

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)



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

ガイドラインの構成

第1章 総則

・目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義



第2章 技術の概要と評価

・目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例 ・技術の評価項目、評価結果



第3章 導入検討

・導入検討手順、基礎調査、導入効果の検討、導入判断



第4章 計画・設計

・導入計画 ・施設設計



第5章 維持管理

・運転管理 ・保守点検 ・緊急時の対応



資料編

・実証試験 ・簡易算定式 ・参考資料 ・問い合わせ先

第2章 技術の概要と評価

第1節 § 5～10 技術の概要

§ 11: 夜間運転時の概要と特徴

アイドル運転と待機運転の特徴（説明省略）

第2節 § 12 技術の適用条件

§ 13: 導入シナリオ例

CO₂液化回収設備の導入の有無（説明省略）

第3節 § 14～15 実証研究に基づく評価の概要

第2章 第1節 §5 システム全体の目的

背景

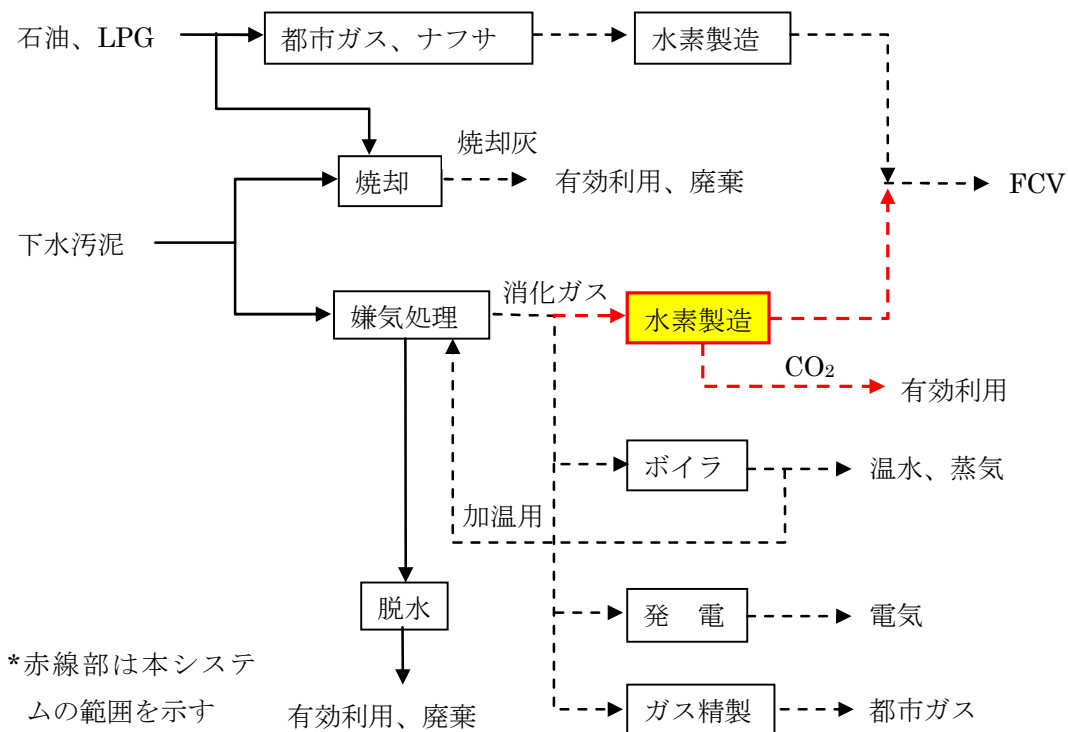
- ・消化ガスは、消化槽加温のボイラ燃料やガス発電の燃料に使われているが、約30%が未利用
- ・従来の水素ステーションは、化石燃料を使用して水素を製造

