

多摩川中流部の再生に関する研究 (その3) ——下水処理場の高度処理技術——

嶋津暉之 秦 王裕* 井上千晶** 和波一夫
(* 埼玉工業大学 ** 非常勤研究員)

要 旨

下水処理水中の残存有機物質を除去する高度処理技術について室内実験を行った結果、次のことが明らかになった。

- ① 膜分離処理で下水処理水中のTOCを70%以上除去するためには、ナノろ過法が必要であって、限外ろ過法では20~30%しか除去できない。しかし、ナノろ過法は膜面積あたりのろ過水量が小さく、また、濃縮水の処理の問題が残される。
- ② オゾン酸化によって下水処理水中の難分解性有機物質を易分解性有機物質に変え、活性汚泥処理槽に返送する方式を想定した実験を行ったところ、TOC削減率は20%程度にとどまった。
- ③ 活性炭を好気状態に保つ好気性生物活性炭処理の実験を行ったところ、みかけの接触時間36分の条件で、70%以上のTOC除去率を約9カ月間維持することができた。非好気性の生物活性炭処理と比べると、除去能は2倍近くになった。

キーワード：膜分離処理、ナノろ過法、限外ろ過法、オゾン酸化、生物活性炭処理

Study on Revival of Tamagawa Middle Reach Parts (III) - Advanced Treatment Processes of Sewage Treatment Plants -

Teruyuki Shimazu, Kimihiro Hata*, Chiaki Inoue** and Kazuo Wanami
* Saitama Institute of Technology, ** Associate Researcher

Summary

We experimented on the three methods of the advanced treatment processes in the laboratory in order to remove the remaining organic substances of the treated sewage water. The following results were obtained.

- (1) The TOC removal rate of nanofiltration method in the membrane separation processes was 70% or more, and, on the other hand, that of ultrafiltration method was only 20-30%. However, in the nanofiltration method there are problems with the small filtration water amounts per film area and the discharge of concentrated water.
- (2) We experimented on the method to change the undecomposable substances into the decomposable substances by the ozone oxidation process and return the resulting substances to activated sludge process. The TOC reduction rate of this method was only about 20%.
- (3) We experimented on the biological activated carbon process that was maintained in the aerobic condition. The TOC removal rate of this method was 70% or more for 9 months in case of having the contact time of 36 minutes. This removal ability was twice as large as that of the biological activated carbon

process that was maintained in non-aerobic conditions.

Keywords : membrane separation, nanofiltration, ultrafiltration, ozone oxidation, biological carbon process

1 はじめに

前報¹⁾で述べたように、晴天日における多摩川の田園調布堰の河川水に含まれる有機物質をCODやTOCで見ると、大半が溶解性である。この溶解性有機物質は主に下水処理場から流出したものであると推測されるので²⁾、その削減を図るためには、多摩川流域の下水処理場の処理方法を改善する必要がある。下水処理場から流出する溶解性有機物質のほとんどは、活性汚泥処理後に残留する生物難分解性有機物質であるから、その削減のためには、この難分解性有機物質の除去が可能な高度処理技術の導入が必要である。

下水処理場の高度処理技術として、粉末活性炭処理、生物活性炭処理、オゾン処理の室内実験を行った結果は既報³⁾で報告した。今回、前回の結果を踏まえて、膜分離処理、オゾン処理+生物処理、好気性生物活性炭処理の三方法について室内実験を行ったので、その結果を報告する。

2 方法

(1) 実験の方法

ア 膜分離処理

平膜型の膜分離試験装置（日東電工メンブレンマスター-RUM 1型）を用いて、限外ろ過法およびナノろ過法による膜分離実験を行った。限外ろ過膜にはNTU-2120とNTU-3150、ナノろ過膜にはES10-Dを使用した。NTU-2120は公称分画分子量が20000、NTU-3150は公称分画分子量が50000、ES10-Dは性能評価の食塩阻止率が99.5%の膜である。

試験装置の仕組みは図1のとおりである。3000mlビーカーに試料水を入れて原水タンクとし、恒温水槽内に置いて概ね20℃に維持した。原水タンクから高圧ポンプによって所定の圧力で平膜テストセル（膜面積60cm²）に原水を送り、その膜ろ過水を一定時間ごとに区切って採取した。原水タンクには、膜を通らなかった原水が濃縮原水として戻ってくる。原水タンク内の濃縮原水は更新せずに継続使用し、減った分を適宜、補給した。限外ろ過膜は約2kg/cm²、ナノろ過膜は長期実験では約4.5kg/

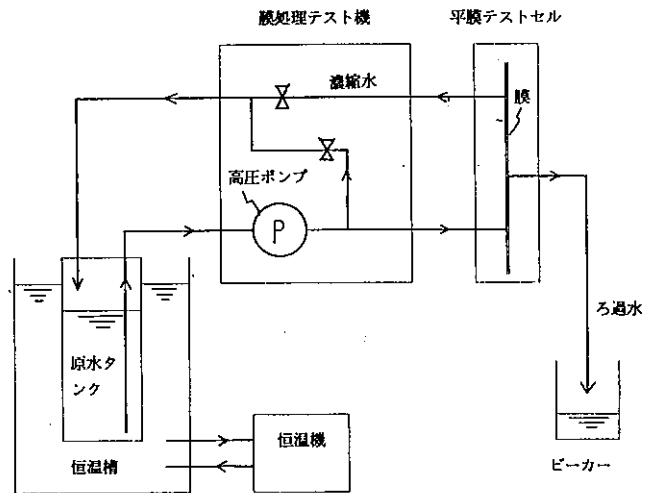


図1 膜分離処理の試験装置

cm²の圧力で運転した。

イ オゾン酸化+生物処理

オゾン酸化の試験装置は図2のとおりで、300mlのメスシリンダーに300mlの試料水を入れて、所定の時間、オゾン化空気を注入してスターラーで撹拌した。オゾン化空気の注入量は50ℓ/時、オゾン濃度は約2500ppmとし

