

純水素形燃料電池発電設備の防火安全対策に関する調査研究

報 告 書

平成 30 年 2 月 28 日
一般社団法人 日本電機工業会

目次

第1章	検討の目的等	
第1節	目的	1
第2節	検討対象	1
第3節	検討体制	2
第4節	検討の流れとスケジュール	5
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	6
第2節	現行安全基準（関連法規、規格及び規格化、標準化の動向）	10
第3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の現状調査	
第1節	火を使用する燃料電池普及状況	37
第2節	事例（火災、故障）	42
第3節	具備されている安全装置	43
第4節	想定されているハザード（出火、感電、水素漏えい等）	47
第4章	純水素形燃料電池発電設備及びその周辺設備に係る課題と検討事項	
第1節	純水素形燃料電池発電設備	50
第2節	建築物への水素供給	51
第5章	純水素形燃料電池発電設備の検証	
第1節	目的	61
第2節	方法	61
第3節	結果	64
第4節	考察	70
第5節	結論	70
第6章	防火安全対策の提言	
第1節	火災予防条例に準拠した位置、構造及び管理について	73
第2節	建築物までの安全な距離について	73
第3節	建築物への安全な水素供給について	73
第4節	水素漏えい、感電等の事故を防止するための表示、及び事前届出	73
第7章	まとめ及び今後の課題	
第1節	まとめ	74
第2節	今後の課題	74

本検討の関連法規一覧

NO.	法令	公布・発行元	省略表記
1	消防法	昭和 23 年法律第 186 号	—
2	消防法施行令	昭和 36 年政令第 37 号	—
3	対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令	平成 14 年総務省令第 24 号	火気省令
4	火災予防条例（例）	総務省消防庁	条例（例）
5	火災予防条例	昭和 37 年東京都条例第 65 号	都条例
6	キュービクル式変電設備等の基準	昭和 50 年 10 月東京消防庁告示第 11 号	—
7	建築基準法	昭和 25 年法律第 201 号	—
8	電気事業法	昭和 39 年法律第 170 号	—
9	電気事業法施行規則	昭和 40 年通商産業省令第 51 号	—
10	電気設備に関する技術基準を定める省令	平成 9 年通商産業省令第 52 号	電技省令
11	電気設備の技術基準の解釈	経済産業省	電技解釈
12	発電用火力設備に関する技術基準を定める省令	平成 9 年通商産業省令第 51 号	火技省令
13	発電用火力設備の技術基準の解釈	経済産業省	火技解釈
14	発電用水力設備に関する技術基準を定める省令	平成 9 年通商産業省令第 50 号	—
15	発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令	昭和 40 年通商産業省令第 62 号	—
16	発電用風力設備に関する技術基準を定める省令	平成 9 年通商産業省令第 53 号	—
17	電気用品安全法	昭和 36 年法律第 234 号	—
18	電気工事士法	昭和 35 年法律第 139 号	—
19	ガス事業法	昭和 29 年法律第 51 号	—
20	ガス工作物の技術上の基準を定める省令	平成 12 年通商産業省令第 111 号	技省令
21	ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示	平成 12 年通商産業省令第 355 号	技告示

22	ガス工作物技術基準の解釈例	経済産業省	解釈例
23	液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律	昭和 42 年法律第 149 号	—
24	定置用小形燃料電池の技術上の基準及び検査の方法（共通認証）	（一社）日本電機工業会	—
25	JIS C 8822「小型固体高分子形燃料電池システムの安全基準」	（一財）日本規格協会	—
26	固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討報告書（平成 19 年 3 月）	総務省消防庁	—
27	高層の建築物の指導基準	東京消防庁	—
28	ISO/TC197/ISO 14687-3:2014 Hydrogen fuel -- Product specification -- Part 3: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for stationary appliances	平成 26 年	ISO 14687-3

本報告書における「形」「型」の使い分けについて

JISC8800「燃料電池発電用語」では燃料電池のタイプを示す際等には「形」を用いる。一方、法令の本文では「型」を使うのが一般的である。

よって、本報告書では、法令文の参照部分は原文と同じ「型」を使い、燃料電池のタイプを示す場合には、「形」を用いることとする。

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ので対象とする。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)。

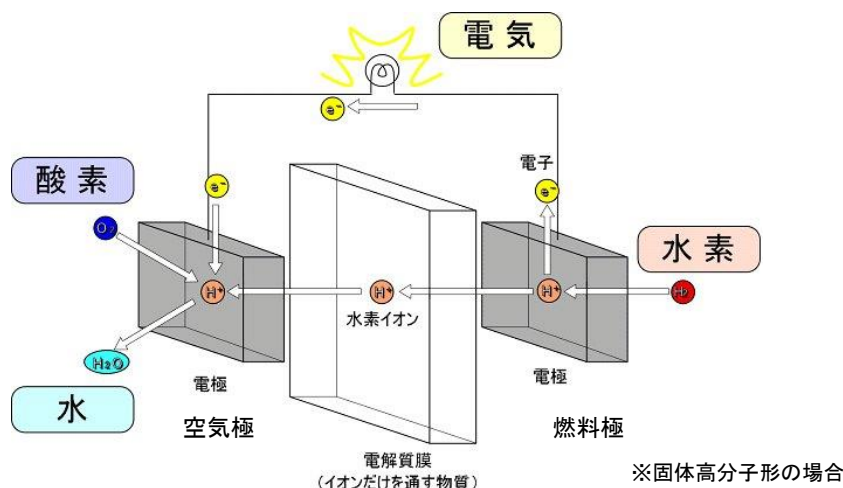


図 2.1.1-1 燃料電池の発電原理

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)	熔融炭酸塩形 (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	熔融炭酸塩	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)

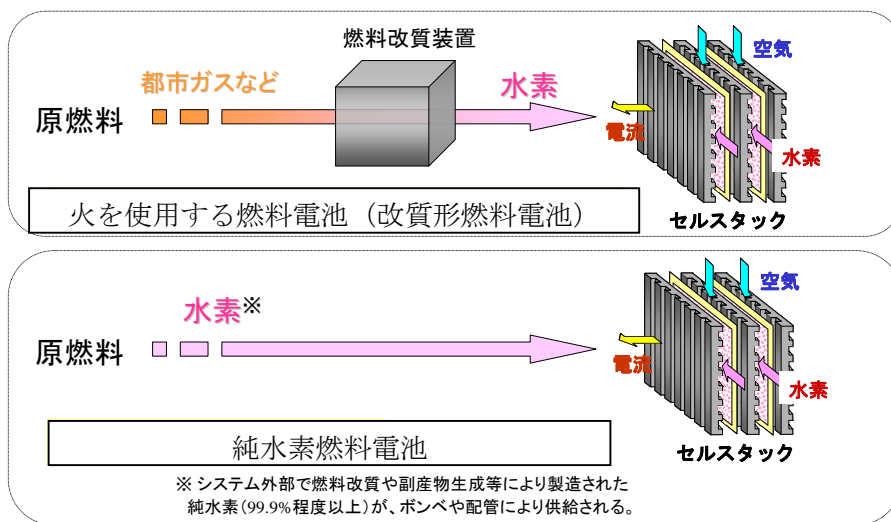


図 2.1.1-2 燃料改質装置の有無による分類

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]

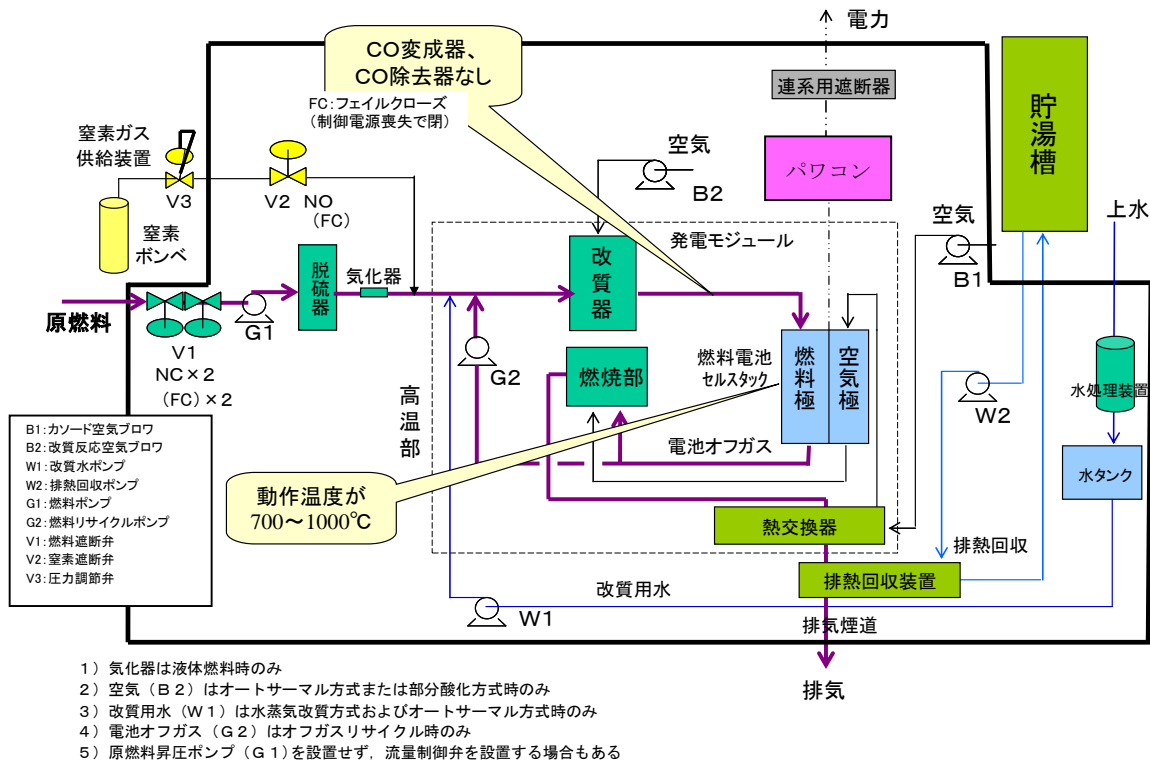


図 2.1.2-1 火を使用する燃料電池 (固体酸化物形) (SOFC) のシステムフロー図

[PEFC]

