

下水由来の資源を活用して培養した藻類のエネルギー有効利用に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター
材料資源研究グループ 上席研究員

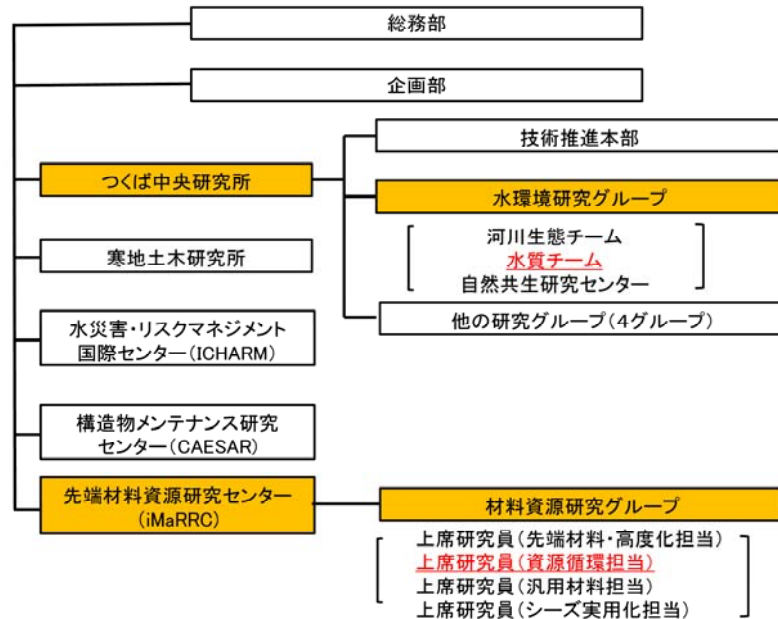
重村 浩之

本日の発表内容

1. 土木研究所iMaRRC資源循環担当の紹介
2. 消化ガス由来のCO₂や下水熱を活用した藻類培養に関する研究(GAIAプロジェクト)
3. 現在の取組

1. 土木研究所iMaRRC資源循環担当の紹介

土木研究所の組織 ※赤字の組織が主に下水道関係の研究を実施



土木研究所第4期中長期計画 (H28～H33年度)

H28～H33年度の6カ年計画で研究を実施中

研究開発テーマ	研究開発プログラム
1. 安全・安心な社会の実現への貢献	(1) 近年顕在化・極端化してきた水災害に対する防災施設設計技術の開発 (2) 国内外で頻発、激甚化する水災害に対するリスクマネジメント支援技術の開発 (3) 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発 (4) インフラ施設の地震レジリエンス強化のための耐震技術の開発 (5) 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発
2. 社会資本の戦略的な維持管理・更新への貢献	(6) メンテナンスサイクルの効率化・信頼性向上に関する研究 (7) 社会インフラの長寿命化と維持管理の効率化を目指した更新・新設に関する研究 (8) 凍害・複合劣化等を受けるインフラの維持管理・更新に関する研究
3. 持続可能で活力ある社会の実現への貢献	(9) 持続可能な建設リサイクルのための社会インフラ建設技術の開発 (10) 下水道施設を核とした資源・エネルギー有効利用に関する研究 (11) 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発 (12) 流砂系における持続可能な土砂管理技術の開発 (13) 地域の水利利用と水生生態系の保全のための水質管理技術の開発 (14) 安全で信頼性の高い冬期道路交通サービスの確保に関する研究 (15) 魅力ある地域づくりのためのインフラの景観向上と活用に関する研究 (16) 食料供給力強化に貢献する積雪寒冷地の農業生産基盤の整備・保全管理に関する研究 (17) 食料供給力強化に貢献する寒冷海域の水産基盤の整備・保全に関する研究