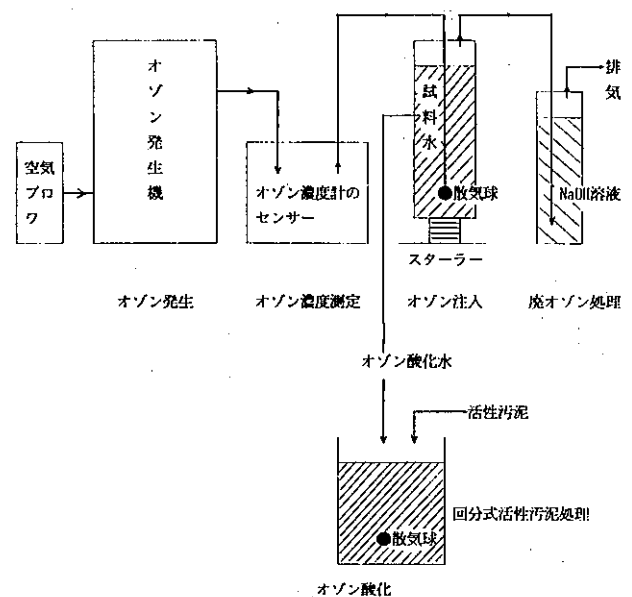


図2 オゾン酸化+活性汚泥処理の実験

た。オゾン化空気のオゾン濃度はオゾン濃度計で連続測定した。更に、オゾン吸収効率を知るため、オゾン注入部の前後の流路に、5%ヨウ化カリウム溶液300mlを入れたインピンジャーを1分間置き、その溶液中の遊離ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定してオゾン通過量を求めた。オゾン発生機は東芝WOR-01型、オゾン濃度計はオービスフェア2750型を用いた。

次に、オゾン酸化した試料を、その日に採取した住宅団地汚水処理施設の活性汚泥濃縮液とビーカー内で混合し、4時間のばっ気処理を行った。混合後のMLSS（混合液浮遊物質濃度）は約2700mg/ℓである。

ウ 好気性生物活性炭処理

まず、GALGON社の活性炭F400を0.42~0.85mmに分級して水洗し、110℃で4時間乾燥した。次に、この粒状活性炭20gを直径17mm、長さ20cmのガラスカラム2本に充填し（充填長さ16cm、充填容積36ml）、この活性炭カラム2本と、ガラスウールを詰めたプレカラムを図3の試験装置に組み込んだ。原水槽からロールポンプで試料水をプレカラムと1本目の活性炭カラムに送って、第1カラム通過水の中継槽に受け、その中継槽の水を別のロールポンプで2本目の活性炭カラムに送り、第2カラム通過水を処理水タンクに受けた。試験装置は室温20℃の恒温室に置いた。

活性炭カラムの中を好気性に保つため、原水タンクと

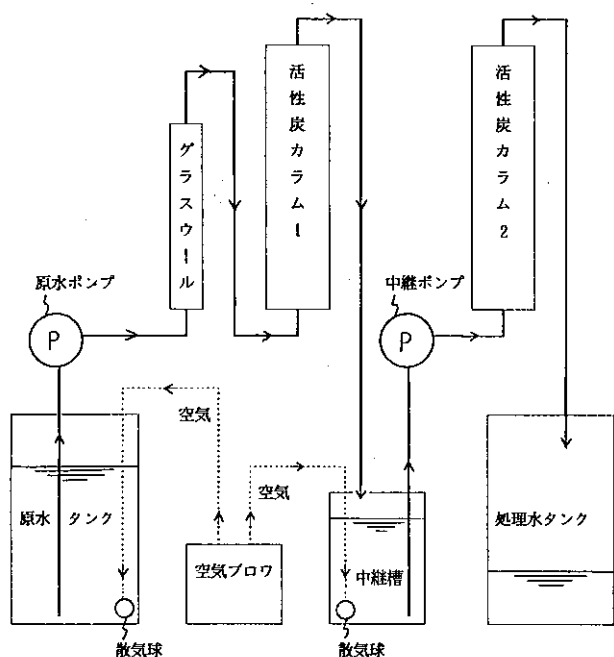


図3 好気性生物活性炭処理の実験装置
(20℃の恒温室に設置)

中継槽に空気ブロウで空気を送って、原水および中間処理水の溶存酸素を飽和状態にした。原水の送水量は2ml/分で、1本目、2本目の活性炭カラムを合わせたみかけの活性炭接触時間は約36分である。

(2) 試料水

多摩川流域の都K処理場の放流水を採取し、ガラスフィルター-GFC（孔径1.2 μm）でろ過して低温保存したものを試料水とした。

(3) 分析方法

原水と処理水について次の項目を分析した。TOC、E₂₅₄（254nm紫外外部吸光度）、Cl⁻、SO₄²⁻、NO_x-N、NH₄-N、PO₄-P。TOCはTOC分析計、Cl⁻とSO₄²⁻はイオンクロマトグラフィ、NO_x-NとNH₄-N、PO₄-Pはオートアナライザーによって分析した。E₂₅₄は1cmセルで測定した。また、オゾン処理水についてはJIS K01021によりC-BODの分析も行った。

(4) 分子量分画

膜分離処理と好気性生物活性炭処理については原水と処理水の有機物質の構成を知るため、分子量分画を行った。濃縮後のTOCが100~200mg/ℓとなるように各試料を40℃で減圧濃縮した後、その濃縮試料50μℓを高速液体クロマトグラフィに注入した。高速液体クロマトグラフィは、分画カラムにGPCカラムGS220とGS320の2段直列、溶離液に0.01Nりん酸緩衝液、検出器にフォトダイオードアレイを用いた。

