

(解説)

# 革新的な水処理関連技術

## Technical Innovations in Waste Water Treatment



長谷川進\*(工博)

Dr. Susumu Hasegawa

More efficient waste water treatment technologies have been required to cope with tightening regulations related to the quality of treated water produced by waste water treatment plants. We have developed a three-step feed biological nitrogen removal process and a submerged membrane filtration which considerably improved treated water. Moreover, Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. has built fifteen functioning waste water plants with a new activated sludge process that generates little or no excess sludge.

まえがき = ㈱神鋼環境ソリューションの水処理技術の歴史は、1957年12月の水処理部設置に始まる。米国水処理業界の名門ファウドラ・パームチット社と水処理装置に関する技術援助契約を締結し、除濁装置・ろ過器・加熱式脱気器・加圧浮上分離装置・イオン交換装置などの販売活動を開始した。

記念すべき1号機は、1958年に㈱神戸製鋼所灘浜工場に納入したベンソンボイラ用純水装置である。その後、民間工場の水処理から、上水・下水の公共事業にも分野を拡げ、総合水処理メーカーとしての地位を築いてきた。

さらに2003年10月、㈱神戸製鋼所の環境部門が分離して当社へ統合されたことにより、下水分野のメニューが強化され、また廃棄物処理分野のメニューも加わり、環境関連ソリューションビジネスを幅広く展開している。

本稿では、当社のあるユニークなメニューのうち、近年関心が高い「高度処理」「省エネルギー」「回収」をキーワードとする㈱神鋼環境ソリューション独自の技術について紹介する。

### 1. 生物処理技術(3段階ステップ流入式硝化脱窒法)

ステップ流入式硝化脱窒法は、一般の都市下水を対象

とした活性汚泥を用いた生物学的窒素除去法の一変法である。脱窒槽、硝化槽のユニットを多段化し、各脱窒槽へ流入水を等分配することにより、

- 1) 高い窒素除去率
- 2) 反応槽の縮小
- 3) 維持管理の容易性

を得ることができる。

ステップ流入式硝化脱窒法の最終段における窒素収支より、次式が成立つ。

$$\frac{C_{NO_3, out}}{C_{N, in}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{1+r+R_N} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $N$ ：多段化の段数、 $r$ ：汚泥返送比、 $R_N$ ：最終段内部循環比、 $C_{N, in}$ ：流入硝化対象窒素濃度 (mg/l)、 $C_{NO_3, out}$ ：流出  $NO_3-N$  濃度 (mg/l) である。

これより、窒素除去率 ( $C_{NO_3, out} / C_{N, in}$ ) は、多段化の段数、返送汚泥比、最終段内部循環比により決定されることが分かる。汚泥返送比 0.5、最終段内部循環比 0.5 の場合、窒素除去率 80% 以上を得るための段数は3段と計算される。

段数を3段とした3段階ステップ流入式硝化脱窒法の概略フローを図1に示す。リン除去も同時に行う場合は、

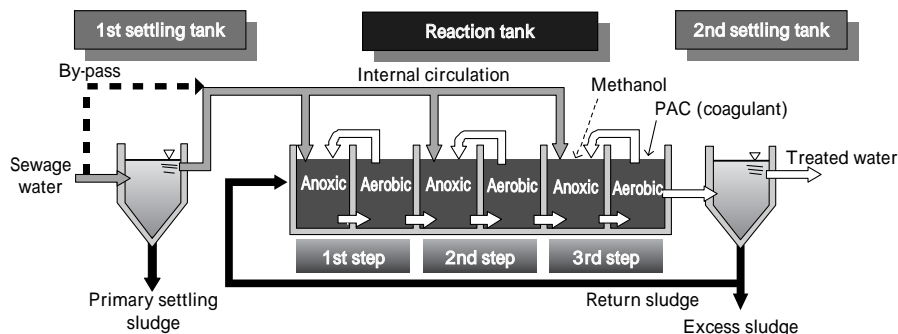


図1 3段階ステップ流入式硝化脱窒法  
Fig. 1 Three step-feed biological nitrogen removal process

\* ㈱神鋼環境ソリューション 技術開発本部 水・汚泥技術開発部

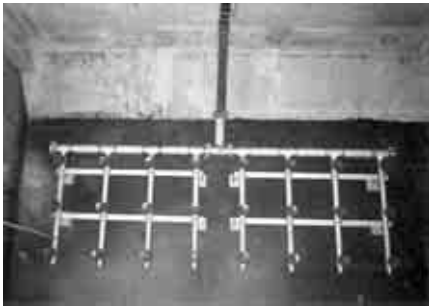
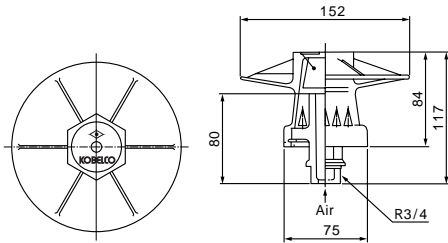


