

デジタル変電所の実現に寄与する保護制御システム

Protection and Control System Contributing to Realization of Digital Substations

黒瀬 雄太 KUROSE Yuta 廣川 歩己 HIROKAWA Ayumi

変電所の新設・更新においては、デジタル技術によって設備構成を最適化し、ケーブルを省線化した“デジタル変電所”の実現が要望されており、これに向けて、変電所保護制御システムは、従来のメタルケーブルでの接続を中心とする構成から、LANケーブルでの伝送を中心とする構成へと置き換わりつつある。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、複数の電力会社の要望を受けてIEC 61850(国際電気標準会議 61850)規格に準拠したデジタル変電所における保護制御システム(以下、デジタル変電所保護制御システムと略記)の構成機器を開発し、その実機検証を進めて実案件への導入を行うとともに、デジタル変電所の特長を生かし、蓄積データの活用による装置異常の検出・要因分析や、システム自動復旧などの新たな機能の実現に向けた取り組みを進めている。

The latest digital technologies are being introduced into substation renovation projects and new constructions to optimize facility configurations and minimize the number of cables. In line with this, connection of protection and control systems to digital substations is replacing conventional metal cables with local area network (LAN) cables for data transmission.

In response to the requirements of multiple power companies, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation develops, tests, and provides various types of protection and control system equipment for digital substations compliant with the International Electrotechnical Commission (IEC) 61850 standard series. We are also working on the following new functions that take advantage of digital substation features: (1) failure detection and factor analysis using a wide variety of accumulated data, and (2) automatic recovery in the event of problems with the equipment.

1. まえがき

変電所の新設・更新においては、デジタル技術によって設備構成を最適化し、ケーブルを省線化した“デジタル変電所”と呼ばれる新しいコンセプトの検討が、各電力会社で活発に行われている。特に、安定した電力供給を支える上で非常に重要な役割を担う、変電所の保護制御システムは、近年、技術革新や国際標準化規格の整備に伴い、従来のメタルケーブルでの接続を中心とする構成から、LANケーブルでの伝送を中心とする構成へと置き換わりつつある。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、1907年に初めて保護リレー装置を開発して以来、時代に先駆けて国内初や世界初の装置開発に取り組み、業界のトップシェアを維持してきた。最近では、データの蓄積や分析による一層高度な機能の実現のために、保護制御システム全体のデジタル化に向けた取り組みを進めている。

ここでは、デジタル変電所保護制御システムの導入に向けた当社の取り組みについて述べる。

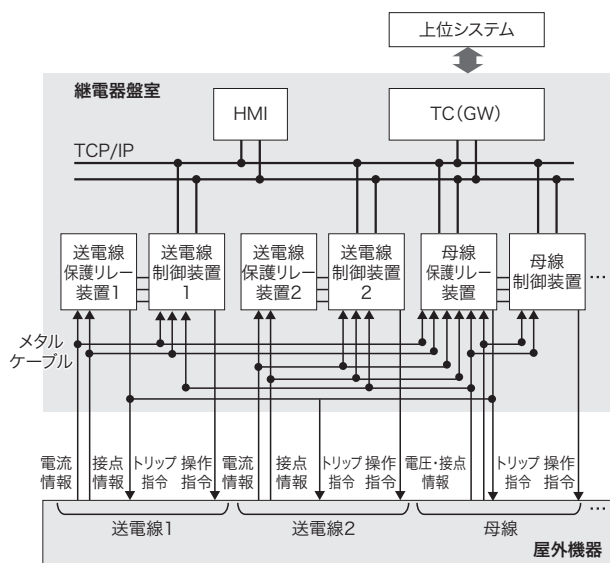
2. 従来の保護制御システムの構成と問題点

変電所の保護制御システムは、変電所内の計器用変流

器(CT: Current Transformer)、計器用変圧器(VT: Voltage Transformer)などの変成器や、遮断器や断路器などの開閉器(以下、変成器及び開閉器を総称して屋外機器と呼ぶ)と接続される。図1のとおり、監視制御装置(制御装置、遠方監視制御端末(TC: Telemetry & Controller)、及び監視制御モニター(HMI: Human Machine Interface))と保護リレー装置で構成される。

監視制御装置は、屋外機器からの系統情報を給電制御所など変電所外部のシステム(以下、上位システムと呼ぶ)へ伝送するとともに、上位システムからの運用上での操作指令を対象の屋外機器に出力する役割を担っている。監視制御装置の構成要素のうち、制御装置は、送電線回線、変圧器回線など変電所の系統構成に応じて回線ごとに設けられる。TCは、各制御装置の情報を集約して上位システムへ伝送するとともに、上位システムから屋外機器への操作指令を受け、当該制御装置へ指令を出力する。HMIは、変電所内部の系統状態の監視と操作を行う。

