

平成 30 年度水素導管供給システムの安全性評価事業  
(総合調査)

調 査 報 告 書

平成 31 年 3 月

一般社団法人 日本ガス協会

# 目 次

## I. 調査概要

|                      |   |
|----------------------|---|
| 1. 背景と目的             | 1 |
| 2. 調査実施概要            | 1 |
| 3. 調査実施体制            | 2 |
| 4. 調査内容              | 7 |
| 4. 1 付臭措置に関する技術調査    | 7 |
| 4. 2 水素検知センサに関する技術調査 | 7 |
| 4. 3 他調査の実施者に対する助言等  | 7 |
| 4. 4 委員会の設置、運営       | 7 |

## II. 調査結果

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1. 付臭措置に関する技術調査          | 8  |
| 1. 1 調査の概要               | 8  |
| 1. 2 調査の進め方              | 8  |
| 1. 3 燃料電池性能への影響調査        | 9  |
| 1. 3. 1 A社（単セル）試験        | 9  |
| 1. 3. 2 B社（燃料電池システム）試験   | 11 |
| 1. 3. 3 まとめ              | 14 |
| 1. 4 排気臭気への影響調査          | 14 |
| 1. 4. 1 B社（燃料電池システム）試験   | 14 |
| 1. 4. 2 まとめ              | 16 |
| 1. 5 付臭措置に関する技術調査のまとめ    | 16 |
| 2. 水素検知センサに関する技術調査       |    |
| 2. 1 調査の概要               | 17 |
| 2. 2 調査の進め方              | 17 |
| 2. 3 雨水や地下水変動による水没可能性の調査 | 18 |
| 2. 3. 1 雨水による浸水影響調査      | 18 |
| 2. 3. 2 地下水位変動による影響調査    | 25 |
| 2. 3. 3 まとめ              | 27 |
| 2. 4 ハンドホール構造での対策検討      | 28 |
| 2. 4. 1 ハンドホール内設置時の課題と対策 | 28 |
| 2. 4. 2 システム運用上の課題       | 30 |
| 2. 4. 3 まとめ              | 31 |

|         |                       |    |
|---------|-----------------------|----|
| 2. 5    | 他の構造（二重管構造）での対策検討     | 31 |
| 2. 5. 1 | 水素検知センサの要件・目安値整理と適用可否 | 32 |
| 2. 5. 2 | システム運用上の課題            | 34 |
| 2. 5. 3 | まとめ                   | 35 |
| 2. 6    | 水素検知センサに関する技術調査のまとめ   | 36 |
| 3.      | 他調査の実施者に対する助言等        |    |
| 3. 1    | 地中および大気中の水素拡散挙動調査     | 37 |
| 3. 2    | 水素導管の大規模損傷リスク評価       | 37 |
| 4.      | 委員会の設置、運営             |    |
| 4. 1    | 特別専門委員会               | 39 |
| 4. 2    | 推進ワーキンググループ           | 39 |
| 5.      | 謝辞                    | 40 |

# I. 調査概要

## 1. 背景と目的

平成 29 年 12 月に開催された「第 2 回再生可能エネルギー・水素等閣僚会議」において、世界に先駆けて水素社会を実現するための「水素基本戦略」が決定され、国内での水素の大量輸送手段として、将来的にコスト・環境性の両面からパイプラインが有力となる可能性があると記載された。また、平成 30 年 7 月に閣議決定された「第 5 次エネルギー基本計画」では、2030 年、2050 年に向けたエネルギー政策の基本的な方向性が示されており、水素社会実現に向けては、上述の水素基本戦略に基づき実行していくと記載されている。

近年では、各自治体や民間企業による「貯蔵」・「輸送」・「利用」も含めた本格的な水素サプライチェーンの構築を目指した実証プロジェクトが各地で実施されており、2020 年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会における選手村および選手村跡地での水素利活用に向けた計画も着々と進んでいる状況にある。

そのような中、水素のパイプライン供給に関する取り組みは、過去に水素供給に関連する調査事業として、地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査「水素供給システム安全性技術調査事業」（平成 17 年度～平成 19 年度）、「水素漏えい検知技術調査事業」（平成 18 年度～平成 20 年度）及び「水素ネットワーク構築導管保安技術調査事業」（平成 23 年度～平成 27 年度）等が実施され、それらを通じて基礎的な技術調査（主に設計・施工面）は完了している。

平成 28 年度以降は、より実用面を考慮し、水素社会システムを想定した際の水素供給の安全性に関する評価のため、「水素導管供給システムの安全性評価事業」（以下、「本調査」という。）を実施しており、水素導管供給システムを実際に運用していく際の維持管理上の課題について、技術調査等を通じて安全かつ合理的な維持管理方法を明らかにすることにより、水素ガスの工作物の技術基準の整備に資することを目的としている。

## 2. 調査実施概要

本調査事業は、近年、実用化が想定される水素導管の供給形態を見据え、想定される新設の中低圧水素導管供給システムを構成する要素を整理し、その安全を確保するための手法や保安のレベルのあり方等を検討することにより、水素ガスの工作物の技術基準の整備に資することを目的としている。

水素導管供給システムを運用する上で、万が一水素が導管から漏えいした場合の保安を確保するため、都市ガスと同様に付臭措置又はそれに代わる付臭代替措置（漏えい検知装置の設置等）を講じる必要がある。

そのため本調査では、水素導管供給システムにおける水素漏えい検知手法として、付臭措置又は付臭代替措置（水素検知センサによる漏えい検知）の適用可否の検討に資する調査を実施した。

また、水素導管供給システムを実際に運用していく際に必要な維持管理について、安全かつ合理的な方法を明らかにし、水素ガスの工作物の技術基準の整備に資するため、平成 30 年度に実施

された「平成 30 年度水素導管供給システムの安全性評価事業（維持管理工法の水素適用性評価（地中及び大気中の水素拡散挙動調査）」及び「平成 30 年度水素導管供給システムの安全性評価事業（水素導管の大規模損傷リスク評価）」（以下「他調査」という。）の実施者に対して必要な助言等を行うとともに、他調査を含む本調査事業を効率的かつ円滑に実施するため、専門家からなる委員会を設置し、水素導管供給システムの安全性評価全体の事業の計画、進捗及び成果について評価等を実施した。

### 3. 調査実施体制

本調査実施にあたっては、日本ガス協会内に設置した事務局組織（天然ガス普及ユニット水素技術開発グループ）を中心に、都市ガス事業で培われたガス導管供給に関する専門的な知見を生かし、水素導管供給システムの安全性評価事業全体（他調査を含む）を運営した。また、事業運営に関しては、円滑な進捗のため、適宜、各調査の進捗状況の確認を行いつつ、調査計画策定から最終的な取りまとめの方向性に対する助言を行った。

調査事業の成果に関しては、「水素導管供給システムの安全性評価事業 特別専門委員会」（以下、委員会とする）を設置し（委員の選任を含む）、学識経験者、各調査分野の専門家、ガス事業者等との協議を経た取りまとめを行った。

また、上記委員会の下部組織として「推進ワーキンググループ」を設け、委員会が効率的に運営できるよう、各調査の計画及び進捗状況等について、適宜確認を行った。

図 1. 3. 1 に事業全体の調査実施体制、図 1. 3. 2 に日本ガス協会内の調査実施体制を示し、表 1. 3. 1 ～ 1. 3. 3 には委員会等の名簿を示す。

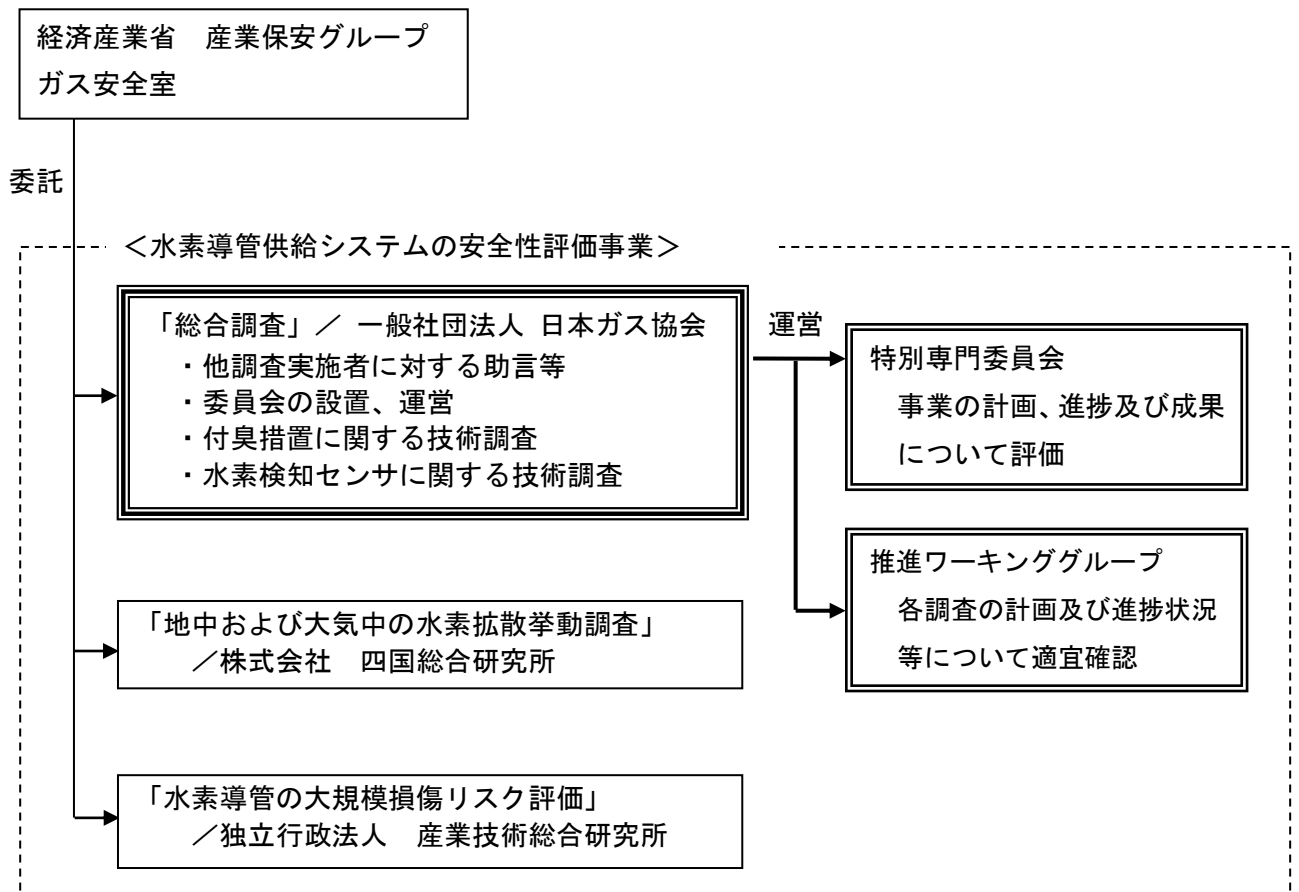


図 1. 3. 1 調査実施体制（全体関連図）

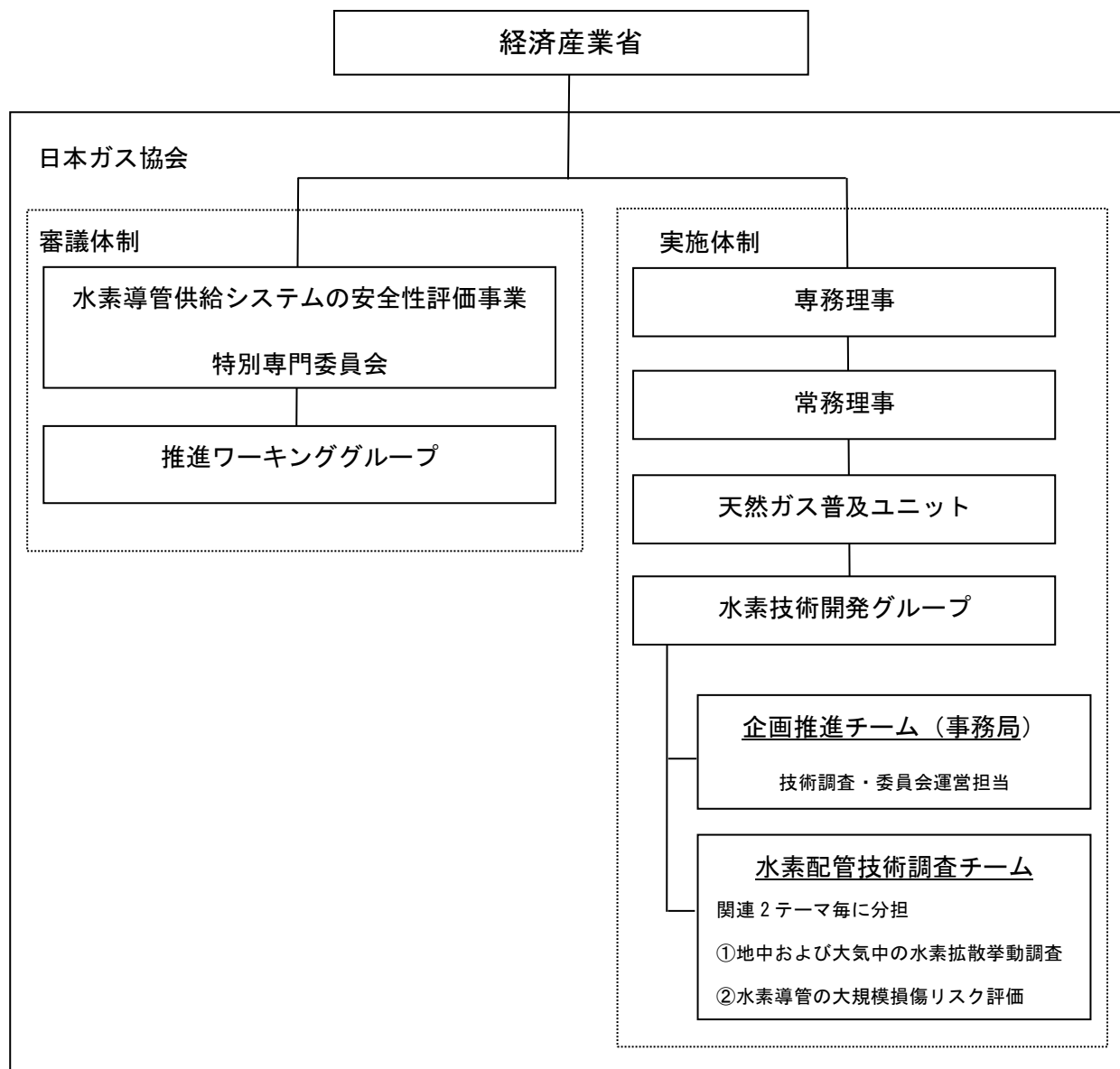


図 1. 3. 2 調査実施体制（日本ガス協会）

表 1. 3. 1 水素導管供給システムの安全性評価事業 特別専門委員会名簿

|     |                              |                                         |
|-----|------------------------------|-----------------------------------------|
| 委員長 | 倉淵 隆                         | 東京理科大学工学部建築学科 教授                        |
| 委 員 | 石原 達己                        | 九州大学 大学院 工学研究院 応用化学部門 教授                |
|     | 岩本 薫                         | 東京農工大学 大学院 工学府 機械システム工学専攻 教授            |
|     | 笠井 尚哉                        | 横浜国立大学 環境情報研究院 准教授                      |
|     | 西崎 邦博                        | 東京ガス株式会社 基盤技術部長                         |
|     | 石井 義章                        | 大阪ガス株式会社 理事 導管事業部 供給部長                  |
| 関係者 | 田村 厚雄                        | 経済産業省 産業保安グループ ガス安全室<br>ガス安全室長          |
|     | 義経 浩之                        | 経済産業省 産業保安グループ ガス安全室<br>ガス・熱供給保安担当補佐    |
|     | 堀越 裕太郎                       | 経済産業省 産業保安グループ ガス安全室<br>技術担当補佐          |
|     | 中嶋 正登                        | 経済産業省 産業保安グループ ガス安全室<br>ガス・熱供給事故分析・対策係長 |
|     | 志村 泉                         | 経済産業省 産業保安グループ ガス安全室<br>技術係長            |
|     |                              |                                         |
| 事務局 | 日本ガス協会 天然ガス普及ユニット 水素技術開発グループ |                                         |



