

日立製作所創業100周年記念シリーズ

開拓者たちの系譜

5

世界の水環境・社会基盤を支えるポンプ

「水の世紀」に貢献する日立のコアテクノロジー

株式会社日立プラントテクノロジー
執行役常務 社会・産業システム事業本部長

三角 洋史

1 はじめに

21世紀は「水の世紀」と言われている。地球上に豊富に存在する水も、水資源という観点からとらえると、淡水は2.5%にすぎず(残りの97.5%は海水)、そのほとんどが氷河や地下水として存在し、われわれ人類が容易に利用できる水資源はわずか0.01%である。一方、開発途上国や新興工業国では、人口の増大や産業の発展のために水の需要がますます増加し、WHO(世界保健機関)によると、2025年には1995年に比べ約20%増の5兆 m^3 に上る見込みであり、その結果、約30億人が安全な飲料水を確保できず、48か国で水不足となると予測されている。このような時代において、「ポンプ」は貴重な「水」を扱う機械として、ますます需要が増加するものと考えられる。

ポンプは、日立において最も歴史のある製品のひとつであるが、本稿では、国内外の納入実績を通じてポンプの技術的な発達と、その中で果たしてきた国際的な水環境・社会基盤への貢献と展望などについて述べたいと思う。

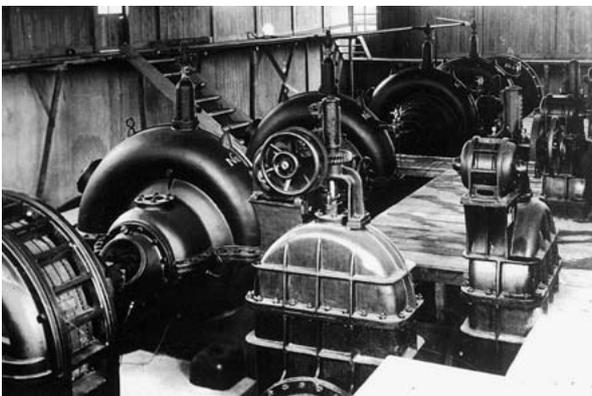
2 ポンプ黎明期から昭和初期
佃島製作所・亀戸・日立工場時代

日立ポンプのルーツは、1907年に設立され、久原鉱業

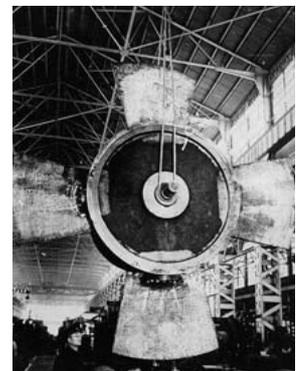
所の傘下工場として小型ポンプなどを製造していた東京佃島機械製作所にまで遡る^[1]。この東京佃島機械製作所は1912年に久原鉱業所佃島製作所と名前を変え、さらに1918年に電気機械を製作していた久原鉱業所日立製作所と合併、その亀戸工場となった。そして1920年、日立製作所の独立に伴って、正式に日立製作所亀戸工場と位置づけられたのである。

日立製作所の小平浪平創業社長は、電気機械の国産化を推進するかたわら、輸入品が使われていた水車やポンプなど、産業機械の国産化も同時に進めることが必要であると考え、佃島製作所と日立製作所の合併を主張したそうである。小平社長は、当時、来日したスイスのポンプ会社のエンジニアとも交流し、「...別に図面などはもらわなかったが、プリンシプルを聞いて、セントリフューガル・ポンプの毛の生えたような物を作りあげた。逆に回して失敗したりしたが、いろいろやっているうちに、これもどうやらものになった。」^[1]と語っていたらしいが、当時はまだ、水道向けや坑内排水用など、高い信頼性を要求される用途においては、国産品ではなく、専ら欧米からの輸入品が採用されていたのである。

1923年には、揚排水ポンプなど、低揚程大流量の仕様に対応するため、軸流ポンプの開発を開始した。当時は、低揚程においても渦巻ポンプを適用していたため、回転



[1] 東京佃島機械製作所製 茨城県 長井戸沼耕地整理組合向け両吸込渦巻ポンプ



[2] 東京電灯(現 東京電力)猪苗代電力所向け 湖面低下用 軸流ポンプ羽根車(1941年ごろ)

三角 洋史(みすみ ひろし)

