

〈研究発表〉

微細藻類の培養・回収・エネルギー生産においてスポンジ担体を培養手法としたときの有効性の検討

堀野 太郎¹⁾, 野口 基治¹⁾, 神宮 一輝²⁾

新田 佳樹²⁾, 高部 祐剛²⁾

¹⁾メタウォーター(株) R&D センター 水再生技術開発部

(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: horino-taro@metawater.co.jp)

²⁾国立大学法人鳥取大学 工学部

(〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101 E-mail: takabe.yugo@tottori-u.ac.jp)

概要

下水道におけるエネルギーの集約・自立・供給拠点化を目指し、下水を用いた微細藻類の培養・バイオマス生産に注目した。筆者らは、下水を用いた微細藻類の新しい培養・回収方法として、スポンジ担体を用いた微細藻類と細菌の共生系(MBC)による下水処理を提案し、研究を行ってきた。本報では、最終沈殿池流出水を用いて、担体を添加した培養系と添加しない培養系を構築し、HRTを変更した場合の処理水質、および得られた藻類バイオマスのエネルギー生産ポテンシャルについて確認した結果について報告する。

キーワード: 微細藻類, 下水処理, スポンジ担体, エネルギー生産

原稿受付 2024.7.1

EICA: 29(2・3) 55-58

1. はじめに

2050年カーボンニュートラル達成に向けて、下水道では水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化を目指して各種取組が進められている。窒素・リンなどの栄養塩類を含む下水の特徴を活用する取組みとして、近年、下水処理場における微細藻類を用いた水処理およびバイオマス生産に関する研究が注目されている。

微細藻類は、光をエネルギー源、二酸化炭素を炭素源とする酸素発生型光合成を行う微生物であり、その増殖過程で窒素・リンなどの栄養塩類を体内に取り込む。また、多くの微細藻類はオイルを体内に蓄積することが知られており、米国国立再生エネルギー研究所を始めとする多くの機関・研究者によりバイオ燃料として活用する研究が行われてきた¹⁾。これらの特長を活用し、下水を栄養源として微細藻類を培養することで、合成培地等で微細藻類を培養する場合と比較して、低コストで藻類バイオマスを得ることができる。また、下水中の窒素・リン除去および藻類バイオマスとしての窒素・リン回収、光合成に由来する酸素を利用した下水中の細菌によるBOD除去、さらには二酸化炭素の固定が可能であると考えられる。

一方で、下水を用いた微細藻類の培養技術の実用化には多くの課題があり、その一つとして微細藻類の回収方法の確立が挙げられる。現在は、遠心分離やろ過、

凝集剤を使った回収方法などが提案されているが、現在の主流である遠心分離は、高エネルギー消費・高コストであることから、より低エネルギー消費、安価で簡便な微細藻類の回収方法の確立が望まれる。

そこで、筆者らは下水を用いた微細藻類の新しい培養・回収方法として、スポンジ担体を用いた微細藻類と細菌の共生系(Microalgae-Bacteria Consortia: MBC)による下水処理を提案する。本研究では、最終沈殿池流出水を用いて、担体を添加した培養系と添加しない培養系を構築し、HRTを変更した場合の処理水質、および得られた藻類バイオマスのエネルギー生産ポテンシャルについて確認した結果について報告する。

2. 実験方法

供試下水として、鳥取市内のA下水処理場の最終沈殿池越流水(以下、終沈越流水)を用いた。ガラスビーカー(有効容積3L)に終沈越流水2.85L、15mm角の立方体ポリウレタンスポンジ担体(APG CC-20B, 日清紡)50個(5vol%)を入れた実験系を作成した(a系)。また、スポンジ担体を添加せず、終沈越流水3Lのみを入れた実験系も作成した(b系)。いずれの実験系も事前に微細藻類の接種は行わず、人工気象器(室温25℃)内で、攪拌機を用いて攪拌(100rpm)しながらMBCの培養を行った。人

