

三相 1 回線単位での一体輸送を実現した 550 kV GIS

550 kV Gas-Insulated Switchgear Enabling Transportation of Individual Three-Phase Single-Line Units

可児 文二 KANI Bunji 小池 徹 KOIKE Toru

ガス絶縁開閉装置 (GIS) は、電力用として広範に適用されているが、高経年化 GIS の設備更新や気中絶縁開閉装置 (AIS) の GIS 化では、納入する機器の経済性向上に加え、据付品質の向上や据え付けに伴う設備停止期間の短縮などが強く要請されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、国内の電力流通用として運用されている最高定格の 550 kV-8 kA GIS に対し、これらのニーズに対応した新形 550 kV GIS を開発した。開発した GIS では、ガス遮断器 (GCB) 投入時の位相制御採用による投入抵抗の省略や、新開発のガスタンク内面コーティングによる金属異物無害化などで GIS を小型化し、回線単位での一体輸送による品質向上と約 50 % の据付工期短縮を実現した。

As gas-insulated switchgears (GIS) have long been in widespread use in high-voltage power transmission networks to secure stable supplies of electric power, there is an increasing need for the renewal of aging GIS and the updating of air-insulated switchgears (AIS) to the latest GIS systems. In these circumstances, demand has been growing for reductions in installation cost, improvements in installability, and shorter suspension of operation.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has developed a new 550 kV GIS with maximum ratings of 550 kV-8 000 A for the Japanese market. This GIS features significantly enhanced compactness through the application of cutting-edge technologies, including a controlled switching system that eliminates the need for input resistance contacts in the gas circuit breaker (GCB) and a newly developed coating technology that renders metallic foreign materials in the tank harmless. As a result, assembled three-phase single-line units can be individually transported, making it possible to achieve a reduction of about 50% in the time required for installation.

1. まえがき

基幹系変電所である 500 kV 変電所は、その多くが 1960 年代から 1970 年代に建設されており、開閉設備は、現在の主流である GIS ではなく、空気遮断器 (ABB) に代表される AIS を中心に構成されている。これらの AIS は、いずれも高経年化設備であり、設備劣化に伴う更新ニーズがある一方で、系統上重要な変電所の設備であり、機器更新には回線停止が伴うため、機器据付に必要な停止期間の短縮が求められていた。

これに対応するには、GIS 据付工事期間の大幅な短縮が必要で、従来では定格電圧 300 kV 以下の GIS で採用していた回線単位での一体輸送・据え付けを、550 kV GIS に適用する必要があった。

また、高経年化設備の増加を背景に、ユーザーによる保全業務の負担が増えており、従来の定期的な時間基準保全 (TBM : Time Based Maintenance) から、変電設備の状態に基づいた効率的な状態基準保全 (CBM : Condition Based Maintenance) への移行による、業務の効率



図 1. 新佐原変電所の 550 kV GIS

国内最高定格である 550 kV-8 kA まで対応している。

550 kV GIS installed at Shin-Sawara Substation of TEPCO Power Grid, Inc.

化や電力の安定供給の確保が求められている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、これらのニーズに応じて、550 kV クラスとしては世界初^(注1)となる回線単位で

(注1) 2017年12月時点、550 kV GISとして、当社調べ。

の一体輸送を実現するとともに、機器監視装置も導入した新形550 kV GISを開発した。

このGISは、2018年に4 kA器、2019年には8 kA器の開発が完了しており、それぞれを東京電力パワーグリッド(株)の新信濃変電所と新佐原変電所(図1)に適用し、2021年3月と2019年11月に設備運用を開始した。

ここでは、開発したGISの概要について述べる。

2. 新形550 kV GISの仕様と適用技術

新形550 kV GISの主な仕様を、表1に示す。今回開発したGISは、三相1回線単位での一体輸送を実現するため、小型・軽量化に向けた技術を導入した。更に、今後の変電所のデジタルトランスフォーメーションによる業務変革に対応するため、機器監視システムも導入した。これらに対する主な適用技術を、以下に示す。

2.1 閉極位相制御装置の適用によるGCBの小型化

送電線回線用GCBでは、再閉路責務が課され、再投入動作の際に残留電荷が残った線路側と、電源側が突き合わされて過電圧(投入サージ)が発生する。そこで、送電線長が長く特にサージが大きくなる550 kV送電線回線用GCBには、従来、サージ抑制のためにGCBの極間に対し主回路に先行して投入される抵抗(投入抵抗)を設けていた。一方、投入抵抗を設けると、GCBタンクが大径化し、三相を横並びにすると輸送制約を超過して回線単位での一体輸送が困難となる。これを解消するため、閉極位相制御装置を適用し、投入抵抗なしで投入サージ抑制を行い、GCBタンク径を従来の85%に小型化した(図2)。

