

高度な保守運用を実現する センサインタフェース装置 搭載ガス絶縁開閉装置

■ 笹山 裕之
Hiroyuki Sasayama

■ 薄井 誠
Makoto Usui

■ 篠崎 宏司
Koji Shinozaki

■ 前澤 格
Itaru Maezawa

1 はじめに

電力業界において設備の高経年化，労働人口減少に伴う人材不足により，設備巡視業務の省力化が求められている。これらの課題を解決するためにIoT技術を用いたセンシングソリューションが近年注目を集めている。

センシングデータを活用することにより，設備不具合の予兆察知が可能になり，余寿命診断の高度化，巡視・点検の省人化など，高度な保守運用の実現が期待できる。

今回，センサインタフェース装置（Sensor Interface Unit：以下，SIU）を搭載したガス絶縁開閉装置（Gas Insulated Switchgear：以下，GIS）を開発したので紹介する。

2 SIU 搭載 GIS

2.1 特徴

GISの外観を図1に示す。GISは遮断器，断路器，接地開閉器などの機器本体がSF₆ガス中の安定した雰囲気中に収納され，塵埃や有害ガスなど外部環境による悪影響を受けず信頼性の高い機器となっている。

しかし，各機器が金属容器内に密封されているため，故障箇所の発見が難しく，万一内部故障が発生すると，復旧に時間を要する。また，集積密度が高いため改修が必要となった場合，広範囲の停止を伴うことがある。

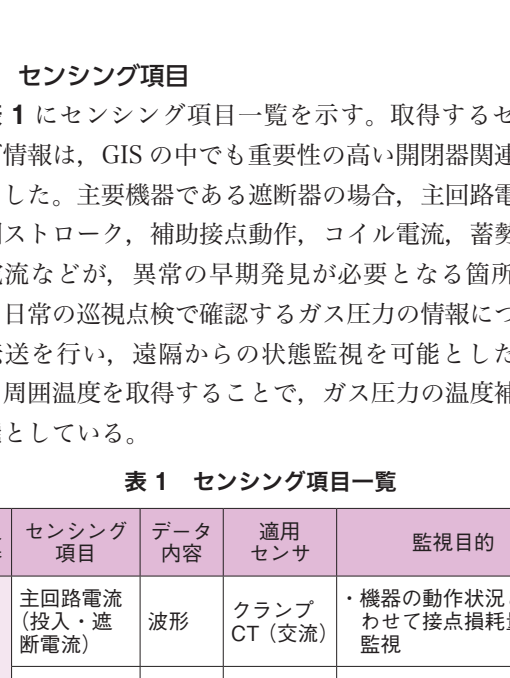


図1 GIS外観

2.2 システム構成

SIU装置搭載GISのシステム構成イメージを図2に示す。GISに各種センサを搭載し，GIS制御盤に搭載したSIUにてセンシングを行う。各SIUは母線連絡回線に設置した光終端箱と光ケーブルで結ばれ，変電所構内に設置されたエッジ端末と接続される。エッジ端末にてセンサ情報が集約され，データサーバへ伝送される。

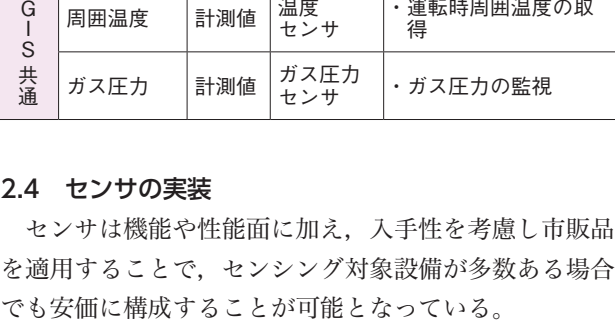


図2 GISのシステム構成例

2.3 センシング項目

表1にセンシング項目一覧を示す。取得するセンシング情報は，GISの中でも重要性の高い開閉器関連の情報とした。主要機器である遮断器の場合，主回路電流や開閉ストローク，補助接点動作，コイル電流，蓄勢モータ電流などが，異常の早期発見が必要となる箇所である。日常の巡視点検で確認するガス圧力の情報についても伝送を行い，遠隔からの状態監視を可能とした。また，周囲温度を取得することで，ガス圧力の温度補正も可能としている。

