

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 20 導入計画手順

本技術の導入計画は、追加調査、施設計画の検討、導入効果の検証の手順で行う。

【解説】

本技術の導入計画手順を図 4-1 に示す。導入計画にあたっては、追加調査から開始し、施設計画の検討、導入効果の検証の手順で行う。

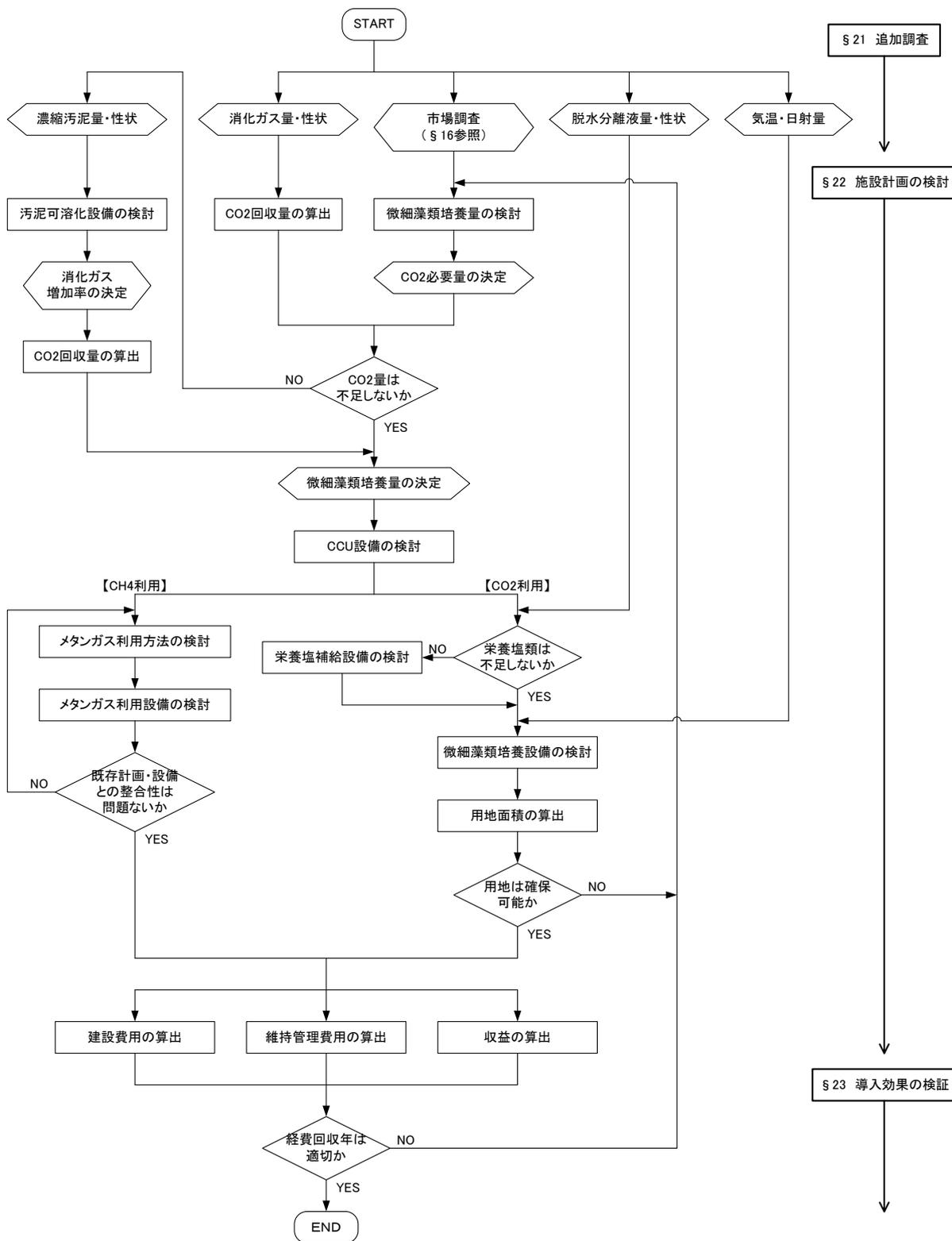


図 4-1 施設導入計画・設計フロー

§ 21 追加調査

施設・設備の設計検討に先立ち、追加調査を行うことにより、施設・設備の計画や現状等について把握する。

【解説】

導入検討時に § 15 にて基礎調査を実施しているが、ここでは導入検討時から導入設計する段階までの状況変化の確認を行う。図 4-1 に示したように、消化ガス発生量・性状、脱水分離液量・性状、日射量・気温等の情報について調査を行う必要がある。

追加調査内容の例を表 4-1 に示す。

表 4-1 追加調査内容の例

項目		主な活用方法
既存設備の運転状況	脱水分離液発生量・性状 消化ガス発生量・性状	設計ガス量、脱水分離液量、栄養塩補給の必要性等の設定
下水処理場周辺の 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

§ 22 施設計画の検討

本技術の導入計画にあたり、以下の項目について検討を行う。

- (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

【解説】

(1) 微細藻類培養量の検討

微細藻類培養には水、光、CO₂、栄養塩が必要であり、本技術ではこれらのうち水、CO₂、栄養塩（窒素・りん）を下水処理場の脱水分離液、処理水、消化ガスから得ることで維持管理に係るコストを縮減し、微細藻類の売却利益率を高めようとするものである。したがって、下水処理場から発生する脱水分離液量（水量、窒素・りん量）や消化ガス量（CO₂量）によって微細藻類培養量は制限される。

また、市場規模も考慮して（§ 16 参照）、培養量を検討する。

(2) 汚泥可溶化設備の要否の検討

微細藻類培養量が CO₂ 量に制限される場合は、汚泥可溶化設備を導入することで経費回収年が短縮される可能性があるため、要否を検討する。なお、汚泥可溶化技術を用いて消化ガス発生量を増量し、できるだけ微細藻類培養量を増やすことで経費回収年を短縮できることを試算している（資料編 p.180 ケーススタディ参照）*。

*微細藻類が一定の価格で売却できると仮定した場合。

(3) 各プロセスの設計検討

基礎調査及び追加調査結果と微細藻類培養量検討結果に基づき、各プロセスの設備容量を計算し、設計を行う。設備設計は第2節を参照する。

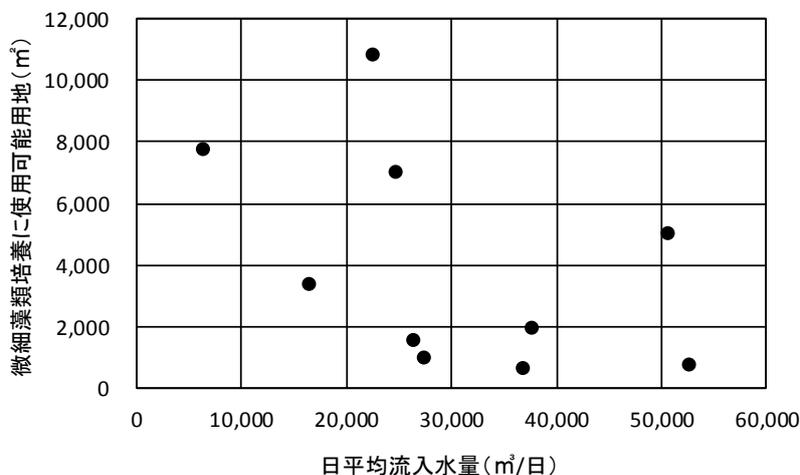
(4) 配置計画の検討

各プロセスの詳細な配置計画は第3節を参照し、ここでは各プロセスを下水処理場に配置する際の基本的な検討事項を示す。

①微細藻類培養施設の配置

本技術では、微細藻類培養施設の設置にまとまった大きな用地面積を必要とする。実証研究では、日最大処理水量：50,000m³/日のケースにおける微細藻類培養施設の設置面積は 3ha 程度とすることが想定された。下水処理場においてこれらの用地が確保できることを前提としており、導入効果の評価では用地購入費用は見込んでいないため、用地に余裕があることが必要である。

これに対し、全国の下水処理場に対して微細藻類培養に使用可能な用地面積をアンケート調査した結果では、下水処理場により個別の事情があるため一定の傾向は見出しにくい、1ha を越える広い用地を確保可能な下水処理場は少ないことは明らかである。



出典：日本下水道新技術機構によるアンケート調査

図 4-2 下水処理場における流入水量と空きスペースの関係

下水処理場の未利用地（空きスペース）への配置が困難な場合は、下水処理場の外部に用地を確保し、効果の検証に際してその費用を追加する必要がある。

ここで、消化ガスから分離回収する CO₂ はガス態である。液化設備の設置、維持管理にもコストが発生するため、ガス態のまま微細藻類培養施設に供給する方が経費回収年を抑制できる。このため、微細藻類培養施設は下水処理場の近傍に配置することが望ましい。

②CCU 設備の配置

CCU 設備は屋外設置が可能で、日最大処理水量：50,000m³/日のケースで算出すると 300m²程度の設置面積となり、配置の自由度は高く、下水処理場内の空きスペースに設置することを基本とする。なお、CCU 設備は消化ガスを原料として CO₂ ガスを微細藻類培養施設に供給する施設であるので、何れかの施設の近傍に配置することが望ましい。

③汚泥可溶化設備の配置

汚泥可溶化設備は濃縮汚泥を原料とし、可溶化処理した汚泥は消化タンクに移送する。したがって、汚泥濃縮棟内の空きスペースに配置することを基本とする。日最大処理水量：50,000m³/日のケースの場合、概ね 40m²程度であるが、汚泥濃縮棟内に設置可能な空きスペースが確保できない場合は、汚泥濃縮棟か消化タンク近傍の空きスペースに配置することが望ましい。但しこの場合、建屋の建設も必要となることに注意が必要である。

§ 23 導入効果の検証

施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行い、§ 16 で試算した導入効果が得られるか検証する。

【解説】

§ 16 ではモデル設計に基づいた費用関数等を用いて導入効果を簡易的に試算している。ここでは、個別の下水処理場に合わせて検討した結果に基づいてコスト（建設費、維持管理費、収益、経費回収年）、エネルギー消費量等を評価し、導入効果を検証する。

第2節 設備設計

§ 24 システム全体の配置検討及び留意点

微細藻類の培養に必要な不可欠な水（処理水、脱水分離液）、光（太陽光）、CO₂の供給に適した配置を考慮する。下水処理場内では各種配管の取り合い箇所や、既存施設の維持管理への支障を考慮して設置位置を検討する。

微細藻類培養施設は荷重が大きく作業員が常駐することにも配慮し、土質調査に基づいた適切な基礎とする。

【解説】

設備全体として、微細藻類培養に欠かせない光を遮らないため、設備の設置場所は周囲に高い建物のない平地を選定する。また、今後の下水処理場施設の更新や増設計画等を考慮した配置とすることが必要である。

微細藻類の培養に用いる水は脱水分離液を処理水で希釈して使用するため、供給設備を設置して配管で供給する。砂ろ過水等処理水の供給設備の能力に余裕がある場合、それを活用する。但し、残留塩素が含まれないこととする。

微細藻類培養設備へCO₂を供給するため、CCU設備は微細藻類培養設備の近傍に設置することが望ましい。汚泥可溶化設備は送泥距離が短くなるよう、汚泥濃縮施設内に設置することが望ましい。既存の消化汚泥、消化ガス、設備用水、排水等の取合いがあるため、各配管の取合箇所を考慮して設置位置を検討する。

CCU設備及び微細藻類培養設備の設置箇所は、ボーリングによる土質調査を行う必要がある。特に微細藻類培養施設は荷重が大きいことや作業員が常駐すること等から重要施設と考え、土質調査結果に基づいた適切な基礎とする。

