

J C A A 技術報告

(第 5 号)

高圧ケーブル用終端接続部について (その2)

(会報No. 5号~22号テクニカルレビューより)

1997年11月

社団法人 日本電力ケーブル接続技術協会

技 術 委 員 会

目 次

1. はじめに	1
2. 終端部の電界緩和.....	2
2.1 ゴムとう管形屋外終端接続部の外部半導電層構造について（会報No.5）.....	2
2.2 ケーブル終端部しゃへい層の電界緩和処理方法について（会報No.6）.....	3
3. 劣化・保守.....	6
3.1 曲げストレスによる架橋ポリエチレンケーブルの絶縁劣化特性（会報No.7）.....	6
3.2 トラッキング試験方法について（会報No.14）.....	8
3.3 ケーブル劣化の種類とその対策（会報No.15）.....	11
3.4 高圧架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルの保守・点検について（会報No.22）.....	13
4. 金属部品	17
4.1 すずめっきとウイスキーについて（会報No.8）.....	17
4.2 鋳物の欠陥と対策について（会報No.10）.....	18
4.3 熔融亜鉛めっきの防錆について（会報No.13）.....	21
4.4 異種金属（アルミ端子-銅端子）接触による腐食防止方法について（会報No.16）.....	23
4.5 はんだ付けについて（会報No.19）.....	24
5. 試験方法	27
5.1 PL-PAS接続高圧ケーブル絶縁耐力試験時の留意事項について（会報No.18）.....	27
5.2 ポリマー絶縁材料及び端末の汚損試験方法に関して（会報No.20）.....	28
6. 製 品.....	34
6.1 ゴムモールド製品の成型方法（会報No.9）.....	34
6.2 高圧耐火ケーブル用付属品について（会報No.12）.....	35
6.3 高圧モーター端子箱内終端接続部について（会報No.17）.....	36
6.4 波付鋼管がい装ケーブル用終端接続部のがい装処理方法について（会報No.21）.....	38
7. おわりに	41

1. はじめに

JCAA会報「テクニカルレビュー」は1986年3月初回から毎号掲載しているが、このまま埋もれてしまうには惜しい内容が数多くあり、またケーブル接続部品に携わる人の世代交代もあることにより、従来技術の継承の観点から前回、会報No.4までのテクニカルレビューを技術報告第2号として1992年に発行した。

その後、5年を経過したので、引続き会報No.5からNo.22までのテクニカルレビューを技術報告としてまとめた。

2. 終端部の電界緩和

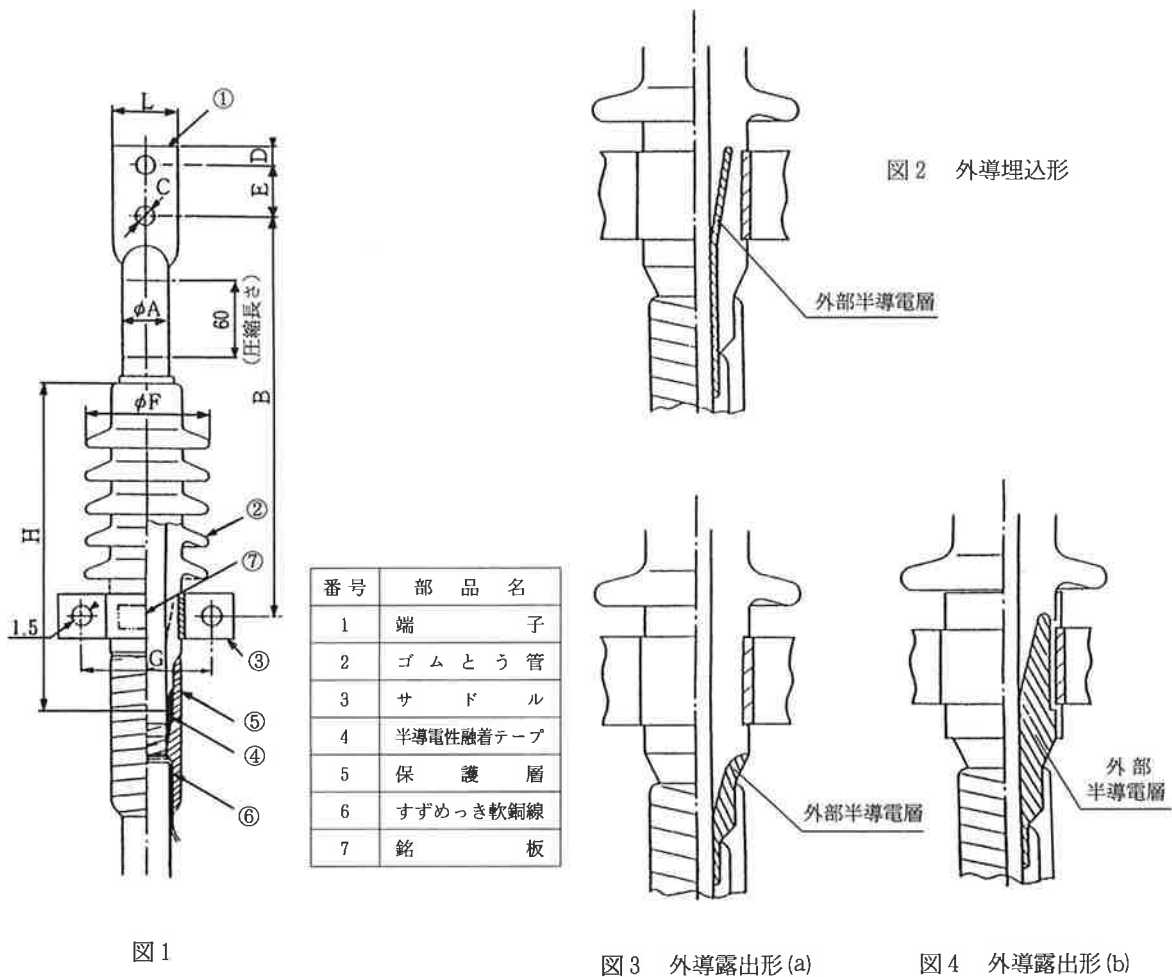
2.1 ゴムとう管形屋外終端接続部の外部半導電層構造について

(1) 外部半導電層構造の種類

図1にゴムとう管形屋外終端接続部の全体図を、図2～4にゴムとう管端部の拡大図を示す。

現在JCAA会員各社で製造しているゴムとう管の外部半導電層構造は、図2～4に示す3種類がある。

いずれもストレスコーン形状を有しており性能上は問題ありませんが、外導露出形(a)・(b)については下記に注意して下さい。



(2) ガードを使用してのケーブル絶縁抵抗測定時の注意点

前述の外導露出形(a)、(b)については、図5のように表面の汚損状況によっては外部半導電層露出部分とサドル間の表面抵抗が下がっていることがある。

ケーブル単体の絶縁抵抗を測定するために、ガードを使用して（ケーブルのしゃへいを非接地として、ケーブル以外の絶縁抵抗を測定値から除去する方法）測定する必要があるが、図5の様に、

この部分の表面抵抗が下がると、屋内外端末の接地をはずしてケーブルのしゃへいを非接地としたつもりでも、実は屋外側端末のサドルを介して高抵抗接地状態となってしまうことになる。

この場合、ガードを使用した意味はなくなってしまい、ケーブル以外の絶縁抵抗もあわせて測定してしまうことになる。

したがって、外導露出形(a)、(b)の端末で、ガードを使用してケーブル絶縁抵抗を測定する場合には、図5に示す部分が汚損されていないかどうか確認する必要がある。

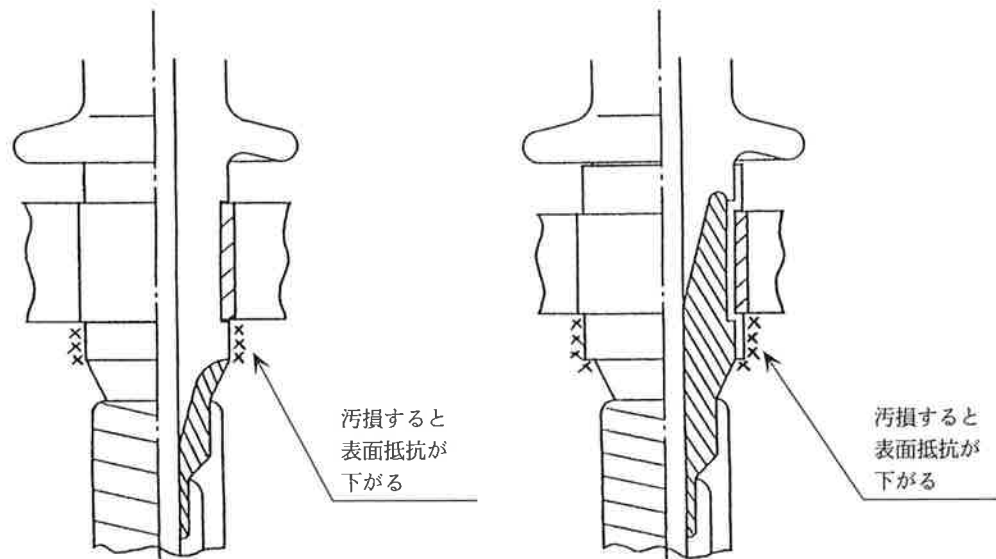


図5

2.2 ケーブル終端部しゃへい層の電界緩和処理方法について

(1) ケーブルしゃへい層の役割

6.6kV以上のケーブルには、各線心毎にケーブルしゃへい層が設けられている。

このケーブルしゃへい層は、一般に次のような働きをしている。

- * 絶縁体内の電界を均一化し、ケーブルの電気特性の安定化。
- * コロナ発生の防止又は抑制。
- * 相间短絡の防止。
- * 誘電障害の防止又は抑制。
- * 異常時の感電、漏電の防止。

以上のようなしゃへい層の働きは、高圧ケーブルが長期間安定した電気特性を維持するのに、また安全上の点からも必要不可欠であるといえる。

ケーブルを終端処理する場合には、この重要な役割を持ったしゃへい層を途中で切り剥ぎする必要が生じる。

ケーブルしゃへい層を切り剥ぎした所を断面から見た電界の分布の様子を図6に示す。

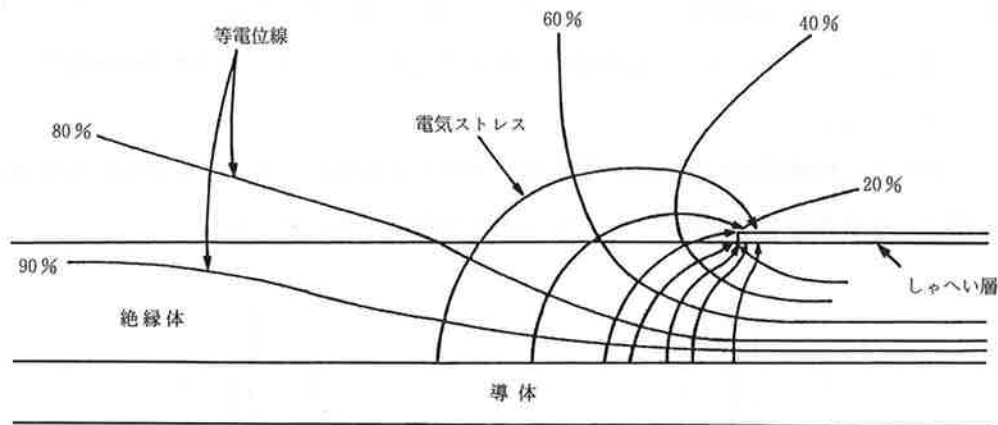


図6

ケーブルしゃへい層を切り剥ぎ、なにも処理しない場合には、ケーブルしゃへい層がある所では均一であった電界が急に乱れ、電気ストレス（電気力線）がケーブルしゃへい層切り剥ぎ部付近に集中し、ケーブル絶縁体に負荷がかかりケーブル絶縁体の劣化が早まり最終的には、絶縁破壊となる。

従って、ケーブル終端処理部の電気特性を長期間安定維持するためには、しゃへい層切り剥ぎ部で起きる電界集中を緩和させる必要がある。

電界集中を緩和させる方法において、主に2つの方法が実用化されている。

ストレスコーンと呼ばれる電界緩和方法和誘電体を用いる電界緩和方法である。

(2) しゃへい層切り剥ぎ部の電界緩和処理方法

① ストレスコーンによる電界緩和方法

図7にストレスコーンによる電界緩和の様子を示す。

このストレスコーンと呼ばれるものは、しゃへい層切り剥ぎ部の絶縁体上に絶縁テープによりコーン状の絶縁体を新たに形成し、さらにこの絶縁体上に鉛テープを巻き付け、ケーブルしゃへい層を延ばし広げたような形状をしている。このストレスコーンによりケーブル導体とケーブルしゃへい層の距離が徐々に大きくなり、等電位線の密度がこの形状に伴って粗になる。従って、電気ストレス（電気力線）もケーブルしゃへい層切り剥ぎ部に集中することがなく、均一に分散するようになり電界が緩和される。従って、ケーブル絶縁体の電気ストレスによる劣化は低減され、ケーブルの電気特性は長期安定維持されるようになる。

しかし、このテープ巻きによる方法は、熟達した技量を必要とし、個人差による特性のばらつきが生じやすいという欠点があった。

そこで、同じ構造で現場加工を必要としないゴム成型品のストレスコーンが開発された。このゴム成型品のストレスコーンは、ケーブル前処理後の終端に差し込むだけで電界緩和処理ができるため、個人差による特性のばらつきがテープ巻きの場合に比べて生じにくく、また処理時間の

