水力発電所の設備とその維持管理の最新動向

正員 美濃 由明* 正員 本田 誠司*
非会員 中澤 紳浩*

Recent Trends of Hydroelectric Power Plant Equipment and Maintenance

Yoshiaki Mino*, Member, Seiji Honda*, Member, Nobuhiro Nakazawa*, Non-member

The equipment of hydroelectric power plants has been improving typically by using digital technology and eliminating oil for lubrication and control. According to the investigation executed by the committee of IEEJ, a fault/trouble happened in one equipment in a hydroelectric power plant has decreased to less than once in 5 years due to such improvement and advancement of design and manufacturing technologies. As for maintenance, changing to the condition based maintenance from the time based maintenance has been in progress. Developing diagnostic technologies and the analysis of operating data to understand the condition of the equipment are important.

キーワード：水力発電所，設備改善，設備障害，保全技術

Keywords: hydroelectric power plant, equipment improvement, faults/troubles, maintenance technologies

1. はじめに

水力発電は、CO₂を発生しない自然エネルギーとして電力供給に寄与するとともに、出力制御の容易性から、周波数調整など電力系統運用になくてはならない発電所として、日々の電力供給に重要な役割を果たしている。

水力発電設備（ダムなどの土木設備を除く）は、水車発電機のような大型電気機器と駆動源となる圧油装置などの補機および制御装置など、多様な機器で構成されているが、近年のデジタル技術の急速な発展や油圧操作機構の電動化の進展などにより、機器の構成が変化してきている。

一方、電力自由化に伴い、電力会社では、水力発電所運転品質の維持向上とともに、価格競争力の強化に向けて発電コストの削減が進められてきた。その中で、機器の保全に関しては、TBM（Time Based Maintenance）からCBM（Condition Based Maintenance）への移行が図られるなど、保全に対する考え方や保全内容が見直されてきている。

このような状況の下、水力発電設備の設備障害発生状況を調査し、今後の更なる保全の最適化に資することを目的として、2005年10月に「水力発電所の設備障害調査専門委員会」が立ち上げられ、2008年3月まで約2年半に亘って、1995年度から2004年度までの10年間を対象に調査分析が行われた。ここではその調査分析結果を中心に、水

力発電設備やその維持管理の最近の動向について述べる。

2. 水力発電設備の動向

〈2・1〉設備数 今回調査対象とした電力10社（電力9社および電源開発（株））が保有している水力発電所は、2004年度末で1,217箇所、合計出力は42,345 MWであり、出力では発電設備の約20%を占めている¹⁾。発電機台数は1,839台で、発電所一箇所当たりの発電機台数は平均1.5台、単機出力が大きい揚水式を除く発電機1台当たりの平均出力は10 MWである。水力発電所には、揚水式（電力需要の少ない夜間に上池に水を上げ、電力需要の大きい昼間にその水で発電する方式）、貯水池式（発電量を季節的に調整可能な大容量貯水池を持つもの）、自流式（流れ込み式および調整池式）発電所があるが、それらの比率は図1の通りである。

発電所数では流れ込み式と調整池式が92%と多いが、出

図1 水力発電所の方式別比率

Fig. 1. Classification of hydroelectric power station.

* 関西電力（株）電力システム技術センター
〒530-6691 大阪市北区中之島 6 丁目 2-27
Power System Engineering Center, The Kansai Electric Power Co., Inc.
2-27, Nakanoshima, 6-chome, Kita-ku, Osaka 530-6691

力では単機出力の大きい揚水式が半分以上を占めている。
 今回調査した 1995 年度から 2004 年度の 10 年間では、発電所の譲渡・取得や建設・廃止などにより 3 発電所、763 MW が増加していた。

（2・2）設備の変化

（1）設備の簡素化 水力発電所では、保守性・信頼性の向上、オイルレス化などを目的として、設備の簡素化が進められている。表 1 に簡素化の進められている設備とその減少数を示す。グリース給油装置を除くと、設備数にかかわらず設備減少数に大きな差はない。これは、古い発電所の改修時にこれらの設備がセットで簡素化されているためと推定される。

表 1 設備の省略

Table 1. Simplification of the equipment.

	1995 年→2004 年 での減少数	2004 年度末 設備数
給水装置	66 台	1,678 台
圧油装置	68 台	1,339 台
空気圧縮装置	55 台	782 台
潤滑油装置	57 台	716 台
制圧機	56 台	426 台
グリース給油装置	80 台	161 台

（2）設備形態の変化 設備の簡素化と同様に、保守性・信頼性の向上、オイルレス化などを目的として、入口弁、调速装置（アクチュエータ）では油圧操作からの電動化が、励磁制御装置、自動運転制御装置、调速装置（レギュレータ）ではデジタル化が、励磁装置ではブラシレス化が進められている。表 2 にその進展状況を示す。電動化、デジタル化とも 1980 年から始まっており、約 25 年かけて、電動化で 20% 強まで、デジタル化で 25% 程度まで進んできたことになる。

表 2 設備形態の変化

Table 2. Change of the equipment.

