

IEC 61850の水力発電システムへの適用

Application of IEC 61850 Series Standards to Hydroelectric Power Generation Systems

浅野 剛義 ASANO Takeyoshi 石坂 智成 ISHIZAKA Tomonari 鈴木 裕道 SUZUKI Hiromichi

地球環境問題や電力供給安定化などに対するスマートグリッドへの対応で、電力システムが劇的に変化し、電力ネットワークへの環境変化が求められている。そのような中、IEC 61850（国際電気標準会議規格 61850）の情報通信技術が制定され、既に変電システムでは適用が進み、発電システムにも適用が広がり始めている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、水車発電所の監視制御システムにIEC 61850の通信機能を実装したインテリジェント電子装置（IED：Intelligent Electronic Device）を開発し、関西電力(株)の水力発電所向けの監視制御ネットワークに適用した。

Smart grids currently face issues related to the global environment, and implementation of measures to ensure a stable power supply. These circumstances are seriously impacting electric power systems, resulting in a pressing need to act. The IEC (International Electrotechnical Commission) 61850 "Communication networks and systems for power utility automation" series standard series are now being applied to power stations, following substations where they are already in effect.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has developed an intelligent electronic device (IED) incorporating communication functions compliant with the IEC 61850 standard series used in monitoring and control systems for hydraulic turbine generators. The IED has been adopted to establish a monitoring and control network in compliance with the standards for a Kansai Electric Power Co., Inc. hydroelectric power plant.

1. まえがき

電力供給安定化に対するスマートグリッドへの対応に向け、送配電事業は、需要調整力による広域運用にわたる経済性を考慮し、参入者拡大のために、仕様の統一を給電から制御所、配電へと進め、更に変電から発電にも拡大している。

変電所監視制御システムでは、膨大なデジタルデータの活用ができるIEC 61850の情報通信技術を適用してきている^{(1), (2)}。この情報通信技術の特長は、異なるメーカーの装置との組み合わせによる相互運用性や、デバイス間通信のネットワーク化とフィールド情報のデジタル化活用による保守・運用性に優れていることである。

一方、発電所監視制御システムへの適用は、分散型電源にとどまっているが、今後は、水力などの大型発電システムへも適用が進むと考えられる。東芝エネルギーシステムズ(株)は、従来の監視制御装置であるTOSMAP制御ユニットに、構成・性能は維持したまま、IEC 61850に準拠した通信機能（サーバー及びクライアント機能）を実装したIEDを開発し、国内水力発電所に初めて^(注1)実機適用した。このシス

テムの監視信号は、既設の信号の情報名を継承しながら、水力設備を論理デバイス（LD：Logical Device）と論理ノード（LN：Logical Node）を使って、オブジェクト指向情報モデルとして構築している。ここでは、開発・実機適用したIEDとそれを用いた実機システムの概要について述べる。

2. 開発したIEDの概要

発電所向けに開発したIEDの概要を表1に示す。

2.1 ステーションバス（MMS Protocol）の採用

IEC 61850には様々な通信サービスとメッセージがあり、応答性、信頼性に応じて通信を使い分けている。サーバー・クライアント間でユニキャスト通信を行うMMS（Multimedia Messaging Service）プロトコル、TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）を利用し、通信応答を確認することで、応答性は中低速であるが、大量のデータを扱える、信頼性の高いプロトコルを開発した。

2.2 仮想IPを使ったIED二重化システム

サーバー IEDとなる制御ユニットは常用・待機型装置の二重化構成としている。装置の二重化に関しての規格はないが、クライアントから見たときに一つの装置に見えるよう、IEC 61850用のIPアドレスは、仮想IPを常用側装置に割り当てて使用することにした。これにより、故障により制御

(注1) 2023年5月時点、水力発電所として、当社調べ。

表1. 開発したIEDの概略仕様

IED specifications outline

項目	仕様
ハードウェア	Intel E3950 1.6 GHz, メモリー 4 Gバイト, SSD 4 Gバイト
演算周期	100 ~ 500 ms
OS	Linux
冗長化	装置二重化 (Duplex方式), 伝送二重化 (IEC 61850伝送はPRP対応)
Ethernet インターフェース	7チャネル (制御ネットワーク用×2, IOネットワーク用×2, IEC 61850通信用×2, 二重化通信用×1)
IEC 61850通信サービス	Association, Data, Report, Control
RAS機能	ECCメモリー, ウォッチドッグタイマー, 温度異常検出
動作環境	動作時: 温度 0 ~ 50 °C, 湿度 5 ~ 90 %, ファンレス
寸法, 質量	183×76×160 mm, 2 kg

