



嫌気性処理に溶存するメタンガスの大気放散防止技術

水圏土壌環境制御研究室 松浦哲久
指導教員 山口隆司

1. はじめに

好気性微生物を利用した活性汚泥法は、莫大なエネルギーを投入している分、良好な処理水質が得られる。しかし、エネルギー枯渇、地球温暖化が騒がれている今日、活性汚泥法から脱却するために、新たな省エネ型下水処理法の確立が望まれている。一方、インドやブラジルなどの新興国においては、省エネ型の嫌気性処理法(UASBなど)が採用されている。しかし、嫌気性処理法には解決しなければならない課題がある。その一つに溶存メタン大気放散がある。処理水中には、生成メタンガス分圧に依存するメタンが溶解している。現在、溶存メタンは処理されず、環境中に大気放散されているのが現状である。メタンガスの温室効果係数は二酸化炭素の21倍と言われており、僅かな量も排出防止することが必要である。

そこで、我々は密閉型のDHSシステムに着目して、UASB等の処理水中の溶存メタンをDHSリアクター内で物理的気液平衡により気相部に揮化させて自燃可能濃度で回収できるのではないかと考えた。

2. 研究目的

本研究では、溶存メタンを自燃可能濃度で回収し、未回収溶存メタンと有機物は微生物分解の試みをおこなった。また、保持汚泥の微生物叢解析によりメタン酸化に關与する微生物の調査を行った。

3. 実験方法

3.1 実験装置

2基の密閉型DHS (各容積80L) を、実下水を処理するミニパイロットUASB (容積155L) の後段処理として直列に設置し(図-1)、HRTを1基当たり2時間(スポンジ容積当たり)、屋内常温条件下で運転した。1段目のメタン回収DHS(1st DHS)では、溶存メタンを気液平衡によりガス化するために、下部から空気を供給して(375, 250 L・m⁻³・day⁻¹)上部よりオフガスとして回収した。2段目のメタン酸化DHS(2nd DHS)では、1st DHSの残存溶存メタンをメタン酸化細菌によって酸化処理するために、空気を上部から供給し(2500 L・m⁻³・day⁻¹)、排気は下部から大気へ放出した。

3.2 分析方法

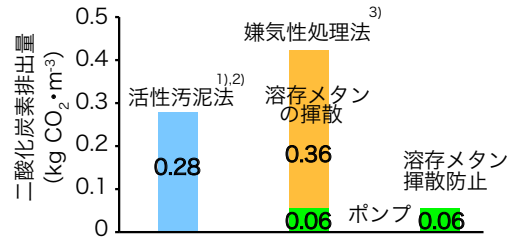
溶存メタンはヘッドスペースガスクロマトグラフ法で定量した。微生物活性を評価するために、夏期(110-112日目)に採取したDHS内保持汚泥を用いてバッチ実験(25°C)を行った。さらに、DHS内の微生物群集構造を明らかにするために、夏期と冬期(261-262日目)の汚泥サンプルに対して16S rRNA遺伝子を標的としたクローン解析を行った(Primer set: EUB338f/1492r)。得られた塩基配列の系統解析にはRebosomal Database ProjectおよびArbプログラムを用いた。

4. 実験結果

4.1 UASB から発生するメタン量

平均 375 ± 179 mg COD・L⁻¹ の濃度で流入する下水を UASB で処理すると、平均処理水質は 126 ± 43 mg COD・L⁻¹ となった。図-2(A)に運転期間の気温と UASB 処理水の水温を示し、図-2(B)に UASB から発生するメタンガスと溶存メタンの生成量を示した。その結果、生成メタンガスは気温に依存する傾向を示している。気温が 25°C 以上の時のメタンガス生成量は 85.3 NL CH₄・m⁻³・day⁻¹ であった。気温の低下に付随して、生成メタンガス量は減少傾向を示した。気温の低い 10°C~15°C では 39.3 NL CH₄・m⁻³・day⁻¹ であった。一方、溶存メタンは、季節変動をあまり受けることなく、処理水中に溶解しており、平均 70.7 ± 11.2 NL CH₄・m⁻³・day⁻¹ であった。夏期(25°C以上)は全生成メタン(生成メタンガス+溶存メタン)に対して、45%が溶存している。冬期(10°C~15°C)は全生成メタンに対して、64%が溶存している結果となった。このことから、嫌気性処理水中には、**未回収なメタンの割合が非常に大きい**ため、**回収する必要が示唆**される。

二酸化炭素排出量の比較



- 1) 環境省(2006), 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧
- 2) 財団法人下水道新技術推進機構(1999), 既存下水道施設の省エネルギー化対策に関する研究調査(その2)
- 3) 江口ら,(2003), UASB下水処理水の後段処理DHSリアクター内での溶存メタンの微生物酸化と物理的消散, 第37回水環境学会講演集, p.189

