

# 昭和電線 レビュー

2022 VOL.68

通巻124号

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

ISSN 2432-518X



昭和電線ホールディングス株式会社

[www.swcc.co.jp/](http://www.swcc.co.jp/)

## 目 次

〈普通論文〉

- 超電導を用いた航空機用高効率・高出力電気推進システム … 昭和電線ケーブルシステム(株)  
—超電導ケーブルの開発—  
塩原 敬・佐藤 迪夫  
金山 諄志・中西 達尚  
高橋 保夫・青木 裕治  
三堂 信博・足立 和久 … 5  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
和泉 輝郎  
九州大学 岩熊 成卓
- Reel-to-Reel 式本焼成炉による … 昭和電線ケーブルシステム(株)  
(Y,Gd)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> + BaZrO<sub>3</sub> 線材の開発  
佐藤 迪夫・高橋 保夫  
坂口 浩紀・菅 聡  
青木 裕治・足立 和久 … 10  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
中岡 晃一・和泉 輝郎  
九州大学 岩熊 成卓
- 耐火ケーブルに於けるマイカテープの巻き方による … 富士電線(株) 中川 諒・茂木 淑豪  
耐火性能への影響 中村 昌樹 … 15
- 加力治具を用いた天然ゴム系積層ゴム及び弾性すべり支承の … 昭和電線ケーブルシステム(株)  
圧縮変形挙動 (クリープ) 比較検証 土屋 諒 恭・三須 基規 … 20  
小林 公樹・加藤 直樹
- 示差走査熱量計によるポリエチレンの熱履歴推定 … 昭和電線ケーブルシステム(株)  
山口 和平・東村 力哉 … 25  
西岡 淳一
- 864 心 e-Ribbon® 光ケーブルの開発 … 昭和電線ケーブルシステム(株)  
大久保 敬汰・太田 勇 希 … 31  
山本 岳 彦・永井 傑 朗  
野呂 互

〈新製品紹介〉

超細径産業用 LAN ケーブル (HFS-TPCC® 5(S) PATCH-FA) .....	35
新型防浸形 LED 照明器具 ST-BRIGHT® .....	36
低圧耐火ケーブル (EM-SH-C®) - 平型・溝付品 - .....	37

〈トピックス〉

10Giga コイル (TPCC® 6A) の改良 .....	38
テープスロットケーブル型光ファイバケーブル加工品の変換部細径化 .....	39
企業における IT セキュリティ対策とこれからの ID 管理 .....	40

〈工事紹介〉

中国電力ネットワーク(株)殿向け 220kV CAZV-F ケーブル工事 .....	41
--	----

〈社外技術発表一覧表〉 .....	42
-------------------	----

# SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2022 Vol. 68

## CONTENTS

### < Regular Papers >

High Efficiency and High Power Electric Propulsion System for Airplane by Superconductivity – Development of Superconducting Cable – .....	5
Development of TFA-MOD YGdBCO+BZO Coated Conductors by Using a Reel-to-Reel System Furnace .....	10
Effect of Mica Tape Winding on Fireproof Performance of Fireproof Cables .....	15
Creep Test and Comparative Verification of Natural Rubber Bearings and Elastic Sliding Bearings Subjected to Compressive Load by Hydraulic Jacks and Frames .....	20
Thermal History Estimation on Polyethylene by DSC (Differential Scanning Calorimetry) .....	25
Development of 864 Fiber e-Ribbon® Optical Cable .....	31

### < New Products >

High Frequency & High Shielded Industrial Type Slim Cable for LAN .....	35
The New Immersion Proof LED Lighting Equipment ST-BRIGHT® .....	36
Low Voltage Fire Proof Cables – Flat type · With Groove – .....	37

### < Topics >

Improved 10GigaCoil (TPCC® 6A) .....	38
Reducing the Diameter of Converting Part of Tape Slot Type Optical Fiber Cable with Connector .....	39
IT Security Measures in Enterprises and Future ID-Management .....	40

### < Construction >

Installation of 220kV CAZV-F Cable for Chugoku Electric Power Transmission & Distribution Co.,Inc. ....	41
--	----

< List of Technologies Published since 2022 > .....	42
---	----

Published by **SWCC SHOWA HOLDINGS CO., LTD.**  
JMF-Bldg.Kawasaki 01, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku,  
Kawasaki City, KANAGAWA  
URL [www.swcc.co.jp](http://www.swcc.co.jp)

# 超電導を用いた航空機用高効率・高出力電気推進システム －超電導ケーブルの開発－

## High Efficiency and High Power Electric Propulsion System for Airplane by Superconductivity － Development of Superconducting Cable －

塩原 敬  
Kei SHIOHARA

佐藤 迪夫  
Michio SATO

金山 諄志  
Atsushi KANAYAMA

中西 達尚  
Tatsuhisa NAKANISHI

高橋 保夫  
Yasuo TAKAHASHI

青木 裕治  
Yuji AOKI

三堂 信博  
Nobuhiro MIDO

足立 和久  
Kazuhiisa ADACHI

和泉 輝郎\*  
Teruo Izumi

岩熊 成卓\*\*  
Masataka IWAKUMA

超電導電気推進航空機では、モータ、発電機、変圧器、ケーブルに REBCO ( $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , RE は希土類元素, Y, Gd, Sm, Nd, Eu など) 超電導線材を使用する予定である。このうち、本システムのケーブルには軽量でありながら所定の通電特性を兼ね備えた超電導ケーブルが求められている。そこで、軽量化を図れる線材積層型超電導ケーブル構造を選定し、長尺ケーブルの検証を実施した。このプロジェクトにて開発している線材を用いて 20 m 級の線材積層型超電導ケーブルの作製が可能であることを把握した。また通電試験を行い、航空機使用への線材積層型超電導ケーブルの有効性を確認した。

Some motors, generators, transformers and cables will be made by REBCO ( $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , RE: rare earth element, Y, Gd, Sm, Nd, Eu etc) superconducting coated conductors in the proposed superconducting electric propulsion system. A laminated superconducting cable is required light weight and large and current-carrying properties for the airplane system. We have developed the light weight laminated superconducting cable and confirmed that it is possible to fabricate 20 m-class laminated cables using the coated conductors developed in this project. The current-carrying properties were also obtained, confirming the effectiveness of the laminated cables for use in airplane.

### 1. はじめに

昨今、高温超電導の本格的な実用化に向けて材料となる線材や各機器開発について国内外共に様々なプロジェクトにより成果が精力的に報告されている。

当社としても線材開発やそれを用いた BASF ジャパン株式会社 戸塚事業所にて実証試験を実施した三相同軸型超電導ケーブルなどの成果を報告してきた<sup>1)~9)</sup>。

ただし、高温超電導技術の真の普及という観点から鑑みると未だ途上段階を脱していないと考えられる。その主たる要因として、

- ✓ 高線材コスト
- ✓ 超電導でなければ達成しきれないという「絶対的な優位性」の欠如
- ✓ 需要側ユーザー/マーケットの本気度不足などの課題が挙げられる。そこで、この現状を打破する新展開として高温超電導技術を活用した「電気推進航空機への応用」が昨今考えられている。

まず社会的な背景として、現状国内で年 900 万 ton, 国外で 5 億 ton とされる CO<sub>2</sub> 排出量が航空機業界の大きな課題で、さらに旅客機は 20 年後に倍増すると予測されている<sup>10)</sup>。この予測に対して対策を講じない場合、CO<sub>2</sub> 排出量が倍増することは自明であるが、CO<sub>2</sub> 排出量に関しては 2030 年までに 2013 年の 1/2 にすることが国連機関にて宣

\* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

\*\* 九州大学

言されている<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>。そのため、旅客機の機体数が倍増すると予測されている中で、CO<sub>2</sub>排出量を1/2となると1機体当たり1/4以下の排出量とすることが求められる。さらに、2050年カーボンニュートラルの実現も表明されている<sup>13)</sup>。これらの目標を達成するためには、新たな技術革新が必要不可欠であることは航空機業界として周知されており、この新たな技術革新として航空機の「電気推進化」が考えられている。

この航空機の電気推進化については、NASA (National Aeronautics and Space Administration) から電気推進システムには高温超電導を用いることがコンセプト提案され、これによる省エネ試算結果は70%とされる<sup>12)</sup>。

また、超電導を使用する電気推進航空機はJAXA (宇宙航空研究開発機構) や航空機メーカーにおいても検討されている<sup>14)</sup>、<sup>15)</sup>。当社が参画する航空機用超電導プロジェクト (プロジェクトリーダー | 九州大学, 産学合わせて12社のNEDO (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構) 委託事業) では、1 MW 推進システムの実現可能性検証として地上試験の実施を予定している。本稿では、この地上試験に向けた線材積層型超電導ケーブルの開発ならびに通電特性について報告する。

## 2. 電気推進航空機の技術的背景

航空機として現在最も流通しているジェット機は推進力としてジェットエンジンを使用しているが、電気推進航空機化するには、ジェットエンジンを電動モータに換え、モータによりファンを回転させ航空機の推進力にする。電気推進航空機を効率よく飛行させるモータにするためには推進力 (kW) / 重量 (kg) の指標が重要視される。銅を導体に用いた従来の一般的な全電動方式モータでは2 kW/kgとされている。航空機として求められる推進力を想定すると、従来型のモータではモータの総重量は5~10 tonクラスとなり、電動航空機への使用には重すぎるため検討の余地がない。一方、全超電導モータでは20 kW/kg、重量としては0.5~1 tonクラスが可能となる。このため、従来の10倍の効率化が可能となる<sup>16)</sup>、<sup>17)</sup>ことが期待され、超電導技術を使用することにより「軽く」かつ「高出力・大電流化が可能」とすることが航空機の電動化における必須命題である。

今回、我々が提案する電気推進システムのコンセプトは「超電導発電機と超電導モータを超電導ケーブルにて接続する全超電導のシステム」となっている (図1)。本コンセプトにより、冷媒ならびに電力を連続的に供給できる軽量でシンプルな構造を提案している。

さて、上記の技術的背景から、冒頭に示した「超電導業界の現状有する課題」に対して「超電導の航空機応用」を実施した際の利点として

- ✓ 線材コスト | 機器費用に対して相対的に極小  
ex.) 100人乗り航空機 = 約¥100億  
エンジン = 約¥20億 ⇔ 線材 < ¥0.5億

- ✓ 絶対的優位性 | 超電導でのみ大型機の電動化可能
- ✓ 需要側ユーザーの本気度 | 航空機メーカーも検討を開始 (本気度有り)

が挙げられる。

これらより超電導業界が現状抱える課題に対して、超電導技術の適用先として航空機応用が妥当であると考えられる。

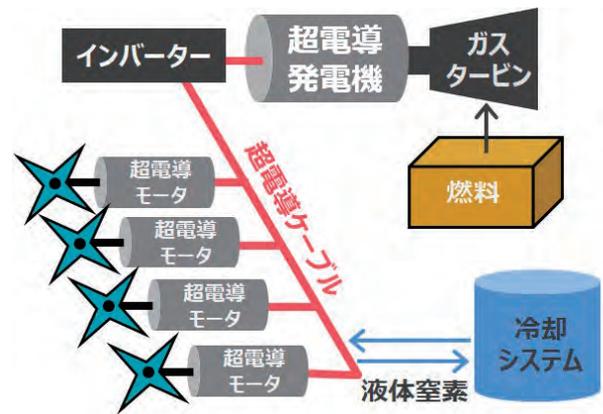


図1 電気推進システムのコンセプト

## 3. 航空機用超電導プロジェクトの概略スケジュールと研究開発項目

今回当社が参画する航空機用超電導プロジェクトは2019年度から開始し、ケーブルや線材などの各種要素基盤技術開発を継続的に実施しながら500 kWならびに1 MWの超電導モータを作製する5年のプロジェクトとなる (図2)。また、今後継続が予定されるプロジェクトでは20 MW 推進システムが計画されており、その要素技術開発の側面を有している。

現状参画しているプロジェクトの研究開発項目は「要素技術開発」と「機器機能検証」に大別される。まず、要素技術開発については、モータ、ケーブル、冷却装置、超電導線材、低温動作半導体の5項目の開発となっている。この要素技術開発の目標は「500 kW モータの基礎技術確立」と「1 MW システム用回転機の開発」である。また、機器機能検証については、500 kW モータと1 MW 推進システム要素の開発である。500 kW モータの目標は、モータを作製し「モータの5 kW/kgへの展望把握」と「フライトテストに向けた評価」である。最終的な1 MW 推進システム要素の開発目標については「システムの実現可能性確認」である。当社が担当する開発項目は超電導ケーブルシステムと超電導線材となっており、1 MW 推進システム要素開発のタイミングでの導入を予定している。

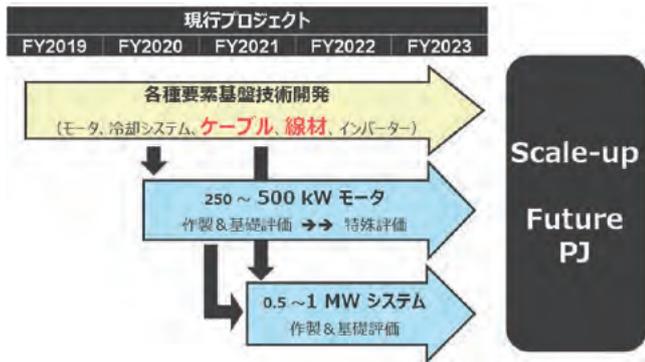


図2 航空機用超電導プロジェクトの概略スケジュール

#### 4. 航空機用超電導ケーブルの開発

##### 4.1 航空機用超電導ケーブルへの要求性能

図1に示す超電導モータへの電源供給用のケーブルとして適用される超電導ケーブルについては他の航空機用機材よりもさらに軽い目標として「さらなる軽量化 (<1 kg/kA/m)」の指標に挑戦している。当社は三相同軸型超電導ケーブルの実績を有するが、使用したケーブル重量の約70%はコルゲートが占めており、この重量を削減することが航空機用への適用には大きな課題となる(表1)。そこで、ケーブル要求性能へのアプローチとして

- ✓ 積層型ケーブルによる細径化/軽量化
- ✓ コルゲート部材の材料変更

を検討している。今回はケーブルの小型軽量化を達成するために、通電時に発生する自己磁場の影響による $I_c$ 値の減衰を許容し、REBCO ( $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , REは希土類元素, Y, Gd, Sm, Nd, Euなど)線材<sup>18), 19)</sup>を積層させた導体をケーブル化するものとした。積層導体によることにより、三相同軸ケーブルでは $\phi 64.3 \text{ mm}$ <sup>7)</sup>であったケーブルコア外径を $\phi 39.5 \text{ mm}$ に小型化が可能となった。これにより、課題となっていたコルゲート重量が抑えられ、ケーブルとしての全重量の軽量化を図れる。今回作製した「積層型ケーブル」ならびに「交流通電用積層型ケーブル」においては、各々1.29 kg/kA/m, 1.45 kg/kA/mと、三相同軸ケーブルの約1/3の重量を達成した。将来的には、前述した様に重量割合の高いコルゲートなど材料を変更することで、目標とされる1 kg/kA/mを最終的に達成することが可能となる。

また、今回のプロジェクトにおいて、積層型ケーブルには「交流通電にて運転電流 ( $I_{op}$  (operation current)) 値が1110  $A_{rms}$ 」が併せて求められる。ここで、直流通電での臨界電流 ( $I_c$  (critical current)) 値を交流通電時の波高値と定義し、 $I_{op}$  値は $I_c$  値の実効値換算とする。そのため、今回のプロジェクトにおいては $I_c$  値=1570 A以上が求められる。この目標 $I_c$  値を確保するため、線材の自己磁界中の $I_c$  値を考慮して積層枚数を30枚とした。

表1 三相同軸型超電導ケーブルと積層型超電導ケーブルの重量比較

	11 kV-3 kA 3 相同軸 ケーブル	積層型 ケーブル (1 kV-1.5 kA)	現状設計 交流通電用 積層型ケーブル (1 kV-1.5 kA)	将来設計 交流通電用 積層型ケーブル (1 kV-1.5 kA)
導体コア [kg/m]	2.4	0.57	0.57	0.57
現状スベーサ [kg/m]	-	-	0.23	-
新規スベーサ [kg/m]	-	-	-	0.16
SUS 製 コルゲート [kg/m]	7.9	0.58	0.58	-
新規 コルゲート [kg/m]	-	-	-	0.09
断熱材 [kg/m]	-	0.27	0.27	0.27
液体窒素 [kg/m]	1.8	0.52	0.52	0.52
ケーブル全体 [kg/m]	12.1	1.94	2.17	1.61
ケーブル全体 [kg/kA/m]	4.03	1.29	1.45	1.07

##### 4.2 積層型ケーブル構造検証

今回のプロジェクトでは機体の最大長となる主翼部で最大長20 mを検討している。そのため、当社製REBCO線材を用いて20 m積層型超電導ケーブルを当社愛知工場にて製造を実施し、既設のケーブル製造設備での20 m級のケーブル製造能力があることを把握した。作製したケーブルの断面構造と燃合せ工程を示す(図3)。本ケーブルに大気中・液体窒素(77 K)浸漬冷却にて、各相のケーブル $I_c$  値を直流4端子法にて取得した(図4)。この結果、各相 $I_c$  値は約1900 Aを取得し、積層型ケーブルによる直流通電での目標である1570 A以上の通電を達成した(図5)。

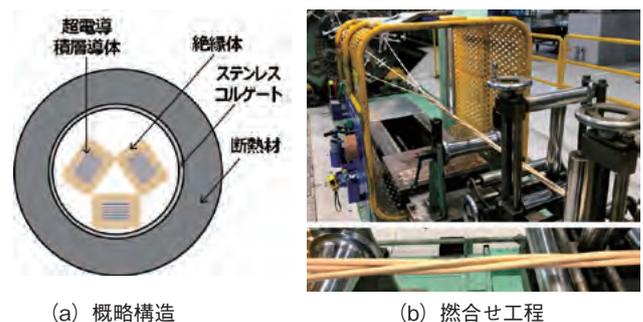


図3 積層型超電導ケーブルの概略構造と燃合せ工程



図4 積層型超電導ケーブルの直流通電試験時の全体外観

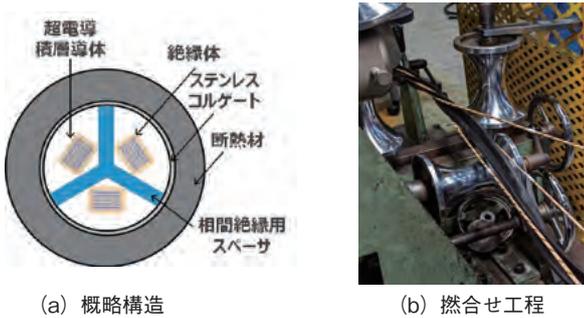


図5 交流通電用積層型超電導ケーブルの概略構造と燃合せ工程

### 4.3 交流通電用積層型ケーブル構造検証

次のステップとして、上記の積層型ケーブル構造を基に交流通電に適したケーブル構造を開発した。交流通電用ケーブルにおいては、積層導体からの十分な放熱性と電気絶縁性が確保される必要がある。図3に示した構造の積層型ケーブルでは、各相導体毎に絶縁を十分に施し、相間絶縁性能を担保する構造としていた。ただし、本ケーブル構造においては各相の絶縁層が厚いため、通電時の熱はけが悪く、交流通電においては直流通電時には発生しない交流損失による発熱が生ずるためケーブルへの冷却に対して課題が残る。このため、プロジェクト目標である「交流通電にて  $I_{op}$  値が  $1110 A_{rms}$ 」を達成するには、さらなる冷却が可能なケーブル導体の構造が求められる。

