



写真: 154kV機器用ダイレクトモールドブッシングを使用した変圧器
東北電力(株)殿ご使用 写真提供: 日立製作所(株)殿

昭和電線のオープンネットワークケーブル

オープンネットワークとは？

従来のネットワークシステム

デバイス機器製造メーカー
独自のプロトコルでシステム化

ユーザー：ベンダーの開発や継続供給に左右される

ベンダー：開発時間とそのコスト、供給義務と保守が負担

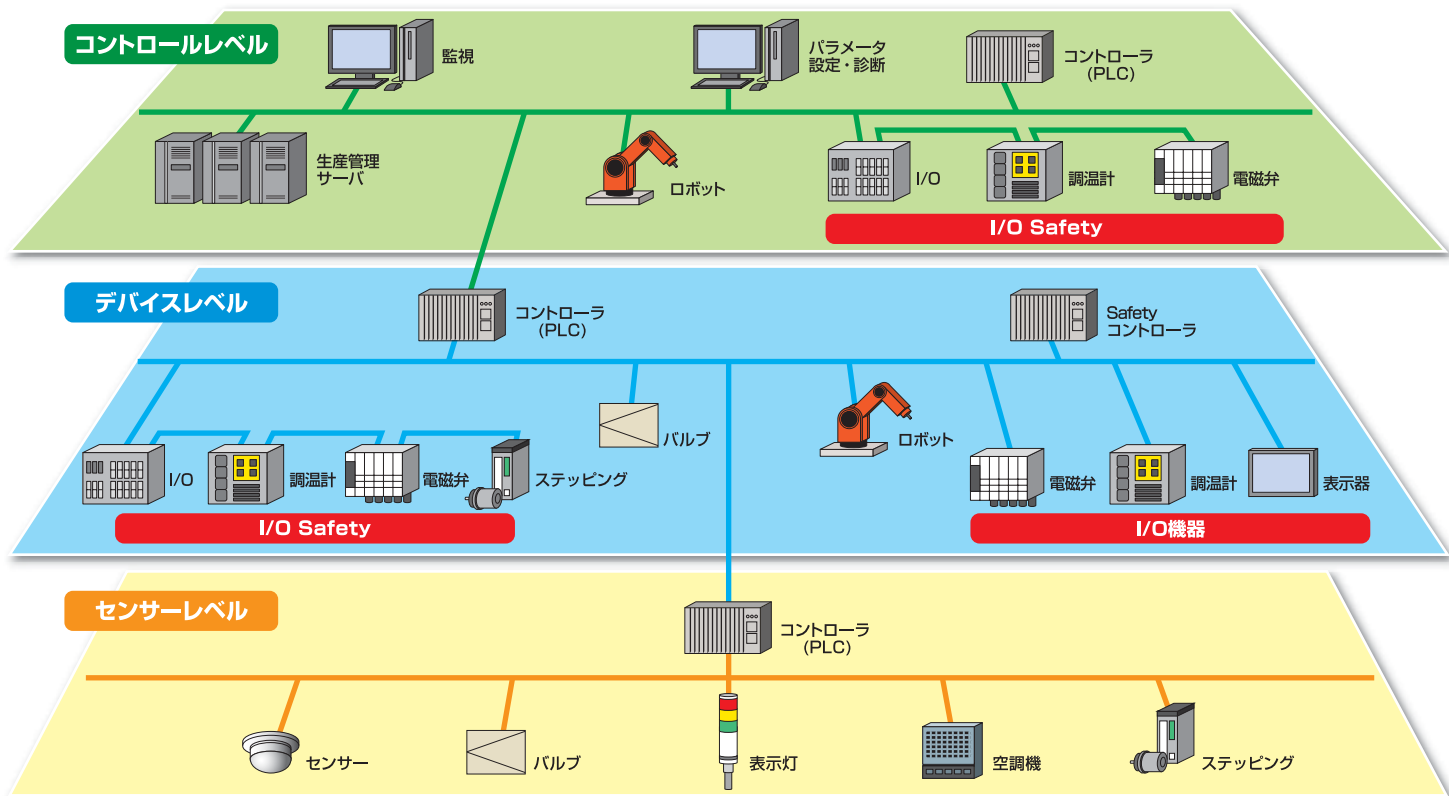
オープンネットワークシステム

従来の欠点解決 システムをオープン化し、
マルチベンダー対応

ユーザーは色々な機器を選択可能

ベンダーは開発、供給へのリスク回避ができる

昭和電線では、FA(Factory Automation)、PA(Process Automation)で採用されているオープンネットワークに使用する各種ケーブルを提供しています。コントロールレベルにおける上位層では10Gbps伝送も可能な光ファイバケーブル、1Gbps伝送対応の高遮へいイーサネットケーブル、中間層デバイスレベルのコントローラなどに使用されるデバイスネットケーブルやCC-Linkケーブルといった専用フィールドバスケーブル、100Mbps伝送専用の2対高遮へいイーサネットケーブル、末端のデバイス機器に使用されているセンサーケーブルやロボットケーブルなどの品種も含め、ネットワーク全体でお使い頂けるケーブル製品群を提供しています。



上位層
ネットワーク
↑
↓
フィールドバス
ネットワーク

コントロールレベル

PLC等の制御装置間の通信ネットワーク。
機器間の情報交換を行い、生産情報をリアルタイムに制御する。

主な規格
EtherNet/IP EtherCAT Technology Group CC-Link IE Field



デバイスレベル

ライン内の装置制御を行う通信ネットワーク。
PLCとインテリジェントな各種フィールド機器などを接続する。

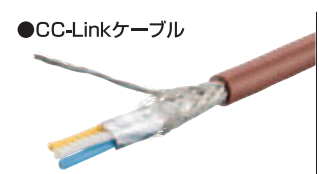
主な規格
DeviceNet CC-Link EtherNet/IP EtherCAT Technology Group



センサーレベル

盤内、装置内等の機器・I/O制御を行う通信ネットワーク。
スイッチやセンサー等の接点信号、ON/OFF信号を扱う。

主な規格
CompoNet CC-Link/LT



目 次

〈普通論文〉

工業炉を利用した熱電発電システムの発電実証試験 (第 2 報)	昭和電線ケーブルシステム(株) 箕輪昌啓・中村倫之 富山和也・柴田均	...	5
	昭和電線ビジネスソリューション(株) 藤沢登美雄・倉田博司 奥山進		
改良型線材作製工程を導入した超電導テープ線材 “nPAD-YBCO [®] ” の磁場中特性向上	昭和電線ケーブルシステム(株) 木村一成・小泉勉	...	10
	昭和電線ホールディングス(株) 長谷川隆代		
AC 35 kV 600 A 超電導ケーブルシステムの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 足立和久・北村祐 中西達尚・青木裕治 小泉勉・三堂信博	...	15
	昭和電線ホールディングス(株) 長谷川隆代		
nPAD-YBCO [®] 線材を用いた超電導電流リードの開発 (第 2 報)	昭和電線ケーブルシステム(株) 高橋亨・中村達徳 引地康雄・箕輪昌啓 小泉勉・木村一成	...	20
	昭和電線ホールディングス(株) 長谷川隆代 東海大学 山田豊		
275 kV OF/CV 異種接続部の開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 松倉豊・新井敦宏 小森博文・土屋信一	...	25
	昭和電線ホールディングス(株) 桑木亮仙		
66/77 kV SIS 用 AC/DC 断路機能付 T 形終端接続部の開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 田渡未沙・今西晋	...	31
	昭和電線ホールディングス(株) 桑木亮仙 株式会社 東芝 清原悟・多賀谷治		
産業用高遮へいイーサネットケーブルの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 山崎泰誠・小林敬久 森下裕一・宮口幸一	...	35

医療機器向け光アクティブケーブルの開発	昭和電線ケーブルシステム(株) 田邊賢吾・村瀬知丘 金子貴皇	… 40
	ヒロセ電機株式会社 佐野義昭・鈴木修司	

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	昭和電線ケーブルシステム(株) 田邊賢吾・金子貴皇 吉原龍夫・瀬戸昭博	… 45
	杭州富通通信技術股份有限公司 野呂 互	
	富士電線(株) 清武耕三	

オイルダンパー付き弾性すべり支承の開発	昭和電線デバイステクノロジー(株) 三須基規・福田滋夫 加藤直樹	… 50
	戸田建設株式会社 谷地敏和夫	
	西松建設株式会社 飯塚信一	
	カヤバシステムマシナリー株式会社 露木保男	

過大変位抑制積層ゴムの開発	昭和電線デバイステクノロジー(株) 谷川友秀・福田滋夫 加藤直樹	… 55
	株式会社日建設計 吉田 聡・伊藤 敦 田代靖彦・吉澤幹夫	

〈新製品紹介〉

154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシング	… 64
66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用接続部	… 65
アース線付 600 V ポリエチレン絶縁耐燃性ポリエチレンシースケーブル EEF/F(G)	… 66
産業用高遮へいイーサネットケーブル FAE-5002	… 67
細径ドロップ光ケーブル	… 68
強風対策用 2 心ドロップ光ケーブル	… 69
構内配線用コード集合型光ケーブル SLick ケーブル™	… 70
Cat.6A 対応屋外用 LAN ケーブル (TPCC® 6A-LAP)	… 71
エアレス・メンテナンスフリー 卓上型除振台 PB-SMG	… 72
真空ポンプ音をシャットアウト 防音ボックス SIB シリーズ	… 73

〈トピックス〉

アルミ導体 CV ケーブルを採用した長距離送電システムの初納入	… 74
EM-TNC 小サイズのセパレータレス化 (WL 対応品)	… 75
免震ビルで活躍する卓上アクティブ除振台「SAT シリーズ」	… 76

〈社外技術発表一覧表〉	… 77
-------------	------

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2015 Vol. 61

CONTENTS

< Regular Papers >

Demonstration Test on the Thermoelectric Generating System for High Temperature Industrial Furnaces - Part 2 -	5
Improvement of In-field Properties by Introducing the Novel Step in the Fabrication Process of Coated Conductors "nPAD-YBCO [®] "	10
Development of AC 35 kV 600 A Superconducting Cable System	15
Development of a HTS Current Lead Prepared by nPAD-YBCO [®] Tape - Part 2 -	20
Development of Transition Joint for 275 kV Oil-filled Cable and XLPE Cable	25
Development of 66/77 kV Cable Sealing End with AC/DC Disconnecting Device for Solid-insulated Switchgear	31
Development of High Performance Shield Ethernet Cable	35
Development of Active Optical Cable for Medical Device	40
Development of Ultra High Density Optical Fiber Cable with Rollable Optical Fiber Ribbons	45
Development of Base Isolation Device of Sliding Support with Oil Dampers	50
Development of Excessive Displacement Suppression Rubber Bearing	55

< New Products >

154 kV Direct-Molded Bushing for Transformation Facilities	64
Joints for 66/77 kV Aluminum Conductor XLPE Cable	65
600 V Polyethylene-insulated Flame-retardant-polyethylene-sheathed Cables with Grounding Wire	66
High Performance Shield Ethernet Cable "FAE-5002"	67
Small Size Optical Fiber Drop Cable	68
2-Fiber Optical Drop Cable with Reduction of Wind Effect	69
Cord-set Optical Cable for Premises Wiring	70
Cat.6A Outdoor Type Cable for LAN (TPCC [®] 6A-LAP)	71
Airless Maintenance-free Desktop Vibration Isolator PB-SMG	72
SOUNDPROOF BOX SIB Series to Reduce the Noise of Vacuum Pump	73

< Topics >

First Supply of Aluminum Conductor XLPE Cable for Long Distance Power Transmission System	74
Omission of Separator for Small Size "EM-TNC" Compliant with WL	75
Tabletop Active Vibration Isolator "SAT Series" Used in the Seismic Isolation Building	76

< List of Technologies Published since 2014 >	77
---	----

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

工業炉を利用した熱電発電システムの発電実証試験 (第2報)

Demonstration Test on the Thermoelectric Generating System for High Temperature Industrial Furnaces - Part 2 -

箕輪昌啓 中村倫之 畠山和也 藤沢登美雄
Masahiro MINOWA Tomoyuki NAKAMURA Kazuyuki HATAKEYAMA Tomio FUJISAWA

倉田博司 奥山進 柴田均
Hiroshi KURATA Susumu OKUYAMA Hitoshi SHIBATA

産業用の製造機器や輸送機器、また、民間の生活環境で消費されるエネルギーの多くは石油をはじめとした化石燃料が主たるエネルギー源となっているが、有効利用されているのは約3割程度であり残りの7割は排熱として捨てられているのが現状である。これらの排熱を何らかの手法により再利用できれば、一次供給エネルギーの利用効率が高くなり、結果として化石燃料のエネルギー消費量を削減できる。熱電発電はゼーベック効果を有する素子を利用して熱を直接電力に変換する技術であり、排熱の再利用が可能な技術として知られている。当社では自社所有の工業炉を利用して熱電変換による発電実証試験を2009年より試みてきた。本報では主に2014年度に実施した熱電発電システムの実証試験について報告する。

Conventionally a lot of energy consumption is dependent on fossil fuels, and, about 70% of which are thrown away as waste heat. If we reuse this waste heat, it can improve the utilization efficiency of energy. It is known that thermoelectric generation is a technique for directly converting heat into electricity.

