

周南硝酸態窒素低減設備の建設

徳原 稔・西村 総介

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No.84 別冊
平成15年12月

技術資料

周南硝酸態窒素低減設備の建設

徳原 稔* 西村 総介**

Construction of Nitrate and Nitrogen Removal Plant at Shunan Works

Minoru Tokuhara, Sosuke Nishimura

Synopsis:

A biological nitrogen removal facility was constructed at Shunan Works for reducing nitrogen in the wastewater resulting from stainless steel production. In this process, ozone was used to suppress the generation of sludge.

In a full-scale operation of nearly three years, this facility succeeded in cumulatively reducing nitrogen discharge and sludge generation by 1,000 tons-N and 3,000 cake tons.

This reduction was a significant contribution to lowering the burden on the environment.

1. 緒言

現在我々を取り巻く社会は、地球温暖化ガス(CO₂等)、オゾン層破壊ガス(フロン等)や有害化学物質(ダイオキシン等)などによる地球環境汚染に敏感であり、企業においても環境問題への取り組みが社会的に要求されている。周南製鋼所においても、ISO14001を取得し、品質だけでなく環境においても国際規格を遵守する体制を整えている。

平成5年10月1日より改正水質汚濁防止法が施行され、公共水域の富栄養化防止のため、排水中の窒素等について新たに規制が課せられた。ステンレス業界においては、5年間の暫定値規制が与えられ、平成10年10月1日よりこの法律の一般基準が適用されることとなった。

排水中の窒素については、焼鈍酸洗設備にて使用している硝酸内の窒素(硝酸態窒素)が規制対象となり、一般基準の規制値を満足するためには、対策が必要であった。種々の検討を行ってきた結果、環境負荷低減と経済性を両立させる技術として、生物脱窒法で、オゾンを用いて汚泥を減容させる特徴を持った硝酸態窒素低減設備を設置した。

本設備は、設置以来一般基準の規制値を満足しており、

良好な実績を得たので報告する。

2. 硝酸態窒素低減設備概要

2.1 硝酸態窒素低減設備導入の背景

周南製鋼所の全体図を図1(次ページ)に示す。周南製鋼所の排水は、西排水場と東排水場の2系統に分かれており、各ラインから排出された硝酸態窒素を有する酸洗リンス水及び濃厚廃酸は、各廃酸処理設備を経由し、東排水場、西排水場から海へと放流される。

改正水質汚濁防止法の排水中窒素濃度の一般基準は、日間平均60mg/l、日間最大120mg/lであり、東排水場窒素濃度は日間平均16mg/l、日間最大32.5mg/l(H9年実績)であることから、一般基準の法規制を満足している。しかし、西排水場窒素濃度は、日間平均74.5mg/l、日間最大125.8mg/l(H9年実績:設備導入前)であり、一般基準の法規制を満足できないため、窒素規制対応が必要であった。

西排水場への法対応実施に当たり、廃酸回収設備の導入、硝酸濃度の低減、非硝酸系の酸への変更、ならびに生物処理設備の導入について検討を行ったが、生物処理設備の導入を除き、他の対応では、酸洗リンス水への窒

