

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の概要と特徴

§5 技術の目的

本システムは下水処理場の嫌気性消化プロセスにて生産するバイオガスから CO₂ を分離・回収し、回収した CO₂ 並びに脱水分離液中のアンモニア性窒素及びりん酸を有効利用して、高付加価値な栄養資源である微細藻類（ユーグレナ）を培養し、これまで廃棄していた CO₂ の有効利用、窒素・りんの低減を目的とする。

【解 説】

下水処理場では下水道資源の有効活用が求められており、汚泥の減量化とエネルギーの回収を図ることができる嫌気性消化が改めて注目されている。これまで、嫌気性消化で発生する消化ガスに含まれる成分のうち、メタンについてはエネルギー回収のため有効活用されるが、二酸化炭素は廃棄されてきた。また、嫌気性消化では有機物の分解にともない窒素・りんが消化液中に溶出し、これが脱水分離液等の返流水として水処理施設へ返送されるため、水処理施設へ流入する窒素・りん負荷量を増大させる点が課題となる。

本ガイドラインで培養の対象としている微細藻類（ユーグレナ）は植物と動物両方の特徴を持った微生物であり、その体内に独自成分であるパラミロンを初めとする豊富な栄養素を有していること等から有用性が高く、健康食品をはじめとして肥料や飼料等にも用いられている。また、微細藻類からジェット燃料の原料を抽出することも考えられており、広範な利用が考えられる有用な微生物である。

微細藻類の培養に際しては、水、栄養塩（窒素・りん等）、光、炭素源（CO₂）等の資源が必要であるが、微細藻類培養を下水処理場で行うことにより、流入水や脱水分離液中の栄養塩類、消化ガス中の CO₂ を微細藻類の培養に用いることができる。また、脱水分離液中の栄養塩類を微細藻類が取り込むことで返流負荷が削減される効果もあり、双方にとってメリットがある。

そこで本システムは、消化ガス中の CO₂ や水処理の負荷となっていた脱水汚泥分離液中の窒素・りんを有効利用して、下水処理場において高付加価値な栄養資源である微細藻類を培養し、これまで廃棄していた CO₂ の有効利用、返流水中の窒素・りんの低減を目的とする。図 2-1 に本システムを従来システムと対比させて示した。

なお、本システムを実施する際、微細藻類培養については下水道事業者が実施する場合と、民間事業者が CO₂ 及び脱水分離液を下水道事業者から受け取って実施する場合が想定される。

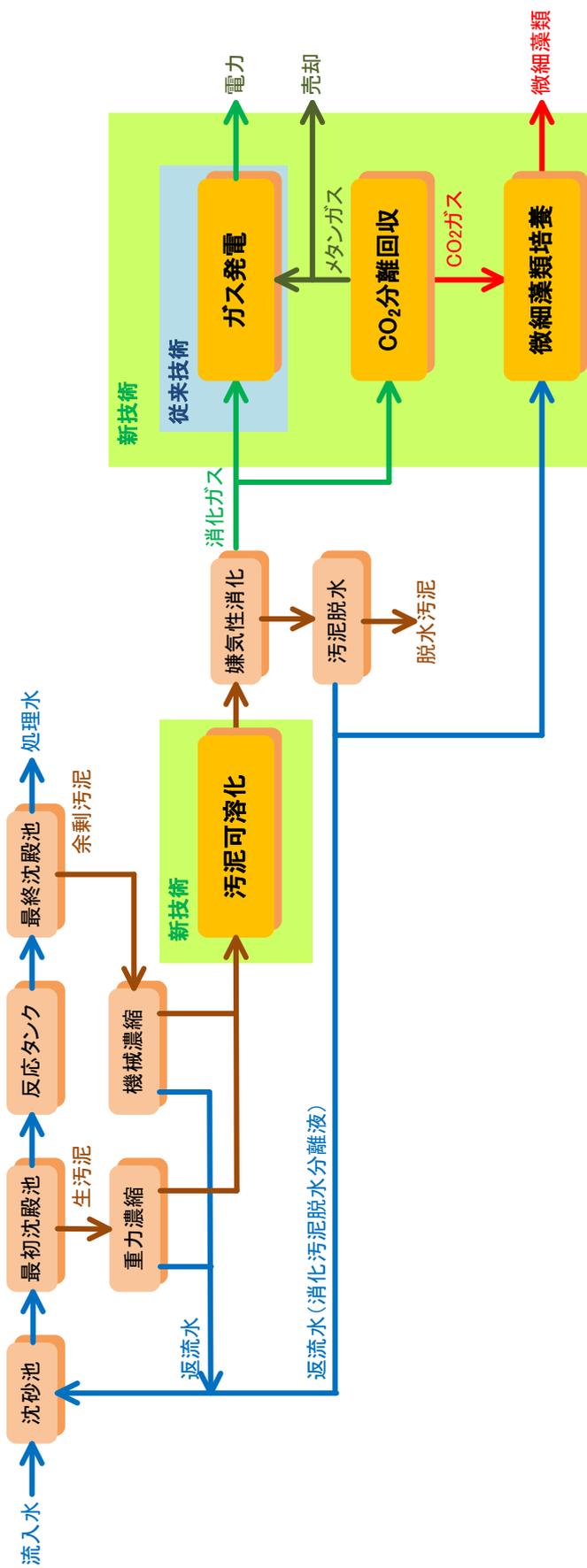


図 2-1 従来システムとの差異

§6 システム全体の概要と特徴

本技術は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であり、温室効果ガスの有効活用と、返流水負荷の削減効果が期待できる。また、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、微細藻類培養量を増大させる。

【解説】

本技術は、①CO₂分離回収技術、②微細藻類培養技術の二つの特徴的な個別技術から構成されており、さらに付帯技術として③汚泥可溶化技術が追加される。CO₂分離回収技術により消化ガスから分離・回収した高濃度の CO₂ を微細藻類培養に供給し、これまで廃棄されていた CO₂ ガスを有効活用する。微細藻類培養に必要な栄養塩類は、下水処理場から発生する脱水分離液中の窒素、りんを用いるため、返流水による負荷削減効果も期待できる。また、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、微細藻類培養に必要な CO₂ 発生量を増加して微細藻類の培養量も増加させる技術である。