写真1 粗大気泡攪拌装置

Photo 1 Complete mixing equipment with coarse bubble

最終段に凝集剤を添加する。

また当社は、硝化脱窒法の脱窒槽攪拌装置として、粗大気泡攪拌装置を開発している<sup>1)</sup>。粗大気泡攪拌装置(写真1)は、酸素の溶解を抑制して嫌気状態を維持しながら空気攪拌を行う方法で、(株)神戸製鋼所技術開発本部機械研究所の協力を得て流動解析技術を駆使し、間欠曝気などの運転の最適化により、従来の機械攪拌に比べ、運転費(動力費)90%削減を可能とした当社独自のシステムである。

## 2. 膜処理技術(排水回収システム)

従来、固液分離法としては重力沈殿法・凝集沈殿法が用いられてきたが、それらには広大な設置面積を要する問題があった。そこで、特に濁質除去が主要工程となっている浄水処理においては、早くから膜の適用が検討されてきた。当社も、MAC21, ACT21, e-Waterなどの国家プロジェクトに参画し、数種の膜について認定を取得している<sup>2)</sup>。近年では、膜技術の向上にとともに、さらに濁質の高い用排水処理への適用検討もなされている。

一例として(株)神戸環境ソリューションでは、電子産業分野において、工場排水を膜で処理して再生使用する「排水回収」設備を建設し、再生水を供給する「水供給



写真2 排水回収用膜処理装置

Photo 2 Membrane treatment system for water recovery



写真3 中空糸膜分離活性汚泥法パイロットテスト装置  
Photo 3 Pilot scale equipment of hollow fiber membrane

ビジネス」を展開している。写真2は、排水回収システムの心臓部となる膜モジュールである。現在、本システムの適用分野拡大を図るため、(株)神戸製鋼所加古川製鉄所にパイロットテスト機を設置し、鉄鋼排水への適用を検討している。

また、有機性廃水の処理法として広く用いられている活性汚泥法と組み合わせることにより、従来の1/4程度のスペースで高度に処理された水を安定して得ることができる膜分離活性汚泥法(写真3)も商品化している<sup>3)</sup>。

## 3. 物理化学処理技術(有価金属回収技術)

通常、廃水中の重金属は、水酸化物として沈殿除去し、産業廃棄物として処分されている。水酸化物としてではなく、合金状態で廃水中の重金属を除去できれば、その合金は有価物として回収することが可能となる。

表1に各種金属イオンの標準還元電位を示すが、水溶液中に存在する還元電位が貴な金属イオン(イオン化傾向の小さな金属イオン)は、卑な金属イオン(イオン化傾向の大きな金属イオン)によって還元析出させることが可能で、例えば、銅イオン( $\text{Cu}^{2+}$ )を含む水溶液中に鉄( $\text{Fe}$ )を入れることで下記反応がおり、水溶液中の $\text{Cu}^{2+}$ が $\text{Fe}$ により還元され金属銅として析出する。



表1 各種金属イオンの標準還元電位

Table 1 Standard reduction potential of various metallic ion

Electrode system	E°/V
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mg}$	- 2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} = \text{Al}$	- 1.66
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn}$	- 0.76
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$	- 0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd}$	- 0.4
$\text{In}^{3+} + 3\text{e} = \text{In}$	- 0.34
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e} = \text{Co}$	- 0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ni}$	- 0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sn}$	- 0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pb}$	- 0.13
$(2\text{H}^{+} + 2\text{e} = \text{H}_2)$	0
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	0.34
$\text{Ag}^{+} + \text{e} = \text{Ag}$	0.8
$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pd}$	0.92
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pt}$	1.2
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e} = \text{Au}$	1.45

