

昭和電線 レビュー

2020 VOL.66

通巻122号

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

ISSN 2345-518X



昭和電線ホールディングス株式会社

www.swcc.co.jp/

目 次

〈普通論文〉

Al-Mg-Si系合金線材の特性向上	昭和電線ケーブルシステム(株) 仲津照人・西本一恵 小泉勉 芝浦工業大学 芹澤愛・宮澤一彦 日本軽金属株式会社 塩田正彦・山本俊	… 5
6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブル用中間接続部の開発および実証試験開始	昭和電線ケーブルシステム(株) 足立和久・中西達尚 塩原敬・三堂信博 青木裕治	… 10
小勢力回路用耐火ケーブルの開発	富士電線(株) 茂木淑豪・岡崎英明 浦卓也	… 16
4PPoE対応超細径LANパッチコード「neo-patch」について	富士電線(株) 小川宏・河田正義 中村雄一郎	… 21
伝統的木造建物の特徴を考慮した粘弾性ダンパーの適用設計	昭和電線ケーブルシステム(株) 三須基規・加藤直樹 松井建設株式会社 佐藤信夫 三重大学 花里利一 内田建築構造コンサルタント 内田龍一郎 元株式会社田治見エンジニアリングサービス 荻原幸夫 東京大学 坂本功	… 26

〈新製品紹介〉

RESI-CUBE™ ～耐震・防振天井用防振装置～	31
無停電工法用機材（高圧バイパスケーブル）	32
1時間低圧耐火ケーブル「1HEM-SH-C」	33
銅テープ遮へい付 分岐付ケーブル	34
無電源型ケーブル自動消火システム	35
6600 V 常温収縮型屋内終端接続部（大サイズ）	36

〈トピックス〉

OF ケーブル／接続部の簡易漏油補修工法の紹介	37
ディップ・フォーミング・システムの BCM への取り組み	38

〈技術資料〉

電力用 CV ケーブルの曲げ半径倍率	40
--------------------	----

〈社外技術発表一覧表〉	41
-------------	----

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2020 Vol. 66

CONTENTS

< Regular Papers >

Improving the Properties of Al-Mg-Si Alloy Wires	5
Development of Cable Joint for 6 kV 3000 A Tri-Axial Superconducting Cable System and Start Actual Test	10
Development of Instrumentation, Control and Communication Fire Proof Cables	16
Ultra-small Diameter LAN Patch Cord “neo-patch” for 4PPoE	21
Application Designs of Visco-elastic Damper Considering Characteristics of Traditional Wooden Building	26

< New Products >

Earthquake Resistant and Sound Insulation Devices with Cubed Shape	31
Uninterruptible Power Supply Equipment (High Voltage Bypass Cable)	32
One-hour Low Voltage Fire Proof Cables “1HEM-SH-C”	33
Branch Cable with Copper Tape Shielding	34
No Power Supply Type Automatic Fire Extinguishing System for Power Cable	35
Cold Shrink Indoor Termination for 6600 V XLPE Cable (Large Size)	36

< Topics >

Introduction of Simple Oil Leakage Repair Construction Method for OF Cable/Connection	37
Business Continuity Management of Dip Forming System	38

< Technical data >

Bend Radius Magnification of XLPE Insulated Power Cable	40
---	----

< List of Technologies Published since 2020 >	41
---	----

Published by **SWCC SHOWA HOLDINGS CO., LTD.**

Cube Kawasaki Building, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku,
Kawasaki City, KANAGAWA
URL www.swcc.co.jp

Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上

Improving the Properties of Al-Mg-Si Alloy Wires

仲津 照人 西本 一恵 小泉 勉
Teruhito NAKATSU Kazue NISHIMOTO Tsutomu KOIZUMI

芹澤 愛* 宮澤 一彦* 塩田 正彦** 山本 俊**
Ai SERIZAWA Kazuhiko MIYAZAWA Masahiko SHIODA Suguru YAMAMOTO

アルミニウム電線は架空送電線の他にも様々な産業用電線分野で使用されており、近年の軽量化の要求から巻線や自動車用電線などでも銅電線からの置き換えが進んでいる。今回、電線用アルミニウム線材の一つである Al-Mg-Si 系合金の特性向上として、溶体化処理後の予備時効の有無、伸線による減面加工率と時効処理温度の特性への影響を調査した。130℃と 180℃の温度条件で時効特性を調査した結果、減面率の大小に関わらず 130℃で時効処理を施したものの強度が優れる結果となった。

Aluminum wires are used in overhead power lines and various other industrial wire applications, and the demand for lighter weight in recent years has led to the replacement of copper wires in magnet wires and automotive wires as well. In this study, we investigated the effects of drawing rate and aging temperature to improve the properties of an Al-Mg-Si alloy, which is one of the aluminum wire rods for electric wires. As a result of investigating the aging characteristics at 130°C and 180°C, we found that regardless of the value of the drawing rate, aging at 130°C is more effective in improving strength and elongation.

1. はじめに

アルミニウムはその軽量性、耐食性、そして導電性に優れているため送電線用途に使用され、現在わが国においては架空送電線のほぼ 100% にアルミニウムが使用されている。アルミニウムは架空送電線の他にも配電線、電力ケーブル、通信ケーブルなどにも使用されている。また、近年 CO₂ 排出量の削減要求など環境問題に対する認識の高まりから、様々な分野で環境負荷の低減が求められている。その対応の一環として、産業用電線においても軽量化の要求が進み、自動車用電線などで銅電線からアルミニウム電線に置き換える動きが進んでいる。

導電材料には強度と導電性が必要となる。純アルミニウムは純銅と比較して、導電率が 6 割程度であり、比重は約 1/3 であるため、導体の電気抵抗を同等とした場合断面積は大きくなるが、銅線を用いた場合と比較して重量は 5 割程度となる。しかしながら、引張強さの点では銅線が 250 MPa に対してアルミニウム線では 90 MPa と劣っているため、高強度のアルミニウム合金線が実用化されている。その一つである Al-Mg-Si 系合金は強度、導電性が優れていることが知られており、時効処理を施すことで強度を増加させるが、延性が低下してしまうことが問題となる。

Al-Mg-Si 系合金の析出過程について強化相の形成に先立ち、2 種類のクラスタが形成され、効果的な時効硬化を得るために予備時効を施す二段時効の効果が確認されている¹⁾。

今後様々な分野において、軽量化、細径化の要求が進むと考えられることから、本稿では強度、延性、導電性に着目し、Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上として、溶体化処理後の予備時効の有無ならびに減面加工率、時効処理温度が諸特性に及ぼす影響を調査した結果について報告する。

2. 電線用アルミニウム線材

アルミニウム電線は 1800 年代末に欧米で AAC (All Aluminum Conductor) が送電線として使用されたが、銅撚線に比べ、強度が低く、熱膨張係数が大きい等の欠点を持つため長径間に不適であった。それを改良した鋼心アルミニウム撚線 (ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced) が 1908 年に実用化され今日に至っている。

アルミニウム電線の用途は多様化し、要求される特性も高度化、複雑化し、純アルミニウムあるいは複合導体では対応できず、種々のアルミニウム合金が開発され実用化されている。

電線用アルミニウム線材には純アルミニウム系、高力アルミニウム系、耐熱アルミニウム系、高力耐熱アルミニウム系の 4 種類の分類があり、高力アルミニウム系にはさら

* 芝浦工業大学

** 日本軽金属株式会社

に非熱処理型と熱処理型がある。熱処理型の中に本稿で使用するイ号アルミニウム合金と呼ばれる Al-Mg-Si 系合金があるが、この合金は純アルミニウムの約 2 倍の強度を有し、150～180℃で時効熱処理を施すことにより Mg₂Si を母相内に析出させ、強度を向上させるものである。

3. 調査内容

架空線用の電線材料であるイ号アルミニウム合金の組成範囲で Al-Mg-Si 系合金の荒引線を加工したφ 2.0 mm 伸線材を用いて試料を作製した。

試料はφ 2.0 mm 伸線材を溶体化処理した後に予備時効を施したものと、予備時効なしの試料それぞれに減面加工率（以下、減面率）30%、60%、90%まで伸線加工を行った後、最終時効処理を施した。

減面率は加工後の断面積を加工前の断面積で除したものを 1 から引いて百分率で表している。

溶体化処理として、所定の温度と時間で加熱処理を行った後、速やかに水冷した。予備時効は大気中で 100℃にて 24 h、最終時効処理として大気中で従来の Al-Mg-Si 系合金の時効処理温度である 180℃とそれよりも低い 130℃での加熱処理を行った。試料の加工および熱処理履歴の概略を図 1 に示す。

表 1 (a)、(b) に示す条件で作製した線材試料の評価として、機械的特性である引張強さ、伸びは、ゲージ長 250 mm にてインストロン型引張試験機を用いて引張試験を行い、導電率は直流四端子法により電気抵抗測定を行い算出した。また、マイクロ組織は光学顕微鏡を用いて観察した。

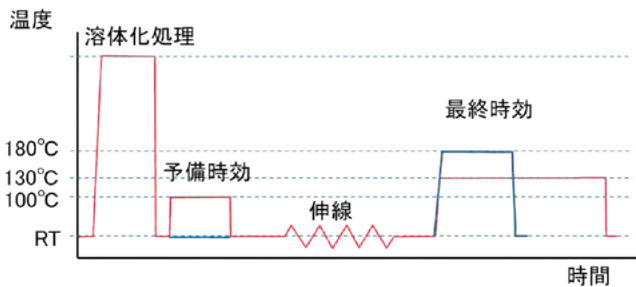


図 1 試料の加工および熱処理履歴の概略図

表 1 (a) 実験条件

伸線条件	減面率 30%、60%、90%
時効処理温度	130℃、180℃
時効処理時間	～168 h

表 1 (b) 評価用線材試料の加工履歴

条件	加工および熱処理履歴
①	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 30%) → 時効処理 (130℃、180℃)
②	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 60%) → 時効処理 (130℃、180℃)
③	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 90%) → 時効処理 (130℃、180℃)

4. 調査結果

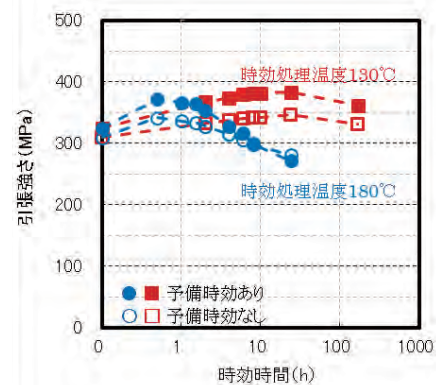
所定の条件にて作製した線材試料に 130℃および 180℃での時効処理を施し、各々特性評価を行った。

4.1 引張強さ

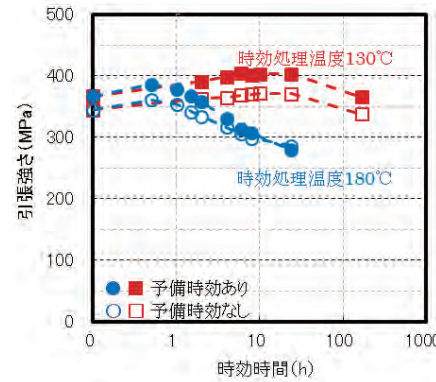
各減面率で加工の後に 130℃および 180℃での時効処理を施した試料の引張強さの変化を図 2 (a)～(c) に示す。

予備時効の有無による影響を比較すると、線材試料の引張強さは予備時効を施したものが高く、時効処理を施すことでより上昇度合いが増している。これは 2 段時効により時効硬化が進んだ影響と見られる。

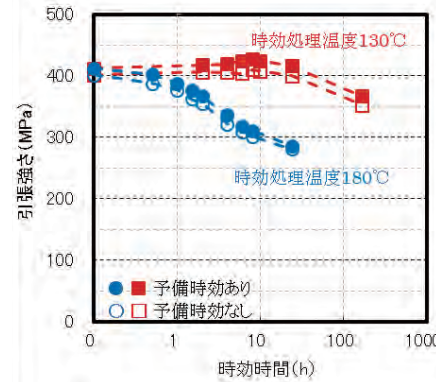
また、時効処理温度 130℃、180℃の比較では、引張強さ



(a) 減面率30%



(b) 減面率60%



(c) 減面率90%

図 2 各減面率で伸線加工した試料の時効処理による引張強さの変化

の最大値に達するのに 180℃で時効処理を施したものが 0～0.5 h で到達するのに対して、130℃では 8～24 h を要する。しかしながら、その最大値は予備時効の有無、伸線加工の減面率に関わらず 130℃で時効処理を施したものが 15～20 MPa 程度高くなるという結果となった。

4.2 伸び

各減面率で加工の後に 130℃および 180℃での時効処理を施した試料の伸びの変化を図 3 (a)～(c) に示す。

時効時間に対する伸びの変化は、時効処理前の伸線材の段階では予備時効を施していない試料で伸び 3～4%，予備時効ありの試料では 1～2%であり、引張強さが最大値

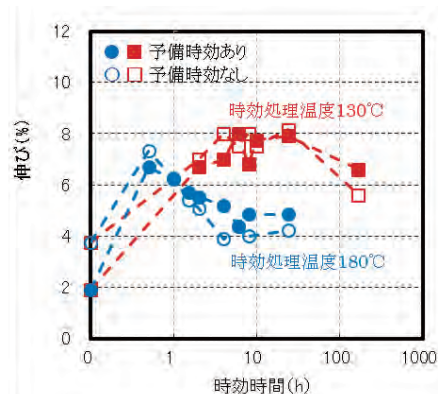
となった時効処理時間において、時効処理温度 180℃では伸び 6%前後、130℃では伸び 7～8%であった。

また、減面率の影響については、予備時効の有無、時効処理温度に関わらず、処理時間に伴う挙動に変化はないが、伸びの値については、減面率 90%の試料の伸びの値が 1～1.5%他の試料と比較して小さくなる傾向が見られた。

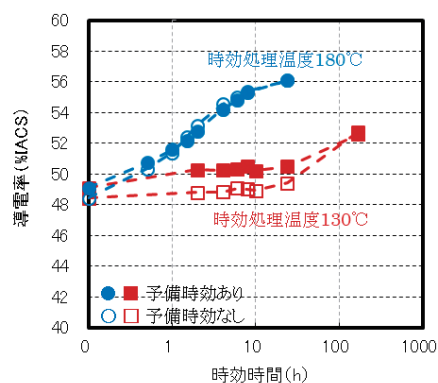
4.3 導電率

図 4 (a)～(c) には時効に対する導電率の変化を示す。

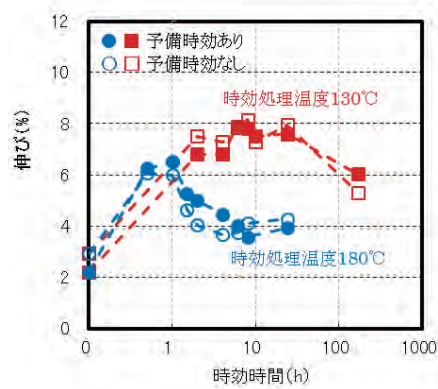
全般的に本調査で行った条件下では時効処理の時間とともに予備時効の有無、減面率に関わらず導電率は上昇しており、180℃で時効処理を施した試料の方が高い傾向にある。



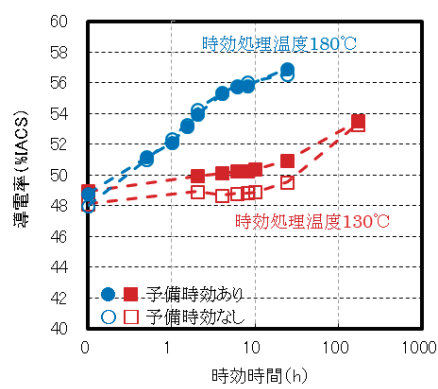
(a) 減面率30%



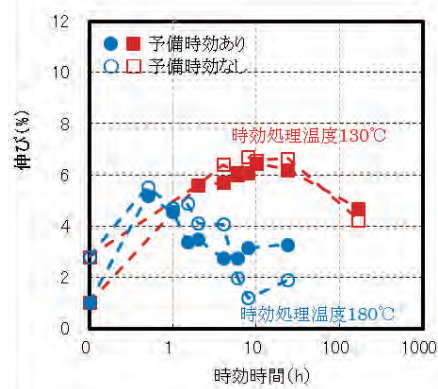
(a) 減面率30%



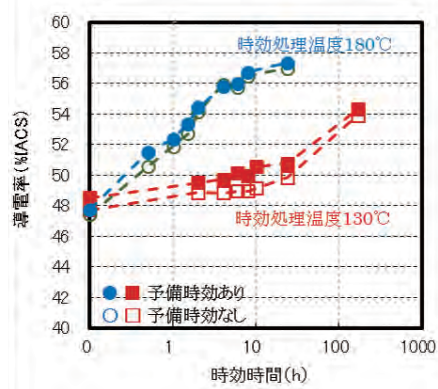
(b) 減面率60%



(b) 減面率60%



(c) 減面率90%



(c) 減面率90%

図 3 各減面率で伸線加工した試料の時効処理温度による伸びの変化

図 4 各減面率で伸線加工した試料の時効処理温度による導電率の変化

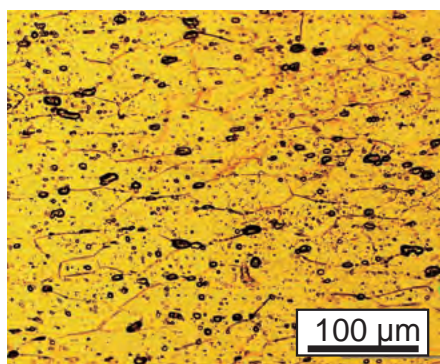
個々の条件で比較してみると、予備時効を施した試料では時効時間が短時間で導電率の上昇が認められる。

これらの結果から、溶体化処理後に伸線加工を行った線材に130℃および180℃の時効処理を施した場合、減面率の大きさに関わらず130℃での時効処理材は引張強さおよび伸びが改善している。一方で導電率は180℃で時効処理材の方が高くなることが確認された。また、予備時効を施すことで引張強さ、導電率が上昇することが確認された。

