

厚生労働科学研究研究費補助金
健康科学総合研究事業

健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性

－その戦略的構築と支援技術開発

平成14年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 山本 和夫
東京大学環境安全研究センター教授/センター長

平成15（2003）年 4月

目 次

I. 総括研究報告

- 健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性
ーその戦略的構築と支援技術開発ー----- 1
山本和夫

II. 分担研究報告

1. 病原微生物の管理技術の開発に関する研究----- 11
大瀧雅寛
2. 凝集沈殿を前処理とした膜分離活性汚泥法による
都市下水処理の高度化に関する研究----- 12
岡部 聡
3. メンブレン関連技術----- 17
浦瀬太郎
4. 物理化学的作用を利用した高度水処理技術の開発----- 25
亀屋隆志
5. コミュニティレベル水システム構築のための
高度バイオアッセイの開発----- 42
高梨啓和
6. 小型分散型膜分離リアクターの運転制御に関する基礎的研究----- 55
長岡 裕
7. 浄水プロセスにおけるオゾン/塩素処理の安全評価に関する研究----- 58
伊藤禎彦
8. 生物学的高度水処理技術の開発----- 61
遠藤銀朗
9. 膜法を用いる水管理システムの構築に関する研究----- 63
尾崎博明
10. 粒状活性炭膨張床式反応器によるテトラクロロエチレンの
分解に関する研究----- 65
津野 洋
11. 凝集・MF膜分離によるウイルス除去に関する研究----- 71
松井佳彦
12. 既存の急速ろ過方式浄水場における砂ろ過池洗浄廃水の
膜ろ過処理----- 74
湯浅 晶

| | |
|---|----|
| 1 3. メンブレンバイオリアクターによる 環境ホルモンの除去に関する研究----- | 77 |
| 渡辺 義公 | |
| 1 4. 有害無機物資の選択的除去機構に関する研究----- | 78 |
| 福士 謙介 | |
| III. 研究成果の刊行に関する一覧表----- | 81 |
| IV. 研究成果の刊行物・別刷 (別添) | |

健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性－その戦略的構築と支援
技術開発

主任研究者 山本和夫 東京大学環境安全研究センター教授/センター長

研究要旨

水は有限な地球の財産であり、すべての人間の、また地球上すべての生物の共有財である。それが、現在、危機にさらされている。1995年の世界銀行による「水危機に直面する地球」により明らかにされてから、その認識は一般的になっている。直近では、南アフリカにおける「環境と開発」サミットにおいて、またこの春開催される世界水フォーラムにおいても、「持続可能な開発」における水の重要性が特に注目を集めている。

水の大循環研究などに代表される世界環境の立場からの水環境の研究は、近年大学や研究所などで国際的な活動として精力的に行われてきた。しかし、厚生労働省が掲げている「健康で豊かな水環境」というのはそのようなグローバルな意味での水の健全な環境とは異なるコミュニティレベルでの水環境のことであり、それは安全で快適かつ豊かな親水空間、飲料水、雑用水などの提供のことを指す。その場合、その安全さや快適さの方向や程度を定義するのは国などの大きな単位ではなく、まさにその地域に居住しているコミュニティに属する市民であるべきである。しかし、コミュニティが主体となり、身近な水環境の管理を行うためには現在の浄水技術や管理手法では様々な技術的・管理学的な問題があり、まさにその方面の研究が必要とされている。

以上の考えから、平成14年度に採択された本研究は初年度の目標として新しい水システムの提案を行う事を設定した。その結果、本研究においては「コミュニティレベルの自律的水管理」を将来有望な水システムとして提案している。本年度はこの理念の構築とこのシステムを具現化させるための技術群の基礎的な研究を遂行した。

A コミュニティレベルの自律的水管理の
創成

本項では主任研究者と分担研究者が会合を重ね、論議した将来の理想的な水システム像をまとめた物を述べる。

1. はじめに

水は生命の源であり、その重要性は洋の東西を問わず古くから認識されている。水は飲用として用いるだけでなく、洗濯、洗浄、炊事、そして農業や水産業などの私

たちの生活にはなくてはならない存在である。このように生活に密接している水である故に、生活や産業活動から排出される汚染物質を運ぶ媒体となり、汚染源から離れた地域の環境悪化を引き起こす場合がある。コミュニティから排出される汚染物質は広範囲に拡散される以前に適切に処理されるべきである。

地域市民が水環境管理や水道水質を主体的に管理することは今まで例が少なかったが、汚染物質を広範囲に広げないという観

点から、また、地域の人々が求める水環境や水道水水質などを地域の人々が主体的に管理する方法が持続的に水管理を行い、かつ地域の人々が求める要求を同時に満たす方法であると考えます。

以上の点に鑑み、ここでは新しい水システムとして「コミュニティレベルの自律的水システム」を提唱したい。

このようなコミュニティレベルの自律的水システムは、住居規模（小コミュニティ）から一つの流域規模（大コミュニティ）まで様々な規模で実現可能である。例えば住居規模では、し尿を戸別単位のコンポスト型トイレを用いて処理することなどが考えられる。これによりし尿中の炭素分の分解処理だけでなく、個別単位でリン・窒素源の回収が可能となる。従ってこれを土壤へ肥料として還元すれば、栄養素の循環サイクルを都市の水循環とは独立に形成することが可能となるのである。また市町村区規模で考えてみると、例えば膜等を利用した簡易運転型の水処理施設、浄化槽や地下水涵養を利用した排水処理を組み合わせることにより、より小規模な都市水循環システムを構築することが考えられる。また同時に嫌気性処理からの高エネルギーガス回収や効率的な廃熱回収システムを組み合わせることによりエネルギー的にも独立した循環システムを構築することが可能であろう。

ただしこれら実現のためには統一的な方法論が適用されるはずはなく、自ずと地域特性に即したものでなければならない。そのためにも利用する住民が管理・運営までも関わり合うような自律型システムを考えていかねばならない。この様な発想は現に発展途上国援助においても見いだすことができる。例えば砒素汚染地下水源に頼らざるをえない地域において、先進国の水処理技術の適用は、効率的な分散型技術の実現となるかもしれないが、それらの運用・管

理を地域住民に任せるといった自律型であるための配慮がなされていなければ、真に持続型の技術とはいえないのである。

2. 「コミュニティレベルの自律的」水システムの具体的提案例

上記に示したように、コミュニティレベルの自律的水システムには様々なレベルにおいて考え得るものである。以下にそれらを具体的に提案してみたいと思う。

2.1. 地下水を介した自律分散水システム

これまで、都市を虫食的に開発することは、都市計画上、避けるべきものであった。そのようなスプロール開発を行うと、鉄道、道路、ライフラインなどのインフラ整備の効率が悪くなると考えられてきた。しかし、インターネットなどによって、出勤しなくても勤務ができたり、教育を受けることが可能となれば、交通手段の整備は必須ではないし、そのインターネットも携帯電話の普及で明らかのように、「銅線」をはりめぐらす必要はない。電気やガスも燃料電池などの分散電源装置によって、効率良く消費地で生産供給することができる。そして、上水、下水も分散システムが可能となれば、管や電線で各戸をつなぐ必要はなくなる。このように、通信やエネルギーにおける技術の急速な発達、都市の形態を自律分散型に大きく変える可能性を秘めており、水システムについてもそれに対応した技術開発が求められている。

ここで提案する水システムは、図2のようなイメージである。この図では、各家庭で循環するイメージであるが、もう少し大きなスケールで循環する方が実際的であろう。水を完全なクローズではなく、地下水を介して循環することで限られた水資源量を大幅に増加させることを考える。ここで

提案する水処理では塩類は処理しないことから、おそらく、塩類が水資源量を決定することになる。一般的にわが国においては、下水に含まれる塩化物イオンの濃度は、50mg/L程度であって、この大半は、一回の水使用で付加されたものと考えられるから、淡水としての水使用の限界を塩化物

イオン濃度として1,000mg/Lとすれば、地下水の自然からの涵養量の20倍の揚水を行うことが持続的にできる。したがって、地方のみならず、東京のような高密度都市においても、ここで提案するようなシステムを用いることができる。