3 結果と考察

(1) 膜分離処理

ア 処理性能

(ア) TOC

膜分離処理には、図4のとおり、精密ろ過法、限外ろ過法、ナノろ過法、逆浸透法の4段階がある。最近、住宅団地の汚水処理施設等において沈殿池の代わりに使われ始めている膜分離処理は、孔径1 μm程度の精密ろ過法である。精密ろ過法は浮遊物質を除去するためのもので、汚水処理施設の導入例では活性汚泥の流出を精密ろ過膜で遮断することにより、高濃度の活性汚泥処理を可能とし、施設をコンパクトにしている。また、逆浸透法は海水淡水化や超純水製造などの塩類除去のために使用するもので、数十kg/cm²の高圧ポンプが必要である。したがって、下水処理場の溶解性有機物質の除去技術とし

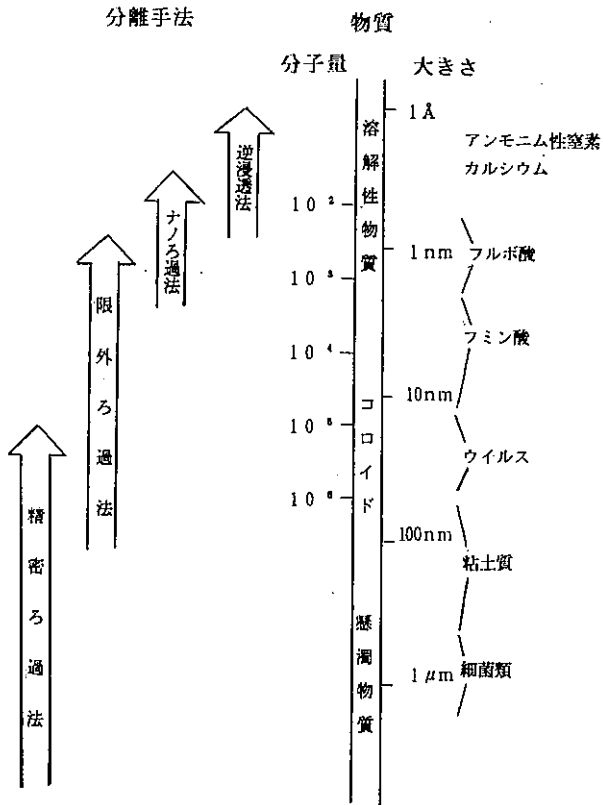


図4 膜分離処理の概念図

て精密ろ過法や逆浸透法は適切ではなく、実用的な可能性はあるのは、限外ろ過法とナノろ過法である。限外ろ過法は高分子の溶解性物質の除去に使用するものであり、一方、ナノろ過法は4～5 kg/cm²の圧力で溶解性物質一般を除去するもので、低圧逆浸透法とも言われている。そこで、本研究では、限外ろ過法とナノろ過法を取り上げて、下水処理水中の溶解性有機物質の除去実験を行った。この除去実験によるTOC除去率の推移を図5に示す。

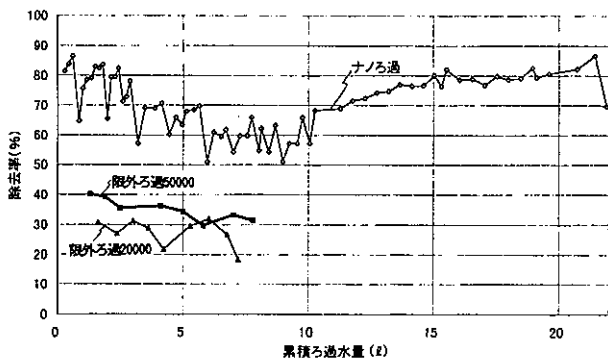


図5 膜分離処理のTOC除去率

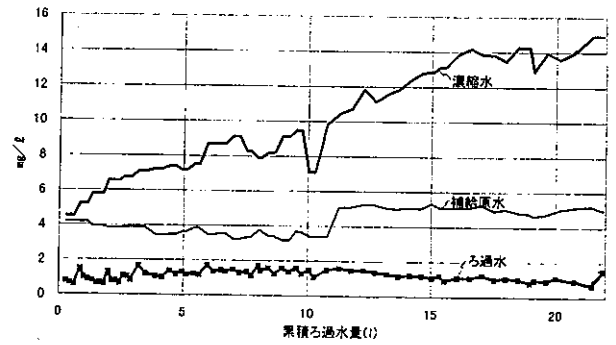


図6 ナノろ過法の濃縮水、補給原水、ろ過水のTOC

限外ろ過法は2種類の膜を採用した。公称分画分子量500000の膜は30～40%、20000の膜は20～30%の除去率で、いずれも50%以上の除去率は得られなかった。一方、ナノろ過法は一時的に60%前後まで除去率が低下した時期もあったが、概ね70～80%の除去率が得られた。

図6はナノろ過法の実験における濃縮水と補給原水、ろ過水のTOCの推移である。濃縮水のTOCが次第に上昇して、最終段階では15mg/l近くになっているにもかかわらず、ろ過水のTOCは1mg/l前後で推移した。濃縮水のTOCが上昇しても、ろ過水のTOCはほとんど上昇しない傾向は限外ろ過法でも同じで、補給原水に含まれる一定の大きさ以下の有機物質のみが膜を通過する傾向がみられた。

