

水力発電異常検知システムについて

石渡 俊弘¹・市川 彰浩²

¹ (独)水資源機構 日吉ダム管理所 (〒629-0335京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

² (独)水資源機構 中部支社 事業部 設備課 (〒460-0001愛知県名古屋市中区三の丸1丁目2-1)

水資源機構木津川ダム総合管理所(布目ダム、室生ダム)では、管理用水力発電設備停止に伴う、ダム管理への重大な影響を抑えるため、「水力発電設備異常検知システム」の構築を図った。当該システムは、日常監視しているデータから異常動作に繋がるデータを抽出し異常判定とその情報提供を行う設備で、異常動作に早期対応することにより障害発生 of 未然防止又は障害被害の軽減を図るものである。

本稿では、今回設置した「水力発電異常検知システム」の概要、運用方法(異常検知方法)、今後の課題等について報告するものである。

キーワード 異常検知システム、異常判定、データの蓄積・分析、しきい値、2次元判定

1. はじめに

2015年11月15日、室生ダム発電所において、発電流量の設定変更を行った直後に重故障が発生し水力発電設備が緊急停止した。現地で状況を確認したところ、ガイドベーンが開いたままで、現地操作も出来ない状態であった。よって、点検口から水車内部を確認したところ異物の混入が発見され、その復旧に3日間を要した。

また、布目ダムでは、2012年10月3日に発電機の回転速度を検出する装置に障害が発生した。この装置は生産終了していたため、その代替え対策に時間を要し247日におよぶ期間の発電停止となった。

発電停止期間は、上記で述べた事例のように障害内容で異なり、室生ダムでは停止期間が3日間で済んだが、布目ダムでは停止期間が長期化したため、売電収入が大幅に減少した。

売電収入は、雑収入としてダム管理費に組み込まれているため、布目ダムのように停止期間が長期化した場合、ダム管理費に大きく影響し予定した工事等の実施時期を変更するなどの措置が必要となる。このような事態の発生を未然に防止し、又は早期対応による被害の軽減を目的に、「水力発電異常検知システム」を室生ダム発電所、布目ダム発電所に導入した。

2. 管理用水力発電設備の概況

室生ダム発電所は1986年から運用開始、布目ダム発電所は1991年から運用開始した設備で、両発電所共に稼働率が90%以上と非常に高く、ダム管理に大きく貢献している。

以下に室生ダム発電所、布目ダム発電所の年間発生電力、買電収入等(直近10年間平均)の稼働状況を示す。

室生ダム発電所

・稼働率	92% (336日/365日)
・年間発電量	2,685,836 (KWH/年)
・売電収入	24,500 (千円/年)
・所在地	奈良県 宇陀市
・最大出力	560kw
・水車	クロスフロー水車

布目ダム発電所

・稼働率	90% (329日/365日)
・年間発電量	5,240,713 (KWH/年)
・売電収入	51,692 (千円/年)
・所在地	奈良県 奈良市
・最大出力	990kw
・水車	フランシス水車

3. 水力発電設備異常検知システム

(1) システムの概要

異常検知システムは、水力発電設備からの各種データとダム管理用制御処理設備（以下「ダムコン」と言う）からのダム貯水位データをリアルタイムで受信し、データが通常と異なる動きをした場合、ダム管理職員へ情報を通報するものである。システム構成は図1に示すとおりで、各種センサー（発電所の水車・発電機・軸受け等に設置）、伝送路（光ケーブル）、異常検知装置（PC）、メール送信機、ファイアウォールで構成される。水車・発電設備には、水圧鉄管・水車内の水圧を測定する圧力計、水車軸受等の温度計、水車・発電機の回転速度検出計、振動計など14個のセンサーを設置し、設備の動作を監視している。

異常検出装置は、各設備からのデータを受信・蓄積し、異常判定、警報を出力する。異常判定については、「4. 異常検知の方法」で示す。又、警報出力はインターネットを介してダム管理職員の携帯端末へ配信するため、情報セキュリティ対策としてファイアウォールを設置し、ポートフィルタリング、ポリシーフィルタリング、URL フィルタリング等の機能を完備した。