汚泥可溶化設備について、既存の汚泥濃縮棟内に設置可能な場合は、建屋が機器荷重の増加に対して問題がないか耐荷重性を確認し、維持管理に支障のない位置に配置すること。

§ 25 CO₂分離・回収設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) 基本条件
- (2) 前処理設備（精密脱硫装置、シロキサン除去装置）
- (3) PSA ユニット
- (4) 製品 CO₂ ガス貯留ホルダ
- (5) 製品ガス濃度計
- (6) ユーティリティ設備（冷却水設備、計装空気設備）
- (7) 配置検討

【解説】

CO₂分離回収設備（CCU 設備）は消化タンクから発生したバイオガス（消化ガス）を高濃度の CO₂ 及び CH₄ に分離するための設備である。本設備は主に、前処理設備（精密脱硫装置、シロキサン除去装置）、PSA ユニット、製品 CO₂ ガス貯留ホルダ、製品ガス濃度計、ユーティリティ設備（冷却水設備、計装空気設備）より構成される。なお、各設備間の一般的な機器・配管の設計は、設計指針に基づき実施する。

CCU 設備は屋外設置とし、処理プロセスに従って各機器の配置を行う。処理プロセスは原料ガス入口から、原料ガス⇒精密脱硫装置⇒シロキサン除去装置⇒バッファタンク⇒PSA ユニット 1 ⇒PSA ユニット 2⇒製品ガス貯留ホルダ⇒供給先の順となる。製品ガス濃度計、ユーティリティ設備、制御盤以外の機器はメンテナンススペースの確保を考慮しつつ最大限近くに設置する。

(1) 基本条件

CCU 設備の設計に先立ち、基本条件を設定する。主なインプット条件は以下のとおりである。

- ① 消化ガス条件（処理量、組成、圧力、温度）
- ② 製品 CO₂ ガス条件（濃度、量）
- ③ 製品 CH₄ ガス条件（濃度、量）
- ④ 供給先製品ガス使用量

これらの条件を元に各機器の諸元を設定する。設計に必要な事項を表 4-2 に整理し、設計の概略フローを図 4-3 に示す。

表 4-2 CCU 設備の設計に必要な事項

設備	設計必要事項
前処理設備 (精密脱硫装置、シロキサン除去装置)	消化ガス条件 (前処理設備入口、PSA ユニット要求値)
PSA ユニット	消化ガス条件 (PSA ユニット入口)、 製品 CO ₂ ガス条件、製品 CH ₄ ガス条件
製品 CO ₂ ガス貯留ホルダ	製品 CO ₂ ガス条件 (量)、 供給先製品 CO ₂ ガス使用量
製品ガス濃度計	製品ガス条件 (濃度)

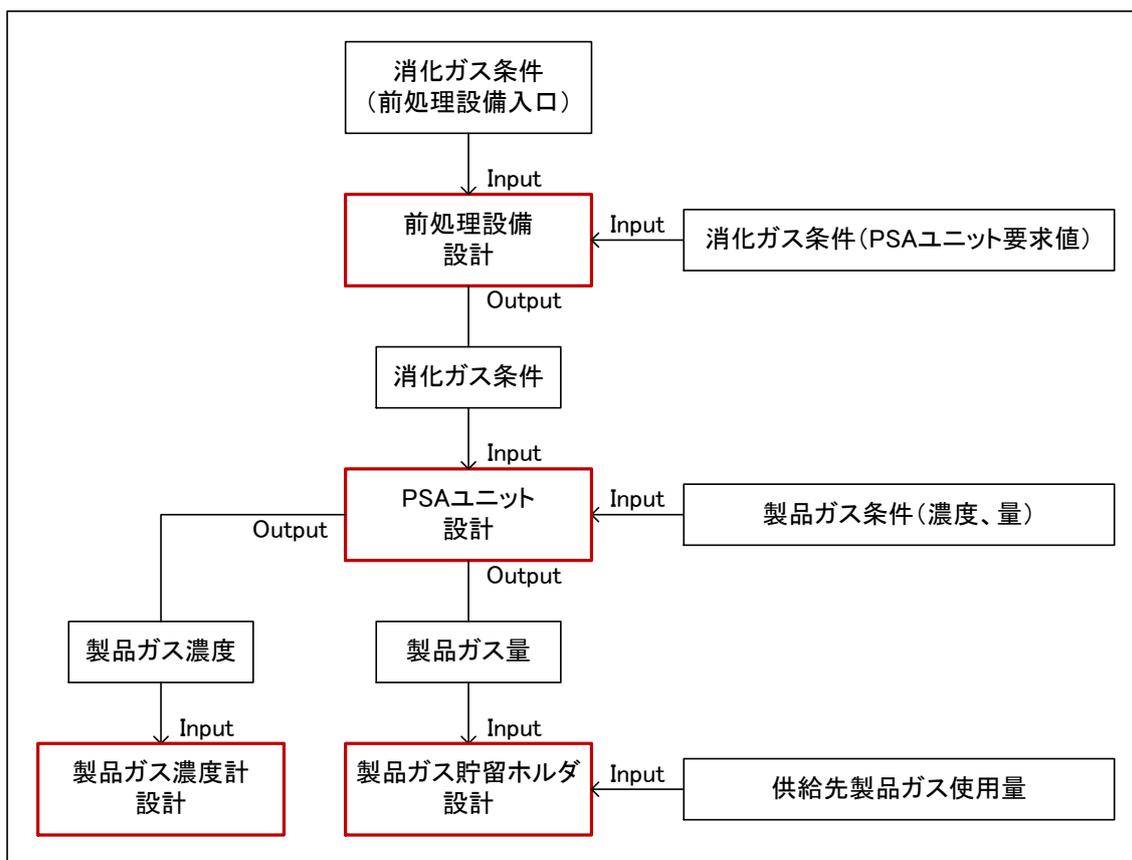


図 4-3 CCU 施設 設計概略フロー

①消化ガス条件

CCU 設備に導入する消化ガス量は下水処理場の年報等の運転データから、季節変動を加味し、消化タンク加温ボイラや消化ガス発電設備等で使用する量を引いた量を最大利用量として設定する。最大利用量全量を CCU 設備に導入するケースと、供給先製品ガス利用量から算出し、必要な量を CCU 設備に導入するケース等が考えられるため、想定するケース毎の設定が必要である。

消化ガス組成、圧力、温度は消化ガス量と同様年報等のデータを利用して条件を設定するが、特に消化ガス中の不純物は詳細な分析データを取得していないことも想定されるため、設計前に分析を行うことが望ましい。最大利用量全量を CCU 設備に導入するケースでは以下の式により

ガス量を算定する。

CCU 設備導入消化ガス量＝消化ガス発生量－（消化タンク加温ボイラ使用量＋消化ガス発電設備使用量）

供給先製品ガス利用量から CCU 設備に導入する消化ガス量を設定するケースは③に記述する。

②製品ガス条件（濃度、量）

本設備の製品ガス条件を表 4-3 に示す。製品ガス量は回収率と消化ガス量から算出し、設計に用いる。

表 4-3 CCU 設備製品ガス条件

項目	濃度	回収率
製品 CO ₂ ガス	99%以上	70%程度
製品 CH ₄ ガス	90%以上	90%程度

製品 CO₂ ガス量＝CCU 設備導入消化ガス量×消化ガス中の CO₂ 濃度×回収率÷製品 CO₂ ガス濃度

製品 CH₄ ガス量＝CCU 設備導入消化ガス量×消化ガス中の CH₄ 濃度×回収率÷製品 CH₄ ガス濃度

③供給先製品ガス使用量

本設備の製品 CO₂ ガス供給先は微細藻類培養設備であり、培養に用いる製品 CO₂ ガス量、培養規模、運用方法によって供給先製品 CO₂ ガス使用量を設定する。この値から CCU 設備に導入する消化ガス量を設定することもできる。

CCU 設備導入消化ガス量＝供給先製品 CO₂ ガス使用量×製品 CO₂ ガス濃度÷回収率÷消化ガス中の CO₂ 濃度

以下に本設備の構成機器の設計の方法・留意点のほか、設置の目的と特記事項等を合わせて示す。

（2）前処理設備（精密脱硫装置、シロキサン除去装置）

消化ガスは主成分である CH₄、CO₂ の他に様々な不純物を含んでおり、その中でも硫化水素とシロキサンは機器・配管等に悪影響を与えることが知られている。表 4-4 に主な不純物（硫化水素、シロキサン）の影響を示す。

表 4-4 消化ガス中不純物の影響

不純物	影響
硫化水素	強い腐食性を持ち、配管や機器等の腐食を引き起こす
シロキサン	燃焼時にシリカとして結晶化し、燃焼機器（ボイラや発電装置）の劣化原因となる

PSA ユニット内で用いる吸着剤は特殊活性炭のため、表 4-4 に示した不純物が吸着剤に悪影響を与えることが懸念される。消化ガス条件（PSA ユニット要求値）は、硫化水素 1ppm 以下、シロキサン（D4）1ppm 以下のため、導入する消化ガスの組成に応じて設備設置の必要性を判断する。

下水処理場で上記不純物の測定を行っている場合、測定データを利用して設計を行うが、より適切な設計を行うためには、設計前に消化ガスの組成分析を行うことが望ましい。また、原料となる消化ガス組成は変動するため、前処理設備の設計値（入口条件）には余裕を確保する。

精密脱硫装置及びシロキサン除去装置はコスト、メンテナンス性を考慮し、乾式の活性炭吸着方式とする。消化ガス処理量及び入口条件、出口条件（PSA ユニット要求値）から前処理設備の容量を決定する。吸着剤の吸着容量は基本的に 1 年分として充填量を計算するが、入口消化ガス処理量によっては充填量が多くなり、装置の設置スペース及び製作コストが大きくなることが考えられる。この場合、前述の条件に加え吸着剤の交換頻度及びコストを考慮の上、吸着剤の充填量を半年もしくは 3 ヶ月として計算し、容量を決定しても良い。

実証設備では精密脱硫装置、シロキサン除去装置共に 2 塔式を採用し、通常は 2 塔直列運用、吸着剤交換時は 1 塔のみで処理を継続可能な構成としたが、吸着剤交換時に設備停止期間を十分確保可能な運用方法の場合は 1 塔式を採用しても良い。

消化ガスは基本的に水分飽和状態であり、硫化水素は湿潤状態では乾燥状態に比べて腐食性が高いという特徴がある。このため、消化ガス中の水滴除去を目的として、セジメントトラップ（水抜き装置）を設置する。また、吸着剤交換時の作業性を考慮し、前処理設備の吸着塔周りには架台を設置する。

前処理設備の設計条件及び留意事項を表 4-5 に示す。

表 4-5 前処理設備置の設計条件、留意事項

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
付帯設備	吸着剤交換用架台、差圧計、セジメントトラップ	

(3) PSA ユニット

供給先から要求される製品ガスの種類及び濃度から、PSA ユニットの構成を決定する。基本的に必要な消化ガス処理量を全量 1 ユニットで処理する構成とするが、定期メンテナンス期間における消化ガス処理の停止が困難な場合は、複数ユニットの並列構成を採用しても良い。

本設備は製品 CO₂ ガス濃度 99%以上、製品 CH₄ ガス濃度 90%以上を設計条件とする。PSA ユニットは主要機器として、消化ガスを吸着塔内に圧入する圧縮機、吸着剤から CO₂ を脱離させる真空ポンプ及び製品 CO₂ 濃度を高める CO₂ ブロワから構成される。

消化タンクでの汚泥消化の状態、生汚泥の投入量及び消化汚泥の引抜き量の変化、脱離液の抽出量変化（二段消化の場合）等によって、消化タンクから発生する消化ガス量、圧力、組成は著しく変動する。このため、発生ガス量、濃度の日変動、季節変動を把握したうえで適切な設計条件の検討を行うことが PSA ユニットの設計ポイントとなる。導入を検討する際は下水処理場の年報や運用状況、消化ガス分析データを整理しておくことが望ましい。

