

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.930

October 2016

B-DASH プロジェクト No.11

下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン (案)

下水道研究部下水処理研究室

B-DASH Project No.11
Guideline for introducing hydrogen generation from sewage biogas source

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASHプロジェクト No.11

下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン(案)

下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.11

Guideline for introducing hydrogen generation from sewage biogas source

Wastewater and Sludge Management Division

Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を目指し、下水道革新的技術の一つである「下水バイオガス原料による水素創エネ技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード : 下水バイオガス、水蒸気改質、水素ステーション

Synopsis

This Guideline for introducing hydrogen generation from sewage biogas source, which is one of sewage high technologies, is designed to reduce sewage service costs, create renewable energy and support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words : sewage biogas, steam reforming, hydrogen refueling station

執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室 長 . . . 山下 洋正

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 . . . 太田 太一

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 . . . 田嶋 淳
(京都府環境部水環境対策課課長)

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研 究 官 . . . 松本 龍

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 研 究 官 . . . 大西 宵平
(国土交通省大臣官房技術調査課係長)

※研究当時の所属 (括弧書きは現所属)

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、77.8%（平成27年度末下水道処理人口普及率）まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。しかし、その一方で、大量に発生する汚水の浄化には大きな電力を要し、それだけで我が国の総電力消費量の0.7%近くを占めている。これは、下水処理場の維持管理費を押し上げる要因ともなっている。

また、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出されるため、地方公共団体の公共事業の中でも最大級の温室効果ガス排出源となっている。今後、下水道の未普及地域の解消や高度処理化など、排出を増加させる要因が引き続き見込まれることから、地球温暖化防止に一定の役割を果たそうとする我が国において、その削減が急がれる。

さらに、下水汚泥や下水の持つエネルギー価値やリン等資源のポテンシャルに期待が高まっており、省エネ・省資源のみならず、積極的にエネルギー・資源を創出する取組も始まっている。

これらのことを踏まえ、今後は、有機物、栄養塩類を除去対象物質でなく資源として捉え、革新的な技術・システム等を導入し、地域のバイオマスを集約することで、下水処理場を水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化することが「新下水道ビジョン」（平成26年7月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会）でも打ち出されているが、潜在的なポテンシャルに対して実際に活用されている割合はわずかであり、優れた新技術が開発されても、実績が少ないため導入に慎重な下水道事業者も多い状況である。

このため、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト※）」を平成23年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン（案）」で示す技術は、下水汚泥由来の消化ガスから水蒸気改質反応により燃料電池自動車の燃料として供給可能な水素を製造する技術である。実証研究により、安定した品質の水素が製造可能であり、燃料電池自動車に供給することで新たなエネルギーを創出すると共に温室効果ガス排出量削減に効果があることが実証されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（下水バイオガス原料による水素創エネ技術実証研究 受託者：三菱化工機・福岡市・九州大学・豊田通商共同研究体 実施期間：平成26～27年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを2年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた評価委員会および検討会の委員各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

目 次

第 1 章 総 則

第 1 節	ガイドラインの目的	1
§ 1	ガイドラインの目的	1
第 2 節	ガイドラインの適用範囲	3
§ 2	ガイドラインの適用範囲	3
第 3 節	ガイドラインの構成	4
§ 3	ガイドラインの構成	4
第 4 節	用語の定義	6
§ 4	用語の定義	6

第 2 章 技術の概要と評価

第 1 節	技術の概要	7
§ 5	システム全体の目的	7
§ 6	システム全体の概要と特徴	9
§ 7	前処理技術の概要と特徴	11
§ 8	水素製造技術の概要と特徴	15
§ 9	水素供給技術の概要と特徴	17
§ 10	CO ₂ 液化回収技術の概要と特徴	20
§ 11	夜間等運転時の概要と特徴	22
第 2 節	技術の適用条件	24
§ 12	適用条件及び推奨条件	24
§ 13	導入シナリオ例	26
第 3 節	実証研究に基づく評価の概要	27
§ 14	技術の評価項目	27
§ 15	技術の評価結果	31

第3章 導入検討

第1節	導入検討手法	33
§16	導入検討手順	33
§17	基礎調査	34
§18	導入効果の検討	36
§19	導入判断	40

第4章 計画・設計

第1節	導入計画	41
§20	計画の手順	41
§21	基本条件の設定	42
§22	基本計算	45
§23	施設計画の検討	49
§24	導入効果の検証	53
§25	導入計画の策定	54
第2節	施設設計	55
§26	前処理設備の設計	55
§27	水素製造設備の設計	57
§28	水素供給設備の設計	59
§29	CO ₂ 液化回収設備の設計	61
§30	ユーティリティ設備の設計	62
§31	安全対策と環境対策	64

第5章 維持管理

第1節	運転管理	66
§32	運転管理	66
第2節	保守点検	70
§33	保守点検	70
第3節	緊急時の対応	74
§34	緊急時の対応	74
参考文献		75

資 料 編

I. 実証試験.....	77
II. 簡易算定式.....	107
III. 参考資料.....	127
IV. 問い合わせ先.....	144

第1章 総 則

第1節 ガイドラインの目的

§1 ガイドラインの目的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト削減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の革新的技術の1つである「下水バイオガス原料による水素創エネ技術」（以下、本技術とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計及び維持管理等に関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト削減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図1-1に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成23年度は、①水処理における固液分離技術（高度処理を除く）、バイオガス回収技術、バイオガス精製技術、バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2件の実証研究を採択・実施し、平成25年7月にガイドライン案を策定している。

平成24年度は、②下水汚泥固形燃料化技術、③下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る。）、④栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、⑤栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可。）に係る革新的技術について公募を行い、5件の実証研究を採択・実施し、平成26年8月にガイドライン案を策定している。

平成25年度は、⑥下水汚泥バイオマス発電システム技術（低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術）、⑦管きょマネジメント技術に係る革新的技術について公募を行い、5件の実証研究を採択・実施し、平成27年9月にガイドライン案を策定している。

平成26年度は、⑧下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、⑨既存施設を活用した省エネ型水処理技術（標準活性汚泥法代替技術・高度処理代替技術）、⑩ICTによる既存施設を活用した戦略的水処理管理技術及び既存施設を活用したICTによる都市浸水対策機能向上技術に係る革新的技術について公募を行い、6件の実証研究を採択・実施している。

平成27年度は、⑪複数の下水処理場からバイオガスを効率的に集約・活用する技術、⑫バイオガスからCO₂を分離・回収・活用する技術、⑬設備劣化診断技術、⑭都市域における局所的

集中豪雨に対する降雨及び浸水予測技術、⑮下水管路に起因する道路陥没の兆候を検知可能な技術、⑯下水処理水の再生利用技術について公募を行い、9件の実証研究を採択・実施している。

本技術は、⑧に係る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、評価委員会とする）の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト削減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計及び維持管理等に関する技術的事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト*)の実証テーマ

*Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

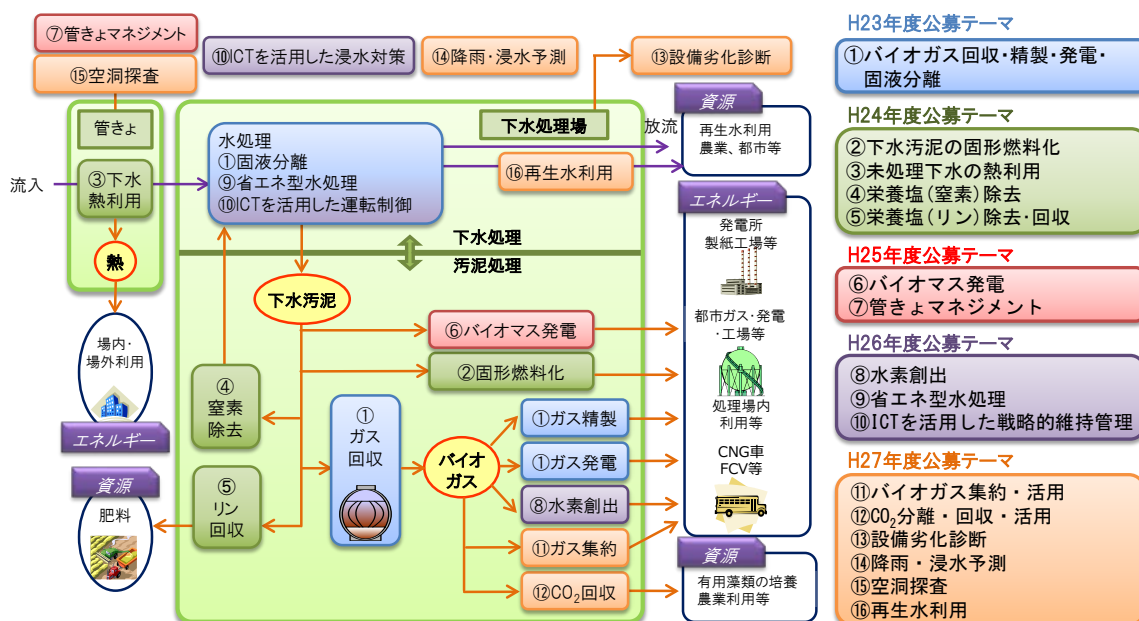


図1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

第2節 ガイドラインの適用範囲

§2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、本技術のシステム全体または一部についての、下水道施設を対象とした導入検討、計画・設計及び維持管理に適用する。

【解説】

本ガイドラインは、下水道施設の新・増設あるいは既存施設・設備の更新に際して、本技術のシステム全体または一部の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術のシステム全体を同時にまたは段階的に導入する場合、または、一部の要素技術のみを導入する場合のどちらにも、本ガイドラインは適用される。

本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者及び関連する民間企業等に利用されることを想定して策定している。

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、革新的技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理及び資料編から構成される。

【解説】

本ガイドラインは、図1-2に示す構成から成る。

各章の内容は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

第1章では、ガイドラインの目的、適用範囲、構成、用語の定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

第2章では、革新的技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例について整理する。また、実証研究で得られた成果に基づく革新的技術の評価結果を示す。

(3) 第3章 導入検討

第3章では、革新的技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を整理する。

(4) 第4章 計画・設計

第4章では、導入検討の結果として、革新的技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に実施設計を進めるための方法について整理する。

(5) 第5章 維持管理

第5章では、革新的技術を導入した場合において、下水道管理者等が実施すべき維持管理の具体的方法について整理する。

その他、資料編として、実証研究結果、簡易算定式、問い合わせ先等に関する資料を示す。

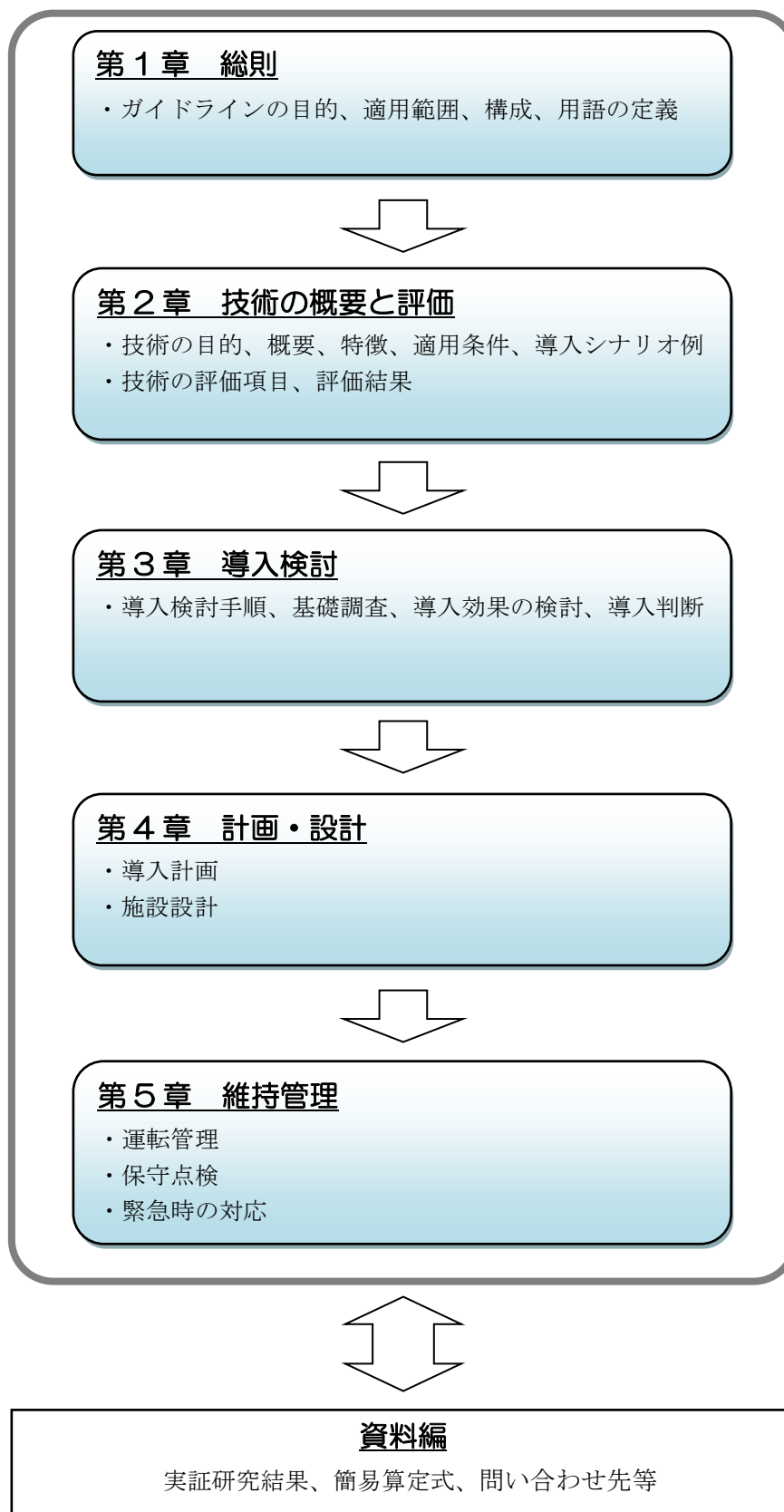


図1-2 本ガイドラインの構成

第4節 用語の定義

§4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。なお、下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版」（公益社団法人日本下水道協会）¹⁾、「下水道用語集 2000年版」（公益社団法人日本下水道協会）²⁾に準拠する。

(1) 燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle : FCV)

燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気エネルギーを使って、モーターを回して走る自動車のこと。

(2) 水素ステーション

燃料電池自動車に水素を供給するための施設のこと。水素をその場で製造して供給するオンサイト型と、水素を輸送して貯蔵しておき供給するオフサイト型がある。

(3) 水蒸気改質反応

炭化水素から水蒸気を用いて水素を生成する反応のこと。本技術では炭化水素として消化ガス中のメタンを用いる。メタンの水蒸気改質による水素生成は以下の化学反応となる。



反応を促進させるため改質触媒を用い、900℃前後の高温で反応させる。

(4) シロキサン

消化ガスに含まれる微量成分の一つであり、ケイ素と酸素を骨格とする化合物で、Si-O-Si結合（シロキサン結合）を持つものの総称のこと。このシロキサンが原因で二酸化ケイ素等が設備に付着、析出等を生じて問題を引き起こす。

(5) PSA (Pressure Swing Adsorption) 法

圧力変動吸着法といい、圧力を上げて吸着剤で吸着し、再生では減圧して脱着することにより特定の物質を分離する方法のこと。本システムの水素製造のガス精製工程においては、水蒸気改質反応により生じた水素を高純度化するために用いている。また、本システムの水素製造のガス精製工程の装置についてもPSAという。

(6) グランドフレア

製造工程で反応に用いられなかった原料ガスや製造工程で発生する可燃性の排ガスを燃焼処理する装置で、通常、地上置きの日筒状炉内で燃焼させる。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要

§5 システム全体の目的

本システムの目的は、都市型バイオマス資源である下水汚泥由来の消化ガスを原料として水素を製造し、燃料電池自動車（FCV）用の燃料として使用することにより、消化ガスを有効利用し、新たなエネルギーを創出すると共に、温室効果ガス排出量の削減を図ることを目的とする。

【解説】

都市型のバイオマス資源である下水汚泥由来の消化ガスは、消化槽の加温等に必要な温水や蒸気を発生させるボイラの燃料や汚泥を焼却処理する際の補助燃料、ガスエンジン発電機やガスタービン発電機の燃料または都市ガスの原料として有効利用されているが、全国的にみて消化ガスの発生量に対して、約30%の消化ガスが利用されずに余剰燃焼処理されている。

一方、2015年から市販が始まった燃料電池自動車は全国に普及し始めており、通常のガソリン車の単位走行距離当たりのエネルギー消費量が約2.23 MJ/kmなのに対して、燃料電池自動車は約1.06 MJ/kmとエネルギー消費量が少ない（出典：「JHFC 総合効率検討結果」報告書（平成18年3月（財）日本自動車研究所）³⁾「図4-10 10・15モード各種車両のエネルギー消費原単位」）ことに加え、走行時に二酸化炭素（CO₂）を排出しないという特長を有している。都市ガスやナフサ等の化石燃料から水素（H₂）を製造して燃料電池自動車に使用する場合でも、ガソリン車に比べ、温室効果ガス排出量の約55%の削減が見込まれる（出典：「JHFC 総合効率検討結果」報告書（平成18年3月（財）日本自動車研究所）「図5-7 Well to Wheel CO₂ 総排出量計算結果まとめ」）。

このように、本システムの目的は、従来化石燃料から製造されていた燃料電池自動車の燃料である水素を、下水処理場の消化工程から発生する消化ガスを原料として製造することにより、これまで未利用であった消化ガスを有効利用し、新たなエネルギーを創出すると共に、温室効果ガス排出量の削減を図るものである。本システムの位置づけを図2-1に示す。

なお、消化ガス中のメタン（CH₄）を精製するガス分離膜装置から排出されるオフガスには、高濃度のCO₂が含まれていることから、CO₂液化回収設備を設置し、液化CO₂として回収することにより、消化ガス中のメタンだけでなく、CO₂の有効利用も可能となる。

また、本システムを導入することにより下水処理場が水素ステーションの拠点となり、図2-2に示したような下水道事業の市民生活への多角的貢献が可能となる。

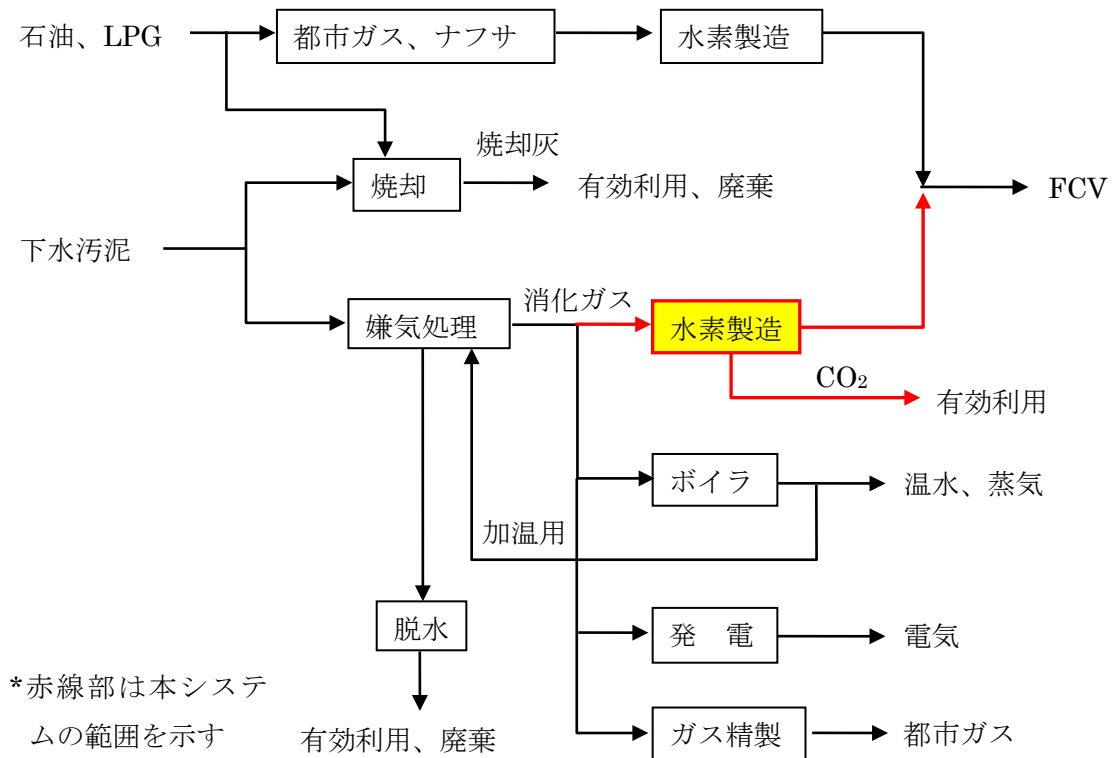


図2-1 本システムの位置づけ

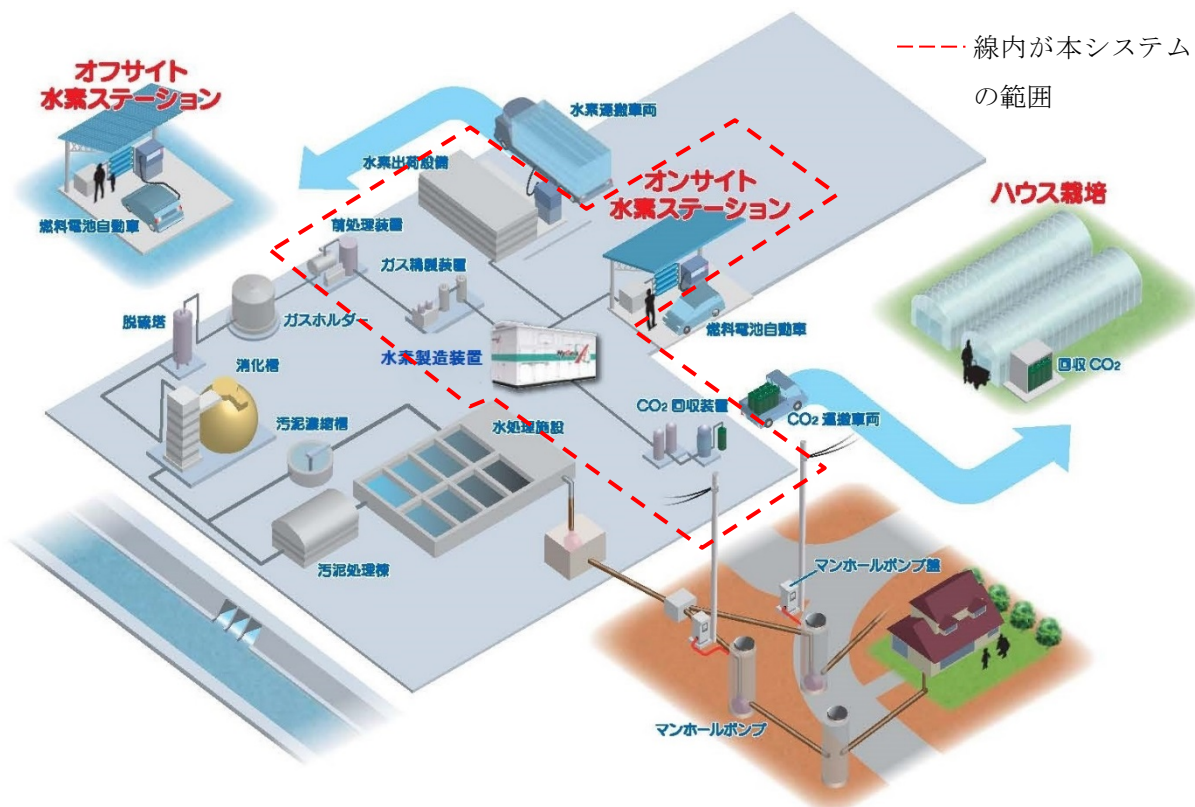


図2-2 水素ステーション多角的な貢献イメージ図

§6 システム全体の概要と特徴

本システムは、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備及び CO₂液化回収設備から構成されており、消化ガスから効率的に水素を製造し、燃料電池自動車の燃料として供給することにより、エネルギーの創出、温室効果ガス排出量の削減が可能である。さらに、各設備間での連携運転を自動化することにより、煩雑な運転操作なく運転することができる。

【解説】

本システムは、都市型のバイオマスの集積所である下水処理場の消化工程から発生する消化ガスを原料にして水素を製造し、燃料電池自動車に供給するもので、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備及び CO₂液化回収設備から構成される。なお、この CO₂液化回収設備は、本システムでは必須な設備ではなく、CO₂の需要と経済性等を考慮して設置する。システムの全体構成図を図2-3に示す。点線内が本システムの範囲内である。

本システムは、消化ガスから水素を効率的に製造するために、前処理設備において消化ガスに含まれるシロキサンと CO₂を除去し、メタンリッチになった精製ガスを水素製造設備に供給して、水蒸気改質法にてメタンを水素に改質し、水素供給設備において燃料電池自動車に供給する。また、需要がある場合は他の水素ステーション等へも供給する。前処理設備からは高濃度の CO₂を含むオフガスが排出されるため、必要に応じ CO₂液化回収設備にて CO₂を回収し有効利用を図る。本システムの設備フローを図2-4に示す。

また、本システムでは前処理設備を含めた自動シーケンスを構築し、自動化運転システムを採用しているため、複雑な運転操作が不要となっている。このため、システムの起動・停止時と燃料電池自動車への充填時のみに運転操作をするだけでよく、人為的運転操作ミスの削減や運転員の負荷軽減を図ることができる。

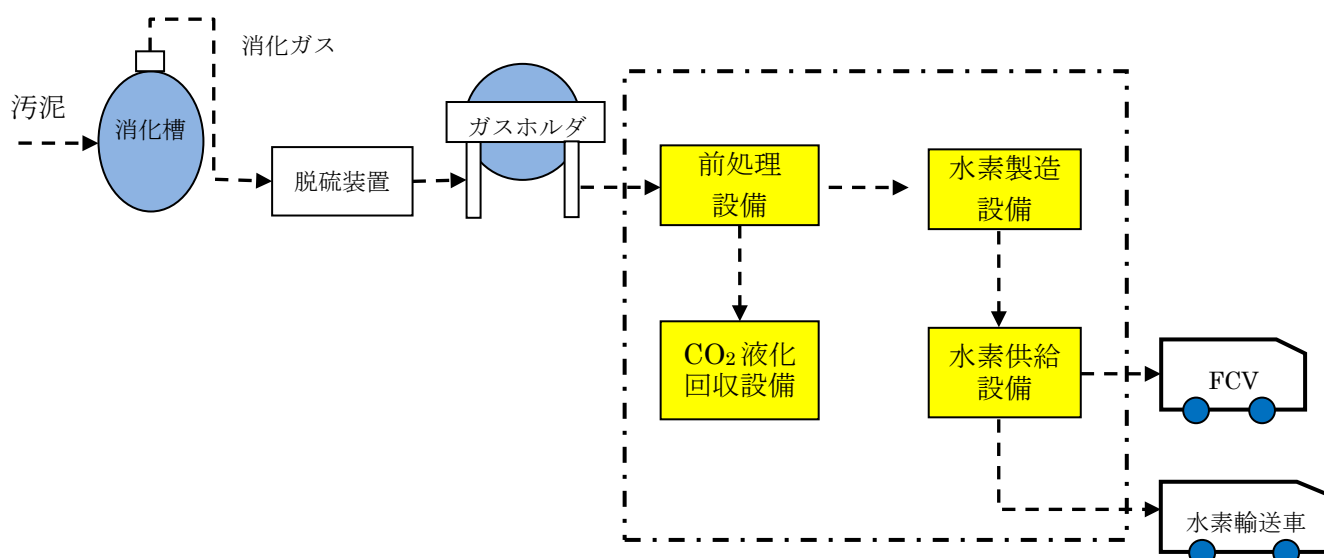


図2-3 本システムの全体構成図

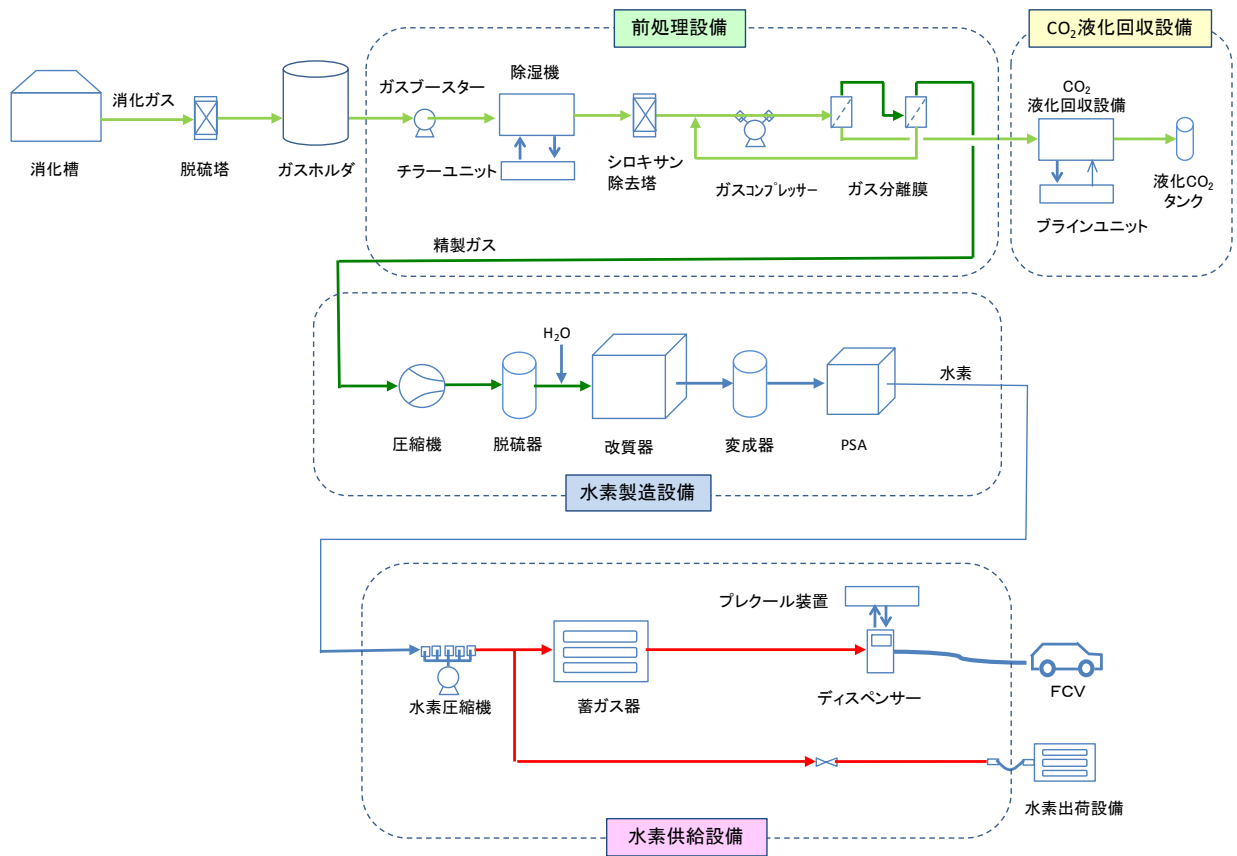


図 2 - 4 本システムの設備フロー

§ 7 前処理技術の概要と特徴

前処理設備は、水素を効率的に製造するために消化ガスを前処理するための設備で、装置障害を誘引するシロキサンを除去するシロキサン除去装置と CO₂ を除去してメタン精製を行うガス分離膜装置から構成される。

【解説】

前処理設備は、消化ガス中のシロキサンを除去するシロキサン除去装置と、CO₂ を分離し高濃度のメタンを精製するガス分離膜装置から構成される。図 2 - 5 に前処理設備のフローを、図 2 - 6 に前処理設備の写真を示す。

シロキサンは消化ガスに含まれる微量成分の一つであり、ガス分離膜に付着し分離性能の低下や、水素製造設備の改質触媒にシリカとなって析出し改質反応を阻害する原因となる。シロキサン除去塔には活性炭が充填されており、吸着反応によりシロキサンを除去する。また、消化ガスは主に約 60vol%のメタンと約 40vol%の CO₂ で構成されており、そのまま水素製造設備に供給した場合、反応に寄与しない CO₂ の加温のための熱量が必要となる。そのため、ガス分離膜装置を用いて、消化ガス中の CO₂ を分離し、92vol%以上のメタンを含んだ精製ガスを水素製造設備に供給することにより、原燃料の加温に必要な熱量を削減することができる。図 2 - 7 にガス分離膜装置のフローを示す。

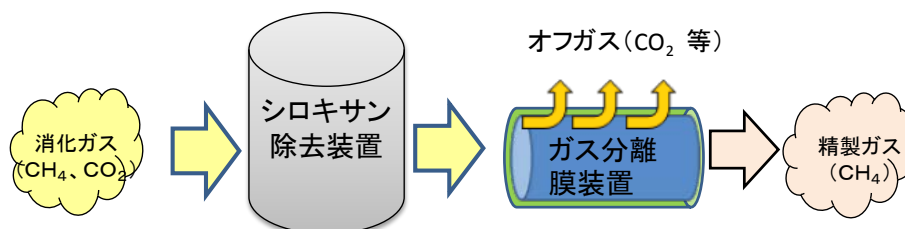


図 2 - 5 前処理設備フロー図



シロキサン除去装置



ガス分離膜装置

図 2 - 6 前処理設備写真

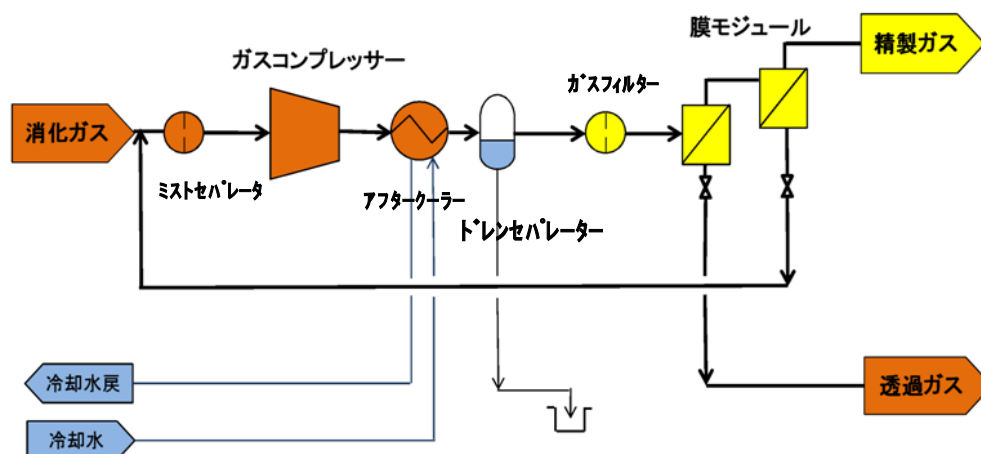


図 2 - 7 ガス分離膜装置フロー図

消化ガス中の CO_2 を除去する方法として、ガス分離膜法以外にも、PSA 法、高圧水吸収法等がある。ガス分離膜法は、ガス精製の過程で水分がガス分離膜の透過ガス側に移行するため、精製ガスに水分を含まず、高圧水吸収法のように除湿機を必要としない。また、膜を透過したガスは、オフガスとして高濃度の CO_2 を含んでいる。PSA 法と比べ、消化ガス中の組成変動に対する精製メタン濃度及びメタン回収率の変動が少なく、運転操作が容易である。ガス分離膜装置のその他の特徴を以下に記す。また、図 2 - 8 にガス分離膜の図を、表 2 - 1 に他方式との比較を示す。

- ① ガス分離膜装置は、主にガスコンプレッサー、ガスフィルター、膜モジュールで構成されており、シンプルな装置構成であるため、運転及び維持管理が容易である。また、膜モジュールはユニット化が可能であり、装置全体のコンパクト化が図られている。
- ② ガス分離膜を 2 段に分けて設置することで精製ガス中のメタン濃度を上げ、2 段目ガス分離膜の透過ガスをガスコンプレッサーの入口に戻してリサイクルすることによって、2 段目ガス分離膜の透過ガスに含まれるメタンを回収し、メタン回収率を上げている。
- ③ 海外を含めたユーザーによっては、精製ガスのメタン濃度の要求値が異なることがある。本技術による精製では、要求される精製メタン濃度 (80~95vol%) に設計・製作することが容易である。
- ④ 1 段目ガス分離膜のオフガスは高濃度の CO_2 を含んでおり、 CO_2 を回収する設備を付加することにより、消化ガス中のメタンだけでなく、 CO_2 も利用することが可能となる。

