

水力発電設備プラント納入事例紹介

石原 宗 So Ishihara
今岡宣普 Nobuhiro Imaoka
猪瀬和弥 Kazuya Inose

キーワード プラント、エンジニアリング、品質

概要



水力発電所

当社では水力発電設備を納入する場合、発電機・受変電設備などの主要電気機器を自社製作し、水車及び周辺補機は水車メーカーなどへ発注している。現地工事は当社工事部門が施工管理し、多数の機器を発電システムとして連携・機能させる。水力発電所は、設置地点の水利条件・有効落差など、一つとして同じものはない。このような中で、お客様の要望を実現するためには、調達機器の仕様決定、プラントエンジニアリング、現地での施工・工程管理など全てが重要である。

水力発電への注目は高まっており、今後も継続することが予想される中、当社は脱炭素社会の実現に向け、新しい世代への技術継承とともに、計画から保守管理まで含めたトータルプラントエンジニアリングを実施していく。

1 まえがき

最近納入した水力発電プラント事例では、新設・スクラップアンドビルド・既設機器の一部更新・オーバーホールがある。当社は、主要電気設備である発電機・制御盤・キュービクル形ガス絶縁開閉装置（C-GIS）・主要変圧器・所内変圧器・直流電源装置を自社で製作している。水車及び水車周辺機器は仕様決定に至るエンジニアリングを行い、水車メーカーなどへ発注している。特に制御盤は新しい製品・技術を適用している。

エンジニアリングは、プラント納入の品質向上を目的とした活動も強化している。一例として、工場内出荷前自主検査では発電機の回転試験を実施している。また、現地施工及び試験では、プラント全体をとりまとめる技術者を配置することで、各調達先との連携強化を図っている。

本稿では、2020年・2021年・2022年に竣工した発電所の中から四か所を紹介する。

2 納入プラント事例紹介

2.1 熊本県企業局 市房第二発電所

2.1.1 発電所概要

本発電所は、球磨川水系球磨川の幸野ダムの調整池に貯留した水を、ダム左岸に設けた取水口から導水し、かんがい用水量を差し引いた残留量を調圧水槽へ導き、水圧鉄管を経て水車発電機1台で最大出力2400kWを発電し、球磨川へ放水するダム水路式発電所である。この発電所の発生電力は、66kVに昇圧され送電される。既存設備を撤去し新規製作の水車発電設備を設置するスクラップアンドビルドの工事である。

2.1.2 納入システム概要

主要納入品は、以下のとおりである。

(1) 水車

形式：立軸単流単輪渦巻カプラン水車

最大出力：2480kW

最大流量：14.0m³/s

有効落差：20.15m

回転速度：400min⁻¹

(2) 発電機

形式：立軸回転界磁出口管通流形三相同期発電機

出力：2700kVA

電圧：6600V

極数：18極

周波数：60Hz

(3) 配電盤・制御盤

高圧キュービクル：5面

制御盤及び低圧盤：12面

第1図に発電機を、第2図に制御盤を示す。

2.1.3 技術的特長

(1) ランナベーン操作機構の電動化 第3図にランナベーンサーボを、第4図に水車制御盤・調速機制御盤を示す。ランナベーンの油圧操作機構は、



第1図 発電機

立軸同期発電機の外観を示す。本発電所は発電機をバレルに据え付け、水車の点検はバレル横の監査路からアクセスする。



第3図 ランナベーンサーボ

カプラン水車のランナベーン制御機構は立軸発電機のため、励磁機の上部に取り付ける構造となっている。



第2図 制御盤

一体形制御装置及び送電線保護継電器を収納した配電盤を列盤としている。



第4図 水車制御盤及び調速機制御盤

水車制御盤・調速機制御盤の外観を示す。ガイドベーン・ランナベーンの制御機器を収納している。

水力の課題であるオイルレス化を図るとともに、補機が不要でメンテナンスしやすい電動機構に変更した。操作機構は発電機励磁機の上部に搭載される。また、ランナベーンの駆動は主軸を通過し、ランナより先端にあるランナベーンの開度を調整している。

