エポキシ モールド絶縁筒の超々高圧送電用機器への応用

Application of Epoxy Resin Impregnated Insulation Tube for Extra High Voltage Systems

特殊モールド方式により成形したエポキシ モールド絶縁筒(VT-E611)の諸特性と、超々高圧送電用機器のコンデンサ ブッシング及びコンデンサ シールド筒などへの応用例について紹介した。

VT-E611は固体絶縁物なので、絶縁油及びSF。ガスなどのシール性に優れ、更に電気特性にも優れているので、この種用途への応用は今後も増加するものと思われる。

土屋昭夫* Akio Tsuchiya 磯貝時男** Tokio Isogai 池本徳郎*** Norio Ikemoto

11 緒言

筆者らは数年前から、特殊処理を施した絶縁紙と金属はくを巻きつけた絶縁筒に、エポキシ樹脂で特殊モールド化した絶縁筒を開発し、これを乾式コンデンサ ブッシングやコンデンサ シールド筒へ応用することを検討してきた $^{(1)^{-(3)}}$ 。この絶縁筒は、耐油性、耐 \mathbf{SF}_6 がス性に優れ、また、気密性、油密性にすることが容易であり、更にボイドレスであるため耐電圧特性に優れている。

一方、最近の極めて盛んな電力需要を満たすため各地に大出力の発電所が続々と建設されているが、これに伴い送電電圧も上昇し、既に500kV送電が実用化されている。変圧器、避雷器及び、しゃ断器などの送電機器も超々高圧に移行し、大容量化している。

この傾向に対して、前記特殊モールド方式により成形された 絶縁筒を、コンデンサ ブッシングやコンデンサ シールド筒とし て超々高圧変圧器、避雷器及びしゃ断器に使用することにより、 機器の性能向上、小形化に効果を挙げることができた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。 なお、この絶縁筒は現在日立化成工業株式会社においてVT-E611(絶縁筒素材の名称)という名称で量産、製品化されてい る。本稿では、VT-E611の基礎特性及び応用製品の特性に ついて述べ参考に供したい。

2 VT-E611の特性

2.1 成形性

特殊モールド法に適するエポキシ樹脂や絶縁紙は、含浸性、耐き裂性、耐冷熱性及び電気特性について検討が行なわれ、選定された。表1に製作の概要を示した。この方法によれば表2に示すように、極めて厚肉の絶縁筒がき裂なしに製作可能である。き裂の発生は、モールド条件、及び成形品のサイズにも関係があり、特に成形品の肉厚が厚くなるほどき裂が発生しやすいので、絶縁紙、エポキシ樹脂には厳しい条件が要求される。更に、成形条件も従来のような硬化方法では、硬化時の反応熱や硬化収縮により発生する応力のため、き裂が発生しやすい。筆者らは、この問題について検討を加え、反応熱及び硬化時の収縮による応力の制御を行なった結果、表2に示すように実用上十分なサイズまで製作できるようになった。

表 | エポキシ モールド絶縁筒の製作概要 エポキシ モールド絶縁 筒の製作方法について説明している。エポキシ樹脂の含浸方法,モールド方法 に特長がある。

項	目	内容	
形	状	基材を同心円状に巻きつけ、円筒形に整形する。	
含 浸	方法	減 圧 含 浸	
モール	ド方法	加 圧, 加 熱	
基	材	特殊処理クラフト紙及び不織布	
樹	脂	低収縮エポキシ樹脂	

表 2 製造可能寸法 肉厚の厚いエポキシ 絶縁筒の製作が可能であることを示している。

項目	寸 法 (mm)
最 大 外 径	600
最 小 内 径	38
最大長さ	2,500
肉厚	10~100

表 3 VT-E6IIの一般特性 VT-E6IIの基礎特性を示している。誘電率 が3.8~4.0で一定であり、コンデンサの静電容量の設計が容易である。

			-
項目	単 位	特性	備考
比 重	_	1.30	
誘電率	_	3.8~4.0	
曲げ強さ	kg/mm²	9.2~10.6	+
引張り強さ	kg/mm²	5.9~6.7	-
圧縮強さ	kg/mm²	12.7~13.0	-
熱膨張係数	°C	2.3×10^{-4} 2.4×10^{-5}	厚さ方向 軸 方 向

^{*} 日立化成工業株式会社山崎工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所国分工場

2.2 一般特性

VT-E611の一般特性を表3に示す。実際の使用においては、同表の特性を考慮して設計し、実用化している。

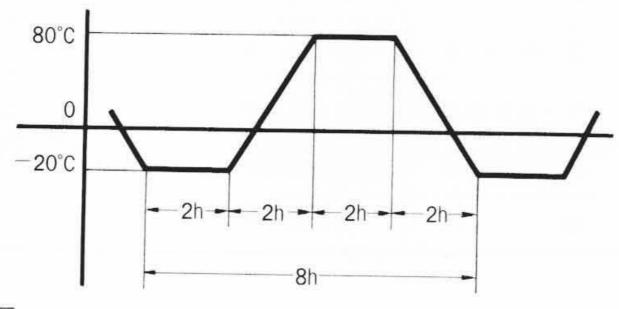
2.3 耐冷熱特性

エポキシ絶縁筒の耐冷熱特性は、機器が実際に使用されているときに受ける気温の変化や、機器が発生する熱による温度上昇を考慮して検討されているもので、エポキシ樹脂モールド製品にとっては、重要な特性である。VT-E611がき裂なしに成形されても、前述のような温度変化によってき裂が

