

配電用24 kV集積形スイッチギヤ

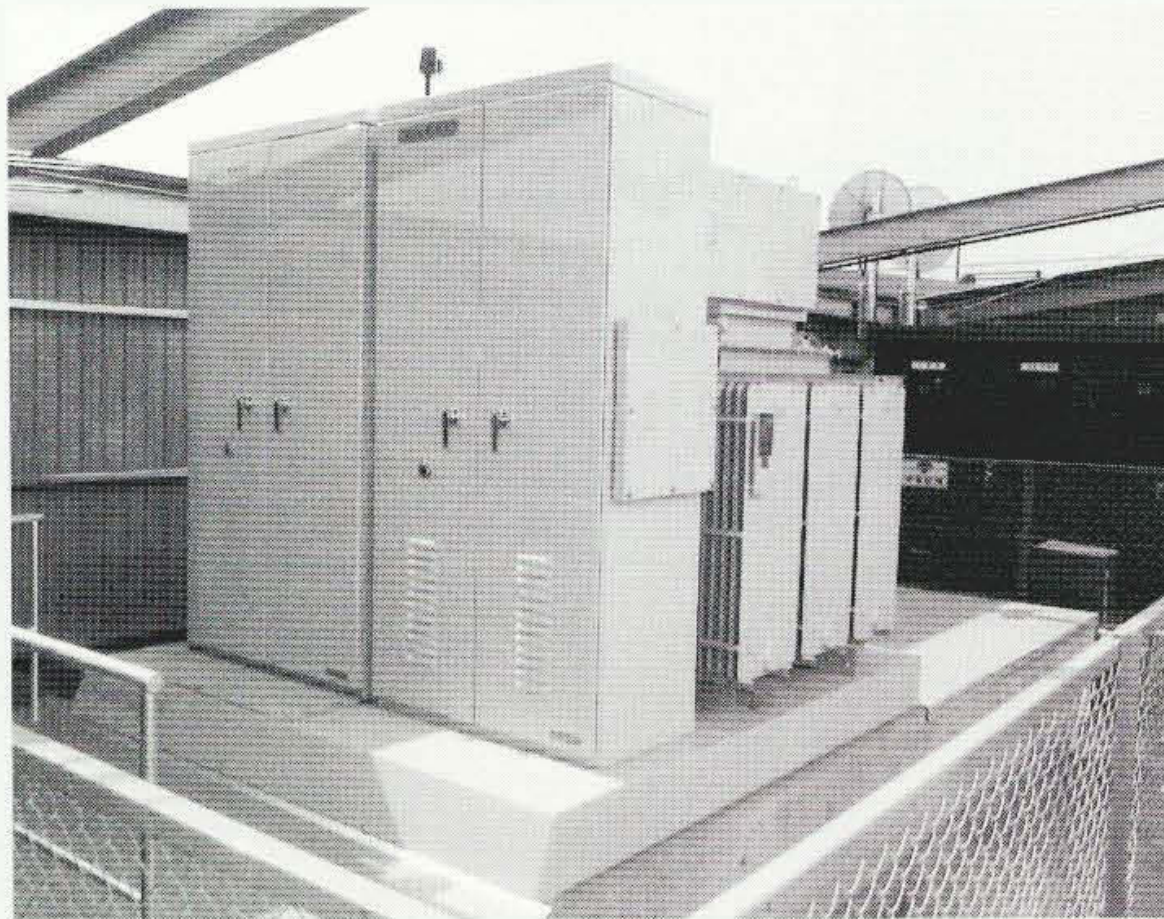
Development of 24 kV Switchgear with Multi-Functional Vacuum Interrupter for Distribution

梶原 悟 Satoru Kajiwara

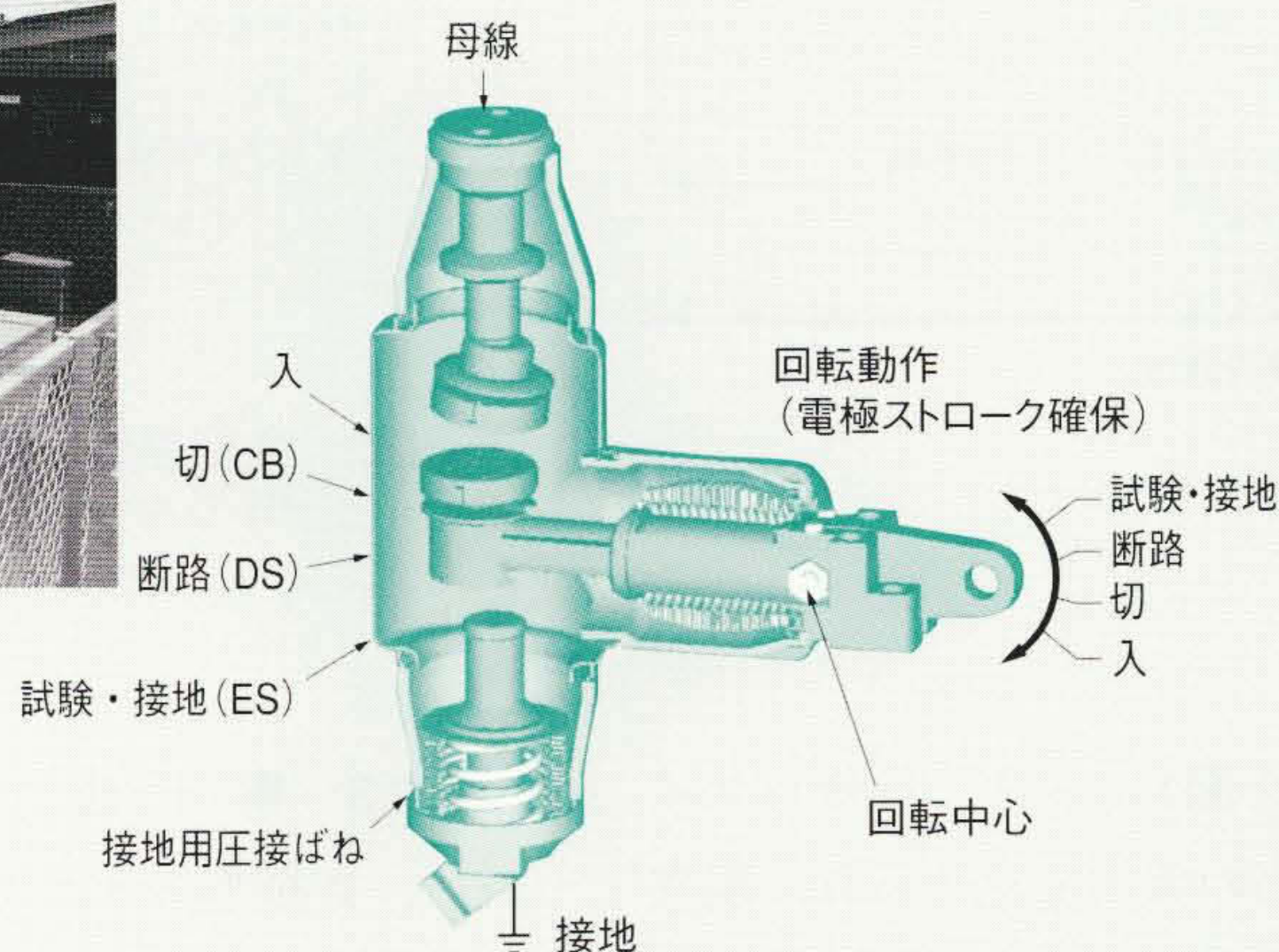
渡辺能康 Yoshiyasu Watanabe

谷水 徹 Tôru Tanimizu

森田 歩 Ayumu Morita



(a) 集積形SWGRを使用した受配電設備の外観



(b) 4ポジション真空バルブの構造

注：略語説明

SWGR (Switchgear)