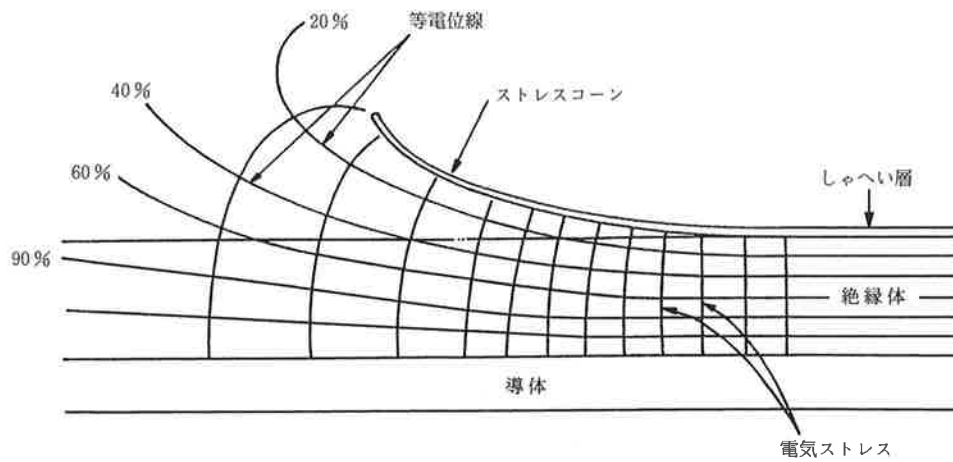


図 7

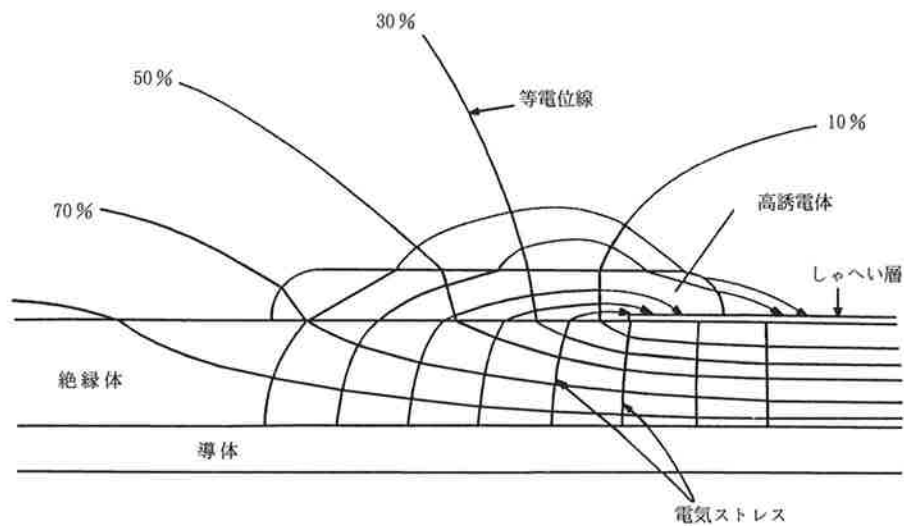


図 8

大巾な短縮が得られることから現在ではゴム成型品のストレスコーンを用いたケーブル終端処理が主に行われている。

② 誘電体による電界緩和の方法

図 8 に誘電体による電界緩和の様子を示す。

この電界緩和の方法は、ケーブルしゃへい層の切り剥ぎ部にケーブル絶縁体の誘電率より高い誘電率をもった誘電体を設けたものである。

この方法は、等電位線、電気ストレス（電気力線）が誘電率の異なる物質を通るときに、その境界面で屈折するという原理を応用したものである。

この原理により等電位線は分散しその結果、電界が緩和され、ストレスコーンによる電界緩和処理の場合と同様な電界緩和特性を得ることができる。

3. 劣化・保守

3.1 曲げストレスによる架橋ポリエチレンケーブルの絶縁劣化特性

(1) 実験目的

送配電システムで使用されるCVケーブルは、初期の絶縁性能と共に長期の絶縁性能が優れていなければならない。通常の使用状態では、ほとんどの場合、水トリーに依存することが明らかになっている。

CVケーブルの曲げによる絶縁性能への影響を明らかにするため、まず、浸水あり、曲げなしの状態では絶縁特性を把握し、その後、曲げが加えられたときの絶縁性能の変化について調査した。また、現在使用されているCVケーブルの曲げ半径は10D以上であり、この程度の曲げでは絶縁性能への影響は認められていない。そこで、曲げ半径をより小さくした5Dで絶縁性能への影響を調査した。〔D；ケーブルの外径〕

(2) 実験方法

実験には、6600V乾式架橋CVケーブルを使用した。このケーブルは絶縁体と内部、外部半導電層は3層同時押出しであり、外導はフリーストップタイプとした。

① CVケーブルの曲げストレスによる絶縁性能に及ぼす影響を明らかにするために、劣化要因として課電、浸水、曲げの3種類を組み合わせ、計6種類の試料で同時に平行して試験を行った。なお、これらの試料に対しては、特に前処理は行っていない。試料A、Bは曲げストレスが加わらない状態における水、電圧ストレスの影響、また試料C、Dは架橋残渣および水の影響を、試料E、Fは曲げストレスの影響を把握するためのものである。

劣化要因の組み合わせ

Combination of deterioration factors.

試料	劣化要因			劣化時間〔時間〕	試料本数
A	課電あり	浸水なし	曲げなし	2200, 7600, 11000, 17600	各劣化時間 n = 3
B	課電あり	浸水あり	曲げなし	2200, 7600, 11000, 17600	各劣化時間 n = 3
C	課電なし	浸水なし	曲げなし	17600	n = 3
D	課電なし	浸水あり	曲げなし	17600	n = 3
E	課電あり	浸水なし	曲げあり	11000, 17600	各劣化時間 n = 3
F	課電あり	浸水あり	曲げあり	11000, 17600	各劣化時間 n = 3

② 試験方法

CVケーブルの絶縁性能を評価するため、絶縁破壊試験、非破壊絶縁試験および水トリー観察をおこなった。以下、これらの試験方法について説明する。

絶縁破壊試験としては、一般に多く用いられている交流破壊電圧試験を実施した。電圧印加方法は、35kVの電圧を1時間印加後、5kV/30分ステップ昇圧で行った。

非破壊試験としては、 $\tan \delta$ 、もれ電流試験の2つを実施した。 $\tan \delta$ 試験は、 $\tan \delta$ ブリッジ測定装置を使用し、交流3.8kVを印加して測定した。また、もれ電流試験は、エレクトロメーター

を使用して、直流3kV〔負極性〕の電圧を10分間印加し、このときの電流時間特性を測定した。
なお、絶縁破壊試験および非破壊試験で使用したケーブル長は4.0m一定とした。

水トリーの観察には、ケーブルの長さ方向に対して0.5mmの厚さで切り出したスライス片20枚をクリスタルバイオレット溶液で染色した試料を用いた。

(3) 結 果

CVケーブルの絶縁性能に及ぼす曲げストレスの影響について検討するため、電圧加速による浸水課電試験を17600時間まで実施し、交流破壊電圧、 $\tan \delta$ 、もれ電流特性の測定、水トリーの調査をおこなった。これらの結果から、つぎのことが明らかとなった。

① 水、電圧ストレスによる交流破壊電圧特性への影響

- a. 課電あり、浸水あり・なしの試料の破壊電圧値は、劣化11000時間まで共に低下傾向を示したが、劣化11000時間から17600時間までの破壊電圧値の低下はほとんど認められなかった。また、低下の割合は、浸水ありの方が大きかった。
- b. 課電あり、浸水なしの試料の破壊電圧値の低下は、課電による影響ではなく架橋残渣の揮散に起因することがわかった。
- c. 課電あり、浸水あり・なしの試料における破壊電圧値の差は、水の影響が大きいと推測した。

② 水・電圧・曲げストレスによる絶縁特性への影響

a. 交流破壊電圧特性

浸水あり・なしそれぞれにおいて、劣化11000、17600時間の曲げありの試料と曲げなしの試料の破壊電圧値は同じレベルであった。また、曲げありの試料において、曲げ部でとくに破壊が生じやすいということはない。

b. $\tan \delta$ 、もれ電流特性

$\tan \delta$ 特性において、各劣化時間の各劣化要因別の $\tan \delta$ 値には、いずれも差が認められなかった。また、もれ電流特性において、劣化17600時間後の曲げあり・なしの試料の電流値に差は認められなかった。

c. 水トリー観察

浸水なしの試料の伸部、縮部において、それぞれ水トリーの発生はなかった。また、浸水ありの試料にも内・外導トリーの発生は認められなかった。しかし、ボウタイトリーにおいて顕著に差がみられ、伸部は縮部より発生数が多く伸びも長くなった。

以上、曲げストレス〔5D〕による長期絶縁性能について調査した結果、交流破壊電圧、 $\tan \delta$ 、もれ電流特性いずれに対しても、曲げストレスの影響は認められなかった。しかし、実際に5Dで使用するためには、現在一般に遮蔽として使用されている軟銅テープ巻きの構造において、軟銅テープのしわ、切れ、外部半導電層への食い込み等の問題がある。また、実使用されているCVケーブルは、温度ストレスも加わっているため、さらに、温度を加えた試験で曲げストレスによる絶縁性能への影響も確認する必要がある。

3.2 トラッキング試験方法について

(1) トラッキング現象とは

絶縁物表面上の電位差（電氣的ストレス）のある部分に炭化導電路（トラック）が形成される現象をトラッキング現象と呼び、多くの場合絶縁物表面の汚損によって誘導される。汚損には塩分、塵埃、湿潤、化学薬品の雰囲気など種々の要因がある。

トラッキング現象の形成過程はおおよそ次の通りである。

絶縁物表面が電解液で濡れたり、無機塩や繊維質などの塵で汚損して湿潤すると加えられた電氣的ストレスによる表面の漏れ電流が増大し、この電流によるジュール熱により水分が蒸発し部分的に乾燥帯が生じる。乾燥帯の両側には高い電氣的ストレスが加わっているため微小放電（ドライバンドアーク）が発生する。

この放電により放電部付近は瞬時的に数千度の熱にさらされ絶縁物表面に局所的な炭化生成物を生じる。この炭化生成物は更なる電界集中を引き起こし、微小放電⇒炭化物生成⇒微小放電という繰り返しにより炭化生成物を枝状に進行し炭化導電路を形成し最終的には電極間の短絡を引き起こす。

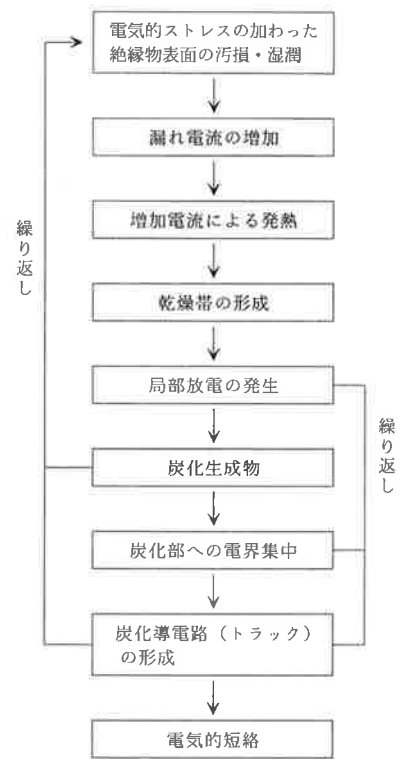
(2) トラッキングとエロージョン

絶縁材料に電氣的ストレスが加わり前述の如く絶縁材料表面部で放電が生じた場合、トラッキング現象の他に放電の熱により絶縁材料が溶け表面が浸食されていく現象があり、これをエロージョンと呼ぶ。

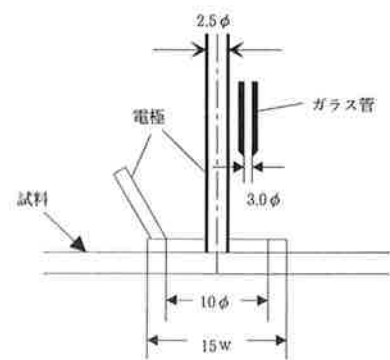
(3) 耐トラッキング性試験の変遷

欧米では1930年代より耐トラッキング性試験の検討が行われており、初期においては高電圧小電流耐アーク試験法が用いられたが1950年代にはイギリス海軍の Adomiralty Test 方法を改良し電解液を試料上の電極間に滴下しながら有機材料の耐トラッキング性を測定する（滴下法）試験方法が Yarsley により提唱され、ヨーロッパではこの滴下法が主流となりドイツでは DIN 53480 (1956) として規格化され、IEC においても Publicaon 112 として制定された。

アメリカにおいてはトラッキング性試験方法の提案はヨーロッパより時期が多少遅れるがアメリカでは当初より滴下法は余り利用されず、むしろ機器を屋外にて使用する際に発生する現象を再現しようとする機能試験が採用され



トラッキング現象発生の流れ



Adomiralty Test の電極配置

Dust And Fog 法の様に霧中で汚損課電を行なうといった方法が検討されてきた。

試験方法を大別すると滴下法、噴霧法、浸漬法の3種に大別できるが、トラッキング現象そのものの機構が完全に解明されていない為、一種の試験方法では全ての使用条件における有機材料の耐トラッキング性を推定する事が難しく又、耐トラッキング性材料の開発が随時進んでいる等の理由で現在においても種々の試験法が検討されている。

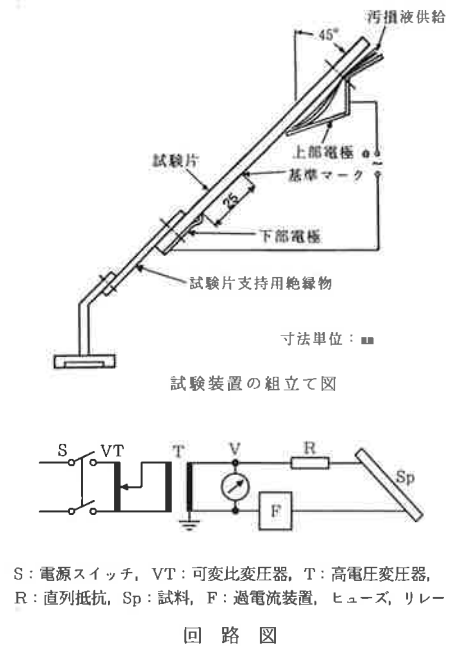
(4) 最近のトラッキング試験の動向

各規格試験も随時見直しを実施され現状に合った評価方法等が取り入られており電気学会では耐トラッキング性の優れた材料の評価試験方法として IEC Pub. 587 (汚損液傾斜平面法) の検討を行い結果が1989年に報告されている。

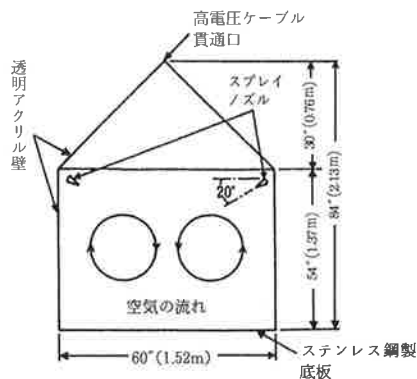
この方法は IEC 滴下法では判定出来ない材料の評価方法として提唱されたもので右図の如く斜めに保持した試料に汚損液を規定速度で流しながら電圧を加えてトラッキング性を判定する方法で電圧の印加の仕方は一定電圧法と段階法の2種がある。ASTM D2303 に定められている方法もほぼ同一である。

国際的には高電圧機器絶縁材料が屋外環境で使用された場合の等価性を考慮して各種の耐トラッキング性試験方法についての検討が比較的活発に行われている。その代表的な物はアメリカを中心に検討されているフォグチャンバー法、北欧を中心に検討されているメリーゴーラウンド法の2種がある。

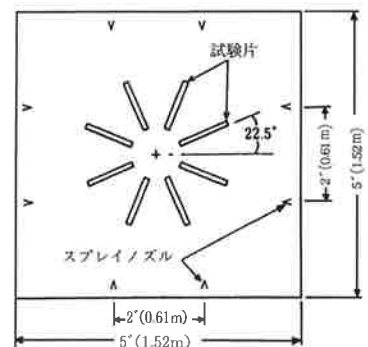
フォグチャンバー法はピラミット型の屋根をもった立方体のアクリル容器に8個のノズルを容器内側に取付け、中央下部に試験片を45度の角度で放射状に8個配置し塩水を噴霧する。試験は24時



IEC Pub. 587 耐トラッキング性試験装置、測定回路



(a) フォグチャンバ側面図

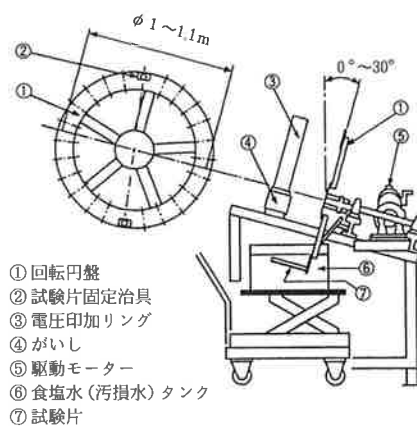


(b) フォグチャンバ平面図

フォグチャンバ試験装置

間を1サイクルとし16時間は塩霧中で13kV課電し、その後8時間は電圧を課電しないで湿度が50%になるまで回復させる。評価は試験片の重量減少量、放電電流を測定し両者の相関関係を比較する。