図 2-2 に本技術の全体構成を、図 2-3 に実証設備の外観を示した。実証試験の概要については資料編 p117～121 参照。

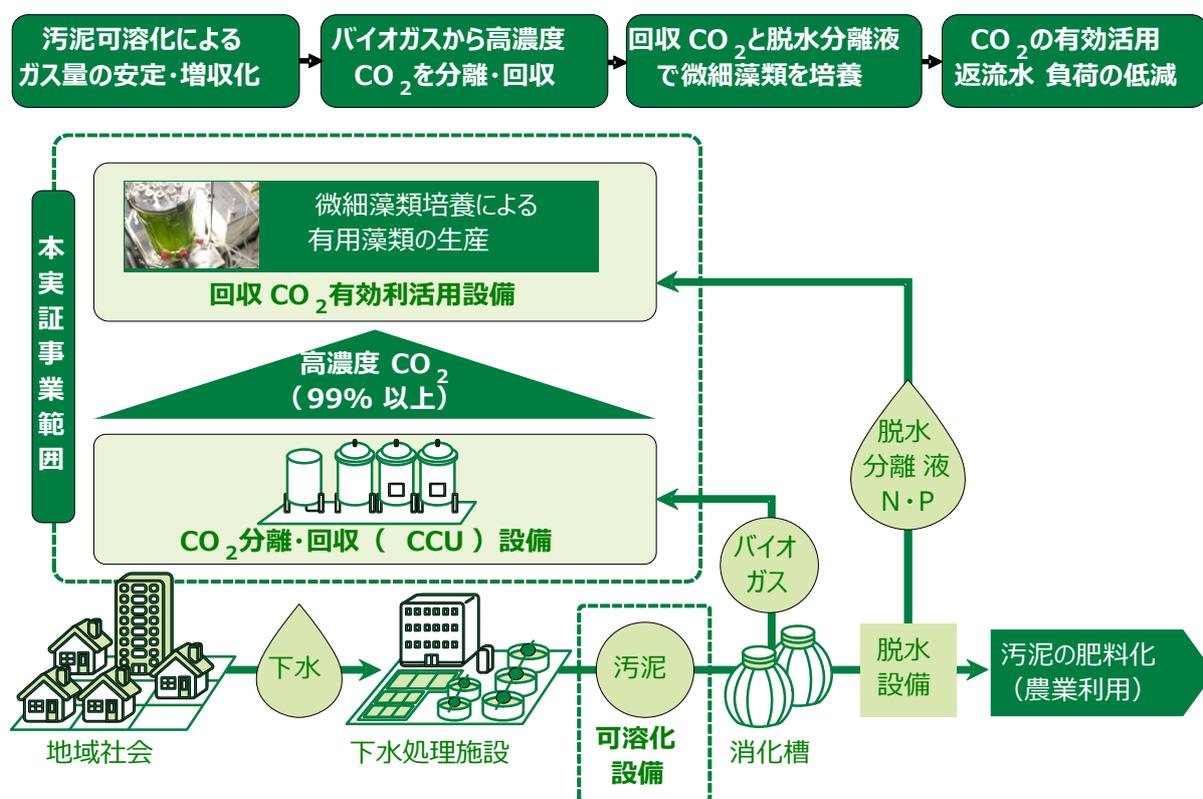


図 2-2 本技術の全体構成

【CO₂分離・回収施設】



【微細藻類培養施設】



【汚泥可溶化施設】

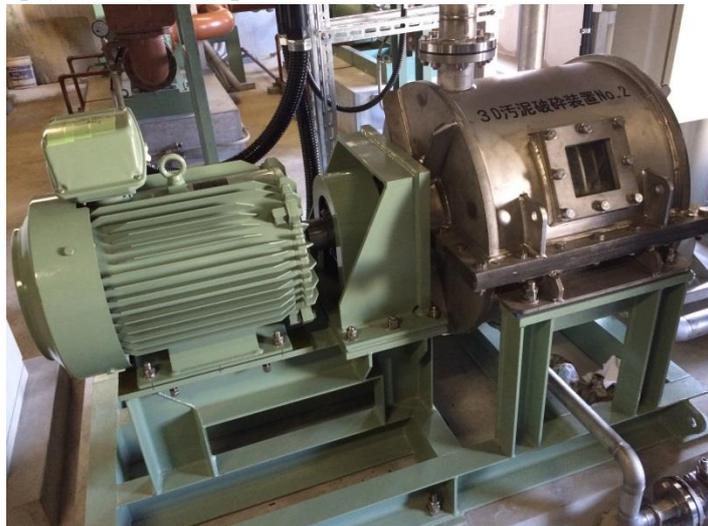


図 2-3 実証設備の外観

§7 CO₂分離・回収技術の概要と特徴

本技術は PSA 法（加圧と減圧を交互に繰り返すことで CH₄ と CO₂ を連続的に分離・回収する方法）により下水バイオガスから CH₄ と CO₂ を効率的に分離・回収する技術である。

【解説】

従来、下水バイオガスの有効利用方法の一つとして CH₄ を高濃度化（精製）し、都市ガス等の代替として利用する技術がある。ただし、この精製技術は一般的にバイオガス中の CO₂ を吸着・吸収等を行い分離することで CH₄ を高濃度化する技術であり、この精製の過程で CO₂ は廃棄されていた。

本新技術では、従来の下水バイオガス中の CH₄ の高濃度分離・回収に加え、CO₂ も高濃度で分離・回収するところが特徴である。CO₂ 分離・回収技術の概要を図 2-4 に示す。

バイオガスを CCU 設備内に備えた吸着塔に通すことにより吸着塔内の吸着剤に CO₂ が吸着し、CH₄ は分離濃縮され、高濃度で回収できる。さらに、吸着剤から CO₂ を脱着することにより高濃度の CO₂ の回収を行う。

本装置は 3 塔の吸着塔で構成される PSA 方式を採用しており、①吸着分離、②CO₂ パージ、③CO₂ 回収+吸着剤再生の 3 工程を自動制御により繰り返し行うことで、下水バイオガスから高純度の CO₂（濃度 99%以上）及び CH₄（濃度 90%以上）の両ガスを連続的に回収することを可能とした装置である。

②CO₂ パージ工程において、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%程度で、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た。下水処理場から発生する消化ガスを全量処理する場合は、オフガスを消化ガスタンクへ返送することにより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。余剰ガス燃焼装置に関する留意事項は、p64 に記載している。

