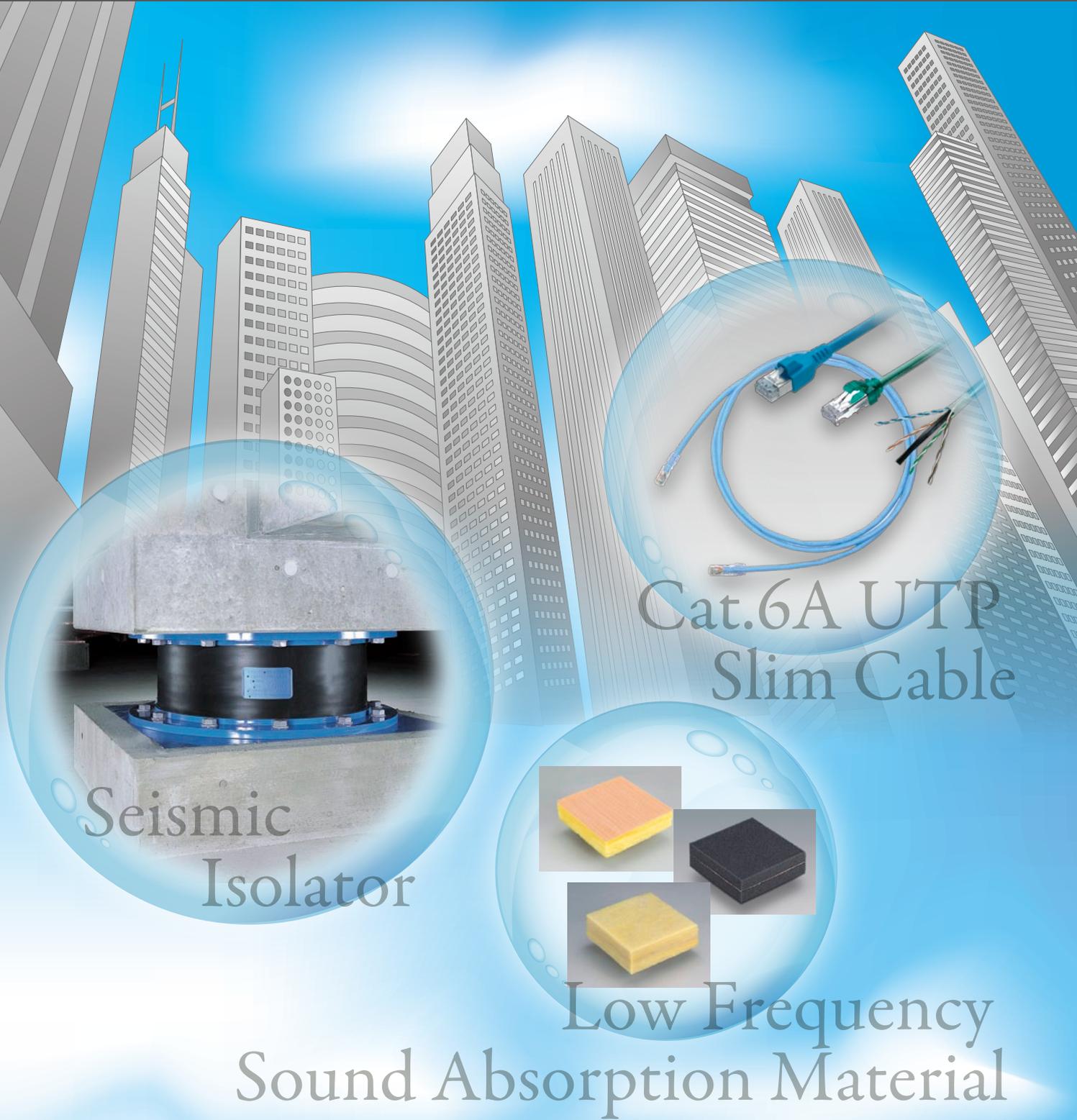


昭和電線 レビュー

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW
2014 VOL.60 通巻116号

ISSN 0916-6718



Seismic
Isolator

Cat.6A UTP
Slim Cable

Low Frequency
Sound Absorption Material

昭和電線ホールディングス株式会社

www.swcc.co.jp/

昭和電線グループ ビルディング用関連製品

昭和電線グループは、地震から人と財産を守る免震製品から
ビルの機能を高める電線・ケーブルまで、幅広い製品サービスをご提案しています。

■ビル内配線

●通信ケーブル
LANケーブル



10Gbpsの高速通信にも対応

■非常用設備

消防用耐火耐熱電線



火災時に一定時間、電線の機能を確保

■免震部材

積層ゴムアイソレータ



地震の揺れを吸収し、財産・人命を守る

■地下無線装置

漏洩同軸ケーブル



消防用デジタル無線にも対応

■ビル内配線

●電力ケーブル
IV・VVF
600V CV
制御用ケーブルCVV



変圧器からの低圧電力をビル内に供給

低圧分岐ケーブル



電線布設工事を省力化

●通信ケーブル
光ケーブル



電気ノイズに強く高速大容量通信に対応

■電気室

低周波吸音材



騒音を効果的に吸収

スプリングショウマウント



機器の振動を遮断

変圧器用巻線



電気機器の効率化に貢献

目 次

〈普通論文〉

- シリサイド系材料を使用した熱電変換 π 型モジュールの性能評価 昭和電線ケーブルシステム(株)
中村 倫之・島山 和也
箕輪 昌啓
昭和 KDE 株式会社 5
水戸 洋彦
東京理科大学
飯田 努・西尾 圭史
- 熱電デバイスの伝熱解析 昭和電線ケーブルシステム(株)
小林 公樹・佐野 茂樹
藤田 道朝・箕輪 昌啓 10
中村 倫之
昭和電線ビジネスソリューション(株)
奥山 進
- 工業炉を利用した熱電発電システムの発電実証試験 昭和電線ケーブルシステム(株)
小林 公樹・中村 倫之
箕輪 昌啓・柴田 均
昭和電線ビジネスソリューション(株) 15
倉田 博司・奥山 進
JFE スチール株式会社
黒木 高志・壁矢 和久
- 人工ピン止め点導入型 RE 系超電導線材「nPAD-YBCO[®]」の開発 昭和電線ケーブルシステム(株)
木村 一成・広長 隆介
高橋 保夫・小泉 勉
長谷川 隆代
九州大学 東川 甲平・井上 昌睦 20
木須 隆暢
公益財団法人 国際超電導産業技術
研究センター・超電導工学研究所
中村 達徳・吉積 正晃
和泉 輝郎・塩原 融
- nPAD-YBCO[®] 線材を用いた超電導電流リードの開発 昭和電線ケーブルシステム(株)
高橋 亨・木村 一成
引地 康雄・箕輪 昌啓 25
小泉 勉・長谷川 隆代
東海大学 山田 豊
- 耐熱難燃絶縁電線材料の開発 昭和電線ケーブルシステム(株)
斉藤 真利子・藤田 道朝 29
光地 伸明・岡下 稔
森下 裕一・大根 田進
- トンネル照明用コネクタ「ショウタッチ[®]」(5 極, 6 極用) の開発 昭和電線ケーブルシステム(株)
小嶋 一輝・渡辺 雄
大石 智雄 33
行田電線株式会社
太田 翔・吉田 敏一
北川 寿也・相井 康弘

154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 住本 勉・今西 晋 足立和久・荻島みゆき 桑木亮仙	... 38
	株式会社日立製作所 山岸 明・田中敏明 奥田健司	
シリコンゴム製ストレスコーンを適用した IEC 110/132 kV スマート終端接続部の開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 住本 勉・足立和久	... 43
	桑木亮仙	
154 kV スマート終端接続部 機器耐圧用プラグインブッシングの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 今西 晋・住本 勉 荻島みゆき	... 48
	昭和電線ホールディングス(株) 瀬間 信幸	... 48
	株式会社エクシム 林 克之	
低風圧・自励振動抑制型光ドロップケーブルの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 田邊賢吾・有田謙志 吉原龍夫・瀬戸昭博 金子貴皇	... 52
錫プラグ入り積層ゴムアイソレータの健全性について	昭和電線デバイステクノロジー(株) 開発美雪・柳 勝幸	... 58
	株式会社 免制震デバイス 齊木健司・鈴木良二	... 58
	住友金属鉱山シボレックス株式会社 安永 亮	
	日本大学 古橋 剛	
〈新製品紹介〉		
太陽光発電システム用 直流 1500 V 架橋ポリエチレン絶縁 架橋ポリエチレンシースケーブル (DC1500V PV-CC, PV-CCD)		63
太陽光発電用接続箱 (DC1000 V 仕様)		64
環境配慮型耐燃性架橋ポリエチレン絶縁電線 (1500 V EM-TNC)		65
アース線付 600 V ビニル絶縁ビニルシースケーブル VVF(G)		66
高電圧対応耐熱高可とう性エナメル平角線		67
極細平角銅線		68
超細径高密度光ファイバケーブル		69
光ファイバ心線「カールノン®」		70
CC-Link ケーブル (Ver.1.10 対応)		71
LAN 用 Cat.6A UTP ケーブル (TPCC® 6A)		72
LAN 用 Cat.6A UTP 細径ケーブル (TPCC® 6A)		73
低固有振動数スプリングショウマウント® [SKT-2.3]		74
〈トピックス〉		
第 13 回世界免制震会議に参加・発表		75
V 型低周波吸音材の建築基準法「不燃材料」認定取得		76
〈工事紹介〉		
シンガポール SP POWERASSETS 向け 230 kV OF ケーブル及び付属品の据付工事		77
〈社外技術発表一覧表〉		
		79

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2014 Vol. 60

CONTENTS

< Regular Papers >

Power Generation Performance of π -structure Thermoelectric Device Using Silicide Thermoelectric Materials	5
Heat Transfer Analysis of Thermoelectric Device	10
Demonstration of Thermoelectric Power Generation System Using an Industrial Furnace	15
Development of Artificial Pinning Center Doped Superconducting Coated Conductors "nPAD-YBCO"	20
Development of HTS Current Leads Prepared by nPAD-YBCO [®] Tape	25
Development of Heat-resistant and Flame-retardant Materials for Electric Insulated Wires	29
Development of "Showtouch" (5P, 6P) Connector for Tunnel Lighting	33
Development of 154 kV Direct-molded Bushing for Transformation Facilities	38
Development of IEC Smart Cable Head Using Silicone Rubber Stress-relief Cone for 110/132 kV XLPE Cable	43
Development of Plug-in Bushing for Tests of the Equipment Mounted 154 kV Smart Type Sealing End	48
Development of Low Wind Pressure and Self-excited Vibration Suppressive Optical Drop Cable ..	52
Soundness of Rubber Bearing with Tin Plug	58

< New Products >

DC1500 V XLPE Insulated, XLPE Sheathed Cable for Photovoltaic Generation System	63
Combiner Box for Solar Photovoltaics (At DC1000 V)	64
Environmentally Considerate Grade Fire-resistant XLPE Insulated Wire	65
600 V Polyvinyl Chloride Insulated and Sheathed Cables with Grounding Wire	66
Heat Resistant Highly-flexible Rectangular Enamelled Wire for High Voltage Insulation	67
Extra Fine Rectangular Copper Wire	68
Ultra High Density Optical Fiber Cable	69
Tight-buffered Optical Fiber "Curlnon"	70
CC-Link Cable for Ver.1.10	71
Cat.6A UTP Cable for LAN (TPCC [®] 6A)	72
Cat.6A UTP Slim Cable for LAN (TPCC [®] 6A)	73
Low Natural Frequency Springshowmount [®] "SKT-2.3"	74

< Topics >

Presentation to "13th World Conference on Seismic Isolation , Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures , 13WCSI"	75
Certification of Fire Resistant Material for Architecture about Low-frequency Sound Absorber Type V	76

< Construction >

Supply and Installation of 230 kV Oil-filled Cable and Accessory for SP POWERASSETS in Singapore	77
--	----

< List of Technologies Published since 2011 >	79
---	----

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

Shiroyama Trust Tower, 3-1, Toranomom 4-chome,
Minato-ku, Tokyo

URL <http://www.swcc.co.jp/>

E-mail:kouho@hd.swcc.co.jp

シリサイド系材料を使用した熱電変換 π 型モジュールの性能評価

Power Generation Performance of π -structure Thermoelectric Device Using Silicide Thermoelectric Materials

中村 倫之 島山 和也 箕輪 昌啓
Tomoyuki NAKAMURA Kazuya HATAKEYAMA Masahiro MINOWA

水戸 洋彦* 飯田 努** 西尾 圭史**
Youhiko MITO Tsutomu IIDA Keishi NISHIO

中温域である 300 ~ 600°C の排熱を有効利用できる熱電変換モジュールの試作を行った。熱電材料は、n 型に Mg_2Si 素子、p 型に $MnSi_{1.73}$ 素子を選択した。これらのシリサイド系の熱電材料は、原材料が豊富にあり毒性が少なく軽いという特徴を有している。作製した 24 対の π 型モジュールは大気中で 600°C の熱板と水冷板 10°C の間に挟み発電特性を測定した。その結果、開放電圧は 3.2 V となり最大出力は 3.0 W となった。出力密度は、2.3 kW/m² となった。

In this study, we fabricated the thermoelectric power generation module which could apply the waste heat of middle range temperature (300-600°C) effectively. We selected the Mg_2Si as n type elements and the $MnSi_{1.73}$ as p type elements. Characteristics of these silicide based materials are non-toxicity, lightweight property, and comparative abundance compared with other thermoelectric (TE) materials.

The thermoelectric module consisted of 24 pairs of *p-type* and *n-type* legs. The open circuit voltage was 3.2 V and the maximum output power was 3.0 W at a heat source temperature of 600°C and a cooling water temperature of 10°C in air. The output density was 2.3 kW/m².

1. はじめに

近年、エネルギー資源の枯渇や地球温暖化などの環境問題が深刻化している。このような問題を軽減する方法の一つとして、排熱を直接電気エネルギーに変換することができる熱電発電が注目されている。

熱電発電 (Thermoelectric generation) は、熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換することができる技術である。また、発電時に CO₂ ガスを排出しないクリーンな発電方法である。

熱電材料として、BiTe や PbTe などは性能が高い。しかし、環境低負荷の観点から毒性が小さく、原料資源の埋蔵量が豊富なシリサイド系が注目を集めている。最近では、シリサイド系で高い性能を有する Mg_2Si 材料を用いたユニレグモジュール (Uni-leg module) の報告^{1)~3)} や π 型モジュールでは Mg_2Si と金属酸化物である $NaCo_2O_4$ を組み合

わせたモジュールの報告がある^{4), 5)}。また、これらの材料はエネルギー密度が高く比較的回収しやすい 300 ~ 600°C の中温域排熱に適用することができる。中温域排熱は鉄鋼業や化学工業に多く、鉄鋼業においては 500°C 以上の固体排熱が多く存在する。⁶⁾

本報では、300 ~ 600°C の中温域排熱に適用できるモジュールの作製を試みた。熱電材料としては埋蔵量が豊富かつ環境低負荷な材料として、 Mg_2Si と $MnSi_{1.73}$ を選択した。表 1 にクラーク数を示す。クラーク数とは地球表面下 10 マイルまでに存在する元素の存在比を重量%で表したものである。本材料は Si を主成分とした Mg, Mn で構成される材料でクラーク数は 2 番目 (Si) 8 番目 (Mg) 12 番目 (Mn) となる。

* 昭和 KDE 株式会社

** 東京理科大学

表1 クラーク数

順位	元素	クラーク数
1	O	49.5
2	Si	25.8
3	Al	7.56
4	Fe	74.7
5	Ca	3.39
6	Na	2.63
7	K	2.4
8	Mg	1.93
9	H	0.83
10	Ti	0.46
11	Ci	0.19
12	Mn	0.09
13	P	0.08
14	C	0.08
15	S	0.06

2. 熱電変換モジュール

π 型熱電変換モジュールの素子は、p 型半導体、n 型半導体の2種類の材料から構成される。各素子を交互に直列に繋ぐことにより π 型となる。これらの素子は、素子自身に温度差が生じると起電力が発生する。この現象はゼーベック効果と呼ばれている。そのため、熱電変換モジュールは片面を加熱し、もう一方を冷却することで素子に温度差が生じ発電を行うことができる。図1に熱電変換モジュールの模式図を示す。

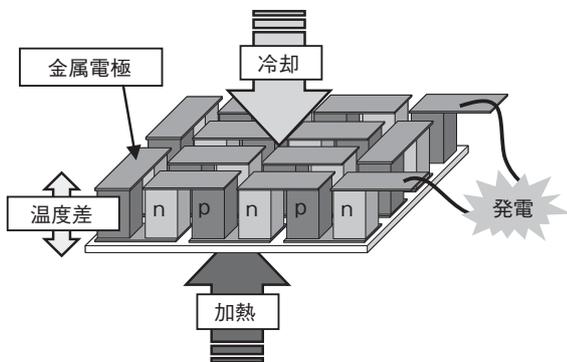


図1 熱電変換モジュール模式図

3. シリサイド素子熱電特性

MnSi_{1.73} 素子は、ホットプレス法で作製された焼結体を使用した。Sb ドープした Mg₂Si 素子は、放電プラズマ焼結法 (SPS) で作製された素子を使用した。

各素子の熱電特性は、大気中室温から 600°C までの範囲でゼーベック係数と電気抵抗率を測定した。ゼーベック係数とは単位温度差あたり発生する起電力である。測定はオザワ科学 R2001i 熱電特性測定装置を使用した。測定結果より素子の出力因子 (PF: power factor) を算出した。出力因子とは次式で表される値で、単位温度差当たりの発電電力に相当する。測定結果を図2に示す。MnSi_{1.73} 素子の

出力因子は 600°C で最大値 5.8×10^{-4} W/mK² となり、Mg₂Si 素子は 400°C で最大値 4.7×10^{-3} W/mK² と測定された。

$$PF = \frac{S^2}{\rho}$$

S: ゼーベック係数

ρ : 抵抗率

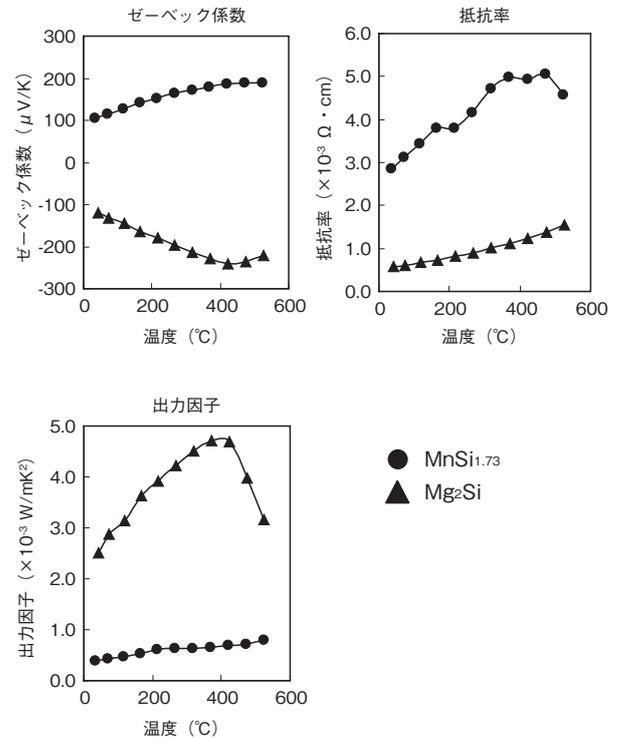


図2 熱電特性測定結果

4. 熱電変換モジュール作製

モジュールを作製する際、MnSi_{1.73} 焼結体は電極との接合性を向上させるために接合界面に Ni めっきを行い、さらに Au スラッシュめっきを施した。Mg₂Si 素子は放電プラズマ焼結法により Ni 電極が一体化焼結されている素子を使用した。図3に素子写真を示す。素子寸法は、両素子とも 3.0 mm × 3.0 mm × 7.6 mm³ とした。

これらの素子を用いて 24 対ハーフスケルトン π 型モジュールの試作を行った。作製したモジュールの仕様を表2に示す。またモジュールの概観写真を図4に示す。モジュール基板はアルミナ基板を用いた。基板サイズは、33 mm × 40 mm × 0.65 mm³ とした。Ag ペーストで電極パターンをスクリーン印刷し、そのパターン上に Ag テープ (0.2 mm³) を貼り付けて Ag 電極をアルミナ基板に形成した。もう一方の上部電極は Ag テープ (0.2 mm³) を使用した。基板に対する素子面積の占有率は 33% となった。

素子とモジュール基板及び上部電極との接合には、低温ろう材を混合した Ag ペーストを使用した。モジュールの接合条件は、N₂ 雰囲気 (4% 酸素) 中で 600°C × 2 h とした。

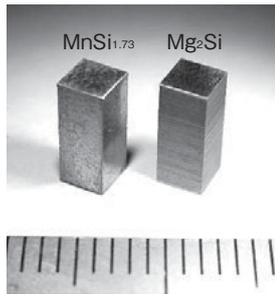


図3 モジュール使用素子

表2 モジュール仕様

素子	材料組成・材質		サイズ
	p	MnSi _{1.73}	
	n	Mg ₂ Si	3.0 mm×3.0 mm×7.6 mm ^t
電極	Ag		0.2 mm ^t
基板	Al ₂ O ₃		60 mm×50 mm×0.6 mm ^t

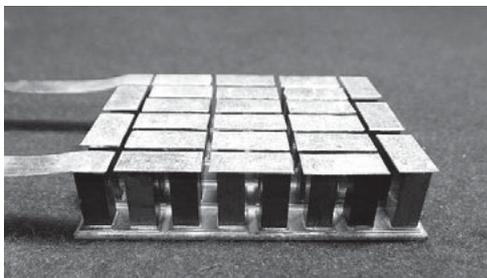


図4 モジュール概観写真

5. 熱電変換モジュール性能評価

作製したモジュールの室温時のモジュール内部抵抗は、一般的な4端子法により測定した。

モジュールの出力特性は、熱板と水冷ヒートシンクにモジュールを挟み込み、温度差をつけることにより測定した。熱板を昇温し、ヒートシンクには10℃の水を流した。モジュールのアルミナ基板側を高温側とし、低温側はAg電極とヒートシンクの絶縁を取るためシリコンゴム(1.0 mm^t)を挟んだ。負荷抵抗を変化させながら出力特性を測定し、モジュールの出力を評価した。また、600℃までの繰り返し測定を5回行った。図5にセッティング時の写真を示す。

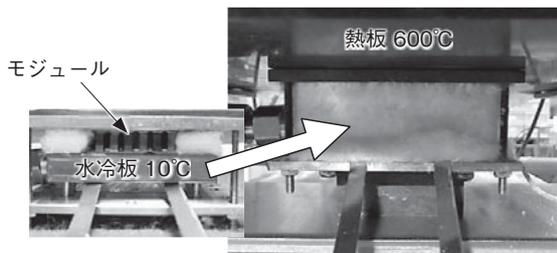


図5 モジュール測定状況

6. 測定結果

室温時のモジュールの内部抵抗は0.43 Ωとなった。各素子の抵抗率特性から計算した素子のみのモジュールの抵抗は0.33 Ωとなる。このことからモジュール内の素子以外の抵抗(電極や素子と電極間の接続抵抗)は100 mΩ存在する。次にモジュールの出力測定結果を表3、図6に示す。熱板温度600℃において開放電圧は3.21 Vとなった。最大出力は2.99 Wとなった。

繰り返し測定結果を図7に示す。回数が増すごとにモジュールの内部抵抗が上昇し、出力が減少した。

高温側600℃低温側10℃として温度差590℃における開放電圧は素子のゼーベック定数から算出すると4.3 Vと計算されるため、実際の素子についての温度差は小さく出力は計算値の56%であった。

繰り返し測定においては、測定後、MnSi_{1.73}素子のNiメッキ部分で素子が剥れていた。これは、モジュール内部抵抗が上昇した大きな原因の一つと考えられる。図8に測定後の素子写真を示す。また、素子自体の表面が変色しており酸化していると考えられる。しかし、出力測定後の素子の抵抗測定では大きな上昇みられず、本測定のような短時間の評価では素子自体の劣化は小さいと考えられる。

表3 出力測定結果

温度 ℃	開放電圧 V	最大出力 W
400	1.82	1.12
500	2.49	1.97
600	3.21	2.99

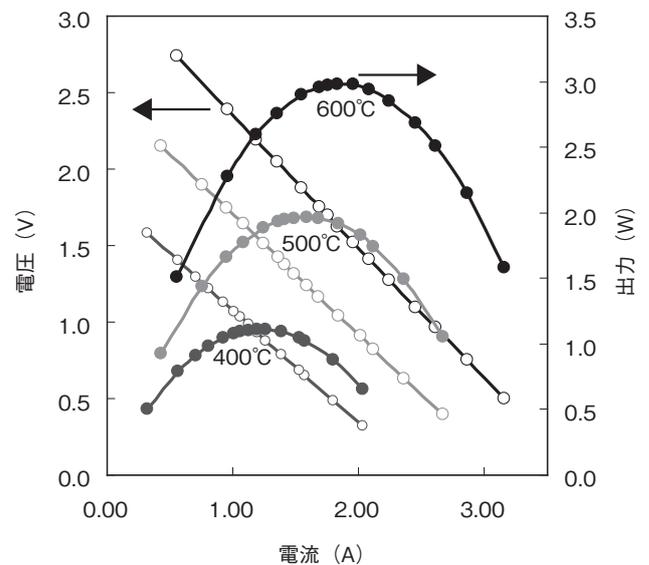


図6 出力測定結果

参考文献

- 1) T. Sakamoto, T. Iida, Y. Taguchi, S. Kurosaki, Y. Hayatsu, K. Nishio, Y. Kogo, Y. Takanashi : J. Electron. Mater, vol.41, pp.1429-1435 (2012)
- 2) T. Nemoto, T. Iida, J. Sato, T. Sakamoto, T. Nakajima, Y. Takanashi : J. Electron. Mater, vol.41, pp.1312-1316 (2012)
- 3) T. Sakamoto, T. Iida, N. Fukushima, Y. Honda, M. Tada, Y. Taguchi, Y. Mito, H. Taguchi, Y. Takanashi : Thin Solid Films, vol.519, pp.8528-8531 (2011)
- 4) K. Arai, H. Akimoto, T. Kineri, T. Iida, K. Nishio : Key Engineering Mater, vol.485, pp.169-172 (2011)
- 5) K. Arai, M. Matsubara, Y. Sawada, T. Sakamoto, T. Kineri, Y. Kogo, T. Iida, K. Nishio : J. Electron. Mater, vol.41, pp.1771-1777 (2012)
- 6) 省エネルギーセンター：「工場群の排熱実態調査研究要約（平成12年度データ）」（2001）
- 7) ニュートンプレス Newton(2009.9), p.48

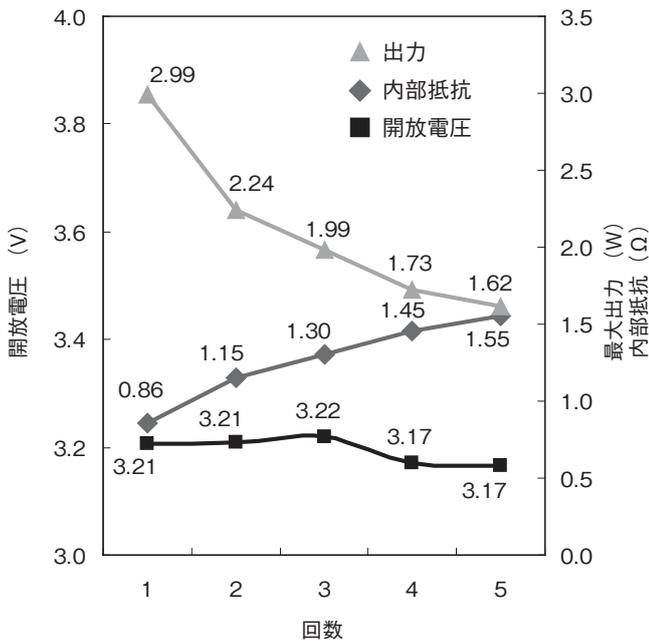


図7 繰り返し測定結果



図8 繰り返し測定後の素子

7. まとめと課題

本研究では、 300°C ～ 600°C で使用できる中温域モジュールの作製を試みた。軽量、資源豊富かつ低毒性な熱電材料である Mg_2Si と $\text{MnSi}_{1.73}$ 素子を使用してモジュールを作製し出力評価を行った。

高温側 600°C 、低温側 10°C でモジュール出力測定を行うと最大出力で 3.0 W を得ることができた。これは、出力密度 2.3 kW/m^2 に相当し、太陽光発電パネルの出力密度 ($150\sim 200\text{ W/m}^2$)⁷⁾ よりはるかに大きいレベルである。設置環境に応じて効率的なエネルギー回収を目指す場合、有効な選択肢のひとつになると考えられる。今後は、素子/電極接合部の改善を行い、耐久性向上を目指す。

昭和電線ケーブルシステム(株)

中村 倫之 (なかむら ともゆき)

技術開発センター デバイス開発グループ

熱電変換素子と熱電変換モジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

畠山 和也 (はたけやま かずや)

技術開発センター デバイス開発グループ

熱電変換素子と熱電変換モジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

箕輪 昌啓 (みのわ まさひろ)

技術開発センター デバイス開発グループ長

昭和 KDE 株式会社

水戸 洋彦 (みと ようひこ)

技術本部 技術開発グループ長

主幹研究員

東京理科大学

飯田 努 (いいた つとむ)

博士 (工学)

基礎工学部 材料工学科 教授

東京理科大学

西尾 圭史 (にしお けいし)

博士 (工学)

基礎工学部 材料工学科 教授

熱電デバイスの伝熱解析

Heat Transfer Analysis of Thermoelectric Device

小林公樹
Hiroki KOBAYASHI

佐野茂樹
Shigeki SANÔ

藤田道朝
Michitomo FUJITA

箕輪昌啓
Masahiro MINOWA

中村倫之
Tomoyuki NAKAMURA

奥山進
Susumu OKUYAMA

熱電変換デバイスを効率良く機能させるため、コンピュータシミュレーションによる伝熱解析を検討している。工業炉に設置したデバイスの熱解析事例を紹介する。今回検討した平板受熱構造では輻射伝熱が主な伝熱経路であり、解析結果は実測値と良い一致を示した。熱電デバイス設計の支援技術としてシミュレーションの有用性を確認できた。

We are considering heat transfer analysis for improved efficiency operation of thermoelectric(TE) devices by computer simulation. We introduce a case of thermal analysis of TE devices installed in industrial furnace. Radiation heat transfer is primary heat transfer path in heat-receiving plate structure in this report. Results are well accorded with measured. We confirmed usefulness as assistive technology of the TE device.

1. はじめに

温度差を電気エネルギーに変換できる熱電変換デバイスは排熱の再利用による省エネルギー技術のひとつとして注目されている。

その潜在発電量は3.5 GWh/年とも言われている¹⁾が、発電効率向上やコスト低減などいまだ多くの課題が存在し、開発が進められている^{2, 3)}。

熱電変換デバイスを効率良く機能させるためには、使用部材の材質、構造、及び熱源に対する取り付け方法など多くの要因を調整する必要がある。

しかし実際に稼働している設備、たとえば工業炉や廃棄物焼却設備等では設備を停止させ予備検討を行える機会は限られている。また、対象とする熱源が数百度を超える高温の場合、安全性の観点から試験実施に対する制約が多い。

そのような理由により、実際に稼働する高温設備に対する適切な設計を行うのは非常に困難である。この問題に対応するため、当社ではコンピュータシミュレーションによる開発支援を進めている。

本報では当社所有工業炉で行った試験解析事例について紹介する。

2. 解析対象モデル

発電試験は当社三重事業所に設置されているディップフ

オーミング式荒引線製造設備の予熱炉で行った。試験設備の解析モデルを図1に示す。

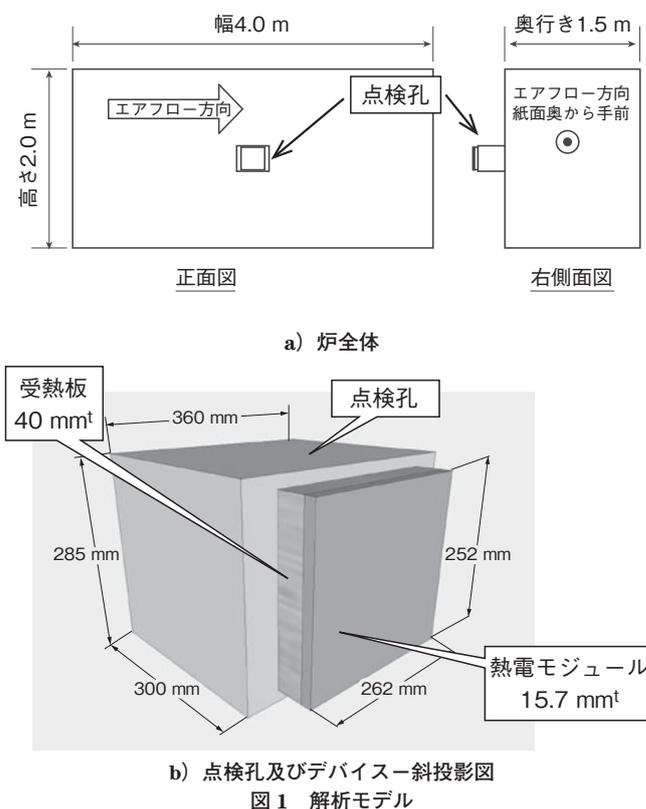


図1 解析モデル

炉は幅 4.0 m、奥行き 1.5 m、高さ 2.0 m の直方体とし、幅方向にエアフローが生じているものとした。

デバイスは炉側面の点検孔に取り付けた。点検孔は幅 360 mm、奥行き 300 mm、高さ 285 mm で、炉内側は開口しており、外側中央部にはデバイスが取り付けられている。デバイスは受熱板及び熱電モジュールの 2 部材で成り立っており、受熱板厚さは 40 mm、熱電モジュールの厚さは 15.7 mm とした。両者の幅は 262 mm、高さは 252 mm である。

この系におけるデバイスの最適形状を求めるための予備検討として、この系における主要伝熱経路の推定を行うこととした。

3. 解析条件設定

3.1 メッシュモデル

今回のシミュレーションは放射を考慮した数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) で行った⁴⁾。

CFD では実モデルをメッシュ (格子) と呼ばれる微小区間に区切ったセルに分割し、離散化した上で解く。そのためメッシュの形状や密度に解が依存し、モデル化の際には十分な検討が必要である。

図 2 は点検孔及びデバイス部のメッシュ図である。格子状に区切られた部分が個々のメッシュに相当する。炉全体寸法に対しモジュール厚さは小さいことから、モジュール部では細かく、炉内部分では粗いメッシュとした。

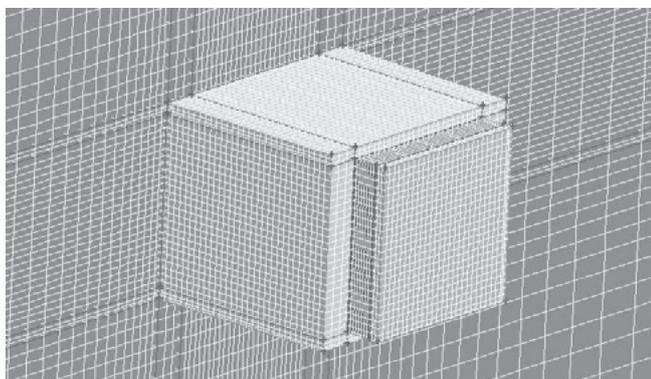


図 2 メッシュ例 (点検孔付近拡大)

3.2 伝熱経路

このデバイスでは炉内空間に受熱面が露出しているため、伝熱経路としては ①空気による対流伝熱 ② (主として対向壁面からの) 放射伝熱、の 2 経路を想定した。

伝熱経路の概要図を図 3 に示す。

3.3 境界条件

上記伝熱機構を考慮し、表 1 に示す境界条件設定を行った。

3.4 評価位置

温度評価は、受熱板中央炉内側表面で行った。

4. 主伝熱経路推定

この設置環境において放射伝熱と対流伝熱のどちらが主

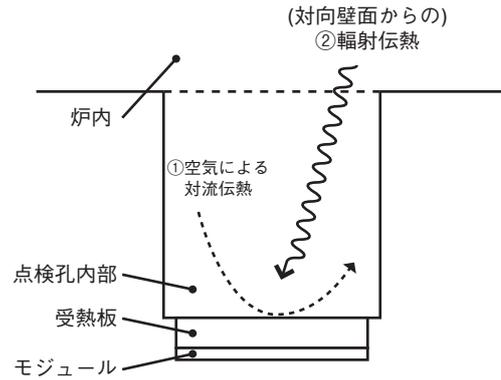


図 3 伝熱経路 (点検孔を上から見た図)

表 1 境界条件

項目	条件	備考
炉壁放射率	0.99[-]	-
炉壁温度	600 ~ 1000[°C] 100[°C] 刻み	-
炉内雰囲気温度	600 ~ 1000[°C] 100[°C] 刻み	-
炉内風速	0, 1, 2, 5[m/s]	-
受熱板熱伝導率	20°C : 20.5 ~ 800°C : 26.7[W/m·K]	温度依存性を考慮
モジュール熱伝導率	200°C : 2.12 400°C : 2.21[W/m·K]	-
点検孔壁面	断熱境界	-
モジュール低温側	20°C 定温境界	-

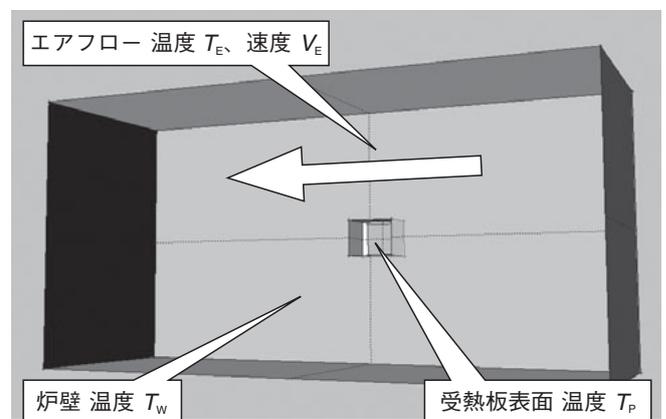


図 4 パラメータ説明 (炉内から点検孔を見た図)

な熱伝達経路を確認するため、炉壁温度、雰囲気温度、風速を変量し計算を行った。

炉内壁面温度を T_w 、炉内雰囲気温度 (エアフロー設定温度) を T_E 、エアフロー速度を V_E 、そして受熱板中央表面温度を T_p とする (図 4 参照)。

炉壁温度 T_w と雰囲気温度 T_E を変量し、受熱板中央温度 T_p の変化を求めた。ここで炉内空気のエアフロー速度 V_E は 1 m/s とした。結果を図 5 に示す。