SSD : ソリッドステートドライブ OS : 基本ソフトウェア
 RAS : Reliability, Availability, Serviceability ECC : Error Check and Correct

ユニットの常用・待機の切り替えが発生しても、クライアント IED 側はサーバー IED の切り替えを意識する必要がなくなった。

2.3 PRPに対応したバス型ネットワーク

サーバー IEDとなる制御ユニットは、バス型ネットワークを基本としていることから、ネットワークの冗長化として、バス型のPRP (Parallel Redundancy Protocol) をサポートし、Redbox (Redundancy Box) なしでネットワークの冗長化を可能にした。従来の制御ユニットは、二重化通信用に1ポート、制御ネットワーク用に2 (冗長化) ポート、IO (入出力) ネットワーク用に2 (冗長化) ポートの5ポートのEthernetを備えていたが、更にIEC 61850伝送の冗長化 (PRP) 用に2ポートを増設した。

2.4 サーバー・クライアント間の応答性

開発したIEDは、従来の制御ユニットのソフトウェア内にIEC 61850の機能を組み込むことで実現しており、IEC 61850のデータを従来同様に制御ロジック上で扱えるようにした。また、IEC 61850データについても従来のIO周期内で処理することにより、従来の制御伝送と同レベルの応答速度を可能にし、リアルタイム性を維持させた。

2.5 適合性試験

適合性試験手順 (Conformance Test Procedure) に従って、第三者認証機関が認証した試験シミュレーターを用いてIEC 61850-8-10に準じたクライアント及びサーバーシステムの適合性試験を実施し、合格した。適合性試験手順は、UCAIug (UCA国際専門家グループ) が制定した“Conformance Test Procedures for client/Server System with IEC 61850-8-1 Edition2 interface”に準じている。

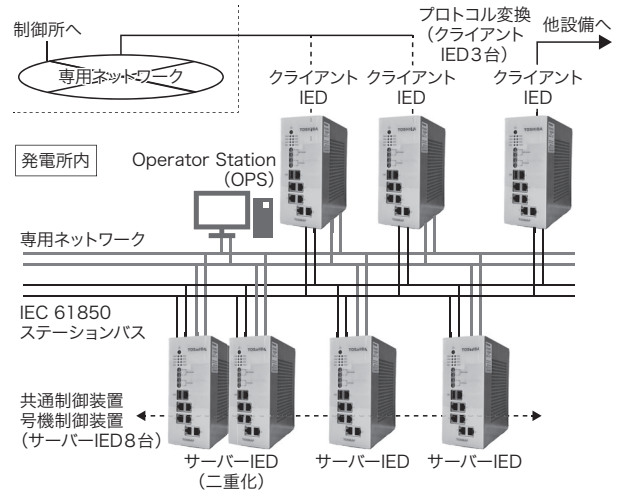


図1. 開発した監視制御システムの構成

サーバー IED 8 台、クライアント IED 3 台から構成され、それぞれが専用ネットワーク及び IEC 61850 ステーションバスを介して各機器情報の通信が可能である。

Monitoring and control system configuration

3. 実機システムの概要

実機適用した監視制御システムの構成を図1に示す。水車発電機の監視制御システムは、制御コントローラーユニットにIEC 61850準拠のサーバー・クライアント機能を搭載した各IEDによって構築した。サーバー IED は、発電所の各系統設備を監視制御する信号情報を持ち、クライアント IED は、発電所外部エリアと通信するためにサーバー IED の全ての信号情報を持つ。

オブジェクト指向情報モデルの構築は、共通のLNが定義されたIEC 61850-7-4、水力発電機種特有のLNが定義されたIEC 61850-7-410、水力発電所のモデリングコンセプトとガイドラインが記載されたIEC 61850-7-510を参考にした。