(イ) その他の水質項目

ナノろ過法によるE₂₅₄、Cl⁻、NO_x-Nの除去率の推移を図7に示す。E₂₅₄は不飽和結合を有する有機物質の指標である。ナノろ過法はE₂₅₄の除去率が90%以上で、TOCで表される有機物質全体より高い除去率が得られ

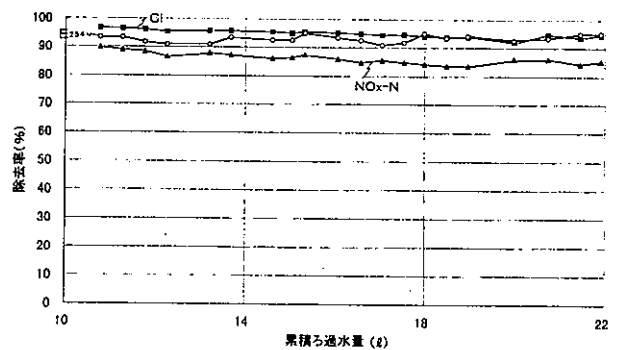


図7 ナノろ過法のCl⁻、E₂₅₄、NO_x-Nの除去率

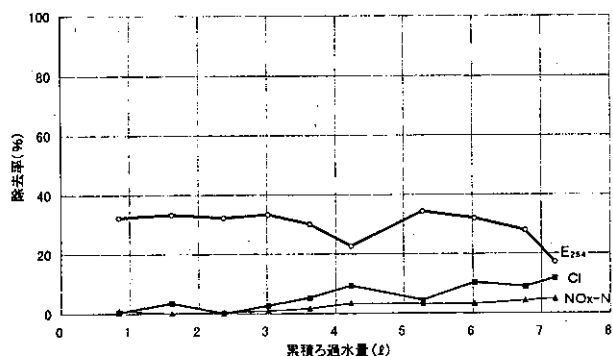


図8 限外ろ過法 (20000) のCl⁻、E₂₅₄、NO_x-Nの除去率

た。また、Cl⁻は95%前後、NO_x-Nは80~90%で、いずれも高い除去率であった。また、NH₄-N、PO₄-Pの除去率も90%以上、SO₄⁻はほぼ100%であった。このように、ナノろ過法は、溶解性有機物質だけでなく、栄養塩類や中性塩類も高率で除去する性能を有している。

一方、限外ろ過法によるE₂₅₄、Cl⁻、NO_x-Nの除去率の推移は図8のとおりで、E₂₅₄はTOCと同じ30%程度の除去率であって、Cl⁻、NO_x-Nはほとんど除去されなかった。

イ 分子量分布

ナノろ過法および限外ろ過法の原水・ろ過水の有機物質分子量分布を高速液体クロマトグラフィのGPCカラムで調べた結果を図9、10に示す。両図とも、E₂₅₄は濃縮前の状態に換算した値を示した。両図において保持時間が短いものが原則として大きな分子量であることを示している。ナノろ過法では保持時間25分以下の有機物質はほとんど除去され、その他の有機物質も一部の保持時

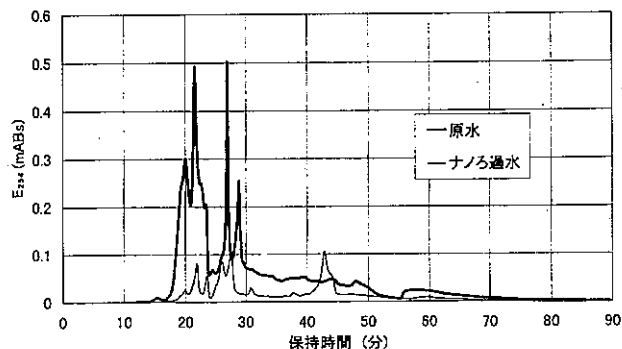


図9 ナノろ過法の原水・処理水の分子量分画

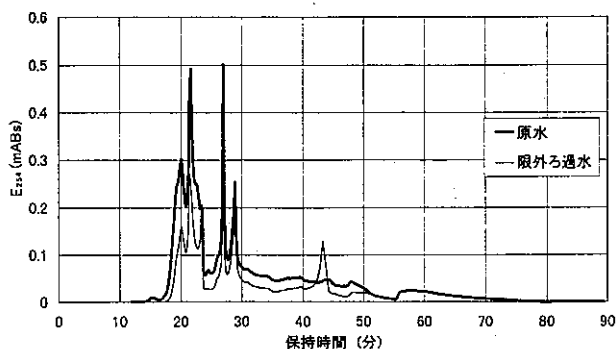


図10 限外ろ過法 (50000) の分子量分画

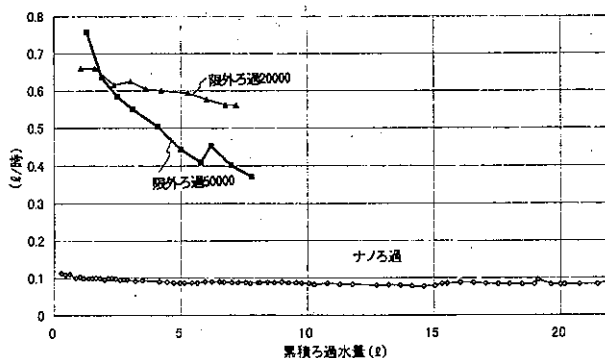


図11 ナノろ過法、限外ろ過法の単位時間ろ過水量

間のものを除き、60~70%除去されている。一方、限外ろ過法では、どの保持時間の有機物質も数十%除去されており、保持時間の短い有機物質を優先的に除去する傾向はみられなかった。

ウ ろ過水量と圧力

ナノろ過法と限外ろ過法における単位時間ろ過水量の推移を図11に示す。限外ろ過膜ではろ過水量が次第に低下する傾向がみられ、最終のろ過水量は0.4~0.5ℓ/時(透過流速1.6~2.0m/日)であった。一方、ナノろ過膜のろ過水量は0.1ℓ/時(透過流速0.4m/日)程度であり、限外ろ過膜に比べると、1/4~1/5であった。

