

# 国内外水力発電所への最新技術の適用

Application of Advanced Technologies to Hydroelectric Power Plants Worldwide

新井 秀忠

ARAI Hidetada

太田 仁志

OHTA Hitoshi

坂本 茂

SAKAMOTO Shigeru

水力発電に求められる役割は時代に応じ変化し、東芝は技術開発とその適用により時代のニーズに応え続けている。これまで、国内では揚水発電所の経済性を追及して高落差・高速・大容量化を進めてきた。現在では、運用効率向上、発電設備の簡素化、保守の省力化などが求められ、効率向上技術、レス化技術(圧油装置や冷却装置などを省略する技術)、長寿命化技術を適用している。また近年は、国際的なニーズである環境負荷低減対策に応える技術が求められている。

The role of hydroelectric power changes according to the times, and Toshiba continuously responds to these changes with the development and application of technologies for this field. In Japan, Toshiba has been supplying higher head, larger output, and higher speed machines up to now in pursuit of economic efficiency. At present, hydroelectric power technologies are required for optimal utilization and simplification of equipment as well as more economical maintenance. Toshiba has applied technologies to the hydroelectric power field for improvement of efficiency, simplification of equipment (e.g., technologies to eliminate pressurized-oil system, cooling system, etc.), and prolongation of equipment life. In addition, technologies to contribute to environmental preservation are being called for in the global market.

## 1 まえがき

水力発電の果たす役割は時代に応じ変化しているが、東芝はこれまでに培った技術力と経験、時代のニーズに対応した様々な技術開発とその適用により、水力発電所を取り巻く環境の変化に応え続けている。

ここでは、当社の最新技術を水力発電所に適用し、世界各国で現在の水力発電所に求められるニーズを実現した事例について述べる。

## 2 国内外水力発電所への最新技術の適用事例

### 2.1 超高落差ポンプ水車の最新技術

1970年代半ばころから、揚水発電所の経済性を追求した高落差化、高速化、大容量化が進み、当社は常にその技術をリードしてきた。

当社が設計、製作している東京電力(株)葛野川発電所向け揚水機器のポンプ水車3号機、4号機(412 MW、728(最高有効落差)/782(最高揚程)m、480~520 min<sup>-1</sup>)は、単段ポンプ水車として世界最高揚程の記録機であるとともに、可変速機として世界最大出力の記録機である(図1)。

また、2005年の初号機運転開始に向け、東京電力(株)神流川発電所ポンプ水車(482 MW、675/728 m、500 min<sup>-1</sup>)を現在製作中であり、単機出力として世界最大出力の記録機と

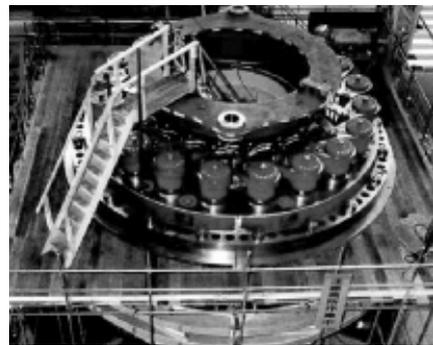


図1. 東京電力(株)葛野川発電所向けポンプ水車の工場組立て - 世界最高揚程の記録機である。

Shop assembly of pump-turbine for Kazunogawa Power Station of The Tokyo Electric Power Co., Inc.

なる。神流川発電所ポンプ水車ランナには、フランス型スプリッタポンプ水車ランナを適用することで、従来の土木設備を変更することなく発電所出力を増大させている。

超高落差・大容量揚水発電所は、高落差化に伴い増大する変動応力の低減技術や超高圧環境での低振動化技術、欠陥の少ないランナの製造技術、高い信頼性のある強度解析技術などの確立により実現した。

また、これまでに例のない高水圧、高周速の過酷な環境での水密性や主軸封水装置の更なる信頼性向上技術を確立した。

超高落差ポンプ水車技術により、従来技術では下池、中間

池,上池を持つ二つの揚水発電所で実現せざるを得なかったものを,中間池を省略した一つの揚水発電所として,建設コストと発電所内電力を低減した。また,従来よりも水面押し下げ時の漏気量が低減できる新設計の吸出し管を適用し,据付け時の土木掘削量の削減に寄与している。

## 2.2 ランナ更新による運用効率向上技術

近年,建設以来かなりの年月が経過した発電所が増加している。これらは,建設当時の最新技術で製作されたが,その後の技術開発により更なる性能向上を図ることができる。水力発電所や揚水発電所への要求が建設時から変化し,部分負荷効率の向上,低出力側の運転範囲拡大,発電所内使用電力の低減など,運用効率向上に対するニーズが高まっている。