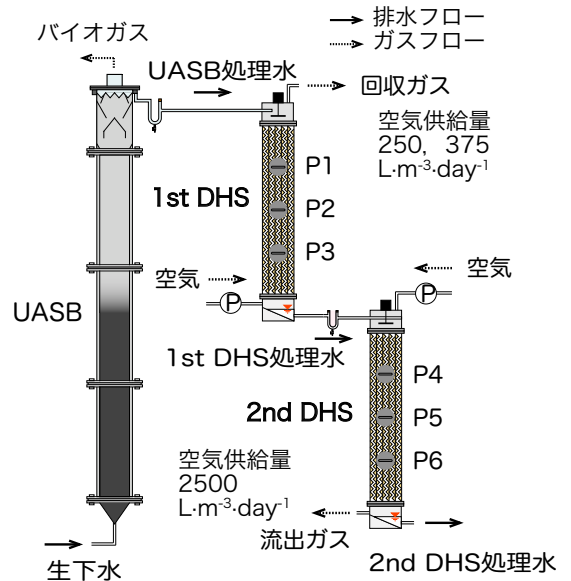


図-1 UASB+密閉型DHSリアクター

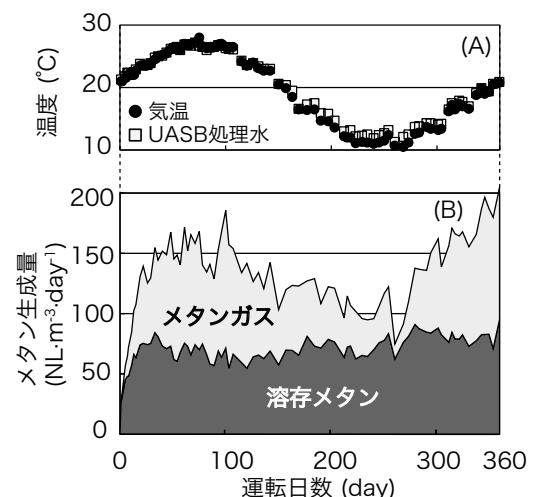


図-2 (A) 気温, (B) メタンガス量と溶存メタン量

4. 実験結果

4.2 溶存メタンの回収と酸化処理

UASB 処理水中の溶存メタン濃度は平均 74.7 ± 10.5 (標準偏差) $\text{mg COD}\cdot\text{L}^{-1}$ であり、温度変化により増減する傾向がみられた (図-2 (A), 図-3(B)). 1st DHS での溶存メタンの回収性能は、運転開始後約 10 日で目標値としたメタン分圧 30% (自然可能な濃度) を達成できた。また、流入時の溶存メタン濃度が低下した場合でも、空気供給量を減少することで回収ガス中のメタン分圧の維持が可能であり (図-3(B)). 実験期間中を通して溶存メタンは概ね自然可能濃度で回収することが可能であった。また、溶存メタンの回収率は 70% 程度であった。2nd DHS での残存溶存メタンの微生物酸化処理性能については、温度の影響をほとんど受けずに安定しており、処理後の流出溶存メタン濃度も $0.11 \pm 0.14 \text{ mg COD}\cdot\text{L}^{-1}$ と極めて低濃度であった (図-3 (B)). また、ガス体として、排出されるメタン濃度は 0.03% であった。以上から、DHS 全体での溶存メタン除去率 (回収 + 微生物酸化) は平均 99.4% であり、大気中に放出されるメタン量を 1/100 以下に低減可能であることが示された。

4.3 処理水質評価

本処理プロセスでは、下水処理を対象にしている為、水質評価も重要な要素となる。そこで、有機物処理性の評価として、BOD の経日変化を図-3(C) に示した。溶存メタンを回収する 1st DHS の有機物処理性能は、運転期間を通して不安定であり、流入 BOD 濃度 $49 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (運転期間平均) に対し、BOD の平均除去率は 12% であった。一方、有機物除去を目的とする 2nd DHS では、有機物の処理が安定的に行われており、1st DHS で除去できなかった有機物の多くを分解することが可能であった。運転開始約 1 週間で BOD 濃度は $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度まで低減することが可能であった。しかし、冬期になると処理能力は低下し、 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度であり、平均 BOD 濃度は $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ となった。

2nd DHS リアクターの酸素消費速度を把握したところ、2nd DHS 内で消費された酸素消費速度は、温度に依存していることがわかった。25°C 付近の酸素消費速度は約 $700 \text{ g COD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$ となり、10°C 付近では約 $400 \text{ g COD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$ と酸素消費速度は低下することがわかった。特に、アンモニア酸化速度が著しく低下しており、酸素消費速度の低下率は約 70% であった。気温の低い冬場でアンモニア酸化を起こそうとすると、滞留時間を長くする等の対策が必要であることが示唆された。

