The University of Osaka Institutional Knowledge Archive

Title	耐熱CVケーブル並びに接続部の開発
Author(s)	山田, 浩之; 三宅, 孝士郎; 村田, 義直 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2004, 13, p. 54-63
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76779
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

電気材料技術雑誌　第13巻第1号
J. Soc. Elect. Mat. Eng.　Vol.13,　No.1　２００４

耐熱CVケーブル並びに接続部の開発

山田　浩之、三宅　孝士郎

関西電力㈱　電力技術研究所　電力基盤技術研究室（流通）
〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺3-11-20

村田　義直*、岸　幸治*、渡辺　傑**

*:㈱ジェイ・パワーシステムズ　研究開発センター　システムグループ
〒319-1414 茨城県日立市日高町5-1-1

**:㈱ジェイ・パワーシステムズ　電力事業部　西部技術グループ
〒554-0024 大阪府大阪市此花区島屋1-1-3

Development of Heat-resistant XLPE Cable and Accessories

Hiroyuki YAMADA, Koujirou MIYAKE

The Kansai Electric Power Co., Inc.,
11-20 Nakoji, 3-Chome, Amagasaki, Hyogo-ken, 661-0974, Japan

Yoshinao MURATA*, Koji KISHI*, Masaru WATANABE**

J-Power Systems Corp. ,
* : 5-1-1 Hitaka-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken, 319-1414, Japan
** : 1-1-3 Shimaya, Konohana-ku, Osaka, 554-0024, Japan

We have developed heat-resistant XLPE cable and accessories that can be operated at 105℃ as the maximum permissible conductor temperature in normal operation. Through this cable system, greater transmission capacity can be achieved using existing cable ducts and without increasing the conductor size of the cable. We have developed heat-resistant XLPE insulation material which has a higher melting point than that of conventional XLPE. The breakdown strength of heat-resistant XLPE cable at 105℃ is almost the same as that of conventional XLPE cable at 90℃. The heat deformation of the new cable at 105℃ is almost the same as that of conventional XLPE cable at 90℃. Conventional self-pressurized rubber joints can be applied to heat-resistant cable lines with the new waterproof joint compound with low heat resistivity.

KEYWORDS : XLPE cable, Self pressurized joint, Heat resistance, Permissible temperature.
キーワード：CV ケーブル，自己収縮型接続部，耐熱性、許容温度

1．はじめに

近年、既存設備を利用してケーブル線路の送電容量を増大することが望まれつつある。これは、日本国内においては、管路布設が多く採用されているが、管路の建設はケーブル線路建設費に比べコスト高であり、また、特に都心部では、管路建設による新規送電ルートの構築は難しい状況となっているためである。

既設管路を利用して送電容量増大を図る場合は、ケーブル許容温度を高めて、同一導体サイ

ズで大容量送電を可能とすることが有効である。そこで、筆者らは、現行の架橋ポリエチレン電力ケーブル（以下、ＣＶケーブル）の常時許容温度90℃を105℃に高めることを目標とした、耐熱ＣＶケーブル並びに接続部を開発した。本稿では、開発した耐熱ＣＶケーブル並びに接続部の開発ポイントと諸特性について報告する。

２．開発目標と開発ポイント

２．１．開発目標温度の設定

現行ＣＶケーブルの常時許容温度および短時間許容温度は、それぞれ90℃、105℃である。これらの許容温度を高めることで、同一導体サイズでの送電容量を増大することが可能である。

しかしながら、常時許容温度を無制限に高く設定すると、例えば土壌の乾燥などの周囲環境への影響が懸念される。また、過度の高温運転は、ケーブルの伸び出し等を考慮したオフセット設計を大幅に見直す必要が生じ、設備全体としてはかえってコスト増となる可能性がある。

上記のことも考慮しつつ、常時許容温度を高めることによって、現行ＣＶケーブに対して１ランク小さな導体サイズで同量の送電容量を確保できるような、開発目標温度を検討した。検討結果の一例として、単心ケーブルを管路に布設した場合における常時許容温度90℃、105℃での導体サイズと送電容量の関係を図１に示す。常時許容温度を105℃に高めることによって、約10％の送電容量増大が可能であり、1000㎟以上の大サイズケーブルにおいて１ランク小さな導体サイズでほぼ同量の送電容量を確保することができる。従って、本研究においては、常時許容温度を105℃とすることを目標とした。

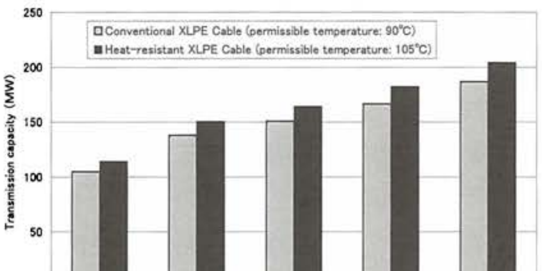

図1 導体サイズと送電容量の関係
Fig. 1. Relationship between conductor cross section area and transmission capacity

次に、短時間許容温度の目標設定について以下に述べる。現行ＣＶケーブルでは、常時許容電流の110％の過負荷電流を許容できる温度として、短時間許容温度105℃が設定されている。耐熱ＣＶケーブルにおいても同様に、常時許容温度を105℃とした場合の常時許容電流に対して、その110％の電流を許容できる温度を短時間許容温度とすることとし、本研究では、短時間許容温度を125℃とすることを目標とした。