そこで、今回のプロジェクト仕様電圧が  $1 kV$  のため、耐電圧については絶縁スペーサにて担保する設計とし、各相導体の絶縁層については30枚積層導体構造の一体化・維持させることを主目的として各相導体の絶縁層を  $2 mm$  厚から  $0.2 mm$  厚に薄くした。これらより、各相導体の冷却を促進し、相間絶縁を担保する構造とした。この交流通電用積層型ケーブルの断面構造と燃合せ工程を示す(図5)。

交流通電用積層型ケーブル導体長  $1 m$  を大気中・液体窒素浸漬下にて交流通電測定を実施した。交流通電による導体の劣化を直接的に判定することが困難なため、交流通電前後に直流通電での  $I_c$  値を測定し、 $I_c$  値の劣化有無にて導体劣化を判定した(図6)。本ケーブルの液体窒素浸漬下 ( $77 K$ ) での直流4端子法にて得られたケーブル  $I_c$  値は  $3800 A$  であり、交流通電時の負荷率  $1.0$  の  $I_{op}$  値は  $2687 A_{rms}$  となる。今回は、プロジェクト目標である  $1110 A_{rms}$  以上かつ安全率 ( $50\%$ ) も考慮し、 $500 A_{rms}$  (負荷率  $0.19$ ) から  $1400 A_{rms}$  (負荷率  $0.52$ ) まで  $51 Hz$  の交流を通電し、導体劣化の有無を直流4端子法にて確認した。その結果、交流通電後の直流通電試験による  $I_c$  値確認において、事前に把握したケーブル  $I_c$  値である  $3800 A$  を取得し、劣化がないことが確認された。

この結果より、交流通電用積層型ケーブル構造において、航空機用超電導ケーブルに求められる要求性能が満たされることを把握した。

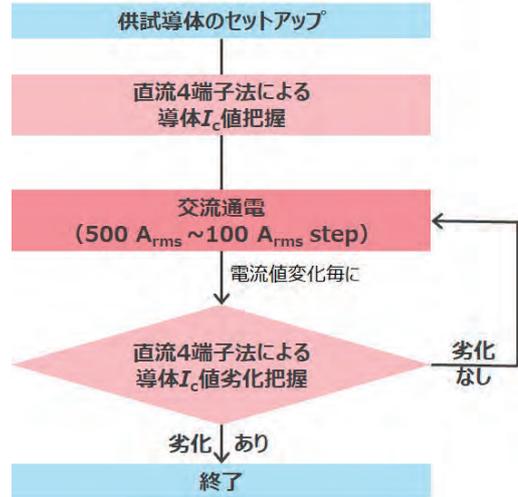


図6 測定フロー

## 5. まとめ

電気推進航空機用に適用される超電導ケーブルへの要求性能として、「さらなる軽量化 ( $< 1 kg/kA/m$ )」ならびに「 $I_{op}$  値 =  $1110 A_{rms}$ 」が求められている。これらの目標を達成するために本プロジェクトでは、REBCO 線材を用いた線材積層型超電導ケーブルを採用した。これにより、三相同軸型など従来の超電導ケーブルに比較して、約  $1/10$  の軽量化を見込んだ。ケーブル製造においては、当社ケーブル製造設備を用いて、予定する機体主翼部長の最大である  $20 m$  級の製造能力を確認した。また、通電特性においては、熱はけ対策を施した積層ケーブルにてプロジェクト目標を達成することを確認した。

本ケーブルが適用可能となれば、超電導技術でなければ達成しきれないという電気推進航空機の実応用に向けて、大きく資することが期待される。

## 謝 辞

この成果は、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) の委託業務 (JPNP15005) の結果得られたものです。

## 参考文献

- 1) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 61, P15-19 (2015)
- 2) 菅根秀夫, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 62, P5-8 (2016)
- 3) 北村祐, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 63, P18-23 (2017)
- 4) K.Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 26, 4, Article number 5400604, 2016. 06.
- 5) K.Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 27, 4, Article number 5401105, 2017. 06.
- 6) K.Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 28, 4, Article number 5401104, 2018. 06.
- 7) K.Shiohara, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 31, 5, Article number 4801804, 2021. 03.
- 8) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 66, P10-15 (2020)

- 9) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 67, P30-35 (2021)
- 10) 日本航空機開発協会: 民間航空機に関する市場予測: 2017-2036
- 11) 国連国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization) : Annual Report of the ICAO Council: 2013
- 12) James Beard, Airlines' biofuel ambitions must not increase emissions, Environmental Defense Fund
- 13) 令和3年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2022)
- 14) JL Felder et al.: ISABE-2011-1340
- 15) 宇宙航空研究開発機構: エミッションフリー航空機技術の開発:  
<https://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/feather/>
- 16) Airbus: Cryogenics and superconductivity for aircraft, explained (March 2021)
- 17) A. Luongo, et, al: IEEE Trans. Appl. Supercond., 19, 3 :1055 - 1068
- 18) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, P20-24 (2014)
- 19) 塩原融, 他: 日本金属学会誌, 第80巻, 第7号 P406-419 (2016)

昭和電線ケーブルシステム(株)  
塩原 敬 (しおはら けい)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
佐藤 迪夫 (さとう みちお)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
博士 (工学)  
超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
金山 諄志 (かなやま あつし)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
中西 達尚 (なかにし たつひさ)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
高橋 保夫 (たかはし やすお)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
超電導線材の研究・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)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
三堂 信博 (みどう のぶひろ)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
足立 和久 (あだち かずひさ)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
課長  
博士 (工学)  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
和泉 輝郎 (いずみ てるお)  
省エネルギー研究部門  
主任研究員  
工学博士  
超電導線材の研究・開発に従事

九州大学  
岩熊 成卓 (いわくま まさたか)  
先進電気推進飛行体研究センター  
センター長  
工学博士  
超電導電力機器の研究・開発に従事

# Reel-to-Reel 式本焼成炉による (Y,Gd)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> + BaZrO<sub>3</sub> 線材の開発

## Development of TFA-MOD YGdBCO+BZO Coated Conductors by Using a Reel-to-Reel System Furnace

佐藤 迪夫  
Michio SATO

高橋 保夫  
Yasuo TAKAHASHI

坂口 浩紀  
Hiroki SAKAGUCHI

菅 聡  
Satoshi SUGA

青木 裕治  
Yuji AOKI

足立 和久  
Kazuhisa ADACHI

中岡 晃一\*  
Koichi NAKAOKA

和泉 輝郎\*  
Teruo IZUMI

岩熊 成卓\*\*  
Masataka IWAKUMA

CO<sub>2</sub> 排出量削減に向けて世界的に航空機の電動化に関する開発が加速しており、超電導技術を適用した推進システムの検討が行われている。そこで、モータや発電機、ケーブルの適応に向けて高臨界電流 ( $I_c$ ) を有する REBCO 線材の長尺化の開発を行っている。これまで TFA-MOD プロセスによる REBCO 線材の作製方法として、昭和電線では本焼プロセスにおいて Batch 式焼成を用いてきた。さらなる長尺化と磁場中での  $I_c$  を得るために Reel-to-Reel 式焼成炉を設計、開発した。これを用いて、長尺 Y<sub>0.77</sub>Gd<sub>0.23</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> + BaZrO<sub>3</sub> 線材を作製したところ 60 m 級線材にて平均  $I_c = 459$  A/cm-w であることを確認した。

The development of electric aircrafts is crucial for decarbonization. A superconducting propulsion system is one of the leading candidates for electric aircraft. However, the motor, generator, and cable in this system require long and high-performance superconducting wires. Therefore, we designed and developed a novel reel-to-reel system furnace for fabricating high-performance superconducting wires. We fabricated long-length BaZrO<sub>3</sub>-doped Y<sub>0.77</sub>Gd<sub>0.23</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (YGdBCO + BZO)-coated conductors (CCs) by trifluoroacetate-based metal-organic deposition using the new furnace. Consequently, an average critical current of 459 A/cm-widths was obtained in 60-m long length YGdBCO + BZO CCs at 77 K in self-field. We are confident that this furnace will be capable of fabricating YGdBCO + BZO CCs with lengths of hundreds of meters.

### 1. はじめに

銅酸化物系超電導体の REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (REBCO: RE は Y, Gd などの希土類元素) 線材は液体窒素温度下で超電導特性を示し、ビスマス系超電導線材に比べて磁場中における臨界電流値の減衰が小さいことから、モータや発電機、変圧器、ケーブルといったさまざまな機器への適用が検討されている。これらの機器の実用化に向けて、さらに REBCO 線材の磁場中臨界電流 (critical current,  $I_c$ ) の向上と長尺化が求められている。

超電導線材の高い磁場中  $I_c$  を得るためには、人工ピン止め点 (Artificial Pinning Center: APC) の導入が知られており、MOD 法では非超電導相を導入することが有効である<sup>1), 2)</sup>。我々は TFA-MOD (Trifluoroacetates Metal Organic Deposition) 法を用いてあらゆる磁場印加角度に対して有効となる微粒子状の人工ピン止め点を導入した REBCO 線材の開発を行い、APC として BaMO<sub>3</sub> (M = Sn, Nb, Zr, Hf) を導入することで高い磁場中  $I_c$  を得ることに成功している<sup>3)~5)</sup>。また、REBCO 相の結晶化温度より低い温度で熱処理 (中間熱処理と呼ぶ) をすることで、さらに特性が向上することを報告している<sup>5), 6)</sup>。

TFA-MOD 法を用いた長尺 REBCO 線材作製方法にお

\* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

\*\* 九州大学

る本焼プロセスは Batch 式と Reel-to-Reel (RTR) 式がある (図 1)。Batch 式プロセスは、短時間で線材を熱処理できる高速製造プロセスではあるものの、熱処理可能な線材長さが装置サイズに依存する欠点を持っていた。また装置サイズが大きくなるにつれて炉体の熱容量が大きくなり、中間熱処理から結晶化温度までの温度領域における昇温時間の制御に難があり、均一な人工ピン導入線材の作製が困難であった。一方、RTR 式プロセスは原理的に装置サイズによる制約が少なく、長尺線材の作製に適している。また、一定温度に設定・制御された炉体内部に線材を通過させ、順次結晶化反応をさせながら巻き取るため、Batch 式プロセスに比べて温度制御や反応時の雰囲気制御が容易であると考えられる。

昭和電線ケーブルシステム(株)では、新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO) から委託を受けた「航空機用推進システム実用化プロジェクト/次世代電導推進システム研究開発」の要素技術開発として、REBCO 線材開発を担当している。これまで Batch 式本焼プロセスを用いて線材開発を行ってきたが、新たに RTR 式焼成炉を設計・開発し、これを用いて TFA-MOD REBCO 線材の長尺化及び磁場中高  $I_c$  化の検討を行ったので本稿で報告する。

塩、Gd-プロピオン酸塩、Ba-TFA 塩、Cu-オクチル酸塩を 0.77 : 0.23 : 1.5 : 3 の mol 比となるように調整した。人工ピンとなる非超電導粒子を形成するため、Zr-オクチル酸塩を 10 mol% 添加した。超電導原料溶液を中間層付金属テープの表面にディップコート法により連続的に塗布した。図 4 に示す温度プロファイルを経験するように温度設定した炉内を一定の速度で通過させ、その間に水蒸気を含む酸素雰囲気中で仮焼成を行った。一回の塗布膜厚は極めて薄いので、所定の膜厚まで塗布・仮焼を繰り返すマルチターン方式で、仮焼成膜を作製した。

中間熱処理及び本焼成工程は、RTR 式焼成炉を用いて行った。図 5 に温度プロファイルを示す。図 5 (a) の中間熱処理を行った後、図 5 (b) の本焼成にて結晶化させた。表 1 に中間熱処理及び本焼成の条件を示す。酸素分圧制御は、窒素と酸素の混合ガスで実施した。本工程における熱処理時間は、線速にて制御した。本焼成後の超電導薄膜層の膜厚は約 2.5  $\mu\text{m}$  である。超電導層作製後、安定化層として DC スパッタリング法により Ag 層を形成、酸素雰囲気中のアニール処理により YGdBCO+BZO 超電導膜中に適量の酸素をドーピングした。

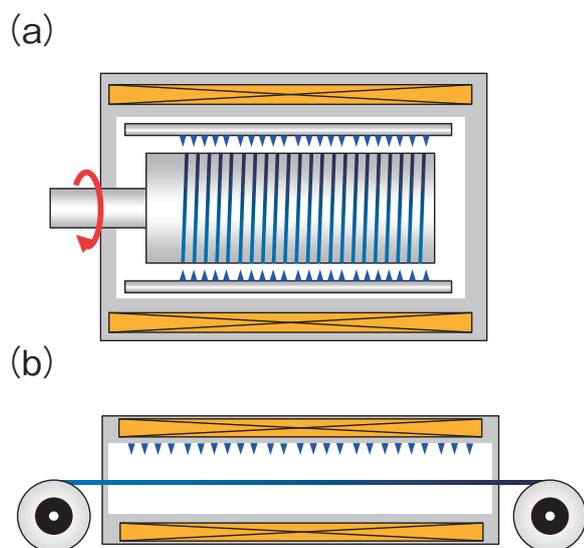


図 1 (a) Batch 式, (b) Reel-to-Reel 式焼成炉概略図

## 2. 超電導線材作製方法及び評価方法

### 2.1 作製方法

TFA-MOD 法を用いて中間層付き金属基板上に  $\text{Y}_{0.77}\text{Gd}_{0.23}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y + \text{BaZrO}_3$  (YGdBCO + BZO) 線材を作製した (図 2)。図に記載した中間層各層は、反応性スパッタリング蒸着法により製作した。超電導層作製の流れは ①塗布・仮焼成, ②中間熱処理, ③本焼成である。

塗布・仮焼成工程で使用する Multi-Turn 式仮焼成炉の概略図を図 3 に示す。超電導原料溶液は、Y-プロピオン酸

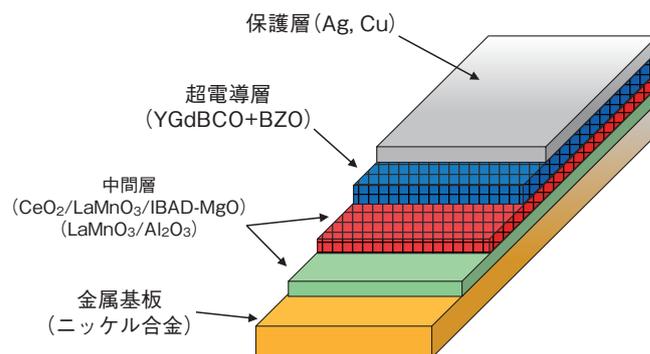


図 2 YGdBCO+BZO 線材の概略図

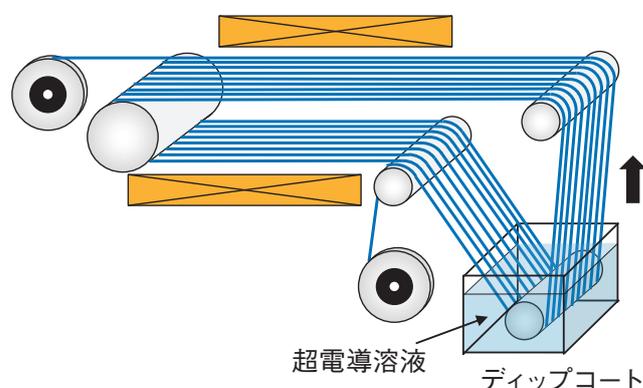


図 3 Multi-Turn 式仮焼成炉の概略図

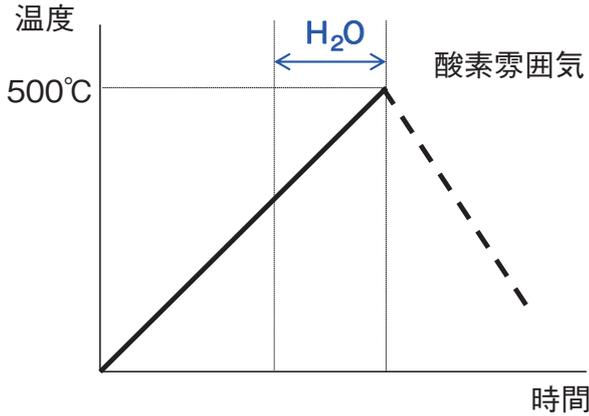


図4 仮焼成炉の温度プロファイル

長尺線材の焼成の検討を行うために5 m級 YGdBCO + BZO 線材の作製を行った。図7に中間熱処理時間 (a) 120 min, (b) 180 min で作製した線材の Tapestar™ 装置による評価結果を示す。いずれの中間熱処理時間においても比較的均一な  $I_c$  ( $I_c^{s.f.}$ ) 分布を示し、それぞれの平均  $I_c^{s.f.}$  は 480 A/cm-w, 466 A/cm-w であった。図中の局所的な  $I_c$  の低下は基板起因によるもの、あるいは塗布・仮焼成工程における塗ムラ、異物の混入によるものと考えられる。次

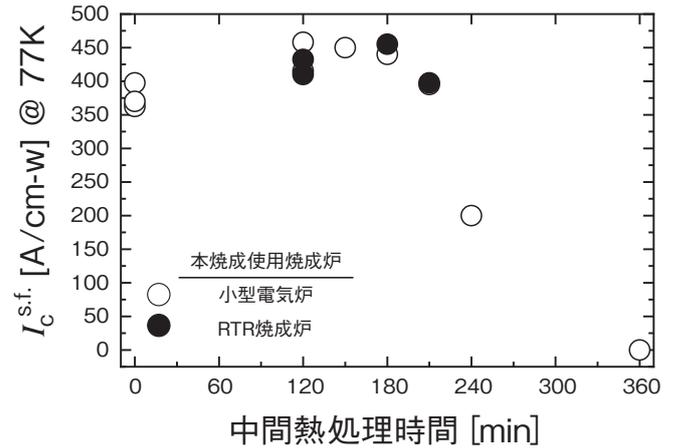


図6 YGdBCO+BZO 線材の  $I_c^{s.f.}$  の中間熱処理時間依存性

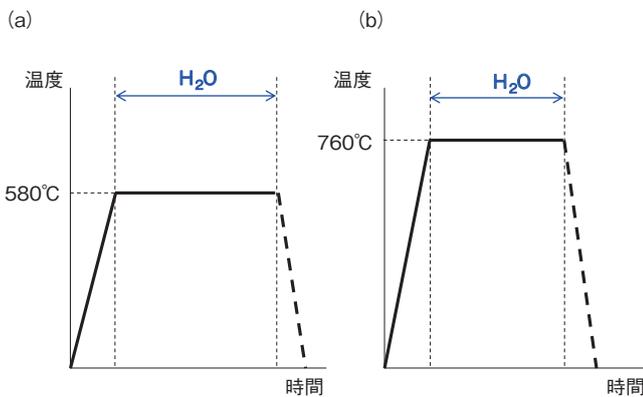


図5 温度プロファイル (a) 中間熱処理, (b) 本焼成

表1 YGdBCO+BZO 線材の作製条件

	中間熱処理条件	本焼成条件
焼成温度	580°C	760°C
焼成時間	0 ~ 360 min	90 min
全圧	8.0 kPa	
水蒸気分圧	7.3%	
酸素分圧	0.04 kPa	0.03 kPa
ガス流量	45 L/min	

