

1.(4) 試験方法・評価技術

本項では電線・ケーブルにおける各種試験方法、評価技術についてまとめた。試験方法、評価技術は大きく分けて電気特性に関するもの、機械特性に関するもの複合劣化を評価するもの等があり、また、光ファイバケーブルに関しては光伝送特性に関してまとめた。

1.(4)-1. 電気特性試験

電線・ケーブルの電気特性を試験、評価する方法には以下のようなものがある。

表 1.(4)-1. 電気特性試験、評価方法

項目	規格名称・番号	方法概要
導体抵抗	JIS C 3005	各導体についてホイーストブリッジ法等適当な方法で測定する
絶縁抵抗	JIS C 3005	水中測定 予め接地した清水中に浸した状態で、高絶縁抵抗計等で導体と清水間の絶縁抵抗を測定する 気中測定 高絶縁抵抗計等で導体相互間の絶縁抵抗を測定する
耐電圧特性	JIS C 3005	水中測定 予め接地した清水中に浸した状態で、導体と清水間に規定の交流電圧を加え、規定時間これに耐えることを確認する 気中測定 導体相互間に規定の交流電圧を加え、規定時間これに耐えることを確認する スパーク測定 空気中でスパークテストを用いて、予め接地した導体と電極間に交流電圧を0.15秒以上加えたときにこれに耐えることを確認する
衝撃電圧 破壊特性	JIS C 3005	導体と金属遮蔽間に標準波形の雷インパルス電圧を3回加えこれに耐えることを確認する
部分放電特性	電力規格 A-216	導体と遮蔽間に規定の商用周波電圧を加え、部分放電電荷量を測定する
連続許容電流特性	JCS 第 168 E	1.(2)(イ) 電気特性の計算方法を参照
短絡電流特性	JCS 第 168 E	1.(2)(イ) 電気特性の計算方法を参照
誘電特性	JIS C 3005	導体と遮蔽間に正弦波に近い波形を持った規定の交流電圧を加え、シェーリングブリッジまたはこれに準じた方法で測定する
静電容量	JIS C 3005	交流ブリッジ法または携帯用直読静電容量測定器で測定する
インダクタンス	-	1.(2)(イ) 電気特性の計算方法を参照
浸水課電	-	導体とシース下あるいはどちらか一方に水を入れ、課電を行う。課電終了後にメチレンブルー等で絶縁体を染色し、薄くスライスした試料を顕微鏡で観察して水トリーの大きさと数を数える。
高周波加速劣化	-	水トリーの発生数と伸長は、周波数について数kHzまで直線性があるので、周波数を変えて浸水課電試験を行うことが多い
V-t 特性	-	使用電圧以上の一定交流電圧を試料に印可し、絶縁破壊に至るまでの時間を測定する
トラッキング	JIS C 3005	片端20mmの絶縁体を切り取り導体を露出させ、その切り口から100mm離れた絶縁体上に1mmの裸導線を巻き付けて、これと導体を電極にして規定の交流電圧を加える。次に試料に試験液を規定回数噴霧して、この間における試料表面の漏れ電流の測定及び燃えないことを確認する
長期課通電	電力規格 A-216	導体と遮蔽間に規定の商用周波電圧のON・OFFサイクルを規定時間加えたときに耐えることを確認する
電界発光	-	CVケーブルの絶縁体が劣化するときに発光現象が生じると考えられている。この発光現象の波長や発光量を測定する。

