創エネルギー型生物処理法に関する基礎的研究

早稲田大学大学院理工学研究科 学生会員 〇高子 尚紀 早稲田大学理工学部 正会員 榊原 豊

1. はじめに

活性汚泥法は排水処理施設の主要プロセスとして広 く普及しているが、ばっ気操作や汚泥処理に多大のエ ネルギーを必要とする。これに対して排水中の有機物 等が有する潜在エネルギーを電極を介して回収する新 しい創エネルギー型処理法が注目されつつある¹⁾。本法 はエレクトロンシャトルと呼ばれる電子伝達物質を用 いて微生物体内の電子を回収する方法²⁾と鉄還元菌等 の微生物を利用して直接電子を回収する方法がある。 本研究は、活性汚泥と消化汚泥を嫌気及び Fe(III)供給 条件下で培養し、発生する電圧及び電流を測定するこ とによって、直接電子を回収する創エネルギー型生物 処理の可能性について検討した。

2. 本生物電池の原理

グルコース/酸素系生物電池の電極反応を式(1)、(2) に示す。また、負極と正極の概略を Fig.1 に示した。

【負極】微生物によるグルコースの酸化反応:

 $C_6H_{12}O_6+6H_2O \rightarrow 6CO_2+24H^++24e^-$ (1) $E^0=0.17V \text{ (pH=7)}$

【正極】水中溶存酸素の還元反応:

 $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \tag{2}$

 $E^0=0.82V$ (pH=7)

ここに、E⁰は標準電極電位

理論起電圧: Ecell=0.65V (pH=7)

3.実験装置及び方法

実験装置の概略を Fig.2 に示した。装置は負極槽と正 極槽よりなり、各容積は 35ml である。負極及び正極と して白金メッシュ電極を用い、両者は Nafion 膜(N-117) を挟んで連結した。この白金メッシュ正電極/Nafion 膜 /白金メッシュ負電極は、さらに厚さ 3mm のアクリル 板 2 枚で挟んで実験装置の中心部分にセットした。ア クリル板には 10mm*20mm の窓が開いており、この 窓を介して正極反応と負極反応が進行する。

実験は Fig.2 に示した実験装置を二系列作製し、抵抗

20kΩを用いて発生する電圧及び電流を測定した。また、 負極槽における基質消費量を TOC 計(島津製作所 TOC-500)により測定した。負極及び正極の条件を以下 に示す。なお、実験条件の詳細を Table.1 に示した。

【負極槽】DO=0mg/l としたリン酸緩衝液(pH=7)に濃度 10mM でグルコースを溶解させ、HRT=1h で連続供給した。また、負極窓に遠心分離 3*10³g で濃縮した活性汚泥あるいは消化汚泥に炭素材 10mg を添加し、アルギン酸ナトリウムで固定した。

【正極槽】十分にばっ気したリン酸緩衝液(pH=7)を HRT=1hで連続供給した。

ここで、活性汚泥及び消化汚泥は Fe(III) - EDTA、グ ルコース及び無機塩類を 50ml/週で供給しながら培養 した。また、鉄還元菌の存在を確認するために培養汚 泥中の Fe²⁺濃度をフェナントロリン法により測定した。



Fig.2 実験装置の略図

キーワード:創エネルギー型生物処理、生物電池、鉄還元菌、活性汚泥 連絡先:〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 tel.03-5286-3902

20

0

4. 実験結果及び考察

実験装置 R1(活性汚泥)、R2(消化汚泥)における電圧 及び電流の経時変化を Fig.3 に示す。図より嫌気条件下 で培養した消化汚泥(R2)のほうが同条件下で培養した 活性汚泥(R1)に比べて高い電圧及び電流が得られた。電 圧の経時変化は両実験装置ともに、実験開始時は一旦 低下するがその後上昇して安定する傾向が見られた。 本実験条件下では R1 は 30mV 前後で、R2 は 100mV 前後で安定した。これは、実験初期には負電極上に電 子を電極へ受け渡すことのできる微生物が充分に増殖 しておらず、時間が経過するにつれて微生物が増殖し たことによると考えられる。

Fig.4 は Fig.3 に示した電圧を初期固定汚泥量で除し た値を示したものである。図より、初期の電圧は異な ったが、電圧が安定した 600h 以降では R1 と R2 はほ ぼ同程度の値になった。すなわち、発生電圧及び電流 は用いる汚泥あるいは電極上の微生物量に影響される が、培養期間が長くなるとほぼ同様になった。

Table.2は、R1及びR2における基質濃度変化をTOC 分析により求めた結果である。また、Table.3は鉄還元 菌の存在を確認するために、培養汚泥中のFe²⁺濃度を 測定した結果である。両表から分かるように、R1 と R2 のグルコース消費量及び汚泥中のFe²⁺生成量は若 干異なるが概ね100~200 (mg-C/l)の基質消費量及び 10~20%のFe(III)還元率であった。このことより、供 試汚泥中には鉄還元菌が存在し、また、このような汚 泥を電極表面上に固定化することにより、有機物除去 と電子回収が同時に可能であることが分かった。

5. まとめ

活性汚泥及び消化汚泥を嫌気条件下で培養し作製し た生物電池を用いることにより、電圧及び電流を安定 して取り出すと共に、有機物除去が可能であることが 分かった。また、有機性排水を供給し続けると、電圧 及び電流は上昇し安定する傾向が見られた。今後はさ らに長期間の発電能力や排水処理性能(有機物除去、汚 泥処理等)について検討する予定である。

また、培養汚泥中に鉄還元菌は存在すると考えられ るが鉄還元反応と電子伝達のメカニズムについても今 後解析する予定である。





0 200 400 600 800 1000 1200 時間(h)

1

0

R1(〃) 電圧







Table.2 R1 及び R2 における基質濃度変化

実験装置	TOC 流入	TOC 流出	基質消費量
	(mg-C/I)	(mg-C/I)	(mg-C/I)
R1	850	750	100
R2	920	700	220

Table.3 Fe²⁺濃度変化

	供給 Fe ³⁺ (mg)	$Fe^{2+}(mg)$	還元率(%)
活性汚泥	1. 4*10 ³	270	19
消化污泥	1. 4*10 ³	180	12

[参考文献]

1) D.R.Lovley et al. : Electricity Generation by Direct Oxidation of Glucose in Mediatorless Microbial Fuel Cells, Nature Biotechnology, 2003.

2)M.Miyazawa and Y.Sakakibara : Fundamental Study on Electron Recovery from Wastewater by a Biofilm-Electrode Reactor(BER), International Conference on Environmental Science and Technology 2005, New Orleans, USA