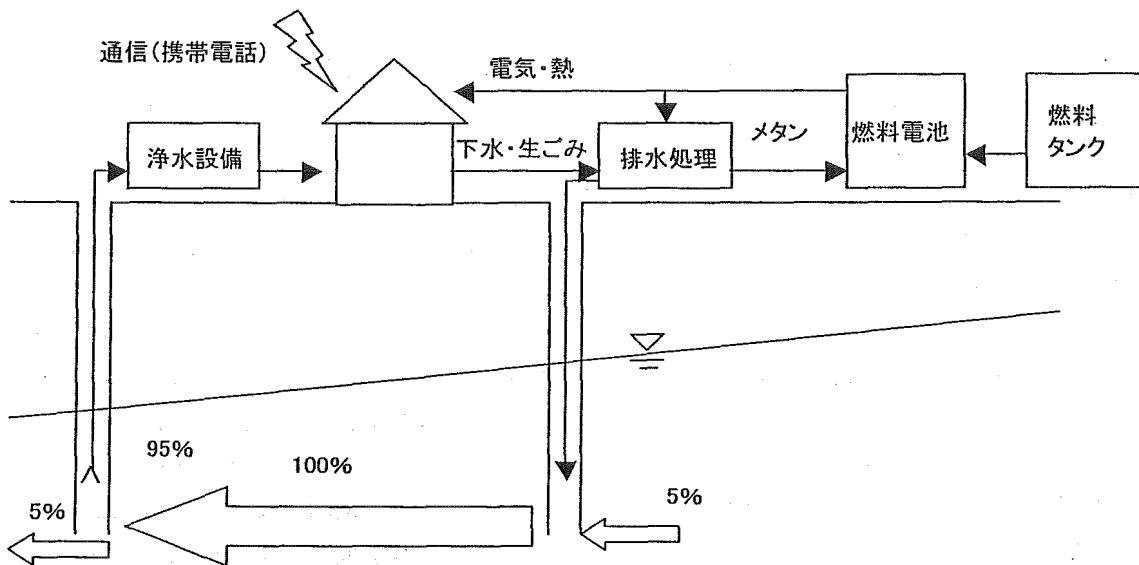


図2 提案する地下水を介した水循環システム。

またここで、提案する水循環システムは、浄水側としては、地下水にはSSが少ないという点を考慮して、消毒のみといった簡易なものを想定できるが、その場合には、飲み水はボトル水を用いることになる。一方、排水処理設備については、地下水の水質保全の観点からも新たな技術が要求される。脱塩はしないが、高分子成分をカットする考え方として、ナノろ過バイオリクターなども可能性がある。また、問題となる化学物質としては、疎水性のダイオキシンなどの物質よりも、地下で動きやすいものが問題となるであろう。たとえば、そのような性質を持っている硝酸性窒素はすでに現在でも地下水で問題となっているが、難分解性かつ水溶性という点では抗生物質などの尿とともに排泄される医薬品なども

処理のターゲットとなる。

今回のシステムでは、水のみではなく、エネルギーについても「管」なし「銅線」なしを提案する。もし、実現すれば、都市の構造を一気に変える画期的な技術となりうる。具体的には、通信は携帯電話、エネルギーは燃料電池による供給とする。燃料電池の燃料としては、排水処理設備から排出されるメタンを水素に改質して用いるものとする。

では、エネルギーバランス的にこうしたシステムは、成立するのだろうか。嫌気性消化や消化ガスによる発電は1軒あたりではとても規模が小さすぎると考えられるが、計算上、1軒あたりで考えて、ある家の排水量が1日1トンの平均的な水質の下水を排出すると仮定すると、通常の活性汚泥法

の汚泥の嫌気性消化で発生する消化ガス(60%メタン)は、1日50リットルほどである。しかし、贅沢な家で食べ残しが多く、生ごみが1日1kgほど出るとすれば、こちらは、濃い状態で直接嫌気性処理するとして、消化ガス発生量は、生ごみからの分と下水汚泥分を合わせて1日250リットルほどになる。250リットルの消化ガスを燃料電池で発電したとすると、消化ガス発電の実績からは450Whの電気を得られるが、さらに燃料電池による高効率化を考えると、1日700Whほどの発電量となると考えられる。すなわち、30Wの電球を1日中つけっぱなしにする程度の電気が得られるということになる。現行の下水処理に要しているエネルギーが処理水1トンあたり300Wh程度であるから、現行よりも多少高度な処理を行ったとしても、排水処理にかかるエネルギーをまかなって、おつりが来ることが予想される。水道やガス・電気のない山小屋のような特殊な状況を想定すれば、テレビも見なくて良いし冷蔵庫も要らないし風呂も入らないので、エネルギー的に自立できる可能性もある。

なお、一般家庭の標準的な電気需要を燃料電池でまかなおうとすれば、700W(1日あたり発電能力が1.8kWh)程度の燃料電池設備を設置し、さらにピーク平準化のために一部商用電源ネットワークと電気のやり取りをすることを想定する必要があるので、高度に電化された暮らしを下水や生ごみから得られるメタンだけで支えることは、10倍以上の需要と供給の不一致があり、完全に不可能である。この場合には、何らかの燃料が必要となる。また、燃料電池で同時に得られる熱は、嫌気性消化装置を加熱することに用いることになるが、700Wの燃料電池を設置した場合には、給湯などの家庭で必要となる熱需要をすべてまかなうことができる。

2.2 コミュニティ上下水システムの提案

2.2.1. 概説

都市におけるコミュニティレベルの自律的水システムとして、コミュニティ(町内会)上下水システムを考えた。その概念図は図3の通りである。基本単位を町内会規模と考え、町内会の責任において、上下水システムを計画、管理するという考え方であり、自主責任が基本となる。

2.2.2. コミュニティ水システムの意義

本システムの意義は、以下のように要約される。

①自主責任において水システムを計画、管理することにより、住民の間に水源の水量および水質に対する関心をいやおうなしに高められることが期待される。より具体的には、水環境保全の意識の高まりによる水環境負荷の少ないライフスタイルの嗜好、地下水涵養の必要性から自主的な雨水浸透マス設置などが期待される。

②各コミュニティのニーズに応じた水の供給が可能になる。高度に処理した高質水の供給が求められるのであれば、それに応じた浄水システムを導入することが可能になる。逆にそれほどの水質が求められないのであれば、簡易な浄水システムの導入で足りることになる。

