

7.2kV ガス絶縁開閉装置

市川 弥生次(いちかわ やおじ)

鈴木 伸夫(すずき のぶお)

日野 正(ひの ただし)

1 まえがき

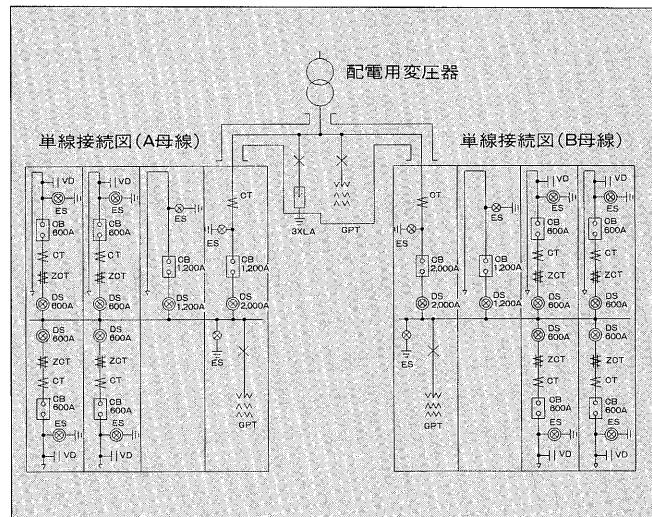
中電圧開閉装置（3.6～36kV）における絶縁方式は、経済性や構造面の利点から現在でも気中絶縁方式が主流を占めている。一方、近年の市場においては、信頼性の向上、保守点検の省力化、用地難による縮小化などの要請が高まっている。富士電機では、こうした社会のニーズに対応すべく、中電圧開閉装置のSF₆ガス絶縁化を取り組んでいる。今回、中部電力（株）と共同で全ガス化をめざした7.2kVガス絶縁開閉装置（GIS）を開発・製品化した。

この装置は、従来方式の短所である水分、じんあいによる絶縁低下や小動物の侵入による事故などを防止するとともに、新技術の適用により保守・点検の省力化、信頼度の向上、コンパクト化を狙いとしたものである。以下に7.2kV GISの概要について紹介する。

2 ガス絶縁開閉・制御装置の概要

今回開発した7.2kV GISの定格を表1に、単線結線図を図1に、配置図（平面図）を図2に示す。

図1 7.2kV GISの単線結線図



2.1 特長

装置の主な特長は次のとおりである。

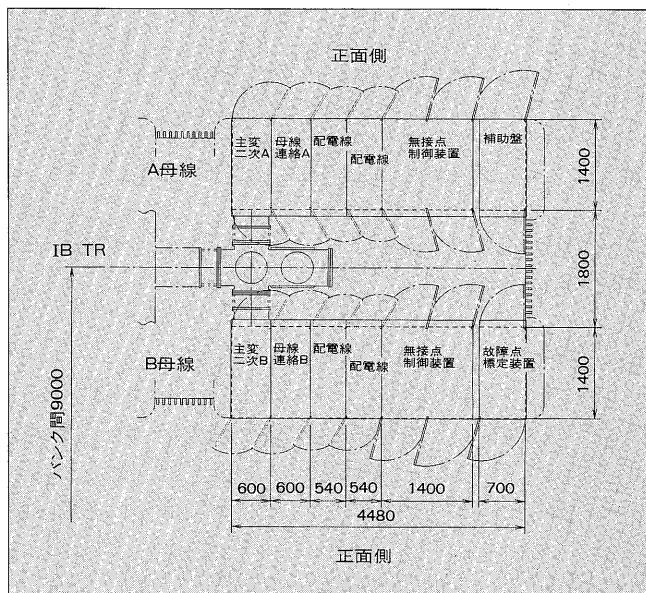
(1) 保守点検の省力化

操作機構のグリースレス、無注油化および制御回路の完全無接点化を実現した。さらに、センサや無接点制御回路によるガス圧、動作回数などのトレンド監視機能および断線・装置不良などの自動監視機能を装備しており、大幅な保守点検の省力化ができる。