表 1. 3. 2 推進ワーキンググループ名簿

|      |        |            |            |            |       |
|------|--------|------------|------------|------------|-------|
| リーダー | 今井 和哉  | 日本ガス協会     | 天然ガス普及ユニット | 水素技術開発グループ | マネジャー |
| メンバー | 富永 隆一  | 日本ガス協会     | 天然ガス普及ユニット | 水素技術開発グループ |       |
|      | 山崎 修一  |            | 同          | 上          |       |
|      | 岩下 伸輔  |            | 同          | 上          |       |
|      | 中山 歩   |            | 同          | 上          |       |
| 事務局  | 日本ガス協会 | 天然ガス普及ユニット | 水素技術開発グループ | 企画推進チーム    |       |

表 1. 3. 3 日本ガス協会 天然ガス普及ユニット 水素技術開発グループ名簿（事務局）

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| 技術開発部長           | 正田 一貴                  |
| 水素技術開発グループ マネジャー | 今井 和哉                  |
| 企画推進チーム          | 横山 光雄、重松 佑亮、田川 滋、丸山 真弓 |
| 水素配管技術調査チーム      | 富永 隆一、山崎 修一、岩下 伸輔、中山 歩 |

## 4. 調査内容

### 4. 1 付臭措置に関する技術調査

水素導管供給システムにおける付臭剤の候補として考えられるシクロヘキセンを含有する水素を、脱臭せずに燃料電池にて使用した場合を想定し、燃料電池性能（電圧）への影響及び排気臭気への影響について、実験により調査を行った。

### 4. 2 水素検知センサに関する技術調査

付臭を代替するガス漏えいの検知措置として、水素検知センサを地中部へ埋設して漏えい検知を行う場合を想定し、その埋設環境に応じた地下水や雨水による影響の調査を行った。また、埋設された検知装置の水没がありうる環境下においても、水素検知センサを長期間にわたり保護することができる構造面の対策について調査・検討を行った。

### 4. 3 他調査の実施者に対する助言等

日本ガス協会内に、検討のための組織（天然ガス普及ユニット 水素技術開発グループ 企画推進チーム及び水素配管技術調査チーム）を設置し、調査テーマ毎に配置された各分野に精通したメンバーが、他調査の実施者と必要に応じ協議、助言等の連携を図りながら、本事業を実施・推進した。この際、他調査の実施者との協議・連携を効率的・効果的に推進するために「連携会議」を設け、適宜開催し業務を遂行した。

### 4. 4 委員会の設置、運営

水素導管供給システムの安全性評価事業を効率的かつ円滑に実施するため、水素の拡散や燃焼、安全性等に係る学術的及び実務的に精通した専門家を選任、委嘱し、その専門家から構成される水素導管供給システムの安全性評価事業特別専門委員会（以下、本委員会という。）を設置した。

なお、本委員会においては、他調査を含めた事業全体を対象とした調査計画・進捗についての助言、そして、その調査結果に対する評価を実施した。

本委員会の運営は、日本ガス協会内に設置する「天然ガス普及ユニット 水素技術開発グループ 企画推進チーム」において実施した。また、本委員会の下部組織として「推進ワーキンググループ」を設置し、各調査の進捗および結果など情報の共有化することでの事業者間の連携強化、各調査の取りまとめに関する方向性の調整等を実施した。

## Ⅱ．調査結果

### 1．付臭措置に関する技術調査

#### 1. 1 調査の概要

水素導管供給システムを運用する上で、万が一水素が導管から漏えいした場合の保安を確保するため、都市ガスと同様に付臭措置を講じる必要がある。そこで本調査では、過去の漏えい検知方法に関する調査として実施した経済産業省委託による技術調査事業<sup>※1</sup>において、水素用付臭剤の最有力であると確認されたシクロヘキセン（非硫黄系付臭剤）について、未確認事項である、脱臭せずに燃料電池にて使用した場合の燃料電池性能への影響および排気臭気への影響に関する調査を実施した。

昨年度（平成 29 年度）は、既往研究や文献調査を実施し、性能および排気臭気への影響がない可能性が示唆された。今年度は、市販または開発中の燃料電池システム（または本システムに使用されている燃料電池セル）を用いた試験を実施し、性能への初期の影響および排気臭気への影響について確認し、脱臭装置なしでの長期運転の可能性について評価を行った。

※1 経済産業省委託事業 地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査「水素漏えい検知技術調査事業」（平成 18 年度～平成 20 年度）

#### 1. 2 調査の進め方

市販または開発中の家庭用純水素型燃料電池システムとして、2 社（A 社、B 社）の家庭用純水素型燃料電池システムを選定し、A 社については、開発中の燃料電池システムに使用されている単セルにて試験を実施し、B 社については、開発中の燃料電池システムにて試験を実施した。

試験条件として、表 1. 2. 1 に示す通り、水素中のシクロヘキセン濃度 3 条件設定し、脱臭せずに燃料電池セル又はシステムにて運転を行った。本調査では、性能への初期の影響を調査することを目的とするため、運転時間は 10 時間程度とし、燃料電池性能への影響評価として電圧低下の挙動の確認、および排気臭気への影響評価として排気ガスの分析（B 社のみ）を行った。なお、シクロヘキセンによる燃料電池性能への影響を確認するため、シクロヘキセンを含有する水素による運転を行う前に、出力電圧を安定させてから試験を行った。

表 1. 2. 1 試験条件（シクロヘキセン濃度）

|      |                      |                                                                            |
|------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 条件 1 | 0ppm（純水素運転）          | リファレンスデータとして設定                                                             |
| 条件 2 | 100ppm               | ガス事業法で定められている臭気とするためのシクロヘキセンの最低濃度（61.5ppm <sup>※2</sup> ）を基に、実運用の際に想定される濃度 |
| 条件 3 | 150ppm <sup>※3</sup> |                                                                            |

※2 経済産業省委託事業 地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査「水素漏えい検知技術調査事業」（平成 18 年度～平成 20 年度）にてシクロヘキセンの臭気閾値が 61.5ppb であることを整理。ガス事業法にて定められている「ガスの吸気中の混合容積比率が 1/1,000 である場合に臭気の有無が感知できること」を満たす最低濃度は 61.5ppm となる。

※3 北九州水素タウン実証（平成 21 年度～）での運用濃度

### 1. 3. 1 A 社（単セル）試験

#### （1）試験方法

開発中の家庭用純水素型燃料電池システムに使用されている単セルにて試験を実施した。図 1. 3. 1 に評価に用いた単セル（評価治具）を示す。

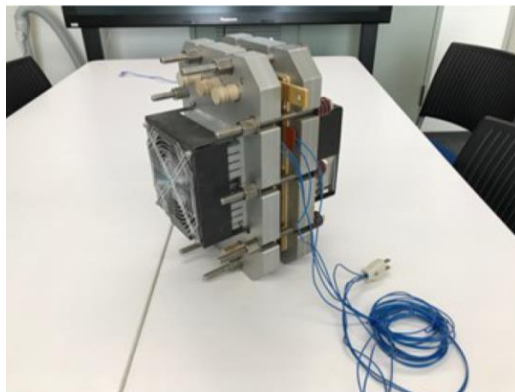


図 1. 3. 1 評価用単セル（評価治具）

試験は、A 社と協議の上、以下の手順で行った。

- ①純水素運転（シクロヘキセン 0ppm）で、4 時間発電・1 時間停止を繰り返し行い、電圧安定を確認する。
- ②12 時間連続発電し、4 時間時点の電圧を測定することで、純水素運転（0ppm）時の電圧値とし、発電を停止する。
- ③100ppm または 150ppm のシクロヘキセンを水素に混入させて、再度発電。4 時間発電・1 時間停止を繰り返し行い、電圧安定を確認する。
- ④12 時間連続発電し、4 時間時点の電圧を測定することで、シクロヘキセン添加時の電圧値とし、発電を停止する。
- ⑤シクロヘキセンの添加を止め、純水素運転（0ppm）で、再度発電。4 時間発電・1 時間停止を繰り返し行い、電圧安定を確認する。
- ⑥12 時間連続発電し、4 時間時点の電圧を測定することで、純水素による再運転後の電圧値とする。

以上の試験により、②と④の電圧を比較することでシクロヘキセンによる電圧への影響を確認し、②と⑥の電圧を比較することで電圧低下の可逆性（純水素運転により電圧が回復するか）を確認する。なお、評価指標として、計測器の公差を考慮して「 $\pm 2\text{mV}$  以上の電圧変化は有意差あり」とし、シクロヘキセンによる影響と判断した。図 1. 3. 2 に試験方法のイメージ図を示す。

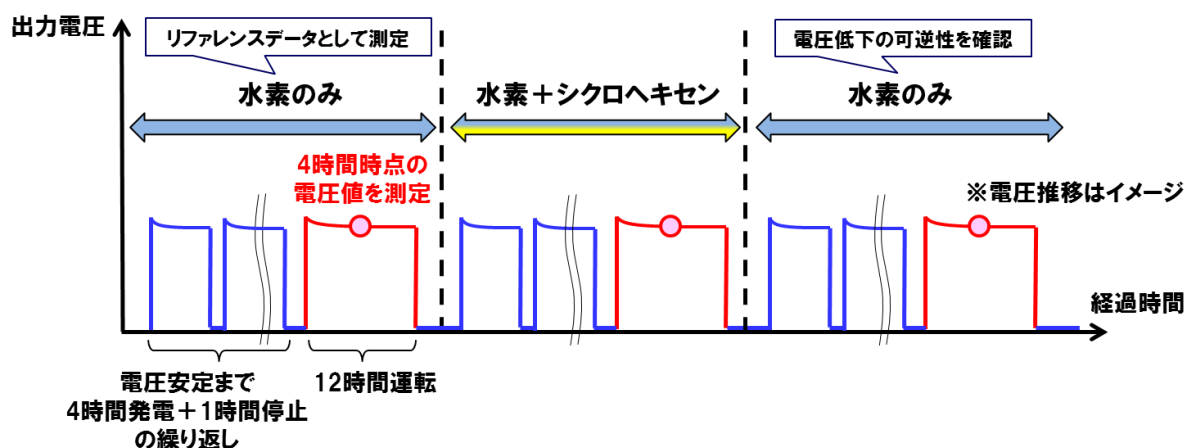


図 1. 3. 2 試験方法イメージ図 (A 社)

## (2) 試験結果

試験結果として、それぞれの各濃度における電圧への影響を表 1. 3. 1 に示す。シクロヘキセン添加後の電圧への影響について、100ppm では 9mV、150ppm では 15mV の電圧低下（純水素運転時との電圧差）があり、脱臭なしで運転を行った場合、初期の影響があることを確認した。また、純水素による再運転後についても、100ppm では 4mV、150ppm では 7mV の電圧低下があり、純水素運転では、電圧が元には戻らないことを確認した。

表 1. 3. 1 試験結果（電圧への影響）

|        | シクロヘキセン添加後の影響<br>(②と④の比較) | 純水素による再運転後の影響<br>(②と⑥の比較) |
|--------|---------------------------|---------------------------|
| 100ppm | 9mV の電圧低下                 | 4mV の電圧低下                 |
| 150ppm | 15mV の電圧低下                | 7mV の電圧低下                 |

100ppm での試験における 12 時間運転時の電圧低下の経時変化を図 1. 3. 3 に示す（図には、追加検討として試験を実施した 300ppb での試験結果も示す）。12 時間運転の開始数十分程度で純水素運転時との電圧差が発生しているが、12 時間まで運転を継続しても電圧差は拮がらないことを確認した。

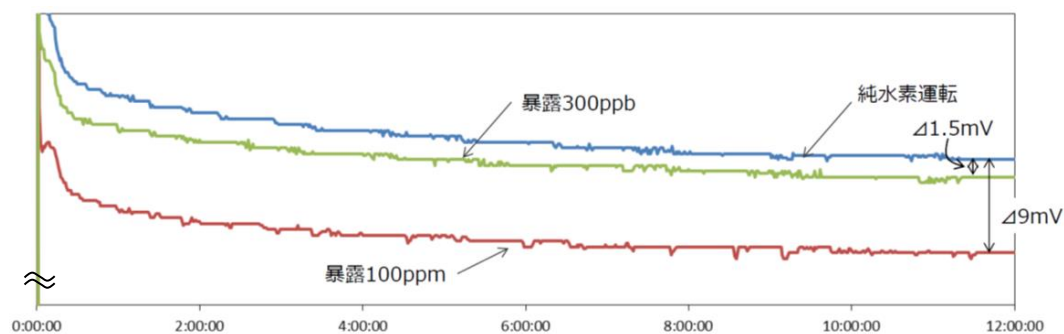


図 1. 3. 3 電圧低下の経時変化

### (3) まとめ

初期の性能への影響として、純水素運転では発生しない電圧低下があるものの、その電圧低下は、下記の式から計算される初期電圧（Vc）約 800mV の 1～2%程度であること、また、数十分程度で純水素運転時との電圧差が発生して以降、12 時間まで運転を継続しても電圧差は広がらないことから、10 時間程度の運転では、運転ができなくなるほどの電圧低下は発生しないことを確認した。ただし、シクロヘキセンの添加を止めて純水素のみを供給した場合でも電圧は完全には戻っていないことから、シクロヘキセンの被毒が蓄積する不可逆な劣化が発生する可能性が示唆された。

$$\text{約 55\%LHV(システム効率)} = \frac{V_c(\text{電圧})}{1.25V(\text{理論セル電圧})} \times \text{約 99\%}(\text{水素利用率}) \times 90\%(\text{インバータ効率})$$

