

受変電設備の防災化

Recent Aspects of Fire-resistant Substation Equipment

発電所や石油コンビナートなどの大形プラントだけでなく、ビルや地下式変電所でも、ケーブル類を含む受変電設備の防災、特に地震と火災に対する対策が大きな関心事になってきている。このような社会・産業界のニーズに対応して、日立製作所では非常時に対しても備えのある防災形の受変電設備の検討、開発を進めてきたが、地震対策については既に別稿¹⁾で報告したので、ここでは最近特に注目を集めている火災防止・延焼防止について説明する。火災防止という目的に対し、SF₆ガス絶縁開閉装置やガス絶縁変圧器、モールド変圧器はよく適合するが、受変電システムとして各設備をみた場合、安全で経済性を備えた不燃油の開発などまだこれから実現しなければならない技術課題も多い。また、技術的には可能であっても、経済性が不十分であると実現は制約を受けざるを得ない。しかし、必要性の増大と量産化による価格の低下を考慮すれば、非常時にも備えのある防災形受変電設備は実用化・普及の時期を迎えたと言えよう。

石田真之助* *Shinnosuke Ishida*
 山岸嘉勝* *Yoshikatsu Yamagishi*
 斉藤 博** *Hiroshi Saitō*
 大西隆雄*** *Takao Ônishi*

1 緒 言

最近では変電所など受変電設備も高電圧、大容量化されるとともに、無人化し遠隔制御するケースも増えてきており、また、都市周辺の過密化に伴い変電所などの立地条件もいっそう厳しくなっている。

変電所などでの火災事例は一般火災事例に比較してその発生頻度は極めて少ないが、これらの諸条件を背景として、日本電気協会・電気技術基準調査委員会では、「変電所等における防火対策指針」JEAG 5002(1977)を自主規定として制定している。

本指針の目的は、あくまでも「被害の拡大防止(特に第三者に対して)、電力供給の確保、従業員の安全確保」とし、内容は設計、施工、維持、管理などに関する事項を、消防法、建築基準法などの関係法令に準拠しながら、詳細に分かりやすく記述している。機器の火災事故防止対策については、設計・製作、品質管理・試験、保守上の留意事項とともに、比較的油量の多い機器、すなわち変圧器、負荷時タップ切換装置、油遮断器、電力用コンデンサーにつき、設計、保護、保守上の対策を規定している。

一方、機器製作者サイドとしては、信頼度向上や適用上・保守上の対策だけでなく、

- (1) 火災を発生させない機器
 - (2) 万一の場合にも延焼・類焼を防止する機材
- の開発・実用化に注力している。

本報は主として後者、すなわち防火災機器の最近の開発成果、実用化例につき述べたものである。

2 受変電設備のオイルレス化

一般火災が主として木材や建築物の火災であるのに対し、受変電設備の火災は、絶縁油や絶縁材料の燃焼であるので、オイルレス化と絶縁材料の難燃化がポイントとなる。

受変電設備の火災の実例は非常にまれであるため、資料も少なく定量的に検討されたデータはほとんど見当たらないが、一般に油入機器の火災事例では図1に示すような経路をたど

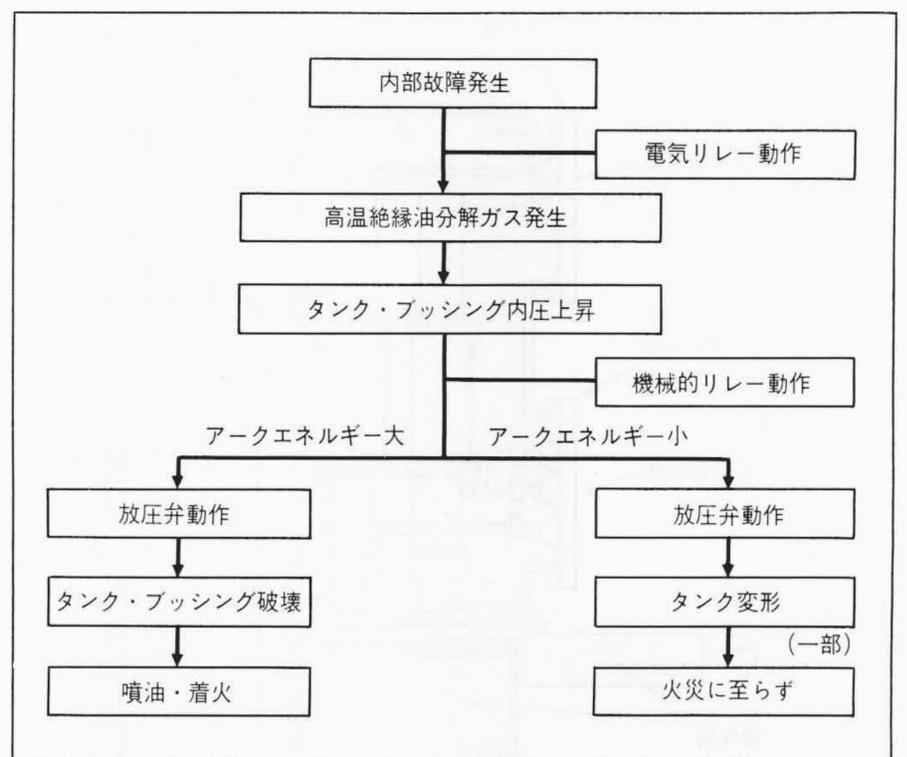


図1 油入機器の故障進展経路 油入機器用の絶縁油は一般に難燃性で、容易に発火するものではないが、機器の内部故障などによって大きな熱エネルギーが発生すると絶縁油が過熱され、そこから発生した可燃性ガスが外気に触れると発火炎上する可能性もゼロではない。

ることが多い。

油入機器用の絶縁油は難燃性であり、容易に発火するものではない。しかし、故障電流が大きく、アークによる絶縁油の分解ガス発生量が多いときはタンク内の圧力が上昇し、タンクが破損して噴油発火することが考えられる。このような場合でも、高速度保護継電装置により故障を早期に除去することによって、ほとんどの場合タンク破損や発火への進展を防止できる。

なお、154kV以下の電路は一般に非有効接地系であり、非有効接地系の機器の内部故障はアークエネルギーが小さいので、

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立電線株式会社日高工場

タンクが破損して噴油発火に至ることはほとんどないことが知られている。

いずれにしても、火災を機器自体から発生させず、かつ万一の場合にも延焼を防止するためには、

- (1) 機器自体を高信頼化し、故障をなくす。
- (2) 絶縁油の不燃化を図る、又はオイルレス化する。

ことが望まれる。

不燃性でコストパフォーマンスの優れた絶縁油が見当たらない現在、固体又は気体絶縁材料の技術的進歩を背景に、オイルレス化が進むのは自然の成り行きと言える。

以下に、受変電設備のオイルレス化を中心とする防災化(防火災)につき、主要機器の実例を報告する。

3 遮断器・開閉器

3.1 SF₆ガス遮断器

66/77kV級の遮断器・開閉器は、昭和30年代の後半まで制弧遮断器と呼ばれる油遮断器が主に用いられ、その後昭和40年

代のABBと略称される空気遮断器の時代を経て、昭和40年代の後半にSF₆ガス遮断器が工業化され、種々の改良が重ねられて、現在では新規に計画する案件の90%以上をガス式が占めるに至っている。

