

154~275kV ガスコンパクト開閉装置

154~275kV SF₆ Gas Insulated Metal-clad Switchgear

安生 晃一郎* 佐々木 生行** 大石 和明**
 Kōichirō Anjō Seigyō Sasaki Kazuaki Ōishi
 原 謙 臣** 磯 貝 時 男***
 Yoshiomi Hara Tokio Isogai

Aiming at a drastic reduction of substation space in congested city areas Chubu Electric Power Co., Inc. has been endeavoring, in cooperation with Hitachi, Ltd., to develop a gas compact switchgear. In 1969 they succeeded to complete 77 kV unit and in May, 1972, 154 kV unit was put into commercial operation at Chubu Electric Power Co., Inc.'s Ushijima-cho Substation. On the other hand, a 275 kV test unit has been put to a long period test at the Mikawa Substation of the same company.

This article deals with the construction and features of the gas compact switchgears centering around the above-mentioned 154 kV and 275 kV units.

1. 緒 言

近年、都市の過密化に伴う電力需要の増加は著しく、都心に超高圧大容量の変電所が必要とされているが、高騰する土地価格、用地難などから従来形の変電所の建設は不可能になりつつある。また、臨海地区に設置される超高圧および超々高圧の変電所では、塩害の問題からがい管およびその洗浄装置に多大な費用を要している。そのほか大容量水力発電所でも山岳地帯で広大な敷地を確保することが困難になりつつある。

これらの情勢に対処するためSF₆ガス絶縁方式の密閉縮小形変電所が開発され、すでに66~275kV級は実用段階にはいつている。本方式の特長は第一に絶縁距離の短縮により機器全体を大幅に縮小し、しかも電圧階級が高くなるほど縮小効果大きい。第二に密閉化によって絶縁物および充電部が露出されないため、塩害風雨などによる気象条件により影響を受けないため、信頼性が向上し、保守点検が簡単になる。そのほか、据付期間の短縮、騒音、ラジオ障害の軽減などの効果がある。

日立製作所では早くから中部電力株式会社と共同研究を進め、昭和44年に77kV変電所を実用化した。引き続き昭和45年より154kV用の長期課電試験を三河変電所において実施し、その結果実用化の見通しを得たので牛島町変電所に採用することにし、昭和47年5月より営業運転にはいつている。さらに275kV用についても、昭和46年2月から三河変電所において長期課電試験を実施している。以下154~275kVガスコンパクト開閉装置を中心に、その構造および特長について述べる。

2. 開 発 状 況

表1は開発状況を示したものであるが、基本的問題である有機絶縁材料、絶縁特性、水分および気密管理などについては77kV開発時に十分研究し、その実績を154~275kVに適用している。さらに実用化にあたっては、実系統での課電試験を実施して実用性能を確認するとともに、経済性、信頼性などについても十分検討している。

154~275kVの実系統での課電試験は中部電力株式会社三河変電

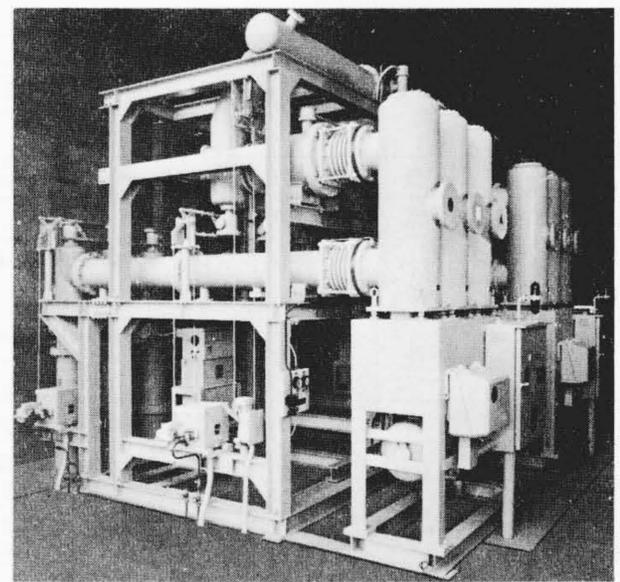


図1 中部電力株式会社牛島町変電所納め 154kV ガスコンパクト開閉装置

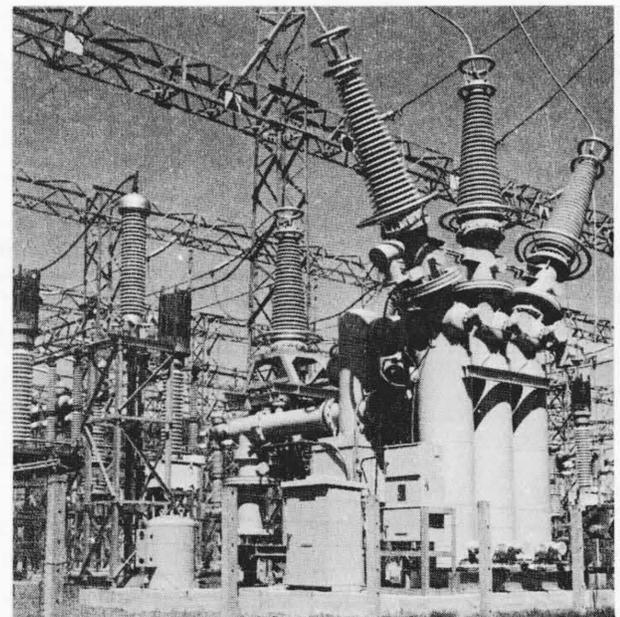


図2 中部電力株式会社三河変電所納め 154kV ガスコンパクト開閉装置(長期課電試験用)

所にて実施されている。154kV課電試験装置については、課電試験1年経過後、各種試験および検査を実施し、表2に示すように良好な結果を確認したので、この実績をもとに同社牛島町変電所納め154kVガスコンパクト開閉装置を製作した。なおガスの気密管理については、すでに同社守山変電所納め77kVガスコンパクト開閉装置で3年半の実績があり図3に示すようにガス圧力の低下は認められない。またガス中の水分についても良好な結果を得ている。