## 2.2 評価方法

作製した線材の  $I_c$  特性は直流四端子法により液体窒素中 (77 K) で電流 - 電圧特性を計測、電界基準  $1 \mu V / cm$  により  $I_c$  値を定義した。また長尺線材の評価は、THEVA GmbH 社製、超伝導線材特性評価装置 (Tapestar™) を用いた磁化法により液体窒素中 (77 K) で行った。

## 3. RTR 式焼成炉による YGdBCO+BZO 線材の開発

### 3.1 5 m 級 YGdBCO+BZO 線材の作製

初めに短尺試料を用いて RTR 焼成炉で中間熱処理を行った後、本焼成を行った。図6に中間熱処理時間に対する自己磁場  $I_c$  ( $I_c^{s.f.}$ ) を示す。比較として小型電気炉で作製した YGdBCO + BZO 線材のデータをプロットする。新たに導入した RTR 焼成炉は、小型電気炉で焼成した線材の  $I_c^{s.f.}$  と同程度の特性を示すことが確認された。

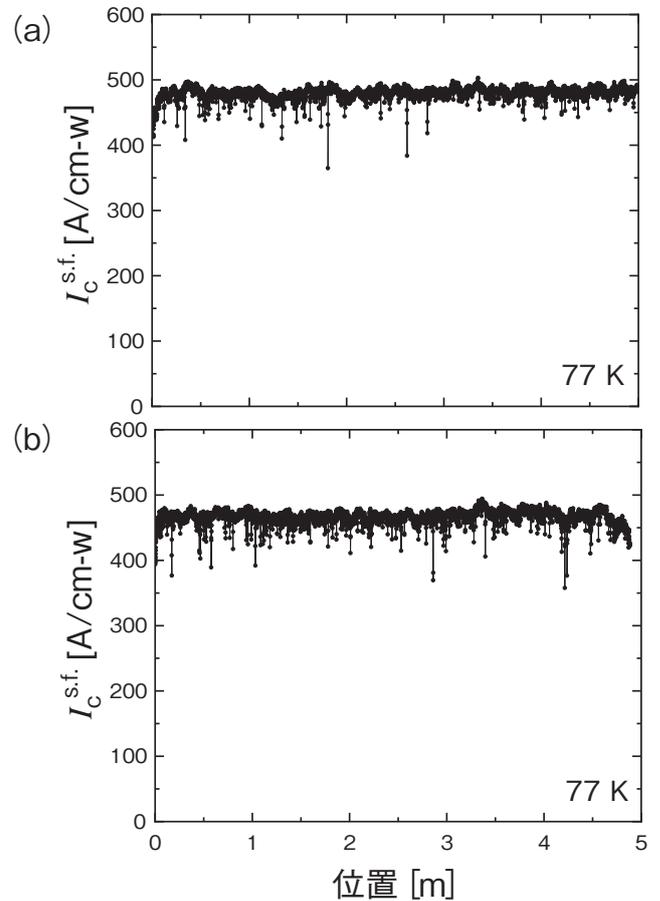


図7 中間熱処理時間の異なる 5 m 級線材の Tapestar™ 装置評価結果 (a) 120 min, (b) 180 min

に、長尺焼成した線材の磁場特性を確認するために、5 m 級 YGdBCO + BZO 線材の端部を切り出し、磁場中特性評価を行った。図 8 に 77 K,  $B||c$  (超電導線材面に垂直方向) における磁場中  $I_c$  特性を示す。中間熱処理時間の長い 180 min は、120 min に比べて高い  $I_c$  であることが確認された。

この中間熱処理による磁場中  $I_c$  への効果は小型電気炉で報告されている傾向と一致する<sup>5)</sup>。

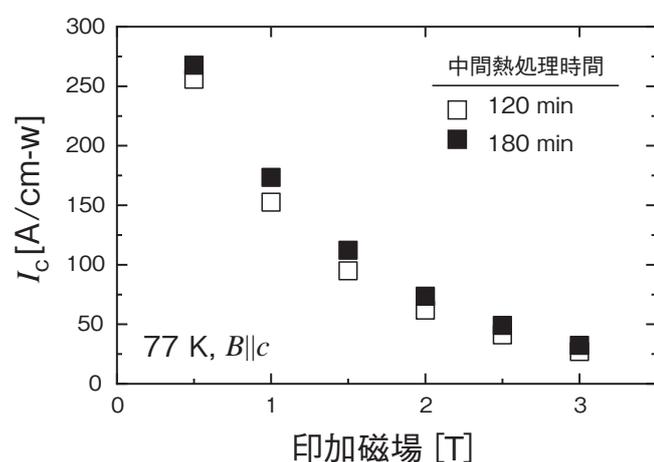


図 8  $I_c$  の磁場依存性

### 3.2 60 m 級 YGdBCO+BZO 線材の作製

3.1 項で示した結果を元に、中間熱処理時間を 180 min として 60 m 級 YGdBCO + BZO 線材の作製を行った。図 9 に作製した線材の TapeStar™ 装置による評価結果を示す。60 m 級長尺線材においても均一な  $I_c^{sf}$  特性が得られており、平均  $I_c^{sf}$  は 459 A/cm-w であることが確認された。

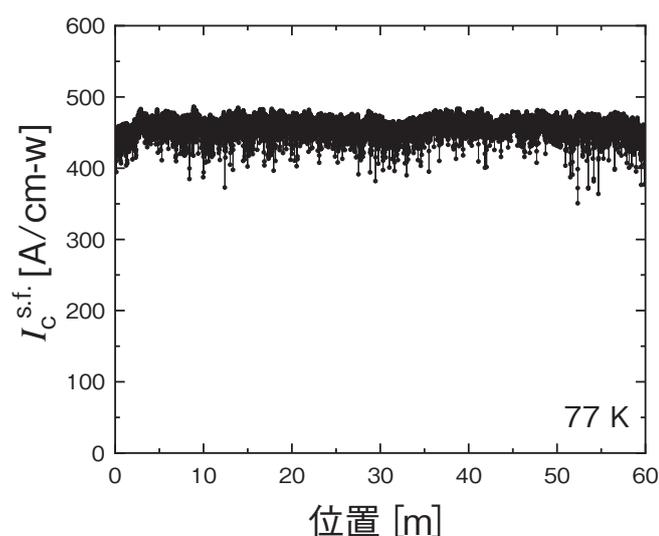


図 9 60 m 級線材の TapeStar™ 装置評価結果

## 4. ま と め

本稿では、TFA-MOD YGdBCO+BZO 線材の作製方法として従来の Batch 式ではなく RTR 式焼成炉を新たに導入し、これを用いて磁場中高  $I_c$  及び長尺線材の開発を行った。RTR 式焼成炉においても中間熱処理導入は磁場中特性向上に有効であることが確認された。磁場中  $I_c$  特性は中間熱処理時間の長い 180 min は、120 min に比べて高いことが確認された。60 m 級 YGdBCO+BZO 線材を作製したところ、線材長手方向で均一な特性が得られており、平均  $I_c^{sf}$  は 459 A/cm-w であることが確認された。RTR 式焼成炉を用いることで、さらなる長尺線材の作製が可能であると考えられる。

今後は長尺化だけでなく、さらなる磁場中特性向上を行い、開発を進める。

## 謝 辞

この成果は、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) の委託業務 (JPNP15005) の結果得られたものです。

## 参考文献

- 1) M. Miura, et al: Appl. Phys. Express 1 051701 (2008)
- 2) M. Miura, et al: Appl. Phys. Express 2 023002 (2009)
- 3) M. Miura, et al: Supercond. Sci. Technol. 26 035008 (2013)
- 4) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, P20-24 (2014)
- 5) K. Nakaoka, et al: J. Phys. Conf. Ser. 1293 012035 (2019)
- 6) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 61, P10-14 (2015)

昭和電線ケーブルシステム(株)  
佐藤 迪夫 (さとう みちお)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
博士 (工学)  
超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
高橋 保夫 (たかはし やすお)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
坂口 浩紀 (さかぐち ひろき)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
菅 聡 (すが さとし)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
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)  
足立 和久 (あだち かずひさ)  
技術開発センター 超電導応用製品課  
課長  
博士 (工学)  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
中岡 晃一 (なかおか こういち)  
省エネルギー研究部門  
研究員  
工学博士  
超電導線材の研究・開発に従事

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
和泉 輝郎 (いずみ てるお)  
省エネルギー研究部門  
主任研究員  
工学博士  
超電導線材の研究・開発に従事

九州大学  
岩熊 成卓 (いわくま まさたか)  
先進電気推進飛行体研究センター  
センター長  
工学博士  
超電導電力機器の研究・開発に従事

# 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<sup>1)</sup>。

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<sup>2),3)</sup>。

### 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	1500 V/1 min
	加熱中	600 V/30 min	600 V/60 min
	加熱後	1500 V/1 min	1500 V/1 min
絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ	50 MΩ
	加熱後	0.4 MΩ	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）。

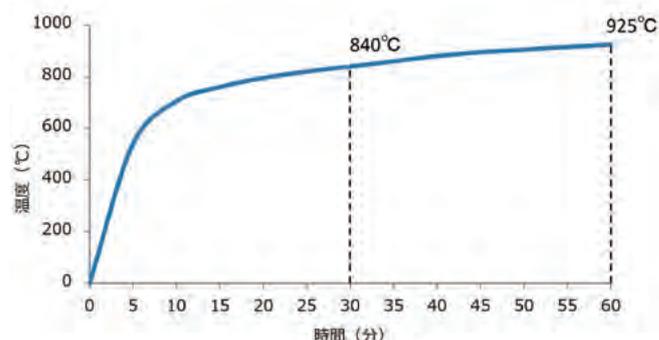


図1 標準加熱曲線B

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<sup>3)</sup>。

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、両端部にロックウ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)。

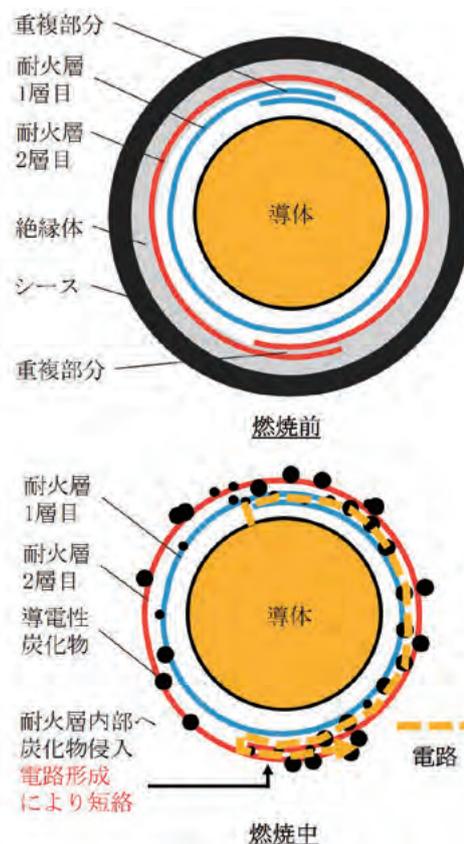


図4 耐火ケーブルの短絡要因

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)。

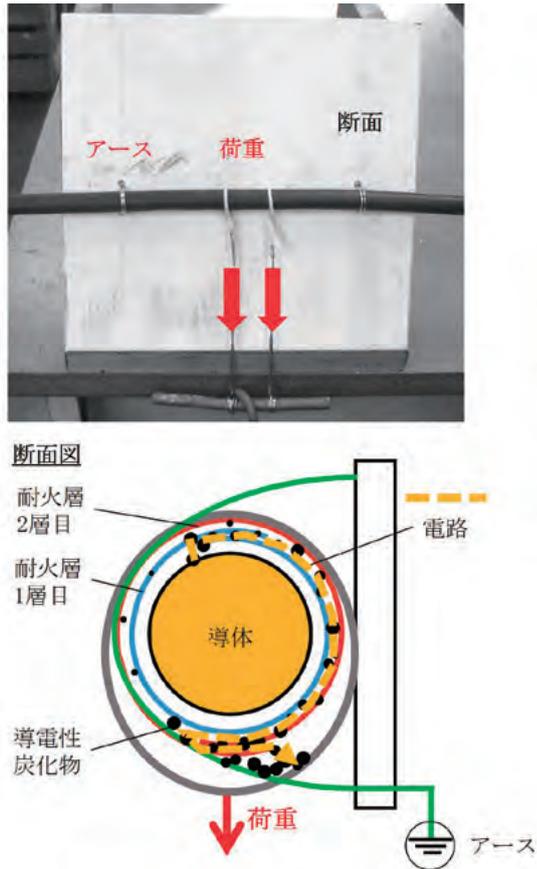


図5 露出試験における短絡要因

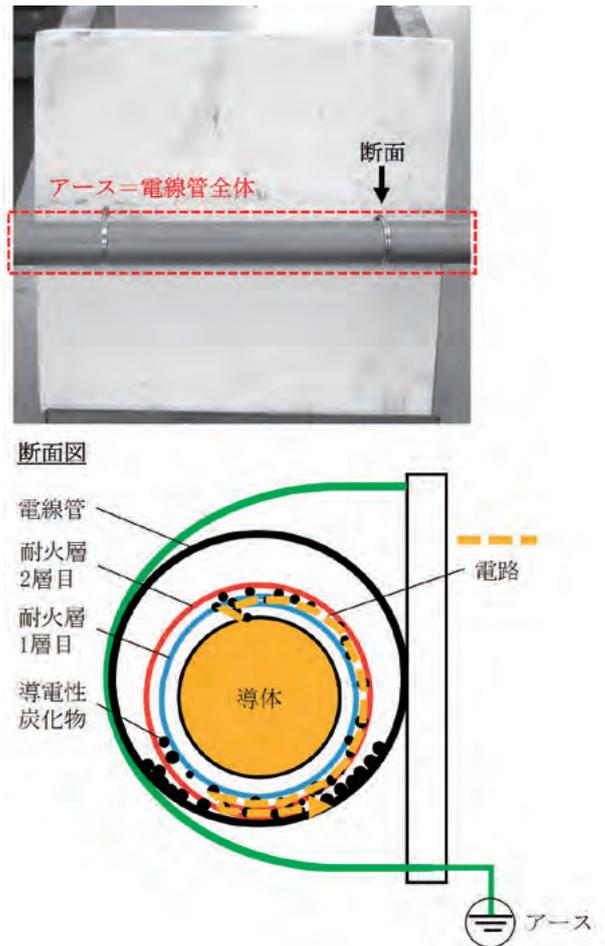


図6 電線管試験における短絡要因

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×150mm<sup>2</sup>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

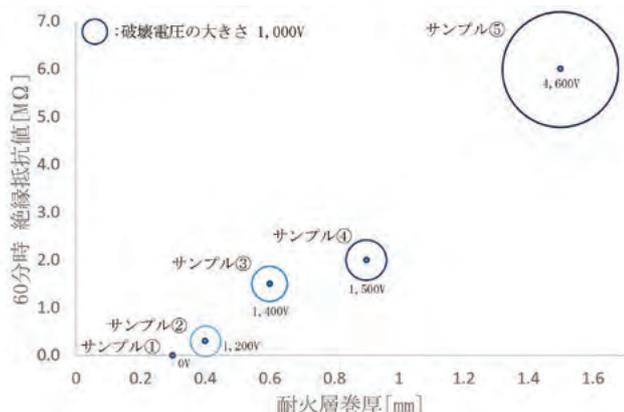


図7 耐火層構成と絶縁抵抗，破壊電圧の関係（露出）

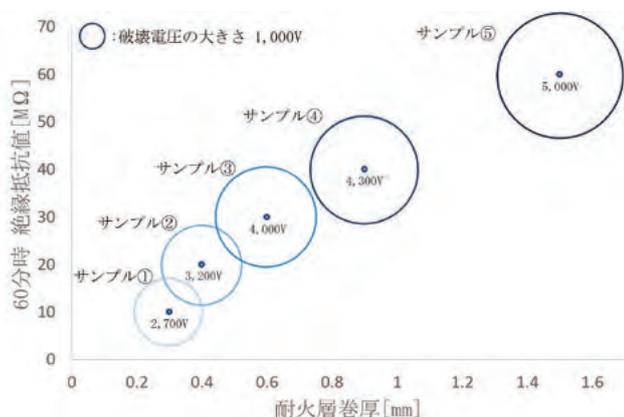


図8 耐火層構成と絶縁抵抗，破壊電圧の関係（電線管）

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%

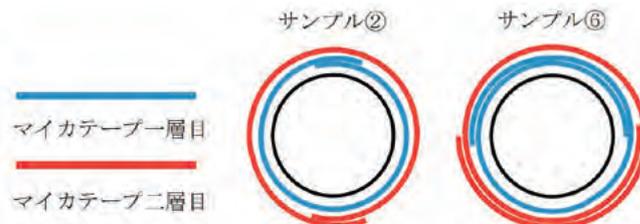


図9 サンプル⑥の耐火層構成図

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

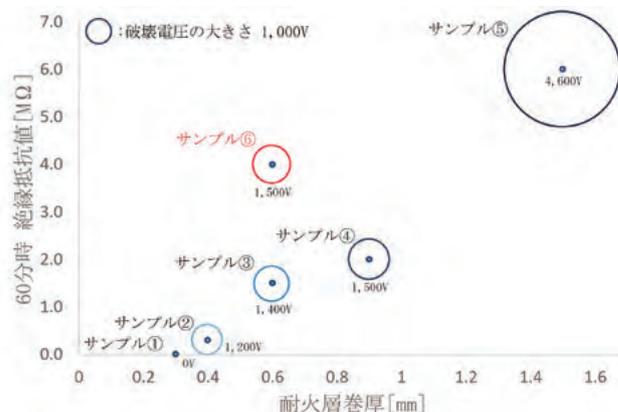


図10 サンプル⑥の絶縁抵抗，破壊電圧（露出）

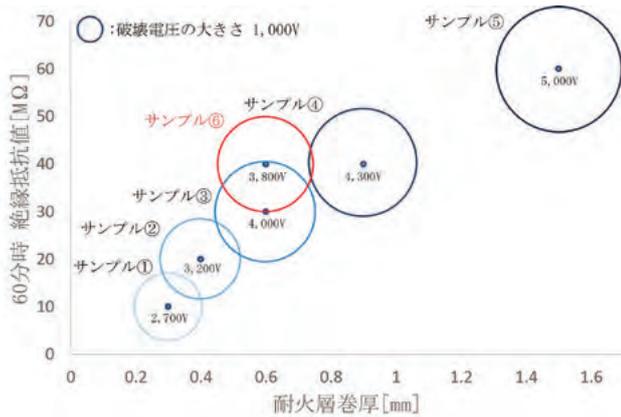


図 11 サンプル⑥の絶縁抵抗, 破壊電圧 (電線管)

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

# 加力治具を用いた天然ゴム系積層ゴム及び弾性すべり支承の 圧縮変形挙動（クリープ）比較検証

## Creep Test and Comparative Verification of Natural Rubber Bearings and Elastic Sliding Bearings Subjected to Compressive Load by Hydraulic Jacks and Frames

土屋 諒 恭  
Ryosuke TSUCHIYA

三須 基 規  
Motoki MISU

小林 公 樹  
Hiroki KOBAYASHI

加藤 直 樹  
Naoki KATO

免震構造に用いられる天然ゴム系積層ゴム等の免震部材は、主に水平方向性能の経年変化に関する研究が進んでいる。しかし免震部材の大型化に伴う検証や、ゴム総厚さが薄い弾性すべり支承の圧縮変形挙動（クリープ）に関する研究は少ない。そこでFEM解析を基に剛性が高く十分な測定精度が得られる加力治具を設計・製作して、積層ゴムや弾性すべり支承に圧縮荷重を与えて製品形状や気温がクリープに与える影響を検証した。その結果ゴムの熱膨張・収縮による変化を除いた長期的なクリープは小さかったので、実大サイズでも縮小試験体等による先行研究と同様の挙動を示すと推定された。

Seismic isolation products such as natural rubber bearing have been researched mainly on aged deterioration in horizontal performance. However, there are few studies on the verification of large-sized seismic isolation products and on vertical creep of elastic sliding bearings. Therefore, based on FEM analysis, we designed and manufactured a loading frame with high rigidity and sufficient measurement accuracy, and applied a compressive load to verify the effects of product shape and temperature on creep. As a result, long-term creep was small although changes due to thermal expansion and contraction of rubber occurred.

