

産業用フィールドネットワーク対応 水力発電用全機能一体形制御保護 システムの適用拡大

伊藤健二 Kenji Ito
中村拓海 Takumi Nakamura

キーワード 水力発電, クリーンエネルギー, 制御装置, 高速通信, 保守省力化

概要



再生可能エネルギーの推進を目的に固定価格買取制度（FIT）が導入されたが、日本のエネルギー自給率は低い水準である。そのため、エネルギー自給率向上を目指す社会動向を後押しに、水力市場は活気を帯びている。当社は、水力発電設備の普及拡大に向け多様な要求に応えるため、新製品や最適システムを提供する。特に一般水力分野では、装置の小形・軽量化及び保守省力化の要求が多く、これらに対応してきた。

新たに、水車発電機を複数台保有する水力発電設備向けに、最大4台分の制御を実現する共通制御盤を、産業用フィールドネットワーク対応水力発電用全機能一体形制御保護システムの製品ラインアップに追加した。また、更なる保守省力化に貢献する相関関係グラフ、始動測定・停止測定グラフ表示機能を保守支援装置へ拡充した。

1 まえがき

世界的にカーボンニュートラルを目標とした活動が促進される中、日本でも再生可能エネルギーの推進を目的とした固定価格買取制度（FIT）が2012年7月から導入された。しかし、日本のエネルギー自給率は11.2%（2020年度）と低い水準となっている。

再生可能エネルギーの中でも水力は、太陽光や風力に比べ安定供給ができることから、信頼性の高い電源として期待され、またエネルギー自給率の向上を目指す社会動向を後押しに水力発電市場は活気を帯びている。

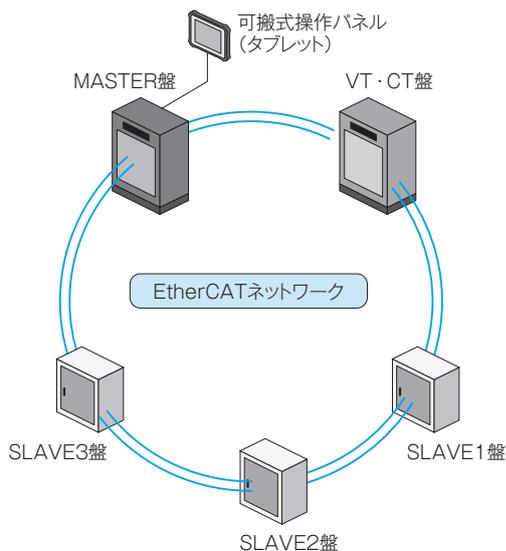
こうした中、当社でも水力発電の普及拡大に向け多様な要求に応えるため、2011年に保守省力化に貢献する保守支援装置を開発し、2015年に産業用

フィールドネットワークに対応した水力発電用全機能一体形制御保護システム（次世代形制御装置）を開発した。本稿では、更なる水力発電所の要求に対応するため開発した次世代形制御装置の複数台対応システム及びそれに付随する保守支援装置の新機能を紹介する。

2 機能拡充の背景

2.1 次世代形制御装置

第1図に従来システムの構成を示す。従来システムでは、水車発電機1台の発電所のみでの適用であった。水車発電機2台以上保有する発電所でも次世代形制御装置の適用拡大を図るため、応水・自動負荷調整（ALR）制御など号機間共通制御機能を実



- ・冗長化システムを構成(1か所でケーブルが断線してもシステムは継続)
- ・盤間が100mを超える場合は光ケーブルで接続可能

| MASTER盤 | |
|--------------|----------------------|
| 電源装置 | AC/DC突き合わせ入力電源 |
| コントローラ | 主制御部, EtherCATマスター搭載 |
| タブレットスレーブ | タブレット通信部 |
| 通信装置 | IP-TC子局, Web監視装置 |
| VT・CT盤 | |
| VCTスレーブ | VT・CT二次入力, 保護継電器部 |
| VTT・CTT | 保護継電器用試験端子 |
| タブレットスレーブ | タブレット通信部 |
| SLAVE盤 | |
| SLAVE1盤 | |
| 緊急停止スレーブ | システム異常時のバックアップ停止回路部 |
| EtherCATスレーブ | 入出力部(遮断器・水車制御盤ほか) |
| SLAVE2盤 | |
| FDスレーブ | SSG速度検出部 |
| EtherCATスレーブ | 入出力部(入口弁・ブレーキ・補機ほか) |
| SLAVE3盤 | |
| EtherCATスレーブ | 入出力部(GOV盤・サイリスタ盤ほか) |
| タブレットスレーブ | タブレット通信部 |

