

下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）
ガイドライン説明会

バイオガス中のCO₂分離・回収と 微細藻類培養への利用技術

平成29年8月1日（金）

(株)東芝・(株)ユーグレナ・日環特殊(株)・
(株)日水コン・日本下水道事業団・佐賀市共同研究体

第1章 総則 目的・ガイドラインの適用範囲

<目的>

本ガイドラインは、下水道事業における資源回収を促進する観点から、新たなバイオガス活用として、下水処理場におけるCO₂分離・回収・活用を実現するため、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など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。

<ガイドラインの適用範囲>

本ガイドラインは「バイオガス中のCO₂分離・回収と微細藻類培養への利用技術」
(以下、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・設計および維持管理に適用する。

第1章 総則 ガイドラインの構成

<本編>

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

技術の概要と特徴、技術の適用条件、実証研究に基づく評価の概要

第3章 導入検討

導入検討手法、導入効果の検討例

第4章 計画・設計

導入計画、設備設計

第5章 維持管理

設備全体、CO₂分離・回収施設、微細藻類培養施設、汚泥可溶化施設

<資料編>

実証試験結果、ケーススタディ、費用関数、問い合わせ先

第2章 技術の概要と評価 技術の概要と特徴

下水処理の過程で発生する消化ガスから高濃度のCO₂を分離回収し、栄養塩を含む脱水汚泥分離液と共に微細藻類培養へ活用するシステム。付帯技術として汚泥可溶化装置を用いることにより消化ガス発生量を増加し、藻類培養量を増大させる。

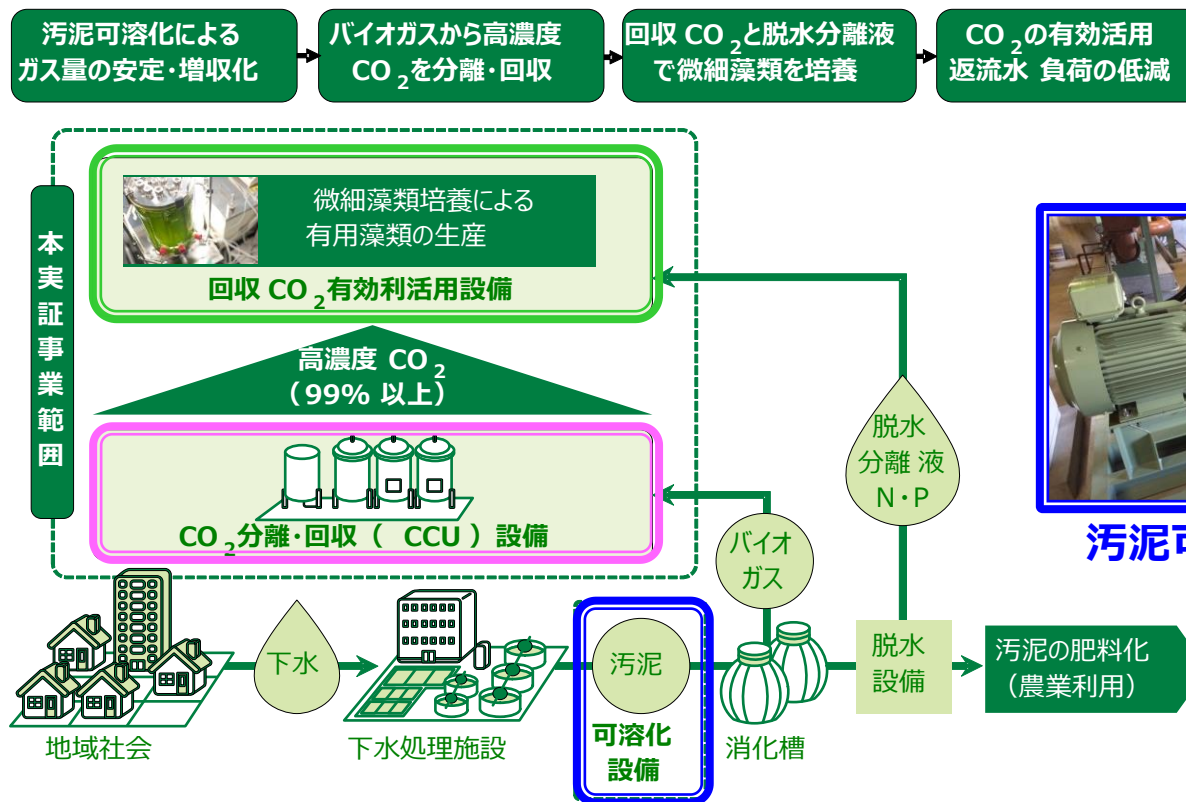
CCU: Carbon Capture Utilization



微細藻類培養設備

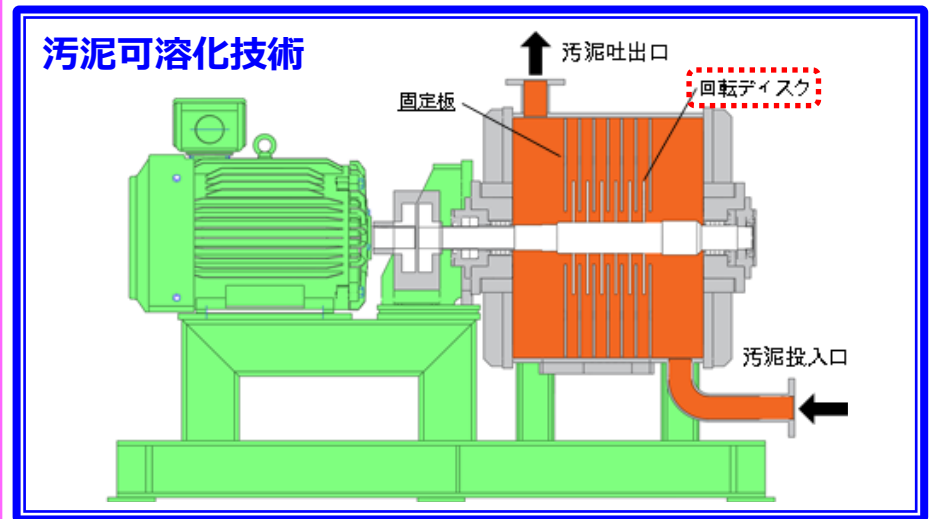
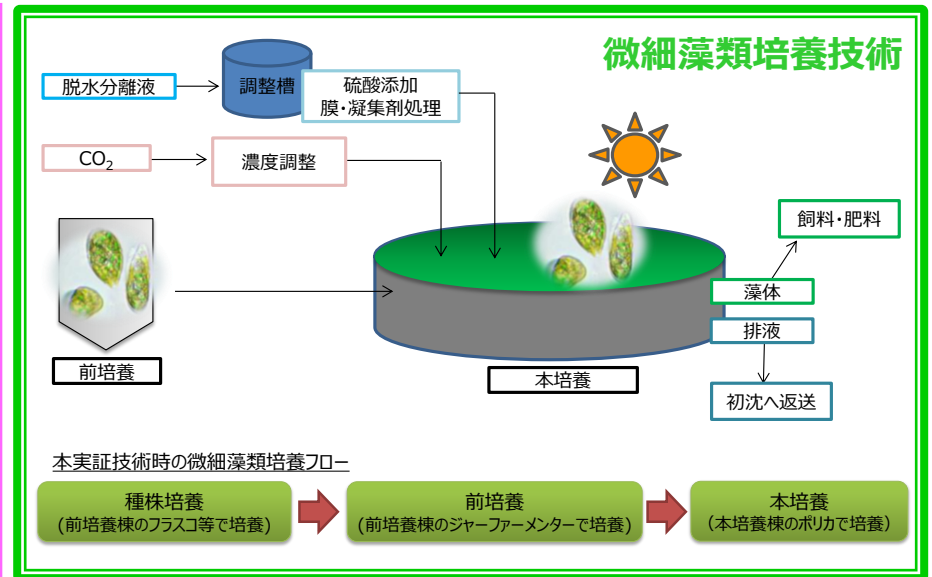
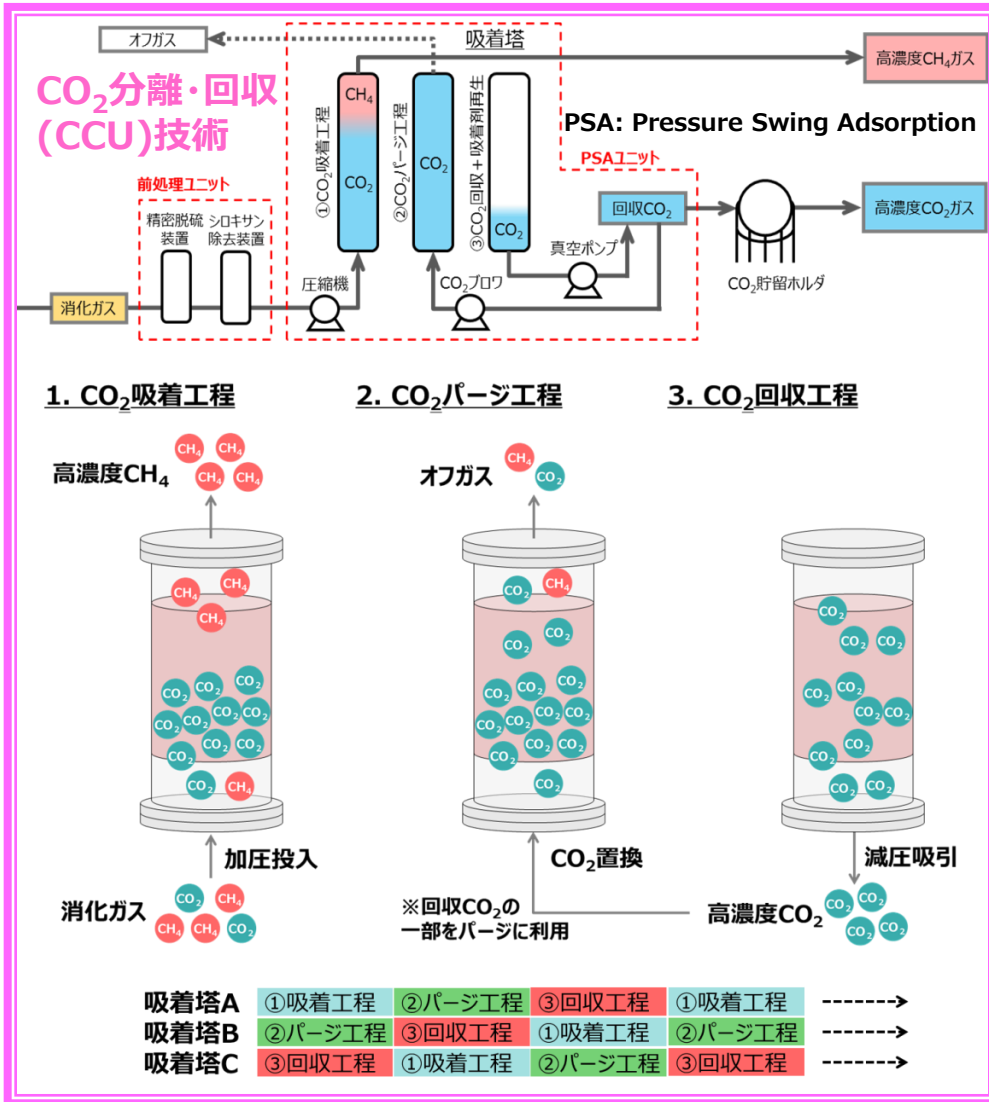


