を作ることによる出火や直接水素を使用することによる漏えいの危険等が懸念される。よって純水素形燃料電池発電設備（以下「純水素燃料電池」という。）の火災危険等に応じた防火安全対策の検討を行うものである。

第2節 検討対象

検討の対象は以下とする。

- (1) 純水素燃料電池本体と、その周辺設備として、ガス供給設備を対象とする。

純水素以外の水素濃度の低いガスや、各種不純物を含む水素ガスを用いる燃料電池発電設備は除く。

- (2) ガス供給設備

水素ガスの製造設備、貯蔵設備等は対象とせず、水素供給系統の引込み管ガス遮断装置を境界として、その下流の水素導管、緊急ガス遮断装置、区分バルブを経由して純水素燃料電池との取合いまでをガス供給設備の対象とする。

注記 検討対象とする純水素は、純水素燃料電池の燃料として適用される上で支障無い仕様のもをを対象とする。ただし、今後、多種多様な水素を含むガスが燃料電池の燃料となるものと考えられる。現時点で純水素燃料電池の燃料として適用されるのは、産業ガスとして流通しているボンベ水素、水素ステーションで燃料電池自動車に供給される水素、また、再生可能エネルギーの有効活用として水の電気分解で得られる水素などが一般的である。燃料電池用の水素の仕様を定めたものとしては、ISO/TC197/ISO 14687-3:2014 Hydrogen fuel -- Product specification -- Part 3: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for stationary appliances（以下「ISO 14687-3」という。）の Type I, grade E, Category 3 (Hydrogen applications; minimum hydrogen fuel index of 99.9%) が参照されることが多い。表 1.2.1 に上記 ISO に示される水素仕様を抜粋して示す。

表 1.2.1 ISO 14687-3 Type I, grade E, Category 3

Constituents (assay)	
Hydrogen fuel index a (minimum mole fraction)	99,9 %
Total non-hydrogen gases (maximum mole fraction)	0,1 %
Water (H ₂ O) b	Non-condensing at all ambient conditions
Maximum concentration of individual contaminants	
Total hydrocarbons except Methane d (C1 equivalent)	2 µmol/mol
Methane (CH ₄)	100 µmol/mol
Oxygen (O ₂)	50 µmol/mol
Sum of nitrogen (N ₂), argon (Ar) and helium (He) (mole fraction)	0,1 %
Carbon dioxide (CO ₂)	2 µmol/mol
Total sulfur compounds f (S1 equivalent)	0,2 µmol/mol e
Formaldehyde (HCHO)	0,2 µmol/mol e
Ammonia (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Halogenated compounds g (Halogen ion equivalent)	0,05 µmol/mol
Maximum particulate concentration	1 mg/kg
Maximum particle diameter	75 µm
<p>a/ The hydrogen fuel index is determined by subtracting the "total non-hydrogen gases" in this table, expressed in mole percent, from 100 mole percent.</p> <p>b/ Each site shall be evaluated to determine the appropriate maximum water content based on the lowest expected ambient temperature and the highest expected storage pressure.</p> <p>c/ Maximum concentration of impurities against the total gas content shall be determined on a dry-basis.</p> <p>d / Total hydrocarbons except methane include oxygenated organic species. Total hydrocarbons except methane shall be measured on a C1 equivalent (µmolC/mol).</p> <p>e/ Sum of CO, HCHO, HCOOH shall not exceed 0.2 µmol/mol.</p> <p>f/ As a minimum, total sulfur compounds include H₂S, COS, CS₂ and mercaptans, which are typically found in natural gas.</p> <p>g/ Halogenated compounds includes, for example, hydrogen chloride (HCl) and organic halides (R-X). Halogenated compounds shall be measured on a halogen ion equivalent (µmol/mol).</p>	

第3節 検討体制

検討を実施するにあたり、その体制は以下とする（表 1.3-1, 2, 3）。

(1) 検討部会

学識経験者を部会長、副部会長とし、行政関係者、試験検査機関、業界団体等により構成される検討部会を設置する。検討の方向性を各 WG に示すとともに、WG の検討結果を審議し、決定する。

(2) 純水素形燃料電池本体の検討 WG (WG1)

建築物の火災に係わる学識経験者、行政関係者、燃料電池メーカー、試験検査機関等により構成される。純水素燃料電池自体の防火安全性の観点から検討を行い、検討結果に基づき検証実験を実施する。

(3) 建築物への水素供給安全化検討WG (WG2)

気体燃料の取扱い等に係る学識経験者、行政関係者、燃料電池メーカー、都市ガス事業者、水素ガス事業者により構成される。純水素燃料電池への水素供給設備を建築物に設置する際の安全確保のための検討及び提案を実施する。

表 1.3-1 検討部会 構成員一覧表

部会長	太田健一郎	横浜国立大学
副部会長	土橋 律	東京大学大学院
副部会長	倉渕 隆	東京理科大学
副部会長	大宮 喜文	東京理科大学
部会員	里見 知英	燃料電池実用化推進協議会
部会員	松田 昌平	(一社) 日本電機工業会(東芝燃料電池システム株)
部会員	加藤 玄道	(一社) 日本電機工業会(パナソニック株)
部会員	金子 功	(一社) 日本ガス協会
部会員	滝沢 恒夫	(一社) 関東電気保安協会
部会員	池田 哲史	(一社) 水素供給利用技術協会
部会員	田村 裕之	消防庁消防研究センター
部会員	恵崎 孝之	消防庁予防課
部会員	大竹 晃行	東京消防庁
部会員	手塚 康長	東京消防庁技術安全所(平成29年9月30日まで)
部会員	伊藤 要	東京消防庁予防部
部会員	木下 修	東京消防庁警防部
アドバイザー	丹羽 哲也	(一財) 日本ガス機器検査協会
アドバイザー	橋本 紳二	(一財) 日本燃焼機器検査協会
アドバイザー	増田 文雄	(一財) 電気安全環境研究所
アドバイザー	及川 敬敏	経済産業省 産業保安 G
アドバイザー	村上 清徳	東京都都市整備局
アドバイザー	堀 哲	東京都環境局
アドバイザー	石渡 英幸	川崎市消防局予防部
アドバイザー	田村 厚雄	経済産業省産業保安 G
アドバイザー	平木 雅也	資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー一部
事務局	川浦 正人	(一社) 日本電機工業会
事務局	柴田 和男	(一社) 日本電機工業会
事務局	松沢 和幸	(一社) 日本電機工業会
事務局	須藤 徳子	(一社) 日本電機工業会

表 1.3-2 純水素形燃料電池本体の検討 WG 構成員一覧表

主査	加藤 玄道	(一社) 日本電機工業会 (パナソニック株式会社)
副主査	土橋 律	東京大学大学院
副主査	大宮 喜文	東京理科大学
委員	里見 知英	燃料電池実用化推進協議会
委員	伊藤 要	東京消防庁予防部
委員	小川 雅弘	(一社) 日本電機工業会 (東芝燃料電池システム株)
アドバイザー	恵崎 孝之	消防庁予防課
アドバイザー	及川 敬敏	経済産業省 産業保安 G
アドバイザー	平木 雅也	資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部
アドバイザー	鍋嶋康成	(一財) 日本ガス機器検査協会
アドバイザー	橋本 紳二	(一財) 日本燃焼機器検査協会
アドバイザー	増田 文雄	(一財) 電気安全環境研究所
事務局	川浦 正人	(一社) 日本電機工業会
事務局	柴田 和男	(一社) 日本電機工業会
事務局	松沢 和幸	(一社) 日本電機工業会
事務局	須藤 徳子	(一社) 日本電機工業会

表 1.3-3 建物への水素供給安全化検討 WG 構成員一覧表

主査	倉淵 隆	東京理科大学
副主査	金子 功	(一社) 日本ガス協会
委員	里見 知英	燃料電池実用化推進協議会
委員	伊藤 要	東京消防庁予防部
委員	小川 雅弘	(一社) 日本電機工業会 (東芝燃料電池システム株)
委員	辻 正寿	(一社) 水素供給利用技術協会 (JXTG エルキ株)
委員	藤本 守之	(一社) 水素供給利用技術協会 (岩谷産業株)
アドバイザー	下館 拓章	経済産業省産業保安 G
アドバイザー	平木 雅也	資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部
アドバイザー	恵崎 孝之	消防庁予防課
事務局	川浦 正人	(一社) 日本電機工業会
事務局	柴田 和男	(一社) 日本電機工業会
事務局	松沢 和幸	(一社) 日本電機工業会
事務局	須藤 徳子	(一社) 日本電機工業会

第4節 検討の流れとスケジュール

表 1.4-1 に本検討の流れとスケジュールを示す。

表 1.4-1 検討の流れとスケジュール

開催日	名称	審議内容
6月14日	第1回 予防技術検討委員会※	○検討概要 ○検討スケジュール ○検討部会の構成
6月27日	第1回 WG2	○WG 検討の流れ ○都市ガス指導基準 ○検証設置の事例 ○選手村の計画
6月29日	第1回 WG1	○WG 検討の流れ ○総務省報告の活用 ○エネファーム事故事例 ○実験概要
7月13日	第1回 検討部会	○検討の流れ ○エネファーム事故事例 ○実験方法 ○経産省調査事業 ○検証設置の事例
7月31日	第2回 WG2	○経産省調査事業 ○検証設置の事例 ○選手村の計画
8月30日	第2回 WG1	○実験方法 ○ハザード分析 ○消防活動の流れ
9月8日	第2回 検討部会	○実験方法 ○ハザード分析 ○経産省調査事業 ○検証設置事例 ○選手村の計画 ○消防活動の流れ
10月10日	第3回 WG2	○選手村供給計画概要 ○検証設置の事例 ○消防活動の流れ
10月13日	第3回 WG1	○実験方法 ○消防支援概要
11月27日	第4回 WG2	○防火安全対策 ○消防支援表示
12月20日	第4回 WG1	○実験結果 ○消防支援表示 ○報告書分担
12月22日	第3回 検討部会	○水素供給安定化基準 ○実験結果 ○消防支援表示 ○報告書分担
12月26日	第2回 予防技術検討委員会	○ハザード分析結果 ○水素供給安定化基準 ○実験結果 ○提言の方向性
1月16日	第5回 WG2	○報告書下書き ○防火安全対策下書き
1月25日	第5回 WG1	○出力区分 ○報告書下書き ○防火安全対策下書き
2月7日	第4回 検討部会	○報告書 ○防火安全対策
2月8日	第3回 予防技術検討委員会	○報告書 ○防火安全対策

