

66 kV 級ゴムプラスチック絶縁ケーブル用プレハブ式付属品

Prefabricated Accessories of 66 kV-class Rubber and Plastic Insulated Power Cable

佐藤 祈美男* Kimio Satô 熊谷 竹男* Takeo Kumagai 浜田 義雄** Yoshio Hamada
森屋 克男** Katsuo Moriya 目崎 敏博** Toshihiro Mesaki

要 旨

本論文は 66 kV 級ゴムプラスチック絶縁電力ケーブル用付属品（終端部および直線接続部）の開発研究状況を述べるものである。最近この種のケーブルは、比較的長いルートに使用されることが多く、特に現場での作業性は開発上の要点となっている。そこで本論文も簡易施工形のそう入式付属品について、これまでの検討結果を説明している。

1. 緒 言

ゴムプラスチック絶縁電力ケーブルは最近 66~110 kV 系統のものまで実用化され⁽¹⁾⁽²⁾、さらに高電圧化の検討も進められている。付属品もこれに並行して開発されているが、66 kV 級ケーブルは当初応急用もしくは移動用が主体で、付属品も工場に取り付けた状態で納入されてきた。

最近 66 kV 級ケーブルを恒久用として納入するケースが多くなっており、このための付属品は現地で施工しなければならない。従来のケーブルの布設ルートは、比較的短い場合が多かったので直線接続部は必要としなかったが、今後は長尺のものが多くなるため重要なものとなる。

こうした状況下で、筆者らは作業時間の短縮と省力化などに適したそう入式付属品（プレハブ式と呼称する）の開発を進めてきた。これらの一部はすでに納入されているが、本報告はプレハブ式を中心に、これまでのものも含めて 66 kV 級付属品の電気特性について述べたものである。

2. 目 標 特 性 値

付属品の絶縁特性は、ケーブル本体の所要性能に匹敵することが望ましいが、ゴムプラスチック絶縁の高電圧電力ケーブル自体の歴史が浅いので、その耐電圧規格値もまだ必ずしも明確ではない。

そこで開発上、付属品の破壊電圧目標値を OF ケーブルの高電圧試験法（JEC）に準拠して設定した。すなわち破壊電圧目標値の最低値を OF ケーブルの試料試験電圧の 1.2 倍に選び、コロナ開始電圧は、最高回路電圧の 1.2 倍とした。これらをまとめて示したのが表 1 である。

なお以下に述べる試験結果において、電圧印加はいずれも試験電圧値より、交流は 10 kV 1 時間昇圧、衝撃電圧は 20 kV 各 3 回昇圧する方法としている。

3. 終 端 部

3.1 モールド式終端部

プレハブ式終端部の使用実績はまだ少ない。そこでまず従来多く用いられている終端部と比較して検討を加えてみる。

終端部の主要絶縁構成は内部絶縁としてケーブルしゃへい端補強部と、外部絶縁とから成る。

3.1.1 しゃへい形モールド終端部

ケーブルしゃへい端補強部は、ベルマウス状のストレスコーン

* 日立電線株式会社研究所
** 日立電線株式会社日高工場

表 1 付属品の電気特性最低目標値

公称電圧 (kV)	試 験 電 圧 値 (kV)		最低破壊電圧目標値 (kV)		コロナ開始電圧 (kV)
	交 流	衝 撃	交 流	衝 撃	
66	130	420	160	500	48
77	150	480	180	580	56

表 2 66 kV 100 mm² CV モールド式終端部の電気特性

試験項目	内部絶縁方式	しゃへい形		コンデンサ形
		EP ゴムモールド	架橋PEモールド	架橋PEモールド
コロナ開始電圧 (kV)		60 以上	60 以上	70 以上
交流破壊電圧 (kV)		180~210	170~200	240~260
衝撃破壊電圧 (kV)		540~580	560~600	560~640

注：衝撃破壊は大部分、表面フラッシュオーバー（正、負極性）

であり、これはブチルおよび EP ゴム、架橋ポリエチレンなどでできており、ケーブル絶縁体と一体モールドされている。設計上問題になるのは、ストレスコーン立上りの角度、形状、先端の曲率半径である。製造上は加熱方法、加熱温度および時間が重要である。

表 2 は 66 kV 100 mm² モールド終端部のコロナおよび破壊電圧を示したものである（外部絶縁にはがい管 B-801 を使用している）。交流破壊電圧は EP ゴムのストレスコーンのものが、他よりいくぶん高いが目標値に対する裕度は多くない。衝撃破壊は大部分、がい管表面フラッシュオーバーであるので内部絶縁の問題ではないと考えられる。

3.1.2 コンデンサ形モールド終端部

電気特性に裕度をもたせるには、内部絶縁にコンデンサ分圧方式を用いることが考えられる。図 1 はブチルゴムおよび架橋ポリエチレンで作製したモデルコンデンサの、コロナ開始電圧と破壊電圧特性を示すものである。なお後述するプレハブ用も併記してある。

電圧特性はいずれもコンデンサの全絶縁厚とほぼ直線的関係を保ち、破壊電圧はゴムより架橋ポリエチレンのほうがすぐれている。表 2 に終端部の電気特性をしゃへい形と比較して示したが、特に交流破壊電圧が向上安定している。内部絶縁は工場内で製作し、規定の各種試験を実施したのち、現地でがい管を取り付け組み立てる。この方式については昭和 42 年以来、多くの実用実績がある。