### 1. はじめに

免震構造には建物重量を支持しながら水平方向の地震動を許容できる積層ゴム等の支承材と呼ばれる製品が必要である。開発期には昭和電線製天然ゴム系積層ゴムφ500mmの圧縮破壊試験等が実施され、十分な安全性が確認されている<sup>1), 2)</sup>。また同仕様の積層ゴムφ500mmに油圧ジャッキによる加力治具で面圧20N/mm<sup>2</sup>相当の荷重を20年以上与えて圧縮変形挙動（クリープ）を測定し、その変化は約0.5mmと小さいこと、気温変化によるゴムの膨張・収縮、形状係数の影響等が報告されている<sup>3), 4)</sup>。一般に免震建物の地震時最大水平変形量（ゴムとしてのせん断変形）は数百mmで、鉛直変形量（ゴムとしての圧縮変形）は数mm程度なので、その変化が地震時の建物応答に与える影響は殆ど無いと考えられている。実際に積層ゴムφ500mmを用いた免震建物のクリープ量を測定したところ33年間で約2.4mm（クリープひずみ2.4%）との事例もある<sup>5)</sup>。また積層ゴムよりもゴム総厚さが薄い弾性すべり支承は圧縮変形を測定できる高精度の測定器が必要になる。そのためか従来は免震部材の経年変化は水平方向性能の検証<sup>6)</sup>が中心で、弾性すべり支承のクリープ測定結果が過去に報告され

た事例は殆ど見当たらない。

しかし近年は免震部材の大型化が進み、積層ゴムは様々な検証をφ800mmの実大サイズで実施するようになった。また大容量の油圧部品や高精度の測定器も入手できるようになった。

そこで従来よりもゴム直径が大きい実大サイズの積層ゴムφ800mm用の加力治具を設計・製作して、圧縮荷重を与えたときの圧縮変形変化量を測定する。また弾性すべり支承φ500mmも同様に圧縮変形変化量を測定して、ゴム直径やゴム総厚さやすべり材の有無、気温によるゴムの膨張・収縮が与える影響等を先行研究と比較できるようにする。

なお本論文は過去の経緯から積層ゴム→弾性すべり支承の順で述べているが、準備の都合等により実際の測定は弾性すべり支承<sup>7)</sup>→積層ゴムの順で実施している。

### 2. 試験体・測定方法

#### 2.1 試験体仕様

先行研究に対する今回の試験体の位置づけを表1、仕様を表2～表3に示す。積層ゴムは先行研究よりゴム直径等が大きいφ800mmとしたが、先行事例の無い弾性すべり

支承はφ 500 mmとして、すべり材を『高摩擦』『中摩擦』の2種類にした。前者の材料は充てん剤入り PTFE で、より摩擦係数や面圧を高めたものである。後者の材質は純 PTFE で、一般に線膨張係数は  $13.5 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$  と前者 ( $5.9 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$ ) : いずれも  $-30 \sim +30^\circ\text{C}$  の2倍以上なので、より熱膨張・収縮しやすいと推定される<sup>8)</sup>。

表 1 先行研究に対する今回の試験体の位置づけ

製品分類	ゴム直径 [mm]	形状係数		備考	
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>		
先行研究	積層ゴム	φ 300	31.7	5.1	開発時からの試験体
		φ 500	33.3	5.1	圧縮限界試験実施済み クリープ長期測定中 <sup>3), 4)</sup>
		φ 800	31.7	5.1	FEM 解析による加力治具 強度確認も実施 (図 3)
本書	弾性すべり 支承	φ 500	23.8	16.7	すべり材は 2 種類 (表 3)

表 2 積層ゴム試験体仕様と数量

ゴムのせん断弾性率 [N/mm <sup>2</sup> ]	ゴム形状		鉛直方向		数量
	直径 [mm]	厚さ×層数=総厚 [mm]	基準 面圧 [N/mm <sup>2</sup> ]	荷重 [kN]	
0.39	φ 800	6 × 26 = 156	15	7520	2

表 3 弾性すべり支承試験体仕様と数量

ゴムの せん断 弾性率 [N/mm <sup>2</sup> ]	ゴム形状 直径 厚さ×層数 =総厚 [mm]	すべり材		直径 ×厚さ [mm]	鉛直方向		数量
		材質	摩擦 係数*		基準 面圧 [N/mm <sup>2</sup> ]	荷重 [kN]	
0.78	φ 500	充填剤 入り PTFE	0.094	φ 500 × 4	20	3920	1
	5 × 6 = 30	PTFE	0.081		15	2940	1

\*摩擦係数は速度 400 mm/s 時の基準値

## 2.2 加力治具の設計・製作

積層ゴム用加力治具仕様を表 4、概略形状を図 1 に示す。加力治具は下プレート、土圧計、通しボルト、中プレート、積層ゴム、上プレートの順番に組み立ててから六角ナットで上下プレートを固定後、土圧計で積層ゴムを建物設置時に準じる基準面圧時荷重 7520 kN で圧縮する構造である。

プレートの形状・強度検証には FEM 解析を用いた。その結果の一部を図 3 に示す。応力解析ソルバーは ANSYS 社の ANSYS Mechanical を用い、以下の条件で最大応力と最大たわみを算出した。形状は全体の対称性から 16 分割要素とした。境界条件はプレートと積層ゴムの接触面を詳細な形状から φ 804 mm として面圧 15 N/mm<sup>2</sup> を与え、通しボルト・ナットのワッシャー部 φ 98 mm × 8 箇所を反力位置とした。このときワッシャー部分は位置固定の剛体としており、ワッシャー - プレート間の摩擦係数は 0.1 とした。これらの結果から、大荷重時でも各部の応力が SS400 鋼材の許容応力度<sup>9)</sup> より小さくなるようにプレート厚さや形状等を決定した。積層ゴムは同じものを 2 体製造して重ねて同時に圧縮して圧縮変形変化量を n = 2 で測定

した。なお、概略形状を図 2 に示す弾性すべり支承用加力治具はすべり材接触面に実際の製品と同じステンレス製すべり板を追加した以外は同様の構造なので詳細は省略する。

表 4 加力治具仕様

	プレート		通しボルト		土圧計	重量	
	材質	許容応力度 <sup>9)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	厚さ [mm]	材質	呼び	最大荷重 [kN]	[kg]
積層 ゴム	SS400	215	200	SCM435	M52	9000	6800
弾性 すべり 支承			100		M42	5000	2000

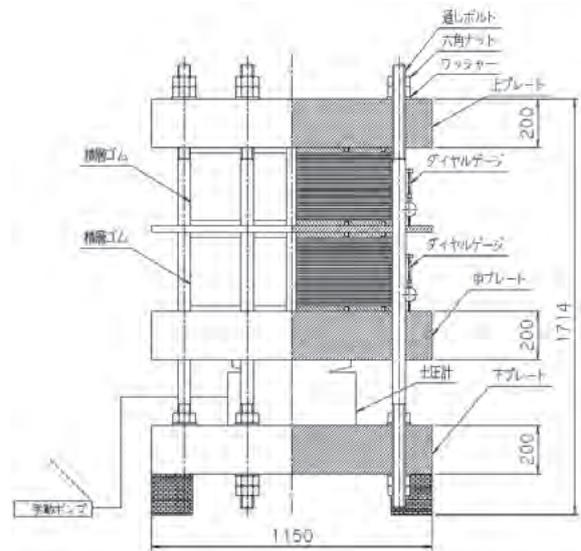


図 1 積層ゴム φ 800 mm 用加力治具の概略形状

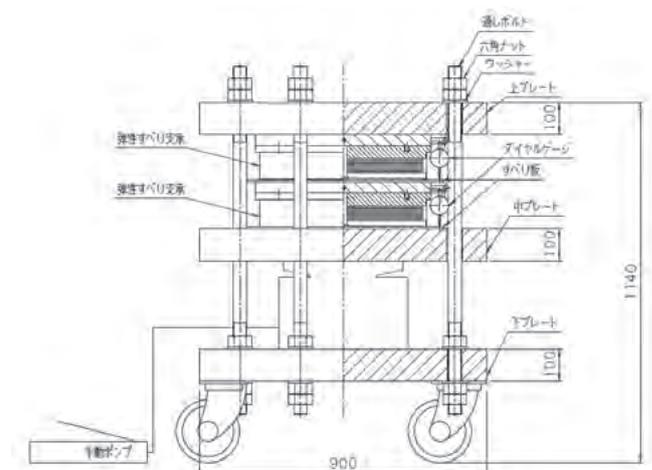


図 2 弾性すべり支承 φ 500 mm 用加力治具の概略形状

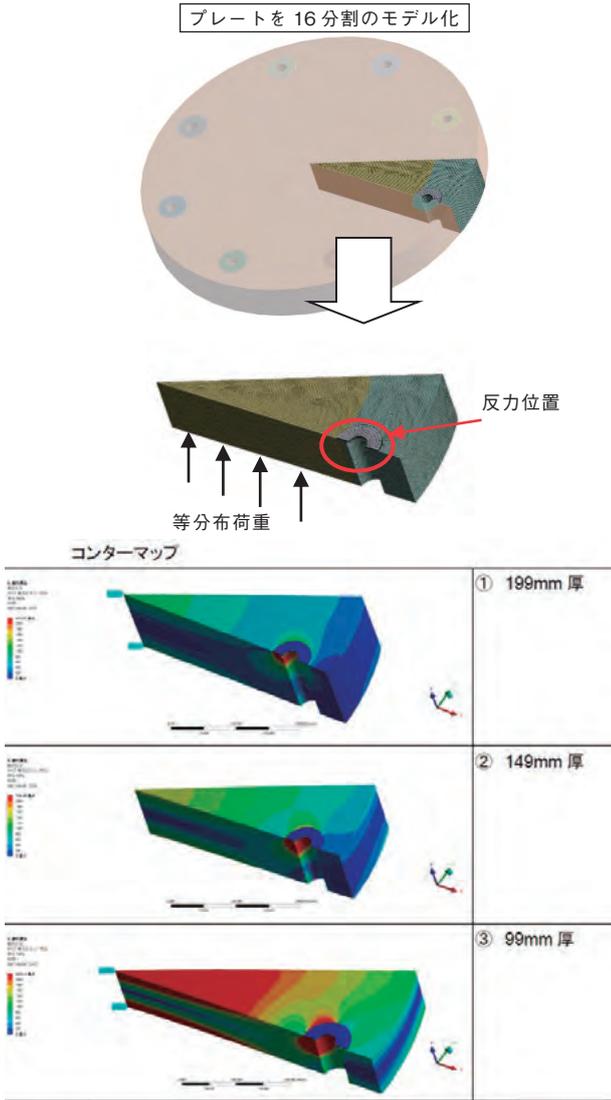


図3 FEM解析による上プレート厚さと応力分布の確認例  
(赤：200 N/mm<sup>2</sup>以上，青：20 N/mm<sup>2</sup>以下)

2.3 加力治具の組み立てと測定手順

試験体は事前に高さ寸法等を測定して、その後の変化の基準値とした。積層ゴムは実際の製品と同様に保護ゴムを巻き、その上から免震部材の設置環境を模擬して直射日光を遮る発泡ポリエチレンシートを巻き付けた。積層ゴム用加力治具の外観を図4に示す。弾性すべり支承のゴム外周にも同様に発泡ポリエチレンシートを巻き付けた。ダイヤルゲージ(精度0.001 mm)はゴム外周の直交4か所に設置して、図5に示す無荷重時で一度ゼロ調整することで圧縮変形状態の確認ができるようにした。ダイヤルゲージは試験体の高さが低くなる方向を正として積層ゴムではマグネットスタンドで固定した。弾性すべり支承は試験体高さが低いため市販のマグネットスタンドがプレート間に入らないこと、僅かなガタが測定値に影響を与えることからダイヤルゲージは専用治具と六角ナット等で固定した。

次に油圧ポンプで土圧計を操作して圧縮荷重を与えた。測定場所は当社相模原事業所の非空調空間で、気温変化に

伴うゴムの熱膨張や収縮により荷重が変動するため定期的に手動ジャッキを操作して、目標荷重に対して積層ゴムは±約50 kN、弾性すべり支承は±約200 kNで調整した。両者の値が異なるのはゴム総厚が薄く鉛直剛性の高い弾性すべり支承の方が熱膨張・収縮による荷重変化が大きいためである。

目標荷重到達後のダイヤルゲージは4か所とも同様の値を示しており、中プレートは傾斜せず試験体を均等に圧縮できていることを確認した。直後にゼロ調整して、その後圧縮変形変化量を計測した。ゴムの圧縮変形変化量は経過時間に対して自然対数的に変化すると予想されたため測定間隔は初日のみ細かく、2日目以降は気温によるゴムの体積変化が最も小さいと考えられる早朝を基本とした。

温度計は試験体の近くに設置して、測定場所から最も近い気象台『海老名』<sup>10)</sup>と比較した。

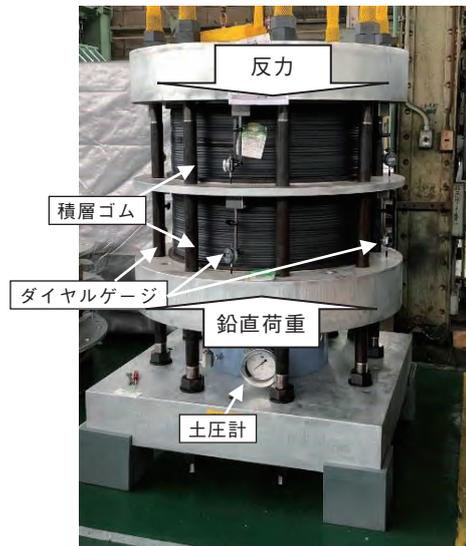


図4 加力治具組立後の測定状態  
(積層ゴムの場合)

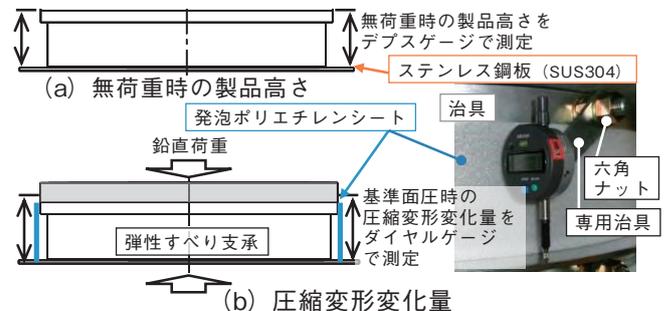


図5 無荷重時の製品高さや圧縮変形変化量の測定方法  
(弾性すべり支承の場合)

### 3. 測定結果

#### 3.1 積層ゴムの約 1000 時間圧縮変形変化量

積層ゴムの約 1000 時間経過後の圧縮変形変化量測定結果を図 6 に示す。まだ測定データは短いですが、当初予想された対数的な変化というより気温の増減に応じて変化していた。但し気温による影響を精度よく除くためには 1 年以上の測定データが必要と考えられる<sup>11)</sup>。その詳細は次節で述べる。

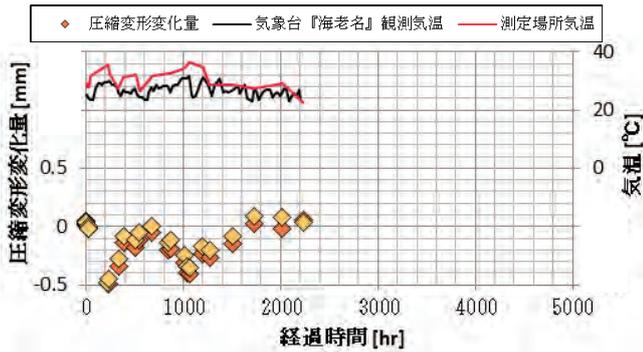


図 6 積層ゴムφ 800 mm の圧縮変形変化量測定結果

#### 3.2 弾性すべり支承の 10000 時間以上圧縮変形変化量

弾性すべり支承の約 10000 時間以上経過後の圧縮変形変化量測定結果を図 7 に示す。

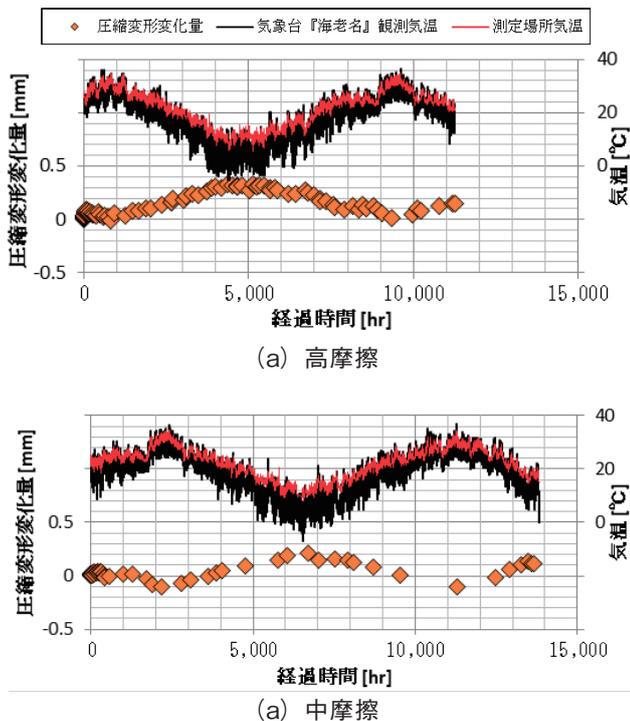


図 7 弾性すべり支承φ 500 mm 圧縮変形変化量測定結果

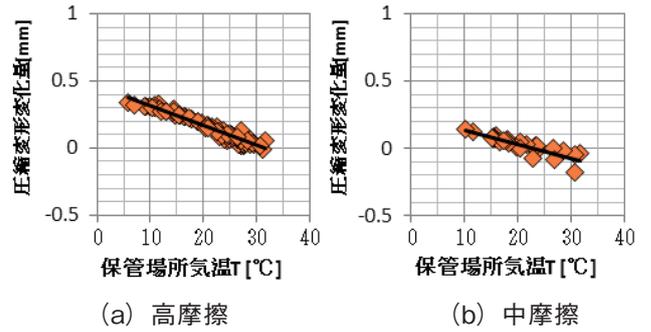


図 8 圧縮変形変化量と測定場所気温の関係

$$\text{高摩擦の } \gamma_{20^\circ\text{C}} = \frac{\{(y - y_0) + 0.0149T - 0.298\}}{n \cdot t_r} \quad (1)$$

$$\text{中摩擦の } \gamma_{20^\circ\text{C}} = \frac{\{(y - y_0) + 0.0103T - 0.206\}}{n \cdot t_r} \quad (2)$$

但し  $\gamma_{20^\circ\text{C}}$  : クリープひずみ 20°C 補正值

$y - y_0$  : 圧縮変形変化量 [mm]

$T$  : 測定場所気温 [°C]