## 1. 3. 2 B 社（燃料電池システム）試験

### (1) 試験方法

開発中の 700W の家庭用純水素型燃料電池システムにて試験を実施した。図 1. 3. 4 に評価に用いた 700W 純水素型燃料電池システムを示す。また、本システムでは、水素リサイクルラインが設けられており、電池スタックで使用されなかった水素は、水素リサイクルラインを循環し、途中に設置された水素ブリード弁を定期的にかけてパージ（排気）している。水素リサイクルラインを表したイメージ図を図 1. 3. 5 に示す。



図 1. 3. 4 700W 純水素型燃料電池システム

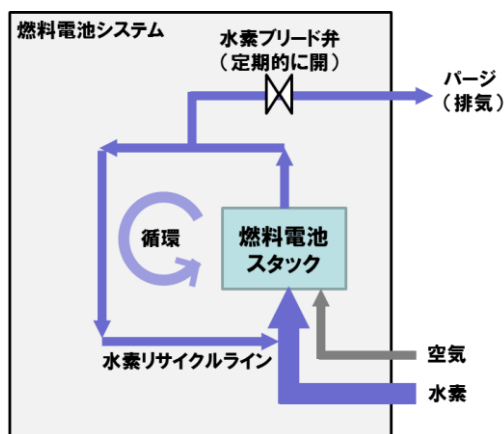


図 1. 3. 5 システム構成イメージ図

試験は、B 社と協議の上、以下の手順で行った。

- ①純水素運転で 10 時間以上の発電データを取得する。
- ②運転を継続したまま、シクロヘキセン混入水素ポンベに切り替え、8 時間以上の発電データを取得する。
- ③水素リサイクルラインに設置の水素ブリード弁を常時開とし、2 時間程度の発電データを取得する。
- ④運転を継続したまま、再度純水素運転に切り替え、10 時間以上の発電データを取得する。

シクロヘキセンの濃度は、1 条件目は 100ppm、2 条件目は 150ppm での試験を実施し、3 条件目ではリファレンスデータとして、純水素運転（0ppm）にて 29 時間の連続運転を実施した。なお、試験中の発電出力は 700W 一定とした。

以上の試験にて、各条件における電圧を比較することでシクロヘキセンによる電圧への影響を確認し、また、水素リサイクルラインに設置の水素ブリード弁を常時開（パージ頻度を調整）とすることによる電圧への影響を確認した。図 1. 3. 6 に試験方法のイメージ図を示す。

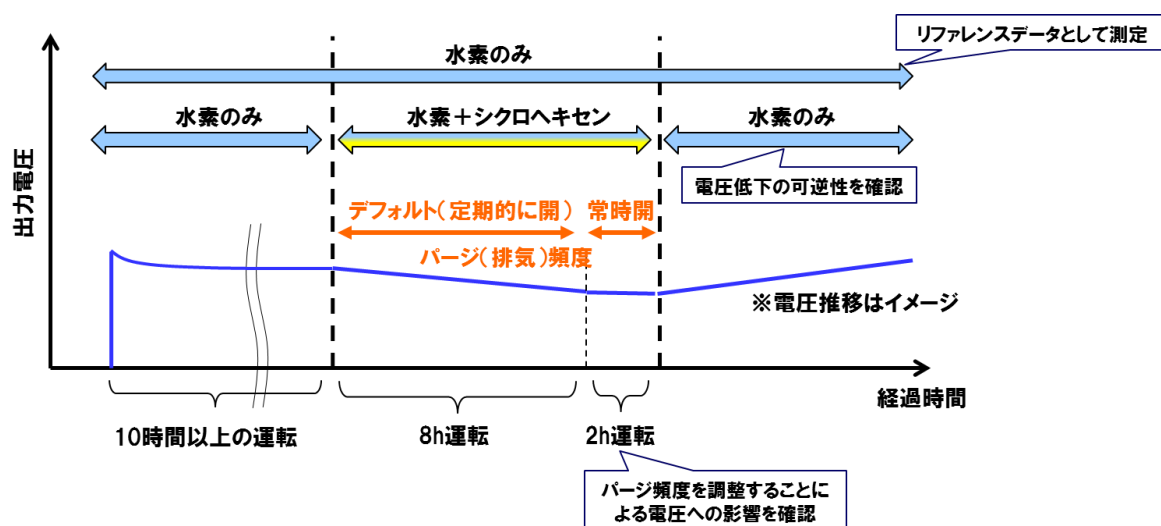


図 1. 3. 6 試験方法イメージ図 (B 社)

## (2) 試験結果

試験結果として、1 条件目（100ppm）と 3 条件目（純水素運転）で運転した際のセル電圧変化を図 1. 3. 7 に、2 条件目（150ppm）と 3 条件目（純水素運転）で運転した際のセル電圧変化を図 1. 3. 8 にそれぞれ示す。なお、試験では、電池スタック電圧を計測しており、電池スタック電圧をセル数で除した値をセル電圧として算出しており、測定分解能 1digit は 4mV/セルとなっている。また、セル電圧変化は、発電開始 1 時間後の電圧を基準とした場合のセル電圧低下量を示している。

図 1. 3. 7 より、1 条件目では 14 時間後に純水素運転からシクロヘキセン濃度 100ppm の水素ポンベガスに切り替えており、20 時間後のセル電圧低下を 1 条件目と 3 条件目で比較すると、1 条件目の方が約 8mV/セル大きい結果となった。ただし、1 条件目と 3 条件目ともに純水素運転をしている 14 時間後のセル電圧差が約 4mV/セルとなっており、この電圧差は運転状態によるバ



ラつきであるとする、20 時間後のセル電圧低下は、1 条件目の方が約 4mV/セル大きい結果となる。

また図 1. 3. 8 より、2 条件目では、1 条件目同様に 14 時間後に純水素運転からシクロヘキセン濃度 100ppm の水素ボンベガスに切り替えており、20 時間後のセル電圧低下を 2 条件目と 3 条件目で比較すると、2 条件目の方が約 8mV/セル大きい結果となった。ただし、2 条件目と 3 条件目ともに純水素運転をしている 14 時間後のセル電圧差が約 4mV/セルとなっており、この電圧差は運転状態によるバラつきであるとする、20 時間後のセル電圧低下は、1 条件目の方が約 4mV/セル大きい結果となる。

なお、1 条件目と 2 条件目ともに、手順②のシクロヘキセンを添加している運転中にシステム起動停止が入っているが、シクロヘキセンによる影響ではない。また、水素ブリード弁を常時開とする運転および再度純水素に切り替えた運転を行ったが、電圧への影響は確認されなかった。

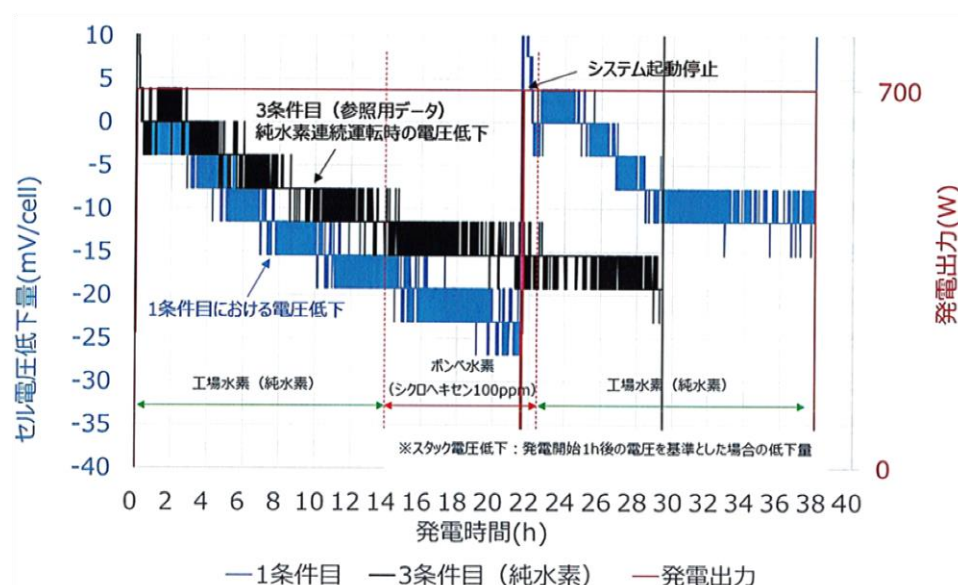


図 1. 3. 7 1 条件目 (100ppm) と 3 条件目 (純水素運転) におけるセル電圧変化

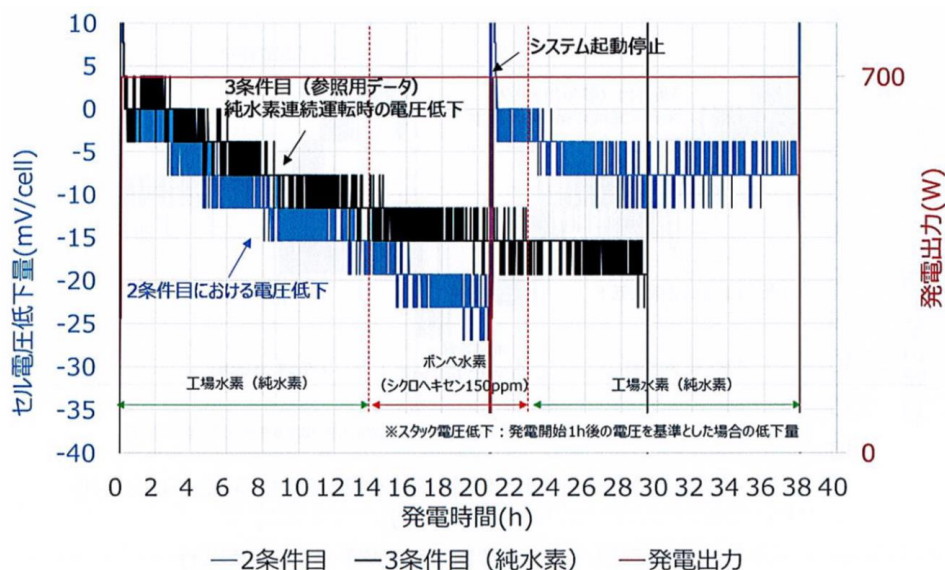


図 1. 3. 8 2 条件目 (150ppm) と 3 条件目 (純水素運転) におけるセル電圧変化



### (3) まとめ

初期の性能への影響として、シクロヘキセンによる電圧への影響がある可能性が示唆されたが、その電圧低下は 4mV/セル程度（測定分解能 1digit 相当）であり、運転ができなくなるほどの電圧低下は発生しないことを確認した。

#### 1. 3. 3 まとめ

シクロヘキセンを脱臭せずに運転した際の、性能への初期の影響について評価を行った。試験の結果、2社の試験ともに、10時間程度の運転で数mV～十数mV/セル程度の影響が見られたが、運転ができなくなるほどの電圧低下は発生しなかった。ただし、A社（単セル）試験では、シクロヘキセンの添加を止めて純水素のみを供給した場合でも電圧は完全には戻らないことが確認され、シクロヘキセンの被毒が蓄積する不可逆な劣化が発生する可能性が示唆された。

#### 1. 4 排気臭気への影響調査

シクロヘキセンを脱臭せずに運転した際の、排気臭気への影響について、B社の燃料電池システムでの試験を実施した。

##### 1. 4. 1 B社（燃料電池システム）試験

###### (1) 試験方法

シクロヘキセン濃度 100ppm および 150ppm における、700W 発電中（水素ブリード弁制御通常時）に、電池スタック出口（アノード出口）およびシステム排気口出口でガスを採取し、シクロヘキセン、シクロヘキサンの濃度を分析した。また、システム排気口出口では、ベンゼン、ホルムアルデヒドの濃度を分析した。なお、電池スタック出口でのサンプリングは 20 分～30 分程度、システム排気口出口でのサンプリングは 40 分程度かけて実施しており、システム排気口出口でのサンプリング中に水素ブリード弁の開動作が入っていることを運転データにより確認した。

図 1. 4. 1 に燃料電池システム構成におけるガス採取箇所を示す。システム排気口出口では、水素リサイクルラインから定期的にパージされるアノード排ガスとカソード排ガス、システム内換気のための空気の混合ガスとなる。

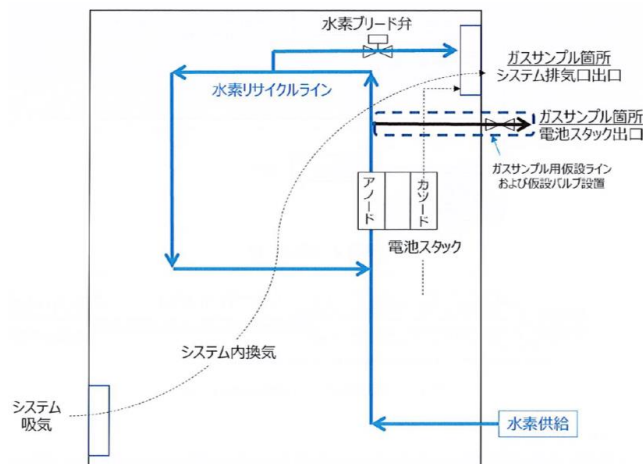


図 1. 4. 1 燃料電池システム構成におけるガス採取箇所

## (2) 試験結果

シクロヘキセン濃度 100ppm におけるガス分析結果を表 1. 4. 1 に、シクロヘキセン濃度 150ppm におけるガス分析結果を表 1. 4. 2 にそれぞれ示す。

