

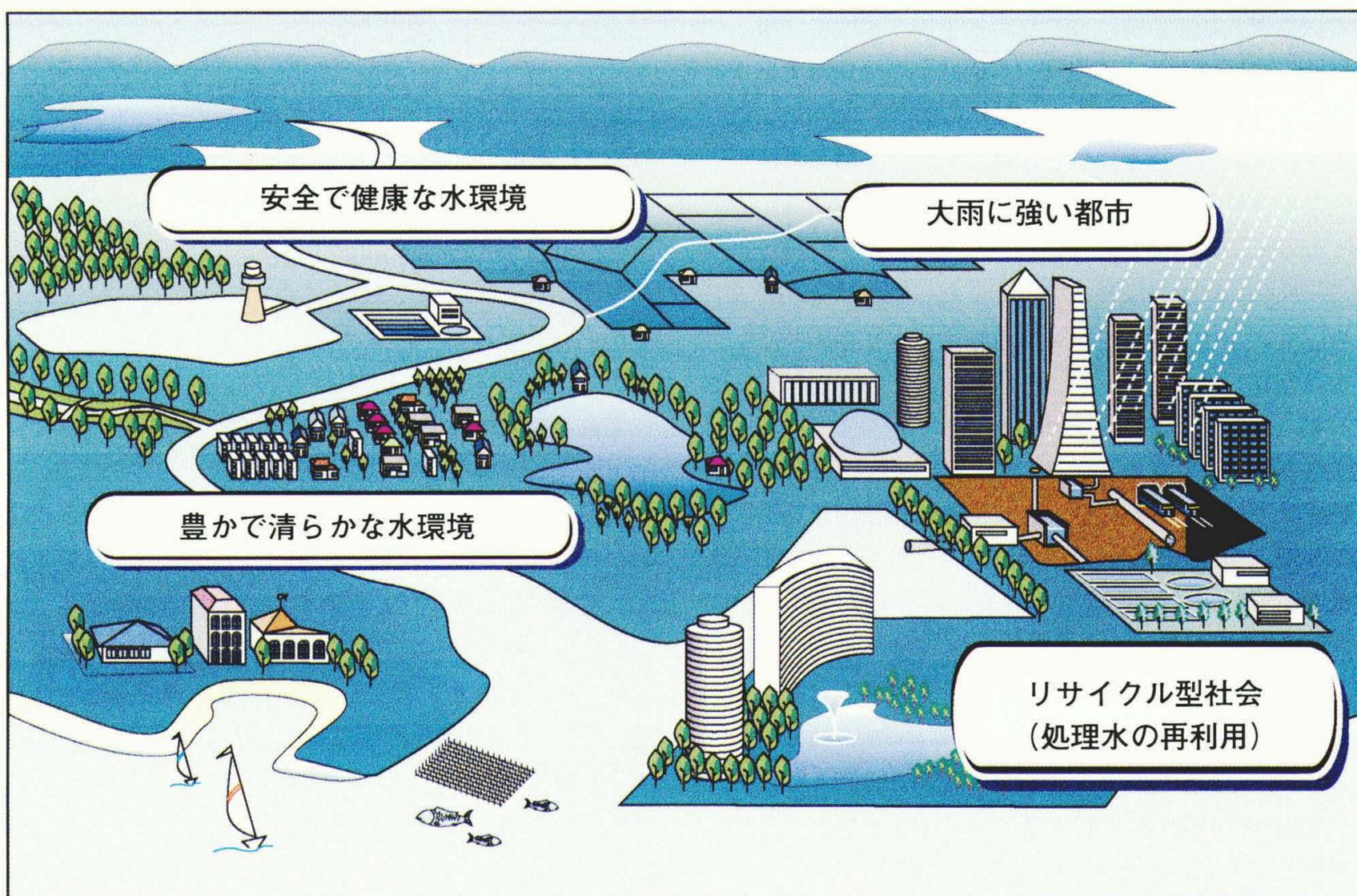
# 水環境保全と水資源確保を支援する 廃水高度処理システム

Advanced Wastewater Treatment for Environmental Protection

森 直道\* Naomichi Mori

桜庭義昭\*\* Yoshiaki Sakuraba

国井光男\* Mitsuo Kunii



## 21世紀に向けた水高度処理のあり方

21世紀に向けた水環境保全と水資源確保を目的に、さまざまな対応が求められている。日立グループは、微生物を固定化し、高速で窒素・リンが除去できる下水高度処理プロセス(ペガサス)や、膜を利用した高品質な下水再利用システムを開発し、幅広いユーザーニーズにこたえている。

産業経済活動の活発化や生活様式の変化に伴い、この地球の恵みを支える水、大気、土壌の環境が損なわれることが危惧(ぐ)されている。このため平成5年に環境基本法が制定され、地球環境保全に向けて新たな展開の時期を迎えた。水については、健全な水環境の保全と、環境負荷の低減、安全性確保を目的に、幅広い計画が策定されるとともに、目的に応じた高度処理技術の開発が進められている。

日立グループは、(1) 清らかで豊かな環境づくりを

目指して、閉鎖性水域での窒素・リンの除去を達成する、(2) 大雨に強い都市づくりを目指して、汚濁雨水がそのまま公共水域へ流出するのを抑制することのできるシステムを確立する、(3) 有機塩素化合物やウイルスなどの有害物を除去して、安全で健康な水環境を創造する、(4) リサイクル型社会を形成するなど、さまざまなニーズに役立つ各種の廃水に関する高度処理システムを開発し実用化している。

\* 日立プラント建設株式会社 \*\* 日立金属株式会社

## 1 はじめに

人類をはじめ生物は、地球環境の大きな恵みを受けて生命の営みを続けている。しかし、自然現象に加え、人類の産業経済活動の活発化や生活様式の変化に伴い、この地球の恵みを支える水、大気、土壌の環境が損なわれることが危惧されている。このため、平成5年度に「環境基本法」が定められ、環境負荷を低減し、地球環境を保全するための取組みが進められている。

