

# レジンモールド変圧器

## Resin Molded Transformer

最近、屋内に設置される不燃性変圧器として従来のH種シリコンワニス処理の乾式変圧器に代わって、耐湿、耐塵性、小形軽量化などの面で優れているレジンモールド変圧器が使用される傾向にある。日立製作所では、耐熱性、耐熱衝撃性の高いF種のMTレジン、及びH種のMIレジンを新規に開発し、コイルの注型技術及びレジンモールド変圧器の信頼性評価により、これらが難燃性、絶縁性、耐湿性、耐塵性などの点で優れていること、また長期間にわたって十分な信頼性と安全率を持っていることを確認した。

磯部昭二\* *Isobe Shōji*  
 池本徳郎\* *Ikemoto Norio*  
 木原康文\* *Kihara Yasuhumi*  
 小林 明\*\* *Kobayashi Akira*  
 加子泰彦\*\*\* *Kako Yasuhiko*  
 東條喜義\*\*\*\* *Tōjō Kiyoshi*

### 1 緒 言

近年、受変電設備に使用される変圧器には、防災、公害防止、保守の省力化などの点から、難燃性、耐湿性、耐塵性、低騒音などの特性が要求されている。日立製作所では、これらの点で優れているレジンモールド変圧器の開発を進め、耐熱特性F種のMTレジン及びH種のMIレジンを使用したレジンモールド変圧器を製品化し、需要家のニーズにこたえることができた。本稿では、新レジンの特性及びレジンモールド変圧器の各種信頼性試験結果の概要について述べる。

### 2 開発経緯

一般に配電用変圧器には、鉄心やコイルを絶縁油で浸した油入変圧器と絶縁油を用いない乾式変圧器とがある。絶縁油としては鉱油がその絶縁性、冷却性、経済性などの面で最良であり、ほとんどの変圧器はこの油入変圧器で占められている。しかし、鉱油は可燃性であるため保安上防災が必要とな

ころには、昭和30年ごろからH種乾式変圧器、又は不燃性油入変圧器が使用されてきた。昭和47年には、不燃性油(PCB)が使用禁止となり、当時不燃性油の代替としてシリコン油入変圧器やSF<sub>6</sub>(六フッ化硫黄)ガス絶縁変圧器の実用化が図られた。しかし、経済性に難点があるため現在ではH種乾式変圧器がその主流を占めている。

H種乾式変圧器は、コイルの素線絶縁が空気中に露出しているため空気中の水分、塵埃の影響を受けやすく、絶縁レベルを高くできなかった。近年、高分子材料の発達による電氣的、機械的に優れたレジンの開発と注型技術の進歩により、小形で単純な形状の支持がい子、ブッシングなどから複雑な計器用変成器が、更に変圧器コイルまでモールド化が可能となった。

日立製作所のモールド変圧器は、新しく開発した耐熱特性F種のMTレジン、及び耐熱特性H種のMIレジンを用いて、

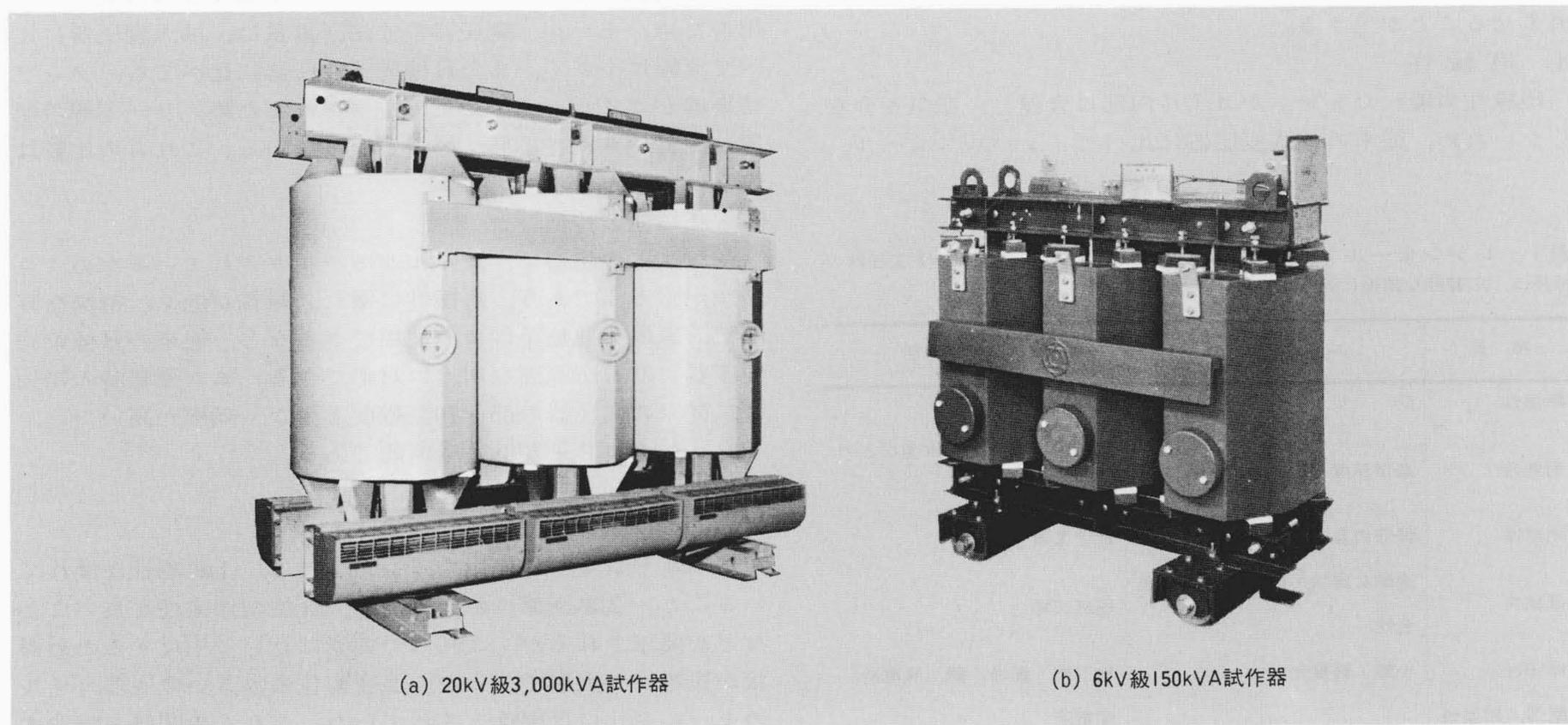


図1 試作レジンモールド変圧器の外観 (a)コイルがレジんでモールドされているため、堅ろうであり、構造が簡素化されている。(b)全体的に小形・軽量である。高圧コイルは端子部を除いて充電部が露出していない。