工気象器内は明暗周期 12 h で光を照射し、培養装置内の異なる 8 地点で計測した光量子束密度は $114 \pm 21 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。また、炭素源供給と培養液の pH 維持を目的に、培養液の pH が 8.0 となるように CO_2 ガスを間欠添加した。

本実験の運転条件を **Table 1** に示す。実験系内の担体および培養液は、**Table 1** に示す割合、1 回/日の頻度で新しい担体または終沈越流水と交換した。引き抜いた培養液中の無機態窒素濃度を測定した。

Table 1 Operating Conditions

| 実験系 | 培養条件 | 担体交換個数 (交換割合) | | 培養液交換量 (HRT) |
|-----|-------|---------------|---------|--------------|
| | | 個/日 (%) | 日/日 (%) | |
| 担体有 | a-1-1 | 5 (10) | | 0.75 (約 3.8) |
| | a-1-2 | 2 (4) | | |
| | a-2-1 | 5 (10) | | 1.5 (約 1.9) |
| | a-2-2 | 2 (4) | | |
| | a-3-1 | 5 (10) | | 2.5 (約 1.1) |
| | a-3-2 | 2 (4) | | |
| 担体無 | b-1 | | | 0.75 (約 4.0) |
| | b-2 | | | 1.5 (約 2.0) |
| | b-3 | | | 2.5 (約 1.2) |

また、a 系から引き抜いた担体は、蒸留水につけ、一定の回数手で担体を揉むことで付着物を抽出した。抽出した付着物 (以下、付着藻類) および培養液中の浮遊物 (以下、浮遊藻類) をそれぞれ GF/B ろ紙 (粒子保持能 $1 \mu\text{m}$, Whatman) でろ過して回収し、乾燥 (105°C , 5 h) させ、重量を測定した。なお、実験系内には藻類以外に細菌や下水由来の浮遊物質が含まれると考えられるが、これらを含めて付着藻類、浮遊藻類と呼称することとした。付着藻類及び浮遊藻類について、先行研究²⁾を参考に高位発熱量を評価した。系外に引き抜かれた付着藻類の重量に高位発熱量を乗じたものを付着藻類のエネルギー生産ポテンシャルとした。また、系外に引き抜かれた浮遊藻類の重量に高

位発熱量および沈降割合を乗じたものを付着藻類のエネルギー生産ポテンシャルとした。

a-3-2 および b-2 条件において、先行研究³⁾を参考に浮遊藻類の沈降割合を測定した。また、顕微鏡を用いて微細藻類を種レベルで同定し、各微細藻類の細胞体積を踏まえ、細胞体積ベースでの付着藻類および浮遊藻類それぞれの種構成データを得た。

3. 実験結果・考察

3.1 担体添加が MBC バイオマス生産および処理水質に与える影響

Fig. 1 に、各条件における付着藻類、浮遊藻類の実験系容積当たりの乾燥重量および培養液中の無機態窒素残存量を示す。担体を加えない b 系 (**Fig. 1a**) では、HRT が短くなるにつれて、浮遊藻類の乾燥重量が減少し、無機態窒素の残存量が増加した。

担体を加えた a 系のうち担体交換割合の大きい運転条件 (**Fig. 1b**) では、HRT によらず付着藻類と浮遊藻類を合わせた総乾燥重量は概ね一定であったが、HRT が短くなるにつれて無機態窒素の残存量が増加した。a 系のうち担体交換割合の小さい運転条件 (**Fig. 1c**) では、付着藻類と浮遊藻類の総乾燥重量は概ね一定である一方、担体交換個数の大きい条件 (**Fig. 1b**) と比較して総乾燥重量が大きくなった (約 1.7 倍)。また、HRT が短くても無機態窒素の残存はほとんど見られなかった。以上から、MBC の培養系に担体を添加することによって、MBC バイオマス生産量を増加させるとともに、HRT が短い条件でも高いバイオマス濃度を維持し、安定的な無機態窒素の除去が可能であることが示唆された。さらに、本実験からは、担体を添加した実験系において、担体の交換割合を小さくするほど系内のバイオマス濃度を高く維持できることが示唆された。