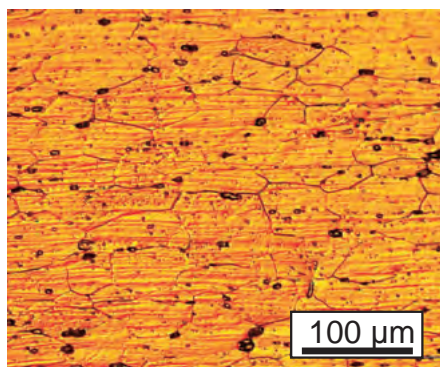
4.4 結晶粒組織挙動

図5に予備時効を施した減面率30%の伸線加工材に130℃および180℃の時効処理を施し最大の引張強さに達した試料の組織の写真を示す。

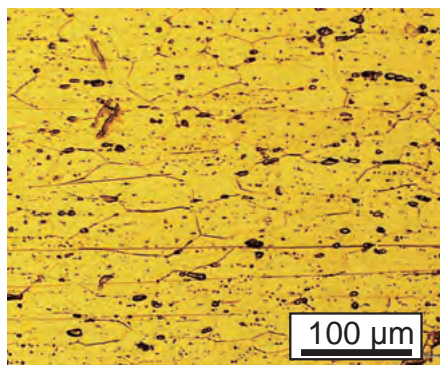
伸線後の時効処理により引張強さと伸びが上昇したにも



(a) 伸線加工材



(b) 130℃×24 h時効処理材



(c) 180℃×0.5 h時効処理材

図5 伸線加工材および各温度での時効処理材の結晶粒組織 (減面率30%)

関わらず、時効処理前後での結晶粒の形状や大きさに変化は見られなかった。このことから時効処理による引張強さと伸び向上は結晶粒の大きさよりも析出組織の影響が大きいことが示唆される。180℃より低温の130℃ではより微細に析出するため、強度に寄与する強化相の数密度が高くなっていると考えられる²⁾。

5. ま と め

電線用 Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上として、予備時効、溶体化処理後の伸線加工における減面率と時効処理温度の影響を調査し、時効処理条件をコントロールすることで特性の向上を見込める結果を得た。その結果から確認できたことを以下に示す。

- ・減面率に関わらず、130℃での時効処理が引張強さの向上に有効であった。
- ・伸線加工前の予備時効は時効処理後の強度、導電性向上に効果が見られた。

謝 辞

本研究にあたり、試料用材料の作製にご協力頂いたアルミニウム線材株式会社殿に対し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山田, 里, 神尾: 軽金属 第51巻第4号 (2001), 215-221
- 2) 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 山本俊, 西本一恵, 仲津照人: 軽金属学会第139回秋期大会概要集, (2020), 295-29

昭和電線ケーブルシステム(株)
仲津 照人 (なかつ てるひと)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
西本 一恵 (にしもと かずえ)
博士 (工学)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

芝浦工業大学
芹澤 愛 (せりざわ あい)
博士 (工学)
工学部 材料工学科 准教授

芝浦工業大学
宮澤 一彦 (みやざわ かずひこ)
大学院理工学研究科

日本軽金属株式会社
塩田 正彦 (しおだ まさひこ)
技術顧問

日本軽金属株式会社
山本 俊 (やまもと すぐる)
メタル営業部 技術開発チーム

6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブル用中間接続部の 開発および実証試験開始

Development of Cable Joint for 6 kV 3000 A Tri-Axial Superconducting Cable System and Start Actual Test

足立 和久
Kazuhisa ADACHI

中西 達尚
Tatsuhisa NAKANISHI

塩原 敬
Kei SHIOHARA

三堂 信博
Nobuhiro MIDO

青木 裕治
Yuji AOKI

筆者らは交流損失が少なくコンパクトな三相同軸超電導ケーブルを開発してきた。この度、三相同軸超電導ケーブル用の中間接続部を新たに開発し、BASF ジャパン株式会社殿戸塚工場に全長約 200 m の 6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブルを敷設し、実証試験を開始した。

本論文では三相同軸超電導ケーブル用中間接続部の設計コンセプト、検証試験、型式試験および実証試験の工事状況、初期冷却状況について報告する。

We had developed tri-axial superconducting cable that is low AC loss and compact. In this time, we have newly developed a cable joint for tri-axial superconducting cable. Recently, this newly joint and 6 kV 3000 A tri-axial superconducting cable with a total length of about 200 m, have been installed to the Totsuka site of BASF Japan Ltd, for the actual test of superconducting cable system.

This paper is scribed to the concept of cable joint of tri-axial superconducting cable, factory test of joint, type test of cable, and situation of setup cable system.

1. はじめに

高温超電導ケーブルシステムは液体窒素温度で抵抗が 0 になる超電導現象を利用する事により、送電ロスを大幅に低減する事が可能となる特長を有している。そのため世界各国で精力的に研究開発が進められている。我々は高温超電導線材の第 2 世代と呼ばれる $YBa_2Cu_3O_y$ (YBCO) 線材を他の製造プロセスと比較して低コストの製造が可能な Metal Organic Deposition (MOD) 法の線材を開発、製造している^{1), 2)}。この線材を使用して 35 kV 600 A 超電導ケーブルを開発し、KEMA の認証試験に合格した^{3), 4)}。その後、三相同軸ケーブルの開発に着手、22 kV および 11 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブルとその終端接続部を開発した^{5), 6)}。

三相同軸超電導ケーブルは冷却管として機能するステンレスフォーマーの上に U, V, W 相の超電導線材と絶縁層を交互に同軸状に三相重ねて配置、更にその上に遮蔽層を設けた最もコンパクトな超電導電力ケーブルである (図 1)。

三相同軸超電導ケーブルの開発は、世界を見渡すとフランスの Nexans S.A. 社が開発を行い、Ampacity プロジェクトで試験を行った。このプロジェクトでは、三相同軸超電

導ケーブルを市内の変電所を繋ぐケーブルとして使用し、3 年間の実証試験を無事に終了した⁷⁾。韓国でも韓国電力が主体となり、同様の開発を進めている⁸⁾。

三相同軸超電導ケーブルは以下の特長を有している。

1. 外部導体に超電導線材を使用しないため、超電導線材の使用量を減らすことができる。
2. 同軸構造にすることで形状的に大幅なコンパクト化が可能となる。
3. 三相同軸構造とすることにより磁場が打ち消しあい漏れ磁界が発生しない。
4. 内部流路と外部流路の往復により液体窒素を循環することが可能であり、液体窒素のリターン管を別に用意する事が不要となる。
5. 上記の要因が積算される事により大幅に低コスト化できる。

今回、私たちは BASF ジャパン株式会社殿のご協力により同社戸塚工場に三相同軸ケーブル、中間接続部、終端接続部を敷設して、1 年間の実証試験を開始した。YBCO 線材を使用した民間プラント内の三相同軸超電導ケーブルの実証試験は世界で初めてであり、非常に重要な試験である。

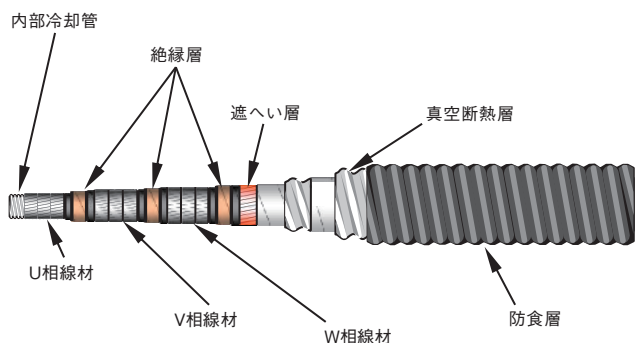


図1 三相同軸超電導ケーブルの模式図

2. 三相同軸超電導ケーブル 中間接続部開発

2.1 設計コンセプト

今回開発した三相同軸超電導ケーブル用中間接続部は、接続する双方のケーブルの中心に位置する内部冷却管をスリーブで接続し、その上にU相、V相、W相、各相の線材と絶縁層を交互に同軸状に配置し、その上に遮へい層を配置した。超電導層は接続用の線材を渡して接続した。各相の外径は、ケーブルと同じ外径となるように設計した。中間接続部の絶縁外径をケーブルと同じにすることで液体窒素の流れを阻害する事や流れの乱れを低減し、冷却時の熱収縮による位置ずれの影響も無くした。

また、ケースはスライド式とする事により、中間接続部全体をコンパクト化する事に成功した。設計した中間接続部の外観図を図2に示す。

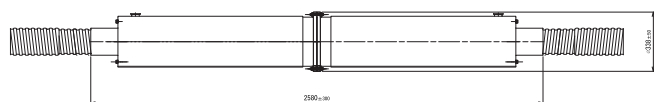


図2 三相同軸超電導ケーブル用中間接続部外観図

2.2 中間接続部 工場内試験

設計した中間接続部の性能を確認するために、単相接続した1.2 m長の中間接続部モデルを試作した。試作したモデルを図3に示す。

絶縁性能確認のために中間接続部モデルをブッシングに吊るし、クライオスタット内に配置した。クライオスタットを一晩真空引きし、その後液体窒素で4時間以上浸漬して冷却した後、商用周波耐電圧試験、雷インパルス耐電圧試験と部分放電試験を行った。試験時の状況（機材配置）を図4に、結果を表1に示す。

通電性能の確認のために、図5に示す様に、50 cm程度の単相中間接続部モデルを作った。この試料をオープンバスタイプの容器を用いて液体窒素浸漬冷却を行い、直流四端子法により臨界電流 (I_c) 測定を行った。

試作した中間接続部モデルは表1に示す様に全ての試験を満足した。



図3 中間接続部モデル

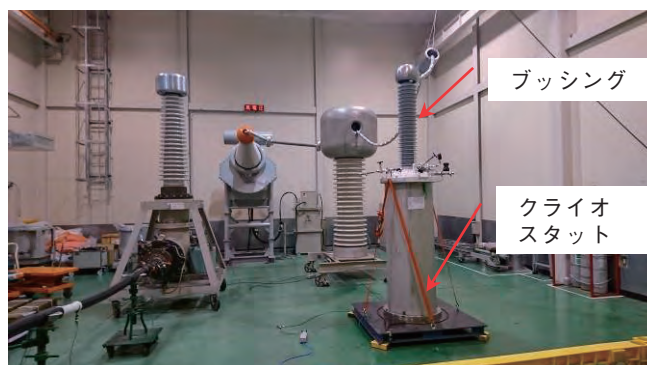


図4 中間接続部単体耐電圧試験形態

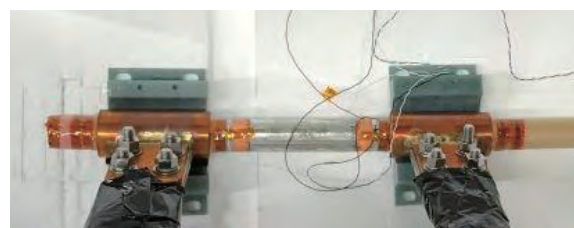
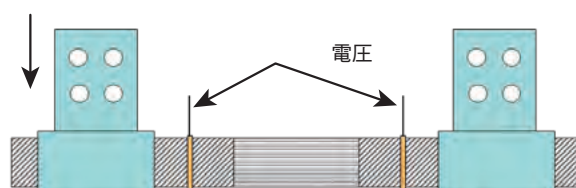


図5 中間接続部 直流通電試験モデルの形態

表1 中間接続部単体検証結果

No.	試験	規格	結果
1	商用周波耐電圧試験	26 kV 30分	良
2	雷インパルス耐電圧試験	± 75 kV/ 各10回	良
3	商用周波部分放電試験	19 kVにて発生せず	良
4	単体モデル通電試験	臨界電流 (I_c) 3000 A以上	良

2.3 中間接続部を含めた CIGRE TB538 型式試験

型式試験のために30 m長の三相同軸超電導ケーブルを試作した。2つの終端接続部と1つの中間接続部を含めたループを作り、CIGRE TB538に準拠した型式試験を実施した。試験状況を図6に示す。表2に示す通り全ての試験を満足し、問題ないことを確認した。

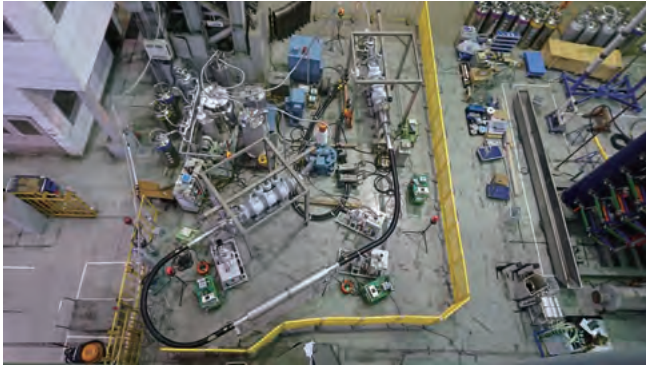


図6 CIGRE TB538 型式試験の状況

表2 型式試験結果

項目	要求性能	結果
圧力試験	設計値圧力×10分保持、漏れが無い事	合格
課電試験	AC21 kVの電圧を印加、8時間通電と16時間の非通電を20回繰り返す	合格
交流耐電圧	AC26 kVの電圧負荷に耐えること	合格
雷インパルス耐電圧試験	AC11 kV×30分の電圧印加後、±60 kV×10回のインパルス電圧を印加し、其の後AC26 kV×30分の電圧に耐えること	合格
部分放電試験	AC19 kVの電圧印加に対して部分放電を発生しないこと	合格

3. 実証試験（戸塚プロジェクト）

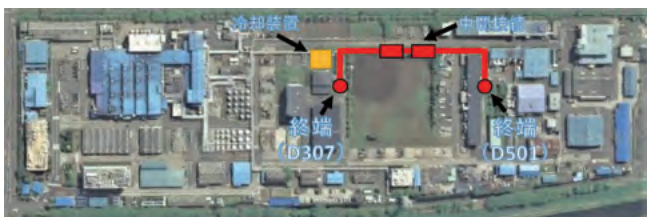
BASF ジャパン株式会社殿のご協力により、同社戸塚工場内で実証試験を行う為の構内配線の提供を受けた。この線路は約200 m離れた2つの建屋を接続し、電力を供給する線路であり、約1年間に亘る実証試験を計画した。

変電設備や終端接続部は地上に配置されているが、化学系のプラントである為、構内のユーティリティは地上高5 mのラック上に配置する事が求められており、超電導ケーブルも同様に敷設する必要が生じた。そのため、超電導ケーブルは地上から5 m上まで、限られた敷地内で立ち上がる必要がある。

中間接続部は2か所、地上高5 mの位置に配置した。

なお、今回の課電電圧は6 kVである。

概略図を図7に示す。



出典：国土交通省 国土地理院

図7 BASF ジャパン株式会社殿戸塚工場内
三相同軸超電導実証試験概略図

3.1 ケーブル回路

今回敷設する超電導ケーブルは従来使用してきた常電導ケーブル6 kV CVT3×60 sq 200 mと並行して敷設する回路とし、既設のCVTケーブルを保護回路として利用した（図13参照）。

万が一短絡事故等が発生した場合、瞬間的（数波程度）に超電導ケーブルに大電流が流れるが、超電導ケーブルはフラックスフロー状態（磁束に働くローレンツ力がピンニング力を超えて磁束が動き出す状態）となる為に抵抗が発生、限流作用を示す事が以前実施した短絡試験で分かっている。本回路は、超電導ケーブルの臨界電流（Ic）を超える電流を常電導ケーブル側に分流し、超電導ケーブルはケーブル独自の限流作用により通電電流を限流する為にクウェンチから保護されることを意図したものになっている⁹⁾。

3.2 ケーブル敷設

ケーブル敷設のために地上高5 mの既設ガス配管の上にトラフを設置した。トラフ形状としたのは、事故時に漏れ出した液体窒素を受ける為の安全上の配慮である。

敷設のために地上から地上高5 mの位置に至る緩いステージを作り、ケーブルを設置するトラフに平行に足場を設置した。製造した三相同軸超電導ケーブルを低床トレーラーにてBASF ジャパン株式会社殿戸塚工場に搬入した。敷設の際にはキャタピラを用いてケーブルを引き込んだ。ケーブルは送電側と受電側の両側から各々敷設し、中央部で2か所の中間接続部により両側のケーブルを接続した。2か所の中間接続部の間隔は約10 mであり、この間のケーブルにはBASF社の関連会社が製造した超電導線材を使用した¹⁰⁾。

冷却時の熱収縮を緩和する事を考慮して、敷設後にスネーク処理を施した。ケーブル敷設方法を図8に、敷設状況を図9に示す。

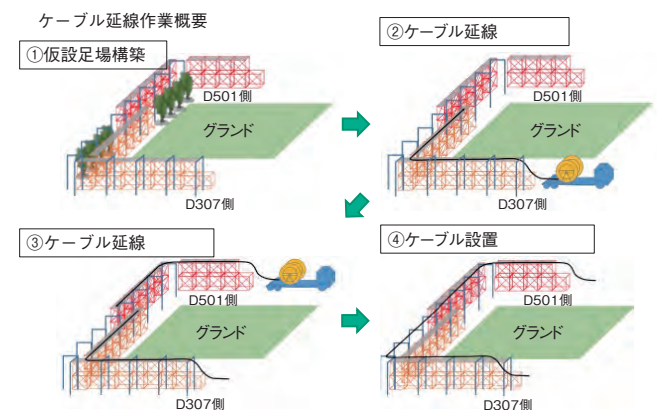


図8 ケーブル敷設方法



図9 BASF ジャパン株式会社殿戸塚工場 ケーブル敷設状況

3.3 中間接続部組み立て

地上高 5 m の位置に組み立てブースを作製し、中間接続部の組み立てを実施した。ケース端部はアルミコルゲートに現地で溶接した。完成した中間接続部を図 10 に示す。



図 10 三相同軸超電導ケーブル中間接続部

3.4 終端接続部組み立て

終端接続部は変電設備付近の地上に設置した。ケーブルは、終端接続部の第 1 クリートに固定された位置からすぐに 5 m 上まで立ち上がる構造とした。

冷却時の熱収縮対策として 800 mm 収縮可能なベローズを準備し、終端接続部本体は車輪により収縮方向に移動可能な構造とした。終端接続部先端にケーブル側の温度、圧力、液面レベルセンサーを配置し、終端接続部の状況がわかる構造とした。