目的

都市型バイオマス資源である消化ガスを原料として水素を製造し燃料電池自動車(FCV)に充填



消化ガスの有効利用
新たなエネルギーの創出
温室効果ガス排出量の削減

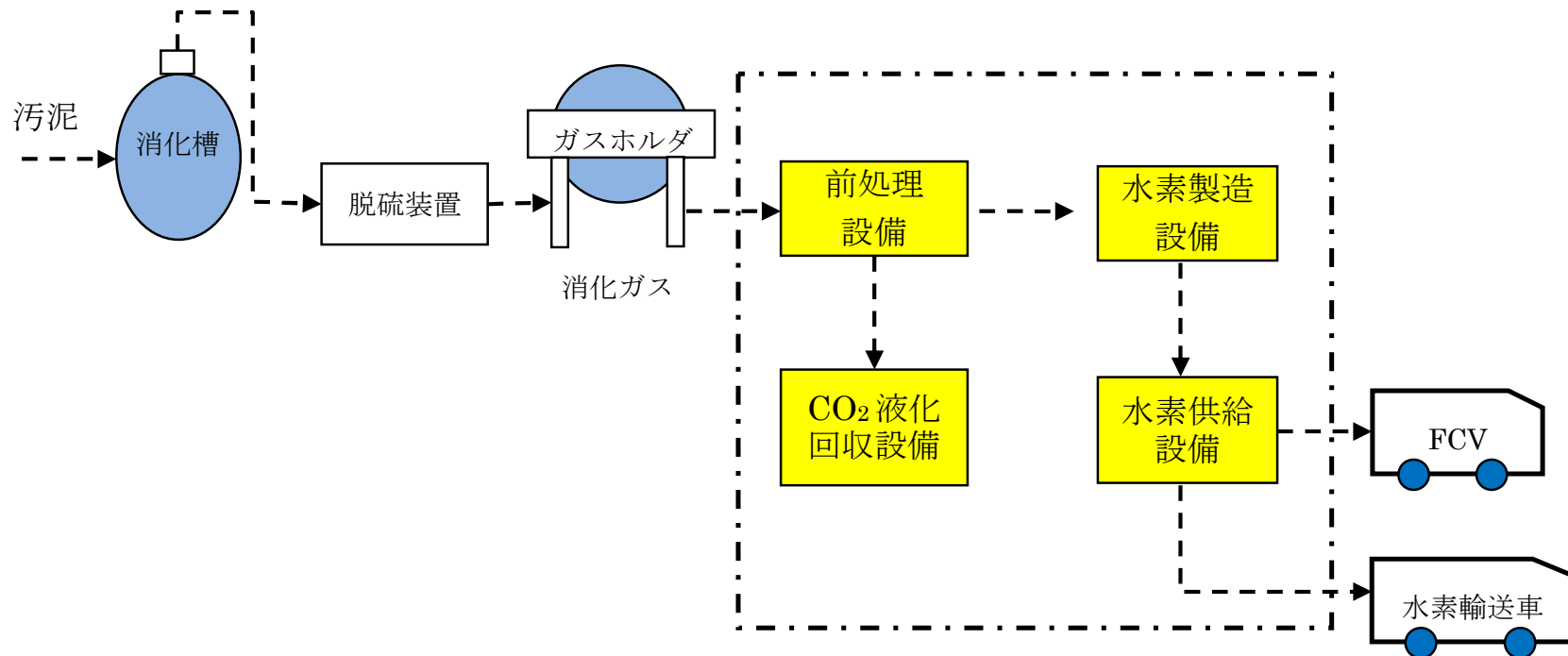


本システムの位置づけ

第2章 第1節 §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、CO₂液化回収設備から構成

- 前処理設備 : シロキサン除去、消化ガス中のメタン濃縮
- 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
- 水素供給設備 : 製造した水素を82MPaGに昇圧し、70MPaG対応のFCVに充填
- CO₂液化回収設備 : 前処理設備から排出されるCO₂を液化回収



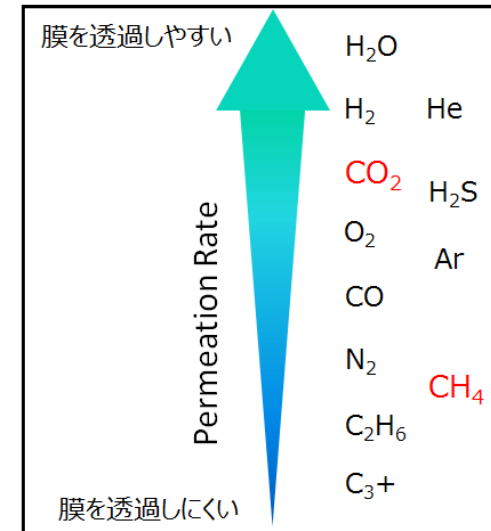
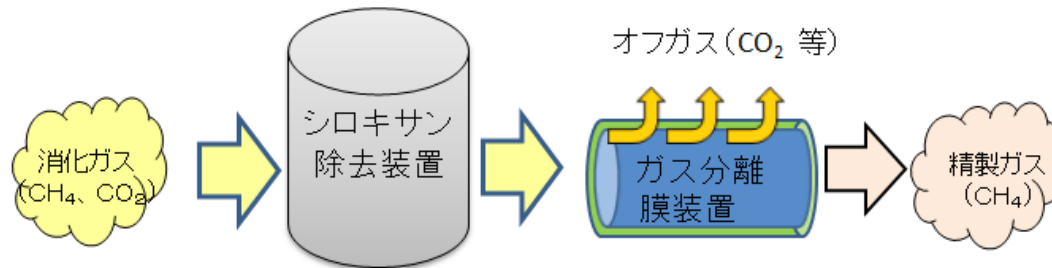
本システムの全体構成図

第2章 第1節 § 7 前処理技術の概要と特徴

前処理設備は、シロキサン除去装置とガス分離膜装置から構成

- ・シロキサン除去装置：シロキサンを活性炭で吸着除去
- ・ガス分離膜装置：ガスの種類による膜に対する透過速度の違いを利用して、メタンを92vol%以上に濃縮

- 特徴：
- ・ガス精製の過程で水分も透過ガス(オフガス)側に移行するため、精製ガスの除湿が不要
 - ・オフガスに高濃度のCO₂が含まれる
 - ・消化ガス中の組成変動に対する精製ガス中のメタン濃度、回収率の変動が少なく、運転操作が容易



