

水力発電技術の最新動向

Latest Trends in Hydroelectric Power Technologies

川崎 智 池田 親正

■ KAWASAKI Satoshi ■ IKEDA Chikamasa

地球規模での気候変動や環境悪化を防止することは、全世界的な優先課題として認識されており、各国とも温暖化ガス排出低減に大胆に取り組んでいかななくてはならない国際情勢である。このような国際的な取組みのなかで、水力発電は環境配慮型の発電方式として評価されており、特に経済協力開発機構（OECD）の非加盟国を中心に、安定したエネルギー源として、今後も新規プラント市場の拡大が期待されている。また、環境対策や水資源の有効活用については、既存の発電所も同様の社会的要望があり、既設機の近代化改修や補修も大きな市場である。

東芝は、これら社会的要望に応えるため、様々な水力発電技術の開発を行っている。

Prevention of the problems of climate change and environmental degradation has become an overriding issue on a global scale, with each country focusing on reducing emissions of greenhouse gases. With this as a background, hydroelectric power has been reevaluated as an environment-conscious electric power generation system. The market for new hydroelectric power plants is expanding to non-member countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), and the demand for maintenance and renewal of existing hydroelectric power plants is also growing to promote both effective utilization of water resources and environmental measures.

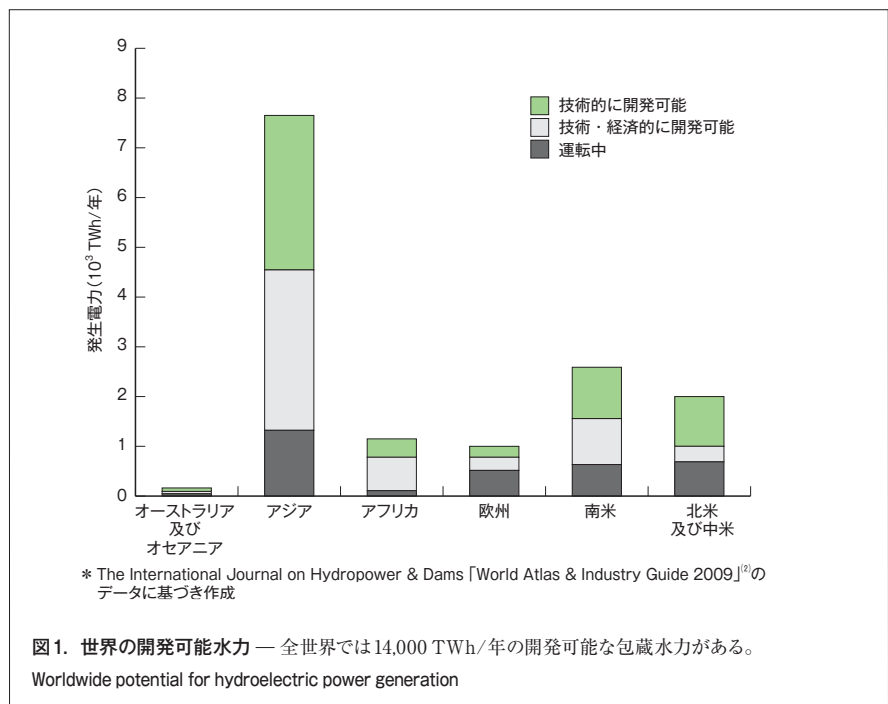
Toshiba has been developing a wide variety of hydroelectric power technologies that achieve high efficiency, high performance, and long operating life in harmony with the environment.

世界エネルギー需要と水力発電⁽¹⁾

2008年の世界的経済危機の影響を受け、2009年度の予測では、一次エネルギー需要の増加は2007～2030年平均で約1.5%/年と、過去の予測と比較して小さな伸びにとどまると考えられている。

一方、2009年12月に開催されたCOP15（第15回気候変動枠組条約締約国会議）の合意に代表されるように、地球規模での環境対策が必須となっている。特にOECD加盟国では、温暖化ガス排出量の削減のため、再生可能エネルギーの利用拡大が急務となっている。