③排水処理システムを分散化することにより、近隣における水辺空間の確保が可能になる。

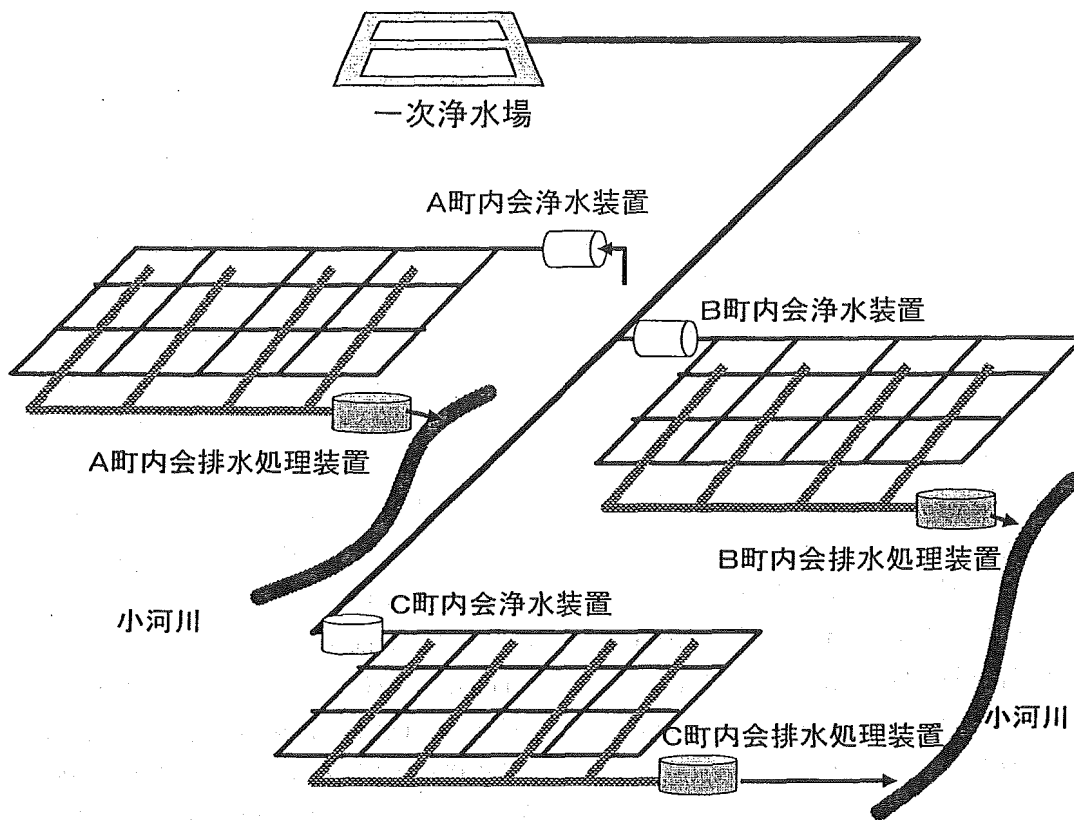


図3 コミュニティ上下水システムの概念図

2.2.3. コミュニティ上水システム

コミュニティ上水システムは、町内会規模の自主管理水供給システムであるが、大きく2つに分けられる。

- ① 完全独立型コミュニティ上水システム
- ② 一部独立型コミュニティ上水システム

①は、取水から配水までを完全に独立させた簡易水道的なものであり、特に水源の選定について、自主性が発揮される。図1においてはA町内会のシステムがこれに相当し、ここでは地下水の利用を想定している図となっている。②は、従来の集中型浄水場において、簡易な処理をした水を従来型の管路網に供給するが、例えばブロックの入り口などでこれをさらに高度に処理し供給するシステムである。赤水の発生など管路における水質の悪化の問題が指摘され

ている中、②は水道水の高品質化のために合理的なシステムである。

本システムの中核的な施設である町内会浄水装置は、例えば公園、児童遊園などに設置可能なコンパクト性、町内会の一般の方でも操作が可能である維持管理の容易性、目的水質に対する装置の選定の明確さなどが要求されることから、膜分離を用いた浄水装置が適している。

2.2.4. コミュニティ排水処理システム

コミュニティ排水処理システムはいわゆるコミプラとして下水道の代替施設として普してきた大型の浄化槽に相当するものである。ただし、密集した住宅地に設置し、町内会で自主管理をすることなどを考慮すると、コンパクト性、維持管理の容易性が求められ、さらに処理水の河川維持用水と

しての利用を考慮すると、良好な処理水質が要求される。これらの要件に合致する処理装置としては、浄水システムと同様に膜分離を利用した排水処理システムが適している。

2.2.5. 運転管理の支援システム必要性

これらのシステムは、町内会における自主管理が前提となっているが、住民が高度な専門知識を持ち合わせていないことを考慮すると、運転管理の支援システムが必要である。本論では、膜システムを中核的な処理技術であると想定しているが、日常の運転管理のマニュアルとともに、膜洗浄の対応、事故への対応などを支援するエキスパートシステムの開発が望まれる。具体的には、膜の洗浄時期の予報・アラームシステム、事故に対する自動対応システムなどが開発の目標となるであろう。

2.3. バングラデシュのヒ素汚染水コミュニティ浄化プロセスの運転管理

バングラデシュでは古くは表流水を飲料水として使用していた。当地では尿尿は河に流したり、穴を掘って埋めたりして処理をしていたため、表層水は病原微生物に汚染される可能性が高く、事実、多数の感染者を出しており、特に免疫力の弱い乳幼児の死亡率は極めて高かった。そこで、この対策として1960年代から UNICEF 等の機関の援助により、多くの井戸が掘られた。地下水は一般的に病原微生物を含む可能性が低く、処理しなくとも飲用に適する場合が多い。これにより水系感染症患者数は激減し、乳幼児死亡率も著しく低下した。1970年代末にガンジスデルタ地域の一部で地下水にヒ素が含まれていることが明らかになり、中毒患者も多数確認された。研究が進むにつれヒ素に汚染されている井戸

の数は増え、ある統計によるとバングラデシュ国内85%の井戸が汚染されており、国民の63%が中毒リスクにさらされているとされている。1995年現在では推定砒素中毒患者数は20万人以上とされている。

バングラデシュ並びにインドの西ベンガル地域においては、井戸水などに利用される表層地下水が存在する地層近辺にヒ素が自然に存在している。この地層のヒ素は通常、水酸化鉄コロイドなどに吸着され水に不溶であるが、地下水の過剰な利用による地下水位低下から酸素が供給され、様々な物理化学もしくは生物的な作用を経てヒ素ないしは亜ヒ酸の形態で地下水に溶解した物と考えられている。

前述のようにバングラデシュ国内の多くの井戸水はヒ素に汚染されており、表流水は病原微生物を含んでいる。リスクの低い安全な水を得るためには高度な水処理を行うか汚染のない深井戸からの取水を行う方法が考えられる。深井戸を掘ることはバングラデシュ政府や各国の援助機関が精力的に行っており一定の成果をあげている。しかし、深井戸の水源となっている深層地下水を大量に利用することはヒ素に汚染されている表層地下水の深層地下水への混入の危険性などがあり、今後の長期的な観察が望まれている。また、ヒ素に汚染された水の浄化方法の開発やボトルによる水の配給など人々に安全な水を供給する努力がバングラデシュ政府、各国の援助、NGO 等によって開発され現地で試験されているが、水の値段が高いことや水に代金を支払うという意識が希薄な事が普及への問題となっている。

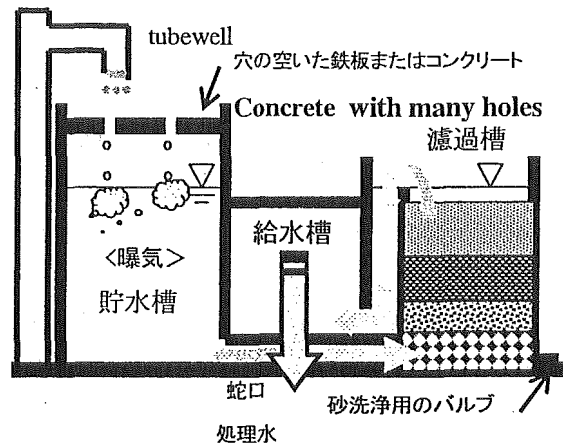


図4 AIRP の構造

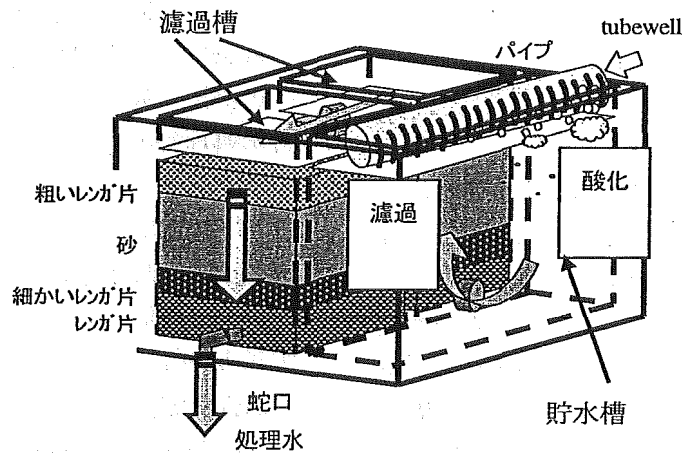


図5 IARP の構造

そこで、簡便な汚染水浄化の方法として AIRP と IARP 方が提案・運転されている。本法は原水にヒ素と共に含まれる鉄を酸化し、水酸化第二鉄の形として析出させ、それに水中のヒ素を吸着させた後に砂ろ過し、水中のヒ素を除去してやる方法である。この方法で使用される装置は構造が簡単で、材料も現地で入手可能であり、効率もある程度期待できることからコミュニティ単位の浄水施設として注目されている。図4と図5に AIRP と IARP の構造を示す。図4の AIRP を説明する。井戸からくみ上げられた