SF₆ガス(六フッ化硫黄ガス)は無色、無臭、無毒、不燃性の気体で、SF₆ガス自体は化学的に不活性であり、生物学的にも、かつて結核気胸療法に空気の代わりに使用されたことがあるように人畜に無害である。

SF₆ガス遮断器は、このSF₆ガスの優れた絶縁特性(3 atmで絶縁油に匹敵)と電流遮断性能(一般に空気に比べ約100倍)を遮断器として応用したもので、ガス吹付式の採用により、小電流から大電流まで電流遮断現象なしに遮断可能としている。

図2にガス遮断器及び軸方向同期吹付方式遮断部の構造を示す。各相遮断部は別々の絶縁筒に収納され、相间短絡の防止が図られており、更にこれらの三相分を共通の金属容器に4~5気圧のSF₆ガスとともに収納し(三相一括形)、コンパクト化、オイルレス化を実現している。

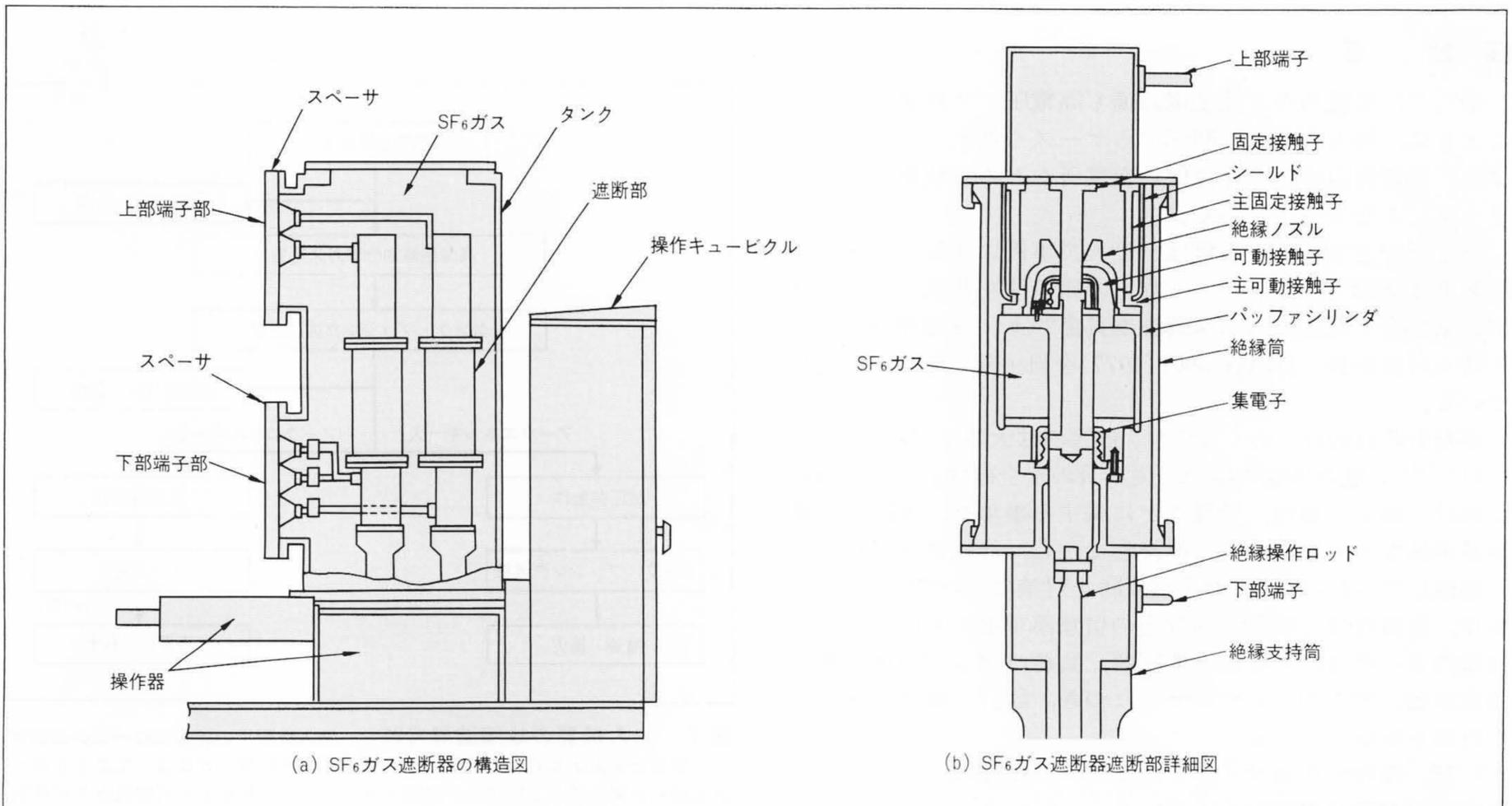


図2 SF₆ガス遮断器 SF₆ガスが封入されたタンク内に三相の消弧装置が内蔵され、遮断時はパッフアシリンドが動作し、遮断部内部のSF₆ガスを圧縮してアークに吹き付け、瞬時消弧する。電流遮断性能に優れ、アークを外部へ出さない、安全性・信頼性が高いなどの特長をもつ。

