U. D. C. 621.315.687 : 621.315.211.3
621.311.42.048.83-213.34

OF ケーブル用ミニクラッド接続部の開発

Development of Oil-filled Cable Terminations Directly Connected to SF_6 Insulated Metal-clad Substations

林　広昭*　金子輝雄*　池田忠禧**
Hiroaki Hayashi　Teruo Kaneko　Chûki Ikeda
坂場正弘**　佐藤英男**　井出成夫***
Masahiro Sakaba　Hideo Satô　Shigeo Ide

要　旨

66 kV から 500 kV までの OF ケーブル用ミニクラッド接続部の絶縁構造を実験的に検討した。

はじめにミニクラッド接続部の特徴と問題点をあげ，絶縁方式ごとについて考察したのち，試作品の構造と性能，特長について説明した。

1. 緒　　言

近年，大都市およびその近郊における電力需要の増大と，変電所建設用地の取得難に対処するために，変電所の小形化を目的とした密閉形ガス絶縁変電所が開発され，建設が進められている[1][2]。

この密閉形ガス絶縁変電所への電力の引き込み，あるいは引き出しは都市近郊であるために主として電力ケーブルによってなされる。東京電力株式会社では 22～500 kV まで，電線メーカーと共同による変電機器と電力ケーブルとの接続部（ミニクラッド接続部）の開発研究を進めている。筆者らはこの一環として，66 kV から 500 kV までの電圧階級のミニクラッド接続部について調査研究を進めじゅうぶんなる自信を得ることができた。

われわれは特に電力ケーブル付属品の今後の進むべき道として要求されている小形軽量化，信頼性の向上，組立の簡易化，施工時間短縮の面で従来の気中，油中終端部に比べて大きく前進したものと信ずる。

ここに 66 kV 以上について現在までに得た若干の知見と試作品の性能をご報告する次第である。

2. ミニクラッド接続部の特徴

ミニクラッド接続部はケーブル終端部が一般に SF_6 ガスを充填(じゅうてん)した密閉形変電所の金属ケース内に収納される構造であるため，大気中のケーブル終端部とは大きく違っている。

主要な特徴を列記すると下記のとおりである。

（1） 絶縁耐力の高い SF_6 ガスが充填されたケース内にあるためとう管表面の閃絡(せんらく)電圧がきわめて高い。したがってとう管全長を著しく短縮することができる。

（2） とう管全長の短縮に対応しその内部の絶縁強度が低下しないように，絶縁設計にじゅうぶんな検討を行なわなければならない。

（3） とう管表面の湿潤汚損，塩害などのおそれがないため，エポキシ樹脂製でペチコート無しのとう管が使用可能であり，軽量化とシールド金具，締付け金具などの埋込みによる小形化が図かれる。

（4） とう管が大地電位の金属ケース内に収納されているため，通常の気中終端部と電位分布が大きく異なっている。

（5） 高圧力 SF_6 ガスにおいては不均一な電位分布を持つ間げきの閃絡電圧は著しく低いため極力電位分布の均一化を図る必要がある。とくに高電圧部分からのコロナ放電は仮に閃絡に至らない場合でも SF_6 ガスの分解とそれによる絶縁物の劣化をひき起こすおそれもあるので，絶対に防がなければならない。

（6） 密閉形変電所に直結される構造で，しかも現場組立てを必要とするため，下記の点にとくに留意する必要がある。

（a） 全体の組立てが容易で短時間に施工でき，性能の信頼性が高いこと。

（b） とう管内の絶縁油がとう管外のガス中に漏れたり，または逆に SF_6 ガスがとう管内の絶縁油中に絶対に浸入しない構造であること。

（c） 母線導体との接続部は相互の熱伸縮を吸収するとともに，コンパクトでケースへの閃絡を防止する形状であること。

（d） 変電所他機器と同様な耐震性能を持つものであること，

（7） とう管内部の絶縁構造は気中終端部と同様に遮(しゃ)へい形方式とコンデンサ形方式の二つが考えられる。おのおのは異なった特徴を持つので使用電圧，要求性能，取付部の構造などを勘案して選択することが必要である。

3. SF_6 ガスの閃絡特性

密閉形変電所は通常 2.5～3.5 kg/cm² の SF_6 ガスで充填される。したがって接続部のとう管の長さ，外径，あるいは金属ケースの内径は上記の圧力の SF_6 ガスの閃絡強度によりその下限が定まる。

図 1 に示す SF_6 ガスの同心円筒閃絡特性から 2.5 kg/cm² における閃絡電界を算出し，とう管頭部のシールドの外径を仮定すると**表 1** のように金属ケースの内径をおおよそ定めることができる。次に，エポキシとう管の長さを沿面閃絡強度から考えると，表面が清浄で沿面全長にわたって電界集中の部分がなければ沿面閃絡強度とガス自体の閃絡強度とはほぼ等しい。したがってとう管の長さ方向の電圧分担を均等化し，とくに高圧端，低圧端における電界の緩和に留意すれば，ガス沿面閃絡はとう管内部絶縁に対してじゅうぶんな余裕が生じ次節で述べるとう管内部の絶縁構成に必要な長さでとう管全長が決定される[3]。

