

水処理分野における地球環境対策への取り組み

Approach on Global Environment Preservation by Wastewater Treatment

中村 裕紀 Hiroki Nakamura
大西 真人 Makoto Onishi

武村 清和 Kiyokazu Takemura
国井 光男 Mitsuo Kunii

地球環境分野の
水処理分野の
保全

地域内水循環(中東・アフリカ・中国など)

- 水環境汚染対策(有機物, 窒素汚染)
- 水資源確保(水不足)

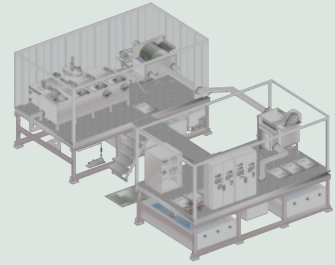
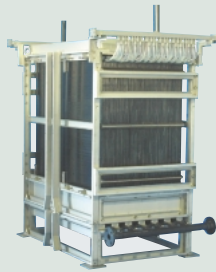
地域間水循環(全世界)

- 水環境汚染対策(病原菌蔓延)
- 環境調和(生物の人為的拡散)



日立グループのソリューション/キーテクノロジー

「安心・安全な水」の確保



- 下水処理
 - 産業廃水処理
 - 下水再生利用
 - 工場内循環利用
 - 船舶バラスト水浄化
- 包括固定化担体技術
- 膜技術(MBRなど)
- 磁気分離技術

注:略語説明 MBR(Membrane Bio-reactor)

図1 水処理分野における地球環境保全への日立グループの取り組み

日立グループは、世界中の人々に安心・安全な水を供給するため、世界各地が抱えているさまざまな課題解決に向けた最適なソリューション提供をめざし、グループ内の技術を結集し、水処理技術の発展に貢献していく。

日立グループは、地球環境保全に貢献できる水処理技術を開発し、グローバル展開を進めている。

包括固定化担体による窒素処理システムでは、優れた硝化性能を生かし、中国の下水、産業廃水処理分野への適用をめざしている。膜分離活性汚泥処理システムでは、水資源に乏しい中東において、下水を水資源ととらえ、水再生ビジネスを展開中である。バラスト水浄化システムでは、全世界の海域の生態系破壊や病原菌蔓延を防止するため、殺菌剤を用いない環境に配慮した凝集 磁気分離方式の製品化により、海洋環境を保全する。

1.はじめに

21世紀は「水の世紀」と言われており、世界中で生活の基盤となる水に対する問題が顕在化している。このような状況の中で、日立グループは、地球環境保全に寄与できる先進の設備やシステムの開発、ソリューションの提供を行っており、グローバルな事業展開をめざしている(図1参照)。

世界人口約65億人(2006年時点)のうち、約11億人の人々が安全な飲用水を入手できない、また、約24億人の人々が衛生設備(下排水・し尿処理)のない生活を強いられている。2000年の第2回世界水フォーラムで発表された「世界

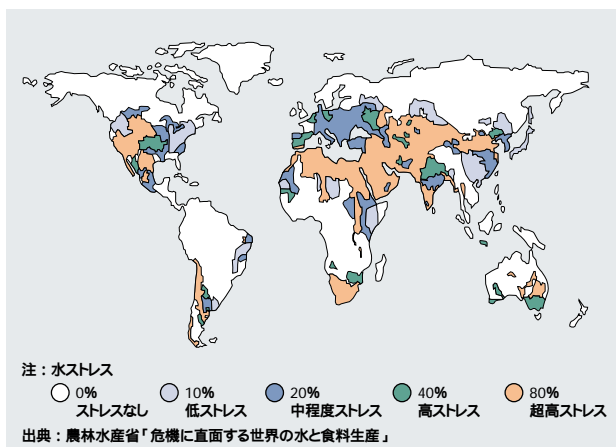


図2 現状維持シナリオにおける2025年の世界の水ストレス¹⁾

「現状維持シナリオ」とは、現在の政策を維持し、水利用などの傾向が将来に向けてそのまま延長したシナリオであり、「水ストレス」とは、人間や環境が必要とする水量の不足を表す指標である。2025年までに40億人の人間が、高い水ストレスに直面すると予想されている。

