

下水由来の資源を活用して培養した藻類エネルギーの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 (iMaRRC)

材料資源研究グループ 上席研究員 重村 浩之

「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) について説明する。GAIA プロジェクトは、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端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の、国土交通省が平成 26 年度から行っている基礎的な段階の研究であるが、これはそのうちのひとつ。

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である。長岡技術科学大学の姫野修司准教授を代表者とし、平成 27~29 年度の 3 ヶ年で実施した。長岡技術科学大学が本研究において、ワサビや梅花藻というきれいな水でなければ育たない藻類等を栽培し、我々のほうは、栄養塩や下水熱を用いて微細藻類を培養してエネルギー回収を行った。なお、我々は下水道に関する研究者であるため、特定藻類をターゲットとした培養は行わなかった。

我々の研究では①嫌気性消化ガス由来の CO₂ の藻類培養への有効性検討、②藻類培養への下水処理水熱利用、③藻類培養における数理モデルの構築、④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、を行った。

①嫌気性消化ガス由来の CO₂ の藻類培養への有効性検討

屋内実験による検証では、消化ガスから膜分離した CO₂ と市販 CO₂ (ガスボンベ) をそれぞれ添加し、人工気象器内で藻類培養状況を比較した。膜分離 CO₂ は市販 CO₂ に比べて CO₂ の純度は低かった。その結果は、若干の違いはあるものの膜分離 CO₂ 添加が藻類培養に与える阻害影響は小さく、市販 CO₂ による培養と同様な結果であったため、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。

屋外連続実験による検証では、連続的に下水処理水を流入させる連続培養を行った。膜分離 CO₂ と市販 CO₂ の、処理水がぐるぐる回る 380ℓ レースウェイ型培養槽を 2 槽用意して実験した。観測上は市販 CO₂ のほうがよいように見えるが、実験開始時の藻類の初期濃度の違いに由来するもので、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 の利用に問題ないと考えられる。途中 15 日以降から培養状況がかなり低下しているが、この最大の理由は秋口から実験を開始し、かなり温度が低下したためである。

②藻類培養への下水熱利用

藻類培養への下水熱利用ではまず藻類培養の至適温度の検証を行ったが、20℃以上の藻類培養において高いSS濃度等がみられ、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。

また恒温槽としての簡易利用における有用性の検証も行った。これは、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を、保温無し反応槽も含めて膜分離CO₂と市販CO₂を比較検証したものである。保温の有り無しで水温は異なる。膜分離CO₂も市販CO₂も同じような培養結果が得られており、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、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。

参考までに膜分離CO₂、市販CO₂での培養藻類構成種の割合を示すと、膜分離CO₂では珪藻類61.6%、緑藻類38.2%で、市販CO₂ではそれが72.3%、27.5%となっている。

熱交換器による採熱利用による有用性の検証も実施したが、これはGAIAプロジェクトで開発している熱交換器で、水道水を約35℃に温め、加温槽に供給して藻類培養実験を行うものである。結果は、20℃前後で培養できた。実験を立ち上げたときにはトラブルも多く、藻類培養がうまく行ったのは終わり頃、84日目以降に培養水のSSが210 mg/ℓ、710 mg/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。また、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ない藻類も少なくない、藻類培養においては、自然沈降ではなく、凝集剤の添加や、遠心分離などの固液分離操作が必要となると考えられる。

この恒温槽としての簡易利用における有用性の検証と、熱交換器による採熱利用による有用性の検証について、冬季の屋外での藻類培養実験を実施した。保温しないケース、下水処理水をかけ流して熱源として利用するケース、熱交換器で下水処理水の熱を取り出して温水を供給するケース、の培養槽のSS濃度等を比較したが、下水熱利用により、外部からのエネルギーを利用せずに、冬季でも屋外にて藻類培養が可能である結果となった。

③藻類培養における数理モデルの構築

藻類培養における数理モデルの構築（水質による影響を考慮した数理モデルの構築）については、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で、結果は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。

④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

最後の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は屋外連続培養でのフィージビリティスタディであるが、A県B浄化センター（処理量 22,000 m³/d、敷地面積 144,700 m²）を想定して検討した。培養槽の高さを2 m、HRTを4日とすると、藻類培養槽に必要な敷地面積は5,356 m²、処理場の3.7%の敷地面積で培養可能と試算され、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ことが示された。

培養藻類のエネルギー化における収支計算については、どのようなエネルギー化がいかを検討するもので、縦型培養槽を用い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。培養藻類利用は、脂肪酸メチルエチルエステル化（バイオディーゼル）、固形燃料化、嫌気性消化槽への藻類投入、の3種類の手法を検討した。これはあくまで試算であるが、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が示された。

これらの研究はラボで実施したものであるため、今後の課題は屋外連続藻類培養装置の大型化の検討等にならうかと思われる。現状での取組みとしては、平成29年度まではGAIAプロジェクトで進めてきたところであるが、これまで述べてきた研究は「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」という研究名で、平成30年度の国土交通省の「下水道応用研究」に採択され、研究を発展継続して実施中である。