2つの試験における電池スタック出口でのシクロヘキセン濃度は、1.4ppm および 1ppm 未満（定量下限値未満）であった。一方、電池スタック出口でのシクロヘキサン濃度は、水素リサイクルによる濃縮の影響もあり、1200ppm および 870ppm であった。このことから、シクロヘキセンは、電池スタック内で水素化され、電池スタック出口ではシクロヘキサンとして排出されることが確認された。

また、システム排気口出口でのガス分析結果については、シクロヘキセン濃度 100ppm の試験において、シクロヘキサンが 1.2ppm 検出されたが、その他は、換気用空気により希釈されているため、定量下限値未満であった。

表 1. 4. 1 シクロヘキセン濃度 100ppm におけるガス分析結果

|          | 電池スタック出口 | システム排気口出口                |
|----------|----------|--------------------------|
| シクロヘキセン  | 1.4ppm   | 1ppm 未満<br>(定量下限値未満)     |
| シクロヘキサン  | 1200ppm  | 1.2ppm                   |
| ベンゼン     | —        | 1ppm 未満<br>(定量下限値未満)     |
| ホルムアルデヒド | —        | 0.008ppm 未満<br>(定量下限値未満) |

表 1. 4. 2 シクロヘキセン濃度 150ppm におけるガス分析結果

|          | 電池スタック出口 | システム排気口出口                |
|----------|----------|--------------------------|
| シクロヘキセン  | 1ppm     | 1ppm 未満<br>(定量下限値未満)     |
| シクロヘキサン  | 870ppm   | 1ppm 未満<br>(定量下限値未満)     |
| ベンゼン     | —        | 1ppm 未満<br>(定量下限値未満)     |
| ホルムアルデヒド | —        | 0.008ppm 未満<br>(定量下限値未満) |

## (3) まとめ

本試験において、シクロヘキセンは、電池スタック内で水素化され、臭気の弱いシクロヘキサン<sup>※3</sup>として排出されることが確認された。なお、本試験で濃縮後の濃度として計測された 1200ppm のシクロヘキサンの排出された場合、臭気閾値の 4.3ppm<sup>※4</sup> 以下として排気するには約 280 倍の希釈が必要であるが、本試験で使用した燃料電池システムでは、それ以上の倍率で希釈されており、ほぼ無臭となる。

また、システム入口より供給された水素と水素リサイクルラインにてリサイクルされた水素が混合されて、電池スタックへ投入されるため、電池スタック内でシクロヘキサンに転化している場合、電池スタック入口のシクロヘキセン濃度は、システム入口よりも低い濃度で投入されることとなる。

※4 経済産業省委託事業「水素導管供給システムの安全性評価事業（総合調査）」（平成 29 年度）にて、シクロヘキセンの臭気閾値（付臭されたガスを徐々に希釈した時に臭気を感じることができなくなった時の濃度）は、シクロヘキサンの臭気閾値の約 1/70 であることを調査。シクロヘキセンの臭気閾値が 61.5ppb（0.0615ppm）のため、シクロヘキサンの臭気閾値は  $0.0615\text{ppm} \times 70 = 4.3\text{ppm}$  となる。

#### 1. 4. 2 まとめ

シクロヘキセンが脱臭されずに運転した際の、排気臭気に影響がないか評価を行った。

試験の結果、シクロヘキセンは、電池内で臭気強度の弱いシクロヘキサンに水素化され、さらにシステム排気口出口で、換気用空気により希釈されるため、排気はほぼ無臭であることが確認された。

#### 1. 5 付臭措置に関する技術調査のまとめ

開発中の燃料電池システム（または本システムに使用されている燃料電池セル）を用いた試験を実施し、性能への初期の影響および排気臭気への影響について確認し、脱臭装置なしでの長期運転の可能性について評価を行った。

性能への初期の影響については、2 社の試験ともに、10 時間程度の運転で数 mV～十数 mV/セル程度の影響が見られたが、運転ができなくなるほどの電圧低下は発生しなかった。ただし、A 社（単セル）試験では、シクロヘキセンの添加を止めて純水素のみを供給した場合でも電圧は完全には戻らないことが確認され、シクロヘキセンの被毒が蓄積する不可逆な劣化が発生する可能性が示唆された。また、排気臭気への影響については、B 社（燃料電池システム）試験にて、シクロヘキセンは電池内で臭気強度の弱いシクロヘキサンに水素化され、さらにシステム排気口出口で、換気用空気により希釈されるため、排気はほぼ無臭であることが確認された。

以上より、10 時間程度の運転結果としては、シクロヘキセンによる大きな影響は確認されなかったが、脱臭装置なしでの運用の検討に向けては、今後、長期的な影響に関する評価が必要である。

## 2. 水素検知センサに関する技術調査

### 2. 1 調査の概要

水素導管供給システムを運用する上で、万が一水素が導管から漏えいした場合の保安を確保するため、都市ガスと同様に付臭措置又はそれに代わる付臭代替措置（漏えい検知装置の設置等）を講じる必要がある。本調査では、水素導管の埋設部における付臭代替措置（水素検知センサによる漏えい検知）の適用可否の検討に資する調査として、水素検知センサに関する技術調査を実施した。

昨年度（平成 29 年度）は、水素センサをハンドホール内へ設置する場合を想定して調査を実施した。その結果、水素センサは防水性を有しておらず、水没があり得る環境下への設置に課題があることを整理したほか、システム運用上の課題（省電力化や健全性確認等）についても整理した。今年度は、水素センサの埋設環境に応じた地下水や雨水による影響を調査し、埋設された検知装置の水没がありうる環境下においても、水素センサを長期間にわたり保護することができる構造面の対策について調査・検討を行った。

### 2. 2 調査の進め方

本調査においては、始めにセンサの埋設環境（土壌）調査により、雨水や地下水位変動による水没可能性を調査した。その後、水素センサを保護するハンドホール構造での対策を検討として、ハンドホール内への水の浸入を防ぐフタ・フィルタの技術を調査、および他の構造での対策の検討として、二重管構造での対策を調査した。調査の進め方を図 2. 2. 1 に示す。

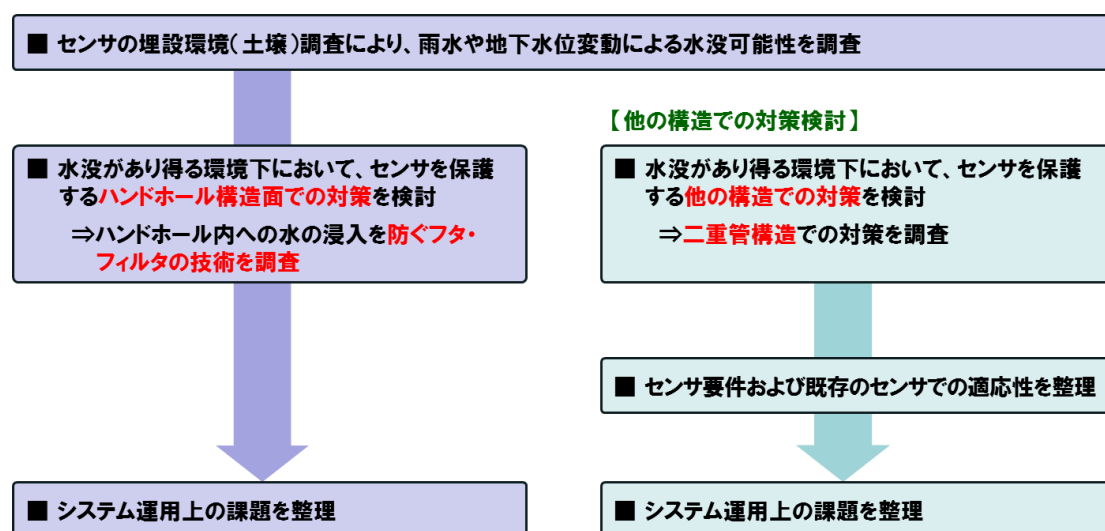


図 2. 2. 1 調査の進め方

## 2. 3 雨水や地下水変動による水没可能性の調査

都市部における浸水実績や浸水予測、地下水位データより、地中に設置した水素センサが雨水や地下水変動によって水没する可能性の調査を行った。調査にあたっては、地盤や地下水に関して、ボーリング調査結果等による全国的な既往知見を有しており、東京都発行の液状化予測図も作成している「基礎地盤コンサルタンツ株式会社」へ外注して調査を行った。

### 2. 3. 1 雨水による浸水影響調査

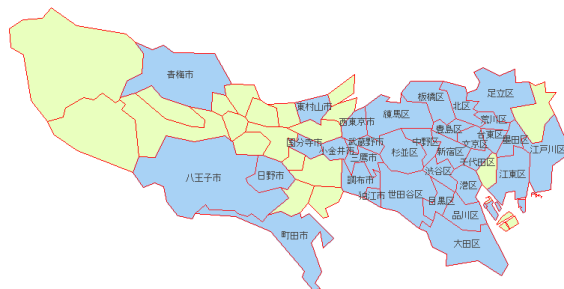
雨水による水素センサの水没の可能性を調査するため、主要 3 都市について近年発生した浸水状況と浸水予測について整理を行った。本調査では、主に各自治体が公表している浸水実績や浸水予想図・内水氾濫予想図（ハザードマップ）を基に整理を行った。

なお、国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所によると、「浸水」とは、洪水による氾濫によって住宅や田畑が水につかること、「内水氾濫」とは、堤防から水が溢れなくても、河川へ排水する川や下水路の排水能力の不足などが原因で、降った雨を排水処理できなくて引き起こされる氾濫（⇔外水氾濫）、と定義されている。

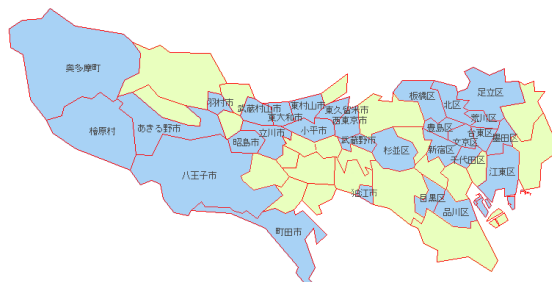
#### （1）浸水実績

##### 【東京都の事例】

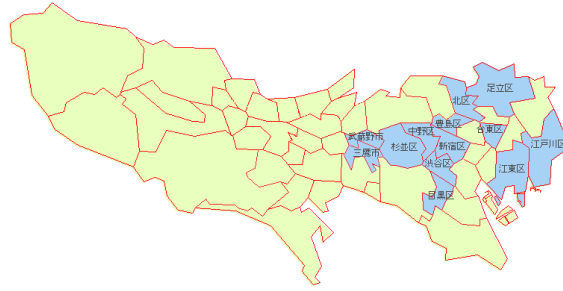
東京都建設局が公表している、東京都における平成 12 年～平成 17 年、平成 18 年～平成 22 年、平成 23 年～平成 27 年、それぞれの浸水実績を図 2. 3. 1 に示す。浸水実績の定義は「水害区域の面積が 0.1ha 以上又は被害建物棟数が 10 棟以上一体となった区域」としている。青く塗られた区市町村で浸水が発生したことを示しており、この 20 年間で、ほぼ全区市町村で浸水が発生している。



(a) 平成 12 年～平成 17 年



(b) 平成 18 年～平成 22 年



(c) 平成 23 年～平成 27 年

図 2. 3. 1 東京都における浸水実績図

(出典) 東京都建設局ホームページ

#### 【名古屋市の事例】

名古屋市緑政土木局が公表している、名古屋市における平成 12 年以降の豪雨による浸水実績を図 2. 3. 2 に示す。対象となる豪雨は以下の通りで、平成 20 年から平成 25 年までは 2 年に一度以上の割合で豪雨が発生しており、広範囲にわたって浸水が発生している。

- ①平成 12 年 9 月 11 日から 12 日(東海豪雨)(洪水：外水氾濫を含む)
- ②平成 16 年 9 月 5 日(集中豪雨)
- ③平成 20 年 8 月 28 日から 29 日(平成 20 年 8 月末豪雨)
- ④平成 21 年 10 月 8 日(台風 18 号)
- ⑤平成 23 年 9 月 20 日(台風 15 号及び秋雨前線豪雨)
- ⑥平成 25 年 9 月 4 日(集中豪雨)

なお、浸水実績図は、豪雨後に現地調査や報告資料を基に作成したものであり、全ての浸水箇所を反映したものではない。また、図の区域は、短時間の浸水や流出は含まれておらず、浸水の深さについては不明となっている。



平成27年6月作成



(出典) 名古屋市緑政土木局ホームページ



## 【大阪市の事例】

大阪市建設局が公表している各区の浸水実績図のうち、一例として、大阪市中心部における平成16年度～平成25年度の浸水実績を図2. 3. 3に示す。これによると、低地を中心に浸水が多く発生している。