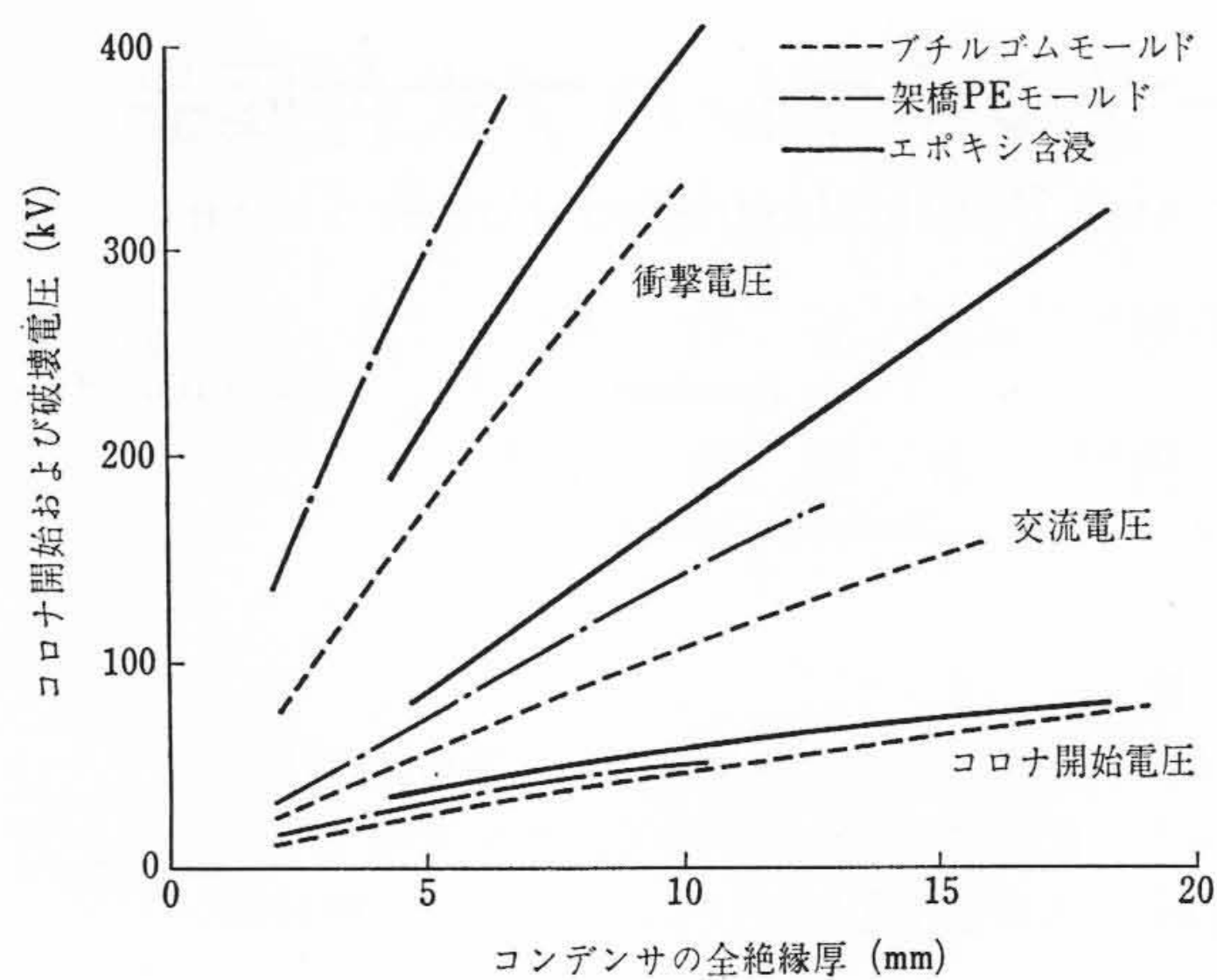


図1 モデルコンデンサのコロナ開始および破壊電圧特性

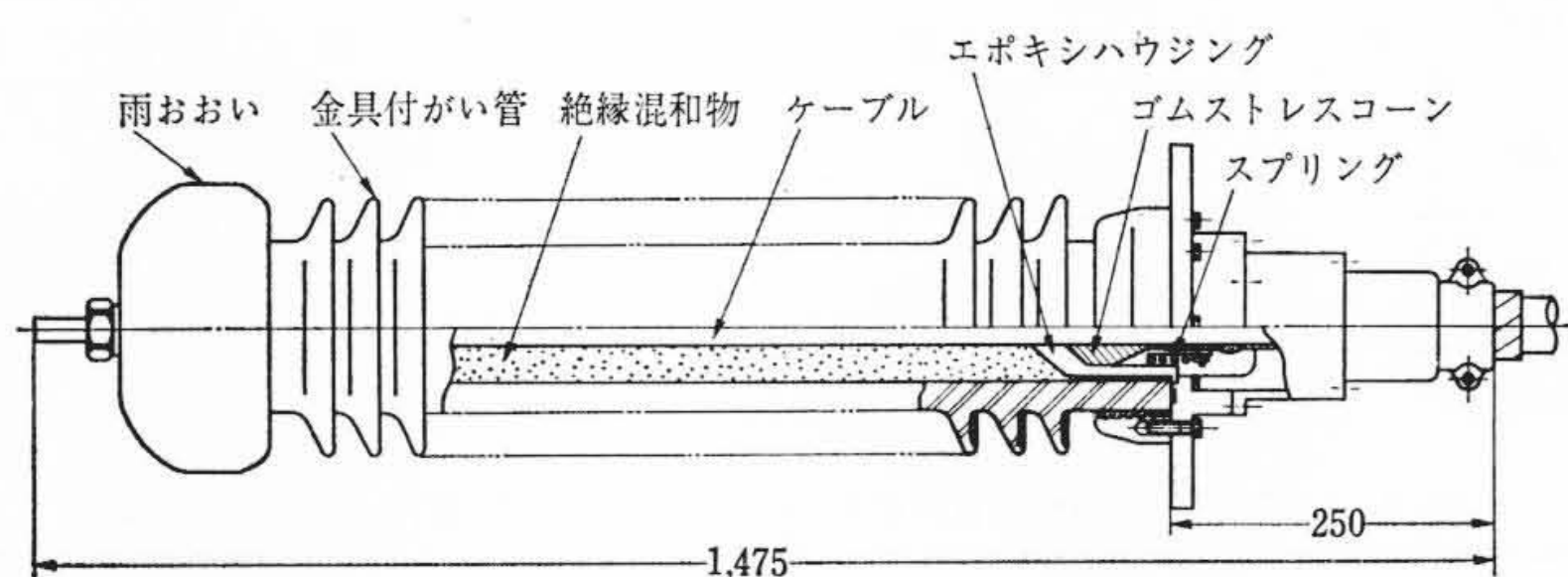


図2 66 kV 級しゃへい形プレハブ終端部の構造

3.2 プレハブ式終端部

モールド式終端部は工場内で製作されるため、布設ケーブル長が正確にわかっていなければならず、管路引込みなどルートによっては適用できない場合もある。こうしたことから現地で処理できる構造で、しかも作業は短時間で特殊技能が不要な、いわゆるプレハブ式終端部が望まれる。筆者らはこの要求に添うものとして、二、三の方式を検討開発した。

3.2.1 シャへい形プレハブ終端部⁽³⁾

(1) 構造

しゃへい形プレハブ終端部は、コンデンサ形に比べ構造が簡単で多少経済的でもある。図2は主要構造を示したものであるが、基本的な絶縁構成はモールド形と同様である。しかしそれぞれが部品化され、現地で特殊な加工を施さずそう入組立ができるものである。

主要部品はゴムモールドストレスコーン、エポキシハウジング、スプリングユニットと外部がい管 (B-801) である。がい管内部には絶縁混和物を充てんする。

(2) 内部充てん混和物

がい管内部にはケーブルとの間げきを埋めるため絶縁混和物を充てんするが、筆者らは次のことからシリコン油を採用している。

絶縁混和物としては作業上から、充てん時に加熱の必要がなく常温でも低粘度であること、特性上はそれ自体の絶縁特性が良好でケーブル絶縁体などに悪影響のないことが重要な条件となる。そこで架橋ポリエチレンケーブル絶縁体とゴムストレスコーンを、シリコン油 (KF-96) およびポリブデン油 (LV-50) に直接浸せきし、3ヶ月間にわたり外径変化などを調べた。その結果ケーブル絶縁体は、シリコン油中では80℃でも外径変化は1%以下であるが、ポリブデンでは常温でも数パーセント膨潤した。ま

表3 66 kV 100 mm² CV シャへい形プレハブ終端部の電気特性

試番	コロナ開始電圧 (kV)	破壊電圧 (kV)		備考
		交流	衝撃	
1	50<	230*	—	試番 1~5 $l=0$
2	70<	230*	—	
3	65	—	⊖540 ⊕560	
4	70<	230	⊕540	
5	70<	220	⊖520	
6	70<	240	⊖600 ⊕640	試番 6~9 $l=77$ mm
7	70<	240*	—	
8	初期 ヒートサイクル後 64 70<	230*	—	
9	初期 ヒートサイクル後 57 61	240	⊖620	550A, 4h. ごと ON, OFF ヒートサイクル, 30 回 400A, 6h/d のヒートサイクル 75 kV 課電, 3 ヶ月