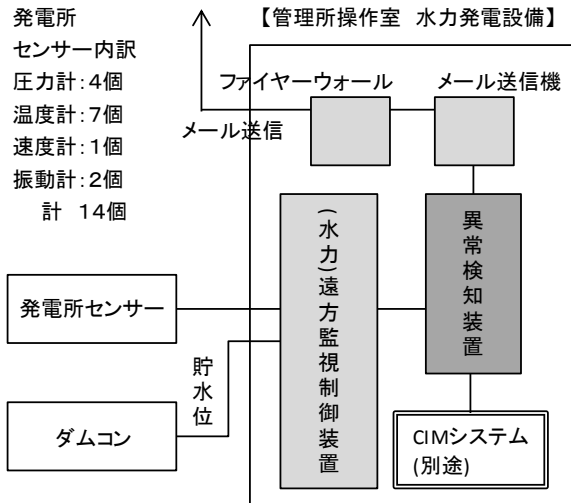


図-1 水力発電設備異常検知システム構成図

(2) 振動センサーについて

異常検知システムを構築する上で、水車、発電機の運転状況を把握するために必要不可欠である振動センサーを新たに設置した。振動の計測は前後、左右、上下の3方向で行い、取付け位置は、横軸の水

車・発電機の振動が最も顕著に表れる軸受け部とし、比較が可能なように水車側軸受け、反水車側軸受けの2箇所とした。

振動センサーの取付け位置を図2に、振動センサーの取付状況を写真1、写真2に示す。

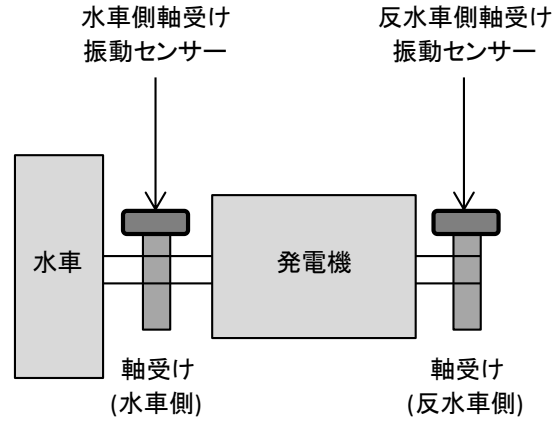


図-2 振動センサー取付位置



写真-1 振動センサー（水車側軸受け）

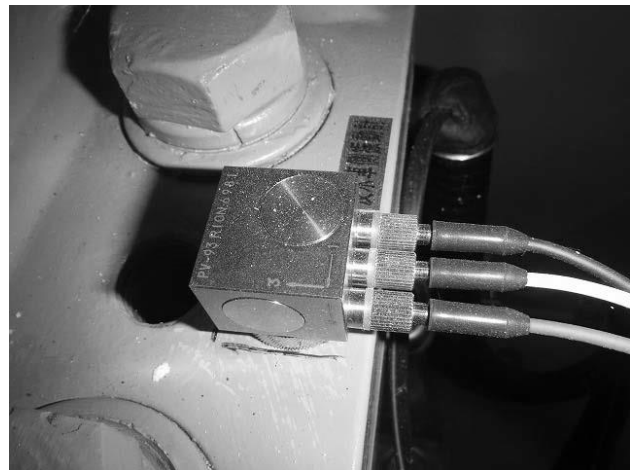


写真-2 振動センサー（取付状況）

4. 異常検知の方法

(1) 監視蓄積データ

異常検知装置により監視・蓄積するデータを次に示す。

- ① 発電電力
- ② 発電電圧
- ③ 発電電流
- ④ 発電流量
- ⑤ ガイドベーン開度
- ⑥ 回転速度
- ⑦ 水車入口圧力
- ⑧ 振動(水車・発電機)
- ⑨ 発電機固定子巻線温度
- ⑩ 軸受温度
- ⑪ 発電所内温度
- ⑫ ダム貯水位
- ⑬ 利水バルブ流量
- ⑭ 発電流量設定値
- ⑮ 起動時間タイマー
- ⑯ 発電機力率
- ⑰ 発電機周波数

