

6600V 機器直結 T 形端末の開発

Development of T-Connector for 6600V XLPE Cable

丹羽章裕*
Akihiro Niwa

山浦直丈*
Naotomo Yamaura

小笹喜偉*2
Yoshihide Kozasa

大橋保広*3
Yasuhiro Ohashi

高橋幸三*4
Kouzou Takahashi

桐ヶ谷 勇*5
Isamu Kirigaya

高野敬二*6
Keiji Takano

西村英一*6
Eiichi Nishimura

田子 誠*7
Makoto Tago

茂田啓充*7
Hiromichi Shigeta

概要 6600V 地中配電線に用いられている機器直結ケーブル端末は、開閉器塔や変圧器塔等の地中化機器内で使用される。地中化機器のガス絶縁化等に伴い端末の取付けピッチを縮小化することで端末の前面操作が可能となるので、これに対応する端末としてコンパクト化・多機能化を実現する機器直結 T 形端末を開発した。開発品は評価試験を通して十分な特性が得られ、平成10年春より使用され始めている。

1. はじめに

6600V 地中配電線に用いられている機器直結ケーブル端末は、開閉器塔や変圧器塔等の地中化機器内で使用される。

近年、地中化機器のコンパクト化要求が高まり、機器直結端末の小型化・取付けピッチの縮小化・多機能化が急務となった。

古河電工では平成8年度より中部電力株式会社と共同研究で、前記課題を解決可能な機器直結 T 形端末の開発を進めてきた。

本論文では、開発品のコンパクト化設計とその妥当性確認試験結果、並びに長期特性試験について報告する。

2. 開発のコンセプト

機器直結 T 形端末の基本機能を次の通り考え、設計を行った。

- (1) 地中化機器内での端末の占有スペース縮小化をねらい、端末を極力コンパクト化する。
- (2) 地中化機器前面に最大5回線分(15相)の端末を配置可能とするため、端末の取付けピッチを65mmとする。
- (3) 多機能化(検電・接地・試験)を実現するため、形状を T 形とする。

3. 開発仕様及び構造

3.1 基本仕様

開発品の基本仕様を表1に示す。

3.2 端末のコンパクト化検討

端末のコンパクト化を行う上で最も影響が大きいのは、機器

表1 基本仕様
Outline of developed connector

項目	仕様
①適用ケーブル	6600V CVTケーブル (导体サイズ 22~400mm ²)
②通電容量	最大400A
③形状	T形
④外形寸法	径 : 60mm 奥行 : 110mm 高さ : 約285mm
⑤付加機能	検電・接地・試験

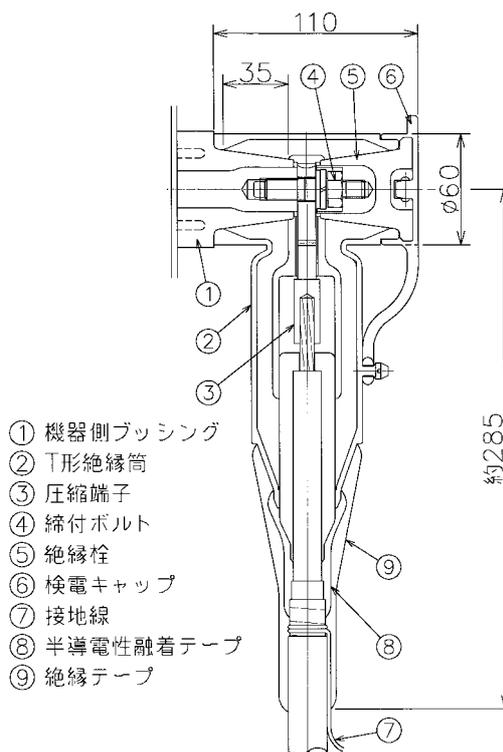


図1 開発品の構造
Drawing of developed connector

* 中部電力(株)配電部

*2 中部電力(株)掛川営業所

*3 中部電力(株)小牧営業所

*4 機器・配電事業部 技術開発部

*5 機器・配電事業部 品質保証部

*6 機器・配電事業部 製造部

*7 機器・配電事業部 配電技術部

側エポキシブッシングと端末絶縁筒の嵌合部絶縁界面長寸法 (ブッシングと絶縁筒の沿面絶縁距離) であることから、界面圧力と破壊電界強度の相関特性に基づく絶縁界面長縮小化検討を行った。

