

論文の内容の要旨

論文題目 IWA 活性汚泥モデル No.3 へのリン除去予測モジュールの導入と
そのキャリブレーション方法の確立

氏名 花田 茂久

近年、我が国の下水処理場は閉鎖性水域における富栄養化防止の観点から、従来行われてきた有機物除去だけでなく、窒素、リンなどの栄養塩除去を行うことが強く求められている。これにより生物学的窒素、リン除去が可能な高度処理施設の普及が更に進むものと思われる。生物学的窒素、リン除去法は従来の標準活性汚泥法よりも原理が複雑であるために、効率的な高度処理施設の設計・運転管理を行うには、これまでよりも合理的な考え方が必要となる。

一方、活性汚泥中の微生物が関わる様々な反応の原理を理解し、モデル化する試みは数多くの研究者によって行われてきた。中でも国際水学会 (IWA) の Task group によって発表されている IWA 活性汚泥モデル (ASM) は最も代表的なモデルである。ASM は汚濁物質除去に関わる微生物群 (従属栄養微生物群, 硝化細菌群, 脱窒細菌群, リン蓄積微生物群) の基質摂取, 増殖, 死滅といった反応の速度や化学量論を記述しており, このモデル構造をコンピューターに組み込み, 計算させることにより下水処理プロセス全体の挙動を予測することができる。近年この ASM を下水処理場の効率的な設計, 運転に積極的に利用しようという動きが高まりつつある。

ASM を動かして下水処理プロセスの挙動を予測するためには, 流入下水のモデル上の有機物組成と各種化学量論係数, 動力学定数 (パラメータ) の値を決定する必要がある。これらの作業を「キャリブレーション」という。しかし特に生物学的リン除去プロセスのキャリブレーションを行う際の, ASM の統一的なキャリブレーション方法は未だ確立されていない。

そこで本研究では, 生物学的リン除去プロセスを対象とした ASM の統一的なキャリブレーション方法の開発を目的に研究を行った。ASM の統一的なキャリブレーション方法を開発するためには, そのキャリブレーション方法がある 1 つの下水処理プロセスのみに適用可能というのではなく, 複数の (理想的には全ての) 下水処理プロセスに適用可能なものである必要がある。そのためにはキャリブレーションを行うことにより, モデルが最終的な計算結果である処理水質だけでなく, 汚濁物質除去を担っている各微生物群の濃度も再現できている必要がある。なぜなら, もしモデルが各微生物群の濃度を再現できていない状態で処理水質を再現しようとする, 本来であれば処理場ごとに値を変更する必要のないパラメータを変更しなければならなくなり (つまりパラメータの一般性が保たれなくなり), キャリブレーションに余計な手間がかかることになるからである。そこで本研究では各微生物群濃度の再現性を意識してキャリブレーション方法を考案した。

まず, 初めに感度解析を行うことにより下水処理プロセスの挙動に大きな影響を及ぼすパラメータを抽出

した。本研究では統一的なキャリブレーション方法を開発するために、感度解析は特定の下水処理プロセスではなく、一般的な下水処理プロセスを想定した仮想嫌気 - 無酸素 - 好気リアクターを対象に行った。またキャリブレーションにより各微生物群の濃度も再現することを意識したので、水質成分だけでなく、各微生物群濃度に大きな影響を与えるパラメータを抽出した。抽出したパラメータ以外のパラメータは基本的に Task group の推奨値で固定した。抽出したパラメータについても、それらの生物学的な意味を考慮し、回分実験で推定するもの、処理場のデータからフィッティングにより推定するもの、推奨値で固定するものに分類し、キャリブレーションを行うことにした。

開発したキャリブレーション方法が一般性の高いものであるかどうかを評価するために、異なる3つの実下水処理プロセス（嫌気好気回分式リアクター、浅川処理場 A₂O 系列、中川処理場 A₂O 系列）に開発したキャリブレーション方法を適用した。キャリブレーションにあたっては、水質成分だけでなく、各微生物群濃度の再現性も評価した。但し各微生物群の濃度は直接測定することができないので、3つのキャリブレーション結果に基づいてパラメータの一般性を評価することにより、間接的に各微生物群濃度の再現性を評価することにした。また本研究では基本的に下水処理プロセスの平均的な挙動が再現できるかどうかという観点からキャリブレーション方法の適用性を評価したが、生物学的リン除去に ASM を利用する場合は降雨時のリン除去の悪化など、リン除去が不安定な状況での挙動を再現できることが重要である。そこで嫌気好気回分式リアクターについては、詳細な水質モニタリングを行うことにより、開発したキャリブレーション方法により、流入水質が大きく変動し、リン除去が不安定な時の挙動が再現できるかどうかについても調べた。以下で、開発したキャリブレーション方法を実際に実下水処理プロセスに適用した結果について述べる。

