

コンパクト化を目指した都市型電鉄変電システム

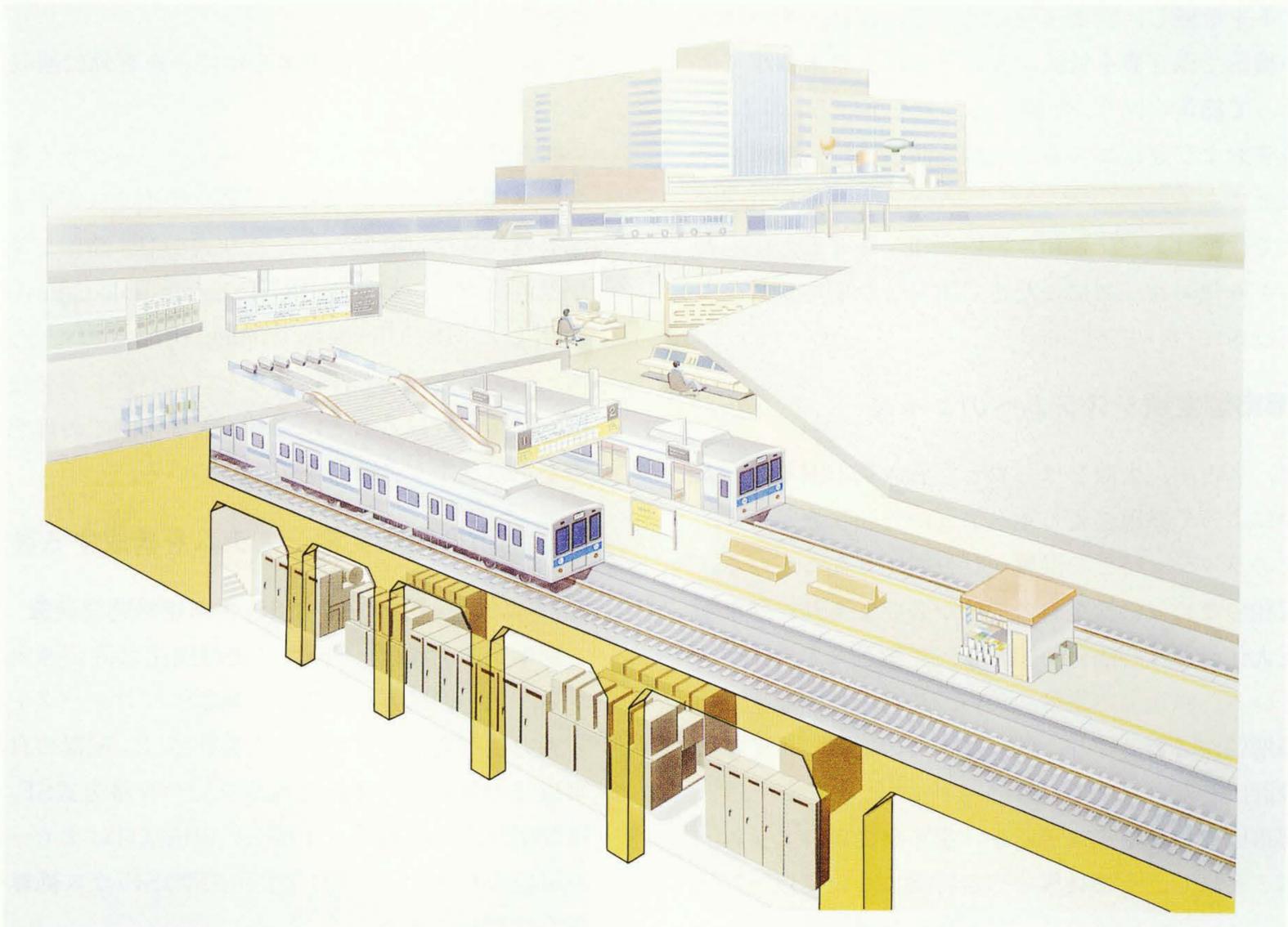
Urban Railway Substation Systems Aimed at Compactness

田中俊一* *Shun'ichi Tanaka*

波多野 滋** *Shigeru Hatano*

向野茂生** *Shigeo Kouno*

斉藤雅雄** *Masao Saitō*



都市型電鉄変電システムのイメージ この変電システムは大幅なコンパクト化により、高架下などの限られたスペースでの設置を可能とした。省エネルギーを図り、かつ環境調和を実現している。

