

耐火ケーブルに於けるマイカテープの巻き方による耐火性能への影響

Effect of Mica Tape Winding on Fireproof Performance of Fireproof Cables

中川 諒 Ryo NAKAGAWA 茂木 淑豪 Yoshitake MOTEGI 中村 昌樹 Masaki NAKAMURA

耐火ケーブルの耐火性能は、耐火層を構成するマイカテープの巻き方に大きく影響される。マイカテープの巻き枚数増加により耐火性能は向上するが、同時にコストの増加に直結する。本検討ではマイカテープの巻き方を工夫することで、マイカテープ枚数を増加させた場合と同様の耐火性能向上が見られるか、検証を実施した。

The fireproof performance of fireproof cables is greatly affected by winding method of the mica tape that constitutes the fireproof layer. Increasing the number of mica tape coils improves the fireproof performance, but at the same time, it directly leads to an increase in cost. In this study, we examined whether the fireproof performance of fireproof cables can be improved without increasing the number of turns of mica tape by devising a new method of winding mica tapes.

1. 耐火ケーブルとは

耐火ケーブルは、建築物が火災に見舞われた場合でも、非常照明等に避難・誘導・初期消火までの一定時間の通電を確保するための非常電源回路用のケーブルであり、1971年に消防庁より告示された「耐火電線の基準」に則り、30分/840℃の加熱条件下で通電可能な特性を有している。

一方で同告示の制定から半世紀近くが経過し、建造物の大規模化、高層化に伴う消火活動の実態も変化していることを受け、2013年の（一社）電気設備学会による調査・研究の結果、既存の耐火ケーブルを超える60分/925℃の火災環境に耐えうるケーブルの必要性が提唱された。これを受け、各メーカーは通電可能時間を30分から60分へ倍増させた1時間耐火ケーブルの新規開発に取り組んでいる¹⁾。

なお1時間耐火ケーブルは（一社）日本電線工業会によって日本電線工業会規格(JCS)として規格化されている^{2),3)}。

2. 耐火ケーブルの要求特性と耐火試験

2.1 要求特性

前述の通り、耐火ケーブルの要求特性は、消防庁告示第10号（平成9年12月18日「耐火電線の基準」）にて定められており、30分/840℃の加熱条件下で性能を維持することが求められている。更に1時間耐火ケーブルにおいては要求特性が60分/925℃へ拡大され、より厳しい環境下での性能維持が求められることとなる（表1）。

表1 耐火電線における要求特性

項目	低圧耐火ケーブル	1時間低圧耐火ケーブル
到達温度	840℃	925℃
加熱時間	30 min	60 min
試験体長さ	1.3 m	1.3 m
耐電圧	加熱前	1500 V/1 min
	加熱中	600 V/30 min
	加熱後	1500 V/1 min
絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ
	加熱後	0.4 MΩ
燃焼性	150 mm 以下	150 mm 以下
導通確認	無し	有り

2.2 耐火試験

耐火試験は、JIS A 1304に定める標準加熱曲線Bに準じ、30分間で840℃、1時間耐火試験は60分間で925℃に達する加熱を行い、この間に異常なく通電できる性能を有するかの判定を行う試験である（図1）。

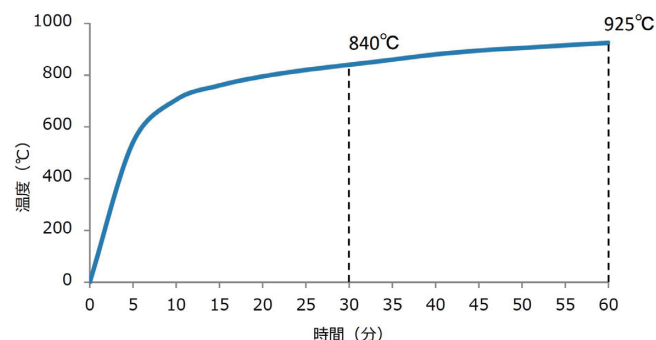


図1 標準加熱曲線B

また耐火ケーブルの試験方法は、前述した日本電線工業会規格によって定められており、1.3 mの試験体を用いて露出試験と電線管試験を行う³⁾。

露出試験では試験体の中央部に自重の2倍の荷重を加え、電線管試験では試験体を電線管に挿入し、両端部にロックワールを充填し密閉した状態でそれぞれ所定時間の加熱を行う(図2)。