$n \cdot t_r$  : ゴム総厚 (ここでは 30 : 表 3) [mm]

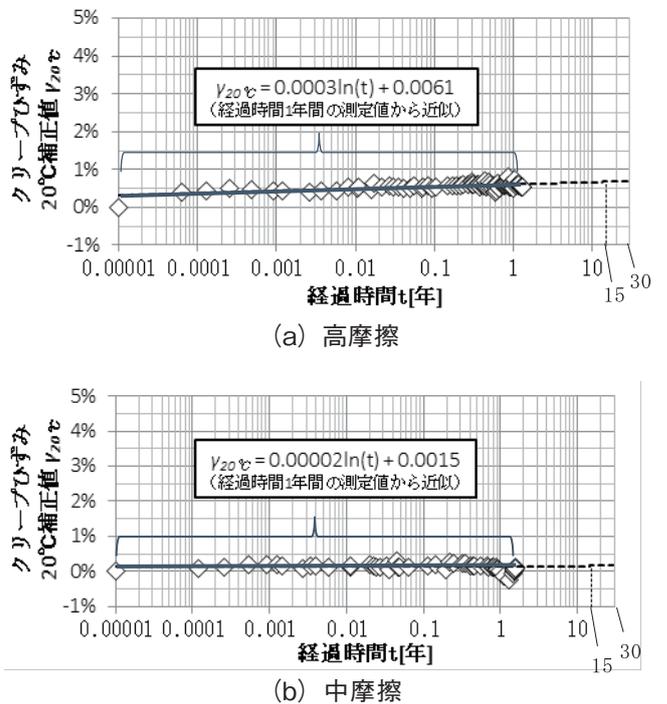


図 9 クリープひずみ 20°C 補正值

こちらも同様に圧縮変形変化量は、気象台観測値よりも変化が小さい測定場所気温に応じて変化した。これをゴムとすべり材の熱膨張・収縮と考えて最小二乗法 (図 8 黒色直線) で補正後にゴム総厚で除したクリープひずみ 20°C 補正值を式 (1)、式 (2)、図 9 に示す。

熱膨張・収縮の影響を除くとクリープひずみは小さく、外挿（図9 黒色破線）結果から10～30年経過しても1%未満と予測される。これは文献3等に示す先行研究と同様の傾向であった。一般にゴムは時間経過に従って酸化劣化が進行するが、積層ゴム、弾性すべり支承ともゴムの受圧面積に対して空気に触れる表面積の割合が少ない。そのため、この後の変化も小さいと推定される。

#### 4. 結論

実大サイズの免震部材の圧縮変形挙動（クリープ）を測定するため、FEM解析で剛性が高く十分な測定精度が得られる加力治具を設計・製作し、天然ゴム系積層ゴムφ800mm及び弾性すべり支承φ500mmに荷重を与えて圧縮変形の変化を測定した。圧縮直後からの変化をクリープ量とすると、積層ゴムも弾性すべり支承も先行研究と同様に気温変化に伴い増減した。

そこで測定データが多い弾性すべり支承の結果からゴムとすべり材の熱膨張・収縮の影響を除くと、時間経過によるクリープ量は極めて小さく、厚さに対する変化率のひずみに換算すると1%以下と推定された。先行研究での積層ゴムのクリープひずみは33年間で約2.4%<sup>9)</sup>であることから、同等のクリープ特性と考えられる。

積層ゴムφ800mmも同様の挙動を示すと考えられるので、ゴム形状やすべり材の有無が免震部材の圧縮変形挙動に大きな影響を与えないと推定できるように、今後も測定を実施して今回の検証を継続確認する予定である。

#### 参考文献

- 1) 福岡大学工学部建築学科多田研究室, 免震構造の実験的研究(1995)
- 2) 高山峯夫, 他:天然ゴム系積層ゴムアイソレータの圧縮限界耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第482号, pp.43-51 (1996)
- 3) 森田慶子, 他:天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究(その2)クリープ特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.399-400 (2010)
- 4) 森田慶子, 他:免震構造用天然ゴム系積層ゴムアイソレータのクリープ実験, 日本建築学会九州支部研究報告, 第56号, pp.165-168 (2017)
- 5) 山上聡, 他:実建物で供用している積層ゴムの経年変化, 奥村組技術研究年報, No.46, pp.79-83 (2020)
- 6) 三須基規, 他:竣工後30年経過した免震建物と天然ゴム系積層ゴムの性能検証, 昭和電線レビュー, Vol.64, pp.13-17 (2018)
- 7) 土屋諒恭, 他:基準面圧時における弾性すべり支承のクリープ特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.711-712 (2020)
- 8) 社団法人日本ゴム協会免震ゴム利用技術特別委員会:免震用積層ゴムの利用技術に関する研究報告書(1992)
- 9) 日本建築学会:鋼構造許容応力度設計規準(2019)
- 10) 国土交通省気象庁HP
- 11) 浜辺千佐子, 他:免震装置変位のリアルタイム遠隔監視システムの開発 その5.システムによる長期計測結果概要と積層ゴム支承の経年変化に関する分析(続報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.917-918 (2018)

昭和電線ケーブルシステム(株)  
土屋 諒恭 (つちや りょうすけ)  
免震制振部 技術課  
免震部材の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
三須 基規 (みす もとぎ)  
免震制振部 技術課  
免震部材の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
小林 公樹 (こばやし ひろき)  
技術開発センター 分析・評価課  
計算機を用いたシミュレーション業務に従事

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 部長

# 示差走査熱量計によるポリエチレンの熱履歴推定

## Thermal History Estimation on Polyethylene by DSC (Differential Scanning Calorimetry)

山口 和平  
Kazuhira YAMAGUCHI

東村 力哉  
Rikiya TOUMURA

西岡 淳一  
Jun-ichi NISHIOKA

電線の絶縁材として広く使われているポリエチレンは、融点以下の温度に加熱されるとその温度に応じて結晶の再配列あるいは成長が起きる。この試料をDSCで測定を行うと加熱温度に応じたピークが生じることから、試料の熱履歴を調べることができる。性状の異なる複数のポリエチレンを用いて、加熱温度、加熱時間の条件を変えてDSC測定による熱履歴推定を行った。調査した3種のポリエチレンにおいては加熱温度と熱履歴温度はほぼ同様な直線関係を示し、材料が変わっても同様な熱履歴推定が可能であることが分かった。

We have investigated the thermal history of various polyethylene used for the electric cables by the differential scanning calorimetry (DSC). Therefore DSC profiles were affected by the heat treatment temperature and time. From this relationship, the thermal history can be estimated. In this paper, thermal history of same PE used for the actual electric cables were investigated for various heat treatment conditions.

### 1. はじめに

ポリエチレンは優れた電気特性を有することから、電線の絶縁材として広く使用されている。これらの電線は製造工程や布設工事、実使用時に加工のための加熱、導体通電による発熱あるいは事故などによる外部からの加熱などさまざまな熱を受ける。ポリエチレンは熱により劣化あるいは絶縁性能の低下を起すことが知られており、これらの熱履歴を推定することは電線の製造工程、布設工事を通じた品質維持、実使用時の保守管理に大変重要である。

ポリエチレンなどの結晶性高分子に融点以下の温度の加熱を受けると一部結晶の消失や成長が生じ、冷却されて室温に戻ったときでもその変化は保存される。この変化が残っている試料を示差走査熱量計(DSC: Differential Scanning Calorimetry)で測定を行うと過去の熱履歴に応じて結晶の溶融挙動が異なるのでDSC曲線に変化が現われる。加熱とDSC曲線の変化の関係をあらかじめ求めておくことにより、試料のDSC曲線から過去の熱履歴を推定することができる。またポリエチレンの熱履歴は高電圧の影響を受けないことが分かっており<sup>1)</sup>、実使用された電線ケーブルから採取したサンプルにおいても、熱の影響だけを調べることが可能である。

ポリエチレンの熱履歴を推定する方法については既に報告している<sup>2)~4)</sup>が、性状の異なる複数の材料を用いて熱履歴推定への影響について改めて調査した。

また最近、高密度ポリエチレンを使用したケーブルが増えていることから、高密度ポリエチレンについても熱履歴の推定が可能かどうか検討を行った。

### 2. 熱履歴推定の原理

絶縁材料として使用されるポリエチレンは結晶化度が約50%程度の結晶性高分子であり、図1に示すようなラメラ構造の結晶を形成すると言われている。

ポリエチレンを加熱していくと、結晶部分はその結晶の大きさに応じた温度で融解し非晶部分になる。この融解現象は吸熱反応であり、DSC測定において融解ピークとして検出される。

DSC曲線に現われる融解ピークの温度幅はポリエチレンの場合かなり広く、これはさまざまな大きさの結晶粒が存在し広い温度範囲に融解ピークが存在することを示している。

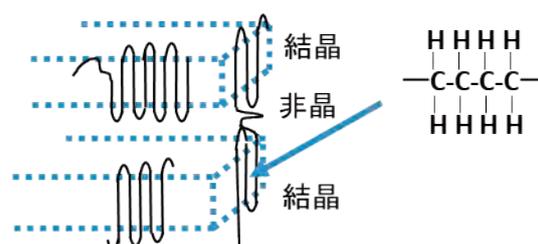


図1 ポリエチレンの結晶構造

図2の様に融点以下のある温度域の熱がかかるとその温度に応じて分子の再配列と結晶成長が起きる。そのため実際にかかった温度以下のピークが消失し、それより高い温度にピークがシフトする。最終的にDSC曲線には融点を示すピークと最後にかかった熱履歴に応じたピークが残ることになる。図3に熱履歴測定の代表例を示す通り、例えば70℃で加熱すると熱履歴ピークは78℃に現れる。

この加熱温度と熱履歴ピークの出現温度を事前に調べておくことで、DSC測定から試料の熱履歴を調べることができる。

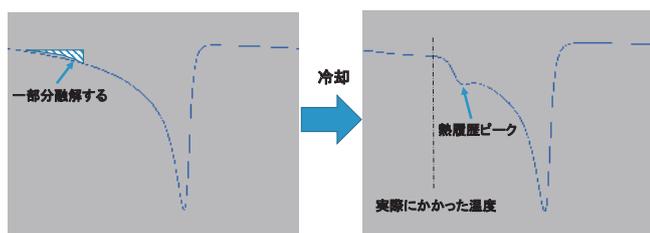


図2 DSCで見られる熱履歴ピーク

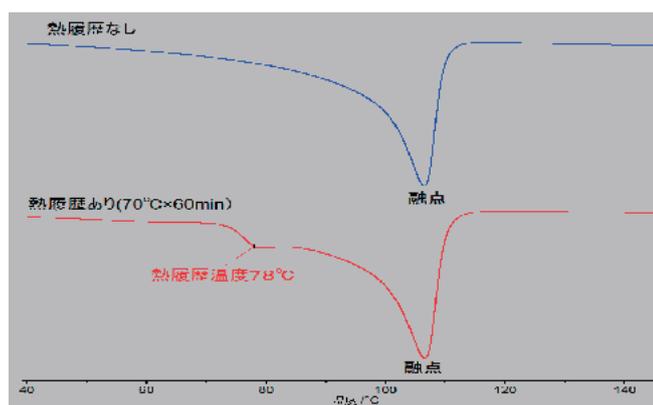


図3 加熱前後のポリエチレンのDSC測定例

### 3. 試料および実験方法

性状の異なる低密度ポリエチレン3種類(A, B, C)と高密度ポリエチレン1種類のペレットを測定試料として用いた。

表1 低密度ポリエチレンの試料情報

試料	A	B	C	試験方法
成分	LDPE	LDPE	LDPE	-
架橋剤	DCP	DCP	DCP	-
融点	106℃	105℃	110℃	DSC
密度	0.918 g/cm <sup>3</sup>	0.918 g/cm <sup>3</sup>	0.920 g/cm <sup>3</sup>	JIS K 7112

測定は、ネッチジャパン製の示差熱熱量計(DSC3500)で行った。測定条件は昇温速度10℃/min、試料重量は5～6mg、測定温度範囲は室温～150℃までとした。

試料の加熱はDSC装置内で行い図4に例を示す温度プログラムにて実施した。測定前に試料に残っている熱履歴を除去するために一度150℃まで加熱してから室温まで冷却し、その後所定の温度及び時間で加熱して熱履歴を与えてから、再び室温まで冷却した後に測定を行った。

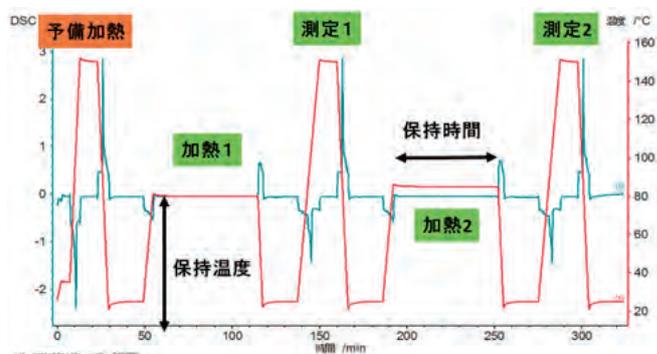


図4 温度プログラムの例(80℃)

測定に用いた低密度ポリエチレンの物性値を表1に示す。引張り強度と伸びは厚さ1mmのシートサンプルに成型し架橋したものを使用した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 架橋度による熱履歴温度の変化

図5～7に低密度ポリエチレンAのペレット、シートサンプル、ケーブルから切り出したサンプルに70℃、95℃、110℃でそれぞれ60min加熱した後に測定したDSC曲線を示す。

70℃加熱では78℃、95℃加熱では101℃、にそれぞれ熱履歴ピークを示し、110℃加熱の場合は融点以外のピークは生じなかった。このように融点以下の熱履歴を与えるとその熱履歴温度より少し高い温度にピークが現れることが分かる。また試料形態がペレット(非架橋)あるいはシート及びケーブル(架橋後)であってもピーク温度に差はなく、同じ熱履歴温度であればピーク温度は同じであることが分かる。

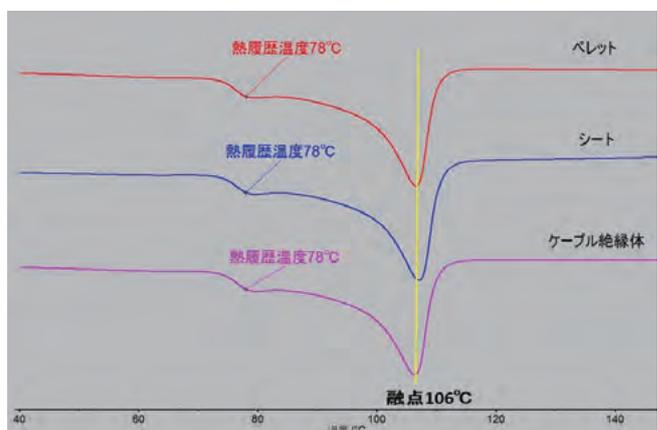


図5 サンプルAの形状別の保持温度70℃の熱履歴温度

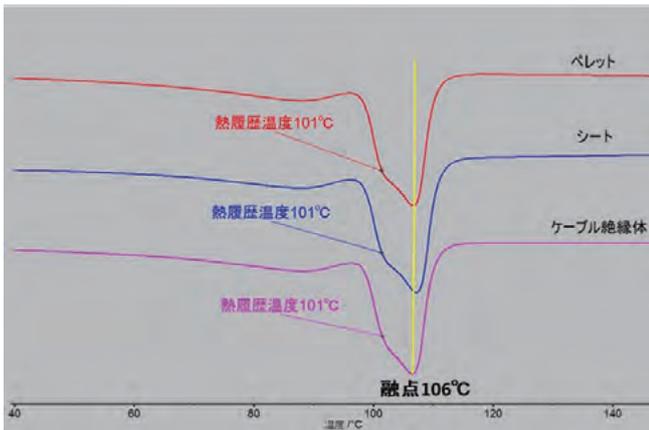


図 6 サンプル A の形状別の保持温度 95°C の熱履歴温度

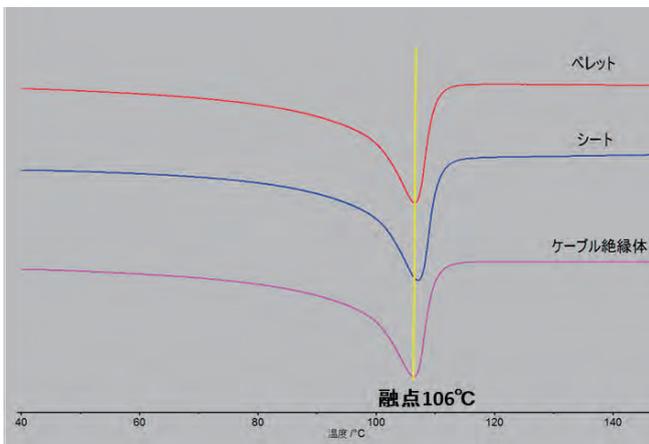


図 7 サンプル A の形状別の保持温度 110°C の熱履歴温度

#### 4.2 保持温度による熱履歴の変化測定

電線の絶縁材料で使用される低密度ポリエチレンの 3 種 (A ~ C) のペレットサンプルを用い、測定温度範囲は 50 ~ 110°C までの 9 点で DSC による熱履歴を測定した。保持時間は 60 min で固定し、結果をそれぞれ図 8 ~ 10 に示す。

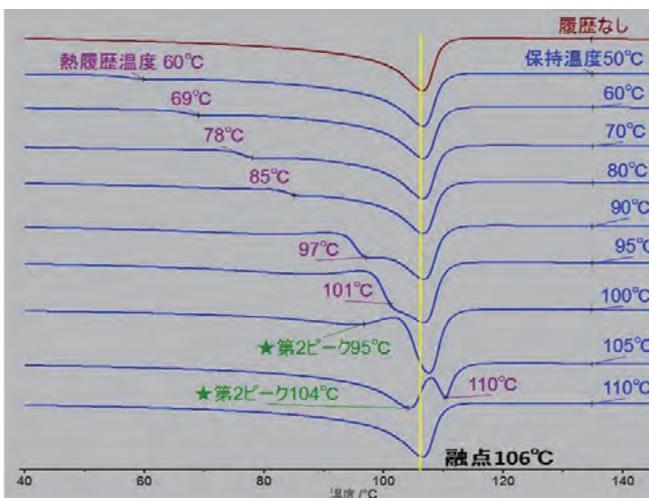


図 8 低密度ポリエチレン試料 A  
(保持時間: 60 min 保持温度: 50°C ~ 110°C)

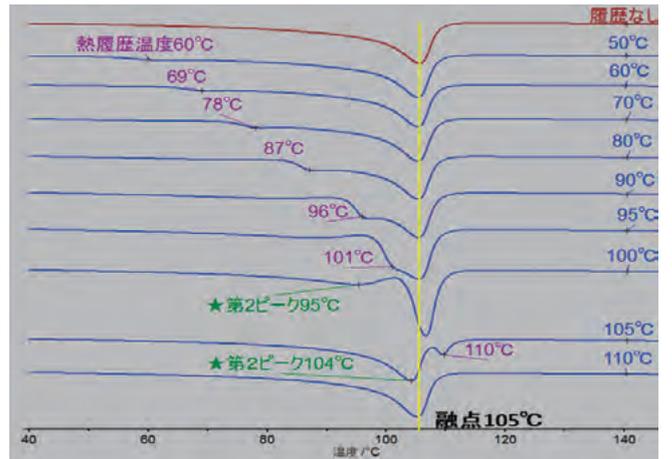


図 9 低密度ポリエチレン試料 B  
(保持時間: 60 min 保持温度: 50°C ~ 110°C)