\* 日立製作所国分工場 \*\* 日立製作所中条工場 \*\*\* 日立製作所日立研究所 \*\*\*\* 日立製作所機電事業本部

30kV級1,500kVA以下の三相F種レジンモールド変圧器、30kV級10,000kVA以下の三相H種レジンモールド変圧器を製品化し、容量5,000kVA以下の標準化、量産化のための製作技術を確立した。図1に試作器の外観を示す。

### 3 レジンモールド変圧器の特長と設置場所

モールド変圧器は、注型用レジンの特性とコイル注型技術により、従来のH種乾式変圧器と同等以上の難燃性や、油入変圧器に匹敵する絶縁性を具備することが可能であって、次に述べるとおり、数多くの特長を持っているので、表1に示すような場所に適用できる。

#### (1) 難燃性

レジンの燃焼性試験法には諸規格があり、その難燃性の評価方法は多様であるが、機器としての実用性からは着火しても容易に延焼せず(酸素指数21超過, JIS K-7201)、自己消火性(火炎を離すと自然に消火すること)が必要である。モールドコイルは、後述するようにガスバーナで着火しても自己消火性を持っているため、火災事故を進展させることはなく防災面で優れている。

#### (2) 耐熱性

モールド変圧器の耐熱性は、レジンの熱変形温度が高く、線膨張係数がコイル導体に近く、長期にわたって化学的、電氣的及び機械的に安定しているかどうかにより決められる。これらの試験結果は後述するように、F種絶縁とH種絶縁に区分され、大容量機種のみモールド化や、周囲温度の高い場所での使用に適した変圧器の製作が可能である。

#### (3) 耐湿性、耐塵性

モールドコイルを屋内の高湿度雰囲気中に放置しても、コイル内部の吸湿は無視できるほど小さく、レジンの耐トラッキング電圧も高い。従来のH種乾式変圧器は、長期間運転を休止する場合には、防湿、防塵の処置が必要であったが、モールド変圧器は、コイル表面が結露したり、塵埃が付着しても、それらを布でふき取るか、洗剤で清掃するかの簡単な保守で済ませることができる。

#### (4) 絶縁性

絶縁性の優れたレジンがコイル内部に含浸し、空気が介在しないため、従来の乾式変圧器に比べてインパルスレベル、

表1 レジンモールド変圧器の設置場所 レジンモールド変圧器の特長は、広範囲な用途に適している。

特長	ニース	設置場所
難燃性	防災	高層ビル
耐熱性	高信頼度	病院、学校、上下水道などの公共施設
絶縁性	保守の容易さ	地下工事現場
低損失	過酷な環境・運転条件への適合性	圧延工場
保守性	小形・軽量化	地下街、劇場、駅、発電所、変電所
耐湿、耐塵性		
耐振性		
過負荷		
小形軽量		
低騒音		

表2 レジンモールド変圧器の寸法及び重量 レジンモールド変圧器は、油入変圧器やH種乾式変圧器よりも小形軽量である。

機種	一次電圧	容量(kVA)	項目	油入変圧器に比べて (%)	
				H種乾式変圧器に比べて (%)	
6kV級	200		床面積	70	75
			体積	65	70
			重量	90	95
	500		床面積	70	75
			体積	60	70
			重量	90	90
	1,000		床面積	60	60
			体積	55	55
			重量	80	80
20kV級	500		床面積	70	70
			体積	65	65
			重量	75	80
	3,000		床面積	45	80
			体積	50	70
			重量	75	90
	5,000		床面積	45	80
			体積	55	75
			重量	80	90

コロナレベルなどの電気絶縁性が格段に向上しており、油入変圧器と同等の絶縁強度を持たせることも可能である。

#### (5) 小形・軽量

油を収納する容器と放熱器、油保護装置などの付属品が不用のため、モールド変圧器の寸法、重量は、油入変圧器に比べて大幅に小さく、またH種乾式変圧器に比べても、タップ切換器がコイルと一体でモールドされるため、リード線の配置が簡素化されて小形・軽量となっている。これらの比較は表2に示すとおりである。

#### (6) その他の特長

モールド変圧器は、コイルがモールドされているため、コイルが堅ろうであり、耐振性に優れ、騒音が低く、特殊な雰囲気、過酷な運転条件にも使用できるなど、従来のH種乾式変圧器よりも広範囲な用途に対応できる。また運転時の損失は、従来の変圧器の65~70%程度と少なく効率が高いため、ランニングコストが低く経済的である。

### 4 レジンの特性

モールドコイルに使用するレジンには、(1)耐熱性が優れていること、(2)熱衝撃に耐えること、(3)注型作業性が良いことなどが要求されるが、これらの要素は互いに相反するため形状が複雑かつ大形で、しかも温度変化の大きい変圧器コイルのモールド化には困難とされていた。これらの問題を解決するため、サイクロアルファティック(Cyclo Aliphatic)構造を持つMTレジン、及びヘテロジニアス(Heterogeneous)構造を持つMIレジンを開発した。それぞれの特性は表3に示されるように耐熱性、及び耐熱衝撃性に優れている。特に熱変形温度が高いため、図2に示すように従来のエポキシレジンに

比高温での曲げ強さが大きい。また、MIレジソはC字形ワッシャ法<sup>1)</sup>による結果では-70℃を通過しており、従来品よりも耐熱衝撃性が格段に向上している。コイルは高温で使用されるため、高温でのレジソの寿命が問題となる。図3に示すレジソの曲げ強さのアレニウスプロットからも、高温の曲げ強さは変圧器の寿命30年を考慮しても十分な強度を持っており、図4、5に示すように、レジソの吸湿性、及び熱劣化の経時変化でも電気的特性の劣化はほとんどない。また図6に示すようなモデルコイルによる熱応力の繰返しによる寿命評価(繰返し通電1,000回)でも発生応力、部分放電開始電圧の変化などは見られなかった。

