

# 水車と発電機の近代化改修への取り組み

## Refurbishment and Replacement of Hydroelectric Power Equipment

川崎 智

■ KAWASAKI Satoshi

水力発電は二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出を伴わないため、新設プラントの建設に加え、老朽化した設備の改修や更新が盛んに行われているが、いっそうのCO<sub>2</sub>削減に向けた性能及び信頼性の向上と、保守の簡素化が必要となっている。

東芝は、これらの要望に応えるため、改修や更新にあたって新技術の適用を積極的に進めている。例えば、電動サーボモータの適用で制御油を不要にすることで環境保全に、また刷子シールの適用で軸受からの油霧を防止して保守の省力化に、それぞれ大きく貢献している。更に、発電機用電磁ブレーキを採用することで、圧縮空気装置の省略化も実現している。

当社は、水力発電所の近代化改修に積極的に取り組んでおり、日本国内だけでなく、海外の既設発電所の更新、近代化を実施している。また、特に既設改修の需要の多い北米では、エンジニアリング拠点並びに現地工事対応の拠点を整え大規模改修工事を推進している。

In the field of hydroelectric power generation, which uses renewable energy without carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, there is an increasing need for the refurbishment and replacement of equipment in aging hydroelectric power plants in addition to the construction of new plants. In these cases, higher performance, higher reliability, and minimal maintenance are required in order to achieve further reductions in CO<sub>2</sub> emissions.

To fulfill these requirements, Toshiba has been actively applying new technologies for the refurbishment and replacement of equipment in aging hydroelectric power plants in Japan. These technologies include an electric servomotor that requires no control oil, to promote environmental conservation; a brush seal that prevents oil vapor from being discharged by bearings, to save maintenance work; and an electromagnetic brake for power generators that eliminates the need for air compressors. We have also been engaged in the refurbishment and replacement of equipment in overseas hydroelectric power plants. In particular, we are promoting large-scale refurbishment in corporation with our local engineering and construction companies in North America.

### 1 まえがき

水力発電は、CO<sub>2</sub>の排出を伴わない再生可能な自然エネルギーによる発電方式であることから、新設プラントの建設に加え、老朽化した設備の改修や更新が盛んに行われている。老朽化した設備の改修では、いっそうのCO<sub>2</sub>削減に向けた性能及び信頼性の向上と、保守を簡素化する技術の適用が求められている。

東芝は、これらのニーズに対応するため、改修及び更新における新技術の適用に積極的に取り組んでいる。

ここでは、改修が行われている国内や海外の発電所への新技術の適用事例について述べる。

### 2 国内発電所の近代化改修事例

電源開発(株)糠平発電所及び九州電力(株)上椎葉発電所では、水車と発電機など機器一式の更新がそれぞれ2009年11月、2010年3月に完了し、営業運転が開始された。

水車と発電機的主要仕様は、次のとおりである。

- (1) 糠平発電所 (フランス水車と発電機)
  - (a) 水車 : 2台
    - 出力 : 22.7 MW
    - 有効落差 : 110.39 m
    - 回転速度 : 375 min<sup>-1</sup>
  - (b) 発電機 : 2台
    - 容量 : 24.6 MVA
    - 電圧 : 11 kV
    - 回転速度 : 375 min<sup>-1</sup> (50 Hz)
- (2) 上椎葉発電所 (フランス水車と発電機)
  - (a) 水車 : 2台
    - 出力 : 47.6 MW
    - 有効落差 : 144 m
    - 回転速度 : 300 min<sup>-1</sup>
  - (b) 発電機 : 2台
    - 容量 : 50 MVA
    - 電圧 : 11 kV
    - 回転速度 : 300 min<sup>-1</sup> (60 Hz)

これらの発電所では、既設の吸出し管などの一部流用を除

き、機器一式を更新し、環境保全、保守性、並びに長寿命化に配慮した以下に述べる新技術を適用した。

## 2.1 電動サーボモータ

設備の簡素化と保守の省力化のための代表的な技術は、水車ガイドベーンや入口弁の操作を電動サーボモータ化することであり、圧油レス化が実現できる。圧油レス化により制御油をなくしたことで、油流出のおそれを最小化でき、環境保全にも寄与する。

