PVA ゲル担体を用いた排水処理

Water Treatment with Polyvinyl Alcohol Hydrogel, Carrier of Microorganisms

藤 井 弘 明

1. はじめに

環境問題がクローズアップされるなか、水環境保全のための排水規制は、水質汚濁防止法や都道府県条例などで年々強化されてきている。特に、閉鎖性水域においてはCOD 総量規制が導入され、第5次水質総量規制では窒素・リンも規制の対象にはいった。今後も水環境を保護する動きはさらに高まっていくものと思われる。一方、余剰汚泥の問題も深刻で産業廃棄物全体の約半分が汚泥であり、排水処理設備維持管理費用のうち余剰汚泥の処分費が7割を占める例もある。

従来から主な排水処理方法の1つとして、活性汚泥法が用いられており、排水の浄化に貢献してきたが、省スペースで効率的な処理が求められ、余剰汚泥の削減、さらに窒素・リンの除去といった高度処理が課題となっている。

2. 排水処理の効率化

微生物を用いた排水処理において、適正な条件下で行なわれている排水処理の能力を向上させるためには、排水処理系内の微生物の絶対量を増加させる必要がある。活性汚泥法において微生物量を増やすには曝気槽容量を大きくするか、汚泥濃度を上げなければならない。

しかし、濃度を上げるには限度があり、上げすぎると汚泥と処理水の固液分離ができなくなり清澄な処理水を取り出すことができなくなる。したがって従来、既設排水処理設備の能力を向上させるためには、排水処理設備を増設するしかなかったのである。

平野部の少ない日本、特に都市部においては排水処理設備の増設は困難であり、既設排水処理設備のスペースで排水処理能力を高めることが強く求められる。そこで排水処理系内の有用微生物量を増やすために、微生物のすみかとなる担体の開発が積極的に進められてきたのである。

3. 排水処理用担体

排水処理用の担体としては、セラミックス、プラスチック、含水ゲル状担体などが知られており、形状は球状、サイコロ状、円柱状、円筒状などがある¹⁾。(株)クラレでは合成繊維ビニロンの製造技術を応用して、球状の含水ゲル状担体であるPVAゲル「クラゲール」を開発した²⁾³⁾。

これはポリビニルアルコール(PVA)を含水状態で化学架橋したものであり、直径約4mmの球状で表面から内部に連通した孔構造を有している(図1)。そのため微生物は後

図1 「クラゲール」の微細構造

づけであるが、担体内部に増殖を繰り返し、結果として包括固定に勝るとも劣らぬ微生物量を確保することができる(図2)。またPVAは生分解性物質であるが、化学架橋を施しているため、凍結法PVAゲルとは異なりゲル担体自体は微生物分解を受けず耐久性に優れている。

この「クラゲール」を曝気流動させて使用することによ

図2 BOD 容積負荷と生菌数

HIROAKI FUJII

クラレ西条株式会社 ゲル生産技術部
部長、工学修士

〒793-8585 愛媛県西条市朔日市 892

Tel: 0897-56-1666 Fax: 0897-53-4566

E-mail: Hiroaki_Fujii@kuraray.co.jp

〈専門〉合成化学

〈趣味〉吹奏楽

り、従来の活性汚泥法に比べ溶解性BODの除去能力を高めることができる。

図3は活性汚泥と「クラゲール」のBOD除去能力比較

図3 BOD除去能力の比較

を行なったものである。BOD容積負荷を上げていった場合、活性汚泥の場合には能力が頭打ちになるのに対して、「クラゲール」を使用した場合には、充填率10%でBOD容積負荷 $5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ (担体負荷としては $50\text{kg}/\text{m}^3$ ゲル・日)まで安定にBOD除去できることがわかる。

4. 「クラゲール」を用いた効率的なBOD除去

「クラゲール」を用いると前述のように、溶解性BOD除去能力を高めることができるのだが、このように高い負荷で運転すると発生する汚泥が微細化して沈降しない。活性汚泥法において高い汚泥負荷で運転すると汚泥が微細化し沈降しなくなる現象と同じである。

したがって、担体による高負荷処理の後には、この微細汚泥を処理する方法を組み合わせる必要がある。その1つとして、担体法の場合は汚泥返送が不要であるため、凝集沈殿法を用いる方法がある(図4)。もう1つは、「クラゲール」処理の後段に活性汚泥槽を設けることによって、微細汚泥を活性汚泥に巻き込ませる方法がある(図5)。前者の場合には、凝集沈殿によって難分解性CODやリンの除去ができるというメリットがあり、後者の場合には、「クラ