CO₂分離・回収(CCU)設備



第2章 技術の概要と評価 技術の概要と特徴

各技術（CCU・微細藻類培養・汚泥可溶化）の概要と特徴を下記に示す。



第2章 技術の概要と評価 技術の適用条件

本技術の適用条件と導入シナリオ例（一括導入・CCU部分導入）と効果を以下に示す。

＜技術の適用条件＞

- ・嫌気性消化が導入されている下水処理場であることを基本とする
- ・用地に余裕があることが必要

＜導入シナリオ例と効果＞

導入シナリオ例	内容	効果
一括導入シナリオ	3技術(CO ₂ 分離回収・汚泥可溶化・微細藻類培養)を一括導入。	<ul style="list-style-type: none">・各設備の最適な配置、構成によるコンパクト化や同時に建設を行うことによる調達の本格化。・仮設の共有や工期の短縮がもたらす建設費の低減。・微細藻類売却益を最大限見込むことができる。
CCU部分導入シナリオ	<ul style="list-style-type: none">・CO₂必要量に合わせてCCU設備や汚泥可溶化設備の導入規模を設定。・CCUを先行的に導入し、CO₂ガスを売却する。	<ul style="list-style-type: none">・当面確保できる用地面積や初期投資費用から微細藻類の培養可能量を想定。 (微細藻類培養にかかる用地面積が大きく、初期投資費用も大きくなる。)・一括導入シナリオと比較して経費回収年が長くなることや収益が少なくなることが予想される。

第2章 技術の概要と評価 実証研究に基づく評価の概要

一括導入シナリオにおける評価規模と最適条件を下記に示す。

項目	単位	設定値	備考
処理水量	m ³ /日	50,000	日最大
	m ³ /日	40,000	日平均
バイオガス発生量※1	Nm ³ /日	4,400	日平均
CH ₄ 発生量※1	Nm ³ /日	2,640	日平均
CO ₂ 発生量※1	Nm ³ /日	1,244	日平均
脱水分離液量※2	m ³ /日	250	日平均
濃縮汚泥量	m ³ /日	280	日平均

※1：ガス発生量は可溶化による増量（10%）を含む。なお、CH₄、CO₂は製品ガスとしての量を表す。

※2：脱水分離液は全量使用しない。また、3倍希釈して用いる。

<最適条件※3>

- 汚泥可溶化：あり
- 培養期間：7日
- 補光強度※4：強
- 補光時間：24時間
- 温度調整：あり
- メタンガス利用方法：売ガス

※3経費回収年が最短となる条件を最適条件とした。

※4補強強度は、強：LED補光器8基、弱：LED補光器4基、無：補光器なしとした。

第2章 技術の概要と評価 実証研究に基づく評価の概要

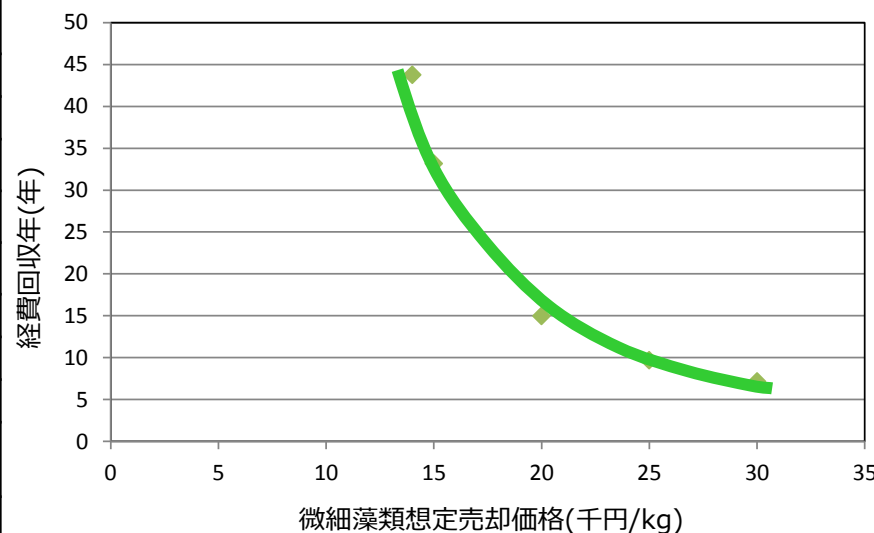
一括導入シナリオにおける技術の評価結果と藻類売却による経費回収年を下記に示す。

＜技術の評価結果（一括導入シナリオ）＞

評価項目		単位	藻類培養	CO ₂ 分離回収	汚泥可溶化	CH ₄ 売却施設	合計
コスト	建設費	百万円	9,109	615	318	224	10,266
	維持管理費	百万円/年	828	22	18	17	885
	有価物売却益等※	百万円/年	0	67			67
エネルギー	消費量	GJ/年	372,648	5,982	3,528	1,527	383,684
	創出量	GJ/年	-	-	2,838	-	2,838
	使用量削減	GJ/年	-	-	1,159	-	1,159
温室効果ガス	排出量	t-CO ₂ /年	23,091	370	218	95	23,774
	削減量	t-CO ₂ /年	34	-	224	-	258
	有効利用量	t-CO ₂ /年	130	-	-	-	130
栄養塩削減量	窒素	t-N/年	6.2	-	-	-	6.2
	リン	t-P/年	5.1	-	-	-	5.1
有価物発生量等	微細藻類	t/年	75.2	-	-	-	75.2
	CH ₄ ガス(90%)	Nm ³ /日	-	-	-	2,640	2,640
	CO ₂ ガス(99%)	Nm ³ /日	-	1,243	-	-	1,243
	PAC使用量削減	Kg/日	230	-	-	-	230
	汚泥処分費削減	Kg/日	1,152	-	-	-	1,152
	汚泥温度上昇	℃	-	-	9	-	9

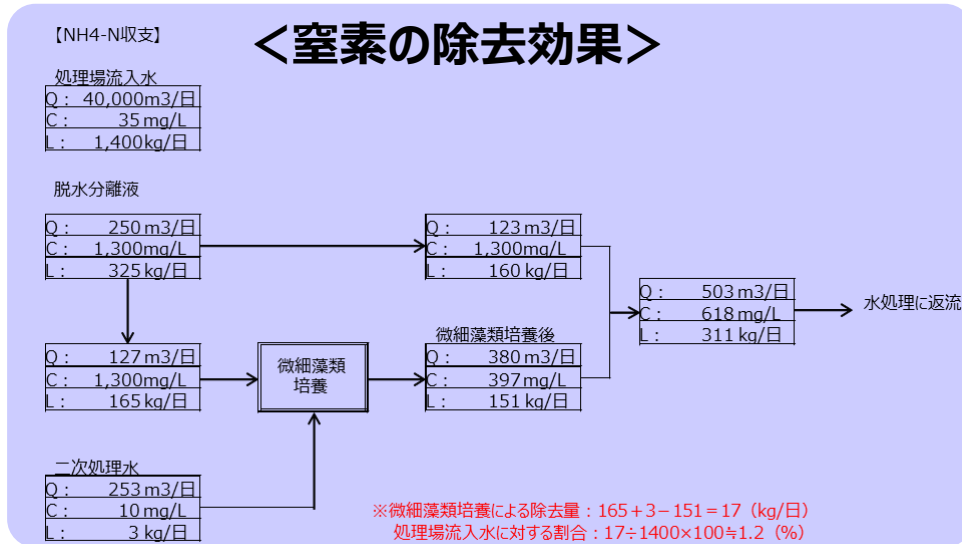
※有価物の売却益等は各プロセス単独による効果ではないため、ここでは共通とした。
 なお、ここでは有価物売却益等に藻類売却益を含まないため、経費回収年は計算していない。

＜微細藻類想定売却価格と経費回収年の関係＞

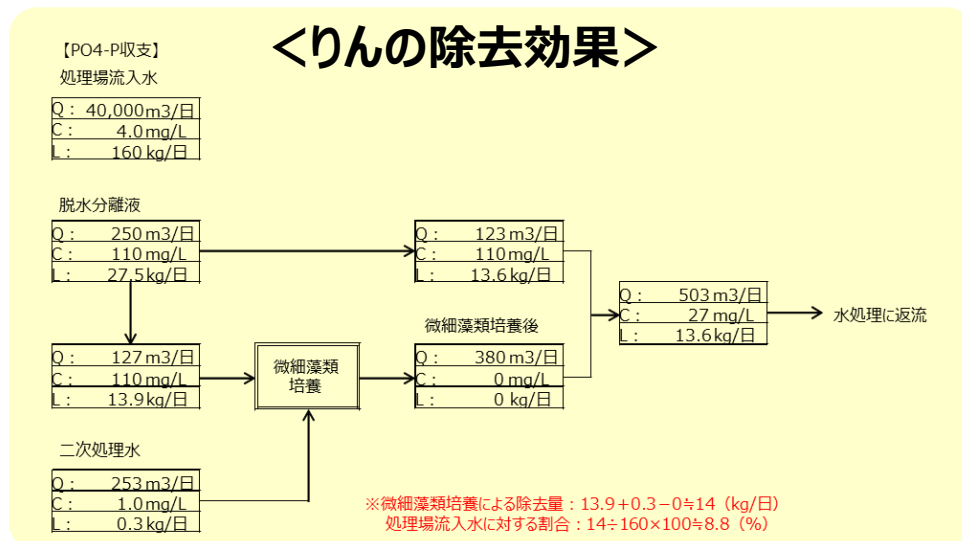


第2章 技術の概要と評価 実証研究に基づく評価の概要

窒素・りんを削減効果を下記に示す。



微細藻類培養液（脱水分離液を3倍希釈）で微細藻類を7日間培養
NH₄-N : 10%
PO₄-P除去率 : 100%



処理場流入負荷に対する微細藻類の取り込みによる除去効果
窒素 : 約1%
りん : 約9%

第2章 技術の概要と評価 実証研究に基づく評価の概要

CCU部分導入シナリオにおける技術評価とCH₄ガス・CO₂ガス売却による収益を下記に示す。

<技術の評価結果（CCU部分導入シナリオ）>

評価項目		単位	CO ₂ 分離回収	CH ₄ 売却施設	合計
コスト	建設費	百万円	582	212	794
	維持管理費	百万円/年	20	16	36
	収益（有価物売却益等）	百万円/年	49	50	99
	経費回収年	年	-	-	12.6
エネルギー	消費量	GJ/年	4,789	1,385	6,174
温室効果ガス	排出量	t-CO ₂ /年	296	86	382
有価物発生量等	CH ₄ ガス（90%）	Nm ³ /日	-	2,400	2,400
	CO ₂ ガス（99%）	Nm ³ /日	1,130	-	1,130

