

紫外線照射／メタノール添加法による工場排水中の高濃度硝酸性窒素の除去

井上 充 秀平敦子* , 岡村和雄** , 林 禾***
(環境技術部, *環境保全部, **県廃棄物対策課, ***東海大学大学院工学研究科)

Removal of High-concentration Nitrate Nitrogen in Industrial Wastewater by Combining Ultraviolet Radiation with Methanol

Mitsuru INOUE , Atsuko HIDEHIRA* , Kazuo OKAMURA** , HE Lin***
(Environmental Technology Division, *Environmental Conservation Division,
**Waste Management Division of Kanagawa Prefectural Government,
***Graduate School of Engineering, Tokai University)

Summary

To develop the processing method of high-concentration nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) from the industrial wastewater by physical and chemical treatment method, the removal efficiency of processing method that combined ultraviolet radiation process with cheap processing medicines such as methanol was examined by an indoor processing experiment. As a result, the processing method that combined ultraviolet radiation with methanol was the highest with the T-N removal ratio of about 98%.

The optimum processing condition was investigated by a batch processing experiment conducted by supplying 1000 mg/l of $\text{NO}_3\text{-N}$ solution to a reactor. The optimum processing conditions were pH of about 7, adding methanol/ $\text{NO}_3\text{-N}$ molar ratio (molarity of CH_3OH / molarity of $\text{NO}_3\text{-N}$) of 4, processing time of about 3 hours or more etc. However, the amount of the optimum processing was a little with 100ml compared with the output of the ultraviolet ray lamp. Moreover, with coexistence of iron ions in muddy brown state, the T-N removal ratio decreased.

The T-N removal ratio of the continuous batch processing experiment that used industrial wastewater was about 96% under optimum processing condition, and it was about 6% higher than the continuous processing experiment. It is thought that technological development of treatment using a little electrical energy is necessary to attempt practical use.

Key words: nitrate nitrogen, ultraviolet radiation, methanol, industrial wastewater

1 はじめに

硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) は、水質汚濁防止法の有害物質に指定され、排水量の少ない零細企業でも、基準遵守のための処理対策が求められている。本県にある電気器具製造業には排水中に $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度が $1000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と高い上、モリブデン (Mo) 等の有害な金属も含まれているところもあることから、生物阻害の想定される生物脱窒法以外の、安価で操作の容易な物理化学的処理法による窒素除去が望まれている。

高濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ を除去する物理化学的処理法については、これまで電解処理法¹⁾、触媒還元処理法²⁾、紫外線とアミド硫酸還元を組み合わせた処理法³⁾等が提案されている。

しかし、電解処理法は塩素反応を利用するため

海苔養殖に影響を与えるモノクロラミン等⁴⁾の無機の塩素化合物や有害な有機塩素化合物が排出されるおそれがある。また、触媒還元処理法については、一旦 $\text{NO}_3\text{-N}$ を亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) に還元した後、 $\text{NO}_2\text{-N}$ を窒素に還元する 2 段階処理であるため、装置及び維持管理が煩雑になることや懸濁物質による充填触媒の閉塞が生じるといった難点がある。紫外線／アミド硫酸還元処理法についても同様な煩雑さや、紫外線による $\text{NO}_2\text{-N}$ への還元では最適 pH が 12 と高いこと、 $\text{NO}_2\text{-N}$ から窒素へのアミド硫酸還元法⁵⁾では最適 pH が 2.5 と低いことや硝酸と反応して亜酸化窒素 (N_2O)⁶⁾が発生する等の課題がある。なお、アミド硫酸還元法は、当センターが COD 源の一つである $\text{NO}_2\text{-N}$ を除去するために開発した処理技術⁷⁾である。

紫外線処理については、処理汚泥が全く出ないことや処理操作及び維持管理が容易なことから、当センターでも大学及び企業と共同で汚染地下水からのトリクロロエチレン等の処理技術を開発⁸⁾し、現在、約65基⁹⁾の処理施設が設置されている。しかし、今後、紫外線処理がNO₃-Nの除去技術として広く利用されていくためには、1段階で除去可能な処理技術に改善していく必要がある。

