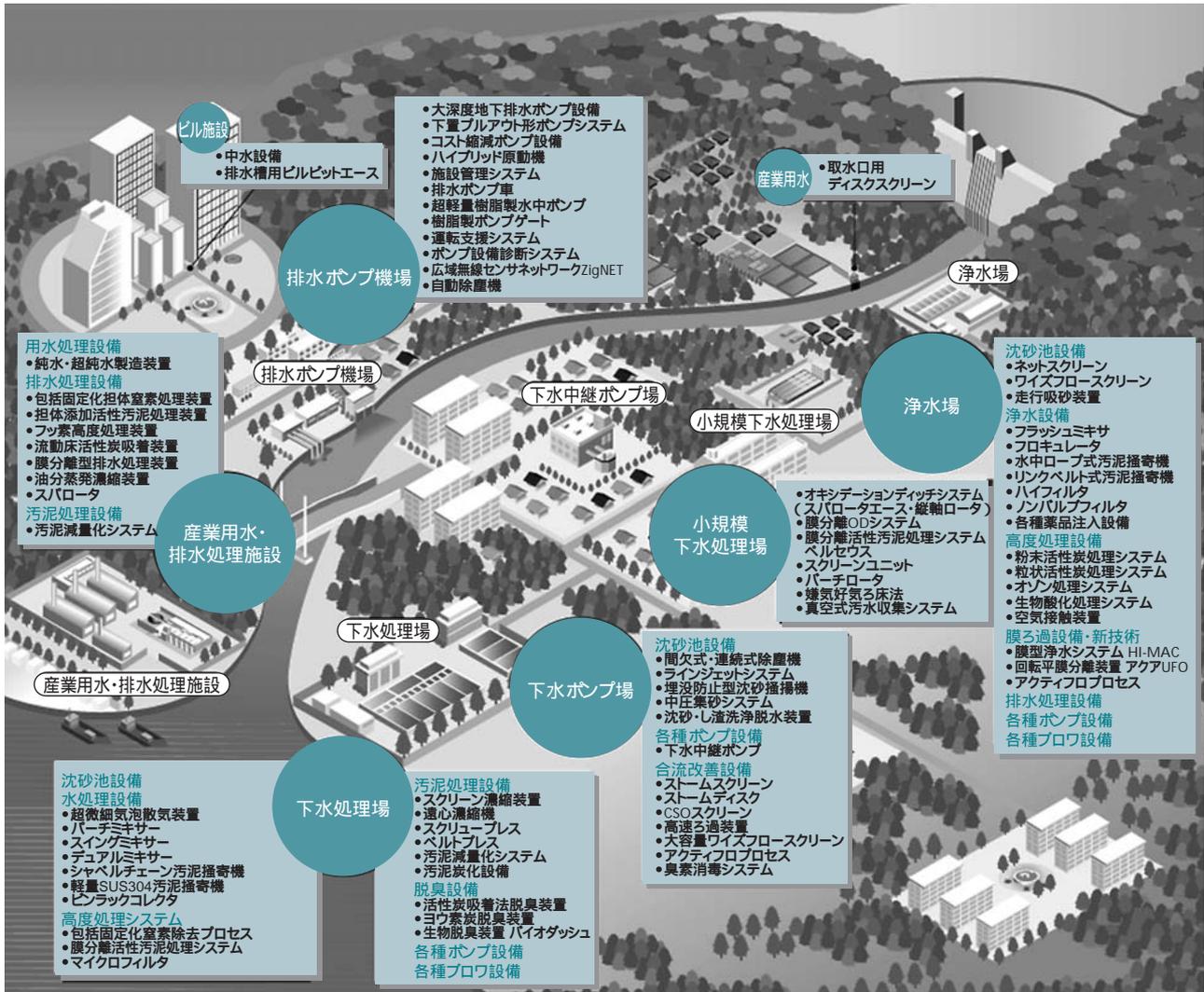


水資源と水循環を支えるポンプ・水処理設備

Pump and Wastewater Treatment Systems for Water Resource and Recirculation

江森 弘祥 Hiroyoshi Emori
 大出 浩輔 Kosuke Ode

林田 恵星 Kei Hayashida
 松井 志郎 Shiro Matsui



注:略語説明 CSO(Combined Sewer Overflows:合流式下水道越流水), OD(Oxidation Ditch)