土木研究所iMaRRC資源循環担当の研究内容

主に以下の内容の研究を実施

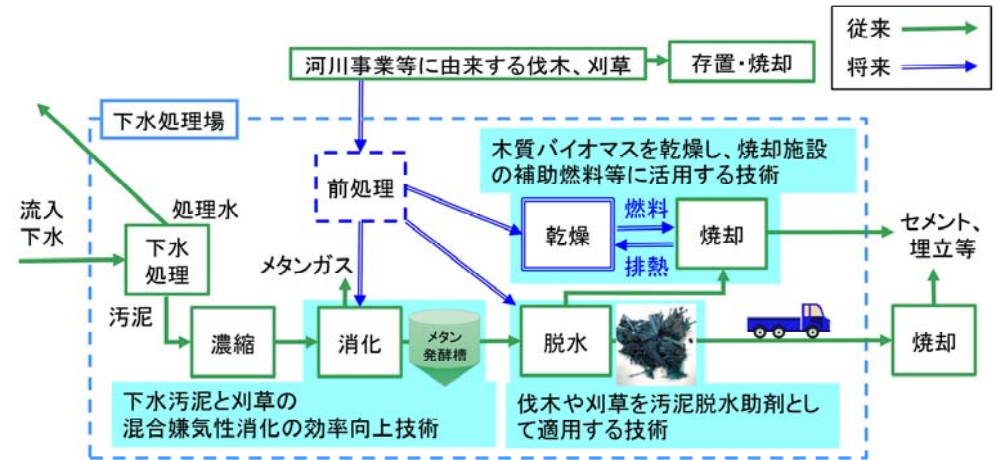
○植物系バイオマスと下水汚泥を活用した資源リサイクルの推進に関する研究

○下水中の病原微生物(細菌、ウイルス等)の測定方法、制御方法に関する研究

5

現在の主要研究内容

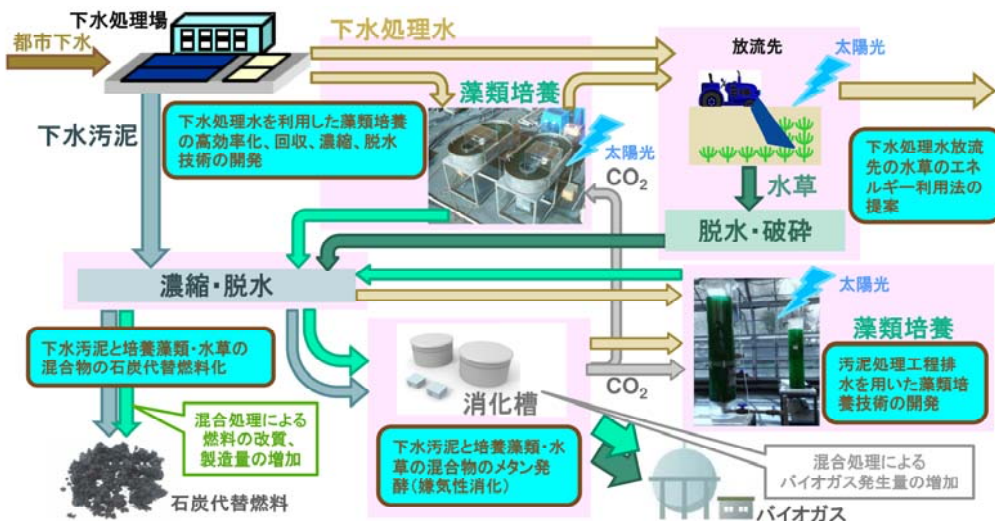
(1)河川事業等に由来するバイオマスの下水処理場内利用に関する研究



「河川事業等に由来するバイオマスの下水処理場内利用に関する研究」のスキーム図

6

(2)下水含有栄養塩を活用したエネルギー生産技術の開発に関する研究



「下水含有栄養塩を活用したエネルギー生産技術の開発に関する研究」のスキーム図

7

2. 消化ガス由来のCO₂や下水熱を活用した藻類培養に関する研究 (GAIAプロジェクト)

GAIAプロジェクト

平成26年7月に発表された「新下水道ビジョン」で掲げる「循環のみち下水道の持続」と「循環のみち下水道の進化」の二つの柱を実現させていくためには、幼生がさなぎを経て蝶へと変態していくかのごとく、下水道も時代の要請に応じてその役割をも変えていくことが必要となっています。

そこで、国土交通省下水道部では、下水道の役割の「変態」に資する取組みとして、地域ごとに異なる下水道の政策課題の解決を目的に大学等の研究機関が有する先進的な技術の活用や実用化を促進し成果の普及を図るため、平成26年度から下水道技術研究開発(GAIAプロジェクト)を実施しています。

