

## 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）

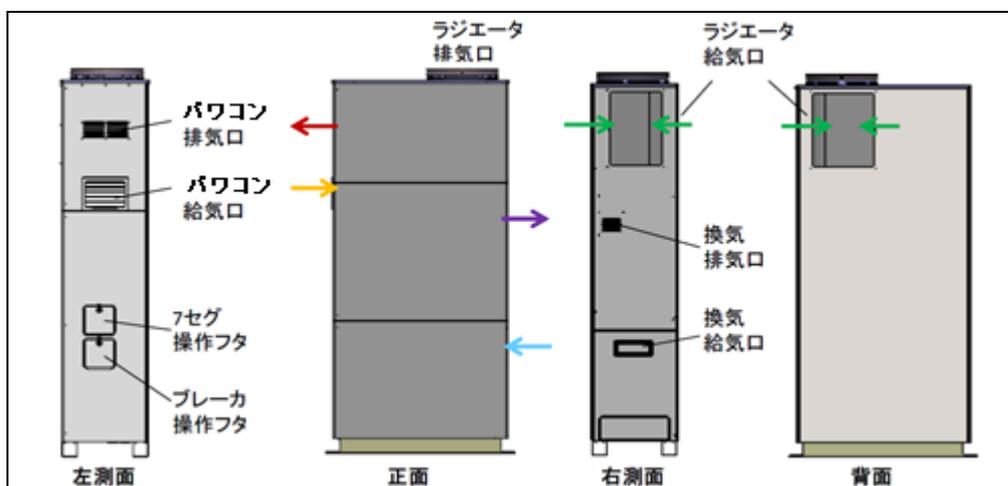


図 5.2-1 純水素燃料電池の仕様

#### 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。



### 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/m<sup>2</sup>弱であり、木材発火の目安となる 10kW/m<sup>2</sup>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  
の樹脂部分に変形し  
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）

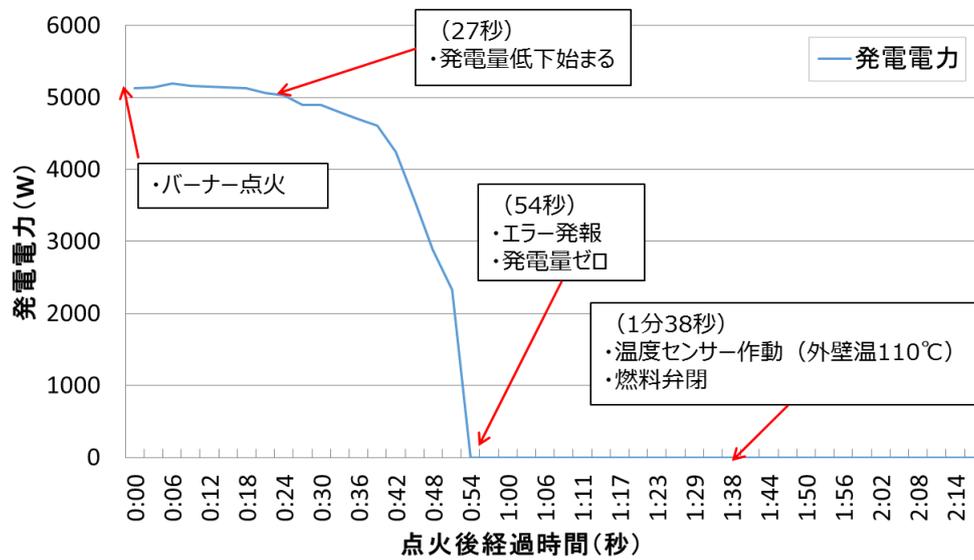
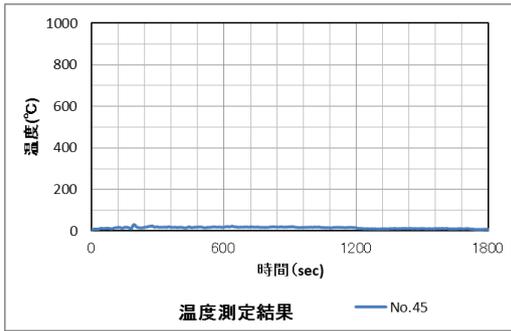
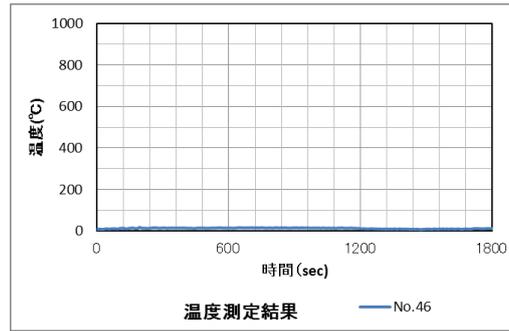