２．２．ケーブルの熱的制約と開発ポイント

近年、送電設備の増強コストを極力抑えることを目的として、現行ＣＶケーブルの使用限界に関する研究が各所で実施されている[(1)(2)(3)(4)]。これら研究のなかで、現行ＣＶケーブルの使用温度に関して、以下のような報告がなされている。

- ＣＶケーブルの初期絶縁破壊強度は、温度上昇に伴い低下するものの、90～120℃の高温領域でも高い値である[(1)]。
- ＣＶケーブルは絶縁体の融点（約105℃）以上では、絶縁破壊までの時間が短くなり、長期電気特性に課題がある[(3)]。
- ＣＶケーブルの加熱変形率は、絶縁体融点以上になると急増する[(3)]。

これらの結果は、ＣＶケーブルが、融点以上の温度での連続使用に課題があることを示唆している。また、クリート等によるケーブル把持部を考えると、実運用中はケーブル温度を融点以下に抑えることが望ましい。このことから、耐熱ＣＶケーブルの開発では、現行架橋ポリエチレン（XLPE: Cross-linked Polyethylene）絶縁材料よりも高い融点を有するＣＶケーブル用材料の開発が重要なポイントとなる。

２．３．接続部の開発ポイント

近年、実線路に適用される接続部としては、コンパクト化、施工時間の短縮化、スキルレス化などの利点を有する、自己収縮型のワンピー

ス型接続部（ＳＰＪ：Self-Pressurized Joint）が主流となりつつある[5]。耐熱ＣＶケーブル用接続部としても、同様のメリットが要求されることから、本研究では、耐熱ＣＶケーブル用ＳＰＪの開発を目指すこととした。

現行ＳＰＪは常時許容温度90℃での使用を目的に設計がなされたものであり、更なる高温使用に対する検討はなされていない。そこで、現行ＳＰＪの諸特性を見直しながら、耐熱ＣＶケーブル用としての検討を実施し、必要であれば改善を施すこととした。

３．耐熱ＣＶケーブルの開発

３．１．耐熱ＣＶケーブル用絶縁体の開発

耐熱ＣＶケーブル用絶縁材料（ＸＬＰＥ）を開発するために、種々の高融点ポリエチレン（ＰＥ）材料について熱機械特性、電気特性、加工性の面から検討を実施し、非架橋時の融点が128℃の高融点ＰＥを選定した[6]。高融点ＰＥは、ケーブル押出加工時の温度を高温に設定する必要があり、押出時の架橋反応を防止するために、現行の架橋剤（ＤＣＰ）よりも半減期が長い有機過酸化物を用いることとした。

図２に耐熱ＣＶケーブル用として選定したＸＬＰＥ材料のＤＳＣ特性を現行ＸＬＰＥ材料と比較して示す。一般にＰＥ材料を架橋すると融点が低くなる傾向にあるが、耐熱ＸＬＰＥの融点はＤＳＣピーク温度で123℃と評価され、現行ＸＬＰＥよりも20℃高い融点を有している。

図３は、耐熱ＸＬＰＥ材料の加熱変形率の温度依存性を示したものである。耐熱ＸＬＰＥの加熱変形率は、同一温度では現行ＸＬＰＥに比べ耐熱ＸＬＰＥの方が変形率が小さくなっており、耐熱ＸＬＰＥの105℃,125℃での加熱変形率は、現行ＸＬＰＥの90℃,105℃とほぼ同等となっている。

さらに、図４に示す耐熱ＸＬＰＥ材料の熱膨張率の温度依存性も耐熱ＸＬＰＥの105℃、120℃での値が、現行ＸＬＰＥの90℃、105℃での値とほぼ同等の値となっている。

以上の結果から、耐熱ＸＬＰＥ材料は、105℃、125℃において現行ＣＶケーブルの90、105℃と同等の熱挙動特性が期待できる。このことは耐熱ＣＶケーブルに対し、現行のクリート等がそのまま使えることを示唆しており、また、ケーブルの構造設計やオフセット等のケーブル布設設計を大幅に見直す必要がないことを示唆するものである。

一方、ケーブル絶縁材料としては、設計寿命

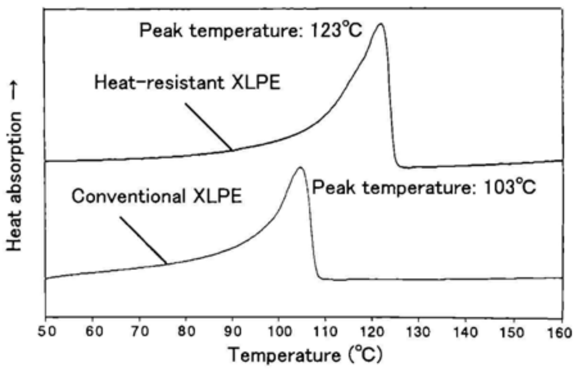

図2 耐熱ＸＬＰＥと現行ＸＬＰＥのＤＳＣ曲線
Fig. 2.DSC curve of heat-resistant XLPE and conventional XLPE