メリーゴーラウンド法は名称からも想像できようが回転円盤に取り付けた試料が塩水槽中を通過し汚損を受け、続いて高電圧リングに接触し電圧が課電され表面放電が発生する。これを1サイクルとし繰り返し破壊までの時間、漏れ電流、重量変化、浸食深さ、閃絡電圧値、絶縁回復特性等を測定し材料間の比較を行なう。耐トラッキング性の優れた材料の評価法として現在、最も期待されており IEC において規格化が検討されている。



- ① 回転円盤
- ② 試験片固定治具
- ③ 電圧印加リング
- ④ がいし
- ⑤ 駆動モーター
- ⑥ 食塩水(汚損水)タンク
- ⑦ 試験片

メリーゴーラウンド試験機の概要

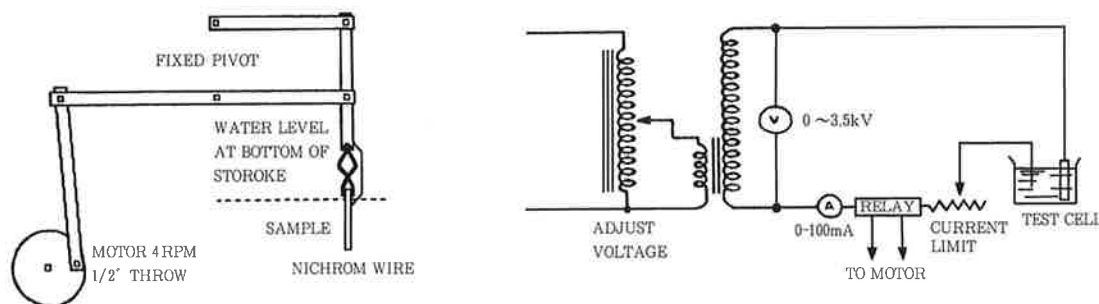
(5) 日本におけるトラッキング試験

国内では昭和30年代よりトラッキング試験の具体的検討が開始され1960年代後半にIEC推奨法とDIN-KAの判定を適用する方法を組み合わせたトラッキング試験方法が有効であるという報告が電気学会の専門委員会よりなされている。但し、材料の耐トラッキング性の改良が進んだ現在ではこの方法での判定は難しく汚損液傾斜平面法やメリーゴーラウンド法が検討されている。

このほかに国内で比較的広く用いられている方法として次の二つがあげられる。

その一つは、DIP式耐トラッキング試験であり、電力会社、電力機器メーカーなどで比較的良好に用いられている。この方法は試験方法規格にはなっていないが、耐トラッキング性の優れた材料の評価には適しているといわれている。試験は試験片に45°の角度で取り付けられた1φのニクロム線を高圧電極とし低圧電極である電解液に4rpmの速さで上下漬浸する。判定は回路抵抗を一定(30kΩ)に固定した条件で電圧-破壊漬浸特性を求め、平均25回で破壊する電圧をDip Track Voltとして表示する。

もう一つは、我々に馴染みの深い塩水噴霧耐トラッキング試験で絶縁ケーブルの耐トラッキング性を評価する方法である。この方法はJIS C3005に規定されていることから、絶縁ケーブルメーカーおよびケーブル材料メーカーで広く用いられている。この方法は垂直に設置した試料の電極間

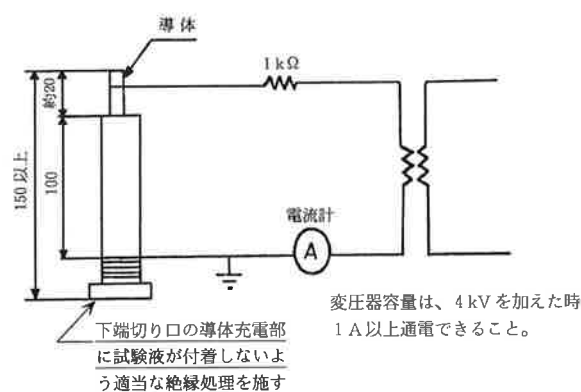


DIP 式 耐トラッキング試験装置

に一定電圧を加えながら試験液の噴霧を繰り返す。試料が電氣的に短絡するか0.5A以上の電流が流れた時点を終点とし、その時点の噴霧回数でトラッキングを評価する。

〔参考文献〕

電気学会技術報告（Ⅱ部）第305号



塩水噴霧式 耐トラッキング試験

3.3 ケーブル劣化の種類とその対策

(1) 劣化の種類

電力ケーブルの耐用年数は、ケーブルの絶縁体に対する熱的、電氣的及び機械的ストレスの面から約30年を基準としているが、実際の使用状態では、その布設環境により大きく変化する。ケーブルを劣化させる原因・要因としては次のようなものがある。

- 熱による劣化
- 異常電圧による劣化
- 水による劣化
- 動物害による劣化
- 塩害、汚損による劣化
- 自然環境による劣化
- その他

ケーブルの事故は、これらの劣化現象が相互に種々組み合わされて起こる場合が多く、このような劣化とその対策について以下に説明する。

(2) ケーブル劣化とその対策

① 熱による劣化と対策

電線ケーブルの絶縁・被覆材料は有機物が多く用いられているが、有機物は熱が加わると分解したり、酸素の存在下では酸化したりして劣化する。

したがって、ケーブルを多条布設したり、周囲温度が高い場合などでは、適正な低減率を乗じた許容電流値の範囲内で使用する必要があるが、また周囲温度が高い場合には、それに応じて耐熱性のよい材料を用いたケーブルを使用しなければならない。

② 異常電圧による劣化と対策

開閉サージ、雷、その他事故時の異常電圧がケーブルに課せられることがあるが、場合によってはケーブルの絶縁耐力以上の高電圧が印加され、絶縁破壊したり、あるいは直ちに破壊しなくても異常電圧時の部分放電により損傷を受け、トリートが発生し絶縁耐力を低下させたりして、ケーブルの寿命を短くする。

したがって、ケーブルに異常電圧が侵入する恐れのあるところでは、避雷器などの保護装置を設ける必要がある。

③ 侵入による劣化と対策

シース、金属被覆などが外傷を受けて絶縁体内に水が侵入したり、屋外の端末処理の下手際によりケーブル導体に水が侵入したりして、ケーブル絶縁特性を損ね、絶縁耐力を低下させる事故が散見されている。

しかし、絶縁体内部への水の侵入は水トリーの原因となり絶縁特性を低下させ、ケーブルの寿命を短くし、またシース内への水の侵入はしゃへいテープの腐食の原因となり、部分的な電界集中や金属イオンの絶縁体への拡散の原因ともなるので、標準工法による端末処理及びケーブルの布設時の取り扱いには十分注意する必要がある。

④ 動物害による劣化と対策

動物害には、鼠、白蟻、昆虫、^{きつつき}啄木鳥などによる食害があり、ケーブルシースが破壊される。

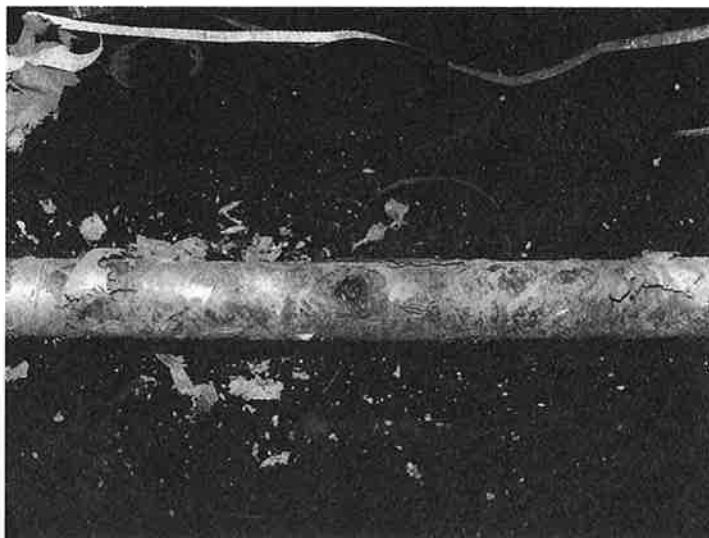
この対策としては、金属外装などの保護を施した、ケーブルを用いる必要がある。

⑤ 塩害、汚損による劣化と対策

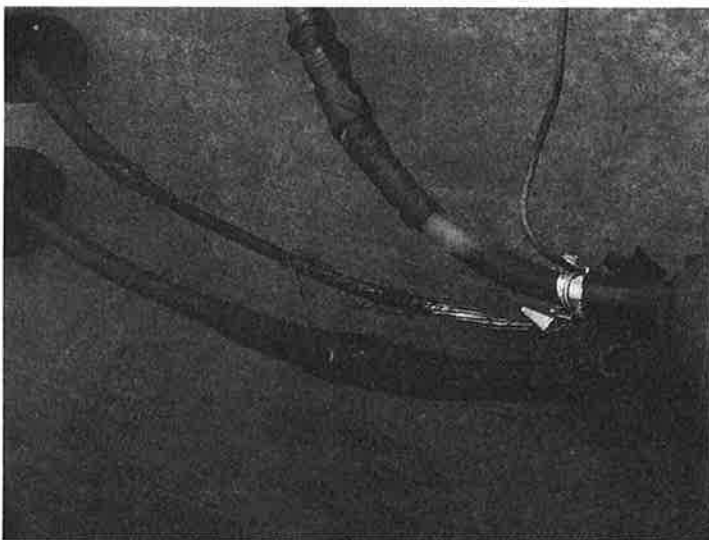
海岸近くの屋外で使用されるケーブルでは、ケーブル端末部の碍管、ケーブルヘッドなどに塩分が付着し、表面閃絡を起こすことがある。

塩害には、碍管などに見られる塩分の付着により生じる導通路がアースにつながり短絡する場合と、有機材料を用いた端末で見られるトラッキングとの二つの現象がある。

トラッキングとは、塩分の付着等によって表面抵抗が低下し、漏れ電流が流れ、この熱により部分的に乾燥した所で火花放電を生じ、これにより有機材料に焼痕ができ、導電性の通路が形



しゃへい銅テープ腐食による絶縁破壊事故例



トラッキングによる端末部絶縁破壊事故例

成され、成長してついには表面閃絡に至るもので有機材料特有の現象である。

これに対しては、有機材料を使用する場合には耐トラッキング性のよいものを選択するとともに、塩害の激しい場所では耐塩害端末を使用する必要がある、また定期的洗浄を行なう必要がある。

⑥ 自然環境による劣化と対策

これは、光、紫外線などによる劣化で、主として屋外で使用されるケーブルが問題となる。通常のケーブルでは耐候性を付与した黒色のシースを用いているため、これらの劣化はほとんど問題とならない。

しかし、カーボンが混入されていないポリエチレンは紫外線により分子鎖が切断され、亀裂が発生するので、CVケーブルなどの場合は絶縁体を露出させないような取り扱いが必要である。

⑦ その他の劣化原因とその対策

ケーブルが非常に小さい径で屈曲されていると、ケーブル構成物はストレスが加わった状態で使用されるため絶縁耐力が低下する。

また、構成物に空隙が生じ、高圧ケーブルの場合は部分放電発生の原因となったりするのでケーブルを過度に屈曲することは禁物である。

3.4 高圧架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルの保守・点検について

(1) 劣化要因と劣化形態

高圧ケーブルの劣化状況を診断し、劣化に対する処置を実施するためには、劣化を引き起こした原因と劣化形態を知る必要がある。詳細は3.3項と重複するため省略するが、代表的な劣化形態として、水トリー劣化、しゃへい銅テープの破断、熱劣化および化学的損傷・劣化があげられ、その中で水トリー劣化およびしゃへい銅テープの破断については、外部からの水の浸入により発生するが多い。

図9に高圧ケーブルの劣化フローを示す。

(2) 保守・点検

① 保守・点検の種類

高圧ケーブルの保守・点検は、実施期間、目的および方法により、ケーブル布設竣工時に実施する初期点検、他の受変電設備等と同様に1～3ヵ月に1度の周期で非停電で目視チェックを主体とした日常点検、設備の定期点検に合わせて1～2年に1度の周期で停電下で実施する定期点検および定期点検で要注意と診断された場合に最終判断のために実施する精密診断の4種類に分けられる。

② 保守・点検実施要領および評価基準

a. 外 観

ケーブル、終端接続部および中間接続部に異常がないか目視にて確認する。

終端接続部においては、トラッキング痕の有無、テープ・シース等のズレおよび変形、接地

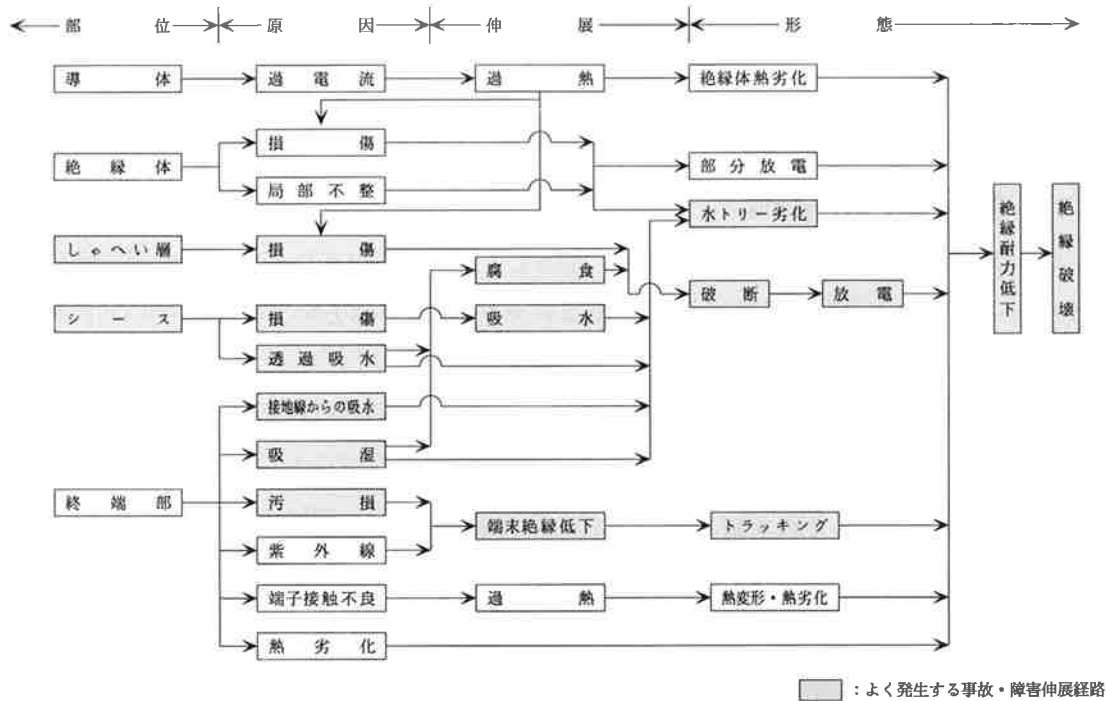


図9 高圧ケーブルの劣化伸展フロー

高圧ケーブルの保守・点検項目

点検種別	点検周期	点検項目	点検方法	実施者
初期点検	竣工時	外観 シース絶縁抵抗 しゃへい層抵抗 絶縁抵抗 法定基準耐電圧	目視 500~1000V メガー テスター 1000~5000V メガー 耐電圧試験装置	ユーザー (施工者)
日常点検	1回/1~3ヵ月	外観 各相間電圧チェック	チェックシート (目視)	ユーザー
定期点検	1回/1~2年 *1	外観 シース絶縁抵抗 しゃへい層抵抗 絶縁抵抗	目視 500~1000V メガー テスター 1000~5000V メガー	ユーザー
精密診断	定期点検で要注意と判断された場合 *2	外観 シース絶縁抵抗 しゃへい層抵抗 絶縁抵抗 直流漏れ電流	目視 500~1000V メガー テスター 1000~5000V メガー 直流漏れ電流測定器	専門家