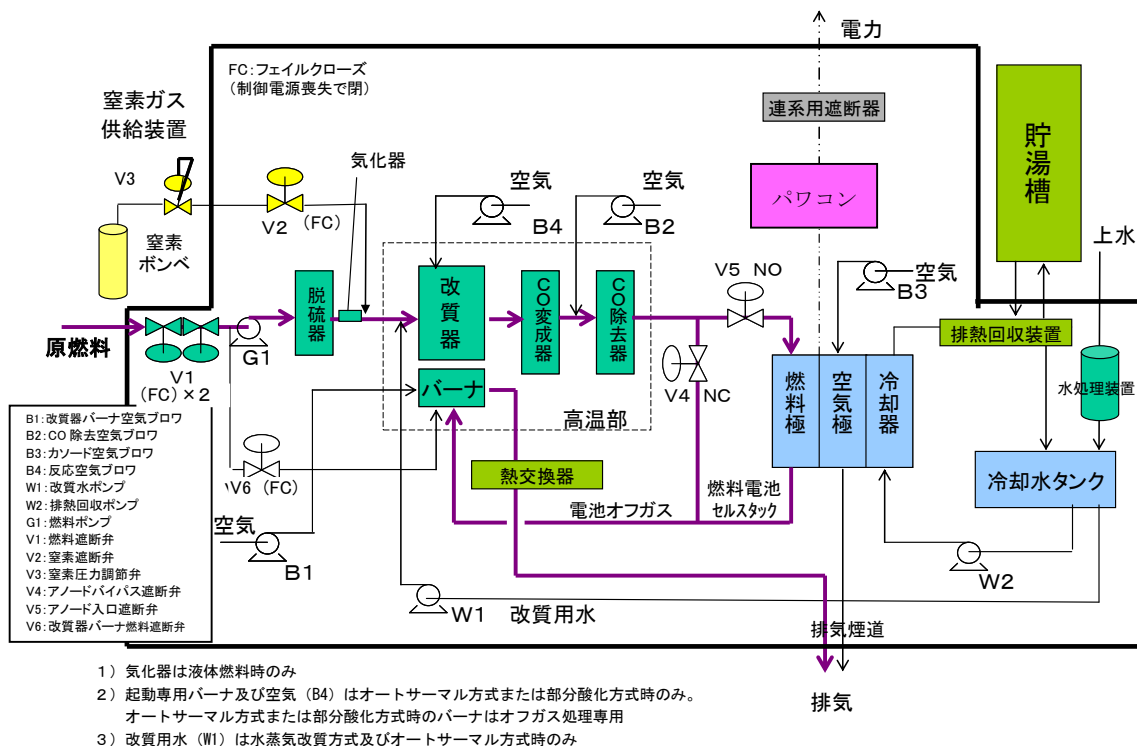


図 2.1.2-2 火を使用する燃料電池 (固体高分子形) (PEFC) のシステムフロー図

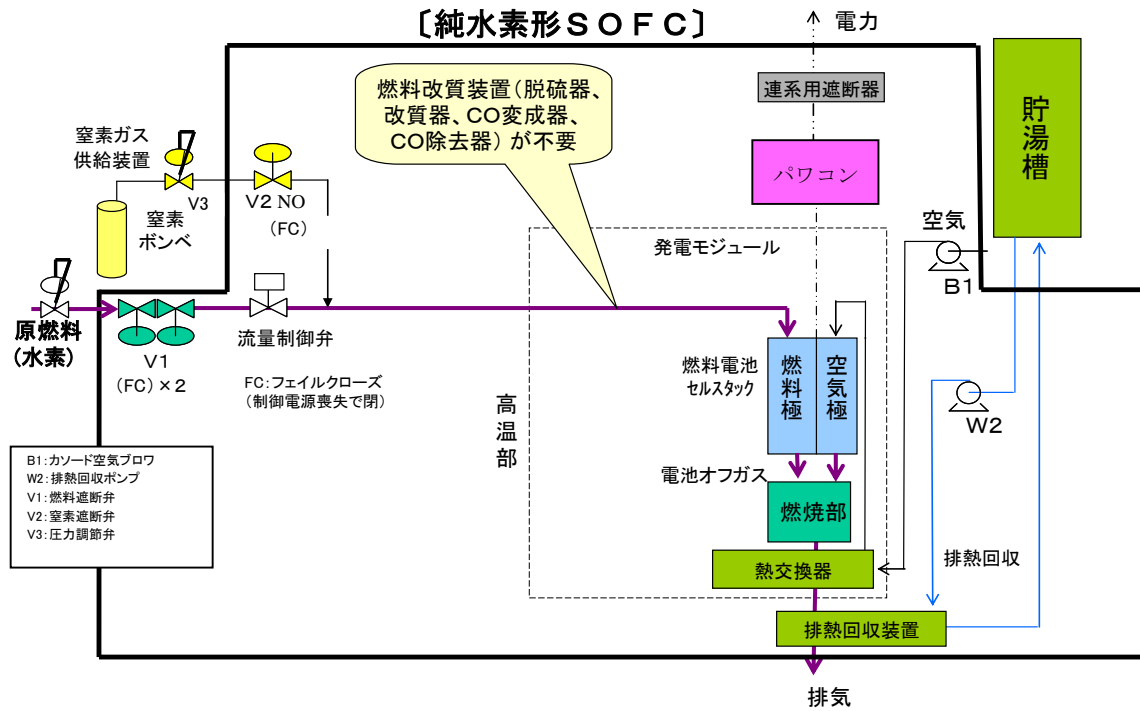


図 2. 1. 2-3 純水素燃料電池 (固体酸化物形) (SOFC) のシステムフロー図

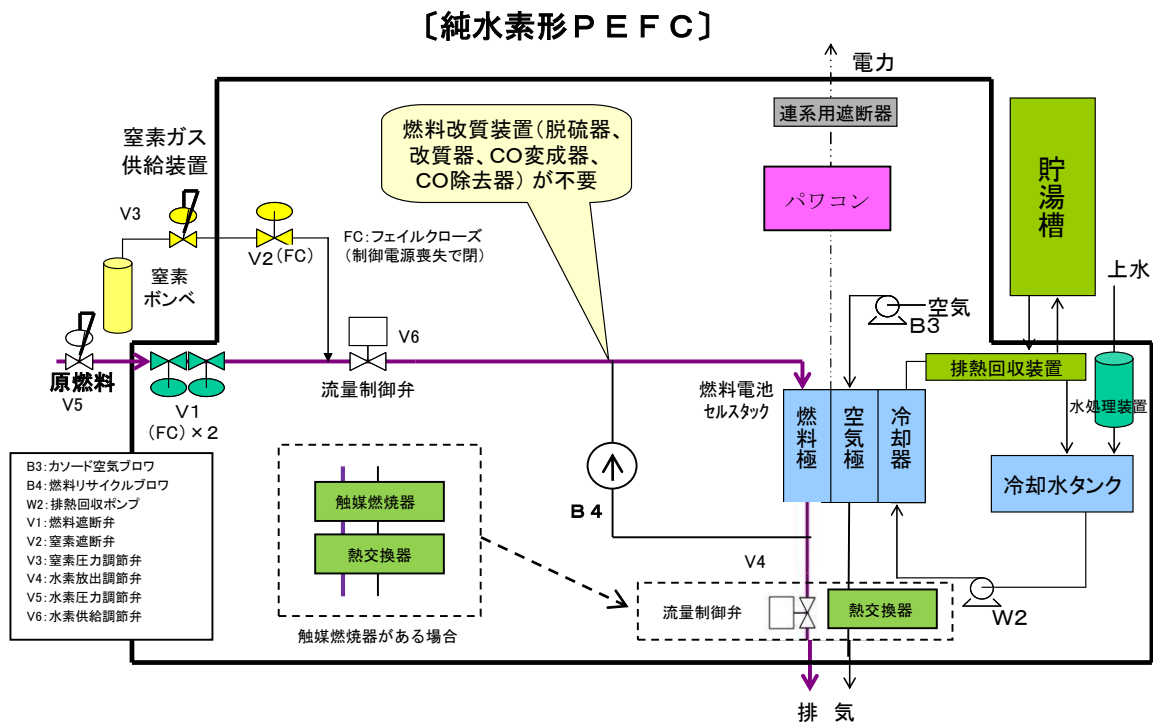


図 2. 1. 2-4 純水素燃料電池 (固体高分子形) (PEFC) のシステムフロー図

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。

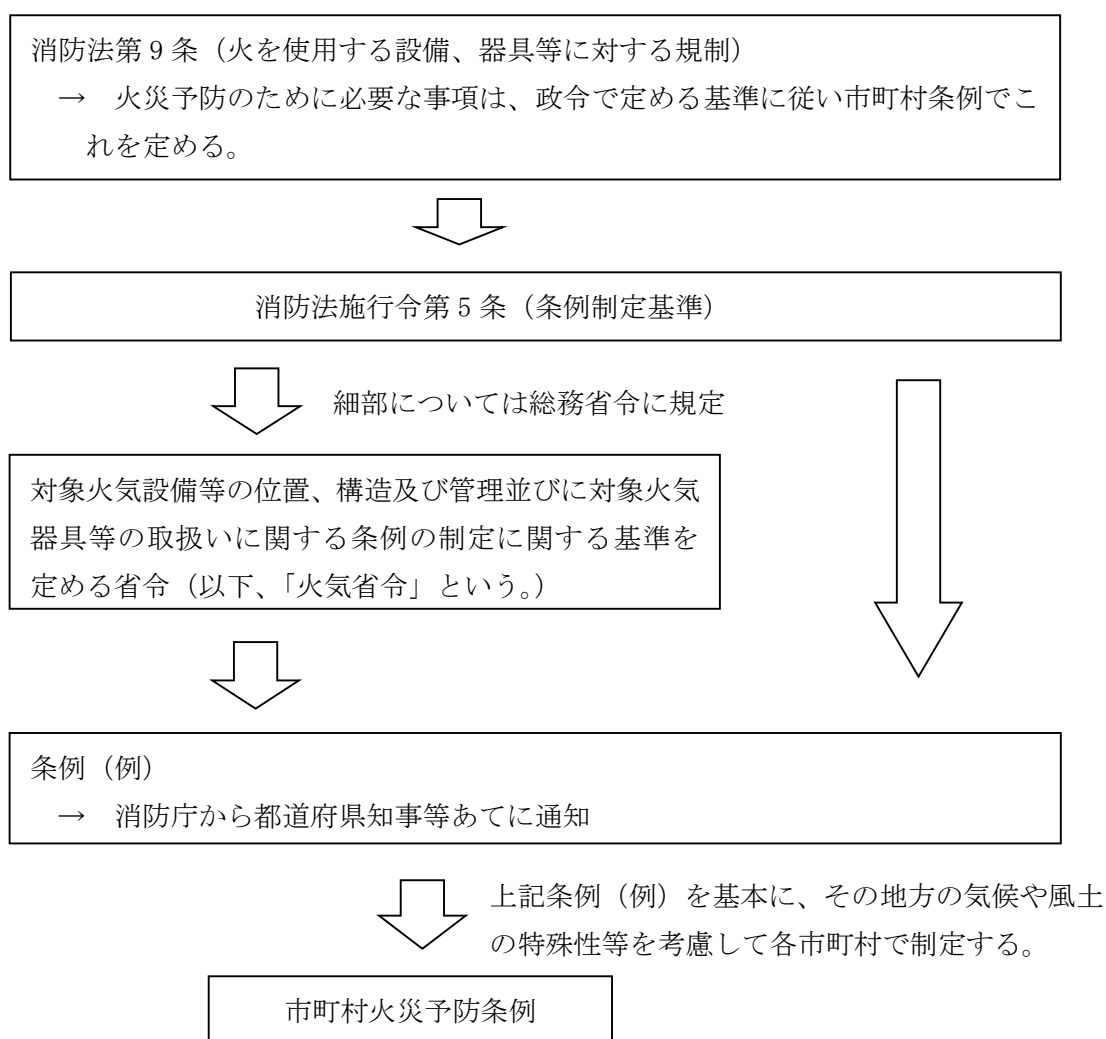


図 2.2.1.1-1 現行法令の体系

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。

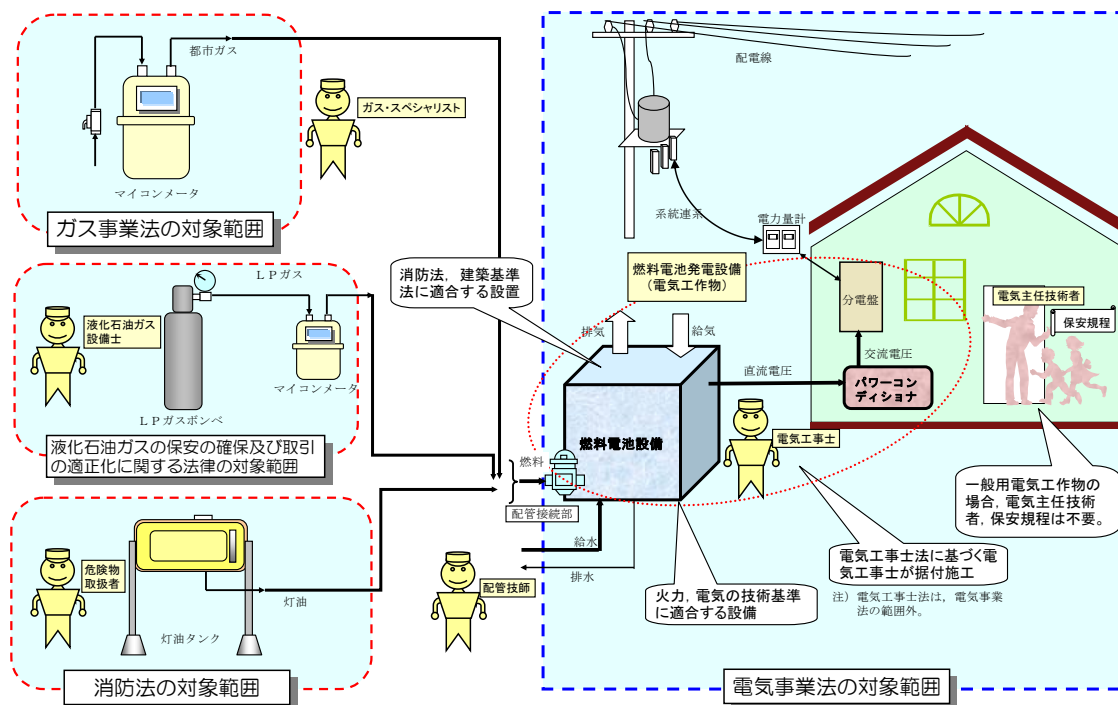


図 2.2.1.2-1 家庭用燃料電池に適用される法規制の概念図

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)。

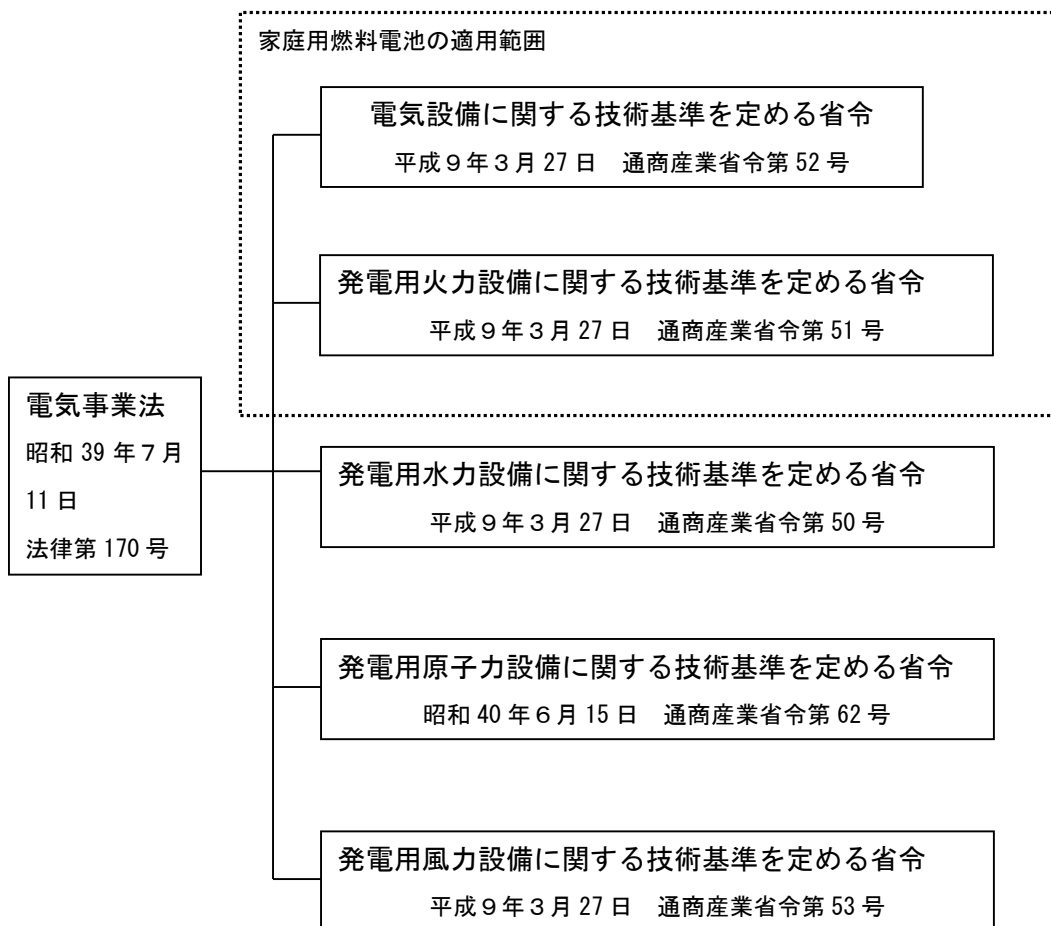


図 2.2.1.2-2 電気事業法に基づく電気工作物の技術基準

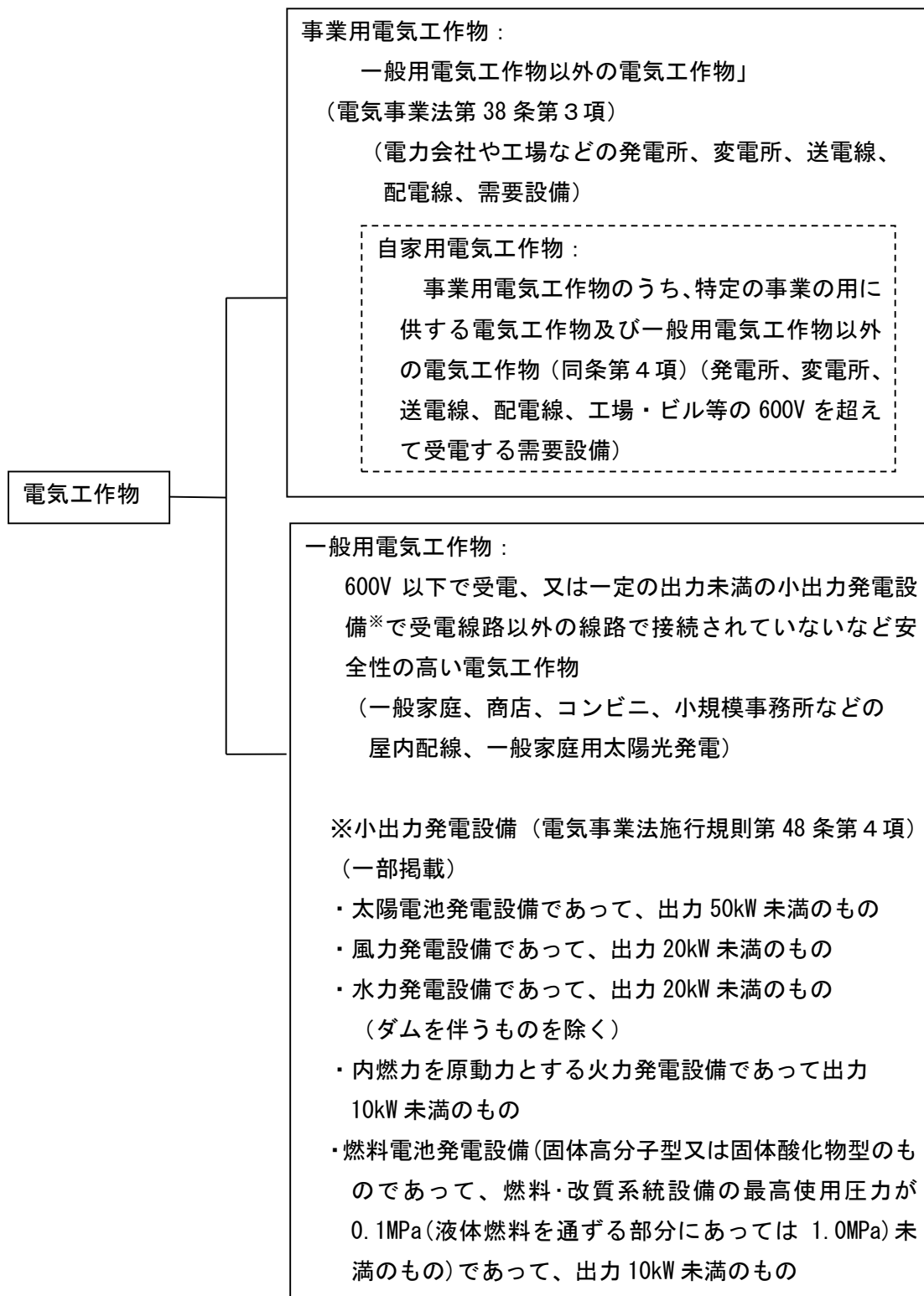


図 2.2.1.2-3 電気事業法における電気工作物の分類

(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。

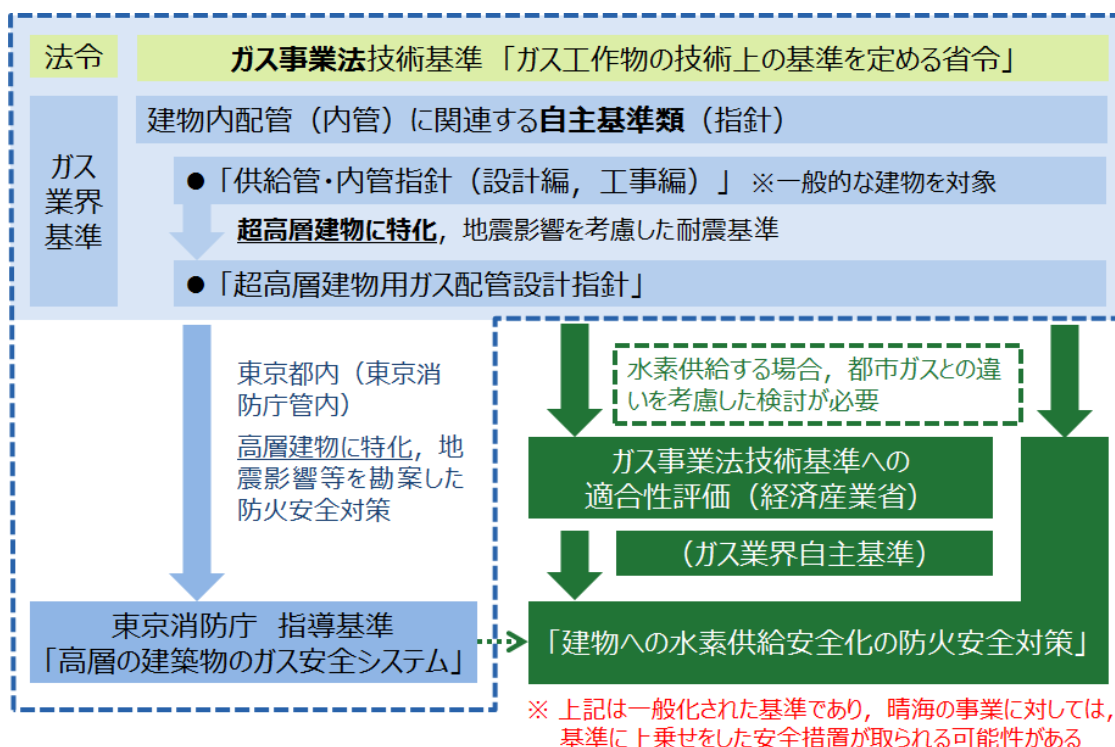


図 2.2.2.1-1 都市ガス及び水素の安全基準

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	●*2								○	
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。