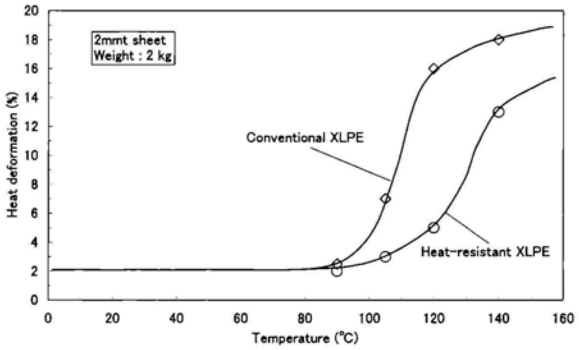

図3 加熱変形率の温度依存性
Fig.3. Temperature dependence of heat deformation

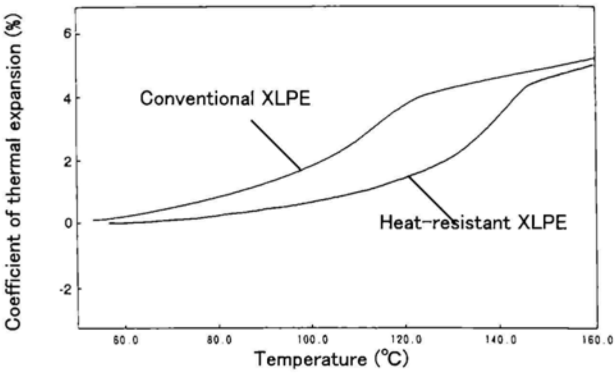

図4 熱膨張率の温度依存性
Fig.4. Temperature dependence of coefficient of thermal expansion

30年に亘って十分な熱老化特性を有する必要がある。そこで、連続105℃の使用に耐える熱老化特性を得るために、酸化防止剤の種類・添加量を検討した。開発した耐熱ＸＬＰＥ絶縁体において、伸びの絶対値が50%に低下するまでの時間を寿命として評価した熱老化特性のアレニウスプロットを図５に示す。本結果から、105℃での30年使用に十分耐える熱老化特性を有していることが示唆される。なお、耐熱ＸＬＰＥ絶縁体の開発では、図５に示した熱老化特性を得ること以外にも、酸化防止剤の及ぼす誘電正接等の電気特性への影響も考慮し最終配合を決定した。

耐熱ＸＬＰＥ材料の電気特性については、シート試料において交流電気トリー開始特性について評価を実施し、良好な特性を得ている[6]。しかし、ケーブルの破壊特性は、製造条件等が影響して、シートで得られた特性と必ずしも一致しない場合がある。従って、最終的にはケーブルでの評価を実施することとした。なお、内外半導電層用材料ならびにシース材料についても同様の検討を実施し、特性上の問題がないことを確認した。

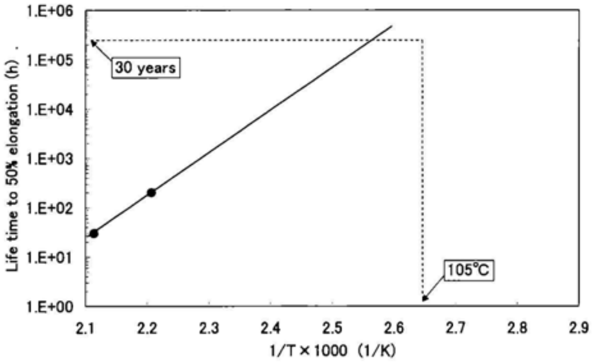

図5 熱老化特性のアレニウスプロット
Fig.5.Arrehnius plots of thermal degradation

３．２．モデルケーブルによる性能評価

開発した耐熱ＣＶケーブル用材料を使用したモデルケーブルを試作した。表１はモデルケーブルの構造であり、絶縁厚さは6㎜、導体サイズは100㎟とした。

図６は、モデルケーブルのＡＣ並びに雷インパルス（Imp）絶縁破壊強度の温度依存性を示したものである。ＡＣ絶縁破壊強度は温度にほとんど依存しない。一方、Imp 絶縁破壊強度は温度上昇に伴って若干低下する傾向にある。常温と105℃における破壊電圧値の比は、ＡＣとImp でそれぞれ、1.0，1.14と見積もられる。

表1 モデルケーブルの構造
Table 1. Construction of model cable

Conductor	Cross section	mm^2	100
	Outer diameter	mm	12.0
Thickness of conductor screen		mm	1.0
Insulation Heat-resistant XLPE	Thickness	mm	6.0
	Outer diameter	mm	26.0
Thickness of insulation screen		mm	1.0

ＡＣ電圧に対する温度係数は、現行ＣＶケーブルの値に比べると小さい値である。現行ＣＶケーブルでは、アセトフェノン等の架橋剤分解残渣が、常温～60℃程度の低温域では高電界部分に顕著に凝集し電界緩和効果を発揮するが、90℃程度の高温域ではこの凝集濃度が低下するために電界緩和効果も弱まり、ＡＣ破壊強度の温度依存性が出現すると考えられている[1]。一方、耐熱ＣＶケーブルに適用した架橋剤は、電界緩和効果を発揮する残渣成分がないために、現行ＣＶケーブルに比べ温度依存性が小さくなったと考えられる。Imp 破壊強度に対してはアセトフェノン等の残渣が影響しないことから、現行ＣＶケーブルと同様な温度依存性が出現したものと考えられる。