Monica C.G.等はフェノールの共存下で真空紫外線(127nm)照射を行うと、硝酸イオンが亜硝酸イオン及びアンモニアイオンに移行することを見出し、そのメカニズムを明らかにするために、報告例の多い紫外線とメタノール(CH₃OH)のラジカル反応を用いて、約50 mg・l⁻¹のNO₃-Nで検討を行った。その結果、紫外線酸化によって生成した硝酸イオン由来のNO*ラジカル物質とメタノール由来の*CH₂(OH)ラジカル物質が反応し、硝酸イオンが亜硝酸イオン及びアンモニアイオンに移行することを明らかにした。この反応は紫外線によって容易にラジカル物質を生成する有機物等の共存が重要であることや反応後の窒素物質収支から、さらに窒素まで反応が進む可能性を報告¹⁰⁾している。

そこで、本研究では、紫外線と組み合わせる処理薬剤として、CH₃OH以外にも一般的によく用いられている過酸化水素(H₂O₂)等の処理薬剤のうち最も効果的な処理剤の選定、その処理薬剤における最適処理条件の検討及び最適処理条件下での工場排水の除去効果について実験用の紫外線装置を用いて検討を行った。

2 方法

2.1 回分処理実験

本実験は Fig.1 に示すとおり、(株)ウシオ社製実験用紫外線装置 UL1 型を用い、反応管にNO₃-N含有原水を入れ、さらに処理薬剤を一定量添加した後、攪拌しながら内部から紫外線ランプ(450Wの高圧水銀ランプ)を一定時間照射する手順で行った。なお、実験中は反応液の水温を一定に保つために、反応管の外側に設けた冷却管に冷却水を循環させた。なお、冷却水の循環と水温は、水温制御装置を用いて制御した。

実験に使用した原水は、1,000 mg・l⁻¹のNO₃-N標準液の模擬排水及び実際の工場排水で、反応液量は90 mlを基本とした。処理剤の添加量は、例えばCH₃OH/NO₃-Nのモル濃度比(以下、「モル濃度比」という。)が4となる量を基本とした。

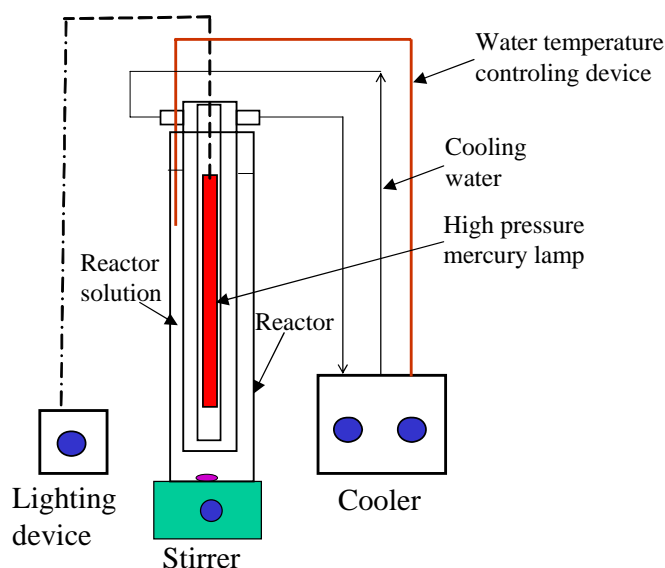


Fig.1 Experimental apparatus of ultraviolet radiation

実験は、まず①最適な処理薬剤を選定し、次に、その処理剤を用いるため最適な処理条件として、②pH、③攪拌速度、④処理薬剤添加量、⑤反応時間、⑥水温、⑦原水の共存物質、⑧初期濃度、⑨反応液量について検討した。

2.2 連続実験

本実験は、半連続処理実験及び連続処理実験の2法で行った。

半連続処理実験は、前もってモル濃度比が4になるようにCH₃OHを添加した実際の工場排水を原水とし、これを送液ポンプで反応管に90 ml入れ、500 回転・min⁻¹の攪拌下で紫外線ランプを3時間照射した後、排出ポンプで処理水を全量排出する回分処理実験を繰り返した。

連続処理実験は、半連続処理実験と同じ条件下の原水を前もって蒸留水の入った反応管の底部に送液ポンプで約0.5 ml・min⁻¹の流入速度で連続流入させ、処理水は排出ポンプで流入速度と同じ排出速度で表面水を同じく連続的に排出させた。また、反応管内での滞留時間は約3時間を想定し、実験中は紫外線照射及び半連続処理実験と同じ条件の攪拌を行った。

