

東芝水電設備（杭州）有限公司の20年の歩みと新工場開業

Two Decades of Progress at Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd. and Opening of New Factory

日向 剛志 HYUGA Takeshi 福間 淳哉 FUKUMA Junya 吳 金水 WU Jinshui

東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）は、東芝グループの水力発電ビジネスの中国における拠点として2005年1月に設立されて以来20年が経過した。この間に最新製造設備の導入、設計・製造技術の向上、技術開発を進め、中国市場や日本を含む海外市場に多くの製品を供給してきた。

2024年11月に完了した新工場への移設では、工場レイアウトの見直しによる生産ライン間の移動時間の削減や、最新のIT（情報技術）の導入などを行ったことで、生産性が向上した。また、工作機械の製造能力を細かく分析し、移設タイミングを最適化することで、移設期間中も製品製造を遅延なく進めることができた。

Since Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd. (THPC), a base in China for the Toshiba Group hydroelectric power generation business, was established in January 2005, it has continuously worked to strengthen manufacturing capabilities by introducing the latest manufacturing equipment, to improve design and manufacturing technologies by promoting technological developments, as well as supplying various products to many countries and regions including China and Japan.

With the factory relocation completed in November 2024, THPC rearranged their layout and introduced the latest information technology (IT) as part of enhancing productivity. They have also taken into consideration manufacturing capacity and the optimal timing for relocating machine tools to ensure on-time product delivery.

1. まえがき

2005年1月に設立された東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）は、東芝グループの水力発電ビジネスの中国における拠点であり、水力発電機器に特化した製造工場として20年が経過した（図1）。

中国 浙江省 杭州市政府及び桐廬県の強い要請を受け、旧富春江工場から北西に3 kmほど離れた地点に移転した新工場建屋が2024年1月に完成し、11月から本格的に稼働を開始した。

ここでは、これまで20年間のTHPCの技術活動と設計・製造実績を振り返るとともに、今回開業した新工場の特長について述べる。

2. これまでの歩み

2.1 THPCの設立

東芝エネルギーシステムズ(株)は、海外拠点展開を積極的に進めるために、中国水利水電建設集団公司と共同でTHPCを設立した。THPCには、コスト競争力のある生産体制確立と、旺盛な中国国内市場への対応という役割があった。



図1. 移転前の旧工場

東芝グループの水力ビジネスの中国における拠点として2005年に杭州市富春江に設立され、以来、2024年に移転するまで稼働続けた。

Former THPC factory

2.2 製造設備の増強

中国国内市場のニーズに応えるために、大規模な設備投資を行ってきた。中国では、落差が比較的低く、大容量で大型の水車・発電機が多く、そのような案件に対応するため、20 m立旋盤や真空液圧コイル含浸装置などの生産設備を導入した。

水車模型試験設備を備える水力機械研究所と、大容量・高電圧な絶縁材料の開発を行う絶縁開発センターを開設することにより、中国国内でも有数の最新鋭設備を備える水力発電機器工場となった。これらの設備は新工場に移設した。

設計標準や、生産管理、品質管理は東芝エネルギーシステムズ(株)と同じシステムを導入するとともに、管理方法の指導を行い、定着と品質向上を図ってきた⁽¹⁾。更に、設計や研究開発に携わる技術者に対する短期・長期の技術教育を日本国内で行い、東芝エネルギーシステムズ(株)の設計思想や開発手法を共有し、今後のTHPCの技術開発を担う技術者の育成を進めてきた。

2.3 技術開発⁽²⁾

中国市場向けに、東芝エネルギーシステムズ(株)及びTHPCは、様々な技術開発を行ってきた。その中でも、水車性能開発と固定子コイルの絶縁技術開発は継続的に進めている。

2.3.1 水車性能開発⁽²⁾

中国市場では、低落差・大容量のカプラン水車及びバルブ水車の需要が高い。この傾向は比較的高落差が多い日本とは異なることから、東芝エネルギーシステムズ(株)では水車機種を充実するため流れ解析(CFD)や模型試験を行い、効率向上とともに水圧脈動特性やキャビテーション性能の改善を含めた水車性能の開発を行ってきた。

これにより、バルブ水車開発の豊富な実績を保有でき、2024年4月に全台営業運転を開始したランナ径が約6.9mと大型のバルブ水車である新集発電所において、類似機種の水車性能データを利用して、保証値を満足する性能を短期間で実現し、納期短縮に貢献した。