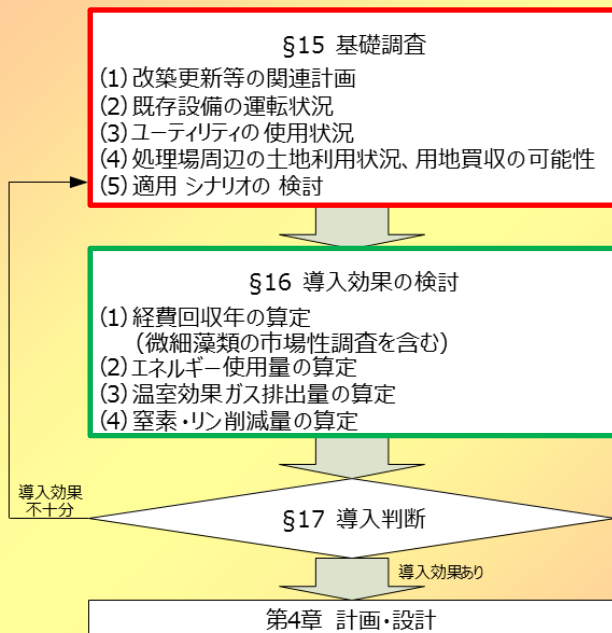
<CH₄ガスとCO₂ガス売却による収益>

項目		収益等	
収益	精製メタンガス売却益	百万円/年	50
	CO ₂ 売却益	百万円/年	49

第3章 導入検討 導入検討手法

導入検討は①基礎調査、②導入効果の検討を経て最終的に③導入判断をする。

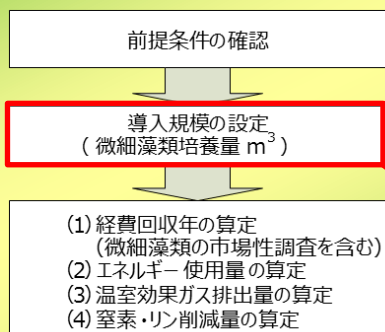
＜導入検討の手法＞



＜基礎調査＞

項目	主な活用方法	
改築更新等の関連計画	汚泥処理計画 施設再構築計画 長寿命化計画	設計ガス量、汚泥量、脱水ろ液量等の設定 導入時期、導入シナリオの設定
既存設備の運転状況	濃縮汚泥発生量・性状 脱水汚泥発生量・性状 消化ガス発生量・性状 水処理水量・水質	現状把握 設計ガス量、汚泥量、脱水ろ液量等の設定
ユーティリティの使用状況	電力消費量 重油使用量	現状把握
処理場周辺の気象状況	日射量 気温	微細藻類収穫量、温調設備諸元、エネルギー使用量の設定
処理場周辺の土地利用状況、用地買収の可能性		微細藻類培養施設規模の設定

＜導入効果の検討＞



＜導入規模の設定＞

日最大処理水量	CO ₂ 量	脱水ろ液量		
		発生量	微細藻類培養量	未使用量
m ³ /日	Nm ³ /日	m ³ /日	m ³ /日	m ³ /日
10,000	294	50	30	20
30,000	881	150	90	60
50,000	1,469	250	150	100
100,000	2,938	500	300	200

第3章 導入検討 導入効果の検討例

導入検討例として、日最大処理水量30,000 m³/日、50,000 m³/日、70,000 m³/日の処理場で試算。
50,000 m³/日を代表例として下記に示す。

<導入検討例>

項目	内容
導入シナリオ	一括導入
日最大処理水量	30,000、 50,000 、70,000 m ³ /日
可溶化による消化ガス増加率	10% (全汚泥量の30%を可溶化)

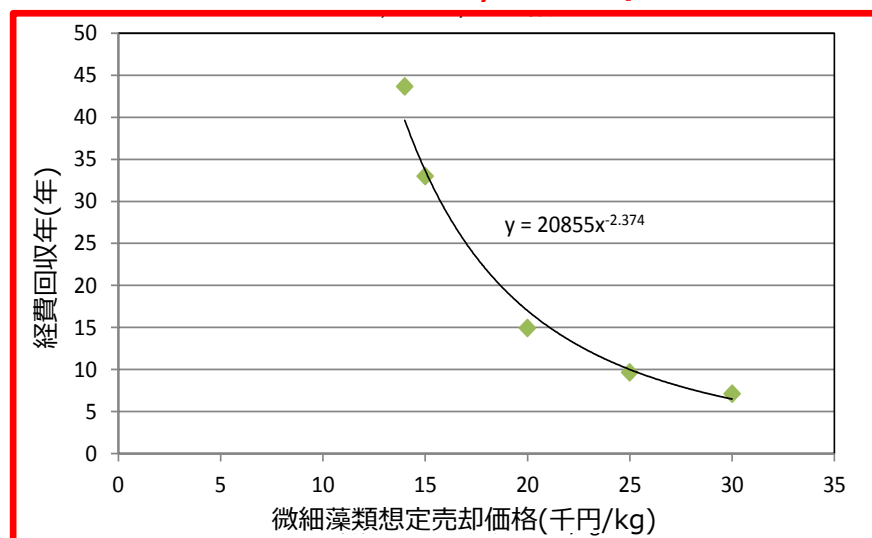
<微細藻類想定売却価格と経費回収年の検討結果>

日最大処理水量：**50,000m³/日**の場合

微細藻類売却単価	千円/kg	14	15	20	25	30
微細藻類生産量	kg/年	75,439	75,439	75,439	75,439	75,439
微細藻類売却益	百万円/年	1,056	1,132	1,509	1,886	2,263
その他収益	百万円/年	58	58	58	58	58
収益合計	百万円/年	1,114	1,190	1,567	1,944	2,321
建設費合計	百万円	10,261	10,261	10,261	10,261	10,261
維持管理費合計	百万円/年	879	879	879	879	879
経費回収年	年	43.7	33.0	14.9	9.6	7.1

<微細藻類想定売却価格と経費回収年の関係>

日最大処理水量：**50,000m³/日**の場合



第4章 計画・設計 導入計画

導入計画の手順は①追加調査、②施設計画の検討、③導入効果の検証として進める。

＜導入計画の手順＞

①追加調査

②施設計画の検討

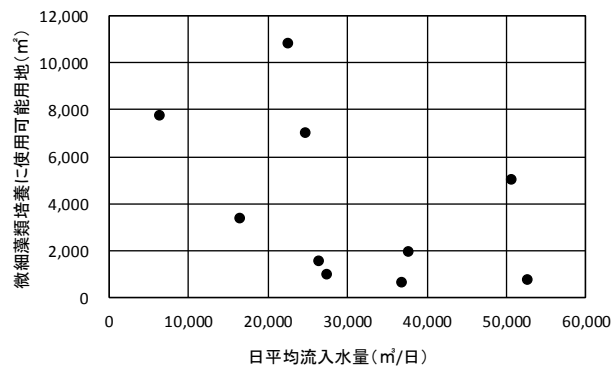
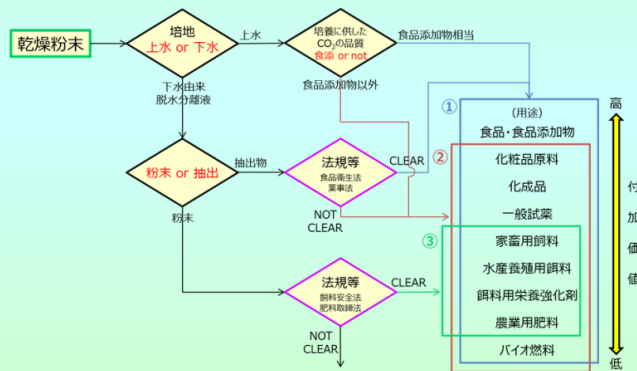
③導入効果の検証

