

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 ○廣岡佳弥子

佐藤弘泰

味埜俊

1. はじめに

活性汚泥法から排出される多量の余剰汚泥の処理、処分の問題の解決策の一つに、余剰汚泥削減型活性汚泥プロセスがある。これは通常の活性汚泥法の汚泥返送工程に汚泥可溶化処理を導入して曝気槽内での汚泥の消化率を上げることによってプロセス全体の余剰汚泥発生量を減量する手法である^{1) 2) 3)}。このプロセスでは、有機物は CO_2 と H_2O の形で系外へ出ていくので発生する余剰汚泥の量は減少する。しかし、長期の運転を続けると流入廃水に常に含まれている不溶性無機物質は系内に蓄積されていくはずである。本研究では汚泥可溶化処理としてオゾン処理を用いた汚泥削減型活性汚泥法の回分リアクターを運転した。その中で流入廃水と流出処理水、及び槽中の汚泥に含まれる無機物質測定を ICP 発光分光分析法によりおこない、活性汚泥プロセス中に入り込んだ無機物質の挙動を追跡した。

2. 実験の概要

2. 1 実験装置

汚泥削減型活性汚泥プロセスの実験装置の概要を図1に示す。リアクターには 2L の曝気槽を用い、東京都内のある下水処理場の都市下水を流入させて好気式回分運転をおこなった。HRT は8時間、1サイクルは4時間（流入1分、曝気180分、沈殿35分、上澄み引き抜き5分、静置19分）とした。可溶化処理するための汚泥はサイクルでの曝気時間の終わりに曝気槽から 60mL ずつ引き抜き、冷蔵庫で 4℃ に保冷し 1～2 日ごとにまとめてオゾン処理をおこなった。オゾン処理の済んだ汚泥も冷蔵保存し、サイクルごとの下水流入時間に 60mL ずつ投入した。

オゾン処理は 2L のガラス製広口瓶を反応容器として、リアクターから引き抜いた汚泥をオゾン曝気しておこなった。オゾンガスの流量は 800mL/分で注入し、このときのオゾン吸収率は 20～30% 程度であった。反応によって消費されたオゾン濃度を広口瓶の入口と出口のガス濃度差を測定することによって求め、これに反応時間を乗じて、消費されるオゾンが 0.05 g/gMLSS 以上になるように処理をした。

この実験系とは別に対照系として通常の活性汚泥プロセスのリアクターを、実験系と同一の HRT 及びサイクル時間で運転した。余剰汚泥はサイクルでの曝気時間の終わりに曝気槽から 30mL ずつ引き抜き、これは SRT11 日で運転したことに相当する。

2. 2 測定項目

測定した無機物質は、Mg、Al、Zn、Cu、Ni、Cr、K、Mn、Fe、Na、Cd、Ca、Pb、の13種類である。プロセスに流入する都市下水、処理水、リアクター内の汚泥を採取して、これらを分析対象のサンプルとし

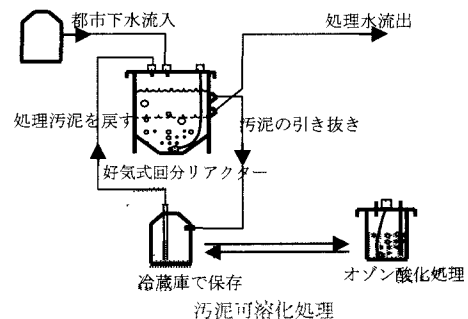


図1 汚泥削減型活性汚泥プロセスの実験装置の概要

た。処理水については、孔径 1μ のメンブレンフィルターでろ過したものと、ろ過をしないものの 2 種類について分析した。

サンプルは前処理として 12N 硝酸を、汚泥サンプルの場合 5 : 2、水サンプルの場合 5 : 1 の容積比（サンプル量 : 硝酸量）で加えて、マイクロウェーブ（ハンセン商会、MCS950）により 4.2atm で 10 分加圧加熱して溶解させた。その後 ICP 発光分光分析法（Perkin Elmer、Optima3000DV）で無機物質を分析した。