表1 7.2kV GISの定格

定格電圧	7.2kV
絶縁階級	6号A
定格周波数	60Hz
定格電流	主母線 2,000A
	分岐母線 600/1,200/2,000A
定格短時間耐電流	12.5kA 2秒
定格ガス圧力	0.05MPa (20°C)

図2 7.2kV GISの配置図（平面図）



市川 弥生次

中部電力(株)三重支店桑名電力センター副長。



鈴木 伸夫

昭和54年入社。ガス絶縁開閉装置の開発・設計に従事。現在、神戸工場設計部課長補佐。



日野 正

昭和58年入社。配電盤の設計に従事。現在、神戸工場設計部。

(2) コンパクト化、建設工期の短縮

ガス絶縁方式の採用と遮断器の二段積構造により容積比で約50%（従来比）のコンパクト化と、変圧器と直結でき母線単位での一体輸送および一体据付け可能な屋外構造により、建屋の縮小、建設工期・コストの低減が図れる。

(3) 信頼度の向上

遮断器操作機構部の簡素化とグリースレス化および制御回路の無接点化により動作信頼度が向上している。また、主要機器〔遮断器(CB), 断路器(DS), 接地開閉器(ES)〕は着脱容易なカセット構造とし、遮断器ユニットも独立したガス容器としているため、当該機器・容器の交換ができる、万一の障害・事故時の復旧時間が短縮できる。

(4) 供給信頼度の向上

各バンクの母線は母線連絡（母連）CBによりスター接続されているため、変圧器故障時に他バンクへの負荷配分が均等化できる。さらに万一内部事故が発生したとき、装置の復旧を迅速に行えるよう故障点標定装置を装備し、電力供給信頼度の向上を図っている。

2.2 構成

図2に示すように、開閉・制御装置は各母線の1/2バンク単位ごとに受電、母連、配電線および無接点制御装置の5面で構成されている。さらに、1バンク単位ごとに故障点標定装置と補助盤が各1面装備されている。各バンク間は母連盤によりケーブルで連係がとられており、最大3バンク構成である。

3 ガス絶縁開閉装置 (GIS)

7.2kV級の絶縁方式は、気中絶縁方式以外ではガス絶縁方式、固体絶縁方式、半固体絶縁方式などが考えられるが、耐環境性、故障点標定、予測保全対応に優れ、変電所の全ガス化の観点からガス絶縁方式を採用した。主回路機器はGISで培われた技術をベースに、さらに信頼性向上のための新技術を積極的に取り入れている。

3.1 構造の概要

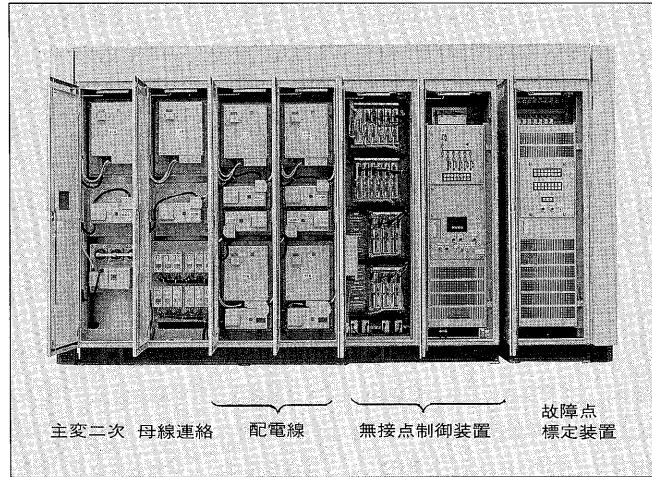
図3に外観を、図4に代表的な配電線盤の断面図を示す。正面側に操作機構部、背面側にケーブルを配置している。主回路部は母線室、上下CB室の三つのガス容器に収納されている。

(1) 主要機器

CBには真空遮断器を採用している。投入・遮断時のアーケによる圧力上昇およびSF₆分解ガスの発生がなく、安全性が高い。CBの操作方式としては、構造の簡素化、部品点数削減の観点から、電磁操作方式を採用している。

