

小さな水資源も有効活用する中小水力発電技術

Technologies for Small and Medium-Sized Hydroelectric Power Generation Systems to Effectively Use Limited Water Resources

田村 安志

■ TAMURA Yasushi

中原 裕輔

■ NAKAHARA Yusuke

宮崎 将宏

■ MIYAZAKI Masahiro

国内の中小水力発電の分野では、電力会社による、性能向上や出力増強を目的とした発電設備の更新、新設に加えて、独立系発電事業者による、再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT: Feed in Tariff) に対応した発電設備の更新、新設も増加している。

東芝は、これらの要望に応えるため、発電設備の更新や新設にあたり、電動化や軸受空冷化などの設備簡素化・保守省力化技術とともに、可変速制御などの新技術を開発し、その適用を積極的に推進している。

In the field of small and medium-sized hydroelectric power generation systems in Japan, demand has been growing for the renewal and new construction of equipment not only for the hydroelectric power plants of electric power companies to improve their performance and increase power output, but also for those of independent power producers to enhance their cost effectiveness accompanying the introduction of the feed-in tariff (FIT) system.

In response to these market demands, Toshiba is actively engaged in the development and application of new technologies including an adjustable-speed control technology, as well as technologies to achieve the simplification of facilities and enhance the efficiency of plant operations such as electroactuation and air-cooled bearing technologies.

1 まえがき

東日本大震災後の原子力発電所の停止や火力発電設備の燃料費増大などに対応して、近年、再生可能エネルギーとしての中小水力発電の設備改修や更新などが増加している。

電力会社では、既存水力発電所の性能向上や出力増強に加えて、新設や増設など従来は見送られてきた増強計画が活発化している。またFITが施行されたことで、発電事業者では、中小水力発電の経済性が改善され、既存発電設備の更新による出力増強や設備新設などの計画も増えてきている。

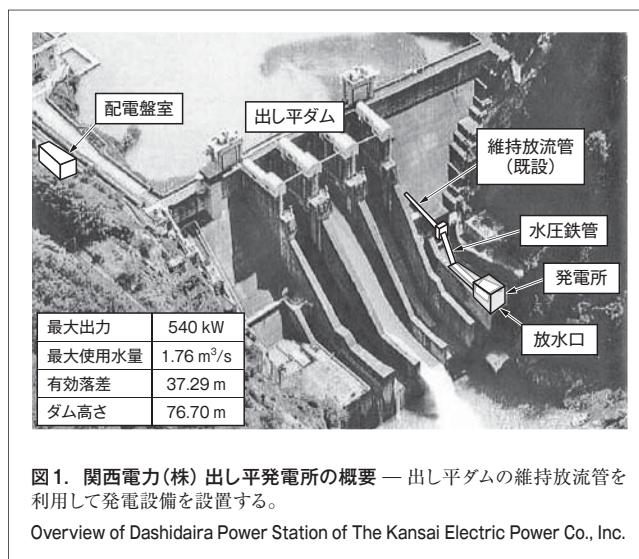
東芝は、これらのニーズの高まりを受けて、設備の簡素化や保守の省力化を中心に多種多様な技術を提供している。

ここでは、国内での中小水力発電所の更新や新設における新技術の適用事例について述べる。

2 可変速水車技術の適用

農業用水や、工業用水、ダムからの河川維持放流などは、従来は見過ごされてきた水資源であるが、FITの施行などをきっかけに、再生可能エネルギーとしての利用計画が活発化している。

ダムからの河川維持放流は、ダムの下流域に必要な水量を確保するために、季節や時間帯ごとに決められた流量を放流するものである。維持放流発電はこの放流水を利用して発電



するもので、落差はダムの水位により左右され、流量も季節などで大きく変動する。

落差変動が大きい場合、一定速度で水車が回転する従来の発電設備では、そのときの落差によっては大幅な効率の低下やキャビテーションの発生に伴い運転が制約され、有効なエネルギーの回収ができない。

これに対して“可変速制御”は、落差変動に応じて水車の回転速度を制御する方式で、一定回転速度の水車に比較して効率が向上するとともに運転可能な落差範囲も拡大するので、

発生電力量が増大する。

そこで当社は、フルコンバータ方式の可変速小水力発電システムを実用化している。これは、水車の回転速度変化に伴って変動する発電機の出力周波数を系統周波数に変換する周波数変換器を、発電機の出力側に設けたシステムである。現在、関西電力（株）の出し平発電所に設計・製作中で、2015年の運転開始を目指している。

既存の出し平ダムの維持放流管を利用して発電設備を設置する計画概要を図1に示す。定格は以下のとおりである。

- (1) 最大出力：540 kW
- (2) 使用流量：0.51 m³/s（維持流量小）
1.72 m³/s（維持流量大）
1.76 m³/s（最大流量）
- (3) 有効落差：37.29 ～ 24.29 m（最大流量時）