* 1 : 使用年数が10年以上の場合、1回/1年が望ましい。

* 2 : 使用年数が10年以上の場合、隔年程度で定期診断時に実施するのが望ましい。

線の断線及び加熱による変色などに注意する。

特に、水気のある雰囲気や布設されているケーブルのシース表面や中間接続表面の亀裂及び屋外終端接続部でのテープのずれ等、吸水の原因となるような異常がないか注意すること。

b. シース絶縁抵抗試験

シース絶縁抵抗試験は、目視確認不可能なケーブル埋設部分等でのシース亀裂やケーブル外傷の有無を調べるために実施する。

500～1000Vメガーを使用し、しゃへい層（終端接続部の接地線）と大地間でシースの絶縁抵抗を測定する。

測定時、終端接続部等の接地線は切り離すこと。

《判定基準》

1 MΩ未満は要注意

c. しゃへい層抵抗試験

テスター等を使用し、しゃへい層の抵抗を測定する。

試験が容易に行なえるように、終端接続部は接地・非接地に関わらず接地線の引き出しを行なうこと。非接地側はJCAA作業説明書に基づき処理を実施すること。

測定用リード線は測定値に影響を与えないように8 mm以上の導体を使用し、長さ是可以だけ短くすること。

測定回路の代表例を図10に示す。

《判定基準》

50 Ω/km以上は要注意

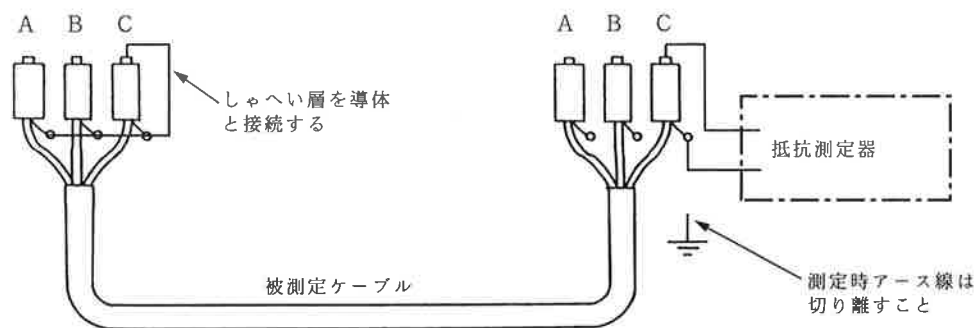


図10 しゃへい層抵抗測定回路の代表例

d. メガー（1000～5000V）を使用し、導体しゃへい層間で絶縁抵抗を測定する。

終端接続部表面は、不燃性溶剤を用いて清拭すること。

測定回路の代表例を図11に示す。

《判定基準》

1000Vメガーで2000MΩ未満は要注意

5000Vメガで10000MΩ未満は要注意

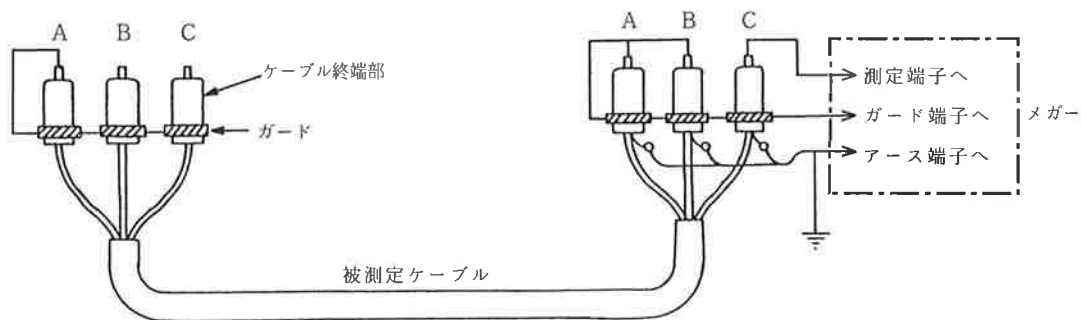


図11 絶縁抵抗測定回路の代表例

e. 図12に示す測定回路にて、直流高電圧発生装置により、各々の導体としゃへい層間に直流電流（公称電圧が6600Vの場合、第1ステップ（3～）6kV、第2ステップ10kV）を印加し、漏れ電流の時間的変化を測定・記録する。測定結果の次の項目のデータで判定する。

- 漏れ電流値
- 成極比
- キック現象
- 弱点比（参考値）

《判定基準》

漏れ電流値が $0.1\mu\text{A}$ 以上であるもの。

漏れ電流が時間とともに増加するもの。（成極比が1未満）

漏れ電流のチャートでキック現象が見られるもの。

印加電圧を上げると漏れ電流値が急増するもの。（弱点比3以上）

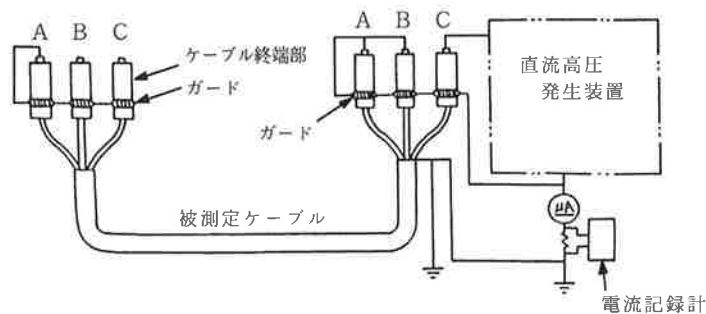


図12 直流漏れ電流測定回路の代表例

4. 金属部品

4.1 すずめっきとウィスカーについて

(1) 金属ウィスカーについて

ウィスカーは古くから観察されていますが、1945年頃米国で電話線系統に障害が生じ、その原因が、すずめっきの電極板から発生した金属ウィスカーに起因したものであったことから注目されるようになった。

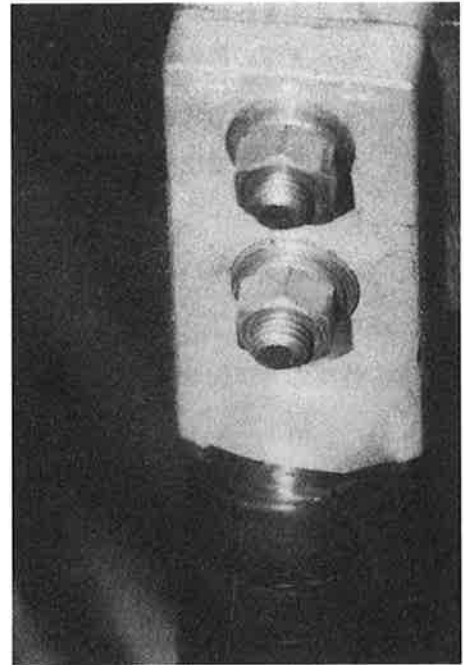
一般的にウィスカーとは、金属及びめっき被膜から発生する単結晶が成長したもので、自然発生した“ひげ”のことをいう。

(2) 金属ウィスカーの特徴

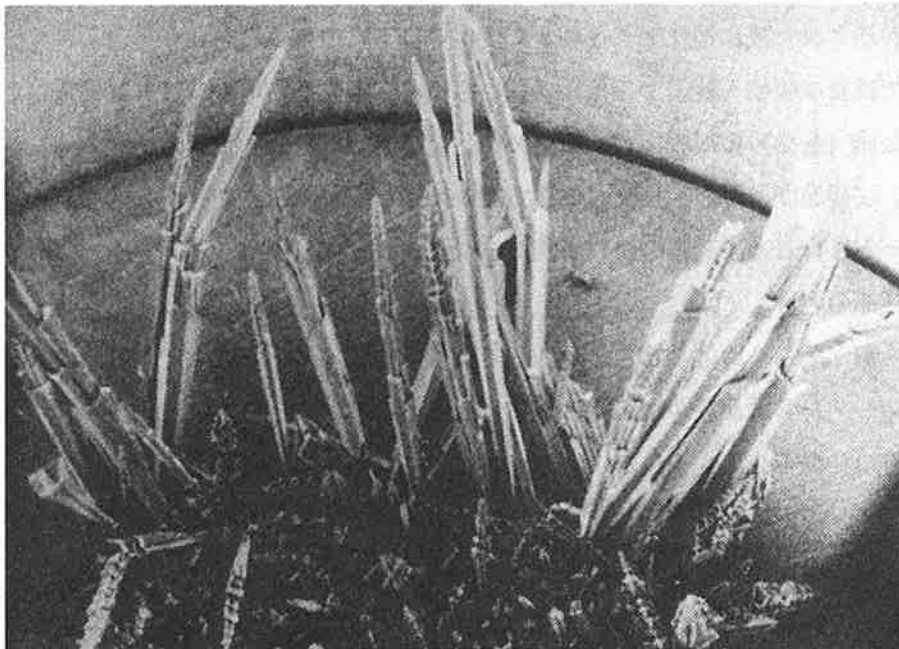
金属ウィスカーの代表的な特徴としては、次の様なものがある。

- ① ウィスカーの形状は一般的に針状のものが多く、直径 $1\sim 10\mu\text{m}$ 、長さ数 μm ～数 10mm に成長する。
- ② 垂直に発生するものが多いが、ある角度をもっている場合もあり、中にはらせん状のものもある。
- ③ 電気めっき後の表面から発生し易い金属は、Sn（すず）、Zn（亜鉛）、Cd（カドミウム）、Ag（銀）、等がある。

その中で最も発生し易く、成長速度の速いものはSn（すず）である。



圧縮端子部の異常状況



ウィスカーの例（電子・電気材料マニュアルより）

- ④ 黄銅等、亜鉛を含む金属上へ直接めっきした場合が最も発生し易い。
- ⑤ めっきまたは素地の残留応力が大きくなるにつれ発生し易い。
- ⑥ めっき厚の影響があり、5～10 μm が最も発生し易く、成長速度も速い。
なお、0.2 μm 以下及び20 μm 以上でほとんど発生しない。
- ⑦ 発生開始までに潜在期間があり、材質、めっき浴、めっき方法、その他の影響があり一定ではない。
- ⑧ 成長速度は早いもので1 mm/月程度であり、高温、高湿に保つと発生し易く、成長速度も加速される。
- ⑨ 外部応力が加わると発生、成長し易い。

(3) 対 策

ウィスカーの特徴から、発生防止の対策として効果的なものを列挙すると、次の様なものがある。

- ① 材料及びめっき残留応力を除去するため、めっき前後に熱処理を行う。
- ② 亜鉛または亜鉛合金素地へ直接めっきは行わず、ニッケル等のめっきを行った後、めっきを施す。
- ③ 鉛を含有する合金めっきとする。
- ④ めっき厚を厚くする。
- ⑤ 使用環境が高温、高湿にならない様配慮する。

〔参考文献〕 日本プレーティング協会編“実用めっき(I)”等

4.2 鋳物の欠陥と対策について

(1) 鋳物について

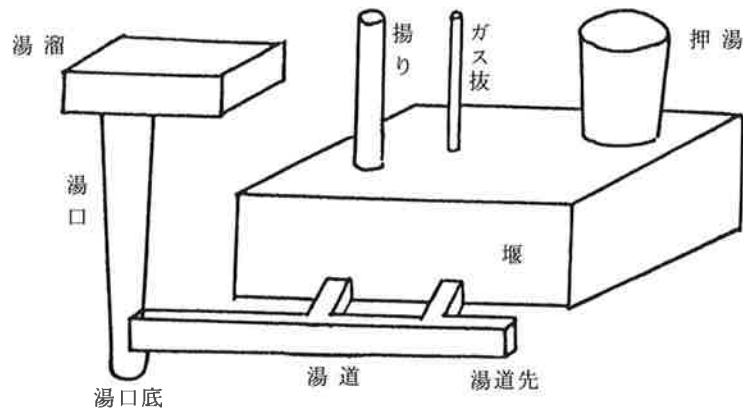
鋳造とは溶融した金属を鋳型に流し込み、凝固させて要求する形状の製品にすることをいい、鋳物とは鋳造された後に塑性加工されずに使用されるもののことをいう。

健全で良質な鋳物を鋳造するためにはいろいろな条件を満足しなければならない。例をあげてみると、金属（合金）の凝固様式、鋳型条件、溶解処理（脱酸、脱ガス、その他）、溶解温度、鋳込み温度、注湯速度、湯口、湯道、せき方案、押湯などがある。これらの関連するすべての因子が満足されたときはじめて品質の良い鋳物が出来上がる。

(2) 鋳型各部の名称

- ① 湯 留 溶湯を鋳込む場合、飛散して出来た酸化物や交雑物などが湯口に入らないように、しかも湯が静かに入るようにするために設ける。
- ② 湯 口 湯を注入する口でテーパがついているのは、直線上の湯口では落下する溶湯が周囲から離れ、そのため鋳型中の空気やガスを吸収し流速を減じるのを防ぐ。
- ③ 湯口底 溶湯の流れの方向を変換する役割を持っている。
- ④ 湯 道 鋳型空隙部への溶湯の流れを静かにすることと、これまでに発生したドロス（ノロ）を除去する。

- ⑤ 堰 ^{せき} 湯道からの溶湯を鑄型内に静かに流入させ、ドロスの生成を少なくする。
- ⑥ 押湯 鑄物の凝固時に起こる体積減少をここに蓄えた溶湯の供給によって補い、引け巣を防止して健全な鑄物を製造させる。
従って鑄物全体の凝固収縮量に見合うだけの体積を持つことが必要である。
- ⑦ ガス抜 鑄型内で発生した空気、ガスを外に出す穴。
- ⑧ 揚り 湯の上面のカスを鑄物より上に浮き上がらせる。



鑄型各部の名称

(3) 鑄物に発生する欠陥について

鑄物に発生する欠陥についておもに次のような項目が上げられる。

- ① 溶湯の注入に際して生ずるもの
- ② 静止した溶湯と鑄型との相互作用で起こるもの
- ③ 溶金中でのガス析出による巣
- ④ 引け巣
- ⑤ 高温割れ
- ⑥ 引け

鑄物に発生する欠陥についての原因と対策について次の表に示す。

欠 陥	原 因	対 策
1 ①湯廻り不良 ②湯ざかい ③ノロかみ ④すくわれ	鑄型空間を満たさないうちに凝固 溶湯温度が低く、2つの流れの接触面が完全に融着しない トリベからのノロが鑄型内で巻き込む 鑄込中に生じたノロ、巻き込んだガス 溶湯の攪乱、鑄型水分の沸騰で砂の一部が削りとられ、そこに砂や金属塊が残る	<ul style="list-style-type: none"> } 堰の位置を改良する } 堰の数を増す } 鑄込温度を適正にする ノロを十分にかく 鑄込法や湯口方案を工夫 湯口方案を改良する 鑄型の水分をチェックする
2 ①ふかれ ②さし込み	鑄肌に薄い凝固層が生ずる瞬間に、粘土分の化合水から出るガスによって起こる鑄肌のへこみ 鑄型表面や、補修した弱い面に溶湯がしみ込んで起こる	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥を十分に行い、蒸気や空気が発生しないようにする ガス抜きを十分にたてる 型込め方法を改善する