なお、今回用いた工場排水は、特殊ランプ等を製造している電気器具製造事業所の中和槽から採水したもので、作業工程からの排水はモリブデン棒を硝酸で処理した後の水洗水のみである。使用薬品は硝酸及び中和の水酸化ナトリウムであり、水質はpHが6.9、T-Nが1,000~1,100 mg l⁻¹、Moが1,000 mg l⁻¹及びSS(懸濁物質)5.2 mg l⁻¹である。

2. 2 分析方法

2. 2. 1 採水

採水は回分処理実験では実験終了後の処理水、半連続処理実験については繰り返して行われる回分処理実験終了毎の処理水また連続処理実験については実験開始 3 時間経過後、0.5 時間毎に最大 7 時間までの処理水について行った。なお、原水については実験毎に必要な量を作成した原水を採水した。

2. 2. 2 水質分析

分析は、原水及び実験後の処理水について行った。分析項目は、pH、全有機炭素 (TOC)、アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、全窒素 (T-N)、Mo 及び SS で、分析方法は、工場排水試験方法 JIS K 0102-1998¹¹⁾ で行った。TOC には(株)島津製作所製 TOC 分析計 VCSH 型、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ には(株)ダイオネックス社製イオンクロマト分析計 4500i 型、T-N には柳本製作所(株)製微量窒素分析計 308P 型、Mo には日立製 ICP 発光分析装置 P5200 型を使用した。

なお、除去効果の評価は、全て T-N により行った。

3. 1 回分処理実験

3. 1. 1 処理薬剤の影響

最適な処理薬剤を選定するため、添加する処理薬剤としては CH_3OH のほか、これまで行われてきた物理化学的窒素処理の検討の際に用いられた尿素 ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)¹²⁾、 H_2O_2 ¹³⁾、アミド硫酸 ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) の計 4 種類について検討を行った。

処理条件は、反応時の pH が 7、攪拌速度が $500 \text{ 回転}\cdot\text{min}^{-1}$ 、モル濃度比が 4、反応時間が 3 時間、水温が 32°C とした。

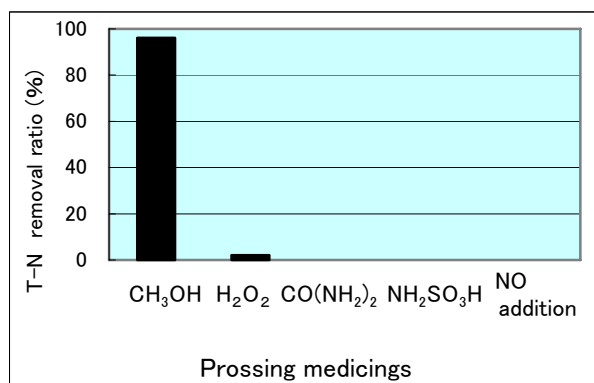


Fig.2 Effect of processing medicinals for removal ratio of T-N

各処理薬剤の T-N 除去効果を Fig.2 に示す。

CH_3OH が約 98% と良好で、それ以外の処理薬剤については H_2O_2 が 2.1% を示した以外は、処理薬剤を添加しなかった場合同様全く除去できなかった。

今回検討した処理薬剤は、有機物 2 種類及び無機物 2 種類である。その中で、Monica C.G. 等が報告しているように CH_3OH の除去率が突出していた理由は、 CH_3OH が紫外線によって簡単に $\cdot\text{CH}_2(\text{OH})$ のようなラジカル物質を生成し、これが $\text{NO}_3\text{-N}$ から窒素ガスまでのラジカル反応に大きく関与したものと考えられる。このことから、処理薬剤としては、紫外線によって簡単にラジカル物質を生成できる有機物質が最適であることが示唆された。なお、このような処理薬剤で安価なものとしては、現在のところ、 CH_3OH 以外に見あたらないことから、以後の実験は CH_3OH を処理薬剤として検討を行うこととした。