現在実用化されている再生可能エネルギーを用いた発電技術のなかで、水力発電はもっとも長い歴史を持ち、既に安定した技術になっている。これに加え、土木設備への初期投資コストは高いもののランニングコストが安く、機器の寿命が長いという特長が評価され、環境に優しい安定したエネルギー源として世界各地で活用されている。また、新



たな水力発電所の開発も活発に進められている。

このような背景から、世界的に一次エネルギー需要が伸び悩む厳しい環境に

あっても、水力エネルギーは、今後も1.8～2.7%/年程度と、ほかの一次エネルギーと比較して安定的な水力機器需要が見込まれている。

世界で利用可能な水力エネルギー量（包蔵水力）は14,000 T（テラ：10¹²）Wh/年と言われており、世界のエネルギー需要のほぼすべてを賄うことができると考えられている。しかし、現在の利用率は約23%にとどまっており、今後の開発に大きな余地を残している（図1）。

中国、インドなどに代表されるOECD非加盟国では、旺盛（おうせい）な経済成長を背景として、全世界的な電力需要の低迷とは逆に今後2007～2030年に約3.9%/年の電力需要の伸びが予測されており、発電設備の増強に今後とも積極的な姿勢を維持するものと考えられている。

これらの国々では、国際情勢に左右されにくく自国内で調達できるエネルギーへの要望が強く、また水力の未開発地点を豊富に持つことから、今後も従来同様に水力発電所の建設が続くと考えられている。

一方、OECD加盟国では、前述のように地球規模での環境保護のため、温室効果ガス排出量の削減が至上命題となっている。こうした情勢のなか、発電機器の分野でも風力や太陽光などの再生可能エネルギーの活用が積極的に推進されている。しかし、これらの再生可能エネルギーは天候などによって出力が

変動しやすいため、有効に活用していくには系統側で出力変動対策を取ることが技術的な課題であり、負荷調整能力を持つ揚水発電所に対する期待が高まりつつある。

一方、わが国の包蔵水力は1.4 TWh/年と言われているが、その約70%は開発済みであり、大規模な開発はほぼ終了したと考えられている。一方、水力発電機器の運用寿命は非常に長いため、その運用期間内に時代の要求の変化や技術革新の成果を取り入れることによって、設備の有効活用を推進すると同時に、水資源の有効活用や環境対策なども実現していく必要がある。

いずれのOECD加盟国でも、既存発電所の近代化改修や環境対策への関心は高まっており、それらの国々に存在する、多数の既存発電所の近代化改修技術に対する市場ニーズは安定した需要として続いている。