投入サージの大きさは、閉極した瞬間の極間電圧が大きいほど増大することから、投入サージを最小化するための理想的な投入位相は極間電圧が0Vとなる位相である。開発したGISは線路側にVT(Voltage Transformer)

を備えていることから、残留電荷は再閉路時間1sの間に減衰するため考慮は不要とした。したがって、残留電荷がない場合、極間電圧は母線電圧と等しいので、母線電圧の0°若しくは180°が理想的な投入位相となる。実際には、GCB極間の絶縁耐電圧の減少率(RDDS: Rate of Decrease of Dielectric Strength)や、放電ばらつき、動作ばらつきなどを考慮し、理想的投入点に最も近接するように最適な目標投入位相を設定した(図3)。図4は、実系統連系時に、開発した装置によって位相制御投入される、送電線の線路側電圧の測定結果であり、三相とも目標の投入

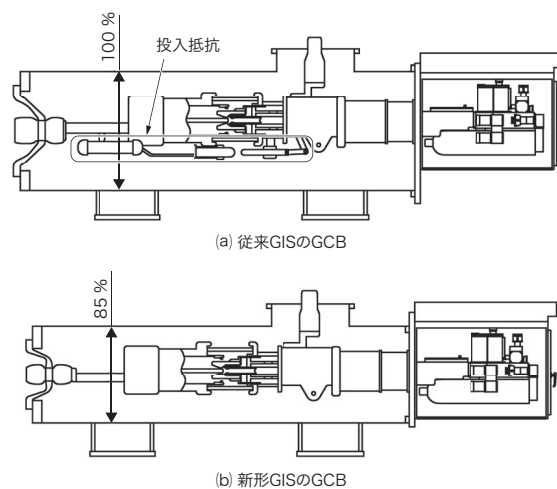


図2. 新旧GCBの比較

新形GISのGCBは、位相制御の適用で投入抵抗を不要とし、タンク径を従来の85%に細径化した。

Comparison of internal structure of conventional and newly developed GCBs

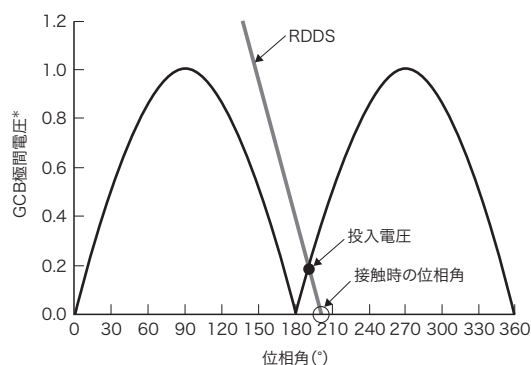


図3. GCB投入動作時の極間電圧とRDDS

GCBの動作ばらつきやRDDSを考慮し、目標投入位相の最適な値を設定した。

Relationship between voltage across electrodes and rate of decrease of dielectric strength (RDDS) when GCB turned on

表1. 新旧GISの主な仕様の比較

Main specifications of conventional and newly developed 550 kV GIS

| 仕様 | | 従来GIS | 新形GIS |
|------------------------|-----------|-------------|----------|
| 定格電圧 | (kV) | 550 | 550 |
| 定格通電電流 | (A) | 2,000~8,000 | |
| 雷インパルス耐電圧 | 対地 (kV) | 1,425 | 1,425 |
| | 相間 (kV) | 2,100 | 1,950 |
| 温度上昇限度 | 導体 (K) | 75 | 85 |
| | タンク (K) | 40 | 50 |
| 断路器ループ電流 開閉責務 | 開閉電流 (A) | 8,000 | 4,000 |
| | 回復電圧 (V) | 300 | 100, 300 |
| 誘導電流開閉責務 (線路用接地開閉器) | 開閉電流 (A) | 1,000 | 1,000 |
| | 回復電圧 (kV) | 70 | 45 |