1949年長崎県生まれ。1972年九州大学工学部機械工学科卒業，同年日立製作所入社。亀有工場，土浦工場にて電力用ポンプ設計および制御システム設計に従事。2001年株式会社日立インダストリーズ 業務改革推進室長，2006年株式会社日立プラントテクノロジー 研究開発本部副本部長 兼 土浦研究所長を経て，2007年執行役，社会・産業システム事業本部機械システム事業部長 兼 土浦事業所長，2008年執行役常務，社会・産業システム事業本部部長 兼 機械電機システム事業部長。



数が低く，体格の大きなポンプとなり，結果としてコスト高になるという問題があった。そのため，世界に先駆けて開発に着手し，1926年には口径30寸(約910 mm)の実機を製作している。軸流ポンプの羽根車の設計，製作に際しては，初めての形状に非常に苦労したとあるが，その後，軸流ポンプ，後には斜流ポンプの設計，製作技術が飛躍的に向上した^[2]。

昭和初期には，タービンポンプ(DT型)のほか，両吸込渦巻ポンプ(DV型)，多段タービンポンプ(GM型)が水道をはじめ，一般産業，炭鉱向けに採用されるようになり，念願の国産化が名実ともに実現することとなる。また，1940年には，坑内排水用GM型ポンプ1,300台という創業以来の生産台数を記録した。ポンプの製造が繁忙を極める中，1937年には，ポンプの製作は亀戸工場から日立工場に移管され，ポンプ試験設備を新設して生産体制を整えた。

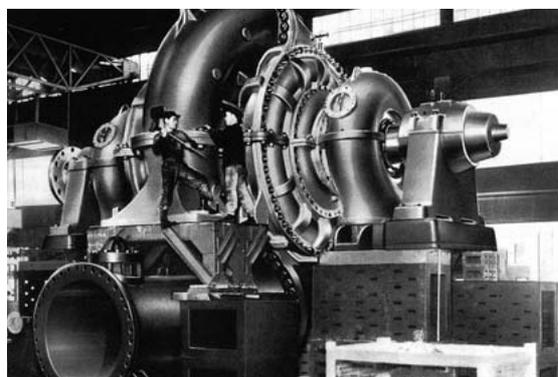
第二次世界大戦末期の1945年6月10日，米軍の攻撃により日立工場が被災し，ポンプ製作現場は壊滅的な状況となったものの，終戦後の同年末には復興に向けた農地・炭鉱用ポンプの生産を再開している。

3 戦後復興から高度成長 亀有工場時代

戦後の食料増産，燃料たる石炭増産の国家的要請に応え，早期から，農地用，炭鉱用ポンプの需要が急ピッチで高まったため，日立もこれに合わせて生産台数を増やした。特に，高揚程の炭坑用排水ポンプ(GM型)においては，国内トップシェアを獲得するに至った。1949年には，製品分野の整理統合により，ポンプの製作は日立工場から，亀有工場(東京都足立区)に移管されている。

3.1 戦後初の挑戦・水力発電所向け揚水ポンプ

1950年に受注した東北電力沼沢沼揚水発電所向け揚水ポンプ^[3](両吸込多段タービンポンプ)は，当時のポンプとして国内最大規模・出力であり，設計，製作は，日立工場の水車設計部門の協力を得て進められた。また，この受注を機にウォーターハンマーの研究を本格的に開始し²⁾，その対策を実施している。ポンプ性能はモデル試験で保証されたが，水力モデルの開発を行いながら実機設計を進めるといった状態で，途中で申し出たポンプの据付レベルではキャビテーションが発生することが判明して，進行中の土木工事を中断，据付フロアのレベルを下げの変更を顧客に申し出る事態となった。顧客からお叱



[3] 東北電力 沼沢沼揚水発電所向け両吸込多段タービンポンプ
(全揚程211 m，吐出量7.9 m³/s，電動機出力2万1,000 kW)

りを受けながら、最終的には沼知福三郎東北大学教授(当時)のご指導による予開始動(吐出弁を開いて始動)を行うことでキャピテーションの問題を解決し、現地試験では好成績を納めた。

このポンプは、当時、国内ポンプメーカーの実績を一桁上回り(当時の日立実績は、原動機出力2,200 HPが最大であった)、現在の設計、生産技術をもってしても困難で高度な仕様である。このようなポンプを戦後まもない時期に受注し、現在のような高精度加工機のない状況を克服して飛躍的に技術力を向上させた功績は大きく、先輩諸氏の開拓者精神の賜物と言える。