		1995 年度末	2004 年度末	2004 年度末 設備数
電動化率	入口弁	19%	25%	1,542 台
	调速装置 (アクチュエータ)	15%	22%	1,834 台
デジタル化率	励磁装置	11%	21%	1,821 台
	自動運転 制御装置	21%	26%	1,807 台
	调速装置 (レギュレータ)	18%	31%	1,819 台
励磁装置のブラシレス化率		40%	46%	1,801 台

3. 水力発電所設備障害の発生動向

〈3・1〉設備障害発生件数 水力発電所機器の 1 台 1 年当たりでの障害発生件数を図 2 に示す。今回調査したのは 1995 年度から 2004 年度の 10 年間であるが、同様の調

(a) 1973-1982 年度の設備障害発生件数 (2)

(a) Number of troubles happened from 1973 to 1982

(b) 1995-2004 年度の設備障害発生件数

(b) Number of troubles happened from 1995 to 2004

図 2 年度別、機器 1 台 1 年あたりの障害発生件数
 Fig. 2. Number of troubles per unit-year.

査は1973年度から1982年度の10年間でも行われており、図2には、その結果も合わせて示している。

今回の調査結果から、機器1台1年当たりの障害発生件数は、多いものでも概ね0.2以下（5年に1回以下）であり、前回調査の1970年代と比べて大幅に減少している。前章で述べた設備の簡素化や設備形態の変化も含めて、老朽設備の改修が進んだことや、機器の製作施工技术が進歩したことなどが寄与していると考えられる。

図2から、他の部位より障害発生件数が多いのは、水車、発電機、給排水装置であることがわかる。障害発生部位を調べたところ、可動部や流水部での自然劣化、自然現象を原因とするものが多かった。例えば、水車では、流水中の異物がつまることによるガイドベーン弱点ピンの折損、発電機では、冷却水配管・弁類からの漏水やブレーキの動作不良などが多い。

また、2000年頃から障害発生件数に増加傾向が見られる。増加しているのは、さしあたり運転には支障がなく次回点検時に処置すればよいと判断される軽微な障害で、IT化の進展により、電力会社が保全データの管理を細かく行うようになったことやTBMからCBMへの移行、発電所の重要性や障害発生時の影響度合いを考慮した合理的な保全方法の指向など、メンテナンスに対する考え方の変化が原因と考えている。

〈3・2〉設備障害発生原因 図3は、原因別の設備障害発生率である。発生原因は、自然劣化、自然現象が多く、製作不完全、施工不完全、保守不完全の比率は少ない。一方、発生原因でその他、原因不明の率が多くなっているが、これは、障害発生が少なくなる中、発電所固有要因によるものや一過性で再現しないトラブルの比率が増えてきているものと推定している。

図3 年度別、原因別、障害発生率
Fig. 3. Ratio of causes of troubles.

4. 今後の動向

〈4・1〉設備 水力発電設備については、信頼性の向上や保全の省力化の観点から、第2章で述べたような設備の簡素化や電動化、デジタル化などが今後とも進展していくと考えられる。これらに加えて、近年、樹脂軸受けの適用が進められている。

軸受けの摺動面には、従来ホワイトメタルが使われていたが、それに替わる材質として、耐摩耗性、耐焼付性、高温での機械的強度に優れかつ摺動摩擦係数が低い樹脂が適用されるようになってきた。樹脂軸受けの採用により損失の低減、軸受け空冷化（冷却水レス）範囲の拡大、スラスト軸受押上装置の省略、ブレーキ開始速度の低下によるブレーキシューの磨耗と磨耗粉による汚損の低減などが図れるメリットがある。樹脂軸受けの適用は中小水力発電所から始まったが、最近では大容量揚水発電所への適用も進められている^{(3)~(9)}。

〈4・2〉維持管理 第3章でも触れたように、水力発電所の保全に関してはTBMからCBMへの移行、発電所の重要性や障害発生時の影響度合いを考慮した合理的な保全方法の指向など、コストと信頼性の両立を目指した取り組みが行われている。そのためには、設備診断技術の開発や運転保守データに基づく設備状態の把握が大切である。