東芝は、このような社会的背景のなか、多様化する市場のニーズに応えるため、様々な研究開発を継続している。

東芝の水力発電への取組み

当社は、高速・大容量化を目指して水力発電技術の開発を進めてきた。また、

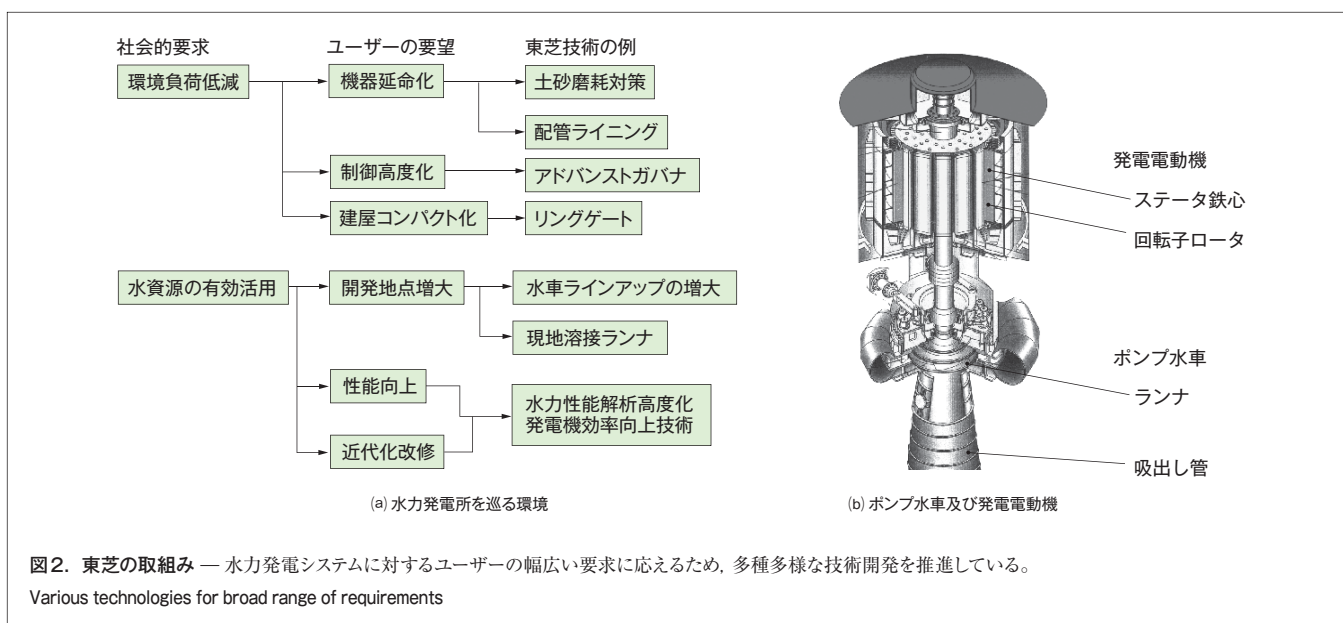
貴重な水資源を有効に活用するため、高効率・高性能化についても注力している。一方、新設の需要としては、前述のようにOECD非加盟国を中心に全世界から幅広い要求があり、その内容は立地点によって大きく異なる。当社はこのような幅広いユーザーニーズに応えるため、対応機種種の拡充に注力し、各地域の顧客満足度向上をキーワードにした技術開発を行っている（図2）。

また、既設機の改修と近代化、環境対策、長寿命化などのために、流体解析（CFD）技術を中心とする設計開発技術や、機器長寿命化を実現するための技術開発などに注力している。

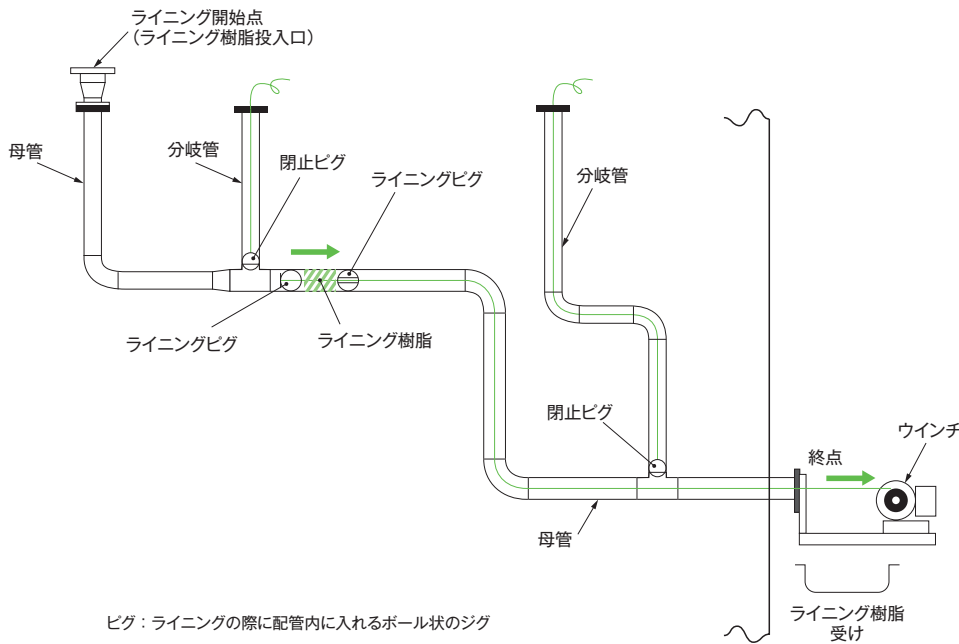
水力発電技術における、当社の主な取組みを以下に述べる。

■水車（水力特性）

水車性能及び特性を向上させるためには、CFD技術が重要な要素である。当社は、最新の設計手法として遺伝的アルゴリズムと実験計画法を適用した最適設計を実施しており、広い運転範囲で高性能な水車の開発を進めている。これにより、水車（水車専用機）やポンプ水車（揚水機）の性能を大幅に向上させるとともに、吸出し管では、高さの低減と損失の低減という二律背反を両