3 低落差ユニット型マイクロ水力発電装置 Hydro-eKIDS™の適用

農業用水やダムからの河川維持放流など、従来は発電に使用していなかった低落差地点にも適用可能なマイクロ水力発電装置として、当社は低落差ユニット型マイクロ水力発電装置をラインアップしている⁽¹⁾。

Hydro-eKIDS™シリーズは、パイプイン方式、メンテナンス部品の汎用品適用、及び水車上部に発電機を搭載したベルト伝達方式を基本コンセプトとしており、落差2～15 m、出力5～200 kWの範囲を5種類の標準ユニットで対応している。

パイプイン方式とは、水車の流路をほぼ直管構造とし、導水管と排水管の間にフランジでマイクロ水力発電装置を接続する方式である。水車上部に発電機を搭載することにより、



図2. マイクロ水力発電装置 — 東北電力（株）飯野発電所へ適用した例であり、低落差地点にも適用できる。

Micro-hydroelectric generation device for Iino Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc.

基礎工事は水車だけでよく、付帯土木工事の簡素化を実現している。また、構成部品やメンテナンス部品に汎用品を適用することで維持管理費の低減を図るとともに、2～15 mの低落差に対応したシリーズ化により、装置の標準化と部品の共通化を図って、機器費用を低減した。

Hydro-eKIDS™ L形を蓬莱ダムからの河川維持放流へ適用した、東北電力（株）飯野発電所の例を図2に示す。2014年6月から運転を開始しており、主な定格は以下のとおりである。

- (1) 水車：低落差ユニット型マイクロ水力発電装置（L型）
 - (a) 水車出力：258 kW
 - (b) 有効落差：9.57 m
 - (c) 回転速度：579 min⁻¹
- (2) 発電機：横軸誘導発電機
 - (a) 容量：230 kW
 - (b) 電圧：400 V

4 環境・老朽化対策を目的とした設備の全面更新

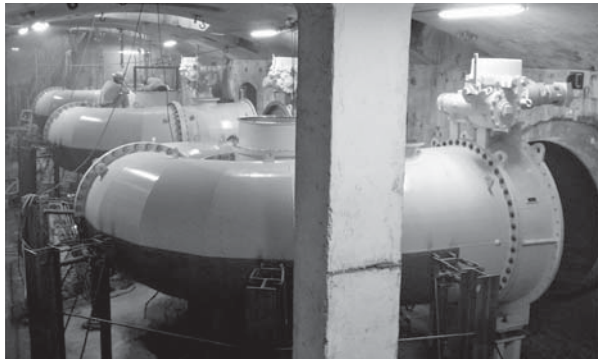
老朽化した水力発電設備では、長期間の使用に伴う腐食や摩耗劣化による水車効率の低下、稼働率低下などにより、発生電力量の減少が懸念されている。また、設備の老朽化による環境への影響も考えられる。このような既存の水力発電設備では、従来の油圧操作装置から電動式に改修するなど、近年環境に配慮した設備への更新の機運が高まっている。

当社は、このようなニーズに対し、電動化技術とともに、水車ガイド軸受に油潤滑に替わる水潤滑軸受を適用するなど、環境負荷の低減を実現した新技術を提供している⁽²⁾。

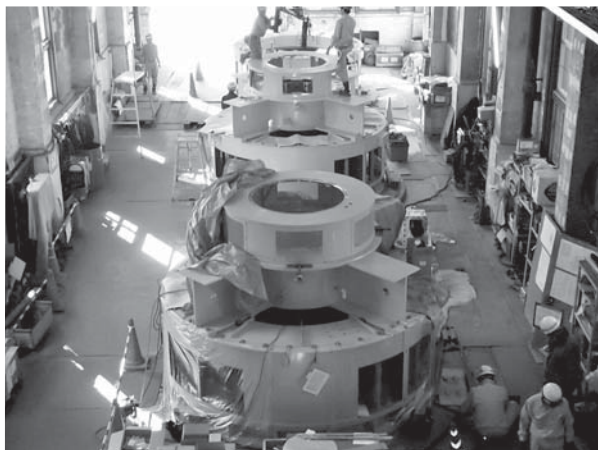
また、最新の高效率設計である水車ランナT-Blade™も提供している。これは、従来と同じ落差と流量で発生電力量を向上でき、最新の水力発電設備として生まれ変わる計画に貢献できる技術である^{(3)～(6)}。