4. 遮へい形ミニクラッド接続部

4.1 遮へい形ミニクラッド接続部の絶縁設計

ミニクラッド接続部においてはエポキシとう管外部に大地電位の金属ケースが存在するため通常の気中終端部とは電位分布が大きく異なる。**図 2** は電界解析の結果を示したものである。**図 2**（a）は 154 kV 級ミニクラッド接続部の電位分布を示したものでとう管内部はもとより，とう管沿面もほぼ均等分布に近く，設計上きわめて好都合である。これに比べ**図 2**（b）に示した気中終端部では全電位

*　東京電力株式会社
**　日立電線株式会社研究所
***　日立電線株式会社日高工場

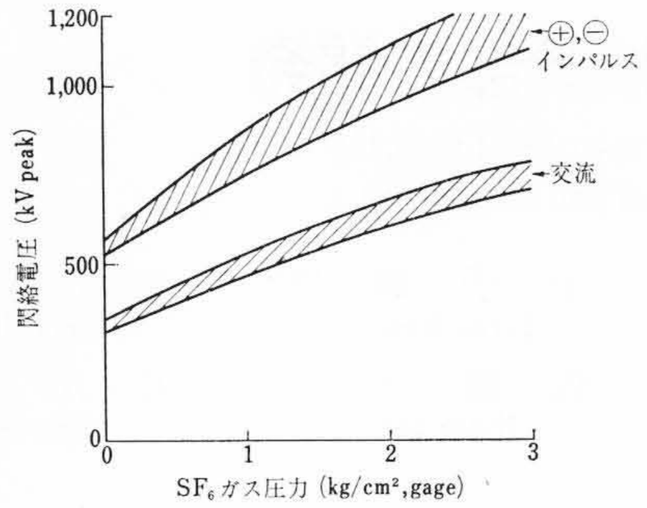


図1　340φ/110φ 同心円筒の閃絡電圧

表1　ミニクラッド接続部ケースの寸法

電圧階級 (kV)	ミニクラッド接続部とう管頭部シールド外径 (mmφ)	ケース内径 (mmφ)
66	160	250 以上
154	180	360 以上
275	200	560 以上
500	250	800 以上

* 図1の SF_6 ガス閃絡強度から概算
SF_6 ガス圧力=2.5 kg/cm² (gage)

差の40～50%が大地電位であるベルマウスの近傍だけで分担されており，きわめて不平等な電位分布である。

上述の例からもわかるとおり，ミニクラッド構造ではコンデンサによらなくとも接地金属ケースの影響で電位分布をかなり均等化することができる。

この事実を利用して小形化と施工の簡易，確実化を目的として超高圧級までの遮へい形接続部を開発したが，構造上二つの特長をあげることができる。

(a)　埋込みシールド電極

エポキシとう管上部に埋め込んだシールド電極は導体接続銅棒とケーブルの圧縮接続部を電気的に遮へいし，電位分布の改良を図るものである。この金属シールド電極は比誘電率4のエポキシ樹脂で適当な厚さに被覆されているため，SF_6 ガス（比誘電率1）との組合せで電界のグレイディング効果により最大電界を低減することができる。また一般に高圧ガス絶縁で問題となる金属表面上の微小突起あるいはじんあいの付着などによる閃絡電圧の低下をも防止できる。エポキシとう管の外側にシールド電極を取り付ける構造も可能であるが，外径が大きくなるため，シールド端部からケースへの閃絡が起こりやすい。

(b)　エポキシベルマウス

ケーブル端末の絶縁補強には電気的性能の向上，寸法縮小，施工の簡易化を目的としてエポキシベルマウスを用いている。エポキシ樹脂はすでに知られているように高い絶縁耐力を持ち，かつ，油浸紙のように絶縁耐力の方向性がないなどの点ですぐれている。また工場内であらかじめ最適形状に製作しておくことが可能であり，部品の統一化，規格化，互換性の向上などの目的にそっている。

さらに，電界が特に高いベルマウス部分を絶縁油（比誘電率2.3）よりも誘電率が高いエポキシ樹脂でおおう構造であるため，前項と同様に異種誘電体による電界のグレイディング効果により，電界を緩和することができる。