図1 水資源と水循環を支える日立グループのポンプ・水処理機器・システム

日立グループは、「水の世紀」と言われる21世紀に、水資源の確保、各国ならびに各地域における水循環と水環境の問題解決に最も適したトータルソリューションをめざしている。

日立グループは、水資源の確保および上下水道、さらに水循環・再利用を目的とした数多くのポンプ・水処理技術を開発し、水資源の確保とともに水環境保全に向け、顧客ニーズに合わせたトータルソリューションをめざしてきた。ポンプ設備では大型給水用ポンプならびに都市雨水・下水排水ポンプを数多く納入し、砂漠の緑化をはじめ、健全な都市機能の維持に貢献している。一方、水処理分野では、上水道の安全で安定した飲料水の確保に向けて膜型浄水設備ならびに高

度処理設備、下水道による生活環境の維持・公共用水域の環境保全のため、各種スクリーン設備・沈殿池設備、活性汚泥設備、高度処理設備など、さまざまな顧客ニーズに適した技術開発を推進している。

1.はじめに

日立グループは、水環境の分野でも、さまざまな技術やノウハウを融合し、それぞれの国や地域に最も適した先進の設備

やシステム、ソリューションを提供している。ポンプ・水処理設備は水資源の確保、上下水道、水循環・再利用を目的として多数を開発し、国内外に納入してきた。また、海外での社会インフラ整備計画にも積極的に参画している。

ここでは、給水大型ポンプ設備の事例として「ムバラクポンプ場」と「宝応ポンプ場」、水処理設備として下水道の合流改善に貢献する「ストームスクリーン」、下水処理場沈殿池の更新工事に適した汚泥掻き寄せ機「シャベルチェーン」、高度処理反応槽の省エネルギー型攪拌機「かくはん機」「デュアルミキサー」、および、今後の下水再利用の中核技術と考えられる「膜分離活性汚泥処理システム」について述べる。

2. 大型ポンプ設備

日立グループのポンプシステム技術は日本国内にとどまらず、世界の水事業に貢献している。米国アリゾナ州の多目的送水事業、トルコ共和国イスタンブール市給水事業、中国南水北調送水事業、米国カリフォルニア州送水事業、そしてエジプト・アラブ共和国のムバラクポンプ場の砂漠緑化事業などである。

2.1 ムバラクポンプ場

エジプト・アラブ共和国では古くから砂漠の緑化事業を推進してきた。日立グループは1950年代から大型灌漑（かんがい）ポンプ設備を60台納入し、砂漠緑化事業に貢献してきた。ムバラクポンプ場は日立グループの高度な技術を駆使し、かつ多国間コンソーシアムの中で技術面でのリーダーシップを発揮して、設計から竣（しゅん）工までわずか5年で完成させた巨大なポンプ場である。31.5 mの水位変動に対応し、高効率運転を確保した最大吐出し量が毎秒334 m³のポンプ場は、日立グループのエンジニアリング力を世界に示し、エジプト・アラブ共和国に対する国際貢献として永く評価されるとともに同国の繁栄に寄与し、今後の国際的水事業へと発展するものである（表1、図2、3参照）。

表1 ムバラクポンプ場の主ポンプの仕様

エジプト・アラブ共和国のナイル川上流にあるムバラクポンプ場の主ポンプの仕様を示す。

型式	立軸片吸込み渦巻ポンプ
吐出し量	16.7 m ³ /s
全揚程	57.1 m
ポンプ回転数	210～300 rpm
原動機出力	1万2,000 kW
台数	21台



図2 ムバラクポンプ場のポンプロータ

31.5 mの水位変動に対応するため可変速で運転される。そのため低流量域から高流量域にわたって高性能が求められた。

ステーベンは翼型デフューザとし、インペラの羽根入口角度の改善を図り、三次元流れ解析とモデル実験により、水力モデルを最適化した。

2.2 宝応ポンプ場

中国が進めている水利用計画「南水北調」は、「南（長江流域）の水をもって北（黄河流域）の水不足を調える。」という意味に由来する。水量の豊富な長江（揚子江、年間流出量約9,600億m³）から東線（河口付近から取水）、中央線（中流の丹江口ダムから取水）、西線（長江上流から取水）の3ルートで北京市、天津市などの北部主要地域への給水を行う、世界有数の大規模送水プロジェクトである。宝応ポンプ場はそのうちの東線ルートの長江河口部支流にある高郵湖付近に設置され、既設運河を流用した送水ラインへ送水を行うポンプ場である。このポンプ場は取水だけではなく、内水排除用排水も兼ねた多目的ポンプ場であり、きわめて重要な位置