*周南製鋼所 設備部設備技術チーム

**栗田工業株式会社 アドバンスト・マネジメント事業本部 プラント事業部 設計部設計三課 主任技師

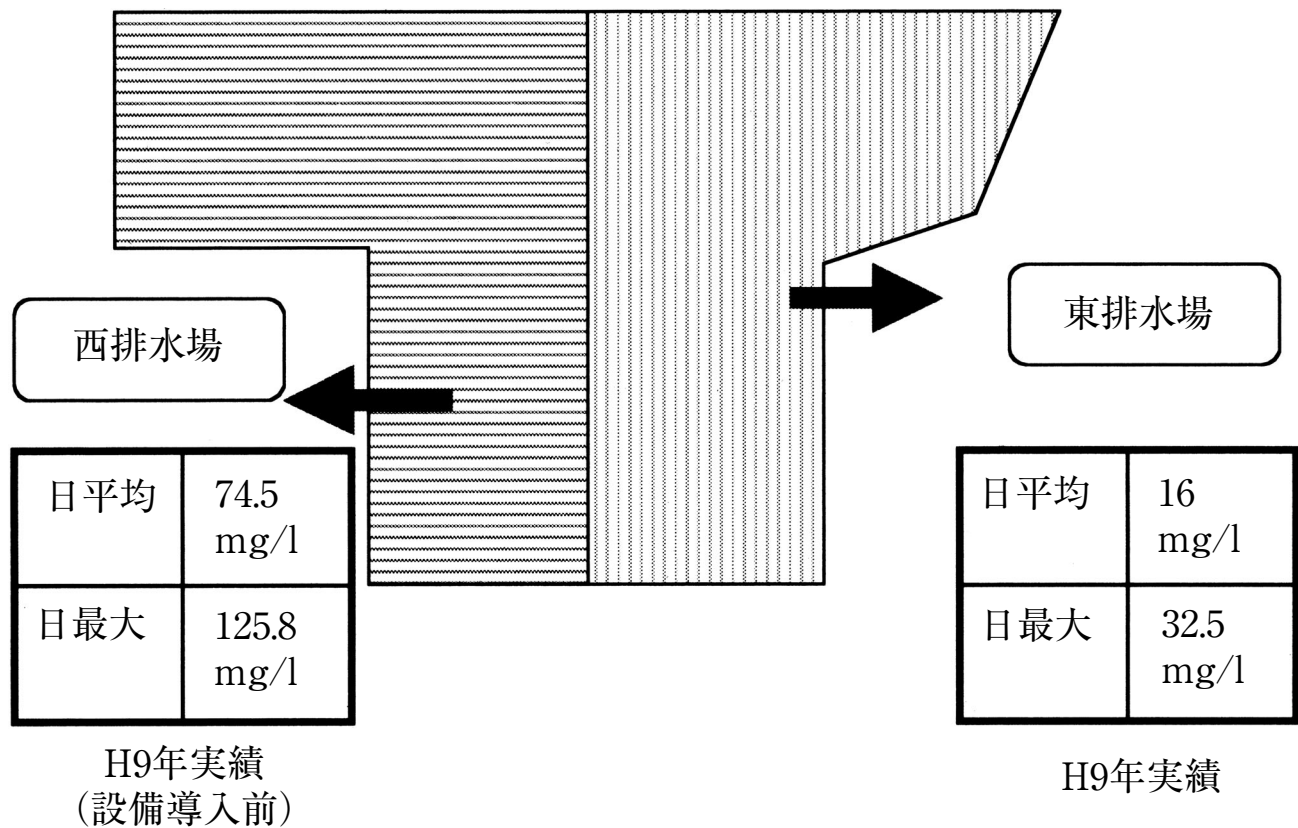


図1 周南製鋼所概要図
Fig.1 Schematic figure of Shunan works

素流出が多く、廃酸回収のみでは西排水場窒素濃度が法規制を満足しないこと、酸洗能力が不足すること、製品品質への悪影響がでるなどの問題があるため、窒素処理実績、ランニングコスト等総合的に判断し、生物処理設備を導入することとした。

2.2 硝酸態窒素低減設備の概要と特徴

2.2.1 生物脱窒法

生物脱窒法は、脱窒菌と呼ばれる自然細菌を利用する方法である。脱窒菌は多くの下水処理場の活性汚泥（排水汚濁を分解する自然細菌集合体の総称）の中に普通に検出される菌であり、活性汚泥への酸素供給が不足して溶存酸素がなくなった時に、 NO_3^- に含まれる結合酸素を利用して呼吸し、有機物を分解する機能を持っている。この機能を積極的に NO_3^- 除去に利用したのが生物脱窒法であり、脱窒槽内を無酸素状態に保ち、有機物としてメタノールなどを加えることで、活性汚泥内の脱窒菌が硝酸態窒素 NO_3^- を N_2 に還元する。

