

電気浴室換気乾燥暖房機の電源電線接続の
電気工事が不適切に行われたと推定される
焼損事故に関する調査報告書

平成19年 8月

独立行政法人製品評価技術基盤機構

目次

1．より線の切れやすさの確認	2
(1) 試験の目的と概要.....	2
(2) 試験サンプルの準備.....	2
(3) 試験方法.....	4
(4) 試験結果.....	5
2．温度上昇試験	6
(1) 試験の目的と概要.....	6
(2) 試験サンプルの準備.....	6
(3) 試験方法.....	8
(4) 試験結果.....	9
3．ヒートサイクル試験	11
(1) 試験の目的と概要.....	11
(2) 試験サンプルの準備.....	11
(3) 試験方法.....	12
(4) 試験結果.....	13
4．温度勾配試験	15
(1) 試験の目的と概要.....	15
(2) 試験サンプルの準備.....	15
(3) 試験方法.....	17
(4) 試験結果.....	18
5．燃焼確認試験	18
(1) 試験の目的と概要.....	18
(2) 試験サンプルの準備.....	18
(3) 試験方法.....	19
(4) 試験結果.....	21
(5) 追加試験.....	22
6．結果の考察	25
(1) より線の切れやすさの確認.....	25
(2) 温度上昇試験.....	26
(3) ヒートサイクル試験.....	28
(4) 温度勾配試験.....	31
(5) 燃焼確認試験.....	32
7．まとめ	34

この報告書は、経済産業省原子力安全・保安院電力安全課長から、平成18年3月28日付け「電気式浴室換気乾燥暖房機の電源電線接続部の電気工事が不適切に行われたと推定される焼損事故に関する調査要請について」をもって依頼があり、各種の接続方法を想定し、発熱・発火の可能性等を調査したものである。

1. より線の切れやすさの確認

(1) 試験の目的と概要

電線をリングスリーブで圧着するとき、その圧着強度が強い場合、より線の断線を引き起こすことが考えられる。この断線率が高い場合、接続部が通常よりも高温になる可能性があることから、リングスリーブの圧着強度と断線率との関係を調べる。

試験サンプルとして、適当な圧着工具の使用ダイス及びリングスリーブを用いて、適度な圧着及び強い圧着で接続されたものを用意し、引張試験機を用いてそれらの引張力の大きさを測定することにより、圧着強度と接続部におけるより線の断線状態との関係を検証する。この場合、引張力が小さければ、電線の断線率が高いと判定する。

(2) 試験サンプルの準備

電線は、断線状態を検証するより線として VCTF-2C-1.25mm² を用意し、そのより線に接続する単線として VVF-2C-1.6mm 及び 2.0mm の2種類を用意した。(全て1心。)

電線の長さは、より線及び単線とも約10cmとし、電線の導体を3~5cm程度露出させた。

より線を単線に手で2回巻き付けた後、単線を折らずにリングスリーブで固定したサンプル(以下、「接続1A」という。)及びより線と単線とを単に重ね合わせてリングスリーブで固定したサンプル(以下、「接続1B」という。)を用意した。

リングスリーブは、JIS C 2806(銅線用裸圧着スリーブ)で規定された記号“E”で呼び“小”のもの(以下、「E小」という。同様に呼び“大”のものは、「E大」という。)を使用した。E小は、JIS C 2806において、より線では2.0mm²~3.5mm²の終端重ね合わせ用、単線では1.6mm~2.0mmの終端重ね合わせ用を意図しており、サンプル1Aでは、より線をよっているため適度又はやや小さめとなったが、サンプル1Bでは大きめになった。呼び“中”及び“大”は、電線サンプルに対して大きすぎるため、今回の引張試験には不適切と判断した。(図1参照。)

圧着工具(使用ダイス)は、JIS C 9711(屋内配線用電線接続工具)に従って、リングスリーブの記号Eに対応するものを使用し、圧着マーク(使用ダイス)“小”及び“小”でリングスリーブを締付けた。JIS C 9711では、圧着マーク“小”は、単線1.6mmを2つ重ね合わせた状態に適し、電線の太さがそれ以上の場合、圧着マーク“小”を使用することが意図されていること及び図1から推測し、サンプルの接続状態はおおよそ表1のようになったと考えられる。

上記の手順により、同じ試験サンプルを各3個用意した。(合計24サンプル。)

E型 呼び	単線 1.6mm		単線 2.0mm	
	接続 1 A	接続 1 B	接続 1 A	接続 1 B
小 (選択)	 適度	 大きい	 やや小さい	 大きい
中	 大きい	 大きい	 大きい	 大きい
大	 大きい	 大きい	 大きい	 大きい

図1 リングスリーブ (E型) と電線との組み合わせ

表1 各試験サンプルの接続状態 (想定)

圧着マーク (使用ダイス)	単線 1.6mm		単線 2.0mm	
	接続 1 A	接続 1 B	接続 1 A	接続 1 B
小	ややきつい	適度	きつい	ややきつい
小	適度	やや緩い	ややきつい	適度



図2 圧着工具

(3) 試験方法

引張試験機の上のチャックで単線を固定し、下のチャックでより線を固定した。(図3参照。)

速さ 5 mm/分で、単線(上側)を引張り、断線(又は接続部から電線が抜けた)ときの引張強度を測定し、その断線状態もあわせて記録した。

接続方法ごとに各 3 個の試験サンプルで試験を繰り返し、その引張力の平均値が小さい順に順位づけを行った。

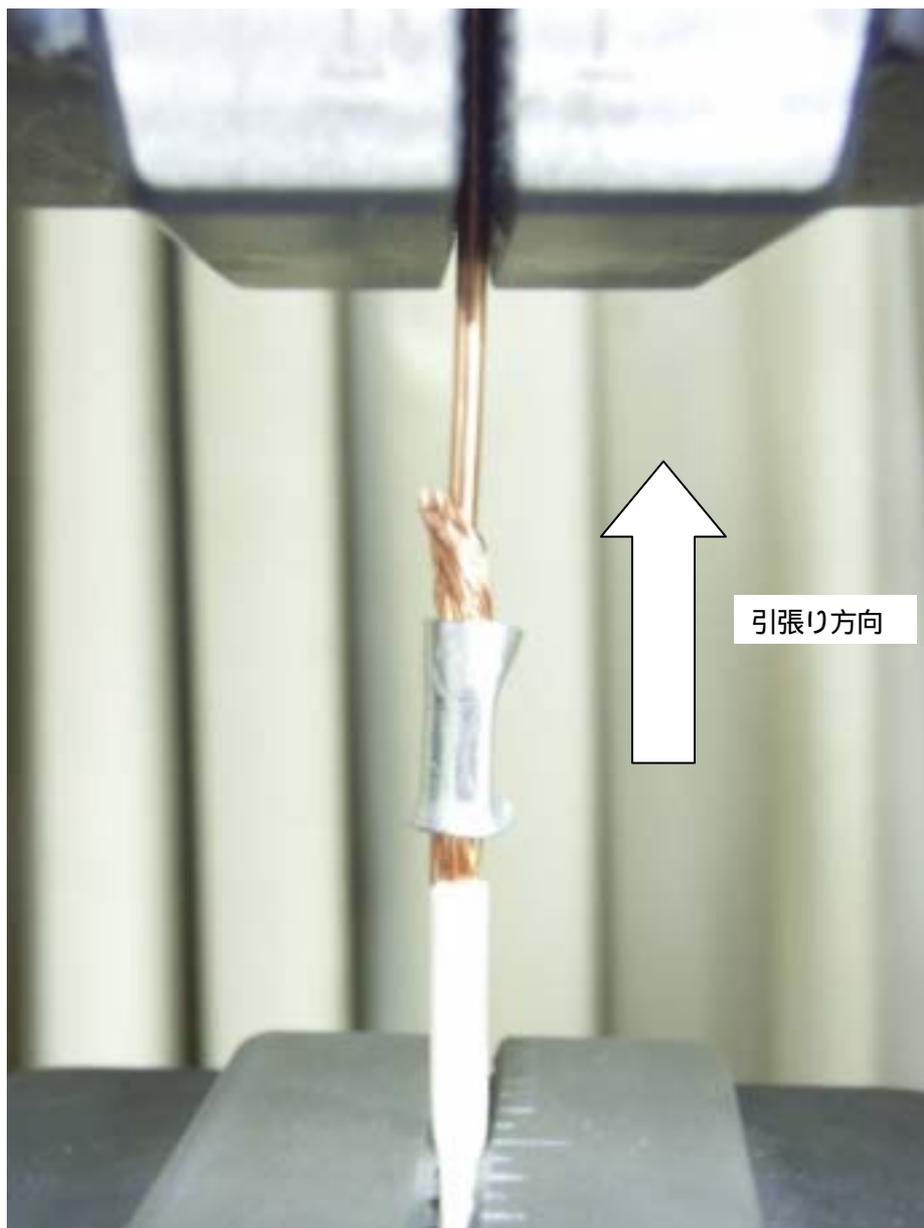


図3 電線の引張状態

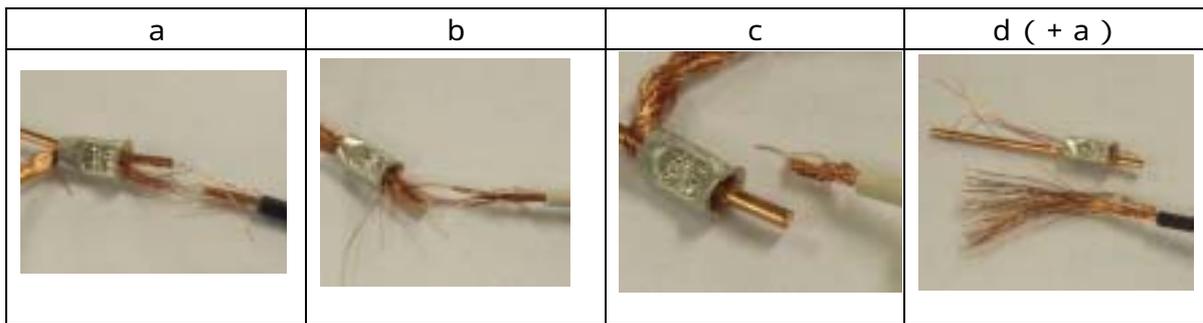
(4) 試験結果

表2 引張試験結果

接続	単線 mm	使用 ダイス	再現性	結果(周囲温度 <u>22.0</u> 、湿度 <u>47.0</u> %)			
				引張力(kgf)	断線状態	平均値(kgf)	順位
1A	1.6	小 ややきつい	1	16.16	b	16.18	4
			2	12.63	b		
			3	19.74	a		
		小 適度	1	19.03	a	19.94	5
			2	20.46	b		
			3	20.32	a		
	2.0	小 きつい	1	21.72	a	12.50	3
			2	6.43	c		
			3	9.34	c		
		小 ややきつい	1	9.87	c	11.82	2
			2	17.63	a		
			3	7.97	c		
1B	1.6	小 適度	1	23.92	a	23.67	7
			2	23.29	a		
			3	23.80	a		
		小 やや緩い	1	8.07	a+d	8.81	1
			2	8.02	a+d		
			3	10.34	d		
	2.0	小 ややきつい	1	24.28	a	25.92	8
			2	27.77	a		
			3	25.72	a		
		小 適度	1	20.32	b	20.05	6
			2	22.83	b		
			3	16.99	b		
参考 より線単体の引張力			1	32.44	-	30.58	-
			2	29.79	-		
			3	29.51	-		