情報モデルのエンジニアリングには、規格準拠のシステム全体を構成するためのシステムコンフィグレーターツール (SCT : System Configurator Tool) とIEDを構成するためのIEDコンフィグレーターツール (ICT : IED Configurator Tool) の二つのエンジニアリングツールを用いた。

各ツールは、サーバー IED用とクライアント IED用の通信情報ファイルを生成し、それぞれのIEDにファイルを実装することでサーバー・クライアントIED間の通信が可能となる。

3.1 オブジェクト指向情報モデルの構築

情報モデルの設計・構築は、系統ごとに階層化したLDと各LDの詳細なLNを組み合わせて行う。図2は、水力発電プラントの機器構成と、主要機器・装置を定義し

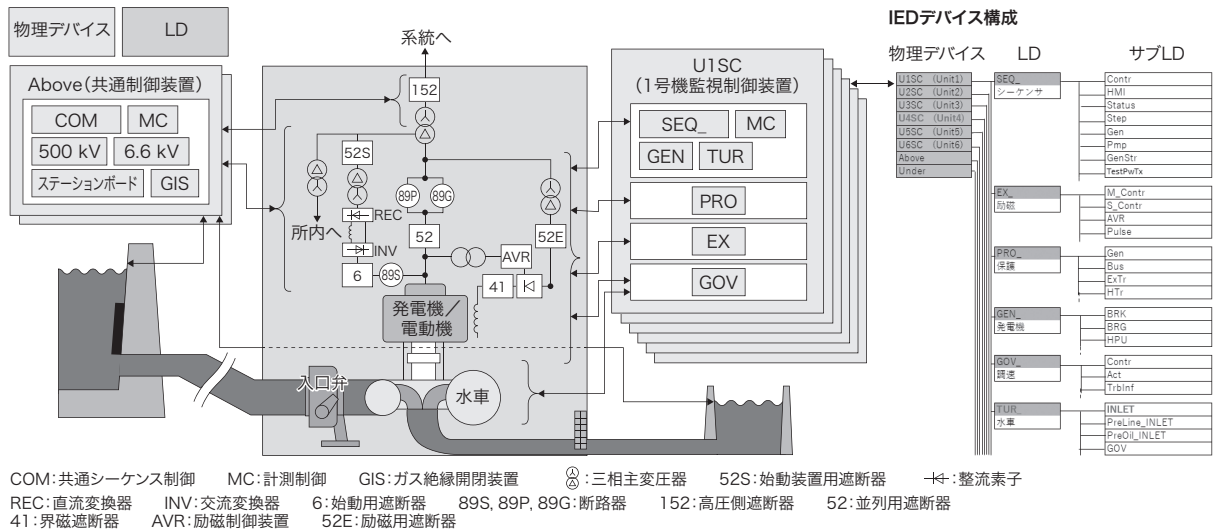


図2. 水力発電プラントの機器構成とLDを実装した物理デバイスとの関係

全体機器の情報が、物理デバイスである監視制御装置 (IEDデバイス) へ展開されることで、情報の全体識別ができる。

Dependence of hydroelectric power generation equipment on physical devices incorporating logical device (LD)

物理デバイス	LD							
	SEQ	EX	PRO	GEN	GOV	TUR	COM	...
サーバー IED	LPHD	LPHD	LPHD	LPHD	LPHD	LPHD	LPHD	
	HUNT	XCBR	PTOC	GGIO	GGIO	KPMP	CALH	
	XCBR	ZTCR	PDIF	KPMP	HSPD	HLKG	ITCI	...
U1SC	HSEQ	FSPT	PHIZ	STMP	HGOV	HVLV	ITMI	
	ISAF	ZSCR	PTOV	ZMOT	HNHD	KVLV	ACTM	
U4SC	ACTM	KFAN	PDUP	ATCM	SPRS	ATCM	HSEQ	
	HVLV	PTOV	PTUF	HMBR	HTGV	HGOV	IFIR	
UnderSC	PTRC	MMDC	ACTM	KHTR	FSPT	HSPD	SLVL	

(a) 各物理デバイス、各LDとLNとの組み合わせ

監視制御信号名の例

信号名に含める情報: ユニット4号 (Unit4), シーケンサー盤 (SC), 水車系統 (TURbine), 入口弁 (x21), 全閉 (Close)