Using own industrial furnaces, we have conducted power generation demonstration tests by the thermoelectric conversion since 2009. In this paper, mainly we will report the results of the 2014 FY.

1. はじめに

産業用の製造機器や輸送機器、また、民間の生活環境で消費されるエネルギーの多くは石油をはじめとした化石燃料が主たるエネルギー源となっているが、有効利用されているのは約3割程度であり残りの7割は排熱として捨てられているのが現状である。特に製鉄プロセスやガラス製造プロセス、セメント製造プロセス、窯業、廃棄物処理場などではエネルギーの使用量が多く、それだけ多くの排熱が集中して生じている。これらの排熱を何らかの手法により再利用できれば、一次供給エネルギーの利用効率が高くなり、結果として化石燃料のエネルギー消費量を削減できる。

工業プロセスや廃棄物処理場において、排熱を再利用する試みは古くから行われており、例えば冷却系の蒸気配管を利用してタービンを回し発電するシステムはその効率も高く、多くの場所で実用化されている。そのほかにも断熱材を用いて系から放散する熱を抑制する工夫や排熱をヒートパイプにより輸送し、蓄熱して再利用するなどの手法も開発されている。また、最近ではスターリングエンジンな

どにより、排熱を直接機械的エネルギーに変換して再利用する技術も検討されている。

熱電発電はゼーベック効果を有する素子を利用して熱を直接電力に変換する技術であり、首記の手法と共に排熱の再利用が可能な技術として知られている。熱電発電はその原理上、可動部がなく素子の両端に生じた温度差に応じた起電力が得られることから、メンテナンスが容易で小規模な排熱から大規模な排熱まで一定の効率で運転可能という優れた特徴がある。反面、変換効率がタービンによる発電やスターリングエンジンよりも低く、また、現状では発電モジュールのコストも高いことから、導入検討の事例はまだまだ少ない。また、既存のプロセスに熱電発電デバイスを組み込もうとしても、既に、その他の排熱利用機構が組み込まれていて熱電発電デバイスの適用箇所が実際にはなかなか見出しにくいことも、熱電発電の導入が増えてこない原因のひとつであると思われる。つまり、熱電発電を実用化していくためには、まずは適用しようとするプロセスが他の排熱再利用技術と比較して本当に技術的、経済的に

優れたサイトであるのかということを見極めることが必要である。

熱電発電の実用化が進まないもうひとつの要因は、用途に応じた発電デバイスの開発例に乏しいことが挙げられる。大学等の研究機関による熱電変換素子の開発は活発であるが、素子を集積して、実際に発電可能なデバイスに組上げる技術についてはその例も決して多いとは言えず発展途上の状況である。排熱に適用可能な熱電発電デバイスの開発は基本的にこれをビジネスとして成立させる企業の役割と考えられるが、ビジネスを成立させるための具体的な市場が明確になっていないことが、デバイス開発に対する投資を妨げているように思われる。

このような背景の中、当社では自社所有の工業炉を利用して熱電変換による発電実証試験を2009年より試みてきた¹⁾。そして、発電デバイスの改良、刷新を重ねつつ2015年現在においても試験を継続している。これには熱電変換技術を応用した発電デバイスの出力や耐久性を検証し、また、発電した電力の利用方法を具体的に提示することにより、数多くある排熱利用技術のひとつとしてのメリットを明確に示すという目的がある。本報では主に2014年度に自社工場内にて実施した実証試験について報告する。

2. 熱電発電の原理

ある種の材料の両端に温度差をつけると温度差に応じた大きさの電位差がその材料の両端に生じる。この現象はゼーベック効果と呼ばれている。ゼーベック効果の大きさは材料の種類により大きく異なるが、ビスマス・テルル系に代表される金属系の材料が代表的な物質として知られている。熱電発電とはこのようなゼーベック効果を有する材料（熱電変換材料）に温度差を付与し、材料そのものに生じる電位差から電力を得る発電方法である。

熱電変換材料は温度差が生じたときの電位差の向きにより、n型とp型の2種類に分類される。n型の熱電変換材料の片端に熱を加えると、温度が高い部分で伝導電子のエネルギーが高くなり、温度が低い部分に伝導電子が移動し材料内で電位差が生じて、熱起電力が発生する。一方、p型の熱電変換材料は正電荷を帯びた正孔が温度の高い部分から低い部分に移動することで熱起電力が発生する。よって、**図1**に示すようにn型の熱電変換材料とp型の熱電変換材料を直列に接続することにより電流が流れ、これを外部に取り出すことで発電機の働きを発現する。

実証試験ではこれらの熱電変換材料を数mm角の素子状に加工した熱電変換素子を絶縁基板上に緻密に配列し、これらを交互に電極材で接合した熱電変換モジュールを発電の基本装置として利用した。

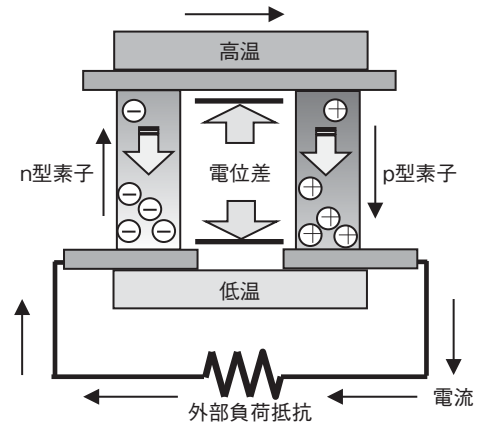


図1 熱電発電の原理

3. 熱電発電デバイス

本実証試験に利用した熱電発電デバイスは、熱源からの熱を受ける受熱板とその背面に設置される熱電変換モジュール、及び、熱電変換モジュールの対向面を冷却する水冷板より構成され、これらを熱源に装着可能な取り合いを有するフレームにより一体化された基本構造となっている。基本構造はこれまでの実証試験に使用したデバイスと同様であるが、界面の熱抵抗低減のために新しいフレーム構造を採用した²⁾。熱電発電デバイスの外観を**図2**に示す。

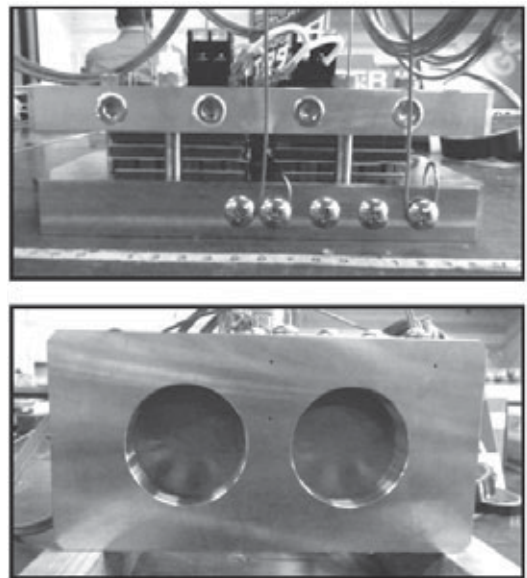


図2 熱電発電デバイスの外観

3.1 熱電変換モジュール

今回の実証試験では受熱面の温度が600℃以上になることが想定されたことから、耐熱性に優れた酸化物系の熱電変換素子を利用した熱電変換モジュール（酸化物モジュール）を受熱板に近接させて使用した。更に設置面積あたりの出力を改善するために、酸化物モジュールの低温側に耐熱性は劣るものの出力性能に優れたビスマス・テルル系の

熱電変換モジュール（BiTe モジュール）を積層したカスケードタイプの熱電変換モジュール（カスケードモジュール）を構成することで、耐熱性と出力性能の両立を図った。本カスケードモジュールの仕様を表1に示す。

表1 カスケードモジュールの仕様

寸法	60 mm×60 mm
素子種類	
酸化物モジュール	n 型：CaMnO ₃ , p 型：Ca ₃ Co ₂ O ₇
BiTe モジュール	n 型, p 型：Bi ₂ Te ₃
出力	
@ 500°C	8.4 W
@ 600°C	11.8 W
@ 700°C	15.7 W

3.2 熱電発電デバイス構成部材

熱電発電デバイスの高温側と低温側に配置される受熱板と水冷板は、より大きな温度差をカスケードモジュールに生じさせるために出来るだけ熱抵抗の小さな部材で構成されることが望ましい。また、これらの部材の接触界面におけるわずかなすき間が界面熱抵抗として熱電発電デバイス内部の熱流を妨げることから、可能な限り密着させることがカスケードモジュールの性能を発揮させるために重要である。

そこで、受熱板には前回の実証試験¹⁾で実績のある高熱伝導率のSiC板を利用した。水冷板には内部に水路を加工したアルミの板材を利用した。受熱板、カスケードモジュール、水冷板それぞれの界面には各部材間の密着性を確保するために銅製の板材を配置した。そして、ステンレス製のフレームを用いてこれらを一体化し、適用する熱源に装着可能な構造とした。各部材の寸法を表2に示す²⁾。また、熱電発電デバイスの仕様を表3に示す。

表2 熱電発電デバイス構成部材の寸法

部材	幅 (mm) × 長さ (mm)	厚さ (mm)
水冷板	200×100	19.0
銅板	60×60	5.0
BiTe モジュール	60×60	2.3
銅板	60×60	7.0
酸化物モジュール	60×60	4.0
SiC 板	62×62	4.0
ステンレスフレーム	200×100	25.0

表3 熱電発電デバイスの仕様

デバイス形式	壁面タイプ
外寸	200 mm×100 mm
装着モジュール	カスケードモジュール ×2 set
出力特性	
@ 500°C	17 W
@ 600°C	24 W
@ 700°C	31 W

4. 熱電発電システム

熱電発電デバイスからはデバイス内に発生した温度差に応じた直流の電力が得られる。この電力を負荷に給電する

ためには太陽光発電などの他の再生可能エネルギーと同様なPCS (Power Conditioning System) を介して負荷に接続する必要がある。今回、構築した熱電発電システムの構成と電力の利用方法について以下に示す。

4.1 熱電発電システムの構成

今回の実証試験では合計13体の熱電発電デバイスを使用した。これら熱電発電デバイスにより得られた電力はDC/ACコンバータを介しAC100Vの負荷に接続可能な発電システムとして運用を図ることとした。また、余剰の電力は蓄電池に充電し、負荷に対して電力が不足する場合には蓄電池より給電可能な構成とした。熱電発電システムの電気系統に関するブロック図を図3に示す。

MPPT (Maximum Power Point Tracking) 方式の制御装置は太陽光発電向けに市販されている汎用の装置を流用し、蓄電池には12V、108Ahの鉛蓄電池を2台接続した。

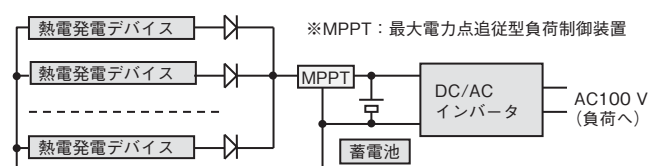


図3 電気系統のブロック図

4.2 電力の利用方法

発電した電力は工場内の照明や本実証試験の説明のために来客用展示コーナーに設置した液晶モニタ等複数の負荷に給電した。それぞれの負荷の運転に必要な電力と稼働時間について、表4にまとめた。