当社は電動サーボモータ化の適用拡大を推進しており、上椎葉発電所は、当社の従来実績を超えた水車への適用拡大となった(図1、図2)。

## 2.2 樹脂軸受と刷子シール

当社は、軸受損失の低減と長寿命化に効果がある四フツ化エチレン樹脂(PTFE)系材料を適用した樹脂軸受を1994年から採用している。また、軸受からの油霧を防止し、保守の

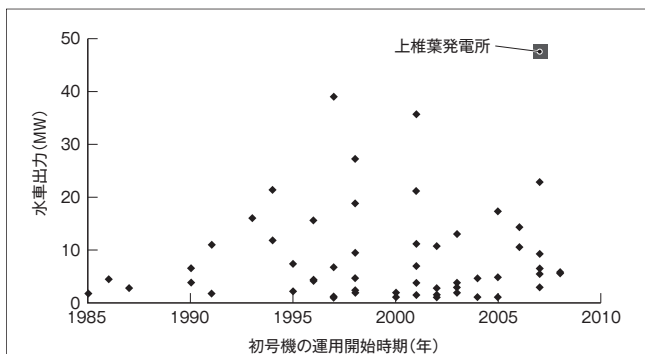


図1. ガイドベーンでの電動サーボモータ適用の推移 — 大容量機への適用が拡大しており、特に上椎葉発電所への適用は飛躍的な大容量化の実績となる。

Trends in application of electric servomotors to guide vanes

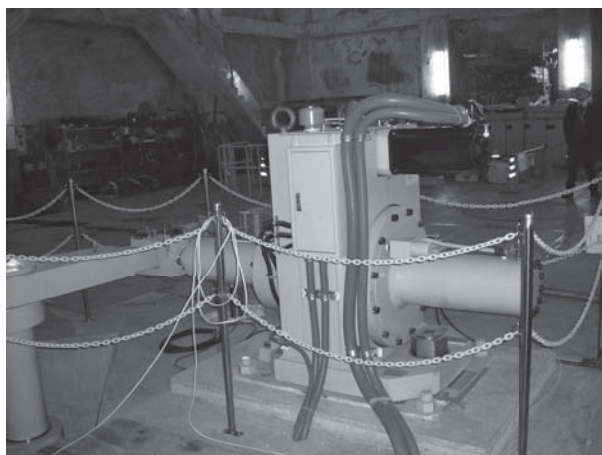


図2. 上椎葉発電所に納入したガイドベーン用電動サーボモータ — 電動サーボモータの適用で、設備の簡素化と保守の省力化が図られている。

Electric servomotor for guide vanes at Kamishiiba Power Station

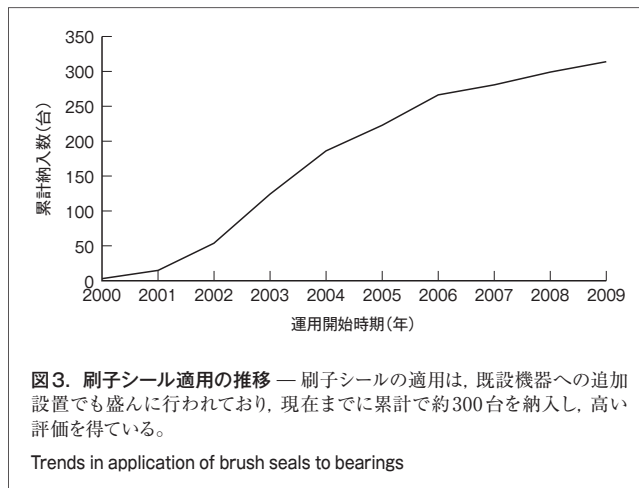


図3. 刷子シール適用の推移 — 刷子シールの適用は、既設機器への追加設置でも盛んに行われており、現在までに累計で約300台を納入し、高い評価を得ている。

Trends in application of brush seals to bearings

省力化に大きく貢献する刷子シールを2000年から実機に適用しており、前述の発電所にも適用した。刷子シールの適用は、他社製の発電機を含む既設機器への追加設置でも盛んに行われており(図3)、現在までに累計で約300台を納入し、高い評価を得ている。

