

IEA 水力実施協定 ANNEX 11 水力発電設備の更新と増強  
第二次事例収集（詳細情報）

事例のカテゴリーとキーポイント

- Main : 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大
- Sub : 2-b) 保護と制御に関するシステムの改良
- 1-f) 環境保全及び改善
- 2-c) 土木建築分野の技術革新、適用拡大、新材料

プロジェクト名 : 尾口発電所設備更新工事  
 国, 地域 : 日本, 石川県  
 プロジェクトの実施機関 : 北陸電力株式会社  
 プロジェクトの実施期間 : 2009.8~2011.3  
 更新と増強の誘因 : (A)老朽化/故障頻発  
 (B)環境劣化  
 キーワード : ハイブリットサーボ, ダムのゲートレス化

要旨

尾口発電所は 1938 年の運転開始から約 70 年が経過している。2 つの取水路の内、第一水路に係る洪水吐ゲート, 水車・発電機等の老朽化が進んだため, 今回改修工事を行った。

1. プロジェクト地点の概要（更新前）

尾口発電所は, 石川県白山市尾添に位置し, 1 級河川手取川水系尾添川（第一水路：最大 8.85m<sup>3</sup>/s）及び目附谷川（第二水路：最大 2.67m<sup>3</sup>/s）から合計で最大 11.52m<sup>3</sup>/s を取水する水路式発電所（運転開始 1938 年）である。第一水路, 第二水路それぞれに発電設備を設置しており, 最大出力は第一水路（最大出力 11,500kW）と第二水路（最大出力 6,100kW）を合わせ 17,600kW である。（設備諸元は表 1 参照）

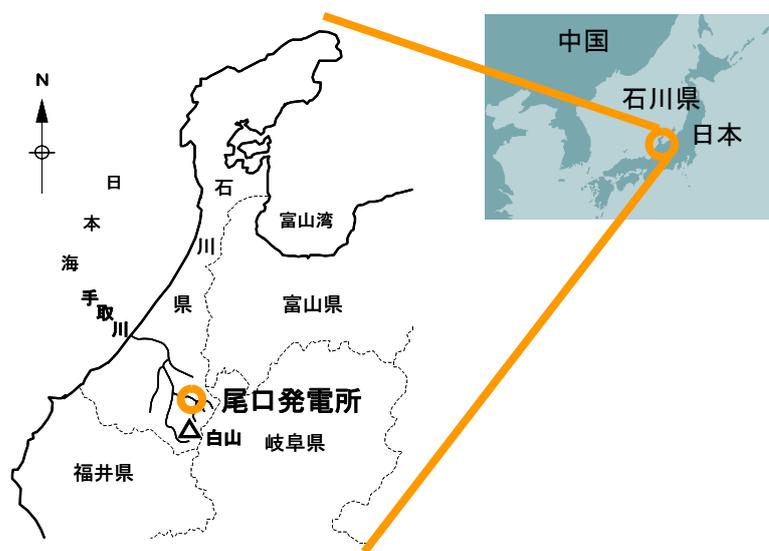


図 1 プロジェクト地点（尾口発電所）の位置図

表 1 尾口発電所（第一水路）の更新前後の諸元

項 目		更新前	更新後
発電所	主機台数	2 台	2 台
	最大出力	11,500kW	12,000kW
	有効落差	159.44m	158.50m
	使用水量	8.85m <sup>3</sup> /s	8.85m <sup>3</sup> /s
水車	形式	横軸複流フランシス水車	横軸単輪単流フランシス水車
	水車出力	6,900kW	6,260kW
	流量	5.31m <sup>3</sup> /s	4.43m <sup>3</sup> /s
発電機	発電機出力	7,125kVA	6,280kVA
	発電機電圧	6.6kV	6.6kV
	回転数	720min <sup>-1</sup>	600min <sup>-1</sup>

## 2. プロジェクト（更新/増強）の内容

### 2.1 誘因と促進要因（具体的なドライバー）

- ・ 状態，性能，リスクの影響度等
  - (A)老朽化／故障頻発-(d)保守性向上
  - (B)環境劣化-(a)河川環境の改善
  - (C)発電機性能向上の必要性-(b)発電用途の変更，機能付加
- ・ 価値（機能）の向上  
（該当なし）
- ・ 市場における必要性  
（該当なし）