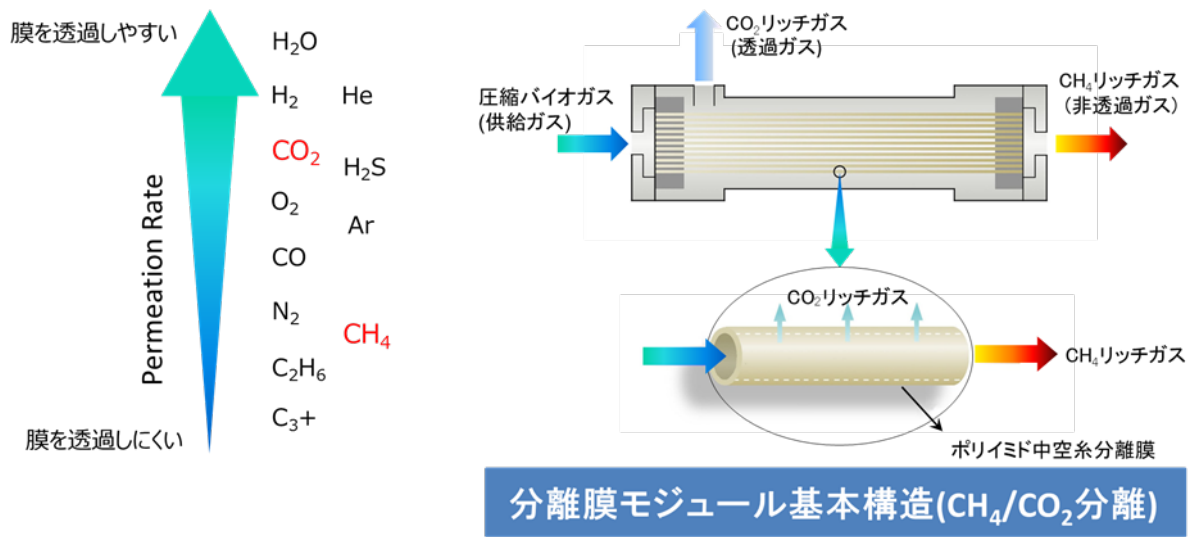


図 2 - 8 ガス分離膜とガス分離原理

表 2 - 1 ガス分離膜と他方式との比較

	ガス分離膜法	PSA 法	高圧水吸収法
原理 及び 操作	膜に対するメタン及び CO ₂ の透過速度の違いを利用してガスを分離する。 消化ガスを加圧状態にして膜に供給し、透過速度の速い CO ₂ を透過側に透過させることでメタンを濃縮する。	吸着剤に対するガスの吸着性の違いを利用してガスを分離する。 PSA では、加圧状態にて消化ガスを流し、CO ₂ のみを吸着除去しメタンを濃縮する吸着工程と、減圧することによって吸着剤を再生する再生工程を組み合わせ、連続分離を行う。	水に対するガスの溶解性の違いを利用して、ガスを分離する。 水を吸収塔の塔頂から下に流し、加圧状態とした消化ガスを、向流となるよう下から上に流して、水と消化ガスを接触させ、水に溶けやすい CO ₂ を溶解させ、メタンを濃縮する。
精製 CH ₄ 濃度 CH ₄ 回収率	○	○	◎
CO ₂ 回収の 可否	○ CO ₂ 回収可能	○ CO ₂ 回収可能	× CO ₂ 回収不可能
運転 安定性	◎ 消化ガスの組成変動に対して運転調整が不要であり、ほぼ同等の精製メタン濃度、回収率が達成できる。	△ 消化ガス中の CO ₂ 濃度が大きく変動する場合は、吸着工程と再生工程の切替時間の変更等の運転調整が必要となる。	△ 消化ガス中の CO ₂ 濃度が大きく変動する場合は、吸収液循環量を制御する必要がある。回収率には影響なし。
総合評価	○ CO ₂ の回収設備の併設が可能及び消化ガスの濃度変動に対する運転安定性が高い。	△ 消化ガス中の CO ₂ 濃度の変動が小さい場合は選定可能。	△ CO ₂ を回収しない場合は選定可能。

§8 水素製造技術の概要と特徴

水素製造設備は、前処理設備で得られたメタンを主成分とする精製ガスを水蒸気改質反応により、高純度の水素を生成する設備であり、改質工程、変成工程及びガス精製工程の3工程により、燃料電池自動車に供給可能な水素を製造する。従来の工業用水素製造設備に比べ、水素ステーション用の水素製造設備は、さらに改良された方式を採用しており、水素製造効率の向上、コンパクト化を特徴としている。

【解説】

本技術は、前処理設備から供給されるメタンを主成分とする精製ガスを高温下において水蒸気と反応させ、水素を主成分とし一酸化炭素（CO）を含む改質ガスを製造する改質工程、改質ガス中の一酸化炭素をさらに水蒸気と反応させ、水素とCO₂を含む変成ガスを製造する変成工程、PSA法により変成ガスを精製して燃料電池自動車に供給可能な純度 99.97vol%以上の水素を製造するガス精製工程の3工程から構成される。改質工程の改質反応と、変成工程の変成反応をあわせて水蒸気改質反応という。なお、ガス精製工程から排出されるオフガスは、水素や未反応のメタンを含んでいるため、改質器のバーナー燃料として有効利用している。図2-9に水素製造設備のフロー図を、図2-10に水素製造設備の写真を示す。

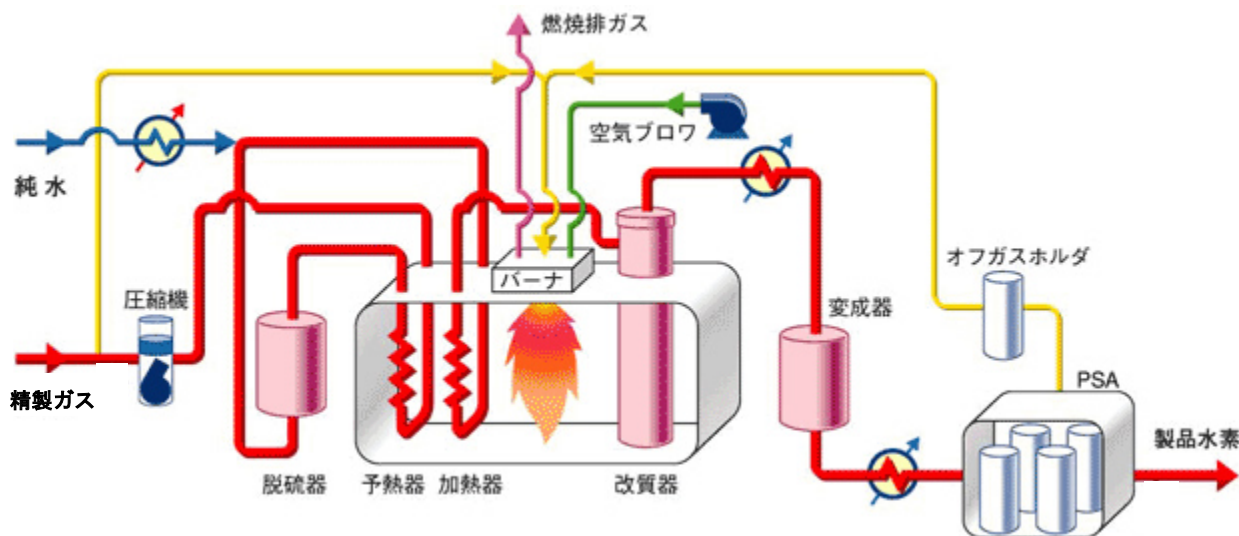
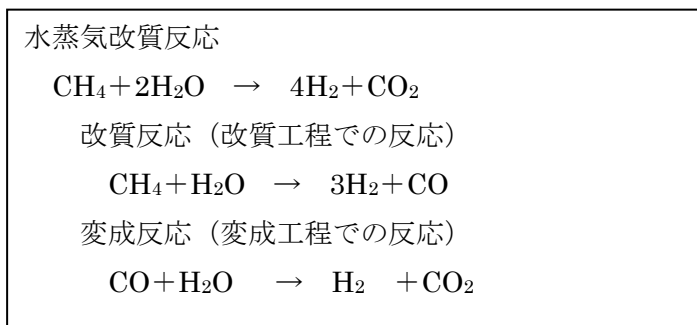


図2-9 水素製造設備フロー図

水素製造設備は、主な機器として改質器、変成器及びガス精製装置（PSA）から構成される。改質器は、改質触媒を充填した反応管であり、精製ガスと純水（比抵抗 $10\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）を混合させた後に、高温下にて反応管内の触媒に通すことで水素と一酸化炭素が製造される。変成器は、変成触媒が充填された反応管であり、水蒸気と一酸化炭素を反応させることで、水素と CO_2 が製造される。PSA は、吸着剤を充填した吸着塔から構成され、加圧状態にて吸着剤に CO_2 等を吸着させ水素を精製する。水素製造設備の特徴を以下に記す。

- ① 燃焼排ガスだけでなく改質ガスや変成ガスから熱回収を行うことによりバーナー燃料の使用量を削減し、またガス精製を行う PSA を高回収率化することにより、水素製造効率を向上させている。
- ② 機器のコンパクト化や、改質器等の熱ロスを削減し、各主要機器の伝熱効率を向上させると共に、装置起動工程を最適化することにより、起動時間を従来の8時間から4時間に短縮している。
- ③ 設備の運転は自動運転方式であり、煩雑な手動操作なしで水素の製造が可能である。
- ④ 主な機器をスキッドマウントにし、コンパクトに納めているため、現地工事の簡略化が可能であり、コスト削減が図られている。
- ⑤ 設備異常時には、自動で安全停止するシステムを採用していることに加え、設備内で製造する水素が漏洩した場合でも、爆発下限濃度以上にならないよう強制換気をするシステムとしている。
- ⑥ 低 NO_x バーナーの採用により燃焼排ガス中の NO_x の削減を図っている。



図 2 - 10 水素製造設備写真

§9 水素供給技術の概要と特徴

水素供給設備は、製造した水素を圧縮し、燃料電池自動車に供給するための設備であり、水素圧縮機、蓄ガス器、ディスペンサー及びプレクール装置から構成されている。また、水素出荷設備を設置することにより、オフサイト水素ステーション等に水素を出荷することが可能となる。

【解説】

水素供給設備は、水素製造設備で製造された高純度水素を燃料電池自動車に供給するための設備であり、水素圧縮機、蓄ガス器、ディスペンサー及びプレクール装置から構成される。水素圧縮機により高純度水素を82MPaGまで昇圧し、蓄ガス器に一時貯留した後、プレクール装置で水素を冷却しながらディスペンサーにより、70MPaG対応の燃料電池自動車に供給する。また、必要に応じて水素出荷設備を設置することにより、オフサイト水素ステーション等に水素を出荷することが可能となる。水素供給設備の概略フローを図2-11、写真を図2-12に示す。

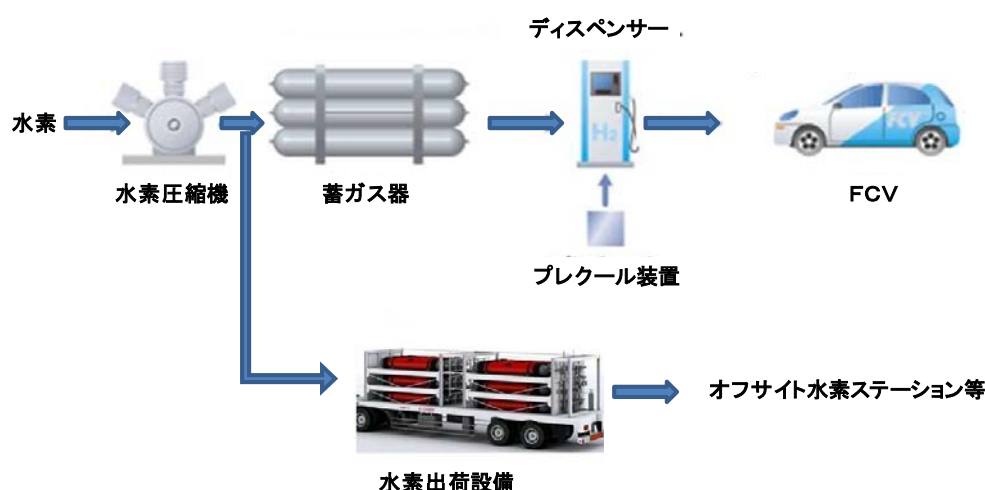


図2-11 水素供給設備フロー図

水素供給設備の各機器の概要と特徴を以下に記す。

① 水素圧縮機

水素圧縮機は、燃料電池自動車に供給する水素を圧縮するために設置されたもので次の特徴がある。

- ・水素ステーション用として設置面積の削減を目的としたコンパクト設計となっている。
- ・一般的な水素圧縮機の連続運転時間が約4,000時間であるのに対し、ダイヤフラム式でなく特殊なレシプロ構造にすることにより、8,000時間以上の連続運転が可能となっているため、水素ステーションにおけるメンテナンス費が削減できる。

② 蓄ガス器

蓄ガス器は、水素を貯蔵しておくための容器で次の特徴がある。

- ・蓄ガス器として、鋼製容器と複合容器（肉厚の薄い金属容器に繊維を巻き付けて樹脂で繊維を固定平滑仕上げした構造の容器）とがあるが、取り扱いが容易な鋼製を採用している。
- ・蓄ガス器容量は一般的な300Lとし、低圧用、中圧用及び高圧用の3本をユニット化した3バンク方式での運用としている。この方式にすることにより、燃料電池自動車への充填を、車載水素タンク圧力に応じて切り替えることが可能となり、効率的な水素充填が可能となる。

③ ディスペンサー

ディスペンサーは、水素を燃料電池自動車に安全に充填するための装置であり、充填のためのノズルや操作盤により構成されており、次の特徴がある。

- ・一般高圧ガス保安規則第7条の3に基づいて設計されており、充填速度5 kg/3 minにて充填可能である。
- ・レセプタクル（水素充填ノズル）は、国内技術を採用しメンテナンスが容易である。
- ・赤外線通信機能を搭載しており、車載水素タンクの圧力、温度をデータ管理し、適切な水素充填を実施できる。

④ プレクール装置

プレクール装置は、ディスペンサーに付帯し、燃料電池自動車のタンクに充填する水素を冷却するもので、ディスペンサーと一体となった水素冷却用熱交換器、熱交換器に冷媒を供給する冷凍機、及び冷媒循環系統から構成される。水素を急速に充填すると断熱圧縮により温度が上昇するため、車載水素タンクの温度が上がり過ぎないように、あらかじめ水素を-40℃まで冷却する装置である。

⑤ 水素出荷設備

他の水素利用場所（オフサイト水素ステーション等）に水素を出荷するための設備であり、次の特徴がある。なお、水素出荷設備は、本システムに必須な設備ではなく、必要に応じて設置する。

- ・蓄ガス器から減圧するか、水素圧縮機から直接20MPaGの圧力にして水素ガスボンベの集合体（水素カードル）への充填が可能である。



水素圧縮機



蓄ガス器



ディスペンサー



水素出荷設備

図 2 - 12 水素供給設備写真

§ 10 CO₂ 液化回収技術の概要と特徴

CO₂ 液化回収設備は、ガス分離膜装置から排出される高濃度の CO₂ を含むオフガスから CO₂ を液化して回収する設備であり、除湿機、CO₂ 圧縮機、凝縮器、分離機及び液化 CO₂ タンクから構成される。

【解 説】

CO₂ 液化回収設備は、ガス分離膜装置から排出される高濃度の CO₂ を含むオフガスから CO₂ を液化して回収する設備であり、主な構成としては、ガス中の水分を除去する除湿機、除湿後のガスを圧縮する CO₂ 圧縮機、CO₂ を凝縮・分離する凝縮器・分離機及び液化した CO₂ を貯留する液化 CO₂ タンクから構成される。CO₂ 液化回収設備の概略フローを図 2 - 13 に、写真を図 2 - 14 に示す。

CO₂ を液化回収する際にガス中の水分の氷結を避けるため、熱再生式 (TSA 式) の除湿機によりオフガス中の水分を除去した後、CO₂ 圧縮機により 3MPaG まで昇圧する。昇圧されたオフガスは凝縮器、分離機に送られ、ブラインクーラーで -20~-30℃ まで冷却することにより、大部分の CO₂ を液化する。オフガスに含まれるメタンや窒素、酸素は凝縮せずに残り、ベントガスとして排出される。なお、ベントガスはメタンを 30vol% 程度含むため、水素製造の原料や水素製造設備のバーナー燃料として使用できる。

凝縮器、分離機で液化した CO₂ を設置場所状況に応じ、高低差または圧力差を利用して、一般的には二重殻断熱式の極低温容器 (Liquid Gas Container : LGC) に回収する。

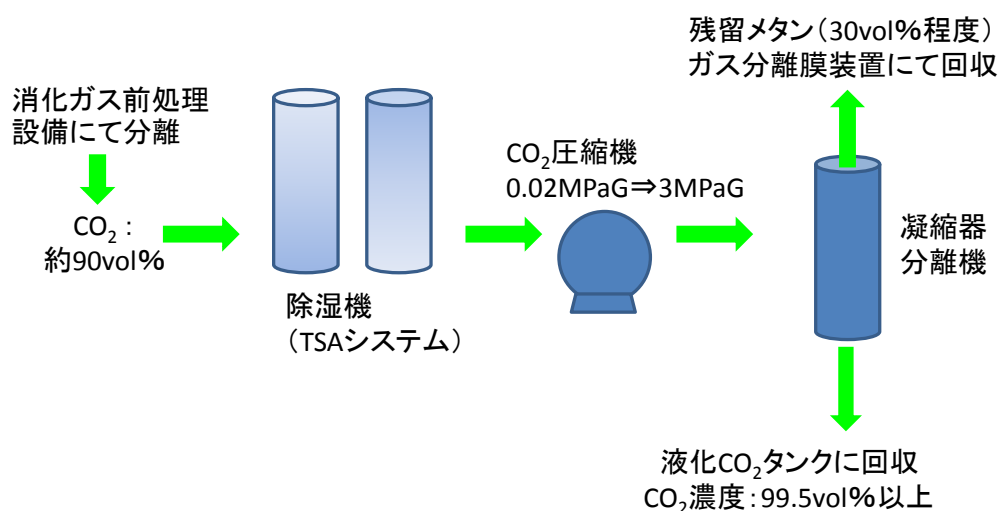


図 2 - 13 CO₂ 液化回収設備フロー図

本設備の特徴を以下に記す。

- ① 液化 CO₂ として、LGC に充填する仕様であるため、一般的な CO₂ ボンベが一本当たり 30kg 充填可能なのに対し、一本当たり 160kg の CO₂ を充填可能である。
- ② JIS 2 種相当 (JIS K 1106 : 1990) である純度 99.5vol% 以上の CO₂ の回収が可能である。



CO₂ 液化回収設備全体



液化 CO₂ タンク

図 2 - 14 CO₂ 液化回収設備写真

§ 11 夜間等運転時の概要と特徴

水素製造設備では、改質器・変成器の温度の上昇・低下による触媒の劣化を防ぐため、水素を製造・供給しない時間帯においても温度保持運転を行う必要がある。温度保持運転として、アイドル運転と待機運転の2種類の方法がある。

【解 説】

水素製造設備の運転時、水蒸気改質反応を行うため改質器は約 900℃、変成器は約 300℃の高温に維持されており、運転の起動・停止を頻繁に行うと高温・低温の繰り返しによる触媒の劣化を招くことになる。それを防止するため、夜間等の水素を製造・供給しない時間帯においても、改質器・変成器の温度を高温に保持する必要がある。温度保持のための運転方法としてアイドル運転と待機運転の2種類の方法があり、水素ステーションの運転状況によって使い分けが可能である。それぞれの概要と特徴を以下に記す。

(1) アイドル運転

通常運転における最小負荷運転状態（ミニマムロード）からさらに負荷を下げた状態での運転で、製造した水素を全量改質器のバーナー燃料として使用する。図 2 - 15 にアイドル運転の概要を示す。

水素製造設備に精製ガスを供給する必要があるため、通常の運転時と同様、前処理設備を運転する必要がある。

通常運転への移行が約 1 時間と短いため、燃料電池自動車への充填間隔が開いた時のように一時的に待機状態にしたい場合に本運転方法を採用する。

(2) 待機運転

水素製造設備を一旦停止した後、水素製造設備内で水素を循環させ、消化ガスまたは都市ガス等を改質器のバーナー燃料として供給することにより、温度保持を行う運転方法である。図 2 - 16 に待機運転の概要を示す。

待機運転では、前処理設備を停止することができ、使用電力量の削減が可能となる。ただし、消化ガスを使って待機運転を行う場合は、消化ガス中のシロキサンを除去する必要があるため、シロキサン除去装置の運転が必要となる。

通常運転への移行には約 2.5 時間が必要であるため、長時間水素の製造・供給が不要となる夜間等で使用電力量、消化ガス使用量を極力削減したい場合に本運転方法を採用する。

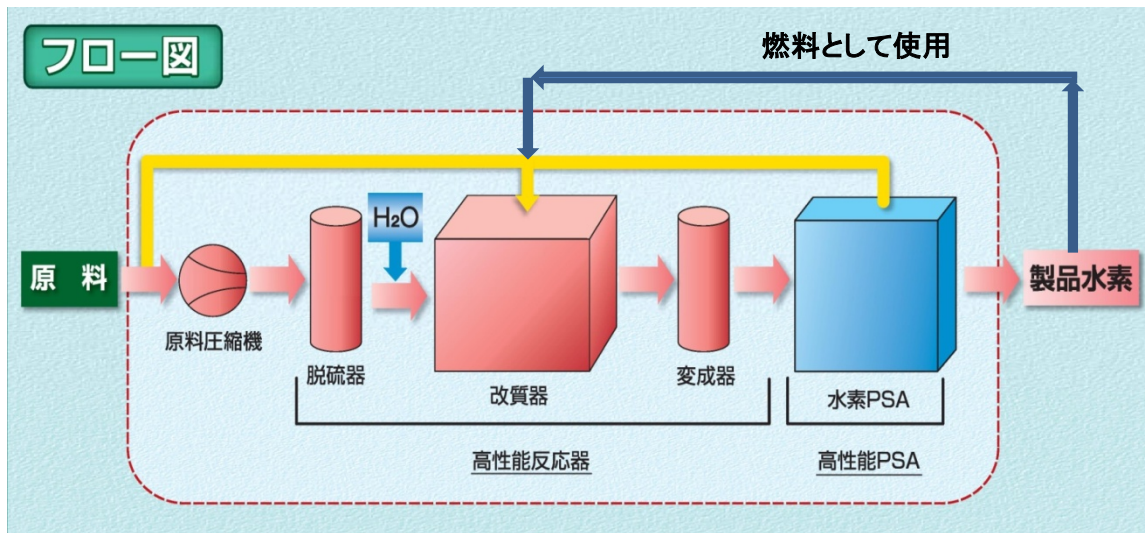


図 2 - 15 アイドル運転の概要

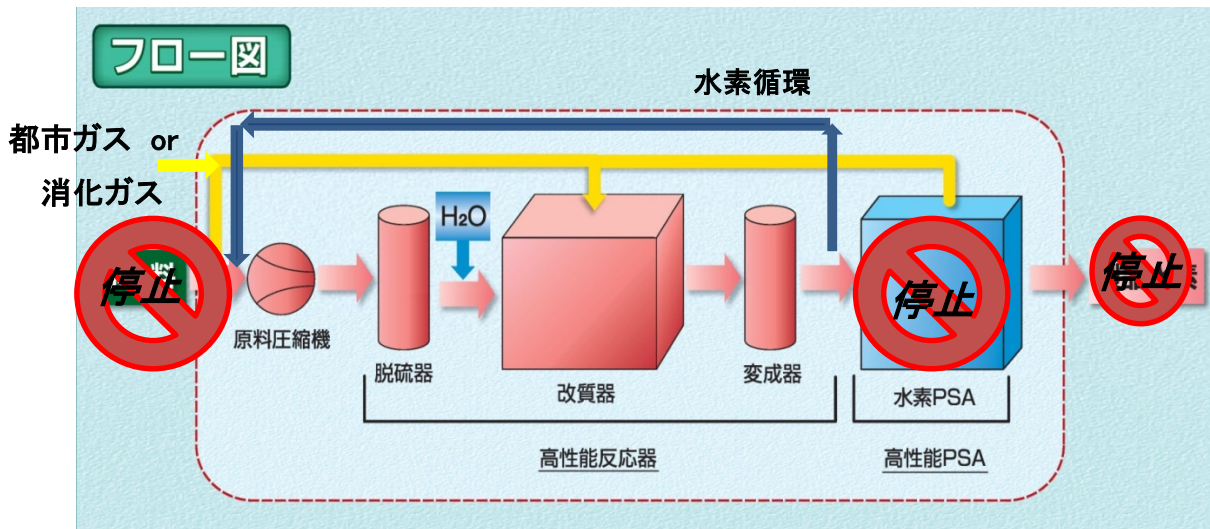


図 2 - 16 待機運転の概要

第2節 技術の適用条件

§ 12 適用条件及び推奨条件

本システムは消化ガス使用量及び消化ガス中のメタン濃度について適用範囲が広いため多くの下水処理場に適用可能であるが、消化ガス使用量や消化ガス中のメタン濃度によって、導入効果に大きな差異がある。このため、「適用条件」を満たすことを基本とするが、その中でも高い導入効果が得られることが予想される「推奨条件」を合わせて記す。

【解 説】

本システムの適用条件及び推奨条件として、消化ガス使用量、消化ガス中のメタン濃度、敷地条件等がある。

(1) 適用条件

本システムの適用条件を以下に記す。

1) 消化ガス使用量

本技術は消化ガスから水素を製造する技術であるため、使用可能な消化ガスが存在することが前提となるが、設備の原理上、消化ガス使用量と消化ガス中のメタン濃度に制約はない。ただし、現有する最小規模の施設は、水素製造量として公称 50Nm³/h であり、最低 10Nm³/h (メタン濃度 60vol%換算) 以上の消化ガス使用量が必要となる。

2) 敷地条件

現有する最小規模の施設を設置するのに必要な概略用地面積は、CO₂液化回収設備を導入する場合は 840m² となり、CO₂液化回収設備を導入しない場合は 800m² となる。

3) 高圧ガス製造業務における有資格者の選任

水素ステーションの運用にあたっては、一般高圧ガス保安規則第 64 条、第 65 条及び第 66 条に基づき保安統括者、保安技術管理者及び保安係員の選任が必要となる。

(2) 推奨条件

本システムの推奨条件を以下に記す。

1) 消化ガス使用量が 140Nm³/h 以上の設備とする

本技術は規模が大きいほどスケールメリットにより、コスト面、エネルギー面で有利となる。目安として、消化ガスを 140Nm³/h (メタン濃度 60vol%換算) 以上使用する設備規模において、水素を 12 時間運転にて製造し、前処理設備から排出される CO₂ を回収・販売すると、経費回収年が設備の耐用年数である 15 年以下となり、また、エネルギーの創出が可能となる。なお、140Nm³/h の算出方法については、資料編 II に記す。

2) 消化ガス中のメタン濃度が高い

消化ガス中のメタン濃度については、ガス分離膜装置の原理上からの制約は特にないが、消化ガス中のメタン濃度が高いと同じ水素量を製造する場合、前処理設備で処理する消化ガス量が少

なくなるため、前処理設備を小さくできる。

3) 幹線道路に面し、消化槽に近い用地がある

水素ステーションの運営上、集客が容易となるため、幹線道路に面した用地が望ましい。また消化槽に近い場所にまとめて全施設を配置すると、各施設を結ぶ配管等の延長が短くなるため建設費が安価となり、施設管理も容易となる。

§ 13 導入シナリオ例

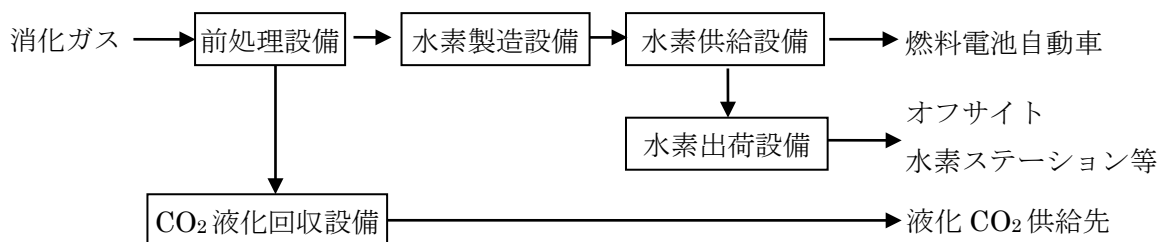
導入シナリオとして、下水処理場の消化ガスから水素を製造して、燃料電池自動車に供給するシステムを導入するものとする。

また、前処理設備のガス分離膜装置のオフガスから CO₂ を液化して回収する CO₂ 液化回収設備を導入する場合と導入しない場合がある。

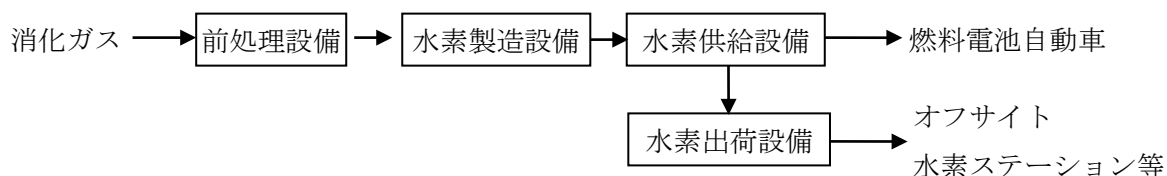
【解 説】

本システムは、下水処理場の消化ガスを用いて燃料電池自動車の燃料となる水素を製造し供給することを目的として導入される。設備規模は水素製造設備の公称能力を基準に、50Nm³/h、100Nm³/h、200Nm³/h、300Nm³/h（水素製造量）があり、消化ガスの使用可能量にあわせ水素製造設備を選ぶことができる。また、CO₂ 液化回収設備を導入する場合と導入しない場合がある。

(1) CO₂ 液化回収設備を導入する場合



(2) CO₂ 液化回収設備を導入しない場合



第3節 実証研究に基づく評価の概要

§ 14 技術の評価項目

本技術の実証研究において評価された項目を以下に記す。

- (1) 経費回収年（建設費、維持管理費、水素販売収入、CO₂販売収入）
- (2) エネルギー創出量
- (3) 温室効果ガス排出削減量

【解 説】

本技術における評価項目として（1）経費回収年、（2）エネルギー創出量、（3）温室効果ガス排出削減量について記す。

評価規模として、消化ガス量と水素製造設備能力（水素製造量）を表 2 - 2 に、評価の前提条件を表 2 - 3 に示す。それぞれの規模について、CO₂ 液化回収設備を導入するケースと導入しないケースについて評価を行う。なお、消化ガス量とは、水素製造の原料として使用する量（システム内で再利用する消化ガス量は含まない）であり、下水処理場から供給する量（グランドフレアの種火の使用量は含まない）である。

表 2 - 2 評価規模

	消化ガス量	該当する水素製造設備能力
評価規模	60 Nm ³ /h	100 Nm ³ /h
	120 Nm ³ /h	200 Nm ³ /h
	180 Nm ³ /h	300 Nm ³ /h

表 2 - 3 評価の前提条件

消化ガス組成	CH ₄ 濃度	57.4 vol% ^{※1}
	CO ₂ 濃度	42.6 vol% ^{※2}
	シロキサン濃度	72 mg/Nm ³ ^{※3}
施設稼働率	95 % (345 日/年) ^{※4}	
1 日の運転時間	昼間 12 時間	
夜間運転方式	待機運転(消化ガス使用)	
水素販売単価	100 円/Nm ³	
CO ₂ 販売単価	120 円/kg	
※1：CH ₄ 濃度は全国 15 下水処理場への調査を基に設定 ※2：消化ガス組成は、CH ₄ 、CO ₂ の 2 成分系として設定 ※3：実証フィールドの濃度を基に設定 ※4：年 1 回の定期点検としてディスプレイ等の点検に 20 日程度必要であるため、年間運転日数を 345 日とし、施設稼働率を 95% と設定		

(1) 経費回収年

事業性の評価は、経費回収年を用いて行うものとする。経費回収年の算出にあたっては、建設費、維持管理費、水素販売収入を算出することが必要である。また、CO₂ 液化回収設備を導入する場合は、液化 CO₂ の販売収入も算出する。経費回収年の算出式を次に示す。

$$\text{経費回収年} = \frac{\text{建設費 (単位：百万円)}}{\text{水素販売収入} + (\text{CO}_2 \text{販売収入}) - \text{維持管理費 (単位：百万円/年)}}$$

なお、経費回収年の算出に用いられる各項目について以下に記す。

1) 建設費

建設費には、機械・電気設備費と土木建築費を計上する。機械・電気設備費には、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備及び共通設備の設備費が含まれており、CO₂ 液化回収設備を導入する場合は CO₂ 液化回収設備費を含める。土木建築費は機械基礎のほか一般高圧ガス保安規則で定められた障壁、防火壁、ディスプレイ用のキャノピー（屋根）及び管理棟の土木建築費を含む。

2) 水素販売収入

年間に製造される水素量に水素販売単価を掛け算出する。

3) CO₂ 販売収入

CO₂ 液化回収設備を導入する場合は、CO₂ 販売収入を加算する。年間に回収される CO₂ 量に CO₂ 販売単価を掛け算出する。

4) 維持管理費

維持管理費には、電力費、上水費、消耗品費、人件費及び修繕費を計上する。

① 電力費

電力費には、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備、共通設備で使用する電力量を計上し、電力単価を掛け算出する。CO₂ 液化回収設備を導入する場合は、CO₂ 液化回収設備で使用する電力量を加算する。

② 上水費

上水費には、水素製造に必要な純水用の水と、冷却塔の補給水を計上し、上水単価を掛け算出する。

③ 消耗品費

消耗品費には、純水製造用ポリシャー・薬品費、シロキサン除去用の活性炭交換費、ガス分離膜装置のガスフィルター及び交換膜費を計上する。

④ 人件費及び修繕費

人件費は、運転管理(日常点検・補修、定期点検)を行う人員を想定して計上する。一部の設備は高圧ガスに係わる設備であり、年1回の定期点検が必要であるため、修繕費として高圧ガスに係わる機器の定期点検費や4年に1度の改質触媒の交換費等を計上する。

(2) エネルギー創出量

エネルギー創出量は、本システムを導入し、これまで未利用であった消化ガスから水素を製造することにより新たに得られるエネルギー量を示し、(a)製造された水素の持つ熱量から (b)水素製造に使用する化石燃料の熱量及び (c) 水素製造で使用する電力量の熱量を差し引いたものとし下記の式にて算出する。

$$\text{エネルギー創出量} = (a) - (b) - (c) \times 9.484$$

a : 製造された水素の持つ熱量

年間の水素製造量に水素の低位発熱量を掛け算出する。水素の低位発熱量は、10.8MJ/Nm³ (出典:「総合効率と GHG 排出分析報告書」(平成 23 年 3 月 (財) 日本自動車研究所) ⁴⁾「表 2 - 2 発熱量および CO₂ 排出原単位」) を用いる。

b : 水素製造に使用する化石燃料の熱量

水素製造に使用する化石燃料の熱量を計上する。工業用の水素製造設備では、水素の原料及び加温燃料として都市ガスを使用しているが、本システムでは、消化ガスを使用するため、この熱量はゼロとしている。

c : 水素製造に使用する電力量

電力量は消化ガスから水素を製造するのに使用する電力量として前処理設備、水素製造設備及び共通設備で使用する電力量を計上する。また、夜間は消化ガスによる待機運転を行うものとし、その電力量も計上する。なお、電力量から熱量の換算には、受電端投入熱量 9.484MJ/kWh (出典:「エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改訂について」(平成 27 年 4 月 14 日 資源エネルギー庁) ⁵⁾を用いる。

(3) 温室効果ガス排出削減量

消化ガスから水素を製造し、燃料電池自動車の燃料として使用することによる温室効果ガス排出削減量を算出する。温室効果ガス排出削減量は、ガソリン車 (燃料電池自動車と同等の車格) が 1 日に燃料電池自動車と同じ距離を走行するものとして、(a) ガソリン車が消費するガソリン由来の CO₂ 排出量から (b) 水素を製造・供給するまでに使用するユーティリティ由来の CO₂ 排出量を差し引いたものとし下記の式にて算出する。

$$\text{温室効果ガス排出削減量} = (a) - (b)$$

a : ガソリン車が消費するガソリン由来の CO₂ 排出量

ガソリンを消費することによる CO₂ 排出量はガソリン消費量にガソリンの CO₂ 排出係数を掛けて算出する。ガソリンの CO₂ 排出係数は、2.32kg-CO₂/L (出典:「総合効率と GHG 排出分析報告書」(平成 23 年 3 月 (財) 日本自動車研究所)「表 2 - 2 発熱量および CO₂ 排出原単位」) を用いる。

b : 水素を製造・供給するまでに使用するユーティリティ由来の CO₂ 排出量

ユーティリティ由来のCO₂排出量として、電力、上水、シロキサン除去活性炭によるCO₂排出量を計上する。水素を製造・供給するまでに使用する電力量として、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備、共通設備で使用する電力量を計上する。また、CO₂液化回収設備を導入する場合はCO₂液化回収設備で使用する電力量を計上する。なお、夜間は消化ガスによる待機運転を行うものとし、その電力量を含めている。電力のCO₂排出係数は、「平成26年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について」(環境省)⁶⁾の代替値を用いる。また、上水及び活性炭のCO₂排出係数は、「下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き」(平成21年3月 国土交通省)⁷⁾「表3-7 上下水、薬品等の排出量原単位の例」から引用している。

温室効果ガス排出削減量を算出する前提条件を表2-4に示す。

表2-4 温室効果ガス排出削減量算出の前提条件

比較対象車		ガソリン車 (ハイブリッド)	燃料電池自動車
燃料消費率		21.4 km/L	12.1 km/Nm ³
CO ₂ 排出係数	ガソリン	2.32 kg-CO ₂ /L	—
	電力	—	0.579 kg-CO ₂ /kWh
	上水	—	0.0020 t-CO ₂ /m ³
	活性炭	—	0.26 t-CO ₂ /t

§ 15 技術の評価結果

本技術における以下の評価項目の評価結果を記す。

- (1) 経費回収年
- (2) エネルギー創出量
- (3) 温室効果ガス排出削減量

【解 説】

本技術の評価結果では、§ 14 で設定した条件において3段階の異なる消化ガス量について、CO₂ 液化回収設備を導入する場合と導入しない場合の6ケースについて評価した結果を表 2 - 5 に示す。試算に用いた簡易算出式は § 18 に、簡易算定式の算出方法については、資料編Ⅱに記す。

表 2 - 5 評価結果

評価項目	消化ガス量	60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
		あり	なし	あり	なし	あり	なし
	CO ₂ 液化回収設備						
経費回収年	年	—*	—*	18.7	198	10.2	27.7
エネルギー創出量	GJ/年	-533	-581	1,090	977	2,712	2,536
温室効果ガス排出削減量	t-CO ₂ /年	-26	25	188	252	401	479

※：収入よりも維持管理費が上回っているため、算出不可

(1) 経費回収年

建設費の算出結果を表 2 - 6、維持管理費の算出結果を表 2 - 7、経費回収年を表 2 - 8 に示す。

表 2 - 6 建設費

(単位：百万円)

消化ガス量	60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備						
機械・電気設備費	634	537	728	615	821	694
土木建築費	103	87	114	97	126	107
合 計	737	624	842	712	947	801

表 2 - 7 維持管理費

(単位：百万円/年)

消化ガス量	60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
電力費	11.9	9.9	18.5	15.3	25.1	20.7
上水費	0.8	0.7	1.3	1.2	1.9	1.7
消耗品費	2.9	2.8	4.3	4.1	5.8	5.5
人件費及び修繕費	42.0	39.6	43.2	40.5	44.3	41.4
合計	57.6	53.0	67.3	61.1	77.1	69.3

表 2 - 8 経費回収年

消化ガス量		60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備		あり	なし	あり	なし	あり	なし
建設費	百万円	737	624	842	712	947	801
維持管理費	百万円/年	57.6	53.0	67.3	61.1	77.1	69.3
水素販売収入	百万円/年	33.5	31.3	69.4	64.7	105.3	98.2
CO ₂ 販売収入	百万円/年	21.4	0	42.9	0	64.3	0
年間収益	百万円/年	-2.7	-21.7	45.0	3.6	92.5	28.9
経費回収年	年	—	—	18.7	198	10.2	27.7

