

健全な水循環を支える大型ポンプ設備

Large-scale Pump Equipment that Supports Healthy Hydrological Cycles

篠原 久文

Shinohara Hisafumi

千葉 由昌

Chiba Yoshimasa

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、高効率長距離送水ポンプなどの需要が特に高まっている。日立グループは、これまで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。現在、このような水需要を背景に、ポンプ設備など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など、世界の顧客ニーズに応えるための独自技術の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、水資源の開発や利用など、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1つであり、その前身の東京佃島機械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や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。例えば、1950年代の東パキスタン（現 バングラディッシュ）の灌漑プロジェクト、1960年代のエジプトの灌漑国家プロジェクト、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などがある。

世界的な水資源の不足や偏在に対応して、近年、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。日立グループは、CFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体工学）を用いた最適設計手法や、環境負荷低減に寄与する全鋼板製ポンプなどを開発し、これらのさまざまなニーズに積極的に対応している。

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ンポンプ場、エジプト・アインソフナ超臨界圧火力発電所向けポンプ設備の概要と、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ポンプの環境負荷低減の新技术について述べる。

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、長年にわたって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台納入し、貢献してきた。

ムバラクポンプ場は、ナイル川の水を送り、砂漠を緑化して新しい街を建設するというトシュカ開発計画のための送水設備である。日立グループが高度な技術を駆使し、また、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1、

表1 | 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達成した。

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
ポンプ回転速度	210~300 min ⁻¹
原動機出力	12,000 kW
台 数	21台

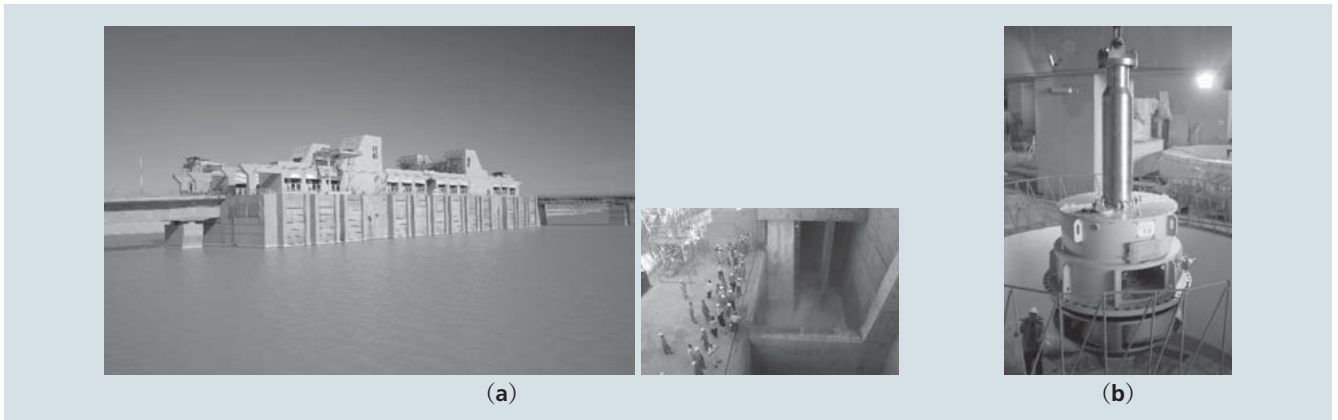


図1 | ムバラクポンプ場 (a) とポンプロータ (b) の外観

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1参照)。

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に積極的に参画し、同国の水環境整備を支えている。特に、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2参照）。

(1) 南水北調プロジェクト

大規模送水プロジェクトの1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初めて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、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、2012年には、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2、図3参照）を完成させた。