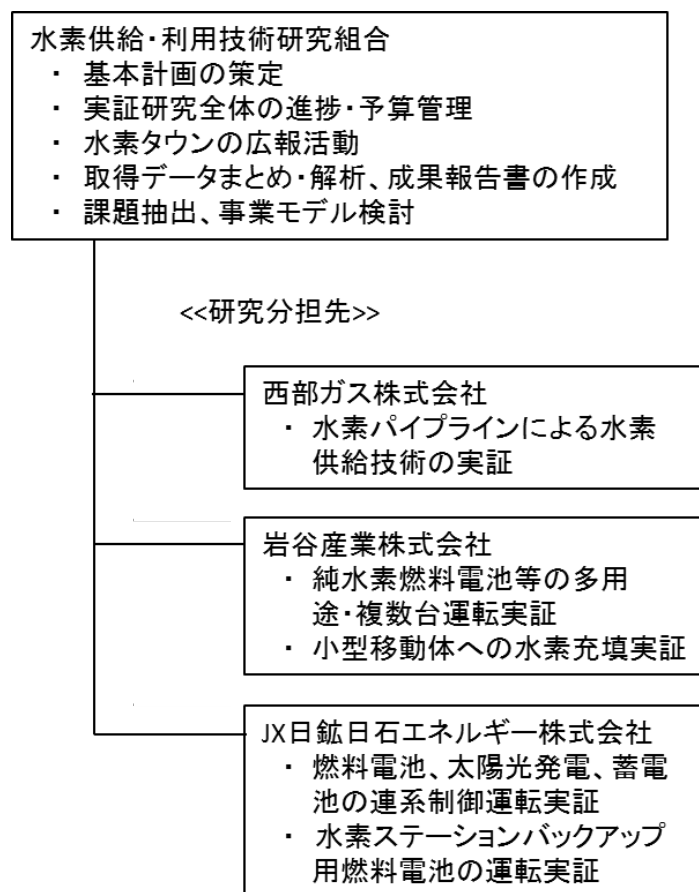


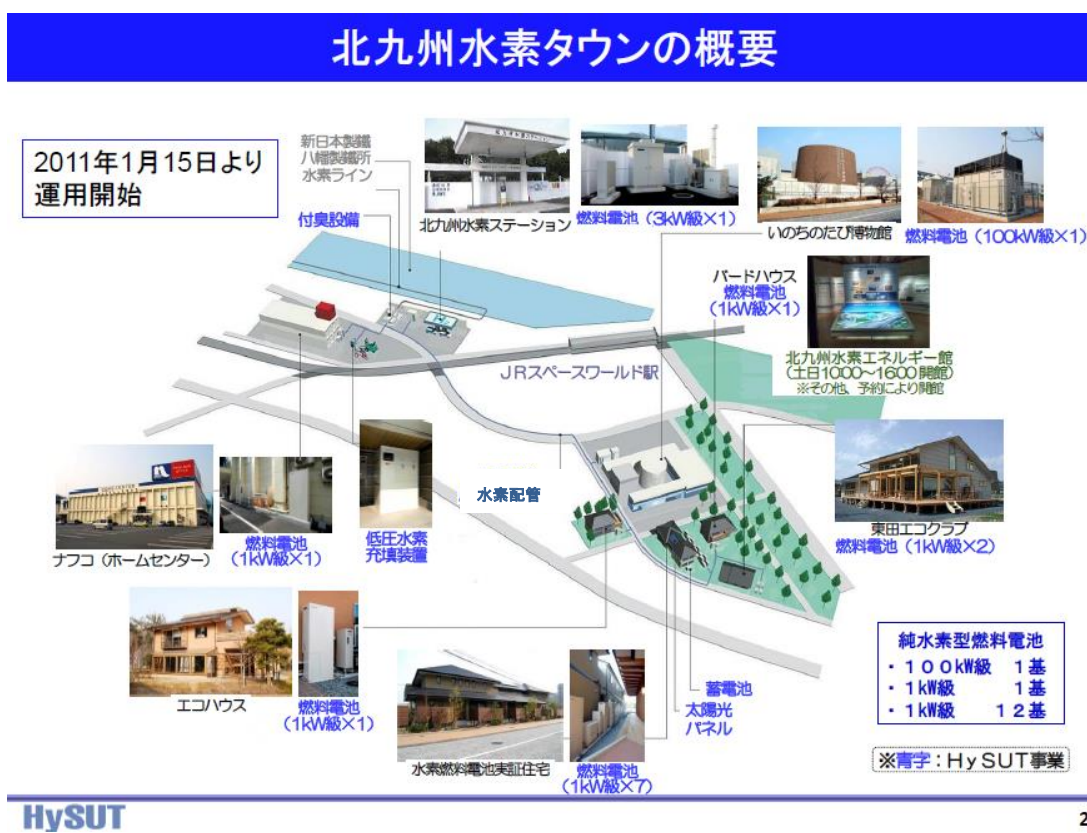
図 2.2.2.3-1 研究計画と主たる業務分担

(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。



2

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。

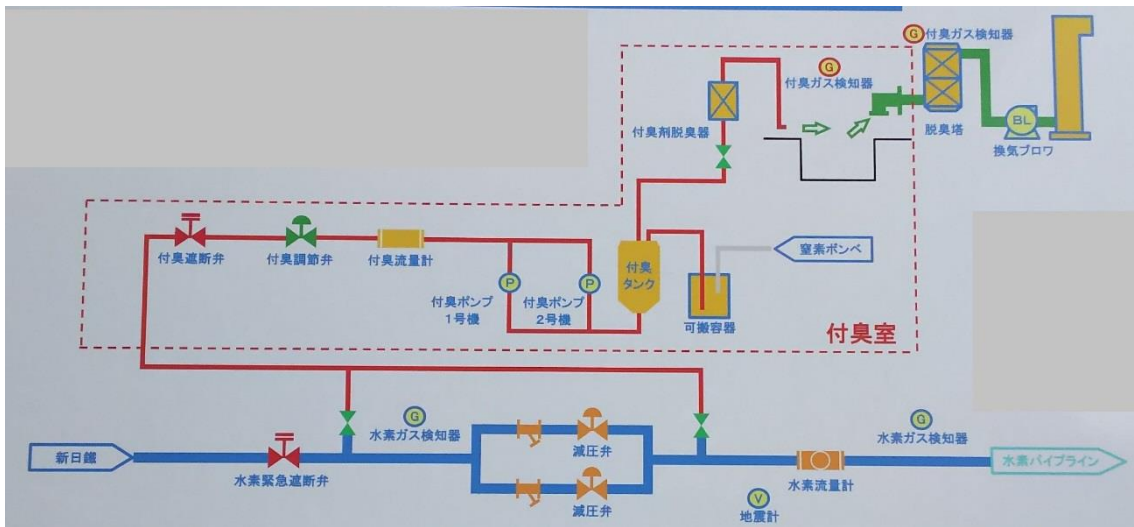


図 2. 2. 2. 3-4 付臭設備フロー図

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。

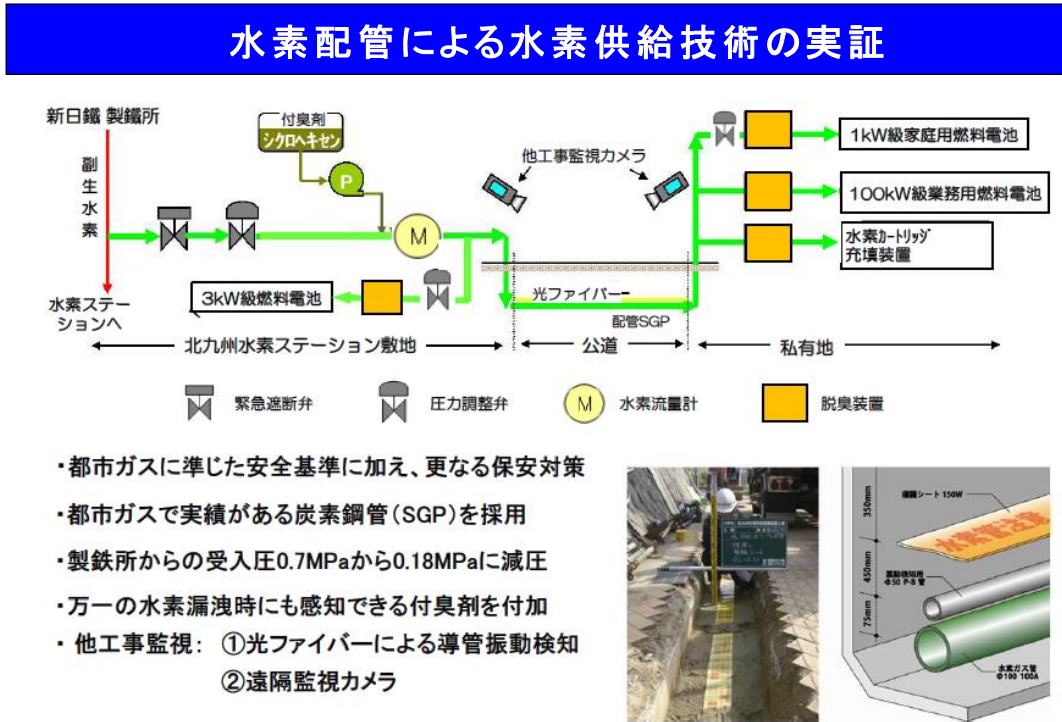


図 2.2.2.3-5 水素配管による水素供給の実証

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傍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

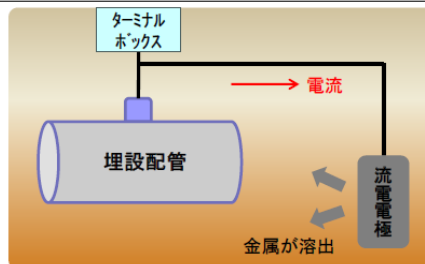
配管の自然腐食防止

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

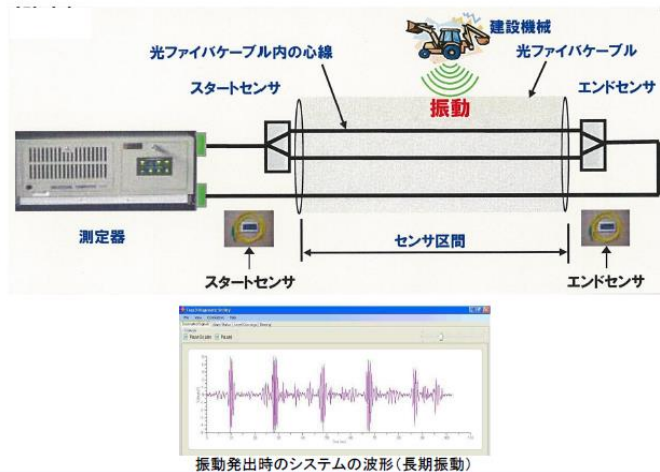
(オ) 光ファイバーによる振動検知システム

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

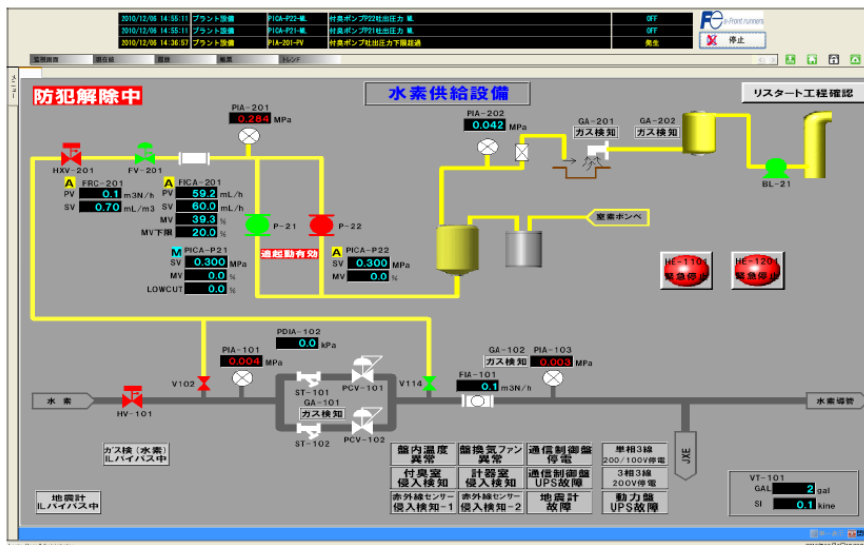
図 2. 2. 2. 3-10 光ファイバーによる振動検知システム

(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・建築関連先導技術開発助成事業（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

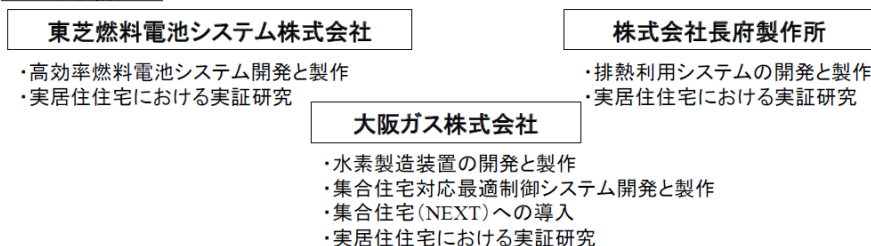


図 2. 2. 2. 3-12 研究計画と主たる業務分担

(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

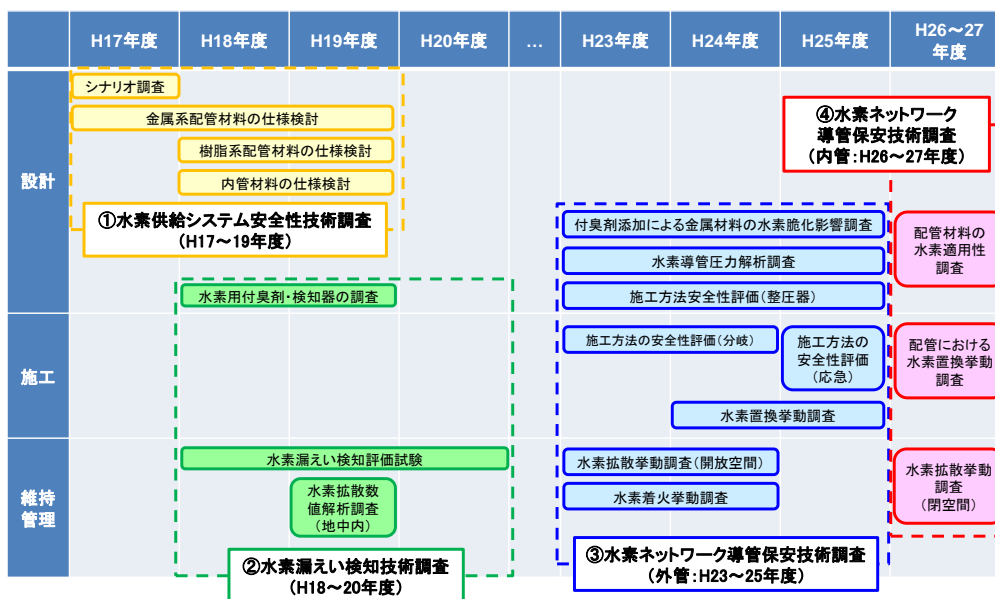
なお、安全措置に対する基本的考え方のうち、水素の滞留、検知濃度の設定に関する考え方を表 2.2.2.3-1 に示す。

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。

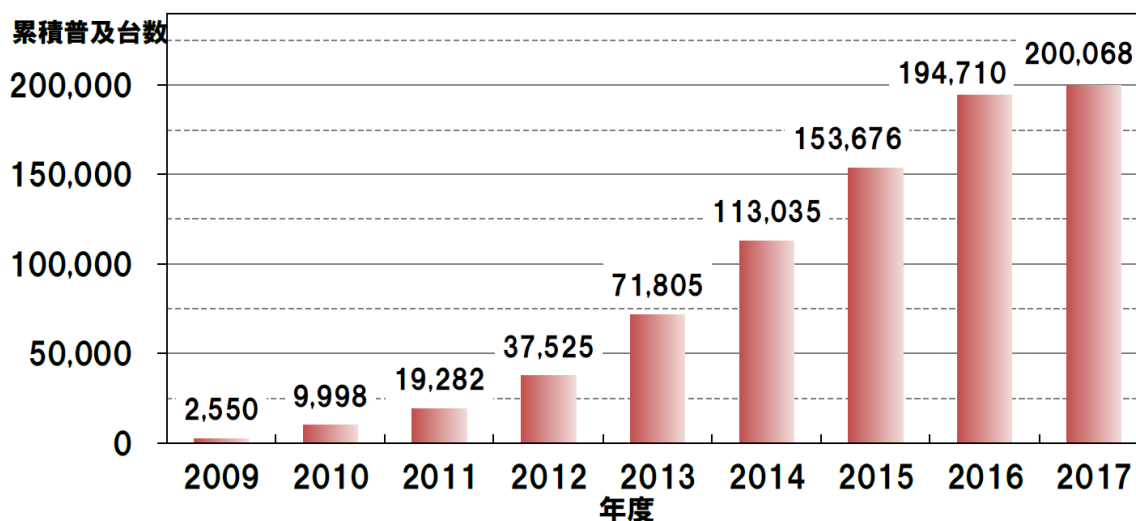
第3章 純水素形燃料電池発電設備及び火を使用する燃料電池発電設備の現状調査

第1節 火を使用する燃料電池普及状況

3.1.1 火を使用する燃料電池（以下、第3章、第1節及び第2節では「エネファーム」という。）の普及状況

2009年の実用化より普及が進み、2017年で累積台数が20万台を超えており、今後も順調に普及台数が増えていくと予想される。2014年からは、SOFCタイプも加わっており、2016年度の実績では、約35%を占めている。