このうち水環境の保全については、「健全な水循環の確保」のため水質汚濁にかかわる環境基準の強化が図られるとともに、「環境への負荷低減」のため、下水や合併浄化槽の高度処理技術の開発・普及、さらに「安全性確保」のため、有害な化学物質の除去対策の推進など幅広い計画が策定されている<sup>1)</sup>。

建設省、通商産業省、厚生省などでは下水や産業廃水に含まれる窒素・リンや、微量化学物質の除去を目的に、国家研究プロジェクトを推進して高度処理技術の開発を進めてきた。さらに、平成8年度から始まる第八次下水道整備五か年計画では、高度処理対象人口を現在の500万人から2,000万人に引き上げるとともに、下水処理水の再利用を促進すること<sup>2)</sup>を掲げており、関連事業の展開が期待される。

ここでは、水環境の保全と水資源の確保を目的とした水の高度処理の動向(表1参照)と、日立グループで開発し実用化している製品の概要について述べる。

## 2 水環境保全のための規制動向

21世紀に向けた水環境を創造するため、所轄官庁では次のような各種の施策を推進している。

### (1) 豊かで清らかな水環境づくり

豊かで清らかな水環境をつくる課題の一つに、閉鎖性水域などで富栄養化を引き起こす原因となる窒素やリンの除去があげられる。平成6年までに霞ヶ浦、琵琶湖などの9湖沼で、また海域では88か所の閉鎖性海域で窒素、リン規制が実施されている<sup>3)</sup>。

### (2) 大雨に強い都市づくり

東京都などでは合流式下水道(下水と雨水を混合して流す。)を採用しているが、一定以上の雨が降ると希釈された汚水が雨水吐きやポンプ場から公共用水域に流入し、水質汚染の要因となることが指摘されている。このため、平成6年度には下水道雨水貯留浸透事業を創設し<sup>4)</sup>、雨水の流出抑制、合流式下水道からの越流水による