図3 ムバラクポンプ場の全景

ムバラクポンプ場は2003年8月に完成した。吸込み水路の末端に吸込み池をつくり、その池の中にポンプ機場を建設するアイランドポンプ場方式が採用された。

づけが与えられている(図4,5参照)。

ポンプ場の総送水量は毎秒100 m³、全揚程7.6 mとなっており、これを3台の斜流ポンプで送水する。単機当たりの送水量は非常に大きく、日立グループが納入している同型機種の中では最大級の吐出し口径を有する。このポンプ場で採用された斜流ポンプは、取水・排水の多目的仕様のため、運転範囲が40～110%と広いことから翼操作機構を設置した可動翼方式を採用し、これに対応している(表2参照)。



図4 宝応ポンプ場

採用された斜流ポンプには、運転範囲が広い翼操作機構を設置した可動翼方式が採用されている。また、逆流防止目的のために吐出し側はサイフォン形式が採用されている。この種のポンプとしては日立グループ納入実績の中でも最大級の規模(口径3,500 mm)である。

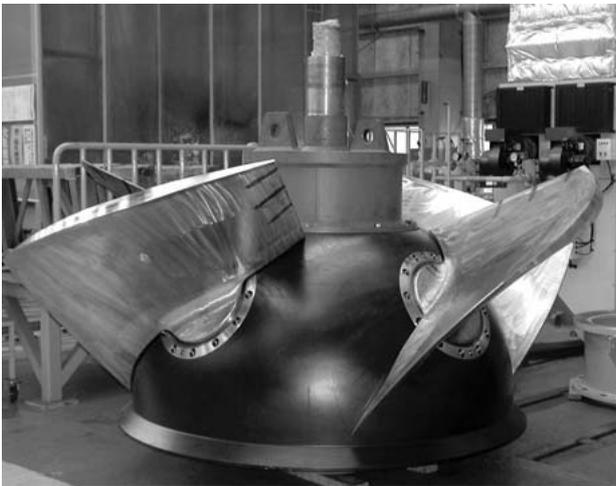


図5 宝応ポンプ場のポンプロータ

翼操作機構を設置した可動翼ポンプが採用されている。

表2 宝応ポンプ場の主ポンプの仕様

中国の南水北調送水事業における宝応ポンプ場の仕様を示す。

型式	立軸可動翼斜流ポンプ
吐出し量	33.4 m ³ /s
全揚程	7.6 m
ポンプ回転数	125 rpm
原動機出力	3,400 kW
台数	4台(予備機1台含む)

3. 水処理設備

3.1 ストームスクリーン

「ストームスクリーン」は、合流式下水道における雨水吐き室内の越流堰(せき)上に設置するもので、雨天時に溢(しや)集能力を超えた越流水中に含まれる景観上不快な夾(きょう)雑物が、河川などの公共用水域に流出することを防止するための無動力式スクリーンである。越流水は主水路からスクリーンに入り、越流水中に含まれる夾雑物はスクリーン上に捕捉(ほそく)され、水流から分離される。スクリーンを通過した水流は、駆動パドル上へ落下し、受け形状のパドルに水が満ちると駆動パドルが回転して、伝達ベルトおよびタイミングギアを介してブラシが回転する。このブラシの回転作用により、パンチングプレートスクリーンに捕捉した夾雑物を掻(か)き取って主水路に戻し、河川などへの流出を阻止する(図6参照)。

夾雑物捕捉性能について、下水ポンプ場内に設置した実証プラントにて確認実験を行い、92%のSRV(Screening Retention Value: 夾雑物捕捉値)を有することを確認した。SRVとは、国土交通省主導の下水道技術開発プロジェクト「SPIRIT21(Sewage Project, Integrated and Revolutionary Technology for 21st Century)で採用された指標であり、雨水吐き室に設置したスクリーンが有する夾雑物除去性能(大きさ5.6 mm以上の夾雑物が対象)を評価するものである。