CB (Circuit Breaker)

DS (Disconnecting Switch)

ES (Earthing Switch)

東京電力株式会社納め「ゼップ東京」用受配電設備

24 kV集積形スイッチギヤを使用した受配電設備(a)をコンサートホール「ゼップ東京」に納入した。この24 kV集積形スイッチギヤには4ポジション真空バルブ(b)が使用されている。

近年の電力需要の増加や地価の高騰による変電所立地難などにより、従来の6 kV配電を昇圧する要求が高まってきている。しかし、22 kV配電機器は、6 kVのものと比べて大型で高価格であり、22 kV配電の拡大に対する障害となっていた。そのため、東京電力株式会社と日立製作所は共同で、遮断器、断路器および接地装置を収納した集積形スイッチギヤを開発した。

開発した集積形スイッチギヤは、6 kV機器と同等以下の大きさであり、当初の目的を十分に達成した。縮小化のポイントは、遮断器、断路器および接地装置の開閉部を集約した、「4ポジション真空バルブ」である。従来の真空バルブ内の電極は直線的な動きしかできなかったが、たる形ベローズの開発によって電極が円弧運動することを可能とし、直線運動に比べて大きなストロークを得ることができるようになった。その結果、ストローク中に四つのポジションを設けることができ、機器サイズ的大幅な縮小を可能にした。

1998年12月から現在までにこの集積形スイッチギヤを12サイトに納入した。今後は、一般民需や海外市場も視野に入れた展開を図っていく。

1 はじめに

電力消費が集中する都市部の電力需要が増加する中で、6 kV配電用変電所の用地不足や、配電用管路の輻輳(ふくそう)化などによるコストアップなどの問題に対処するため、配電電圧を6.6 kVから回線当たりの容量が大きい22 kVに昇圧して、負荷の近傍まで配電する、効率的な電力供給が求められている。しかし、22 kV機器は6 kVに比べてサイズが大きく高価格であることから、22 kV配電拡大に対する大きな障害となっている。そのため、東京電力株式会社と日立製作所は、共同研究により、22 kV配電機器の6 kV並みへのコストダウンと機器の

コンパクト化を図った、集積形スイッチギヤを開発した。

ここでは、今回開発した製品の開発の内容と、納入例について述べる。

2 集積形スイッチギヤ

2.1 主な仕様

スイッチギヤとは、接地した金属製の外皮で主回路開閉器を覆い、開閉機器やこれを保護、制御するための機器、および主回路電流などを計測するための機器を備えた装置を言う。

今回開発した集積形スイッチギヤの主な仕様を表1に示す。

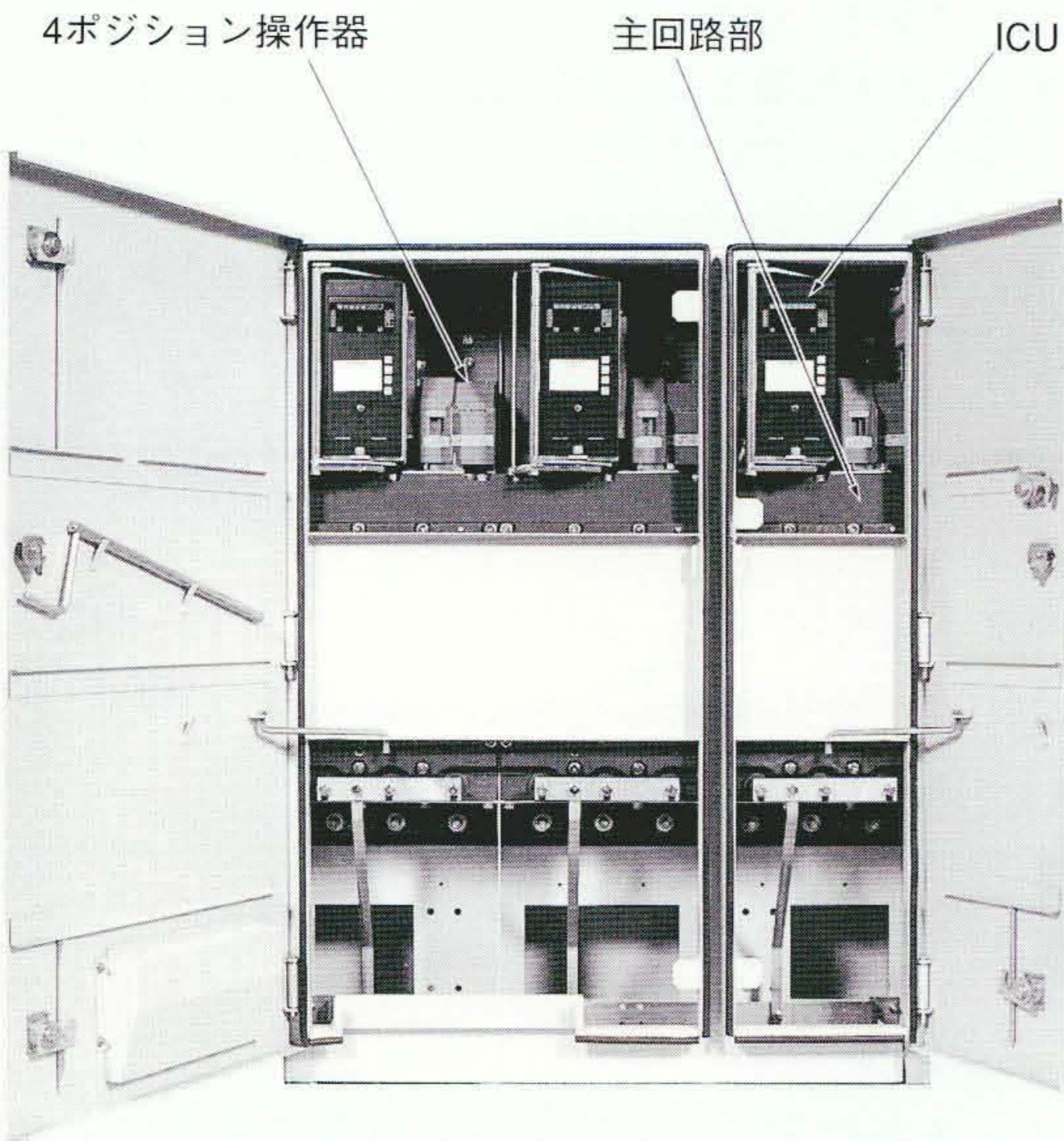
表1 集積形スイッチギヤの主な仕様
開閉器の一体化と複合絶縁方式が大きな特徴である。