水ビジョン」では、2025年までに世界人口の半数の40億人が水ストレスに直面すると予測している¹⁾(図2参照)。水不足の進行は近年の地球温暖化の影響でより加速され、水不足地域の拡大にもつながりかねない。また、衛生設備の普及が遅れている地域では、深刻な水環境汚染の問題も抱えており、水処理技術が地球環境保全に果たす役割はきわめて大きい。

ここでは、「水環境汚染対策」、「水再生利用」、「環境調和」の観点から、株式会社日立プラントテクノロジーの中核技術である包括固定化担体による窒素処理システム、膜分離活性汚泥処理システムの海外展開と、近年新しい水処理市場として注目されているバラスト水浄化システムについて述べる。

2. 包括固定化担体による窒素処理システム

日立プラントテクノロジーが開発した優位技術である包括固定化担体を用いた窒素処理システム(下水向け「ペガサス」は日本下水道事業団と共同開発)は、国内の下水処理場、民間産業排水処理を中心に多くの実績を有している。このシステムにおける中国を中心としたグローバル展開について以下に述べる。

2.1 中国での水問題の解決

水汚染が大きな問題となっている中国では、下水処理対策を重点化し、第11次5か年計画(2006~2010年)で、全国主要都市の下水処理率70%の達成を目標に掲げている^{2),3)}。湖沼の富栄養化対策として窒素処理も急務となっており、特に、2007年9月に江蘇省から太湖地区のすべての下水処理場に「一級A」の厳しい処理基準(処理水全窒素15 mg/L以下、アンモニア性窒素5 mg/L以下など)の適用が発表され、約170か所で改造計画が進められている。また、産業廃水処理に関しても規制が強化され、対応できない工場は操業停止処

分が課せられている。このように、下水のほか各種産業廃水、ごみ浸出水に含まれる高濃度アンモニア性窒素の有効な処理技術が求められており、日立グループが貢献できる余地は大きい。

そこで、国内外で多くの実績がある包括固定化担体による窒素処理システムについて、地球環境保全の観点から大きな意味を持つ中国市場への提供をめざし、中国の実廃水を用いてその適用性を検討している。

2.2 包括固定化担体の概要と特長

包括固定化担体は、微生物とプレポリマーを混合し、重合させて高分子含水ゲルとし、一辺3 mmの立方体状に成形したものである(図3参照)。硝化菌をゲルの微細な格子構造内に取り込み高濃度に保持するため、担体表面に微生物を付着させる他の結合固定化方法に比べ、初期処理性能の立ち上がりの速さや処理安定性に優れた特長を持っている。

2.3 下水向け窒素処理システムの概要

包括固定化担体を用いた窒素処理システムは、硝化槽内に投入した担体をスクリーンで保持し、硝化反応を促進することで窒素除去効率を飛躍的に向上させる。ほとんどの下水処理場で採用されている標準活性汚泥法の反応槽(必要反応時間:6~8 h)を窒素処理用に改造する場合、従来法である活性汚泥循環変法(必要反応時間:12~16 h)では反応槽を2倍に増設する必要があったが、このシステムでは、処理施設を増設せずに改修可能であり、敷地制約のある既設処理場の改造に適している(図4参照)。

2.4 中国における包括固定化担体の性能実証例

高濃度アンモニア含有廃水については、上海交通大学との共同研究⁴⁾として、中国広東省の酒造メーカー内にパイロット実験装置を設置し、酒造廃水の処理実証試験を行った(図5参照)。硝化槽へ流入するアンモニア性窒素200 mg/L