加えて、終端接続部には放出弁と安全弁を設置し、万一終端接続部やケーブル内部の液体窒素が気化して内圧が上昇した場合にも安全を維持する為に対応可能な機構を付与した。

図 11 に完成した終端接続部を示す。



図 11 三相同軸超電導ケーブル終端接続部

3.5 冷却装置

冷却装置は本プロジェクトの再委託研究先である株式会社エア・ウォーター殿が開発したサブクールシステムを使用した。

サブクーラー容器内部の液体窒素から気化した窒素ガスを真空ポンプで排気する事により、更に液体窒素を蒸発させる。この時生じる蒸発潜熱を利用してサブクーラー内部の液体窒素を冷やしてサブクール状態にする機構である。ケーブル内を循環する液体窒素は、サブクーラー内部に設置された熱交換器を通過する際に冷却されるシステムとなっている。また、液体窒素を圧送する循環ポンプも本プロジェクト内で株式会社エア・ウォーター殿が開発したものであり、連続 10000 時間、メンテナンスフリーで運転する事を狙ったものである。

冷却装置を図 12 に示す。



図 12 戸塚工場に設置したサブクール冷却装置

3.6 監視システム

超電導ケーブルシステム各部の温度、圧力、液面、真空度、及び冷却システムで管理する各部の温度、圧力、液面、流量を常時監視して記録するシステムを導入した。サンプリングタイムは 1 秒間に 1 回とし、各データを記録できるシステムとした。記録したデータは戸塚工場外部からも参照可能となるようにした。

各データが管理値を超えた場合には超電導ケーブルを系統から切り離し、既設の常電導ケーブルによる通電に切り替え、予め登録した担当者に自動的にメールが届くようにした。

監視システム系統図を図 13 に示す。

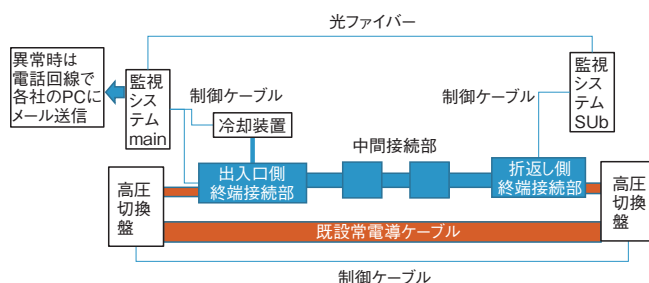


図 13 監視システム系統図

3.7 ケーブル側初期冷却

完成した超電導ケーブルシステムに乾燥窒素ガスを吹き流して内部を乾燥させて、露点を -60°C 以下とした。

その後、初期冷却用に準備した液体窒素槽の中に設置した

熱交換機内部を通すことで冷やした窒素ガスを作り、ケーブルに吹き流してケーブルを4 K/hのスピードで徐々に冷却した。途中、ガス窒素から液体窒素に冷媒を変更し、液体窒素温度まで冷却後、折り返し側終端の先端のバルブを閉じることで、液体窒素がケーブル中心のコルゲート冷却管とケーブル内管を行き来させる go/return 方式で循環冷却させた。

初期冷却時の温度変化を図14に、終端接続部の移動量を図15に示す。終端の温度が液体窒素温度になった状態で収縮量が増えて、設計通りの収縮量であることを確認できた。

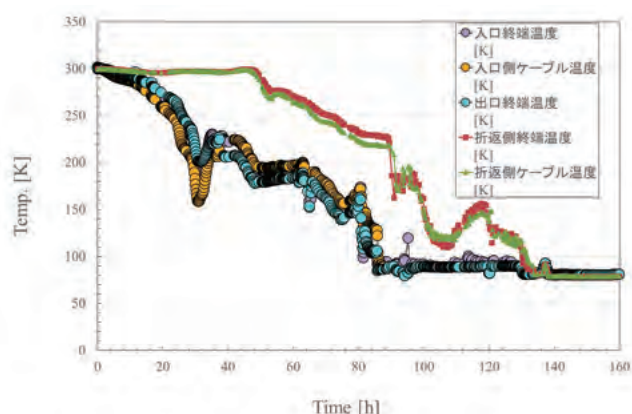


図14 初期冷却時の各部の温度変化

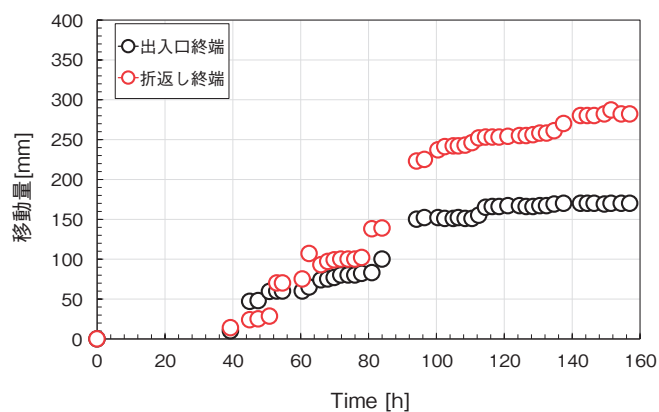


図15 初期冷却時の終端接続部移動量

3.8 冷却装置との接続

冷却装置単体で液体窒素温度まで冷却し、超電導ケーブルと接続し、液体窒素を循環させた。今後、1年間実証試験を継続する。

4. ま と め

我々は、第2世代と呼ばれるYBCO超電導線材を使用した三相同軸型超電導ケーブルシステムの開発を実施しており、今回その中間接続部の開発を行い、本論文において設計コンセプトと工場内試験の結果について紹介した。また、BASF ジャパン株式会社殿戸塚工場内の構内配線の提供を受け、全長約200 mの超電導ケーブルの敷設、冷却シ

ステムを含めた設備の構築を行った経過と初期冷却の結果についても報告を行った。

初期冷却では、5 mの高低差も超えて反対側まで順調に冷却が進んだ。サブクール窒素を使用して、1年間の実証試験を継続する。

謝 辞

この論文作成に当たり、冷却システム技術について各種ご教授頂いた株式会社エア・ウォーター殿、試験場所を提供いただき、多大なるご支援を頂いているBASF ジャパン株式会社殿に心から感謝いたします。

この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成金事業として得られたものです。

参考文献

- 1) 中西達尚, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 58, No. 1, P12-16 (2008)
- 2) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, P20-24 (2014)
- 3) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 61, P15-19 (2015)
- 4) 菅根秀夫, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 62, P5-8 (2015)
- 5) K. Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 26, 4, Article number 5400604, 2016. 06.
- 6) K. Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 27, 4, Article number 5401105, 2017. 06.
- 7) Mark Stemmler, et, al: *IEEE Xplore*: DOI: 10. 1049/cp. 2013. 0905.
- 8) Eun Young Ko, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 29, 5, DOI: 10. 1109/TASC. 2019. 2908611
- 9) K. Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 28, 4, DOI: 10. 1109/TASC. 2018. 2798058
- 10) S. C. Hopkins, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 26, 5, DOI: 10. 1109/TASC. 2016. 2542001

昭和電線ケーブルシステム(株)

足立 和久 (あだち かずひさ)

基盤技術商品開発部 超電導応用製品開発課

博士 (工学)

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

中西 達尚 (なかにし たつひさ)

基盤技術商品開発部 超電導応用製品開発課

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

塩原 敬 (しおはら けい)

基盤技術商品開発部 超電導応用製品開発課

博士 (工学)

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

三堂 信博 (みどう のぶひろ)

基盤技術商品開発部 超電導応用製品開発課

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

青木 裕治 (あおき ゆうじ)

基盤技術商品開発部 超電導応用製品開発課

課長

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

小勢力回路用耐火ケーブルの開発

Development of Instrumentation, Control and Communication Fire Proof Cables

茂木 淑豪
Yoshitake MOTEGI

岡崎 英明
Hideaki OKAZAKI

浦 卓也
Takuya URA

2017年に埼玉県で発生した大規模倉庫火災では、火災感知器の周囲（耐熱電線）などにおいてショートが発生し、防火シャッターが作動せず消火活動に長時間を要した。これを受け、国土交通省は、耐熱電線の端末部分にショート防止対策として、マイカテープ処理を義務付ける告示改正を行った。そこで当社は、長年培ってきた低圧耐火ケーブルの設計・製造ノウハウを活かし、より細く・軽く・取扱性に優れた弱電向けの耐火ケーブルを開発し、国土交通省の告示改正に対応したケーブルとしてリリースした。

In the large-scale warehouse fire that occurred in Saitama in 2017, the heat-resistant cable was short-circuited, the fire shutter did not work, and it took a lot of time to extinguish the fire. Because of this incident, with a revision of the relevant law, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport obliged the use of mica tape at the terminal sections of a heat-resistance cable. This is why, based on years of our company's expertise in designing and producing low voltage fire-proof cables, our company has developed and released a thinner, lighter, easier to use fire-proof cable for light electricity as a cable compatible with the Ministry's requirements with the law revision.

1. はじめに

2017年に埼玉県で発生した大規模倉庫火災では、鎮火まで12日間を要する事となり、非常に大きなニュースとなった。国土交通省と消防庁は、共同で検討会を立ち上げ、本件の延焼拡大原因の一つが防火シャッターの未作動にあったことを突き止めた。本来、被害を局所化する為の防火シャッターが、60%も作動しておらず、これは、本火災が、段ボール等、可燃物が極めて多い大規模倉庫で発生したことにより、その燃焼の影響を受け、主要な幹線に直結しているアナログ式感知器の配線（耐熱配線）でショートが発生し、系統全体の制御機能が喪失したことによると結論付けられた（図1）。

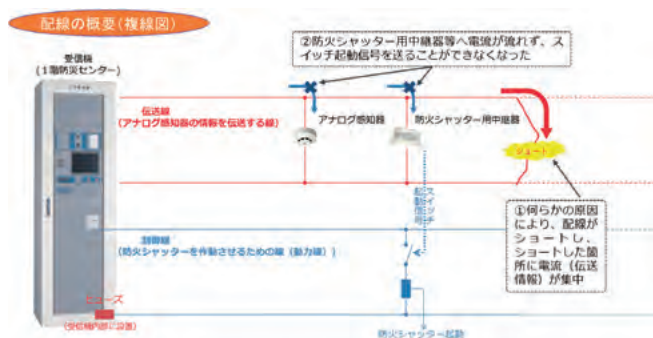


図1 配線の概要（報告書²⁾引用）

検討会は、上記に対する対策の必要性を報告書²⁾に纏め、これを受けた国土交通省は、告示³⁾の改正を行い、50000 m²以上の大規模倉庫に、火災情報信号を発生するアナログ式

感知器を設置する場合、その電気配線に下記いずれかの対策を行う事を義務付けた。

①配線（耐熱電線）の短絡を防止する措置

配線（耐熱電線）が感知器に接続する部分に耐熱性能を有する材料（マイカテープ等）で被覆すること、その他の短絡を有効に防止する措置を講じること。

②短絡の影響を局限化する措置

短絡が発生した場合でもその影響が床面積 3000 m² 以内の防火区画された部分以外に及ばないように、断路器その他これに類するものを設けること。

ケーブルに関する事項である①の措置を要約すると、現状は、耐熱電線の外被・絶縁を剥ぎ、感知器に接続しているが、改正後は、露出する絶縁の上から、マイカテープを巻き、接続する必要がある。また、その他短絡を有効に防止する措置としては、ケーブル構造上既にマイカテープを有する耐火ケーブルを使用する事が予想される（図2）。

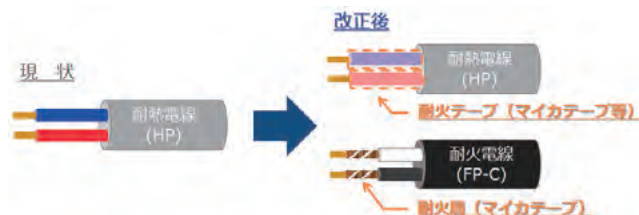


図2 配線（耐熱電線）の短絡を防止する措置の概要

しかし、これらの措置では耐熱電線の端末部にマイカテープを巻く作業工数の増加が予想され、また、端末部の処理だけでは全長を保護できない。一方で、耐熱電線の代わりに耐火ケーブルを使う場合、耐火ケーブルは低圧向けであるため、絶縁・シースが厚く、外径が大きく重いため、耐熱電線よりも施工性が悪くなってしまふ。

上記を受け当社は、線路全長を保護でき、耐火ケーブルよりも取扱性の優れたケーブルの製品開発を進めた。

2. 消防用ケーブルについて

耐熱電線・耐火ケーブルを含む消防用ケーブルは、人の密集するビル火災で大勢の人命が奪われる事故が相次いで発生したことから、火災時の非常用電源の確保が重要視され、昭和45年に弱電回路用の「耐熱電線の基準」、昭和46年に強電回路用の「耐火電線の基準」として消防庁により定められた。法令により定められた非常用設備における非常電源、操作回路に使用され、現在では、耐火ケーブル、小勢力回路用耐熱電線、警報用ケーブルを主として、全5種類が存在し、その種類(表1)、用途例(図3)を以下に示す。

表1 消防用電線の種類

種類	記号	適用規格
耐火ケーブル (高圧, 低圧)	FP, FP (NH), FP-C, FP-C (NH)	消防庁告示第10号 JCS 4506 JCS 4507
小勢力回路用耐熱電線	HP, HP (NH)	消防庁告示第11号 JCS 3501
警報用ケーブル	AEV, AEE/F	JCS 4396
耐熱形同軸ケーブル	HR-CX, HR-LCX	JCS 5501
耐熱光ファイバケーブル	HP-OP	JCS 5502

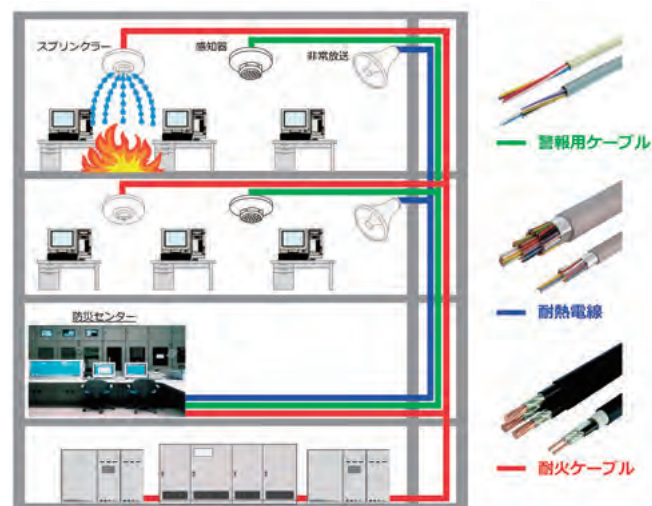


図3 消防用ケーブルの用途例

3. 耐熱電線と耐火ケーブルについて

耐熱電線(正式名称:小勢力回路用耐熱電線)は、被災時に感知器や自動火災報知設備、非常放送配線等に使用され、一定時間の通電ができる耐熱性能を有する60V以下の小勢力回路用の電線であり、現行基準では、15分/

380℃の加熱条件下で性能を維持する事が求められている。(表2, 図4) また、耐熱電線の要求特性は、告示ならびにJCSで規定されており、一般的な特性は、電気設備に関する技術基準を定める省令に基づく。ケーブル構造は一般的な通信ケーブルと類似しているが、耐熱層を絶縁体と兼ねるものとして、架橋ポリエチレンを採用している(表3, 図4)。

一方、耐火ケーブルは、火災時にスプリンクラーを代表とする、消火活動に必要な消火栓設備、排煙設備などに電源を供給する非常電源回路に使用される電源ケーブルであり、火災発生時から避難、誘導、初期消火までの一定時間、通電を確保することを目的としており、現行基準では、30分/840℃の加熱条件下で性能を維持する事が求められている。(表2, 図4) 耐熱電線同様、要求特性は、告示ならびにJCSで規定されており、一般的な特性は、電気用品安全法及びJIS C 3605「600Vポリエチレンケーブル」の適用または準用を受ける。耐火性能の肝となる耐火層は、導体上に施され、電気絶縁性、耐熱性に優れたマイカテープを使用しており、これが、840℃の高温での絶縁性能を発揮する(表3, 図5)。

表2 耐火・耐熱特性

項目	耐火特性	耐熱特性	
到達温度	840℃	380℃	
加熱時間	30 min	15 min	
耐電圧	加熱前	1500 V/1 min	—
	加熱中	600 V/30 min	250 V/15 min
	加熱終了直後	1500 V/1 min	—
絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ	50 MΩ
	加熱中	—	0.1 MΩ
	加熱30分	0.4 MΩ	—
燃焼性	150 mm以下	150 mm以下	

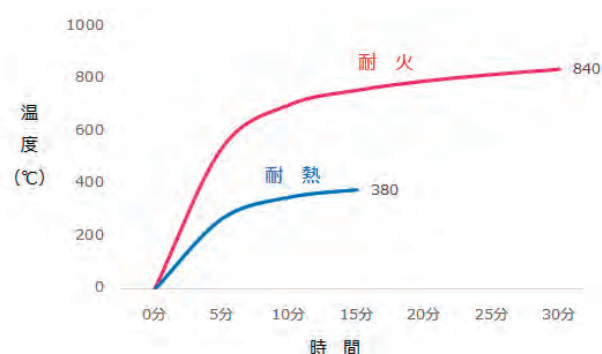


図4 加熱曲線
(JIS A 1304「建築構造部分の耐火試験方法」加熱曲線B)

表3 耐火ケーブル・耐熱電線の仕様比較(例:2C×1.2mm)

項目	耐火ケーブル	耐熱電線
導体	1.2 mm	1.2 mm
耐火・耐熱層	マイカテープ	絶縁(XLPE)
絶縁厚	0.8 mm	0.25 mm
シース厚	1.5 mm	0.95 mm
ケーブル外径	6.5×10 mm	4.0×5.5 mm
概算重量	80 kg/km	38 kg/km

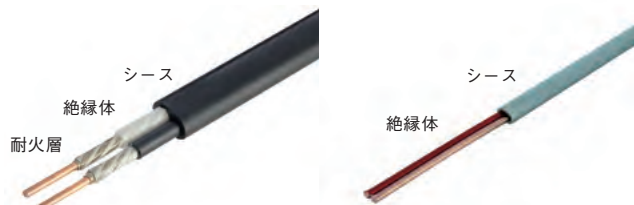


図5 耐火ケーブル（左）耐熱電線（右）

上記に示す通り、耐熱電線と耐火ケーブルには特性・構造上大きな違いがあり、耐火ケーブルはその耐火性能及び電力ケーブルであるが故の構造から、耐熱電線に比べ外径・重量共に大きなものとなる。1項で述べた、改正告示対応策としての、耐熱電線の代替として耐火ケーブルを使う場合、耐熱電線よりも施工性が悪くなってしまふのは、上記に由来するものである。