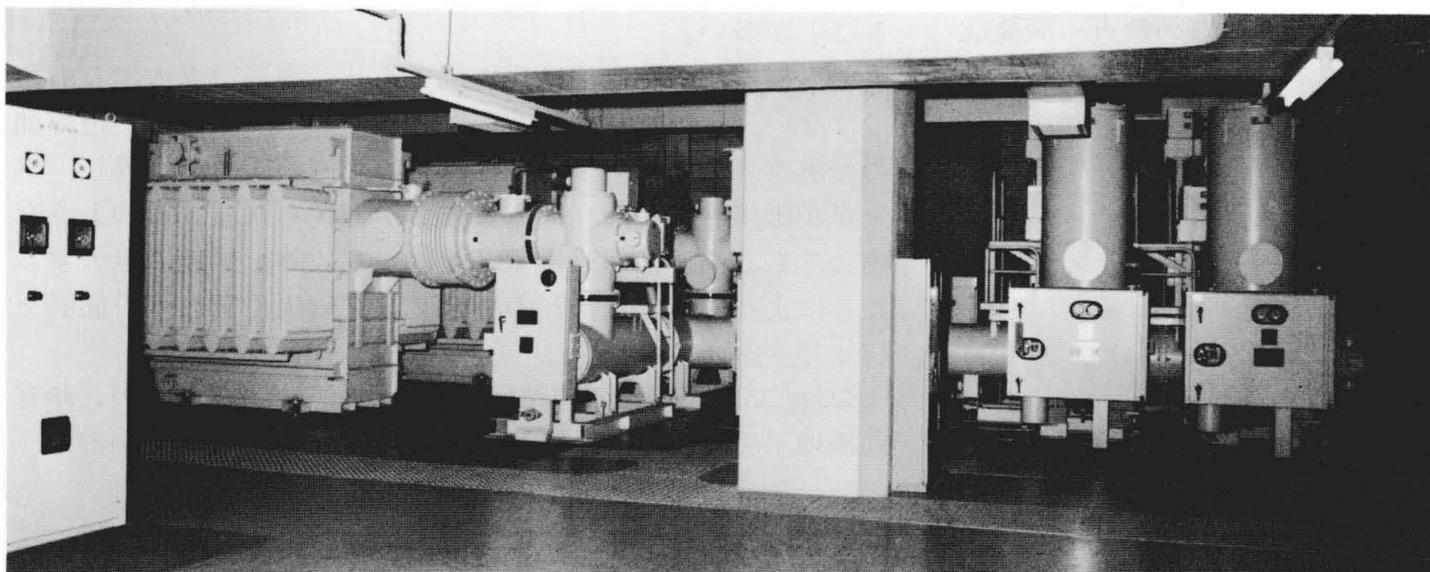


図3 66kV ガス絶縁開閉装置 常用予備2回線受電の66kV三相(一括)ガス絶縁開閉装置をビルの地下階に、建物の柱スパンに合わせて設置した例で、安全、防災と環境調和に特に考慮が払われている。

3.2 ガス絶縁開閉装置

ガス絶縁開閉装置は、SF₆ガスの優秀な絶縁性能を最大限に利用して、上記の遮断部のほか、断路器、接地開閉器、母線、避雷器などを合理的に接地金属容器内のSF₆ガス中に密閉収納したもので、小形・高信頼に加えて、安全・不燃性であり、都市周辺などに適した防災形の開閉装置である。図3に、ビルの地下階に設置した常用予備2回線受電、66kVガス絶縁開閉装置の外観を示す。このようにガス絶縁開閉装置は小形で地下階にも収納でき、建物の柱スパンに合わせて計画できるなどの利点のほか、充電部が密閉されているので安全であり、メンテナンスフリーにも近づいている。

3.3 ギャップレス避雷器

雷、回路の開閉などに起因する衝撃過電圧から設備を保護

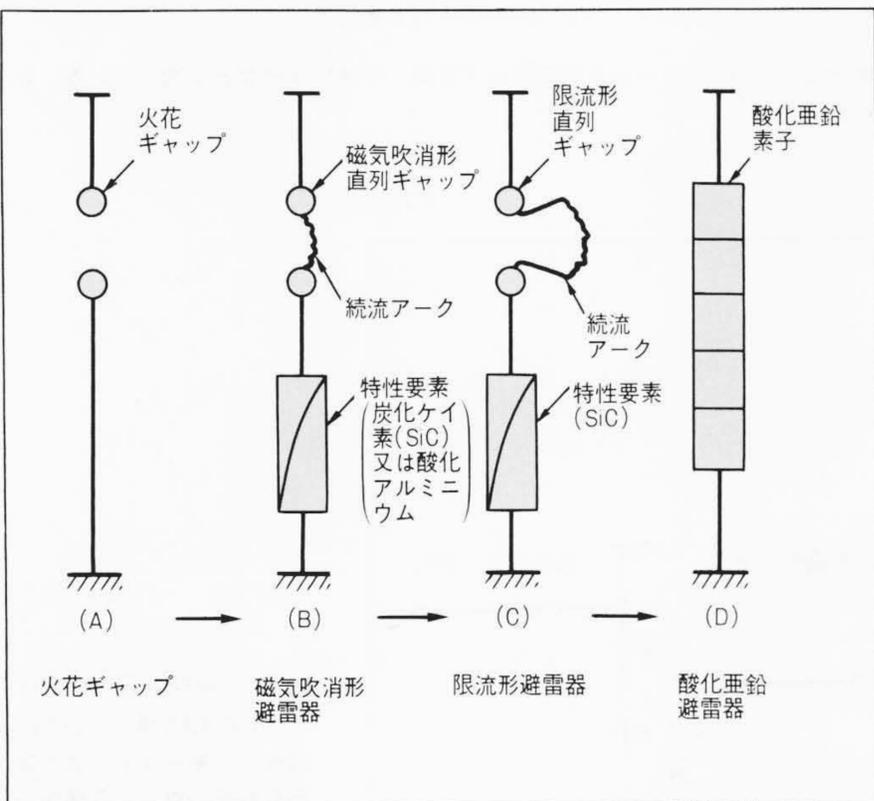


図4 避雷器の種類と変遷 従来は酸化アルミニウムや炭化ケイ素を特性要素とした直列ギャップをもつタイプが多く用いられていたが、酸化亜鉛避雷器の製品化により、特性の改善とギャップレス化が実現した。