実証試験の詳細については資料編 p122～132 参照。

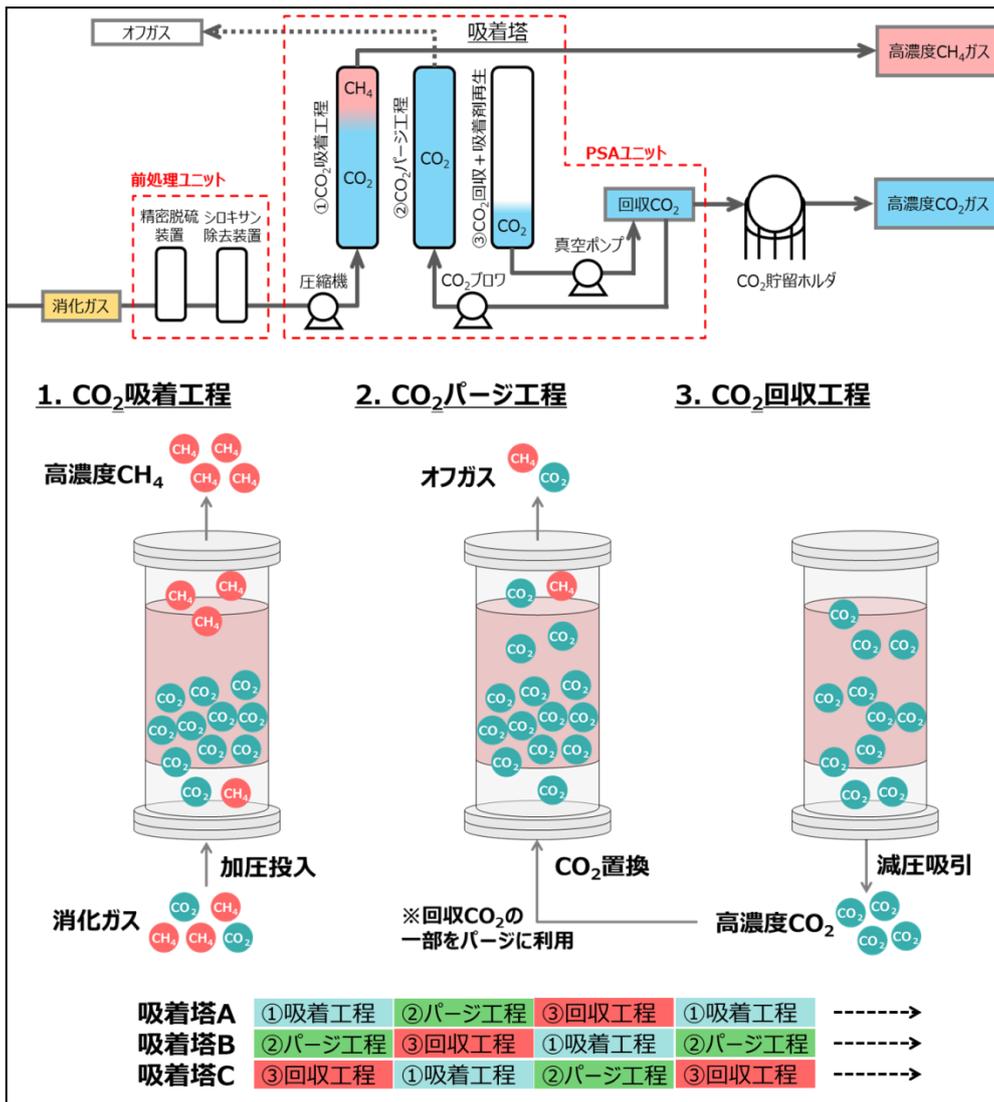


図 2-4 CO₂分離・回収技術の概要

§8 微細藻類培養技術の概要と特徴

本技術は CO₂ 分離回収技術にて回収した CO₂ と脱水分離液（窒素、りん）を用いて微細藻類（ユーグレナ）を効率的に培養する技術である。

【解説】

ユーグレナ（和名：ミドリムシ）は、植物と動物両方の特徴を持った微生物であり、その体内に独自成分であるパラミロンを初めとする豊富な栄養素を有していること等から有用性が高く、健康食品等に用いられている。

微細藻類の培養には、水、栄養塩（窒素、りん等）、光、炭素源（例えば CO₂）等の資源に加え、環境維持（水温や pH）の調整が必要である。一般に、微細藻類を培養する際には、それらの資源を購入する必要がある。これに対し、下水処理場は栄養塩類を含んだ流入水や脱水分離液、CO₂ 等の炭素源を含んだ下水バイオガス等が豊富にあり、これらを微細藻類の培養に用いることができるため、微細藻類培養は下水処理場との親和性が高い。

実証試験では種株の培養を室内（前培養棟及びジャーファーマンター）で行い、それを本培養棟内に設置したポリカーボネート製のタンクにて培養した（図 2-5 参照）。なお、タンク形状については、水深が約 10～30 cm の楕円形に造成した無終端水路にパドルを設置して水流を起こすレースウェイ方式の適用も考えられるが、側方からの光の取り込みも可能であり、低コストで汎用性のある市販のポリカーボネート製タンクを採用した。培養終了後は連続遠心分離機を用いて培養液から藻体スラリーを分離回収し、回収したスラリーはスプレードライヤーを用いて熱風乾燥を行い、粉末として回収する。回収した藻体粉末は、換気の良い乾燥した冷所で保管する。実証試験の詳細については資料編 p133～165 参照。

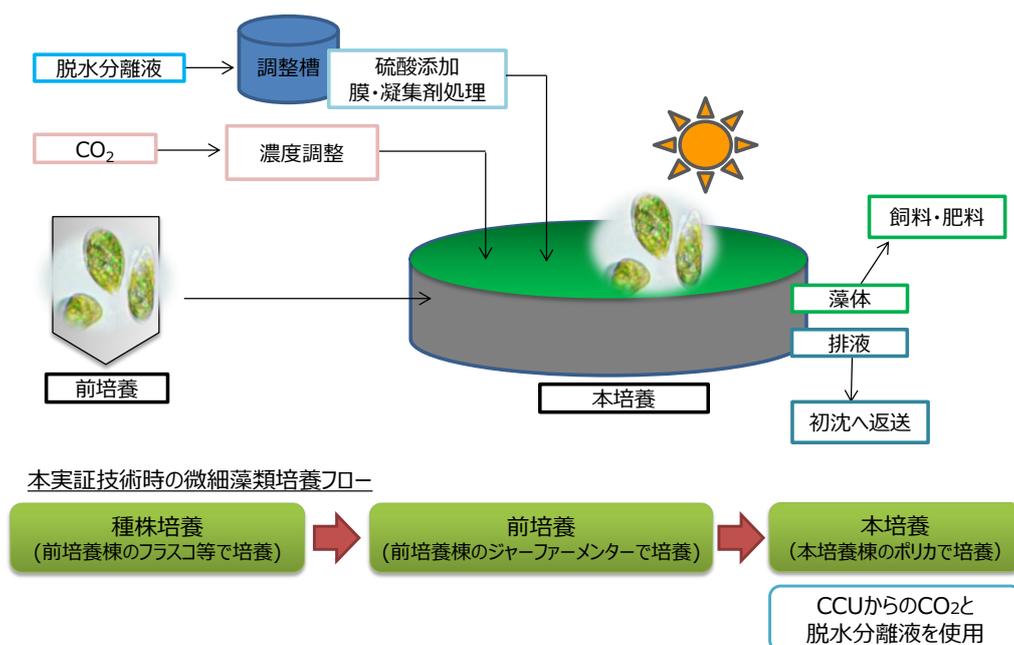


図 2-5 微細藻類培養技術の概要

§9 付帯技術（汚泥可溶化技術）の概要と特徴

本技術では、下水処理場で発生する一定量の汚泥から安定してより多くの CO₂ を分離・回収するため、汚泥を微細化し、バイオガスの発生量を安定・増加させる汚泥可溶化技術を採用する。

採用する汚泥可溶化装置は固定ディスクと回転ディスクで構成され、ディスクを 3,000～5,000rpm にて回転させることにより、周速 37～52m/s を発生させ、せん断力及びキャビテーション作用を利用し汚泥を機械的に破砕し可溶化する技術である。

本技術では、汚泥を可溶化することによるバイオガス発生量の安定・増加効果に加え、副次的な効果として汚泥温度が上昇することにより、消化タンク加温エネルギーの削減を見込むことができる。

汚泥可溶化装置の内部は固定ディスクと回転ディスクを内蔵し、ディスクの径、厚み、数量は、汚泥処理量に合わせて設計される。その材質はすべて SUS316 であり、回転ディスクの駆動は能力に応じた電動機を直結する構造である。実証試験の詳細については資料編 p166～179 参照。

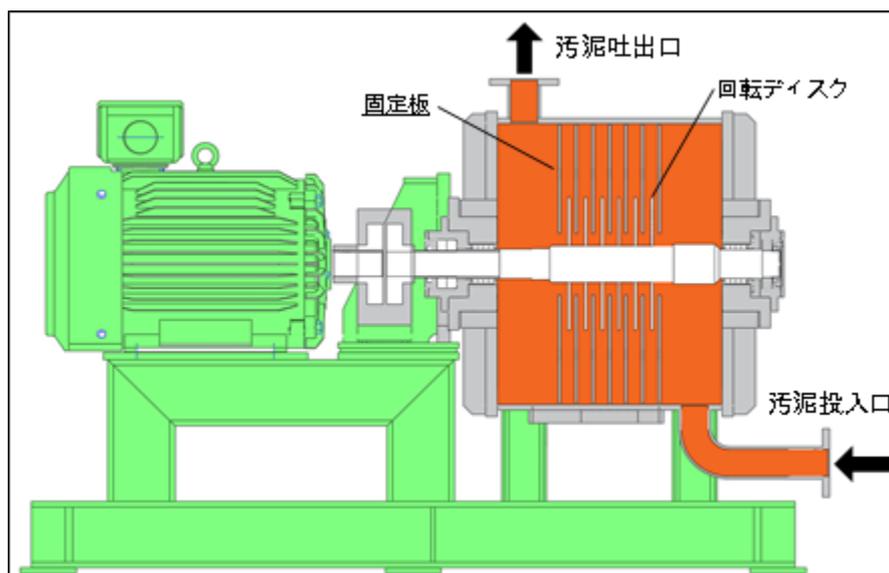


図 2-6 汚泥可溶化装置の内部構造

第2節 技術の適用条件

§ 10 技術の適用条件

本システムは、下水処理場における嫌気性消化工程で発生するバイオガス（消化ガス）中の CO_2 と、脱水分離液中に含まれる高濃度の栄養塩（窒素・りん）を利用して微細藻類（ユーグレナ）を培養するものである。したがって、本技術の適用に際しては、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。また、本システムでは本培養施設の設置に用地を必要とするため、用地に余裕があることが必要である。