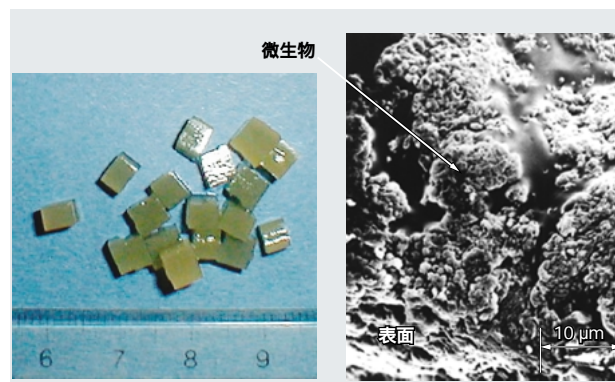
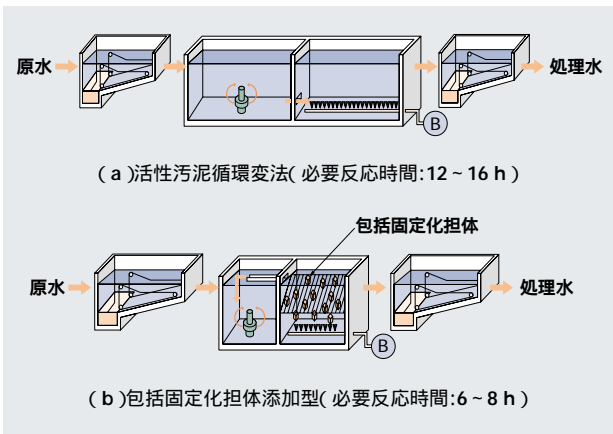


図3 包括固定化担体の外観(左)と担体断面の電子顕微鏡写真(右) 一辺3 mmの立方体状に成形した担体内部に、微生物を高濃度保持している。



注:略語説明 B(Blower)

図4 下水向け窒素処理システムの概要

包括固定化担体を用いることで、標準活性汚泥法の反応槽を増設することなく、窒素処理対応に改造できる。



図5 高濃度アンモニア廃水処理パイロット装置
メタン発酵 脱窒 接触酸化 硝化の処理フローで構成する処理規模600 L/日の装置の外観を示す。

が15 mg/L以下まで処理され、処理目標値(中国における一級基準、アンモニア性窒素15 mg/L以下)を満足した。

2.5 下水向け包括固定化担体適用の課題と今後の展開

現状の中国では、下水向け窒素処理法としてオキシデーションディッチ(OD:Oxidation Ditch)法、回分式活性汚泥法、嫌気好気(A/O:Anaerobic-Oxic)法、嫌気無酸素好気(A₂O:Anaerobic-Anoxic-Oxic)法が多く採用されている⁵⁾。オキシデーションディッチ法や回分式活性汚泥法へ包括固定化担体を適用するためには、反応槽構造・担体分離方式などの改良が必要である。

また、中国の下水処理場では工場廃水が混入することが多いため、日本に比べて窒素濃度が高く、大きな水質変動も想定され、窒素除去に必要な処理時間を日本の下水処理場より長くとることが必要になると考えられる。包括固定化担体の適用は、硝化反応時間を短縮し、脱窒のために十分な処理時間を確保できることから、窒素除去率の向上につながり、

一級A処理を目標とした改造に有利であると言える。

中国で新技术を適用していくためには、中国の実績を用いた実証実績、運転データが必要であり、下水処理場での早期実証をめざしている。中国は、日本と比較して大規模な処理場が多いが、この技術の適用は可能であり、中国水環境の改善に大きく貢献できるものとする。