T_p, T_w, T_E [°C] について上記傾向の直線回帰式を求めたところ

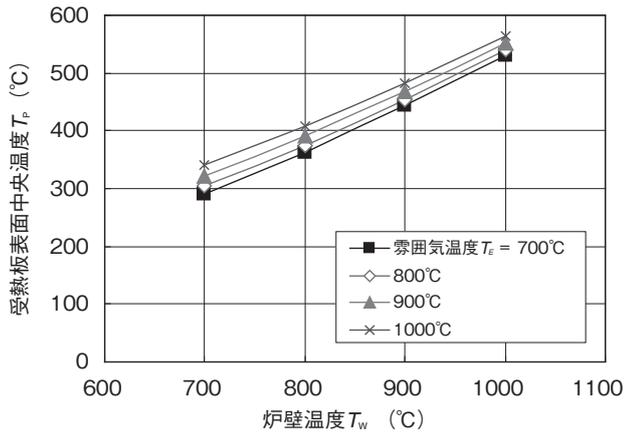


図5 炉壁温度，霧囲気温度依存性（風速 1 m/s）

$$T_p = 0.776 \times T_w + 0.141 \times T_e - 233$$

であり， T_p は炉壁温度 T_w の影響が大きいことが判った。

次に T_e を 900°C に固定し， T_w と風速 V_E を変量した時の T_p 変化を求めた。結果を図6に示す。

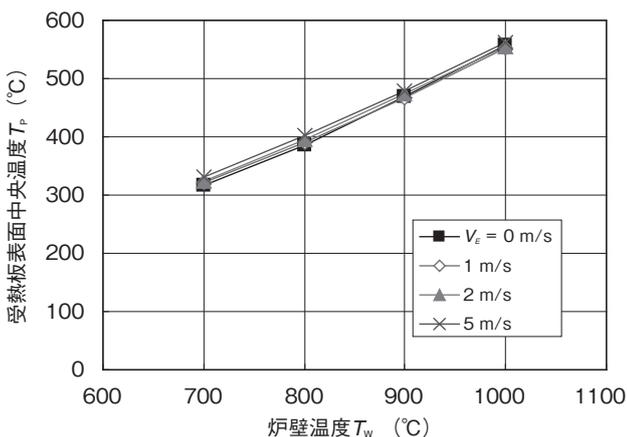


図6 炉壁温度，風速依存性

T_p に対する V_E の影響はほとんどない。

これらの結果から，霧囲気から受熱板に対する熱の流入は少ない，すなわちデバイスに対する主な熱伝達経路は壁面からの輻射伝熱であるものと考えられる。

5. 実設備取付けデバイスとの比較

次に，この解析結果を検証するため，実設備でのデバイス温度測定結果との対比を行った。

デバイス及び取付け環境の温度測定点を図7に示す。

受熱板中央部分は受熱板の面内中心位置である。受熱板上端部は上端隅から縦横 10 mm 離れた点としている。なお，受熱板の材質は SUS430 である。

評価は

- 受熱板中央 炉内側表面
- 同 モジュール高温側
- 受熱板上端 炉内側表面
- 同 モジュール高温側

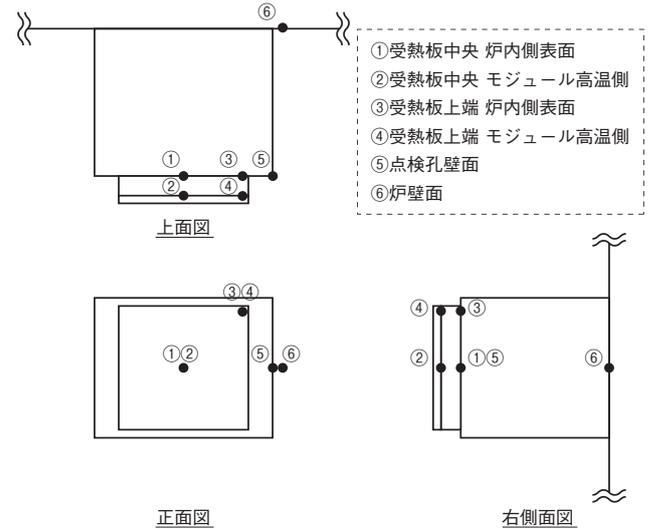


図7 温度測定点

e) 点検孔壁面

の5点で行った。

各点における比較結果を図8a)～e)に示す。

また，炉壁温度 900°C ，霧囲気温度 900°C のときの，デバイス近傍温度コンターマップを図9a)，b)に示す。

炉壁温度を基準にシミュレーションと実測値を比較したところ，受熱板表面，及びモジュール高温側温度に関しては良い一致を示した。

この結果より，点検孔に取り付けられたデバイスに対する伝熱機構は良好に模擬できているものと考えられる。

点検孔壁面温度は実測値に比べ $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 程度高い値となった。今回の解析で点検孔壁面は断熱境界としており，実際の壁面で生じている外界に対する伝熱は考慮していないため，その影響が現れたものと考えられる。

6. あとがき

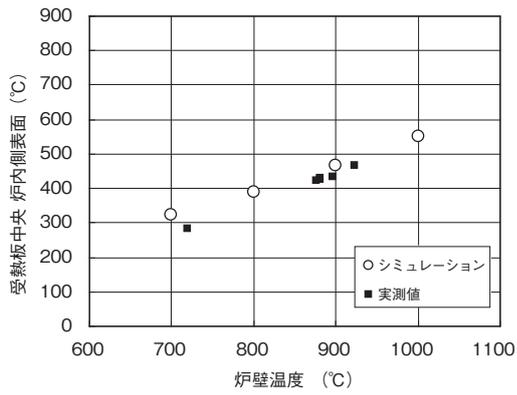
実設備（工業炉）を対象とし，熱電デバイスを取り付けた場合の温度推定をシミュレーションにより行った。

デバイス本体の中で発電に影響を与える受熱板温度，モジュール表面温度は良好に再現できており，熱伝達経路の模擬が行えたものと考えられる。これよりシミュレーションの有用性を確認できた。

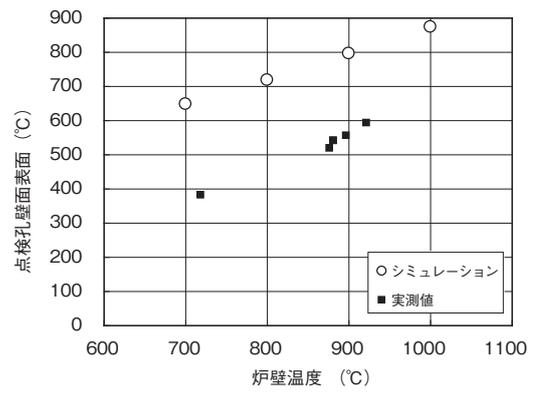
今後はデバイス構造検討・評価技術の一つとして，熱電デバイス実用化の支援につなげていく予定である。

参考文献

- NEDO 再生可能技術白書，新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2010)
- 日下 雅文，他：昭和電線レビュー，Vol.58, No.1, p.9 (2008)
- 中村 倫之，他：昭和電線レビュー，Vol.58, No.1, p.5 (2008)
- 成吉 郁馬，他：昭和電線レビュー，Vol.58, No.1, p.49 (2008)

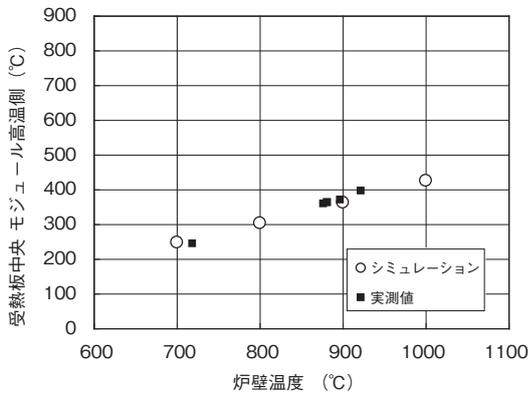


a) 受熱板中央, 炉内側表面温度比較

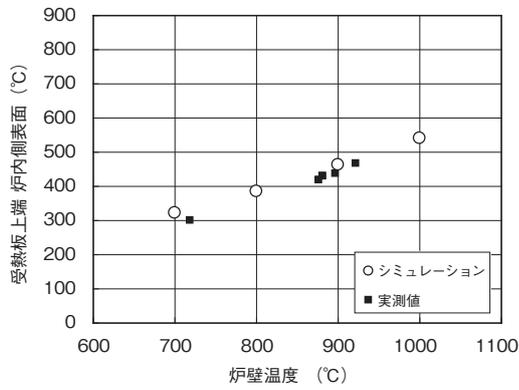


e) 点検孔壁面温度比較

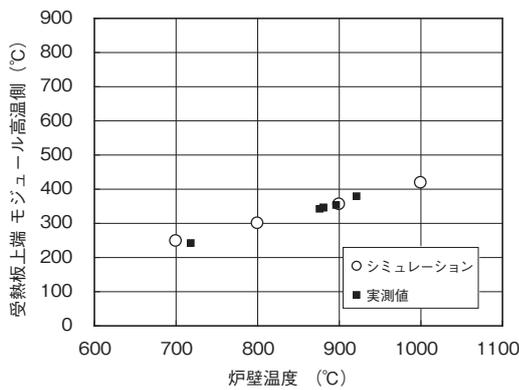
図8 実測値と計算値の比較



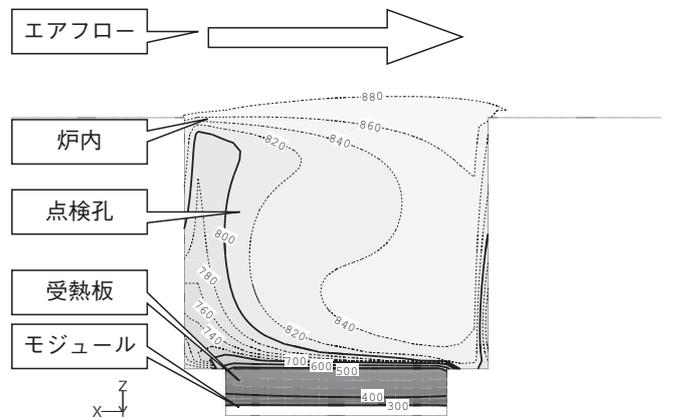
b) 受熱板中央, モジュール高温側温度比較



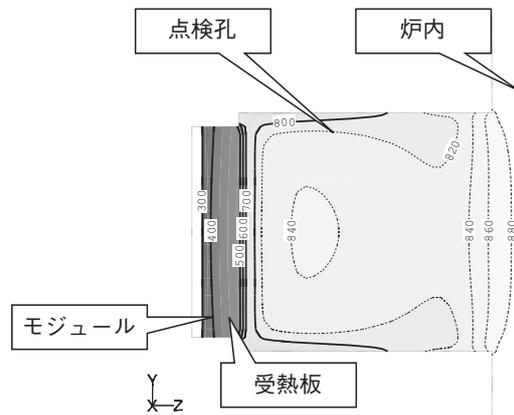
c) 受熱板上端, 炉内側表面温度比較



d) 受熱板上端, モジュール高温側温度比較



a) 中心面温度分布 (水平面)



b) 中心面温度分布 (垂直面)

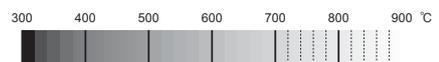


図9 デバイス近傍温度コンターマップ

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 有機材料開発グループ 主査

ケーブル部品, 材料の製造に関する

シミュレーションおよび開発業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

佐野 茂樹 (さの しげき)

技術開発センター 有機材料開発グループ 主査

ケーブル部品, 材料の製造に関する

シミュレーションおよび開発業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

藤田 道朝 (ふじた みちとも)

技術開発センター 有機材料開発グループ長

ケーブル部品, 材料の製造に関する

シミュレーションおよび開発業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

箕輪 昌啓 (みのわ まさひろ)

技術開発センター デバイス開発グループ長

熱電変換素子, 熱電変換モジュールと

熱電変換デバイスの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

中村 倫之 (なかむら ともゆき)

技術開発センター デバイス開発グループ

熱電変換素子, 熱電変換モジュールと

熱電変換デバイスの研究・開発に従事

昭和電線ビジネスソリューション(株)

奥山 進 (おくやま すずむ)

生産技術部 三重製造技術課

工業炉を利用した熱電発電システムの発電実証試験

Demonstration of Thermoelectric Power Generation System Using an Industrial Furnace

小林 公樹 中村 倫之 箕輪 昌啓 倉田 博司
Hiroki KOBAYASHI Tomoyuki NAKAMURA Masahiro MINOWA Hiroshi KURATA

奥山 進 柴田 均 黒木 高志* 壁矢 和久*
Susumu OKUYAMA Hitoshi SHIBATA Takashi KUROKI Kazuhisa KABEYA

熱電発電システムの実用化を目指し、2回にわたり工業炉における発電実証試験を実施した。設置対象は昭和電線ケーブルシステム(株)三重事業所内に設置されているディップフォーミング式荒引線製造設備であり、運転時の炉内温度は850℃に保たれている。初回の試験は5800時間以上の連続稼動を確認し、最大68 W/m²の出力密度を得た。第二回試験で最大150 W/m²の出力密度を得た。これらの試験により酸化物熱電変換素子を用いたデバイスが大気中800℃以上の環境でも長期使用できることが確認できた。

Aiming to commercialize thermoelectric generation system, demonstration tests were conducted twice in an industrial furnace. Thermoelectric devices were mounted to dip-forming manufacturing facilities in which the furnace temperature during operation had been kept at 850°C. First demonstration test was performed for more than 5800 hours. The maximum power density of the device was 68 W/m². The second demonstration test was started. The maximum power density of the device was improved to 150 W/m². It was confirmed that the long-term durability for the oxide thermoelectric device is good under high temperature environment.

1. はじめに

一次エネルギー源の主流である化石燃料は現在二つの問題を有している。ひとつは資源の枯渇により今後の安定供給が見込めないこと、もうひとつは温室効果ガス(二酸化炭素)の放出源になっていることである。そのため世界的に今後化石燃料への依存度は徐々に減らしていく傾向にあり、様々な方面から使用量削減や代替エネルギー開発が検討されている。このようなエネルギー問題に対して熱電発電はエネルギーの有効利用技術のひとつとして注目されている。

熱電発電では熱起電力を持つ半導体材料(熱電変換材料)に温度差を与えることで、熱を電気に変換する(図1)。これは蒸気タービンなどといった熱機関に比べると非常に単純な構造であるため小型軽量化に対し有利である。これにより、これまで熱機関の適用に向かなかった小規模で広範囲に分散している排熱を電気として回収できる可能性が広がった。

昭和電線ケーブルシステム(株)(以下昭和CS社)はこれまで熱電変換技術の実用化に向けた開発を進めてきた^{1, 2)}。

本報では昭和CS社に設置されている工業炉を対象とした2回の実証試験について報告する。

2. 熱電変換モジュール

熱電変換モジュールは熱電発電デバイスの中心部品である。この熱電変換モジュールは内部に熱電変換材料からなる素子を多数有しており、モジュールの両面に温度差を与えることで発電する。

今回報告する2回の試験で使用した熱電変換モジュールは、酸化物系の熱電変換材料を用いている。この材料は大

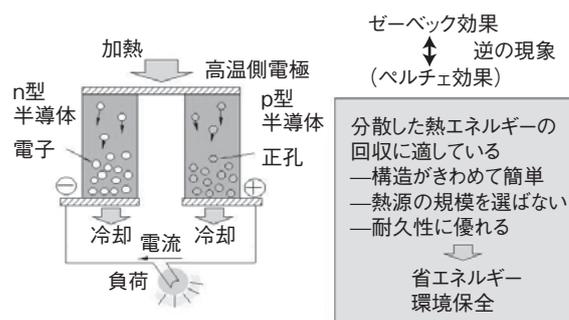


図1 熱電変換の模式図³⁾

* JFE スチール株式会社

気中での安定性に優れており、最高使用温度は 800℃ 付近まで達するため工業炉のような高温環境下での使用に適している。

モジュールの仕様を表 1 に、また、モジュール外観を図 2 に示す。

表 1 熱電変換モジュール仕様

素子	p 型 : $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ $\phi 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}^1$ n 型 : LaNiO_3 $\phi 3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}^1$
対数	24 対
基板	アルミナ 55×110×1 (mm)
電極	高温側 : 基板上に銀ペーストで回路形成 低温側 : 銀シート電極を銀ペーストで接合

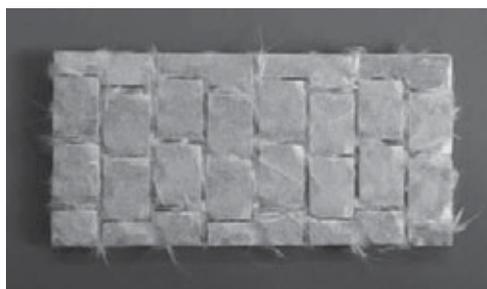


図 2 24 対熱電変換モジュール外観

3. 設置環境

発電実験は昭和 CS 社三重事業所に設置されているディップフォーミング式荒引線製造設備の予熱炉で行った。この予熱炉内の雰囲気は稼働時におよそ 850℃ に保たれている。この予熱炉側面に設けているメンテナンス用ハッチ開口部を利用し、熱電発電デバイスを取り付けた。

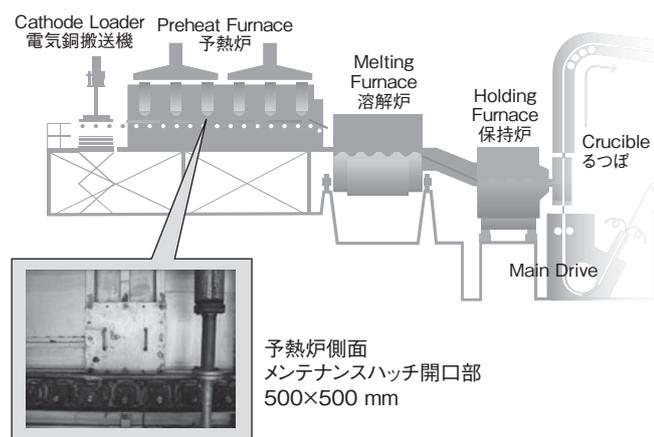


図 3 ディップフォーミング式荒引線製造設備図 (一部)

4. 第一回実証試験

第一回実証試験では、実稼働設備に対し熱電発電システムを取り付けた場合の問題抽出、またシステムの長期安定

動作確認を主目的とした。

4.1 システム構成

熱電発電システムは、発電装置本体である熱電発電デバイス、及びデバイス出力変動を平滑化させるための制御装置、蓄電池で構成されている。

熱電発電デバイスは、受熱板、熱電変換モジュール、水冷板、及びそれらを支える支持部材と押付け部材で構成されており、モジュールは受熱板と水冷板間に挟み込まれ、支持部材と押付け部材により密着するよう配置されている。デバイス稼働時には、炉内雰囲気中で加熱された受熱板と水冷板の温度差により発電する。

熱電発電デバイスのサイズは 500×500 mm であり、内部には 32 枚の熱電変換モジュールを有している。冷却側には銅製の水冷ヒートシンクを用い、冷却水としては工場内で循環している工業用水を使用した。炉内雰囲気にさらされる高温側には酸化物結合型 SiC の板材を取り付けている。これは炉内雰囲気ガスを炉外に逃がさないための遮へい層であると同時に、炉内雰囲気中の熱を効率良く熱電変換モジュールに伝える機能を持つ。

受熱板-熱電変換モジュール-水冷板間の密着を高めるため、水冷板から受熱板に向かってボルトで押し付けを行った。装着時の構造図と外観写真を図 4 に示す。

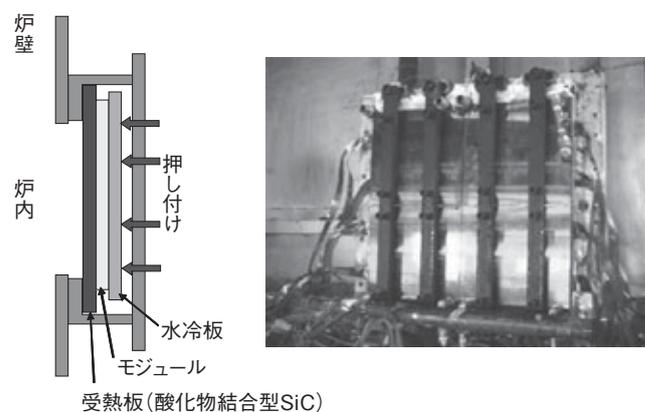


図 4 第一回デバイス構造図及び取り付け写真

熱電発電デバイスの出力は、受熱板に接する炉内雰囲気温度の影響を受ける。本製造設備は数日に一度 500℃ 以下に炉内温度を下げることもあり、また稼働時においてもバーナーの ON/OFF 制御の影響を受け、熱電発電デバイス近傍の雰囲気温度は細かく変動している。

これにより生じるデバイス出力の変動を平滑化するため、デバイスの出力は図 5 に示す制御装置を経由して外部負荷に接続した。このとき外部負荷としては回転表示灯を用いた。制御装置は AC/DC インバータ仕様とし、100 V 電源との連携が取れるようにした。外部負荷に対して電力が余剰の場合には蓄電池に充電を行い、逆に電力が不足しているときには蓄電池から補う回路構成としている。

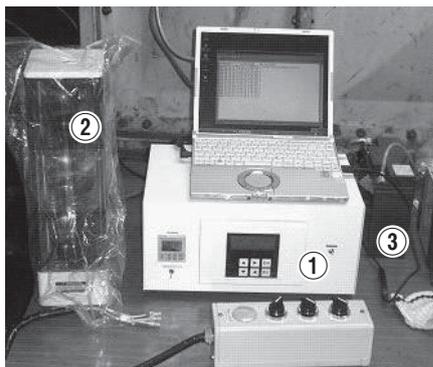


図5 発電制御装置と構成

4.2 試験結果

製造ライン稼動時の出力は12～17 Wであり、出力密度は最大68 W/m²であった。しかしこれは当初予想していた出力の30～53%程度である。この原因として入熱が不十分であったこと、及びデバイス内部での熱抵抗、特に受熱板とモジュール基板の接触界面における熱抵抗が高かったことが考えられた。

第一回試験初期時点でのデバイス全体のパワーカーブを図6に示す。この時の内部抵抗値は6.4 Ωであった。試験期間中の最大開放電圧値は20 Vであり、この開放電圧値と内部抵抗から求めた出力は17 Wであった。

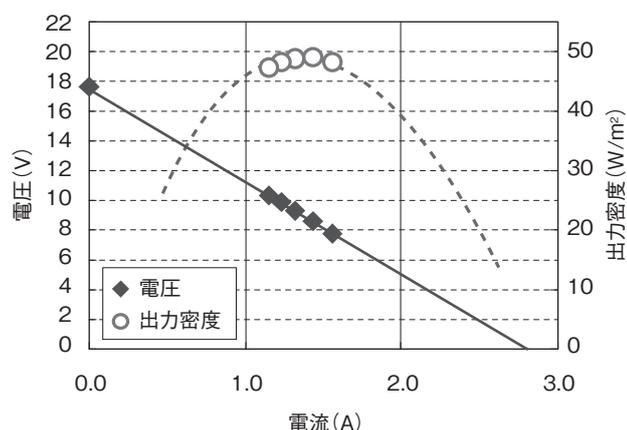


図6 パワーカーブ（第一回試験初期）

得られた電力は、発電制御装置を介して負荷に供給した。外部100 V電源と連携しており、負荷に対し発電が余剰な場合には蓄電し、また発電が不足する場合には逆に放電することで、熱源変動の影響が少ない安定した電源として利用することができた。

デバイスに使用した32枚のモジュールは、4枚1組とした単位構造8組で構成されており、この単位構造を「ユニッ

ト」と呼んでいる。ユニットの起電力（受熱板温度に対する開放電圧）は、初期から5800時間経過後までほぼ同等であった。また各ユニットの内部抵抗値は試験開始時に比べ5800時間経過後もほとんど変化しておらず、モジュールの劣化は生じていないものと考えられた（図7）。これらのことから、長期にわたりシステムが安定動作していることが確認できた。

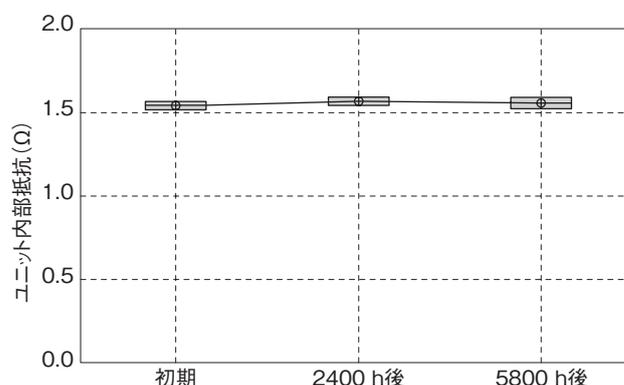


図7 ユニット内部抵抗値の経時変化

以上、この第一回目の実証試験では、実稼動設備（工業炉）に対する熱電発電システムの長期動作確認を行った。

この試験で明らかになった課題のひとつは発電出力の低さである。出力は予測値の30～53%程度であり、熱電発電デバイスの能力を十分に引き出せていない。この点の改善を主目的に、第二回実証試験を行った。

5. 第二回実証試験

第二回実証試験では、デバイスの発電出力改善を主目的とした。

5.1 改善策

第一回実証試験で発電出力が低かった理由としては、①炉内雰囲気熱量が熱電変換モジュールに伝わり難い（入熱効率の低さ）、②受熱板/熱電変換モジュール/水冷板間の熱抵抗の大きさ、の2点が考えられた。これらの問題に対する改善策を表2に示す。

表2 改善策

着目点	第一回試験	第二回試験	備考
受熱板厚さ/熱伝導率 ($\times 10^{-4}$ K \cdot m ² /W)	6.3	2.0	材質、厚さの変更による伝熱性能の向上
受熱板形状	平板状	炉内側にフィン構造を形成	熱交換性能の向上
受熱板-モジュール 基板界面処理	金属貼り付け	固体潤滑剤塗布	界面熱抵抗の減少
モジュール低温側- 水冷板間熱抵抗 ($\times 10^{-3}$ K/W)	50.7	8.1	材質、厚さの変更による伝熱性能の向上

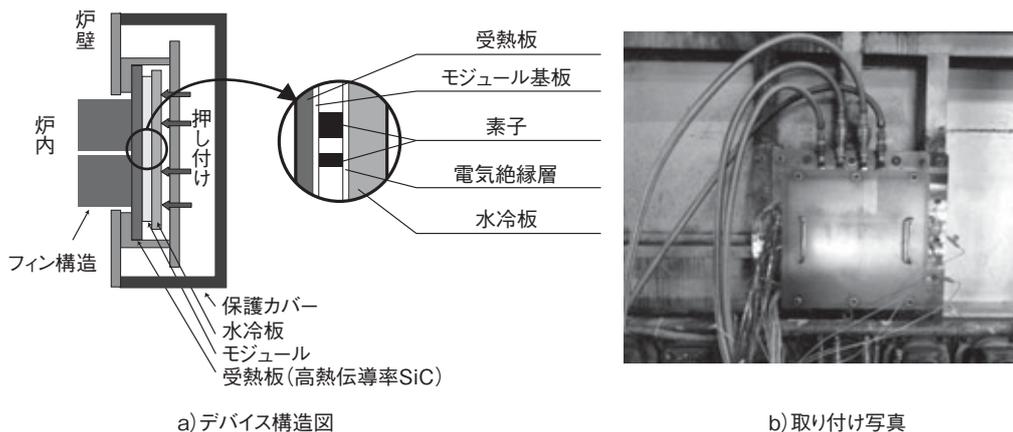


図8 第二回デバイス構造図及び取り付け写真

5.2 システム構成

熱電発電デバイスのサイズは第一回試験の縦横1/2の大きさ(250×250 mm)とした。使用した熱電変換モジュールは8枚である。冷却方式は第一回試験と同様に銅製水冷ヒートシンクを用い、工業用水で冷却を行った。

高温側に用いている受熱板は、第一回試験で使用したものよりも熱伝導率の高い高熱伝導率SiC板である。この材料は見かけ気孔率が低いため、モジュール基板との接触界面において熱抵抗の原因となる空気層の形成を抑えることができる。

受熱板炉内側にはフィン構造を設け、炉内高温空気に対する熱交換性能を向上させた。

受熱板-モジュール基板間の密着を上げ、接触界面の熱抵抗を低減するため、界面には耐熱性固体潤滑剤粉末を塗布した。

熱電変換モジュールの低温側は銀電極が露出しているため、銅製水冷板との接触部には電気絶縁層を設ける必要がある。この電気絶縁層として第一回実証試験では樹脂系フィルムを用いていたが、熱伝導率の高いセラミック材に変更することで熱抵抗を低減した。

安全面を考慮し、熱電発電デバイスには全体を覆う鉄製の保護カバーを設けた。デバイス構造図及び取り付け写真を図8に示す。

5.3 試験結果

熱電変換モジュール内の素子部にかかる温度差は、第一回実証試験で150～190℃程度であったものが、第二回実証試験では350℃程度となり、150℃以上向上した。

第二回試験初期時点でのデバイス全体のパワーカーブを図9に示す。内部抵抗値は2.6Ωであり、製造ライン稼働時の最大出力は9.5Wとなった。

デバイス面積から換算した出力密度は150 W/m²であった。これは第一回実証試験の出力密度の2.2倍に相当する(表3参照)。

この結果から、入熱効率向上及び熱抵抗低減に関する各種対策の効果が確認できた。

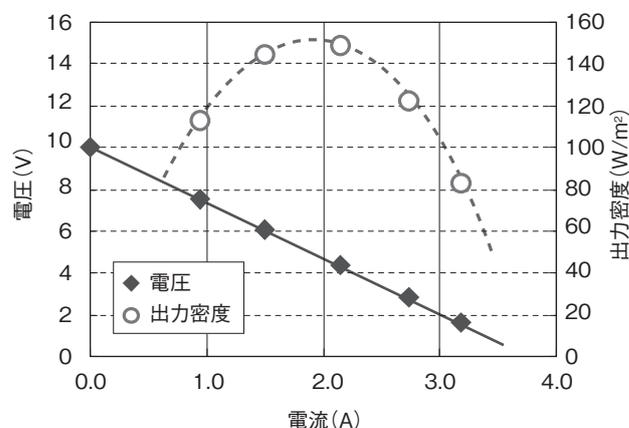


図9 パワーカーブ(第二回試験初期)

表3 試験結果比較

	第一回試験	第二回試験
炉内雰囲気温度	℃	850
開放電圧	V	20.9
デバイス内部抵抗	Ω	6.4
出力	W	17.0
デバイス面積	m ²	0.25
出力密度	W/m ²	68

ただし各熱電変換モジュールの開放電圧を個別に評価すると、最大値と最小値には3倍程度の差が見られた。これは熱の伝わり方の不均一に起因するものと考えられる。この点については今後改善していく予定である。

6. まとめと課題

熱電発電システムの実用化を目指し、昭和CS社所有工業炉を用い2回の実証試験を行った。

第一回試験は、実稼働設備に対し熱電発電システムを取り付けた場合の問題抽出、またシステムの長期安定動作確認を主目的とした。その結果5800時間以上安定してシステムが動作することを確認できた。また、得られた電力は制御装置により外部電源、蓄電池と連携して負荷に供給し、熱源変動の影響が少ない安定した電源として利用できた。

第二回試験は発電効率の向上を目的に行われた。炉内雰囲気を持つ熱量取り込みの改善、及びデバイス内熱抵抗の低減対策を行った結果、第一回試験に比べ2.2倍の出力密度を得ることができた。ただし使用した熱電変換モジュールを個別に評価すると出力にはばらつきがあり、まだ発電効率には改善の余地があることが判った。この点は今後改善していく予定である。

本予熱炉を利用した熱電発電実証試験は2014年現在も継続して行われており、デバイス構造の改善により出力の向上を図ると共に太陽光発電システムにも利用されているMPPT (Maximum Power Point Tracking) 制御方式を採用し、得られた電力を有効利用可能な発電システムの構築を検討中である。最近行われた実証試験の出力密度は500 W/ m²以上に改善されてきている⁵⁾。これらの結果については次号以降で詳細報告の予定である。

なお、第二回試験は昭和CS社とJFEスチール(株)スチール研究所との共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 日下雅文, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 58, No.1, p.9 (2008)
- 2) 中村倫之, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 58, No.1, p.5 (2008)
- 3) (一財) 省エネルギーセンター (ECCJ) ホームページ
http://www.eccj.or.jp/pressrelease/020605_back.html
- 4) 中村倫之, 他: 日本熱電学会学術講演会, TSJ2010 S3-3 (2010)
- 5) K. Hatakeyama et al.: The 32nd International Conference on Thermoelectrics, ICT2013 P363 (2013)

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 有機材料開発グループ 主査
熱電変換素子と熱電変換モジュールの
研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
中村 倫之 (なかむら ともゆき)
技術開発センター デバイス開発グループ
熱電変換素子と熱電変換モジュールの
研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
箕輪 昌啓 (みのわ まさひろ)
技術開発センター デバイス開発グループ長
熱電変換素子と熱電変換モジュールの
研究・開発に従事

昭和電線ビジネスソリューション(株)
倉田 博司 (くらた ひろし)
生産技術部 生産技術グループ

昭和電線ビジネスソリューション(株)
奥山 進 (おくやま すずむ)
生産技術部 三重製造技術課

昭和電線ケーブルシステム(株)
柴田 均 (しばた ひとし)
電線製造部 三重線材課長

JFEスチール株式会社
黒木 高志 (くろき たかし)
スチール研究所 環境プロセス研究部

JFEスチール株式会社
壁矢 和久 (かべや かずひさ)
経営企画部
(元スチール研究所 環境プロセス研究部)

人工ピン止め点導入型 RE 系超電導線材 「nPAD-YBCO[®]」の開発

Development of Artificial Pinning Center Doped Superconducting Coated Conductors “nPAD-YBCO[®]”

木村一成 Kazunari KIMURA	広長隆介 Ryusuke HIRONAGA	高橋保夫 Yasuo TAKAHASHI	小泉勉 Tsutomu KOIZUMI
長谷川隆代 Takayo HASEGAWA	東川甲平* Kohei HIGASHIKAWA	井上昌睦* Masayoshi INOUE	木須隆暢* Takanobu KISS
中村達徳** Tatsunori NAKAMURA	吉積正晃** Masateru YOSHIKUMI	和泉輝郎** Teruo IZUMI	塩原融** Yuh SHIOHARA

超電導応用機器の実用化に向けた開発が進むにつれ、超電導線材に優れた磁場特性が求められることが多くなってきた。そこで、筆者らは磁場中での特性向上を目的として人工ピン止め点導入型 REBCO 超電導線材 “nPAD-YBCO” を開発した。本線材は、従来の人工ピン止め点導入なし超電導線材と比較して、磁場中での特性が格段に向上した。しかも、製造方法は従来と変わらない TFA-MOD 法を用いるバッチ式プロセスであり、既存の設備を使用することができる。本報告では、nPAD-YBCO の大型バッチ式電気炉における長尺線材の開発と、その線材の磁場中特性の評価結果について検討したので報告する。

The superconducting coated conductors (CCs) came to be often exposed to the magnetic field as development for the practical use of the superconducting applications advanced. It aims at the properties improvement in the magnetic field there and artificial pinning centers (APC) doped REBCO CC “nPAD-YBCO (Nano-Particle Artificial-pinning-center Distributed YBCO)” was developed. The properties in the magnetic field have greatly improved to this CCs compared with non-APCs CCs. Moreover, the manufacturing process is batch type process by TFA-MOD method just like conventional method. Because this process doesn't change, existing equipment can be used. In this report, the long nPAD-YBCO fabricated by the large-scale batch type furnace is described. In addition, we report the properties in the magnetic field of the nPAD-YBCO.