4.2　遮へい形ミニクラッド接続部の性能

66 kV から 275 kV 級までのミニクラッド接続部試作品の構造と寸法は**表2**に示すとおりである。

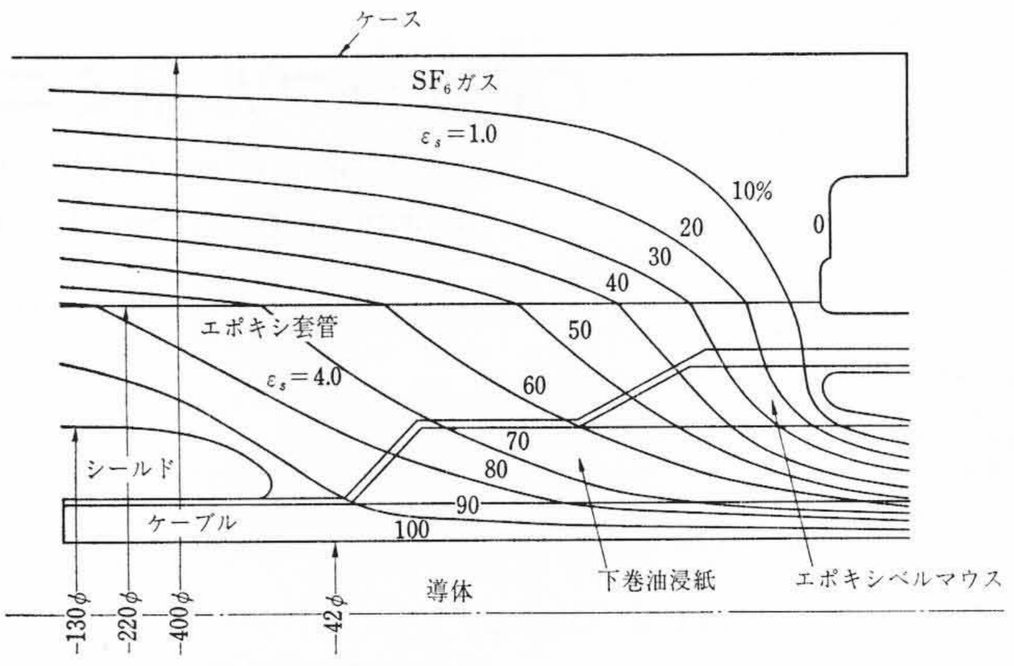


図2(a)　遮へい形ミニクラッド接続部の電界解析図

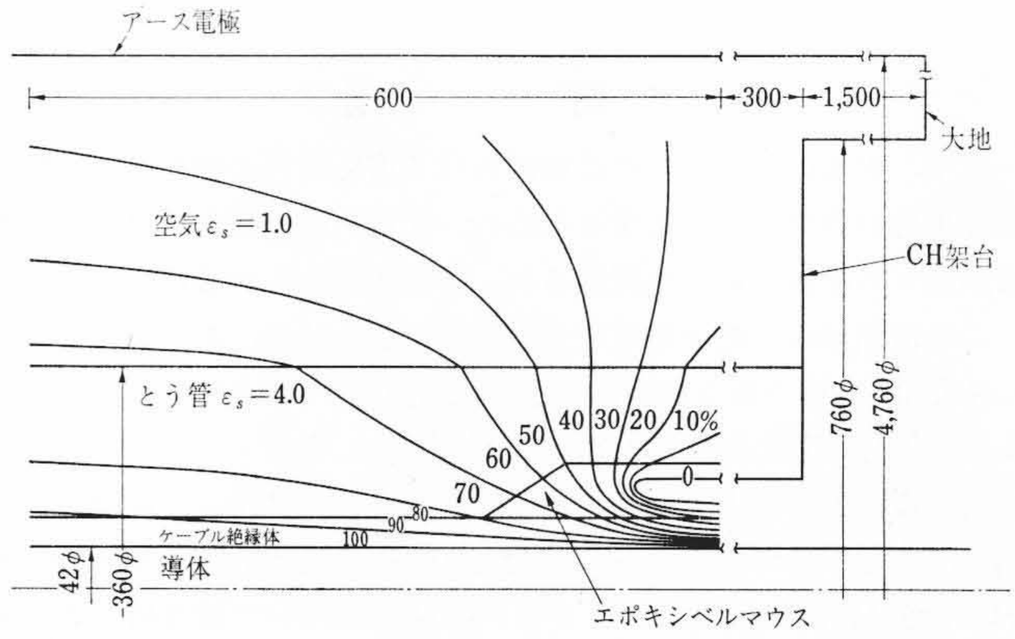
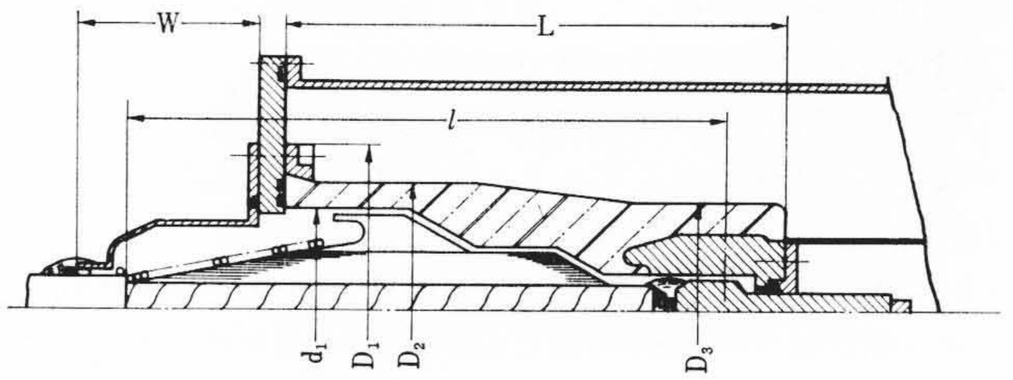