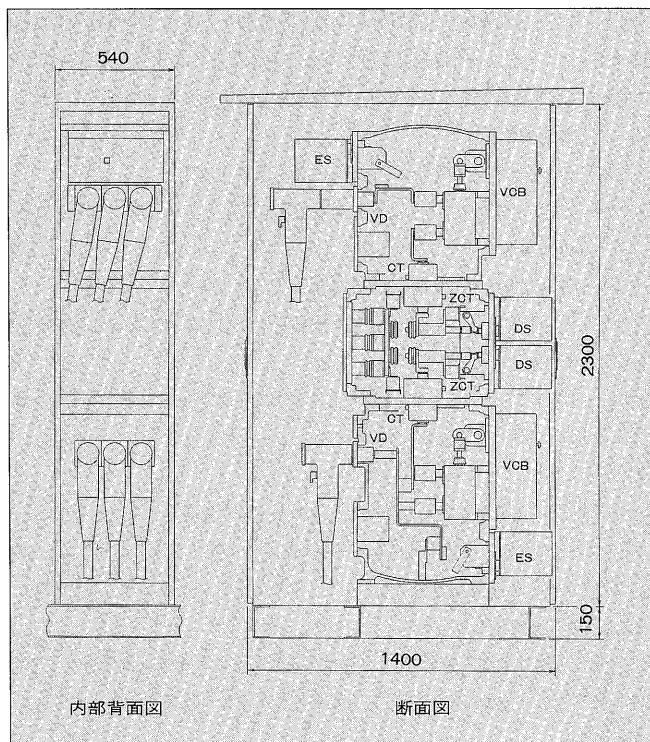
DSはガス中での金属粉発生に配慮したチューリップコンタクト形（直線形）構造とし、信頼性の向上を図っている。ESは刃形（回転形）構造としている。これらの機器（CB, DS, ES）は取付ベース（ふた）のガス中側に主回路部、気中側に操作機構部を一体マウントしたカセット構

図3 7.2kV GIS の外観



N99-2101-17

図4 配電線盤断面構造図



造としており、機器の着脱が容易に行える。

計器用変流器、変圧器（GPT, CT, ZCT）は、コンパクト化の点からエポキシモールド形を採用し、ガス中設置としている。

(2) ケーブル端末部

ケーブル接続部はEPゴムでストレスコーン部を形成した充電部が露出しないスリップオンタイプのケーブル端末である。端末形状は、ケーブル耐電圧試験用ブッシングが取り付けられるようにT形としている。この端末の表面は接地層を施しており、安全性の高いものである。

(3) 容器

配電線盤は中央部の一括形母線室容器の上下に各CB室容器を配置した二段積構造となっている。CB室容器は独立したガス容器となっており、容器ごとの交換も可能な構造

である。容器は軽量化と加工性からアルミ合金鋳物を採用している。内部短絡事故時の内圧上昇に対する容器強度はバックアップ遮断時間と協調をとった強度としているが、万が一のバックアップ遮断器不動作を考慮し、放圧板を設けて他のガス区画（母線室）へ放圧するようにしている。

3.2 高機能化

ガス絶縁方式による耐環境性の向上、コンパクト化などのほかに下記の高機能化が図られている。

(1) 操作機構部のグリースレス化、無注油化

操作機構部の動作不円滑、こじれやグリース固着などに起因する動作不良などを防止し、障害を低減させるために、CB の操作機構部は、引外し自由機構の省略など機構の簡素化と最適な表面処理による機構部のグリースレス化を図った高信頼度形操作器としている。また、DS/ES 用電動操作器は減速機を除き、新表面処理（複合めっきなど）の採用により耐摩耗・潤滑性の向上を図った注油不要の操作器としている。これにより、動作信頼度の向上、障害の低減および注油作業の削減など保守の省力化を図っている。