更に、糠平発電所では、これらの適用技術に加えて、発電機用電磁ブレーキの採用で圧縮空気装置が不要になり、更なる保守の省力化が実現されている。

## 2.3 THPCとの分担製造

2005年に設立した海外製造拠点である東芝水電設備(杭州)有限公司(THPC)との分担製造を進めている。糠平発電所に納入した機器の中で、THPCで製造されている部品は次のとおりである。

- (1) 水車静止部(ガイドベーン含む)
- (2) 入口弁
- (3) ステータフレーム
- (4) ロータスポーク
- (5) 発電機ブラケットや風道類

## 3 北米での近代化改修事例

北米では、建設から30～50年経過した水力発電所が多く、盛んに大規模な改修工事が行われている。

北米での水力設備の特徴は、低落差大容量機で屋外型発電所が多いことである(図4)。改修工事は屋外作業となり、現地で大容量水車の埋設部品の機械加工作業も発生するため、必然的に工事費の割合が大きくなる。改修工事もメーカー側の契約範囲となることが多く、効率的に進めることが改修工事のキーポイントになっている。

北米での改修工事のニーズに対応するため、エンジニアリングと営業の拠点として東芝インターナショナル米国社のデンバー事務所を2005年に開設した。更に2007年には、現地機



図4. ウェルズ発電所 — 低落差で大容量の発電機を採用した水力設備で、北米に多い、建屋を持たない屋外型の発電所である。  
Wells Hydropower Station, U.S.A.

械加工を得意とするHydro Power Services (HPS) を東芝グループに加え、市場ニーズに的確に対応できる体制を整えている。ここでは、改修工事の特徴と現在実施している大規模改修工事の事例を、以下に述べる。

### 3.1 ウェルズ発電所

建設から約40年が経過しており、老朽化対策として10台のカプラン水車と9台の発電機の改修工事を2008年9月から実施しており、2015年12月に終了する予定である。

水車と発電機の主な仕様は、次のとおりである。

- (a) 水車：10台
  - ・出力：90 MW
  - ・有効落差：19.5 m
  - ・回転速度：85.7 min<sup>-1</sup>
- (b) 発電機：9台
  - ・容量：93.7 MVA
  - ・出力電圧：14.4 kV
  - ・回転速度：85.7 min<sup>-1</sup> (60 Hz)

この発電所はコロンビア川をせき止めたダムに設置された流れ込み式タイプで、地域のベース負荷の供給責務を負うとともに、ピーク時の給電調整を担っている。要求給電量が4秒ごとに更新され、水車と発電機は頻繁な負荷変動と起動停止を繰り返してきた。

水車は1980年代にランナが更新されており、今回の改修では流用となるが、長年の運用によりディスチャージリングの摩耗が激しいことから、ディスチャージリングの内面肉盛溶接及び機械加工によるオリジナル設計値への改修を行う。これに伴い、ランナベーンもディスチャージリングとのオリジナル設計ギャップを確保するために外周機械加工を実施するなど、大規模な改修になる。HPSが実施したディスチャージリングの

内面自動溶接技術と内面現地加工技術を図5、図6に示す。

発電機はステータコイルの巻替えが1976年に行われていた。しかし、頻繁な負荷変動によるステータの熱延びと収縮の繰返しに、コロンビア川の水温変化によるコンクリート基礎の季節間の移動が加わり、ステータ鉄心の反り返りをはじめステータ部に問題が生じていることから、ステータ式の更新になる。1台は短絡事故による復旧補修が2005年に実施されているため、発電機9台の改修となる。ステータコイルの製作にあたり、ユーザーからの固有の仕様に対して、実機コイルを製作する前に検証用のコイルを試作し、第三者検査機関による寿命加速試験で、規定された電圧、温度、時間に耐えられることを確認している。