図2(b)　エポキシベルマウス形気中終端箱電界解析図

表2　遮へい形ミニクラッド接続部の構造

項目		単位	66 kV 級	145 kV 級	275 kV 級
構造寸法 ※1	L	mm	350	450	650
	W	mm	150	250	350
	l	mm	490	570	750
	D_1	mmφ	210	250	270
	D_2	mmφ	160	200	220
	D_3	mmφ	160	170	180
	d_1	mmφ	120	160	180
とう管重量（フランジ付）		kg	約 12	約 17	約 24
作業時間 ※2（1相当たり）		min	約 140	約 180	約 200

※1



※2　作業者3名

従来の気中終端部，油中終端部と比較して画期的に小形であることがわかる。そのうえ，油浸紙手巻部分がきわめて少なく，特別な熟練を必要としないので，**表2**に示すとおり施工時間は著しく短い。

図3は154 kV 級ミニクラッド接続部の施工後の外観を示したものである。

試験にあたってはじゅうぶん信頼できる結果を得るため，下記の電気的性能試験を行なった。

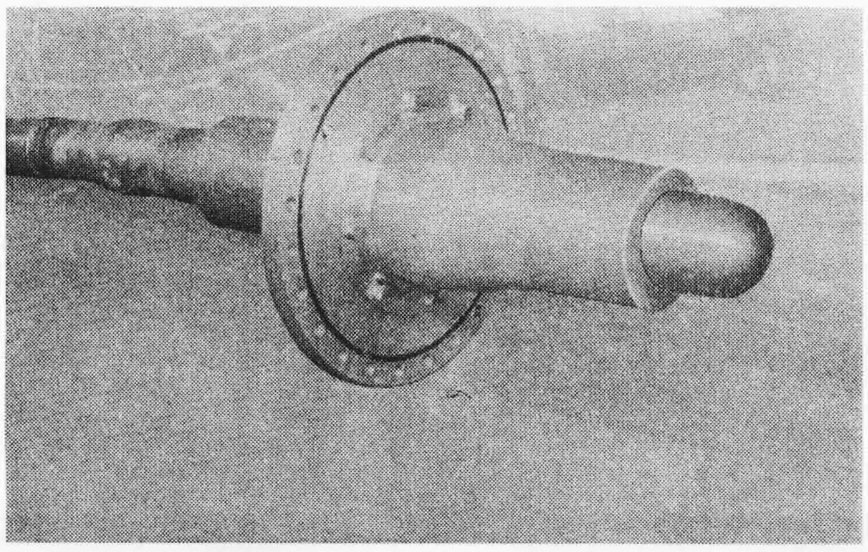


図 3　154 kV OF ケーブル用遮へい形
ミニクラッド接続部

表 3　遮へい形ミニクラッド接続部の電気的性能

項　　目	単　位	66 kV　級	154 kV　級	154 kV～(275 kV)級
試験用ケース内径	mmφ	252	326	500
コロナ開始電圧 *	kV	50 以上	110 以上	210 以上
交流長時間耐電圧	kV/3 h	175	360	460
衝　撃　耐　電　圧	kV/正負10回	420	900	1,250
交流長時間破壊電圧	kV	250 以上	405	520 以上
衝撃電圧破壊電圧	kV	570 以上	1,050	1,370

* 感度　50 PC

（1）　コロナ開始電圧の測定

（2）　交流耐電圧試験

（3）　衝撃耐電圧試験

上記三項の試験を行なった試料を次の交流あるいは衝撃電圧で破壊試験を行なった。

（4）　交流長時間破壊試験　15 kV/3 h のステップで昇圧

（5）　衝撃電圧破壊試験　30 kV ステップで昇圧，各ステップで正負 10 回ずつ印加

衝撃電圧の測定にはピークボルトメータを併用し，精度の向上を図った。

試験時のケース内 SF_6 ガス圧力は 2.5 kg/cm²(ゲージ圧) である。

電気的性能は表 3 に示したとおりでいずれもじゅうぶんな性能を持っている。しかも，多数回の繰返し施工によるばらつきがきわめて少なく，安定性に富むことを確認した。

5.　コンデンサ形ミニクラッド接続部

5.1　コンデンサ形ミニクラッド接続部の絶縁設計

コンデンサ形構造は非対称形多段コンデンサにより，とう管内外の長さ方向の電位分布を均等化することを目的としており，とくに電位分布が平等であることが必要な超高圧，超々高圧のミニクラッド接続部に使用されている。