地中化機器の小型化に対応するため嵌合部絶縁界面長として 35mm を設定し、初期電気性能 AC, Imp 破壊電圧値 が従来品と同等となるように界面圧力を選定した。

筆者らのこれまでの研究によると、界面圧力と破壊電界強度の相関特性は図3の関係があることから、界面圧力を上げることによって電気特性を向上させることが可能であり、嵌合部絶縁界面長を短縮しても性能を維持することができる。

一方、機器側ブッシング外径よりも絶縁筒 (EPゴム製) 内径を小さく設定する (径差を設ける) ことで、嵌合時に絶縁筒を押し広げて装着することにより、嵌合部に界面圧力が得られる。界面圧力は機器側ブッシングと絶縁筒の嵌合径差から (1) 式で算出される。

$$P = \frac{\epsilon_0 \delta}{r_1((r_1^2 + r_2^2) / (r_2^2 - r_1^2) + \nu)} \quad (1)$$

P: 面圧

ϵ_0 : ゴム材のヤング率

ν : ポアソン比

r_0 : エポキシブッシングの外径

r_1 : ゴムの内径

r_2 : ゴムの外径

δ : 嵌合径差 ($r_0 - r_1$)

(1) 式より、絶縁界面長が 50mm の従来品 (L 形) の場合、界

面圧力は 0.72kgf/cm² と算出されることから、図3を用いて予想破壊電界強度を求めると、AC: 2kV/mm, Imp: 4kV/mm となる。

開発品では絶縁界面長を 35mm に短縮することにより、界面電界強度は従来品 2 に比べ約 1.4 倍 (界面長の比 50/35) となることから、従来品 2 と同等の電気特性を得るためには、AC: 2.8kV/mm, Imp: 5.7kV/mm の破壊電界強度を有する界面圧力が必要となることが判る。図3よりこれを求めると 1.4kgf/cm² となり、これを開発品の界面圧力に決定した。

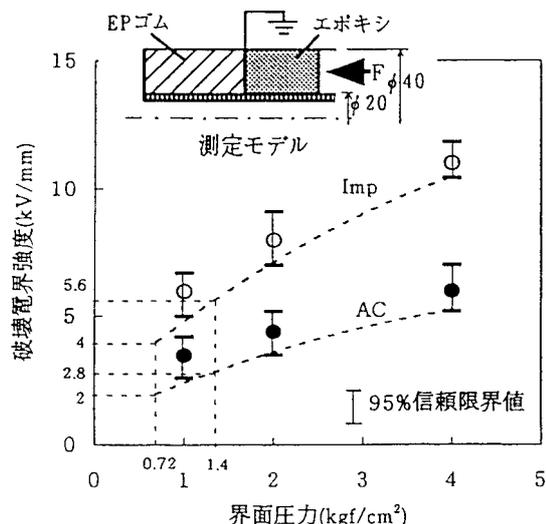


図3 界面圧力 - 電気破壊特性
Pressure-Breakdown stress characteristics

表2 従来品及び開発品の仕様
Structure of the interface

項目		従来品1	従来品2	開発品
端末形状		直形	L形	T形
嵌合部 絶縁構造	嵌合形状	直線嵌合	テーパ嵌合	テーパ嵌合
	絶縁界面長	65mm	50mm	35mm