表4 発電システムに接続した負荷

供給場所	負荷種類	出力	稼働時間
事務棟出入り口	照明	70 W	必要などのみ
事務棟展示コーナー	実証試験用液晶モニタ	50 W	8:15~17:00
事務棟展示コーナー	熱電紹介パネルの照明	55 W	必要などのみ
食堂前掲示板付近	照明	40 W	夜間のみ

5. 実証試験

実証試験は前回¹⁾同様、当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°Cに保たれている。

この予熱炉側面に設けられ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。熱電発電デバイスに供給する冷却水は周囲で使用中の工業用水配管を分岐させて利用した。装着状況を図4に示す。

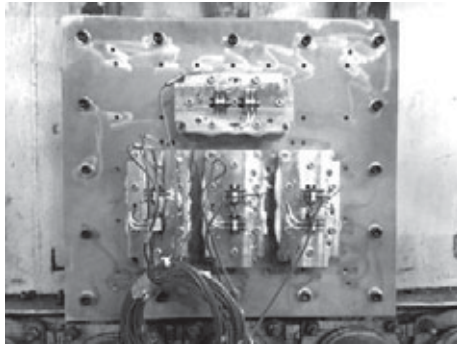


図4 熱電発電デバイスの装着状況

5.1 熱電発電システムの試験結果

熱電発電システムの代表的な運転パターンとして、2015年2月3日から2月10日までの発電出力と負荷の利用電力を合わせて図5に示す。この期間における熱電発電デバイスの最大出力は100 Wで15.2 kWhの電力量を得ることができた。また、同期間に消費した負荷の最大消費電力は90 Wで電力量は9.1 kWhであった。更に本期間における蓄電池への充電電力と蓄電池の電圧を図6に示す。消費電力に対して発電出力が大きかったことから、蓄電池への充電が行われ、蓄電池の充電量の指標となる蓄電池電圧が上昇していることが確認できた。また、発電システムの充電機能が適切に動作していることを確認できた。

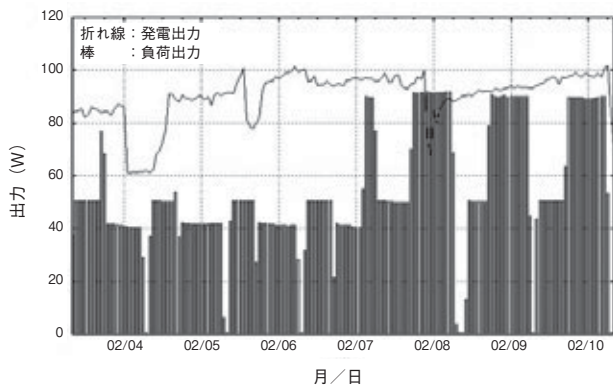


図5 熱電発電システムの運用状況

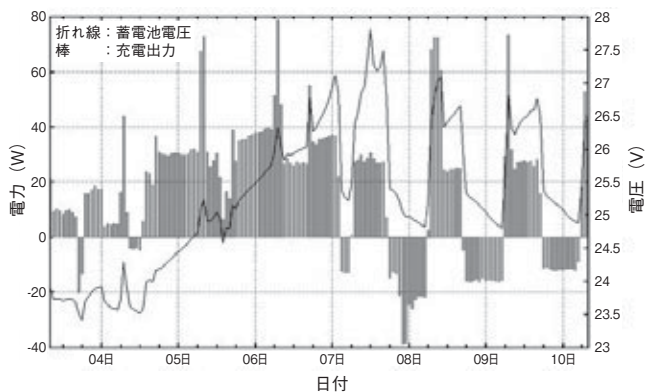


図6 蓄電池の運用状況

本期間に限らず、定常運転中では消費電力量よりも発電電力量のほうが大きく、本発電システムをより大きな負荷に接続できることが確認できた。熱電発電システムで得られた電力をより有効に活用していく上の課題となった。

6. まとめ

前報に引き続き、自社内工業炉を利用して熱電変換による発電システムの第3回実証試験を実施した。新構造の熱電発電デバイスを採用し、蓄電機能付きの熱電発電システムを運転した結果、負荷への電力供給や蓄電池への充電が適切に行われたことを確認した。今後は熱電発電デバイスの長期発電性能を評価するとともに、接続する負荷の量を増やし、発電した電力を無駄なく利用可能な発電システムを構築し、熱電発電の実用化に向けて、本技術の経済性をより向上させていきたい。

参考文献

- 1) 小林, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, p.15 (2014)
- 2) Hatakeyama et al: "Demonstration test on the thermoelectric generator for high temperature industrial furnaces", the 32nd international conference on thermoelectrics (2013)

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 新製品開発グループ 主査

熱電変換の研究・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 新製品開発グループ 主査

熱電変換の研究・開発に従事

昭和電線ビジネスソリューション(株)

藤沢 登美雄 (ふじさわ とみお)

生産技術部 主査

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・線材ユニット 電線製造部 三重線材課長

改良型線材作製工程を導入した超電導テープ線材 “nPAD-YBCO[®]” の磁場中特性向上

Improvement of In-field Properties by Introducing the Novel Step in the Fabrication Process of Coated Conductors “nPAD-YBCO[®]”

木村 一成 小泉 勉 長谷川 隆代
Kazunari KIMURA Tsutomu KOIZUMI Takayo HASEGAWA

酸化物高温超電導線材の超電導応用機器実用化に向けた開発が進む中、酸化物超電導コイルに求められる要求性能を満たすためには、液体窒素温度、磁場中で高特性を示す超電導線材が求められている。要求に応えるため、我々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。有機酸塩熱分解法（TFA-MOD 法）による本線材の作製工程の中で、本焼工程中に中間熱処理を施す改良型熱処理工程を導入し、更なる線材特性の向上に成功した。開発した線材は、従来型熱処理工程で作製した線材と比較して、液体窒素温度、3 T での臨界電流値が約 5 倍となり、大きく改善することがわかった。本報告では、この製法で 100 m 級長尺線材を作製し、TFA-MOD 法を用いる中間熱処理を含むバッチ式プロセスをスケールアップすることができたことを報告する。

With technological advance of the REBaCuO (RE: Rare Earth elements) coated conductors (CC), development of the superconducting applications for its practical use has been carried out recently in various fields. In order to respond to customer's request, we developed REBCO superconducting tape, named nPAD-YBCO[®], in which artificial pinning centers (APC) are introduced with the objective of improving electrical properties in magnetic field. We developed an advanced heat treatment process including an appropriate intermediated heat treatment in the Trifluoroacetate metal organic deposition (TFA-MOD) process, resulting in achieving higher magnetic properties thereof. The nPAD-YBCO[®], we developed, had a critical current five times higher than that of YBCO tape fabricated by the conventional heat-treatment process in backup-field of 3 T. In this report, we successfully fabricated 100 m long nPAD-YBCO[®] tape, which means that the heat treatment process including intermediated step can be applicable to a large-scale batch type furnace.

1. はじめに

日本はエネルギー資源の大半を海外に依存しているため、世界のエネルギー需給動向によって大きく影響を受ける。そのため、より効率的なエネルギー活用の方策が求められている。中でも電力に関しては、生活・社会基盤と言えるエネルギーであるため、より安定で且つ効率的な系統を構築する必要がある。日本の送変電システムは世界トップレベルの高効率を有しており、送変電時の損失は総発電電力量の約 5% で飽和状態にある。つまり、更なる損失低減には、超電導技術等の革新的技術の適用が必要とされる。

一方で、超電導技術はすでに活用されており、金属系超電導コイルを用いて磁気浮上式超電導リニア鉄道 (MAGLEV)、磁気共鳴イメージング装置 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) 等において実用化が進められている。

高温超電導は、上記金属系超電導に比して運転温度が高く (ヘリウム使用量削減)、磁場強度が高く (高性能、省スペース化)、省エネ性・低コスト化・熱的安定性に優れている。そのため、高温超電導 (特に希土類金属系高温超電導) を利用した超電導機器に対する期待が高い。

我々は、本焼工程にバッチ式プロセスを適用した、トリフルオロ酢酸塩塗布熱分解法 (Trifluoroacetate metal organic deposition: TFA-MOD 法) による (RE)₁Ba₂Cu₃O_{7.δ} (RE: Rare earth metal, 以下 REBCO と表記する) 超電導線材の開発を行っており、高 I_c (I_c : 臨界電流) 化、長尺化、そしてその均一性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、Miura らの手法^{2), 3)} をバッチ式プロセスに適用して人工ピン止め点 (Artificial Pinning Center: APC) を導入した REBCO 超電導線材の

開発を行っている。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ている。本報告では、既報⁴⁾に改良型本焼工程を導入した効果について理論的・実験的に検証した結果を追加した。また、既報⁴⁾で掲載した磁場中通電特性および 100 m 級長尺線材の評価結果は、改良型本焼工程の導入による特性向上であると考えられるため再掲載する。

2. 改良型熱処理工程

線材作製方法は以下の通りである。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量になるように原料溶液を調製した。この溶液に超電導体を構成する金属元素量に対して 2.0 at% の Zr 元素をオクチル酸塩として添加した。調製した溶液を、Hastelloy[®]/GZO/Y₂O₃/MgO (IBAD) /LaMnO₃/CeO₂ (Hastelloy : Haynes International, Inc. の登録商標) 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、銀安定化層を形成し、酸素雰囲気中においてポストアニールを行い、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 1)。

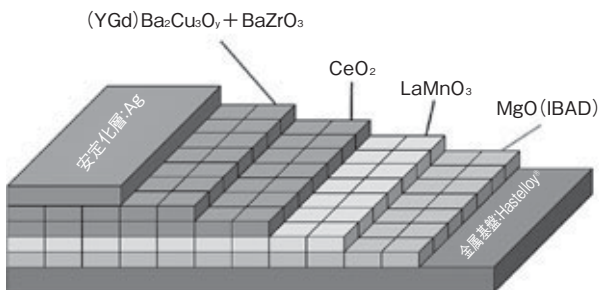


図 1 nPAD-YBCO[®] の線材構造模式図

これまでに、本焼工程に関して、仮焼温度と超電導相結晶化温度の間で一定時間温度保持する中間熱処理工程を導入することによって、通電特性が向上することが実験的に示されている⁵⁾。本試料に関しても特性向上を目的として中間熱処理工程を導入した。本焼プログラムの概略図を図 2 に示す。

従来型本焼工程は昇温・保持・冷却の単純なプログラムであるのに対し、改良型本焼工程は約 600℃ で数時間温度保持した後超電導相結晶化温度まで昇温する。従来型、改良型に関わらず、水蒸気を含むガスは 500℃ から導入しているため、必然的に改良型の方が従来型に比して薄膜内の水蒸気ガス濃度が高くなる。結晶化温度未満の前駆体状態

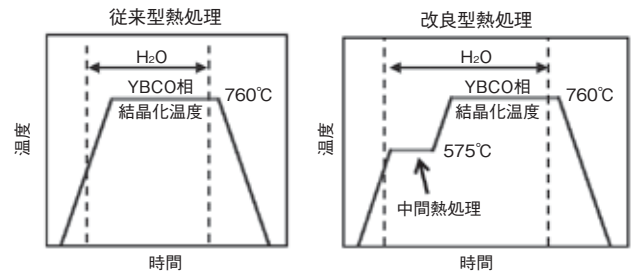
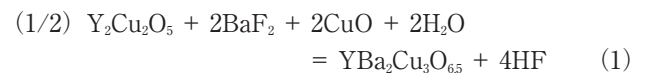


図 2 本焼工程温度プロフィール

から結晶化温度到達後の (Y_{0.77}Gd_{0.23}) Ba₂Cu₃O_y 相 (YBCO 相) 形成の反応式を以下に示す。



前駆体構成物質が H₂O と反応して YBCO 相と HF ガスを生成する。つまり、超電導相を形成するために必要な H₂O が、結晶成長反応開始時に前駆体膜内に多く存在していることが必要となる。