図 4 にはこの場合の電界解析結果を示した。図 2 (a) と図 4 を比較すると，遮へい形よりもさらに均等な電位分布を持つことがわかる。

このコンデンサコーンの設計にあたっては，各ハク間の絶縁厚を等しくし，各ハク間で均等に電圧が分担されるようにハクの長さを選定している。ハクの電位は図 5 (a) に示すハク間の静電容量および導体とハクケースとハクの静電容量により定まる。一般的にいって，ハクと導体，あるいはケースとの間の静電容量が存在すると図 6 に示すようにハクの電位分布が変歪(へんわい)する。そのために上記の静電容量をすべて考慮した図 5 (b) の等価回路を用いてコンデンサの設計を行なわなければならない。

コンデンサコーンには従来，広く油浸絶縁方式が採られてきたが筆者らはこれに加えてエポキシ含浸方式を用い，その特長を生かしてとう管とコンデンサコーンを一体化したコンパクトな新しい構造を開発した。

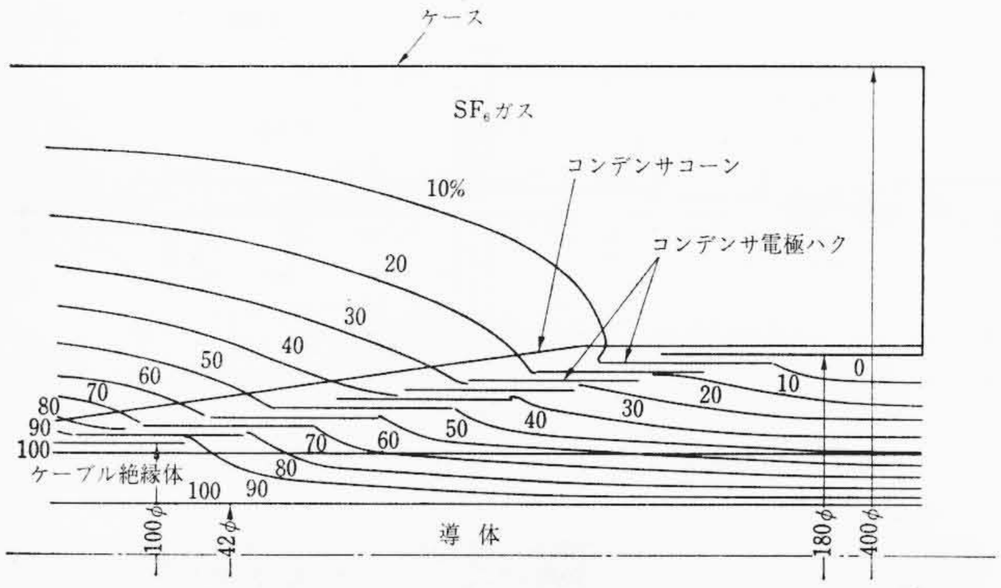
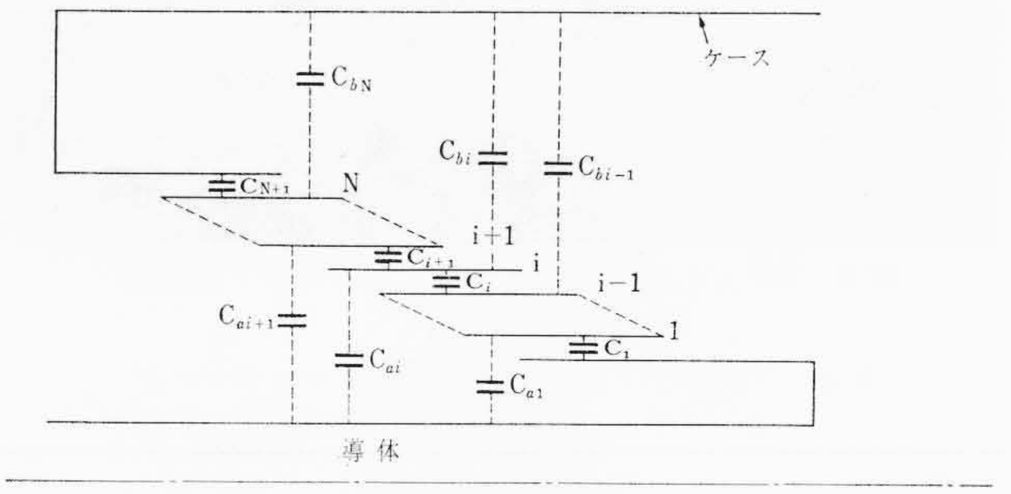
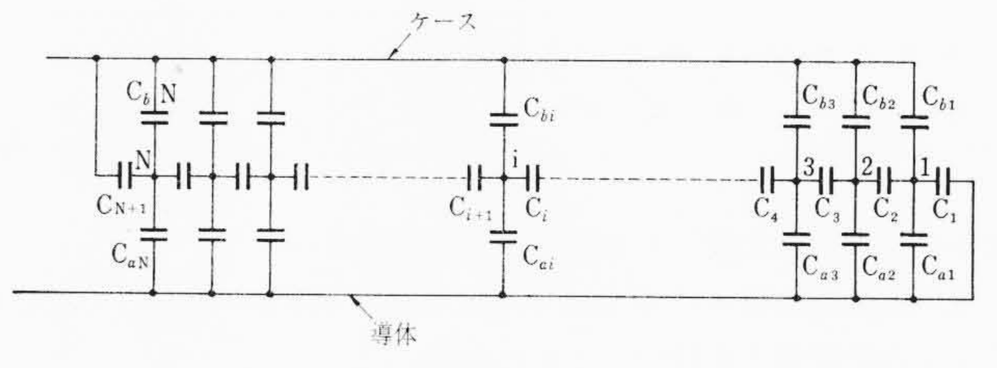


