

154kV Y分岐接続部

電力技術開発センタ 新 延 洋*1・足 立 宇 弘*2・金 子 智*3
株式会社ビスキャス 後 藤 伸 一・光 山 安 一
古河電気工業株式会社 山 下 泰 浩・田 中 悟

154kV Y Branch Type Joint

H. Niinobe, T. Adachi, S. Kaneko, S. Goto, Y. Mitsuyama
Y. Yamashita & S. Tanaka

地中送電系統のCV化にともない、既設OFケーブル線路への引き込みなどに、CV/OF兼用のY分岐接続部（以下YJ）の適用が多くなると考えられる。しかし、従来型のYJでは、その大きさ、質量からYJ用としての専用設置スペースを必要とするため、既設マンホール内へ設置する場合には接続作業、ケーブルオフセット長などを考慮したコンパクト化が必要である。そこで、既設マンホール内スペースで接続・設置が可能なCV/OF兼用の154kV用異種YJ（長さ1,560mm、高さ585mm、幅305mm）を開発した。

Y branch type joint (henceforth, YJ) of XLPE cable and OF cable combination is needed for Y branch connection on the established OF cable system etc. with conversion on XLPE cable on the underground transmission line. However, although the installation place of the exclusive use from the size and weight was required in former type YJ, miniaturization was needed when connection in the restrictions space within an established manhole, cable offset length, etc. were taken into consideration. Then, the 154kV Y branch joint (a length of 1,560mm, a height of 585mm, a width of 305mm) connectable in an established MH space was developed.

1. ま え が き

既設線路の有効利用、増設対応のために、既設のOFケーブル線路に引き込みでCVケーブルを接続するケースが今後増大するものと思われる、これに対応したY分岐接続部の開発が望まれている¹⁾。しかし、既設マンホールは、OFケーブル用接続部を組立・設置するスペースはあるが、66kVYJからスケールアップした154kVYJでは、その大きさ、質量から既設マンホール内での接続作業が難しい。そこで、既設マンホール内で接続作業ができて設置可能なコンパクトで、かつCV/OFケーブルに対応した異種YJを開発・実用化することにした。

YJの構造は、CVケーブルに対してはプレハブ構造とし、近年の154～500kVPJでの各部構成要素ごとの電気性能確認データ²⁾および設計電界³⁾など、これまでのプレハブ構造の研究開発をとおして得られた技術をもとに、エポキシユニットの絶縁厚低減、ゴムストレスコーンの縮小化

を行った。一方、OFケーブルに対しては、エポキシベルマウスを適用した電界遮へい構造とし、CV側の縮小化により、絶縁ネックとなったエポキシユニットとエポキシベルマウスの界面電界の低減を検討して設計電界内に納めた。

エポキシユニット内部電極とケーブル導体との接続にはマルチコンタクトを適用し、エポキシユニットの長さ寸法を縮小して、さらにコンタクト部の引き止め特性の向上、ケーブルのエポキシユニット内挿入作業性改善などをはかった。

また、エポキシユニットのケーブル挿入口間隔はユニット外径寸法と密接な関係があり、プレモールド絶縁体圧縮装置の構造を改良することにより、その外径寸法を縮小し、挿入口間隔およびユニット外径を縮小した。

また、エポキシユニットのケーブル適用サイズを200～2,000mm²の全サイズ共用として汎用性を高めた。

このように設計検討したYJにて接続作業性を確認するとともに、所定の性能を有することを検証した。

ここに開発・検討結果を報告する。

*1 電力技術開発グループ
*2 富津事業所品質保証課
*3 機器製造部第一製作課

2. 開発目標

154kV異種YJの目標性能と寸法を表1に示す。目標設定にあたっては、東京電力(株) 殿購入仕様書を基本とした。

基本構造は66kV級をベースとしたもので、ケーブル挿入口が1口の面とその反対側の面に2口を有する構造で、各々の口にはOF / CVケーブルともに接続できる構造とした。

表1 開発目標
Development target

項目	条件	
対象ケーブル	CV	154kV 1,800mm ² (絶縁厚15mm)
	OF	154kV 800mm ²
YJ寸法	長さ 1,600mm以下 幅 330mm以下 高さ 660mm以下	
CV側電気性能	AC耐圧	295kV × 1h (常温)
	Imp耐圧	±1,035kV × 3回 (常温)
OF側電気性能	AC耐圧	300kV × 3h (常温)
	Imp耐圧	- 900kV × 3回 (常温)
導体引き抜け性能	10kN以上	