2.3.2 高電圧・高品質固定子コイル⁽³⁾

東芝エネルギーシステムズ(株)の固定子コイルは、レジニリッチテープを真空タンクで加熱・加圧し硬化させる、VPR(真空液圧レジニリッチ)絶縁方式を採用している。これは、レジンを染み込ませたテープをコイルに巻く方式で、真空タンク処理時に多量のレジンを必要とする必要がなく、環境に優しい技術である。THPCも同様の方式を採用しており、そのために必要なテーピングマシンや真空タンク設備を導入している。中国国内で調達した材料を適用して東芝エネルギーシステムズ(株)と同等な性能を持つコイルの製造技術を確立している。起動停止が多い揚水発電設備向けにも適用できるまでになっており、清遠揚水発電所では、2台目と4台目に適用された。その実績が評価され、寧海揚水発電所用には、初号機から全てTHPC製のコイルが適用されている。

3. 設計・製造実績

THPCは、設立以来、数多くの水車及び発電機を中国国内外の顧客から受注し、設計及び製造を行っている。2005年の設立時から2024年10月現在まで、その総数は、水車(ポンプ水車を含む)が111台で総出力9,745 MW、また、発電機(発電電動機を含む)が129台で総出力16,050 MVAとなっている(図2)。

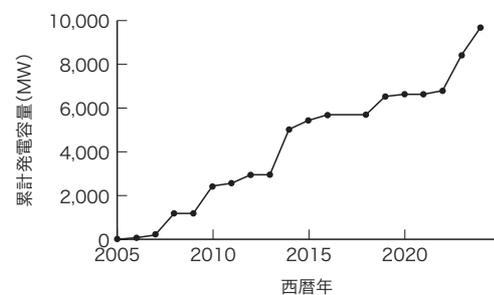
以下では、その代表例と適用技術について述べる。

3.1 寧海揚水発電所

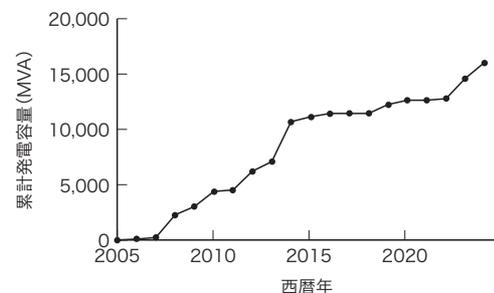
近年、中国国内では風力発電、太陽光発電のように自然環境の影響で出力が変動する再生可能エネルギーが急速に増加している。そのため、需給調整を担う設備として揚水発電所の需要が高く、数多く建設されている。

THPCは、清遠揚水発電所に次いで2プラント目となる寧海揚水発電所用の全4台のポンプ水車・発電電動機の出荷を終え、初号機と2号機を2024年11月と12月に相次いで運転開始させている。単機出力は357.1 MWと、THPCとして最大容量の揚水機の実績となった(図3、表1)。

寧海揚水発電所では清遠揚水発電所と比べて東芝グループ内でのTHPCの所掌を拡大し、模型試験を含む水力



(a) 水車及びポンプ水車の製造実績



(b) 発電機及び発電電動機の製造実績

図2. THPCの製造実績

2005年の設立以来、数多くの水車及び発電機を中国国内外の顧客から受注し、設計及び製造を行ってきた。

Experiences in manufacturing of hydraulic turbines and generators at THPC



図3. 寧海揚水発電所 発電電動機回転子のつり込み

寧海揚水発電所のポンプ水車及び発電電動機的主要部品は全てTHPCで製造した。

Installation of generator motor at Ning Hai Pumped-Storage Power Station

表1. 寧海揚水発電所の要項

Pump-turbine and generator motor specifications for Ning Hai Pumped-Storage Power Station

項目		仕様
ポンプ水車	型式	立軸単輪単流渦巻フランシス型ポンプ水車
	最大出力, 最大入力	357.1 MW, 384 MW
	最高落差, 最高揚程	496.2 m, 507.3 m
	定格回転速度	428.6 min ⁻¹
	台数	4台
発電電動機	型式	立軸準傘型三相同期発電電動機
	定格容量	388.9 MVA (発電機), 384 MW (電動機)
	定格電圧	18 kV
	周波数	50 Hz