配管ライニング技術

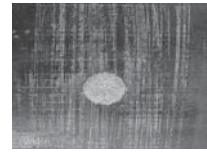


図A. 複雑な配管へのライニング要領

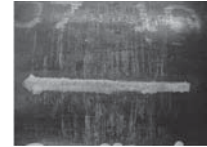
従来、埋設配管からの漏水対策は、配管の閉塞(へいそく)か掘り起こしによる大規模更新となり、掘り起こしの場合は、膨大な費用と工事期間が必要であった。近年、配管内面のライニング技術により、老朽化配管の再生ができるようになっているが、水車埋設配管は径が異なったり、分岐したり複雑な形状であることから、通常の

ライニング技術及び工法では適用できない部分があった。

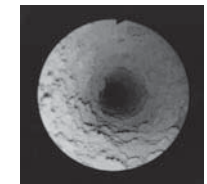
東芝では、配管径の変化にも追従できる弾性ピグを開発するとともに、複雑な配管形状にも作業手順の検討により適切なライニングができるようになっている。現在、国内外を含め5発電所への施工実績があり、今後も適用拡大が期待されている。



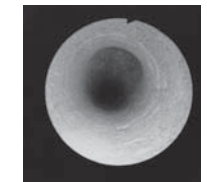
丸穴欠損



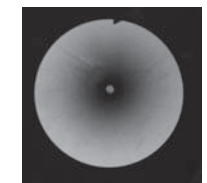
スリット欠損



ライニング前



クリーニング



ライニング後

図B. 試験配管での欠損補修状況(配管外面)―内面外面ともにコーティング剤が十分充填(じゅうてん)され、耐圧試験でも、十分な性能が確認されている。

立させている。水力発電所には様々な立地条件があるので、広い運転範囲に対して高性能水車を提供することは、取りも直さず開発できる地点を増やすことと同じ意味がある。また、この技術を適用することで、既設機器の性能向上を図ることができ、新設機器だけでなく既設機器の有効活用の幅を拡大することができる。

■水車(構造, その他)

新規水力地点の開発には様々な制約が伴い、輸送制限もその一つである。特に、ランナに関しては輸送制限が大き

な制約となり、新たな地点を開発する際の障害になっていた。このため、溶接変形解析技術をはじめとした現地溶接ランナ技術を開発して輸送制限を回避することで、新規開発地点の増加が可能になった。

また、発電所建屋を縮小し、建設コストを低減すると同時に、環境負荷をも低減するため、入口弁に代えてリングゲート^(注1)を採用したいとの要望も多

(注1) リングゲート
水車の止水弁の一種で、水圧管路に設置される入口弁と異なり、ステイベンとガイドベーンの間設置される円筒型の流路遮断リング。

く、これらに応えるためリングゲートを開発している。

■延命化技術

水力発電所は立地点により、土砂磨耗対策が必要になる場合がある。特に、土砂混入の多い地域向けの機器では、数か月程度の運用で流水面に顕著な磨耗が発生する場合もある。頻繁な部品交換や停止は水資源の有効活用を阻害し、ランニングコストを増大させる結果となる。当社は、超高速フレーム溶射 (HP-HVOF (High-Pressure, High-Velocity Oxygen-Fuel) 溶射) を用いた最適コー

ティング材料を開発し、これにより土砂磨耗を大きく低減できるようにした。

また、長期間にわたって運用を継続している発電所では、埋設配管の腐食による漏水が問題となり、程度によっては大規模な改修が必要になるケースもあった。当社は、水車埋設配管に適合した配管ライニング（配管の内面再塗装）技術を開発し、機器を大規模に分解することなく、老朽化した配管をリフレッシュすることを可能にし、長期にわたり安定した運用を望むユーザーの声に答えている（[囲み記事参照](#)）。

■発電機及び発電電動機

水資源の有効活用を推進するうえで、発電機の効率向上は重要なテーマである。当社は、樹脂系材料軸受の面圧を高めることで軸受損のいっそうの低減を実現した。また、高度な解析技術を応用して通風方式を改良し、風損を低減するなどといった高効率化のための技術開発を継続して行っている。