図2 開発品の外観
Appearance of developed connector

3.3 絶縁界面の電界解析

前項の通り決定した絶縁界面長 35mm のテーパ嵌合界面について、有限要素法による電界解析を行い、界面の電界がどのように変化しているか比較検討をした。従来品 2 と開発品の電界解析の結果を図4~6に、比較グラフを図7に示す。図7は図4~6の結果を基に、縦軸は従来品 2 の最大電界強度 (内部導電層側) を 1 とし、各部の電界強度を比率で示し、また横軸は界面の位置をアース側 (絶縁筒先端の外部導電層側) を 0、高圧側 (絶縁筒内部導電層側) を 1 として示したものである。図7において、ブッシング側の電界強度は従来品 2、開発品とも同様な分布を示している。また従来品 2 に比べ、開発品は電界強度の低い中央部でかなり上昇するものの、両端の電界強度の高い部分では上昇が小さく (高圧側で約 8% 上昇)、全体的に見ると均等電界に近づく傾向を示している。

これらの点から、本研究で設計した開発品の絶縁界面の電界分布は、従来品 2 の端末より均等化が図られ、最大電界強度の増加が界面縮小化率 (30%) より低く抑えられた、短い界面に最適な設計と考える。

4. 試験結果

4.1 界面圧力測定

図1の構造において試作を行い、前記(1)式によって設計した界面圧力と実機との差異を確認した。その結果を表3に示す。測定方法は以下の3種類にて行った。いずれの測定結果でも設計値 1.4kgf/cm² とほぼ同等の界面圧力が得られていることを確認した。

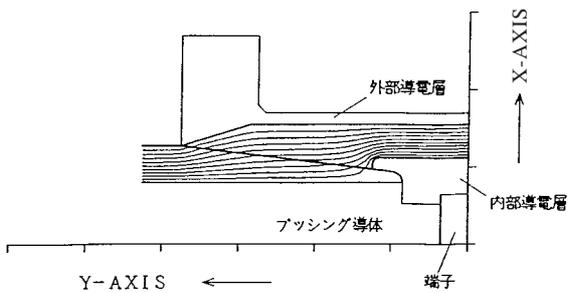


図 4 電界解析結果 (従来品 2)
Equi-potential plot for conventional product No.2

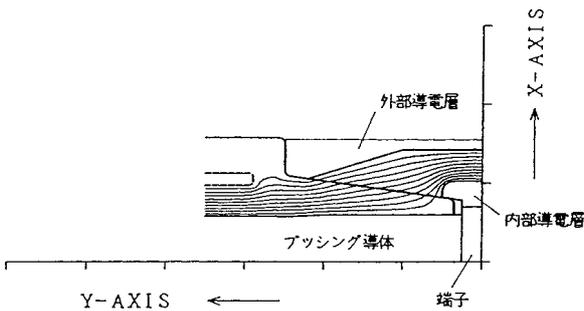


図 5 電界解析結果 (開発品:ブッシング側)
Equi-potential plot for developed product, bushing side

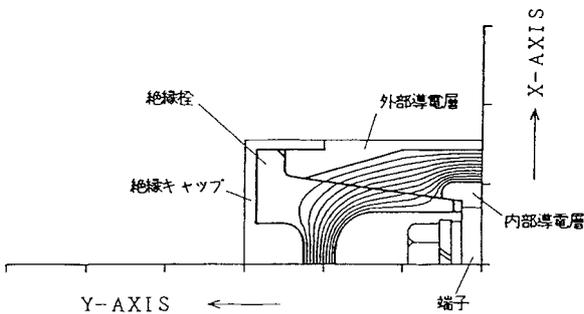


図 6 電界解析結果 (開発品:絶縁栓側)
Equi-potential plot for developed product, insulating plug side