注: 1. * は終端部で破壊, その他はがい管表面フラッシュオーバー
2. 備考欄の l は下部金具位置から内部しゃへい電極の先端突出距離

たゴムストレスコーンは温度の影響が大きく、シリコン油 80℃で数パーセント収縮したのに対しポリブデンでは15%の膨潤があった。常温で低粘度のシリコン油を使うことにより、終端部のコロナ特性が良好となり安定した特性が得られる。

(3) 電気特性

66 kV 100 mm² 架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブル終端部の試験結果は表3に示すとおりである。初期破壊電圧はモールド式に比べそん色ない値である。試番8は、ケーブル導体温度90~95℃ (550A) の通電によるヒートサイクル30回を加えたもの、試番9は定格電流 (400A) を毎日8時間通電し、さらに連続75 kV 課電を3ヶ月実施して加速劣化を加えたものである。電気特性はいずれも初期値と同等で、解体調査の結果でも異常はなかった。コロナ開始電圧はヒートサイクル後、かえって上昇する傾向がみられた。

衝撃破壊はいずれも、がい管表面フラッシュオーバーしか得られていないが、この値はストレスコーン部のしゃへい電極と、がい管下部金具の位置関係で変わる。試番5まではこれらが同じレベルのもので、試番6以下はせん絡距離の約10% 内部しゃへい電極を上げている。これによりせん絡電圧は上昇しているが、66 kV 級としては500 kV 以上が安定して得られるのでこの程度でじゅうぶんと考えられる。

3.2.2 コンデンサ形プレハブ終端部

(1) 設計基準

プレハブ式終端部のコンデンサ補強体は、ケーブル絶縁とは別個に単独の一部品として製作され、現地でがい管内にそう入固定される。コンデンサ絶縁体には、モールド式終端部と同様にゴムあるいは架橋ポリエチレンが考えられる。しかし筆者らは、エポキシ樹脂含浸技術を応用した新たなコンデンサを開発した。これはエポキシ樹脂の誘電率が比較的大きく、コンデンサ形成に好都合でありまた電気、機械的強度もすぐれているからである。

コンデンサ絶縁設計上の基準とするため、モデルコンデンサを作り検討した。図1はコンデンサの全絶縁厚による破壊電圧特性であるがほぼ直線的関係が得られ、交流15 kV/mm、衝撃電圧35 kV/mm となった。架橋ポリエチレンモールドのコンデンサより衝撃破壊は低い、交流の破壊は10~20% 高くなっている。これから66 kV 級用コンデンサの絶縁厚を決定したが、架橋ポリエチレンモールドコンデンサより薄くできることがわかった。

