

嫌気／好気処理に関する研究展望
「窒素処理を目的とした嫌気／好気処理について」

日立プラント建設株式会社
江森弘祥 角野立夫

1. はじめに

本論では、主に下水の窒素処理を目的とした嫌気／好気処理について、近年の出願特許の解析、平成8年度に創設された第7部門¹⁾、並びに過去3年間の環境工学研究フォーラムの論文による解析を中心にその流れを展望する。

2. 特許出願件数による嫌気／好気処理の動向

特許分類による水処理(C02F)の内、好気処理(C02F3/02)、活性汚泥処理(C02F3/12)嫌氣的消化処理(C02F3/28)好気・嫌気組合せ(C02F3/30)の各分類の過去10年間の出願件数の推移を図1に示す。好気・嫌気組合せについては、85年、55件であったが、その後件数は低下し89年12件に低下した後、再び増加傾向が認められる。最近の嫌気／好気組合せの動向を見るため、85年と過去5年間の出願特許に関して以下の項目による分類を行った。特許の内容でいずれかに判別し難いものは、重複して分類した。

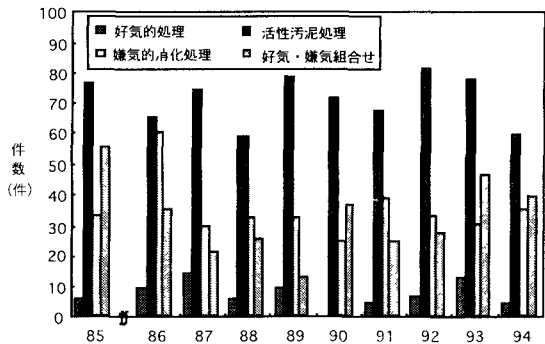


図1 特許出願件数の推移

(1) 処理プロセス、反応槽構造、制御

(2) AO法、A2O法、硝化・脱窒法(DN/N)、単一反応槽、回分法、間欠曝気法、OD法、その他

(3) 担体、接触材、特定微生物、膜分離との組合せプロセス

各分類による出願件数の推移を図2、3、4に示す。

図2より、出願特許の内8割は処理プロセスに関する特許で占められていることがわかる。図3より、85年当時の出願特許は、生物脱りん法(AO,A2O)、及び硝化・脱窒法(DN/N)に関するものが同程度出願されていたが、過去5年間では(AO,A2O)関連件数が減少し、(DN/N)関連が急増している。また、硝化・脱窒を単一反応槽で行うプロセスに関するものが増加傾向にある。図4より、担体、接触材を用いたプロセスの特許の増加傾向が認められるとともに、固液分離を膜を用いて行うプロセスが増加傾向にあることがわかる。過去5年間の嫌気／好気組合せ関連出願特許の経緯を総括すると、硝化・脱窒法(循環変法、嫌気好気ろ床法など)を中心として、担体や接触材を用いた脱窒、硝化の高率化、担体や接触材を用いて無酸素・好気部を単一反応槽内に形成させるプロセス開発が主に行われていると判断できる。また、固液分離に替わる分離方法として、膜分離法の導入傾向が認められる。

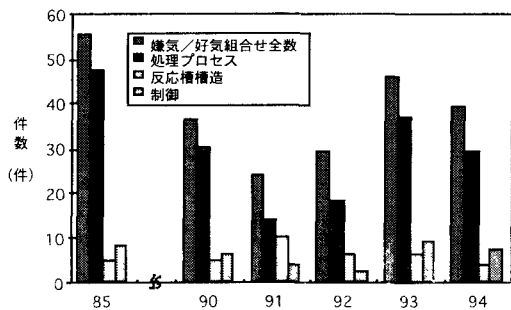


図2 嫌気／好気組合せ特許件数の推移(1)

3. 嫌気／好気処理技術の動向

第51回年次学術講演会および過去3年間の環境工学研究フォーラムを中心に嫌気／好気処理技術の動向について展望する。第7部門創設にともない、環境工学・環境システム・環境保全・用排水システム・廃棄物・環境管理など、第51回年次学術講演会の論文総数は612件に達している。この内、用排水システムに分類されるものは、浄水、地下水、下水・排水の処理を含め、227件である。嫌気／好気処理について、研究対象をいくつかの観点から整理し列記する。括弧に付したもののうち(Ⅶ-)は、第51回年次学術講演会目次番号、(31A-)、(32B-)、(33N-)は各々の環境工学研究フォーラムの回数と目次番号を示す。