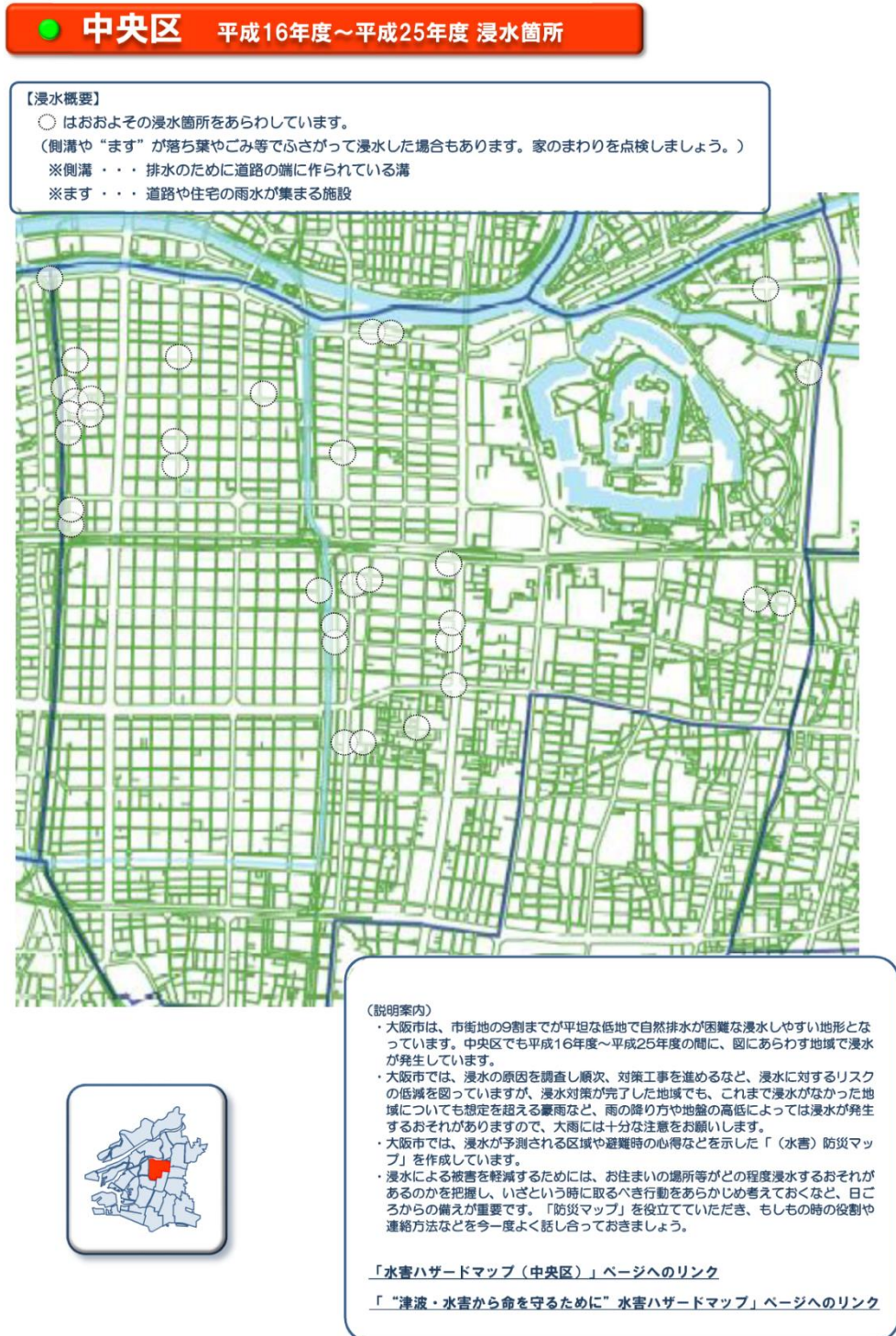


図2. 3. 3 大阪市中心部における浸水実績図

(出典) 大阪市建設局ホームページ



## (2) 浸水予想図

### 【東京都の事例】

東京都建設局が公表している東京都の各流域における浸水予想図のうち、一例として、江東内部河川流域の浸水予想図を図2. 3. 4に示す。これによると、広範囲で浸水する恐れがあると予想されている。

## 江東内部河川流域浸水予想区域図

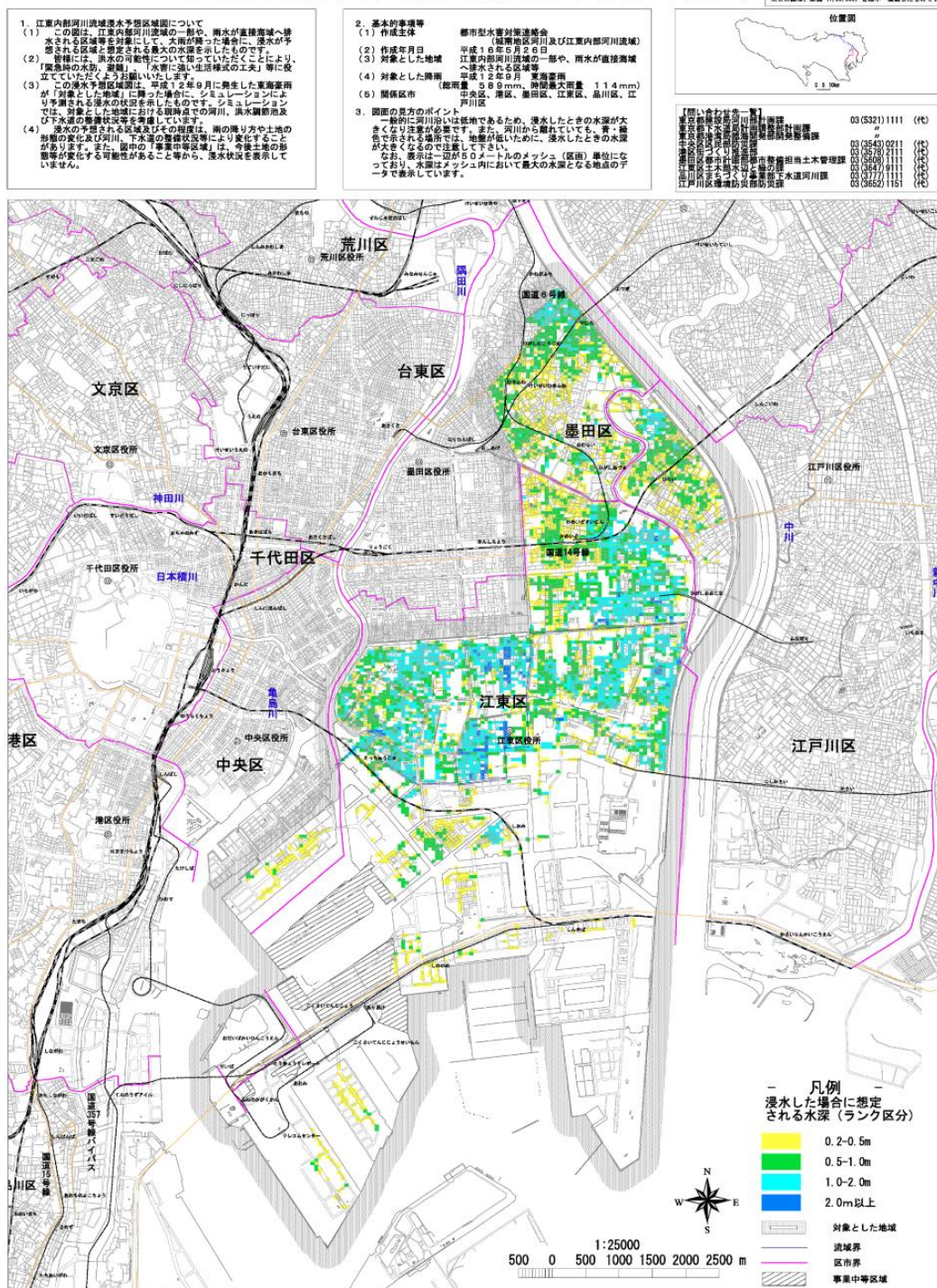


図2. 3. 4 東京都江東内部河川流域における浸水予想図

（出典）東京都建設局ホームページ



### 【名古屋市の事例】

名古屋市では、平成12年の東海豪雨と同等の豪雨が発生した場合の内水氾濫予想図を作成しており、一例として、中村区の内水氾濫予想図を図2.3.5に示す。これによると、広範囲で浸水する恐れがあると予想されている。また、浸水0.2m未満の色がない箇所においても、道路冠水程度は想定されると記載されている。

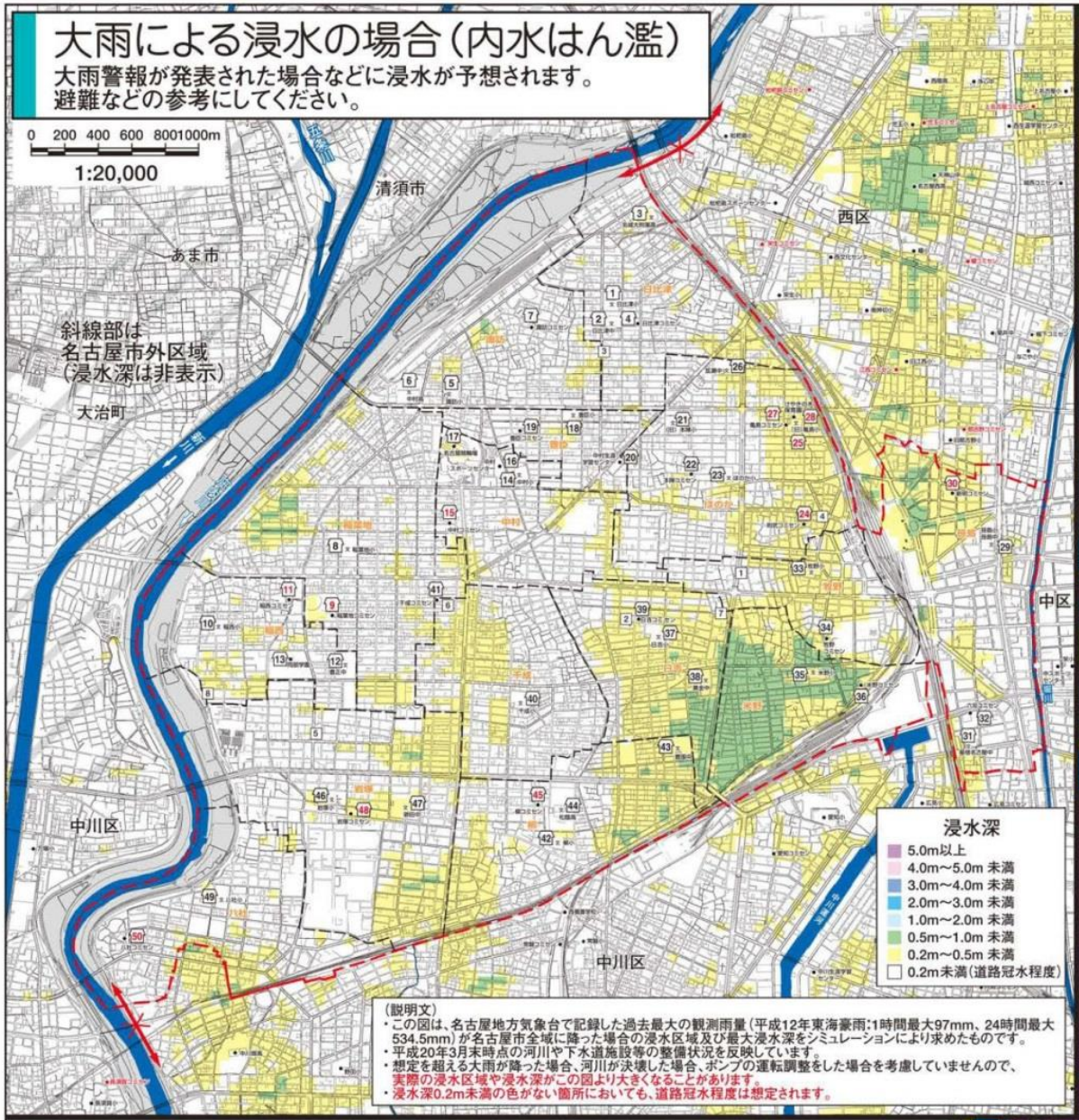


図2.3.5 名古屋市中村区における内水氾濫予想図

（出典）名古屋市長政土木局ホームページ



# 【大阪市の事例】

大阪市危機管理室では、平成12年の東海豪雨と同等の豪雨が発生した際の内水氾濫予想図を作成している。一例として、中央区の内水氾濫予想図を図2. 3. 6に示す。これによると、低地を中心に浸水する恐れがあると予想されている。