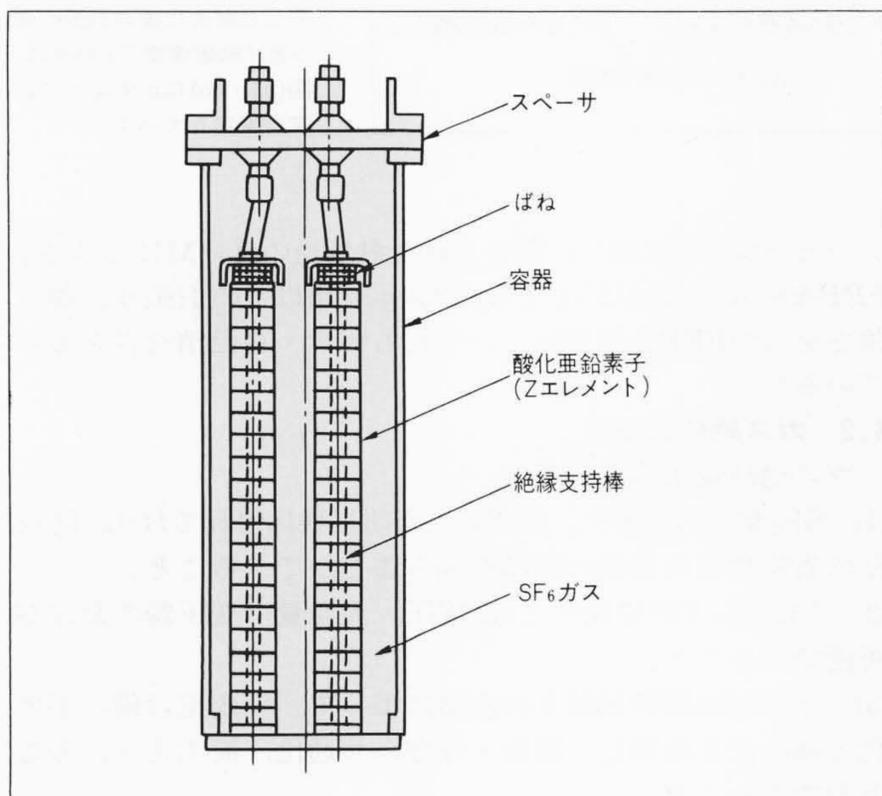


図5 酸化亜鉛避雷器の構造 三相分の酸化亜鉛素子が、SF₆ガス中に収納されたギャップレス形のため、アークを発生しない。

する避雷器は、図4に示すように、一般に直列ギャップと特性要素を組み合わせた磁気吹消形避雷器と限流形避雷器が広く採用されていた。これらの方式では直列ギャップ放電とそれに伴う続流が不可避であり、今回、直列ギャップを用いないZLA (Zinc-Oxide Lightning Arrester : 酸化亜鉛避雷器)を開発し、製品のシリーズ化を完成した³⁾。

ZLAでは酸化亜鉛素子(Z-エレメント)がもつ非直線性の固体導電現象を利用することにより、

(1) 直列ギャップがないため、封入ガス圧力による特性差を考慮する必要がなくなり、封入SF₆ガス圧力をガス絶縁開閉装置と同一に設定できること。

(2) インパルス応答特性に優れ、雷サージによる続流が流れないこと。

などの特長に加え、小形で、放電を伴わないので変電所の小形化・防災化に好適である(図5)。

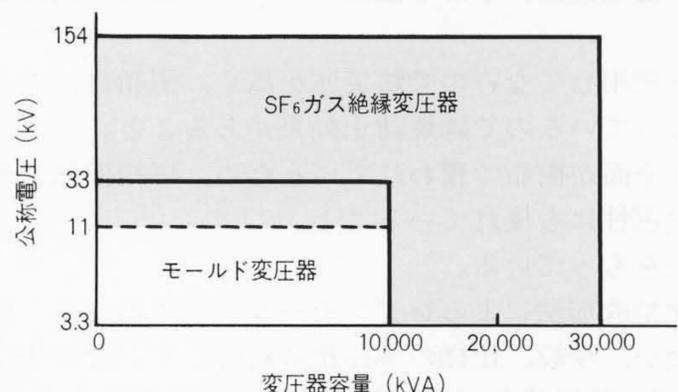
4 防災形変圧器

受変電用変圧器は、受変電設備の近代化とともに、信頼性の向上、低損失化、低騒音化、省スペース化、更に防災化など多様なニーズに即応して進歩してきた。

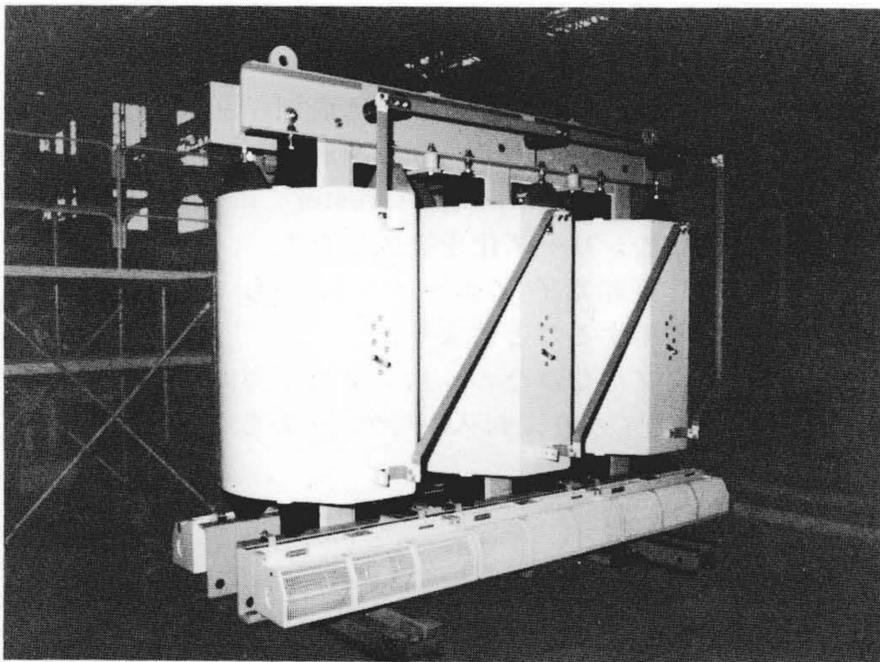
受変電用の変圧器としては、油入変圧器、H種乾式変圧器、モールド変圧器などがあり、従来、不燃性が要求される用途にはH種乾式及びモールド変圧器が多く用いられてきたが、最近、SF₆ガス絶縁変圧器が実用化され、その高電圧化、大容量化が進んでいる。

表1 絶縁・冷却媒体から区分した変圧器の種類と特徴 油入変圧器に対し、モールド変圧器及びSF₆ガス絶縁変圧器は不燃性であり、火災や二次災害の心配がない。

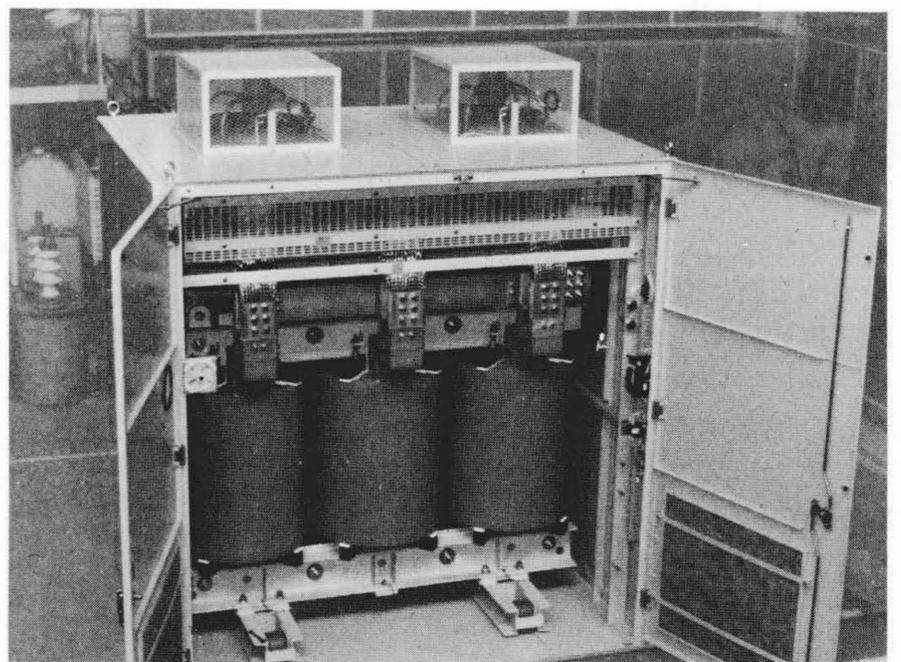
項目	油入変圧器	モールド変圧器	SF ₆ ガス絶縁変圧器
1. 絶縁・冷却媒体	鉱油	レジン, 空気	SF ₆ ガス
2. 使用場所	屋内・屋外	屋内	屋内・屋外
3. 特性			
難燃性	△	◎	◎
耐熱性	○	◎	◎
耐湿性	◎	○	◎
耐じん性	◎	○	◎
4. 冷却方式	自冷式	自冷式 風冷式	自冷式 風冷式
5. 電圧適用範囲	(任意)	33kV以下	11kV以上
6. 容量適用範囲	(任意)	10MVA以下	30MVA以下
7. 保守点検	(1) 温度計の監視 (2) 絶縁油の特性チェック (3) 油漏れ点検	(1) 温度計の監視 (2) 掃除機, ウェスによる清掃 (3) 外観目視点検	(1) 温度計の監視 (2) SF ₆ ガスの性状チェック (3) ガス漏れ点検 (4) 補機の点検
8. 床面積	100%	30~50%	90~110%
9. 重量	100%	75%	90~110%