3. YJの構造検討

3.1 導体接続

従来66kVYJの導体接続方法は、チューリップコンタクトによる着脱機構を採用していたが、引き抜け力として2.5kN程度であり、10kN以上を確保するためには、引き止め機構を付加する必要があった。そこで、まず長手方向の寸法縮小に有効なマルチバンド(バンド2枚 / 3,000A仕様)を先端に装備した接続端子を検討した。さらに、このマルチバンドに引き止め機構としてエポキシユニットとねじ止め固定するように引き抜け防止カラーを設計した。図1にその構造を示す。

これにより長さ方向の寸法を約20%縮小できた。また、ケーブルの引き抜け力を測定した結果、エポキシユニット内の引き抜け防止カラーの変形により26.95kNで引き抜けており、目標性能を満足する結果が得られた。さらには、1回 / 年ペースの現地での着脱を想定し、着脱回数を30回として、2口側両方に接続端子を挿入して接続端子間の接触抵抗を測定(試料 / 試料)したところ、いずれも図2に示すように異常な抵抗上昇はなく、問題ないことを確認した。

3.2 エポキシユニット

図3に示すとおり、CV / OFケーブル兼用のユニット構造とするために、個々のケーブル挿入口にそれぞれ遮へい電極、油止めシール構造を検討した。従来66kV級YJの絶縁設計をベースにした場合、エポキシ絶縁厚が50mm以上となるため、近年の高性能化技術²⁾³⁾をベースとして設

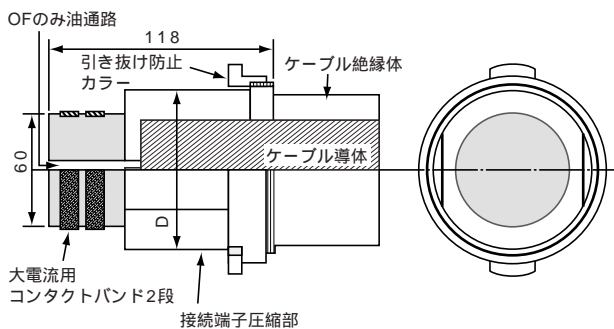


図1 接続端子および引き抜け防止構造

Connection terminal and Prevention structure drawing out

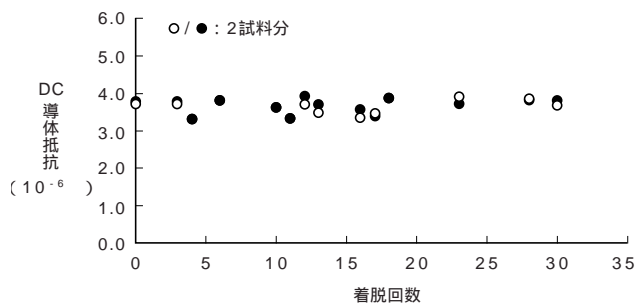
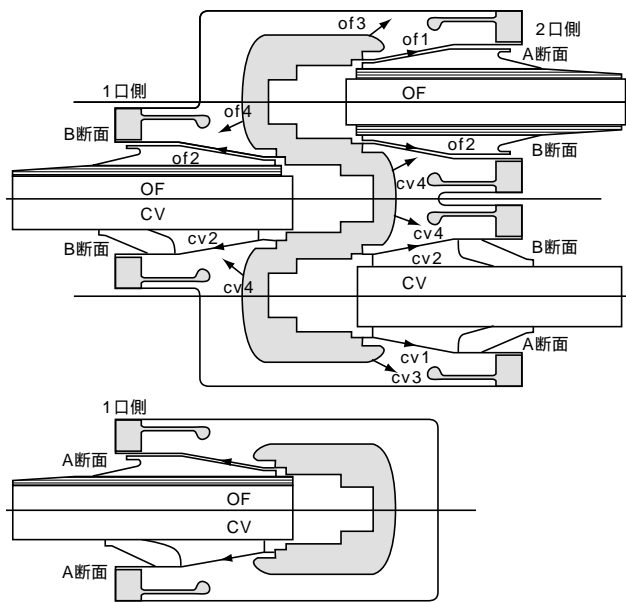