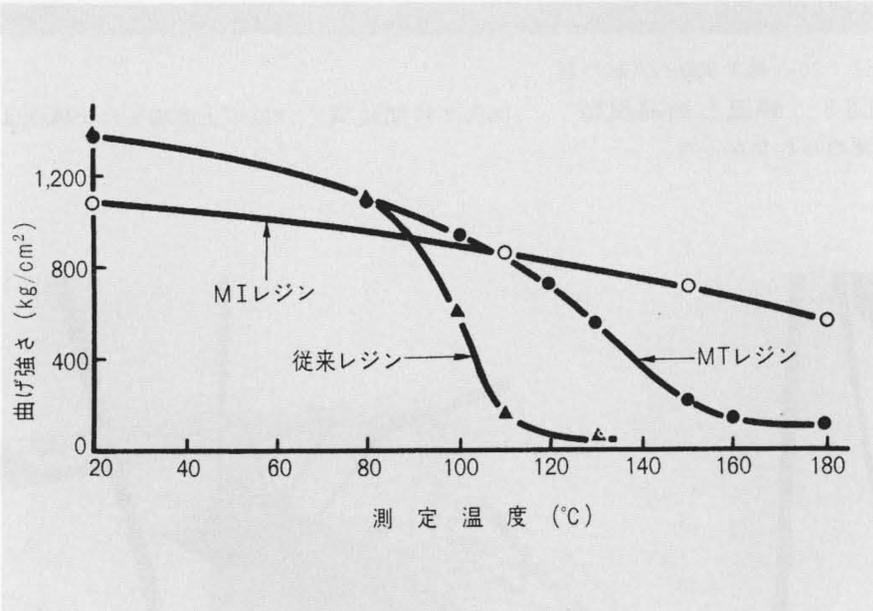


図2 レジソの曲げ強さ-温度特性 MIレジソ、MTレジソは高温下での強度の低下が少ない。

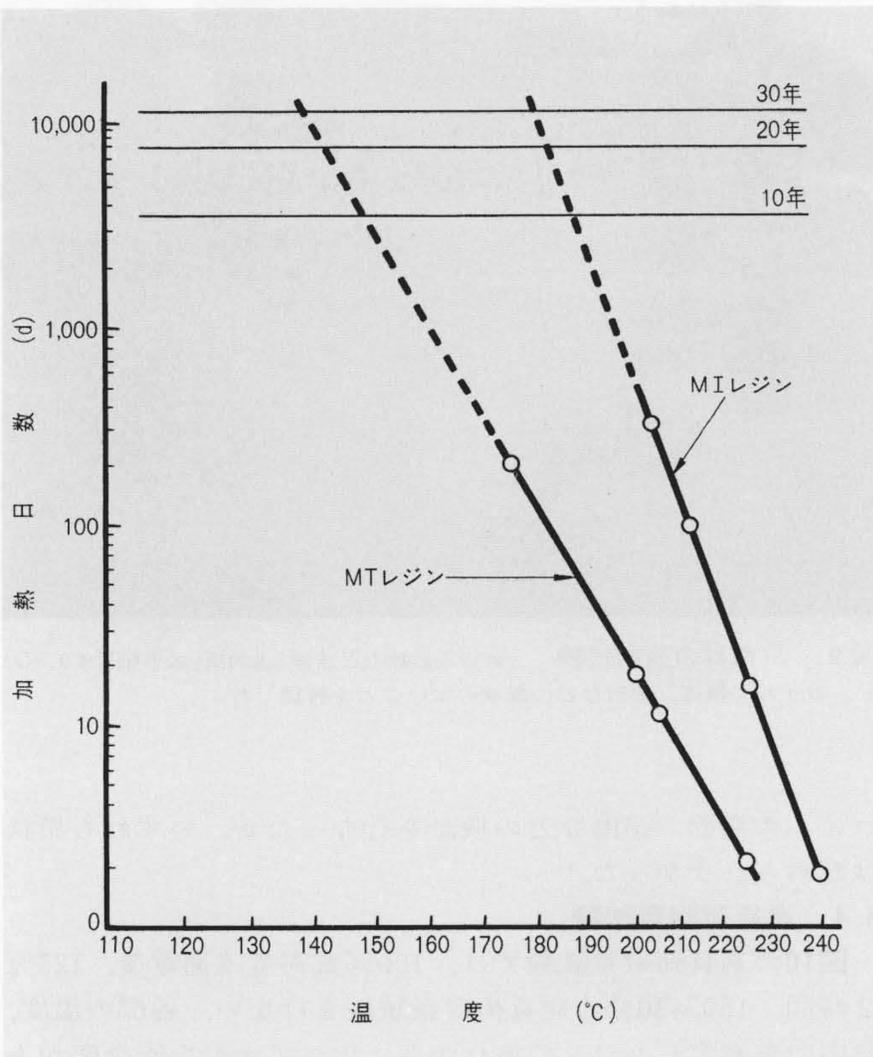


図3 レジソの曲げ強さと劣化温度 曲げ強さが長期にわたって維持されていることが分かる。

表3 開発レジソの特性 開発品は従来品に比べ、熱変形温度が高い、また電気特性も優れている。

項目	レジソ	従来品	開発品	
			MTレジソ	MIレジソ
比重		1.7~1.8	1.7	1.7
熱変形温度(°C)		105	141	220以上
線膨張係数(°C <sup>-1</sup> )		3.9×10 <sup>-5</sup>	2.8×10 <sup>-5</sup>	2.7×10 <sup>-5</sup>
曲げ強さ(kg/cm²)		1,380	1,360	1,080
誘電正接(%)		1.3	1.0	0.8
比誘電率		4.0	3.6	3.6
体積抵抗率(Ω・cm)		7×10 <sup>15</sup>	1×10 <sup>16</sup>	5×10 <sup>16</sup>
絶縁破壊電圧(kV/mm)		20	24	21
耐熱衝撃性 (C字形ワッシャ法 括弧内は高温側温度)		0°Cで亀裂 (130°C)	-50°C通過 (155°C)	-70°C通過 (180°C)