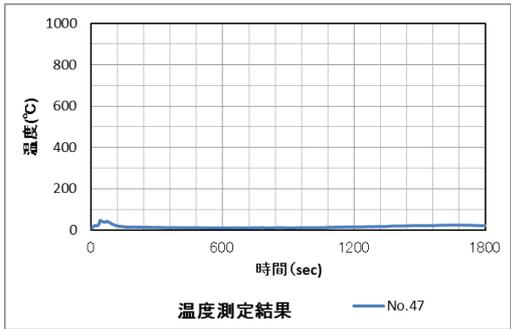
図 5.3-3 発電電力の推移



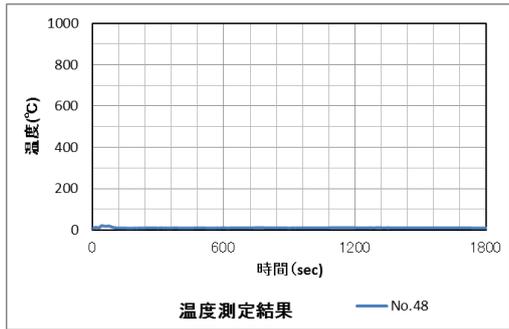
No. 45 右側面 0.6m での熱電対



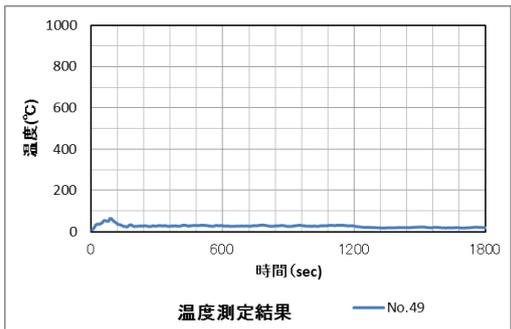
No. 46 右側面 1.0m での熱電対



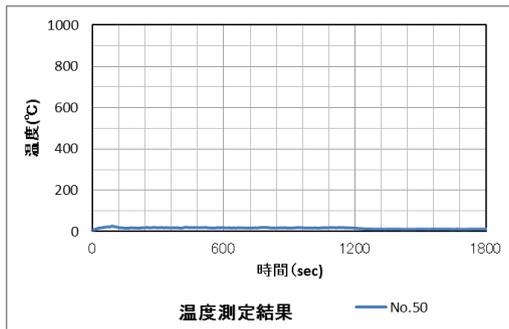
No. 47 正面 0.6m での熱電対



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

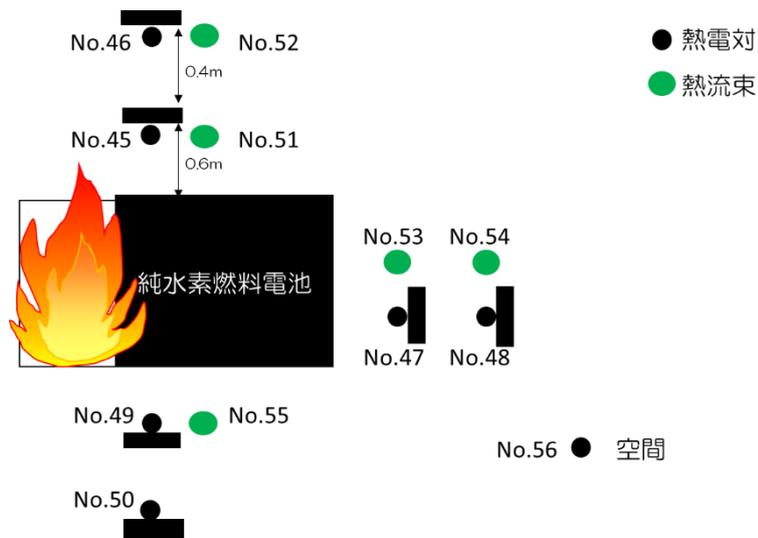
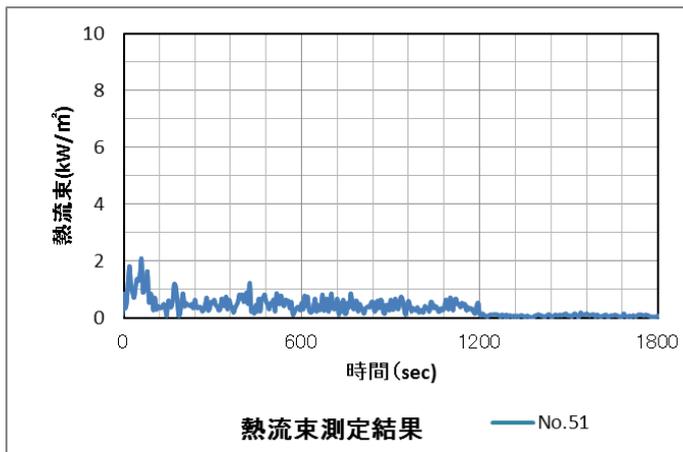
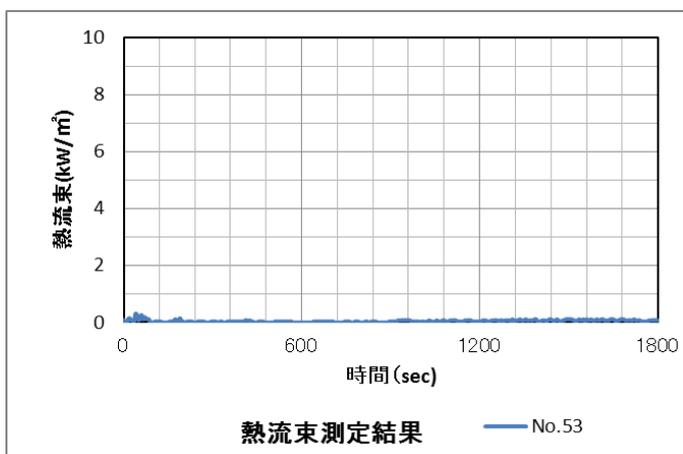