設計以外の全ての水力発電機器の設計・製造を行った。

水車ランナには、東芝エネルギーシステムズ(株)が世界に先駆けて開発し、広い運転範囲での安定運転が可能な長翼と短翼を備えたスプリッターランナを採用した。発電電動機は、軸受損失の低減を図ったスラスト回転板レス構造、及び通風性を良好にするためのポールエンドカバー構造を採用(図4)し、高い効率が達成できる設計とした。

3.2 ナムオウ4発電所

THPCは、中国国外にも進出し、水力発電機器をラオスや、インドネシア、ベトナム、ミャンマーなどの7か国に輸出しており、その数は、12発電所、39台に上る。その代表例として、ラオス ナムオウ4発電所について述べる。

ラオス ナムオウ4発電所は、2016年に受注した案件で、ナムオウ川のカスケード開発計画における4番目の発電所である。単機出力45 MW機が3台設置され、最高落差は28 mとバルブ水車としては比較的落差の高い水車である(表2)。

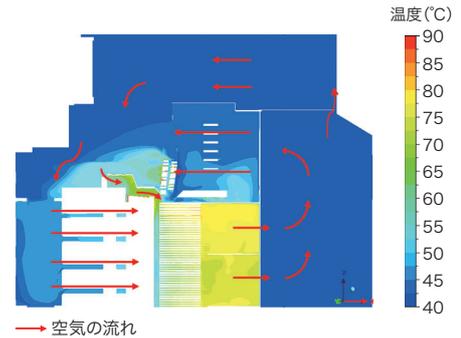
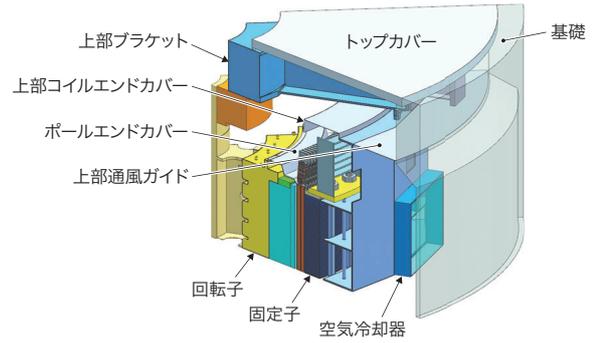


図4. ポールエンドカバー構造を採用した発電電動機の通風解析結果

通風性を改善するためのポールエンドカバー構造などを採用し、高い効率が達成できる設計とした。

Example of temperature distribution in generator motor with pole-end-cover structure obtained from airflow analysis

表2. ナムオウ4水力発電所の要項

Turbine and generator specifications for Nam Ou 4 Hydro Power Station

項目		仕様
水車	型式	横軸円筒可動羽根プロペラ水車(バルブ水車)
	最大出力	45.36 MW
	最高落差	28 m
	定格回転速度	136.4 min ⁻¹
	台数	3台
発電電動機	型式	横軸回転界磁水冷熱交換器三相交流発電機
	定格容量	46.3 MVA
	定格電圧	13.8 kV
	周波数	50 Hz

THPCとしては初めて5枚羽根ランナを採用し、東芝エネルギーシステムズ(株)で模型試験を実施して、客先の要求性能を満足することを確認した。無拘束速度が定格回転速度の3.5倍と、発電機設計として難易度が高かったが、FEM (Finite Element Method: 有限要素法) 解析にて十分な強度を持っていることを確認した。2021年に全営業運転を開始し、その後も順調な運転を続けている。

4. 新工場の開業

4.1 工場移転の背景

THPCでは、中国浙江省の要望に応え、設立時の所在地から工場を移転することに決めた。これを機に水力発電事業拠点として市場ニーズに応え、競争力強化することを目的に、新工場の体格・コンセプトを一新した。旧工場の敷地面積は約160,700 m²であったのに対して、新工場(図5)は約66,600 m²とコンパクトであるが、生産ラインを最適化して稼働効率を上げており、今後の生産量増加にも対応できる。