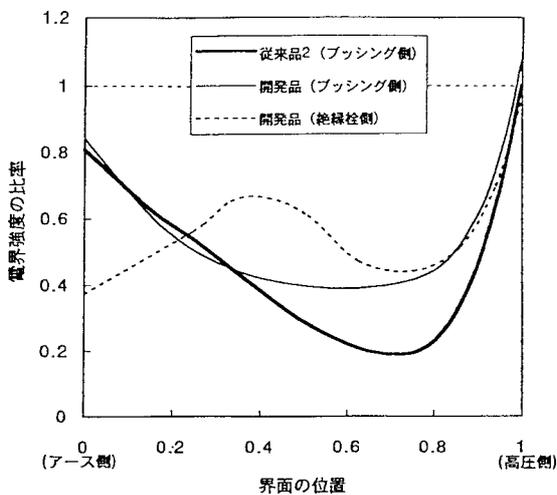


図 7 電界強度の比較
Comparison of electrical stresses

A: 圧力センサを界面に埋め込み測定。

B: ゴム絶縁筒内部から加圧し、界面から空気が漏れた圧力を界面圧力として測定。

C: 絶縁栓取付け時の反力を測定し、界面圧力に換算。

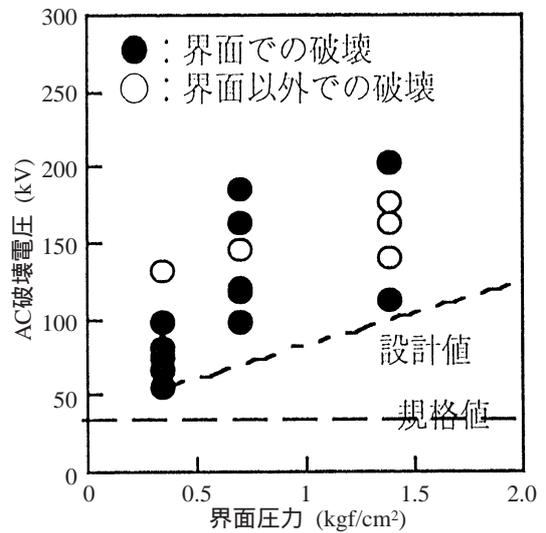
4.2 界面圧力-電気破壊特性試験

嵌合径差を変化させ、界面圧力が標準 (1.4kgf/cm²), 1/2 (0.7), 1/4 (0.35) の3点について電気破壊特性を実機での試験によって求め、図3の特性との関係を確認した。その結果を図8に示す。

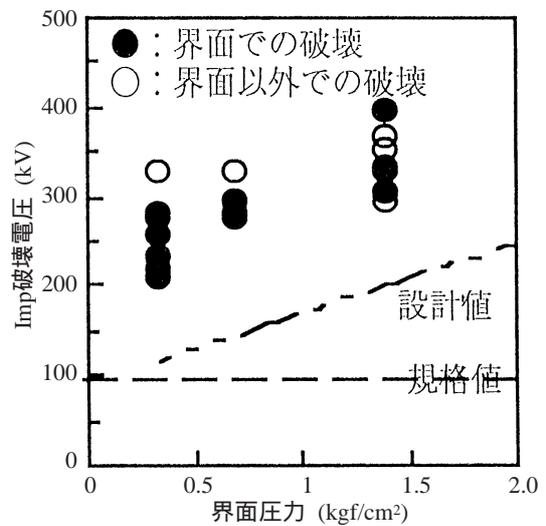
AC, Impいずれの結果も図3からの計算値と同等以上となっており、良好な特性を有していることを確認した。

表 3 界面圧力測定
Results of interfacial pressure measurement

測定方法	測定値 P (kgf/cm ²) (n=3)
A	1.2 ~ 1.4
B	1.4 ~ 1.7
C	1.3 ~ 1.5



(a) AC破壊特性



(b) Imp破壊特性

図 8 界面圧力-電気破壊強度特性
Results of AC and Imp interfacial breakdown tests

4.3 開発品の電気特性試験

図1の試料における電気特性試験結果を表4に示す。いずれも要求性能を満足するものであり、良好な特性を有していることを確認した。

4.4 応力緩和特性試験

実用に当たってはゴムの応力緩和によって界面圧力(電気特性)の低下が予想される。そこでプッシングと嵌合させた試料を70の恒温槽に放置し、界面圧力の変化を測定することにより実機での応力緩和特性を求めた。その結果を図9に示す。100日後においても初期面圧の80%以上の界面圧力を維持しており、30年後においても70%以上の界面圧力を保持しているものと予想できる。すなわち、開発品は長期性能においても実用上十分な特性を持っていると考えられる。