(2) 構造

コンデンサ形プレハブ終端部の構造は、図2に示したしゃへい形のエポキシハウジングがコンデンサ補強体になっているほかは

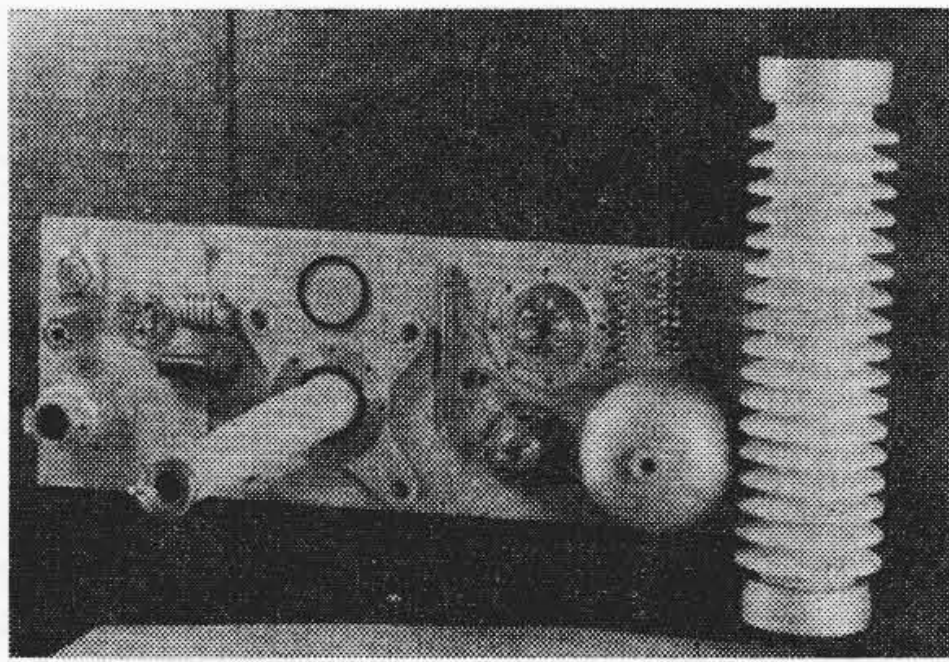


図3 66 kV 級コンデンサ形プレハブ
終端部の部品類

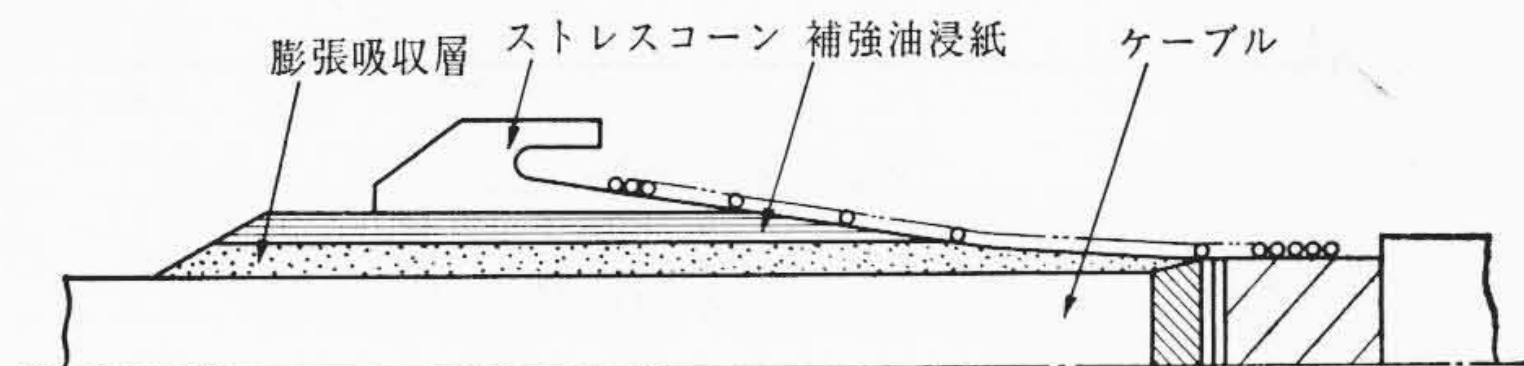


図4 油浸紙補強部の構造

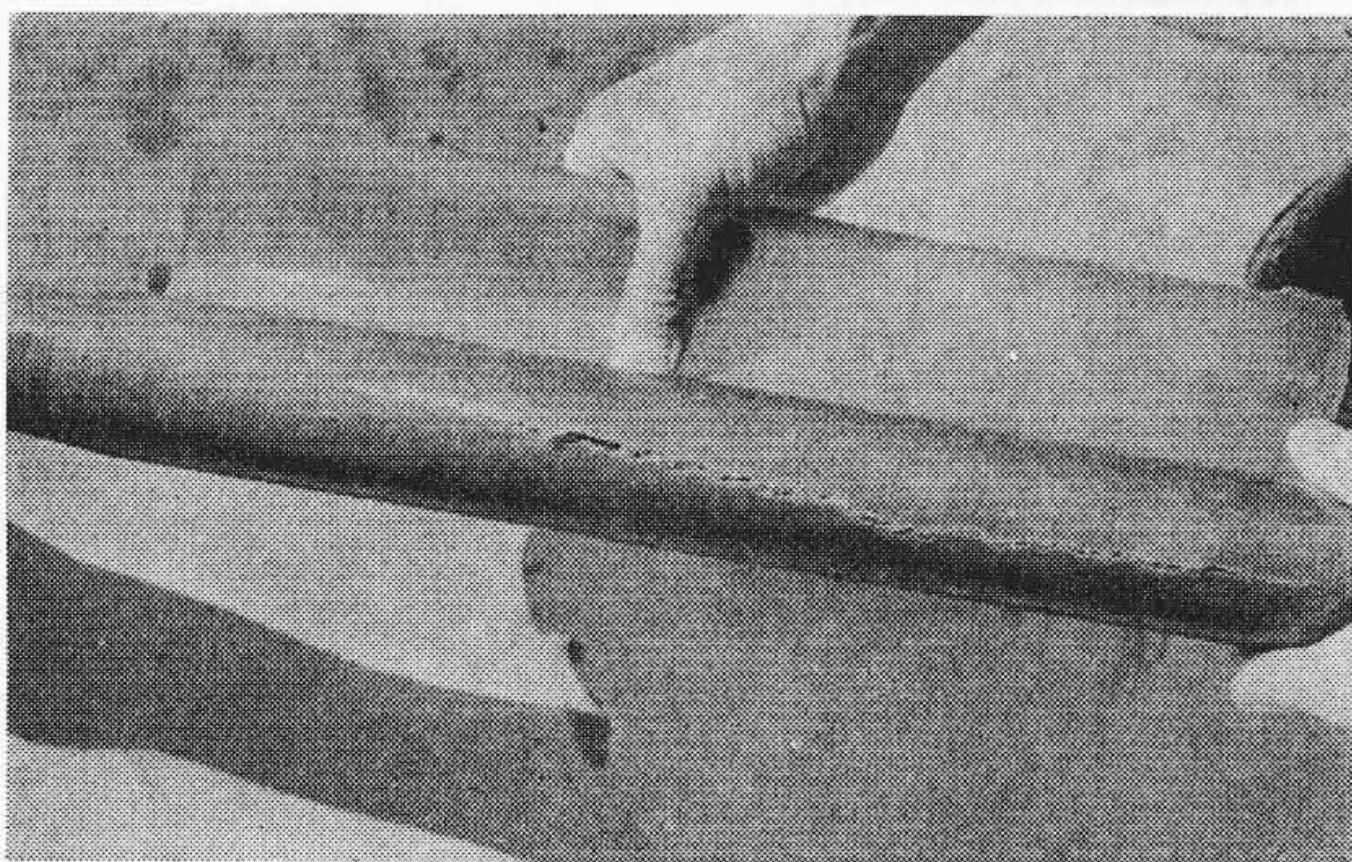


図5 架橋ポリエチレン絶縁ケーブル上の
直巻き油浸紙の紙切れ

同一で、そのほかの部品類はどちらにも使用できる。

コンデンサ補強体の内径はケーブルのそう入がしやすいように、ケーブル絶縁体外径より少し大きくし、がい管内にはしゃへい形と同じくシリコン油を充てんする。本方式の部品類を示したのが図3である。

プレハブ式付属品で絶縁性能上問題となるのは、ゴムストレスコーンとケーブル絶縁体およびエポキシ補強体との界面強度である。この部分の電界はできるだけ均等であることが必要で、電位分布の検討結果からストレスコーンそう入界面の電位分担は、全体の約40%でコンデンサ形の有利な面が示されている。

(3) 電気特性

66 kV, 77 kV 100 mm² 架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルを用いたコンデンサ形プレハブ終端部の初期電気特性は表4に示すとおりである。交流破壊電圧は66 kV 用で240~290 kV, 77 kV 用が300~350 kV で良好な結果が得られた。破壊箇所は大部分ストレスコーン部である。また衝撃破壊電圧は66 kV 用が660~740 kV と、77 kV 用よりむしろ高い値となっている。これはコンデンサ補強体の電極配置に関係し、がい管表面フラッシュオーバー特性が変化したためである。

ヒートサイクルを加えた長期安定性については次章で述べる。なおプレハブ式終端部は、昭和42年より実系統で使用されている。

表4 66 kV, 77 kV 100 mm² CV コンデンサ形
プレハブ終端部の初期電気特性

66 kV 100 mm ² CV 用		77 kV 100 mm ² CV 用	
交流破壊電圧 (kV)	衝撃破壊電圧 (kV)	交流破壊電圧 (kV)	衝撃破壊電圧 (kV)
250	740 **	310	660 *
270	660 *	300	620 *
240	680	350	680 *
290	680 *	320	—

注：1. コロナ開始電圧はいずれも70 kV 以上
2. * はがい管表面フラッシュオーバー, ** は終端部外ケーブル部破壊
3. 衝撃電圧は導体側負極性

表5 66 kV 100 mm² CV 油浸紙補強式
終端部の電気特性

コロナ開始電圧 (kV)	交流破壊電圧 (kV)	衝撃破壊電圧 (kV)
70<	240~270	620~740 *

注：* は、がい管表面フラッシュオーバー、一部破壊

3.3 油浸紙補強式終端部

3.3.1 構造

油浸紙補強式終端部は、従来 OF ケーブルなどで使われている。これをゴムプラスチックケーブルに適用しようとするもので、モールド式と違い現地で組立施工ができることから準プレハブ式といえる。構造はやはりしゃへい形とコンデンサ形の二つが考えられるが、ここでは構造的に簡単なしゃへい形で検討した結果を示す。

図4は油浸紙補強体部の構造であるが、ゴムプラスチックケーブル用としての多少の考慮が必要である。補強油浸紙をケーブル絶縁体上に直接巻いたのでは、熱膨張係数の差で紙切れを起こす。図5は導体60℃のヒートサイクルを行なったときの状態を示したもので、内側の油浸紙は全体が裂けている。図4のように油浸紙の内側にケーブル絶縁体の膨張収縮を吸収する層を設けることが必要となる。使用する油は含浸および充てん用ともシリコン油で、この理由は前述のとおりである。