表 4 70号コンデンサ ブッシングの冷熱試験 VT-E6IIを使用した コンデンサ ブッシングは冷熱試験前後の電気特性に変化がなく、耐冷熱性に優れている。

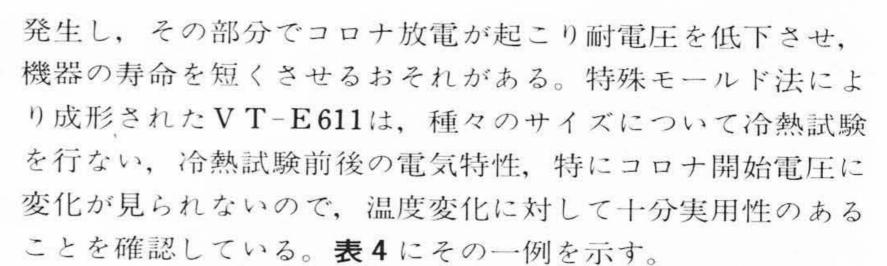
項目	保 証 値	電 気 特 性	
A L	床 証 旭	冷熱試験前	冷熱試験後
tan δ	0.5%以下	0.40%	0.39%
静電容量	140±14pF	134pF	134pF
コロナ開始電圧	51.2kV以上	70kV以上	70k V以上

注:1.冷熱試験条件(試験回数 10回)



2.コロナ開始電圧

NEMA Pub. NO.107に準拠,障害波電波強度測定法により測定回路に電圧を印加して,コロナ レベルが20dBを超える電圧をコロナ開始電圧とした。



2.4 電気特性

VT-E611は内部に金属はくを埋設して電極とし、内部にコンデンサを形成させて使用される。その際、電極端部に電界が集中しやすく、これを緩和させておかなければならない。電極形状を検討して、電極端の最大電界は貫層方向(図1の試料)では平均電界の3.4倍、沿層方向(図2の試料)では平均電界の6.9倍程度に抑えている。この状態でV-t特性を調べた結