【解説】

本技術はバイオガス中の CO_2 を分離回収し、微細藻類の培養に有効活用するシステムであり、消化工程を有する下水処理場への適用を基本とする。なお、 CO_2 分離回収技術については最小スペックが供給バイオガス量 $800\text{Nm}^3/\text{日}$ （ CO_2 回収量：440 kg/日）であることから、小規模の下水処理場に加え、比較的大きい下水処理場において相応の余剰ガスが発生している場合にも適用が可能である。なお、本システムは本培養施設の設置に用地を必要とする。本システムでは概ね以下の規模・バランスの下水処理場を想定している。

■日最大処理水量：50,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 規模の下水処理場の場合、消化ガス発生量：4,000 $\text{Nm}^3/\text{日}$ 、脱水分離液量：250 $\text{m}^3/\text{日}$ 、微細藻類培養施設土地面積：3ha、 CO_2 分離回収施設：300 m^2 、汚泥可溶化設備：40 m^2

ここでは、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、後述する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。

なお、消化タンクを有していないが用地に余裕がある下水処理場、集落排水施設、し尿処理場等に対し、近隣の消化タンクを有する下水処理場を核とした広域的普及展開策も考えられる。すなわち、消化タンクを有する下水処理場に CO_2 分離回収装置及び前培養施設を設置し、バイオガスから分離回収した CO_2 及び前培養施設において培養した種株を周辺の下水処理場等に輸送し、当該施設における栄養塩を含む処理水等を利用した培養が可能である。但しこの場合、 CO_2 等の輸送コストや、処理水中の窒素及びりんの濃度が微細藻類の培養に十分な量が含まれていない場合には栄養塩の添加コストについても考慮する必要がある。

また、中心となる下水処理場において種株の前培養と乾燥設備を集約的に行い、近隣の消化タンクを有する下水処理場において本培養のみを行う方法も考えられる。

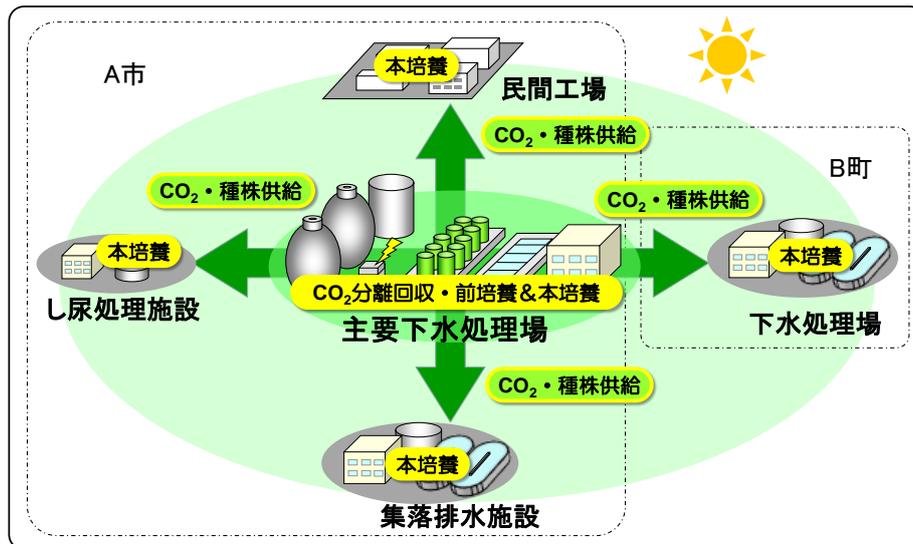


図 2-7 主要下水処理場を核とした CO₂ 供給と微細藻類培養のイメージ

§ 11 導入シナリオ例

本システムでは3技術を一括導入し、得られるCO₂を全て微細藻類培養に用いるシナリオのほか、個別技術を段階的に導入するシナリオが考えられる。基本的には一括導入シナリオで経済効果が高くなるが、微細藻類培養スペースや初期投資費用に制約がある場合には段階導入シナリオ、あるいは部分導入シナリオも有効である。

【解説】

本技術は3技術を一括して導入し、得られるCO₂の全てを微細藻類培養に用いることで最も培養量が多くなる。しかし、微細藻類の培養にかかる用地面積が大きいため、CO₂を全量利用できない場合には個別技術を段階的に導入するシナリオや、部分的に導入するシナリオも有効である。

(1) 一括導入シナリオ

本シナリオでは段階的な導入の場合に必要な追加的費用が一切不要となることや、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をもたらす建設費の低減等のメリットが大きい。

また、発生するCO₂の全量を微細藻類培養に用いることができるため、微細藻類培養量を最大限見込むことができる。

(2) 段階導入シナリオ

本技術は微細藻類を培養し、CO₂の活用や脱水分離液中の栄養塩を削減するシステムであるため、微細藻類培養量を最大限にすることでこれらの効果が最も高くなる。しかし、微細藻類培養にかかる用地面積が大きいことや、初期投資費用も大きくなることから、これが制限要因になるケースが考えられる。この場合、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し、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する。想定される微細藻類売却の市場規模から微細藻類培養量を設定することも合理的である。また、CCUを先行的に導入し、CO₂ガスを売却するシナリオも考えられる。

なお、段階導入シナリオは一括導入シナリオと比較して段階的に導入するため、設備の最適配置や同時に建設を行うことによる調達の本格化等が図れず、投資額が多くなることや工期が長くなることが予想されるため、そのデメリットを加味しておく必要がある。

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§12 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は以下に示すとおりである。

- (1) コスト（建設費、維持管理費、収益、経費回収年）
- (2) エネルギー消費量・創出量・使用量削減効果
- (3) 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量
- (4) 窒素・りん削減量

【解説】

本システムの導入検討においては、システムの性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選択できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、提示する必要がある。本ガイドラインでは、本システムの性能を評価する項目として、(1) コスト、(2) エネルギー消費量・創出量・使用量削減効果、(3) 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量、(4) 窒素・りん削減量について示す。評価規模を表 2-1 に示した。

評価規模は、本システムは微細藻類培養規模が大きいほど導入効果が高いことを踏まえた①一括導入シナリオを基本とする。また、当面の投資額が抑制される CCU 設備のみを導入する②部分導入シナリオについても評価を行った。