さらに揚水発電所向けポンプとしては、1960年に九州電力諸塚発電所に納めた揚水ポンプ(立軸多段タービンポンプ:吐出量 $18.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全揚程291.4 m、電動機出力5万6,500 kW)がある。これも当時の世界最大規模・出力という点で特筆すべきマシンであり、他メーカーに成し得なかったことを日立の技術者が挑戦し、成し遂げた、まさに「野武士の日立」を体現するものである。

3.2 初の海外進出

1958年、製品を納入し、当時、東洋一と言われた東パキスタン灌漑向け^[4]可動翼軸流ポンプ(口径2,800 mm、吐出量 $28.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 、電動機出力2,800 kW)は、戦後初めて受注した海外案件である。米国海外協力局(ICA)が募集した入札に応札したのは、ドイツからMAN, KSB, Voith, 米国からAllis-Chalmers, Worthingtonなど、一流のポンプメーカーであり、日立の技術が世界の一流メーカーに勝るとも劣らないことを世に知らしめ、後の海外展開への足がかりとなった。ポンプは約8 mという高揚程にもかかわらず可動翼軸流ポンプを採用し、サイフォン方式ケーシングの一部を土木と一体とすることでコストを抑える、合理的で斬新な設計となっている。今でこそ多数の例があるが、当時は世界的にみても画期的な試みであった。

戦渦により壊滅的な被害を受けてからわずか十数年で世界の一流メーカーと競い、受注を果たした当時の先輩方の意気込みと努力には敬服するばかりである。その後、印パ戦争の勃発などにより実稼働が遅れたものの、この設備は稼働後40年にわたり、灌漑設備として、ガンジス川の水をパキスタン、バングラデシュの大地に汲み上げ続けることとなった。

3.3 エジプト進出

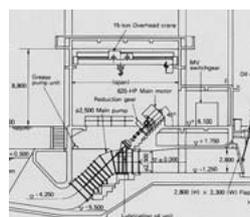
同じころ、エジプトでは、国家プロジェクトとして灌漑ポンプの大きな需要があり、1960年から1967年にかけて12機場54台のポンプを納入した。実績のない斜め軸流ポンプの設計、元請のゼネコンの経営危機や現地での土木工場の遅れなど、多くの困難を克服し、すべての機場をまとめ上げた^[5]。これらのポンプによる灌漑事業への貢献が高く評価され、エジプトにおいては、以後半世紀にわたって日立の名が親しまれるようになった。後述するムバラクポンプ場納めのポンプを含めて、これまでに納入した日立ポンプ100台による揚水量は毎秒 700 m^3 を超え、50万ha以上の面積の土地に灌漑用水を供給している。

3.4 東京オリンピックと水道

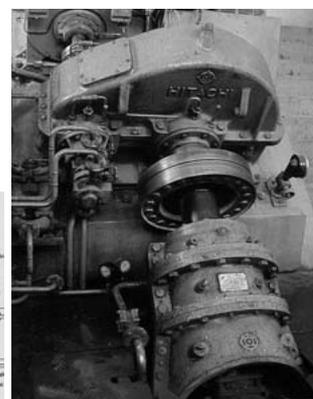
国内では、東京オリンピックを目前にした1962年、東京都の深刻な水不足を解消するため、利根川水系の拡張事業が着工された。日立は、この事業により設置された新設の朝霞浄水場内に、水道用ポンプとしては国内最大の原水連絡ポンプを納入した(1964年8月)。ポンプの仕様(立軸タービンポンプ:吐出量 $4.14 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全揚程120 m、電動機出力6,200 kW)のみならず、宮代裕博士による16.8 kmに及ぶ管路のウォーターハンマー解析と国内初のワンウェイサージタンクによる対策^[4]、初の誘導電動機のクレーマ制御、中央操作方式など、日立技術の粋を結集して実現した設備であった。また、異常湧水対策のた



[4] 東パキスタン灌漑ポンプ場



[5] エジプト灌漑向け斜め軸流ポンプ(1960年代)



め 施設の運開期限に間に合わせるべく突貫工事が行われたが、顧客と共に、日立全社が総力を結集することで克服し、オリンピック開催前には無事、顧客へ引渡すことができた³⁾。

東京オリンピックを経て、いざなぎ景気となり、民間向け各種ポンプのほか、電力需要の伸長に伴う、火力発電所向けポンプ、当時建設が始まった原子力発電所向けポンプなどの受注が活発となった。1969年には、国内初の沸騰水型原子力発電所(日本原子力発電株式会社敦賀発電所)に自主開発のポンプを納入している。