また、運転性能に関する信頼性を確認するため、実施設において約8か月間にわたり実証実験を行った。実験期間中、スクリーンは目詰まりを起こさず、また装置の損傷もなく、運転を継続することができた(図7参照)。実験期間中の1時間降水量とスクリーン流入側水位との関係を図8に示す。1時間降水量が10 mm程度までは流入してくる水量に対してオーバーフローせず、スクリーンによる夾雑物の流出が阻止できている

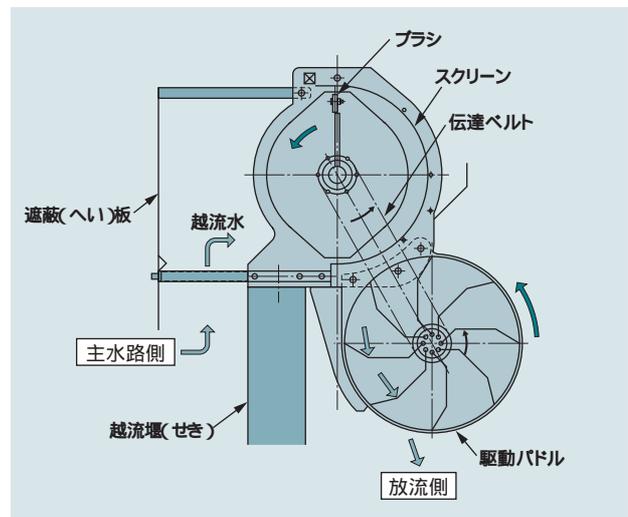


図6 ストームスクリーンの原理

越流水の落差を利用してブラシを駆動するため、動力源の必要がなく、ブラシの起動・停止の制御装置が不要であり、マンホール(直径600 mm)からの搬入が可能である。



図7 ストームスクリーンの運転状況
実証期間中、スクリーンは目詰まりを起こさず、安定した運転を確認した。

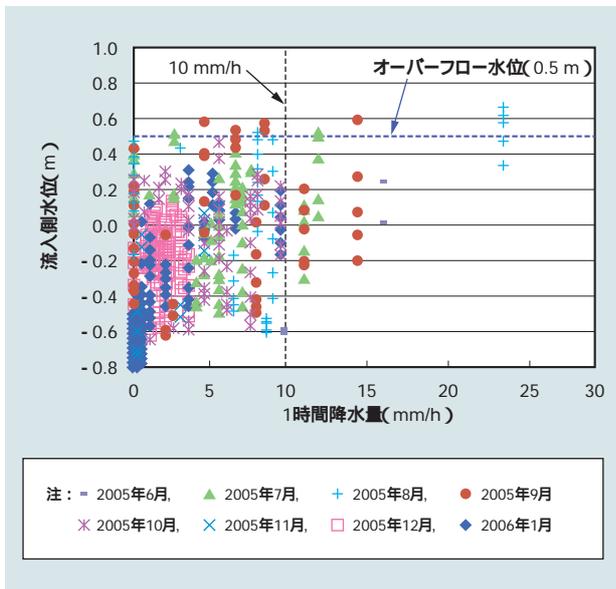


図8 1時間降水量と流入側水位
1時間降水量が10 mm程度まではスクリーンによる夾雑物の流出は十分に阻止され、オーバーフローがないことを確認した。

ことを確認した。

この装置は、2004年6月にSPIRIT21で技術評価を取得している。

3.2 シャベルチェーン

最初および最終沈殿池の汚泥掻寄機のチェーン・スプロケットは、従来の鋳鉄製から腐食に強く軽量の樹脂製の導入が増加しつつある。「シャベルチェーン」は、耐久性の向上に加え、更新時の工期短縮および既設装置との高い互換性、さらには撤去時における廃棄物の減容化を目的として開発された掻寄機である(図9参照)。チェーン・スプロケットが樹脂製のため、従来の金属製より軽量であることから、運転時の省エネルギーの実現が可能であり、施工も容易である。駆動軸用スプロケットの交換部品はピンのみであり、チェーンを取り