* 中部電力株式会社工務室
 ** 日立製作所国分工場
 *** 日立製作所日立研究所

表1 ガスコンパクト開閉装置開発状況

分類	項目	開発目標	結果の要約	電圧階級 (kV)			
				77	154	275	
基礎研究	有機材料	エポキシ樹脂 (スペーサ・絶縁筒)	耐分解ガス性、強度、注型性の良好なエポキシ樹脂充てん剤、配合の開発	特殊充てん剤入りエポキシ樹脂開発	●	○	○
		FRP (絶縁操作ロッド)	引張強度、耐分解ガス性、沿層方向耐圧特性などの良好なFRPの開発	真空加圧モールド法を開発特殊材で内外被覆して耐分解ガス性を改善	●	○	○
		パッキング	耐分解ガス性、耐候性、寿命、耐油性、温度特性良好なパッキングの開発	ニトリルゴム、ネオプレンゴムが良好	●	○	○
		潤滑剤	耐分解ガス性、超乾燥下における潤滑効果良好なグリースの開発	特殊グリース開発	●	○	○
	金属材料	耐分解ガス性に良好な金属材料	ステンレス、軟鋼、アルミは変化なく銅および銅合金は淡かっ色を呈する部分があるが実用上問題ない	●	○	○	
	水分管理	長期水分の管理法の確立	吸着剤封入により管理	●	○	○	
	気密	気密構造	経年的特性、しゅう動部分の気密性良好な構造の開発	二重Oリングの採用、しゅう動部分は回転構造とした	●	○	○
		気密試験法	ガス漏れ検知法の確立	蓄積法採用	●	○	○
		絶縁性能	断り器極間のせん絡特性と対地との絶縁協調	ガス中および絶縁物、沿面の絶縁設計	●	●	●
	絶縁性能	しゃ断性能	小電流しゃ断性能	従来形断り器よりしゃ断能力が高い	●	●	●
しゃ断性能		小電流しゃ断性能	従来形断り器よりしゃ断能力が高い	●	●	●	
実用化	全体構成の開発	ユニット構成システムの確立	BUS, GCB, DS, ESなどのユニットの開発により母線構成を簡略化した	●→◎	○	○	
		保守・点検時の運用法の確立	保守・点検時の停電範囲を考慮したガス区画の選定	●→◎	○	○	
		事故波及範囲の限定	事故の波及範囲、停電範囲を最小限にするためのスペーサ配置ガス区画の選定	●→◎	○	○	
	各機器の開発	77~275kV標準ユニットの開発系列化	77~275kV標準ユニット完成	●	●	●	
地絡検出方式	地絡場所の発見法の確立	シースの地絡電流によって検出	●	○	○		
経済性	配置の合理化	点検時の安全性、運用の柔軟性を考慮したうえでの配置構造の簡略化	ガス区画数の低減 スペーサ数の低減	●→◎	○	○	
	機器の一体化	ユニットを一体化することによる原価低減	ESユニット、DSユニットの一体化 ブッシングとPDの一体化	●	○	○	
	製作法の検討	タンクシース加工法の改良により能率の向上	専用加工機採用	●	○	○	
信頼性	ガス漏れ管理	ガス密度管理によるガス漏れ管理法の確立	ガス密度検出器の開発	●	○	○	
	水分管理	気温低下時絶縁物表面の結露防止の水分管理	水分管理限界の設定	●	○	○	
	液化防止	高圧ガスの液化の防止	ラップヒータ採用	—	—	●	
	コロナ検出	絶縁物の劣化監視	EIDにより測定	●	○	○	
据付・保守	工場組立管理	工場における防塵組立法の確立	防塵空調室の完備、防塵管理の確定	●	○	○	
	現地据付	現地防塵組立法の確立	現地組立部ビニールでおおい接続	●	○	○	
	シースの電位上昇	地絡時シースの電位上昇による危険防止	シース電位上昇20V以下に抑制	●	○	○	
	シースの温度上昇	シース温度上昇による危険防止	70℃以下に抑制	●	○	○	
ガス圧力監視	日常点検、監視法の確立	温度計、圧力計を対応して監視	●	○	○		

注：● 開発 ○ 実績を採用 ◎ 実績に基づく改良

表2 中部電力株式会社三河変電所納め154kVガス絶縁開閉装置点検結果

項目	検査方法	据付時	1年経過後
外観検査	目視	良	良
水分管理	しゃ断器	水分測定器 45 ppm	18 ppm
	母線	水分測定器 80 ppm	23 ppm
気密管理	ガス気密	ガスリークディテクタ	良
	ガス—油気密 (ケーブルヘッド)	油中のSF ₆ ガス溶解量測定	良
絶縁試験	交流耐電圧試験	試験用変圧器 (現地試験)	177.1kV 10分間良
	コロナ試験	試験用変圧器 (現地試験)	(工場試験) コロナ開始電圧 220kV以上 (試験用変圧器に) より制限された
操作試験	オシロスコープおよび圧力計	良	良
通電特性	主回路の接触抵抗の測定	直流による抵抗測定	"
	しゃ断器のコンタクト点検	目視	"
	断り器の可動子点検	目視	"
SF ₆ ガス分析	分解ガス濃度測定	良	良

3. 配置および構成

3.1 中部電力株式会社牛島町変電所納め154kVガスコンパクト開閉装置

牛島町変電所は名古屋市都心部の電力需要の増加に対処するため、名古屋駅前に設置されたもので、昭和47年5月営業運転を開始した。当面は150 MVA 変圧器 1台であるが、将来3台に増設される。図5は平面図、図6は変圧器および変圧器一次ユニットの断面構造図、図7は受電ユニットの断面構造図である。