大都市圏では、人口集中による朝・夕ラッシュ時での混雑が社会問題となっている。混雑緩和のために列車編成の長大化や列車高密度運転によって輸送力の増強が図られ、その結果として電源増強が必要となり既設変電所の増強、新変電所の建設計画が進められている。

大都市圏での既設変電所の増強、変電所の新設にあたっては、都市部特有のいろいろな制約条件のもとで信頼性の高い電鉄変電システムを構築する必要がある。

最近では、資源の有効利用、地球環境の保全などが唱えられて鉄道輸送が見直され、人々の注目を集めている。また、社会情勢の急激な変化により、経営面では効率の向上が要求されるようになった。

以上のような状況を考慮すると、電鉄変電システムでも省エネルギー化、保守省力化、環境調和およびコンパクト化を推進する必要がある。そのため、このニーズにこたえる都市型電鉄変電システムを開発した。

* 日立製作所 交通事業部 ** 日立製作所 国分工場

1 はじめに

最近の変電システムに対しては、高い信頼性および安全性に加え、小型化、環境調和、保守省力化、省エネルギー化などが要求されるようになってきた。

これらの要求は、鉄道の経営的観点から見ると、きわめて当然なことである。建設時には機器を小型化して建設コストを低減し、営業運転に入ってから、手のかからない機器で保守費を低減するとともに、省エネルギー化によって節電を図り、使用電力料金を下げる。つまり、初期投資および運転コストの低減を図って経営効率を上げることである。

ここでは、コンパクト化、環境調和、保守省力化、省エネルギー化のニーズにこたえて開発した変電システムの最新技術について述べる。

2 都市型変電システムへのニーズ

東京、名古屋、大阪をはじめとする大都市圏では、人口集中によって鉄道による輸送需要が飽和状態となり、朝・夕のラッシュ時での混雑が社会問題となっている。混雑緩和のためには輸送力の増強が必要であり、列車編成の長大化や運転時隔の短縮によって輸送力の増強が図られている。輸送力の増強に伴い、これをまかなうための電源増強が必要となり、既設変電所の増強、新変電所の建設計画が進められている。

大都市圏での変電システムを「都市型変電システム」と呼ぶことにし、その具備すべき特徴について以下に述べる。

2.1 コンパクト化

(1) 変電所の限られた余剰スペースに機器が増設できること。余剰スペースがないときには、既設老朽設備をできるだけコンパクトなシステムに更新して余剰スペースを生み出し、変電所の増強ができること。

(2) 新設変電所では、線路脇、地下、高架下などの限られたスペースに設置できるようなコンパクトなシステムであること。

2.2 環境調和

(1) 屋外に設置される機器は、周囲の環境と調和のとれた形態であること。

(2) 住宅に近接した変電所では、騒音・公害源とならないこと。

2.3 保守省力化

(1) 変電システムを構成する機器の保守省力化を指向し

ていること。

(2) 保守要員の不足に対応して、昼間に極力保守ができるシステム構成や機器構成であること。

(3) 万一の事故に対して、迅速な対応がとれるようなインテリジェント化されたシステムであること。

2.4 省エネルギー化

(1) エネルギー損失をできるだけ抑えたシステムであること。

(2) 回生車両からの回生エネルギーを有効に回収できるシステムであること。

都市型変電システムでは、ニューパッケージ型SF₆ガス絶縁開閉装置、低騒音変圧器、サイリスタ整流器、直流高速度真空遮断器とロータリ式小型断路器で実現した小型直流キュービクル、PC(Programmable Controller)を活用したME(Microelectronics)化配電盤などの新技術・新製品を採用し、これらをコンパクト実装技術で有機的に結び付けることにより、大都市圏での理想的な都市型電鉄変電システムを実現している。