項 目		仕 様
開閉器の種類		遮断器・断路器・接地装置を一体化
絶縁方式		真空-SF ₆ ガス-エポキシモールドによる複合絶縁
定格電圧		24 kV
定格電流		200 A, 400 A, 600 A
定格周波数, 相数		50/60 Hz, 三相
定格遮断電流		25 kA
定格短時間耐電流		25 kA 1 s(主回路、接地回路)
耐 圧	商用周波	50 kV(60 kV)
	雷インパルス	125 kV(145 kV)

注：()内の数値は断路部極間の耐圧値を示す。

2.2 外形寸法

集積形スイッチギヤの外観を図1に示す。集積形スイッチギヤの外形寸法は、東京都の条例で定められ、現在路肩に設置されている6 kV用の機器と同一とし、その中に主回路部や、制御部などで構成するスイッチギヤを3回路分と、その3回路を接続するためにモールド絶縁した母線を収納した。



注：略語説明
ICU(Intelligent Control Unit)

図1 集積形スイッチギヤの外観
集積形スイッチギヤの外形寸法は、6 kV用の機器と同一〔幅1,100×奥行き450×高さ1,450(mm)(ベース部を合わせると高さ1,500 mm)〕である。

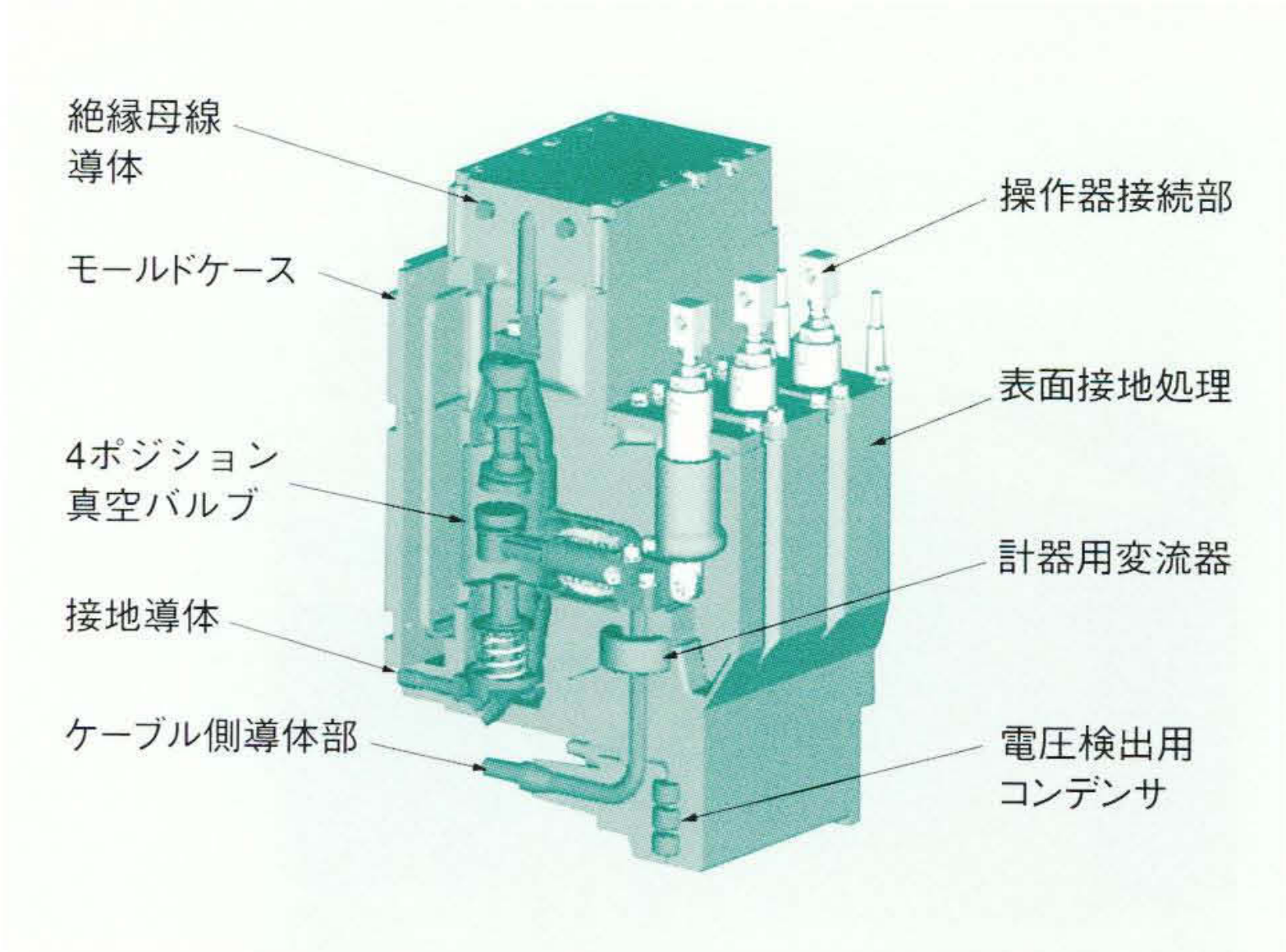


図2 主回路部の断面
エポキシモールド表面の全面に導電性塗料を塗り、接地することにより、保守時の作業の安全性に配慮している。

2.3 構 成

集積形スイッチギヤは、(1) 4ポジション真空バルブ3本を収納した主回路部、(2) その真空バルブを「入」-「切」-「断」-「接地」の4ポジション間で動作させるための操作器、および(3) 制御部から成り、主回路の保護や電流・電圧などの状態監視をするデジタル型保護計測装置などで構成する。

主回路部の断面を図2に示す。集積形スイッチギヤの主回路部分は、(1) モールドケース下部のケーブルヘッドを接続するためのケーブル側導体部、(2) エポキシモールドされた計器用変流器、電圧検出用コンデンサ、および(3) モールドケース内に組み込まれた3本の4ポジション真空バルブなどで構成する。

ケーブル側導体部は、米国IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)規格のケーブルヘッドと適合する形状とすることで、今まで納入先ごとに異なっていたケーブルヘッドの形状を統一した。これにより、部品の国際調達が可能になり、部品の原価低減を図ることができるようにした。

また、主回路、対地間および相間の主要な部分の絶縁は、モールドケースと真空バルブのすきまに封入した少量のSF₆ガスと、真空バルブ間のモールド絶縁板を用いた複合絶縁とすることにより、信頼性を高めている。