限外ろ過法は約2kg/cm²、ナノろ過法は約4.5kg/cm²で運転した。ナノろ過法の圧力をもっと下げることが可能かどうかを知るため、圧力を変えて運転した結果を図12に示す。圧力を下げると、ろ過水のTOCが上昇する傾向がみられた。これは、圧力の低下とともに、ろ過水量が減少するけれども、膜を通過するTOC量があまり

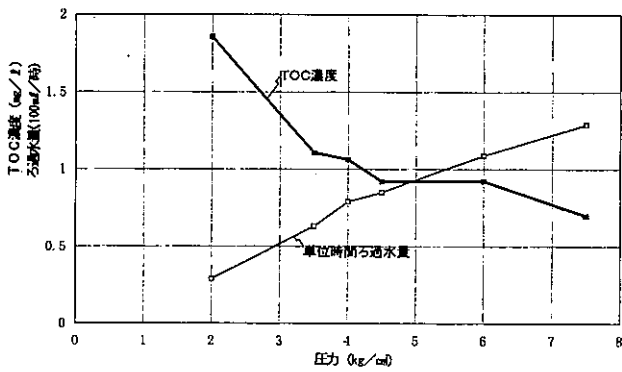


図12 ナノろ過法の圧力とろ過水TOCとの関係

変わらないため、TOCの濃度が上昇することを意味している。したがって、ナノろ過法では4～5 kg/cm²の圧力は必要である。

エ 評価

以上の実験結果から、下水処理場の高度処理技術として膜分離処理を評価すると、次のとおりである。

- ① TOCを70%以上除去するためには、ナノろ過法が必要であって、限外ろ過法では20～30%程度しか除去できない。
 - ② ナノろ過法は有機物質だけではなく、Cl⁻、SO₄²⁻、NO_x-N、NH₄-N、PO₄-Pもそのほとんどを除去できる利点がある。
 - ③ しかし、ナノろ過法は単位時間あたりろ過水量が小さく、限外ろ過法の約1/5であり、また、4～5 kg/cm²の圧力が必要なため、ポンプの電力消費量が大きくなる欠点がある。
 - ④ 更に、ろ過水と同時に発生する濃縮水をどう処理するかの問題が残される。これは、限外ろ過法、ナノろ過法、逆浸透法の共通の問題点である。今回の実験でナノろ過法において濃縮水のTOCが原水の3倍程度になっても、ろ過水のTOCには影響がなかったことから推察すれば、濃縮度をかなり上げて濃縮水の水量を小さくできると考えられる。TOCの収支をとると、濃縮度を7.3倍に上げた場合に、濃縮水量は原水量の10%になるが、それでも、10%の濃縮水の処理が必要となる。
 - ⑤ ③と④の問題点を考えると、ナノろ過法は、下水処理水の残存物質の除去技術として、有効な方法ではあるが、実用性において検討すべき課題が多く残されている。
- (2) オゾン酸化+生物処理

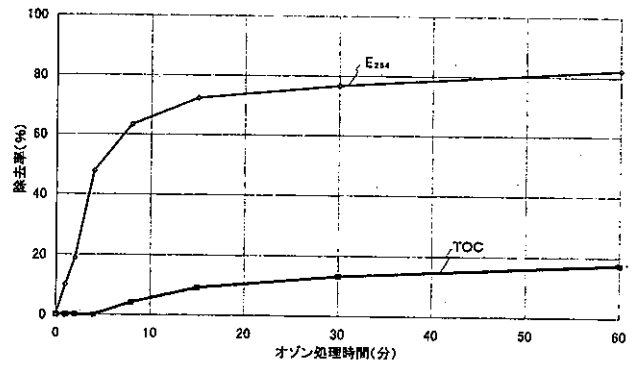


図13 オゾン酸化法のE₂₅₄、TOCの除去率

ア オゾン酸化の有機物質処理特性

既報³⁾で示したように、オゾン酸化は有機物質そのものの除去能は低いが、有機物質の性状を変える力を有している。図13は、下水処理水のオゾン酸化を行った結果である。オゾン酸化の時間を60分まで延長しても、TOCの除去率は20%に満たない。しかし、E₂₅₄の除去率は15分の処理で70%に達している。E₂₅₄は前述のとおり、不飽和結合を有する有機物質の指標であるので、同図は、オゾン酸化によって不飽和結合が飽和または開裂して不飽和結合のない有機物質がつくられることを示している。そして、生物難分解性有機物質の多くは不飽和結合を持っているから、このことは、オゾン酸化によって生物難分解性有機物質が生物易分解性有機物質が変わる可能性が高いことを意味している。

このことを確認するため、オゾン酸化による下水処理水のC-BODの変化を調べた結果を図14に示す。C-BODは生物分解性有機物質の指標である。下水処理水のC-

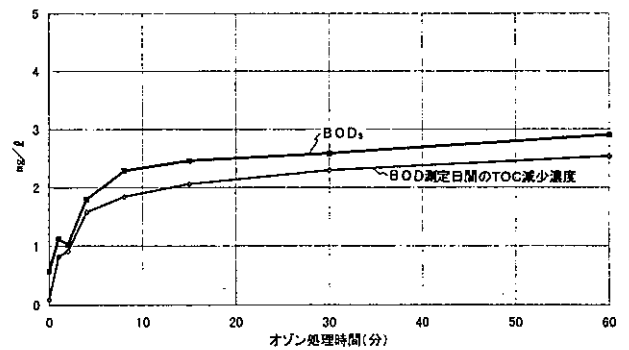


図14 オゾン処理水のBODおよびBOD 5日間のTOC減少濃度

BODが0.5mg/ℓであるのに対して、オゾン酸化の時間を長くすると、C-BODは次第に上昇し、60分のオゾン酸化でC-BODは3mg/ℓ近くになっている。同図にはBOD測定5日間におけるTOC減少量も示した。5日間のTOC減少量はC-BODにほぼ比例し、60分のオゾン酸化で2.5mg/ℓになっている。原水のTOCは5.6mg/ℓであるから、TOCの削減率は50%近くになる。したがって、BOD₅に相当する生物分解が進めば、TOCを約半分に削減することができる。