④砂の焼付	鋳物砂とその配合物が、高温で鋳物の酸化化合物とともに鋳肌に付着して焼結	鋳型に黒鉛などで塗型をする
3 ④ピンホール	溶解中、または鋳込時に吸収したガス 鋳型から発生した水蒸気が鋳肌をつき破って攪乱し、H ₂ 、O ₂ 、を吸って巣を発生させる	溶湯は十分に脱酸、脱ガスを行う 鋳型内で溶湯が乱れないような方案にする 鋳型の水分をチェック 純銅は特に敏感に反応するので、乾燥型などの水分の少ない鋳型を使用
4 ④ひけ巣	鋳物の凝固時に起こる体積収縮に対する溶湯の補給が不十分なとき	押湯を十分大きくする 押湯は鋳物が凝固し終るまで溶融状態にしておく
5 ④熱間割れ	鋳物が凝固収縮する際に生じた引張応力により発生 鋳物がホットスポットを有する所	鋳物が収縮したとき鋳型がくずれないようにするか、クッションを入れる ホットスポットに冷し金を当てて冷却
6 ④ひけ ⑤ひけ割れ	溶湯が固まる前に鋳物表面から収縮押湯不足、また凝固が不適正に進行 凝固の間に双方に収縮し、表面からひけが進み、割れ状の縮みを生ずる	ひけ部に押湯効果をいきわたらせるひけた面の凝固が早くなるような方案にする 応力を分散させるために、すみ角の半径を大きくする 冷金を使用する

(4) 純銅鋳物の欠陥とその対策について

(3)項では一般的な鋳物の欠陥とその対策について述べてきたが、ここで電力ケーブルの接続材料に数多く使用されている純銅鋳物についてその欠陥とその対策について以下述べる。

① 気泡巣（ピンホール）

溶銅に対する水素ガスの溶解度は極めて高く、1200～1300℃に於いて溶解した水素は冷却と共にその溶解度を減少し気泡となって析出する。

しかし実験の場合、水素ガス単独で気泡を作ることはいくらか共存する酸素（大気中、鋳型中、酸化物中）と反応して水蒸気を発生し、これが気泡となって現れる場合が多い。

この気泡巣は見掛密度を減少し表面に露出または表面直下に存在するときは圧縮等の冷間加工時において微細なる割れを発生させる原因となっている。

この気泡発生を防止するためには溶解中への水素の溶入を極力防止するとともに溶銅中に溶解した水素は適当な脱ガス処理によって除かなければならない。また水蒸気生成の主原因となる銅酸化物は脱酸処理によって完全に除く必要がある。

鋳型中の水分も重要であり注湯に際して鋳型中の水分または水蒸気反応による水素の吸収があり、これが凝固に際して銅中に気泡となって現れる場合がある。

従って鋳型中の水分は過度にならぬように充分の注意が必要であり場合によっては乾燥型を用いている。

② 圧縮時に於ける割れ

電気用純銅製品は何らかの方法で圧縮、圧着をするものがほとんどである。この用途においてしばしば割れを発生することがある。この割れは機械的強度を低下させるのみでなく通電時に於ける集中的な発熱の原因ともなる。

発生原因として、気泡巣がある場合、酸化物が多量に存在する場合、結晶粒が粗大で結晶粒界

が脆弱なる場合などが考えられる。

溶湯が著しく酸化された場合はその凝固冷却に伴い α 銅と酸化物（酸化銅）が微細になる混合状態の共晶となって析出する。すなわち溶銅に対する酸化銅の溶解度は3.5%であるのに対し、凝固後に於ける溶解度は極めて少なくそのほとんどが析出する。

酸化銅は α 銅に比べ極めて脆弱であるから圧縮時に於いてこれが媒体となって割れを発生させることになる。従ってこの割れの防止には充分かつ適性の脱酸処理を行い割れ発生の原因となる溶銅中の酸化物を充分取り除く必要がある。

次に結晶が粗大で結晶粒界が脆弱なる場合は結晶粒界に沿って比較的大きな割れが生じる。また圧縮をしない場合でも粒界に於いてすでに割れを生じていることもある。

結晶粒が粗大であると単位体積内の結晶粒界の面積は小さく熱間に於いて収縮等の応力を受けると結晶粒界に於いて割れが発生する。また不純物や過剰の脱酸物が多い場合には更に結晶粒界が脆くなり割れを発生し易くなる。従ってこの防止策としては材料を吟味し溶解温度を上げ過ぎることなく脱酸剤は過剰にならぬ様適性の量を用いる必要がある。

③ 導電率低下

電気用純銅鋳物に於いて最も重要な性質である導電率は不純物を含有することによって低下する。

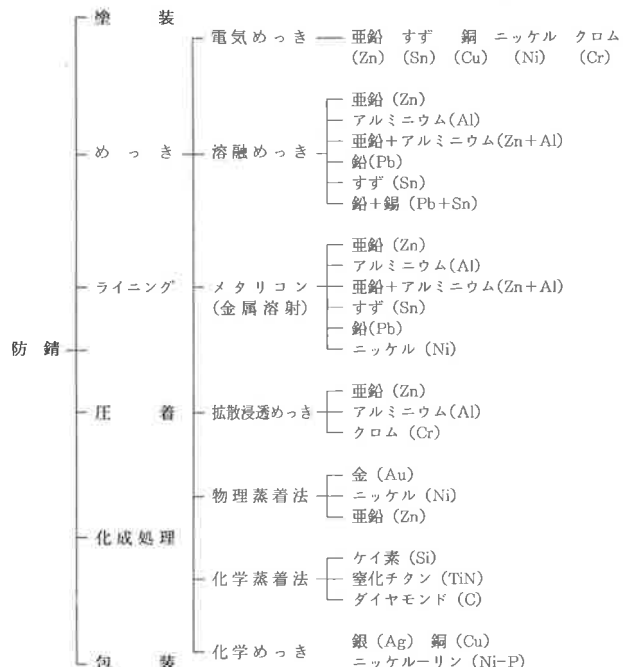
一般の純銅鋳物の製造に当っては脱酸剤としてリンを用いている。リンは純銅に対して有効な脱酸剤で脱酸生成物は350℃で昇華し、もし複合酸化物となっても流動性がよく溶湯の湯流れを良くする。しかし残留したリンは導電率を激減させる。また外部から混入する不純物としてFe、Al、Zn、Si、Mn等があり、これらはいずれも導電率を低下させる原因となる。従って導電率を低下させぬためには、装入材料、溶解法、脱酸剤の種類と使用法を吟味し使用器具類に対する塗型や職場の整備などに十分注意する必要がある。

4.3 溶融亜鉛めっきの防錆について

(1) 溶融亜鉛めっきの作業工程

溶融亜鉛めっきは、はんだ付けやろう付けと同じ原理で行われている。はんだ付けの場合、はんだ付けしようとする部分をヤスリやナイフ等で清浄にしペーストを付けて、はんだ付けを行うが、溶融亜鉛めっきは化学的に汚れや油、錆を取り除いて清浄な鉄素地にした後ペーストの代わりにフラックス液に浸漬し全体をフラックスで覆い、溶融している亜鉛に浸漬させる。

図13 金属の防錆方法



この溶融亜鉛めっきの作業工程は図14に示すように大きく3つの工程に分かれ、前処理工程、めっき工程、仕上げ工程の順に処理を行う。

(2) 溶融亜鉛めっきの防食作用

亜鉛は化学的には非常に活発な両性金属で本来腐食しやすい性質を持っているが、水や酸素と反応して表面に耐食性にすぐれた酸化皮膜を生成し下地を保護する。また亜鉛は図15のようにめっき皮膜に傷がついたり剥離したりして鉄素地が露出しても亜鉛の標準電極電位が鉄よりも低いため隣接する亜鉛が溶出し鉄の腐食を防ぐという亜鉛特有の防食作用がある。これ亜鉛の犠牲防食作用という。ところが塗装の場合には図16のように塗膜に傷が付いたりピンホールで鉄素地が露出した箇所には、鉄素地表面で局部電池が形成され鉄の腐食が進行し、錆で塗膜が浮き上がる。亜鉛めっき皮膜の犠牲防食作用の及ぶ鉄素地の露出部の大きさは、大気中では直径10mm程度、海中では30mm程度である。

図14 溶融亜鉛めっき作業工程

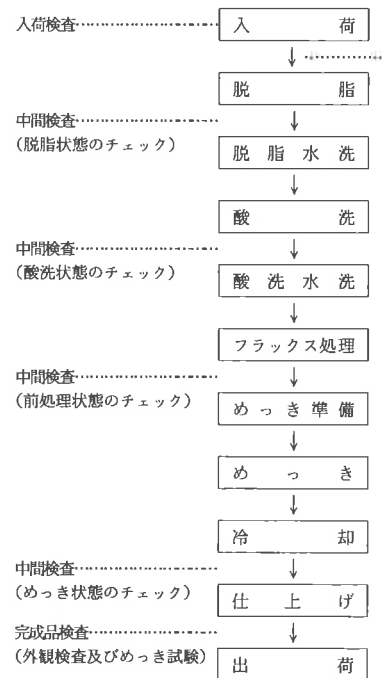
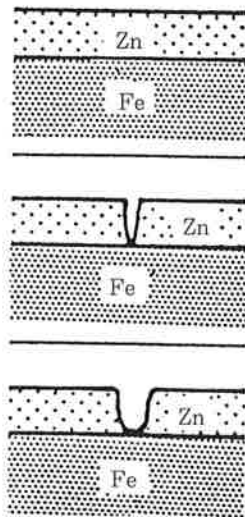
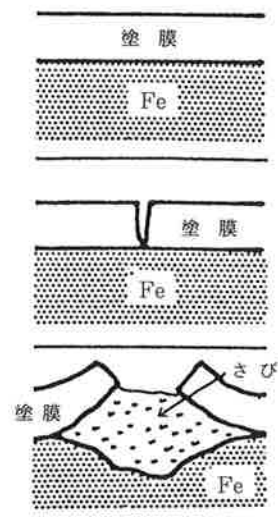


図15 亜鉛の犠牲防食作用



亜鉛の犠牲防食作用により鉄は腐食されない。

図16 塗膜欠陥部の腐食



粗い鉄さびにより塗膜が大きく破れ更に腐食が進行する。

(3) 大気中の耐食性

大気中に暴露された亜鉛めっき皮膜表面を覆っている腐食生成物は酸化亜鉛や塩基性炭酸亜鉛等から成っていることが確認されている。大気汚染物質を含まない田園地帯や山間部ではこれらの酸化物がめっき皮膜を保護するため腐食しにくくなる。しかしながら工業地帯や海岸地帯では亜硫酸ガスや海塩粒子等の汚染物質で保護皮膜の形成が妨げられるため腐食は田園地帯に比べて速く進む。このように大気中の亜鉛の耐食性は環境によって異なる。

(4) 水中の耐食性

水中における溶融亜鉛めっきの耐食性は水質によって大きく変わり特にPH、水温、含有塩類、溶存酸素、流速等の影響は大きく受ける。亜鉛はもともと活発な金属であります。鋼と比べて優れた耐食性を示すのは大気中と同様に水中においても亜鉛表面に亜鉛の腐食生成物からなる保護皮膜を作るからである。この皮膜は酸性になるほど、また強アルカリ性になるほど亜鉛の腐食は激しくなる。亜鉛の水中での腐食は低温から約40℃までは遅くこれ以上では急に速くなり65℃で最高となりさらにそれ以上の温度では減少する。これは亜鉛表面に形成される保護皮膜の性状が温度によって変わるためである。

4.4 異種金属（アルミ端子－銅端子）接触による腐食防止方法について

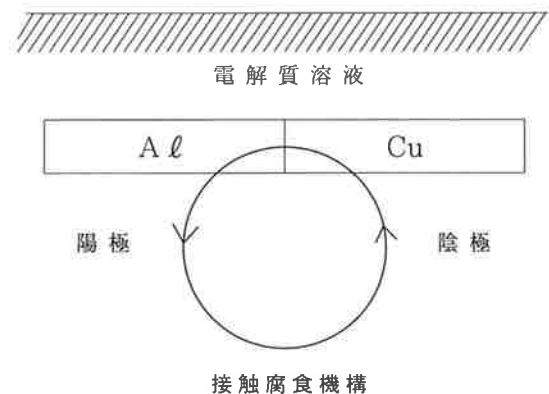
(1) 電気腐食機構

銅とアルミを接触させ、電解質溶液（雨水、海塩粒子、SO₃イオン）が接触部隙間へ侵入した状態での電気腐食性は両金属の単極電位差によって差があり、電位差が大きい程腐食が進行する。

電解質溶液中に銅とアルミが存在すると下図の如く電流が流れ、アルミがアノードとなりアルミ表面で陽極反応、銅がカソードとして作用して、陰極反応が起こり、アルミ側が溶出する。

すなわち、異種金属のイオン化傾向の差により、両金属が陽極、陰極になり電氣的平衡を保つ為に電子のやりとりを行なうことにより腐食電流が流れてしまう。

また、腐食の度合はこの回路の電気量（電流×時間）に比例する。



(2) 接触腐食防止方法

① 接触腐食防止の考え方

接触腐食を防止する方法としては以下の方法が考えられる。

- a. 接触部を水密性、防水性又は乾燥状態にする。（腐食電流を流す電解質溶液の侵入を防ぐ）
- b. 異種金属（銅－アルミ間）の間に単極電位差が異種両金属の間にある中間合金層を介在させる。（異種金属間の単極電位差が大きくなるように単極電位の中間体を介在させる）
- c. アルミ表面の電解電流密度を下げる。（アルミ表面積を大きくする…マスアノード原理）

（参考）

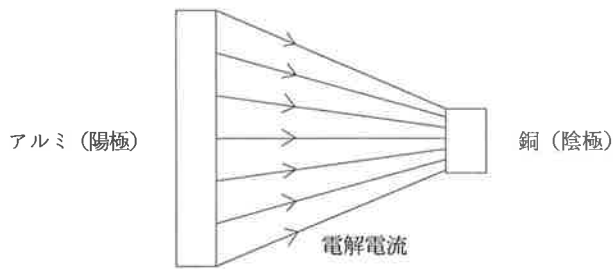
㊦ 各種金属の単極電位（電解質溶液5.85% NaCl+0.3% H₂O₂水溶液での測定値）

材 料 名	単 極 電 位
亜 鉛 Zn	-1.00 V
アルミ Al	-0.83 V
中間層合金 Sn+Zn	-0.49 V
すず Sn	-0.49 V
銅 Cu	-0.20 V

(注) 標準水素電極を0 (V) とした場合

① マスアノード原理 (Mass Anode Principle)

銅線に対するアルミの量を大きくして、アルミ表面の電解電流密度を小さくすることにより、電食進度を弱めようとする方法。



マスアノード原理

原理は左図に示すがアルミ電線接続部を大きくする為にアルミ線と銅線とを直接接触させず、長さの長いスペーサを介して接続する方法でマスアノード原理に基づく設計と称され、有効性については各種試験結果が報告されている。