出展:国土交通省ホームページ

http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo_sewage_tk_000568.html

「下水道資源・エネルギーを最大限に活かした希少水草栽培および微細藻類培養・エネルギー生産」

代表者:長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻 姫野修司准教授

概要:下水処理場内で発生する未利用エネルギー・資源を活用した新規の植物栽培環境の構築と、それらを用いた植物によるエネルギー生産の最大化に関する研究

研究機関:平成27年度~29年度

8

研究概要



目的

- ①未利用エネルギー・資源を活用した新規の植物栽培環境の構築
- ②未活用資源(消化ガス由来CO₂、栄養塩、下水熱)を利用した藻類培養・エネルギー生産技術開発
- ③夏期下水道冷熱を活用した栽培困難希少水草およびわさび類の栽培技術の開発

未活用資源による藻類培養・エネルギー生産技術開発

嫌気性消化ガス由来CO₂の藻類培養への有効性検討

- ①屋内実験における検証
- ②屋外連続実験における検証

藻類培養への下水処理水熱利用

- ③藻類培養の至適水温の検証
- ④恒温槽としての簡易利用における有用性の検証
- ⑤熱交換器による採熱利用による有用性の検証

藻類培養における数値モデルの構築

- ⑥水質による影響を考慮した数値モデルの構築

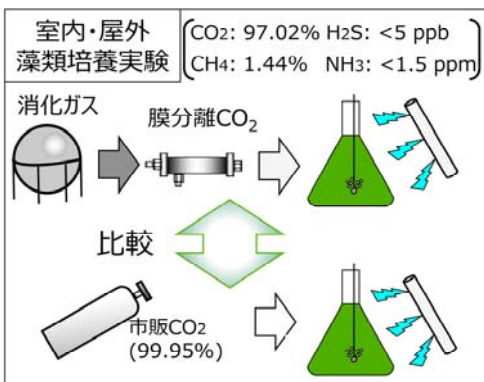
藻類培養技術の導入に関するフィジビリティスタディ

- ⑦屋外連続培養でのフィジビリティスタディ
- ⑧培養藻類のエネルギー化における収支計算

嫌気性消化ガス由来CO₂の藻類培養への有効性検討

①屋内実験における検証

◆ 消化ガスから膜分離したCO₂と市販CO₂をそれぞれ添加し、藻類培養状況を比較した



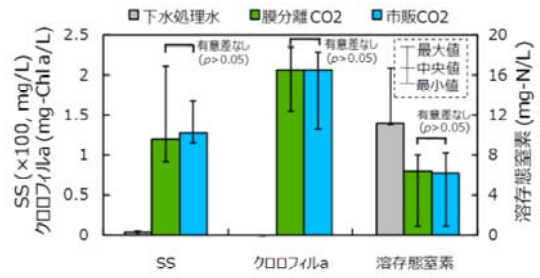
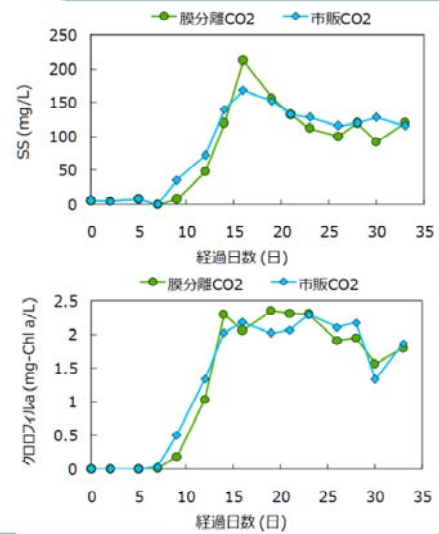
藻類培養装置