※ 予防技術検討委員会：東京消防庁火災予防規程第76条により設置

第2章 純水素形燃料電池発電設備及び火を使用する燃料電池発電設備並びにその周辺設備の概要調査

第1節 種類、原理及び構造

2.1.1 燃料電池の種類

燃料電池は、水素と酸素とが電解質を介して化学反応することにより発電するもので、水の電気分解の逆反応と解釈できる(図2.1.1-1)。

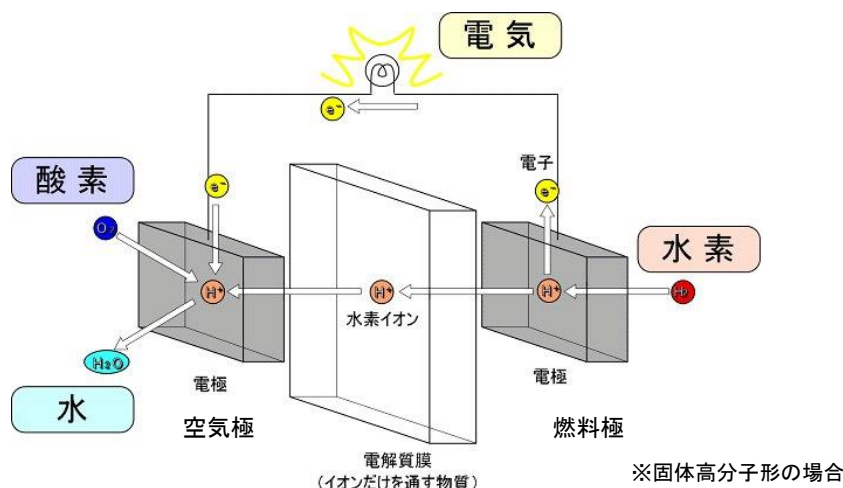


図 2.1.1-1 燃料電池の発電原理

また、燃料電池は、電解質の種類によって発電温度や特性が異なるため、電解質に何を用いるかによって分類される。現在、商用化又は実証段階の各種燃料電池の概要を表2.1.1-1に示す。

表 2.1.1-1 各種燃料電池の概要

種類 項目	固体高分子形 (PEFC)	りん酸形 (PAFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)
発電温度(°C)	室温~100	170~200	600~700	700~1000
電解質	高分子 (イオン交換膜)	りん酸	溶融炭酸塩	セラミックス (安定化ジルコニア)
原燃料	都市ガス、LPG、 水素、灯油 等	都市ガス、LPG、 水素、灯油 等	都市ガス、LPG、 石炭、水素、灯油 等	都市ガス、LPG、 水素、灯油 等
作動気体 (燃料極)	水素	水素	水素 一酸化炭素	水素 一酸化炭素
伝導イオン	水素イオン	水素イオン	炭酸イオン	酸化物イオン
主用途	家庭用、小型業務用 自動車用、携帯用 分散型電源	分散型電源用	分散型電源用 大規模電源用	家庭用、小型業務用 分散型電源用

表2.1.1-1に記載されるとおり、燃料電池は、都市ガスやLPGなどの炭化水素を燃料とすることができる。これは、システム内部に燃料改質装置を有することで、炭化

水素から化学反応によって水素等を取り出すことができるからであり、当然、水素を直接燃料電池に供給する場合にも発電は同様に行うことができる。(図 2.1.1-2)

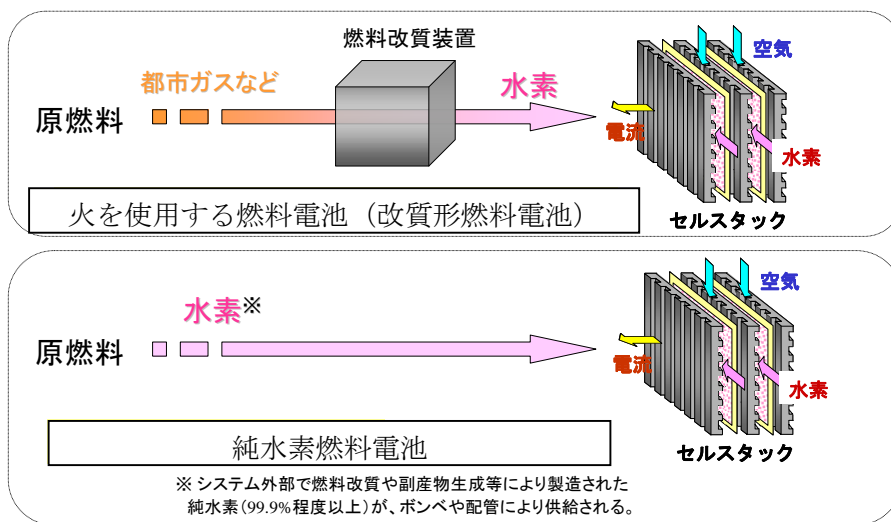


図 2.1.1-2 燃料改質装置の有無による分類

2.1.2 燃料電池の構造

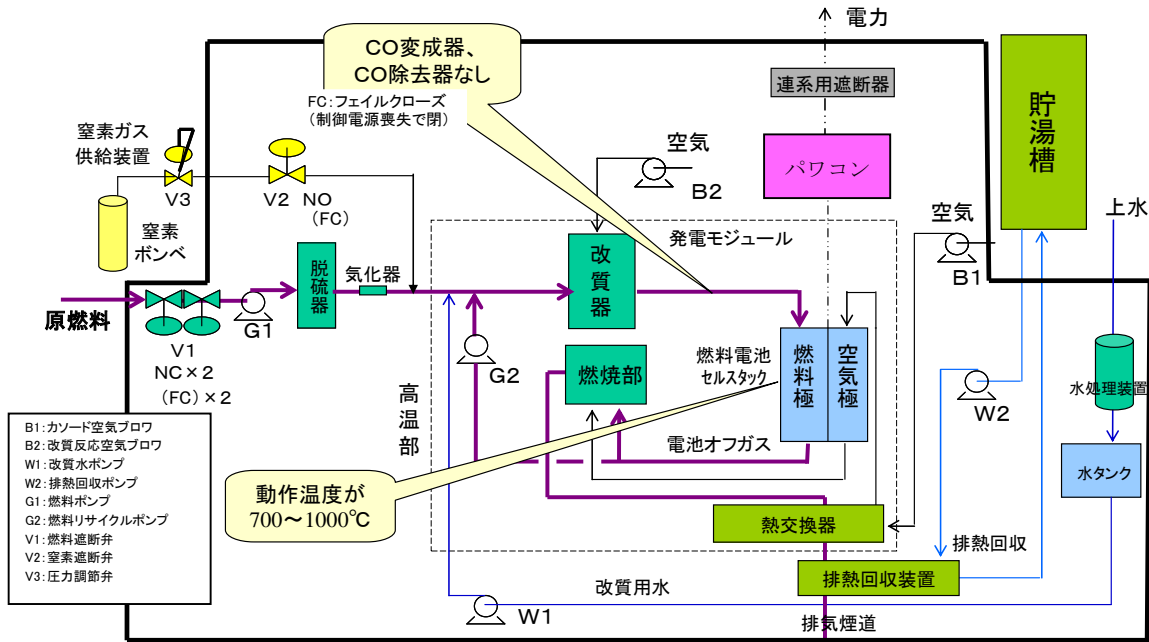
火を使用する燃料電池（固体酸化物形）の概略システムフローを図 2.1.2-1 に、火を使用する燃料電池（固体高分子形）の概略システムフローを図 2.1.2-2 に示す。また、本報告書で検討の対象となる純水素を燃料とする純水素燃料電池（固体高分子形）の概略システムフローを図 2.1.2-4、参考として純水素燃料電池（固体酸化物形）図 2.1.2-3 に示す。

これら各システムフロー図に示される各構成要素は、おおまかに燃料系、空気系、水系、電気系に分類できる(表 2.1.2-1)。

表 2.1.2-1 燃料電池の概略系統

燃料系	燃料改質形の場合、原燃料は燃料改質装置により水素を主成分とするガスに変換された後、燃料電池本体(セルスタック)の燃料極に導入され、電気を作る。セルスタックで余った水素は燃焼部等で燃やされ、排気される。
空気系	空気はセルスタックの空気極に導入されて電気を作るとともに、一部は燃料改質装置に送られ、燃焼用空気となる。
水系	改質用水として用いられるほか、排気等に含まれる熱を回収し、この熱を外部に供給する。
電気系	セルスタックで発生した直流電力は、パワーコンディショナー（以下「パワコン」という。）で交流に変換され、外部に供給される。

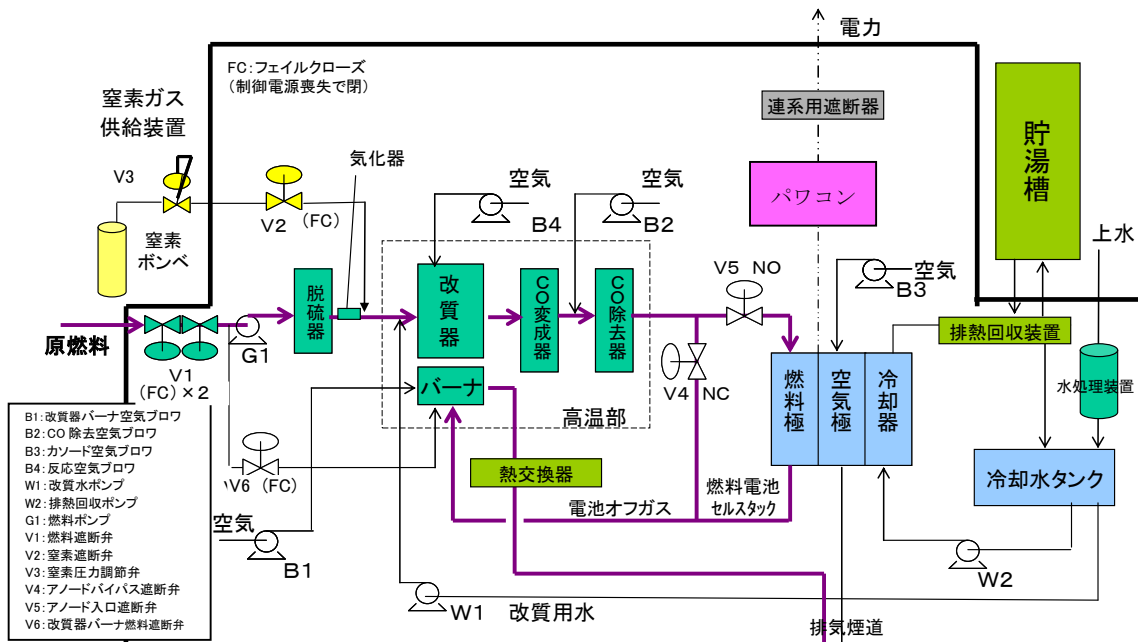
[SOFC]



- 1) 気化器は液体燃料時のみ
- 2) 空気 (B2) はオートサーマル方式または部分酸化方式時のみ
- 3) 改質用水 (W1) は水蒸気改質方式およびオートサーマル方式時のみ
- 4) 電池オフガス (G2) はオフガスリサイクル時のみ
- 5) 原燃料昇圧ポンプ (G1) を設置せず、流量制御弁を設置する場合もある

図 2.1.2-1 火を使用する燃料電池 (固体酸化物形) (SOFC) のシステムフロー図

[PEFC]