<断線状態の記号の説明>

- a : 電線の接続部では断線せず、より線が伸びた状態で接続部から少し離れた箇所断線した。
- b : 電線の接続部で一部断線した後、少し伸びた状態で接続部から少し離れた箇所断線した。
- c : ほぼ、電線の接続部出口で断線した。
- d : 電線がリングスリーブから抜けた。(a+dは、より線に一部断線あり)



断線状態は、目視による確認であり、記号の分類には個人差がある。

図4 引張試験後の断線状態

2. 温度上昇試験

(1) 試験の目的と概要

電線の接続部方法の違いにより、接続部の温度上昇に差が生じる可能性について検証する。

検証は、より線（電源電線）と単線（屋内配線）を種々の方法で接続し、その接続方法ごとに交流10A（低電圧）の連続通電を行い、接続部の温度上昇値を測定することにより行う。

(2) 試験サンプルの準備

電線は、より線として VCTF-2C-1.25mm² を用意し、そのより線に接続する単線として VVF-2C-1.6mm² 及び 2.0mm² の2種類を用意した。（全て2心）

電線の長さは、より線及び単線とも各1mとした。（温度測定を行う接続部と逆側の接続部（端子など）の影響を受けないようにコンセント等の国際規格で温度試験で決められた長さとした。）

単線及びより線のそれぞれの絶縁体を約5cm露出させた。（通常の使用状態を考慮した。）

各サンプルの接続方法は、次のとおり。

表3 温度上昇試験用サンプル

記号	サンプル概要	図
接続2A	より線を単線に5回巻いた後、単線を7mm程度折り曲げたもの	図5
接続2B	より線を単線に2回巻いた後、単線を7mm程度折り曲げたもの	図6
接続2C	より線を単線に5回巻いた後、はんだ付けをしたもの	図7
接続2D	より線と単線を単に重ね合わせてE小のリングスリーブで固定したもの	図8
接続2E	より線を単線に5回巻いた後、単線を折り曲げずにE小のリングスリーブで固定したもの。（同一のサンプルを各3個用意）	図9
接続2F	より線を単線に5回巻いた後、単線を折り曲げずにE大のリングスリーブで固定したもの。（同一のサンプルを各3個用意）	図9

接続後、単線導体表面に熱電対をはんだ付けした。

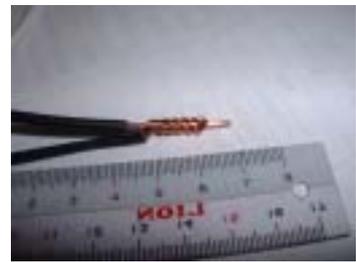
接続部は、ビニルテープをシース根元の絶縁体から2 / 3重ね合わせで先端に巻き、先端まで巻いたら折り返し2 / 3重ね合わせで最初の位置まで巻いた。(合計で重ね合わせは6重とした。)



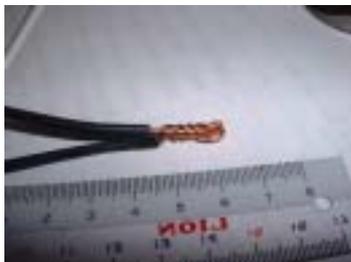
a . 絶縁体を約 5cm 残して絶縁シー
スをむく。()



b . より線を単線に 5 回巻く。



c . 単線の先端を巻き付け部終端から
約 7 mm のところで切断する。



d . 単線 7 mm をペンチで折り返しを
軽く押さえる。



e . 単線導体表面に熱電対をはんだ付
けする。()



f . ビニルテープをシース根元の絶縁
体から 2 / 3 重ね合わせで先端
に巻いていく。()



g . 先端まで巻いたら、折り返し 2 / 3 重ね合わせで最初の位置まで巻いて
いく。()



h . 完成。

図5 サンプル作成手順(接続2 A)



a . 図5のaの後、より線を単線に2
回巻く。

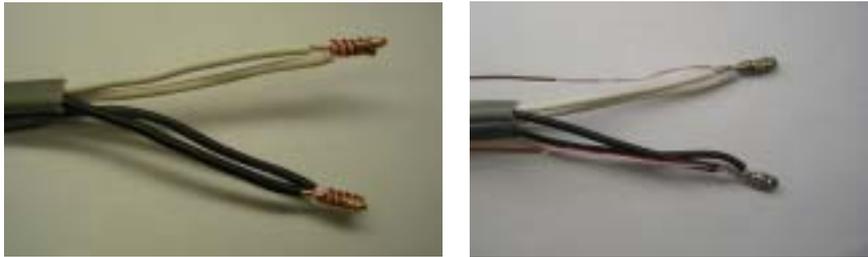


b . 単線の先端を巻き付け部終端から
約 7 mm のところで切断する。



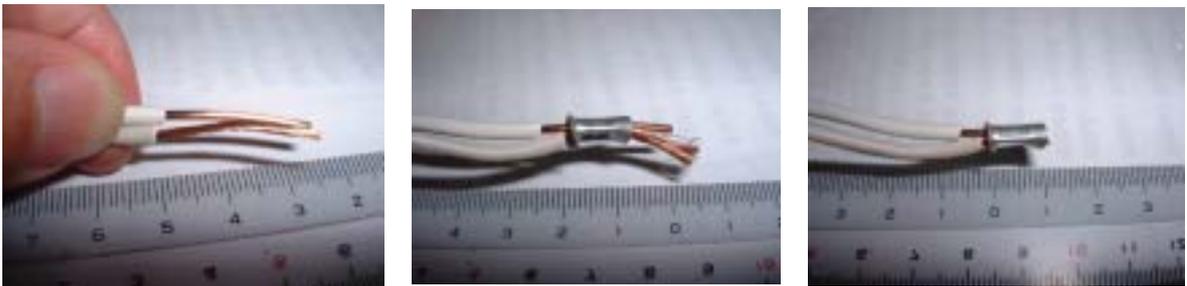
c . 単線 7 mm をペンチで折り返しを
軽く押さえる。以後、図5のe以
降と同じ。

図6 サンプル作成手順(接続2 B)



- a . 図5のa～dの手順により、より線を単線に5回巻く。
- b . 熱電対をつけてはんだ付けをする。以降は、図5のf以降と同じ。

図7 サンプル作成手順（接続2C）



- a . 図5のaの後、より線と単線を重ね合わせる。
- b . E小のリングスリーブを装着し、圧着する。
- c . 先端のはみ出した導体を切断する。以後、図5のe以降と同じ。

図8 サンプル作成手順（接続2D）



- a . 図5のaの後、より線を単線に5回巻く。
- b . 接続2EはE小、接続2FはE大のリングスリーブを装着し、圧着する。
- c . 先端のはみ出した導体を切断する。以後、図5のe以降と同じ。