(2) 工場出荷前に回転子試験実施 本発電機は、工場内での回転試験実施で性能を確認できるため、現地試験項目を省略し、工期短縮にも寄与する。

2.2 群馬県企業局 八ッ場発電所

2.2.1 発電所概要

八ッ場発電所は、八ッ場ダムから取水し、両掛フランシス水車で最大出力11,700kWを発電し、発電した電力は東京電力パワーグリッド(株)の送電線に送電される。

2.2.2 納入システム概要

主要納入品は、以下のとおりである。

(1) 水車

形式：横軸二輪単流渦巻両掛フランシス水車

最大出力：12,600kW

最大流量：13.6m³/s

有効落差：最高105.80m

回転速度：600min⁻¹

(2) 発電機

形式：横軸回転界磁出口管通流形三相同期発電機

出力：12,400kVA

電圧：6600V

極数：10極

周波数：50Hz

(3) 主要変圧器

形式：油入自冷式

相数：3相

容量：12,400kVA

電圧：6.45kV/F69-F67.5-R66-F64.5kV

(4) ガス絶縁開閉装置

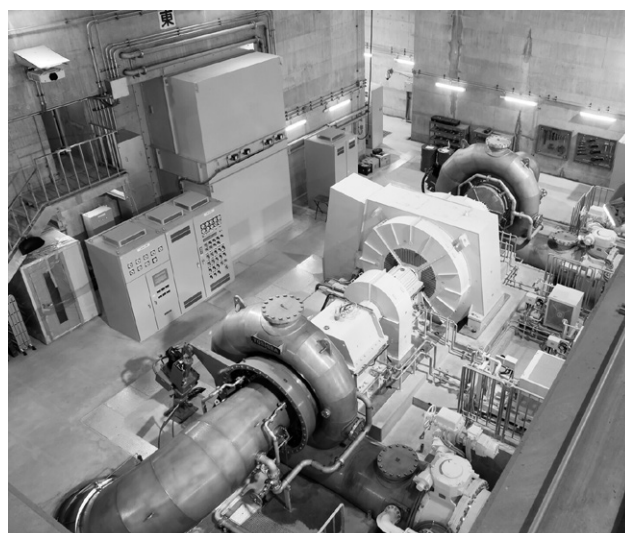
形式：C-GIS

定格電圧：72kV

定格遮断電流：20kA

構成：遮断器・断路器・接地開閉器など

(5) 配電盤・制御盤



第5図 水車発電機

水車発電機・入口弁・主機を操作する水車制御盤を配置している。



第6図 C-GIS

受電設備のC-GIS外観を示す。ガス封入による絶縁を行っている。

高圧キュービクル：8面

制御盤及び低圧盤：21面

第5図に水車発電機を、第6図にC-GISを、第7図に主要変圧器を示す。

2.2.3 技術的特長

(1) 水車単輪運転時のランナシール冷却 横軸二輪単流渦巻両掛フランシス水車を適用し、単輪と両輪の切り替え運転を行うことで、変落差・変流量に対応した。単輪運転時は停止号機ランナが空転することで、停止号機のランナシール部が風損によって発熱する。ランナシール部の放熱(冷却)を行う方法として、停止号機のガイドベーン及び関連する配



第7図 主要変圧器

受電電圧（系統電圧）に発電機電圧を昇圧するための主要変圧器を示す。

管を自動的に全開にすることで、ランナシール部を空冷する方式を採用した。空冷とすることで、冷却注入水用の補機削減及び冷却水使用量の管理が不要となる。

(2) PLC (Programmable Logic Controller) 電源の二重化 発電機制御用PLC電源を二重化し、システムの信頼性を向上させた。

2.3 大分県企業局 大野川発電所

2.3.1 発電所概要

本発電所は運転開始後60年以上が経過し、老朽化が顕著であることから、発電所建屋も含めた設備を更新した。2021年12月から運転を開始し、最大出力10,100kWで66kV県電大野川大南線を通じて連系し、電力会社へ送電される。