3. 1. 2 pH の影響

pH の除去効果への影響について検討するため、溶液の pH を 3~12 の 5 段階に変化させ実験を行った。なお、pH 以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。

pH と T-N 除去率の関係を Fig.3 に示す。

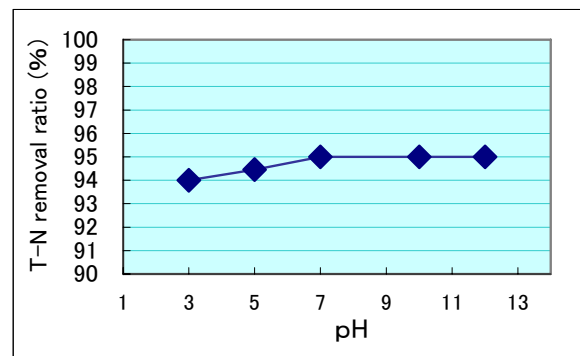


Fig.3 Effect of pH for removal ratio of T-N

T-N 除去率は、94~95% で、pH が高くなるに従ってわずかに良くなるが、pH 7 以上ではほぼ一定となった。好条件の pH は比較的幅広いことから、処理時の pH はあまり厳密に行う必要がないことが分かった。なお、最適処理条件としては放流時に pH 調整を要しない 7 付近が適正と考えられることから、以後の実験は pH 7 で行うこととした。

3. 1. 3 攪拌速度の影響

攪拌速度の相違による除去効果について検討するため、攪拌速度を 0, 100 及び 500 回転・min⁻¹ の 3 段階に変化させ実験を行った。なお、攪拌速度以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。攪拌速度と T-N 除去率の関係を Fig.4 に示す。

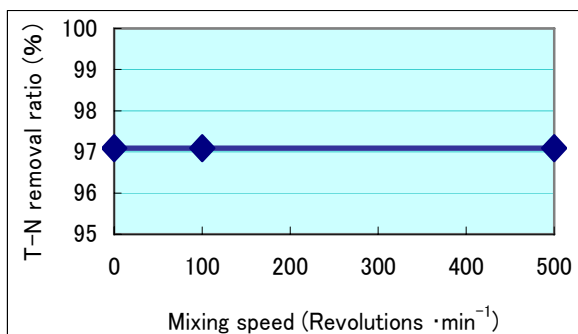


Fig.4 Effect of mixing speed for removal ratio of T-N

T-N 除去率は、3 回の攪拌速度でも約 97% と良好であったが、これは液量が少なかったことや内部で生じた対流等によって溶液内部が均一に保たれたためと考えられる。このことから、今回の実験の場合は攪拌を行わなくても良好な結果が得られることが分かったが、以後に行う溶液量の影響実験等を考慮すると、攪拌は必要であることから、以後の実験は引き続き 500 回転・min⁻¹で行うこととした。

3. 1. 4 CH₃OH 添加量の影響

処理剤 (CH₃OH) の適切な添加量を検討するため、モル濃度比が 1~5 の範囲で 7 段階になるよう添加量を変化させ実験を行った。なお、添加量以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。

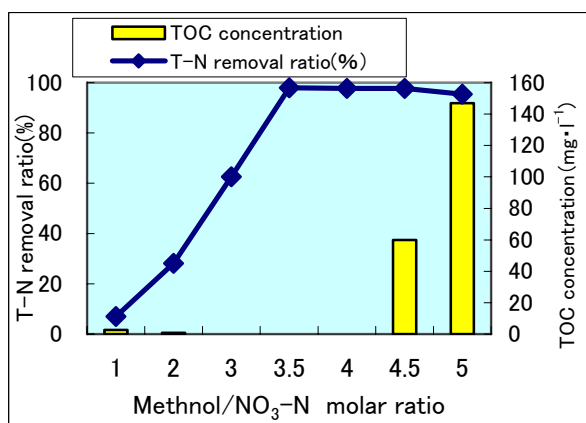


Fig.5 Effect of CH₃OH/NO₃-N molar ratio for removal ratio of T-N and TOC concentration

モル濃度比と処理後の T-N 除去率の関係を Fig.5 に示す。併せて処理水の TOC 濃度も示した。

T-N 除去率はモル濃度比が高くなるに従って向上した。また、処理水の TOC 濃度はモル濃度比の増加に伴って減少し、4 mol では 0.1 mg · l⁻¹ 以下まで低下したが、5 mol になると再び高くなった。これは分解しきれなかった CH₃OH が残留したためと考えられる。このことから、CH₃OH 添加量の最適処理条件は 4 mol と考えられる。

