

ポンプ設備のグローバル展開

Globalization of Hitachi Pump Business

菊島 潤 千葉 由昌
Kikushima Jun Chiba Yoshimasa

日立グループは、国内はもとより海外においても、多くの水関連の大型プロジェクトにポンプメーカーとして参画し、世界の水環境事業、社会インフラ整備に貢献してきた。

近年、世界的な水資源の不足と偏在という問題に対応するため、ポンプを取り巻く市場環境として、高効率長距離送水ポンプや海水淡水化向けポンプの需要が特に高まっている。

このような水需要を背景に、日立グループは積極的にポンプ設備のグローバル展開を進めており、CFD（数値流体力学）を駆使した高効率水力モデルや、環境負荷低減に配慮した全鋼板製ポンプ、海水淡水化プラント向けポンプなど、世界の顧客ニーズに応えるための独自技術開発を推進している。

1. はじめに

ポンプは「水」を扱う機械であり、水資源の開発、利用など、社会インフラ整備にはなくてはならないものである。また、日立グループにおいて最も歴史のある製品のひとつであり、その前身の佃島製作所時代を含めると100年を超える製作実績を有している。日立グループは、これまで、国内だけでなく、海外のさまざまな大型プロジェクト、国家的プロジェクトにポンプメーカーとして参画し、灌漑（かんがい）、上下水、排水、電力向けポンプを数多く納入することにより、世界の水事業に貢献してきた（表1参照）。例えば、1950年代の東パキスタン（現バングラデ

表1 | 日立ポンプのグローバル展開年譜

日立ポンプ100年の歴史の中で、50年にわたって海外での大型プロジェクトに参画し、水事業に貢献してきた。

地域展開	年度	グローバル展開
	1907	◆東京佃島製作所創立（日立ポンプの製造開始）
	1949	◆日立亀有工場で大規模ポンプの製造開始
	1958	・東パキスタン（現バングラデシュ）灌漑（かんがい）ポンプ設備（φ2.800 mm 立軸可動翼軸流ポンプ）
	1968	・エジプト灌漑ポンプ設備 12機場（φ1.800 mm～2.300 mm 斜め軸軸流ポンプ54台）
	1970	・米国イーストベイ水道用ポンプ（φ600 mm 立軸バーレル型斜流ポンプ） ・米国サザンネバダ水道用ポンプ（φ700 mm 両吸込み渦巻きポンプ23台）
	1974	◆日立土浦工場に移転（海外向け大型ポンプへ対応）
	1982	・米国シカゴ下水道プロジェクト（φ2.100 mm 立軸片吸込みタービン渦巻きポンプ） ・米国セントラルアリゾナプロジェクト揚水ポンプ（φ2.400 mm 立軸片吸込みタービン渦巻きポンプ 出力60,000 HP（英馬力））
	1991	・エジプト灌漑ポンプ設備
	1998	・エジプトムバラク灌漑ポンプ設備（φ2.400 mm 立軸片吸込み渦巻きポンプ24台）
	2003	・中国南水北調 プロジェクト / 東線 / 宝応ポンプ場（φ3.500 mm 立軸可動翼斜流ポンプ） ・米国エドモントンポンプ場（φ1.220 mm 立軸多段タービン渦巻きポンプ 出力80,000 HP（英馬力））
	2006	・中国南水北調 プロジェクト / 東線 / 蘭家場ポンプ場（φ4.400 mm 横軸チューブラ式可動翼軸流ポンプ）
	2010	・中国万家寨引黄 プロジェクトII期（φ1.100 mm 立軸片吸込みタービン渦巻きポンプ）