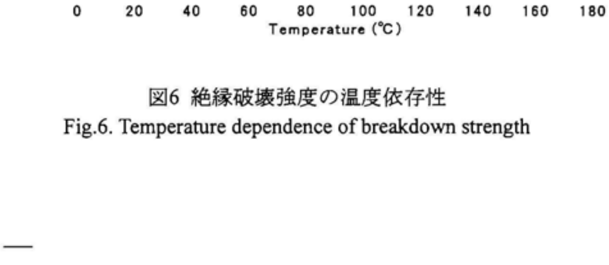

図6 絶縁破壊強度の温度依存性
Fig.6. Temperature dependence of breakdown strength

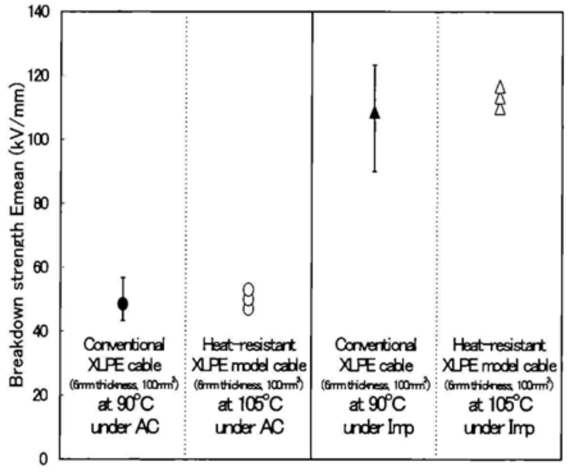

図7　耐熱ＣＶケーブルと現行ＣＶケーブルの初期絶縁破壊強度の比較

Fig.7. Initial breakdown strength of heat-resistant XLPE model cable and conventional XLPE cable

図７は、耐熱ＣＶケーブルの105℃における絶縁破壊強度を現行ＣＶケーブルの90℃における絶縁破壊強度[1]と比較したものである。耐熱ＣＶケーブルの105℃における絶縁破壊強度は、現行ＣＶケーブルの90℃と同等の良好な値を有している。

耐熱ＸＬＰＥの長期特性を評価するために、モデルケーブルを用いて、連続105℃下でのＶ－ｔ試験を実施した。

供試ケーブルの加熱保持は、ヒーターによる外部均一加熱とした。図８に試験結果を示す。モデルケーブルの連続高温（105℃）下での寿命指数としてｎ＝16が見積もられ、現行ＣＶケーブルの絶縁設計に用いられている寿命指数（ｎ＝15）の採用が十分可能なことを示唆している。

以上述べたように、試作したモデルケーブルは、高温領域においても、十分な初期および長

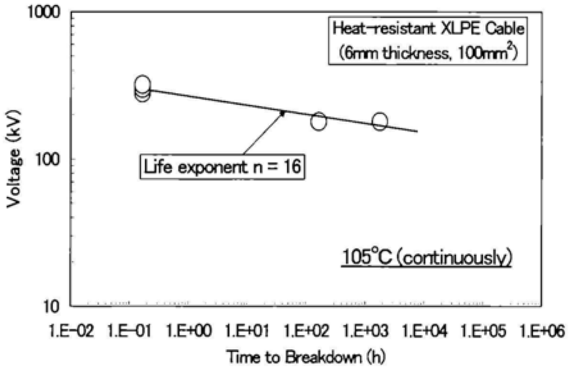

図8　耐熱ＣＶモデルケーブルのＶ－ｔ特性

Fig.8. V-t characteristics of heat-resistant XLPE cable

期特性を有していることが判明した。

４．接続部の開発

４．１．現行ＳＰＪの熱的制約

現行ＳＰＪは、常時許容温度90℃のＣＶケーブルに対して設計されたものである。ここでは、現行ＳＰＪを耐熱ＣＶケーブル用接続部として適用する場合の課題について検討した。

ＳＰＪに適用している非結晶性のエチレンプロピレンゴム（ＥＰＲ）は、絶縁破壊強度の温度依存性が小さい[7]と考えられることから、ＳＰＪの熱的制約としては、特に、熱劣化特性と応力緩和特性が挙げられる[5]。

図９は、伸びの絶対値が100％に低下するまでの時間を寿命として評価した場合のＳＰＪ絶縁ゴム材料における熱老化特性のアレニウスプロットである。この結果から、ＳＰＪ絶縁ゴムは100℃で30年の熱老化寿命を有していると推定される。

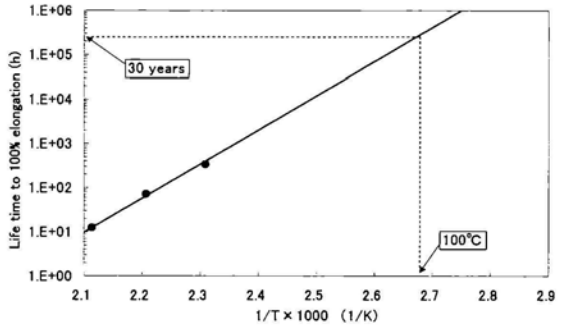

図9　ＳＰＪゴム絶縁材料の熱劣化特性のアレニウスプロット

Fig.9. Arrehnius plots of rubber insulation of SPJ

一方、ＳＰＪでは、実使用30年に亘って安定した電気性能を維持するために、ケーブル絶縁体との界面の面圧を0.2MPa以上に保つ必要があり、ゴム材料の応力緩和特性は重要な要素である。

図10に実機ＳＰＪの拡径率と同程度の30％伸びで評価した絶縁ゴム材料、導電性ゴム材料のシートサンプルの100℃での応力緩和特性を示す。なお、図10の白抜きプロットは100℃での実測データであり、黒塗りプロットはＷＬＦ式[8]を用いて換算して得られたデータである。ＷＬＦ式による換算は、120℃、130℃、140℃で得た