※現場の状況によって、システム構成や内部収納機器が異なる場合がある。

第1図 従来システム構成

水車発電機1台に対し、MASTER盤、VT・CT盤、SLAVE盤から構成される。

現する共通制御装置を開発し、2019年に製品化した。

2.2 保守支援装置

水力発電所の多くは山間部に位置し、巡視点検を容易に行うことが困難である。保守の観点から容易に情報収集をする装置の需要が高まっており、従来の保守支援機能に加え、異常兆候検知による予防保全や設備点検省力化の要求に対応する「相関関係グラフ」「始動測定・停止測定グラフ表示」機能を拡充した。

3 次世代形制御装置の複数台対応

3.1 仕様及び外観

第1表に共通制御盤仕様、第2表に外観と仕様を示す。本装置では、水車発電機最大4台分の応水・ALR・流量制御を実現する。共通制御盤故障時も運転継続することを基本思想とし、水調制御機能は各号機のコントローラに実装した。装置外観及び監視操作は、従来形装置の特長である小形・軽量化及びタブレットによる監視操作を踏襲した。第2図にタブレット画面例を示す。

第1表 共通制御盤仕様

高速通信及びネットワーク冗長化を継承しつつ、複数台の制御機能を有している。

| 項目 | 仕様 | |
|-----------------|-------|---|
| 盤構成 | 1面 | 二重化電源・コントローラ・保守支援装置・簡易IP-TC |
| 一般仕様 | 電源仕様 | 入力：DC88V～DC286VとAC85～AC253Vの突き合わせ二重化電源 出力：DC110V/3A・DC24V/6A |
| | 温度・湿度 | 温度：0～40℃, 湿度：5～95% (結露しないこと) |
| 制御機能 | 応水制御 | 応水起動水位での起動処理 応水停止水位での停止処理 |
| | ALR制御 | ALR按分処理 |
| | 流量制御 | 流量按分処理 |
| フィールドネットワーク通信仕様 | 通信方式 | EtherCAT 定周期通信(4ms) |
| | 冗長化 | ネットワークの1箇所が断線した場合はループバックし通信継続 |
| 計測・操作 | 可搬型 | タブレット |

3.2 システム構成

第3図に複数台システム構成例を示す。本システムは、通信高速性及び信頼性の観点から通信方式にEtherCATを採用している。共通制御コントローラと各号機コントローラ間は、リング方式の共

通EtherCATネットワークを構築し接続する。伝送システムは冗長化を実現し、LANケーブルが1か所断線した場合でも全号機の伝送を行う。共通EtherCATネットワークで通信断や機能停止した場合、各号機のネットワークが健全である限り、その号機の運転に直ちに支障とならない設計とした。また、各号機のデータは共通制御コントローラに集

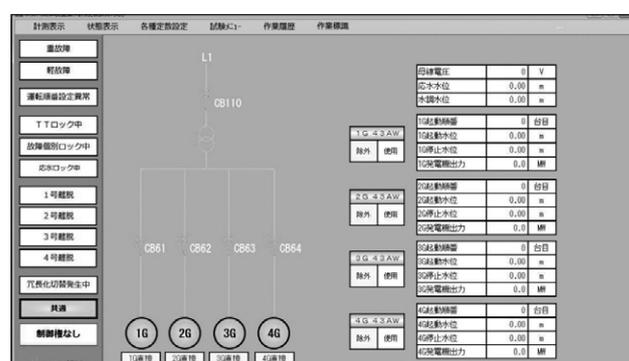
約され、保守支援装置1台で水車発電機複数台分の情報を保守運用に適用できる。

水車発電機が3台以上の場合は、スター方式によるネットワーク構築ができる。第3表に各接続方式のメリット・デメリットを示す。接続方式は、水力発電所ごとの運用方式を加味した上での検討が必要である。