「エネファーム」普及台数の推移



※民生用燃料電池導入支援補助金 交付決定ベース（一般社団法人 燃料電池普及促進協会集計）
（2017年度は5月9日時点）

図 3.1.1-1 エネファームの普及台数（日本ガス協会ホームページより）

3.1.2 純水素燃料電池の普及状況

(1) 製品例1：ブラザー工業

ブラザー工業では、純水素燃料電池を商品化しており、図 3.1.2-1 のラインナップを持っている。



図 3. 1. 2-1 ブラザー工業の純水素燃料電池

(2) 製品例 2 : 東芝燃料電池システム

東芝燃料電池システムの純水素燃料電池ラインナップを図 3. 1. 2-2、表 3. 1. 2-1 に示す。

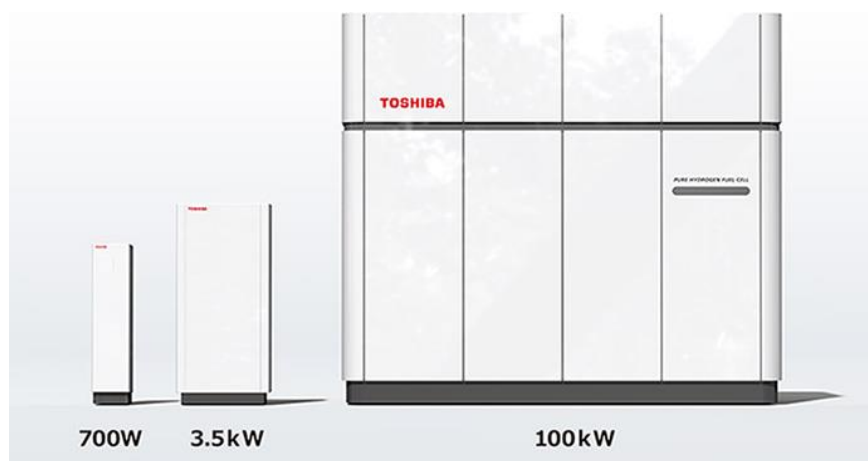


図 3. 1. 2-2 東芝燃料電池システムの純水素燃料電池

表 3. 1. 2-1 東芝燃料電池システムの純水素燃料電池の基本仕様

定格*	700W	3.5kW	100kW
方式	PEFC	PEFC	PEFC
燃料	純水素	純水素	純水素
発電効率 (定格)	55%LHV	55%LHV	50%LHV
総合効率	95%LHV	95%LHV	95%LHV
電気取り合い	単相三線	単相三線	三相三線
設計寿命	80,000 時間	80,000 時間	80,000 時間
外形(mm)	W340 × D510 × H1493	W845 × D580 × H1898	W4000 × D2400 × H3500

• 条件により出ない場合があります

(3) 純水素燃料電池の適用事例

現状は主に研究・実証用の用途であるが、一例として、以下のような導入が実施されており、今後も台数が増えていくことが予想されている。

ア	山梨県米倉山太陽光発電所	700W	3台
イ	水素ステーション静岡	700W	2台
ウ	水素ステーション芝公園、池上、仙台、刈谷	700W	5台
エ	北九州水素タウン	700W	12台、100kW 1台※
オ	山口県周南市	700W	3台、3.5kW 2台、100kW 2台
カ	岐阜県八百津町 防災センター	5kW	
キ	東京都 信越ポリマー本社	700W	機

※ リン酸形燃料電池。他は全て固体高分子形



図 3.1.2-3 北九州水素タウン設置の 100kW 純水素燃料電池（リン酸形）



図 3.1.2-4 北九州水素タウン設置の 700W 純水素燃料電池



図 3.1.2-5 山口県周南市で稼働中の 100kW 純水素燃料電池



図 3.1.2-6 山梨県米倉山太陽光発電所の 700W 純水素燃料電池 (3 台)



図 3.1.2-7 水素ステーション静岡の 700W 純水素燃料電池 (2 台)



図 3.1.2-8 東京都 信越ポリマー本社 700W 機



図 3.1.2-9 岐阜県八百津町 防災センター 5kW 級機

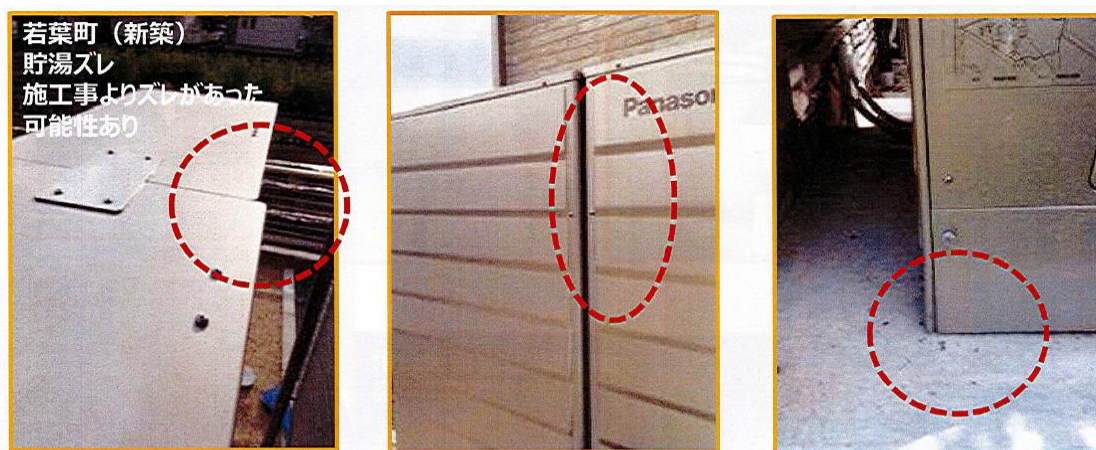
第2節 事例（火災、故障）

3.2.1 一般

過去に火災による被害を受けたエネファームの事例や、機器異常で不安全となった故障事例はない。一方で、地震や洪水で被災したケースは存在し、調査の結果、安全が確保されていることが確認されている。それらの事例を以下に示す。

3.2.2 地震による被災事例

平成28年熊本地震では、多くのエネファームが強い揺れを受けた。地震発生後のガス会社およびメーカーによる影響調査の結果、以下のとおり、一部の機器において、多少のゆがみ、ひずみが見られたものの、不安全な状況になった事例は1台もないことが確認された。



- 損傷について
震災に伴う損傷は少ない。震度が大きかったエリアでは外的要因にて損傷報告あり。

図 3.2.2-1 平成28年熊本地震によるエネファームへの影響

3.2.3 洪水による被災事例

平成27年9月関東・東北豪雨では、鬼怒川堤防が決壊し、茨城県常総市を中心とした浸水被害があり、エネファームも18台が水没被害を受けた。調査の結果、17台は再利用不可となったが、火災や不安全な状況となった事例は1台もないことが確認されている。

調査例



27cmの浸水



23cmの浸水



72cmの浸水

図 3.2.3-1 平成 27 年関東・東北豪雨によるエネファームへの影響

第 3 節 具備されている安全装置

今回検討対象の純水素燃料電池に備わる安全装置は、火を使用する燃料電池と同様の設計思想により構成されており、次に示すようにセンサー部、ロジック部及び動作部から構成されている。

3.3.1 センサー部

燃料電池を制御する上で必要となる温度、電圧等の物理量を計測するものである。法令等で定められる保護動作機能の一覧を表 3.3-1 に、純水素燃料電池に設けられたセンサーの取り付け例を図 3.3-1 に示す。

これらのセンサーはいずれも、物理量をアナログ信号として出力するものである。例えば、温度検知器では、一般にサーミスタによって温度を検知している。サーミスタは、温度によって抵抗が変化する特性を有しており、正常時はこれに電流を流し、両端の電圧を計測することによって温度の検出を行っている。

これらセンサーに異常が生じた場合は、レンジオーバーを検知することによって、センサーの異常を検知することができる。前述のサーミスタを例にとると、サーミスタの故障モードは大きく分けて二つあり、一方は断線（抵抗が無限大）による故障、他方は短絡（抵抗がゼロ）による故障である。これらの故障が発生した場合は、制御装置が普段あり得ない電圧を検出するために、センサーの故障と自己認識することができるものである。

表 3.3-1 燃料電池の保護動作機能一覧^{※1}

構成要素	保護動作項目	関連基準
燃料電池 セルスタック	電池温度高	電技省令 4 4 条、電技解釈 4 5 条 条例(例) 8 条の 3
	電池電圧低	電技省令 4 4 条、電技解釈 4 5 条 条例(例) 8 条の 3
	電池過電流	電技省令 4 4 条、電技解釈 4 5 条 条例(例) 8 条の 3
燃料改質系 ^{※2}	改質器温度高	火技省令 3 4 条、火技解釈 4 9 条 条例(例) 8 条の 3
	改質器バーナ失火	火技省令 3 4 条、火技解釈 4 9 条 条例(例) 8 条の 3
その他機械系	換気用送風機異常	火技省令 3 3 条、火技解釈 4 8 条
	窒素元圧低	電技省令 4 6 条、電技解釈 4 7 条
	制御電源電圧低下	電技省令 4 6 条、電技解釈 4 7 条
	制御装置異常	火技省令 3 4 条、火技解釈 4 9 条 条例(例) 8 条の 3
	可燃性ガス検知	火技省令 3 3、3 4 条 火技解釈 4 8、4 9 条 条例(例) 8 条の 3
	燃焼空気ブロウ停止	火技省令 3 6 条
	パッケージ温度高	火技省令 3 4 条、火技解釈 4 9 条 条例(例) 8 条の 3 都条例 8 条の 3
電気系	交流過電流	電技省令 6 3 条、電技解釈 1 4 9 条 条例(例) 8 条の 3
	交流過電圧	電技省令 1 4 条、1 5 条、 2 0 条、4 4 条 電技解釈 2 2 7 条
	交流不足電圧	
	周波数異常	
	単独運転検出装置	
	直流分流出	電技省令 1 6 条 電技解釈 2 2 1 条
漏電遮断(地絡保護)	電技省令 1 5 条 電技解釈 2 0 0 条	

※1 これらの安全設備は、「JIS C 8822 小型固体高分子形燃料電池システムの安全

基準」、および日本電機工業会（JEMA）発行「定置用小形燃料電池の技術上の基準及び検査の方法」にも規定されている。

※2 純水素燃料電池には改質器は存在しないが、触媒燃焼器がある場合には、改質器バーナと同等の安全装置が求められる。

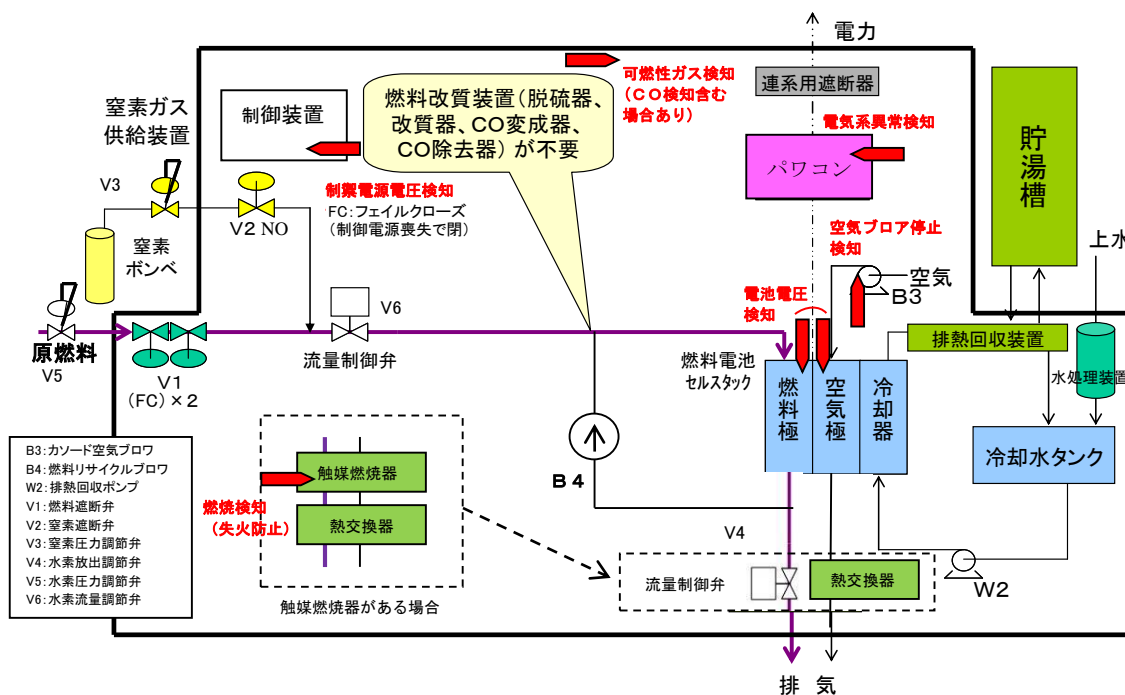


図 3.3-1 純水素燃料電池に設けられたセンサーの例

3.3.2 ロジック部

センサー部で得られたアナログ信号をデジタル信号に変換して、燃料電池の電磁弁、回転器の制御を行うものである。

制御装置には、制御装置が正常に作動しているかどうかを常時監視するウォッチドッグタイマ機能が具備されている。

ウォッチドッグタイマとは、制御装置が正常かどうかを常に監視するためのタイマであり、制御装置が正常に動作している場合は、ある一定の間隔でウォッチドッグタイマに対して信号を発信し、ウォッチドッグタイマではこの信号を定期的受信することにより、制御装置が正常に動作していると判断する。

一方、制御装置が停止した場合は、ウォッチドッグタイマへの信号の発信がなくなる（特定の時間間隔以内に制御装置からの信号が届かない）ため、制御異常と判断し、各種補機類の駆動電源を停止することができる。ウォッチドッグタイマの概念図を図 3.3-2 に示す。

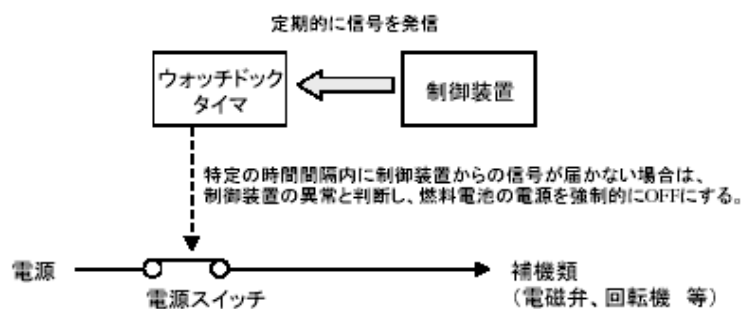


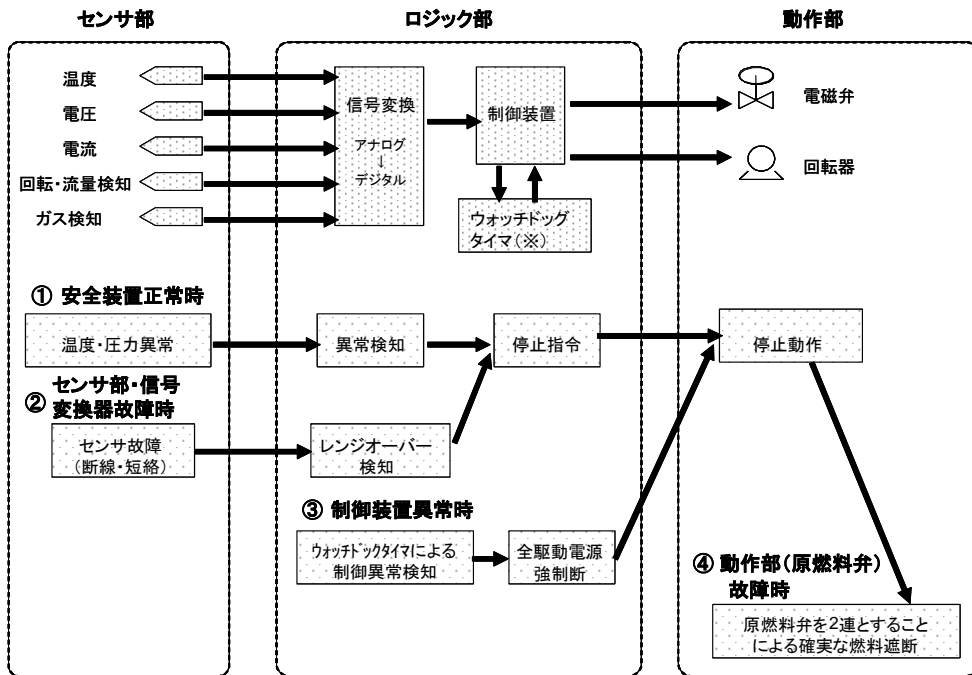
図 3. 3-2 ウォッチドッグタイマの概念図

3. 3. 3 動作部

異常が生じたときに、制御装置からの制御信号によって燃料電池を安全に停止させるための構成部品であり、代表的なものとして原燃料遮断弁が掲げられる。

原燃料遮断弁は、それぞれに独立した制御信号が出力される二つの弁が直列に設置されており、万一片方の弁が閉にならない状況になったとしても、他方の弁で確実に閉止できる構造となっている。また、この弁はノーマルクローズタイプとなっていることから、駆動源が喪失した場合は閉となり原燃料の供給を遮断することができる。これら安全装置の構成を図 3. 3-3 に示す。