(2) エネルギー創出量

エネルギー創出量の算出結果を表 2 - 9 に示す。

表 2 - 9 エネルギー創出量

(単位:GJ/年)

消化ガス量	60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
エネルギー創出量	-533	-581	1,090	977	2,712	2,536

(3) 温室効果ガス排出削減量

温室効果ガス排出削減量の算出結果を表 2 - 10 に示す。

表 2 - 10 温室効果ガス排出削減量

(単位:t-CO₂/年)

消化ガス量	60 Nm ³ /h		120 Nm ³ /h		180 Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
温室効果ガス排出削減量	-26	25	188	252	401	479

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§ 16 導入検討手順

本システムの導入検討においては、以下の手順で導入を検討する。

- (1) 基礎調査
- (2) 導入効果の検討
- (3) 導入判断

【解説】

本システムの導入検討においては、導入の目的を明確にした後、図3-1に示す導入検討フローに従って、必要な情報を収集し、簡易算定式を用いた導入効果の概略試算を行い、導入の範囲及び事業形態等を含めた導入判断を行う。また、試算結果が導入効果不十分であった場合には、導入シナリオを見直して、複数回の検討を行うことが望ましい。

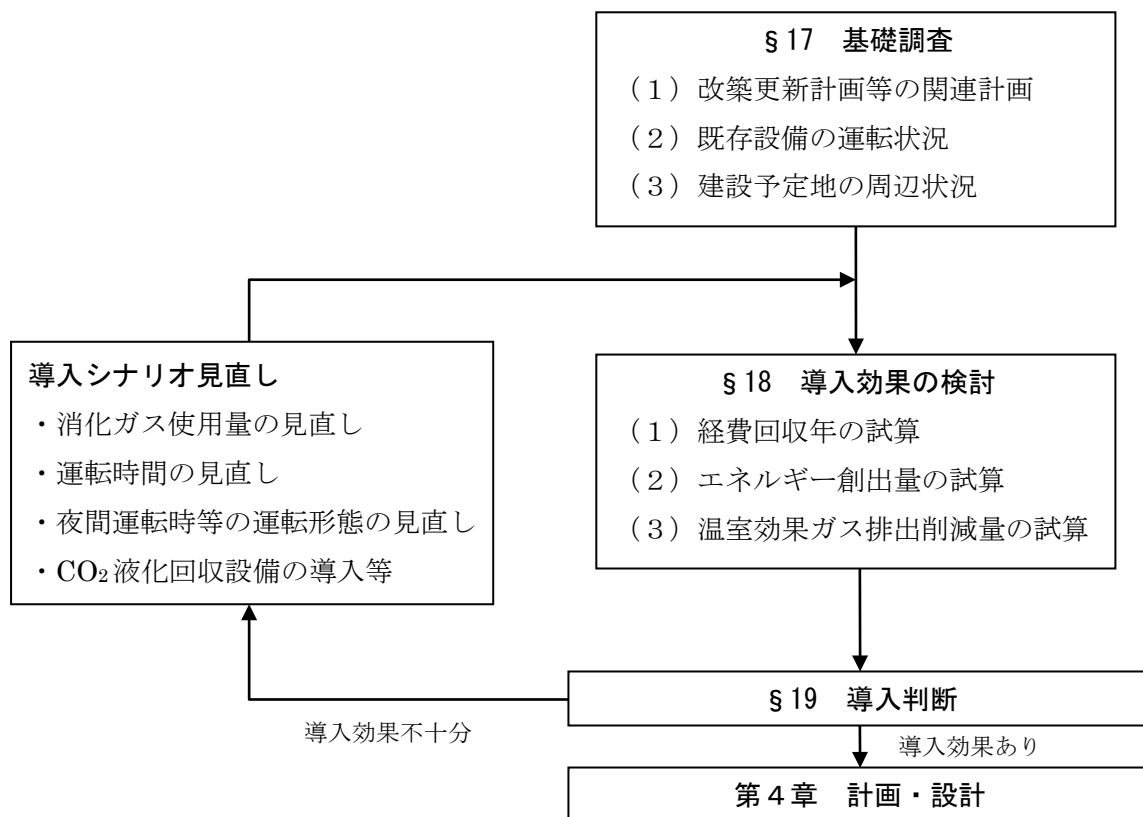


図3-1 導入検討フロー

§ 17 基礎調査

基礎調査では、主に以下について調査する。

- (1) 改築更新計画等の関連計画
- (2) 既存設備の運転状況
- (3) 建設予定地の周辺状況

【解 説】

基礎調査は、設計検討に先立ち、これまでの計画検討状況をまとめ、運転状況の調査を行うことにより現状を明確にし、§ 18 の導入効果の検討に必要な基礎情報を取得することを目的とし、下水道施設や関連計画等の情報の収集と整理及び運転状況の整理を行う。表 3 - 1 に調査項目と収集方法をまとめた。

表 3 - 1 基礎調査内容

調査項目	細目	収集方法例	優先度	活用法
改築更新計画 等関連計画	(上位計画) 都道府県構想 下水汚泥処理総合計画 (個別計画) 汚泥処理計画 施設再構築基本計画 長寿命化事業計画		○ ○ ○ ○	設計消化ガス量設定 設計消化ガス量設定 導入検討 導入検討
既存設備の 運転状況	濃縮汚泥発生量・濃度 消化ガス発生量・使用量	管理年報 管理年報	○ ○	設計消化ガス量設定 設計消化ガス量設定
建設予定地の 周辺状況	周辺状況(学校・病院・民家 との距離) 水素の利用先 CO ₂ の利用先		○ ○ ○	設備の配置検討 導入検討 設計消化ガス量設定 CO ₂ 液化回収設備の 導入検討

(1) 改築更新計画等の関連計画

設備の導入検討にあたって、既存施設の改築更新計画等の関連下水道計画の確認を行い、導入を検討している設備の位置付けや適用法令等を調査する。また、導入する地方公共団体における水素の利活用計画、燃料電池自動車の導入計画も含めて確認する。

(2) 既存設備の運転状況

設備の導入検討にあたって、消化ガス発生量、消化ガス使用量について、既存施設の運転データを管理年報等から収集・整理し、運転状況を把握すると共に年間での変動状況や消化ガスの使用可能量を把握する。

(3) 建設予定地の周辺状況

上記の既存設備の運転状況のデータに加え、次の項目について分析や聞き取りによって情報を収集・整理する。

① 周辺状況（学校・病院・民家との距離）

- ・前処理設備及び水素製造設備が一般高圧ガス保安規則におけるガス設備に、水素供給設備及びCO₂液化回収設備が一般高圧ガス保安規則における高圧ガス設備に該当するため、各法規に従い、周辺施設との距離を調査する。

② 水素の利用先

- ・燃料電池自動車の普及台数
- ・オフサイト水素ステーション（普及状況、水素の使用量、今後の見通し）
- ・その他（荷役機器用燃料等）

③ CO₂の利用先

- ・植物の光合成促進剤（工場数、CO₂の使用量）
- ・溶接用ガス（工場数、CO₂の使用量）
- ・その他（ガス販売事業者等）

§ 18 導入効果の検討

導入効果の検討では、§ 17 で調査した内容を踏まえて適切な設備規模を選択し、簡易算定式により、本システムの以下の項目について試算する。

- (1) 経費回収年
- (2) エネルギー創出量
- (3) 温室効果ガス排出削減量

【解説】

本システムの導入を検討する際には、経費回収年、エネルギー創出量及び温室効果ガス排出削減量を試算し、導入効果を検討する。なお、本ガイドラインで提示する簡易算定式は、実証試験の成果等に基づき、特定の条件（第2章第3節における評価条件）を前提として設定したものである。他に詳細な建設費等の積算や、別途実証試験を行い維持管理費等の評価をした場合には、検討結果を踏まえ、導入下水処理場の実態に合わせた前提条件の設定のうえ検討規模を設定し、導入効果の試算を行ってもよい。

導入効果の検討手順を図3-2に示した。

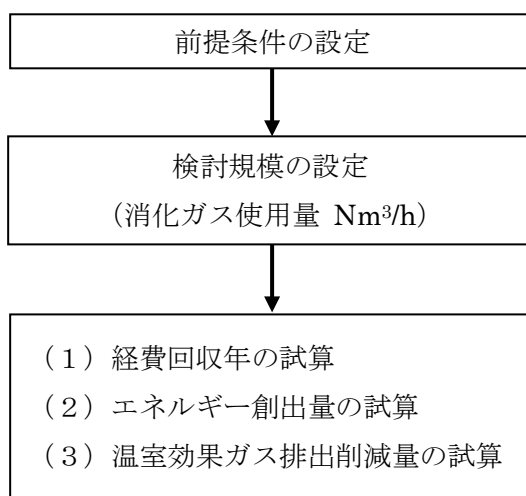


図3-2 導入効果の検討手順

なお、概略検討を行う場合の検討規模の設定における消化ガス使用量の設定や、水素・CO₂の販売単価の設定の考え方は次の通りとする。

① 消化ガス使用量の設定（検討規模の設定）

消化ガス使用量の設定は、下水処理場で使用可能な消化ガス量から設定する場合と水素需要量から設定する場合がある。

使用可能な消化ガス量から設定する場合は、発生する消化ガス量と加温等に使用する消化ガス量の季節変動を考慮して、消化ガス使用量を設定する。

また、水素需要から消化ガス使用量を設定する場合は、まず、燃料電池自動車の顧客台数について将来分を含めて推定する。顧客1台1日当たりの走行距離を22.79km/日(出典:「自動車燃料消費量統計 年報 平成26年度分」(国土交通省)⁸⁾「第1表 燃料別・車種別 総括表」)とし、年間走行距離を8,320kmとして、水素をフル充填した状態での走行距離を650kmとすると、約1.1回/月にフル充填を行うことになる。1台をフル充填するために必要な水素の量は5kgとし、顧客台数×来場頻度×充填量から必要な水素製造量を算出する。また、オフサイトステーション等に出荷できる場合は、その出荷量を水素製造量に加算する。水素製造に必要な消化ガス量は、水素製造量の簡易算定式から逆算して算出するものとする。簡易算定式を利用するにあたっては、水素製造量を質量から体積に換算する。なお、水素需要量から消化ガス使用量を設定した場合は、使用可能な消化ガス量の範囲内であることを確認する必要がある。

② 水素販売単価

導入検討においては100円/Nm³として設定するか、周辺の水素ステーション等の単価を参考に設定する。また、オフサイト水素ステーション等に出荷する場合は、当該出荷量の水素販売単価は別途設定する。

③ CO₂販売単価

導入検討においては120円/kgとして設定するか、周辺のCO₂の供給先の単価を参考に設定する。

(1) 経費回収年の試算

本技術を導入した場合の事業性評価の指標とする。本検討において算出する項目を以下に示す。

- ① 建設費
- ② 維持管理費
- ③ 水素販売収入
- ④ CO₂販売収入 (CO₂液化回収設備を設置した場合)

1) 建設費

建設費は、表3-2に示した簡易算定式で総額を算出する。

表 3 - 2 建設費の簡易算定式

	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし
機械・電気設備費	$y_1 = 1.558x + 540.7$	$y_1 = 1.308x + 458.3$
土木建築費	$y_2 = 0.1917x + 91.3$	$y_2 = 0.1667x + 77.0$

$y_{1,2}$: 建設費[百万円]

x : 検討規模[Nm³/h-消化ガス]

2) 維持管理費

維持管理費の簡易算定式を、表 3 - 3 に示す。なお、電力単価及び上水単価については、需要場所や使用量等によって単価が変わるため、実態に合わせて補正を行う必要がある。

表 3 - 3 維持管理費の簡易算定式

維持管理費	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし
1) 電力費	$y_3 = 109.42x + 5,367.7$	$y_3 = 90.008x + 4,455.3$
2) 上水費	$y_4 = 9.400x + 187.0$	$y_4 = 8.575x + 187.3$
3) 消耗品費		
ポリシヤー、薬品費	$y_5 = 9.0250x + 0.7$	$y_5 = 8.4167x$
交換膜費	$y_6 = 1.583x + 648.3$	$y_6 = 1.583x + 648.3$
フィルター費	$y_7 = 8.358x - 0.3$	$y_7 = 7.367x$
活性炭交換費	$y_8 = 5.142x + 789.7$	$y_8 = 5.142x + 789.7$
4) 人件費、修繕費		
人件費	$y_9 = 7,000 \times 2$	$y_9 = 7,000 \times 2$
修繕費	$y_{10} = 19.058x + 26,874$	$y_{10} = 15.450x + 24,660$

$y_{3\sim 10}$: 維持管理費[千円/年]

x : 検討規模[Nm³/h-消化ガス]

電力単価 : 15 円/kWh

上水単価 : 290 円/m³

3) 水素販売収入、CO₂ 販売収入

1日当たりの水素製造量及びCO₂回収量の簡易算定式を、表 3 - 4 に示す。1年当たりの販売収入は、稼働日数 345 日とそれぞれの単価を乗じて算出する。

表 3 - 4 水素製造量及び CO₂回収量の簡易算定式

	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし	単価
水素	$y_{11}=17.342x-68.3$	$y_{11}=16.167x-64.0$	100 円/Nm ³
CO ₂	$y_{12}=8.633x$	—	120 円/kg

y_{11} : 水素製造量[Nm³/日]

y_{12} : CO₂回収量[kg/日]

x : 検討規模[Nm³/h-消化ガス]

(2) エネルギー創出量の試算

エネルギー創出量の簡易算定式を表 3 - 5 に示す。

表 3 - 5 エネルギー創出量の簡易算定式

	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし
エネルギー創出量	$y_{13}=27.04x-2,155$	$y_{13}=25.97x-2,139$

y_{13} : エネルギー創出量[GJ/年]

x : 検討規模[Nm³/h-消化ガス]

(3) 温室効果ガス排出削減量の試算

温室効果ガス排出削減量の簡易算定式を表 3 - 6 に示す。

表 3 - 6 温室効果ガス排出削減量の簡易算定式

	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし
温室効果ガス排出削減量	$y_{14}=3.558x-239.3$	$y_{14}=3.783x-202.0$

y_{14} : 温室効果ガス排出削減量[t-CO₂/年]

x : 検討規模[Nm³/h-消化ガス]

§ 19 導入判断

本システムの導入判断は、§ 18 で算定した定量的な導入効果を踏まえ、水素社会の実現に向けた地方公共団体での政策面も含めて、総合的に判断する。期待した導入効果が得られない場合には、その原因を分析し、再度条件を設定し直して検討を行うことが望ましい。

【解説】

本システムの導入判断は、§ 18 で算定した経費回収年、エネルギー創出量、温室効果ガス排出削減量の試算結果を踏まえ、全てにおいて高い導入効果を示すことが望ましいが、水素社会の実現に向けた地方公共団体での政策面も含めて、総合的に判断することも構わない。

また、導入効果の検討を行った結果、期待した導入効果が得られない場合は、本システムに使用する消化ガス量の再検討や、製造した水素のオフサイト水素ステーションへの販売や出荷用トレーラへの夜間充填等を検討し、本システムの施設規模、運転時間及び夜間の運転形態等も含め再検討を行う。CO₂液化回収設備の導入を検討していなかった場合、周辺地域でのCO₂利用先を踏まえて、CO₂液化回収設備を導入することで、導入効果が得られる可能性がある。

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 20 計画の手順

本システム導入に関する計画は、以下の手順で実施する。

- (1) 基本条件の設定
- (2) 基本計算
- (3) 施設計画の検討
- (4) 導入効果の検証
- (5) 導入計画の策定

【解説】

第3章での導入検討において、期待した導入効果が見込まれると判断された場合、その導入シナリオに基づき、図4-1に示す手順にて導入計画を立案する。

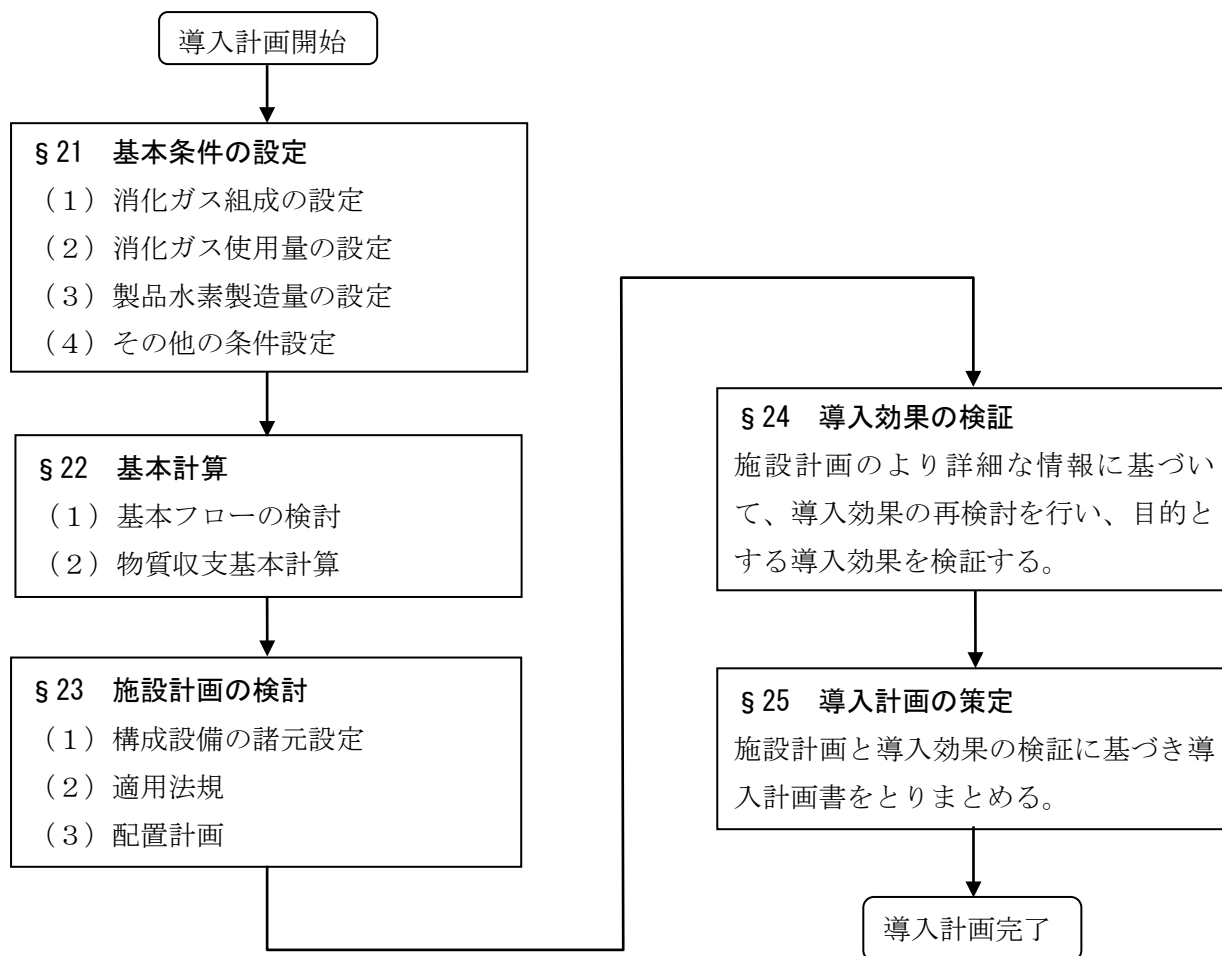


図4-1 導入計画手順

§ 21 基本条件の設定

導入計画の検討に先立ち、以下の基本条件の設定を行う。

- (1) 消化ガス組成の設定
- (2) 消化ガス使用量の設定
- (3) 製品水素製造量の設定
- (4) その他の条件設定

【解説】

(1) 消化ガス組成の設定

消化槽が既にある下水処理場に導入する場合は、既存施設の運転データを管理年報等から収集・整理し、年間変動を考慮して表 4 - 1 に示す項目について消化ガス組成を設定する。これらの情報で得られない項目がある場合は追加調査を行い、複数回測定した平均値等により年間変動を踏まえて設定する。

消化ガス中のシロキサン濃度は、消化ガス中のシロキサン濃度分析によって設定するが、変動幅が大きい場合は分析回数を増やし、変動幅と平均値を把握し反映させる。新たに消化槽を設置し、同時に本システムを導入する場合は、近隣の下水処理場の実績を参考にして設定する。

表 4 - 1 消化ガスの設定値及び変動幅

組成	単位	設定値	変動幅
CH ₄	vol%	データの平均値	最小値～最大値
CO ₂	vol%	〃	〃
N ₂	vol%	〃	〃
O ₂	vol%	〃	〃
水分	vol%	〃	〃
シロキサン	mg/Nm ³	〃	〃
高沸点炭化水素	mg/Nm ³	〃	〃
硫化水素	ppm	〃	〃

(2) 消化ガス使用量の設定

§ 18 において、消化ガス使用量の設定を行ったが、ここでは詳細な設定を行う。消化槽が既にある下水処理場に導入する場合は、既存施設の運転データを管理年報等から収集・整理し、年間変動を考慮して使用可能量を算出する。その使用可能量から時間あたりに使用できる消化ガス量を算出し、さらに、グラントフレアの種火で使用する消化ガス量を、§ 22 の物質収支計算から決定し、種火で使用するガス量を差し引いた消化ガス量を水素製造に使用できる原料としての消化ガス使用量とする。

また、水素製造量から消化ガス使用量を設定する場合は、水素製造に必要な精製ガスのメタン量を算出して、前処理設備の物質収支計算より必要な消化ガス量を算出し、グラントフレアの種火で使用する消化ガス量を加味して消化ガス使用量を設定する。

なお、CO₂液化回収設備がある場合は、CO₂液化回収設備から前処理設備へ入るベントガスがあるため、消化ガス使用量の詳細は § 22 における物質収支計算を踏まえて決定する。

(3) 製品水素製造量の設定

製品水素製造量の設定は、以下の通り行う。

1) 消化ガス使用量からの設定

上記(2)で設定した原料としての消化ガス使用量と(1)で設定したメタン濃度に基づく § 22 の物質収支計算より、水素製造量を決定する。

2) 水素ステーションにおける燃料電池自動車の顧客台数及び外部出荷量からの設定

§ 18 において設定した水素製造量を用いる。

(4) その他の条件設定

1) 施設稼働率

施設稼働率は、定期点検に20日かかるものとして、運転日数345日/年、稼働率95%を基本とするが、想定する水素ステーションの運転日数等に合わせ修正する。

2) 運転時間

1日当たりの運転時間は、昼間12時間運転を基本とするが、想定する水素ステーションの運転時間により修正する。

3) 夜間等の運転方式

夜間等の水素を製造・供給しない時間帯の運転方法として、アイドル運転と待機運転の2種類がある。アイドル運転では、水素供給設備とCO₂液化回収設備を停止するため、1時間当たりの電力使用量は昼間運転時に比べ概ね30%程度となる。待機運転では使用する燃料によらず、水素供給設備とCO₂液化回収設備に加え、前処理設備等も停止するため、1時間当たりの電力使用量は昼間運転時に比べ概ね15%程度となる。

夜間等の運転方式は、水素ステーションの運営パターン(1週間での運転日数や運転時間)に応じて検討を実施し、以下の判断基準に基づき選定する。なお、待機運転は通常運転への立上げに約2.5時間、立ち下げに約1時間が必要であり、ある程度の待機運転を実施するものとし、水素を製造・供給しない時間として約5時間を判断の目安としている。

- ① アイドル運転：夜間等の水素を製造・供給しない時間が短い場合(約5時間以内)。
- ② 待機運転：夜間等の水素を製造・供給しない時間が長く(約5時間以上)且つ当該時間帯の使用電力、消化ガス使用量を極力削減したい場合。

待機運転時に必要となる燃料については、規模によらず消化ガス（約 20Nm³/h）または都市ガス、LPG（約 10Nm³/h）を使用する。

§ 22 基本計算

基本条件の設定に基づき基本計算を行う。基本計算では以下の項目を実施する。

- (1) 基本フローの検討
- (2) 物質収支基本計算

【解 説】

§ 21 にて設定した基本条件に基づき、基本計算を実施する。

- (1) 基本フローの検討

設定された基本条件に沿い、CO₂ 液化回収設備の有無、水素出荷設備の有無を踏まえ、設備全体の基本フローを設定する。図4-2 に基本フロー参考例を示す。

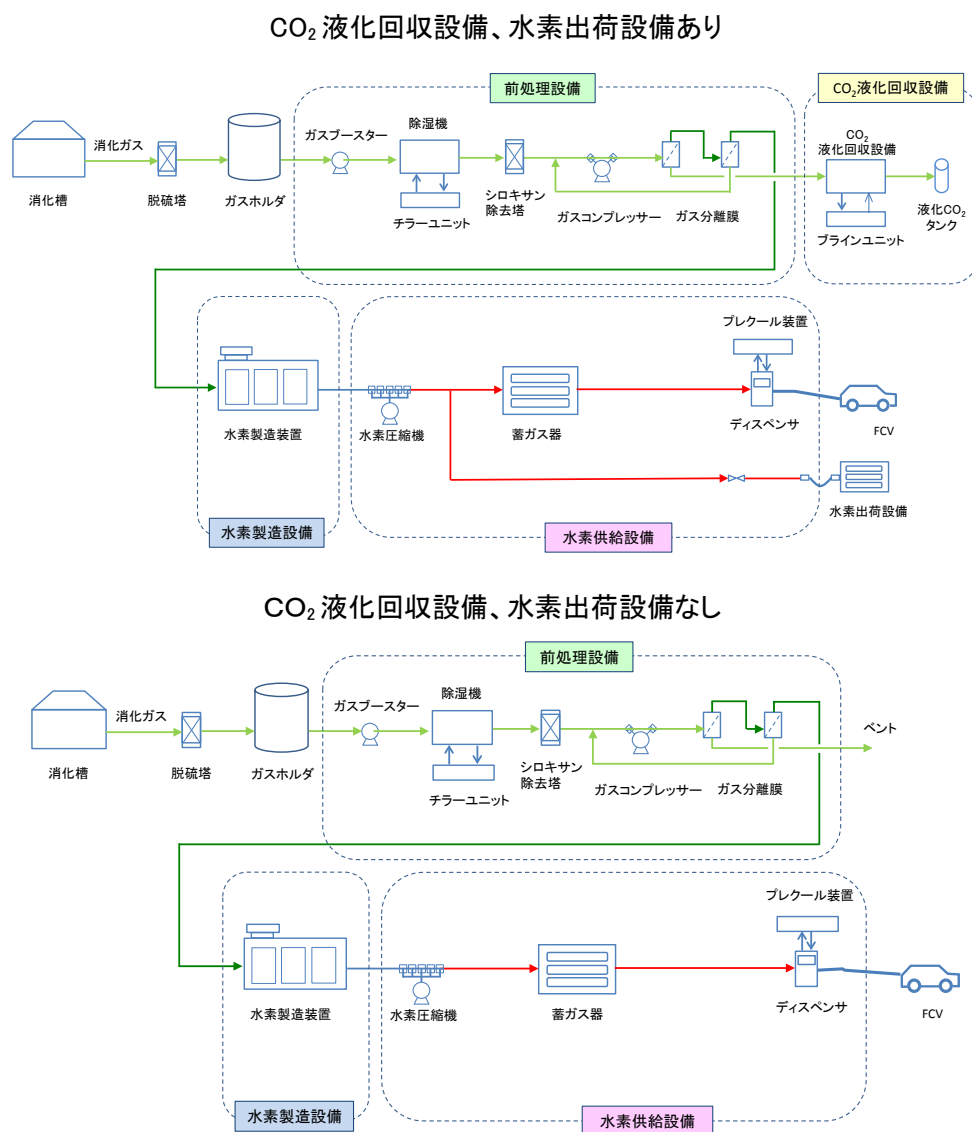


図4-2 基本フロー 参考例

(2) 物質収支基本計算

設定された基本フロー、基本条件に基づいて、各設備、機器の運転条件を設定して物質収支を計算する。物質収支の計算概要を図4-3に示す。

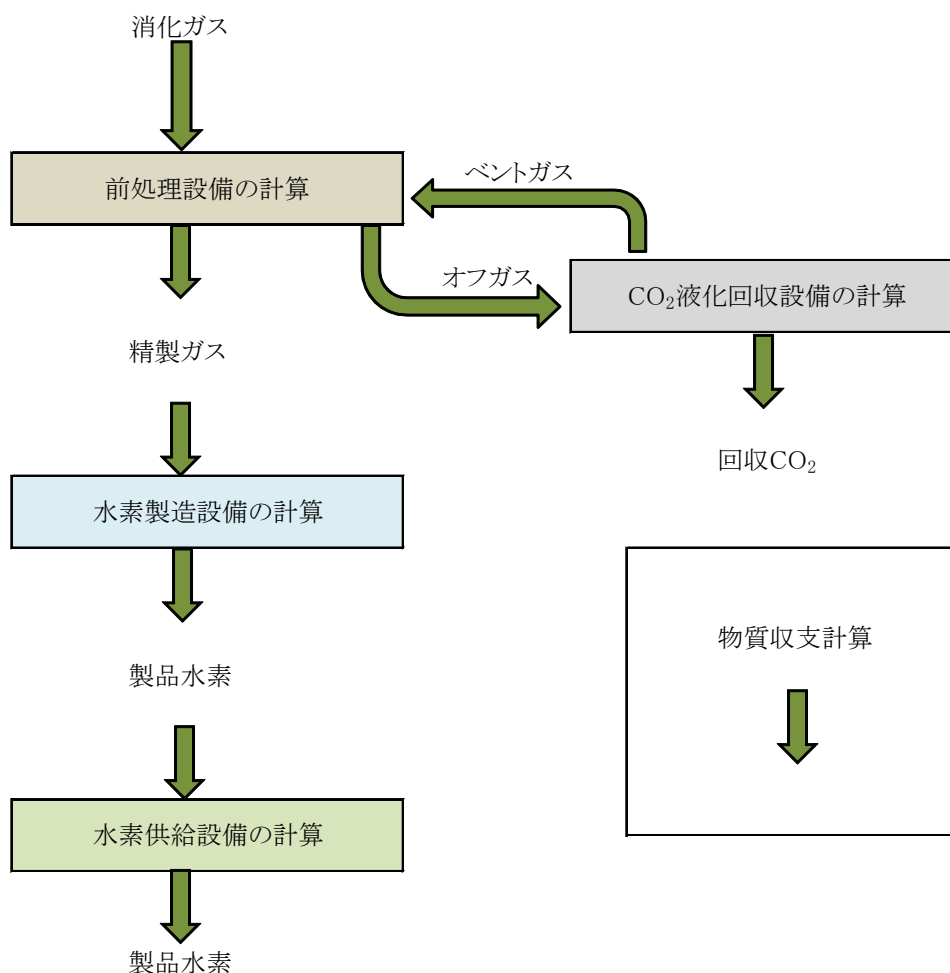


図4-3 物質収支の計算概要

各設備における基本計算の入出力値項目を以下に記す。

1) 前処理設備の入出力値項目

前処理設備には、消化ガスとCO₂液化回収設備（設置する場合）からのベントガスが合流して流入する。前処理設備の入力値項目としては、消化ガス量、メタン濃度、CO₂濃度があり、出力値項目としては、水素製造設備への精製ガス量、メタン濃度、CO₂濃度及びCO₂液化回収設備（設置する場合）へのオフガス量、メタン濃度、CO₂濃度がある。前処理設備の入出力値項目を図4-4に示す。

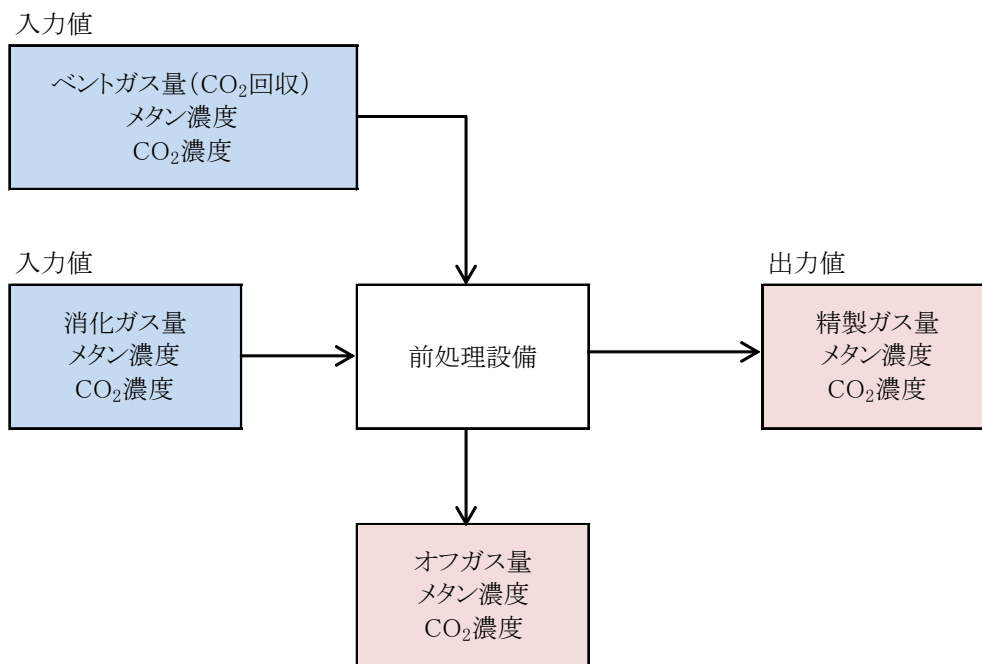


図 4 - 4 前処理設備の入出力値項目

2) 水素製造設備の入出力値項目

水素製造設備の入出力値項目としては、前処理設備からの精製ガス量、メタン濃度、CO₂濃度が
あり、出力値項目としては、水素供給設備への製品水素量、改質反応に必要な純水量がある。水
素製造設備の入出力値項目を図 4 - 5 に示す。

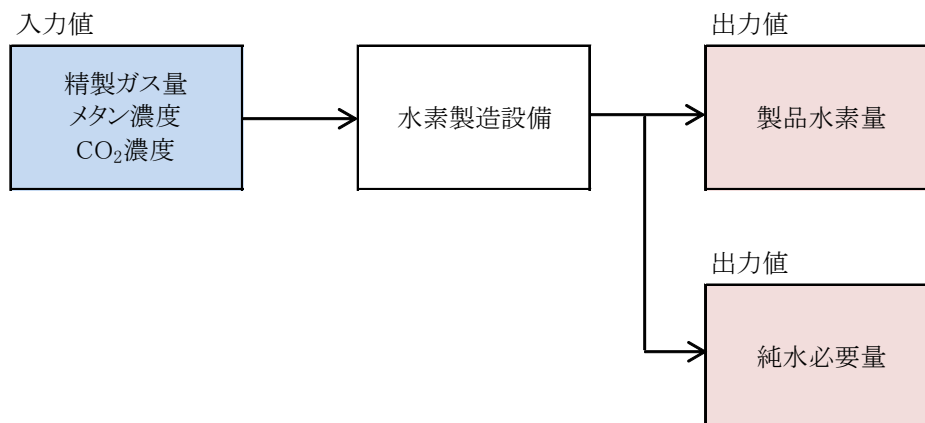


図 4 - 5 水素製造設備の入出力値項目

3) 水素供給設備の入出力値項目

水素供給設備の入力値項目としては、水素製造設備からの製品水素量があり、出力値項目としては、水素供給設備に必要なプレクール装置冷却能力がある。水素供給設備の入出力値項目を図4-6に示す。

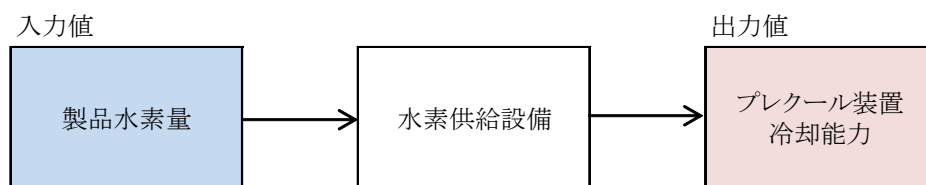


図4-6 水素供給設備の入出力値項目

4) CO₂ 液化回収設備の入出力値項目

CO₂ 液化回収設備の入力値項目としては、ガス分離膜装置からのオフガス量、メタン濃度、CO₂ 濃度があり、出力値項目としては、液化CO₂のCO₂回収量、ベントガス量、メタン濃度、CO₂ 濃度、ブラインクーラーに必要な冷却能力がある。CO₂ 液化回収設備の入出力値項目を図4-7に示す。

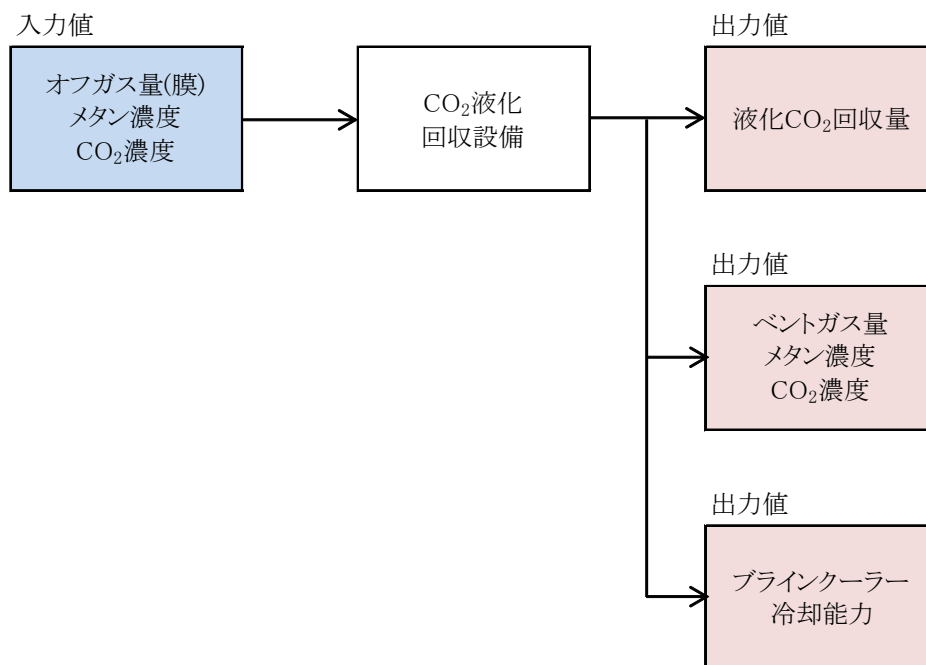


図4-7 CO₂ 液化回収設備の入出力値項目

§ 23 施設計画の検討

施設計画の検討に際しては、以下の項目について検討を行う。

- (1) 構成設備の諸元設定
- (2) 適用法規
- (3) 配置計画

【解説】**(1) 構成設備の諸元設定**

基本計算を基に、プロセスを構成する主要設備についての諸元を設定する。諸元項目を以下に記す。

- ① 型式
- ② 能力（流量、圧力等）
- ③ 形状、容量
- ④ 使用条件（温度、運転方案等）
- ⑤ 数量
- ⑥ その他、特記事項

(2) 適用法規

水素ステーションは、高圧ガスとなる水素を取り扱う設備であるため、以下の法規及び規格に従って設計・施工する必要がある。

1) 高圧ガス保安法

水素ステーションでは、高圧ガス保安法が中心的な役割を担う。高圧ガス保安法は、高圧ガスによる災害を防止するために定められており、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動、消費、廃棄に至るまでの全般にわたり、公共の安全を確保することを目的としている。