- 1) 気化器は液体燃料時のみ
- 2) 起動専用バーナ及び空気 (B4) はオートサーマル方式または部分酸化方式時のみ。
オートサーマル方式または部分酸化方式時のバーナはオフガス処理専用
- 3) 改質用水 (W1) は水蒸気改質方式及びオートサーマル方式時のみ

図 2.1.2-2 火を使用する燃料電池 (固体高分子形) (PEFC) のシステムフロー図

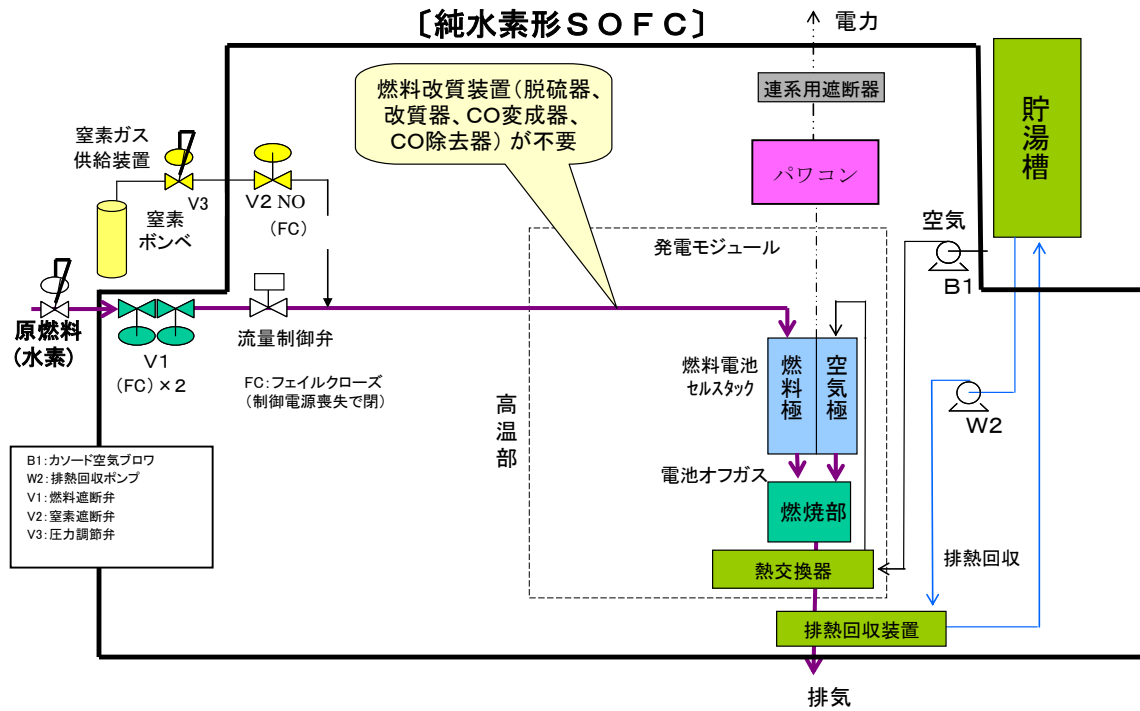


図 2. 1. 2-3 純水素燃料電池 (固体酸化物形) (SOFC) のシステムフロー図

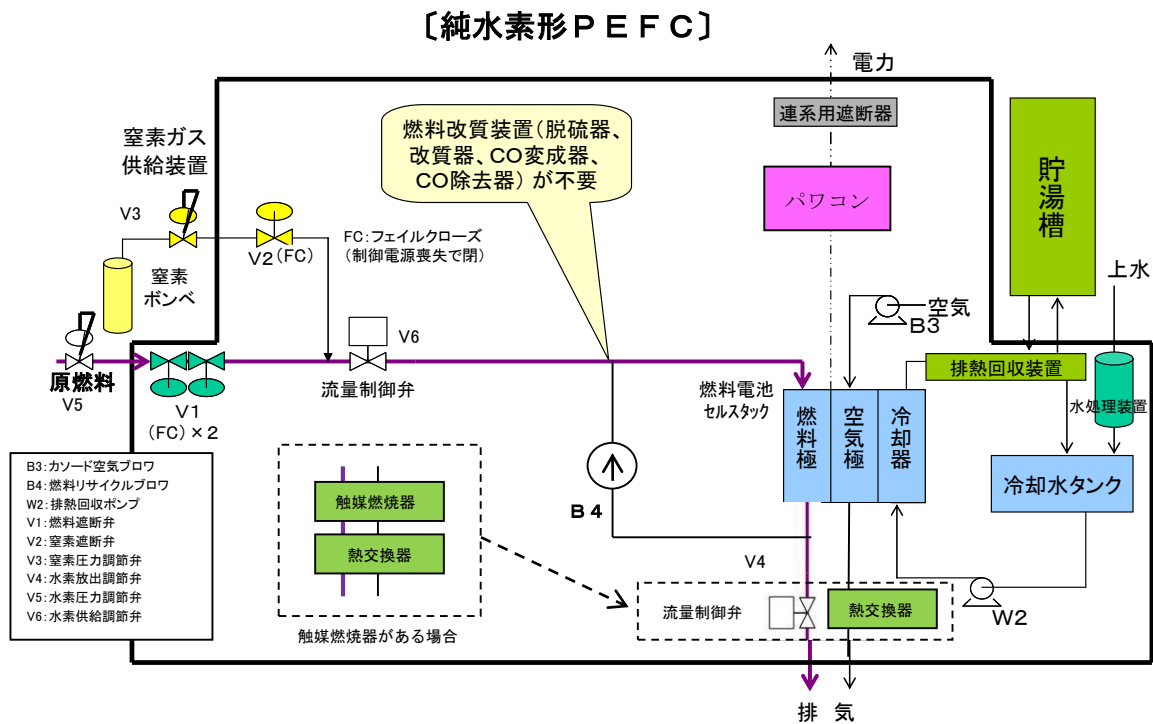


図 2. 1. 2-4 純水素燃料電池 (固体高分子形) (PEFC) のシステムフロー図

第2節 現行安全基準（関連法規、規格及び規格化、標準化動向）

2.2.1 純水素形燃料電池の現行安全基準

2.2.1.1 火を使用する燃料電池に適用される消防法関連の法規制

火を使用する燃料電池に適用する現行法令の体系は、図 2.2.1.1-1 に示すとおりであり、実際の法制に関する事項は市町村の火災予防条例に定められている。各市町村条例の「ひな型」となるのが火災予防条例（例）（以下「条例（例）」という。）であり、各市町村はこの条例（例）を基に、その地方の気候や風土の特殊性等を考慮した上で条例を制定している。

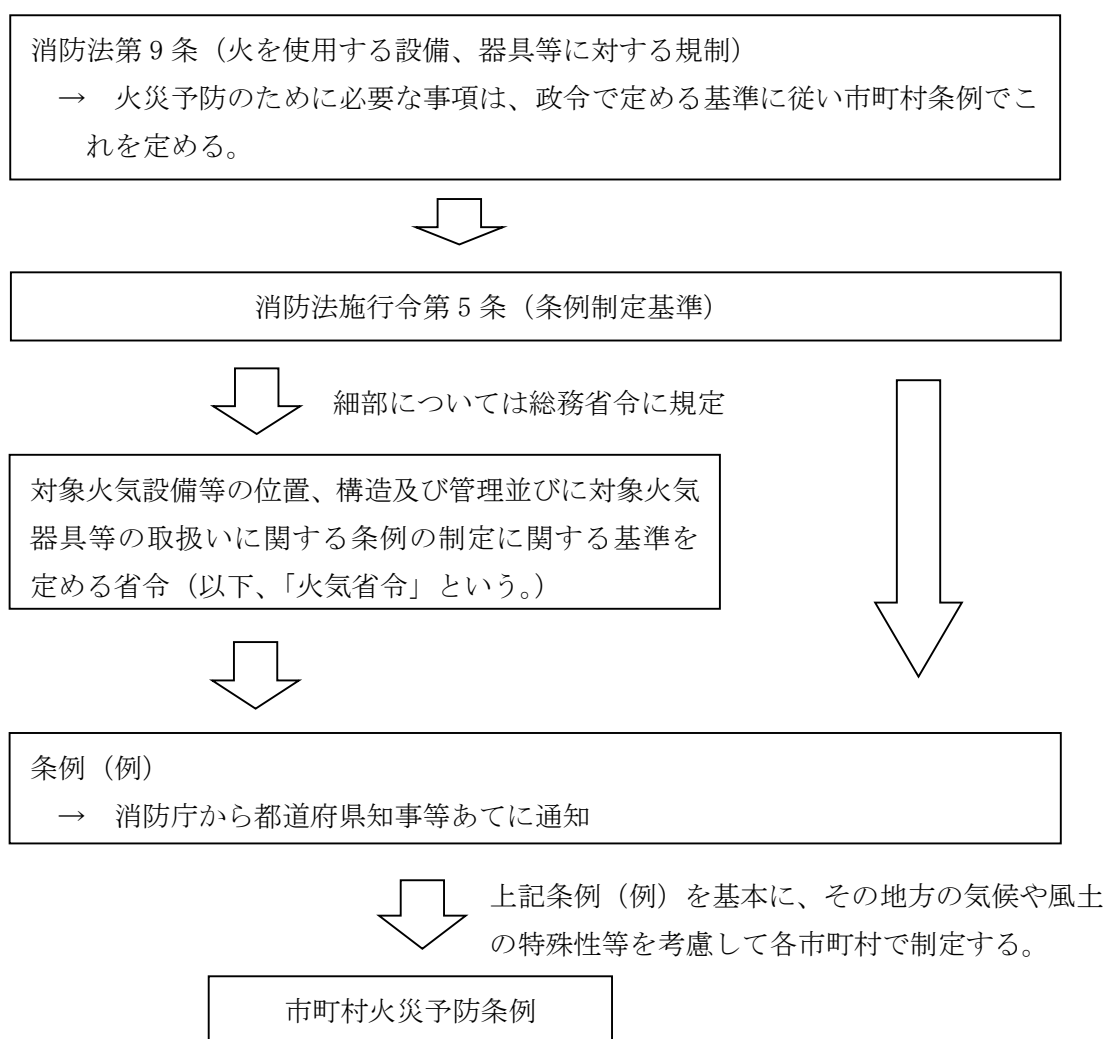


図 2.2.1.1-1 現行法令の体系

火を使用する燃料電池は、平成 17 年までに、固体高分子形燃料電池、りん酸形燃料電池及び熔融炭酸塩形燃料電池が消防法令に規定され、平成 22 年に固体酸化物形燃料電池が規定された。

純水素燃料電池については、上記検討時点でまだ実用化等の事例がなかったことから、現状では技術基準への適用がなされていない。そのため今回、その安全性等について本報告書にて検討がなされたものである。