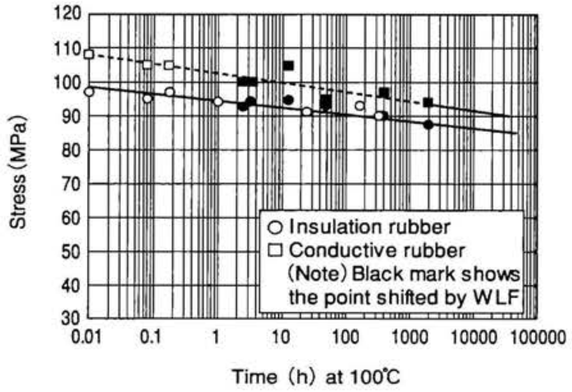

図10　ＳＰＪゴム材料の応力緩和特性(30%伸び)
Fig. 10. Stress relief characteristics of the rubber(at 30% strain)

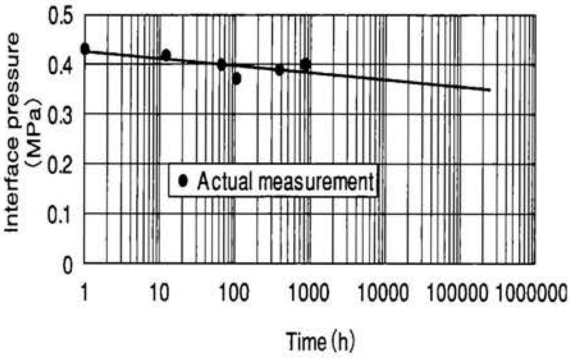

図11　ＳＰＪ面圧実測結果
Fig. 11. Actual measurements of the interface pressure of SPJ

データをそれぞれ-0.403, -0.578, -0.739のシフトファクターによって100℃のデータに換算した。図10から、時間経過とともに応力は徐々に低下するものの、30年後における初期値からの応力低下の割合は15～20%と見積もられる。また図11は、実際のＳＰＪを用いて、100℃における界面面圧を実測した結果である。実際のＳＰＪを用いて評価した面圧低下特性は、図10に示したシートサンプルによる応力緩和特性と類似した結果となっている。ところで、一般に高分子材料の応力緩和は分子主鎖のミクロブラウン運動の緩和に起因するような物理変化によるものと熱酸化劣化による分子鎖切断のような化学変化によるものが考えられる(9)が、図９に示した熱劣化特性と考え併せると、100℃・30年の領域においては物理変化に起因する緩和が主であると考えられる。このことから、図10、図11では、10^3時間オーダーのデータから実運用30年(10^5時間オーダー)まで直線で外挿して評価が可能であると考えた。

図10、図11の結果は、ＳＰＪの設計寿命30年に対して、界面面圧の初期設定値は、面圧低下率として20%を考慮すれば十分であることを示唆している。

４．２．実線路運転状況下における ＳＰＪ温度解析評価

耐熱ＣＶケーブルに適用した場合のＳＰＪ温度を、図12に示す構造に対して解析評価した。温度解析は有限要素法により実施し、周囲温度は40℃とした。

表２に各種ケーブル布設条件におけるＳＰＪの温度解析結果を示す。ケーブルが管路布設の場合は、ＳＰＪ温度は75℃と見積もられ、105℃のケーブル運転条件下において、現行ＳＰＪがそのまま適用できることが判明した。

77kV・1×2000㎟耐熱ＣＶケーブルを洞道に３条俵積布設した場合と77kV・3×600㎟トリプレックスケーブルを洞道布設した場合では、ＳＰＪ温度は約100℃と見積もられた。この結果は、材料特性からは許容できる範囲であるものの、実運用上は裕度をもたせるために、ＳＰＪ温度上昇を5～10℃低減させる対策が望まれる。

ＳＰＪ温度上昇を低減させる手法としては、局部的な水冷や風冷といった手法が考えられるが、本開発では、設備コストの面で有利な、低熱抵抗防水コンパウンドの適用を検討した。汎用の防水コンパウンド（熱抵抗率：4.7K・m/W)の代わりに低熱抵抗防水コンパウンド(熱抵抗率1K・m/W)を適用した場合の温度解析結果を表２に示した。本結果から、低熱抵抗防水コンパウンドの適用により、ＳＰＪ部温度上昇を5～10℃低減できることが期待できる。