3.5 米国進出

1968年、日立はカリフォルニア州イーストベイ郡に水道増圧用600 mm立軸斜流ポンプを納入し、米国進出が始まった。1970年には、米国内務省開拓局(USBR)サザンネバダ水道プロジェクト向けに両吸込渦巻ポンプ23台を納入している。ポンプの製作を開始して約70年、日立ポンプの品質が認められ、米国の国家プロジェクト向けに輸出するまでになったのである。その後も米国市場においては、送水ポンプを中心に大型プロジェクト向けのポンプを多数納入している。

4 オイルショックと円高(1973年~1985年) 土浦工場時代(1)

1974年、田中角栄首相(当時)の日本列島改造論に従う形で、亀有工場は茨城県土浦市に移転となった。さらに川崎工場も合併し、日立における産業機械の専門工場として、土浦工場が発足した。当時は第一次石油ショック直後であり、プロセスポンプからの撤退を決めた時期でもある。このころから省エネルギーに向けた効率向上のために、ポンプの大型化はいっそう進み、排水機場の単機容量は30~50 m³/sとなった。

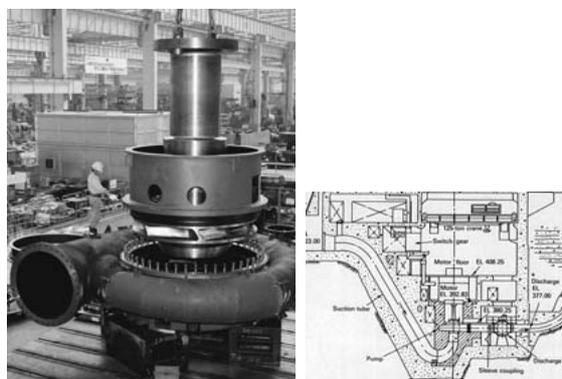
電力分野においても、火力発電所が1,000 MW、原子力発電所も1,100 MWと1基あたりの発電容量が増大し、使われるポンプも大容量化した。特に火力分野では、ボイラ給水ポンプが大容量化すると同時に、省エネルギー化から回転数制御などによる運転範囲の拡大や起動停止頻度の増加に代表される運用の多様化が求められた。このため、さまざまな不適合を経験し、これらを実験や解析により解決する中で技術を進歩させることができた。特に吸込流路の形状改善技術によるキャビテーションエロージョン発生防止や、軸推力平衡装置(バランスドラム)の細隙部流体力の解析精度向上によるスラスト力低減・自励振動発生防止は他社に先んじるものである。この技術開発以降、高圧ポンプの信頼性は飛躍的に向上し、後述のエドモンスンのような超大型多段ポンプの設計に生かされていくこととなる。

4.1 国内大型排水機場

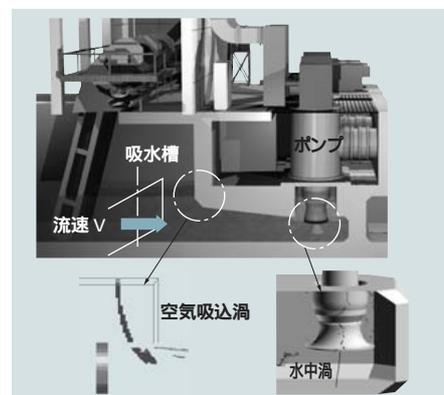
1974年に納入した建設省(現国土交通省)三郷排水機場向け、1976年に納入した同新芝川排水機場向け、および1980年に納入した同松戸排水機場向け3,300 mm立軸渦巻斜流ポンプ(単機吐出量30 m³/s)は、いずれも当時国内最大級の単機容量を持つもので、鋼板製ポリウーテ型枠の周囲に配筋を配置し、コンクリートを打設したコンクリートケーシングを採用した画期的な設備であった。以後、三郷、松戸にも同型式の50 m³/sポンプ(国内最大)を納入している。

4.2 米国ハバスポンプ場プロジェクト

1982年、米国内務省開拓局(USBR)ハバスポンプ場に、多目的揚水を目的とし、世界最大の単機容量と言われた立軸一段タービンポンプを納入した⁵⁾。このポンプ設備は、米国セントラルアリゾナプロジェクトにおけるメインポンプであり⁶⁾、出力では前述の諸塚納め揚水ポンプ



[6] 米国ハバスポンプ場向け立軸タービンポンプ
(全揚程251 m, 吐出量14.1 m³/s, 電動機出力6万HP)