さらに、日立ポンプ製造（無錫）は、中国国内メーカー

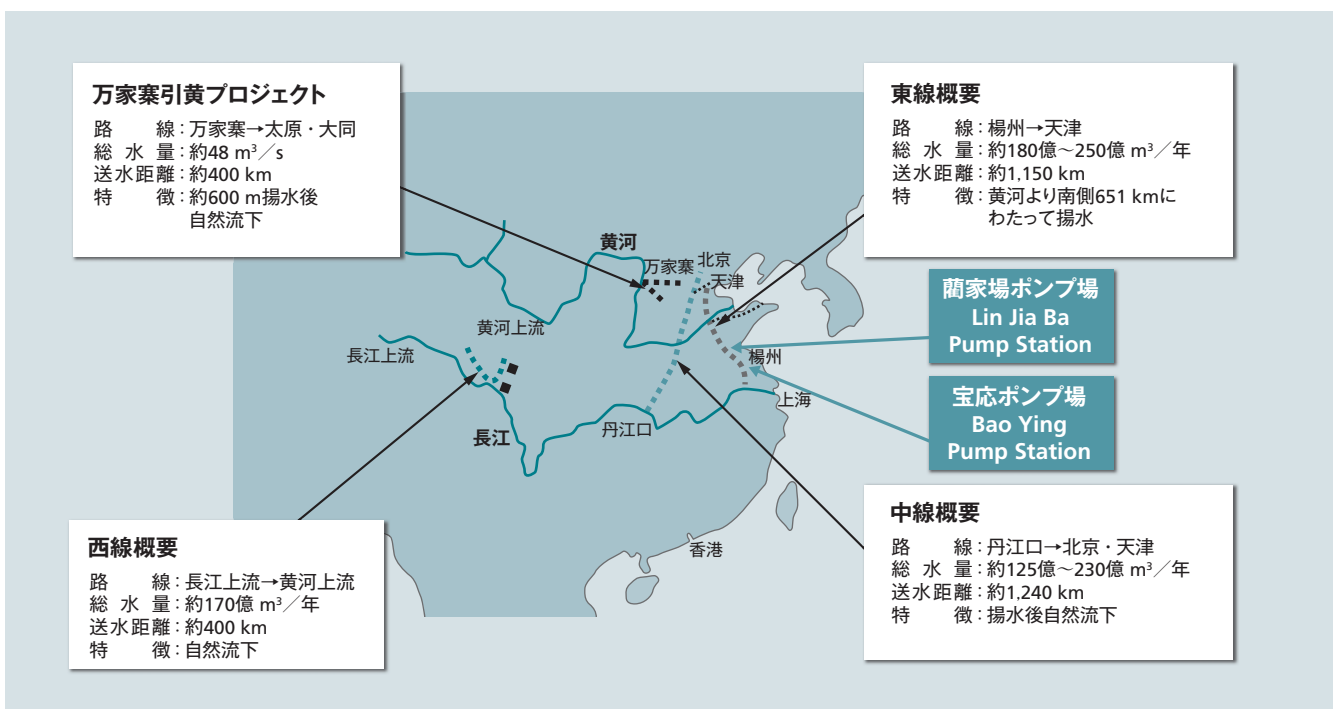


図2 | 中国の大規模送水プロジェクト

中国における長江（揚子江）と黄河からの大規模送水プロジェクトの概要を示す。

表2 | 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

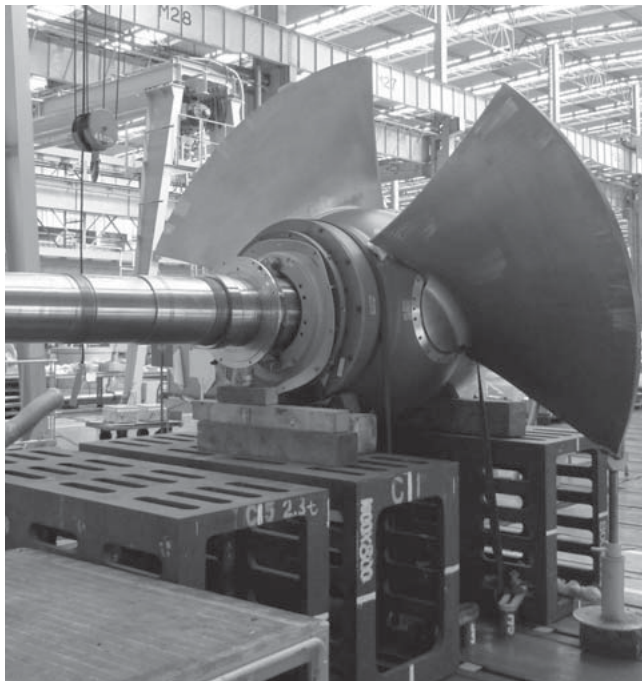


図3 | 金湖ポンプ場向け可動翼チューブラポンプのロータと可動翼部
高比速度可動翼チューブラモデルの採用とCFDによる吸込み水槽から吐出し水槽までの流路全体の最適設計により、高効率を達成した。