表 2-1 評価規模

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

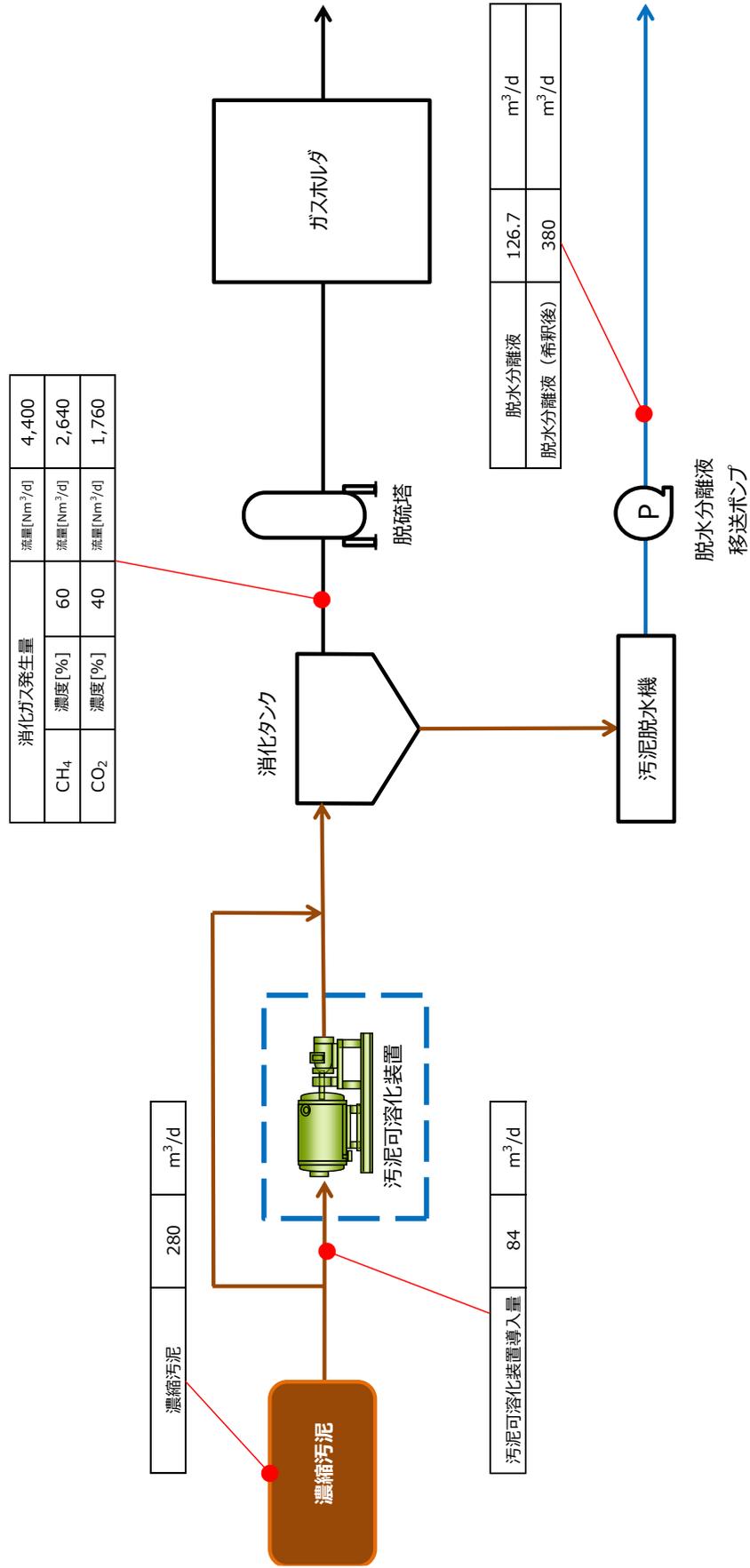
※1：ガス発生量は汚泥可溶化による増量（10%）を含む。なお、CH₄、CO₂は製品ガスとしての量を表す。

※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。（図 2-8 参照）

微細藻類培養にかかる条件は、本実験で得られた最適条件（資料編 p.153,183 参照）とした。

また、コスト算出にかかるマスバランスを図 2-8～図 2-10 に整理した。

FS 評価規模でのマスバランス



※脱水分離液は培養に必要な量を移送、他は下水処理場に返流

図 2-8 コスト算出におけるマスバランス (汚泥可溶化技術)

FS 評価規模でのマスバランス

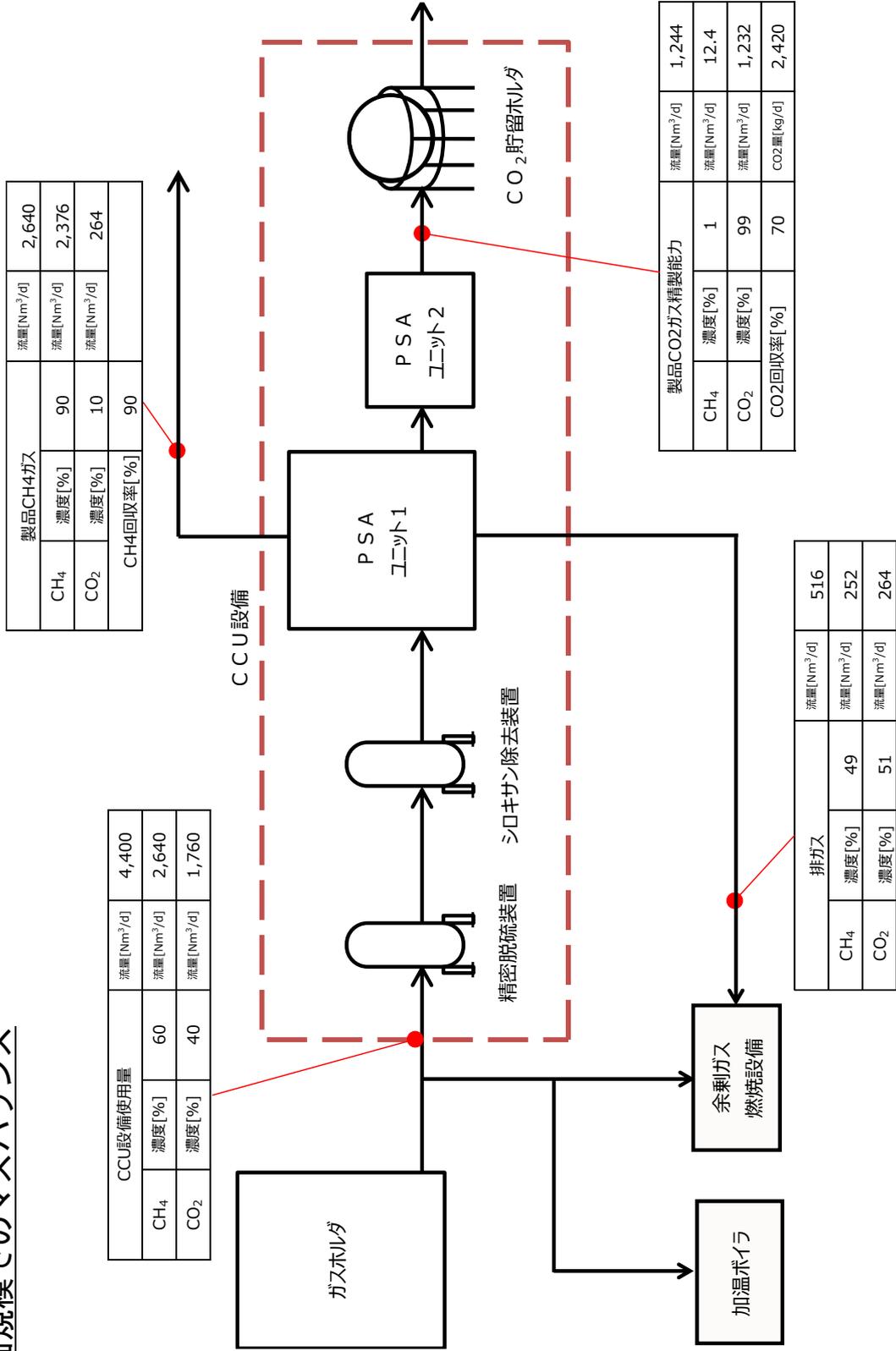


図 2-9 コスト算出におけるマスバランス (CO₂分離・回収技術)