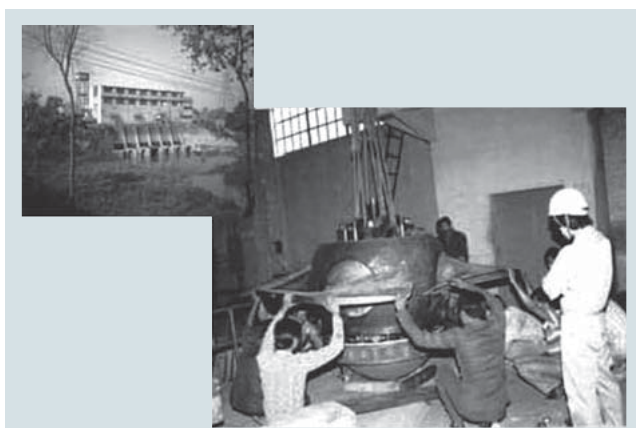


図1 | 東パキスタン(現 バングラデシュ)灌漑ポンプ場(立軸可動翼軸流ポンプ)
日立ポンプの海外案件初号機であり、東洋一(当時)と言われた大型ポンプである。高揚程(8 m)の可動翼化と土木一体ケーシングにより、斬新かつ合理的な設計が高く評価された。

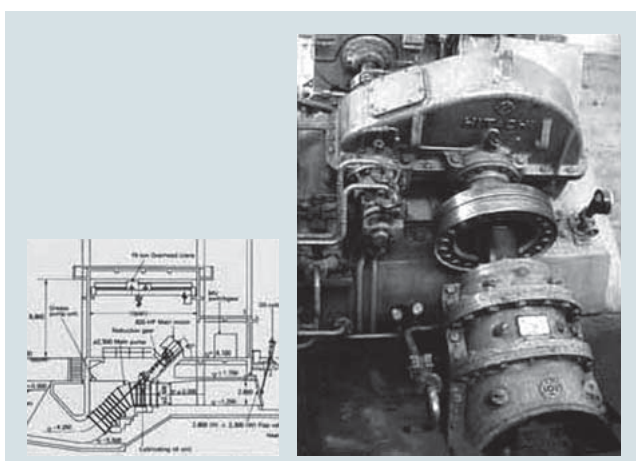


図2 | エジプトの灌漑国家プロジェクト(斜め軸軸流ポンプ)
1960年～1967年にかけて12機場54台を納入し、エジプトの灌漑事業への貢献が高く評価された。

シュ)の灌漑プロジェクト(図1参照)、1960年代のエジプトの灌漑国家プロジェクト(図2参照)、1970年代の米国サザンネバダ水道プロジェクト、1980年代の米国セントラルアリゾナプロジェクト、米国シカゴの下水道プロジェクト(図3参照)などがある。

ここでは、近年、日立グループが海外で参画してきた水関連大型プロジェクトとして、エジプトのムバラクポンプ場プロジェクト、中国の大規模送水プロジェクト、米国カリフォルニア州のエドモンスターポンプ場ポンプ更新プロジェクトの概要、および多様化する顧客ニーズに応えるために開発を進めている新技術について述べる。

2. 近年の水関連の大型プロジェクト

2.1 エジプトのムバラクポンプ場プロジェクト

エジプトでは、古くから砂漠の緑化事業を推進しており、日立グループは1960年代から大型灌漑ポンプ設備を約60台納入することで貢献してきた。

ムバラクポンプ場は、ナイル川の水を送り、砂漠を緑化



図3 | 米国セントラルアリゾナプロジェクト揚水ポンプ(立軸片吸込みタービン渦巻きポンプ)

多目的揚水を目的としてハバスポンプ場に納入した。ポンプ全揚程251 m、吐出し量14.1 m³/s、電動機出力60,000 HP(英馬力)である。ポンプ-電動機の製作において日立グループで一体協力し、当時単機容量世界一と言われた超大型ポンプをまとめあげた。

して新しい街を建設するという「トシユカ開発計画」のための送水設備であり、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のリーダーシップを発揮し、設計から竣(しゅん)工までわずか5年

表2 | ムバラクポンプ場の主ポンプ仕様

保証ポンプ効率90%であり、日立グループはCFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)による最適化を行ってこれをクリアした。