保護リレー装置は、送電線保護リレー装置、母線保護リレー装置など、保護する対象の設備ごとに設置され、CT、VTからの系統情報を基に系統事故を検出し、検出時には保護リレー装置から遮断器へ速やかに開放指令を出力す



TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol
GW: ゲートウェイ

図1. 従来の保護制御システムの構成

屋外機器との情報の授受は、情報が必要なシステム内の各装置と個別に直接メタルケーブル接続して行うため、変電所内は大量のメタルケーブルの敷設が必要である。

Configuration of protection and control system for conventional substations

る役割を担う自律システムである。保護リレー装置の動作情報及び装置不良情報や、運用上での保護機能の使用／除外の切り替え及び設定変更などの情報の通知は、メタルケーブルによる制御装置との接続を介して、上位システムに対して行われている。

また、監視制御装置や保護リレー装置は、変電所の継電器盤室と呼ばれる建屋内部に配置され、屋外機器との情報の授受を、情報が必要な装置との間で個別に直接メタルケーブルを用いて行う。そのため、変電所内は、保護制御システム用として大量のメタルケーブルの敷設が必要である。

3. デジタル変電所保護制御システムの構成と特長

デジタル変電所保護制御システムの構成を図2に示す。デジタル変電所保護制御システムでは、屋外機器との入出力部にアナログ情報とデジタル情報を変換するMU (Merging Unit) と呼ばれるデバイスを設置し、これを介して保護制御システムと屋外機器間の伝送をLANケーブルで行う。MUは、メタルケーブルで入力したアナログ情報をデジタル情報に変換してソフトウェア上に取り込んだり、ソフトウェア上の情報をメタルケーブルなどのハードウェアへ出力したりする機能を備えている。これにより、従来システムではメタルケーブルで当該情報のオン又はオフ（例えば屋外機器の不

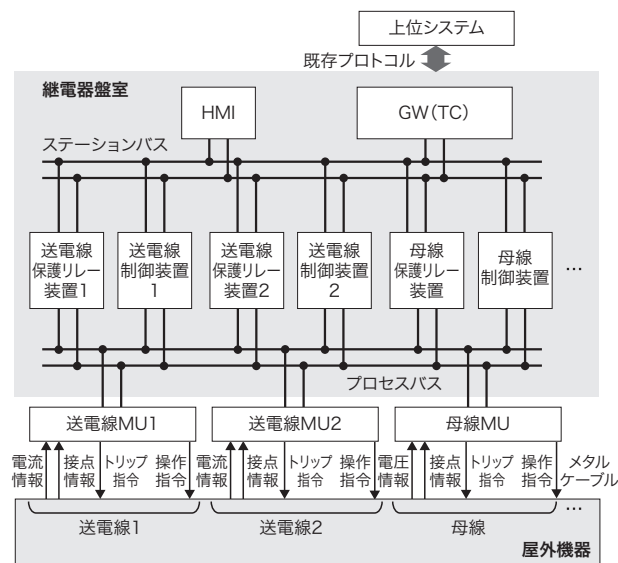


図2. デジタル変電所保護制御システムの構成

MUがプロセスバスに上げた情報は、システム内の各装置が受け取れるように設定するだけで取得できることから、大量のメタルケーブルの敷設は不要になる。

Configuration of protection and control system for digital substations

良情報の場合、不良発生でオン、不良未発生又は復帰でオフ)の2通りの情報しか送れなかった項目でも、その情報の時刻情報や、信頼度情報、試験設定中などといったモード情報などの付帯情報も含めたパケットデータとして伝送できる。

伝送方式は、変電所構内の通信プロトコルの国際標準規格である、IEC 61850規格を用いた方式を採用するのが一般的である。国際標準規格の採用により、変電所内の保護制御システムが複数社の製品で構成されていても、相互接続が可能になる。

IEC 61850規格を適用したデジタル変電所保護制御システムでは、保護リレー装置及び制御装置とTC及びHMIとの間のネットワークをステーションバス、保護リレー装置及び制御装置とMUとの間のネットワークをプロセスバスと呼ぶ。

例えば、系統の電流・電圧情報や屋外機器の現在の状態など、複数の保護リレー装置や制御装置が必要とする情報でも、MUがプロセスバスに上げることで、必要とする装置側で受け取れるように設定すれば取得できることから、従来のような大量のメタルケーブルの敷設は不要になる。