高圧ガス保安法の適用にあたって、水素供給設備は一般高圧ガス保安規則第7条の3の基準とする。出荷設備を併設する場合は、一般高圧ガス保安規則第6条の基準も適用される。製造計画、機器仕様、配置計画等の製造設備に関する詳細は、設置場所の都道府県庁に事前協議を実施する。特に配慮すべきは、以下の各項目であり、設置場所によっては、障壁の設置、設置面積の増大が必要となり、建設費に大きな影響を及ぼす。

① 設備距離

高圧ガス製造設備及び貯蔵設備の外側からは、第一種保安物件（学校、病院、百貨店、映画館等）に対し第一種設備距離以上、第二種保安物件（一般住宅）に対し第二種設備距離以上の距離を確保することが必要となる。例として本実証事業の場合に必要な設備距離を表4-2に示す。なお、設置場所周囲に上記設備距離内に該当する物件がない場合は、障壁の設置義務はない。

表 4 - 2 本実証事業において必要となる設備距離

	第一種設備距離	第二種設備距離
水素圧縮機ユニット	17.3 m	11.5 m
蓄ガス器	17.0 m	11.4 m
プレクール装置用冷凍機	9.2 m	6.1 m

② 火気距離

製造設備の外側から火気を取り扱う施設に対し8 m以上の距離を確保することが必要となる。よって水素供給設備となる水素圧縮機から火気を取り扱う設備（水素製造設備等）は8 mの離隔距離を設けている。

また、一般高圧ガス保安規則関連業務の流れ（第一種製造設備の例）を図4-8に示す。

a) 高圧ガス設備設置に係わる申請業務

現地工事着工前に水素ステーションの設置場所の都道府県より、製造の許可を得る必要がある。都道府県により、協議等に要する期間は前後するが、概ね3～4ヶ月程度の期間が必要となる。

- ・事前協議：2ヶ月程度
- ・高圧ガス製造許可申請書の申請～許可：1～2ヶ月程度

また、事前協議に以下の資料等が必要となるため、事前協議前に基本設計を完了しておく必要がある。

- ・製造計画書
- ・機器等一覧表
- ・各機器図面
- ・全体配置図
- ・配管系統図
- ・保安距離図
- ・危険場所配置図
- ・基礎図
- ・高圧ガス設備における強度計算書
- ・火炎検知器、ガス検知器、地震計仕様書
- ・計装電気品防爆検定書一式

b) 高圧ガス設備設置に係わる完成検査業務

全ての工事完了後に完成検査を受検する。完成検査の受検に係る申請には、機器製作、配管工事後に作成される高圧ガス設備に関する材料証明書、耐圧、気密試験結果等の記録を添付する。完成検査は、現地にて書類確認及び全体気密による試験立会等が実施される。完成検査後2週間程度で、製造施設完成検査証が交付され、製造開始届の提出後、本設備の運転が可能となる。

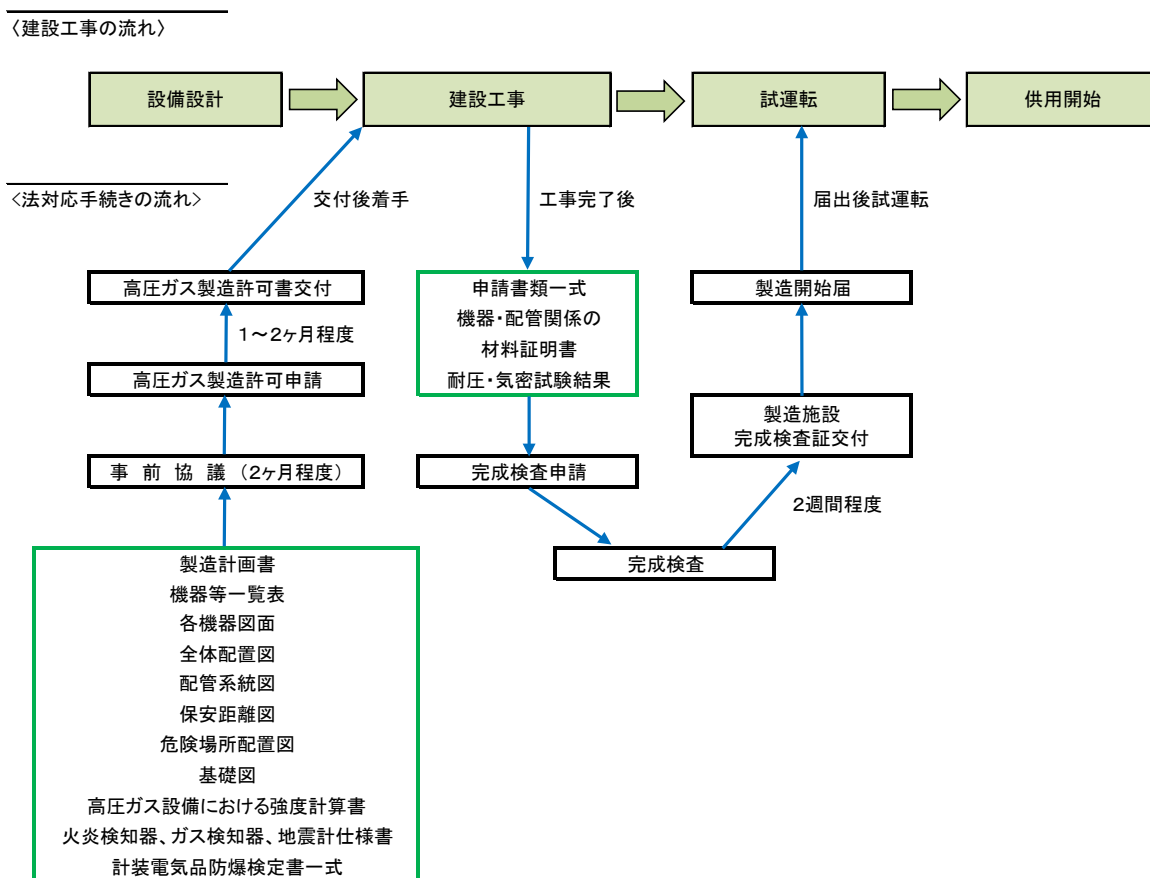


図 4 - 8 高圧ガス設備の建設に係わる手続き

c) 高圧ガス製造業務における有資格者の選任

建設が完了した水素ステーションが運用に入る際、一般高圧ガス保安規則第 64 条、第 65 条及び第 66 条に基づき保安統括者、保安技術管理者及び保安係員の選任が必要となる。

2) その他関連法規

その他の関連法規としては、以下の各法規、基準等に則り、設計を行う。

- ・ 消防法及び関係法令
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 建築基準法及び建築学会標準仕様書
- ・ 公害防止関係法令 (騒音規制法、振動規制法、大気汚染防止法)
- ・ 建設リサイクル法
- ・ ボイラ及び圧力容器安全規則
- ・ 日本工業規格 (JIS)
- ・ 日本電機工業会規格 (JEM)
- ・ 電気学会電気規格調査会標準規格 (JEC)
- ・ 内線規程

(3) 配置計画

本システムは、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備、CO₂液化回収設備及び共通設備をコンパクトに配置するために、高圧ガス設備に該当する水素供給設備とCO₂液化回収設備、ガス設備に該当する前処理設備と水素製造設備及び共通設備（ユーティリティ設備等）の非防爆設備をブロック分けした配置とする。なお、参考として水素製造設備の規模別に本システム全体の設置面積を表4-3に示す。消化槽の近くに全設備を配置することができれば、消化ガスの配管の延長が短くなりより経済的となる。また、本システムには高圧ガス設備に該当する装置が含まれるため、近隣に学校、病院、民家等がある場合は、離隔距離が必要となり、配置によっては障壁の設置を検討する必要がある。製造した水素を燃料電池自動車に充填及び外部出荷することを考えると、水素ステーションの設置場所は幹線道路に面している方が動線を確保しやすい。設置場所が工業専用地域の場合、製造した水素の販売ができないため、用途変更の手続きが必要となる。

なお、純水装置、計装空気装置、ブラインクーラー及び散水ポンプに関しては、屋内仕様となるため、防雨ボックスまたは建屋に収納する。また、分析計は管理棟内に収納する。

建築確認申請が必要となる建築物については、一般的に管理棟及びディスプレイ上部に設置するキャノピーが該当する。その他の設備に関しては、水素の滞留を防ぐ目的として、上部を開放する構造とするか、強制換気ファンを搭載したエンクロージャーを採用することとなる。

表4-3 本システム全体設置面積(参考)

	単位	規模別 設置面積(概略)			
		300 Nm ³ /h 機	200 Nm ³ /h 機	100 Nm ³ /h 機	50 Nm ³ /h 機
水素製造設備（公称）					
CO ₂ 液化回収設備あり	m ²	1,000	950	900	840
CO ₂ 液化回収設備なし	m ²	970	910	860	800

§ 24 導入効果の検証

§ 23 で決定した施設計画のより詳細な情報に基づいて、第3章第1節で評価した導入効果の再検討を行い、目的とする導入効果が得られるか検証する。

【解説】

以下の項目について、§ 23 にて策定した施設計画による詳細な情報に基づいて、第3章第1節において導入検討の際に評価した導入効果の再検討を行い、導入効果が得られるか検証する。

(1) 事業性の検証

施設計画に基づく詳細な情報により建設費、維持管理費、水素販売収入、CO₂ 販売収入 (CO₂ 液化回収設備を設置する場合) を再計算し、これらの数値から経費回収年を計算して事業性の有無を検証する。

(2) エネルギー創出効果の検証

施設計画に基づく詳細な情報により水素製造によるエネルギー創出量を再計算し、エネルギー創出効果を検証する。

(3) 温室効果ガス排出量削減効果の検証

施設計画に基づく詳細な情報により温室効果ガス排出削減量を再計算し、温室効果ガス排出量削減効果を検証する。

§ 25 導入計画の策定

前節までに行った施設計画と導入効果の検証に基づいて、施設計画、導入効果、計画上の留意点を盛り込んだ導入計画書を取りまとめる。

【解 説】

これまでの検討結果に基づいて、本システムの導入に関する導入計画書を作成する。導入計画書には、基本条件、基本計算結果、施設計画に加え、導入効果の検証結果、計画上の留意点を含めて取りまとめる。

第2節 施設設計

§ 26 前処理設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、前処理設備の設計を行う。

- (1) シロキサン除去装置の設計
- (2) ガス分離膜装置の設計

【解説】

(1) シロキサン除去装置の設計

シロキサン除去装置は、主にシロキサン除去塔、セジメントトラップ、ガスブースター及び除湿機により構成される。フロー図を図4-9に示す。

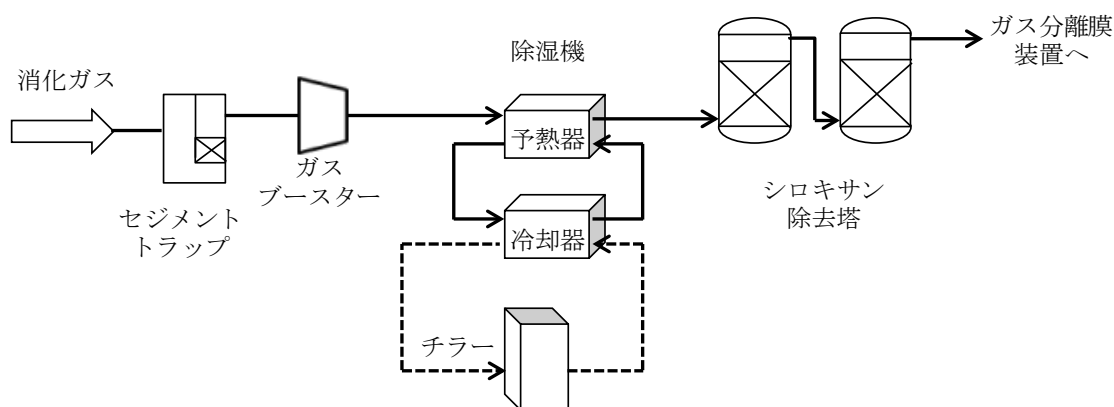


図4-9 シロキサン除去装置フロー図

セジメントトラップは、消化ガス中のミストを除去するもので、ガスブースターのミストによるトラブルを防止する。ガスブースターは、後段の除湿機及びシロキサン除去塔の圧力損失分を補うため、元圧の低い消化ガスを昇圧する。除湿機は、シロキサン除去用の活性炭が水分を吸着し、活性炭の吸着能力が低下するのを防止するものであり、相対湿度80%以下になるよう消化ガス中の水分を除去するため、消化ガス中の水分濃度を踏まえて設計する。

シロキサン除去塔は2塔直列式を推奨する。2塔直列式では、1塔目がシロキサンにより破過した場合、1塔目を切り離して2塔目で処理を継続し、1塔目の活性炭を交換した後は、消化ガスを2塔目、1塔目の順に通し処理を行う。次に2塔目が破過した場合は、同様に2塔目を切り離して、1塔目で処理を継続する。このように2塔直列式では、片方のシロキサン除去塔の活性炭を交換する間も消化ガスを継続して流すことができ、消化ガスを通す順序を交互にすることで、各塔の活性炭の吸着能力を十分活用できる。また、活性炭の充填量は1塔が1年間にて吸着破過する量を見込む。そうすることにより定期点検時に合わせて活性炭を交換することとなり、交換

に必要な工事費の削減になる。ただし、充填高さが高くなり作業性が悪い場合は、交換頻度を検討する。

消化ガス中の硫化水素濃度の本システムへの受け入れ基準は、10ppm 以下である。硫化水素濃度が高い場合、シロキサン除去塔での活性炭へのシロキサン吸着量の減少、後段のガス分離膜の劣化及び水素製造設備の触媒への硫黄分の析出による性能劣化が考えられる。硫化水素濃度が高い場合は、別途、脱硫器を設置する等の対策が必要である。

シロキサン除去塔の設計にあたっては、次の項目について設定する必要がある。

- ① 運転時間 (h/日) : 1 日の運転時間
- ② 交換頻度 (回/年) : 年間の交換回数
- ③ シロキサン出口濃度 : シロキサン除去塔の出口ガスのシロキサン濃度は、0.265mg/Nm³ 以下を基準とするが水素製造設備からの要求値に合わせる。

なお、シロキサンの濃度変動が大きい場合は、濃度の高いシロキサンが流入してきた場合でも、出口濃度が設計値以下になるようシロキサン除去塔の設計に留意する。

(2) ガス分離膜装置の設計

膜入口温度については、ガス中の水分が冷えてミストになるのを防ぐため、温度を約 50℃ に上げる。温度を高くするとガスの透過性はよくなるが、メタンが抜けやすくなり、分離性能が低下する。膜入口圧力は、圧力が高いほどメタンと CO₂ の分離性能が良くなるが、圧力が 1 MPaG 以上となると高圧ガス設備となるため、ガスコンプレッサーの圧力を 0.9MPaG 程度に抑える必要がある。そのため、ガスフィルターの圧力損失を見込んで 0.85MPaG とする。

ガス分離膜の設計にあたっては、次の項目について、設定する必要がある。

- ① 膜入口温度 : 50℃ (仮設定値)
- ② 膜入口圧力 : 0.85MPaG (仮設定値)
- ③ 透過側圧力 : 40kPaG (仮設定値)
- ④ 精製メタン濃度 : 92vol%以上 (水素製造設備からの要求値に合わせる)
- ⑤ メタン回収率 : 90%以上

なお、消化ガス中のメタン濃度が低下した時でも水素製造量を確保したい場合は、ガス分離膜装置に供給する消化ガス量を増加させる必要があるため、その点も考慮した設計とする。

§ 27 水素製造設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、水素製造設備の設計を行う。

- (1) 水素製造設備の設計
- (2) 付帯機器の設計

【解 説】

(1) 水素製造設備の設計

水素製造設備の設計にあたっては、表 4 - 4 に示す仕様、条件に基づいて設計する。

表 4 - 4 水素製造設備の仕様、条件設定

装置能力	(1) 水素製造能力： § 22 の物質収支基本計算より設定 現有する水素製造設備のラインナップとしては、50、100、200、300 Nm ³ /h（水素製造量）であるため留意すること
	(2) 負荷変動速度： 1 %/min 平均
製品水素性状	(1) 露点： -70 °C以下（大気圧下）
	(2) 送出圧力： 0.7 MPaG
	(3) 送出温度： 常 温（10～20 °C）
主適用法規	ボイラー及び圧力容器安全規則（第二種圧力容器、簡易ボイラー、小型圧力容器） ボイラー及び圧力容器構造規格（第二種圧力容器、簡易ボイラー、小型圧力容器） 高圧ガス保安法（ガス設備）

水素製造設備に要求される主な機能を以下に記す。

- ・運転員の煩雑な運転操作を不要とするため、自動スタートアップ及び自動シャットダウン機能を搭載し、要求負荷または送出圧力に応じた自動負荷追従機能を有する。

なお、水素製造設備を 1 基のみ導入する場合の留意点として、CO₂ 液化回収設備を導入する場合で消化ガス中のメタン量（消化ガス量×メタン濃度）が 112 Nm³/h 以上の場合、また CO₂ 液化回収設備を導入しない場合でメタン量が 120 Nm³/h 以上の場合は、水素製造能力が現有するラインナップでは対応できない可能性があるため、適用する水素製造設備の検討が必要である。

また、窒素は水素製造設備におけるガス精製工程において、もっとも分離しにくい成分であるため、消化ガス中の窒素濃度が高いと製品水素中の窒素濃度が ISO 規格値を超える可能性がある。よって、消化ガス中の窒素濃度が 2 vol% を超える場合は、水素製造設備の設計に留意する。

同様に、酸素により触媒上で燃焼反応が起こり、改質器の温度が上昇し、設計温度を超過する可能性があるため、消化ガス中の酸素濃度が1 vol%を超える場合は、水素製造設備の設計に留意する。

(2) 付帯機器の設計

付帯機器として主に純水装置、CO 分析計、排水複合槽がある。

① 純水装置

水蒸気改質反応に使用する純水を製造する装置である。

純水の純度として、比抵抗 $10\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上が要求値である。

② CO 分析計

PSA 出口の製品水素中の CO 濃度を測定するものである。

改質器の異常時及び PSA の運転異常時に CO 濃度が上がることが想定されるため、水素品質の監視用に設置する。CO 濃度の最小検出感度は、10ppb 以下が要求仕様である。

③ 排水複合槽

水素製造設備から排出される、CO₂ が溶け込んだ酸性のドレン水 (pH : 4~4.5) を貯留し、バブリングによって中和処理するための槽である。排水処理設備等に流せる場合は不要である。

§ 28 水素供給設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、水素供給設備の設計を行う。

- (1) 水素圧縮機の設計
- (2) 蓄ガス器の設計
- (3) ディスペンサーの設計
- (4) プレクール装置の設計

【解 説】

(1) 水素圧縮機の設計

水素圧縮機の設計仕様は以下の通りとする。なお、型式及び流量制御方式については、汎用性のあるものを例としてあげている。

- ・型式 : 電動機駆動によるレシプロ式
- ・吸入圧力 : 0.6 MPaG
- ・吐出圧力 : 常用 82 MPaG
- ・流量制御 : 制御範囲は定格の 30~100%とし、スピルバック方式とする。
- ・圧縮機運転停止時に圧縮機内の水素ガスを脱圧する場合は、脱圧する水素ガスを大気放散せず圧縮機吸入側ガスタンクへ回収する機構とする。また、圧縮機吸入側ガスタンクの設計にあたっては、この回収量を考慮し、全体負荷制御等に支障をきたさない容量とする。
- ・起動方式は、回転器の電源容量が大きいため、インバータ起動またはクローズドスターデルタ方式、リアクトルもしくはコンドルファ等、突入電流を削減する設計とする。

(2) 蓄ガス器の設計

蓄ガス器の設計仕様は以下の通りとする。

- ・容積・本数 : 300L×3本以上(散水付)
- ・常用圧力 : 82 MPaG
- ・設計圧力 : 99 MPaG 以上
- ・圧力運用 : 3バンク方式(低圧、中圧、高圧)

各タンクは、同じ仕様のタンクを使い、燃料電池自動車に対する充填の優先順位を決める。例えば、4本にした場合は、1本目を低圧、2本目を中圧 - 1、3本目を中圧 - 2、4本目を高圧として低圧から順次燃料電池自動車に水素を充填していく。各タンクの圧力の設定の考え方としては、燃料電池自動車がどの程度の残圧及び頻度で来場するかによって変更が必要となるが、現状燃料電池自動車の燃料タンク残量が、30MPaG程度(水素残量半分程度)での来場が多いため、上述した通り中圧を2本としている。

- ・ 容器材質は、一般高圧ガス保安規則第7条の3第1項第1号に準拠のうえ、一般高圧ガス保安規則関係例示基準9（出典：「高圧ガス保安法令関係 例示基準資料集（第7次改訂版）」（高圧ガス保安協会）⁹⁾）に示す材質、または高圧ガス保安法特定設備検査規則に基づき受験合格した容器とする。
- ・ 蓄ガス器及び蓄ガス器から圧縮水素を受け入れる配管等に取り付けた緊急時に圧縮水素の供給を遮断する装置等は地震時の転倒による破損を防止するため、一般高圧ガス保安規則第7条の3第2項第13号に準拠のうえ、一般高圧ガス保安規則関係例示基準59の6（出典：「高圧ガス保安法令関係 例示基準資料集（第7次改訂版）」（高圧ガス保安協会））に示すように、ひとつのフレームの内側に配置し固定する。このフレームの強度及びフレームへの固定の強度は、1,300galの地震動加速度に対応した設計とする。

（3）ディスペンサーの設計

ディスペンサーの設計仕様は以下の通りとする。

- ・ 型式 : 70 MPaG 充填用シングル型計量器
- ・ 常用圧力 : 過充填防止装置及びその上流 82 MPaG
 過充填防止装置下流 70 MPaG
- ・ 設計圧力 : 過充填防止装置及びその上流 90.2 MPaG 以上
 過充填防止装置下流 90.2 MPaG 以上
 充填ホース 77 MPaG 以上
- ・ 関連法規 : 一般高圧ガス保安規則

（4）プレクール装置の設計

- ・ ディスペンサーと一体となった水素冷却用熱交換器に冷媒を供給する冷凍機及び冷媒循環系等から構成される。
- ・ プレクール装置の能力は、SAE J2601 充填プロトコルの規定（米国自動車技術会 技術規格）に従うこととし、充填する水素を規定された温度範囲（-40℃）まで冷却して充填を行えるものとする。また1時間当たり 300Nm³（5 kg タンク車両で5、6台）を継続して充填するのに必要な冷却及び熱交換能力にて計画する。

§ 29 CO₂ 液化回収設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、CO₂ 液化回収設備の設計を行う。

- (1) 除湿機の設計
- (2) 凝縮器、分離機の設計

【解 説】

(1) 除湿機の設計

凝縮器での氷結を避け、液化 CO₂ 中の水分を除くため、原料ガスの水分露点は-40℃以下まで下げる必要がある。このため、原料ガスをチラー水で予冷してドレンを分離し、水分含有量を削減した後、TSA（熱再生方式）の除湿機で水分を除去する。なお、水分を含んだ TSA の再生ガスを、原料ガスの受け入れ側に戻すことにより CO₂ 回収率を高めることができる。

設計上の留意点としては、吸着時の温度（常温）及び脱着時（約 200℃）の温度制御が確実に達成できる機器設計とすること及び吸着剤の選定において平衡吸着量の温度依存性が高い吸着剤（ゼオライト系吸着剤）を選定することが重要である。

(2) 凝縮器、分離機の設計

凝縮器の運転圧力と温度は、CO₂ の回収率に影響するため注意が必要である。また、液化した CO₂ にはメタン等が含まれているため、分離機（脱気塔等）による脱気を考慮する。

§ 30 ユーティリティ設備の設計

基本計算に基づいて設定した構成設備の諸元により、ユーティリティ設備の設計を行う。

- (1) 計装空気設備の設計
- (2) その他設備の設計

【解 説】

(1) 計装空気設備の設計

1) ドライヤー付計装空気圧縮機

自動弁及び調節弁を駆動させるために圧縮空気を製造するための装置である。

自動弁及び調節弁の計装空気使用量から単位時間当たりの計装空気必要量を算出し、余裕率を掛けて圧縮機の能力を算定する。

2) レシーバータンク

自動弁が複数台作動すると、急激な計装空気の使用による圧力低下が生じる。レシーバータンクは、所定圧以下にならないようにするため、圧縮空気を貯留するタンクである。

(2) 冷却塔の設計

1) 冷却塔

各設備の機器を冷却して戻ってくる温水を冷却するための設備である。冷却が必要な機器の必要冷却水量の総和に余裕率を掛けて能力を選定する。参考例として、水素製造能力 300Nm³/h の設備における冷却水量を表 4 - 5 に示す。この場合の設備能力は、余裕率を 20% とし、80m³/h の冷却水循環量にて設計する。

表 4 - 5 冷却水の量と圧力

冷却水を必要とする機器	必要量 (m ³ /h)	必要圧力 (MPaG)
バイオガス圧縮機	12	0.2
水素製造設備	20	0.4
水素圧縮機	20	0.4
プレクール装置用冷凍機	11	0.2
CO ₂ 液化回収設備	1.5	0.2
合計	64.5	-

2) 冷却水ポンプ

各設備に冷却水を給水するためのポンプである。上記冷却塔の参考例の場合、冷却塔の設計に基づき、ポンプ能力は 80m³/h、吐出圧力 0.5MPaG にて設計する。

(3) 散水設備の設計

1) 貯留槽

蓄ガス器及び出荷用カードル等の表面温度が、一般高圧ガス保安規則で定められた温度を超えないように、温度が上昇した場合に散水するための水を貯留する槽である。

容量は30分間散水するのに必要な量とする。

2) 散水ポンプ

散水ポンプは、上記のような散水が必要になった場合の送水ポンプであり、一般高圧ガス保安規則で定められた容量が必要である。なお、散水ポンプは、停電時でも作動できるようエンジンポンプとする（非常用電源がある場合を除く）。

3) 散水配管

散水配管は、蓄ガス器及び出荷用カードル等の表面に均一に散水が当るようスプレーノズルを設置する。

(4) 窒素ボンベ保管設備の設計

水素製造設備停止時のPSAの吸着剤劣化防止及び前処理設備停止時のガス分離膜での結露防止を目的とした窒素パージを行うために必要な量の窒素ボンベを保管する。

(5) グランドフレアの設計

グランドフレアは、ガス分離膜装置から排出されるオフガスに含まれるメタンと、水素製造設備の起動時に排出される水素を燃焼処理するための設備である。

各設備の起動・停止及び通常運転での各工程で排出されるガス量とそれに含まれる水素量、メタン量を算出し、最大量が処理できる能力を選定する。

§ 31 安全対策と環境対策

本システムにおける安全対策と環境対策について検討する。

- (1) 安全対策
- (2) 環境対策

【解 説】

(1) 安全対策

水素及び消化ガスは可燃性ガスであるとともに、水素ステーションでは、水素を 82MPaG まで昇圧するため、安全対策には細心の注意が必要となる。消化ガスについては、従来 of 下水処理で実施されている対策と同じであるため、ここでは、従来 of 下水処理にはない水素に対する安全対策について記載する。水素の特性については以下の通りである。

- ・無色、無臭
- ・燃焼速度が速く、火炎温度は 2,000℃ と高い。
- ・もっとも軽い気体で拡散が速い。
- ・着火性が高いが、自然発火しにくい。(水素の自然発火温度 570℃、ガソリンは 300℃)

本特性を理解し、安全対策を行うことで、化石燃料同様に安全な利用が可能である。必要な安全対策としては、次のことが挙げられる。

- ・水素を漏らさない。

特殊継手の使用、トルク管理による締め付け、耐圧試験による検査等を実施する。

- ・水素が漏れた場合は早期に検知し、拡大を防ぐ。

表 4 - 6 に示す安全装置を設置し、設備の運転停止を自動とする等の対策を行う。

- ・水素が漏れた場合に滞留させない。

漏れた場合に滞留しない構造とするために、基本的に水素を扱う設備は屋外設置とするとともに、エンクロージャーにて収納する場合は、強制換気機能を設ける。

- ・漏れた水素に火がつくことを防ぐ。

計装電気品に関しては、危険場所区分に基づき水素防爆品を採用する。

- ・火災が生じた場合、火の拡大を最小限にとどめる。

火の拡大を最小限にとどめるため、水素ステーションの周囲は障壁、防火扉で囲われる設計とする。

表 4 - 6 各設備の安全装置と設定値

設備名	計器名	設定値
前処理設備		
シロキサン除去塔	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
水素製造装置	地震検知器	150 gal 以上で作動
	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
水素供給設備		
水素圧縮機	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
蓄ガス器	火炎検知器	火炎検知で作動
	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
	圧力計	95 MPaG 以上で作動
	温度計	40 °C 以上で作動
ディスペンサー	火炎検知器	火炎検知で作動
	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
	衝撃検知装置	
カードル接続ユニット	火炎検知器	火炎検知で作動
	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
	温度計	40 °C 以上で作動
CO ₂ 液化回収設備	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
ユーティリティ設備		
グラウンドフレア	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
計装空気	圧力計	0.39 MPaG 以下で作動
管理棟	ガス検知器	爆発限界の25% 以上で作動
	保安電源断	停電時

(2) 環境対策

環境対策としては、大気汚染防止法、振動規制法、騒音規制法に基づき、排ガス、振動、騒音の各項目に対して市町村条例を遵守した設計を行う。

第5章 維持管理

第1節 運転管理

§ 32 運転管理

本システムの運転管理では、以下に示す項目に関して実施する。

- (1) 消化ガス分析
- (2) 前処理設備
- (3) 水素製造設備
- (4) 水素供給設備
- (5) CO₂ 液化回収設備
- (6) 設備停止時の処置
- (7) 夜間等運転時の対応
- (8) 不具合時の対応

【解 説】

本システムの運転管理において、各計器類は PLC (Programmable Logic Controller) にて一元管理されており、異常値の管理は自動的に実施され、異常時には警報が発報されるシステムとなっている。以下、運転管理については、主な運転管理項目について記述する。

(1) 消化ガス分析

全体システムの制御に影響する消化ガスの組成分析を実施する。分析はガスクロマトグラフィー等にて実施し、分析項目を表 5 - 1 に示す。

表 5 - 1 消化ガス分析項目

組成	単位	管理基準値	頻度
CH ₄	vol%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/1 ヶ月
CO ₂	vol%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/1 ヶ月
N ₂	vol%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/1 ヶ月
O ₂	vol%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/1 ヶ月
水分	vol%	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/3 ヶ月
シロキサン	mg/Nm ³	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/3 ヶ月
高沸点炭化水素	mg/Nm ³	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/3 ヶ月
硫化水素	ppm	基本計画時の濃度と差異のないこと	1 回/1 ヶ月

(2) 前処理設備

前処理設備の主な運転管理項目を表 5 - 2 に示す。

表 5 - 2 前処理設備の主な運転管理項目

対象機器	測定項目	測定頻度	管理基準
シロキサン除去塔	出口ガスシロキサン濃度	1 回/3 ヶ月	0.265 mg/Nm ³ 以下
	出口ガス高沸点炭化水素濃度	1 回/3 ヶ月	設計値と差異のないこと
ガスブースター	入口ガス圧力	連続	0 kPaG 以上
	吐出ガス圧力	連続	設計値と差異のないこと
ガス分離膜装置	入口ガス圧力	連続	設計値と差異のないこと
	精製ガスメタン濃度	1 回/1 ヶ月	92 vol%以上
	入口、出口ガス流量	連続	メタン回収率 90 %以上
	オフガス CO ₂ 濃度	1 回/1 ヶ月	設計値と差異のないこと

(3) 水素製造設備

水素製造設備の主な運転管理項目を表 5 - 3 に示す。

表 5 - 3 水素製造設備の主な運転管理項目

対象機器	項目	測定頻度	管理基準
水素製造設備	改質器温度	連続	設計値と差異のないこと
	改質器圧力	連続	設計値と差異のないこと
	製品水素流量	連続	設計値と差異のないこと
	製品 CO 濃度	連続	0.2 ppm 以下

(4) 水素供給設備

水素供給設備の主な運転管理項目を表 5 - 4 に示す。

表 5 - 4 水素供給設備の主な運転管理項目

対象機器	項目	測定頻度	管理基準
水素圧縮機	吐出温度	連続	60 °C以下
	吐出圧力	連続	約 82 MPaG
	吐出流量	連続	設計値と差異のないこと
蓄ガス器	表面温度	連続	40 °C以下
	タンク内圧力	連続	82 MPaG 以下で
ディスペンサー	充填時水素温度	連続	充填時-30 °C以下
	送出水素圧力	連続	設計値と差異のないこと
水素出荷設備 (カードル)	表面温度	連続	40 °C以下

(5) CO₂ 液化回収設備

CO₂ 液化回収設備の主な運転管理項目を表 5 - 5 に示す。

表 5 - 5 CO₂ 液化回収設備の主な運転管理項目

対象機器	項目	測定頻度	管理基準
CO ₂ 液化回収設備	液化 CO ₂ 温度	連続	液化部分にて-30 °C
	圧縮機出口圧力	連続	2.7 MPaG 以上
	入口ガス流量	連続	設計値と差異のないこと

(6) 設備停止時の処置

設備を停止したときの処置として、窒素パージを行う。窒素パージの目的は、水素製造設備停止時の PSA の吸着剤の劣化防止、前処理設備停止時のガス分離膜の結露防止である。

(7) 夜間等運転時の対応

夜間等の水素を製造・供給しない時間帯において、§ 11 に記載した 2 つの運転モードにて運転する場合がある。各運転モードにおける運転管理上の留意点は以下の通りである。

① アイドル運転

- ・通常運転時と同様。

② 待機運転

- ・通常運転時と同様。
- ・製品水素を製造しないため、本来水素製造用の純水は不要である。しかしながら系内の温度伝達促進のため、水素製造設備内で水素を循環させており、触媒の過還元による失活を防止するため、純水の供給が必要となる。

(8) 不具合時の対応

本システムは、自動運転を基本としている。また、異常については、注意を喚起する軽故障と設備を停止させる重故障に分けて監視している。

設備の運転中に軽故障が生じた場合、重故障になるのを回避する方向に操作する。また、重故障によって、設備が停止した場合は、原因を調査し、原因を取り除いた後、再起動を行う。

日常の点検で、設備に故障や不具合を発見した場合は、速やかに設備を停止し、修理した後、再起動する。

なお、各設備の故障・不具合例とそれに対する対応基本例を資料編Ⅲに記載する。

第2節 保守点検

§ 33 保守点検

本システムを適切な状態に長期間維持するため、点検整備を実施する。

- (1) 日常点検
- (2) 定期点検
- (3) その他点検

【解説】

- (1) 日常点検

本システムに関する日常点検については、設備毎に以下の項目を実施する。

- 1) 前処理設備

前処理設備の各機器の日常点検項目を表5-6に示す。

表5-6 前処理設備の日常点検項目

対象機器		点検項目	点検方法	管理基準	頻度
ガスブースター		吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
		駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1回/日
		ガス漏洩	ガス検知器	ガス漏れがないこと	1回/週
		Vベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1回/日
除湿機	チラーユニット	送水ポンプ、冷却器	目視確認	異音、振動がないこと	1回/月
	ガスドライヤ予熱器、冷却器	差圧	圧力計	著しい差圧の上昇がないこと	1回/月
シロキサン除去塔		吸入/吐出圧力	差圧計	設計値と差異のないこと	1回/日
ガスコンプレッサー		吐出圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日
		駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1回/日
		ガス漏洩	ガス検知器	ガス漏れがないこと	1回/週
		Vベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1回/月
ガス分離膜装置		精製ガス濃度	ガスクロ分析	CH ₄ : 92 vol%以上	1回/月
		オフガス濃度	ガスクロ分析	設計値と差異のないこと	1回/月
		膜入口圧力	圧力計	設計値と差異のないこと	1回/日

2) 水素製造設備

水素製造設備の各機器の日常点検項目を表5-7に示す。

表5-7 水素製造設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
圧縮機	吸入/吐出圧力	圧力計	0.06 MPaG/ 0.9 MPaG	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
	ガス漏洩	ガス検知器/発泡液	ガス漏れがないこと	1 回/週
	V ベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1 回/日
空気ブロワ	吸入/吐出圧力	圧力計	0 kPaG/ 1 ~ 9 kPaG	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
	ガス漏洩	ガス検知器/発泡液	ガス漏れがないこと	1 回/週
	V ベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1 回/日
純水製造装置	水質	電導率計	10 MΩ・cm 以上	1 回/日
	外観検査	目視確認	水漏れがないこと	1 回/日
	送水圧力	圧力計	1.2 MPaG 以上	1 回/日

3) 水素供給設備

水素供給設備の各機器の日常点検項目を表5-8に示す。

表5-8 水素供給設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
水素圧縮機	吸入/吐出圧力	圧力計	0.6 MPaG/ 82 MPaG	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
	V ベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1 回/日
蓄ガス器	蓄ガス圧力	圧力計	82 MPaG 以下	1 回/日
ディスペンサー	外観検査	目視確認	破損等がないこと	1 回/日

4) CO₂ 液化回収設備

CO₂ 液化回収設備の各機器の日常点検項目を表5-9に示す。

表 5 - 9 CO₂ 液化回収設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
除湿機	外観検査	目視確認	破損等がないこと	1 回/日
CO ₂ 圧縮機	吐出圧力	圧力計	2.8 MPaG 以上	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
	V ベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1 回/日
分離機	外観検査	目視確認	破損等がないこと	1 回/日
ブラインユニット	冷却温度	温度計	-30 °C 以下	1 回/日