変圧器を含め機器の据付面積を小さくするため、1階に変圧器、2階に154kVガスコンパクト開閉装置を設置し、変圧器とはガス絶縁母線で直結している。図5の平面図からわかるように、母線を中心にコンパクトに配置されている。またこれらは四つのユニット(受電ユニット×2、変圧器一次ユニット、計器用変圧器ユニッ

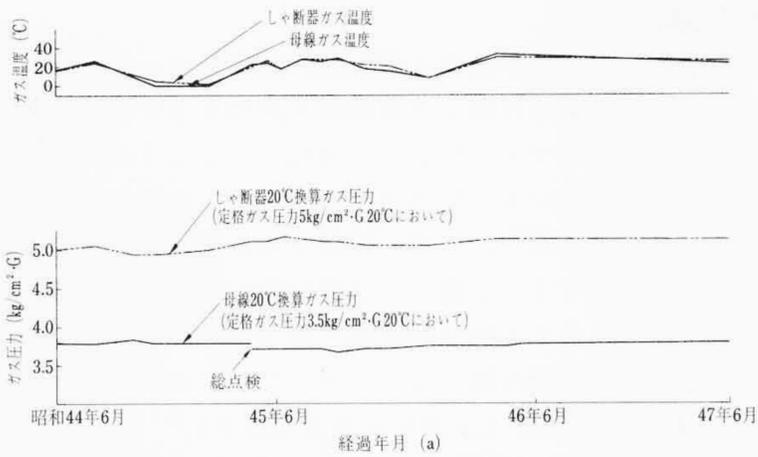


図3 中部電力株式会社守山変電所納め 77kV ガスコンパクト開閉装置ガス圧力測定結果

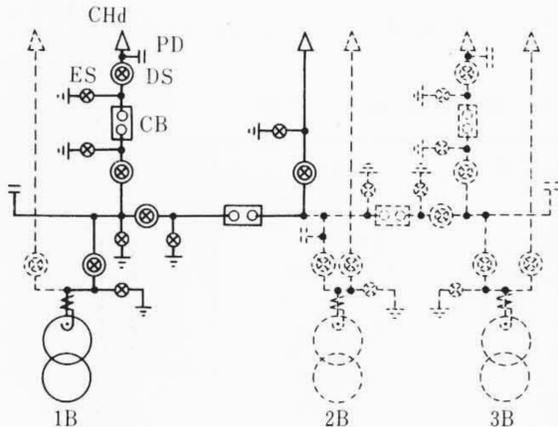


図4 中部電力株式会社牛島町変電所納め 154kV ガスコンパクト開閉装置単線接続図

ト)で構成され、各ユニット間の連結にはステンレスベローズを設けて組立上の寸法誤差を吸収している。

受電ユニットは、ユニット構成の基本となるもので、重要な母線は信頼性の高い三相分離形として機器の上部に配置されている。またしゃ断器は点検が容易にできるようにユニットの外側に配置され、引出し可能としてある。三相分離母線に直結する断路器は母線の曲り部分に配置されコンパクトにまとめられている。このユニットはまた、組立て、輸送の単位を考慮したブロックで構成されている。すなわちしゃ断器ブロック、上部母線断路器ブロック、下部断路器ブロック、およびケーブルヘッドブロックの四つである。

そのほか特に全体の構造で考慮したことは、下記のとおりである。

- (1) 無停電で増設できる構造であること。
- (2) 屋内変電所であるため、現地据付時クレーンを使用しないで組立てできるように、各ユニット間の連結は水平方向のスライドのみで、できる構造であること。
- (3) 断路器、接地開閉器の操作器は操作、点検に便利なように床上近くに配置され、機器とはリンク機構で連結すること。
- (4) 変圧器とガス母線を直結するウォールブッシングには、がい管が不要なエポキシ含浸加圧モールド形コンデンサブッシングを採用し、小形化したこと。
- (5) ケーブルヘッドにはエポキシコーンを採用し小形化したこと。
- (6) 接地開閉器は絶縁抵抗測定が可能な構造とし、変圧器の絶縁抵抗測定、変圧比チェックができるようにしたこと。
- (7) ケーブル引込口にブッシング形計器用変圧器を設置し、そのブッシングにはがい管不要のエポキシ含浸加圧モールド形コンデンサブッシングを用い小形化したこと。

3.2 中部電力株式会社三河変電所納め275kV ガスコンパクト開閉装置

昭和46年2月より中部電力株式会社三河変電所で275kV ガスコンパクト開閉装置の長期課電試験を続けている。図9はその構造図を示したものである。本装置は長期課電試験用であるが、図10