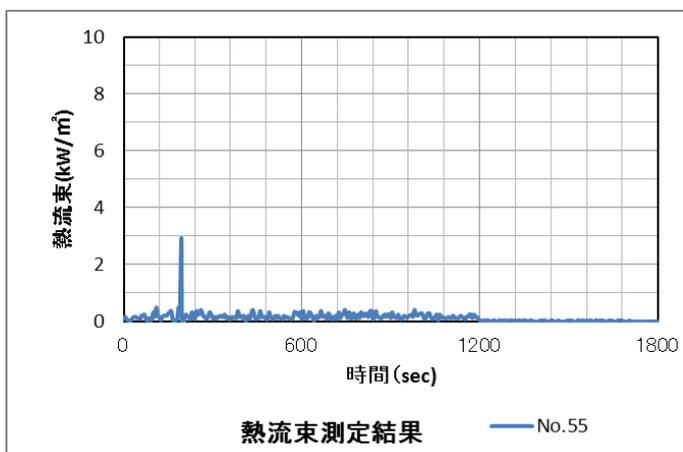
図 5.3-4 温度観測



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

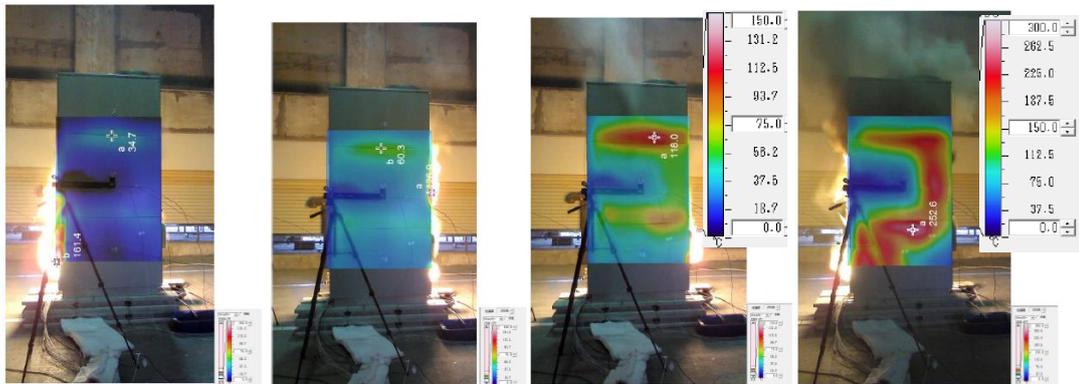


写真1 加熱開始後 5分  
 写真2 加熱開始後 10分  
 写真3 加熱開始後 15分  
 写真4 加熱開始後 20分