以上のことから、これら安全装置はセンサー部、ロジック部及び動作部の一部又は全部が故障したとしても燃料電池を安全に停止させることができるフェイルセーフ（あらかじめ故障が起こることを想定し、被害を最小限にとどめるよう工夫しておくという安全思想）に基づき設計されていることが確認できる。



※ウォッチドッグタイマ：制御装置が正常に動作しているかどうかを常時監視するタイマ機能である。ある一定時間毎に相互で通信を取り合うように作られたもので、この通信が途切れた時点で制御装置の異常が発生したことを検出する。

図 3. 3-3 安全装置の構成及びフェイルセーフ設計

第 4 節 想定されているハザード（出火、感電、水素漏えい等）

3. 4. 1 ハザード分析の手順

平成 19 年 3 月総務省消防庁発行の「固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討報告書」では、純水素燃料電池のハザード分析を、図 3. 4-1 の手順により行っている。

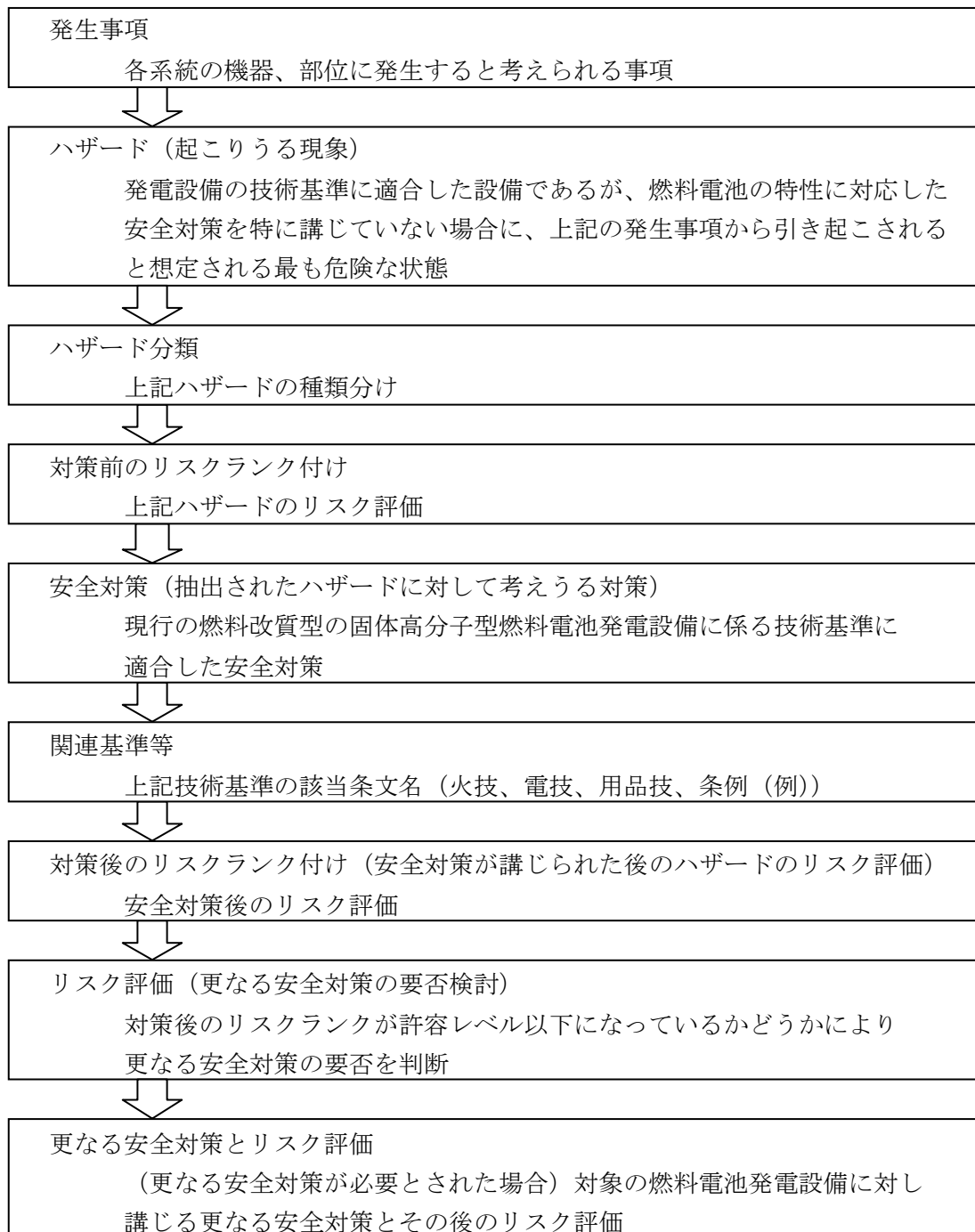


図 3.4-1 ハザード評価フロー

3.4.2 ハザード分析の結果（平成 19 年 3 月の評価結果）

本手順により実施されたハザード分析の結果は以下のとおりであり、3 つの項目が抽出されているが、必要な対策をとることで、リスクが許容レベルにできると評価さ

れた。

- (1) 触媒燃焼器の高温がパッケージ内部へ伝搬するハザード
このリスクに対しては、パッケージ表面温度の異常高温を防止する安全対策により、安全性が確保できる。
- (2) 触媒燃焼器で不完全燃焼が起きた場合には、残留水素の排出されるハザード
このリスクに対しては、「不完全燃焼防止機能」、「十分な給排気の確保」により安全性が確保できる。
- (3) 燃料系リークによりパッケージ内に水素が漏洩し、着火延焼するハザード
このリスクに対しては、「燃料ガスが漏れても滞留しない構造」、「可燃性ガス漏洩の検知により停止」、「(着火した時には) パッケージ内温度高により停止」の多重の安全対策を施すことでリスクランクを許容レベルまで下げられる。

なお、(1)、(2)は、触媒燃焼器が存在しない構成においては、適用されない。

3.4.3 ハザード分析の追加検討

本検討にて、平成 19 年 3 月のハザード評価をもとに、最新の純水素燃料電池の構成を踏まえ、一部の追加評価を実施した。

平成 19 年の検討時と異なり、現在主流となっているのは、触媒燃焼器がなく、微量の水素を放出する構成である。このような構成では、触媒燃焼器に関連するリスクがない代わりに、水素放出に関するリスクが発生する。従って、これらのハザードに関して追加検討を行った。この結果概要は以下のとおりである。

- (1) 水素放出機能がある構成の場合は、「水素放出時に、排気中に水素が多量に放出されるハザード」がリスクとして抽出される。これは、「排ガス中の水素濃度が著しく上昇した場合（燃焼部のないものに限る）」という日本電機工業会（JEMA）の自主基準に従うことで、リスクを除外し安全を担保することができる。
- (2) 都条例の位置及び管理を追加、外部火災については、建築物との距離を 3m 確保することで安全を担保することができる。

第4章 純水素形燃料電池発電設備及びその周辺設備に係る課題と検討事項

第1節 純水素形燃料電池発電設備

4.1.1 純水素燃料電池に係る課題

純水素燃料電池に係る課題については、第3章第4節「想定されているハザード(出火、感電、水素漏えい等)」にて、ハザード分析検討を行い、純水素燃料電池については、第3章第4節記載の対策を満たすことで、リスクを下げる事ができるとした。

その中では、純水素燃料電池は、通常運転時や、出火時に周囲へ延焼させないための距離について、出力によらず建築物から3m以上確保することとしている。一方で、現行の火を使用する燃料電池についての都条例第8条の3の距離の規定は、以下のとおりである。

(1) 出力10kW以上の場合【都条例第8条の3第3項】

ア 都条例第3条第1項第1号(イ及びロ並びに規則で定める設備の点検及び整備に必要な空間を確保する規定を除く)

※ 火災予防上安全な距離として、火を使用する燃料電池の使用に際して、付近にある可燃物に対する熱的影響による火災を防ぐため、一定の距離を保つ必要がある。

イ 都条例第11条第1項第7号

火災予防条例施行規則第4条に規定される距離が必要

燃料電池発電設備本体	周囲	0.6m以上
	相互間	1.0m以上

ウ 都条例第11条第2項

『屋外に設ける燃料電池発電設備にあつては、建築物から3m以上の距離を確保する必要がある。ただし、不燃材料で造り、またはおおわれた外壁で開口部のないものに面するときは、この限りでない。』

(2) 出力10kW未満の場合【都条例第8条の3第4項】

ア 都条例第3条第1項第1号(イ及びロ並びに規則で定める設備の点検及び整備に必要な空間を確保する規定を除く)

『火災予防上安全な距離として、第三者検査機関が実施している防火性能評定等によって定められる距離以上を確保する必要がある。』

※ 燃料電池発電設備の使用に際して、付近にある可燃物に対する熱的影響による火災を防ぐため、一定の距離を保つ必要がある。

(3) 出力10kW未満を複数台設置し(機器相互間3m以内)同一系統で電力を供給する全出力10kW以上の場合【都条例第8条の3第3項】

(1)と同じ

東京2020大会では、純水素燃料電池の出力を30~40kWと計画しており、単体あ

るいは複数台での設置が考えられる。設置場所の制約を考慮すると、特に複数台の設置では、建築物との距離の確保が困難となることが予想される。そこで、単体の出力が小さい純水素燃料電池の燃焼性状を検証し、複数台設置した場合の建築物との距離の緩和が可能かどうかを検討することとした。

また、検証結果をもとに、建築物との距離を確保する条件となる出力の目安についても検討した。

4.1.2 純水素燃料電池に係る検討の基本方針

消防法上の規制は、純水素燃料電池が、外部からのもらい火等により、燃焼したとしても、周囲の固体高分子形燃料電池発電設備や可燃物への延焼防止を目的としている。

本検討では、単品の純水素燃料電池の安全性を高め、純水素燃料電池がもらい火により燃焼した場合でも、周囲の純水素燃料電池や可燃物に延焼しないようにすることを検討の基本方針とした。

この基本方針を実現するため、純水素燃料電池内にある原料供給ガス（水素）導入部に、電磁弁〔駆動源（電源）が喪失した場合には弁を閉じるタイプ（フェイルクローズ）〕のものを2個直列に設置することで、火災の際に継続した水素ガスの流入を防ぎ、拡大被害の防止を図れるかを検討する必要がある。

第2節 建築物への水素供給

4.2.1 基本的な考え方について

4.2.1.1 安全性評価について

安全性を評価するにあたっては、以下の検討が経済産業省の「平成29年度水素導管供給システムの安全性評価事業」で行われている。

- (1) 安全性確保に必要な要素の抽出について
- (2) 水素の特性に基づく事故発生リスク

なお、(1)については、安全性確保に必要な要素を抽出し、その要素を満たす仕様の検討を行っている。また、(2)については、水素の特性に基づく事故発生リスクの検討を都市ガスとの比較により行い、その結果を(1)の仕様の検討に反映させている。

（以下「総合調査（水素導管供給に関する安全性評価等調査）報告書」P10, P11 抜粋）

(1) 安全性確保に必要な要素の抽出について

ア 水素導管供給の安全性確保に向け、「水素が漏えいしないこと」、「水素導管が想定される発生応力に耐えること」が必要となることから、建設時と維持管理時の二段階に分け、「気密性」及び「要求される強度以上の強度」を有することを規定すべく表4.2.1.1-1の①～⑥を抽出した。

イ また、維持管理上の項目として、万一の事態として、漏えいが発生した場合等

を想定し、早期発見に資する事項として表 4.2.1.1-1 の⑦、⑧を、また非常時の対応方法として⑨を抽出し検討することで、安全な水素導管供給に向けて必要となる事項を整理した。

表 4.2.1.1-1 安全性確保に必要な要素の抽出

段階	安全性確保に必要な要素		
	大項目	小項目	検討すべき事項
建設	気密性及び要求される強度以上の強度を有する工	A) 安全な機械的性質を有する材料	①工作物の材料
		B) 漏えいしない構造、要求される強度以上の強度	②設計・接合方法
	作物を建設すること	C) 上記 A)B) を満たしていることの確認	③検査
維持管理	気密性及び要求される強度以上の強度を有する工	A) 腐食の防止	④防食措置
		B) 損傷の防止	⑤防護措置
	作物を維持すること		⑥他工事管理
	万一、漏えいが発生した際に早期に発見可能とすること		⑦付臭措置
			⑧定期漏えい検査
	万一を想定した非常時の対応を整備すること		⑨非常時対応

(2) 水素の特性に基づく事故発生リスクの検討について

安全性確保に必要な各要素に対する仕様を検討する上で、水素の特性を考慮する必要があることから、拡散性や燃焼範囲、着火エネルギー、火炎の視認性といった水素の特性に基づきリスクの検討を都市ガスとの比較により行い、対応策の検討を行った(表 4.2.1.1-2)。

表 4.2.1.1-2 水素の特性に基づく事故発生リスクの検討

		都市ガス	水素	評価理由	対応策
出火確率	漏えい確率	接合不良 (基準)	同等	・ 水素の方が分子量が小さく拡散速度も速いため、接合不良等による影響に敏感(漏洩しやすい)	・ 埋設部の接合はすべて溶接接合とし、検査基準を厳しく設定。 ・ 漏えいの可能性が比較的高い接合に関しては漏えい水素が滞留しない箇所に設置。
		腐食 (基準)	同等	・ 腐食の進行に関して、内在ガスの影響はない。	・ 都市ガスと同等の防食仕様を適用。
		水道漏えい時のサンドブラスト損傷 (基準)	同等	・ 水道漏えい時のサンドブラスト損傷に対して、内在ガスの影響はない。	・ 都市ガスと同等の防護対策を適用。
	外部損傷 (基準)	同等	・ 外部損傷に関して、内在ガスの影響はない。	・ 着火時の大きな影響度を考慮し、損傷防止措置を追加適用する。	
着火確率	閉空間 (基準)	大	・ 水素は燃焼範囲が広い 水素 約 4~75%、都市ガス 約 4~14% ・ 水素は着火エネルギーが低い 水素 約 0.02mJ、都市ガス 約 0.3 mJ	・ 漏えいの可能性が比較的高い接合に関して、漏えいした水素が滞留しない箇所に設置する。 ・ 漏えい時は水素ガスを即時に遮断し、管内水素をバージする。	
	開空間 (基準)	やや大	・ 小漏えい: 都市ガス・水素ともに瞬時に拡散し、双方も燃焼範囲に入る空間は極めて小さい。 ・ 大漏えい: 水素の方が燃焼範囲に入り易い。		
出火影響度	爆風のピーク圧力 (基準)	大	・ 爆風のピーク圧力は、都市ガス<水素 点火位置からの距離が 10m における実験例 ^{※1} 水素 約 100Pa(水素濃度 20.8%) メタン 約 15Pa(メタン濃度 12.4%)	(上記漏えい対策により出火確率そのものを低減する。)	
	火炎放射 (基準)	小	・ 放射強度は、都市ガス>水素 ・ 水素火炎は視認性が悪い。	・ 漏えい時は、水素ガスを即時に遮断し、管内水素をバージする。(水素火炎が継続することはない)	

※1 独立行政法人産業技術総合研究所「高圧ガスの危険性評価のための調査研究報告書」より

上記抜粋における安全性評価の結果と、都市ガスにおける「技術上の基準」「解釈例」等を踏まえ埋設部の水素導管仕様は決定されている。

4.2.2 今後の動向と対応について

「第2章第2節2.2.2.1 関連法規について」において述べた通り、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。今後、水素供給事業に関しては、東京2020大会後の選手村地区でのPR事業、および東京2020大会後の選手村地区における本格的な事業運用が予定されている。そのための安全性評価は主に公道下の埋設部は実施されているものの、本検討の対象となる敷地内の露出部等に関する安全性評価は未実施のところがある。前項のとおり安全性評価は、東京2020大会の選手村地区における水素事業に限定されたものであるものの、水素供給事業が普及することで、安全性に関する知見は蓄積され、規格等が整備されていくことに期待する。