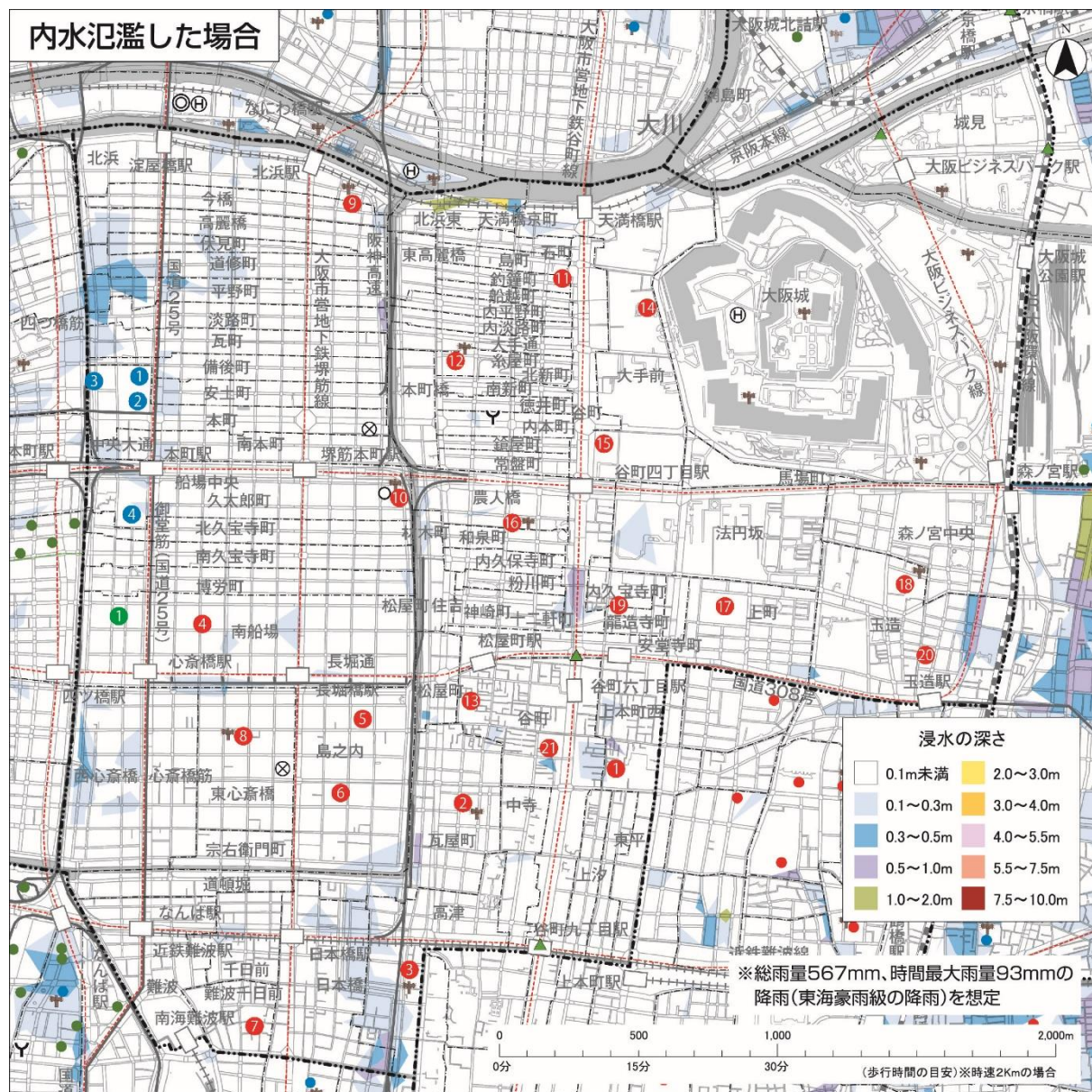


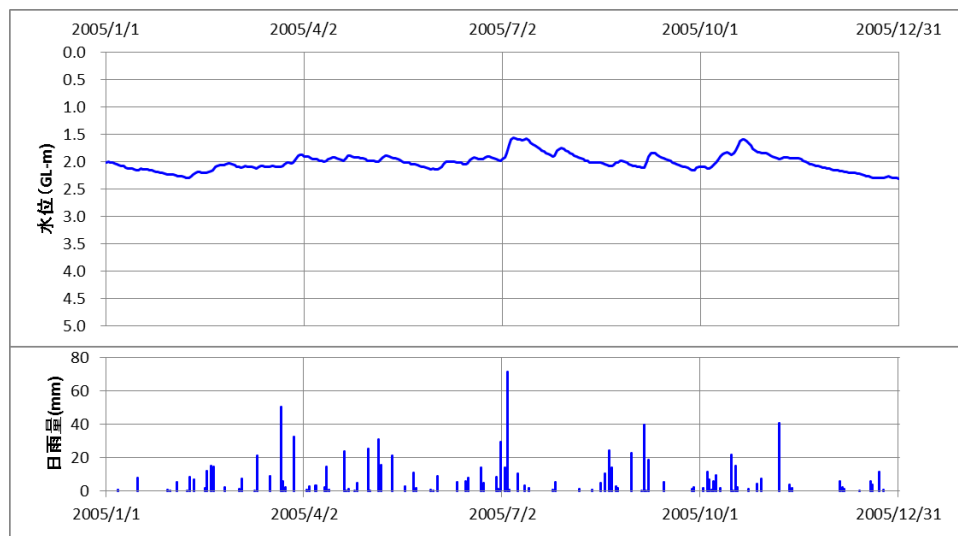
図2. 3. 6 大阪市中央区における内水氾濫予想図

(出典) 大阪市危機管理室ホームページ

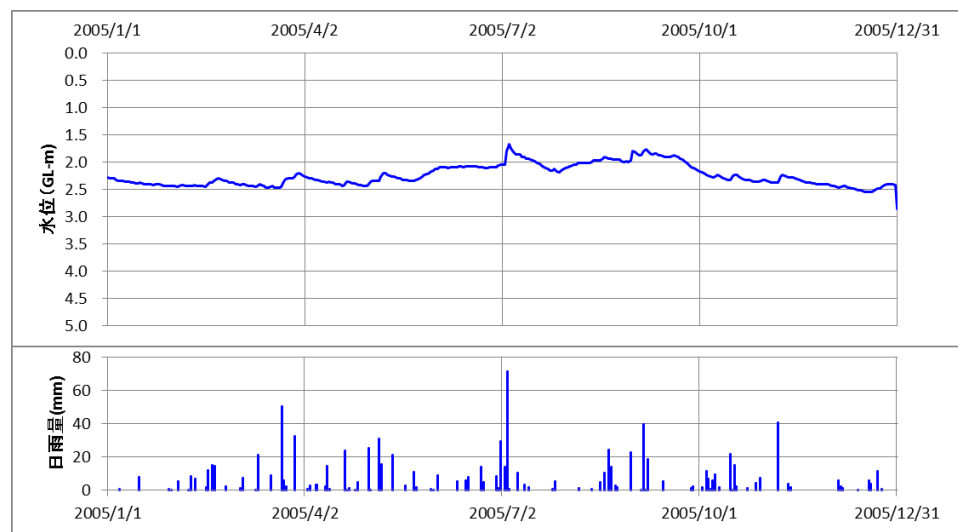
## 2. 3. 2 地下水位変動による影響調査

地下水位変動による水素センサの水没の可能性を調査するため、浅部地下水位に関して、主に国や各自治体が公表している地下水位変動や設定地下水位について整理を行った。

都市部における浅部地下水の水位観測データとして、国土交通省の水文・水質データベースに掲載されている、名古屋市近傍（愛知県）および大阪市内の浅部地下水位（不圧帯水層）の観測結果を図2. 3. 7および図2. 3. 8に示す。これらによると、浅部の地下水位は年間を通じて0.5m~0.9m程度の変動がある。なお、地下水位の変動は降雨量に対応している。



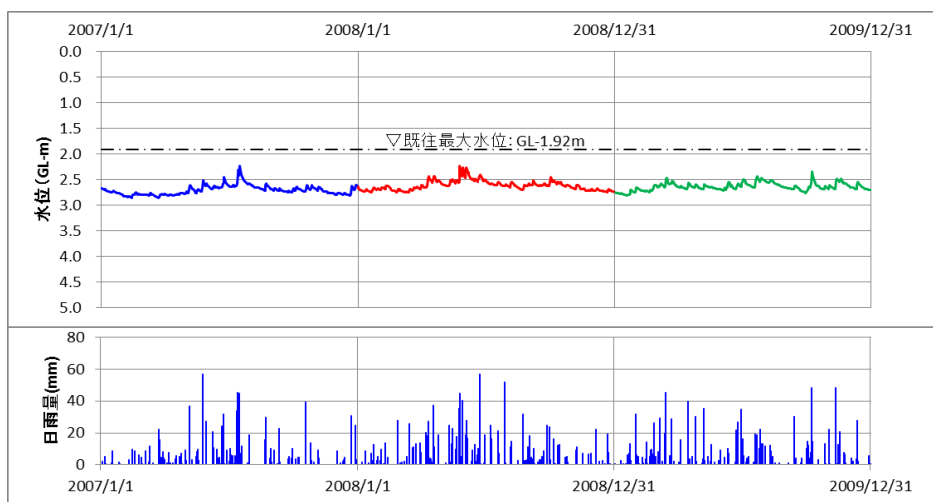
(a) 碧南（愛知県碧南市）



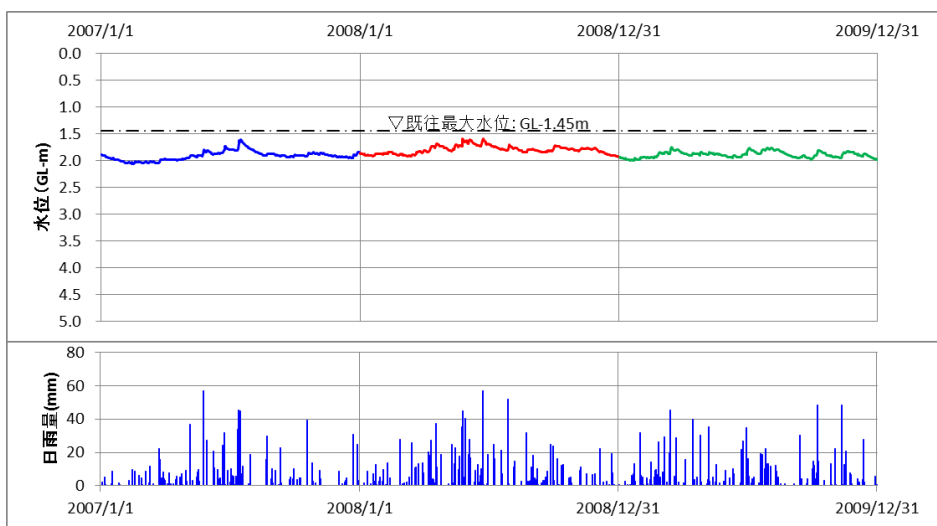
(b) 一宮東（愛知県一宮市）

図2. 3. 7 愛知県内の不圧帯水層の水位観測結果

（出典）国土交通省 水文・水質データベース 国土交通省水管理・国土保全局ホームページ



(a) 住之江（大阪市）



(b) 野田（大阪市）

図 2. 3. 8 大阪市内の不圧帯水層の水位観測結果

（出典）国土交通省 水文・水質データベース 国土交通省水管理・国土保全局ホームページ

また、千葉市都市局が公表している千葉市の臨海埋立地の地下水位観測結果を図 2. 3. 9 に示す。これによると、年間を通じて 1.0m 程度の変動があり、雨が強い場合には地表付近まで水位が上昇する。

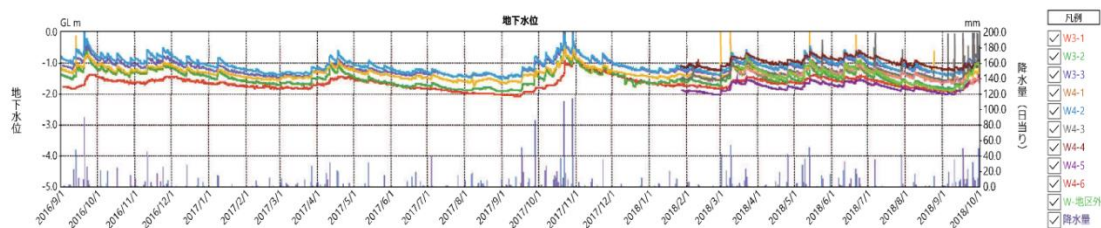


図 2. 3. 9 千葉市臨海部の浅層地下水位観測結果

（出典）千葉市都市局ホームページ



また、東京都建設局が作成した「東京都の液状化予測（平成 24 年度改訂版）」にて、ボーリング調査で測定された地下水位を基に、液状化予測で想定した地下水位が公表されており、その設定地下水位を図 2. 3. 10 に示す。前述の通り、地下水位は年間を通じて変動するため、設定地下水位が 1.5m よりも高い場所は、雨が降った場合に地表面付近まで水位が上昇することが考えられる。

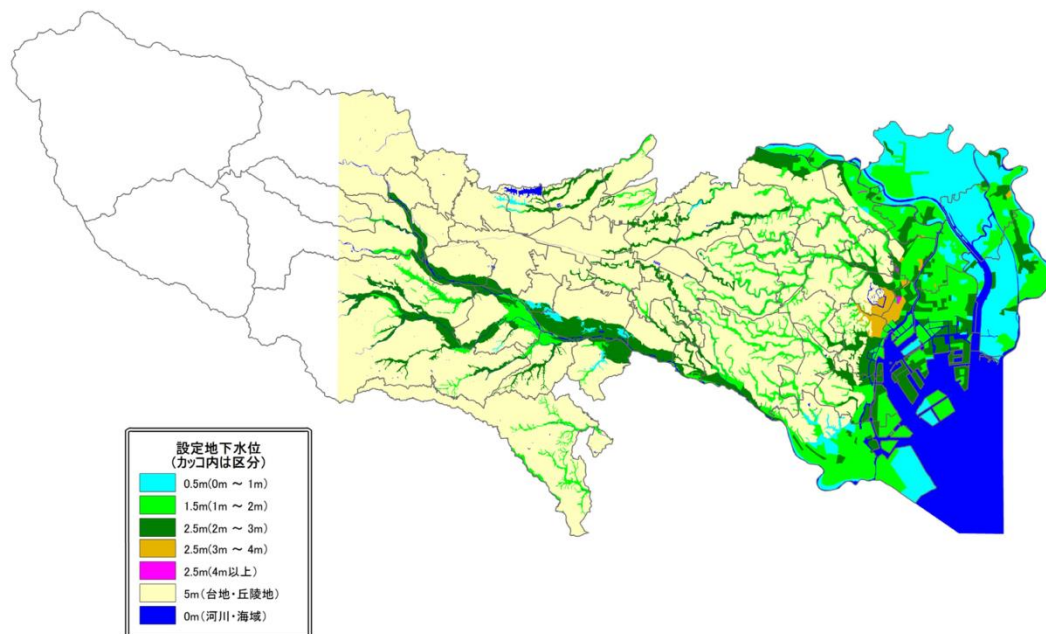


図 2. 3. 10 「東京都の液状化予測（平成 24 年度改訂版）」による設定地下水位

（出典）東京都の液状化予測（平成 24 年度改訂版），東京都建設局，2012，p.12

### 2. 3. 3 まとめ

主要 3 都市について、浸水実績や浸水予測、内水氾濫予測、地下水位データを整理したところ、雨水や地下水変動によって地中に設置した水素センサが水没する可能性が示された。

また、国内の都市部の地形・地表地質の特徴としては、以下の点が挙げられる。

- ・都市の主要部は、台地・扇状地および低地などの平坦地に分布している。
- ・台地，扇状地，低地を形成する主要河川を有している。
- ・低地は河川の営力により自然堤防と後背湿地が分布し，下流部では三角州を形成している。  
地域によっては沿岸部に砂丘や浜堤が分布する。
- ・臨海部は埋立地が広がっている。また，丘陵部は造成により平坦化され都市化している。
- ・丘陵・台地の地表地質は，砂質土あるいは礫など比較的透水性の高い。
- ・低地の地表地質は，自然堤防や砂丘・砂堆・三角州では砂質土が主体で比較的透水性が高い。
- ・低地の内，後背湿地性の表層地質は粘性土が主体で透水性が低い。

国内の各都市の地形・地表地質を対比すると、都市それぞれの特徴はあるものの、構成する地形はこれらの特徴と概ね一致する。よって、前述の浸水や地下水位に関する事象は、各都市にて同様の事象が発生し、地中に設置した水素センサが水没する可能性があると考えられる。

## 2. 4 ハンドホール構造での対策検討

水没があり得る環境下において、水素センサを保護する構造面での対策として、昨年度（平成29年度）検討した、ハンドホール内へ水素センサを設置する場合を想定し、ハンドホール内への水の浸入対策に活用が可能な既存の製品・技術の調査を行った。

### 2. 4. 1 ハンドホール内設置時の課題と対策

#### （1）課題と対策

ハンドホール内へ水素センサを設置する場合、前章で示した通り、地面からの雨水や地中部における地下水の浸入が課題となり、対策が必要となる。（図2. 4. 1）

地面からの雨水浸入の課題への対策としては、水の浸入を防ぐフタの取付けが考えられる。ただし、水素センサのメンテナンスが可能のように、取り外し可能なフタとして設計する必要があるほか、車両通行による耐荷重制約から、鉄製のフタが規格化されている（JIS A 5506 下水道用マンホールふた等）。

また、地中部における地下水の浸入の課題への対策としては、漏えいした水素をハンドホール内に設置した水素センサで検知するため、水素を透過させ、かつ地下水の浸入を防ぐようなフィルタの取付けが考えられる。

