

下水余剰汚泥の嫌気性消化におけるパルス電界前処理の評価

長岡技術科学大学(非)○中川皓太, (正)幡本将史 (非)滝本祐也
(正)渡利高大 (正)山口隆司

1. はじめに

嫌気性消化は、余剰汚泥に含まれる有機物をメタンとして回収しつつ、汚泥の減容化を達成することが可能な技術である。下水処理過程で排出される余剰汚泥は、処理に多大な費用が生じる一方、有機物を高濃度に含みエネルギー源として有効利用が期待されるバイオマス資源である。しかし、余剰汚泥は微生物細胞と細胞外高分子物質からなる複雑なフロック構造を持つため、これらの分解が嫌気性消化の律速となることが課題とされている。余剰汚泥のメタン生成速度を向上することを目的として、嫌気性消化プロセスの前段階において熱分解、オゾン処理、酸・アルカリ処理などの前処理法がこれまで検討されてきた¹⁾。

嫌気性消化の前処理法の一つに、パルス電界(Pulsed Electric Field: PEF)を用いた処理法がある。PEFは、電極間の試料に対し極短時間の高電圧パルスを繰り返し印加することで、細胞膜に膜貫通電位を誘起し、細胞膜に微小な細孔が形成される現象であるエレクトロポレーションを利用した技術である。細胞膜への細孔の形成により、細胞内に存在する有機物が液相へと放出され、微生物による利用が容易となり、分解の促進とメタン収量およびメタン生成速度の向上が期待される。さらにPEF前処理は、他の前処理法と比較して、加熱の必要がない。薬剤等の添加が不要であるなどの特徴を持つ²⁾。

本研究では、パルス幅がナノ秒領域であるナノ秒PEF(nanosecond PEF: nsPEF)に着目した。nsPEFは、従来のマイクロ秒からミリ秒領域のパルスと比較して、処理時の温度上昇を抑制できるためパルスの効果のみを評価できることや、エネルギー効率良く処理を行える可能性がある。本実験では、パルス幅が50 nsである極短パルスを下水汚泥に適用し、汚泥の可溶化に及ぼす影響を評価することを目的とした。

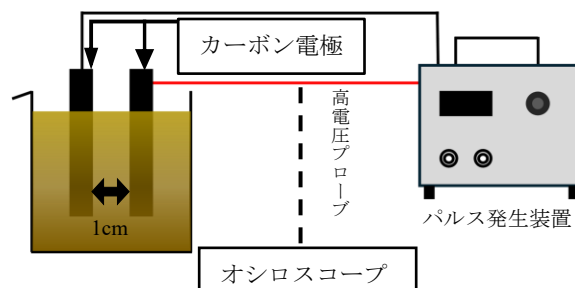


図-1 nsPEF 前処理システム概略図

2. 実験方法

2.1. nsPEF 処理方法

実験には、長岡中央浄化センターより採取した返送汚泥を用いた。採取した汚泥は5000×gで1分間遠心分離した後、体積が1/5となるように上澄みを除去して濃縮し、得られた汚泥を供試汚泥とした。供試汚泥の電気伝導度は0.225 S/mであった。

図-1にnsPEF前処理システムの概略図を示す。供試汚泥300 mLをビーカーに投入し、電極間距離を1cmとなるようにカーボン製電極を設置した。nsPEF処理はパルス発生装置を用いて電極間にパルス電圧を印加することにより行った。電圧波形は高電圧プローブを接続したオシロスコープにより測定で測定し、測定したパルス電圧を電極間距離で除して電界強度を算出した。

本実験での前処理条件はパルス幅50 ns、パルス繰り返し周波数100 Hz、電界強度2 kV/cmにて5分間処理を行った。処理中は攪拌子を用いて回転速度1300rpmで供試汚泥を攪拌した。

2.2. 分析項目

前処理前後での汚泥の性状を評価するため、水温、pH、全固形物(TS)、強熱減量(VS)および全COD(TCOD)を測定した。また、試料を孔径0.45 μmのメンブレンフィルターでろ過し、溶解性COD(SCOD)、溶存全窒素(STN)、溶存全リン(STP)、溶存多糖類および溶存タンパク質を測定した。

