

## 富栄養化の防除技術 嫌気—好気式高濃度活性汚泥法

橋本 奨\* 古川 憲治\*\*

富栄養化とは、本来湖沼が数千年の時間をかけ栄養塩を蓄積し、生産物や生産量の多い湖沼に変化する自然現象をさす。最近では人間活動の結果による湖沼や内湾の有機汚濁を示す言葉として使われることが多くなった。海域での富栄養化は赤潮、湖沼での富栄養化は水の華と呼ばれ、瀬戸内海、諏訪湖、霞ヶ浦、琵琶湖等でこれが頻発し、漁業や農業、上水道等の人間活動に大きな害を与えていることは衆知の事実である。この人間活動により誘発される富栄養化は、水中の窒素、燐、その他の微量金属、2, 3のビタミン類等とプランクトンおよび太陽光との生物地化学的な関係で起こるとされているが、現在のところ、人間活動からくる生活廃水や工場廃水、またこれらの処理水からの窒素、燐の過剰流入がその発生の主因と考えられている。一般に富栄養化発生の限界濃度は無機窒素 0.1ppm、無機燐 0.015ppm程度と考えられているが、上記の富栄養化頻発水域ではこの限界濃度を越えており、大規模な赤潮、水の華が大発生してもおかしくない危機的状況にあるといえる。瀬戸内海では、昭和48年に成立した「瀬戸内海環境保全臨時措置法」により工場排出のCODが $\frac{1}{2}$ カットを受け、海域汚染に一つの歯止めがかけられたが、富栄養化誘発の主因物質である窒素、燐について何らの規制もかけられていないのが現状である。昭和53年6月公布の「瀬戸内海環境保全臨時措置法及び水質汚濁防止法の一部を改正する法律」で、CODの総量規制と富栄養化の一層の進行を防止する観点から、行政指導により燐負荷量の削減を実施する措置がとられた。しかしながら、窒素削減

については、その削減対策を講ずる技術的、経済的な基礎が無いとして今回の改正法では見送られた。富栄養化防止策として窒素削減を除外した今回の改正法は不十分で、それだけに効果的窒素除去技術の開発が待たれるところである。

われわれの研究室では5年余り前からこの問題に取組み、活性汚泥法の新しい試みとして「嫌気—好気式高濃度活性汚泥法」を考案し、現在鋭意本法の処理機能を、ベンチスケールの実験装置ならびにパイロットプラントにて検討中である。以下に、本法発想の経緯と実験成績の一部につき紹介する。

### 1. 本法発想の経緯

われわれの研究室では生物学的窒素除去法として、(1)メタン資化性細菌による窒素、燐の生物摂取法、(2)単純炭素源補填活性汚泥法による窒素、燐の生物摂取法、(3)生物学的硝化—脱窒法による窒素除去法を取り上げ、種々の検討を行ってきた。その結果、生物学的硝化—脱窒法が経済性、処理効率の安定性から最も有望な窒素除去法であることが判明した。また、この生物学的硝化—脱窒法でも、従来の低濃度活性汚泥法(汚泥濃度1,500~3,000mg/l)によるよりも、汚泥濃度を5,000~20,000mg/lに高めた高濃度活性汚泥法によれば、硝化、脱窒速度が極めて速く、かつ脱窒段階で要求される補填炭素量の節約が可能であることが判った。

著者の一人橋本は活性汚泥法の浄化理論とその応用に関する研究で、図1に示す流系図の接触安定化法(バイオソープション法)を実施して検討したことがある。その結果、バイオソープション法の処理機能の評価に吸着混和槽における汚泥の凝集吸着作用もさることながら、沈殿活性汚泥の大量返送による流入下廃水の希釈