型 式	立軸片吸込み渦巻きポンプ
吐出し量	16.7 m ³ /s
全揚程	57.1 m
ポンプ回転速度	210~300 min ⁻¹
原動機出力	1万2,000 kW
台 数	21台

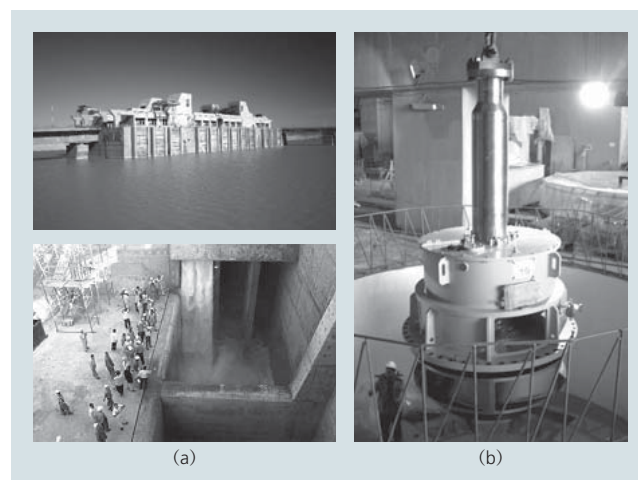


図4 | ムバラクポンプ場(a)とポンプロータ(b)の外観

吸込み水路の末端に池をつくり、その池の中にポンプ場を建設するアイランドポンプ場(日立グループが特許取得済み)が採用された。ポンプロータは低流量域から高流量域にわたって高性能であり、現在も順調に稼働している。