今後の対応について、安全性に関する知見が蓄積されるまでは、水素供給事業者が個別の事案を踏まえて技術基準適合維持義務を果たすために必要な措置を行うことを大前提としたうえで、上乘せ等の基準はその都度適切に検討すべきである。なお、第2章第2節2.2.2.3で整理した実証試験における安全設備の事例については、ガス事業法の適用範囲外で試験を行っていることから、水素供給システムの設計・建設・維持管理に対する安全措置の位置付けが大きく異なることに留意が必要である。

4.2.3 課題に関する対策

4.2.3.1 東京2020大会後の選手村地区における供給方式や構造、安全設備について

東京2020大会後の選手村地区における水素供給事業の概要を図4.2.3.1-1に示す。なお、本報告書の作成時点においては、5-7街区の商業棟については、建築物への水素供給が想定されている。

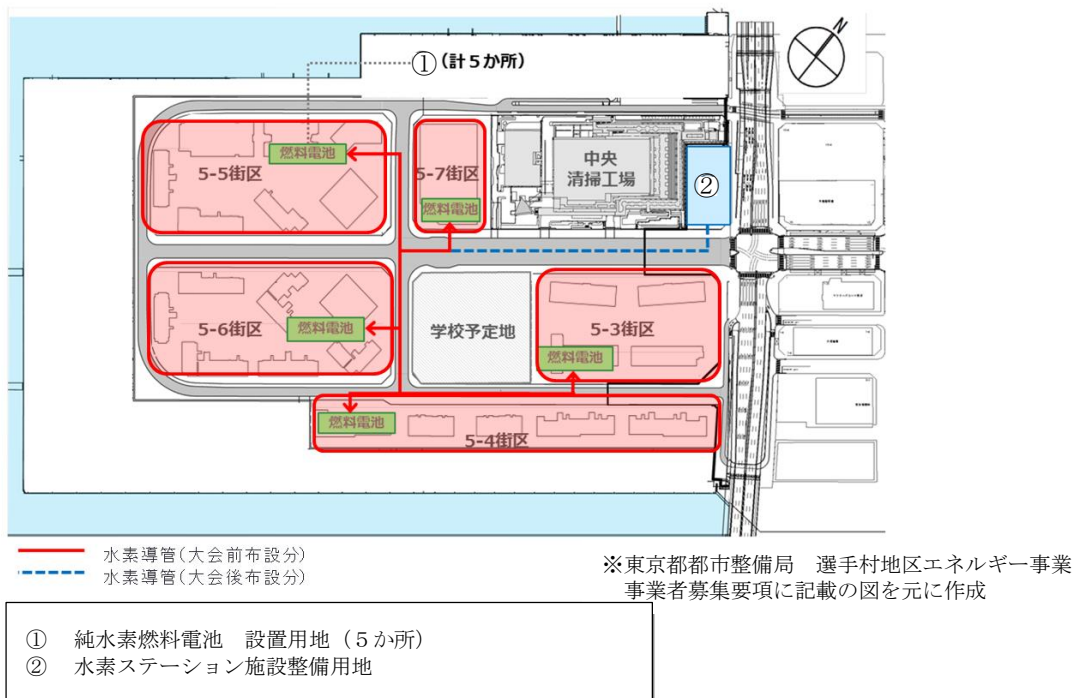


図 4.2.3.1-1 東京2020大会選手村地区における水素事業の供給概要

水素ステーション (②) 施設整備用地で製造された水素が、水素導管 (水素パイプライン) を通り、純水素燃料電池 (①) に供給される。純水素燃料電池については、概ね屋外の地上露出部に設置される予定であるが、5-7街区の商業棟については建物屋上への設置を想定している。そのため、建物への水素供給を検討するにあたり、供給事業者において、屋外露出導管によるケースと屋内導管によるケースに分けて、安全設備・対策がなされている。なお、本対策については、図 4.2.3.1-2、図 4.2.3.1-3 におけるガス工作物の範囲 (区分バルブまで) を対象とし、中圧供給によるものとする。

(1) 水素導管を屋外露出導管とした場合

想定される配管ルートと安全設備を図 4. 2. 3. 1-2 に示す。

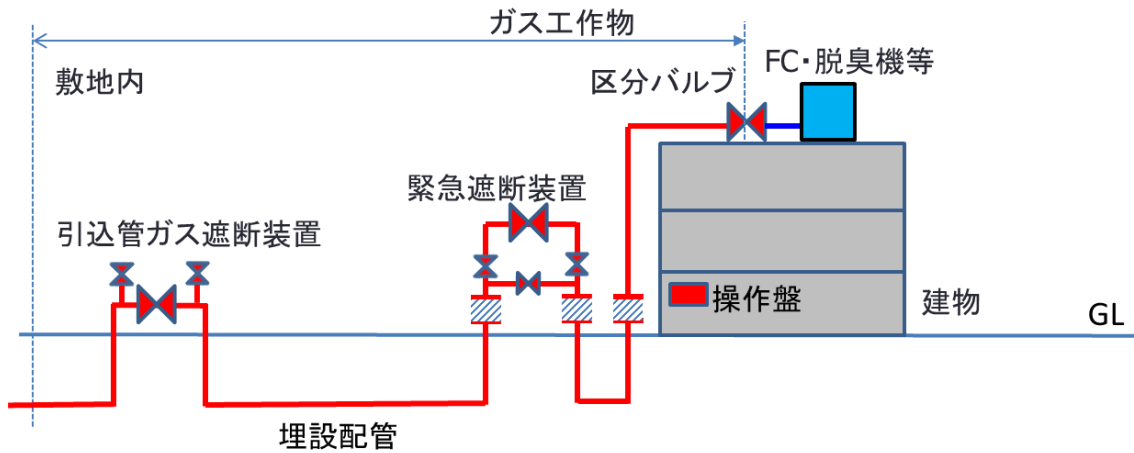


図 4. 2. 3. 1-2 屋外露出導管のケース

この場合、設置される予定の安全設備・対策は以下の様になる。

なお、(◆)については、東京2020大会後の選手村地区における水素供給事業者が自社仕様として検討中のものである。

ア 中圧供給のため、引込み管ガス遮断装置を設置し、緊急時に建築物への供給を速やかに操作し、停止できるようにする。

イ 防食として絶縁継手（フランジ）を土中から露出した建築物近傍に設置する。

ウ 中圧供給のため、緊急遮断装置とガス漏れ等の情報を把握できる場所（防災センター等）から直ちに遮断できるよう操作盤を設置する。（緊急遮断装置と操作盤については、水素ステーション設備整備用地の大元につく場合も可とする）

エ 屋外導管の支持方法は、地震等による応力影響が無いようにする。

オ 屋外縦導管長さが20mを超える場合は、熱応力の吸収措置を行う。

カ 埋設導管の他工事損傷防止は、導管上の防護措置を検討する。(◆)

キ 露出導管の他工事損傷防止は、導管を車両の接触する恐れがない場所に設置するとともに、水素と明示する。(◆)

ク フランジ部については、漏えい対策が必要か検討する。(◆)

(2) 水素導管を屋内導管とした場合

水素導管を屋内導管と想定した場合のモデルを図 4.2.3.1-3 に示す。

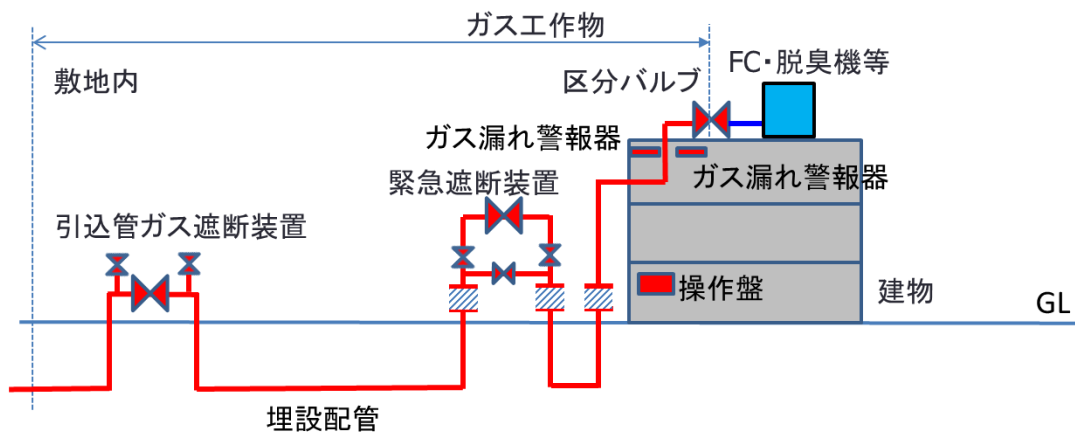


図 4.2.3.1-3 屋内導管のケース

建物内に水素導管が導管されるという観点から、前項の「水素導管を屋外露出配管とした場合」に対して、追加の安全設備・対策が必要である。具体的には以下のとおり。

- ア 外壁貫通部付近の建物内にガス漏れ警報器を設置する。
- イ 屋内導管の支持方法は、地震等による応力影響が無いようにする。
- ウ 屋内導管の接合方法を漏えいしづらい溶接接合等とする。(◆)
- エ 屋内導管が通る箇所は、ガス漏れ警報器の設置を検討する。(◆)
- オ 屋内導管は、他工事損傷防止として原則専用の導管スペース等の対策を取る。(◆)
- カ やむをえず他設備と同居する屋内導管で、パイプシャフト等の漏れたガスが滞留する恐れのある場所に導管をする場合は換気口を設けるか、電気設備を防爆構造等の安全措置を講ずる。

4.2.3.2 建築物の防火防災安全のため配慮すべき対策

東京2020大会の選手村における水素事業で配慮すべき対策を以下に示す。本対策は、関係法令で定める規定によるほか、水素の特異性による出火防止、延焼拡大防止、避難安全の確保、構造安定性及び消防活動の安全性の確保を図ることを目的とした。なお、今後の中圧供給における水素事業の汎用的な対策としても活用できるよう考慮した（「*」は、技術革新や調査研究等によって見直しが行われる可能性がある基準である）。

(1) 純水素燃料電池と配管との結合方法

水素の配管と純水素燃料電池との結合部分には、地震動等により損傷を受けないよう必要な措置を講ずること。

(2) 水素供給設備が有すべき性能

圧力が、中圧（0.1MPa以上1MPa未満）である水素の供給設備は、次のとおりとする。適用範囲は、区分バルブから敷地内の引込み管ガス遮断装置までとする。

なお、常時人が出入りするような建築物で、火災・災害等において、避難が必要なものに水素を供給する場合に適用する。

ア 水素の導管の材質及び接続方法

(ア) 材質及び接続方法は、水素に対する気密性、耐圧性及び化学的耐性を有すること。

(イ) 耐震性を考慮した、導管仕様及び導管支持とすること。

(ウ) 設置された状況により腐食を生ずるおそれがある場合は、腐食を防止するための適切な措置を講ずること。

イ 遮断装置

(ア) 緊急時に、地上から容易に遮断ができる適切な装置を、適切な場所に設けること。

(イ) 水素のガス漏れ等の情報を把握できる場所から水素の供給を停止できる装置を、建築物の外壁を貫通する箇所付近に設けること。

(ウ) 遮断装置は、水素に対する気密性、耐圧性及び化学的耐性を有すること。

(エ) 地震を感知し、速やかに建築物への水素の供給を停止できるようにすること。

ウ 警報器

(ア) 水素の導管が、建築物の外壁を貫通する箇所及び屋内を通る箇所には、適切な方法及び適切な検知区域に警報器を設置すること。

ただし、水素が漏れない措置又は漏れた水素が滞留するおそれのない場所に設置される場合は、この限りでない。

(イ) 警報器の作動状況を監視し、速やかに建築物への水素供給を停止できるようにすること。

エ 計量器

計量器を設置する場合は、地震時、計量器本体、周囲の水素の導管及び支持は、

建築物の想定応答加速度に耐えるものとする。

オ パイプシャフト等への設置

水素の導管は、電線、電気開閉器その他の電気設備を敷設してあるパイプシャフト内、ピット内、その他漏れた水素が滞留するおそれのある隠ぺい場所には設けないこと。

ただし、漏れた水素に着火しない措置が講じられている場合は、この限りでない。

カ 水素供給設備の表示

水素の導管、遮断装置等には、事故防止のため、表示を行うこと。

(3) 性能を有する構造

(2)を具体化した構造例は、以下のとおりとする。

ア 水素の導管の材質及び接続方法

(ア) 鋼管とすること。*

(イ) 地震動及び地盤沈下を考慮し、必要に応じて建築物の引込部近傍（建築物外壁貫通部外側）に可とう性を持たせること。

(ウ) 接続は、フランジ接続又は溶接とすること。*

(エ) 水素の導管は、一般社団法人日本ガス協会発行「供給管・内管指針（中圧設計・工事編）」、「内管耐震設計マニュアル（一般建物用）」に基づき設計すること。

(オ) 塗装、塗覆装、電氣的防食等による防食措置を施すこと。

イ 遮断装置

(ア) 引込み管ガス遮断装置は、道路境界線近傍の敷地内に地上から容易に操作し得る位置に設置すること。*

(イ) 建築物の引込部近傍に、感震器と連動可能な緊急ガス遮断装置を次のとおり設置すること。

a 感震器は、250ガル以上の地震で、有効に作動できる場所^{※1}に設置すること。

b 緊急ガス遮断装置が作動することにより、建築物への水素供給を遮断すること（非常電源に用いるガス専焼発電設備を除く。）。

c 非常時、防災センター等^{※2}から押ボタンによって建築物への水素供給を瞬時に遮断すること。

d 緊急ガス遮断装置は次のいずれかにより、停電時作動可能とすること。

(a) 非常電源駆動式

(b) 気体圧駆動式（空気圧、炭酸ガス等）

e 緊急ガス遮断装置の作動時には、防災センター等において、作動の表示をし、警報を発すること。

※1 有効に作動できる場所とは、想定応答加速度が最も高いと想定される

階層が望ましい。

※2 防災センター等とは、建築物に設置されている消防用設備等の作動状況等を集中して監視できる場所をいう。

ウ 計量器

(ア) 計量器本体及びその取付支持は、建築物の想定応答加速度に耐えるものとする。

(イ) 計量器周囲の水素の導管は、建築物と共振しない導管系とすること。

(ウ) 地震時に計量器に大きな力が作用することのないよう、計量器周囲の水素の導管を堅固に固定すること。

エ パイプシャフト等への設置

漏れた水素が滞留するおそれのあるパイプシャフト等に設置する水素の導管は、次のとおりとする。

(ア) 水素の導管を設置するパイプシャフト等内には、他の導管等を設置しないこと。*

(イ) 水素の導管は、電線、電気開閉器その他の電気設備を敷設してあるパイプシャフト内、ピット内、その他漏れた水素が滞留するおそれのある隠ぺい場所には設けないこと。ただし、水素のガス漏れ警報器及び付属する電線は、この限りでない。*

(ウ) パイプシャフト等には、各階ごとに換気口※及び水素のガス漏れ警報器を設置すること。*

(エ) 水素のガス漏れ警報器の作動状況が、防災センター等で監視できるシステムとすること。

(オ) 水素のガス漏れ警報器の監視盤は、緊急ガス遮断装置の操作盤の近傍に設置すること。

(カ) ガス漏れが発生した場合には、防災センター等において、その旨及び警報状況を表示すること。

※ 換気口とは、直接外気（開放廊下を含む。）に面しているもので、パイプシャフトの上部及び下部に 100 cm²程度の有効な開口部を有するものをいう。*

オ 表示

(ア) 水素を扱う純水素燃料電池本体及び供給設備が識別できるよう明示すること。

(イ) 非常時に速やかに水素供給を停止するため、対応窓口等を明示すること。

カ 燃料容器

(ア) 水素の燃料容器は、通風の良い場所で、かつ、直射日光等による熱影響の少ない位置に設けるとともに、地震動等による転倒又は落下を防止する措置を講ずること。*

(イ) 水素の燃料容器は、漏えいしたガスが建築物に流入しないよう、建築物の開口部と十分な距離を保有して設けること。*

第5章 純水素形燃料電池発電設備の検証

第1節 目的

建築物の近傍に設置された純水素燃料電池が、当該建築物の開口部からの火災によって生じた火炎に対し、着火・燃焼し、他の建築物等への延焼媒体とならないことを確認する。

- (1) 純水素燃料電池からの輻射熱量（熱流束）を確認（延焼の可能性の確認）
- (2) 純水素燃料電池に、原料供給水素が継続供給されないかの確認
- (3) 純水素燃料電池が爆発等の外部に危害を及ぼさないかの確認

第2節 方法

5.2.1 純水素燃料電池

- (1) 純水素燃料電池を定格発電させる。（水素ポンベから原料水素を供給）
- (2) 燃料電池の仕様（図 5.2-1）
 - ア 種類：固体高分子形（パナソニック社製）
 - イ 定格出力：5kW
 - ウ 燃料：水素
 - エ 排ガスの処理：空気と希釈し、水素の爆発下限界を超えないもの
 - オ 重量：230kg（外装パネルを含む）
 - カ 外形寸法：高さ 1,800×幅 800×奥行 400（mm）