5. 端末の多機能化

開発品は、現行品から端末が持っていた検電機能に加えて、接地・試験の機能を追加して多機能化を図った。従来は、機器内の閉路蓋を接地蓋・試験蓋に交換することにより対応していた(気中絶縁機器の場合)今回これらの機能を端末に移すことで機器の縮小化並びに作業面での効率化に寄与している。

表4 電気特性試験結果
(ケーブルサイズ150mm²で実施)
Results of electrical tests

試験項目	要求性能	試験結果 (n=4)
商用周波部分放電	6.9kV(電圧上昇時), 5.3kV(電圧降下時)で発生しないこと	発生 9.3kV以上
商用周波耐電圧・破壊	35kV 1時間に耐えること	破壊電圧 70~140kV
雷インパルス耐電圧・破壊	-95kV 3回に耐えること	破壊電圧 -155~335kV
長期課通電ヒートサイクル	10kV 400Aで30サイクル(8h・on /16h・off)連続課電し、これに耐えること 40 温水中および気中で実施	良好
長期課通電後の確認試験	商用周波破壊 雷インパルス破壊	95~170kV -205~325kV
検電機能確認試験	導体-遮へい間に3.810Vの電圧を加えた時に検電器(高圧検電)が動作すること	良好

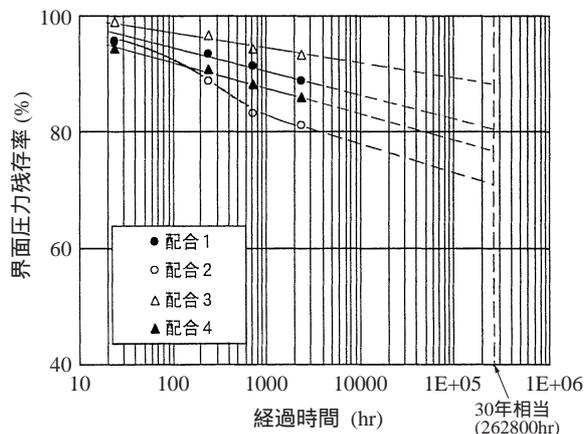


図9 応力緩和特性
Stress relaxation characteristics

5.1 検電機能

端末背面の検電キャップを外し、絶縁栓に埋め込まれた電極に検電器を接触させることで検電を行える。

5.2 接地機能

開閉器を「切」にした状態で、検電を行った後に、端末背面の絶縁栓を取り外し、接地治具を装着することで放電と接地が行える。

5.3 試験機能

前記接地機能と同様に、絶縁栓を取り外し試験アダプタを装着して測定器を接続することで、ケーブルの劣化判定を行うための直流漏れ電流測定、又は活線劣化診断が行える。

6. 地中化機器への適用