② 接触腐食防止の具体的方法

接触腐食防止法	具体的例	内 容	概 要 図
電解質溶液に侵入を防ぐ方法	防食コンパウンド	防食コンパウンドを異種金属端子間に介在させる	
	銅厚めっき	アルミ端子接触面に銅をめっきする	
	爆着、圧接	アルミ端子に銅板を高圧力で圧接する	
単極電位の中間合金層を入れる方法 (上記電解質溶液浸入防止も兼ねる)	中間合金付	中間合金層 (錫と亜鉛の合金) をアルミ端子に溶着させる	
	銅板張り	アルミ端子に中間合金層を介して銅板を接着	

4.5 はんだ付けについて

(1) はんだ付け利点

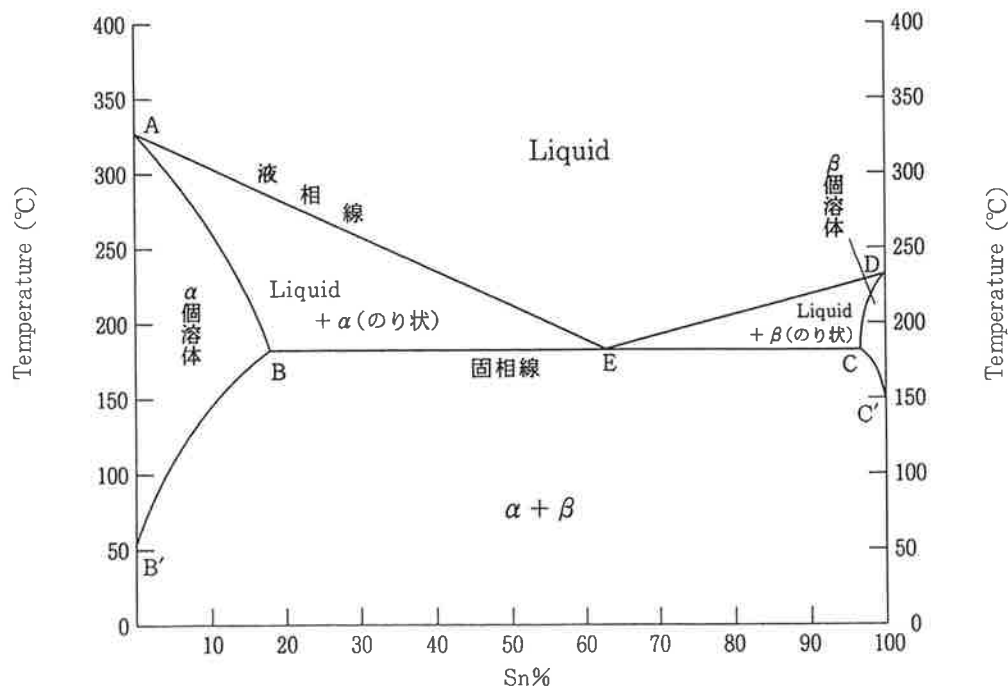
はんだが広く使われている理由は、一口にいて大変便利に、たやすく金属との接合が出来るからである。少し詳しく考えると次のとおりである。

- 電気の導体 (銅に対して約12~14%)。
- はんだ付け後すぐに固まる。
- 金属のみにしか付かない。

- 300°C程度の温度で作業が出来る。

(2) はんだ（すずと鉛の合金）の物理的性質

はんだを加熱していくと、第17図に示す固相線（線ABCDE）の温度で、それぞれの成分のはんだは溶け初め、温度の上昇とともに溶解し、液相線温度（線AED）に達すると、完全に溶解する。逆に、溶けているはんだを冷却していくと、液相線温度で固まり初め、温度の下降とともに成分を異にしながら固まり、液相線温度（一般的なはんだ成分では183°C）に達したとき、凝固が完了する。



第17図 Sn-Pb 合金状態図

(3) フラックスの作用と組成

はんだ付けの機構は、汚れや、酸化物、硫化物等で表面が覆われていない純粋な金属面に、溶けたはんだが接し、はんだが濡れ、はんだ中のすずと合金を作り、はんだ付けができる。

水素雰囲気中、真空中でのはんだ付けや、その他特殊なはんだ付けの方法以外、フラックスを用いなければ、はんだ付けはできない。フラックスの作用は、金属表面の種々の汚れを洗い純粋な金属面を出し、はんだが付くまでその面を保護する作用を行っている。すなわち

- はんだ付け面をきれいにし、はんだが付くまでその面の酸化（再酸化）を防止する。
- 溶けているはんだの表面も酸化しているため、この酸化も洗い、はんだが流れやすくする。

その他、フラックスに必要な性質としては、特に電気回路等に用いられるものは、その残渣が非腐食性であったり、はんだ付け作業時に発生する煙、臭気等が少ないということも必要なことである。

フラックスの組成は、大きく区別して次のとおりである。

① 樹脂タイプ

松脂や、松脂の誘導体、特殊な樹脂等に活性剤として、アミンハロゲン化水素酸塩等を添加し

たものを、そのまま使用したり、溶剤に溶かした液状のもの。

② 水溶性タイプ

塩化亜鉛、塩化アンモニウム、塩酸、リン酸、カルボン酸類などを、アルコール、水、グリセリン、カーボンワックスに配合したもの。

フラックスは、何の材質に、はんだ付けを行うかによって適格な物を選ばないと、信頼性の良い、品質の良いはんだ付けは得られない。

(4) 正しいはんだ付けを行うには…

はんだ付けには主に2つの工法がある。その1つは、はんだを盛りつけて行う方法で、肉盛はんだ付けと呼んでいる。今日では、肉盛はんだ付けはあまり目立たなくなったが、以前は、水道鉛管を接続する工法、自動車車体への応用等があった。もう1つは、通常行なわれる、はんだこてや溶融しているはんだに浸漬して行なうはんだ付けである。

良いはんだ付けを行なうためには、次の3つの項目を満足させることである。

- ① はんだ付け面をきれいにすること。必要によっては、前処理を行なうこと。
- ② はんだ付け部の温度が、そのはんだの融点より約50℃程度高くなるように加熱すること。むやみに高い温度では、柔らかい良いはんだ付けはできなく、低いとテンプラ状のはんだ付けになる。
- ③ はんだ付けする材質により、はんだの成分や、フラックスの選定が必要である。

5. 試験方法

5.1 PL-PAS接続高圧ケーブル絶縁耐力試験時の留意事項について

(1) アレスタ内蔵型のGR付PAS (PL-PAS)

最近、制御電源とアレスタ内蔵型のGR付PAS (PL-PAS) が実用化され、広く普及されてきたが、その施設時の絶縁耐力試験は、本来高圧ケーブルと開閉器は別個に試験することが原則であるが、高圧ケーブルと開閉器を一括して行なった結果耐圧試験電圧がPTの巻線間に印加され、巻線を焼損させてしまうという事例があったので、ここでPL-PASの耐電圧試験時の留意点について述べてみたいと思う。

(2) 事故の状況

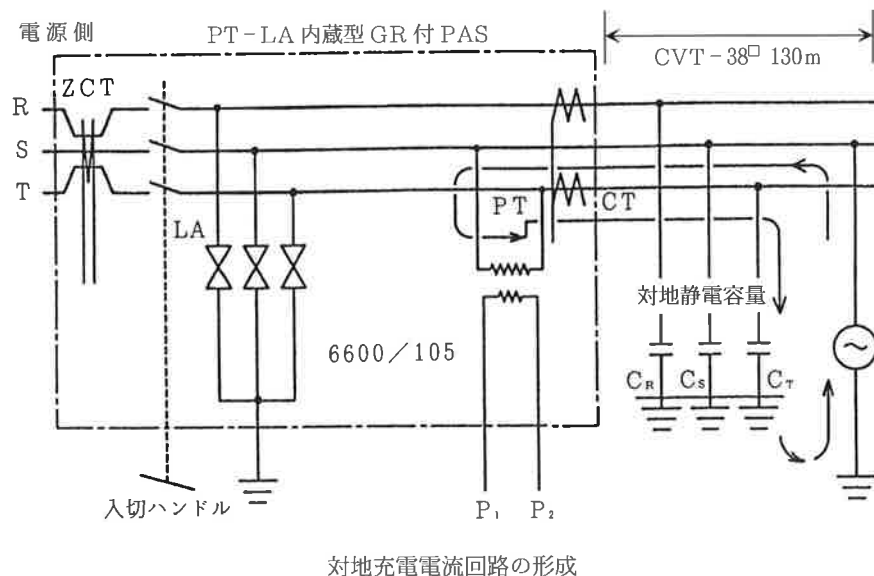
PL-PASを構内1号柱に施設し、これにCVTケーブルを接続後、ケーブル末端にてPL-PASのPT巻線間を短絡せずに各相と大地間で絶縁耐力試験 (PT巻線に試験電圧AC10350V10分間を印加) を実施した。

引き続き電源 (6600V) を送電し、PL-PASを投入したところPL-PASから煙りが発生したのでPL-PASを下ろし内部点検をした結果、PTコイル一次巻線が焼損したことが判明した。

(3) 事故の原因

PT巻間には6900Vを越える電圧は、印加してはならないところに10350Vを印加したため、巻線に過大な充電電流 (5~200mA相当) が流れ巻線が焼損した。

これは、PT巻線間 (ST間) を短絡せずに耐電圧を印加したため、PT巻線とケーブルの大地静電容量とで、充電回路が形成され巻線間に耐電圧10350Vを印加したことによる。



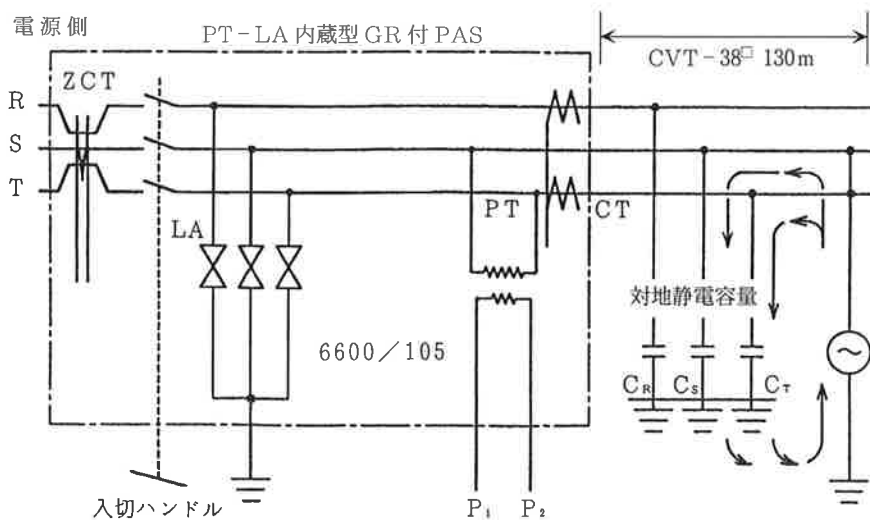
(4) 絶縁耐力試験時の留意事項

PT巻線間の電圧は6.9kV以下 (JIS) しか保証されてなく、保証上の理由からPTにはヒューズが取り付けられていない。またこのPL-PASにはアレスターが取り付けられているが、このアレスター

の耐電圧も13.9kV以下となっているため、直流による絶縁耐力試験電圧（20.7kV）では放電劣化してしまう。

以上から、PL-PASとケーブルは別個に試験することが原則であるが、止むを得ずPL-PASとケーブルを接続したままの状態での耐電圧試験を行う場合には次の事項に留意する必要がある。

- ① PL-PASには計器用変圧器（PT）及びアレスター（LA）が内蔵してあることを認識する。
- ② PT巻線間（ST間）の最大保証電圧は6.9kV以下であるので、AC10.3kV又はDC20.7kVの電圧を直接PT巻線に印加すると、巻線の充電電流によりPT巻線を焼損する。
また、PT巻線間を短絡せずに各相ケーブルと大地との間で耐電圧を印加すると巻線とケーブル大地静電容量とで充電回路を形成し、巻線を焼損する。
- ③ アレスター（LA）の商用周波放電開始電圧は13.9kV以上であるので、DC20.7kVの絶縁耐力試験では、アレスターの劣化を引き起こし焼損する。
- ④ PT巻線が接続されている相（ST相）の絶縁耐力試験回路は次図のとおりとする。

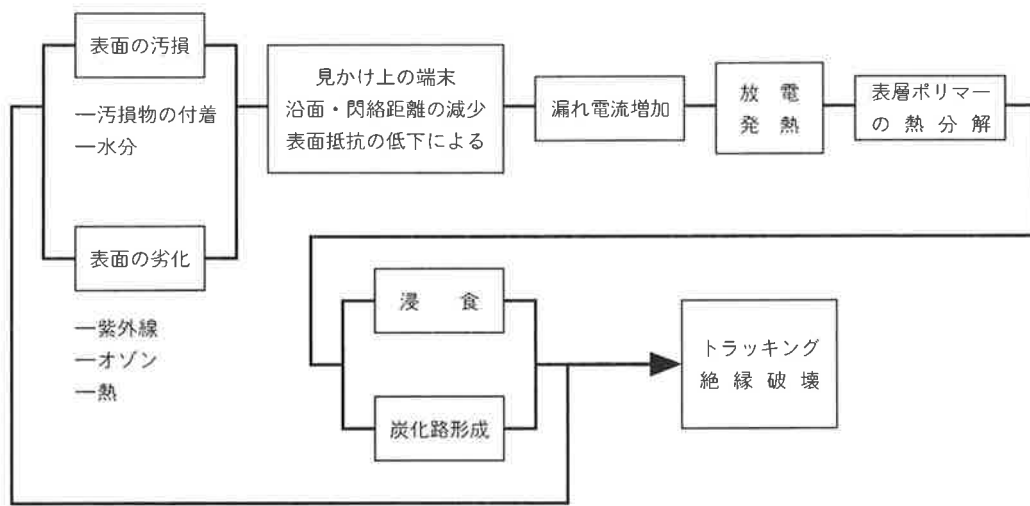


- ⑤ 試験手順は次のとおりとする
 - a. PT巻線が接続されている相をケーブル端末からメガ又はテスターで確認する。
 - b. PT巻線間を確実に短絡する。
 - c. R相（PTが接続されていない相）——大地間、ST相（PTが接続されている相）——大地間に10.35kVを10分間印加する。

5.2 ポリマー絶縁材料及び端末の汚損試験方法に関して

(1) 汚損劣化の発生について

現在、高圧屋外端末処理材に用いられているポリマー材料は、主にシリコンゴムとエチレンプロピレンゴム（EPDMゴム）がある。高圧屋外端末処理材が塩害等の汚損により劣化していくメカニズムは、一般的に下記と考えられる。



これらの汚損劣化の進行を抑制するには、端末処理に使用するポリマー材料と絶縁外被の構造・形状とが、重要な要因と考えられる。

(2) ポリマー絶縁材料に関して

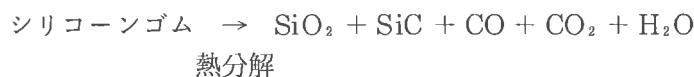
ポリマー絶縁材料において、汚損劣化のメカニズムを考えると重要な要因として耐紫外線性、耐熱性および湿潤時の表面抵抗がある。従って、これら特性について代表的な2種類のポリマー材料シリコンゴムとEPDMゴムの特徴を説明する。