有効容積: 2L
人工気象器内: 温度25°C
12時間点灯/消灯

嫌気性消化ガス由来CO₂の藻類培養への有効性検討

結果

膜分離CO₂添加が藻類培養に与える阻害影響は小さく、藻類培養における膜分離CO₂利用が有用である可能性を示した



嫌気性消化ガス由来CO₂の藻類培養への有効性検討

②屋外連続実験における検証

- 連続的に下水処理水を流入させる連続培養により行った(HRT2~4日)。
- 380Lレースウェイ型培養槽(有効水位25cm)で培養を行った。

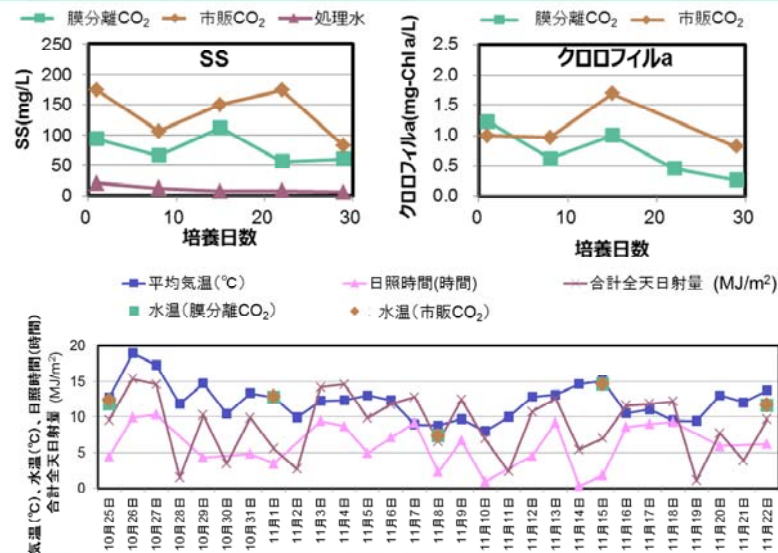


レースウェイ型藻類培養装置

嫌気性消化ガス由来CO₂の藻類培養への有効性検討

結果

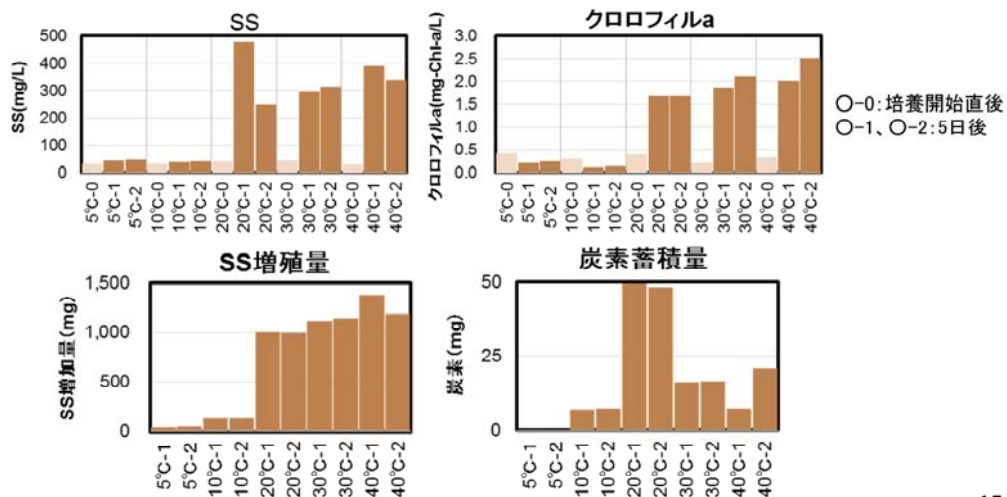
藻類培養状況は同程度であったと考えられ、藻類培養に添加するCO₂について、膜分離CO₂の利用には問題ないと考えられる。



藻類培養への下水熱利用

③藻類培養の至適温度の検証

- 20℃以上の藻類培養において、高いSS濃度等がみられる。
- 炭素蓄積量を考慮すると、20℃程度での藻類培養が、SS濃度が高く、炭素蓄積量も多くなり、藻類のエネルギー利用によるCO₂削減効果が高いと考えられる。