(2) 異常判定方法

本システムで行う異常判定方法は、しきい値判定と2次元判定の2とおりである。それぞれの判定方法について次に示す。

a) しきい値判定

日常監視しているデータから正常である範囲の値をしきい値として設定し、そのしきい値を逸脱した場合に異常判定を行う。

判定のイメージを図3に示す。

監視する計測値(データa)がしきい値をオーバーしたため異常と判定する。

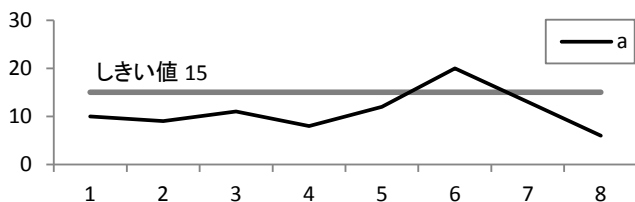


図-3 しきい値判定 グラフ

しきい値で判定する項目は、次のものである。

- ① 水車側軸受振動
- ② 反水車側軸受振動
- ③ 固定子スラスト温度
- ④ スラスト軸受温度
- ⑤ 発電機水車側軸受温度
- ⑥ 発電機反水車側軸受温度

b) 2次元判定

監視データから関連する2つの項目を抽出し、そのデータの動きを比較することにより判定を行う。

判定のイメージを図4及び図5に示す。

関連する2つの計測値(データa, データb)を組み合わせて比較し、時間変化(X軸)に対して変化傾向が同じ場合は正常と判定し、異なる場合は異常と判定とする。

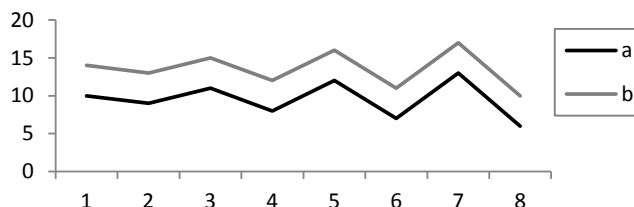


図-4 正常判定 グラフ

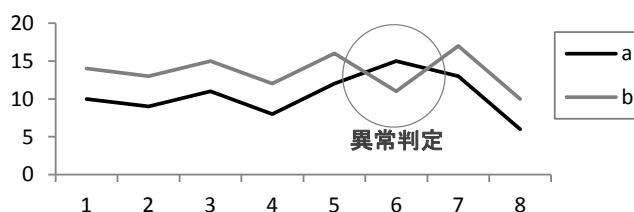


図-5 異常判定 グラフ

2次元判定で比較する組合項目と比較根拠を次に示す。

○ダム貯水位との組合せ

組合せ1	「ダム貯水位」と「発電電力」
組合せ2	「ダム貯水位」と「水車入口圧力」

発電電力と水車入口圧力は、ダム貯水位の変化に比例して変動するため、この組合せで監視し、変化傾向が異なった場合は異常判定とした。

○発電所内温度との組合せ

組合せ3	「発電所内温度」と「固定子温度」
組合せ4	「発電所内温度」と「軸受温度」

固定子温度及び軸受温度の変化は、発電所内温度の変化と関係すると考えられることから、この組合せで監視し、変化傾向が異なった場合は異常判定とした。

○発電流量との組合せ1

組合せ5	「発電流量」と「ガイドベーン開度」
組合せ6	「発電流量」と「発電電力」

ガイドベーン開度と発電電力は、発電流量の変化に比例して変動するため、この組合せで監視し、変化傾向が異なった場合は異常判定とした。

○発電流量との組合せ2

組合せ7	「発電流量」と「水車入口圧力」
------	-----------------

水車入口圧力は、発電流量の変更に関連して変化するものではないが、水車で発生する水流に影響を受けていないか検証するため、この組合せで監視し、発電流量の変更時に水車入口圧力が変化した場合は異常判定とした。