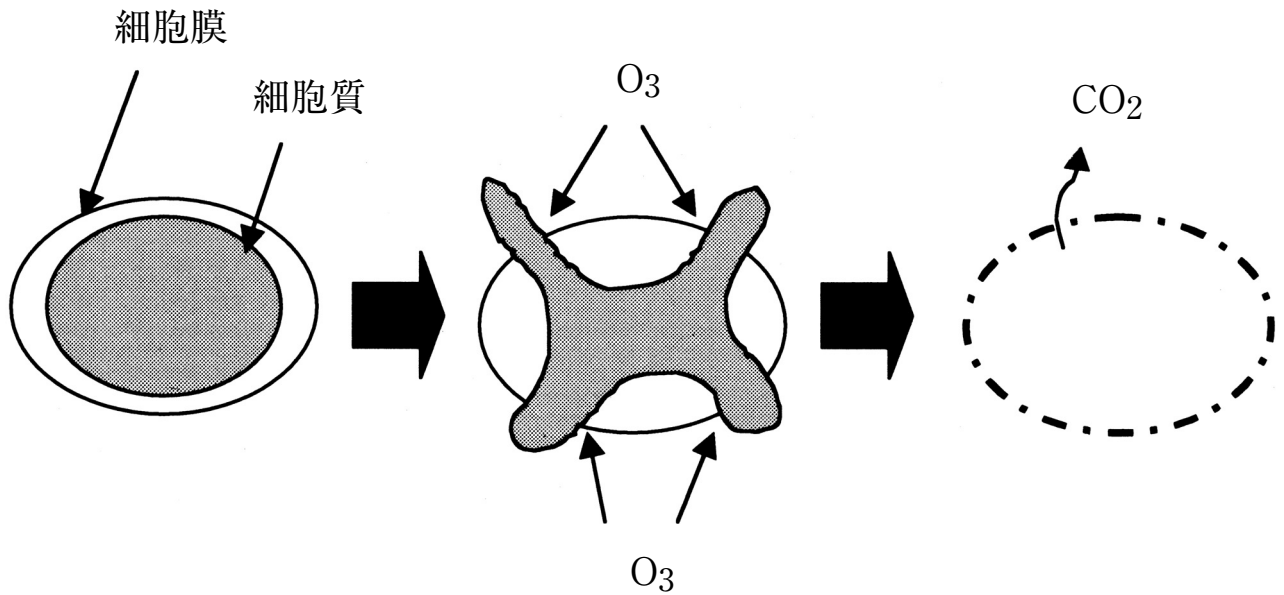
生物脱窒法は、大型のコンクリート水槽を必要とするため設備費および設置面積で難があるものの、実績が多く技術が完成されていること、および運転費用が低廉であることが長所である。

2.2.2 オゾンを用いた汚泥減量法

生物脱窒法では、メタノールなどの有機物を分解することで、脱窒菌が増殖する。この増殖した脱窒菌を産業廃棄物として焼却または埋立て処分する必要がある。しかし、これまでは場内での焼却が困難なため、引取業者によって搬送し処分せざるを得ない状況であった。そこで、増殖した脱窒菌（余剰汚泥）を削減する方法を探索したところ、下水処理や化学工場の排水処理においては、オゾンを用いた汚泥減量法（以下、オゾン法と記す）が実用化されていることがわかった。オゾン法を生物脱窒法に適用した事例はなかったが、脱窒菌からなる余剰汚泥も、成分としては一般の排水処理から出る余剰汚泥と同様の組成であるため、技術的にはオゾン法の適用が可能であると判断し導入した。

オゾンによる汚泥減容原理を図2に示す。オゾンは化学式 O_3 で表わされ、空気中または酸素ガス中で無声放電を行うことで得ることができる。オゾンは化学的に不安定な物質であり、有機物に触れると速やかに酸化作用を及ぼし、自身はより安定な結合酸素の状態に戻ろうとする。

オゾンに余剰汚泥に反応させた場合にも強力な酸化反応が起こり、脱窒菌の細胞膜が破壊される。オゾン処理



①脱窒菌の細胞膜がオゾンの殺菌機構により直接破壊される

②菌体が死滅し、同時に生分解性が向上、生物の栄養源となる

③オゾン処理した汚泥を脱窒槽へ返送することにより、共食いを起こし、CO₂となって汚泥が増えない

図2 オゾンによる汚泥減容原理
Fig. 2 Reduction of excess sludge production using ozone

した汚泥は外見上の漂白が著しく、独特の生臭い臭気がある。このとき、オゾン処理による汚泥の分解（固形分の液化）比率は10%程度¹⁾であり、汚泥を構成する有機物の大部分は、固形分のままである。

このオゾン処理によって、汚泥は易生物分解性に改質され、メタノールなどの有機物の代わりとなる。これを脱窒槽に戻すことにより、オゾン処理汚泥は生きた脱窒菌に捕食される。

脱窒槽ではオゾン処理汚泥を餌として再び汚泥が増殖するので、実質的に減量される汚泥量は、オゾン処理した汚泥量と再増殖する汚泥量の差となる。このため、余剰汚泥が発生しない運転を実現するには、添加したメタノールから発生する汚泥の、3～4倍量の汚泥をオゾン処理して循環させる必要がある。

硝酸態窒素低減設備には、上記方法を用いたオゾンによる汚泥減容装置（以下バイオリダーTMと記す）を導入した。このバイオリダーTMの導入により、産業廃棄物である余剰汚泥の発生は抑制され、汚泥処理費用が削減できている。