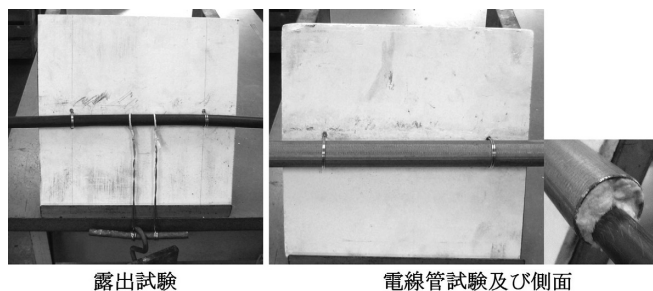


図2 露出試験と電線管試験

3. 耐火ケーブルの耐火層

耐火ケーブルの耐火層は、ケーブル燃焼時におけるシース・絶縁体の焼失後も残存し、電気特性を維持可能な材料によって構成されなければならない。そこで一般的な耐火ケーブルでは、無機物である雲母を主材としたマイカテープを、その端部が一定量重複するように導体上に施す成形方法が用いられる。この重複部分が存在することにより、導体の露出と、絶縁抵抗値低下の要因となる導電性炭化物の侵入を抑制する効果がある(図3)。



図3 耐火ケーブルの構造

また耐火層の成形方法には、マイカテープを導体に対し垂直方向に巻き付けていく横巻方式と、導体に対して平行方向に包み込み、押さえ巻を施して固定する縦添方式の2種類が存在する。この内、縦添方式は必要とするマイカテープの量が横巻方式よりも少なく、コスト面で優れている。本検討ではこの縦添方式に関して評価を実施している。

4. マイカテープ巻き方による耐火性能への影響

4.1 耐火試験における短絡要因

耐火ケーブルの短絡は、シース・絶縁体の燃焼に由来する導電性炭化物が耐火層内部へ侵入し、絶縁性能が低下することによって引き起こされる。よって耐火ケーブルの耐火性能向上のためには、導電性炭化物の侵入を抑制しなければならない(図4)。

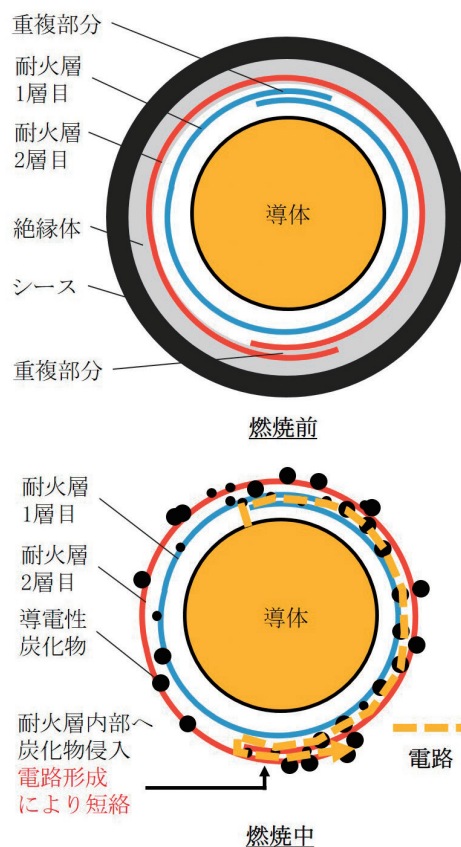


図4 耐火ケーブルの短絡要因

対策としてはマイカテープの巻き枚数増加が効果を発揮する。マイカテープ巻き枚数増加により耐火層数が増え、発生した導電性炭化物が中心の導体部分まで侵入しづらくなるためである。また、耐火層の総厚が厚くなることで機械的負荷に対しても強くなる。

実際の耐火試験を例にすると、露出試験においては、試験中の荷重によってケーブルに機械的負荷が加わり耐火層が潰れ、内部導体とアース間の距離が圧縮されて短絡へと至りやすくなってしまいが、マイカテープ巻き枚数増加により物理的距離が確保され、短絡しにくくなる(図5)。