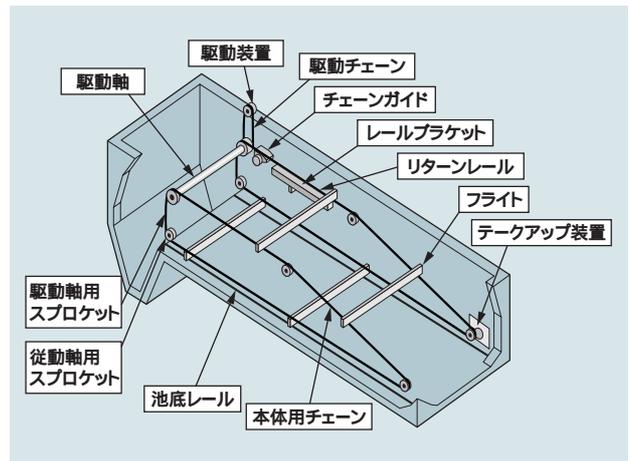


図9 掻寄機の構造
2006年3月に財団法人下水道新技術推進機構から、建設技術審査証明書(下水道分野 第0528号)を取得している。

外さずに交換ができ、使用されている樹脂はガラス繊維を含まないため、マテリアルリサイクルも可能である。また、従来の汚泥掻寄機から更新を行う際、既設の軸類やレール類に損傷がなければ加工して再利用することができる。

一方、樹脂製チェーンは、金属製チェーンに比べて伸び量が大きく軽量なため、張り調整が不十分で駆動軸用スプロケット部で適切な張力が作用していない場合には、チェーンとスプロケットがかみ合わない現象(歯飛び)が発生する恐れがあった。そこでシャベルチェーンは伸びが少ないリブを用いた構造とし、さらにバネの復元力を用いてチェーンを押さえ込む独自機構のチェーンガイドの採用により、伸びと歯飛びの発生を大幅に抑制した(図10, 11参照)。



図10 本体用チェーン
本体用チェーンにノッチ(凹部)が付与されており、駆動軸用スプロケットについてはチェーンのノッチ部が接触し、従動軸用スプロケットはチェーンの腹部と接触する。接触個所がそれぞれ異なるため本体用チェーンの耐摩耗性の向上が図れる。



図11 チェーンガイド(歯飛び防止)
バネの復元力を用いてチェーンを押さえ込むチェーンガイドにより、安定した運転を可能としている。

3.3 デュアルミキサー

デュアルミキサーは、高度処理における反応タンク（嫌気槽、無酸素槽など）内の活性汚泥混合液（以下、混合液と言う。）を混合、攪拌するための装置である。従来の攪拌機の必要攪拌動力密度4～6 W/m³に比べ、2 W/m³を目標とした省エネルギー型の攪拌機である。

電動機は水槽上部に固定され、シャフトには2基のインペラが取り付けられている。インペラの巻き付け方向は逆方向となっており、各インペラの外周を円筒で覆い、その円筒の中間部（2基のインペラの中間部）には取水用の開口部があり、

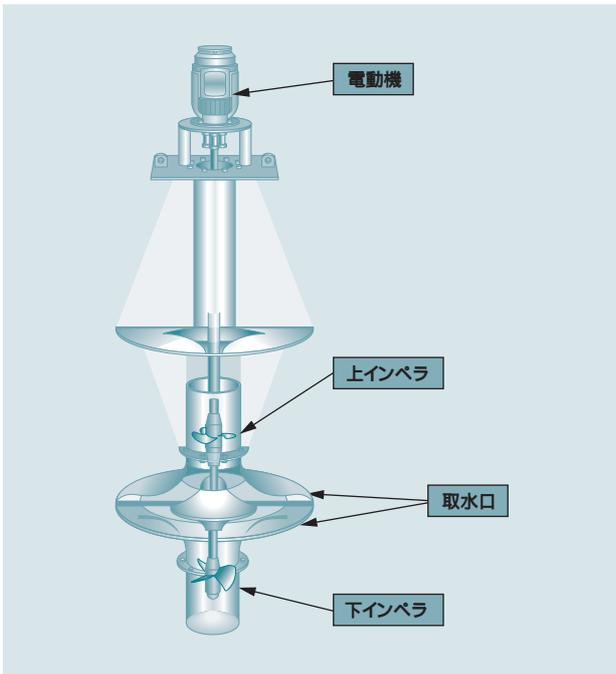
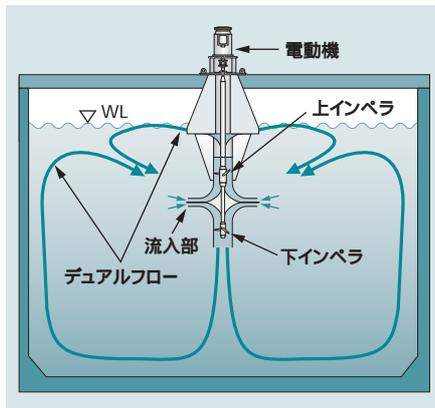