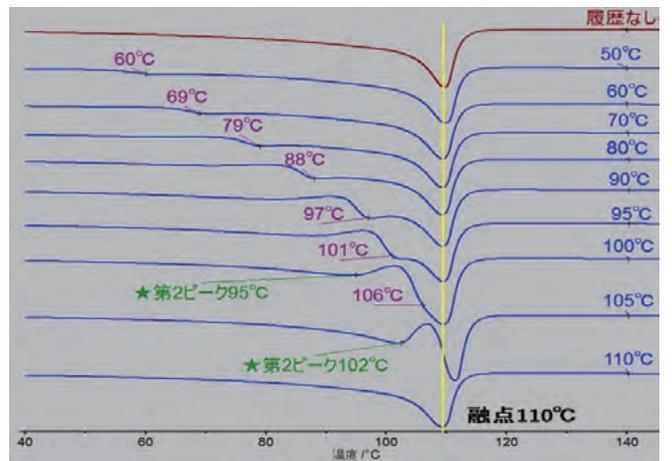


図 10 低密度ポリエチレン試料 C  
(保持時間: 60 min 保持温度: 50°C ~ 110°C)

熱履歴ピークは保持温度 50°C から見られ、保持温度が上がるほど高温側にシフトしていく。保持温度が 90 ~ 105°C の場合は低温側に生じる第 2 ピークが顕著にみられる。図中に明示はしていないが、この第 2 ピークは保持温度 80°C 以上で生じている。融解した結晶が高い融解温度の結晶に取り込まれるあるいは結晶成長することで保持温度より高い温度に熱履歴ピークを生ずるが、この結晶再配列に取り込まれなかった結晶が残存して第 2 ピークを生じていると考えられる。保持温度が 110°C の場合は融点以外のピークは見られなくなる。ポリエチレンに融点以上の熱処理を加えた場合には試料中の全ての結晶、非晶が溶融するため熱履歴ピークは残らないためである。

図 8 ~ 10 に示す通り、試料 A ~ C の 3 種のポリエチレンにさまざまな温度で 60 min の熱処理を加えると、加熱温度 (保持温度) に応じて熱履歴ピークが現れる。今回調査した試料 A ~ C の熱履歴ピーク温度と保持温度の差を図 11 に示す。調査した 3 つの材料で保持温度と熱履歴温度の差もほぼ同様になっていることが分かる。また保持温度と熱履歴温度は広い範囲で直線関係があり、熱履歴温度から加

熱温度を推定できることを示している。ただし100℃から融点付近の挙動はそれ以下の温度と異なり、この領域の熱履歴推定は慎重に行う必要がある。

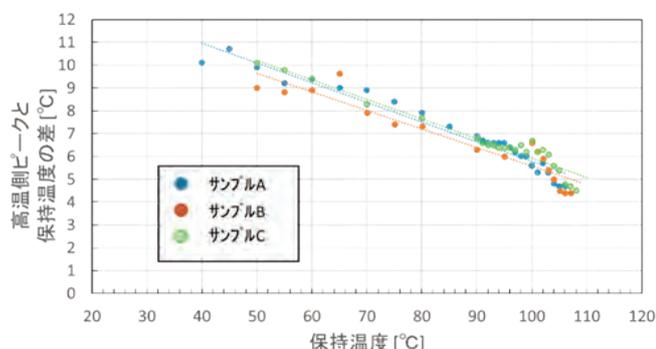


図 11 試料 A～C の熱履歴ピーク温度と保持温度の差

#### 4.3 保持時間による熱履歴の変化測定

保持時間と熱履歴の関係調べるため、試料 C を用いて保持温度は 70℃ 固定とし、保持時間を 1 min ～ 5000 min (1 min, 5 min, 50 min, 100 min, 500 min, 1000 min, 5000 min) に変えた 8 測定を実施して熱履歴温度の変化を調べた結果を図 12 に示す。

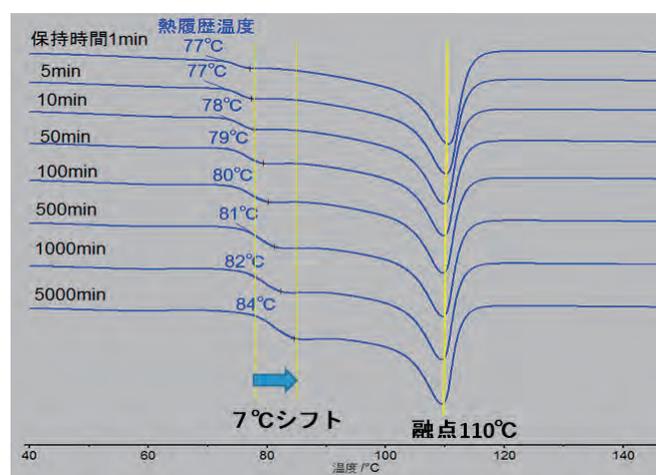


図 12 保持時間と熱履歴温度変化 (保持温度 70℃)

保持時間を長くすると熱履歴温度は高温側へシフトすることが確認される。この理由としてはポリエチレンの結晶融解及び結晶成長と関係すると考えられている。ある温度で熱処理するとその温度以下の融解温度を持つ結晶は融解し、それらの結晶に由来するピークは消失するが、それより少し高い融解温度を持つ結晶は粒成長し、熱処理時間が長くなるとさらに結晶成長が進行するため結晶の融解温度がより高くなるためと考えられる。すなわち、DSC 測定による熱履歴ピークは熱処理時間によりシフトするため、熱履歴推定には熱処理時間も考慮する必要がある。

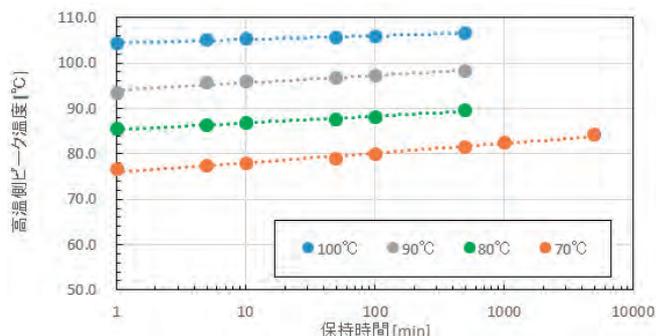


図 13 保持時間と熱履歴温度変化のまとめ

保持温度を 80℃, 90℃, 100℃ として先ほどと同様に保持時間を変えた試料の測定結果を図 13 に示す。このように熱履歴ピーク位置を保持時間の対数でプロットすると直線の関係を示しており、事故時等の比較的短時間の領域であれば熱履歴温度から加熱温度と時間の推定ができる可能性があると思われる。

これらの結果から保持時間によって熱履歴温度が変化するため、詳しい熱履歴温度の推定は熱処理時間についても考慮する必要があることが分かる。

また概略な熱履歴温度を推定する場合は、時間を考慮しないで推定することもできるが、その場合は温度推定に用いた保持時間を明記することが望ましい。

#### 4.4 高密度ポリエチレンに対する熱履歴

高密度ポリエチレンに関しても熱履歴推定可能か調査した。使用した高密度ポリエチレンは表 2 に示すもので、低密度ポリエチレンと同様にペレットサンプルを用いて熱履歴を測定した。温度範囲は 50 ～ 130℃ までの 9 点、保持時間は 60 min として DSC による熱履歴を測定した結果を図 14 に示す。

表 2 高密度ポリエチレンの試料情報

試料	高密度ポリエチレン	試験方法
成分	HDPE	-
融点	128℃	DSC
密度	0.945 g/cm <sup>3</sup>	JIS K 7112

図 14 に示す通り低密度ポリエチレンと比べるとピークは非常に小さいが、高密度ポリエチレンでも加熱温度に応じた熱履歴ピークが見られる。保持温度 115℃ 以上では融点以外に 2 つの吸熱ピークが見られる。低温側のピークは第 2 ピークであり、高温側の吸熱ピークが熱履歴ピークとなる。

## 謝 辞

豊橋技術科学大学 村上義信准教授と牧野航也様には、本研究の実験を進めることに対して、多大なるご協力をいただき心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 新田, 板倉, 高島: 電気学会論文誌, Vol. 94-a, No. 6, (1974)
- 2) 森田, 並木, 佐伯: 昭和電線電纜レビュー, Vol. 24, No. 3, 101, (1974)
- 3) 関口, 並木: 昭和電線電纜レビュー, Vol. 35, No. 1, 89, (1985)
- 4) 関口, 鈴木: 昭和電線電纜レビュー, Vol. 41, No. 1, (1991)

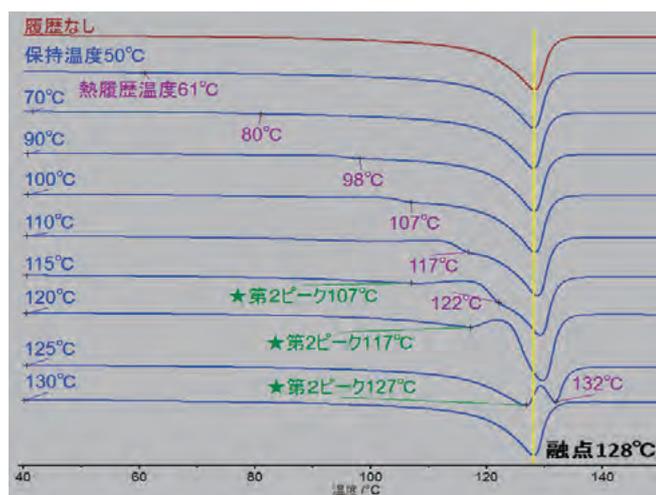


図 14 高密度ポリエチレンの熱履歴  
(保持時間: 60 min 保持温度: 50 ~ 130°C)

高密度ポリエチレンと低密度ポリエチレンの熱履歴温度と保持温度の差を比較するため、図 11 に高密度ポリエチレンのデータを追記して図 15 に示す。高密度ポリエチレンの方が熱履歴温度と保持温度の差は少し大きいですが、保持温度と熱履歴ピーク温度は直線関係を示しており、高密度ポリエチレンでも熱履歴温度の推定が可能であることが分かる。

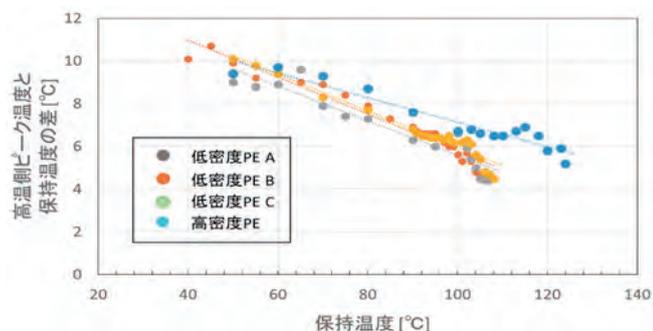


図 15 高密度ポリエチレンと低密度ポリエチレンの比較  
(熱履歴ピーク温度と保持温度の差)

## 5. ま と め

性状の異なる 3 種類の低密度ポリエチレンの DSC による熱履歴測定を行った。3 種類とも加熱温度と熱履歴温度はほぼ同様な直線関係を示し、材料が変わっても同様な熱履歴推定となることが分かった。また、DSC 装置の感度が向上したことから、前報では検出が困難であった低温側の熱履歴推定が 50°C から可能になった。

さらに、今回は高密度ポリエチレンについても実施し、熱履歴ピークは小さいものの、装置の感度及び解析能力が向上したことにより、熱履歴ピークの検出ができるようになった。

今後は異なった温度や加熱時間で複数回の熱履歴が掛かった場合の推定方法なども検討し、実フィールドで起こった事象の推定に役立てていきたいと考える。

---

昭和電線ケーブルシステム(株)  
山口 和平 (やまぐち かずひら)  
技術開発センター 分析・評価課  
製品／開発品および材料の評価業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
東村 力哉 (とうむら りきや)  
技術開発センター 分析・評価課  
製品／開発品および材料の評価業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
西岡 淳一 (にしおか じゅんいち)  
技術開発センター 分析・評価課 課長  
製品／開発品および材料の評価業務に従事

# 864 心 e-Ribbon® 光ケーブルの開発

## Development of 864 Fiber e-Ribbon® Optical Cable

大久保敬汰  
Keita OKUBO

太田 勇 希  
Yuki OTA

山本 岳 彦  
Takehiko YAMAMOTO

永井 傑 朗  
Takeshiro NAGAI

野 呂 互  
Wataru NORO

近年、IoT の普及、5G 商用の本格化、自動車の自動運転、動画および音楽配信サービスの流行などによるデータトラフィックの増大に対応するため、高速大容量な光ファイバ通信網の整備・構築の要求が高まっている。このような要求に対し、ローラブルリボン（e-Ribbon®）をケーブル内に収納することで実現が可能である。今回、12 心 e-Ribbon® を用いたスロットレス型光ケーブルの多心化として、864 心スロットレス型光ケーブルを開発した。

本報告では、864 心スロットレス型光ケーブルの止水構造の検討および特性評価結果について報告する。

In recent years, there has been a demand for the development and construction of high-speed, large-capacity optical fiber communication networks in order to respond to the increase in data traffic due to the spread of IoT, the full-scale commercialization of 5G, self-driving automobiles, and the popularity of video and music distribution services rising. Such requirements can be met by enclosing a rollable ribbon (e-Ribbon®) in the cable. We have developed an 864-fiber slot-less optical cable as a high count fiber cable using 12-fiber e-Ribbon®.

In this paper, we describe the investigation and characteristic evaluation results of the waterproof structure of the 864-fiber slot-less optical cable.

### 1. はじめに

近年、IoT の普及、5G 商用の本格化、自動車の自動運転、動画および音楽配信サービスの流行などにより、データトラフィックが飛躍的に増加しており、それを支える高速大容量光ファイバ通信網の整備・構築に関して、世界的に要求が高まってきている。

なかでも、欧米諸国において情報通信用ケーブルは、地下埋設のダクトに布設されることが多く、ダクト内の布設スペースに物理的な制約をうける。そのため、欧米諸国の高速大容量な光ファイバ通信網の整備、構築を経済的に実現するには、既存ダクトを用いたまま、より多心数の光ファイバを収容した細径で軽量な高密度光ファイバケーブルの導入が求められている。

そこで、我々は 12 心 e-Ribbon® を用いて高密度に光ファイバ心線を収納した 432 心スロットレス型光ケーブルを開発した<sup>1)</sup>。

本報告では、より多心数である 864 心スロットレス型光ケーブルにおけるケーブル構造の最適化および特性評価結果について、報告する。

### 2. 12 心 e-Ribbon® の特徴

e-Ribbon® は、光ファイバ心線が幅方向および長手方向に間欠的に連結された連結部および分離部を持つ光ファイバテープ心線である。図 1 に 12 心 e-Ribbon® の模式図を示す。間欠的に連結されているため容易に変形することができ、高密度に集線してケーブル化するとき、折りたたまれるように変形実装することが可能である。また、既設ケーブルに収納されている光ファイバテープ心線との一括融着接続も可能である<sup>1)</sup>。

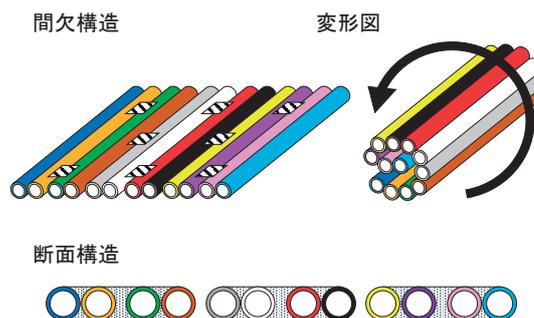


図 1 12 心 e-Ribbon® の模式図

### 3. スロットレス型光ケーブルの構造検討

今回開発した 864 心スロットレス型光ケーブルは、12 心 e-Ribbon<sup>®</sup> × 12 枚をバンドルテープで束ねた 144 心ユニットを構成し、さらに 144 心ユニットを 6 本燃合せたのちに、吸水性押巻きを施した構造とした。今回開発した 864 心は、これまでよりも広い内部空間に 12 心 e-Ribbon<sup>®</sup> を実装することから、止水性の検討が必要であると考え下記に示す検討を実施した。

#### 3.1 止水性能

図 2 にケーブル心数と走水長の関係を示す。試験は、Telcordia GR-20-CORE のプレソーク法にて評価した。ケーブル心数が多心化したことで走水長は増加し、864 心においては、規格値（24 時間後に走水長 3 m 以下）を満足しない結果であった。これは、単位ユニットあたりの心数の増加や、燃合せによるユニット間の空隙の増加によるものと考えられる。

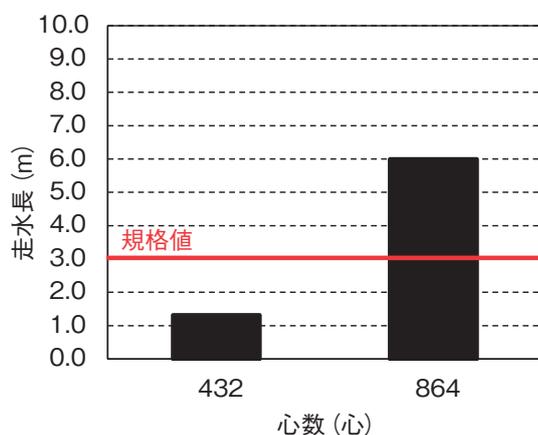


図 2 走水長と心数の関係図

止水性能を向上させるには、吸水性押巻きの吸水後における押巻きの厚みが厚くなるのが好ましいため、性能の異なる吸水性押巻きを複数検討した。

図 3 に吸水高さ試験方法を示す。乾燥した吸水性押巻きを円形の下型に入れ、複数の孔がある上蓋を乗せる。次に、23℃の蒸留水 50 mL を上蓋から注水し、10 分間吸水させた後の吸水性押巻きの厚み変化量を吸水高さとして評価した。

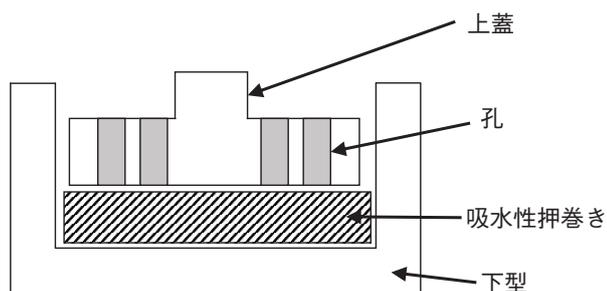


図 3 吸水高さ試験

表 1 に吸水性押巻きの検討結果を示す。吸水高さが高い吸水性押巻きを用いても、ケーブルの走水長が規格値を満足するほど著しく改善はしなかった。これは、ケーブル心数が増加したことで、ケーブル内部における 12 心 e-Ribbon<sup>®</sup> が占める断面積が増大し、燃合せた光ファイバ外周部に縦添え配置した吸水性押巻きの止水性能だけでは不十分であることを示している。

表 1 吸水テープの検討結果

吸水性押巻き	吸水高さ (相対値)	走水長 (m)	コスト	製造性
現行品	1.00	6.0	×	○
候補材 A	1.20	5.5	○	×
候補材 B	1.10	5.9	△	○
候補材 C	1.20	12.0	○	×

これより、止水性能の向上のためにはケーブル内部へ吸水材料を挿入することが必要と考え、挿入する吸水材については、紐状やテープ状、粉末状など様々な形状が考えられるが、汎用性・製造性を考慮して吸水紐を挿入する構造にて検討を実施した。