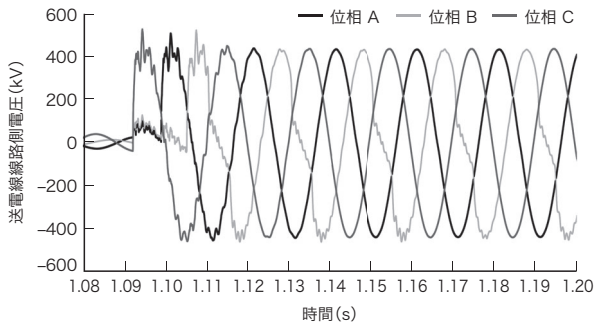


図4. GCB投入時の送電線線路側電圧の実測波形

位相制御装置により、投入サージが抑制されていることが確認できた。

Waveforms of transmission line-side voltage when GCB turned on

位相で投入され、投入サージが抑制されていることを確認した。

2.2 回線単位での一体輸送による据付工事の短縮

2.1節で述べた閉極位相制御装置のほか、相間雷インパルス耐電圧、温度上昇の上限値、及び断路器のループ電流開閉条件の仕様が合理化された最新のJEC（電気学会電気規格調査会）標準規格⁽¹⁾を適用し、機器の小型化を図った。また、新規開発したガスタンク内面コーティングにより、金属異物残留時の異物挙動を抑えて絶縁性能低下を抑制し、タンク径の縮小につなげた。これらによるGIS各部の小型化で、550 kV GISとしては世界初となる回線単位での一体輸送を実現した。図5に、開発したGISの輸送ユニット分割を示す。一体輸送の実現で、従来の15ユニットから2ユニットに削減でき、現地でのドッキング箇所を大幅に低減できるとともに、各機器から制御盤までの配線を工場で実施することで、現地での配線作業と一部試験が省略できた。これらにより、現地据付工程の大幅な短縮が可能となり、実際の据付工事でも、従来に比べて約50%の据付工期短縮を実現した（図6）。

2.3 超々高耐圧素子を適用した新形避雷器

GIS開発に合わせ、動作開始電圧800 V/mm級の超々高耐圧素子を適用してコンパクト化した新形避雷器も開発した。新形避雷器では、超々高耐圧素子の適用による素子柱の静電容量増加に伴い、電位分布制御用のシールドを小型化でき、避雷器タンクの細径化と構造簡素化を実現した。新佐原変電所向けGISでは、送電線引き込み部との間をGIB（Gas Insulated Busbar）で接続し、プッシング下部に開発した新形避雷器を適用している。

2.4 機器監視システム

開発したGISは、最新の機器監視システムを適用して常時監視を行うことで、設備の信頼度向上と保全業務の更な

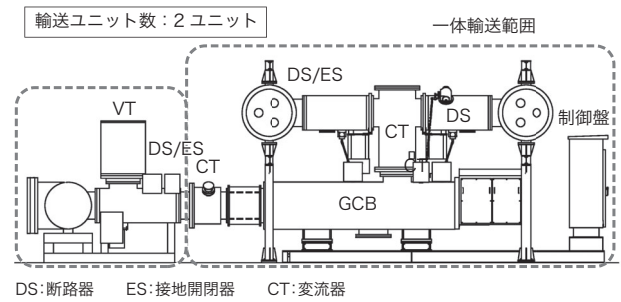


図5. 新形550 kV GISの輸送ユニット分割

回線単位での一体輸送により、輸送ユニット数は、従来の15ユニットから2ユニットへと大幅に削減された。

Division of newly developed 550 kV GIS into two units for transportation



(a) 新形GISの据え付けの様子

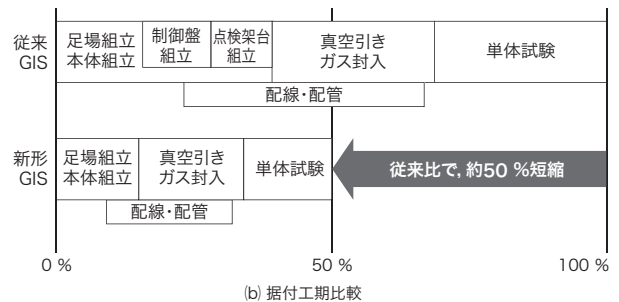


図6. 新旧GISの据付工期比較

新形GISは、一体輸送の実現で、現地での配線作業などが省略でき、従来と比較して約50%の大幅な工期短縮を実現した。

Comparison of installation periods of conventional and newly developed GIS

る省力化を図った。

機器監視システムは、センサー、機器監視ユニット(EMU：Equipment Monitoring Unit)、及び監視HMI (Human Machine Interface)用PC (パソコン)から構成される。各機器に取り付けたセンサーから出力された信号や接点情報は、EMUへ入力される。EMUは、これらの情報に基づいて、機器の様々な運転状態の監視・診断に必要な演算処理や、出力データの生成・集約などを行う。EMUが備えている監視・診断機能を、表2に示す。