シロキサン除去装置



ガス分離膜装置

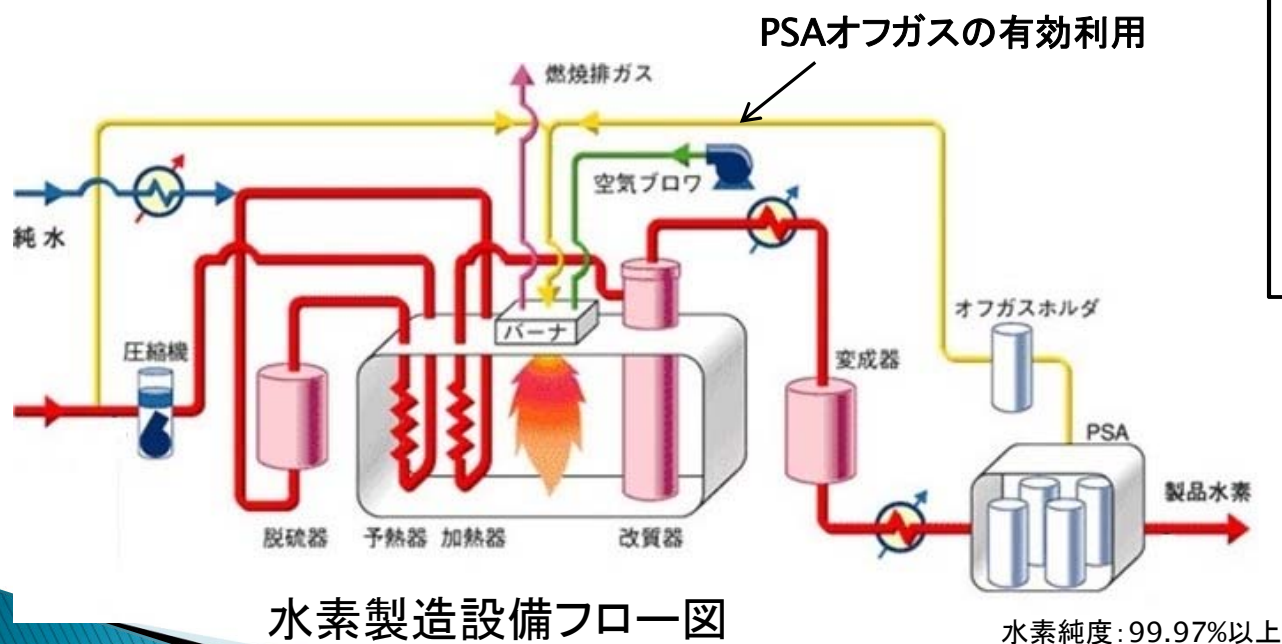
第2章 第1節 § 8 水素製造技術の概要と特徴

水素製造設備では、水蒸気改質反応により、前処理設備で得られた精製ガス中のメタンから高純度の水素を生成

水素製造は、改質工程、変成工程、ガス精製工程から成る

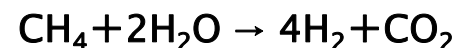
特徴： 従来の水素製造設備に比べ

- ・新規熱回収システムによるバーナー燃料使用量削減 → 水素製造効率の向上
- ・主な機器をスキッドマウント化 → コンパクト化、現地工事の簡略化

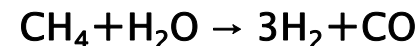


水素製造設備フロー図

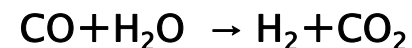
水蒸気改質反応



1) 改質反応(改質工程での反応)



2) 変成反応(変成工程での反応)



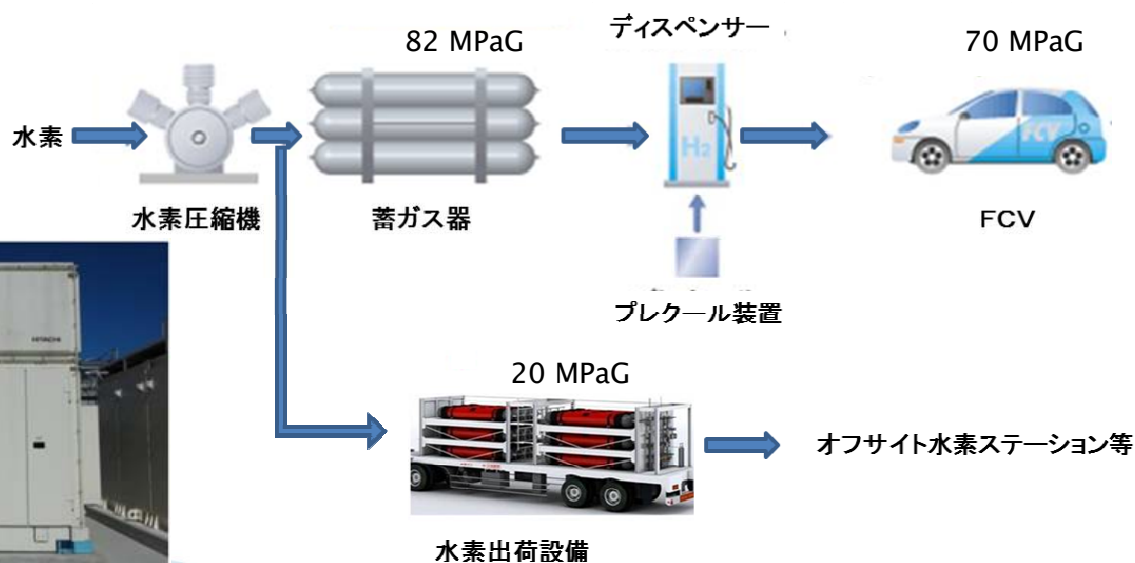
水素製造設備

第2章 第1節 § 9 水素供給技術の概要と特徴

水素供給設備は、水素圧縮機、蓄ガス器、ディスペンサー、プレクール装置及び水素出荷設備から構成。製造した水素を82MPaGまで昇圧し、蓄ガス器に溜め、ディスペンサーから70MPaG対応のFCVに供給

特徴:

- ・水素圧縮機 : 特殊レシプロ構造を採用、8,000時間以上の連続運転が可能
- ・蓄ガス器 : 鋼製容器で取扱いが容易
低圧、中圧、高圧用をユニット化した3バンク方式で効率的な充填が可能
- ・ディスペンサー : 赤外線通信機能で適切な水素充填が可能
充填速度5kg/3分で充填可能
- ・水素出荷設備 : 蓄ガス器からの減圧充填、水素圧縮機からの直接充填も可能