第2表 装置外観と仕様

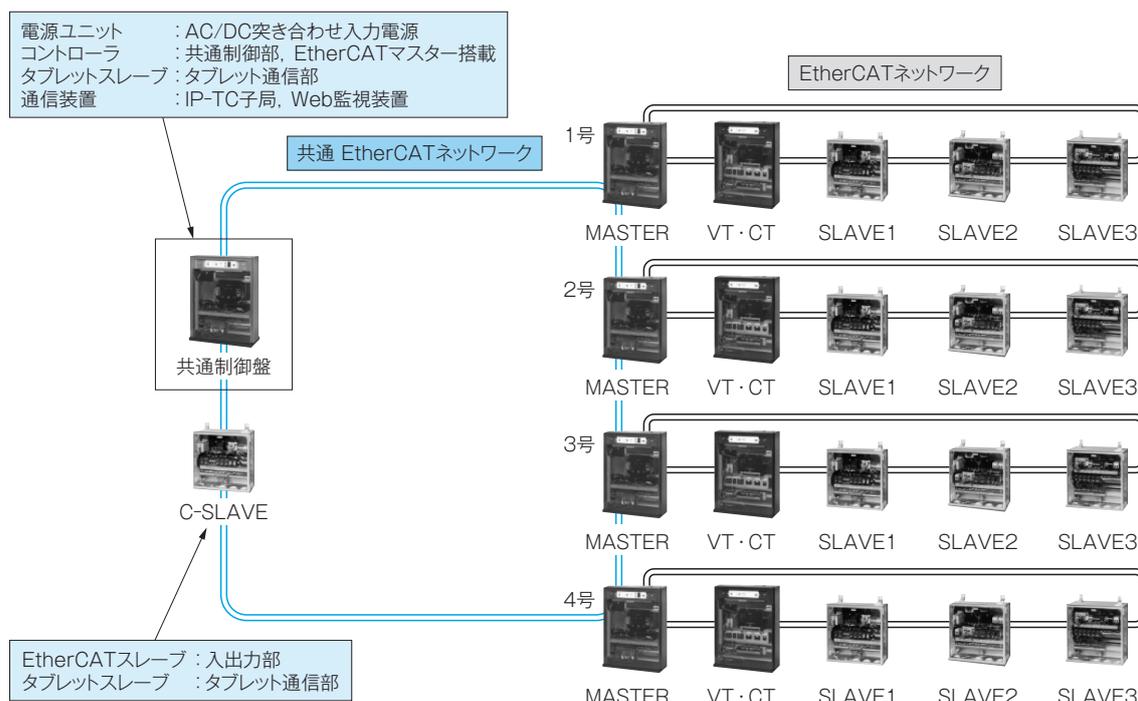
MASTER盤と同寸法・質量で小形・軽量化を実現した。

| | | |
|----|--|-------------------|
| 外観 |  | |
| | 名称 | 共通制御盤 |
| | 構造 | 自立形・前背面メンテ |
| | 外形寸法 | W800×H1050×D350mm |
| | 概略寸法 | 50kg |



第2図 タブレット画面例

最大4台分の監視ができる。



第3図 複数台システム構成例

共通制御盤コントローラと各号機コントローラ間をEtherCATネットワークで接続し、通信高速性及び信頼性を確保した。

第3表 各接続方式のメリット・デメリット

接続方式によってメリット・デメリットがあり、号機台数や発電所の運用によって選択できる。

| | 接続方式 | 特長 |
|-------|------|--|
| リング方式 | | <ul style="list-style-type: none"> 共通制御盤コントローラと各号MASTER盤コントローラはシリーズに接続 分岐スレーブが不要 1・2号MASTER盤コントローラなど、連続号機の故障であれば、3・4号MASTER盤コントローラは共通制御盤コントローラとの通信が可能 |
| スター方式 | | <ul style="list-style-type: none"> 共通制御盤コントローラと各号MASTER盤コントローラはパラレルに接続 故障した号機以外は、共通制御盤コントローラとの通信が可能 |