\* 橋本奨 (Susumu HASHIMOTO), 大阪大学, 工学部環境工学科, 教授, 医博, 工博, 水質管理工学

\*\* 古川憲治 (Kenji FURUKAWA), 大阪大学, 工学部環境工学科, 助手, 工修, 水質管理工学

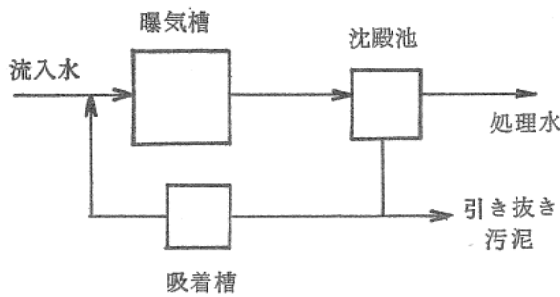


図1. バイオソープション法の流系図

が見逃せないことを認めている。

以上の知見に基づき、今回われわれの研究室でこのバイオソープション法と全く同一の流系図をもつ、図2に示す「嫌気-好気式高濃度活性汚泥法」を新しく考案し、本法が下廃水中の窒素除去法として極めて有効な方法であることを確認した。本法では、流入廃水は緩速攪拌により嫌気状態を維持している嫌気脱窒槽に導かれ、前段の好気槽から脱窒槽に流入する $\text{NO}_3\text{-N}$ が活性汚泥中に存在する脱窒菌の働きを受け、 $\text{N}_2$ に還元除去される。この脱窒反応に要求される H-donor としては、流入廃水中の有機物が使用される。脱窒槽汚泥懸濁液は循環ポンプにより硝化槽に返送され、硝化菌の働きにより流入廃水中の窒素が $\text{NO}_3\text{-N}$ にまで酸化される。脱窒槽汚泥懸濁液は、脱窒槽に設けた特殊なフィルター・セパレータにより固液分離され、澄明な処理水が得られる。

新しく考案した「嫌気-好気式高濃度活性汚泥法」は、これまでに開発された窒素除去プロセスとは汚泥懸濁液のフロー、汚泥濃度の点で異なり、次に挙げる特徴を有する。

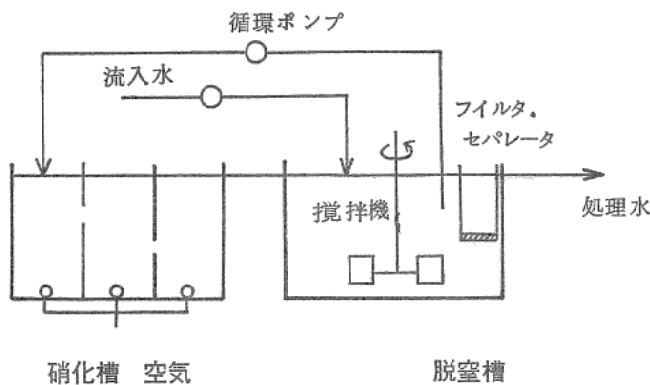


図2. 嫌気-好気式高濃度活性汚泥法の実験装置模図式

- (1) 流入廃水はすべて脱窒槽に導入される。
- (2) 脱窒槽汚泥懸濁液は、返送循環化（循環流量/流入水量）3～5で硝化槽に返送循環される。
- (3) 処理水は脱窒槽から引き抜かれる。
- (4) 全酸化処理方式を採用し汚泥濃度を従来の活性汚泥法の2～5倍に高めているので、BOD、窒素負荷が大きくとれ、経済的なBOD、窒素除去が可能である。
- (5) 脱窒反応の H-donor を流入廃水中の有機物に求めるため、外部からメタノール等の有機物を補填する必要がない。

## II. ベンチスケール実験での処理成績

本法における窒素除去機能は、循環比により大きく影響を受ける（図3参照）。つまり、循環比を上げることにより窒素除去率が向上し循環比3.0で82%、4.0で86%の高い窒素除去率が達成された。一方、CODは循環比1.0以上で90%以上除去される。このベンチスケールでの実験成績は、本法により従来の炭素源添加硝化-脱窒法に比して遜色のない処理が可能であることを示している。また、本法では意図的に汚泥の引き抜きを行わず、平均活性汚泥滞留時間を大きくとり汚泥濃度を高めているので、余剰汚泥の生成がみられず汚泥処理費用の大幅なる軽減が図れる。本法における流入廃水中の磷の同時