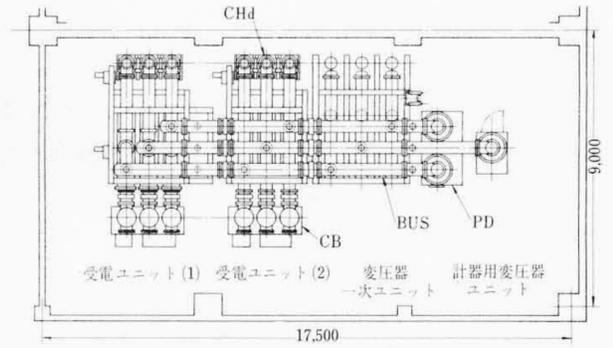


図5 中部電力株式会社牛島町変電所納め 154kV ガスコンパクト開閉装置平面配置図

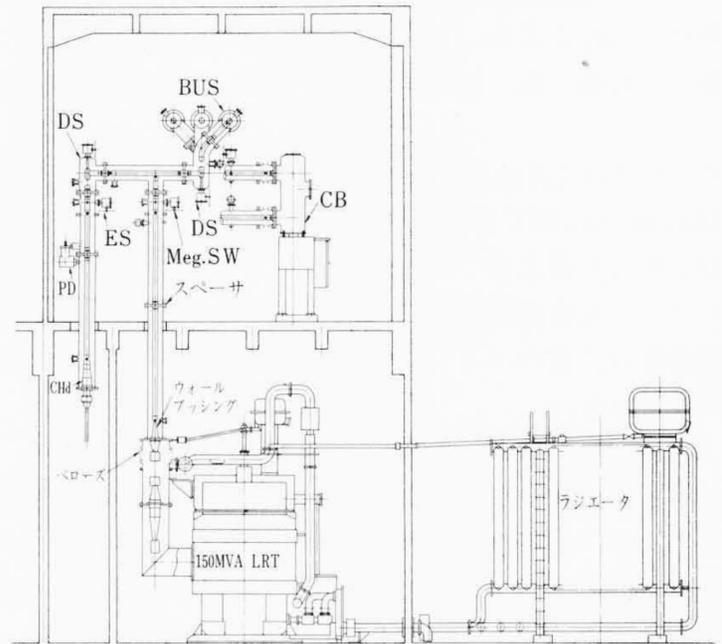


図6 変圧器一次ユニット側面図

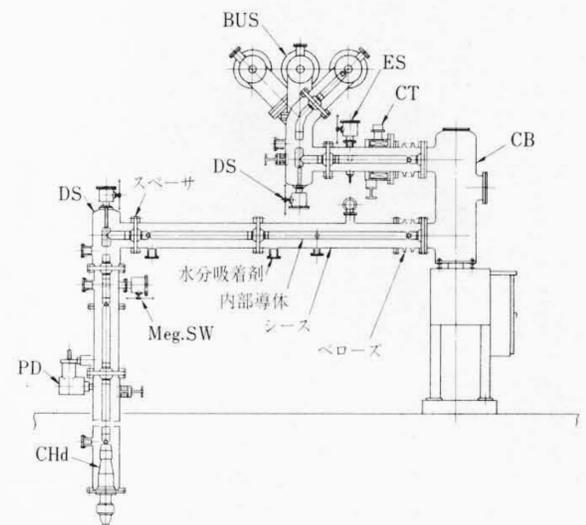


図7 受電ユニット内部構造図

に示す実際の構成に従って製作した。

本装置の特長は、下記のとおりである。

- (1) 重要な母線を三相分離形として信頼性を高め、機器の上部に配置した。
- (2) 重量の重いしゃ断器を下側に配置し耐震性を高めるとともに保守点検を容易にした。
- (3) ブッシングには軽くて経済的なガスブッシングを採用した。
- (4) 架線引込み、ケーブル引込みのいずれも、同じ配置で容易にできる。
- (5) 変圧器とのガス絶縁母線による直結方式が容易にできる。

4. 構成機器の定格と構造

4.1 機器の定格

構成機器の定格は表3に示すとおりである。

4.2 構成機器の構造

154~275kV ガスコンパクト開閉装置を構成する各機器の構造は同一なので以下総括して述べる。

4.2.1 ガスしゃ断器

しゃ断器には単一圧力式のパuffa形ガスしゃ断器と、二重圧力式ガスしゃ断器とがあり、定格しゃ断電流40kAまではパuffa形、それ以上は二重圧力式である。

4.2.2 ガス母線

接地された円筒状金属外被の中心にアルミパイプ導体をエポキシ樹脂製スペーサで固定した三相分離形を採用しているので、きわめて信頼性が高い。中心導体の接続にはチューリップコンタクトを用いているので、母線外被を連結すると中心導体も自動的に接続される。母線外被はスペーサをはさんで両側からそれぞれ独立して取付けられるため、スペーサの片側にガスを充てんしたままで、他方の外被を取りはずすことができ、組立解体が便利である。

封入ガス圧力は3.5kg/cm²・G (20°Cにおいて)であるが、絶縁設計は2.5kg/cm²・G (20°Cにおいて)でなされており、絶縁性能に対して十分な裕度を持たせている。また、万一ガス圧力が低下して大気圧になっても常規運転電圧に耐える設計である。一方、フランジ接続部には二重パッキングを採用し、気密に対する信頼性の向上を図っている。

4.2.3 断路器

図13に示すとおりL形に曲がっている容器内に断路器を設け、外部からの操作により可動接触子が直線運動するリニア形である。接触子はすべてシールドで電界を緩和しており絶縁の信頼性が高い。操作は圧縮空気方式で、三相は互いにリンクで連結されている。

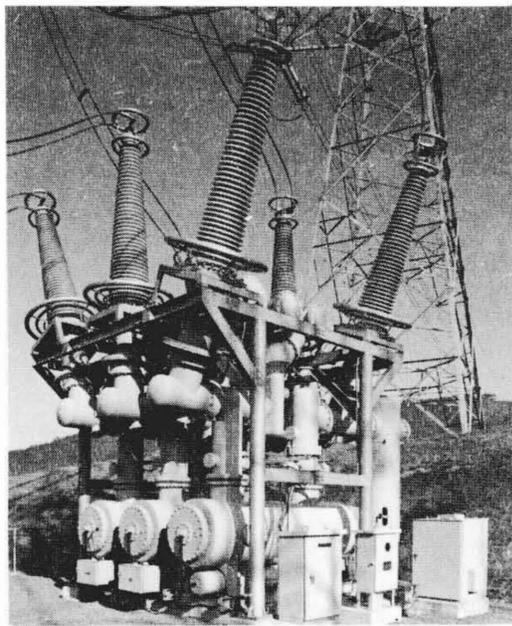


図8 中部電力株式会社三河変電所納め275kV ガスコンパクト開閉装置 (長期課電試験用)

4.2.4 接地開閉器

ガスコンパクト開閉装置は充電部が露出していないため、従来のように保守点検時外部より接地線を接続することができない。このためガスを抜かずに外部から接地できるように必要な個所に接地開閉器を設けている。構造は図14に示すとおりで、母線導体に固定コンタクトを設け、外被に接続された接地ロッドを直線運動させるもので母線のどの位置でも必要な場所に設けることができる。母線が充電されたまま接地開閉器を投入すると事故になるので、断路器と接地開閉器の間にはインターロックが設けられている。

4.2.5 測定用開閉器 (メガリングスイッチ)