ここでは、王子製紙（株）の水力発電設備の更新例について述べる。尻別川第一発電所は、1921年に建設されてから92年が経過し、また、尻別川第二発電所は1926年に建設されてから87年が経過している。いずれも老朽化が進んでおり、環境への影響も懸念されたことから、水車及び発電機をそれぞれ3台、合計6台を全面更新して水車及び発電機の効率改善と出力増強を図った。また、入口弁及びガイドベーンのサーボモータを電動化し、各軸受は空気冷却軸受を採用した。更に、電磁ブレーキ、ブラシレス励磁装置、及び一体形制御装置を適用し、河川に近い水車ガイド軸受には水潤滑軸受を適用した。これらにより、発電設備における環境保全や、保守の省力化、長寿命化などを図った。両発電所とも2015年3月の運転開始を目指して、現在据付工事中である。

尻別川第一発電所の水力発電設備の全面更新におけるケーシング及び発電機据付けのようすを図3に示す。これら



(a) 水車ケーシング



(b) 発電機

図3. 水力発電設備の全更新例 — 王子製紙(株) 尻別川第一発電所の水力発電設備における近代化更新の例で、新製ケーシング3台と更新発電機3台を据え付けているようすである。

Installation of spiral casings and generators for Shiribetsugawa No. 1 Power Station Units 1, 2, and 3 of Oji Paper Co., Ltd.

新製機器の主な定格は以下のとおりである。

(1) 尻別川第一発電所

(a) 立軸フランシス水車：3台

- 出力 : 2,430 kW (更新により240 kW 増強)
- 有効落差 : 25.013 m
- 回転速度 : 300 min^{-1}

(b) 立軸同期発電機：3台

- 容量 : 2,470 kVA
- 電圧 : 3.3 kV

(2) 尻別川第二発電所

(a) 立軸フランシス水車：3台

- 出力 : 3,200 kW (更新により320 kW 増強)
- 有効落差 : 27.962 m
- 回転数 : 300 min^{-1}

(b) 立軸同期発電機：3台

- 容量 : 3,250 kVA
- 電圧 : 3.3 kV

5 中小水力発電設備の新設例

近年、電力会社では、新規での水力発電設備の建設数は少ないが、老朽化した水力発電設備の更新などの計画が活発化してその重要度が増している。そこで当社は、環境に配慮するとともに保守の省力化を図った水車、発電機、及び制御装置を供給している。

一方、新規の水力発電設備では、その経済性並びに保守性が重要となる。これに対して当社は、保守を省力化するための電動化や空気冷却軸受などを提供している。水車及び発電機の定格を決定する際には、回転速度の高速化による機器のコンパクト化や、発電機部品の現地での組立を簡素化するための一体輸送を可能にする施策などを、提案している。

ここでは、新規に運転を開始したダム直下型の発電所及び現在据付工事中のダム式発電所の例について述べる。

(1) 電源開発(株) 胆沢第一発電所 胆沢第一発電所はダム直下型の発電所で、2014年7月から営業運転を開始した。主機容量は、流況からもっとも発生電力量が多くなるように、1号機及び2号機の大小容量の水車及び発電機の組合せによる運用が考慮されている。

運転開始直後のようすを図4に示す。水車及び発電機的主要な定格は次のとおりである。各定格とも、1号機、2号機の順に示してある。

(a) 立軸フランシス水車：2台

- 出力 : 11,090 kW, 3,660 kW
- 有効落差 : 101.35 m, 100.66 m
- 回転速度 : 600 min^{-1} , $1,000 \text{ min}^{-1}$

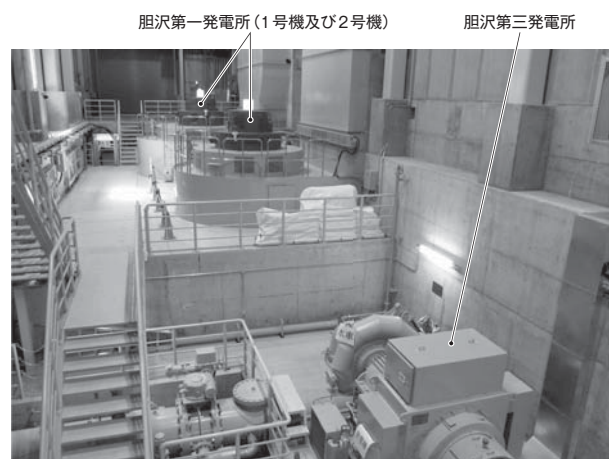


図4. 新設発電所の例 — 容量が異なる立軸水車及び発電機の各2台から成る電源開発(株) 胆沢第一発電所と、横軸水車及び発電機の各1台から成る岩手県企業局 胆沢第三発電所として、別事業体が発電所を同一建屋内に持つ珍しい発電所である。