CO₂ 濃度を高めるパージ工程では、CO₂ ブロワにより吸着塔内に残存する消化ガスを追い出す際に、オフガスが発生する。実証設備では、消化ガス処理量は下水処理場から発生する消化ガス量の 10%程度、発生するオフガスは処理ガス量の 3 割程度であるため、消化ガス発生量に対して量が少なく、原料ガスの組成変動にほぼ影響がないため、オフガスは消化ガスタンクへ返流することとしている。

下水処理場から発生する消化ガスを全量処理する場合、オフガスを消化ガスタンクへ返送すると、原料ガスの組成が変動して、安定的に高純度の製品が得られない可能性も考えられる。また、オフガス中には CO₂ に加え CH₄ も含まれるため、安全及び地球温暖化防止の観点から余剰ガス燃焼装置で燃焼させる方法を検討する必要がある。燃焼装置は、周囲の状況によって安全な場所に設け、自動遮断弁、逆火防止器等を取り付ける。また、確実に燃焼させる観点からオフガスの CH₄ 濃度に留意する。オフガスの CH₄ 濃度は変動するため、必要に応じて補助燃料やオフガス用バッファタンクの使用を検討する。

PSA ユニットの設計条件及び留意事項を表 4-6 に示す。

表 4-6 PSA ユニットの設計条件、留意事項

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

(4) 製品 CO₂ ガス貯留ホルダ

製品 CO₂ ガス貯留ホルダは製品 CO₂ ガスを安定的に連続供給するために設置する。

CCU 設備は装置起動から安定供給まで約 30 分から 1 時間程度かかるため、装置起動時でも製

品 CO₂ ガスを供給可能とするため、製品 CO₂ ガス濃度が安定するまでの 1 時間分の貯留容量を必須とする。

製品 CO₂ ガス貯留ホルダには、コスト面で優れるバルーン式の貯留ホルダを採用する。製品 CO₂ ガス貯留ホルダは内膜と外膜の二層構造となっており、内膜と外膜の間に送風機から空気を供給することで外膜を膨らませる。内膜内には、分離・回収された製品 CO₂ ガスを貯留し、内膜と外膜間の圧力によって供給先へ押し出される構造となっている。バルーン式の貯留ホルダは外膜を常時膨らませる必要があるため、送風機は 2 台設置（1 台予備）とすることが望ましい。

製品 CO₂ ガス貯留ホルダの貯留量はホルダ頂部に設置された超音波レベル計で測定を行い、外膜にはのぞき窓が設置されているため、目視でも CO₂ の貯留量が確認可能な構造となっている。

供給先である微細藻類培養設備での CO₂ 使用量と CCU 設備での製品 CO₂ ガス分離・回収量及び微細藻類培養設備での CO₂ 使用時間と CCU 設備の運転時間を考慮し、貯留量が CO₂ 使用量の 1 時間分以上となるようにする。

製品 CO₂ ガス貯留ホルダの設計条件及び留意事項を表 4-7 に示す。

表 4-7 CO₂ 貯留ホルダの設計条件、留意事項

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 時間分以上必要な場合は考慮する
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

また、CCU 設備は CO₂ 回収と共に、高濃度 CH₄ ガスも回収可能であり、CH₄ ガスを利用する場合は PSA ユニットの製品 CH₄ ガス配管から製品 CH₄ ガスを利用先へ供給する。この時必要に応じて製品 CH₄ ガス貯留ホルダの設置を検討する。

（5）製品ガス濃度計

製品 CO₂ ガス、製品 CH₄ ガスの濃度を連続的に測定するため、製品ガス濃度計を設置する。PSA ユニットに導入する消化ガス中の不純物は前処理設備で十分除去されており、かつ製品 CO₂ ガス、製品 CH₄ ガスの濃度はそれぞれ 99%以上、90%以上と高濃度である。そのため、効率的かつ正確に濃度を測定するため、製品 CO₂ ガス中の CH₄ 濃度を測定し、差分を製品 CO₂ ガス濃度とする。製品 CH₄ ガス濃度も同様に、製品 CH₄ ガス中の CO₂ 濃度を測定し、差分を製品 CH₄ ガス濃度とする。

測定する製品ガスは濃度変動を避けるため、PSA ユニット内に設置された CO₂ バッファタンク及び CH₄ バッファタンクの二次側にサンプリングラインを接続する。圧力変動の影響を受けないよう、圧力調整弁の二次側であることが望ましい。

製品ガス濃度計の設計留意事項を表 4-8 に示す。

表 4-8 製品ガス濃度計の設計条件、留意事項

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

(6) ユーティリティ設備

①計装空気設備

PSA ユニット内の自動弁、調節弁を駆動させる圧縮空気を製造する設備である。PSA ユニット設計時に必要空気量、圧力を算出し、圧縮機の選定を行う。実証設備では微細藻類培養設備の圧縮機で製造した圧縮空気を利用したが、導入時には CCU 設備及び微細藻類培養設備の運用状況やメンテナンス頻度等を考慮し、各設備で設置するか共用にするかの検討が必要となる。

②冷却水設備

PSA ユニット内の回転機器（圧縮機、真空ポンプ）及びガス冷却用のアフタークーラに使用する循環水を冷却する設備である。PSA ユニット設計時に必要冷却水量、圧力を算出し、冷却水設備（チラー及び冷却塔、循環ポンプ）の選定を行う。また、下水処理場内の処理水等が水質・温度の面で仕様を満たす場合は処理水を冷却水に用いても良い。この場合は必要に応じてストレーナ、循環ポンプの選定を行う。

(7) 配置検討

CO₂分離・回収設備（CCU 設備）は主に精密脱硫装置、シロキサン除去装置、バッファタンク、PSA ユニット（ユニット 1、2）、製品ガス貯留ホルダ、製品ガス濃度計（メタン濃度計、二酸化炭素濃度計）、ユーティリティ設備（冷却水設備、計装空気設備）、制御盤から構成される。例として実証設備の概略配置を図 4-4 に示す。

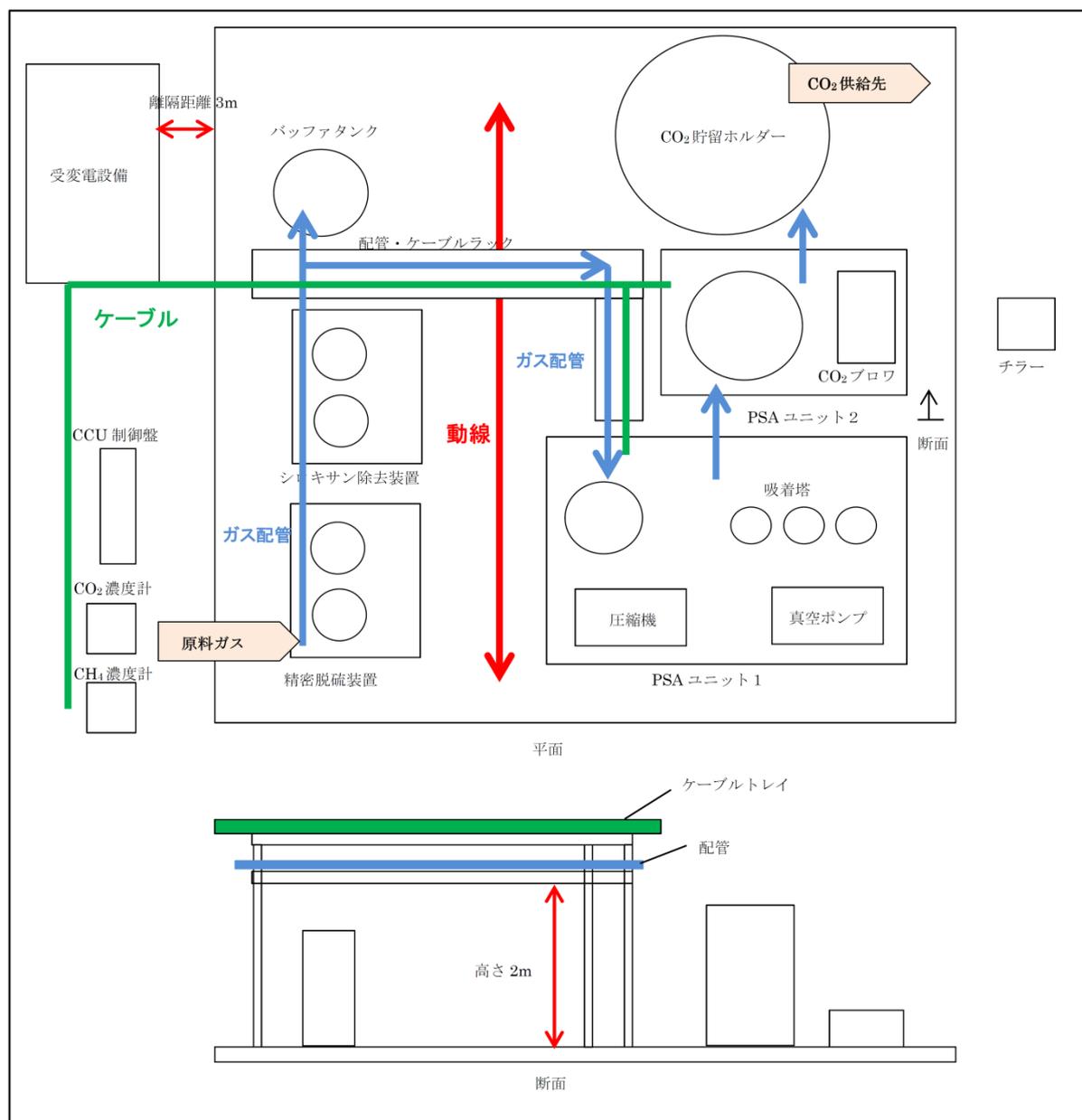


図 4-4 実証施設の概略配置

基本的に CCU 設備は屋外設置とし、処理プロセスに従って各機器の配置を行う。処理プロセスは原料ガス入口から、原料ガス⇒精密脱硫装置⇒シロキサン除去装置⇒バッファタンク⇒PSA ユニット 1⇒PSA ユニット 2⇒製品ガス貯留ホルダ⇒供給先の順となる。製品ガス濃度計、ユーティリティ設備、制御盤以外の機器はメンテナンススペースの確保を考慮しつつ最大限近くに設置する。

配置・構造上、以下の点に留意して配置を決定する。

- ①設備間の通路及びメンテナンススペースの確保を考慮する。
- ②配管サポートを利用したケーブルトレイの設置を検討し、コンパクトな配置とする。
- ③ガス配管等はドレンが抜けるように、高く設置することが望ましい。配置上の制約があり、立ち下げ配管がある場合は、適切にドレン抜き弁を設置する。

- ④可燃性ガス（消化ガス、メタンガス）を取扱う設備のため、安全性を十分考慮し、消火器等の消化設備を設置する。また、制御盤、濃度計等の電気設備との離隔距離を十分取ることが望ましい。
- ⑤PSA ユニット内の圧縮機、真空ポンプ、CO₂ブロワ、製品ガス貯留ホルダ送風機が主な騒音・振動源となるため、敷地境界から可能な限り離れた配置とし、必要に応じて低減措置を行う。

§ 26 微細藻類培養設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) 本培養槽容量（設置台数）設計
- (2) 前培養設備
 - ①種株培養槽（ジャーファーマンター）
 - ②前培養棟建屋設計
- (3) 本培養設備
 - ①本培養棟建屋設計
 - ②換気設備設計
 - ③培養タンク容量・配置設計
 - ④空気及び CO₂ ブロワ設計
 - ⑤温調設備設計
 - ⑥補光設備設計
- (4) 微細藻類回収設備設計
- (5) 乾燥設備設計
- (6) 薬注設備設計
- (7) SS 除去設備設計
- (8) 配置検討