図9 サンプル作成手順（接続2E及びF）

（3）試験方法

接続部が下向きになるように試験サンプルを配置した。

周囲温度を約30℃として、各サンプルに低電圧で10Aの電流を2心同時に流した。

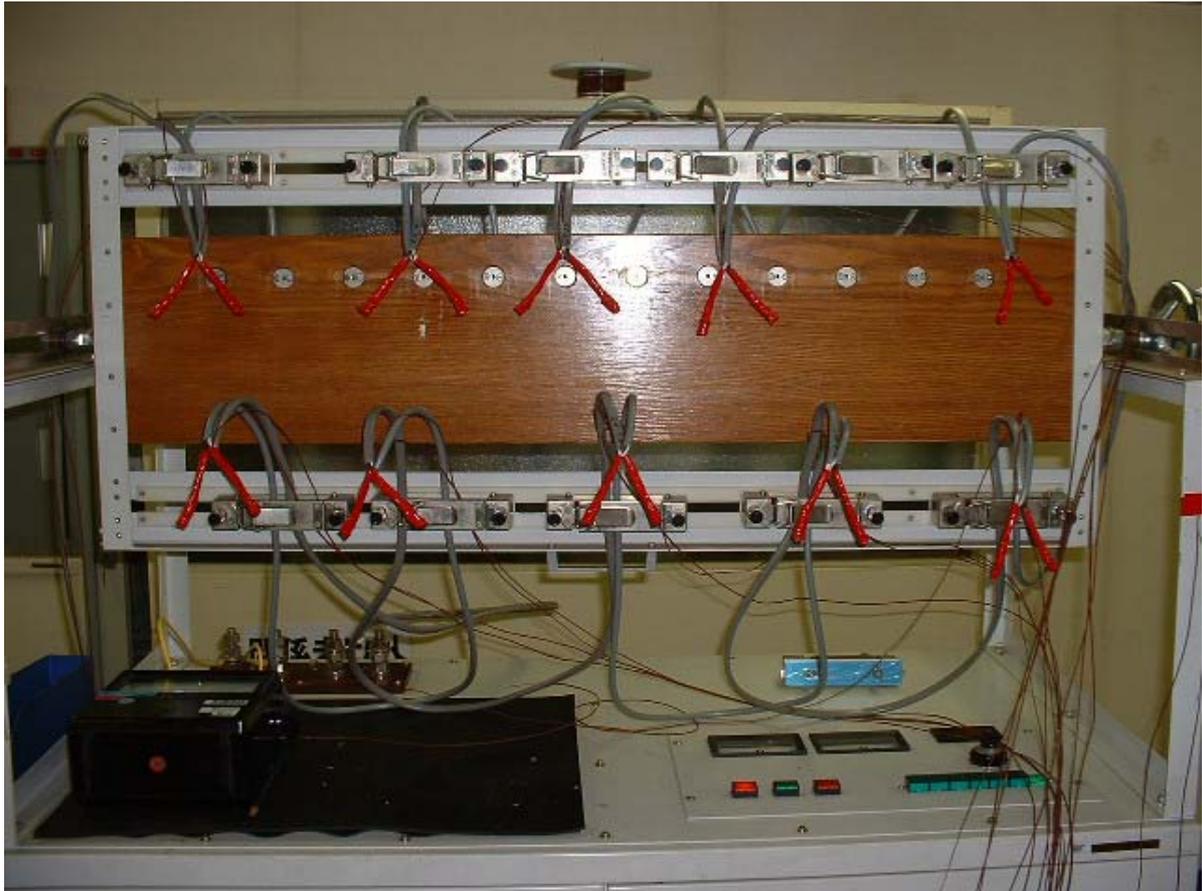


図10 温度上昇試験全体

(4) 試験結果

表4 温度上昇試験結果

接続	使用ダケ	単線 mm	結果		
			接続部温度	周囲温度	温度上昇値K
接続2 A 手より5回	-	1.6	44.5	29.0	15.5
		2.0	45.5	29.0	16.5
接続2 B 手より2回	-	1.6	43.5	29.0	14.5
		2.0	43.5	29.0	14.5
接続2 C はんだ付け	-	1.6	36.0	29.0	7.0
		2.0	34.0	29.0	5.0
接続2 D 重ね合わせ + E小	小	1.6 適度	37.0	29.0	8.0
		2.0 ややきつい	34.5	29.0	5.5
	小	1.6 やや緩い	37.0	29.0	8.0
		2.0 適度	35.5	29.0	6.5
	中	1.6	37.5	29.0	8.5
		2.0	37.0	29.0	8.0

表4 温度上昇試験結果(つづき)

接続	使用サイズ	単線 mm	再現性	結果		
				接続部温度	周囲温度	温度上昇値K
接続2E 手より+ E小	小	1.6 ややきつい	1	37.0	29.0	8.0
			2	37.0	29.0	8.0
			3	37.5	29.0	8.5
		2.0 きつい	1	34.0	29.0	5.0
			2	34.5	29.0	5.5
			3	34.5	29.0	5.5
	小	1.6 適度	1	39.5	29.0	10.5
			2	38.5	29.0	9.5
			3	44.0	29.0	15.0
		2.0 ややきつい	1	34.5	29.0	5.5
			2	35.0	29.0	6.0
			3	35.5	29.0	6.5
	大	1.6	1	37.0	29.0	8.0
			2	37.0	29.0	8.0
			3	37.0	29.0	8.0
		2.0	1	36.5	29.0	7.5
			2	38.5	29.0	9.5
			3	36.0	29.0	7.0
接続2F 手より+ E大	小	1.6	1	35.5	27.5	8.0
			2	36.0	27.5	8.5
			3	36.0	27.5	8.5
		2.0	1	33.5	27.5	6.0
			2	34.5	27.5	7.0
			3	34.5	27.5	7.0
	小	1.6	1	37.0	27.5	9.5
			2	36.5	27.5	9.0
			3	36.5	27.5	9.0
		2.0	1	35.5	27.5	8.0
			2	36.0	27.5	8.5
			3	35.0	27.5	7.5
	大	1.6	1	37.5	27.5	10.0
			2	37.0	27.5	9.5
			3	37.5	27.5	10.0
		2.0	1	35.5	27.5	8.0
			2	34.5	27.5	7.0
			3	34.5	27.5	7.0

網掛けは、ヒートサイクル試験用サンプルとして使用

単線の欄に記載した圧着度(きつい、緩い、適度)は、表1より転記

温度上昇値 = 接続部温度 - 周囲温度(到達温度と区別するため、単位をKで表した。)

3. ヒートサイクル試験

(1) 試験の目的と概要

電線の接続部に対して、一定時間の通電（暖め）と非通電（冷却）を繰り返すことにより、接続部に緩みが生じ、接続部の温度が通常よりも高温になる可能性について検証する。

検証は、接続部に電流 1.5 A を 4.5 分間通電し、4.5 分間休止する操作を 1.25 サイクル繰り返した後、接続部の温度上昇と接触抵抗を測定することにより行う。

(2) 試験サンプルの準備

温度上昇試験を実施したサンプルから、次の 2 種類のサンプルを使用した。リングスリーブを用いたサンプル（接続 D 及び接続 E 又は F）は、単線の直径ごとに温度上昇試験で最小及び最大となったサンプルを選んだ。

表5 ヒートサイクル試験用サンプル（22個）

接続	使用ダ イ	単線 mm
接続 2 A 手より 5 回	-	1.6
		2.0
接続 2 B 手より 2 回	-	1.6
		2.0
接続 2 C はんだ付け	-	1.6
		2.0
接続 2 D 重ね合わせ + E 小	小 温度最小	1.6
		2.0
	中 温度最大	1.6
		2.0

接続	使用ダ イ	単線 mm	再現性
接続 2 E 手より + E 小	小	2.0 温度最小	1
			2
			3
	小	1.6 温度最大	1
			2
			3
	大	1.6 温度最小	1
			2
			3
		2.0 温度最大	1
			2
			3

(3) 試験方法

2. の温度上昇試験で使用したサンプルに交流 1.5 A (低電圧) を 4.5 分間通電し、4.5 分間休止する操作を 12.5 サイクル繰り返した。

2.5 サイクル目の通電終了直後の温度及び 12.5 回目の通電終了直後の温度を記録した。

ヒートサイクル試験終了後に通電電流を 1.0 A に戻し、ヒートサイクル試験前と比較できるように、再度、温度上昇試験 (参考試験) を行った。

その後、接続部の接触抵抗を測定するため、同じサンプルの絶縁シースをさらに 5cm 程度むき、全体で約 10cm 程度の絶縁体を露出させた。また、各接続部の抵抗又は電圧が測定できる程度に、その露出させた部分の絶縁体をむき、導体を露出させた。(図 1.1 参照。)

備考 温度上昇試験用のサンプルでは、測定対象の接触部の温度に影響を与えないように各電線サンプルの長さを 1m としたため、接続部近傍での接触抵抗を測定できない(電線の導体抵抗の影響を受ける可能性がある)。このため、ヒートサイクル試験の温度測定後(ヒートサイクル試験後の温度上昇試験とヒートサイクル試験前の温度上昇試験との比較が終了した後)に接続部の接触抵抗が測定できるようにサンプルを加工した。



図 1.1 接触抵抗確認時のサンプル

通電前に初期抵抗を測定した後、ヒートサイクル試験を再度行った。

開始直後及びある程度温度が安定した後(3.5 回目)の電圧降下を測定し、通電電流(1.5 A)で除した値を接触抵抗として記録した。

(4) 試験結果

表6 ヒートサイクル試験結果(温度上昇)

接続	使用ダ 仗	単線 mm	25 回目 (15A) 周囲温度 31		125 回目 (15A) 周囲温度 30		10A 通電 (参考) 周囲温度 30	
				K		K		K
接続 2 A 手より 5 回	-	1.6	65.5	34.5	65.5	35.5	46.0	16.0
		2.0	60.5	29.5	63.0	33.0	43.0	13.0
接続 2 B 手より 2 回	-	1.6	63.0	32.0	62.5	32.5	44.0	14.0
		2.0	95.0	64.0	121.0	91.0	47.0	17.0
接続 2 C はんだ付け	-	1.6	48.0	17.0	43.0	13.0	38.0	8.0
		2.0	43.0	12.0	47.0	17.0	36.0	6.0
接続 2 D 重ね合わせ + E 小	小 温度最小	1.6	50.0	19.0	50.5	20.5	39.0	9.0
		2.0	44.0	13.0	43.5	13.5	36.0	6.0
	中 温度最大	1.6	50.5	19.5	50.5	20.5	39.0	9.0
		2.0	49.0	18.0	49.0	19.0	39.0	9.0

接続	使用ダ 仗	単線 mm	25 回目 (15A) 周囲温度 31		125 回目 (15A) 周囲温度 30		10A 通電 (参考) 周囲温度 30	
				K		K		K
接続 2 E 手より + E 小	小	2.0 温度最小	45.0	14.0	45.0	15.0	37.0	7.0
			45.0	14.0	45.5	15.5	37.0	7.0
			46.5	15.5	47.0	17.0	38.0	8.0
	小	1.6 温度最大	57.5	26.5	57.0	27.0	42.0	12.0
			67.5	36.5	67.5	37.5	46.5	16.5
			71.0	40.0	72.0	42.0	49.0	19.0
	大	1.6 温度最小	50.5	19.5	50.5	20.5	38.5	8.5
			48.0	17.0	48.5	18.5	38.5	8.5
			49.0	18.0	49.5	19.5	39.0	9.0
2.0 温度最大		53.0	22.0	53.5	23.5	40.5	10.5	
		69.0	38.0	73.0	43.0	48.5	18.5	
		55.0	24.0	55.5	25.5	41.5	11.5	

網掛けは、温度勾配試験時の接続部の温度として使用

(接続 2 B の 125 回目の温度) については、125 回目の通電直後にピークで 186 まで上昇したが、その後、この表にある温度まで下降し安定した。温度勾配試験に適用する温度として、この表には、安定時の温度を記録している。(図 1 2 参照。)

