

本編

第1章 総則

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

○下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、「下水バイオガス原料による水素創エネ技術」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・設計およ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。

○本ガイドラインは、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出来るよう、技術の概要と評価(第2章)、導入検討(第3章)、計画・設計(第4章)および維持管理(第5章)等に関する技術的事項についてとりまとめたものである。

第2章 第1節 技術の概要

＜技術の概要 § 5-11＞

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ことを目的としている。本システムは、前処理設備、水素製造設備、水素供給設備、CO₂液化回収設備から構成されている。

表 各設備の概要と特徴

前処理設備	シロキサン除去、消化ガス中のメタンを濃縮する。 メタンの濃縮にガス分離膜を採用、シンプルな装置構成で運転が容易。
水素製造設備	水蒸気改質反応により、メタンを水素に改質する。 スキッドマウントによるコンパクト化、熱回収システム改良による水素製造効率の向上。
水素供給設備	製造した水素を8MPaGに昇圧し、70MPaG対応のFCVに充填する。 特殊レシプロ構造の水素圧縮機の採用により、連続運転時間が向上。
CO ₂ 液化回収設備	前処理設備から排出されるCO ₂ を液化回収する。 純度99.5vol%以上(JIS2種相当)のCO ₂ を回収、CO ₂ の有効利用を図る。

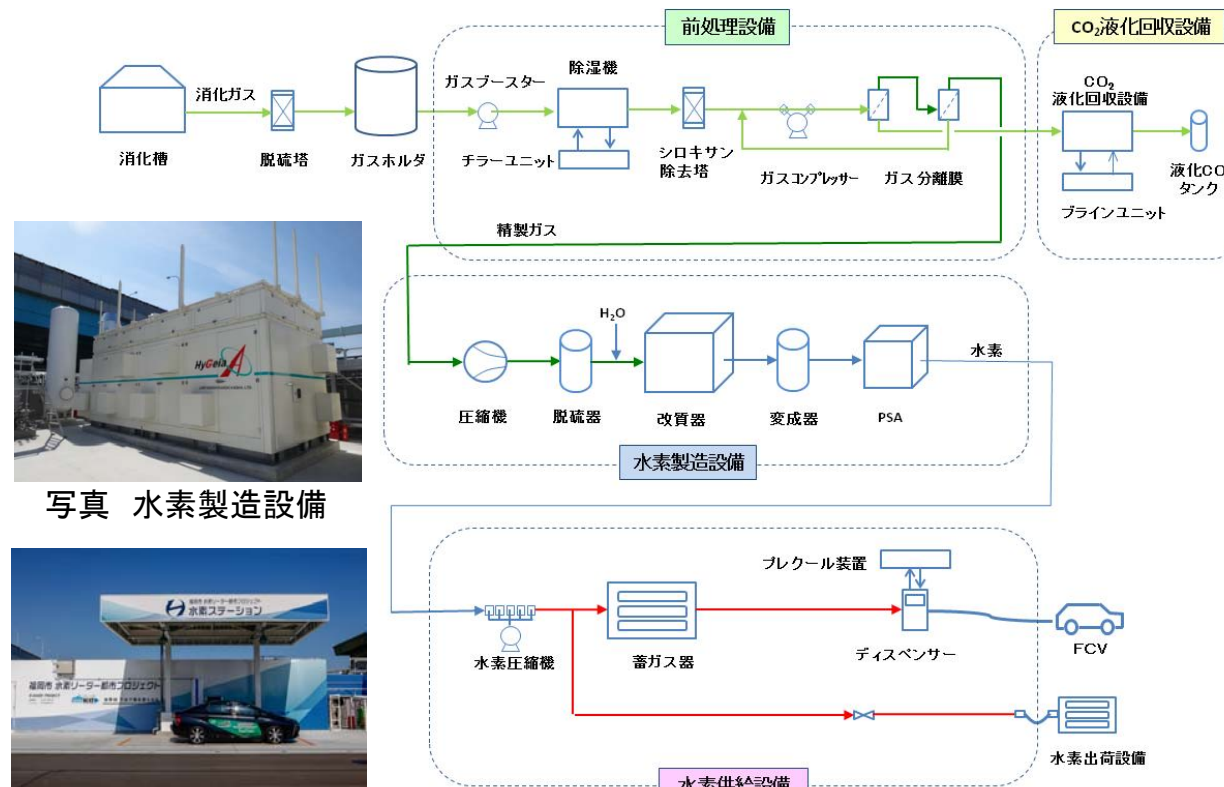


写真 水素製造設備



写真 水素ステーション

図 本システムの設備フロー

第2章 第2節 技術の適用条件

＜技術の適用条件 § 12-13＞

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と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」を合わせて示した。