3 都市型電鉄変電システムを構成する装置

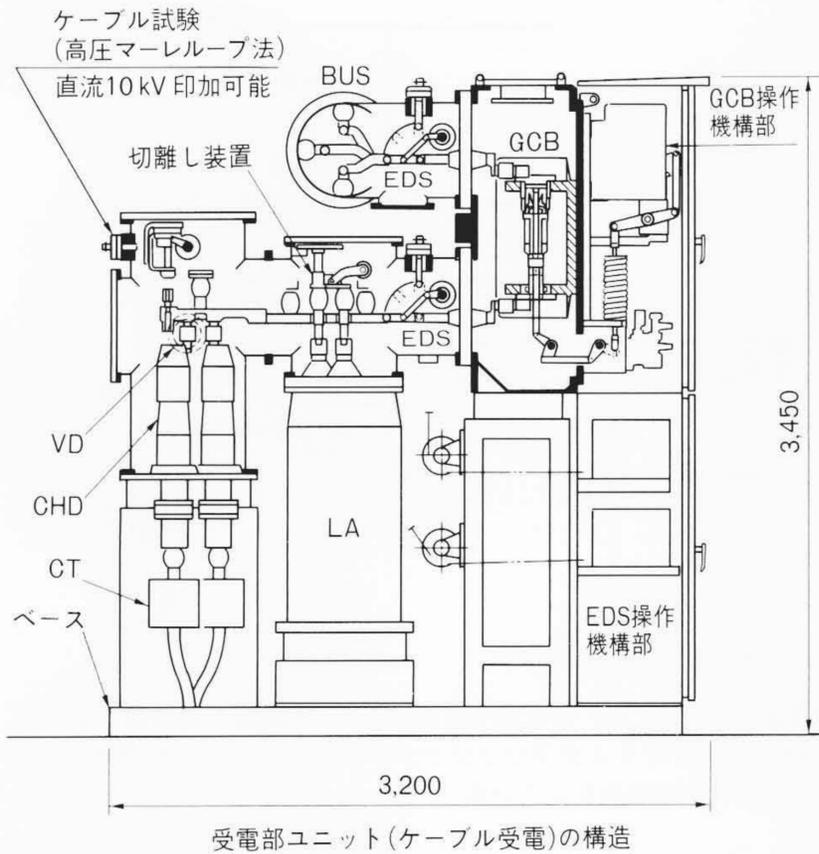
3.1 ニューパッケージ型SF₆ガス絶縁開閉装置

変電システムは、SF₆ガス絶縁開閉装置が導入されてから、気中絶縁方式と比べて飛躍的にコンパクト化、保守省力化が進んできた。日立製作所は、配置の自由度、事故時の復旧性に優れた特長を持つ管路方式SF₆ガス絶縁開閉装置を採用し、工場から現地据付けまで一体輸送が可能なパッケージ型(全装可搬型)SF₆ガス絶縁開閉装置を採用してきた。

大都市圏では、限られたスペース内での電源増強と無停電指向の高信頼度受変電システムが要求されるようになってきたことから、パッケージ型の特長を維持しながら、これをさらに発展させ、あらゆる受変電システムに対応できるニューパッケージ型SF₆ガス絶縁開閉装置を製品化した。その構造の一例を図1に示す。このSF₆ガス絶縁開閉装置は、三次元構造解析、電界解析などの技術解析をベースに、(1)熱パツファ併用の同期吹付方式遮断技術、(2)複合絶縁技術、(3)箱形圧力容器、球形容器製造技術などの各種技術を駆使して開発したもので、下記の特長を持っている。

(1) 据付面積の縮小化(当社従来比25~75%)

(2) 高信頼性：1計器用変圧変流器バイパス断路器方式SF₆ガス絶縁開閉装置を全装可搬型とし、現地作業をなくし工場での信頼性を維持する。



注：略語説明 EDS (接地装置付き断路器), GCB (ガス遮断器)
VD (検電装置), ES (接地開閉器), CT (変流器)
BUS (母線), CHD (ケーブルヘッド), LA (避雷器)

図1 ニューパッケージ型SF₆ガス絶縁開閉装置の構造
ユニットは完全独立構造とし、徹底した標準化を図っている。

- (3) 保守省力化：前面キュービクル列盤配置構成とし、保守・点検性の向上を図る。
- (4) 環境調和：管路方式SF₆ガス絶縁開閉装置のため、配置の自由度が高く、あらゆる変電システムにも対応できるとともに、騒音、振動を極力低減し環境調和が図られる。

3.2 低騒音変圧器

電鉄用変圧器は、変電所自体が住宅地あるいは人口密

集地に設置されることから、安全性の追求、環境保全設備の合理化などの要求を受け、総じて小型化、不燃化の方向にある。

その一つとしてあげられるのが、環境保全の観点からの低騒音化の要求である。

従来、電鉄用変圧器で低騒音化が要求される場合には、電鉄用の変圧器の容量が10 MVA以下の要求が多いことから、減音効果の大きい防音壁(銅板製)で変圧器タンクを覆う方法がとられていたが、必然的に据付面積が増大するため防音壁に代わる対策が望まれていた。