水は多くの穴があいたコンクリート板から滴下されることにより空気と混合され、この時点で水中の鉄が酸化され水酸化第二鉄の沈殿となる。左側のタンク内では水酸化鉄の沈殿にヒ素が吸着され、静かに図中右側のろ過槽に流れてゆく。ろ過槽には下から粗く砕いた煉瓦、細かく砕いた煉瓦、チャコール、荒砂が充填してあり、水酸化鉄とヒ素はこの部分で除かれる。一方 IARP (図5) はろ過槽として上向流と下向流の直列型のろ過槽をもうけてあり、より高度な除去効率が得られるように設計してある。

AIRP と IARP はともに一定の成果を挙げ
ており、特に IARP はほとんどの場合、バン
グラデシュの国内ヒ素基準である 0.05
mg/l を達成している。これらの処理設備は
現地で得られる材料で構築可能でありまた、
建設費も地域住民が負担できる程度のもの
となっており、住民が自律的に安全な水供
給に対する労力と資金を提供している。また
住民の満足度も高く、これらは事後アン
ケートによっても確認されている。このよ
うにバングラデシュでは政府レベルでの全
国的な安全な水供給が遅れているため、地
域住民が大学や NGO 等の技術援助によっ
て自律的に安全な水資源を得る努力をして
いる。

4. まとめ

上記のような水システムを実現するには、
それを支える要素技術が現時点においては
まだまだ不足しているといえる。従って、
まず必要とされるものはシステムの制度設
計よりもむしろ、システムを創成するた
めの技術開発であろう。またシステムが構築
されたとしても、そのシステムを長期間、
維持管理するための継続的なアセスメント
方法の開発についても同時に検討されてい
なければならない。それらを下支えする技
術の開発も必要となってくる。

従って、これら要素技術の成熟に伴って、
今回提案する新しい水システムの可能性が
見えてくるのである。また、個別的な要素
技術のさらなる発展とともに、個々の技術
を相互に連携させて総合的に検討するプロ
ジェクト型研究が必要とされるともいえる
であろう。

B. 浸漬ナノ濾過膜分離活性汚泥法の実下水処理への適用

本項においては主任研究者のグループが

行った膜技術関連の実験的研究成果を報告
する。

1. はじめに

精密濾過 (MF) 及び限外濾過 (UF) 膜を用
いた膜分離活性汚泥法は既に小規模排水処
理を中心に実用化されている。今日、様々
な化学物質による水環境の汚染が懸念され
ており、これに応じた規制対象物質も増大
している。このような懸念に対処するには、
高度排水処理による水環境の改善及びより
良い水資源の確保という観点から、既存の
MF・UF 膜より分離性能の優れたナノ濾過膜
を導入することについて検討する価値があ
る。特に、微量汚染物質、例えば、内分泌
攪乱物質、医療起源の抗生物質等の水環境
への排出・放流について、より安心できる
排水処理対策を担保する技術の提供が望ま
れる。現在、実用的な面においても、超低
圧下で運転できるナノ濾過膜モジュールが
続々開発されており、より廉価な処理水を
低コストで提供できることになった。

本研究を行うに先立ち、浸漬ナノ濾過膜分
離活性汚泥法を人工下水処理に適用した結
果、膜間圧力及び濾過水量は大きく変化せ
ず、約 2 ヶ月間安定的に運転された。その
際、濾過水の TOC は 2.5mg/L 前後だった。
この予備実験の結果を基にし、本研究では
実下水を処理対象として実験運転を行った。
また、より実用化に近づけるため、市販用
中空糸モジュールのナノ濾過膜を用い、膜
の分離性能及びバイオリアクターの水処理
効率と運転特性を調べ、新たな高度水処理
システムの開発可能性について検討を行っ
た。

表1. リアクター運転条件

| | |
|------------|-------------|
| リアクター有効容量 | 33 L |
| HRT | 24 hr |
| SRT | 20 日 |
| 初期 MLSS 濃度 | 2,400 mg/L |
| 吸引サイクル | 5 分吸引、5 分休止 |

表2. 槽内上澄み水及び濾過水の DOC 濃度

| 膜種類 | サンプル | 7 th day DOC (mg/L) | 10 th day DOC (mg/L) |
|----------------------------------|--------------|--------------------------------|---------------------------------|
| HA3110EI (3 酢酸 セルロー ス系) | 上澄み 水 | 11.44 | 12.56 |
| | CA1 膜 濾過水 | 1.32 | 1.78 |
| | CA2 膜 濾過水 | 1.35 | 1.36 |
| | CA3 膜 濾過水 | 1.59 | 1.89 |
| HS3110EI (ポリア ミド系) | 上澄み 水 | 11.86 | 14.22 |
| | PA1 膜 濾過水 | 0.86 | 0.98 |
| | PA2 膜 濾過水 | 0.99 | 0.98 |
| | PA3 膜 濾過水 | 0.68 | 0.75 |

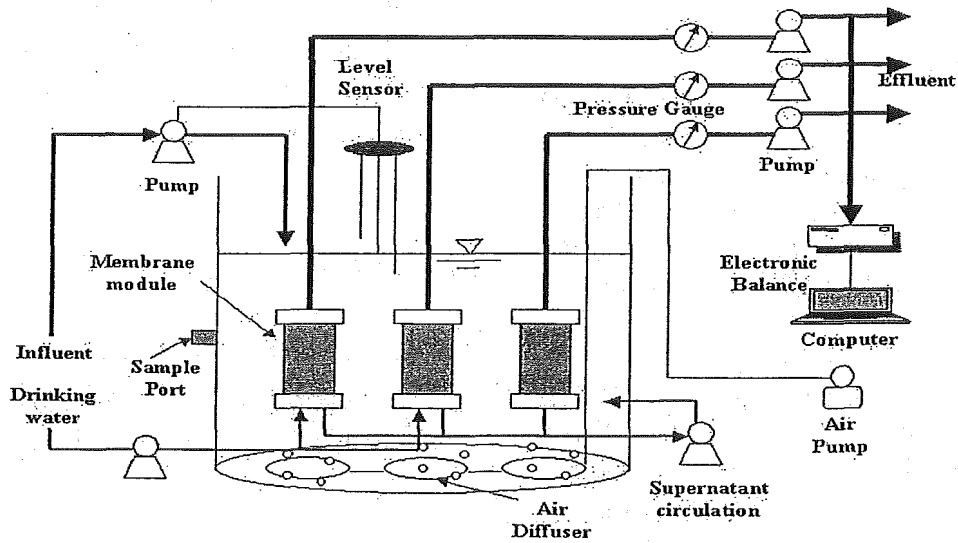


図1. 実験装置の概要

2. 実験方法

本研究の実験装置を図1に示した。有効容積 33L の透明 PVC 製円筒形リアクター2つに、各々(株)東洋紡績の3酢酸セルロース(CA)系(モデル名 HA3110EI、表面積 9m²、塩阻止率 94%)とポリアミド(PA)系(モデル名 HS3110EI、表面積 9m²、塩阻止率 94%)のナノ濾過中空糸膜モジュール3本ずつ浸漬させた。リアクターは東京都内のある下水処理場で設けられ、実下水を処理対象とした。流入下水の有機物濃度は 60~100mgTOC/L であった。更に、酢酸セルロース膜の生物分解の進行を防ぐこととポリアミド膜との比較するため、両方の膜を水道水によるフラッシングを行った(CA1 及び PA1: フラッシング無し、CA2 及び PA2: 1回/日、CA3 及び PA3: 2回/日)。連続実験は表1に示した条件下で行った。急速なファウリングを防止する為、低透過流束、かつ、間歇式で吸引した。本実験は、ナノ濾過膜を実下水処理に適用した最初の例であり、参考する前例が無く、まず膜透過流束の変化、有機物除去性能、窒素及びリン除去性能等をモニタリングした。

3. 実験結果及び考察

表2に各リアクターの上澄み水及び濾過水のDOC濃度を示した。その結果、予想通り良好な濾過水が得られた。特に、ポリアミド系の膜の場合、DOC 1mg/L を下回る水質が得られた。全窒素(T-N)の除去率は3酢酸セルロース膜が平均43%(硝酸イオン除去率:45%)、ポリアミド膜の場合は44%(硝酸イオン除去率:45%)であり、全リン(T-P)の場合は3酢酸セルロース膜が87%(リン酸イオン除去率:99%)、ポリアミド膜は93%(リン酸イオン除去率:100%)であった。このような処理結果は主に膜の荷電性による硝酸イオン(NO₃⁻)及びリン酸イオン(PO₄³⁻)の阻止によることと考えられる。そして、リン酸イオンの場合、硝酸イオンよりイオン価が大きく、阻止率が高かったことも明らかになった。

しかし、膜間差圧の上昇とフラックスの低下を避けられず、安定した運転はできな

かった。この原因としては膜モジュールの構造に起因すると考えられ、改良を試みている。

C. 分担研究者による研究

本研究は多くの分担研究者を擁している。それぞれの分担研究者は14年度には理想的水システムを構築するために多くの時間を費やした。また、それぞれの研究者はその理想的水システム(コミュニティレベルの自律的水システム)を構成する要素技術のスペシャリストであり、それらの基礎的研究を14年度に行った。それらの結果は本報告書の後半に詳細に述べてある。

4. 研究発表(主任研究者として)

4.1. 論文発表

J. H. Choi, S. Dockko, K. Fukushi, K. Yamamoto, A novel application of a submerged nanofiltration membrane bioreactor (NF MBR) for wastewater treatment, *Desalination*, 146, 413-420, 2002.