○発電流量との組合せ3

組合せ8	「発電流量」と「水車側軸受振動」
組合せ9	「発電流量」と「反水車側軸受振動」

発電流量毎に水車軸受振動、反水車軸受振動の動作範囲を計測し、設定した範囲から逸脱した場合は異常判定とした。

○ガイドベーン開度との組合せ1

組合せ10	「ガイドベーン開度」と「発電電力」
-------	-------------------

ガイドベーン開度の動きに対し、発電電力は比例して変化するため、この組合せで監視し、変化傾向が異なった場合は異常判定とした。

○ガイドベーン開度との組合せ2

組合せ11	「ガイドベーン開度」と「水車入口圧力」
-------	---------------------

水車入口圧力は、ガイドベーン開度の動作に関連して変化するものではないが、水車で発生する水流に影響を受けていないか検証するため、この組合せで監視し、ガイドベーン開度の変化傾向に同調して変化した場合は異常判定とした。

○ガイドベーン開度との組合せ3

組合せ12	「ガイドベーン開度」と「水車側軸受振動」
組合せ13	「ガイドベーン開度」と「反水車側軸受振動」

ガイドベーン開度毎に水車軸受振動、反水車軸受振動の動作範囲を計測し、設定した範囲から逸脱した場合は異常判定とした。

○発電電力との組合せ1

組合せ14	「発電電力」と「水車軸受振動」
組合せ15	「発電電力」と「反水車軸受振動」

発電電力毎に水車軸受振動、反水車軸受振動の動作範囲を計測し、設定した範囲から逸脱した場合は異常判定とした。

○発電電力との組合せ2

組合せ16	「発電電力」と「固定子温度」
組合せ17	「発電電力」と「軸受温度」

発電電力毎に固定子温度、軸受温度の変化傾向を計測し、設定した範囲から逸脱した場合は異常判定とした。

○水車入口圧力との組合せ

組合せ18	「水車入口圧力」と「発電電力」
-------	-----------------

水車入口圧力の変化に対し、発電電力は比例して変化するため、この組合せで監視し、変化傾向が異なった場合は異常判定とした。

上記で述べた「しきい値判定」及び「2次元判定(18種類の組合せ)」により、水力発電設備を常に監視し、通常と異なる動きをした場合、点検を実施し、その原因の究明と対策を行う。また、異常発生時毎の蓄積データから、監視データ組合せの妥当性及び正常である変動範囲の検証を行い、適宜見直しを行っていく。

5. 今後の展望と課題

布目ダムでは2017年3月に、室生ダムでは2017年7月に異常検知システムを導入し運用を開始したが、本システムは運用と合わせて、蓄積したデータの整理・分析を行い、しきい値、2次元判定項目の見直しを進め、システムの精度向上を図るもので長期的に継続していくことが重要である。

また、設備の整備・更新の判断材料の一つとして活用するため、蓄積データの経年的な変化を整理・分析し、設備の老朽化とどのように関連づけていくかが今後の課題である。

6. まとめ

木津川ダム総合管理所で導入した異常検知システムは、他の管理用発電への活用及び揚水機場等のポンプ設備などへの応用が可能と考えられる。

また、本システムで蓄積されたデータは、様々な条件での運転特性が把握できるため、異常判定値等の見直しや修繕時期の最適化に活用する他、運転可能範囲の検証、利水放流設備からの放流量との相関関係の検証など水力発電の効率的な運用への活用も可能である。

本システムは、的確に運用し続けることで、より精度の高いシステムを構築でき、ダム管理の効率化・高度化を目指すことができると思われるため、新たな活用の検討も視野に入れ確実な運用を図っていく。

本論文は、著者および共著者の前任地である(独)水資源機構木津川ダム総合管理所での成果について取りまとめたものである。