(2) 自動監視機能

下記の自動監視機能が付加されている。

(a) 機器 (DS, ES) 動作時間監視による動作固渋や不応動監視

(b) 機器動作回数の常時監視

(c) 三相監視方式の電圧検出装置による真空バルブ真空漏れ検出

(d) 操作コイル、インタロックマグネットコイルの断線有無監視

(3) 光化

操作器内部のパレットスイッチや位置検出リミットスイッチに光リミットスイッチを採用した。これにより、接触不良障害、制御回路へのノイズの侵入を低減している。

(4) 遠方制御化

DS および線路 ES は、電動操作による遠方制御を可能としており、操作のために変電所へ出向く必要がない。

4 無接点制御装置

この装置は、富士電機が GIS 制御回路について中部電力(株)と共同で研究・開発を行ってきた無接点化の成果を基に、7.2kV GIS 用制御装置として実用化したものである。無接点化による接触信頼性向上のほか、自動監視・表示機能、LAN 結合インターフェースを備え、高信頼度化と高機能化を実現している。表 2 に機能の概要を示す。

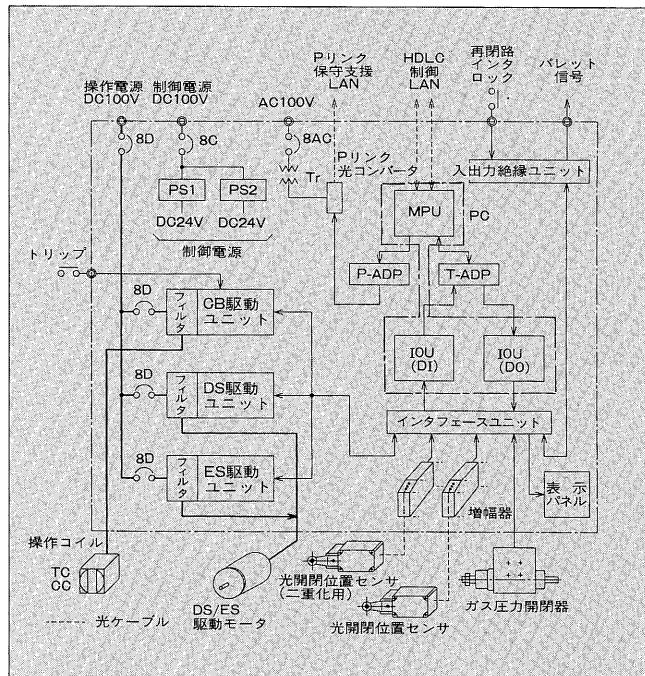
4.1 システム構成

図 5 にシステム構成を示す。ハードウェアは、演算処理を担当するプログラマブルコントローラ (PC), 開閉器を操作する駆動ユニット、開閉位置センサ、電源装置などの制御機器と監視表示部 (30S, 30F) から構成される。これに入出力絶縁ユニット、絶縁トランジスタ、フィルタユニッ

表 2 無接点制御装置の機能概要

項目	内容
開閉器制御	(1) 多重選択操作の防止を行う選択制御 (2) インタロック条件判断 (3) 各種故障情報に基づく制御ロック (4) 開閉器操作制御
自動監視	(1) 常時監視 ・開閉器位置状態監視 ・開閉位置センサ自己診断、相互診断 ・VD 情報による配電線検査および CB 真空漏れ監視 ・ガス漏れ、MCCB トリップなどの警報監視 ・開閉器操作回路の断線、駆動回路出力段の短絡監視 ・DI 二重化不一致検出による入力情報の健全性確認 (2) 自動監視 開閉器駆動回路系の短絡、開放（断線）故障チェック (3) 故障情報保持
保守支援	(1) 開閉器動作回数積算 (2) 開閉特性（動作時間）監視
表示	(1) 開閉器状態表示 (30S) 模擬母線に開閉状態表示 (2) 故障状態表示 (30F) 集合表示灯および 7 セグメント表示器への表示
他装置とのインターフェース	(1) 通信結合 ・上位制御装置：光 RS-232C/HDLC 手順 (9,600bps) ・保守支援装置：富士電機 光 P リンク (5 Mbps) (2) 接点結合 ・保護繼電装置：トリップ、再閉路、パレット信号など ・パンク間、GIS 間とのインターロック条件受渡し

