

# 小水力発電事業への取り組み

山本真一 Shin'ichi Yamamoto

キーワード 小水力発電、自立運転

## 概要



水車発電機設備

2011年3月に発生した東日本大震災での原子力発電所事故による被害とそれに続く原子力発電の停止による電力不足の長期化で、自然エネルギーによる電力確保に関心が高まっている。このような流れの中、経済産業省資源エネルギー庁によって2012年7月に施行された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）」によって、太陽光発電設備・小水力発電設備などの再生可能エネルギーによる発電設備の需要が増加した。また、自然災害などをはじめとする緊急事態に対応するため、BCP（Business Continuity Plan）の一環として、自立運転ができる発電機を備え、重要設備に対する電力供給を維持しようとする動きも活発化している。

## 1 まえがき

ダムは下流域に同量の流水を確保し、水生生物などの生育環境・生態系を維持するために、常に一定量の放流を行わなければならない。「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）」によって、放流水を利用した小水力発電設備が各地で増えてきている。小水力発電設備は、単に電力を供給するだけでなく、停電時には自立運転させることで特定の設備へ電力供給することができる。

本稿では、沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所安波ダムで自立運転できる小水力発電設備工事（逆転ポンプ水車・永久磁石式発電機〈PMG：Permanent Magnet Generator〉・パワーコンディショナ〈PCS：Power Conditioning Subsystem〉）の新設工事事例を紹介する。

## 2 事例

### 2.1 施設概要

安波ダムは、沖縄本島北部河川総合開発事業の一環として、洪水調節、渇水時でも川の流量を保つ流水の正常な機能の維持、水道用水及び工業用水の供給を目的に、安波川（流域面積42.1km<sup>2</sup>、流路延長8.5km）の河口から約3.5km上流地点に建設した高さ86m、沖縄最大の重力式コンクリートダムである。

発電所は安波ダム右岸下部の植栽部を利用し設置されている。

今回の小水力発電設備を設置する目的は、以下の2点である。

- (1) 安波ダムの維持放流水を利用した水力発電設備を設置することで、ダムの維持管理費を低減
- (2) 商用電源が停電した場合に自立運転することで、ダム管理用電源に電力を供給し運用を維持

本発電所は自動制御運転とし、また監視制御方式は管理所からの随時監視制御方式を採用し、発電所でも制御を行う。

## 2.2 発電所の運転方式

本設備は、安波ダムの維持放流水を利用して発電する。発電電力はダム管理電源用として使用し、余剰電力は沖縄電力(株)の6.6kV系統に送電する。ダム管理用電源の供給について、以下に示す。

(1) 系統健全、水車発電機運転中      ダム管理用電源は水車発電機から供給され、余剰電力は6.6kV系統へ送電

(2) 系統健全、水車発電機の停止中又は事故時

(a) 水車発電機に事故が発生した場合、発電機回路を速やかに系統から解列し、ダム管理用電源は6.6kV系統から供給

(b) 水車発電機が停止中は、ダム管理用電源は6.6kV系統から供給

(3) 水車発電機運転中の系統事故時      水車発電機は速やかに停止し、非常用予備発電機が起動してダム管理用電源を供給し、その後水車発電機を自立運転モードとし、ダム管理用電源として供給。管理所負荷を超える電力については、入口弁での流量調整によるダミーロード（余分な流量は既設河川維持放流施設へ回す）で消費

(4) 水車発電機停止中の系統事故時      非常用予備発電機を起動し、ダム管理用電源に供給

## 2.3 設備概要

第1表に主要機器を示す。

### 2.3.1 水圧鉄管

水圧鉄管路はダム堤体右岸減勢槽から発電所水車設備まで、配管用ステンレス鋼管（SUS304）400A・350Aを堤体傾斜部に鋼製配管架台（SUS製）で固定して据え付けた。第1図に水圧鉄管の設置状況を示す。