4. 小勢力回路用耐火ケーブルの開発

国土交通省により改正された告示に対応したケーブルを開発するにおいて、開発のポイントは下記2点となる。

- ①マイカテープ（短絡防止措置）を施した耐熱電線
→小勢力回路（60 V）向けで、耐火・耐熱性能を両立した業界初のケーブル（表4）。
- ②耐火ケーブルよりも細く・軽い仕様であること。

表4 開発ターゲット

項目	定格電圧		配線区分	
	低圧 600 V	小勢力 60 V	耐火 配線	耐熱 配線
耐火ケーブル	○	○	○	○
小勢力回路用 耐火ケーブル	×	○	○	○
耐熱電線	×	○	×	○

設計は、耐火ケーブルと同様に、導体の上にマイカテープを施し、その上から、絶縁・シースを施す構造であるが、耐火ケーブルと異なり、電気用品安全法への適合が必要でない事から、絶縁・シース厚は耐熱電線と同等とし、細径化を図った。更に、使用するシース材料に比重が軽く軟らかい材料を採用し、取扱性を考慮した設計としている。

また、当該製品においては、生産性を考慮し、従来耐火ケーブルでは使用していない、高速撚り合せ機での撚り合せ作業を採用した。しかし、これによりケーブルに掛かる物理的な負荷（遠心力）が大きくなったことで、完成品後のケーブル端末から導体突き出しが発生した（図7、表5）。導体突き出しは、導体・耐火層・絶縁の密着が何らかの理由により低下することで、導体が時間経過と共に露出する現象で、客先にて敷設後、接続端末で導体が露出すると、感電や火災の危険性があることから、当社では、完成品24時間後の導体突き出し量を管理している。

当社の耐火層は、縦添えしたマイカテープをガラス糸で押え巻しており（図6）導体突き出しは、この糸の巻き付

けとケーブル撚り合せの関係性により、ガラス糸の押さえが緩和されたことに起因するものと推測した。

対策として、糸の巻き付けとケーブル撚り合せとの相互関係を調整し作業を行うことで、導体突き出しの発生を抑えることに成功した（図7、表5）。ここで得られたノウハウは現在、権利取得へ向け特許出願中である⁴⁾。

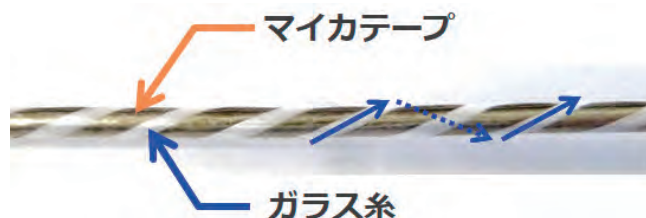


図6 耐火層（ガラス糸での押え巻）

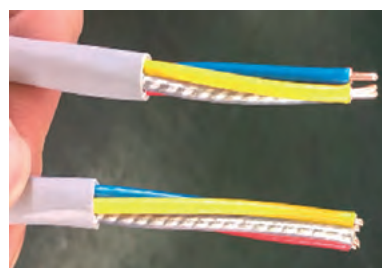


図7 導体突き出し（上：対策前 下：対策後）

表5 導体突き出し量比較

項目	絶縁色		対策前	対策後
	青	7.0 mm	1.0 mm	
赤	8.0 mm	1.5 mm		
自然	8.0 mm	1.0 mm		
黄色	8.0 mm	1.0 mm		

本ケーブルは、耐火・耐熱性能含む全ての社内試験（表6）で合格し、一般社団法人 電線総合技術センターでの耐熱電線としての認定試験及び耐火試験にも合格している。尚、小勢力回路向けの耐火試験は、現状、告示・JCS規格等による試験基準がない事から、当社独自の試験基準を設け、当社及び一般社団法人 電線総合技術センターにて試験を行ったものである（表7）。

更に、本ケーブルは耐火ケーブルと比べ最大30%の細径化、40%の軽量化を達成している（図8、図9、図10、図11）。

表6 評価結果一覧

項目	基準	試験結果
物理試験	JCS 3501	良
構造試験	社内基準	良
電気試験	電気設備技術基準他	良
耐熱性能	JCS 3501	良
耐火性能	社内基準	良
導体突き出し	社内基準	良

表7 小勢力回路向け耐火試験基準（当社独自）

項目		試験基準
到達温度		840℃
加熱時間		30 min
耐電圧	加熱前	—
	加熱中	250 V/30 min
	加熱終了直後	—
絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ
	加熱中	—
	加熱 30 分	0.1 MΩ
燃焼性		150 mm 以下

5. ま と め

当社は、2017年に埼玉県で発生した大規模倉庫火災を発端に改正となった告示に対応したケーブルの開発に成功し、2018年6月に製品をリリースした。

営業・PR活動により、上記大規模火災により焼失した倉庫の再構築事業に当該製品が納入され、業界初のケーブルとして実績が積めたことは大変喜ばしい。

また、当該製品の周知が進み、各方面より好評をいただいたことで、現在、当該ケーブルは、ケーブルとしての消防庁告示化・JCS規格化、並びに、認定制度の策定が進んでいる。今後、当該製品が広く世の中で活躍することを切に願う。

参考文献

- 1) 平方和良, 他: 消防用電線の現状と今後の展望, 昭和電線レビュー, Vol.57, No.1, p.5 (2007)
- 2) 埼玉県三芳町倉庫火災を踏まえた防火対策及び消防活動のあり方に関する検討会: 埼玉県三芳町倉庫火災を踏まえた防火対策及び消防活動のあり方に関する検討会報告書 (平成29年6月)
- 3) 国土交通省: 防火区画に用いる防火設備等の構造方法を定める件: 昭和四十八年建設省告示第二千五百六十三 (公布: 平成30年3月27日)
- 4) 岡崎英明, 他: 耐火ケーブル, 特願2019-215744

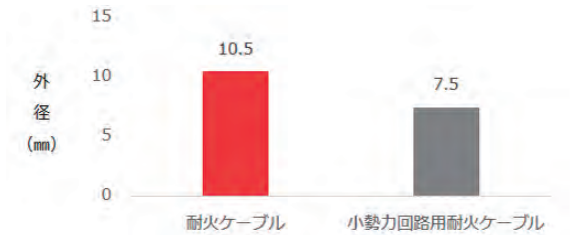


図8 ケーブル外径比較 (例: 3C x 1.2 mm)

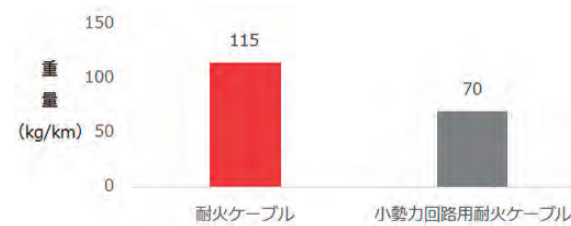


図9 ケーブル重量比較 (例: 3C x 1.2 mm)



図10 ケーブル断面

(左: 耐火ケーブル 右: 小勢力回路用耐火ケーブル)



図11 ケーブル外観

(左: 耐火ケーブル 右: 小勢力回路用耐火ケーブル)

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 電力技術課長

消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)

岡崎 英明 (おかざき ひであき)

生産本部 甲府工場長

通信・消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)

浦 卓也 (うら たくや)

取締役 生産本部長

通信・消防用ケーブルの設計・開発に従事

4PPoE 対応超細径 LAN パッチコード「neo-patch」について

Ultra-small Diameter LAN Patch Cord “neo-patch” for 4PPoE

小川 宏 河田正義 中村雄一郎
Hiromu OGAWA Masayoshi KAWATA Yuichiro NAKAMURA

PoE (Power over Ethernet) は、LAN (Local Area Network) ケーブルを使用し、通信をしつつ機器に電力を供給するシステムである。規格の進化により供給電力も増加しており、最新規格の 4PPoE (最大供給電流 960 mA/対) に使用する場合は、ケーブルの発熱を考慮する必要があることから、TIA (Telecommunications Industry Association) では 4PPoE においては、導体径が太い Cat.6A ケーブルの使用を推奨している。

本報では、4PPoE に使用可能な超細径 LAN パッチコードを実現するためのケーブル及びコネクタに関する取り組みについて報告する。

PoE (Power over Ethernet) is a system that uses a LAN (Local Area Network) cable to supply power to devices while communicating. Power supply is increasing due to the evolution of the standard. And when using it for the latest 4PPoE (maximum supply current 960mA / pair), it is necessary to consider the heat generation of the cable, so in TIA (Telecommunications Industry Association) 4PPoE is recommended to use Cat.6A cables.

In this report, we report on efforts related to cables and connectors to realize ultra-small diameter LAN patch cords those can be used for 4PPoE.

1. はじめに

LAN (Local Area Network) ケーブルは、主にオフィス、学校や商業施設などに使用されているが、最近では用途が大きく拡大しており、工場やロボットなどの産業用途でも使用されている。このような背景の中、LAN ケーブルを使用し、機器に電力を供給するシステムとして PoE (Power over Ethernet) が注目されている。

PoE は IP 電話や無線 LAN アクセスポイント、監視カメラなどで利用されており、規格の進化により供給電力も増加している (2 項参照)。

最新規格の 4PPoE では供給電力が最大 90 W となるため、ケーブルの発熱を考慮し、TIA (Telecommunications Industry Association) では導体径が太い Cat.6A ケーブルを推奨している。

通常の LAN ケーブルの導体径は、0.5 mm (24AWG) 程度であるが、導体径 0.3 mm (28AWG) を使用した超細径 LAN ケーブルでは導体抵抗が高くなり、発熱が通常径より高くなるため、4PPoE で使用する場合は、布設条件 (使用温度、束ねる本数など) を厳しく管理しなくてはならない。

本報では、上記を解決した 4PPoE に対応した超細径 LAN パッチコード「neo-patch」について報告する。

2. PoE について

PoE とは、LAN ケーブルを使用し、通信を行ないつつ

機器に電力を供給する技術である。PoE を使用することで電力線の配線が不要となり、配線コストの削減にも繋がる。PoE は 2003 年に IEEE 802.3af が制定された後、市場の高速化や機器の電力量増加により、2009 年に PoEplus (IEEE 802.3at) が制定された。それ以降もネットワークカメラ、動画対応 IP 電話などの用途で需要が増加しており、2018 年に最新の規格として 4PPoE (IEEE 802.3bt) が制定されている (表 1)。

表 1 PoE 規格について

項目	PoE (Type1)	PoE plus (Type2)	4PPoE (Type3)	4PPoE (Type4)
規格	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at	IEEE 802.3bt	
供給電流 (mA/対)	150	300	600	960
使用する対数 (対)	2	2	4	4
供給電力 (W)	15.4	30	60	90
消費電力 (W)	12.95	25.5	51	71.3

PoE, PoEplus までは LAN ケーブルの 4 対の内、2 対を使用し電力を供給しているが、4PPoE では LAN ケーブルの 4 対全てを使用し電力を供給する。

4PPoE (Type4) では、供給電力が最大 90 W となり、LED 照明やデジタルサイネージ、更にはデスクトップパソコンまで LAN ケーブルを用いることで電源供給が技術的には可能になることから、今後更に PoE の採用増加が見込まれる。

3. 4PPoE に使用した場合の LAN ケーブル温度上昇

3.1 配線ガイドライン「TSB-184-A」について

4PPoE では1対当たりの電流が最大960 mA とかなりの電流を必要とする為、ケーブルの発熱を考慮する必要がある。TIA では TSB-184-A 「Guidelines for Supporting Power Delivery Over Balanced Twisted-Pair Cabling」 で平衡ケーブルの発熱を考慮したガイドラインを制定しており、平衡ケーブルの発熱は、ケーブルの導体抵抗及び束ねる本数に起因し、温度上昇は15℃以下に抑えることを推奨している。これはデータセンターなどの周囲環境温度を最高45℃と想定し、構内情報配線システム（ケーブル及び機器を含む）で定められている最高使用温度の60℃を超えないようにするためである。

TSB-184-A では1000 mA/対を通电した際の各カテゴリでの温度上昇について、ケーブルを指定回数折り返して束ねた状態で、ケーブルの中心部に熱電対を接続し、温度を測定する方法で実施しており（図1）、測定結果は、表2となる。

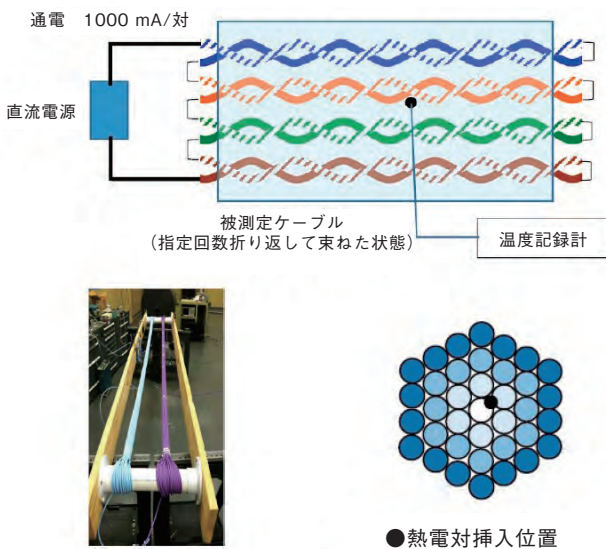


図1 温度上昇試験のイメージ図

表2 1000 mA/対に通电した際の温度上昇結果 (TSB-184-A の一部抜粋)

項目	温度上昇℃			
	26AWG	Cat.5e	Cat.6	Cat.6A
束ねる本数	26AWG	Cat.5e	Cat.6	Cat.6A
24本	12.19	7.91	6.00	5.13
37本	16.17	10.73	8.21	6.98

一般的に Cat.5e や Cat.6 よりも太い導体を使用している上位カテゴリである Cat.6A ケーブルの方が温度上昇は低くなり、束ねる本数についても少ない方が温度上昇が低い傾向である。TSB-184-A では、発熱によるケーブルの長期信頼性なども考慮し、4PPoE で使用する LAN ケーブルは Cat.6A ケーブルを推奨している。

3.2 当社 LAN ケーブルでの実力値の把握

TSB-184-A と同様の試験方法にて当社 LAN ケーブルに

1000 mA/対を通电した際の温度上昇試験を実施した。

試験ケーブルは、① Cat.5e 24AWG UTP ケーブル、② Cat.6 24AWG UTP ケーブル、③ Cat.6A 23AWG UTP ケーブル、④超細径 Cat.5e 28AWG UTP ケーブルの4品種で、①～③は37バンドル、④は24バンドルで試験を実施した（表3）。

表3 試験ケーブルの品種

項目	品種	当社製品名	束ねる本数(本)
①	Cat.5e 24AWG UTP	TPCC® 5	37
②	Cat.6 24AWG UTP	TPCC® 6	37
③	Cat.6A 23AWG UTP	TPCC® 6A	37
④	超細径 Cat.5e 28AWG UTP	eco-patch	24

試験結果は、図2、及び表4の通り、温度上昇は1時間程度で飽和する傾向が見られた。③ Cat.6A ケーブルの温度上昇が最も低い結果（約4.70℃）となり、④超細径ケーブルが24バンドルでも最も高い結果（約17.49℃）となった。カテゴリが高い程、温度上昇が低く、④超細径ケーブルでは TIA-184-A で推奨されている15℃以下より高くなっている。

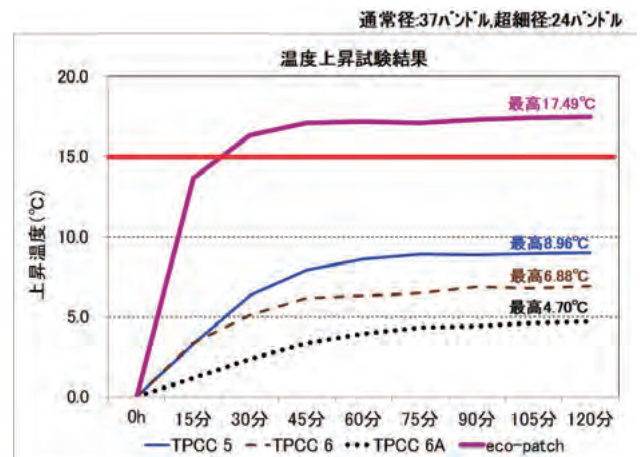


図2 時間における温度上昇推移

表4 1000 mA/対通电した際の温度上昇結果 (当社ケーブルにて実施)

項目	温度上昇℃			
	eco-patch 28AWG	TPCC® 5 (Cat.5e)	TPCC® 6 (Cat.6)	TPCC® 6A (Cat.6A)
束ねる本数	eco-patch 28AWG	TPCC® 5 (Cat.5e)	TPCC® 6 (Cat.6)	TPCC® 6A (Cat.6A)
24本	17.49	—	—	—
37本	—	8.96	6.88	4.70

4. 超細径 LAN ケーブルのメリット及び需要動向

超細径 LAN ケーブルは、ネットワーク需要の増加に伴い、データセンターでの布設や既存配線への増設において配線スペースの問題を解決するために開発した製品である。

一般的な LAN ケーブルの導体径 24AWG (約 0.5 mm) を 28AWG (約 0.3 mm) に細くすることで、ケーブルの細径化及び配線時の省スペース化を図ることが可能となる（図3）。このようなメリットから、年々超細径 LAN ケーブルの需要は増加している。

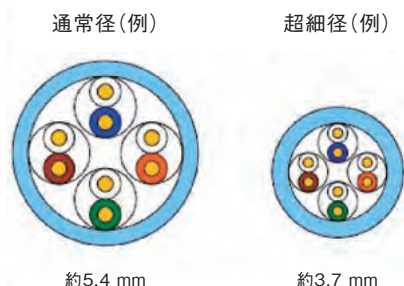


図3 通常径と超細径との外径の違い (Cat.5e UTP)

このような背景の中、超細径 LAN ケーブル「eco-patch」を 4PPoE で使用できないかとのユーザーからの要望があった。3 項に記載した通り、4PPoE で使用する場合には、超細径 LAN ケーブルでは温度上昇が高く、ケーブルの使用温度範囲を超えてしまうという問題点がある。超細径 LAN ケーブルを 4PPoE で使用するには、その点について対策する必要がある。

5. 125℃ 耐熱超細径 LAN ケーブルについて

工場の IoT 化などで LAN ケーブルの使用用途が広がることで、耐油や耐屈曲などの特殊な特性についても要求されるケースが増加している。その中で、100℃ 以上の高温環境でも使用可能な LAN ケーブルの要求があったことから、当社では 125℃ 耐熱超細径 LAN ケーブル「H12-TPCC® 5(S) 0.3mm × 4P」を 2018 年にラインナップした。