3.3.2 電気特性

表5の試験結果が示すように、破壊電圧はほかのしゃへい形と同等かそれ以上である。ストレスコーンの位置で表面フラッシュオーバー電圧が変化するが、この位置をがい管下部金具端よりかなり上げると700 kV 以上になるが、がい管破壊のおそれがある。したがって66 kV 級の破壊電圧の目標値を考えて、ストレスコーンの位置を選択する。

4. 直線接続部

4.1 テープ式

4.1.1 設計基準

テープ式接続部は、低電圧用に多く使われているもので構造上特に変わったところはない。テープが自己融着性の場合にはテープ巻きのまま外部保護を施し完成品となる。テープ巻きしたのち、加熱モールドするものをモールド式として前者のテープ巻方式と区別することもあるが、ここでは総括してテープ式と呼ぶことにする。

接続作業は手作業であるため多少の技能を要するが、テープ巻方式ではテープの材質が特性を左右する。設計上は図6に示すような導体接続管上の絶縁厚、 t が基準となる。図7はこの絶縁厚と電気特性を検討した結果である。ここで使用した自己融着性テープは、特に耐熱性高電圧用として開発されたもの(Qテープと呼称)で、従来のテープではみられない良好な特性が得られ

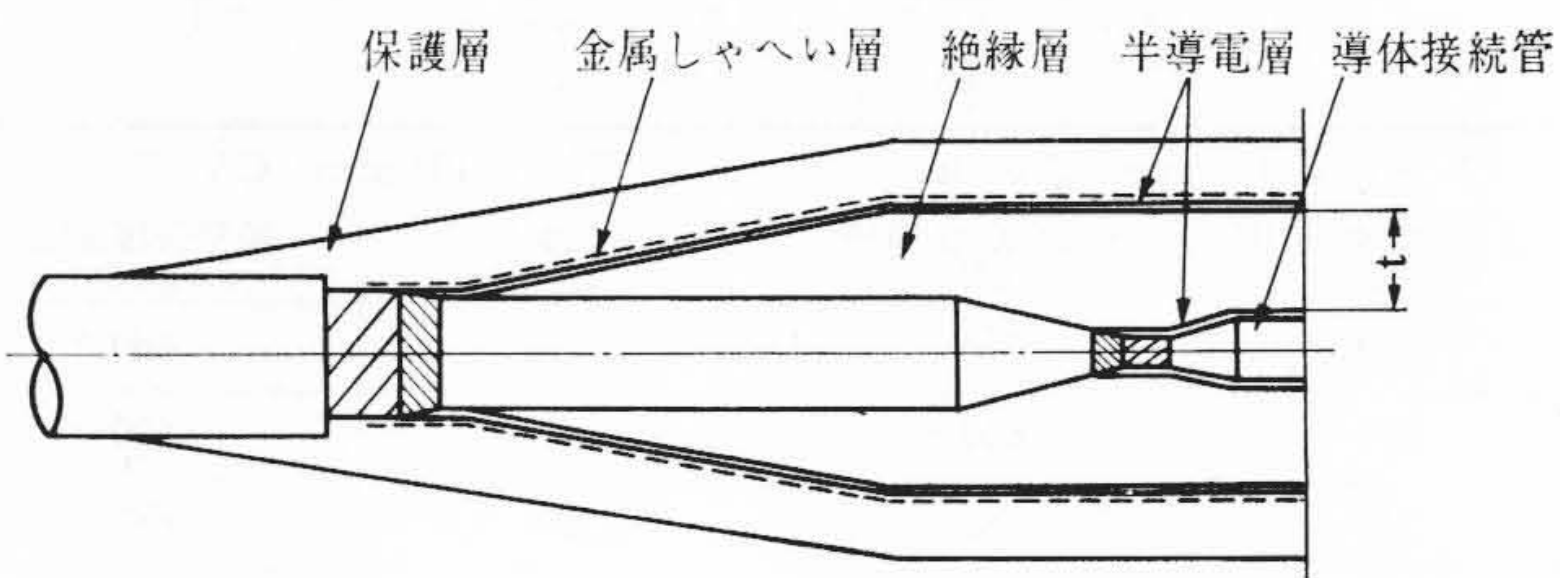


図6 テープ式直線接続部の基本構造

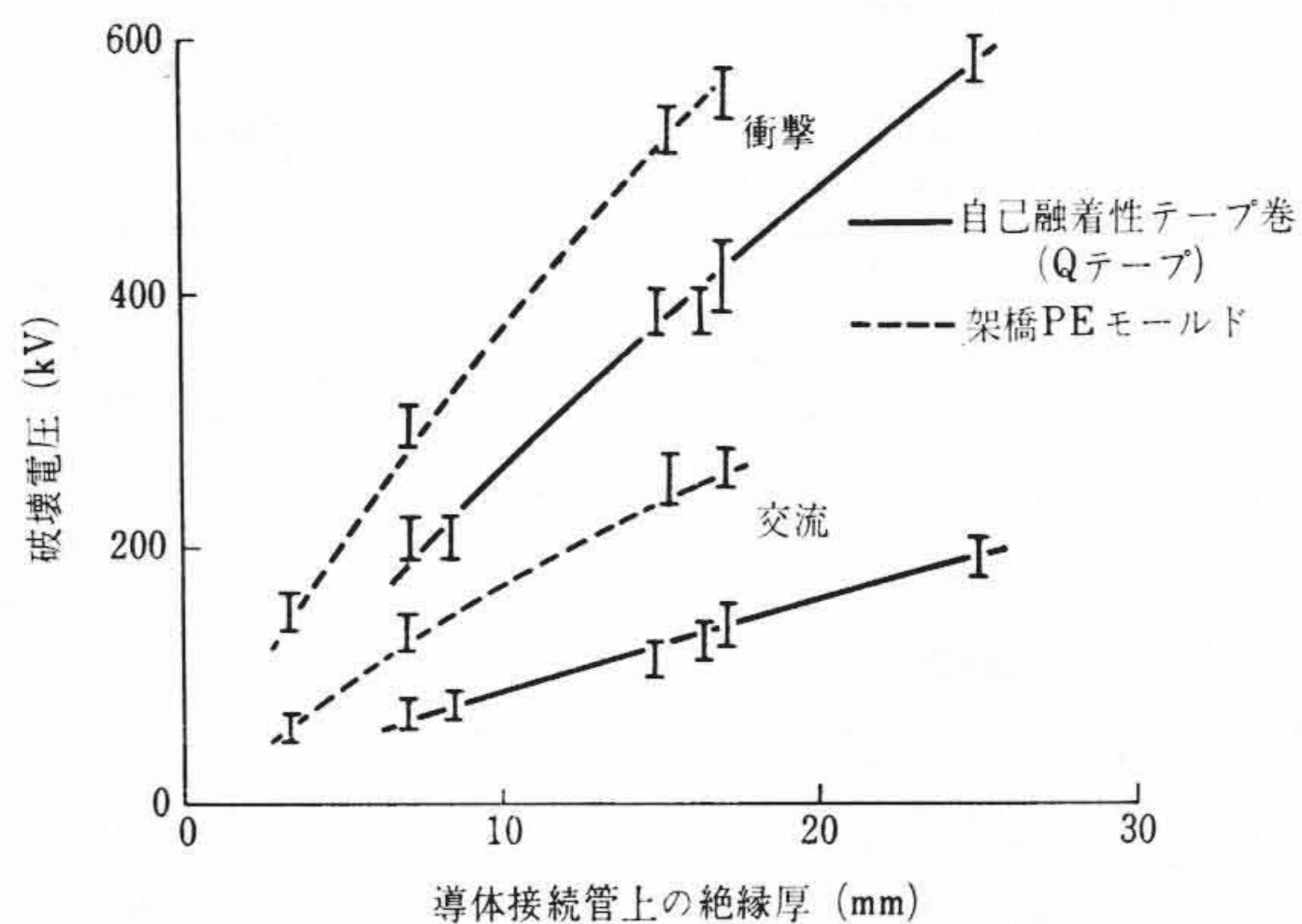


図7 テープ式直線接続部の破壊電圧特性

表6 66 kV 100 mm² CV テープ式直線接続部の電気特性

絶縁方式	交流破壊電圧 (kV)	衝撃破壊電圧 (kV)
自己融着性テープ巻き	220~260	620~680
架橋PEモールド	240~280	580~640

た⁽⁴⁾。テープ巻きモールドは架橋ポリエチレンテープを使用したもので、これらの結果から66 kV級直線接続部の構造を決定した。なおテープ巻きモールド接続部は、外部より加熱するので現在のところ比較的小サイズケーブルに限定される。

4.1.2 電気特性

66 kV用直線接続部の初期破壊電圧を示すと表6になる。ここで導体接続管上の絶縁厚は、自己融着性テープの場合35 mm、テープ巻きモールドの場合20 mmとしている。自己融着性テープ(Qテープ)は、ヒートサイクルによるケーブル絶縁体の熱伸縮に追随する材質である。

4.2 プレハブ式

4.2.1 設計基準

66 kV級系統でのプレハブ式直線接続部は、まだ実用例がないが、22 kVプレハブ式付属品の開発がなされているので近い将来実用の可能性が考えられる。

プレハブ式では部品のそう入組立が主体となるので、界面絶縁強度が設計上重要となる。図8は円筒電極モデルによるゴムとエポキシ樹脂モールド品の界面破壊電圧強度特性である。界面圧着応力を増すと破壊強度は上昇するが、この傾向は衝撃電圧のほうが大きい。しかし衝撃耐力比は一般の破壊電圧特性に比べると小さく、設計上は衝撃電圧特性が主要となる。界面応力を上げたほうが破壊強度は大きくなるが、あまり上げると絶縁体が変形するおそれがあるので3~4 kg/cm²の応力を採用し、10 kV/mmとした。