3. 膜分離活性汚泥処理システム

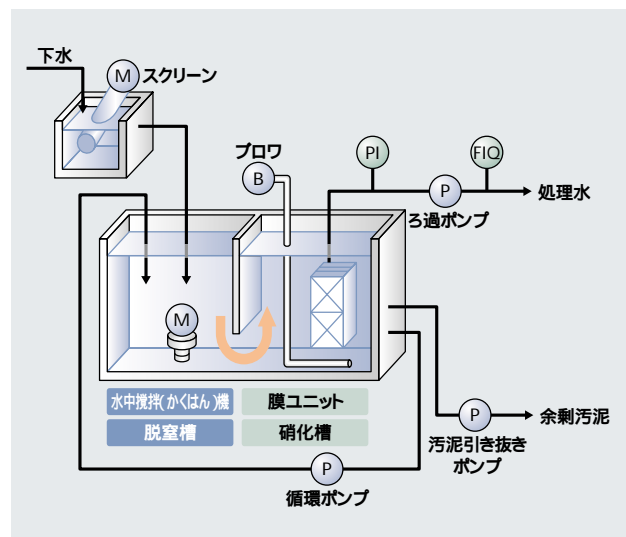
前述したとおり、水資源に乏しい地域では、限られた水資源をいかに有効活用するかが重要である。深刻化する水不足地域での健全な水循環・再生利用を実現するための中核技術であるMBR(Membrane Bio-reactor:膜分離活性汚泥処理)システムと、日立プラントテクノロジーの中東における水再生ビジネス展開について以下に述べる。

3.1 MBRシステムの概要

MBRシステムは、生物処理と膜分離を組み合わせた水処理システムである。従来の活性汚泥処理と異なり、生物反応槽内に膜ユニットを浸漬して固液分離を行う。槽内の活性汚泥(微生物)濃度を高く保持でき、設備のコンパクト化が可能であるとともに、再生利用に適した高度な処理水が得られることが特長である(図6参照)。

3.2 PVDF浸漬平膜ユニット

日立プラントテクノロジーが採用している浸漬平膜ユニットは、孔径0.1 μmのPVDF(Polyvinylidene Difluoride:ポリフッ化ビニリデン)製精密ろ過膜を支持板の両面に装着した平膜エレメント(膜面積1 m²)を基本単位とし、これを複数枚束ねた



注:略語説明 M(Motor), P(Pump), PI(Pressure Indicator)
FIQ(Flow Indication and Quantity)

図6 MBRシステムの標準フロー

MBR膜分離活性汚泥処理システムは高度処理対応として、生物反応槽は脱窒槽・硝化槽から構成され、硝化槽内に膜ユニットを設置する。

平膜カセットを複数個納めた膜ユニットと、それぞれのエレメントから吸引したろ過処理水を集める集水部、および膜面洗浄のための空気を供給する散気装置から構成されている(図7、図8参照)。PVDF膜採用により、物理的・化学的劣化を受けにくく、膜面での汚泥層の形成を抑制することで低圧力での運転を実現している⁶⁾。

膜分離部は、エレメント間の間隔を保持するための外部ケーシングが不要な構造となっており、高さ方向にエレメントを多段に積み重ねることによって、従来方式に比べ、膜面洗浄に必要な空気量を低減することができ、省エネルギー化を実現した。

3.3 中東における水再生ビジネス展開

現在、中東、特に近年の急速な都市開発が注目されているドバイ(アラブ首長国連邦)における水再生ビジネスを積極的に展開中である。

ドバイでは都市部での建設ラッシュに伴い、多くの外国人労働者が入国し、雇用主である建設会社はレイバーキャンプ(外国人労働者の居住施設)を所有している。従来、レイバーキャンプから排出される生活排水は、敷地内の排水タンクに貯留し、タンクローリー車で有料引き取りをしていたが、近年の下水処分費高騰により、費用負担がかさんでいた。一方で、建設現場で使用する建設用水には水道水を用いていた。この建設業界を取り巻く事業環境での水需給に注目し、生活



図7 PVDF(ポリフッ化ビニリデン)平膜カセット
膜面積1 m²の平膜エレメントを10枚束ねて構成している。



図8 浸漬平膜ユニット
膜ユニット下部に散気装置を設置して、散気することで膜面の閉塞(そく)を防止する。



図9 レイバーキャンプ向け MBR設備

2007年にドバイ市内のレイバーキャンプに納入したMBR設備の外観を示す。処理規模は250 m³/日であり、約1,500人の生活排水を処理している。

排水を単なる排水ではなく水資源ととらえ、MBRシステムの導入により、処理水を建設用水などに再生利用することを提案している。

ビジネス展開にあたっては、250～750 m³/日の小規模MBRユニットを標準化し、顧客のニーズに合った設備を迅速に提供できる体制を整えている。すでに、2007年に250 m³/日規模のMBR設備をドバイ市内のレイバーキャンプで稼働開始し、その後も十数台のユニットを受注した(図9参照)。