接地開閉器の接地ロッドを外被から絶縁した構造で常時は接地線を取り付け接地開閉器として使用される。これは変圧器点検時の絶縁抵抗測定、変圧比測定のほかしゃ断器の開閉試験、変流器の試験などにも使用でき保守が能率的に行なわれる。

表3 構成機器の定格

No.	機器	項目	154 kV	275 kV
1	しゃ断器	形式 定格電圧 定格電流 定格しゃ断容量 定格しゃ断時間 定格ガス圧力 操作方式	パuffa形ガスしゃ断器 168 kV 1,200 A 5,000 MVA 5 サイクル 5.0kg/cm ² G 圧縮空気	二重圧力形ガスしゃ断器 300 kV 3,000 A 25,000 MVA 3 サイクル 16.5/4.0kg/cm ² G 圧縮空気
2	母線	形式 定格電圧 定格電流 定格短時間電流 定格ガス圧力	相分離形 161 kV 1,200 A 22 kA 3.5 kg/cm ²	相分離形 287.5 kV 3,000 A 44 kA 3.5 kg/cm ²
3	断路器	形式 定格電圧 定格電流 定格短時間電流 操作方式	三極単投直線切 168 kV 1,200 A 22 kA 圧縮空気操作	三極単投直線切 300 kV 3,000 A 44 kA 圧縮空気操作
4	接地開閉器	形式 定格電圧 定格短時間電流 操作方式	三極単投直線切 168 kV 22 kA 手動操作	三極単投直線切 300 kV 44 kA 手動操作
5	変流器	形式 変流比 定格負担	貫通形 1,200/5 A 100 VA	貫通形 3,000/5 A 40 VA
6	計器用変圧器	形式 変圧比 定格負担 誤差階級	SF ₆ ガス絶縁式 154/√3kV/110/√3V/110/3V 200 VA 1.0 級	—
7	計器用変圧器 (プッシング形)	形式 変圧比 定格負担 誤差階級	SF ₆ ガス絶縁式 154/√3kV/110/√3V/110/3V 30 VA 3.0 級	SF ₆ ガス絶縁式 275/√3kV/110/√3V/110/3V 50 VA 3.0 級
8	避雷器	形式 定格電圧 公称放電電流	SF ₆ ガス絶縁式 196 kV 10 kA	SF ₆ ガス絶縁式 266 kV 10 kA
9	ケーブルヘッド	形式 定格電圧	ガス母線直結形 154 kV	—
10	プッシング	形式 定格電圧 定格電流	SF ₆ ガス絶縁式 161 kV 1,200 A	SF ₆ ガス絶縁式 287.5 kV 3,000 A
備考			中部電力株式会社三河変電所, 牛島町変電所	中部電力株式会社三河変電所

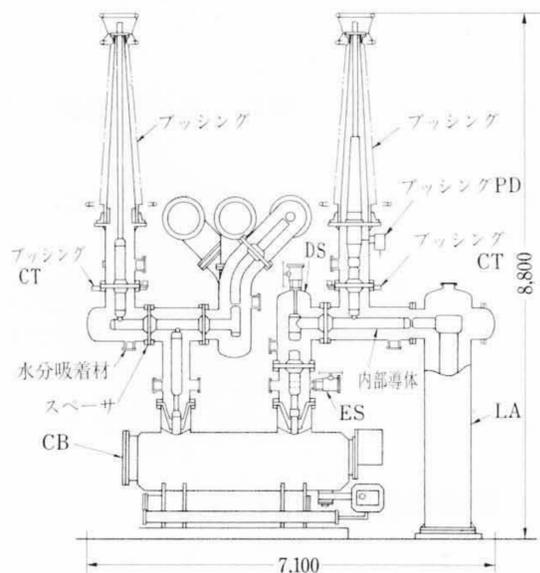


図9 275kV ガスコンパクト開閉装置内部構造図

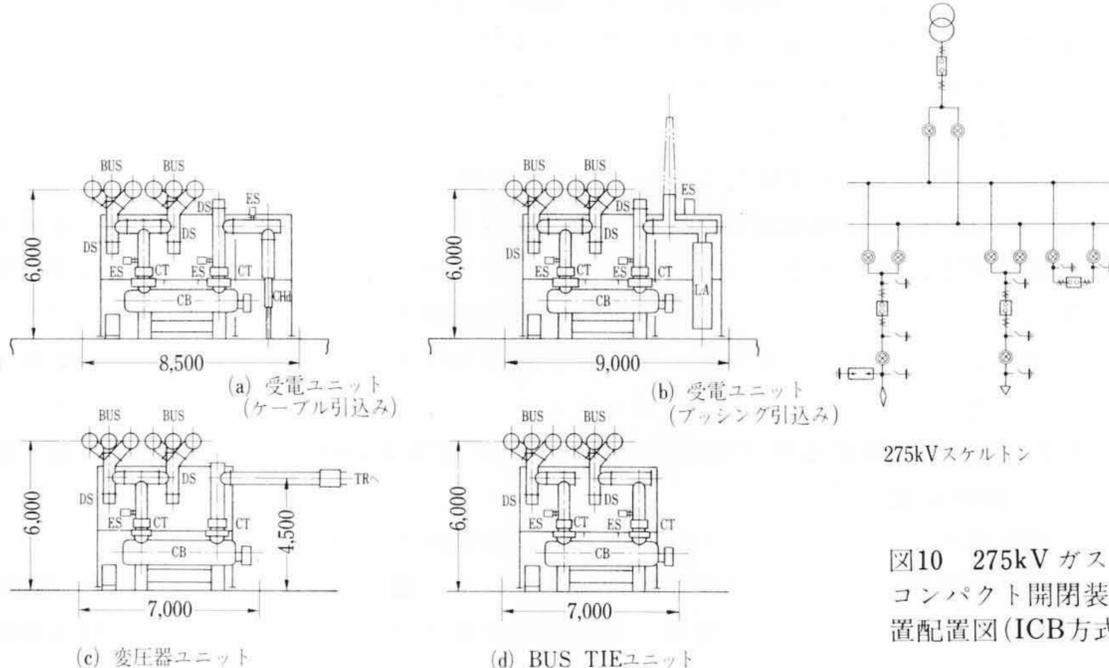


図10 275kV ガスコンパクト開閉装置配置図 (ICB方式)