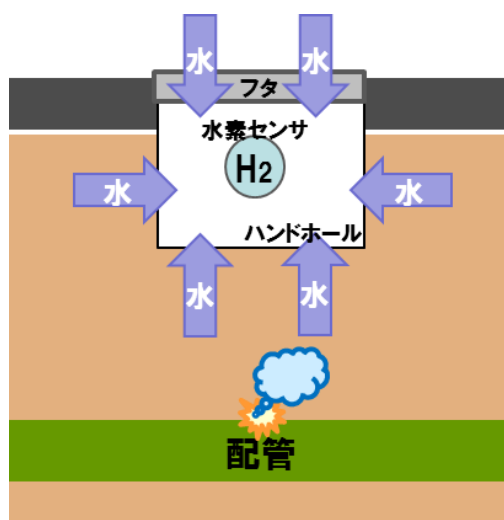


図2. 4. 1 ハンドホール内に水素センサを設置した際のイメージ図

#### （2）既存の製品・技術の調査

地面からの雨水の浸入を防ぐフタとしては、図2. 4. 2に示すような耐圧防水鉄蓋が製品化されている。通常のフタ（マンホール）では、雨水の浸入を防ぐことはできないが、本製品は、集中豪雨時のフタの飛散や下水噴出防止性能を高めたものであり、ゴムパッキンにより、マンホール内への水の浸入を防止することが可能である。





図 2. 4. 2 耐圧防水鉄蓋（日之出水道機器製）

（出典）日之出水道機器

地中部における地下水の浸入を防ぐフィルタとしては、図 2. 4. 3 に示すような多孔質フィルタが製品化されている。本製品は、防水性と通気性を併せ持つ多孔質フィルタであり、水素ガスを透過させ、かつ水の浸入を防止することが可能である。

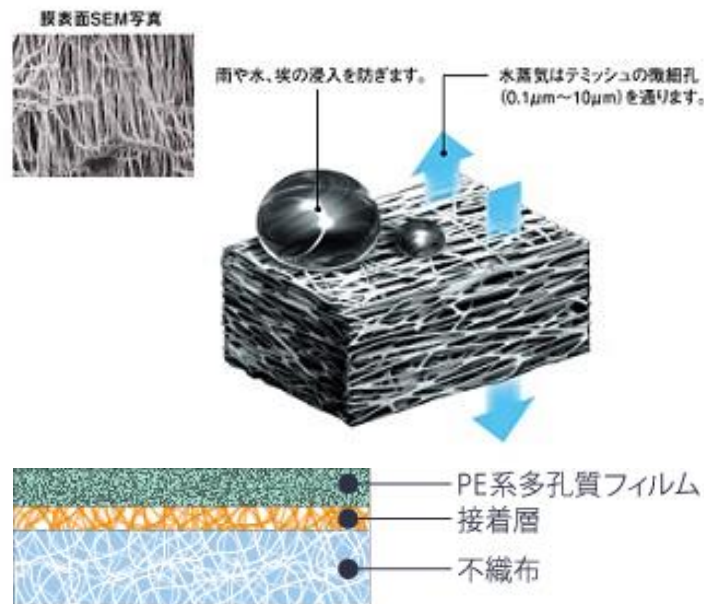


図 2. 4. 3 多孔質フィルタ（製品名：TEMISH）

（出典）日東電工ホームページ

これら既存のフタ・フィルタの製品・技術により、ハンドホール内への水の浸入対策に活用できる可能性があると考えられる。ハンドホール内への水の浸入を防ぐことが可能な場合、水素センサに求められる要件としては「防水性」が不要となるため、昨年度（平成 29 年度）に整理した、水素センサに求められる各要件項目の目安値に対する、既存センサの適合性は、表 2. 4. 1 の通り整理され、製品化されている水素センサでは、製品 C および製品 D の熱線型半導体式、半導体式の水素センサであれば、全ての目安値に適合する。

表 2. 4. 1 既存のセンサの埋設導管の漏えい検知への適用可否（二重管構造）

<製品化されている水素センサ>

| 検知原理    | 製品   | 低濃度検知性 | 水素選択性 | 長寿命 | 小型 | 応答性 | 防爆性 | 防水性 | 防塵性 | 耐振動性 | 対ガス雰囲気 | 主な用途   |
|---------|------|--------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|--------|--------|
| 接触燃焼式   | 製品 A | ◎      | ○     | ○   | ◎  | ◎   | ▲※1 | —   | ◎   | ※3   | ◎      | FCV    |
|         | 製品 B | ▲      | ○     | ○   | ◎  | ◎   | ◎   | —   | ◎   | ※3   | ◎      | 工業用定置式 |
| 熱線型半導体式 | 製品 C | ◎      | ○     | ○   | ◎  | ◎   | ◎   | —   | ◎   | ※3   | ◎      | 工業用定置式 |
| 半導体式    | 製品 D | ◎      | ○     | ○   | ◎  | ◎   | ◎   | —   | ◎   | ※3   | ◎      | 工業用定置式 |
| 光学式     | 製品 E | ◎      | ○     | ▲   | ◎  | ◎   | ◎   | —   | ▲   | ※3   | ◎      | 工業用定置式 |

<開発中の水素センサ>

| 検知原理     | 製品   | 低濃度検知性 | 水素選択性 | 長寿命 | 小型 | 応答性 | 防爆性 | 防水性 | 防塵性 | 耐振動性 | 対ガス雰囲気 | 主な用途           |
|----------|------|--------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|--------|----------------|
| ReH センサ  | 製品 F | △      | △     | △   | △  | △   | △   | —   | △※2 | ※3   | △      | FCV<br>定置式燃料電池 |
| MEMS 容量式 | 製品 G | △      | △     | △   | △  | △   | △   | —   | △※2 | ※3   | △      | 水素 ST<br>水素導管  |

「◎」：仕様にて目安値適合を確認

「○」：ヒアリングにて目安値適合を確認

「△」：目安値適合品を開発中

「▲」：目安値に不適合

「—」：要件として必要なし

※1 検定は受けていないが、防爆試験で着火源にならないことを確認済

※2 開発段階のため、詳細は検討中

※3 明確な仕様記載がなく、適合可否は別途検討が必要（各社独自試験を実施）

2. 4. 2 システム運用上の課題

ハンドホール内に水素センサを設置した場合のシステム運用上の課題については、昨年度（平成 29 年度）に、表 2. 4. 2 の通り整理した。

表 2. 4. 2 漏えい検知システム運用上の課題

|     |                          |
|-----|--------------------------|
| 課題① | 省電力化（電池駆動対応）             |
| 課題② | 無線出力対応                   |
| 課題③ | 機能搭載によるサイズアップへの対応        |
| 課題④ | 健全性（センサ・通信）の確認方法         |
| 課題⑤ | センサ配置密度の設定方法             |
| 課題⑥ | メンテナンス方法                 |
| 課題⑦ | 大規模災害時や他工事による損傷時の漏えい検知方法 |

ハンドホール内への水の浸入対策として、地面からの雨水の浸入を防ぐために、前述の「鉄製」のフタにより密閉する場合、課題②の無線出力対応に関しては、無線電波が遮断される可能性が高くなることが考えられる。

また、フタ・フィルタにより対策を行った場合、新たな課題⑧として、ハンドホール内雰囲気（空気）の管理が必要となる。

#### 《課題⑧：ハンドホール内雰囲気（空気）の管理》

上面をフタにより密閉する場合、漏えい時にハンドホール内で水素が滞留し、閉空間での着火の恐れがあるため、換気等のリスク低減措置の検討が必要となる。また、多孔質フィルタは水蒸気も透過するため、ハンドホール内の湿度管理やセンサ内での結露対策が必要となる。

### 2. 4. 3 まとめ

水没があり得る環境下において、水素センサを保護するハンドホール構造での対策の検討を行った結果、既存のフタ・フィルタの製品・技術により、ハンドホール内への水の浸入対策に活用できる可能性があることがわかった。ただし、それらにより対策を行った場合は、昨年度（平成29年度）に整理したシステム運用上の課題に加えて、「ハンドホール内雰囲気（空気）の管理」に関する課題が発生する。

### 2. 5 他の構造（二重管構造）での対策検討

ハンドホール内に水素センサを設置する場合ではなく、他の構造による水の対策として、二重管構造による対策を検討した。埋設環境にて、外側の管内に不活性ガスが封入された二重管システムは「山口県周南市水素タウンモデル事業（H21～22）」にて実際に施工された実績がある。本事業の設備構成を図2. 5. 1に示す。なお、本事業では、外側の管内の圧力管理によって、漏えいを監視しており、水素センサによって管内の漏えいを監視した運用実績はない。

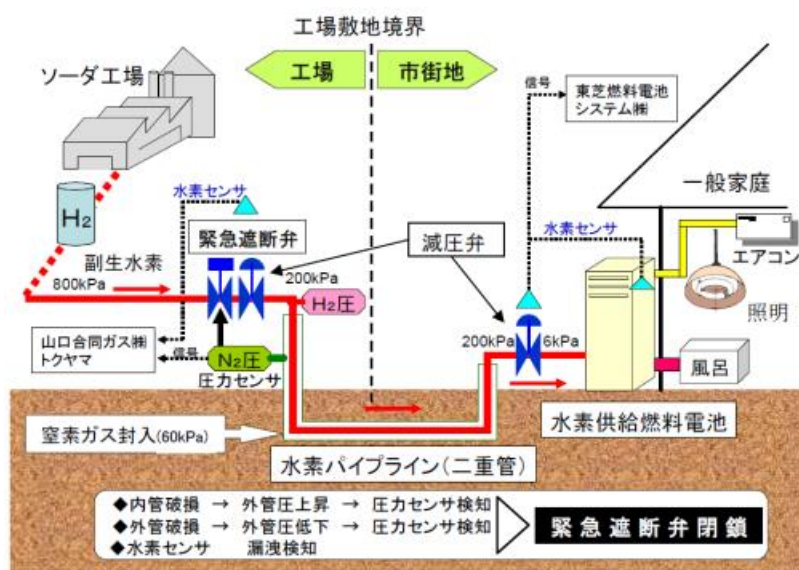


図2. 5. 1 二重管システム設備構成

（出典）山口県周南市水素タウンモデル事業報告書

## 2. 5. 1 水素センサの要件・目安値整理と適用可否

水素センサにより漏えいを検知する際に水素センサに求められる要件項目について、二重管構造の場合の目安値について整理を行った結果を表2. 5. 1に示す。ここでは、参考として昨年度(平成29年度)に整理したハンドホール内に水素センサを設置した場合の目安値を併せて示す。

表2. 5. 1 各要件項目に対する目安値

| 要件項目 |                    | 二重管構造                                        | (参考) ハンドホール内設置<br>※H29年度整理                                   |
|------|--------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 性能   | 低濃度検知性             | 0.1% (2.5%LEL)                               |                                                              |
|      | 水素選択性              | 必要なし<br>(不活性ガス雰囲気下のため)                       | メタン・イソオクタン・一酸化炭素<br>に対する感度が同濃度の水素の10%以下                      |
|      | 長期耐用<br>※電池寿命は考慮せず | 5年                                           |                                                              |
|      | 小型                 | 水素ガスの拡散場所に設置可能であること<br>(外側の管と内側の管の間、集気スペース等) | 標準的なガスマンホール寸法<br>φ300mm内に設置可能                                |
|      | 応答性                | 60秒以内                                        |                                                              |
| 対環境  | 防爆性                | 必要なし                                         | 【防爆構造】<br>本質安全防爆構造・耐圧防爆構造<br>内圧防爆構造<br>【爆破等級】<br>水素(等級3a)に対応 |
|      | 防水性                | 必要なし                                         | IP7<br>一定の水圧で、一定時間水没しても影響がない<br>(水没した状態で検知可能)                |
|      | 防塵性                | 必要なし                                         | IP6                                                          |
|      | 耐振動性               | 設置環境に加えられる振動に耐えるものであること                      |                                                              |
|      | 耐圧性                | 必要なし                                         |                                                              |
|      | 周囲環境<br>適合性        | 対温度                                          | -10℃～50℃                                                     |
|      |                    | 対ガス<br>雰囲気                                   | 無酸素状態で使用可能であること<br>制限なし                                      |

表2. 5. 1で整理した結果を基に、既存の水素センサの適用可否の整理を行った。整理にあたっては、昨年度(平成29年度)に調査した既存(市販または開発中)の水素センサのうち、パッケージ化されているセンサの検知原理と用途を軸に整理を行った。整理した結果を表2. 5. 2に示す。製品化されている水素センサでは、全ての目安値に適合する水素センサはない。また、二重管構造の場合の特有の課題として、太枠で囲った「小型」と「周囲環境適合性(対ガス雰囲気)」について後述する。

表 2. 5. 2 既存のセンサの埋設導管の漏えい検知への適用可否（二重管構造）

<製品化されている水素センサ>

| 検知原理    | 製品   | 低濃度検知性 | 水素選択性 | 長寿命 | 小型 | 応答性 | 防爆性 | 防水性 | 防塵性 | 耐振動性 | 対ガス雰囲気 | 主な用途   |
|---------|------|--------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|--------|--------|
| 接触燃焼式   | 製品 A | ◎      | —     | ○   | ※1 | ◎   | —   | —   | —   | ※2   | ▲      | FCV    |
|         | 製品 B | ▲      | —     | ○   | ※1 | ◎   | —   | —   | —   | ※2   | ▲      | 工業用定置式 |
| 熱線型半導体式 | 製品 C | ◎      | —     | ○   | ※1 | ◎   | —   | —   | —   | ※2   | ▲      | 工業用定置式 |
| 半導体式    | 製品 D | ◎      | —     | ○   | ※1 | ◎   | —   | —   | —   | ※2   | ▲      | 工業用定置式 |
| 光学式     | 製品 E | ◎      | —     | ▲   | ※1 | ◎   | —   | —   | —   | ※2   | ◎      | 工業用定置式 |

<開発中の水素センサ>

| 検知原理     | 製品   | 低濃度検知性 | 水素選択性 | 長寿命 | 小型 | 応答性 | 防爆性 | 防水性 | 防塵性 | 耐振動性 | 対ガス雰囲気 | 主な用途                            |
|----------|------|--------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|--------|---------------------------------|
| ReH センサ  | 製品 F | △      | —     | △   | ※1 | △   | —   | —   | —   | ※2   | △      | FCV<br>定置式燃料電池<br>水素 ST<br>水素導管 |
| MEMS 容量式 | 製品 G | △      | —     | △   | ※1 | △   | —   | —   | —   | ※2   | △      |                                 |