図 4 に 864 心における吸水紐の挿入前後の結果を示す。適切に吸水紐を追加したことにより、規格値を満足する止水性能を達成することが確認できた。

尚、吸水性押巻きに関しては、コスト、製造性の面から候補材 B を採用した。

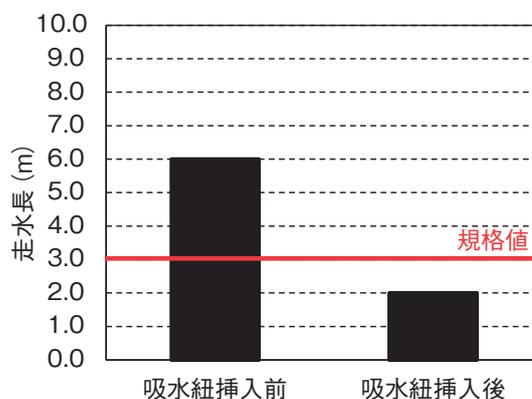


図 4 走水長と吸水紐の関係図

#### 3.2 ケーブルの温度特性

吸水紐を挿入したことで止水性能は改善することができたが、充填密度の増加や熱膨張率が異なる材料を新たに内包することで温度特性が悪化することが懸念されるため、温度特性試験を実施した。図 5 に吸水紐挿入後の温度特性結果を示す。いずれの温度においても伝送損失の変動量は  $\leq 0.05$  dB / km @1550 nm であり、吸水紐を内包したケーブル構造としても温度特性は良好な特性であることを確認した。

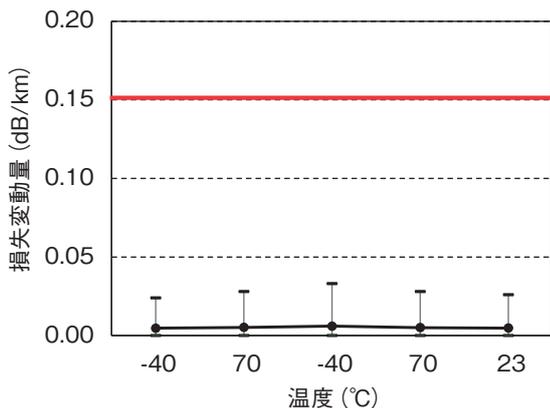


図5 温度特性結果

### 3.3 ケーブル構造

今回、開発した864心スロットレス型光ケーブルの構造を図6、7に示す。バンドルユニットは432心スロットレス型光ケーブルと同等の識別性を維持するため、6ユニット構造を採用し、止水性能を改善するため吸水紐を適所配置した構造とした。

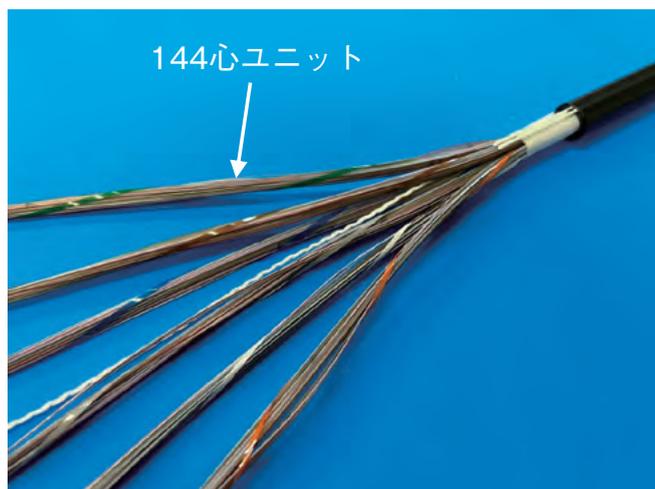


図6 864心スロットレス型光ケーブルの識別性

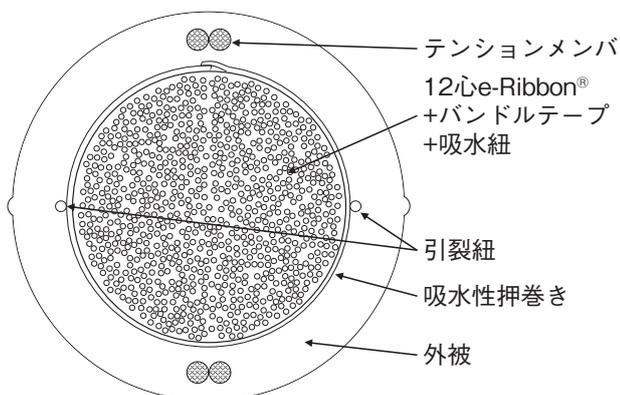


図7 864心スロットレス型光ケーブルの断面図

## 4. 864心スロットレス型光ケーブルの特性

今回開発した864心スロットレス型光ケーブルの光学特性、機械特性、温度特性、止水特性の評価結果を表2に示す。すべての評価結果において、良好な特性が得られたことを確認した。

表2 基本特性評価結果

項目	参照規格	試験方法	結果
伝送損失	FOTP-78	波長：1550 nm	≦ 0.25 dB / km
低温-高温曲げ特性	FOTP-37	曲げ径：30 D 温度：-30℃～+60℃ ターン数：4	≦ 0.15 dB / 心
衝撃特性	FOTP-25	エネルギー：4.5 N・m	≦ 0.15 dB / 心
側圧特性	FOTP-41	荷重：2200 N / 100 mm 時間：1 min	≦ 0.15 dB / 心
引張特性	FOTP-33 FOTP-38	荷重：2700, 810 N	≦ 0.15 dB / 心
捻回特性	FOTP-85	捻回角度：180° サイクル数：10 Cycles	≦ 0.15 dB / 心
繰り返し曲げ特性	FOTP-104	曲げ径：15 D サイクル数：25 Cycles	≦ 0.15 dB / 心
温度特性	FOTP-3	温度：-40℃～+70℃ サイクル数：2 Cycles	≦ 0.15 dB / km
エージング	ICEA 640	温度：85℃ 時間：168 h	≦ 0.25 dB / km
凍結	FOTP-98	温度：-2℃	≦ 0.15 dB / 心
止水特性	ICEA 640	水頭長：1 m 時間：24 h	≦ 3.0 m

## 5. e-Ribbon® 光ケーブルラインアップ

スロットレス型光ケーブルの心数と外径の関係を図8に示す。止水構造を最適化した144心～864心のe-Ribbon®光ケーブルをラインアップした。

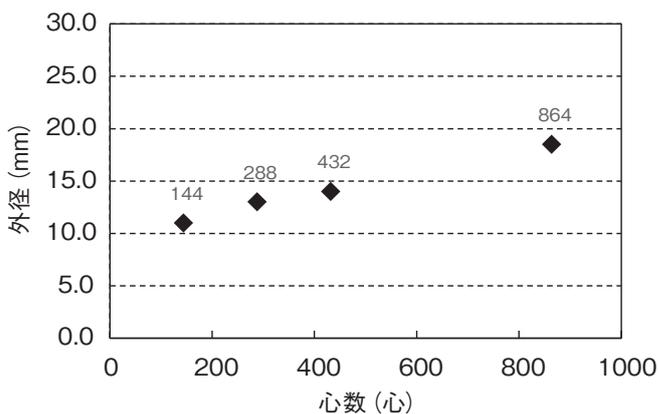


図8 e-Ribbon® 光ケーブルの心数と外径

## 6. まとめ

今回、構造最適化により止水性能を満足する12心e-Ribbon®を収納した864心スロットレス型光ケーブルを開発し、144心から864心までのスロットレス型光ケーブルの製品化を達成した。

なお、本ケーブルは、Telcordia GR-20-COREで規定する各種性能に適合していることを確認した。今後、本ケーブルが欧米の布設スペースに制約のある地下埋設ダクトなどで使用され、高速大容量な光ファイバ通信網の構築に貢献することを期待する。

### 参考文献

- 1) 太田勇希, 他: e-Ribbon® 光ケーブルの開発, 昭和電線レビュー, Vol.67, p.22 (2021)

「e-Ribbon」は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

昭和電線ケーブルシステム(株)  
大久保敬汰 (おおくほ けいた)  
通信ケーブル部 技術課  
製品の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
太田 勇希 (おおた ゆうき)  
通信ケーブル部 技術課 主任  
製品の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
山本 岳彦 (やまもと たけひこ)  
通信ケーブル部 製造課  
製品の製造技術開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
永井 傑朗 (ながい たけしろう)  
通信ケーブル部 技術課 主任  
製品の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
野呂 互 (のろ わたる)  
通信ケーブル部 技術課 課長  
製品の研究・開発に従事



# 超細径産業用 LAN ケーブル (HFS-TPCC<sup>®</sup> 5(S) PATCH-FA)

## High Frequency & High Shielded Industrial Type Slim Cable for LAN

### 1. 概要

近年、IoT (Internet of Things) や DX (デジタルトランスフォーメーション)、ローカル 5G が推進され、工場内で使用される産業用ネットワーク市場においてもオフィス環境と同様にイーサネット (ギガビット伝送) 技術の採用が増加しており、産業用 LAN ケーブルの需要も年々増加しています。

このような背景の中、富士電線株式会社ではギガビット伝送 (1000BASE-T) に使用可能で産業用 LAN ケーブルに必要な機械特性を有した、Cat.5e 対応の超細径型産業用 LAN ケーブルを開発しました。

### 2. 用途

工場内、医療設備等の電磁妨害対策や耐屈曲・耐ノイズ性が要求され、工場内、産業用設備でスペースが狭い箇所への配線に適しています。

### 3. 特長

- ・ 撚線導体 (28 AWG) を採用した耐屈曲ケーブルです。
- ・ 通常品 (26 AWG仕様) と比較し細径・軽量です。
- ・ 二重シールドの高遮へい仕様です。
- ・ 外被には耐油PVCを採用しています。
- ・ (VW-1 難燃特性 (UL1581) の対応品も製作できます)
- ・ RJ-45プラグ両端加工品にて販売しています。
- ・ PoE (Power over Ethernet) 対応です (IEEE802.3af)。

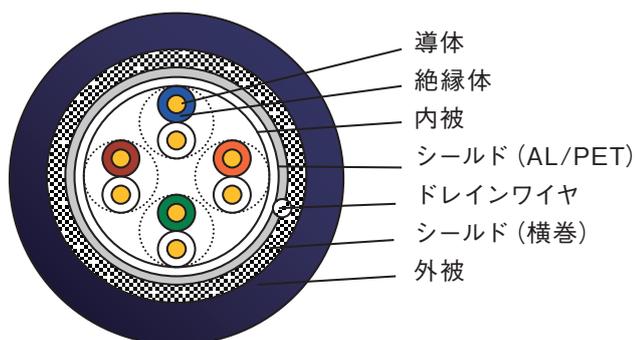


図1 ケーブル断面

表1 ケーブル仕様

仕様	従来仕様	超細径仕様
品名	HFS-TPCC <sup>®</sup> 5 PATCH-FA	HFS-TPCC <sup>®</sup> 5(S) PATCH-FA
サイズ・対数	26AWG * × 4P	28AWG * × 4P
仕上外径	約 6.1 mm	約 4.8 mm
概算質量	47 kg/km	30 kg/km
曲げ半径	25 mm 以上	20 mm 以上
最大配線長	60 m	45 m

\*従来仕様は挿入損失を TIA 規格の 1.5 倍以下で管理しており、使用ケーブル長は最大 60 m になります。  
超細径仕様は TIA 規格の 2.0 倍以下で管理しており、使用ケーブル長は最大 45 m になります。

表2 機械特性 (代表値)

項目	試験条件	特性
左右屈曲	屈曲角度: ± 90° 曲げ半径: 50 mm 荷重: 300 g 屈曲速度: 60 回 / 分	47 万回以上 断線無し
U 字折返し	ストローク: 約 500 mm 曲げ半径: 50 mm 往復運動: 60 回 / 分	1000 万回以上 断線無し
捻回特性	捻回角度: ± 180° 荷重: 300 g 屈曲速度: 60 回 / 分	100 万回以上 断線無し

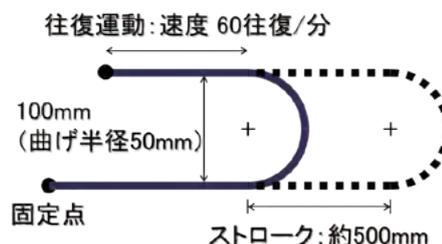


図2 U字折返し試験

TPCC は富士電線株式会社の登録商標です。

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)

富士電線株式会社 営業本部 営業企画部

電話 (03) 5217-0911 FAX (03) 5217-0920



## 新型防浸形 LED 照明器具 ST-BRIGHT®

### The New Immersion Proof LED Lighting Equipment ST-BRIGHT®

#### 1. 概要

(株)エステックは洞道をはじめ、高温多湿、漏水、浸水などの過酷な環境向けに、コンパクト型 LED 照明器具 ST-BRIGHT® シリーズおよび防浸形照明システム BRIGHT LINE® を開発、販売しており、洞道だけでなく、ダムの監査廊などの小径トンネルを維持管理するお客様にもご好評いただいております。

このたび新開発した防浸形 LED 照明器具は、従来モデルのコンパクトな長所をそのままに、より明るく、より少ない灯数でトンネルなどを照らすことができるようになり、設計時の自由度および設置作業時の作業性がますます向上しました。

#### 2. 用途

- ・電力・通信用洞道、共同溝
- ・地下ピット、排水設備
- ・ダムの監査廊（点検用トンネル）
- ・その他浸水する可能性がある施設など

#### 3. 特長

- (1) 蛍光灯型器具にくらべ、消費電力、CO<sub>2</sub> 排出量を約 65% 削減\*<sup>1</sup> できます。（昭和電線製旧製品比）
- (2) 光源寿命が蛍光灯型器具の 4 倍以上であり、メンテナンス費用を低減できます。
- (3) コンパクトで約 1 kg と軽量であり、施工が容易です。
- (4) 配光特性を見直し（図 2）、従来型 LED 灯具に比べ、灯数を約 25% 削減\*<sup>1</sup> できます（当社比）。
- (5) 防浸形照明システム BRIGHT LINE®（スイッチ、ケーブルなど）と組み合わせることで、完全な防浸照明システムを構築できます。

\* 1：当社試算による。設計や設置する現場の状況により異なります。



図 1 外観

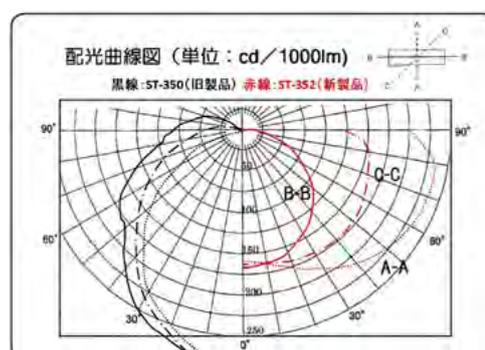


図 2 配光特性（参考：左は当社製従来モデル）

表 1 主要な仕様

型番/品名	ST-352 防浸形 LED 照明器具 (20 形相当)
光束/光源色	1474 lm, 白色 (5000 K)
防塵防水性能	IP67 防浸形* <sup>2</sup> 水深 3 m 相当の水圧に 24 時間耐える (自社規格)
耐食性能	JIS Z 2371 * <sup>2</sup> 連続 720 時間の塩水噴霧試験に耐える
定格電圧/消費電力	AC 100/200V, 50/60 Hz, 14 W
感電保護	二重絶縁
使用温度範囲	-10 ~ 40°C
光源寿命	60000 時間 (器具寿命は 8 ~ 10 年程度)
外形寸法	全長 355 mm × 巾 103 mm × 高 120 mm
質量	約 1 kg
電源用リード線	2PNCT 3P モールドレセプタクル (結合状態にて IP67)

\* 2 有機溶剤、酸性、アルカリ性成分、油脂が付着する環境では使用できません。  
\* 3 器具の仕様、外観は予告なく変更する場合がありますのでご了承ください。



図 3 防浸形照明システム BRIGHT LINE®

「ST-BRIGHT」および「BRIGHT LINE」は株式会社エステックの登録商標です。

問合せ先：〒210-0843 神奈川県川崎市川崎区小田栄2丁目1番1号  
昭和電線小田栄ビル3F

(株)エステック 技術営業部営業課

電話(044)433-6545 FAX(044)366-5221



## 低圧耐火ケーブル (EM-SH-C®) — 平型・溝付品 —

### Low Voltage Fire Proof Cables – Flat type • With Groove –

#### 1. 概要

低圧耐火ケーブルは被覆材料にポリオレフィン系の材料を使用しており、被覆にビニルを使用したケーブルと比較して硬い傾向があります。そのため、端末処理時にカッターや電工ナイフの刃を入れる際、力を入れ過ぎて内部絶縁体を傷付けてしまい、絶縁不良となるケースが見受けられるなど、被覆の除去性が劣っておりました。

そこで富士電線(株)は被覆の製造治具を改良し、低圧耐火ケーブル平型の線心間に溝を設けることでその問題を解決した製品を開発し、2023年にリリースを予定しております。被覆中心部の溝がガイドの役割を果たし、刃の位置が定めやすくなることで内部絶縁体を傷付けずに、かつ小さな力で被覆除去が可能となります。また副次効果として樹脂使用量が削減され、従来品と比較して2心では平均4%、3心では平均5%軽量化しております。さらに同一の荷重を加えた際のたわみ量が従来品と比較して約3.3%向上し、ケーブルが曲げやすくなったことによる延線時の施工性向上が確認されております。

本ケーブル構造は2015年に特許出願し、2017年に権利を取得しております\*1。

#### 2. 用途

従来の平型耐火ケーブルのシースに溝を設けた製品です。電気特性、耐火特性、表面印刷などに従来品からの変更はなく、同様の用途に使用いただけます。



図1 製品比較

#### 3. 特長

- ・従来品と比較し2心では平均4%、3心では平均5%製品重量が軽量化されています。

- ・溝に沿ってカッターや電工ナイフの刃を入れることで内部絶縁体を傷付けることなく、少ない力で端末処理が可能となります。従来通りストリッパによる端末処理も可能です。



図2 端末処理性の向上

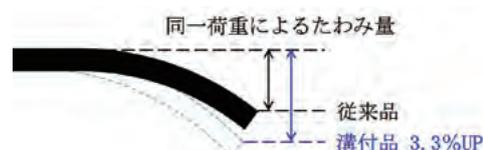


図3 同一荷重を加えた際のたわみ量向上

表1 ケーブル仕様比較

項目	EM-SH-C® 2C × 2.0 mm	
	従来品	溝付品
サイズ×心数	7 × 11	←
仕上外径 (約 mm)	7 × 11	←
概算質量 (約 kg/km)	127	122 (▲5)

\*1 岡崎英明, 他: 耐火ケーブル, 特許第6092282号  
\*2 「EM-SH-C」は富士電線株式会社の登録商標です。

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



## 10Giga コイル (TPCC® 6A) の改良

### Improved 10GigaCoil (TPCC® 6A)

#### 1. 概要

2019年12月に文部科学省が打ち出した「GIGA スクール構想」により、10ギガビット伝送 (10GBASE-T) に対応した Category 6A (Cat.6A) の需要が大幅に増加し、富士電線株式会社が製造する「10Giga コイル (TPCC® 6A)」の需要も堅調に推移してきました。

当社製品をご利用いただくお客様が増える中、ケーブル可とう性 (柔軟性) の向上に対する要望が寄せられたことから、このたび製品を改良しました。

これまで当社は環境貢献製品の開発や環境に配慮する取り組みに力を入れてきましたが、製品の改良により、梱包箱を小型軽量化し、輸送時のCO<sub>2</sub>排出削減による環境負荷軽減も実現しました。