図4 ゲル+凝集沈殿法

BOD 180kg/dの原水を処理する場合

図5 ゲル+活性汚泥法

ゲル」で大部分のBODを除去し活性汚泥で仕上げをするという構成になっているため、負荷変動に対する余裕が大きく、また活性汚泥槽の汚泥負荷を操作することにより、余剰汚泥を減容させるという副次効果がある。従来から活性汚泥法を採用しているところでは、既設曝気槽の一部を担体法に切り替えることによって簡単に能力アップができるので、後者が主流になってきている。いずれの場合も従来の活性汚泥法(図6)に比べると非常にコンパクトな設備となる。

図6 活性汚泥法(従来法)

5. 「クラゲール」を用いた汚泥排出ゼロシステム

活性汚泥でBODを処理すると余剰汚泥が発生する。原水の種類にもよるが、除去BODの約50%が汚泥転換する。汚泥の処分費用は年々高まり、排水処理費用の7割を占める場合がある。また、ISO14000の精神からも、汚泥という廃棄物を出すことは好ましくない。したがって余剰汚泥の削減は、コストおよび環境保全の意味からも大きな課題となっている。

汚泥を削減する方策として、汚泥をオゾン・好熱細菌・機械的破碎・薬品処理等により、再溶解させBODとして分解する方法と、活性汚泥を非常に低負荷で曝気して自己酸化させる方法がある。(株)クラレでは、後者の考え方を応用した「クラゲール」と中空糸膜を組み合わせた汚泥排出ゼロシステムを開発した(図7)。

まず「クラゲール」を用いて大部分のBODを除去した後、全酸化槽で汚泥を低負荷で曝気する。発生する汚泥量

図7 「クラゲール」を用いた余剰汚泥ゼロシステム(処理水再利用システム)

は除去 BOD に比例し、自己酸化する汚泥量は系内の汚泥量に比例するため、全酸化槽が一定の汚泥濃度に達すると、汚泥の増加量と減少量が等しくなり、見かけ上汚泥の濃度上昇がなくなる。しかし、全酸化槽は、非常に低汚泥負荷で曝気するために、汚泥が微細化して通常の沈殿槽では固液分離できない。そこで、中空糸膜を用いて処理水と汚泥を分離することとした。中空糸膜からの処理水は、BOD、SS とともに除去されているので中水として再利用が可能である。この技術は、微生物自身も持っている自己酸化能力に「クラゲール」による BOD の高い除去能力と、中空糸膜による固液分離能力を組み合わせることにより実現したものである。ただし、繊維工業排水には原水中に固形分を含む場合が多いのでこれらは前処理で除去しておく必要がある。

一方、既に活性汚泥処理を行なっていて沈殿槽設備があり、しかも処理水の再利用を必要しない場合には、図 8 の

図 8 「クラゲール」を用いた汚泥ゼロシステム (部分処理)

ような部分処理のフローをとることができる。これは、図 5 で説明したゲル+活性汚泥法で発生する余剰汚泥分のみを全酸化槽へ導き、図 7 と同じように低負荷で曝気し、中空糸膜を用いて処理水と汚泥を分離するものである。図 8 のシステムでは、大部分の処理水は沈殿槽から排出され、その一部を膜ろ過するので、少ない膜面積ですみ、膜運転電力コストも少なくすむというメリットがある。したがって余剰汚泥ゼロシステムは既存設備の状況と処理水の利用状況に応じて、図 7、図 8 のうち適当なシステムを採用することができる。

6. 「クラゲール」を用いた高度処理

従来の生物処理は BOD 除去が中心に行なわれてきたが、冒頭で述べたとおり特に閉鎖性水域においては、富栄養化の問題から窒素やリンの除去も義務づけられるようになってきている。なかでも窒素の生物処理は膨大な処理スペースを要するので、省スペースで効率的な窒素除去技術の確立が求められている。排水中の窒素除去方法としては、化学的方法・物理化学的方法・生物学的方法などが知られている。このうち、生物学的方法である硝化脱窒法は、アンモニア性窒素を酸化する①硝化反応工程と亜硝酸・硝酸イ

オンを還元する②脱窒反応工程からなり、最終的に窒素ガスとして大気中へ放出する方法としてよく用いられる。

① 硝化反応 (好気反応)

[反応には無機炭素が必要]

② 脱窒反応 (無酸素反応)