法文の概要は以下のとおりである。

(1) 火気省令

○ 第3条第1項第11号

火を使用する燃料電池（固体高分子形燃料電池、りん酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池又は固体酸化物形燃料電池による発電設備であって火を使用するものに限る。）として、対象火気設備等の一つに位置付けている。

○ 第16条第1項第4号

火を使用する燃料電池のうち屋外に設けるものに対し、建築物から3m以上の距離を義務付けている。ただし、一定の条件を満たしたものについては、その適用を要しない。

(2) 条例（例）

○ 第8条の3

火を使用する燃料電池（固体高分子形燃料電池、りん酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池又は固体酸化物形燃料電池による発電設備であって火を使用するものに限る。）の基準を明確化している。ただし、一定の条件を満たしたものについては、その適用を要しない。

○ 第44条第1項第10号

火を使用する燃料電池について、所管消防署等への設置届出を要することを義務付けている。ただし、一定の条件を満たしたものについては、その適用を要しない。

(3) 都条例

○ 第8条の3

火を使用する燃料電池（固体高分子形燃料電池、りん酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池又は固体酸化物形燃料電池による発電設備であって火を使用するものに限る。）の基準を明確化している。ただし、一定の条件を満たしたものについては、その適用を要しない。

○ 第57条第1項第10条

火を使用する燃料電池発電設備について、所管消防署等への設置届出を要することを義務付けている。ただし、一定の条件を満たしたものについては、その適用を要しない。

2.2.1.2 火を使用する燃料電池に適用される消防法以外の法規制

(1) 法規制の概要

火を使用する燃料電池のうち、現行法令において、一般家庭に普及が見込まれている燃料電池（以下、2.2.1.2では「家庭用燃料電池」という。）に適用される法規制を概念図で示すと図2.2.1.2-1のようになり、家庭用燃料電池は電気事業法の適用を受けることになる。

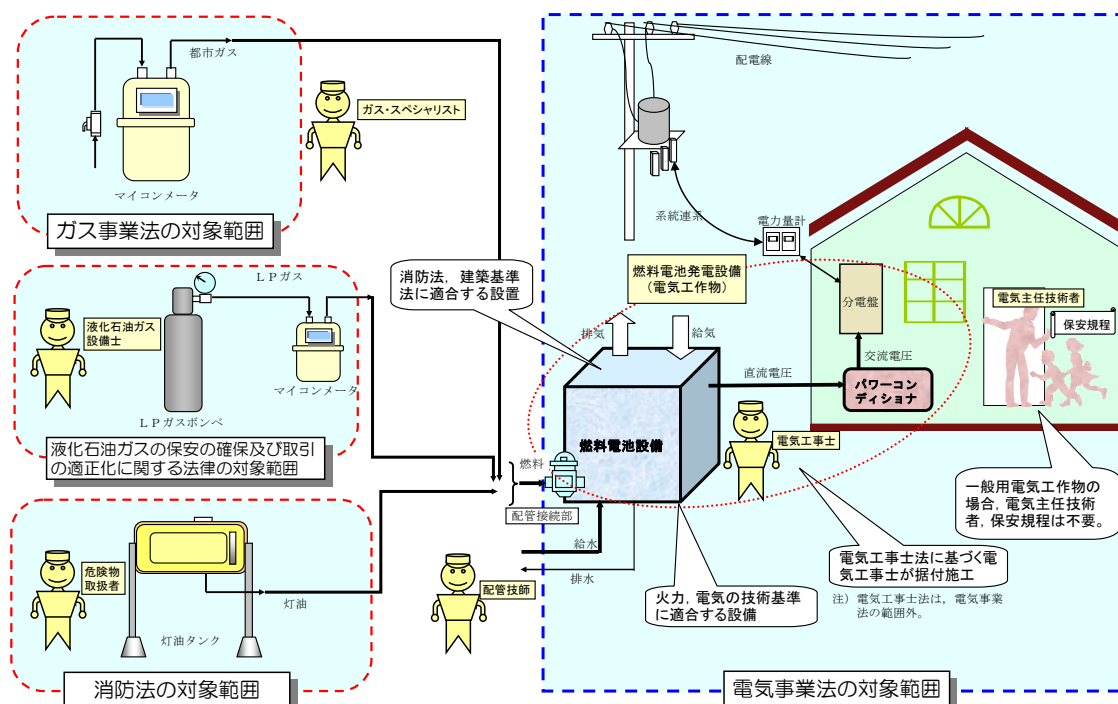


図 2.2.1.2-1 家庭用燃料電池に適用される法規制の概念図

電気事業法の目的は「電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによつて、電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによつて、公共の安全を確保し、及び環境の保全を図ること」である。電気事業法では、すべての電気工作物は技術基準どおりに維持されなければならないと規定されており、電気事業法に基づき電気工作物の各種の技術基準が省令として定められている。

燃料電池については、「電気設備に関する技術基準を定める省令」（以下「電技省令」という。）及び「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（以下「火技省令」という。）により安全性に係る技術基準が定められている（図 2.2.1.2-2）。本技術基準はもともと、りん酸形燃料電池発電所を対象として制定された経緯があるため、出力規模の大きな発電設備として建設されることを想定して各種規定がまとめられている。これは、電気事業法上の電気工作物の区分において、「自家用電気工作物」に該当し、保安規程の作成その他各種の規制を受けるものである。

これに対し、一般家庭の住宅(屋根)に設置される小型の太陽電池発電設備などは、従来から「小出力発電設備」として、「一般用電気工作物」に位置付けられることにより、大きな発電設備等と技術基準上の扱いを異にしている(図 2.2.1.2-3)。