H12-TPCC® 5(S) は、絶縁体材料にフッ素樹脂 (FEP)、外被材料に特殊 PVC を使用することで -20 ~ +125℃ の幅広い温度環境下で使用可能であり、最高 +125℃ の温度環境下で使用可能な LAN ケーブルとしては業界初の製品である。

「H12-TPCC® 5(S)」にて、3 項に記載されている試験と同様に、1000 mA/ 対を通电した際の温度上昇試験を実施した。

24 バンドルでは、約 18℃ の温度上昇が見られ、3 項に記載している超細径 LAN ケーブル「eco-patch」(表 4) と温度上昇値は同等であった。温度上昇は絶縁体材料及び外被材料による違いは見られず、ケーブルの導体径と束ねる本数に起因していることを再確認できた。

今回の結果より、24 バンドルで温度上昇が約 18℃ の際、TSB-184-A で想定している最高使用環境 45℃ で考えた場合、eco-patch では使用温度範囲の 60℃ を超えてしまうが、H12-TPCC® 5(S) では使用温度範囲に収まっており、4PPoE 使用時でも 125℃ 耐熱超細径 LAN ケーブルであれば使用することが可能である (図 4)。

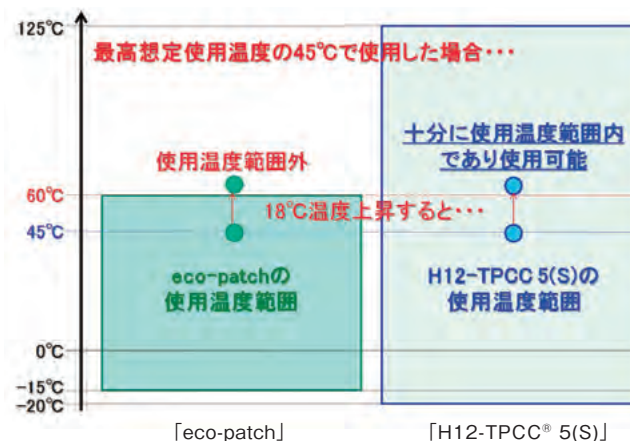


図4 使用温度範囲の比較について

6. コネクタについて

JIS X 5150「構内情報配線システム」では、「平衡ケーブルを直接終端するために使用する器具は、IPC タイプ又は IDC タイプにすることが望ましい」と明記されている。

IPC タイプは、圧着接続 (Insulation Piercing Connection) で、コアを貫通させ接続する方式であるのに対し、IDC タイプは、圧接接続 (Insulation Displacement Connection) で金属スリット間にコアを押し込む方式であり、導体との接触面積が大きいという特長がある (図 5)。



図5 IPCタイプとIDCタイプについて

PoE に使用するコネクタは、電力を通电した際に接触抵抗を考慮する必要がある。接触抵抗が大きいと電力を必要以上に消費し、発熱しやすくなり、最悪のケースでは導通不良が発生する恐れがある。つまり、コネクタの接触抵抗は、低い方が望ましい。

IPC タイプは、導体との接触範囲が限定的となる場合があるのに対し、IDC タイプは、導体との接触範囲が一定で、広範囲に接触しているため、接触抵抗値は安定しやすくなる。

長期信頼性試験として IPC タイプと IDC タイプの接触抵抗の変化を老化加速試験 (試験条件:70℃) にて調査した。その結果を図 6 に示す。

8. ま と め

125℃耐熱超細径 LAN ケーブルと IDC 接続に対応したコネクタを組み合わせることで、4PPoE にも対応可能な超細径 LAN パッチコード「neo-patch」を新たにラインナップすることができた。PoE は今後需要が増加するシステムとして注目されており、「neo-patch」の拡販に取り組んでいく。

当社では、これまでお客様からの様々なニーズに対応すべく、製品ラインナップの拡充に取り組んでいる。今後もお客様からの声を大事にし、新しいニーズと共に歩んでいけるよう、製品の研究・開発・改良に取り組んでいく。

謝 辞

本製品の開発にあたり、ネットチャート株式会社、R&M Japan 株式会社に多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 河田正義, 他: LAN 用ツイストペアケーブルの現状と今後の展望, 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, p.44 (2008)
- 2) TSB-184-A: 「Guidelines for Supporting Power Delivery Over Balanced Twisted-Pair Cabling」
- 3) 日本産業規格: JIS X 5150-2016 「構内情報配線システム」

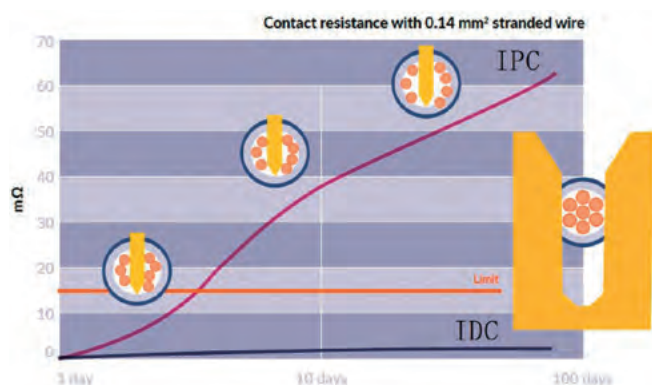


図 6 IPC と IDC の接触抵抗変化 (老化加速試験)

IPC タイプは、接触抵抗が徐々に増加しているのに対し、IDC タイプでは、低い数値で安定していることが分かる。最大で 960 mA を通電する 4PPoE では、接触抵抗が安定し長期信頼性に優れている IDC タイプを使用することが望ましい。

7. 4PPoE 対応超細径 LAN パッチコード「neo-patch」

5 項の 125℃耐熱超細径 LAN ケーブルと 6 項の IDC 接続に対応したコネクタを組み合わせることで、4PPoE 使用時のネットワーク障害等のリスクを低減できる「neo-patch」をリリースした (図 7, 表 5)。



図 7 「neo-patch」写真 (外被色: 黒/灰/薄黄)

表 5 「neo-patch」仕様

サイズ・対数	仕上外径 (約 mm)	概算質量 (kg/km)
28AWG × 4P	3.7	15

製品特長

- ・ 4PPoE (IEEE 802.3bt Type4) 対応超細径 LAN ケーブル
- ・ 適用規格: ANSI/TIA-568.2.D-2018 準拠
- ・ ケーブルは、絶縁体にフッ素樹脂 (FEP)、外被に特殊耐熱 PVC を使用しており、-20 ~ +125℃ の温度環境で使用可能な耐寒・耐熱仕様
- ・ コネクタは、IDC (圧接) 技術を採用し、長期信頼性に優れている (接触抵抗の上昇、経時変化が少ない)
- ・ ラック内の省スペース化を実現

TPCC は富士電線株式会社の登録商標です。

富士電線(株)

小川 宏 (おがわ ひろむ)

生産本部 甲府工場 通信技術課 通信技術グループ

通信用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)

河田 正義 (かわた まさよし)

生産本部 甲府工場 次長

通信用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)

中村雄一郎 (なかむら ゆういちろう)

生産本部 甲府工場 通信技術課 通信技術グループ長

通信用ケーブルの設計・開発に従事

伝統的木造建物の特徴を考慮した粘弾性ダンパーの適用設計

Application Designs of Visco-elastic Damper Considering Characteristics of Traditional Wooden Building

三須基規
Motoki MISU

加藤直樹
Naoki KATO

佐藤信夫*
Nobuo SATO

花里利一**
Toshikazu HANAZATO

内田龍一郎***
Ryuichiro UCHIDA

荻原幸夫****
Yukio OGIWARA

坂本 功*****
Isao SAKAMOTO

神社仏閣に代表される伝統的木造建物には柱と梁の接合方法や木材のめり込み等、鉄骨造やコンクリート造に無い構造的な特徴がある。既存建物の改修では歴史的重要度に応じた制約もあり、汎用の耐震補強製品の適用が難しい。

粘弾性体は加振速度に応じて弾性が変化するので、長期間に渡って生じる変位に追従しながら地震時に所定の性能を発揮できる。この材料特性を活かした粘弾性ダンパーを設計製作して、伝統的木造建物の接合部のめり込みやガタを吸収しながら地震力を低減できる新しい振動制御技術の実現に貢献した。

Traditional wooden buildings have features and restrictions not found in steel and concrete structures, such as connection of columns and beams. Furthermore, it is difficult to apply general reinforcing products in the renovation. Visco-elastic damper can reduce seismic force while absorbing long-term displacement due to velocity dependence of material. The dampers considering material properties have contributed to the realization of new vibration control technologies for slip at connections of traditional wooden building.

1. はじめに

神社仏閣は、特性や形状が規格化された材料による住宅より高層または大空間の伝統的木造建物が多く、その挙動の定量評価は難しい。例えば五重塔は江戸時代以前に建立された現存 22 基中、修理記録から詳細が分かった 12 基は震度 6 以上と推定される地震に 16 回遭遇して、うち 7 回 (5 基) で傾斜や後述する頂部の部分被害を受け、記録に残るだけでも平均すると 60 年に 1 度は修理されている¹⁾。一方で地震によって倒壊したという史料は残されていないので、五重塔は相応の構造安全性を有し、継続的な修理でその性能を維持している木造建物と言える。

また文化財に指定された木造建物のうち室内に大空間を有する本堂は、歴史的背景や用途等から大幅な建物構造の変更や追加工が難しい²⁾。そのため構造安全性を定量評価しながら最新の地震対策技術を効果的に適用する取り組みや、今後の維持管理を考慮した改修技術が求められている。

現在、松井建設株式会社は三重大学花里研究室他と共同で、古来から継承された伝統的木造建物の特徴を活かした制振構造の実用化に取り組んでおり、当社は用途や制約に応じて粘弾性ダンパーの設計・製作を担当している。

そこで本論文では、伝統的木造建物の制振構造に必要な粘弾性体材料特性の評価結果と、新築五重塔及び既存本堂に設置された粘弾性ダンパーの製品設計について報告する。

2. 伝統的木造建物と粘弾性ダンパーの特徴

2.1 伝統的木造建物の特徴

伝統的木造建物の主な特徴や制約を以下に示す。

〈新築建物〉

- ・時間経過に伴って、柱や梁の接合部で自重による鉛直変位の漸増 (クリープ) が進行する可能性がある

〈既存建物〉

- ・伐採時の丸太形状を活かした梁の場合、その断面寸法や形状が一様とは限らない

- ・文化財は歴史的経緯や意匠への配慮が必要で、例えば開口部への耐震壁の設置や追加工等が極めて難しい

〈新築・既存共通〉

- ・接合部で木材に「めり込み」が起きると水平加振時に変位原点付近でスリップ (ガタ) が生じる場合がある

* 松井建設株式会社

** 三重大学

*** 内田建築構造コンサルタント

**** 元 株式会社田治見エンジニアリングサービス

***** 東京大学

2.2 粘弾性ダンパーの概要

粘弾性ダンパーは粘性と弾性を併せ持つ粘弾性体を鋼板に接着させ、図1のせん断変位時に粘弾性体が発生する荷重で振動低減と剛性補強を得る製品である。ここで図中「長さ方向」と「幅方向」を、伝統的木造建物のクリープ等の長期使用時の変位方向と地震力の作用方向に合わせて設置すれば、接合部のガタ等を吸収しながら地震力を低減できると考えられる。

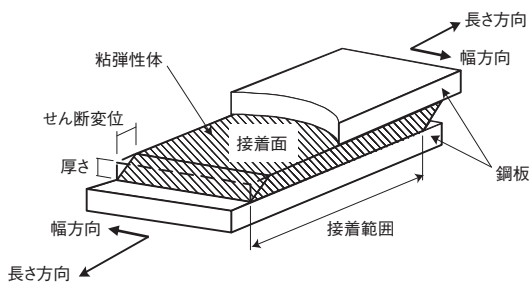


図1 せん断変位時の粘弾性体

2.3 初期変位が粘弾性体の特性に与える影響の検証

昭和電線製ジェン系粘弾性体SDM-1³⁾が所定のせん断変位を受けた状態で地震力を与えられた時の挙動を評価するため、図2の試験体にせん断ひずみ25%相当の初期変位-1.25mmを与える前後で振動数0.5Hz、ひずみ振幅±50%及び±100%の正弦波を5サイクル加振した。また初期変位を与えてから95秒後までのせん断荷重を5~10秒間隔で記録した。試験条件を表1、試験結果⁴⁾を図3に示す。

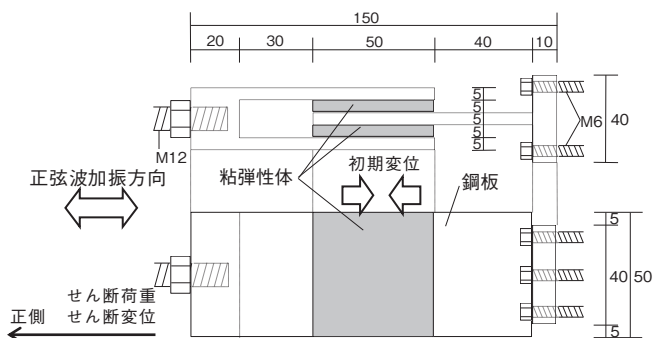
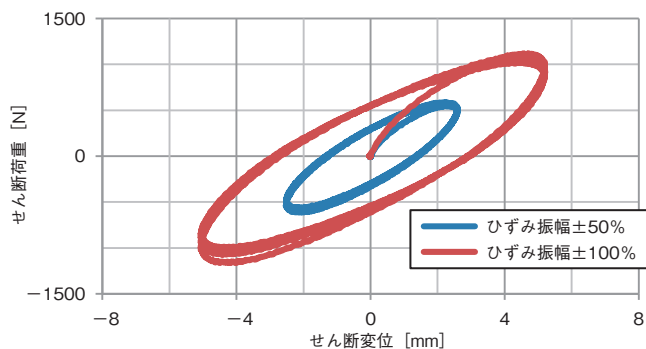


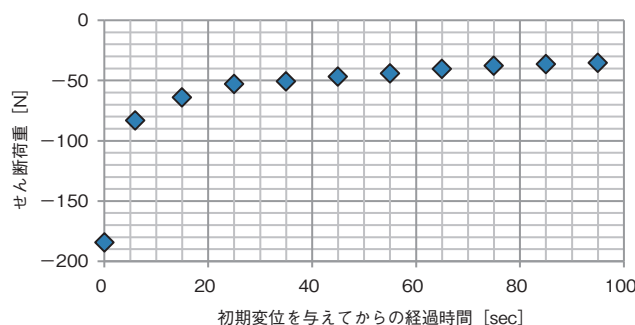
図2 試験体：単位 mm

表1 試験条件

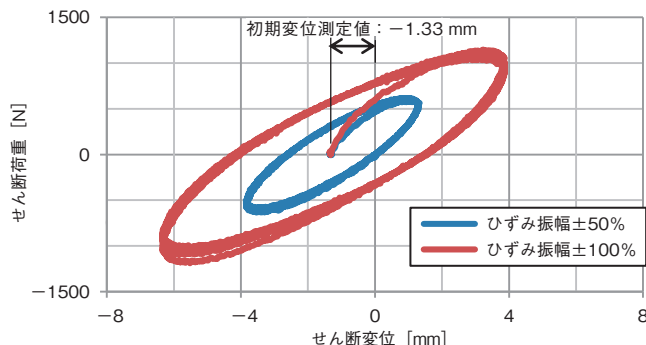
試験順序・項目	初期		正弦波加振		
	ひずみ [%]	変位 [mm]	振動数 [Hz]	ひずみ [%]	変形 [mm]
① 初期変位を受けない時の特性	0	0	0.5	± 50	± 2.5
② 初期変位を受けない時の特性	0	0	0.5	± 100	± 5.0
③ 初期変位を与える	-	-	-	-	-
④ 初期変位を与えて5分後の特性	-25	-1.25	0.5	± 50	± 2.5
⑤ 初期変位を与えて5分後の特性				± 100	± 5.0
⑥ 初期変位を与えて6時間後の特性	-25	-1.25	0.5	± 50	± 2.5
⑦ 初期変位を与えて6時間後の特性				± 100	± 5.0



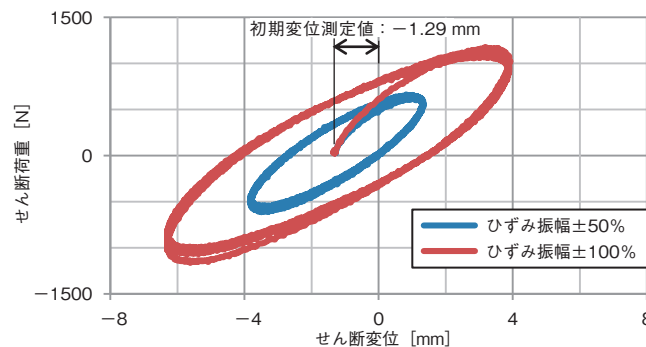
(a) 試験順序①②：初期変位前のせん断荷重-変位関係



(b) 試験順序③：せん断荷重の経過時間変化



(c) 試験順序④⑤：初期変位5分後のせん断荷重-変位関係



(d) 試験順序⑥⑦：初期変位6時間後のせん断荷重-変位関係

図3 試験結果

せん断荷重-変位関係は初期変位前の試験順序①②と、初期変位を与えた後の試験順序④⑤で殆ど変化しなかった。初期変位を与えた直後のせん断荷重-184 Nは図3 (b) のとおり時間経過に伴う応力緩和で約1/5に相当する-35 Nまで減少した。試験順序⑥⑦でも同様のせん断荷重-変位関係を描いていたので、初期変位で発生したせん断荷重は数十秒で応力緩和したまま安定したと考えられる。

正弦波加振3サイクル目の材料特性を定量評価するため図4の等価剛性 K_{eq} と減衰係数 C_{eq} を算出した結果を図5に示す。ひずみ25%相当の初期変位はこれらに殆ど影響を与えなかった。粘弾性体は分子鎖がランダムに折り畳まれた高分子材料なので接着面に並行する方向は等しくせん断変位である。従って、もし正弦波加振直交方向に初期変位を与えても同様の挙動を示すと推定される。