[7] 流れ解析によるポンプ吸水槽のコンパクト化

以来の規模である。軸径1,016 mm(40インチ)、軸受径1,290 mmと、当時のポンプ実績をはるかに超え、新規に軸受の開発を行う必要があった。契約は、ポンプ、吐出弁、現地工事を含むターンキーであり、別契約の日立工場の同期電動機と協力しながらの工事進行となった。現地取りまとめでは、工程・品質・工数・安全・労務管理のほか、水車発電機の米国規格での芯出しなど、困難の連続であった。ポンプの設計は、水車設計とポンプ設計の境界にあり、多くの面で日立工場の水車部門の協力を得て、水車の設計思想や考え方を大型ポンプの設計に導入した。この経験は、近年の超大型ポンプの設計、製作にも有効に反映されている。

5 内需拡大(1985年~2000年) 土浦工場時代(2)

1985年のプラザ合意以降、急激な円高となり、日立ポンプは海外市場での競争力を失いつつあったが、政府の緊急経済対策などにより国内需要が拡大したため、国内公共向け上下水、排水、灌漑向けポンプの受注が好調となり、1987年のピーク時には、土浦工場で年間250台を超える大型ポンプを生産した。また、バブル経済崩壊後においても、引き続き順調な公共投資のために、ポンプの生産量を維持し続けることができた。

この間、特別研究「都市化対応排水機場システムの開発(1990年)、事業化戦略プロジェクト」大規模大深度地下排水ポンプシステムの開発(1993年)を実施し、ポンプ本体だけでなく、機場計画や土木寸法の縮減を最新のシミュレーションを使って支援、提案するための技術開発を集中的に行った。その成果として、渦の発生を抑制する吸水槽形状を最適化、流速Vを高くとることにより、従来に比べ、土木のボリュームを70%程度に低減する機場提案^[7]が可能となった。

また、大阪市下水道局にこれらの技術を盛り込んだ提案を行い、津守下水処理場向け大深度地下排水システム(立軸渦巻斜流ポンプ4台)を受注し2003年に完成した^[8]。

6 海外事業再開(2001年~) 土浦工場時代(3)

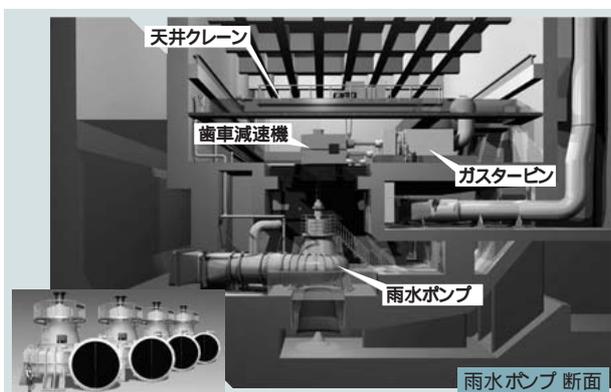
日立インダストリーズ・日立プラントテクノロジー時代

6.1 エジプトムバラクポンプ場プロジェクト

国内の公共投資が一段落した1998年3月、20年ぶりにエジプトで大型ポンプ設備の受注が決定した。ナイル川の水を送り、砂漠を緑化して新しい町を建設するというトシュカ計画のための送水設備、ムバラクポンプ場^[9]である。これは、土木を含むポンプ設備一式(立軸タービンポンプ21台)を、英国およびエジプトの建設会社との国際コンソーシアムで受注した総額約500億円のフルターンキープロジェクトであった。受注から試運転完了まで48か月、デザイン・アンド・ビルド方式の契約のため、すべての工程をハイスピードでまとめ上げなければならなかった。途中、コンソーシアムのパートナーであるエジプトの建設会社の経営が悪化し、業務遂行を放棄し不能となったために英国の建設会社と2社で完成させざるを得なくなったり、エジプトで製作した1,000 tにも及ぶ製缶製吸込みケーシングの変形を現地で修正したりするなど、多くの難問に直面しながらも、2004年には無事に仮引渡しを行うことができた。2003年に行われた通水式にはムバラク大統領のほか、在エジプト大使、日立から金井務会長(当時)が出席し、その模様は国営テレビを通じてエジプト全土に放映された。国際コンソーシアムの中で日立の総合力を十分に発揮したプロジェクトであったと言える^[6]。