＜①追加調査＞

項目	主な活用方法
既存設備の運転状況	脱水ろ液発生量・性状 消化ガス発生量・性状
処理場周辺の気象状況	日射量 気温

＜②施設計画の検討＞

- (1) 微細藻類培養量の検討
- (2) 汚泥可溶化設備の要否の検討
- (3) 各プロセスの設計検討
- (4) 配置計画の検討



下水処理場における流入水量と空きスペースの関係

＜③導入効果の検証＞

検討結果に基づいて下記を評価し、導入効果を検証する。

- コスト
 - ・建設費
 - ・維持管理費
- 収益
 - ・経費回収年
- エネルギー消費量

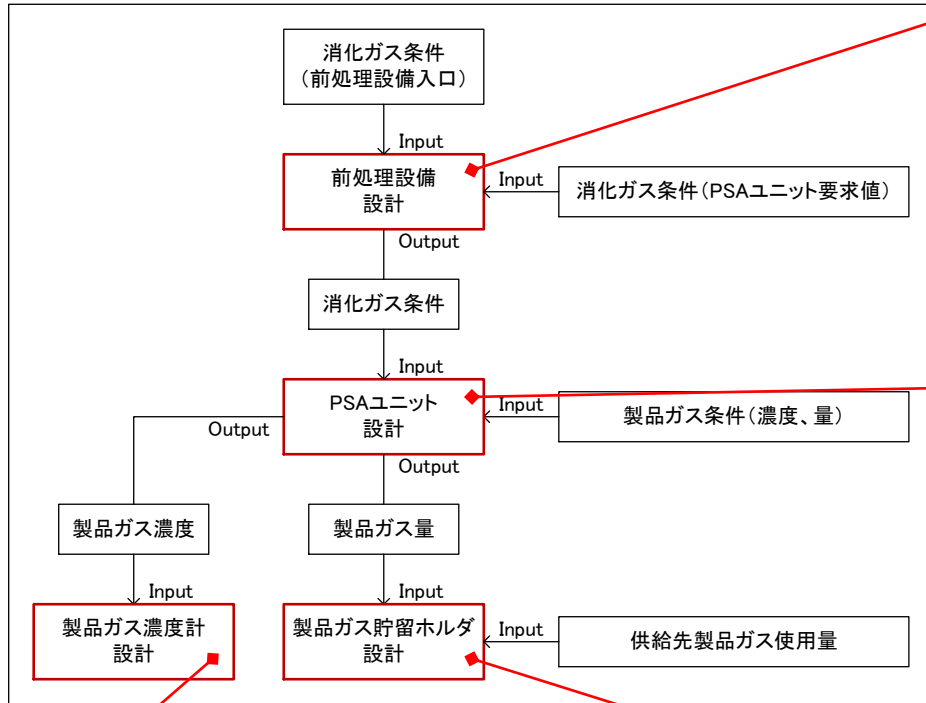
＜日最大処理量50,000 m³/日の場合の必要スペース＞

- CCU設備 300 m²
- 培養施設 30,000 m²
- 汚泥可溶化設備 40 m²

微細藻類の市場調査に向けた用途と法規制等との関係

第4章 計画・設計 設備設計

CCU設備における設計プロセスおよびポイントを下記に示す。



<前処理設備設計>

項目	設計条件	留意事項
入口条件	消化ガス分析データ	消化ガス組成の変動を考慮して余裕度を持たせる
出口条件	硫化水素1ppm以下、シロキサン1ppm以下	
吸着剤	活性炭吸着方式 (乾式)	容量は1年分を基本とする
塔構成	2塔式 (直列、並列、1塔運用可能)	運用方法によって1塔式を採用しても良い

<PSAユニット設計>

項目	設計条件	留意事項
製品ガス仕様	製品CO ₂ ガス濃度:99%以上 製品CH ₄ ガス濃度:90%以上	入口ガス組成 CO ₂ :60%、CH ₄ :40%での設計値濃度変動データを考慮すること
ユニット	基本的に全量を1ユニットで処理する構成で設計する	メンテナンス時に処理を継続する必要がある場合は複数ユニット構成を検討する
オフガス処理	消化ガスタンクへ返送	返送時の濃度変動を検討し、変動が大きい場合は余剰ガス燃焼装置の設置を検討する

<製品ガス濃度計設計>

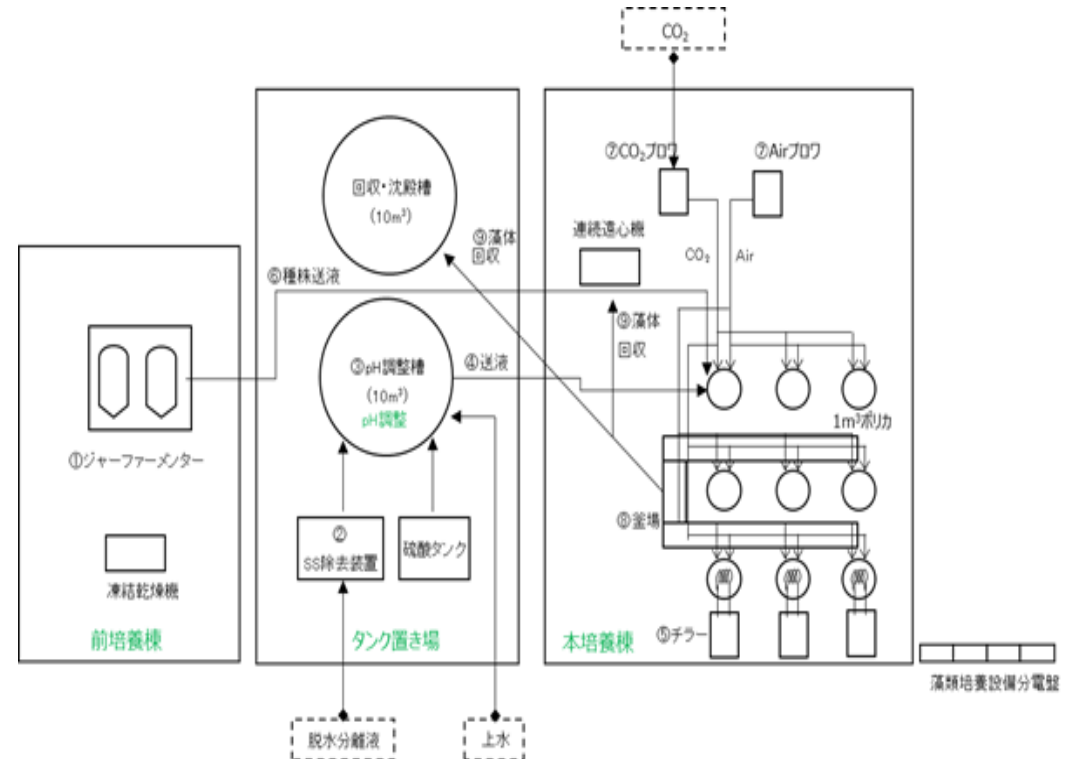
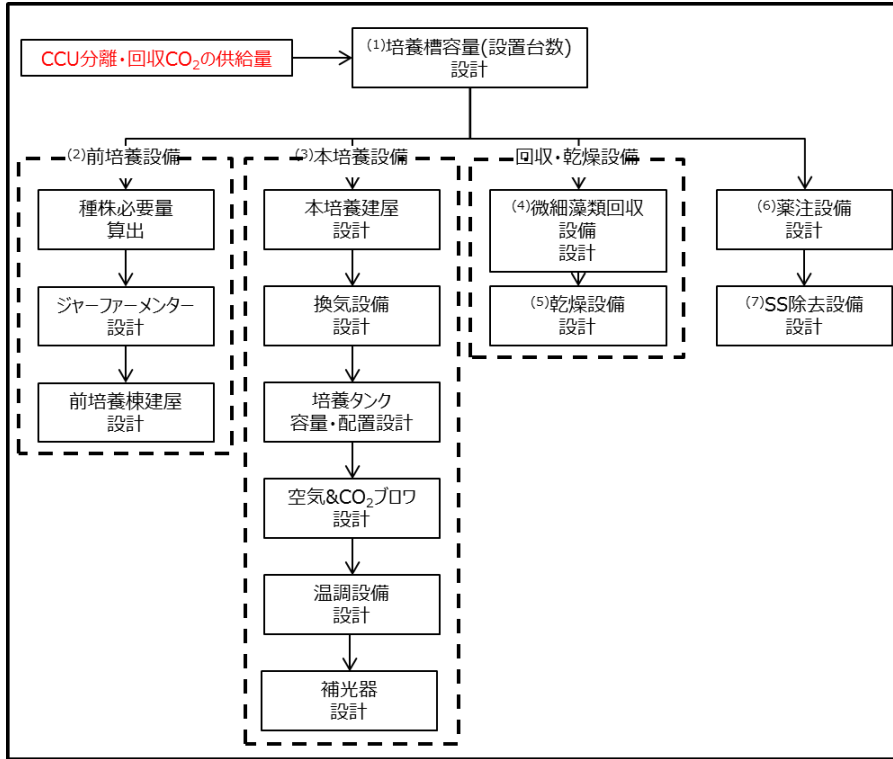
項目	設計条件	留意事項
方式	赤外線吸収法	-
測定範囲	CO ₂ 濃度計:0~10% CH ₄ 濃度計:0~5%	-
接続位置	製品CO ₂ ガス配管 製品CH ₄ ガス配管	圧力変動、流量変動が少ない箇所に接続すること

<製品ガス貯留ホルダ設計>

項目	設計条件	留意事項
方式	バルーン式 (二重メンブレン方式)	-
容量	製品CO ₂ ガス分離・回収量の1時間分	供給先の使用量、運用条件に合わせて1時間分以上必要なときは考慮する
付帯設備	超音波レベル計、送風機	送風機は2台設置が望ましい

第4章 計画・設計 設備設計

微細藻類培養設備における設計プロセスおよびポイントを下記に示す。



<培養槽容量 (設置台数) 設計>

$$\text{同時培養可能量 (m}^3\text{)} = Q \div (0.3 \div 10^3 \times 60 \times 24)$$

Q : CO₂ガス供給量 (m³/日)

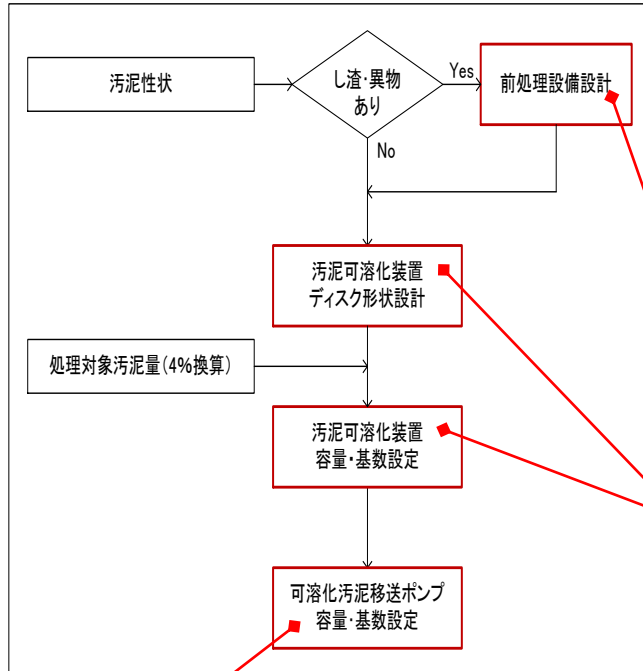
0.3 : CO₂ガス吹き込み量 (L/m³/分)

第4章 計画・設計 設備設計

汚泥可溶化設備における設計プロセスおよびポイントを下記に示す。

＜汚泥可溶化装置の設置台数の例（混合濃縮汚泥量の30%を可溶化する場合）＞

処理場規模（日最大） m ³ /日	可溶化汚泥量（日平均） m ³ /日	設置台数 台（セット）	稼働時間 時間/日/台
10,000	16.8	1 (1)	4.2
30,000	50.4	2 (1)	6.3
50,000	84.0	2 (1)	10.5
10,000	168.0	4 (2)	10.5