水素圧縮機

水素供給設備フロー図



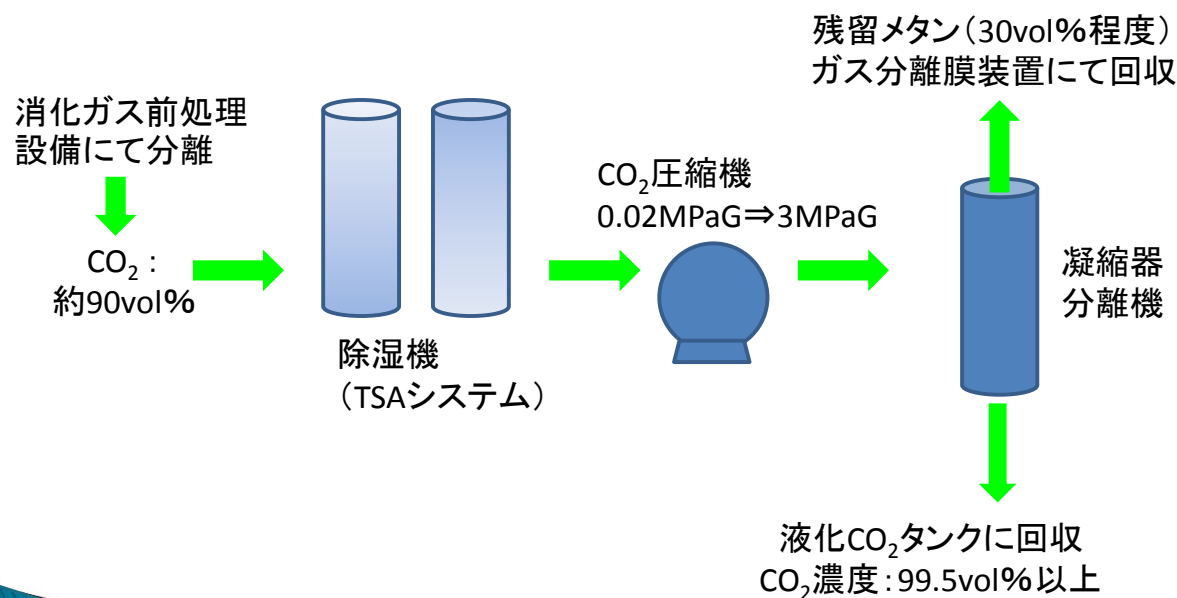
ディスペンサー

第2章 第1節 § 10 CO₂液化回収技術の概要と特徴

CO₂液化回収設備は、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。ガス分離膜装置から排出される高濃度CO₂を液化して回収

特徴:

- ・極低温容器(LGCタンク)に回収、160kg/本のCO₂の充填が可能
- ・JIS2種相当である濃度99.5vol%以上のCO₂の回収が可能



CO₂液化回収設備フロー図



CO₂液化回収設備



液化CO₂タンク

第2章 第2節 §12 適用条件及び推奨条件

(1) 適用条件	
1) 消化ガス 使用量	消化ガス使用量と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
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。
(2) 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、経費回収年が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 § 14 技術の評価項目

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

評価の前提条件

消化ガス組成	CH ₄ 濃度	57.4 vol%
	CO ₂ 濃度	42.6 vol%
	シロキサン濃度	72 mg/Nm ³
施設稼働率	95 %(345 日/年)	
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	

第2章 第3節 § 14 技術の評価項目

技術の評価項目	算出式
(1)経費回収年	$= \frac{\text{建設費 (単位:百万円)}}{\text{水素販売収入} + (\text{CO}_2\text{販売収入}) - \text{維持管理費 (単位:百万円/年)}}$
(2)エネルギー創出量	$= (a) - (b) - (c) \times 9.484$ <p>(a): 製造された水素の持つ熱量 (水素の低位発熱量: 10.8MJ/Nm³) (b): 水素製造に使用する化石燃料の熱量 (c): 水素製造に使用する電力量 (受電端投入熱量: 9.484MJ/kWh)</p>
(3)温室効果ガス 排出削減量	$= (a) - (b)$ <p>製造した水素でFCVが走行した距離と同じ距離をガソリン車が走行するとして、 (a): ガソリン車が消費するガソリン由来のCO₂排出量 (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</p>

第2章 第3節 § 15 技術の評価結果

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	
	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