表 適用条件と推奨条件

適用条件	1) 消化ガス使用量	消化ガス使用量と消化ガス中のメタン濃度に制約なし ただし、最低 10Nm ³ /h(メタン濃度60vol%換算)以上が必要
推奨条件	2) 敷地条件	最小規模の施設設置に必要な概略用地面積は、 CO ₂ 液化回収設備を導入する場合 : 840m ² CO ₂ 液化回収設備を導入しない場合 : 800m ²
	3) 高圧ガス有資格者	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。
推奨条件	1) 消化ガス使用量	規模が大きいほどコスト面、エネルギー面で有利 目安として消化ガス使用量140Nm ³ /h(メタン濃度60vol%換算)以上の設備規模とし、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CO ₂ を回収・販売すると、経費回収率が15年以下となり、エネルギーの創出が可能
	2) 消化ガス中のメタン濃度	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) 敷地条件	水素ステーションの運営上、集客が容易な幹線道路に面した用地が望ましい。 消化槽に近い場所に全設備を配置できることが、各設備を結ぶ配管等が短くなり、建設費が安価となり、施設管理も容易となる

第2章 第3節 実証研究に基づく評価の概要

＜技術の評価項目 § 14-15＞

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
について検討した。本評価における前提条件および評価結果について下表に示す。なお、評価規模は消化ガス使用量 60,120,180Nm³/h の3ケースについて評価した。

なお、試算に用いた簡易算定式は § 18に、簡易算定式の算出方法については、資料編Ⅱにおいて示した。

表 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ペンサー等の点検に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%と設定した		

表 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		あり	なし	あり	なし	あり	なし
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

第3章 第1節 導入検討

<導入検討手順 §16>

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、下図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。

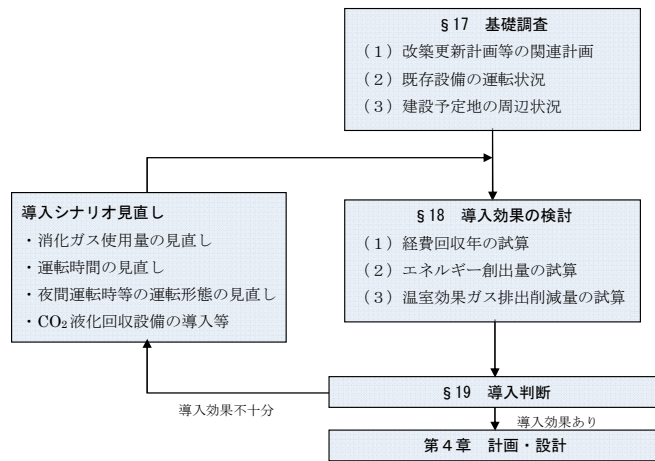


図 導入検討フロー

<基礎調査 §17>

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、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。

<導入効果の検討 §18>

本システムの導入を検討する際には、右図に示す通り、検討規模(消化ガス使用量)、水素販売単価、CO₂販売単価を設定し、簡易算定式を用いて、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。

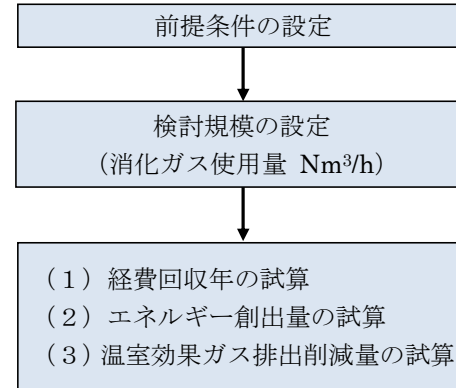


図 導入効果の検討手順

<導入判断 §19>

本システムの導入判断は、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各自治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。期待した導入効果が得られなかった場合は、施設規模、運転時間、夜間の運転形態、CO₂液化回収設備の導入等を再検討することで、導入効果が得られる場合がある。