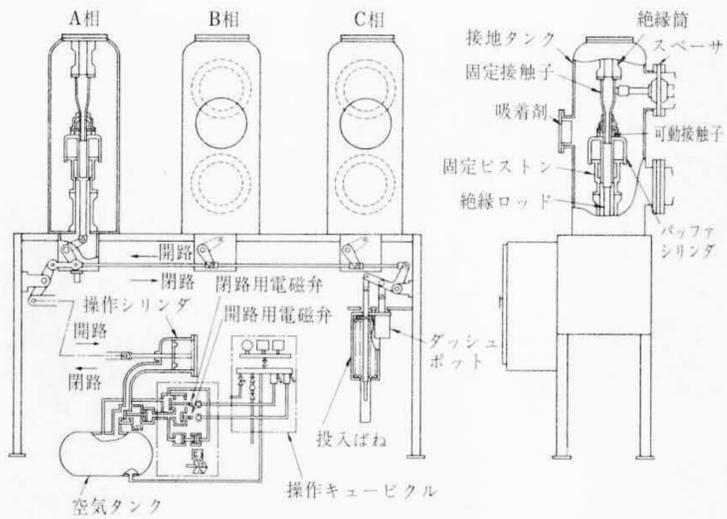


図11 パッファ形ガスしゃ断器構造図

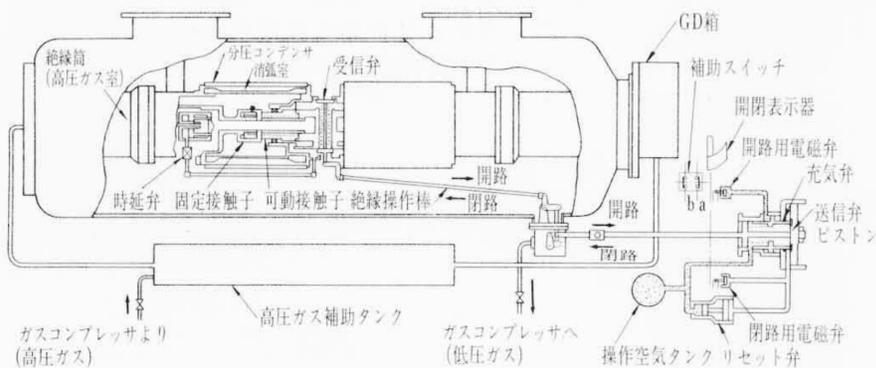


図12 二重圧力式ガスしゃ断器構造図

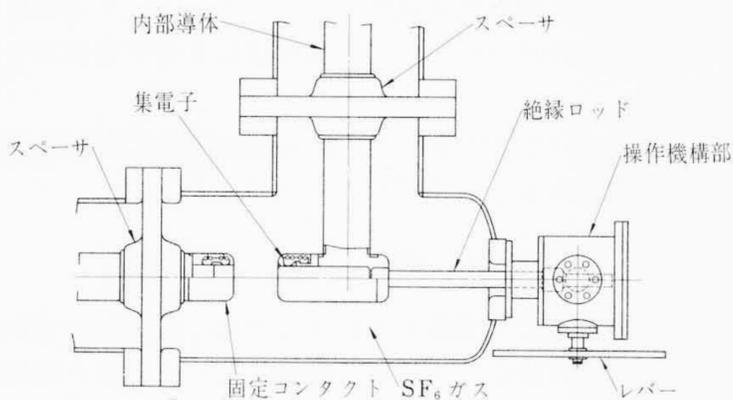


図13 断路器構造図

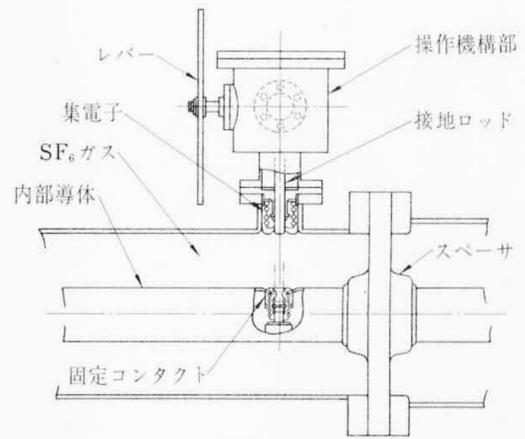


図14 接地開閉器構造図

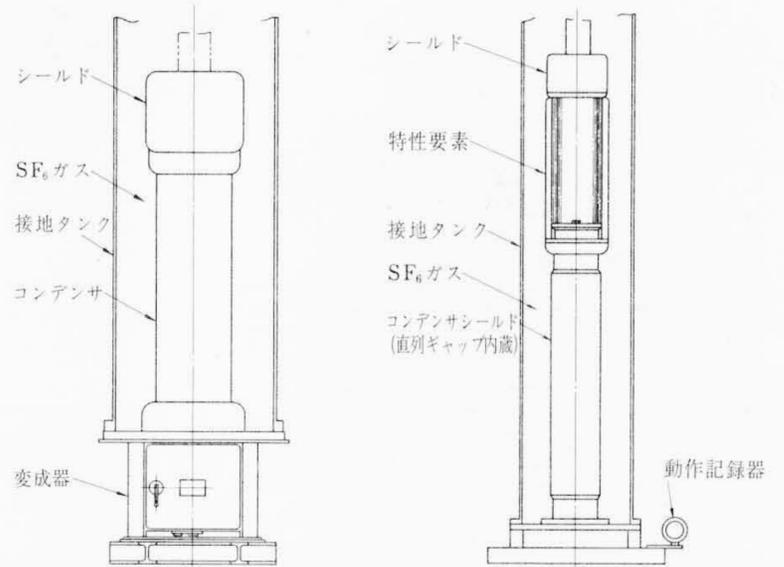


図15 計器用変圧器構造図

図16 避雷器構造図

4.2.6 変流器

貫通形で母線内に収納されているが、接地金属で充電部からしゃへいされているので高圧絶縁の必要がない。またシース電流の影響を受けないような特殊構造を採用している。

4.2.7 計器用変圧器

(1) コンデンサ形計器用変圧器

母線保護用に使用される大容量の計器用変圧器は、油浸式コンデンサを接地金属容器内に収納し、SF₆ガスで絶縁したものである。その構造を図15に示すとおりである。

(2) ブッシング形計器用変圧器

線路用に使用される比較的小容量の計器用変圧器には、新たに開発したエポキシ含浸加圧モールド形コンデンサブッシングを採用し、小形化を図っている。これはガス母線のほか引込用気中ブッシングのがい管内に収納することもでき、装置全体をコンパクトにまとめることができる。

4.2.8 避雷器

従来から実績のあるN₂ガス封入式避雷器を基本として接地金属容器内に収納し、SF₆ガスで絶縁したものである。接地容器との漂遊静電容量を補償するため、直列ギャップはエポキシ含浸加圧モールド形コンデンサの内部に収納されている。その構造は図16に示すとおりである。

4.2.9 ケーブルヘッド