(1) 総落差   ：42.45m

(2) 有効落差：40.56m

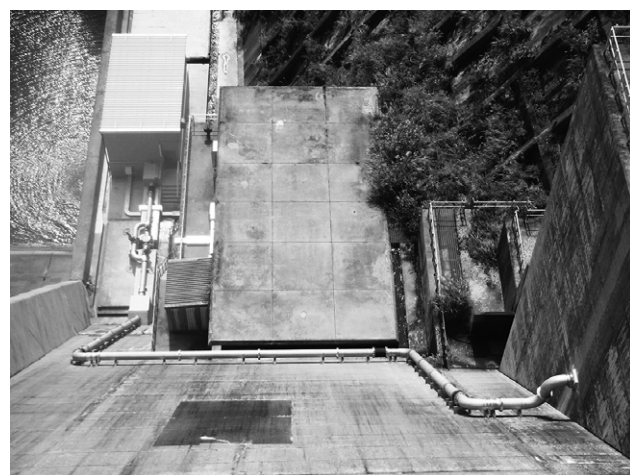
### 2.3.2 水車発電機設備

水力発電設備は、部品点数が少なく点検が容易な

第1表 設備一覧

設備一覧を示す。

水力発電設備	形式	数量	摘要
発電機	63kW 横軸永久磁石式三相同期発電機	1台	永久磁石による励磁
水車	67kW 横軸両吸込ポンプ逆転水車	1台	
入口弁（350A）	キャビテーション抑制形電動バタフライ弁	1台	流量調整機能有
電磁流量計（400A）	防浸形	1台	
発電機連絡盤	鋼板製屋内自立形	1面	
引込・所内盤	鋼板製屋内自立形	1面	
発電機制御盤	鋼板製屋内自立形	1面	
補助盤	鋼板製屋内自立形	1面	
コンバータ盤	鋼板製屋内自立形	2面	コンバータユニット インバータユニット
コンバータ盤用抵抗器	屋内自立形	1面	
直流電源盤	鋼板製屋内自立形	1面	
ダミー抵抗器盤	屋内自立形	1面	
監視制御装置	デスクタイプ	1台	監視操作卓
屋外設備	売電用VCT（装柱）	1台	
	買電用VCT（装柱）	1台	既設流用
ストレーナ（400A）	パケット形	1台	
水圧鉄管（350A・400A）	SUS304 TP	1式	総数 約85m

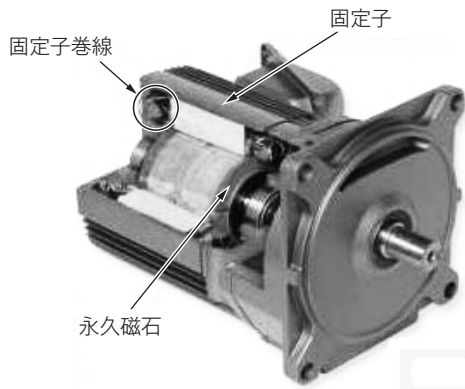


第1図 水圧鉄管設置状況

水圧鉄管の設置状況を示す。

横軸両吸込ポンプ逆転水車・PMG・PCSの組み合わせとした。

PMGは回転子に励磁用の永久磁石を埋め込んだ構造であるため、交流励磁機、変圧器及び励磁装置



第2図 PMGの構造概要

PMGの構造概要を示す。

が不要となる。第2図にPMGの構造概要を示す。

PCSはPMGの出力を交流→直流→交流に変換する過程で発電周波数を一定にし、系統連系及び自立運転を行う。

(1) 系統連系

- (a) 発電設備などを商用電力系統（電力会社）に接続し、並列運転する。
- (b) 並列運転するためには、電圧・周波数を商用電源と同期させる必要がある。

(2) 自立運転

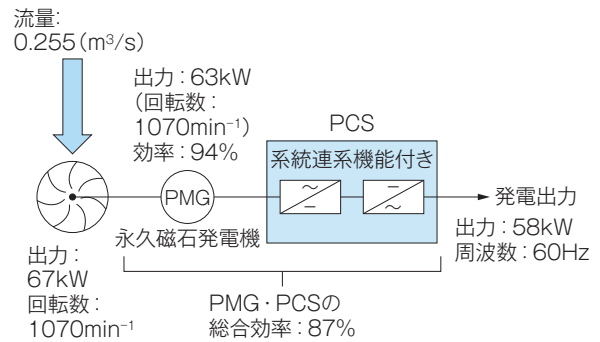
- (a) 商用電力系統と並列せずに発電設備単独の電力でダム管理所負荷（所内負荷）などへ供給する。
- (b) 発電出力と負荷電力をバランスさせる必要がある。
- (c) 発電設備は周波数や電圧を一定出力する必要がある。

PCSは単独運転検出機能を有しているため、別置き単独運転検出装置が不要である。励磁装置・単独運転検出装置などが不要となることで、機器構成をシンプルにすることができる。

第3図にPMGとPCSのシステム構成図を示す。

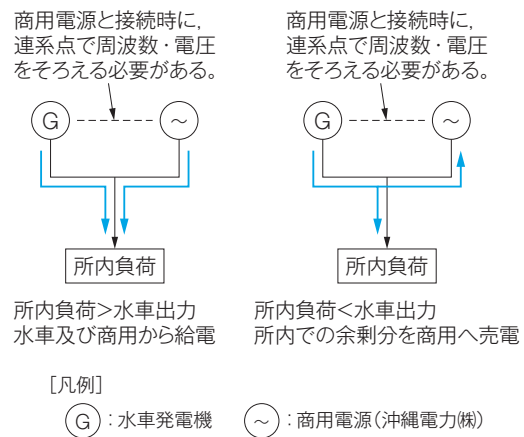
特長は、以下のとおりである。

- (1) 定速度運転が不要
- (2) 発電周波数は、発電機（水車）の回転数にかかわらず、PCSで制御が可能
- (3) 調速機能のない水車で自立運転及び系統連系が可能
- (4) 永久磁石を使用しているため、励磁装置が不要