2.2.3 硝酸態窒素低減設備フロー

今回設置した硝酸態窒素低減設備フローについて、図3

に示す。各ラインより排出したリンス水、濃厚廃酸等を廃酸処理設備にて中和処理し、その排水をこの窒素処理設備に送液する。この窒素処理設備は、原水槽、脱窒槽（第一・第二）、曝気槽、沈殿槽、バイオリダーTM、ろ過原水槽、ろ過器、処理水槽からなっており、まず原水槽にて排水を受け取る。ここで廃酸処理設備の窒素濃度及び排水水量の時間的変動を平均化し、脱窒槽にポンプアップする。脱窒槽に硝酸態窒素（NO₃⁻）を含んだ排

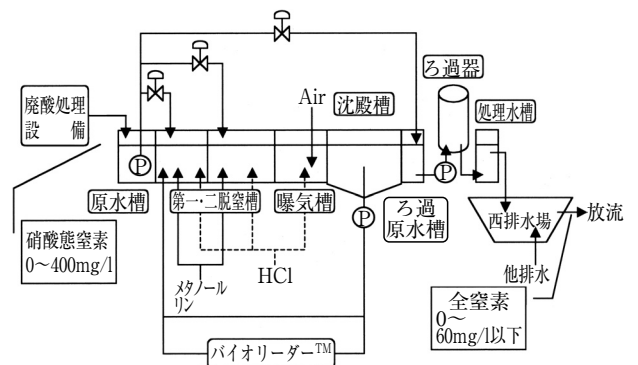


図3 硝酸態窒素低減設備フロー図
Fig. 3 Schematic diagram of nitrate-nitrogen removal plant

水、メタノールを流入させると、活性汚泥内の脱窒菌が窒素へと還元し、大気に放散する。

窒素を除去された排水は、オーバーフローにて曝気槽に入り、ここで余剰メタノールを活性汚泥にて処理させる。その後沈殿槽に入り、流入して来る汚泥を沈殿させ、汚泥と処理水に固液分離し、沈殿槽下部に溜まった汚泥を脱窒槽へと送液し脱窒槽の汚泥濃度を一定に保つ。処理水はろ過原水槽を経て、ろ過器で処理水に含まれる浮遊物質を取り除き、処理水槽から西排水場へと流出させる。また、沈殿槽下部に溜まった汚泥の一部をバイオリダー™へと送液し、オゾン処理した汚泥を脱窒槽へと返送させる。

2.2.4 運転管理の自動化

運転管理のため、以下の自動制御を実施するものとした。

2.2.4.1 窒素濃度の計測制御

原水槽の硝酸態窒素濃度を自動計測し、過負荷警報、硝酸態窒素濃度高警報等を発することはもとより、薬品注入制御、窒素処理制御に使用している。

窒素処理制御は、他系統の排水についても窒素濃度と流量を計測し、最終的な放流窒素濃度が、適切な値を維持できるように、任意の放流窒素濃度設定値の入力に応じて脱窒処理水（窒素濃度10mg/L以下）の量を自動制御できるようにしたものである²⁾。これにより、必要以上の窒素処理を行う必要がなくなったため、ランニングコストが低減でき、かつ上流側の異常にすばやく対応できるようになった。

2.2.4.2 薬品注入量の自動制御

メタノールおよび栄養剤（リン酸）の注入量を窒素負荷に比例して自動制御する機能を持たせた。塩酸は、pH計の指示値により自動制御するものとした。これにより、余分に供給していた薬品を適量で制御できるようになったため、ランニングコストを低減させることが可能となった。

2.2.4.3 運転管理指標の記録

重要な運転管理指標を、制御盤に接続したコンピューターに記録し、運転記録帳票を自動作成するものとした。これにより、運転状況の手入力が不必要となり、運転員の負荷を軽減できた。

3. 実装置の運転結果

3.1 窒素除去性能

汚泥減量運転開始後の海域放流窒素濃度の推移を図4に示す。

放流窒素濃度設定値を平均45mg/L、最大でも60mg/Lを超えないように設定して自動運転を行うことにより、放流窒素濃度は良好な結果を得ることができている。

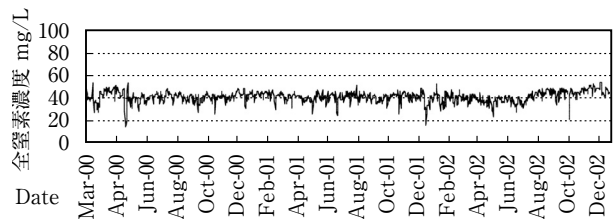


図4 海域放流窒素濃度の推移

Fif.4 Total nitrogen concentration in discharge

3.2 汚泥発生量

脱窒槽MLVSS濃度(有機汚泥濃度)の推移を図5に示す。オゾン処理量はMLVSS=4,500mg/Lを目標値とし、沈殿槽底部にある汚泥も考慮した系内の合計汚泥量が一定値となるように調整した。オゾン処理量の決定にあたっては、流入窒素負荷も制御因子として考慮した。これは、脱窒槽の残留硝酸濃度が5mg-N/L未満となった場合にオゾン処理汚泥の分解速度が低下するためである³⁾。