図 5 無接点制御装置のシステム構成



トを加え、絶縁性能と耐ノイズ性能を強化している。

また、入出力絶縁ユニットを除きすべて無接点化されており、従来に比較して大幅な接触信頼性の向上を図っている。

4.2 フェイルセイフ化

開閉器制御では、誤操作出力防止およびトリップ指令に対する誤不動作防止がきわめて重要である。本装置では、以下の考え方をもとにフェイルセイフ化を図っている。

(1) PC の DO を含めた操作駆動回路系の二重直列化構成

- (2) ハードウェアの直列化に対応したソフトウェアのタスク分離とメモリ領域の分割化
万一、直列化したうちの 1 系列で誤動作や破損が生じた場合でも、もう 1 系列側が健全である限り STOP の役割を果たし誤動作の防止が図れる。
- (3) 保護継電装置のトリップ信号を PC を経由せず、駆動ユニットの足払い回路へ直接入力
- (4) 足払い回路の二重並列化（制御電源、開閉センサの分離独立化含む）

PC ダウン時を考慮し、足払い回路の冗長化を行いトリップ指令に対する誤不動作を防止するものである。

さらに本装置では、表 3 に示すディジタル形保護継電装置で採用されている信頼度確保の手法を導入し、システム全体の高信頼度化を図っている。常時監視や自動点検、自己診断、相互診断などが自動監視機能として含まれている。

4.3 絶縁性能と耐ノイズ性能

駆動ユニット単体では、保護継電装置と同等の雷インパルス 4.5kV、矩形（くけい）波ノイズ 1kV、減衰振動波ノイズ 3kV の耐ノイズ性能を確保している。さらに、入出力絶縁ユニット、絶縁トランジスタおよびフィルタユニットと組み合わせることにより装置全体としては雷インパルス 7kV の絶縁性能を、矩形波および減衰振動波ノイズに対しては保護継電装置と同じレベルの耐ノイズ性能を確保している。

表 3 信頼度確保実施項目

対象	適用方式	備考
駆動ユニット	二重並列化	誤不動作防止。トリップ回路に適用
	二重直列化	論理回路部、出力段素子の直列化
	常時監視	出力段素子の短絡故障監視
	自動点検	点検（模擬）指令を与えての出力段素子応答確認
開閉器操作回路	常時監視	トリップコイル、投入コイル、操作電動機断線監視
開閉位置センサ	光化	接触信頼性向上、耐ノイズ性能向上
	自己診断	メイン出力とモニタ出力の不一致を常時監視
	相互診断	閉路用、開路用を独立に設置し、センサ間の出力の不一致を常時監視
	二重化（CB）	トリップ回路の二重並列化に対応
・インタロック信号 ・再閉鎖信号	DI 二重化読み込み	二重化信号の不一致を常時監視
	取込み先 DI ボードの分離	ボード異常、破損における不一致検出のフェイルセイフ化
入力信号全般	DI 2 度読み	耐ノイズ性能強化
駆動ユニット用 DO	DO ボード分離	駆動回路の直列化に対応した操作指令 DO ボードの分離
PC	タスク、メモリ領域分離	駆動回路の直列化、DO ボード分離に沿ったソフトウェア分離
	RAS 機能	PC の自己診断
	外部ハードウォッチドッグ タイマ設置	定期周期パルスを DO 出力し、外部にてパルスを監視。PC の外部診断

4.4 高機能化

- (1) 自動監視機能は、高信頼度化のほかに保守員による点検および監視を代行するなど制御部保守点検の省力化が図られる。

また、異常検出時には LAN を介して保守管理端末に通報することにより遠方監視を可能としている。

- (2) 7 セグメント故障表示器は、故障内容をコード化することにより 1/2 バンクあたり 231 項目の詳細内容を表示することが可能である。また、過去 16 点についての故障履歴検索機能も備えており、異常発生時の初期判断や初期行動に対するきめ細かな情報を提供することができる。

4.5 システム構成機器

- (1) ディジタル制御装置

本装置には、PC として MICREX-F シリーズの上位機種である HDC-500 を採用している。この HDC-500 が持つ高機能性を生かしてタスク分離化や開閉操作制御に必要な高速処理、LAN 結合インターフェースなどを実現している。