この要求に対し、変圧器の騒音が鉄心の磁気ひずみ振動から生ずることに着目し、

- (1) 鉄心断面積の改善
- (2) 鉄心接合部の改善

を施した。鉄心内の磁束の流れを良好にすることにより、防音壁不要な55ホン級低騒音変圧器を実現し、このクラスの変圧器としては、当社従来比で約80%の据付面積とした。

加えて、鉄心内の磁束の流れが良くなったことにより、無負荷損の低減も図れた。連続励磁であることから、ランニングコストを低減できるメリットも見逃せない。

低騒音変圧器の外観を図2に示す。

一方、安全性の面からは、不燃化の要求の声が上がっている。電鉄用の変電所は、前述のように住宅地や人口密集地に設置されることから、地下変電所となることが多い。

このため、変圧器としては不燃変圧器の要求が高い。SF₆ガス絶縁変圧器を開発・実用化して久しいが、このSF₆ガスは、鉱油と比較して絶縁性能や冷却性能が低い

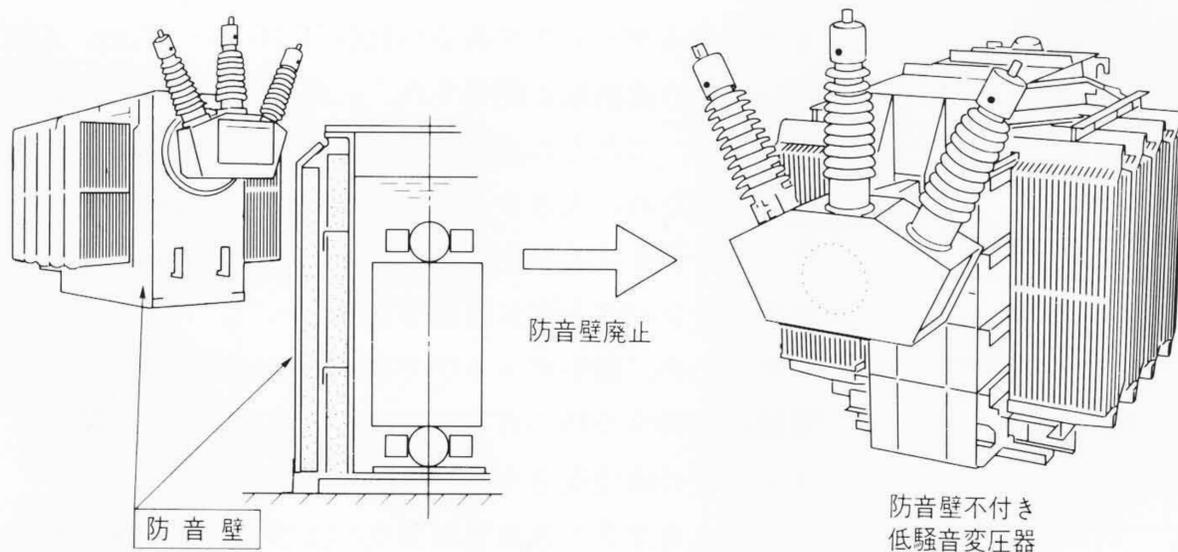


図2 防音壁付き低騒音変圧器の外観 防音壁付きの変圧器と比べるとコンパクト化されたので、据付けスペースが普通騒音の変圧器と同等である。

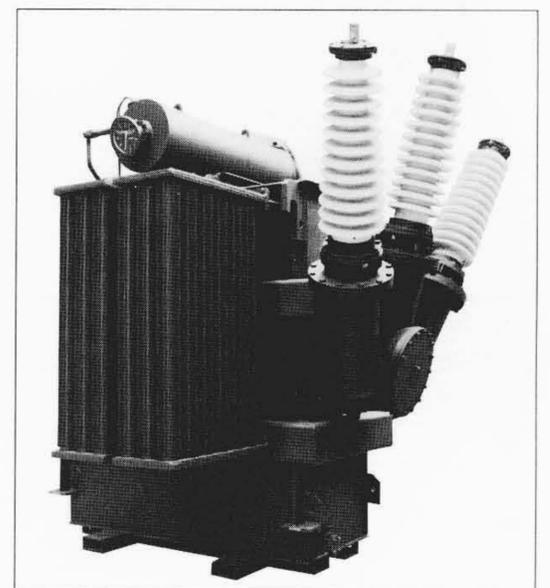


図3 5,000 kVA不燃液冷変圧器の外観 外観は従来の油入変圧器のイメージであり、保守、点検が容易な構造となっている。

ため、設備容量が増大してくると外形寸法が油入変圧器に比較して大きくなり、省スペース化の傾向とは相入れない面があった。そのため、優れた絶縁性および冷却性を持つ不燃冷媒を用いた不燃液冷変圧器を開発した。