図12 デュアルミキサーの構造
シャフトに2基のインペラを付設し、インペラの巻き付け方向を逆方向とし、上・下降流を形成する。



注:略語説明 WL(Water Level)

図13 反応槽内の流れパターン

取水口から流入した混合液が、下側の円筒内部を下降する流れと上側の円筒内部を上昇する流れに分配される。下方流は下部円筒下端の開口部から吹き出し、槽底部へ到達して底部で外周方向に広がる。一方、上方流は上部円筒上端の開口部から吹き出し、槽上部のガイドで外周部に広がる。

その取水口は上下2段に分割している(図12参照)。取水口から流入した混合液は上下のデュアルフローの流動で循環することにより、効率的な攪拌を可能とするとともに表層流により、反応槽に発生しやすい表層スカムの抑制を行うことができる(図13参照)。また、反応層の形状の違いによる最適設置条件をシミュレーションによって行っている(図14参照)。

3.4 MBR(膜分離活性汚泥処理)システム

MBR(Membrane Bio-Reactor)システムは、省スペースや維持管理性の向上を実現するとともに、再利用に適した高度な処理水が得られる排水処理システムである。

従来の水処理では、上澄水を得るために活性汚泥の分離に重力沈降を用いる沈殿池が必要であったが、MBRシステムでは反応槽内に浸漬した膜から直接処理水を吸引する(図15参照)。

分離膜には、物理的・化学的劣化を受けにくいPVDF (Polyvinylidene Fluoride:ポリフッ化ビニリデン)製の膜を使用し、膜の膜孔径は0.1 μmである。従来膜と比較して汚泥の剥(はく)離性に優れ、低い圧力での吸引が可能であるとともに、再利用に適した清澄な処理水が得られる。また平膜構造のため流入水中の夾雑物が絡まりにくく、安定した運転が可能である(図16参照)。

下水を用いた連続運転による水質試験結果例を表3に示す。反応槽の合計滞留時間が4.3時間と短い場合でもBOD (Biochemical Oxygen Demand)をはじめとする有機物除去および窒素・リンの除去が良好に行われている。また、SS (Suspended Solid)や大腸菌群数については検出限界以下であり、滞留時間が標準活性汚泥法の半分程度でも、再利用可能な高品位な処理水質が得られる。なお、この結果は日本下水道事業団との共同研究の成果である。

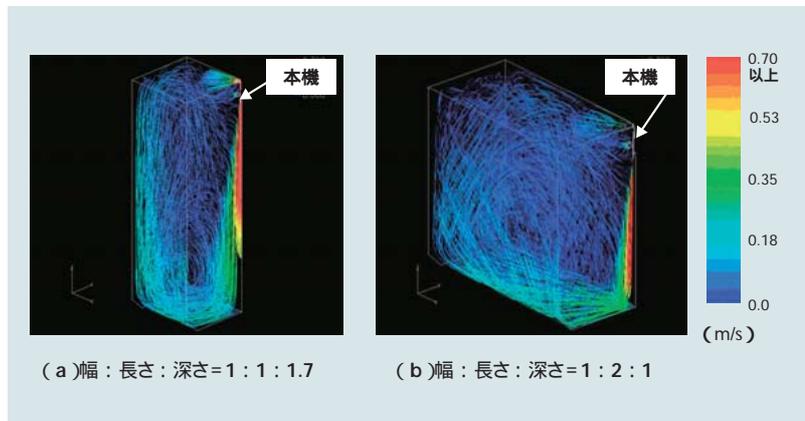
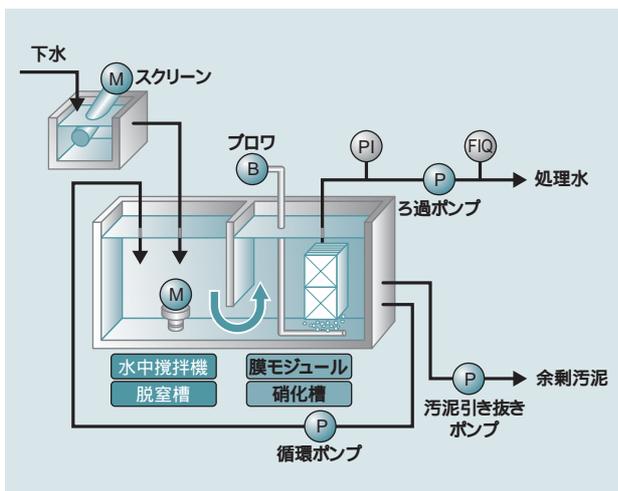