また、エピタキシャル成長している膜による粒子捕捉機構に関しては成長速度と粒子径に依存して、粒子捕捉と粒子押出の関係が報告されており、粒子捕捉臨界条件は粒子が大きく、成長速度が速いほど捕捉され、粒子が小さく、成長速度が遅いと押し出され、以下の関係が報告されている⁶⁾。

$$R^* \cdot r^* = \text{Const.} \quad (2)$$

ここで、 R^* および r^* はそれぞれ粒子が成長結晶内に捕捉される時の臨界成長速度と捕捉される粒子の臨界半径である。

図 3 に YBCO 相結晶化温度到達直後に急冷した試料の断面 HAADF (High-Angle Annular Dark Field Scanning TEM) 画像を、従来型および改良型熱処理工程で比較した。図より、改良型熱処理では結晶化温度到達直後に、すでに超電導相が成長し始めている様子が見られ、中間熱処理工程の有無で結晶成長速度に違いがあることが明らかとなった。式 (2) の粒子補足の関係から、YBCO 相の結晶成長速度が速い改良型本焼工程で超電導層を成長させることが高性能の超電導線材作製には有効である。

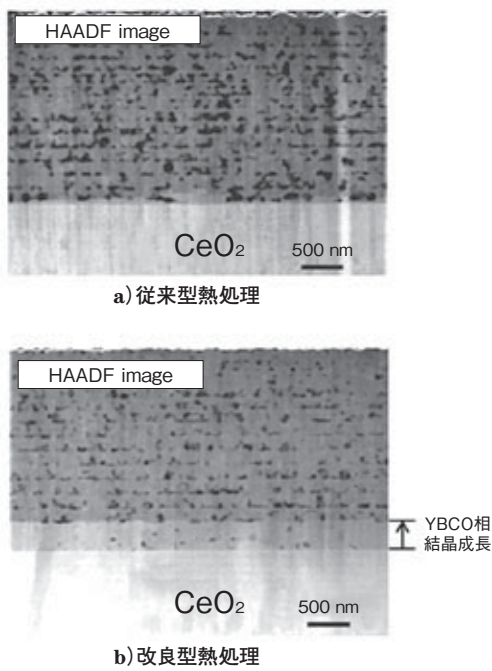


図3 YBCO相結晶化温度(760°C)到達直後に急冷した試料の断面HAADF像

3. 特性評価による中間熱処理工程導入効果の検証

中間熱処理工程の温度、時間、水蒸気分圧等を実験から適正化した後、YBCO相結晶化温度における炉内条件の適正化を行った^{7),8)}。

本焼工程時炉内圧力を下げることで、磁場中における通電特性が向上することを既に報告した⁴⁾。炉内圧力300 Torrの場合35 A/cm-w (77 K, 3 T)、炉内圧力250 Torrの場合56 A/cm-w (77 K, 3 T)であった。ここで、結晶成長速度(R)と水蒸気分圧(P_{H_2O})、炉内圧力(P_t)の関係式を示す⁹⁾。

$$R \propto C \frac{\sqrt{P_{H_2O}}}{P_t^{3/2}} \quad (3)$$

C : 定数

この式から、炉内圧力を下げると成長速度が速くなることわかる。また、既出の式(1)の通り、成長速度が速くなると結晶成長過程で捕捉される微粒子のサイズは小さくなる。人工ピン止め点のサイズが小さく、超電導層内に分散することによって、磁束を効率良くピン止めすることができ、磁場中での通電特性が向上する。炉内圧力低下による磁場中特性の向上は、成長速度が速くなったことによる結果であることが明らかとなった。また、中間熱処理工程の導入によりYBCO相の結晶成長速度が向上したことも一因と考える。中間熱処理工程を含む本焼時適正条件を求めることは、特性を左右する重要な作業であることを改めて確認した。

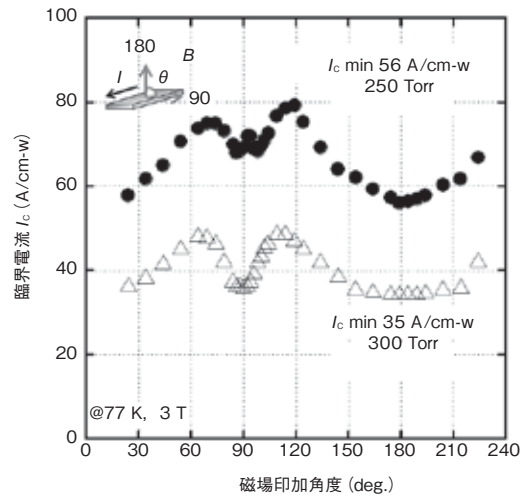


図4 臨界電流-3 T磁場印加角度依存性

さらに、臨界電流-印加磁場特性の評価を行い、APCの導入はあるが中間熱処理導入無しで作製した線材と、APCおよび中間熱処理の導入がない線材と比較した。測定は、テープ線材を貫く方向に磁場侵入する角度で測定した。TFA-MOD法バッチ式プロセスを使用して作製した場合、テープ面に平行($B//ab$)な積層欠陥などのイントリンシックピンの影響は $B//c$ で磁場印加した時に極めて小さく、APCは主に微粒子型のポイントピンになる。この磁場方向は人工的に導入したランダムポイントピンの効果のみを検証するために有効なものである。また、バッチ式プロセスを用いたTFA-MOD法で作製したテープ線材はほとんどの場合が $B//c$ の角度で最低値を取るため、その線材の特性を決定する I_c を導き出すためにも有効である。

測定結果を図5に示す。0 T~7 Tまでの磁場範囲で、中間熱処理を施したAPC導入線材が最も高い特性を示すことが明らかとなった¹⁰⁾。YBCO線材(APCおよび中間

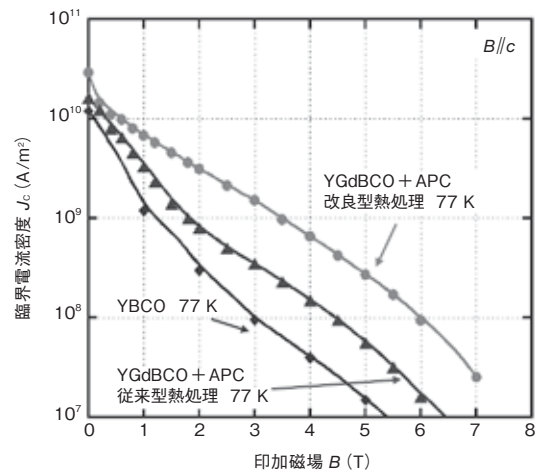


図5 臨界電流-印加磁場特性評価

熱処理工程無し) の線材よりも APC および中間熱処理を導入した試料では約一桁高い特性が得られた。また、中間熱処理の有無だけで比較すると中間熱処理導入線材の方がおよそ5倍も高い特性が得られた。3種類の線材を比較することで、APC および中間熱処理導入の効果が明確になり、磁場中特性向上の手法として適切な手法であることがわかった。

4. 100 m 級長尺線材への展開

前項までの検討から、5 cm 程度の短尺試験試料で中間熱処理工程を含む本焼工程の条件を適正化することによって TFA-MOD プロセスで作製された世界最高レベルの高い I_c を実現した。しかしながら、実用化のためには長尺線材を作製することが不可欠である。これまでの短尺試験試料での実験で得られた知見を活用・発展させ、長尺線材を作製するためのプロセス条件を適正化し長尺線材を作製した。また、磁場中における超電導特性の評価を行い、中間熱処理工程の導入効果について検討した。

既報⁴⁾の通り、RTR 式塗布・仮焼装置にて 120 m の仮焼テープを作製し、上記で得られた改良型熱処理プロセスを用いて本焼した。77 K 液体窒素温度 (液体窒素浸漬冷却) での自己磁場中 I_c 値は 400 A/cm-w ~ 600 A/cm-w (電圧端子間距離: 150 cm) と高低差がある結果となったが、極端な特性低下部分は見られず、自己磁場中特性で最低 400 A/cm-w の長尺線材を作製することができた¹¹⁾。すなわち、小型チューブ炉焼成並みの高い特性を維持したまま 100 m を超える長尺線材を大型バッチ式電気炉による焼成によって実現した。

また、この 120 m 線材の内、先端、後端、30 m 位置 (最も I_c 値が低い箇所) から短尺試料を切り出し、磁場中での通電特性を評価した (図 6)。いずれの試料も $B//c$ の時に最小値を示し、 $I_c > 50$ A/cm-w であることが判った。大型の電気炉では炉内環境を完全均一にすることは小型チューブ炉

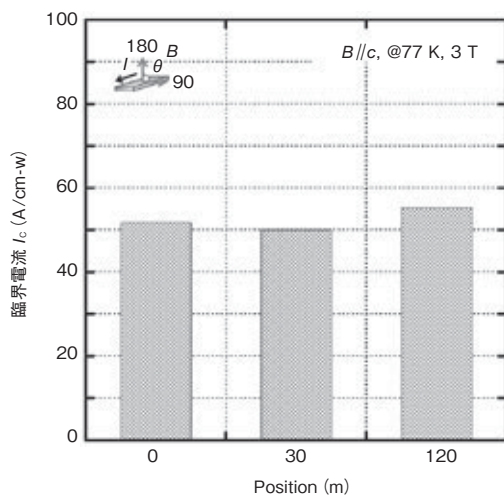


図 6 3 T 磁場中臨界電流測定結果 (@ $B//c$, 77 K)

よりも容積が大きい分難しくはなるが、大型バッチ式電気炉内の雰囲気コントロールすることで、cm オーダの短尺試料を焼成する小型電気炉で作製した試料と同等の性能を発現することができた。つまり、短尺試料で得られた特性を維持したまま長尺線材へスケールアップすることができ、大型バッチ式電気炉においても中間熱処理を含めた本焼プロセスを確立することができたといえる。

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。これまでに、実験的にのみ示されてきた中間熱処理工程について、メカニズムの一端を明らかにすることができた。今後、更なる実験を行い、理論的解析を行うことで、中間熱処理工程の反応機構や反応速度などの全容を詳らかにしていく。

適正化本焼成条件で作製した試料は、中間熱処理無しの従来型熱処理工程と比較して、5倍以上高い特性を示した。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、電流リードやケーブル、コイルなどへの実用化に向けて更なる特性向上を目指す。

本研究の一部は、高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクトの一環として、経済産業省および国立研究開発法人日本医療研究開発機構の委託により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 (2009) 023002
- 4) 木村一成, 広長隆介, 高橋保夫, 小泉勉, 長谷川隆代, 東川甲平, 井上昌睦, 木須隆暢, 中村達徳, 吉積正見, 和泉輝郎, 塩原融: 昭和電線レビュー, 60 巻 (2014) pp.20-24
- 5) Y. Takagi, Y. Takahashi, K. Nakaoka, M. Yoshizumi, N. Akagi, S. Takahashi, T. Izumi, Y. Shiohara: Physics Procedia, 27 (2012) 200-203
- 6) D. R. Uhlmann, B. Chalmers and K. A. Jackson: J. Appl. Phys., 35 (1964) 2986
- 7) K. Kimura, R. Hironaga, T. Koizumi, T. Nakamura, T. Nakanishi, N. Aoki, T. Hasegawa, Y. Takahashi, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara: Physics Procedia (2012), 27, 204-207
- 8) 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)
- 9) T. Honjo, Y. Nakamura, R. Teranishi, H. Fuji, J. Shibata, T. Izumi,

- and Y. Shiohara: IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol. 13, No. 2, (2003) pp. 2516-2519
- 10) K. Kimura, R. Hironaga, Y. Takahashi, T. Koizumi, T. Hasegawa, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss, T. Nakamura, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara: IEEE Trans. Appl. Supercond. 25, 6604204 (2015)
- 11) 木村一成, 広長隆介, 高橋保夫, 小泉勉, 長谷川隆代, 東川甲平, 井上昌睦, 木須隆暢, 中村達徳, 吉積正晃, 和泉輝郎, 塩原融: 低温工学 50 巻 1 号 pp.19-24 平成 27 年 2 月

昭和電線ケーブルシステム(株)

木村 一成 (きむら かずなり)

博士 (工学)

超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ

兼 産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)

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 出向

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)

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

グループ長

RE 系超電導テープ線材の研究・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)

長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)

工学博士

取締役 技術企画室長

兼 昭和電線ケーブルシステム(株)

超電導テクノロジーセンター長

AC 35 kV 600 A 超電導ケーブルシステムの開発

Development of AC 35 kV 600 A Superconducting Cable System

足立和久 Kazuhisa ADACHI 北村 祐 Tasuku KITAMURA 中西達尚 Tatsuhisa NAKANISHI 青木裕治 Yuji AOKI

小泉 勉 Tsutomu KOIZUMI 三堂信博 Nobuhiro MIDO 長谷川隆代 Takayo HASEGAWA

発電された電力をできる限り低損失で送電できる方法として、YBCO系線材を使用した超電導ケーブルシステムを開発した。超電導ケーブルと終端部を開発し、それらを組み合わせてCIGRE TB538に基づく形式試験を行い、十分な性能を有することを確認した。

We developed superconducting cable system using YBCO superconducting tape in order to provide a means of low transmission loss of energy power. We developed superconducting cable and sealing end, performed the type testing based on CIGRE TB538, and confirmed that the system met all requirements.