図 4　コンデンサ形ミニクラッド接続部の電界解析図



(a)　コンデンサコーンの静電容量の分布



(b)　等価回路

C_{ai} : i 番目のハクとケースとの静電容量

C_{bi} : i 番目のハクと導体との静電容量

C_i : i 番目のハクと i−1 番目のハクとの静電容量

図 5　ミニクラッド接続部用
非対称コンデンサコーンの等価回路

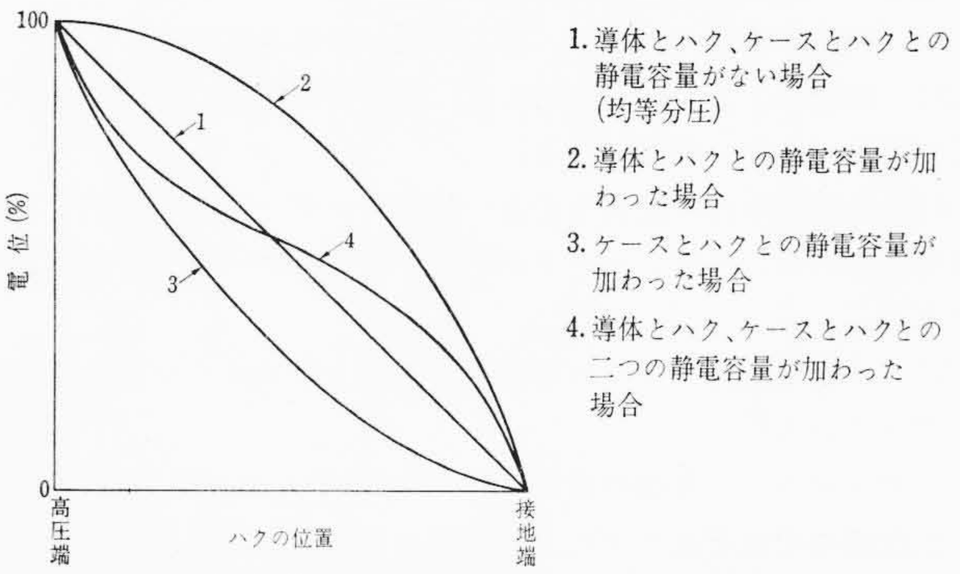


図 6　ハク間静電容量が等しい非対称形コンデンサに対する
ハクと導体およびハクとケースとの静電容量の影響

5.2　油浸コンデンサ形ミニクラッド接続部

工場内であらかじめ油浸紙層間に金属ハクをそう入しつつコンデンサコーンを形成し，ケーブル施工時にこれをケーブルコア上にそう入し，エポキシとう管をかぶせる方式である。この方式を用いた 500 kV OF ケーブル用ミニクラッド接続部の構造寸法は図 7 に，外観は図 8 に示すとおりである。

