

500kVガス絶縁開閉装置用12,000A三相一括形ガス母線

500kV, 12,000A 3-phase Gas Insulated Bus for Gas-Insulated Switchgear

近年、電力需要の増大と変電所用地の取得難から据付面積を縮小できるGISが、郊外の変電所から都市部の屋外・屋内変電所や地下変電に至るまで広く採用されており、更にいっそうの縮小化が要求されている。

このような背景のもとに、GIS機器の小形縮小化や配置構成の工夫が進められ、母線の三相一括化によるGISの小形縮小化が66kVから275kVの系統まで行なわれており、十分な運転実績と高い信頼性を認められるに至っている。

そこで、母線の三相一括化を500kV GISに拡大し、据付面積の縮小化を図るとともに、容器数、気密箇所削減及び軟鋼製容器の使用による信頼性と経済性の向上を図るため、500kV大電流12,000A三相一括形ガス母線を開発し、66kVから500kVまでの三相一括形ガス母線の系列化を図った。

河津 譽四男* Yoshio Kawazu
山下 直太* Naota Yamashita
伊藤 博** Hiroshi Itô
竹内 茂隆** Shigetaka Takeuchi

1 緒 言

近年の電力需要の増大と変電所用地の取得難から、GIS(ガス絶縁開閉装置)は小形縮小化が進められている。三相一括形ガス母線は相分離形ガス母線と比較すると、GISの据付面積を約80%に縮小できるとともに、容器数、部品数及び気密箇所の削減並びに溶接長さの短縮ができるという利点をもっている反面、1本のシース内に三相導体を収納するため、相間絶縁、温度上昇及び相間電磁力の面で十分な信頼性の確認が要求されていた。

これに対して、最近の解析技術の進歩に伴い¹⁾三相一括形ガス母線の絶縁、温度上昇、相間電磁力などの詳細な解析がなされ、運転実績の面でも66kVから275kVまでの系統で三相一括形ガス母線が運転実績をもつに至った。そこで、据付面

積の縮小化、経済性の向上、更に信頼性の向上を図るため500kV三相一括形ガス母線の開発を行なった。

275kV以上の大電流三相一括形ガス母線では、直径が1,000mmを超える大形容器となり、従来のアルミニウムシースを使用した母線に比べて軟鋼製シースを用いた母線には、次に述べる利点がある。

- (1) シース材料の引張強さが約2倍であるため、シースの肉厚が約50%で済むとともに、溶接性が良いため、溶接パス数、溶接ひずみが少ない。
 - (2) 材料費、溶接工数とも少ないため、母線のコストが安い。
 - (3) シースの熱膨張率が約50%であるため、熱膨張による伸びが小さく伸縮ベローズの所要員数を減らすことができる。
- そこで本母線はシースの材料に軟鋼を使用し、それに伴うシースの発熱を磁気しゃへい方式の採用により抑制したものであり、通電時の磁界解析、温度解析、相間サージ解析などの諸解析と、12,000A温度試験をはじめとする諸試験を実施し、500kV、12,000A三相一括形ガス母線として必要な諸特性を得るとともに、500kVまでの三相一括形ガス母線の系列化を完了した。

2 定格と構造

表1に日立三相一括形ガス母線の定格表を示す。同表は従来の66～275kVの系列に今回開発した500kV母線を加えたものである。図1、2に500kV、12,000A及び275kV、8,000A三相一括形ガス母線の外観を、図3に275kV、8,000A三相一括形ガス母線を使用した275kV GISの外観を、また図4に500kV三相一括形ガス母線の構造図を示す。500kV三相一括形ガス母線は、三相導体、導体を支持する絶縁支持物及び压力容器をなすシースから構成され、8,000A以上の大電流母線ではシースの渦電流を抑制する磁気しゃへいシールド(以下、磁気シールドと略す。)がシースの内側に設けられる。主母線導体は逆二等辺三角形に配置され、分岐母線導体は主母線導体から

表1 日立三相一括形ガス母線定格表 66kVから500kVまでの三相一括形ガス母線の系列化を完成した。

項 目		仕 様				
電 圧(kV)		66/77	110	154/187	220/275	500
耐電圧 (kV)	雷インパルス	350/400	550	750	900/1,050	1,550/1,800
	商用周波	140/160	230	325	395/460	750
定 格 電 流 (A)	1,200	1,200	2,000	2,000	2,000	2,000
	2,000	2,000	3,000	4,000	4,000	4,000
	3,000	3,000	4,000	6,000	8,000	8,000
	4,000	4,000	6,000	8,000	12,000	12,000
定格短時間電流(kA)		31.5/40	31.5/40	40/50	50/63	50/63
SF ₆ ガス圧力 (kg/cm ² at 20℃)		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