5) ユーティリティ設備

ユーティリティ設備の各機器の日常点検項目を表 5 - 10 に示す。

表 5 - 10 ユーティリティ設備の日常点検項目

対象機器	点検項目	点検方法	管理基準	頻度
冷却水ポンプ	吐出圧力	圧力計	0.3 MPaG 以上	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
冷却塔	V ベルトの張力	目視確認	たるみ等がないこと	1 回/日
	冷却塔水位	目視確認	著しく減じないこと	1 回/日
計装空気供給設備	吐出圧力	圧力計	0.6 MPaG 以上	1 回/日
	駆動部/軸受部	目視確認	異音、振動がないこと	1 回/日
	露点	露点計	-40 °C 以下	1 回/日
散水設備	外観検査	目視確認	破損等がないこと	1 回/日
グラウンドフレア	外観検査	目視確認	破損等がないこと	1 回/日

(2) 定期点検

定期点検として、一般高圧ガス保安規則により定められた水素ステーション所在地の都道府県庁における高圧ガス担当部署の立会の下で年 1 回行われる保安検査と、事業者自らが実施する定期自主検査がある。

なお、一般高圧ガス保安規則に基づき、点検項目をとりまとめた表を資料編Ⅲに記載する。

(3) その他点検項目

その他の点検項目として、以下の点検を実施する。

① 製品水素成分分析

燃料電池自動車に供給する水素の品質については、ISO 規格値（微粒子を除く）を満足していることを確認する。品質確認は、製品水素を 1 回/1 年の周期にてディスペンサー出口からサンプリングし、表 5 - 11 に示した項目を分析する。ただし、水素純度に関しては、次頁の式のように

水素純度を除いた各項目の分析値の合計を 100vol%から差し引きし算出する。なお、算出において分析結果が定量下限値未満の場合は、定量下限値を分析値として扱う。

$$\text{水素純度 (vol\%)} = 100 \text{ (vol\%)} - (\text{全炭化水素分析値 (ppm)} + \text{H}_2\text{O 分析値 (ppm)} + \dots + \text{NH}_3 \text{分析値 (ppm)} + \text{ハロゲン化物分析値 (ppm)}) / 10,000$$

また、微粒子に関しては、フィルター（メッシュタイプ：5 μm）をディスペンサー出口に設置することにより対応する。

表 5 - 11 製品水素の品質確認項目

分析項目	単位	ISO 規格値	検査機器等
水素	vol%	≥ 99.97	計算値
全炭化水素	ppm	≤ 2	GC-FID
H ₂ O	ppm	≤ 5	水分計
O ₂	ppm	≤ 5	酸素計
He	ppm	≤ 300	GC-TCD
Ar	ppm	≤ 100	GC-MS
N ₂	ppm		GC-HPID
CO ₂	ppm	≤ 2	GC-FID
CO	ppm	≤ 0.2	GC-FID
全硫黄化合物	ppm	≤ 0.004	全硫黄計
HCHO	ppm	≤ 0.01	HPLC/DNPH 捕集
HCOOH	ppm	≤ 0.2	イオンクロマトグラフ
NH ₃	ppm	≤ 0.1	イオンクロマトグラフ
ハロゲン化物	ppm	≤ 0.05	イオンクロマトグラフ

② 液化回収 CO₂ 成分分析

液化回収 CO₂ の品質については、JIS 規格値である純度 99.5vol%以上であることを確認する（表 5 - 12 参照）。品質確認は、液化回収した CO₂ を 1回/3 ヶ月程度の周期にてサンプリングし分析する。

表 5 - 12 CO₂ の品質確認項目

分析項目	単位	JIS 規格値	検査機器
CO ₂	vol%	≥ 99.5	GC-TCD

第3節 緊急時の対応

§ 34 緊急時の対応

人身・物損事故の発生や重要設備の故障・不具合の発生等の緊急時には、原則として定められた手順で速やかに設備の停止操作を行い事態の悪化を防止する。また、地震・台風等の災害時には、定められた手順で速やかに設備を停止し、予め設定した災害時対策フローに従って対応することを基本とする。

【解 説】

本システムの運転中に人身・物損事故の発生や重要設備の故障・不具合の発生等があった場合には、原則として定められた手順で速やかに設備の停止操作を行い、事態の悪化を防止する。また運転中に設備が自動的に停止した場合には、停止の原因を調査し、原因を取り除いた上で再起動を行う。特にガス検知器が作動して停止した場合は、ガス漏れの箇所をポータブルガス検知器や発泡剤等を使って特定し、ガス漏れを止めてから再起動を行う。

また、火災検知器が作動した場合は、設備が停止していることを確認の上、予め定めた手順で対応する。地震・台風等の災害が発生した場合には、定められた手順で速やかに設備を停止し、予め設定した災害時対策フローに従って対応することを基本とする。

参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版 社団法人日本下水道協会 平成21年9月
- 2) 下水道用語集 2000年版 社団法人日本下水道協会 平成12年1月
- 3) JHFC 総合効率検討結果 (財)日本自動車研究所 平成18年3月
- 4) 総合効率とGHG排出の分析報告書 (財)日本自動車研究所 平成23年3月
- 5) エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改訂について 資源エネルギー庁
平成27年4月14日
- 6) 平成26年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について 環境省
平成27年11月30日
- 7) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き 国土交通省 平成21年3月
- 8) 自動車燃料消費量統計年報 平成26年度分 国土交通省 平成27年9月28日
- 9) 高圧ガス保安法令関係 例示基準資料集(第7次改定版) 高圧ガス保安協会
平成27年5月22日

目 次

資 料 編

I. 実証試験.....	77
I - 1 実証研究の概要.....	77
I - 2 実証試験結果.....	82
I - 2 - 1 前処理設備・シロキサン除去塔.....	82
I - 2 - 2 前処理設備・ガス分離膜装置.....	95
I - 2 - 3 水素製造設備.....	99
I - 2 - 4 水素供給設備.....	103
I - 2 - 5 CO ₂ 液化回収設備.....	104
I - 2 - 6 電力原単位.....	106
II. 簡易算定式.....	107
II - 1 簡易算定式の導出.....	107
II - 2 簡易算定式の留意点.....	124
II - 3 推奨条件の算出について.....	125
III. 参考資料.....	127
III - 1 トラブル時の対応例.....	127
III - 2 保安検査及び定期自主検査における検査項目.....	130
III - 3 参考文献.....	143
IV. 問い合わせ先.....	144

I. 実証試験

I - 1 実証研究の概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

下水バイオガス原料による水素創エネ技術実証研究

2) 実施者

三菱化工機(株)・福岡市・国立大学法人九州大学・豊田通商(株) 共同研究体

3) 実証期間

平成 26 年 6 月 28 日～平成 27 年 3 月 31 日 (平成 26 年度委託研究期間)

平成 27 年 7 月 10 日～平成 28 年 3 月 31 日 (平成 27 年度委託研究期間)

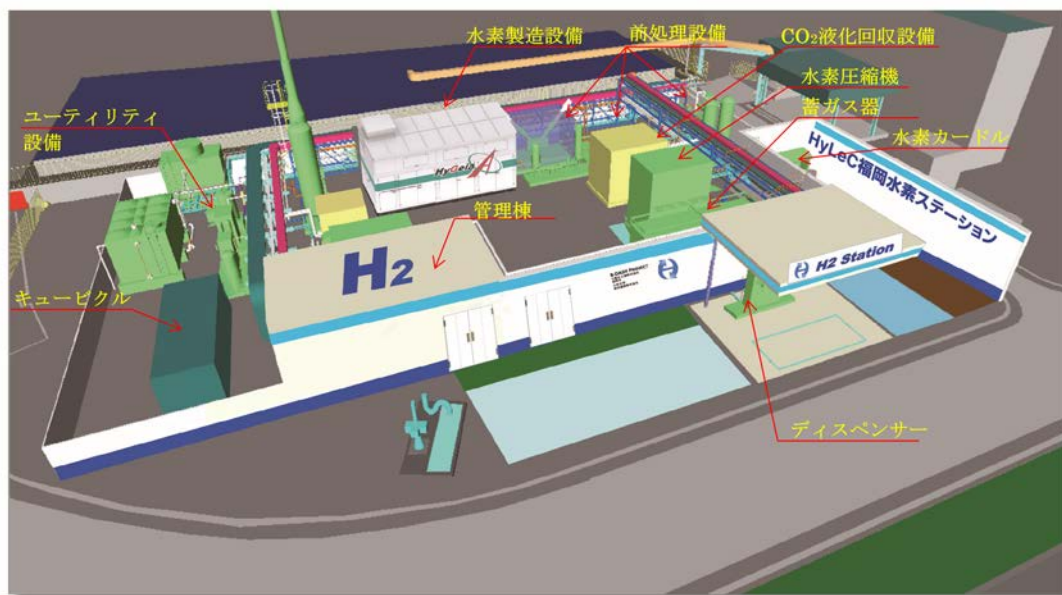
4) 実施場所

福岡市中部水処理センター

実証フィールドの概要を表資 1.1 - 1、施設配置図を図資 1.1 - 1 に示す。

表資 1.1 - 1 実証フィールドの概要

下水道事業者	福岡県福岡市
所在地	福岡県福岡市中央区荒津 2 丁目 2 - 1
処理場名	福岡市中部水処理センター
処理方式	嫌気好気活性汚泥法
処理人口	平成 25 年度：357,901 人 (計画：277,000 人)
晴天時 1 日最大処理水量(現有施設能力)	平成 25 年度：300,000m ³ /日 (計画：300,000m ³ /日)
下水汚泥処理方式	機械濃縮－消化－脱水
消化設備運転実績 (平成 25 年度平均)	消化槽投入濃縮汚泥量：648m ³ /日 投入汚泥濃度：3.29% 投入汚泥有機分：82% 消化率：58% 消化ガス発生量：3,506,283Nm ³ /年 (9,606Nm ³ /日) 消化ガス CH ₄ 濃度：56vol% 消化ガス CO ₂ 濃度：43vol%



図資 1.1 - 1 施設配置図

5) 処理対象

福岡市中部水処理センターの消化槽から発生する消化ガスを対象とした。

6) 処理能力

消化ガス使用量：2,400Nm³/日

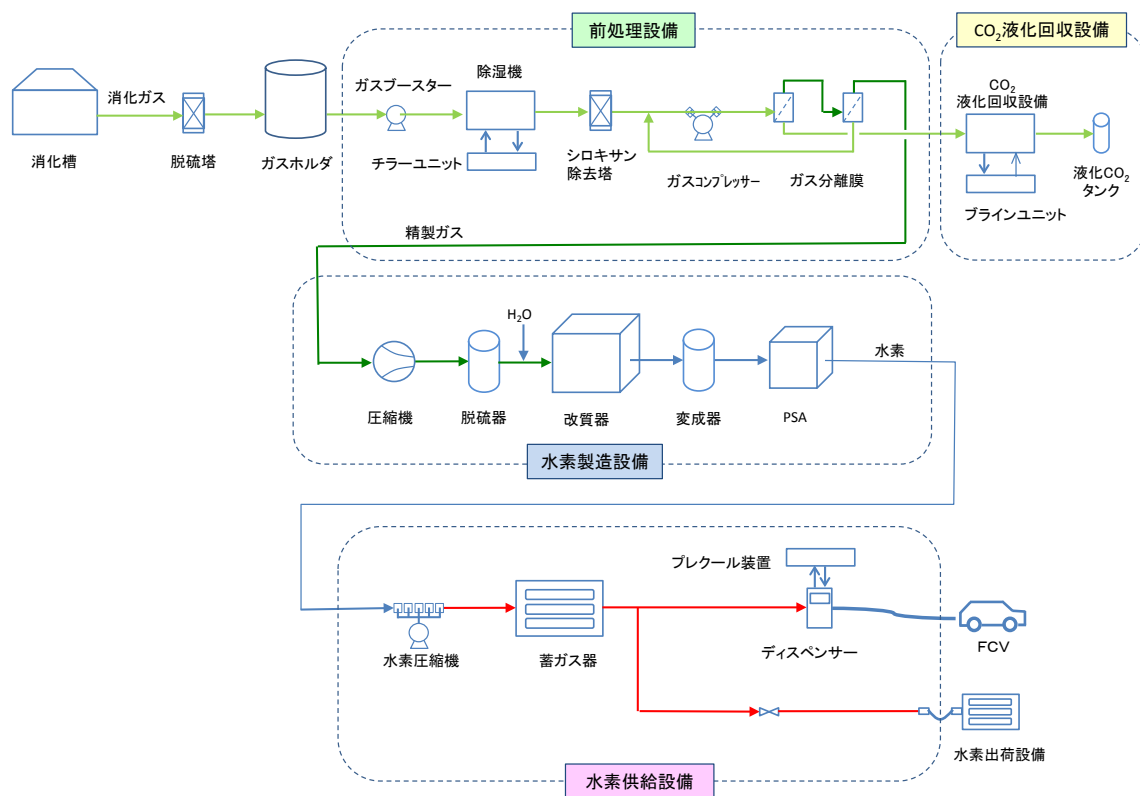
水素製造量：3,302 Nm³/日以上

回収 CO₂ 量：700kg/日以上*

*CO₂ 液化回収設備は、最大回収量の 50%を回収できる設備規模とした。

7) 実証設備フロー

実証設備の概要フローを図資 1.1 - 2 に示す。



図資 1.1 - 2 実証設備概要フロー

8) 実施工程

実証研究の工程は、平成 26 年度については主に実証設備の建設工事、試運転、平成 27 年度については 1 年を通じた実証運転を行った。工程表を図資 1.1 - 3 に示す。

実証項目		平成 26 年度			平成 27 年度		
		7-9月	10-12月	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月
工事期間	実証設備の 計画・設計	■■■■■					
	実証設備の 土木・設置工事	■■■■■	■■■■■				
試験期間	試運転			■■■			
	性能評価運転			■■■	■■■■■	■■■■■	■■■
	自動運転化 検討					■■■■■	
	報告書作成			■■■			■■■■■

図資 1.1 - 3 実証研究工程表

(2) 実証試験結果まとめ

実証試験結果を表資 1.1 - 2 に示す。

表資 1.1 - 2 実証試験結果

実証項目	目標値	実証試験結果
1. 前処理設備		
1) 消化ガス処理量	2,400 Nm ³ /日	2,400 Nm ³ /日
2) シロキサン除去	0.265 mg/Nm ³ 以下	0.06~0.24 mg/Nm ³
3) 精製ガスメタン濃度	92 vol%以上	93.7~98.7 vol%
4) メタン回収率	90 %以上	90.5~93.9 %
2. 水素製造設備		
1) 水素製造量	3,302 Nm ³ /日以上	3,311~3,333 Nm ³ /日
2) 水素製造品質	ISO規格に準拠 (微粒子を除く)	ISO規格に準拠 (水素純度>99.997 vol%)
3. 水素供給設備		
1) 圧縮圧力	82 MPaG	82 MPaG
2) 充填速度	水素 5 kgを 3分以内	水素 5.34 kgを 3分で充填
4. CO ₂ 液化回収設備		
1) CO ₂ 回収量	700 kg/日以上	765.6~767.0 kg/日
2) 回収CO ₂ 品質	JIS 2 種に相当	JIS 2 種に相当
5. 電力原単位	1.089 kWh/Nm ³ -H ₂ 以下	1.080~1.081 kWh/Nm ³ -H ₂

I - 2 実証試験結果

I-2-1 前処理設備・シロキサン除去塔

(1) シロキサン除去塔の性能評価

1) 性能評価方法

シロキサン除去塔廻りのガスサンプリング及びシロキサン成分の定量分析を行い、その結果より性能の評価を行った。また、本設備にて使用している活性炭はシロキサン除去用として選定しているが、高沸点炭化水素の除去も期待できることから、高沸点炭化水素の定量分析も実施した。シロキサン除去塔の模式図を図資 1.2.1 - 1 に示す

①測定条件

ガス採取時における運転条件は、計画流量に対し 100%負荷相当とし、以下に示す通りとした。

- ・シロキサン除去塔出口のガス流量：200Nm³/h

②測定期間及び回数

平成 27 年 3 月に 2 回、平成 27 年 8 月～平成 28 年 2 月にかけて 7 回、計 9 回の定量分析を実施した。

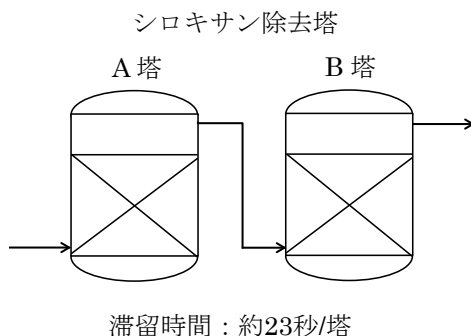
③測定方法

各項目の定量分析方法を表資 1.2.1 - 1 に、ガスサンプリング対象箇所を表資 1.2.1 - 2、図資 1.2.1 - 2 に示す。サンプリング箇所は、消化ガス (S1)、シロキサン除去塔 A 出口 (S2)、シロキサン除去塔 B 出口 (S3) とした。

ガス採取時間は、

- ・成分濃度：定常運転時の瞬時値
- ・シロキサン：定常運転時のサンプリング 60 分での平均値
- ・高沸点炭化水素：定常運転時のサンプリング 30 分での平均値

とした。



図資 1.2.1 - 1 シロキサン除去塔の模式図

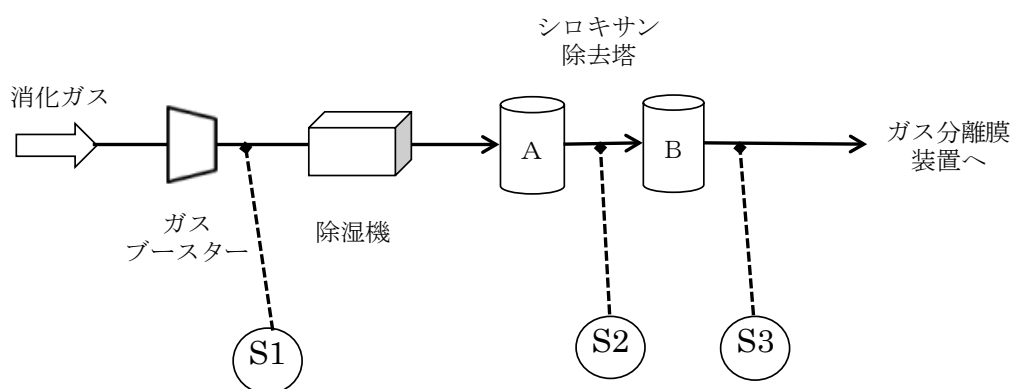
表資 1.2.1 - 1 定量分析方法

分析項目	単位	定量下限値	分析の方法
成分組成			
メタン(CH ₄)	vol %	0.1	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
二酸化炭素(CO ₂)	vol %	0.1	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
酸素(O ₂)	vol %	0.1	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
窒素(N ₂)	vol %	0.1	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
水素(H ₂)	vol %	0.1	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
アンモニア(NH ₃)	ppm	0.1	S47.環告第9号 別表第1 吸光光度法
硫化水素(H ₂ S)	ppm	0.2	バッグ採取-ガスクロマトグラフ(TCD)法
水分(H ₂ O)	vol %	0.1	JIS Z 8808 7.1 吸湿管による方法
シロキサン			
シロキサン	mg/Nm ³	0.04	液体補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
シロキサン(D3)	mg/Nm ³	0.01	液体補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
シロキサン(D4)	mg/Nm ³	0.01	液体補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
シロキサン(D5)	mg/Nm ³	0.01	液体補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
シロキサン(D6)	mg/Nm ³	0.01	液体補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
高沸点炭化水素			
オクタン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
ノナン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
デカン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
テトラデカン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
エチルベンゼン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法
リモネン	mg/Nm ³	0.02	固相補集-ガスクロマトグラフ質量分析法

なお、測定結果について、シロキサンの合計値は、D3 から D6 までの測定結果の単純合計値とし、定量下限値未満の場合はゼロとして扱う。高沸点炭化水素の合計値についても同様に、オクタン、ノナン、デカン、テトラデカン、エチルベンゼン、リモネンの測定結果の単純合計値とし、定量下限値未満の場合はゼロとして扱う。

表資 1.2.1 - 2 ガスサンプリング対象箇所と分析項目

分析項目	S1	S2	S3
	消化ガス	シロキサン 除去塔A出口	シロキサン 除去塔B出口
成分組成			
メタン(CH ₄)	○		
二酸化炭素(CO ₂)	○		
酸素(O ₂)	○		
窒素(N ₂)	○		
水素(H ₂)	○		
アンモニア(NH ₃)	○		
硫化水素(H ₂ S)	○		
水分(H ₂ O)	○		
シロキサン			
シロキサン	○	○	○
シロキサン(D3)	○	○	○
シロキサン(D4)	○	○	○
シロキサン(D5)	○	○	○
シロキサン(D6)	○	○	○
高沸点炭化水素			
オクタン	○	○	○
ノナン	○	○	○
デカン	○	○	○
テトラデカン	○	○	○
エチルベンゼン	○	○	○
リモネン	○	○	○



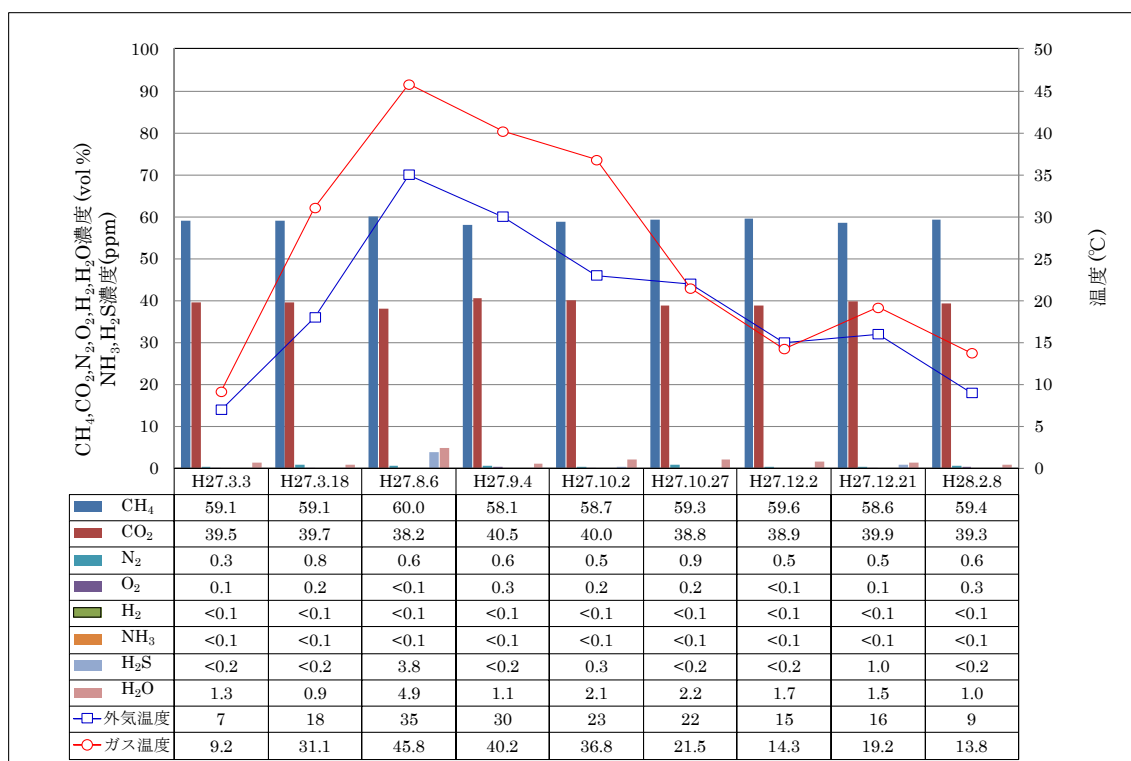
図資 1.2.1 - 2 ガスサンプリング対象箇所

2) 性能評価結果

①消化ガスの性状

消化ガス中の成分とガス温度の推移を図資 1.2.1 - 3 に示す。

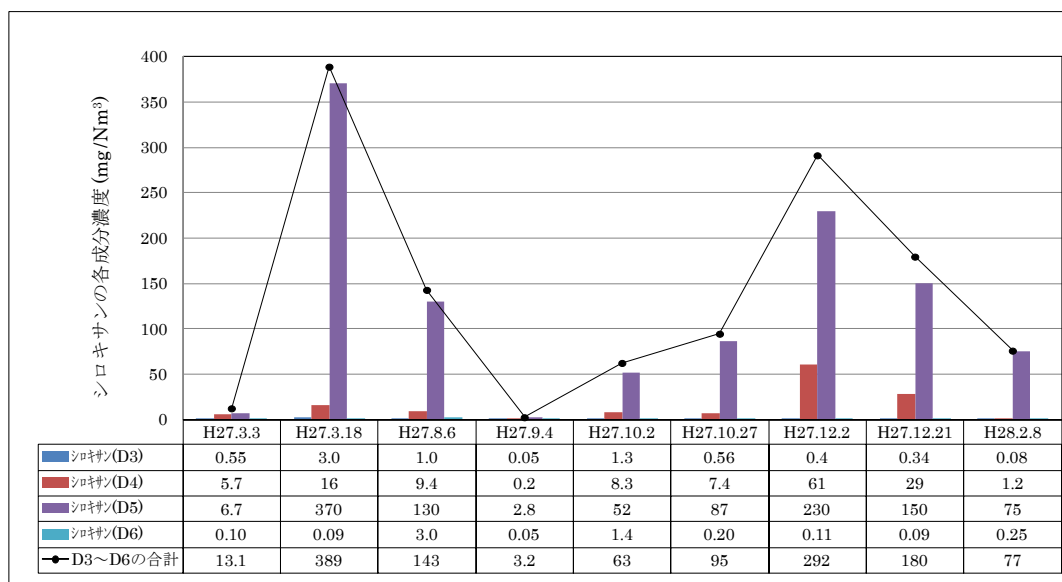
実証研究期間(平成 26~27 年度)における消化ガス温度は季節により変動し 9.2~45.8℃であった。各成分の濃度について、メタン濃度は 58.1~60.0vol% (平均 59.1vol%)、二酸化炭素濃度は 38.2~40.5vol% (平均 39.4vol%) であり、季節によらず概ね安定した傾向が確認された。



図資 1.2.1 - 3 消化ガスの成分と温度の推移

消化ガス中のシロキサン各成分濃度の推移を図資 1.2.1 - 4 に示す。

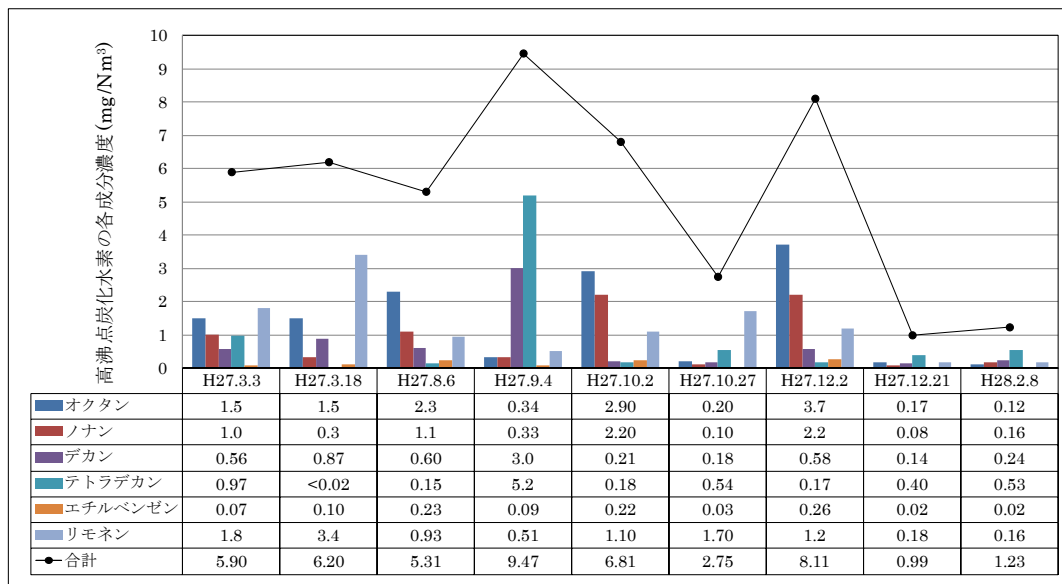
実証研究期間（平成 26～27 年度）におけるシロキサン濃度（D3～D6 の合計）は、3.2～389mg/Nm³（平均 139.5mg/Nm³）と変動が大きく、D5 濃度に依存する傾向も確認された。



図資 1.2.1 - 4 消化ガス中のシロキサン濃度の推移

消化ガス中の高沸点炭化水素濃度の推移を図資 1.2.1 - 5 に示す。

実証研究期間（平成 26～27 年度）における高沸点炭化水素濃度（各成分の合計値）は、0.99～9.47mg/Nm³（平均 5.2mg/Nm³）であった。季節による傾向は特に無く、各成分の濃度変動も大きかった。

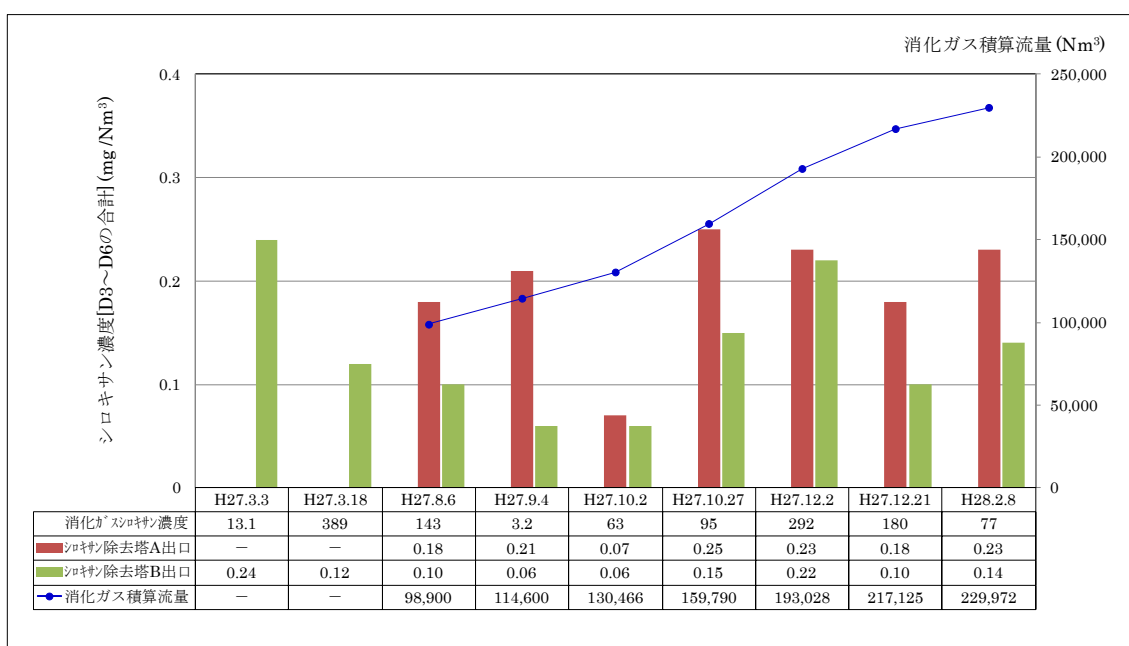


図資 1.2.1 - 5 消化ガス中の高沸点炭化水素濃度の推移

②シロキサン除去性能

シロキサン除去塔 A 及び B の各出口におけるシロキサン濃度 (D3~D6 の合計) と消化ガス流量積算値の推移を図資 1.2.1 - 6 に示す。

実証研究期間 (平成 26~27 年度) における全てのサンプリングにおいて、シロキサン除去塔 B 出口でのシロキサン濃度 (D3~D6 の合計) が目標値 0.265mg/Nm³ 以下まで除去されたことを確認した (平均 0.132mg/Nm³)。また、2 塔直列の前段である除去塔 A 出口においてもシロキサン濃度 (D3~D6 の合計) が目標値 0.265mg/Nm³ 以下まで除去されていることを確認した。

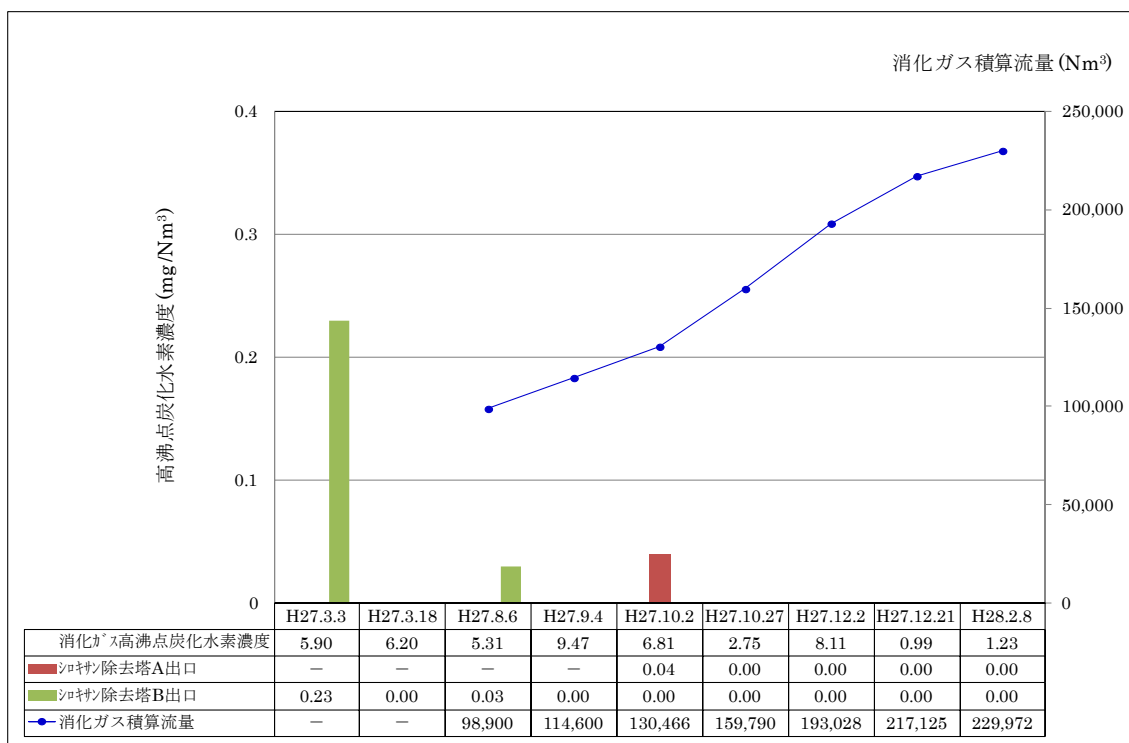


図資 1.2.1 - 6 シロキサン除去塔出口シロキサン濃度と消化ガス流量積算値の推移

③高沸点炭化水素の除去性能

シロキサン除去塔 A 及び B の各出口における高沸点炭化水素と消化ガス流量積算値の推移を図資 1.2.1-7 に示す。

実証研究期間（平成 26～27 年度）において、消化ガスの高沸点炭化水素濃度は 0.99～9.47mg/Nm³（図資 1.2.1-5）であったが、シロキサン除去塔 B 出口においてほぼ全量吸着除去されていることを確認した。（シロキサン除去塔 A 出口の分析は、平成 27 年 10 月以降より実施）



図資 1.2.1-7 シロキサン除去塔出口高沸点炭化水素濃度と消化ガス流量積算値の推移

(2) 活性炭吸着量の妥当性評価

1) 評価方法

活性炭吸着量の妥当性を評価するためには、

- ・ 流入するシロキサン量の同定
- ・ 吸着破過までの時間測定
- ・ 活性炭層中の吸着量の同定（塔内吸着量分布）

が必要であり、吸着破過までの経過分析を実施した。

①シロキサン除去塔の設計値

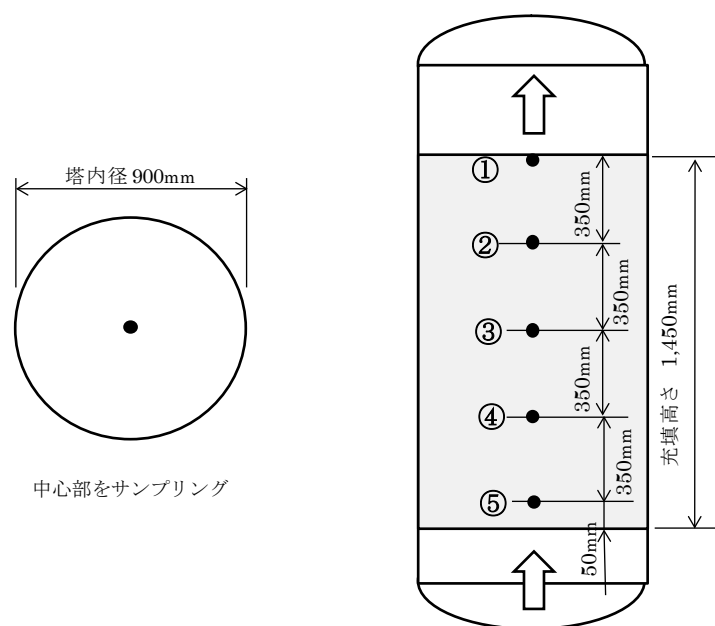
シロキサン除去塔は、2塔直列式となっており、活性炭充填量の設計値は、

$$230\text{mg}/\text{Nm}^3 \times 240\text{Nm}^3/\text{h} \times 12\text{h} \times 90\text{日} (3\text{ヶ月}) / 1,000 = 59,616\text{ g/塔}$$

を吸着除去できる活性炭量で決定しており、90日連続運転相当後は吸着剤の交換を実施する計画であった（1塔のみ）。この時の通気量は、259,200Nm³となる。

②サンプリング箇所

吸着量分布の定量化を行うため、活性炭交換時にシロキサン除去塔上部から下部に向けた各充填層のサンプリング（5点）を行い、分析を実施した。サンプリング箇所を図資 1.2.1 - 8 に示す。



- ・ サンプリング No.① : 充填層の最上部表面
- ・ サンプリング No.② : No.①から約 350mm 下
- ・ サンプリング No.③ : No.②から約 350mm 下
- ・ サンプリング No.④ : No.③から約 350mm 下
- ・ サンプリング No.⑤ : No.④から約 350mm 下 (最下層から約 50mm 高さ)