この組立は 4 人で 7 時間以内で可能であり，気中終端部あるいは

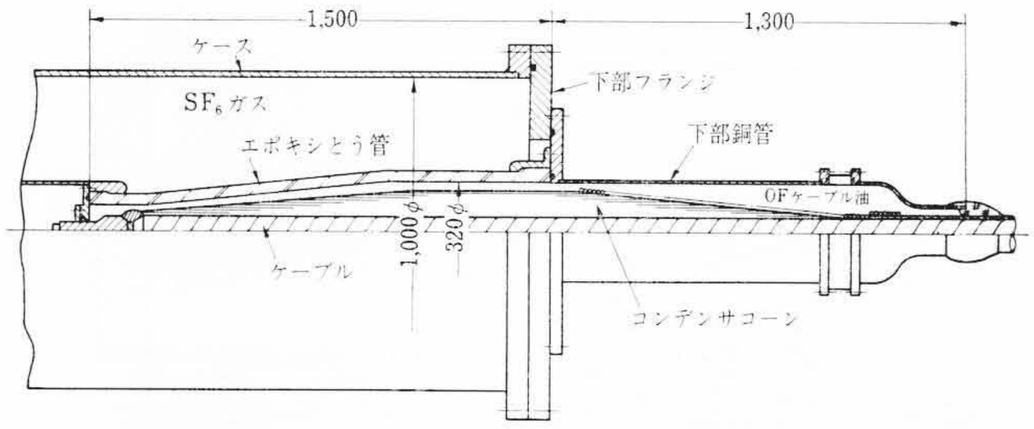


図7　500 kV OF ケーブル用ミニクラッド接続部

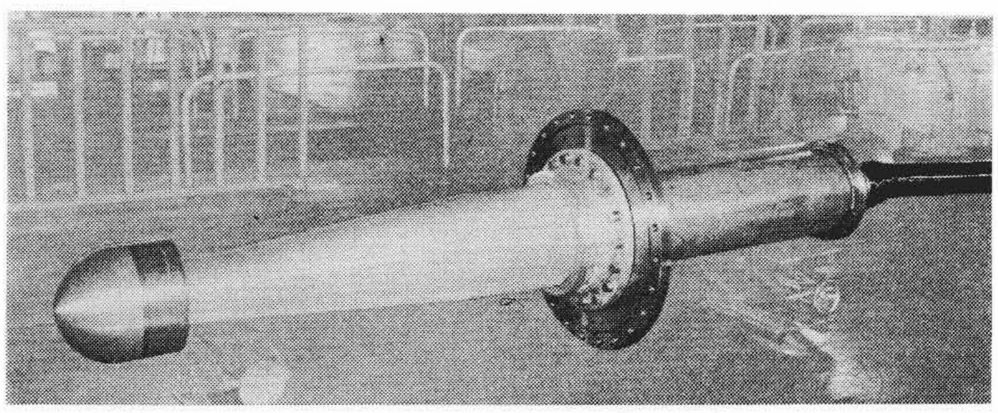


図8　500 kV OF ケーブル用ミニクラッド接続部

表4　500 kV OFケーブル用油浸コンデンサ形ミニクラッド接続部の電気性能

項目	単位	値
交流長時間耐電圧	kV/6h	630
衝撃耐電圧	kV/3回	1,860
交流長時間破壊電圧	kV	800 以上
衝撃破壊電圧	kV	2,200 以上

ほかの接続部と比較して大幅に施工時間が短い。

電気的性能は表4に示すとおりであり，500 kV 級としてはじゅうぶんな絶縁耐力を持つことがわかる。

5.3　エポキシ含浸コンデンサ形ミニクラッド接続部[4]

図9は275 kV 級の構造寸法を，図10はその外観を示したもので，この構造の特長は下記に示すとおりである。

（1）　コンデンサコーン自体をとう管として使用するので，外径，長さともに短縮され，軽量となる。

（2）　組立作業性が良好で，施工時間が短縮される。

（3）　油浸コンデンサと比較して，製造後の検査，輸送，保管などが簡易であり，確実である。

（4）　上部の取付け金具なども一体にコンデンサ内に収納する構造をとるので，外部シールドが不要であり，ケース内径を小さくできる。

（5）　エポキシベルマウスを使用し，ストレスコーン部の簡素化を図っている[5]。

コンデンサコーン自体の構造は図11に示すとおりである。高圧端，低圧端にそれぞれハクによる電界シールドを設け，上部フランジ取付け用の埋込みボルトのシールド，ベルマウス外周の電界緩和を行なっている。

この試作品の試験結果は表5のとおりでじゅうぶん満足できる性能を持っている。試験は4.2と同様な方法で行なわれ，じゅうぶんな信頼性が確認された。なお組立施工時間は3人で約4時間である。