＜前処理設備＞

- ・下水処理場の濃縮汚泥混合槽の汚泥性状から、前処理設備を検討
- ・自動スクリーンを設置（繊維質等の異物除去を目的）
- ・実証研究では10mmメッシュのスクリーンをボックスを設置
- ・スクリーンボックスは適宜清掃することが必要。実施設では自動スクリーンが望ましい。

＜汚泥可溶化装置＞

- ・要求汚泥処理量から、汚泥可溶化装置のディスク形状及び構成を決定
- ・汚泥可溶化装置 1 台あたりの処理量を4m³/h
- ・2台一組の自動交互運転
- ・汚泥性状及び処理量により、ディスク形状・可溶化設備のモーター出力・回転数・処理量を決定
- ・汚泥可溶化装置、一軸ネジ式ポンプ共に、電氣的に処理量を制御するため、各モートル（出力45kW）回転速度制御用にインバータを設置

＜可溶化汚泥移送ポンプ＞

- ・一軸ネジ式ポンプ
- ・可溶化装置一セットにつき移送ポンプ1台を設置
- ・装置全体で予備機を1台設置・移送ポンプの能力は汚泥可溶化装置の処理量以上の能力
- ・実証研究では、5m³/hのポンプ（対象汚泥処理量80m³/日）

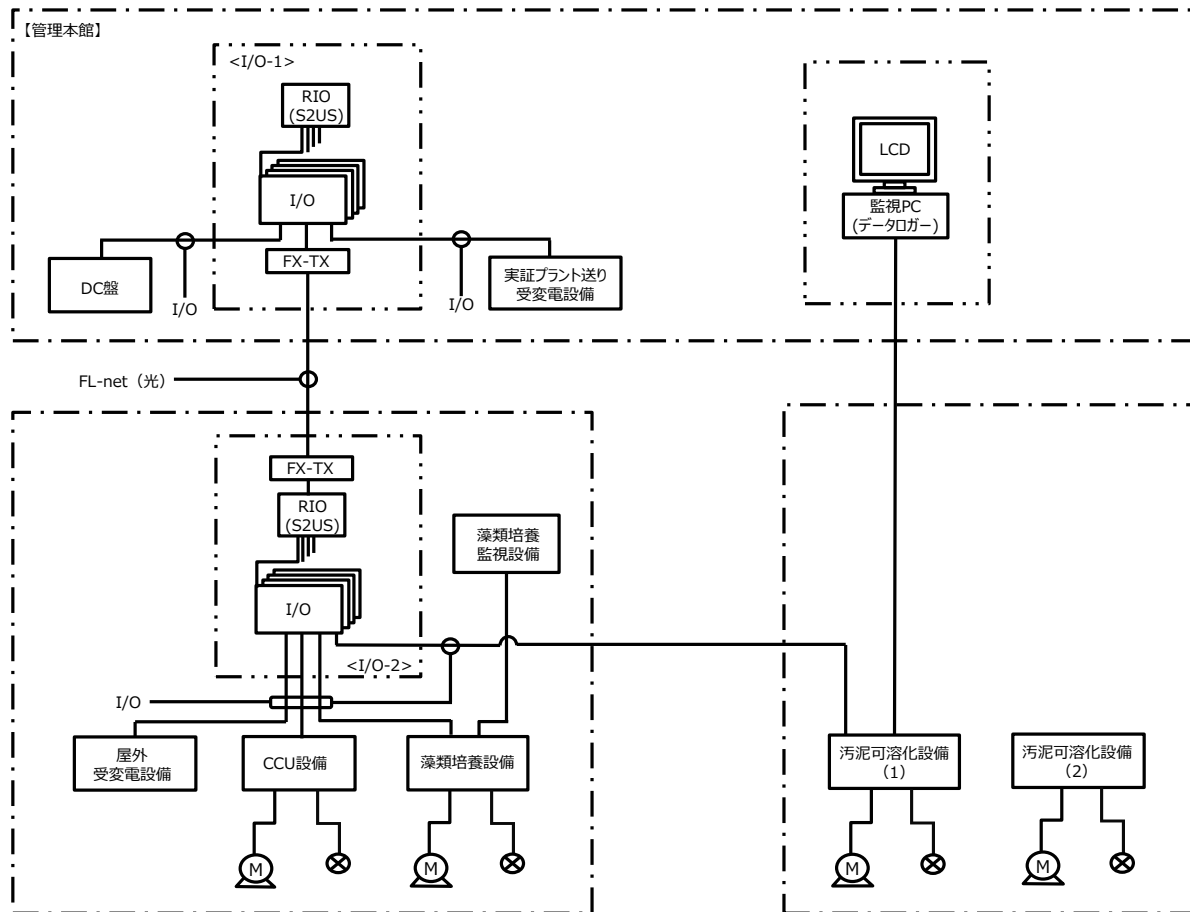
＜汚泥移送管＞

- ・可溶化処理により、汚泥温度が約9℃程度上昇
- ・消化槽における加温コストが削減
- ・保温配管被覆処理（可溶化汚泥移送ポンプから消化槽まで）
- ・加温コストの削減効果の算出時は送泥中の温度低下を加味

第5章 維持管理 設備全体

設備全体(監視制御)における維持管理ポイントを下記に示す。

各設備の運転停止信号、故障信号は必要に応じて中央監視設備への出力と、中央からの運転操作が可能な設備とする。



実証システムの構成図

ポイント

- ・各設備の運転停止信号、故障信号は現場に設置した実証設備RI/O盤に入力され、中央操作室に設置する監視盤に出力。
- ・実証設備では既設の中央監視設備への信号取込みを実施せず、実証設備単独での監視としたが、必要に応じて中央監視設備への出力および中央からの運転操作も可能。
- ・中央監視設備との接続を行う場合、既設監視設備の改造工事が必要となるため、既設運用の方法および思想を十分に確認しておく。

第5章 維持管理 CO₂分離・回収施設

CO₂分離・回収施設における維持管理ポイントを下記に示す。

対象	項目	場所	管理値
原料消化ガス	消化ガス量	消化ガスタンクレベル計	使用量の1h分以上あること
	消化ガスメタン濃度	消化ガス濃度計	設計値の範囲内であること
	消化ガス流量	消化ガス流量計	設計値の範囲内であること
	消化ガス圧力	消化ガス圧力計	設計値の範囲内であること

対象	項目	場所	管理値
精密脱硫装置	差圧	差圧計	0.1kPa以下
	ガス漏れ	継手部分	無いこと
	水封ドレンポット水位	ドレンポット	水封されていること
シロキサン除去装置	差圧	差圧計	0.1kPa以下
	ガス漏れ	継手部分	無いこと
	水封ドレンポット水位	ドレンポット	水封されていること

対象	項目	場所	管理値
ホルダ本体	本体形状	外観	問題無いこと
水封タンク	水封タンク水位	水位計	設計値と差異が無いこと
送風機	駆動部	本体	異音、振動が無いこと

対象	項目	場所	管理値
冷却水設備	冷却水圧力	圧力計	設計値と差異が無いこと
	冷却水温度	温度計	設計値と差異が無いこと
	冷却水水質	外観	汚れが無いこと
	駆動部	本体	異音、振動が無いこと
計装空気設備	計装空気圧力	圧力計	設計値と差異が無いこと
	駆動部	本体	異音、振動が無いこと

対象	項目	場所	管理値
製品CO ₂ ガス	製品CO ₂ ガス濃度	CH ₄ 濃度計	1%以下
	製品CO ₂ ガス流量	流量計	設計値と差異が無いこと
製品CH ₄ ガス	製品CH ₄ ガス濃度	CO ₂ 濃度計	10%以下
	製品CH ₄ ガス流量	流量計	設計値と差異が無いこと

対象	項目	場所	管理値
PSAユニット	PSAユニット入口圧力	圧力計	設計値と差異が無いこと
圧縮機	吐出圧力	制御盤	200kPa（最大）
	冷却水量	流量計	設計値と差異が無いこと
	オイルレベル	油面計	範囲内であること
	ドレンポット水位	水面計	ある場合は排出する
	駆動部	本体・ベルト	異音、振動、たるみが無いこと
真空ポンプ	吐出圧力	制御盤	-80kPa（最少）
	冷却水量	流量計	設計値と差異が無いこと
	オイルレベル	油面計	範囲内であること
	ドレンポット水位	水面計	ある場合は排出する
	駆動部	本体・ベルト	異音、振動、たるみが無いこと
CO ₂ ブロウ	吐出圧力	圧力計	設計値と差異の無いこと
	駆動部	本体・ベルト	異音、振動、たるみが無いこと
吸着塔	吸着塔圧力	圧力計	-80～200kPa
ドレンタンク	ドレンタンク水位	水位計	範囲内であること

対象	項目	場所	管理値
CO ₂ 濃度計	製品CH ₄ ガス中CO ₂ 濃度	濃度計	10%以下
	サンプル流量	流量計	設計値と差異が無いこと
	フィルタ	外観	汚れが無いこと
CH ₄ 濃度計	製品CO ₂ ガス中CH ₄ 濃度	濃度計	1%以下
	サンプル流量	流量計	設計値と差異が無いこと
	フィルタ	外観	汚れが無いこと

<緊急時の対応と対策>

重大な事故等が発生した場合は速やかに設備を緊急停止して原因を究明し、原因を取り除くまで運転を行わない。

第5章 維持管理 微細藻類培養施設

微細藻類培養施設における維持管理ポイントを下記に示す。

対象	項目	管理基準
自動洗浄 ストレーナ	差圧スイッチ	入口と出口の圧力差が0.1MPa以上で自動洗浄を開始
	運転終了時	バルブを開にして内部のスラッジを機外に排出

対象	項目	管理基準	
pH 調整槽	pH調整 槽レベル	満水警報	10 m ³ に達すると警報を発報
		pH調整可能水位	2 m ³ 以上に達すると循環ポンプを作動
		濁水レベル	1 m ³ 以下になると警報を発報
		硫酸ポンプ停止pH	pH計が3.5を示すと硫酸注入ポンプが停止

対象	項目	測定頻度	管理基準
ジャー ファー メンター (前培養 設備)	温度	連続	設定値 (29℃) と差異のないことを確認
	pH	連続	設定値 (pH3.5) と差異のないことを確認
	攪拌翼 回転数	連続	設定値 (200 rpm) と差異のないことを確認
	CO ₂ 通気流量	連続	0.07 L/minであることを確認

対象	項目	測定頻度	管理基準
スプレッド ドライヤ	スラリー送液流量	連続	設定値 (12 L/min) と差異なしを確認
	入口温度	連続	設定値 (160 ~ 180℃) と差異なしを確認
	出口温度	連続	設定値 (90℃) と差異のないことを確認