#### (1) 尾口第一ダム

当ダム地点は、標高 550m、周辺は標高 1,500m 程度の山々に挟まれた県内有数の豪雪地帯に設置されており、また、ダムへのアクセスとなる道路は降雪によって 12 月から 5 月の期間は閉鎖されることから、この期間のダム勤務員の交替は、冬期隧道を 1 時間の徒歩により行う必要があり、ダム勤務員にとって過酷な業務となっている。

また、本ダムは、利用水深を有しない取水池であるため、少量の降雨でもゲート放流が必要となり、年間 200 日程度のゲート放流を行っている。特に、山間地であるため、集中豪雨やゲリラ降雨による急減出水があり、的確な出水予測に基づく迅速な放流判断を行う必要があり、熟練者と言えども心労の多いダムである。

このため、今回のプロジェクトにおいて、本ダムを改良することとなった。

#### (2) 水車および発電機

尾口発電所の水車（横軸複流フランシス水車 2 台）および発電機（三相交流同期発電機 2 台）は、運転開始以来約 70 年が経過し、水車部材の摩耗・亀裂、発電機の絶縁性能低下が進み、補修による機能回復が困難な状態であったことから、更新工事（設備諸元は表 1 参照）を実施した。この更新工事にあわせ、北陸電機製造株式会社と共同開発した HD サーボを採用し、水車ガイドベーン制御の圧油レス化を行い、保守性、環境性の向上を図った。



図2 更新前の圧油サーボと更新後のHDサーボ

## 2.2 経緯

1938年	尾口発電所の運開
2009年	1, 2号更新工事 着工
2011年	1, 2号更新工事 竣工

## 2.3 内容（詳細）

### 1-f) 環境保全及び改善

尾口第一ダムの改造工事においては、以下の環境保全及び改善に配慮した。

- ・工事期間の設定

工事期間の設定は、当ダム地点周辺に生息する稀少猛禽類であるイヌワシへの影響（特に繁殖期）を配慮し決定した。

環境省や石川県と協議した結果、イヌワシが営巣する12月から雛が大きくなる5月上旬を避けること、また、5月初旬にはダム周辺の林道の除雪も完了し、一般車両の通行量も多くなってくるので、工事による影響は小さいと考えられることから問題ないこと等の指導を頂いたことから、工事期間を原則5月初旬から11月末と決定した。

- ・景観への配慮

当ダムは白山国立公園第2種特別地域に位置していることから、新たに打設するコンクリート表面の着色(黒色)およびコンクリート表面の擬岩化(流水が越流するダム越流部などを除く)など景観に配慮した内容を設計に盛り込んだ。

- ・コンクリートガラの有効利用

ダム改修工事に伴い発生するコンクリートガラ（約3,000m<sup>3</sup>）は産業廃棄物として場外搬出せず、出きる限り現地で再生砕石化し、当社敷地内で有効利用することにより、環境への負荷の低減を図った。

- ・その他

このほか、工事に伴う立木の伐採や土地の形状変更を最小限に止めるような工事計画の策定に努めるとともに、工事完了後の復旧に関しても、待ち受け型の緑化を採用することで、現状の植生への影響を最小限とするよう計画を進めた。

## 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

### 2-b) 保護と制御に関するシステムの改良

水力発電所の水車ガイドベーン等を制御するサーボモータとして、一般的には油圧サーボモータや電動サーボモータが採用されているが、近年、中小水力発電所では、電動機と正逆転可能な油圧ポンプ、油圧シリンダを組合せたハイブリッドサーボも採用され始めている。

当社は北陸電機製造株式会社と共同で一般産業用のハイブリッドサーボに改良を加え、水力発電所でも適用可能な安価なハイブリッドサーボ（以下、「HDサーボ」という）を開発しており、当社中小水力発電所に順次採用している。