出典：CVケーブル 速水 敏幸著 コロナ社

1.(4)-2.機械特性試験

電線・ケーブルの機械特性を試験、評価する方法には以下のようなものがある。

表1.(4)-2.機械特性試験、評価方法

項目	規格名称・番号	方法概要
曲げ特性	JIS C 3005	<p>キャブタイヤ構造</p> <p>(a)丸形 完成品から適宜な長さの試料を採り、試料の太さに応じて曲げ試験装置の回転子の試料貫通孔を通じて両端を固定し、電線の種類によって固定距離と曲げ半径を決めて試料を取り付け、回転子を毎分約20回の速さで200回連続回転指せたとき、試料に生じる破損又はひび及び割れ程度、各線心の導体素線の断線数を調べる</p> <p>(b)平形 完成品から適宜な長さの試料を採り、ケーブル短径の5倍の直径をもつ円筒の円弧に沿って90°屈曲させた後に直線状に戻し、次に反対方向に90°屈曲させた後に直線状に戻す操作を毎分10回(導体公称断面積38mm<sup>2</sup>を越えるものは毎分6回)の速さで、連続して200回行ったとき、試料に生じる破損又はひび及び割れ程度、各線心の導体素線の断線数を調べる</p> <p>鉛被構造 完成品から適宜な長さの試料を採り、鉛被外径の約20倍の直径(平形の場合は、短径をとる)をもつ円弧に沿い、徐々に約90°曲げた後に直線に戻し、更に反対方向に曲げる。この操作を3回繰り返し、鉛被に生じる裂け目を調べる。</p> <p>編組構造 完成品から適宜な長さの試料を採り、200±3の温度で6時間保った後に取り出し、24時間以上常温に放置する。これを規定の円弧に沿って約90°曲げ、次に原位置に戻し、更に反対方向に約90°曲げ、次に原位置に戻す。この操作を2回繰り返して、編組に生じる裂け目又は塗料のはがれを調べる。</p> <p>平型構造(コード) 完成品から適宜な長さの試料を採り、その一端を試験装置の直径5mmの円筒間を通して固定具に固定し、他端に導体の断面積1mm<sup>2</sup>につき150gのおもりをつるし、試料には、許容電流に等しい電流を通して左右に、それぞれ約180°ずつ交互に回転させて試料を曲げる。この操作を毎分約10回の速さで連続して100回行ったとき、導体素線の断線数を調べる。</p>
捻り曲げ特性	関西電力 48工運用品 規格大2号	完成品より長さ約6m以上の試料を採り、導体を捻り、シースが360度/10m(216度/6m)捻られた状態で線心遮蔽層外径の10倍以下の円筒の外周に沿って180度曲げ次に源位に戻し、導体・シースの捻りも源位に戻す。次に反対方向に導体を捻り、前記と同様に捻り試験を行う。この操作を3回繰り返した後、曲げ範囲の中央部約1000mmについて構造試験を実施する。
オフセット試験	-	電力ケーブル等の伸縮を吸収するための曲がり部、たわみ部について伸縮時の曲げ半径変化等の諸特性を測定する
クリープ特性	JIS K 7115 JIS K 7116	JIS 1号またはJIS 2号試験片に一定の荷重をかけ一定時間毎に歪みを測定する

