

大和設備工事(株) ○李建華, 荒井哲雄, 新井忠男, 湯沢恩
群馬大学工学部 黒田正和

1 はじめに

窒素除去方法の一つであるバイオエレクトロ法は、電流制御によって効率的に脱窒操作が行えること、ランニングコストを低減できることなどから、極めて有効な脱窒法と考えられる。現在、脱窒速度に与える水温、電流密度などの影響について実験的及び理論的検討を行っているが^{1)~4)}、脱窒能力を長期間安定して維持することも実用化に向けた重要課題である。本研究は、脱窒菌を陰極表面に固定化したバイオエレクトロードを用い、有機炭素を全く含まない合成排水の脱窒実験を行い、脱窒速度、電流効率などの経日変化を測定することにより、脱窒能力の長期安定性について検討した。

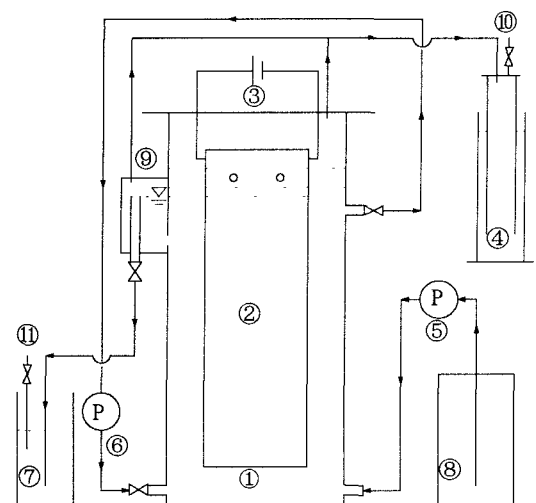
2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

本研究に用いた実験装置の概略を図.1 に、反応槽の寸法を表 1 に示す。本装置は、反応槽、電極、直流電源、ガス捕集器などから構成されている。反応槽は有効容積 3.0L の直方体で、槽内に、5mm 間隔で板状炭素電極(355mm×100mm×5mm)を平行に 5 枚(陽極 2 枚、陰極 3 枚)配置した。

2.2 実験方法

反応槽内 VSS が 0.4g-VSS/l になるように、脱窒菌の集積培養汚泥を投入し、表 2 に示した無機塩にグルコース 120mg-C/l 及び硝酸ナトリウム 40mg-N/l を加えた合成排水を連続的に供給し、通電せずに 1 ヶ月程度馴養した。懸濁汚泥を引き抜いた後、表 2 に示した無機塩に硝酸ナトリウム 20mg-N/l を加えた合成排水を連続的に供給すると共に通電を開始した。表 3 に操作条件を示す。



①反応槽 ②固定化微生物膜電極 ③直流電源
④ガス捕集器 ⑤流入ポンプ ⑥循環ポンプ
⑦処理水タンク ⑧合成排水タンク ⑨気液分離槽
⑩ガスサンプリング口 ⑪処理水サンプリング口

3. 実験結果及び考察

3.1 処理水 NO₃⁻-N 濃度, 脱窒速度及び電流効率

図.2 に、流入水及び処理水の NO₃⁻-N 濃度の経日変化を、図.3 に、脱窒速度及び電流効率の経日変化を示す。図.2 及び図.3 から初期約 1 ヶ月間では、処理水 NO₃⁻-N 濃度は上昇傾向が、また脱窒速度ならびに電流効率は低下傾向が認められるが、その後 8 ヶ月間にわたり安定した脱窒能力を示している。通電開始後 38 日以降の処理水 NO₃⁻-N 濃度、脱窒速度及び電流効率の平均値は、それぞれ 3.7mg-N/l、3.9mg-N/h 及び 37%であった。この電流効率 ($\eta_E = (\text{実脱窒速度} \times \text{H/N 量論比}) / (\text{理論脱窒速度} \times \text{H/N 量論比})$) を水素利用効率 ($\eta_{H_2} = (\text{実脱窒速度} \times \text{H/N 量論比}) / (\text{実脱窒速度} \times \text{H/N 量論比} + \text{実水素捕集速度} + \text{溶存水素流出速度})$) と水素発生効率 ($\eta_{P,H_2} = \eta_E / \eta_{H_2}$) に分解すると、 $\eta_{H_2} = 91\%$ 、 $\eta_{P,H_2} = 41\%$ が得られた。