Vertical generators for Isawa No. 1 Hydroelectric Power Station of Electric Power Development Co., Ltd. and horizontal generator and water turbine for Isawa No. 3 Hydroelectric Power Station of Iwate Prefecture

- (b) 立軸同期発電機：2台
- ・出力 : 11,900 kVA, 3,900 kVA
 - ・電圧 : 6.6 kV, 6.6 kV

- (2) 岩手県企業局 胆沢第三発電所 前述の胆沢第一発電所と同一の建屋内に設置された、ダムの河川維持放流を利用する水車発電機である。同一建屋内に別事業体が発電所を持つ珍しい発電所である。以下に主な定格を示す。

- (a) 横軸フランシス水車：1台

- ・出力 : 1,610 kW
- ・有効落差 : 105.25 m
- ・回転速度 : 1,000 min⁻¹

- (b) 横軸同期発電機：1台

- ・容量 : 1,700 kVA
- ・電圧 : 6.6 kV

- (3) 中部電力(株) 徳山発電所 徳山発電所は、岐阜県木曽川水系 揖斐川の徳山ダムを利用するダム式水力発電所であり、2号機は2014年5月に運転を開始した。地上建屋の地下約20 mに発電機室がある。

2号機回転子をつり込んでいるようすを図5に示す。この水車発電機の主な定格は次のとおりである。

- (a) 立軸フランシス水車：1台

- ・出力 : 26,100 kW
- ・有効落差 : 148.95 m
- ・回転速度 : 514.3 min⁻¹

- (b) 立軸同期発電機：1台

- ・容量 : 27,200 kVA
- ・電圧 : 6.6 kV

また、同一建屋の地下約70 mにある1号機は、出力

140,400 kWの大容量機である。現在建設中で2015年6月に運転開始予定である。

これら水車及び発電機の部品の多くは、東芝水電設備(杭州)有限公司 (THPC) で製造を行った。発電機軸受には樹脂軸受を採用し、軸受構造のコンパクト化を図っている。

6 あとがき

水力発電所は、純国産の再生可能な自然エネルギーを活用した発電設備である。他の再生可能エネルギーの太陽光や風力などに比べて、稼働率が安定しているという優位性のある発電設備で、出力増強や増設などの推進が期待される。

また中小水力発電の分野では、発電設備の経済性や運転及び保守の省力化の観点から、発電設備の更なる簡素化、高性能化、及び高効率化が普遍的な要求となっている。当社は、これらの要求に応えるため、今後も様々な水力発電技術の開発に努めていく。

文 献

- (1) 篠原 朗 他. 水の有効活用—マイクロ水力発電装置 Hydro-e KIDS™. 東芝レビュー. **58**, 7, 2003, p.54-57.
- (2) タン トロン ロン 他. 水力発電用水車の水潤滑樹脂軸受. 東芝レビュー. **67**, 4, 2012, p.48-51.
- (3) 手塚光太郎 他. 発生電力量の増大に向けて. 東芝レビュー. **58**, 7, 2003, p.37-41.
- (4) 日向剛司 他. 最適化技術と高度CFD技術の適用による水車の高性能化. 東芝レビュー. **65**, 6, 2010, p.7-10.
- (5) 久保 徹 他. 環境負荷の低減に貢献する高性能・高機能水車発電機技術. 東芝レビュー. **65**, 6, 2010, p.15-18.
- (6) 川崎 智. 水車と発電機の近代化改修への取組み. 東芝レビュー. **65**, 6, 2010, p.23-27.

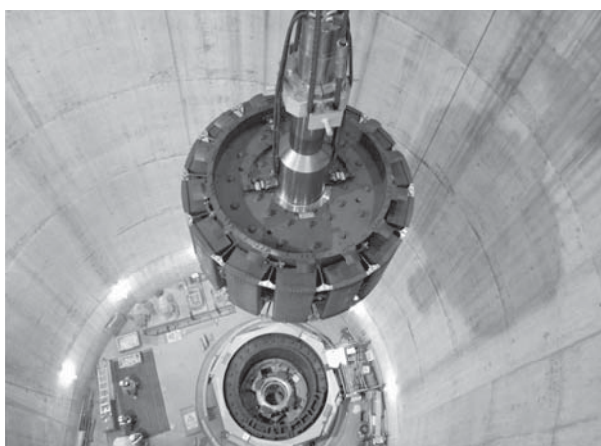


図5. 新設発電所の例 — 中部電力(株) 徳山発電所2号機の回転子をつり込んでいるようすである。

Generator rotor assembly for Tokuyama Hydroelectric Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.



田村 安志 TAMURA Yasushi

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



中原 裕輔 NAKAHARA Yusuke

電力システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部参事。
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。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



宮崎 将宏 MIYAZAKI Masahiro

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