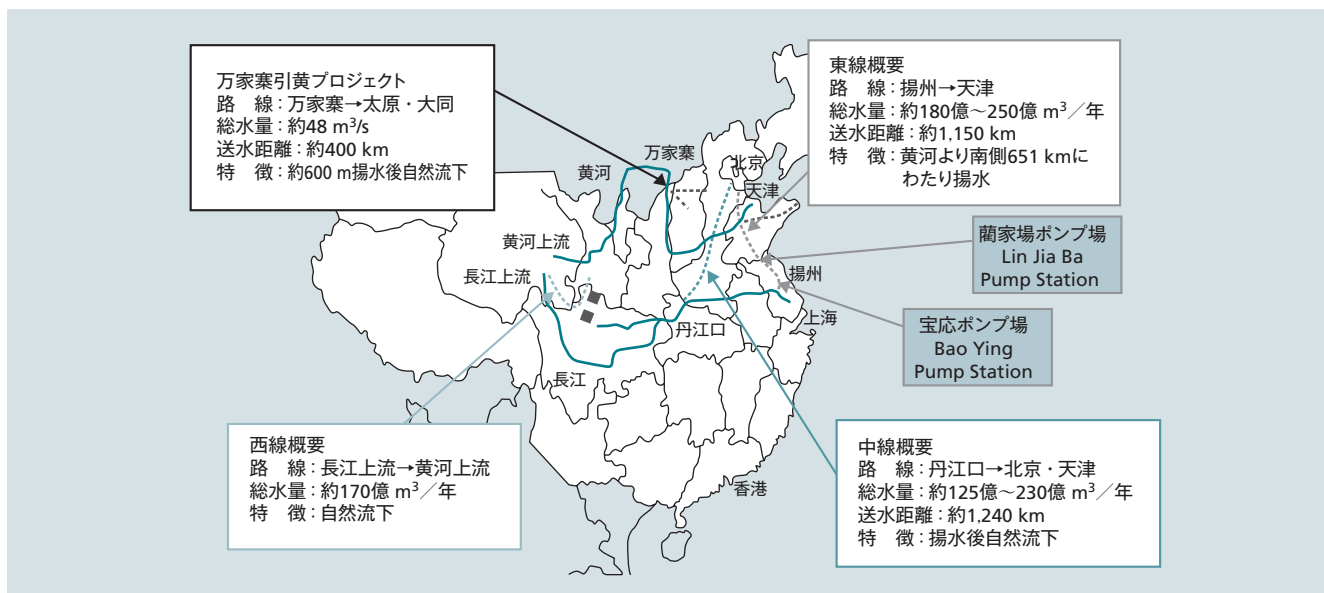


図5 | 中国の大規模送水プロジェクト

中国では、現在国家プロジェクトとして、長江（揚子江）と黄河の世界的大河からの大規模送水プロジェクトが進められている。長江からの3ルートによる送水、黄河ルートからの送水プロジェクトがあり、日立グループは現在まで30台を超えるポンプを納入するとともに、さらに40台以上のポンプを設計製作中である。

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334 m³/s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に発展するものである（表2、図4参照）。

2.2 中国の大規模送水プロジェクト

日立グループは、2003年から中国が進める大規模水資源利用プロジェクトへ積極的に参画し、中国の水環境整備に寄与している。特に、中国の二大大河と称される長江（揚子江）と黄河からの大規模送水プロジェクトの基幹となるポンプをまとめることで貢献している（図5参照）。

(1) 南水北調プロジェクト

大規模送水プロジェクトの一つである「南水北調」は、「南（長江流域）の水をもって北（北京を中心とした北部主要地域）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、流出量約9,600億 m³/年）から東線（長江河口から取水）、中線（中流の丹江口ダムから取水）、西線（長江上流から取水）の3ルートにより、北京市、天津市などの北部主要地域に送水する世界有数の送水プロジェクトである。

日立グループは、このプロジェクトにおいて最初のポンプ場である宝応ポンプ場（東線）を受注し、3台の可動翼斜流ポンプで100 m³/sの送水を行う設備を2005年に完成させた。また、日立ポンプ製造（無錫）有限公司との合作により、同じく東線の蘭家場ポンプ場向けチューブラ式可動翼軸流ポンプを2009年3月に完成させ、2010年には、

同じく東線の金湖ポンプ場向けチューブラ式可動翼軸流ポンプ（表3、図6参照）を受注した。

さらに、日立ポンプ製造（無錫）は、中国国内メーカーとして南水北調東線プロジェクトに参画しており、淮安

表3 | 金湖ポンプ場の主ポンプ仕様

可動翼軸流チューブラポンプの仕様を示す。

型式	可動翼軸流チューブラポンプ
吐出し量	37.5 m ³ /s
全揚程	2.45 m
ポンプ回転速度	115 min ⁻¹
原動機出力	2,200 kW
台数	5台

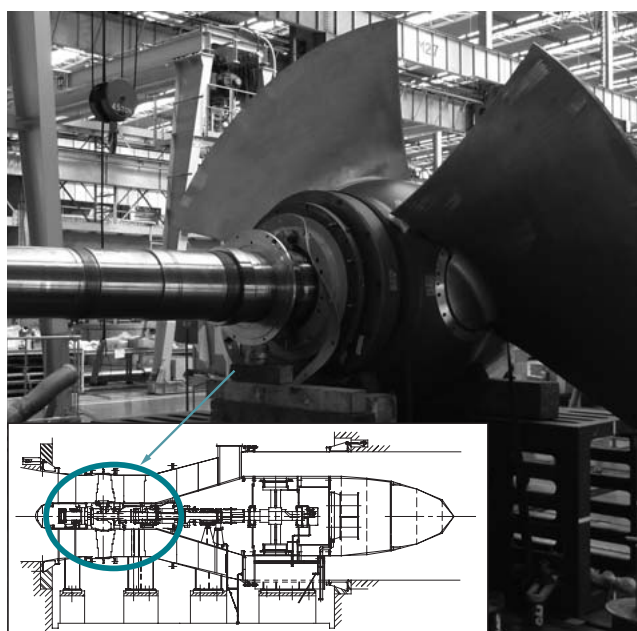


図6 | 金湖ポンプ場向けチューブラ式可動翼軸流ポンプのロータと可動翼部
 高比速度可動翼チューブラモデルの採用と、CFDによる吸込水槽から吐出し水槽までの流路全体の最適設計により、高効率を達成した。