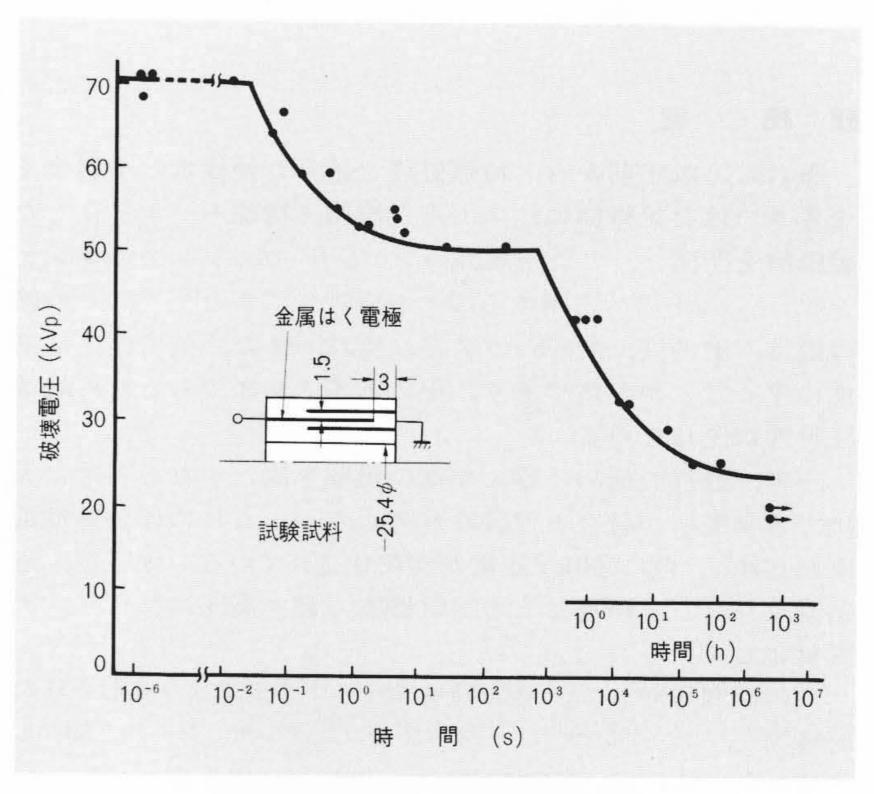


図 2 沿層方向V-t特性 沿層方向の長時間破壊電圧が高いことを示している。

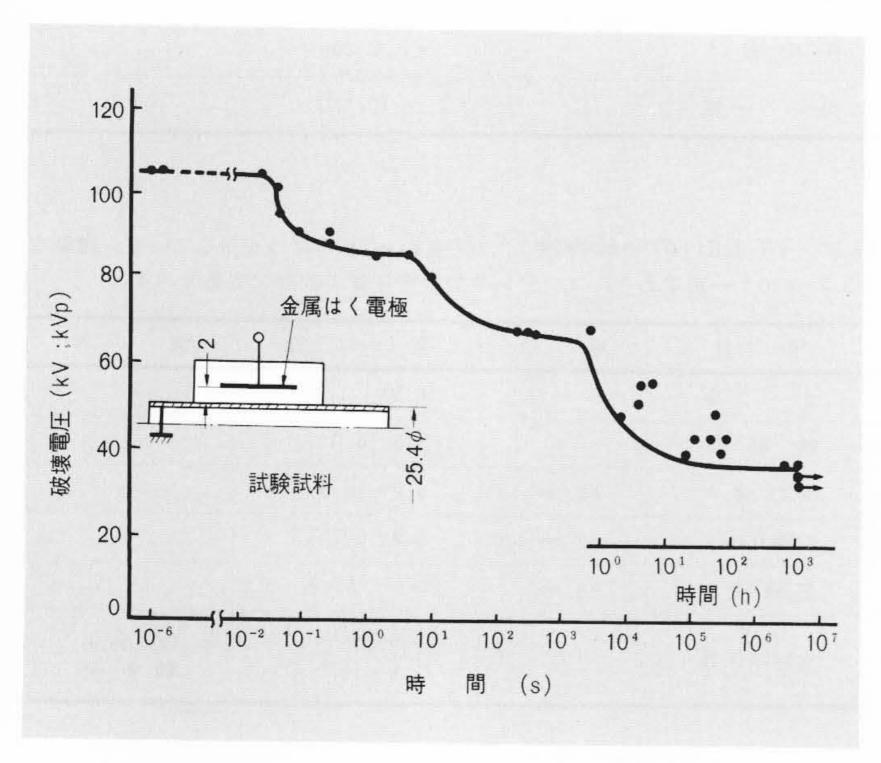


図 **| 貫層方向V-t**特性 貫層方向の長時間破壊電圧が高いことを示している。

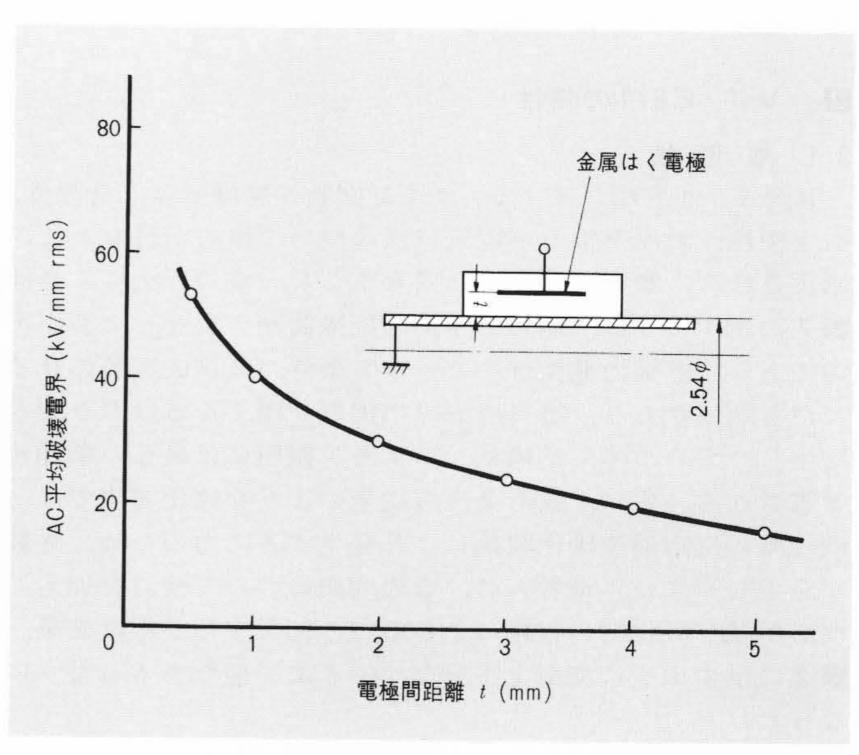


図3 貫層耐電圧 絶縁厚さを変えたときの貫層方向の耐電圧を示している。絶縁厚さを厚くしても、実用上十分高い値を保持している。

果を図1,2に示す。また図3,4に絶縁厚さを変えて求めた貫層及び沿層方向の耐電圧の測定結果を示した。

実際の使用に当たっては,電気特性の測定結果を考慮して, 長時間の寿命を保証するため,十分余裕をもって絶縁厚さ, 電界強度,電極構成及び形状を決定して設計,製作されている。

3 VT-E611の応用

3.1 コンデンサ ブッシングへの応用

コンデンサ ブッシングは、油浸紙型、いわゆる湿式タイプが長年月の使用実績を有し広く使用されている。一方、VT-E611のコンデンサ ブッシングも固体、乾式タイプであり、取扱いが簡単であるなどの利点を生かして、その使用が拡大されてきている。湿式タイプは、がい管の中に入れた状態で使用されるが、乾式タイプはがい管に入れる必要がない(但し、空気中で使用する場合は、がい管に入れて使用する)。

絶縁油や SF_6 がス中で使用する場合は、そのままこれらの 絶縁媒体に入れて使用できる。また、固体絶縁物なので、絶 縁油や SF_6 がスのシールが簡単にできる特長もある。このよ うな特長を活用して、変圧器ーしゃ断器、変圧器一電力ケー