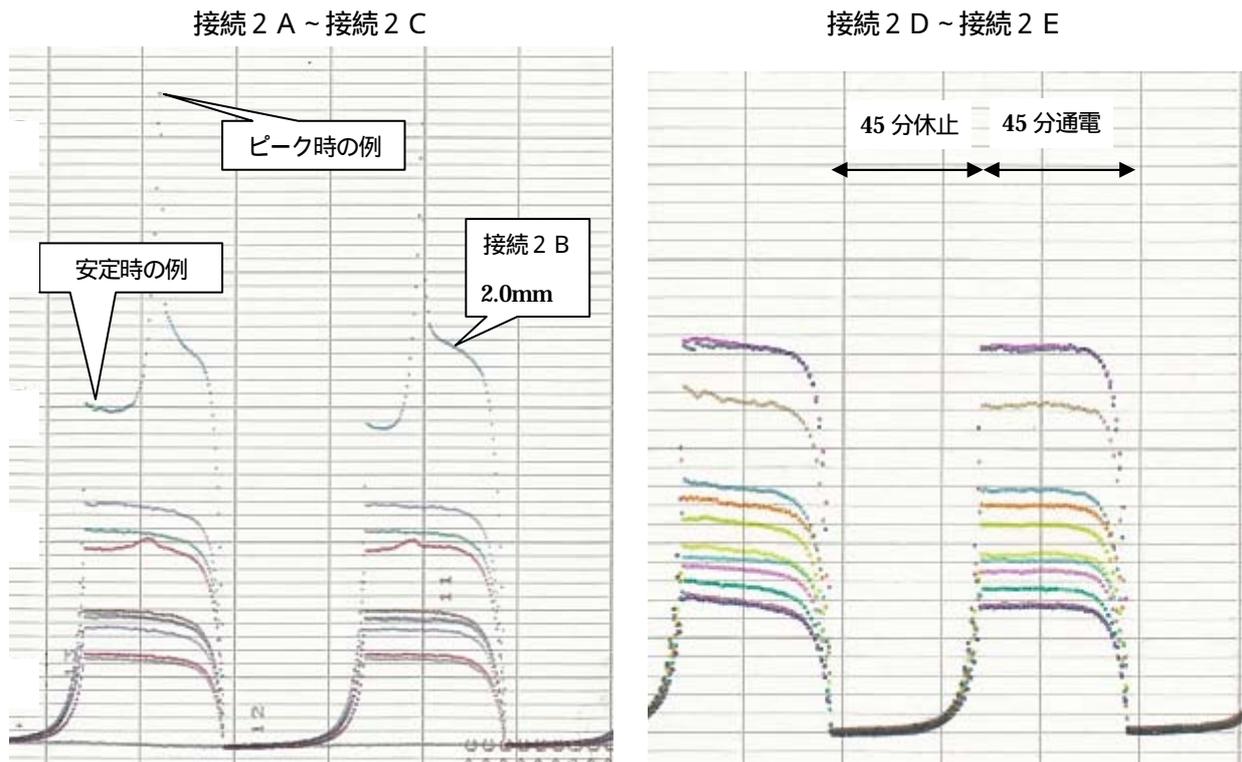


図 1 2 ヒートサイクル試験の温度チャート例

表 7 ヒートサイクル試験結果 (接触抵抗) 周囲温度 30.5

接続	使用ダ 仗	単線 mm	接触抵抗 m			温度 (参考)
			通電前	通電開始	3 5 回目	3 5 回目
接続 2 A 手より 5 回	-	1.6	5 . 2	4 . 7	6 . 6	8 1 . 5
		2.0	9 . 1	8 . 5	9 . 6	9 0 . 5
接続 2 B 手より 2 回	-	1.6	1 4 . 8	6 . 8	1 3 . 0	1 3 1 . 5
		2.0	2 3 . 9	1 4 . 3	1 6 . 4	1 1 7 . 0
接続 2 C はんだ付け	-	1.6	1 . 5	9 . 6	2 . 1	4 7 . 0
		2.0	1 . 8	1 . 8	1 . 8	4 1 . 5
接続 2 D 重ね合わせ + E 小	小 温度最小	1.6	2 . 5	2 . 9	2 . 9	5 1 . 5
		2.0	2 . 1	2 . 4	2 . 3	4 3 . 0
	中 温度最大	1.6	3 . 1	3 . 7	5 . 5	6 8 . 0
		2.0	2 . 2	2 . 6	2 . 8	4 7 . 0

表7 ヒートサイクル試験結果（接触抵抗：つづき）周囲温度 30.5

接続	使用ダ 仗	単線 mm	接触抵抗 m			温度（参考）
			通電前	通電開始	35回目	35回目
接続2E 手より +E小	小	2.0 温度最小	0.9	2.3	2.3	42.0
			0.8	2.2	2.2	42.5
			1.4	2.3	2.4	43.0
	小	1.6 温度最大	2.7	3.1	3.3	53.0
			1.8	2.4	2.3	50.5
			18.7	13.3	14.6	126.0
	大	1.6 温度最小	2.0	2.8	2.8	48.0
			1.2	2.5	2.5	46.0
			1.5	2.6	2.7	47.5
		2.0 温度最大	1.5	2.5	2.5	46.0
			1.9	3.5	3.9	56.0
			0.8	2.4	2.4	45.0

接続部の電圧降下を通電電流（15A）で除した値

ヒートサイクル試験（温度上昇）の125回後にさらに35回行ったもの

4. 温度勾配試験

(1) 試験の目的と概要

ヒートサイクル試験では、電線の接続部（導体）の温度を測定したが、温度勾配試験においては、接続部近傍の絶縁体の温度を測定し、絶縁体の温度が使用温度限度値（絶縁劣化温度）を超えるか否かを検証する。もし、絶縁体はその温度限度値を超えた時点で、異極交差（異極の絶縁体が接触）している場合、絶縁劣化による短絡が起る可能性があると考えられる。

検証は、ヒートサイクル試験で到達した温度に達するように接続部の温度を調節し、そのとき、接続部のできるだけ近くで、かつ、異極間が交差する可能性がある絶縁体部分の温度を測定することにより行う。

(2) 試験サンプルの準備

電線の種類としては、より線 VCTF-2C-1.25mm² を用意し、そのより線に接続する単線として VVF-2C-2.0mm を準備した。

各電線の長さは、それぞれ1m及び50cmとした。

各電線の絶縁体の露出長さは、それぞれ5cm及び10cmのものを用意した。

電線の長さ及び絶縁体の露出長さが同じとなるより線と単線の先端の導体をリングスリーブにより接続した。（図13参照。）

用意した全ての電線について、熱電対を「接続部（導体）」、「接続部から1cm離れた絶縁体表面」及び「接続部から3cm離れた絶縁体表面」に取付けた。

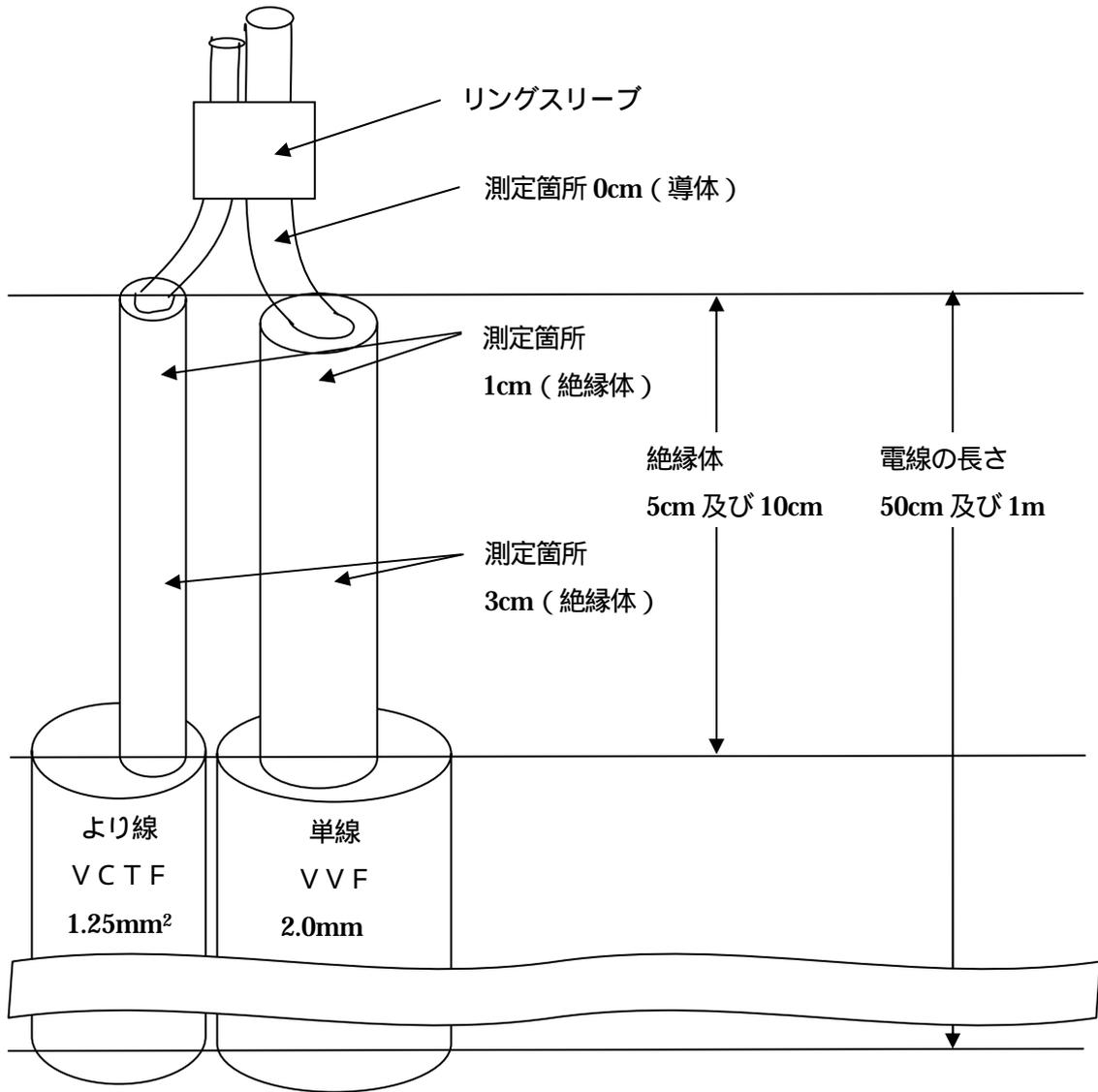


図13 温度勾配試験用サンプルの概略図

(3) 試験方法

より線(VCTF-2C-1.25mm²)の最大許容電流1.2Aを試験サンプルに通電し、測定箇所0cm(接続部)の温度が12.1(ヒートサイクル試験の125回目において、接続2A又は接続2Bの周囲温度30での安定時最大到達温度)及び7.3(ヒートサイクル試験の125回目において、接続2Eの周囲温度30での最大到達温度)になるようにリングスリーブにはんだごてをあて加熱した。(図14参照。)

備考 接続部の温度がヒートサイクル試験の125回目の温度になるように電流だけで調整する場合、電線に1.2A以上の電流を通電させる必要があるが、サンプルのより線の許容電流が1.2Aであり、この電流を超えて通電した場合、絶縁体の温度としては接続部の温度による影響以外に電線の導体からの異常発熱分が加わるので、実際の使用状態と差が生じる。このため、1.2Aでは不足する接続部の試験温度をはんだごてによって調整した。