【解 説】

本設備は CCU 設備により分離・回収された CO₂ と脱水分離液を用いて微細藻類を効率的に培養するための設備であり、SS 除去設備、薬注設備、前培養設備、本培養設備、温調設備、藻体回収設備、乾燥設備、排水・洗浄設備から構成される。

微細藻類培養はジャーファーマンターによる前培養を起点として、本培養槽に種株を送るフローと、SS 除去及び pH 調整された脱水分離液を培養液として本培養槽に送るフローを組み合わせた配置となる。また、培養終了後の培地は釜場を経て回収槽へ送液するルートがある。さらに、CO₂ 及びエアリフト攪拌のための送風ルートが必要となるため、それぞれの設備は配管コストを抑制するため隣接するように考慮する。

また、微細藻類の生産性向上のために補光を行うことが必要であるが、夜間は近隣の住宅や農地等に影響をおよぼさないような配慮が必要である。

なお、微細藻類培養においては培養期間、温度調節の有無、補光強度等条件により建設費、維持管理費、収穫量が変化するため、微細藻類を一定の価格で売却できると仮定した場合に経費回収年が最も短縮される条件を実証研究において検討し、資料編第2章（p.180～191）に整理している。本セクションでは、最適条件（p.183）に基づいて設計を行う。

以下に本技術の構成機器の設計及び設置の方法・留意点のほか、設置の目的と制御の特徴等を合わせて示す。微細藻類培養技術の各構成設備は以下の手順で諸元を設定した。

- ① 1日当たりの脱水分離液発生量、CCU設備で分離・回収されたCO₂の供給量、微細藻類の培養日数及び本培養施設の稼働率から本培養施設に設置する培養タンクの基数（培養量）を決定する。
- ② 本培養施設において設置する培養タンクの基数と脱水分離液量を元に、pH調整タンクの容量や薬品注入設備の容量を決定する。
- ③ 本培養施設において培養タンクで培養を行う際の気温等の環境条件より、本培養設備における空気用ブロワとCO₂用ブロワ並びにインバータチラーの仕様と基数を選定する。
- ④ 本培養施設に設置する培養タンクの基数より必要となる種株量を算出し、前培養施設に設置するジャーフェーマンターの基数を決定すると共に、本培養施設にて得られる一日当たりの微細藻類生産量より藻体回収設備と乾燥設備の能力と設置基数を選定する。
- ⑤ ジャーフェーマンター及び微細藻類生産に際して行う日々のサンプリング・分析に必要な分析装置とサンプリングを行う担当者の人数に応じて前培養棟の施設面積を決定する。
- ⑥ 概略設計フローを図4-5に示す。

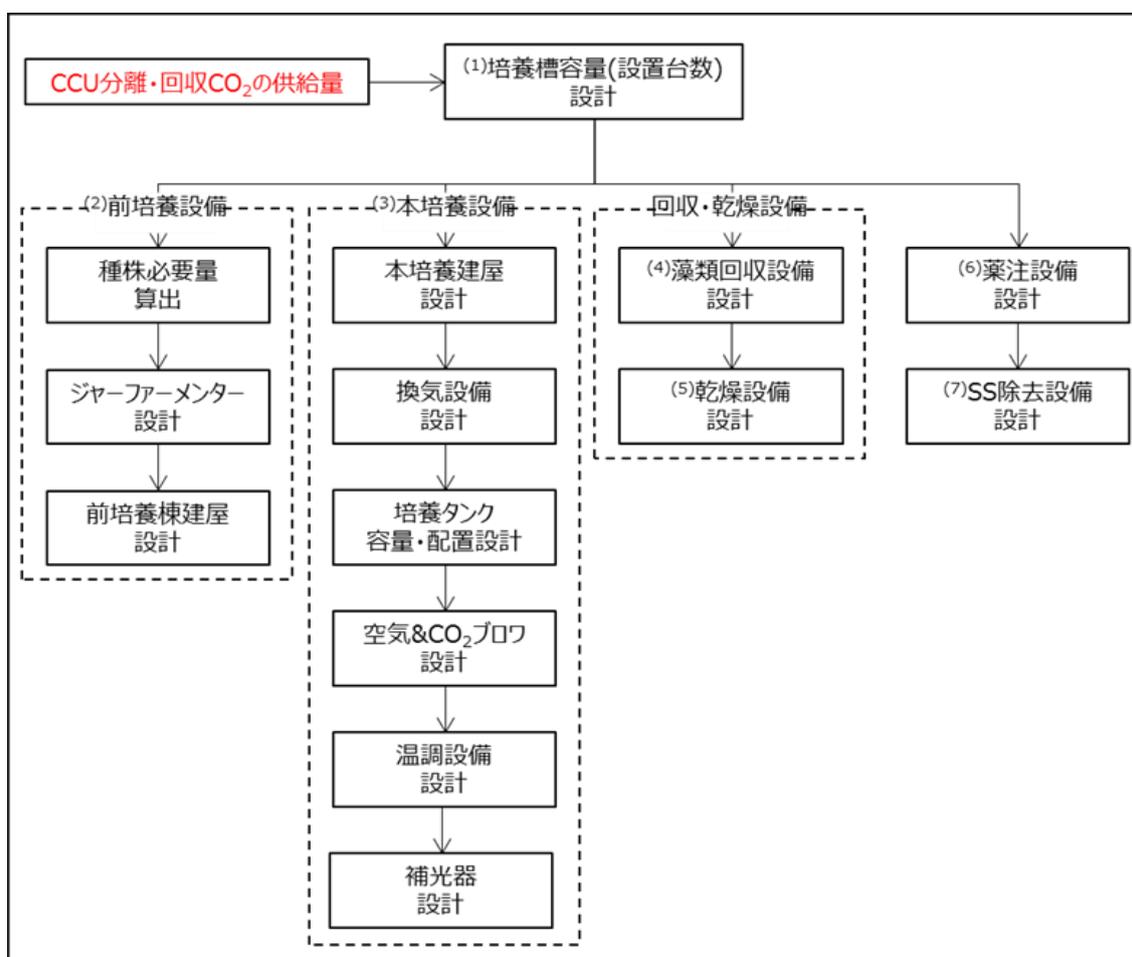


図 4-5 微細藻類培養施設 設計概略フロー

(1) 本培養槽容量（設置台数）設計

本培養設備に設置する本培養槽の数は、バイオガスより回収可能な CO₂ 量によって規定される。よって、同時に培養可能な量（タンク数）は以下に示す式より決定する。

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

Q : CO₂ ガス供給量 (m³/日)

0.3 : CO₂ ガス吹き込み量 (L/m³/分)

(2) 前培養設備

前培養設備として、種株培養を行う①種株培養槽（ジャーファーマンター）、②微細藻類培養に際して行う日々のサンプリングや分析に必要な機器、試薬類の保管庫、また分析を行う担当者の作業台を設置する前培養棟で構成される。前培養棟は、分析室、計測室、種株培養室、前培養室、試薬室で構成される。

種株培養室には、ジャーファーマンターで前培養を開始するための種株として、無菌化した三角フラスコでユーグレナを培養するための人工照明付きインキュベーターを設置する。また、培養器具等を殺菌処理するオートクレーブ、無菌状態を保ったまま作業するためのクリーンベンチを設置する。

前培養室には、三角フラスコで培養した種株を屋外に設置した大容量のジャーファーマンターに移すために小容量のジャーファーマンターを設置する。

①種株培養槽（ジャーファーマンター）

ジャーファーマンターの容量は、本培養棟内に設置する培養槽数に応じて必要な種株量を培養できるサイズとする。ジャーファーマンターの容量設計に関する計算式を以下に示す。

<前提条件>

- a) 微細藻類（ユーグレナ）はジャーファーマンター内で 0.1 g/L から 2 g/L まで増殖させる。
- b) 本培養棟内の培養槽に投入する種株は 50 g/槽とする。
- c) ジャーファーマンター容量の 80%まで培養液で満たす。

<ジャーファーマンターの容量計算>

例として、1,000 槽の培養槽を本培養棟内に設置する場合、種株の必要量は、

$$\bigcirc \quad 1,000 \text{ [槽]} \times 50 \text{ [g/槽]} = 50,000 \text{ [g]} (=50\text{kg})$$

となる。屋外に設置した大容量のジャーファーマンター（以下、ジャーファーマンター①とする）で 2 g/L まで増殖させた場合、50 kg の藻体を得るには

$$\bigcirc \quad 50,000 \text{ [g]} \div 2 \text{ [g/L]} = 25,000 \text{ [L]} (=25 \text{ m}^3)$$

となり、25 m³の培養液が必要である。

ジャーファーマンター①の容量の80%の培養液で培養する場合、

$$\bigcirc \quad 25 \text{ [m}^3\text{]} \div 80\% = 31.25 \text{ [m}^3\text{]}$$

であるから、1,000 槽の培養槽に投入する種株量を賄うにはおよそ 35 m³程度のジャーファーマンター①が1基必要である。

さらに、微細藻類を 35 m³ジャーファーマンター①内に満たした 25 m³程度の培養液で 0.1 g/L から 2 g/L に増殖させるためには、2.5 kg の藻体を投入する必要がある。2.5 kg の藻体を得るには 1,250 L の培養液が必要である。従って、35 m³のジャーファーマンター①に加えて屋外に設置した 1.5 m³のジャーファーマンター（以下、ジャーファーマンター②とする）が1基必要になると計算することができる。

ジャーファーマンター②へ供する種株は、前培養棟内の前培養室内に設置する 90L 容量のジャーファーマンター（以下、ジャーファーマンター③とする）を用いる。さらに、ジャーファーマンター③へは 5L 容量のジャーファーマンター（以下、ジャーファーマンター④とする）で培養した種株を投入する。乾燥藻体ベースで 2 g/L 程度に増殖させたのちにジャーファーマンター④からジャーファーマンター③へ移送し、再び 2 g/L 程度まで増殖させる。ジャーファーマンター③で増殖させた微細藻類は、屋外に設置したジャーファーマンター②へ移送しさらに増殖させる。

→ : 設計の流れ



図 4-6 種株培養槽の設備規模算出方法の例

②前培養棟

実証施設にて実装した前培養棟の各部屋の配置と床面積を図 4-7 に示す。

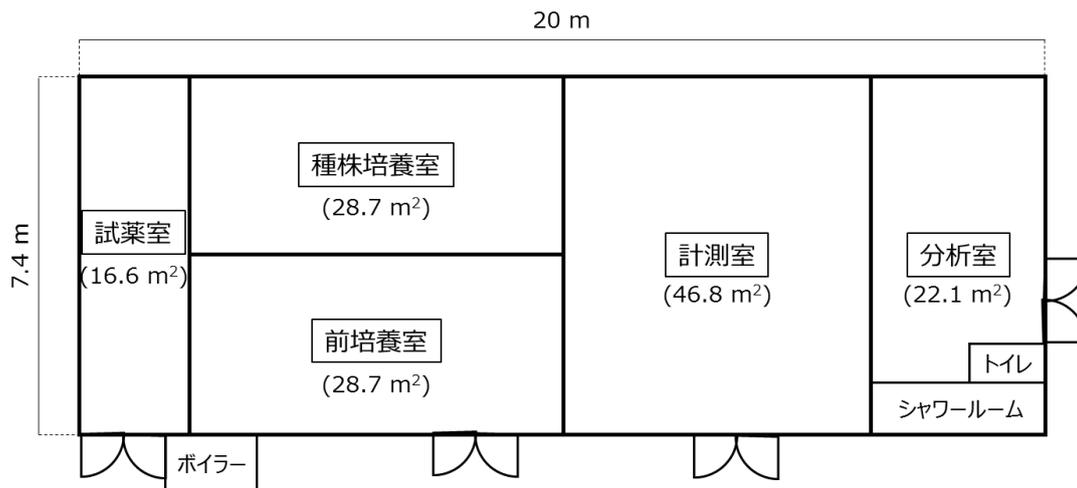


図 4-7 前培養棟の各部屋の配置と床面積

微細藻類培養において、その生育速度を把握するため乾燥重量を日々測定する。乾燥重量の測定に必要な器具は吸引ろ過器、ろ紙、及び乾燥機である。生育速度以外にも、ユーグレナ細胞の状態把握、ユーグレナ以外の微生物の混入の確認を行い、培養が順調に行われているか検査する。ユーグレナ細胞の状態把握には粒度分布測定が有効である。一般に粒度分布計で計測されるユーグレナの直径は約 $15\mu\text{m}$ 前後であり、それよりも極端に大きくなったり、あるいは小さくなったりした場合に、過度のストレスを受け生育が停滞しているか、あるいは死滅してしまっていることが予見される。そのような場合には、顕微鏡観察によってユーグレナの形状を確認する。培養が順調に行われている場合は、ユーグレナが活発に遊泳し、ユーグレナ運動と呼ばれる体の収縮・伸長運動を示す。ストレスを受けているユーグレナは、細胞が膨潤し球形になり、動きが活発でなくなる等の変化がみられる。粒度分布測定はユーグレナ以外の微生物の混入の確認にも有効である。ユーグレナの体長は $15\mu\text{m}$ 程度であるので、それ以外の粒径のピークが著しく大きくなる場合は、コンタミネーションの可能性が疑われる。これらの計測を日々行うための機器を計測室に設置する。