「◎」：仕様にて目安値適合を確認

「△」：目安値適合品を開発中

「—」：要件として必要なし

「○」：ヒアリングにて目安値適合を確認

「▲」：目安値に不適合

※1 配管の仕様によって対応可能

※2 明確な仕様記載がなく、適合可否は別途検討が必要（各社独自試験を実施）

《要件項目：小型》

二重管構造の場合、水素ガスの拡散場所に設置可能であることが求められる。設置スペースに関しては、図 2. 5. 2 の通り、①外側の管の大口径化や②センサ設置用の集気スペースの確保により対応する必要がある。

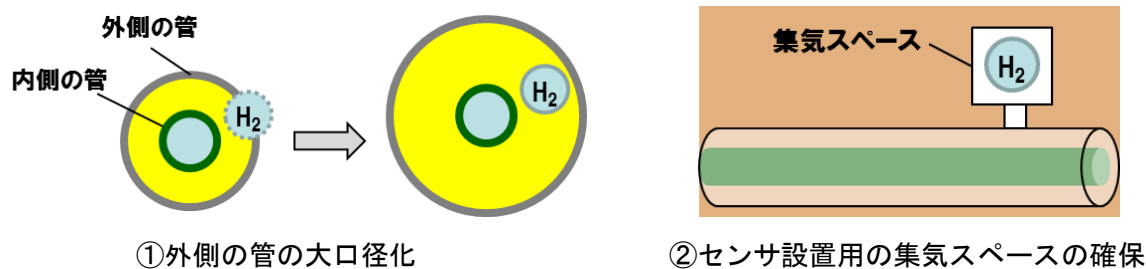


図 2. 5. 2 二重管構造における水素センサ設置のイメージ図



《要件項目：周囲環境適合性（対ガス雰囲気）》

製品化されているセンサ方式では、『光学式』のみが無酸素状態でも使用可能であるが、既存の光学式センサは、長寿命（5年）を目安値に不適合となる。開発中の、『ReHセンサ』、『MEMS容量式』の各検知原理は、無酸素状態で使用可能であるものの、製品化されていないという状況である。

## 2. 5. 2 システム運用上の課題

水素センサによる漏えい検知システムを二重管構造にて行う場合のシステム運用上の課題について整理を行った。整理したシステム運用上の課題を表2. 5. 3に示し、内容を後述する。

表2. 5. 3 漏えい検知システム運用上の課題

|     |                          |                              |
|-----|--------------------------|------------------------------|
| 課題① | 省電力化（電池駆動対応）             | 地中に水素センサを設置する場合（図2. 5. 3）を想定 |
| 課題② | 無線出力対応                   |                              |
| 課題③ | 機能搭載によるサイズアップへの対応        |                              |
| 課題④ | 健全性（センサ・通信）の確認方法         |                              |
| 課題⑤ | センサ配置密度の設定方法             |                              |
| 課題⑥ | 漏えい位置の特定方法               |                              |
| 課題⑦ | メンテナンス方法                 |                              |
| 課題⑧ | 大規模災害時や他工事による損傷時の漏えい検知方法 |                              |

図2. 5. 3のように、地中に水素センサを設置する場合、課題①～課題③のシステム運用上の課題が考えられる。

### 【課題①：省電力化（電池駆動対応）】

他工事管理や施工性・メンテナンス性を考慮した場合、無線での漏えい検知システム構成が考えられるが、既存製品にて電池駆動に対応している水素センサはなく、今後、電池駆動対応のセンサ開発が必要である。

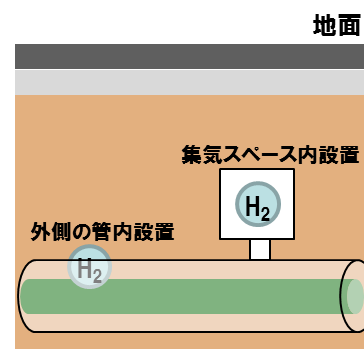


図2. 5. 3 地中に水素センサを設置する場合のイメージ図

### 【課題②：無線出力対応】

無線での漏えい検知システム構成の場合、電池駆動対応とするためには、無線モジュールの省電力化が必要である。また、地中（閉塞空間内）への設置となるため、無線電波が遮断される可能性が高くなり、無線電波の強度や伝達距離、アンテナの設置場所の検討が必要である。

### 【課題③：機能搭載によるサイズアップへの対応】

防爆対応・電池駆動対応・無線出力対応は、筐体の大きさとトレードオフの関係にあり、設置環境（外側の管の口径・集気スペース）は、筐体の大きさにより制約を受けることになる。

ただし、課題①～課題③に関しては、図2. 5. 4のように、水素が外側の管内を拡散することを利用して、センサを地上に設置するようなシステム構成であれば対応が可能であると考えられる。

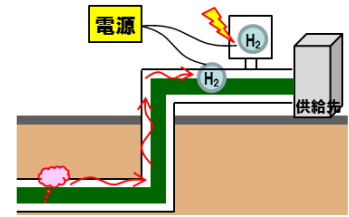


図2. 5. 4 地上に水素センサを設置する場合のイメージ図

その他、センサの設置位置に関わらず、課題④～課題⑧のシステム運用上の課題が考えられる。

#### 【課題④：健全性（センサ・通信）の確認方法】

水素センサによる漏えい検知システムの場合、機械的な作動ステップを多く要し、センサおよび通信設備の健全性が常に求められる。

センサの健全性については、常に漏えい検知可能な状態であることが求められ、外部から確認できる仕組みが必要である。また、通信設備の健全性については、常に確実に発報・通信できる状態であることが求められ、通信障害、セキュリティに対する検討が必要である。

#### 【課題⑤：センサ配置密度の設定方法】

外側の管内の拡散挙動は、二重管仕様（傾き等）によって変わるため、二重管仕様やセンサ仕様（応答性、検知下限値等）を考慮した、センサ配置密度の設定が必要である。

#### 【課題⑥：漏えい位置の特定方法】

水素が外側の管内を拡散することを利用して、センサ設置数を少なくする場合、漏えい位置を特定することが困難となってしまう。漏えい位置を特定したい場合は、配管を短延長で区切るなどの対応が必要である。

#### 【課題⑦：メンテナンス方法】

電池交換等のメンテナンスを考慮した設置方法を検討する必要がある。

また、センサのメンテナンス時は外側の管を開放することが必要であるためメンテナンスの都度、外側の管内や集気スペースのパージ作業が必要である。

#### 【課題⑧：大規模災害時や他工事による損傷時の漏えい検知方法】

大規模災害時に導管・センサともに損傷を受けた場合、また他工事において周辺のセンサを一時的に撤去・停止した場合のセンサに替わる漏えい検知方法について検討する必要がある。

また、外側の管が損傷した場合、水素漏えいの検知が不可能となるため、外側の管の不活性ガスの漏えいも監視・検知することが必要である。

### 2. 5. 3 まとめ

他の構造での水の対策として、二重管構造による対策を検討した結果、製品化されている水素センサでは、二重管構造の場合に水素センサに求められる全ての目安値に適合する水素センサは

ないことがわかった。また、システム運用上の課題についても整理を行い、様々な課題があることがわかった。

## 2. 6 水素センサに関する技術調査のまとめ

水素導管の埋設部における付臭代替措置（水素センサによる漏えい検知）の適用可否の検討に資する調査として、水素センサに関する技術調査を実施した。

昨年度（平成 29 年度）は、水素センサをハンドホール内へ設置する場合を想定し、既存のセンサは防水性を有しておらず、水没に対して課題があることを整理した。今年度は、水没があり得る環境下において、水素センサを保護するハンドホール構造での対策の検討を行った。また、ハンドホールとは異なる構造での対策についても検討を行った。

ハンドホール構造の対策としては、ハンドホール内への水の浸入対策に既存のフタ・フィルタの製品・技術を活用できる可能性があることがわかった。また、ハンドホールとは異なる構造での水の対策として、二重管構造による対策を検討した結果、製品化されている水素センサでは、二重管構造の場合に水素センサに求められる全ての目安値に適合する水素センサはないことがわかった。その他、いずれの場合においても、システム運用上の課題を整理した。

水素センサによる漏えい検知については、様々なシステム構成が考えられるため、水素センサによる漏えい検知可否に関しては、今後、各事業者の具体的な運用方法（ハンドホール・二重管仕様）に応じた検討が必要となる。また、現在新たな検知原理のセンサが開発中であり、それらのセンサの開発動向を注視する必要がある。

### 3. 他調査の実施者に対する助言等

他調査の各実施者との会議（以下、連携会議という。）や推進ワーキンググループ等を通じて他調査の実施者との連携を図りながら、必要な協議、助言等を実施した。また、他調査の調査目的と調査結果に対する考察を以下に示す。

#### 3. 1 地中および大気中の水素拡散挙動調査

##### （１）調査概要

水素ガス漏えいを迅速に検知、遮断等の措置を講じるための技術を対象とし、地中埋設導管からのガス漏えい時の対応措置検討において基本的な知見となりうる地中および大気中（地表面近傍）での拡散挙動を把握、整理する。本年度は、平成２８年度及び平成２９年度の調査結果を踏まえ、地中埋設導管からの水素ガス漏えい時における対応措置の検討において、基本的な知見となり得る、舗装による拡散挙動への影響を確認するため、一般的な道路構造部へ使用される舗装を施した実フィールド試験及びシミュレーションを行い、水素ガスの拡散挙動について調査した。

##### （２）実施した助言等（主なもの）

- ①一般的な道路構造部へ使用される舗装に関する情報提供
- ②試験条件や試験時間等、実フィールド試験方法に関する提案
- ③濃度計測センサ配置方法とその測定方法に関する提案

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

##### （３）調査結果

舗装を施した実フィールド試験にて、地中および大気中の水素拡散挙動の経時変化を確認した。地中においては、漏えい位置を中心に概ね同心円状に拡散する挙動が確認され、大気中（舗装透過後）においては、放出口から水平距離 2.5m の範囲内はほぼ一様の濃度分布であることを確認した。また、シミュレーションにより実験結果の再現性を確認した。

#### 3. 2 水素導管の大規模損傷リスク評価

##### （１）調査概要

大規模事故シナリオ（リスクシナリオ）の設定をもとに、漏えいした水素に着火した場合等、事故発生時の周囲影響の定性的・定量的評価及びそれを踏まえたリスク対策（対応措置や外部影響の緩和策等の提言）に資する技術的知見を得ることとしている。本年度は、平成２８年度及び平成２９年度の調査結果を踏まえ、掘削坑内に水素が漏えいした際の着火影響を低減させるための措置として、大規模漏えい発生時の遮断弁等による流量低下を想定し、その効果を、実験的に把握、整理した。

##### （２）実施した助言等（主なもの）

- ①大規模漏えい発生時の遮断方法に関する情報提供
- ②試験方法（条件や安全対策等）に関する提案
- ③試験結果の考察方法に関する提案

等、上記助言を行い、実験方法や条件設定、考察に反映させた。

### （３）調査結果

本試験で使用した掘削坑内へ水素が漏えいした際の着火影響について、各爆風圧評価モデルが適用される圧力範囲を整理した。また、放出孔径を変化させた試験により、坑内に形成される流れと乱れが爆風圧を増幅させる要因であることを確認した。



#### 4. 委員会の設置、運営

##### 4. 1 特別専門委員会

平成 30 年度は、全 3 回の特別専門委員会を開催した。以下に、全 3 回の委員会の開催内容について記す。

###### (1) 第 1 回特別専門委員会

日時： 平成 30 年 8 月 8 日（水） 10:00～12:00

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室  
(東京都港区虎ノ門 1-15-12)

議題： ① 委員長挨拶、委員並びに関係者の紹介  
② 平成 30 年度「水素導管供給システムの安全性評価事業」事業計画の審議  
③ その他

###### (2) 第 2 回特別専門委員会

日時： 平成 30 年 12 月 4 日（火） 15:00～17:00

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室  
(東京都港区虎ノ門 1-15-12)

議題： ① 平成 30 年度「水素導管供給システムの安全性評価事業」事業進捗状況の審議  
② その他

###### (3) 第 3 回特別専門委員会

日時： 平成 31 年 2 月 22 日（金） 15:00～16:45

場所： 日本ガス協会 7 階 701 会議室  
(東京都港区虎ノ門 1-15-12)

議題： ① 平成 30 年度「水素導管供給システムの安全性評価事業」事業成果の審議  
② その他

##### 4. 2 推進ワーキンググループ

平成 30 年度は、全 6 回の推進ワーキンググループを開催した。以下に、全 6 回の推進ワーキンググループの開催内容について記す。

###### (1) 第 1 回推進ワーキンググループ

日時： 平成 30 年 7 月 19 日（月） 13:30～17:15

場所： 日本ガス協会 7 階 707 会議室  
(東京都港区虎ノ門 1-15-12)

議題： ① 本年度事業の全体計画（役割分担・スケジュール等）  
② 第 1 回特別専門委員会に向けた報告内容の確認  
③ その他

(2) 第2回推進ワーキンググループ

日時： 平成30年10月17日(水) 14:00~17:00

場所： 日本ガス協会 7階 706会議室  
(東京都港区虎ノ門1-15-12)

議題： ① 各テーマ進捗状況の共有および協議  
② その他

(3) 第3回推進ワーキンググループ

日時： 平成30年11月29日(水) 10:00~11:00

場所： 北陸ガス本社(北陸ビル)  
(新潟市中央区東大通1-2-23)

議題： ① 第2回特別専門委員会に向けた報告内容の確認  
② その他

(4) 第4回推進ワーキンググループ

日時： 平成31年1月11日(金) 13:30~17:00

場所： 日本ガス協会 7階 706会議室  
(東京都港区虎ノ門1-15-12)

議題： ① 各テーマ進捗状況の共有および協議  
② その他

(5) 第5回推進ワーキンググループ

日時： 平成31年2月6日(水) 10:00~15:00

場所： 日本ガス協会 7階 705会議室  
(東京都港区虎ノ門1-15-12)

議題： ① 第3回特別専門委員会に向けた報告内容の確認  
② その他

5. 謝辞

本調査事業の遂行にあたり、ご指導いただいた特別専門委員会の倉淵委員長ならびに委員の皆さま、調査の実施や内容のまとめでお世話になった推進ワーキンググループの皆さまに厚く感謝の意を表します。

また、本調査事業の実施により、水素ガス導管供給における基本的な保安の確保に関する重要な知見を得ることができ、事業を立案・実施いただいた経済産業省産業保安グループガス安全室殿に深く感謝の意を表します。