第四ポンプ場（立軸軸流33.4 m³/s × 4.18 m × 2,200 kW、4台）、劉山ポンプ場（立軸軸流31.5 m³/s × 5.73 m × 3,000 kW、5台）、解台ポンプ場（31.5 m³/s × 5.84 m × 3,000 kW、5台）を含めた18台を納入してきた。現在36台を受注製作中であり、この国家プロジェクトに大いに貢献している。

(2) 万家寨引黄プロジェクト

中国では近年、北西部地域の産業発展を推し進めている。そこで、黄河の中流部にある万家寨から取水し、北西部主要都市（太原、大同）へ総延長400 kmを超える水路で送水する世界的な送水プロジェクトが進行中である。

日立グループは、2010年にこのプロジェクトの第二期工事の主機となる大型ポンプを8台受注した。このプロジェクトでは、単機出力1万2,000 kWの大型ポンプとなることから、CFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体力学）と内部流れの可視化に基づいて蓄積ノウハウを駆使し、独自の流体最適化評価手法により、世界最高水準（2010年時点）のポンプ効率（92%）を達成した。さらに、黄河水特有のスラリー（細かな砂）対応などの技術課題に対しても、最新技術を適用して信頼性の高いポンプを設計・製作中である。

また、同様に黄河からの大型送水（大水網）プロジェクトが計画されており、日立グループは今後とも中国の大規模送水プロジェクトに積極的に参画し、貢献していく。

2.3 米国カリフォルニア州のエドモンストンポンプ場

米国カリフォルニア州は米国で最も人口の多い州であるが、南部は降水量が少なく、人口増加に対応した水源の確保が必要である。このため、カリフォルニア州は、南北を貫く総延長600マイル（約960 km）に及ぶ送水路を築き、これを用いて北部の水源から南部のロサンゼルスやサンディエゴなどの都市部および農業地域に送水すると同時

に、この設備を維持・管理するための大規模多目的送水プロジェクト（SWP：State Water Project）を継続的に進めている。

その中で、エドモンストンポンプ場は重要な基幹ポンプ場であり、全揚程600 mの世界最大級の大型ポンプ14台が設置されている。しかし、既設ポンプ（他社製品）はキャビテーション損傷による保守管理費用の増加が問題となり、これを改善するために、カリフォルニア州の水資源局（Department of Water Resources）によるポンプの更新プロジェクトが推進された。

日立グループは、2003年にこのような既設ポンプ4台の更新工事を受注し、CFDを駆使した水力モデルの最適化と、RP（Rapid Prototyping）で羽根車を製作することによるモデル開発のスピードアップにより、スペック要求効率（91.2%）を上回る提案効率92%をさらに上回って達成することができた。第1号機は2007年6月に稼働を開始し、2011年3月に4台すべての稼働ならびに更新工事が完了した。更新ポンプは、現在いずれも順調に運転されている。

顧客によれば、このポンプ4台の更新により、CO₂排出量を2008年から2020年までに累計27万1,400 t低減できるとの試算であり、環境保全に力を入れているカリフォルニア州の排出量低減に貢献している（表4、図7参照）。

表4 | エドモンストンポンプ場の主ポンプ仕様

保証ポンプ効率は92%であり、IEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）規格に基づく厳格な模型試験と現地での性能測定によって実証された。

型 式	立軸多段タービン渦巻きポンプ
吐出し量	8.92 m ³ /s
全揚程	600 m
ポンプ回転速度	600 min ⁻¹
原動機出力	80,000 HP（英馬力）
台 数	4台