図資 1.2.1 - 8 活性炭のサンプリング箇所

④分析項目

活性炭劣化評価を行うための主な分析項目を以下に示す。

- ・ Si 質量濃度 : エネルギー分散型 X 線分析装置
- ・ 揮発分 : JIS M 8812 石炭類及びコークス類試験方法に準拠
(試料をふた付きのつぼに入れ、空気との接触を避けるようにして 900℃で7分間加熱し、その加熱減量から計算する。)

2) 評価結果

①活性炭使用状況

活性炭の使用状況を以下に示す。

- ・ 充填日 : 平成 27 年 2 月 10 日
- ・ 消化ガス投入開始日 : 平成 27 年 3 月 1 日
- ・ 活性炭サンプリング日 : 平成 28 年 1 月 22 日
- ・ 消化ガス投入積算量 : 224,006Nm³ (平成 28 年 1 月 21 日時点)

※実証期間の関係により、設計通気量には至っていない。

②活性炭分析結果

サンプリングした活性炭の分析結果を表資 1.2.1 - 3 に示す。

No.5 において D4 換算量が 18.6%であり、設計時のシロキサン平衡吸着量（18.7%）と同等であることから、設計通りの性能であったことがわかった。

表資 1.2.1 - 3 活性炭分析結果

項目	シロキサン除去塔A活性炭 サンプルング箇所No.					未使用炭
	No.①	No.②	No.③	No.④	No.⑤	
Si質量濃度 ※1 %	1.01	0.95	1.42	1.94	7.92	0.89
Si増量 %	0.12	0.06	0.53	1.05	7.03	
D4換算量 ※2 %	0.3	0.2	1.4	2.8	18.6	
揮発分測定値 ※3 %	2.7	2.1	2.4	8.4	25.5	1.8
正味揮発分吸着量 %	0.9	0.3	0.6	6.6	23.7	
炭化水素類 %	0.6	0.1	-0.8	3.8	5.1	

※1：Si 増量＝使用炭 Si 質量濃度－未使用炭 Si 質量濃度

※2：D4 換算量＝Si 増量×D4 分子量（296.68）/（Si 分子量（28.09）×4）

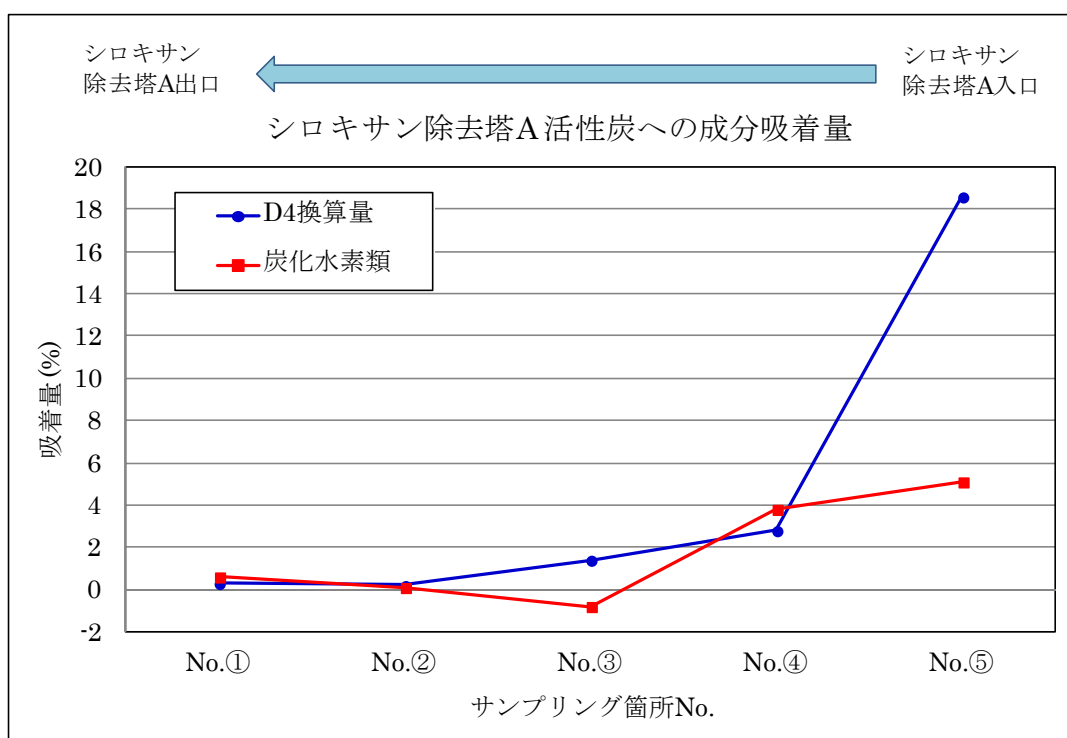
※3：揮発分は、900℃で7分間加熱した加熱減量を測定しているため、炭化水素類の他にシロキサンの量も含まれる。

なお、No.③の炭化水素類は-0.8%という値になっているが、これは Si 質量濃度と揮発分の分析における測定誤差から生じたものと推測される。

各サンプリング箇所 No.のシロキサン吸着量（D4 換算量）と炭化水素類吸着量の推移を
図資 1.2.1 - 9 に示す。

シロキサンは、処理ガス入口付近（入口から 50mm～400mm）にて、吸着除去が完了して
いた。また、吸着帯（主に吸着が行われるゾーン）の幅が狭く、吸着剤を有効に使用で
きる吸着塔設計であることが分かった。

炭化水素類は、シロキサンと比べ若干ではあるが、やや出口に近い（入口から 50mm～
750mm）部分にて吸着除去されていることが分かった。



図資 1.2.1 - 9 各サンプリング箇所 No. の D4 換算量及び炭化水素類の推移

③シロキサン吸着量の推定

隣接するサンプリングポイントの半分のエリアについてシロキサン吸着量が分析値と同等と仮定して、シロキサンの吸着量を算出し、シロキサン濃度を試算した結果を表資1.2.1-4に示す。シロキサン濃度の推定値は、72mg/Nm³であった。

表資1.2.1-4 シロキサン吸着量の試算結果

項目		シロキサン除去塔A活性炭 サンプリング箇所No.					
		No.①	No.②	No.③	No.④	No.⑤	
充填高さ	mm	175	350	350	350	225	
活性炭充填量	kg	49	98	98	98	63	
D4換算量	%	0.3	0.2	1.4	2.8	18.6	
シロキサン吸着量	kg	0.1	0.2	1.4	2.7	11.7	
合計シロキサン吸着量	kg						16.1
消化ガス量	Nm ³						224,006
シロキサン濃度(推定値)	mg/Nm ³						71.9

④高沸点炭化水素に係る留意点

高沸点炭化水素については、シロキサンと同様にシロキサン除去塔（活性炭）で吸着除去できるが、平衡吸着量の把握には至っていない。そのため、運転管理において、消化ガスとシロキサン除去塔出口の高沸点炭化水素濃度を定期的に測定し、高沸点炭化水素が破過していないかどうかを把握しておくことが望ましい。

I-2-2 前処理設備・ガス分離膜装置

(1) ガス分離膜の性能評価

1) 性能評価方法

ガス分離膜装置廻りのガス定量分析及び各所運転データ収集（流量、圧力、温度）を行い、その結果より性能評価を行った。

①測定条件

ガス採取時における運転条件は、計画流量に対し 100%負荷相当とし、以下に示す通りとした。

- ・ガス分離膜装置へのガス流量：200Nm³/h
- ・精製ガス流量：100～120Nm³/h
- ・ガスコンプレッサー吐出圧：0.90MPaG

②測定期間及び回数

平成 27 年 3 月に 2 回、平成 27 年 8 月～平成 28 年 2 月にかけて 7 回、計 9 回の定量分析を実施した。

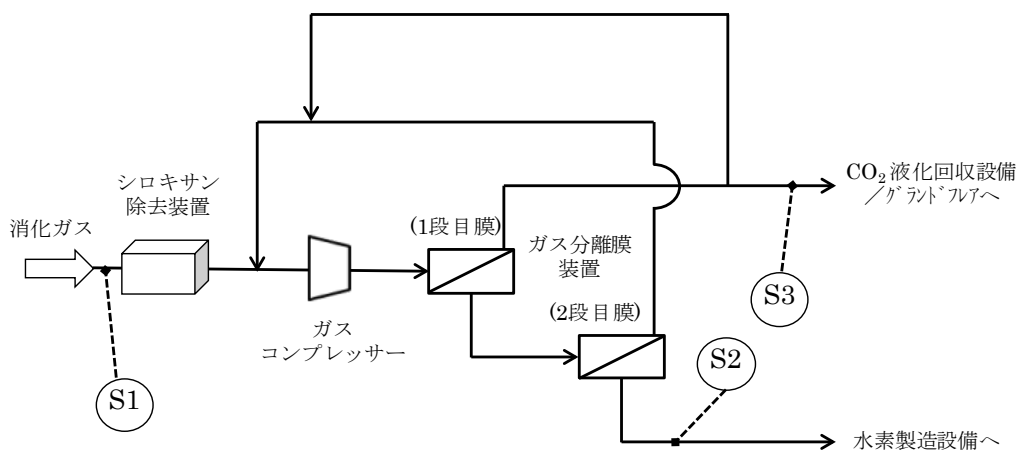
③測定方法

ガスサンプリング対象箇所を表資 1.2.2 - 1、図資 1.2.2 - 1 に示す。

ガスサンプリング箇所は、消化ガス (S1)、精製ガス (S2)、オフガス (S3) とした。また、各項目の定量分析方法、ガス採取時間は、シロキサン除去塔の性能評価時と同様とした。

表資 1.2.2 - 1 ガスサンプリング対象箇所

分析項目	S1	S2	S3
	消化ガス	精製ガス	オフガス
成分組成			
メタン(CH ₄)	○	○	○
二酸化炭素(CO ₂)	○	○	○



図資 1.2.2 - 1 ガスサンプリング箇所

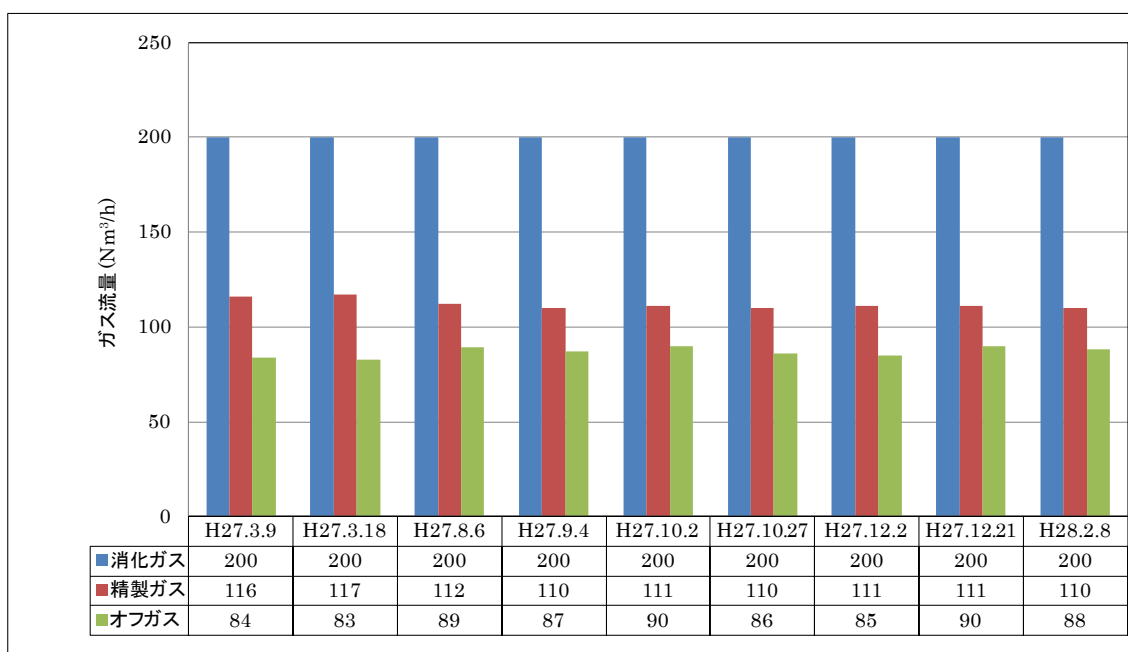
2) 性能評価結果

① 運転状況

ガス分離膜廻りの各所ガス流量を図資 1.2.2 - 2 に示す。

実証研究期間（平成 26～27 年度）における全サンプリングにおいて、消化ガス流量は概ね 200Nm³/h、精製ガス流量は 110～117Nm³/h、オフガス流量は 83～90Nm³/h であった。

平成 28 年 2 月 8 日サンプリング時点においても安定した流量バランスを保持していた。



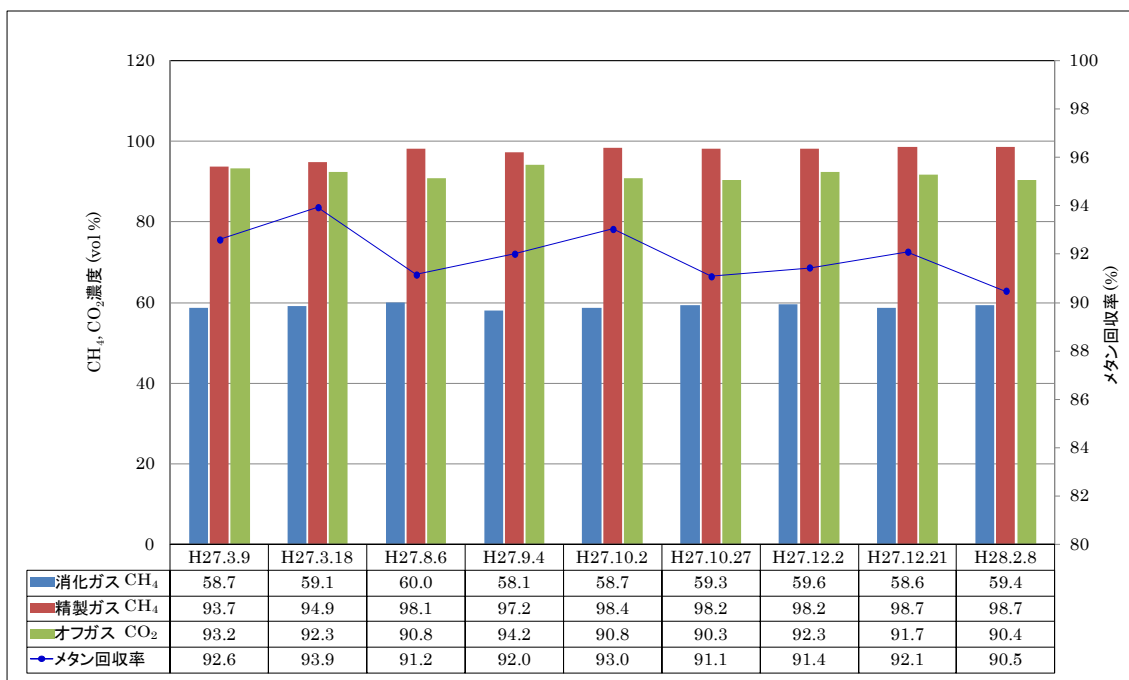
図資 1.2.2 - 2 ガス分離膜廻りの各所ガス流量の推移

②定量分析結果

ガス分離膜廻りの消化ガス及び精製ガスのメタン濃度及びオフガスの二酸化炭素の濃度の推移を図資 1.2.2 - 3 に示す。

実証研究期間（平成 26～27 年度）における全サンプリングにおいて、精製ガスのメタン濃度は 93.7～98.7vol%、メタン回収率は 90.5～93.9%であり、共に目標値（精製ガスのメタン濃度 92vol%以上、メタン回収率 90%以上）を満足した。

また、オフガスの CO₂ 濃度は 90.3～94.2vol%であった。



図資 1.2.2 - 3 消化ガス及び精製ガス CH₄ 濃度とオフガス CO₂ 濃度の推移

I-2-3 水素製造設備

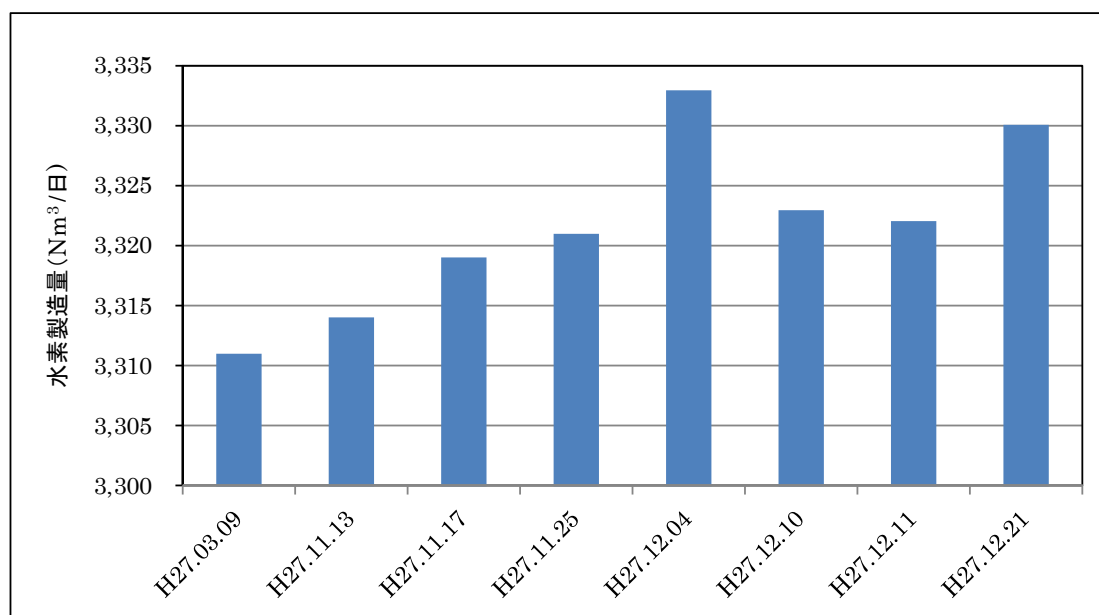
(1) 水素製造設備運転実績

平成 28 年 1 月末時点の運転実績を以下に示す。

- ・FCV 充填台数 : 100 台
- ・水素製造装置発停回数 : 38 回
- ・水素製造装置累積運転時間 : 1,618 時間
- ・水素充填量 : 249.97kg (約 2,800Nm³)

(2) 水素製造設備における性能評価

100%負荷運転での水素製造量の測定結果を 12 時間換算値として、**図資 1.2.3 - 1** に示す。水素製造量は 3,311~3,333Nm³/日であり、目標値 3,302Nm³/日以上であることを確認した。なお、水素製造量については、消化ガス中のメタン濃度により変動するため、メタン濃度 60vol%に換算した値を示している。



図資 1.2.3 - 1 12 時間当たりの水素製造量測定結果

水素製造設備における性能評価指標を図資 1.2.3 - 2 に示す。

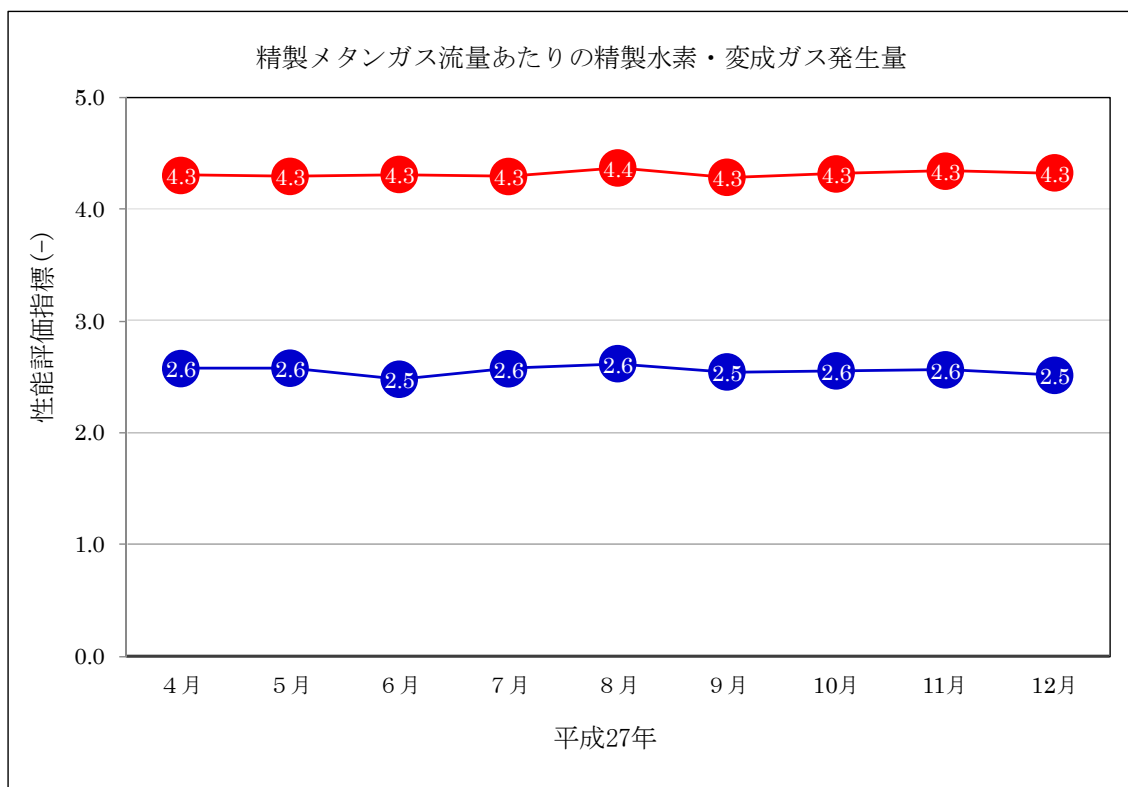
通年における水素製造能力の確認のため、

赤線：変成器出口ガス流量（変成ガス流量）÷ 精製メタンガス流量

青線：製品水素流量 ÷ 精製メタンガス流量

にて評価した。

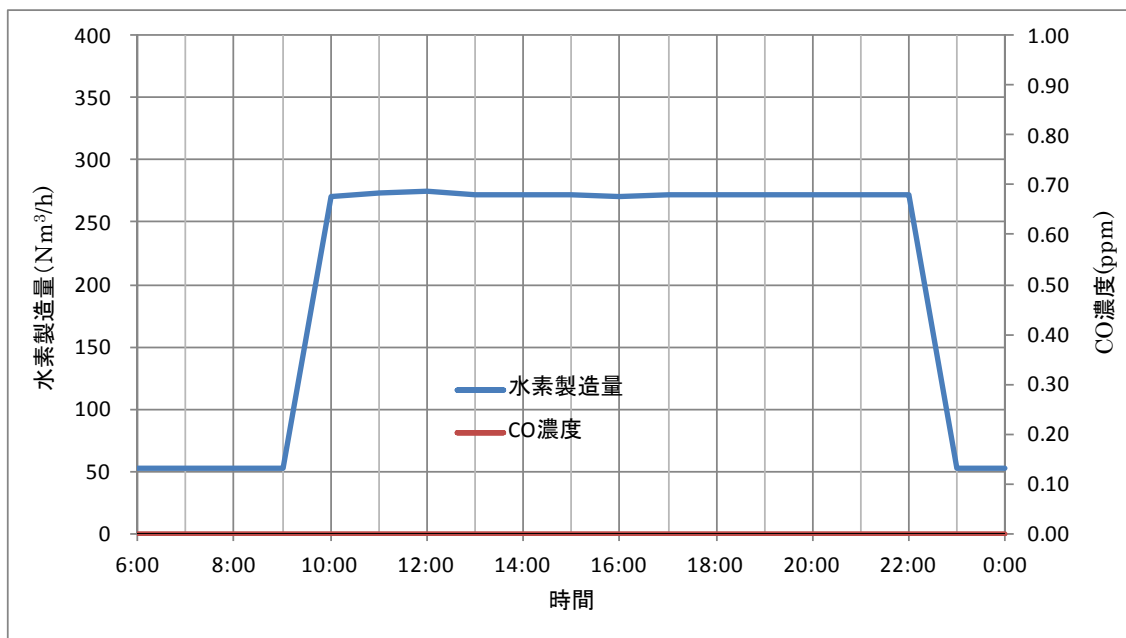
平成 27 年 12 月においても、改質器・変成器、水素製造設備全体ともに性能低下は観測されていないことを確認した。



図資 1.2.3 - 2 水素製造装置における性能評価指標

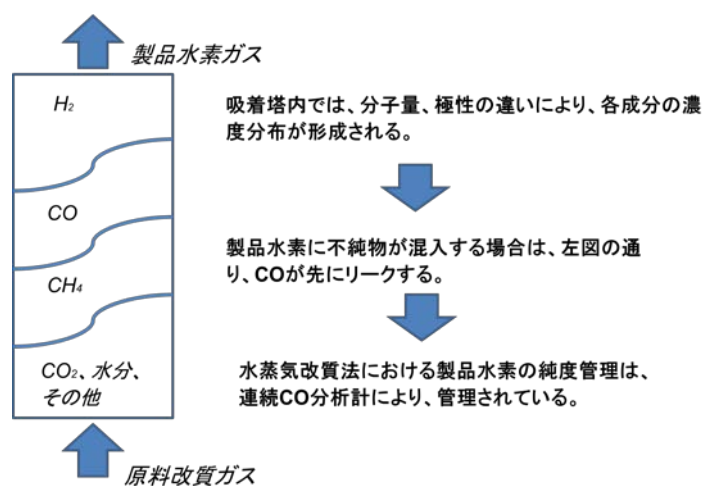
(3) 水素製造設備の安定性評価

平成 28 年 12 月 10 日、100%負荷にて 12 時間継続運転を実施した際の運転データを図資 1.2.3 - 3 に示す。水素製造量、CO 濃度共に問題なく安定運転していることを確認した。



図資 1.2.3 - 3 水素製造装置における定格運転時水素製造量と CO 濃度

なお、製品水素中の不純物純度管理については、図資 1.2.3 - 4 に示す PSA の吸着原理から、CO 濃度のみを常時監視項目としている。



図資 1.2.3 - 4 水素 PSA における不純物の吸着原理

(4) 製品水素ガスの性状

100%及び60%負荷運転時において、製品水素ガスのサンプリング及び成分分析を行った。製品水素ガスの成分分析結果を表資 1.2.3 - 1 に示す。全成分において、ISO 規格値（微粒子を除く）を満足していた。また、水素純度に関しては、水素純度を除いた各項目の分析値の合計を 100vol%から差し引きし算出する。なお、算出において分析結果が定量下限値未満の場合は、定量下限値を分析値として扱う。

表資 1.2.3 - 1 製品水素ガス分析結果

組成	単位	ISO規格値	分析値		
			H27.3.9	H27.3.20	H27.12.18
			60%負荷	100%負荷	100%負荷
水素純度	vol%	≥99.97	>99.997	>99.997	>99.997
全炭化水素	ppm	≤2	<0.2	<0.2	<0.2
H ₂ O	ppm	≤5	<0.5	<0.5	1.4
O ₂	ppm	≤5	<0.1	<0.1	<0.1
He	ppm	≤300	<20	<20	<20
Ar	ppm	≤100	<0.2	<0.2	1.4
N ₂	ppm		2.099	<0.1	0.3
CO ₂	ppm	≤2	0.107	<0.1	<0.1
CO	ppm	≤0.2	<0.1	<0.1	<0.1
硫黄化合物(S)	ppm	≤0.004	<0.004	<0.004	<0.004
HCHO	ppm	≤0.01	<0.01	<0.01	<0.01
HCOOH	ppm	≤0.2	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₃	ppm	≤0.1	<0.01	<0.01	<0.01
ハロゲン化物	ppm	≤0.05	<0.05	<0.05	<0.05

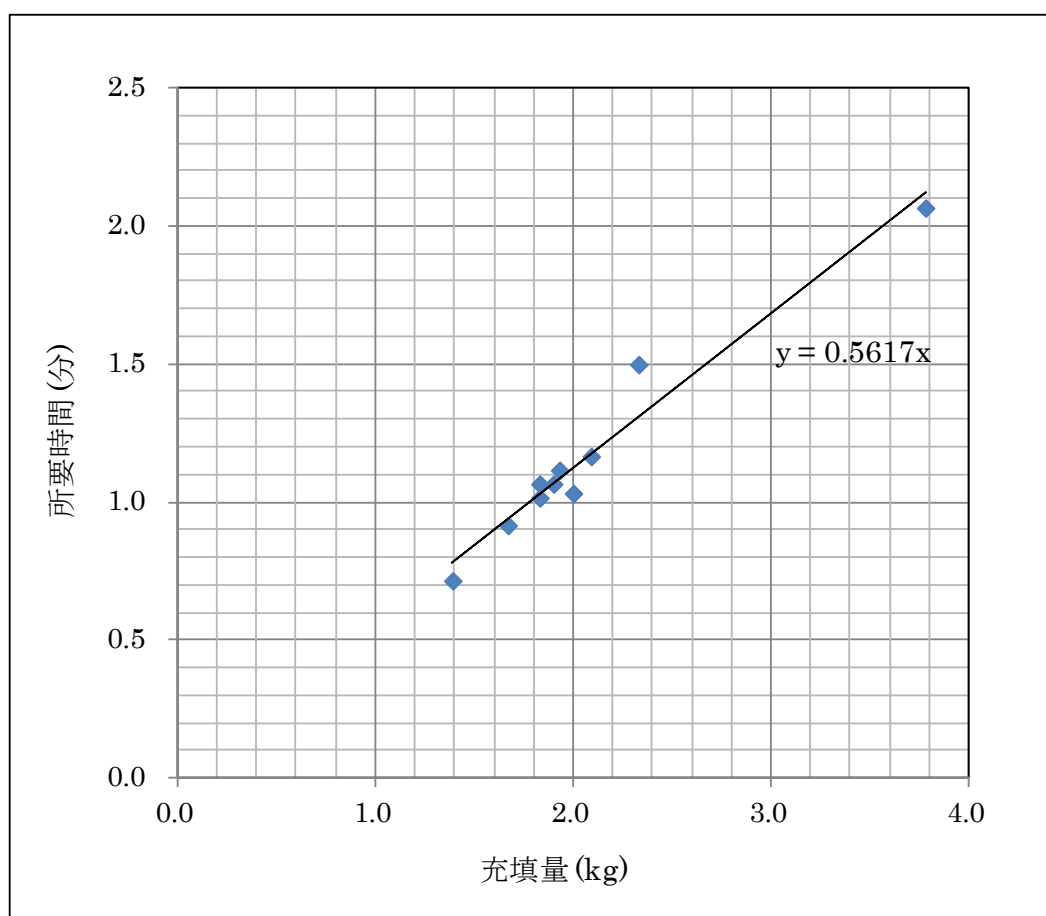
I-2-4 水素供給設備

(1) ディスペンサーにおける燃料電池自動車への水素充填速度の検証

燃料電池自動車に製品水素を充填した結果(平成27年9月15日の10台分)について、充填量及び充填時間を表資1.2.4-1、図資1.2.4-1に示す。図資1.2.4-1より、充填速度は1.78kg/分(=1/0.5617)となり、3分で5.34kgの水素を充填できることを確認した。

表資 1.2.4 - 1 FCV への水素充填速度データ (10 台分)

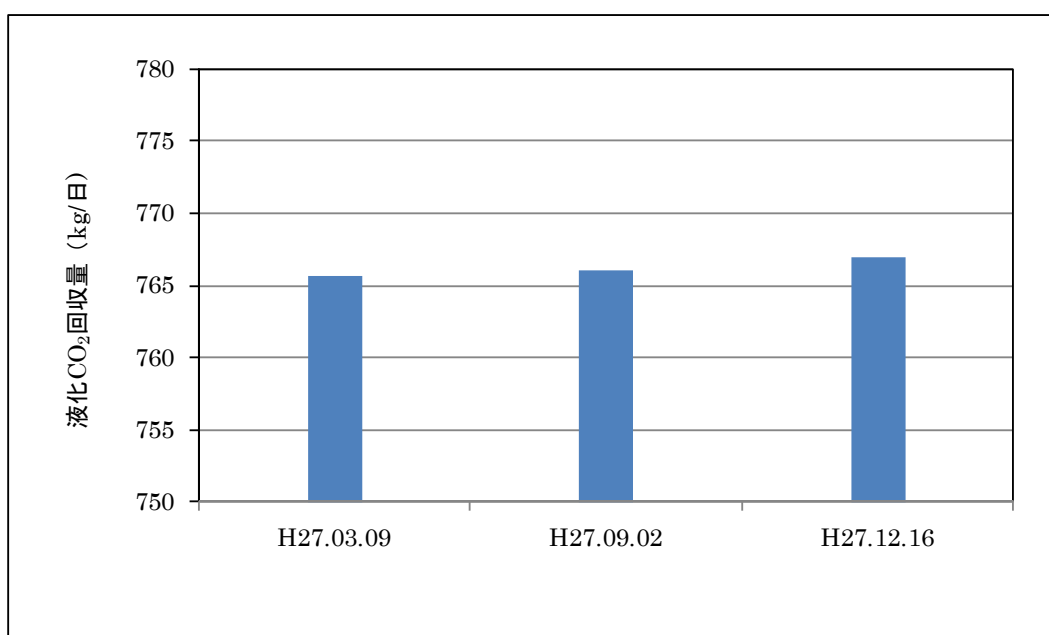
		実測値 (平成27年9月15日データ)									
項目	単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
充填量	kg	2.33	1.90	1.93	2.09	3.78	1.83	1.39	2.00	1.67	1.83
充填時間	分	1.499	1.066	1.116	1.166	2.066	1.016	0.716	1.032	0.916	1.066

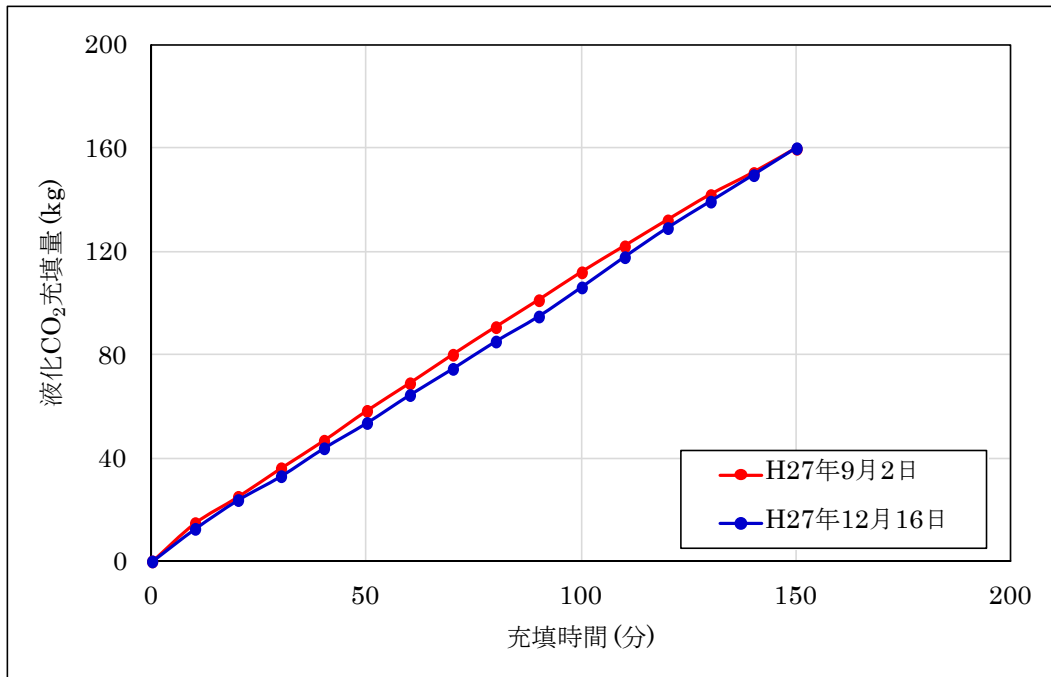


図資 1.2.4 - 1 充填量と所要時間の関係

I-2-5 CO₂ 液化回収設備(1) 液化 CO₂ 充填性能の評価

1日当たりの液化 CO₂ 回収量の結果を図資 1.2.5 - 1 に示す。液化 CO₂ 回収量は 765.6 ~ 767.0kg/日と、目標値 700kg/日以上であることを確認した。また、充填時間と充填量の関係を図資 1.2.5 - 2 に示す。平成 27 年 9 月 2 日と平成 27 年 12 月 16 日での充填速度はほぼ同じであり、液化 CO₂ の充填性能に関しては、経年劣化等の影響は見られなかった。品質に関しては、ともに CO₂ 純度 99.52~99.53vol%と JIS 2 種相当の純度であることを確認した。

図資 1.2.5 - 1 液化 CO₂ 回収量の測定結果



図資 1. 2. 5 - 2 液化 CO₂ の充填時間と充填量の関係

I-2-6 電力原単位

100%負荷運転時及び夜間待機運転時（消化ガス使用）において、使用電力量を測定し、電力原単位の算出を行った。電力原単位の算出結果を表資 1.2.6 - 1 に示す。100%負荷運転時の電力原単位は 1.080~1.081kWh/Nm³-H₂ であり、目標値 1.089 kWh/Nm³-H₂ 以下であることを確認した。

表資 1.2.6 - 1 電力原単位測定結果

項 目	測定日 H27.3.11	測定日 H27.12.10	測定日 H27.12.10
	100%負荷 運転	100%負荷 運転	夜間待機 運転
水素製造量 (Nm ³ /日)	3,311	3,311	0
運転時間 (h/日)	12	12	12
電力量 (kWh)			
前処理設備	86.4	86.2	3.2
水素製造設備	27.9	27.5	23.0
水素供給設備	127.2	126.9	0.0
CO ₂ 液化回収設備	14.3	14.2	0.0
共用分電力	42.2	43.2	25.8
計	298.0	298.0	52.0
電力原単位 (kWh/Nm ³ -H ₂)			
前処理設備	0.313	0.312	
水素製造設備	0.101	0.100	
水素供給設備	0.461	0.460	
CO ₂ 液化回収設備	0.052	0.051	
共用分電力	0.153	0.157	
計	1.081	1.080	

II. 簡易算定式

II-1 簡易算定式の導出

本システムの評価に利用した簡易算定式 ($y_1 \sim y_{14}$) と、それぞれの算出方法を表資 2.1-1 に示す。x は検討規模を示す消化ガス量であり、簡易算定式の適用範囲は $60 \leq x \leq 180$ (Nm³/h) の範囲である。なお、算出にあたっての前提条件は第2章の §14 に示している。