不燃液冷変圧器は、鉄心、巻線などの変圧器本体をパーフルオロカーボン液に浸漬し、この液によって絶縁と冷却を確保するものである。

不燃液冷変圧器の外観を図3に示す。

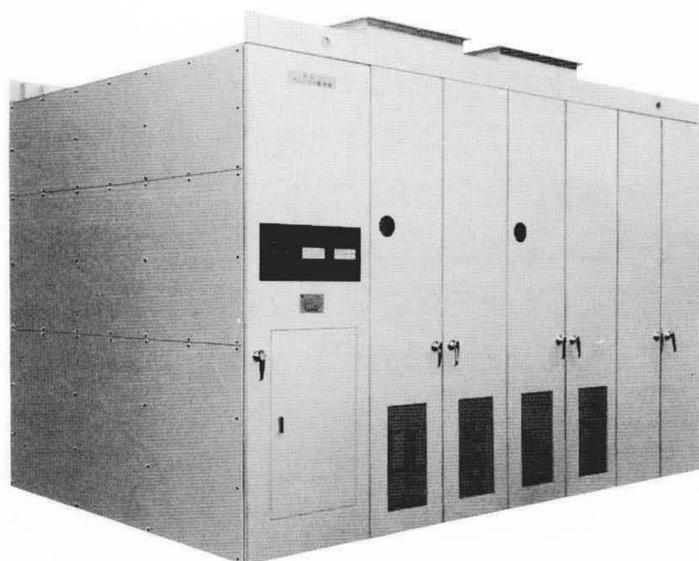
このように、SF₆ガス絶縁変圧器および不燃液冷変圧器の開発・実用化は、都市部でのビル内および地下変電設備の省スペース、防災性に寄与している。

3.3 サイリスタ整流器

近年、パワーエレクトロニクスおよびマイクロエレクトロニクスの急速な進歩により、車両では省エネルギーを指向したチョップパやインバータ制御車が抵抗制御車に取って代わっている。これらの制御車両は、回生ブレーキを持ち、省エネルギーにさらに貢献している。

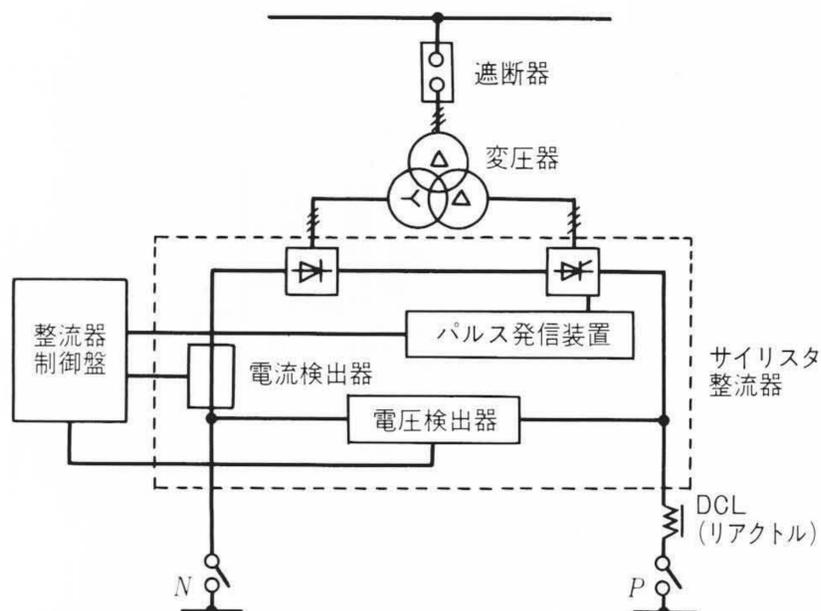
これに対して変電システムでは、それぞれの機器ごとに損失を削減する受動的な方法で省エネルギーに貢献してきた。

しかし、最近では変電所の送り出し電圧を低く抑えることによって回生ブレーキ車両の回生失効が減少し、回生効率が向上することが知られていることや省エネ



定格出力	6,000 kW
定格出力電圧	1,500 V
定格出力電流	4,000 A
定 格	E種
構 成	三相ブリッジ結線カスケード接続(12相)
	サイリスタ：1,500 A, 4,000 V 1S×5P×6A ダイオード：2,500 A, 3,000 V 1S×3P×6A
冷却方式	沸騰強制風冷