* 中部電力株式会社工務計画部 ** 日立製作所国分工場

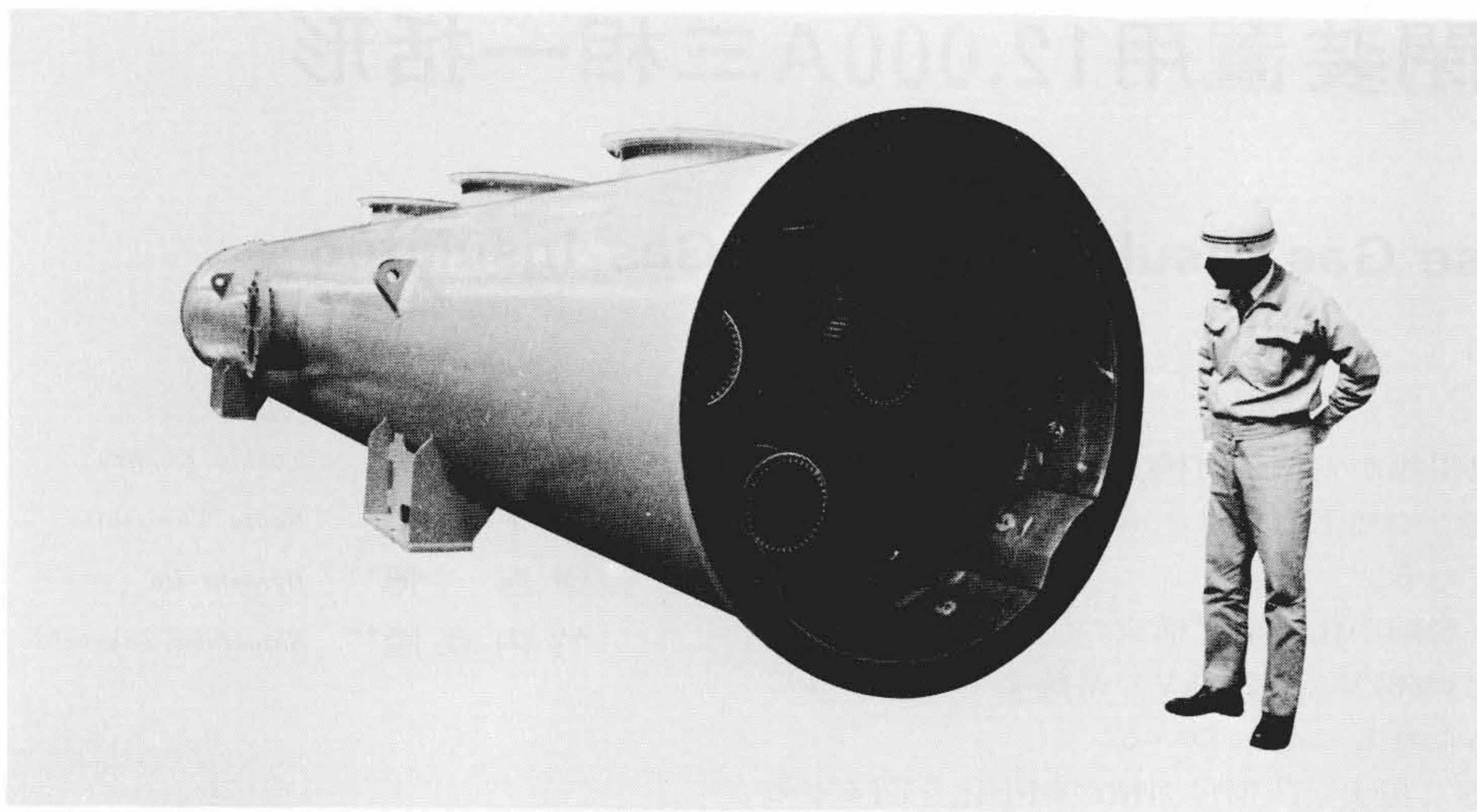


図1 500kV, 12,000A三相一括形ガス母線 磁気シールドの採用により、容器の材料を軟鋼とした。

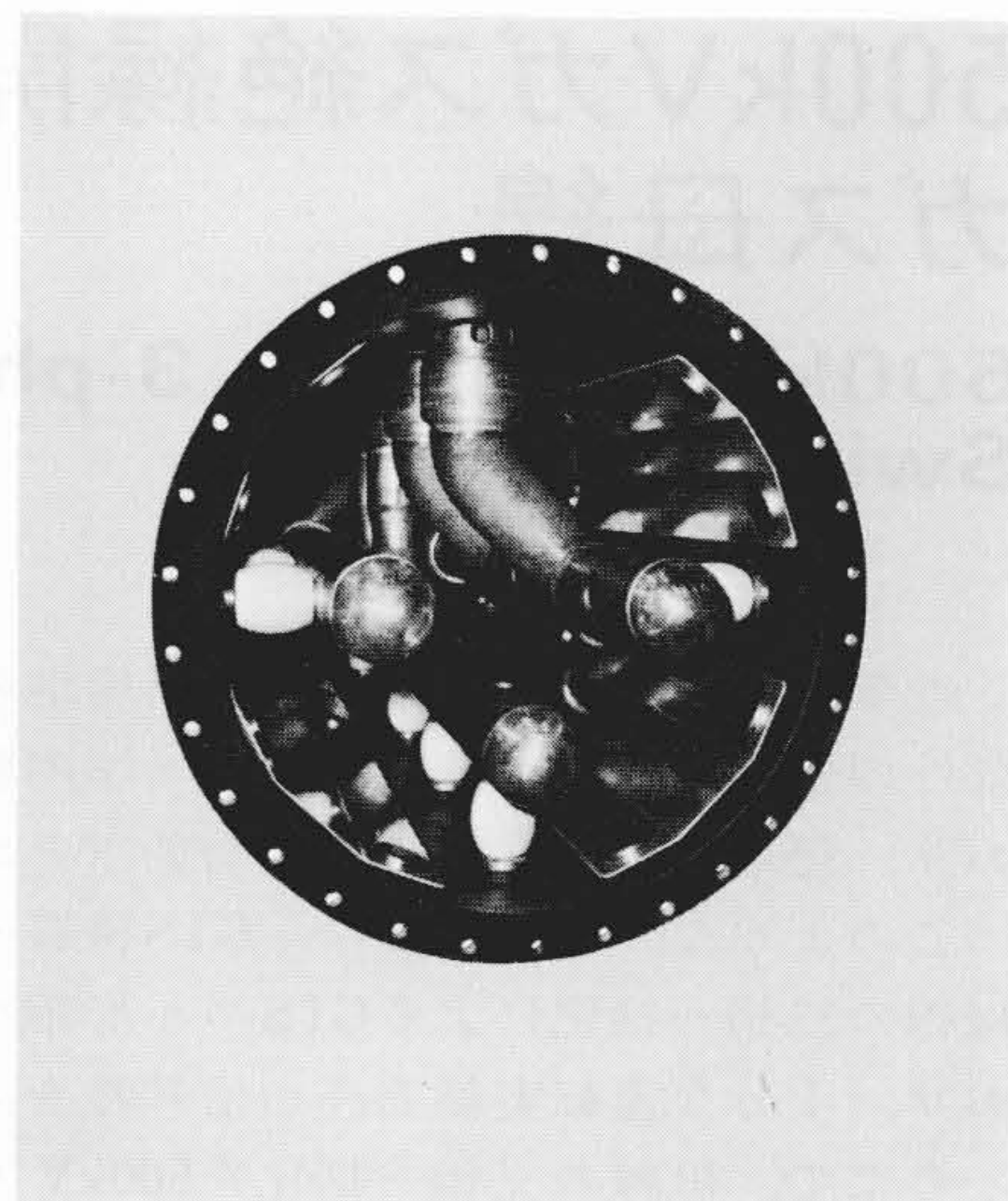


図2 275kV, 8,000A三相一括形ガス母線 導体が逆二等辺三角形に配置され、シースの内側に磁気シールドが設けられる。

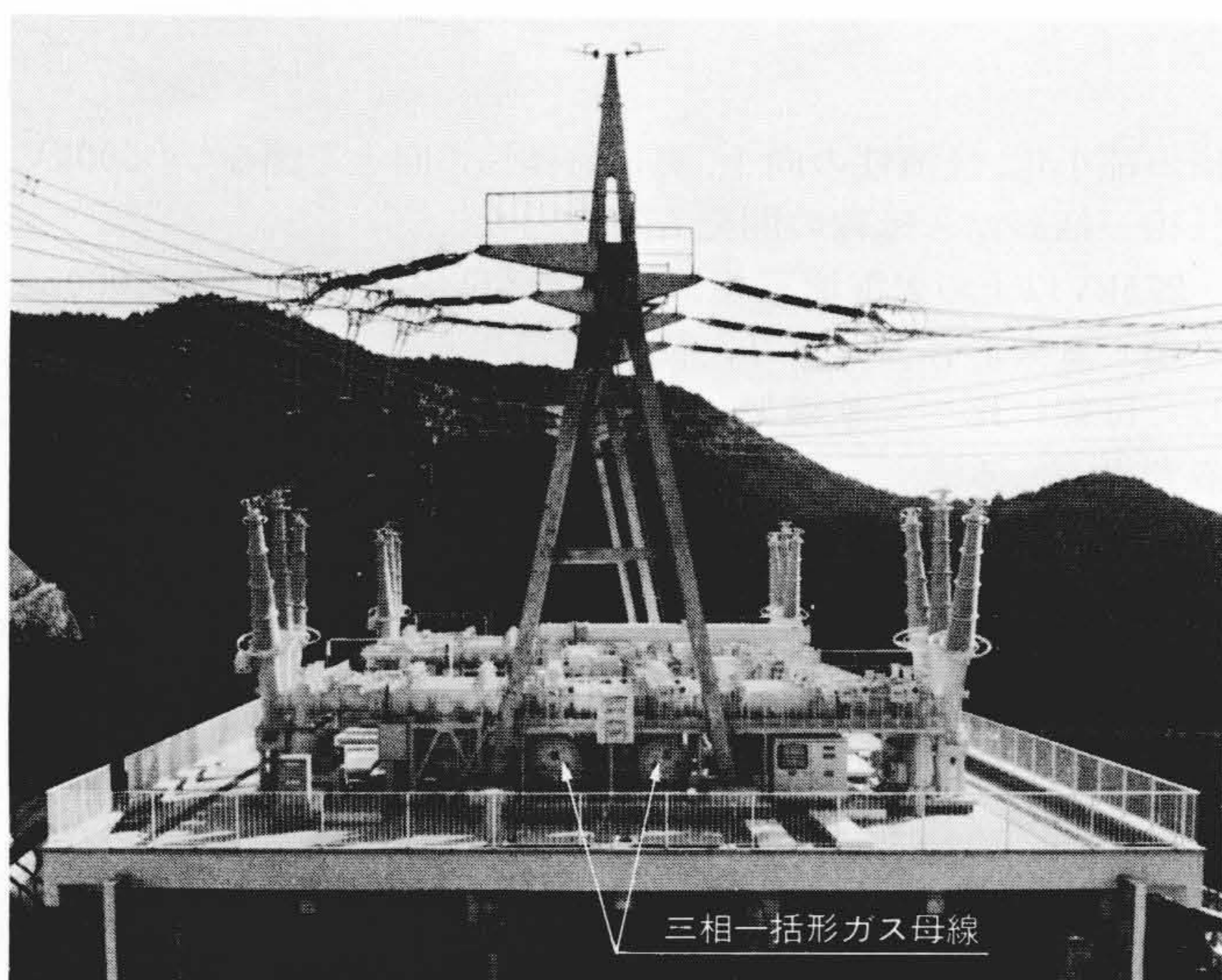


図3 275kV, 8,000A GIS 275kV, 8,000A三相一括形ガス母線を使用した275kV GISの外観を示す。

上方へ引き出される。絶縁支持物については、相間電磁力に対する強度を上げるため2脚支持構造を採用した。また、従来大電流母線にはアルミニウム製シースが使用されていたが、強度の増加と経済性の向上を図るため軟鋼製シースを使用し、内側に磁気シールドを設けた。

3 大電流三相一括形ガス母線の技術開発

三相一括形ガス母線は、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5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。

3.1 相間絶縁

従来の相分離形ガス母線の絶縁は対地絶縁だけを考慮すればよいが、三相一括形ガス母線では対地絶縁のほかに相間に発生するサージ電圧の解析を行ない、相間サージ電圧を明確にする必要がある。相間に発生するサージの主なものに、遠

方雷により架空線からGISに侵入する雷サージと、断路器の再点弧サージがある。

前者の雷サージについては図6に示すように、架空線に逆フラッシュオーバーが発生すると健全相にも送電線の誘導により故障相と同極性のサージが発生する。このサージは進行波理論に従い対地波と線間波に分かれて変電所に侵入するが、線間波の伝搬速度(約 $300\text{m}/\mu\text{s}$)が対地波の伝搬速度(約 $240\text{m}/\mu\text{s}$)よりも速いため、近接雷と異なり遠方雷では、GISに侵入する雷サージは故障相と健全相で逆極性となって侵入することになる。その結果、相間サージ電圧は対地サージ電圧よりも上昇し、従来では $\text{BIL}(\text{Basic Insulation Level}) \times 150\%$ とし

