

群馬大学工学部 黒田正和, 榊原 豊, ○渡辺智秀
三機工業(株) 佐々木 聡
広島県庁 福田内隆彦

1. はじめに

一般に下廃水処理では、単位処理水量当り 1.5 MJ/m^3 程度の多量なエネルギーを必要としており、その消費エネルギーの抑制および資源エネルギーの回収は、エネルギー資源の有効利用の観点から重要な課題となっている。さらに、高度処理化に伴い、処理に関わるエネルギー消費が増大する可能性がある。近年、下廃水処理の高度処理を含めた処理法の一つとして、嫌気槽および好気槽を組み合わせたプロセスが種々検討されているが、この場合、両槽の酸化還元電位の相違を利用し、微生物電池として電力回収が可能であると考えられる。

本研究では、このような観点から、嫌気・好気槽を用いる下廃水処理プロセスに対して、両槽に電極を浸漬した実験室規模の連続式処理槽を用いて電力回収実験を行い、発生電力におよぼす操作条件および両槽間隔壁面積の影響について実験的検討を行った。

2. 実験

2.1 実験装置

図1に本実験で用いた装置の概略を示す。本実験装置は、電極を浸漬した嫌気および好気処理槽、両槽間のイオン移動通路となる架橋部、発生ガス収集用のガスホルダーならびに電流・電圧計より構成されている。嫌気および好気槽ともに内径90mm、長さ300mmの亚克力樹脂製円管であり、処理水輸送用パイプとイオン移動用架橋部にて連結されている。架橋部は、両槽の液混合を避けるために3ヶ所に高分子吸収体の隔膜を設置した。基質は嫌気槽より供給し、嫌気処理の後、好気槽へ流入させ排出させた。なお、各処理槽の攪拌混合は、エアレーションによる通気および攪拌(好気槽)およびポンプによる循環(嫌気槽)により行った。

本実験で使用した電極は、外径8mm、内径4mm、長さ200mmの中空炭素棒であり、両槽にそれぞれ16本ずつ浸漬した。各槽の電極表面積約 1200 cm^2 である。

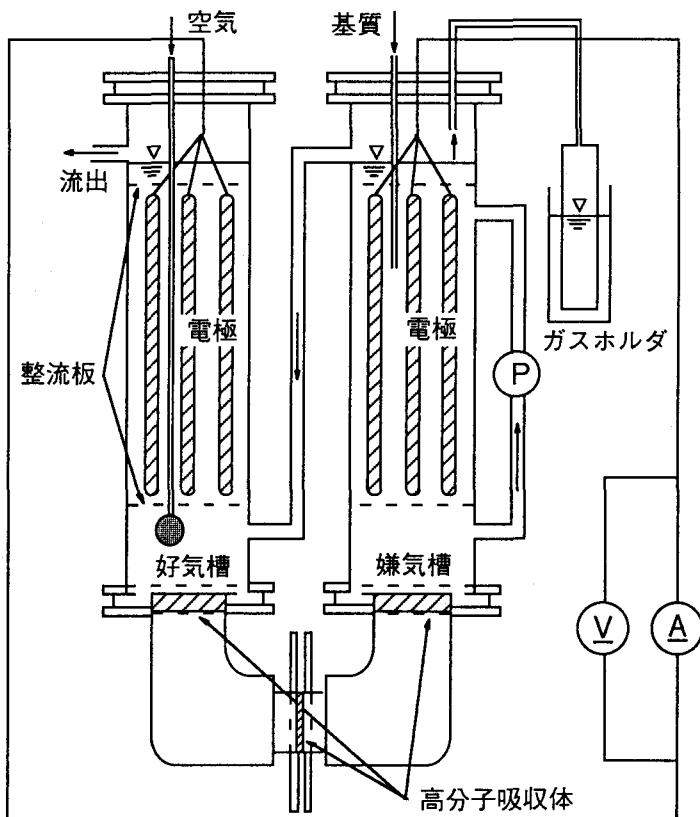


図1. 実験装置概略図

2.2 実験方法

実験は、各槽にそれぞれ消化汚泥および活性汚泥を投入し、表1に示すような組成の人工下水を嫌気槽より約1ℓ/day (HRT約46hr) にて供給し、槽内微生物群を馴養した後、基質供給速度および架橋部隔膜断面積を変化させて実験を行い、電流、電圧、DO、ORP、pH、および発生ガス量を測定した。なお、処理槽は恒温槽に浸漬し、約30℃に制御した。