3. 実験結果と考察

3. 1 リアクターの運転状況

運転中の 2 系列のリアクターの MLSS の変化を図 2 に示す。汚泥の引き抜きに関する技術的なトラブルによる事故が起りやすかったためと、流入都市下水に含まれる有機汚濁物質の濃度が変動したために、リアクター中の汚泥の MLSS は多少変動した。

安井ら¹⁾によると実験系では可溶化処理をして曝気槽に戻す汚泥の量によってリアクターの MLSS をコントロールできる。本実験でも当初 MLSS が対照系と同じになるように実験系の汚泥可溶化処理量を決めた。しかし引き抜き量が多いと発泡が生じてリアクターの維持が困難になったので、最終的に可溶化処理量を減らした結果は対照系の汚泥引き抜き量の 2 倍となった。このため、実験系の活性汚泥の MLSS は対照系のそれに比べてやや大きな値になった。

リアクターの処理水質については、COD_{Cr} を測定したところ、運転中を通して対照系で 10mg/L 程度、実験系で 20mg/L 程度で実験系のほうがやや処理水質が悪かった。また、処理水中の SS は対照系で 15~20mg/L、実験系で 25~30mg/L 程度であった。これは実験系の処理水中の COD_{Cr} 値の方が対照系よりも大きい理由の一つであるといえる。もうひとつの理由にはオゾン処理をすることによって生成した安定有機物の存在の可能性がある。

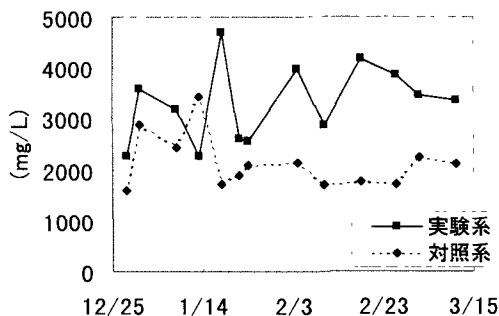


図 2 リアクターの MLSS の変化

3. 2 無機物質の挙動について

(1) 都市下水に含まれていた無機物質

無機物質のうちで都市下水に比較的多く含まれていたのは Mg、K、Na、Ca であった。Mg、K は 5~40mg/L、Ca は 20~90mg/L、Na は 70~450mg とかなり大きな幅で濃度が変動した（つまり都市下水中での濃度が日によってかなり異なる）。また、Al、Fe は 1~4mg/L の濃度で、Zn、Cu、Mn は 0.1~0.5mg/L の濃度で都市下水中に存在した。

Ni、Cr は定量限界以下であった。Cd、Pb は半数以上のサンプルで定量限界以下で、定量されたサンプルでも Cd は 0.05mg/L 以下、Pb は 0.1mg/L 以下と濃度が極めて小さかった。

(2) 汚泥内に蓄積する無機物質

曝気槽内から採取したサンプル中の濃度と、流出上澄み中の物質濃度の差を取り、曝気槽中で活性汚泥に含まれる無機物質の濃度とした。この値を活性汚泥の MLSS で除して活性汚泥 1g あたりに含まれる無機物質の量を求めた。その経時変化を図 4 に示す。

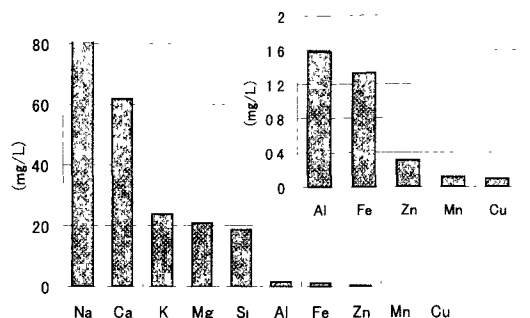


図 3 運転期間中の流入排水での物質の平均濃度

まず Mg、K、Na は対照系と実験系のいずれにおいても、汚泥あたりの含有量が小さく、かつその値はあまり増減しなかった。これらの無機物質については不溶性塩としての汚泥中への蓄積はほとんど無いことがわかる。一方 Fe、Al は実験系の方が対照系に比べて汚泥あたりの含有量が多くなる傾向があった。これらの無機物質は不溶性塩として汚泥中に蓄積されるようである。Ni、Cr、Cd、Pb は汚泥中にも微量しか存在せず、定量が難しかったため、増減を見ることができなかった。Ca は汚泥あたりの含有量の変動が大きかったため、Cu、Zn、Mn は汚泥中の存在量が小さかったため、はっきりとした挙動の傾向がわからなかった。