4. デジタル変電所保護制御システムの課題

図2では、代表機種で屋外機器をイメージとして示したが、実際の変電所には系統規模や電圧階級に応じて数十台から数百台の装置が存在するため、一部にIEC 61850

非対応の装置があると、従来どおりのメタルケーブルでの情報の受け渡しは残る。また、変電所新設時であれば、初回納入時にシステム全体をIEC 61850対応させる検討もできるが、特に国内では、既設装置を更新する際に、併せてIEC 61850対応となる場合が大半である。保護リレー装置や制御装置の更新は20年程度で行われるのが一般的であるが、変電所内のこれらの装置を一括更新することはほとんどなく、基本的に装置の経年や系統構成、運用状態に応じて段階的に更新する。そのため、IEC 61850対応装置とIEC 61850非対応装置が混在している過渡期の対応についても、課題が残っている。

また、保護リレー装置は、落雷などの系統事故を速やかに除去し、電力設備への障害や電力供給への支障を防ぐため、系統事故が発生してから数十ms以内に保護リレー装置で事故を検出し、遮断器に指令を出さなければならない。従来の保護リレー装置は、CT、VTからメタルケーブルで直接電流・電圧情報を取得しているため、保護リレー装置内部での事故検出処理を高速化することで、要求時間内での動作を実現しているが、デジタル変電所の場合、保護リレー装置が系統事故を判定するのに必要な電流・電圧情報は、IEC 61850の規格にのっとって様々な付帯情報を持ったパケットの状態で送られてくることから、パケットから内部の必要な情報を取り出して電流・電圧情報を取得した上で事故判定を行わなければならない。更に、プロセスバス上での伝送遅延時間も加味する必要があることから、保護リレー装置には従来以上の処理能力と高速性能化が求められる。特に、変電所の全回線の情報を取得して変電所構内の事故を検出する母線保護リレー装置は、全回線のMUから送られてくるパケットを受け取って瞬時に処理した上で系統事故の判定を行わなければならない。そのため、現行仕様に準拠しつつ、プロセスバスに対応した母線保護リレー装置を開発することが、メーカーにおける直近の課題となっている。現状、母線保護リレーについては、処理の制約上、回線数が少ない小規模な変電所に対しての部分的な適用にとどまっている。

5. 国内電力会社におけるデジタル変電所保護制御システムの適用状況

デジタル変電所の実現に向けて、現在、各電力会社により段階的な実変電所への適用が行われており、デジタル変電所保護制御システムの検証や部分的な導入が進められている。当社は、海外向けの保護制御システムで、IEC 61850規格に準拠した装置を既に多数納入している。また、国内電力会社の保護制御システムの仕様を熟知してい

表1. 国内電力会社のデジタル変電所保護制御システム構成機器の適用状況と当社の納入実績

Status of application of equipment comprising protection and control systems to digital substations of power companies in Japan and deliveries of equipment developed by Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

		電力会社A	電力会社B	電力会社C	その他の電力会社
GW (TC)		○	●	○	—
ステーションバス	保護リレー装置	●	—	●	—
	制御装置	○	●	●	—
プロセスバス	保護リレー装置	▲	—	▲	—
	制御装置	△	●	●	—
MU		▲	●	●	—

●：実績あり(当社納入) ○：実績あり(他社納入)
▲：部分適用(当社納入) △：部分適用(他社納入) —：未適用
*適用実績は全て2025年1月1日時点

る。これらの知見を生かし、国内電力会社からの保護制御システムへの要望に先駆けとなって対応し、IEC 61850規格に準拠したデジタル変電所保護制御システムを構成する各装置を開発して、その実機検証を行い、実案件への導入を進めてきた。表1は、国内電力会社における電圧階級66 kV以上の変電所へのIEC 61850に準拠したデジタル変電所保護制御システムの各構成機器の適用状況と、2025年1月1日時点における当社の納入実績を示している。

現在、国内では3電力会社でIEC 61850適用実績がある。電力会社ごとの過渡期の考え方の違いや、対象案件の装置更新のタイミングなどにより、例えば制御装置だけの適用とする電力会社や、一部機能だけ保護リレー装置と制御装置の両方に適用する電力会社など、IEC 61850の適用範囲は電力会社によって異なる。しかし、当社は電力会社ごとの過渡期の仕様に対応し、デジタル変電所の実現に向けた取り組みを支えている。また、上記3電力会社以外の電力会社とも初適用に向けた検討は既に進めているため、今後はほかの電力会社への納入も増えていく見込みである。

6. デジタル変電所が目指す姿

ここでは、変電所全体でデジタル変電所保護制御システムが適用され、デジタル変電所が実現した際に考えられる、新たな機能やメリットについて述べる。

- (1) 蓄積データの活用 従来の保護制御システムは、伝送上の制約やコスト面を考慮し、保護リレー装置や制御装置の機能を実現する上で限られた情報だけしか伝送していなかった。デジタル変電所が実現すると、従来伝送していなかった詳細な系統情報や設備情報をプロセスバスに上げ、サーバー