1. はじめに

東日本大震災以降、電力供給事情の厳しい状況が続く中、今後東京オリンピック開催やリニアモーターカーの稼働等、大量の電力を必要とする施設が多くなる。このため、電力送電、配電において省エネルギー化が強く求められている。

電力発電においては洋上風力発電やメガソーラー等の自然エネルギーを利用した発電が相次いでいるため、発電所から需要家までの送電によるロスの低減は省エネルギーに対して非常に重要である。

高温超電導体（HTS）線材は、銀を多く使用するビスマス系の第1世代線材に対して、近年 $YBa_2Cu_3O_y$ の組成で貴金属を使用しない低コストなイットリウム（Y）系の第2世代線材（YBCO）が開発されており、当社はYBCO線材を製造販売している^{1), 2)}。また、以前、極低温ケーブルとして液体窒素で冷却したケーブルシステムを開発している³⁾。この線材の技術と極低温ケーブル技術を融合することで、YBCO線材を使用した超電導ケーブルシステムを開発した。

超電導線は極低温下の直流では電気抵抗が0になるが、交流では磁界等の影響により交流損失が発生する⁴⁾。本ケーブルは従来よりも膜厚が薄いYBCO線材を使用しているため、交流損失の低減が可能であり、送電ロスを大幅に低減可能である。

本報では、定格35 kV - 600 Aの超電導ケーブルシステムを開発した結果を報告する。

2. 超電導ケーブル開発

超電導ケーブルの開発にあたり、ケーブルの重要品質性能を決定する超電導導体と絶縁紙の性能検証試験を行った。

2.1 超電導ケーブルの通電特性の最適化

超電導ケーブルの重要性能である、超電導線材の撚線プロセスの検討を行った。超電導線材の仕様を表1に示す。

超電導線材は金属基板であるニッケル合金テープ上にY系超電導体を形成したもので、その周囲に保護層として銅メッキ層が形成されており、厚さ0.2 mm幅4または5 mmのテープ状の導体となっている。これを液体窒素温度に冷却することによって超電導層が超電導状態になることでゼロ抵抗となり、臨界電流と呼ばれる値までゼロ抵抗状態で電流を流すことができる。

表1 超電導線材の仕様

項目	単位	値
厚さ	mm	0.2
幅	mm	4または5
臨界電流	A	> 100

超電導線材1本だけではケーブルとしての必要な電流を得られないために、複数本の超電導線材をバンドルして一つのケーブルにする必要がある。筆者らは、従来の電力ケーブルの製造に使用されている撚線機を使用して、フォーマと呼ばれる銅導体に複数本の超電導線材を撚り合わせることを検討した。フォーマには通常の電力ケーブルの導体に

使用されている円形圧縮導体を採用した。これは素線径 2.3 mm の銅導体を撚り合わせた後圧縮成形したもので仕上り外径は約 19 mm である。このフォーマの周囲に内層導体として幅 4 mm の超電導線材を 12 本撚り合わせた。この時、超電導線材の超電導層は撚り合わせの内側に配列した、**図 1** に超電導線材をフォーマに撚り合わせた後の状態を示す。

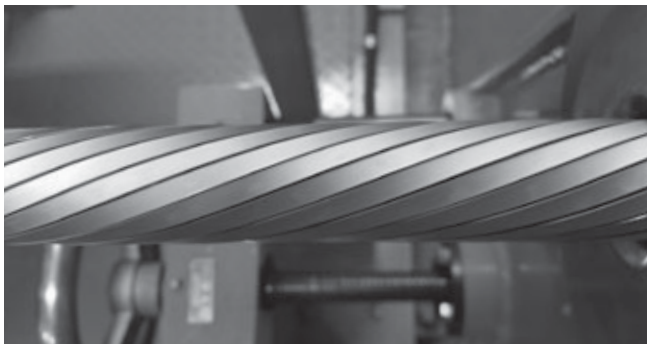


図 1 超電導線材の撚り合わせ状態

使用した YBCO 線材の特性から、上記の構造の超電導ケーブルの臨界電流はおおよそ 1200 A と見積もられる。製造したケーブルから長さ 1000 mm のサンプルを切り出し、両端に銅の通電端子を接続して、四端子法を用いて臨界電流値を求めた。臨界電流のクライテリオンは電界基準 $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ とした。**図 2** に臨界電流計測時の I-V 曲線を示す。

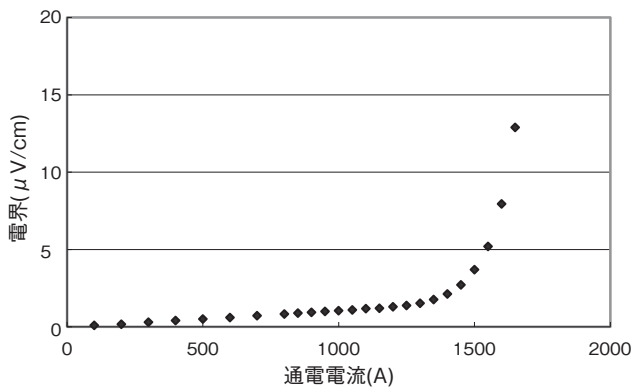


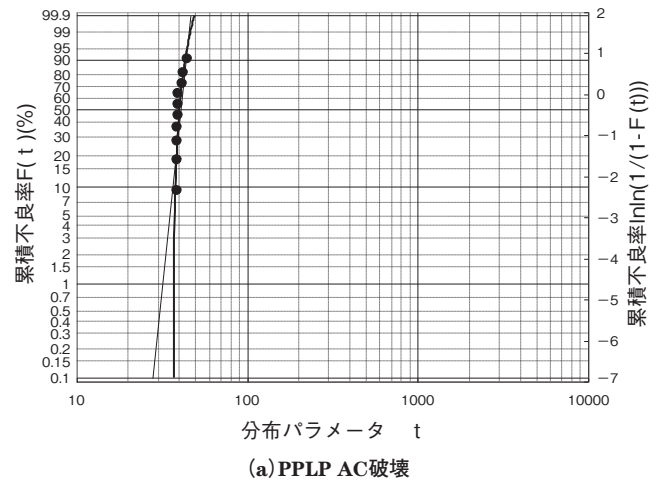
図 2 超電導導体の電流-電界 (I-V) 曲線

銅電極および接続抵抗分を差し引いた臨界電流値は設計値通りであることが確認された。

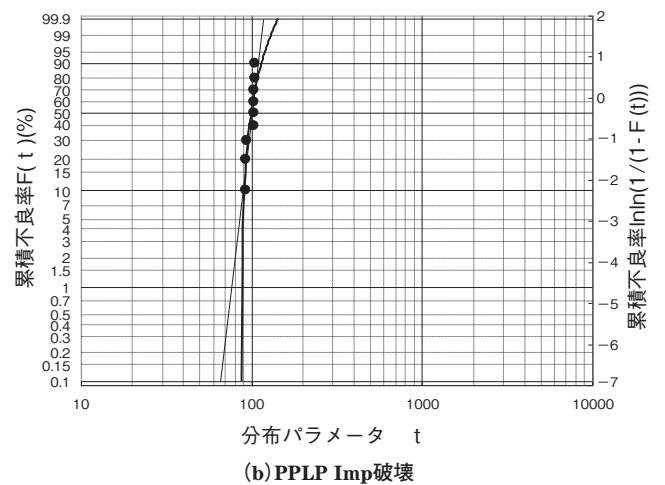
2.2 絶縁紙の紙巻きプロセスの検討

超電導ケーブルは液体窒素中に浸漬した状態で所定の電圧下で使用するため、通常の電力ケーブルと同様に絶縁層を形成するが、液体窒素中の低温環境下で絶縁性能を得る必要がある。筆者らは、絶縁紙に半合成紙である PPLP-C (クラフト紙とポリプロピレンシートの積層) を採用した。本材料 (幅約 20 mm 厚さ約 0.13 mm) を所定枚数導体上に巻くことで、所定の耐電圧性を持たせる。検証試験用として、外径約 19 mm の銅パイプ上に厚さ 1 mm の絶縁層を

形成した模擬ケーブルを作製した。これから長さ 1000 mm のサンプルを 10 本切り出し、液体窒素下での耐圧試験を行った。各試料の破壊電圧のワイブルプロットを**図 3** に示す。ワイブルプロットの結果から、液体窒素中の PPLP-C 絶縁層の耐圧性能は商用周波電圧が 36.9 kV/mm、雷インパルス電圧が 87.4 kV/mm であることがわかった。



(a) PPLP AC破壊



(b) PPLP Imp破壊

図 3 PPLP-C ケーブルの耐圧試験ワイブルプロット

2.3 超電導ケーブル設計

上記の絶縁性能検証結果をもとに超電導ケーブルの設計を行った。**表 2** に示す要求性能を満たすケーブルの構造と仕様を決定した。主要緒元を**表 3**、断面図を**図 4** に示す。

表 2 超電導ケーブルの要求性能

項目	単位	値
定格電圧	kV	交流 35
定格電流	A	600
臨界電流	A	1200
導体温度	K	< 77.3

表 3 超電導ケーブルの主要緒元

項目	単位	値
フォーマ外径	mm	19.0
内部超電導線材	mm	厚さ 0.2, 幅 4.0
	本	12
内部半導電層厚	mm	約 0.3
絶縁厚	mm	3.8
外部半導電層厚	mm	約 0.6
外部超電導線材	mm	厚さ 0.2, 幅 5.0
	mm	厚さ 0.5, 幅 4.0
遮へい層銅条	本	36
	mm	約 34
内コルゲート管外径	mm	約 72
外コルゲート管外径	mm	約 118
防食層外径	mm	130

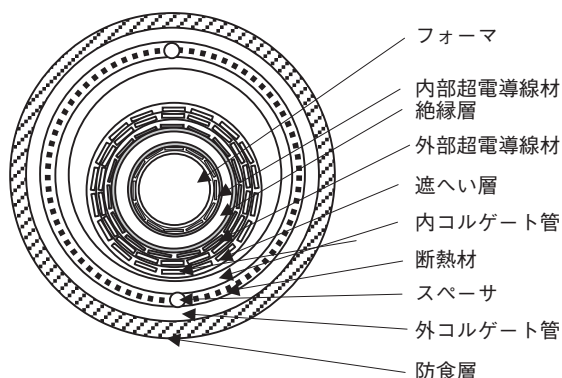


図 3 超電導ケーブルの断面構造

フォーマには、断面積 240 mm^2 の円形圧縮銅導体を採用した。このフォーマは超電導線材の巻枠としての機能に加えケーブル運転時の事故時に発生する短絡電流による超電導線材の焼損を防ぐための補償導体としての機能を持つ。外部超電導層の外側に、遮へい層を形成した。この遮へい層も短絡時の補償導体としての機能を有するため、 72 mm^2 の断面積の銅が配置されている。断熱用の 2 層のコルゲート管の間にはスーパーインシュレーションと呼ばれる断熱材料を配置した。これにより断熱層を真空にすることで、ケーブル周囲からの熱侵入が遮断できる。外部コルゲート管の周囲には厚さ約 5 mm の防食層を形成した。