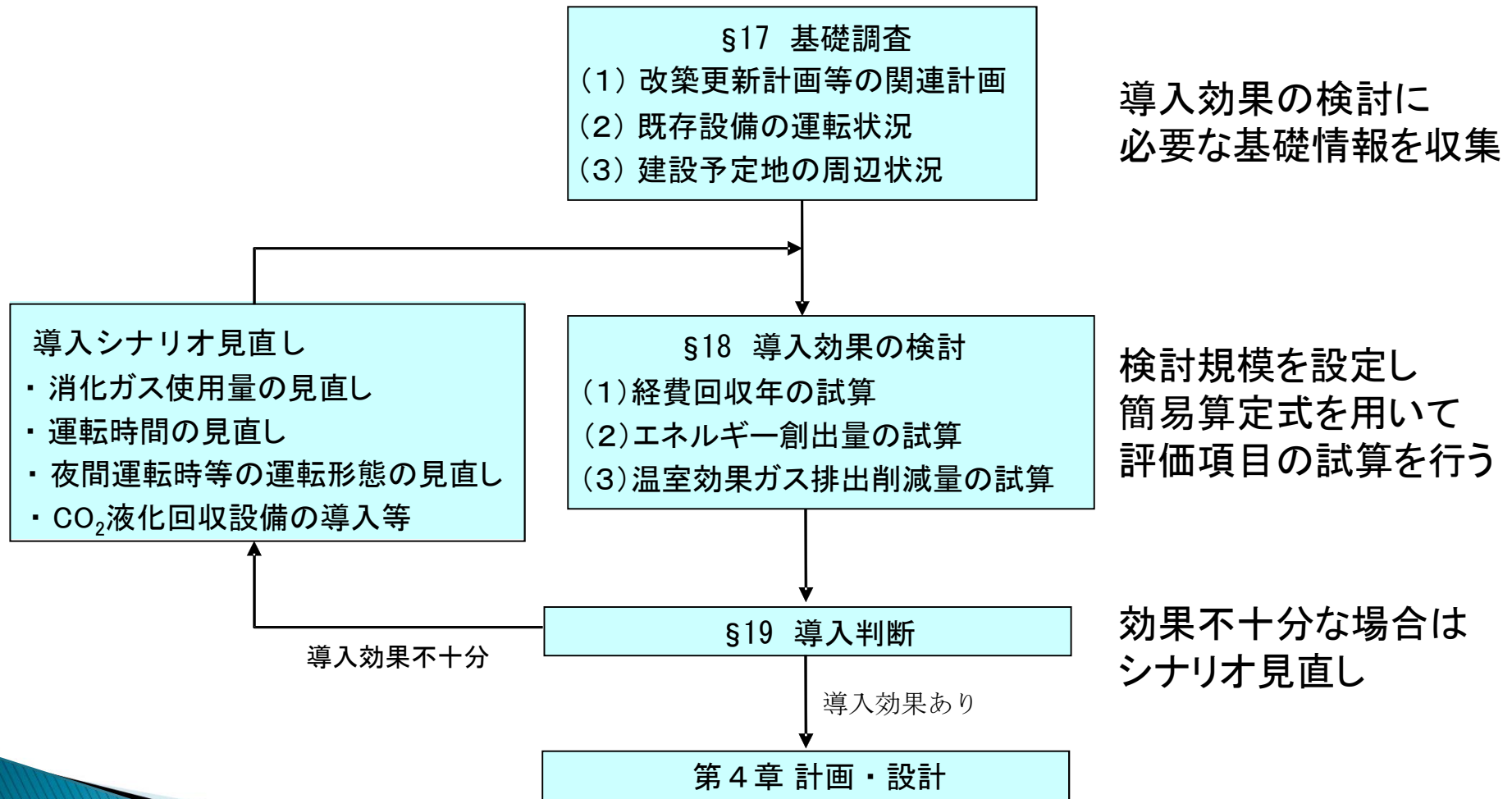
第3章 導入検討

第1節 § 16～19 導入検討手法

§ 17: 基礎調査

基礎調査の内容と活用法（説明省略）

第3章 第1節 § 16 導入検討手順



第3章 第1節 §18 導入効果の検討

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	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	$y_9 = 7,000 \times 2$	$y_9 = 7,000 \times 2$
	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	$y_{14} = 3.558x - 239.3$	$y_{14} = 3.783x - 202.0$

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

算出方法は資料編に記載

第3章 第1節 § 19 導入判断

期待した導入効果が得られなかった場合のシナリオの見直し

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



- ・消化ガス使用量の見直し
- ・運転時間の見直し
- ・夜間運転時等の運転形態の見直し
- ・CO₂液化回収設備の導入

第4章 計画・設計

第1節 20～25 導入計画

§ 22 基本計算

§ 24 導入効果の検証

§ 25 導入計画の策定

(説明省略)