対象	項目	稼働時間	設定温度	管理基準
温調設備	インバータ チラー	8:00~ 20:00 (12時間)	36℃	水温が上昇しない夜間は 主電源を停止
	投げ込み 式ヒーター	随時	12℃	サーモスタットにより12℃以上にな れば自動的に通電を停止

対象	項目	測定頻度	管理基準
藻類 培養	種株投入量	培養開 始時	種株投入後の培養液の乾燥重量を測定し、50 g 程度投入されたかを確認
	粒度分布	1回 /1日	ユーグレナ以外の粒子経に顕著なピークが生じないか 確認
	培養液のpH	1回 /1日	pH3.0以下に低下した時点でpH3.5に調整
	収穫量	培養終 了時	培養終了時の培養液の乾燥重量を測定し、 回収量を記録
窒素・りん	1セット /1バツ チ		希釈前の脱水分離液原液、種株投入前後の希釈 脱水分離液、培養終了時の遠心回収上澄み液の 窒素・りん濃度と液量を測定

対象	項目	管理基準
本培養槽 および 付帯設備	脱水分離液投入量	1 m ³ の3分の1
	種株投入量	乾燥重量ベースで50 g/槽
	培養液量	処理水で1 m ³ になるよう希釈する
	送風量	17 L/min (流速が水面で11.25 cm/s以上、培 養槽底部で11.35 cm/s以上であることを確認)
	エア送風用ブロウ	吐出圧力20 kPaに設定
	CO ₂ 通気流量	0.06 ~ 0.3 L/min (培養中の溶存CO ₂ 濃度が 10 ~ 180 mg/Lになるように流量を調節)
	CO ₂ 散気水深 CO ₂ 通気用ブロウ	0.9 mの位置に固定 吐出圧力20 kPaに設定

対象	項目	測定頻度	管理基準
スラッジ 排出型 連続遠 心機	回転数	連続	設定値 (4,300 rpm) と差異のないことを確認
	送液流 量	連続	設定値 (1 m ³ /min) と差異のないことを確認

<緊急時の対応と対策>

重大な事故等が発生した場合は速やかに設備を緊急停止して原因を
究明し、原因を取り除くまで運転を行わない。

第5章 維持管理 汚泥可溶化施設

汚泥可溶化施設における維持管理ポイントを下記に示す。

<故障項目と対策>

故障	原因	対策
各機器が作動しない	漏電または過負荷	電気系統の調査、修理または交換
汚泥可溶化装置が動かない	電源が入っていない	電源を投入する
	モーターの故障	修理または交換
	マグネットスイッチの故障	交換
汚泥移送ポンプが動かない	電源が入っていない	電源を投入する
	モーターの故障	修理または交換
	マグネットスイッチの故障	交換
汚泥移送ポンプが動くが規定の流量が送れない	インバータの故障	修理または交換
	機器、配管の漏洩	修理
	機器内の詰まり	分解、除去
	バルブ類の誤開閉	バルブ類開閉確認
汚泥可溶化装置から規定の流量が出ない、動かない	機器内の詰まり	分解・異物の除去（技術指導を受けた者、メーカー依頼へ）
	インバータの故障	修理または交換
	機器、配管の漏洩	修理

<日常点検項目>

対象	項目	場所	点検内容
汚泥可溶化装置	モーター	制御盤	電流値：79A以下であること
	可溶化装置内圧力	圧力計	正常に作動していること
	電動三方弁（入）	管路	正常に作動していること
	電動三方弁（出）	管路	正常に作動していること
	液温（入）	制御盤	液温の確認
	液温（出）	制御盤	液温の確認・異常でないこと
汚泥移送ポンプ	モーター	制御盤	電流値：14.4A以下であること
	流量計	制御盤	流量確認・異常でないこと
	駆動部	本体	異音振動が無いこと

<緊急時の対応と対策>

重大な事故等が発生した場合は速やかに設備を緊急停止して原因を究明し、原因を取り除くまで運転を行わない。

資料編 実証試験結果

実証試験概要を下記に示す。

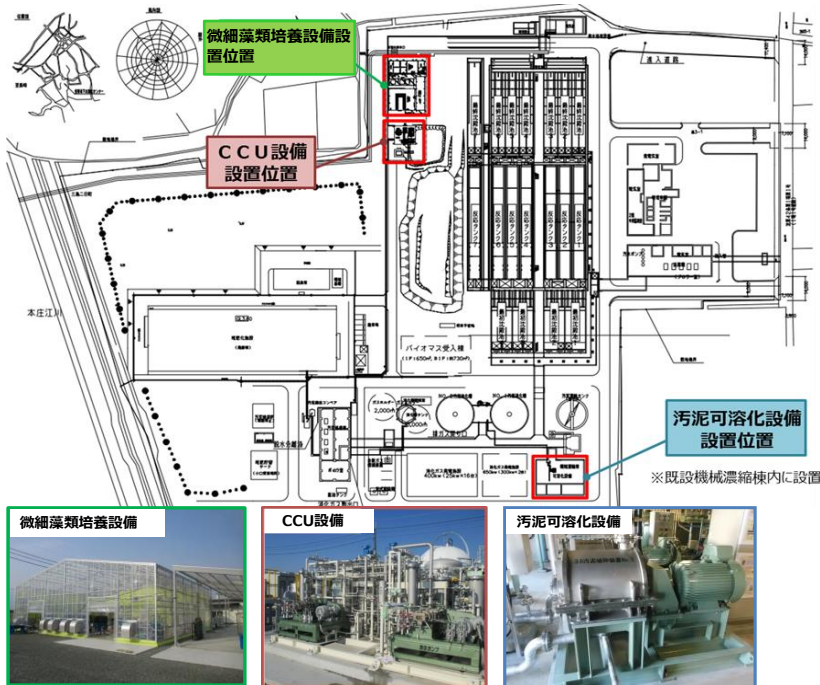
<佐賀市下水浄化センター概要>

全体計画区域面積	3,907ha
全体計画処理人口	186,000人
認可処理計画人口	186,000人
処理能力	81,500m ³ /日
処理方式	標準活性汚泥法・担体投入活性汚泥法
処理水量（日平均放流量）※	47,047m ³ /日
脱水ケーキ発生量※	21.6t/日
消化ガス発生量※	6,139m ³ /日

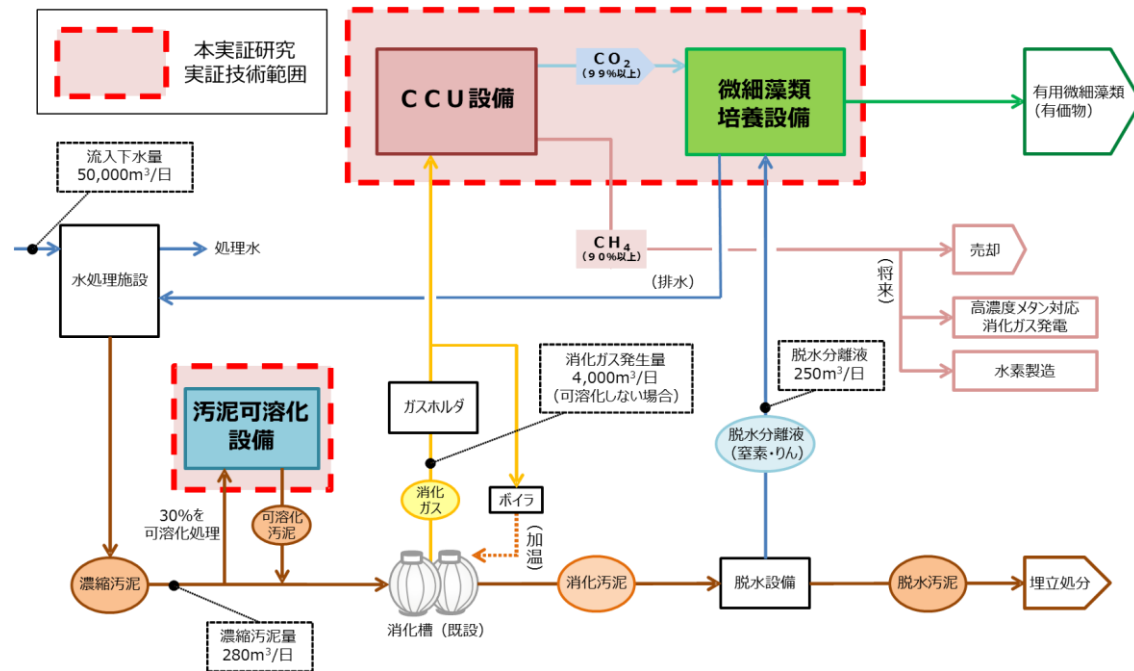
<実証規模>

適応技術	CO ₂ 分離・回収技術	微細藻類培養技術	汚泥可溶化技術
原理	PSA法	光独立栄養培養	汚泥の物理的破碎
スペック	供給バイオガス量：800Nm ³ /d CO ₂ 回収量：440kg/d	1m ³ /2week × 9槽 (9m ³)	供給汚泥 4m ³ /h × 2台（交互運転）

<実証場所>



<実証フロー>



資料編 実証試験結果

実証試験における評価項目・指標・結果を下記に示す。

＜実証試験における評価項目・評価指標・結果＞

技術名	評価項目	評価指標	結果
CO ₂ 分離・回収技術	CH ₄ の分離効果	製品CH ₄ ガス濃度及び回収率	CH ₄ 濃度91.8% 回収率92.7%
	CO ₂ の分離効果	製品CO ₂ ガス濃度及び回収率	CO ₂ 濃度99.5% 回収率76.5%
	分離・回収性能の安定性	連続運転時の上記項目	試験期間の安定稼働を確認
微細藻類培養技術	脱水分離液の有効性	微細藻類の生産速度、生産量 T-N、T-Pの削減率 培地コスト削減	生産量：0.542g/L/7日 T-N:13.1%程度 T-P:96.9%程度 95%削減
	CCU分離・回収CO ₂ の有効性	微細藻類の生産速度、生産量 CO ₂ の活用効率	市販CO ₂ に対して同等の生産量であることを確認
	プロダクトの品質評価	乾燥微細藻体中の重金属、 生菌数	脱水分離液を希釈して用いることで、 乾燥微細藻体中の重金属含有量を さらに低減
汚泥可溶化技術	ガス発生量の増収効果	消化ガス増加率	過去5年の平均値と比較して 10%増加
	汚泥減量効果	V S 分解率	過去5年の平均値と同等
	消化汚泥性状	脱水性、脱水分離液性状	脱水汚泥含水率は 可溶化処理していない時と 同等
設備全体	コスト面での導入容易性	経費回収年	【一括導入シナリオ】 微細藻類売却単価と経費回収年の 相関式を策定 【CCU部分導入シナリオ】 12.6年