反応は以下に示す式¹⁴⁾に従って進行するものと考えられ、この式から CH₃OH の理論添加量は NO₃-N 1mol に対して 0.85 mol と算出されたが、実際の CH₃OH 添加量は理論値の約 4.7 倍必要であった。



また、処理水の形態別窒素を調べたところ、全体に占める割合は NH₄-N が 67%, NO₂-N が 33% 及び NO₃-N が 0% であった。なお、参考値とするために、実験終了後、反応管内を検知管 (ガステック製) で窒素酸化物の測定を行ったが、検出 (測定範囲 2.5~200 ppm) されなかった。

なお、以後の実験も引き続き、CH₃OH の添加量はモル濃度比 4 で行うこととした。

3. 1. 5 反応時間の影響

反応時間と T-N 濃度の関係について検討するため、反応時間を 0.5~3 時間の 4 段階に変化させ実験を行った。なお、反応時間以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。

反応時間と反応時の T-N 濃度の関係を Fig.6 に示す。

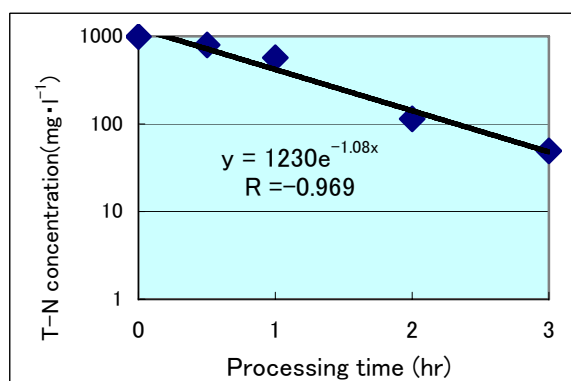


Fig.6 Effect of processing time for concentration of T-N

T-N 濃度は、反応時間の経過に伴って低下し、 $Y=1160e^{-1.07X}$ の 1 次反応に従って減少した。その際の相関係数は-0.969 で、95%有意水準が 0.878 (n=5) であることから、有意であるといえる。なお、Y は T-N 濃度、X は処理時間を示す。

また、排水基準値の $100\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下まで下げるためには、2~3時間程度の反応時間が必要であることが分かった。このため、以後の反応時間は 3 時間とした。

3. 1. 6 水温の影響

水温による除去効果の影響について検討するため、溶液の水温を 20~35℃の範囲で 5 段階に変化させ実験を行った。なお、水温及以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。

水温と T-N 除去率の関係を Fig.7 に示す。

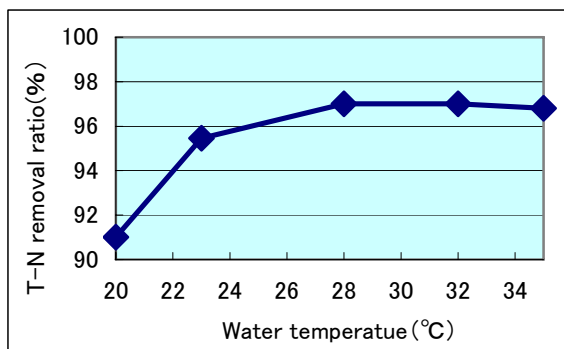


Fig.7 Effect of water temperature for removal ratio of T-N

T-N 除去率は、水温の上昇に伴って徐々に高くなり、水温 28~32℃で最大となった。アレニウスの法則からすれば、水温上昇に伴って T-N 除去率は向上することが想定されたが、水温 28℃以降ほぼ一定となったのは $\text{NO}_3\text{-N}$ がほとんど除去されたためと考えられる。このことから、以後の実験は水温 28℃の条件下で検討することとした。

3. 1. 7 共存物質の影響

共存物質による影響について検討するため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 ($1,000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) の 1/100~同等の濃度の硫酸イオン(硫酸マグネシウム)、塩化物イオン(塩化ナトリウム)、鉄イオン(3価の塩化鉄)、クエン酸ナトリウム、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA)、非イオン界面活性剤(ポリエチレングリコール モノ-4-ニルフェニルエーテル) の 6 種類の共存物質を添加し、実験を行った。なお、これらの共存物質は一般的に電気メッキ業排水に含まれていると考えられている物質を選んだ。また、() 内は使用薬品名を示し、処理条件は水温以外、3. 1. 1 と同じ条件である。