1. はじめに

近年、REBCO (REBaCuO, RE: 希土類金属元素) 超電導線材の高性能化に伴い、電力、医療など、様々な分野において超電導機器への適用が検討されている。超電導加速器や回転機など、高磁場領域で運転される機器応用を考えた場合、超電導線材は自己磁場や外部磁場が印加された状態で使用されるため、磁場中においてより優れた性能を有する線材が求められている。

我々は、本焼工程にバッチ式プロセスを用いた、有機酸塩塗布熱分解法 (Trifluoroacetate metal organic deposition: TFA-MOD 法) による REBCO 超電導線材の開発を行って

おり、高 I_c (臨界電流) 化、長尺化、そしてその均一性および歩留り向上を主とした研究開発を進めている¹⁾。その中で、磁場中特性の向上を目的として、人工ピン止め点 (Artificial Pinning Center: APC) 導入型 REBCO 超電導線材の開発を行っている。Miura らは TFA-MOD 法を用いて APC 導入型 REBCO 超電導線材を作製する方法について報告している^{2,3)}。昭和電線ケーブルシステム(株)では Miura らの手法をバッチ式プロセスに適用し、特性の向上と長尺化を試みた⁴⁾。また、APC については、非超電導相である BaZrO₃ (BZO) ナノ粒子を超電導層内に微細分散させる方法を採用した。本報告では、短尺試験片を使用した実験を基に、100 m 級 APC 導入型 REBCO 線材の作製を試みた結果について報告する。さらに、作製した APC 導入型 REBCO 線材の磁場中特性から、導入した APC の効果についても考察を行った。

* 九州大学

** 公益財団法人国際超電導産業技術研究センター・超電導工学研究所

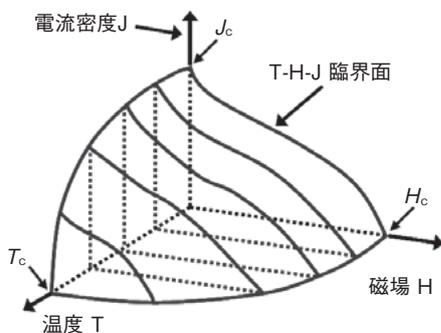
2. 磁場中における超電導特性

超電導体には、電流、温度、磁場の3つの臨界点があり、それぞれの臨界点を超えない範囲でのみ超電導性を示す。一つでも臨界点を越えた状態では超電導電流は流れない(図1)。

磁場に関して言えば、通電したときに発生する自己磁場(self field : s.f.) と外部磁場の双方が関係している。超電導状態にある時に磁場印加すると、ボルテックスが磁場を打ち消し、超電導体内部に磁場侵入させまいとする“マイスナー効果”が発現する。また、超電導体と磁場侵入の関係から第I種超電導体と第II種超電導体に区別できる。第I種超電導体は、マイスナー効果により臨界磁場(H_c)まで磁場侵入を許さず、 H_c を超える磁場が印加されると超電導状態は破壊されてしまう。一方、第II種超電導体は、下部臨界磁場(H_{c1})と上部臨界磁場(H_{c2})をもつ。 H_{c1} まではマイスナー状態にあり、 H_{c1} を超える磁場がかかると磁場が超電導状態を一部破壊して侵入、 H_{c2} まで超電導状態を維持する性質を有する。この性質により、第II種超電導体は第I種超電導体よりも磁場環境に強く実用線材として機能する。

ここで、侵入する磁場を量子化し磁束量子線とする。第II種超電導体に通電すると、超電導体内部に侵入した磁束量子線はローレンツ力によって運動し、この運動が誘導電場を引き起こす。誘導電場が発生すれば、 H_{c2} に達していても超電導状態が破壊されてしまう。逆に言うと、通電時に磁束量子線を運動させなければ H_{c2} まで超電導状態を保つことができる。磁束量子線の運動を止めることは、超電導体内部にあるピン止め点によって可能になる(図2)。

従来の酸化物超電導体におけるピン止め点は、超電導体形成過程で自然に形成する積層欠陥や常電導体に依存していたため制御することが難しかった。本研究では、あえてピン止め点となる常電導体を超電導層内に分散させることで磁場中特性の向上を図った。超電導層内に人工的にピン止め点を導入することにより、従来よりも効果的に磁束線の運動を止めることができ、より強い磁場中でも超電導電流を流すことが可能になった。



T_c : 臨界温度 H_c : 臨界磁場 J_c : 臨界電流密度

資料: 独立行政法人 物質・材料研究機構

図1 超電導状態のT-H-J臨界面

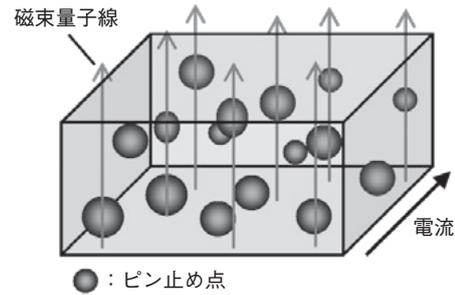


図2 第II種超電導体における磁束量子線ピン止めの模式図

3. nPAD-YBCO の作製および評価手法

3.1 nPAD-YBCO の作製

昭和電線ではいくつかの超電導テープ線材の開発を行っているが、磁場中特性の向上を目的とした開発ではY元素をGd元素に一部置換したYGdBCO超電導材料を採用しており、APCとしてBaZrO₃粒子を導入した(図3)。作製方法を以下に示す。

トリフルオロ酢酸塩(Y-, Gd-, Ba-)、およびオクチル酸塩(Cu-)を用い、金属元素の組成比が所定になるように調製した。さらに、超電導体を構成する金属元素総量に対して2.0 at%のZr元素をオクチル酸塩として添加した。この溶液の粘度を調整し、ニッケル合金基板/GZO/Y₂O₃/MgO (IBAD) /LaMnO₃/CeO₂で構成される中間層付金属基板上に、Reel-to-reel (RTR)式塗布・仮焼装置にて、超電導前駆体膜を形成し仮焼テープとした。その仮焼テープをバッチ式焼成炉にて、水蒸気を含む減圧低酸素雰囲気中で本焼成を行った。その後、Ag安定化層を形成し、酸素雰囲気中においてポストアニールを行い、目的とする人工ピン止め点導入型REBCO線材(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y + BaZrO₃ (nPAD-YBCO: Nano-Particle Artificial-pinning-center Distributed YBCO)を得た。

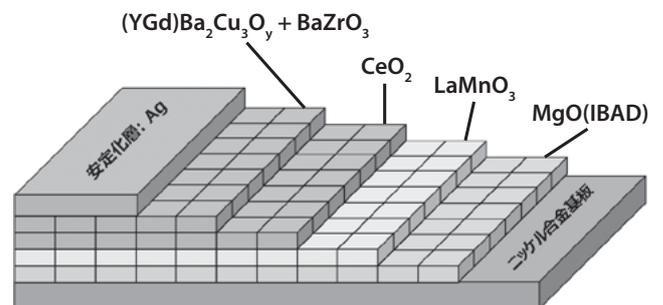


図3 nPAD-YBCOの線材構造模式図

3.2 超電導線材の評価手法

テープ線材の臨界電流値(I_c)は、液体窒素中において直流四端子法にて評価した。 I_c 値は電界基準 1×10^{-6} V/cmで定義した。長尺テープ線材の I_c 分布は、RTR連続 I_c 測定装置にて、電圧端子間距離150 cmで直流四端子法にて測定した。また、印加磁場角度依存性についてはスプリッ

ト型の超電導マグネットを用い、外部印加磁場 (B) を 3T, サンプルの角度を ab 軸平行磁場の時が 90° , c 軸平行磁場の時を 180° として $20^\circ \sim 220^\circ$ の角度範囲で測定を行った。

4. 実験と結果

4.1 短尺試料を用いた本焼条件検討

バッチ式プロセスによる本焼工程では、炉内圧力、水蒸気分圧、ガス流量、酸素分圧、温度等の様々な焼成パラメータがあり、最終的な通電特性を良くするためには、それら本焼条件を最適化していく必要がある。これまでの実験で各パラメータを最適化してきたが、ここでは一例として、炉内圧力依存性の検討結果を示す³⁾。焼成時の炉内圧力を変えて短尺試験片を本焼し、自己磁場中、3T 磁場中における特性を評価した。臨界電流密度 (J_c) の炉内圧力依存性を図 4 に示す。炉内圧力が 33.3 kPa (250 Torr) で焼成した時に最も高い特性が得られており、炉内圧力の違いが特性に大きく影響することが判った。図 4 に示す一連の実験で得られた J_c 値の最高値は、液体窒素、自己磁場中において、 3.5 MA/cm^2 ($I_c = 660 \text{ A/cm-w}$) であった。TFA-MOD 法で作製した試料で一般的に報告されている J_c 値は $2 \sim 3 \text{ MA/cm}^2$ 程度であることを考慮すると、この値は非常に高い値である。さらに、磁場中における特性を評価し

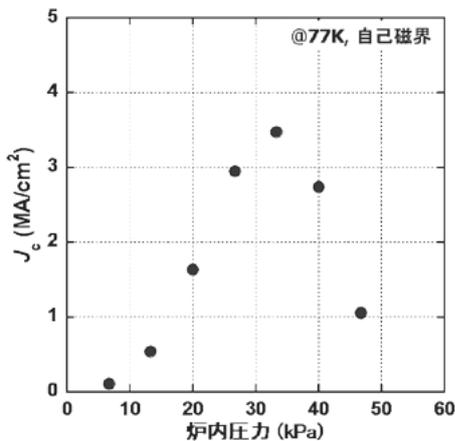


図 4 J_c の本焼時炉内圧力依存性

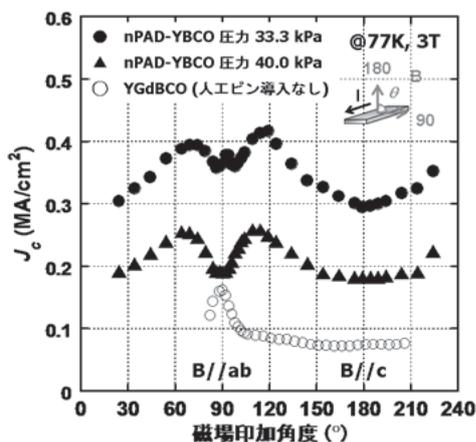


図 5 J_c - 磁場印加角度依存性

た。3T 中での磁場印加角度依存性を、APC 導入無し線材と比較して図 5 に示す。APC の導入効果により、磁場中での特性が大きく向上したことがわかる。また、炉内圧力の違いは磁場中における特性にも大きく影響することが判った。この結果から、本焼条件適正化の重要性および APC の導入効果が明らかとなった。

4.2 nPAD-YBCO 線材の長尺化

短尺試料の実験結果を基に、nPAD-YBCO の長尺線材作製を試みた。本研究では、120 m 線材を作製し評価した。RTR 式塗布・仮焼装置にて 120 m の仮焼テープを作製し、本焼した。作製した長尺線材の長手方向の I_c 分布を RTR 式連続 I_c 評価装置にて調査した (図 6)。120 m 全長で特性が極端に低下する箇所が無く、 I_c の平均が 500 A/cm-w 以上の特性を有していることが判った。

さらに、この線材の磁場特性は 120 m の内、先端、後端、30 m 位置 (最も I_c 値が低い箇所) からそれぞれ短尺試料を切り出し、評価した (図 7)。いずれの試料もテープ面に垂直に磁場を印加した時に最小値を示し、 $J_c > 0.2 \text{ MA/cm}^2$ ($I_c > 50 \text{ A/cm-w}$) であることが判った。APC 導入無し線材と比較すれば磁場中において高特性が得られてはいるが、図 5 に示すように短尺で作製した試料と比較すると特性としては劣る。短尺試料の特性を維持したまま、大型のバッチ式電気炉で長尺を作製することが今後の課題となる。

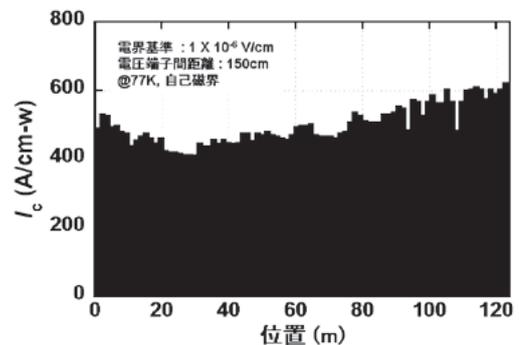


図 6 120 m 長尺線材の I_c 分布

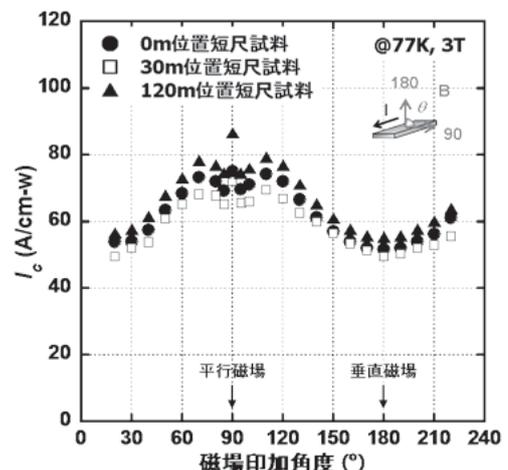


図 7 120 m 長尺線材の J_c - 磁場印加角度依存性

4.3 人工ピン止め点導入効果の検証

さらに、APC 導入効果を、7本の短尺試験片の J_c の磁場印加角度依存性 (3T) と Ginzburg-Landau (GL) スケーリングモデルから導いたランダムポイントピンの異方的質量モデルの式 (1) を使用して検証した^{6,8)}。

$$J_c(B, \theta) = J_c(B_{eff})$$

$$B_{eff} = B \cdot f(\theta) = B \cdot \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{1}{\gamma^2} \sin^2 \theta} \quad (1)$$

γ : 異方性パラメータ

7本の短尺試験片は、超電導層厚は同じだが本焼の条件パラメータが異なる。それにより、YGdBCOの結晶成長状態が少しずつ異なっており、APCであるBaZrO₃の形成にも影響を与える。本焼条件と磁場中特性に関しては明確な相関性が得られておらず、現在も調査を進めているところであるが、少なくとも焼成条件が3T磁場印加角度依存性に影響を与えることはわかっており、グラフ形状にも違いが見られる。異なる角度依存性特性を有する7本の試料の評価結果から、ランダムポイントピンのユニバーサルラインを作成し、図5のYGdBCO+APCの角度依存性を重畳したところ、磁場印加角度70°~110°の範囲で乖離した(図8)。これは、この角度範囲では固有ピンが支配的になるためであると考えられ、ランダムポイントピンでは説明できないことを意味している。磁場印加角度70°~110°を除いた角度ではユニバーサルラインと一致することから、本試料においてもAPC導入効果が認められた。さらに、前述(4.1)した I_c 値からもAPCが効果的に作用していることがわかる。以上の実験結果から、3T磁場中におけるAPC導入効果が明らかに実証できた。

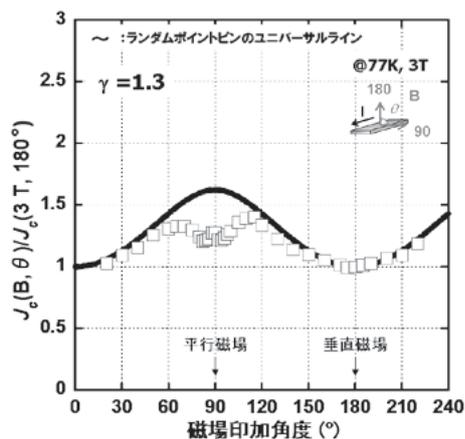


図8 短尺試料の磁場印加角度依存性 (180°で規格化)

5. ま と め

バッチ式プロセスを用いたTFA-MOD法によるAPC導入型REBCO線材「nPAD-YBCO」を開発した。得られた線材の磁場中特性を調べたところ、APC導入無し線材と

比較して特性が大きく向上しており、APCの導入効果が認められた。また、120 m長尺線材の作製に成功し、長尺化への目処が立った。

今後、実用化に向け、量産化を見据えた製造体制の構築を行う。

本研究は、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の一環として、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受け実施したものである。

参考文献

- 1) R. Hironaga, K. Kimura, Y. Takahashi, T. Nakanishi, T. Koizumi, T. Hasegawa, T. Nakamura, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara : Abstracts of CSJ Conference 87 p173 (2013)
- 2) M. Miura, T. Kato, M. Yoshizumi, Y. Yamada, T. Izumi, Y. Shiohara, T. Hirayama : Appl. Phys. Express 1 051701 (2008)
- 3) M. Miura, T. Kato, M. Yoshizumi, Y. Yamada, T. Izumi, T. Hirayama, Y. Shiohara : Appl. Phys. Express 2 023002 (2009)
- 4) K. Kimura, R. Hironaga, T. Koizumi, T. Nakamura, T. Nakanishi, N. Aoki, T. Hasegawa, Y. Takahashi, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara : Physics Procedia 27 204-207 (2012)
- 5) K. Kimura, R. Hironaga, Y. Takahashi, T. Nakanishi, T. Koizumi, T. Hasegawa, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss, T. Nakamura, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara : IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 6601704 (2013)
- 6) G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Larkin, and V. M. Vinokur : Rev. Sci. Instrum. 66 p1125 (1994)
- 7) L. Civale, B. Maiorov, A. Serquis, J. O. Willis, J. Y. Coulter, H. Wang, Q. X. Jia, P. N. Arendt, M. Jaime, J. L. MacManus-Driscoll, M. P. Maley, and S. R. Foltyn : J. Low Temp. Phys 135 p87 (2004)
- 8) M. Inoue, R. Fuger, K. Higashikawa, T. Kiss, S. Awaji, M. Namba, K. Watanabe, Y. Iijima, T. Saitoh, and T. Izumi : IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 p3206 (2001)

昭和電線ケーブルシステム(株)

木村 一成 (きむら かずなり)

超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ

RE系超電導テープ線材の研究・開発に従事

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

中村 達徳 (なかむら たつのり)

博士 (工学)

超電導工学研究所 線材・パワー応用研究部

RE系超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

広長 隆介 (ひろなが りゅうすけ)

超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ

RE系超電導テープ線材の研究・開発に従事

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

吉積 正晃 (よしずみ まさてる)

博士 (工学)

超電導工学研究所

線材・パワー応用研究部 部長代理

RE系超電導線材の研究・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)

超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ

RE系超電導テープ線材の研究・開発に従事

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

和泉 輝郎 (いずみ てるお)

工学博士

超電導工学研究所副所長

兼 線材・パワー応用研究部部長

RE系超電導線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

小泉 勉 (こいずみ つとむ)

超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ長

RE系超電導テープ線材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)

工学博士

取締役 超電導テクノロジーセンター長

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

塩原 融 (しおはら ゆう)

工学博士

超電導工学研究所名誉所長, 九州大学客員教授

RE系超電導線材の研究・開発に従事

九州大学

東川 甲平 (ひがしかわ こうへい)

博士 (工学)

大学院システム情報科学研究院 准教授

超電導電磁現象の評価手法に関する研究に従事

九州大学

井上 昌睦 (いのうえ まさよし)

博士 (工学)

大学院システム情報科学研究院 准教授

超電導材料全般に関する研究に従事

九州大学

木須 隆暢 (きす たかのぶ)

工学博士

大学院システム情報科学研究院 教授

超電導材料全般に関する研究に従事

nPAD-YBCO[®] 線材を用いた超電導電流リードの開発

Development of HTS Current Leads Prepared by nPAD-YBCO[®] Tape

高橋 亨
Kyo TAKAHASHI

木村一成
Kazunari KIMURA

引地康雄
Yasuo HIKICHI

箕輪昌啓
Masahiro MINOWA

小泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

長谷川隆代
Takayo HASEGAWA

山田 豊*
Yutaka YAMADA

超電導電流リードは極低温で運転される超電導応用機器に必須のデバイスである。これまでの当社が販売してきたBi系超電導電流リードは多くの実績があるが、ハンドリングや磁場中での通電特性に課題があった。一方、我々は磁場中の通電特性に優れ、高強度な、nPAD-YBCO[®] 線材の開発に成功した。そこで、今回我々はこの線材を用いて、ハンドリング性に優れ、かつ、高磁場中でも使用可能なY系電流リードの開発を行った。本報ではこの開発品の試作評価結果について報告する。

The HTS (high temperature superconductor) current lead is an essential device for superconducting apparatus which is operated at cryogenic temperatures. We have provided a number of Bi bulk current leads for several years, but there are rooms for improvement in magnetic field properties and handling. On the other hand, we have succeeded in the development of nPAD-YBCO[®] wire with high strength and excellent transport performance in the magnetic field. In this study, we have developed the new HTS current lead by using the nPAD-YBCO[®] wire. It will be excellent handling properties and even available in a high magnetic field.

In this paper, we will report evaluation results of the prototype.

1. はじめに

マグネット、モーター、ケーブル、変圧器など超電導線材を利用した応用機器開発が近年活発に行われているが、超電導応用機器を経済的に稼働させるためには機器を低温に保持するためのコストを低く抑える必要がある。この為に、より効率の良い冷凍機の開発や断熱性能に優れた低温容器の開発が進められている。また、通常室温に設置される電力の供給部と極低温下にある機器を電氣的に接続する導体部分からの熱侵入量の低減は、通電容量が大きくなるほど重要な課題となる。超電導機器用の電流リードはこの電力供給部と超電導応用機器との間に設置され、電源（室温）から超電導機器（極低温）に電力を供給する機能と、室温から極低温への温度勾配により伝導する熱量をできるだけ低減する機能を担っている。

電流リードには銅のような電気抵抗率の小さい材料が用いられるが、電気抵抗率が小さい材料は一般的に熱伝導率が大きく、熱侵入量が多い。更に、機器の通電容量が大きくなるほど導体断面積も大きくなり、熱侵入が大きくな

るという問題がある。

この問題を解決するために現在利用されているものが導体に高温超電導体を用いた「超電導電流リード」である。

高温超電導体のひとつである酸化物超電導体は、熱伝導率が非常に小さいという特徴がある。また、超電導臨界温度 (T_c) 以下においては電気抵抗が“ゼロ”であることから、通電時にも発熱しないという理想的な特性を有している。10 K 以下の極低温で稼働する超電導機器においては、電流リード設置部分にも 77 K 以下の温度になる領域が存在する。この領域に超電導電流リードを用いることにより、銅リードよりも大幅に熱侵入量を低減した電流リードが実現可能となる。

我々は、酸化物超電導体であるBi系超電導バルク体を用いた電流リードの製造販売を行っているが、機械的強度や磁場環境での通電特性に課題を残していた^{1, 2)}。そこで、バルク体よりも高強度である、ニッケル基合金を基板とするYBCO線材^{3, 4)}を用いた電流リードの開発を進めてきた^{5, 6, 7)}。また昨今、人工ピン導入技術の応用により、世界最高性能の磁場中通電特性を有する、有機酸塩塗布熱分解法 (MOD)

* 東海大学

人工ピン導入型 YBCO 線材を開発した^{9, 10)}。この人工ピン導入型 YBCO 線材（以降 nPAD-YBCO 線材と表記する）を用いることで高磁場中でも使用可能な電流リードの設計が可能となった。そこで、nPAD-YBCO 線材を用いた電流リードの開発を進め、表 1 に示すラインナップで販売を開始した。今回は、ラインナップのうち 500 A 級電流リードの試作・通電試験結果、さらに熱侵入量を検討した結果について報告する。

表 1 nPAD-YBCO 電流リードの製品ラインナップ

項目	250 A 仕様	500 A 仕様	1500 A 仕様	
通電容量 (@77 K, 自己磁場中)	A	250	500	1500
温度範囲	K	77 - 4.2		
熱侵入量	W	≤ 0.03	≤ 0.06	≤ 0.15
サイズ	mm	220 L×14 W×14 T	220 L×14 W×14 T	220 L×23 W×16 T

2. 実験方法

今回試作した nPAD-YBCO 電流リードの仕様は、表 1 に示した通電容量 500 A のタイプである。nPAD-YBCO 線材は幅が 5 mm、厚さ約 0.12 mm であり、厚さ 1.5 μm の超電導層、 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ (GZO) と CeO_2 の 2 層から成る厚さ 1.5 μm の中間層、そして 100 μm 厚のニッケル基合金基板で構成されている。そして超電導層の表面には厚さ約 20 μm の銀層が、蒸着されている。

500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードには、4 本の nPAD-YBCO 線材を使用した。線材の両端を銅電極にはんだを用いて接続した。さらに、G-FRP 製支持部材で補強して超電導電流リードとした。作製した電流リードの外観を図 1 に示す。通電性能の評価のため、nPAD-YBCO 線材上に電圧測定用の端子を設置した。端子間距離は 50 mm とし、各線材毎に 1 組設置した。また、全体の電圧は電極両端につけた電圧端子で測定し、電圧端子間距離を 100 mm とした。電圧端子位置を図 2 に示す。電流リードを液体窒素に浸漬冷却し、 I_c 測定を行った。測定は 4 端子法を用いて評価し、1 $\mu\text{V}/\text{cm}$ の電圧発生時の電流値を I_c として定義した。これにより、全体の I_c 基準は 10 μV 発生時、nPAD-YBCO 線材上での I_c 基準は 5 μV 発生時とした。

さらに、冷却方法により I_c 値が異なるか確認するため、伝導冷却でも測定を行った。ただし、設備の都合上、500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードの 1/4 モデルで実施した。1/4 モデルは、1 本の nPAD-YBCO 線材を使用したもので、他は同様とした。伝導冷却により電極両端を 77 K に制御し I_c 測定を行った。



図 1 nPAD-YBCO 電流リードの外観

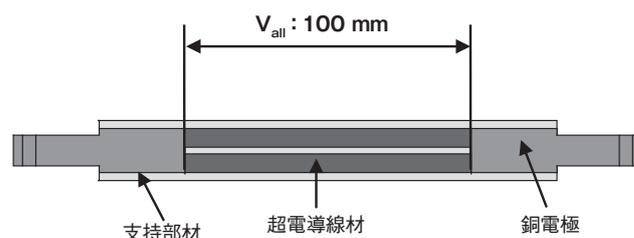


図 2 電圧端子計測位置

3. 結果

3.1 500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードの通電特性

500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードには $I_c \geq 175 \text{ A/本}$ の nPAD-YBCO 線材を 4 本使用しており、設計 I_c 値は 700 A 以上である。

図 3 に 500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードの 77 K, 自己磁界中における通電電流特性を評価した結果を示す。電極間電圧 (V_{all}) は両電極の接続抵抗を差し引いた電圧を示しており、全体の I_c は 780 A となった。設計通りの I_c 値が得られ、500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードとして十分な特性を有していることを確認した。

電流リードの低温端側のジュール発熱はそのまま冷却機器に侵入するため、この部分の接続抵抗を低く抑える必要がある。そこで、今回の nPAD-YBCO 電流リードでは低温端側の接続抵抗を 1.0 $\mu\Omega$ 以下となるように設計した。

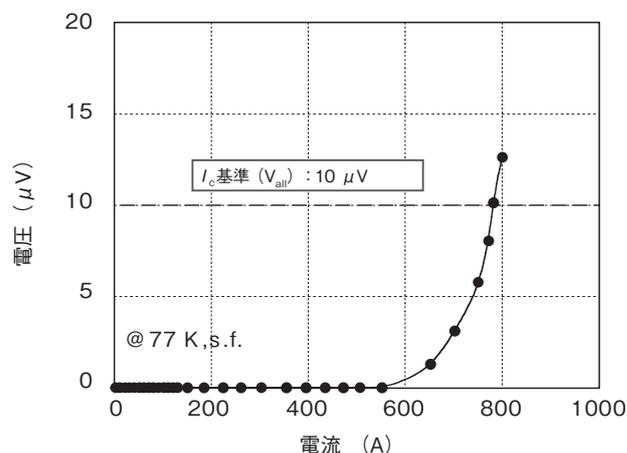


図 3 500 A 級電流リードの通電特性

通電試験結果より接続抵抗を求めたところ、低温端側の接続抵抗は $0.71 \mu\Omega$ であり設計値を充分満たしていることを確認した。

図4に77 K、自己磁界中における nPAD-YBCO 電流リードの連続通電試験の結果を示す。試験では定格通電容量 500 A の 1.2 倍に相当する 600 A の電流を 30 分間通電した。この結果、通電中、電極間の発生電圧は一定で、クエンチなど異常な挙動は認められず、問題の無いことを確認した。

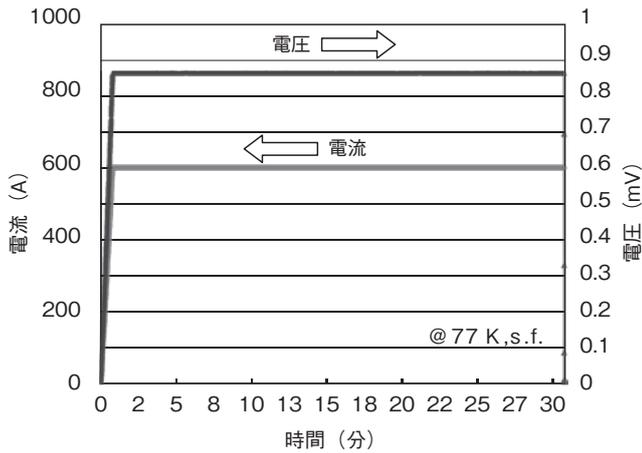


図4 500 A 級電流リードの連続通電特性

3.2 伝導冷却下での nPAD-YBCO 電流リードの通電特性

図5に77 K、自己磁界中における 500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードの 1/4 モデル液体窒素中と伝導冷却での通電試験の比較結果を示す。

この時、液体窒素中での I_c は 200 A であり、伝導冷却での I_c は 206 A とほぼ一致していることを確認した。冷媒浸漬冷却と同等の性能を確認出来たことから、500 A 級電流リードを伝導冷却下で使用しても設計通りの I_c が得られると考えられる。

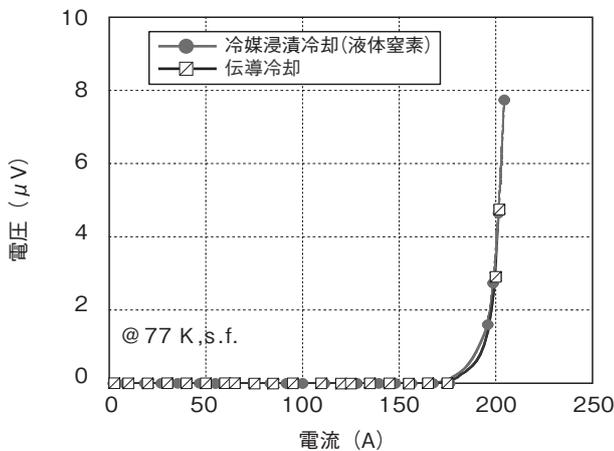


図5 500 A 級電流リード 1/4 モデルの通電特性の比較

3.3 nPAD-YBCO 電流リードの熱侵入量

電流リードの熱負荷には、電流リードを通して伝導する熱と電気抵抗によって発生するジュール熱の二つの要因がある。超電導電流リードの熱侵入量 Q は、次の方程式 (1) によって記述される。

$$Q = \frac{S}{L} \int_{T_L}^{T_H} \lambda(T) dT + I_{op}^2 R_L \quad (1)$$

S: 電流リードの断面積

L: 電流リードの高温端と低温端の間の距離

T_H : 高温端側の温度 T_L : 低温端側の温度

λ : 超電導線材と構成部材の熱伝導率

I_{op} : 通電量 R_L : 低温側の接続抵抗

式 (1) を用いることによって nPAD-YBCO 電流リードの T_H (77 K) から T_L (4.2 K) の間における熱侵入量 Q を計算し、従来品である Bi 系超電導電流リードと比較した結果を図6に示す。

同じ通電量で比較した場合、nPAD-YBCO 電流リードでは Bi 系電流リードの熱侵入量の約 60% を削減できた。これは、人工ピンを導入することによって、磁場中での特性が向上したことから、77 K での I_c も向上し、使用する超電導体の総量を低減することができたためと考えられる。

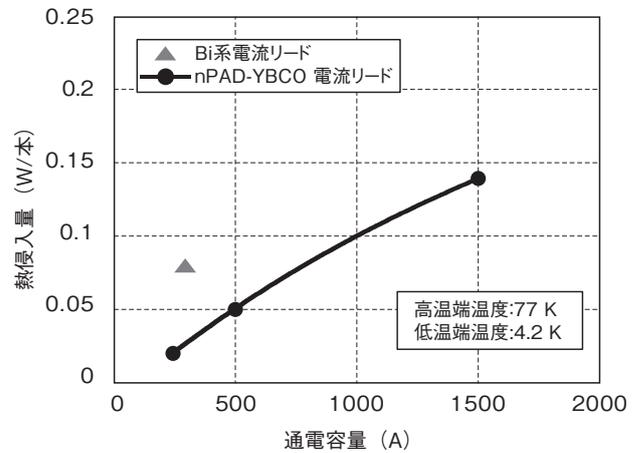


図6 通電容量に対する熱侵入量の比較

4. ま と め

nPAD-YBCO 線材を用いた電流リードの設計と試作を行った。500 A 級 nPAD-YBCO 電流リードの I_c は 780 A と、通電容量に対して十分な特性を有していることを確認した。連続通電試験では 600 A の電流を 77 K、自己磁界中において 30 分間安定して通電できることを確認した。さらには、伝導冷却においても冷媒浸漬冷却と同等の通電性能を確認した。nPAD-YBCO 電流リードの 77 K から 4.2 K の熱侵入量は、従来品の Bi 系超電導電流リードより約 6 割低減できた。今回開発した nPAD-YBCO 電流リードは低熱

侵入量であり、磁場中での臨界電流密度を向上させた nPAD-YBCO を適用していることから高磁場環境で運転される超電導応用機器への応用も期待される。

謝 辞

電流リードの測定におきまして、公益財団法人鉄道総合技術研究所殿にご協力頂きました。心より感謝致します。

参考文献

- 1) 本庄哲吏, 他: 昭和電線レビュー, Vol.44, p.108 (1994)
- 2) T. Honjo, et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.5, p.1486 (1995)
- 3) A. Kaneko, et al.: Abstracts of CSSJ conference, Vol.5, p.1486 (1995)
- 4) Y. Yamada, et al.: Cryo.Soc.Jpn. Vol.45, p.246 (2010)
- 5) Y. Yamada, et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.3, p.1051 (2011)
- 6) 小泉勉, 他: 昭和電線レビュー, Vol.58, p.17 (2008)
- 7) K. Takahashi, et al.: Abstracts of CSSJ conference, Vol.87, p.133 (2013)
- 8) K. Kimura, et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.21, 6601704 (2013)
- 9) T. Yokomizo, et al.: Abstracts of CSSJ conference, Vol.88, p.183 (2013)
- 10) K. Kimura, et al.: Abstracts of CSSJ conference, Vol.88, p.184 (2013)

昭和電線ケーブルシステム(株)
高橋 亨 (たかはし きょう)
超電導テクノロジーセンター
デバイス開発グループ
電流リードの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
木村 一成 (きむら かずなり)
超電導テクノロジーセンター
線材開発グループ
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)
引地 康雄 (ひきち やすお)
超電導テクノロジーセンター
デバイス開発グループ 主査
電流リードの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
箕輪 昌啓 (みのわ まさひろ)
超電導テクノロジーセンター
デバイス開発グループ長

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
超電導テクノロジーセンター
線材開発グループ長

昭和電線ケーブルシステム(株)
長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)
工学博士
取締役 超電導テクノロジーセンター長

東海大学
山田 豊 (やまだ ゆたか)
工学博士
工学部材料科学科 教授

耐熱難燃絶縁電線材料の開発

Development of Heat-resistant and Flame-retardant Materials for Electric Insulated Wires

斉藤真利子
Mariko SAITO

藤田道朝
Michitomo FUJITA

光地伸明
Nobuaki KOCHI

岡下稔
Minoru Okashita

森下裕一
Yuichi MORISHITA

大根田進
Susumu OHNEDA

近年、多くの電気電子製品では高機能化により電気配線に高い耐熱性と安全性が要求されるようになってきている。家電分野では調理家電の機能向上に伴って、使用される電線に180℃級の耐熱性と垂直燃焼試験合格レベルの高い難燃性が要求されるようになってきている。このような背景から、我々は180℃の耐熱性とUL 1581規格の垂直燃焼試験(VW-1)に合格する高い難燃性を有する絶縁電線用材料をフッ素ゴム系材料を使用して開発した。

Recently, electric wirings into many sophisticated electrical products have been required highly reliability and safety such as higher grade heat resistance. As cooking appliances were continuously upgraded, internal wires should comply with heat resistance class of 180℃ and flame retardance for vertical flame test. In these situations, we have developed insulation material by using fluoro-rubber based materials for the internal wires. The wires have been satisfied operating temperature rating of 180℃ and the VW-1 (vertical-specimen) flame test in UL 1581 standard.

1. はじめに

近年、家電、自動車など多くの産業分野で電気・電子デバイスによって新しい機能を付加し利便性を高める製品開発がなされており、新たな電線需要の源となりつつある。また、これら機器回路の小型化、集積化に伴い、使用される電線にはより高い耐熱性が要求され、さらに火災安全性など防災性能についても要求が高レベル化しつつある状況である。例えば、家電分野ではガス器具や電子レンジ等、調理家電の多機能化、高性能化はめざましく、これに伴って使用される電線には耐熱温度150℃を超える高い耐熱性と垂直燃焼試験合格レベルの高い難燃性が要求されるようになってきている。このような背景から、我々は180℃の耐熱性とUL 1581規格の垂直燃焼試験(VW-1)に合格する高い難燃性を有する絶縁電線为目标として絶縁材料の開発を実施したので本報ではその概要を報告する。

2. 材料開発

材料開発のポイントは、①ベースポリマーの選定 ②難燃性の付与 ③充填剤の選定、であり、以下各項目について概要を述べる。

2.1 ベースポリマー選定

ベースポリマーの選定については、要求特性を満たす可

能性のあるポリマー材料を選定し、耐熱性・難燃性・機械特性・電気特性・加工性等の基本特性について調査を行った。可能性のある材料についてはモデル配合を作成して予備試験を行った。

検討の結果、すべての要求特性を満たす見込みのあるポリマー材料としてフッ素ゴムを選定した。選定したフッ素ゴムは、耐熱性・電気特性に優れるとともに、無機フィラー等の充填剤の高充填化が可能である。充填剤添加は補強効果など特性改善以外にもコスト抑制等二次的効果も大きい。今回選定したフッ素ゴムの場合、耐熱性にも十分な裕度があるため、フィラー充填による耐熱温度の低下を考え合わせても目標の耐熱特性とその他特性および適正な価格帯を維持できることが見込まれた。また、電子線照射による架橋が可能であり、特殊な製造工程を必要としない利点を持つ。

その他の検討材料では、高耐熱ポリオレフィン、耐熱性と難燃性の確保が難しく、アクリルゴムは、電気特性、機械特性が要求を満足しない結果となった。また、架橋EVA(エチレン-酢酸ビニル共重合樹脂)は、機械特性が要求を満たさず、改善を試みた場合、加工性に難があった。さらに、水素化ニトリルゴムおよびエポキシクロロヒドリンゴムは、電気特性が要求を満足せず、塩素化ポリエチレンは、耐熱性が要求を満足しなかった。ポリエーテルイミド系樹

脂は、充填剤を配合した場合の加工性に難があった。

このように、予備検討の結果フッ素ゴム以外のポリマーは、要求特性のうちいずれかを満足しないか、すべての要求特性を両立することが難しかった。検討したポリマー材料と評価結果を表1にまとめた。

表1 ベースポリマー検討結果

候補材料	検討結果				
	耐熱性	難燃性	電気特性	機械特性	加工性
高耐熱ポリオレフィン	×	×	○	○	○
アクリルゴム	○	○	×	×	○
架橋EVA	○	○	○	×	×
水素化ニトリルゴム	○	○	×	×	○
エポキシクロロヒドリンゴム	○	○	×	○	○
塩素化ポリエチレン	×	○	○	○	○
ポリエーテルイミド系樹脂	○	○	○	○	×
フッ素ゴム	○	○	○	○	○

○：適合見込みあり ×：適合見込みなし

2.2 難燃処方の検討

フッ素ゴムは、難燃処方を施さない状態では要求される難燃特性であるVW-1を満足しないため、難燃性を付与する必要がある。ただし、難燃剤の種類によっては、多量の添加が必要となり、機械特性や加工性の低下が懸念される。本開発では異なるタイプの難燃処方について、それぞれ処方量を変量し評価を行った。その結果、ハロゲン系難燃剤と難燃助剤の併用系を採用することで、耐熱性以外の特性を低下させることなく、目的の難燃性を得ることができた。

2.3 充填剤の選定

フッ素ゴムは一般的に高価な材料であるが、選定したフッ素ゴムは無機充填剤が高充填可能であり、充填剤を配合することでコストを抑えられる。この場合、フッ素ゴムの比率が低下するため、耐熱性が低下する懸念があった。また、補強効果により引張強さは向上するものの伸びが低下する傾向にあるため、注意が必要である。そこで、耐熱性や機械特性に対する影響の小さい充填剤を選定することを念頭に検討を行った。

表2 検討した充填剤の種類

No.	種類
A	炭酸カルシウム A
B	炭酸カルシウム B
C	クレー
D	シリカ
E	タルク

検討した無機充填剤の種類を表2に示す。各充填剤の充填量を変量した試料を作製し、初期引張強さ、伸び、および200℃×96時間加熱老化後の引張強さ、伸びを求めた。充填剤を配合しなかった場合に対する各特性の変化率を図1～4に示す。

図1は各種充填剤による初期引張強さの変化率であるが、充填剤Dの補強効果が大きく、その他充填剤では変化が小

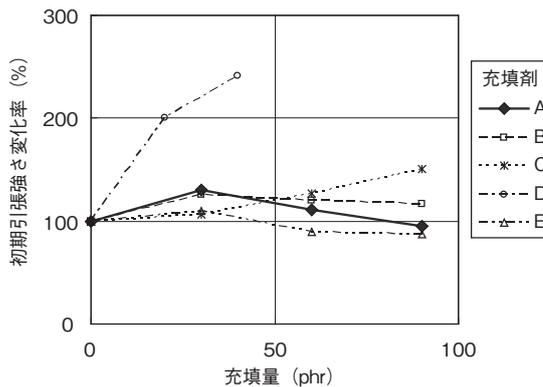


図1 初期引張強さ変化率

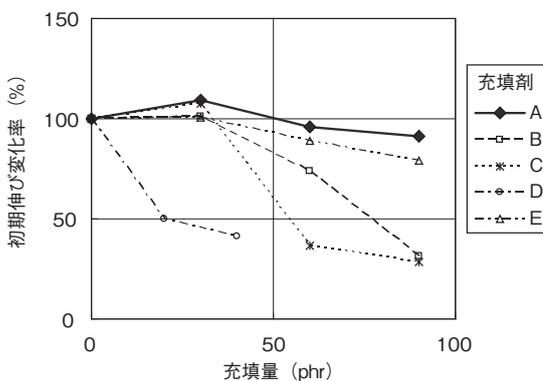


図2 初期伸び変化率

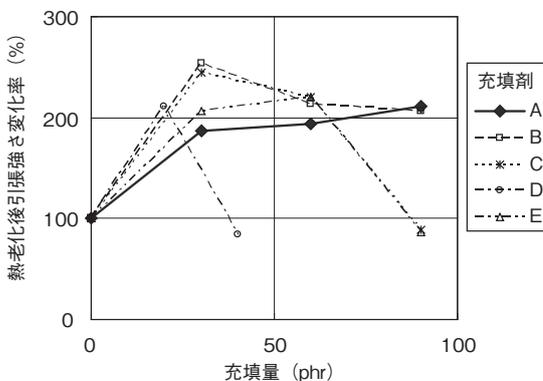


図3 熱老化後引張強さ変化率

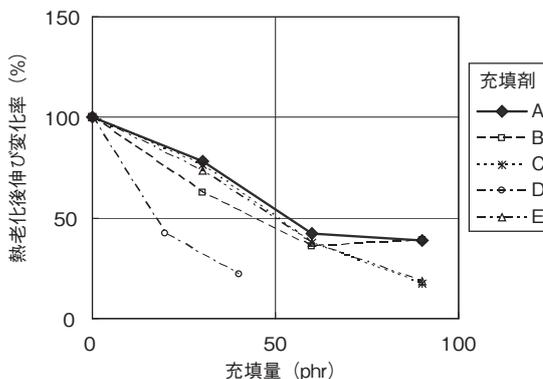


図4 熱老化後伸び変化率

さいことがわかる。図2は初期伸びの変化率であるが、充填剤Aが最も変化が小さく、補強効果の大きい充填剤Dは伸びの低下が大きいことがわかる。充填剤Aは引張強さ、伸びともに変化が小さいことがわかった。

図3、図4は熱老化後の引張強さおよび伸びの変化であるが、いずれの充填剤においても、熱老化後の引張強さは硬化して上昇傾向にあることがわかった。充填剤DやEにおいて、高充填時に引張強さの変化が小さいのは、伸びが著しく低下していることから、材料の脆化が進行したためと考えられる。充填剤Aでは充填量を適切に設定すれば、引張強さの変化や伸びの低下を比較的小さく抑えられることがわかった。

検討の結果、充填剤Aが高充填でも耐熱性や機械特性に対する影響が小さく、バランスに優れることがわかった。

以上の配合検討の結果を踏まえ、基本的な配合を確立した。

3. 電線評価

開発した材料を用いて電線の試作評価を実施した。試作電線の仕様を表3に示す。試作電線外観を図5に示す。試作した電線は、加工性・外観が良好であり、機器用電線に必要な機械特性・耐電圧特性・絶縁抵抗特性・耐加熱変形特性を満足するものであった。難燃性についても全ての試作サイズでUL規格の垂直燃焼試験(VW-1)に合格することを確認した。