図14 はんだごてを先端にあてる様子

より線及び単線のそれぞれについて、「接続部から1cm離れた絶縁体表面」及び「接続部から3cm離れた絶縁体表面」の温度を記録した。

(4) 試験結果

表8 温度勾配試験結果

電線の長さ	絶縁体	結果 ()					周囲温度 ()
		接続部	単線の絶縁体表面		より線の絶縁体表面		
		0 cm	1 cm	3 cm	1 cm	3 cm	
1 m	5 cm	121.0	91.0	77.5	75.0	63.5	28.5
	10 cm	121.0	83.0	75.5	69.0	60.0	27.0
50 cm	5 cm	121.0	87.5	72.5	70.5	58.0	27.0
	10 cm	121.0	77.0	77.0	70.0	63.0	28.0
1 m	5 cm	73.0	59.0	53.5	52.0	47.0	27.5
	10 cm	73.0	54.5	52.0	49.0	46.0	28.0
50 cm	5 cm	73.0	57.0	51.0	50.0	45.5	28.0
	10 cm	73.0	52.5	53.5	49.5	47.5	27.5

接続部の温度を表6の網掛けした温度(周囲温度30での到達温度)に調整

5. 燃焼確認試験

(1) 試験の目的と概要

ビニル絶縁電線の絶縁体の使用温度上限値は、電気用品の技術上の基準を定める省令において、一般のもので60となっている。この温度以下で使用していれば、連続使用においても40,000時間(約5年)の間は、絶縁劣化しない温度として規定されている。この規定に従えば、温度勾配試験で絶縁体が交差して短絡が生じるおそれのある箇所において、この60を超える温度が観測されたため、絶縁体の劣化により、使用から5年以内に絶縁体の絶縁劣化が起る可能性がある。

この劣化が、直接的に火災に結びつくのかを検証するため、予め促進劣化させた2本の電線(より線)同士を接触させた状態で、100Vの電圧を加えたとき短絡等により、発火に至るかを確認する。

(2) 試験サンプルの準備

劣化させるサンプルとして、長さ30cm程度のより線(VCTF-2C-1.25mm²)を用意した。それから、すべてのサンプルの絶縁シースを取り除き、絶縁体だけの状態にした。

絶縁劣化加速度の事前調査を行った結果、サンプルとして、190のオープンで1日間劣化させたサンプル(以下、「劣化度1」という。)及び190のオープンで5日間劣化させたサンプル(以下、「劣化度2」という。)を準備した。

各サンプルについて、劣化度ごとに、接触箇所数及びインパルス電圧の印加状態を表9のようにした。インパルスを加えた理由は、使用中の落雷により、絶縁物が電氣的に破壊する可能性を考慮している。

表9 燃焼確認試験サンプル(40個)

劣化度	インパルス電圧	接触箇所	再現性	劣化度	インパルス電圧	接触箇所	再現性			
1	インパルスなし	2箇所	1	2	インパルスなし	2箇所	1			
			2				2			
			3				3			
			4				4			
	1.5kV	1箇所	1箇所		1	1.5kV	1箇所	1箇所	1	
					2				2	
					3				3	
					4				4	
		2箇所	2箇所		2箇所	1	2箇所	2箇所	2箇所	1
						2				2
						3				3
						4				4
	2.5kV	1箇所	1箇所		1	2.5kV	1箇所	1箇所	1	
					2				2	
					3				3	
					4				4	
2箇所		2箇所	2箇所	1	2箇所		2箇所	2箇所	1	
				2					2	
				3					3	
				4					4	

JIS C 0664:2003 (低電圧系統内機器の絶縁協調)において、1.5kVは、定格電圧100Vの負荷機器が受けると想定されるインパルス電圧であり、2.5kVは、屋内配線が受けると想定されるインパルス電圧となっている。

(3) 試験方法

劣化サンプルを準備するにあたって、次の事前調査を行った。

- a. JETで行った過去の上限值試験結果から「105 の塩化ビニル樹脂」について17件のサンプルリングを行い、各々の回帰直線(アレックスプロット)の勾配と切片について平均値を算出した。

(表10参照。)

勾配の平均値: 6478.41、切片の平均値: 12.356

- b. a. の平均値を回帰直線の式に代入し、2日間程度で促進劣化させるための温度を計算した結果、2日間(48時間)では、188.4 で劣化するという結果になった。

式: $\log(t) = 6478.41/K - 12.356$ t: 寿命時間, K: 絶対温度

- c . b . の結果から、190 のオープンに試験サンプルを2日間程度放置する予定であったが、1日目(24時間後)の段階で、目視において既に劣化が著しい状態となったため、その時点でサンプルの促進劣化を中止した。この190 でオープンに24時間放置したサンプルを「劣化度1」とした。(劣化初期状態と仮定)
- d . 次に、サンプリングした17件について、各々の回帰直線(ルネウスプロット)から190 で劣化を行った場合の寿命時間を算出し、それらの平均値を算出した結果、95時間(約4日間)となったが、さらに劣化末期状態に近い状態とするため、120時間(5日間)まで継続してオープンに放置した。この190 でオープンに120時間放置したサンプルを「劣化度2」とした。(劣化末期状態と仮定)

表10 JETで行った過去の上限值試験結果

No.	勾配	切片	log(K)	190 における終点時間(h)
1	5629.83	10.17	1.985522	97
2	7865.19	16.25	0.73195	5
3	7880.3	15.72	1.294574	20
4	7429.05	14.72	1.320268	21
5	8449.14	16.38	1.862772	73
6	6313.36	11.93	1.701351	50
7	5401.47	9.59	2.072464	118
8	3628.17	5.03	2.803682	636
9	6556.8	12.47	1.686969	49
10	5629.83	10.19	1.965522	92
11	4696.26	7.8	2.339825	219
12	5775.28	10.58	1.889567	78
13	5891.59	10.75	1.970695	93
14	7975.79	16.55	0.670749	5
15	6313.36	12.2	1.431351	27
16	6556.8	12.81	1.346969	22
17	8140.76	16.91	0.666941	5
平均値	6478.411	12.35588	1.631833	95(約4日間)
平均値の勾配と切片から計算した終点時間				43(約2日間)

劣化度1及び劣化度2に対して、表9に基づいてインパルス試験を実施した。

劣化サンプルを定格電流が20Aの遮断器(電気用品安全法適合品)の負荷側に接続し、40のオープンに放置した。

の状態、サンプルに100Vの電圧を加え、10Aの実負荷電流を1時間程度通電した。

	劣化度 1	劣化度 2
インパルスなし (2箇所接触)		
インパルス1箇所		
インパルス2箇所		

図15 劣化サンプルとインパルスの印加箇所

(4) 試験結果

劣化度1については、190 オープンから取り出したとき、サンプルの絶縁体表面が黒くなったものの導体が露出するほどの破損はなかった。劣化度2については、サンプルの絶縁体が破損し、導体が一部露出していた。(インパルス電圧は、露出部分を避けて印加した。)

100Vを加えた後、1時間通電したがすべてのサンプルについて、短絡及び異常(発煙、発火)はなかった。

なお、劣化度2では一部の導体が露出していることから、劣化度1から劣化度2に至る過程で、短絡が生じる可能性があるかと推測し、劣化度1のサンプル(インパルスなし)について、更に別途サンプルを作成し、190 のオープンにサンプルを維持したまま100Vの電圧を加え、実負荷(10A)を8時間程度通電させる試験を追加で行ったが、同様に短絡及び異常(発煙、発火)はなかった。(図16参照。)

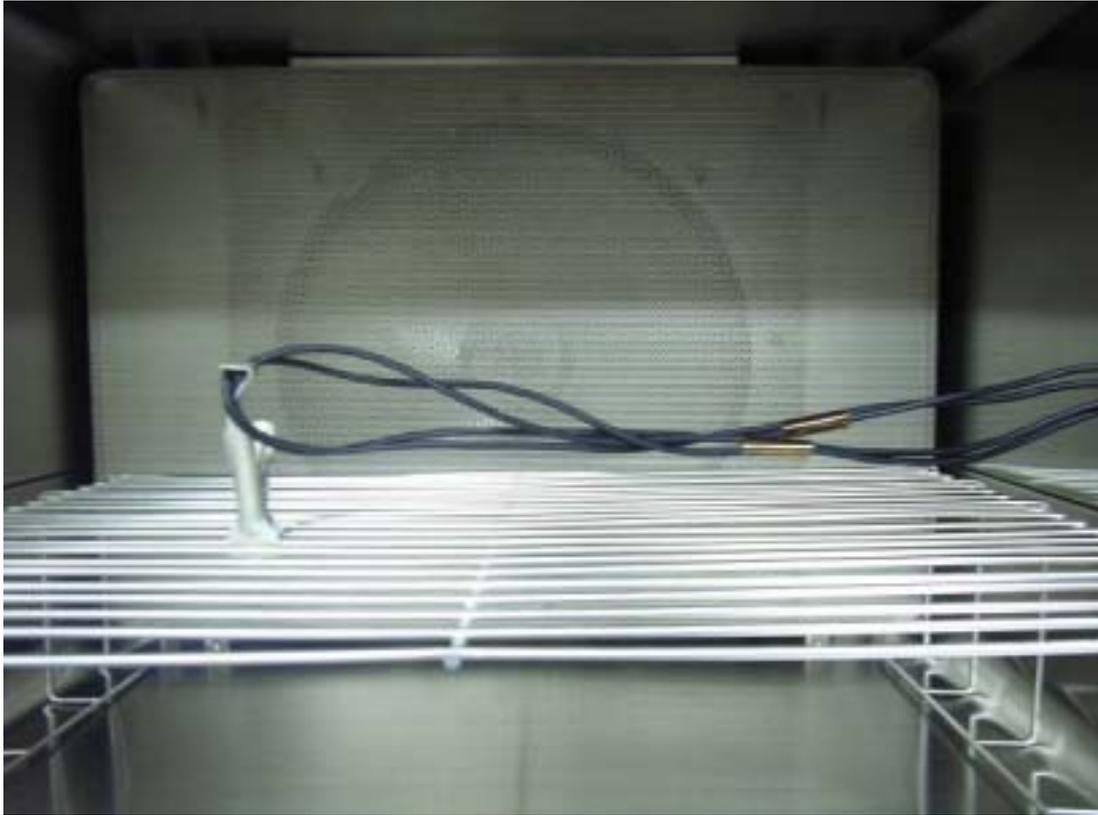


図16 オープン中のサンプル(劣化度1の追加試験)