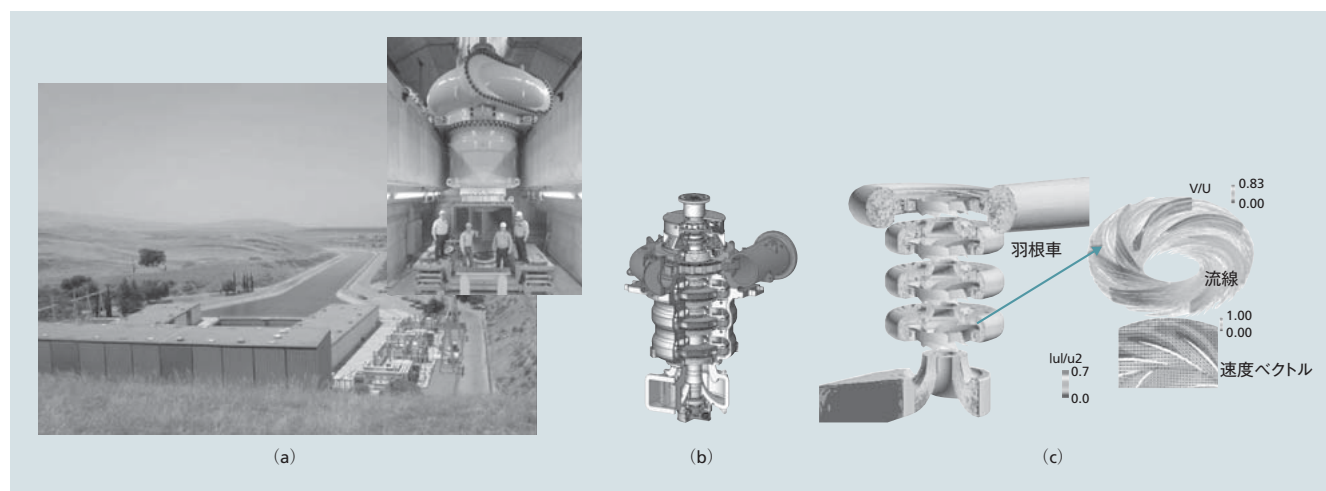


図7 | エドモンストンポンプ場 (a) と CFD による羽根車 (b)、ディフューザ最適化 (c) の概要

CFDを駆使した最適化とRP（Rapid Prototyping）による羽根車の製作により、モデル開発をスピードアップさせることで92%を上回る効率を達成した。

3. ポンプの新技术への取り組み

3.1 環境負荷低減技術

ポンプの高効率・省エネルギー技術については、前述のようにCFDを駆使することによって飛躍的な向上が可能となった。

また近年、LCA (Life Cycle Assessment) の観点から、産業機械においてもCO₂排出量の低減が製品の評価基準に盛り込まれつつある。回転機械であるポンプにおける取り組みについて以下に述べる。

立軸斜流ポンプは、治用水排水、下水・雨水排水、発電所冷却用、造水用取水ポンプなど用途が広く、需要の多い形式のポンプである。このポンプを鋳物構造から鋼板溶接構造とすることにより、ポンプの軽量化と製造におけるCO₂発生量を従来の鋳物製に比べて約40%以上低減できる。

全鋼板製ポンプの特徴は以下のとおりである(表5、図8参照)