表3 試作電線の仕様

導体サイズ mm ²	電線外径 mm	被覆厚さ mm	架橋方法
0.18	1.20	0.33	電子線照射
0.75	1.84	0.35	
1.25	2.17	0.35	
2.0	2.53	0.35	

3.1 耐熱性評価

耐熱性評価は、電気用品の技術上の基準を定める省令(通商産業省令第85号)に規定される絶縁物の使用温度の上限値試験に基づいて行った。本評価では電線の被覆厚さの影響を考慮し、評価試料として被覆厚さ0.26 mmおよび0.33 mmの2種類の電線を用いて評価を行った。引張強さ、伸び、絶縁破壊電圧について、各暴露温度の間差が10~25℃離れる3点以上の温度条件で測定し、各特性が終点に到達する時間(寿命)を求め、これのアレニウスプロットから使用温度の上限値を算出した。技術基準に規定された各評価項目の試験片と終点を表4に示す。伸びのアレニウスプロットを図6に、絶縁破壊電圧の残率のアレニウスプロットを図7に示す。

表4 耐熱性評価の試験片と終点

評価項目	試験片	終点
引張強さ	電線より導体を除去したもの	残率50%
伸び		絶対値50%
絶縁破壊電圧	電線をそのまま使用	残率50%



図5 試作電線の外観

伸びと絶縁破壊電圧は比較的同じような劣化傾向を示したが、伸びでは被覆厚さによらず同程度の耐熱性を示したのに対し、絶縁破壊電圧では被覆が厚いほうがわずかに高い耐熱性を示した。なお、引張強さについては、伸びと絶縁破壊電圧が終点に到達した時点では、終点に対して十分な裕度を持っていた。従って、引張強さから得られる使用温度の上限値は、伸びや絶縁破壊電圧から得られるそれと比較し、より高い温度を示すことが予想される。

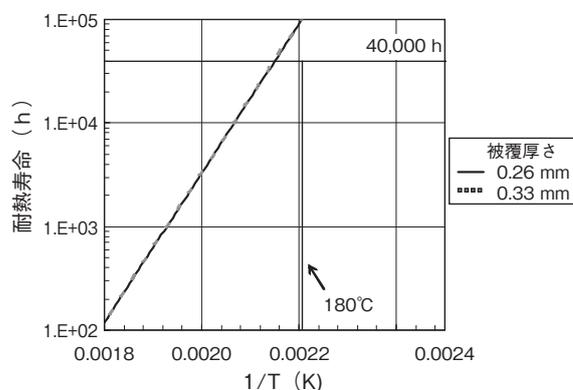


図6 伸びのアレニウスプロット

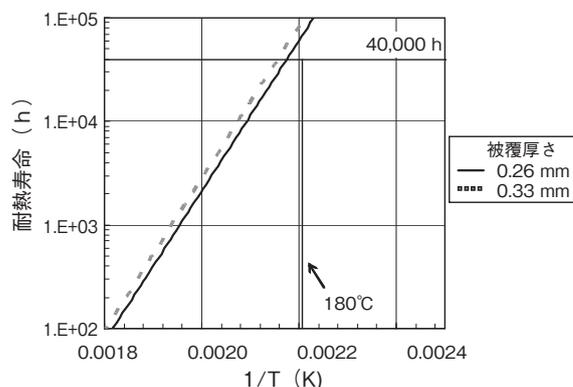


図7 絶縁破壊電圧の残率のアレニウスプロット

得られたアレニウスプロットから、伸びおよび絶縁破壊電圧の残率が 40,000 時間で終点に到達すると推定される温度を算出した結果、使用温度の上限値は、いずれの被覆厚さでも目標とする 180℃を上回ることを確認した。

3.2 耐環境性評価

調理家電製品を想定した場合の配線材の使用環境として考えられる耐寒性、耐液性、耐湿性、耐温水性について評価を行った。評価結果を表 5 に示す。いずれの評価項目においても、絶縁体に劣化や異常は見られず、良好な耐環境性を有することが確認された。

表 5 環境評価

項目	試験条件	評価項目	評価結果
耐寒性	-40℃, 1 h	自己径巻き付け	ヒビ, 割れなし
耐液性	耐油性 (IRM 902, サラダ油)	常温, 24 h	外観変化 重量変化 体積変化
	耐酸性 (5% 酢酸)		
	耐アルカリ性 (2% 炭酸ナトリウム溶液)		
	耐中性洗剤		
耐湿性	85℃ ×85%rh, 21 日	絶縁抵抗, 耐電圧	絶縁抵抗の 低下なし, 耐電圧合格
耐温水性	3% 塩水, 85℃, 10 日	(AC1.5 kV, 1 分)	

3.3 端末加工性評価

電線を圧着コネクタ等と接続させる際、電線の絶縁体を剥離（ストリップ）させる必要がある。この時、導体と絶縁体が剥離しやすく、端面で絶縁体の伸びや亀裂がなく、ストリップ屑が導体に残留しないことが要求される。切り残しやストリップ屑があると、コネクタと導体間に絶縁体が挟まり導通不良の原因となる。また、ストリップ後に絶縁体の収縮があると、うまく端末加工ができない。

開発品の端末加工性の評価結果を表 6 に示す。開発品はストリップ性、熱収縮性とも良好な結果であり、優れた二次加工性を有することを確認した。

表 6 二次加工性

項目	試験条件	判定基準	判定
ストリップ性	ストリッパーでの皮むき	端面で伸び, 亀裂のないこと ストリップ屑の 残留がないこと	合格
熱収縮性	180℃, 1 hr 加熱前後での寸法の変化	0.5% 以下	合格

4. ま と め

近年、需要が高まっている高耐熱用機器電線に適用可能なフッ素系耐熱難燃絶縁材料を開発した。本材料を用いた電線は 180℃を超える耐熱性と UL VW-1 相当の難燃性を有する。また良好な端末加工性および耐環境性を備えているので、家電製品をはじめとして、耐熱難燃を要求される広範な電気・電子製品分野においてその特長が発揮されるものと期待される。

昭和電線ケーブルシステム(株)
齊藤 真利子 (さいとう まりこ)
技術開発センター 有機材料開発グループ 主任
高分子材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
藤田 道朝 (ふじた みちとも)
技術開発センター 有機材料開発グループ長
高分子材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
光地 伸明 (こうち のぶあき)
技術開発センター 有機材料開発グループ 主査
高分子材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
岡下 稔 (おかしたみのる)
エネルギーシステムユニット 電線技術部長
被覆線および銅合金線の開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
森下 裕一 (もりした ゆういち)
博士 (工学)
通信システムユニット 技術開発部 次長
電子ワイヤの開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
大根田 進 (おおねだ すずむ)
産業機器電線事業開発プロジェクト長
産業機器電線の開発に従事

トンネル照明用コネクタ「ショウタッチ[®]」 (5極, 6極用)の開発

Development of “Showtouch” (5P, 6P) Connector for Tunnel Lighting

小嶋 一輝¹⁾
Kazuki KOJIMA

太田 翔¹⁾
Sho OHTA

吉田 敏一¹⁾
Toshikazu YOSHIDA

北川 寿也¹⁾
Hisaya KITAGAWA

相井 康弘¹⁾
Yasuhiro SOHI

渡辺 雄
Yu WATANABE

大石 智雄
Tomoo OHISHI

高速道路のトンネル照明では、省電力で長寿命かつ出力調整の容易なLED照明化が進んでいる。LED照明のきめ細やかな明るさ調整（調光）に対応するため、ショウタッチの5極, 6極用を開発したので報告する。ショウタッチの5極, 6極用は、首都圏中央連絡自動車道の相模原八王子トンネル等に採用された。

For highway tunnel lighting, the LED Lighting is progressing because of its power saving, long life characteristics and ease of brightness adjustment. We report that 5P and 6P of a "Showtouch" connector is developed in order to correspond to attentive brightness adjustment of LED lighting. 5P and 6P of a "Showtouch" connector was adopted into the Sagami-hara Hachioji tunnel and so on.

1. はじめに

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(ショウブランチ[®]L)、分岐線の端末用コネクタとしてショウタッチを開発し、2極～4極用を7年間製造してきた。

従来の照明器具は蛍光灯やセラミックメタルハライド灯が主流であったが、近年は省電力で長寿命であるLED照明が主流となってきている。高速道路のトンネル照明はトンネル内と外との明るさによって、きめ細かな明るさ調整（調光）が必要となる。従来照明では、灯具を複数ライン配置し明るさに応じてスイッチをON, OFFすることで対応していたが、LED照明では個々の灯具での調光が可能となった。調光を5段階とする仕様に対応するため、分岐線の端末用ショウタッチの5極, 6極化が必要となると判断し開発を行い、製品化した。

2. ショウタッチの構造

従来の2極～4極用の取付状況を図1に示す。

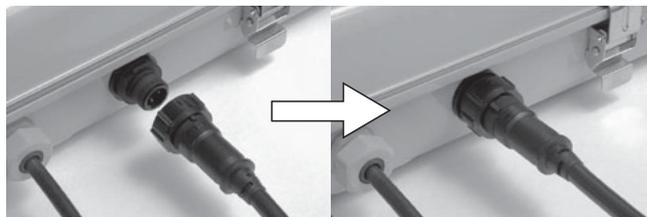


図1 ショウタッチ取付（従来品）

灯具直付タイプの場合、トンネル設置前の灯具にレセプタクルを事前に取り付けておき、分岐付ケーブルの分岐線の端末にはプラグを取り付け、トンネル内では延線後にプラグを挿し込むだけで灯具との接続が完了する。誤配線もなく暗所での接続が容易に行えるため、省力化、工期短縮が可能となる。

2.1 5極, 6極用コネクタの構造

従来品の2極～4極用の構造と5極, 6極用の構造の概略図を図2に示す。絶縁特性を従来品と同様以上とするため、ピン間の離隔距離は従来と同じとした。そのため、5極, 6極用は外径φ45mm(2極～4極用はφ40mm)と若干大きくなったが、灯具取付後の長さ方向の寸法はほとんど変わらない(図3, 図4)。

1) 行田電線株式会社

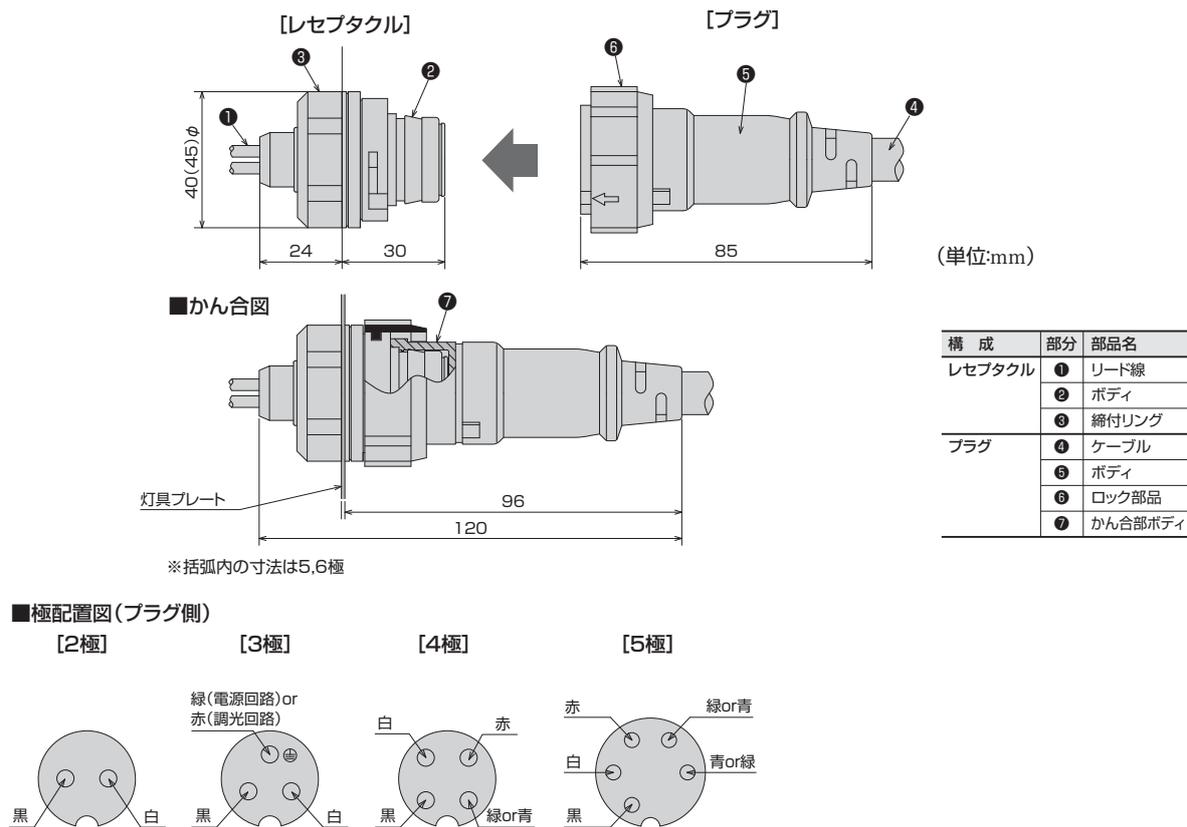


図2 ショウタッチ概略図

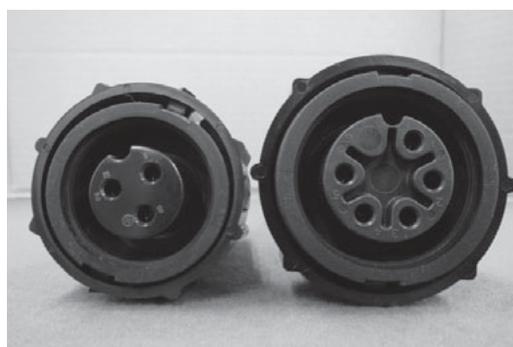


図3 ショウタッチプラグ接続面
(左 従来品, 右 開発品)

2.2 5極, 6極用の改良点

中子とリング部を一体化させ、レセプタクルのねじ部の強度向上や成型時のずれを防止した。(図5)

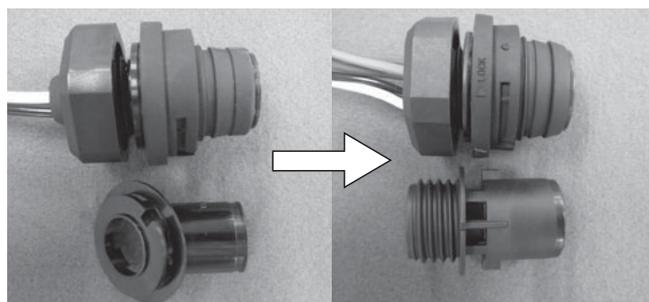


図5 中子およびリング部構造 (従来品→開発品)

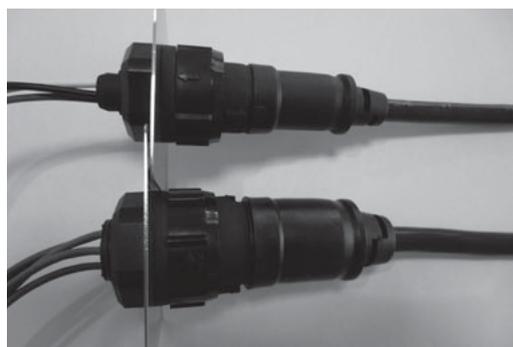


図4 ショウタッチ接続
(上 従来品, 下 開発品)

3. ショウタッチの性能検証

高速道路等のトンネル内の環境は、粉塵、雨水、海沿いの道路や凍結防止剤による塩害、高湿度、排気ガス、飛石などが考えられる。その環境下でも、ショウタッチは、ケーブル同様に10～15年程度の耐用年数が求められる。

FMEAにて故障モードを想定し、従来品で検証済の耐候性試験などを除いた計17項目について、開発品での検証を実施した。主な項目を報告する。

3.1 防塵・防水性

トンネル内の砂粒などの粉塵, 雨水などを想定し, JIS C 0920:2003 の IP67 の試験を一般財団法人 日本品質保証機構殿で実施した(図6, 図7)。評価基準となる IP6X は, 粉塵が内部に侵入しないこと, IPX7 は水深1 mに30分間浸漬後, 内部に水が浸入しないことを要求している。

内部に粉塵, 水の浸入した形跡はなく, コネクタの防塵・防水性が IP67 に適合することの認証を取得した。

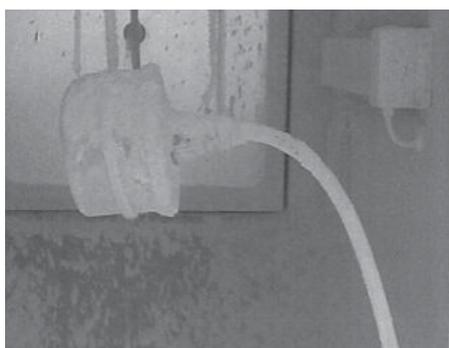


図6 タルク粉吹き付け状況

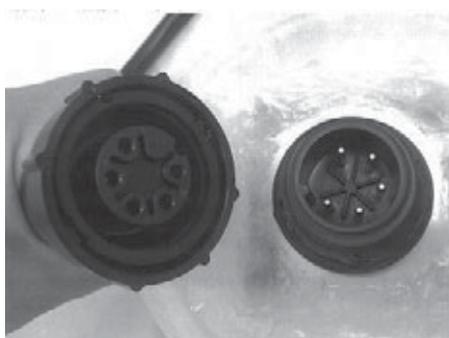


図7 防水試験後



図8 塩水噴霧試験



図9 プラグ内部(塩水噴霧試験後)

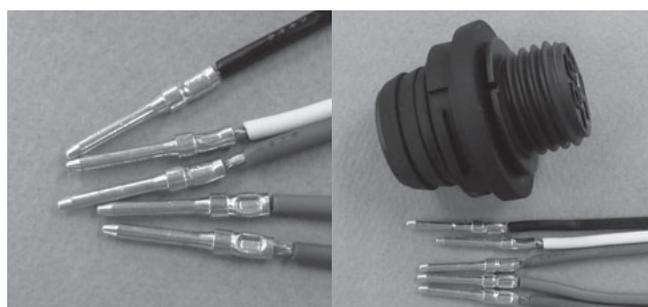


図10 レセプタクル内部(塩水噴霧試験後)

3.2 塩水噴霧試験

従来, 道路トンネル用の照明では, 海沿いの道路や凍結防止剤による塩害を想定し, JIS Z 2371:2000 の 5% NaCl の食塩水が噴霧されている環境下で720時間放置する試験が求められていた。LED照明では, 照明器具の長寿命に対応するため, 試験時間が1500時間に延長された(図8)。電気試験は, JIS C 8306:1996に基づき, 耐電圧: AC1500V/1分間の印加で異常なきこと, 絶縁抵抗: 100 MΩ以上であることを確認し, 解体して内部に腐食がないことを確認した(図9, 図10)。

3.3 圧縮強度

作業者が誤ってコネクタを踏んでしまった場合を想定し, プラグを水平に保持し, 600 Nの荷重を1分間加えた(図11)。外観に異常なく, かん合・ロックも問題ないことを確認した。

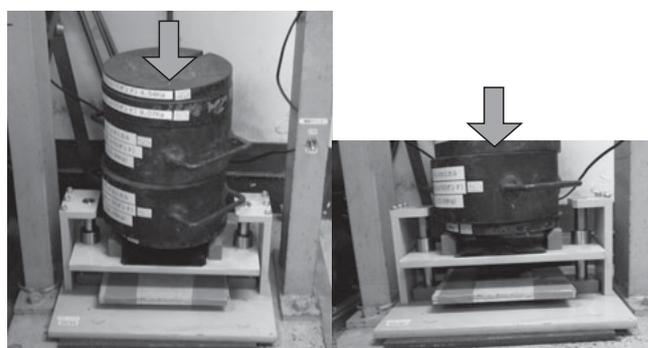


図11 圧縮強度試験

3.4 振り子自重落下

分岐線端末がドラムにぶつかり、衝撃を受けたことを想定し、プラグ（ケーブル長さ 1.14 m）を 90°の角度から自重落下させ、1300 回カエデ木に当てた（図 12）。

当たり傷はあるが、ひび割れ等はないことを確認した。

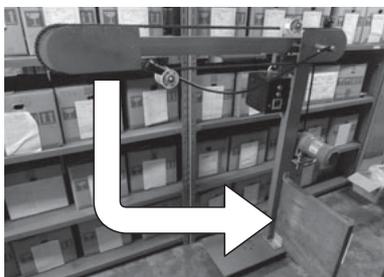


図 12 振り子自重落下試験

3.5 ロック部品強度

ロック部品をロックをしたまま、プラグを引き抜こうとしたときを想定し、引張試験機を用い、引張速度 100 mm/min にて、ロック部品がレセプタクルより離脱する強度を測定した（図 13）。

コネクタ保持力の最大規格 80 N に対し、抜け強度が 200 N 以上あることを確認した。

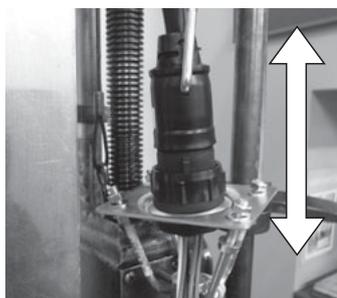


図 13 ロック部品強度試験

3.6 耐外傷性

トンネル内の石跳ねを想定し、プラグに鋼球 500 g を 1.3 m の高さから落下させた（図 14）。

ひび、割れ等の外観に異常がないことを確認した。

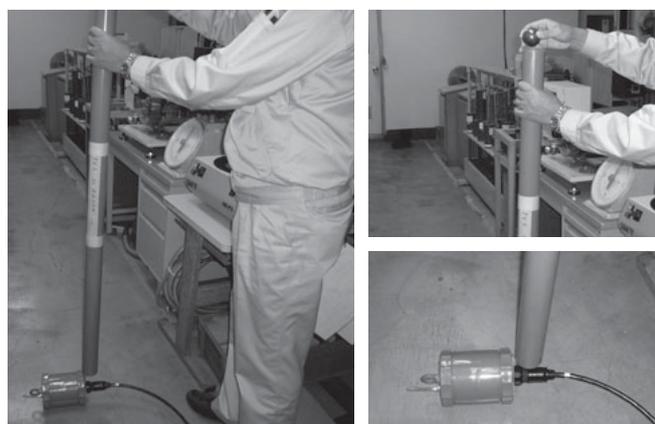


図 14 耐外傷性試験

4. 開発成果と今後の展開

首都圏中央連絡自動車道の相模原八王子他 3 トンネル（図 15）にて、5 極プラグが採用され、2013 年 9 月より納入開始した。



図 15 相模原八王子トンネル他 3 トンネルを含む開通区間

灯具側には納入時にレセプタクルが取付済で、分岐付ケーブルの電源用の分岐線には 3 極プラグ、調光用の分岐線には 5 極プラグを取付けてあるため、布設時の作業性と信頼性が向上した（図 16）。

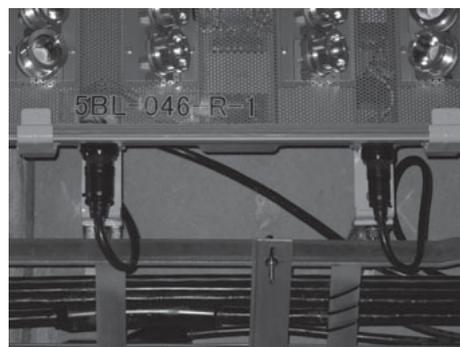


図 16 照明器具とショウタッチ

中日本高速道路(株)殿では、これらの高速道路を 2014 年 6 月の開通に向けて建設を進めている。

今後は、既存の高速道路での保全の需要が増えると考えられる。保全の場合は、既に利用中の高速道路を交通規制して作業する必要があるため、現場での工期短縮が必要となる。灯具交換の際には、LED 照明への切替えも進んでいくと考えられる。

そうした環境から、今回開発したショウタッチ 5 極、6 極用コネクタの需要も増えていくと期待される。

最後に、ショウタッチ 5 極、6 極用の納入に際し、中日本高速道路(株)東京支社殿、(株)中電工殿には、多大なご協力をいただき、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, p.71 (2008)

昭和電線ケーブルシステム(株)
小嶋 一輝 (こじま かずき)
電線技術部 被覆線技術課
分岐付ケーブルの設計・開発に従事

行田電線株式会社
太田 翔 (おおた しょう)
技術品質本部 草津グループ
コネクタの設計・開発に従事

行田電線株式会社
吉田 敏一 (よしだ としかず)
技術品質本部 草津グループ 課長
コネクタの設計・開発に従事

行田電線株式会社
北川 寿也 (きたがわ ひさや)
産業電線事業本部 技術・品質グループ
分岐付ケーブルの設計・開発に従事

行田電線株式会社
相井 康弘 (そうい やすひろ)
産業電線事業本部 技術・品質グループ 課長
分岐付ケーブルの設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
渡辺 雄 (わたなべ ゆう)
電線技術部 被覆線技術課
分岐付ケーブルの設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
大石 智雄 (おおいし ともお)
電線技術部 被覆線技術課長
電線・ケーブルの設計・開発に従事

154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの開発

Development of 154 kV Direct-molded Bushing for Transformation Facilities

住本 勉
Tsutomu SUMIMOTO

今西 晋
Shin IMANISHI

足立和久
Kazuhisa ADACHI

荻島みゆき
Miyuki OGISHIMA

桑木亮仙
Akihisa KUWAKI

山岸 明*
Akira YAMAGISHI

田中敏明*
Toshiaki TANAKA

奥田健司*
Kenji OKUDA

ダイレクトモールドブッシングは、主絶縁にエポキシ樹脂を使用してシリコンゴムの外被を被せた完全固体絶縁タイプのブッシングである。今回、酸化亜鉛の電界緩和技術を適用して、従来ブッシングに比較して軽量・コンパクト化した154 kVクラス中汚損用、重汚損用の機器用ブッシングを開発した。気中部の汚損設計は従来の磁器がい管の設計を踏襲した。開発品にて、各種電気試験、機械試験を実施し、JEC-5202規格を満足することを確認した。また、実機での耐震試験を実施し、良好な耐震特性を有することを確認した。

Direct-molded bushing is a completely solid insulator type bushing, which is achieved by the structure composed of epoxy resin as a main insulator and silicone rubber as an outer cover. In this time, we developed light-weight and compact 154kV bushings for middle and heavy pollution levels by application of the electric field relaxation technology using ZnO. The pollution design followed the conventional design of porcelain insulator. We investigate the electrical and mechanical properties of them and the results met JEC-5202 regulation. Furthermore, we demonstrated vibration test of the bushing and the result showed good performance.

1. はじめに

ダイレクトモールドブッシングは、主絶縁にエポキシ樹脂を使用してシリコンゴムの外被を被せた完全固体絶縁タイプのブッシングであり、絶縁油を使用しないことから軽量・コンパクトを実現した製品である。軽量・コンパクトであるためにブッシングの共振周波数が高く耐震性に優れていることから、近年多発している地震対策として脚光を浴びている。我々は既に22/33 kV、66/77 kV、110 kVクラスの製品をラインナップしている¹⁾。今回、154 kVクラスの機器用ブッシングとして、中汚損用²⁾、重汚損用を開発したので、報告する。

2. 開発仕様

変圧器用ブッシングの取り合いは、JEC-5202ブッシング規格で規定されており、今回の154 kVクラスの開発仕様についてもこの規格を基に決定した。表1に主な開発諸元を示す。

表1 開発諸元

項目	仕様	
定格電圧	161 kV	
定格電流	2000 A	
短時間耐電流	50 kA 2秒	
汚損区分 (塩分付着密度)	中汚損 (0.06 mg/cm ²)	重汚損 (0.12 mg/cm ²)

3. 構造・設計

154 kVダイレクトモールドブッシングの構造は、機器と取り合うフランジの寸法はJEC-5202と同等とし、油中側、気中側の構造・寸法はJEC-5202の電気・機械特性を満足し、なおかつ、コンパクト化を考慮して決定した(図1)。

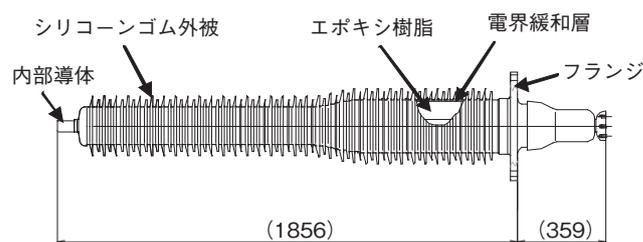


図1 154 kVブッシング概略図(重汚損用)

* 株式会社日立製作所

3.1 電界設計

154 kV ダイレクトモールドブッシングにおいて、構造上電界が高くなるのは気中部下部の遮へい金具近傍である。内部導体と遮へい金具の位置・形状、ブッシング外径を最適化することで遮へい金具近傍のブッシング内部の電界を抑えるとともに、シリコンゴム外被表面の電界を下げて運転電圧時にコロナ放電が発生しないよう各部の構造を決定した。

また、気中部下部のエポキシとシリコン外被の間には、非線形材料（酸化亜鉛）を用いた電界緩和層を設けている（図1参照）。電界緩和層の電界-電流特性（図2）の通り、設定電界以上になると電流が流れてその場所の電界を一定に保とうとする特性を持つ。このように電界緩和層は高電界の領域で電界抑制効果を持つ。過電圧時や雷サージ侵入時などの異常時の過大な電圧がブッシングに印加された場合には、気中部下部の高電界となる部分の電界を抑制するため、ブッシングの気中部全長をコンパクト化できる。

電界緩和層の動作電界を超える電圧が印加された場合の等電位線分布を図3に示す。(1)は電界緩和層がない場合で、下部遮へい金具先端近傍の外被表面の等電位線が密になっている。これに対し、電界緩和層がある(2)では電界抑制効果により外被表面の等電位線が疎になっていることがわかる。

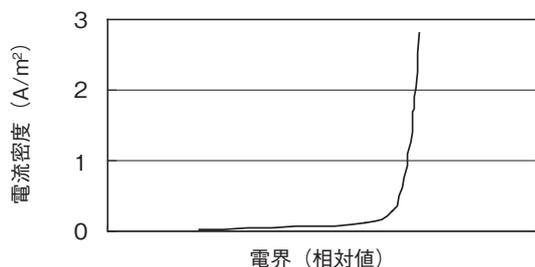


図2 電界緩和層の非線形電圧-電流特性

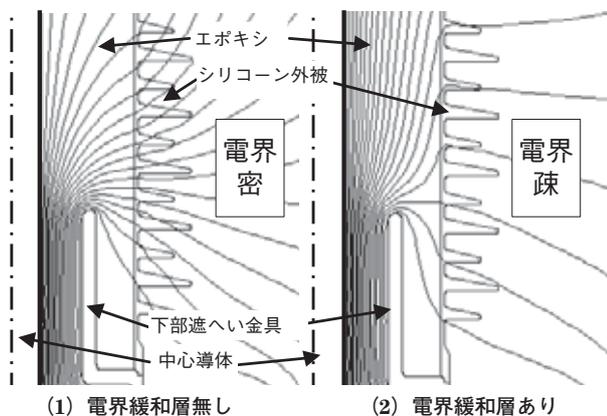


図3 等電位分布図

3.2 汚損設計

外被に使用しているシリコンゴムは、撥水性を有することから一般的に汚損性能に優れるといわれている。しか

しながら、ダイレクトモールドブッシングでは、臨海部など急速汚損の発生する環境で撥水性が有効に作用しない可能性³⁾を考慮して、磁器がいし・がい管の汚損設計を踏襲し、その設計基準曲線⁴⁾から中汚損、重汚損に必要な表面漏洩距離を計算し、気中部高さを決定した。

両クラスの寸法比較を図4に、計算した汚損設計曲線を図5に示す。154 kV クラスの場合、汚損耐電圧目標値は161 kV (JEC-5202)であるが、図4の構造で中汚損、重汚損それぞれの汚損耐電圧値が161 kV 以上を満足していることがわかる。

4. 検証試験

4.1 電気試験

JEC-5202 ブッシング規格に基づいて、絶縁抵抗試験、商用周波乾燥耐電圧試験、雷インパルス乾燥耐電圧試験を実施した。また、固体絶縁としての健全性を確認するために、190 kV までの部分放電試験を実施した。試験の状況を図6に示す。試験結果はいずれも良好であった。試験結果は表2の一覧表にまとめて示す。

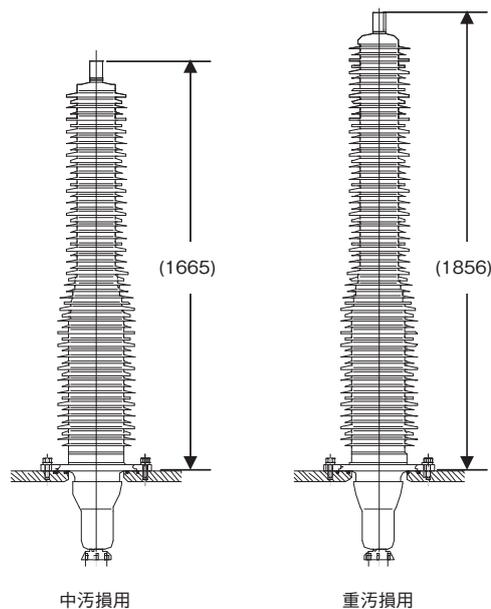


図4 154 kV ダイレクトモールドブッシング寸法比較図

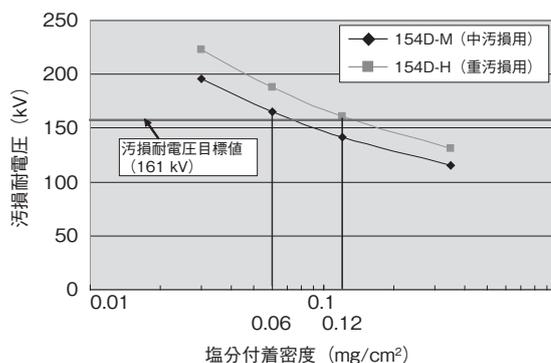


図5 汚損設計曲線

4.2 曲げ耐荷重試験

JEC-5202 ブッシング規格に基づいて、曲げ耐荷重試験を実施した。ブッシング先端に 3600 N・1 分間の荷重を印加後、外観及び部分放電試験 (190 kV・10 分) にて異常のないことを確認した。試験の状況を図 7 に示す。試験結果はいずれも良好であった。試験結果は表 2 の一覧表にまとめて示す。

4.3 耐震試験

ブッシングを変圧器の標準ポケットに搭載した状態で、共振確認試験、加振試験を実施した^{5) 6)}。試験の概要は下記の通りである。

共振確認試験：正弦波で周波数スイープ (1 ~ 33 Hz) し、共振周波数を確認する。

加振試験：各規格に基づき、下記振動波形を入力した後、外観及び部分放電試験 (190 kV・10 分) にて異常の無いことを確認する。

振動波形：①共振正弦 3 波 10 Hz (JEAG 5003-2010)⁷⁾
②ランダム波 (IEEE 693-2005)⁸⁾

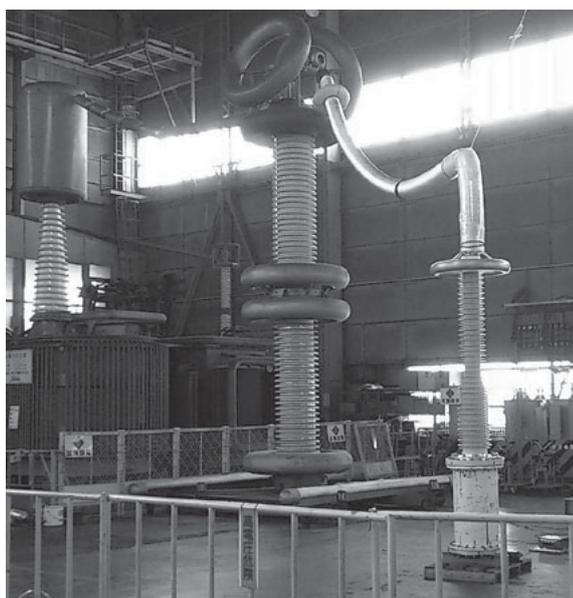


図 6 電気試験状況

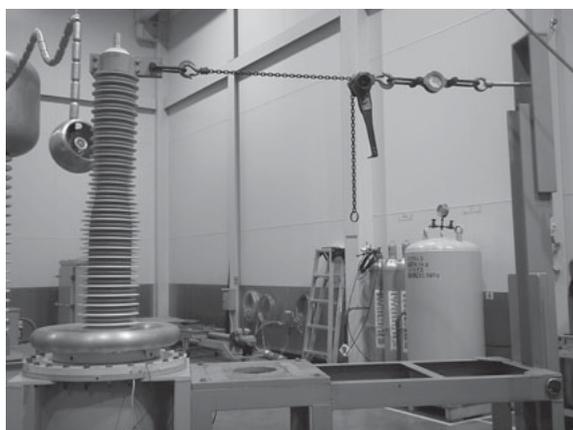


図 7 曲げ耐荷重試験状況

共振確認試験の結果、標準ポケット込みの状態

中汚損用：15.3 Hz

重汚損用：13.8 Hz

であり、JEAG 5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」で規定されている地表面での地震力の卓越周波数 (0.5 ~ 10 Hz) の範囲外であった。

加振試験の結果は、①共振正弦 3 波、②ランダム波のいずれの波形においてもブッシングに異常は見られなかった。耐震試験の状況を図 8 に示す。

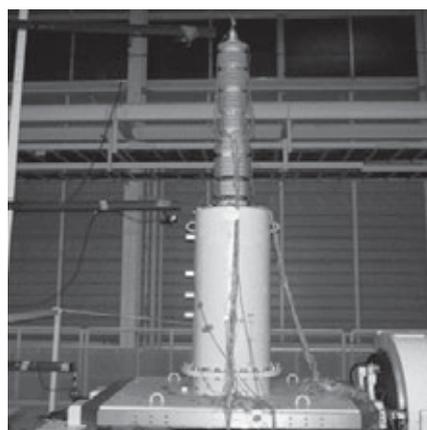


図 8 耐震試験状況

4.4 温度上昇試験

JEC-5202 ブッシング規格に基づいて、温度上昇試験を実施した。中汚損用ブッシングの機器側を変圧器油中、気中側を空気中にて実施した温度上昇試験の結果を図 9、10 に示す。

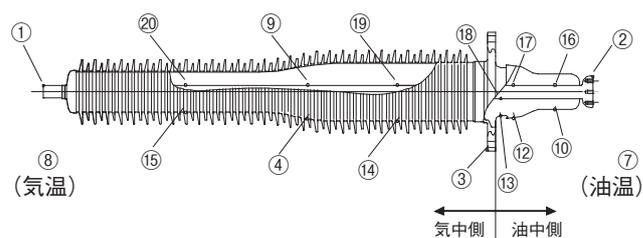


図 9 温度測定位置

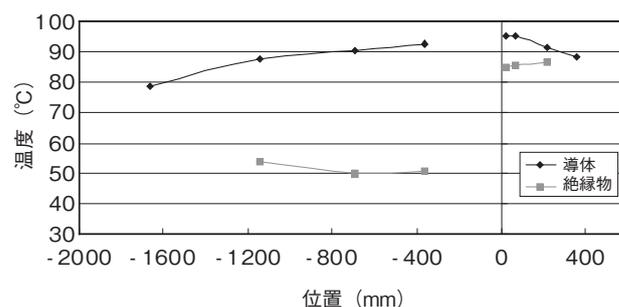


図 10 中汚損用ブッシング各部の温度分布 (2000 A)

気中部の最高温度が 90.3℃、油中部の最高温度が 88.4℃であり、いずれも 105℃ 以下、周囲温度 29.4℃ からの温度上昇値が 65 K 以下と良好な結果であった。

重汚損用ブッシングについては、中汚損用ブッシングの試験データを基に熱解析を実施した。図 11 に 2000 A 通電時の温度分布解析結果を示す。重汚損用ブッシングについても、規格値を満足していることを確認した。



図 11 重汚損用ブッシング各部の温度分布 (2000 A)

4.5 検証結果まとめ

中汚損用、重汚損用ブッシングで実施した試験結果を表 2 にまとめる。

表 2 試験結果一覧 (中汚損用, 重汚損用)

項目	特性	結果
外観・寸法検査	異常なきこと	良
絶縁抵抗試験	2000 MΩ 以上	良
商用周波乾燥耐電圧試験	325 kV 1 分間	良
雷インパルス乾燥耐電圧試験	±750 kV 各 5 回	良
温度上昇試験	絶縁媒体中にて定格電流 2000 A を通電し温度上昇値が温度上昇限度 (65 K)、許容温度 (105℃) を越えないこと	良
曲げ耐荷重試験	下部金具を固定し、気中側ブッシング先端に対して垂直方向に 3600 N の荷重を 1 分間加え、異常のないこと	良
耐震試験	①共振正弦 3 波 ②ランダム波での加振試験後、外観・部分放電試験で異常なきこと	良
商用周波部分放電試験	190 kV 5 pC 以下	良
気密試験	150 kPa・G 16 時間 蓄積法により漏れがないこと	良

5. ま と め

エポキシ主絶縁とシリコーンゴム外被を用いた完全固体絶縁構造の 154 kV ダイレクトモールドブッシング (中汚損用、重汚損用) を開発し、JEC-5202 (2007) に規定された電気試験、機械試験項目を満足することを確認した。また、試験試料を用いて耐震試験を実施し、良好な耐震特性を有することを確認した。

参考文献

- 1) 足立和久, 他:「110 kV ダイレクトモールドブッシングの開発」, 平成 19 年電気学会全国大会, No.7-129, 第 7 分冊, p.194 (2007)
- 2) 住本勉, 他:「154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの開発」, 平成 25 年電気学会全国大会, No.5-200, 第 5 分冊, p.327-328 (2013)
- 3) 畔柳, 他:「送電用高分子がいし急速汚損時の塩分付着特性と霧中耐電圧特性」, 電力中央研究所報告, H08018 (1999)

- 4) 「変電設備の耐塩設計」, 電気協同研究, 第 35 巻, 第 3 号 (1979)
- 5) 山岸明, 他:「新素材ブッシング搭載変圧器の耐震性検討」, 電気学会 (B) 静止器研究会資料, No. SA-12-123 (2012)
- 6) 山岸明, 他:「新素材ブッシング搭載変圧器の耐震性検討 (その 2)」, 電気学会 (B) 静止器研究会資料, No. SA-13-098 (2013)
- 7) 日本電気協会: JEAG-5003-2010 「変電所等における電気設備の耐震設計指針」 (2010)
- 8) "Recommended Practices for Seismic Design of Substations", IEEE 693-2005 (2005)

特変電工昭和（山東）電纜附件有限公司

住本 勉（すみもと つとむ）

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

(2013年12月まで 昭和電線ケーブルシステム株)

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課所属)

昭和電線ケーブルシステム株

今西 晋（いまにし しん）

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム株

足立 和久（あだち かずひさ）

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム株

荻島 みゆき（おぎしま みゆき）

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム株

桑木 亮仙（くわき あきひさ）

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課長

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

株式会社日立製作所

山岸 明（やまぎし あきら）

電力システム社 変圧器設計部

開発・技術グループ

株式会社日立製作所

田中 敏明（たなか としあき）

電力システム社 変圧器設計部

開発・技術グループ

株式会社日立製作所

奥田 健司（おくだ けんじ）

電力システム社 変圧器設計部

大形設計グループ

シリコンゴム製ストレスコーンを適用した IEC 110/132 kV スマート終端接続部の開発

Development of IEC Smart Cable Head Using Silicone Rubber Stress-relief Cone for 110/132 kV XLPE Cable

住本 勉 足立和久 桑木亮仙
Tsutomu SUMIMOTO Kazuhisa ADACHI Akihisa KUWAKI

当社では 2008 年に中近東、中国などの海外市場向けに特化して構造簡素化、小型化した 110/132 kV 級の終端接続部を製品リリースした。本論文では、この終端接続部に関して現地施工の簡素化、プラグイン／プラグアウト対応を主目的に、界面特性に優れたシリコン材料のストレスコーンへの適用検討、及びプラグイン／プラグアウトに最適な接続端子部の構造設計検討を行ったので報告する。各種検証を実施し、IEC 60840 の 132 kV 級の性能を有することを確認した。

We released the simplified and compact sealing end of 110/132 kV class, which is specially designed for oversea market such as Middle East area and China. In this paper, we investigate an application of silicone material which has superior interface property as stress-relief cone and the structural design of connection parts suitable for plug-in / plug-out for the purpose of simplification of assembly on site and achievement of plug-in / plug-out. We have examined that the new cable head has sufficient property of IEC 60840 132 kV class by the several investigation.