図14 形状の異なる槽での流線分布例(1/4モデル)

(a)(b)はいずれも容積が750 m³で「幅と長さおよび深さの寸法比」が異なる槽での数値シミュレーション例を示す。デュアルミキサーの攪拌効率、槽の形状によっても異なるため無段階に異なる処理槽形状に対して数種の代表形状の槽モデルを作成し、吹出し流量を変化させて評価点(底部の隅部)での流速値を調査した。この評価点において、攪拌効果の基準となる必要最小流速0.1 m/sを得るときの単位容積当たりの所用動力を上記の数値シミュレーションによって求めている。



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

図15 MBR Membrane Bio-Reactor システムフロー
高度処理対応として反応槽は脱窒槽・硝化槽から構成され、硝化槽に膜モジュールを設置する。



図16 膜分離装置
膜分離装置はPVDF (ポリフッ化ビニリデン)製の平膜を集積・モジュール構造とし、散気装置を下部に設置して、ばっ気することによって膜面の閉そくを防止する。

執筆者紹介



江森 弘祥
1976年日立プラント建設株式会社入社,株式会社日立プラントテクノロジー 環境システム事業本部 水処理事業部システム開発部 所属
現在,水処理システムの開発に従事
工学博士
日本水環境学会会員,技術士(上下水道,総合技術監理部門)



大出 浩輔
1984年日立機電工業株式会社入社,株式会社日立プラントテクノロジー 環境システム事業本部 水処理事業部機器開発部 所属
現在,水処理機器の開発に従事
工学博士
日本機械学会会員,技術士(上下水道部門)

表3 水質試験結果(平均値)の例

下水を用いた連続運転による水質試験結果の例を示す。

項目	単位	原水	処理水
SS	mg/L	169	<0.4
BOD	mg/L	160	0.7
COD	mg/L	81	5.1
TOC	mg/L	97	3.4
T-N	mg/L	29.6	6.9
NH ₄ -N	mg/L	18.3	0.3
T-P	mg/L	3.7	0.5
大腸菌群数	MPN/100 ml	4.1 × 10 ⁷	<2

注:略語説明 SS(浮遊物質または懸濁物質),BOD(生物化学的酸素要求量)
COD(化学的酸素要求量),TOC(全有機炭素),T-N(全窒素)
NH₄-N(アンモニア性窒素),T-P(全リン)

4. おわりに

ここでは、水資源と水環境を保全するためのポンプ設備ならびに水処理設備について述べた。

日立グループは、「水の世紀」と言われる今世紀に、水資源の確保、各国ならびに各地域における水循環・水環境の問題に、最も適したソリューションをめざし、ポンプならびに水処理設備技術の発展に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 黒岩,外:エジプト国内の砂漠の緑化に貢献するかんがい用水事業,日立評論,85,2,197~200(2003.2)
- 2) 社団法人国際建設技術協会,「平成12年度 日中建設交流事業 中華人民共和国南水北調事業調査団報告書」(2001.3)
- 3) 下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会,「ストームスクリーンに係る技術資料」(2004.12)
- 4) 財団法人下水道新技術推進機構,建設技術審査証明(下水道)技術報告書「シャベルチェーン汚泥掻き機」(2006.4)
- 5) 財団法人下水道新技術推進機構,建設技術審査証明(下水道技術)報告書「水槽上部設置型縦軸攪拌装置」パーチミキサ」(2006.4)
- 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報,1,38~41(2007.1)



林田 恵星
1996年日立機電工業株式会社入社,株式会社日立プラントテクノロジー 環境システム事業本部 水処理事業部機器開発部 所属
現在,水処理機器の開発に従事



松井 志郎
1987年日立製作所入社,株式会社日立プラントテクノロジー 社会・産業システム事業本部 機械システム事業部土浦事業所 ポンプ・送風機システム部 所属
現在,ポンプ設備の設計,開発に従事
技術士(機械部門)