第2節 § 26～31 施設設計

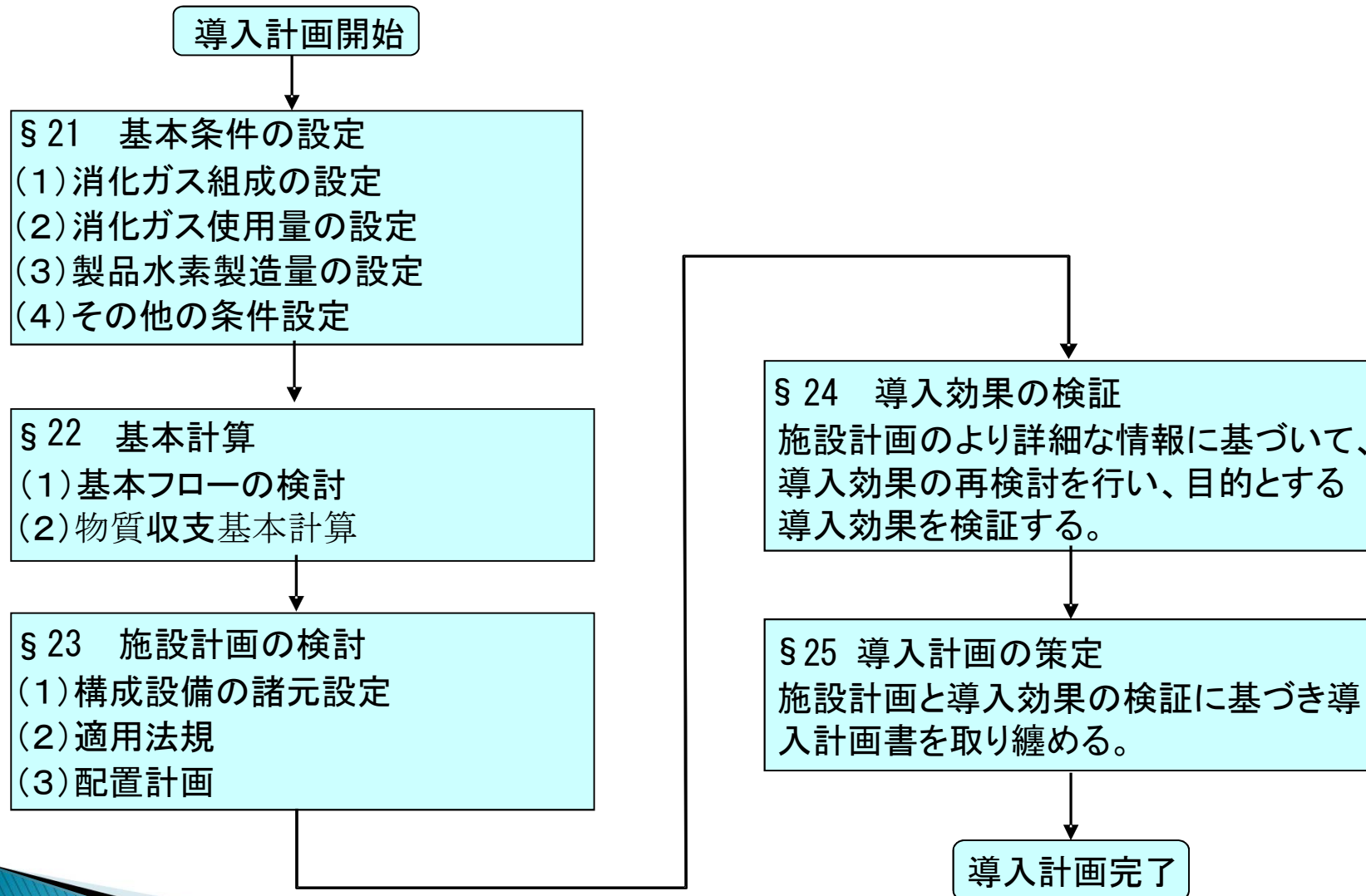
§ 28 水素供給設備の設計

§ 29 CO₂液化回収設備の設計

§ 30 ユーティリティ設備の設計

(説明省略)

第4章 第1節 § 20 計画の手順



第4章 第1節 導入計画

§ 21 基本条件の設定

- ・消化ガス組成の設定
- ・消化ガス使用量、水素製造量の設定
 - 年間変動を考慮し、使用可能量を算出
 - さらに、ランドフレアの種火で使用する消化ガス量を物質収支計算から決定し、このガス量を水素の原料とする消化ガス量から差し引く
 - また、CO₂液化回収設備がある場合は、前処理設備への戻りガスがあるため、物質収支計算を踏まえて決定
 - 水素製造に使用可能な消化ガス量から設定する方法と、製品水素の需要量から設定する方法とがある

§ 23 施設計画の検討

- ・適用法規
 - 本設備は、高圧ガスとなる水素を取り扱う設備であるため、高圧ガス保安法が適用
 - 水素供給設備は、一般高圧ガス保安規則第7条の3が適用
 - 一般高圧ガス保安規則関連業務に係わる期間の目安(第一種製造設備の例)
 - 申請手続き:事前協議:約2ヶ月、申請～許可:約1～2ヶ月
 - 許可を得てから、着工

第4章 第2節 施設設計

§ 26 前処理設備の設計

- ・シロキサン除去塔は2塔直列式を推奨
- ・消化ガス中の硫化水素濃度の受入基準は10ppm以下

§ 27 水素製造設備の設計

- ・現有する水素製造設備のラインナップは、50、100、200、300 Nm³/hであるため留意
- ・消化ガス中のメタン量が、CO₂液化回収設備がある場合で112Nm³/h以上、ない場合で120Nm³/h以上の場合は現有するラインナップで対応できない可能性あり
- ・消化ガス中の窒素が2vol%を超える場合、酸素が1vol%を超える場合は、水素製造設備の設計に留意

第5章 維持管理

第1節 § 32 運転管理
消化ガス分析項目
各設備の主な運転管理項目
設備停止時の処置など

第2節 § 33 保守点検
各設備の日常点検項目
製品水素分析項目
液化回収CO₂分析項目

第3節 § 34 緊急時の対応

(説明省略)

資料編

I. 実証試験

II. 簡易算定式

簡易算定式の導出

簡易算定式の留意点

推奨条件の算出について

III. 参考資料

トラブル時の対応例

保安検査及び定期自主検査における

検査項目(概要)