第4表 発電所仕様

長野県企業局 西天竜発電所の仕様を示す。

| 項目 | 仕様 |
|--------|-----------------------|
| 水系・河川名 | 天竜川水系天竜川 |
| 発電所位置 | 長野県伊那市小沢 |
| 発電方式 | 水路式 |
| 最大出力 | 3200kW |
| 最大使用水量 | 5.56m ³ /s |
| 有効落差 | 63.95m |
| 水車 | 横軸フランシス |
| 台数 | 2台 |

る発電所でも、タブレット1台で共通制御盤及び各号機の監視・操作を実現した。

3.3 導入事例紹介

2022年2月に運用を開始した長野県企業局西天竜発電所に共通制御盤を納入した。第4表に本発電所の仕様を、第4図に据え付け事例を示す。水車発電機2台構成であることから、共通EtherCATネットワークはリング方式とし、共通制御盤に応水制御機能を実装した。

さらに共通制御盤に水位分配回路を実装し、各号機コントローラへ水位をハードワイヤ接続したことで、共通制御盤故障時にも継続運転ができる。



第4図 据え付け事例

共通制御盤1面、MASTER盤、VT・CT盤各2面を配電盤室に設置した。

さらに、タブレット1台を共用として使用できるようにした。これにより、水車発電機4台を保有す

4 保守支援装置の機能拡充

本装置は、発電制御用コントローラに入力されている状態・故障情報・各種計測データを収集する。お客様は汎用ブラウザから情報を閲覧でき、状態履歴表示、計測データのリアルタイムデータのグラフ表示、故障解析グラフ・データ表示など複数の機能を有する。第5表に保守支援装置の機能仕様を、第5図にシステム構成例を示す。新たに「相関関係グラフ」・「始動測定・停止測定グラフ表示」機能を拡充した。

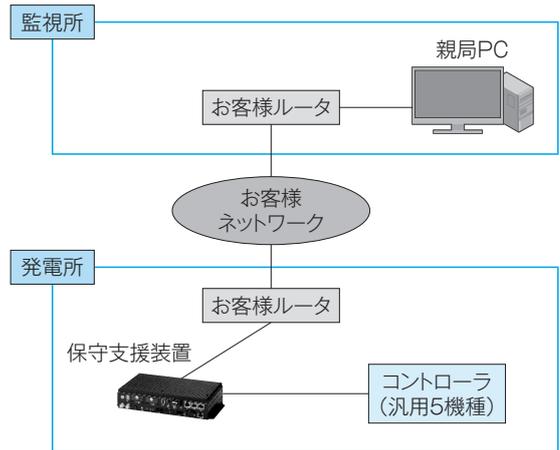
第5表 保守支援装置の機能仕様

新たに相関・関係グラフ表示、始動測定・停止測定グラフ表示機能を拡充した。

| 機能項目 | 内容 |
|--------------------|---|
| 収集点数 | アナログ：96量 接点：320点 共通+最大3台 |
| 接続可能コントローラ | 汎用コントローラの5機種 |
| 画面表示 | 汎用ブラウザ（Chrome又はEdge）で画面表示 |
| 状態・計測表示 | 状態表示・計測表示を定周期（初期値1秒）で表示 |
| 故障表示 | 故障表示を定周期（初期値1秒）で表示 |
| 状態履歴表示 | 状態・故障のON/OFFの履歴を表示（最新を1ファイルに保存） |
| 計測リアルタイム | 現在計測データをグラフ表示 |
| 計測トレンドグラフ・データ | 1分毎の計測データを1日24時間分グラフ・表形式データ表示（計測データは全項目を収集） |
| 故障解析グラフ・データ | 故障発生前10分、後10分（うち発生前60秒、後10秒間は0.1秒周期サンプリング）、1秒サンプリングのグラフ・表形式データを表示（計測データ、状態・故障は全項目を収集） |
| データ保存 | 状態履歴・計測トレンドデータ・故障解析データの各CSVファイルを接続したパソコン上に保存 |
| リアルタイムトレンドデータのCSV化 | リアルタイムトレンドグラフの指定範囲のデータをCSVファイル化 最小0.1秒サンプリング時最大6分間収集可能 |
| 補機動作カウント | ポンプ動作回数・遮断器動作回数などのカウントとリセット |
| 演算機能 | 任意に設定した演算式を設定された周期ごとに行い、結果を出力項目に格納 |
| アナログ項目の予警報機能 | 上限・下限・下限・下限を設定し、設定値を超えた際に履歴登録 |
| 相関関係グラフ | 界磁電流と発電機電圧の関係など2点を $y=ax+b$ のグラフでプロット表示 |
| 始動測定・停止測定 | 始動測定・停止測定のデータをグラフ表示 |