4.2. 発表論文

崔宰熏、福士謙介、山本和夫、浸漬ナノ濾過膜分離活性汚泥法の実下水処理への適用、日本水環境学会年次講演会講演集、熊本、2003

杉村昌紘、島崎大、福士謙介、山本和夫、バングラデッシュにおける AIRP・IARP のヒ素汚染地下水の浄化への適用、土木学会年次講演会、2002

病原微生物の管理技術の開発に関する研究

分担研究者 大瀧雅寛 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 助教授

研究要旨

水中の健康関連病原微生物の制御として下水処理における消毒に注目した。従来より使用されている塩素消毒に加え、今後適用数が増えると考えられる紫外線消毒を対象として、実際に適用される場合の微生物指標が有効であるかを調査した。実下水処理場の二次処理水を採水し、細菌指標として大腸菌群、糞便性大腸菌群、糞便性連鎖球菌を、ウイルス指標として宿主の異なる大腸菌ファージ2種について、その存在濃度及び塩素・紫外線照射に対する耐性を長期間に渡り測定した。結果として、大腸菌群とその他2種の細菌指標の存在濃度に関しては、その相関性が弱かった。また消毒効果については、紫外線において変動が小さく、各指標において安定した効果指標となることがわかったが、塩素に関しては変動が大きかった。大腸菌ファージに関しては、2種のファージ間での相関は低く、ウイルス指標としての信頼性については、検討が必要となった。消毒効果については、細菌指標と同様に紫外線において変動が小さく、塩素では大きくなることがわかった。ただし単離ファージによって耐性の強いファージの存在が認められ、種の組成変化によって消毒効率評価が変動する可能性が示唆された。

A. 研究目的

水中の健康関連病原微生物の制御においては、浄水と同様に下水処理における管理制御が重要である。現在指標としては大腸菌群が用いられているが、今後充分な管理体制を敷くためにはその他の細菌指標やウイルス対応指標に関して検討しておく必要がある。また下水の消毒法として特に紫外線の導入増加が世界的傾向としてあり、実際に導入した場合、各指標に対してどの様な特性を示すのかあらかじめ把握しておく必要がある。本研究では上記に鑑み実下水処理場の各微生物指標の検討とそれらの塩素・紫外線消毒処理における特性に検討した。

B. 研究方法

東京都内の4下水処理場の二次処理水を一年間にわたり採水し、各指標について、存在濃度、塩素もしくは紫外線消毒に対する不活化効果を測定した。細菌指標として大腸菌群、糞便性大腸菌群、糞便性連鎖球菌を、ウイルス指標として宿主菌を E.coli K12 F⁺ A? と WG5 とした大腸菌ファージを用いた。

C. 研究結果と考察

大腸菌群とその他2種の細菌指標の存在濃度に関しては、その相関性が処理場によらず弱 ICo とがわかった。また消毒効果については、紫外線において変動が小さく、各指標において安定した効果指標となること

がわかったが、塩素に関しては変動が大きかった。即ち水質の変動や耐性種の存在割合に大きく影響をうけると考えられる。大腸菌ファージに関しては、2種のファージ間での相関は低く、ウイルス指標としての信頼性については検討が必要である。消毒効果については、細菌指標と同様に紫外線において変動が小さく、塩素では大きくなることがわかった。細菌指標と比較すると耐性は種によっては大きいことがわかった。ただし単離ファージによって耐性が非常に強いファージの存在が認められ、態勢種の存在割合変化によって消毒効率評価が変動する可能性が示唆された。

D. 結論

大腸菌群の濃度変動については他の細菌指標を代表しているとは言えず、他の2つのうちどちらかによって不備を補填できる可能性がある。消毒に関しては塩素よりも紫外線の方が、効率評価としては安定していた。大腸菌ファージによる消毒効率評価についても同様であることがわかった。

E. 学会発表

- 岡本真由子、大瀧雅寛「下水処理における消毒の評価手法としての大腸菌ファージ」第57回土木学会年次学術講演会講演概要集、VII-175、2002
- 劉曉琳、大瀧雅寛「実下水処理水中の各細菌指標の塩素及びUV消毒耐性における相関及び変動について」第39回環境工学フォーラム講演集、pp. 50-52、2002

凝集沈澱を前処理とした膜分離活性汚泥法による都市下水処理の高度化に関する研究
分担研究者 岡部 聡 北海道大学大学院工学研究科・助教授

研究要旨

本研究では凝集沈澱処理を前処理と膜分離バイオリアクター (MBR) を組み合わせた、ハイブリッド下水処理システムを長期間運転し、その運転性および処理特性の評価を行った。既往の研究^{1,2)}では、有機物およびSSの除去率は極めて高く、比較的安定した長期間の運転が可能であったが、膜分離バイオリアクターが単一槽であったため窒素除去率が低いことが問題点として指摘されていた。そこで本研究では窒素除去率の向上を目的として、膜ユニットと散気管を取り囲む様に反応槽内に仕切り板を設置することで、槽内の二分化を図った。仕切り板上端部より槽内水位が上昇すると槽内水の循環が生じ完全混合となるが、水位が仕切り板上端部より低下すると槽内水の循環は阻止され槽内には好気部（仕切り板内部、すなわち膜ユニット側）と嫌気部（仕切り板外側）が生じ、この期間は単一槽内で硝化・脱窒同時反応が可能となる。このような単純な構造改良を施した新型膜分離バイオリアクターを用いることにより、新たな処理スペース（嫌気・好気槽など）やエネルギー（返送ポンプなど）を用いることなく、これまでの膜分離バイオリアクターに比較して、窒素処理率は30%近く向上し、処理水T-N濃度10mg/L以下を達成することが可能であった。さらに、脱窒反応が進行することによって、凝集剤添加により不足していたアルカリ度が回復し、硝化反応が安定し、処理水のpHも中性付近まで回復した。また、膜ろ過運転性能に与える影響もなく、水温の低下に関わらず、年間を通してTOC除去率90%以上・リン除去率95%以上と非常に安定した処理性を達成した。

1. はじめに

下水処理では、今後一層の水環境の改善を図るため、窒素やリンなどの栄養塩類の除去率向上をはじめ、処理水質の向上が要求されている。下水の高度処理に関しては、膜分離技術を導入した、Membrane Bioreactor (MBR) が、再利用水の造水が可能で下水処理法として注目されている。MBRの利点としては、①汚泥の沈降性に左右されず膜細孔径に応じた完全な固液分離が可能であること、②反応槽に微生物を高濃度に保持することが可能であり高い処理能力が期待できること、③汚泥滞留時間が長く増殖速度の遅い細菌も増殖できることなどの点が挙げられる。しかし、MBRにおける生物学的脱窒やリン除去については、いまだ十分な検討が行われていない。本研究では、膜ファウリングの制御と、リンの化学的除去を目的として凝集沈澱処理をMBRの前処理として行った。また新たに単一槽で膜分離と硝化・脱窒反応を同時に行えるMBRを提案し、その窒素除去効率とメカニズムについての研究を行った。