[反応には水素供与体 (有機物) が必要]

活性汚泥法における BOD 除去は、好気反応のみであるから 1 つの曝気槽でも処理が可能であるが、窒素除去の場合には上記のように 2 段階の工程が必要であるため、従来に比べて大きなスペースが必要となる。

また、①の反応は硝化菌によって行なわれるが、この増殖速度が非常に小さいために通常の汚泥を用いた方法では硝化菌が系外にウォッシュアウトし能力の発現に多大の時間を要し、またその能力が非常に低いという問題点がある。

菌の保持と、能力アップの点から担体は大きな役割を発揮することになる。図 9 には、硝化菌を増殖させた「クラ

図 9 硝化能力の比較

ゲール」の硝化能力を調べた結果を示す。「クラゲール」を用いた場合、窒素容積負荷 $0.6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ (担体負荷としては $6 \text{ kg/m}^3 \text{ ゲル} \cdot \text{日}$) までは完全に硝化反応が進む。一方、汚泥を用いた場合は $0.07 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ が限界であった。このことから、担体を用いると大幅な能力向上 (= 設備のコンパクト化) が図れることがわかる。

窒素除去のフローは、Bringmann 方式⁴⁾や活性汚泥循環変法⁵⁾などが知られている。これらに担体を適用したものを図 10、図 11 に示す。いずれの場合も活性汚泥を併用せず、硝化・脱窒とも「クラゲール」を用いて能力を向上させ、新設なら設備がコンパクトになり、既設の場合は槽の改造で窒素除去が可能となる。処理過程で発生する微細汚泥を除去するために窒素除去後に凝集沈殿をおこなう。これによりリンや難分解性 COD の除去もでき高度処理として完成する。硝化反応は低 BOD 下で行なうため、汚泥を

使用した場合にはBOD汚泥負荷が極端に低くなり、その結果汚泥が解体し沈殿槽での固液分離が困難であるという問題があったが、硝化・脱窒とも「クラゲール」を使用す

図10 「クラゲール」を用いた窒素除去(硝化脱窒再曝気法)

図11 「クラゲール」を用いた窒素除去(硝化液循環法)

ることにより汚泥返送が不要となるので、上記のとおり凝集沈殿が可能となりこの問題も解決できる。

7. 今後の展望

従来BOD除去が主体であった排水処理も、効率化・余剰汚泥削減・高度化が課題となってきた。担体法はこの課題解決に有効であり、「クラゲール」もその役割を果たしていくことになると思われる。

参考文献

- 1) 担体利用処理法技術マニュアル、財団法人下水道新技術推進機構(1994)。
- 2) 藤井弘明、環境保全・廃棄物処理総合技術ガイド、工業調査会(2002)。
- 3) 藤井弘明、機能紙研究会誌、No.41(2002)。
- 4) Bringmann, Optimal Stickstoff-Abgasung durch Einsatz von nitrifizierendem Belebtschlamm und Redox-Steuerung Gesundheits Ingenieur Heft 5, 81 Jahrgang (1960)。
- 5) Ludzack et al., "Controlling Operation to Minimize Activated Sludge Effluent Nitrogen", Journal. W.P.C.F., 34(9), 920(1962)。

膜シンポジウム 2003

主催：日本膜学会 協賛：(社)繊維学会ほか
 日時：平成15年11月27日(木)～28日(金)
 場所：京都大学化学研究所・共同研究棟大セミナー室
 宇治市五ヶ庄(最寄駅：JR奈良線黄檗、京阪電車宇治線黄檗)
 (<http://www.kuicr.kyoto-u.ac.jp>)

研究発表申込締切：8月8日(金)必着

詳細については、下記にお問い合わせ下さい。

〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学化学研究所・界面物性2 浅見耕司

TEL: 0774-38-3081 FAX: 0774-38-3084 E-mail: asami@tampopo.kuicr.kyoto-u.ac.jp

マイクロ波効果・応用国際シンポジウム (高松大会)

主催：マイクロ波効果・応用国際シンポジウム実行委員会
 (財)日本産業技術振興協会、(財)産業創造研究所

後援：(社)繊維学会ほか

日時：平成16年7月28日(水)～30日(金)

場所：サンポート高松・国際会議場(香川県高松市)

詳細については、下記にお問い合わせ下さい。

高温高压流体技術研究所内

〒761-0301 高松市林町 2217-43

TEL: 087-869-4338 FAX: 087-869-3441 E-mail: chikada@kagawa-isf.jp