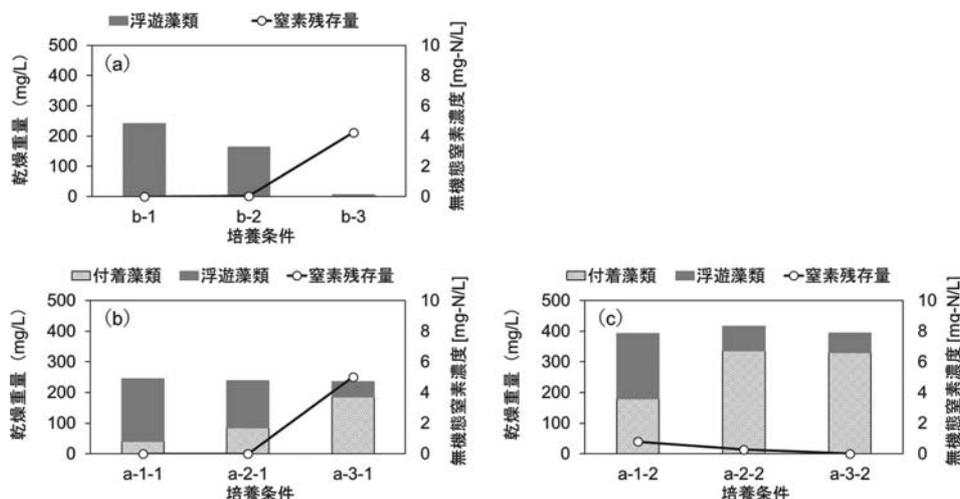


Fig. 1 Dry weight of algal biomass and remaining inorganic nitrogen amount in treated water

また、a系において、同じ担体交換個数で異なるHRTでの運転条件 (Fig. 1b の3条件, Fig. 1c の3条件) を比較すると、HRTが短くなるにつれ浮遊藻類の存在割合が減少し、付着藻類の存在割合が増加した。このことから、HRTが短い条件でも、MBCが担体に付着することで高いバイオマス濃度を維持できることが示唆された。

3.2 担体添加が浮遊藻類の沈降性に与える影響

Fig. 2に条件a-3-2とb-2の浮遊藻類の沈降性を評価した結果を示す。担体を加えないb系では、2h後の沈降割合が平均0.18、8h後の沈降割合が平均0.36であった。一方で、担体を加えたa系では、2h後の沈降割合が0.67、8h後の沈降割合が0.83であり、担体なしのY系に比べて沈降性が向上した。

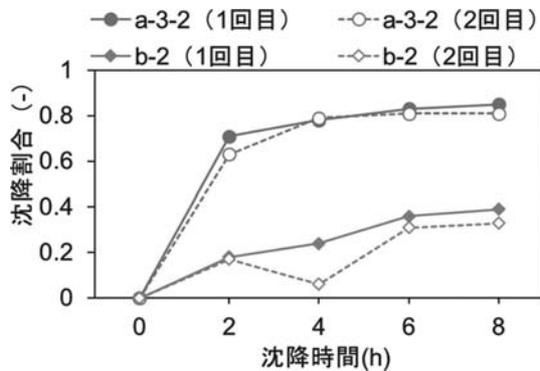
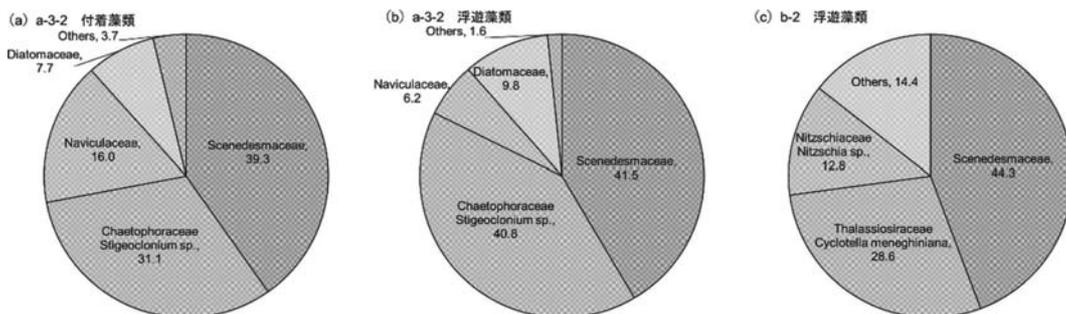