2. 実験概要

実験は、札幌市創成川下水処理場内にパイロットスケールの実験装置を設置し、同処理場の最初沈澱池流出水を原水として行った。凝集沈澱処理には、多孔板と傾斜管によってフロック形成と沈澱を短時間で同時に行える噴流攪拌型固液分離装置 (JMS) を用いた。

凝集剤には鉄系無機高分子凝集剤であるポリシリカト鉄 (PSI) を10mg-Fe/Lとなるように添加して実験を行った。JMSにおける水理的滞留時間は1.5hrである。PSIを用いた時の最適凝集pHは6.0付近であるが、後段の生物処理において硝化反応を行う際に必要となるアルカリ度の余分な消費を避けるために、本実験においては凝集pHの調整は行わなかった。

後段のMBRで使用した分離膜は、公称孔径0.1μm、PVDF製、有効膜面積0.6m²の平膜モジュールで、同一モジュールを10枚組み合わせてユニット化したものを用いた（総有効膜面6.0m²）使用した反応槽の有効容積は約0.5m³である。運転方式は定流量吸引ろ過方式とし、間欠膜ろ過運転を行った。膜ユニット下部

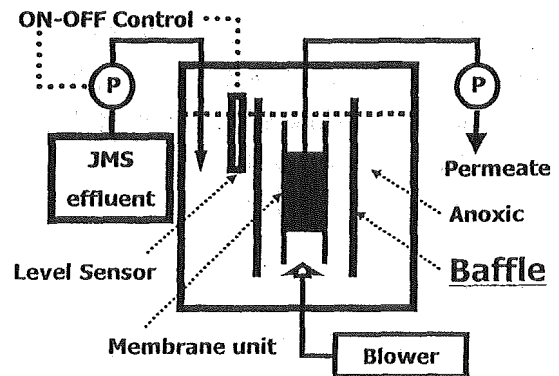


Figure 1. Schematic representation of the Baffled Membrane Bioreactor.

に設置した散気管よりエアレーションを行うことで、生物学的酸化に必要な溶存酸素の供給と槽内の攪拌を行うと共に、ろ過膜面に流速を与えて汚泥の堆積を抑制した。また、窒素除去率の向上を目的として反応槽内に仕切り板を設置した運転も同時に行った。仕切り板を設置した MBR の概略図を Fig. 1 に、JMS と MBR の運転条件を Table 1 にそれぞれ示した。MLSS 濃度は Run- I においては引き抜きを行わず、Run- II においては 15000 mg/L になるよう混合液の引き抜きを行った。

Table 1. Operational conditions of JMS and MBR

| 運転系列 | Run- I | | Run- II | |
|------------|----------------------|---|-----------------------|---|
| 運転期間 | 2002/1/17-2002/06/25 | | 2002/06/26-2003/01/27 | |
| JMS | | | | |
| 凝集剤 | PSI- I | | | |
| 添加量 | 10mg-Fe/L | | | |
| pH調整 | なし (6.5-7.2) | | | |
| 水理的滞留時間 | 1.5 hr | | | |
| MBR | | | | |
| 膜系列 | A | B | A | B |
| 膜透過流速 | 0.25-0.45m/d | | 0.40-0.50m/d | |
| エアレーション量 | 100-120L/min. | | 100L/min. | |
| 水理的滞留時間 | 5.4-9.3 hr | | 4.8-5.8 hr | |
| MLSS濃度 | 6000-12000mg/L | | 12000-15000mg/L | |
| 仕切り板設置 | なし | | あり | |

3. 結果と考察

3.1 処理水質

Run- I における各処理水質項目の平均値を Table 2 に示した。前処理である凝集沈殿処理において、各成分について大幅な除去が可能であった。寒冷地では、冬季において下水の水温が低下し生物処理性能の低下が懸念されている。本処理システムでは、生物酸化に時間を要する懸濁物質を前凝集沈殿処理で除去することで、生物処理への負荷量が低減し、負荷変動も最小限に抑えられている。そのため後段の MBR では低水温期においても安定した生物処理が行えた。特に有機物・リンの除去率は非常に高かった。リンは窒素と並び富栄養化の原因となっているが、湖沼など環境中の微生物の増殖は窒素に比べリンが律速している場合が多いため、リンを安定して除去することで効果的な富栄養化の抑制が行える。

一方、本処理システムでは硝化反応が不安定であることと、T-N 除去率が低いことが課題となっている。硝化反応が不安定となる要因としては、凝集沈殿処理を前処理として行っているため、凝集剤の添加により下水中に含まれているアルカリ度が過剰に消費されるためである。そのため硝化反応に必要なアルカリ度が不足し、硝化反応が不安定となっていると考えられる。またアルカリ度の低下に伴って、処理水の pH は放流するために再調整が必要なレベルまで低下がみ

られた。また pH の低下は生物処理に及ぼす影響も大きく、pH の低下に対する改善が必要とされた。

Table 2. Summary of water qualities of Run- I

| Items | Units | Influent | JMS effluent | Permeate |
|------------|--------------|----------|--------------|----------|
| Turbidity | [mg/L] | 56.4 | 11.1 | 0.0 |
| TOC | [mg/L] | 36.6 | 18.8 | 4.6 |
| DOC | [mg/L] | 20.6 | 14.1 | 4.6 |
| E260 | [1/cm] | 0.22 | 0.20 | 0.08 |
| T-N | [mg/L] | 26.5 | 19.2 | 17.1 |
| NH4-N | [mg/L] | 14.2 | 12.4 | 1.9 |
| NOx-N | [mg/L] | 0.5 | 0.3 | 14.4 |
| T-P | [mg/L] | 2.6 | 0.70 | 0.03 |
| Alkalinity | [mg-CaCO3/L] | 133.6 | 92.7 | 1.6 |
| pH | [-] | 7.7 | 6.9 | 5.3 |

3.2 単一槽硝化脱窒同時反応型 MBR の提案

前述の問題に対しては、処理システム内に生物学的脱窒プロセスを付加することで、アルカリ度の回復が見込まれる上、T-N の除去率向上にもつながることが期待できる。MBR における窒素除去法としては、すでに循環型と間欠曝気型の生物学的窒素除去法が一般的に用いられている。しかし前者では広い敷地面積や、硝化液の循環に多大なエネルギーが必要であり、後者では膜ろ過がエアレーション時にしか行えず、膜運転時間が間欠曝気サイクルの 30-50%と制限されるといった問題がある。

そこで本研究では、反応槽内に仕切り板を設置し、同反応槽内において無酸素空間を創り出し、脱窒反応を促進する実験を行った。この反応槽では、①膜ユニットと散気管を取り囲むように仕切り板を設置することで、仕切り板の外周部分では無酸素反応を行い、内部では好気性反応と膜ろ過を同時に行うことができる、②槽内に流入水を供給することで水面が上昇し、仕切り板により区切られた内部分と外周部分の混合液が攪拌されることで、硝化液の循環が行える、③無酸素状態となった仕切り板の外周部分に流入下水を供給することで、下水中の有機物を優先的に脱窒反応に利用できる、といった特徴がある。

Run- II において反応槽内に仕切り板を設置して実験を行い、仕切り板を設置していない Run- I における処理性能と比較し、仕切り板設置による効果を評価した。Run- II における MBR の水理的滞留時間は 4.8 hr~5.8 hr であり、供給水ポンプの水量を調節することで、水面が上下するサイクル時間を約 30 分に設定し実験を行った。

3.3 有機炭素源の確保

一般的に流入下水中の C/N 比は、脱窒速度に大きく影響すると言われている。本実験における流入水の

C/N 比を TOC/T-N で表すと、最初沈殿池流出水が平均 1.44 mg-C/mg-N、凝集沈殿処理水が 1.12 mg-C/mg-N である。この C/N 比は、最初沈殿池流出水においても高いとは言えない上、前処理によってさらに低下している。また下水中の TOC 成分は、メタノールのような微生物が利用しやすい形態とは言えないため、有機炭素源が脱窒速度を律速すると思われる。

そこで、C/N 比と水温が脱窒速度に及ぼす影響を把握するため、実験を行っている MBR の混合液を用いた回分試験を行った。MBR より採取した混合液を曝気して混合液中に存在する生物分解性有機物やアンモニア性窒素の酸化を行った後、設定水温において C/N 比を調節し、無機態窒素濃度の変化を測定した。