監視機能の一つである、ガス圧力スローリーク監視での

表2. EMUの監視・診断機能

List of monitoring and diagnostic functions of equipment monitoring unit (EMU)

| 監視・診断機能 | 詳細 |
|----------------------------|--|
| ガス圧力スローリーク監視 | 温度・大気圧によりガス圧力を補正し、スローリークを評価する。 |
| 故障点標定 | ガス圧力上昇の検出を行う。 |
| 機器開閉特性監視 | 開閉特性は環境条件により変化するため、補正して評価する。 |
| 接点損耗量監視 | 主回路電流の監視により、接点損耗量を算出する。 |
| GCB油圧操作機構のポンプ動作特性、油圧降下量の監視 | 油圧ポンプモーター電流及び油圧力を監視し、ポンプの動作回数や運転時間、動作・停止時の油圧力、GCB動作時の油圧力を評価する。 |
| トレンド分析監視 | 時系列データを評価する。 |
| 故障モード分析 | 異常時に診断項目の組み合わせ判定を行い、想定される故障部位を分析する。 |
| センサー単体故障監視 | センサー単体の出力の診断を行う。 |
| EMU自己監視 | デジタルリレーと同等の常時自己監視機能を持つ。 |

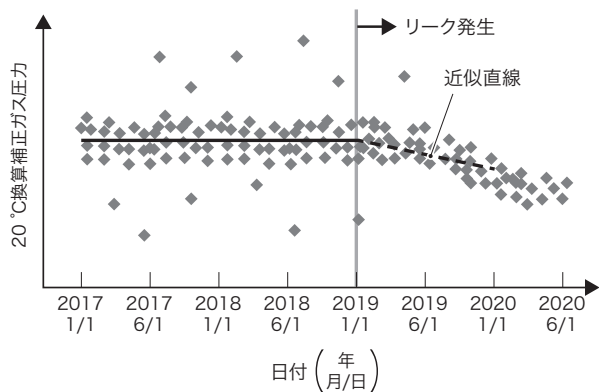


図7. ガスリーク判定手法の概要

ガス圧力の近似直線の傾きから変化量を算出し、判定基準値と比較する。温度・大気圧を用いた補正により、精度の高いガスリーク監視を実現した。

Gas leak monitoring method using inclination of gas pressure values

ガスリーク判定手法の概要を、図7に示す。ガスリーク判定は、①日々のガス圧力・大気圧・タンク温度の取得、②ガス圧力を大気圧で補正した補正ガス圧力の算出、③補正ガス圧力とタンク温度の1年間の相関を基にした20℃換算補正ガス圧力の算出、④1年間分の20℃換算補正ガス圧力による近似直線の傾きから変化量(%/年)の算出を行った後、判定基準値と比較することで判定する。ここで、以前から行われている温度補正に加え、大気圧補正も行うことで、精度の高いスローリーク判定を可能としている。

また、EMUは、IEC 61850 (国際電気標準会議規格 61850) に準拠した伝送仕様で、機器監視通信ポートから上位システムへのデータ送信が可能である。更に、EMUのHMI用通信ポートに汎用PCを接続することで、Webブラウザで内部ストレージに保存されたセンサーデータや診断結

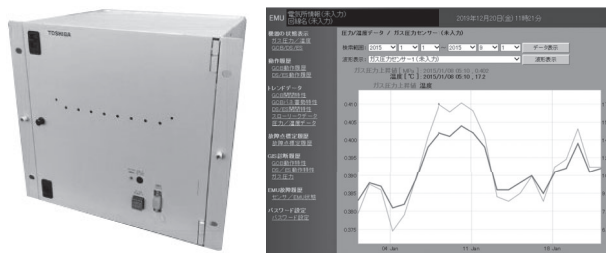


図8. EMU及びHMI画面例

EMUは、GIS制御盤内に収納されており、汎用PCを接続することで、取得した各種データをWebブラウザ上で確認できる。

EMU and example of its human-machine interface (HMI) display

果をモニターできる。EMU及びHMI画面の例を図8に示す。

各EMUから上位システムへ伝送されたセンサー情報などは、データ集積・分析用のデータベースに保存することで、センサー情報に基づいた、更なるCBMの高度化や、余寿命診断・故障予測に即したアセットマネジメントシステム構築などに活用できる。

3. あとがき

今回、8 kA 定格まで対応した新形550 kV GISを開発し、550 kV GISとして世界初の三相1回線単位のトレーラーによる一体輸送を実現した。国内の500 kV変電所には、ABBを備えたAISが残存しているほか、GISも初期型の高経年設備であり、今後更新が必要になる。開発したGISは、これら高経年設備の更新需要に対応するとともに、低重心化による高い耐震性や主回路の密閉化による高い耐環境性を備えており、地震、風害、水害など昨今の激甚化する自然災害への対策としても有効である。

今後は、ますますニーズが高まるであろうIoT (Internet of Things) プラットフォームを取り込み、更なる顧客価値の向上を図っていく。

文献

- (1) JEC-2350:2016, ガス絶縁開閉装置, 電気書院.



可児 文二 KANI Bunji
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・アグリゲーション事業部 電力変電技術部
CIGRE・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



小池 徹 KOIKE Toru
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・アグリゲーション事業部 開閉装置部
CIGRE・電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.