

東芝水電設備（杭州）有限公司における 10年の歩みと技術開発への取り組み

Ten Years of Progress at Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd. and Approaches to Technical Development

森 淳二 鄭 覚平 宋 翔

■ MORI Junji ■ ZHENG Jueping ■ SONG Xiang

東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）は、中国における東芝の水力事業拠点として2005年1月に設立して以来10年が経過した。この間、大型組立工場や電気工場などを整備拡充するとともに、国内と同じ管理システムの導入や人材の育成などを行ってきた。また同時に、水力機械研究所や絶縁技術開発センターといった研究機関を設立し、中国特有の低落差・大容量機市場に合わせた研究開発も行ってきた。中国市場のニーズに応え、100台以上の水車及び発電機の設計、製造実績を積み重ねることで、技術的にも確実に成長を遂げてきている。

Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd. (THPC), a base for the hydroelectric power generation business of Toshiba in the Chinese market, has celebrated its 10th anniversary of operation. Since its foundation in January 2005, THPC has been engaged in the development and expansion of its large-scale manufacturing factory and electric parts production factory, the establishment of research facilities including the Hydraulic Machine Research Laboratory and the Insulation Development Center, the introduction of a facility governance system equivalent to that in our Japanese facilities, and the nurturing of human resources, focusing on equipment for low-head and large-capacity hydroelectric power plants to meet the specific characteristics of the Chinese market. THPC has produced more than 100 units each of turbines and generators so far, and been making progress in further enhancing its technical capabilities.

1 まえがき

東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）は、東芝の水力事業拠点として2005年1月に設立して以来10年が経過した。この間、積極的な設備投資や技術導入を行うことで、中国市場のニーズに応えながら順調な成長を遂げてきた。今では、中国だけでなく、海外へも製品を供給できるようになっている。

ここでは、この10年間の取り組みや中国市場に向けた技術開発などについて述べる。

2 THPCの概要

2.1 THPCの設立

THPCは、東芝グループが80%を、中国水利水電建設集団会社が20%を出資し、両社の合弁企業として2005年1月に設立した。

水力発電機器の営業、設計、及び製造を一貫して行っており、上海の西南約160 kmの杭州市内に営業・設計事務所が、そこから約90 kmの富春江鎮に工場がある。杭州にはわが国から直行便が毎日発着しており、THPCは、朝にわが国をたてば午後には打合せができ、時間的にも近い距離にある。

工場の敷地面積は180,000 m²で、鋳造や、溶接、加工、組立て、検査など、水力発電機器の製造を全て行うことができる。

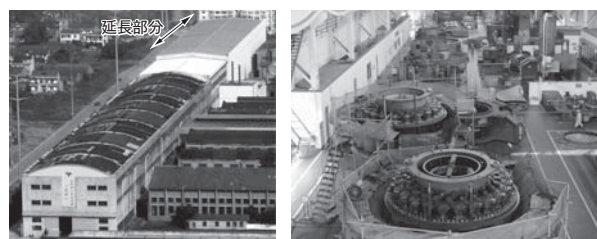


図1. 大型組立工場 — 大型組立工場には、最新鋭の大型加工機械を導入している。

Large-scale manufacturing factory

2.2 工場の製造設備や研究開発設備の拡充

中国市場のニーズに応えるため、この10年で、以下のように工場の製造設備や研究開発設備を拡充してきた。

(1) 大型組立工場 中国では、落差が低く水量が多い河川が多いことから低落差・大容量機に対するニーズが多く、発電機器が大型となるため最新鋭の大型加工機械を導入した（図1）。

第一段階として、2006年に既存の大型組立工場を約50 m延長し、10 mターニングマシン及び12 m横旋盤を新規に導入した。

第二段階では、2009年にこの工場を更に約140 m延長し、250 tクレーンを設置するとともに、20 m及び12.5 mのターニングマシンや14 m横旋盤、大型横中繰り盤2台も



(a) 水力機械研究所

(b) 模型試験設備

図2. 水力機械研究所 — THPCは、中国内の外資系企業に先立って、水力模型試験設備を導入した。

Hydraulic Machine Research Laboratory

導入した。製造能力が当初の1.6倍に増強され、600 MW級の大型機の加工及び組立ても可能になった。これに併せ、自動化を含めた大型ランナの製造技術などの開発も行った。