イ オゾン酸化水の活性汚泥処理実験

このようにオゾン酸化によって生物分解性有機物質が増加する現象がみられた。そこで、この現象を活用する方法として、活性汚泥処理水をオゾン酸化した後に活性汚泥槽に返送して生物学的処理を再度行う方式を想定し、その室内実験を行った。

オゾン酸化水に住宅団地污水处理場の活性汚泥濃縮液を加えて、4時間ばっ気し、そのろ過水のTOCを測定した。その結果と上記アの測定結果を合わせて図15に示

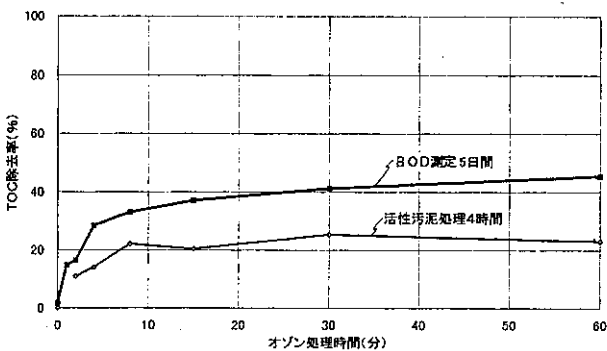


図15 オゾン酸化+活性汚泥処理のTOC除去率

す。活性汚泥処理のTOC除去率はオゾン酸化8分で20%強、酸化時間を長くしても除去率はほとんど上昇せず、60分では23%であった。本実験のMLLSSは2700mg/ℓで、一般の下水処理場の1.5~2倍の活性汚泥濃度であり、返送汚泥も含めたばっ気時間4時間は下水処理場の平均的な値である。この条件でのTOC削減率は20%強にとどまった。

BOD5日間に相当する生物分解が進行することを期待したが、同図のとおり、活性汚泥処理のTOC除去率はBOD 5日間のその約1/2であった。これは、オゾン酸化によって生物難分解性有機物質の性状が変わるが、そ

のうち、易分解性有機物質まで変化するのは半分程度で、残りは分解にかなりの時間を要する遅分解性有機物質にとどまるからと推測される。

なお、本実験のオゾン酸化における試料水のオゾン吸収効率を測定したところ、40~50%であった。反応槽の水深は23cmである。文献⁴⁾に示されている水深とオゾン吸収効率の関係図を使うと、水深23cmの吸収効率は12%になるが、実際の吸収効率はそれよりかなり高い値であった。この吸収効率から試料水1ℓあたりのオゾン注入量を求めると、オゾン酸化8分の場合で40~50mgである。これは、水道浄水場の高度処理に使用されているオゾン酸化のオゾン注入量より1桁以上高い値である。

ウ 評価

以上のとおり、オゾン酸化によって下水処理水中の生物難分解性有機物質を生物易分解性有機物質に変え、その後、活性汚泥槽に返送して再度、生物処理を行う方式を考案し、その実験を行ったが、この方法によるTOC削減率は20%程度で、予想外に低い値であった。

今回の実験データではオゾン酸化+生物処理は下水処理場の高度処理技術として有効な方法ではないと判断される。

(3) 好気性生物活性炭処理

ア 処理性能

(ア) TOC

既報³⁾で生物活性炭処理を用いた下水処理水の高度処理室内実験の結果を報告した。この実験はみかけの接触時間9分の活性炭カラム2本(合計18分)を通過させたものである。生物活性炭処理は水道浄水場ではいくつかの実績がつくられつつある。下水処理水は、水道浄水場の原水である河川水と比べて有機物質の濃度が高いため、水道浄水場の生物活性炭がほぼ好気状態で運転されるのとは異なり、下水処理水の高度処理に生物活性炭を用いると、活性炭内が嫌気状態になる。ただし、下水処理水には硝酸が一定程度含まれていることが多いので、絶対嫌気性ではなく、硝酸中の酸素が使われる通性嫌気性になると予想される。

好気性細菌の多くは通性嫌気性でも活動するが、好気性の方がエネルギー効率が高いので、通性嫌気性より有機物質を効率的に分解する可能性が高い。そこで、活性炭カラムの通過前にばっ気して十分な酸素を与えて、活性炭カラム内を好気状態に維持する好気性生物活性炭処

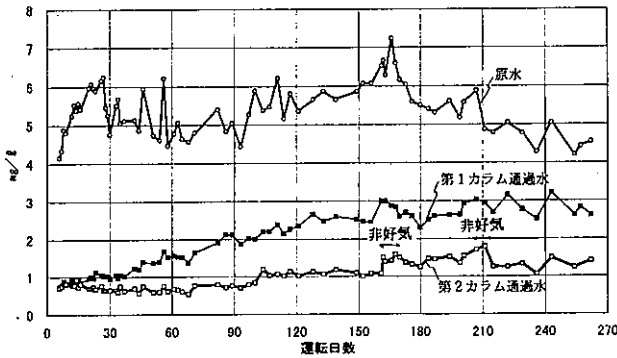


図16 好気性生物活性炭処理の原水・処理水のTOC

理方式を考え、その室内実験を行った。

原水、第1カラム通過水、第2カラム通過水のTOCの経時変化を図16に示す。原水のTOCが概ね5~6mg/lの範囲にあるのに対して、第1カラム通過水のTOCは1mg/l弱から始まり、次第に増加していくが、その増加速度は緩慢で、運転日数200日で3mg/l近くになった。第2カラム通過水のTOCは100日までは1mg/l以下の値を維持し、その後、1mg/lの値になったが、260日経過しても、概ね1.2~1.4mg/lの値を維持した。なお、160~170日と205~215日において第2カラム通過水のTOCが0.5mg/l程度上昇しているが、これは原水タンク、中継槽のばっ気を中断して非好気性にした期間である。