3. 終端接続部の設計

超電導ケーブルシステムを開発する上で重要な開発要素である終端接続部の構造について説明する。

開発した終端接続部はケーブルと同様に二重管構造である。内管内部に液体窒素を入れ、内外管の間を真空にて断熱することで熱侵入を防いでいる。

ケーブルの電界緩和は OF ケーブルと同様に紙巻きのストレスコーンを用いた。また、超電導線材ははんだ付けにより通電端子と接続し、貫通ブッシングを介して外部の通電端子と接続した。

貫通ブッシングの導体サイズは大きければジュール発熱

が小さいが、熱侵入が大きくなる。このため、熱解析を行うことにより、貫通ブッシングの導体サイズを決定した。終端接続部の外観を図 4 に、熱解析結果を図 5 に示す。

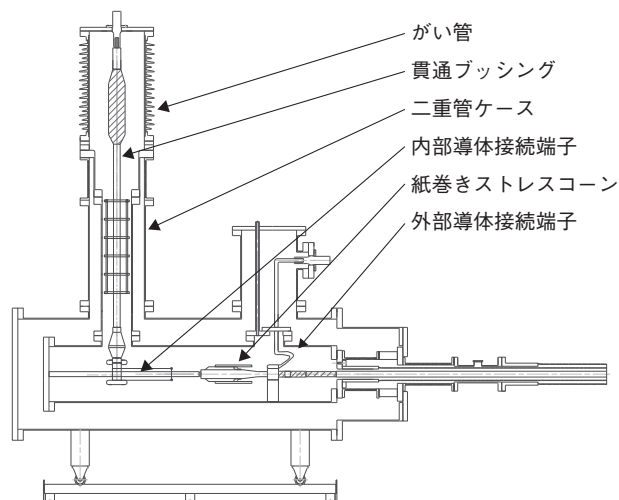


図 4 35 kV600 A 超電導ケーブル終端接続部

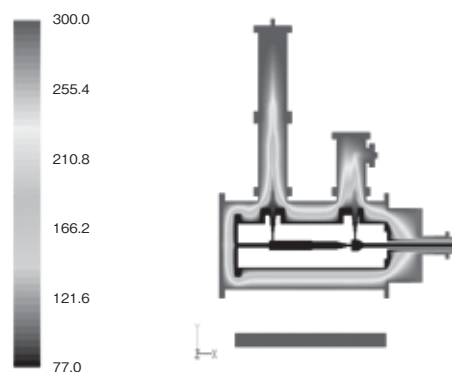


図 5 終端接続部の熱解析結果

4. 終端接続部モデル試験

超電導ケーブル終端を開発するために実際の紙巻き絶縁のストレスコーンと同じ大きさの終端接続モデルを試作し、電気試験を行った。

ステンレス製の真空二重管構造のクライオスタットに液体窒素を注入し、その中に試料を入れて電気試験を行った。試験状況を図 6 に、試験結果を表 4 に示す。

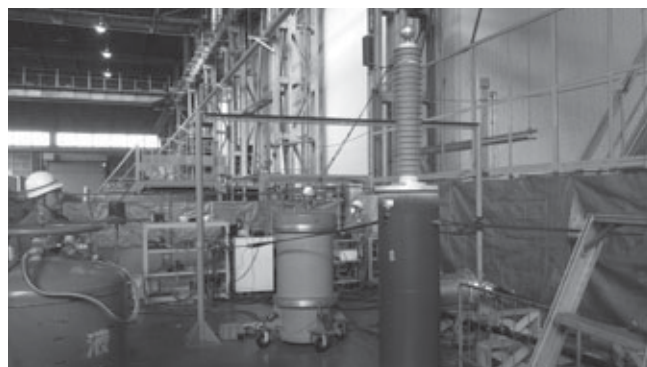


図 6 終端接続部のモデル試験

表4 終端接続部のモデル試験結果

項目	性能	結果
商用周波耐電圧	52 kV 30分	良
雷インパルス耐電圧	±200 kV 10回	良
商用周波部分放電	37 kV10秒後 31.5 kVにて発生しないこと	良

5. ケーブルシステム試験

開発した超電導ケーブルと終端接続部を組み合わせ、試験を行った。

組み合わせ後、内管の圧力試験を行い、0.5 MPaGにて漏れが無いことを確認したのち、外管を組立てしてHeリークディテクタにて 10^9 Pa・m³/secのレベルでリークが無いことを確認した。

リークテスト後、終端に過冷却システムによる冷却装置および循環ポンプの配管を接続した。

初期冷却の際には、まず窒素ガスにより173 K程度まで冷却し、その後液体窒素を注入することで77 Kまで冷却した。

液体窒素冷却では循環ポンプで過冷却状態にした液体窒素を強制循環することでケーブルシステム全体を冷却させた。このシステムを用いて、液体窒素の温度は65 K～70 Kに制御されている。

試験は最初5 mのケーブルを用いて、各種の初期試験を行った。結果を表5に示す。

表5 5 m ケーブルでの初期試験結果

	要求性能	試験結果
圧力試験	0.5 MPaGにて漏れなきこと	良
通電試験	600 A 通電にて異常発熱が発生しないこと	良
臨界電流測定	1200 A	良
絶縁抵抗	2000 MΩ	良
商用周波耐電圧試験	53 kV 30分に耐えること	良
雷インパルス耐電圧試験	±200 kV 各10回に耐えること	良
部分放電試験	37 kV10秒後 31.5 kVにて発生しないこと	良

次に、15 mのケーブルを用いて超電導ケーブルの試験推奨案であるCIGRE TB538に規定された試験を行った。

試験結果を表6に、試験状況を図7および図8に示す。

表6 CIGRE TB538による試験結果

	要求性能	試験結果
曲げ試験	180° 3回曲げを行い、試験に用いる	良
圧力試験	0.5 MPaGにて漏れなきこと	良
長期課通電試験	42 kV 連続課電 600 A 通電 8時間 on/16時間 off 20回	良
商用周波耐電圧試験	53 kV 30分に耐えること	良
雷インパルス耐電圧試験	±200 kV 各10回に耐えること	良
部分放電試験	37 kV10秒後 31.5 kVにて発生しないこと	良
臨界電流測定	1.0 μV/mm以上の電圧となる電流が1200 A以上であること	良

これらの結果より、CIGRE TB538に規定された各種試験に対しても十分な性能を有することが確認された。



図7 曲げ試験状況

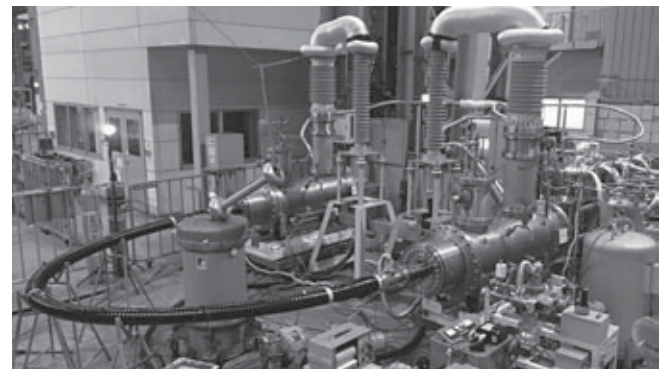


図8 長期課通電試験状況

6. ま と め

省エネルギーに有効な技術である超電導ケーブルシステムを開発した。開発したケーブルシステムは定格 35 kV, 600 A である。

社内で作製した YBCO 線材を用いて撚線導体を作製し、設計どおりの通電特性が得られることを確認した。また、絶縁に用いる PPLP-C の耐圧特性を評価し、導体設計に反映させた。これを開発した終端と接続し、冷却装置に接続して、CIGRE TB538 に準拠した試験を行い、十分な性能を有することを確認した。

参考文献

- 1) 中西達尚, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 58, No.1 (2008)
- 2) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, No.1, P20 (2014)
- 3) 芳賀薫, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 23, No.1, P32 (1973)
- 4) Y. Ohtsubo, M. Iwakuma, S. Sato, K. Sakaki, A. Tomioka, T. Miyayama, M. Konno, H. Hayashi, H. Okamoto, Y. Gosho, T. Eguchi, T. Saitoh, T. Izumi, Y. Shiohara: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 25,3, Article number 6966725, 2015.06.

昭和電線ケーブルシステム(株)
足立 和久 (あだち かずひさ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主査
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
北村 祐 (きたむら たすく)
工学博士
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主幹
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
中西 達尚 (なかにし たつひさ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主査
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
青木 裕治 (あおき ゆうじ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ 主幹
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
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
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)
三堂 信博 (みどう のぶひろ)
超電導テクノロジーセンター
ケーブルシステム開発グループ長
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)
長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)
工学博士
取締役 技術企画室長
兼 昭和電線ケーブルシステム(株)
超電導テクノロジーセンター長
超電導線材, ケーブルシステムの研究・開発に従事

nPAD-YBCO[®] 線材を用いた超電導電流リードの開発 (第2報)

Development of a HTS Current Lead Prepared by nPAD-YBCO[®] Tape - Part 2 -

高橋 亨 Kyo TAKAHASHI	中村達徳 Tatsunori NAKAMURA	引地康雄 Yasuo HIKICHI	箕輪昌啓 Masahiro MINOWA
小泉 勉 Tsutomu KOIZUMI	長谷川隆代 Takayo HASEGAWA	木村一成 Kazunari KIMURA	山田 豊* Yutaka YAMADA

超電導マグネットに電流を供給する電流リードは、外部からの熱侵入を抑えることが求められている。酸化物超電導体が発見されてから、イットリウム系超電導体 (YBCO バルク)、ビスマス系超電導体 (BSCCO バルク)、BSCCO 線材を使用した電流リードが商品化されてきた。我々は、77 K, 3 T 中で $I_c = 55$ A/cm 幅を有する、TFA-MOD 法により作製された人工ピン止め点導入型 YBCO 線材 “nPAD-YBCO[®]” の開発に成功し、これを用いた nPAD-YBCO[®] 電流リードの開発に着手した。

電流リードは外部磁場の影響を受ける場所に設置されるため、磁場中特性に優れた超電導材料を用いることが必須となる。また、超電導材料に磁場中特性に優れた超電導線材を用いた場合、用いられる線材量が少量となり、同時に、熱侵入量が低減される構造が実現可能となる。

本報では、定格 500 A 仕様 nPAD-YBCO[®] 電流リードの基本特性や熱履歴に対する影響、磁場中特性の評価結果を報告する。

High temperature superconducting (HTS) current lead is a device which supplies high current to superconducting magnet, and the most important property thereof is minimizing heat leakage to the cryostat. Since discovery of High-Tc superconductors, HTS current leads have been developed in many organizations and commercialized using superconducting materials such as BSCCO-bulk, YBCO-bulk and BSCCO-tape. Recently, we successfully developed high performance YBCO superconducting tapes in field which has the I_c values of 55 A/cm-width at 77 K in 3 T, named nPAD-YBCO[®] (nano-Particle Artificial-pinning-center Distributed YBCO tape). And we started development of newly HTS current leads using nPAD-YBCO[®].

HTS current lead using superconducting tapes with high magnetic properties, is possible to reduce the number of tapes for the current lead, therefore it can reduce the heat leakage.

In this paper, we report the evaluation results on basic properties of the 500 A class current leads, such as magnetic field properties and influence on heat cycles.