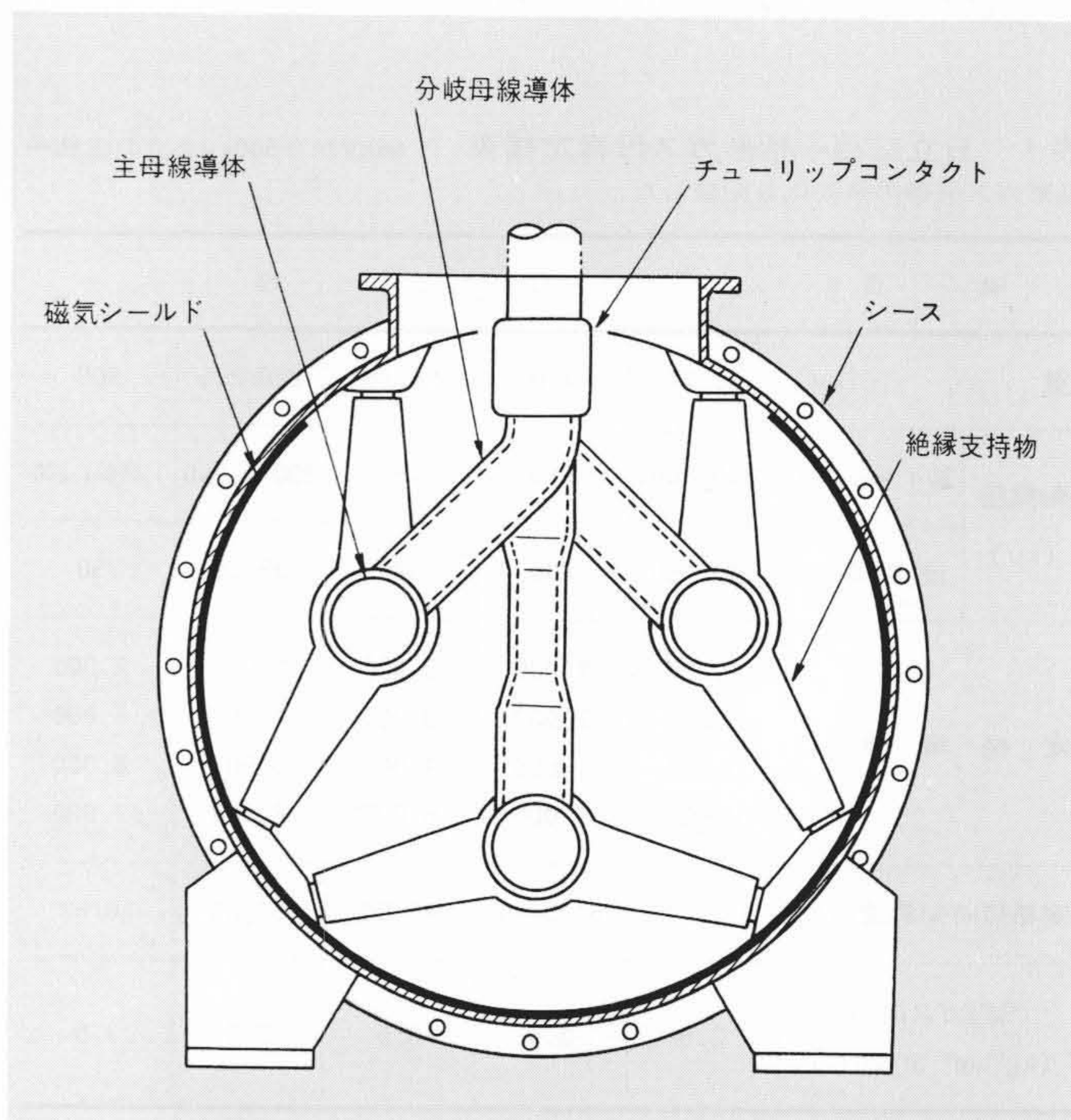


図4 500kV, 12,000A三相一括形ガス母線構造図 主母線導体を逆二等辺三角形に配置し、分岐母線導体を主母線導体から上方へ引き出す。シースの渦電流を防止する磁気シールドが、軟鋼製シースの内側に設けられる。

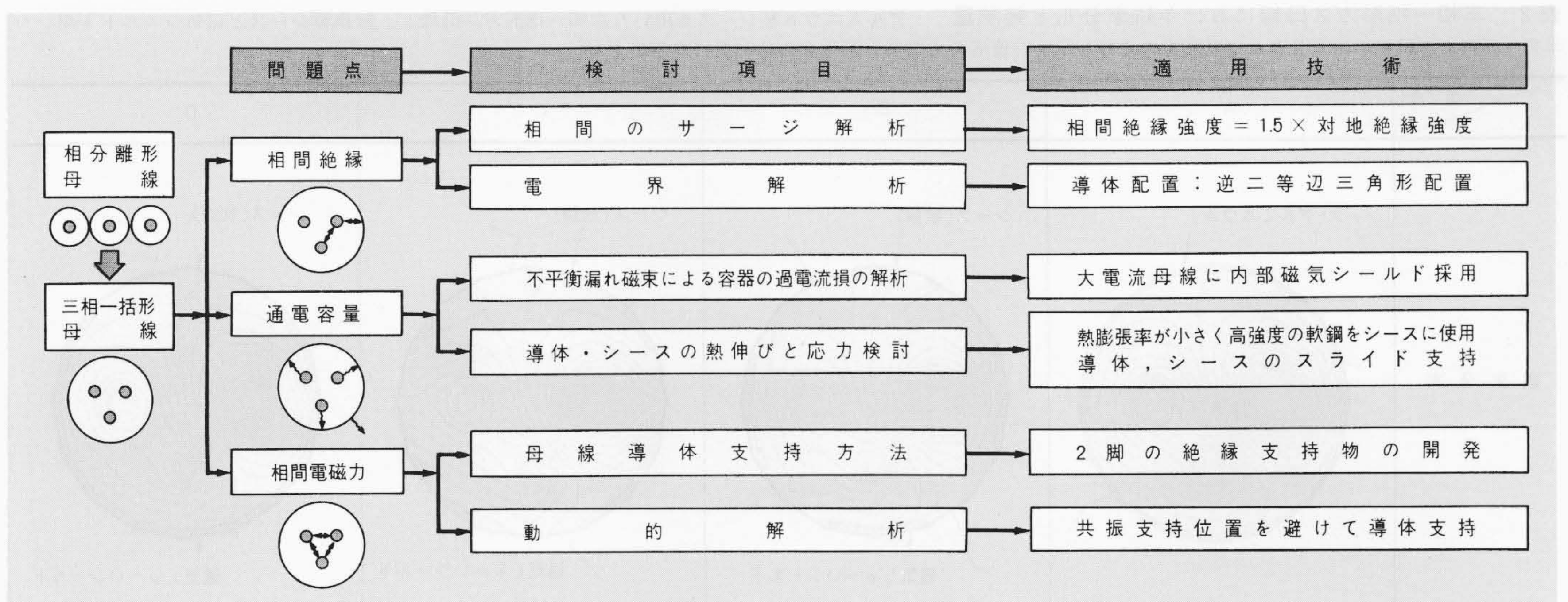


図5 大電流三相一括形ガス母線の技術開発 三相一括形ガス母線固有の問題である相間絶縁，通電容量，相間電磁力などに対して技術開発を行なった。

て取り扱われてきた。

今回，三相一括形ガス母線を500kV GISに採用するに当たり，三相一括形ガス母線を使用した500kV GISの相間サージ電圧を送電線遠方雷撃の侵入現象に模擬し，EMTP(Electro-Magnetic Transient Program)法を用いて解析した。その結果，変電所から20km離れた位置で送電線の逆フラッシュオーバーが起こったときに変電所の相間サージ電圧は最大となり，保護特性の優れた酸化亜鉛避雷器を使用した回路構成で最大1,967kV_p(BIL 1,550kV×127%)となる。