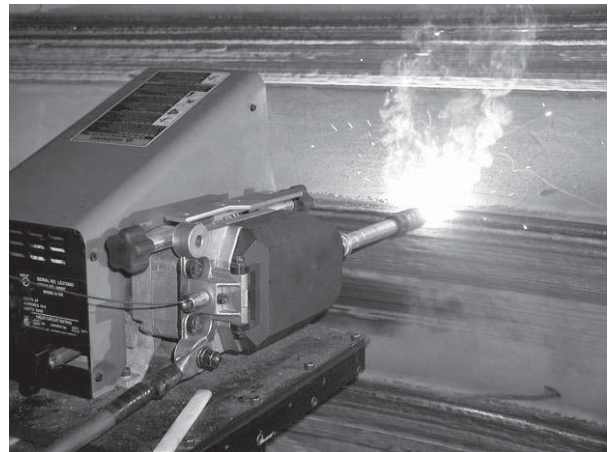
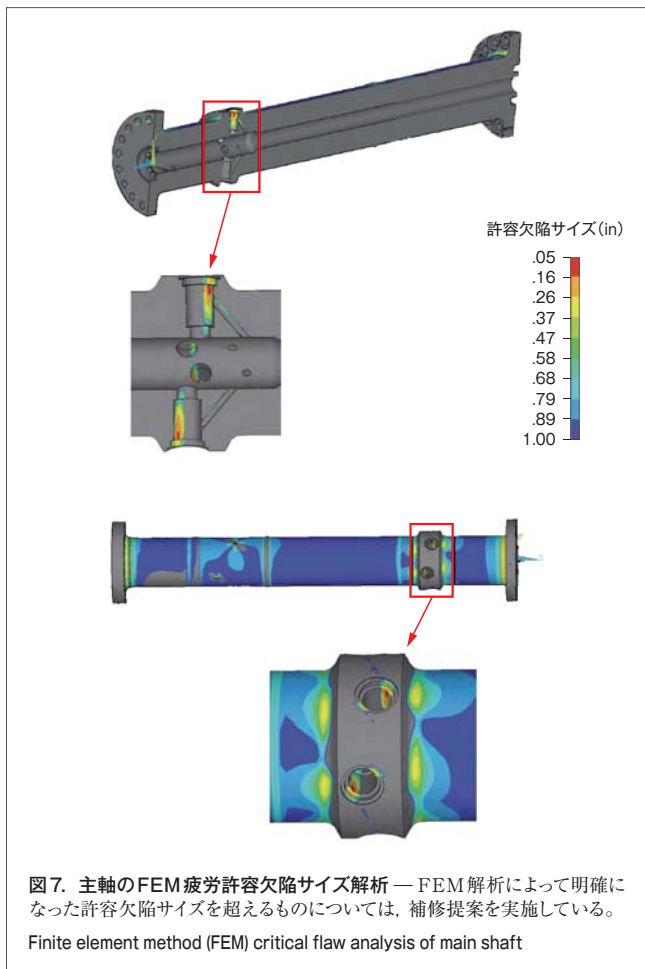


図5. ディスチャージリング内面の自動溶接技術 — 自動化により、安定した品質と工期短縮が図られている。  
Automatic on-site welding technology for discharge rings



図6. ディスチャージリング内面の現地加工技術 — 強力な加工設備により高精度な現地加工が行われている。  
Precision on-site machining technology for discharge rings



今回の改修の目的は、40年間の延命化を図ることであり、水車と発電機の流用部品に対しては、FEM（有限要素法）による疲労許容欠陥サイズの解析（図7）を実施するとともに、既設部品の現地非破壊検査などで許容欠陥サイズを超えるものについては、補修提案を実施している。

### 3.2 レイクウイトニー発電所

建設から約50年が経過しており、老朽化対策と性能アップを図るもので、2台のフランシス水車、発電機、及び制御用品の改修工事を2010年3月に開始し、2012年1月に終了する予定である。