当社は,経年劣化による水車及びポンプ水車ランナの更新に合わせて,新設計したランナやスプリッタランナを適用し,年間発生電力量増大,最大出力の増大,部分負荷効率の向上,低出力側の運転範囲拡大など,運用効率の向上を実現している。

最近の例では,次の3発電所に対して運用効率向上技術を適用している。

- (1) 関西電力(株)喜撰山発電所1号機(VFR-1RS, 240MW) 新設計したランナを2001年に適用
- (2) 北陸電力(株)有峰第一発電所(VF-1RS, 266MW) 新設計したランナを2003年に適用
- (3) 東京電力(株)安曇発電所4号機(VFR-1RS, 108.9MW) スプリッタランナを2003年に適用

新設計したランナを適用したことで,運転範囲全域での効率向上,特に現在では運転頻度の高い部分負荷での大幅な効率向上を実現し,年間発電量が,喜撰山発電所では1.7%増加<sup>1)</sup>,有峰第一発電所では6.5%増加した(2003年2月19日付け電気新聞) (図2)。

また,世界で初めてフランシス形スプリッタポンプ水車ラ

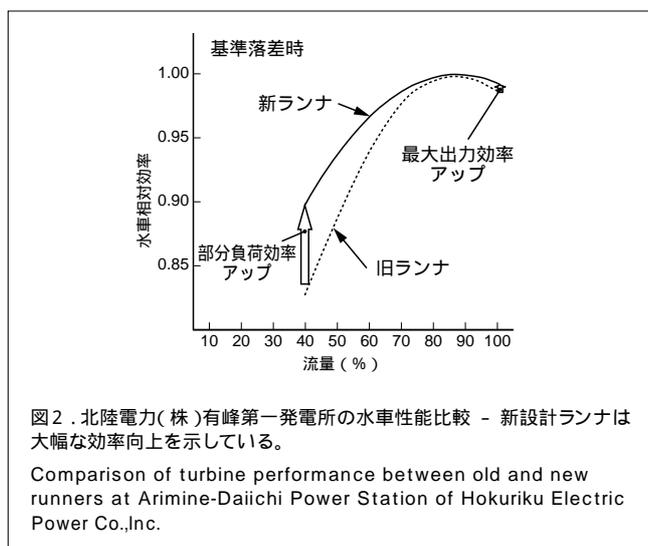


図3: 東京電力(株)安曇発電所向け スプリッタポンプ水車ランナ - 世界初のフランシス形スプリッタポンプ水車ランナである。

World's first Francis type splitter pump-turbine runner for Azumi Power Station of The Tokyo Electric Power Co.,Inc.

ンナを適用した安曇発電所では,最高落差相当で部分負荷効率が2~4%程度,最大出力側の効率が5%程度向上し,また,水圧脈動と振動も大幅に低減した(図3)。

スプリッタランナの適用により,水車出力の増大と下限出力運転範囲の拡大を可能とし,経済性や運用性の良い発電所となる。また,ダム水位変動が大きく,使用水位が制限されるような変落差( $H_{pmax}/H_{tmin}$ )が大きい発電所は,その制限を緩和し,設備を有効に使用できる。更に,高落差機に対しては,水圧脈動の低減による運転範囲拡大も期待できる。

## 2.3 環境保全技術,設備の簡素化,保守の省力化技術

近年,発電設備の簡素化と保守の省力化に加え,環境保全のニーズが高まっており,水レス,圧油レス,プラシレス,空気レスによりこれらの要求に応えている。

2.3.1 圧油レス化技術 当社では,85年以来,これまでに電動サーボモータシステムを約60台に適用し,発電所内の完全圧油レス化による河川汚染の可能性の解消,圧油装置の省略による設備の簡素化,保守の省力化を実現している。

2001年には,新潟県企業局奥三面発電所(34.5MW)の水車ガイドベーン操作機構に世界で初めて二連式電動サーボモータシステムを適用した。圧油装置が不要となることに加え,電動操作システムをコンパクトにでき,設置スペースの縮小による建設コストの低減にも寄与している。

これまでのシングル電動サーボモータで駆動する方式では水車出力30MW級までの適用であったが,二連電動サーボモータシステムの実現により,圧油レスの適用範囲は水車出力100MW級まで拡大できる。

2.3.2 油霧(オイルペーパー)レス化技術 当社では,軸受油槽からの油霧の排出防止や,カーボンブラシなどの粉塵(ふんじん)の油槽内への進入防止を目的として刷子シールを開発し,2000年に初適用して以来,50台以上に適用している(図4)。刷子シールによる油霧のシール効果は客先から高い評価を得ている。