図2 着脱回数と直流導体抵抗

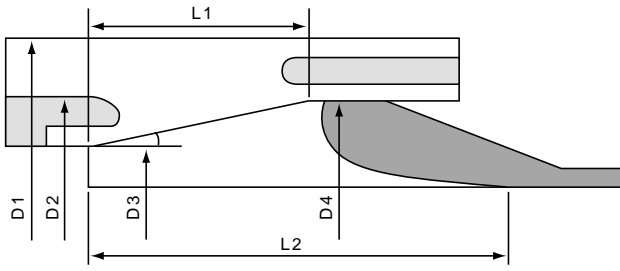
Relationship of connection times and DC resistance



記号	設計部位
cv1 ~ cv4	ゴム - エポキシ界面電界 エポキシ電極先端電界
of1 ~ of4	油 - エポキシ界面電界 エポキシ電極先端電界

図3 エポキシユニット構造(設計断面)
Structure of epoxy unit (design section)

計電界を検討し、エポキシ電極平坦部（長円半径部）で絶縁厚35mmに低減した。特に以降で述べる界面の電界とともに、内部電極先端の電界が設計電界を下回るように形状寸法を決定した。



部 位	記 号	154kVPJ	154kVYJ
ユニット外径	D1	270	250
電極外径	D2	188	180
ゴム先端外径	D3	190	116.2
ゴム最外径	D4	175	155
エポキシ界面長	L1	140	110
ケーブル界面長	L2	210	170
界面角度		10	10

図4 ゴムストレスコーン形状寸法
Measurement of rubber stress cone

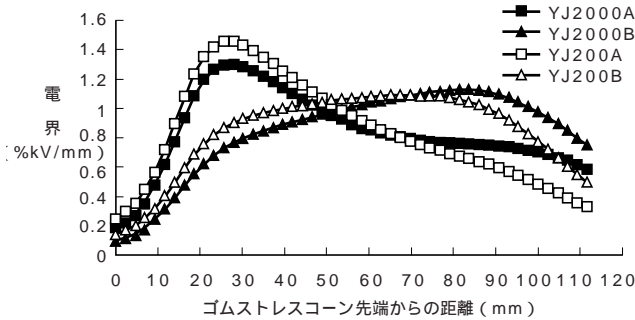


図5 ゴム - エポキシ界面電界(ケーブルサイズ & A / B断面)
Rubber/epoxy interface electric strength
(Cable size & A/B Section)

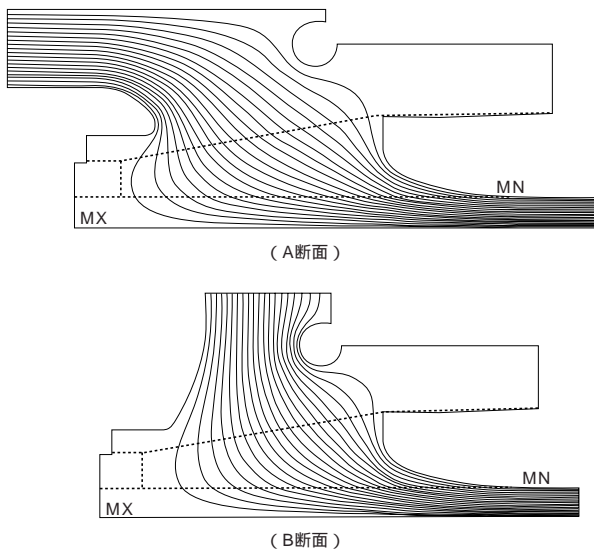


図6 CV側等電位線図
Electric field map of XLPE cable side

3.3 CV側絶縁構造

ゴムストレスコーンおよびその界面（ゴムストレスコーン/エポキシユニット，ゴムストレスコーン/ケーブル絶縁体）の設計もエポキシユニットと同様に，高性能化技術をベースにしてコンパクト化をはかった。ゴムストレスコーンの構造寸法をエポキシユニットとあわせて図4に示す。

また，一つのユニットで全サイズのケーブルに適用させるため，200mm²/2,000mm²絶縁厚17mmケーブルにおける各部の電界を確認した。ケーブルサイズによる界面電界の分布を図5に，等電位線図例を図6に示す。A断面で大サイズ側，B断面で小サイズ側の界面電界が高くなる傾向があるが，いずれも，界面設計電界以下におさまっていることを確認できた⁴⁾。