Fig. 2 に回分試験より求めた脱窒速度と、MBR における脱窒速度を測定した結果を示した。単位 VSS あたりの脱窒速度は水温の低下に伴い急激に低下していく傾向が見られた。また CH₃OH を添加しない系と、CH₃OH/NO₃-N が 3 以上になるように CH₃OH を添加した系とでは、脱窒速度に大きな差が見られた。低水温では有機炭素濃度が脱窒速度を大きく左右していることがわかる。しかし、水温の上昇とともに、両系列間での脱窒速度の差がなくなってきており、30℃付近ではほぼ同等の脱窒速度が得られていた。これは、高水温では内生呼吸がより活発になり、活性汚泥からの有機物の供給により、C/N 比の不足を補っているためであると考えられる。

実験中 MBR へは、外部からの有機炭素源の添加を行っていないが、回分試験において CH₃OH を添加した場合と同様の脱窒速度が得られた。これは、流入下水を無酸化された仕切り板外周部分に供給することで、もともと下水中に含まれている有機物を脱窒反応に優先的に利用することができるためである。

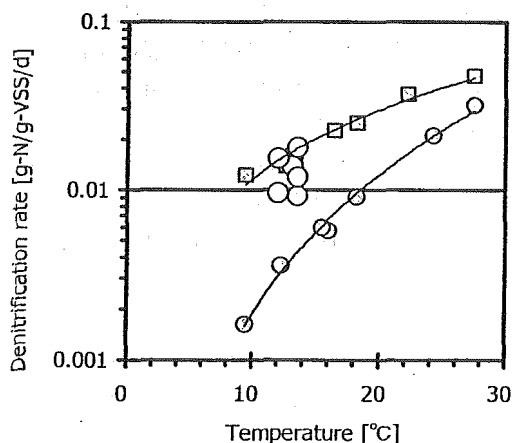


Figure 2. Influence which CH₃OH/NO_x-N ratio and water temperature on denitrification rate (■) CH₃OH/NO_x-N >3 (●) without CH₃OH (○) Experimental value.

また反応槽内には標準活性汚泥法と比べ高濃度の微生物を保持しているため、内生呼吸により供給される有機物量も多く、CH₃OH を添加した場合と同程度の高い脱窒速度が得られていたものと思われる。つまり本 MBR では、有機炭素源不足はそれほど脱窒速度に影響を与えておらず、外部から有機炭素源を添加しなくとも高い脱窒速度が得られる。

しかし、本実験で用いた単一槽硝化脱窒同時反応型 MBR は単相汚泥によって処理を行っており、活性汚泥は非常に長時間の滞留時間を持っているため、単位 VSS あたりの脱窒速度は、一般的に求められている活性汚泥法の脱窒速度に比べて低い値となっている。そのため、より脱窒に適した微生物の集積や、汚泥の滞留時間の調節により微生物活性を高めることができれば、より高い窒素除去率を得られると思われる。

3.4 反応器における無機態窒素濃度の変化

Fig. 3 に反応槽内の仕切り板外周部分における無機態窒素濃度の変化を、Fig. 4 には膜透過水の無機態窒素濃度の変化を測定した結果を示した。膜透過水は仕切り板内部分からのみ連続的にろ過されているため、膜透過水中の無機態窒素濃度は、仕切り板内部分の無機態窒素濃度とほぼ等しいと考えられる。

仕切り板外周部分では、供給される流入下水中の NH₄-N と循環された NO_x-N とが混在し、DO 濃度の変化によって硝化反応、または脱窒反応が進行していることがわかる。本法の特性上厳密な循環水量制御と DO 制御が行えないため、NH₄-N 濃度と NO_x-N 濃度は不規則に変化していたが、全無機態窒素濃度の挙動から脱窒反応が進行していることがわかる。一方仕切り板内部では、常時エアレーションを行っているため、DO 濃度は 4~6mg/L に保たれており、完全に硝化反応が進行している。そのため、膜透過水中に存在する

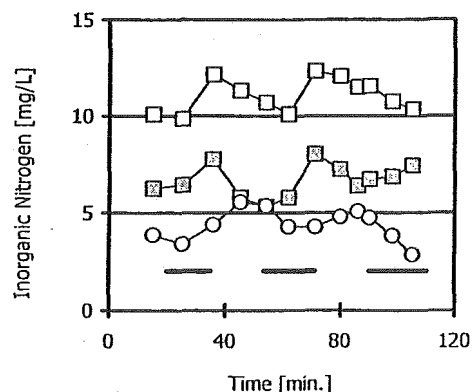


Figure 3. Change of inorganic nitrogen in anaerobic part in the Baffled MBR (□) Total inorganic nitrogen (■) NH₄-N (○) NO_x-N (—) Feeding time.

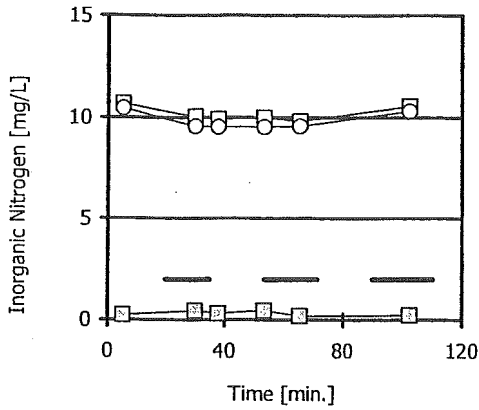


Figure 4. Change of inorganic nitrogen in permeate of the Baffled MBR (□) Total inorganic nitrogen (■) $\text{NH}_4\text{-N}$ (○) $\text{NO}_x\text{-N}$ (—) Feeding time.

無機態窒素は硝酸態にまで完全酸化されており、生物学的に安定である。

3.5 仕切り板設置による窒素除去率の改善

実験中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_x\text{-N}$ の変化を Fig. 6 と Fig. 7 に示した。MBR に仕切り板を設置した結果、処理水の硝酸性窒素濃度は 14.4mg/L から 8.8mg/L まで低下した。また一時 5.0 以下まで低下していた処理水の pH も中性付近まで回復がみられた。さらに 80% 前後と不安定であった硝化率も 98% まで向上した。また、 13°C と低い処理水温期においても、 60% 以上の全窒素除去率が確認された。そのため低水温期でも処理水質の目標であった全窒素濃度 10mg/L 以下を達成することが可能であった。しかし、仕切り板設置直後では、水温が高かったにもかかわらず期待したほどの全窒素除去率を得ることができなかった。除去率が徐々に上昇していった理由としては、①流入水供給方法の改善により、無酸素化された仕切り板外周部分に一箇所

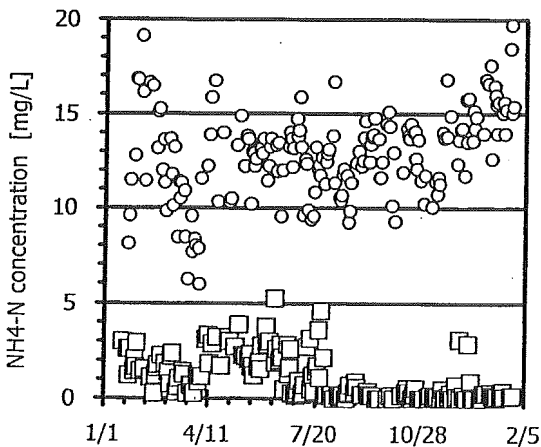


Figure 6. Ammonium nitrogen concentrations of JMS effluent (○) and permeate (□).

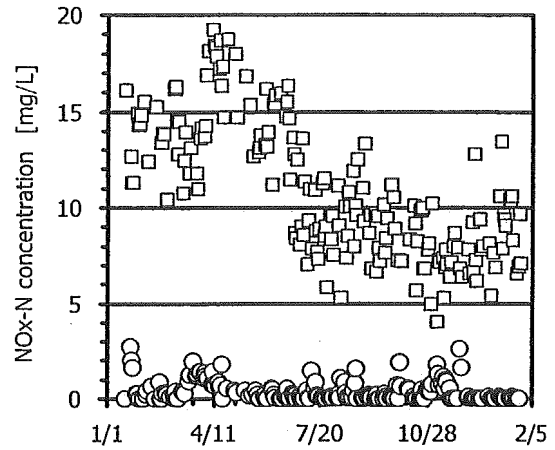


Figure 7. Nitrite and nitrate nitrogen concentrations of JMS (□) and Permeate (○).