第4章 計画・設計 第1節 導入検討

<計画の手順 §20>

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、右下図に示す手順に従い、導入計画を立案する。

<基本条件の設定 §21>

基本条件の設定として、消化ガス組成、消化ガス使用量、製品水素製造量の設定等を実施する。

<基本計算 §22>

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し、それに基づき物質収支計算を行う。

<施設計画の検討 §23>

構成設備の諸元設定、適用法規、配置計画を検討する。

<導入効果の検証 §24>

施設計画のより詳細な情報に基づいて、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。

<導入計画の策定 §25>

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纏める。

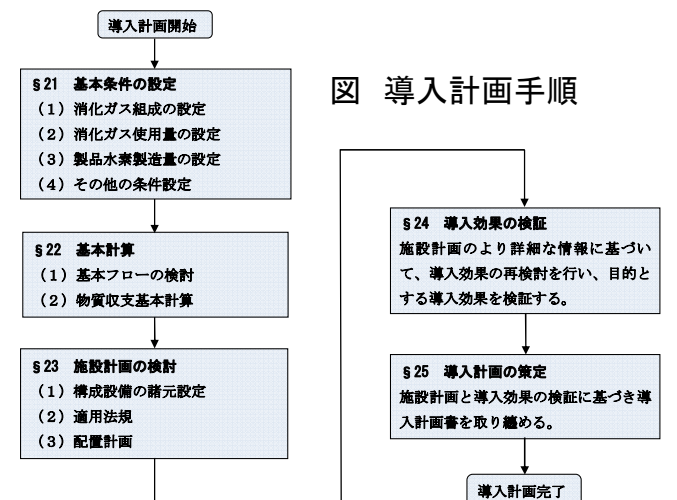


図 導入計画手順

第4章 計画・設計 第2節 施設設計

<各設備の設計 §26-30>

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、水素製造設備、水素供給設備、CO₂液化回収設備、ユーティリティ設備各々の設計を行う。各設備の設計は、構成される機器群、設定値の考え方、設計の留意点等を含む設計手法について示した。

<安全対策と環境対策 §31>

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。また水素は、無色無臭、燃焼速度が速く、火炎温度が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という特性があるため、それを理解した上で、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。ここでは、従来の下水処理にはない水素に対する安全対策について示した。

環境対策としては、大気汚染法、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。

表 各設備の設計留意点

設備名	装置・機器名	設計における留意点
前処理設備	シロキサン除去装置	消化ガス中の硫化水素の受入基準は、10ppmとする。濃度が高い場合は、別途脱硫器の設置を検討する。 シロキサン除去塔は、活性炭の能力を十分活用できる2塔直列方式を推奨する。 処理後のシロキサン濃度は、0.265mg/Nm ³ 以下を基準とする。
	ガス分離膜装置	圧力が高いほど分離性能は良くなるが、圧力が1MPaG以上となる場合は高圧ガス設備となるため、留意が必要である。
水素製造設備	水素製造設備	ラインナップの関係で、メタン量がCO ₂ 液化回収設備がある場合で112Nm ³ /h以上、ない場合で120Nm ³ /h以上の場合、対応する水素製造設備の検討が必要。 消化ガス中の窒素は製品水素品質に、酸素は改質器の温度に影響するため留意する。
水素供給設備	水素圧縮機	回転器の電気容量が大きいため、突入電流を削減する起動方式とする。
	蓄ガス器	容器材質等は、一般高圧ガス保安規則に基づき設計する。
	プレクール装置	能力はSAE J2601充填プロトコル規定に基づき、1時間当たり300Nm ³ 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。
CO ₂ 液化回収設備	除湿機	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。 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を選定する。
	凝縮機、分離機	凝縮機の運転圧力と温度は、CO ₂ の回収率に影響するため注意が必要である。 液化したCO ₂ 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。

第5章 維持管理

第1節 運転管理 §32

本技術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。本ガイドラインでは、各主要設備における主な運転管理項目について示した。