表1 水高度処理の今後の方向

水高度処理の基本的方向に応じて各種処理方式を実用化している。

基本的方向	関連法規など	処理対象項目	処理方式
豊かで清らかな水環境	●湖沼水質保全特別処置法(9湖沼に適用) ●閉鎖性海域での排水規制(88か所)	●栄養塩(窒素、リン)	●生物学的窒素・リン処理プロセス(ペガサス)
大雨に強い都市	●下水道雨水貯留浸透事業	●微量有機物 ●無機濁質成分	●磁気分離式雨天時下水処理システム
安全で健康な水環境	●水質汚濁防止法環境基準項目強化	●有機塩素化合物 ●農薬	●紫外線殺菌装置(塩素殺菌代替)
リサイクル型社会(処理水再利用)	●第八次下水道整備五か年計画 ●排水基準強化	●濁質 ●栄養塩	●凝集-浮遊 ●凝集-膜浮遊 ●生物活性炭-膜浮遊

汚濁負荷削減のための設備の導入を図っている。

### (3) 安全で健康な水環境づくり

工業の発展によってさまざまな化学物質が生産されるのに伴い、新たな有害物質による公共水域の汚染を防止し、健康で快適な生活を保護することが必要になっている。このため、平成5年にトリハロメタンなどの有機塩素化合物9項目、農薬4項目を含む15物質が環境基準項目に追加され、安全で健康な水環境づくりが進められている<sup>5)</sup>。

### (4) リサイクル型社会づくり

下水二次処理水を資源としてとらえ、中水として雑用水に使用したり、「せせらぎ」用水として親水空間で再利用したりするため、建設省高度処理会議では再利用水質を提案し、リサイクルによる節水型社会の形成に努力している<sup>6)</sup>(表2参照)。

## 3 21世紀に向けた水の高度処理技術

前述したような施策にこたえて、日立グループは次に

表2 建設省高度処理会議案の水質

利用目的に応じて水質規準を定めている。

水質項目	単位	修景用水	親水用水
pH	—	5.8~8.6	5.8~8.6
BOD	mg/L	10以下	3以下
濁度	度	10以下	5以下
臭気	—	不快でない	不快でない
色度	度	40以下	10以下
大腸菌群数	個/100 mL	1,000以下	50以下

注：略語説明

BOD(Biochemical Oxygen Demand；生化学的酸素要求量)

述べる製品を開発している。

### 3.1 清らかな水環境をつくる下水の窒素・リン処理 プロセス「ペガサス」

現在、有機物(BOD)、窒素を含む排水を処理する場合、活性汚泥という浮遊微生物を用いる活性汚泥循環変法が実用化されている。処理プロセスの概要を図1に示す。この方法では、まず下水中に含まれるアンモニア性窒素( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )が硝化槽で硝化細菌によって硝酸性窒素( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )まで酸化され、さらに $\text{NO}_3^--\text{N}$ を含む微生物の混合液の一定量が嫌気条件に保たれた脱窒槽に循環される。ここで $\text{NO}_3^--\text{N}$ は、脱窒細菌の働きによって水素供与体である有機物と反応して窒素ガスに還元され、大気に放出される。このように生物的窒素除去方式は、(1) 環境に悪影響を与えないこと、(2) 維持管理コストが物理化学的方式に比べて安いことなどの理由で、広く実施されている。

しかし、活性汚泥循環変法では硝化細菌の増殖速度が一般の細菌に比べて遅いため、現在多くの処理場でBOD処理に採用されている活性汚泥法(処理時間：6～8h)の約2倍の容量が必要になるという問題があった。

そこで、硝化細菌を担体に高濃度に固定化し、硝化反応速度を高めることによって装置のコンパクト化を図ることとした。日立プラント建設株式会社は、微生物を高分子含水ゲルの内部にそのまま閉じ込めてしまう包括固定化法を、初めて水処理向けに適用し、(1) 微生物が生育しやすく、かつ寿命の長い担体の大量造粒技術と、(2) この担体を用いた高度処理プロセスを開発した。この方法により、微生物はゲルの中に自由に出入りすることができないため、下水のような種々雑多な微生物のいる反応槽の中で、硝化細菌などの特殊な微生物を優先的に生息させることができる。