として南水北調東線プロジェクトに参画しており、淮安第四ポンプ場（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）を含む54台を製作・納入し、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、北西部地域への産業発展を推し進めている。万家寨引黄プロジェクトは、黄河の中流部にある万家寨から取水し、慢性的に水が不足している北西部主要都市（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である。

日立グループは、2010年に第二期拡張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12,000 kWの大型ポンプとなることから、CFDと内部流れの可視化に基づいて蓄積したノウハウを駆使し、独自の流体最適化評価手法により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を実施して世界最高水準（2010年

表3 | 万家寨ポンプ場の主ポンプ仕様

万家寨ポンプ場の主ポンプの仕様を示す。

型 式	立軸タービン渦巻ポンプ	
	高揚程ポンプ	低揚程ポンプ
吐出し量	6.45 m ³ /s	6.45 m ³ /s
全揚程	140 m	76 m
ポンプ回転速度	600 min ⁻¹	500 min ⁻¹
原動機出力	12,000 kW	6,600 kW
台 数	6台（4機場）	2台（1機場）

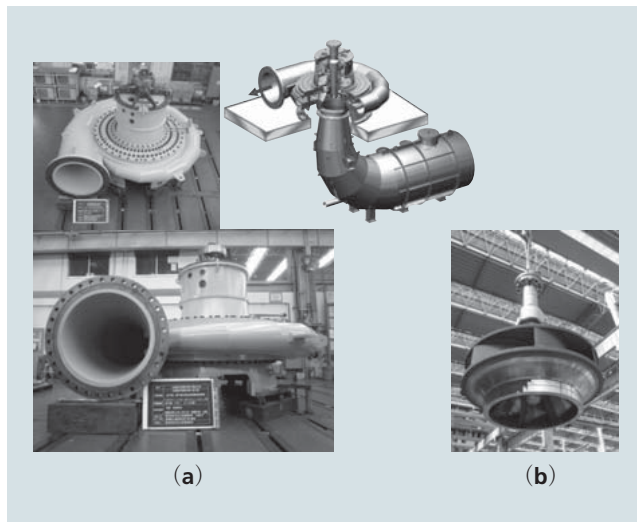


図4 | 万家寨ポンプの外観 (a) と溶接構造羽根車 (b)

CFDと内部流れの可視化、独自の流体最適化評価手法を駆使して、世界最高レベルの効率を達成した。新材料の鋼板羽根を採用した溶接構造羽根車とすることで製品の品質向上を図った。

時点)のポンプ効率(92.2%)を達成した。黄河水特有のスラリー(細かな砂)対応のための新材料適用、溶接構造羽根車の適用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・製作して現在据付け中であり、2013年中に運用が開始される予定である(表3、図4参照)。

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、貢献していく計画である。

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を確保する必要がある。このため、カリフォルニア州では南北を貫く総延長600マイル(約960 km)の送水路を築き、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)を継続して進めている。

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

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ポンプ
吐出量	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

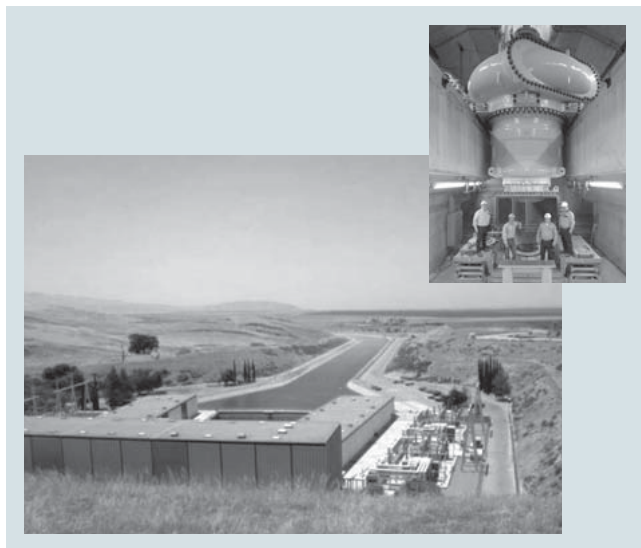


図5 | エドモンストンポンプ場

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世界最高レベルの効率を達成した。

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、2004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%)以上の提案効率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台の更新によってCO₂排出量を2008年から2020年までに累計27万1,400 t削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削減に貢献している(表4、図5参照)。