4.2 新工場の特長

新工場では、Digital×Smart化をコンセプトに先端技術を取り入れ、コストの削減及び製造リードタイムの短縮を図った。以下は、その事例である。

4.2.1 最適な設備レイアウトの設計

製品の作業工程を考慮した設備レイアウトを検討し、最適な生産ラインを構築した。発電機コイルの生産ラインは、初工程から最終工程まで連続したラインで製造できるようにすることで、生産ライン間の移動などの無駄な動作を削減した。また、製品の工場内輸送は、従来のトレーラー移動から台車移動に変更することで、製造リードタイム短縮に寄与する。更に、水車ランナのグラインダ作業及び組立作業のエリアを集約することで、生産効率の向上を図った。

4.2.2 先端ITの導入

電気・水道・ガスにおけるエネルギー使用量の“見える化”を図るため、エネルギーマネジメントシステムを導入した。これにより、各種エネルギーの使用データを蓄積・分析し、消費エネルギーの最適化を図ることが可能になる。ま



図5. 移転後の新工場

工場レイアウトの見直しや最新のIT技術の導入などにより、生産性が向上した。

New THPC factory

た、IoT (Internet of Things) による工作機械のモニタリングシステムを導入し、設備稼働状況をリアルタイムに監視することで、設備の不具合や異常の兆候を早期発見し設備故障率の低減につなげる。

4.2.3 新規設備の導入

固定子鉄心抜き板の塗装工程では、従来は塗装機への段取り作業に人が介在していたが、設備更新により段取りを自動化し、省人化を図った。また、クレーン作業において、これまでは運転士が運転室から操作していたが、新工場では、無線クレーンを導入して運転室からの操作をなくし、省人化につなげている。

4.2.4 基幹システムの拡張

THPCの基幹システムは、設計から調達、生産管理、製造、品質、出荷までの一連の製造プロセスが一元管理されていたが、今回、勤怠管理及び固定資産管理についてもメニューに追加した。これにより固定資産の棚卸し作業では、従来のオフラインでの実施に代わり、オンライン上で容易に行えるようになった。

4.3 工場移転のポイント

移設する設備の中で特に重要になるのが寸法公差百分台の精度を求められる工作機械である。20 m立旋盤(図6)のような超大型工作機械を含めて全15台の設備があり、これら全ての設備精度を維持向上させるために、全数のオーバーホールを実施した。また、工作機械の移設にはそれぞれ数か月単位の期間が必要となるため、各設備の製造能力を細かく分析し、移設タイミングを最適化することで、移設期間中も製品製造を遅延なく進めた。

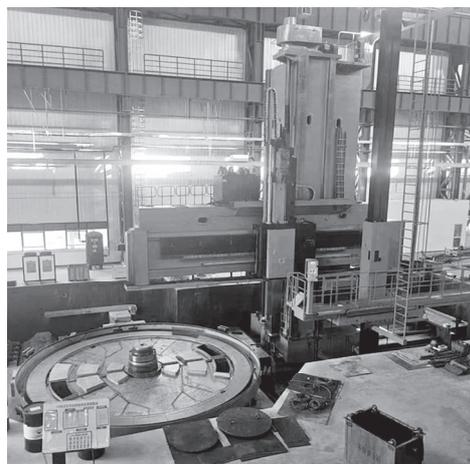


図6. 移設した20 m立旋盤

大型水力機器の加工のための20 m立旋盤をはじめ、15台の設備を移設した。

Large, 20-meter-diameter vertical lathe relocated to new THPC factory

5. あとがき

2005年に設立して以来20年が経過したTHPCは、中国国内だけでなく、海外市場においても多くの実績を積み重ね、成長をしてきた。揚水設備の設計、製造も可能なまでに技術力が向上し、更に新工場が稼働したことにより生産性が大きく向上した。

今後、拡大が見込まれる中国国内の揚水市場や日本を含む海外市場への対応を担っていくために、継続的に技術力や品質の向上を図り、信頼性の高い製品の設計、製造を進めていく。

文 献

- (1) 森 淳二, ほか. 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. 東芝レビュー. 2015, **70**, 1, p.28-31.
- (2) 辻 正義, ほか. 中国市場における水車・発電機技術. 東芝レビュー. 2010, **65**, 6, p.28-31.
- (3) 向井一馬, ほか. 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. 2009, **64**, 9, p.57-61.



日向 剛志 HYUGA Takeshi
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 水力サービス技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



福間 淳哉 FUKUMA Junya
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 パワーシステム生産統括部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



吴 金水 WU Jinshui
東芝水電設備(杭州)有限公司
Toshiba Hydro Power (Hangzhou) Co., Ltd.