表1 センシング項目一覧

対象機器	センシング項目	データ内容	適用センサ	監視目的
遮断器	主回路電流（投入・遮断電流）	波形	クランプCT（交流）	・機器の動作状況と合わせて接点損耗量を監視
	開閉ストローク	波形	ストロークセンサ	・各種開閉特性の監視 ・接点損耗量推定のためのアーク時間起点算出
	補助接点動作	波形	SIUにて直接取込	・開閉時間（バレット）の監視
	コイル電流	波形	クランプCT（直流）	・機器操作指令の起点 ・コイル電流値の監視
	蓄勢モータ電流	計測値	クランプCT（直流）	・蓄勢モータ電流の監視 ・蓄勢モータ動作時間の監視
	制御電源電圧	計測値	SIUにて直接取込	・機器動作時の制御電圧監視
断路器・接地開閉器	モータ電流	波形	クランプCT（直流）	・操作指令の起点 ・モータ電流の監視
	補助接点動作	波形	SIUにて直接取込	・開閉時間（バレット）の監視
	制御電源電圧	計測値	SIUにて直接取込	・機器動作時の制御電圧監視
GIS共通	周囲温度	計測値	温度センサ	・運転時周囲温度の取得
	ガス圧力	計測値	ガス圧力センサ	・ガス圧力の監視

2.4 センサの実装

センサは機能や性能面に加え，入手性を考慮し市販品を適用することで，センシング対象設備が多数ある場合でも安価に構成することが可能となっている。

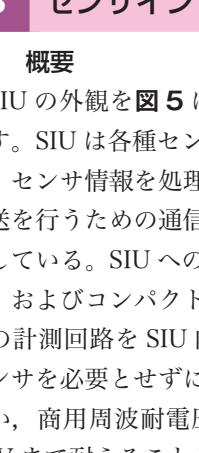
また，開閉器の主回路や制御回路などに影響を及ぼさない構成を基本とし，遮断器動作時の振動による影響を受けにくい構造，センサ類が故障した場合でも容易に部品交換が可能な構造とした。各種センサの配置イメージを図3に示す。



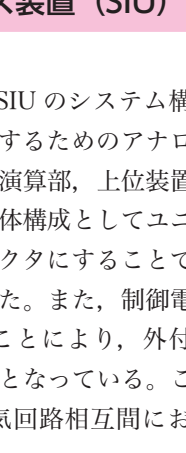
図3 センサ配置

2.5 センサの外観と特長

各種センサの一例・外観と特長を以下に挙げる。センサ外観を図4に示す。



(1) ストロークセンサ



(2) クランプCT



(3) 温度センサ



(4) ガス圧力センサ

図4 各種センサ外観

(1) ストロークセンサ（遮断器）

各種開閉特性・開閉動作時間の監視，接点損耗量推定のためのアーク時間起点算出が可能である。

(2) クランプ型電流センサ（以下，クランプCT）

投入・遮断電流（主回路電流）を監視し，機器の動作状況と合わせて接点損耗量を監視することができる。

クランプCTをGIS制御盤内に設置することで交換を容易にした。

(3) 温度センサ

運転時のGIS周囲温度の監視，ガス圧力の温度補正に用いる。東光高岳製スマートSIS^{注1)}で実績のある温度センサを適用した。I²C^{注2)}通信方式によりノイズに強く，小型であるため，設備内のさまざまな場所へ取り付けが可能である。

(4) ガス圧力センサ

開閉器の機能を維持するために重要なSF₆ガスの圧力監視を行う。複数のガス区画すべてに設置しており，ガス圧力の常時監視が可能となっている。

2.6 センサ試験

センサ単体およびSIUとセンサの組み合わせについて，電力用規格B-402（2016）やJEC-2500-2010，JEC-2501-2010などの関連規格に準拠する条件で実施した。表2にセンサ試験項目一覧を示す。

表2 試験項目一覧表

（凡例）○：試験結果良，－：未実施

試験項目	試験条件	
	センサ単体	SIU・センサ組み合わせ
構造検査	○	－
絶縁抵抗測定	－	○
商用周波耐電圧試験	－	○
雷インパルス耐電圧試験	－	○
温度上昇試験	○	－
過負荷耐量試験	－	○
耐久性試験	○	－
イミュニティ試験	－	○
振動・衝撃試験	○	－
制御電源入力異常試験	－	○

GISに搭載することを考慮し，雷インパルス耐電圧試験においては±4.0 kV（3回）に耐えることを確認した。さらに，減衰振動波イミュニティ試験においてもB-402準拠となる2.5 kVのサージに耐えることを確認した。その他試験においてもすべて良好な結果を得ている。

3 センサインタフェース装置（SIU）

3.1 概要

SIUの外観を図5に，図6にSIUのシステム構成を示す。SIUは各種センサ値を測定するためのアナログ回路，センサ情報を処理するための演算部，上位装置への伝送を行うための通信処理部を一体構成としてユニット化している。SIUへの配線をコネクタにすることで軽量化，およびコンパクト化を実現した。また，制御電源電圧の計測回路をSIU内に設けることにより，外付けのセンサを必要とせずに計測が可能となっている。これに伴い，商用周波耐電圧試験の電気回路相互間において3 kVまで耐えることができる。