図2 ペガサスの外観(処理能力：11,300 m<sup>3</sup>/d)  
既設の反応槽を増設することなく、短期間の反応槽改造だけで下水の高度処理を実現した。

担体を反応槽内に保持するのにスクリーンで分離することを考え、一辺3mmの角形担体を作成するとともに、この担体を活性汚泥循環変法の硝化槽に添加することにより、浮遊型活性汚泥循環法の約 $\frac{1}{2}$ の容積でBOD、窒素が除去できる見通しを得た(図1参照)。また、活性汚泥法を実施している処理場に対しては、既設の反応槽と同じ容量で窒素が除去できるため、新たな反応槽を増設する必要がなく、短期間での高度処理設備の導入が可能となる。

九州の宗像市では、標準活性汚泥法の処理装置を改造し、反応槽を増設しないで窒素を除去することを可能にした。さらに、リンを同時に除去するため、ポリ塩化アルミニウムを添加してリン酸アルミニウムとして除去する方法を組み合わせ、表3に示す処理水質の目標値を満足する良好な結果を得ている。処理能力11,300 m<sup>3</sup>/dの装置「ペガサス」の外観を図2に示す。

また、開発した包括固定化担体は、ごみ浸出水や高濃

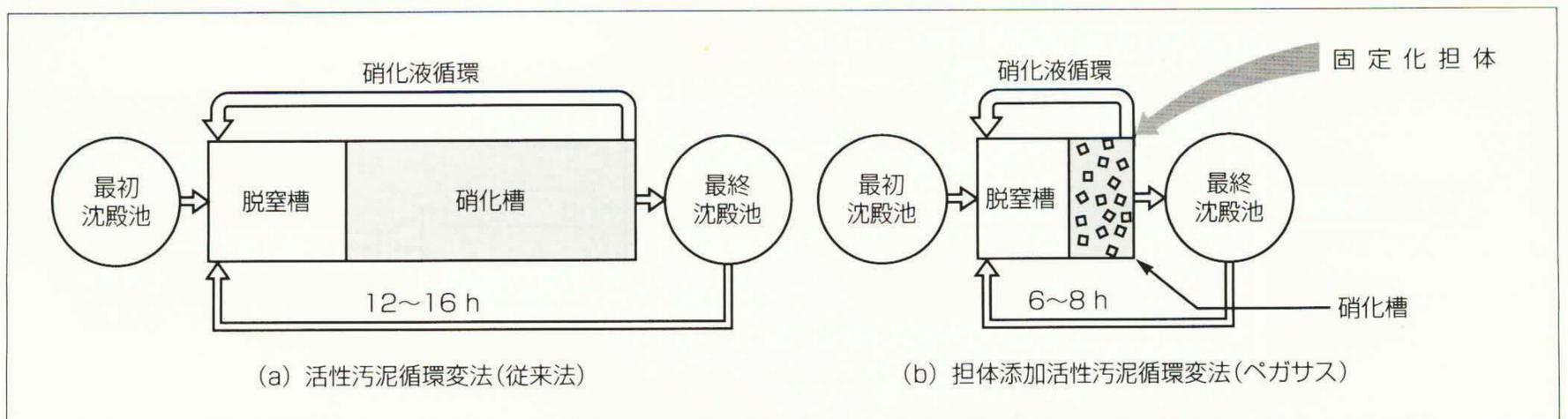


図1 下水の窒素処理プロセスの比較

硝化細菌固定化担体を硝化槽に添加することにより、従来法の約 $\frac{1}{2}$ の処理時間でBOD、窒素の同時処理を達成した。

表3 下水高度処理プロセスの処理水質目標  
 清らかな水環境を創造する処理水質の目標値を示す。

水質	流入	処理水質の目標値
BOD (mg/L)	210	14.2
SS (mg/L)	250	20.5
T-N (mg/L)	40	10.2
T-P (mg/L)	6	0.4