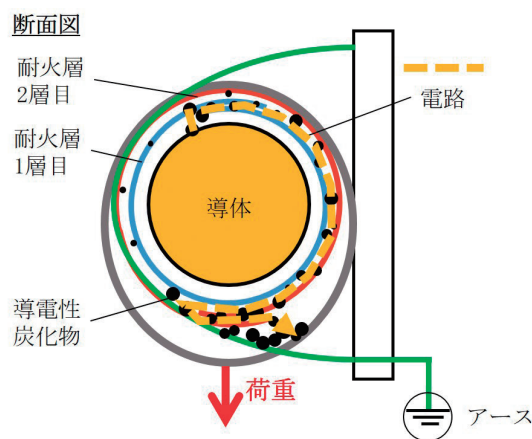
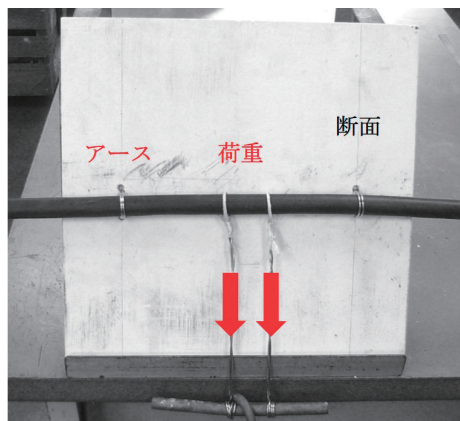


図5 露出試験における短絡要因

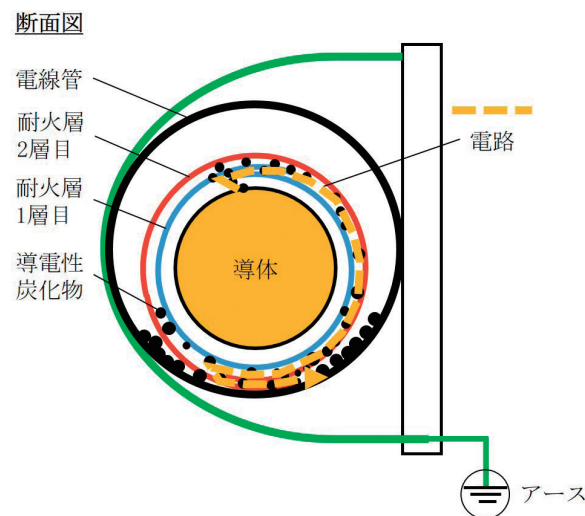
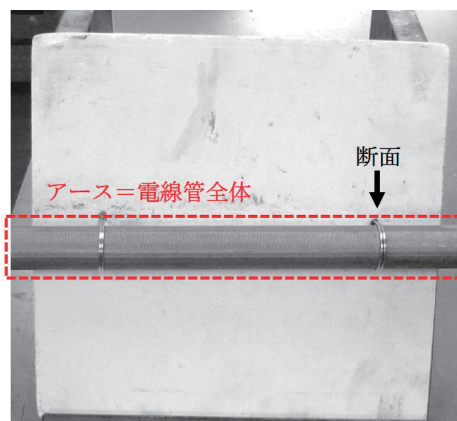


図6 電線管試験における短絡要因

また電線管試験においても、酸素が供給されにくい状況下で樹脂が不完全燃焼し、管内への導電性炭化物蓄積により耐火層へ容易に侵入し得る試験環境となるため、マイカテープ枚数を増加させての侵入抑制は効果的である。

一方で電線管試験は露出試験とは異なり試験体に機械的負荷が加わらないため、絶縁破壊電圧は露出試験よりも値が大きくなる傾向にある (図6)。

4.2 マイカテープの巻き枚数と耐火性能の関係

マイカテープの巻き枚数と耐火性能の関係調査のため、汎用サイズにて比較的露出試験における機械的負荷が大きく、厳しい試験となる1心×150mm²において①0.15mm厚マイカテープ2枚巻き ②0.18mm厚マイカテープ2枚巻き ③0.18mm厚マイカテープ3枚巻き ④0.18mm厚マイカテープ5枚巻き ⑤0.12mm厚マイカテープ15枚巻きの5種類の試作を実施し、それらを3本燃り合わせたサンプルの1時間耐火試験を通じて60分時の絶縁抵抗値および、絶縁破壊電圧の大きさを評価した。

その結果、マイカテープの巻き枚数を増やし、耐火層厚を厚くしたサンプル程、60分時の絶縁抵抗値及び絶縁破壊電圧が高くなる傾向にあった。なお、グラフ中のプロット円のサイズは破壊電圧の大きさを表している (表2、図7、図8)。