(1) 脱窒の効率化

1) 脱窒の電子供与体

一般に嫌気／好気法では、嫌気処理での有機物の除去が期待できるとともに、有機炭素源の存在により脱窒反応が促進される。そのため、脱窒に利用できる有機炭素源をいかに確保するかが課題であり、排水中の有機物を有効に利用する硝化・脱窒処理法として、硝化内生脱窒法²⁾や循環変法が代表的である。さらに排水中の有機物の利用(95A-36)以外に有機炭素源を確保するために、汚泥脱離液の添加、酸発酵、あるいは物理化学的処理による余剰汚泥の可溶化を付加したプロセス開発などが提案されてきた。その他代替電子供与体

として、硫黄(95B-4, 96A-27, 96A-30, 96B-31, Ⅶ-32, Ⅶ-33)、水素(95A-42, 96N-5, 96B-4, 96B-5, 96B-6, 96B-8, Ⅶ-30, Ⅶ-31)、その他の有機化合物(PVAなど)(94A-21)について研究が行われている。特に地下水、浄水の硝酸性窒素処理では、イオン交換など物化处理では濃縮廃液の処理が問題であり、有機物の添加は後段処理を要するため、水素などを利用した脱窒プロセスには利点があると考えられる。

2) 脱窒菌の集積保持

脱窒菌の集積保持を図るため担体、ろ材を利用した脱窒槽が開発されており、脱窒流動床(94N-12)、嫌気ろ床法(95N-1, 95B-4, 96N-3, 96N-15, Ⅶ-32, Ⅶ-37)、さらに排水中のSS性有機物の補足機能を有し脱窒効率を上げる嫌気ろ床法(96N-8)、活性炭の吸着により有機物供給の安定化を目的とした生物活性炭(BAC)脱窒(96A-13)などがあげられる。

(2) 硝化の効率化

1) 浮遊汚泥法によるSRT制御

浮遊汚泥法の硝化・脱窒処理においては、硝化を進行させるために、好氣的固形物滞留時間(A-SRT)の確保が必要であり、単槽式嫌気／好気処理(94A-33)やオキシデーションデイチ法³⁾においてA-SRTの制御により負荷変動に対しても安定した処理が行われることが報告されている。

2) 担体による硝化の効率化

浮遊汚泥法では、硝化菌の保持のためA-SRTの制御が不可欠となり、一般に滞留時間を十分にとる必要がある。これに対し硝化を短時間で行うため担体型の実用化が進められている。担体については、大きく包括法(94B-24, 95A-36, 95B-2, 96N-7, Ⅶ-43)、結合法(94A-29, 94N-7, 95A-37, 95N-4, 95N-10, 96A-29, 96N-2, Ⅶ-39, Ⅶ-40, Ⅶ-41, Ⅶ-42)、UASB法に代表される自己造粒法(94A-7, 94A-8, 94B-1,

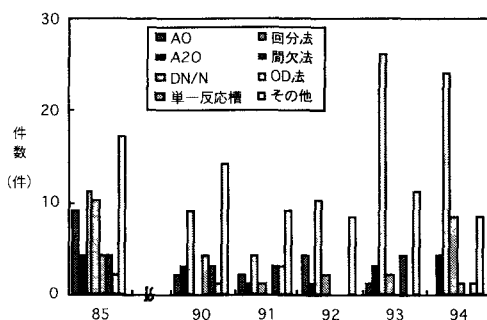


図3 嫌気／好気組合せ特許件数の推移(2)

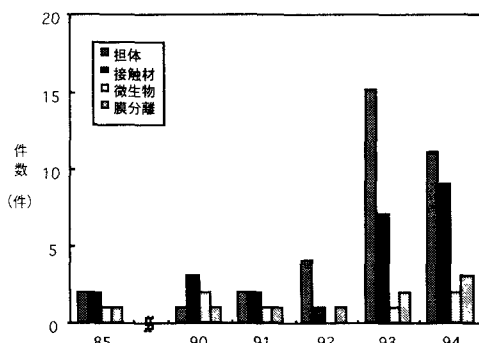


図4 嫌気／好気組合せ特許件数の推移(3)