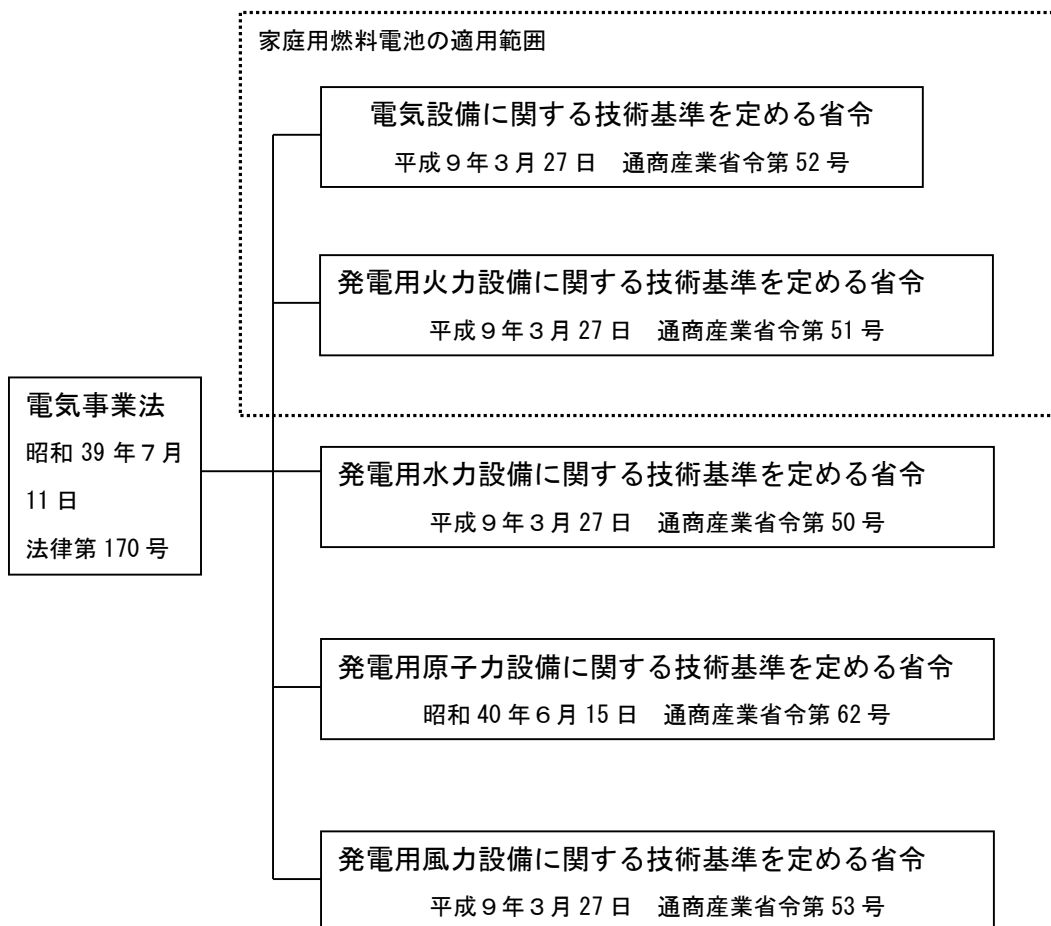


図 2.2.1.2-2 電気事業法に基づく電気工作物の技術基準

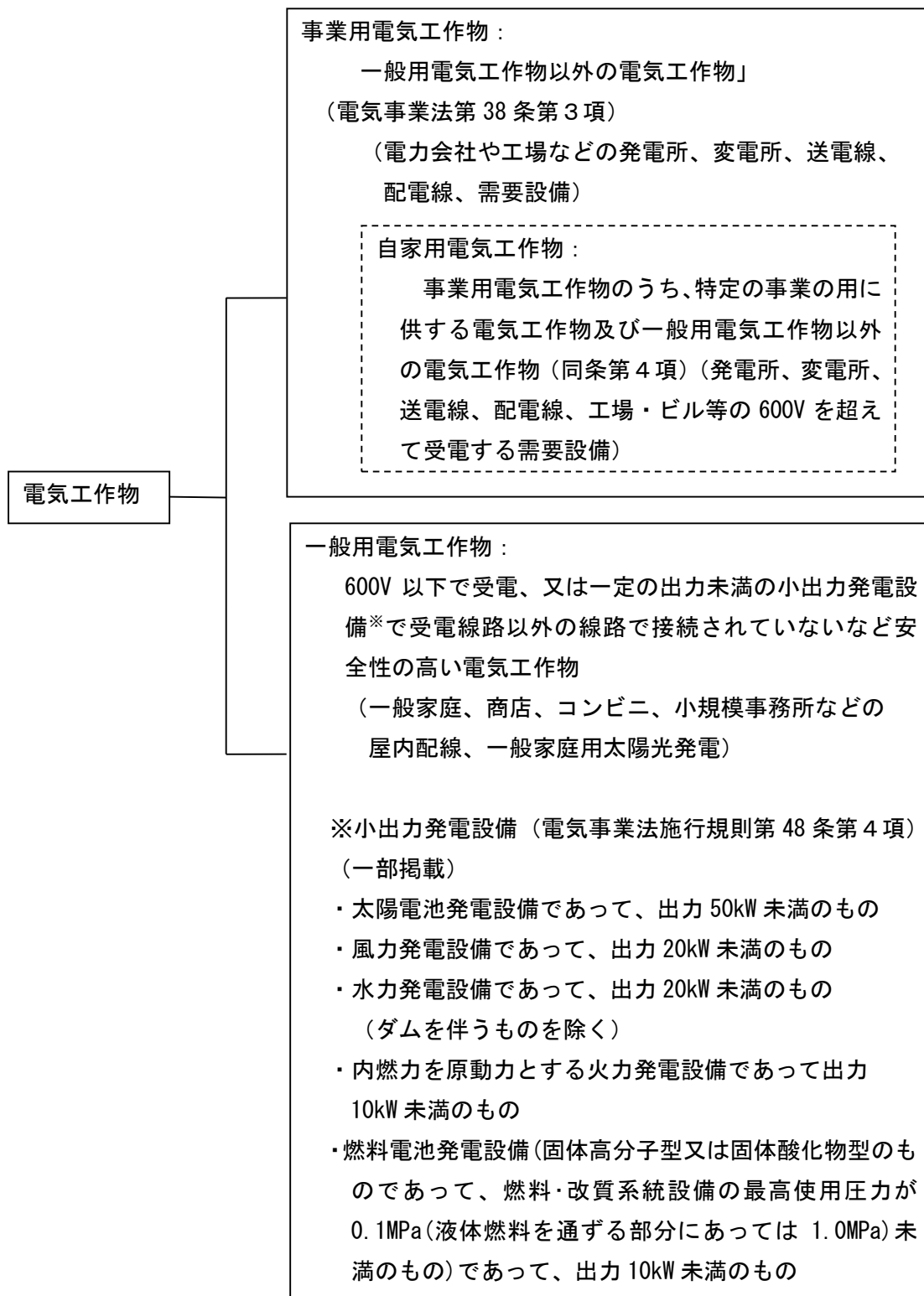


図 2.2.1.2-3 電気事業法における電気工作物の分類

(2) 燃料電池の電気事業法上の位置付け

家庭用燃料電池については、近年の技術開発の進展を受け、平成 17 年 3 月 10 日付けで、一定の要件を満たす小型の固体高分子形燃料電池に関し、法令上の扱いが変更された。具体的には、電気事業法施行規則第 48 条に以下の条文が加えられ、家庭用をはじめとした小型の固体高分子形燃料電池が「一般用電気工作物」の中の「小出力発電設備」として位置付けられた（平成 18 年 10 月 27 日付けで一部改正）。

「電気事業法施行規則第四十八条第 4 項第 5 号」

五 燃料電池発電設備（固体高分子形のものであって、燃料・改質系統設備の最高使用圧力が 0.1MPa（液体燃料を通ずる部分にあっては、1.0MPa）未満のものに限る。）であって出力 10kW 未満のもの

一般用電気工作物等に係る電気事業法に基づく規制の適用状況を表 2.2.1.2-1 に示す。

表 2.2.1.2-1 電気工作物に係る規制

	事業用 電気工作物	一般用電気工作物	
		小出力発電設備	
保安規程の作成・届出・遵守	○	×	×
主任技術者の選任・届出	○	×	×
工事計画の届出	○（一部）	×	×
使用前自主検査	○（一部）	×	×
溶接自主検査	○（一部）	×	×
定期自主検査	○（一部）	×	×
技術基準適合命令	○	○	○
電気供給者の調査	×	×	○

本報告書で検討対象としている燃料電池について、上記電気工作物としての現状の位置づけは表 2.2.1.2-2 のとおりである。

表 2.2.1.2-2 現状での電気工作物としての位置付け状況

燃料電池の種類	改質の有無	位置付け	備考
固体高分子形燃料電池	有	一般用電気工作物	条件付き
	無	一般用電気工作物	
固体酸化物形燃料電池	有	一般用電気工作物	条件付き
	無	一般用電気工作物	

(3) 電気用品安全法の適用について

電気用品安全法は、「電気用品の製造、販売等の規制、電気用品の安全性の確保について民間事業者の自主的活動を促進することにより、電気用品による危険及び障害の発生を防止すること」を目的として制定されたもので、一般家電製品等を対象に安全性等の観点から定められている。

同法に基づく電気用品とは

ア 一般電気工作物の部分となり、又はこれに接続して用いられる機械、器具であって政令で定めるもの

イ 携帯発電機であって、政令で定められているもので、これらは、電気用品安全法に基づき設計・製作され、安全性が確保されている。しかし、燃料電池発電設備をはじめとする小出力発電設備は、電気用品安全法の適用対象とはなっていない。

(4) 日本電機工業会（JEMA）自主基準

日本電機工業会（JEMA）において、前述した電気事業法で定められた内容も含め、小形燃料電池発電設備として順守すべき項目を整理し、自主基準「定置用小形燃料電池の技術上の基準及び検査の方法」として平成 16 年 12 月に発行された。この基準は、小形燃料電池発電設備の認証規定のベースとなっている。

この基準は、関連基準の改定や、適用機器の追加などを踏まえ適宜改定が行われている。最新版は、平成 27 年 10 月に第 9 版としてリリースされたもので、新たに、燃料を水素とする機器も適用となった。

(5) JIS 規格

平成 20 年、JIS C 8822「小型固体高分子形燃料電池システムの安全基準」が発行された。これは、主に日本電機工業会（JEMA）の自主基準をベースとして、安全基準として JIS 化されたものである。

2.2.2 水素供給に関する現行安全基準

2.2.2.1 関連法規について

「技術上の基準」とは、「ガス工作物の技術上の基準を定める省令（以下「技省令」という。）」及び「ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示（以下「技告示」という。）」の総称であり、技術上の基準を満たすための具体的な技術内容・仕様規格の例として、国が「ガス工作物技術基準の解釈例（以下「解釈例」という。）」を示している。

「技術上の基準」「解釈例」に加えて、ガス業界の自主基準やガス事業者の独自基準、東京消防庁からの指導基準等が上乘せされ、安全性を確保しているのが都市ガス事業の現状である。（図 2.2.2.1-1）一方、水素供給についてはこれまでの経済産業省委託事業の成果から、都市ガス導管に関する技術基準が基本的に適用可能であるものの、包括的に妥当性が評価されているものではない。また、水素導管供給に関する規格等も整備されていない。このことから、平成 29 年度の経済産業省の委託事業として「水素導管供給に関する安全性評価等調査」が実施され、主に埋設部を対象とした評価が実施された。なお、本検討の対象となる埋設部以外の露出部等（内管）に関する評価は実施されていないところがある。

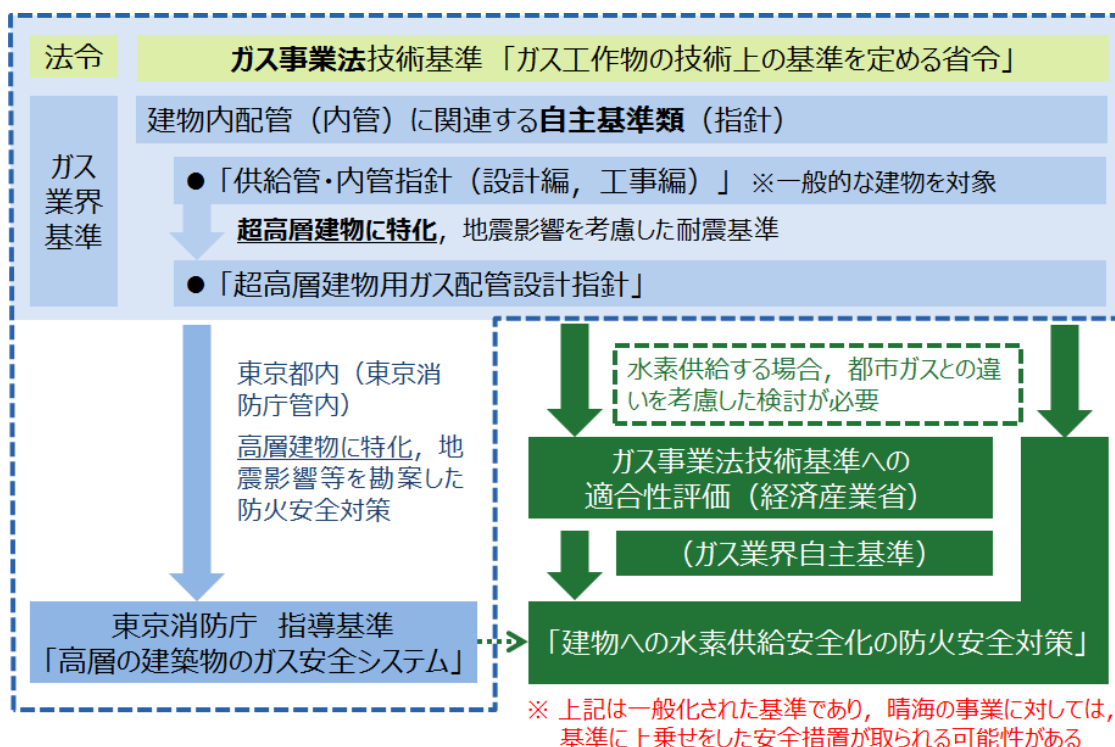


図 2.2.2.1-1 都市ガス及び水素の安全基準

2.2.2.2 建築物への都市ガスの供給に関する安全設備

都市ガスの供給にあたっては、図 2.2.2.2-1 の様に、建物区分に応じた安全設備の設置が必要である。これらはガス事業法によって定められたもの・ガス業界基準・東京消防庁指導のものに分けられる。ガス事業法(●)・ガス業界基準(○)については、都市ガスを安全に供給するために必要な対策を目的として定められ、東京消防庁指導(◎)は、高層建物 I 以上の建物区分において、高層建築物における避難の確保、消防活動の容易性を踏まえた出火防止・火災拡大防止を目的として設定されている。

なお、東京 2020 大会後の選手村地区の水素供給事業に関して、水素供給が予定されている 5-7 街区の商業施設棟には、都市ガスも供給される予定であり、ガス事業法における建物区分は、特定大規模建物と想定されている。水素供給においても水素特有の特性を加味した上で安全設備を検討していく必要がある。

建物区分		安全設備	引込管ガス遮断装置*1	緊急ガス遮断装置*1	左記 開閉表示・警報	感震器設置&連動	ガス漏れ警報設備	ガス警報器	左記 作動表示・警報	自動ガス遮断装置	マイコンメータ*3	業務用ガス遮断装置
1	特定地下街等		●	●	○		●	●	●	○	○	○
2	特定地下室等		●	●	○		●	●	●	○	○	○
3	超高層 住宅外		●	●◎	◎	◎		◎	◎	●	○	◎
	住宅		●	◎	◎	◎		◎	◎	●	◎◎	◎
4	高層 建物 I		●	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎◎	◎
	II		●	(区分4) 高層建物 I 以上							○	
5	特定大規模建物	←	●	●	○			●		●	○	●
6	特定中規模建物	晴海商業棟*4									○	
7	特定公共用建物										○	
8	工業用建物										○	
9	一般業務用建物		●*2								○	
10	一般集合住宅										○	
11	一般住宅										○	