図17に示すとおりエポキシコーンを使用して小形化を図っている。また母線との接続にはプラグインタイプを採用し、直結形としているので施工が簡単で確実である。なお、チューリップコンタクトのそう入寸法だけケーブルヘッドを下げれば取りはずすことができるようにし施工時のケーブルの移動量を最小にしている。

4.2.10 ブッシング

(1) 気中ブッシング

SF₆ガスのすぐれた絶縁特性を利用したガスブッシングであり構造が簡単で軽量である。

(2) ウォールブッシング

変圧器とガス母線の直結には、がい管が不要なエポキシ含浸加圧モールド形コンデンサブッシングを用い小形化を図っている。

4.3 監視および保護

4.3.1 ガス区画とガス圧力監視

中部電力株式会社牛島町変電所納め154kVガスコンパクト開閉装置のガス区画は図18に示すとおりである。ガス区画はその変電所の運用形態に合わせて決定されるもので、点検、増設時に区画が停止しても、変電所全体の電力供給に支障がないことを条件として、区画数をできるだけ少なくする必要があるのである。

ガス圧力の監視は、ガス区画ごとに設けたガス密度検出器と圧力計で行なわれる。ガス母線の定格圧力は3.5kg/cm²・G(20°Cにおいて)であり、2.7kg/cm²・G(20°Cにおいて)に低下すると自動的に警報を発する。

4.3.2 故障区間の検出

機器は密閉化されているため内部で地絡事故が発生した場合、外部から事故箇所を発見することが困難である。この対策として変流器と地絡過電流継電器を設けて事故区間を判別し、事故の早期復旧あるいは事故区間を分離して運転が継続できるようにしている。

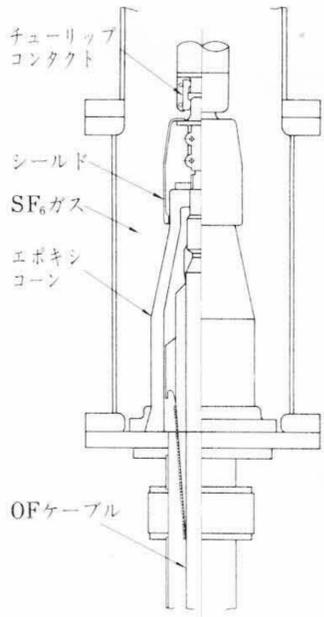


図17 ケーブルヘッド構造図

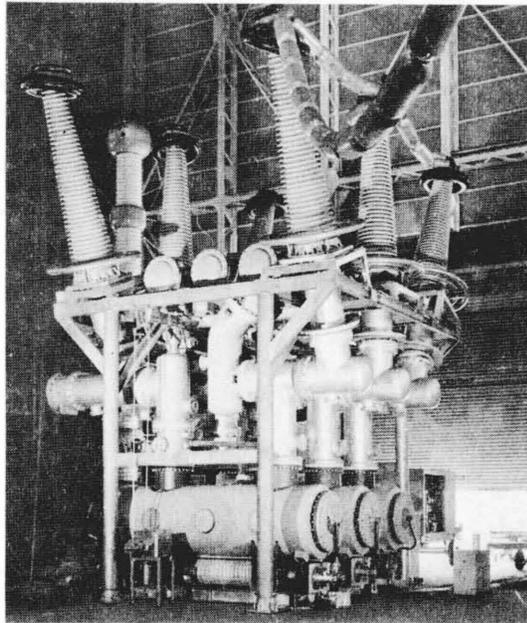


図20 組立後の耐電圧試験状況 (275kV ガスコンパクト開閉装置)

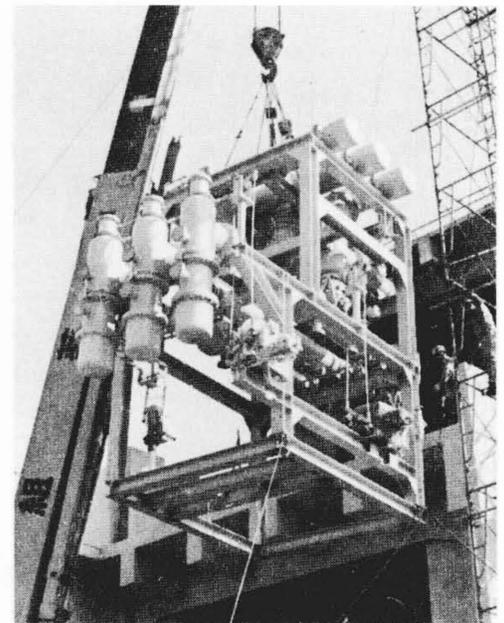


図21 変電所2階に搬入中の受電ユニット (中部電力株式会社牛島町変電所納め154kV ガスコンパクト開閉装置)