資料編 実証試験結果

CCU設備における実証試験結果を下記に示す。

実証試験では消化ガスの量および質的変動に対する分離性能を確認。

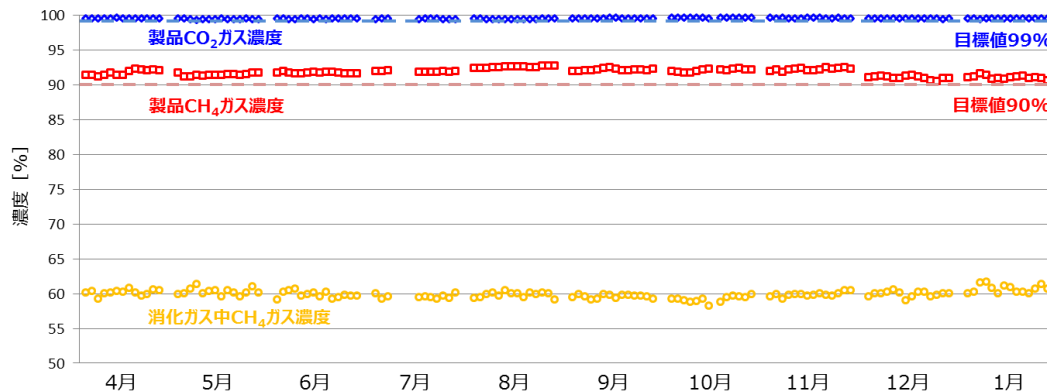
<CCU設備における実証結果（平成27年度28年度比較）>

項目	単位	目標値・設計値	平成 27 年度実証結果 H28.2~3	平成 28 年度実証結果 H28.4~29.1
消化ガス流量	Nm ³ /d	800	787.6 (755.4~809.0)	803.3 (761.3~829.7)
消化ガス CH ₄ 濃度	%	60	60.5 (59.4~61.9)	59.9 (58.3~61.7)
製品 CH ₄ ガス流量	Nm ³ /h	20 程度	19.7 (18.8~20.5)	20.2 (19.7~20.8)
製品 CH ₄ ガス濃度	%	90 以上	90.8 (90.3~91.5)	91.8 (90.5~92.8)
CH ₄ 回収率	%	90 程度	91.0 (88.4~94.1)	92.7 (89.8~98.2)
製品 CO ₂ ガス流量	Nm ³ /h	10 程度	9.8 (9.3~10.6)	10.3 (9.7~11.3)
製品 CO ₂ ガス濃度	%	99 以上	99.5 (99.1~99.6)	99.5 (99.3~99.7)
CO ₂ 回収率	%	70 程度	75.4 (70.8~79.9)	76.5 (70.6~81.3)

資料編 実証試験結果

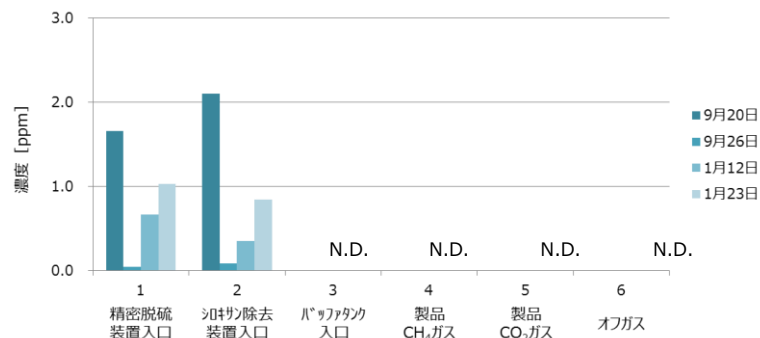
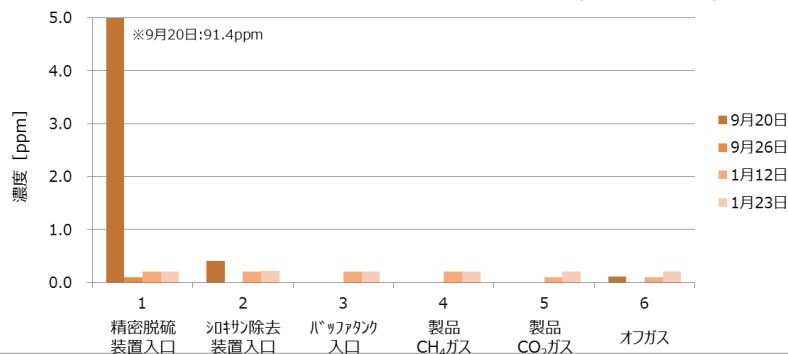
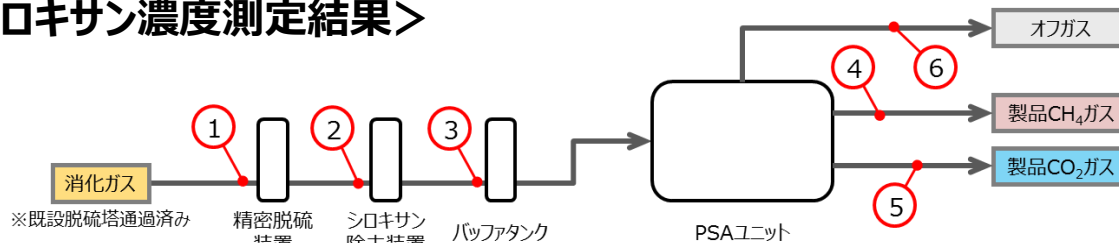
CCU設備の実証試験中における製品CH₄ガスと製品CO₂ガスの濃度安定性を下記に示す。

＜製品ガス濃度および消化ガス中CH₄濃度（日平均）＞



CCU設備の実証試験中における硫化水素とシロキサン濃度の除去効果を下記に示す。

＜硫化水素・シロキサン濃度測定結果＞



資料編 実証試験結果

微細藻類培養における最適運転条件を下記に示す。

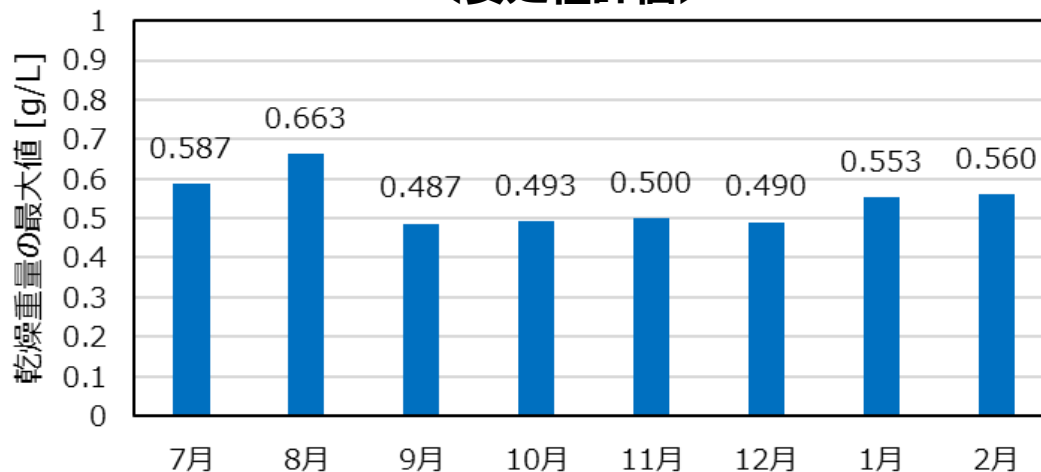
<微細藻類培養における最適運転条件>

項目	最適運転条件	備考
溶液	脱水分離液 (3倍希釈)	脱水分離液に含まれる窒素、りんを微細藻類培養に利用するとともに、希釈により光合成に必要な光の透過性を向上させ微細藻類生産量を増大させる
希釈液	処理水	上水使用料を削減するため処理水で脱水分離液を希釈する
添加物	窒素・りん以外の栄養 塩、重金属、ビタミン	コストインパクトの低い成分については、培養中に消費し尽すことを避けるため通常培地と同程度添加する
CO ₂ 吹込み量	0.3 L/min	溶存 CO ₂ 濃度を 10~180 mg/L の範囲に調整する
CO ₂ 通気時間	24 時間連続	補光時間に合わせて 24 時間連続とする
エアリフト送風量	17 L/min	CO ₂ 脱気速度を抑えるため必要最小限の送風量とする
LED 補光器	4 基 + 4 基	生産量を増加させるため LED は 8 基とする
補光時間	24 時間連続	—
照射強度	2,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	光量子束密度計を用いて適切な位置に設置する
水温調節	12~38℃以内に調節	季節によって温調設備の運転方法を調整する
バッチ培養期間	7 日	生産効率が悪化する前に収穫し、年間バッチ回数を増やして生産量を増大させる

資料編 実証試験結果

微細藻類における安定性評価と窒素・りん削減率を下記に示す。

＜安定性評価＞



＜窒素・りん削減率＞

		1月	2月	平均
NH ₄ -N	培養槽当たりの削減率 (%)	6	15	10.3
T-N	培養槽当たりの削減率 (%)	11	15	13.1
PO ₄ -P	培養槽当たりの削減率 (%)	100	99	99.6
T-P	培養槽当たりの削減率 (%)	98	96	96.9