第2節 保守点検 §33

本技術に関する日常点検、その他点検項目について、設備毎に実施すべき項目、製品水素等の品質管理を目的とした分析項目について示した。また、保安検査(定期点検)は、一般高圧ガス保安規則により定められる年1回必要となる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に行われる点検であり、一般高圧ガス保安規則に基づく保安検査の項目については、資料編に示した。

第3節 緊急時の対応 §34

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、原則として設備を定められた手順で速やかに停止操作を行い、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、設備を定められた手順で速やかに停止し、予め設定した災害時対策フローに従って対応、復旧することを基本とする。

I. 実証試験

【実証研究の概要】

- 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
- 実施者: 福岡市、九州大学、豊田通商(株)、三菱化工機(株)
- 実証フィールド: 福岡市中部水処理センター

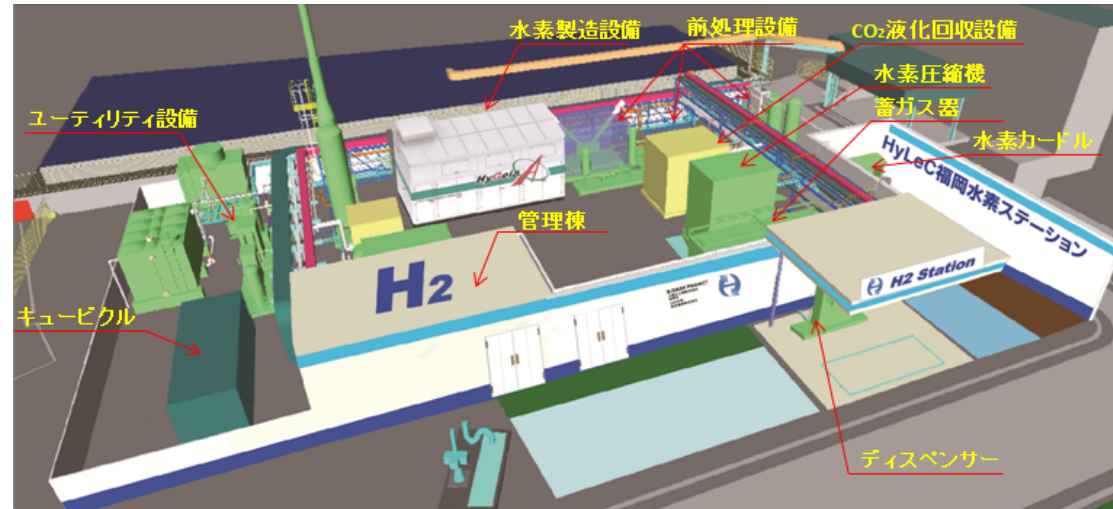


図 施設配置図

表 実証フィールドの概要

処理人口	357,901人
処理能力	300,000m ³ /日
消化ガス発生量	3,506,283Nm ³ /年 (9,606Nm ³ /日)
消化ガス中CH ₄ 濃度	56vol%
消化ガス中CO ₂ 濃度	43vol%

(平成25年度値)

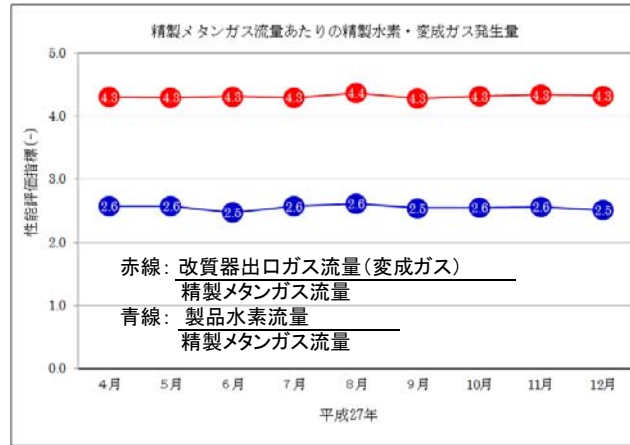


図 水素製造装置における性能評価指標

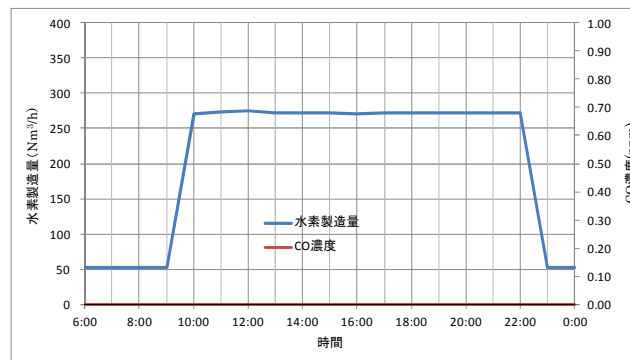


図 水素製造設備の定格運転時水素製造量とCO濃度

表 電力原単位

項目	測定日	測定日	測定日
	H27.3.11	H27.12.10	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
供用分電力	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	
供用分電力	0.153	0.157	
計	1.081	1.080	