Fig. 2 Sedimentability of floating biomass

Fig. 3に、a系を代表してa-3-2条件における付着藻類 (Fig. 3a) および浮遊藻類 (Fig. 3b)、b系を代表してb-2条件 (Fig. 3c) の土着藻類の体積ベースでの種構成を示す。なお、いずれの条件においても、付着藻類・浮遊藻類ともに緑藻綱イカダモ科の藻類が優占した (a-3-2: 付着藻類 39.3%・浮遊藻類 41.5%, b-2: 浮遊藻類 44.3%)。また特徴的な点として、担体を添加したa系においては、緑藻綱カエトフォラ科の *Stigeoclonium* sp. が優占した (a-3-2: 付着藻類 31.1%・浮遊藻類 40.8%, b-2: 浮遊藻類 0.1%)。以上



(This graph shows microalgae which account for more than 5 vol%)

Fig. 3 Microalgae type makeup percentages

から、本実験からは、担体を添加することで藻類の種構成が変化し、担体なしに比べて沈降性が向上することが示唆された。

3.3 担体添加がMBCのエネルギー生産ポテンシャルに与える影響

Fig. 4にa系・b系について付着藻類および浮遊藻類のエネルギー生産ポテンシャルの評価結果を示す。本結果は各条件の2h後の沈降割合を用いて算出した。担体を加えた条件a-3-2における付着藻類および浮遊藻類のエネルギー生産ポテンシャルは約2200 J/日、担体なしの条件b-2では約870 J/日であった。担体なしに対して担体を加えることでエネルギー生産ポテンシャルが約2.5倍に向上したことから、得られるバイオマスエネルギー源として考えた場合にも、担体の添加が有効であることが示唆された。

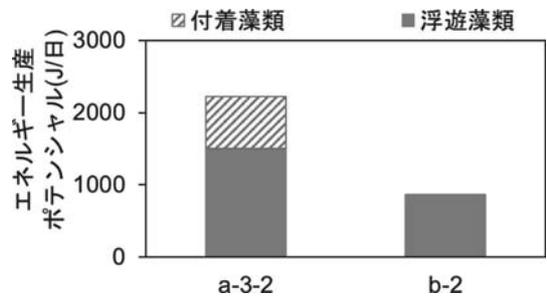


Fig. 4 Energy production potential of collected biomass

4. まとめ

本報では、下水を用いた微細藻類の新しい培養・回収方法として、スポンジ担体を用いた微細藻類と細菌の共生系 (MBC) による下水処理を提案し、その特徴について調査した結果を報告した。本法を用いることで、微細藻類の増殖が難しい短いHRT (約1.1日) の運転条件においても微細藻類を系内に維持し、窒素除去が可能であることが分かった。また担体を添加することで、系内の微細藻類の種構成が変化し、浮遊藻類の沈降性を向上できることが分かった。さらに、担

体を添加することで、担体なしと比較してエネルギー生産ポテンシャルが約 2.5 倍に向上した。今後は、担体を用いることで浮遊藻類の沈降性が向上するメカニズムを解明するとともに、さらなる水処理性能・バイオマス生産量の向上方法を検討していく。

参考文献

- 1) J. Sheeham et al.: A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program-Biodiesel from Algae, NREL/TP-580-24190, National Renewable Energy Laboratory, Vol. 13, No. 1, pp. 1-10 (2008)
- 2) A. Channiwala et al.: A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels, Fuel, Vol. 81, No. 8, pp. 1051-1063 (2002)
- 3) C. Nie et al.: Growth of large-cell and easily-sedimentation microalgae *Golenkinia* SDEC-16 for biofuel production and campus sewage treatment, Renewable Energy, Vol. 122, pp. 517-525 (2018)