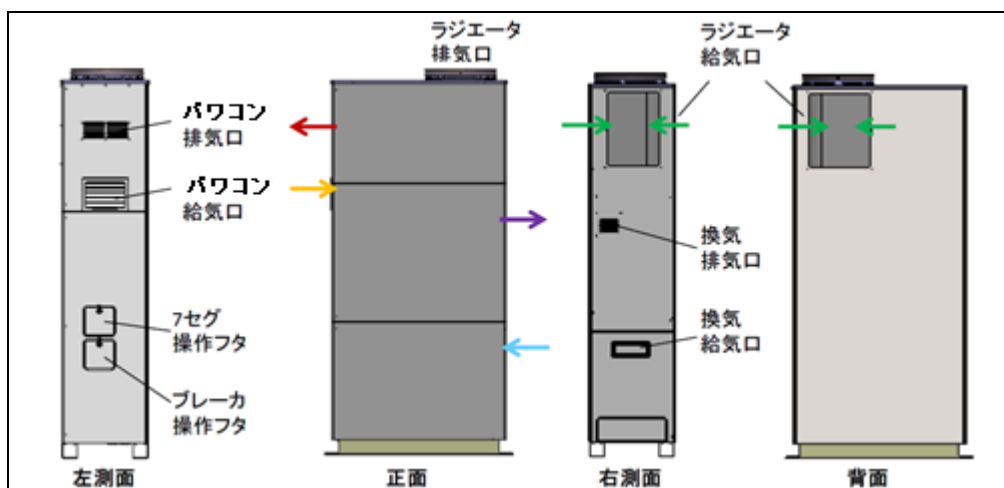


図 5.2-1 純水素燃料電池の仕様

5.2.2 火源

- (1) 純水素燃料電池の外部からバーナーで火炎を当てる。

火炎を当てる面は安全対策上、火炎による影響が最も大きいと考えられる面（燃料遮断弁がある面）及び通常設置された際に建築物からの炎の影響を最も受けやすいと考えられる面から、背面を選定した。

- (2) 火炎の大きさは、背面全体が炎で覆われるようバーナーの火力を調整した。純水素燃料電池の背面側下端部分に、幅 75cm、奥行き 15cm の矩形バーナーを設置し、LP ガスを燃料として乱流拡散火炎を発生させ、燃料電池を加熱した。バーナー火力は約 150kW とした。
- (3) 加熱時間は、都条例の変電設備等の出火及び延焼防止に求める専用不燃区画、「キュービクル式変電設備等の基準（昭和 50 年 10 月東京消防庁告示第 11 号）」を参考とし、20 分とした。

5.2.3 測定

- (1) 純水素燃料電池の外部及び内部、バーナーの上部に熱電対（K 型、0.32mmφ）を設置し温度を測定した。
- (2) 純水素燃料電池の筐体面から 60cm 及び 100cm 離れた地点に熱流束計（FluxTeq 社、PHFS-01）を設置し、熱流束を測定した。
また、熱流束を測定した地点と同じ位置に黒色に塗装した木片を設置し、その表面温度を前記と同じタイプの熱電対で測定した。
- (3) 観測は正面側及び右側面側からビデオによって記録し、同じ位置から赤外線カメラ（NEC 社、AVIO R300）にて熱画像を記録した。
- (4) 外部火炎による純水素燃料電池の燃料遮断弁閉止後、水素ポンベの一次側のバルブを締め、二次側のバルブのみを開けた状態にし、水素ポンベの二次圧が変化しないことを確認し、純水素燃料電池内部に原料水素が供給されていない（2 個直列に設置したフェイルクローズの電磁弁によって確実に封止されている）ことを確認した。

5.2.4 配置

燃料電池及び測定器具を図 5.2-2 のように配置した。

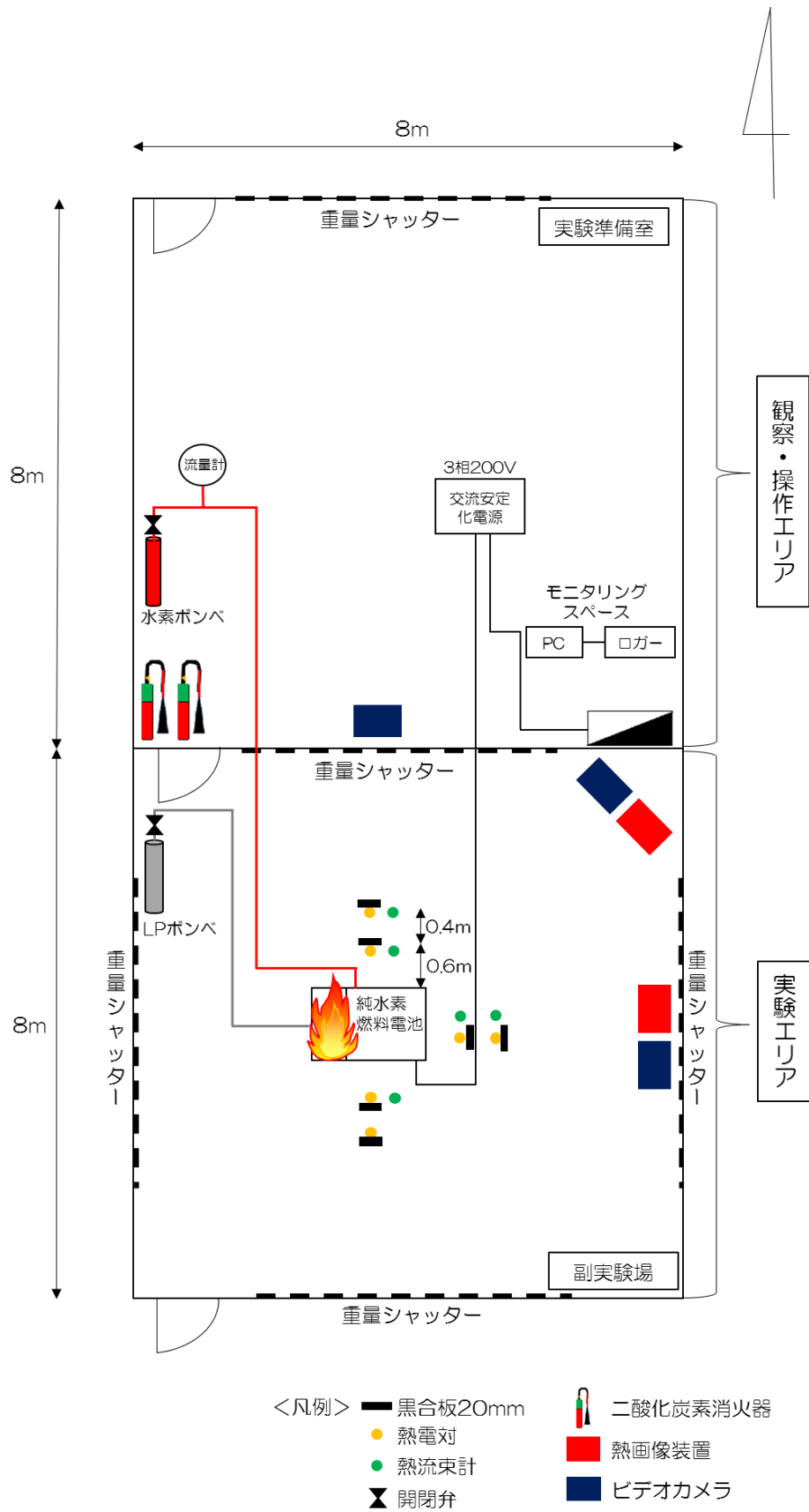


図 5.2-2 実験設備配置図

第3節 結果

5.3.1 目視観測

- (1) 目視観測結果を図 5.3-1 に示す。
- (2) 燃焼実験前後の外観を図 5.3-2 に示す。
- (3) 火炎に曝されても筐体は若干の歪み、塗装の剥離等が見られるのみで、大きな変形、熔融、亀裂等は見られなかった。内部の空気系、水系、電気系の樹脂類は熔融し焼損していた。
- (4) 純水素燃料電池スタックは周囲の樹脂類は熔融し黒くすすけていたが、スタック自体は原型を留めていた。

5.3.2 制御観測

- (1) 発電電力の推移を図 5.3-3 に示す。
- (2) 外部火炎により、純水素燃料電池が火災早期に速やかに異常を検出して発電を停止し、発電停止後は、純水素燃料電池に原料水素が継続的に供給されていないことを確認した。これは図 3.3-3 のフェイルセーフ設計における「①の安全装置正常時」の動作として、「温度異常」を検知し、「停止指令」が発令され、停止動作に入ったものである。
- (3) 燃料遮断弁は約 200°Cまで上昇したが、燃料遮断状態は維持された。
- (4) 水素ポンベのレギュレータ 2 次圧は約 0.1MPa で変化が見られず、水素ポンベから燃料遮断弁までの間に水素の漏えいは無かった。

5.3.3 各部の温度測定

- (1) 図 5.3-4 に周囲の温度及び熱流束の測定結果を示す。
- (2) 筐体から周囲 0.6m の位置での可燃物の表面温度は 60~70°Cであり、可燃物に火災面から有意な影響を与えることはなかった。

5.3.4 熱流束の測定

- (1) 図 5.3-5 に周囲 0.6m の位置での熱流束の結果を示す。
- (2) 筐体から周囲 0.6m の位置での熱流束計の測定値の結果は、定常時約 1kW/m²弱であり、木材発火の目安となる 10kW/m²より十分に低く、いずれの測定点でも、可燃物が着火するような熱的影響は見られなかった。
※ 測定データには、火炎の影響による熱流束も含まれる。

5.3.5 熱分布の立体的な測定

- (1) 図 5.3-6 に、正面側における加熱開始後、5、10、15 及び 20 分での熱画像を示す。
- (2) 加熱開始直後は、燃料電池上部の温度が高いが、15 分を超えたあたりから下部の温度が高くなる。加熱終了時の正面側の最高温度は約 250°Cに至った。

5.3.6 燃焼・出火状況の観測

- (1) 筐体の内部は樹脂部品の大半が燃焼し外部に煙は噴出するが、爆発的な燃焼、筐体外部への火炎の噴出はなく、外部に危害を及ぼさないことを確認した。
- (2) 筐体内にある水素配管の遮断弁から下流側に含まれていた水素は、筐体内に放出された。これらは爆発的な燃焼には至らなかった。

これらの結果から、純水素燃料電池が火炎に曝されると、水素供給を自動的に停止し、遮断状態は維持されるとともに、内部が燃焼しても、建築物から 0.6m 以上の距離を確保すれば延焼の危険性は低いと判断できる。

①点火 (0:00)



②発電量低下 (0:27)



・変形、溶融、亀裂
その他の損傷は見られなかった。

③エラー発報、発電量
ゼロ (0:54)



・変形、溶融、亀裂
その他の損傷は見られなかった。

④温度センサー作動、
燃料弁自動閉止
(1:38)



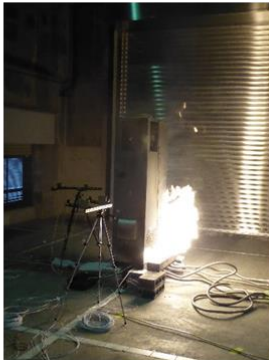
・右側面の排ガス換
気口から、白煙の噴
出が確認できた。

⑤5分経過 (5:00)



・右側面換気給気口
の樹脂部分が変形し
始めた。

⑥10分経過 (10:00)



・ラジエータ換気口
から白煙の噴出が確
認できた。

⑦15分経過 (15:00)



・すべての換気口、
管体の継ぎ目から白
煙の噴出が見られる。

⑧実験終了 (20:00)



・盤の変形及び火炎
に直接曝された部分
の損傷が見られた。
・内部で延焼が継続
していた。
・内部からの火炎の
噴出は見られなか
った。

図 5.3-1 目視観測結果 (時系列)



図 5.3-2 目視観測（実験前後の外観）

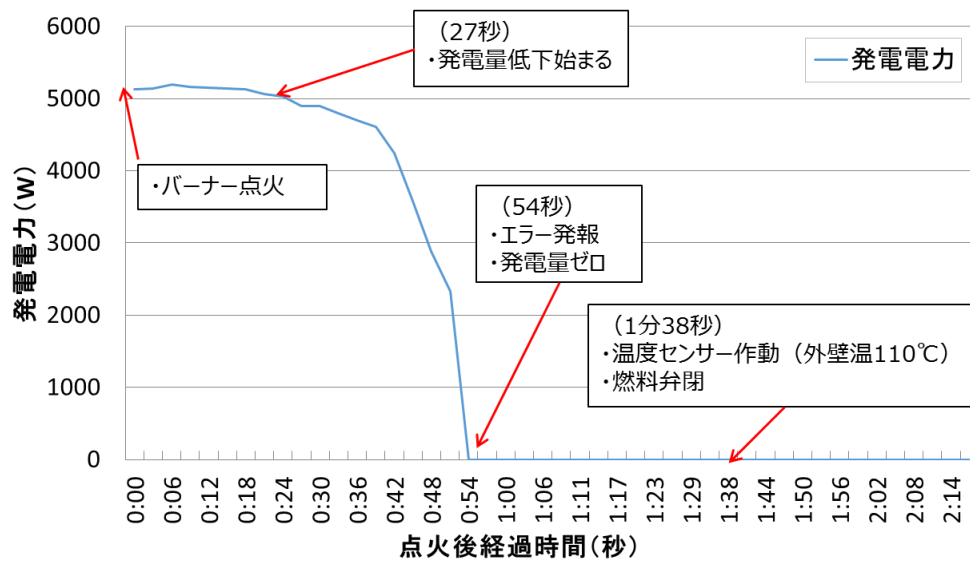
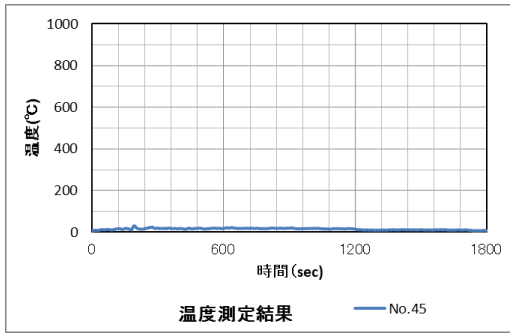
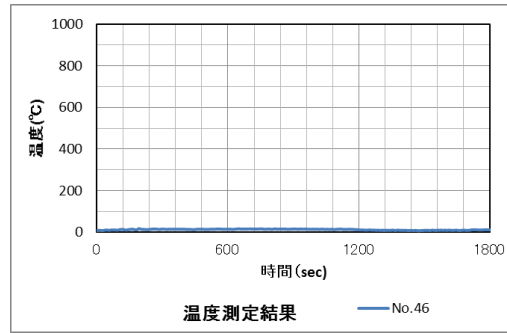