図4 サイリスタ整流器の外観 閉鎖型配電盤と同一のキュービクル構造として環境調和を図っている。



注：略語説明 P(整流相数)

図5 サイリスタ整流設備の構成 高調波の発生量を低減するために、サイリスタブリッジとダイオードブリッジとのカスケード接続の12相整流としている。

ギーおよび電力量のピークカットを目指し、積極的に変電所送り出し電圧を制御し、能動的な方法によって省エネルギーに貢献しようとの機運が強まっている。

この目的を実現するため、サイリスタ整流器の導入が進められている。

サイリスタ整流器の外観を図4に、サイリスタ整流設備の構成を図5に示す。

3.4 小型直流キュービクル

直流高速度遮断器を収納した直流キュービクルは、直流高速度遮断器の事故電流のアークを引き伸ばし、アーク電圧を高め、その限流効果によって遮断するという原理のため、キュービクル内にアーク処理の空間が必要である。このアーク処理の空間のため、直流キュービクルのコンパクト化が阻害されてきた。

近年、これらの問題を解決する手段として、遮断原理を異にするサイリスタあるいはGTO(Gate Turn Off Thyristor)遮断器が開発され、一部で採用されている。

しかし、これらの遮断器は半導体素子を主回路に採用しているため、大きな通電損失が発生し、この通電損失によって発生する熱を冷却するための冷却装置が必要であり、コンパクト化には寄与しなかった。

そのため、微小ギャップで高い絶縁回復特性と高周波電流遮断特性を持つ真空バルブを直流遮断器の主接点とする小型の直流高速度真空遮断器を開発した。

直流高速度真空遮断器は真空バルブ中でアークの処理を行うため、従来の直流高速度遮断器と比べて保守が簡易となり、保守性が向上するとともに防災性・低騒音性

が向上した。

直流高速度真空遮断器の開発と合わせ、キュービクルのコンパクト化の阻害要因であった直流断路器の小型化を実施し、ロータリ式の小型断路器を開発した。

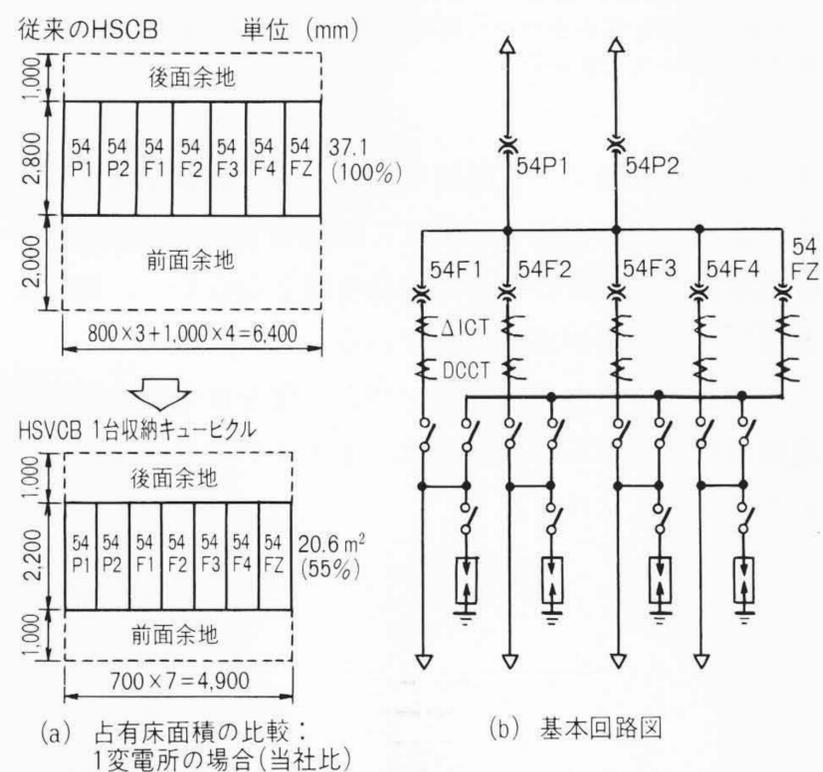
この直流高速度真空遮断器とロータリ式の小型断路器の開発により、整流器2バンク、き電4回線の変電所の場合で、据付け面積を55%(当社従来製品比)まで縮小することが可能となり、直流キュービクルのコンパクト化を実現した。据付け面積比較を図6に示す。

3.5 ME化配電盤

都市型電鉄変電システムでの配電盤としては、コンパクトでインテリジェント化が要求されている。この要求にそって、マイコン(マイクロコンピュータ)を用いた制御監視装置とデジタル型保護リレーによってシステムを構成した配電盤を製作し納入してきた。

最近、さらに無人変電所の詳細情報の把握、設備の有効運転、および省力化のため電力管理システムとの詳細情報伝送処理が制御監視装置に求められるようになってきている。これにこたえるものとして、HISMAC(インテリジェント化配電盤)シリーズとしてHISMAC-N100Sを開発した。

HISMAC-N100Sをもとに、最近の都市型変電所制御システムの技術動向について次に述べる。



注：略語説明
HSCB (気中式直流高速遮断器), HSVCB (直流高速真空遮断器)
ΔICT (き電線故障検出変成器), DCCT (直流計器用変流器)

図6 直流キュービクルの据付面積比較

直流高速真空遮断器を収納した小型キュービクルの採用により、据付面積を従来機種比55%とコンパクト化した。

HISMAC-N100Sを使用した配電盤の外観を図7に示す。

3.5.1 制御装置

制御装置の機能は、主回路機器の制御、機器の状態や故障情報の収集・編集などである。制御シーケンスは容易に組めるものでわかりやすい必要があり、各種データの編集のためには、演算機能が充実している必要がある。これらを満足するものとして、HISMAC-N100Sは、ラダーシーケンスを用いるシーケンスモードとコンピュータモードの切替が可能でPCを用いている。

HISMAC-N100Sでは、コンパクト化を実現するために、CRTを用いてその画面上に故障内容や電圧、電流などの計測値を表示し、従来使用していたターゲット表示器、計器などを極力削減した。さらに、プリンタを装備して機器表示情報、機器操作情報を時刻とともに印字し、事故解析の容易な構成としている。また、制御入力および制御出力の二重化を図って誤制御防止と信頼性向上に配慮した。

3.5.2 保護継電器

保護継電器は、従来の電磁型からアナログ静止型へ、さらにデジタル型へと移行している。デジタル型の採用により、従来の電磁型やアナログ静止型では実現が困難であった、整流器および整流器用変圧器の過負荷耐量特性に見合った保護特性を持たせることが可能となった。

また、デジタル型では、整定タップおよび動作時限を細かく設定できるため、よりきめ細かな保護が可能となった。アナログ静止型では、継電器の診断のための点検信号を外部から印加していたが、デジタル型では、継電器内蔵のマイコンによる自己診断機能を活用することにより、点検信号を外部から印加する必要がなくなり、

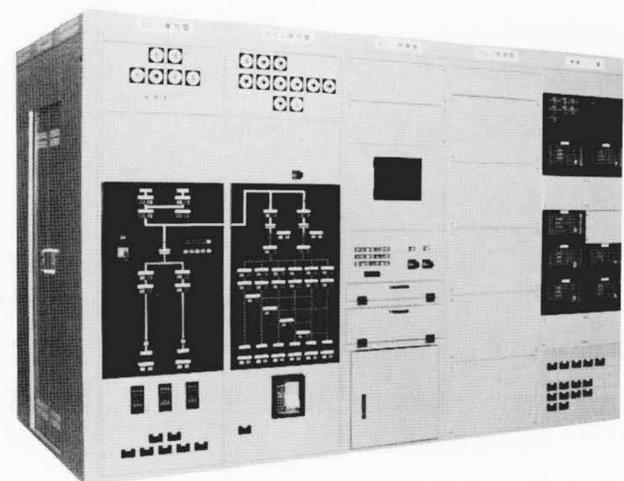


図7 HISMAC-N100Sの外観

PC(Programmable Controller)やデジタル型保護リレーの採用により、高機能化、コンパクト化を実現した。

しかも常時診断が可能となった。

デジタル型保護継電器は、ソフトウェアによって、その特性が決定されるため、マイコン、メモリなどの部品に異常がなければ特性は常に安定している。したがって、自己診断機能を向上することにより、従来実施していた特性試験、調整期間の延長が期待できる。

4 都市型電鉄変電システム計画例

都市型変電システムと従来型変電システムとの計画例を図8に示す。この例では約30%の省スペース化が可能となる。これは、前章で述べた各機器の小型化による約10%、複数の機器を組み合わせて集約化するコンパクト化実装技術による約20%の省スペース化を実現したものである。

今回開発したコンパクト化実装技術について以下に述べる。

(1) 変圧器と整流器の一体化

母線で接続されていた変圧器と整流器を一体化することにより、機器間の接続スペースをなくした。

(2) 整流器と直流キュービクルとの列盤化

単独に据え付けられ、ケーブルで接続されていた整流器と直流キュービクルとを列盤化し、直接、母線接続することで機器の集約化を図った。

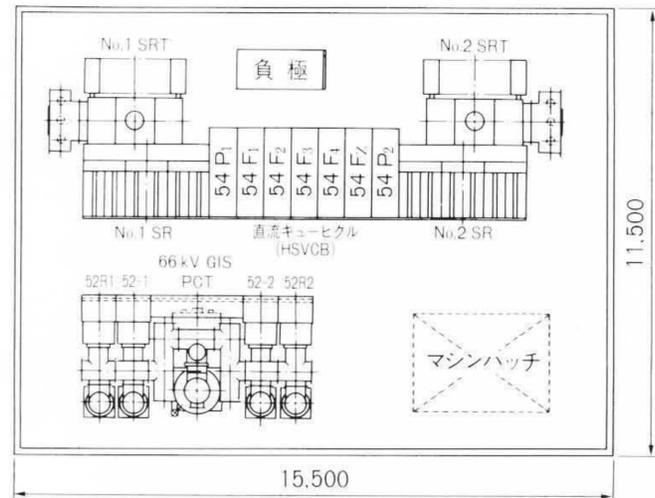
この実装技術により、用地確保が困難な場所でも、高架下や地下などの狭いスペースを有効に活用することができ、用地の高効率活用が可能となる。

また、コンパクト化実装技術を採用し、機器を一体化・集約化することにより、以下のメリットも期待できる。

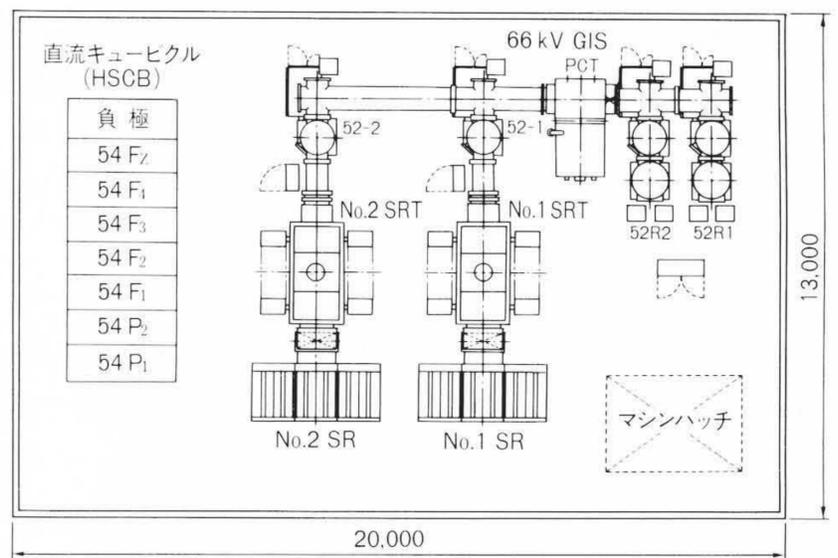
- (1) 変電所建設時の据付工程の短縮
- (2) 整流器と直流キュービクル間のケーブルがなくなることによるケーブル保守の不要

5 おわりに

バブルがはじけ、地価高騰が鎮静化したとはいえ、い



(a) 都市型電鉄変電所計画例



(b) 従来機器配置例

注：略語説明

PCT (計器用変圧変流器), SRT (整流器用変圧器), SR (整流器)
52 (66 kV交流遮断器)

図8 都市型電鉄変電所の計画例

複数の機器を組み合わせた都市型電鉄変電所と、従来機器配置変電所のスペース比較を示す。

まだに地価は高く、変電所用地の取得は困難な状態にある。また、大都市圏では民家に隣接して変電所を建設せざるを得ず、騒音などの公害発生源とならない、環境に調和した変電所が求められている。

したがって、今後も、コンパクト化を目指した都市型電鉄変電システムのニーズは、ますます大きくなっていくものと考えられる。

参考文献

- 1) 渡辺, 外: 最近の電鉄用変電システム技術, 日立評論, 70, 7, 725~732(平1-7)
- 2) 桑原, 外: 都市形電鉄用変電システム, 日立評論, 73, 3, 289~296(平3-3)