水車と発電機の改修前後の主要定格は、次のとおりである。

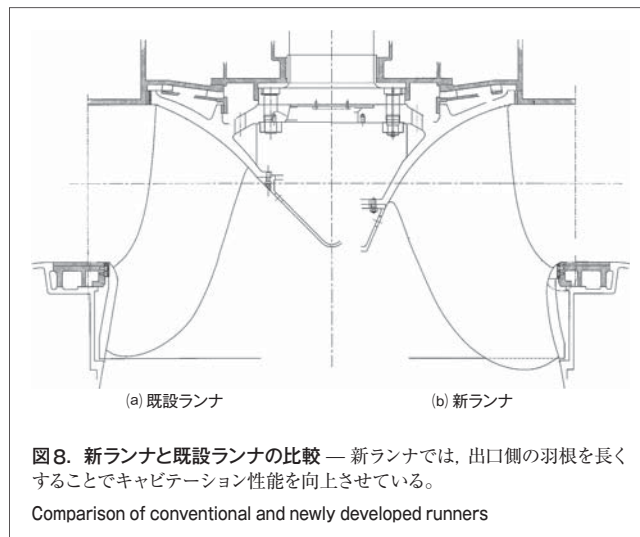
#### (1) 既設定格

##### (a) 水車：2台

- 出力 : 15.4 MW
- 有効落差 : 27.9 m
- 回転速度 : 128.6 min<sup>-1</sup>

##### (b) 発電機：2台

- 容量 : 16.7 MVA
- 電圧 : 13.8 kV
- 回転速度 : 128.6 min<sup>-1</sup> (60 Hz)



#### (2) 改修後定格

##### (a) 水車：2台

- 出力 : 21.4 MW
- 有効落差 : 31.1 m
- 回転速度 : 128.6 min<sup>-1</sup>

##### (b) 発電機：2台

- 容量 : 23.3 MVA
- 電圧 : 13.8 kV
- 回転速度 : 128.6 min<sup>-1</sup> (60 Hz)

水車はキャビテーションによる壊食が多く、定期的補修が必要となっていた。これに合わせて、出力と効率アップに加え、キャビテーション性能向上のため、出口側の羽根を長くした新設計のランナに更新する（図8）。

ガイドベーンとステーベーンは長年の運用による表面荒れが激しいため、ガイドベーンはステンレス鋳鋼製に更新し、ステーベーンは現地で補修して、水車静止部流路の性能回復を図る。

発電機は既設鉄心にひずみが生じていることと、容量アップを図るため、既設ステータフレームの流用による鉄心とコイルの更新、及びロータポールとロータコイルの更新を行う。

## 4 韓国での近代化改修事例

春川発電所では、2台のカブラン水車及び発電機の大規模改修工事を2009年6月に完了し、営業運転を開始した。

水車と発電機の改修前後の主要定格は、次のとおりである。

#### (1) 既設定格

##### (a) 水車：2台

- 出力 : 30 MW
- 有効落差 : 28.8 m
- 回転速度 : 150 min<sup>-1</sup>

- (b) 発電機：2台
  - ・容量 : 32 MVA
  - ・電圧 : 11 kV
  - ・回転速度 : 150 min<sup>-1</sup> (60 Hz)

(2) 改修後定格

- (a) 水車：2台
  - ・出力 : 31.88 MW
  - ・有効落差 : 28.8 m
  - ・回転速度 : 150 min<sup>-1</sup>

- (b) 発電機：2台
  - ・容量 : 34.6 MVA
  - ・電圧 : 11 kV
  - ・回転速度 : 150 min<sup>-1</sup> (60 Hz)

建設から約40年が経過しており、機器が老朽化しているため、水車、発電機、及び制御装置の全面的な更新を行った。水車は、埋設部と主軸などを除いたランナやガイドベーンなどの更新により、性能が向上し出力アップが図られている。発電機も、既設品を流用できるステータフレームやロータスポークなどを除き、全面的に更新した。

韓国では、このような大規模改修工事は初めてであり、今後改修が予定されている発電所の指標として注目されている。

更新にあたり、環境保全、保守性、及び長寿命化に配慮した以下に示す新技術を適用した。

- (1) 水潤滑水車軸受
- (2) ランナボス内油レス
- (3) スラスト樹脂軸受及びガイド樹脂軸受
- (4) 発電機軸受刷子シール

## 5 あとがき

ここでは、水力発電所の改修や更新で、性能及び信頼性の向上と、保守の簡素化につながる技術、また、国内と海外での水力発電機器の大規模な改修工事例について述べた。

水力発電は、再生可能な自然エネルギーを活用し、新たなCO<sub>2</sub>排出を伴わない環境調和型の発電方式である。近代化改修による性能向上、保守の簡素化、及び長寿命化は、いっそうのCO<sub>2</sub>削減に寄与する。

当社は、今後も環境調和及びユーザーニーズをとらえた技術開発や研究に取り組み、近代化改修で新技術の適用を推進することにより、環境調和社会の実現に貢献していく。



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.