1. はじめに

電力需要の伸びが大きい中近東、中国などの海外市場では、インフラストラクチャー整備に伴い 132 kV 級（中国は 110 kV 級）の送電線路、変電設備の拡張がなされている。このような設備で機器とケーブルの接続に用いられるのが終端接続部であり、この取り付け寸法、電気性能は、IEC 規格で規定されている。規格はそれぞれ、IEC 62271-209(旧 60859)、IEC 60840 である。当社では、2008 年にスマート技術（界面形状の最適化等）を適用した IEC 規格準拠の 110/132 kV ガス中終端接続部を製品リリースした¹⁾。これは、既存の EP ゴム製ストレスコーンを適用した製品であった。今回、海外市場における現地施工の簡素化、プラグイン／プラグアウト対応を目的として、界面特性に優れたシリコン材料のストレスコーンへの適用検討、及びプラグイン／プラグアウトに最適な接続端子部の構造設計検討を行い、110/132 kV ガス中終端接続部に適用したので、報告する。

2. 開発仕様

110/132 kV ガス中終端接続部の開発に際して、IEC 規格に準拠し、下記の通りに開発コンセプトを設定した。

(1) 機器取り付け寸法

海外市場において標準採用されている IEC 62271-209 の Dry-type cable connection assembly dimensions に準拠し、機器との取り付け寸法を決定する。

(2) 互換性

既存製品の 110/132 kV ガス中終端接続部と構成部品の互換性を持たせて、本体材料を共通化する。

(3) 電気性能

IEC 規格 132 kV 級の要求性能を満足すること。また、161 kV 級の初期性能を満足すること。

(4) 施工性

現地施工の簡素化のために、ケーブルの外部半導電層のモールド処理を省略する。

(5) プラグイン／プラグアウト対応

従来の接続材料のプラグイン機能に加えて、プラグアウト（引き抜き）が可能な構造とする。

以上のコンセプトを基に、開発目標仕様（検証項目）を表 1 の通りとした。

表1 開発目標仕様

項目	規格値	参照規格
電圧階級	110/132 kV	—
適用ケーブル導体サイズ	240 ~ 1000 mm ²	—
最大短絡電流	40 kA 3秒	—
商用周波部分放電	114 kV・10分 PD発生無し	IEC 60840 132-138 kV
商用周波耐電圧	190 kV・30分	IEC 60840 132-138 kV
雷インパルス耐電圧	±650 kV・各10回	IEC 60840 132-138 kV
長期課通電	課電：AC 152 kV 通電：8 H on / 16 H off 導体温度 95 ~ 100°C ⇔ 常温 ×20 cycle	IEC 60840 132-138 kV
商用周波耐電圧 (残存性能確認)	190 kV・30分	IEC 60840 132-138 kV
雷インパルス耐電圧 (残存性能確認)	±650 kV・各10回	IEC 60840 132-138 kV
ケーブル引張荷重印加時の 部分放電特性	荷重：0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kN PD確認	社内検証
繰り返し脱着試験	接続材料の抜き差しを 10回, 20回実施後 PD確認	社内検証

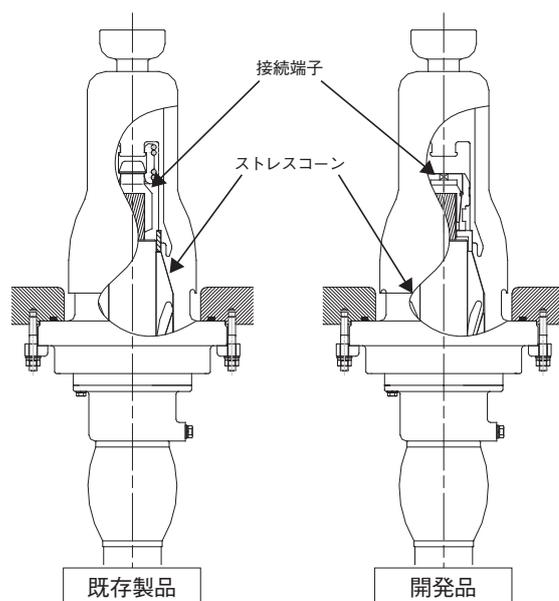


図1 ガス中終端接続部の構造比較

3. 構造・設計

図1に既存のガス中終端接続部と新規開発品の構造を示す。本体材料はエポキシと金具の一体成型品であり、新旧タイプで共通の構造である。機器との取り付け寸法は全てIEC62271-209のDry-type cable connection assembly dimensionsに準拠している。新規開発品で変更した部分は下記の通り。

(1) ストレスコーンの材料

既存製品ではEPゴム製ストレスコーンを採用していたが、新規にシリコンゴム製ストレスコーンを開発した。シリコンゴムはEPゴムよりも柔らかく界面凹凸への追随性が良いことから、従来現地施工にて実施していたケーブル外部半導電層のモールド処理を省略することが可能となる。シリコンゴム材料は、132 kV級、220 kV級の他製品で実績のある材料を採用した。

(2) ストレスコーンの設計

ストレスコーンの構造は、既存製品と構成部品の互換性を持たせるため、前面のテーパ角、外径は従来設計を踏襲し、図2、図3のような構造とした。

(3) 接続端子構造

既存製品では国内で実績のあるチューリップコンタクト構造を採用していたが、チューリップコンタクト構造は初回組立時のプラグインを目的に設計されており、繰り返し抜き差しする用途には不向きである。開発品では、抜き差しを考慮して、クサビ構造にマルチコンタクトを組み合わせた構造とした。チューリップコンタクト構造では、ケーブルの引き留めの機能も有していたが、開発品では接続端子は引き留め機能を持たないため、接続端子とストッパーとストレスコーンとの組合せで引き留め機能を持たせた。

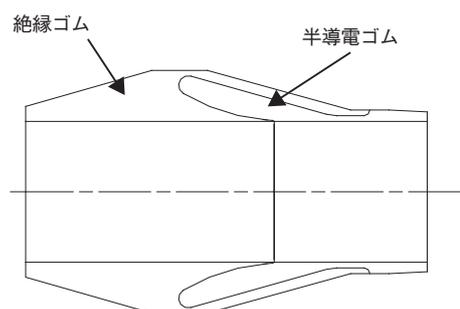


図2 シリコンゴムストレスコーンの構造 (開発品)

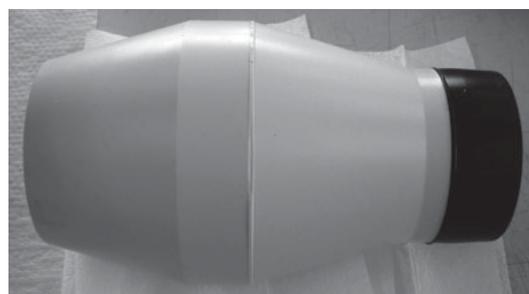


図3 シリコンゴムストレスコーン

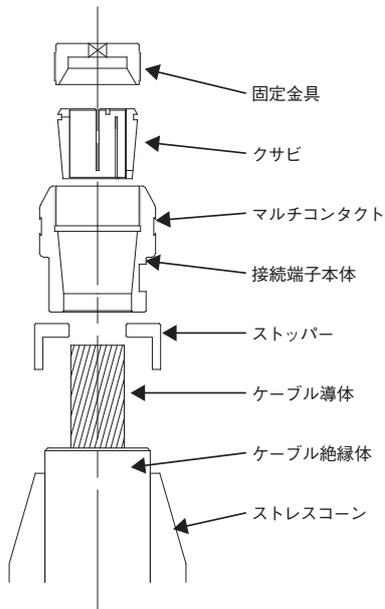


図4 接続端子構造の説明図

4. 電界設計

ガス中終端接続部本体と接続材料を組み合わせた状態での電界解析を実施した。等電位線分布を図5に示す。各界面、及び絶縁体部の電界が設計電界以下であることを確認した。

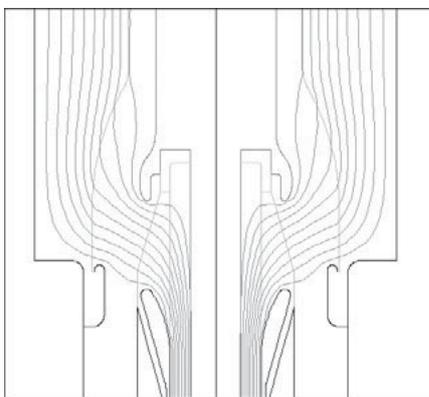


図5 等電位線分布図

5. 試験結果

5.1 界面確認試験

各種試験を開始する前に、圧縮装置の圧縮力とエポキシ-ストレスコーン界面の状態の関係を把握するため、エポキシ本体形状を模擬したアクリル治具と、ケーブル絶縁体を模擬したアクリルパイプ（適用絶縁体の最大・最小外径）を用いて、界面確認試験を実施した。圧縮力を大きくしていくと界面の残留空気が減少し、圧縮力約3.6 kNで消失した。この結果に基づいて圧縮装置の圧縮力を決定した。

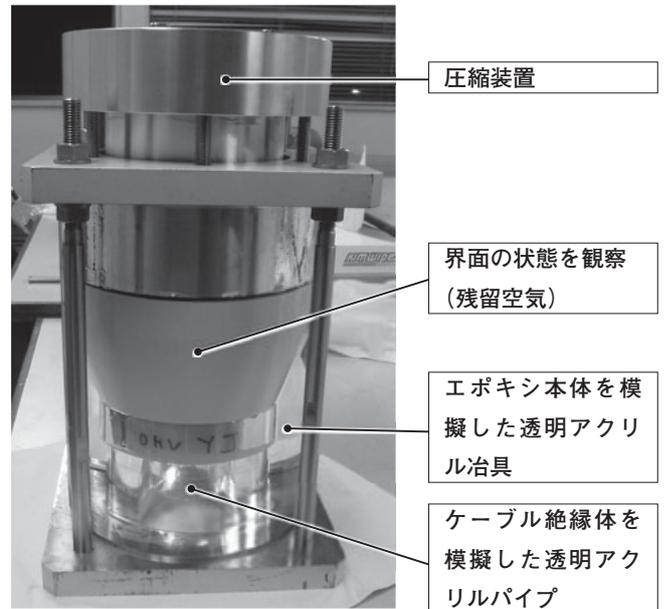


図6 界面確認試験の状況

5.2 初期電気試験

表1の開発目標仕様に基づき、各種電気試験を実施した。
試験ケーブル：132 kV CV 1000 mm²（絶縁厚 14.5 mm）
外部半導電処理：機械削り後、研磨布 #150, #240, #400で処理

終端接続部試料：IEC 62271-209のDry-type 1相
商用周波部分放電、商用周波耐電圧、雷インパルス耐電圧試験に関しては、1クラス上のIEC 60840 150-161 kV級の規格値まで試験を実施した。いずれも良好な結果が得られた。試験結果はまとめて表2に示す。また、試料の組み立て、初期試験の状況を図7～9に示す。

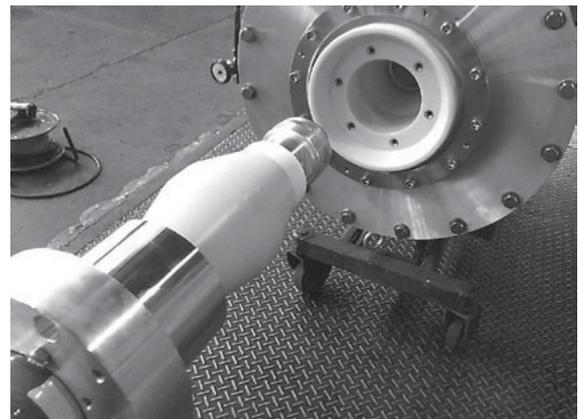


図7 試料の組み立て状況



図8 商用周波部分放電，耐電圧試験

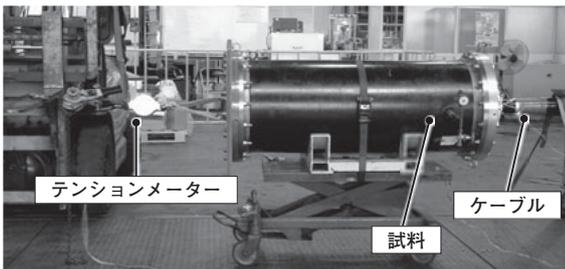


図9 ケーブル引張荷重+部分放電試験

5.3 長期課通電試験

長期性能確認のため、IEC 60840 132-138 kV 級の長期課通電試験を実施した。試験の状況を図10、図11に示す。試料の概要は下記の通り。

試験ケーブル：132 kV CV 1000 mm² (絶縁厚 14.5 mm)
外部半導電処理：機械削り後，研磨布 #150, #240, #400 で処理

終端接続部試料：IEC 62271-209 の Dry-type, Fluid-filled type の2種類 × 各1相 (開発シリコンゴム製ストレスコーン適用)

試験は表2の条件で20サイクル実施し，異常なく合格した。また，課通電試験後に実施した残存性能確認試験でも良好な結果が得られた。

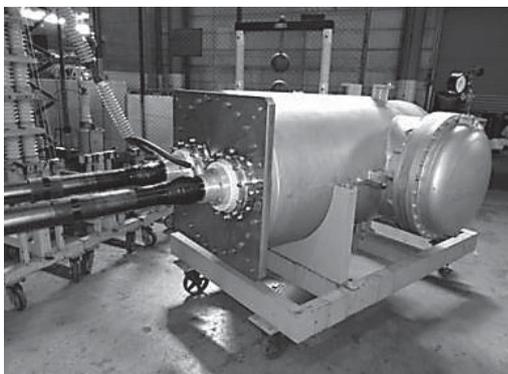


図10 長期課通電試験ケース

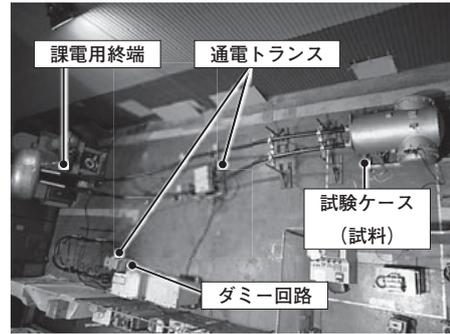


図11 長期課通電試験回路

6. まとめ

今回，シリコンゴム製ストレスコーンを適用し，施工性に優れた110/132 kV ガス中終端接続部を開発し，IEC 60840 の132-138 kV 級の性能を満足することを確認した。開発品を用いることにより，現地での外部半導電層のモールド処理が省略でき，施工時間の短縮が見込まれる。110/132 kV 級の需要の大きい中近東や中国での適用拡大を期待する。

なお，本製品開発は特変電工昭和（山東）電纜附件有限公司と昭和電線ケーブルシステム(株)の共同開発により実施された。

表2 試験結果一覧

項目	規格値	試験結果
商用周波部分放電	114 kV・10分 131 kV・10分 PD発生無し	良 良
商用周波耐電圧	190 kV・30分 218 kV・30分	良 良
雷インパルス耐電圧	±650 kV・各10回 ±750 kV・各10回	良 良
長期課通電	課電：AC 152 kV 通電：8 H on / 16 H off 導体温度 95 ~ 100°C ⇔ 常温 ×20 cycle	良
商用周波部分放電 (残存性能確認)	114 kV・10分 PD発生無し	良
商用周波耐電圧 (残存性能確認)	190 kV・30分	良
雷インパルス耐電圧 (残存性能確認)	±650 kV・各10回	良
ケーブル引張荷重印加時の 部分放電特性	荷重：0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kN PD確認	良 2.0 kNでPD 発生無し
繰り返し脱着試験	接続材料の抜き差しを 10回，20回実施後 PD確認	良 10回，20回でPD発生無し

参考文献

- 「IEC規格準拠110/132 kV ガス中終端接続部」, 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, p.63 (2009)

特変電工昭和（山東）電纜附件有限公司

住本 勉（すみもと つとむ）

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

（2013年12月まで 昭和電線ケーブルシステム株

エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課所属）

昭和電線ケーブルシステム株

足立 和久（あだち かずひさ）

エネルギーシステムユニット

電力機器部 技術課 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム株

桑木 亮仙（くわき あきひさ）

エネルギーシステムユニット

電力機器部 技術課長

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

154 kV スマート終端接続部 機器耐圧用プラグインブッシングの開発

Development of Plug-in Bushing for Tests of the Equipment Mounted 154 kV Smart Type Sealing End

今西 晋
Shin IMANISHI

瀬間 信幸
Nobuyuki SEMA

住本 勉
Tsutomu SUMIMOTO

荻島 みゆき
Miyuki OGISHIMA

林 克之
Katsuyuki HAYASHI

海外における GIS や変圧器等の機器とケーブル終端接続部との取り合いは IEC 62271 に準拠しており、当社は 2007 年に、IEC 62271 に準拠しかつ部品点数の削減を図ったプラグインタイプの 154 kV スマート終端接続部を製品化している。

海外機器メーカーでは、機器の耐電圧試験の際、接続作業の簡便さから一般的に終端接続部にプラグインタイプの試験用ブッシングを挿入し試験を実施するため、今回、154 kV スマート終端接続部に接続可能なプラグインタイプの試験用ブッシングを開発した。

In overseas, dimension of the combination sealing end for XLPE cable and an equipment of the transformer such as GIS is compliant with IEC 62271. We had commercialized 154 kV smart sealing end of the plug-in type that conforms to IEC 62271 and aims to reduce the number of components in 2007.

In general, withstand voltage tests are conducted to overseas equipment manufactures by fitting into a test bushing of plug-in type at sealing end because of the ease of connecting work. So, we developed the test bushing of plug-in type that can be connected to 154 kV smart sealing end.

1. はじめに

海外における GIS (Gas Insulated Switchgear) や変圧器等の機器とケーブル終端接続部との取り合いは IEC 62271 に準拠している。海外機器メーカーは、機器の耐電圧試験の際、接続作業の簡便さから、これらの終端接続部にプラグインタイプの試験用ブッシングを挿入し試験を実施している。

今回、2007 年に当社で製品化した 154 kV スマート終端接続部に接続可能なプラグインブッシングを開発した¹⁾。

2. 使用形態

通常時スマート終端接続部にはケーブルが接続されるが、ケーブル接続前の機器耐電圧試験時には、本プラグインブッシングを終端接続部に挿入しブッシング先端より電圧を印加する (図 1)。

3. 構造

本製品の構造を図 2 に示す。終端接続部内はエポキシ樹脂とストレスコーンによる固体絶縁構造とし、スプリングによりエポキシ樹脂とストレスコーンの界面に適当な面圧

を与え、絶縁する。

気中側はエポキシブッシング上に EP ゴム製のコンデンサコーンを被せた構造で、エポキシ樹脂自体の絶縁耐力とコンデンサによる電圧分担で電界をコントロールする。

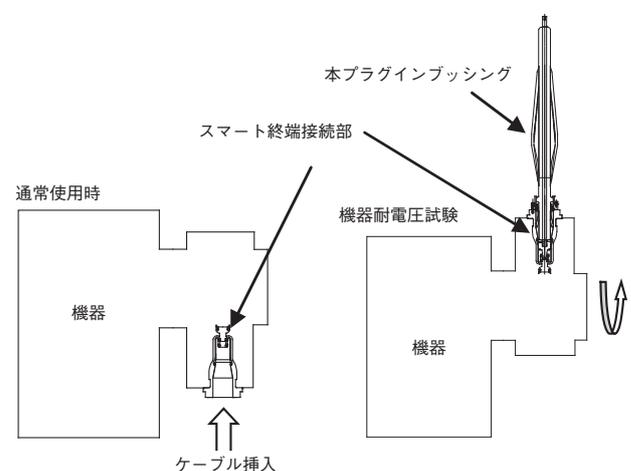
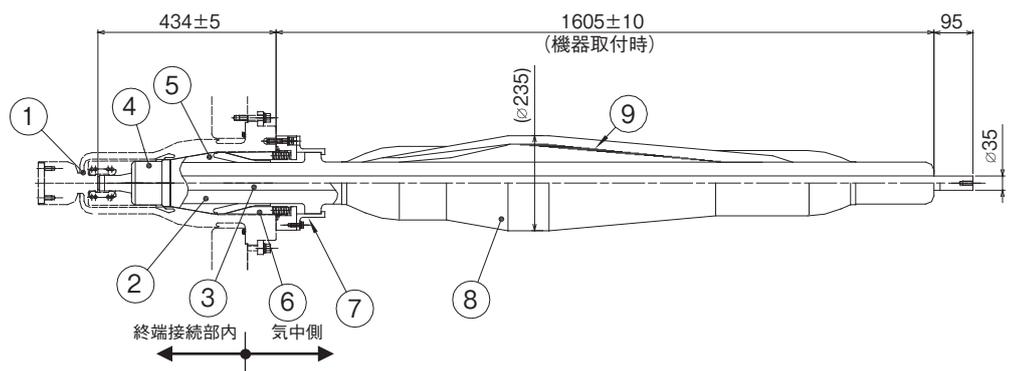


図 1 使用形態



部分	品名	備考
1	終端接続部	
2	ブッシング	エポキシ樹脂
3	導体	アルミニウム
4	プラグ	アルミニウム
5	ストレスコーン	ゴム
6	圧縮装置	アルミニウム
7	取付金具	
8	コンデンサコーン	ゴム
9	コンデンサ箱	ゴム

図2 構造

4. 開発仕様および海外品との比較

開発仕様および海外品との比較を表1、図3に示す。当社製品は国内規格 JEC-2200 (154 kV クラス) にも対応可能な仕様となっている。

表1 仕様比較

項目	当社開発品	海外製品
全長 mm	2134	2383
最大径 (気中側) mm	235	155
質量 kg	Approx. 80	Approx. 65
商用周波耐電圧特性 kV	325※	275
雷インパルス耐電圧特性 kV	750※	650
商用周波部分放電特性 pC	220 kV 5 以下	160 kV 5 以下

※JEC-2200 (154 kV クラス) 適用

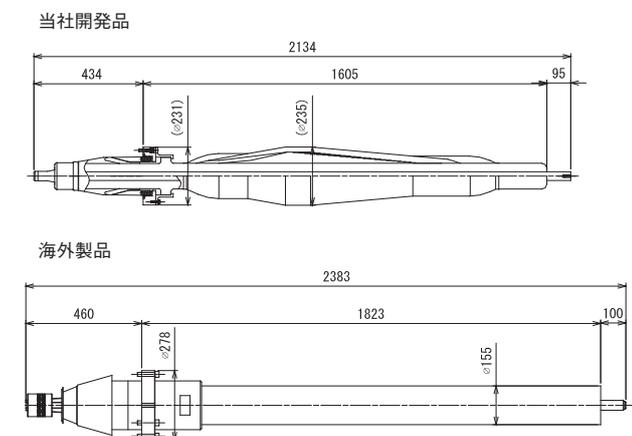


図3 形状および寸法比較

5. 絶縁設計

5.1 終端接続部内の絶縁設計

終端接続部内の絶縁設計は、耐電圧時の電界ストレスを考慮し、十分な裕度を有するよう設計している。

電界解析の結果を表2および図4に示す。

表2 電界解析結果

課電種別	部 位	耐電圧試験時のストレス kV/mm
AC (325 kV)	①内部電極	11.6
	②エポキシ/油 界面	3.9
	③中心導体	17.5
	④ストレスコーン立ち上がり	6.4
	⑤ストレスコーン/終端界面	3.6
	⑥ブッシング/ストレスコーン界面	2.8
雷 Imp (750 kV)	①内部電極	25.7
	②エポキシ/油 界面	8.9
	③中心導体	40.5
	④ストレスコーン立ち上がり	14.8
	⑤ストレスコーン/終端界面	8.3
	⑥ブッシング/ストレスコーン界面	6.5

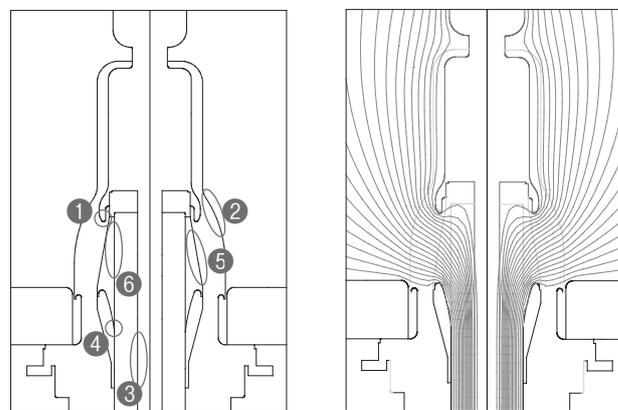


図4 電界解析結果

5.2 気中側の電界設計

気中側の沿面閃絡特性は、内部に導体電極の存在するコンデンサブッシングの場合、図5に示すように複雑な様相を呈し、ブッシングとコンデンサの相対位置 (図6 aおよびb寸法) によって決まる不平等電界が閃絡性能を大きく左右する²⁾。そこで、雷インパルス耐電圧性能に対してはCVケーブルとコンデンサコーンを用いた複数回の予備実験を行い、その相対位置を決定した。また、商用周波耐電圧性能に関しては、電界解析を行い箔の枚数等のパラメーターを決定した。図7に電界解析の等電位線分布を示す。

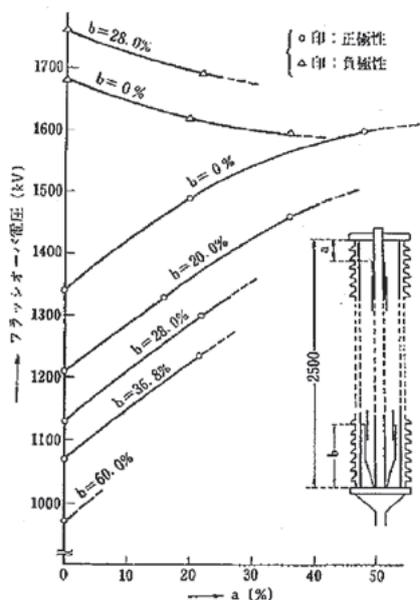


図5 コンデンサブッシングの雷インパルス沿面閃絡特性²⁾



図8 終端接続部内の構造

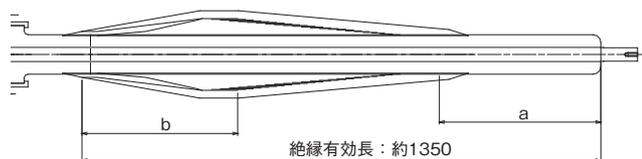


図6 コンデンサコーン相対位置

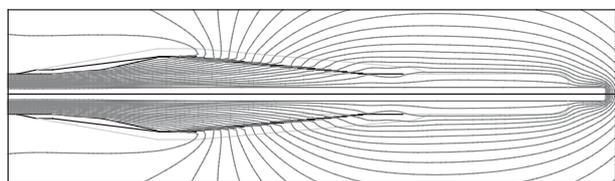


図7 電界解析結果 (気中側)

6. 試験結果

IEC 60137 および JEC-2200 に準拠した電気試験を行い、要求性能を十分満足する性能を有することを確認した。表3に本製品の電気試験の結果を示す。また、図8に終端接続部内の構造、図9に商用周波耐電圧試験の状況を示す。

表3 電気試験結果

項目	試験条件	試験結果
商用周波部分放電試験	220 kV 5 pC 以下	良
商用周波耐電圧試験	325 kV 1 時間	良
雷インパルス耐電圧試験	±650 kV・各 15 回 ±700 kV・各 15 回 ±750 kV・各 15 回	良
雷インパルス破壊試験	正極	915 kV (気中閃絡)
	負極	870 kV (気中閃絡)



図9 商用周波耐電圧試験

7. 変圧器の部分放電試験への適用

154 kV スマート終端接続部は、終端接続部外面に縁切り部を有している。縁切り部は本来、ケーブル遮へい層と変圧器筐体の接地を分割し、ケーブルの両端接地による循環電流の発生を抑えるためのものであるが、本縁切り部を利用することでブッシングの接地層を試験用端子として運用することが可能で、当該ブッシングのコンデンサ部を利用することで結合コンデンサ無しで変圧器の部分放電試験が可能である (図10)。

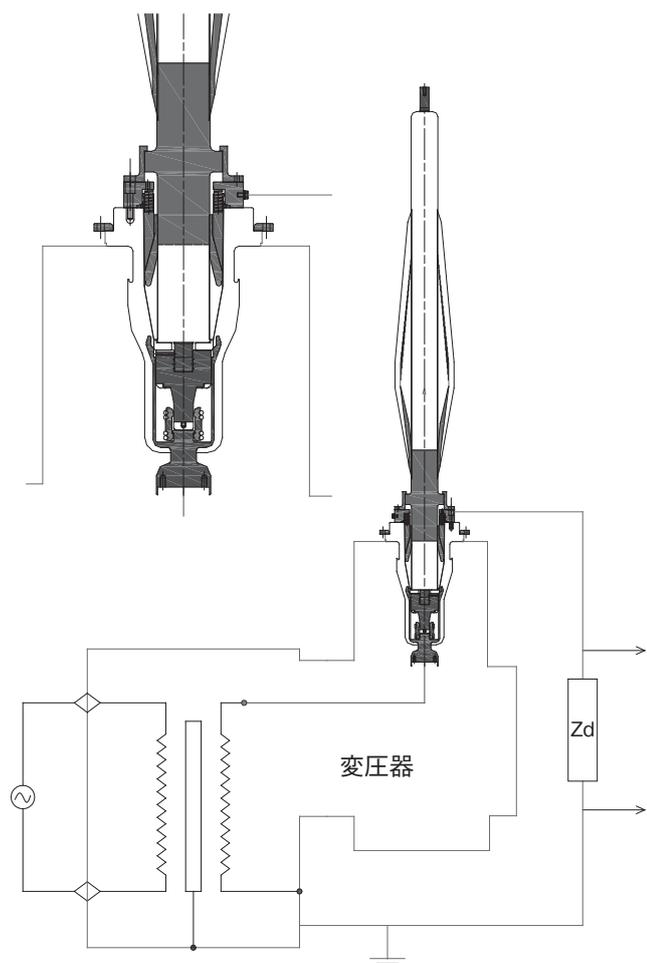


図 10 変圧器の試験形態

8. あとがき

今回、154 kV スマート終端接続部に接続可能な試験用プラグインブッシングを開発した。機器の耐電圧試験の際は、終端接続部に試験用ブッシングを挿入するだけで試験が実施可能となるため、接続作業が簡便となる。

今後は他製品への本技術の展開を図り、機器の耐電圧試験作業の省スペース化および簡略化に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 高安, 瀬間: 「IEC 規格準拠 123/170 kV スマート終端接続部の開発」平成 19 年電気学会, 電力・エネルギー部門大会, No.129 (2007)
- 2) 草野, 松尾他: 「高電圧 OF ケーブル用ブッシングに対するコンデンサ方式の適用」昭和電線レビュー, Vol.12, No.2 (1962)

昭和電線ケーブルシステム(株)
今西 晋 (いまにし しん)
エネルギーシステムユニット
電力機器部 技術課 主査
電力ケーブル付属品の開発・設計に従事

昭和電線ホールディングス(株)
瀬間 信幸 (せま のぶゆき)
技術企画室 次長
新製品および新事業のための企画業務に従事

特変電工昭和 (山東) 電線附件有限公司
住本 勉 (すみもと つとむ)
電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事
(2013 年 12 月まで 昭和電線ケーブルシステム(株)
エネルギーシステムユニット 電力機器部 技術課所属)

昭和電線ケーブルシステム(株)
荻島 みゆき (おぎしま みゆき)
エネルギーシステムユニット
電力機器部 技術課 主査
電力ケーブル付属品の開発・設計に従事

(株)エクシム
林 克之 (はやし かつゆき)
電力事業本部
研究開発センター 開発 2G 課長
電力ケーブル付属品の開発に従事

低風圧・自励振動抑制型光ドロップケーブルの開発

Development of Low Wind Pressure and Self-excited Vibration Suppressive Optical Drop Cable

田邊賢吾
Kengo TANABE

有田謙志
Kenji ARITA

吉原龍夫
Tatsuo YOSHIHARA

瀬戸昭博
Akihiro SETO

金子貴皇
Takao KANEKO

インターネットの普及に伴い光ドロップケーブルが大量敷設されるようになり、風圧荷重の低減や自励振動の抑制に関する要求が強くなっている。このような要求に対して、風圧低減効果と自励振動抑制効果に優れているSZねじれ構造を持つ光ドロップケーブルを開発した。SZねじれ構造を最適化するため、数値流体解析を用いて風圧特性を検討し、さらに施工性の一指針であるケーブル束取を検証することによってSZねじれ構造の反転角とピッチを決定した。開発したケーブルは、従来と同等のケーブル特性と施工性を持つことに加え、フィールド試験の結果から風圧による張力増加量を従来比39%低減することを確認した。

Recent years in Japan, with the growth of the Fiber To The Home, large amount of optical drop cable has been installed. The optical drop cable, which is one of the aerial cables, is strongly required with low wind pressure and low vibration structure. We have optimized the SZ-spiral inversion angle and spiral pitch by analysis of using computational fluid dynamics simulations, and study of cable bundle characteristics. From the field tests, it is shown that the SZ-spiral optical drop cable performs excellent aero-dynamic characteristics of reducing 39% tension increment due to the wind pressure. The cable also achieves the same cable characteristics and workability as conventional straight cable.