注：◎印は優，○印は良，△印は可を示す。



(a) レジンモールド変圧器



(b) FRPモールド変圧器

図6 モールド変圧器外観 (a)レジンモールド変圧器は中小容量・標準仕様用途に、(b)FRPモールド変圧器は大容量、特殊結線用などに適している。いずれもオイルレスで、絶縁物は難燃性・自己消火性である。

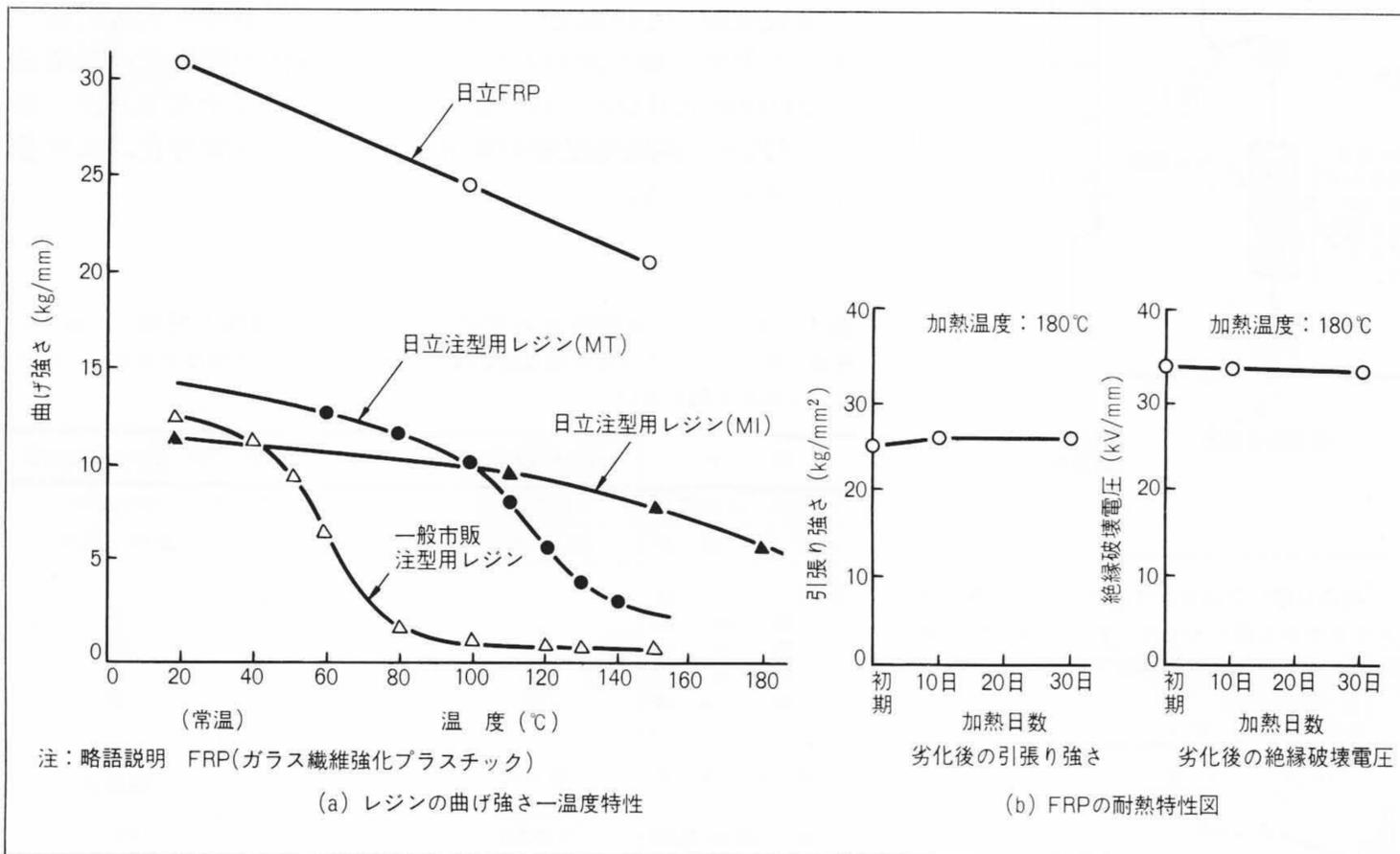


図7 レジン及びFRPの熱劣化特性 (a)絶縁種別とモールド方式の組み合わせに対し、最適なレジンを使用している。(b)FRPは非常に高い耐熱性をもっているため、長期にわたり信頼性が持続する。このFRPを高温(180°C)で加熱した熱劣化後の引張り強さと絶縁破壊電圧の特性は、図(a)・(b)に示すように非常に安定している。

表1に絶縁・冷却媒体から分類した変圧器の種類と特徴、及びSF₆ガス絶縁変圧器とモールド変圧器の適用区分(日立製作所適用例)を示す。

4.1 モールド変圧器

モールド変圧器は、小形で設置スペースの節約が図れるほか、

(1) 鉱油を使用していないので防災性が高く、樹脂自体も自己消化性をもっているため延焼防止効果があること。

(2) コイル全面が樹脂で覆われているため、短絡機械強度が大きく、耐震性にも優れていること。

などの特長をもっている。

従来、注型成形法によるレジンモールド変圧器が多く用いられてきたが、今般、仕様の多様化に対応して、含浸法によるFRP(ガラス繊維強化プラスチック)モールド形を完成した。図6にそれぞれの外観を、図7に樹脂の耐熱特性を示す。レ