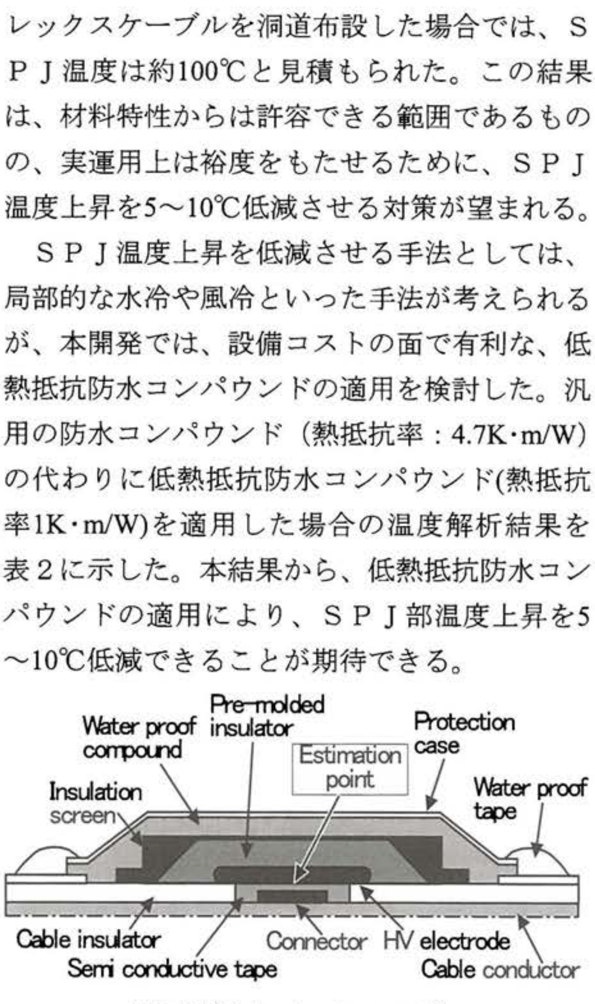

図12 温度シミュレーションモデル
Fig. 12. Simulation model

表２ 温度シミュレーション条件および結果
Table 2.Simulation condition and results

Cable	77kV 1×1000mm^2	77kV 1×2000mm^2	77kV 3×600mm^2
Joint	SPJ	SPJ	SPJ
Cable laying condition	Cable duct pipe	Cable tunnel	Cable tunnel
Cable laying formation	1 or 3 cables in a duct	Trefoil formation	Triplex type cable
Joint position	In manhole	In cable tunnel	In cable tunnel
Cable conductor temperature (assumed maximum permissible temperature for normal operation)	105℃	105℃	105℃
Maximum temperature of SPJ In case of conventional water proof compound using	75℃	98℃	97℃
Maximum temperature of SPJ In case of low heat resistivity　water proof compound using	73℃	93℃	88℃

５．プロトタイプケーブルによる性能評価

耐熱ＣＶケーブル並びに低熱抵抗コンパウンドを適用したＳＰＪの性能を確認するために、絶縁厚さ8.5㎜、導体サイズ600㎟の77kV級プロトタイプケーブルを試作した。表3にプロトタイプケーブルの構造を示す。なお、供試したＳＰＪは77kV実機相当のものである。

表3 77kV級プロトタイプケーブルの構造
Table 3.Construction of prototype cable

Conductor	Cross-section	mm^2	600
	Outer diameter	mm	29.5
Thickness of conductor screen		mm	1.0
Insulation Heat-resistant XLPE	Thickness	mm	8.5
	Outer diameter	mm	48.5
Thickness of insulation screen		mm	1.5

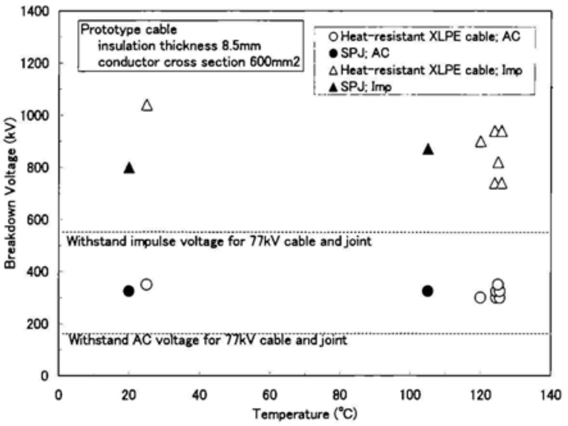

図13 プロトタイプケーブル並びにＳＰＪの初期破壊電圧
Fig. 13.Initial electric breakdown test results of prototype cable and SPJ

プロトタイプケーブル並びにＳＰＪの初期絶縁破壊試験結果を図13に示す。ここで、白抜きのプロットはケーブルの絶縁破壊電圧を、黒塗りプロットはＳＰＪの絶縁破壊電圧を示す。図13に示すように、プロトタイプケーブル並びにＳＰＪは、ＡＣ，雷インパルスのいずれにおいても、77kV級の耐電圧値を満足し、さらに破壊電圧は実運用に対して十分な裕度を有していることが確認された。この結果は、ＳＰＪの高温性能が予想通り常温に比べ低下しないことを示している。

次に、低熱抵抗防水コンパウンドの効果を確認するために、ＳＰＪの通電下における温度測定を実施した。実験には、汎用防水コンパウンドを用いたＳＰＪと、低熱抵抗防水コンパウンドを用いたＳＰＪをそれぞれ供試した。通電電流は洞道布設(周囲温度40℃)時の耐熱ＣＶ許容電流、1134Ａとし、ＳＰＪ表面温度を洞道温度40℃と等価になるように加熱保温した。測定結果を図14に示す。低熱抵抗防水コンパウンドを用いた場合のＳＰＪ温度は、解析結果と同様、汎用防水コンパウンドを用いた場合に比べて約10℃低くなり、85℃に抑えられることが確認された。

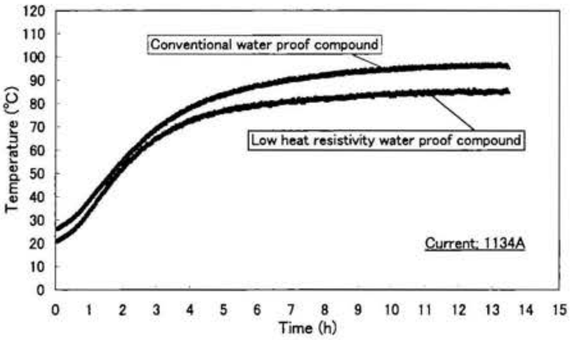

図14 ＳＰＪの通電下温度測定結果
Fig. 14. Measurement results of maximum temperature of SPJ

６．最終性能評価

６．１．耐熱ＣＶケーブルの絶縁厚選定

77kV 耐熱ＣＶケーブルを製作するにあたり、これまでの破壊試験結果から絶縁厚さの選定を行った。

まず、必要絶縁厚さについては、ケーブル単体および接続箱を考慮した必要絶縁厚さを算出した。

結果、表4に示す通り、接続箱立上部(ケーブル外導処理部)における雷インパルス耐電圧から決まる必要絶縁厚が一番大きく、導体サイズ600㎟ケーブルで必要絶縁厚は9.5㎜、2000㎟ケーブルで10㎜となり、現行の77kV ＣＶケーブルより1㎜薄くできることが分かった。

