

新形 6 kV 固体絶縁開閉装置 (スマート SIS) の開発

■ 伊藤 忠慶
Tadayoshi Ito

■ 佐藤 裕康
Hiroyasu Sato

■ 佐々木 邦彦
Kunihiko Sasaki

1 はじめに

6 kV 開閉装置は、配電用変電所から配電線への送電および事故遮断のために適用している。昭和 30 年代から 40 年代半ばまでは気中絶縁方式のキュービクルを、それ以降はコンパクト化および環境調和を追求した小型かつ、安全な固体絶縁方式の開閉装置（Solid Insulated Switchgear：SIS）を適用し、キュービクルに対し据付面積 55% 減を実現している。

一方、SIS を適用し始めてから 40 年以上が経過し、経年による設備劣化が進んできている。そこで、ICT 技術の適用、ケーブル配線の極小化、設置スペースの縮小化、状態監視を行うためのセンシングを取り入れた固体絶縁開閉装置（スマート SIS）を開発したので、ここに紹介する。

2 スマート SIS の構造

2.1 外観

図 1 にキュービクル、SIS（従来器）と今回開発したスマート SIS の外観比較を示す。



最大構成 (11 面相当)	気中 キュービクル	SIS（従来器）	スマート SIS
据付面積 [m ²]	18.2 (100%)	9.2 (50%)	8.2 (45%)
機器寸法 [mm] W × D × H	7,000 × 2,450 (100%)	5,400 × 785 × 2,140 (22%)	4,760 × 900 × 1,700 (16%)
備考	—	アナログ形 / デジタル形 リレー搭載	デジタル形 保護制御装置 搭載

図 1 外観構造比較⁽¹⁾

2.2 仕様概要⁽²⁾

スマート SIS は、仕様合理化による機器価格低減と、温湿度センシング、機器動作監視による機構部の状態監視などの経年劣化による保全対策や、保守省力化に向けたスマート化などの仕様を反映した。

6 kV スマート SIS の主な定格・仕様を表 1 に示す。

スマート SIS 外観構造を図 2 に示す。図 2 は、配電線 5 回線であり、最大 8 回線まで対応可能である。

表 1 主な定格・仕様

区分	項目	定格・仕様
固体絶縁 開閉装置	定格電圧	7.2 kV
	定格電流	2,000 A / 600 A
	定格短時間耐電流	12.5 kA, 2 秒
	雷インパルス耐電圧	45 kV
	商用周波耐電圧	22 kV
真空遮断器	定格遮断電流	12.5 kA
	操作方式	電磁操作方式
断路部 接地開閉器	操作方式	電動操作方式
変流器	定格	2,000/1A 1 VA
		600/1A 1 VA
零相変流器	定格	200/1.5 mA
計器用変圧器	定格負担	50 VA × 3
避雷器	公称放電電流	10 kA
所内変圧器	定格容量	30 kVA
保護・制御	保護制御装置	SIS の上部へ搭載
	インターロック	ソフト方式

デジタル形保護制御装置を SIS に搭載することで、CT の低負担化を実現した。さらに、保護制御装置の高精度化により、従来のダブルレシオ CT をシングルレシオ化することで、構造を簡素化した。

動作開始電圧 17 kV 以上、制限電圧の低い避雷器 (LA) を SIS にコンパクトに内蔵することで、雷インパルス耐電圧を低減したものとなっている。

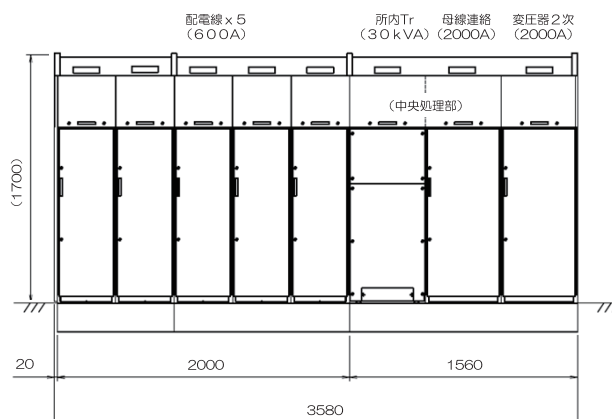


図 2 スマート SIS 外観構造

3 スマート SIS の特長

スマート SIS は、従来形 SIS の特長である固体絶縁方式を踏襲するとともにデジタル化や電磁操作機構の採用ならびに ICT 技術を適用した。これによって信頼性向上と、保守省力化を実現した。