図 1 実験装置の概略

表1 実験装置の寸法

項 目	寸 法
反応槽有効容積	$3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
陰極有効面積	0.12 m^2
総電極面積	0.30 m^2
陰極比表面積	40.0 m^{-1}
総電極比表面積	100.0 m^{-1}
電極間隔	5.0 mm

表2 無機塩組成

項 目	反応槽内濃度
K_2HPO_4	6.875 mg/l
KH_2PO_4	8.125 mg/l
NaCl	3.750 mg/l
CaCl_2	4.375 mg/l
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15.625 mg/l
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	7.500 mg/l

表3 操作条件

項 目	数 値
電 流 値	100 mA
陰極基準電流密度	0.84 A/m^2
窒素容積負荷	$0.04 \text{ kg-N/m}^3 \cdot \text{d}$
窒素陰極面積負荷	$1.0 \times 10^{-4} \text{ kg-N/m}^2 \cdot \text{d}$
窒 素 流 量	$1.2 \times 10^{-4} \text{ kg-N/d}$
水理学滞留時間	12 hr

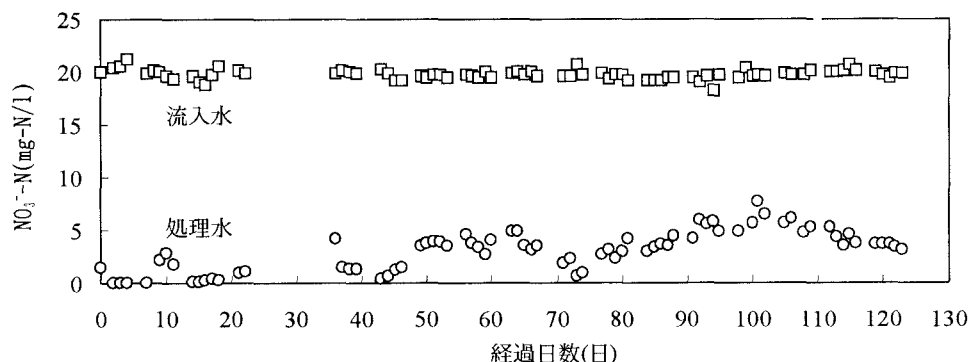
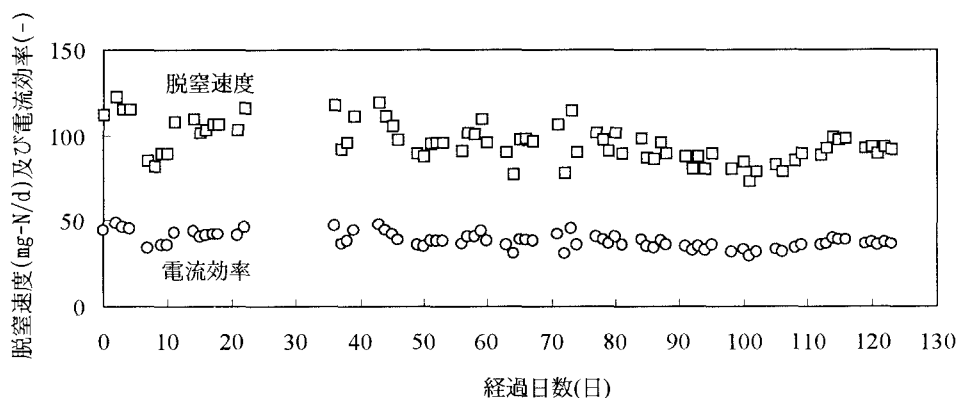
図2 流入水及び処理水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経日変化

図3 脱窒速度及び電流効率の経日変化

3.2 生成ガス組成及び窒素ガス転換率

図4に、通電開始38日経過後の生成ガス組成の経日変化を示す。図から、生成ガス中の水素分率は、初期段階では比較的多く、経過日数と共に減少する傾向が認められる。一方、窒素分率は、経過日数に伴い増加している。また、この間の除去 $\text{NO}_3\text{-N}$ の窒素ガスへの転換率は平均1.03の安定した値が得られた。

以上の結果から、通電開始後約1ヶ月間では、水素利用脱窒機能がいくぶん不十分であったが、生物膜に貯えた有機物による脱窒が加算された形で進行し、その後スムーズに水素利用脱窒へと移行し、安定した脱窒能力を保持したものと考えられる。