表1 基質組成

スキムミルク	1000mg/ℓ	注) 無機塩濃度: K ₂ HPO ₄ ; 44mg/ℓ, KH ₂ PO ₄ ; 52mg/ℓ, NaCl; 24mg/ℓ, MgSO ₄ ·7H ₂ O; (NH ₄) ₂ CO ₃ 500mg/ℓ 100mg/ℓ, CaCl ₂ ; 28mg/ℓ, FeCl ₃ ·6H ₂ O; 48mg/ℓ
(NH ₄) ₂ CO ₃	500mg/ℓ	
無機塩	注)	

3. 結果および考察

3.1 推定起電力

実際の嫌気性および好気性微生物槽内では、それぞれ複雑な反応経路を経て、有機物分解、メタン生成ならびに脱窒等が行われているが、大略、嫌気槽では水素源の利用による(1)式のような水素の分解によりe⁻が放出され、好気槽では(2)式に示すように、酸素によりe⁻の消費が起こり水が生成すると仮定する。



以上の仮定に基づいた半電池反応を用い、pH7、温度30℃の場合、水素分圧0.001atm、酸素分圧0.2atmとし、Nernstの式より起電力を求めると約1.3Vとなる。

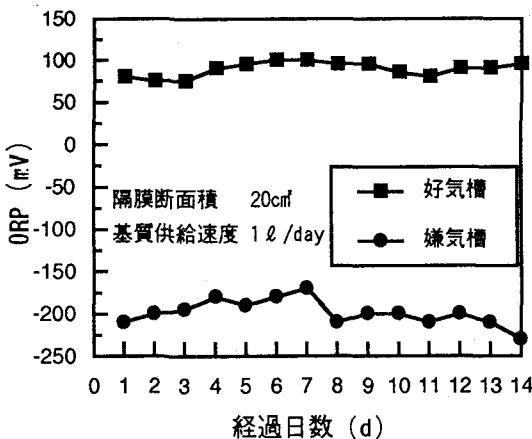


図2 電極浸漬に伴うORP変化

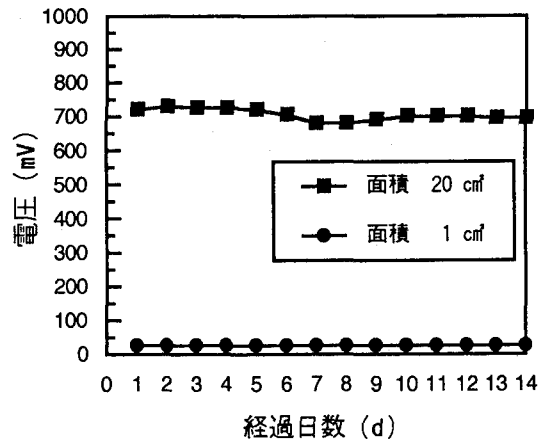


図3 隔膜面積の電圧に対する効果

3.2 電極浸漬に伴う槽内変化

図2に処理槽内ORP変化の一例を示す。本図からわかるように、各槽におけるORPは、好気槽では約90mV、嫌気槽では約-200mVでは安定していた。また、好気槽のDOは約2.0mg/ℓ、嫌気槽における発生ガス量は約550ml/dayでは安定していた。さらに、両槽ともpH7.0-8.0であった。これらより、安定した下 wastewater 処理とともに安定した微生物電池反応による電力の回収が可能であると考えられる。

3.3 隔膜面積の影響

図3に嫌気-好気槽隔膜面積の起電力に対する影響を示す。本図より、隔膜面積の20倍の増大により電圧が25倍程度上昇することがわかる。これは、隔膜を通してのイオンの移動量が面積の増大により増加したためであると考えられる。本結果より、嫌気-好気槽間隔膜面積は、電荷移動に対して隔膜間のイオンの移動速度が律速とならない程度に充分な大きさが必要であると考えられるが、各槽の嫌気状態および好気状態を維持しつつ必要イオンの移動量を増大させるためには、隔膜に使用する材料の選択的分離および透過性能も