- (2) 新電気工場 発電機の大容量化に対応するため、発電機のコイルや鉄心を製造する電気工場を従来の2.5倍に拡大し、建屋面積約9,000 m²の新電気工場が2008年11月に完成した。

国内工場と同様の絶縁システムで固定子コイルの製造ができる真空タンクや、テーピングマシン、リム板及び磁極を製造するレーザカッター、プレス装置など、最新設備を導入している。

- (3) 水力機械研究所 中国内の外資系企業に先立って、水車性能を検証する模型試験設備を備えた水力機械研究所を設立した。中国の専門家による認定を得て、国内の模型試験設備とともに、水車の性能開発を行っている(図2)。

- (4) 絶縁技術開発センター 新電気工場に隣接して絶縁技術開発センターを設置し、国内工場などと共同で、大容量・高電圧化する発電機の固定子コイルなどの絶縁性能向上及び品質の安定化に対する絶縁材料の開発や製造技術、検証評価、特殊試験などの研究開発を行っている。

- (5) 鋳物工場 一般鋳鋼からステンレス鋳鋼までを製造できる設備がある。ランナやガイドベーンなどの水力発電機器をはじめ、蒸気タービン用ノズルや一般産業機械用部品などの製造も行っている。現在、2015年に稼働予定の精錬設備の導入を進めており、更に高品質なステンレス鋳鋼品を提供できるようになる。

3 技術者の育成と管理システムの導入

THPCは東芝グループの水力発電機器製造工場として、東芝と同じ技術標準や、生産管理システム、品質管理システムなどを導入し、技術者の教育及び育成に力を入れている。

3.1 技術者の育成

設計技術では、東芝とTHPCでの設計一体化を目指し、THPC設計部門の強化を図っている。東芝の設計者をTHPCに派遣しての教育やTHPCの設計者を東芝に派遣しての短・長期研修などを行っている。2～3年の長期研修を受けた設計者も10名を超えており、THPC帰任後、設計の中核を担うようになってきている。

水車及び発電機の製造技術者やコイル製造などの専門技術者も東芝の技術指導によるスキル強化を図っている。特に溶接技術では、工場内に溶接技能訓練センターを設立して東芝の技術者が指導しており、東芝グループ全体の溶接士コンテストで毎年入賞者を出すほどまでレベルが向上している。

3.2 管理システムの導入

生産管理システム及び品質管理システムは、東芝のシステムを導入し、適宜、東芝の専門家を派遣して指導を行っている。更に、品質部門には東芝の技術者が駐在して、指導することで、品質の維持と向上を図っている。

THPC独自の内部監査に加え、東芝の品質部門による総合品質監査を定期的の実施するとともに、ISO 9001 (国際標準化機構規格9001) 認証を取得し、定期的な外部監査も受審することで、継続的な改善活動を行っている。

環境面への配慮も進めており、ISO 14001 認証を取得するとともに、東芝の環境監査も受審し、高い評価結果となっている。

4 設計・製造実績

THPCは、表1及び表2に示すように、設立以降、数多くの水車及び発電機を直接受注し、設計及び製造を行ってきている。中国市場のニーズに対応した低落差機が多く、バルブ水

表1. 水車の設計・製造実績

Experience in design and manufacturing of turbines

	台数	総出力	最大出力機
バルブ水車	62	1,613,072 kW	黄豊 (45,920 kW)
フランシス水車	38	4,584,010 kW	苗尾 (325,000 kW)
カプラン水車	7	674,500 kW	安谷 (190,000 kW)
ポンプ水車	4	1,306,000 kW	清遠 (326,500 kW)
合計	111	8,177,582 kW	

表2. 発電機の設計・製造実績

Experience in design and manufacturing of generators

	台数	総出力	最大出力機
バルブ発電機	59	1,623,570 kVA	黄豊 (47,368 kVA)
立軸発電機	62	10,234,520 kVA	観音岩 (666,670 kVA)
発電電動機	4	1,424,000 kVA	清遠 (356,000 kVA)
合計	125	13,282,090 kVA	