#### 2. 用途

主にオフィス、商用ビル、学校、病院等に使用される、10ギガビット伝送 (10GBASE-T) まで対応した LAN 用ツイストペアケーブル。

#### 3. 特長

- ・ケーブル可とう性の大幅な向上

可とう性が低いと、ケーブルが硬く、反発により施工にくいという問題が生じますが、改良により押え巻の材質を変更したことで、従来製品比約1.8倍の可とう性向上を実現 (図1の試験で従来品45mm、改良品80mm) し、施工時の作業効率向上に大きく貢献しています。また、ケーブルの細径化、軽量化も図りました。

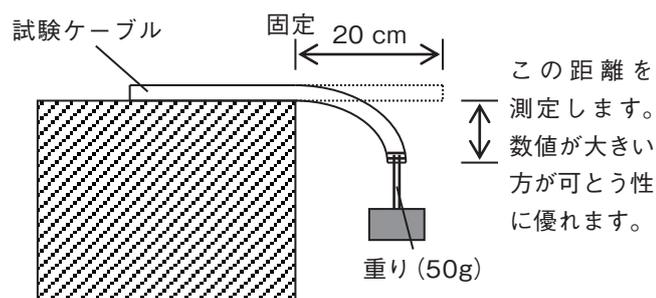


図1 可とう性試験方法



図2 10Giga コイル (TPCC® 6A)

- ・梱包箱サイズの小型化

ケーブルの可とう性が向上し、従来製品比、製品保管スペース約3割の圧縮と、積載効率1.5倍を実現しました。輸送時のCO<sub>2</sub>排出削減による環境負荷軽減に貢献しています。

表1 製品仕様一覧

項目	10Giga コイル (TPCC® 6A)		
	従来品	改良品	
ケーブル仕様	サイズ×対数	23AWG × 4P	23AWG × 4P
	仕上外径 (約 mm)	7.7	7.5
	概算質量 (kg/km)	53	47
梱包箱	奥行 × 高さ × 幅 (mm)	500 × 480 × 276	450 × 430 × 270

TPCC は富士電線株式会社の登録商標です。

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



## テープスロットケーブル型光ファイバケーブル加工品の 変換部細径化

### Reducing the Diameter of Converting Part of Tape Slot Type Optical Fiber Cable with Connector

#### 1. 概要

テープスロットケーブルの変換部は、防湿ダム付ケーブルとして国内大手電線各社が古くから製品化し、主にNTT管理線路との責任分界点に使用されていましたが、現在は、ウォーターブロック型のテープスロットケーブルの普及により使用されなくなっています。

富士電線(株)製の変換部は、防湿ダムをベースに防水機能無くすことで構造を簡略化し、低コストの変換部として使用してきましたが、お客様からの要望により、テープスロットケーブルから4心テープコードへの変換部を細径化する取り組みを行いました。その結果、従来品の変換部外径がφ32あったものをφ12程度とすることに成功しました。

また、変換部の細径化によって使用材料の削減にもつながり、環境負荷を低減できたことから昭和環境貢献製品に登録されました。

#### 2. 用途

高密度で、汎用性に優れた4心～24心コネクタ付きテープスロット型光ファイバケーブル。24心細径変換後に光コネクタを取り付けています(図1)。

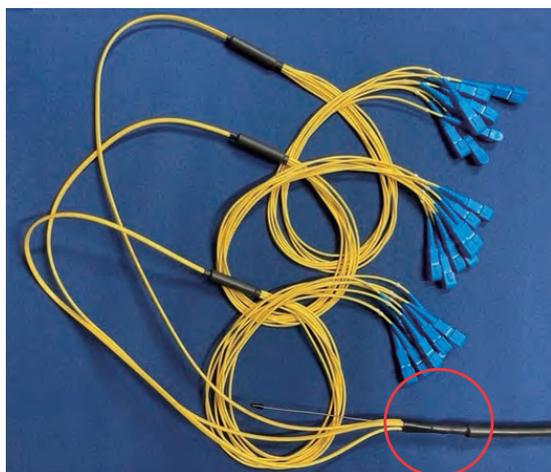


図1 24心変換部の細径化状態

#### 3. 特長

・変換部の細径化  
変換部の外径が太い場合、情報配線盤の入線口の大きさにより敷設が難しい場合がありますが、本細径変換部を使用することで、変換部外径φ32からφ12となり、従来よりも汎用度が高まります(表1)。

表1 新旧変換部比較

	外観図	外径
従来品		φ32
改良品		φ12

・ハンドリング性の向上  
当社製、層型ケーブルの16心構造以上と比較するとケーブル部分も細径となるので、ハンドリング性が向上します。

・リードタイムの短縮  
従来品と比較し構造、材料を見直したことで、加工品としてのリードタイム短縮を可能にしました。

・環境負荷低減  
変換部に使用する材料の環境負荷の低減及び、使用量の削減を図りました。

#### 4. 型名表示例

EM-FT4SZ-SM15W-24-WB-MTE-FR + SCSP - T10S  
ケーブル型名 / コネクタ型名 / 条長

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



## 企業における IT セキュリティ対策とこれからの ID 管理

### IT Security Measures in Enterprises and Future ID-Management

#### 1. セキュリティ対策見直しの背景

新型コロナウイルス禍の影響でテレワークが急速に普及し、クラウドサービスを活用する企業が増加しています。一方、クラウドサービスの利用にはさまざまなセキュリティリスクが伴い、その対策を考える上で重要となるのが、ID 管理を軸としたゼロトラストの概念です。近年、パスワード管理の不備、パスワードリスト攻撃などによる不正アクセスは大きな脅威となっており、「全てを信用しない」「都度の確認を実施する」というゼロトラストの考えに基づく対策が求められる中、これまでの ID 管理の運用を見直す必要が出てきています。

#### 2. クラウド ID 管理サービス Keyspider®

(株)アクシオは 2021 年より国内販売総代理店として、ID 管理に関する各種機能を搭載したクラウド ID 管理サービスの Keyspider® (キースパイダー) を提供しています。連携システムは、クラウドサービスだけでなく、オンプレミスの社内システムも含め、企業が保有する全てのシステムに ID 連携することが可能です。サービスの企画・開発は日本国内で行われており、日本企業で求められる多くの要件に対応しています。特に多様化・複雑化してしまった ID 管理をシンプルに運用するものとして、当社が 20 年間培ってきた 150 社以上の ID 管理システム構築のノウハウを注入し、国内企業で多く求められる機能を実装しています。

#### 3. 日本ならではの、求められる機能

ID 管理システムの再考に際し、日本の組織構造に適したクラウド ID 管理の仕組みを取り入れることは非常に重要です。組織や職制に応じて権限を柔軟に設定でき、各企業ルールに基づき、自動的に権限を付与できる「自動権限付与機能」を活用できることは Keyspider® の大きな特長です。また昨今では、企業内でのセキュリティ監査で求められるアクセス管理の証跡も重要視され、データを出力できる「ID 棚卸し機能」へのニーズにも注目が集まっています。一時的に作成した ID が残っていると、監査において指摘の対象になります。さらに、それぞれのシステムから探し出すのは大変な作業になります。Keyspider® では、長期間

更新されていないアカウントや、有効期限を過ぎていてもシステム利用ができるアカウント、契約社員や外注業者の業務のために作成されたアカウントなどをリスト化することが可能です。監査のための対応として Keyspider® の操作のみで完結する部分は、利用者に喜ばれる機能の一つです。

また、「プロビジョニング機能」と呼ばれるクラウドサービスに ID 情報を同期する機能も特長的です。Keyspider® では、日本国内でよく使われているクラウドサービスと API<sup>\*1</sup> 経由で直接連携できるほか、API を持たないレガシーシステムなどに関しては、Keyspider® が実装している RPA<sup>\*2</sup> 技術によって連携の自動化をすることが可能となっています。



図1 Keyspider® 画面例 (デイリー運用レポート)

Keyspider® は、ユーザーのニーズに応える形で新たな連携先や機能の検討を進めています。今後は組織内におけるセキュリティの基盤として、社内で導入するあらゆるセキュリティソリューションが Keyspider® のコントロールする ID 情報 / アクセス権限情報を經由し、さまざまなシステムと連携し、IT の利便性とセキュリティが両立する世界を目指していきます。

\*1 Application Programming Interface の略語で、ソフトウェアの一部機能を共有する仕組み

\*2 Robotic Process Automation の略語で、ソフトウェアロボットが、定型作業を自動化、代行するツール

問合せ先: 〒141-0031 東京都品川区西五反田2-12-19

五反田NNビル 5F

(株)アクシオ 企画室

電話 (03) 3491-0940 FAX (03) 3491-0943

# 工 事 紹 介

## 中国電力ネットワーク(株)殿向け 220kV CAZV-F ケーブル工事

### Installation of 220kV CAZV-F Cable for Chugoku Electric Power Transmission & Distribution Co.,Inc.

#### 1. 概 要

昭和電線ケーブルシステム(株)はこのほど、220kV CAZV-F ケーブルを中国電力ネットワーク(株)殿に納入しました。山中にある変電所は資機材の輸送に制限がある上、敷設現場も地下に埋設された暗きよとなる中、入念な配置確認などを行い、円滑な作業を進めてきました。

#### 2. 仕 様

ケーブルは220kV CAZV-F の単芯ケーブル2回線(6相)、終端接続部にはスマート油中終端接続箱が採用されました。

#### 3. 経 緯

敷設現場である暗きよは閉所のため、一般的にケーブル引き戻しなどの作業が特に難しくなります。ケーブルの延線作業では外傷や過度な曲がり、側圧が加わらないようにするために、延線機材の配置間隔の計算、現地での配置確認、機材の電圧降下による速度低下など、作業に支障が起きないような延線システムを検討しました。検討結果を基に、現地延線業者と打合せを綿密に行いました。

ドラム運搬車の搬入ルート上は山中で道幅も広くなく、多くの民家があり、地域にご迷惑がかからないよう、速度制限や搬入時間に注意して作業を行いました。

ケーブル終端の接続作業では、スマート終端接続箱を採用する事が決まっていたので、ケーブルの引き戻しに必要な作業スペースをお客様と協議し、洞道内に事前に確保したことで、現地接続作業を効率良く実施することができました。



図1 ケーブル延線状況



図2 ケーブル延線状況



図3 ケーブル延線状況



図4 終端接続箱組立状況

問合せ先：〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通3-6-11  
(福岡富国生命ビル9階)

昭和電線ケーブルシステム(株) 西日本支店 営業課  
電話(092)712-8641 FAX(092)711-0768

## 社外技術発表一覧表

(2021. 11 ~ 2022. 10)

### [軽金属学会第141回秋期大会] (2021年11月13日～14日)

低温時効を施した Al-Mg-Si 合金荒引線におけるナノクラスタの形成挙動

…………… 宮澤一彦<sup>1)</sup>, 芹澤 愛<sup>1)</sup>, 塩田正彦<sup>2)</sup>,  
田内雄一郎<sup>2)</sup>, 西本一恵<sup>3)</sup>, 仲津照人<sup>3)</sup>

### [第30回日本コンピュータ外科学会大会] (2021年11月21日～23日)

医療機器の電線ラインに係わるアクシデント/インシデント調査と手術室内ワイヤレス給電の開発

…………… 田中 顯<sup>3)</sup>, 岡本 淳<sup>4)</sup>, 吉光喜太郎<sup>4)</sup>,  
山口智子<sup>4)</sup>, 正宗 賢<sup>4)</sup>, 村垣善浩<sup>4)</sup>

### [2021年度(第92回)日本建築学会関東支部研究発表会]

(2022年3月1日～2日)

弾性すべり支承の摩擦係数における速度依存性を考慮した時刻歴風応答解析

…………… 牧平康也<sup>5)</sup>, 佐藤大樹<sup>5)</sup>, Alex Shegay<sup>5)</sup>,  
三須基規<sup>3)</sup>, 稲井慎介<sup>6)</sup>, 石田琢志<sup>6)</sup>, 丸尾純也<sup>6)</sup>

### [電気学会 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会]

(2022年3月4日)

6 kV 3000A 三相同軸超電導ケーブルの実証試験

…………… 足立和久<sup>3)</sup>, 塩原 敬<sup>3)</sup>, 中西達尚<sup>3)</sup>, 三堂信博<sup>3)</sup>,  
青木裕治<sup>3)</sup>

### [日本機械学会 動力エネルギー部門 ニュースレター 70号]

(2022年5月15日)

民間プラントにおける三相同軸超電導ケーブルシステム実証試験の紹介

…………… 足立和久<sup>3)</sup>

### [AUTOMOTIVE ETHERNET CONGRESS 2022]

(2022年6月1日～2日)

Development of Greater than 10 Gb/s 26 AWG Shielded Twisted Pair Cable

…………… 光地伸明<sup>3)</sup>

### [電力土木技術協会(協会冊子掲載)]

(2022年9月5日)

ホース反転工法を応用した管材内におけるケーブル拘束装置の開発に関する研究

…………… 岡 滋晃<sup>7)</sup>, 齊藤 仁<sup>8)</sup>, 井出勇人<sup>9)</sup>,  
倉田正博<sup>10)</sup>

### [2022年度日本建築学会大会(北海道)] (2022年9月5日～8日)

高摩擦弾性すべり支承の速度依存性が高層免震建物の風応答に及ぼす影響

…………… 牧平康也<sup>5)</sup>, 佐藤大樹<sup>5)</sup>, Alex Shegay<sup>5)</sup>, 三須基規<sup>3)</sup>  
稲井慎介<sup>6)</sup>, 石田琢志<sup>6)</sup>, 丸尾純也<sup>6)</sup>

伝統木造建物の柱脚部制振に関する研究(その3 実験結果)

…………… 佐藤信夫<sup>11)</sup>, 花里利一<sup>12)</sup>, 内田龍一郎<sup>13)</sup>, 三須基規<sup>3)</sup>,  
坂本 功<sup>14)</sup>

### [ISIS-29(超電導サミット)]

(2022年9月15日)

The results of verify test of 6kV triaxial superconducting cable at Yokohama Japan

…………… 足立和久<sup>3)</sup>

Overview of Japanese Activity

…………… 和泉輝夫<sup>15)</sup>

### [ASC2022]

(2022年10月23日～28日)

Demonstration test to install a tri-axial superconducting cable system into a commercial chemical plant Grid Completed

…………… 塩原 敬<sup>3)</sup>, 足立和久<sup>3)</sup>, 中西達尚<sup>3)</sup>, 佐藤勉夫<sup>3)</sup>,  
三堂信博<sup>3)</sup>, 青木裕治<sup>3)</sup>, 長谷川隆代<sup>3)</sup>,  
小川正弘<sup>16)</sup>, 太田智道<sup>16)</sup>

High efficiency and high power electric propulsion system for airplane by superconductivity: Development of a REBCO fully superconducting motor and cooling system

…………… 岩熊成卓<sup>17)</sup>, 宮崎 寛<sup>17)</sup>, 三浦 峻<sup>17)</sup>,  
佐々滉太<sup>17)</sup>, 吉田幸一<sup>17)</sup>, 佐藤成貴<sup>17)</sup>,  
相良 勇<sup>17)</sup>, 長谷吉二<sup>18)</sup>, 今野雅也<sup>18)</sup>,  
笹森雄一郎<sup>18)</sup>, 本田博一<sup>18)</sup>, 岡部敏弘<sup>18)</sup>,  
平井博一<sup>19)</sup>, Sergey Lee<sup>20)</sup>, 三堂信博<sup>3)</sup>,  
足立和久<sup>3)</sup>, 塩原 敬<sup>3)</sup>, 和泉輝郎<sup>15)</sup>,  
川越昭文<sup>21)</sup>, 出来学人<sup>22)</sup>, 天野 博<sup>22)</sup>,  
川口康弘<sup>23)</sup>, 山崎達也<sup>24)</sup>

High efficiency and high power electric propulsion system for airplane by superconductivity - 4, 5 : Development of Superconducting Cable and Coated Conductors

…………… 和泉輝郎<sup>15)</sup>, 塩原 敬<sup>3)</sup>, 足立和久<sup>3)</sup>,  
中西達尚<sup>3)</sup>, 三堂信博<sup>3)</sup>, 青木裕治<sup>3)</sup>,  
佐藤勉夫<sup>3)</sup>, 衣斐 顕<sup>15)</sup>, 中岡晃一<sup>15)</sup>,  
廣瀬陽代<sup>15)</sup>, 町 敬人<sup>15)</sup>, Sergey Lee<sup>20)</sup>,  
三浦正志<sup>25)</sup>, 吉田 隆<sup>22)</sup>, 井上昌睦<sup>26)</sup>,  
寺西 亮<sup>17)</sup>, 岩熊成卓<sup>17)</sup>

- 1) 芝浦工業大学
- 2) 日本軽金属株式会社
- 3) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 4) 東京女子医科大学
- 5) 東京工業大学
- 6) 戸田建設株式会社
- 7) 東京電力ホールディングス株式会社
- 8) 株式会社東設土木コンサルタント
- 9) 株式会社エステック
- 10) 芦森工業株式会社
- 11) 松井建設株式会社
- 12) 三重大学
- 13) 内田建築構造コンサルタント
- 14) 東京大学
- 15) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
- 16) BASF ジャパン株式会社
- 17) 九州大学
- 18) 富士電機株式会社
- 19) 大陽日酸株式会社
- 20) SuperOXJapan 株式会社
- 21) 鹿児島大学
- 22) 名古屋大学
- 23) 三菱重工業株式会社
- 24) グローバルアシスト株式会社
- 25) 成蹊大学
- 26) 九州工業大学

## 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一番14号(JMFビル川崎01)

### ■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一番14号(JMFビル川崎01)  
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一番14号(JMFビル川崎01)  
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一番14号(JMFビル川崎01)

### ■その他事業子会社(連結)

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 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町一番14号(JMFビル川崎01)  
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一番14号(JMFビル川崎01)  
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD. Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam  
SWCC SHOWA VIETNAM RF No. 7C, Plot No. H-1, Thang Long Industrial Park II,  
INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD. Di Su Ward, My Hao Town, Hung Yen Province, Vietnam  
嘉興昭和機電有限公司 中国浙江省嘉興市雲海路825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23A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 莞城科技园内  
福清昭和精密電子有限公司 中国福建省福清市融僑經濟技術開發区清華路南侧  
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 〒171-0021 東京都豊島区西池袋三丁目1番15号(西池袋TSビル)  
Keyspider株式会社 〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町三丁目21番24  
AKIHABARA CENTRAL SQUARE 3F  
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  
株式会社ACW-DEEP 〒252-0523 神奈川県相模原市中央区南橋本四丁目1番1号  
かもめエンジニアリング株式会社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀二丁目19番6号(ヤサカ八丁堀ビル3F)  
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68巻 (通巻124号)

### 昭和電線レビュー編集部会

部会長 森下 裕一  
委員 西岡 淳一 三栗野雅俊  
野呂 互 浦 卓也  
坂口 義則 足田 靖成  
大石 智雄 生方 通夫  
稲庭 康之 鈴木 大介  
岡下 稔 森川 進豪  
土屋 諒恭 澤田 隼  
石川 和久 (順不同)

編集・発行人 北川 陽一

発行 2023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 港北メディアサービス株式会社

[禁無断転載・複製]

©2023 SWCC SHOWA HOLDINGS CO.,LTD.



社名をあらたに、  
**昭和電線はSWCCへ。**

## 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 / 消防用ケーブル・通信用ケーブル・LAN関連ケーブル・光ファイバケーブル及び機器加工品の製造・販売

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