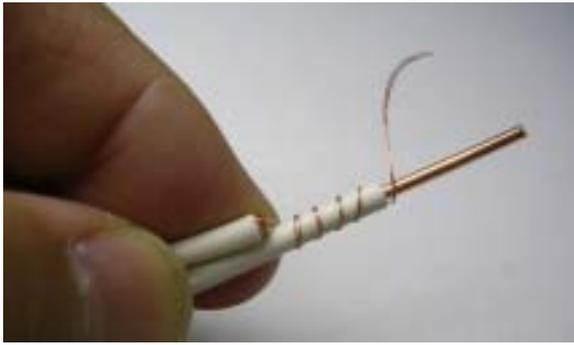
(5) 追加試験

前述の劣化度1及び劣化度2については、絶縁体の絶縁劣化から短絡が生じ、火災が発生する可能性について検証を行ったが、より線の断線又はより線を少ない本数で圧着した状態(リングスリーブが小さく、より線のすべての素線がリングスリーブに挿入できずに締付けた状態)において、実負荷電流を通電するとより線が高温になり、その熱が絶縁体又は外側に巻いたビニルテープに伝わり、発火に至ると考えられる。

そこで、図17のサンプルを作成して、追加の試験を行った。図17のサンプルは、より線の断線又はより線を少ない本数で圧着した状態を想定(2本のより線の素線を単線にはんだ付け)し、同時に接続した2本の素線が電線の絶縁体に触れた状態を想定した。(2本の素線を絶縁体に4回巻いた。)

このサンプルを用いて、100Vの電圧を加え、1.3A程度の実負荷電流を通電したところ、37秒で発煙し、1分56秒でビニルテープが発火した。(図18参照。)

なお、この試験の間にサンプルに接続した20Aの遮断器が遮断することはなかった。



a . 単線の絶縁体により素線の2線を4回巻き付ける。



b . より素線先端を単線に巻き付けはんだ付けする。



d . はんだの先にE小リングスリーブを取り付ける。



e . 2心とも同様に取り付ける。



f . ビニルテープを2 / 3層で巻き付ける。



g . 終端で折り返し巻き始めまで巻付ける。

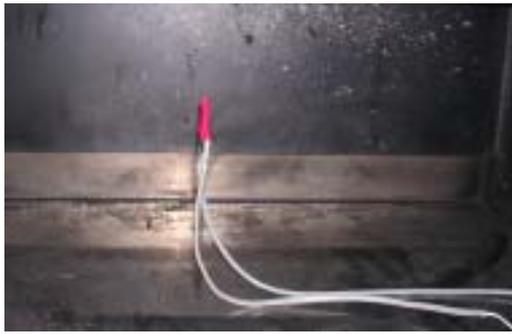


h . 2心とも同様に巻き付ける。



i . テープ巻きの後、2線をテープで軽く合わせる。

図 1 7 燃焼試験の追加試験サンプル作成手順



a . 試験前の状態 (サンプル全体)



b . 試験前の状態 (接続部拡大)



d . 通電後、37秒で発煙



e . 発煙の状況



f . 通電後、1分56秒で発火



g . 燃焼の状況



h . 通電後、約3分で自然消火



i . 自然消火後の状況

図18 発煙・発火の様子

6. 結果の考察

(1) より線の切れやすさの確認

統計的解析

表2の試験結果について、1元配置による分散分析を行い、各サンプルの有意差について確認した。

表1-1 引張試験結果の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	有意水準 1%
層間	767.44	7	109.63	7.38	4.03
層内	237.79	16	14.86		
計	1005.23	23			

分散比 7.38 は、 $F(7, 16, 0.01) = 4.03$ よりも大きいので、有意水準 1% で接続方法による引張力には、高度な差があるといえる。

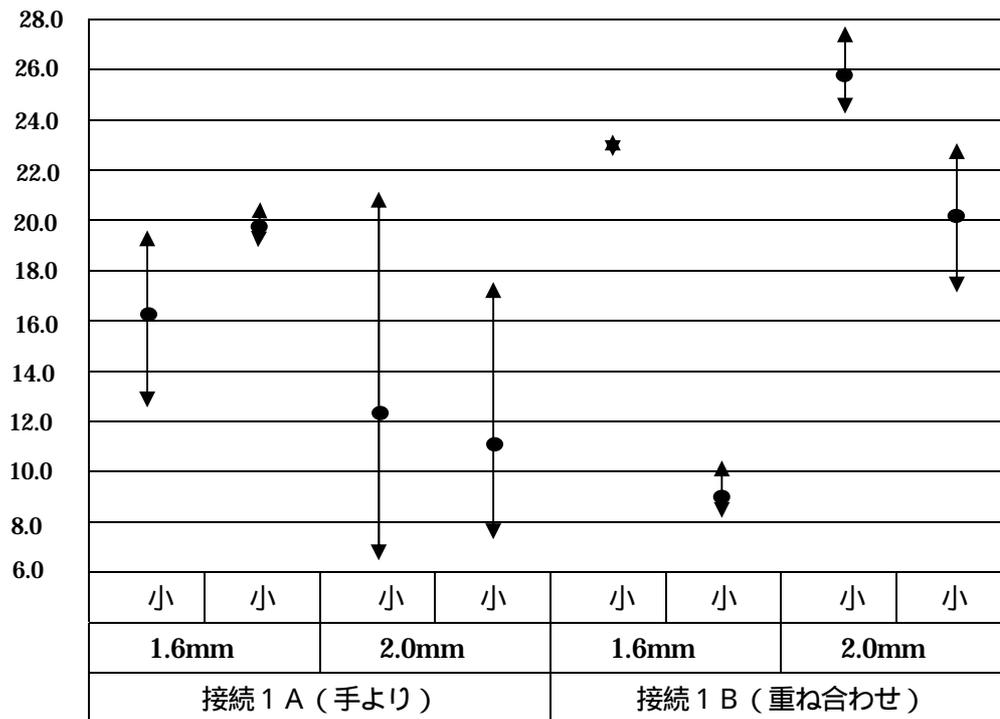


図1-9 引張力の分散状態

断線率に関する考察

試験前の想定においては、引張力が小さいほど断線率が高いと判断するとしていたが、1.6mm の単線により線を重ね合わせ（接続1 B）して、小のダイスによって締付けたもの（引張力の平均値が最も小さいもの）は、接続が緩く電線が引張試験で抜けたため、この想定の対象外と考える。

その他のケースを比較した場合、再現性にばらつきがあるが、2.0mm の単線により線をより合わせ（接続1 A）して締付けたもの、すなわち、使用したリングスリーブが小さかったものは、引張力

が小さく、断線率が高い可能性があると考えられる。

これらの結果から、緩い締め付けについては抜けやすく、きつい締め付けについては断線率が高くなっている可能性があることが、あらためて確認できた。

また、参考で測定した「接続部を設けずにより線単体で引張試験を行った値」と比べてみると、すべてのサンプルが、これを下回る値となっていることから、適切な大きさのリングスリーブを選択したとしても、より線の引張強度については、リングスリーブによる締め付け部で弱くなっていることがわかった。

(2) 温度上昇試験

統計的解析

表4の試験結果について、各サンプルの有意差を確認するには、接続方法ごとの水準数を同じにする必要があることから、接続2E及び接続2Fについては、3回のデータを平均し、その平均値と他の接続方法とを比較した。

表12 各サンプルの温度上昇値

接続	使用ダイス	温度上昇値 (K)	
		単線 1.6mm	単線 2.0mm
接続2A 手より5回	-	15.5	16.5
接続2B 手より2回	-	14.5	14.5
接続2C はんだ付け	-	7.0	5.0
接続2D 重ね合わせ+E小	小	8.0	5.5
	小	8.0	6.5
	中	8.5	8.0
接続2E 手より+E小 (平均値)	小	8.2	5.3
	小	11.7	6.0
	大	8.0	8.0
接続2F 手より+E大 (平均値)	小	8.3	6.7
	小	9.2	8.0
	大	9.8	7.3

表12の結果をもとに、二元配置による分散分析を行うと次のようになる。

表 1 3 温度上昇試験結果の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	有意水準 1%
接続方法	211.10	11	19.19	12.59	4.46
単線サイズ	15.68	1	15.68	10.29	9.65
誤差	16.77	11	1.52		
計	243.55	23			

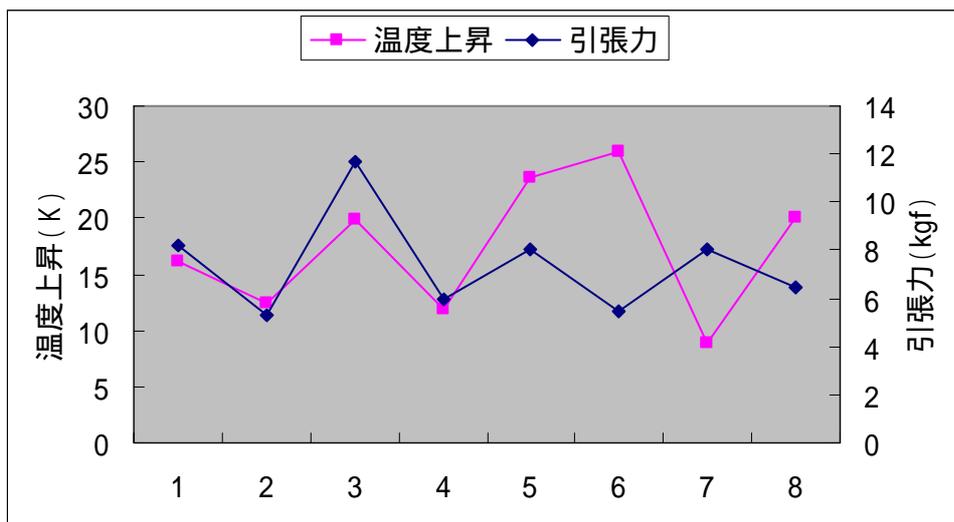
表 1 3 により、接続方法及び単線サイズともに分散比が有意水準 1% の値よりも大きいので、差があるといえる。特に、接続方法による差は大きいと考えられる。

温度上昇に関する考察

の統計的な解析から、接続方法及び単線サイズによる温度上昇値には差があることがわかったが、具体的には、手よりのみによる接続（接続 2 A 及び接続 2 B）は、その他の方法よりも温度上昇値が高く、手よりのみによる接続を除けば、単線が細い方が温度上昇値が高い結果となっている。ただし、単線の直径に対する温度上昇の違いは、接続部で発生する熱だけでなく、むしろ電線自体の導体抵抗の差に影響を受けていると考えられる。