表2 各サンプルの耐火層構成と試験結果

区分	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④	サンプル⑤
マイカテープ構成	0.15 mm × 2	0.18 mm × 2	0.18 mm × 3	0.18 mm × 5	0.12 mm × 15
耐火層巻厚 mm	約 0.3	約 0.4	約 0.6	約 1.0	約 1.8
露出試験					
60分時絶縁抵抗 MΩ	0.0	0.30	1.5	2.0	6.0
破壊電圧 V	0	1200	1400	1500	4600
電線管試験					
60分時絶縁抵抗 MΩ	10	20	30	40	60
破壊電圧 V	2700	3200	4000	4300	5000

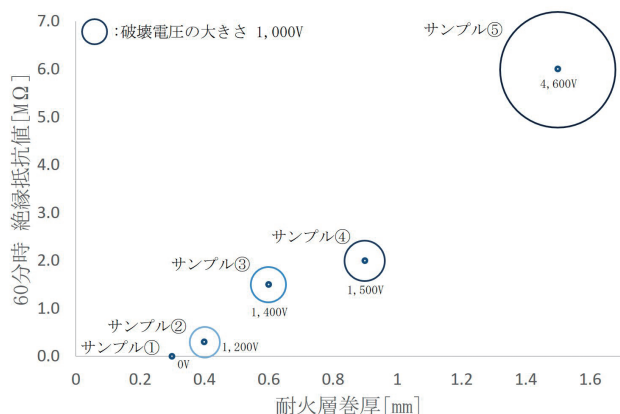


図7 耐火層構成と絶縁抵抗，破壊電圧の関係（露出）

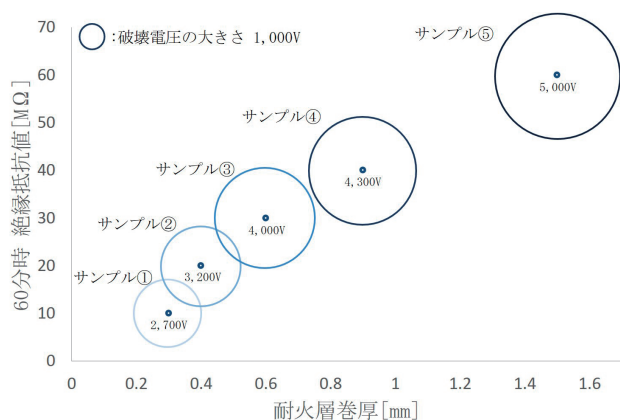


図8 耐火層構成と絶縁抵抗，破壊電圧の関係（電線管）

4.3 マイカテープの巻き方と耐火性能の関係

先の検討より，マイカテープの巻き枚数を増やし，耐火層厚を増やす程に耐火性能が向上する結果が確認されたが，マイカテープ枚数の増加は材料コスト及び製造コストの増大に繋がり，また可とう性や端末処理性が低下するなど，ケーブルの取り扱い性悪化に繋がるため，市場性の観点から見て得策であるとは言い難い。

そこで，本検討ではマイカテープの巻き枚数増加ではなく，マイカテープの巻き方を工夫することで，巻き枚数を増加させた場合と同じく耐火性能の向上効果が得られないか検討を実施した。

耐火性能向上に繋がるマイカテープの巻き方として，マイカテープ2枚を，その重複部分がマイカテープを巻き付ける下径の50%以上となるように確保することでケーブルの全周に渡ってマイカテープ3枚巻き相当の耐火層厚となったサンプル⑥を試作した（表3，図9）。

表3 サンプル⑥の耐火層構成例

区分	サンプル②	サンプル⑥
マイカテープ構成	0.18 mm × 2	0.18 mm × 2
耐火層巻厚 mm	約 0.4	約 0.6
円周に対する重複巾 %	約 10%	約 60%

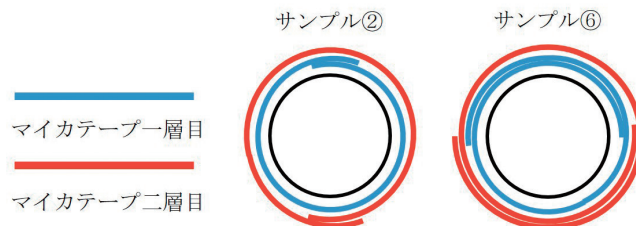


図9 サンプル⑥の耐火層構成図

この時，サンプル⑥のマイカテープ枚数はサンプル①や②と同じ2枚巻きである。

そしてサンプル⑥を用いて他サンプルと同様に1時間耐火試験を実施した結果，マイカテープの巻き枚数が少ないにも関わらず，露出試験における60分時の絶縁抵抗は4 MΩ，絶縁破壊電圧は1500 Vとなり，電線管試験における60分時の電気特性は40 MΩ，絶縁破壊電圧は3800 Vまで向上し，巻き枚数を増やしたサンプル③および④よりも優れているとの結果が得られた（表4，図10，図11）。