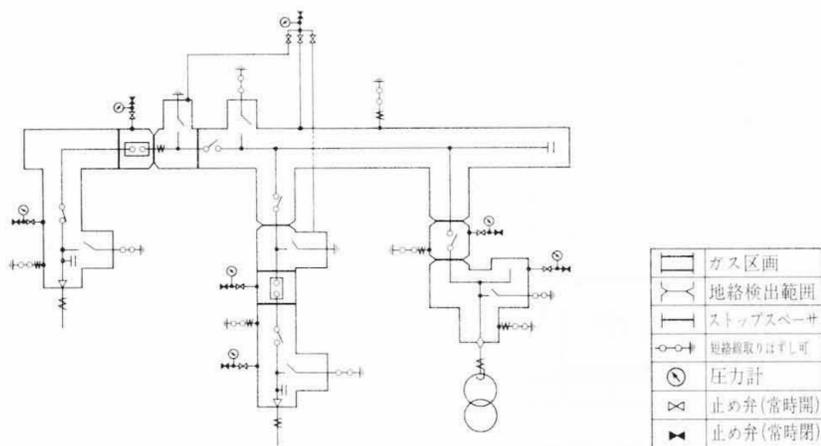


図18 ガス区画の例

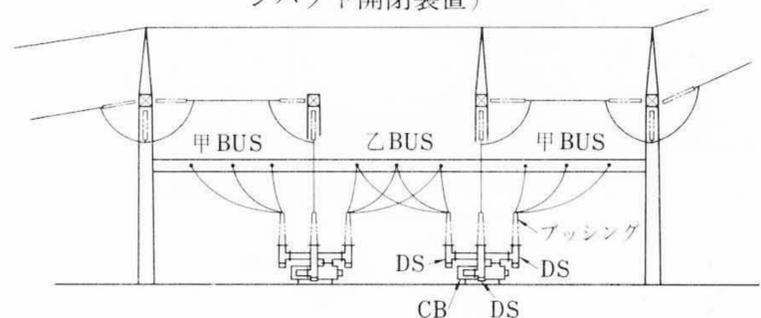


図22 セミコンパクト (複合機器) の一例

終了後発送直前の最終気密試験で確認している。また現地据付後ブロック間の接続部分についても蓄積法による気密試験を実施している。

水分管理については現地でガス封入後初期の水分測定を実施し、水分管理値内にあることを確認している。

6. 据付

現地据付を容易にし期間を短縮するため、輸送時の分割ブロック数をできるだけ少なくするよう配慮している。また現地での組立環境の清浄化には十分留意し、湿気、塵埃の侵入による品質および性能の低下を防いでいる。

7. ガスコンパクト開閉装置の適用

現在までに多数のガスコンパクト開閉装置を製作納入したが、採用の理由は用地難に起因するものが多い。これは従来形に比べまだ高価なためであるが、今後適用範囲を広げるためにさらに標準化および合理化を進めている。またガス絶縁の範囲を限定し、たとえば母線は従来形で、その他の機器のみをガス絶縁化したセミコンパクト (複合機器) の経済性も検討している。これは従来形に比べスペースの縮小、塩害に対する信頼性の向上、保守の省力化が図れる利点がある。

8. 結言

以上、154~275kV用ガスコンパクト開閉装置について述べたが、本装置は単にスペースの縮小だけでなく、安全性、信頼性の向上、保守の省力化、工期短縮など多くの特長を備えておりすでに66~275kV用では技術的開発段階から経済性を求める実用段階にはいつている。したがって機器の構成配置の標準化および合理化については十分な考慮が払われている。また性能保証に重点をおいた品質管理と製造設備の大幅な改善を進め信頼性の向上に努めている。

終わりに臨み本開発にご協力をいただいた関係各位に深く謝意を表す。

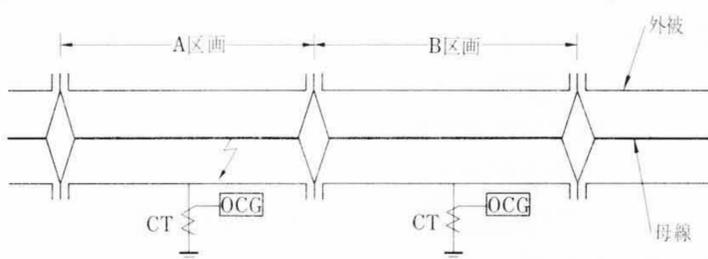


図19 地絡点検出原理図

5. 組立ておよび試験

5.1 組立て

重要部品への異物の混入、塵埃 (じんあい) の付着などを防ぐため部品はすべて組立前に洗浄し、湿気、塵埃を避けるため防塵 (ぼうじん) 設備の完備した空調防塵室で組立てを行なっている。絶縁物については組立前に清掃した後加熱真空乾燥処理をして、乾燥保管室に保管し、水分の吸収、塵埃の付着に対し十分な管理を行なっている。

5.2 試験

ガスコンパクト開閉装置は各機器が一体に組み合わされるので、総合性能を確認するため機器単体の形式試験および過酷試験のほか、装置として組立後、温度試験、コロナ試験、商用周波および衝撃波耐電圧試験など各種特性試験を実施している。特にスペーサなどの固体絶縁物は組立前単品でコロナ試験、耐電圧試験を実施し全数異常ないことを確認している。

現地据付後は、操作試験、耐電圧試験などの一般的試験のほか主回路の抵抗測定、しゃ断器動作時の各部の振動測定、ガス密度検出器の動作試験を行なっている。

ガス漏れ防止には特に留意し、組立前の部品単品の気密試験、組立後の装置として蓄積法による気密試験、さらに各種性能試験