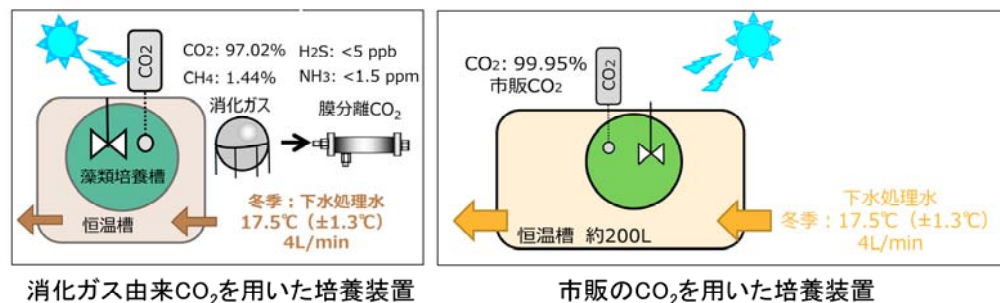


藻類培養への下水熱利用

④恒温槽としての簡易利用における有用性の検証

◆ 下水処理水を恒温槽にかけ流す簡易活用で、冬季の藻類培養が可能か検証

- 下水処理場内の屋外実験施設にて、冬季の藻類培養検証を行った。
- 培養槽は、有効容積20L(直径0.6m、高さ0.25m)の円形型槽を使用した。
- 下水熱を利用した藻類培養における膜分離CO₂の有用性を実証するため、膜分離CO₂と市販CO₂の比較を行った。

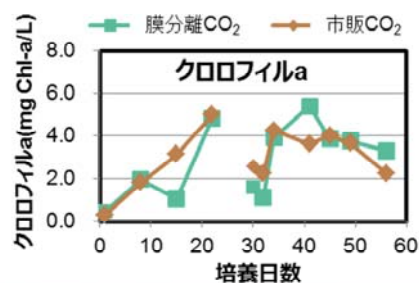
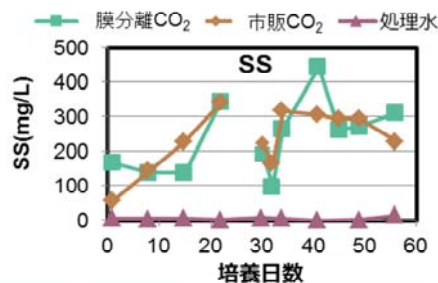
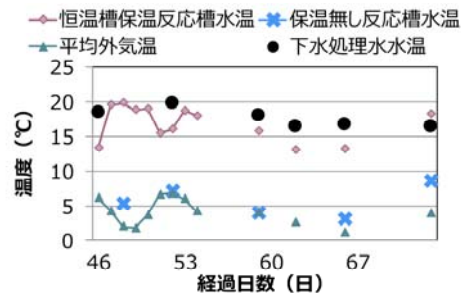


恒温槽を用いた藻類培養装置

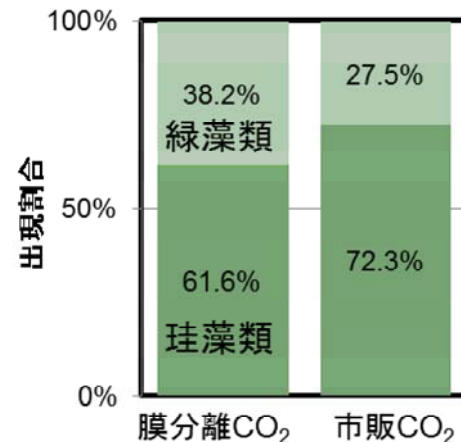
藻類培養への下水熱利用

結果

- 下水処理水による加温により、反応槽内の水温を15~20℃に保つことができた。
- 冬季における下水熱を利用した藻類培養において、膜分離CO₂の有用性を示すことができた。