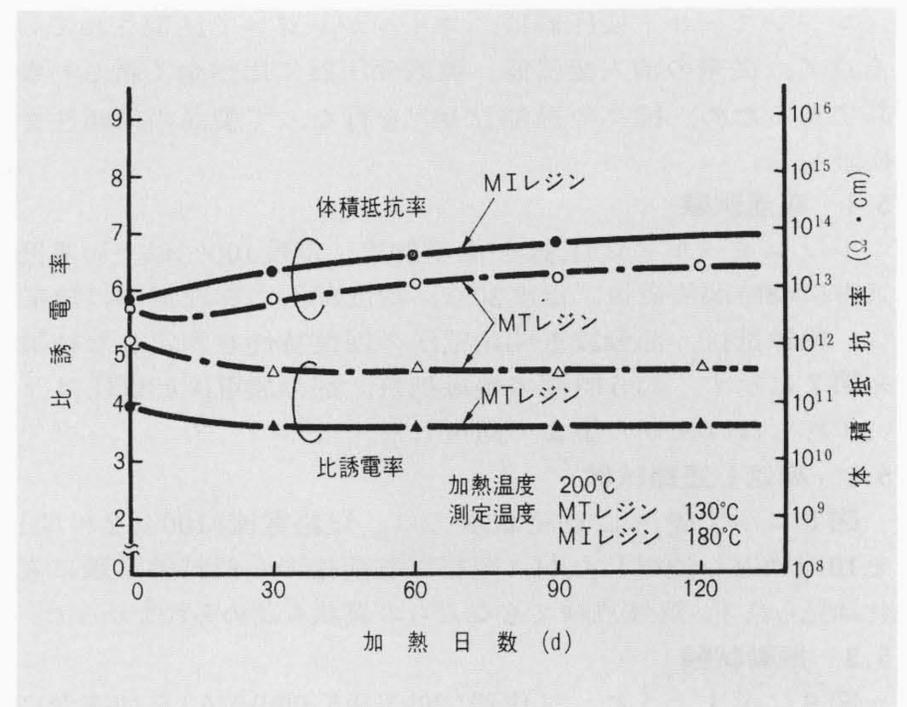


図4 レジソの比誘電率、及び体積抵抗率の経時変化 加熱劣化による比誘電率、及び体積抵抗率の変化はなく、優れた特性を持っている。

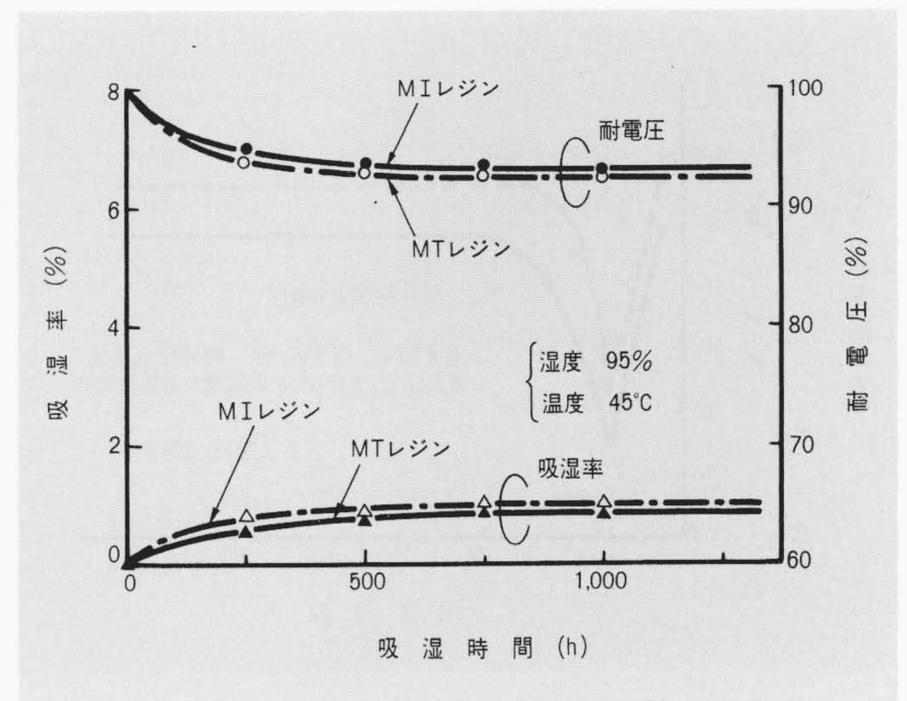


図5 レジソの耐湿特性 吸湿による耐電圧の低下は小さく、実用上十分な耐電圧を持っている。

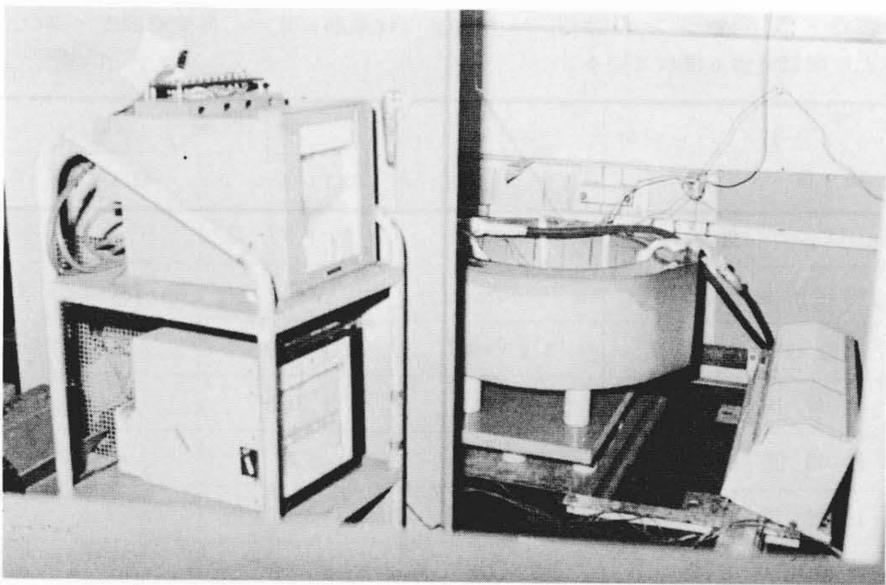
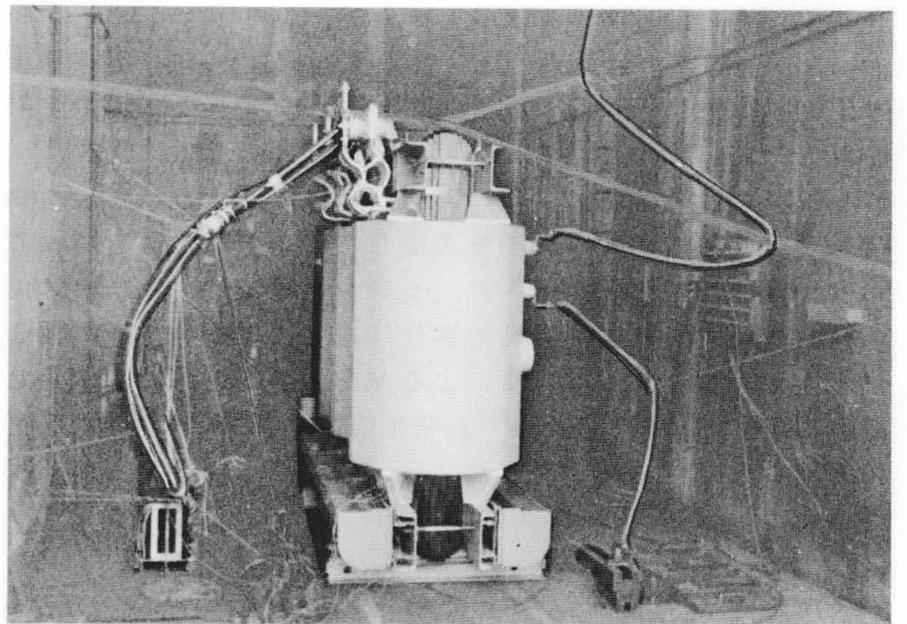


図6 モデルコイルによる長期ヒートサイクル試験 通電ヒートサイクル試験を1,000回行ったが、電気特性、機械特性とも低下は認められなかった。



注：20kV級3,000kVA試作器

図8 繰返し短絡試験 100% 2秒間短絡，10回以上実施したが異状は認められなかった。

## 5 信頼性試験

レジンモールド変圧器は、コイルがレジジンで注型されている点で、従来の油入変圧器、乾式変圧器に比べ全く新しい製品であるため、種々の過酷試験<sup>2)</sup>を行なって製品の信頼性を検証した。

### 5.1 吸湿試験

レジンモールド変圧器を温度20°C、湿度100%以上の雰囲気中に48時間放置後、温度20°C、湿度65%の雰囲気中に放置し、絶縁抵抗、部分放電開始電圧の回復特性を測定した結果を図7に示す。約5時間で絶縁抵抗、部分放電開始電圧は、いずれもほぼ初期の値まで回復した。

### 5.2 繰返し短絡試験

図8に示す繰返し短絡試験では、短絡電流(100% 2秒間)を10回繰返し通電したが、短絡試験前後の一般特性試験に変化は見られず、解体点検でもなんらの異状も認められなかった。

### 5.3 振動試験

図9に示すように、試作器(20kV級5,000kVA)を加振台に固定し、モールドコイルの共振周波数で水平加速度0.3Gの共振正弦波3波の加振を行ない、その前後の局部応力の発生、