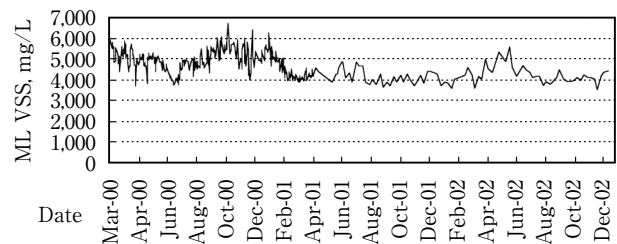


図5 第二脱窒槽MLVSS濃度の推移

Fif.5 MLVSS in denitrification tank

以上の結果、全運転期間を通じて汚泥濃度目標値が保たれている。

4. 環境負荷の低減効果

4.1 窒素放流量の削減

脱窒装置に流入した窒素負荷量の記録に基づいて、放流窒素の削減量の実績値を計算した結果を図6に示す。

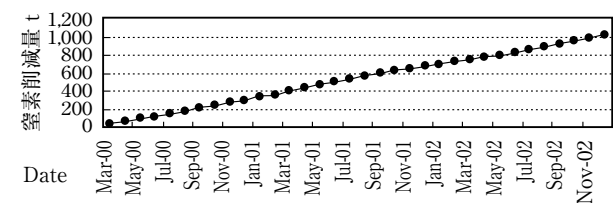


図6 放流窒素の削減量実績値

Fif.6 Reduction of nitrogen discharge

オゾン減量運転開始後2.75年間の運転実績において、約1,000トンの窒素汚濁が、海域に流されることなくN₂ガスとして大気に還元されたことが示された。

4.2 汚泥減量効果

余剰汚泥の減量効果を、次式に従って計算し図7に示す。

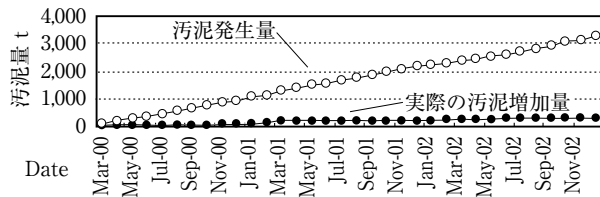


図7 余剰汚泥減量効果

Fig. 7 Reduction of excess sludge

(減量汚泥量) = (内在的な汚泥発生量) - (実際の発生量)
(内在的な汚泥発生量[ton])

$$= (\text{窒素負荷[ton]}) \times 2.9 \times 0.15 \div (1 - 0.85)$$

ここに、2.9 : メタノール添加率, kg/kg-N

0.15 : 汚泥転換率, kg-SS/kg-メタノール

0.85 : 汚泥ケーキの含水率

オゾン減量運転開始後2.75年間の運転実績において、約3,000トンの汚泥が削減された。なお、同期間において余剰汚泥が発生しており、その発生原因は沈殿槽汚泥の沈降性悪化に対応するための汚泥引抜きであった。汚泥の沈降性悪化は、夏場と冬場に発生しており、季節の変化による水温変化が原因と考えられるが、今後も運転条件の解析や新たな生物処理法の導入検討などを行い、汚泥完全ゼロへの追究を続ける所存である。

5. 結 言

これまでの約2.75年間の運転において、放流窒素の累積削減量1,000トン、余剰汚泥の累積削減量3,000トンという、環境負荷の低減効果が得られた。

平成16年からの窒素総量規制に対しても、高負荷運転を実施することで対応可能であり、更なる環境負荷低減効果を上げることができる。

循環型社会が目標として叫ばれている中、周南製鋼所は、「環境にやさしい素材・ステンレス」を国内外に送り届けているだけでなく、オゾンによる汚泥減容装置を生物処理設備に導入し、産業廃棄物である余剰汚泥の発生を抑制するといった、循環型社会を体現した。

今後、更に自然環境を大切に考える事業所として、ISO14001の実践活動や、環境負荷軽減設備の設置等を通じ、地域社会に根ざした企業活動を展開していく所存である。

参考文献

- 1) 安井英斉：活性汚泥法におけるオゾンを用いた余剰汚泥の減量化に関する研究, 東北大学学位論文, (1997), 95.
- 2) 公開特許公報：特開 2000-325985
- 3) 公開特許公報：特開 2002-192189