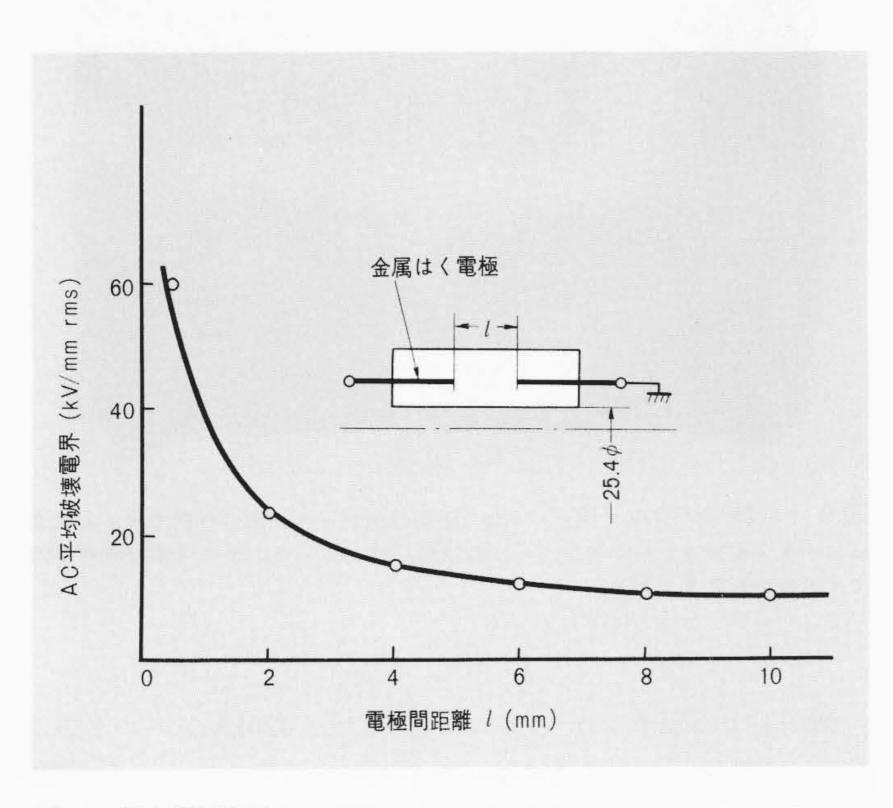


図 4 沿層耐電圧 絶縁長さを変えたときの沿層方向の耐電圧を示している。絶縁長さが大きい個所では、実用上十分高い値の個所で飽和している。

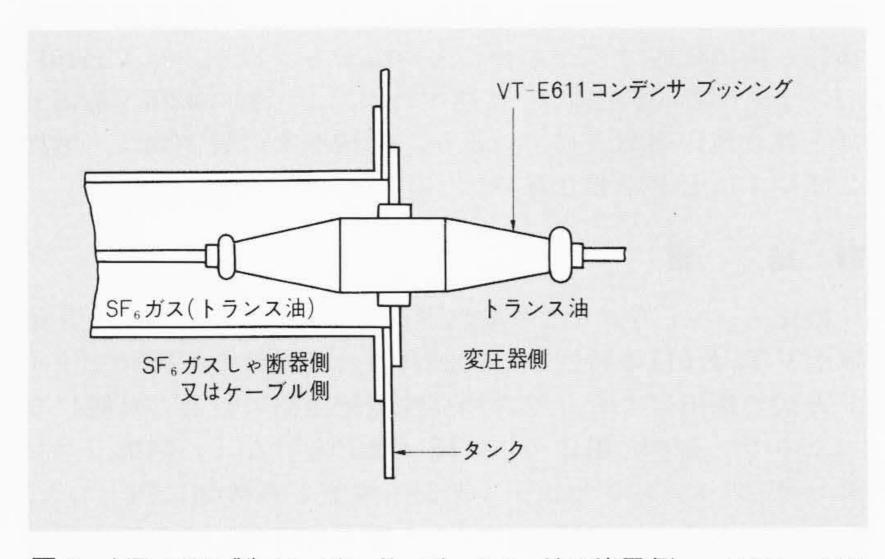


図 5 VT-E611製コンデンサ ブッシングの使用例 絶縁油-絶縁油, 絶縁油-SF6ガスの隔壁用のコンデンサ ブッシングとして最適である。

ブルとの接続のため、壁ぬき用コンデンサ ブッシングとして使用される例が多い⁽⁷⁾。図5に実際の使用例を示す。また、図6、表5に、200号コンデンサ ブッシングの特性例を示す。図6のtanδ-電圧特性は、定格電圧以上まで平たんで従来の絶縁筒よりも優れている。また、表5の特性値も規格値に対して余裕をもって合格している。更に冷熱試験後の電気特性も変化がなく安定している。図7に200号コンデンサ ブッシングの外観を示す。

現在まで、VT-E611を使用したこの種の乾式コンデンサブッシングは、60号から200号まで百数十本の製造実績があり、今後は、500号級のものまで用途が拡大するものと思われる。