FS 評価規模でのマスバランス

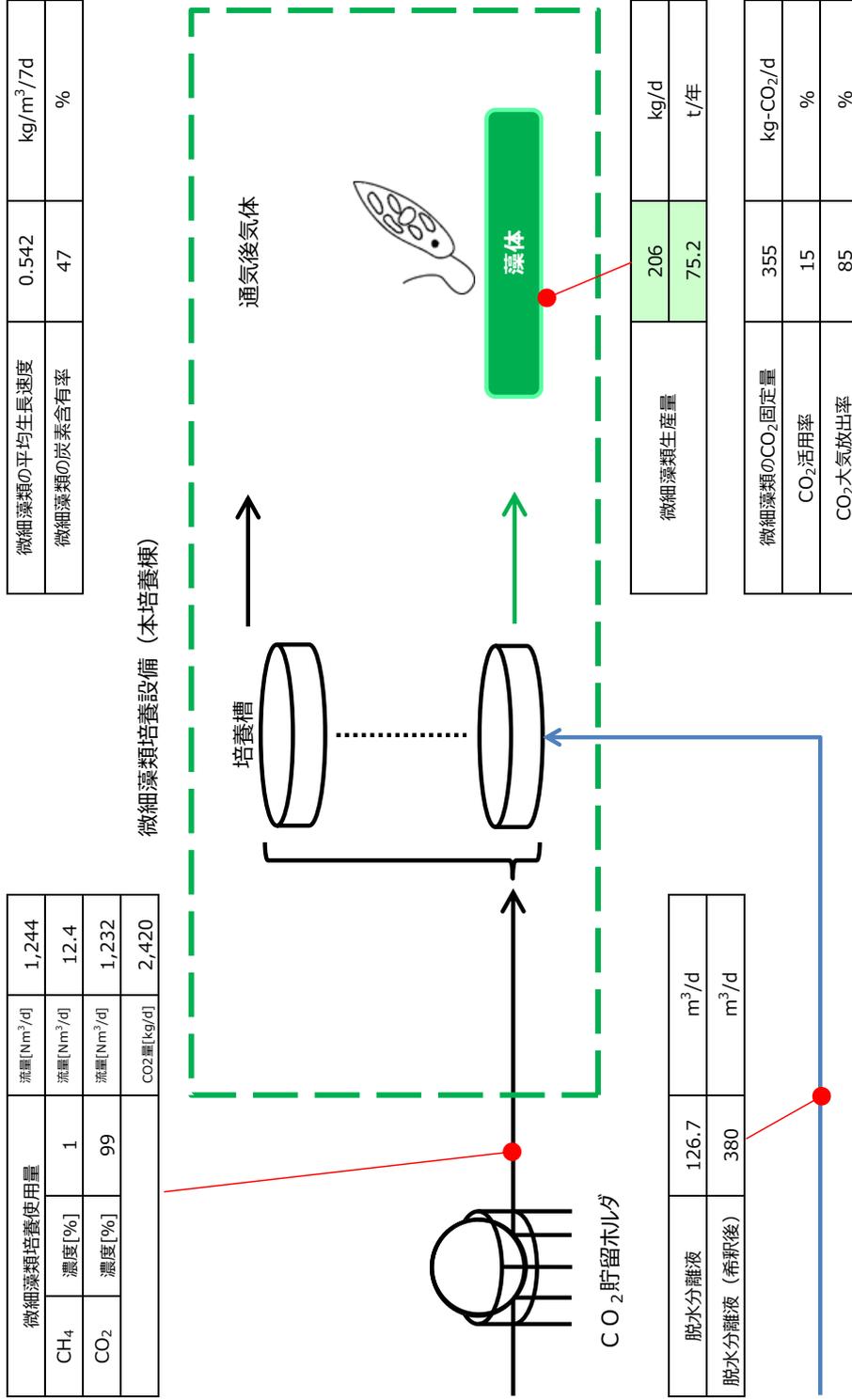


図 2-10 コスト算出におけるマスバランス (微細藻類培養技術)

なお、二次処理水供給装置は既設流用を前提として建設費・維持管理費には含まないこととした。微細藻類培養設備から水処理設備への返流は、自然流下を基本とする。電気設備には一次側の受変電設備及び既存の中央監視設備への接続・改造等は含んでいない。これらについては、各下水処理場の実態に応じて建設費・維持管理費を計上する必要がある。例えば二次処理水供給能力が不足する場合等が考えられる。

また、以下に各評価項目の評価方法を示した。

(1) コスト（建設費、維持管理費、収益、経費回収年）

本システムを導入する場合におけるコストを評価する項目と含まれている細目を以下に示した。

なお、本システムは分離・回収した CO₂ ガスを微細藻類の培養に用い、生産した微細藻類の売却益を得ることで成立する技術であるが、客観的な微細藻類売却単価の設定が困難であることから、微細藻類単価と経費回収年の関係式を示した。

また、汚泥可溶化技術については、濃縮汚泥全量を可溶化対象としてその効果を見込むことが望ましい。しかし、本実証研究では濃縮汚泥の 30% を対象としており、濃縮汚泥全量可溶化時の消化ガス増量の効果を実験結果に基づいて見込むことが技術的に困難であったことから、今後、全量可溶化時の効果が明らかになった時点で経費回収年の算出に組み込むこととした。ここでは実証研究結果に基づき、汚泥可溶化は濃縮汚泥の 30% を対象とし、消化ガスが 10% 増量する効果を見込むこととした。

1) 建設費

建設費には、土木工事費（設置場所に左右される土地購入及び地盤改良工事等の費用を含まず、床盤及び機械基礎の築造を含む）、機械工事費、電気工事費（1次側の受変電設備、中央監視設備を除く）、据付工事費、試運転費を含む。CCU 設備は基本的に建屋（囲いを含む）が不要であるため、建築工事費は計上していない。微細藻類培養設備は、前培養棟及び本培養棟の建築を含む。本培養棟は実証研究と同等の光透過性の高い素材を用いたハウスとしている。汚泥可溶化設備は既設の汚泥処理施設の空きスペースに設置することを想定し、建築工事費は計上していない。精製バイオガスのメタンは売却することを想定し、ガス充填施設の設置にかかる費用を見込む。

なお、本建設費の各項目は、メーカー見積もり及び実証研究における実績、下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインを参考にして共同研究体が独自に設定したものであり、地盤を含む周辺条件、対象工事範囲等で変動するものであることに留意する。また、建設コストに土地購入にかかる費用は含まない。

2) 維持管理費

維持管理費には、電力費、薬品費（微細藻類培養液の pH 調整用の硫酸）、機器の補修費、人件費等を含む。補修費及び人件費はメーカー見積もり及び実証研究における実績、下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインを参考にして共同研究体が独自に設定し、それ以外の項目については、資料編に示した単価と実証試験の成果により設定する。