表資 2.1-1 簡易算定式

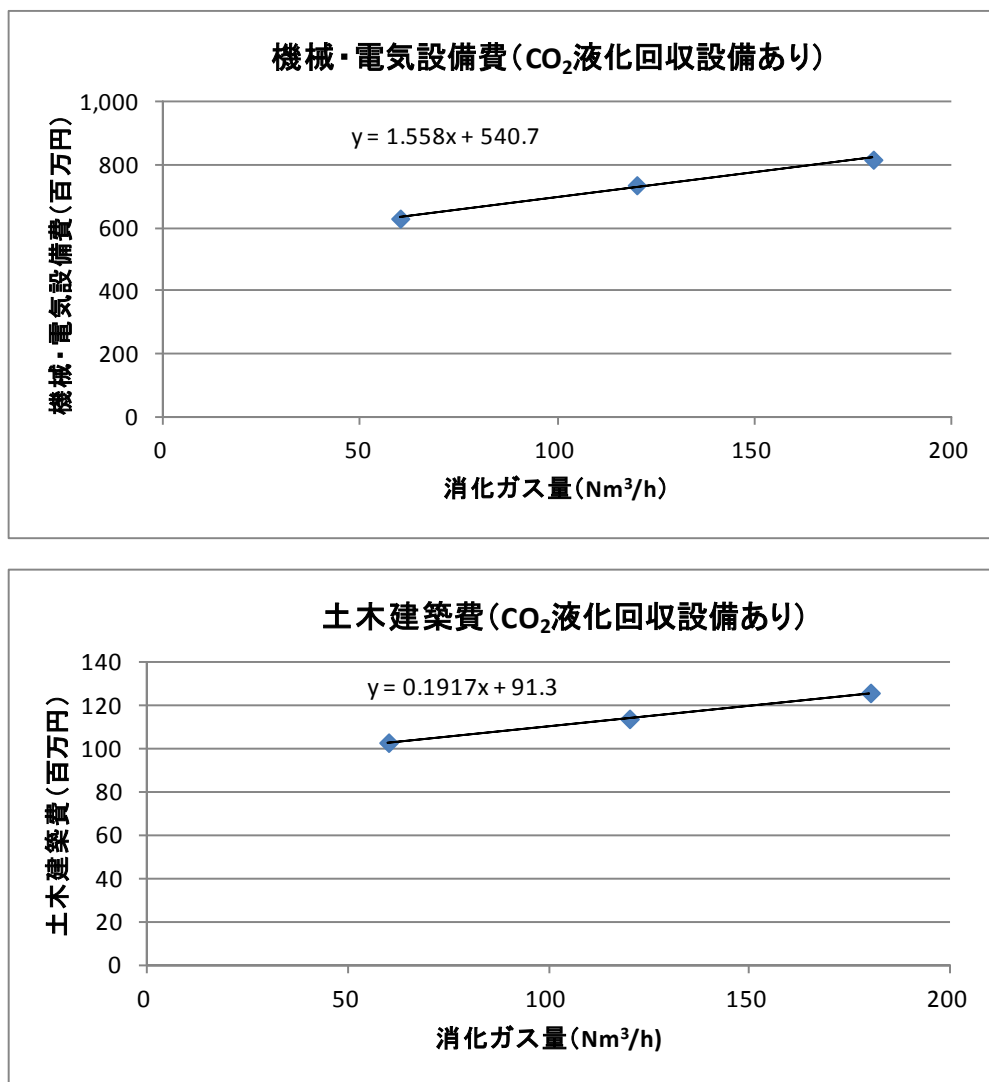
		単位	CO ₂ 液化回収設備あり	CO ₂ 液化回収設備なし
建設費	機械・電気設備費	百万円	$y_1 = 1.558x + 540.7$	$y_1 = 1.308x + 458.3$
	土木建築費	百万円	$y_2 = 0.1917x + 91.3$	$y_2 = 0.1667x + 77.0$
維持管理費	電力費	千円/年	$y_3 = 109.42x + 5,367.7$	$y_3 = 90.008x + 4,455.3$
	上水費	千円/年	$y_4 = 9.400x + 187.0$	$y_4 = 8.575x + 187.3$
	ポリシャー、薬品費	千円/年	$y_5 = 9.0250x + 0.7$	$y_5 = 8.4167x$
	交換膜費	千円/年	$y_6 = 1.583x + 648.3$	$y_6 = 1.583x + 648.3$
	フィルター費	千円/年	$y_7 = 8.358x - 0.3$	$y_7 = 7.367x$
	活性炭交換費	千円/年	$y_8 = 5.142x + 789.7$	$y_8 = 5.142x + 789.7$
	人件費	千円/年	$y_9 = 7,000 \times 2$	$y_9 = 7,000 \times 2$
	修繕費	千円/年	$y_{10} = 19.058x + 26,874$	$y_{10} = 15.450x + 24,660$
製造量	水素	Nm ³ /日	$y_{11} = 17.342x - 68.3$	$y_{11} = 16.167x - 64.0$
	CO ₂	kg/日	$y_{12} = 8.633x$	—
	エネルギー創出量	GJ/年	$y_{13} = 27.04x - 2,155$	$y_{13} = 25.97x - 2,139$
	温室効果ガス排出削減量	t-CO ₂ /年	$y_{14} = 3.558x - 239.3$	$y_{14} = 3.783x - 202.0$

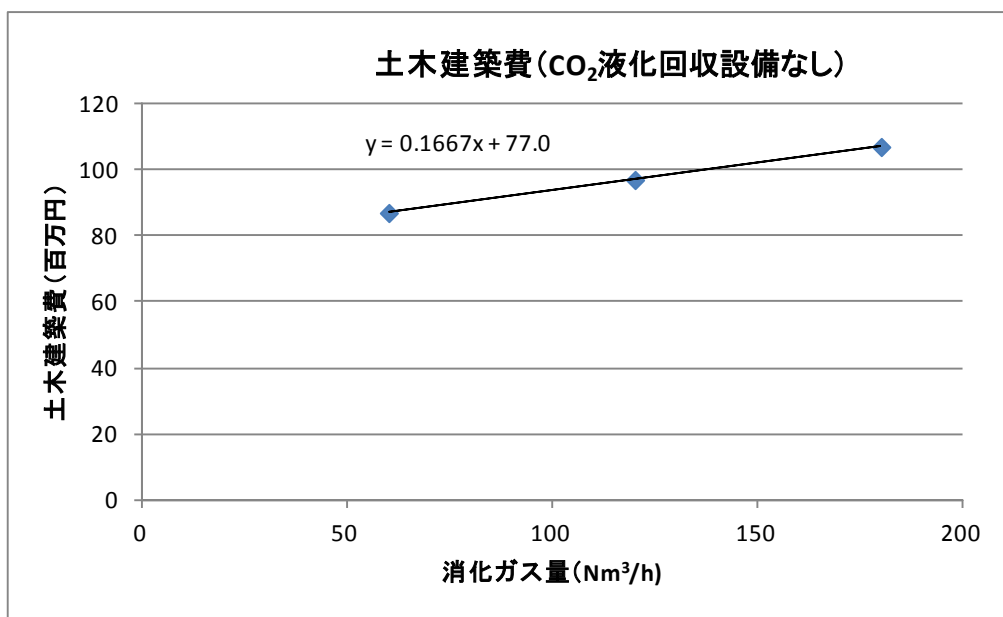
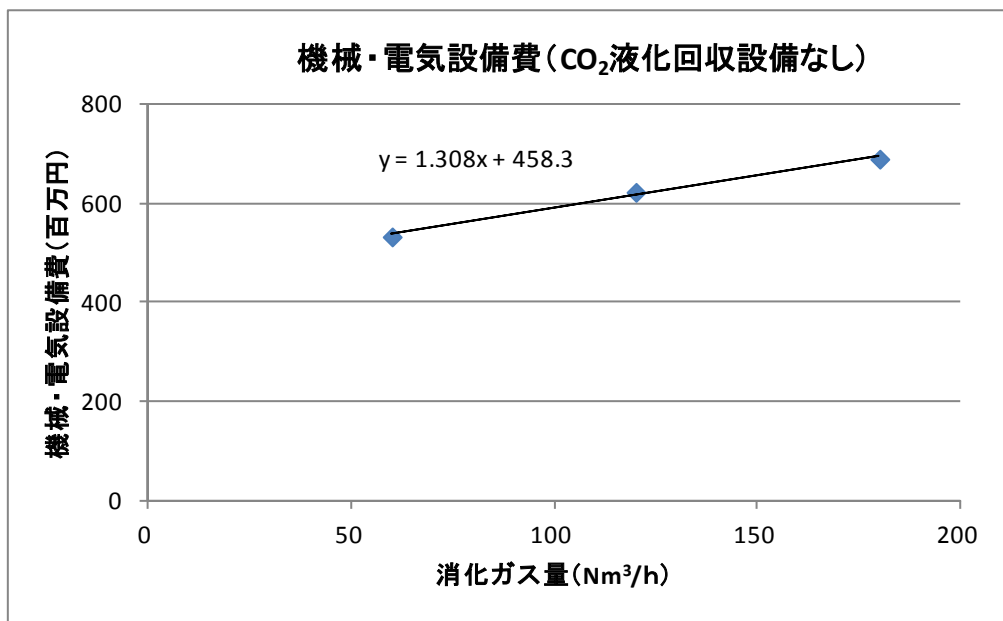
(1) 建設費

機械・電気設備費、土木建築費は規模別に積算を行い算出した。積算値を表資 2.1 - 2 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 1、図資 2.1 - 2 に示す。

表資 2.1 - 2 建設費 (単位：百万円)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
機械・電気設備費	630	533	736	623	817	690
土木建築費	103	87	114	97	126	107

図資 2.1 - 1 建設費の簡易算定式 (CO₂ 液化回収設備あり)



図資 2.1 - 2 建設費の簡易算定式(CO₂液化回収設備なし)

(2) 維持管理費

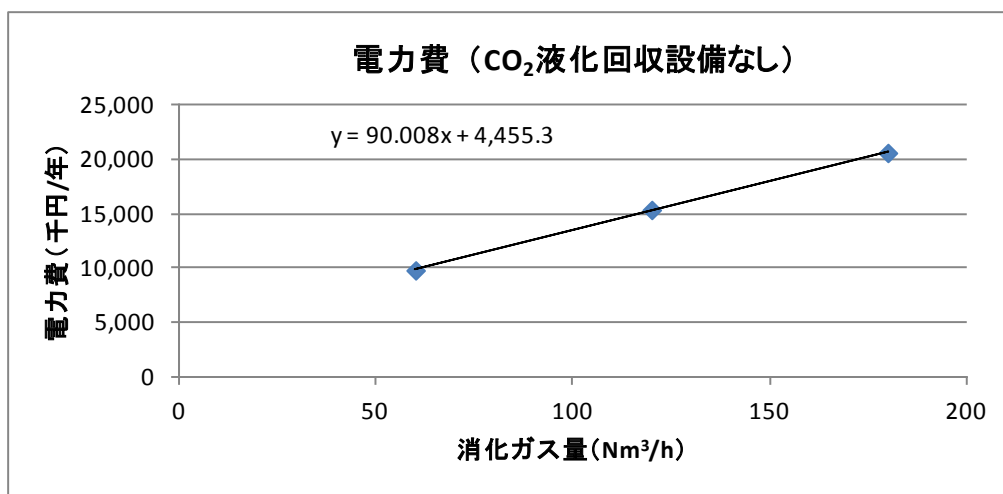
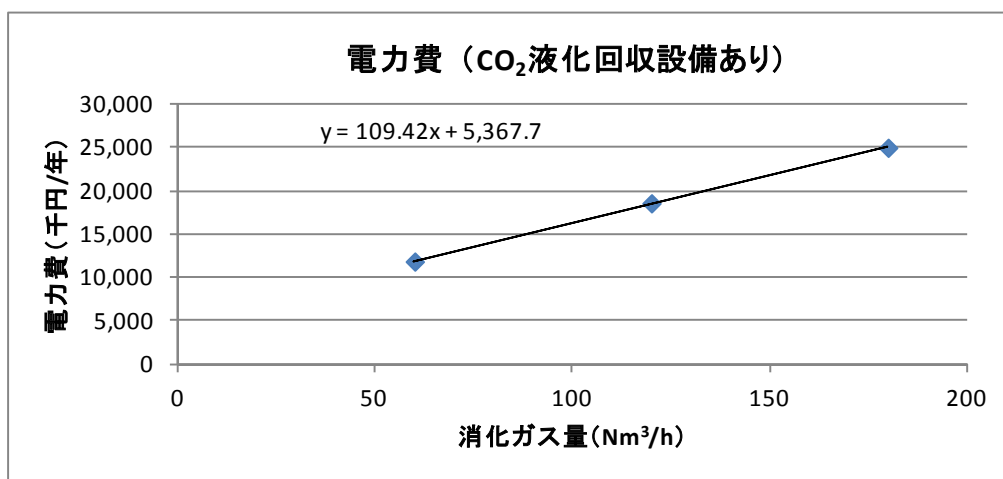
1) 電力費

水素ステーションの通常運転時間を 12 時間/日、夜間の待機運転時間を 8.5 時間/日、待機運転と通常運転との移行時間を 3.5 時間/日とし、前処理設備は 15.5 時間/日、水素製造設備、ユーティリティ設備は 24 時間/日、水素供給設備は 12 時間/日の運転を行うものとして電力費を算出した。また、各規模の使用電力は、実証設備にて確認した電動機容量に対する負荷率から、規模別に物質収支計算より設定した電動機容量に同じ負荷率をかけた算出した。規模別の電力費を表資 2.1 - 3 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 3 に示す。

表資 2.1 - 3 電力費

(単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
電力費	11,880	9,803	18,603	15,362	25,010	20,604



図資 2.1 - 3 電力費の簡易算定式

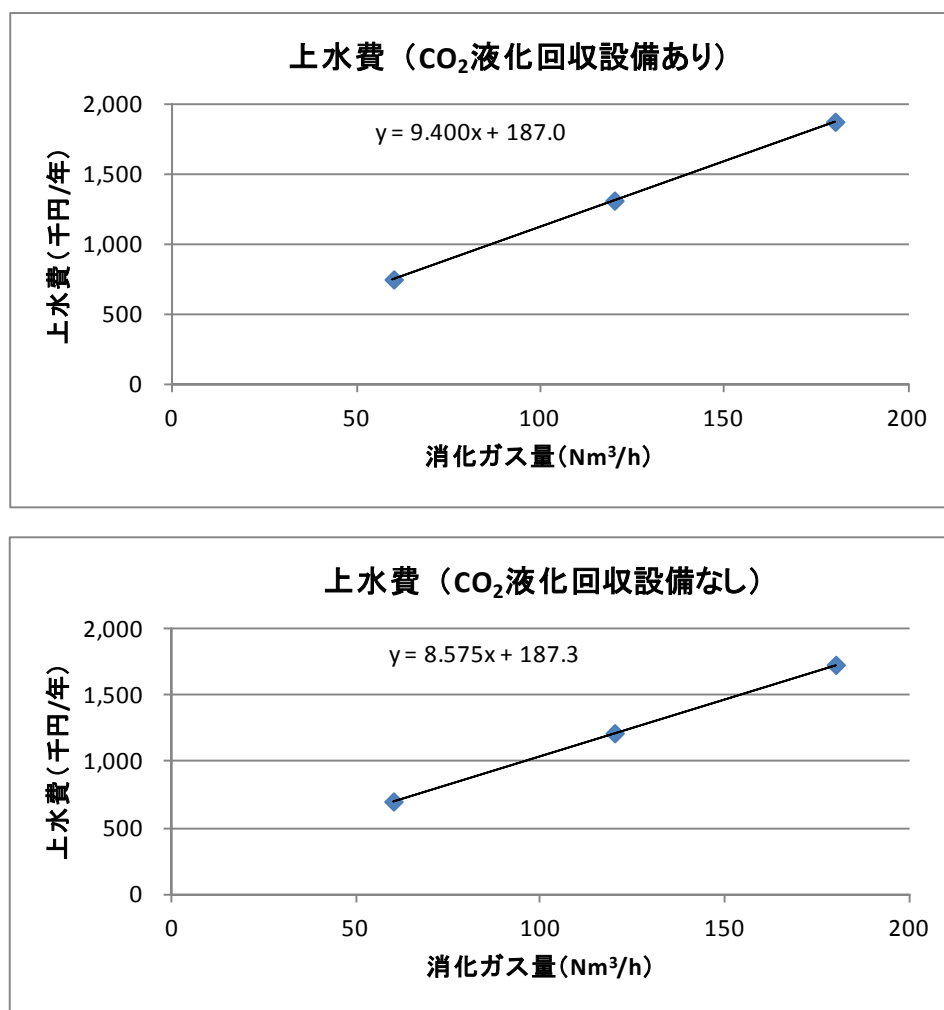
2) 上水費

上水費については、水素製造に必要な純水を製造するために使用する水量と冷却塔で消費される水量を計上した。純水を製造するために使用する水量は、処理するメタン量に比例するものとし、冷却塔で消費される水量は、冷却塔規模に比例するものとして算出した。規模別の上水費を表資 2.1 - 4 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 4 に示す。

表資 2.1 - 4 上水費

(単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
上水費	751	702	1,315	1,216	1,879	1,731



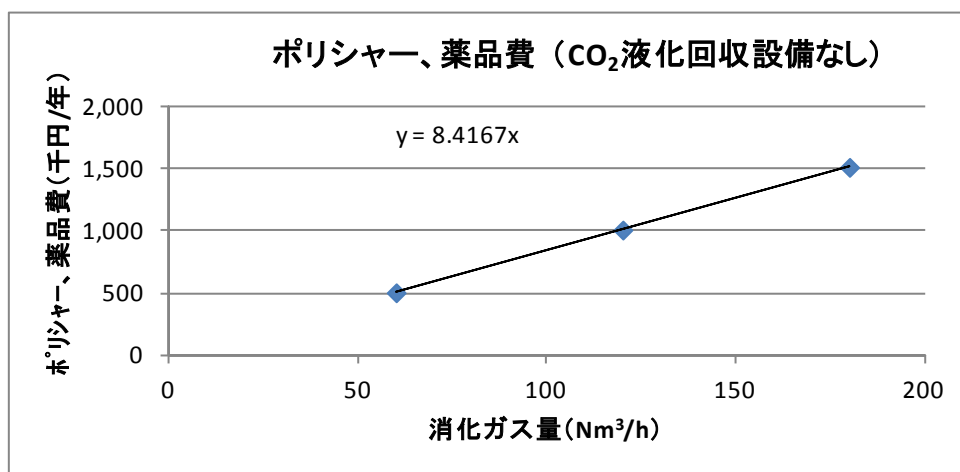
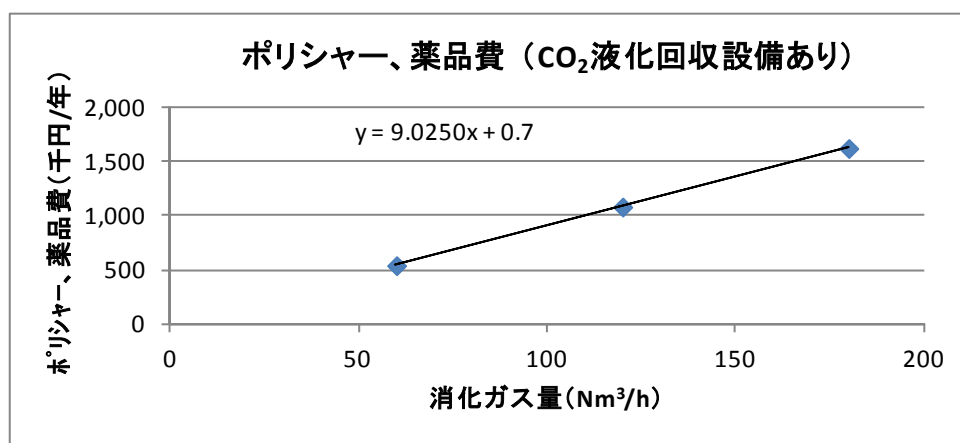
図資 2.1 - 4 上水費の簡易算定式

3) ポリシャー、薬品費

ポリシャー、薬品費は、純水を製造するために使用し、水素製造設備に供給するメタン量に比例するものとして算出した。規模別のポリシャー、薬品費を表資 2.1 - 5 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 5 に示す。

表資 2.1 - 5 ポリシャー、薬品費 (単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
ポリシャー、薬品費	542	505	1,084	1,010	1,625	1,515



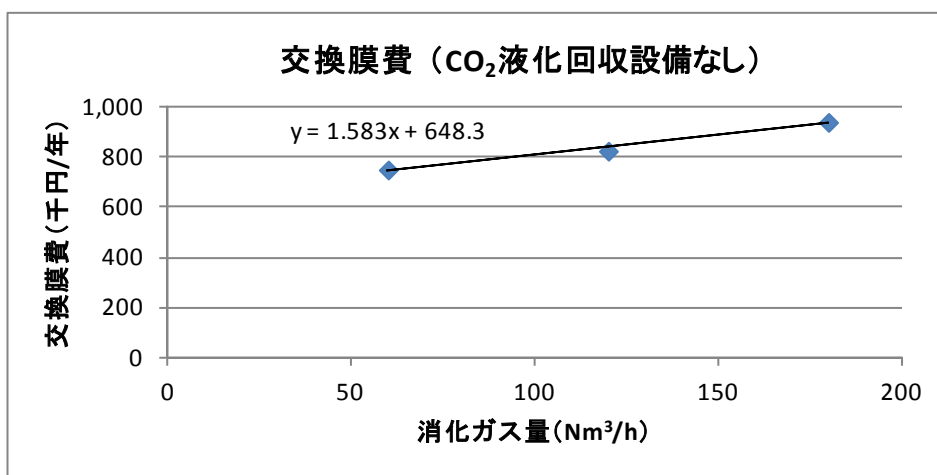
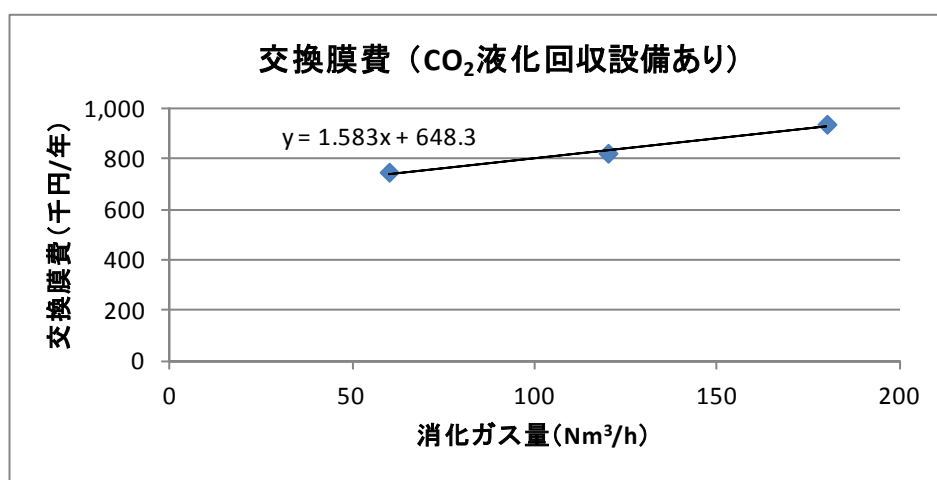
図資 2.1 - 5 ポリシャー、薬品費の簡易算定式

4) 交換膜費

交換膜費は、ガス分離膜装置の分離膜の交換費用で、10年に1回程度交換するものとして、規模別に算出した。規模別の交換膜費を表資2.1-6に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資2.1-6に示す。

表資2.1-6 交換膜費 (単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
交換膜費	750	750	825	825	940	940



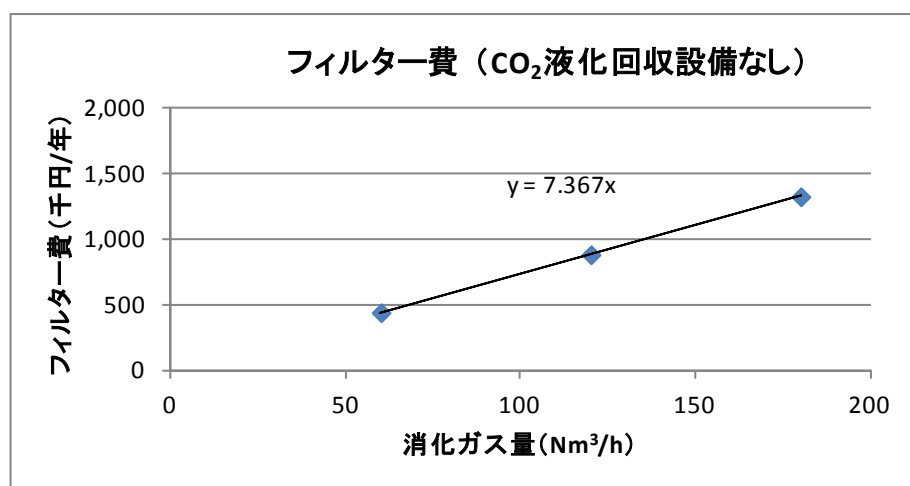
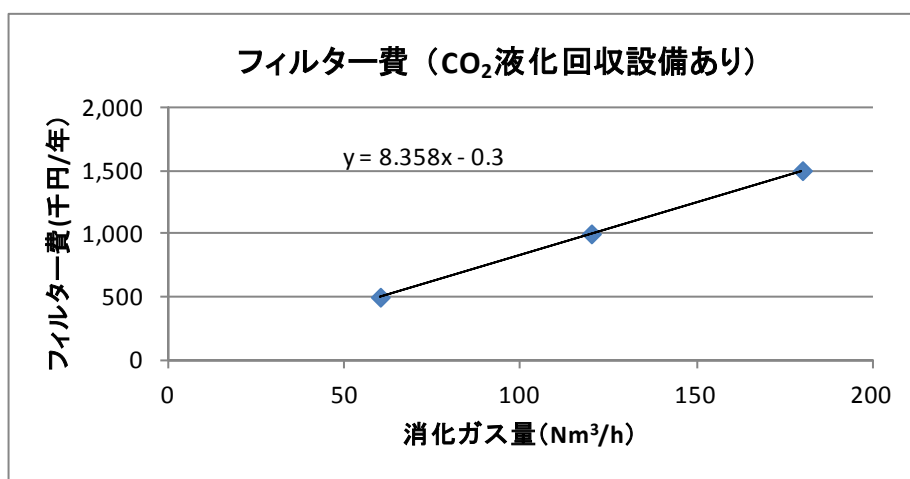
図資2.1-6 交換膜費の簡易算定式

5) フィルター費

フィルター費は、消化ガスに混入した異物を除去するためのガス分離膜の前段に設けられているフィルターの交換費用で、処理する消化ガス量をもとに、規模別に算出した。規模別のフィルター費を表資 2.1 - 7 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 7 に示す。

表資 2.1 - 7 フィルター費 (単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
フィルター費	501	442	1,003	884	1,504	1,326



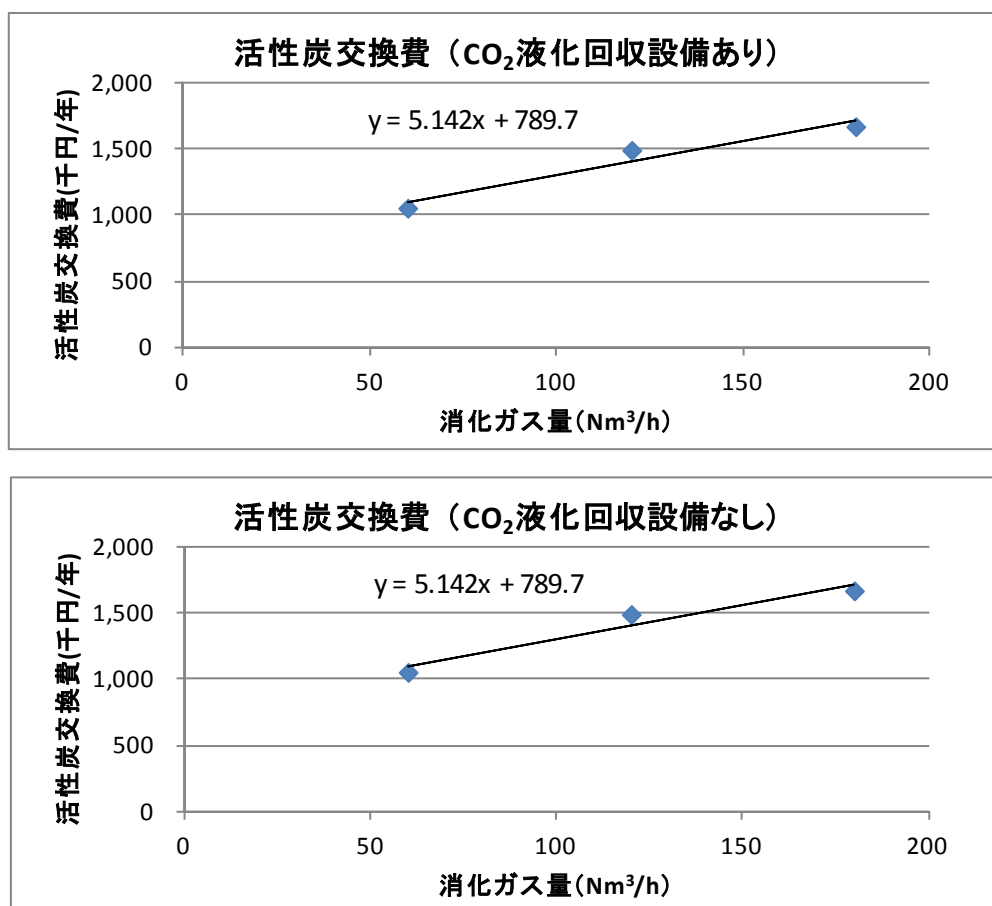
図資 2.1 - 7 フィルター費の簡易算定式

6) 活性炭交換費

活性炭交換費は、シロキサンを吸着除去するための活性炭の交換費用で、活性炭の交換は、処理する消化ガス量をもとに、規模別に算出した。規模別の活性炭交換費を表資 2.1 - 8 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 8 に示す。

表資 2.1 - 8 活性炭交換費 (単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
活性炭費	1,055	1,055	1,493	1,493	1,672	1,672



図資 2.1 - 8 活性炭交換費の簡易算定式

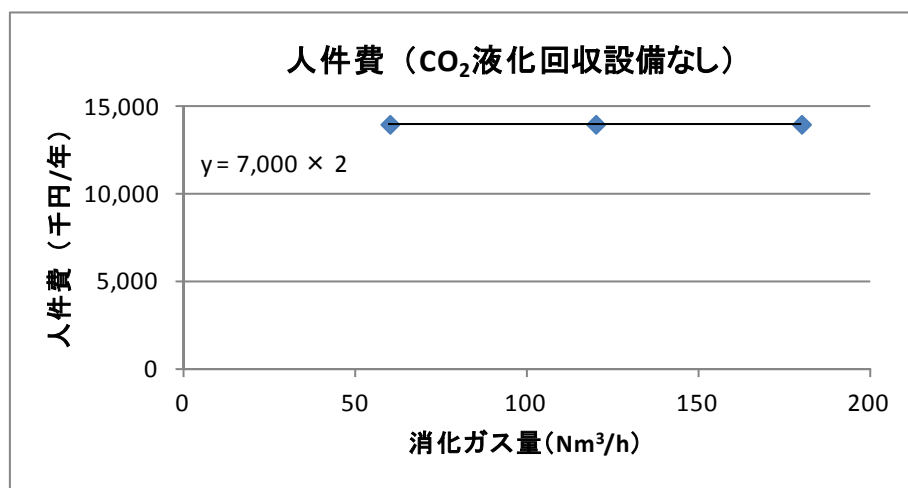
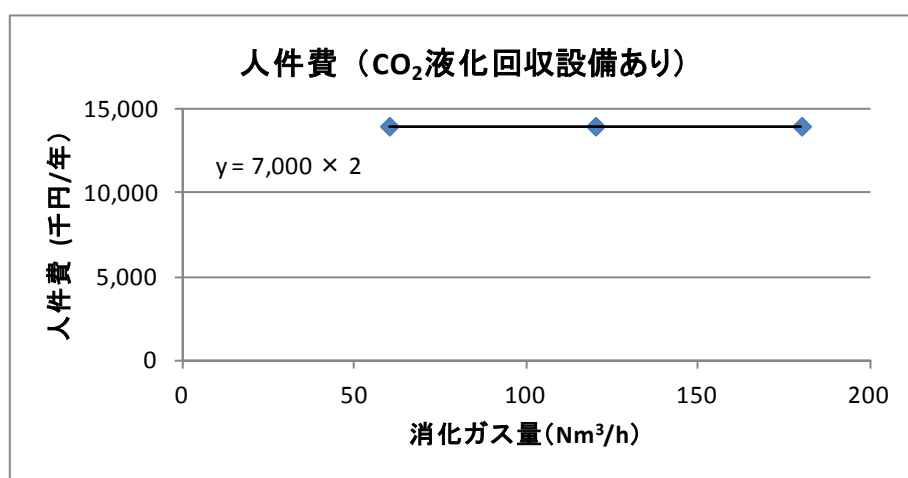
7) 人件費

人件費は、設備規模によらず2名にて運転を行うものとして、算出した人件費を表資 2.1 - 9 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 9 に示す。

表資 2.1 - 9 人件費

(単位：千円/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
人件費	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000



図資 2.1 - 9 人件費の簡易算定式

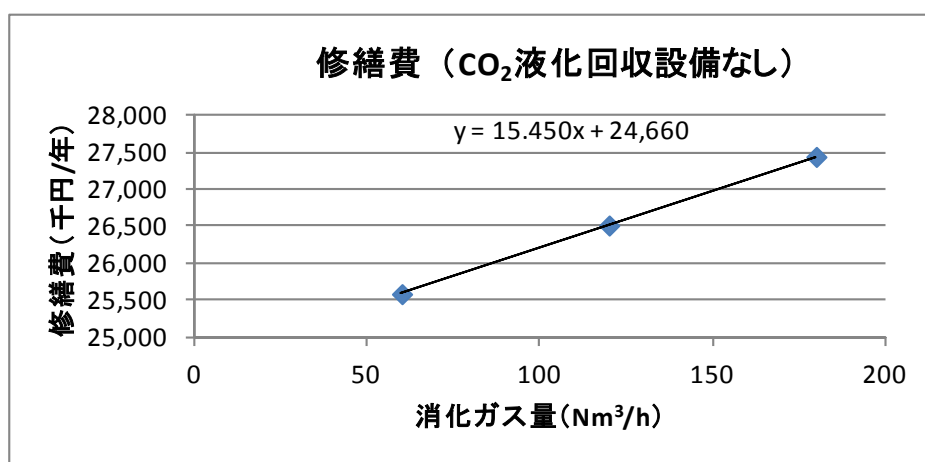
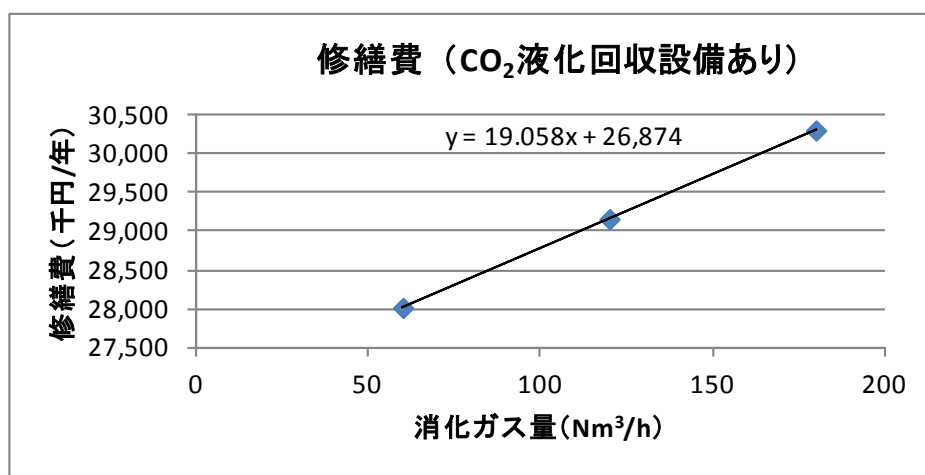
8) 修繕費

修繕費は、機器類の修繕費、高圧ガスに係る年1回の定期点検費（保安検査と定期自主検査）及び4年に1度の改質触媒の交換費である。これらの費用を規模別に積算した修繕費を表資2.1-10に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資2.1-10に示す。

表資 2.1 - 10 修繕費

(単位：千円/年)

規模（消化ガス量）	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
修繕費	28,017	25,587	29,161	26,514	30,304	27,441



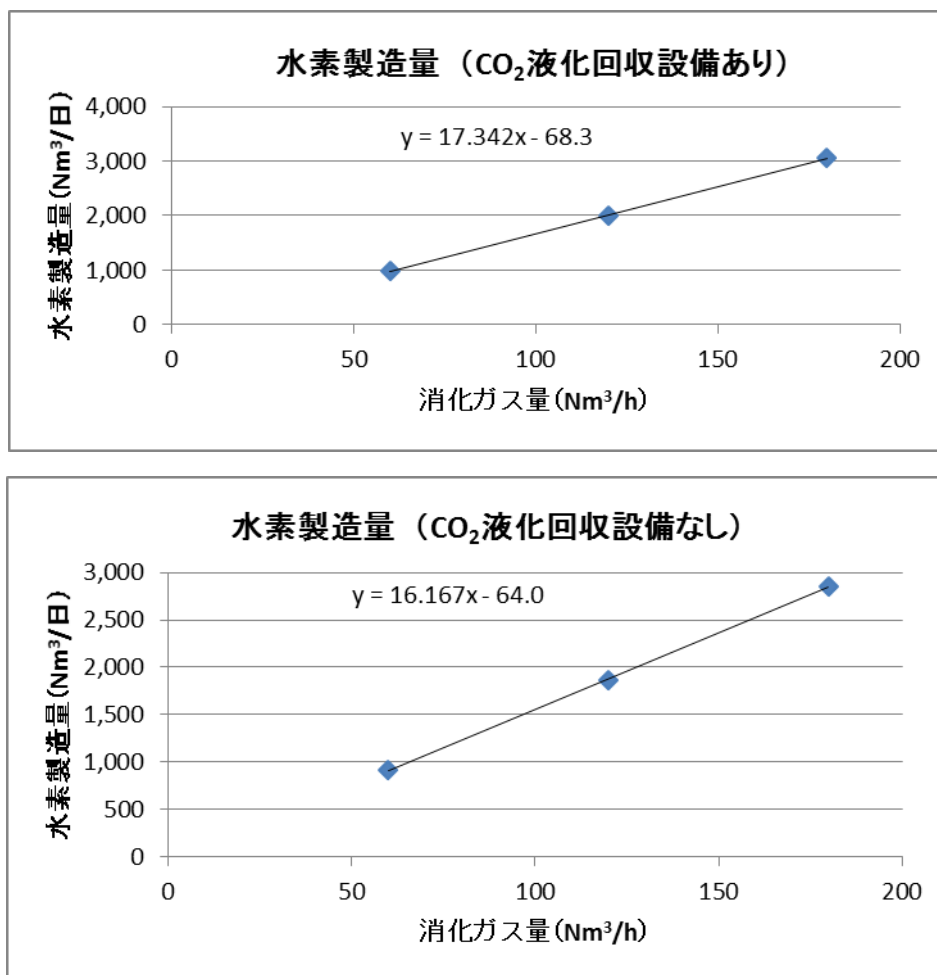
図資 2.1 - 10 修繕費の簡易算定式

(3) 水素製造量

水素製造量は、実証試験で得られたデータを基に物質収支から規模別の製造量を算出した。規模別の水素製造量を表資 2.1 - 11 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 11 に示す。