(1) 鋳物に比べて調達性がよく、製作期間の短縮が可能となる。また、材料強度が鋳物よりも高いため、ポンプの軽

表5 | 全鋼板製立軸斜流ポンプのポンプ仕様

新羽根設計法による羽根車、案内羽根の設計を実施し、鋳物製と同等の高効率を達成した。

型式	立軸斜流ポンプ
吐出し量	5.0 m ³ /s
全揚程	27.5 m
ポンプ回転速度	423 min ⁻¹
原動機出力	1,850 kW
台数	4台

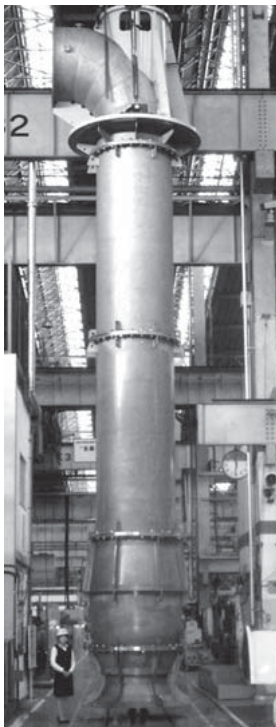


図8 | 全鋼板製立軸斜流ポンプの外観

海水仕様であるため接液部を含めて全二相ステンレス鋼板製ポンプとし、耐腐食性と軽量化を達成した。

量化が可能となるだけでなく、機場設備などがコンパクトになり、事業の初期投資コスト低減、早期運用開始が可能となる。

(2) 均質圧延材の適用により、材料欠陥のリスクがなく、高い信頼性と長寿命化が得られるとともに補修が容易である。また、海水を取り扱う場合には、二相ステンレス鋼(高耐食・高強度材)の採用で防食に対するメンテナンスコストの大幅な低減が可能となり、LCC (Life Cycle Cost) を抑えることができる。

(3) 高性能を要求される羽根車と案内羽根は流路形状が複雑であり、従来の鋼板溶接製の羽根は鋳物製に比べて性能的に劣る点があった。今回、新羽根設計法の開発と独自製造技術の適用により、鋳物製に比べて同等以上の効率向上を図ることができた(図9、図10参照)。

また、鋼板溶接構造の溶接部の信頼性をさらに向上するため、流体一構造連成解析と溶接部の強度試験を実施し、信頼性の高い製品とした。今後も、全鋼板製ポンプシリーズとして他の形式のポンプへの適用拡大を図っていく計画である。

3.2 海水淡水化プラント向けポンプ技術

近年の地球レベルでの気候変動や人口増加により、世界的に深刻な水不足が予測されている。そこで、豊富な水資



図9 | 溶接構造オープン羽根車の外観(外径 約φ1,470 mm)

新羽根設計法を適用した高比速度オープン羽根車(二相ステンレス鋼)である。



図10 | 溶接構造クローズ羽根車の外観(外径 約φ1,420 mm)

新羽根設計法を適用した高揚程クローズ羽根車(二相ステンレス鋼)である。

源である海水を利用し、生活および農業・工業用に適用する海水淡水化技術が必須となってきた。

特に、海水淡水化プラント〔蒸発法、RO (Reverse Osmosis：逆浸透) 膜法〕において、ポンプは取水、循環、給水などで重要機器となっている。従来は、各方式単独でのプラントが多かったが、今後は2方式(蒸発法、RO膜法)を併用するハイブリッド型淡水化プラントが注目され、需要の増加が見込まれる。したがって、いずれの方式にも対応するポンプを新規開拓分野として重点的に開発している。

以下のポンプはいずれも海水を取り扱うため、耐海水用ステンレス(二相系ステンレス鋼)や樹脂系材料を組み合わせることで工夫している。

(1) 海水取水ポンプ：いずれの方式にも適用され、ポンプ形式は前述の全鋼板製ポンプである。

(2) ブライン循環ポンプ：蒸発法の主ポンプで、高吸込み性能・高揚程・短軸化ポンプである。片吸込みの羽根車で両吸込み羽根車と同じ吸込み性能を達成できる点が特徴であり、バーレル径を小さく、短軸とすることで吸込みピットが浅くなり、建設費を抑えることができる(図11参照)。さらに、多段化を可能としたことで高揚程化にも対応できるポンプである。

(3) 高圧給水ポンプ：RO膜法の主ポンプで高圧・小型コンパクト化ポンプである。また、エネルギー効率を高めるため、ポンプの高効率化技術とともにRO膜から回収する高効率の動力回収装置も合わせて開発している(図12参照)。

これらを含め、最近のポンプ開発では、単に高性能化だけでなく、ポンプの小型高速化のための技術課題であるキャビテーション解析や変動流体力学解析技術など、日立グループのオリジナル解析コードを駆使することで、高信頼