- (2) 駆動ユニット

前述の直列化構成によってフェイルセイフが構成されているが、さらに自動点検機能により論理回路部を含めた短絡および開放（断線）故障の検出も可能である。出力段はパルスランプとパワー MOSFET により形成され、パワーと信号回路との絶縁および回路の簡素化を図っている。

- (3) 開閉位置センサ

接触信頼性および耐ノイズ性能に優れた光リミットスイッチを使用している。この光リミットスイッチはメイン出力のほか、モニタ用出力を備えており不一致検出によるリミットスイッチの健全性確認（自己診断）が可能である。

- (4) 電源装置

遮断器トリップ回路の電圧変動範囲 DC65～125V に対応した入力変動を許容するとともに、保護継電装置と同等の絶縁性能および耐ノイズ性能を確保している。

- (5) LAN

上位制御装置との結合は、今後の発電所で標準的に採用されるとみられる HDLC 方式を、保守支援装置との結合には大量データを高速伝送できる P リンク方式を採用している。いずれも耐ノイズ性能に優れた光伝送方式である。

4.6 制御盤

開閉装置と列盤構成となる屋外形制御盤であり、冷却装置故障によるシステムダウンを考慮して自然冷却方式としている。このため、盤内空気が滞留しないよう機器配置を工夫したり、扉と天井に日除けを設け日射の影響を軽減するなどの温度上昇対策を講じている。

また、主機本体からの開閉サージや外来ノイズに対して電圧回路区分を考慮した機器配置、配線ルートの分離、機器取付けの絶縁、金属ダクトの採用などの対策を行ってノイズ、サージの侵入、伝搬を防止している。

図 6 故障点標定装置のシステム構成

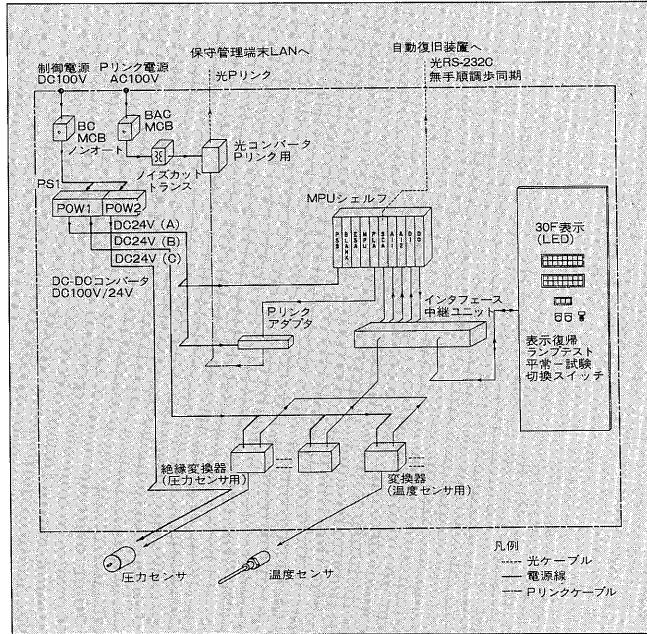


表 4 故障点標定装置の概略機能

項目	機能概要
故障点標定機能	<ul style="list-style-type: none"> 標定対象ガス区間は15区間で、短絡故障を対象 短絡故障が発生した場合の圧力上昇をガス圧力センサで検出、故障点を標定 最小ガス圧力検出値は、短絡電流および故障継続時間の最小値から決定される
放圧板動作検出機能	短絡故障によるガス圧力上昇により放圧板が動作した場合の隣接ガス区間のガス圧力上昇を監視することで放圧板動作の有無を検出
ガス圧力監視機能	<ul style="list-style-type: none"> ガス圧力監視としては、温度上昇による異常なガス圧力上昇とガスリークによるガス圧力低下を検出 <ul style="list-style-type: none"> ガス圧力異常上昇：最高許容ガス温度でのガス圧力以上を検出 ガス圧力異常低下：ガスリークによるガス圧力低下警報設定値以下を検出 スローリーク：ガス圧力の低下傾向およびその傾きが一定値以上を検出 ガス圧力急激低下：一定値以上のガス圧力低下が数分内に生じた場合検出
故障表示・上位伝送機能	<ul style="list-style-type: none"> 保守支援機能としてガス圧力（温度補正）値と容器温度を保守支援管理端末に伝送 異常を検出した場合には、現場故障表示（30F）を行うとともに、上位に異常内容を伝送