車・発電機が約半分の台数を占めているとともに、カプラン水車及び大型フランス水車の台数が多い。

出力190,000 kWの安谷発電所は東芝グループとして最大容量のカプラン水車である。また、清遠揚水発電所は、THPCが初めて受注した揚水機であり、2015年の運転開始を目指して据付け及び試験を進めている。

近年では、中国外の顧客からも認められ、輸出も進めている。アフリカのガボンやギニア、ラオスやベトナムなどに向け、5プラント17台の設計及び製造を行っている。

製造としては、これら以外に、わが国をはじめ、品質要求の厳しい米国や、コロンビア、オーストラリアなどにも製品を輸出している。この中には、出力200 MW機3台から成る北海道電力(株)京極発電所用のポンプ水車静止部、入口弁、及び発電電動機製缶部品や、米国の出力362 MW機6台から成るラディントン発電所用のランナ及び発電電動機製缶部品など、揚水機器の製造も含まれている。

ラディントン発電所用のランナは、直径8.4 m、重量260 tで、揚水発電所向けランナとしては最大級の製品である(図3)。

また、中部電力(株)徳山発電所では、ランナや発電機回転子などの回転部品をはじめとした重要製品を含め、そのほとんどをTHPCで製造した(図4)。出力22.4 MWの2号機

は既に運転を開始しており、出力131 MWの1号機は現在据付け及び試験中で、2015年6月に運転開始の予定である。

5 技術開発

中国でのニーズが多い低落差・大容量機に対応する特別な検討及び技術開発を行い、製品を実現してきている。

5.1 大型バルブ水車・発電機

中国では、低落差に向いている大型で大容量のバルブ水車・発電機を適用する発電所が多い。したがって、THPCはバルブ水車・発電機の実績が多く、その設計・製造能力は高い⁽¹⁾。

THPCでの最大容量機となる黄豊発電所は、バルブ水車よりも高い落差に採用されるカプラン水車でも適用可能な高落差大容量機で、これにバルブ水車を適用する際には、構造解析による綿密な設計を実施した。また清水塘発電所では、ランナ径が7.5 mと記録的な大きさのため、設計段階で水車・発電機全体の変形や、応力、回転体を含む振動モードなどを確認する全体解析を実施した。

更に、これらの水車及び発電機のガイド軸受に、東芝が開発した樹脂軸受を採用し、始動・停止時のオイルリフタ運転を省くことで構造の簡略化を図っている。

5.2 現地溶接組立

大型機では、輸送上の制約から分割構造となる部品が多い。ドラフトやケーシングなどの埋設部品は溶接組立が多いが、それ以外の構造部品は、一般にはボルトで締結する方法が取られている。しかし中国では、ランナや回転子スポークなどの主要部品を現地で溶接組立する場合がある。

- (1) 大型ランナ⁽²⁾ 功果橋発電所のランナは、外径7.02 m、重量150 tと巨大であり、工場で一体に組み立ててから輸送することができないため、クラウン、バンド、及び羽根それぞれを単品で出荷し、発電所近くに建設した現地工場での溶接組立を実施した。

現地工場には、ランナ羽根組立て、溶接、熱処理、機械加工、及びバランス試験を含む検査の全てを実施できる設備を設け、工場と同等の品質管理を行った。また、大型ランナを現地で溶接組立する際には、溶接条件の検証試験や溶接時の変形挙動解析を事前に実施し、設計及び製造に反映した。これらにより溶接ランナの製造技術が向上し、更に大型のラディントン発電所用ランナ製造の成功に結びついた。

- (2) 大型発電機回転子スポーク⁽³⁾ 功果橋発電所の回転子は外径13.6 mと大直径であり、一体で発電所へ輸送できないため、現地で焼鈍を行わない溶接組立を実施した。

これを実現するため、回転子スポークは、下部軸に接続する中心部分のボスを一体に、その外周側の円板部分を扇形の分割片として製造しておき、これらを現地で溶



図3. ラディントン発電所用ランナの出荷 — 揚水機として世界最大級のランナを製造した。

Shipping of runner for Ludington Pumped Storage Plant, U.S.A.



図4. 徳山発電所1号機用ケーシングの組立て — 徳山発電所の1、2号機は、ほぼ一式をTHPCで製造した。

Casing assembly for Tokuyama Hydroelectric Power Station Unit 1 of Chubu Electric Power Co., Inc.