油霧が発生し、ビット壁面は油でぬれた状態

取付け前



取付け後約8か月の状態で、油霧は止まり壁面は乾いた状態

取付け後

図4. 刷子シール適用効果( 8.5MVA 発電機への適用例 ) - 刷子シール取付け後( 右 )は油漏れが改善されている。

Effect of application of brush seal

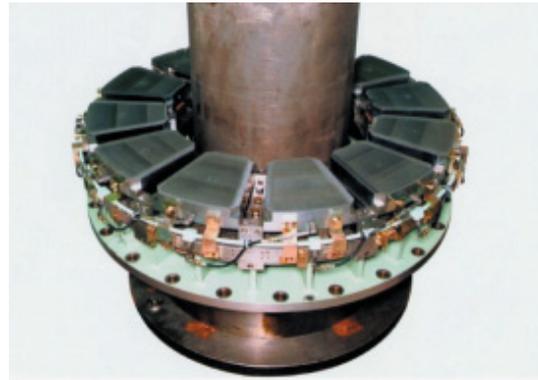


図5. 東京電力(株)安曇発電所向け 発電電動機の新素材スラスト軸受 - 揚水機へ新素材スラスト軸受を初適用した。

Plastic-lined thrust bearing for Azumi Power Station of The Tokyo Electric Power Co.,Inc.

これまで、従来のラビリンス構造に加えて刷子シールを追設していたが、海外向けに初適用したスリランカのククレガン発電所( 42 MVA × 2 台 )では、従来設けていたラビリンスシールも省略して構造を簡素化している。

#### 2.4 長寿命化技術

2.4.1 土砂摩耗対策技術 河川に含まれる土砂が非常に多い地点では、水車の流水面が摩耗損傷し、機器の性能低下をきたすとともに補修周期や用品取替え周期が短くなる。

このような発電所における機器の延命や補修周期の延長を目的として、当社で実用化した土砂摩耗に強い超高速フレーム溶射( HP-HVOF )を用いた表面改質技術を、これまでに約20台のランナやガイドペーンなどの流水部へ適用している。

海外向けには、ネパールのカリガンダキ発電所水車( 48 MW, 130 m )のランナに適用している。

2.4.2 長寿命軸受 当社は、樹脂系新素材軸受の適用により、軸受の長寿命化と信頼性向上、更には、設備の簡素化と保守省力化のニーズを実現している。

94年に7MVA 発電機のスラスト軸受に新素材軸受を初適用して以来、多くの発電機に新素材軸受を適用している。99年には、安曇発電所6号機のスラスト軸受更新時に、揚水機としては初めて新素材スラスト軸受を試験適用し、2001年にはすべての運転でオイルリフタ - の運転を省略して<sup>(2)</sup>、発電所内電力の低減や保守の省力化を実現した( 図5 )。

また、2002年には東北電力(株)十和田発電所2号機( 12.5 MW )のオーバホールに合わせて、水車と発電機の全軸受に新素材軸受を適用し、また同年、ネパールのカリガンダキ発電所( 48 MW × 3 台 )に海外向けとして初めて新素材スラスト軸受を適用した。いずれの発電機の軸受にも空気冷却方式を採用して、補機類の省略による設備の簡素化と保守の省力化を実現している。また、これらの発電所では、新素材スラスト軸受の適用で軸受を小型化し、軸受損失を低

減している。

#### 2.5 FDDI-LAN を適用した分散型監視制御システム

FDDI-LAN( Fiber Distributed Data Interface-LAN )でネットワークを構成した最新の分散型監視制御システムを、ベトナムのハムツアン発電所( 158 MW × 2 台 )に納入した( 図6 )。

この発電所は、同一水系下流の中間貯水池を介し設置される発電所( 86 MW × 2 台 )と水の有効利用を目的とした連携制御で運転され、南ベトナム地区での主要発電設備となるとともに、ベトナム全電力需要の約10%を担う重要な発電所として位置づけられている。