*1) 中圧設備建物には全て設置する。

● : ガス事業法 ○ : ガス業界基準 ◎ : 東京消防指導

*2) 内径70mm以上の引込管に設置する。

*3) 使用最大流量16m³/h以下は事業法で設置が規定されている。 *4) 原設計のガス使用予定から特定大規模と推定

図 2.2.2.2-1 各建物区分における安全設備

2.2.2.3 水素供給実証試験における安全設備の事例

(1) 北九州水素タウン

本プロジェクトでは北九州市八幡東区東田地区において、製鉄所で製造された水素を用いる北九州水素ステーション（既設）を介し、近隣の集合住宅・戸建住宅や商業施設、公共施設まで水素配管を敷設し、水素供給技術実証、家庭用・業務用の純水素燃料電池の運転実証、太陽光発電や蓄電池との連系実証等を行った。市街地を経由する水素配管による水素供給と一般家庭、商業施設、公共施設といった本格的なコミュニティレベルでの実証は世界初であり、「水素エネルギーモデルタウン」を構築し、将来の水素エネルギー社会を目に見える形で実証したものであり、平成23年1月から開始された。

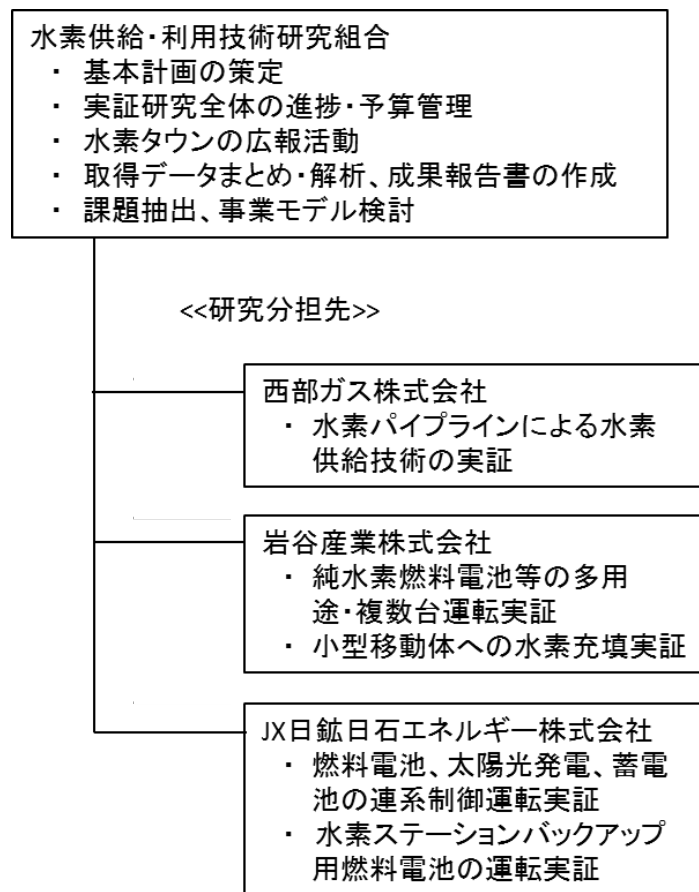


図 2.2.2.3-1 研究計画と主たる業務分担

(出典：一般社団法人水素供給利用技術協会(HySUT))

北九州水素タウンには、以下の特徴がある。

- ア 製鉄所からの副生水素を利用（地産地消）
- イ 埋設管（1.2km）による水素配管供給
- ウ コミュニティレベルの純水素直接利用
- エ 都市ガスに準じた安全基準+最新の保安技術
- オ 水素ステーション・多彩なアプリケーションの運用
- カ 将来スマートコミュニティと連携も視野

北九州水素タウンの設備全体を図 2.2.2.3-2 に示す。



図 2.2.2.3-2 北九州水素タウンの概要

新日本製鉄（現、新日鐵住金）八幡製鉄所水素ラインから、副生水素を配送し、北九州水素ステーションに隣接する付臭設備で付臭処理を行う。付臭処理後の水素ガスは水素配管を介して、純水素燃料電池へ供給される。各設備の直近にて脱臭器に取り込まれた水素ガスは付臭成分を除去されて、各設備で使用される。

ア 付臭設備

図 2. 2. 2. 3-3 に付臭設備について示す。

埋設管中の水素ガスに付臭

【ガス事業法の技術基準(省令第22条 解釈例第77条)】

ガスの空気中の混合容積比率が容量で1000分の1でも臭いが確認できること

候補:

- ①シクロヘキセン、②シクロヘキセン+TBM、③TBM+DMS、④TBM+THT、⑤THT

シクロヘキセン

- 臭気により都市ガスとの違いを認識可能 ←周知が必要
 - 人体・周辺環境への影響が低い
 - 脱臭が活性炭のような簡易な方法で可能
 - 添加量が比較的多く、低流量域での制御が可能
 - 硫黄排出がない
- ⇒セルへの影響評価試験が必要



添加量: 0.7 ml/Nm³・H₂
(150ppm、感知希釈倍数2,000倍)

添加方式: ポンプ注入(0.7MPa水素流に対L0.8MPa)

※TBM: Tertiary-butylmercaptan, THT: Tetrahydro thiophene, DMS: Dimethyl sulfide



HysUT

6

図 2. 2. 2. 3-3 付臭設備

北九州水素タウンでは付臭剤にこのシクロヘキセンを適用している。

図 2. 2. 2. 3-4 に付臭設備のフロー図を示す。

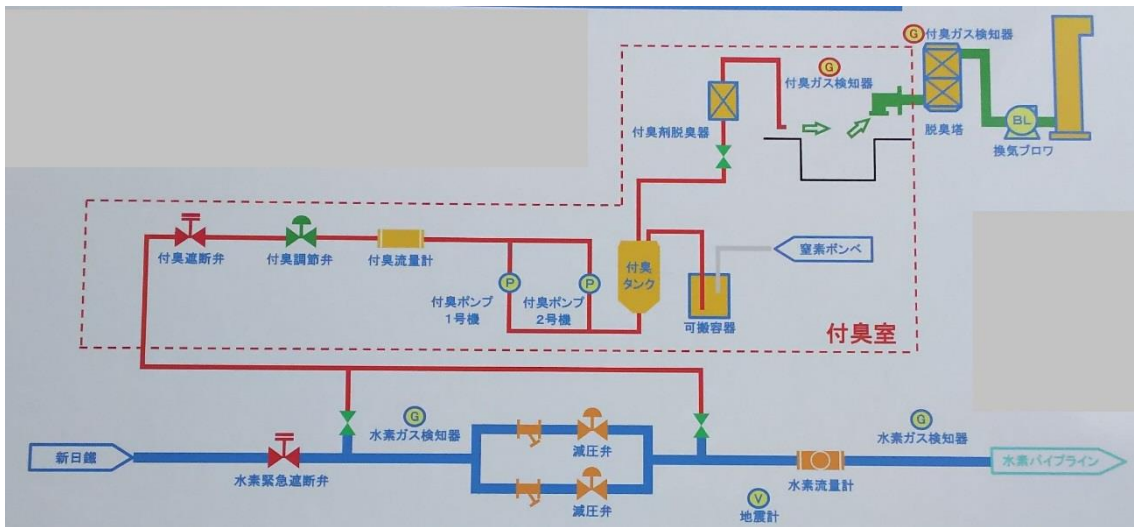


図 2. 2. 2. 3-4 付臭設備フロー図

容積比で水素ガスに対して付臭剤(シクロヘキセン)は150ppm混入する仕様となっており、出力5kWの純水素形燃料電池であれば、水素消費量は約3N m³/h、添加されるシクロヘキセンは約8cm³/minとなる。

イ 水素配管による水素供給技術の実証

製鉄所の副生ガスの一部を取り出した水素ガスを安全に供給するために、各種の安全設備、対策が講じられている。図 2.2.2.3-5 にその全容を示すと共に、各設備、対策について以下に示す。

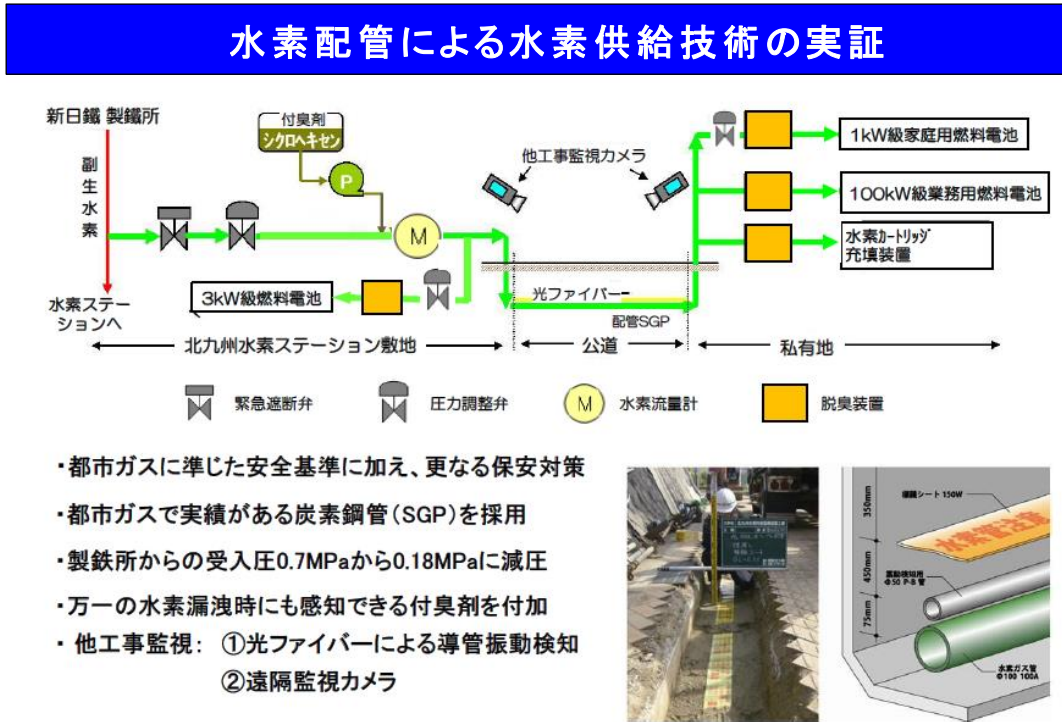


図 2.2.2.3-5 水素配管による水素供給の実証

水素の安全供給のための設備、対策としては以下(ア)～(カ)が設置、実施されている。

(ア) 水素配管埋設

水素配管の埋設状態を図 2.2.2.3-6 に示す。

水素配管は地下 1.2m に埋設され、上部に接する形で他事故検知のための光ファイバーによる導管振動検知対策を実施している。

図 2.2.2.3-6 は、見学などの対応用にエコハウス近隣の歩道下の埋設配管を見ることができるよう設けられた開口部で撮影した写真であり、他の部分は図 2.2.2.3-5 の下中央の写真に示す様に土中に埋設されている。