このような特徴を持つ粘弾性体を伝統的木造建物に適用すれば、木材のめり込みや接合部のガタには柔らかく追従しながら地震力には所定の特性を発揮できると考えられる。

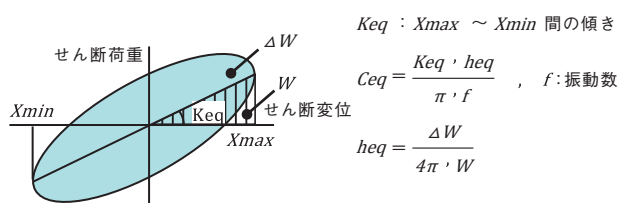


図4 等価剛性 K_{eq} , 減衰係数 C_{eq} 算出方法

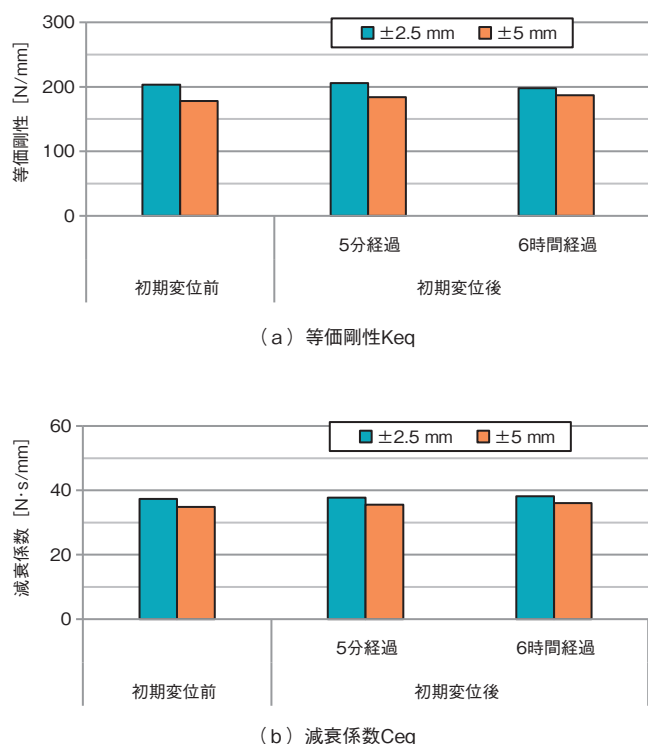


図5 等価剛性 K_{eq} , 減衰係数 C_{eq} 算出結果

3. 適用事例

3.1 新築五重塔への製品設計・製作内容

東長寺(福岡県福岡市)五重塔は2011年3月の竣工後、設計時の地震応答解析結果や、2014年3月伊予灘地震及び2016年3月熊本地震の観測結果等が報告されている^{5), 6)}。五重塔の構造的な挙動についてはこれらに譲り、ここでは粘弾性ダンパーへの要求事項と製品設計について述べる。

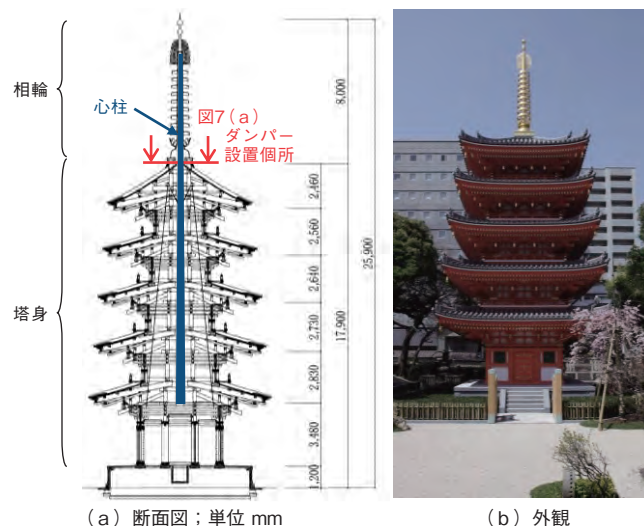


図6 東長寺五重塔^{4), 5)}

前掲1章「頂部の部分被害」には図6の相輪(そうりん)と呼ばれる部分が地震で塔身(とうしん)に接触して変形・損傷した場合が含まれる。そのため相輪と塔身を守るために限られた空間へ相応の減衰と剛性を発揮するダンパーを4方向に設置する必要があった。更にダンパーはクリープと呼ばれる自重による鉛直変位の漸増に追従しながら水平方向の地震力を低減できることが求められた。

そこで粘弾性ダンパーを下記内容で設計・製作した^{5), 7)}。

- ・粘弾性体を図7に示す縦向き2層形状として鉛直方向にもせん断変位できる形状とした。
- ・粘弾性体接着部分以外の各部品をボルト接合として、設置位置に応じて施工時に調節できる形状とした。
- ・粘弾性ダンパーと取付金物はピン接合として水平方向に自在に変形・回転できるようにした。
- ・ピンは頭部直径が大きくなるように切削加工をして、粘弾性ダンパーと取付金物の取り付け孔を重ねて上から落とし込むことで脱落しない形状とした。
- ・更にピンの下部に脱落防止用の止め輪をはめ込んで、もし心柱と塔身間の鉛直変位が大きくなっても粘弾性ダンパーは外れない構造とした。
- ・鋼材、ボルト、ピン類の材質は全てステンレスとして長期使用時の発錆対策とした。

東長寺五重塔に設置された粘弾性ダンパーを図8に示す。なお竣工後に観測を継続していたクリープは想定範囲内で推移していた⁸⁾ので、今後の地震時に所定の機能を発揮できると考えられる。

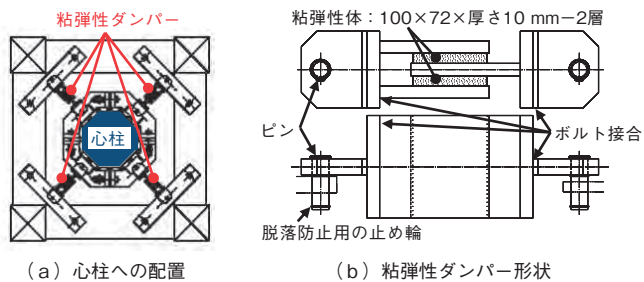


図7 五重塔用粘弾性ダンパー 4), 5), 7)

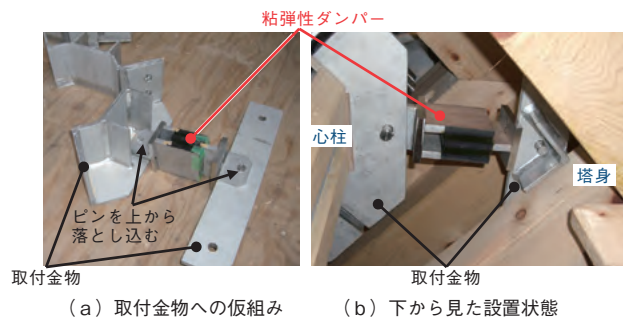


図8 東長寺五重塔への設置状態

3.2 既設本堂への製品設計・製作内容

長念寺（神奈川県川崎市）本堂は1824年に建立され、1923年関東地震で受けた被害の復興工事を経て1990年に川崎市の市重要歴史記念物に指定された。近年では屋根の葺き替えや基礎補強等が実施され、併せて粘弾性ダンパー設置工事も実施され、2017年に竣工した。こちらも本堂の地震応答解析や振動測定結果は報告されている⁹⁾ので同様に粘弾性ダンパーへの要求事項と製品設計について述べる。

前掲1章のとおり本堂の室内に耐力壁を設置できないので、図9(a)着色部に示す小屋裏（こやうら）と呼ばれる空間の、天井板の上に位置する梁に粘弾性ダンパーを設置することとした。しかし設置位置の梁の直径や断面形状等を事前に測定した結果に合わせてダンパーを個別に設計・製作する必要がある。更に文化財なので梁への加工や、荷重の集中によるめり込みを避ける必要があった。

そこで粘弾性ダンパーを下記内容で設計・製作した^{9), 10)}。

- ・ダンパーは小屋裏の外周部に沿って図9(c)赤線の20箇所に分散設置した。
- ・事前に測定した設置位置寸法から図10に示す長さ調整ブレースは12種類製作（8箇所で共用）して、粘弾性ダンパー片端にボルト接合して計20体とした。
- ・粘弾性ダンパーは20体とも共通の横向き2層形状としてテフロン部品を四隅に組み込むことで、粘弾性体の厚さを維持しながら長さ調整ブレースの重量を支持してスムーズにせん断変位できる構造とした。
- ・ダンパーと取付金物はピン接合として水平方向に自在に変形・回転できるようにした。なお隣接する梁間の鉛直変位差は小さいと予想されたことや強度からピンは六角ナットで固定した。また長さ調整用ブレースの片端に球面軸受を組み込んで、粘弾性体に曲げまたはねじり変形が与えられないようにした。
- ・ゴムシートを巻いた梁を取付金物で挟んで通しボルトと六角ナットで締め付けることで、取付金物の回転やガタ、梁へのめり込みを防いだ。
- ・粘弾性ダンパー、長さ調整用ブレース、取付金物等の材質は前掲3.1節と同様に全てステンレスとした。

長念寺本堂に設置された粘弾性ダンパーを図11に示す。こちらも地震観測を実施しているので、今後はダンパーの設置効果を検証できると考えられる。

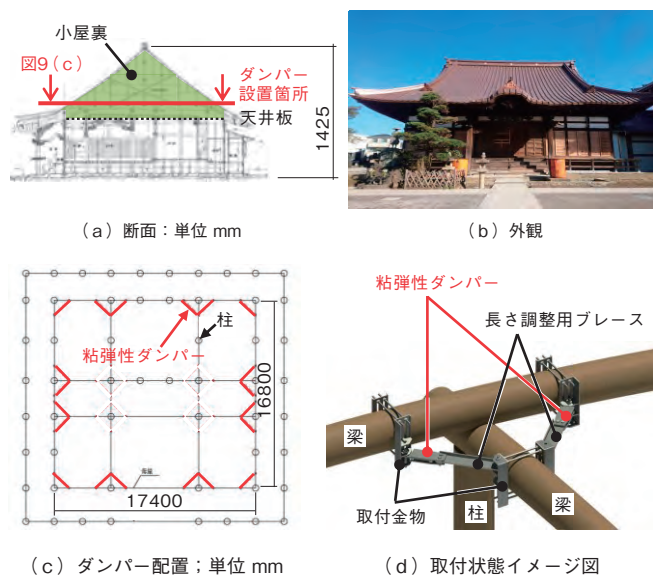


図9 長念寺本堂⁹⁾

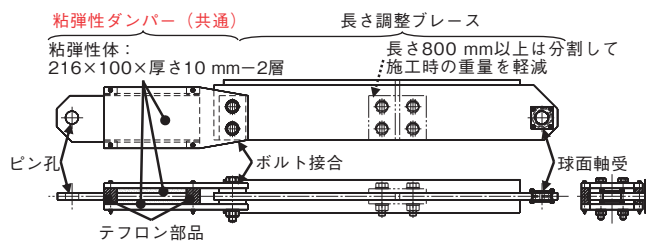


図10 本堂用粘弾性ダンパーと長さ調整ブレース⁹⁾

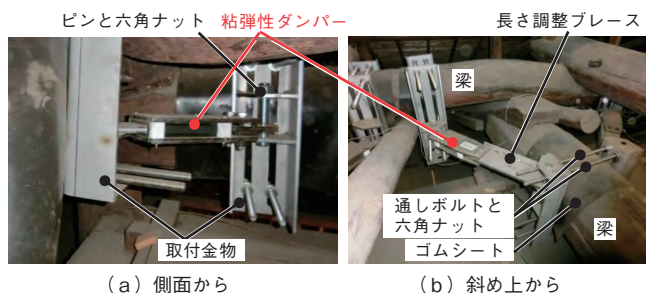


図11 長念寺本堂への設置状態

4. ま と め

研究者や建物設計・施工者と共同で、柱や梁の接合部における長期使用時に発生する変位に追従しながら地震力を低減できる粘弾性ダンパーを設計・製作した。その結果、新築五重塔や既存本堂の制振構造の実現に貢献できた。

しかし伝統的木造建物の挙動は未解明の部分があるので今後も地震観測結果から検証を進める予定である。

謝 辞

東長寺の藤田紫雲住職と長念寺の小林泰善住職には建設工事に格別のご配慮を頂きました。また粘弾性ダンパー設計に必要な伝統的木造建物の構造解析では元 株式会社アーク情報システムの田中規子氏、東長寺の振動測定では福岡大学高山峯夫教授、測定・解析作業では福岡大学高山研究室と三重大学花里研究室の学生諸氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 濱島正士, 他: 五重塔のはなし, 建築資料研究社 (2010)
- 2) 佐藤信夫: 粘弾性ダンパーを水平方向に付加した伝統的木造建物の制振補強に関する研究, 三重大学学位論文 (2020)
- 3) 曾田五月也, 他: 建築用高性能粘弾性ダンパーの開発, 昭和電線レビュー, Vol. 48, No. 2, pp. 96-102 (1998)
- 4) Hanazato, T., et al: Seismic Design and Construction of a Traditional Timber-Made Five-Storied Pagoda by Applying Coupled Vibration Control, 15th World Conference on Earthquake Engineering (2012)
- 5) 佐藤信夫, 他: 木造五重塔の心柱の応答制御技術, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp. 619-624 (2018)
- 6) 大村祐樹, 他: 心柱に制振工法を用いた伝統的木造五重塔の地震時挙動 - 2016年4月14日熊本地震による観測記録 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 595-596 (2019)
- 7) 木造多重塔の制振構造, 特許第5263843号
- 8) 佐藤信夫, 他: 伝統構法による新築木造五重塔の鉛直変位の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 287-288 (2016)
- 9) 佐藤信夫, 他: 水平構面に粘弾性ダンパーを付加した木造本堂の制振技術, 日本地震工学会論文集, 20巻, 第4号, p.4_38-4_55 (2020)
- 10) 伝統木造建物の水平構面制振補強方法, 特許第6095017号

昭和電線ケーブルシステム(株)
三須 基規 (みす もとき)
免震制振部 技術課
免震製品設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
加藤 直樹 (かとう なおき)
免震制振部長

松井建設株式会社
佐藤 信夫 (さとう のぶお)
博士 (工学)
技術部 技術課

三重大学
花里 利一 (はなざと としかず)
工学博士
大学院 工学研究科 建築学専攻 教授

内田建築構造コンサルタント
内田 龍一郎 (うちだ りゅういちろう)
博士 (工学)

元 株式会社田治見エンジニアリングサービス
荻原 幸夫 (おぎわら ゆきお)

東京大学
坂本 功 (さかもと いさお)
工学博士
名誉教授



RESI-CUBE™※1 ～耐震・防振天井用防振装置～

Earthquake Resistant and Sound Insulation Devices with Cubed Shape

1. 概要

音楽ホールなど、大人数が集まる大空間で、かつ高い遮音性能が必要となる建築物の場合、本来であれば相反する要素である、「耐震性」と「遮音性能」を両立させることが必要になります。そこで、デバイス（以下“RESI-CUBE”）内部の防振ゴムを用いて天井を弾性支持し、遮音性能を確保したうえで、四方にストッパーゴムを配置することで、遮音性と耐震性を両立することが可能な防振デバイスを開発しました（装置寸法：260×260×174 [mm]）。

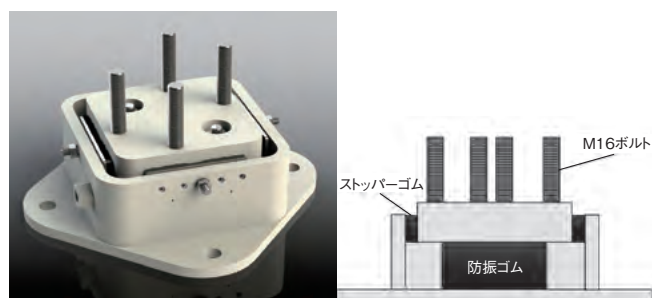


図1 RESI-CUBE 外観と構造イメージ

2. 用途

音楽ホールの天井など、耐震化と固体伝播音対策の両立が必要な天井に有効です。図2のように、大梁にRESI-CUBEを設置し、小梁を防振支持します。小梁の先にぶどう棚を構成し、ぶどう棚に天井を固定することで、安全で高耐久な天井とすることができ、特定天井※2対策としても有効です。

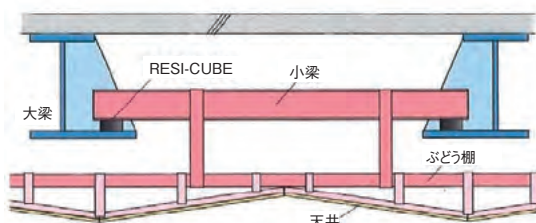


図2 RESI-CUBE 設置イメージ

※1 RESI-CUBE は商標登録出願中です。
 ※2 特定天井の要件に該当しない天井とするためには、建築主事または確認審査機関の承認が必要です。
 ※3 一般財団法人日本建築センター 評定部構造課：特定天井に関する性能評価（大臣認定）およびBCJ 評定業務と審査の現状，ビルディングレター，2015. 8, pp. 49-54.