生活排水の再生利用の面では、建設用水以外にもさまざまな用途が期待できる。ビル空調用の冷却水などの高度な水質が要求される場合には、MBR設備の後段に逆浸透膜設備を付加し、MBR処理水中のイオン成分を除去することも可能である。水需要に合わせた処理設備の提供と最適な運転管理により、生活排水を有効に再生利用し、貴重な水資源として確保することができる。

一般に、中東での水道水確保は海水淡水化に委ねられているが、濃縮した海水を海域に戻すことで、海水(特に閉鎖性水域であるペルシャ湾)の塩分濃度が上昇する環境問題があった。生活排水の再生利用によって水道水の使用量が減ることで、海水の塩分上昇を抑制することにもつながり、地球環境保護の観点からも、きわめて有意義な処理技術である。

4. バラスト水浄化システム

4.1 バラスト水を取り巻く動向

バラスト水は、船舶のバランスを保つために搭載する海水、汽水または淡水のことで、世界中では1年間に100億tを超えるバラスト水が船舶によって運ばれている。港湾の海水、汽水、淡水中に含まれるプランクトンや細菌類はバラスト水と一緒にバラストタンクに取り込まれ、他国の港でバラスト水が排出される際に、これらの生物と一緒に排出され、その海域の生態系破壊や病原菌(まん)延の原因になると言われている。IMQ(International Maritime Organization:国際海事機関、世界167か国加盟)は、2004年2月にバラスト水管理条約を採

択し、船舶への処理装置の搭載を義務づけた。なお、条約はIMO加盟国の30か国以上が批准し、かつ、その合計商船船船量が世界の35%以上に達した日の12か月後に発効されることになる。発効条件の達成は非常にハードルの高いものであるが、近年の環境保全に対する世の中の動向を考慮すると、近い将来、発効することは確実視されている⁷⁾。

日立グループは環境に配慮したシステムづくりをコンセプトに、2009年度の製品化をめざし、「凝集」と「磁気分離」を組み合わせた新しいバラスト水浄化システムの開発を行っている。

4.2 開発コンセプトおよび処理方式

バラスト水管理条約が定めた排出基準は非常に厳しく、50 μm以上の水生生物(プランクトン)は1 m³当たり10個体未満、大腸菌は100 mL当たり250 cfu(群単位)未満で、その水質レベルは海水浴場に匹敵する(表1参照)。浄水場や下水処理場に代表されるように、菌類除去には、次亜塩素酸ナトリウムなどの殺菌剤を用いる方法が一般的である。しかし、この条約では菌類より殺菌剤に耐性を持つと考えられるプランクトンも除去対象であるため、添加する殺菌剤濃度が高くなる懸念され、殺菌剤の使用は効率的とはいえない。さらに、処理方法の選定においては、バラスト水排出基準の順守だけでなく、バラスト水排出時にその海域に住んでいる生物に影響を与えない処理方法を選定することも重要事項である。

日立グループは、環境面への配慮を重視し、殺菌剤を使用しない処理方法を提案した。このシステムは、「凝集」と「磁気分離」技術を組み合わせ、対象となる生物を高速に分離除去可能な方式である。この方式は、殺菌剤を使用する方式と異なり、薬効残存性の問題がなく、処理水は無害で海洋汚染の心配もない。

4.3 除去原理

海水に磁性粉および凝集剤を添加し、海水中に含まれるプランクトン、細菌、砂などを1 mm程度のフロックと呼ばれる小さな塊にし、磁気分離除去することで、バラスト水排出基準を達成する。フロックは、一般的に重力沈降や気泡を利用した浮上法で分離することが多い。しかし、バラスト水浄化の場合、設備の設置スペースが限られているため、フロックの高速