一方，プレハブ構造では界面の面圧分布も設計のポイントであり，応力解析により界面面圧と界面方向の分布を確認した。解析結果例を図7に示す。ゴムストレスコーン圧縮装置により電界が生じる界面では面圧0.5MPaを確保しているが，界面面圧は，界面形成後のゴムの馴染み（密着状態）によって，0.05MPa程度で十分な電気性能が得られることが知られており⁵⁾，今回設定される面圧レベルで界面電気性能は十分なものと判断される。

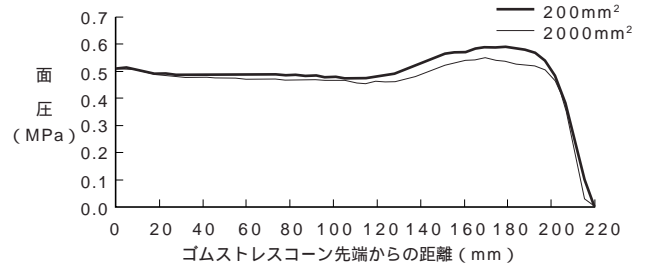


図7 界面面圧の解析結果
Analyzing result of interface pressure

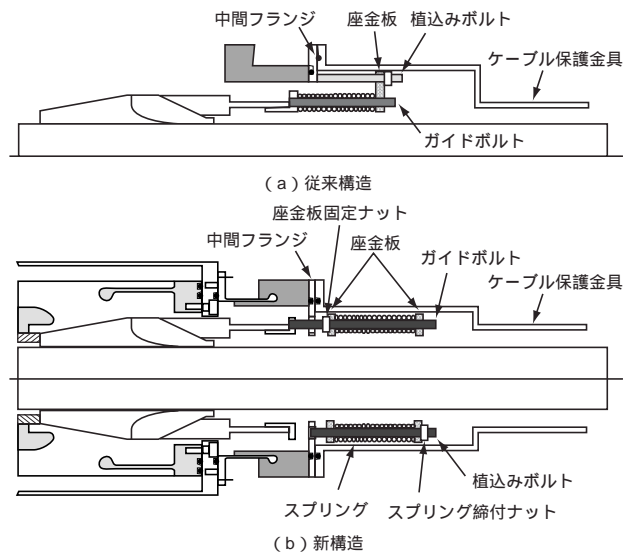


図8 ゴムストレスコーン圧縮構造
Structure of epoxy stress cone

3.4 CV側ゴムストレスコーン圧縮構造

ケーブル挿入口が2口側の間隔を縮小することにより、YJの高さ寸法の縮小がはかれることから、この間隔寸法を決めているゴムストレスコーン圧縮装置の構造検討を行った。

従来の圧縮装置構造では、二つの挿入口間隔を330mm程度確保しなければならなかったが、図8に示すように従来の圧縮構造におけるスプリング長を設定するための植込みボルトを、スプリング内にとおしたガイドボルトと同一円周上に交互に配置することにより、径方向の縮小をはかり、挿入口間隔を270mmと20%縮小した。これにより、YJ寸法の高さが585mmとなり、また同時に幅も縮小されて目標寸法をクリアできた。