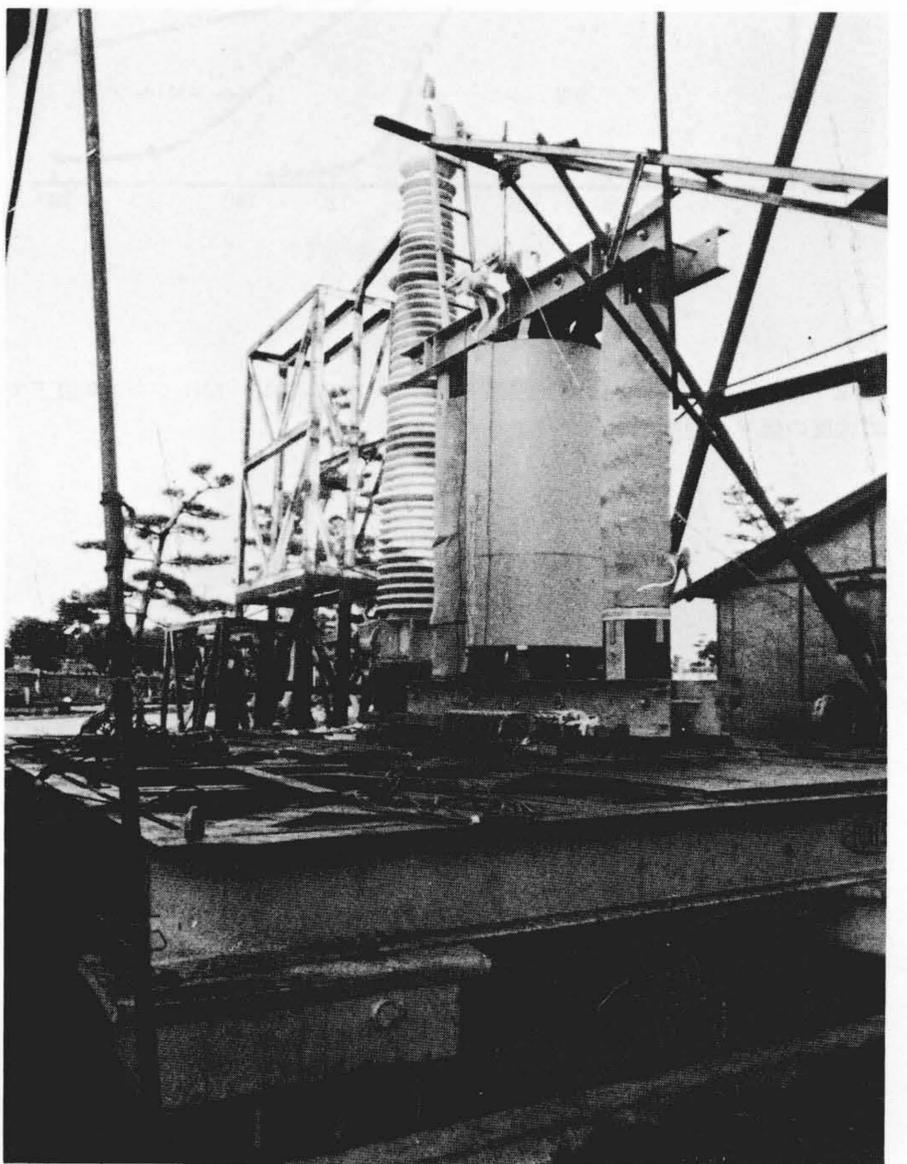


図9 試作器の振動試験 共振周波数で正弦波3波加振(水平加速度0.3G)し、コイルの損傷、変形などの異状のないことを確認した。

コイルの変形、損傷などの検証を行なったが、いずれも異状は認められなかった。

### 5.4 過負荷耐量試験

図10の過負荷耐量試験では、100%負荷電流通電後、125% 2時間、150%30分の過負荷耐量試験を行ない、各部の温度、熱応力を測定しレジンの疲れ強さと比べて十分な安全率があることを確認した。また温度、熱応力の実測値は有限要素法による計算値とよく一致した。

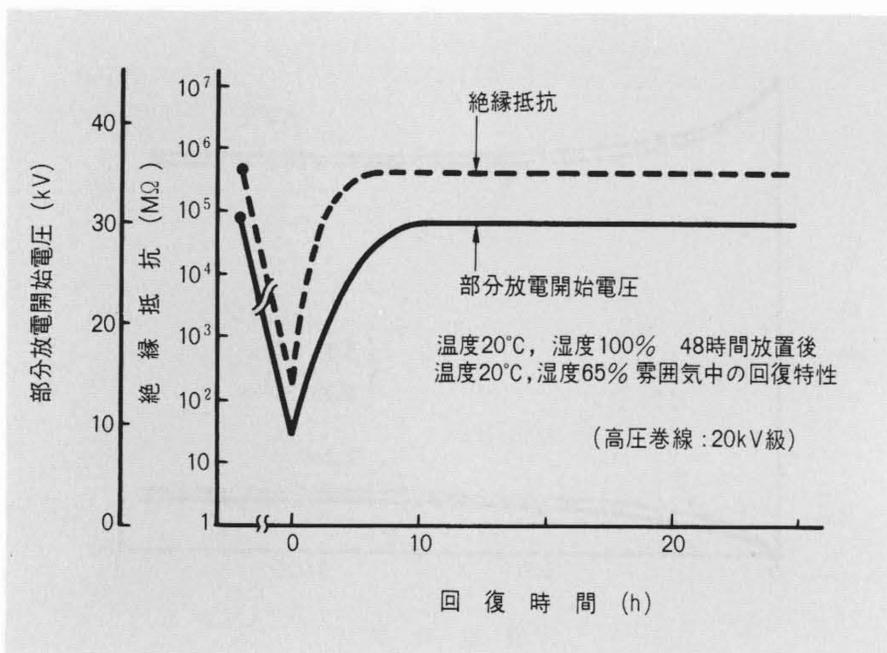
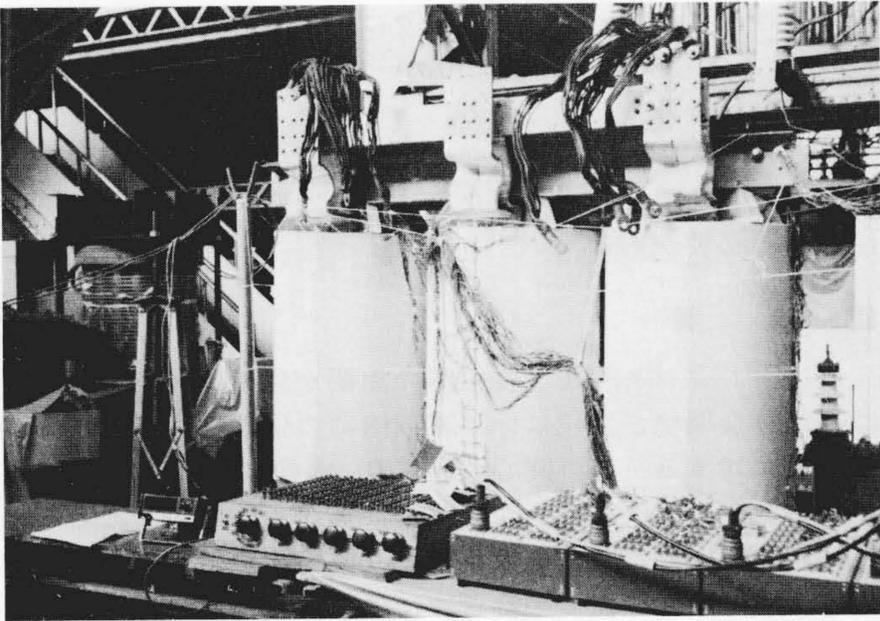


図7 高圧巻線吸湿後の部分放電開始電圧及び絶縁抵抗回復特性 回復特性は約5時間で、部分放電開始電圧及び絶縁抵抗は吸湿前と同等な値まで回復している。



注：20kV級3,000kVA試作器

図10 試作器の過負荷耐量試験 過負荷時の発生応力、温度上昇を測定して十分な安全率を持っていることを確認した。

### 5.5 燃焼試験

アセチレンガスバーナによる実器コイルの燃焼試験の結果は、次に述べるとおりであった。

- (1) バーナの火炎(約2,500°C)を約100mmの距離からコイル表面に当てたが発火しなかった。
- (2) 更に炎を近づけ図11(a)のように燃焼させてもバーナを離すと炎はすぐ消えた。