① 耐紫外線性

耐紫外線性において、シリコンゴムは、EPDMゴムに比べて優れた特性を示す。これはシリコンゴムの分子骨格をなすシロキサン結合 (Si-O) が強い結合エネルギー (445kJ/mol) を持ち、紫外線のエネルギー (398kJ/mol) による劣化に対して優れた耐性を持っているためである。一方EPDMゴムは、炭素結合 (C-C) を主鎖に持つが、その結合エネルギー (398kJ/mol) はシロキサン結合に比べれば弱く、紫外線により劣化される。そのためEPDMゴムには、UV抑制剤やカーボンブラック等を添加して劣化対策が取られているが、電気絶縁性の面よりその添加量に限度がある。

② 耐熱性

耐熱性においても耐紫外線と同様に、シリコンゴムのシロキサン結合 (Si-O) の結合エネルギーがEPDMゴムの炭素結合 (C-C) より強いために、シリコンゴムの方が優れた耐熱性を示す。この優れた耐熱性が、部分放電の熱による表面劣化を抑制する。仮に高熱により劣化された場合にも次式に示すように、熱分解時に化学構造上導電物質を生成しないため、耐トラッキング性の優れた材料とも考えられる。



一方EPDMゴムの場合、高熱により劣化されると化学構造上導電物質を生成する為表面が炭化され、トラッキングが生じる。

③ 湿潤時の表面抵抗

湿潤時の表面抵抗において、シリコンゴムは表面が疎水性分子（メチル基）で覆われているため、全面が濡れる代わりに水滴を形成し、高い表面抵抗を維持する。同様に、EPDMゴムについても初期の状態では、表面が疎水性分子（メチル基）で覆われているため高い表面抵抗を維持する。しかし、EPDMゴムのポリマー表面の疎水性は、連続的な湿潤状態、部分放電により徐々に親水性へと変化するが、シリコンゴムはある一定時間（22時間以上）の乾燥状態が続けばEPDMゴムと異なり、初期の状態と全く同じ疎水性を取り戻す。これは、シリコンゴムの内部よりシリコンゴムの低分子が移行してくるためと考えられている。

従って、シリコンゴムは各種ポリマー系絶縁材料の中で基本性能として非常に優れた耐汚損性能を持った材料であると考えられている。

(3) 端末の長期信頼性に関する汚損試験方法について

端末の長期信頼性に関する汚損試験方法に関しては、端末絶縁外皮に使用されている材料の特徴・特性および絶縁外皮の構造・形状を総合的に評価できる長期信頼性試験方法を選定する必要がある。試験方法の例を以下に紹介する。

・塩水噴霧法（ANSI: American National Standards Institute C29. 11-1989）

* 試験条件

試料沿面距離	: 484~692mm
噴霧水滴の大きさ	: 5~10 μ m
試験槽の大きさ	: 10 m^3 以下の自然排気
塩水温度	: 10 \pm 0.5kg/ m^3
印加電圧 (kV)	: 試料沿面距離/34.6
試験時間	: 1000時間
塩水噴霧量	: 0.4 \pm 0.1 l /時間/ m^2

（試料に直接噴霧しない事）

この試験は、1989年にANSIにて「ポリマー碍子の規格」として制定されたものであるが、汚損状況はケーブルのポリマー端末処理材と同じと考えられる。

この試験は、ANSIにて制定されている事、また使用材料の評価および絶縁外皮の構造・形状の評価を同時に行うことができる事等にメリットがある。

しかし、実環境評価結果と加速試験との相関は確認されていない。

(4) 材料に関する汚損試験方法について

材料の耐汚損性能の評価を比較的短時間で行える試験方法を以下に紹介する。端末・接続材料の設計開発のみならず、各種ポリマー材（主にEPDMゴム、シリコンゴム）の新規配合開発、配合改良において、以下の材料試験方法を使用した評価検討が一般的におこなわれている。

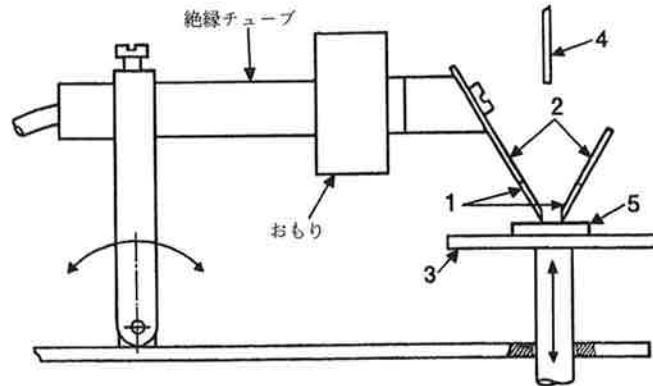
① IEC112法

* 試験条件

電極間距離	: 4 \pm 0.1mm
-------	-----------------

- 印加電圧 : 100～600V
 汚損液 : 0.1%塩化アンモニウム水溶液
 または0.5%イオン性界面活性剤追加
 汚損液滴下量 : 1滴 (20mm) / 30秒
 判定基準 : 0.5A以上2秒間、又は試料が燃えた時

一般的にシリコンゴム、EPDMゴム等のゴム系およびプラスチック材料の汚損性能評価に用いられる試験方法である。



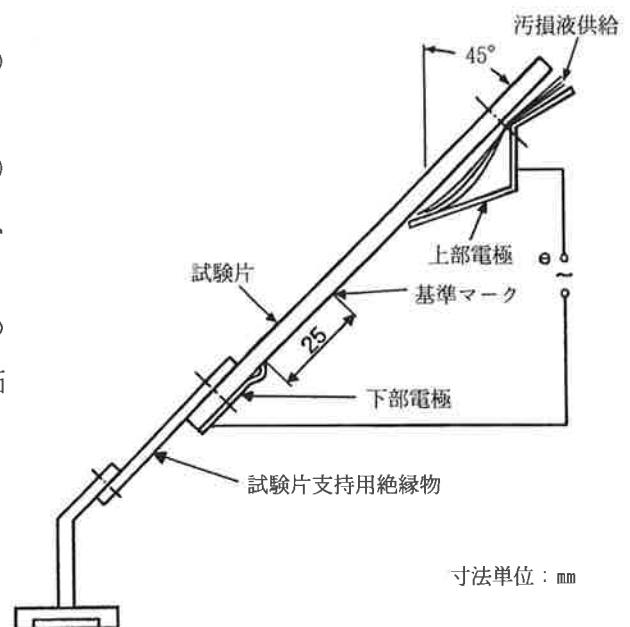
- 1 : 白金電極
 2 : 黄銅継足し部
 3 : 支持台
 4 : 滴下装置の先端
 5 : 試験片

② IEC587斜板法

* 試験条件

- 電極間距離 : 50 ± 0.5mm
 印加電圧 : 1 ~ 6.0kV
 汚損液 : 0.1%塩化アンモニウム水溶液
 + 0.02%非イオン性界面活性剤
 汚損液導電度 : 2532 ± 32 μS / mm
 汚損液の流量 : 0.075 ~ 0.90 ml / 分
 (印加電圧により決定)
 直列抵抗器 : 1 ~ 32kΩの抵抗値
 (印加電圧により決定)
 判定基準 : 60 mA以上の漏れ電流、
 又は25mmのトラック

一般的にシリコンゴム、EPDMゴム等のゴム系およびプラスチック材料の汚損性能評価に用いられる試験方法である。

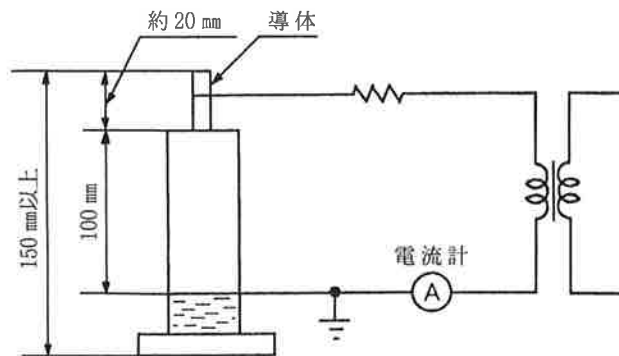


③ JIS C3005トラッキング

* 試験条件

電極間距離	: 100mm
印加電圧	: 4 kV
汚損液	: 0.2%塩化ナトリウム +0.1%ノニルフェニルポリオキシエチレン グリコールエーテル (7.5mol)
汚損液導電度	: 約3000 μ S/mm
汚損液噴霧量	: 0.5 \pm 0.1/min (水平分)
噴霧サイクル	: 10秒噴霧20秒休止
判定基準	: 規定回数 (101回) 噴霧 0.5A以下、又は試料が燃えない事

この試験は、元々絶縁電線の耐トラッキング評価に使用されている試験であり、シリコンゴム、EPDMゴム等のゴム系およびプラスチック材料の汚損性能評価にも用いられる試験方法である。

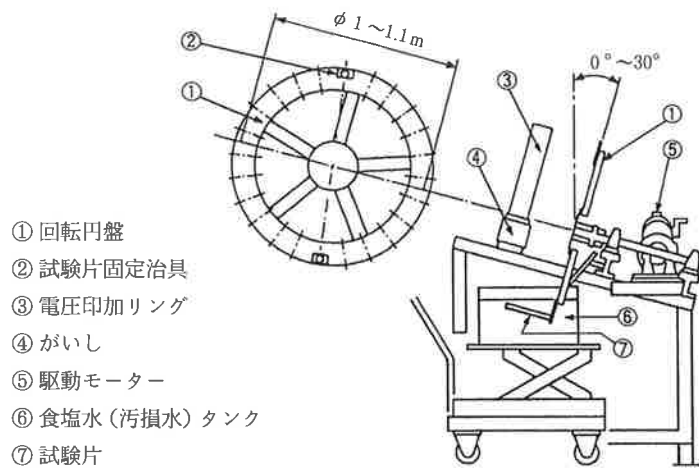


④ R・W・D・T (メリーゴランド法)

* 試験条件

電極間距離	: 120mm
印加電圧	: 10kV
汚損液導電度	: 1300 μ S/mm
試料取り付け	: 1 ~ 3 rpm
円板回転数	
判定基準	: 漏れ電流300mA

この試験は、元々フィンランド、ノルウェーでエポキシ樹脂系の絶縁材料の汚損特性を評価する目的で検討されてきたもので、ゴム系絶縁材料の評価実績は比較的少ない。また評価判定に長時間の試験が必要である。



一般的にポリマー絶縁材料の耐汚損性能評価試験法は、材料の耐トラッキング性言い換えれば材料の耐熱性の評価に視点を置いたものであると考えられる。また、これら材料評価試験方法は、汚損液に界面活性剤等を添加して行うものが多く、シリコーンゴムのように撥水性に特徴・特性を持つ材料には、あまり適していない。ただ、同じ系統の材料の配合の優劣とか、同じような表面特性を持つ材料間の比較評価には適すると考えられる。

〔参考文献〕 * 電気学会技術報告(Ⅱ部) 第305号 1989年8月

* ANSI規格 C29. 11-1989

6. 製 品

6.1 ゴムモールド製品の成型方法

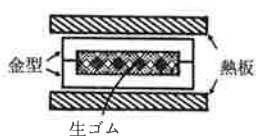
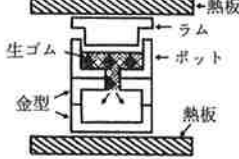
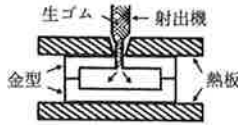
(1) ゴムの成型方法

ゴムの成型方法は昔から、ベースゴム加硫剤として硫黄（S）を添加し、一定温度で一定時間加熱し、ゴム間の分子を結合させ、弾力性の有る加硫ゴムを得る成型方法が取られて来た。最近では、加硫剤として硫黄（S）ではなく過氧化物（peroxide）を添加し、加硫する方法がとられ始めたが、双方には製造上（成型上）一長一短がある。しかし、どちらにしてもその成型には、金型を用い成型する方法が現在一般的である。そこで、次に金型を用いた成型方法につき説明する。

(2) 金型成型方法

加硫剤（硫黄又は過氧化物）を添加された生ゴム（一般に未加硫ゴムと称す）を一定温度で一定時間加熱成型すると、当然ゴムの膨脹により発泡および変形等が発生するので、所定の形状寸法を有するゴムモールド製品を得る為には、生ゴムを機械強度の大きい二ツ割れの金型内に押し込み、成型しなければならない。次表に各種成型方法とそれぞれの特長を記載する。

各種成型方法とその特長

	成 型 方 法		
	プレス方式	トランスファー方式	インジェクション方式
成型方法の概要	 <p>二ツ割れの金型の中に生ゴムを直接入れて、熱板プレスで押えて成型する。（鯛焼きを想像するとよい。）</p>	 <p>ポットの中に生ゴムを入れ、ラムで押して金型内に生ゴムを注入する。それを熱板プレスで押えて成型する。プレス方式と、インジェクション方式の中間的な構造のものである。</p>	 <p>熱板プレスで押えた金型内に、生ゴムを射出注入して成型する。射出機構は、ラム式とスクリー式とがある。</p>
設備費用	安 価	プレス方式より高価	高 価
製造対象となるゴムモールド製品	単一ゴムで、簡単な形状のもの。	やや複雑な形状のもの。	複雑な形状のもの、複数のゴムを組合わせたもの、（多量生産に向いている。）
品質の安定性	やや良い。	良 い。	最も良い。

(3) 成型方法のポイント

- ① ゴムの膨脹および収縮率はどのくらいか。
- ② それによる金型寸法をどう設定するか。
- ③ ゴムのバリ（金型の割り面に出る余分なゴム）をどこへどう出すか。
→ 製品の品質および加工面に、大きく影響する。
- ④ 生ゴム（未加硫ゴム）を金型へ注入する位置をどこにするか。
- ⑤ 生ゴム（未加硫ゴム）の注入温度、注入スピードおよび注入量をどうコントロールするか。