今回、尾口発電所の水車、発電機の更新工事においてHDサーボを採用した。

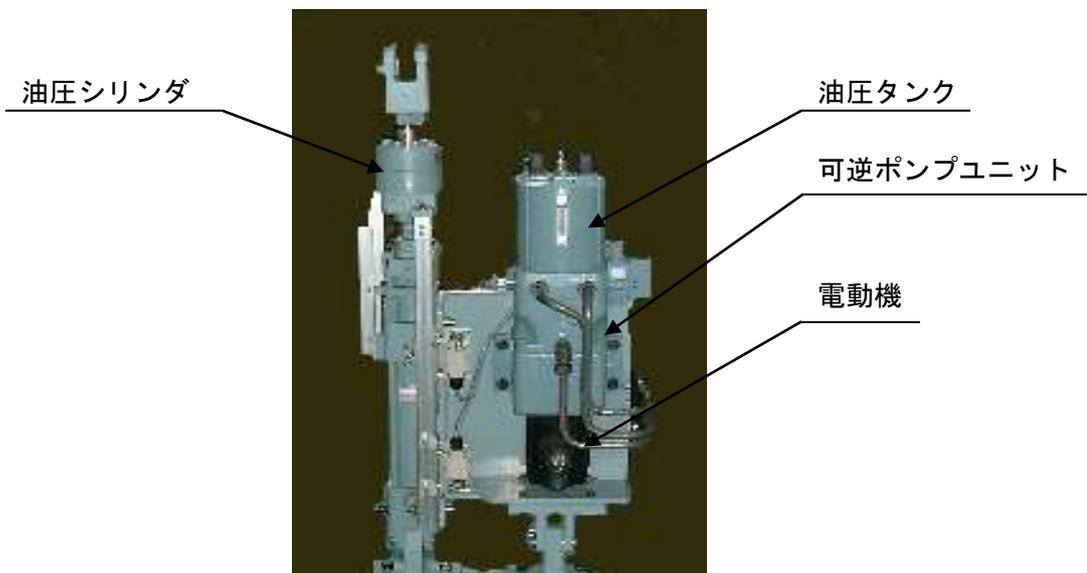


図3 HDサーボ本体外観

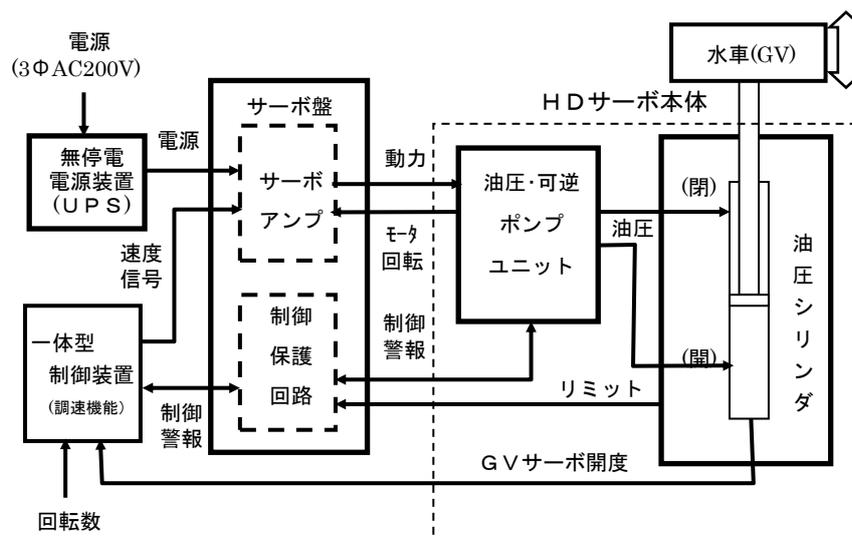


図4 システム構成図

主な改良点は、

- ・ 操作電源喪失時でも制御を継続し水車を安全に停止させることができるよう無停電電源装置（UPS）を追加（図5参照）
- ・ HDサーボが故障した時でもガイドベーン（あるいはニードル）を自己閉鎖力で「全閉」できるよう油圧バイパス回路を追加（図6参照）
- ・ 長寿命化のため、油圧シリンダのパッキン材質を変更
- ・ 設置スペースに制約がある場合を考慮し、油圧シリンダと可逆ポンプユニットを別置可能な構造としたこと