に集中的に供給されていた流入水を分散させて流入させることにより流入下水中の有機物を有効に脱窒反応に有効に利用できるようにしたこと、②反応槽内の VSS 濃度が徐々に上昇していったこと、③脱窒反応に適した環境を整えたことで、脱窒活性を持つ微生物の VSS に占める割合が徐々に増加していったこと、④流入負荷が上昇したことにより、微生物増殖量が増大し、微生物摂取による窒素除去効率が上がったこと、以下の点が考えられる。

3.6 仕切り板設置が処理性・運転性に及ぼす影響

仕切り板設置により、有機物除去性能やリン除去性能へ及ぼす影響が懸念されていたが、有機物除去性能に関しては設置後一時的な影響はあったが、すぐに安定し以後は設置前より除去率は向上した。

一方リンの除去性能に関しては、設置後除去性能の低下が見られた。これは仕切り板外設置によって槽内に嫌気状態となる部分が生じ、リン蓄積細菌が細胞内に蓄積していたリンを放出したためであると考えられる。槽内の混合液はそれまで全く引き抜きが行われていなかったため、活性汚泥中のリンが系外に排出されず蓄積されていたためだと思われる。その後定期的な混合液の引き抜きを行うことで、処理水中の全リン濃度は徐々に減少していき 0.05mg/L 以下まで回復し、安定した。このことから定期的な混合液の引き抜きが行われていれば、仕切り板の設置によってリン除去性能が低下することはないといえる。Table 3 に MBR に仕切り板を設置する前後での処理水質を比較した結果を示した。

また仕切り板の設置による膜ろ過運転性能への影響は一切なかった。

Table 3. Summary of treated water qualities and removal efficiency compared Run- I with Run- II.

| Permeate | | Concentration | | Removal % | |
|------------|--------------|---------------|---------|-----------|---------|
| Items | Units | Run- I | Run- II | Run- I | Run- II |
| Turbidity | [mg/L] | 0.0 | 0.0 | 100 | 100 |
| TOC | [mg/L] | 4.6 | 3.2 | 87.3 | 91.2 |
| DOC | [mg/L] | 4.6 | 3.2 | 77.5 | 84.4 |
| T-N | [mg/L] | 17.1 | 10.1 | 35.5 | 61.7 |
| NH4-N | [mg/L] | 1.9 | 0.6 | 86.5 | 95.9 |
| NOx-N | [mg/L] | 14.4 | 8.8 | - | - |
| T-P | [mg/L] | 0.03 | 0.12 | 98.8 | 95.4 |
| Alkalinity | [mg-CaCO3/L] | 1.6 | 14.2 | - | - |
| pH | [-] | 5.3 | 6.4 | - | - |

4. 結論

本研究で提案した改良型 MBR を用いたハイブリッド型都市下水処理システムにおいて、栄養塩（特に窒素）除去を中心とした処理性能評価を行った。以下に本研究より得られた知見をまとめる。

- 1) 実験に用いた高度下水処理システムにおいては、水温の低下に関わらず、年間を通して TOC 除去率 90%以上・リン除去率 95%以上と非常に安定した処理が行われていた。
- 2) 反応槽内に仕切り板を設置することで、新たな処理スペースやエネルギーを用いることなく、窒素の処理率が 30%近く向上し、T-N 濃度 10mg/L 以下の処理水を得ることが可能であった。
- 3) 脱窒反応が進行することによって、凝集剤添加により不足していたアルカリ度が回復し、硝化反応が安定した。また処理水の pH も中性付近まで回復した。
- 4) 槽内に仕切り板を設置することで、有機物やリンの除去性能が低下することはなく、膜ろ過運転性能に与える影響もなかった。

一般的に、低負荷運転での脱窒は困難であるといわれているが、本実験で用いた単一槽硝化脱窒同時反応型 MBR では、低水温期においても高い除去率を達成することができた。また、十分な微生物濃度と馴致時間を与え、水温や C/N 比、好気/無酸素容積比などの環境を整えることで、さらに高い除去率が得られることが示唆された。

5. 参考文献

1. 加藤桃子 (2001) 浸漬型中空糸 MF 膜を用いた下水の高度処理に関する研究, 北海道大学大学院工学研究科, 平成 12 年度修士論文.

2. 松宮知 (2002) 前凝集・膜分離活性汚泥法による下水高度処理システム処理性評価および蓄積溶解性有機成分の挙動と運転性への影響, 北海道大学大学院工学研究科, 平成 13 年度修士論文.

6. 研究発表

1. 学会発表

1. 笹川 学、糸永 貴範、小澤 源三、渡辺 義公：膜分離活性汚泥法を用いた都市下水処理システムの高度化、第 37 回日本水環境学会年会講演集、Pp. 289.
2. 糸永 貴範、三浦 勇基、小澤 源三、渡辺 義公：前凝集沈殿と膜分離活性汚泥法を組み合わせたハイブリッド下水処理システムの評価、第 37 回日本水環境学会年会講演集、Pp. 290.

メンブレン関連技術

分担研究者 浦瀬太郎 東京工業大学大学院理工学研究科助教授

研究要旨

地下水を介した水の開放循環系を膜分離技術を用いた水処理技術と組み合わせることを想定し、除去対象物質として親水性難分解性物質を選定し、膜分離活性汚泥法での除去実験および除去シミュレーションを行った。解析対象物質は、17 β -エストラジオール(E2)、エストロン(E1)、17 α -エチニルエストラジオール(EE2)、ビスフェノール A(BPA)である。シミュレーションでは、水相と汚泥相間の吸脱着・汚泥相での生物分解を反応速度論的に考慮した二相挙動モデルを用いた。標準活性汚泥法での処理水濃度に対する SS 吸着分濃度は極めて小さく、そのため処理水中での E2, E1, EE2, BPA のほぼ全量が水相内に存在し、SS への吸着量は無視できるほど小さいという結果が得られた。このことから精密な固液分離をする膜分離活性汚泥法での SS 流出阻止の内分泌かく乱物質濃度低減に対する効果は極めて小さいことが示された。しかし、膜分離活性汚泥法の高 MLSS 濃度での運転が可能であるという利点を活用すれば、短い滞留時間でも効果的に内分泌かく乱物質を除去することが示された。

A. 研究目的

これまでの都市は、道路、銅線、管路をはりめぐらすことを前提として発展してきたが、インターネットの普及で在宅勤務が可能になれば、道路を使って出勤することもなく、携帯電話が普及すれば電話線をはりめぐらされることもない。エネルギーも燃料電池技術によって小規模分散型で対応できるとすると、これも銅線を不要にすることから、残る水システムが、「管なし」システムを実現すると、都市形態が大きく変わる可能性がでてくる。こうした自律分散型の水システムとして考えられ得る選択肢の一つは、地下水を介した開放循環系と膜分離技術を組み合わせた水システムである。

こうした地下水を介した開放循環系と膜分離技術を組み合わせた水システムで問題となる汚染物質は、地下水中で動きやすいと考えられる物質で、すでに硝酸性窒素は地下水で大きな問題と

なっているが、膜分離活性汚泥法での硝化脱窒技術はほぼ完成の域に達している。したがって、注目すべきは、他の水溶性の難分解性物質だと考えられる。たとえば、医薬品は、生体への取り込みをし易くするために親水性のあるものも多く、生体内での効果が持続するように難分解性であり、もともとの化合物の性質として生物に対して何らかの活性を持っている。また、人工化学物質以外にも、尿などに含まれる女性ホルモンは、下水処理水の環境ホルモン作用のかなりの部分を説明できるとされる物質であり、親水性をある程度持っている。このように、ある程度親水性を持っているが難分解である物質群に対しての膜分離活性汚泥法の有効性を改めて検討しておく必要がある。

膜分離活性汚泥法は、活性汚泥を高濃度で反応槽内に保持でき、汚泥の沈降性に関係なく処理が行えることから、小規模な処理施設向けに技術開発