まず、開発したキャリブレーション方法を、実下水を流入させた嫌気好気回分式リアクターに適用した。キャリブレーションはリアクターの平均的な挙動が再現できるように行った。開発したキャリブレーション方法をそのまま適用したところ、リアクターの挙動を再現することができず、キャリブレーション方法の修正が必要であることが判明した。まず K_{PHA} （リン蓄積微生物の PHA 含有率の半飽和定数）の推奨値（0.01 [gCOD/gCOD]）からの変更を余儀なくされた。これは推奨値を用いて計算を行うと好気工程の途中で PHA が枯渇し、リン蓄積微生物がウォッシュアウトするためである。本研究では K_{PHA} を 0.1 [gCOD/gCOD] に変更した。また Y_{PO4} （PHA 貯蔵のためのポリリン酸必要量）の値が、易分解性有機物の大部分を占める酢酸と、遅分解性有機物から加水分解、発酵により生成する有機物とで異なることが示唆された。よって Y_{PO4} については回分実験で推定した値は適用できず、嫌気工程終了時のリン酸濃度を再現するように値を変更するのが妥当であることが示唆された。

次にキャリブレーションを行ったモデルが、流入水質が大きく変動し、リン除去が不安定な時のリアクターの挙動を再現できるかどうかを調べた。その結果、キャリブレーションを行ったモデルは、嫌気工程終了時のリン酸濃度や処理水のリン酸濃度、MLSS 濃度の変動をほぼ再現できていた。これにより開発したキャリブレーション方法が非定常時のプロセスの挙動を大まかには再現できることが示された。しかし流入水中の有機物濃度が低い期間が続いた後しばらくの間、嫌気工程終了時のリン酸濃度が再現できなかった。この原因は X_{PAO} の含有するポリリン酸濃度が再現できていないためであることが判明したが、ポリリン酸濃度が再現できない原因については特定できず、課題が残った。

次に開発したキャリブレーション方法を東京都の浅川、中川処理場 A₂O 系列に適用した。その結果、嫌気好気回分式リアクターの場合と同様の方法で、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、リン酸といった水質成分や、

MLSS, 汚泥 TP, ポリリン酸といった汚泥成分の平均的な挙動を再現することができたが、キャリブレーションを行う上での問題も明らかになった。まず浅川, 中川両ケースで, 第二沈殿池における脱窒が無視できないレベルで起こっていることが示唆されたが, 沈殿池における脱窒量が把握できず, 沈殿池の適切なモデル化が行えなかったために硝酸性窒素の挙動が再現できないという現象が起きた。このことから好気槽末端, 返送汚泥中の硝酸性窒素濃度のモニタリングを行い, 二沈での脱窒量を正しく把握することがまず重要であるということが示唆された。また好気槽の DO 濃度も硝酸性窒素濃度に影響を与えるため, DO 濃度の正しい把握も重要であることが示唆された。

これまでに得られた3つの実下水処理プロセスのキャリブレーション結果を比較し, パラメータの一般性という観点から, 各微生物群濃度の再現性を評価した。その結果 q_{PHA} (リン蓄積微生物の有機物貯蔵速度定数), k_{STO} (従属栄養微生物の有機物貯蔵速度定数), q_{PP} (リン蓄積微生物のポリリン酸貯蔵速度定数) といったパラメータの一般性が保たれていることが判明し, 開発したキャリブレーション方法により各微生物群濃度がだまかに (平均的なレベルでは) 再現できていたことが示唆された。このことから逆に, 各微生物群濃度の再現性を意識してキャリブレーション方法を開発したことにより, これらのパラメータの一般性が保たれ, 結果的にキャリブレーションの省力化につながるということが示唆された。そして最後に本研究で得られた結果に基づき, 生物学的リン除去プロセスを対象とした ASM の統一的なキャリブレーション方法を提案した。本方法は感度解析などの理論的なアプローチに基づき考案し, 実際に3つの異なる実下水処理プロセスに適用することにより適宜修正を行い開発した方法であるが, 本方法が直ちに全ての実下水処理プロセスに適用可能であるというわけではなく, 今後できる限り多くの実下水処理プロセスに適用し, その問題点や改善点を明らかにしていく必要があると考える。