3. 特長

I. 準構造天井※3の遮音対策に有効です。

天井全体を剛天井（水平周期0.1 s以下）としながら、音楽ホールのような建物に要求される防振遮音構造（固有振動数10 Hz以下）にすることができます。

II. 水平震度2.2 Gの耐震性を有しています。

地震時、水平方向の加振力をRESI-CUBEのストッパーゴムで緩衝することで、水平方向に2.2 Gの耐震性を確保しています。

III. 施工が簡単

表1より、支承荷重は4種類から選択できる上、装置形状や取り付け穴は同一形状となっているため、施工における調整や手間がありません。RESI-CUBEの上に乗る小梁のサイズはH150×150とH200×200を想定しています（図3）。

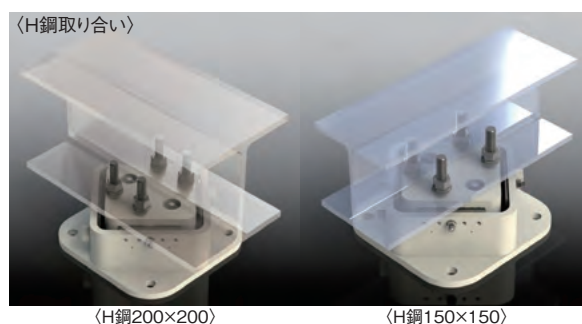


図3 H鋼材取り付け

表1 RESI-CUBE 特性表

型番	鉛直剛性 [N/mm]		設計耐力 [kN]	
	静的	動的	鉛直	水平
RESI-035	254	406	1.6	21
RESI-050	445	710	3.0	21
RESI-065	740	1190	5.7	21
RESI-080	1290	2060	9.9	21

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)

昭和電線ケーブルシステム(株)

電力・インフラ営業部 免制振営業課

電話(044)223-0545 FAX(044)223-0562



無停電工法用機材（高圧バイパスケーブル）

Uninterruptible Power Supply Equipment (High Voltage Bypass Cable)

1. 概要

無停電工法用機材とは、高圧架空配電線路のケーブル張替、電柱移設等の工事区間にバイパスケーブルで仮送電ルートを設けることで、工事区間の需要家に停電することなく給電するための工事用機材です。

本品は、従来のバイパスケーブル末端構造を見直し、充電部を露出させない構造とすることで安全性（感電防止）を強化し、無停電工法（間接活線工法）に適するもので、今年、電力殿規格の形式を取得し、工事業者への販売を開始しました。

2. 仕様と種類

本製品は次の4種類で構成しています。

- ①工事用高圧ケーブル
仮送電ルートの幹線として使用する。
- ②工事用高圧引下げケーブル
工事用開閉器または工事用変圧器に接続し、他端は高圧架空配電線（本線）と接続して使用する。
- ③工事用高圧新旧互換ケーブル
従来のバイパスケーブルと工事用高圧ケーブル接続体、および工事用開閉器、工事用変圧器等との接続に使用する。
- ④工事用高圧ケーブル接続体
①～③のケーブルを接続する際に使用する。

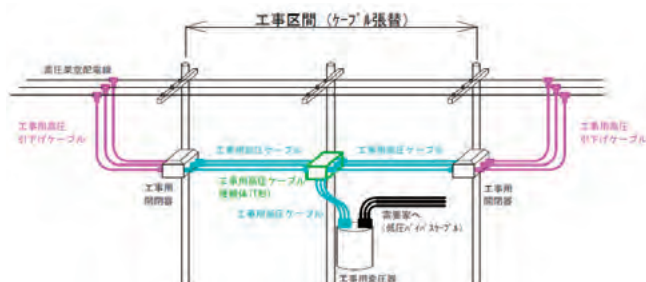


図1 無停電工法用機材 布設例

表1 仕様

項目	仕様
定格電圧	6600 V
定格電流	200 A
適用ケーブル	6600 V HCN 38 mm ²

表2 種類

品種	種類
工事用高圧ケーブル	条長 40 m, 10 m
工事用高圧引下げケーブル	条長 8 m
工事用高圧新旧互換ケーブル	条長 2 m
工事用高圧ケーブル接続体	I形, T形, π形

3. 特長

本製品の特長は以下の通りです。

- ①終端部の充電部露出を無くしたことで、作業時の安全性を向上（感電防止）。
- ②ロープ撚り導体、交織編組遮へいの採用により、ケーブルの可とう性、屈曲性に優れる。
- ③終端部にワンタッチ着脱機構の採用により、機器類、接続体と素早く簡単に着脱することが可能。
- ④接続体に検電端子を設けており、低圧検電器による検電が可能。

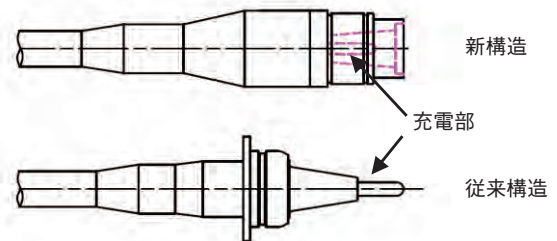


図2 終端部の新旧比較

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
昭和電線ケーブルシステム(株)
電力・インフラ営業部 電力営業課
電話(044)223-0534 FAX(044)223-0557



1 時間低圧耐火ケーブル 「1HEM-SH-C」

One-hour Low Voltage Fire Proof Cables “1HEM-SH-C”

1. 概 要

近年、建築物の大規模化、高層化が進む中、火災時における避難や消火活動にはこれまで以上に時間を有する事が予想されます。2013年6月に（一社）電気設備学会に設置された調査研究委員会では、国内外の現状における防災設備・配線に対する要求性能の調査を実施し、その結果、消火活動の実態などを考慮した場合、現行の30分／840℃を超える60分／925℃の火災環境に耐えうる配線開発の必要性が報告書に纏められました*1。

これを受け当社では「1時間耐火ケーブル」の開発に着手し、特殊マイカテープを適用する事で従来品から大きく仕様を変更する事無く、1時間耐火性能を有するケーブルの開発を実現し、当該ケーブル構造に対し、材料メーカーと共同で特許出願し、権利を取得しています*2。

2. 用 途

高層マンション・オフィス・ホテルやショッピングセンター等、火災時の避難誘導に30分以上を要することが考えられる建築物の消火栓設備をはじめとする消防用設備配線（非常電源回路）への適用が期待されます。

3. 特 長

- ・耐火層材料（マイカテープ）に特殊品を採用することで、従来品と同等の外径・重量を実現しました。
- ・取扱性は現行の耐火ケーブルと同様です。
- ・JCS4524 1時間低圧耐火ケーブル 2020 適合品です。
- ・現行告示*3・規格*4にも対応しているため、従来と同様な敷設環境に対応でき、更なる動作時間の延長が望まれる環境への適用が可能です。

*1 （一社）電気設備学会：防災設備配線の要求性能に関する調査研究報告書（2014）
 *2 岡崎英明，他：耐火ケーブル，特許第6111448号
 *3 消防庁告示第10号（平成9年12月18日）「耐火電線の基準」
 *4 JCS4506 低圧耐火ケーブル 2018
 (参考文献)・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）
 電気設備学会全国大会講演論文集，p.352（2020）

表1 耐火性能における要求特性

項目	現行	1時間耐火
到達温度	840℃	925℃
加熱時間	30 min	60 min
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

表2 ケーブル仕様比較（例 2C × 1.2 mm）

ケーブル仕様	現行	1時間耐火
耐火層（マイカテープ）	現行品	特殊品
絶縁体	PE	PE
シース	耐燃 PE	耐燃 PE
外径 mm	約 6.5 × 10.5	約 6.5 × 10.5
重量 kg/km	約 80	約 80



図1 ケーブル構造

問合せ先：〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目18番13号
 （内神田中央ビル2階）
 富士電線(株) 営業本部 営業企画部
 電話(03)5217-0911 FAX(03)5217-0920



銅テープ遮へい付 分岐付ケーブル

Branch Cable with Copper Tape Shielding

1. 概要

昭和電線ケーブルシステム(株)と行田電線(株)は、高速道路等のトンネル照明用のケーブルとして分岐付ケーブル(トンネル用ハーネス)を1975年より製造してきました。

新たに、銅テープ遮へい付ケーブルを使用した分岐付ケーブルをリリースいたします。

2. 用途

高速道路照明のトンネル入口警告注意灯などにおいて、同じケーブルラック上にある電源用ケーブルのノイズ対策として、調光用ケーブルに銅テープ遮へい付ケーブルを使用する場合があります。

また、ケーブルと灯具との接続はトンネル照明用コネクタを使用することが増えています。

銅テープ遮へい付ケーブルの分岐加工およびトンネル照明用コネクタ取付を工場で実施し、施工場所に納入することにより、信頼性向上、トンネル内作業時間短縮が可能となります。

3. 特長

幹線、分岐線には、CVV-S(銅テープ遮へい付制御用ビニル絶縁ビニルシースケーブル(ドレンワイヤ入り))を使用します。

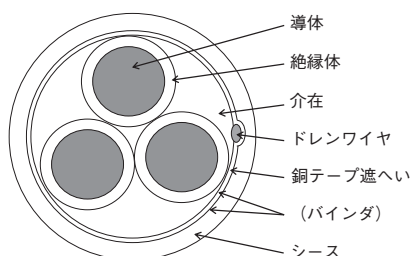


図1 ケーブル断面図

表1 CVV-S(ドレンワイヤ入り)仕様

適用ケーブル	3c×2mm ²
仕上外径(約)	11.5mm
ドレンワイヤ	すずメッキ軟銅撚り線 1.25mm ² (50本/0.18mm)

分岐加工時、幹線と分岐線を接続する際には、ケーブルの銅テープを除去する必要があります。

銅テープ遮へい付ケーブルをドレンワイヤ入りとすることにより、分岐加工部の遮へいは銅テープを切断してもドレンワイヤで接地できるため、工場での分岐加工が可能となりました。

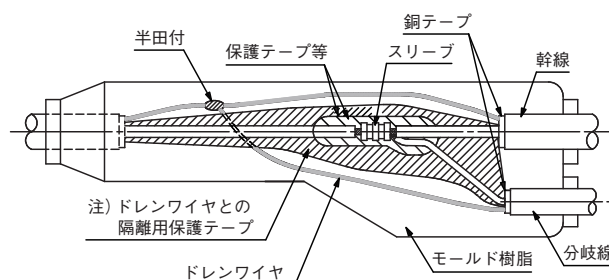


図2 分岐接続部

分岐線ケーブルに銅テープ遮へい付ケーブルを使用される際にも、トンネル照明用コネクタの取付が可能です。

表2 トンネル照明用コネクタ(遮へい付ケーブル)仕様

適用ケーブルサイズ	2mm ²
定格電圧	600V
定格電流	12A
防塵防水性能	IP67

*注意点

- ・幹線末端にてドレンワイヤ(銅テープ)を接地していただく必要があります。
- ・分岐モールド部分は遮へいの無い仕様となります。
- ・トンネル照明用コネクタと銅テープ遮へい付ケーブルは、電気的に接続されておりません。

問合せ先：SFCC株式会社

〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎5階)

本社(川崎) 電話(044)223-0580

関西支店 電話(06)6345-1157

中部支店 電話(052)218-7181

東北支店 電話(022)226-7485

九州支店 電話(092)739-9060



無電源型ケーブル自動消火システム

No Power Supply Type Automatic Fire Extinguishing System for Power Cable

1. 概要

洞道内 Oil Filled (OF) ケーブルなどでは、万が一の火災発生に備え複数の防火対策を実施していますが、スペースが狭隘な場所で一部対策が困難でした。このことから初期消火を目的に自動消火設備を開発し、現場適用を図ってきましたが、施設環境や条件によって電源を確保することが極めて困難なケースが散見され課題となっておりました。

この程、場所によらず電源が不要で火災を検知して消火剤を噴射するシステムを東京電力パワーグリッドと共同開発し2019年より納入しました。

2. 用途

電源の確保が困難な洞道内やケーブル処理室内に布設されたケーブル並びに接続部などの初期消火に適用します。

3. 構造 (システム構成)

火災検知系統と消火剤噴射系統の別々のラインを同一のN₂ ガス圧を用いて系統構成を図るもので、電源を用いることなく火災熱によるセンサーチューブ溶断によって生じるチューブ内圧力低下により、減圧型一斉開放弁を作動させ、消火ノズルより消火剤を噴射するシステム構成となります。

火災検知には、超高分子量ポリエチレン繊維で覆ったセンサーチューブを消火対象物(ケーブル並びに接続部)に直接巻き付けることで、どんな対象物でも容易に特定してピンポイントで消火可能なシステムを実現しました。

4. 特長

- (1) 電源を必要としません。
- (2) 火災の範囲(消火対象範囲)が線形でもピンポイントでも検知可能で、しかも広範囲をカバーする事が可能です。
- (3) 省スペースかつ安価(対従来タイプ価額比1/2程度)なシステム構成が可能です。

5. システム概要

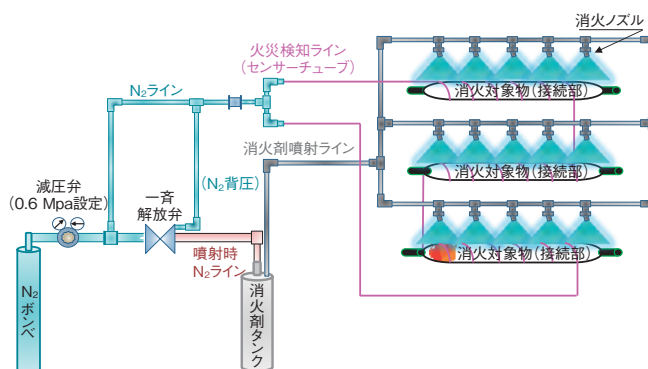


図1 システム概要図

表1 システム構成 (概要) 表

項目	概要
加圧方式	窒素ガスボンベ方式
加圧圧力	0.6 MPa
泡消火剤種類	メガフォーム
消火剤放射方式	全ノズル同時噴射

6. 設置状況写真

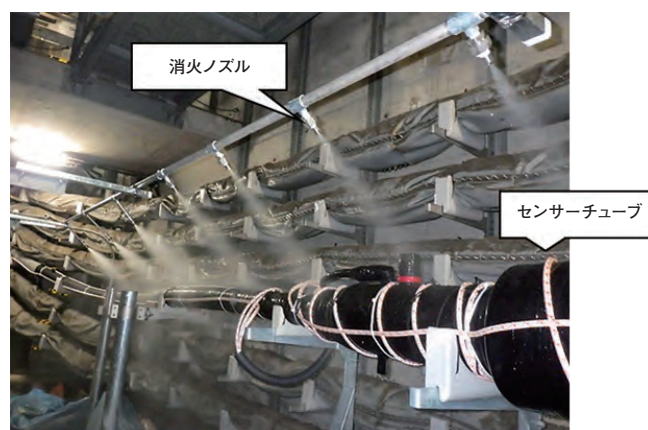


図2 水での噴射試験状況

問合せ先：〒210-0843 神奈川県川崎市川崎区小田栄2-1-1
 (株)エステック
 営業技術部 営業課
 電話(044)344-6545 FAX(044)366-5221



6600 V 常温収縮型屋内終端接続部 (大サイズ)

Cold Shrink Indoor Termination for 6600 V XLPE Cable (Large Size)

1. 概要

近年、高圧ケーブル用接続部は、作業者の熟練技能を要さず、短時間施工で安定した品質が求められています。

すでに小サイズでは、簡易的に施工できる常温収縮型が使用されていますが、主に変電所2次側で使用される大サイズ(500～1600 mm²)については、スキルを必要とするテープ巻き式やストレスコーン差込式が使用されています。

今回、常温収縮チューブを適用した大サイズ(500～1600 mm²)用の常温収縮型屋内終端接続部を開発することで、現場での施工の短縮化およびスキルレス化による品質向上を実現しました。

2. 仕様

製品仕様を表1に示します。

表1 仕様

項目	仕様
公称電圧	6600 V
ケーブル種類	CV
適用ケーブルサイズ	500～1600 mm ²

本製品は、JEC-3409「高圧(6 kV)架橋ポリエチレンケーブル用接続部の試験法」・JCAA C 4102「600 V～11 kV 架橋ポリエチレンケーブル用テープ巻形屋内終端接続部規格」に規定する電気試験項目を満足しています。

3. 特長

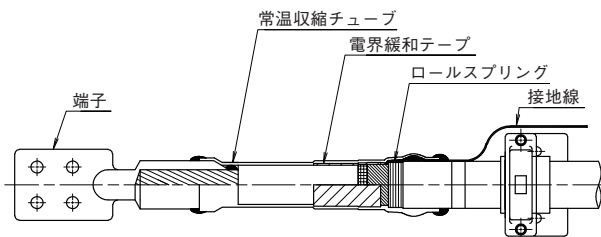


図1 常温収縮型屋内終端接続部の構造



図2 常温収縮型屋内終端接続部 外観

本製品は、以下の特長を有しています。

- (1) 絶縁層は、常温収縮チューブの内部コアを引き抜いて、チューブを収縮させることにより、簡単に形成可能です(図3)。
- (2) 同一の常温収縮チューブで500～1600 mm²の大サイズに適用できます。
- (3) ケーブル外導先端の電界緩和は、専用の電界緩和テープを巻くだけで処理が可能です。
- (4) 接地線とケーブル遮へい層との接続は、ロールスプリングを適用することでハンダ作業が不要となります。
- (5) 端末長が短くなるため、取り付けおよび施工スペースが縮小できます。
- (6) 端子部をコンパクト化し、軽量化を図りました。



図3 常温収縮チューブ装着

表2 寸法・重量比較

項目	従来テープ式	従来差込式	本製品
全長	640 mm	455 mm	405 mm
端子重量	約5 kg	約5 kg	約3 kg
作業時間	約180分	約170分	約90分

※当社比較

※全長と端子重量は1000 mm²で比較

※作業時間は3相あたりの想定施工時間

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)

昭和電線ケーブルシステム(株)

電力・インフラ営業部 電力・電機営業課

電話(044)223-0534 FAX(044)223-0557



OF ケーブル／接続部の簡易漏油補修工法の紹介

Introduction of Simple Oil Leakage Repair Construction Method for OF Cable/Connection

1. 概要

国内の特別高圧ケーブルは、従来使用されていたOFケーブルからCVケーブルへ多くが切替られています。一部の電力重要回線や民間工場等の電力供給回線として現在もOFケーブルが使用されています。OFケーブルの多くは高経年による老朽化に加え、地震等による外力を受けて、終端接続部や中間接続部の鉛工部から漏油が発生することが懸念されています。

鉛工部の漏油補修工法としては、一時的にゴムチューブ等で油止めする方法がありますが、本補修としては一般的に鉛工部の解体・再鉛工が実施されています。

これらの作業は、高度なスキルが必要であり、CVケーブルが主流となった昨今、作業が出来る人員の確保が難しくなっており、鉛工作业が不要となる新たな補修方法が要望されています。

この度、ポリマー樹脂を適用した簡易漏油補修工法を検証しましたので、紹介します。

2. 用途

特別高圧の変電設備や地中送電設備において、主にOFケーブル接続部の鉛工箇所が発生する漏油補修が適用箇所となります。重要な電力供給設備であることから、容易に長時間の停電作業が出来ない設備が多いため、早急な対応と短時間での復旧が求められる中で、短時間でかつ高度なスキル無く作業が可能な簡易漏油補修工法が有効な手段となります。

3. 特長

使用するポリマー樹脂（エポキシベースのセラミック系樹脂）は、主剤と硬化剤の混合により硬化し、硬化後には金属のように硬くなるもので、特長としては「油と融合して接着・硬化」が容易となります。速乾硬化樹脂で初期の油止め、次に一般硬化樹脂で仕上げます（図1、図2）。