95A-21,95B-1,96A-26,96B-7,96B-10)に分類される。従来、結合型に代表される担体法は、自然発生的な微生物の集積、SRTの確保が主目的であったが、包括法では、被処理物質の分配係数を高める担体材料の特性が重要な因子となる。包括法担体による高濃度アンモニア性窒素の処理が検討されている(95B-2,96N-7)。また、結合型担体の物理化学的特性により硝化阻害を抑制する手法も検討されている(96A-33)。一方、UASB法のグラニューールによる嫌気処理と脱窒処理の併用処理も検討されている。担体を用いた嫌気/好気プロセスについては、(財)下水道新技術推進機構により平成6年度技術マニュアルが発行されている^{4, 5)}。既設の標準活性汚泥法処理場の機能改善、窒素除去性能の効率化に対し、担体添加型の導入は施設容量の増設が不要であり今後増加が見込まれる。担体としては、ポリエチレングリコール、ポリビニールアルコール、ポリウレタンフォーム、ポリプロピレンなどの材料を用い、さまざまな形状のものが考案されているが⁶⁾、担体の活性と耐久性について実施設での経済性評価が今後の課題である。

(3) プロセス

下水処理における嫌気/好気プロセスとして、日本下水道事業団で、86年に単段循環変法⁶⁾、88年に嫌気/好気法(りん除去対象)⁷⁾、90年に多段循環変法⁸⁾、93年に包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法⁹⁾の技術評価が行われ実用化されている。さらにステップ流入式多段嫌気/好気プロセスが検討されている^{10, 11)}。中・大都市部の下水道普及率は95%以上に達し標準活性汚泥法が大半を占めているため、高度処理への対応として施設容量の増設が不要な担体添加型の嫌気/好気法への転換が今後の潮流になるものと考えられる。一方、処理人口5,000人以下の小規模下水処理では、図5に示すように現在オキシデーションデイチ法が60%以上を占めており、高度処理に対応した嫌気/好気条件の運転が多くの処理場でなされている³⁾。

単一反応槽における嫌気/好気プロセスでは、オキシデーションデイチ法を初め、回分式活性汚泥法、単槽式嫌気/好気法など、時系列的に嫌気・好気状態を形成するもの(94A-33,94N-8, 94N-9,95A-32,96A-32,96N-9,Ⅶ-41)と、ろ材あるいは担体を用いて反応槽内に脱窒と硝化部を構成する嫌気/好気ろ床法(94B-26,96N-15,Ⅶ-38)の開発に大別される。上述の脱窒菌の集積保持並びに硝化担体の開発が活発なことから、これらを組み合わせた効率の高い嫌気/好気ろ床法の実用化が進展すると考えられる。他方、担体自身に両者の機能を持たせる研究もなされている¹²⁾。

(4) 微生物に関するもの

図6に窒素の除去代謝経路と、これに関与する細菌についての概要図を示す。従来、嫌気/好気処理プロセスでは、循環変法に代表されるように、独立栄養硝化細菌と従属栄養脱窒細菌の混合培養系を応用するプロセスについて、研究開発が中心であった。これに