この経時変化を除去率で示したのが図17である。第2カラム通過水のTOC除去率は70~90%で、260日経過後も70%以上の値が維持されている。同じ活性炭を粉末にして、回分式の吸着実験を行ったデータ³⁾から本実験

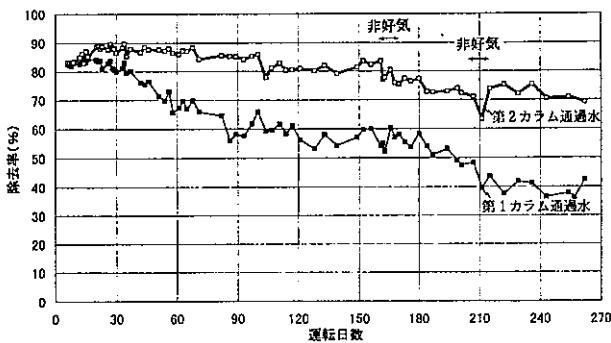


図17 好気性生物活性炭処理のTOC除去率

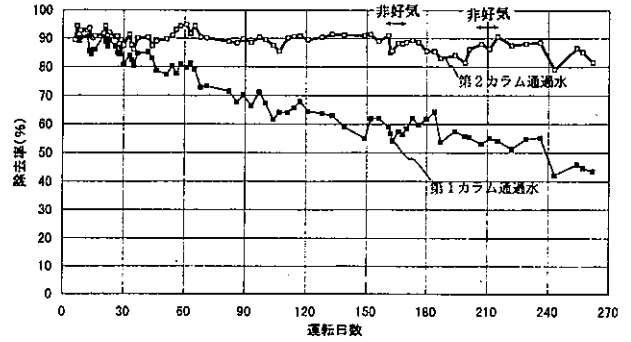


図18 好気性生物活性炭処理のE₂₅₄除去率

のカラム2本のTOC飽和吸着量を求めると、3300mgである。活性炭の有効機能率を50%として、この値から、第2カラム通過水が飽和点に達する日数を計算すると、105日となる。それと比べると、好気性生物活性炭処理は非常に長い有機物除去能を維持している。これは、活性炭の細孔に吸着された有機物質が微生物によって分解され、細孔が再び吸着能を有するようになるからと考えられる。

(イ) その他の水質項目

図18はE₂₅₄除去率の経時変化を示したものである。260日経過後の第2カラム通過水のE₂₅₄除去率は80%以上の値であり、TOCよりも約10%除去率が高い。このようにE₂₅₄が示す、不飽和結合を持つ有機物質の方が活性炭に吸着されやすい傾向がある。

その他の水質項目についてはPO₄-P、Cl⁻、SO₄²⁻の除去率がほぼゼロであったが、これは、活性炭の除去特性からみて当然の結果である。また、NH₄-Nは原水の濃度が非常に低かったので、好気性生物活性炭の硝化能を評価することができなかった。また、その結果として、原水と処理水のNO_x-Nはほぼ同じ値であった。

イ 好気性の効果

図19は、非好気性の状態で生物活性炭処理実験を行った結果(既報³⁾)と今回の好気性生物活性炭処理実験の結果を比較したものである。非好気性の場合、通過水量が活性炭充填容量の9000倍になると、TOC残存率が50%に達しているのに対して、好気性の場合には30%以下にとどまっている。TOCの除去率70%、すなわち、残存率30%を処理の目標とすれば、非好気性では通過水量4000~5000倍で残存率が30%を超えているから、好気性

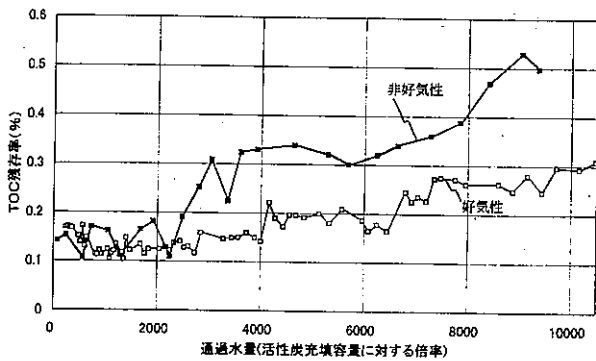


図19 好気性と非好気性の生物活性炭処理の比較

にすることにより、2倍近い水量を処理できることになる。

非好気性の方が有機物質の分解効率が低下することは、今回の実験において前述のように、原水タンクと中継槽のばっ気を中断すると、第2カラム通過水のTOCが0.5 mg/l程度上昇することも裏付けられる。

なお、今回の実験における溶存酸素濃度の測定例を示すと、原水8.3mg/l、第1カラム通過水1.9mg/l、中継槽8.5mg/l、第2カラム通過水3.6mg/lであり、第1カラム通過水のDOは低く、DOが十分にある好気状態ではない。したがって、カラム内の好気状態を維持するためには、今回の実験条件である各カラムのみかけ接触時間18分がぎりぎりの値であり、これより接触時間を長くすると、カラム内の一部が嫌気状態になる可能性がある。