5L 及び 90L ジャーファーマンターは前培養室に設置する。ジャーファーマンターは加圧蒸気滅菌により槽内を殺菌する際に高熱となるため、本培養棟への設置は避け、温度調節ができるよう空調を完備した屋内に設置する。

分析室には分析を担当する作業員の作業台、データ集計用 PC 等を設置する。トイレ、シャワールームを設置し、作業員が快適に作業を実施できる環境を整えるのが望ましい。

試薬室にはサンプルを保管するための冷凍庫、冷蔵庫、デシケーター、薬品庫を設置する。濃硫酸等の毒劇物を保管するため薬品庫は鍵付きのものを選定する。

(3) 本培養設備

本培養設備は、培養液水温の安定化、降雨による培養液の環境中への飛散防止、大気中に浮遊する微生物のコンタミネーション抑制のため、培養槽を本培養棟建屋(温室)内に設置する。本培養設備は、 1m^3 のポリカーボネート製培養タンク、空気送風用ブロワ、 CO_2 送風用ブロワ、回

収釜場等により構成する。本設備内で培養された微細藻類は回収釜場に集積し、送液ポンプを用いて貯留槽へ送液する。なお送液ポンプはせん断や圧縮等による藻体の破壊を防ぐため渦巻ポンプやギヤーポンプは避け、モノポンプやダイヤフラムポンプを選択する。

①本培養棟建屋設計

本システムは微細藻類培養効率を高めることが重要であることから、補光によるものと併せて微細藻類の光合成に必要な光量が確保できるよう、本培養棟建屋の屋根及び壁面は太陽光の透過性が高いシートを採用することが望ましい。実証研究では、本培養棟の屋根及び壁面に対して光透過率が87%のETFE素材を採用した。

②換気設備設計

本培養棟内はCO₂を供給していることと、脱水分離液を培養液として使用していることから、作業環境を保持するために第一種機械換気設備を設置する。実証施設に実装した換気扇の諸元を表4-9に示す。

表 4-9 換気扇諸元 (例)

名称	有圧換気扇
風量	11,160 m ³ /h
騒音	57.5 dB
消費電力	590 W
設置台数	6 基
総風量	66,960 m ³ /h

※実証施設における本培養棟の容積：848 m³

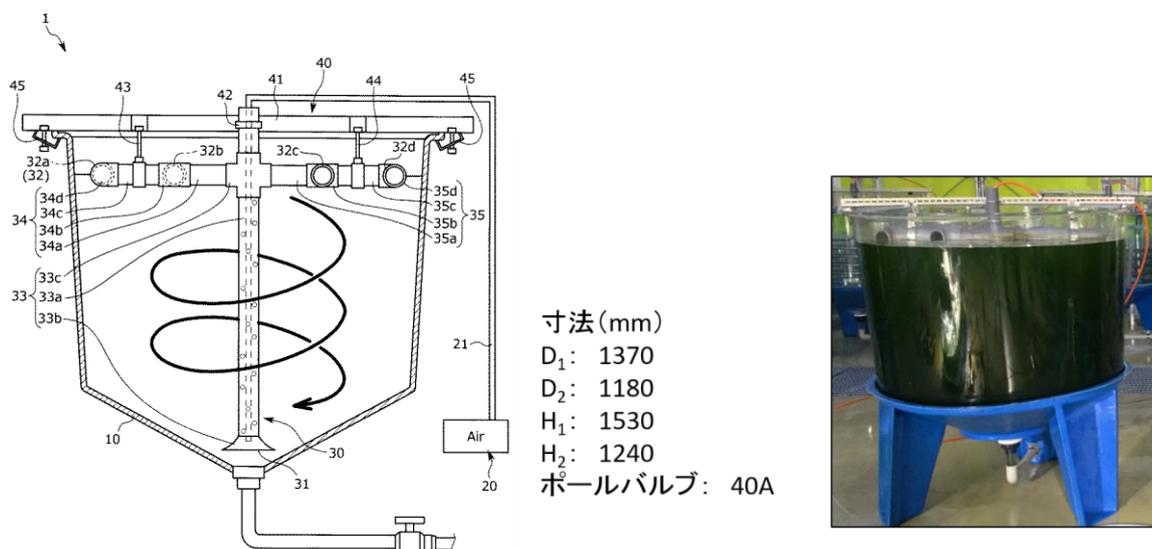
なお、CO₂ガスは空気よりも比重が大きく床面に留まりやすいため、換気扇は図4-8に示すように床付近の高さに設置する。



図 4-8 実証研究における換気扇の設置状況 (例)

③培養タンク容量・配置設計

培養タンクは光の入射効率を考慮し、ポリカーボネート製 1m³タンクとする。培養タンクへの太陽光の入射量や周辺での作業性を考慮して、タンク同士は南北方向に 120cm 程度、東西方向に 270cm 程度の間隔で配置する。



※左図は本実証試験を通じて得た知見をもとに 2016 年 2 月 16 日に実用新案として出願した際の代表図面。(実願 2016-701)

図 4-9 (左) 培養タンク寸法※ (右) 培養タンク全体写真

④空気及び CO₂ 送風用ブロワ設計

本培養タンクでは攪拌を行わないと藻体が沈殿し、微細藻類全体に光があたらなくなるため、攪拌を行う。攪拌は、藻体を壊さないように、エアリフトによる攪拌を行う。エアリフト攪拌により十分な流速を得るため、送風量は 17L/min/槽とする (資料編 1.5.2 章参照)。例として、1,000

槽の培養槽を設置する場合、総送風量は 17 m³/min となるため、これに合わせてブロワの容量、設置台数を設計する。

CO₂ 通気流量は、微細藻類培養に影響を及ぼさない量として 0.3L/min/槽とする（資料編 1.5.2 章参照）。例として、1,000 槽の培養槽を設置する場合、総送風量は 0.3 m³/min となるため、これに合わせてブロワの容量、設置台数を設計する。

⑤ 温調設備設計

微細藻類の生長には適した温度範囲があり、これを逸脱すると微細藻類培養効率が低下、あるいは藻体が死滅する。培養液の水温は、実証研究結果より 12～36℃ に保つことを推奨する。そのため、適正温度に保持するために温調設備を設置する。

温度調節能力は本システムを設置する地域特性（気温）に依存するため、温調に必要な熱量を計算し、温調設備を設計する。また、効率的な配管設計を実施する必要がある。

冷却負荷の熱量の計算については、水槽における水面及び壁面からの熱伝達による外気負荷、日射による日射負荷、照明による照明負荷を考慮する。

外気負荷については下記に記す熱通過率計算式を用いて熱通過率を算出し負荷計算を行う。日射負荷については日射面積の全日射量を吸収するとし負荷計算する。照明負荷については補助照明による熱量を考慮し計算する。室内条件については、夏期で乾球温度 40℃、相対湿度 70% とする。水の蒸発による潜熱負荷については、冷却方向となるため無視する。

熱通過率計算式

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_0} + \sum_n \frac{l_n}{\lambda_n} + \frac{1}{a_1}}$$

k : 熱通過率 [W/m²・k]

a₀ : 外表面熱伝達率 [W/m²・k]

l_n : 各材料の厚さ [m]

λ_n : 各材料の熱伝導率 [W/m・k]

a₁ : 内表面熱伝達率 [W/m²・k]

実証研究の条件下で負荷計算を行った場合、日射負荷 : 3.4kW、照明負荷 : 0.24kW、外気負荷 : 2.265kW となり、余裕率 1.2 を考慮すると総冷却負荷は約 7.1kW となる。

実証研究では製品ラインナップより 8.7kW の冷却能力を有するチラーを選択した。設置したインバータチラーの諸元を表 4-10 に示す。本設備ではインバータチラーで冷却した水をチタンコイルに循環させることで 1m³ の培養タンク内を 5～35℃ の水温で制御することが可能である。また、チリングユニットの水槽内に電熱コイルを投入して加温することで、温水により加温することも可能である。なお、実証研究は佐賀市で行った。佐賀市の年平均気温は 16.5℃（月平均値の最高値 : 9.8～32.5℃、最低値 : 1.5～24.1℃）である。

表 4-10 インバータチラー諸元 (例)

名称		インバータチラー	
冷却能力		8.7 kW	
冷水	使用周囲温度範囲	5 - 35°C	
	使用圧力	0.15 - 0.5 Mpa	
電気特性	電源	三相200	
	消費電力	4.6 kW	
	電流	16A	
	電源容量	6.5 kVA	
運転制御方式		圧縮機回転数制御	
装置細目	圧縮機	構造	全密閉型ロータリー式
		出力	1.7 kW
	凝縮器		フィンアンドチューブ型強制空冷式
	冷却器	構造	プレート式熱交換器
		材質	SUS316
	圧送ポンプ	構造	カスケード式
		出力	0.75 kW
	ファンモータ出力		0.11 kW
	冷媒		R-410A
	冷媒制御方式		電子膨張弁

なお、下水熱を有効利用したい場合は § 16 に示した参考資料等に基づいて設計を行う。

⑥補光設備設計

太陽光に加えて補光を行うことで微細藻類の収穫量が増加し、経費回収年が改善する（資料編第2章参照）。補光は蛍光灯と比較して消費電力が低く長寿命なLEDによって行う。

表 4-11 に実証試験で用いたLED照明の諸元を、図 4-10 に波長特性を示す。

表 4-11 LED 諸元

名称	LED 投光器
器具タイプ	LED 昼白色 広角形
器具光束	10,700 lm
消費電力	101 W
エネルギー消費効率	105.9 lm/W
重量	5.7 kg
光源寿命	60,000 時間（光束維持率 85%）