一方，後者のGIS内部で発生する断路器の再点弧サージは，断路器が二相同時に再点弧したとき理論的には最大となるが，その値はBIL(1,550kV)の約150%を下回り，また二相同時に

再点弧する確率はほとんど零に等しい。以上の結果から相間絶縁の基準として2,325kV(BIL 1,550kV×150%)を採用した。

3.2 大電流通電

三相一括形ガス母線は1本のシース内に三相導体を収納するため，相分離形ガス母線に比較し三相導体のジュール損による発熱とシースの渦電流損による発熱を考慮する必要がある。図7は，相分離形と三相一括形での磁束方向と渦電流の関係を表わしたものである。相分離形では導体がシースの中心に位置するため，磁束の方向がシースの面に平行な成分だけであるのに対し，三相一括形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，シースの面に平行な成分と垂直な成分を生ずるとともに，導体に近い部分ではシースを通

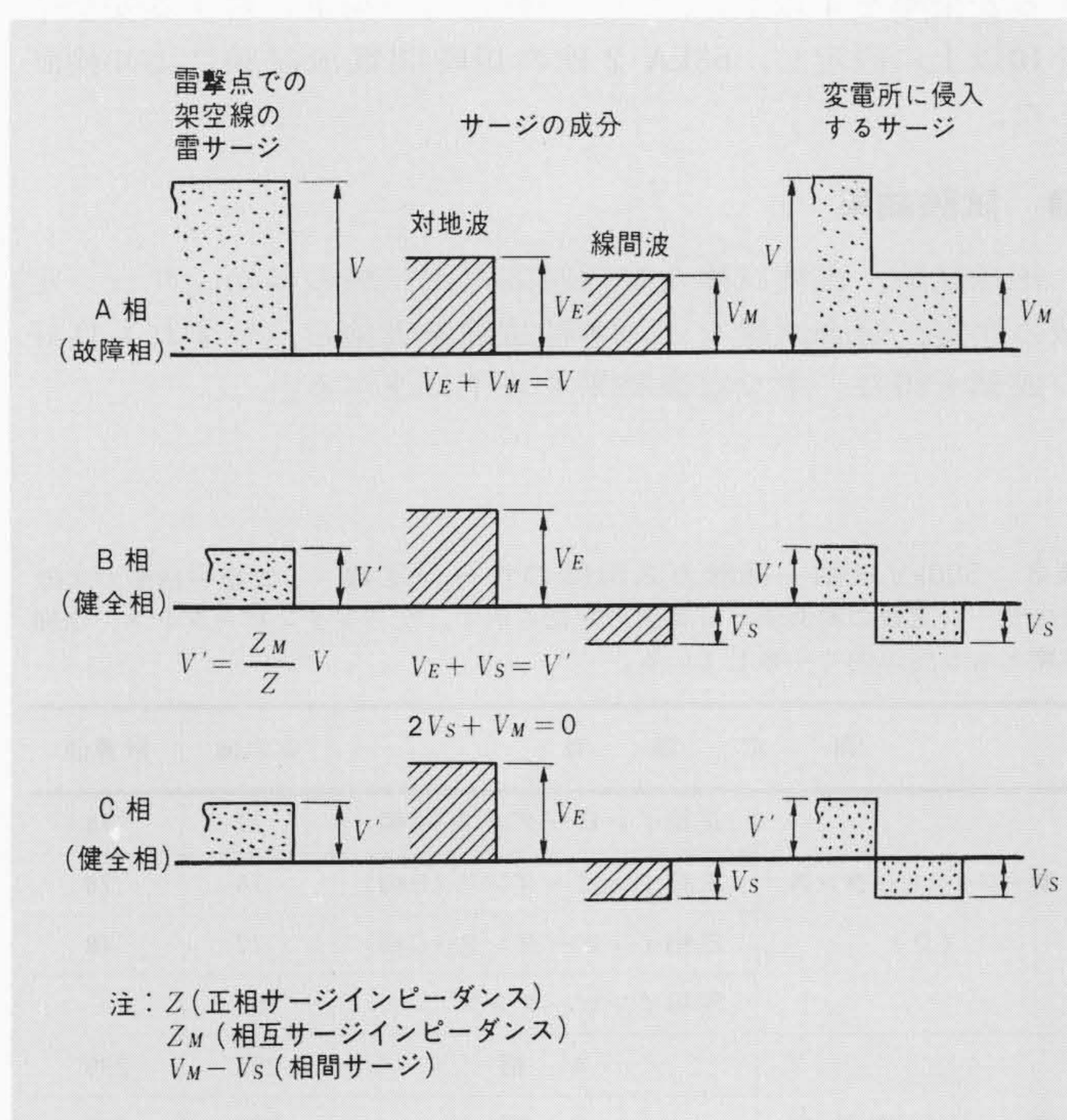


図6 遠方雷と変電所に侵入するサージ 雷撃点に発生した雷サージは，進行波理論により対地波と線間波に分かれ，線間波が先に変電所に侵入するため，遠方雷では対地サージよりも高い相間サージが現われる。