設備診断技術の例としては、固定子巻線の絶縁診断技術があげられる。一般に発電機を長時間運転すると、固定子コイルは熱的、機械的なストレスを受け絶縁性能が低下し、コイルの絶縁物表面や内部の微小ギャップで部分放電が発生する。定期点検時（停止中）や運転中にこの部分放電を検出するため各種の方法が実用化されている。関西電力では、運転中に簡易に測定できる方法として、図4に示すように固定子スロット内に設置されている測温素子（RTD）を部分放電検出センサとして活用した、可搬式の部分放電モニタを開発し、活用している。図5は、実機において部分放電を検出した例である。コイル修繕前後で比較すると部分放電レベルは1/100以下に低下している⁽¹⁰⁾。

図4 部分放電モニタの基本構成

Fig.4. Basic configuration of the partial discharge monitor.

(a) 部分放電有 (コイル修繕前)
(a) Coil with partial discharge
(Before repair)

(b) 部分放電無 (コイル修繕後)
(b) Coil without partial discharge
(After repair)

図5 コイル修繕前後における部分放電分布

Fig.5. Partial discharge in stator coils before/after repair.

水力発電所の設計は、落差や流量など河川の状態により異なっており、CBMを実現するためには、発電所毎に機器の状態をできる限り定量的に把握する必要がある。そのためには、上記のような診断装置だけではなく、日常の運転保守データの分析が大切である。図6は、関西電力奥多々良木揚水発電所で測定した、軸受け温度と冷却水温度との相関図である。

図6 軸受温度-冷却水温度相関図

Fig.6. Relation between temperatures of metal and cooling water.

図のように、軸受けパッド毎に軸受け温度と冷却水温度には強い相関がある。従って、もし相関から外れたデータが出てくれば、何らかの異常が起こっていると判断できる。

この例の他、季節により水車発電機の基礎が伸縮し、軸受ギャップが年周期で変化していることを示すデータなどが得られており、保全管理に大きく貢献している⁽¹¹⁾。

5. まとめ

電気学会「水力発電所の設備障害調査専門委員会」での調査結果を中心に、最近の水力発電所設備や維持管理の動向について述べた。地球温暖化対策が重要課題となる中、水力発電所は、経済合理性のある貴重な自然エネルギー源と

して、今後益々重要な役割を果たすものと考えており、少しでも多くの電力を低廉なコストで供給できるよう、今後とも合理的な設備形成や維持管理手法の開発、実施に努めて行く所存である。

最後になりましたが、調査、研究にご協力頂いた委員会関係者に深く感謝いたします。

(平成20年4月21日受付)

文 献

- (1) 電気事業連合会ホームページ: <http://www.fepc.or.jp/>
- (2) 「水力発電所の設備障害に関する調査研究」, 電気学会技術報告 (II部), No.246 (1987-4)
- (3) 「水車発電機用新素材軸受の高性能化」, 東芝レビュー, Vol.53, No.9 (1998-9)
- (4) 「水車発電機/発電電動機における最新技術」, 三菱電機技報, Vol.74, No.11 (2000-11)
- (5) 「新素材スラスト軸受の開発と適用」, 電気評論, pp.7-14 (2002-3)
- (6) 「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, Vol.58, No.1 (2003-1)
- (7) 「環境保全, 機器の長寿命化に貢献する水力発電技術」, 東芝レビュー, Vol.58, No.7 (2003-7)
- (8) 「最新の水力発電技術」, 三菱電機技報, Vol.81, No.10 (2007-10)
- (9) 「水車・発電機の設備更新における技術動向」, 富士電機システムズ, 新エネルギー財団発表
- (10) 「可搬式発電機部分放電モニターの開発—保全技術の高度化とコスト低減—」, R&D News Kansai (2003-11)
- (11) 宇野 真・山本茂文・長末史朗: 「地下発電所におけるガイド軸受への季節的基礎変位の影響」, 電気学会回転機研資 (2002-10)

美 濃 由 明 (正員) 1959年3月30日生。1983年3月京都大学大学院電気工学専攻修士課程卒業。同年4月関西電力(株)入社。主として、水力発電所、変電所の設計、保全、技術開発に従事。電気学会「水力発電所の設備障害調査専門委員会」委員長。

本 田 誠 司 (正員) 1960年9月6日生。1981年3月石川工業高等専門学校電気工学科卒業。同年4月関西電力(株)入社。主として水力発電所の設計、建設、保全に従事。電気学会「水力発電所の設備障害調査専門委員会」幹事。

中 澤 紳 浩 (非会員) 1968年5月16日生。1987年3月滋賀県立長浜商工高等学校電気科卒業。同年4月関西電力(株)入社。主として水力発電所の設計、保全に従事。電気学会「水力発電所の設備障害調査専門委員会」幹事補。