表1 バラスト水の排出基準

IMO(国際海事機関)が採択したバラスト水排出基準を示す。

対象	管理基準
最小寸法が50 μm以上の水生生物	10個/1 m ³ 未満
最小寸法が10 ~ 50 μmの水生生物	10個/1 mL未満
病原性コレラ菌(01, 0139)	1 cfu/100 mL未満
大腸菌	250 cfu/100 mL未満
腸球菌	100 cfu/100 mL未満

注:略語説明 cfu(Colony Forming Unit:群単位)

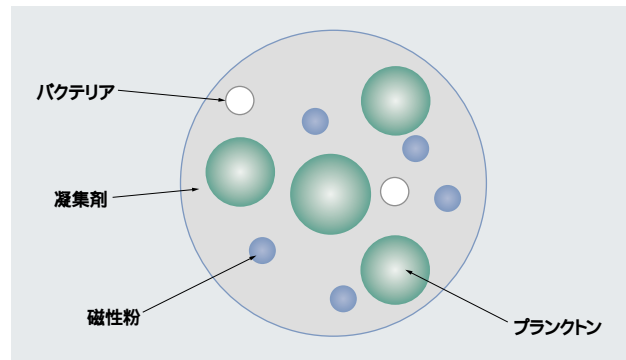


図10 フロックの概念

凝集操作により、フロック内にバクテリア、プランクトンなどを捕捉する。

分離が要求され、かつ、バラスト水排出基準を満たすためにはフロックをほぼ完全に除去する必要がある。そのため、長い時間(30分~1時間)を要する「沈降分離」や、気泡による「浮上分離」の採用は難しい。日立グループは、フロック内に磁性粉を取り込ませ、磁力でフロックを除去する方法(磁気分離)を考案した。磁気分離は、数秒でフロック除去が可能であり、除去精度もきわめて優れているため、バラスト水処理に適している(図10参照)。

4.4 バラスト水浄化システムフロー

システムは、「急速攪拌(かくはん)槽」、「緩速攪拌槽」、「磁気分離装置」、「フィルタ分離装置」の四つの設備で構成される。

「急速攪拌槽」と「緩速攪拌槽」は、海水中に含まれるプランクトン、細菌、砂などを凝集剤と磁性粉でフロック化する装置で、攪拌翼と槽形状の最適化により、必要滞留時間の大幅短縮を実現した。フロック除去は、磁気分離とその後段のフィルタ分離(孔径数十マイクロメートル)で行う。水質の安定化を図るとともに、分離効率も向上して装置の小型化を可能とした。このシステムで使用する凝集剤は、世界中の浄水処