1. はじめに

近年、インターネットなどの通信サービスの普及に伴い、通信事業者から加入者宅までの全区間を光ファイバで結ぶFTTH (Fiber To The Home) が急速に拡大してきている。FTTHにおいて、加入者宅近傍の光配線網は電柱を用いた架空配線が一般的であり、電柱に架渉した配線ケーブルから光ドロップケーブルを用いて加入者宅に引き落とす方式が主に採用されている。

架空配線された光ドロップケーブルが横方向から風を受けると、ケーブルに風圧荷重が加わり、電柱をはじめとした構造物に過剰な負担を加えることがある。その場合、より高強度の電柱に建て替える必要が生じたり、電柱の径間長が短く制限されたりするなど敷設費用の上昇を招いてしまう。また、風が吹き続けることにより光ドロップケーブルが振動を生じ、且つ継続すると、ケーブルやそれを引き留める周辺部材が繰り返し応力を受け疲労破壊することがある。特に光ドロップケーブルはケーブル構造に起因したギャロッピングと呼ばれる自励振動が起り易く¹⁾、この疲労破壊を助

長する恐れがある。

一方で、過去の理論的な検討や数値解析および風洞実験の結果から、架空光ケーブルの風圧荷重を低減し自励振動を抑制するには、SZねじれ構造が最も優れていることが報告されている^{1, 2)}。

今回、数値流体解析とケーブル束取の検討により、SZねじれ構造の反転角とピッチの最適化を行い、風圧低減効果と自励振動抑制効果を持ったSZねじれ光ドロップケーブルを実用開発した。フィールド試験を含む各種性能を評価したので結果を報告する。

2. ケーブル構造

図1に今回検討したSZねじれ光ドロップケーブルの構造を示す。支持線部を回転軸としてケーブル部を長手方向に周期的に捻転させた構造となっている。ここで、所定の角度ごとにケーブル部が反転する角度を反転角、反転1周期分の長手方向の長さをピッチと呼ぶ。風圧特性と施工性はこれらふたつのパラメータによって決定されることから、数値流体解析の検討と施工性の一指針であるケーブル

束取の検証により最適化を行った。ケーブルの構造寸法については、従来光ドロップケーブルで使用している周辺部材と整合性を維持するため、従来ケーブルとほぼ同等とした。

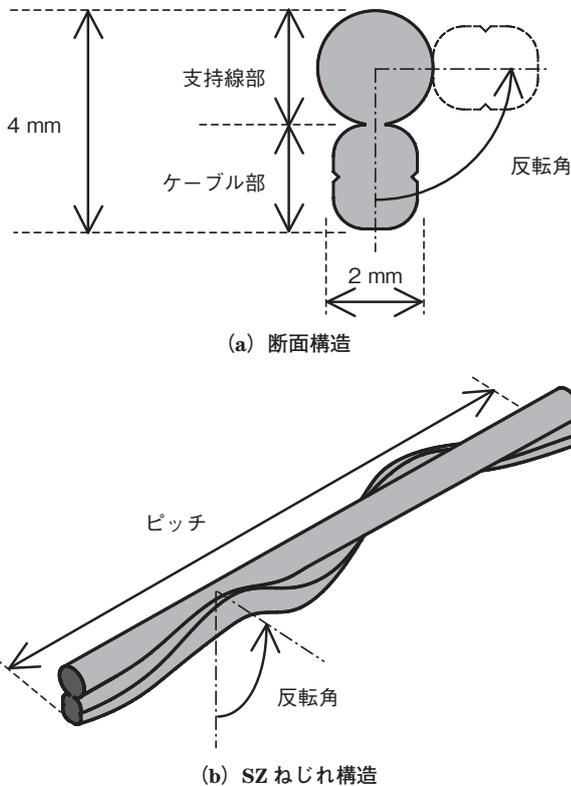


図1 SZねじれ光ドロップケーブルの構造

3. 数値流体解析

今回、多くのSZねじれモデルを検討する必要があるため、風圧特性の評価については数値流体解析を用いることとした。

3.1 風圧特性と評価指標

風圧の一般論と本稿における評価指標について簡単に説明する。

一般にケーブルが風を受けると受風面と背面に圧力差が生じ、これが風圧となる。図2に示すようにケーブルが風軸方向に受ける力を抗力 F_D (N)、風軸に垂直な方向の力を揚力 F_L (N) とすると、無次元化した値はそれぞれ次式で得られる。

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 dl}, \quad C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 dl} \quad (1)$$

ここで、 C_D 、 C_L 、 ρ 、 V 、 d 、 l をそれぞれ、抗力係数、揚力係数、空気密度 (kg/m^3)、風速 (m/sec)、ケーブル断面の代表長 (m)、ケーブル長さ (m) とした。無次元数であるこれら係数は、風軸方向とケーブル断面軸とのなす角度 (迎角 β) に依存し、数値流体解析を用いることによって求めた。数値流体解析では風軸方向に対して解析モデルを回転させることにより、迎角分布 $0 \sim 360^\circ$ の範囲を求めた。このとき、

すべての迎角分布において抗力係数 C_D が最大となる値をケーブルの風圧荷重の指標とした。ケーブル構造を最適化するために抗力係数の最大値が小さくなるようにした。

また、風圧によって生じる自励振動については次式に示す Den Hartog 判別式³⁾を用いた。

$$S = C_D + \frac{\partial C_L}{\partial \beta} \quad (2)$$

この判別式では $S < 0$ となることが自励振動の発現する条件となる。つまり、すべての迎角分布において $S > 0$ となる場合、自励振動を発現しない抑制効果に優れたケーブル構造となる。

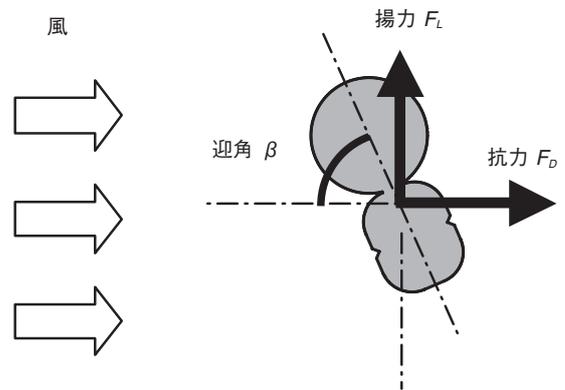


図2 ケーブル断面と風圧荷重

3.2 解析概要

今回行った数値流体解析の概要を表1に示す。乱流モデルについては、レイノルズ平均ナビエストークス (Reynolds Averaged Navier-stokes equation) 方程式に基づく標準 $k-\epsilon$ モデルを適用した。

表1 数値流体解析概要

解析ソフト	FLUENT (ANSYS社)
解析概要	非圧縮性流体の定常解析
空気密度	1.225 kg/m^3
流入条件	40 m/sec の一様流
流出条件	外部圧力 = 0

3.3 解析結果① 〈剛体モデル〉

まず、SZねじれ構造のケーブルと従来のストレート構造のケーブルの風圧特性を、剛体モデルを使って比較した。SZねじれ構造は、反転1周期分をひとつのモデルとして考えた。反転角が $\pm 90^\circ$ 、ピッチが2 mのSZねじれ構造のケーブルと従来のストレート構造のケーブルについて、抗力係数 C_D および判別値 S の迎角との関係について解析した結果を図3および図4に示す。

図3より、従来のストレート構造は抗力係数 C_D の最大値が1.6であるのに対し、SZねじれ構造はすべての迎角分布で1未満となる。図4より、従来のストレート構造は判別値 S が負となる迎角が存在するのに対し、SZねじれ構造はすべての迎角分布で0.8以上となる。このように、SZ

ねじれ構造は、従来のストレート構造と比較して抗力係数 C_D の最大値は小さく、判別値 S の最小値は大きくなり、且つ安定する。つまり、従来構造よりもSZねじれ構造のケーブルは風圧低減効果と自励振動抑制効果を持つことになる。

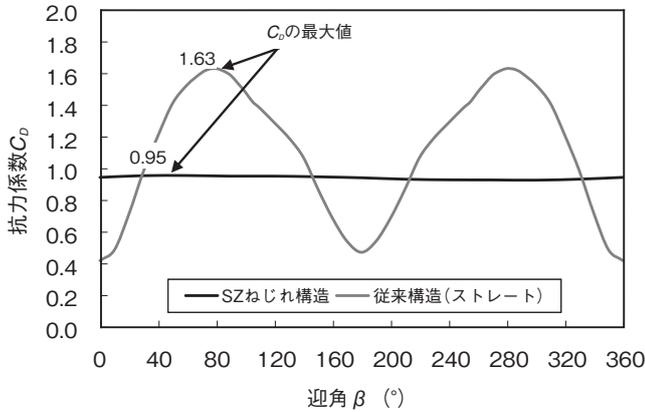


図3 迎角 β - 抗力係数 C_D の関係

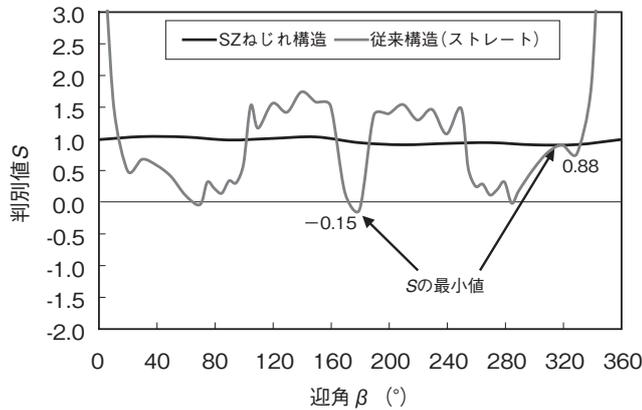


図4 迎角 β - 判別値 S の関係

異なる代表的な反転角についても同様の解析を行い、すべての迎角分布における抗力係数 C_D の最大値と判別値 S の最小値をそれぞれ求めた。結果を表2に示す。反転角が $\pm 90^\circ$ 以上のSZねじれ構造は従来のストレート構造と比較して抗力係数の最大値が70%以下となる。つまり、風圧荷重を従来比30%以上低減する効果があることがわかる。また、判別値 S の最小値は常に0.6以上であり、自励振動の抑制に対しても安定して優れていることがわかる。

なお、本解析においてSZねじれ構造のピッチと抗力係数 C_D および判別値 S との関係性を調べたが、有意な依存性は確認できなかった。

表2 抗力係数 C_D と判別値 S

反転角 ($^\circ$)	抗力係数 C_D の最大値	判別値 S の最小値
$\pm 0^\circ$	1.63	-0.15
$\pm 45^\circ$	1.29	0.08
$\pm 90^\circ$	0.95	0.88
$\pm 135^\circ$	1.05	0.64
$\pm 360^\circ$	0.97	0.95

*従来構造 (ストレート)

3.4 解析結果② (多体系モデル)

次に図5に示すような、ケーブルが風圧によって弦のように振動した場合の自励振動について考える。多体系モデルを使ってケーブルを軸方向に微小領域に分割していき、 i 番目の位置における振動変位をモード関数 ${}^n\phi_i$ で表すと、以下のようになる。

$${}^n\phi_i = \sin\left(n\pi\frac{\Delta xi}{L}\right) \quad (3)$$

ここで、 n 、 Δx 、 L をそれぞれ、振動モード数、分割長さ (m)、固定端長さ (m) とした。この変位の影響を考慮した自励振動の判別式は以下のようになる。

$$D = \frac{\sum_i {}^n\phi_i^2 S_i}{\sum_i {}^n\phi_i^2} \quad (4)$$

ここで、 S_i は i 番目の位置における (2) 式の判別値である。各微小領域はそれぞれ数値流体解析を用いて求めた。Den Hartog判別式 (2) 式と同様に、すべての迎角分布において判別値 $D > 0$ となる場合、自励振動を発生しない条件となる。このことから、 $D > 0$ となるケーブル構造が自励振動抑制効果に優れていると判断した。なお、振動モード数は実用的な範囲で $n = 1, 2, 3$ とした。

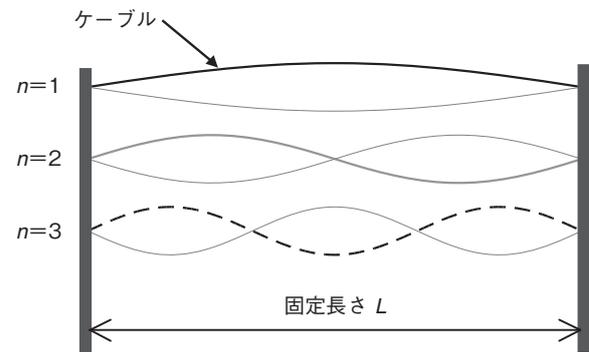


図5 ケーブルの振動モード

SZねじれ構造の反転角が $\pm 90^\circ$ 、ピッチが2 mのとき、固定端長さ L と最小判別値 D_{min} との関係を図6に示す。ここで、最小判別値 D_{min} とはすべての迎角分布における判別値 D の最小値である。

図6より、振動モード数 $n=1$ では固定端長さ L が1.8 m以下の領域で最小判別値 D_{min} が負となる。 $n=2$ では固定端長さ L が2.4 m以下で、 $n=3$ では3.6 m以下の領域で D_{min} が負となる。一方、固定端長さ L が大きい領域では最小判別値 D_{min} は、どの振動モードでも常に正の値で一定に収束していく。

このような現象は次のように説明できる。SZねじれ構造のケーブルは、剛体モデルでも示したように少なくとも反転1周期で自励振動抑制効果がある。しかし、このような弦振動を考慮すると、振動の腹の位置にあたる微小領域、つまり振動変位 ${}^n\phi_i$ が大きい微小領域の判別値 S_i が支配的

になってくる。そのため、ある微小領域の判別値 S_i が正であっても、振動の腹付近の判別値 S_i が負であれば、結果として全体の判別値 D は負となる場合が生じる。振動モード $n=1$ でみれば、ケーブル軸方向で $L/2$ 付近の判別値 S_i が重要ということになる。反転角が $\pm 90^\circ$ の場合は、弦振動の節と節の間隔がSZねじれのピッチより短くなると、最小判別値 D_{min} が負となる固定端長さ L が生じてしまう。

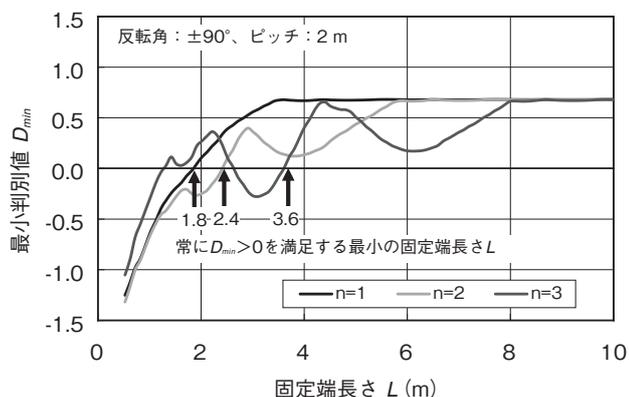


図6 固定端長さ L - 最小判別値 D_{min} の関係

異なるピッチについても同様の解析を行い (反転角は $\pm 90^\circ$)、常に最小判別値 $D_{min} > 0$ を満足するような最小の固定端長さ L を求めた。結果を表3に示す。表3の結果から、SZねじれ構造のピッチが大きくなると、常に自励振動を発生しない最小の固定端長さ L も大きくなるのがわかる。このとき、固定端長さ L は光ドロップケーブルの布設径間長 (スパン長) とみなせるので、最小のスパン長を4mと想定すると、ピッチは2m以下に設計しなければならないことがわかる。

表3 ピッチと固定端長さ L

ピッチ (m)	常に $D_{min} > 0$ を満足する 最小の固定端長さ L (m)		
	$n=1$	$n=2$	$n=3$
1	0.7	0.9	1.5
2	1.8	2.4	3.6
4	3.6	3.9	6.1
8	7.3	7.8	12.3

4. ケーブル束取

従来のストレート構造の光ドロップケーブルの施工方法を変えることなくSZねじれ光ドロップケーブルを取扱うには、従来ケーブルと同様なケーブル束形状 (図7) にすることが求められる。従来ケーブルの束形状は層状にケーブルを整列巻きして結束している。一方、SZねじれ構造の場合、ケーブルを整列巻きする際にねじれをストレート形状に変形させる必要がある。また、ケーブルを束から繰り出す際にはSZねじれの状態に戻す必要があるため、変形は材料の弾性域内で行わなければならない。実際に種々のSZねじれ光ドロップケーブルを製作しながら

検証を行った。

表4に代表的な反転角についてケーブル束取の良否について検証した結果を示す。ケーブル束取の良否は、(a) 整列巻きが可能かどうか (b) 束部に落ち込みが生じていないか (c) 束部にねじれが生じていないか (d) 束から繰出し後にケーブルに異常が生じていないか、で判断した。また、このとき、ケーブルの取回し性についても、8の字取りが可能かどうか調べた。

表4の結果からわかるように、単位長さ当たりのねじれ量が増えると変形への反発力が強くなり、整列巻きが悪くなる結果となった。また、反転角の大きいサンプルにおいては繰り出し後のケーブルの取回し性が悪く、施工しにくくなるという影響が懸念された。

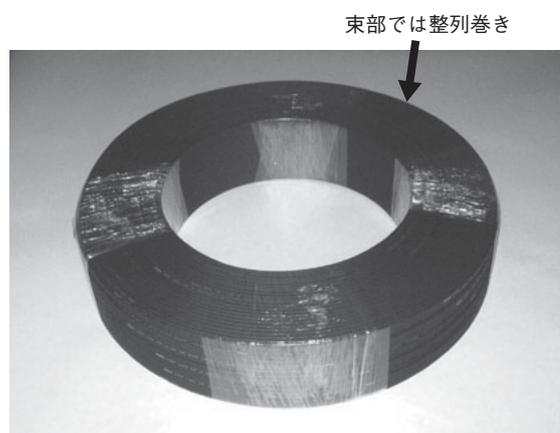


図7 ケーブル束形状

表4 ケーブル束取の検討

反転角 ($^\circ$)	ピッチ (m)	ケーブル束取 良否	取回し性 (8の字取り)
± 45	2	○	○
± 90	2	○	○
± 135	2	$\Delta \sim \circ$	○
± 360	2	×	×

5. 開発ケーブル性能

以上の検討から、風圧特性と施工性に最適なSZねじれ構造を実現するため、反転角を $\pm 90^\circ$ 、ピッチを2mに決定し、

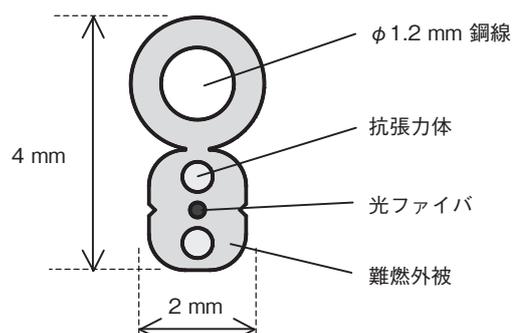


図8 開発ケーブル断面構造

新たにSZねじれ光ドロップケーブルを開発した。図8に開発ケーブルの断面構造を示す。

5.1 ケーブル特性

表5に開発ケーブルの伝送特性、機械特性、温度特性等を評価した結果を示す。

各評価項目において、良好な特性が得られ、従来ケーブルと同等の性能を有することを確認した。

表5 ケーブル特性評価の結果

項目	試験条件*	結果
伝送損失	OTDR	0.25 dB/km以下
曲げ特性	R=15 mm, ±180°, 10 cyc	0.01 dB以下
側圧特性	1200 N/25 mm	0.01 dB以下
衝撃特性	φ20 mm, 300 g, 1 m	0.01 dB以下
捻回特性	10 N, ±90°/m	0.01 dB以下
しごき特性	200 N, R=60 mm, 90°	0.01 dB以下
温度特性	-30 ~ +70°C /cyc, 3 cyc	最大損失変動 0.1 dB/km以下
燃焼特性	JIS C 3005 (傾斜)	自己消炎

*測定波長：1.55 μm

5.2 施工性

施工性を検証するため、実際に開発ケーブルと従来ケーブルをケーブルリールから繰り出し、径間長40mで架渉するまでの時間について測定した。表6に評価結果を示す。作業時間の値は従来ケーブルを1としたときの相対値で示す。

開発ケーブルは従来ケーブルと同等の作業時間で施工が可能であることを確認した。

表6 施工性の評価結果

	従来ケーブル	開発ケーブル
作業時間 (相対値)	1.00	1.01

5.3 フィールド試験

開発ケーブルのフィールドにおける風圧特性を検証するため、海岸から約1kmの地点に従来ケーブルと開発ケーブルを架渉し、ケーブルの水平張力を測定した(図9)。このとき、自励振動の発生有無についても目視により確認した。

表7に風速17 m/sec時の評価結果を示す。表中、水平張力の増加量は、無風時から強風時までの張力の変化量を

ケーブル断面の代表長で除したものであり、従来ケーブルを1としたときの相対値で示す。

この結果から、開発ケーブルは従来ケーブルと比較して水平張力の増加量を39%低減する効果があることがわかる。自励振動についてはいずれのケーブルにおいても最大振動振幅に大きな変化がみられず、検証には至らなかった。

表7 フィールド試験結果

	水平張力の増加量 (相対値)	自励振動
従来ケーブル	1.00	発生なし
開発ケーブル	0.61	発生なし

6. まとめ

風圧低減効果と自励振動抑制効果を持ったSZねじれ光ドロップケーブルを新たに開発した。フィールド試験の結果から、開発ケーブルは風圧による張力増加量を39%低減する効果があることを実証した。また、開発ケーブルは従来ケーブルと遜色ない一般特性を持っていることを確認した。

本SZねじれ光ドロップケーブルは従来ケーブルとほぼ同等の製造工程および装置によって製造することが可能であり、FTTH普及促進の一助となることが期待される。

参考文献

- 1) 松尾, 山下, 大島:「光ケーブルにおける低風圧・自励振動抑制形状の検討」, 電子情報通信学会技術研究報告, OCS, Vol.110 No.176 P63-68 (2010)
- 2) 松尾, 榊原, 川嶋, 中村, 岡田, 寺村:「架空光ケーブルにおける低風圧・風圧振動抑制形状の検討」, 電子情報通信学会技術研究報告, OCS, Vol.108 No.309 P63-66 (2008)
- 3) Den Hartog: "Mechanical Vibration", McGraw-Hill (1934)

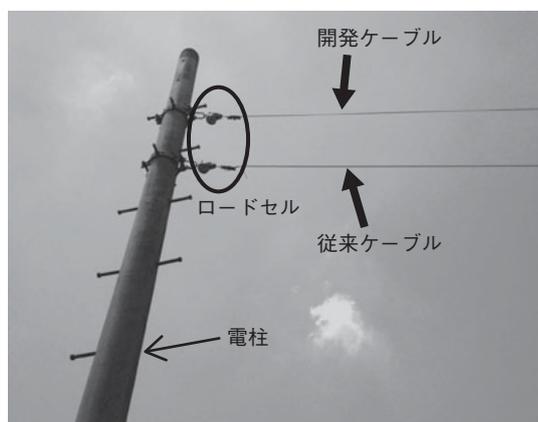


図9 フィールド試験実施状況

昭和電線ケーブルシステム(株)

田邊 賢吾 (たなべ けんご)

通信システムユニット 技術開発部 技術開発課 主査

通信ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

有田 謙志 (ありた けんじ)

通信システムユニット 技術開発部 技術開発課 主査

通信ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

吉原 龍夫 (よしはら たつお)

通信システムユニット 技術開発部 技術開発課 主査

通信ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

瀬戸 昭博 (せと あきひろ)

営業本部 通信システム営業部 通信営業 G 主査

通信ケーブルの設計・販売に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

金子 貴皇 (かねこ たかお)

通信システムユニット 技術開発部 技術開発課長

通信ケーブルの研究・開発に従事

錫プラグ入り積層ゴムアイソレータの健全性について

Soundness of Rubber Bearing with Tin Plug

開発美雪
Miyuki KAIHOTSU

柳 勝幸
Masayuki YANAGI

齊木健司*1
Kenji SAIKI

鈴木良二*1
Ryoji SUZUKI

安永 亮*2
Akira YASUNAGA

古橋 剛*3
Takeshi FURUHASHI

2011年東北地方太平洋沖地震時による免震建物の被害調査を行ったところ、一部の鉛ダンパーで亀裂等の損傷が確認された。これは中小地震や強風時などの微小変形の累積も一因であると報告されている。そこで本報では錫プラグ入り積層ゴム試験体に微小繰返し加振および大変形繰返し加振実験を実施し、耐久性能の確認を行った。その結果、錫プラグ入り積層ゴムは繰返し変形に対して耐久性を有していることを確認した。

In surveys on the damage of buildings caused by the 2011 Tohoku-Pacific Ocean earthquake, it was reported that damages such as cracks were detected in some of lead dampers used in seismically isolated buildings. After investigations of the damaged dampers in detail, it was confirmed that these cracks were generated by accumulation of small-amplitude loading of small earthquakes or strong winds. From this background, fatigue characteristics of the rubber bearing with tin plug (SnRB) under repeated small-amplitude were evaluated by cyclic loading tests of models. In conclusion, the durability of the SnRB under repeated shear loading of small amplitude was verified by the test results.

1. はじめに

錫プラグ入り積層ゴムアイソレータ（以下 SnRB）は積層ゴム部中央に錫プラグが挿入されており、地震時に積層ゴムの水平変形により錫プラグが塑性変形することによって、地震エネルギーを吸収し地震による建築物の揺れを抑える働きをする。錫は鉛とほぼ同等の性質を持つ金属であるが、切片荷重が鉛の1.7倍と高く、エネルギー吸収力が高いことが特徴である。また、環境に優しい材質として様々な工業製品に使用されている。

一般社団法人日本免震構造協会の調査によると、2011年東北地方太平洋沖地震による免震建築物の躯体への被害は少なく、免震効果が確認された。その一方で免震部材が多数回の地震を受け、一部のエネルギー吸収部材では亀裂等の損傷が確認されており、中小地震や強風時などの微小変形の累積も一因であると報告されている¹⁾。SnRBもエネルギー吸収部材であることから、同様な現象が生じていないか懸念されている。

そこで本報では、2項にて SnRB の微小振幅繰返し加振試験の影響の検討、3項にて既往実験に基づく繰返し変形

の影響の検討、4項にて鉛ダンパーの亀裂発生時・破断時の限界曲線との比較を行い、繰返し変形を受けた SnRB の健全性に関する検証結果を報告する。

2. 微小振幅繰返し加振試験

2.1 試験体の形状

微小振幅繰返し加振試験の試験体は SnRB1000（ゴム外径 $\phi 1000$ mm、錫プラグ径 $\phi 200$ mm）を想定実機とし、1/2にスケールダウンさせた SnRB500（ゴム外径 $\phi 500$ mm、錫プラグ径 $\phi 100$ mm）とした。試験体諸元を表1に示す。

試験時には熱電対を用いて錫プラグ頂部、錫プラグ中央部および雰囲気温度の計測を行った。図1に熱電対挿入箇所を示す。

表1 試験体諸元

項目	想定実機 SnRB1000	縮小試験体 SnRB500
せん断弾性率 G (N/mm ²)	0.39	0.39
ゴム外径 D (mm)	$\phi 1000$	$\phi 500$
錫プラグ径 d (mm)	$\phi 200$	$\phi 100$
ゴム層構成 tr (mm) × n (層)	7.5 × 26	3.75 × 26
S ₁ (*4) / S ₂ (*5)	32.0 / 5.1	32.0 / 5.1

$$*4: S_1 = \frac{D^2 - d^2}{4 \times t_r \times D}$$

$$*5: S_2 = \frac{D}{n \times t_r}$$

*1 株式会社 免制震デバイス

*2 住友金属鉱山シボレックス株式会社

*3 日本大学

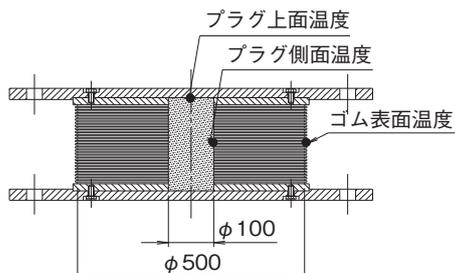


図1 温度測定箇所

2.2 試験条件

試験における加振条件を表2に示す。加振条件は既往の研究^{2), 3)}を参考とし、鉛ダンパー亀裂発生時・破断時の繰返し回数と振幅の関係より、振幅 ±2 mm における40万回以上の繰返し加振とした。これは想定実機で ±4 mm の振幅に相当する。微小振幅繰返し加振試験の前後で基本特性試験を行い、特性の変化を確認した。本試験では図2に示すように、同仕様のSnRB試験体2基(試験体No.1, No.2)を2段に取付け、ボルト固定した中央の2枚のフランジ端部をアクチュエータにより加力し、鉛直荷重はロードセルを介してジャッキにより载荷した

表2 加振条件

試験番号	せん断ひずみ% (水平変位 mm)	面圧 (N/mm ²)	振動数 (Hz)	サイクル数
1	±100 (±97.5)	15	0.0128	4
2	±2 (±2.0)	15	1.0	439200 (*6)
3	±100 (±97.5)	15	0.0128	4

* 6 : 9 回断続的に実施

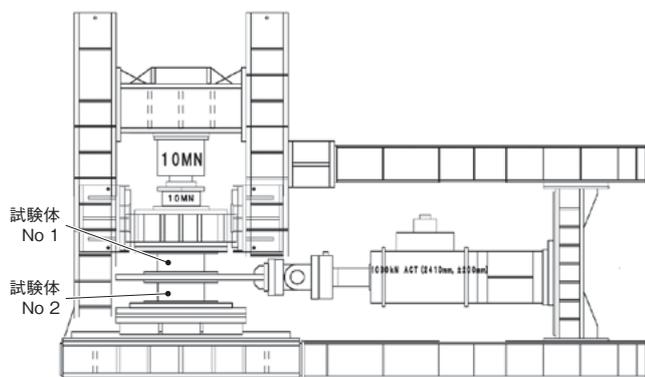


図2 試験機概要

2.3 試験結果

図3に微小振幅繰返し加振試験時の錫プラグの温度変化、図4に水平荷重-水平変位関係(履歴曲線)の一例を示す。繰返し加振試験中の錫プラグ近傍の温度上昇は、錫プラグ上面温度が5℃程度、錫プラグ側面温度が7℃程度で一定となり、履歴曲線の形状が安定していることを確認した。

図5は微小振幅繰返し加振試験前後に実施した基本特性試験の水平荷重-水平変位関係の比較を示す。表3には基本特性の特性値の比較を示す。微小振幅繰返し加振試験前後の基本特性試験において履歴曲線に大きな変化は見られない。また、切片荷重の変化も +1.8% とわずかであった。

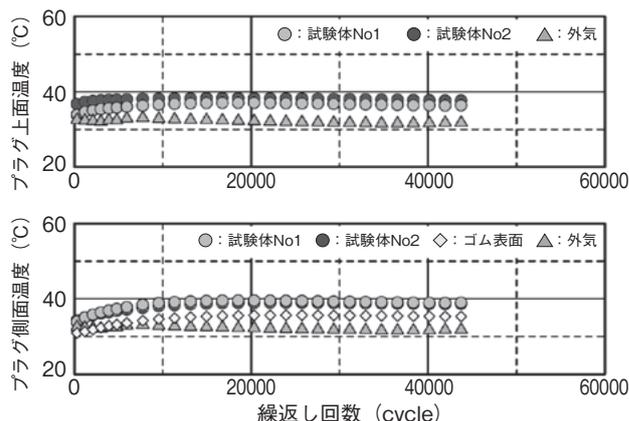


図3 熱電対の時刻歴(代表例)

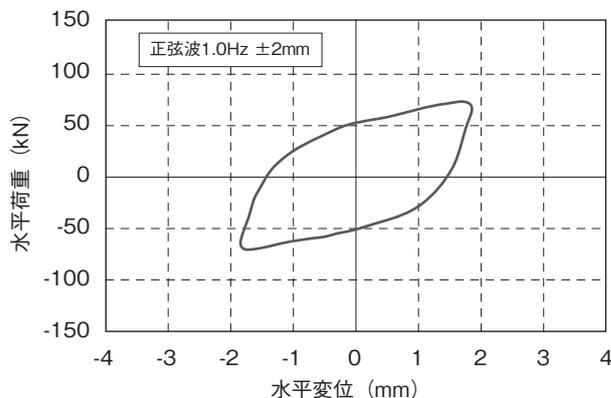


図4 微小振幅繰返し加振試験時の水平荷重-水平変位関係(代表例)

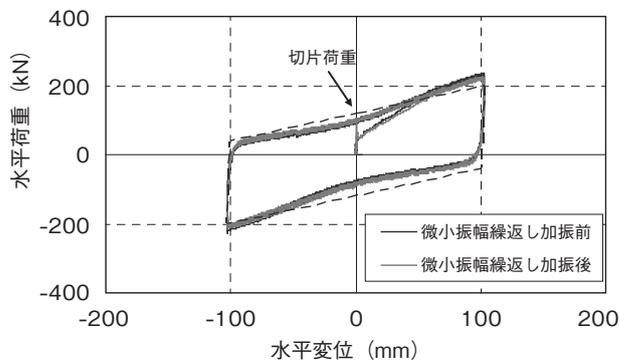


図5 微小振幅繰返し加振試験前後の水平荷重-水平変位関係(試験体No2)

表3 基本特性の比較

	微小振幅繰返し試験前	微小振幅繰返し試験後	変化率
二次剛性 (×10 ³ kN/m)	0.99	0.94	-4.7%
切片荷重*7 (kN)	125	127	+1.8%

* 7 : バイリニアモデルの荷重軸切片より算出

3. 既往試験に基づく繰返し加振の影響

3.1 試験体の形状

繰返し変形を受けたSnRBの健全性を確認するためにSnRB試験体に多数回の連続繰返し加振試験を実施した既

往の試験結果を取り上げて、加振内容や加振終了後の履歴特性の整理・分析を行った。

既往の研究にて SnRB の連続繰返し加振の評価を行った試験体を表 4 に示す。ゴム種は全て G0.39 N/mm² である。

3.2 試験条件

各試験体の試験条件を表 5 に示す。表 5 には、想定実機である SnRB1000 に換算した変位も合わせて示す。加振方法は全て一定振幅加振である。

3.3 試験結果

連続繰返し加振時の水平荷重－水平変位関係を図 6 に示す。各試験体とも繰返し回数が増すにつれて錫プラグの温度上昇の影響により切片荷重が低下する傾向を示した。しかし、履歴曲線の形状は試験終了時まで乱れることはなく、鉛直荷重支持能力を保持していることが確認できる。

図 7 に連続繰返し加振の実施前後に行った基本性能試験結果より得られた水平荷重－水平変位関係を示す。SnRB500, SnRB700, SnRB800 については実施前後での基本性能に変化は認められなかった。しかし、SnRB1200 についてはせん断ひずみ $\gamma = \pm 300\%$ の大変形の繰返しのため、他の試験体よりも切片荷重の低下が見られたが、1 日後には切片荷重が繰返し加振前に比べて約 83% まで回復していることを確認した。

表 4 試験体諸元 (既往試験)

項目	想定実機 SnRB1000	SnRB500	SnRB700	SnRB800	SnRB1200
ゴム外径 (mm)	$\phi 1000$	$\phi 500$	$\phi 700$	$\phi 800$	$\phi 1200$
錫プラグ径 (mm)	$\phi 200$	$\phi 100$	$\phi 140$	$\phi 160$	$\phi 240$
ゴム総厚 (mm)	7.5×26 =195.0	3.75×26 =97.5	5.3×26 =137.8	6.0×26 =156.0	9.0×22 =198.0
1 次形状係数 S ₁	32.0	32.0	31.7	32.0	32.0
2 次形状係数 S ₂	5.1	5.1	5.1	5.1	6.1

表 5 加振条件 (既往試験)

項目	SnRB500	SnRB700	SnRB800	SnRB1200
ゴム外径 (mm)	$\phi 500$	$\phi 700$	$\phi 800$	$\phi 1200$
面圧 (N/mm ²) (荷重 kN)	15 (2827)	15 (5542)	15 (7238)	15 (16286)
試験速度 (mm/s)	12.6	173	5	5
せん断ひずみ (%) (水平変位 mm)	± 2 (± 2)	± 100 (± 137)	± 250 (± 390)	± 300 (± 594)
$\phi 1000$ 換算変位 (mm)	± 4	± 195	± 488	± 585
繰返し回数	439200	100	50	20

4. 鉛ダンパーの限界曲線との比較

鉛ダンパーに関して、亀裂発生時・破断時の繰返し回数と振幅の関係が安永・高山²⁾らによって報告されている。SnRB の長周期地震動に対する健全性を考察するため、表 6 に示す SnRB 各試験体が受けた累積変位量を示す。図 8 にこれらの結果と鉛ダンパーの亀裂発生時・破断時の限界曲線との比較を示す。図 8 の縦軸の片振幅は想定実機である SnRB1000 に換算した値となっている。

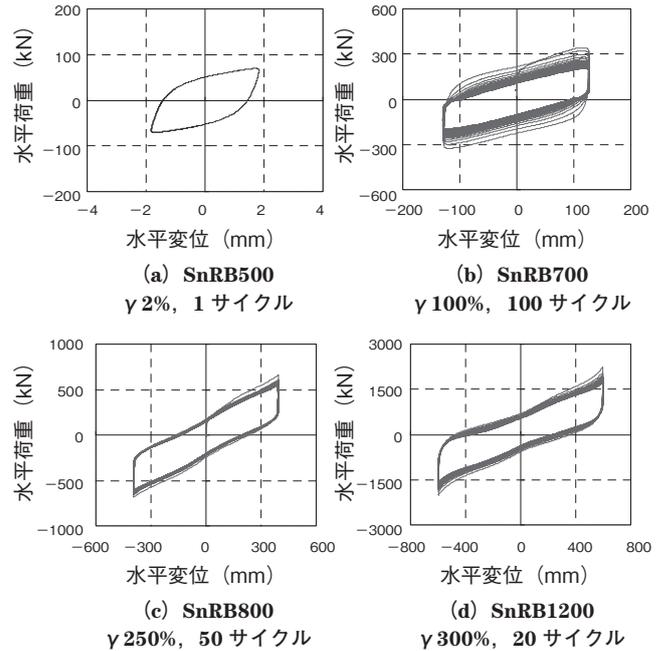


図 6 連続繰返し加振時の水平荷重－水平変位関係

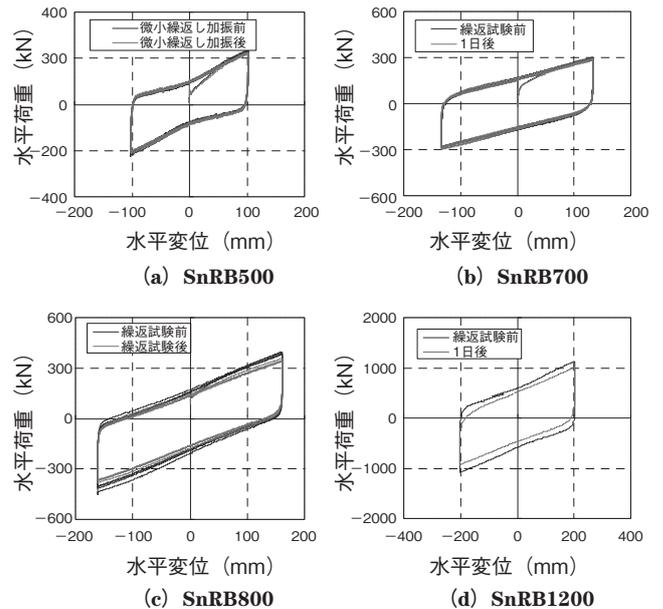


図 7 連続繰返し加振前後の水平荷重－水平変位関係

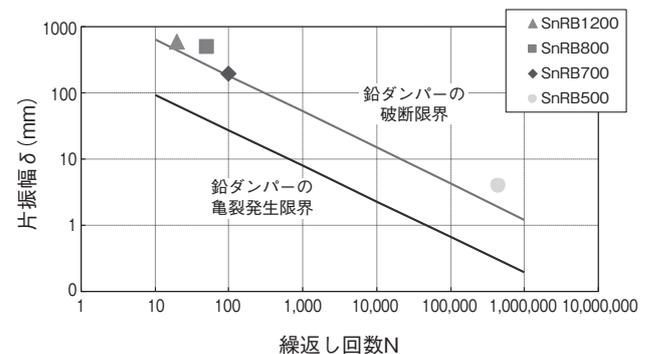


図 8 錫プラグ入り積層ゴムが受けた加振履歴の等価振幅と繰返し回数 (鉛ダンパーとの対比)

図8より全 SnRB 試験体はそれぞれの変位振幅において、鉛ダンパーの破断繰返し回数あるいはそれを上回る加振を受けたことがわかる。しかし、いずれの試験体も鉛ダンパーの破断限界以上の耐久性を有していることが確認された。

SnRB500 と SnBR800 については試験終了後に試験体を切断し内部損傷の有無を確かめた。図9に切断写真を示す。各試験体ともプラグの断面に亀裂等の損傷は見られなかった。

ム免震装置の開発（その17）繰返し変形を受けた錫プラグ入り積層ゴムの健全性」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, p.725-726 (2013)

表6 各試験体が受けた累積履歴量

項目	SnRB500	SnRB700	SnRB800	SnRB1200
ゴム外径 (mm)	φ500	φ700	φ800	φ1200
累積水平変位 (m)	3513	59	263	63
繰返し回数 (回)	439200	100	50	20
振幅 (%)	2	100	250	300
換算振幅 / 破断限界	2.1	1.1	1.8	1.3