さらに、地球温暖化ガスであるSF₆ガスの使用量をガス絶縁スイッチギヤの数十分の一とし、環境面にも配慮している。

2.4 従来品との比較

集積形スイッチギヤと従来品の外形寸法比較を図3に

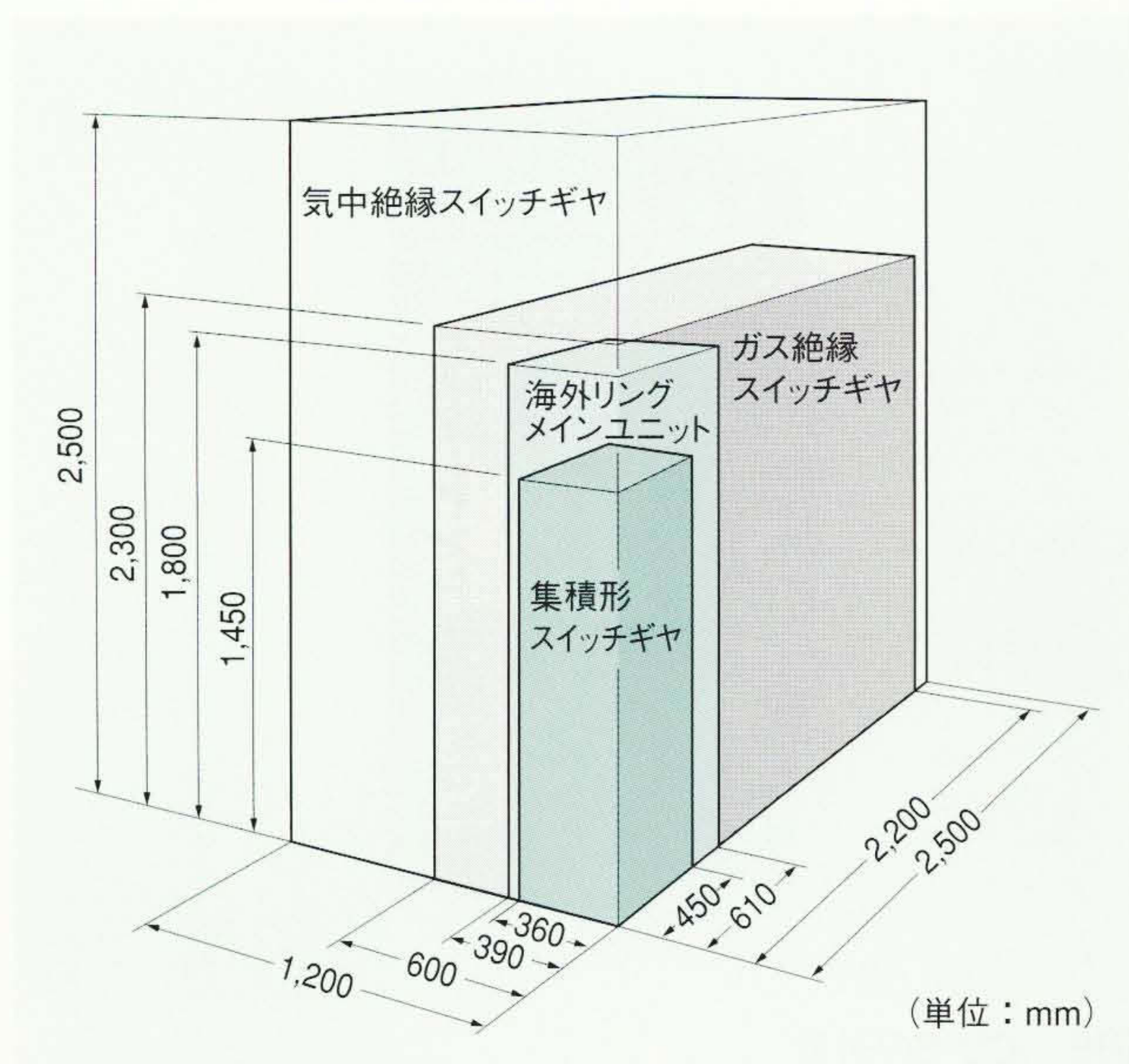


図3 従来品と集積形の寸法比較

集積形スイッチギヤは気中絶縁スイッチギヤに対して、据付け面積で約 $\frac{1}{18}$ 、体積では $\frac{1}{30}$ にそれぞれ縮小することができた。

示す。

リングメイン（後述）以外の仕様は、「遮断器＋断路器＋接地装置」の1回路分を収納したものとした。

また、集積形スイッチギヤでは、周辺機器との接続をケーブルで行うことを基本としているため、機器のレイアウトを検討する場合の自由度が増え、リプレース案件などで設置場所の制約から機器を1か所にまとめて設置できないような場合でも、機器を分散配置することができるというメリットがある。

3 縮小化技術の概要

3.1 4ポジション真空バルブ

通常の遮断器用2ポジション真空バルブと集積形スイッチギヤ用の4ポジション真空バルブの構造を図4に示す。

通常の2ポジション真空バルブでは、真空容器内の可動側電極を上下方向に直線動作させ、「入」-「切」の二つのポジションにより、通電-遮断の機能を持たせている。これに対して、4ポジション真空バルブは、一つの真空容器の中で可動側電極の円弧運動により、「入」-「切」-「断路」-「接地」の四つのポジションを持っており、通電-遮断-断路-主回路の接地の機能を持っている。このような真空バルブは世界で初めてのものである。