である。HDサーボはその他にも以下の特徴がある。

- ・ 一般産業用油圧シリンダ・可逆ポンプユニットを採用
- ・ 駆動用電動機は汎用の交流電源駆動方式を採用

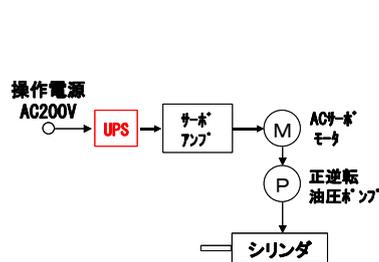


図5 UPSの追加

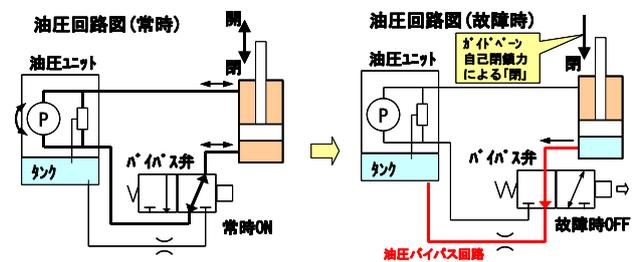


図6 油圧バイパス回路の追加

## 2-c) 土木建築分野の技術革新、適用拡大、新材料

今回、洪水吐ゲートも約70年経過し老朽化していることから、尾口第一ダムの改修について、①ゲートレス化案、②洪水吐ゲート取替案、③上流発電所（三ツ又第一発電所）との直結案について、コストメリット及びダムの管理方法を検討し、①のダム洪水吐ゲートを撤去しダムを無人化するゲートレス化案が最も経済的で放流に対する安全性に優れていることから、ゲートレス化案を採用することとした。