注：略語説明

SS(Suspended Solids；浮遊物質)

T-N(Total Nitrogen；全窒素)

T-P(Total Phosphorus；全リン)

度窒素を含有する産業廃水処理に適用できるので、処理水質の向上、装置のコンパクト化などの効果が得られる。

### 3.2 雨天時に強い「下水処理システム」

日立プラント建設株式会社は、下水排除と雨水排除を同時に行う合流式下水道の降雨時の水量増加に対処するため、磁気分離型雨天時下水処理システムを開発した。磁気分離法を雨天時下水処理に適用した開発システムのフローを図3に示す。雨水を含む下水をスクリーン設備で前処理した後、鉄粉(四三酸化鉄)と硫酸アルミニウムを添加し、さらに凝集混和設備で数分間かくはんした後、フロック(凝集塊)強度を高めるためポリマーを添加し、磁気分離設備に通水する。磁気分離設備で鉄粉を含む磁性フロックは磁極へ捕集され、処理水と汚泥とに分離される。

開発システムの特徴は、(1)雨天時の急な水量増加に対応した高速処理が可能であり、(2) BOD・浮遊物質の除去で放流水域の汚染を防止することである。

実証実験装置(処理量1,000 m<sup>3</sup>/d)を用いて、処理時間5分程度の短い時間で、表4に示すような処理性能が得

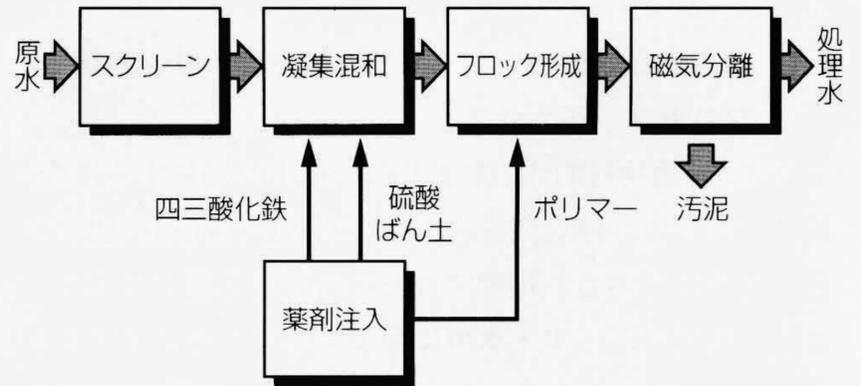


図3 磁気分離システムフロー

原水中の粒子やコロイドを磁性体粉末とともにフロック化した後、磁気力でフロックを除去する。

表4 磁気分離システムの処理性能

処理時間5分程度で高い除去率が得られている。

分析項目	原水	処理水	除去率(%)
SS (mg/L)	278~466	7~19	93~98
BOD (mg/L)	80.2~261	9.3~25.4	85~93
COD (mg/L)	82~140	7.9~21.0	82~92
pH	6.57~6.84	6.12~7.00	—
T-P (mg/L)	1.79~5.42	0.14~0.35	89~94
透視度 (cm)	2.8~5.0	23.9~31.5	—
色度 (度)	25~56	8~22	45~82

注：略語説明 COD(Chemical Oxygen Demand；化学的酸素要求量)

られることを実証した。

### 3.3 健康な水環境をつくる「紫外線殺菌装置」

下水処理放流水の殺菌では、長らく塩素殺菌が主流を占めてきたが、殺菌に伴うトリハロメタンなどの有害副生成物、残留塩素などの環境汚染が問題となっていた。そのため日立プラント建設株式会社は、これを解決する紫外線殺菌法を実用化した。