しかし、すべての結果において、電気用品の安全上の基準を定める省令第 1 項別表第四附表第三の接続器に接続する電線の導体の温度上昇限度値である“ 35 K ”（銅又は銅合金の開閉接触部を有するもの）を大きく下回っており、この結果からは、安全上の問題があるとは言えない。

なお、引張試験の結果と温度上昇試験の平均値の結果を比較すると次のようになるが、相関関係（引張力が強いと温度上昇値が低い等）は、明確にならなかった。



番号	1	2	3	4	5	6	7	8
単線 mm	1.6	2.0	1.6	2.0	1.6	2.0	1.6	2.0
使用ダイス	小		小		小		小	
接続	手より + E 小				重ね合わせ + E 小			

図 2 0 引張力と温度上昇値の関係

(3) ヒートサイクル試験

統計的解析

表6の試験結果について、各サンプルの有意差を確認するには、温度上昇試験と同様に接続方法ごとの水準数を同じにする必要があることから、接続2 Eについては、3回のデータを平均し、その平均値と他の接続方法とを比較した。

表14 各サンプルのヒートサイクル試験結果(温度上昇)

接続	使用ダ イ	単線 mm	温度上昇値(K)	
			25 回目	125 回目
接続2 A 手より5回	-	1.6	34.5	35.5
		2.0	29.5	33.0
接続2 B 手より2回	-	1.6	32.0	32.5
		2.0	64.0	91.0
接続2 C はんだ付け	-	1.6	17.0	13.0
		2.0	12.0	17.0
接続2 D 重ね合わせ+E小	小	1.6	19.0	20.5
		2.0	13.0	13.5
	中	1.6	19.5	20.5
		2.0	18.0	19.0
接続2 E 手より+E小 (平均値)	小	2.0	14.5	15.8
	小	1.6	34.3	35.5
	大	1.6	18.2	19.5
		2.0	28.0	30.7

表14の結果をもとに、二元配置による分散分析を行うと次のようになる。

表15 ヒートサイクル試験結果(温度上昇)の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	有意水準	
					1%	5%
接続方法	7194.47	13	553.42	21.64	3.91	2.58
回数	67.58	1	67.58	2.64	9.07	4.67
誤差	332.47	13	25.57			
計	7594.53	27				

表15により、接続方法の分散比は有意水準1%の値よりも大きいので、高度な差があるが、回数(25回目と125回目)の分散比は有意水準5%の値よりも小さいので、有意な差がない。

ヒートサイクル試験に関する考察

ヒートサイクル試験では、通電電流が温度上昇試験の1.5倍としたため、ヒートサイクル試験時に何らかの影響を受けていなければ、温度は電流の二乗に比例して、温度上昇試験時の温度の約2.25倍となり、再度、温度上昇試験(10A試験)を行うと元の温度に戻ると想定できる。

そこで、ヒートサイクル試験の影響を調べるため、表4の温度上昇値と表6の10A通電時の温度上昇値及びヒートサイクル試験の温度上昇値との比をZスコアを用いて比較した。(Zスコアが2を超えると疑わしく、ヒートサイクル試験の影響を受けている可能性がある。)

表16 ヒートサイクル試験結果(温度上昇)

接続	使用 ダバ	単線 mm	125 回目 (15A)			ヒートサイクル試験後 (10A)			温度上昇試験 (10A)
			K	倍数	Zスコア	K	倍数	Zスコア	K
接続2A 手より5回	-	1.6	35.5	2.29	-0.37	16.0	1.03	-0.37	15.5
		2.0	33.0	2.00	-0.77	13.0	0.79	-1.19	16.5
接続2B 手より2回	-	1.6	32.5	2.24	-0.44	14.0	0.97	-0.59	14.5
		2.0	91.0	6.28	5.02	17.0	1.17	0.10	14.5
接続2C はんだ付け	-	1.6	13.0	1.86	-0.96	8.0	1.14	0.00	7.0
		2.0	17.0	3.40	1.13	6.0	1.20	0.19	5.0
接続2D 重ね合わせ +E小	小	1.6	20.5	2.56	-0.01	9.0	1.13	-0.06	8.0
		2.0	13.5	2.45	-0.15	6.0	1.09	-0.17	5.5
	中	1.6	20.5	2.41	-0.21	9.0	1.06	-0.28	8.5
		2.0	19.0	2.38	-0.26	9.0	1.13	-0.06	8.0
接続2E 手より +E小	小	2.0	15.0	3.00	0.59	7.0	1.40	0.86	5.0
			15.5	2.82	0.34	7.0	1.27	0.43	5.5
			17.0	3.09	0.71	8.0	1.45	1.04	5.5
	小	1.6	27.0	2.57	0.01	12.0	1.14	0.00	10.5
			37.5	3.95	1.87	16.5	1.74	1.99	9.5
			42.0	2.80	0.32	19.0	1.27	0.41	15.0
	大	1.6	20.5	2.56	-0.01	8.5	1.06	-0.27	8.0
			18.5	2.31	-0.34	8.5	1.06	-0.27	8.0
			19.5	2.44	-0.18	9.0	1.13	-0.06	8.0
		2.0	23.5	3.13	0.77	10.5	1.40	0.86	7.5
			43.0	4.53	2.65	18.5	1.95	2.69	9.5
			25.5	3.64	1.46	11.5	1.64	1.67	7.0
メジアン			20.5	2.57	-	9.0	1.14	-	8.0

括弧内は、温度上昇試験の温度を1とした場合の倍数

Zスコアの計算式

$$Z_i = (x_i - \text{メジアン}) / \text{正規四分位数範囲}$$

表16(網掛け部参照)より、手よりだけのサンプルの一部に異常と見られるデータがあった。この手よりだけのサンプルは、図12から分かるように通電中の温度が一定でなく、ピーク値が発生しているが、この原因については、明確な理由が分かっていない。また、リングスリーブにおいても、一部に疑わしい値がみられるので、サンプル作成(電線接続時)によるばらつきにより、ヒートサイクル試験の影響を受けるものとそうでないものができるかと推測される。さらに、手よりだけのサンプルは、10Aに戻したときは異常値ではなくなっているため、この影響は、試験回数だけでなく、電流を10Aから15Aに上げたことによっても生じていると考えられる(電流を上げると緩みやすくなると想定される)。

なお、このヒートサイクル試験の影響を受けたと考えられる手よりだけのサンプル(接続2B:単線2.0mm)は、接続部に巻いたビニルテープが黒ずんだが、発煙又は発火に至ることはなかった。さらに、この黒ずんだ部分に絶縁劣化が生じている可能性があるため、電線同士を密着させ、100Vの電圧を加えて10Aの電流を1時間程度通じてみたが、発煙又は発火に至ることはなかった。

これらのヒートサイクル試験の温度の違いは、熱電対のわずかな測定位置の違いによる可能性があるため、ヒートサイクル試験後に接触抵抗を測定することにより、確認を行った。

表17 ヒートサイクル試験結果(接触抵抗)周囲温度 30.0 に換算

接続	使用ダケ	単線 mm	No.	接触抵抗	温度	ヒートサイクル試験直後
接続2A 手より5回	-	1.6	1	6.6	81.0	65.5
		2.0	2	9.6	90.0	63.0
接続2B 手より2回	-	1.6	3	13.0	131.0	62.5
		2.0	4	16.4	116.5	121.0
接続2C はんだ付け	-	1.6	5	2.1	46.5	43.0
		2.0	6	1.8	41.0	47.0
接続2D 重ね合わせ+ E小	小 温度最小	1.6	7	2.9	51.0	50.5
		2.0	8	2.3	42.5	43.5
	中 温度最大	1.6	9	5.5	67.5	50.5
		2.0	10	2.8	46.5	49.0
接続2E 手より +E小	小	2.0 温度最小	11	2.3	41.5	45.0
			12	2.2	42.0	45.5
			13	2.4	42.5	47.0
	小	1.6 温度最大	14	3.3	52.5	57.0
			15	2.3	50.0	67.5
			16	14.6	125.5	72.0
	大	1.6 温度最小	17	2.8	47.5	50.5
			18	2.5	45.5	48.5
			19	2.7	47.0	49.5
		2.0 温度最大	20	2.5	45.5	53.5
21			3.9	55.5	73.0	
22			2.4	44.5	55.5	

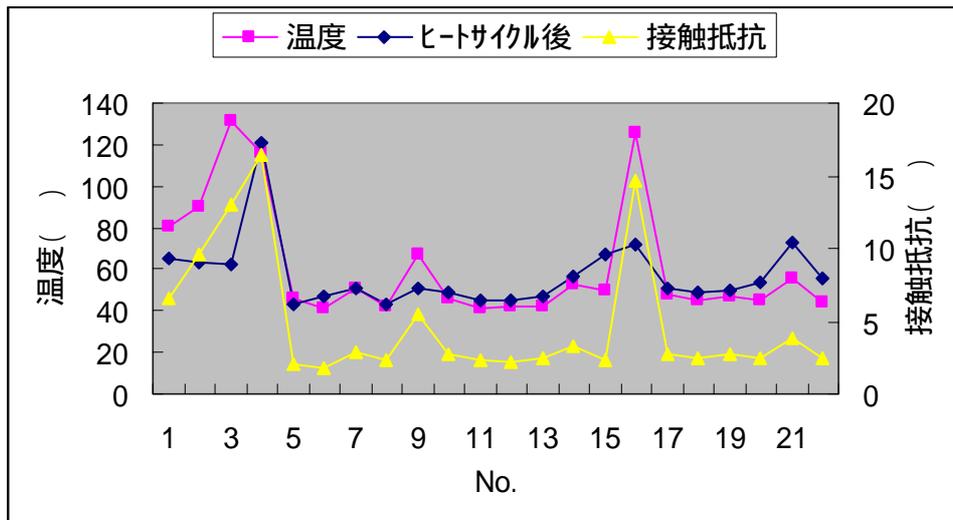


図 2 1 接触抵抗と接続部の温度

図 2 1 より、接触抵抗と接続部の温度には、接続 2 B の単線 1.6mm と 2.0mm の間の関係を除き、ある程度相関関係があることから、温度はほぼ平等に測定されたと思われる。(熱電対の剥がれ又は断線等はなかったと思われる。)

なお、接続 2 E の No.16 については、ヒートサイクル試験直後には、異常がないと思われたが、図 1 1 の加工を行った後に異常値になったことから、リングスリーブにおいてもヒートサイクル又はわずかな追加加工により、温度が変化する可能性が残った。これについては、更なる検証が必要と思われる。

(4) 温度勾配試験

表 8 より、温度勾配のグラフは次のようになる。(系列にある X / Y の X は電線の長さ、Y は絶縁体の長さを示し、温度は 0cm の温度を示す。)