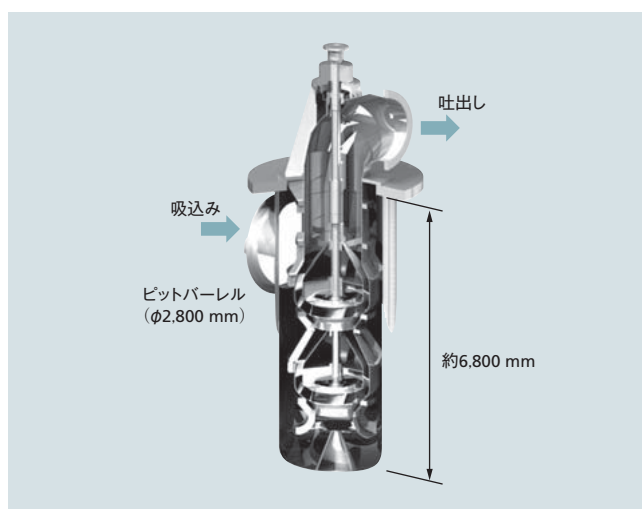


図11 | ブライン循環ポンプの概略

ビットバーレル型立軸ポンプ、高吸込み性能・高揚程・短軸化ポンプ(φ2,500 mm×φ1,600 mm, 2段)である。

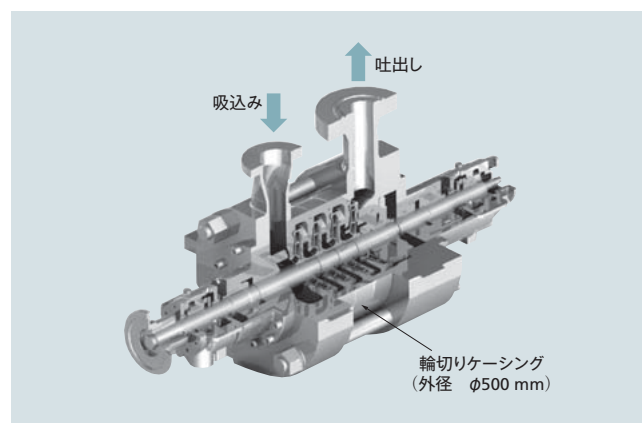


図12 | 高圧給水ポンプの概略

RO (Reverse Osmosis) 膜法の主ポンプであり、輪切り型多段タービンポンプ、小型コンパクト化プロセスポンプ(φ150 mm×φ100 mm, 3~4段)である。

性を確保した製品の提供を推進している。

4. おわりに

ここでは、近年、日立グループが海外で参画してきた水関連大型プロジェクトとして、エジプトのムバラクポンプ場プロジェクト、中国の大規模送水プロジェクト、米国カリフォルニア州のエドモンスターポンプ場ポンプ更新プロジェクトの概要、および多様化する顧客ニーズに応えるために開発を進めている新技術について述べた。

「水の世紀」に入り、安全で安心して利用できる貴重な水資源を確保するため、今後はここで述べたような大規模な送水プロジェクトや造水プラント(IWP: Independent Water Production)、発電と造水を組み合わせたIWPP (Independent Water and Power Production) プラントなどが建設され、ますますポンプの需要は伸びると考えられる。

日立グループは、このような市場の要求に応えるため、最先端の技術を適用し、信頼性が高く、高効率で環境負荷の小さいポンプを含めた最適システムの提案をソリューションとし、広く世界の水環境の発展に貢献していく。

執筆者紹介



菊島 潤

1988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 ポンプ・送風機技術本部 ポンプ・送風機設計部 所属
現在、ポンプ設備の設計、開発に従事



千葉 由昌

1979年日立産機エンジニアリング株式会社入社、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 ポンプ・送風機技術本部 ポンプ・送風機設計部 所属
現在、ポンプ設備の設計、開発に従事