この殺菌法によると、紫外線のうち253.7 nmの波長線

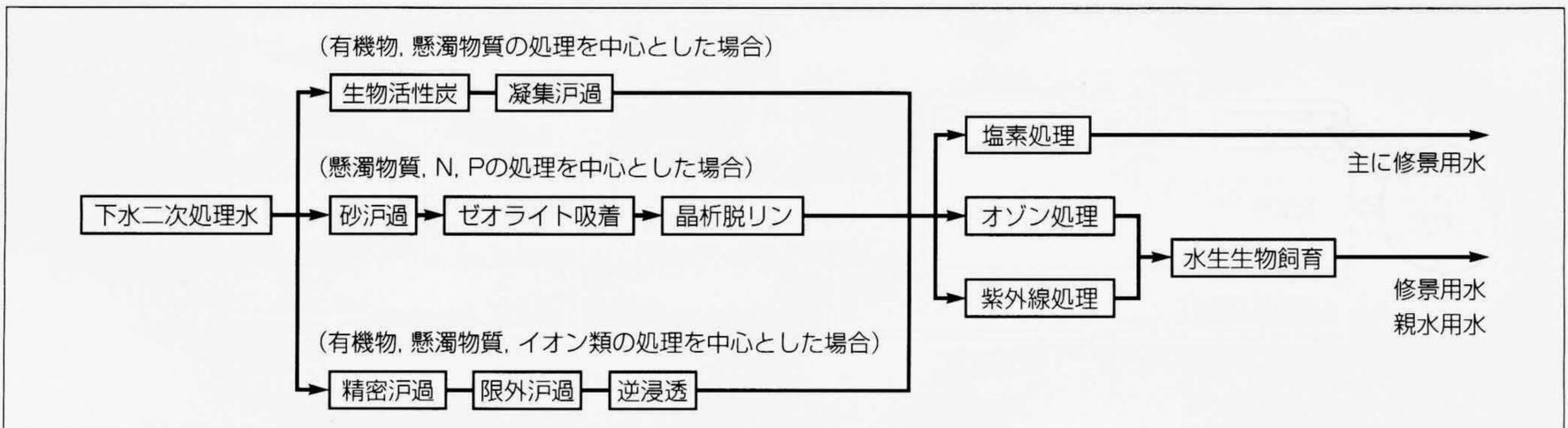


図4 「せせらぎシステム」の代表的フロー

せせらぎ用水の利用目的に応じて、さまざまな要素技術を組み合わせたフローを選定することができる。



図5 セセラギ水路の例  
下水処理水の再利用によって潤いのある快適な町づくりが実現できる。

が細菌やウイルスなどの遺伝子(DNA)を破壊し、細菌の活動を停止させ死滅させることができる。

この殺菌法を取り入れた装置の特徴は、(1) 化学物質を使わず安全性が高い、(2) 数十秒と短時間処理が可能、(3) シンプルな構造で、メンテナンスが容易なことである。

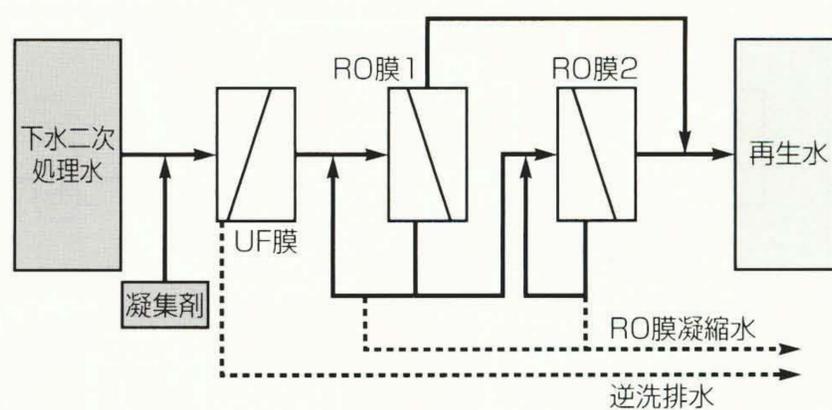
### 3.4 親水空間をつくる「せせらぎシステム」

日立金属株式会社と日立プラント建設株式会社は、下水処理水を利用してせせらぎ用水をつくるためのシステムを開発している。代表的なフローを図4に示す。

「せせらぎシステム」の特徴を次に述べる。

- (1) 目的に応じた効率的、経済的なシステム構成が可能
- (2) 水生生物が生育する安全で清澄な再利用水を製造
- (3) 膜ろ過に金属膜を使用し、長寿命な処理が可能