遮断器、断路器、および接地装置の開閉部を一つの真空バルブに集約することにより、機器の取付けスペースや機器間の接続が不要になり、スイッチギヤサイズの大

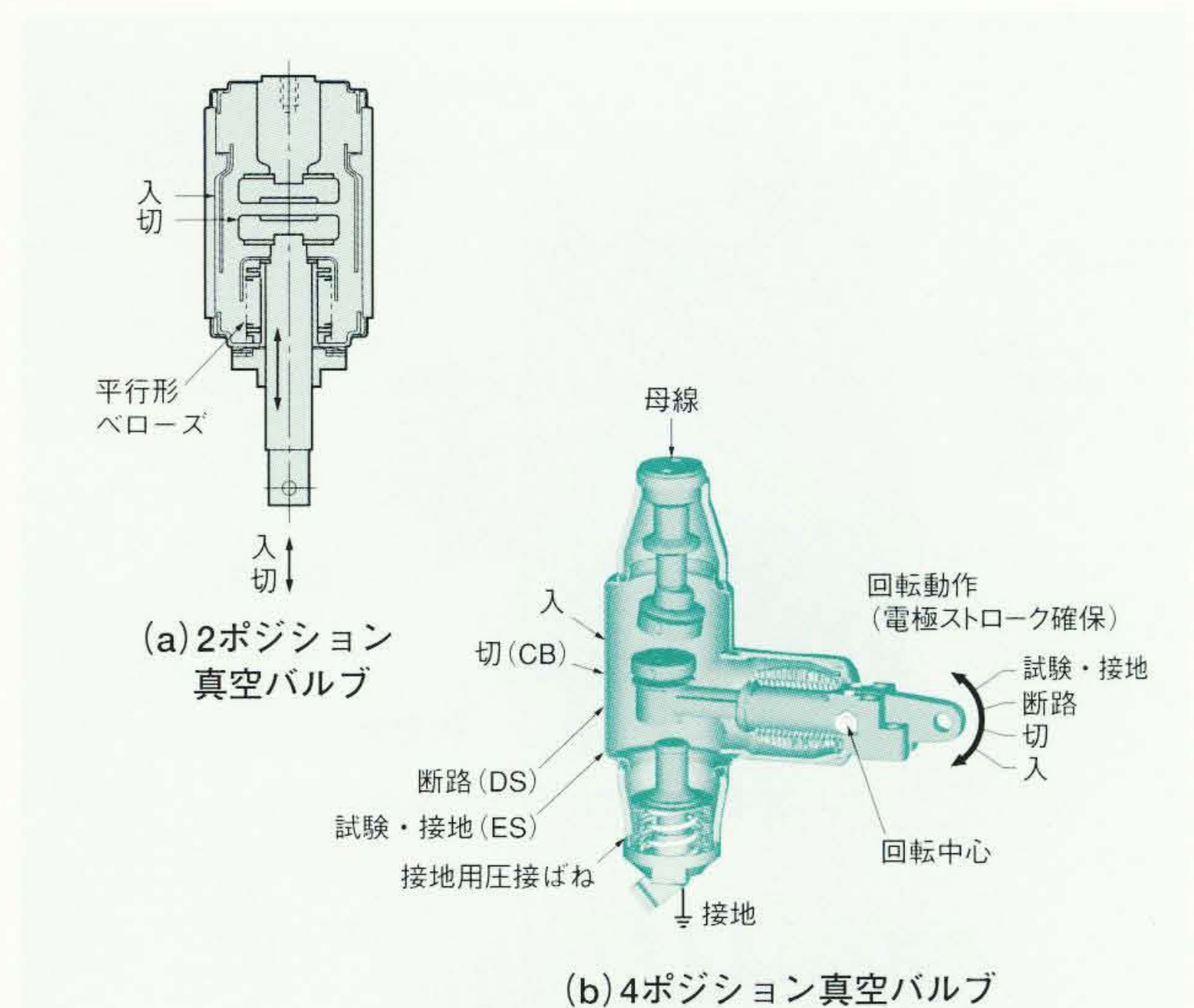


図4 真空バルブの構造

可動電極を直線運動から円弧運動にし、真空バルブの4ポジション化を達成した。

幅な縮小と部品点数の削減を実現することができた。

4ポジション真空バルブを開発するにあたって、まず必要とされたのが、円弧運動が可能なベローズである。ベローズとは、真空バルブ内部の真空と外部の気体を隔てる役目を持つ可撓(とう)性のある部品で、厚さ0.1 mm程度のステンレス製板を蛇腹状にしたものである。

通常の2ポジション真空バルブの可動電極は直線運動だけであることから、ベローズは山の部分が同じ形状の平行形であり、直線的な伸縮には十分な強度が得られる。しかし、円弧運動をさせると、図5(a)に示す応力解析結果からわかるように、ベローズ固定部近傍でベローズの山部分が接触し、直線動作時の約3倍の応力が発生する。また、実機で試験を行ってみると、数千回程度の円弧運動で損傷し、真空漏れを起こした。

これを解決するために、回転角度や直径、ベローズ長、山数などをパラメータにとり、円弧運動時にも、直線運動時の応力とほぼ同程度の応力で作動させることのできる「たる形ベローズ」を開発した。