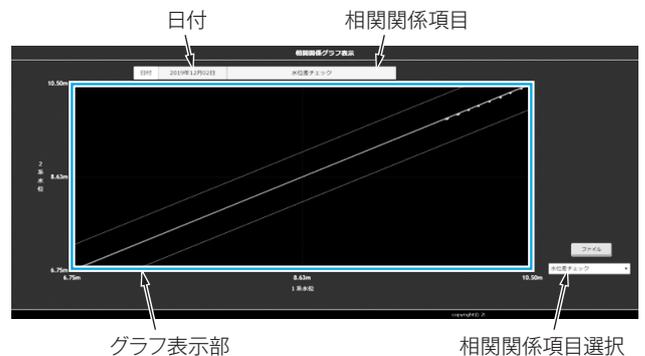
第6図 相関関係グラフ表示画面を示す。収集した計測データから2項目を選択し、傾向を確認できる。さらに範囲線を設定し、範囲逸脱時に状態履歴に「異常」を登録できる。（例えば、2項目に発電機有効電力とガイドベーン開度を選択し相関関係を確認することで、ごみ詰まりなどの要因による出力低下傾向を検知できる。）

第7図に始動測定・停止測定グラフ表示画面を示す。設定した測定開始状態から測定終了状態まで



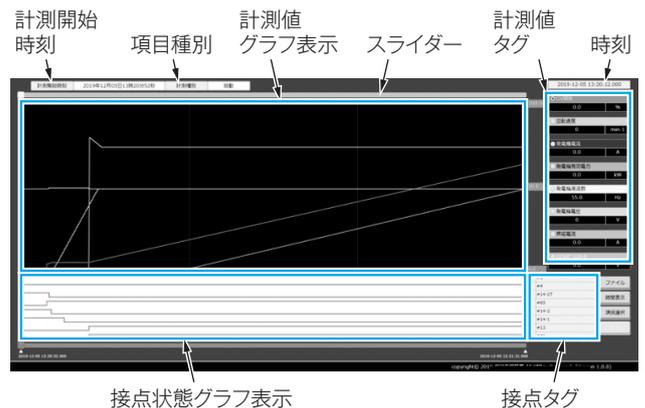
第5図 保守支援装置システム構成例

横河電機株式会社製FA-M3を含む汎用コントローラ5機種と接続できる。



第6図 相関関係グラフ表示画面

設定した計測値2量の相関関係が一目で把握できる。



第7図 始動測定・停止測定グラフ表示画面

始動測定・停止測定のデータをグラフ表示できる。

の計測時間を確認でき、各測定時間の自動算出も行う。これらの機能拡充によって、水力発電所における更なる保守省力化に貢献する。

5 むすび

産業用フィールドネットワークに対応した水力発電用全機能一体形制御保護システム及び保守支援装置の新機能を紹介した。

本システムは、当社主力製品として水力発電所へ適用拡大していく。また、本システムに付随する保守支援装置の機能拡充によって、保守省力化の要求に応える新たな付加価値を提供する。

今後は、共通制御盤への送電線監視制御機能の追加や、本システム対応の変圧器保護機能の追加など、多機能システムへの展開を検討していく所存である。

最後に、執筆にあたり多くの方々にご協力いただき、深く感謝する次第である。

- ・ EtherCAT は、ドイツ Beckhoff Automation GmbH の登録商標である。
- ・ Chrome は、Google LLC の登録商標である。
- ・ Microsoft Edge は、米国 Microsoft Corporation の登録商標である。
- ・ 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》



伊藤 健二
Kenji Ito

回転機システムユニット
水力発電システムの設計業務に従事



中村 拓海
Takumi Nakamura

回転機システムユニット
発電制御装置の開発業務に従事