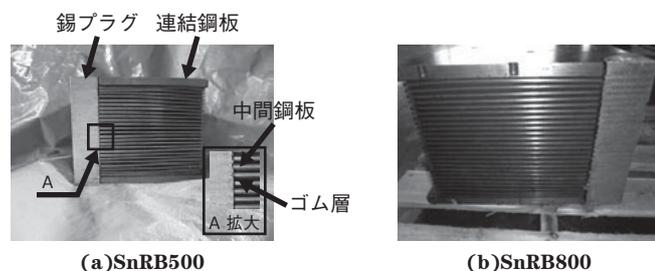


図9 試験終了後のプラグ断面

5. ま と め

本報では連続繰返し加振を受けた SnRB の健全性を検証した。その結果、切片荷重が低下するものの鉛直支持機能および復元ばね機能を十分保持している結果となった。

また、連続繰返し加振終了後に試験体を切断し、錫プラグの状態を確認したが、亀裂等の損傷は見られなかった。

以上より、SnRB は連続繰返し加振に対して、亀裂発生や力学的特性変化が生じにくいことが確認できた。

参 考 文 献

- 1) 応答制御建築物調査委員会報告書, (一社)日本免震構造協会 (2012)
- 2) 安永, 高山, 森田, 安藤: 「鉛ダンパーの風応答に関する研究 (その2) 微小変位での高サイクル疲労特性」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, p.289-290 (2010)
- 3) 宮崎, 河内山, 長弘, 竹中, 北村: 「繰返し変形を受けた鉛プラグ入り積層ゴムの健全性 (その2) 鉛プラグ入り積層ゴムの疲労特性試験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, p.391-392 (2012)
- 4) 齊木, 田中, 鈴木, 柳, 開発, 古橋: 「錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発 (その15) 微小振幅連続加振試験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, p.721-722 (2013)
- 5) 須藤, 古橋, 田中, 齊木, 鈴木, 柳, 開発: 「錫プラグ入り積層ゴ

昭和電線デバイステクノロジー(株)
開発 美雪 (かいほつ みゆき)
免制震制音ユニット 技術課
免震部材の開発および設計に従事

昭和電線デバイステクノロジー(株)
柳 勝幸 (やなぎ まさゆき)
免制震制音ユニット 技術課 主査
免震部材の開発および設計に従事

株式会社 免制震デバイス
齊木 健司 (さいき けんじ)
営業統括部 設計部長

株式会社 免制震デバイス
鈴木 良二 (すずき りょうじ)
技術統括部 技術センター

住友金属鉱山シボレックス株式会社
安永 亮 (やすなが あきら)
技術部

日本大学
古橋 剛 (ふるはし たけし)
博士 (工学)
理工学部建築学科 教授



太陽光発電システム用 直流 1500 V 架橋ポリエチレン絶縁 架橋ポリエチレンシースケーブル (DC1500V PV-CC, PV-CCD)

DC1500 V XLPE Insulated, XLPE Sheathed Cable for Photovoltaic Generation System

1. 概要

自然エネルギーを利用したクリーンなエネルギー源として太陽光発電が注目されており、2012年7月から施行された再生可能エネルギーの固定価格買取制度により、国内の太陽光発電関連製品の需要は急速に伸びている。

太陽光発電による発電量は家庭用の5kW未満のものから産業用の1MWを超えるメガソーラー発電までおよぶ。特に10MWクラスの大規模発電では、発電の効率化や設備投資額の圧縮により、従来の低圧システム(DC750V以下)から海外で一般的な1000Vシステムへの要求が増加してきた。

当社ではこのようなお客様の要求を受けて、DC1500V PV-CC, PV-CCD(単心2個より)をリリースした。

2. 用途

本製品は産業用の太陽光発電システムに適用するケーブルで、1500V以下のシステムの全ての直流配線(図1の◀直流部)に使用可能である。

【使用箇所】

- ・ 太陽電池モジュール間
- ・ 太陽電池アレイ-接続箱間
- ・ 接続箱-集電箱間
- ・ 集電箱-パワーコンディショナー間

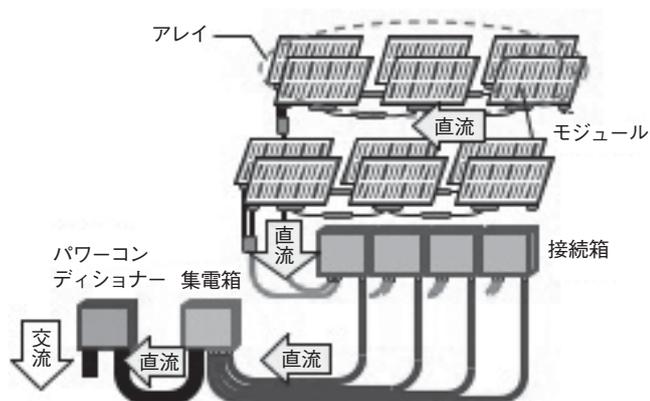


図1 太陽光発電システム

3. 特長

- (1) 適用規格 電気設備技術基準解釈 第46条
- (2) 導体サイズ 2 mm² ~ 38 mm²
- (3) 使用温度 -40 ~ 90°C
- (4) 難燃性 JIS C 3665-1-2 一条垂直燃焼試験に適合
- (5) 環境性 RoHS 指令適合, ハロゲンフリー
- (6) 施工性 金属遮へい層がなく, 施工性良好
- (7) 認証 S-JET 認証取得



図2 太陽光発電システム用 PV-CC

表1 DC1500V PV-CC 構造例

導体断面積	mm ²	2	38
導体構成	本/mm	7/0.6	7/2.6
導体外径(参考)	mm	1.8	7.8
絶縁体厚さ	mm	0.7	0.9
シース厚さ	mm	1.1	1.3
仕上外径(約)	mm	5.7	12.5
概算質量(約)	kg/km	46	435

問合せ先: 〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)
昭和電線ケーブルシステム(株)
電機産業システム営業部 電機システム機器グループ
電話(03)5404-6967 FAX(03)3436-2583



太陽光発電用接続箱 (DC1000 V 仕様)

Combiner Box for Solar Photovoltaics (At DC1000 V)

1. 概要

太陽光発電は、光エネルギーを太陽電池アレイを用いて直接電力に変換する発電方式（ソーラー発電とも呼ぶ）であり、再生可能エネルギーである太陽エネルギーの利用方法の一つである。

2009年11月余剰電力買取制度（固定価格買取制度）と国・自治体の各種助成策が実施されており、更に2012年から公共・産業向け設備への全量買取制度が導入されたことから、一般企業・自治体が売電用または自家発電用に太陽光発電設備を導入する事例が増加している。

当社では、これまでに産業用の太陽光発電システムに汎用ケーブル及び電力機器を納入した実績をもとに、発電した電力を集めるDC1000 V仕様の接続箱をラインアップした。

DC1000 V仕様のシステムは、発電時の各部の導通損失を減らし発電効率を高めることができ、また、出力2 MW未満の発電所は電力会社との系統連系区分が高压連系でよいことから、現在主流になっている。

2. 用途

システム電圧DC1000 Vに対応する産業用の太陽光発電システムに適用する。太陽電池アレイで発電された直流電力を接続箱に集め、パワーコンディショナーに送ることを役割としている。接続箱には太陽電池アレイ故障時の波及範囲の極少化や保守・点検時に回路を分離し作業を容易にするため、断路器、避雷器（SPD）、逆流防止ダイオードなどを搭載している。

3. 特長

- ・ DC1000 V に対応
- ・ 優れた防塵・防水性（IP55）
- ・ 雷サージ対策：SPD（クラスII）
- ・ 入力毎に断路機能付きヒューズスイッチ、逆流防止ダイオードを採用し、安全性向上
- ・ 耐塩害仕様にも対応可能

本製品の仕様を表1に示す。

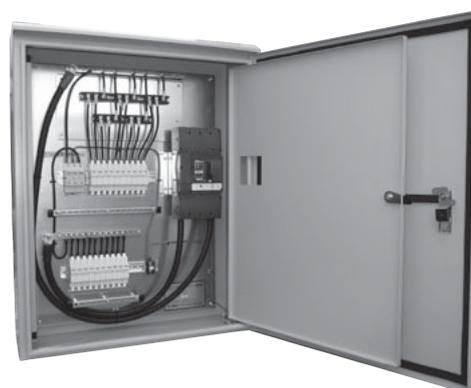


図1 外観（製品内部）

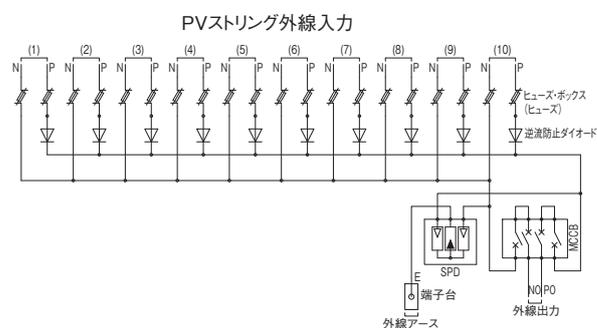


図2 回路図

表1 製品仕様

最大入力電圧	DC 1000 V
入力回路数	10,11,12 回路
入力定格電流	9 A/1 回路
出力回路数	1 回路
出力定格電流	90,99,108 A/1 回路
寸法	W700 mm × H900 mm × D250 mm
製品質量（概算）	70 kg
材質	スチール製
塗装色	ベージュ（マンセル 5Y7/1）

問合せ先：〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1（城山トラストタワー）
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 電機産業システム営業部 電機システム機器グループ
 電話(03)5404-6967 FAX(03)3436-2583



環境配慮型耐燃性架橋ポリエチレン絶縁電線 (1500 V EM-TNC)

Environmentally Considerate Grade Fire-resistant XLPE Insulated Wire

1. 概要

機器内の配線及び電気機器の口出線として、可とう性、口出し作業性が良い電線が望まれている。

現在では、太陽光発電（メガソーラー）の建設が多く進んでおり、電気エネルギーを効率よく送電することから、1000 V 級の機器内配線が必要となっている。また、鉄道関連では、都市部の鉄道は 1500 V 給電がおこなわれており、同じく 1500 V 用の機器内配線が必要となっている。当社では、これらに使用できる可とう性、口出し作業性に優れた、なおかつ JRIS（日本鉄道車輛工業会規格）に適合した環境配慮型の絶縁電線 1500 V EM-TNC をラインナップした。

2. 用途

可とう性が良好であるため、主として各種機器内の配線及び電気機器などの口出しに用いる。

また、JRIS（日本鉄道車輛工業会規格）適合品であるため、鉄道車輛の配線及び電気機器にも使用可能である。（製品に JRIS 適合を示す“HFWL2”を印字）

電線断面図を図 1 に示す。

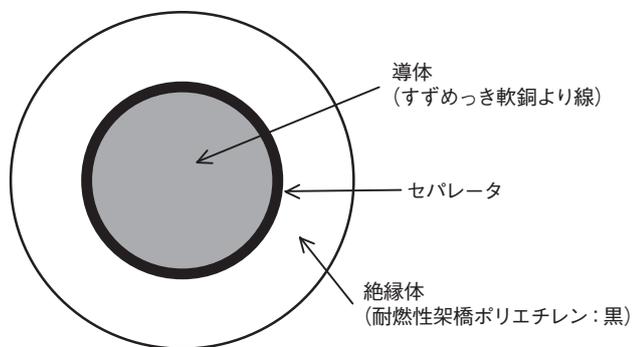


図 1 1500 V EM-TNC 断面図

3. 特長

本製品の特長は以下の通りである。

- (1) 環境配慮型の製品でなおかつ、難燃性を有している。
 - ・ RoHS 指令対応品であり、また、燃焼時に有害なダイオキシンやハロゲン系ガスを発生せず、発煙量を低く抑えられる。
 - ・ 難燃性に優れている
 - JRIS J 1000 に規定されている耐燃焼性において“難燃性”以上に区分される材料を用いている。
 - (2) 絶縁電線構造であり、遮へい層がないため、可とう性に優れている。
 - (3) JRIS 規格適合製品であり、鉄道車両にも使用可能である。
 - ・ JRIS J 1001
 鉄道車両－架橋ポリエチレン電線（WL2）
 - ・ JRIS J 1041
 鉄道車両－ハロゲンフリー電線（HFWL2）
- 本製品の特性を表 1 に示す。

表 1 特性一覧表

環境配慮型	RoHS 指令対応 ハロゲンフリー
可とう性	最小曲げ半径：4D*
端末作業性	良好
難燃性（JRIS 規格）	難燃性以上

* D：仕上外径

問合せ先：〒 105-6012 東京都港区虎ノ門 4-3-1 (城山トラストタワー)
昭和電線ケーブルシステム(株)
産業電線営業部 第 1 営業グループ
電話 (03) 5404-6972 FAX (03) 3436-2592



アース線付 600 V ビニル絶縁ビニルシースケーブル VVF(G)

600 V Polyvinyl Chloride Insulated and Sheathed Cables with Grounding Wire

1. 概要

近年、オール電化の普及により、IH クッキングヒーターや電気温水器等の 200 V 回路を中心にアース線付 VVF (600 V ビニル絶縁ビニルシースケーブル) の需要が増えてきている。こうした背景を受け日本電線工業会規格 JCS 4519 「アース線付 600 V ビニル絶縁ビニルシースケーブル」として製品規格も制定された。統一規格が制定されたことで、各社各様であったアース線付 VVF の仕様が明確となり、顧客が採用しやすいケーブルとなった。今後、更にオール電化の普及が増えると考えられるため、市場ニーズに応えるため、アース線付 VVF を製品化した。

2. 用途

IH クッキングヒーターや電気温水器等の 200 V 回路の屋内配線。

3. 特長

- (1) JCS 4519 適合品
- (2) ケーブル表面に施したグリーンラインにより、アース線の位置を特定できる
- (3) 鉛化合物を含まない RoHS 対応ケーブル
- (4) 従来の VVF ケーブルに比べ軽量化が図れる
- (5) アース線を必要とする工事に適している
- (6) 従来のワイヤーストリッパーでシースの皮剥ぎが可能

従来、アース線を必要とする配線には 3×2.0 mm の黒白緑識別のケーブルが使用されていた。3×2.0 mm は一把が

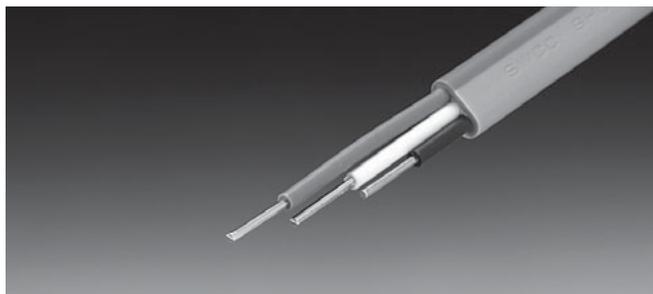


図1 ケーブル外観

約 18 kg と重く、配線を行うにはやや使いづらいケーブルであった。今回、製品化したアース線付 VVF は電力線が 2.0 mm、アース線が 1.6 mm のケーブルである。1.6 mm にサイズダウンしたことにより質量を約 15 kg と軽くすることができた。また、アース線上部にグリーンラインを施すことでアース線の位置を特定しやすくし、工事の省力化ができる。

VVF ケーブルの皮剥ぎには専用のワイヤーストリッパーが市販されており、そのワイヤーストリッパーに対応できる形状にすることで、特別な工具を必要とせず、従来どおりの工具で配線を行うことができる。

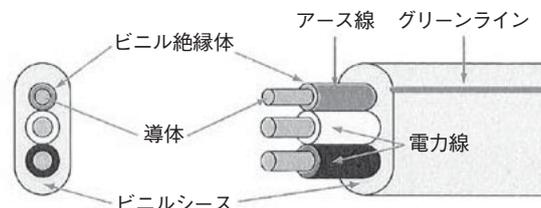


図2 ケーブル構造図

表1 仕様

線心数	導体径	仕上外径 (約) mm	概算 質量 kg/km
	mm		
3	2 (電力線)	6.6×13.5	150
	1 (アース線)		

表2 電気特性

線心数	導体抵抗 (電力線) (20°C) Ω/km	絶縁抵抗 (20°C) MΩkm	耐電圧
3	2 (電力線)	5.65	1500
	1 (アース線)	—	1500

問合せ先: 〒 105-6012 東京都港区虎ノ門 4-3-1 (城山トラストタワー)
昭和電線ケーブルシステム(株)
産業電線営業部 第2 営業グループ
電話 (03) 5404-6973 FAX (03) 3436-2592



高電圧対応耐熱高可とう性エナメル平角線

Heat Resistant Highly-flexible Rectangular Enamelled Wire for High Voltage Insulation

1. 概要

近年、電子機器、電気機器の省エネルギー化推進により、モータの小型軽量化、高効率化が求められる。それに伴いモータコイルに使用されるエナメル線にも下記の特性が要求されている。

効果	モータ	エナメル線
小型軽量化	高占積率化	導体の平角形状
	コイルエンド小型化	高密着, 高可とう性
高効率化	高トルク, 高出力化	高耐熱性
	システム電圧の増加	厚膜化

これらの要求に応えるべく、3層の皮膜構成にすることで全ての特性を網羅するエナメル線を開発した。

2. 用途

- (1) 巻線加工時、伸長および曲げが厳しいコイル類
- (2) EV・HEV 自動車用モータ

3. 特長

- (1) 密着性、可とう性、耐熱性に優れる皮膜構成
- (2) 厚膜化により部分放電、空間沿面放電が発生し難い

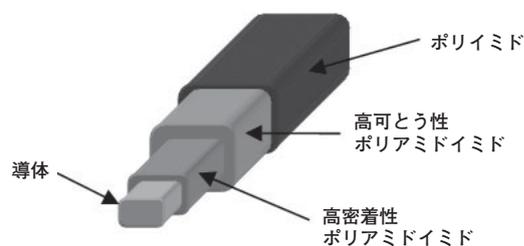


図1 構造

表1 特性例

		開発品	従来品
構造	下層	高密着性 ポリアミドイミド	ポリアミドイミド
	中層	耐熱高可とう性 ポリアミドイミド	
	上層	ポリイミド	
導体寸法 mm	厚さ	2.0	2.0
	幅	6.0	6.0
皮膜厚 ^{※1}		1.5 ~ 2.0 倍	1
絶縁破壊電圧 ^{※1}		2 ~ 2.5 倍	1
部分放電開始電圧 ^{※1}		1.5 ~ 2.0 倍	1
可とう性 ^{※2}		良	亀裂発生
密着性 ^{※3}			
N/mm		0.3 ~ 0.5	0.1 ~ 0.2
軟化温度 ℃		500 <	400

※1…従来品を1とした比
 ※2…30%伸長×6φEW90°曲げ
 ※3…皮膜と導体を180°剥離試験

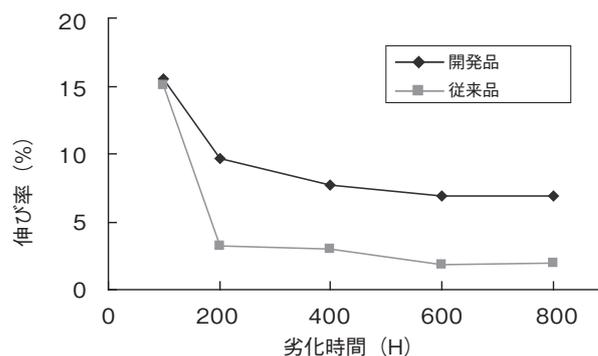


図2 220°C劣化後の皮膜伸び率

問合せ先：〒460-0003 名古屋市中区錦1-13-26

(名古屋伏見スクエアビル6F)

株式会社ユニマック 西日本営業グループ
 電話(052)219-8160 FAX(052)201-9556



極細平角銅線

Extra Fine Rectangular Copper Wire

1. 概要

(株)ユニマックではこれまで一般平角線（厚さ 0.80 mm 以上，幅 1.8 mm 以上，丸線相当径* ϕ 1.4 mm 以上）よりも断面積の小さい細物平角線（同 0.08 mm 以上，0.4 mm 以上， ϕ 0.45 mm 以上）を製造・販売してきた。

近年，スマートフォン・タブレット端末の高性能化に伴い，使用されるエナメル線も更に断面積の小さい平角線を採用する動きがあり，スマートフォン・タブレット端末の市場拡大に伴い需要が伸びることが予想された。

当社ではこの動きに対応すべく，丸線相当径が ϕ 0.08 ~ 0.30 mm，最小導体厚さ 0.020 mm の極細平角線を開発した。

*丸線相当径：平角線の断面積に相当する丸線の直径

2. 用途

スマートフォン，タブレット端末，デジタルカメラなどに使用されるインダクターコイル。

3. 特長

- ・丸線相当径 ϕ 0.08 ~ 0.30 mm，最小導体厚さ 0.020 mm の断面積の小さい平角線
- ・コーナ部，エッジ部にも十分な皮膜厚さを確保しており，電気絶縁性良好
- ・主絶縁として耐熱性・機械特性に優れたポリアミドイミド樹脂のほかに，耐熱ウレタン樹脂等のはんだ可能タイプの製造も可能であり，自己融着化も対応可能
- ・標準絶縁膜厚さ 0.005 mm に対し，一部サイズでは 0.010 ~ 0.015 mm の厚膜対応が可能

表 1 構造，特性例

項目	通常タイプ		厚膜タイプ	
	厚さ	幅	厚さ	幅
導体 mm	0.020	0.286	0.060	0.821
絶縁層厚さ mm	0.0050	0.0045	0.0100	0.0080
自己融着層厚さ mm	0.0025	0.0005	0.0020	0.0010
仕上寸法 mm	0.035	0.296	0.084	0.839
丸線相当径 mm	0.084		0.248	
ピンホール 個 / 5 m	0		0	
絶縁破壊電圧 kV	0.8		2.1	



図 1 断面写真

問合せ先：〒 460-0003 名古屋市中区錦 1-13-26

(名古屋伏見スクエアビル 6F)

株式会社ユニマック 西日本営業グループ

電話 (052) 219-8160 FAX (052) 201-9556



超細径高密度光ファイバケーブル

Ultra High Density Optical Fiber Cable

1. 概要

近年インターネットの普及に伴い、光ファイバを一般家庭に直接引き込んで高速通信サービスを実現するFTTH (Fiber To The Home) の需要が拡大しており、光ファイバケーブル配線網を経済的に構築することが求められている。効率的、経済的に光ファイバケーブル配線網を構築するためには、敷設作業時の牽引力や電柱への荷重負担を軽減することや、追加敷設の際に空きスペースが不足していても敷設できることが求められ、軽量化、細径化および高密度化の要求が高まっている。

当社では、隣接する単心光ファイバ心線が長手方向に間欠的に連結された間欠接着型光ファイバテープ心線を用いた、細径化・軽量化した光ケーブルを開発・製品化した。

2. 用途

FTTH 配線での使用。(図1)

- ・引上げケーブル
- ・架空ケーブル

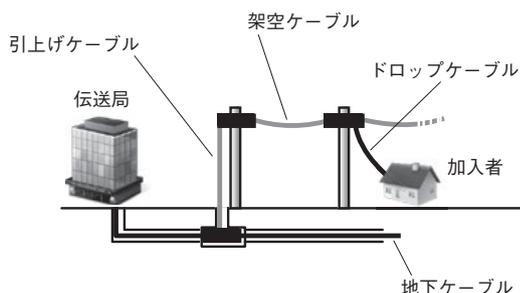


図1 FTTH 配線例

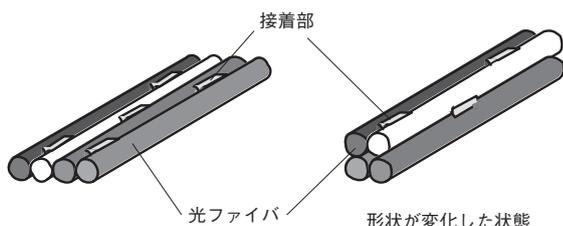


図2 間欠接着型光ファイバテープ心線の構造

3. 特長

- 間欠接着型光ファイバテープ心線 (図2)
 - ・隣接する単心光ファイバ心線が長手方向に間欠的に連結されており、単心部と接着部が周期的に配置された構造
 - ・光ケーブル内で周囲の形状に応じて自由に形を変えることができ、高密度に実装することが可能
 - ・光ケーブルから取り出した際、心線がテープ形状になり、4心一括融着接続が可能
 - ・接着部を取り除くことにより、容易に単心分離が可能
- 超細径高密度光ファイバケーブル
 - ・スロットを使用しないため、細径化、軽量化が実現 (200心丸型ケーブルの場合、当社従来品と比較し、ケーブル外径で約40%、質量で約60%の細径化、軽量化)
 - ・光ファイバ心数は24, 40, 60, 100, 200心
 - ・ケーブル構造は、丸型、自己支持型をラインアップ (図3)

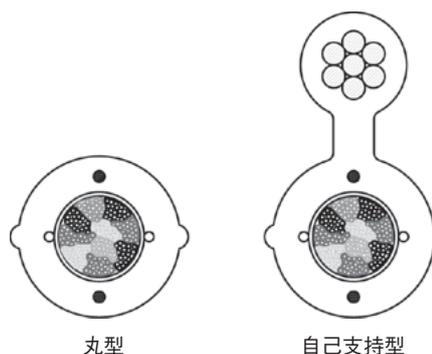


図3 ケーブル断面形状

問合せ先: 〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 通信システム営業部 通信営業グループ
 電話(03)5404-6965 FAX(03)3436-2573



光ファイバ心線「カールノン[®]」

Tight-buffered Optical Fiber “Curlnon”

1. 概要

地球環境保全への取り組み、周辺環境への配慮、省資源化などのグリーン調達の浸透に伴い、環境配慮型製品の必要性が高まっている。

今回、光配線ネットワークで布設される光ケーブルの構成部材として、外径0.9 mmの光ファイバ心線「カールノン」を開発・製品化した。

「カールノン」は、光ファイバの周囲に紫外線硬化型樹脂とハロゲンフリーの熱可塑性樹脂を被覆した環境配慮型の光ファイバ心線である。

2. 用途

光配線ネットワーク用光ケーブルの構成部材として使用。

- ・構内ネットワーク分野
- ・産業機器分野
- ・プラント分野 など

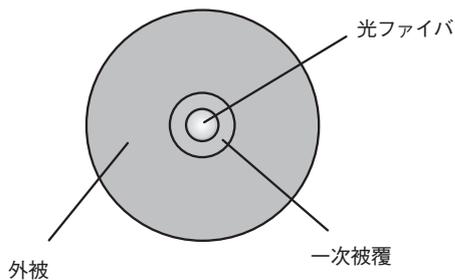


図1 カールノンの断面構造

項目	仕様	
光ファイバ	シングルモード型 マルチモード型	
一次被覆	材質	紫外線硬化型樹脂
	外径	0.25 mm
外被	材質	ハロゲンフリー樹脂
	外径	0.9 mm
使用温度範囲	-20 ~ 70℃	

3. 特長

(1) 環境配慮型製品

外被にハロゲンフリー樹脂を使用した、環境にやさしい光ファイバ心線。

(2) 接続作業時の作業性

融着接続作業において、被覆除去時に被覆層が残りにくい。

(3) 柔軟性

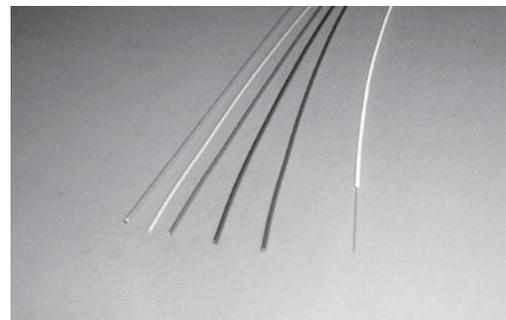
光ファイバ心線として柔軟性があり、曲がり癖がつきにくい。

(4) 各種製品に適用可能

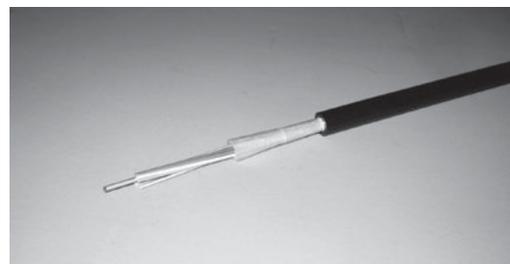
光コード : 単心コード, 2心コード等

光ケーブル : 層型ケーブル
コード集合型ケーブル等

光コネクタ : 各種光コネクタが取り付け可能



カールノン心線



ケーブル適用例 (層型光ケーブル)

カールノンは昭和電線ケーブルシステム(株)の登録商標です。

問合せ先: 〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)

昭和電線ケーブルシステム(株)

通信システム営業部 通信営業グループ

電話(03)5404-6965 FAX(03)3436-2573



CC-Link ケーブル (Ver.1.10 対応)

CC-Link Cable for Ver.1.10

1. 概要

CC - Link は、高速応答が要求されるセンサ入力や、機器間の大容量データ通信が可能な FA (Factory Automation) ネットワークの一つである。今回当社は、CC - Link Ver.1.00 に対し、最大ケーブル接続長が長く取れ、また最小局間ケーブル長が 20 cm まで保証できる、Ver.1.10 対応のケーブルを開発した。

CC - Link 協会のコンフォーマンス認定試験においても合格を確認している。

2. 用途

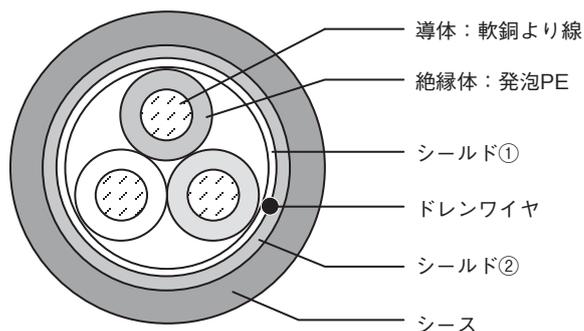
FA ネットワーク構築等において、CC - Link Ver.1.10 に対応した PLC (Programmable Logic Controller) 同士、または PLC と工作機、センサ、計器、ロボットなどの機器間を繋げる固定配線として使用できる。

3. 特長

- (1) CC - Link Ver.1.10 に対応
- (2) 最小局間ケーブル長を 20 cm まで短くでき、10 Mbps で 100 m、156 kbps で 1200 m の伝送が可能
(ケーブル構造、仕様を表 1 にケーブル断面図を図 1 に示す)
- (3) CC - Link Ver.2.00 の機器にも接続可能
- (4) UL STYLE 20276 (80℃, 30 V) 対応
- (5) 二重遮へい構造のため耐ノイズ性が良好
- (6) シースに鉛フリーの耐油耐熱 PVC を使用
- (7) 日本電線工業会規格 JCS 5506 対応の環境配慮型 (ECO) 製品も製作可 (要相談)

表 1 ケーブル構造、仕様例

項目	仕様	
型名	110ZCLK-SB-20 AWG×3 C	
種別	信号線 (青/白)	接地線 (黄)
導体サイズ × 心数	20 AWG×2 C	20 AWG×1 C
シールド①	アルミポリエステルテープ	
ドレンワイヤ	24 本 / 0.18 mm	
シールド②	すずめっき軟銅線編組	
シース	耐油耐熱鉛フリービニル	
標準外径 mm	7.6	
概算質量 kg/km	72	
最大導体抵抗 Ω/km	37.8	
絶縁抵抗 MΩ・km	10000 以上	
耐電圧 V・1 分	DC 500	
静電容量 nF/km	1 kHz: 60 以下	—
特性インピーダンス Ω	1 MHz: 110±15	—
	5 MHz: 110±6	—
減衰量 dB/100 m	1 MHz: 1.6 以下	—
	5 MHz: 3.5 以下	—



問合せ先：〒 105-6012 東京都港区虎ノ門 4-3-1 城山トラストタワー 12 階
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 通信システム営業部 通信営業グループ
 電話 (03) 5404-6966 FAX (03) 3436-2573



LAN 用 Cat.6A UTP ケーブル (TPCC® 6A)

Cat.6A UTP Cable for LAN (TPCC® 6A)

1. 概要

現在、メタル通信ケーブルの市場は、ギガビット伝送 (1000BASE-T, 1000BASE-TX) に対応した Cat.5e や Cat.6 ケーブルが主流となっているが、10 ギガビット伝送 (10GBASE-T) に対応した Cat.6A ケーブルは、病院・学校やデータセンター等での採用が増加している。

これまで国内の Cat.6A 配線は、隣接したケーブルが相互に干渉しあう「エイリアンクロストーク」に対応するためシールド付きの製品が主流となっている。

この度、PANDUIT (日本法人：パンドウイットコーポレーション日本支社) とアライアンスを締結することにより PANDUIT が開発した不連続な導電層を有する押え巻テープで末端での接地処理が不要な AX テープの供給を受け、Cat.6A 対応 UTP (Unshielded Twisted Pair) ケーブルの開発を行なった。

2. 用途

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

- ・ANSI/TIA-568-C.2 “Category 6A” に適合した UTP ケーブル
- ・エイリアンクロストーク対応
- ・コネクタ末端部のシールド処理が不要
- ・周波数帯域 500 MHz まで安定した電気特性
- ・ケーブル被覆材料には、環境に優しい鉛フリー PVC を採用 (EM ケーブルも対応可)



図1 一般型 (TPCC 6A)



図2 インナーシールドタイプ (TPCC 6A IS)

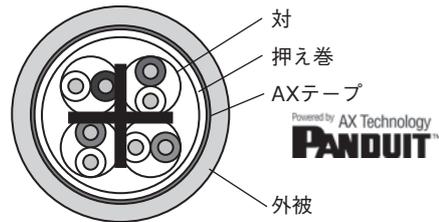


図3 ケーブル断面図 (TPCC 6A)

表1 仕様

項目	TPCC 6A	TPCC 6A IS (インナーシールドタイプ)
サイズ・対	23AWG×4P	23AWG×24P
仕上外径	約 7.6 mm	約 25.0 mm
概算質量	47 kg/km	430 kg/km

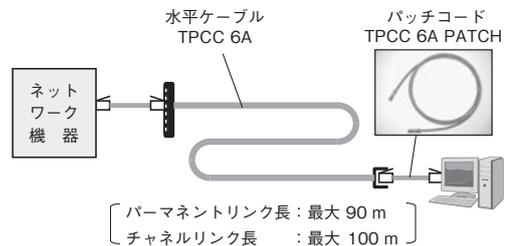
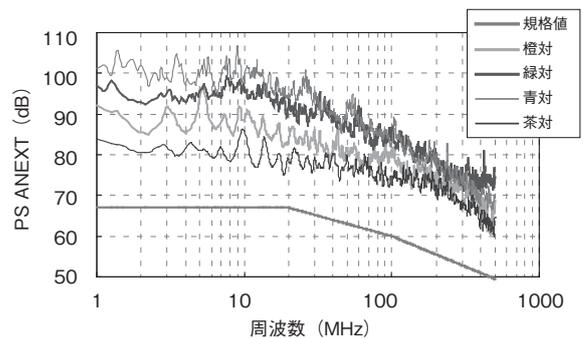


図4 配線例



PS ANEXT : power sum alien near end crosstalk (電力和外来近端漏話減衰量)

図5 エイリアンクロストーク特性

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 1-14-10 (内神田ビル)
 富士電線(株)
 営業本部 営業企画部
 電話 (03) 5217-0911 FAX (03) 5217-0920



LAN 用 Cat.6A UTP 細径ケーブル (TPCC® 6A)

Cat.6A UTP Slim Cable for LAN (TPCC® 6A)

1. 概要

現在、メタル通信ケーブルの市場は、ギガビット伝送 (1000BASE-T, 1000BASE-TX) に対応した Cat.5e や Cat.6 ケーブルが主流となっているが、10 ギガビット伝送 (10GBASE-T) に対応した Cat.6A ケーブルは、病院・学校やデータセンター等での採用が増加している。

これまで国内の Cat.6A 配線は、隣接したケーブルが相互に干渉しあう「エイリアンクロストーク」に対応するためシールド付きの製品が主流となっている。

この度、PANDUIT (日本法人：パンドウイットコーポレーション日本支社) とアライアンスを締結することにより、PANDUIT が開発した不連続な導電層を有する押え巻テープで端末での接地処理が不要な AX テープの供給を受け、Cat.6A 対応 UTP (Unshielded Twisted Pair) ケーブルとして、配線の省スペース化を目的とした細径ケーブルの開発を行なった。

2. 用途

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。



図1 一般型 (TPCC 6A)

(左：標準タイプ、右：細径タイプ)



図2 インナーシースタイプ (TPCC 6A IS)

(左：標準タイプ、右：細径タイプ)

3. 特長

- ・ ANSI/TIA-568-C.2 “Category 6A” 準拠
(細径導体を使用しているため、挿入損失は規格の 1.5 倍以下で管理が必要)

【条長制限】

- パーマネントリンク長：最大 60 m
- チャンネルリンク長：最大 70 m

- ・ 標準タイプと比較して細径であり、配線の省スペース化が可能。更に 40% の軽量化を実現
- ・ エイリアンクロストーク対応
- ・ コネクタ末端部のシールド処理が不要
- ・ 周波数帯域 500 MHz まで安定した電気特性
- ・ ケーブル被覆材料には、環境に優しい鉛フリー PVC を採用 (EM ケーブルも対応可)

表1 TPCC 6A ケーブル構造比較

項目	標準タイプ	細径タイプ
サイズ・対	23AWG×4P	26AWG×4P
仕上外径	約 7.6 mm	約 5.8 mm (1.8 mm の細径)
概算質量	47 kg/km	28 kg/km (19 kg/km の軽量化)

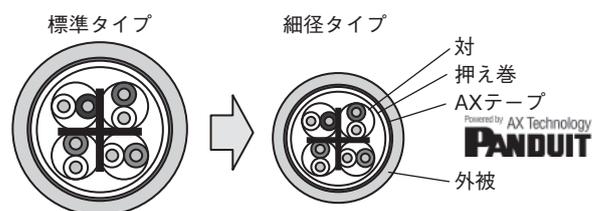


図3 TPCC 6A 断面図比較

表2 TPCC 6A IS ケーブル構造比較

項目	標準タイプ	細径タイプ
サイズ・対	23AWG×24	26AWG×24P
仕上外径	約 25.0 mm	約 19.5 (5.5 mm の細径)
概算質量	430 kg/km	270 kg/km (160 kg/km の軽量化)

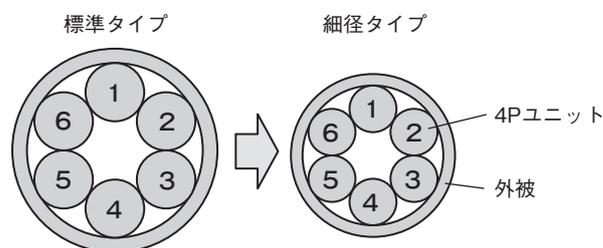


図4 TPCC 6A IS 断面図比較

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 1-14-10 (内神田ビル)
 富士電線(株)
 営業本部 営業企画部
 電話 (03) 5217-0911 FAX (03) 5217-0920



低固有振動数スプリングショウマウント® 「SKT-2.3」

Low Natural Frequency Springshowmount® “SKT-2.3”

1. 概要

近年、ビルの高層化に伴い、電気設備を中間階に設置する事例が多くなってきている。中間階へのトランス設置によって、上下階への振動・騒音が問題になることがあり、トランスメーカーや電気設備施工事業者では、より高い防振性能を有したトランス用防振装置を必要としている。

また、トランス用防振装置には、耐震性能についても要求されることが多くなっている。

低固有振動数スプリングショウマウント「SKT-2.3」は、従来のスプリングショウマウント「SKT-S」に対し、固有振動数を4.0 Hz → 2.3 Hzに下げ、防振性能を向上させている。また、耐震性能向上のために、水平方向2G、垂直方向1Gの加速度に対応する耐震ストッパーを備えている。