共存物質と T-N 除去率の関係を Table 1 に示す。

Table1 Effect of coexistence substance for removal ratio of T-N

| Coexistence substance | Concentration ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) | Removal Ratio (%) |
|-----------------------|---|-------------------|
| Sulfate ion | 1000 | 98 |
| Chloride ion | 1000 | 96 |
| Iron ion | 100 | 61 |
| Sodium citrate | 1000 | 97 |
| EDTA | 1000 | 97 |
| Surfactant | 10 | 85 |

T-N 除去率は、鉄イオン及び界面活性剤を除いて 96-98%と良好であった。鉄イオンの共存実験では溶液が茶色に濁っており、このことが紫外線の透過を阻害したため、T-N 除去率が低下したものと考えられる。また、界面活性剤については、T-N 除去率が 85%と鉄イオンより良かったが、紫外線が界面活性剤の分解時に吸収され、 CH_3OH の分解が抑制されたためと考えられる。このため、鉄イオンが排水中に濁りとして分かるほど多く含まれていたり、界面活性剤が多く共存する工場排水については、T-N 除去率の低下が想定される。

3. 1. 8 初期濃度の影響

初期濃度と反応時間による T-N 濃度の関係について検討するため、初期濃度を $200\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 及び $500\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の 2 段階、反応時間を 0.5~2 時間の 4 段階に変化させ実験を行った。なお、反応時間及び水温以外は 3. 1. 1 と同じ条件である。

反応時間と反応時の T-N 濃度の関係を Fig.8 に示す。

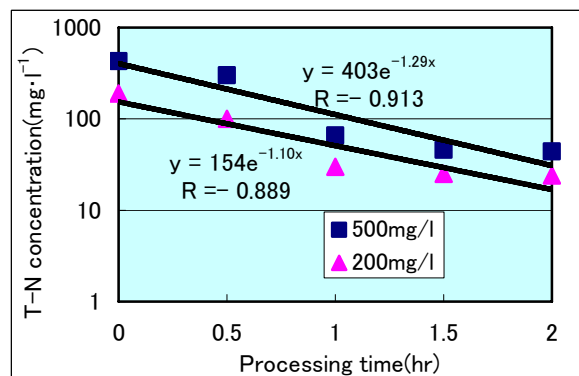


Fig. 8 Effect of initial concentration for concentration of T-N

T-N 濃度は、反応時間の経過に伴って低下し、3.1.5 の初期濃度 $1,000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($Y=1160e^{-1.07X}$) と同様に、 $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ では $Y=154e^{-1.10X}$ 、 $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ では $Y=403e^{-1.29X}$ と、いずれも1次反応に従って減少した。しかし、時間の経過に伴って濃度が低くなると、両者共に濃度の減少が小さくなる傾向を示した。なお、初期濃度 $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 及び $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の相関係数はそれぞれ、 -0.889 及び -0.913 で、また、95%有意水準は両者共に 0.878 ($n=5$) であることから、有意であるといえる。なお、YはT-N濃度、Xは処理時間を示す。

この式から、排水基準以下まで下げるのに必要な処理時間は、 $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ で約65分、 $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ で約24分と算出された。

3. 1. 9 反応液量の影響

反応液量の相違による除去率の影響をみるため、反応液量を90, 110, 270 及び 540 ml の4段階に変化させた実験を行った。なお、反応液量及び水温以外は3.1.1と同じ条件である。