1. はじめに

マグネット、モーター、電力ケーブル、変圧器など超電導線材を利用した超電導応用機器の開発が、活発に行われている。中でも、ヘリウムの枯渇、冷凍機の性能向上・低価格化に伴い、無冷媒冷却超電導マグネットの開発が促進されている。超電導マグネットを省エネルギー且つ経済的に運転するには、極低温下にある超電導マグネットに電流を供給する際、電流リードからのジュール発熱及び外部か

らの熱侵入量を低減させることが求められている。

一般に、電流リードには、電気抵抗率の低い銅などが用いられているが、超電導マグネットの運転電流の増加に伴い導体断面積が大きくなり、外部からの熱侵入量が大きくなるため、超電導マグネットの冷却能力が低下するという問題が生じる。

そこで、超電導転移温度 (臨界温度: T_c) 以下において、ジュール発熱が無く、熱伝導率が非常に低い酸化物超電導電流リードを用いることで、超電導マグネットの冷却能力を向上させることができる (図 1 参照)。

* 東海大学

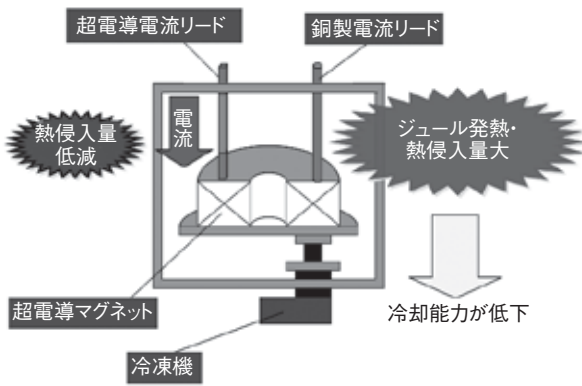


図1 電流リードの課題

このような背景から我々は、酸化物超電導電流リードの開発・製品化を行ってきた。これまで開発してきた酸化物超電導電流リードの比較を表1に示す。

表1 酸化物超電導電流リードの特性比較

超電導導体	Bi-2223 バルク体	YBCO 線材	nPAD-YBCO [®] 線材
導体断面積*	22 mm ²	3 mm ²	1.8 mm ²
熱侵入量	○	△	◎
大電流化	△	◎	◎
磁場に強い	×	△	◎
強度	×	◎	◎
可とう性	×	◎	◎
コンパクト性	○	△	◎

*定格電流 300 A で設計した場合

表1に示すビスマス系超電導体 (Bi-2223 バルク) は、磁場中において臨界電流密度 (J_c) が著しく低下することに加え、機械強度が弱く破損しやすいという問題があった^{1), 2)}。そこでまず、電流リードの機械特性向上を図るため、高強度金属である Ni 基合金を基板としたイットリウム系超電導体 (YBCO 線材)^{3), 4)} を用いた超電導電流リードの開発を進めてきた^{5)~7)}。しかしながら、YBCO 線材を用いた場合においても、磁場中において J_c が低下するため、定格電流特性を満たすためには、使用線材本数を多くすることで対応せざるを得ない。さらに、熱侵入量を低減させるために、電流リードの長さを長く設計する必要があった。

これまで当社において、有機金属塩塗布熱分解法 (TFA-MOD) で作製される YBCO 線材の開発を行ってきたが、その線材の磁場中における J_c 向上を目指すため、人工ピン止め点導入型 YBCO 線材の開発を実施した。図2に示すように、磁場中における J_c 及び磁場異方性が改善された線材を作製することに成功した^{8)~10)}。この人工ピン止め点導入型 YBCO 線材 (nPAD-YBCO[®]) を超電導電流リードに用いることにより、使用する線材量を大幅に削減したコンパクトな nPAD-YBCO[®] 電流リードの開発に成功した¹¹⁾。

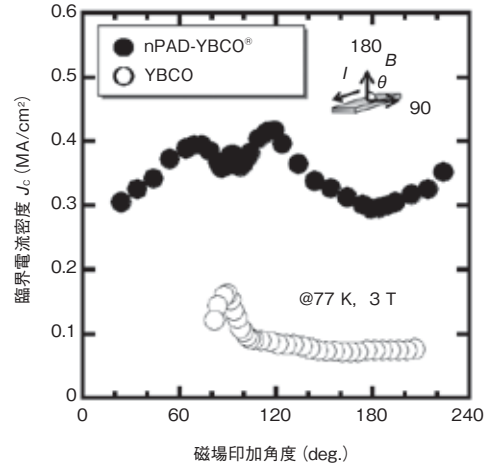


図2 nPAD-YBCO[®]の印加磁場角度依存性

表2に、これまで開発を進めてきた nPAD-YBCO[®] 電流リードの評価項目を示す。

前報¹²⁾では、表2に示す評価項目のうち、定格 500 A の nPAD-YBCO[®] 電流リードについて、液体窒素自己磁場中における臨界電流 (I_c) 測定結果に加え、熱侵入量を算出し⁹⁾、詳細設計を行い、伝導冷却下において通電試験を行い、定格値を満たすことを報告した。

表2 評価項目一覧

特性試験区分	試験項目	試験内容	
通電特性	I_c	液体窒素冷却	液体窒素浸漬、自己磁場中にて測定
		伝導冷却	伝導冷却、自己磁場中にて測定
	連続通電		伝導冷却、外部磁場 0.5 T にて測定
		連続通電	液体窒素浸漬、自己磁場中にて定格電流を 30 分間連続通電し、電圧・接続抵抗 (R_c) の上昇がないことを確認
ヒートサイクル試験	300 K (室温) -77 K (液体窒素) のサイクルを繰り返し、接続抵抗 (R_c)・定格電流 (I_{op}) に変化がないことを確認		
機械的特性	引張試験	室温にて所定の応力を加え、除荷後に接続抵抗 (R_c)・臨界電流 (I_c) 測定	
	片持ち曲げ試験	曲げ荷重を加え、除荷後に接続抵抗 (R_c)・臨界電流 (I_c) 測定	
	加振試験	所定の加速度で振動を経験させ、加振後に接続抵抗 (R_c)・定格電流 (I_{op}) に変化がないことを確認	
	ローレンツ力の影響把握	応力解析により外部磁場 0.5 T 中で通電した際のローレンツ力を算出し、その値を基に線材に繰り返し引張応力 (疲労試験) を印加し健全性を確認	

本報では、シミュレーションによる応力解析により算出した電流リードの通電時に発生するローレンツ力による影響を確認した。さらに、実際に nPAD-YBCO[®] 電流リードを試作し、外部磁場 0.5 T 中において、定格値を満たすことを確認した。また、機器の運用方法によっては、室温から極低温への冷却が繰り返されることから、ヒートサイクルに対する問題を改善した nPAD-YBCO[®] 電流リード (改良型) を開発し、ヒートサイクルによる特性への影響についても従来型と比較を行った。

2. ローレンツ力の影響

多くの電流リードは、磁場環境下で使用されるため、通電時に発生するローレンツ力の影響を把握する必要がある。特に、nPAD-YBCO[®]電流リードは、テープ線材を用いていることから、線材に対する応力集中を考慮した機械設計を行う必要がある。そこで、磁場中通電時におけるローレンツ力の影響について、有限要素法によるシミュレーションにて、応力解析を行った。

2.1 解析条件

nPAD-YBCO[®]電流リードの応力解析は、図3に示す簡易モデル（定格500 A仕様の1/4モデル）を用いて行った。銅電極端部を完全固定として、テープ線材のテープ面に対して平行及び垂直に各々磁場を印加した場合について応力解析を行った。また、超電導マグネット運転時に印加される磁場は、0.5 Tとした。表3に解析条件を示す。

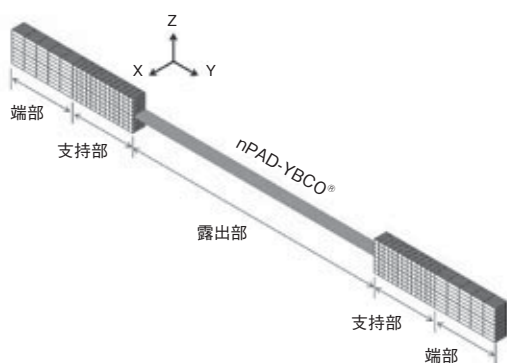


図3 nPAD-YBCO[®]電流リードの応力解析モデル

表3 応力解析条件（有限要素法）

項目	解析ファクター	
線材	幅	5.0 mm
	厚さ	0.12 mm
	長さ	150 mm
電極間距離	100 mm	
磁場印加方向	(a) テープ面に対して垂直 (b) テープ面に対して平行	
外部磁場	0.5 T	
通電電流	125 A	

2.2 応力解析結果

表3に示した条件にて応力解析を行った結果を図4に示す。図4(a)にテープ面に対して垂直に磁場が印加された場合、(b)にテープ面に対して平行に磁場が印加された場合の結果を示す。この結果から、印加磁場方向に関わらずテープ線材と電極との接続部近傍に最も大きな引張応力がかかることがわかる。これらの最大引張応力は図4(a)では0.12 GPa、図4(b)では0.10 GPaであった。

この応力解析結果から、外部磁場0.5 T中で定格運転時に、テープ線材に最大0.12 GPaの引張応力が加わることが予想される。その値を基に電流リードに使用される線材に繰返し引張応力を印加（疲労試験）し健全性を確認している¹³⁾。

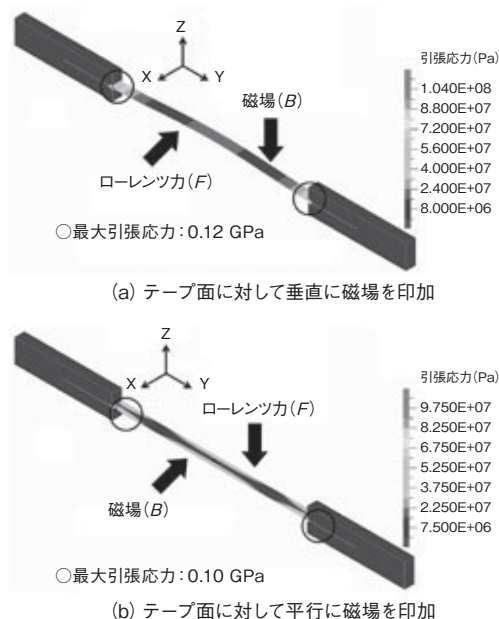


図4 nPAD-YBCO[®]電流リードの応力解析結果

3. 磁場中での通電特性

2章にて得られた応力解析結果を検証するため、外部磁場0.5 T中で通電試験を行った。本試験においては、伝導冷却により冷却を行った。nPAD-YBCO[®]電流リードの設計値は、電流リードに使用したnPAD-YBCO[®]の臨界電流の磁場、温度依存性 (I_c - B - T 特性) を基に算出した。

3.1 縮小モデル nPAD-YBCO[®]電流リード作製

超電導線材は、図5に示す構造の、TFA-MOD法で作製された、幅5 mm、厚さ約0.12 mmのnPAD-YBCO[®]とし、線材の両端を銅電極にはんだを用いて接続し、GFRP製支持部材で電極間を補強した。

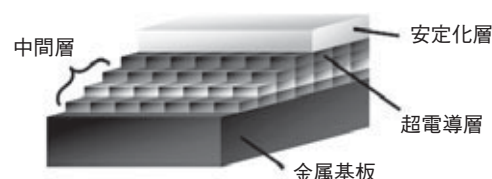


図5 nPAD-YBCO[®]の構造

3.2 測定方法

3-1項で作製したnPAD-YBCO[®]電流リードの I_c 値は、直流4端子法を用い、電圧基準 1×10^{-6} V/cmで定義した。電圧は銅電極両端で測定し、電圧端子間距離を62 mmとした。実験では、2段GM冷凍機を使用し伝導冷却を行った。測定時の温度制御は、温度制御ヒーターにより、高温端温度を80 K、77 K、70 K、65 Kとし、低温端温度を35 K以下とした。さらに、永久磁石により外部磁場0.5 TをnPAD-YBCO[®]のテープ面に対して垂直に印加させ通電試験を行った。

3.3 通電特性

図6にnPAD-YBCO[®]電流リードの臨界電流の磁場、温度依存性 (I_c - B - T 特性)を示す。○は液体窒素中 (77 K)にて測定を行ったnPAD-YBCO[®]の I_c - B - T 特性から導いた設計値、■, ▲, ●, ◆は実測値を示した。77 Kにおいて設計値と実測値が一致しており、定格電流値に対して十分な特性を有していることを確認した。また、液体窒素中での接続抵抗値 (R_c)は $7 \times 10^{-6} \Omega$ であり、伝導冷却による高温端 77 K, 0.5 T中においても $7 \times 10^{-6} \Omega$ と一致していることから、磁場中においても接続抵抗に変化がないことが確認された。これらの結果より、外部磁場 0.5 T 中通電時に発生するローレンツ力にも充分耐え得ることが確認された。