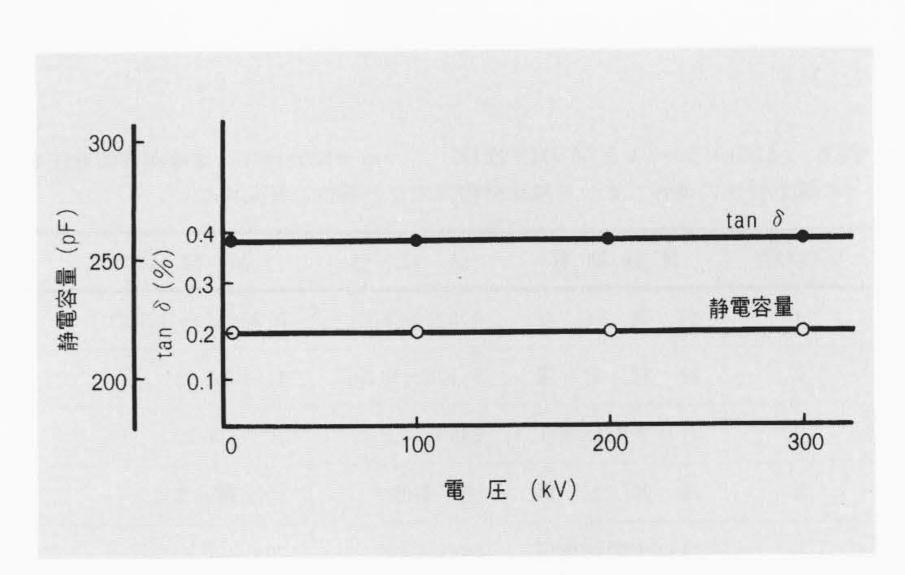
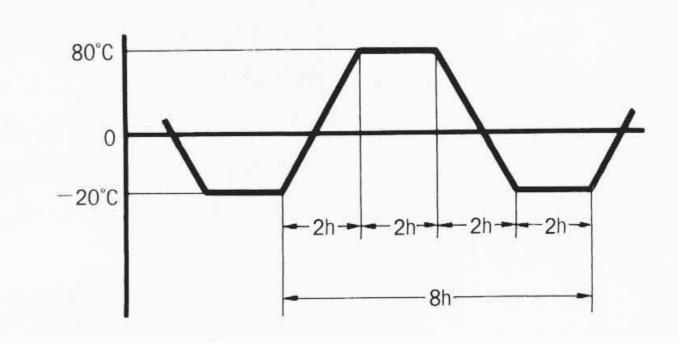


図 6 200号コンデンサ ブッシングのtan 8, 静電容量 - 電圧特性 tan 8 や静電容量が電圧を変えてもほとんど変化しないことを示している。

表 5 200号コンデンサ ブッシングの特性例 コロナ開始電圧、商 用周波耐電圧などの電気特性に優れ、また冷熱試験前後でこの特性に変化がない。

試験順序	試験項目	保 証 値	試験結果
1	誘電正接	0.5%以下	0.372%(at 300kV)
2	静電容量	220 ± 22 pF	219pF(at 300kV)
3	コロナ開始電圧	300kV以上	350kV 以上
4	冷熱試験	注 参照	10回異常なし
5	コロナ開始電圧	300kV 以上	350kV 以上
6	商用周波耐電圧	460kV I 分間	506kV I 分間異常なし
7	長時間耐電圧	270kV I 時間	270kV I 時間異常なし
8	コロナ開始電圧	300kV 以上	350kV 以上
9	衝 撃 電 圧	±1,050kV 5回	±1,050kV 5回異常なし
10	コロナ開始電圧	300kV 以上	350kV 以上
11	誘 電 正 接	0.5%以下	0.37%(at 300kV)
12	静電容量	220 ± 22p F	219pF(at 300kV)

注:冷熱試験条件



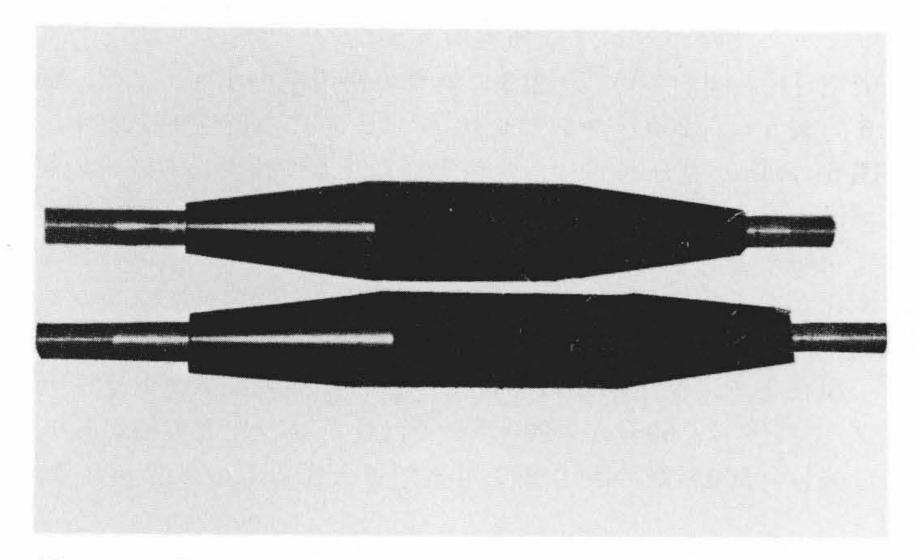
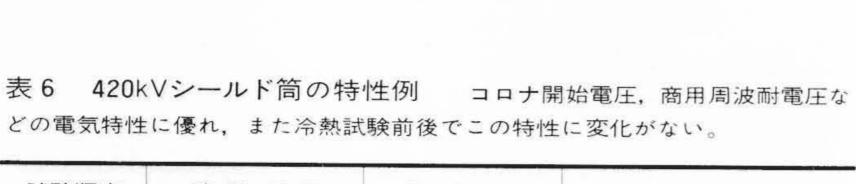
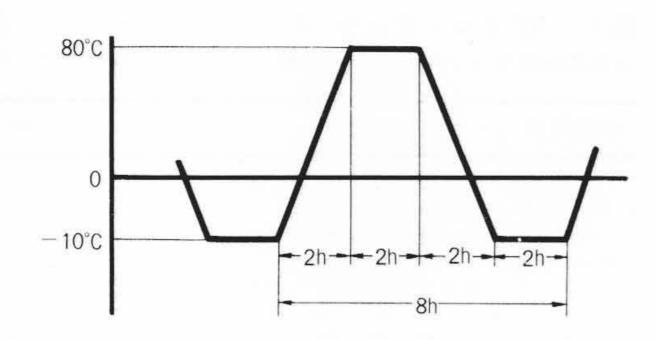