3.3 循環流速及び逆洗

上記約 8 ヶ月間の連続実験を行った後、生物膜の逆洗を行うとともに、槽内液の循環流量を約 2 倍に増大して行った実験結果を前記実験結果と対比して図 5 に示す。図から、脱窒速度及び電流効率は循環流量を増大することにより著しく上昇していることが認められ、逆洗及び液循環流量は脱窒速度に大きな影響を与えることが示唆された。循環流量を増大した本実験条件下において、脱窒に要する電力は、約 $28\text{kw} \cdot \text{h/kg-N}$ であった。なお、全実験期間を通して、稼働電圧は 2.7V の一定値を示した。本実験装置の陰極比表面積は 40m^2 程度であることを考えると、比表面積を増大することにより、脱窒に要する電力の更なる削減は可能と考えられる。

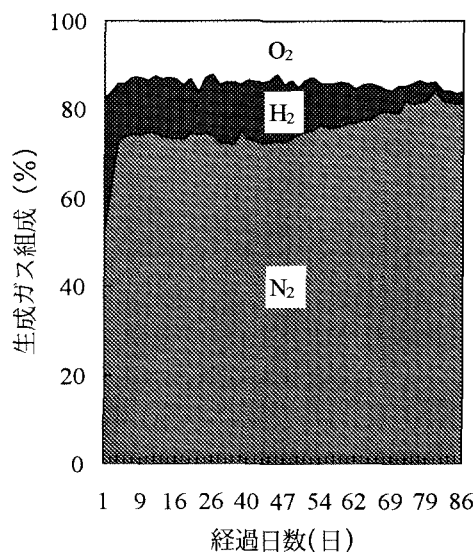


図.4 生成ガス組成の経日変化

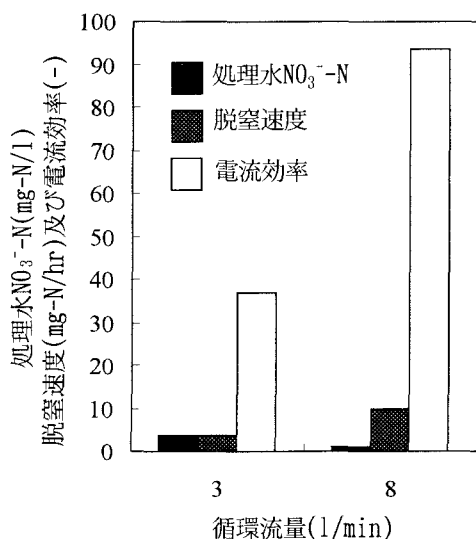


図.5 処理水 NO_3^- -N濃度、脱窒速度及び電流効率に及ぼす循環流量の影響

4 まとめ

1) 印加電流値 $=100\text{mA}$ 、電流密度 $=0.84\text{A/m}^2$ 、陰極比表面積 $=40\text{m}^2$ の実験条件下で、約 8 ヶ月経過後において、 3.9mg-N/h の安定した脱窒速度を示した。この場合、電流効率は、37%であり、これを水素発生効率と生成水素の利用効率に分解すると、前者が 41%、後者は 91%となる。また、除去 NO_3^- -N の N_2 ガスへの転換率として 1.03 が得られた。

2) 生物膜の逆洗及び槽内液の循環流量を増大した結果、1)と同一実験条件下において、脱窒速度 9.8mg-N/h 及び電流効率 94%が得られた。

<参考文献>

- 1) Sakakibara, Y., Flora, J.R.V., Suidan, M.T. and Kuroda, M. (1994) Modeling of electrochemically-activated denitrifying biofilms, *Water Research*, **28**, 1077-1086.
- 2) 黒田正和, 渡辺智秀, 梅津 (1994) バイオエレクトロ法による硝酸汚染水の脱窒特性とその高速処理に関する検討, 水環境学会誌, **17**, 623-631.
- 3) 趙哲石, 尾崎益雄, 黒田正和 (1994) Bio-electroreactor を用いた脱窒に及ぼす温度の影響, 土木学会第 49 回年講集, 1114-1115
- 4) 趙哲石, 尾崎益雄, 黒田正和 (1996) Bio-electroreactor を用いた脱窒に及ぼす電流の影響, 土木学会第 51 回年講集, 60-61