図 3 に、配電線ユニットの内部構造を示す。

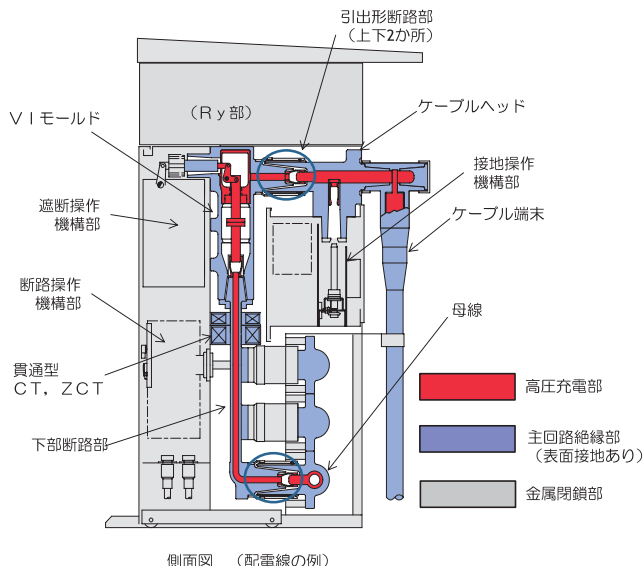


図 3 配電線ユニットの内部構造

3.1 電磁操作機構の採用

真空遮断器は、従来の電動ばね操作方式から、電磁操作方式とすることで構造の簡素化を実現した。特に機構部は、ラッチレス構造および無給油軸受けによるグリスレス化、コンデンサレスによる部品交換の省略など、保守コストの削減をコンセプトとしている。図 4 に電磁操作機構を示す。

真空バルブの遮断器は、動作完了時間や遮断部接点の接触位置近傍での動作速度の要求性能が規定されている。これらの要求性能を満足し、かつ、投入電流のピー

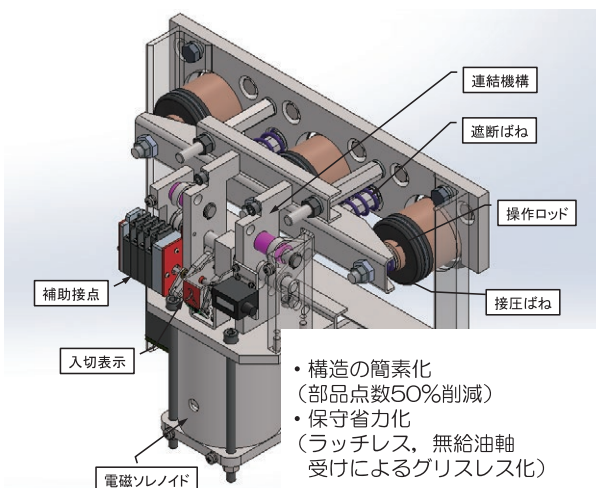


図 4 電磁操作機構

ク値を抑えるため、電磁操作機構の電磁コイルや遮断ばね、接圧ばねの操作エネルギー最適化設計を行った。CAE 技術を活用し、3DCAD から電磁界解析とモーション解析（機構解析）の連成解析で最適設計を行った。

図 5 に投入動作時の操作電流とストローク特性について、解析値と、実器の測定値の比較を示す。操作電流のピーク値や、投入接点直前の動作速度は、実器においても要求仕様を満足する結果を確認できた。