しかし、1㎜薄くしたとしても、関西電力㈱の標準管路サイズに収めることのできるケーブル仕様に変化が無く、逆に、現行のＣＶケーブルに絶縁厚に合わせた方が接続箱の設計並びにクリート寸法等の面で合理的である。

よって、ケーブル絶縁厚は従来仕様に合わせてトリプレックス形ケーブル(100㎟～400㎟)では10㎜、単心ケーブル(600㎟～2000㎟)では11㎜を採用することとした。

表4 必要絶縁厚さの検討
Table 4.　Examination of insulated thickness

Conductor size		2000sq	600sq	150sq
Cable simple substance	ＡＣ	4.1mm		
	Imp	6.3mm		
Joint Box consideration	ＡＣ	8.2mm	7.7mm	7.0mm
	Imp	9.9mm	9.2mm	8.5mm
Required insulation thickness (Up Valuation at 0.5mm)		10.0mm	9.5mm	8.5mm

６．２．実規模ケーブルによる性能評価

本開発の最終検証試験として、現行の77kVＣＶケーブルと同等の絶縁厚さ11㎜で製造した77kV 耐熱ＣＶケーブルとＳＰＪを用い、関西電力㈱山崎実験センターにおいて、2002年11月から1年間にわたる長期課通電試験を実施した。表5にケーブルの構造を、図15に試験状況を示す。

表5 77kV 耐熱ＣＶケーブルの構造
Table 5. Construction of 77kV Heat-resistant XLPE Cable

Conductor	Cross-section	mm^2	600
	Outer diameter	mm	29.5
Thickness of conductor screen		mm	1.0
Insulation Heat-resistant XLPE	Thickness	mm	11.0
	Outer diameter	mm	68.5
Thickness of insulation screen		mm	1.5

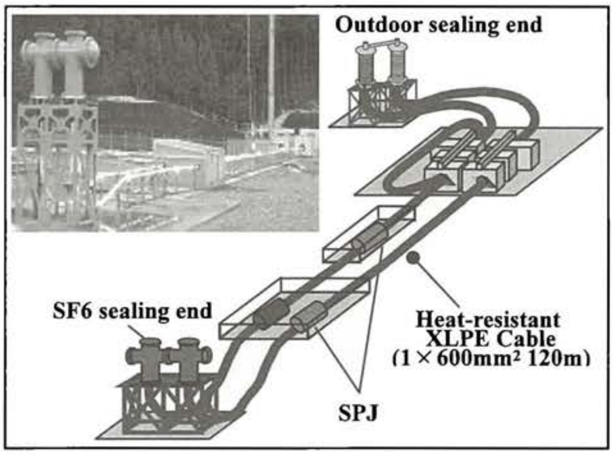

図15 長期課通電試験状況
Fig. 15.View of long-term heating cycle voltage test

試験については、JEC-3408-1997に準拠した試験を行うとともに、さらに本ケーブル材料が新規材料であることを加味し、IEC62067の PQ テストに準拠した試験も併せて行える方法で実施した。

課電試験については、課電電圧を77kV (1.7U0)、課電期間を１年(8760時間)とし、ヒートサイクル試験については、105℃のヒートサイクル(8時間 ON／16時間 OFF，導体最高温度2時間以上保持)を180回以上、125℃のヒートサイクル(8時間 ON／16時間 OFF)を30回以上実施した。試験条件を表6に示す。

なお、①線路組立後(課通電試験開始前)、②JEC 試験相当完了後(105℃：150回，125℃：30回)、③長期試験試験完了後に、部分放電試験および tan δ 試験も実施し、線路全体としての健全性確認も行った。

表6 試験条件
Table 6. Test Condition

Applied voltage	AC 77kV (=U0*√3)
Duration	1 year
Temperature	･105℃ 8h ON / 16h OFF　180 cycles (105℃ 2-hour maintenance) ･125℃ 8h ON / 16h OFF　30 cycles

結果、１年間にわたる長期課通電試験期間を通じて、ケーブルおよびＳＰＪは、絶縁破壊を生じることなく、試験を完了することができた。また、前述の通り本試験期間を通じて実施した部分放電試験および tan δ 試験では良好な結果が得られ、線路としての劣化も無いことを確認した。

さらに、長期試験後に実施した残存試験において、ケーブル並びにＳＰＪの絶縁破壊性能は、表7に示す通り、初期性能と同等の良好なものであった。

以上の結果から、今回開発した77kV 級ケーブル並びにＳＰＪは耐熱用として実用上十分な初期および長期性能を有していることが確認された。

表7 77kV 級ケーブル並びにＳＰＪの
初期性能試験および残存性能試験結果
Table. 7. Initial and Residual electric breakdown test results of 77kV cable and SPJ

	Initial performance test		Residual performance test	
	ＡＣ	Imp	ＡＣ	Imp
Cable	425kV	-1040kV	475kV	-1040kV
ＳＰＪ	320kV	-920kV	No Data	-860～-920kV

※Conductor Temperature：105℃

７．まとめ

既設管路の有効利用の一方策として、常時許容温度を105℃とすることを目標として、耐熱ＣＶケーブル並びに接続部の開発を実施した。
本研究で得られた成果は次の通りである。