更に、特定のユーザーから特に強い要望のある鉄心固定方法や回転子ロータ構造などを実用化し、世界中のユーザーからの様々な要求に答えている。

一方、OECD加盟国を中心として、系統安定度確保の観点から、可変速揚水に対するニーズも高まっており、これらについても豊富な実績をベースに対応している。また、環境対策にも配慮し、特定化学物質の全廃などに取り組んでいる。

■制御装置

水力発電機器には数100 kW程度の小さなものから、800 MW程度の大型機までがあり、バリエーションに富んでいることが特徴である。各々の水力発電所に対して、コスト及び性能がベストバランスな制御機器を提案するため、当社は一体型制御装置からSCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）に至る幅広いバリエーションの制御装置をラインアップしている。

また、現代制御理論を応用したアドバ

ンストガバナの適用により、水圧鉄管側サージタンク（調圧水槽）の容量を低減して土木コストの低減に貢献するなど、従来の制御装置の枠を一步踏み出し、発電所全体の合理化を実現する技術開発を行っている。

水力発電のグローバル展開

前述のように、水力発電に関するニーズは全世界的なものであり、また、地域によってニーズも一様ではない。国内に対しても高性能な機器を安価に供給する体制を構築し、また世界各国のユーザーの多様なニーズに応えるためには、国内だけに拠点を置く体制では不十分な状況になっている。このため当社は、ユーザー満足度の向上を目指し、以下に示す海外拠点を展開して地域ごとにきめ細かい対応を行っている。

■東芝水電設備（杭州）有限公司

2005年に東芝水電設備（杭州）有限公司（以下、THPCと呼ぶ）を設立した。中国の新設市場の規模は、全世界の半数以上と言われており、THPCは中国向け機器製造及び販売と、全世界向け

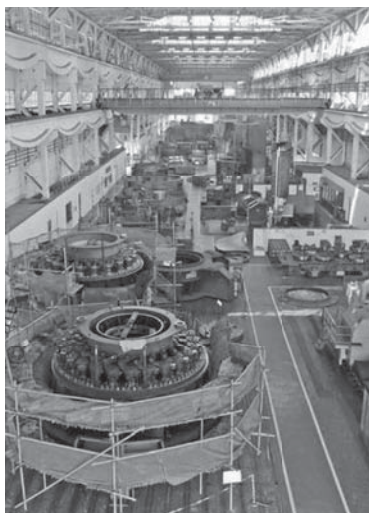


図3. THPCの水車組立工場 — 多数の水車が工場で組立て中である。
Turbine assembly shop of Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd. (THPC), China



図4. THPCの製造設備 — 液圧レジニッチ絶縁コイル製造用の真空タンク設備であり、真空タンク内でレジニッチ絶縁コイルを加熱含浸させ、信頼性の高いステータコイルを製造できる。

Vacuum drying and heat pressure tank facility for manufacturing stator bars at THPC

の機器製造を担っている（[図3](#)）。旺盛（おうせい）な市場の伸びや多種多様なニーズに対応するために、大型機械設備や水車模型試験設備、あるいは電気工場などの設備を増強し、技術開発を進めている（[図4](#)）。

■Toshiba International Corporation

Toshiba International Corporation（以下、TICと呼ぶ）は、水力エンジニアリング・営業拠点として米国のデンバーに事務所を2005年に開設し、水力専門の現地エンジニアが在籍している（[図5](#)）。北米では、建設から30～50年程度経過した発電所の大規模な改修が盛んであり、ユーザーに密着したエンジニアリングサービスによって、ニーズの収集と的確な対応を図っている。



図5. TIC デンバー事務所 — 北米での水力エンジニアリングサービスの拠点となっている。
Denver Office of Toshiba International Corp. (TIC), U.S.A.

■Hydro Power Services, L.L.C.