信号名:

従来 (デジタル入力) : DI0148 (レジスター番号) に上記情報をマッピング
 新規 (オブジェクト名) : セマンティクスな表現として、グループ1からグループ3の情報モデルで構成
 (U4SCTUR/x21HVLV4\$ST\$PosCls\$stVal)

グループ1: 物理デバイス (IED名) + LD名 (機器, 装置などの階層名) ←
 グループ2: /LN Prefix + LN名 + インスタンス番号 ←
 グループ3: \$ファンクション\$データオブジェクト名\$データ属性 ←

インスタンス	クラス, タイプ
x21HVLV4	HVLV (バルブ: バタフライバルブ, ボールバルブ)
Prefix+LN名+インスタンス番号	LNクラス
PosCls	SPS (Signal Point Status)
データオブジェクト	共通データクラス
stVal	Status att.[BOOLEAN][ST][dchg][TRUE FALSE]
共通データ属性 コンポーネント	共通データ属性クラス [データ型][ファンクション][トリガー][値]

(b) データ構成

図3. オブジェクト指向情報モデルのデータ構成

全体機器の情報を、グループ1からグループ3の情報モデルでセマンティクスに表現することで、情報が持つ意味を正確に解釈でき、情報整備が効率化できる。

Object-oriented information model data structure

た各LDを内部に実装した物理デバイスである各監視制御装置(サーバー IED)を示している。IEDは、物理デバイス、各系統設備の主要機器・装置を定義したLD、及び各LDの詳細を示すサブLDで構成されている。例えば、物理デバイスUISCは、発電電動機系統設備をLDで階層化し、シーケンス制御、励磁制御、调速機制御、保護装置、水車などをLDとし、更にLDの詳細は、水車系統(TUR)では、入口弁を先頭にサブLDで分類した。ただし、LDの文字数制限の関係で、サブLDは、3.2節のグループ2で表現した。このように、各発電所の全装置の信号を、情報モデルにより表現することで、遠隔からの監視制御を行いやすくなることができる。

3.2 オブジェクト名の記述

各物理デバイスに対し、LD及び各LDで採用したLNの関係を図3に示す。従来の監視制御信号は、レジスター番号で扱い、その番号を各情報(例えば、ユニット4号機、シーケンサー盤、TURなど)とマッピングさせる必要があった。しかし、新規の監視制御信号名(オブジェクト名)は、マッピング不要のセマンティクスな表現として、グループ1からグループ3の情報モデルで構成している。

グループ1は、サーバー IEDの物理デバイスと設備内の階層名を加えてLD名とした。グループ2は、IEC 61850での表現に沿って、LN名の前に付ける“Optional application Specific Prefix”でサブLDを表現し、サブLDは、既設情報である機器、装置、状態の固有デバイス記号を付けた。また、同じLN名と区別するために“LNインスタンス番号”に数値を記載した。グループ3は、LNにデータオブジェクト名が定義され、その定義から共通データクラスを確認して共通データ属性名称を選択し、データ型やファンクションなどを指定した。

このように、物理デバイス、LD、LNを階層表現することで、機器の詳細な情報をどのサーバー IEDが持っているかが分かるなど、ユニークな情報モデルが構築できる。

3.3 エンジニアリング手法

情報モデルをエンジニアリングし、IED間の通信を確認するためには、3章で述べたSCTとICTの二つのツールに加え、従来のTOSMAP制御ユニット群を構築する保守ツール(IES: Integrated Engineering Server)やネットワーク解析ツールなどが必要となる。これらSCTとICTによるファイルの生成、ファイルのIESによるIEDへの実装、及びネットワーク解析ツールによる通信試験の構成・フローを、図4に示す。

上流のSCT入力は、単線結線で、LNなどからなるシステム仕様記述(SSD: System Specification Description)