2. 用途

中間階に設置されるトランスの防振装置として使用。

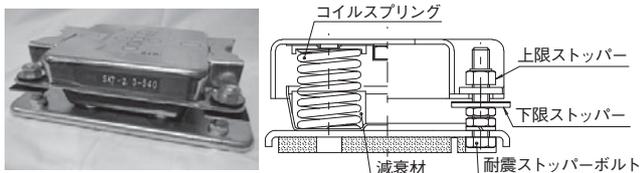


図1 製品概略図

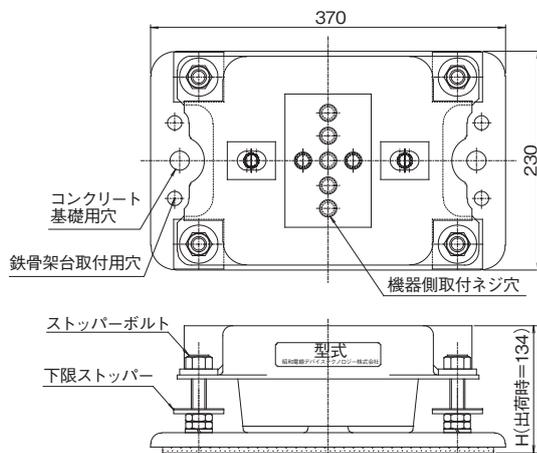


図2 製品寸法

表1 製品仕様

型式	ばね定数 N/mm	使用荷重範囲 N
SKT-2.3- 180	29	1336 ~ 1764
SKT-2.3- 220	36	1657 ~ 2156
SKT-2.3- 280	45	2080 ~ 2744
SKT-2.3- 350	56	2622 ~ 3430
SKT-2.3- 430	70	3285 ~ 4214
SKT-2.3- 540	87	4075 ~ 5292
SKT-2.3- 680	110	5137 ~ 6664
SKT-2.3- 840	137	6408 ~ 8232
SKT-2.3-1050	171	8010 ~ 10290
SKT-2.3-1260	218	10163 ~ 12348
SKT-2.3-1500	261	12173 ~ 14700
SKT-2.3-1800	310	14495 ~ 17640

3. 特長

- 固有振動数を2.3 Hz以下に設定しており、SKTシリーズ最高の防振性能を有している。
- 全使用荷重範囲で固有振動数が2.3 Hz以下となる選定を可能にするために、製品のラインアップを増やして対応している(図3)。
- ストッパーボルト構造により水平2G・鉛直1Gの耐震強度を有し、下限ストッパーを設けることで地震時の沈み込みを防止している。
- コイルスプリングの周囲に減衰材を付加しサージングを抑える構造としている。
- 各型式とも外形寸法が同一で、設置寸法を共通化できる。

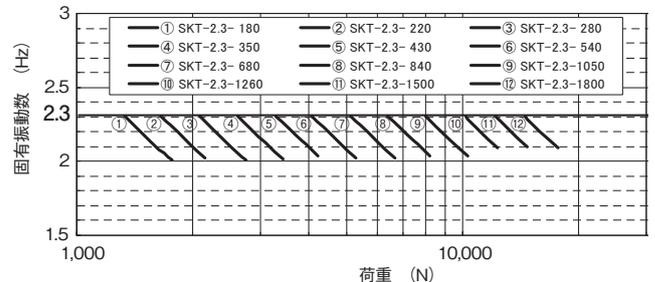


図3 SKT-2.3 搭載荷重と固有振動数

スプリングショウマウントは昭和電線デバイステクノロジー株式会社の登録商標です。

問合せ先: 〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)

昭和電線デバイステクノロジー(株)

営業統括部 制振制音営業課

電話(03)5404-6983 FAX(03)3436-2587



第13回世界免制震会議に参加・発表

Presentation to “13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, 13WCSI”

1. 概要

2013年9月24日～27日に東北大学で開催された第13回世界免制震会議で免震部材の経年変化と傾斜性能について発表した。全体の参加者は190名程度であり、参加国は開催国である日本が最も多く、ついで中国、アメリカ、イタリアの順であった。海外からの参加者は全体の約3割にあたる60名であった。4日間で150編程度の論文が発表され、当社を含む12の展示ブースが設けられた。また、ブース内には東北大学災害科学国際研究所による東日本大震災のパネルや映像が展示されていた。

2. 発表内容

(1) “Study of Aging Deterioration of Natural Rubber Bearing”

(積層ゴムの経年変化についての研究)

昭和電線デバイステクノロジー株式会社 開発

積層ゴムの経年変化や特性について、株式会社奥村組殿で使用されている積層ゴムの経年変化の調査結果や福岡大学殿で実施しているクリープ変形の測定結果を発表した。実験結果に対するサイズ効果についての関心が高かった。

(2) “The development of structural design method in the pile-head seismic isolation approach based on static horizontal load tests Part 1, Part 2”

(水平載荷試験に基づく、杭頭免震構法の構造設計手法の開発)

株式会社日建設計 福島

昭和電線デバイステクノロジー株式会社 前野

Part 1では共著者である株式会社日建設計 福島様が物流センターで採用した杭頭免震の設計手法について発表を行った。Part 2では前野より大サイズ積層ゴム及び弾性すべり支承の傾斜試験についての結果を発表した。

傾斜に対する設計クライテリアの質問が多く見られた。

3. 今後に向けて

東北地方太平洋沖地震での免震効果の解説や海外の免震システムについての発表が多くあり、国際的にも免震に対する関心が高いことを知った。今後も各種会議に参加し、積極的に当社技術をPRしていく。



写真1 発表風景 (開発)



写真2 発表風景 (前野)



写真3 展示ブース

問合せ先：〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)

昭和電線デバイステクノロジー(株)

営業統括部 免制震営業課

電話(03)5404-6984 FAX(03)3436-2587



V型低周波吸音材の建築基準法「不燃材料」認定取得

Certification of Fire Resistant Material for Architecture about Low-frequency Sound Absorber Type V

1. 概要

当社の低周波吸音材は、鉄道・車両分野等に使用される低発塵タイプのR型と主に建築・機械設備等に使用されるV型がある。これまでの吸音材にはない低周波帯域において極めて高い吸音率を有した材料で、2006年より販売を開始した。機械設備、電気設備の騒音対策をはじめ音響分野でも高い評価を得てきた。

今回、建築分野からの要望に応えるため、建築不燃認定の取得に向けた開発に積極的に取り組み、吸音率を保持しながら特殊吸音皮膜の改善に成功した。

低周波帯域の吸音特性に特化したF25V(図1)と高周波帯域まで吸音特性が良い広帯域用25F25V(図2)について建築基準法の「不燃材料」の認定を取得した。これにより低周波吸音のニーズに本格的に応えることができる。

2. 用途

建築：スタジオ、ホール 他
 設備機器：トランス、空調機器、ダクト 他
 産業機器：破碎機、工作機械 他
 各種機器の内装材：電力機器、防音ボックス 他
 車両：エンジンルーム
 ハイテク機器：電子顕微鏡、半導体検査装置 他

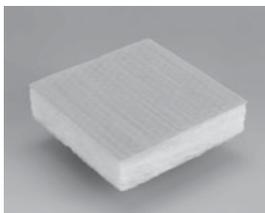


図1 低周波吸音材 F25V (低周波用)



図2 低周波吸音材 25F25V (広帯域用)

表1 各種低周波吸音材の構成

型番	構成
F25V	基本製品
F50V	F25VのGW側にGW25tを重ねた構造
F100V	F25VのGW側にGW25tを3枚重ねた構造
25F25V	F25Vの吸音皮膜側にGW25tを重ねた構造
25F75V	25F25VのGW側にGW25tを2枚重ねた構造

GW：グラスウール

3. 特長

- 1) 中・低周波音の吸音性が優れている(図3)。吸音効果は膜状吸音体の共鳴原理を応用したもので、音のエネルギーを膜の振動に変換することで、特定の周波数、特に300Hz以下の中・低周波数領域で高い吸音効果を発揮する。
- 2) 設計が容易である。有孔板のように難しい共鳴周波数の算出は不要である。
- 3) 施工が容易である。壁、鉄板に貼るだけの簡単施工である。軽量で取り扱いも容易で自由なサイズに切断可能である。
- 4) 不燃材料認定取得
 F25V(低周波用)：認定番号「NM-3741」
 25F25V(広帯域用)：認定番号「NM-3680」

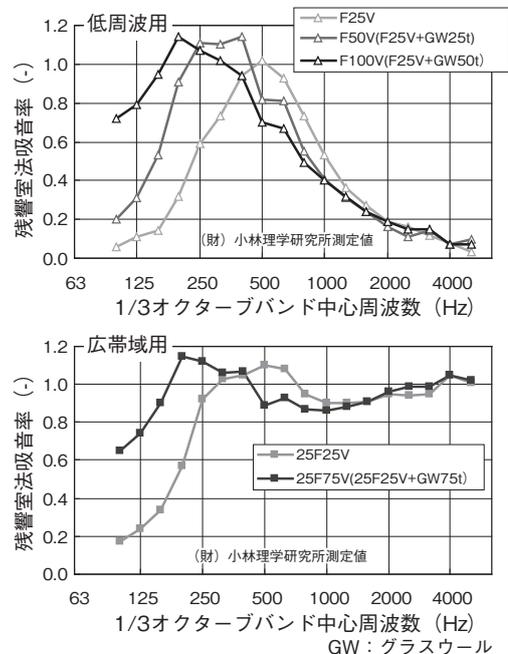


図3 吸音特性

問合せ先：〒105-6012 東京都港区虎ノ門4-3-1(城山トラストタワー)
 昭和電線デバイステクノロジー(株)
 営業統括部 制振制音営業課
 電話(03)5404-6983 FAX(03)3436-2587

工 事 紹 介

シンガポール SP POWERASSETS 向け 230 kV OF ケーブル及び付属品の据付工事

Supply and Installation of 230 kV Oil-filled Cable and Accessory for SP POWERASSETS in Singapore

1965年にマレーシア連邦から独立したシンガポールは、狭い国土と少ない資源という独立国家としては脆弱な状況に置かれながらも、積極的な外資導入や徹底した人材教育により経済発展を遂げてきた。南部には多くの工業団地が立地し、南西部に位置する人口島である Jurong 島には多くの石油化学工場が立ち並ぶ。近年では、カジノ建設に代表されるように海外からの観光客の呼び込みに力を注いでおり、都市景観の観点からも周辺の東南アジア諸国に見られる架空送電線ではなく地中送電線を積極的に採用している等、先進国における電力需要が飽和状態になりつつある昨今も同国においては活況を呈している。

このたび当社はシンガポールの送配電会社である SP POWERASSETS 殿から、230 kV 1×2500 mm²、1×2000 mm² OF ケーブル及び付属品をフルターンキー・ベースで受注し、納入・据付工事を行った。

1. 線路概要

本プロジェクトのルート概要を図1に示す。

ルートは A, B, C の3つに分けられる。ルート A は Jurong Pier S/S (Substation) から Upper Jurong S/S をつなぐ回線で、回線長は約 6.8 km。ルート B は TUAS S/S から Upper Jurong S/S をつなぐ回線で、回線長は約 9.5 km。い

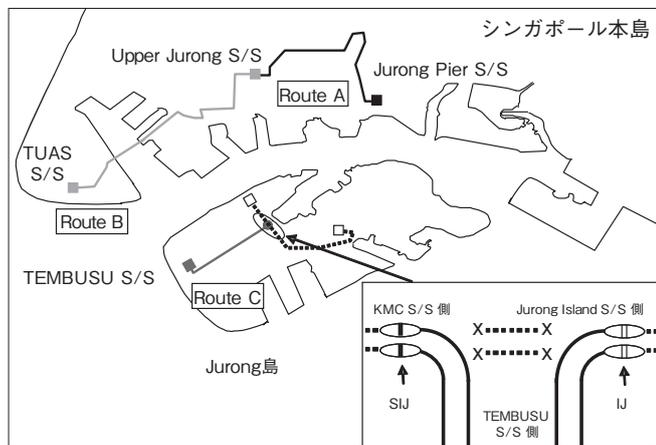


図1. ルート概要

ずれも導体サイズは 2000 mm² である。

ルート C は、Jurong Island S/S から KMC S/S までをつなぐ既設回線と中間接続箱で接続し、TEMBUSU S/S ヘループイン・アウトする回線であり、回線長は約 2.5 km、導体サイズは 2500 mm² である。

主材料である OF ケーブル以外にも、ケーブル付属品、給油設備及び DTS ケーブルをはじめとする種々の補助ケーブルを併設した。本プロジェクトの納入物品を表1に示す。

2. ケーブル仕様

主材料である OF ケーブルの仕様を表2に、断面を図2に示す。

表1 納入物品

品目	ルート A	ルート B	ルート C
230 kV OFAZE 1×2000 mm ²	17.9 km	15.2 km	--
230 kV OFAZV 1×2000 mm ²	2.5 km	13.3 km	--
230 kV OFAZE 1×2500 mm ²	—	—	24 km (4回線)
230 kV OFAZV 1×2500 mm ²	—	—	6 km (4回線)
DTS ケーブル	6.8 km	9.5 km	10 km
24 芯 光ファイバケーブル	34 km	26.5 km	30 km
36 芯 光ファイバケーブル	6.8 km	9.5 km	10 km
アラームケーブル	6.8 km	9.5 km	10 km
テレフォンケーブル	6.8 km	9.5 km	10 km
補助ケーブル付属品	一式		
終端接続箱	6 相	6 相	12 相
中間接続箱	39 相	36 相	48 相
油止接続箱	3 相	9 相	12 相
付属品	一式		
PT	45 個	66 個	84 個
油圧監視装置	一式		
その他工事材料	一式		

表2 OF ケーブル仕様

項目		(約)	
		2000 mm ²	2500 mm ²
1	油通路 (内径)	mm 12	12
2	導体 (外径)	mm 57.5	64.5
3	セパレーター	—	—
4	導体バインダー (厚さ)	mm 0.3	0.3
5	導体上カーボン紙 (厚さ)	mm 0.2	0.2
6	絶縁層 (厚さ)	mm 20.0	20.0
7	絶縁上カーボン紙 (厚さ)	mm 0.4	0.4
8	アルミ被 (厚さ)	mm 2.5	2.6
9	防食層 (厚さ)	mm 5.0	5.0
	ケーブル外径 (約)	mm 131	140
	概算質量	kg/m 33	39

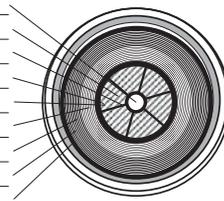


図2 OF ケーブル断面

3. 接地システム設計

ルートBのTUAS S/Sからの3区間については区間長の関係上、ミッドポイント接地方式を含め、片端接地方式を採用し、その他の区間はクロスボンド接地方式を採用した。

4. 給油システム設計

すべての給油区間でPT (Pressure Tank) 両端給油方式を採用した。負荷投入・遮断時の過渡油圧変化に対応するために、回線長の長いルートAには1箇所、ルートBには、2箇所にストップジョイントを設置し、給油区間を分割した。

5. 長尺輸送・延線

ルートBのTUAS terminal building から Pioneer terminal building は海底トンネルで海を横断する区間となっている。ケーブル長は約2200 mであり、長尺輸送・延線となった。

長尺ケーブルの輸送にあたり、ケーブル自重による防食層の変形を抑えるため、ケーブルトレイ内面及びケーブル層間には緩衝材を施した。さらに事前に類似構造のケーブルを用いた耐荷重試験を実施する等、十分な事前検討を行い、輸送には細心の注意を払った。

延線にあたっては、送り出し側にターンテーブル、油圧式10 kNケーブル送り出し機1台を設置した。さらにルート途中にも計51台の送り出し機を設置し、ケーブル長尺延線を実施した。延線の概要図を図3に示す。

6. むすび

ケーブル延線、中間接続部及び終端接続部の接続作業は2013年11月末に全て終了し、完成試験を実施した。試験項目は油試験（油流抵抗、ガス定数）、電気試験（耐圧試験、線路定数、導体抵抗、静電容量）などで、各試験とも問題なく終了し2013年12月に完工した。

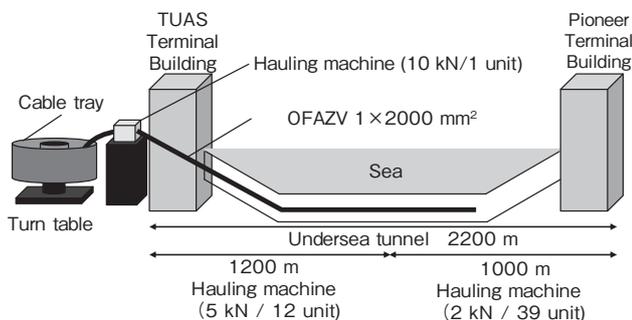


図3 長尺延線概要図



図4 ケーブル出荷風景 (エクシム 愛知工場)



図5 長尺延線送り出し基地



図6 路上延線 (OFAZE 1x2000 mm²)

社外技術発表一覧表

(2011. 12 ~ 2013. 12)

[誘電・絶縁材料 電線・ケーブル合同研究会]

(2011年12月16日)

ダイレクトモールドプッシングの設計および検証

…………… 今西 晋²⁾, 新館 均²⁾, 住本 勉²⁾, 瀬間信幸¹⁾

[24th International Cryogenic Engineering Conference and
International Cryogenic Materials Conference 2012

(ICEC24-ICMC2012) (2012年5月14日～18日)

HTS current lead assembled from the units prepared by
YBCO tapes

…………… Y. Sakai⁴⁾, H. Motohashi⁴⁾, Y. Ishii⁴⁾, Y. Yamada⁴⁾,
T. Koizumi²⁾, Y. Hikichi²⁾, M. Minowa²⁾,
H. Tamura³⁾, T. Mito³⁾

Improvement of magnetic field properties of YGBCO coated
conductor by TFA-MOD

…………… K. Kimura²⁾, R. Hironaga²⁾, Y. Takahashi²⁾,
T. Nakanishi²⁾, T. Koizumi²⁾, T. Hasegawa²⁾

Development of Peltier Current Lead for DC Cable

…………… H. Sugane²⁾, Y. Hikichi²⁾, M. Minowa²⁾, T. Kawahara⁵⁾,
H. Watanabe⁵⁾, M. Hamabe⁵⁾, S. Yamaguchi⁵⁾

[第九回 日本熱電学会学術講演会]

(2012年8月27日～28日)

200m 級超伝導直流送電実証実験装置におけるペルチェ電流リード
の開発

…………… 河原敏男⁵⁾, 江本雅彦³⁾, 浜辺 誠⁵⁾,
渡邊裕文⁵⁾, 山口作太郎⁵⁾, 引地康雄²⁾,
箕輪昌啓²⁾, 管根秀夫²⁾

[第43回 電気電子絶縁材料システムシンポジウム]

(2012年9月10日～12日)

超電導機器用ペルチェ電流リード

…………… 菅根秀夫²⁾, 引地康雄²⁾, 箕輪昌啓²⁾, 浜辺 誠⁵⁾,
渡邊裕文⁵⁾, 河原敏男⁵⁾, 山口作太郎⁵⁾

[電子情報通信学会 ソサイエティー大会]

(2012年9月11日～14日)

間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ケーブルの
開発

…………… 田邊賢吾²⁾, 金子貴皇²⁾, 野呂 互²⁾,
今川吉人²⁾, 瀬戸昭博²⁾, 清武耕三²⁾

[平成24年 電気学会電力エネルギー部門大会]

(2012年9月12日～14日)

特別高圧同軸ケーブル用接続部の開発

…………… 朝比奈弘和⁶⁾, 駒込祥二⁶⁾, 瀬間信幸¹⁾,
田渡未沙²⁾, 住本 勉²⁾

[日本建築学会2012年度大会(東海)]

(2012年9月12日～14日)

免震用積層ゴムの座屈特性の評価手法に関する研究 その2

φ300 および φ800 の座屈特性

…………… 開発美雪⁷⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 高山峯夫⁸⁾, 森田慶子⁸⁾

免震用積層ゴムの座屈特性の評価手法に関する研究 その3

φ800 の圧縮せん断試験および引張試験

…………… 谷川友秀⁷⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾,
高山峯夫⁸⁾, 森田慶子⁸⁾

大径免震部材を用いた杭頭免震の設計手法と実大傾斜試験 その1
適用建物概要と杭頭免震の設計手法

…………… 福島孝志⁹⁾, 山野祐司⁹⁾, 寺田隆一⁹⁾, 福田滋夫⁷⁾,
柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾, 前野 慧⁷⁾

大径免震部材を用いた杭頭免震の設計手法と実大傾斜試験 その2
試験計画

…………… 福田滋夫⁷⁾, 山野祐司⁹⁾, 寺田隆一⁹⁾, 福島孝志⁹⁾,
柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾, 前野 慧⁷⁾

大径免震部材を用いた杭頭免震の設計手法と実大傾斜試験 その3
天然ゴム系積層ゴム傾斜試験

…………… 前野 慧⁷⁾, 山野祐司⁹⁾, 寺田隆一⁹⁾, 福島孝志⁹⁾,
福田滋夫⁷⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾

大径免震部材を用いた杭頭免震の設計手法と実大傾斜試験 その4
低摩擦弾性すべり支承傾斜試験

…………… 柳 勝幸⁷⁾, 山野祐司⁹⁾, 寺田隆一⁹⁾, 福島孝志⁹⁾,
福田滋夫⁷⁾, 開発美雪⁷⁾, 前野 慧⁷⁾

財産保持性に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その39

ダンパーの実験法

…………… 笠原康宏¹⁰⁾, 三須基規⁷⁾, 長谷川豊¹¹⁾,
松田和浩¹²⁾, 笠井和彦¹²⁾

低周波音用スプリッタ型消音器の開発 その1

消音機構について

…………… 増田 潔¹³⁾, 岡本健久¹⁴⁾, 関 雅英⁷⁾

低周波音用スプリッタ型消音器の開発 その2

測定結果について

…………… 岡本健久¹⁴⁾, 増田 潔¹³⁾, 関 雅英⁷⁾

[15th World Conference on Earthquake Engineering]

(2012年9月24日～28日)

Seismic Design and Construction of a Traditional Timber-Made
Five-Storey Pagoda by Applying Coupled Vibration Control

..... T. Hanazato¹⁵⁾, D. Ayaki¹⁵⁾, Y. Ogiwara¹⁵⁾,
R. Uchida¹⁶⁾, N. Sato¹⁶⁾, M. Misu⁷⁾,
M. Takayama⁸⁾, I. Sakamoto¹⁷⁾

[Applied Superconductivity Conference]

(2012年10月7日～12日)

Development of REBCO coated conductors by TFA-MOD method
with high characteristic in magnetic field

..... K. Kimura²⁾, R. Hironaga²⁾, Y. Takahashi²⁾,
T. Nakanishi²⁾, T. Koizumi²⁾, T. Hasegawa²⁾

[光ファイバ応用技術研究会(OFT)]

(2012年10月25日～26日)

間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ケーブルの開発

..... 田邊賢吾²⁾, 金子貴皇²⁾, 吉原龍夫²⁾,
野呂 互²⁾, 瀬戸昭博²⁾, 清武耕三²⁾

[電気学会論文誌A 2012 Vol.132 No.11] (2012年11月1日)

Electrical Properties of ZnO Microvaristors under HV Application

..... M. Kabir¹⁸⁾, M. Suzuki¹⁸⁾, N. Yoshimura¹⁸⁾,
K. Shiozawa²⁾, M. Ogishima²⁾, H. Shintate²⁾,
H. Andoh¹⁹⁾

[第86回2012年度秋季 低温工学・超電導学会]

(2012年11月7日～9日)

TFA-MOD法を用いたY系超電導線材の特性向上

..... 広長隆介²⁾, 木村一成²⁾, 高橋保夫²⁾, 中西達尚²⁾,
小泉 勉²⁾, 長谷川隆代²⁾

バッチ式プロセスを用いたTFA-MOD法REBCO線材の磁場中特
性向上

..... 木村一成²⁾, 広長隆介²⁾, 高橋保夫²⁾, 中西達尚²⁾,
小泉 勉²⁾, 長谷川隆代²⁾

TFA-MOD法YBCOテープ線材を用いた電流リードの開発⑦

(2 kA級超電導電流リードユニットの作製と通電特性)

..... 本橋春樹⁴⁾, 坂井裕貴⁴⁾, 細野優人⁴⁾,
山田 豊⁴⁾, 小泉 勉²⁾, 引地康雄²⁾,
箕輪昌啓²⁾, 田村 仁³⁾, 三戸利行³⁾

1kA級ペルチェ電流リードの開発

..... 菅根秀夫²⁾, 引地康雄²⁾, 箕輪昌啓²⁾, 浜辺 誠⁵⁾,
渡邊裕文⁵⁾, 河原敏男⁵⁾, 山口作太郎⁵⁾

[MRS (Material Research Society) Fall Meeting 2012]

(2012年11月25日～30日)

Power generation performance of π -structure thermoelectric
device using NaCo₂O₄ and Mg₂Si elements

..... T. Nakamura²⁾, M. Minowa²⁾,
K. Hatakeyama²⁾, Y. Mito²⁰⁾,
K. Arai²¹⁾, T. Iida²¹⁾, K. Nishio²¹⁾

Thermoelectrical properties of α phase and γ phase Na_xCo₂O₄
ceramics prepared by spark plasma sintering method

..... N. Mikami²¹⁾, K. Nishio²¹⁾, K. Arai²¹⁾,
T. Sakamoto²¹⁾, M. Minowa²⁾,
T. Nakamura²⁾, N. Hirayama²¹⁾,
Y. Kogo²¹⁾, T. Iida²¹⁾

[25th International Symposium on Superconductivity

(ISS2012)]

(2012年12月3日～5日)

Improvement of superconducting characteristics of YBCO coated
conductor using TFA-MOD method

..... R. Hironaga²⁾, K. Kimura²⁾, Y. Takahashi²⁾,
T. Nakanishi²⁾, T. Koizumi²⁾, T. Hasegawa²⁾

Improvement of magnetic properties of YGdBCO coated

conductors fabricated by TFA-MOD process

..... K. Kimura²⁾, R. Hironaga²⁾, Y. Takahashi²⁾,
T. Nakanishi²⁾, T. Koizumi²⁾, T. Hasegawa²⁾

Development of 1 kA-class PCL for superconducting applications

..... H. Sugane²⁾, Y. Hikichi²⁾, M. Minowa²⁾, T. Kawahara⁵⁾,
H. Watanabe⁵⁾, M. Hamabe⁵⁾, S. Yamaguchi⁵⁾

[電気学会 電力・エネルギー部門 静止器研究会]

(2012年12月7日)

新素材ブッシング搭載変圧器の耐震性検討

..... 山岸 明²²⁾, 田中敏明²²⁾, 奥田健司²²⁾,
今西 晋²⁾, 住本 勉²⁾, 瀬間信幸¹⁾

[電気学会 誘電・絶縁材料研究会]

(2012年12月18日)

細径低静電容量レントゲンケーブルの開発

..... 斉藤真利子²⁾, 箕輪昌啓²⁾, 野口一朗²⁾,
小坂 裕²⁾, 山口雅光²⁾, 大石智雄²⁾

[Journal of Electronics Materials]

(Volume 42, Issue 7, pp2337-2342)

Development of a Peltier Current Lead for the 200-m-Class

Superconducting Direct Current Transmission and Distribution
System

..... T. Kawahara⁵⁾, M. Emoto⁵⁾, H. Watanabe⁵⁾,
M. Hamabe⁵⁾, S. Yamaguchi⁵⁾, Y. Hikichi²⁾,
M. Minowa²⁾

[平成25年 電気学会全国大会] (2013年3月20日～22日)

154kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの開発

…………… 住本 勉²⁾, 今西 晋²⁾, 足立和久²⁾, 荻島みゆき²⁾,
新館 均²⁾, 瀬間信幸¹⁾

[第87回2013年度春季 低温工学・超電導学会]

(2013年5月13日～15日)

Y系超電導線材を用いた1kA級超電導電流リードの開発

…………… 高橋 亨²⁾, 引地康雄²⁾, 箕輪昌啓²⁾,
小泉 勉²⁾, 山田 豊⁴⁾

高温側温度上昇を考慮したモデルによるバルチェ電流リード設計のための数値計算

…………… 菅根秀夫²⁾, 引地康雄²⁾, 箕輪昌啓²⁾

TFA-MOD法を用いたY系超電導長尺線材の高特性能化

…………… 広長隆介²⁾, 木村一成²⁾, 高橋保夫²⁾, 中西達尚²⁾,
小泉 勉²⁾, 長谷川隆代²⁾

バッチ式プロセスを用いたTFA-MOD法REBCO線材の磁場中特性向上と長尺化検討

…………… 木村一成²⁾, 広長隆介²⁾, 高橋保夫²⁾, 中西達尚²⁾,
小泉 勉²⁾, 長谷川隆代²⁾

[日本エネルギー学会誌]

(Vol. 92 Number 5, pp. 377-381 (May 2013))

酸化物系モジュール熱発電技術

…………… 箕輪昌啓²⁾

[the 32nd international conference on thermoelectrics]

(2013年6月30日～7月4日)

Power generation performance of π -structure thermoelectric module using metalized NaCo_2O_4 and Mg_2Si elements by SPS technique.

…………… T. Nakamura²⁾, M. Minowa²⁾, K. Hatakeyama²⁾,
Y. Mito³⁰⁾, K. Arai²¹⁾, T. Iida²¹⁾, K. Nishio²¹⁾

Demonstration test on the thermoelectric generator for high-temperature industrial furnaces

…………… K. Hatakeyama²⁾, T. Nakamura²⁾, M. Minowa²⁾,
Y. Hikichi²⁾, H. Kobayashi²⁾, N. Saito²³⁾,
H. Kurata²³⁾, T. Fujisawa²³⁾

Power generation performance of π -structure thermoelectric device using silicide thermoelectric materials

…………… M. Minowa²⁾, T. Nakamura²⁾, K. Hatakeyama²⁾,
Y. Mito³⁰⁾, K. Arai²¹⁾, T. Iida²¹⁾, K. Nishio²¹⁾

[23rd Magnet Technology 2013] (2013年7月15日～19日)

HTS Current Leads Using TFA-MOD Processed YBCO Tapes

…………… Y. Yamada⁴⁾, H. Motohashi⁴⁾, S. Sakai⁴⁾, Y. Hosono⁴⁾,
T. Koizumi²⁾, Y. Hikichi²⁾, M. Minowa²⁾,
H. Tamura³⁾, T. Mito³⁾

[日本建築学会2013年度大会(北海道)]

(2013年8月30日～9月1日)

免震用積層ゴムの座屈特性の評価手法に関する研究 その4

低弾性仕様積層ゴムの評価結果

…………… 開発美雪⁷⁾, 高山峯夫⁸⁾, 森田慶子⁸⁾, 柳 勝幸⁷⁾

錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発 その15

微小振幅連続加振試験

…………… 齊木健司²⁴⁾, 田中久也²⁴⁾, 鈴木良二²⁴⁾,
古橋 剛²⁵⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾

錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発 その16

連続加振試験と回復性状

…………… 鈴木良二²⁴⁾, 田中久也²⁴⁾, 朴 紀衍²⁴⁾,
古橋 剛²⁵⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾

錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発 その17

繰返し変形を受けた錫プラグ入り積層ゴムの健全性

…………… 須藤佳祐⁷⁾, 古橋 剛²⁵⁾, 鈴木良二²⁴⁾, 田中久也²⁴⁾,
齊木健司²⁴⁾, 柳 勝幸⁷⁾, 開発美雪⁷⁾

錫プラグ入り積層ゴム免震装置による微振動試験後の大変形繰返し試験

…………… 前野 慧⁷⁾, 古橋 剛²⁵⁾, 柴田昭彦²⁶⁾,
高坂隆一²⁶⁾, 熊澤千果生²⁶⁾, 齊木健司²⁴⁾

[日本セラミックス協会 関東支部 研究発表会]

(2013年9月11日～12日)

Na_xCoO_4 熱電変換材料へのAg電極接合技術の開発と界面抵抗の

低減化

…………… 蜂屋はるな²¹⁾, 新井皓也²¹⁾, 西尾圭史²¹⁾,
中村倫之²⁾, 箕輪昌啓²⁾

[電子情報通信学会 ソサイエティー大会]

(2013年9月17日～20日)

耐風特性に優れた光ドロップケーブルの開発

…………… 田邊賢吾²⁾, 有田謙志²⁾, 吉原龍夫²⁾,
瀬戸昭博²⁾, 金子貴皇²⁾

[13th World Conference on Seismic Isolation]

(2013年9月24日～27日)

The Development of a Structural Design Method in the Pile Head Seismic Isolation Approach Based on Static Horizontal Load Tests (Part 1)

…………… T. Fukushima⁹⁾, R. Terada⁹⁾, M. Yanagi⁷⁾, S. Maeno⁷⁾

The development of the structural design method for the pile-head seismic isolation approach based on static horizontal load tests (Part 2)

…………… S. Maeno⁷⁾, T. Fukushima⁹⁾, R. Terada⁹⁾, M. Yanagi⁷⁾

Study of Aging Deterioration of Natural Rubber Bearing

…………… M. Kaihotsu⁷⁾, M. Takayama⁸⁾, K. Morita⁸⁾,
S. Yamagami²⁷⁾, M. Yanagi⁷⁾

[62nd IWCS Cable Connectivity Symposium]

(2013年11月10日～13日)

Development of optical drop cable with excellent aerodynamic characteristics

…………… K. Tanabe²⁾, K. Arita²⁾, T. Yosihara²⁾,
A. Seto²⁾, T. Kaneko²⁾

[26th International Symposium on Superconductivity

(ISS2013)]

(2013年11月18日～20日)

DEVELOPMENT OF DOWNSIZED HTS CURRENT LEAD PREPARED BY YGdBCO CONATED CONDUCTOR

…………… K. Takahashi²⁾, K. Shiohara²⁾, K. Kimura²⁾, Y. Hikichi²⁾,
M. Minowa²⁾, T. Koizumi²⁾, Y. Yamada⁴⁾

IMPROVEMENT OF IN-FIELD PROPERTIES FOR LONG REBCO COATED CONDUCTORS FABRICATED BY THE TFA-MOD METHOD USING A BATCH PROCESS

……… K. Kimura²⁾, R. Hironaga²⁾, Y. Takahashi²⁾, T. Nakanishi²⁾,
T. Koizumi²⁾, T. Hasegawa²⁾

DESIGNING OF LARGE CURRENT CAPACITY PCL FOR THE SUPERCONDUCTING APPLICATIONS

…………… H. Sugane²⁾, Y. Hikichi²⁾, M. Minowa²⁾

[第44回電気電子絶縁材料システムシンポジウム]

(2013年11月25日～27日)

イットリウム系超電導電流リードの開発

…………… 高橋 亨²⁾, 木村一成²⁾, 引地康雄²⁾,
箕輪昌啓²⁾, 小泉 勉²⁾, 山田 豊⁴⁾

154kV 機器用ダイレクトモールドブッシング(重汚損用)の開発

…………… 住本 勉²⁾, 足立和久²⁾, 荻島みゆき²⁾, 桑木亮仙²⁾

[MRS (Material search Society) Fall Meeting 2013]

(2013年12月1日～6日)

Reduction of Contact Resistance between Na_xCoO₂

Thermoelectric Chips and Ag electrode by Using Spark Plasma Sintering Method

…………… H. Hachiya²¹⁾, K. Arai²¹⁾, M. Minowa²⁾,
T. Nakamura²⁾, Y. Yamaguchi²¹⁾,
K. Fujimoto²¹⁾, K. Nishio²¹⁾

[第88回2013年度秋季 低温工学・超電導学会]

(2013年12月4日～6日)

TFA-MOD 法 REBCO 線材を用いた低熱侵入量の超電導電流リードの開発

…………… 高橋 亨²⁾, 木村一成²⁾, 引地康雄²⁾,
箕輪昌啓²⁾, 小泉 勉²⁾, 山田 豊⁴⁾

バッチ式プロセスを用いた TFA-MOD 法 REBCO 線材の磁場中特性向上

…………… 木村一成²⁾, 広長隆介²⁾, 高橋保夫²⁾,
中西達尚²⁾, 小泉 勉²⁾, 長谷川隆代²⁾

TFA-MOD 法 YBCO テープ線材を用いた電流リードの開発^⑧

(集合型超電導電流リードの作製と通電特性)

…………… 細野優人⁴⁾, 本橋春樹⁴⁾, 松村亮佑⁴⁾,
山田 豊⁴⁾, 引地康雄²⁾, 箕輪昌啓²⁾,
小泉 勉²⁾, 田村 仁³⁾, 三戸利行³⁾

[電気学会 電力・エネルギー部門 静止器研究会]

(2013年12月7日)

新素材ブッシング搭載変圧器の耐震性検討(その2)

…………… 山岸 明²²⁾, 田中敏明²²⁾, 奥田健司²²⁾,
今西 晋²⁾, 住本 勉²⁾

- 1) 昭和電線ホールディングス株式会社
- 2) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 3) 自然科学研究機構核融合科学研究所
- 4) 東海大学
- 5) 中部大学
- 6) 東日本旅客鉄道株式会社
- 7) 昭和電線デバイステクノロジー株式会社
- 8) 福岡大学
- 9) 株式会社日建設計
- 10) 株式会社ブリヂストン
- 11) オイレス工業株式会社
- 12) 東京工業大学
- 13) 大成建設株式会社
- 14) 日本板硝子環境アメニティ株式会社
- 15) 三重大学
- 16) 松井建設株式会社

- 17) 一般財団法人日本建築防災協会
- 18) 秋田大学
- 19) 株式会社東芝
- 20) 昭和 KDE 株式会社
- 21) 東京理科大学
- 22) 株式会社日立製作所
- 23) 昭和電線ビジネスソリューション株式会社
- 24) 株式会社免制震デバイス
- 25) 日本大学
- 26) 株式会社梓設計
- 27) 株式会社奥村組

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 〒105-6013 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)

■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 〒105-6012 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
昭和電線デバイステクノロジー株式会社 〒105-6012 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
昭和電線ビジネスソリューション株式会社 〒105-6013 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
富士電線株式会社 〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川10番地
株式会社ダイジ 〒567-0012 大阪府茨木市東太田三丁目7番7号
株式会社SDS 〒105-6008 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
株式会社アクシオ 〒105-6008 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
株式会社エクシム 〒105-6013 東京都港区虎ノ門四丁目3番1号(城山トラストタワー)
株式会社ユニマック 〒511-0427 三重県いなべ市北勢町麻生田1326番地の1

■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 〒210-0852 神奈川県川崎市川崎区鋼管通四丁目13番12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
多摩川電線株式会社 〒989-2111 宮城県亶理郡山元町坂元字堤入32番地1
株式会社ロジス・ワークス 〒210-0843 神奈川県川崎市川崎区小田栄二丁目1番1号
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD. Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam
嘉興昭和機電有限公司 中国浙江省嘉興市中環西路2121号
杭州昭和機電製造有限公司 中国浙江省富陽市金秋大道富通科技園1-8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
天津昭和漆包線有限公司 中国天津市西青經濟開發区賽達世紀大道10号
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發区(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
株式会社フィスコ 〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川10番地
SWCC SHOWA (S) PTE. LTD. 64, Sungei Kadut Street 1, Singapore 729365
愛科秀(上海)信息技術有限公司 中国上海市長寧区哈密路1221号8棟C327
華和工程股份有限公司 台湾高雄縣仁武郷高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内
杭州富通昭和線纜材料研究開発有限公司 中国浙江省富陽市金秋大道富通科技園9号楼
杭州富通通信技術股份有限公司 中国浙江省富陽市銀湖開發区
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 中国浙江省富陽市金秋大道富通科技園9号
富通昭和線纜(天津)有限公司 中国天津滨海新区高新区滨海科技园(西区)創新大通318号

昭和電線 レビュー

第60巻 (通巻116号)

[配布限定]

昭和電線レビュー編集部会

部会長 長谷川 隆代
委員 植田 正明 横溝 博次
森下 裕一 足田 靖成
長 伸俊 松本 信行
大石 智雄 会田 二三夫
桑木 亮仙 村上 博美
重住 俊之 菅井 幹夫
開發 美雪 森 純一郎
香月 史朗 長谷川 聡
梅田 孝 宮澤 諒

(順不同)

編集・発行人 菅井 幹夫

発行日 2014年5月28日

発行所 昭和電線ホールディングス株式会社
〒105-6013
東京都港区虎ノ門四丁目3番1号

印刷 株式会社栄光舎

[禁無断転載・複製]

©2014 SWCC SHOWA HOLDINGS CO.,LTD.,Printed in Japan



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・光ファイバケーブルの総合メーカー

昭和電線デバイステクノロジー株式会社 / 精密デバイス、免震装置、振動制御機器

昭和電線ビジネスソリューション株式会社 / e-ソリューション

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

株式会社ダイジ / 機器用電線、ワイヤハーネス

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

株式会社エクシム / 電力ケーブル、架空送電線、電力機器・部品、工事

株式会社ユニマック / エナメル線、横巻線