藻類培養への下水熱利用



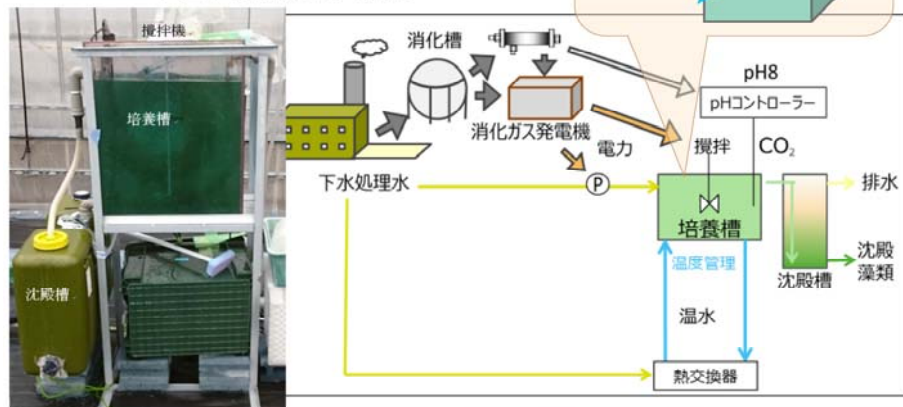
膜分離CO₂、市販CO₂での培養藻類構成種

藻類培養への下水熱利用

⑤熱交換器による採熱利用による有用性の検証

- ◆熱交換器で下水処理水熱を回収し、活用することで、冬季の藻類培養が可能か検証

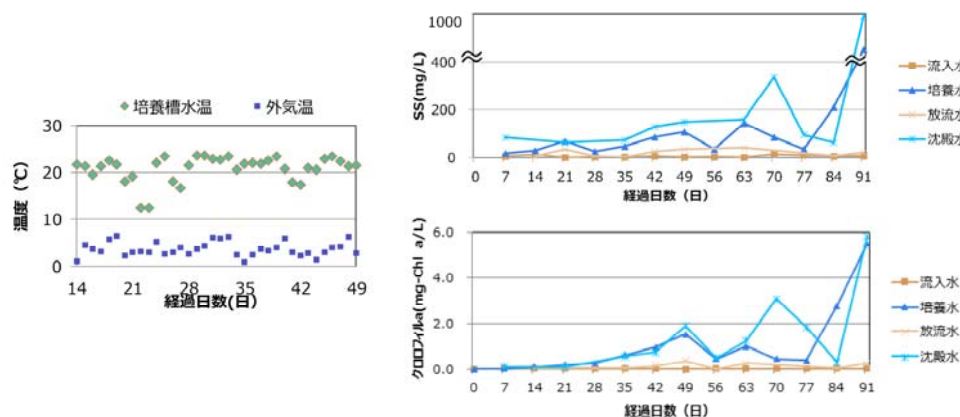
縦型培養槽: 50L (0.5m × 0.5m × 0.2m)
加温槽に下水処理水の熱で暖められた水道水を熱源として供給



藻類培養への下水熱利用

結果

- 84日目以降に培養水のSSは210 mg/L、710mg/Lと、連続的に増殖した。藻類濃度の指標となるクロロフィルaについても、SSと同様の挙動を示した。
- 沈殿槽のSSは、ほとんどの期間で培養槽のSSの1.3~1.5倍の濃度であり、沈殿しきれずに放流されている藻類も少なくない。藻類培養においては、自然沈降ではなく、凝集剤の添加や、遠心などの固液分離操作が必要となると考えられる。

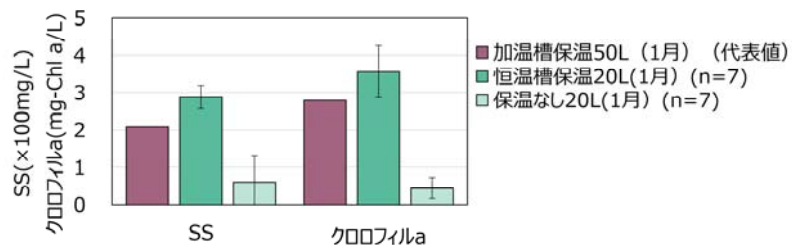


冬季における屋外での藻類培養結果

④恒温槽としての簡易利用における有用性の検証

⑤熱交換器による採熱利用による有用性の検証

保温をしないケース、下水処理水をかけ流して熱源として利用するケース(上記④)、熱交換器で下水処理水の熱を取りだして温水を供給するケース(⑤)の培養槽のSS濃度等を比較した。



結果

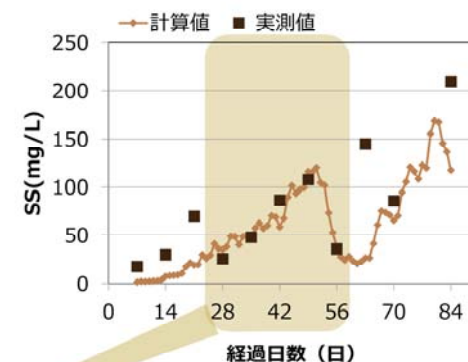
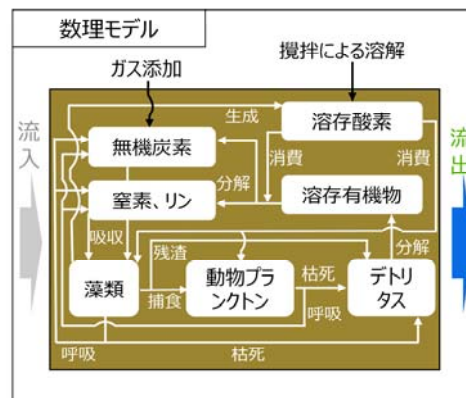
下水熱利用により、外部からのエネルギーを利用せず、冬季でも屋外にて藻類培養が可能であることを示した