北米での大規模改修ニーズに対応して、2007年に現地機械加工を得意とするHydro Power Services, L.L.C. (以下、HPSと呼ぶ)を東芝グループの一員に加えた。北米での大規模改修物件はターンキー(現地工事及び調整試験込みの契約)の案件が主流であり、東芝グループによる一貫した製造と現地工事管理により品質の維持向上を図る狙いで、東芝グループとして、大型改修プロジェクトを推進中である(図6)。



図6. 作業中のウェルズ発電所の水車ランナー—HPSを東芝グループに加え、北米での大規模な改修に対応している。
Runner for Wells Hydropower Station, U.S.A.

■Toshiba Thermal and Hydro Power Systems Company

2009年7月にインドのグルガオンにToshiba Thermal and Hydro Power Systems Company (以下、TTPSと呼ぶ)を設立した。インドは、水力発電の巨大マーケットとして中国に次いで注目される市場であり、TTPSはインドのユーザーニーズを十分吸い上げるとともに、今後予定される多数のターンキー案件への対応を行っていく。既にインドで大型プロジェクトに参画している。

今後の取組み

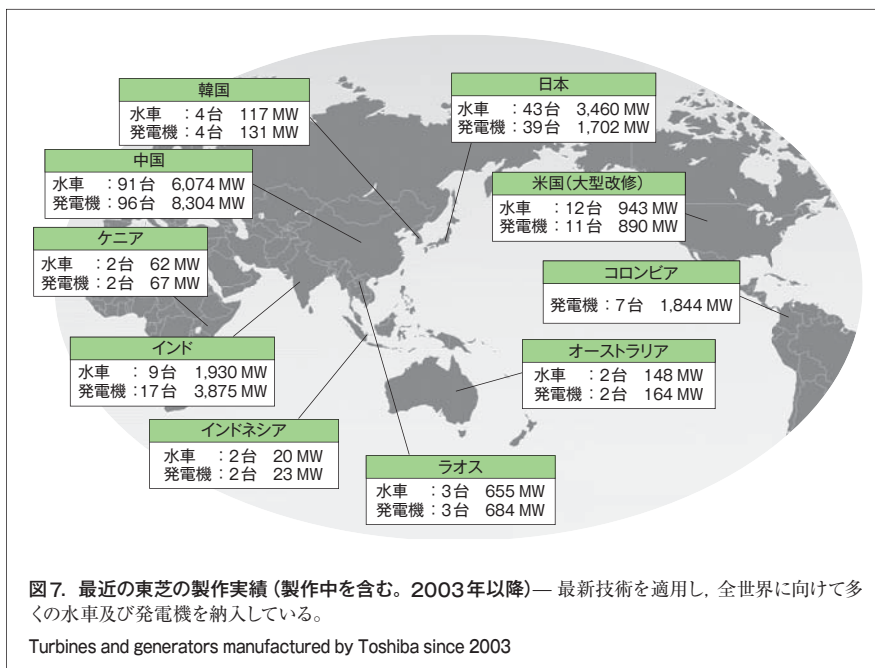
水力発電は各国において貴重な自国内エネルギーであると同時に、環境に優しいエネルギーとして、全世界的な環境への配慮が高まるなか需要が増加しつつあり、今後も継続していくものと考えられる。一方、水力発電は立地点により、柔軟な設計及び製造対応が必要になるなどの特徴があり、全世界からの多様なニーズに応えていくためには、幅広い技術開発が必要になる。

また、水力発電機器は長期にわたり運用されることから、その期間、社会的要望の変化などに適切に対応していく社会的な責務も担っている。

当社は、幅広く高度な技術を背景に、全世界の顧客要求に応え、現在も世界各国へ機器を納入している(図7)。今後も、社会情勢の変化や全世界の様々なニーズを満足させるため、新たな技術開発に向かってチャレンジを継続していく。

文 献

- (1) International Energy Agency. World Energy Outlook 2009. Paris, International Energy Agency, 2009, 696p.
- (2) The International Journal on Hydropower and Dams. "World Hydro Potential and Development". World Atlas & Industry Guide 2009. Wallington, UK, Aqua-Media International Ltd., 2009, p.15 - 17.



川崎 智
KAWASAKI Satoshi

電力システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部グループ長。水力発電機器改修のエンジニアリング業務に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



池田 親正
IKEDA Chikamasa

電力システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部グループ長。水力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.