表資 2.1 - 11 水素製造量 (単位：Nm³/日)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
水素製造量	979	912	1,999	1,864	3,060	2,852



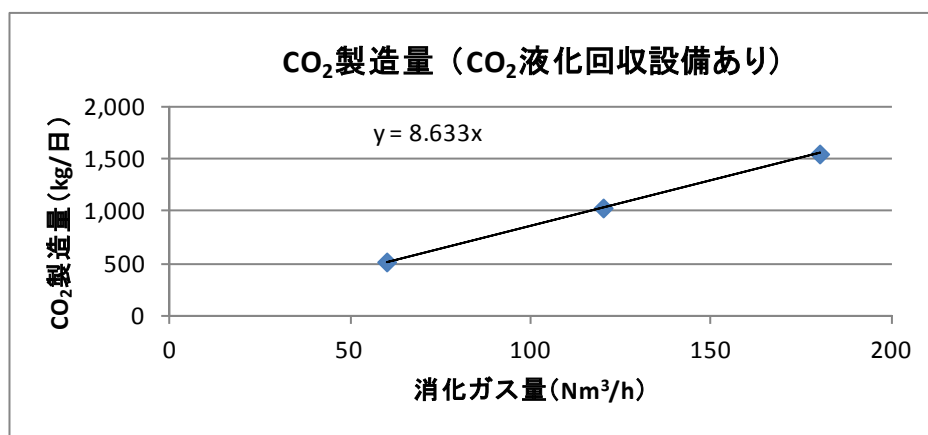
図資 2.1 - 11 水素製造量の簡易算定式

(4) CO₂ 製造量

CO₂ 製造(回収)量は、実証試験で得られたデータを基に物質収支から規模別の製造量を算出した。規模別の CO₂ 製造量を表資 2.1 - 12 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 12 に示す。

表資 2.1 - 12 CO₂ 製造量 (単位 : kg/日)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
CO ₂ 製造量	518	—	1,036	—	1,554	—

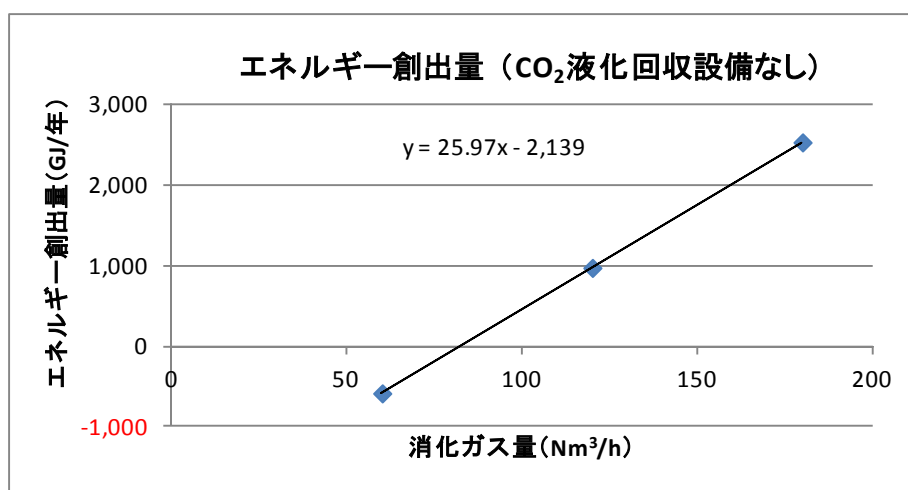
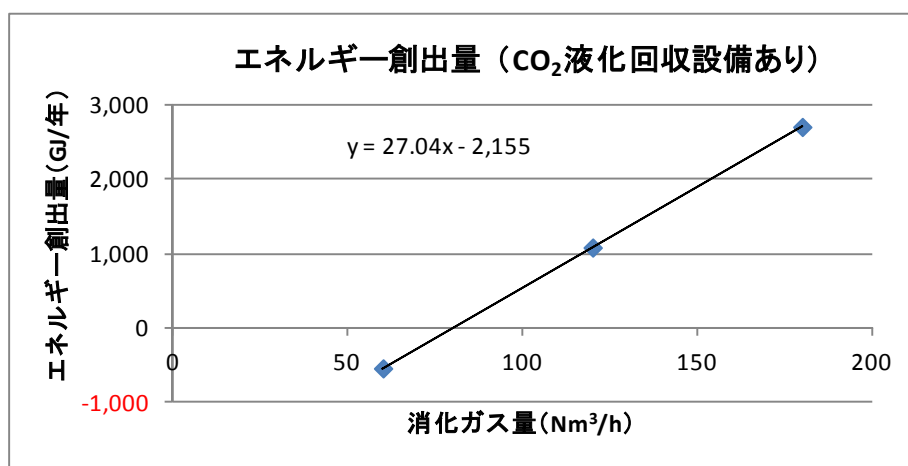
図資 2.1 - 12 CO₂ 製造量の簡易算定式

(5) エネルギー創出量

エネルギー創出量は、製造された水素が持つ熱量から水素製造に使用する電力の熱量を差し引いたものである。熱量算出にあたっては、水素の熱量を 10.8MJ/Nm^3 (LHV)、受電端投入熱量を 9.484MJ/kWh とした。規模別のエネルギー創出量を表資 2.1 - 13 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 13 に示す。

表資 2.1 - 13 エネルギー創出量 (単位: GJ/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
エネルギー創出量	-533	-581	1,091	977	2,712	2,535



図資 2.1 - 13 エネルギー創出量の簡易算定式

また、製造された水素が持つ熱量、水素製造に使用する電力の熱量の算出方法を表資 2.1 - 14 に示す。

表資 2.1 - 14 エネルギー創出量の算出方法

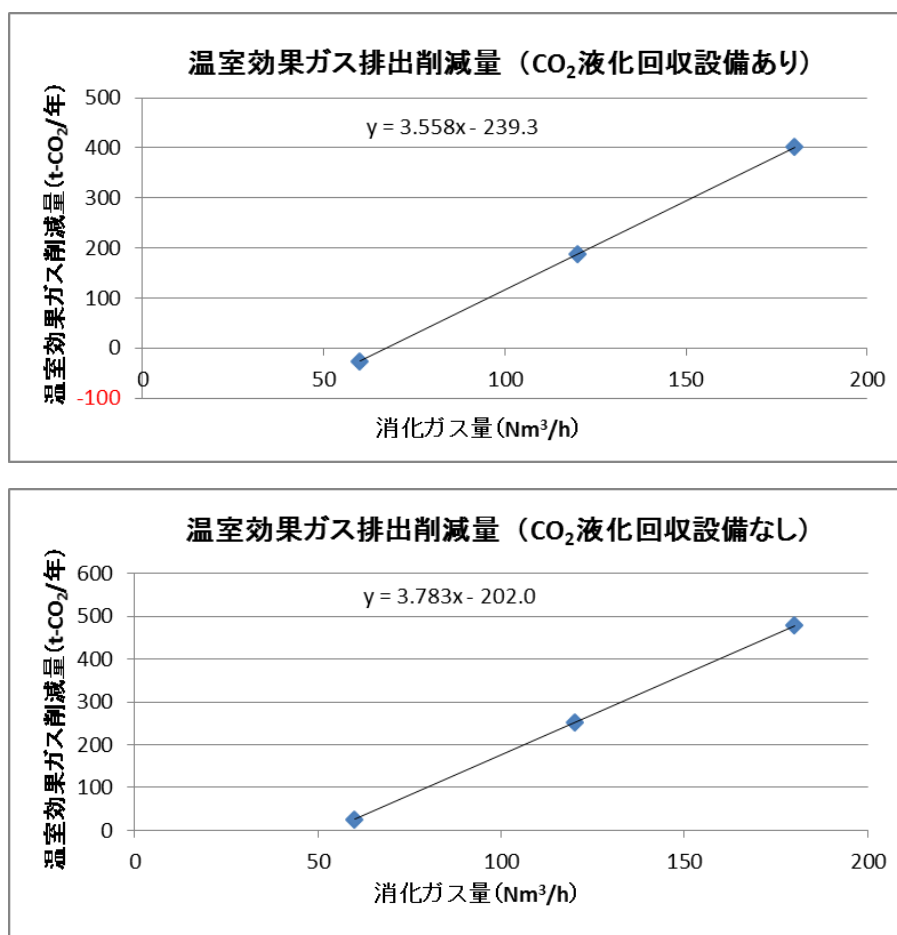
項目	単位	消化ガス量(Nm ³ /h)	60		120		180		備考
		CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし	
①消化ガス量	Nm ³ /日	消化ガス量Nm ³ /h×12時間	720	720	1,440	1,440	2,160	2,160	水素を製造する昼間12時間に使用する消化ガス量
②水素製造量	Nm ³ /日	簡易算定式y ₁₁	972	906	2,013	1,876	3,053	2,846	
③水素製造量	Nm ³ /年	②×345日	335,340	312,570	694,485	647,220	1,053,285	981,870	施設稼働日数:345日/年
【製造された水素が持つ熱量】									
④製造された水素が持つ熱量	GJ/年	③×10.8/1,000	3,622	3,376	7,500	6,990	11,375	10,604	水素の低位発熱量: 10.8MJ/Nm ³
【水素製造に使用する電力が持つ熱量】									
⑤水素製造に使用する電力量	kWh/年		438,100	417,231	675,742	634,005	913,384	850,779	実証試験の結果より算出
⑥水素製造に使用する電力が持つ熱量	GJ/年	⑤×9.484/1,000	4,155	3,957	6,409	6,013	8,663	8,069	受電端投入熱量: 9.484MJ/kWh
エネルギー創出量	GJ/年	④-⑥	-533	-581	1,091	977	2,712	2,535	

(6) 温室効果ガス排出削減量

温室効果ガス排出削減量は、水素で燃料電池自動車が行った距離と同じ距離を燃料電池自動車と同等の車格のガソリン車が走行したものとして、消費するガソリン由来のCO₂排出量から水素を製造して燃料電池自動車に供給するまでに使用するユーティリティ（電力、上水、活性炭）由来のCO₂排出量を差し引いて算出した。規模別の温室効果ガス排出削減量を表資 2.1 - 15 に、これらの値の一次近似より作成した簡易算定式を図資 2.1 - 14 に示す。

表資 2.1 - 15 温室効果ガス排出削減量 (単位: t-CO₂/年)

規模 (消化ガス量)	60Nm ³ /h		120Nm ³ /h		180Nm ³ /h	
CO ₂ 液化回収設備	あり	なし	あり	なし	あり	なし
温室効果ガス排出削減量	-26	25	188	252	401	479



図資 2.1 - 14 温室効果ガス排出削減量の簡易算定式

また、消費するガソリン由来のCO₂排出量、使用するユーティリティ由来のCO₂排出量の算出方法を表資 2.1 - 16 に示す。

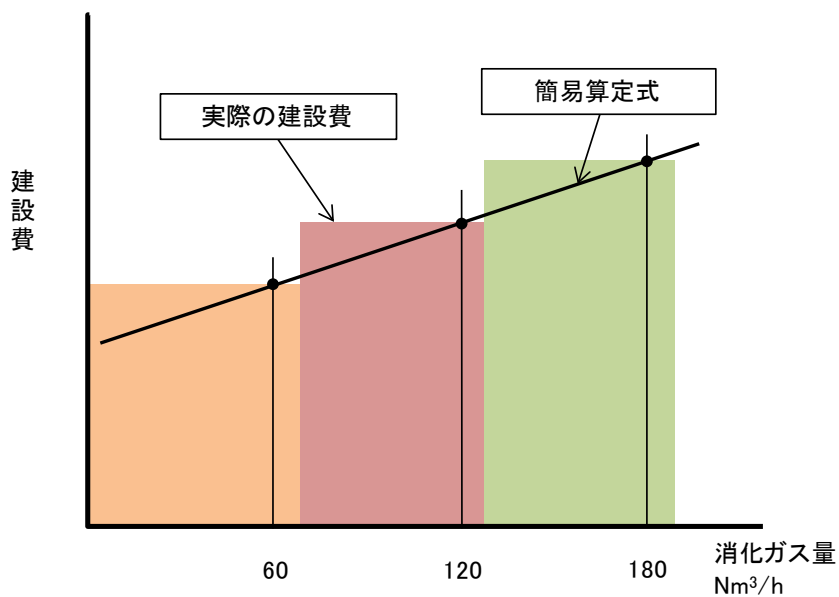
表資 2.1 - 16 温室効果ガス排出削減量の算出方法

項目	単位	消化ガス量(Nm ³ /h) CO ₂ 液化回収設備	60		120		180		備考
			あり	なし	あり	なし	あり	なし	
①消化ガス量	Nm ³ /日	消化ガス量Nm ³ /h × 12時間	720	720	1,440	1,440	2,160	2,160	水素を製造する昼間12時間に使用する消化ガス量
②水素製造量	Nm ³ /日	簡易算定式y ₁₁	972	906	2,013	1,876	3,053	2,846	
【ガソリン車が消費するガソリン由来のCO ₂ 排出量】									
③走行距離	km/日	② × 12.1	11,761	10,963	24,357	22,700	36,941	34,437	FCVの燃料消費率: 12.1km/Nm ³
④同走行距離のガソリン消費量	L/日	③/21.4	550	512	1,138	1,061	1,726	1,609	ガソリン車(ハイブリッド)の燃料消費率: 21.4km/L
⑤ガソリン車が消費するガソリン由来のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /日	④ × 2.32	1,276	1,188	2,640	2,462	4,004	3,733	ガソリンのCO ₂ 排出係数: 2.32kg-CO ₂ /L
⑥ガソリン車が消費するガソリン由来のCO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	⑤ × 345/1,000	440	410	911	849	1,381	1,288	施設稼働日数: 345日/年
【水素を製造・供給するまでに使用するユーティリティ由来のCO ₂ 排出量】									
⑦水素製造・供給に使用する電力	kWh/日	簡易算定式y ₃ × 1,000/345/15	2,306	1,904	3,575	2,948	4,843	3,992	電力単価: 15円/kWh
⑧水素製造・供給に使用する電力のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /日	⑦ × 0.579	1,335	1,102	2,070	1,707	2,804	2,311	電力のCO ₂ 排出係数: 0.579kg-CO ₂ /kWh
⑨上水使用量	m ³ /日	簡易算定式y ₄ × 1,000/345/290	7.5	7.0	13.1	12.2	18.8	17.3	上水単価: 290 円/m ³
⑩上水のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /日	⑨ × 2.0	15	14	26	24	38	35	上水のCO ₂ 排出係数: 2.0kg-CO ₂ /m ³
⑪活性炭使用量	kg/日	消化ガス量Nm ³ /日 × 72/0.187/10 ⁶	0.43	0.43	0.87	0.87	1.30	1.30	夜間待機運転時も含めた 1日で使用する消化ガス 量、シロキサン濃度: 72mg/Nm ³ 、シロキサン平 衡吸着量: 18.7%
⑫活性炭のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /日	⑪ × 0.26	0.11	0.11	0.23	0.23	0.34	0.34	活性炭のCO ₂ 排出係数: 0.26kg-CO ₂ /kg
⑬水素を製造・供給するまでに使用するユーティリティ由来のCO ₂ 排出量	kg/日	⑧+⑩+⑫	1,350	1,116	2,096	1,731	2,842	2,346	
⑭温室効果ガス排出削減量	kg/日	⑤-⑬	-74	72	544	731	1,162	1,387	
温室効果ガス排出削減量	t/年	⑭/1,000 × 345	-26	25	188	252	401	479	

II-2 簡易算定式の留意点

(1) 水素製造設備

水素製造設備は、処理能力が定められ標準化されており、簡易算定式を作成する際の規模は水素製造設備の現有するラインナップの処理能力にもとづき決定している。そのため、簡易算定式を作成した際の規模と、検討規模が異なる場合、簡易算定式により算出した建設費よりも実際の建設費が高くなる傾向にある。実際の建設費と簡易算定式の関係のイメージを図資 2.2 - 1 に示す。



図資 2.2 - 1 建設費と簡易算定式の関係イメージ図

(2) シロキサン濃度の影響

シロキサンの濃度により必要となる活性炭量が変わる。簡易算定式では、シロキサン濃度を $72\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、除去塔を2塔式として、1塔を1年に1回の交換頻度として消耗品費を算出しているため、シロキサン濃度が異なる場合は、活性炭交換費を簡易的に濃度比によって補正する。

II-3 推奨条件の算出について

第2章の§12に記す消化ガス使用量の推奨条件は、§14の表2-3に示す評価の前提条件及びCO₂液化回収設備を導入する場合にて、経費回収年とエネルギー創出量を算出し、経費回収年が設備の耐用年数である15年以下かつエネルギー創出量がゼロを越える消化ガス使用量とした。

§15の表2-5の評価結果より、消化ガス量120 Nm³/hから180 Nm³/hの範囲内で、経費回収年が15年以下かつエネルギー創出量がゼロを越える消化ガス使用量になることが判る。よって、経費回収年の算出は、簡易算定式を用いて、建設費、維持管理費、水素製造量及び液化二酸化炭素回収量を算出し、経費回収年を算出する。

表資2.3-1に示すとおり、簡易算定式を用いて、経費回収年とエネルギー創出量を算出した。これより、消化ガス使用量137 Nm³/h以上において、経費回収年が15年以下かつエネルギー創出量がゼロを越える結果となる。

なお、第2章の§12においては、消化ガス中のメタンガス濃度を60vol%に換算した消化ガス使用量131Nm³/hを、10Nm³/h単位で切り上げた140Nm³/hとして記している。

表資 2.3 - 1 消化ガス使用量による推奨条件の検討

条件	簡易算定式条件	メタン濃度60vol%換算後
消化ガス使用量	137Nm ³ /h	131Nm ³ /h
消化ガス中のメタン濃度	57.4%	60%
施設稼働日数	345日/年	同左
液化CO ₂ 回収設備	導入	同左
1. 経費回収年		
建設費	簡易算定式	金額
機械・電気設備費	$y_1 = 1.558x + 540.7$	754 百万円
土木建築費	$y_2 = 0.1917x + 91.3$	118 百万円
小計 ①		872 百万円
維持管理費	簡易算定式	金額
電力費	$y_3 = 109.42x + 5,367.7$	20,358 千円/年
上水費	$y_4 = 9.400x + 187.0$	1,475 千円/年
消耗品費		
ポリシヤー、薬品費	$y_5 = 9.0250x + 0.7$	1,237 千円/年
交換膜費	$y_6 = 1.583x + 648.3$	865 千円/年
フィルター費	$y_7 = 8.358x - 0.3$	1,145 千円/年
活性炭交換費	$y_8 = 5.142x + 789.7$	1,494 千円/年
人件費	$y_9 = 7,000 \times 2$	14,000 千円/年
修繕費	$y_{10} = 19.058x + 26,874$	29,485 千円/年
小計 ②		70.1 百万円/年
水素・CO ₂ 販売収入	簡易算定式	製造・回収量
水素製造量	$y_{11} = 17.342x - 68.3$	2,308 Nm ³ /日
CO ₂ 回収量	$y_{12} = 8.633x$	1,183 kg/日
	単価	
水素販売収入	100円/Nm ³	79.6 百万円/年
CO ₂ 製造量	120円/kg	49.0 百万円/年
小計 ③		128.6 百万円/年
年間収益 = ③ - ②		58.5 百万円/年
経費回収年 = ① / (③ - ②)		14.9 年
2. エネルギー創出量		
エネルギー創出量	簡易算定式	
エネルギー創出量	$y_{13} = 27.04x - 2,155$	1,549 GJ/年

Ⅲ. 参考資料

Ⅲ - 1 トラブル時の対応例

本システムの各設備において検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例を表資 3.1-1 に示す。

表資 3.1-1 検知された異常例に対して想定される故障・不具合例とその対応方針例

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例
前 処 理 設 備	ガスブースター入口ガス圧力低下	消化ガス供給量低下 セジメントトラップ閉塞	消化ガス供給ライン点検 セジメントトラップ点検
	除湿機冷却器の出口温度上昇	チラー故障	チラー冷却器インバーター点検 チラー冷水圧送ポンプ点検 チラー冷水戻りストレーナー点検・清掃
	ガスコンプレッサー吐出ガス圧力低下	ガスコンプレッサー故障	吸込・吐出弁の点検、不良部品交換
	ガスコンプレッサー吐出ガス温度上昇	吐出ガス冷却不良	冷却水量調整 インナークーラー、アフタークーラー点検・清掃
	ガスコンプレッサー油圧低下	油圧ポンプ故障 油圧ポンプ空気噛み込み	油圧ポンプ点検 クランクケース潤滑油量の点検・補充又は交換
	ガスコンプレッサー冷却水量低下	冷却水出口弁開度不良 冷却水ポンプ吐出量低下	冷却水出口弁開度調整 冷却水ポンプ入口ストレーナー点検・清掃
	精製ガス流量低下	精製ガス流量調節弁動作不良	精製ガス流量調節弁点検
	グラントフレア失火	手動燃料流量調節弁開度不良	手動燃料流量調節弁開度調整

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例
水素製造設備	改質器バーナー失火	火炎検知器誤動作 燃料流量調節弁動作不良 燃料ガス漏れ 手動燃料流量調節弁開度不良	火炎検知器点検・清掃 燃料流量調節弁点検 燃料ガス配管点検 手動燃料流量調節弁開度調整
	改質器内温度異常	燃料流量調節弁動作不良 燃料ガス漏れ 温度計故障 手動燃料流量調節弁開度不良	燃料流量調節弁点検 燃料ガス配管点検 温度計点検・交換 手動燃料流量調節弁開度調整
	PSA吸着塔圧力異常 製品水素のCO濃度上昇	PSA切替弁動作不良 PSA切替制御不良 CO濃度計故障 変成ガス圧力調節弁動作不良	PSA切替弁点検 PSA切替制御調整 CO濃度計点検・校正 変成ガス圧力調節弁点検
	純水流量低下	純水流量調節弁動作不良 純水ポンプ故障	純流量調節弁点検 純水ポンプ点検
水素供給設備	水素圧縮機吐出ガス温度上昇	ガスクーラー故障 冷却水出口弁開度不良 冷却水ポンプ吐出量低下	ガスクーラー点検 冷却水出口弁開度調整 冷却水ポンプ入ロストレーナー点検・清掃
	蓄ガス器表面温度上昇	散水設備動作不良	散水設備点検
	蓄ガス器内圧力上昇	蓄ガス器圧力リリーフ弁動作不良	蓄ガス器圧力リリーフ弁点検
	蓄ガス器及びディスペンサー同時停止	水素供給弁開閉動作不良 水素供給弁リミットスイッチ故障	水素供給弁点検 水素供給弁リミットスイッチ点検・信号配線確認
	充填時水素流量異常	水素流量計故障 水素流量調節弁動作不良	水素流量計点検・整備 水素流量調節弁点検
	充填時水素温度上昇	プレクール装置温度制御不良	プレクール装置温度制御調整

	検知された異常例	想定される故障・不具合例	対応方針例
CO ₂ 液化回収設備	CO ₂ 圧縮機吐出圧力低下	CO ₂ 圧縮機故障	吸込・吐出弁点検、不良部品交換
	ブラインクーラー冷却温度上昇	ブラインクーラー温度制御不良	ブラインクーラー温度制御調整
	CO ₂ 圧縮機油圧低下	ダイヤフラム駆動油漏れ	駆動油漏れ点検 ダイヤフラム点検・交換

Ⅲ - 2 保安検査及び定期自主検査における検査項目

定期点検として、一般高圧ガス保安規則第 79 条、第 83 条に基づき、1 年に 1 回保安検査を受検し、1 年に 1 回以上事業者自らが定期自主検査を実施する必要がある。保安検査の検査方法は保安検査の方法を定める告示において、高圧ガス保安協会発行 保安検査基準 (KHKS 0850-5 (2011))¹⁾に従うこととされており、検査項目に応じた方法又は当該方法に基づき実施された検査についての記録確認により行う。また、定期自主検査の方法については特に定めはないが、一般的に高圧ガス保安協会発行 定期自主検査指針 (KHKS 1850-5 (2011))²⁾を参考としている。検査項目の概要について、表資 3.2 - 1～表資 3.2 - 6 に示す。

表資 3.2 - 1 保安検査及び定期自主検査における検査項目 警戒標等

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
1	警戒標等				
1.1	境界線・警戒標	事業所の境界線及び警戒標の外観に腐食、損傷、変形、汚れ及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1 回/年	1 回/年以上
1.2	可燃性ガスの貯槽であることが容易にわかる措置 (蓄ガス器)	貯槽本体への塗色、ガス名朱書又は標紙等貼付による場合は、当該措置が明確・明瞭であることを確認する。 標識の掲示による場合は、外観に腐食、損傷、変形、汚れ及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1 回/年	1 回/年以上
1.3	バルブ等の操作に係る適切な措置	標示板等、施錠・封印等、操作用足場及び照明等については、外観に腐食、損傷、変形、汚れ及びその他の異常のないことを確認する。 名称又は塗装色等の表示及び流れ方向の表示については、当該措置が明確・明瞭であることを確認する。	目視検査	1 回/年	1 回/年以上
		照明等の点灯状況について、作動させて確認する。	作動検査		

表資 3.2 - 2 保安検査及び定期自主検査における検査項目 保安距離・施設レイアウト等

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
2	保安距離・施設レイアウト等				
2.1	保安距離	保安距離の確保状況について、巻き尺その他の測定器具を用いた保安距離の実測による検査又は図面上で確認する。	距離測定	1回/年	1回/年以上
		保安距離の緩和等のために設けられている障壁等については、外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査		
2.2	設備間距離	設備間距離の確保状況について、巻き尺その他の測定器具を用いた設備間距離の実測による検査又は図面上で確認する。	距離測定	1回/年	1回/年以上
2.3	火気取扱施設までの距離	火気取扱施設までの距離の確保状況について、巻き尺その他の測定器具を用いた距離の実測による検査又は図面上で確認する。	距離測定	1回/年	1回/年以上
		防火壁、障壁、防火戸、網入ガラス、二重扉及び連動装置の外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査		
		連動装置の機能について、試験用標準ガスの使用により確実に作動することを確認する。	作動検査		
2.4	滞留しない構造	開口部、換気装置等の外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
2.5	ディスペンサーの屋根の構造	ディスペンサーの屋根について、外観に破損、変形及びその他の異常がないこと、滞留しない構造が保たれていることを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
2.6	車両の停止位置等	車両の停止位置と貯槽の外面との距離の確保状況について、巻き尺その他の測定器具を用いた距離の実測による検査又は図面上で確認する。	距離測定	1回/年	1回/年以上
		防護措置及び車両の停止位置について、外観に破損、変形及びその他の異常のないことを目視により確認する。	目視検査		
2.7	地盤面下に高圧ガス設備を設置した室の構造	地盤面下に高圧ガス設備を設置した室の上部構造について確認する。	記録確認 又は 図面確認	1回/年	1回/年以上
		漏えいしたガスの滞留を防止するための措置について、外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査		
		換気装置を設置している場合にあってはその機能について、確実に作動することを確認する。	作動検査		
2.8	配管の設置位置等	配管が外部からの衝撃等により損傷を受ける恐れがない場所に設置されていることを確認する。 配管が設置されているトレンチについて、トレンチ及びトレンチの蓋の外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
2.9	ガス設備の設置状況等 (前処理設備、水素製造設備)	ガス設備の設置状況について、車両が衝突する恐れのない場所に設置されていることを確認する。 車両の衝突を防止する措置について、外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上

表資 3.2 - 3 保安検査及び定期自主検査における検査項目
高圧ガス設備の基礎・耐震設計構造等

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
3	高圧ガス設備の基礎・耐震設計構造等				
3.1	基礎	地盤の許容支持力等と地盤上の重量物の荷重との関係について確認する。	記録確認	1回/年	1回/年以上
		基礎立ち上り部及び貯槽の支柱と基礎の緊結状況について、腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査		
3.2	耐震設計構造	耐震設計構造に係る計算結果等について確認する。	記録確認	1回/年	1回/年以上
		基礎立ち上り部、ベースプレート、スカート、サドル、支柱及び本体接合部、アンカーボルト等について、腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査		
3.3	貯槽の沈下状況測定 (蓄ガス器)	沈下状況の測定とし、不同沈下のないことを測定により確認する。	測定	1回/年	1回/年以上

表資 3.2 - 4 保安検査及び定期自主検査における検査項目 ガス設備

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
4	ガス設備				
4.1	ガス設備の気密構造 (前処理設備、水素 製造設備)	運転状態、運転を停止した状態又は開放組立後の内圧のある状態において、漏えい等の異常がないことを確認する。	気密試験	1回/年	1回/年 以上
4.2	ガス設備に使用する 材料 (前処理設備、水素 製造設備)	記録確認又は図面確認により行う。	記録確認 又は 図面確認	1回/年	1回/年 以上
4.3	高圧ガス設備の耐圧 性能及び強度 (水素供給設備、 CO ₂ 液化回収設備)	高圧ガス設備の外部について、耐圧性能及び強度に支障を及ぼす減肉、劣化損傷及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年 以上
		目視検査により異常が認められた場合に、肉厚測定用器具を用いた測定により、耐圧性能及び強度に支障を及ぼす減肉、劣化損傷及びその他の異常がないことを確認する。	肉厚測定		
		高圧ガス設備の溶接部(高圧ガス配管や圧縮機の付属機器等の溶接部)について、目視検査により異常が認められた場合に、耐圧性能及び強度に支障を及ぼす減肉、劣化損傷及びその他の異常がないことを確認する。	非破壊 検査		

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
4.4	高圧ガス設備の気密性能 （水素供給設備、 CO ₂ 液化回収設備）	<p>高圧ガス設備を開放した場合にあっては、原則として、当該高圧ガス設備の常用の圧力以上の圧力で、危険性のない気体を用いた試験により、高圧ガス設備から漏えい等の異常がないことを確認する。</p> <p>高圧ガス設備を開放しない場合は、当該高圧ガス設備の運転状態の圧力で、運転状態の高圧ガス又は危険性のない気体を用いて、高圧ガス設備から漏えい等の異常がないことを確認する。</p>	気密試験	1回/年	1回/年以上

表資 3.2 - 5 保安検査及び定期自主検査における検査項目 計装・電気設備

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
5	計装・電気設備				
5.1	計装設備				
5.1.1	温度計	温度計に破損、変形及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/2年	1回/年以上
		温度計精度確認用器具を用いて精度を測定し、温度計の誤差があらかじめ定められた許容差以内であることを確認する。	精度検査	1回/2年	1回/2年以上
5.1.2	圧力計	圧力計に破損、変形及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/2年	1回/年以上
		圧力計精度確認用器具を用いて精度を測定し、圧力計の誤差があらかじめ定められた許容差以内であることを確認する。	精度検査	1回/2年	1回/2年以上
5.1.3	液面計	液化ガス貯槽に設けられた液面計に係る検査は、外観に破損、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
5.2	電気設備				
5.2.1	電気設備の防爆構造	外観に破損、腐食、変形及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
5.2.2	保安電力等	設備の状態として、電源装置の状態表示灯、電圧・周波数、スイッチ類の位置、各部の温度や異音の有無を確認する。 また、停止待機中のエンジン駆動発電機等の表示灯、燃料や潤滑油のレベル、スイッチ類の状態等について確認する。 周囲の状態として、保安電力等が作動したときに支障となる物がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		停電等により設備の機能が失われることのないよう、直ちに保安電力等に切り替わることを、模擬の停電状態にして作動させ、確実に保安電力が供給できることを確認する。	作動検査		
5.2.3	静電気除去措置	外観に腐食、破損、変形及びその他の異常がないことを目視により確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		接地抵抗値について、接地抵抗測定器具を用いた測定により確認する。	接地抵抗値測定		

表資 3.2 - 6 保安検査及び定期自主検査における検査項目 保安・防災設備

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
6	保安・防災設備				
6.1	常用の温度の範囲に戻す措置	高圧ガス設備内の温度が常用の温度を超えた場合に、直ちに常用の温度の範囲に戻すための措置について、外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		常用の温度の範囲に戻す措置の機能に異常がないことを作動検査により確認する。ただし、運転状態検査施設の運転状態で行う検査においては、運転状態での調節機能が正常に行われていることにより確認する。	作動検査		
6.2	安全装置	外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		バネ式安全弁等を設置した状態又は取り外した状態で、作動検査用器具若しくは設備を用いて行う。	作動検査		
6.3	安全弁等の放出管	外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		放出管の開口部の位置を巻き尺その他の測定器具を用いた実測により確認する。	測定		

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
6.4	貯槽の温度上昇防止 措置 (蓄ガス器)	外観に腐食、損傷、変形及びその 他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年 以上
		温度の上昇を防止するための措 置で作動させることにより当該 機能を満足させる装置について は、その機能を確認する。	作動検査		
6.5	負圧防止措置	低温貯槽の負圧防止措置につい て、外観に腐食、損傷、変形及び その他の異常がないことを確認 する。	目視検査	1回/年	1回/年 以上
		負圧防止措置の機能に異常がな いことを確認する。	作動検査		
6.6	貯槽の配管に設けた バルブ (蓄ガス器)	外観に腐食、破損、変形及びその 他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年 以上
		バルブの作動について、良好に作 動することを確認する。	作動検査		
6.7	貯槽配管の緊急遮断 装置 (蓄ガス器)	緊急遮断に係る設備が、緊急遮断 に支障の無い状態であることを 確認する。	目視検査	1回/年	1回/年 以上
		作動域全域について遠隔操作に て正常に作動することを確認す る。	作動検査		
		保安上支障のない漏れ量以下で あることを、貯槽開放時に確認す る。	弁座漏れ 検査	貯槽 開放時	貯槽 開放時

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
6.8	圧縮機と水素充填場所間の障壁 (水素圧縮機、出荷設備)	圧縮機と10MPa以上の圧力を有する水素を充填する場所との間に設置された障壁について、外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
6.9	ガス漏えい検知警報設備	外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		検知及び警報に係る作動検査を行い正常に作動することを確認する。	作動検査		
6.10	防消火設備	防火設備及び消火設備について、外観に腐食、破損、変形及びその他の異常がなく、使用可能な状態になっていることを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		防火設備の機能について確認する。	作動検査		
6.11	通報措置	通報設備の外観について、破損、変形及びその他の異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		設備が正常に機能することを確認する。	作動検査		
6.12	過充填防止のための措置	動作に支障を来す腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		安全装置を設けた場合にあっては、充填作業を実施し、規定の圧力で充填動作を停止することを確認する。	作動検査		

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
6.13	防火壁	腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		防火壁の高さ等を巻き尺その他の測定器具を用いた測定により確認する。	測定		
6.14	緊急時に遮断するための措置	緊急遮断弁、遮断ボタンなど配管に講じた緊急時に水素の供給を遮断するための措置の外観に、動作に支障を来す異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		遮断ボタンの操作等により、正常に水素の供給を遮断することを確認する。	作動検査		
6.15	圧縮機の爆発、漏えい、損傷防止措置	外観に、動作に支障を来す異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		機能について正常に作動すること又は正常な信号が出力されることを確認する。	作動検査		
6.16	ディスペンサーの遮断装置及び漏えい防止措置	充填ホースに設置された漏えい防止措置について、外観に腐食、損傷、変形及びその他の異常のないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		充填作業を実施し、規定の圧力で充填動作が停止することを確認する。	作動検査		

検査 No.	検査項目	具体的検査内容	検査方法	検査周期	
				保安検査	自主検査
6.17	漏えいガスの検知警報、自動停止措置	ガス検知器、遮断弁などの装置の外観に、動作に支障を来す異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		試験用標準ガスによりガス検知器を作動させ、又はガス検知器の点検作動ボタンを押し、正常に圧縮機等が停止すること若しくは正常な信号が出力されていることを確認する。	作動検査		
6.18	感震装置	外観及び周囲に、動作に支障を来す異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		感震装置を作動させ、正常に動作すること又は正常な信号が出力されていることを確認する。	作動検査		
6.19	自動停止装置の起動装置	外観に動作に支障を来す異常がないことを確認する。	目視検査	1回/年	1回/年以上
		緊急停止ボタンを作動させ、正常に動作すること又は正常な信号が出力されることを確認する。	作動検査		
6.20	圧縮機・加圧設備の自動停止等の措置 (水素圧縮機)	過充填防止のための措置及び緊急時に遮断するための措置に係る機能を検査し、正常に圧縮機が停止動作すること又は正常な信号が出力されていることを確認する。	作動検査	1回/年	1回/年以上

Ⅲ - 3 参考文献

- 1) 保安検査基準 KHKS 0850-5(2011)・定期自主検査指針 KHKS 1850-5(2011)天然ガススタンド関係 高圧ガス保安協会 平成 24 年 3 月

IV. 問い合わせ先

本ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いいたします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.htm
----------------------	---

本ガイドラインは、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果をとりまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

福岡市	道路下水道局 計画部 下水道計画課 〒810-8620 福岡市中央区天神1丁目8-1 TEL 092-711-4515 FAX 092-733-5533 URL http://www.city.fukuoka.lg.jp/
三菱化工機株式会社	環境技術部 ソリューション技術グループ 〒210-0012 川崎市川崎区 宮前町1番2号 TEL 044-246-7209 FAX 044-246-7225 URL http://www.kakoki.co.jp/
国立大学法人九州大学	水素エネルギー国際研究センター 〒819-0395 福岡市西区元岡744 (HY30) TEL 092-802-3303 FAX 092-802-3223 URL http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/h2/
豊田通商株式会社	新規事業開発部 〒450-8575 名古屋市中村区名駅4-9-8 センチュリー豊田ビル TEL 052-584-8047 FAX 052-584-5088 URL http://www.toyota-tsusho.com/

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No.930

October 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675