ジンモールドには新たに開発された耐熱性の良いMIレジンを用い、FRPモールドには155°Cでなお20kg/mm以上の引張り、曲げ強さをもつFRPを採用し、いずれも難燃・自己消火性をもっている⁴⁾。

4.2 ガス絶縁変圧器

ガス絶縁変圧器の特長は、

(1) SF₆ガスが不燃性、無毒のため防災性に優れており、防火壁の省略や消火設備の軽減を図ることができること。

(2) (モールド形に比べて)高電圧、大容量の変圧器の製作が可能であること。

(3) ガス絶縁開閉装置との直結によって、受変電設備の不燃化と縮小化を実現し、運転・保守の共通化、簡素化を図ることができること。

などで、このガス絶縁変圧器の実現により、変電所としての不燃化が現実近づいてきた⁵⁾。

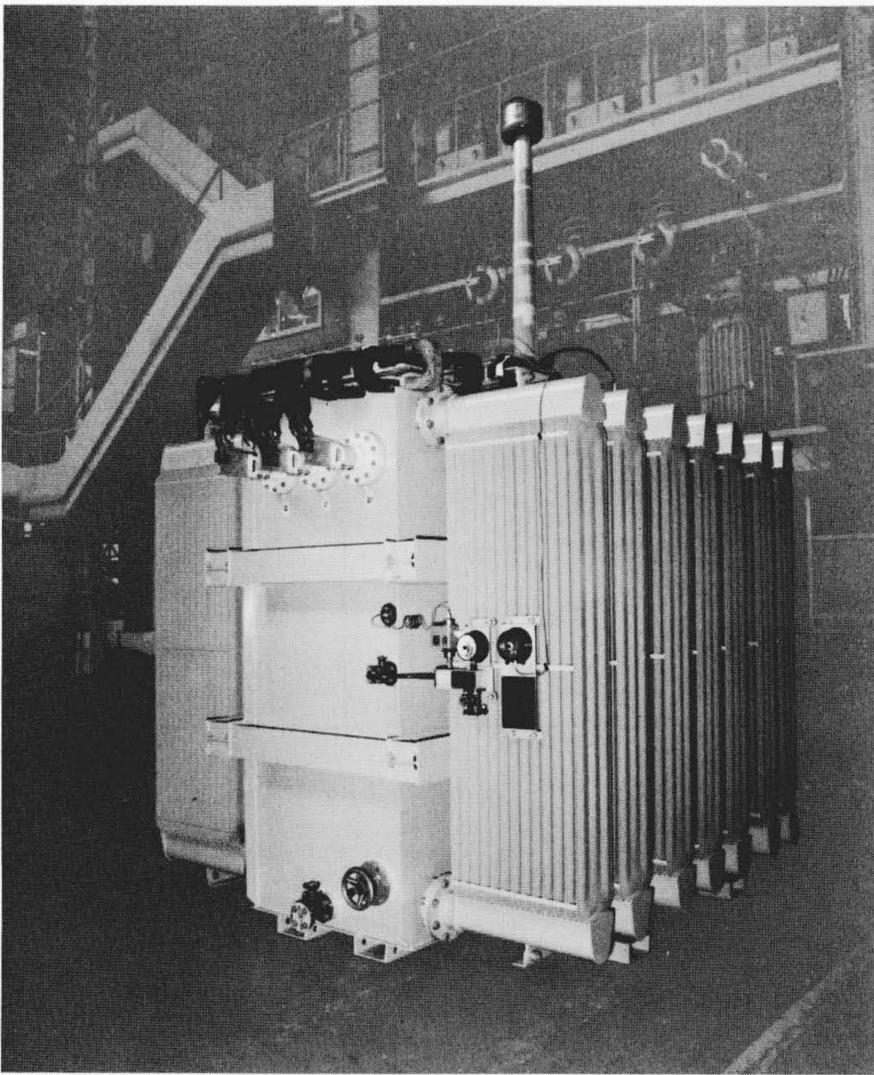


図8 自冷式SF₆ガス絶縁変圧器 大容量ガス絶縁変圧器についても、ファンやブロワなどの補機をなくした自冷式の開発が進んでいる。

このたび日立製作所では、強制冷却を必要としていた特別高圧、大容量のSF₆ガス絶縁変圧器について、補機をなくし、保守点検作業を簡単化した自冷式ガス絶縁変圧器を開発し、製品化した。図8に、22/1,118kV、3,350kVA三相自冷式ガス絶縁変圧器の外観を示す。

表2 3.6~36kV用各種遮断器の性能、保守、耐環境性比較
真空遮断器は性能、保守性、耐環境性のいずれもが優れており、防災性が良い。

比較項目	分類	油入遮断器	小油量遮断器	磁気遮断器	真空遮断器
		遮断性能	○	○	○
性	開閉寿命	△	○	△	◎
	開閉サージ	◎	○	◎	△(◎)*
	遮断時の騒音	△	△	×	◎
	能	危険性	×	△	○
噴油		×	△	◎	◎
噴煙		×	△	×	◎
耐久性	消弧室	△	○	○	◎
	接触部	△	○	△	◎
保守点検	頻度	△	○	△	◎
	清潔さ	×	×	○	◎
	容易さ	×	△	○	◎
設置環境	高湿度	○	○	×	◎
	設置スペース	×	○	△	◎
	騒音問題	△	△	×	◎

注：1. 表中の記号◎, ○, △, ×は、各項目ごとに優れたもの、有利なもの、相対的な順位を示す。
2. *()は、開閉サージ保護装置付き、又は低サージ形の場合を示す。

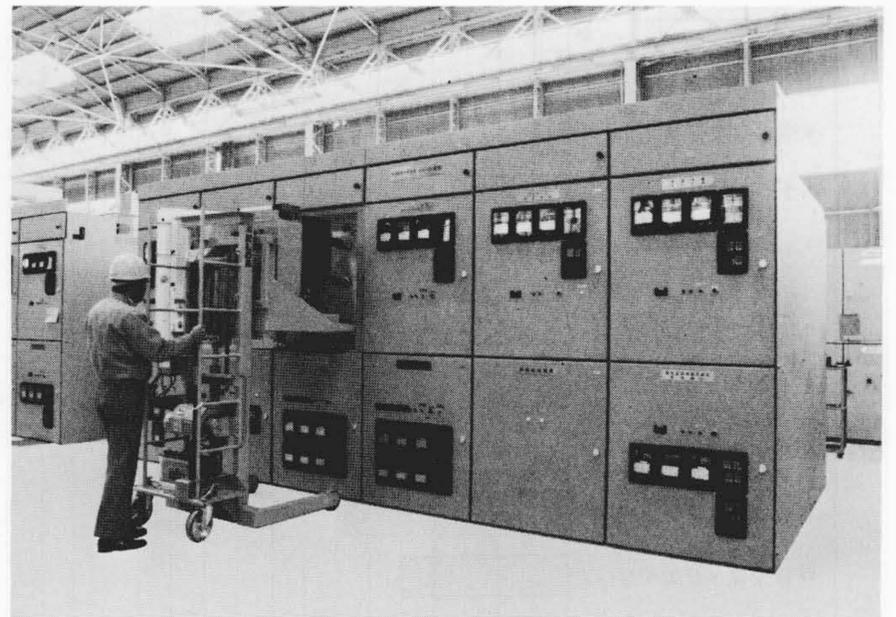


図9 7.2kV閉鎖形配電盤 7.2kV真空遮断器収納の2段積配電盤で、防災化、耐震性向上が図られている。

5 閉鎖配電盤・ケーブル類

5.1 閉鎖配電盤

配電盤の防災化については、配電盤が多くの部品、材料から構成されているため、主要機器である遮断器や計器用変成器から配線材料や工事材料に至るまで難燃化・不燃化を図る必要があり、経済的にはかなりのコストアップは避けられない。