従来品と開発品のベローズを円弧運動させたときの応力解析結果を図5に示す。

このベローズについて動作試験を行い、実機の使用条件に十分耐えることを確認した。また、この試験結果は、解析によって求めた寿命予測ともほぼ一致していた。

前述したように、たる形ベローズの開発により、回転運動が可能な真空バルブを製作することができるようになった。しかし、従来の真空バルブでは電流を遮断する

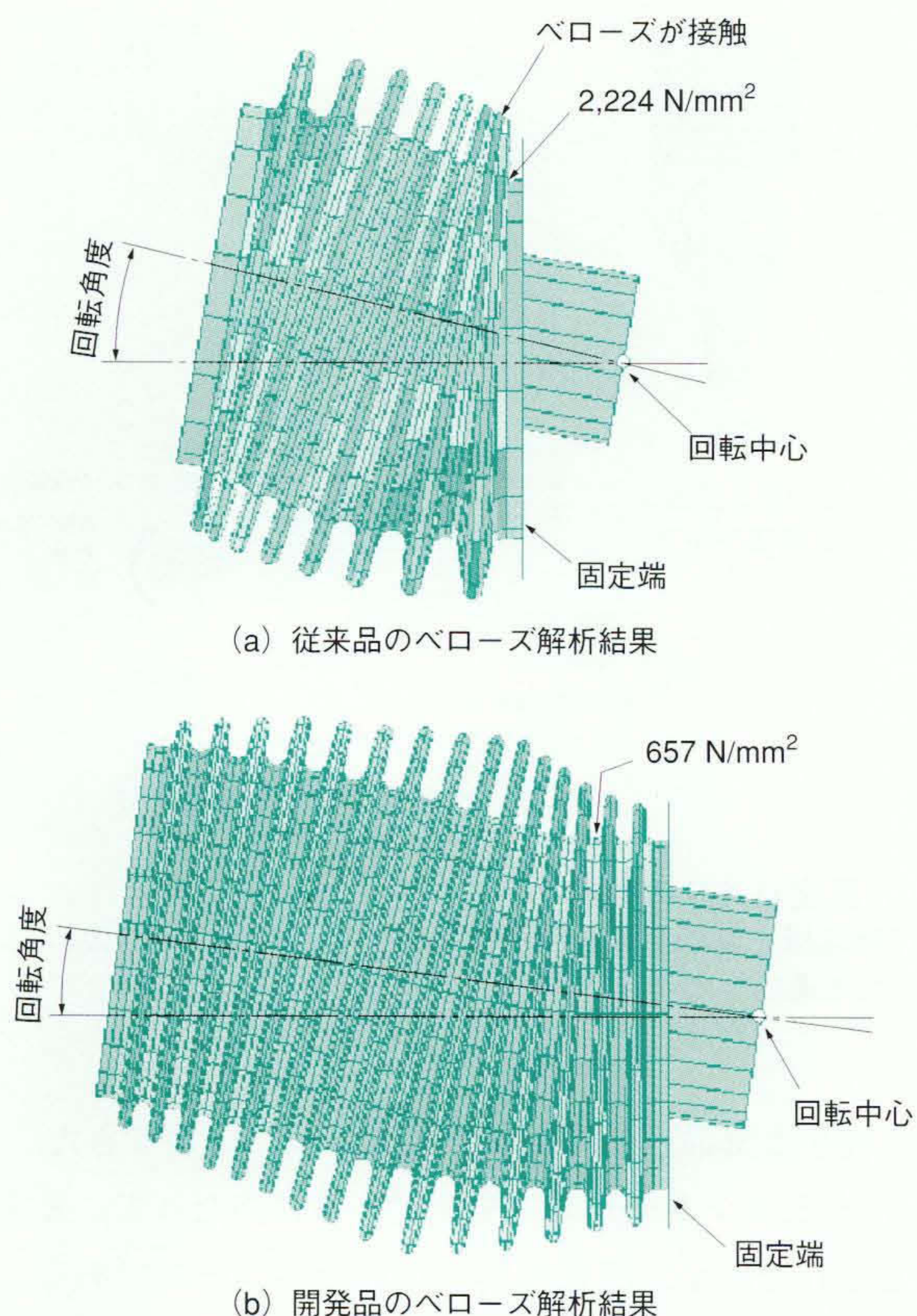


図5 従来品と開発品のベローズの解析結果比較

固定端でベローズを拘束し、回転中心を軸にベローズを円弧運動させたときの応力を求めた。

ための電極が常に平行に向き合っており、遮断時のアークもほぼ均等に広がる。一方、4ポジション真空バルブでは、図5(b)に示すように回転中心を軸として可動側電極を円弧運動させるので、電極どうしが接触しているときは電極が平行になっているが、遮断時には電極が平行にならないことや、相間に気中絶縁だけを用いた機器と比べて相間距離を大幅に縮小したので、相間電磁力が増大し、遮断時のアークが均一に広がらないなどの課題があった。

これに対し、電極の材料や電極の直径、厚み、溝構造をパラメータにとり、相間電磁力や電流通路形状による電磁力の影響を考慮した電磁界解析と高速度カメラによるアーク観測と合わせ、遮断試験後の電極の状態を比較、検討した。これにより、電極構造設計の最適化を図り、目標の遮断性能を達成した。

3.2 ICU

制御部に使用するデジタル型保護計測装置には、従来のデジタル型リレーを改良した“ICU-S”を使用した。

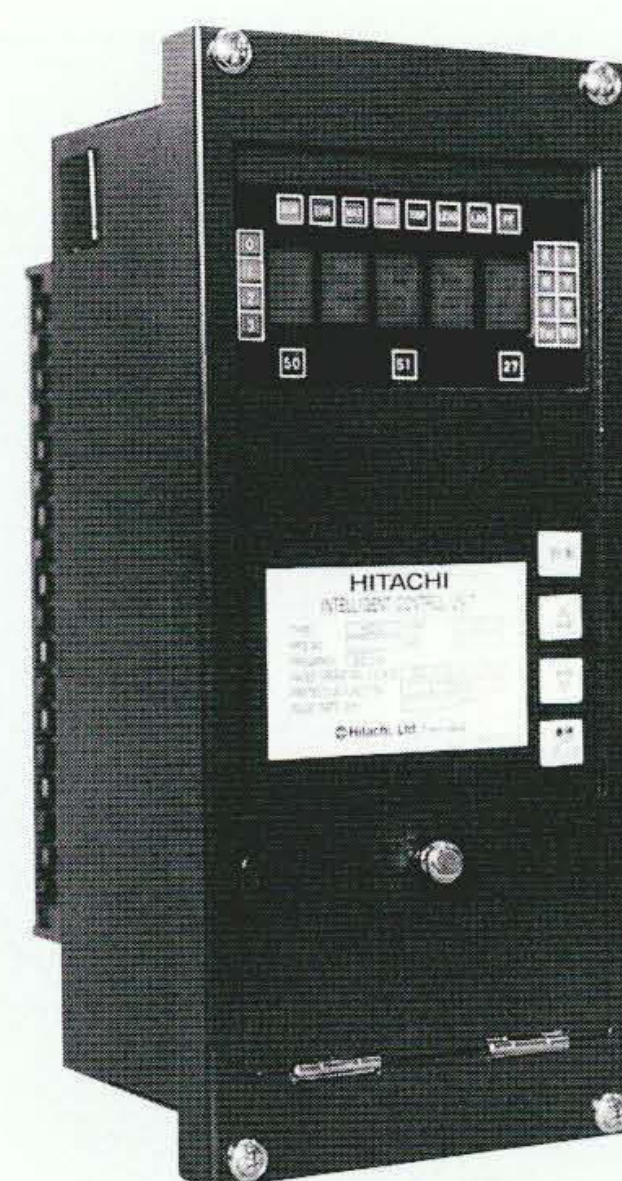


図6 ICU-Sの外観

ICU-Sでは、従来のICU-Nに比べて体積を約 $\frac{1}{2}$ に縮小している。

ICU-Sの外観を図6に示す。改良のポイントは、以下の3点である。

- (1) 耐ノイズ性の向上
- (2) 保護要素の変更
- (3) 常時監視機能

耐ノイズ性の向上については、CT(Current Transformer)とPT(Potential Transformer)の入力回路へサージアブソーバを挿入し、さらに、プリント基板の入力回路と出力回路間に接地金属の仕切りを設置することにより、入力回路からのノイズが出力回路に影響を及ぼさないように改良した。

次に、保護要素の変更に関しては、ハードウェアの零相電流検出部と電圧検出部を集積形スイッチギヤに対応したものに改造した後、追加試験を実施した。

常時監視機能については、ハードウェアの機能ブロックごとに常時監視を実施できるようにし、異常発生時には故障個所に応じたエラーコードを記録するようにした。また、ノイズ試験で検証したレベルよりも大きな一過性のノイズによる誤判定を防止するため、時限を設けた。

4 製品化

4.1 信頼性検証

集積形スイッチギヤは、新しい構造の真空バルブや、モールドとガスの複合絶縁を用いるなど種々の新技術を採用しているため、スイッチギヤ：JEM 1425、遮断器：JEC 2300、負荷開閉器：JEM 1219、断路器および

接地装置：JEC 2310の型式試験はもちろんのこと、それ以外にも以下のような信頼性確認試験を実施して、安全性についても十分な検証を行った。

- (1) ベローズの動作試験
- (2) 内部アーク試験
- (3) 長期気密試験

4.2 22 kV・415 V受配電設備への適用

従来、東京電力株式会社に納入してきた設備では、22 kV受電部に気中絶縁式の断路器、接地装置、ヒューズを用い、変圧器と低圧盤を一体化機器としていた。そのため、機器サイズが大型化することや、ヒューズの使用により、回線当たりの容量制限や、保守作業の増加などの課題があった。