2.4 エジプト・アインソフナ超臨界圧火力発電所向けポンプ設備

エジプト・EDEPC (East Delta Electricity Production

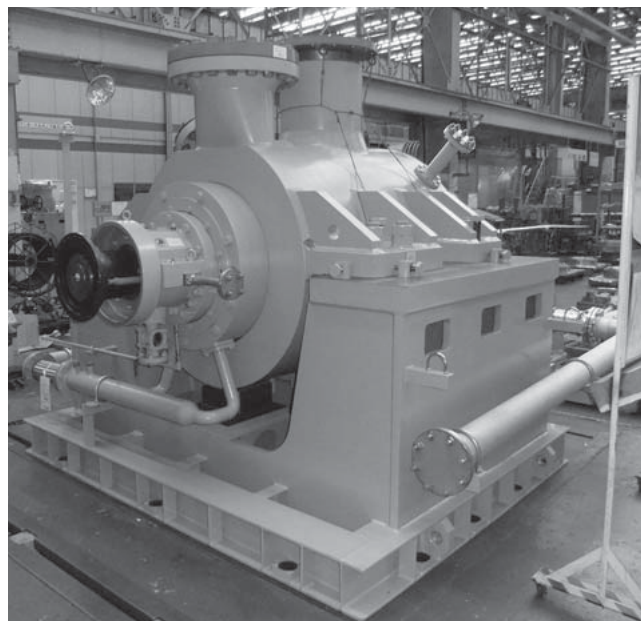


図6 | エジプト・アインソフナ超臨界圧火力発電所向けボイラ給水ポンプ
エジプトで初めての超臨界圧火力発電所向けのポンプ設備を受注した。

Company) より、2×650 MWアインソフナ超臨界圧火力発電所用ポンプ設備を受注した。この発電所は、スエズ運河付近の紅海沿岸に建設中の発電設備であり、同国で初めての超臨界圧火力発電所である。

受注したポンプは、ボイラ給水ポンプ、循環水ポンプを含む9機種32台であり、2013年に納入を完了した(図6参照)。

3. ポンプの環境負荷低減技術

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に向上することが可能となった。

また近年、産業機械においてもLCA (Life Cycle Assessment) の観点からCO₂排出量の削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、治水用排水、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化することにより、ポンプの軽量化が可能になり、製造におけるCO₂発生量を従来の鋳物製に比べ約40%以上低減できる。

全鋼板製ポンプの特長は、以下のとおりである。

- (1) 鋳物に比べて調達性が高く、製作期間を短縮できる。また、材料強度が鋳物よりも高いため、ポンプの軽量化や機場設備などのコンパクト化も可能となり、事業の初期投資コスト低減、早期運用開始につながる。
- (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)を採用すること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、その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る。

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-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。

最近のポンプ開発では、単に高性能化だけではなく、ポンプの小型高速化のためのキャビテーション解析、変動流体力解析、寿命評価のためのコロージョン/エロージョン解析技術など、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、エジプト・アインソフナ超臨界圧火力発電所向けポンプ設備の概要と、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ポンプの環境負荷低減の新技术について述べた。

「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に、今後はここで紹介したような大規模な利水プロジェクトなどにより、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、高効率で環境負荷が低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考えである。

執筆者紹介



篠原 久文

1986年日立テクノエンジニアリング株式会社入社、日立製作所 インフラシステム社 機械システム事業本部 ポンプ・送風機技術本部 ポンプシステム部 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、日立製作所 インフラシステム社 機械システム事業本部 ポンプ・送風機技術本部 ポンプシステム部 所属
現在、ポンプ設備の設計、開発に従事