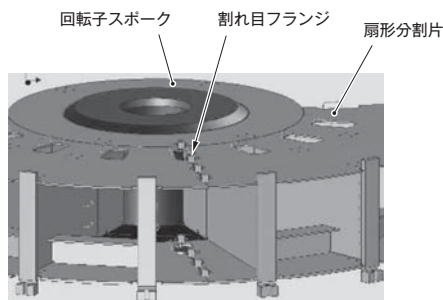


図5. 回転子スポーク現地溶接構造 — スポーク中心のボスとその周辺の扇形分割片を現地で溶接して一体化する。
Structure of site-welded rotor spoke

接組立する方式を立案し、事前に検証して製造方法を確立した(図5)。

また、回転子リムの組立方式は、東芝では焼嵌め(やきばめ)を実施しないフローティングリム構造を標準としているが、中国では焼嵌め方式を要求されることが多い。このため、スポークの半径方向の縦骨を斜めに配置し、リムの焼嵌めによる圧縮力を吸収するオブリック構造を開発した。

これらの技術は、功果橋の他、亭子口や深溪溝などの大型発電機に適用している。

5.3 高電圧・高品質固定子コイルの開発

東芝の固定子コイルは、レジンリッチテープを真空タンクで加熱して液圧硬化させるVPR(真空液圧レジンリッチ)絶縁方式を採用している。これは、テープにレジンを染み込ませたテープを使用する方式で、真空タンク処理時に多量のレジンを使用する必要がなく、環境に優しい技術である。

THPCでも東芝と同様の製造方法で同等性能のコイルを製作できるように、テーピングマシンや真空タンク設備を導入した。中国国内で調達した材料を用いた開発を行い、既に実機に適用している。また、観音岩発電所では、わが国でも例のない20 kVの高電圧コイルを要求されているが、THPCで製作するコイルを適用する計画である。

5.4 リングゲート

リングゲートは、入口弁の代わりにステアーベンとガイドベンの間に設けた円筒型の流路遮断リングで、大型のものでは直径が10 m近くになる重量構造物である(図6)。

入口弁を適用する場合に比べ、リングゲートは導水路からケーシングまでを短くでき、設置スペース上有利となることから、落差70～130 m程度の発電所で適用されることがある。

リングゲートは、円筒リングを上下させる際に、複数のサーボモータを同期させて制御する必要がある。このため、各サーボモータのストロークを電氣的にフィードバックし、個別にサーボモータを制御する電気油圧制御方式を開発した。

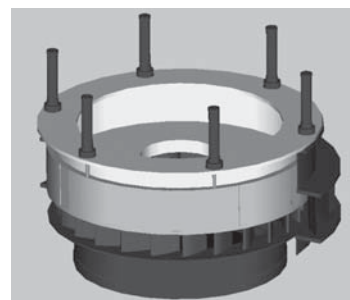


図6. リングゲートの構造 — リングゲートは、入口弁の代わりとして適用でき、建屋寸法を小さくできる。
Structure of ring gate

6 あとがき

THPCは、設立から10年が経過し、水車及び発電機で100台以上の設計・製造実績を積み重ねることができた。東芝から導入した技術や管理システムに基づき、難易度の高い機器の設計及び製造を経験することで、技術的にも成長してきている。

今後も、中国国内はもちろんのこと、わが国を含む海外案件にも積極的に取り組むために、更なる技術開発を進め、信頼性の高い高性能な発電設備の設計及び製作を推進していく。

文 献

- (1) 辻 正義 他. 中国市場における水車・発電機技術. 東芝レビュー. 65, 6, 2010, p.28-31.
- (2) 佐藤晋作. 中国水力プロジェクトの取り組み. 電気評論. 93, 12, 2008, p.40-45.
- (3) 向井一馬 他. 中国市場向け水力発電機器の大容量化技術. 東芝レビュー. 64, 9, 2009, p.57-61.



森 淳二 MORI Junji

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.



鄭 覺平 ZHENG Jueping

東芝水電設備(杭州)有限公司 発電機設計部長。
水車発電機設計に従事。
Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd.



宋 翔 SONG Xiang

東芝水電設備(杭州)有限公司 水車設計部長。
水力機械設計に従事。
Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd.