

九州電力株式会社新熊本変電所 550kVガス絶縁開閉装置

550kV Gas-Insulated Switchgear for Shin-Kumamoto Substation, Kyushu Electric Power Co., Inc.

変電所の据付面積の大幅な縮小，高電圧部を露出させない安全性及び高信頼性，保守点検の省力化，周囲環境との調和などの特長から，ガス絶縁開閉装置がここ10年余りの間に広く普及してきている。

このたび，九州電力株式会社と日立製作所は，新熊本変電所に最新の技術を駆使した550kVガス絶縁開閉装置を完成した。

本変電所は保護特性の優れた酸化亜鉛避雷器の適正な分散配置によるLIWLの低減(従来の1,800kVから1,550kVに低減)，かつ合理的な直線配置構成により，ロープロフィール化及び架台の省略による経済性の向上を図る一方，光伝送技術を応用した予防診断システムを開発導入した。

更に，機器の合理的配置構成により，分岐母線長の短縮を図るとともに，機器のロープロフィール化，架台の簡素化，耐震性の向上を図ったものである。以下に，これらの概要について述べる。

塩田 博* Hiroshi Shiota
田中喜太郎* Kitao Tanaka
下川 勝* Masaru Shimokawa
中野清蔵** Seizō Nakano
佐々木幸司** Kōji Sasaki
佐野和汪** Kazuomi Sano

1 緒 言

九州電力株式会社では，電力需要の増加に伴い電力の安定供給を図るために，既設の中央変電所を中心とした東西を連係する系統に対し，九州の南北を連係する系統の建設に着手

しており，この新熊本変電所は，その南北を連係する550kV基幹系統の中間拠点として新設された変電所である。
九州電力株式会社と日立製作所は，新熊本変電所に最新の

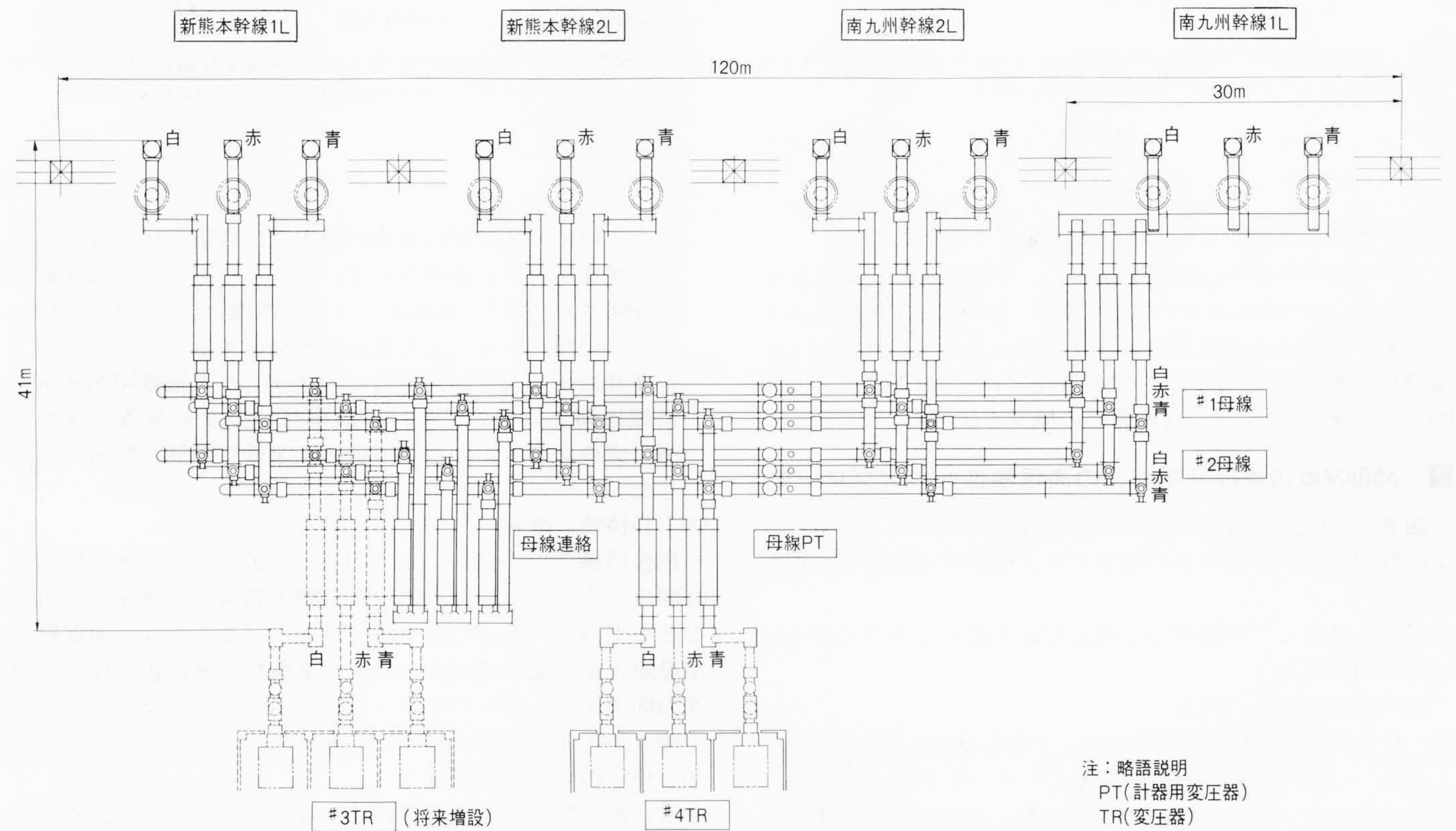


図1 九州電力株式会社新熊本変電所機器配置図 九州の南北を連係する550kV基幹系統の中間拠点として新設された変電所であり，当面は送電線ユニット4回線，母線連絡ユニット，変圧器ユニット1回線で構成される。

* 九州電力株式会社 ** 日立製作所国分工場

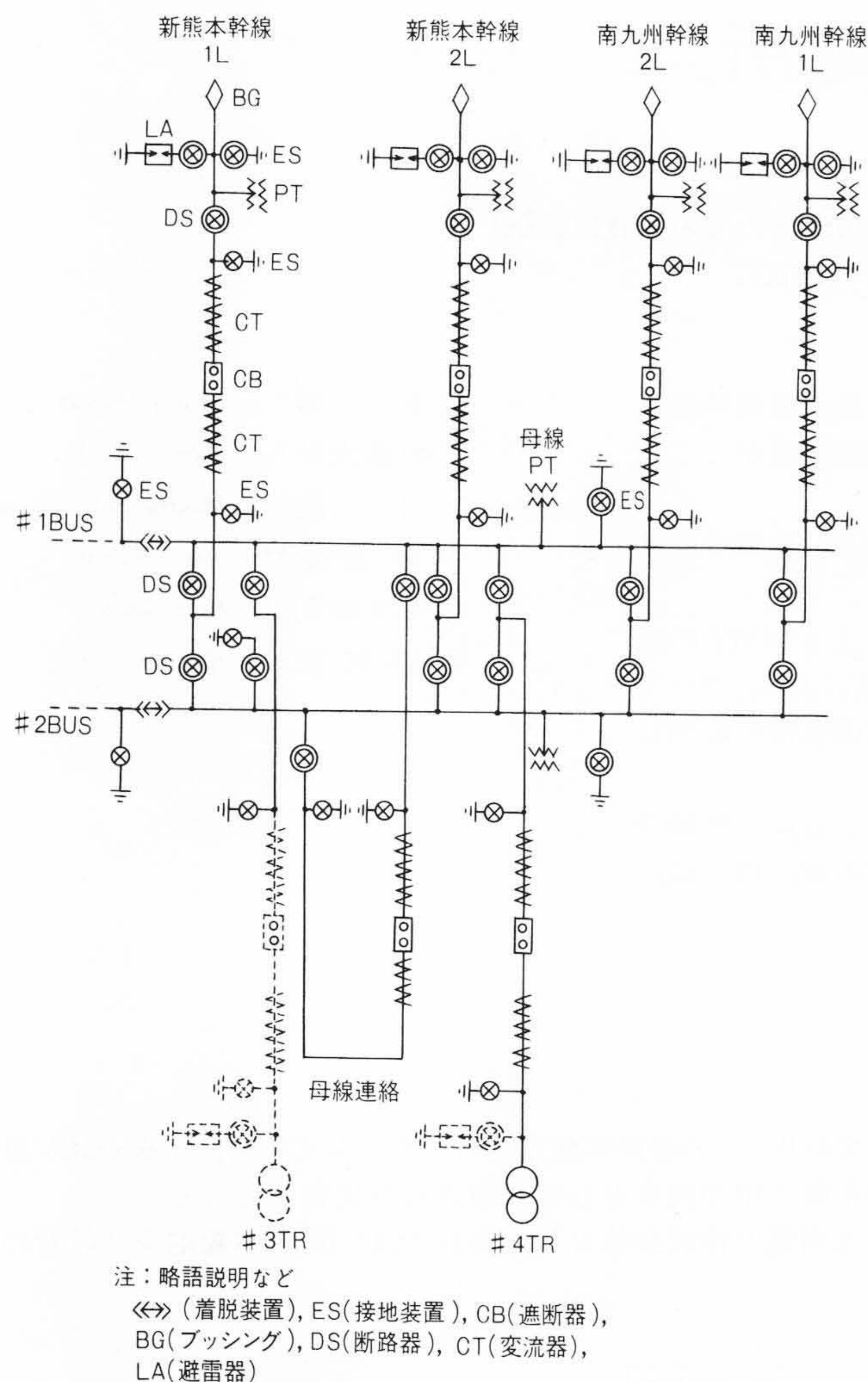


図2 単線結線図 二重母線で構成され、主母線及び送電線ユニットには小形・軽量化されたガス絶縁PT(計器用変圧器)を採用している。

技術を駆使した550kVガス絶縁開閉装置を完成した。

ガス絶縁開閉装置の配置を図1に、単線結線図を図2に示す。なお、第一期工事分の主要設備は、6kA送電線回路ユニット4回線、6kA母線連絡ユニット、2kA変圧器ユニット1回線及び8kA二重母線から構成されている。以下に、この550kVガス絶縁開閉装置の技術開発の概要を述べる。

2 550kVガス絶縁開閉装置の高信頼性へのアプローチ

図3に550kVガス絶縁開閉装置を設計、建設するに当たり信頼性の向上及び経済性の追求という観点から検討した内容を示す。

設計に当たっての基本的な考え方は下記のとおりである。

(1) 信頼性の向上

(a) 絶縁信頼性の向上

ガス絶縁開閉装置の設計に当たり最も重要な要素はLIWL(雷インパルス耐電圧値)である。一方、小形高性能で急しゅんなサージに対して保護特性が優れた酸化亜鉛避雷器の普及により変電所の絶縁協調が見直されてきている。ここでは、上述した酸化亜鉛避雷器を採用した場合の絶縁協調解析を実施することによってLIWLの低減を図り、絶縁信頼性の向上を図ることとした。

(b) ダウンタイムの短縮

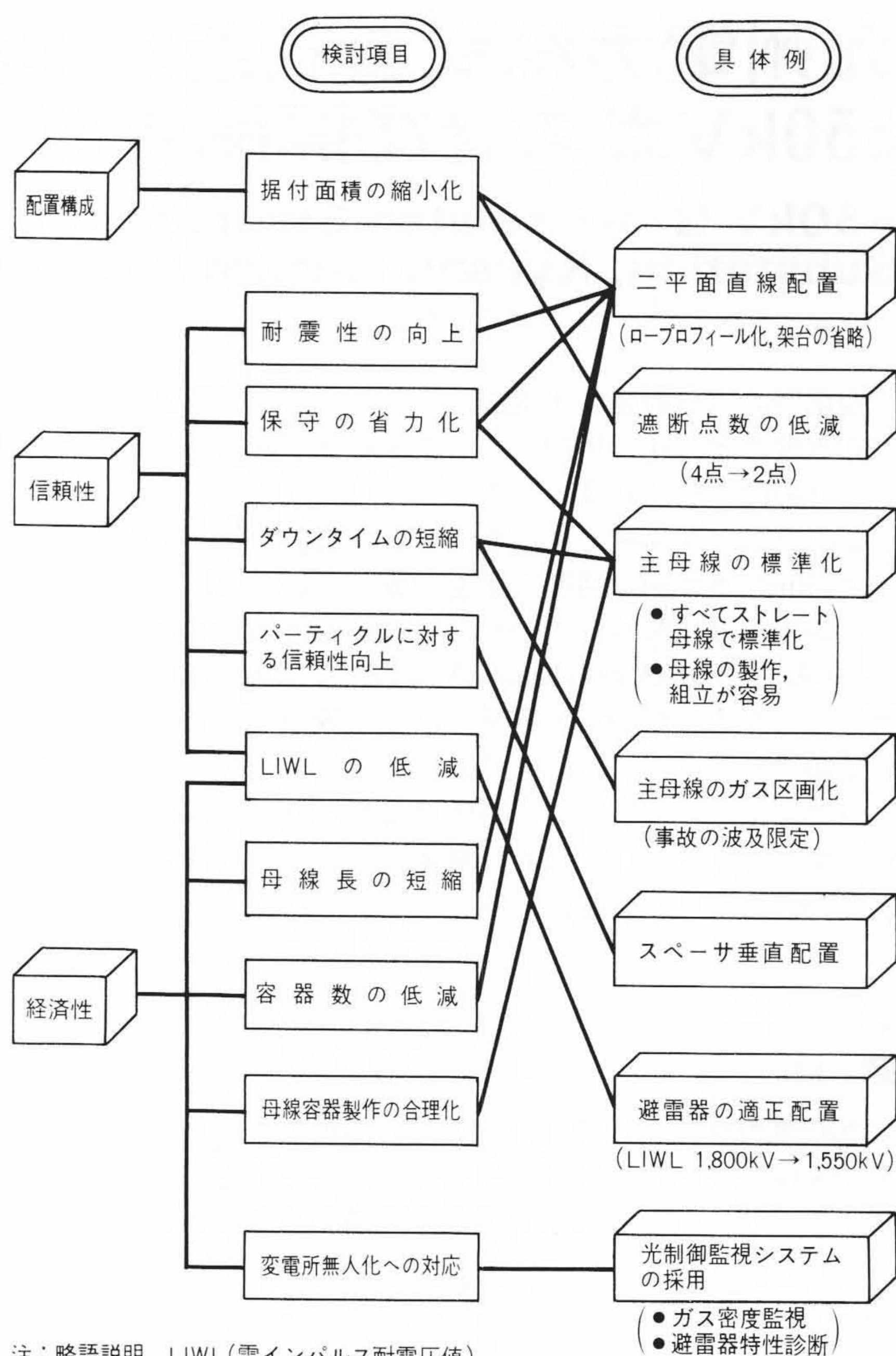


図3 550kVガス絶縁開閉装置の高信頼性及び経済性へのアプローチ 主に信頼性の向上、経済的配置構成について検討を実施した。

ガス絶縁開閉装置は従来の気中絶縁変電所に比較し、その信頼性が大幅に改善されていることは過去の運転実績から証明されており、事故率では約 $\frac{1}{10}$ 程度に低減されている。しかし反面、いったん内部故障が発生するとダウンタイムが非常に長い欠点がある¹⁾。このため、ガス絶縁開閉装置の信頼性向上について単に事故率だけでなく事故波及の範囲、ダウンタイムの長さも含めた条件で評価、検討を実施した。

(2) 経済性の改善

据付面積の縮小化による経済性の改善に加え、配置構成の合理化による母線長の短縮、架構類の簡素化、保守の省力化などを十分織り込んでおく必要がある。ここでは、通電路長が最短となる配置構成の検討及び架構類の簡素化、保守点検性の向上を図るための手段として機器のロープロファイル化を達成できる配置構成について検討した。

(3) 保守の効率化の推進

ガス絶縁開閉装置の高信頼性が証明されるにつれ、今後は変電所の無保守無点検指向がますます増大していくものと予想される。一方、予防診断装置の研究開発の技術進歩には著しいものがある。ここでは将来の変電所無人化への第一ステップとして、上述した予防診断装置の採用について検討した。

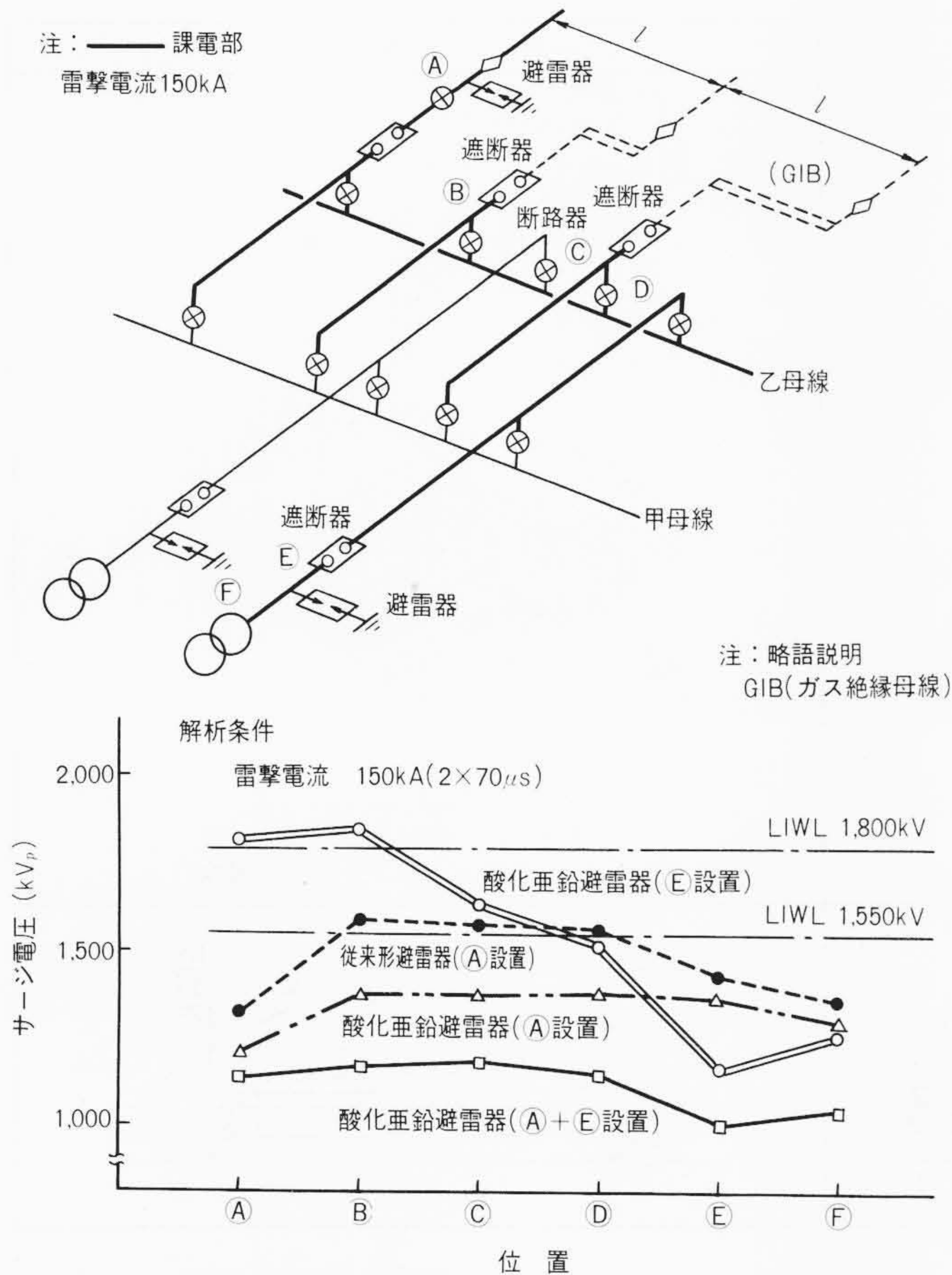


図4 酸化亜鉛避雷器の雷サージ分布 保護特性の優れた酸化亜鉛避雷器を適正配置することにより、ガス絶縁開閉装置内部へのLIWL (雷インパルス耐電圧値) を低く抑制できる。

3 技術開発及び本ガス絶縁開閉装置の特徴

上述した基本的考え方に基づくガス絶縁開閉装置を実現するために、実施した具体的な検討結果を次に述べる。

3.1 酸化亜鉛避雷器による絶縁協調改善

図4に550kVガス絶縁開閉装置の各部に酸化亜鉛避雷器を設置した場合のガス絶縁開閉装置内部に発生するサージ電位分布をEMTP (電力系統過渡現象解析プログラム) により解析した一例を示す。各部の電位分布は酸化亜鉛避雷器の急しゅんなサージに対する有効性が表われており、酸化亜鉛避雷器の保護特性は従来形直列ギャップ付き避雷器に比べ5～15%低くなっている。また、線路引込口④に設置したほうが変圧器端⑤に設置するより保護効果が良い。この場合の酸化亜鉛避雷器は線路側の遮断器又は断路器が開放状態でも線路引込口の保護も兼ねることのできる特徴をもつ。また、変圧器端にも酸化亜鉛避雷器を設置することにより、よりいっそうのLIWL低減が図れることが分かる。このような解析を変電所を模擬し種々の運用形態に対応して実施することによりLIWLが1,550kV以下となるような酸化亜鉛避雷器の最適位置を決定した²⁾。

3.2 最適配置構成の検討

構成機器としては既に使用、運転実績をもつ遮断器³⁾、断路器、接地装置などを使用して高信頼性の維持を図るとともに、据付面積の縮小化、経済性、据付作業性、保守性、事故対応性などの総合的観点から最適配置構成の検討を実施した。

3.2.1 各機器の直線配置構成の採用

図5に送電線ユニットガス絶縁開閉装置の内部構造図を示す。本ガス絶縁開閉装置の配置構成は主母線と母線用断路器

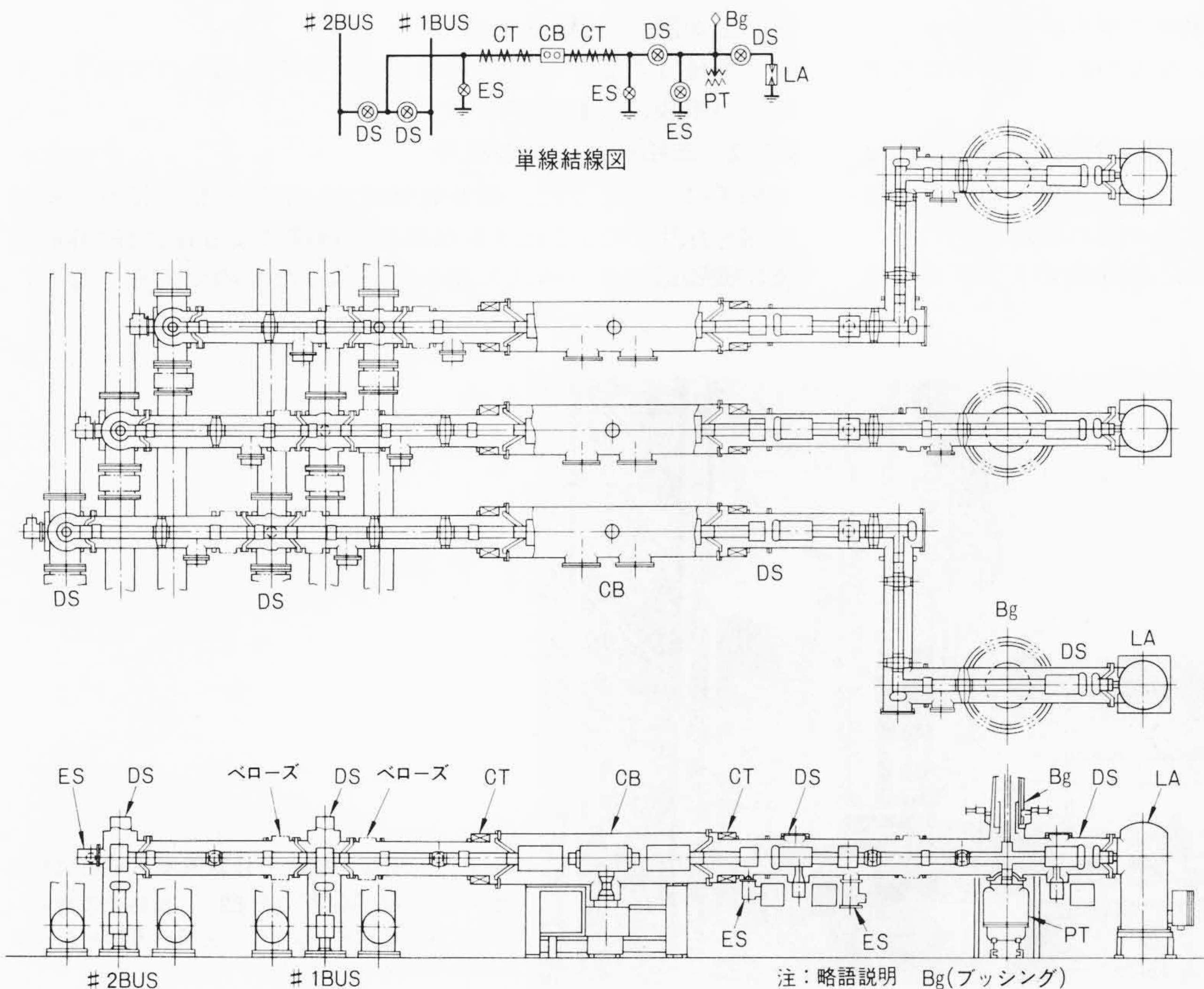
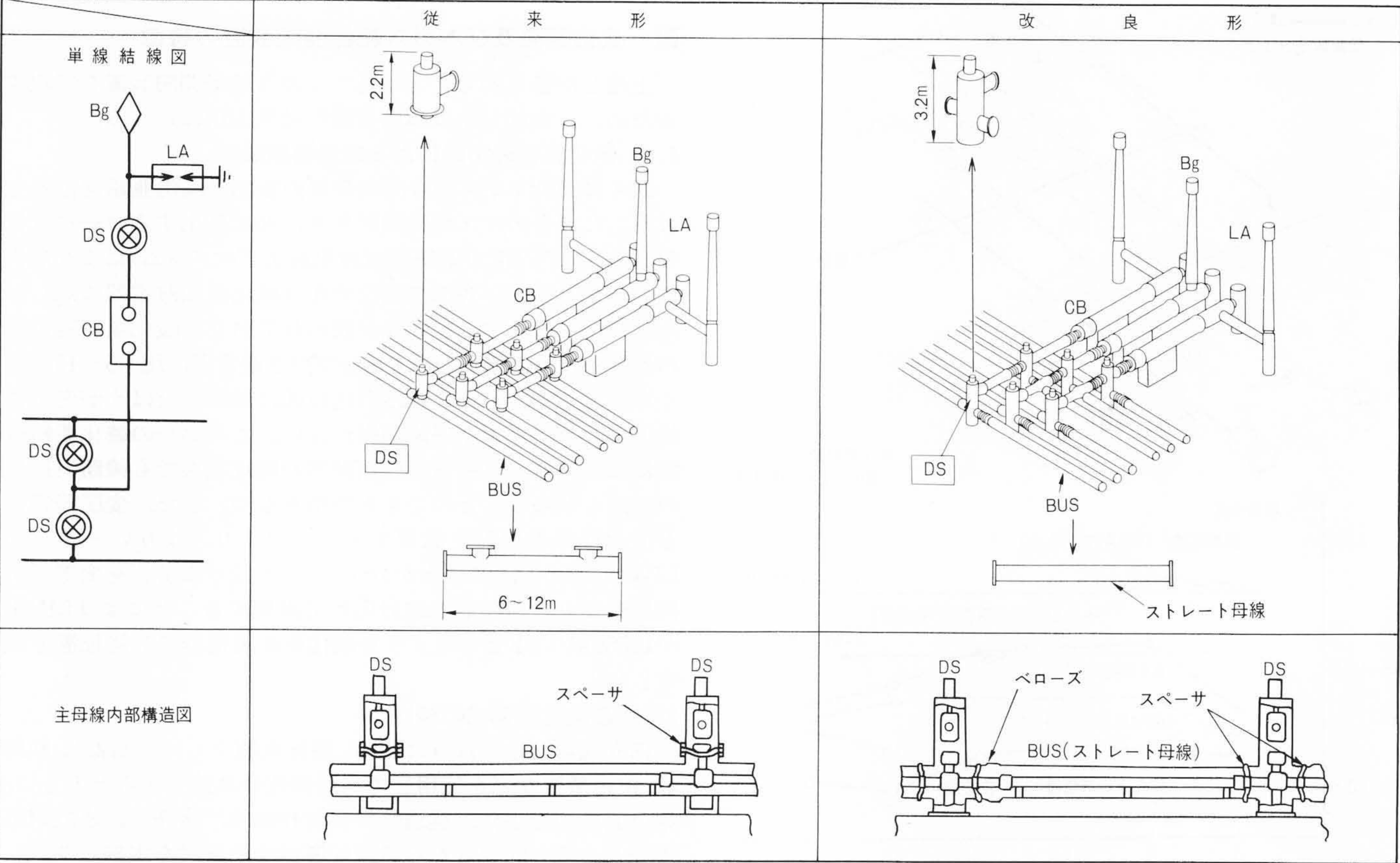


図5 500kVガス絶縁開閉装置内部構造図 (送電線ユニット)

主母線用断路器から送電線に至るまでの各機器を直線的に配置接続した構成で、機器間の接続母線が最短となり、経済的に有利である。



注：略語説明 CB(遮断器)

図6 主母線の短縮と製作合理化 主母線をすべて分岐のないストレートの母線で標準化することにより、容易に主母線を取り外すことが可能となった。

を一体化した容器を地上に配置し、断路器から送電線に至るまでの各機器(遮断器、線路用断路器など)を直線的に配置接続したもので、下記の利点をもっている。

- (1) 機器のロープロファイル化が可能となり架構類が省略できるとともに、耐震性の向上及び保守点検も容易となる。
- (2) 機器間を接続する母線が最短となるため、経済的にも有利である。
- (3) 主母線の一部と断路器を一体形容器内に収容することによって各ガス区画間の主母線はストレート母線となり、主母線の標準化及び母線容器製作の合理化が図れる。
- (4) 主母線がストレート母線のため、主母線でトラブルが発

生しても上部から主母線を容易に取り外すことができ、事故時の対応が簡単である(図6参照)。

- (5) 遮断器、断路器など、開閉動作する機器のスペーサをすべて垂直配置にできるため、パーティクルに対する絶縁信頼性向上が図れる(図6参照)。
- (6) 主母線の各ガス区画間はスペーサで仕切られており、主母線の事故波及範囲が限定される。

3.2.2 三相一括母線の採用

図7に示すように、線路側母線の一部に三相一括ガス絶縁母線を採用した。これは主母線長の短縮による経済性の向上、及び機器据付スペースの縮小化を図ったものである。なお、

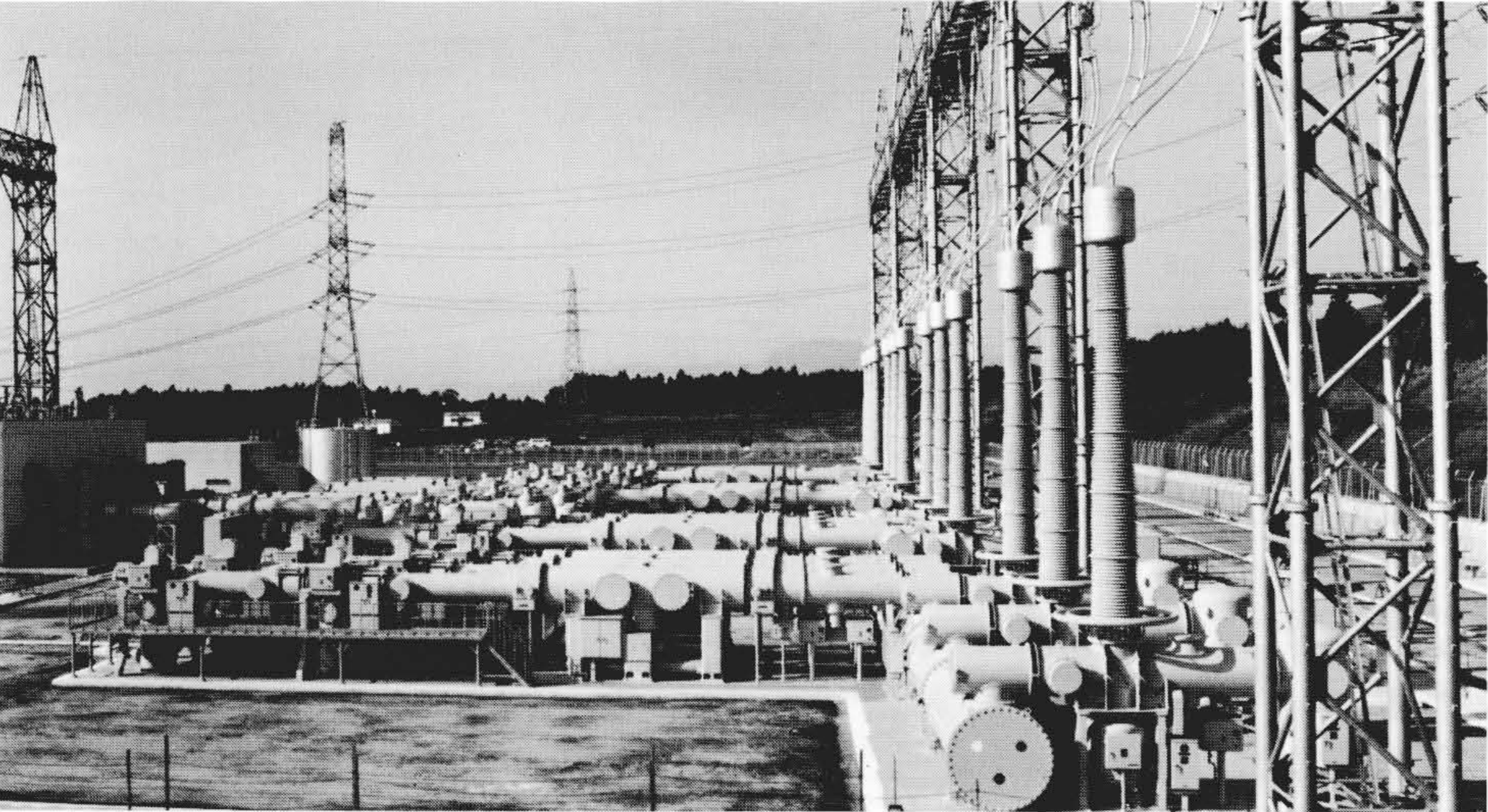


図7 九州電力株式会社新熊本変電所550kVガス絶縁開閉装置の外観 線路側母線の一部に三相一括母線を採用し、主母線長の短縮による経済性の向上を図った。

三相一括母線は1本のシース内に三相導体を収納しているため、相間絶縁、通電容量、相間電磁力などについて十分な検討を行なう必要がある。

図8はこれらの技術上の問題点と技術開発を示すもので、以下これらの技術開発の主なものについて述べる。

(1) 相間絶縁

従来の相分離母線の絶縁は対地絶縁だけを考慮すればよいが、三相一括母線では対地絶縁のほかに相間絶縁を考慮する必要がある。今回は数々の解析結果から相間絶縁の基準とし

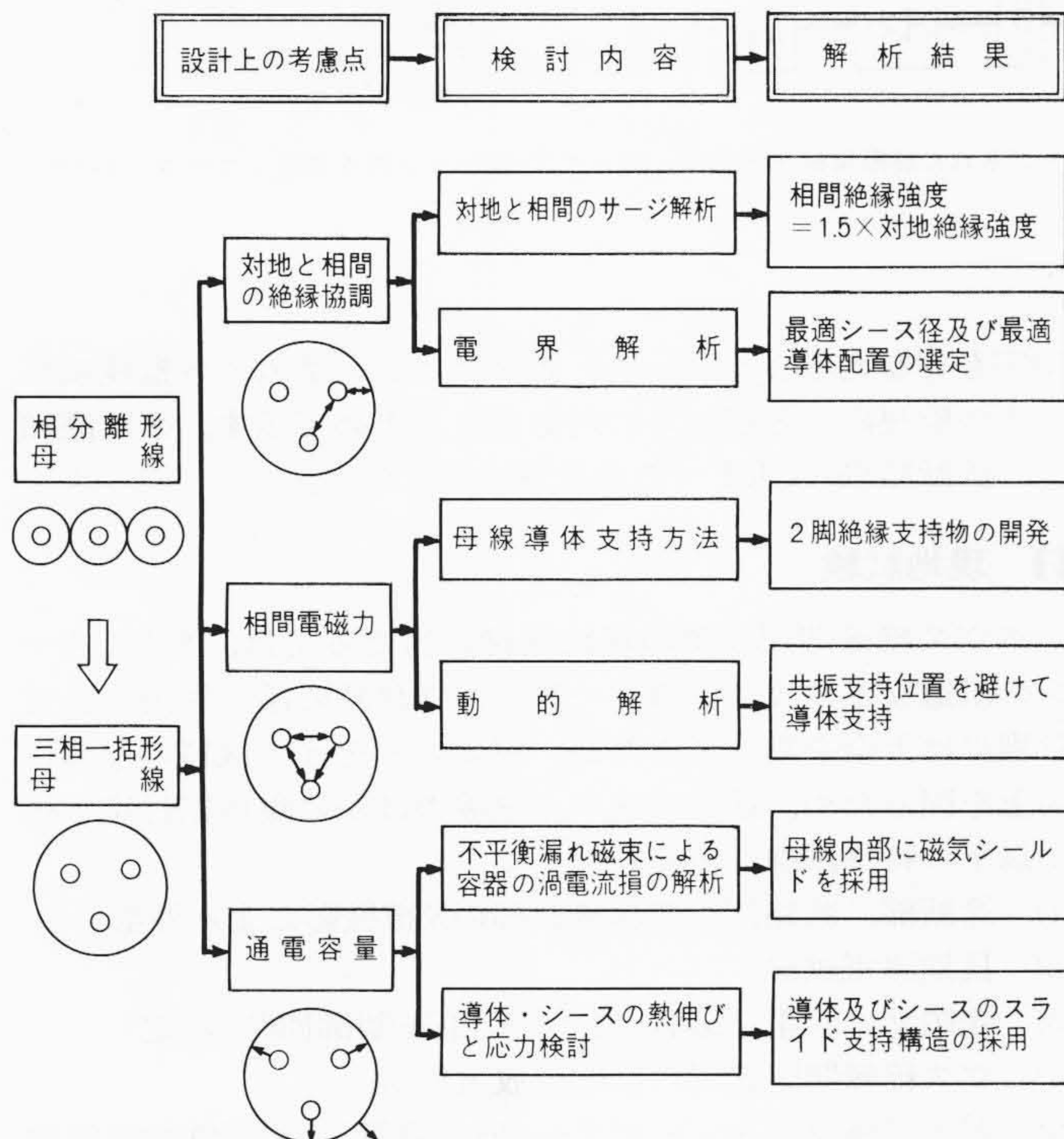


図8 三相一括母線の技術上の問題点と技術開発 絶縁協調、相間電磁力、通電容量などの問題点を技術的に克服することによって、三相一括母線を採用した。

て、2,325kV (LIWL1,550×150%)を採用した。また、各種の相間、対地絶縁性能検証試験を実施し良好な成績を得た。

(2) 通電性能

三相一括母線では導体がシースの中心から外れた位置に配置されるため、シースを鎖交する磁束が生じ、このためシースに渦電流が流れ発熱量が増加する。シースの発熱量を抑制する方法として、シースに導電性の良い材料を用いてシースの渦電流損を減少させる方法と磁束を減少させる方法がある。ここでは、有限要素法を用いた磁界解析を実施し、シースの渦電流損を極力減少させるためにシース内面に磁気シールド⁵⁾を設置する方式を採用した。この結果、シース材料として軟鋼を使用することができ、シースの製作性及び経済性の向上を図ることができた。

(3) 相間電磁力

三相一括母線は導体の相間距離が短く、導体に大きな相間電磁力が作用することを考慮しなければならない。

このため相間電磁力の動的解析を実施し、導体の固有振動数を電源周波数から離すための適正な導体支持間隔を選定した。また、絶縁支持物の強度解析を実施し、機械的強度が大きい2脚支持構造の絶縁支持物を開発採用した。この絶縁支持物及びシース、導体の機械的強度の安全性は、短時間電流通電試験時に各応力を実測することにより検証した。

3.3 予防診断システムの開発導入

本ガス絶縁開閉装置は機器の運転状態、機能、特性などを常時監視し、その経年変化を観察することによって重大事故の未然防止を図るため、潜在的な故障兆候を早期に摘出できる予防診断システムを導入した。今回採用した予防診断システムは、変電所保守の観点から特にニーズの高い酸化亜鉛避雷器の素子劣化診断、及びガス絶縁開閉装置のガス漏れ診断の2種類である。

各センサーの原理を表1に、本システムの概要構成を図9に示す。ガス絶縁開閉装置の被監視対象近傍でセンシングされた診断用検出情報は、各ガス区画に屋外設置したキュービクル内部でアナログ量からデジタル量に変換され、直列伝

表1 監視実施対象のセンサ原理 ガス絶縁開閉装置内部の異常を早期に発見するためのセンシング技術が、長期にわたる信頼性検証試験の結果実用化された。

対象項目	酸化亜鉛避雷器特性診断	ガス絶縁開閉装置のガス圧特性診断
センサ原理	センサ部 避雷器 接地線 センサ ガス区画キュービクル収納 第三高調波通過 BPF A-D変換器へ 酸化亜鉛避雷器の等価回路 (測定範囲0～3.0mA) 電圧出力 (Vp) 抵抗分全電流 (mA) 酸化亜鉛避雷器素子の特性例	P: 被測定室のガス圧力 P₀: 基準ガス圧力(ゲージ圧4kg/cm² at 20°C) 半導体センサ A-D変換器へ センタダイヤフラム シールドダイヤフラム 封入液 ガス管 低圧側 高圧側 P₀ P (測定範囲ゲージ圧0～7kg/cm²)
原理の説明	酸化亜鉛避雷器の電気的等価回路は、抵抗Rと容量Cの並列回路で表わされる。素子の劣化は、抵抗分のうち高抵抗粒界層の比抵抗の減少として表わされるため、このとき生ずる漏れ電流は、素子が非直線VI特性をもっているため、第三高調波を含むひずみ波となる。本診断は、この漏れ電流の第三高調波成分の変化を監視することにより実施する。	ガス管によりガス絶縁開閉装置から導かれる被測定室のガス圧力Pと、基準ガス圧力P₀との差圧は、シールドダイヤフラム、センタダイヤフラム及び封入液を介して、半導体圧力センサに加わる。この結果、ピエゾ抵抗効果により半導体抵抗値が変化し、この変化をブリッジ回路(半導体圧力センサに内蔵)で電気信号に変換し、この大きさによりガス漏れ兆候を検出する。

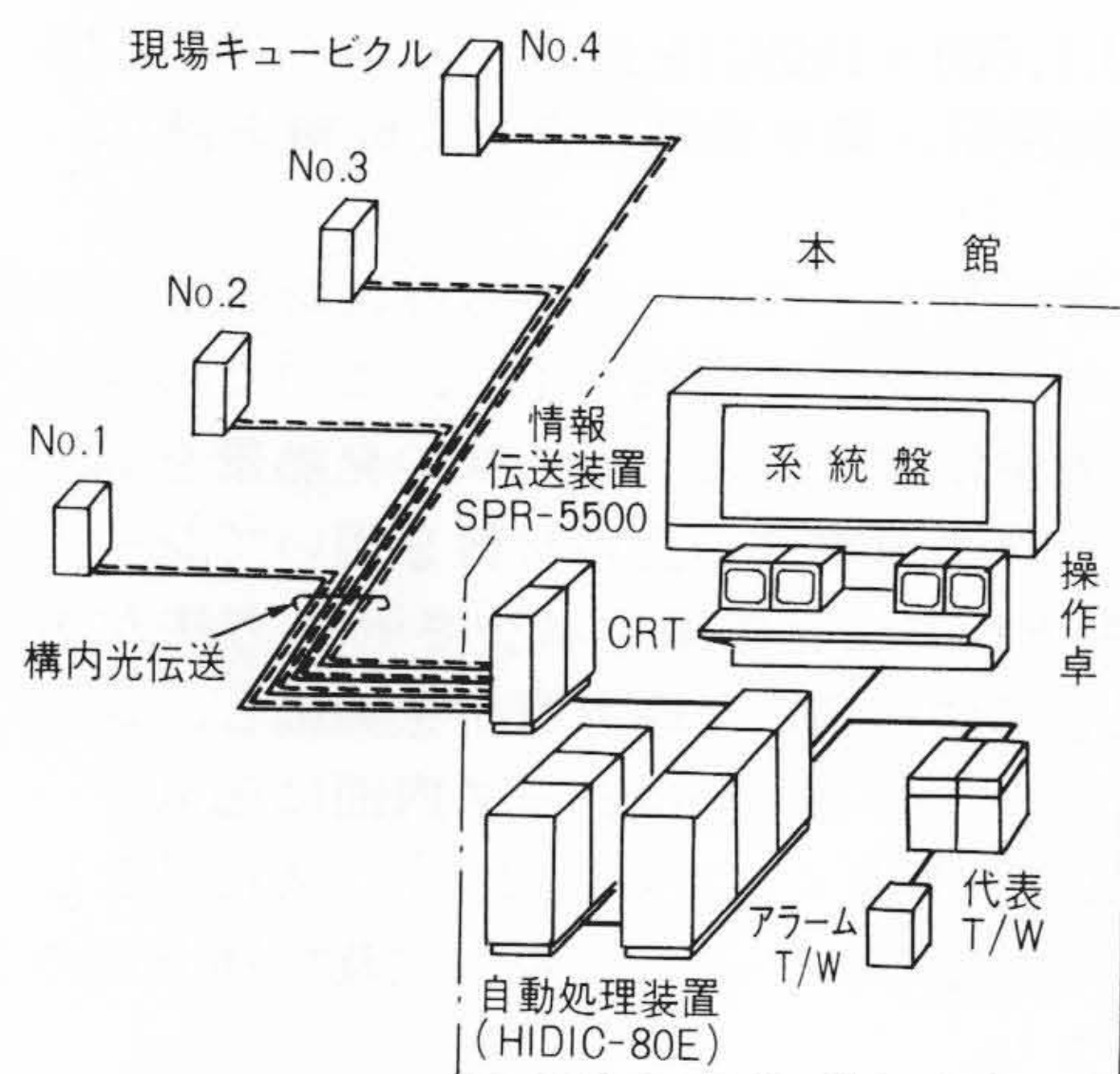
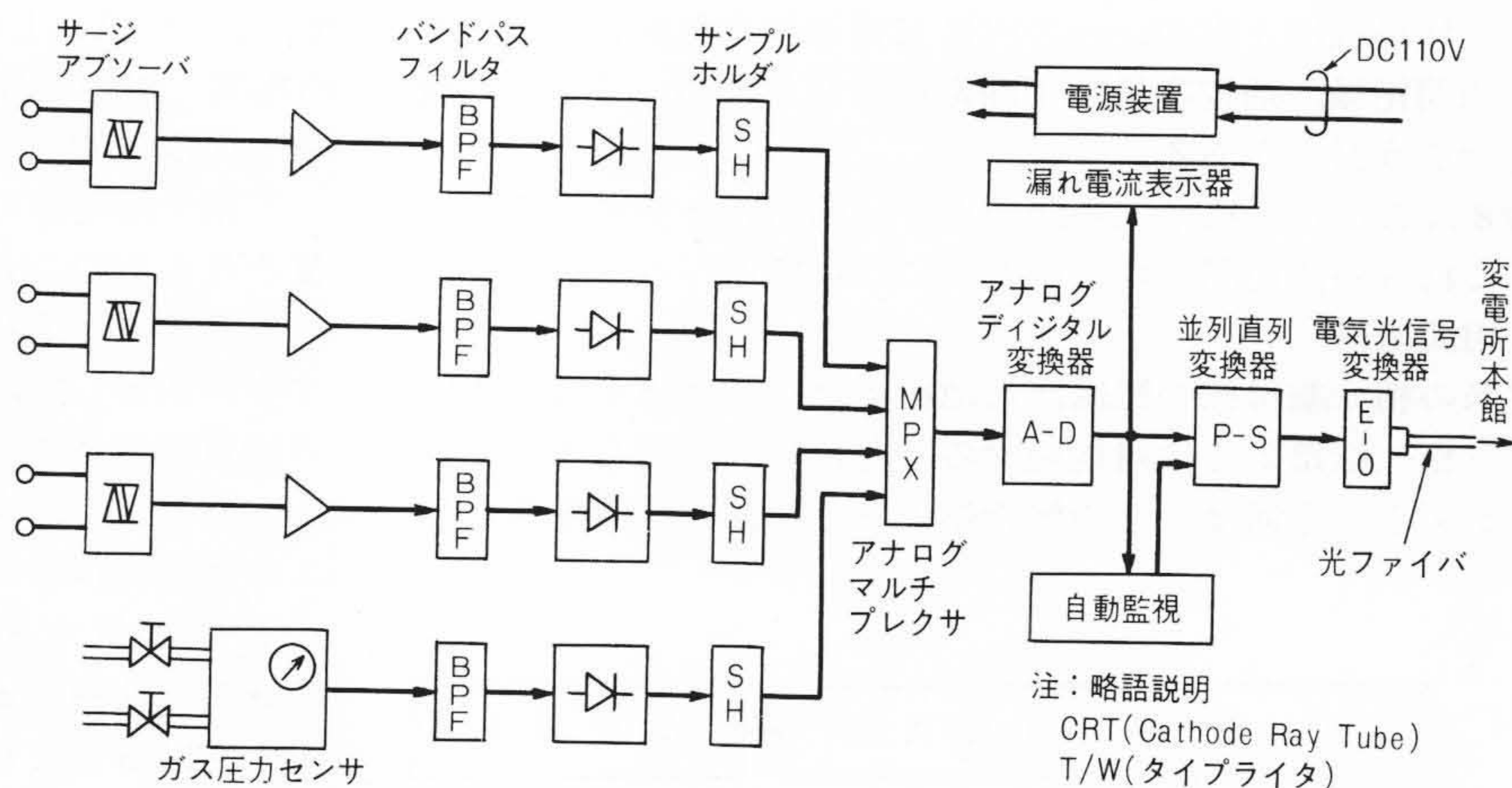


図9 自動処理装置を含む本システムの構成
ブルで変電所本館側へ送信される。



ガス絶縁開閉装置でセンシングされた診断用検出情報は、耐ノイズ・耐サージ性を考慮して光ファイバケー

送信号として多重化した後、変電所本館側へ送信される。その伝送路は、各ガス区画ごとに1ルート設けており、耐ノイズ、サージの観点から光ファイバケーブルを用いている。本館側では、情報伝送装置（SPR-5500）により受信し、受信光信号を電気信号に変換後、変電所の自動処理装置に転送され、そこで所定のアルゴリズムに従った演算処理を当該の監視項目ごとに実施して、所定の予防診断機能を達成できるようにした。

予防診断処理は、前述のように変電所全体を監視制御する目的で設置されている自動処理装置の1サブタスクとして処理し、万一被監視機器に不具合の顕在化兆候が検出されたときに、系統盤でのランプ表示、ブザー警報を行ない、またCRT（Cathode Ray Tube）への表示及びアラームプリンタによる

表2 監視方法と運転員の対応 印字、CRTによる監視により保守・点検性が大幅に改善されている。

		監視方法			運転員の対応	
		印字	警報	CRT	日常	警報発生時
ガス特性診断	ガス圧力	○ (1回/日)	—	—	1.ガス圧経年変化をCRTで監視 2.ガス漏れ兆候検出の場合メーカーへ連絡	1.CRTにより、ガス漏れ状況確認。 2.現場ガス圧力計確認 3.メーカーへ連絡 4.急激なガス漏れの場合は、ガス補給。
	ガス漏れ	—	○ (設定範囲外)	—		
	ガス圧経年変化	—	—	○		
避雷特性診断	抵抗分漏れ電流	○ (1回/日)	○ (設定範囲外)	—	1.漏れ電流をCRTで監視 2.この値が設定値に近接したとき、メーカーへ連絡。	1.CRTにより、突発的な変化でないこと確認。 2.避雷器を系統から切り離す。
	経年変化	—	—	○		

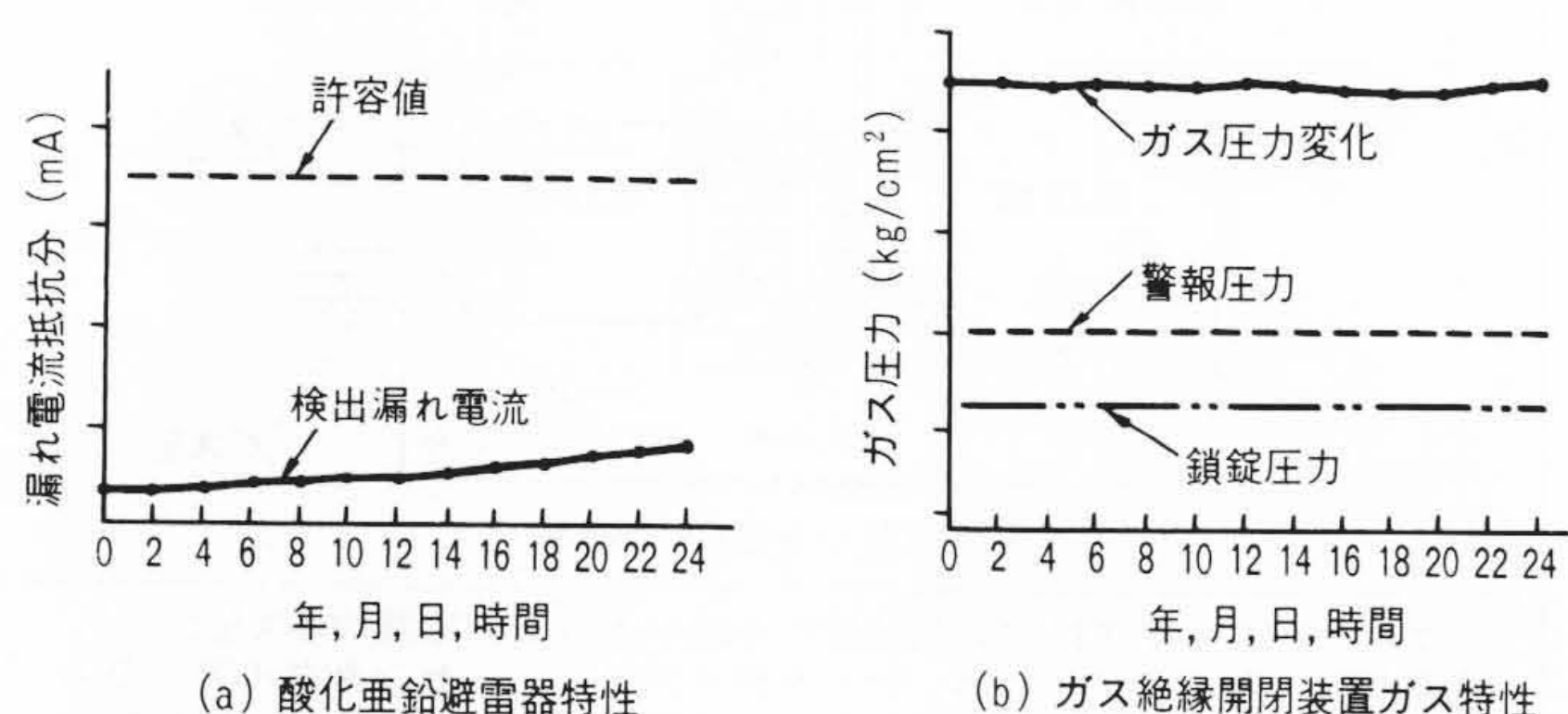


図10 CRTの表示方法例 CRTにより、経済的な酸化亜鉛避雷器素子の劣化、ガス漏れ状況を簡単に把握することが可能となった。

印字も行なえるようにした。表2に本システムの各監視項目ごとの監視内容と運転員の対応例をまとめて示す。また図10は、診断結果のCRTへの表示方法例を示す。

4 現地試験

本ガス絶縁開閉装置の現地据付に当たっては、専任QAマンの派遣などにより、機器の組立、据付時の品質保証、品質管理には万全を期してきたが、更にいっそうの機器の信頼性向上を図るため、通常実施する試験のほかに現地据付完了後に以下の特殊試験を実施した。

- (1) 遮断部、断路部、母線接続部のX線撮影による外部診断
- (2) 長期課電試験
- (3) 開閉サージ電位分布（導体及び低圧制御回路）測定
- (4) ガス絶縁開閉装置内部部分放電測定
- (5) 電子回路収納キュービクル（屋外設置）の耐候性検証試験
- (6) 超音波探傷による絶縁物のチェック

5 結 言

以上述べたように、九州電力株式会社新熊本変電所は過去の蓄積技術の集大成であるばかりでなく、将来の変電所を指向した最新技術を駆使した変電所と言える。これらの成果は、今後の変電所建設に大きく寄与することが期待できる。

また、ガス絶縁開閉装置は、多様化する電力環境の中で、今後更に普及発展していくものと思われるが、これらの技術開発をベースに、今後更にその小形化、高信頼度化が推進されていくものと考えられる。

終わりに新熊本変電所建設に当たり、御指導、御尽力いただいた関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) F. Y. C Hu, et al. : Gas Insulated Substation Fault Survey IEEE PES Winter Meeting (1980)
- 2) 中野, 外: 最近の酸化亜鉛避雷器と絶縁協調 日立評論, 65, 5, 327~332(昭58-5)
- 3) 西田, 外: 高電圧・大容量ガス遮断器の縮小化, 日立評論, 64, 9, 669~674(昭57-9)
- 4) 塩田, 外: デジタル監視装置の開発, 昭和60年電気学会全国大会 (No.1210)
- 5) 河津, 外: 500kVガス絶縁開閉装置用12,000A三相一括形ガス母線, 日立評論, 64, 3, 207~211(昭57-3)