- ・電力費：電力消費量には、CCU 設備、微細藻類培養設備（前培養・本培養）、汚泥可溶化設備、メタンガス有効利用設備及びそれらに電力を供給及び制御をする電気設備が消費する電力量を計上する。ただし、微細藻類培養設備から水処理設備への返送は自然流下として電力量は見込まない。着水井に返流する場合、揚水量の増加は0.6%程度であるため、ここでは揚水ポンプ電力費の増加は無視した。なお、各電力消費量は実証試験の成果により確認された化学工学計算及び容量計算結果によって設定する。
- ・薬品費：薬品費として、微細藻類培養液の pH 調整用の硫酸を計上する。硫酸使用量は実証研究結果に基づく。
- ・補修費：各設備の点検及び補修に要する費用を計上する。年毎に変動があるため、設備ごとに年平均としてメーカーの指定する補修費率に基づいて算出する。
- ・人件費：実証研究結果に基づいて設備ごとに必要な運転管理人員を想定する。なお、CCU 設備は自動運転のため人件費は計上しない。

3) 収益

有価物として CH₄ ガスの売却益を見込む。CH₄ ガスの売却単価は、「バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン（案）」¹⁾に記載されている都市ガス単価を基にカロリー比例により算出する。また、汚泥可溶化により汚泥温度が上昇する効果として、消化タンクの加温に用いる A 重油使用量の削減を見込む。

微細藻類については、売却単価を設定し難かったため、本節では以下の二つのシナリオによる収益の想定を行った。

表 2-2 本節における微細藻類による収益の見込み方について

シナリオ	①一括導入シナリオ	②CCU 設備部分導入シナリオ
CO ₂ の利用	微細藻類培養に利用する。	売却する。
経費回収年	売却単価と経費回収年の関係を示す。	経費回収年を計算する。
コストの見込み方	微細藻類培養に関するコストを見込む。 CO ₂ 売却施設に関するコストは見込まない。	CO ₂ 売却施設に関するコストを見込む。 微細藻類培養に関するコストは見込まない。

※シナリオについては § 11 参照。

また、微細藻類培養では返流水中の窒素及びりん除去が見込まれる。ここでは高度処理施設を想定し、硝化に必要な送風量の削減と、りん除去に必要な凝集剤の添量削減効果をそれぞれ算出する。凝集剤の削減により汚泥発生量が削減される効果についても含めた。

4) 経費回収年

コストは以下の式に基づいて経費回収年として評価する。

$$\text{○経費回収年 (年)} = \frac{\text{建設費 (百万円)}}{\text{本システムによる収益 (百万円/年) - 維持管理費 (百万円/年)}}$$

(2) エネルギー消費量・創出量・使用量削減効果

エネルギー使用量は、各設備における電力消費量を対象とする。電力消費量は、「エネルギー源別標準発熱量一覧表」²⁾に基づいた受電端原単位 (9.484MJ/kWh) を用いて一次エネルギー供給量ベースで熱量換算する。

エネルギー創出量として、汚泥可溶化によるメタンガス発生量の増加部分を見込む。また、エネルギー使用量の削減効果として、汚泥可溶化において汚泥温度が上昇することにより、消化タンク加温のためのエネルギー使用量が削減される効果を見込む。

(3) 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量

温室効果ガス排出量の算定にあたっては、各設備の使用電力量及び微細藻類培養に使用する薬品 (12N 硫酸使用量) を対象とする。電力の二酸化炭素排出係数は 0.587kg-CO₂/kWh、薬品 (希硫酸) の製造に係る二酸化炭素排出係数は 0.053kg-CO₂/kg (100%濃度換算値; 「バイオガス関連事業の LCA に関する補足ガイドライン Ver.1」³⁾) とする。

また、温室効果ガス削減量として、汚泥可溶化による汚泥温度上昇に伴う消化タンクの加温に必要な重油使用量が削減される効果と、メタンガスを外部に売却することを想定し、これにより都市ガスの使用量が削減される効果を見込むこととする。

さらに、シナリオ①では微細藻類培養により CO₂ が有効利用される量を算出する。

(4) 窒素・りん削減量

微細藻類培養による窒素・りんの削減率を、実証試験結果に基づいて算出する。また、これによる下水処理場全体への影響 (流入負荷に対する割合) を算出する。

§ 13 技術の評価結果

本技術の実証研究において以下の項目を評価した。

- (1) コスト（建設費、維持管理費、有価物売却益等、経費回収年）
- (2) エネルギー消費量・創出量・使用量削減効果
- (3) 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量
- (4) 窒素・りん削減量

評価は、①一括導入シナリオと②CCU 設備部分導入シナリオの2 ケースで行った。

【解 説】

①一括導入シナリオの場合

技術の評価結果を表 2-3 に示す。詳細は後述する表 2-4～表 2-8 を参照。なお、微細藻類培養にかかる条件は、実証研究で得られた最適条件（資料編 p.153,183 参照）とした。

【微細藻類培養にかかる最適条件】

- 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

表 2-3 技術の評価結果

評価項目		単位	微細藻類 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 ^{※1}	百万円/年	— ^{※2}	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
	りん	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	°C	—	—	—	9	9

※1：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。有価物売却益等の内訳は表 2-6 参照。なお、ここでは有価物売却益等に微細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。

※2：微細藻類の売却単価は市場開拓・市場創出の可能性を含め検討中のため、具体的な数値は記載しない。

なお、前述のとおり微細藻類の売却単価を設定し難かったため、微細藻類に関連するコストを含めたシステム全体のケースについては、微細藻類の想定売却価格と経費回収年の関係として図 2-11 に整理した。

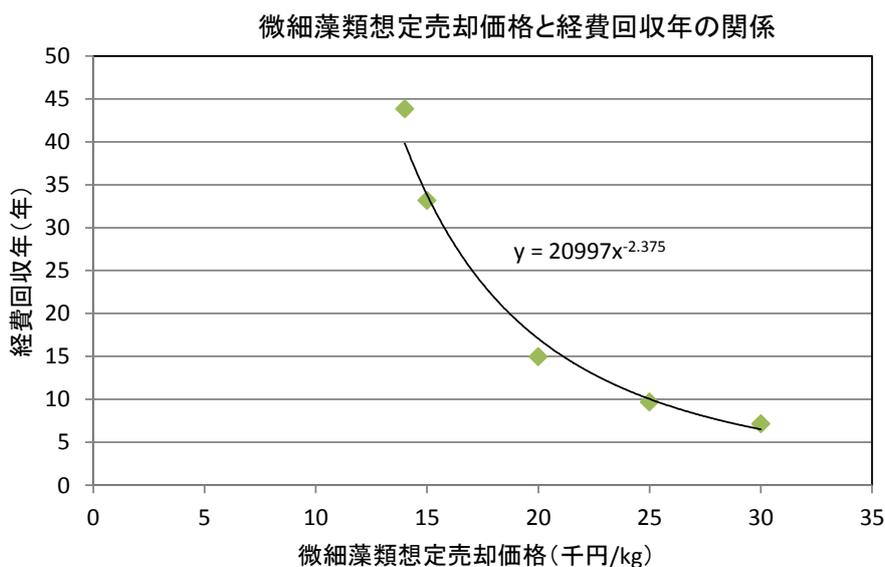


図 2-11 微細藻類想定売却価格と経費回収年の関係

経費回収年：y（年）は、微細藻類想定売却価格：x（円/kg）との間に、以下の式で示されることが想定された。

$$y=20,997 \cdot x^{-2.375}$$

したがって、経費回収年：10～15年程度を目標とする場合、上記関係式に基づいて計算すると、微細藻類の売却価格として21,200～25,100円/kg程度で継続的に販売することが必要であると想定される。