反応液量とT-N除去率の関係をFig.9に示す。

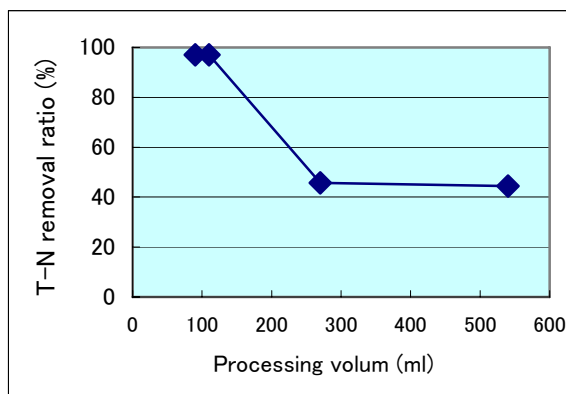


Fig.9 Effect of processing volume for removal ratio of T-N

T-N 除去率は、反応液量が110 ml までは良好であったが、270 ml では低下した。この結果、適正反応液量は100 ml 程度となったが、この結果を基に 1m^3 処理するために必要な電気量を算出すると、 $13,500\text{kwh}$ { 450W (紫外線ランプ出力) $\times 3\text{h}$ (処理時間) $\times 1,000 \text{ l} / 0.1 \text{ l}$ (反応液量)} となる。使用量から電気料金を算出すると、約27万円 ($20 \text{ 円/kwh} \times 13,500\text{kwh}$) と高額な処理となることから、少ないエネルギーで低波長 (200nm 以下) 領域を高く出力できる紫外線ランプの開発、反応を促進させる触媒の開発等が必要と考えられる。

3. 1. 10 実際の工場排水での検証

以上の結果から得られた最適処理条件は、①処理剤は CH_3OH 、②反応時のpHは7、③攪拌速度が $500 \text{ 回転}\cdot\text{min}^{-1}$ 、④処理剤の添加量はモル濃度比で4、⑤反応時間は3時間、⑥水温は 28°C で、水温以外は3.1.1と同じ条件である。

実際の工場排水を用いてこの条件下での回分処理実験を行ったところ、上記同様に良好なT-N除去効果が得られたので、以下の連続実験を行った。

3. 2 連続処理実験

3. 2. 1 半連続処理実験による除去効果

本実験は工場排水を原水として、回分処理実験を5回連続的に繰り返した。なお、原水のT-N濃度は $1,000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。

半連続処理実験とT-N除去率及び処理水のT-N濃度の関係をFig.10に示す。

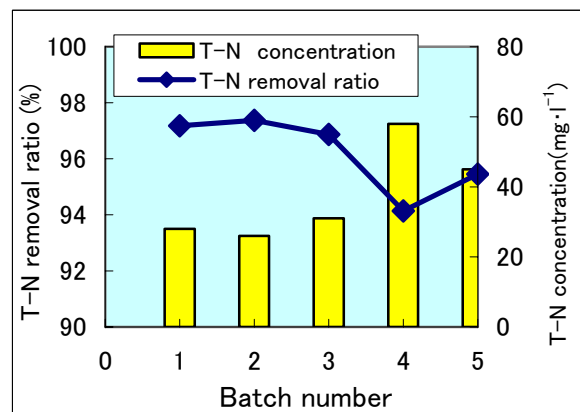


Fig.10 T-N removal ratio and T-N concentration by the semi-continuous processing

総計5回の回分処理実験で、T-N 除去率は全てにおいて94~97% (平均除去率96%) と良好であった。また、処理水のT-N濃度は、 $26\sim 58 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (平均濃度 $38 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) で、基準値以内であった。

実験に用いた工場排水は、紫外線処理に影響を与える色相が微黄色であったこと、SS分がほとんど含まれていないこと等の理由から、良好に処理ができたものと考えられる。なお、Moが高濃度に含まれていることの影響については、Moの有無に関わらず高いT-N除去率が得られていることから、影響は少ないと考えられる。

3. 2. 2 連続処理実験による除去効果

連続処理実験における経過時間と T-N 除去率及び処理水の T-N 濃度の関係を Fig.11 に示す。

なお、原水の T-N 濃度は $1,100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。

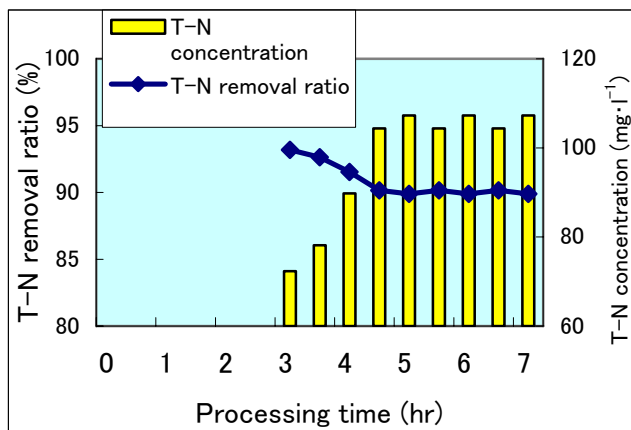


Fig.11 T-N removal ratio and T-N concentration by the continuous processing

T-N 除去率は、徐々に低下し、採水（実験終了 3 時間後から）開始後、約 1 時間経過後は、ほぼ一定の約 90% となった。T-N 除去率は、半連続処理実験と比べて、約 6% 低かった。また、処理水の T-N 濃度は、採水直後は $72 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であったが、濃度が徐々に上昇し、1.5 時間経過後は基準値を若干超過する $105 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後となった。