より高電圧高電流を得るための重要な条件となると考えられ、この観点からの検討も今後必要である。

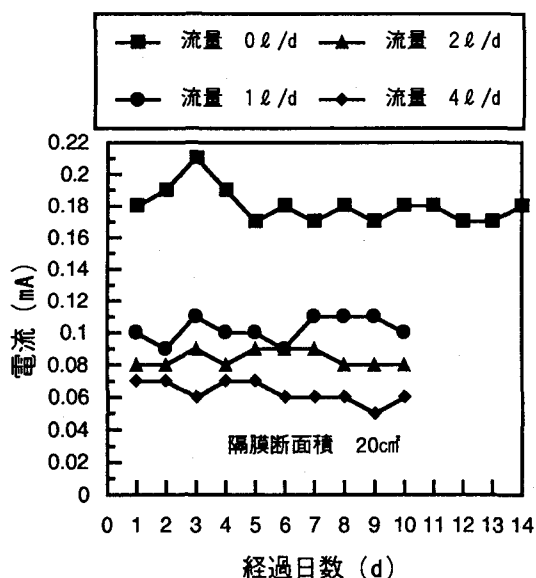


図4 基質流量の相違による電流変化

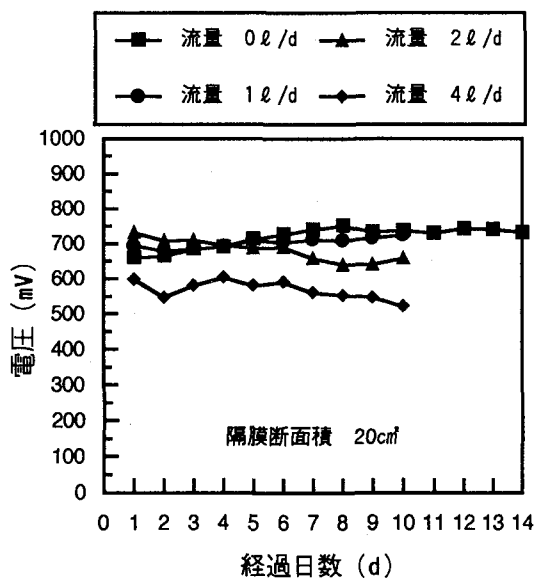


図5 基質流量の相違による電圧変化

3.4 処理負荷量変化の影響

図4および5に基質流速の変化に伴う電流および電圧変化をそれぞれ示す。図中、基質供給速度0 l/dayは、連続的な基質供給を行わず1 l/day相当の濃縮基質を嫌気および好気両槽に1日1回供給したことを表す。両図より、得られる電流および電圧は比較的小さいものの、処理期間中に定常的な電流および電圧を得ることが可能であることがわかる。しかしながら、基質供給速度の増大に伴い電流および電圧とも減少傾向を示した。これは、基質流速の増大に伴い嫌気および好気槽での処理速度が低下することおよび嫌気槽から好気槽に流入する低ORPな処理水量の増大により好気槽のORPが低下したためであると考えられる。なお、本実験範囲では、電流電圧とも嫌気および好気両槽に濃縮基質を添加した場合に最大電力が得られた。これは、嫌気槽から好気槽への処理水のリークが生じないため大きな電位差を維持できることおよび高基質濃度による代謝反応速度の増大によるものと考えられる。つまり、嫌気・好気処理プロセスを想定して電力回収を行う場合、両槽間の処理水の流入流出による電位差の低下を防ぐ必要があると考えられる。

本実験条件における代表例として基質流量1 l/day、隔膜面積20 cm²の結果を用いると、単位処理水量当りに得られた電力量は6.05 kJ/m³であり、一般的下処理施設における必要処理電力量の約0.4%であった。出力電圧は推定電圧との比較からすでに54%程度得られているが、十分なe⁻が存在すれば電極面積を増大することにより比例的に電流値は増大すると考えられ、この仮定に基づく電極面積を工夫することによって出力の大幅な改善が可能である。

4. まとめ

嫌気・好気下処理プロセスにおいて嫌気および好気槽の酸化還元電位差を利用した電力の取り出しの可能性について実験的に検討を行い以下の知見を得た。

- (1) 得られる電力は小さいものの安定した電力を得ることができる。
- (2) 嫌気および好気槽間隔膜面積を増大することにより高電圧が得られる。また、適当な隔膜材料、面積を選定することにより電圧および電流の向上が期待できる。
- (3) より高出力を得るために各槽に流入する処理水による電流のリークを小さくする必要がある。