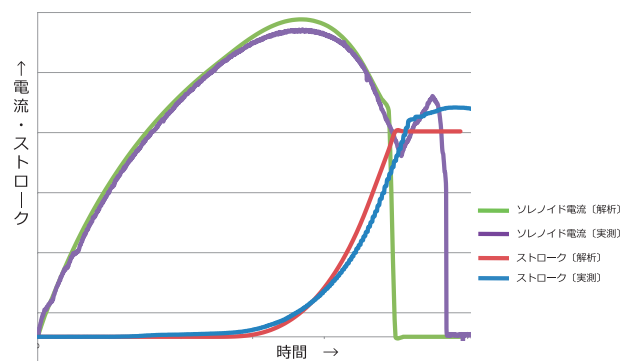


図 5 投入動作時の操作電流とストローク特性（解析と実測比較）

3.2 仕様緩和による最適設計

スマート SIS 開発にあたり、温度上昇限度、定格遮断電流、定格短時間耐電流、雷インパルス耐電圧の仕様緩和、および電磁操作機構、ソフトインターロック採用など機器のコストダウンに影響する合理化仕様を検討した。

遮断器操作機構のほか、断路部 (DS)、接地開閉器 (ES) の仕様に合わせた最適設計を目指し、モデルチェンジを行った。例として図 6 に ES 操作機構比較を示す。操作機構部品点数を約 30 % 削減、電装部品の基板化、ソフトインターロック、検電装置 (VD) のソフト化、組立作業時間の短縮により、コストダウンに大きく寄与した。

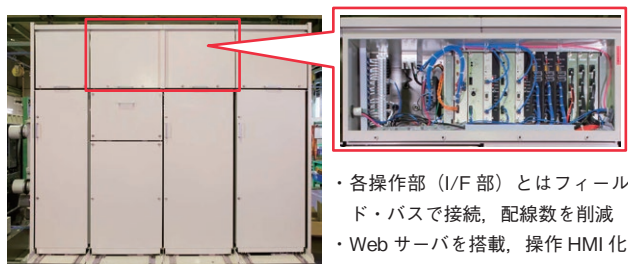
接地開閉器 操作機構比較	
従来器	スマート SIS

図 6 接地開閉器 操作機構比較（例）

4 ICT を活用したスマート化

4.1 保護制御機能

保護・計測・監視制御機能を集中形保護制御装置（中央処理部）として一体化しスマート SIS 内に搭載するこ

図 7 集中形保護制御部⁽¹⁾

とで、コンパクト化とコストダウンを実現させた（図 7）。

なお保護制御方式は、メイン-メイン（M1-M2）構成とした集中形保護制御方式とし、電源や CPU 故障時、異常系を自動的にバイパスさせることで、正常系のみで保護・制御できることから、機能喪失することなく運用継続が可能となっている。図 8 にシステム構成図を示す。

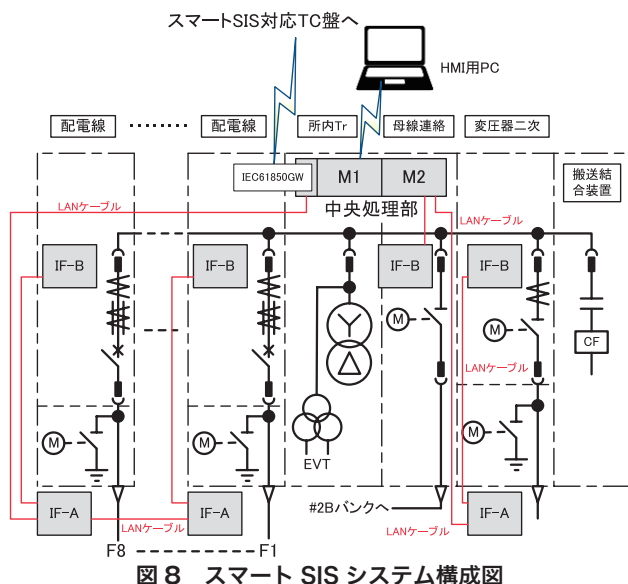


図 8 スマート SIS システム構成図

4.2 機構部のデジタル化

従来装置では操作機構部は補助リレーや各種接点などのハードウェアで構成され、さらにメンテナンスパネル（現地で操作可能な SW や LED のついたパネル）を有していたが、これらを各操作箱内の IF 部にてソフトウェアで実現させ、HMI 用 PC 化することにより、部品点数を大幅に削減した。各 IF 部と中央処理部は LAN ケーブルで接続され、シリアル伝送化することで、SIS 箱内の接続ケーブル類の削減も行った。