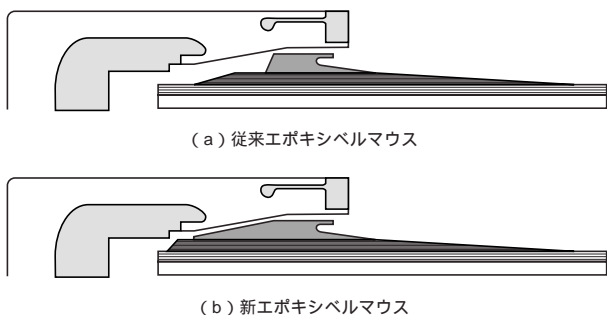


図9 エポキシベルマウス構造
Press units of rubber stress cone

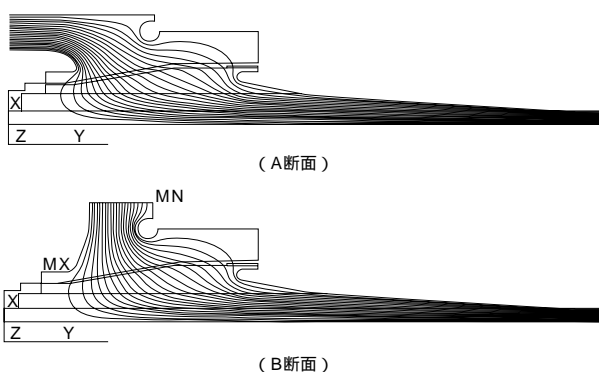


図10 OF側等電位線図
Electric field map of OF cable side

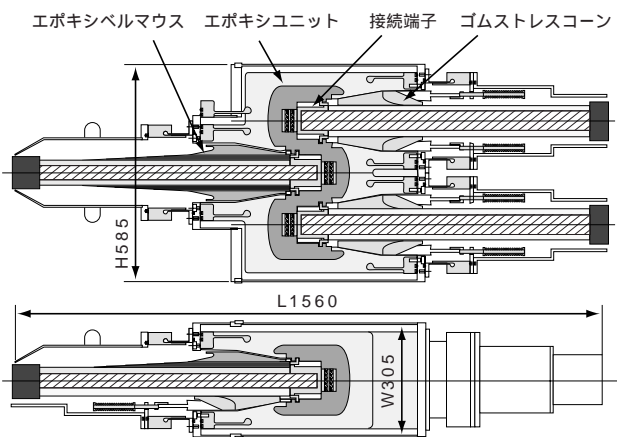


図11 YJ構造
Structure of YJ

3.5 OF側絶縁構造

CV/OF兼用のユニット構造としたため、OF側ではCV側ゴム/エポキシ界面形状にあわせたエポキシベルマウスによる電界遮へい構造とした。しかし、従来からのエポキシベルマウスでは、油/エポキシ界面電界が設計電界に対し裕度が小さいため、界面電界を低減する方策として、エポキシ材料と形状の検討を行った。これまでエポキシベルマウスに適用されるエポキシの比誘電率は4.2であるが、これを6.0の材料を適用することにより油との比誘電率の差を広げ、また、図9に示すとおりエポキシベルマウスの形状をエポキシユニット界面テーパー形状に沿った形状とすることで、油/エポキシ界面電界の均一化をはかった。この結果、界面電界を約25%低減することができた。OF側の等電位線図を図10に示す。

3.6 YJの構造と寸法

154kV異種YJの全体構造図を図11に示す。全長寸法は1,560mm、幅305mm、高さ585mmと目標寸法に収まるコンパクトなYJを設計することができた。

4. 初期電気試験

設計した154kVYJの初期電気性能評価を行った。適用したケーブルは154kV1,800mm²CVケーブルと154kV800mm²OFケーブルで、異種接続部を組立てた。初期電気試験結果を表2に示す。すべての試料でACおよびImp耐圧をクリアし良好な結果であった。破壊部位はいずれもOF側の油/エポキシ界面であった。さらにCV側のImp破壊性能確認のためにCVケーブルのみで組立てた試料でも耐圧値を大きく上回る電圧で、ゴムストレスコーン立ち上がり部で破壊した。これらの初期電気試験結果より、コンパクト化した154kVYJの設計の妥当性を検証できた。

5. 長期課通電試験

初期電気試験に続いて長期課通電試験により長期電気性能評価を行った。

試料は初期電気試験同様、CVケーブルとOFケーブルを組合せた異種接続部とした。図12にその試験線路を示す。通電によるヒートサイクルは、気中終端箱(EB-A)-CVケーブル-YJ-CVケーブル-EB-Aのループで、所定条件を与えて行った。

表2 YJ初期試験結果
Result of initial performance test

試料	項目	試験結果
OF / CV	常温AC	耐圧試験300kV × 3時間OK 15kV × 1時間ステップアップ 450kV × 10分BD OF側エポキシ界面破壊
OF / CV	常温Imp	耐圧試験 - 900kV × 3回OK 20kV × 3回ステップアップ - 1,140kV × 1回BD OF側エポキシ界面破壊
CV / CV	常温Imp	耐圧試験 ± 1,035kV × 3回OK - 50kV × 3回ステップアップ - 1,485kV × 1回BD ストレスコーン立ち上がり破壊