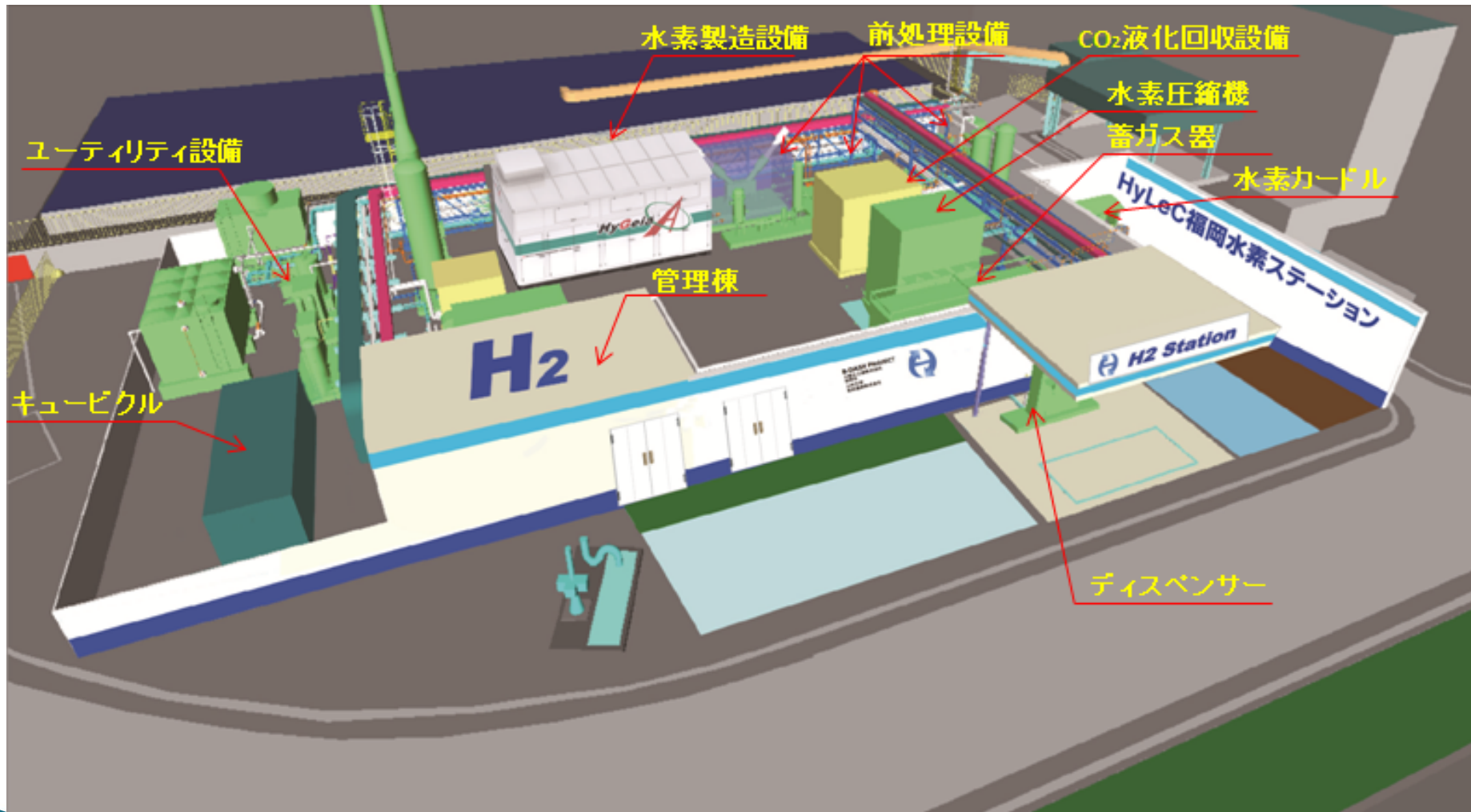
IV. 問い合わせ先

(説明省略)

資料編 I 実証試験 実証フィールドの概要

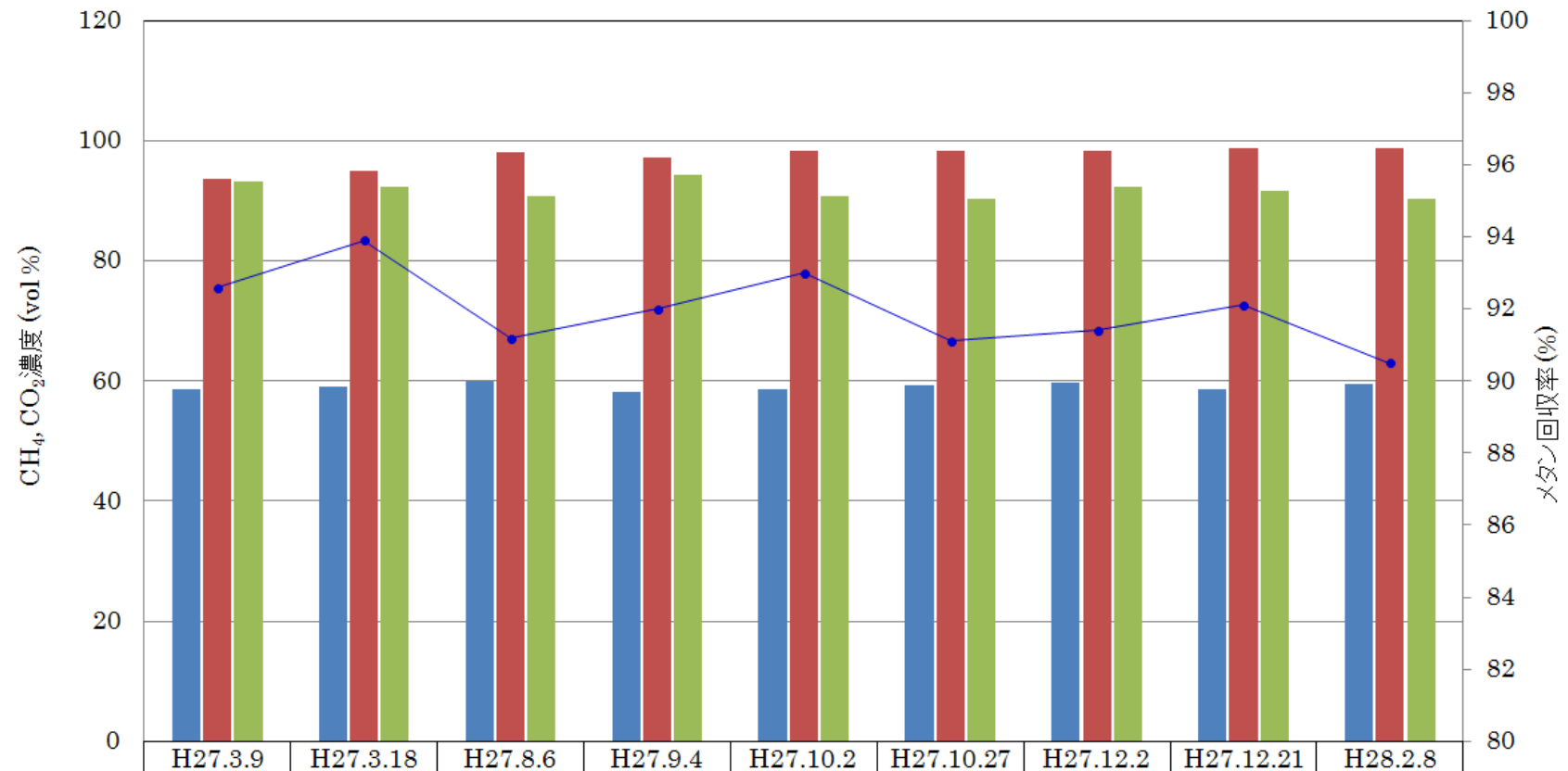
下水道事業者	福岡県福岡市
所在地	福岡県福岡市中央区荒津2丁目2-1
処理場名	福岡市中部水処理センター
処理方式	嫌気好気活性汚泥法
処理人口	平成25年度:357,901人(計画:277,000人)
晴天時1日最大処理水量 (現有施設能力)	平成25年度:300,000m ³ /日(計画:300,000m ³ /日)
下水汚泥処理方式	機械濃縮－消化－脱水
消化設備運転実績 (平成25年度平均)	消化槽投入濃縮汚泥量:648m ³ /日 投入汚泥濃度:3.29% 投入汚泥有機分:82% 消化率:58% 消化ガス発生量:3,506,283Nm ³ /年(9,606Nm ³ /日) 消化ガスCH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