したがって、中央処理部で一括して各 IF 情報（機器情報など）が確認できるようになっている。

4.3 HMI

HMI 用 PC を中央処理部に LAN ケーブルで接続することで、SIS 内の機器操作はすべて HMI にて直接操作が行えるようになっている。さらに SIS に関する各種情報（機器状態、計測情報、データ・セーブなど）もすべ

て確認可能である。HMI 用 PC には Java などのプラグイン・ソフトを必要としないため、HMI はブラウザには依存しない。

またセキュリティを向上させるため、HMI 使用時には、あらかじめ登録されたユーザ ID やパスワードを要求する認証機能を搭載した（表 2）。

表 2 HMI の認証機能

項目	内容	備考
ユーザー登録数	最大 100 ユーザ	
ユーザー ID	1~16 文字	英文字、数字、記号のいずれか（大文字・小文字は区別）
パスワード	8~16 文字	
権限	管理、運用、閲覧から選択	実施権限
パスワード有効期限	無、30 日、60 日、90 日、120 日、180 日、360 日から選択	
パソコン接続台数	最大 5 台	IP アドレス設定可能
保存	ハッシュ値による暗号化保存	

4.4 ソフトインターロック

従来装置では機器操作のインターロックはハードウェアで構成されていたが、部材や配線作業時間削減を目的に、ソフトウェア化した。これらインターロック条件は、HMI にて確認が行える（図 9）。