そのため、東京電力株式会社東支店江東支社パレットタウン内アミューズメント施設ほか3サイトの案件では、集積形スイッチギヤを核とした受配電設備を提案し、その特徴である「機器の縮小化」による設備レイアウトの自由度向上と、設備の大容量化、およびヒューズレスによる保守作業の減少、信頼性の向上が評価され、全件を受注した。ここには、集積形スイッチギヤを22 kV・415 V受配電設備の受電部として用いた製品を納入した。

アミューズメント施設に納入した受配電設備の仕様を表2に、外観を図7にそれぞれ示す。

4.3 配電塔への適用

都市部などの電力需要の増加により、小容量の変電所と位置づけられていた既設の配電塔の容量が不足するケースが増え、今までよりも大容量の配電塔の要求が増えてきた。しかし、地価が高騰している現在の状況では用地の取得が困難なため、容量は大きくても据付け面積は従来程度かそれ以下の配電塔が求められている。

このような状況の中で、集積形スイッチギヤを用いた配電塔を、東京電力株式会社千葉支店銚子営業所に納

表2 パレットタウン内アミューズメント施設の主な仕様

停電時の受電回線の切替には、他回線に電圧がある場合だけ行う自動回線選択方式を採用した。また、電圧検出装置により、受電点の電圧有無の確認を追加している。

項 目	内 容
受電方式	本線・予備線受電方式
受電電圧	22 kV
配電電圧	415 V
設備容量	1,250 kVA×2台
遮断電流	25 kA
保護・計測	ICU-S2

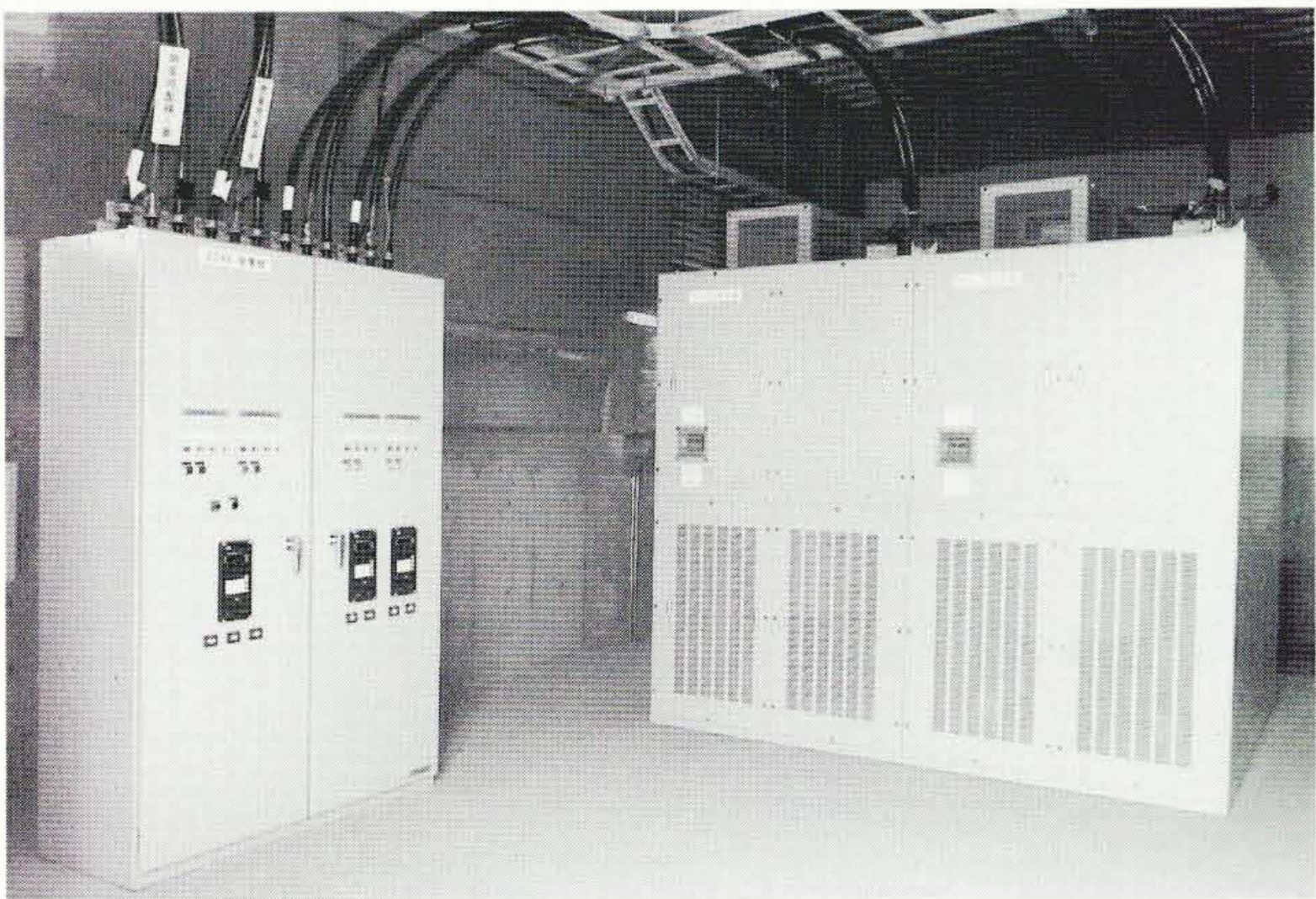


図7 アミューズメント施設用受配電設備の外観
左側が集積形スイッチギヤ、右側が変圧器、および低圧盤である。集積形スイッチギヤと変圧器間はケーブル接続である。

表3 配電塔の主な仕様比較

1.7倍の容量を、同一敷地面積内に据付けた。現在、東京電力株式会社と日立製作所は、下記開発品仕様で据付け面積10 m²を目指した研究を共同で実施している。

項 目	従来品	開発品
受電電圧	22 kV	同左
配電電圧	6 kV	同左
変圧器容量	6 MVA	10 MVA
負荷時タップ切替器	なし	あり
騒 音	70 dB(A)	45 dB(A)
操 作 室	なし	あり
据付け面積	15.4 m ²	15.0 m ²

入した。日立製作所が1993年に納入した既設の配電塔と今回納入した配電塔の主な仕様比較を表3に、配電塔の外観を図8にそれぞれ示す。

この配電塔の設計に当たっては、縮小化、低騒音、悪天候時の操作などに対して下記のような対策を講じた。

(1) 据付け面積の縮小

据付け面積を縮小化するために、22 kV受電部分だけでなく、6 kV配電部分にも24 kV集積形スイッチギヤを用いた。また、変圧器の性能を見直し、油温上昇限度55℃を60℃にすることによって放熱部を縮小化し、据付け面積15 m²を達成した。

(2) 低騒音化

設置場所が都市部を含むため、周辺環境を考慮し、45 dB(A)の超低騒音変圧器を設計した。45 dBとは、変圧器のそばで、変圧器の振動音がかすかに聞こえる程度のレベルである。