図5 SIU外観

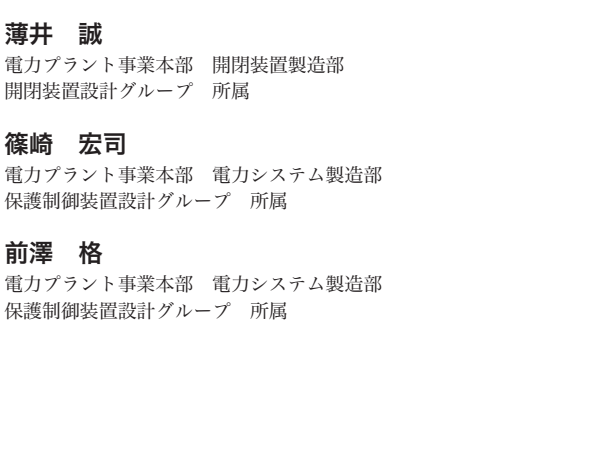


図6 SIUシステム構成

3.2 性能

SIUはセンサ情報を取り込むセンシング機能，センシング情報を伝送するための上位伝送機能，SIUの状態および各種設定を行うHMI^{注3)}機能を搭載している。また，サイバートロの脅威に対してセキュリティ対応を実施した。

(1) センシング

各種センシング情報は計測値，および波形情報として上位伝送を行う。波形情報のフォーマットには汎用ツールで波形解析が可能なCOMTRADE^{注4)}形式を採用した。遮断器のストローク波形から初開離速度を取得するには，10 kHz（100μs/サンプリング）以上の高速サンプリングが必要なため，遮断器ストロークのサンプリングは，IEC 61869-9：2016⁽¹⁾（高速サンプリング）に準拠し14.4 kHz対応としている。遮断器の開閉ストロークをオシロスコープで記録した波形，およびSIUで記録した波形を図7に示す。

図7 遮断器のストローク波形

(2) 上位伝送

波形情報の大容量データを送信することから，上位伝送には光伝送（1000 BASE-LX）による通信方式を採用した。また，計測値の伝送に国際標準プロトコルIEC 61850：Ed2.0規格を採用することで標準化を図った。

(3) セキュリティ対応

「JESCC0004（2019）電力制御システムセキュリティガイドライン」にもとづき，不正処理防止，アクセス制御，ログの取得などのセキュリティ事項の対応を実施している。

(4) HMI

SIUでのセンサ入力状態，計測履歴，およびSIUのメンテナンスや設定情報を閲覧するためのHMI機能を備える。HMIの閲覧には専用ソフトは不要となっており，Microsoft Edgeが動作するパソコンであれば閲覧が可能となっている。HMI機能は情報の閲覧のみが可能な遠隔用，すべての情報の閲覧および設定変更が可能な現地用の2種類を用意した。図8に現地用，遠隔用のHMI画面例を示す。また，図9に現地用HMIの計測表示画面例を示す。

(a) 現地用 HMI

(b) 遠隔用 HMI

図8 HMI画面例

GCB センシング情報			GCB 動作動情報		
項目名	現在値	単位	項目名	現在値	単位
主回路電流 赤	0.00	A	モータ電流	0.00	A
主回路電流 黒	0.00	A	モータ動作時間	0.0	秒
主回路電流 白	0.00	A			
コイル電流	0.00	A			
開閉ストローク	4.0	mA			
補助接点 a	0	-			
補助接点 b	0	-			

図9 計測表示画面例（現地用）

4 おわりに

本稿では，SIUを適用したGISについて紹介した。今後は，既設のGISにもセンサを追加・適用できるように検討を実施し，お客様へ最適なセンシングソリューションをご提案できるように努める。

また，SIU装置搭載の変圧器についても開発を行っており，センシングソリューションのラインナップを拡充していく所存である。

■参考文献

(1) IEC 61869-9：Digital interface for instrument transformers（2016）

■語句説明

注1) スマートSIS：新型6 kV固体絶縁開閉装置の略称。従来の固体絶縁方式の開閉装置（SIS：Solid Insulated Switchgear）にICT技術の適用，センシング機能を組み込んだ装置。

注2) I²C：Inter-Integrated Circuitの略。通信インタフェースの一種でPhilips Semiconductors社（現NXP Semiconductors）が開発した通信規格。2本の信号線によりデータ転送を行う。

注3) HMI：Human Machine Interfaceの略。人間が装置などの状態確認や設定を行うための機能。

注4) COMTRADE：Common Format for Transient Data Exchangeの略。電力システムにおける過渡現象のデータ交換を行うためのIEEE標準の共通フォーマット。

笹山 裕之

電力プラント事業本部 開閉装置製造部
開閉装置設計グループ 所属

薄井 誠

電力プラント事業本部 開閉装置製造部
開閉装置設計グループ 所属

篠崎 宏司

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属

前澤 格

電力プラント事業本部 電力システム製造部
保護制御装置設計グループ 所属