2.3.2 納入システム概要

主要納入品は、以下のとおりである。

(1) 水車

形式：立軸単輪単流渦巻フランシス水車

最大出力：10,510kW

最大流量：26.0m³/s

有効落差：46.444m

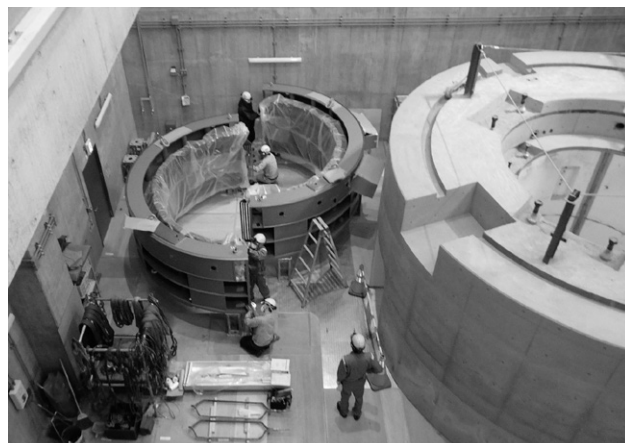
回転速度：257min⁻¹

(2) 発電機

形式：立軸回転界磁出口管通流形三相同期発電機

出力：11,000kVA

電圧：6600V



第8図 発電機の現地組み立ての様子

発電機固定子を現地で組み立てている。

極数：28極

周波数：60Hz

(3) 主要変圧器

形式：油入自冷式

相数：3相

容量：11,000kVA

電圧：6.45/66kV

(4) 屋外開閉設備

形式：オープン形

定格電圧：72kV

定格遮断電流：31.5kA

構成：遮断器・断路器・変成器・避雷器

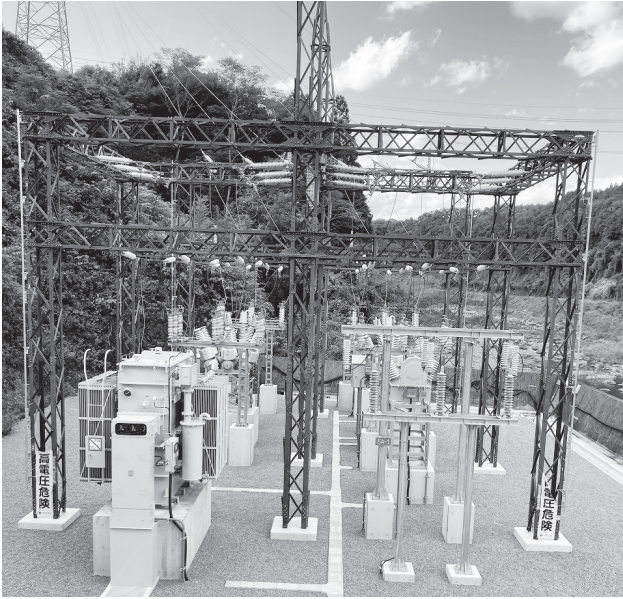
(5) 配電盤一式

高圧キュービクル：7面

制御盤及び低圧盤：18面

2.3.3 技術的特長

(1) 発電機の現地組み立て 本発電所の発電機は28極で、体格が大きいため絶縁方式がヒートプレス方式である。そのため、発電機は工場ではなく現地で組み立てた。固定子は二分割で搬入し、分割部のコイルはめを現地で行い、接続部を絶縁した。また、回転子は主軸・リム・回転子巻線・界磁リード線など各々分割して搬入し、現地で組み立て、回転子巻線と界磁リード線の接続部を絶縁した。固定子・回転子とも組み立て完了後、現地で耐電圧試験を実施し、絶縁の有効性を確認した。第8図に現地組み立ての様子を示す。



第 9 図 受電設備

屋外開閉装置の外観を示す。

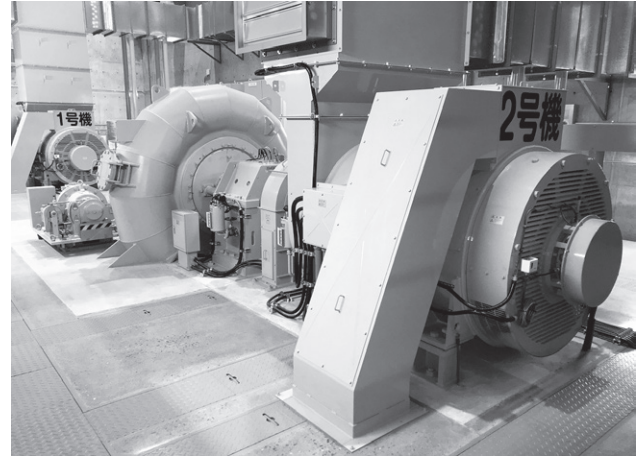
(2) 次世代盤の適用 制御盤には、当社製「全機能一体形制御保護システム（次世代盤）」を適用した。次世代盤はMASTER盤とSLAVE盤から構成され、MASTER盤を制御室に、SLAVE盤を水車や補機の近くに設置することで、ケーブル布設作業を低減し、工期短縮につながる。本発電所は、立軸水車発電機の発電所であることから、地下3階～地上1階まで4フロアに分かれており、地下1階と1階にSLAVE盤を配置することで、工期短縮を実現した。