1.(4)-3.複合劣化試験

電線・ケーブルの複合劣化特性の試験方法には以下のようなものがある。

表1.(4)-3.複合劣化試験方法

項目	規格名称・番号	方法概要	測定例
ヒート サイクル試験 (11~275kV)	JEC 209 JEC 3408 電力規格 A-216	試験用線路を建設して実使用状態を考慮した温度条件(ヒートサイクル)を与えながら課通電によりケーブル及び接続部の長期寿命を確認する 11~275kV 導体到達温度が常時導体許容温度90 あるいは短時間導体許容温度105 となるように通電を行う。通電時間は8時間ON / 16時間OFFとし、期間は30日間とする。	-
ヒート サイクル試験 (1~30kV)	IEC 60502-2	1~30kV 導体到達温度が定格最高温度の5~10 高い温度となるように加熱する。加熱温度で2時間以上維持し、その後3時間以上をかけて自然冷却する。このサイクルを3回実施する。	-
LOCA試験	IEEE std.323 IEEE std.383 電気学会技術 報告(部) 第139号	原子力発電所用ケーブルが冷却材喪失事故の際に機能維持出来ることを評価する 熱劣化 寿命期間(40年相当)をアレニウス法で見積もった促進条件で空気加熱する 放射線劣化 熱劣化後ケーブルを寿命期間に被爆する累積線量及びLOCA時に被爆する線量を合わせた総線量の 線を照射する 蒸気暴露 熱・放射線劣化したケーブルを水蒸気・温度・圧力・化学スプレーのLOCA環境下に暴露する 屈曲浸水耐電圧試験 外径約40倍の金属マンドレルに巻き付け、常温水に約1時間浸漬したケーブルにこの状態で交流3.2kV/mmを5分間印加する	-
初期劣化 検出技術 (高圧ケーブル停止線 劣化検出)	電気学会技術 報告(部) 第182号	規格化はされていないが、現状多用されている診断方法を列挙する 絶縁抵抗 誘電特性 部分放電特性 直流漏れ電流 各線心の導体と遮蔽間に最大直流10kV10分間課電し、漏れ電流を測定する	判定基準例 2000M 以上 0.1%以下 部分放電開始電圧 4.5kV 以上 0.1μA 以下 キックがないこと 成極比:1 以上
初期劣化 検出技術 (高圧ケーブル活線劣化 検出)	電気学会技術 報告(部) 第402号	規格化はされていないが、現状多用されている診断方法を列挙する 誘電特性 直流成分特性 配電線に直流成分検出器を接続して直流成分を測定する。これにより絶縁体中の水トリー有無が確認できる 直流重畳漏れ電流特性 接地形計器用変圧器(GPT)またはコイルを介して直流電圧を重畳し絶縁抵抗を測定する 低周波重畳漏れ電流特性 配電線ケーブルの高圧線と接地間に低周波電圧(7.5Hz、20V)を重畳し接地線から低周波電流を検出する。その有効分電流から絶縁抵抗を求める。	判定基準例 0.1%以下 0.5nA 以下 1000M 以上 1000M 以上
初期劣化 検出技術 (低圧ケーブル劣化検出)	-	規格化はされていないが、例として下記の手法がある。 電気特性 絶縁抵抗(メガー)、低周波重畳漏れ電流特性 物理特性 超音波音速(伝搬時間)(反発)硬度、捻りトルク、曲げ応力 化学特性 熱重量法、酸化誘導期間(ポリエチレンに適用)、密度、ゲル分率、赤外分光光度計によるカルボニル基測定(ポリエチレンに適用)	-