図7 200号コンデンサブッシングの外観 乾式であるのでがい管に入れる必要がなく小形化できる。



試験順序	試験項目	保 証 値	試験結果
	誘 電 正 接	0.5%以下	0.38%(at I20kV)
2	静 電 容 量	5,120±512pF	4,917pF
3	コロナ開始電圧	64kV 以上	70kV 以上
4	冷熱試験	注 参照	10回異常なし
5	コロナ開始電圧	64kV 以上	70kV 以上
6	商用周波耐圧	112kV 100秒	112kV 100秒異常なし
7	衝 撃 電 圧	±206kV 5回	±206kV 5回異常なし

注:冷熱試験条件



3.2 コンデンサ シールド筒への応用

しゃ断器の電極間の電位分布を調整するため、適当な容量のコンデンサを電極間に挿入して、コンデンサ分圧を行なったり⁽⁸⁾、避雷器ががい管の汚損により放電特性が変化するのを防止するため、放電ギャップ間にコンデンサを挿入してシールド効果をもたせる例⁽⁶⁾⁽⁹⁾が最近多く見受けられる。この種用途に使用されるコンデンサは、長年月にわたって安定した特性を維持するものでなければならない。このような要求を満足するものとして、VT-E611の耐圧安定性が注目されている。特に、最近その建設が促進されている500kV送電線に接続される避雷器は、耐汚損性能を向上することが要求され、活線洗浄可能なことが条件となっている。VT-E611を500kV用避雷器に使用することにより、がい管が汚損されたときでも放電ギャップの電位分布の変化が少なくなり、前記要求を満足させることができるようになった。

ここでは、500kV用避雷器への応用例を紹介する。その使用 方法としては、放電ギャップと特性要素を大容量のVT-E611

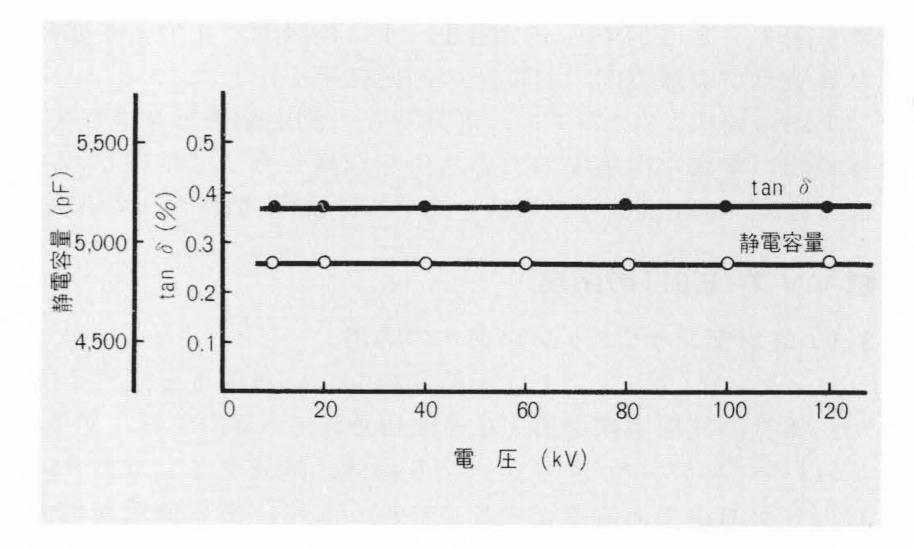


図 8 420kVシールド筒の $tan\delta$,静電容量 -電圧特性 $tan\delta$ ゃ、静電容量が電圧を変えてもほとんど変化しないことを示している。