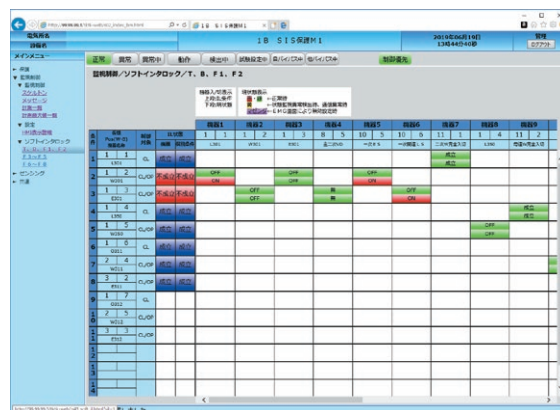


図 9 ソフトインターロック HMI 画面

4.5 センシング

スマート SIS の異常診断および異常予兆の把握を目的に、以下のセンシング機能を搭載している。

- ・遮断部、断路部、接地装置の動作時間測定
- ・可動箱内、主回路断路部の温湿度測定
- ・SIS 主回路部の絶縁劣化の兆候となる間欠地絡などの検出記録

これら各センシング情報は、中央処理部にて HMI 用 PC にて確認が行え、さらに CSV データで保存も可能となっている。

図 10 は温湿度測定の HMI 画面を示している。

図 11 はモールド沿面の部分放電時に発生した零相電

圧, 零相電流波形を表示した HMI 画面である。

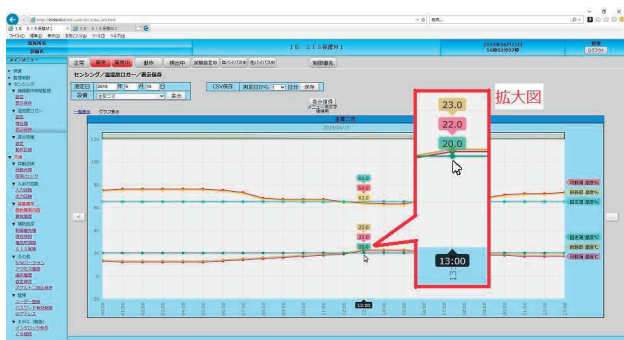


図 10 温湿度グラフ HMI 画面

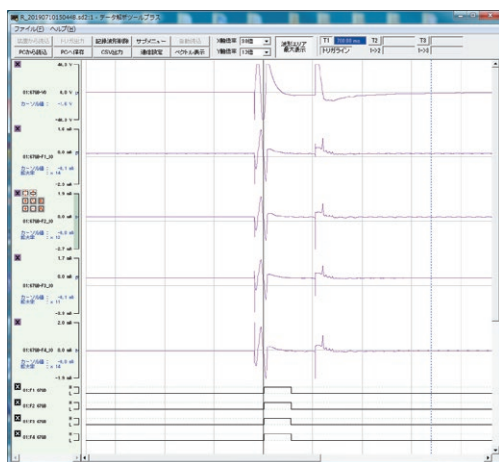


図 11 モールド故障時の HMI 画面⁽¹⁾

モールド部の故障では、地絡事故に至る前の前駆的な事象として、モールド故障部の一時的な絶縁破壊（破壊後に一旦絶縁回復する）の影響から、瞬間的な地絡事象が発生する。この事故兆候を検知するために高速サンプリング（153.6 kHz）かつ全アナログ CH の同時サンプリングを採用した。これにより、外部の地絡事故なのか、内部モールド事故なのかを中央処理部で判断できる。

これらセンシング情報はすべて中央処理部に集められ、HMI にて設定された条件（温湿度レベル、時間など）で、上位システムに警報出力できるようになっている。

4.6 国際標準化対応

スマート SIS からの情報は国際標準規格である IEC61850 伝送により光ケーブルにて IEC61850 対応遠方監視制御装置（SIS-TC 盤）と接続される。これにより従来あった多くの制御ケーブルが光 LAN ケーブルに代替され、大幅に削減が可能となり、部材削減のみならず現地工事期間の短縮にも寄与できる。

図 12 に、スマート SIS と上位接続装置となる SIS-TC 盤との変電所システム構成図を示す。

センシング情報はセキュリティを考慮し、保護監視制御情報用とは物理的にポート分離された LAN ポートで HMI 画面が確認でき、別システムに伝送可能となっている。

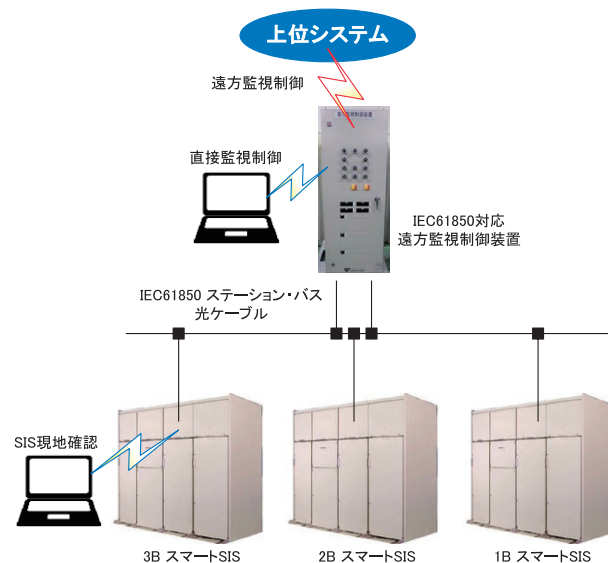


図 12 変電所システム構成図⁽¹⁾

5 おわりに

スマート SIS は、従来器より大幅なコストダウンを達成し、2019 年 9 月より納入している。初号器を図 13 に示す。

搬送結合装置 (既納入品) 変圧器 2 次 (2000A) 母線連絡 (2000A) 所内 T r (30 kVA) 配電線 x 3 (600A)



図 13 スマート SIS 初号器

最後に本開発において、多くの方々の知見を借りるなどのご協力をいただいた。紙面をお借りし、お礼申し上げる。

■参考文献

- (1)「新形 6 kV 固体絶縁開閉装置 (スマート SIS) の開発 (その 2)」, 令和 2 年電気学会全国大会, 6-050 (2020)
- (2)「新形 6 kV 固体絶縁開閉装置 (スマート SIS) の開発 (その 1)」, 令和 2 年電気学会全国大会, 6-049 (2020)

伊藤 忠慶

電力プラント事業本部
開閉装置製造部 固体絶縁スイッチギヤグループ 所属

佐藤 裕康

電力プラント事業本部
開閉装置製造部 固体絶縁スイッチギヤグループ 所属

佐々木 邦彦

エネルギーソリューション事業本部
電力システム製造部 保護制御装置設計グループ 所属