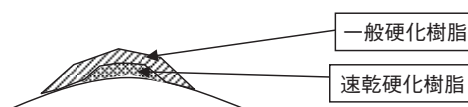


図1 補修箇所断面



図2 補修状況

社内実験では、油を出しながらも漏油箇所が塞がること、0.6～1.0 MPaの油圧で約半年間（2020年1月～8月）漏油が発生しないことを確認しています（図3）。



図3 補修実験後加圧放置（半年）状況

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
昭和電線ケーブルシステム(株)
電力・インフラ営業部 電力・電機営業課
電話(044)223-0534 FAX(044)223-0557



ディップ・フォーミング・システムの BCM への取り組み

Business Continuity Management of Dip Forming System

1. 概要

近年、地震、津波、風水害、雪災などの自然災害は、いつ遭遇してもおかしくない状況にあるため、BCM（事業継続マネジメント）への取り組みは益々重要なものとなっています。当社三重事業所の「ディップ・フォーミング・システム」は日本で稼働している唯一無二の設備であり、その品位、および機能から代替生産することが極めて困難であるため、有事の際の事業継続・早期復旧の優先設備のひとつとして重点的に BCM 対策に取り組んでいます。

2. 高性能無酸素銅 MiDIP®

三重事業所の「ディップ・フォーミング・システム」では銅純度は 99.99% (4N) 以上、酸素含有量は 10 ppm を下回る高性能無酸素銅 MiDIP® を製造することが可能です。得られた銅荒引線は、導電率が高く、水素脆化が起こりにくく、銅粉の発生が少ないという性質を有していることから、電線・ケーブル、巻線、電子部品材料など、さまざまな分野で使用されています。

3. 構造

三重事業所の「ディップ・フォーミング・システム」は当社の 2 号機として 1975 年に操業を開始（湯入れ）し、その後は 1 日も完全停止させることなく稼働を継続し、間もなく 46 年目を迎えようとしています。銅を電気炉で溶解・保持した後、連続铸造圧延する設備であり、BCM 対策における重要なポイントは、①溶解炉・保持炉の溶解用コイルの冷却水を確保すること、②溶解炉・保持炉の電源を確保すること、③溶解炉・保持炉内で溶融した銅を固めない（固める場合は炉外に適切に処理）こと、の 3 点であると言えます。このうち 1 点でも怠れば稼働を継続することは出来ず、復旧にも莫大な期間と費用が発生することになってしまいます。



図 1 操業開始時（1975 年）

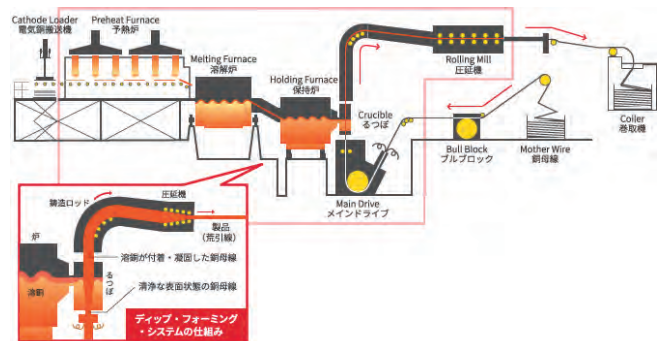


図 2 ディップ・フォーミング・システム構造

【BCM 対策における重要なポイント】

- ①溶解炉・保持炉の溶解用コイルの冷却水確保
- ②溶解炉・保持炉の電源確保
- ③溶解炉・保持炉内で溶融した銅を固めない
（固める場合は炉外に適切に処理）

4. 年表 (三重ディップ)

1975年	ディップ・フォーミング・システム操業開始
1984年	2炉 (#1, #2) 運転開始
1986年	溶解炉 #2 炉体更新
2004年	無酸素銅製造開始
2013年	溶解炉 #1 炉体更新 遮断器・断路器増設
2017年	溶解炉 #2 炉体更新 遮断器・断路器増設
2019年	非常用発電機 (1250 kVA) 更新 燃料備蓄設備更新
2020年	6号幹線 (3.3 kV) 更新 冷却水系統更新
2021年	5号幹線 (3.3 kV) 更新 《予定》



図5 6号幹線 (3.3 kV) 更新

大規模地震等による数日間の停電事故発生を想定リスクとして、2019年には燃料備蓄設備と非常用発電機を更新しており、万一の事故に備えた炉体保守システムを完備しました。

1975年操業開始という非常に古い設備ではありますが、冷却水・電源の確保、および炉体の保守・メンテナンスなどを中心に中・長期的な計画を策定し、これを着実に実行すると共に日常的な点検、および定期的な訓練を実施することでPDCAサイクルを回し、BCMをより強靱なものへとしていくことが私達の重要な使命であると考えています。



図3 溶解炉 #2 炉体更新



図4 非常用発電機・燃料備蓄設備更新

MiDIP® (ミディップ) は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
昭和電線ケーブルシステム(株)
電装・コンポーネンツ営業部 機能材料営業課
電話(044)223-0538 FAX(044)223-0558



電力用 CV ケーブルの曲げ半径倍率

Bend Radius Magnification of XLPE Insulated Power Cable

1. 概要

電力用 CV ケーブルは、製造から現場据付までの間にさまざまな機械的曲げが加えられ、さらに運開後は現場据付時の曲げを保持した状態で、運用による熱膨張収縮等が長期間加えられます。このような使用方法においても、ケーブルに不具合が発生しないよう「曲げ半径倍率」を規定しています。

ケーブルの曲げ半径倍率は古くから知られている考え方ですが、近年、電力自由化等により、新たに電力用 CV ケーブルを扱う事業者が増えており、本資料では電力用 CV ケーブルの曲げ半径の考え方、曲げ半径倍率の例を体系的にまとめ、あらためて紹介します。

2. 曲げ半径の考え方

曲げ半径は、一般的に曲げの内接円半径と定義され、概要を図 1 に示します。

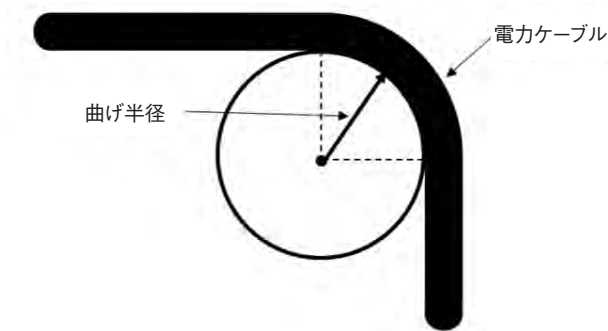


図 1 曲げ半径の概要図

同じ曲げ半径でも、曲げるケーブルの太さによって加わる曲げ歪み・曲げ変形率が異なるため、ケーブルへの曲げ半径とケーブルの太さ（外径等）の比率をとる「曲げ半径倍率」にて、曲げ半径を品種ごとに規定する運用が基本となります。

電力用 CV ケーブルは、ある程度可とう性のある材料で構成され、円弧を描きながら曲げられるが、電力ケーブルの構成材料の中で必要となる金属遮へい層が、曲げによる影響を最も受ける可能性があり、ここを曲げ時の影響のネック箇所とし曲げ半径が規定されています。

3. 曲げ半径の倍率例

曲げ半径には種類があり、用途に応じて使い分ける必要があります。曲げ半径の基本的な定義を下記に示します。

- ◆許容曲げ半径 [R1] :
運用開始後も下回ってはならない曲げ半径の許容値
- ◆設計曲げ半径 [R2] :
運用開始後等でも R1 を下回らないよう裕度を持った、線路設計時に確保すべき曲げ半径の推奨値
- ◆延線時曲げ半径 [R3] :
ケーブルの延線・据え付け作業時に使用する、裕度を見込んだ曲げ半径の推奨値

上記を踏まえた電力用ケーブルの曲げ半径倍率例を表 1 に示します。なお、ユーザー標準（考え方）がある場合等は、個別に対応する必要があります。

また、管路延線を伴う布設環境の場合は、施工設計の中でケーブルに与える機械外力（側圧）等も考慮し管路曲げ半径を決定する必要がある点にも注意が必要です。

表 1 電力用ケーブルの曲げ半径倍率の例

適用範囲		許容 曲げ半径 [R1]	設計 曲げ半径 [R2]	延線時 曲げ半径 [R3]
電圧	ケーブル種別			
11 kV ~ 33 kV	トリプレックス (CVT)	8 D	10 D	15 D
	単心 (CV)	10 D	12 D	18 D
66 kV ~ 77 kV	トリプレックス (CVT)	8 D	10 D	15 D
	単心 (CV)	10 D	16 D	19 D
110 kV ~ 187 kV	単心 (CV)	10 D	16 D	19 D
220 kV ~ 275 kV	単心アルミ被付き (CAZV)	12 D	15 D	22.5 D

(注) トリプレックス (CVT) の場合 : D= ケーブル外径
単心 (CV) の場合 : D= シース外径
単心アルミ被付き (CAZV) の場合 : D= アルミ被平均外径

問合せ先 : 〒441-0304 愛知県豊川市御津町佐脇浜式号地1-10
昭和電線ケーブルシステム(株)
電力システム部 電力ケーブル課 技術グループ
電話(0533)76-2359 FAX(0533)76-3691

社外技術発表一覧表

(2020. 1 ~ 2020. 11)

[Review of Scientific Instruments] (2020年3月1日)

A Modified Measurement Method of Electrical Properties for ZnO Microvaristors by Direct Measurements

…………… 阿部拓也¹⁾, カビール ムハムドゥル¹⁾, 櫻田光貴¹⁾, 箕輪昌啓²⁾

[令和2年電気学会全国大会 講演論文集] (2020年3月)

110 kV 素線絶縁 2500 mm² スマート終端の実用化

…………… 田渡未沙²⁾, 稲庭康之²⁾, 新井敦宏²⁾, 新館 均²⁾, 小泉太郎²⁾

66/77 kV CT 付壁貫通ダイレクトモールドブッシングの開発

…………… 阿部成将²⁾, 今西 晋²⁾, 新井敦宏²⁾, 稲庭康之²⁾, 森口至郎²⁾

[日本地震工学会論文集] (2020年4月)

水平構面に粘弾性ダンパーを付加した木造本堂の制振技術

…………… 佐藤信夫³⁾, 花里利一⁴⁾, 内田龍一郎⁵⁾, 荻原幸夫⁶⁾, 三須基規²⁾, 大村祐樹⁴⁾, 坂本 功⁷⁾

[日本建築学会大会学術講演梗概集] (2020年7月)

基準面圧時における弾性すべり支承のクリープ特性

…………… 土屋諒恭²⁾, 三須基規²⁾, 加藤直樹²⁾

弾性すべり支承の浮上りに関する研究

その5 圧縮剛性の非線形特性を考慮した解析及び検討

…………… 金井佳吾⁸⁾, 鈴木涼平⁸⁾, 三澤大輝⁸⁾, 大和伸行⁸⁾, 木村雄一⁸⁾, 中島 徹⁸⁾, 欄木龍大⁸⁾, 三須基規²⁾

弾性すべり支承の浮上りに関する研究

その6 鉛直非線形ばねを用いた解析による検討

…………… 鈴木涼平⁸⁾, 金井佳吾⁸⁾, 三澤大輝⁸⁾, 大和伸行⁸⁾, 木村雄一⁸⁾, 中島 徹⁸⁾, 欄木龍大²⁾, 三須基規²⁾

弾性すべり支承の鉛直剛性評価に関する検討

…………… 三須基規²⁾, 加藤直樹²⁾, 大和伸行⁸⁾, 金井佳吾⁸⁾, 欄木龍大⁸⁾

伝統的木造建物の柱脚部制振に関する研究

(その1 研究目的と静的加力実験)

…………… 濱田航平⁴⁾, 佐藤信夫³⁾, 花里利一⁴⁾, 坂本 功⁷⁾, 内田龍一郎⁵⁾, 三須基規²⁾

伝統木造建物の柱脚部制振に関する研究 (その2 解析結果)

…………… 佐藤信夫³⁾, 濱田航平⁴⁾, 花里利一⁴⁾, 内田龍一郎⁵⁾, 三須基規²⁾, 坂本 功⁷⁾

錫プラグ入り積層ゴムの大変形挙動解析モデルに関する研究

その2: せん断復元力モデルと地震応答評価

…………… 柳 勝幸²⁾, 清水美雪²⁾, 齊木健司⁹⁾, 安永 亮¹⁰⁾, 菊地 優¹¹⁾

[電気設備学会(2020年全国大会)論文集] (2020年8月)

1時間耐火ケーブルの開発

…………… 茂木淑豪¹²⁾, 岡崎英明¹²⁾, 浦 卓也¹²⁾, 原田哲次¹³⁾, 福田泰成¹³⁾

[日本建築学会構造系論文集] (2020年10月)

軸力を受ける積層ゴムの接合部に発生する応力に関する実験的研究

…………… 三須基規²⁾, 清水美雪²⁾, 福田滋夫²⁾, 加藤直樹²⁾, 古橋 剛¹⁴⁾

[Applied Superconducting Conference (Virtual)]

(2020年10月24日~11月7日)

Demonstration of tri-axial superconducting cable in private chemical plant

…………… Kei Shiohara²⁾, Hideo Sugane²⁾, Michio Sato²⁾, Kazuhisa Adachi²⁾, Tatsuhisa Nakanishi²⁾, Nobuhiro Mido²⁾, Yuji Aoki²⁾, Takayo Hasegawa¹⁵⁾, Elda Vilchez de Gaertner¹⁶⁾, Stefan Meuer¹⁶⁾

[軽金属学会 第139回 秋期大会] (2020年11月7日~8日)

Al-Mg-Si 合金伸線材の機械的性質に及ぼす加工率と人工時効温度の影響

…………… 宮澤一彦¹⁷⁾, 芹澤 愛¹⁷⁾, 塩田正彦¹⁸⁾, 山本 俊¹⁸⁾, 西本一恵²⁾, 仲津照人²⁾

[電気学会 誘電・絶縁材料 電線・ケーブル 合同研究会]

(2020年11月20日)

防蟻効果を有するシース材料の検討

…………… 藤田道朝²⁾, 齊藤真利子²⁾, 岡本貴裕²⁾, 堀将太郎²⁾, 中矢勝士²⁾, 三浦浩二²⁾

- 1) 秋田大学
- 2) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 3) 松井建設株式会社
- 4) 三重大学
- 5) 内田建築構造コンサルタント
- 6) 元田治見エンジニアリングサービス
- 7) 東京大学
- 8) 大成建設株式会社
- 9) 株式会社免制震デバイス
- 10) 住友金属鉱山シボレックス株式会社
- 11) 北海道大学
- 12) 富士電線株式会社
- 13) 株式会社岡部マイカ工業所
- 14) 日本大学
- 15) 昭和電線ホールディングス株式会社
- 16) BASF New Business GmbH
- 17) 芝浦工業大学
- 18) 日本軽金属株式会社

昭和電線グループ会社アドレス

昭和電線ホールディングス株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)

■直轄事業子会社(連結)

昭和電線ケーブルシステム株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
富士電線株式会社 〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川10番地
株式会社SDS 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
株式会社アクシオ 〒141-0031 東京都品川区西五反田二丁目12番19号(五反田NNビル)
昭和電線ユニマック株式会社 〒511-0427 三重県いなべ市北勢町麻生田1326番地の1
SFCC株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎5階)

■その他事業子会社(連結)

青森昭和電線株式会社 〒038-0031 青森県青森市大字三内字丸山394番地105
株式会社エステック 〒210-0843 神奈川県川崎市川崎区小田栄二丁目1番1号
昭光機器工業株式会社 〒143-0002 東京都大田区城南島四丁目3番4号
株式会社昭和サイエンス 〒140-0011 東京都品川区東大井五丁目12番10号(大井朝陽ビル)
昭和リサイクル株式会社 〒252-0253 神奈川県相模原市中央区南橋本四丁目1番1号
株式会社ロジス・ワークス 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎5階)
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD. Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam
SWCC DAIJI VIETNAM RF No. 7C, Plot No. H-1, Thang Long Industrial Park II,
INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD. Di Su commune, My Hao District, Hung Yen Province, Viet Nam
嘉興昭和機電有限公司 中国浙江省嘉興市中環西路2121号
昭和電線電纜(上海)有限公司 中国上海市長寧区仙霞路137号 盛高国際大廈2501室
東莞昭和機電有限公司 中国広東省東莞市莞龍路段獅龍路 莞城科技园
福清昭和精密電子有限公司 中国福建省福清市融僑技術開発区(清華路南側)
香港昭和有限公司 香港九龍尖沙咀科学館道1号康宏広場南座701室

■その他のグループ会社

エヌエスティ・グローバリスト株式会社 〒171-0014 東京都豊島区池袋二丁目43番1号(池袋青柳ビル4F)
株式会社ケイ・エス・デー 〒813-0034 福岡県福岡市東区多の津一丁目1番3号
愛科秀(上海)信息技術有限公司 中国上海市普陀区中江路388弄5号 新城控股大廈B座1305室
華和工程股份有限公司 台湾高雄縣仁武鄉高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内
特変電工昭和(山東)電纜附件有限公司 中国山東省新泰市新汶工業園区
富通昭和線纜(杭州)有限公司 中国浙江省杭州富陽区富春街道金秋大道富通科技园9号楼
富通昭和線纜(天津)有限公司 中国天津市滨海新区滨海科技园惠新路399号

昭和電線 レビュー

第66巻 (通巻122号)

昭和電線レビュー編集部会

部会長 大根田 進
委員 西岡 淳一 浦 卓也
野呂 互 足田 靖成
坂口 義則 稲庭 康之
岡下 稔 大石 智雄
野地 悠 島崎 俊也
山下 聡史 大武 仁
北嶋 祐司 生方 通夫
(順不同)

編集・発行人 舘山 雄一

発行 2021年1月

発行所 昭和電線ホールディングス株式会社
〒210-0024
神奈川県川崎市川崎区日進町1-14

制作 株式会社栄光舎

[禁無断転載・複製]

©2021 SWCC SHOWA HOLDINGS CO.,LTD.



みんなの未来を、
この技術でつなごう。

昭和電線ホールディングス株式会社 / SWCCグループの持株会社

昭和電線ケーブルシステム株式会社 / 電線・ケーブル、電力機器部品、光・通信ケーブル、精密デバイス、免震装置、振動制御機器の総合メーカー

富士電線株式会社 / LANケーブル、消防用電線、通信ケーブル、ビニル電線

株式会社SDS / SWCCグループの総合商社

株式会社アクシオ / ネットワークソリューション

昭和電線ユニマック株式会社 / エナメル線、横巻線

SFCC株式会社 / 建設・電販市場向け各種電線・ケーブルおよびその付属品、関連資材類の販売