1.(4) - 4. 光伝送特性

光ファイバケーブルの伝送特性試験、評価方法には以下のようなものがある。

表1.(4) - 4. 光伝送特性試験、評価方法

項目	規格名称・番号	方法概要	測定例
伝送損失	JIS C 6826 JIS C 6823 IEC 60793-1-4	<p>カットバック法(図1.(4) - 1参照)</p> <p>被測定光ファイバを光源、パワーメータに接続する。測定は定常モード励振で行うためMMファイバの場合、ダミーファイバを用いるか、20mmマンドレルに巻き付ける等の方法を採用。光パワー<math>P_2</math>を測定し記録する。SMファイバの場合、必要に応じてクラッドモード除去を行う。</p> <p>被測定光ファイバと励振器を固定し、接続点から1~2m部分を切断してパワーメータに接続する。この時の光パワーを<math>P_1</math>とすると損失Aと単位長さ当たりの損失は、次式で求められる。<math>A(\text{dB})=10\log_{10}(P_2/P_1)</math>, <math>(\text{dB/km})=A/(L_2-L_1)</math></p> <p>後方散乱光法(図1.(4) - 2参照)</p> <p>安定で高出力のパルス光を入射し、後方散乱光の強度変化から損失を測定する。測定にはOTDR測定器を用いる。</p>	SM 10/125
			測定波長
			1310nm      1550nm
			0.34 dB/km    0.20dB/km
伝送帯域	JIS C 6824 IEC 60793-1-4	<p>周波数掃引法(図1.(4) - 3参照)</p> <p>正弦波状に強度変調された光を多モード光ファイバに入射し、光ファイバからの出射光の変調周波数に対する減衰量から帯域を測定する。励振条件は、再現性向上のため全モード均一励振で行う。また、被測定光ファイバは最小の張力でまかれ、マイクロベントロスが最小の方法で行う。信号発生器の発信周波数<math>f</math>を変化させ、各周波数毎に受信信号振幅<math>A_2(f)</math>を測定する。光源から約1mの位置で被測定光ファイバを切断し、受信信号振幅<math>A_1(f)</math>を測定する。ベースバンド特性を次式にて算出する。</p> <p><math>B(f)(\text{dB})=-20\log_{10}\{A_2(f)/A_1(f)\}+20\log_{10}\{A_2(0)/A_1(0)\} \dots\dots (1)</math></p> <p>(注) <math>A_2(0), A_1(0)</math>: 最小発信周波数で求めた受信信号振幅</p> <p>ベースバンド特性曲線<math>B(f)</math>上でベースバンド値が最初に6dBになる周波数を帯域とする。</p> <p>時間領域法(図1.(4) - 4参照)</p> <p>パルス発振させているレーザー光を被測定光ファイバに励振し、光ファイバの両端における光パルスをそれぞれフーリエ変換し、光ファイバの周波数応答特性から帯域を測定する。励振条件は、周波数掃引法と同様である。ベースバンド特性を上記(1)式から算出し、帯域を計算する。</p>	GI 50/125
			測定波長
			850nm      1300nm
			490      750 MHz・km    MHz・km
分散	JIS C 6827	<p>位相法(図1.(4) - 5参照)</p> <p>各波長での位相差から全分散を測定する。光源と検出器を短尺(1m)の光ファイバで接続し、各波長毎に位相<math>\phi_1(\lambda, f)</math>を測定する。被測定光ファイバの両端の一次被覆を除去し、一端を光源側にセットし、他端を検出器側にセットする。両端を調整して、受光量が最大となるようにする。各波長毎に位相<math>\phi_2(\lambda, f)</math>を検出する。隣接する波長間の位相差は、<math>360^\circ</math>以下になるように、変調周波数<math>f</math>を選択する。遅延時間<math>\tau(\lambda)</math>は下記式から算出する。</p> <p><math>\tau(\lambda) = \{n+1/360[\phi_2(\lambda, f) - \phi_1(\lambda, f)]\} / f</math></p> <p>全分散は下記の式から<math>S_0, \sigma_0^2</math>を求める。</p> <p><math>\tau(\lambda) = S_0(\lambda - \lambda_0^2/\lambda^2)^2</math></p> <p>パルス法(図1.(4) - 6参照)</p> <p>各波長の遅延時間を直接測定して全分散を求める。光源と検出器を短尺(1m)の光ファイバで接続し、各波長毎の伝搬時間<math>\tau_1(\lambda)</math>を測定する。被測定光ファイバの各波長毎に伝搬時間<math>\tau_2(\lambda)</math>を遅延装置とオシロスコープを用いて測定する。遅延時間<math>\tau(\lambda)</math>は下記式から算出する。</p> <p><math>\tau(\lambda) = \tau_2(\lambda) - \tau_1(\lambda)</math></p> <p>全分散は下記の式から<math>S_0, \sigma_0^2</math>を求める。</p> <p><math>\tau(\lambda) = S_0(\lambda - \lambda_0^2/\lambda^2)^2</math></p>	波長 1258 ~ 1330nm 3.5ps/nm/km 以下
			波長 1550nm 18ps/nm/km 以下
カットオフ波長	JIS C 6825	<p>TP法(図1.(4) - 7参照)</p> <p>シングルモード光ファイバのカットオフ波長を<math>L P_{11}</math>モードの透過パワーから測定する。被測定光ファイバのサンプルは2mとする。半径140mmのマンドレルに被測定光ファイバを緩く巻き付け、最大の受光レベルとなるよう被測定光ファイバを励振器と検出器に接続する。出射光パワー<math>P_1(\lambda)</math>を波長を変えて、カットオフ波長よりも長い波長まで測定する。(a) 曲げ法: 半径30mmに緩く1ターン巻き付けて、同様に出射光パワー<math>P_2(\lambda)</math>を波長を変えて測定する。(b) マルチモード励振法: 1~2mのマルチモード光ファイバに変えて、各波長毎の出射光パワー<math>P_3(\lambda)</math>を測定する。</p> <p><math>A(\lambda) = -10\log_{10}(P_1(\lambda)/P_i(\lambda))</math></p> <p>ここで、<math>l=2</math> ((a) のとき) 又は <math>3</math> ((b) のとき)</p>	1190 ~ 1330nm