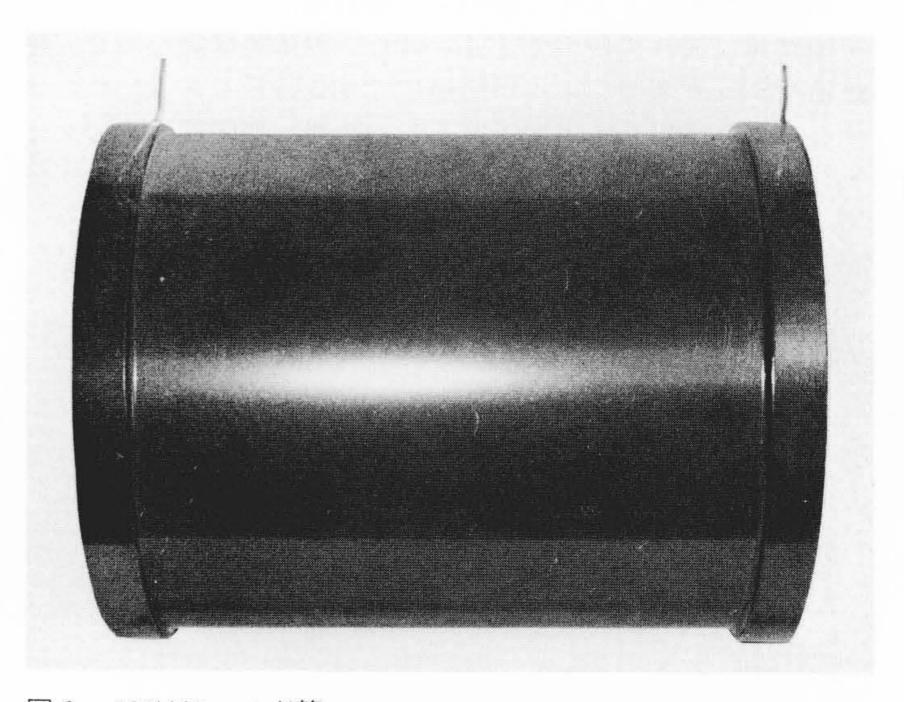


図 9 420kVシールド筒 420kV避雷器用シールド筒の外観を示す。表面はエポキシ樹脂をコーティングし、耐湿性に優れている。また固体絶縁物なので、取扱いが容易である。

を使用したコンデンサ シールド筒(以下, 420kVシールド筒と呼ぶ)に内蔵したものを1ユニットとし、このユニットを十数段積み重ねて使用されている。表6及び図8に420kVシールド筒の特性を示す。

また耐冷熱特性も仕様を十分満足している。② 9 に420 k V シールド筒の外観を示す。また、このシールド筒を使用した 420 k V 遊雷器のV-t 特性を② 10 に示した $^{(6)}$ が、放電電圧が乾燥状態と汚損状態で差がないことが分かる。以上、VT-E611 のシールド筒の応用について述べたが、この種の420 k V 遊雷器は十数台製作運転されているが、今後もその製作数は、増加してゆくことが予想される。

4 結 言

特殊モールド方式により成形されたボイドレス エポキシ絶縁筒 V T-E 611の特性と応用例について述べた。特殊モールド方式の採用により、厚肉の高性能絶縁筒の製造が可能になったので、その応用について種々検討を行なった結果、コンデンサ ブッシングとシールド筒の性能が飛躍的に向上した。今後もいっそう用途開発について努力を重ね、高電圧機器の小形化に有効に利用できるようにしたい。終わりに、本特殊モールドの開発、実用化に種々御指導いただいた日立化成工