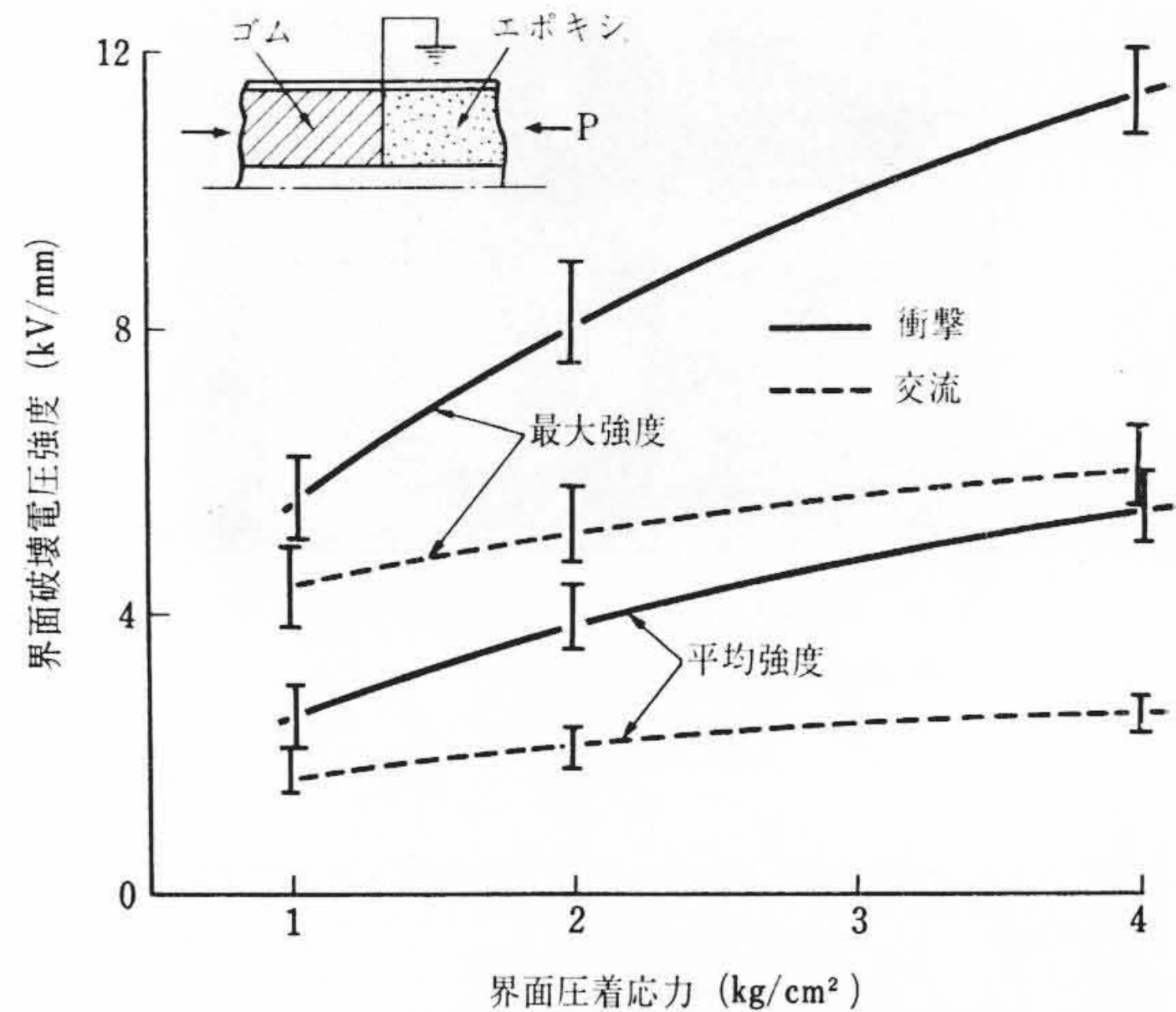


図8 ゴムとエポキシ界面の破壊電圧強度

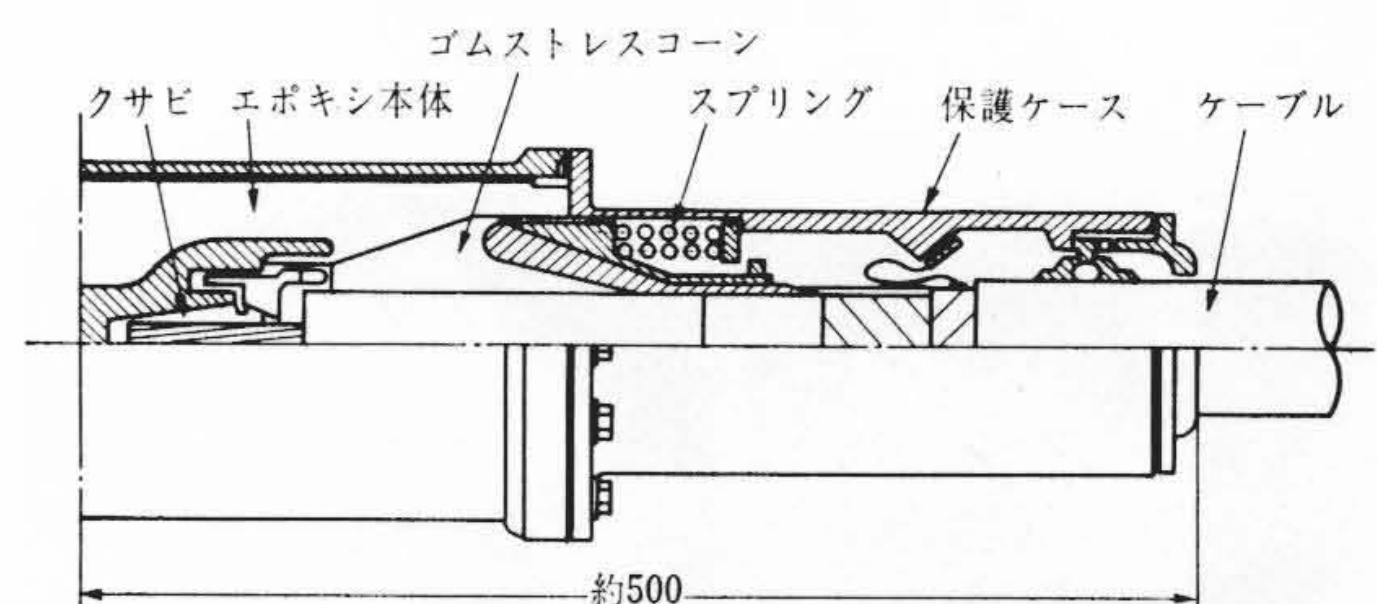
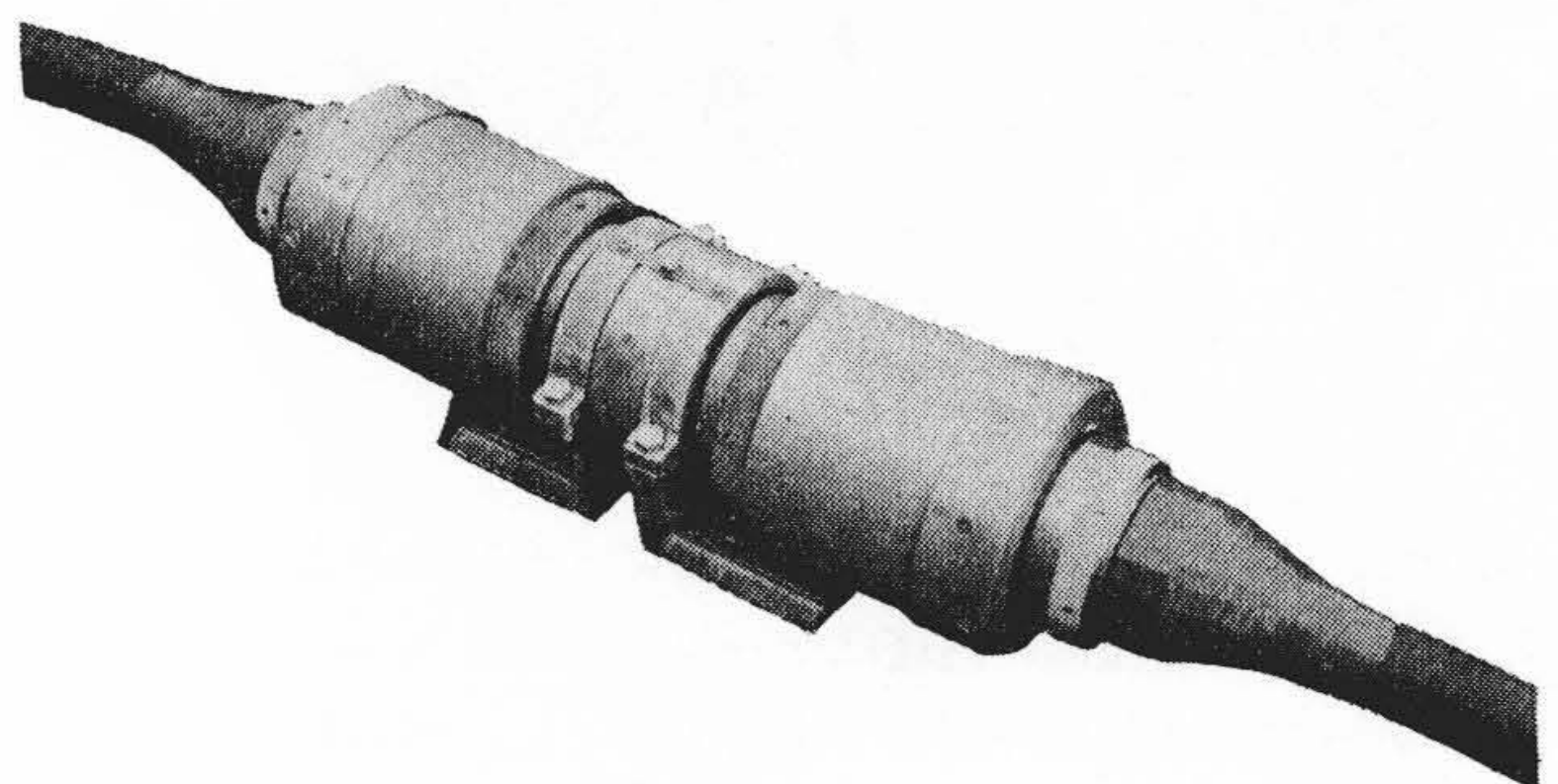


図9 66 kV級プレハブ式直線接続部の構造

図10 66 kV 200 mm² EP ゴム絶縁ケーブル用プレハブ式直線接続部 (移動用)

4.2.2 構造

図9は66 kV級架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブル用プレハブ式直線接続部の概略構造を示したものである。基本的には22 kVと同様で⁽⁵⁾、導体はくさび締付方式で接続しエポキシ樹脂製の本体にゴムストレスコーンが圧着される。

図10は66 kV 200 mm² EP ゴム絶縁移動用ケーブル直線接続部の外観である⁽⁶⁾。移動用ということで導体接続は着脱容易なチュウリップコンタクトになっている。ゴムストレスコーンはケーブル絶縁体と一体にモールドしてあるので界面圧着応力を小さくしている代わりに界面距離を大きくとってある。

この方式の接続部の作業時間は、2人で1相分20分以内で完了する。

4.2.3 電気特性

66 kVプレハブ式直線接続部の試験結果を示したのが表7である。交流に比べ衝撃破壊電圧は目標値をやや上回る程度で、テープ式に比べて衝撃耐力比が小さく、そう入式の特徴がうかがえ