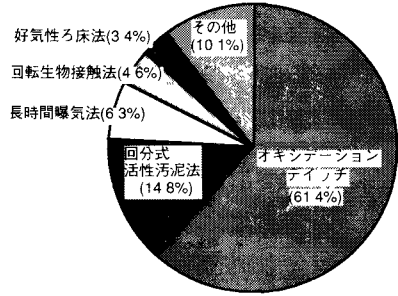


図5 小規模下水処理法の割合

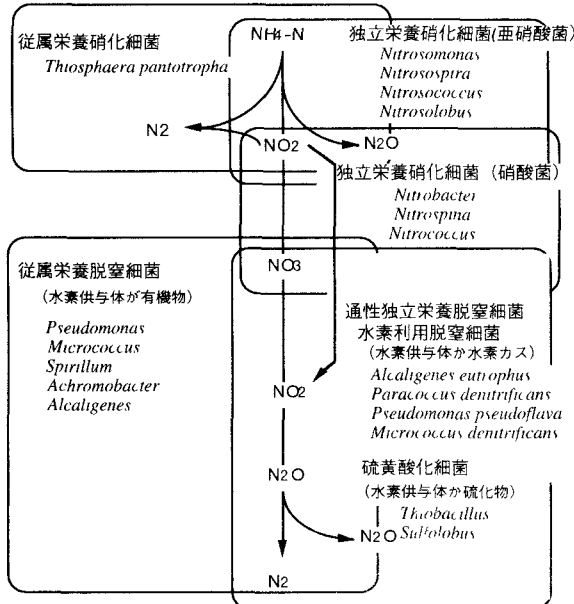


図6 窒素の代謝経路と主な細菌

対し、従属栄養硝化細菌によるアンモニア性窒素の直接脱窒¹³⁾、通性独立栄養脱窒細菌による水素利用脱窒(95A-42,96N-5, 96B-4,96B-5,96B-6,96B-8,Ⅶ-30,Ⅶ-31)、硫黄酸化細菌(95B-4, 96A-27,96A-30, 96B-31, Ⅶ-32,Ⅶ-33)による脱窒などが挙げられる。さらに酵母による窒素除去(Ⅶ-36)などが検討されている。従来利用されている代謝経路以外の微生物の活用が将来新しいプロセス開発につながるものと期待できる。

(5) その他の主なテーマ

- 1) バルキング抑制(94A-31,94B-22,94B-23,94B-24,95A-33)
- 2) 亜酸化窒素関連(95A-32,96A-32,96B-9,Ⅶ-34,Ⅶ-35)
- 3) 難分解性物質処理(94B-22,95A-14,96B-24,Ⅶ-73)
- 4) 物質生産(94A-32)
- 5) 膜分離(95A-32)
- 6) 脱りん(94B-24,95A-34,96A-30,96B-23,96B-30)

4. まとめ

水環境保全の観点から、嫌気/好気処理は今後とも重要な役割をはたしていくと考えられる。既設標準活性汚泥法の下水処理場では、高度処理のため反応槽の増設を必要としない担体添加型の嫌気/好気法の導入が検討され、実施の運転が行われている。今後、施設増設の困難な中・大規模処理場を中心に、その需要が増加するものと予想され、硝化菌の保持に優れ、耐久性のある担体の開発、並びにその担体を用いたプロセス開発がさらに継続されるものと考えられる。小規模下水処理では、現在オキシデーションデイチ法が60%以上を占めているがその多くが間欠曝気による嫌気/好気処理を行っている。小規模下水処理向けの嫌気/好気ろ床法の研究開発が活発に行われており、汚泥の管理が不要な点で今後の発展が期待できる。嫌気/好気処理の今後一層の進展に期待したい。

参考文献

- 1) 第51回年次学術講演会講演概要集論文集(第7部), 1996
- 2) 森山ほか;硝化・内生脱窒法に関する研究, 衛生工学研究論文集, Vol.24, pp.65-73, 1988
- 3) 堺ほか;OD法の運転管理実態調査報告, 第33回下水道研究発表会講演集, 1996
- 4) 担体利用処理法技術マニュアル —1994年度版—, (財)下水道新技術推進機構
- 5) 担体利用処理法技術マニュアル(資料編) —1994年度版—, (財)下水道新技術推進機構
- 6) 微生物を利用した窒素及びりん除去プロセスの評価に関する1次報告書, 活性汚泥循環変法による窒素除去の評価に関する報告書, 日本下水道事業団技術評価委員会, 1986
- 7) 微生物を利用した窒素及びりん除去プロセスの評価に関する2次報告書, 嫌気-好気活性汚泥法の評価に関する報告書, 日本下水道事業団技術評価委員会, 1988
- 8) 微生物を利用した窒素及びりん除去プロセスの評価に関する3次報告書, 一単段式及び二段式活性汚泥循環変法による窒素除去評価に関する報告書, 日本下水道事業団技術評価委員会, 1990
- 9) 包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ベガス」評価に関する報告書, 日本下水道事業団技術評価委員会, 1993
- 10) 小池ほか;ステップ流入式多段硝化脱窒法について, 第33回下水道研究発表会講演集, 1996
- 11) 飯田ほか;ステップ流入式多段硝化脱窒法における「ベガス」の設計手法, 第33回下水道研究発表会講演集, 1996
- 12) 角野ほか;包括固定化微生物ペレットの生菌数と硝化細菌・脱窒細菌の共生を利用した窒素除去, 第30回下水道研究発表会講演集, 1993
- 13) ASTRIDA,VAN DE GRAAF,et al., Anaerobic Oxidation of Ammonium Is a Biologically Mediated Process, Applied and Environmental Microbiology, Apr. pp.1246-1252,1995