3.6~36kV級閉鎖配電盤に内蔵される遮断器として従来は油入遮断器、小油量遮断器、磁気遮断器などが用いられていたが、表2に示すように、小形・軽量で、防災特性にも優れた真空遮断器が実用化されてから、量産化、高信頼化など種々の改良を経て、真空遮断器がこのクラスを代表する遮断器となった⁶⁾。図9に7.2kV真空遮断器を収納し、防火災と耐震性向上を実現した2段積・閉鎖形配電盤の外観を示す。

5.2 電線・ケーブル

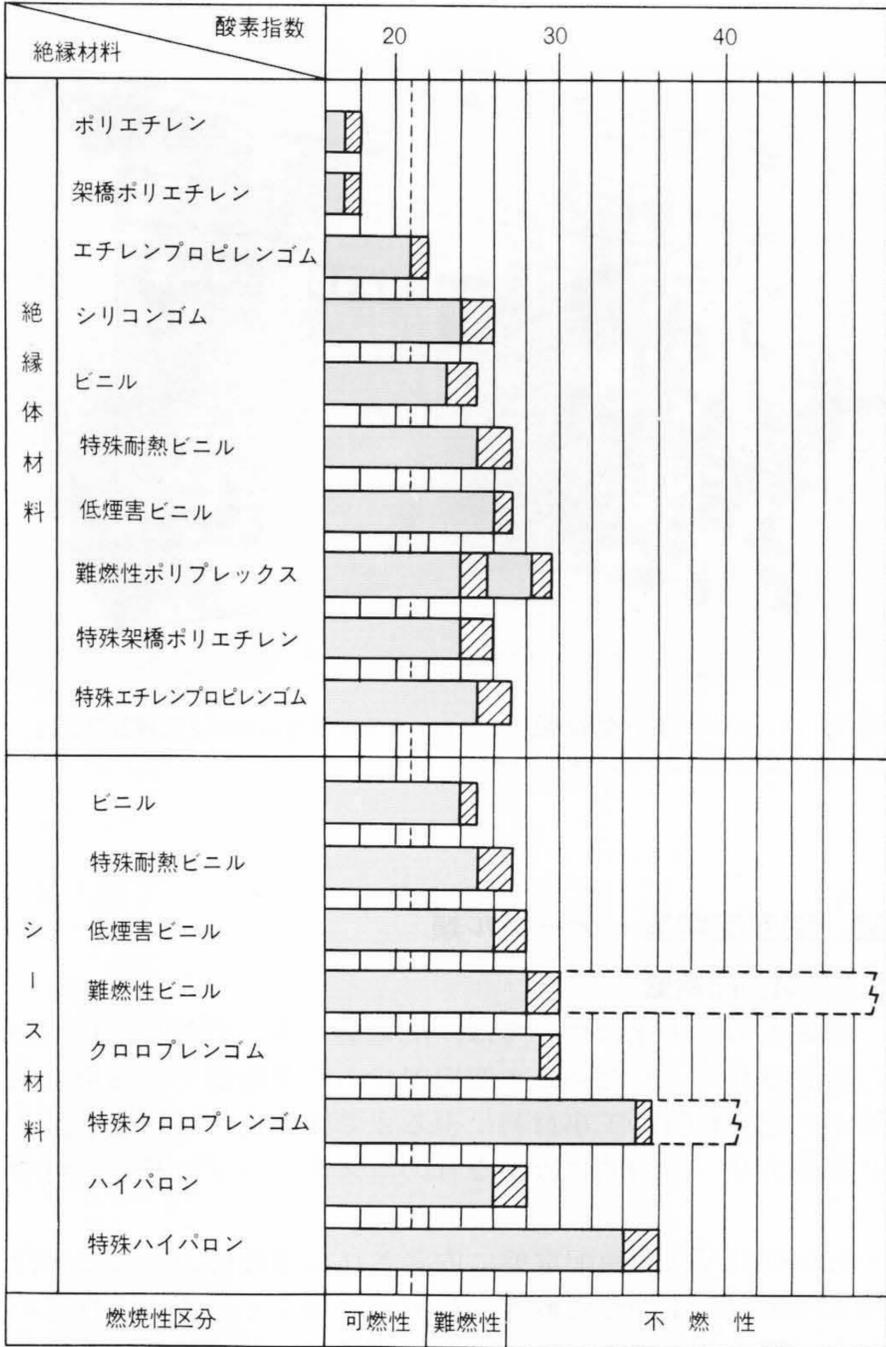
電線・ケーブルは実使用に際しては、トレイやダクトに集合布設されることが多い。このような多条ケーブルでは、単独のケーブルよりも燃焼性・延焼性が大きくなるため、可燃と難燃をふるい分けできるような確実な試験方法の確立が望まれていた。米国で、最も安全性を重視する原子力発電所用ケーブルに対する試験基準がIEEE(米国電気電子学会)規格383-1974として制定され、その中にVTFT(燃焼試験)があり、我が国でも広く採用され始めた。

この規格に合格させるためには、電線・ケーブルのシース、時には絶縁体までも従来品以上に難燃化する必要がある。一方、このように高難燃化した電線・ケーブルは、耐延焼性は優れているが万一の火災時に塩化水素などのハロゲン系ガスを含んだ煙を発生し、二次災害を起こす可能性がある。

このため難燃性で、かつ燃焼時に低発煙であり、しかもハロゲン系腐食ガスの発生が少ない(最終的には全く発生しない)材料の開発が望まれる。

図10に電線・ケーブル被覆材料の難燃度を、JIS K 7201の酸素指数で示す。ケーブルとしての難燃性は、材料特性だけでなく構造などに影響されるので、酸素指数だけでなくVTFTなどの難燃性試験による確認が必要である。

更に前述のように、燃焼時の発生煙量が少ないこと、発生腐食性ガス量が少ないか又は少ないことが望ましく、日立電線株式会社で開発されたノンハロゲン難燃電線・ケーブルの燃