資料編 I 実証試験 施設配置図



資料編 I 実証試験 実証結果

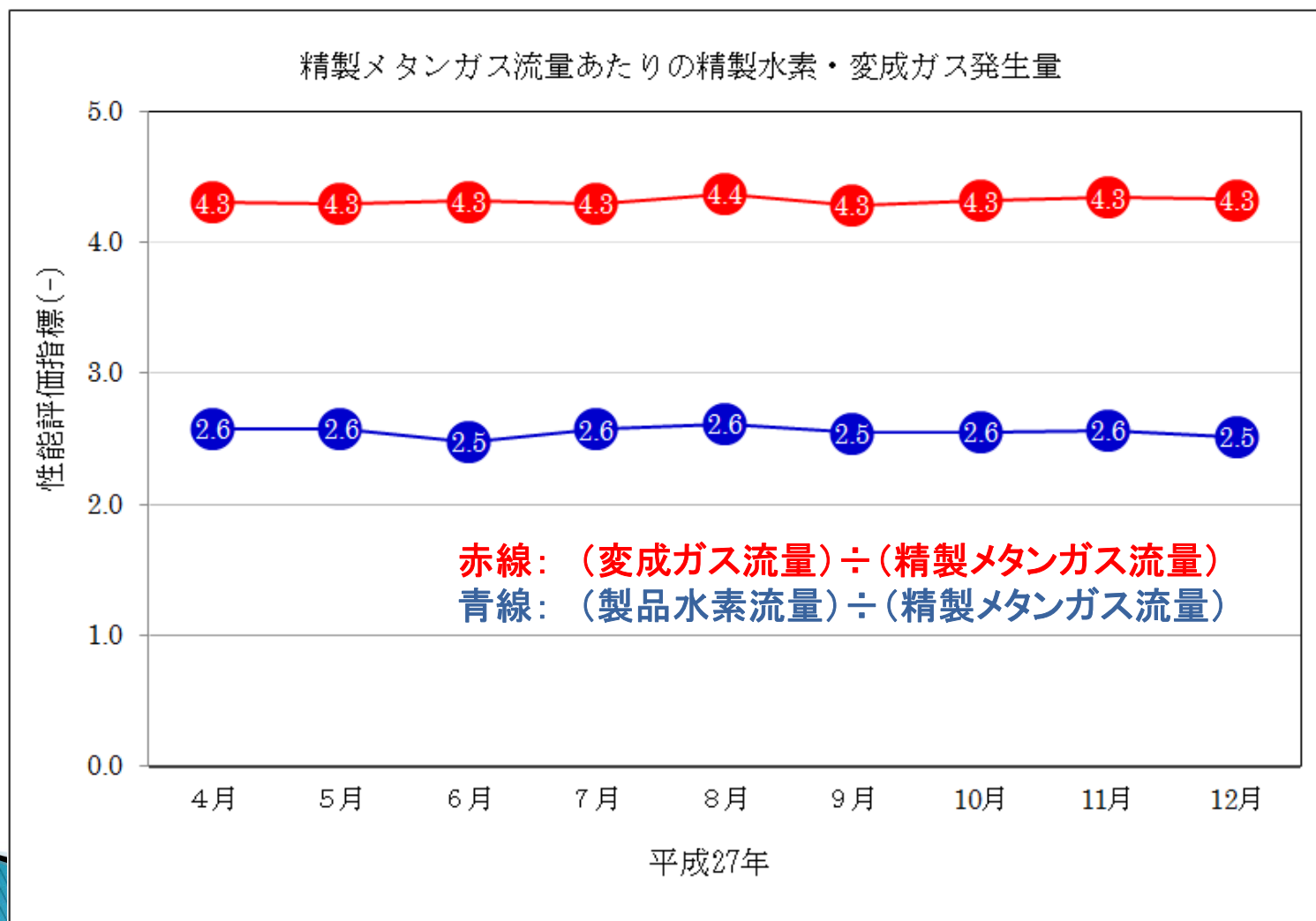
ガス分離膜装置での消化ガスおよび精製ガスメタン濃度、CO₂濃度、メタン回収率を示す



消化ガス CH ₄	58.7	59.1	60.0	58.1	58.7	59.3	59.6	58.6	59.4
精製ガス CH ₄	93.7	94.9	98.1	97.2	98.4	98.2	98.2	98.7	98.7
オフガス CO ₂	93.2	92.3	90.8	94.2	90.8	90.3	92.3	91.7	90.4
メタン回収率	92.6	93.9	91.2	92.0	93.0	91.1	91.4	92.1	90.5

資料編 I 実証試験 実証結果

水素製造装置における性能評価指標を示す



資料編 I 実証試験 実証試験結果

実証項目、目標値及び平成26年度と27年度の実証試験結果を次の表に示す。
年間を通じて安定した運転と水素品質の確認を行った。

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	JIS2種に相当	JIS2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

資料編 IV 問い合わせ先

＜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/

ご清聴ありがとうございました。