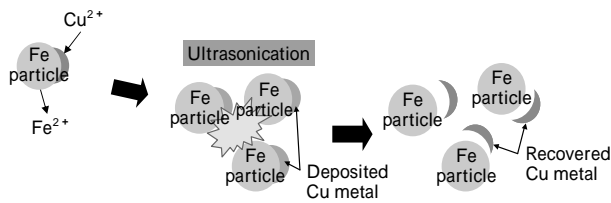


図2 銅回収の原理

Fig. 2 Principle of Cu recovery by cementation combined with ultrasonication

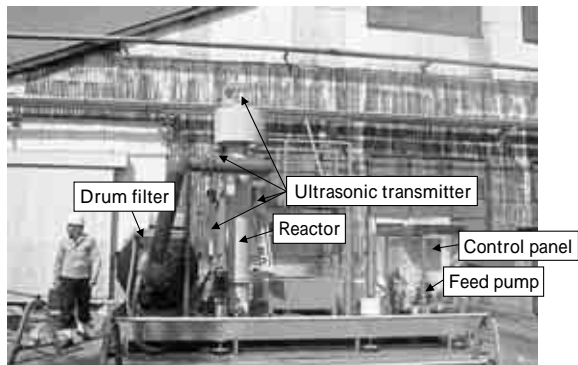


写真4 金属回収パイロットテスト装置

Photo 4 Pilot scale equipment of metal recovery system

この操作はセメンテーション<sup>4)</sup>といわれ、スクラップ鉄を利用して古くから銅鉱業で使用されているが、銅と鉄が混在しているため純度は低かった。㈱神鋼環境ソリューションでは、セメンテーションで析出した金属を超音波照射によりはがしてほぼ純粋な金属を得ることが可能な、新しい廃水中の有価金属回収技術を開発した(図2)。

本システムの開発にあたっては、㈱神鋼製鋼所長府製造所にてフィールド試験(写真4)を行い、平均85%の銅回収性能を確認している。

本法によると種々の金属回収が可能であるが、経済メリットを得るためには、できるだけ付加価値の高い金属を回収する方が有利である。インジウム(In)は、フラットパネルディスプレイ(FPD)や太陽電池などで使用される透明導電膜であるITO(Indium Tin Oxide)の原料であり、資源の安定確保のため、経済産業省などでリサイクルの技術開発や国家備蓄についての議論なども行われている有価金属である。これまでに、廃液晶パネル(LCD)や液晶製造工場エッチング廃液からのインジウム回収試験を実施し、両者とも90%以上の高いIn回収率を確認している<sup>5)</sup>。

#### 4. 設備診断ビジネス(生物診断技術)

生活排水や工場などからの排水の処理には、生物学的処理法が広く採用されているが、関与する生物の挙動を的確に把握する手段がないため、その運転管理は過去の経験や勘に頼らざるを得ないのが現状である。近年、定量PCR法やT-RFLP法などの、微生物の分子生物学的手法に基づく解析技術の向上により、特定の細菌の種類、菌数を迅速かつ精度良く把握することが可能になってきている。

㈱神鋼環境ソリューションは、生物学的排水処理設備の運転状況をオペレータが客観的に評価できる管理指標

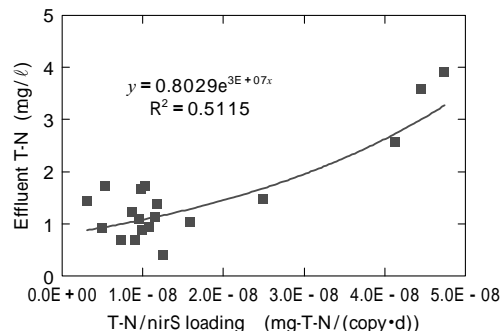


図3 nir S あたりの T-N 負荷と処理水 T-N の関係

Fig. 3 Relationship between T-N/nirS loading and effluent T-N

を確立するため、微生物の遺伝子情報をモニタリングし、その情報に基づいて設備を維持管理する次世代型水処理管理システムの開発に取り組んでいる。

㈱神鋼製鋼所 IPP 本部における生物学的硝化脱窒処理設備において、アンモニア酸化細菌、亜硝酸還元細菌、亜酸化窒素還元細菌の菌数を5カ月間継続してモニタリングして、処理性能との関連を調査した。その結果、亜硝酸還元細菌1 copy あたりにかかる全窒素負荷(mg-T-N/(copy·d))と処理水T-Nに相関があることを見出した(図3<sup>6)</sup>)。この事実、亜硝酸還元細菌の菌数や活性を適切に維持管理することにより、本排水処理設備を安定して運営管理することが可能であることを示している。このように、管理指標細菌の挙動を追跡することにより、排水処理設備を容易に維持管理できる生物診断システムを提案している<sup>6)</sup>。