本実験は半連続処理実験と比べて、T-N 除去効果は良好でなかったが、これは反応管に流入した工場排水の一部が十分な滞留を経ずに排出したためと考えられる。このことから、滞留時間が常時、安定的に確保できるように阻流板を設置する等の装置改善を行えば、基準超過もなく良好な除去効果が期待できるものと考えられる。

4 まとめ

本研究は、高濃度 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有排水の窒素除去として、紫外線と処理薬剤を組み合わせた方法の最適処理条件、及びその条件下での実排水の除去効果について、実験用紫外線装置を用いて検討した。その結果、以下のような知見が得られた。

1) 紫外線と CH_3OH を組み合わせた処理法については、初期濃度 $1,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の場合 T-N 除去率が 98% と良好であったが、その他の H_2O_2 等の組み合わせではほとんど除去効果が見られなかった。

2) 紫外線と CH_3OH を組み合わせた処理法の最適処理条件は、pH が 7、 $\text{CH}_3\text{OH}/\text{NO}_3\text{-N}$ のモル濃度比が 4、処理時間が 3 時間以上及び水温が 28°C 等であった。攪拌速度については反応液量が少なかったこともあって、攪拌をしなくても良好であった。しかし、適正反応液量は 100 ml 程度と紫外線ランプの出力に比べて少なかった。

3) T-N 除去率を低下させる共存物質は鉄イオンが最も大きく、次いで界面活性剤であった。前者は茶色に濁っていたことによる紫外線透過の阻害及び後者は紫外線を吸収したためと考えられる。

4) 実際の工場排水を用いた最適処理条件下での半連続処理実験では、T-N 除去率は平均で 96% と良好であった。連続処理実験では約 6% 低い約 90% であり、また、処理水は若干の基準超過が見られた。連続処理については、十分滞留しないまま排出した可能性もあることから、装置改善等によって良好な除去効果が期待できるものと考えられる。

紫外線と処理薬剤の CH_3OH を組み合わせた処理法は、 $1,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と濃度の高い $\text{NO}_3\text{-N}$ を良好に除去できることが分かった。しかし、紫外線ランプの出力に対する反応液量が少ないことから、今後、実用化を図るためには光触媒を組み合わせる等の工夫を行って、処理可能水量を増やす改善が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 広 直樹：環境技術，**33(8)**，11-15(2004)
- 2) 柴山治雄他：新金属工業，秋号，15-17 (2002)
- 3) 小坂幸夫他：東京都立産業技術研究所研究報告，**6**，69-72(2003)
- 4) 丸山俊朗他：水処理技術，**39(8)**，389-397(1998)
- 5) 秀平敦子他：神奈川県環境科学センター研究報告，**28**，52-57(2005)
- 6) Hughes M N., *et.al.*: The mechanism of the sulphamic acid-nitric acid reaction, **13(1)**，37-40(1977)
- 7) 井上 充他：水環境学会誌，**21(6)**，353-359(1998)
- 8) 岡村和雄他：水環境学会誌，**17(4)**，270-275 (1994)
- 9) 日刊工業新聞：環境ソリューション企業総覧，**5**，59-64(2005)
- 10) Monica C.G., *et.al.*: Photochemistry and photobiology, **95**，67-72(1996)

- 11) (財)日本規格協会：JIS K 0102 工場排水試験方法(1998)
- 12) Mahfud L.,*et.al.* : Reduction de l'acide nitreux par une solution aqueuse d'uree ou d'acide sulfamique en vue du traitement des NOX d'un effluent gazeux, **70(2)**, 85-92(1998)
- 13) 山西健之：紫外線と酸化剤を用いた各種水処理の高度処理, **38(5)**, 22-29(1996)
- 14) 野中信一：日本水環境学会セミナー, 121-130 (2002)

重点経常研究 [平成 15～16 年度]

課題名：二段階化学的硝酸還元法及び高級アルコールを利用した生物的脱窒処理