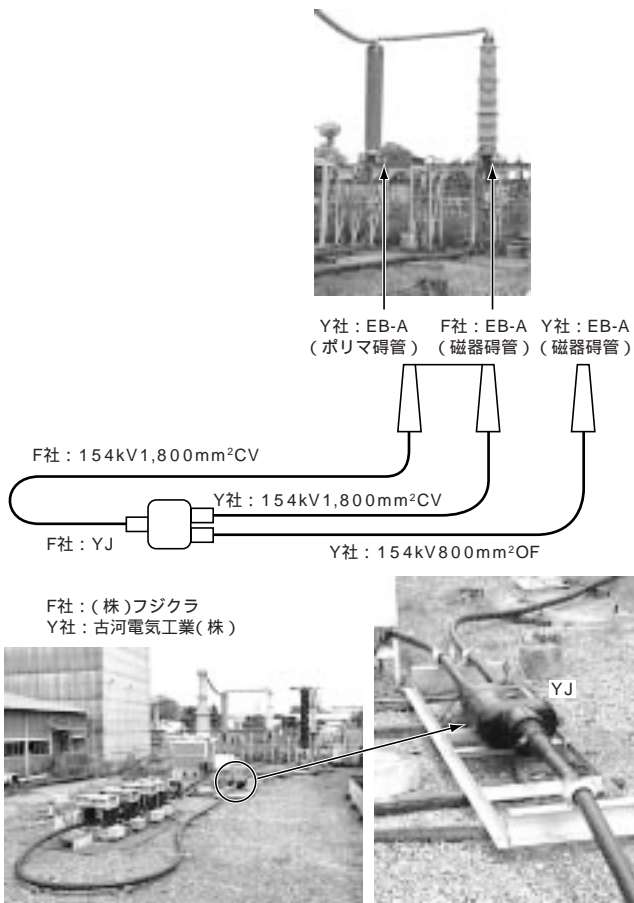


図12 長期試験線路
Long term aging test line

本開発では、古河電気工業(株)と(株)フジクラの共同開発を行うことで、開発の効率化をはかっており、長期試験フィールドを古河電気工業(株)千葉事業所内試験ヤードとした。試験設備の融通、線路建設における技術交流、試験進捗の情報伝達など両社が協力して試験実施に努めた。

試験電圧はOF側要求性能から150kVとし、通電条件は、CV側の通電であることから90 × 5か月 / 105 × 1か月とした。

試験線路のEB - Aには、従来の磁器製碍子タイプと古河電気工業(株)製シリコン複合碍管タイプの両タイプを供試し、同時にこれらのEB - Aの長期電気性能評価を行った。

長期課通電試験は、表3に示すとおり良好な結果であり、終了後残存試験を同事業所内で引き続き実施した。残存

表3 長期試験結果

Result of long term aging test

項目	条件/結果
長期試験	課電：150kV × 6か月合格 ヒートサイクル： 90 × 5か月 & 105 × 1か月
残存試験	OF対CV 耐圧試験Imp - 900kV × 3回合格 耐圧試験AC200kV × 10分合格 OFケーブルをCVケーブルに切り替えて、以降の耐圧・破壊試験を実施。
	CV対CV (OF CV) 耐圧試験Imp ± 1,035kV × 3回合格 耐圧試験AC175kV × 10分合格 破壊試験実施 AC695kV × 5分 試験端末破壊

試験ではOF側の耐圧を確認した後、OFケーブルをCVケーブルに組みかえて行った。この結果、CV側の耐圧を確認し、AC破壊試験でもYJで破壊しないという結果（試験端末破壊）が得られた⁶⁾。

6.むすび

今回、コンパクト化をはかった154kVYJの開発を行い、各種要求性能をクリアして、開発品が154kV実線路へ適用できる性能を有することを検証した。今後、既設線路への適用などで分岐接続に貢献できるものと考えている。

本開発は前述のとおり、古河電気工業(株)と(株)フジクラとの共同開発であり、開発にあたっては東京電力(株)殿のご指導をいただきました。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 家徳ほか：66kV縮小型YJの既設MHへの適用，平成12年電気学会全国大会，450
- 2) 武田ほか：CVケーブル用プレモールド型接続部のエポキシユニットの初期破壊特性と厚さ依存性の検討，平成6年電気学会全国大会，1555
- 3) 板谷ほか：500kVPMJの設計と初期性能，平成10年電気学会電力・エネルギー部門大会，429
- 4) 武田ほか：CVケーブル用プレモールド型接続部のゴム - エポキシ界面破壊特性，平成7年電気学会電力・エネルギー部門大会，439
- 5) 高橋ほか：プレハブ型接続部の界面絶縁に関する実験と考察，平成5年電気学会電力・エネルギー部門大会，47
- 6) 山下ほか：154kVコンパクトOF対CV異種Y分岐接続部の開発，平成14年電気学会全国大会，7 - 141