なお、ここに示したグラフ及び関係式は日最大処理水量 50,000m³/日のケースで算定したものであり、実際には下水処理場の規模に合わせて算定する必要がある。下水処理場の規模（日最大処理水量）と建設費・維持管理費・収益等との関係式（p.38～42 参照）、並びに経費回収年の算出式（p.51, 52 参照）等を用いて経費回収年を算定する。微細藻類の売却については、資料編 p.162～165 参照。

(1) コスト（建設費、維持管理費、有価物売却益等、経費回収年）

各プロセスにおける建設費、維持管理費、有価物売却益の内訳を表 2-4～表 2-6 に示す。

表 2-4 建設費の内訳

		微細藻類 培養	CO ₂ 分離回収	汚泥 可溶化	CH ₄ 売却施設	合計
機械・電気設備	百万円	6,423	601	318	224	—
土木・建築工事	百万円	2,687	14	0		—
合計	百万円	9,109※	615	318	224	10,266

※四捨五入のため本表上の機電と土建の合計値が整合していないが、より詳細に算出した 9,109 を適用する。

詳細は資料編 p.194～196 参照。

表 2-5 維持管理費の内訳

		微細藻類 培養	CO ₂ 分離回収	汚泥 可溶化	CH ₄ 売却施設	合計
人件費	百万円/年	84	※0	3.0	0	87
電力費	百万円/年	550	8	5.0	2.2	565
薬品費	百万円/年	108	0	0	0	108
消耗品費	百万円/年	86	14	8.0	15.1	125
点検補修費	百万円/年			1.9		
合計	百万円/年	828	22	17.9	17.3	885

※無人運転とする。但し点検・補修費に点検要員の巡回人件費を含む。

詳細は資料編 p.197～199 参照。

表 2-6 有価物売却益等の内訳

項目		百万円/年	収益等
収益	精製メタンガス売却益	百万円/年	56
	A 重油使用量削減	百万円/年	2.7
	汚泥処分費削減	百万円/年	6.7
	PAC 使用量削減	百万円/年	1.7
	合計	百万円/年	67
(参考) CO ₂ 売却益*		百万円/年	53
窒素除去による送風量削減		%	0.79

※CO₂は微細藻類培養に用いるため収益には含まないが、ここでは参考として売却する場合を想定。

詳細は資料編 p.199～200,202 参照。

(2) エネルギー消費量・創出量・削減量

エネルギー消費量及び創出量を表 2-7 に示す。

表 2-7 エネルギー消費量・創出量の内訳

			微細藻類 培養	CO ₂ 分離回収	汚泥 可溶化	CH ₄ 売却施設	合計
消費	電力使用	GJ/年	372,648	5,982	3,528	1,527	383,684*
創出	メタンガス増量	GJ/年	—	—	2,838	—	2,838
削減	汚泥温度上昇	GJ/年	—	—	1,159	—	1,159

※四捨五入のため本表上の合計値と整合していないが、別途電力使用量合計値から算出した 383,684 を適用する。

詳細は資料編 p.200 参照。

(3) 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量

温室効果ガス排出量、削減量及び有効利用量を表 2-8 に示す。

表 2-8 温室効果ガス排出量・削減量・有効利用量の内訳

			微細藻類 培養	CO ₂ 分離回収	汚泥 可溶化	CH ₄ 売却施設	合計
排出	電力使用	t-CO ₂ /年	23,065	370	218	95	23,748
	薬品使用	t-CO ₂ /年	26	—	—	—	26
	合計	t-CO ₂ /年	23,091	370	218	95	23,774
削減	PAC 削減※	t-CO ₂ /年	34	—	—	—	34
	都市ガス削減	t-CO ₂ /年	—	—	144	—	144
	A 重油削減	t-CO ₂ /年	—	—	80	—	80
	合計	t-CO ₂ /年	34	—	224	—	258
有効 利用	微細藻類による 取込	t-CO ₂ /年	130	—	—	—	130

※微細藻類によるりんの取込で水処理における凝集剤 (PAC) 使用量が削減されると過程。

詳細は資料編 p.201 参照。

(4) 窒素・りん削減量

微細藻類培養液(脱水分離液を3倍希釈したもの)で微細藻類を7日間培養した場合のNH₄-N、PO₄-P除去率はそれぞれ10%、100%であった(資料編 p.155・表資-1-23 より数値丸め)。これにより、微細藻類培養前後における窒素、りんのリ支は概ね以下のとおりと想定される。詳細は資料編 p.202 参照。

【NH₄-N収支】

下水処理場流入水

Q:	40,000 m ³ /日
C:	35 mg/L
L:	1,400 kg/日

脱水分離液

Q:	250 m ³ /日
C:	1,300 mg/L
L:	325 kg/日

Q:	127 m ³ /日
C:	1,300 mg/L
L:	165 kg/日

Q:	253 m ³ /日
C:	10 mg/L
L:	3 kg/日

微細藻類培養

Q:	123 m ³ /日
C:	1,300 mg/L
L:	160 kg/日

Q:	380 m ³ /日
C:	397 mg/L
L:	151 kg/日

Q:	503 m ³ /日
C:	618 mg/L
L:	311 kg/日

→ 水処理に返流

※微細藻類培養による除去量: 165+3-151=17(kg/日)
下水処理場流入水に対する割合: 17÷1400×100≒1.2(%)

【PO₄-P収支】

下水処理場流入水

Q:	40,000 m ³ /日
C:	4.0 mg/L
L:	160 kg/日

脱水分離液

Q:	250 m ³ /日
C:	110 mg/L
L:	27.5 kg/日

Q:	127 m ³ /日
C:	110 mg/L
L:	13.9 kg/日

Q:	253 m ³ /日
C:	1.0 mg/L
L:	0.3 kg/日

微細藻類培養

Q:	123 m ³ /日
C:	110 mg/L
L:	13.6 kg/日

Q:	380 m ³ /日
C:	0 mg/L
L:	0 kg/日

Q:	503 m ³ /日
C:	27 mg/L
L:	13.6 kg/日

→ 水処理に返流

※微細藻類培養による除去量: 13.9+0.3-0≒14(kg/日)
下水処理場流入水に対する割合: 14÷160×100≒8.8(%)

※下水処理場流入水、二次処理水及び脱水分離液中の濃度は仮定値。

図 2-12 微細藻類培養による窒素・りん収支の想定

微細藻類培養を行うことにより、処理場流入負荷に対して窒素は約1%、りんは約9%が微細藻類の取り込みによる除去効果が期待される。

②CCU 設備部分導入シナリオの場合

技術の評価結果を表 2-9 に示す。

表 2-9 技術の評価結果

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

各プロセスにおける建設費、維持管理費、有価物売却益の内訳を表 2-10～表 2-12 に示す。

表 2-10 建設費の内訳

		CO ₂ 分離回収	CH ₄ 売却施設	合計
機械・電気設備	百万円	569	212	—
土木・建築工事	百万円	13		—
合計	百万円	582	212	794

詳細は資料編 p.188 参照

表 2-11 維持管理費の内訳

		CO ₂ 分離回収	CH ₄ 売却施設	合計
人件費	百万円/年	※	0	—
電力費	百万円/年	7	2.0	—
薬品費	百万円/年	0	0	—
消耗品費	百万円/年	13	14	—
点検補修費	百万円/年			—
合計	百万円/年	20	16	36

※無人運転とする。但し点検・補修費に点検要員の巡回人件費を含む。

詳細は資料編 p.190,191 参照

表 2-12 有価物売却益の内訳

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

詳細は資料編 p.191 参照