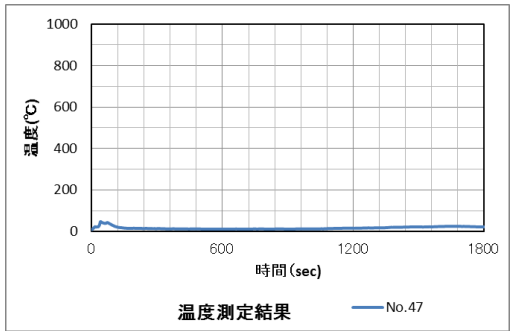
図 5.3-3 発電電力の推移



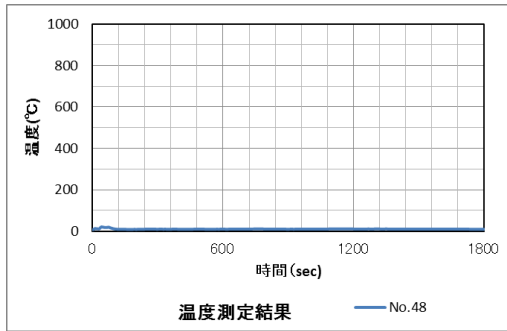
No. 45 右側面 0.6m での熱電対



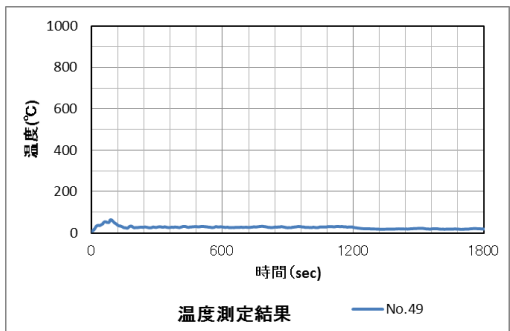
No. 46 右側面 1.0m での熱電対



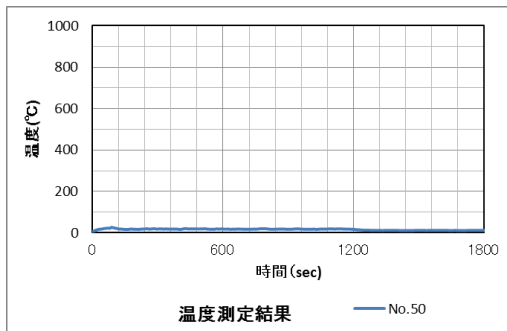
No. 47 正面 0.6m での熱電対



No. 48 正面 1.0m での熱電対



No. 49 左側面 0.6m での熱電対



No. 50 左側面 1.0m での熱電対

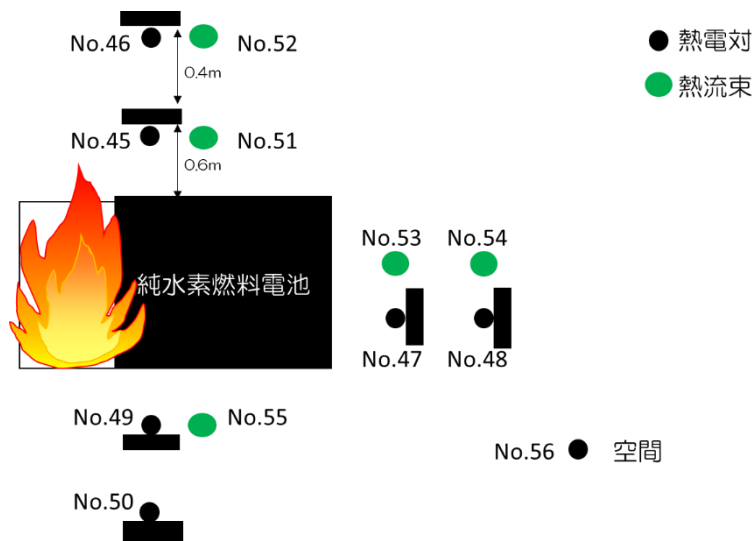
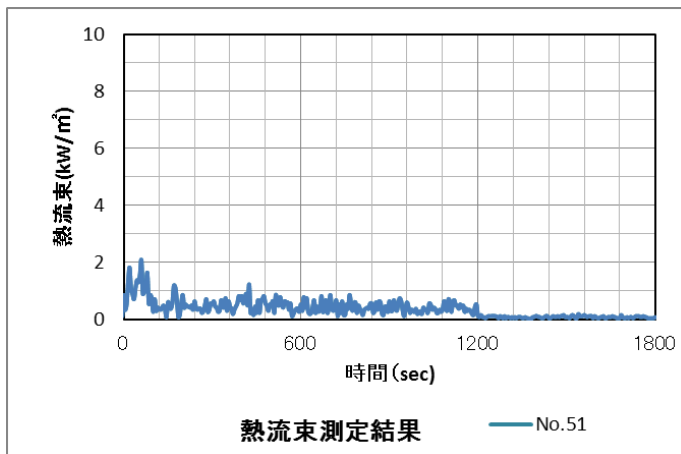
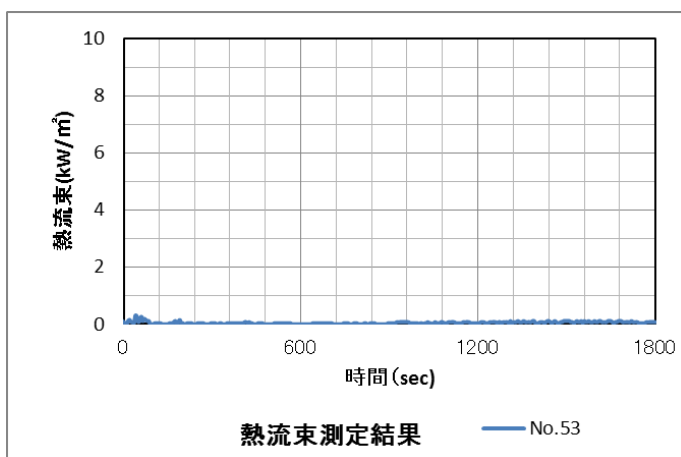


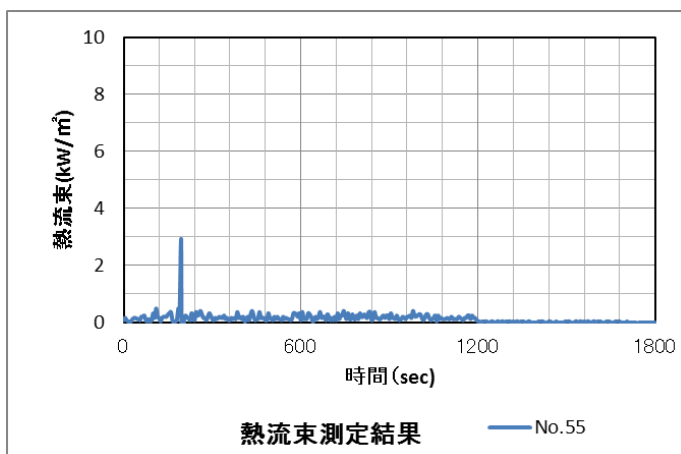
図 5.3-4 温度観測



No. 51
右側面 0.6m での熱流束



No. 53
正面側 0.6m での熱流束



No. 55
左側面 0.6m での熱流束

図 5.3-5 熱流束測定

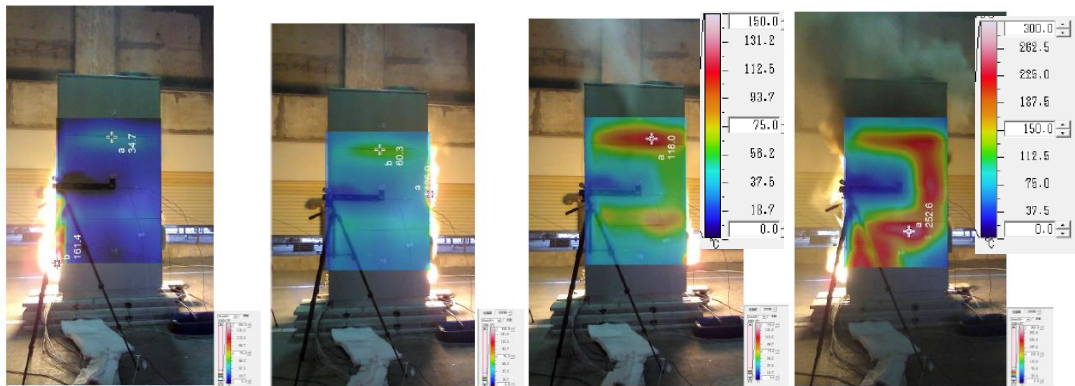


写真1 加熱開始後 5分
 写真2 加熱開始後 10分
 写真3 加熱開始後 15分
 写真4 加熱開始後 20分

図 5.3-6 熱分布測定

第4節 考察

- (1) No. 55 において、加熱開始直後 $3\text{kW}/\text{m}^2$ 程度の値を示しているが、これは加熱開始直後においては、排煙による気流の影響で火炎が倒れ気味となった影響を受けたものと考えられる。
- (2) 筐体内にある水素配管の遮断弁から下流側に包含されていた水素は、拡散又は燃焼したと推定される。
- (3) 純水素燃料電池が火炎で覆われても、延焼の危険性は低い理由を以下のように考える。
 - ア 水素の燃料弁として、2個直列に設置したフェイルクローズの電磁弁により、火災検知の際及び制御電力が喪失した場合でも継続的に純水素燃料電池に水素が供給されなかったこと。
 - イ 筐体材料は、全体の一部の開口部に用いられるものを除き、鋼板であったこと。
(純水素燃料電池内部で燃焼しても、純水素燃料電池の外部に対して、炎が漏れにくい)
 - ウ 純水素燃料電池内部にある可燃物量が少なかったこと。
(参考)
 - (ア) 保有水素量概算 3L
 - (イ) 可燃物量概算 23kg (全重量の 10%) (燃料電池スタックを除く)
 - (ウ) 開口部割合 8%、うち樹脂露出 1.5%

第5節 結論

実験結果のとおり、熱流束計の測定値は、木材が発火する目安値から十分低かった。

また、純水素燃料電池全体の可燃物量は、出力にほぼ比例すると考えられる。よって、燃焼実験で使用した出力 5kW の供試体を出力 10kW 未満に読み替えても、安全性は許容できる範囲とした。

さらに、単体出力 10kW 未満の純水素燃料電池を複数台設置し、全出力が 10kW を越える場合、以下の条件を満足すれば、製造者によらず、建築物との距離を 0.6m 以上にできると考えられる。

ただし、条件から著しく外れる場合には、今回の実験結果が適用できるか再考を要する。

- (1) 燃料電池のタイプは、固体高分子形であること。
- (2) 未反応ガスの処理方法は、希釈による排気ガス処理であること。
- (3) 筐体の材質については、耐食性のある鋼板(一部開口部に用いられるものを除く。)であること。
- (4) 保有水素量、可燃物量等は、以下を目安とすること。

ア 保有水素量	概ね 3L 未満
イ 可燃物量	概ね 10%未満(燃料電池スタックを除く)
ウ 開口部	筐体全体の概ね 8%未満
エ 開口部に用いる鋼板以外の部材	概ね 1.5%未満

- (5) 運転時に発生する排ガスは、空気との希釈により処理すること。
- (6) 火災時、純水素燃料電池への水素供給が安全に停止すること。

これらは、燃焼実験で使用した供試体の燃焼性状結果から得られた条件である。特に、上記の(6)については、「定置用小形燃料電池の技術上の基準及び検査の方法(共通認証基準)(一般社団法人日本電機工業会発行)」及び「ガス機器防火性能評定試験基準 固体高分子形及び固体酸化物形燃料電池式常用発電設備(発電出力 10kW 未満)(一般財団法人日本ガス機器検査協会発行)」又は「燃料電池システム防火性能検査基準(一般財団法人日本燃焼機器検査協会発行)」の基準を準拠することで満足される。

第6章 防火安全対策の提言

純水素燃料電池は都条例の対象とならないが、発電部分の構造は火を使用するものと同様であり、発電による出火や直接水素を使用することによる漏えい危険等が懸念される。

よって、純水素燃料電池の安全性を確保するためには、以下のような方策が必要である。

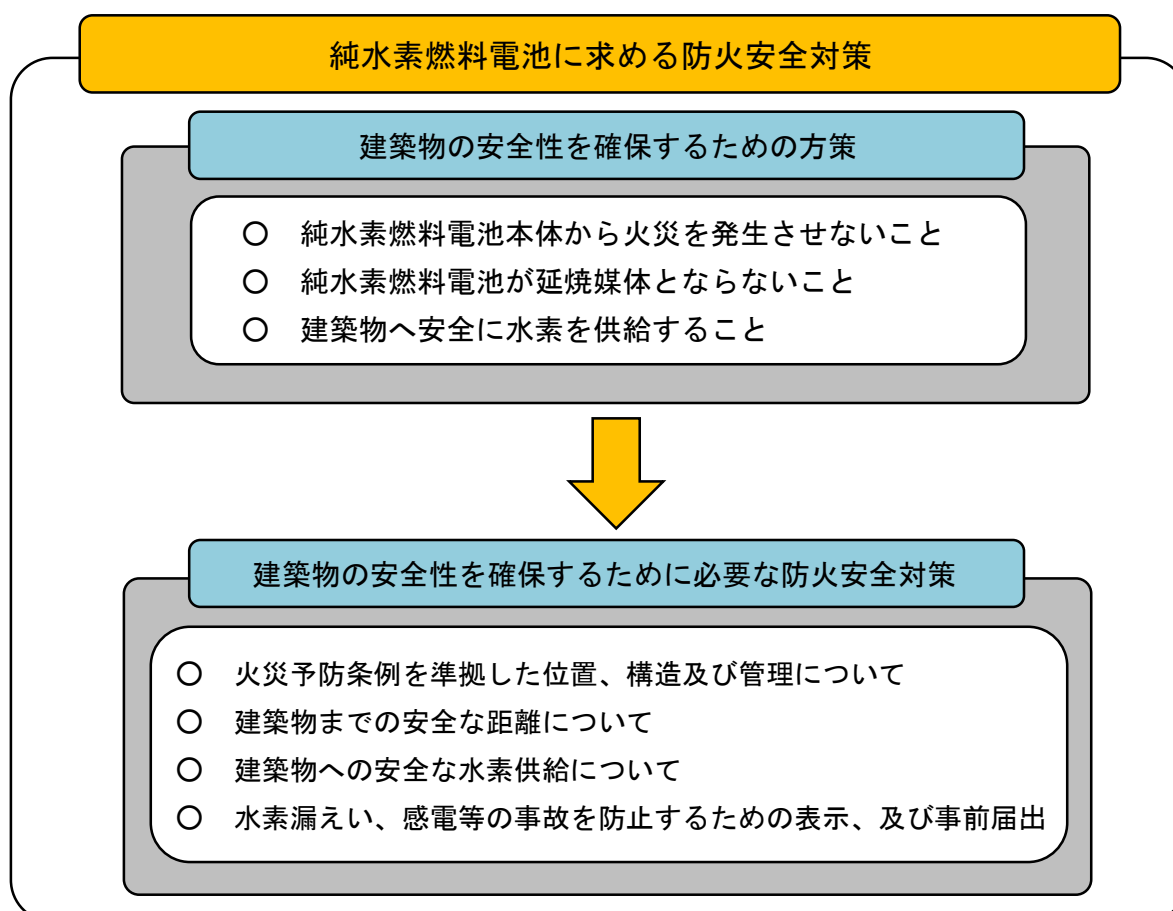
- 純水素燃料電池本体から火災を発生させないこと
- 周囲で発生した火災により、純水素燃料電池が延焼媒体とならないこと
- 建築物へ安全に水素を供給すること

これらを踏まえた防火安全対策として、

- 火災予防条例を準拠した位置、構造及び管理について
- 建築物までの安全な距離について
- 建築物への安全な水素供給について
- 水素漏えい、感電等の事故を防止するための表示、及び事前届出

について提言する。

また、これらにより策定された防火安全対策は業界の標準となるよう働きかける必要がある。



第1節 火災予防条例を準拠した位置、構造及び管理について

ハザード分析では、純水素燃料電池の潜在的ハザード及びハザードにより発生する事象を抽出し、それらの危険性を低減できる安全基準を整理した。その結果、火を使用する燃料電池と同等の安全性を確保するためには、火災予防条例を準拠した位置、構造及び管理について策定することが必要である。

第2節 建築物までの安全な距離について

燃焼実験で使用した供試体の燃焼性状の検証から、建築物と0.6m以上の距離を確保することで、純水素燃料電池本体が延焼媒体とならないことが確認できた。この近接した場所への設置が、実験で使用した供試体に類似する純水素燃料電池にも適用できるように、一定の条件を策定する必要がある。また、現行の火を使用する燃料電池の建築物との距離との整合性を図ることも考慮する必要がある。

第3節 建築物への安全な水素供給について

東京都内において高層建築物への都市ガスの供給は、ガス事業法、ガス業界の自主基準、消防機関の指導基準等の技術基準を満足することで供給設備の安全性を確保している。水素の供給設備についても、都市ガスの技術基準を参考とし、水素特有のリスクや、経済産業省などで行っている調査委託研究を加味した対策が必要である。

第4節 水素漏えい、感電等の事故を防止するための表示、及び事前届出

水素は火炎が無色で、発見が困難等の性状を有している。このため、水素漏えい等の災害が発生した場合は、早急な対応が必要であり、発見者が速やかに通報できるように、純水素燃料電池の近傍や防災センター等に緊急連絡先の表示が必要である。

現行の10kW以上の火を使用する燃料電池は、火災予防条例で感電等の事故を防止するため、標識の掲示や立入制限等を規定している。純水素燃料電池についても、発電部分については同様な危険性があることから、事故防止を図る対策が必要である。

また、災害時のみならず、常時、水素を使用している部分とその他の部分が区別できるように、純水素燃料電池本体や配管等への表示を求める必要がある。屋内に配管する場合は、パイプシャフト等の隠ぺい部にも表示が必要である。

策定する防火安全対策の確実な実施には、設備の関係者への周知に加えて、消防機関も設備情報をあらかじめ把握する必要がある。万が一災害が発生した場合でも、消防隊が早期に対策を樹立し、被害の拡大防止を図るため、関係者に消防機関へ事前に情報提供してもらう必要がある。

第7章 まとめ及び今後の課題

第1節 まとめ

各種の検討結果について、以下にまとめを示す。

- (1) 今回の防火安全対策が各業界で自主的に取り組まれることが望まれる。
- (2) 東京2020大会で設置される純水素燃料電池及び水素供給設備に防火安全対策が確実に講じられることが望まれる。
- (3) 消防機関が事前の届出等により設備に関する情報をあらかじめ確実に把握するための措置を講じる必要がある。
- (4) 水素漏えい等の災害に適切に対応できるよう、消防機関において水素ガス測定器等の資器材の配置や消防活動基準の見直し等消防活動上の対策を講じる必要がある。

第2節 今後の課題

以下に今後の課題を示す。

- (1) 出力が10kW以上の純水素燃料電池について、今後の普及に合わせて、距離を縮める場合の条件の整理
- (2) 水素導管についての今後の動向を踏まえての検討
- (3) 固体高分子形(PEFC)以外の純水素燃料電池の普及に合わせた防火安全対策の検討