表 7 66 kV 級プレハブ式直線接続部の電気特性

試 験 項 目	66 kV 250 mm ² C V	66 kV 200 mm ² PN移動用
コ ロ ナ 開 始 電 圧 (kV)	70<	70<
交 流 破 壊 電 圧 (kV)	240~270	190*~210
衝 撃 破 壊 電 圧 (kg)	540~580	500 ~540
(課 電 66 kV 通 電 700 A, 8 h/d) ヒートサイクル 3 個月後	—	コ ロ ナ 開 始 電 圧 ; 70< 交 流 破 壊 電 圧 ; 220

注：* はケーブル終端部破壊

る。初期特性はそれぞれじゅうぶんな特性が得られているので、現在、長期信頼度の面の検討を進めている。

5. 長期劣化特性

ゴムプラスチック絶縁電力ケーブルおよび付属品は、初期特性のほかに長期の実用に対する信頼度が重要視される。筆者らは、比較的短期間に性能の判定ができるように、かなり過酷な条件で課電通電試験を実施している。

工場内の屋外試験場は、海岸線より 1 km 以内の距離にある。図11 はこれまで述べた 66 kV 級各種付属品のおもなものの課電電圧・時間特性を示したものである。この結果からこれら付属品はじゅうぶんな寿命をもつものと判断される。

6. 結 言

66 kV 級ゴムプラスチック絶縁電力ケーブル用付属品は、使用例が少なくまだ開発の途上にあり構造が固まったものではない。今後、恒久用として固定して使用されるケーブルに対して、構造の簡易化、組立作業の省力化、時間の短縮化を図るために、プレハブ化が図ら

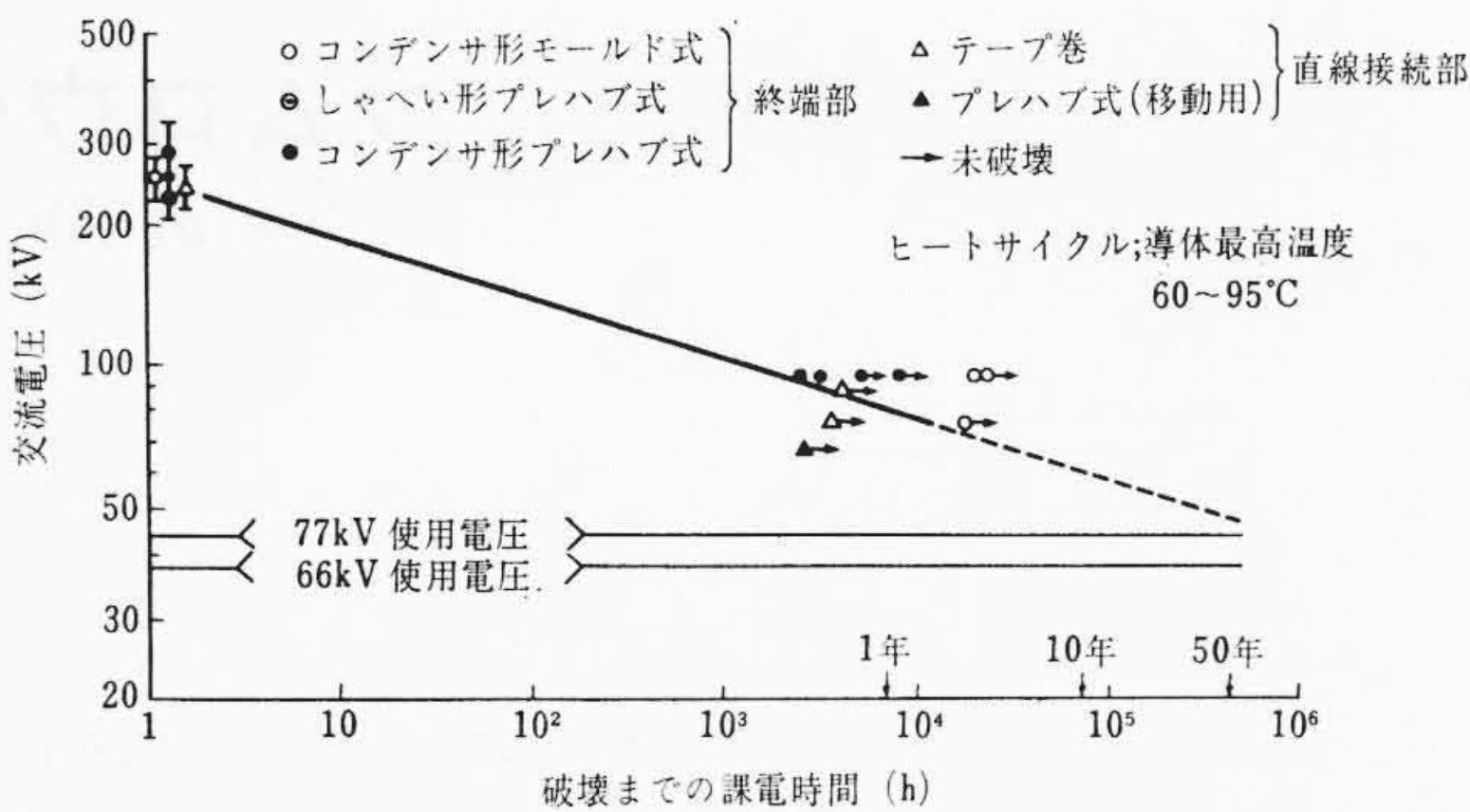


図 11 66 kV 級付属品の実負荷試験結果

れるであろう。しかし、どうしてもコスト高となるため、経済性の面から終端部はしゃへい形が伸びていく気配もある。一方、直線接続部はまだ使用実績はないが、テープ巻構造よりもプレハブ構造のものが将来使われるようになるであろう。
終わりにあたり、これらの開発にご助言いただいた各電力会社をはじめご採用いただいた各社、関係者各位および種々ご協力いただいた日立電線株式会社関係者に深い謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 加藤ほか：電学会東京支部大予稿 No. 1074 (昭 43-3)
- (2) 長崎ほか：電四学会連合大予稿 No. 898 (昭 45-4)
- (3) 浜田ほか：電学会東京支部大予稿 No. 310 (昭 42-10)
- (4) 高畑ほか：電四学会連合大予稿 No. 236 (昭 45-4)
- (5) 増岡ほか：電気雑誌 OHM 55, 6, 30 (昭 43-5)
- (6) 浜田ほか：電学会東京支部大予稿 No. 328 (昭 44-10)

第 33 巻

目 次

- ・ グ ラ フ / 冬 季 五 輪 を 待 つ 札 幌
- ・ 解 説 / エレクトロニクスの散歩道 第2回
- ・ C A T V と は 何 か
- ・ ル ポ / 水 戸 の 浄 水 場 鯉 錦

第 2 号

旭 川 青 果 市 場 の 暖 房

- ・ インタビュー / 女 性 イ ン ス ト ラ ク タ ー
- ・ High-Light / 京 王 プ ラ ザ ホ テ ル
- ・ P R コ ー ナ ー
- ・ ホ ー ム サ イ エ ン ス

発 行 所 日 立 評 論 社

東 京 都 千 代 田 区 丸 の 内 一 丁 目 5 番 1 号

郵 便 番 号 100

取 次 店 株 式 会 社 オ ー ム 社 書 店

東 京 都 千 代 田 区 神 田 錦 町 3 丁 目 1 番 地

郵 便 番 号 101

振 替 口 座 東 京 2 0 0 1 8 番