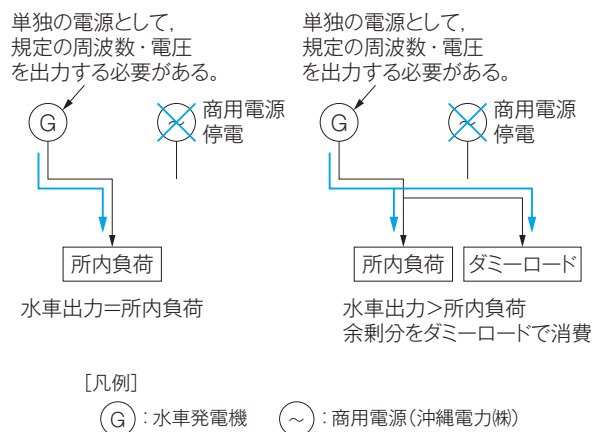
第3図 PMGとPCSのシステム構成図

PMGとPCSの構成を示す。



第4図 系統連系（並列）構成図

系統連系（並列）の構成を示す。



第5図 自立運転構成図

自立運転の構成を示す。

(5) 単独運転検出装置が不要

第4図に系統連系（並列）構成図を、第5図に自立運転構成図を、第6図に水車発電機設備の設置状況を示す。



(a) 水車発電機全景



(b) 制御盤



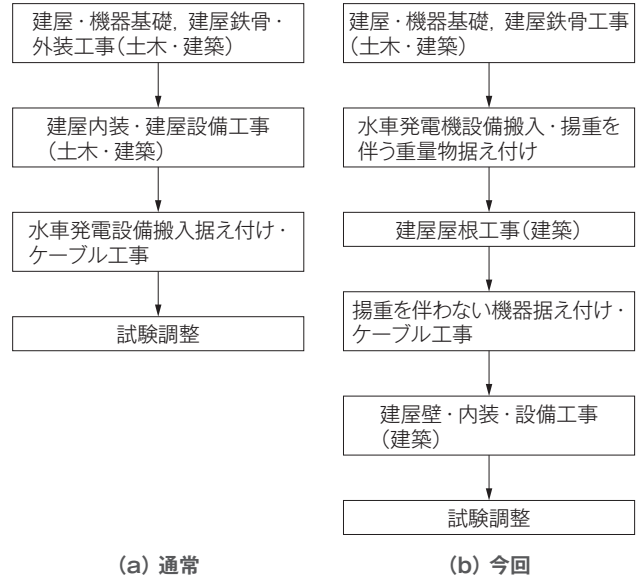
(c) 監視制御装置

**第 6 図 水車発電機設備設置状況**

水車発電機設備の設置状況を示す。

**2.4 施工**

- (1) 現場工期 2014年12月から2015年3月
- (2) 施工内容 67kW横軸両吸込ポンプ逆転水車・PMG・PCSの組み合わせ小水力発電設備 一式  
SUS(350A・400A)水圧鉄管設備総長約85m 一式



**第 7 図 水力発電設備据え付け手順**

通常行っている手順と今回の工事で行った手順を示す。

**第 7 図**に通常と今回の水力発電設備据え付け手順を示す。本工事では土木工事と並行し、通常施工手順と異なるため、以下の点に注意して施工した。

- (1) 土木建築工事との工程調整（進捗状況確認，進捗による変更工程確認及び調整）
- (2) 揚重設備「クローラクレーン」の取り扱い調整（揚重設備は土木建築業者手配管理）
- (3) 屋根・壁のない状態で施工し，日々の機器養生及び機器状態の確認

**2.5 安全管理**

発電所の建設場所はダム下流右岸にあり，発電所までの搬入路がないため，ダム天端に土木建築業者が設置した200tクローラクレーンを共用して機器搬入（水圧鉄管含む）を行った。このため，業者間のクレーン使用の競合が発生しないよう月間・週間・日々の工程調整を密に実施した。また水圧鉄管は，減勢槽から水車設備までの高低差約40mの堤体傾斜部に設置するため，労働基準監督署へ足場計画の届け出を行い，作業時の転落防止対策（親綱の設置及びロリップの確実な使用）を徹底し，事故の発生がないように万全の体制で作業に臨んだ。

### 3 むすび

本工事は小水力発電設備の新設工事で、運用中のダム設備の増設工事でもあるため、ダム設備運用に影響がないよう細心の注意を払い施工を実施した。特に停電を伴う既設設備からの切り替え作業では、負荷設備（ダム設備）の運用状況の把握や設備停止の制約などを踏まえて施工計画書を作成し、お客様と綿密な打ち合わせを行うことで無事に作業を完了した。

工事の施工にあたり沖縄総合事務局並びに関係者各位に大変なご協力をいただき、深く感謝する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《執筆者紹介》



山本 真一  
Shin'ichi Yamamoto  
施設工事部  
水力発電設備工事の設計・管理業務に従事