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。

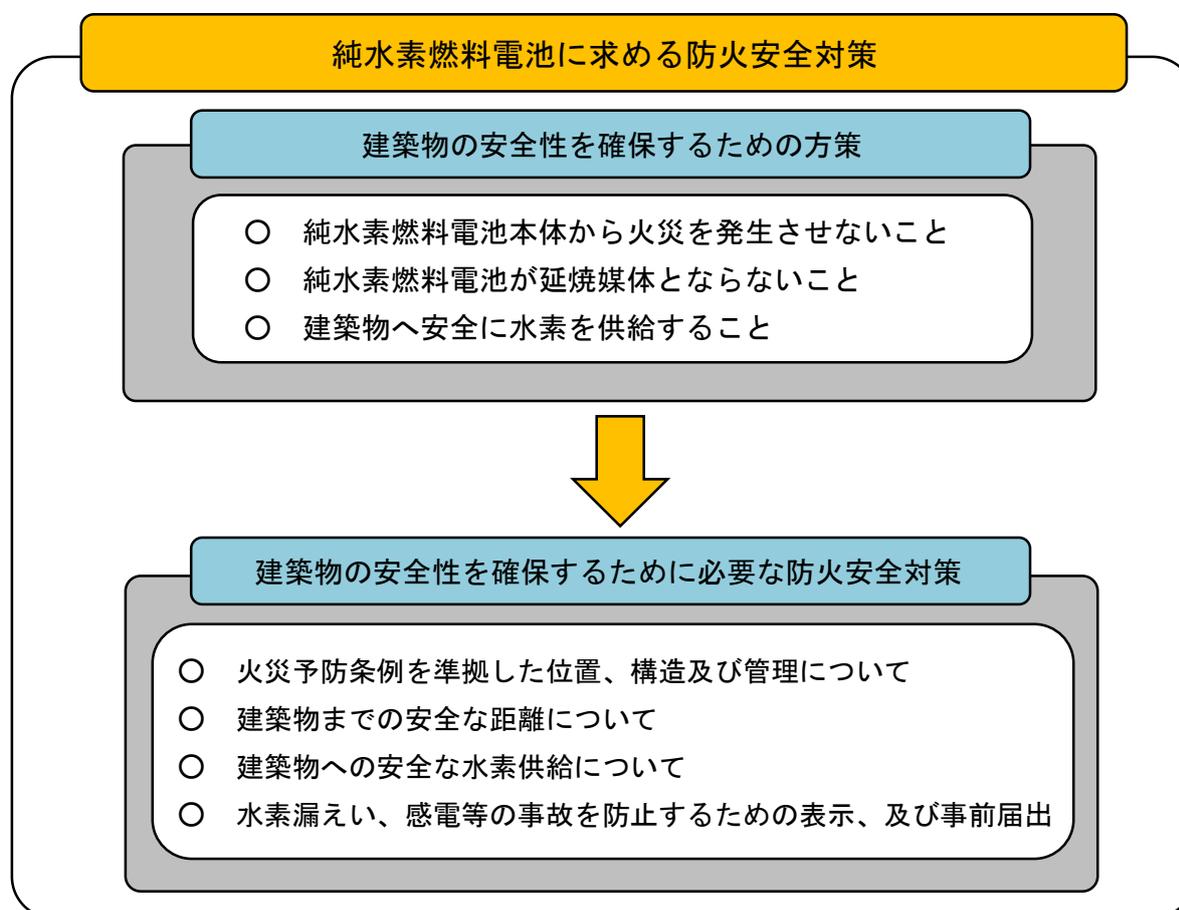
- 純水素燃料電池本体から火災を発生させないこと
- 周囲で発生した火災により、純水素燃料電池が延焼媒体とならないこと
- 建築物へ安全に水素を供給すること

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