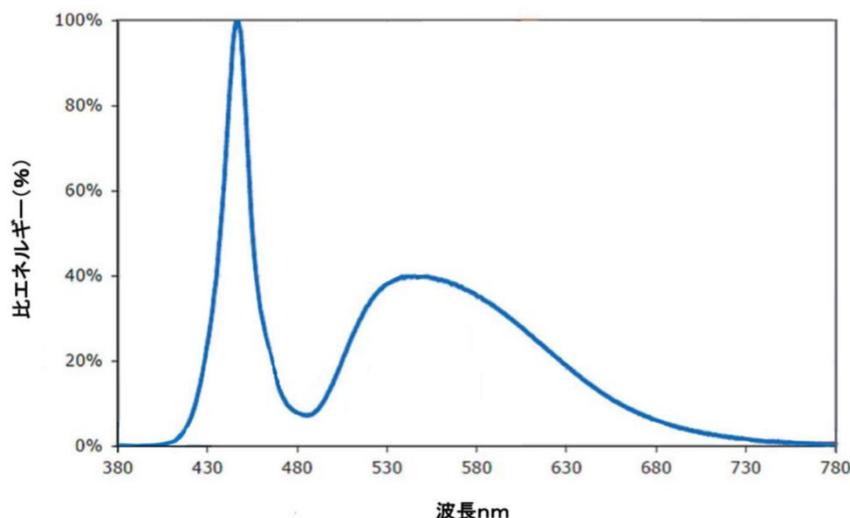


図 4-10 LED 波長特性

LED の設置位置は、光量子束密度計を使用して光量を測定しながら決定する。図 4-11 に示すように、培養槽表面に光量子束密度計のセンサ部を置き、光量子束密度（測定波長：400 nm から 700 nm）が $2,000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ となるように培養槽と LED との距離を調整する。表 4-11 に示す仕様の LED の場合、培養槽表面から約 35 cm 離れた位置に LED を設置する。

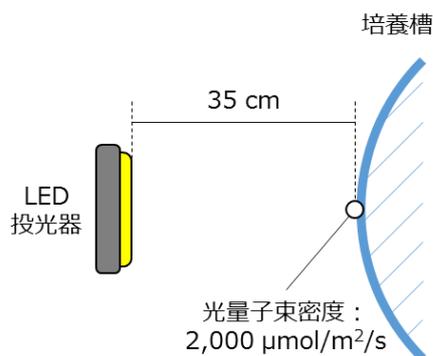


図 4-11 LED 設置位置の決定方法

培養槽 1 基あたり上述の仕様の LED を 8 基設置することで、年間通して安定した生産量（例； $0.5 \text{ g}/\text{L}/7 \text{ 日}$ ）を確保することが可能である（資料編 p.143 「補光器設置台数と補光時間調整による微細藻類増産効果の検討」及び資料編 p.147 「図 1-38」参照）。

（4）微細藻類回収設備

藻体回収設備は回収・沈殿槽と連続遠心分離機から構成され、微細藻類の生産量及び微細藻類細胞の粒径を基に、以下のとおり設計する。

回収・沈殿槽はタンク内残液の少ない密閉丸形ホッパータンクを採用し、材質は耐酸性を考慮してポリエチレン樹脂製とする。タンク容量は、1 日に培養可能な培養タンク全槽分を回収可能

な容量とする。

連続遠心分離機はスラッジ自動排出型連続遠心分離機を採用し、最大 4,300 rpm（最大回転時 8,000G）で運転することで濃縮率 100 倍を達成することが可能なもので、概ね以下の濃度レベルを想定する。

○供給側藻体濃度：0.2～1.0 g/L

○濃縮側藻体濃度：20～100 g/L

なお、本培養設備の規模によって 1 日あたりの回収量が異なってくるため、回収に必要な台数を計算する。例えば表 4-12 に示す濃縮機の場合、1 台あたりの処理能力は 60m³/h であり、約 7.5h の運転で 1m³ の培養タンク 450 槽分の微細藻類を回収することができる。

表 4-12 スラッジ自動排出型連続遠心分離機の諸元（例）

名称	スラッジ自動排出型連続遠心分離機
回転数	最大 4,300rpm
処理能力	60m ³ /h
モーター	75kW
機械重量	3,500kg
外形寸法	2.0×1.7×2.2 (L×W×H (m))

（5）乾燥設備

スプレードライヤーは熱風中にスラリーを噴霧し瞬間的に乾燥を行うため処理時間を大幅に短縮でき、また熱処理によりスラリー中の細菌類が殺菌されるため、乾燥藻体中の生菌数を低減することが期待される。参考として、一般的なスプレードライヤーの諸元を表 4-13 に示す。

表 4-13 スプレードライヤー諸元

名称	スプレードライヤー
スラリー原液処理量	720kg/h
水分蒸発量	600kg/h
入口温度	160 - 180℃
出口温度	90℃
噴霧方法	アトマイザーディスク式
空気加熱方法	LPG
直径（内径）	6.2m
直胴	6m
乾燥室容積	238.1m ³

1m³ の培養槽で藻体濃度 0.5 g/L まで増殖させ、培養液を上述の回収設備で 50 g/L まで濃縮したとすると、スラリー液量は培養液原液に対して 100 分の 1 量の 10kg となる。スラリー原液処

理能力が 720 kg/h のスプレードライヤーの場合、連続運転すると 17,280 kg/日の処理量となる。培養槽 1 基から 10 kg のスラリー液が得られるとすると、スプレードライヤー1 基で 1,728 槽分を処理することができる。また、乾燥させた粉末の含水率は 5%~8%を達成できる。

(6) 薬注設備

薬注設備は pH 調整タンク、硫酸貯留タンクから構成される。実証設備では、pH 調整タンクに脱水分離液を注水し、これに硫酸を注入して pH を調整したのち、各培養槽に送水する。pH 調整タンクは 1 日程度貯留できる容量とする。なお、3 倍希釈後の pH が 3.5 となるように薬注率を設定するが、脱水分離液の性状により注入率が異なるため、本システムの導入を想定している下水処理場において必要な薬注率をテスト測定しておく必要がある。

pH 調整には 44.6% (w/w) 希硫酸あるいは濃硫酸を用いる。薬品貯留タンクや注入設備だけでなく、pH 調整タンク以降においても pH が 3 程度の酸性溶液を取り扱うため、その材質は耐酸性を有するものとする。実証研究における薬注設備で使用したタンク及びレベル計の材質を表 4-14 に示す。

表 4-14 薬注設備のタンク材質 (例)

名称	材質
pH 調整タンク	PE
硫酸貯留タンク	PE
pH 調整タンクレベル計	SUS304
硫酸貯留タンクレベル計	PVC

pH 調整タンクは本培養設備に設置する培養槽の基数に応じて容量を設定する。例として 1 日あたり 1,000 槽の培養槽に供給する場合について以下に示す。

<前提条件>

- a) 本培養設備に設置する培養槽の容量は 1 m³ とする。
- b) pH 調整は希釈前の脱水分離液に対して行う。
- c) 脱水分離液を本培養槽に注入後、処理水を加えて 3 倍に希釈する。

培養液の 1/3 量の脱水分離液を 1,000 槽の培養槽に投入するには

$$\bigcirc \quad 1,000 [\text{槽}] \times 1 [\text{m}^3] \div 3[\text{希釈倍率}] = 333 [\text{m}^3]$$

となり、333 m³ 必要となる。

設備コストを考慮すると大規模容量の調製槽を導入する方が有利であり、また国内外に存在する最大規模クラスのタンク容量が 300 m³ から 500 m³ 程度であるから、仮に 400 m³ タンクを pH 調整タンクとすると、1 基の 400 m³ 容量の pH 調整タンクが必要である。

(7) SS 除去設備

微細藻類の培養には大きく CO₂、光、栄養塩類が必要である。本システムでは培養液として脱水分離液を利用する。これは、脱水分離液中に多く含まれる栄養塩類を活用するためである。しかし、脱水分離液中には様々な固形物 (SS) が含まれており、これが光の透過を阻害し、微細藻類の増殖に影響を及ぼすため、その除去装置を設置する。

SS 除去設備として導入するストレーナの諸元は、脱水分離液の SS の粒径分布と流入量から決定する。したがって、脱水分離液の SS の粒径を測定することが望ましい。

実証研究において測定した脱水分離液中の SS の粒径範囲と濃度の例を表 4-15 に示す。

表 4-15 脱水分離液中の SS 粒径と濃度 (例)

粒径範囲 (μm)	濃度 (V/V%)
4.00 - 6.00	0.1
6.00 - 10.0	0.4
10.0 - 20.0	1.0
20.0 - 40.0	2.1
40.0 - 60.0	2.1
60.0 - 100	7.9
100 - 200	33.5
200 - 400	40.4
400 - 600	10.1
600 - 1000	2.2

本例のケースでは、脱水分離液中に存在する SS の平均粒子径は 131 μm である。また、100 μm 以上の粒子が約 8 割であることが分かる。ここでは 8 割以上の SS を取り除くことを目標として、ろ過精度 75 μm (200Mesh 相当) とした。ストレーナの材質は、腐食防止のため SUS316L とした。実証研究にて実装した SS 除去設備の諸元を表 4-16 に示す。

表 4-16 SS 除去設備の諸元 (例)

名称		自動ストレーナー			
流体	流体名	脱水分離液			
	流量	10 m ³ /h			
	比重	1,000 kg/m ³			
	粘度	1 cP			
ろ過精度		75 μm 200 Mesh 相当			
設定条件	接続	口径		50A	
		規格		JIS 10K FF	
	圧力	使用	設計	0.2~0.5 MPaG	1.0 MPaG
		温度	使用	設計	15~30℃
	材質	本体		SUS316LTP-A	
		フランジ		SUSF316L	
		エレメント		SUS316L	
		グラントパッキン		V#7232	
		ガスケット		T#1120	
	駆動	駆動方法		電動式	
		電動式		非防爆形	
		電圧	周波数	200 V	60 Hz
		相数	極数	3 φ	4 P
		出力	減速比	0.1 kW	1 : 195
	初期圧力損失		0.01 MPa 以下		

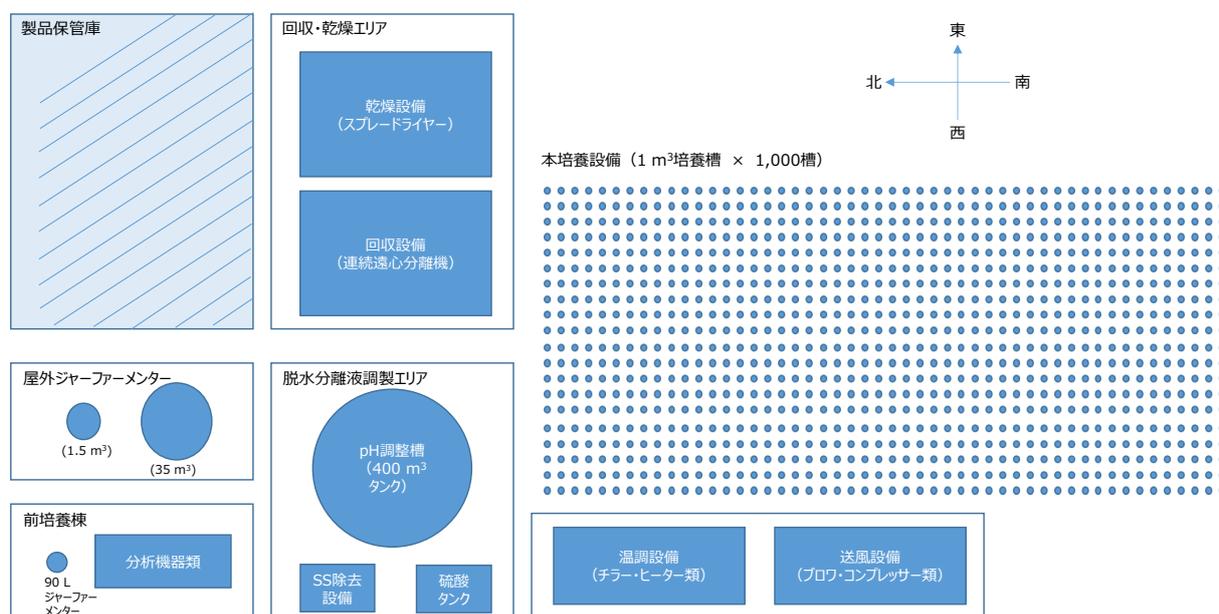
設置の留意点としては、使用するフィルタに関して送液される脱水分離液中の成分により膜面積、及び孔径を変える必要がある。また自動洗浄で膜洗浄を行うが、一定期間使用したのち、フィルタの交換が必要となる。