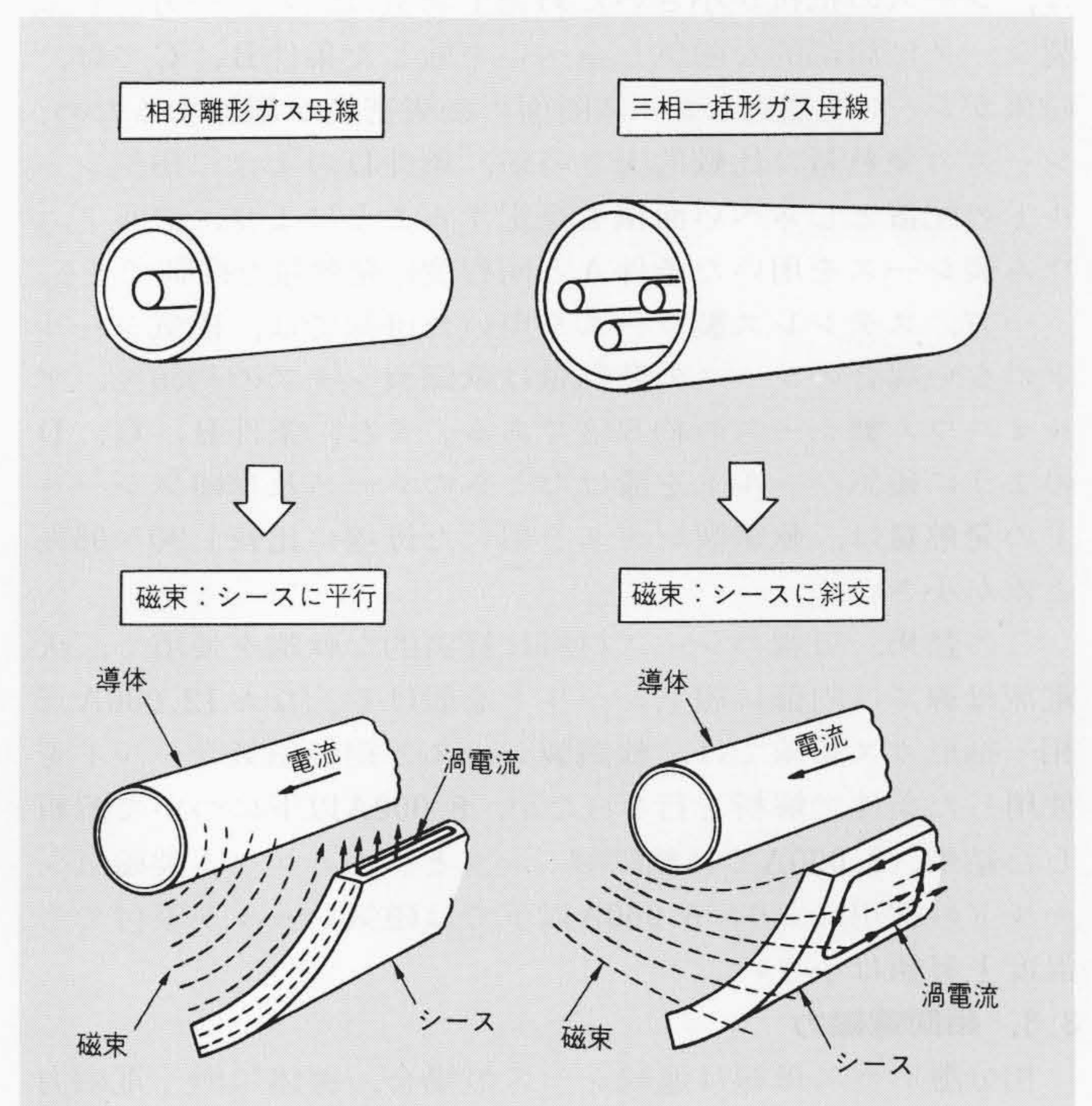


図7 磁束分布と渦電流 相分離形ガス母線と三相一括形ガス母線でのシースに対する磁束の方向と渦電流の状況を示す。

表2 三相一括形ガス母線における磁束分布と発熱量 アルミニウム製シースを用いた三相一括形ガス母線と、軟鋼製シースと磁気シールドを用いた三相一括形ガス母線の磁束分布及び発熱量の比較を示す。後者でも前者と同程度の発熱量に抑制できる。

条 件		A	B	C	D
磁 束 分 布					
	材 質	銅	銅	銅	銅
	導 体	アルミニウム	軟 鋼	軟 鋼	軟 鋼
	シ ー ス	不 付	導体の真下に配置	導体と導体の間に配置	連続配置
発 熱 量 (W/m)	磁気しゃへい シ ー ル ド	不 付	導体の真下に配置	導体と導体の間に配置	連続配置
	導 体	950	950	950	950
	シース及び シ ー ル ド	400	680	1,030	390
計		1,350(100%)	1,630(120%)	1,980(147%)	1,340(99%)

過する磁束が局部的に集中し、渦電流による発熱が増加する。

このシースの発熱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、磁束の集中するシースの部分に導電性の良い磁気シールドを設け、シースを通過する磁束を減少させる方法がある。表2は、これらの方法での磁束分布と12,000A通電時の発熱量を示したものである。アルミニウム製シースを用いた条件Aでは、シースの抵抗が小さいため発生熱量は低い。一方、軟鋼製シースに局部的な磁気しゃへいを施した条件B、Cでは、磁束がシースを通過しシース断面の磁束密度が増加するため、シースの発熱量は比較的大きいが、条件Dのように磁気シールドの配置としゃへい面積を選定することにより、アルミニウム製シースを用いた条件Aと同程度に発熱量を抑制できる。

一方、ステンレス製シースを用いた母線では、磁気シールドのない場合のシースの発熱量は軟鋼製シースの約50%、アルミニウム製シースの約5倍である。また、条件B、C、Dのように磁気シールドを設けたときのシース及び磁気シールドの発熱量は、軟鋼製シースを用いた母線に比較し90~95%と差が小さい。

この結果、母線のシース材料に経済的な軟鋼を使用し、大電流母線では内部に磁気シールドを設ける。なお12,000A三相一括形ガス母線では、軟鋼製シースと銅製磁気シールドを使用した条件で解析を行なったが、8,000A以下について解析した結果、8,000Aでは軟鋼製シースとアルミニウム製磁気シールドの採用により、6,000A以下では磁気シールド不付でも温度上昇値は小さい。

3.3 相間電磁力

相分離形ガス母線は連続シースの場合、導体に働く電磁力はシース電流によってキャンセルされるため極めて小さいが、三相一括形ガス母線では相間距離が短く大きな相間電磁力が作用するため、導体の固有振動数を電源周波数から外す必要

がある。また短時間電流通電時の相間電磁力は、地震や輸送時に作用する荷重よりも大きいため、導体及び絶縁支持物の強度は相間電磁力により決定される。

このため、相間電磁力の解析と導体・絶縁支持物の強度解析を行ない、導体の支持スパン長さの短縮と、機械的強度の大きい2脚支持構造の絶縁支持物を開発した。その結果、導体の共振点を電源周波数から外すとともに、相間電磁力に対する安全率を4以上に、地震や輸送時の荷重に対する安全率を10以上に設定し、63kA 2秒の短時間電流試験により検証した。

4 試験結果

絶縁試験、温度試験及び短時間電流試験のほか、サージ定数の測定、騒音試験などの各種試験を実施し、いずれも良好な成績を得た。主な試験結果を以下に述べる。

表3 500kV三相一括形ガス母線のサージ定数 三相一括形ガス母線のサージ定数の実測値と計算値の対比を示す。サージインピーダンス、伝搬速度とも5%以内で一致している。

測 定 項 目		実測値	計算値
サージインピーダンス (Ω)	正相インピーダンス (A相)	77	78
	正相インピーダンス (B相)	74	78
	正相インピーダンス (C相)	77	78
	零相インピーダンス	99	—
サージ伝搬速度 (m/μs)	A 相	286	299
	B 相	286	299
	C 相	286	299
	A, B, C相	292	—