【実証試験結果の概要】

本実証試験は、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。結果は図表の通りである。全ての目標値を満足していると同時に、通年の運転にて特に性能が低下する設備もなく、安定的に実証試験を完了している。

表 実証試験結果纏め

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5kg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

II. 簡易算定式

簡易算定式については、下表の通り建設費、維持管理費、製造量、エネルギー創出量、温室効果ガス排出削減量の項目について取り纏めた。

表 簡易算定式

建設費	項目	単位	CO ₂ 液化回収設備あり		CO ₂ 液化回収設備なし	
			式	式	式	式
維持管理費	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		
	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	千円/年	y ₅ = 9.0250x + 0.7	y ₅ = 8.4167x		
	交換膜	千円/年	y ₆ = 1.583x + 648.3	y ₆ = 1.583x + 648.3		
	フィルター	千円/年	y ₇ = 8.358x - 0.3	y ₇ = 7.367x		
	シロキサン活性炭	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 × 2	y ₉ = 7,000 × 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			

x: 検討規模 [Nm³/h-消化ガス] (適用範囲: 60 ≤ x ≤ 180)

III. 参考資料

III-1 トラブル時の対応例

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示した。

III-2 保安検査および定期自主検査における検査項目

一般高圧ガス保安規則第79条、第83条に基づき、1年に1回受検する保安検査と、事業者自らが1年に1回以上実施する定期自主検査における検査項目、検査内容、検査方法、検査周期について纏めた。

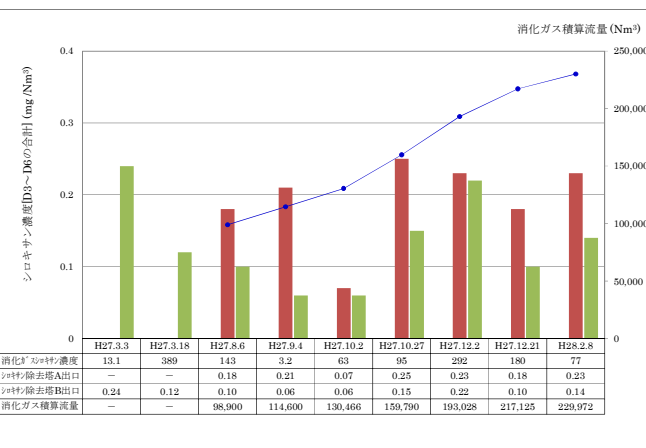


図 シロキサン除去塔出口シロキサン濃度と消化ガス流量積算値の推移

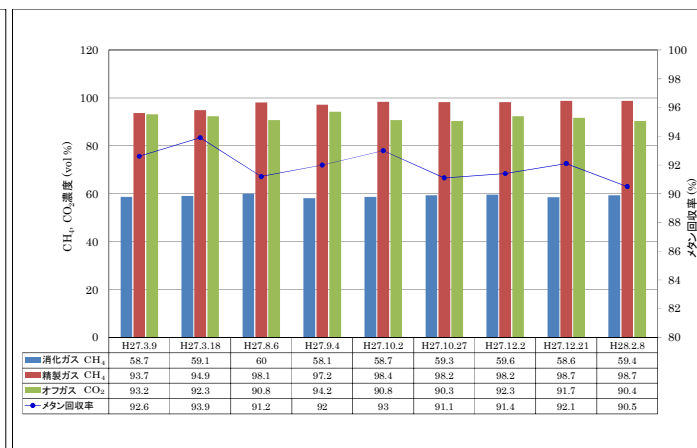


図 消化ガス及び精製ガスCH₄濃度とオフガスCO₂濃度の推移