(3) 受変電設備の水没対策 本発電所は河川堤防のそばに設置されるため、冠水水位を考慮し、屋外に設置する受変電設備の据え付け高さをグラウンドレベル（G.L.）から3m高くした。3m高くするにあたり、耐震上問題にならないよう考慮し、機器架台高さとコンクリート高さを決定した。第 9 図に受変電設備を示す。

2.4 長野県企業局 西天竜発電所

2.4.1 発電所概要

本発電所は、1961年に老朽化した西天竜幹線水路の改修と非かんがい期におけるエネルギー有効活用を目的で建設された。今回の工事は、老朽化した設備更新とともに、かんがい期も余剰水を利用し、通年運転を行うことを目的としている。



第 10 図 発電所内の水車発電機

横軸フランシス水車発電機を2台配置している。

2.4.2 納入システム概要

(1) 水車：2台

形式：横軸単輪単流渦巻フランシス水車

最大出力：1516kW

有効落差：63.95m

最大流量：2.78m³/s

回転速度：720min⁻¹

(2) 発電機：2台

形式：横軸回転界磁出口管通流形三相同期発電機

出力：1600kVA

電圧：6600V

極数：10極

周波数：60Hz

(3) 主要変圧器

形式：油入自冷式

相数：3相

容量：3200kVA

電圧：6.45/22kV

(4) ガス絶縁開閉装置

形式：C-GIS

定格電圧：24kV

定格遮断電流：25kA

構成：遮断器・断路器・接地開閉器など

(5) 配電盤一式

高圧キュービクル：7面

制御盤及び低圧盤：18面

第 10 図に水車発電機を示す。



第11図 統合制御盤

制御盤は次世代盤を採用しているが、この発電所は水車発電機が2台構成のため共通制御をつかさどる統合制御盤を納入した。

2.4.3 技術的特長

- (1) 当社の主力製品「全機能一体形制御保護システム（次世代盤）」を採用し、複数台発電設備の共通制御を行う統合制御盤を納入した。第11図に統合制御盤を示す。
- (2) 遠隔での計測・保護項目の表示・操作とともに、日々の帳票の出力補助などに活用できる監視制御装置も併せて納入した。モノのインターネット（IoT）を活用した保守高度化の取り組みに期待できる。

3 水力発電プラント品質向上への取り組み

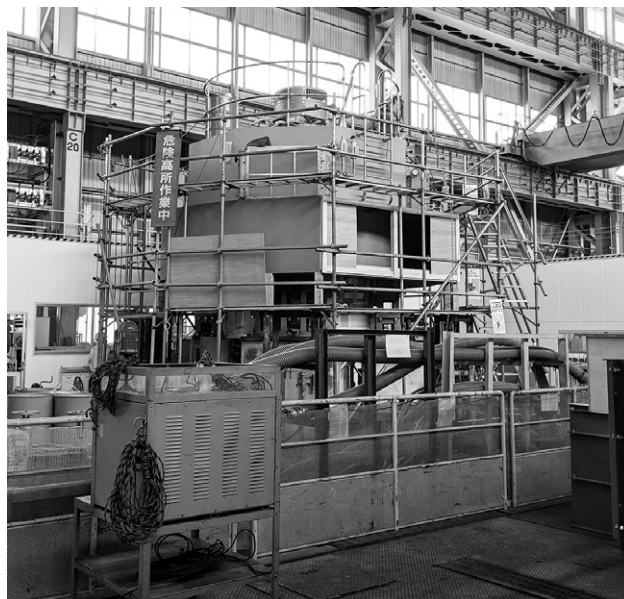
3.1 発電機出荷前回転試験実施

3.1.1 実施範囲と目的

横軸機は全機器を、立軸機は実施できるもの（出力と回転数による）を出荷前に回転試験を実施する。これにより、立軸機の性能を事前に確認できる。第12図に工場内での回転試験の様子を、第13図に発電機の現地完成状態の様子を示す。

3.1.2 結果

現地有水試験前に性能を確認できる工場回転試験を行うことで、組み立て状況を事前に把握できるとともに、現地で実施する発電機の試験を省略することで工程短縮へ寄与できる。