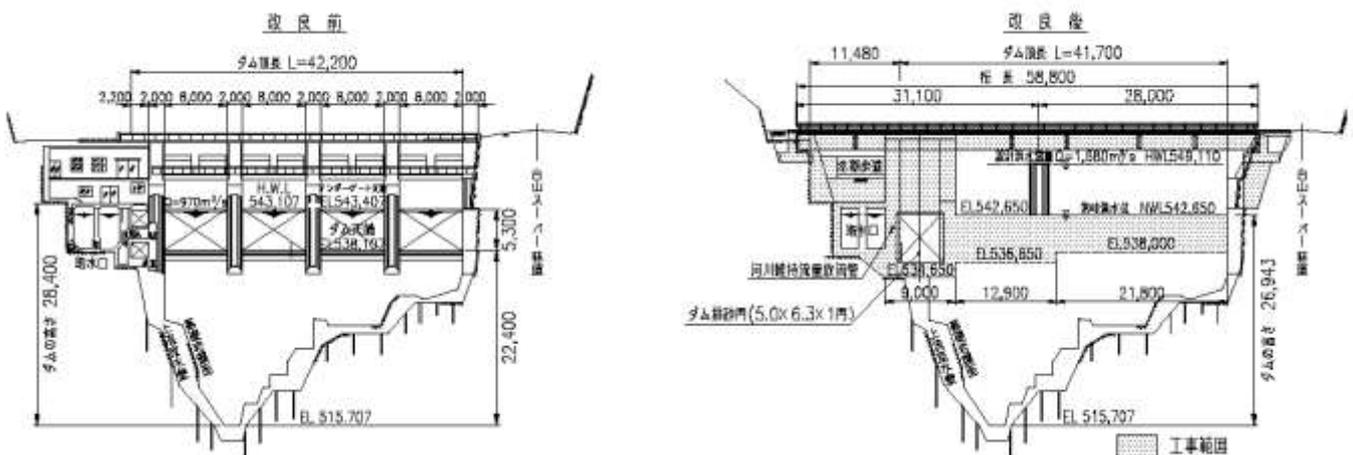


図7 尾口第一ダム改修工事前後のダム正面図



図8 尾口第一ダム改修工事前後のイメージ図

表2 尾口第一ダム諸元

項目	改修前	改修後
集水区域面積	101.21km <sup>2</sup>	
取水量	8.85m <sup>3</sup> /s	
ダム貯水容量	—	
洪水処理能力	970m <sup>3</sup> /s	1,680m <sup>3</sup> /s
設計洪水位	HWL.543.107	HWL.549.110
常時満水位	NWL.543.107	NWL.542.650
洪水吐	ラジアルゲート4門 H5.0m×B8.0m	ダム越流式 B=41.0m
排砂ゲート	B2.20m×H2.53m	B5.0m×H6.30m
ダム高さ	28.40m	26.943m
ダム頂長	42.2m	41.7m
堤体積	9,000m <sup>3</sup>	10,700m <sup>3</sup>
越流幅長	32.0m	34.7m
通路橋	L42.2m×B3.0m 4径間	L59.3m×B3.5m 2径間

### 3. プロジェクトの特徴

#### 3.1 好事例としての要素（注目点）

当社要求仕様（主な性能確認試験の結果は表3参照）を満足しつつ電動サーボ方式と比較して2割程度コストを抑えつつ、既設の圧油サーボ方式に比べ、保守性、環境性の向上を図った。

表3 主な性能確認試験の結果

性能確認項目	確認結果	判定基準	判定
ガイドベーン 開閉速度特性		<ul style="list-style-type: none"> <li>入力指令電圧に対し、サーボ移動速度が直線であること。</li> <li>開閉速度を設定値に調整できること</li> </ul>	良
不動時間	0.11 秒	0.3 秒以下	良

#### 3.2 成功の理由

HDサーボと他方式のサーボとの比較を表4に示す。HDサーボは、圧油サーボに比べて構成機器が少なく、また、油もほとんど使用していないことから、保守性、環境性が向上している。また、HDサーボは一般産業用のハイブリッドサーボモータを採用していることの効果で、電動サーボ方式に比べ、2割程度コストが低減している。

表4 HDサーボと他方式のサーボとの比較

	HDサーボ[今回採用]	圧油サーボ[既設]	参考：電動サーボ
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サーボアンプ</li> <li>・油圧ユニット</li> <li>・油圧シリンダ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧油タンク，圧油集油槽，圧油ポンプ</li> <li>・配圧弁，電磁弁，圧油配管</li> <li>・油圧シリンダ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サーボモータ，アンプ</li> <li>・パワーシリンダ</li> </ul>
方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サーボモータと可逆ポンプセットから，直接油圧シリンダを駆動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配圧弁，電磁弁で圧油を制御して油圧シリンダを駆動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サーボモータの回転運動を減速機とボールネジを介してパワーシリンダの直線運動に変換</li> </ul>
保守性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定期的な操作油の交換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構成機器が多く，かつメンテナンスが煩雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボールネジの定期的なグリス補給</li> </ul>
環境性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作油として極少量の油を使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多量の油を使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・油レス</li> </ul>
経済性	約80%	—	100%

#### 4. 他地点への適用にあたっての留意点

HDサーボの適用範囲は、水車出力 10,000kW以下のフランシス水車・プロペラ水車及びペルトン水車を対象としている。

#### 5. その他（モニタリング、事後評価）

HDサーボの導入実績は表5のとおりで、現在までに11台導入している。導入から6年程度経過しているが、特に問題はない。

表5 HDサーボの導入実績

導入年	発電所	水車出力 (kW)	水車型式
2006年	福岡第一発電所 4号機	1,680	立軸フランシス
2008年	折立発電所 2号機	2,120	横軸ペルトン
2010年	上滝発電所 3号機	4,160	横軸フランシス
2010年	折立発電所 1号機	2,120	横軸ペルトン
2011年	尾口発電所 1, 2号機	6,260×2台	横軸フランシス
2011年	東勝原発電所	2,970	立軸フランシス
2011年	布施川発電所	650	立軸フランシス
2012年	九谷発電所 1, 2号機	1,045×2台	横軸ペルトン
2012年	折立(増設)発電所	4,100	横軸フランシス

#### 6. 参考情報

##### 6-1 参考文献

電気評論 平成18年新年号

##### 6-2 問合せ先

会社名：北陸電力株式会社

URL: <http://www.rikuden.co.jp/>