(8) 配置検討

本技術の各設備の概略配置イメージを図 4-12 に示す。また、処理プロセスの順番を図 4-13 に示す。

フローとしては、①前培養設備内ジャーフェーマンターで種株の培養、②脱水分離液を SS 除去設備を介して pH 調整タンクへ送液、③脱水分離液の pH 調整、④脱水分離液の本培養設備内培養タンクへ送液、⑤処理水を用いて脱水分離液を 3 倍希釈、⑥チラーによる加温または冷却、⑦種株を培養タンクへ送液、⑧種株の植藻、⑨分離・回収 CO₂の通気開始及びエアリフト攪拌のための空気で攪拌開始、⑩本培養、⑪培養終了後の培地を自然流下により釜場へ送液、⑫ダイヤフラムポンプにより回収槽へ送液、となっている。濃縮した藻体のスラリーを得る場合は、⑬回

収槽内で重力濃縮後、⑭ダイヤフラムポンプにより連続遠心分離機へ送液する。⑮遠心分離により濃縮した藻体スラリーは、⑯スプレードライヤーにより乾燥する。

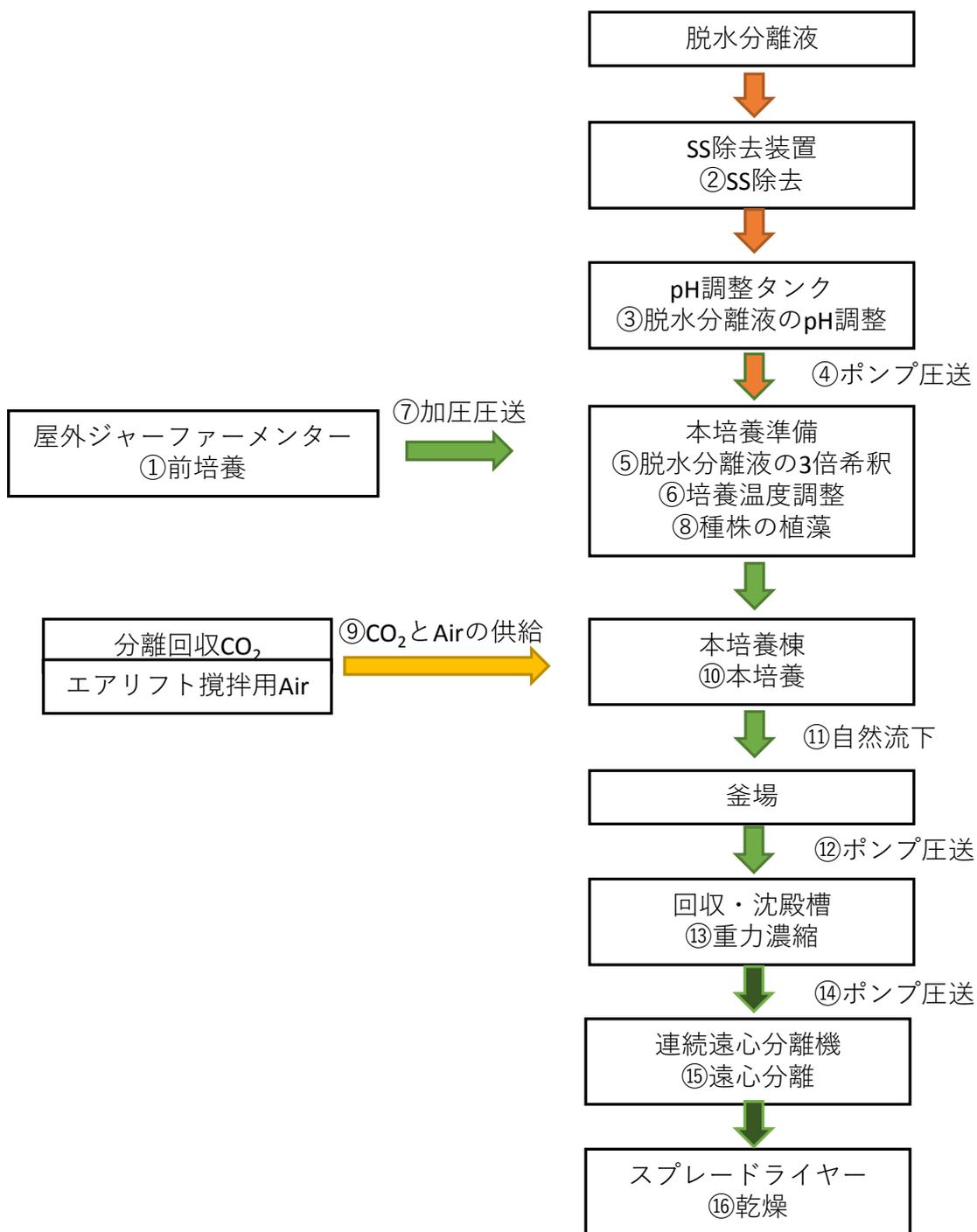


※1日あたり1,000槽の培養を行う場合の前培養等に関する設備の概略配置イメージであり、本培養設備については、本図に追加して培養日数分の槽が必要。

図 4-12 微細藻類培養技術の概略設備配置イメージ図

微細藻類培養システムの配置上の留意点として、ジャーフェンターによる種株培養のため、ジャーフェンター内で培地を高温高圧滅菌するが、その際に発生する熱による影響で、棟内の温度が上昇してしまうため、ジャーフェンターは前培養棟に設置し、本培養棟には設置しない配置にする必要がある。また、pH調整槽等のタンク、SS除去設備、そして前培養棟はその設備自体による影が微細藻類培養の妨げにならないよう、本培養棟よりも北側に配置するなど配慮する。また、それぞれの設備は配管の設備コストを抑制するためにそれぞれが隣接していることが望ましい。

配管や配線は受光や導線に配慮して配置する。近隣に農地や住宅地がある場合、本培養棟内の作業灯や捕光のための照明器具による光が農作物の生産に影響を与えないよう、本培養棟壁材の一部を光が透過しないものにするなどの対応が必要である。また、本培養棟の屋根等に用いるシートは透過率の高いものを選定して反射光を減らすよう考慮する。



※図中の○番号は前述の文章中の番号に該当。

図 4-13 微細藻類培養プロセスフロー

§ 27 汚泥可溶化設備の設計

導入計画で決定した設備仕様に基づいて以下について設計する。

- (1) 前処理設備
- (2) 汚泥可溶化装置
- (3) 可溶化汚泥移送ポンプ
- (4) 汚泥移送管
- (5) 配置検討

【解 説】

本設備は、最初沈殿池及び最終沈殿池から発生した各汚泥の濃縮汚泥を可溶化処理し、消化タンクにおける汚泥消化促進及び消化ガス増収のための設備であり、前処理設備、汚泥可溶化装置、可溶化汚泥移送ポンプから構成される。濃縮汚泥にし渣や繊維質等の異物が多く含まれていると汚泥可溶化設備の破損に繋がるため、基礎調査結果に基づいてスクリーンの設置についても検討する。

汚泥可溶化設備は濃縮汚泥を可溶化し、移送ポンプを経て消化タンクへ送泥する。また、屋内仕様であるため、既設の汚泥濃縮棟内の空きスペースに設置することが望ましい。

以下に本技術の構成機器の設計及び配置の留意点のほか、設置の目的と制御の特徴等を合わせて示す。汚泥可溶化技術の各構成設備は以下の手順で諸元を設定した。

- ①対象汚泥の性状、一日あたりの処理対象汚泥量（4%濃度換算、以下同様）、し渣・繊維質等の異物混入状況により前処理設備の設置を決定する。
- ②一日あたりの処理対象汚泥量により、汚泥可溶化装置の運転時間と設置台数を決定する。汚泥可溶化装置は2台1セットでの交互運転とする。1台の稼働時間が12時間/日/以内の場合、1台1セットとすることができる（何れも予備機を除く）。一般的な下水処理場では概ね表4-17に示す設置台数が想定される。

表 4-17 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）

下水処理場規模 (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

※設置台数は目安であり、下水処理場の特性に合わせて決定する。余剰汚泥のみを可溶化の対象とする場合や全量可溶化する場合等も、汚泥量に合わせて設置台数を設定する。

- ③汚泥性状確認のため、対象汚泥を採取し、メーカーが提供する実験機を用いて汚泥可溶化装置

の仕様を決定する。

- ④汚泥可溶化装置 1 セット (2 台) に対して可溶化汚泥移送ポンプを 1 台設置する。ポンプの能力は可溶化汚泥量に適合したものとする。
- ⑤供給先である消化タンクの投入状況及び汚泥消化データをもとに、可溶化汚泥の投入方法・投入タイミング等を踏まえ、全体の可溶化設備仕様を決定する。
- ⑥設計概略フローを図 4-14 に示す。

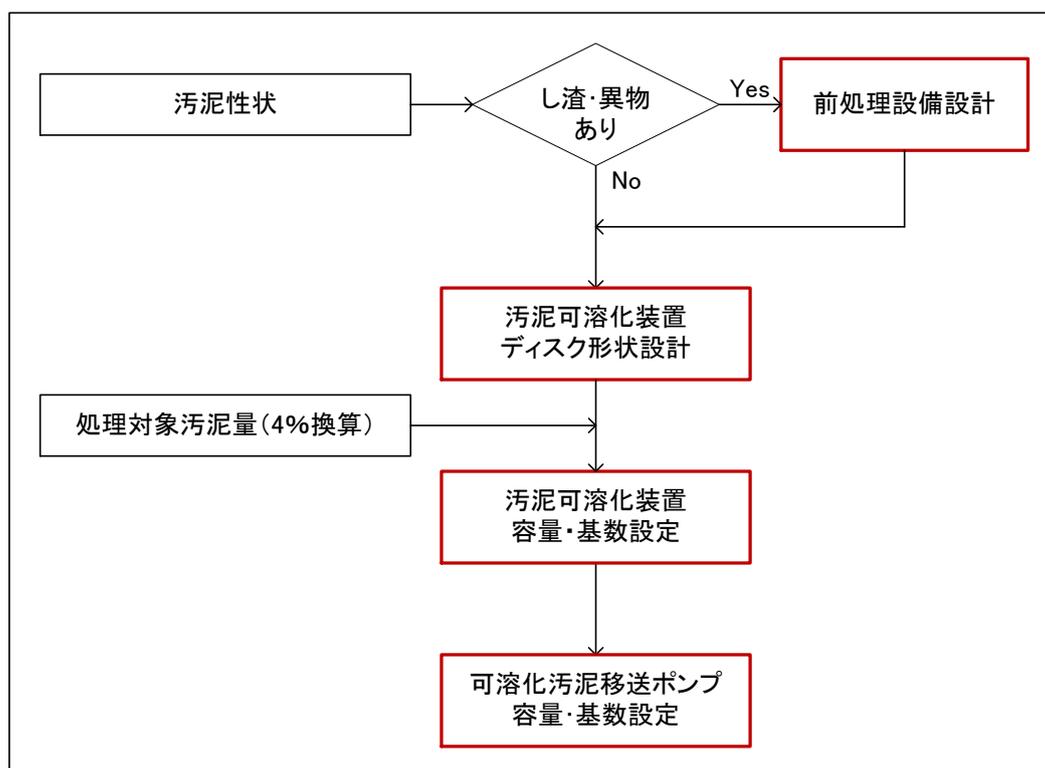


図 4-14 汚泥可溶化設備 設計概略フロー

(1) 前処理設備

対象とする下水処理場の濃縮汚泥混合槽の汚泥性状から、前処理設備を検討する。

汚泥可溶化装置は、汚泥を破碎し可溶化するものであって、繊維質等の異物は汚泥漏れや軸の焼き付きの原因となるため、異物除去の装置類を設置する必要がある。

具体的には、布・毛髪等の繊維質が異物の主となり絡み合うことから、それを取り除くことを目的とした自動スクリーンを設置する。

実証研究では 10mm メッシュのスクリーンをボックスと共に設置した。スクリーンメッシュとボックスの容積は処理汚泥の処理量から算出した。スクリーンボックスは除去されたし渣等が堆積し、適宜清掃することが必要となるため、実施設では自動スクリーンとすることが望ましい。