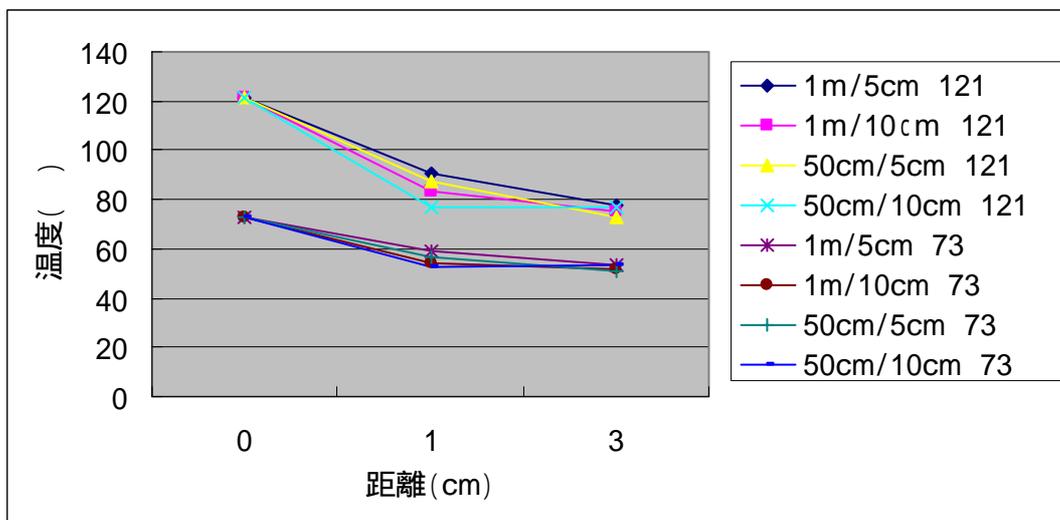


図 2 2 温度勾配 (単線)

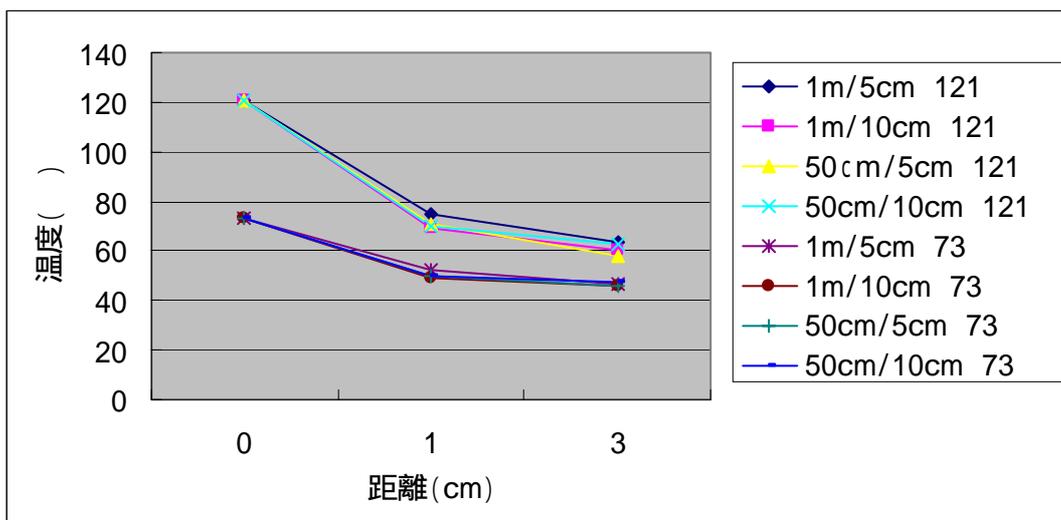


図 2 3 温度勾配 (より線)

図 2 2 及び図 2 3 より、接続部の温度が 121 (手よりだけで 2 回巻いたものの温度) の場合、接続部から 3 cm 離れた点においても、絶縁体の温度が 60 を超えていることから、絶縁劣化の可能性があり、3 cm 以内で絶縁体同士が接触していると長い期間の使用において、短絡等の可能性がある結果となった。ただし、この試験は 12 A で実施しており、10 A まで下げた場合は、3 cm の点では絶縁体の温度は、60 よりも低くなると考えられる。さらに電流値を下げた場合は、60 よりも低くなる可能性が高い (絶縁劣化は起しにくい。) と考えられる。

図 2 2 及び図 2 3 より、接続部の温度が 73 (リングスリーブを使用したもので最大温度となったものの温度) の場合、接続部から 1 cm の点において、すでに 60 以下となっているため、電線の絶縁体の絶縁劣化による短絡等は考えにくい結果となった。

また、温度勾配は、単線の方が緩やかであり、絶縁体の材料が同じであると仮定すれば、絶縁劣化が起る可能性がある範囲は、単線側の方が広いと考えられる。

このことから、手よりだけで接続した異極の関係にある電線同士をビニルテープ等で束ねて、電線の絶縁体を接触させることは、長期的に見れば避けた方がよいと考えられる。ただし、ヒートサイクル試験で測定された温度は、15 A で実施した結果であり、10 A では 121 には到達していないことから、今回のサンプル作成手順 (図 5 ~ 図 9) のように接続したものは、10 A では 60 に絶縁体の温度が達することはないと思われるので、発火に至るには今回のサンプルにさらに断線又は緩み等の要因が追加されていると考えられる。

(5) 燃焼確認試験

劣化サンプルによる試験

温度勾配試験の結果を受けて、絶縁体が絶縁劣化を起して短絡等により、発火に至るケースを実証することを目的に、促進絶縁劣化させたサンプルをさらにインパルス電圧で絶縁効果を下げて、100 V を加えた実負荷電流 (10 A) 試験を行ったが、どのサンプルでも発火に至ることを実証することはできなかった。

今回のサンプルは、190 の高温で一気に熱を加えたため、絶縁体が軟化するのではなく炭のように黒くなってしまったので、表8で測定された70 ~ 90 程度の温度で徐々に劣化した電線とは異なることが考えられる。

従って、今回の結果だけで絶縁劣化による短絡等が生じることがないと判断することはできないと考えるが、このことを実証するには、もう少し低い温度で、数ヶ月程度の長い期間をかけて実験を行う必要があると考えられる。

追加試験

追加の試験においては、ビニルテープが発火し、より線の断線又は本数の少ない圧着をすると外側に巻いたビニルテープが発火するおそれがあることがわかった。

これは、「より線の電流が通電される本数」、「そのより線が絶縁体に触れる長さ」、「通電電流」によって、発火に至るまでの時間が変わると想定される。特に、より線が絶縁体に触れることが問題となる可能性があり、注意が必要である。

7.まとめ

今回の実験結果の考察の要約は次のとおり。

(1) より線の切れやすさの確認

この試験は、リングスリーブの圧着強度と断線率との関係を調べるものである。試験の結果から、緩い締め付けについては抜けやすく、きつい締め付けについては断線率が高くなる可能性があらためて確認できた。また、適切な大きさのリングスリーブを選択したとしても、より線の引張り強度については、リングスリーブによる締め付け部で弱くなっていることがわかった。

(2) 温度上昇試験

この試験は、電線の接続方法の違いにより、接続部の温度上昇に差が生じる可能性について検証するものである。試験の結果から、接続方法及び単線サイズによる温度上昇値には差があることは分かったが、手よりのみによる接続が多少温度が高いもののいずれも安全上の問題があるとは言えない。

(3) ヒートサイクル試験

この試験は、電線の接続部に対してヒートサイクルを加えることにより、接続部にゆれが生じ、接続部の温度が通常よりも高温になる可能性を検証するものである。試験の結果からは、手よりのみによる接続の一部のサンプルが異常な高温（ピークで 180 程度）となったが、発煙又は発火に至ることはなかった。

(4) 温度勾配試験

この試験は、電線の接続部近傍の絶縁体の温度を測定し、絶縁体の温度が使用温度限度値（絶縁劣化温度）を超えるか否かを検証するものである。試験の結果から、絶縁体の温度が絶縁劣化温度(60)を超えるものがあったが、試験は試験方法の都合により実負荷電流（10A）よりも大きい電流（15A）で実施したことが影響している。もし、実負荷電流の接続部の温度で実施すれば、絶縁体の温度が絶縁劣化温度に達しない可能性が高い。

(5) 燃焼確認試験

この試験は、温度勾配試験において絶縁劣化温度を超える温度が観測されたため、この絶縁体の劣化が、直接的に火災に結びつくのかを検証するものである。今回の試験では、加速劣化をしたサンプルで実施したが、短絡等による発煙又は発火はなかった。しかし、今回の試験の結果だけでは、絶縁劣化による短絡等が生じることが全くないとは判断することはできないと考える。

追加の試験においては、より線の断線があった場合又はより線の本数の少ない圧着をした場合には、外側に巻いたビニルテープが発火するおそれがあることがわかった。

また、今回の実験を通じて、電線の接続にあたっては、次のことに注意する必要があることがわかった。

適切な大きさのリングスリーブを使用し、適切な圧着工具で締め付けること。

今回の実験では、重ね合わせでE小のリングスリーブを重ね合わせたものを小の使用ダイスで締め付けたサンプルが、最も良好だったと思われる。ただし、単線とより線の組み合わせは、JIS C 2806に規定されている組み合わせではないため、リングスリーブのJISではその性能を保証していない。

より線の素線がすべて圧着されていることを確認すること。

より線がリングスリーブ等に収まらない状態は、断線と同じなので避けるべきである。

手よりだけによる接続はしないこと。

手よりは、ヒートサイクル等により緩みを生じやすい。

ビニルテープで異極の関係にある電線同士を重ねることは避けること。

絶縁劣化による短絡に注意を払う。

電線の絶縁体により線の素線（導体）をできる限り、接触させないこと。

何かの衝撃等でより線が断線した場合、より線が単線の絶縁体に触れていると高温になってビニルテープが発火する可能性がある。

なお、今回の試験は接続部だけの問題を検証したが、電気式浴室暖房乾燥機自体の安全性を考えた場合、家電機器の国際安全規格（IEC60335-1）では、固定配線に恒久的に接続する機器を固定配線に接続する手段は、「端子装置による接続」又は「機器内の適切な仕切り空間で電源電線接続用口出し線と接続」を規定しており、今回の実験のように電源電線接続用口出し線（今回のより線）を機器の外側で固定配線と接続させることを禁止していることも、今後の検討の参考にしていく必要があると考える。

以 上