4.4 メタン酸化活性と微生物叢解析

夏期における DHS 保持汚泥のメタン酸化活性を把握した (図-4)。その結果、1st DHS でのメタン酸化活性は 2nd DHS に比べ低かった。これは、低酸素環境のためであると考えられる。しかし、メタン酸化活性が低いため、メタン回収には好都合の環境である事が分かった。2nd DHS 上部ポート (P4) において $0.109 \text{ g COD}\cdot\text{g VS}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ と最も高いメタン酸化活性を示した。この保持汚泥を採取してクローニングを行ったところ、Type I のメタン酸化細菌に分類される *Methylobacterium* や *Methylobacter* が 4/93 クローンの割合で検出された。同様に冬期の汚泥のクローニングを行ったところ、*Methylocaldum*, *Methylobacter* (Type I), *Methylobacter* (Type II) といった夏期とは異なる種類のメタン酸化細菌が検出された (17/94 クローン)。メタン酸化細菌の検出頻度は夏期よりも冬期で高く、メタン酸化に寄与する酸素消費割合が増加する結果とも一致している。また、*Methylobacter* については、低温環境下でも活性を有するという報告があることから、冬期におけるメタン酸化に寄与していたと考えられる。以上のことから、本リアクター内における溶存メタンの酸化分解は、夏期と冬期では異なるメタン酸化細菌群によって進行していたことが明らかとなった。

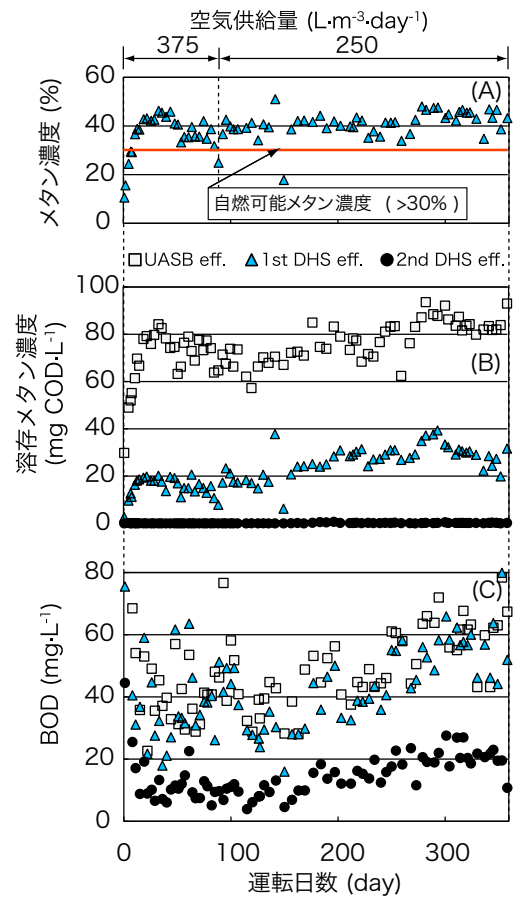


図-3 (A) 回収メタン濃度, (B) 溶存メタン濃度, (C) BOD濃度

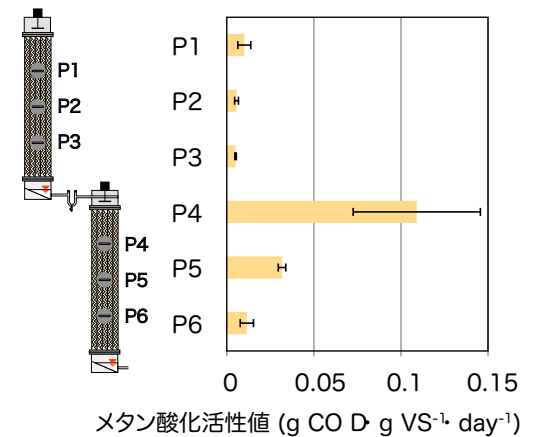


図-4 DHSリアクター高さ方向のメタン生成活性値

5. 結論

- (1) 嫌気性処理水から発生する溶存メタンは、回収型 DHS にて自然可能濃度で回収でき、回収率は 65.8% であった。
- (2) 溶存メタン酸化型 DHS は気温の変化を受けることなく、安定した酸化分解性能であった。回収と酸化で、99% 以上の溶存メタンを大気放散防止することが可能であった。
- (3) メタン酸化型 DHS は気温に適応したメタン酸化細菌が増殖する事で、高いメタン酸化性能が維持されていた。
- (4) 最終処理水の BOD 濃度は平均 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。