この分散型監視制御システムは、ハムツアン発電所の2台の水車・発電機の制御及び変電所の総合監視制御を行い、

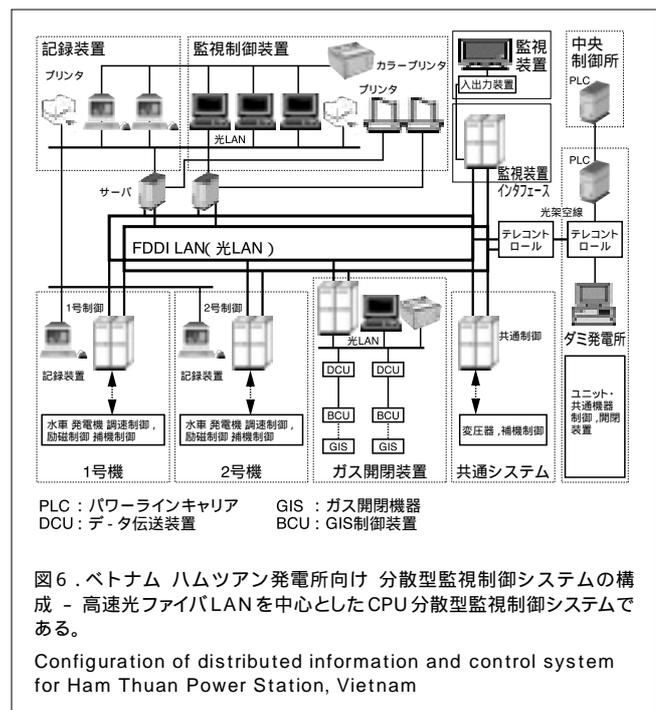


図6. ベトナム ハムツアン発電所向け 分散型監視制御システムの構成 - 高速光ファイバLANを中心としたCPU分散型監視制御システムである。

Configuration of distributed information and control system for Ham Thuan Power Station, Vietnam



図7. ベトナム ハムツアン発電所向け 監視制御システム - 主制御室から2か所の発電設備,送電線開閉機器,ダム設備などの総合監視制御を行う。

Overview of distributed information and control system for Ham Thuan Power Station, Vietnam



図8. パキスタン ガジバローサ発電所向け 水車発電機 - 固定子径が16 mを超える大直径機である。

Assembly rotor for Ghazi Barotha Power Station, Pakistan

マイクロプロセッサ応用制御装置, HMI (Human Machine Interface) としてのオペレータ監視制御装置, 記録装置, 変電所制御装置, 及び遠方監視制御する下流に位置する発電所のテレコントロールシステムのそれぞれを FDDI-LAN でネットワーク構成し, 各所のデータリンクを実現した(図7)。

また, 運転開始から20年以上経過した関西電力(株)奥吉野発電所の制御装置更新に伴い, 2003年に同様の FDDI-LAN を介して接続された分散型監視制御システムを納入した。監視制御卓にはマルチスクリーンを用い, ユーザーフレンドリーな HMI を構築している。

### 2.6 低速・大容量発電機の適用技術

海外では豊富な包蔵水力を生かして, 大規模な電源開発が行われるケースがある。このような地点に建設される発電所の機器は, 低落差, 大容量, 大直径の水車や発電機となる。

2003年9月の運転開始を目指して, 現在, 据付けと試験が行われているパキスタンのガジバローサ発電所も, 代表的な大容量・大直径機であり, 322.2 MVA 水車発電機5台で構成される。この発電機は, 当社納入実績の中ではベネズエラのグリ第二発電所水車発電機 805 MVA に次ぐ大容量機である。また, 固定子枠の直径は16 mを超える有数の大直径機である(図8)。

60極以上の低速・大容量発電機の当社製作実績は40台を超えるが, これらの低速・大容量の大直径機の実現は, 低速機でのラジアル通風による冷却方法, 大荷重に伴う回転部の垂直方向のたわみや軸受支持方法, 及び固定子枠の熱膨張なども考慮し, 高速機とは異なる技術課題を克服して, 最適設計を図って実現したものである。

この発電所の全容量はパキスタンの総発電設備容量の約10%に相当し, 同国の電力供給に貢献することが期待される。

## 3 あとがき

国内外水力発電所に対する最新技術の適用事例について述べた。

水力発電は, 再生可能で二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を排出しないクリーンなエネルギーとして, 環境保全の観点から重要な役割を担うことが期待されている。

当社は, 今後も更なる技術の開発, 研究に取り組み, 水力発電所における環境負荷低減や運用効率向上の実現を通して, 世界各国の社会と地域の発展に貢献していく。

## 文 献

- (1) 松本貴志, ほか. 既設揚水発電所ポンプ水車のリニューアル. 東芝レビュー. 57, 9, 2002, p.58 - 61.
- (2) 久保田一正, ほか. 揚水発電所向け発電電動機への樹脂軸受の初適用. 東芝レビュー. 58, 1, 2003, p.64 - 67.



新井 秀忠 ARAI Hidetada

電力・社会システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部主務。揚水発電システムのエンジニアリング業務に従事。  
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.



太田 仁志 OHTA Hitoshi

電力・社会システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部主務。水力発電プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.



坂本 茂 SAKAMOTO Shigeru

電力・社会システム社 火力・水力事業部 発電制御システム部主務。水力発電プラントの監視制御システム設計業務に従事。  
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.