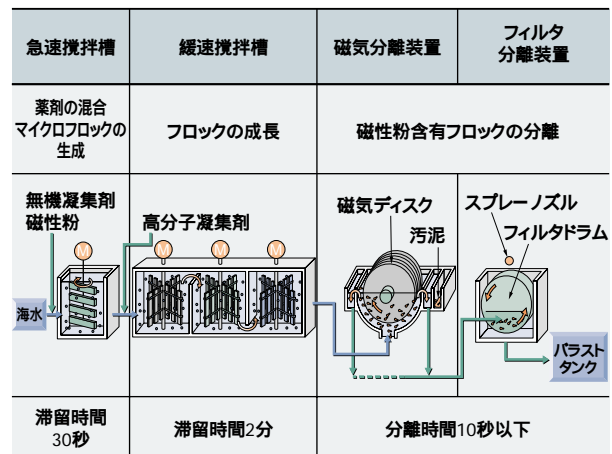


図11 バラスト水浄化システムフローの概念

水処理系のシステムフローの概念を示す。永久磁石を埋め込んだ磁気ディスクを積層した磁気分離装置を開発した。

理(日本では飲用)で使用している薬剤と同等のものであり、安全性が高い(図11参照)。

4.5 パラスト水浄化システムの特長

このシステムは殺菌剤を使用しないため、多くのメリットを有する。

- (1) 処理水は、OECD(Organisation for Economic Co-operation and Development:経済協力開発機構)が定める生物毒性試験で、無希釈で環境中に排出しても安全であることを確認しており、パラスト水排出時に環境汚染の心配がない。
- (2) 処理水中に殺菌剤、酸化剤が残留しないため、パラストタンクの塗装に悪影響を与えず、船舶の寿命が延びる可能性がある。
- (3) 被処理水中の浮遊物質も効率よく除去できるため、処理水は透明度が高く、パラストタンク内のマッド(泥・生物の死がいなど)の堆(たい)積を大幅に減少できる。
- (4) タンク内のマッド堆積の抑制効果により、航行中のパラストタンク内での生物増殖リスクを排除できる。さらに、生物の卵や生物増殖の必須栄養素であるリンも除去可能なため、生物増殖を大幅に低減できる。

4.6 今後の展開

現在、世界中でパラスト水浄化装置の開発が行われており、日立グループも早期に型式承認を取得すべく、急ピッチで開発に取り組んでいる。すでに、三菱重工業株式会社長崎造船所で建造される雄洋海運株式会社向けの新造LPG(Liquefied Petroleum Gas)船へ試験装置(処理規模50 m³/h)を搭載し、2008年4月から約1年間の予定で船舶搭載試験を行っている。処理性能の評価だけでなく、装置の耐環境評価や維持管理を含めた総合的な評価を行う。

現在、この条約の対象となる船舶は新造船だけで年間約1,500隻と言われており、2017年以降には10万隻以上の既存

船にも適用される。

日立グループが「海事国家日本」の代表として、海洋環境の維持に貢献できるように、「パラスト水浄化装置」の製品化を推進していく考えである。

5. おわりに

ここでは、世界が抱える「水環境汚染」、「水不足」、「環境破壊」の問題を解決すべく、地球環境保全に寄与できる水処理技術として、包括固定化担体による窒素処理システム、膜分離活性汚泥処理システム、パラスト水浄化システムについて述べた。

日立グループが取り組む地球環境戦略の中で、生活の基盤となる水にかかわるこの分野の位置づけはきわめて重要なものである。地球上に存在する水の97.5%は海水であり、人間が実際に利用できる地下水・河川・湖沼などの水は、全体の0.77%のみである。この貴重な水資源を量・質の両面から守っていくことが、われわれの使命である。そのために、日立グループの技術を集結して、最も適したトータルソリューション提供をめざし、水処理技術の発展に貢献していく所存である。

参考文献など

- 1) 農林水産省, 危機に直面する世界の水と食料生産, <http://www.maff.go.jp/water/siryo.pdf>
- 2) 陳:急速に成長する中国経済の現状と問題点, 資源環境対策, Vol.39, No.1, p.74~81, 環境コミュニケーションズ(2003)
- 3) 中国における水環境汚染状況および総合管理対策, 用水と廃水, Vol.49, No.10, p.44~49, 産業用水調査会(2007)
- 4) Removal of organic matter and nitrogen from distillery wastewater by a combination of methane fermentation and denitrification/nitrification processes, Journal of Environmental Sciences, Vol.18, No.4, pp.654-659(2006)
- 5) 中国における都市下水処理の現状と動向, 用水と廃水, Vol.49, No.10, p.80~84, 株式会社産業用水調査会(2007)
- 6) 能登, 外:日立新型MBR下水処理システム, 日立プラントテクノロジー技術報, No.1, p.38~41(2007)
- 7) 久野:パラスト水規制関係について, Journal of the JIME, Vol.41, No.2, p.81~86, 日本マリンエンジニアリング学会(2006)

執筆者紹介



中村 裕紀
1981年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社, 研究開発本部 松戸研究所 水環境・プラント部 所属
現在, 水処理システムの研究開発に従事
工学博士



大西 真人
1986年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社, 研究開発本部 松戸研究所 水環境・プラント部 所属
現在, 膜分離技術を用いた水処理システムの研究開発に従事



武村 清和
1998年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社, 研究開発本部 松戸研究所 水環境・プラント部 所属
現在, パラスト水浄化システムの研究開発に従事



国井 光男
1976年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社, 環境システム事業本部 事業企画本部 所属
現在, 水処理システムの事業企画に従事
技術士(上下水道部門)