5 故障点標定装置

供給信頼度の向上からは、万一故障が発生した場合には停電時間を短縮するために迅速な復旧が望まれる。このため、故障の早期発見と部位の特定が重要になる。故障点標定装置では、ガス圧力センサからの情報をもとに、短絡故障、放圧板動作などの故障を発見し、故障部位を特定するものである。1 バンクごとに1面が設けられている。

5.1 システム構成

図 6 にシステム構成を示す。開閉装置のガス容器に取り付けられた温度センサおよびガス区分ごとに設けられた圧力センサ（ストレーンゲージ式）からの信号を、変換器を介してデジタル制御装置に取り込み、ガス圧力を温度補正することでガス密度監視を行っている。また、種々のロジック判断を行い故障検出するとともに、上位（自動復旧装置、保守支援監視端末）に故障検出情報およびガス圧力データを伝送している。なお、上位との伝送は光信号により行っている。

5.2 機能・構造

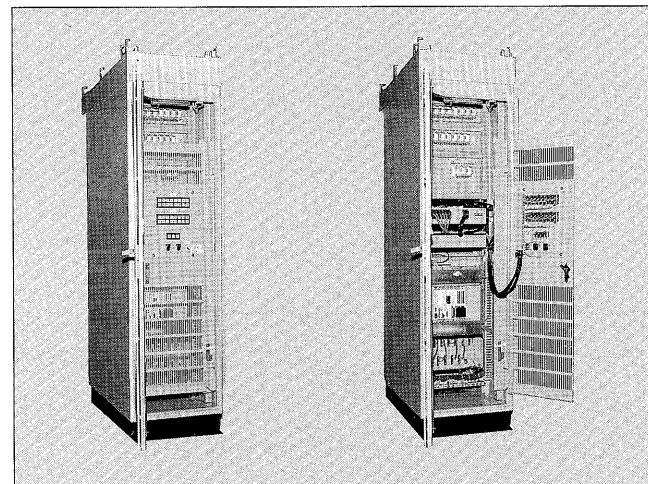
故障点標定装置の概略機能を表 4 に示す。また、外観を図 7 に示す。屋外設置のため、日除けや断熱材の取付けなどの温度対策を施すとともに、無接点制御装置と同様、除湿器の設置や電源（熱源）の配置に十分な配慮をしている。

また、各機器配置や配線ルート、接地方法、機器外線との絶縁などノイズ対策についても十分に配慮されている。

6 あとがき

本稿では、今回製品納入を完了した 7.2kV GIS の構造、

図 7 故障点標定装置の外観（左：正面、右：正面内部）



機能および無接点化について、その概要を中心に紹介した。

ユーザーニーズである高信頼度化、無保守・無点検化、縮小化を指向した製品であり、今後の適用拡大が期待されている。今後、より一層の高信頼度化、高機能化に対応できる新技術の適用と拡大の努力をしていく所存である。

最後に、本 GIS は各種の新技術が適用されているためユーザーをはじめ幅広い関係者のご助力により開発されたものであり、関係各位に深謝の意を表する。

参考文献

- (1) 市川弥生次ほか：真空遮断器を使用した 7.2kV ガス絶縁開閉装置の開発、電気学会開閉保護研究会、SP-93-15 (1993)
- (2) 喜多村忠雄ほか：高信頼度形真空遮断器、富士時報、Vol. 65, No.2, p.131-133 (1992)
- (3) 山田守ほか：6 kV ガス絶縁キューピック用故障点標定装置の開発、電気学会電力・エネルギー部門大会、No.612, p. 1005-1006 (1993)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。