第12図 工場内回転試験の様子

工場試験の様子を示す。出荷前に仮組みし、実際に回転させて性能を確認する。



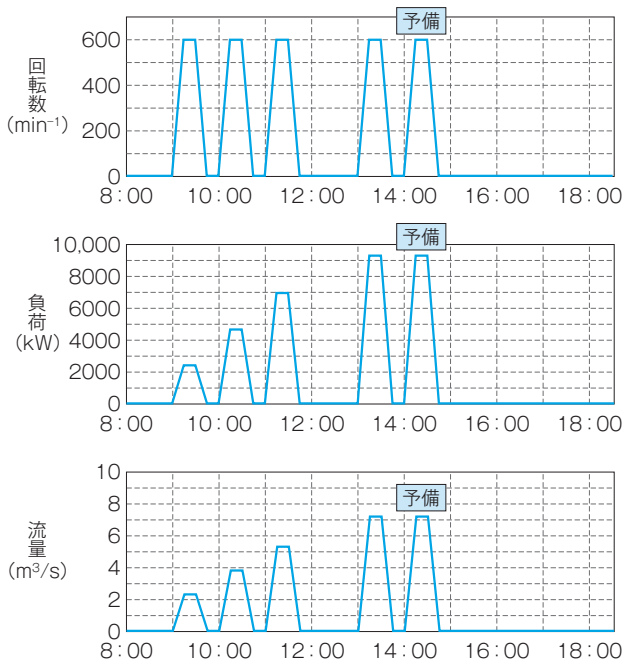
第13図 発電機の現地完成状態

第12図で試験した機器を実際に据え付けした状態を示す。

3.2 現地試験プラントまとめ技術者

3.2.1 目的

多数の電気機器、水車・補機などの機械製品を現地で組み合わせて機能させるには、機器単体とこれらを組み合わせて性能を検証するために事前に十分な検討が必要となる。このため、プラントまとめ技術者は、試験項目・工程・水運用・試験用電源確保など、早期に試験計画を立案する。



第14図 有水試験使用水量計画（試験方案から抜粋）

負荷遮断試験を実施するにあたり、事前に水使用量をお客様に説明し、現地の有水試験に臨む。

3.2.2 実施内容

- (1) 現地工事工程と機器搬入、現地工事工程と試験工程の整合を検討し、現地進捗に合わせ無水・有水試験方案書、試験工程表を作成する。
- (2) 停電・受電・充水などを計画立案し、お客様と協議・連携を図る。
- (3) 各機器の試験員の安全管理とホールドポイントを設定し、各実施試験結果を判断し、次工程への着手許可及び現場へのフィードバックを行う。
- (4) 使用水量パターンと有水試験実施要領の検討を行う。現場ごとにお客様使用水量に制約がある場合が多く、設備試験の都合で進めることができない場合の対処方法などをあらかじめ協議する。**第14図**に有水試験使用水量計画を示す。
- (5) 試験結果に対する総合的判断を行う。

3.2.3 効果

- (1) 現地情報の管理と現地への指示体制が確立した。
- (2) お客様との連携強化を実現した。
- (3) 現地工事とのスケジュール調整によって、確実な試験を遂行した。
- (4) 試験方案書・報告書まとめの質が向上した。

4 むすび

2020年・2021年・2022年に竣工を迎えた発電所の中から四か所を紹介した。脱炭素社会の実現に向けた世界的なエネルギー利用で注目される水力発電の利用活性化に伴い、水力発電プラントエンジニアリングへの対応能力がより一層求められている。当社には水力発電の長い歴史がある。この財産を次の世代に引き継ぐことも持続可能な事業への重要な取り組みであるため、技術継承を強化推進している。今回紹介した納入事例は、新しい世代が担当し納入している。

発電設備を計画・基本設計の段階から、実施設計・製造・据え付け工事・試験調整・保守管理など一貫したトータルプラントエンジニアリングを実施し、今後もより信頼性の高い設備納入のため、実績を積み水力発電設備利用の普及に貢献できるように尽力する所存である。

末尾ながら、お客様の熊本県企業局・群馬県企業局・大分県企業局・長野県企業局をはじめ、ご指導・ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝の意を表する次第である。

・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》



石原 宗
So Ishihara

水力事業推進本部技術部
水力発電設備のエンジニアリング業務に従事



今岡 宣普
Nobuhiro Imaoka

水力事業推進本部技術部
水力発電設備のエンジニアリング業務に従事



猪瀬 和弥
Kazuya Inose

水力事業推進本部技術部
水力発電設備のエンジニアリング業務に従事