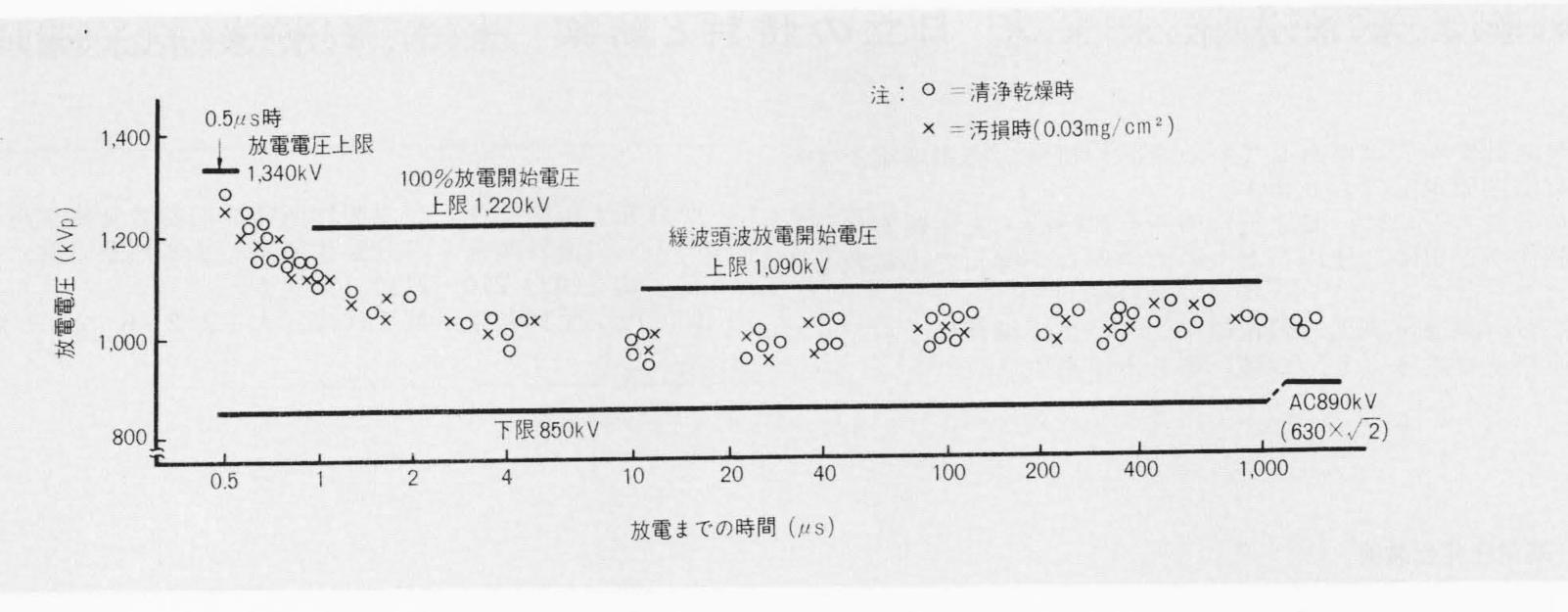


図10 ODBR3-200P形定格電圧420kV避雷器のV-t特性 衝撃波及び緩波頭波の放電電圧は, 乾燥状 態と汚損状態で差は見られない。

業株式会社の井上利夫氏をはじめ、関係各位に対し、深く謝 意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 磯貝,井上「エポキシ樹脂含浸モールド形高電圧絶縁物」 日立評論 50, 285 (昭43-4)
- (2) 磯貝,井上「エポキシ樹脂含浸紙絶縁物の耐圧特性」日立評論 51,846 (昭44-9)
- (3) 磯貝、武内ほか「エポキシ含浸紙絶縁筒の耐電圧特性」電気 学会誌 94A, 4 (昭49-4)
- (4) 池本、磯貝ほか 「日立コンデンサブッシング」 日立評論 52, 215 (昭45-3)

- (5) 池本、中沢ほか 「125kV油浸サイリスタバルブ用電磁結合式 ゲートパルス変圧器」日立評論,56,531 (昭49-3)
- 丸山、山口ほか 「420kV超々高圧用避雷器」日立評論 55, 1073 (昭48-11)
- 「154kV日立ガスコンパクト開閉装置」電気評論 58, 4 表紙広告(昭48-4)
- (8) 山崎, 中野ほか 「240/300kV 50kA, 2,000, 4,000A二重圧 力形 2 サイクルガスしゃ断器」 日立評論 54, 1065 (昭47-12)
- (9) 技術の成果号「化学材料」日立評論 56, No. 1 (昭49-1)



球状黒鉛鋳鉄の摩耗硬化層とフェライト量 との関係

日立製作所 山田俊宏 鋳物 47-10, 709 (昭50-10)

最近の生産技術の急速な進歩は、機械装 置をますます過酷な条件で用いるようにな っている。その結果、機械装置の摩擦部分 には、従来認められなかった種々の現象が 現われている。例えば、鉄鋼材料を高速あ るいは高荷重のもとで摩擦すると、表面層 には摩耗硬化層と称される基地とは全く異 なった組織で、しかもHv 800以上のかたさ をもつ異常層が発生することがある。この ような硬化層は、表面に突出しているのが 普通で、硬化層が生成した後は硬化層を介 して摩擦が行なわれることになり、硬化層 の性質を知ることは重要な問題となってい る。従って、硬化層に関する研究は多く、 主にその生成機構について論じられている。 そして、最近の研究によって、硬化層は摩 擦熱によって局部的に溶融した部分が急冷 凝固したものであり、その生成量、かたさ などを支配するものは、主に摩擦面温度で あることが明らかにされている。

一方,摩擦面温度は,摩耗量と密接に関 連しており、熱伝導率が同一の試料を用い た場合, 現象的には摩耗の少ない条件のも とでの摩擦面温度は高くなることが知られ ている。摩耗と摩擦面温度との因果関係に ついてはまだ不明の点が多いが、摩耗量が 硬化層の生成量及び性質と密接に関係して いることは、間違いないと考えられる。

そこで、球状黒鉛鋳鉄の摩耗を支配する 因子の一つであるフェライト量を変化させ て、潤滑摩耗試験(JIS 2 号冷凍機油、相 手材SK5)を行ない、硬化層の性質及び 生成量について検討を行なった。

試料のフェライト量はSi量及び熱処理に よって変化させた。

まず、摩擦速度の影響についてみると, 3m/sを超えると急激な摩耗が生じ、表面 には硬化層が発生した。硬化層の生成量は, フェライト量の増加とともに減少するが, その表面硬さはHv900~1,000程度とほぼ一 定であった。硬化層は、基地と明確な境界 をもつ白色層として存在し、硬化層直下に は塑性流動が認められた。また、硬化層表 面には、摩擦こんに対して直角なき裂が発 生しており、このき裂が、その後の摩擦に 伴う破壊の原因となると考えられた。

X線回折により、硬化層の組成を調査し たところ、硬化層からは Fe₃C, αFe, α Fe 及びγFeが検出された。また、硬化層から 得られたαFe(110)及びα'Fe(110)の積分 幅と硬化層の生成量との間には直線関係が 認められた。

これらの結果から、球状黒鉛鋳鉄の潤滑 摩擦で発生した硬化層は、摩擦熱によって 局部的に溶融した部分が急冷され、冷却途 中でマルテンサイト変態したものであり, 同時に硬化層が発生するような摩擦条件は 極力避けるべきであることが明らかとなっ