21

藻類培養における数理モデルの構築

⑥水質による影響を考慮した数理モデルの構築

水質(無機炭素、窒素、リン)等が藻類増殖に与える影響を組み込んだ藻類培養を表現する数理モデルの構築



結果

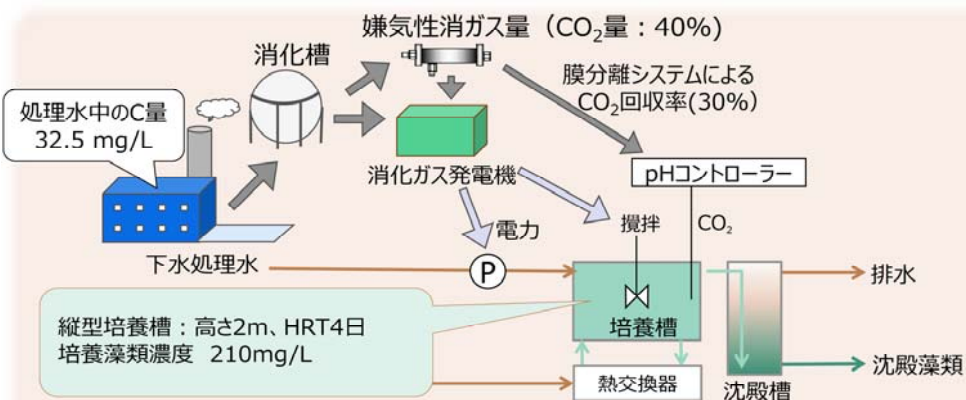
藻類培養の定常状態における数理モデルの再現性を示した

22

藻類培養技術の導入に関するフィージビリティスタディ

⑦屋外連続培養でのフィージビリティスタディ

想定: A県B浄化センター(処理量 22,000m³/d、敷地面積144,700m²)



23

藻類培養技術の導入に関するフィージビリティスタディ

- 処理水中のCO₂量: $32.5 \times 44 / 12 / 1000 = 0.119 \text{ kg-CO}_2 / \text{m}^3$
- 藻類培養に利用可能な消化ガス由来のCO₂量: 648kg-CO₂/日

- 藻類培養濃度を210mg/L、藻類の炭素含有率を43%、供給されたCO₂の藻類培養利用率を91.8%とすると、藻類培養に使える処理水の量は、**2,678 m³/day**となる。