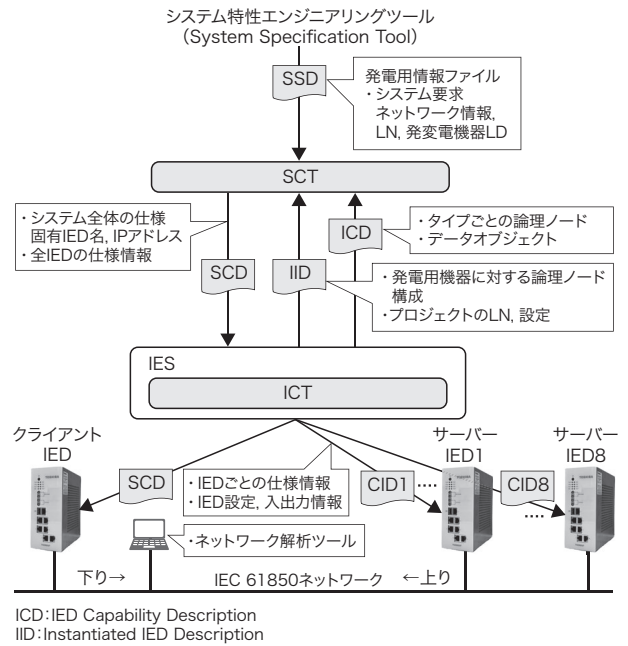


図4. 情報モデルの構築におけるエンジニアリングフロー

システムの情報ファイルがインポートされたSCTによって生成されたSCDファイルとICTによって生成されたSCDファイルに基づいたCIDファイルが、IESによって各IEDにインストールされる。

Engineering process for construction of information model

の代わりに、図2及び図3による情報モデルから情報ファイルを作成し、インポートする。SCTは、システム全体の通信設定やIED構成が記述されたシステム構成記述(SCD: System Configuration Description)ファイルを生成する。次にICTは、SCDファイルを基に各IEDの情報をIED設定記述(CID: Configured IED Description)ファイルとして生成する。そして、これらの生成ファイルを、IESがサーバー IEDとクライアントIEDにインストールすることで、エンジニアリング手法が確立できた。

3.4 実機適用後の課題

メンテナンスなどでサーバー IEDを一旦停止させ、再起動すると、クライアントIEDから受信していた下りイベント信号の前回値が消去され、遠方から操作できなくなる事象が確認された。その際には、クライアントIEDを再起動させる必要があり、その間、遠方との通信が不可能になることが判明した。再起動後は、一般的には、上位系から再設定操作指令を発報するが、このシステムでは、各サービスIEDに個別の指令が行えない構成となっているため、発電所側で対処することが必要となった。そこで、クライアントIEDは再起動させず、サーバー IEDの状態を監視した上で独自の指標機能でサーバー IEDに前回値を再送信させた。これにより、上位系システムからの再設定操作が不要となり、ほか

のサーバー IEDに影響を及ぼさず、各サーバー IEDの保守を可能とした。

4. あとがき

IEC 61850通信準拠の監視制御装置システムの開発・製品化が完了し、国内水力発電所への実機適用をした。

更に、メーカーが異なるIED装置間の相互運用性も、エンジニアリングフローを確立している。

近年、送配電網協議会では、中給システムと発電機側装置間の通信方式について、全エリアでの仕様統一を目指している。通信仕様も統一することが検討され、伝送装置の選択性や、LFC（負荷周波数制御）への適合性、世界標準のIP関係利用、発電機保護装置との共通性などを考慮し、IEC 61850が選定された。今後、水力発電所もこの通信仕様が要求されることが考えられるため、当社も要求仕様に対応できるよう、更に技術開発を進めていく。

文 献

- (1) 天雨 徹, ほか. IEC 61850を適用した電力ネットワークスマートグリッドを支える変電所自動化システム-. コロナ社, 2020, 198p.
- (2) 送配電網協議会. IEC61850を用いた次期中給システムと発電機装置間の通信仕様(案)に関する説明資料. 送配電網協議会, 2024, 49p.



浅野 剛義 ASANO Takeyoshi
東芝エネルギーシステムズ(株)
府中工場 発電システム制御部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



石坂 智成 ISHIZAKA Tomonari
東芝エネルギーシステムズ(株)
府中工場 電力プラットフォーム開発部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



鈴木 裕道 SUZUKI Hiromichi
東芝エネルギーシステムズ(株)
府中工場 発電システム制御部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.