以上のことから、コイルは難燃性、自己消火性であることが分かった。

### 6 品質管理

モールド変圧器の製作工程を図12に示す。

日立製作所では、作業基準の遵守、中間工程での検査など、

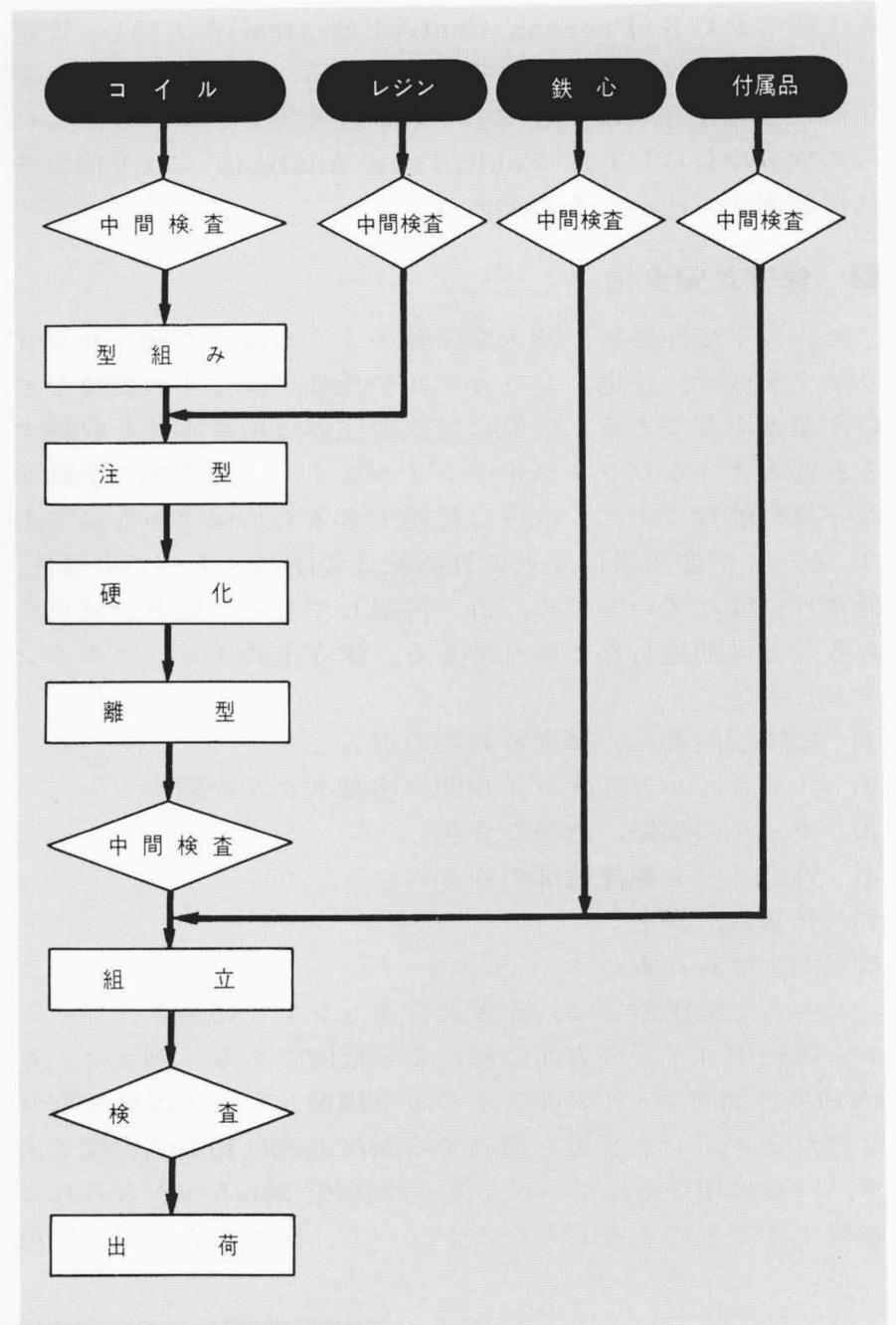
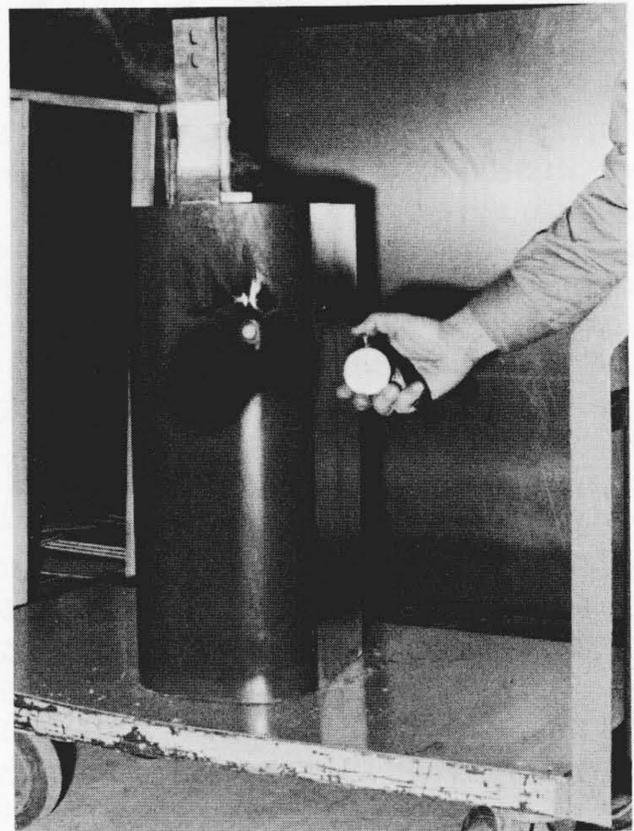


図12 モールド変圧器の製作工程 各工程の品質管理及び中間検査を行ない、信頼性の高い製品としている。



(a) バーナ点火中(MTレジン)



(b) バーナ除去後(MTレジン)