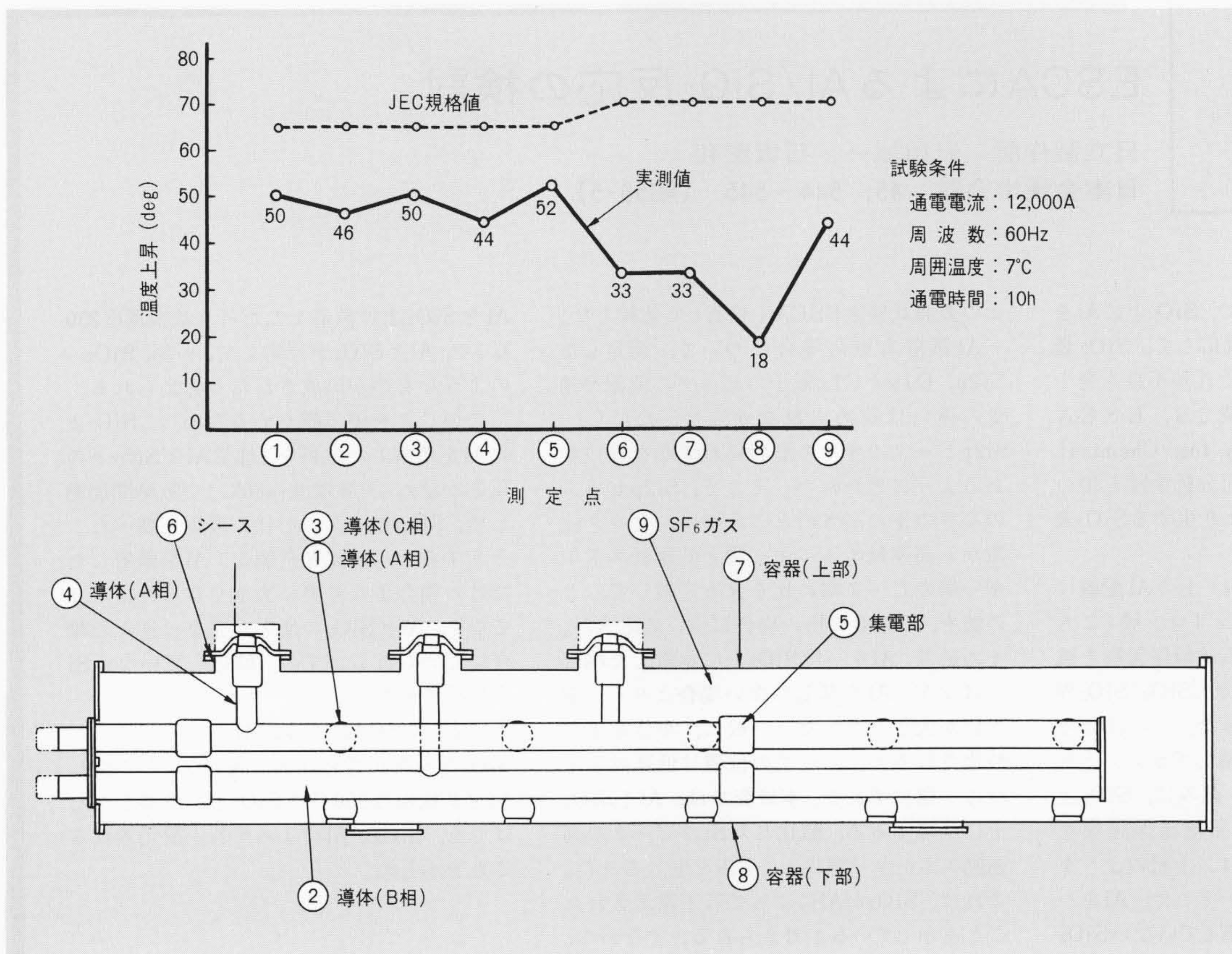


図8 500kV, 12,000A三相一括形ガス母線温度試験結果 500kV, 12,000A三相一括形ガス母線の温度試験結果を示す。各部の温度上昇値は、JEC規格値に対して13deg以上の裕度をもつ。

4.1 絶縁試験

(1) サージ定数の測定

三相一括形ガス母線のサージ定数を把握し、三相一括形ガス母線を使用した変電所のサージ解析精度の向上を図るためサージ定数を測定した。表3は実測値と計算値の対比を示すものであるが、サージインピーダンス、伝搬速度とも5%以内の誤差でよく一致している。

(2) 耐電圧試験

商用周波、雷インパルス及び開閉インパルス耐電圧試験を行ない良好な成績を得た。なお今回開発した母線はBIL 1,550 kVに設計したものであるが、母線の絶縁に対する信頼度向上のため1,800kV(BIL×約120%)の雷インパルスを、また相間にも1,800kV×150%の雷インパルスを印加し、対地・相間の絶縁性能を検証した。

4.2 温度試験

図8は、12,000A通電時の各部の温度上昇値を示すものである。12,000A通電時の母線の発熱量(計算値)は1.35kW/mと、シース表面の温度分布(実測値)から求められる大気中への放熱量1.24kW/mに対し計算精度10%以内の一致をみた。なお、各部の温度上昇値がJEC(電気規格調査会)規格値に対して13deg以上の裕度をもつことを確認するとともに、安全面から人間の触れ得るシース表面の温度に保つためと、ガスケットの長寿命化を図るため、ガス気密部の温度を低減することができた。

4.3 短時間電流試験

63kAの短時間電流を2秒通電し、通電部に溶着のないことを確認するとともに、共振のないこと及び相間電磁力に対する導体と絶縁支持物の機械的強度を検証した。

4.4 騒音試験

12,000A通電時に発生する電磁騒音の測定を行ない、母線

から1m離れた位置で平均53dB(A)を得た。これに基づいて変電所の騒音解析を行なった結果、母線から20m以上離れた位置の騒音を40dB(A)以下にできることが判明した。

5 特長

以上述べた500kV三相一括形ガス母線の特長は次に述べるとおりである。

- (1) 500kV変電所に一般的に採用されている二重母線方式のGISでは、母線の三相一括化によりGIS据付面積を従来の75～85%に縮小できるとともに、現地据付工事の大幅な短縮が可能である。
- (2) 8,000A以上の大電流母線のシース材料には、従来アルミニウムなどの高価な材料が使用されていたが、磁気しゃへい方式の開発に伴い安価な軟鋼の使用が技術的に可能となったため、材料費、溶接工数の低減により母線のコストを従来のアルミニウム母線に比較して低減できる。
- (3) 相分離形ガス母線に比較して容器数、部品数及びガス気密箇所を減らすことができるとともに、従来のアルミニウム製シースを用いた三相一括形ガス母線と比較しても、軟鋼製シースの使用により強度が増加し、更に熱膨張による伸びが約50%に減少するため、伸縮ベローズの所要員数を低減できる。