① 現行ＣＶケーブル用絶縁材料よりも高い融点を有する、耐熱ＣＶケーブル用絶縁材料を開発した。

② 開発した絶縁材料は、実用上十分な熱老化特性と熱機械特性を有している。

③ 開発した絶縁材料並びに半導電性材料、シース材料を用いた、モデルケーブル並びに77kV 級プロトタイプケーブルを試作し、常時許容温度105℃の実運用に十分な、初期性能と長期性能を有していることを確認した。

④ 現行ＳＰＪに低熱抵抗防水コンパウンドを適用することにより、ＳＰＪ部温度上昇を低減させることが可能であり、耐熱ＣＶケーブル用接続箱として使用可能であることを確認した。

⑥ 絶縁厚11㎜で試作した77kV 耐熱ＣＶケーブル並びにＳＰＪについて１年にわたる長期課通電試験を行い、実用30年相当以上の寿命を確認した。また、長期課通電試験後の残存性能試験においてケーブル、接続箱の各試料とも初期性能とほぼ同等の性能を保持していることが確認された。

以上のことから、今回開発した耐熱ＣＶケーブルならびに接続部は、77kV 級線路への適用に十分耐えうることが検証できた。

参　考　文　献

(1) S. Nakagawa, Y. Nakanishi, S. Katakai, Y. Murata, M. Kanaoka, "Breakdown Characteristics of XLPE Cable Insulation at High Temperature", 8th International Symposium of High Voltage Engineering, Paper No. 23.04, 1993

(2) S. Nakagawa, Y. Matsuda, H. Yamada: "Study of high temperature characteristics for XLPE cables (Part1)", Proceedings of the Thirteenth Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan, No.353(2002)
中川、松田、山田：「ＣＶケーブル高温特性の検討（その１）」、平成１４年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.353(2002)

(3) M. Nakade, T. Matsui, H. Tanaka, K. Takahashi, S. Katakai, S. Miyake, "Electrical Characteristics of an XLPE Cable under High Temperature", T. IEE Japan, Vol.121-B, No.1, 109, 2001 (in Japanese)
中出、松井、田中、高橋、片貝、三宅：「ＣＶケーブルの高温運転電気特性」、電学論Ｂ、１２１巻１号、109（2001）

(4) M. Nakade, T. Matsui, "Oxidative Degradation Characteristics of a Tape Lapped Cable Joint", T. IEE Japan, Vol.121-B, No.11, 1524, 2001 (in Japanese)
中出、松井：「テープ巻き絶縁形ケーブル接続部の酸化劣化特性」、電学論Ｂ、１２１巻１１号、1524（2001）

(5) G. Okamoto, N. Yoshikawa, Y. Inoue, S. Narisada, K. Fudamoto, M. Yamashita and A. Konashi, "Development of Self-Pressurized Joint for 66-kV to 275-kV XLPE Cables", SEI TECHNICAL REVIEW, No.51, January2001

(6) S. Nakagawa, T. Yamazaki, K. Watanabe, S. Katakai, M. Kanaoka, Y. Kamei: "Investigation of Crosslinked Polyethylene with High Melting Point and Its Application to Power Cable Insulation", Proceedings of the Seventh Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan, No.40(1996)
中川、山崎、渡辺、片貝、金岡、亀井：「高融点架橋ポリエチレンケーブルの開発」、平成８年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.40(1996)

(7) S. Nakagawa, T. Yamazaki, Y. Murata, T. Gorai, N. Kobayashi: "Fundamental Researches of Heat-resistant Materials for XLPE Cable and Accessory", 1998 National Convention Record I.E.E.Japan, No.349(1998)
中川、山崎、村田、五来、小林：「CV ケーブルおよび付属品の耐熱性向上基礎研究」、平成10年電気学会全国大会、No.349（1998）

(8) L. Williams, R. E. Landel, J. D. Ferry, J. AM. Chem. Soc., 77, 3701(1955)

(9) 例えば、村上謙吉編：「高分子の化学レオロジー」、朝倉書店（1968）

(10) (社)電気協同研究会：「ＣＶケーブルおよび接続部の高電圧試験法」、電気協同研究、第51巻第１号、(1995)

（2004年6月28日受理）

山田浩之（会員）
1973年6月4日生まれ。1994年3月近畿大学熊野工業高等専門学校電気工学科卒業。同年4月関西電力株式会社入社。現在、同社電力技術研究所勤務。主として、地中送電関係の研究に従事。電気学会会員。

三宅孝士郎（会員）
1960年8月13日生まれ。1984年3月大阪大学工学部電気工学科卒業。同年4月関西電力株式会社入社。現在、同社電力技術研究所勤務。主として、ＣＶケーブルの劣化診断についての研究に従事。

村田義直（会員）
1968年4月26日生まれ。1992年3月東京理科大学理工学部物理学科卒業。同年４月日立電線株式会社入社。2001年10月より株式会社ジェイ・パワーシステムズ、研究開発センター勤務。主として、電力ケーブルの研究開発に従事。電気学会会員。

岸幸治（会員）
1965年8月1日生まれ。1990年3月東京農工大学工学研究科電気工学専攻修士課程終了。同年4月住友電気工業株式会社入社。現在、株式会社ジェイ・パワーシステムズ、研究開発センター勤務。主として、電力ケーブルの研究に従事。電気学会会員。

渡辺傑（会員）
1962年3月24日生まれ。1987年3月名古屋大学大学院工学研究科結晶材料工学専攻修士課程終了。同年４月住友電気工業株式会社入社。現在、株式会社ジェイ・パワーシステムズ、電力事業部技術部勤務。主として、電力ケーブルの開発・設計に従事。電気学会会員。