ウ 分子量分布

好気性生物活性炭処理の原水および第2カラム通過水の有機物質分子量分布を高速液体クロマトグラフィのGPCカラムで調べた結果を図20に示す。同図をみると、分子量が大きいと考えられる、保持時間二十数分までの有機物質の方が、それ以降の有機物質よりも除去率が高い。一般に活性炭は分子量が小さい有機物質の方をよく吸着するが、同図はそれとは違う結果を示している。

エ 評価

以上の実験結果から、下水処理場の高度処理技術として好気性生物活性炭処理を評価すると、次のとおりである。

① 好気性生物活性炭処理はみかけの接触時間18分の2段処理で(合計36分)、70%以上のTOC除去率を約9

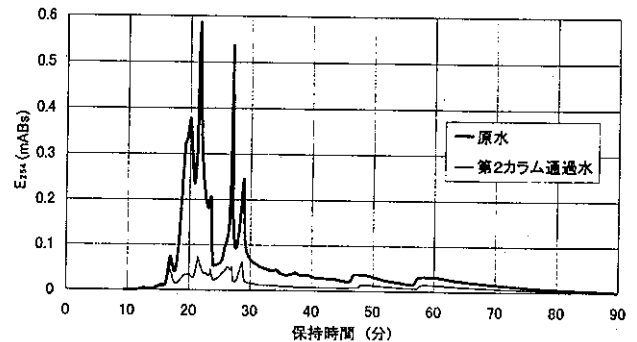


図20 好気性生物活性炭処理の原水・処理水の分子量分画

カ月間維持することができたので、有望な高度処理技術であると判断される。

② 非好気性の生物活性炭処理と比べると、好気性処理は、TOC除去率が30%を超えるまでの処理水量を2倍近くに増やすことができるので、活性炭層を通す前に十分にばっ気して生物活性炭を好気状態に保つことが重要である。

③ 好気性生物活性炭処理では、活性炭の細孔に吸着された有機物質を微生物が効率的に分解するので、吸着能を長期間持続できるが、それでも、細孔が次第に埋まっていく。そのため、上記の接触時間であれば、1年弱で活性炭の取り替えが必要となる。この場合、使用済みの活性炭を通常の粒状活性炭と同じ方法で再生できるかどうかは不明であり、今後、再生の方法とその可能性についての検討が必要である。

④ また、今回の実験では、水温20℃の条件で室内実験を行ったが、実際の下水処理場では処理水温が概ね16~28℃の間を変動する。好気性生物活性炭の処理性能が水温変動の影響をどの程度受けるかについては、現場の実験施設で確認する必要がある。

4 おわりに

下水処理水中の残存有機物質を除去する高度処理技術として、膜分離処理、オゾン処理+生物処理、好気性生物活性炭処理の三方法について室内実験を行った。その結果は次のとおりである。

① 膜分離処理で下水処理水中のTOCを70%以上除去するためには、ナノろ過法が必要であり、限外ろ過法では20~30%程度しか除去できない。

- ② しかし、ナノろ過法は膜面積あたりろ過水量が小さく、また、4～5 kg/cm²の圧力が必要なため、ポンプの電力消費量が大きくなる欠点がある。更に、ナノろ過法、限外ろ過法とも、ろ過水と同時に発生する濃縮水をどう処理するかの問題が残される。
- ③ オゾン酸化によって下水処理水中の生物難分解性有機物質を生物易分解性有機物質に変え、その後、活性汚泥槽に返送して再度、生物学的処理を行う方式を考え、その実験を行ったが、この方法によるTOC削減率は20%程度で、予想外に低い値であった。
- ④ 活性炭層を通す前に十分にばっ気して生物活性炭を好気状態に保つ好気性生物活性炭処理の実験を行ったところ、みかけの接触時間18分の2段処理で（合計36分）、70%以上のTOC除去率を約9カ月間維持することができた。
- ⑤ 非好気性の生物活性炭処理と比べると、好気性処理は、TOC除去率が30%を超えるまでの処理水量が約2倍近くになった。これは、非好気状態よりも好気状態の方が、活性炭の細孔に吸着された有機物質が微生物によって効率的に分解されることを意味している。
- ⑥ この方法は、1年弱で活性炭の取り替えが必要となるが、その場合、使用済みの活性炭を通常の粒状活性炭と同じ方法で再生できるかどうかは不明であり、今後の検討が必要である。

以上のとおり、三方法について室内実験を行った結果、下水処理水の難分解性有機物質を除去するための高度処理技術として有望であるのは、好気性生物活性炭処理であり、今後は現場実験でこの方法を追試していくことが必要である。また、現在、大きな社会問題になっている環境ホルモン物質（外因性内分泌攪乱化学物質）の多くは脂溶性で、活性炭に吸着されやすい性状を有しているから、下水処理水に含まれる環境ホルモン物質を除去する手段としても、好気性生物活性炭処理が有効に機能する可能性がある。この点で、難分解性有機物質のみならず、環境ホルモン物質も含めて、好気性生物活性炭処理による除去実験を今後、現場で進めていくことが必要と考えられる。

引用文献

- 1) 坪郷久子ら：多摩川中流部の再生に関する研究（その2）。東京都環境科学研究所年報，1998，p

- 2) 嶋津暉ら：多摩川における有機汚濁物質の起源と削減に関する研究（その1），東京都環境科学研究所年報，1994，p.161～172.
- 3) 井上祐子ら：多摩川における有機汚濁物質の起源と削減に関する研究（その3），東京都環境科学研究所年報，1995，p.242～252.
- 4) 宗宮 功編著：オゾン利用水処理技術，公害対策技術同友会，p.145(1989).