などに蓄積し、AIなどと組み合わせることで、過去の膨大なデータと照合することで、装置の予防保全を目的とした異常の事前検出や早期要因分析などへの活用が期待できる。

- (2) 主回路停止不要での保護制御装置更新 従来の保護制御システムは、2章に記載したとおり、機器からの情報は装置ごとに直接メタルケーブルで取り込まれていたため、更新時には新装置へのケーブル張り替えを必要としていた。デジタル変電所保護制御システムでは、保護リレー装置や制御装置の更新は、ステーションバスやプロセスバスを構成するハブ(Ethernet Switch)への接続と、MUなど接続関係のある装置の設定変更だけとなる。

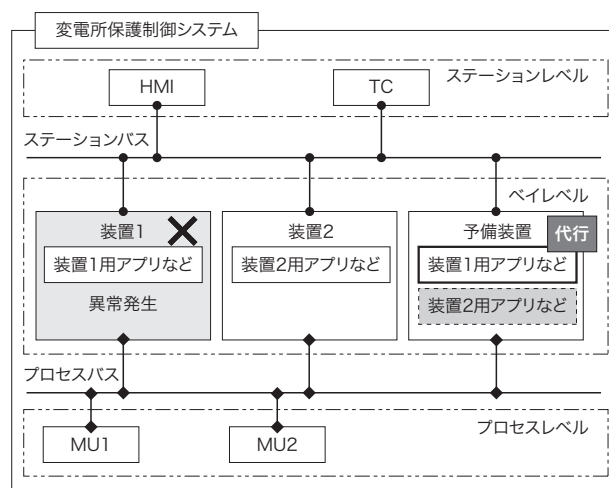
また、装置更新の際、装置自体の機能については出荷前に工場で確認できるが、現地の他装置と正しく接続できているか、他装置と連動してシステムとして適切な応答をするか、などを運用前に評価する必要があるため、納入後に現地で試験をするのが一般的である。これについても、切り替え順序や設定方法の工夫で、機能を停止しなくても装置の更新が可能になることから、主回線を停止しないで保護リレー装置や制御装置を更新できる。

更に、再生可能エネルギーの連系などにより系統が複雑化し、新たな機能を追加する必要がある場合、既にMUでデジタル化されている情報で実現可能であれば、事前に新装置からのデータの送受信が追加できる構成にしておくことで、更新時と同様にLANケーブルの接続と設定変更だけで新機能の追加が可能になる。

- (3) LAN伝送を生かした自動復旧システム 保護リレー装置や制御装置には、例えば基板不良などの装置異常が発生すると、自動的に異常を検出して外部へ通知するとともに、自装置をロックして誤動作による系統への影響を防止する機能が備わっている。

従来は、装置異常が発生すると、修理が完了するまで当該機能を使用できなかったため、早期復旧対応や、復旧までの一時的な設備停止のための系統操作が必要であった。また、これを避けるため、同じ装置を2装置配置する2系列構成とする場合もあるが、機能ごとに全ての装置を二重化するには費用や設置スペースも必要になるため、一部の超高压系統の重要機能などに限定されていた。

これに対し、デジタル変電所保護制御システムでは、図3に示すように、変電所内の保護リレー装置



アプリ:アプリケーション

図3. 自動復旧システムの例

不良発生時には予備装置の機能の中から不良発生装置の機能だけを生かすことで当該装置に代わって動作させることが可能になる。

Example of automatic recovery function

や制御装置の機能を実装した予備装置をあらかじめ設置し、不良発生時には予備装置の機能の中から不良発生装置の機能だけを生かすことで当該装置に代わって動作させ自動的に復旧させることが可能になる。予備装置の演算能力上、複数装置分の機能を同時に代替することはできないが、複数装置分の機能を実装することは可能である。また、機能ごとに必要な電流・電圧情報をメタルケーブルで直接取得している従来の保護制御システムでは実現できなかったが、デジタル変電所保護制御システムでは、特定の機能と必要な情報を切り替えられる。これが実現すると、装置異常発生時の休日や夜間の緊急修理対応やユーザー側での一時的な系統操作などが不要になる。

7. あとがき

当社は、デジタル変電所の実現に向けた保護制御システム開発や、デジタル変電所が実現した場合の新たな機能について、国内他社に先駆けて検討を進めている。ここで述べたデジタル変電所はあくまで通過点であり、今後は保護リレー装置と制御装置といった複数装置の機能を1台に集約した装置の開発や、今回は変電所内部に特化したため検討に含まれていない変電所間の通信も含めたシステムの実現など、将来的には様々な構成が考えられる。

今後も、当社の技術を用いて新たな装置を開発し、更に未来のデジタル変電所の実現に取り組んでいく。



黒瀬 雄太 KUROSE Yuta
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・ソリューション事業部 電力システムシステム技術部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



廣川 歩己 HIROKAWA Ayumi
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・ソリューション事業部 電力システムシステム技術部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.