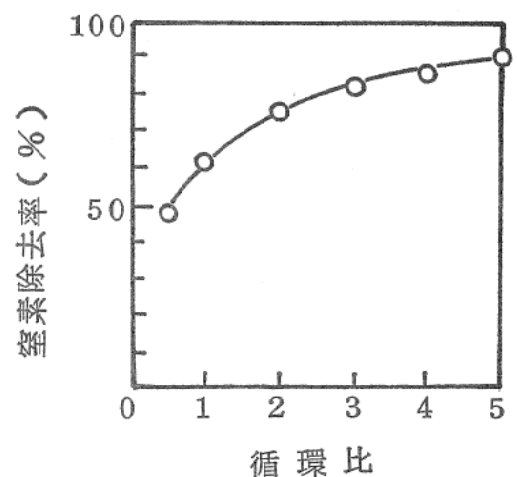


図3. 循環比と窒素除去率の関係

(平均活性汚泥滞留時間 = 138日)  
 処理温度 20°C  
 流入全窒素濃度 80~90mg/l  
 汚泥濃度 12,000mg/l

除去法として、嫌気脱窒槽に  $Al^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$  等の凝集剤を添加する方法を取り上げ検討した。その結果、燐酸凝集に必要な理論モル量の1.5倍程度の凝集剤を連続的に添加することにより、窒素、燐とも80%以上の効率で除去し得ることを認めている。

### Ⅲ. 実施設による窒素除去機能

ベンチスケールでの実験成績をもとに、本法実用化の第一歩として容量  $2.27m^3$  の実プラントを建造し、A-分流式都市下水処理場の沈砂池流出水を原廃水として窒素除去実験を行った。建造プラント(写真1)は、脱窒槽  $0.85m^3$ 、硝化槽  $0.85m^3$ 、沈殿池  $0.49m^3$ 、再曝気槽  $0.08m^3$  から成り、脱窒槽の攪拌は完全密閉された脱窒槽上部気体をエアポンプにより循環曝気させる方式によった。脱窒槽汚泥懸濁液は再曝気されたのち、沈殿池に移行する。沈殿汚泥は、エアリフトポンプによって硝化槽に循環比3~4で返送される。

A-都市下水処理場の返送汚泥を種汚泥とし

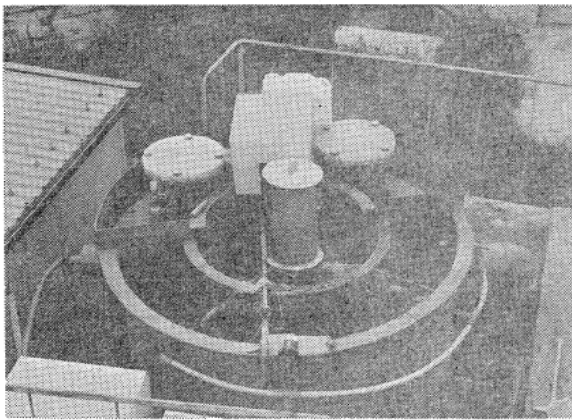


写真1 建造した実プラント

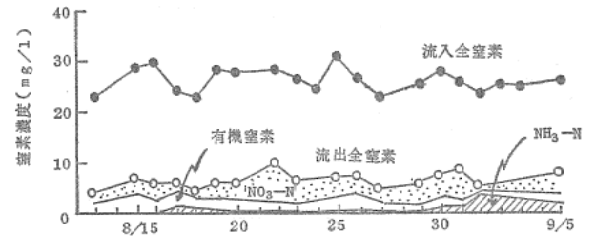


図4. 夏季における窒素の処理挙動

てプラントに投入し、全酸化処理方式で汚泥の馴養を図ったところ、約1カ月で嫌気-好気式高濃度活性汚泥法の成立が確認された。すでにこのプラントで1年以上にわたる連続運転を行い、種々の有用なる知見を得ている。循環比を4.0に維持することにより、夏季では  $26.7mg/l$  の流入窒素が約76%除去され、水温の低下する冬季でも、 $40mg/l$  の流入窒素の約72%が脱窒除去された。処理の一例として8月15日から9月4日までの窒素の処理挙動を図4に示した。

本実験では、分流式都市下水を対象下水としたため、流入窒素濃度に比して流入有機物濃度が低く、脱窒反応が炭素制限を受けやすい。また、硝化反応の進化に伴うアルカリ度の低下で硝化速度、脱窒速度が低下しやすい。これらの理由から、本実験では未脱窒の  $NO_3-N$  が処理水中に残存し、窒素除去効率を押し下げる大きな要因となった。この問題については、最初沈殿池を設けることにより流入負荷変動を軽減させ、同時に硝化槽にアルカリを補填し反応速度の向上を図る方法で、より効率的な窒素除去が可能かどうか現在鋭意検討中である。