図11 コイルの燃焼試験 コイルは自己消火性を示し、難燃性であることを確認した。

各工程でPCS (Process Control System)を実施し、安定した信頼度の高い製品を生み出している。また、モールド変圧器は製品検査のほか各種の中間検査を実施しており、これらの検査項目はFTA (Fault Tree Analysis)により抽出された要因から決めたものである。

## 7 保守と安全性

モールド変圧器は、油入変圧器のような油の点検、サンプリングテスト、汙過、シリカゲルや活性アルミナの交換などの作業が不要である。一般に乾式変圧器は中身本体を収納する容器のようなブラックボックスがなく、中身本体の挙動が保守員の感覚により、直接に監視できるため保守が容易であり、モールド変圧器は従来のH種乾式変圧器に比べて耐湿性、耐塵性に優れているため、万一汚損してもその処置が簡単であることは前述したとおりである。保守上のチェックポイントとしては、

- (1) 変圧器内部への導電性異物の混入
  - (2) 一次コイルと二次コイル間の冷却ダクトの閉塞
  - (3) コイルの損傷、急激な変色
  - (4) 外部リード線接続部のゆるみ
  - (5) 異常音、異臭
- などが挙げられる。

モールド変圧器では、充電部分がレジンで絶縁されているが、運転中コイルの表面に触れると危険である。例えば、6kV級変圧器のコイル表面に手の平を模擬した接地電極を取り付けたとき、レジンを通過する漏れ電流は $100\mu\text{A}$ 程度であり、一般に用いられている人体の許容値<sup>3)</sup> $30\text{mA}\cdot\text{s}$ からみれば無視できるものと考えられるが、一方、医療用電気機器で最

近採用されているマイクロショックに対する許容電流が $100\mu\text{A}$  (マイクロショックに対しては $10\mu\text{A}$ )であるといわれているため、接触は避けるべきである。

モールド変圧器は裸の状態でも屋内に設置できるが、保守、点検の際、法規で定められた柵や扉の内部に入るときは特に注意する必要がある。

## 8 結 言

最近、レジンモールド変圧器の需要が急激に伸びている。これは社会環境の変化に伴い電気機器の信頼性、安全性及び保守性に対する一般の関心が高まり、レジンモールド変圧器に期待される数々の特長が理解されはじめたものと考えられる。モールド変圧器は既に十数年前より実用化しているが、ごく最近まで信頼性の面で小容量器に限られていた。日立製作所のレジンモールド変圧器は、本稿で述べたとおり新規に開発した高耐熱性レジンを、注型技術及び信頼性評価の裏付けのもとに製作されている。この結果から、従来のH種乾式変圧器では考えられなかった小形軽量化と $10,000\text{kVA}$ 級までの大容量器のモールド化が可能となった。

終わりに、本稿が新しい電源設備の設計に参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 保坂、ほか3名：キャント水中モートルとその絶縁特性、日立評論、57、701 (昭50-8)
- 2) 池本、磯部：H種レジンモールド変圧器、日本電気協会講演論文集、56、156 (1977)
- 3) 日本電気協会：低圧電路保護指針、JEAG8101-1971



## ケーブル挿入部

庄司 寛

特許 第799617号 (特公昭50-14754号)

本発明は、組立式のケーブル接続部、端末部、あるいは機器直結部などにおけるケーブル挿入部にかかわるものである。

例えば、既設ケーブル線路の接続部に何らかの事情によって事故が発生した場合には、当然新しい接続部と交換することが必要になるが、往々にして新しい接続部にケーブルが届かないことがある。これは、ケーブル線路の使用期間がいったん布設してから、例えば10~20年もの長期間であるのが普通であること、そして、その間に接続部の改良が進んで接続部のサイズが小型化することに原因がある。なお、このようなことは接続部に限った問題ではなく、当然端末部あるいは機器直結部などにおいても生ずる問題でもある。

本発明は、例えば接続部においてケーブルとこのケーブルを接続すべき相手側との間隔が大きな場合でも、所定どおりケーブ

ルを接続することのできるケーブル挿入部の提供を目的とするものである。

すなわち、図1に示すように、ラップ状開口部①を持ち、更にこの開口部①の奥に導体固定部②を備えた絶縁ブロック③の上記開口部①に、導体④先端に必要長さの端子⑤を取り付けたケーブル線心⑥を、上記端子⑤が前記導体固定部②に接続するまで挿入し、更に、前記開口部①奥側の内面に導電部⑦を一体に形成した弾力性絶縁補強体⑧を、ケーブル線心⑥及び端子⑤と開口部①との間に押入することにより構成するものである。

このような本発明によれば、導体④の先端に端子⑤を取り付け、これを導体固定部②に接続するものであることから、端子⑤の長さを適当に選定することにより、ケーブル線心⑥を接続すべき相手側との間隔が大きな場合でも所定どおり接続することができる。

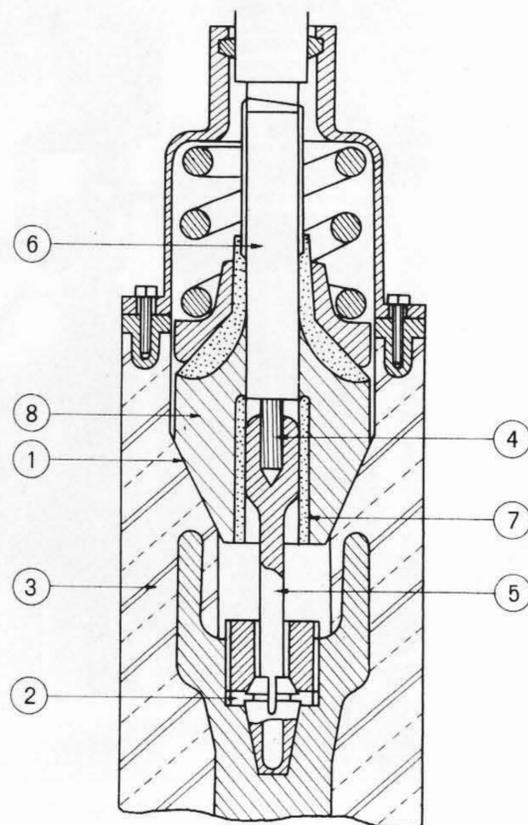


図1 ケーブル接続部のケーブル挿入部断面