凝集処理一ろ過方式で処理し、せせらぎ水路に放流している事例を図5に示す。また、より高度な再利用水を



注：略語説明  
RO (Reverse Osmosis ; 逆浸透)  
UF (Ultrafiltration ; 限外ろ過)

図6 凝集一膜ろ過方式による下水再利用実験フロー  
UF膜とRO膜を組み合わせて原水(下水二次処理水)の水質変動に対応した運転方法を確立した。

製造するため、凝集一膜ろ過方式によるシステムを開発した。実験装置のフローを図6に、実験で得られた結果を表5にそれぞれ示す。この装置には、微量有機物と塩類の除去が可能なRO膜を用いており、水道水レベルの水質が得られる。

### 3.5 水資源を守る「産業廃水再生利用システム」

工業用水の供給制限、地下水のくみ上げ規制などで用水確保が困難となり、また一方で、排水の排出規制が強化され、廃水の高度処理のための投資も大きくなっている。

ここでは、日立プラント建設株式会社の産業廃水再生利用システムの一例として、比較的低濃度の精密部品工場廃水を回収再利用した例を紹介する(図7参照)。このシステムは、廃水中に含まれる有機物を、細孔内に微生物を保持した生物活性炭と微生物の流出を防止するための精密ろ過膜(MF膜)を組み合わせた装置で処理した後、RO膜で仕上げ処理を行うものである。このシステムによって図8に示す高品質な再生水を得ることができ

表5 凝集一膜ろ過システムの処理性能  
RO膜を用いることにより、塩類や低分子物質を除去することが可能であり、水道水レベルの再利用水が得られる。

	濁度 (度)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	色度 (度)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	T-P (mg/L)	Cl (mg/L)	電導度 (μs/cm)	大腸菌群 (個/cc)	AGP (mg/L)
目標値	≤1	≤3	≤3	≤1	≤10	≤0.01	≤200	—	不検出	—
実験結果 原水	2.3~5.8 (3.0)	10~30 (17.8)	10~25 (13.0)	30~40 (30.8)	3.5~20 (13.7)	0.2~1.65 (0.78)	540~ 1,100 (770)	2,000~ 5,000 (3,137)	450~ 4,000 (1,121)	116 (116)
実験結果 処理水	<0.1 (<0.1)	<3 (1.0)	<3 (<1.6)	<1 (<0.1)	<3 (<1.8)	<0.01 (<0.01)	50~170 (100)	250~650 (400)	不検出 (0)	<20 (<20)
平均除去率 (%)	>96.7	>94.4	87.9	>96.8	85.8	98.7	87.0	87.2	100	—