#### 5. 汚泥減量化技術(エステプロセス<sup>®</sup>)

排水を生物学的に処理する際排出される余剰汚泥の処分については、産業廃棄物処理場の処分地確保が困難になるにしがたい処分費用が高騰しており、減量化を推進する動きが強まっている。特に中・小規模の排水処理場では、余剰汚泥を資源として有効利用するよりも、発生量そのものを削減する汚泥減量化のニーズが高い。㈱神鋼環境ソリューションでは、好熱性細菌(以下「好熱菌」と略す)が分泌する酵素により汚泥を可溶化し、従来の生物反応槽で無機化分解することにより、条件によっては汚泥の引扱が不要となる「エステプロセス」を開発した。

エステプロセスの基本処理フローを図4に示す。汚泥減量化では、汚泥を構成する微生物の強靱な細胞壁をいかに効率よく分解するかが重要なポイントとなるが、エステプロセスでは、好熱菌が分泌する酵素の働きで細胞壁を溶解して汚泥を可溶化する。本技術で用いる好熱菌は、*Bacillus stearothermophilus* に分類される自然界から分離した病原性のない細菌で、好気性条件のもとでは60~70℃で活発に増殖して汚泥可溶化酵素を分泌する。この好熱菌は50℃以下では活性がなく増殖しないため、好熱菌を含む可溶化汚泥を既存の生物反応槽に循環しても排水処理を行う生物に悪影響を及ぼすことはない。また50℃以下では、一部は芽胞の状態では生残するため、沈殿槽を経て再び汚泥可溶化槽に戻り、60℃以上の環境に



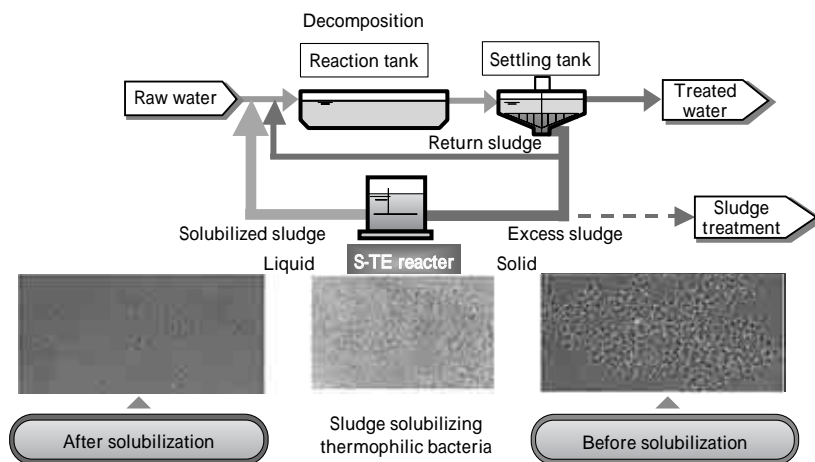


図4 エステプロセスの基本フロー  
Fig. 4 Flow diagram of S-TE PROCESS

なれば再び活性を取戻して汚泥可溶性酵素を分泌するため、好熱菌の追加接種は原則不要である。現在、民間化学工場を中心に、すでに15件(国外も含む)の実績がある。

また本技術は、世界最大手の水処理メーカーであるオンデオ・デグレモン社をはじめ国内2社に技術供与を行っており、幅広い営業活動を展開している。

むすび=水処理プロセスの開発には、実液での実証が必須であるが、一般的に実設備から排出される実液は水質の変動が多様で、解析を複雑にすることが多い。当社では、神鋼グループ内で実証試験を実施できるため、原水性状、運転条件などの情報の収集と交換が可能であり、メーカーとユーザが連携しての効率的な技術開発に寄与している。

近年、汚水・廃棄物処理は、除去・廃棄から回収・有

効利用へと変革してきており、水・汚泥処理プロセスにも分離・精製技術が組み込まれるようになってきている。排水から、まずきれいな水を取り出し、汚濁物質が濃縮された液からさらに有価物を回収して、きれいな水とともにユーザにお返しする。環境装置メーカーとしての醍醐味である。

#### 参考文献

- 1) 矢野 丘ほか：第40回下水道研究発表会講演集，(2003) p.733.
- 2) 西尾弘伸：神鋼パンテック技報，Vol.46, No.2 (2003) p.32.
- 3) 石山 明ほか：第42回下水道研究発表会講演集，(2005) p.762.
- 4) 柴田準次：資源と素材，Vol.113, No.12 (1997) p.948.
- 5) 前背戸智晴ほか：神鋼環境ソリューション技報，Vol.3, No.1 (2006) p.2.
- 6) 山下哲生ほか：神鋼環境ソリューション技報，Vol.2, No.1 (2005) p.8.