注：1. 燃焼性区分は、日本電線工業会のプラスチック材料についての区分例を示す。
2. 酸素指数21は空気中の酸素濃度と同じ(破線で示す)。

図10 各種ケーブル被覆材料の酸素指数(例) 材料自体の難燃度は、酸素指数で表わすことができる。しかし、ケーブルとしての難燃性は構造にもよるため、難燃性試験による確認が必要である。

焼特性を他材料と比較して図11に示す⁷⁾。

なお、一般産業プラントには高難燃化ケーブル、地下街用配線や地下鉄車両、艦船などにはノンハロゲン難燃化電線ケーブル、情報伝送用電線としては光ファイバケーブルが使用され始めており、また延焼防止には耐火塗料や延焼防止剤、シール材も実用化されているので、電線・ケーブルの用途や布設環境に合わせた難燃仕様の選択と適切な防火対策の組合せによって信頼性を高めることが可能である。

6 結 言

以上述べたように、SF₆ガス絶縁開閉装置、ガス絶縁変圧器及びモールド変圧器、真空遮断器、難燃電線・ケーブルなど防災形受変電設備の実現により、受変電システムとしての防火災が可能となった。

しかし、受変電システムの構成要素をどのように防災化するかは経済性も考慮して決定する必要がある、また技術的にも現時点では完全を期しがたい部分もある。例えば、油入負荷時タップ切換変圧器を採用するケースは今後ともあるであろうし、大容量の電力用コンデンサなどは現状ではオイルレス化は困難である。

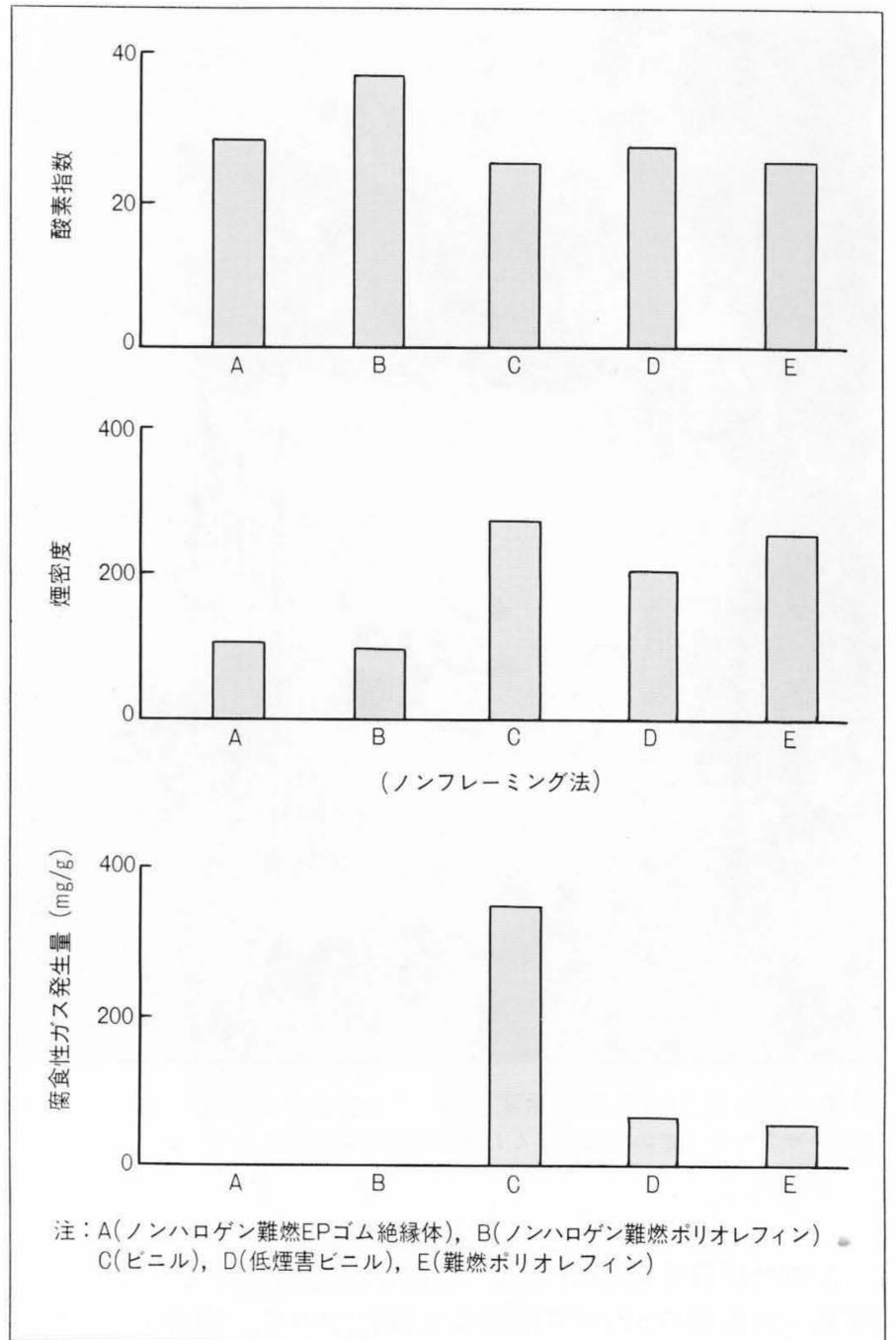


図11 ケーブル材料の燃焼特性 電線・ケーブル被覆材としてのノンハロゲン材料は、難燃度を示す酸素指数が高く、煙発生量が少なく、腐食性ガスが発生しない特徴がある。

このような場合での対応として、1章に述べた「変電所等における防火対策指針」JEAG 5002-1977、特にその第4章「機器の火災事故防止対策」が良い指針となる。

最後に、有益なアドバイス、種々の防災上のニーズを与えていただいたユーザー各位に対し厚く御礼申し上げますとともに、今後ユーザー各位との連携をいっそう密にして火災に対しても備えのある受変電設備としてゆく考えである。

参考文献

- 1) 石田, 外: 受業用受変電設備における耐震性の検討と向上, 日立評論, 67, 2, 153~158(昭60-2)
- 2) 電気技術基準調査委員会発変電専門委員会: 受電所等における防火対策指針, JEAG 5002-1977, 日本電気協会(昭52-4)
- 3) 白川, 外: ガス絶縁開閉装置用酸化亜鉛避雷器“ZLA”, 日立評論, 62, 3, 181~186(昭55-3)
- 4) 長屋, 外: 受変電設備用変圧器, 日立評論, 65, 9, 643~648(昭58-9)
- 5) 長屋, 外: SF₆ガス絶縁変圧器の開発と実用化, 日立評論, 65, 12, 863~868(昭58-12)
- 6) 石上, 外: 3.6~36kV用遮断器及び閉鎖配電盤の最近の動向, 日立評論, 65, 7, 503~508(昭58-7)
- 7) 松山, 外: ハロゲン難燃電線・ケーブル, 3, 39~44, 日立電線(昭58-12)