図 2.2.2.3-6 で緑色に見えるのは水素配管（緑色は SGP 管外部のポリエチレン被覆の色）、その上の灰色の管が導管振動検知用の光ファイバー配管である。

さらにその上には、掘削工事等の際に注意を喚起するための「水素管注意」と記載された黄色の警告テープが埋設されている。



図 2.2.2.3-6 水素配管埋設状態
(見学用開口部にて)

(イ) 水素配管の材質

水素配管は配管用炭素鋼（SGP）を用いている。SGP 材は一般のガス管にも用いられており、当該水素配管の使用条件では圧力配管用炭素鋼（STPG）やポリエチレンと同様に水素脆化がほとんどないとされている。

図 2.2.2.3-7 にこれら材質の比較を示す。

コスト、耐衝撃性といった観点から、最終的に SGP 材を選択したものである。

水素配管材料はSGPを採用

経済産業省「水素供給システム安全性技術調査」(H17～19)で
 中低圧領域での水素ガス中では水素脆化がほとんどないと報告されている
 ①STPG(圧力配管用炭素鋼鋼管)、②SGP、③ポリエチレン から選定

	STPG (鋼管)	SGP (鋼管)	ポリエチレン管 (樹脂管)
材料強度(N/mm ²) ※引張強度	370以上	290以上	17.7以上
耐衝撃性	高い (管厚選択可)	高い (管厚選択不可)	低い
耐震性	高い	高い	高い
材料コスト	高価	安価	安価

最高使用圧力: 0.99MPa、水素流量: 5~200 Nm³/h

材質: SGP 配管用炭素鋼鋼管 (JIS G3452)
 呼び径(外径): 100A (114.3mm)、50A (60.5mm)、25A (34mm)
 (管厚): 100A (4.5mm)、50A (3.8mm)、25A (3.2mm)
 外面塗覆装: ポリエチレン被覆
 内面塗装: 100A(有り)、それ以下(無し)
 ※埋設バルブ: ボールバルブ
 ※溶接接合

HysUT

4

図 2. 2. 2. 3-7 水素配管材質

(ウ) 水素配管の自然腐植防止対策

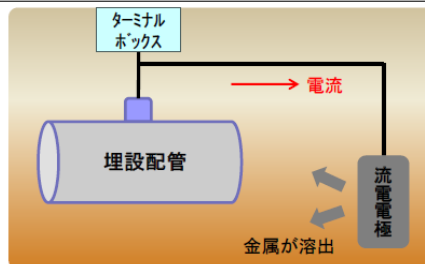
配管の自然腐食防止

一部の埋設配管に流電陽極法電気防食を採用

- 腐食**
- 埋設配管の腐食は土中の水分を媒介として生ずる電気化学反応が主な原因
 - 配管の表面から鉄がイオン化して土中に溶け出す(陽極部から陰極部に向って土中の水分等を伝わり電流が流出)ことにより腐食が進行

流電陽極法

埋設管の付近の土壤中に、配管材料より自然電位が低いマグネシウムを陽極(流電電極)として埋設し、両者を接続することで配管から流電電極に電流が流れ、流電電極が埋設管の代りに消耗する。



HysUT

5

図 2. 2. 2. 3-8 水素配管自然腐食防止対策

(エ) 遠隔監視カメラによる他工事監視

配管埋設場所各所に監視カメラを設置し、設置者以外による各種工事等により、埋設配管がダメージを受けるようなことが無い様に 24 時間監視を行っている。

遠隔監視カメラによる他工事監視

水素配管埋設場所で連絡なく工事が行われぬか 24 時間監視



HysUT

8

図 2.2.2.3-9 遠隔監視カメラによる他工事監視

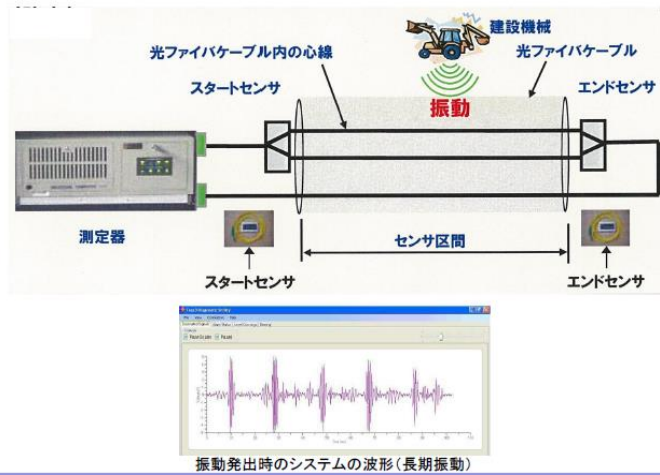
(オ) 光ファイバーによる振動検知システム

埋設水素配管と共に埋設されている光ファイバーを用いて、埋設場所の掘削作業などにより発生する振動を検知し、設置者以外による各種工事等起因して埋設配管がダメージを受ける様なことが無い様に 24 時間監視を行っている。

光ファイバーによる振動検知システム

水素配管直上に設けた光ファイバーで、路上振動の異常時の発生位置を特定するシステム
24時間リアルタイムで他工事監視を行い、他工事による水素配管の損傷を防止

レーザー光を2つに分配し、振動が加わった時の波形の位相差変化を検出する



HysUT

9

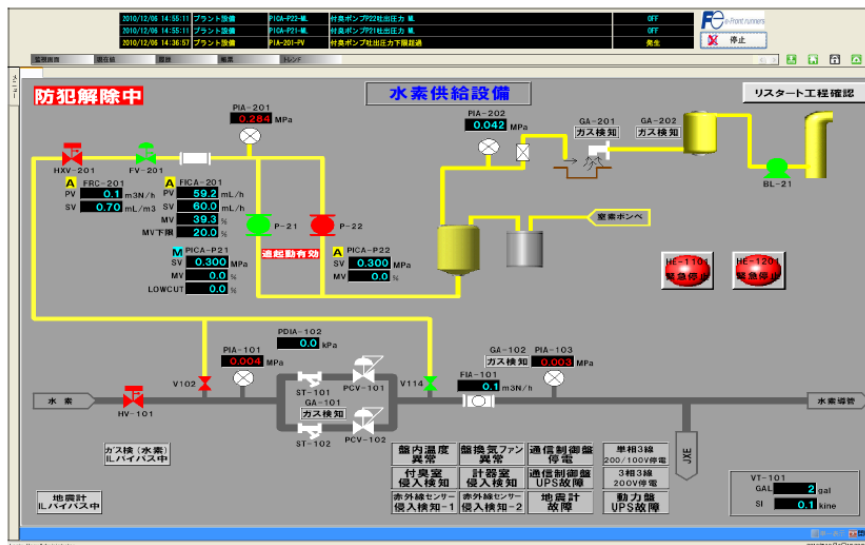
図 2. 2. 2. 3-10 光ファイバーによる振動検知システム

(カ) 水素供給設備の監視制御

水素供給設備の各種監視装置からの情報は、西部ガスのガス供給管理センターに送られ、24時間体制で監視を行っている。

水素供給設備の監視制御

西部ガス供給管理センター(小倉北区)にて、24時間状態・異常監視



HysUT

7

図 2. 2. 2. 3-11 水素供給設備の監視制御

(2) 集合住宅「NEXT21」における純水素燃料電池システムの実証試験

集合住宅「NEXT21」における純水素燃料電池及び水素供給システムの実証試験は、国土交通省の助成事業「住宅・建築関連先端技術開発助成事業（平成 17～19 年度）」の一環として行われたものであり、大阪ガス(株)、東芝燃料電池システム(株)、(株)長府製作所の 3 社体制により推進された（業務分担は図 2.2.2.3-12 に示す通り）。

研究計画と主たる業務分担

	平成17年度	平成18年度	平成19年度
水素製造装置	1次試作製作 評価	性能向上・制御改良 設置・調整 2次試作製作 評価 設置・調整	
水素供給燃料電池ユニット (+排熱回収ユニット)	1次試作製作 性能評価	耐久性能評価(試験室)	
蓄電装置		2次試作製作 評価 設置・調整 製作・性能評価 設置・調整	
水素供給配管	設計検討	設計・施工 試用	
最適学習制御システム	ソフトの設計・製作		試用・調整
実証研究 (既築集合住宅)			実居住宅における実証研究

主たる業務分担

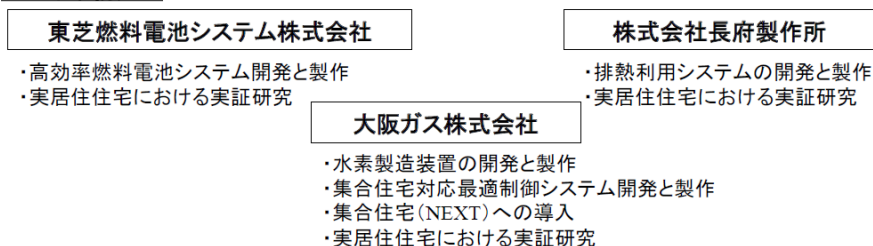


図 2.2.2.3-12 研究計画と主たる業務分担

(出典) 総合科学技術会議 科学技術連携施策群 水素利用/燃料電池連携群シンポジウム（平成 19 年 11 月 14 日）「集合住宅における水素供給燃料電池コージェネレーションに関する技術開発」大阪ガス(株)、東芝燃料電池システム(株)、(株)長府製作所

本実証試験の目的は「水素供給燃料電池ユニット」の評価であり（省エネルギー性・環境負荷低減効果・経済性の評価等）、水素供給システムにおける配管系統や安全設備一式の評価は主眼ではない。

実証試験であることから、配管の設計・建設・維持管理については「ガス事業法」の適用範囲外と位置付け、プラント設備等で実績のある材料（ステンレス鋼管）の採用、十二分な開口部の確保、水素検知・警報器の多重設置等、「ガス事業法」の技術基準以上の安全措置を施した。

実居住住宅における実証試験

概要

1) 試験場所

集合住宅NEXT21(地下1階、地上6階 全18戸
大阪ガス実験集合住宅 大阪市天王寺区)
試験対象住戸 8戸(5階4戸と6階4戸)



2) 設置機器

- ①水素製造装置2台(全水素製造能力 3.0 m³/h)
- ②水素供給燃料電池コージェネレーションシステム 8台
水素供給燃料電池(定格出力500W)+排熱利用
ユニット(50L貯湯槽、BU給湯器、学習制御)
- ③蓄電池(蓄電容量:3.5 kVA、出力:1kW)
- ④統合学習制御システム

実証試験項目	実施内容
省エネルギー性・環境負荷低減効果	①季節ごとの実測データの解析と評価 ②省エネルギー性と環境負荷低減効果の評価
技術課題の抽出と改善	①機器性能・保全性能からみた技術課題の抽出 ②統合学習制御システムにおける技術課題の抽出と不具合の改善
実用規模における省エネルギー性・経済性の評価	①100戸程度の集合住宅に適用した場合の省エネルギー性・経済性の評価