注：( )内数字は平均値を示す。

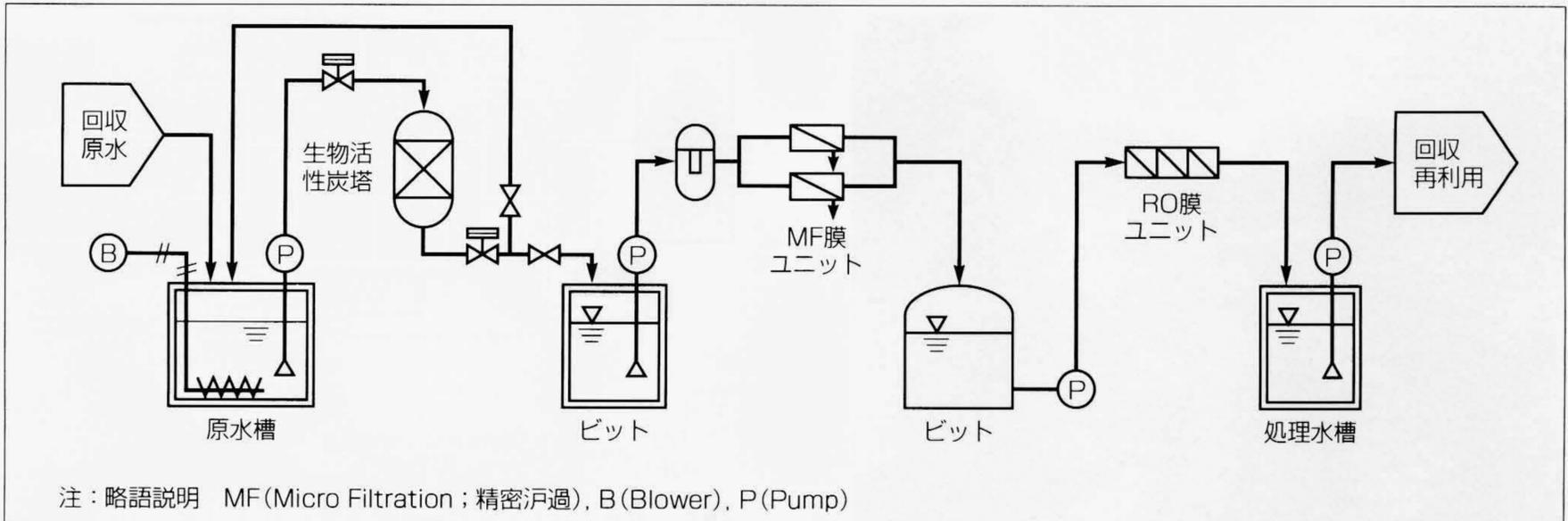


図7 廃水再利用システムフロー  
 生物活性炭で処理することによって微量有機物を吸着、分解することができる。

	回収原水	生物活性炭 + MF膜処理水	RO膜処理水	再利用水質
pH(-)	6~8	6~8	6~8	6~8
伝導度(μs/cm)	396~773	419~627	12	<200
TOC(mg/L)	2.4~8.4	0.9~1.5	0.13	<0.5
Cu (mg/L)	0.1~0.15	0.1~0.15	<0.001	<0.005
設計諸元		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 処理水循環方式</li> <li>• 接触時間 10分 (SV=6 l/h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 回収率 80%</li> </ul>	

注：略語説明 UV (Ultraviolet ; 紫外)

図8 廃水再利用システムの処理性能  
 再利用水は市水とともに純水装置で処理された後、製造ラインに供給される。

る。このシステムは機械、自動車工場などの廃水回収再利用システムにも適用できる。

#### 4 おわりに

ここでは、水環境を保全し快適な地球環境の創造と、安全な水資源の確保を目的に、国レベルの規制動向と日立グループで開発した最新の高度処理システムについて述べた。これらのシステムに加え、汚泥処理や維持管理システムを総合的に組み合わせた新しい上水および下水

処理システムを構築し、快適な都市基盤の整備に役立っている。

従来はもとより、今後も1995年に施行されたPL (Product Liability : 製造物責任) 法に適應した安全で信頼性の高い製品の開発と、環境管理システムと環境監査に関する国際規格であるISO14001への取組みを推進し、グローバルな環境保護に貢献するため努力していく考えである。

#### 参考文献

- 1) 環境庁：環境基本計画，官公庁公害専門資料，30，1(1995)
- 2) 曾小川：21世紀へ向けた下水道整備五箇年計画，33，394(1996)
- 3) 飯島：水質保全行政の現状と今後の課題，環境技術，25，1(1996)
- 4) 前田：総合的な雨水対策，下水道協会誌，31，371(1994)
- 5) 環境庁：環境白書〈総説〉(平成6年度版)
- 6) 栗原：下水処理水再利用の水質基準，下水道協会誌，27，314(1990)