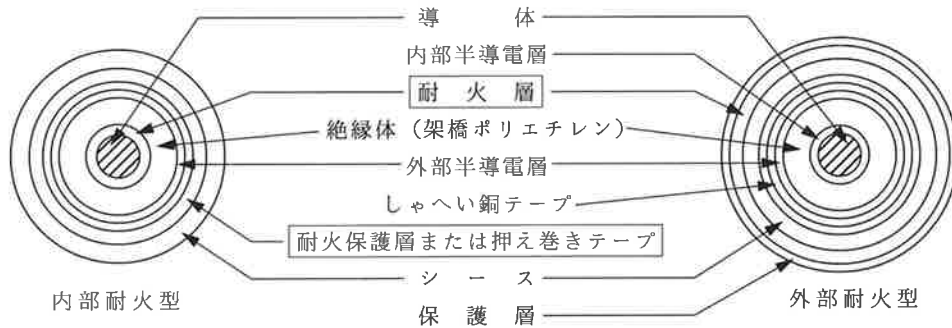
⑥ 異物混入を防ぐにはどうするか。

6.2 高圧耐火ケーブル用付属品について

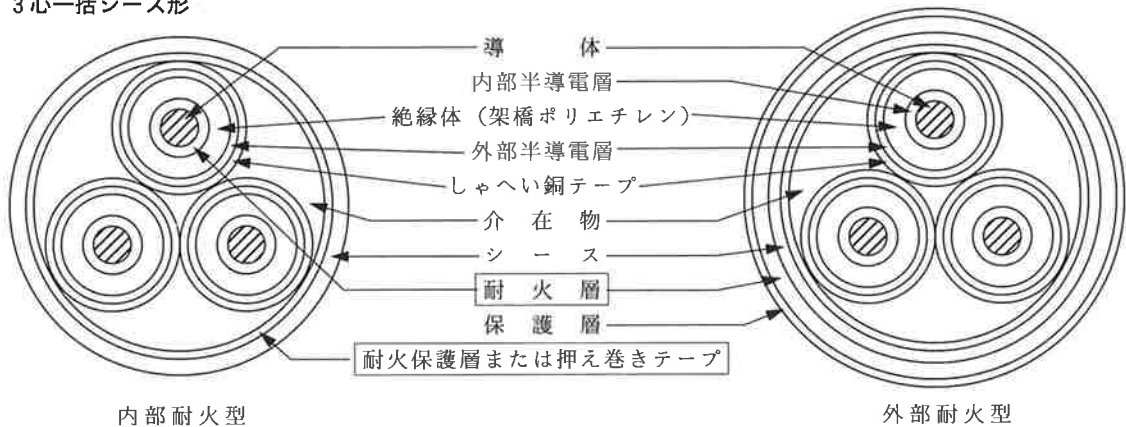
(1) 高圧耐火ケーブルの構造

高圧耐火ケーブルの構造は大きく分けて、導体上に耐火層を設けた内部耐火型と、一般の高圧架橋ポリエチレン絶縁ケーブル（CVケーブル）の外側に耐火層を設けた外部耐火型の二種類があり、一つの例を図18に示す。尚、電線メーカー各社により構造、寸法等が異なっている。

単心及びトリプレックス形



3心一括シース形



(2) 高圧耐火ケーブル用付属品について

高圧耐火ケーブルは、高圧架橋ポリエチレン絶縁ケーブル（CVケーブル）に比べて

- ① 仕上り外径が大きくなる。
- ② 内部耐火型ケーブルにおいては、絶縁体外径が大きくなる。

このため、耐火ケーブルの終端接続処理作業に際して、一般のCVケーブル用付属品を使用されると、ブラケット、ゴムスペーサーや、三又分岐管がケーブルに挿入出来ない、また、内部耐火型のケーブルでは、プレハブ形終端接続部を使用する場合、ゴム成形品（ゴムストレスコーン、ゴムとう管、耐塩端末等）がケーブル絶縁体に挿入出来ない場合があるので、使用される耐火ケーブルの種類（電線メーカー）に応じた付属品を使用する必要がある。

また、処理工法としては、一般に架橋ポリエチレン絶縁ケーブルと同じであるが、耐火層は確實

にはぎ取る必要がある。

6.3 高圧モーター端子箱内終端接続部について

(1) 適用規格について

高圧モーター端子箱内終端接続部については、JIS、JEM等で文書化された規格はない。そこで、JCAA規格の考え方を基本に検討をおこない、高圧モーター端子箱内終端接続部に要求される機能と、機能を満たす構造及び材料について以下の様に推奨案をまとめた。

(2) 終端接続部に要求される機能

高圧モーター端子箱内に引き込まれたケーブルと端子箱口出線又は、スタッドとの接続部には下記の機能が要求される。

① 通電機能

導体接続部は長期間安定して通電出来なければならない。

② 絶縁及び電界緩和機能

試験電圧にかかわらず長期間安全に電圧を維持するためにケーブル遮蔽層端部に電界緩和のためのストレスコーン及び補強絶縁部が必要である。

③ 気密性

終端接続部からケーブル内への水分や不純物の侵入を防ぐべく気密構造でなければならない。

④ 特性

通常、JCAAでは6kVのキュービクル内に布設される終端接続部について下記の特性を要求している。

6kVキュービクル内終端接続部の要求性能（JCAA規格）

試験項目	性能
商用周波耐電圧	35kV連続1時間（通電温度上昇後は6.9kV10分間）に耐えること
雷インパルス耐電圧	95kV（負極性）3回に耐えること
商用周波電圧部分放電	6.9kV（電圧上昇時） 5.3kV（電圧下降時）で10pc以下のこと
通電温度上昇	105℃、3時間、3回で異常のないこと
引張強さ	導体断面積×6.9×10 ⁷ N/m ² {7kgf/mm ² }以上のこと
長期課通電	10kV、導体温度90℃、30回に耐えること

(3) 要求機能を満足する構造及び材料

① 端子

ケーブル導体内に呼吸作用等で水分が入り込まない様にJCAA規格品の端子（圧縮、圧着又ははんだ付）を使用するのが良い。

② ストレスコーンと絶縁処理

ストレスコーンはJCAA規格のゴムストレスコーンあるいはテープ巻にて成形する。又、ス

トレスコーン先端から導体口出し部迄の寸法は、表面汚損の心配が無い場合要求される試験電圧値より決定すれば良い。図19に沿面特性の一例を参考に示す。(沿面特性は充電露出部やストレスコーン先端部の絶縁補強により変化する。)

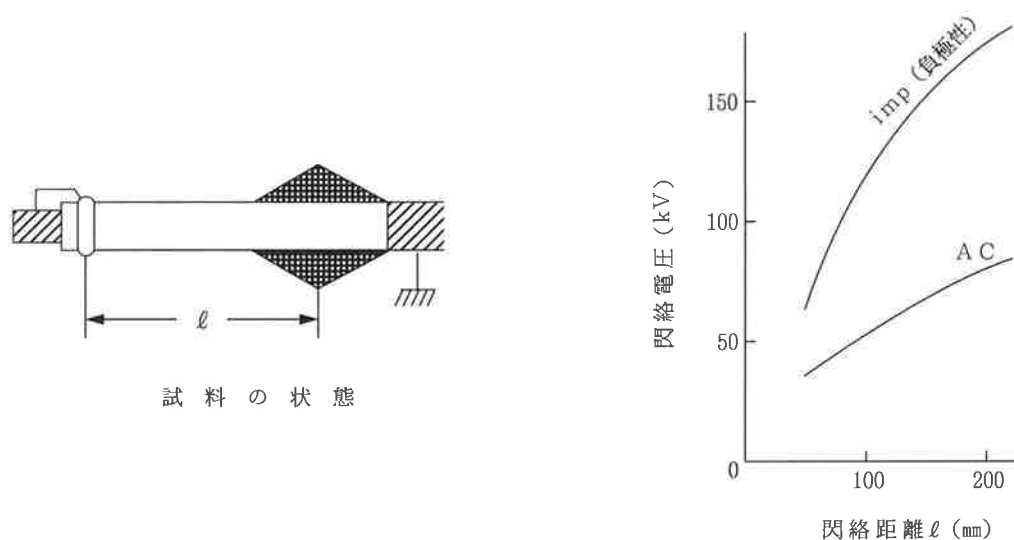


図19 終端部の閃絡電圧特性 (ストレスコーン付)

③ 三又分岐管 (3心一括シース付ケーブルの場合)

ケーブル絶縁体とシースの間も中心導体同様に水分が入り込まない様、三又分岐管を使用する等して外部と気密に保つ必要がある。

④ 相間・対地間寸法

相間・対地間寸法はJIS C 4620を参考に下記によるのが望ましい。

但し、寸法の制約が大きい場合は要求特性を勘案の上でこれと異なる寸法としてよい。

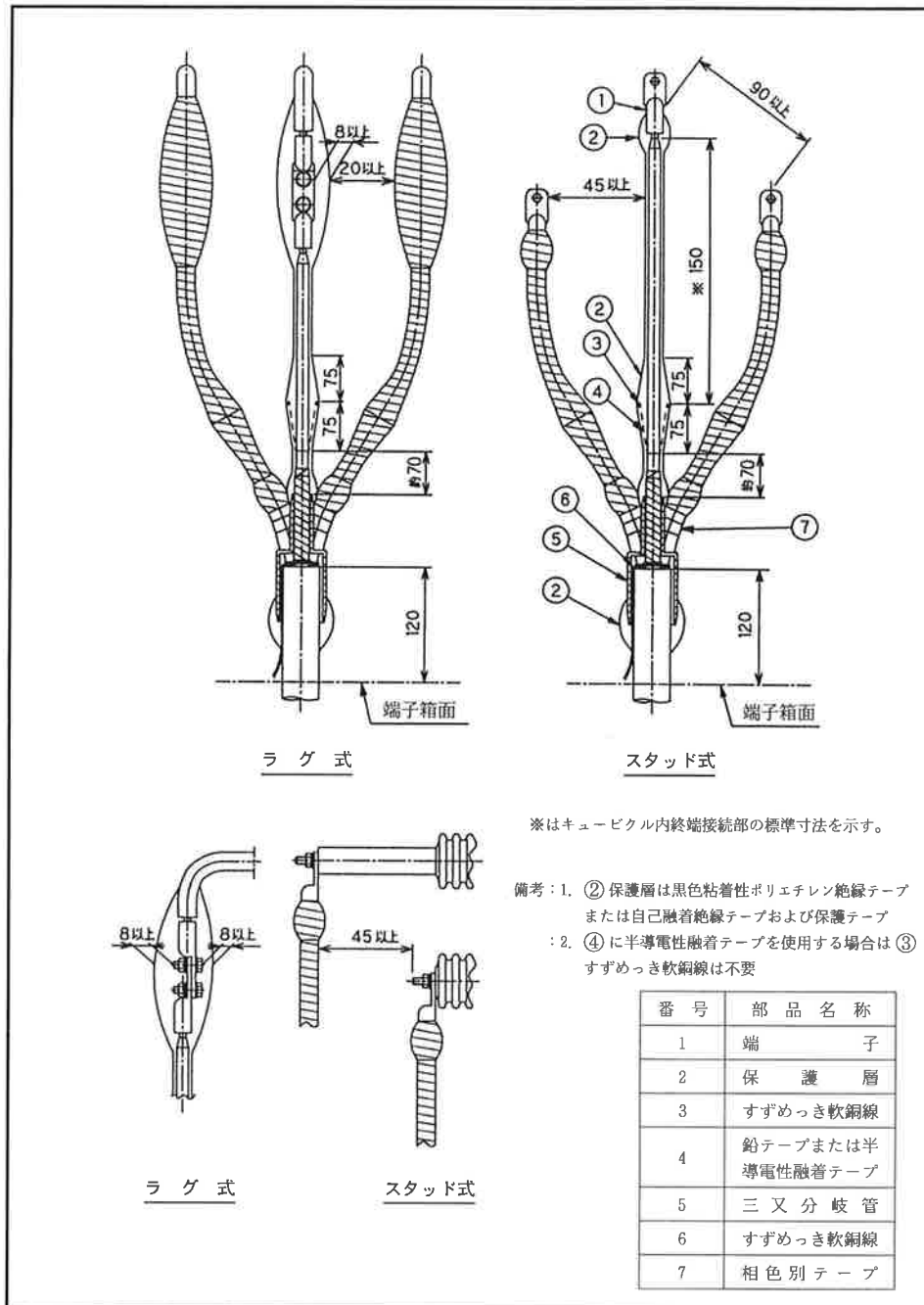
相間・対地間寸法 (JIS C 4620)

場	所	最小絶縁距離
高 圧 充 電 部	相互間	90
	大地間 (低圧回路を含む)	70
高圧用絶縁電線非接続部 ※	相互間	20
	大地間 (低圧回路を含む)	20
高圧充電部と高圧用絶縁電線非接続部相互間		45
電線端末充電部から絶縁支持物までの沿面距離		130

※ ケーブル側端子近傍のしゃへいのない部分にも適用できる。

(4) 終端接続部

終端接続部の例を以下に示す。



6.4 波付鋼管がい装ケーブル用終端接続部のがい装処理方法について

(1) 地中電線路のケーブル布設方法

地中電線路にケーブルを使用する場合、ケーブルを外力から保護する必要があるため、堅牢な管やトラフ等の保護物にケーブルを収める方法（管路式または暗きょ式）とがい装を有するケーブルを用いる方法（直接埋設式）がある。がい装を有するケーブルは、通常のケーブルの外側に鋼帯や鋼管等の金属防護層と防食層を設けたもので、特に鋼管を波状に加工して取り扱い易くした波付鋼

管がい装は、日本電線工業会でも規格化（JCS第385号）されているように最も多く使用されている。この波付鋼管がい装ケーブルは、がい装を除くと通常のケーブルと同一であるため、その接続部も主要な部分は通常のものと同変わらないため、JCAAでは、特に規格化してはいないが、がい装の処理に幾つか方法があり、今回終端接続部（しゃへいありケーブル）についてがい装の処理方法を下記のとおりまとめた。

(2) がい装処理方法

波付鋼管がい装ケーブルは、「CVT+がい装」と「3心CV+がい装」の2種類に分けられ、各々の終端接続部のがい装処理方法について、特徴や用途をまとめた表を以下に示す。

がい装処理は終端接続部の接続作業の一部としておこなわれるため、3心ケーブルの場合“D”の方法が一般的であるが、“B”のように、がい装処理の位置をケーブル端から大きく離す場合も考えられる。

最近、ケーブルシースの健全性確認（シース耐圧）が保守・点検項目の1つとしてあげられている。この確認をおこなう場合、“D”のように外装とケーブルしゃへい層が同時に接地されていると、ケーブルシースが健全でも防食層に問題があると、正しい結果を得ることができない。特に防食層の電気特性の規定がない上、“D”の方法で実施されている場合が多いため、シース耐圧をおこなう場合は注意が必要である。

今後の処理方法としては、“A”～“C”のいずれかを採用するのが良いと思われる。なお、がい装部の接地は片端・両端いずれでも良く、また、ケーブルシースの健全性を調べる場合には「しゃへい層-がい装」で実施するのが良いと思われる。

波付鋼管がい装ケーブル用終端接続部がい装処理方法

種類	3心CV + がい装			
	CVT + がい装 A	B	C	D
処理図				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> • 端材料は標準規格品がそのまま使用できる。 (三又分岐管等の追加のみ) • がい装の剥ぎ代が長い場合は三又分岐管の挿入に手間がかかる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 端材料は標準規格品がそのまま使用できる。 (テープ等の追加のみ) • がい装処理と端末処理と別におこなうため手間がかかる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 端材料の一部変更が必要のため標準規格品がそのまま使用できない。 (三又分岐管等の変更) • がい装処理と端末処理が同時にできるため手間がかからない。 	<ul style="list-style-type: none"> • がい装部とケーブルしゃへい部の接地を接続しているためシース耐圧での判定ができない。
用途	CVTでの一般的な処理方法	高所立上げ等、ケーブル本体を固定する必要がある場合	シース耐圧を必要とすると3心CVの一般的な処理方法	シース耐圧を必要としない3心CVの一般的な処理方法

7. おわりに

前号に引き続き、今まで掲載されたテクニカルレビューを再構成し終端接続部とその接続技術を中心にまとめてみた。

教育用あるいは施工時の注意ポイントとして参考にしていただければ幸いである。

J C A A 技術報告書 (第5号)

高圧ケーブル用終端接続部について (その2)

(会報No. 5号~22号テクニカルレビューより)

1997年11月25日発行

編 集 社団法人 日本電力ケーブル接続技術協会
技 術 委 員 会

発 行 社団法人 日本電力ケーブル接続技術協会

〒103 東京都中央区日本橋蛸殻町1丁目

19番9号 ちとせビル3階

電 話 03 (3808) 0750

本書の内容の一部あるいは全部の無断複製を禁じます。