今回開発したT形端末は、同時期に開発されてきた開閉器塔・変圧器塔用の機器直結端末として、平成10年春より適用が開始されている。

図11, 12に開閉器塔への開発品の適用例を、図13, 14に変圧器塔への適用例を示す。

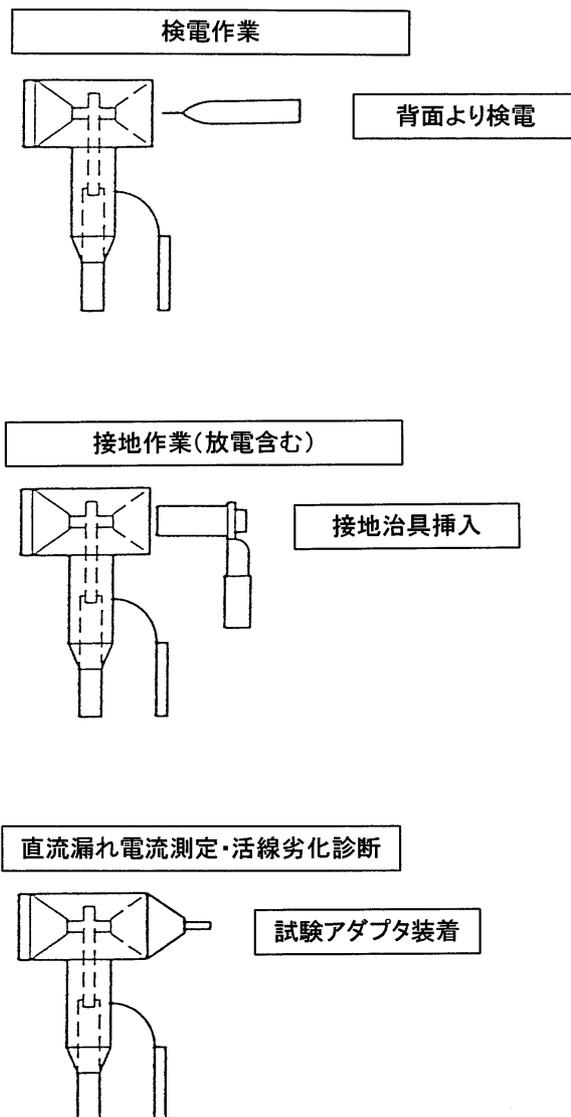


図10 T形端末の多機能性
Multi-usability of T terminal

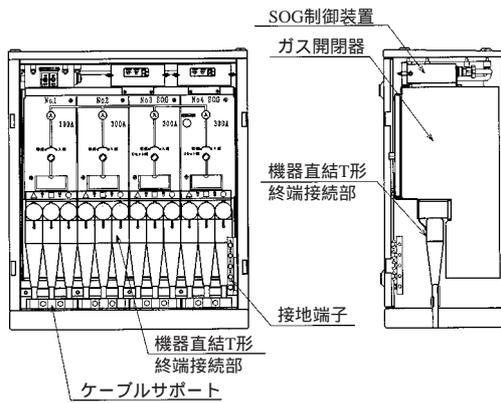


図 11 開閉器塔への適用図
Application to switchgear

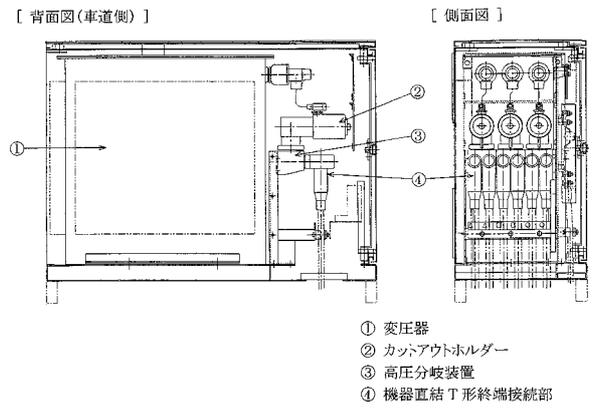


図 13 変圧器塔への適用図
Application to transformer



図 12 開閉器塔への適用例
Application to switchgear



図 14 変圧器塔への適用例
Application to transformer

7. おわりに

6600V 機器直結T形端末の研究開発を行い、界面圧力-電気破壊強度特性を応用して嵌合部絶縁界面長の短縮について検討した結果、従来品と比較して30～50%短縮した絶縁界面長で従来品と同等の電気性能が得られることを確認し、コンパクトな端末を開発することができた。

これにより、地中化機器前面に最大5回線分の端末が配置可能となり、作業性の向上に貢献している。また端末の多機能化を実現し、地中化機器の縮小化・作業効率の向上に寄与している。

今回開発した機器直結T形端末が、今後も各種機器に採用されていくことを期待している。

参考文献

- 1) 小笹, 大橋, 滝田, 富田, 茂田, 藤原: 6.6kV 縮小形機器直結ケーブル端末 (T形端末) の開発, 電線・ケーブル研究会 EC-97-13
- 2) 小笹: 多機能, コンパクト型 T 型端末の開発, 中部電力技術開発ニュース, NO.73, 平成9年7月