なお、余剰汚泥のみを可溶化の対象とする場合、前処理設備は省略することができる。

(2) 汚泥可溶化装置

要求される汚泥処理量から、汚泥可溶化装置のディスク形状及び構成を決定する。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を基本とする。また、メンテナンス及び非常時の対応として予備機を1台設置する。予備機は施設全体に対して1台となる。

汚泥性状及び処理量により、ディスク形状・汚泥可溶化設備のモーター出力・回転数・処理量を決定する。

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、各モートル回転速度制御用にインバータを設置する。汚泥可溶化装置のモートル出力は45kWとなり、高調波対策用にコンバータを併せて設置する。表4-18に、参考として実証研究で設置した汚泥可溶化装置の諸元を示す。

表 4-18 実証研究で設置した汚泥可溶化装置の諸元 (例)

名 称	汚泥可溶化装置		周 波 数	60	Hz		
	使用条件	対 象 物	混合濃縮汚泥	電 圧	400	V	
		液 温	常温	℃	出 力	45	kW
		比 重	-	kg/ℓ	極 数	2	P
		液 濃 度	3 ~ 5	Wt/%	相 数	3	相
		吸 込 条 件	引張り	m	耐 熱 ク ラ ス	F	種
機 器 仕 様	口 径 (吸 込 × 吐 出)	80 × 80	A	モ ー ト ル 種 類	全閉外扇型屋内高効率		
	ド レ ン 口 径	40	A	モ ー ト ル 型 式	SF-PR		
	回 転 速 度	3,570	min ⁻¹	共 通 架 台	マンセル7.5GY6/2		
	軸 封 部	オイルシール		本 体 押 え	マンセル7.5GY6/2		
	軸 受 部	オイル循環・空気冷却方式		カ ッ プ リ ン グ カ バ ー	マンセル7.5GY6/2		
	フ ラ ン ジ 規 格	JIS 10K FF		モ ー タ ー	マンセル7.5GY6/2		
	デ ィ ス ク 径	φ 300	mm	立 会 試 験 (工 場) 有	提出書類 有		
材 質	本 体 容 積	132		L	試 験 ・ 検 査	■ 外 観 検 査	■ 軸 受 温 度 検 査
	本 体	SUS316L		■ 外 形 寸 法 検 査		■ 騒 音 検 査	
	主 軸	SUS630 (H900析出硬化熱処理)		■ 塗 装 検 査		■ 材 料 検 査	
	デ ィ ス ク 板	チタン		■ 水 漏 れ 検 査		■ モ ー タ ー テ ス ト レ ポ ー ト	
	固 定 板	SUS316L		■ 振 動 検 査		—	
	シ ー ル ケ ー ス	SUS316L		重 量	汚 泥 可 溶 化 装 置 本 体	683	kg
	シ ー ル 押 さ え	SUS304L			共 通 架 台	230	kg
	軸 受 ケ ー ス	SUS316L			モ ー タ ー	285	kg
	軸 受 カ バ ー	SUS304L			合 計 (概 算)	1,198	kg
	吸 込 ・ 吐 出 ・ ド レ ン 口	SUS316TP					
共 通 架 台	SS400						
オ イ ル シ ー ル	ニトリルゴム						

(3) 可溶化汚泥移送ポンプ

可溶化後の汚泥は、可溶化汚泥移送ポンプを用いて消化タンクへ移送する。可溶化汚泥移送ポンプは一軸ネジ式ポンプとし、汚泥可溶化装置一セットにつき移送ポンプ1台を設置する。また、装置全体で予備機を1台設置する。

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とする。実証研究では、対象汚泥処理量：80m³/日に対し、最大5m³/hのポンプを選定した。実証研究で選定した移送ポンプの諸元を表4-19に示す。

表 4-19 可溶化汚泥移送ポンプ諸元 (例)

名称	可溶化汚泥移送ポンプ		周波数	60	Hz
型式	一軸ねじ式ポンプ		電圧	200	V
移送液	対象物	可溶化汚泥	出力	3.7	kW
	液温	5 ~ 35 °C	極数	4	P
	密度	1,000 kg/m ³	相数	3.7	相
	濃度	ss. 3 ~ 5 %	耐熱クラス	E	種
ポンプ仕様	吐出量	1.6 ~ 13.5 m ³ /h	モーター種類	全閉外扇屋外高効率 トプランナーモーター (IE3)	
	吐出揚程	18 m	モーター型式	SF-PRO	
	吸込揚程	-2 m	塗料	ポリウレタン樹脂系	
	全揚程	20 (0.2MPa) m	塗装仕様	マンセル7.5GY6/2	
装置構成部品	回転速度	58 ~ 530 min ⁻¹	塗色	—	
	周波数	6 ~ 57 Hz	基礎ボルト	SUS304 6本	
	共通ベース	SS400	圧力計配管ユニット	SUS316/SUS304	
	モーター側ブリー	FC200 5A2	圧力計	SUS316	
	ポンプ側ブリー	FC200 16A2	起動トルク	73.5	N·m
	Vベルト	A65 2本	備考		
	ブリーカバー	SS400 P1051576			
呼水装置	SC14 分割式				
ドレン配管ユニット	SUS316/SUS304 EDA00447				

(4) 汚泥移送管

汚泥可溶化処理により、汚泥温度が約 9°C程度上昇する。これを利用することにより消化タンクにおける加温コストが削減されることから、可溶化汚泥移送ポンプから消化タンクまでの可溶化汚泥移送管は、配管被覆処理として保温を行う。また、加温コストの削減効果の算出に際しては、保温効果を含めて送泥中の温度低下を加味する必要がある。なお、送泥中の温度低下は、外気温、送泥距離や配管径、被覆処理の方法等に基づいて個別に計算を行う必要があることから、本ガイドラインでは加味していない。

なお、機械濃縮棟や管路及び消化タンクまでの移送管中は気温の影響を受けるため、汚泥の凍結防止や油分の固化防止の観点からも、防寒対策を施すことが望ましい。

(5) 配置検討

実証研究における本設備の各装置の配置例を図 4-15 に示す。

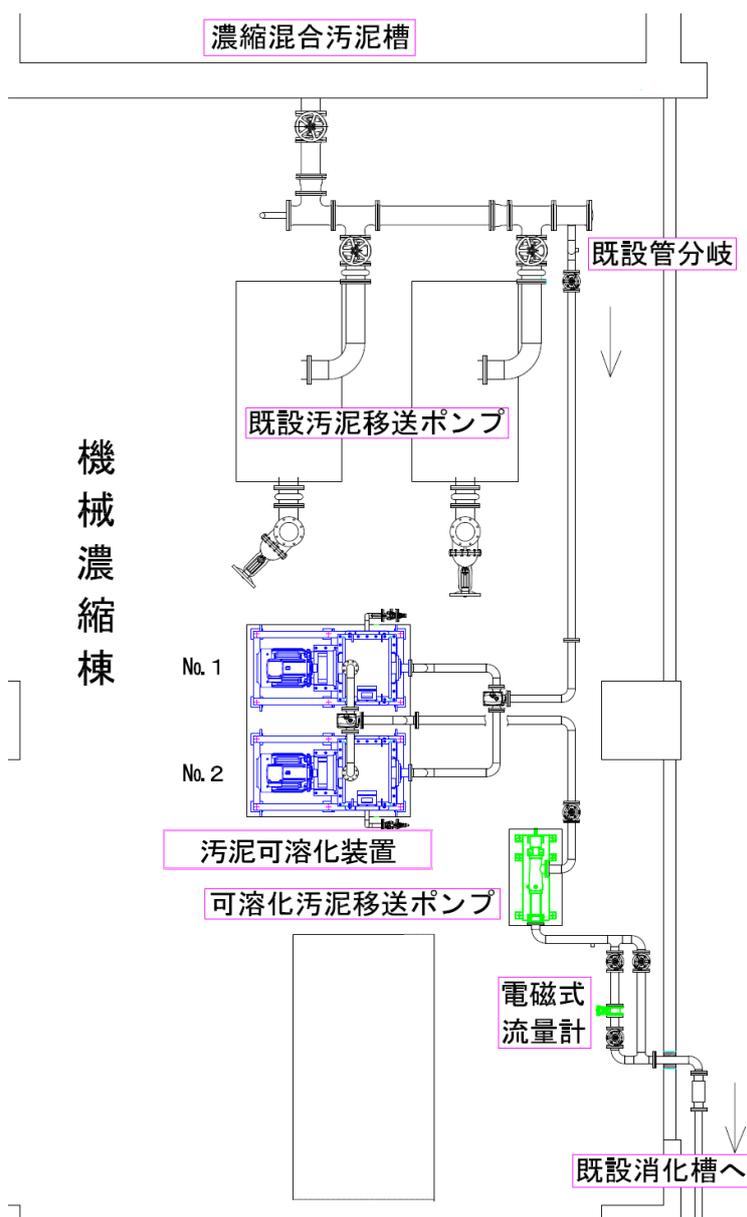


図 4-15 実証施設における汚泥可溶化技術の設備配置概略図 (例)

処理プロセスの順番としては、濃縮汚泥混合槽 ⇒ 汚泥可溶化装置 ⇒ 一軸ネジ式ポンプ ⇒ 供給先（消化タンク）である。

混合汚泥は最初沈殿池から発生する生汚泥と最終沈殿池から発生する余剰汚泥を混合し、濃縮した汚泥である。したがって、し渣・繊維質等の異物が多く含まれることがあるので、その場合は前処理設備の検討も必要となる。

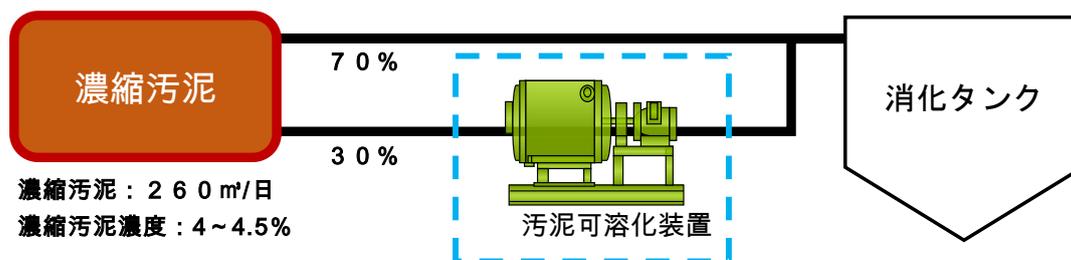
本設備では汚泥可溶化装置の内部を負圧にして処理することを前提にしているので、一軸ネジ式ポンプの設置場所は必ず汚泥可溶化装置の後段とする。装置の上部にメンテナンス用器具を設置する場合は、装置高さ×1.5倍程度の空間を設け、吊金具等を設置することが望ましい。

同様に機器周囲にも点検用歩路及びメンテナンススペースを設けることが望ましい。本設備は、汚泥を扱うので洗浄用に散水栓と排水溝を設ける。洗浄水に関しては、場内処理水等で代用でき

るのでコスト節約となる。

また、既存建築物に設置する場合を考慮し、装置の移動スペースを確保することや重量等荷重設計（3.5kN/m²以下）を行い、設置に必要な面積を確保すること。

対象となる濃縮混合汚泥槽から汚泥可溶化設備までの配管取り回しは短い方がよい。汚泥濃縮棟等の棟内スペースに設置することが容易な装置であり、既設配管からの切り替え操作での処理が可能である。



※汚泥を可溶化する割合は実証研究における例

図 4-16 実証施設における汚泥可溶化技術の設備組込み設置概略