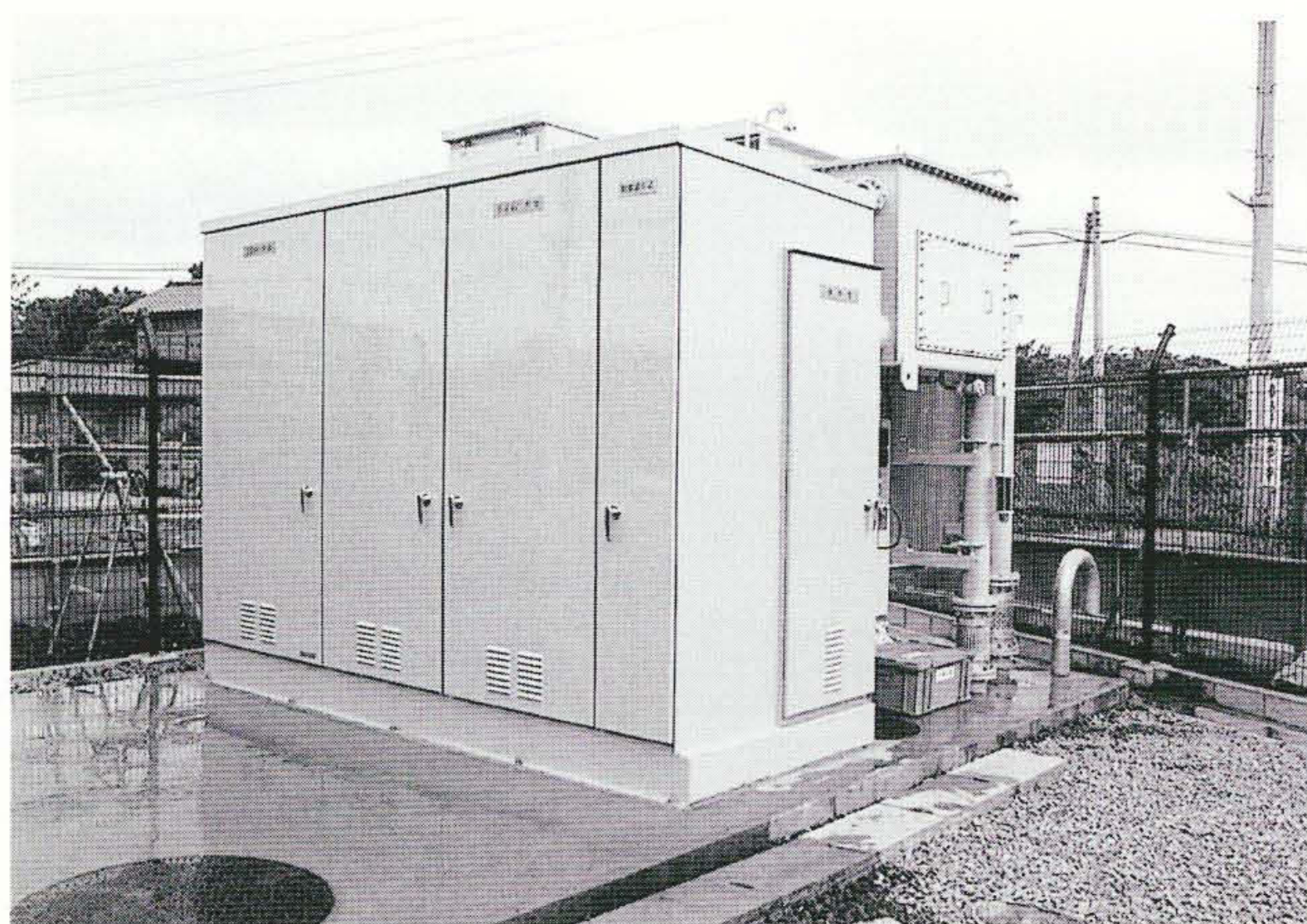


図8 配電塔の外観

手前側が集積形スイッチギヤ、奥側に10 MVA変圧器がある。外形寸法は幅3.65 m×奥行き4.1 mで、据付け面積は15 m²である。

(3) 悪天候対策

悪天候時には、配電塔を手動操作することが多いため、今回納入した配電塔には、悪天候時でも配電塔の操作が可能な操作・点検室を設けた。

5 今後の展開

5.1 一般民需への展開

これまで、電力会社用に12サイト納入した。今後は、一般民需用として本線・予備受電方式、スポットネットワーク受電方式などを主にシリーズ化を推進し、ユーザーのニーズに合った集積形スイッチギヤを提案していく考えである。

5.2 海外展開

ヨーロッパやアジアなどでは、配電電圧が11 kVや22 kVの「リングメイン」と呼ばれる配電方式が主流である。集積形スイッチギヤは22 kVのリングメイン配電にも使用できるように設計されているため、今後は輸出にも注力し、輸出を加えた大量生産により、コストダウンを図っていく考えである。

5.3 レギュラーネットワークへの適用

都心地区の新宿や銀座ではRNW(Regular Network)方式による配電が行われているが、設置後すでに20、30年が経過し、老朽化調査でも、設備の更新が必要と診断された。しかし、これらの設備は繁華街の歩道などの地下に設置されているものが多い。また、搬入口も約0.65 m×2.5 mしかなく、道路を掘削して搬入口を広げるには、多大な費用が必要である。そのため、集積形スイッチギヤを用いた薄形のRNW設備を提案している。

6 おわりに

ここでは、配電用集積形スイッチギヤの縮小化技術と、納入事例について述べた。

今後は、一般民需や海外、RNWなどの既設の更新を視野に入れて展開を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 梶原，外：24 kV配電用集積形スイッチギヤの開発，電気学会，開閉器保護委員会，SP-98-48(1998)
- 2) 森田，外：たる形ベローズの開発，真空協会(1999)
- 3) 森田，外：22・6.6 kV 10 MVA LTC付縮小型配電塔の開発，電気学会(1999)

執筆者紹介



梶原 悟

1991年日立製作所入社，電力・電機グループ 国分生産本部 受変制御設計部 所属
現在，受変電機器の開発に従事
日本機械学会会員
Email：satoru_kajiwara @ pis. hitachi. co. jp



渡辺能康

1985年日立製作所入社，電力・電機グループ 国分生産本部 受変制御設計部 所属
現在，受変電機器の開発に従事
電気学会会員
E-mail：yoshiyasu_watanabe @ pis. hitachi. co. jp



谷水 徹

1964年日立製作所入社，電力・電機グループ 国分生産本部 受変制御設計部 所属
現在，受変電機器の開発に従事
電気学会会員
E-mail：tooru_tanimizu @ pis. hitachi. co. jp



森田 歩

1995年日立製作所入社，電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 電機システム部 所属
現在，真空遮断器の研究・開発に従事
工学博士
電気学会会員，プラズマ・核融合学会会員，米国物理学会(APS)会員
E-mail：morita @ erl. hitachi. co. jp