これらの方式はいずれもミニクラッド接続部だけではなく，トランス直結油中終端部にも用いることができる。

6. 結　　言

（1）　ミニクラッド接続部の特徴と問題点を考察した。

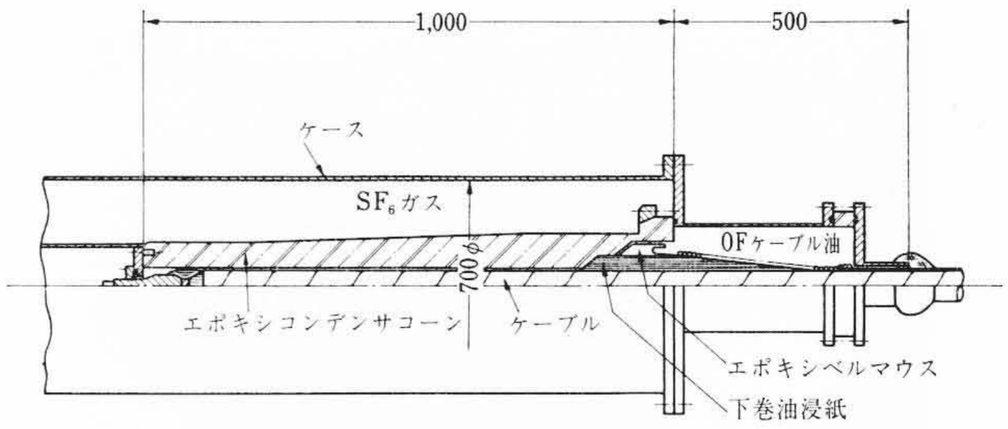


図9　275 kV OF ケーブル用ミニクラッド接続部

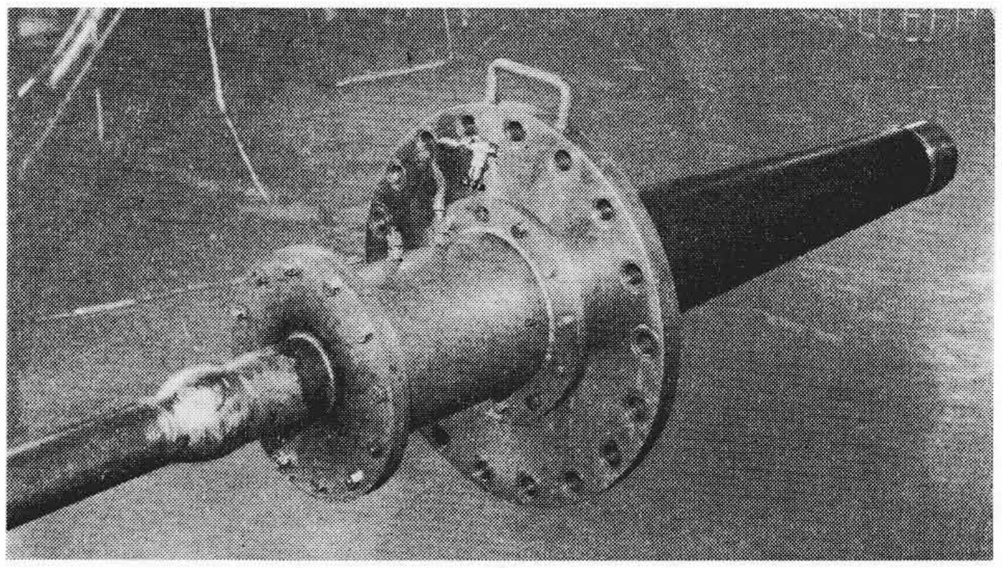


図10　275 kV OF ケーブル用ミニクラッド接続部

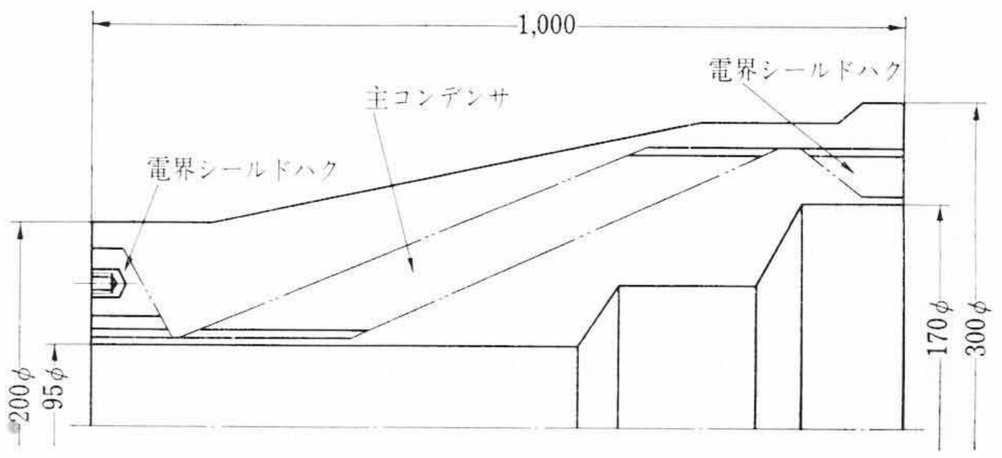


図11　エポキシコンデンサコーン構造図

表5　275 kV OFケーブル用エポキシ含浸コンデンサ形ミニクラッド接続部の電気性能

項目	単位	値
コロナ開始電圧	kV	210 以上
交流長時間耐電圧	kV/6h	420
衝撃耐電圧	kV/正負 10 回	1,260
交流長時間破壊電圧	kV	620 以上
衝撃破壊電圧	kV	1,640 以上

（2）　154 kV 級までの遮へい形ミニクラッド接続部を試作し，じゅうぶんな性能を持つと同時に，小形軽量で組立作業が簡易であることを示した。

（3）　500 kV 級油浸コンデンサ形ミニクラッド接続部を試作し，良好な試験結果を得た。

（4）　275 kV 級エポキシ含浸コンデンサ形ミニクラッド接続部を試作し，とう管とコンデンサコーンの一体化による小形軽量化と簡易化に成功した。

本開発に際して終始ご指導を賜わった東京電力株式会社関係各位ならびに日立電線株式会社依田，沼尻主任研究員，渡辺工事設計課長に厚くお礼を申し上げる。

参　考　文　献

（1）　P. Robert: CIGRE, 103 (1966)
（2）　山崎，細包：日立評論 51，1141（昭44-12）
（3）　池田，依田：電気学会連大シンポジウム 82-1（昭45）
（4）　池本，磯貝，柏木：日立評論 52，215（昭45-3）
（5）　特許出願中