- 培養槽の高さを2m、HRTを4日とすると、藻類培養槽に必要な敷地面積は5,356m²となり、**処理場の3.7%の敷地面積で培養可能**

結果

藻類培養システムを下水処理場に導入することで、CO₂排出量の削減が見込まれる可能性を示した

24

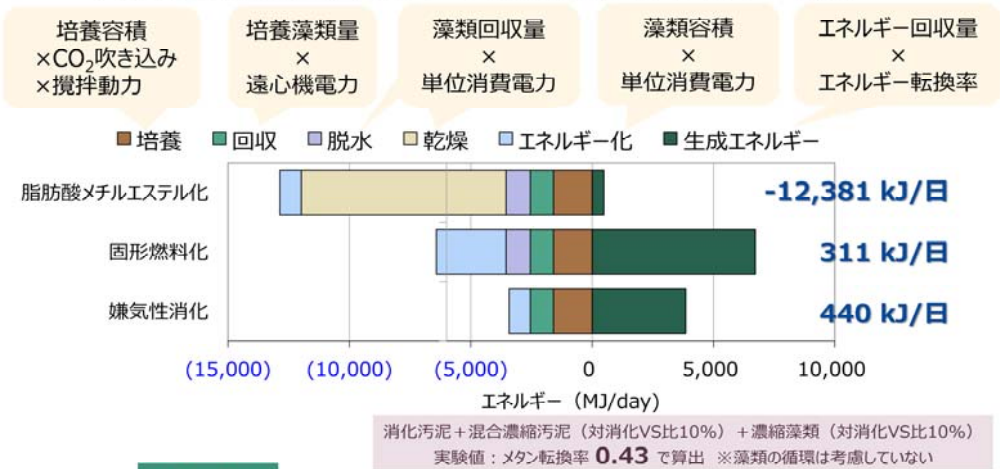
藻類培養技術の導入に関するフーズビリティスタディ

⑧培養藻類のエネルギー化における収支計算

- 縦型培養槽を用いて培養した培養藻類において、藻類エネルギー化にかかるエネルギー収支を比較した。
- (1)脂肪酸メチルエチルエステル化(バイオディーゼル)、(2)固形燃料化、(3)嫌気性消化への投入の3種類の手法における培養藻類利用について検討した。
- 培養藻類の回収には遠心濃縮を用いるとした。
- ⑦のA県B浄化センターでの導入を想定して試算した。

藻類培養技術の導入に関するフーズビリティスタディ

培養藻類を用いたエネルギー生産にかかるエネルギー収支



結果

培養藻類を固形燃料化または嫌気性消化に投入することで、エネルギー生産が可能であることを示した

GAIAプロジェクトでの成果

- 藻類培養における消化ガス内のCO₂利用: 消化ガス由来のCO₂を利用した連続培養実験において有用性を示した
- 藻類培養における下水熱利用: 下水熱を利用し培養槽を保温することで、冬季でも藻類培養が可能であることを示した
- 藻類培養システム導入に関するフーズビリティスタディの検証: 培養藻類を固形燃料化または嫌気性消化に投入することで、エネルギー生産が可能であることを示した

今後の展開

項目	今後の展開
藻類培養におけるCO ₂ 利用	
藻類培養における下水熱利用	屋外連続藻類培養装置の大型化、下水熱利用の効率化による藻類培養の最適化の検討
藻類培養モデル	
培養藻類のエネルギー化	連続的な投入によるエネルギー収支の計算、返流水による水処理系への影響調査

3. 現在の取組

国土交通省の「平成30年度下水道応用研究」に採択され、研究を実施中

研究名「官民連携による下水資源・エネルギーを活かした植物栽培技術」

実施者: 長岡技術科学大学・土木研究所・東亜グラウト工業(株)・(株)大原鉄工所・(株)クリーンリード

概要: 下水処理水から回収・製造された冷熱や温熱、バイオガス中のCO₂を利用し年間を通じ安定的に農作物生産が可能な技術や、藻類からのエネルギー生産技術の開発を行い、本技術の社会実装を目指す。

藻類培養関連研究においては、藻類培養槽のスケールアップ、藻類回収方法、メタン発酵ポテンシャル、エネルギー収支、水処理への影響等について研究予定

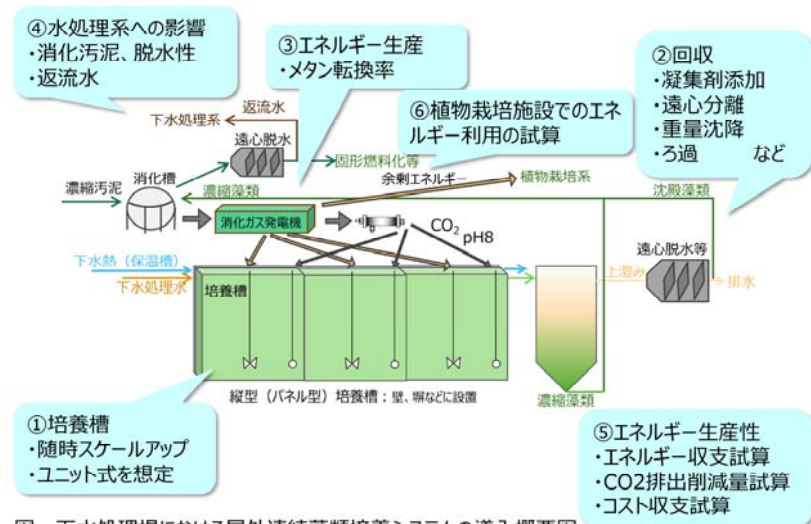


図. 下水処理場における屋外連続藻類培養システムの導入概要図



ご清聴ありがとうございました。