資料編 実証試験結果

微細藻類培養技術の実証試験結果における評価指標・目標値・成果を下記に示す。

<実証試験結果（微細藻類培養技術）>

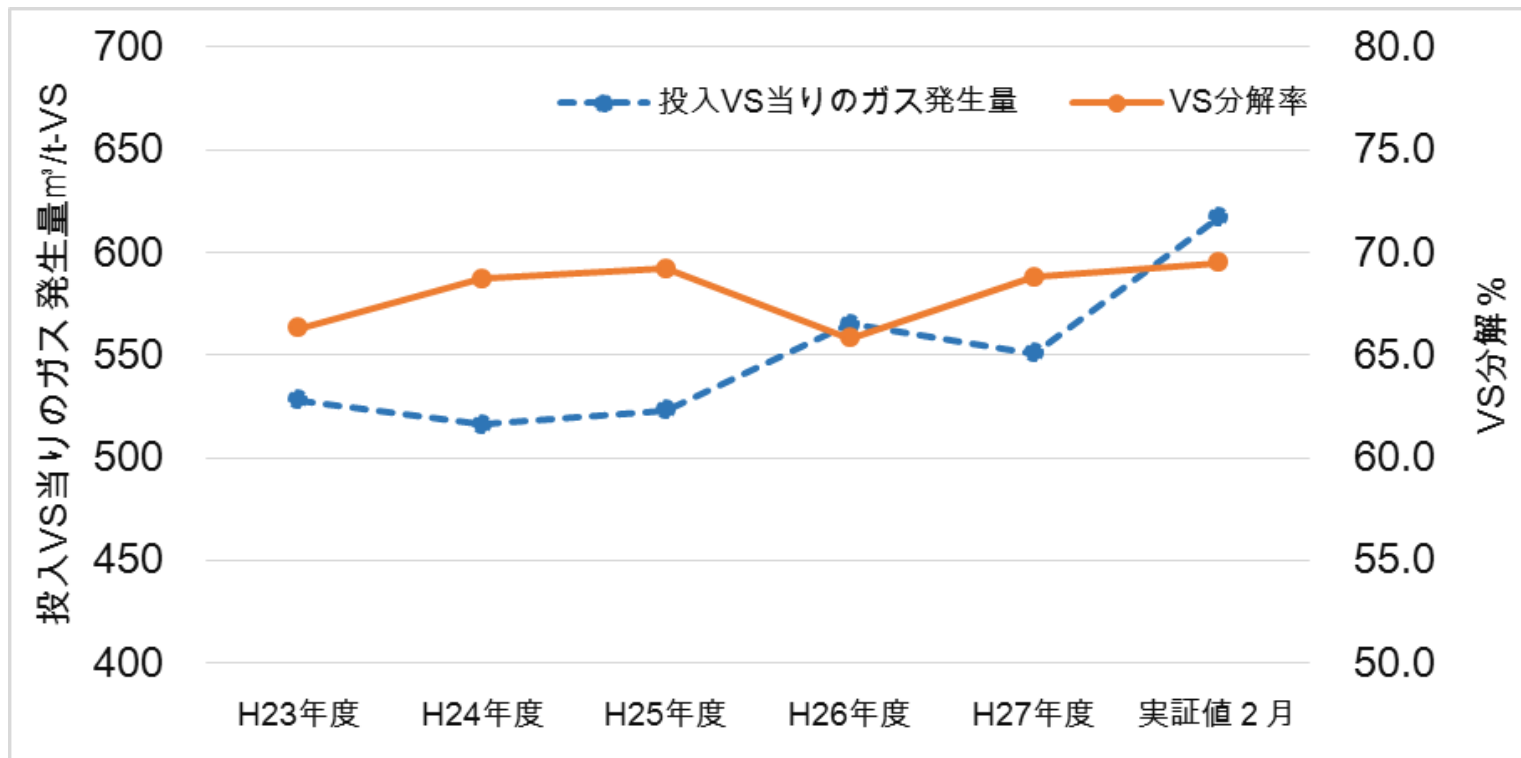
	評価項目	評価指標	目標値	成果の概要
微細藻類培養技術	脱水分離液の有効性	微細藻類の生産速度、生産量	生産量： 1g/L/14日 (0.5g/L/7日)	平均：0.833 g/L/14日 (平均：0.542 g/L/7日) ※実機による実測値
		T-Nの削減率 [※]	10%/14日程度 (5%/7日程度)	平均：21.2%/14日 (T-N) (平均：13.1%/7日 (T-N)) 平均：22.9%/14日 (NH ₄ -N) (平均：10.3%/7日 (NH ₄ -N))
		T-Pの削減率 [※]	30%/14日程度 (15%/7日程度)	平均：95.9%/14日 (T-P) (平均：96.9%/7日 (T-P)) 平均：100%/14日 (PO ₄ -P) (平均：99.6%/7日 (PO ₄ -P))
		培地コスト削減	薬品・上水使用料削減	95%削減 (58.5 円/m ³) ※希釈水を上水から処理水に変更
	CCU 分離・回収CO ₂ の有効性	微細藻類の生産速度、生産量	市販 CO ₂ と同様の生産量	市販 CO ₂ に対して同等の生産量であることを確認
	プロダクトの品質評価	乾燥微細藻体中の重金属、生菌数	—	脱水分離液を希釈して用いることで、乾燥微細藻体中の重金属含有量をさらに低減できた

※T-N・T-P削減率(培養槽当たり)：((培養開始時のT-NもしくはT-P) - (培養後上澄液のT-NもしくはT-P)) / (培養開始時のT-NもしくはT-P) ×100
注) 下水処理施設から排出される脱水分離液全体からの削減率は別途定義する。

資料編 実証試験結果

汚泥可溶化による消化ガスの増収効果を下記に示す。

＜汚泥可溶化による消化ガス増収効果（冬期）＞



投入VS当りのガス発生量は実証試験期間中の平均値として
過去5年間の平均値と比べて
10%増加

資料編 ケーススタディ

設備導入における条件設定の評価項目と内容および施設規模条件の設定を下記に示す。

＜条件設定の評価項目と内容＞

評価項目	内容
汚泥可溶化	汚泥可溶化設備を導入することで消化ガス発生量が増加し、藻類収穫量の増加が見込まれるが、イニシャル、ランニングコストが増加する。
培養期間	培養期間を長くすることで単位培養液量あたりの収穫量は多くなるが、藻類密度が高くなることで培養槽内部に届く光量が減少し、単位時間あたりの増殖量は減少する。
補光強度	補光を行い、さらに補光強度を強めることにより収穫量の増加が見込まれるが、イニシャル、ランニングコストが増加する。
補光時間	夜間のみではなく 24 時間とすることにより収穫量の増加が見込まれるが、ランニングコストが増加する。
温度調整	ユーグレナの増殖に対して適切な温度範囲を外れると収穫量が減少するため、温度調整を行うことが望ましいが、コストが発生する。
メタンガス 利用方法	売ガスの場合、都市ガス化施設のコストが発生する。発電の場合、発電機のコストが発生する。

＜施設規模条件の設定＞

(日最大処理水量50,000m³/日の場合)

項目	単位	設定値	備考
流入水量	m ³ /日	50,000	日最大値
混合濃縮汚泥量	m ³ /日	280	
汚泥可溶化量	m ³ /日	84	濃縮汚泥を 30%可溶化・スクリーンあり
バイオガス発生量	Nm ³ /日	4,000	可溶化導入前
CH ₄ 発生量	Nm ³ /日	2,400	可溶化導入前
CO ₂ 発生量	Nm ³ /日	1,130	全量有効利用
CO ₂ 注入率	L/m ³ /分	0.3	
脱水分離液量	m ³ /日	250	藻類培養は 3 倍希釈して使用
藻類培養槽	m ³ /槽	1	CO ₂ 量または培養水量を制限条件として培養槽数を決定

資料編 費用関数

経費回収年15年、50,000m³/日規模の処理場を想定した場合の条件設定をもとに算出結果を下記に示す。

ケースNo.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	(参考)	
条件項目	可溶化	なし	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	
	培養期間	14日	14日	10日	7日	14日	14日	14日	14日	14日	14日	
	補光強度※1	強	強	強	強	なし	弱	強	強	強	強	
	補光時間	24時間	24時間	24時間	24時間	なし	24時間	12時間	24時間	24時間	24時間	
	温度調整	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	なし	あり	
	メタンガス利用方法	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	売ガス	場内利用 FIT売電	
	ケースNo.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	(参考)
建設費	微細藻類培養施設	百万円	8,509	8,858	8,959	9,109	8,632	8,783	8,858	8,516	8,858	8,858
	CCU施設	百万円	582	615	615	615	615	615	615	615	615	615
	汚泥可溶化施設	百万円	0	318	318	318	318	318	318	318	318	318
	発電施設	百万円	0	0	0	0	0	0	0	0	511	511
	売ガス施設	百万円	212	224	224	224	224	224	224	224	0	0
	合計	百万円	9,303	10,015	10,116	10,266	9,789	9,940	10,015	9,673	10,302	10,302
維持管理費	微細藻類培養施設	百万円/年	703	766	789	828	436	537	603	714	766	766
	CCU施設	百万円/年	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	汚泥可溶化施設	百万円/年	0	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	発電施設	百万円/年	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17
	売ガス施設	百万円/年	16	17	17	17	17	17	17	17	0	0
	合計	百万円/年	739	823	846	885	493	594	660	771	823	823
収益等	汚泥温度上昇	百万円/年	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
	固形物削減※2	百万円/年	6.2	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
	PAC削減	百万円/年	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	発電	百万円/年	0	0	0	0	0	0	0	0	77	153
	売ガス	百万円/年	50	56	56	56	56	56	56	56	0	0
	合計	百万円/年	58	67	67	67	67	67	67	67	88	164
希望販売単価※3	千円/kg	24.7	24.6	21.6	20.0	53.6	28.6	28.4	27.2	26.2	24.8	

※1: 補光強度は、強: LED補光器8基、弱: LED補光器4基、無: 補光器なしとした

※2: PAC削減に伴う汚泥発生量の削減 ※3: 経費回収年を15年とする場合に必要販売単価

<最適条件※4>

- 汚泥可溶化 : あり
- 培養期間 : 7日
- 補光強度 : 強
- 補光時間 : 24時間
- 温度調整 : あり
- メタンガス利用方法 : 売ガス

藻類販売単価が約2万円/kgの場合、
経費回収年は15年となる。

※4経費回収年が最短となる条件を最適条件とした。

資料編 問い合わせ先

所属	住所
東芝インフラシステムズ(株)*	水・環境プロセス技術部 〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 TEL: 044-331-0807 URL: http://www.toshiba.co.jp/cs/index_j.htm
(株)ユーグレナ	本社オフィス 〒108-0014 東京都港区芝5-33-1 TEL: 03-3454-4907 URL: http://www.euglena.co.jp
日環特殊(株)	本社 〒751-0834 山口県下関市山の田東町7-1 TEL: 083-253-7797 URL: https://www.nikkan-t.co.jp
(株)日水コン	事業統括本部 〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー TEL: 03-5323-6300 URL: http://www.nissuicon.co.jp
日本下水道事業団	技術戦略部 〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27湯島台ビル TEL: 03-6361-7854 URL: https://www.jswa.go.jp/
佐賀市	佐賀市上下水道局下水浄化センター 〒840-0036 佐賀市西与賀町大字高太郎2667 TEL: 0952-22-0182 URL: http://www.water.saga.saga.jp/main/

* (株)東芝は分社化により、2017年7月1日付で東芝インフラシステムズ(株)となりました。