水素供給システムの設計・施工

設計・施工

材料・施工方法 配管:SUS316L、継手:全周自動溶接・機械継手
放射線透過検査(RT)・浸透探傷検査(PT)実施

低圧供給 水素貯槽後の減圧弁下流の水素圧力は8kPa
水素製造装置PSA部及び貯槽は0.75Mpa

水素検知・警報システム 水素製造装置・水素供給燃料電池の上部
及びパイプシャフト(PS)内部には水素検知警報器を設置。
検知時は水素製造装置を停止し、水素貯槽の緊急遮断弁を閉止
(検知濃度は500ppm(LELの1/80))

開口部施工 水素配管が通るPSの上部と下部、及び
水素水平管が通る共用廊下の床板に開口部
(万一の場合、漏洩した水素を滞留させない)



図 2.2.2.3-13 「実証試験の概要」及び「水素供給システムの設計・施工の概要」

(出典) 総合科学技術会議 科学技術連携施策群 水素利用/燃料電池連携群シンポジウム(平成19年11月14日)「集合住宅における水素供給燃料電池コージェネレーションに関する技術開発」
大阪ガス(株)、東芝燃料電池システム(株)、(株)長府製作所

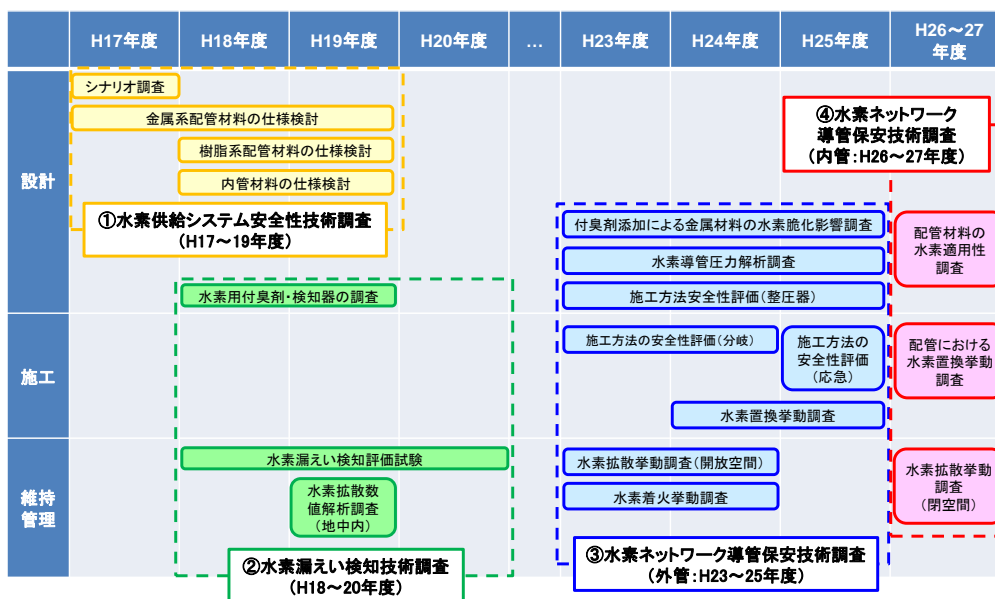
なお、安全措置に対する基本的考え方のうち、水素の滞留、検知濃度の設定に関する考え方を表 2.2.2.3-1 に示す。

表 2.2.2.3-1 安全措置に対する考え方

①	リークした水素を滞留させないための設計根拠	<p>「有効換気量の計算方法」としては、水素の拡散係数が高いこと（圧力差）に着目して以下を算出し、</p> <p>(A) 開口部及び隙間の通過流量 : 75 m³/h～※</p> <p>(B) 水素製造量（漏れ量と仮定） : 3 m³/h</p> <p>開口部等の通過流量 (A) が水素製造量 (B) より十分大きいことから、滞留可能性が低いものと考えた。</p> <p>※ 廊下床面の PC 板の①開口部及び②隙間の面積に対して、圧力差に基づく水素の拡散を考慮し、①13,000 m³/h, ②75 m³/h という流量を算出した。</p>
②	検知濃度の設定 500ppm (1/80LEL)	<p>既存の「水素検知器」の中から「都市ガス用警報器」と比べて、安全側に検知可能なハードを選定（500ppm は何らかの根拠に基づくものではなく、ハードの仕様から決まった数値）。</p> <p>※ 採用した「水素検知器」の検知濃度設定：水素の爆発下限界 4%の 1/80</p> <p>※（参考）「都市ガス用警報器」の検知濃度設定：都市ガスの爆発下限界 5%の 1/4（「ガス漏れ警報器の規格及びその設置方法を定める件」に規定）</p>

2.2.3 経済産業省委託事業「水素導管供給システムに関する技術調査」の検討内容

水素導管供給システムに関しては、経済産業省の委託事業として、平成 17 年度より検討が進められている。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、それ以降、平成 18 年度～20 年度に実施された「水素漏えい検知技術調査」、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た。図 2.2.3-1 に調査事業の経緯・展開および各調査事業の概要を示す。



事業名	目的と成果
水素供給システム安全性技術調査事業 (平成17～19年度)	<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>
水素漏えい検知技術調査事業 (平成18～20年度)	<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>
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>《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>
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>《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>

図 2.2.3-1 調査事業の経緯・展開および各調査事業の概要

(出典) 経済産業省委託事業報告書 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(10年レビュー)より

各事業の主な調査内容とその成果について、経済産業省委託事業報告書 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(10年レビュー)より抜粋したものを以下に示す。

「水素供給システムの安全性技術調査」(平成17年度～19年度)

- 金属系材料

中低圧都市ガス配管用金属材料の母材と溶接部を対象に、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。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、試験にて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かった。

○ 樹脂系材料

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、水素透過性を調査した。その結果、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。

○ 継手・ガス栓・バルブ等

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。その結果、都市ガス内管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。

○ メータ

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。その結果、家庭用水素ガスメータ化へ向けた可能性としては、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かった。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である。また、安全性としては、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である。また、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であるほか、ガスケット材、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である。

「水素漏えい検知技術調査」（平成 18 年度～20 年度）

○ 付臭剤

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。その結果、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。

○ 漏えい検知

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。その結果、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。

○ 拡散挙動（土中）

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。その結果、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。

「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」【外管を対象】（平成 23 年度～25 年度）

○ 金属系材料（水素脆化）

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剤添加による水素脆化影響の調査を実施した。その結果、金属疲労き裂進展特性への付臭剤の影響は見られなかった。

○ 整圧器

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。その結果、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。

○ 分岐工法

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（水素の着火源）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。その結果、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。

○ 遮断工法

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。その結果、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。

○ 穿孔作業

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（水素の着火源）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。その結果、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である。また、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。

○ 拡散挙動（開放）

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。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。

○ 着火挙動

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。その結果、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である。

「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」【内管を対象】（平成26年度～27年度）

○ 継手・ガス栓・バルブ等（長期性能）

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した。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。

○ 拡散挙動（密閉）

一般集合建築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）を調査した。本調査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ことが確認された。

【水素拡散挙動調査】

建物内配管の保安確保に関する検討としては、平成26年度～27年度に実施された、内管を対象とした「水素ネットワーク構築導管保安技術調査」にて、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が調査されている。

以下、経済産業省委託事業報告書 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」調査報告書より抜粋した内容を示す。

<調査研究概要>

一般集合住宅のパイプシャフトを模擬した試験空間(高さ2,200mm 幅1,000mm 奥行1,600mm)を、配管等爆発実験施設の大空間内に構築して、都市ガス用配管と類似の配管継手部からの漏えいを想定した条件で水素を放出し、模擬空間内外に37点設置した水素センサーで水素濃度の時間履歴を計測した。また、パイプシャフト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、放出条件違い(放出量、放出位置)と模擬空間条件違い(模擬設置機器の配置の有無、日射等を想定した扉温度分布の有無、換気口面積違い)の実験を行った。図2.2.3-2にパイプシャフトの設置状況を示す。



図 2.2.3-2 パイプシャフト設置状況

<実験条件>

本研究で行った水素放出実験の実験条件を表 2. 2. 3-1 に示す。

表 2. 2. 3-1 実験条件一覧

実験 番号	放出条件		模擬空間条件	模擬空間外気温 / °C	計測時間 / 時間
	放出 位置	流量 / ml・min ⁻¹			
1	下	50	—	8.5—8.7—8.2	6
2	下	140	—	8.1—9.8	3
3-1	下	570	—	6.7—9.5—9.2	6
3-2	下	560	—	8.9—11.3	5
4	下	570	機器の発熱を模擬 扉を加熱 機器を模擬した直方体 換気口 100 cm ²	10.0—11.1	3
5	下	570		10.3—10.6—9.9	3
6	下	560		10.1—12.4—11.9	5
7	下	570		8.5—11.1—10.8	6
8	上	51	—	7.7—10.9	3
9	上	140	—	11.3—11.6—11.2	3
10	上	570	—	7.8—10.1	6

下部放出位置から水素放出量およそ 570ml/min で放出する実験を基本条件とし、放出条件違いや模擬空間条件違いの比較対象とするため、全 11 点の実験の最初（実験 3-1）と最後（実験 3-2）に計 2 回行った。従って、模擬空間条件の実験は、基本条件実験と同じ放出条件で行った。

<実験結果>

全ての実験条件における、各計測点での水素濃度の計測点高さごとの最大値と平均値を表 2.2.3-2 に示す。

表 2.2.3-2 各計測点での水素濃度の計測点高さごとの最大値と平均値 (単位: vol%)

実験番号	実験条件	天井		天井から 14.2 cm		中央高さ		床から 12.5 cm	
		最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均
1	50 ml/min	0.04	0.03	0.13	0.04	0.17	0.05	0.12	0.03
2	140 ml/min	0.42	0.37	0.33	0.26	0.25	0.20	0.22	0.17
3-1	570 ml/min	1.27	1.14	1.02	0.92	0.61	0.52	0.51	0.39
3-2	560 ml/min	1.05	0.87	0.82	0.69	0.57	0.52	0.36	0.29
4	発熱体あり	0.05	0.05	0.07	0.05	0.38	0.17	0.07	0.03
5	扉を加熱	0.08	0.07	0.09	0.06	0.39	0.18	0.07	0.03
6	構造物あり	1.34	1.22	1.09	0.95	0.61	0.51	0.48	0.42
7	換気口を制限	1.07	0.98	0.93	0.75	0.82	0.76	0.45	0.38
8	上部放出・51 ml/min	*0.05	*0.03	0.29	0.08	0.04	0.02	0.20	0.07
9	上部放出・140 ml/min	*0.49	*0.48	0.43	0.27	0.11	0.08	0.15	0.09
10	上部放出・570 ml/min	*1.86	*1.76	1.00	0.79	0.29	0.22	0.41	0.21

*上部放出の実験では水素放出口近くのセンサーを除いて計算している。

<まとめ>

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 本研究の想定条件下では、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いと考えられる。
- (4) 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。