6.2 エドモントンポンプ場プロジェクト

2004年には、米国カリフォルニア州からエドモントンポンプ場向け立軸4段タービンポンプ4台の更新工事



[8] 大阪市下水道局 津守下水処理場雨水ポンプ設備



[9] エジプトムバラクポンプ場

(ターンキー)を受注した^[10]。他社納入の既設ポンプを更新する工事であり、既設ポンプにキャビテーション損傷の問題があった。性能、効率、品質に関しても非常に厳しい条件が課せられていた。沼沢沼と同じく、水力モデルの開発、設計を同時に進め、短期でまとめる必要があり、流体解析による水力モデル最適化とRP(Rapid Prototyping)で羽根車を製作することにより^[11]、試験のスピードアップを図った⁷⁾。その結果、日立工場で実施した最終の模型試験では実機換算効率92.4%を達成することができた。国際入札で他社が提案した効率が91.2%であり、文字どおり世界最高効率を達成した瞬間であった。現在、1号機が稼働し約一年が経過しているが、8,000時間運転の保証期間満了に向けて順調に稼働しており、ロサンゼルス、サンディエゴをはじめ、南カリフォルニアの水資源確保のために貢献し、地域経済を支えている。

おわりに

佃島製作所時代を含めると、日立がポンプ製作を始めてすでに100年を超えた。

冒頭に述べたように、ポンプは人類の生活に欠くことのできない「水」を扱う機械であり、人類の営みが継続する限り、需要が途絶えることはない。ポンプそのものは古い技術であり、新興工業国や発展途上国においても小口径のポンプを製作することは可能である。

また近年では、流体機械を専門に研究や開発を行っている国内の大学・研究機関が少なくなっていることも事実である。しかし特に、大型の機械においては、まだまだ改良の余地が残っていると考える。例えば、羽根車やディフューザは複雑な形状のために、通常、鋳物で製作していたが、短納期化と品質向上のため、近年では製缶による曲げ加工と溶接で製作する事例が増えている。この場合の疲労強度評価や溶接、成形に関する生産技術は、

現在でも研究開発の対象である。水力性能についても、近年の流体解析技術の向上により、羽根車やディフューザの性能評価も解析可能となっており、このような先端技術をポンプというアプリケーションに適用することで、飛躍的な改善が図れる場合が多い。日立グループの工場や研究所には、このような最先端技術を持つ多くの技術者・研究者がおり、大きな強みとなっている。

一方でプロジェクトという観点からは、日立グループ各社がよりいっそう相互に連携して進めることで、さらに魅力ある提案が可能になると考える。

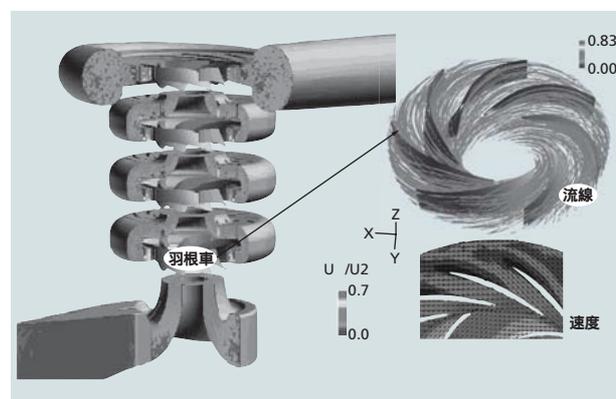
今後も、「水の世紀」における世界の水関連のプロジェクトに「野武士」のごとく積極的に挑戦し、われわれが100年にわたって蓄積してきた技術・製品を通して、広く国際社会の水環境・社会基盤の発展に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1)日立製作所史1, 日立製作所, p.26 (1949)
- 2)小堀: 沼沢沼揚水発電所用ポンプのウォーターハンマーに対する研究, 日立評論, 35, 6, 919~928 (1953.6)
- 3)本多, 外: 東京都水道局朝霞浄水場納6,200 kW原水連絡ポンプ設備, 日立評論, 47, 4, 657~662 (1965.4)
- 4)宮代, 外: 東京都水道局朝霞浄水場納 6,200 kW原水連絡ポンプ設備における水力過渡現象, 日立評論, 47, 8, 1412~1416 (1965.8)
- 5)A. Kuroda et al., "Large-capacity High-lift Transfer Pump System for the Havasu Pumping Plant", Hitachi Review 32, pp. 7-12 (Jan.1983)
- 6)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)
- 7)T. Nagahara et al., "Investigation of the flow field in a multistage pump by using LES", Proceeding of FEDSM2005, June 19-23, 2005



[10] 米国エドモンストンポンプ場



[11] 流体解析による羽根車最適化