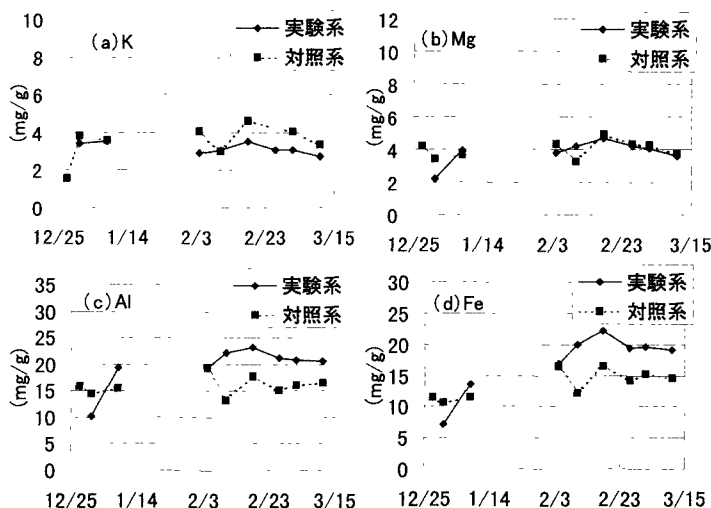


図 4 活性汚泥 1 g あたりに含まれる無機物質の量の経時変

(3) 処理水に溶存態として含まれていた無機物質

処理水に溶存態として含まれる Mg、K、Na、Ca の濃度は実験系と対照系の差が 10% 以下であり両者に明確な差があるとはいえなかった。

Al は実験系と対照系での処理水中の溶存態濃度は系が安定した 2/3～3/3 の期間の平均で 0.21mg/L および 0.14mg/L であり、実験系では流入都市下水中の Al の 12% が溶存態として処理水に存在するのに対して、対照系では 8% であった。Fe は実験系と対照系での処理水中の溶存態濃度が平均で 0.28mg/L および 0.14mg/L であり、実験系では流入下水の 21% が溶存態で流出したのに対して、対照系では 10% であった。

以上の結果は、実験系において汚泥に蓄積された Fe、Al が溶出する機構が存在することを示唆する。汚泥削減型活性汚泥プロセスにおいて不溶性無機物質が無限に蓄積される可能性が指摘されてきたが、上で示されたような不溶性塩の溶出機構が存在すれば、蓄積に上限値があることが予想される。今後の研究では無機物質の蓄積と溶出のメカニズムの解明を検討する必要がある。

4. まとめ

リアクターから汚泥を引き抜いて可溶化処理をおこない再び反応槽に戻すことによって、余剰汚泥を引き抜かないでリアクターの運転を続けることができた。このとき、以下のことがわかった。

- 1) プロセス中に Fe、Al のような物質が通常の活性汚泥プロセス中よりも蓄積される傾向にある。
- 2) Mg、K、Na はほとんど汚泥中に蓄積されない。
- 3) 実験系で蓄積された Fe、Al は処理水に溶出する傾向がある。

【参考文献】

- 1) 安井英斉・佐久間聖一・柴田雅秀：余剰汚泥を発生させない新活性汚泥法の実規模実験による実証、環境工学研究論文集 Vol.33、1996
- 2) 名和慶東：ミル破碎技術による余剰汚泥減容化プロセスの開発事例、新しい水処理シリーズ③汚泥の減量化と発生防止技術、190-207、2000
- 3) 長谷川進：好熱性細菌を利用した余剰汚泥減量化技術の開発事例、新しい水処理シリーズ③汚泥の減量化と発生防止技術、247-280、2000