表4 サンプル⑥の耐火層構成と試験結果

区分	サンプル①	サンプル②	サンプル③	サンプル④	サンプル⑤	サンプル⑥
マイカテープ構成	0.15 mm × 2	0.18 mm × 2	0.18 mm × 3	0.18 mm × 5	0.12 mm × 15	0.18 mm × 2
耐火層巻厚 mm	約 0.3	約 0.4	約 0.6	約 1.0	約 1.8	約 0.6
露出試験						
60分時絶縁抵抗 MΩ	0.0	0.30	1.5	2.0	6.0	4.0
破壊電圧 V	0	1200	1400	1500	4600	1500
電線管試験						
60分時絶縁抵抗 MΩ	10	20	30	40	60	40
破壊電圧 V	2700	3200	4000	4300	5000	3800

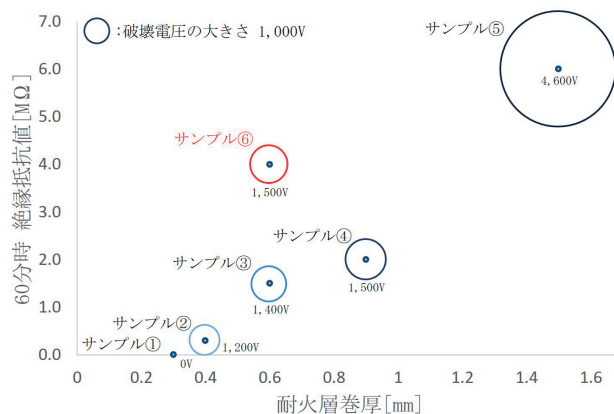


図10 サンプル⑥の絶縁抵抗，破壊電圧（露出）

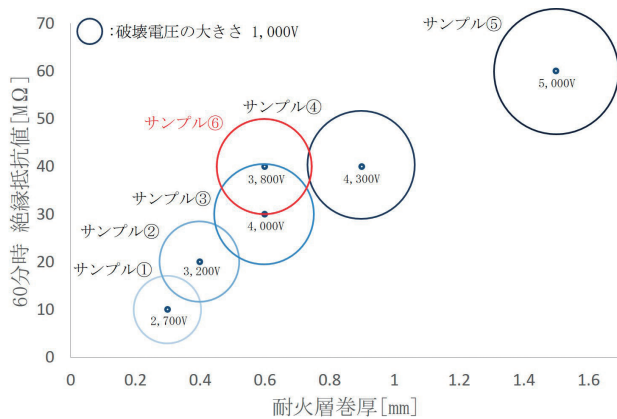


図 11 サンプル⑥の絶縁抵抗, 破壊電圧 (電線管)

耐火性能の向上に繋がった要因としては、耐火層の巻き厚が3枚巻き相当となり、機械的負荷に対して強固となったことに加え、マイカテープの重複部分が他サンプルよりも多分に確保され、導電性炭化物が重複部分を通過しにくくなったことで耐火層内部への侵入が著しく抑制されたためと推察される。

5. ま と め

耐火ケーブルにおいて、耐火層を構成するマイカテープの厚さ及び巻き枚数を増加させることにより、耐火性能の向上が見られる。

一方でマイカテープの巻き方を工夫することで、マイカテープの巻き枚数を増加させずとも、耐火性能を向上させることが可能であった。

なお、本取り組みにおいて耐火性能の向上が得られたサンプル⑥の耐火層構造に関しては特許出願済みであり、今後、量産性の確認を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 茂木淑豪, 他: 1時間耐火ケーブルの開発
昭和電線レビュー Vol. 65, p. 27 (2019)
- 2) JCS 4524 (2020) 1時間低圧耐火ケーブル
- 3) JCS 7509 (2020) 1時間耐火ケーブル試験方法 (小型加熱炉)

富士電線(株)
中川 諒 (なかがわ りょう)
生産本部 伊勢原工場 伊勢原技術課
消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
茂木 淑豪 (もてぎ よしたけ)
生産本部 伊勢原工場 伊勢原技術課長
消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
中村 昌樹 (なかむら まさき)
生産本部 伊勢原工場長
消防用ケーブルの設計・開発に従事