水温およびpHはpHメーター(DM-32P、東亜

DKK) を用いて測定し、TS および VS は APHA に従って測定した。TCOD, SCOD, STN および STP は水質分析計 (DR3900, HACH) を用いて測定した。溶存多糖類および溶存タンパク質は、それぞれフェノール硫酸法およびローリー法により測定した。

3. 実験結果および考察

表-1 に供試汚泥および nsPEF 処理汚泥の汚泥分析結果を示す。水温は、nsPEF 処理前後で 24.0 °C から 25.5 °C と 1.5 °C 上昇した。TS および VS は nsPEF 処理前後でほとんど変化しなかった。TCOD は、14800±170 mg/L から 18500±960 mg/L に増加した。SCOD は、供試汚泥で 33±2 mg/L であったのに対して、nsPEF 処理汚泥では 79±4 mg/L に増加した。同様に溶存タンパク質および溶存多糖類も前処理後に増加したことが確認された。

これらの結果から nsPEF 前処理により、汚泥中の微生物細胞内に含まれる有機物が液相へと放出された可能性が示唆された。既往の PEF 処理に関する研究でも同様の項目が増加したことが報告されており³⁾、本研究でも同様の増加傾向が認められた。

また、STP は 39 mg/L から 189 mg/L へと大きく増加した。この結果は、nsPEF 処理に伴い細胞内に蓄積されていたポリリン酸の一部も液相へ溶解した可能性が考えられる。

以上の結果より、下水汚泥に対して nsPEF 処理を行うことで、有機物およびリンなどの物質が液相に放出されていたことから nsPEF 処理が可溶化に寄与する可能性がある。また、これらの結果がメタン生成の促進に及ぼす影響については、嫌気性消化試験を実施し検証する必要がある。

4. まとめと今後の展望

本研究では、嫌気性消化の前処理法として nsPEF 処理による可溶化性能の評価を行った。その結果、溶存性成分が増えることが確認され、nsPEF 処理が下水汚泥の可溶化を促進する可能性が示唆された。

今後は、nsPEF 処理の有無によるメタン生成量の評価として嫌気性バッチ試験を実施し、累積メタン生成量およびメタン生成速度等を比較することで、nsPEF 処理が嫌気性消化に及ぼす影響を評価する。

また、電界強度、周波数および処理時間などを変化

表-1 供試汚泥および nsPEF 処理汚泥分析結果

分析項目	供試汚泥	nsPEF 処理汚泥
pH	6.50	6.40
水温 (°C)	24.0	25.5
TS (g/L)	13.8±0.1	13.8±0.2
VS (g/L)	9.8±0.1	9.8±0.1
TCOD (mg/L)	14800±170	18500±960
SCOD (mg/L)	33±2	79±4
STN (mg/L)	12±0	18±1
STP (mg/L)	39±0	189±2
溶存多糖類 (mg/L)	4.5±0.5	15±1
溶存タンパク質 (mg/L)	11±3	22±1

させ、処理条件が可溶化およびメタン生成に及ぼす影響について検討する。さらに、前処理に要したエネルギーとメタン増産により回収可能となったエネルギーとを比較し、エネルギー収支を評価することにより、nsPEF 処理条件の最適化を目指す。

謝辞

本実験では、長岡中央浄化センターから返送汚泥を提供していただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Sari Erkan, H. and Onkal Engin, G.: A comparative study of waste activated sludge disintegration by electrochemical pretreatment process combined with hydroxyl and sulfate radical based oxidants, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 103918, 2020.
- 2) Kovačić, Đ., Rupčić, S., Kralik, D., Jovičić, D., Spajić, R. and Tišma, M.: Pulsed electric field: An emerging pretreatment technology in a biogas production, Waste Management, Vol. 120, pp. 467–483, 2021.
- 3) Lee, I.-S. and Rittmann, B. E.: Effect of low solids retention time and focused pulsed pre-treatment on anaerobic digestion of waste activated sludge, Bioresource Technology, Vol. 102, No. 3, pp. 2542–2548, 2011.