6 結言

以上、500kV三相一括形ガス母線の概要について紹介した。経済的で信頼性の高い本母線の開発により、500kV GISの縮小化を可能にするとともに、66～500kVまでの三相一括形ガス母線の全シリーズを完成した。

参考文献

- 1) 菊地, 外: 最近のガス絶縁開閉装置, 日立評論, 62, 3, 169～174 (昭55-3)

ESCAによるAl/SiO₂反応の検討

日立製作所 岩田誠一・石坂彰利

日本金属学会誌 45, 544—545 (昭56-5)

半導体素子の製造工程で、SiO₂上にAlを蒸着しただけで、両者が反応して、SiO₂表面状態を変えてしまい、それが不良を発生させる場合がある。本研究では、ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) と呼ばれる表面分析手段を用いて、Alを蒸着することにより生ずるSiO₂表面状態の変化を調べた。

半導体素子表面 (SiO₂) 上のAl配線にSiO₂と化学蒸着した窒化シリコン膜 (こちらが上) との二層から成る絶縁保護膜を被覆させると、Alがない部分 (SiO₂/SiO₂界面) ではがれる場合があった。この部分では、一度AlをSiO₂上に蒸着してから、それをりん酸で除去してある。試みに、SiO₂上にAlを蒸着しないで、前記絶縁保護膜をSiO₂上に形成した場合には、上記のようなはがれは発生しなかった。そこで、Alを一度蒸着したSiO₂とAlを蒸着していないSiO₂

との表面状態をESCAで検査して比較した。

Al蒸着有無の場合について、測定したSi2p, O1sとC1s電子のピークの位置や強度の違いは認められなかった。ただし、Si2pピークのすその形状にわずかな違いがあるように思われた。そこで、Si2pピークの高さの $\frac{1}{4}$ の高さのところでの、ピーク位置から高運動エネルギー側と低運動エネルギー側のピーク幅の比をRと定義して、この値を、Al蒸着有無の場合について比べた。その結果、Alを一度SiO₂上に蒸着した場合のほうが、Alを蒸着しない場合よりも、Rの値が大きくなった。一般に、単体元素が酸化されると、ピークの位置は低運動エネルギー側にずれる。本研究では、AlをSiO₂上に蒸着すると、酸化したSiのピークの高運動エネルギー側にふくらみを生じさせた。これは、SiO₂がAlによって若干還元されたことを示していると考えられる。すなわち、

AlをSiO₂上に蒸着しただけ (基板温度250℃) で、AlとSiO₂が反応して、一部、SiO_{2-x}のようなものが形成されたと考えられる。

このことを更に確かめるために、SiO₂上にAlを蒸着した試料を、通常AlとSiO₂との反応が認められる温度 (480℃) で数時間加熱して、Si2pピークの形状の変化を調べた。そうすると、前記Rの値が、Alを蒸着しただけの場合よりも更に大きくなったばかりでなく、AlとSiO₂の反応が完全に進んだ場合に認められるはずの、酸化していないSiも検出された。

以上、ESCAにより、Alと接触していたSiO₂の表面状態を詳細に調べることにより、Alを基板温度250℃でSiO₂上に蒸着しただけでも、SiO₂がAlによって若干還元されることを示した。

高分子樹脂材料の集積回路への応用

日立製作所 斉木 篤・原田征喜

電子通信学会誌 64—7, 743 (昭56-7)

ここ数年来、IC、LSIの分野での樹脂材料の重要性が高まっている。この中で、(1) パッケージ材料としてのモールドレジン、(2) 実装用材料としてのキャリアフィルムについて簡単に触れ、(3) パッシベーション膜、層間絶縁膜用としてのポリイミド系樹脂について詳しく述べる。

モールドレジンは、プラスチックパッケージ材料として量的に最も多く使用されている樹脂材料である。量産性があるが価格が安い反面、水分の浸入や外界の汚染に対し完全に保護できないので、信頼性にやや欠けるという欠点がある。エポキシが主として使われている。

キャリアフィルムは、熱圧着やはんだなどによって一括接続することにより、組立工程の合理化をねらって1970年に発表された。量産性、低価格に特長があり、時計、カメラなど精密機械用のICに多く用いられる。

以上の材料は、組立て、パッケージング

の工程で使用されるが、次いで多層配線の層間絶縁膜や、パッシベーションとして用いられる樹脂材料について述べる。

IC、LSIの従来の一般的な多層配線では、層間絶縁膜にSiO₂を用いる。下地のAl配線などで生ずる段差はそのまま累積されるため、第2層Alの被覆率が悪くなり、歩どまり低下を招く。そこで段差を解消する手段として、絶縁膜に樹脂を用いる樹脂絶縁多層配線が提案され、今日まで多くの実績を挙げってきた。

高分子樹脂には高耐熱、高純度といった性質が要求される。耐熱性については、樹脂の中で最も高耐熱であるポリイミドに更にはしご形構造を付加したイソインドロキナゾリンジオン構造の合成に成功し、これを基に新しい高耐熱樹脂“PIQ” (日立化成工業株式会社商品名) の開発に成功した。

高純度化については、不純物の影響を受けやすい構造のトランジスタを考案し、“PIQ”を塗布、熱処理を行ない、Naなどの

汚染に敏感な h_{FE} (電流増幅率) を中心にトランジスタ特性を評価した。その結果、“PIQ”中のNaが2～3 ppm以下である必要のあることが分かり、これを基に高純度合成技術が確立された。

“PIQ”は、ヒドラジンとエチレンジアミンの混合液を用いて3 μ m平方という極めて微細なスルーホールが形成が可能で、電気的接触抵抗も極めて小さく良好である。

“PIQ”はトランジスタのパッシベーション、電極の2層化、IC、LSIの2層配線、3層配線などへ適用され、それぞれのデバイスの高信頼化、高集積化及び高性能化に大きく寄与しており、なくてはならない材料になっている。

世界的に見ても、ポリイミドを用いた64 kメモリや α 線しゃへい効果に関する発表が相次いでおり、“PIQ”、ポリイミドの半導体への応用技術は今後もますます発展してゆくものと思われる。