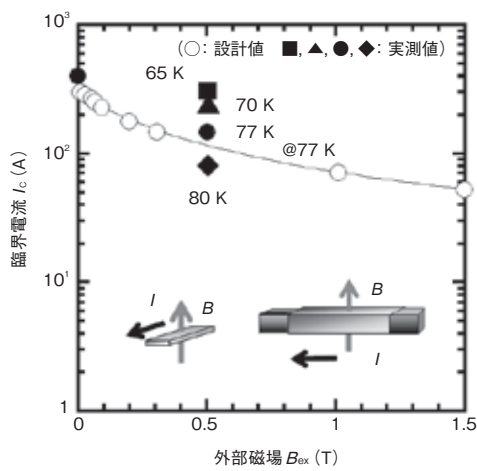


図6 nPAD-YBCO[®]電流リードの I_c - B - T 特性

4. ヒートサイクルによる影響

実使用環境下では、定期的なメンテナンスに加え、超電導機器によっては、冷却-昇温が繰り返されることが想定されるため、ヒートサイクルによる影響を把握する必要がある。そこで、液体窒素中から室温への昇温、冷却を繰り返し経験させ、nPAD-YBCO[®]電流リードの通電特性に対する影響を調査した。

4.1 測定方法

測定は、従来型と改良型の定格 500 A 仕様の nPAD-YBCO[®]電流リードを用いた。液体窒素中での 500 A 通電及び銅端子との初期の接続抵抗 (R_{c0})を確認した後、室温に昇温し、冷却-昇温 (77 K \leftrightarrow 300 K) を繰り返した。10 回ごとに通電試験を行い、定格通電の可否と接続抵抗値の変化を確認した。

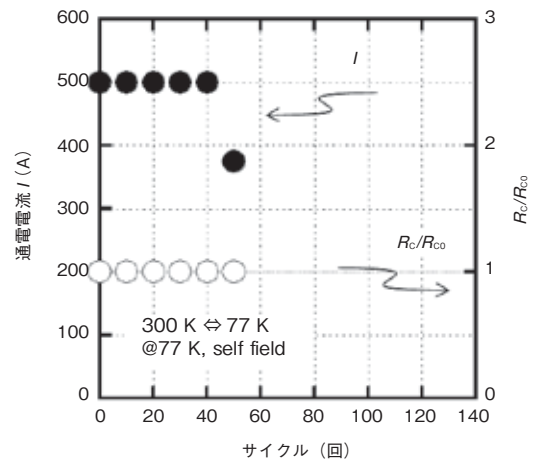
4.2 測定結果

ヒートサイクル経験後の通電結果と初期接続抵抗値で規格化した接続抵抗値を図7に示す。図7(a)に従来型で実施した試験結果、(b)に改良型で実施した試験結果をそれぞれ示す。

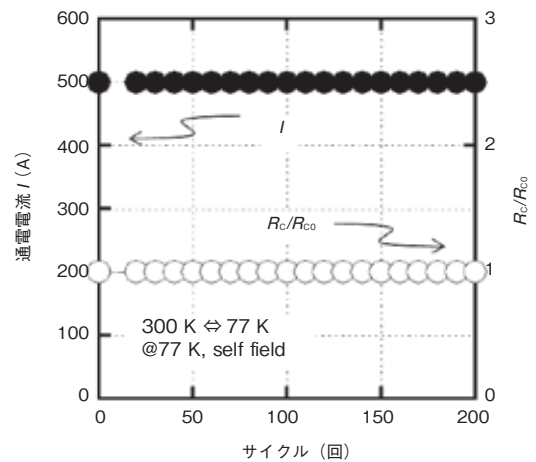
従来型は、ヒートサイクルを 40 回経験しても電圧・接

続抵抗の増大がないことが確認されているが、50 回冷却後から定格電流値到達前に電圧上昇がみられ、 I_c の低下が確認された。

そこで、ヒートサイクルに対する問題を改善した nPAD-YBCO[®]電流リードを開発し、同様の試験を実施した。図7(b)に示すように、改良型はヒートサイクルを 200 回経験しても電圧・接続抵抗の増大がないことが確認された。今後、回数を重ねて行く予定である。



(a)従来型



(b)改良型

図7 nPAD-YBCO[®]電流リードのヒートサイクル試験結果

5. まとめ

磁場中通電時に発生するローレンツ力が nPAD-YBCO[®]電流リードに及ぼす影響を把握するため、今回は、伝導冷却により冷却を行い、外部磁場 0.5 T 中において通電試験を行い、設計検証を行った。77 Kにおいて、設計値と実測値がほぼ一致し、定格電流に対して十分な通電特性が得られた。

ヒートサイクル評価では、従来型は冷却-昇温 (77 K \leftrightarrow 300 K) を 40 回まで繰り返しても定格電流値及び接続抵抗値に変化がないことが確認されたが、50 回冷却後に定格電

流到達前に電圧の上昇が認められた。そこで、ヒートサイクルに対する問題を改善した nPAD-YBCO[®] 電流リード(改良型)を開発し、200 回冷却-昇温 (77 K ⇔ 300 K) を繰り返しても定格電流値・接続抵抗ともに変化が見られなかった。これらのことから、nPAD-YBCO[®] 電流リードは想定される設置環境下で、設計通りの通電性能と耐久性を有することが確認された。

参考文献

- 1) 本庄哲吏, 他: 昭和電線レビュー, 44 (1994) 108
- 2) T. Honjo, et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. 5 (1995) 1486
- 3) A. Kaneko, et al.: Abstracts of CSSJ confenence, 74 (2006) 184
- 4) Y. Yamada, et al.: Cryo. Soc. Jpn. 45 (2010) 246
- 5) Y. Yamada, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. 3 (2011) 1054
- 6) 小泉勉, 他: 昭和電線レビュー, 58 (2008) 17
- 7) K. Takahashi, et al.: Abstracts of CSSJ confenence, 87 (2013) 133
- 8) K. Kumura, et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 (2013) 6601704
- 9) T. Yokomizo, et al.: Abstracts of CSSJ confenence, 88 (2013) 183
- 10) K. kimura, et al.: Abstracts of CSSJ confenence, 88 (2013) 184
- 11) 箕輪昌啓: 超電導 Web21, 6月号, 1 (2013)
- 12) 高橋亨, 他: 昭和電線レビュー, 60 (2014) 25
- 13) K. Takahashi, et al.: Abstracts of CSSJ confenence, 90 (2014) 157

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 線材開発グループ
RE 系超電導電流リードの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
中村 達徳 (なかむら たつりのり)
博士 (工学)
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 線材開発グループ
RE 系超電導電流リードの研究・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)
技術開発センター 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

昭和電線ホールディングス(株)
長谷川 隆代 (はせがわ たかよ)
工学博士
取締役 技術企画室長
兼 昭和電線ケーブルシステム(株)
超電導テクノロジーセンター長

昭和電線ケーブルシステム(株)
木村 一成 (きむら かずなり)
博士 (工学)
超電導テクノロジーセンター 線材開発グループ
兼 産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)
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 出向
RE 系超電導線材の研究・開発に従事

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

275 kV OF/CV 異種接続部の開発

Development of Transition Joint for 275 kV Oil-filled Cable and XLPE Cable

松倉 豊 桑木亮仙
Yutaka MATSUKURA Akihisa KUWAKI

新井敦宏 小森博文 土屋信一
Atsuhiko ARAI Hirofumi KOMORI Shinichi TSUCHIYA

275 kV OF ケーブル長距離送電線路は現在でも主要幹線として使用されている。長距離線路の交換は主要幹線であることから長期の停止を取ることができず、工期が限られてしまう。そのため、長距離線路の一部の OF ケーブルを CV ケーブルと交換、CV ケーブルと接続する異種接続部が必要となる。今後の需要を見込み、異種接続部（以下 SJ と称す）の開発を行なった。今回開発した SJ は施工の容易さを確保でき、製品性能の安定化が図れ、現地施工工数の低減ができた。

275 kV OF cable long distance circuit is still used as the main circuit. The exchange of the long distance circuits cannot take long-term stop since it is the main circuit, and the term of works is limited. Therefore, part of Oil-filled cable of the long distance circuit is exchanged for the CV cable, and Transition joint connected with the CV cable is needed. Transition joint is developed. (Hereafter, it is called SJ) the demand in the future.

Developed SJ is able to secure the easiness of construction, attempt the stabilization of the product performance, and decrease the assembly process.

1. はじめに

SJ（異種接続部）は 154 kV 級まで実績はあるが、今後需要が見込まれる 275 kV 級 SJ の開発をすすめてきた。275 kV 用では高ストレスでの使用でも耐え得るように最適設計を行い、製品寸法を縮小化させ、工期を短縮するため構造を改良した。主要絶縁体はエポキシユニット、エポキシベアリングで構成される構造となっている。

以下に SJ の設計内容、構造、施工、試験結果について報告する。

2. 目標性能

2.1 絶縁性能

目標絶縁性能は 275 kV OF/CV 異種接続部の最新の仕様に準拠し、CV ケーブル側は表 1、OF ケーブル側は表 2 の通りとした。CV ケーブル側の構造は 275 kV PMJ（ブレハブ接続部）と同構造となっていて、その耐圧値に耐える性能を有する。

適用するケーブル導体サイズは、2000 mm² 以下とした。

2.2 寸法

寸法は既設 275 kV OF ケーブル用接続部の寸法と同等と

なる寸法とし、保護管外径 φ360、全長は 2200 mm とした。

表 1 目標性能（CV ケーブル側）

試験項目	目標性能
商用周波耐電圧	525 kV・1 時間
部分放電特性	300 kV 10 分間 (5 pC 以下)
雷インパルス耐電圧	±1445 kV 3 回 (常温)

表 2 目標性能（OF ケーブル側）

試験項目	目標性能
商用周波耐電圧	510 kV・3 時間
部分放電特性	300 kV 10 分間 (5 pC 以下)
雷インパルス耐電圧	±1155 kV 3 回 (高温)

3. 基本設計

下記に開発した 275 kV SJ の基本設計を示す。

1) 部品の共用化

CV 側の設計は適用する材料を含めて、275 kV PMJ と部品を共用化している。

2) 施工の品質確保・簡略化

OF 絶縁油付着を抑制するため、エポキシユニットを CV 側に挿入する工法とし、品質を確保した。

OF 側補強絶縁紙の成形作業を簡略化した。

3) 工場内組立実施

工場内で予め組立を実施することにより、現地での組立工数の低減化および組立環境の安定化を図った。

4. 設計

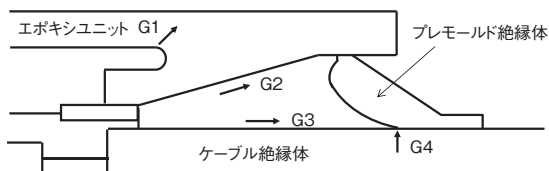
4.1 絶縁設計

絶縁設計は CV ケーブル側、OF ケーブル側それぞれ電界解析を実施し、CV ケーブル側と OF ケーブル側との絶縁協調を考慮し、最適設計により各部の電界強度（ストレス）が最小となるよう、エポキシユニット他の形状と寸法を決定した。

4.1.1 CV ケーブル側の絶縁設計

図 1 に CV 側の各部の電界が最適設計となるような電界解析位置、図 2 に CV 側等電位分布図、表 3 に計算結果を示す。

CV 側の商用周波（AC）、雷インパルス（Imp.）設計ストレスは、同一構造の 275 kV PMJ の耐圧値を基に電界解析を行っていて、上記のストレスは 275 kV SJ および PMJ として使用に十分耐える値である。



G1: エポキシユニットの高圧埋込電極端部
G2: エポキシユニットとプレモールド絶縁体の界面方向
G3: プレモールド絶縁体とケーブル絶縁体
G4: プレモールド絶縁体のスロープ立上り部

図 1 275 kV SJ の CV 側各部の電界解析位置

表 3 SJ CV 側の各部のストレス

部位	(kV/mm)			
	商用周波設計ストレス (525 kV)	裕度	雷インパルス設計ストレス (1445 kV)	裕度
G1	16.0	1.4	43.9	1.3
G2	4.8	1.7	13.3	2.0
G3	3.6	1.7	9.9	2.4
G4	17.3	1.5	47.6	1.2

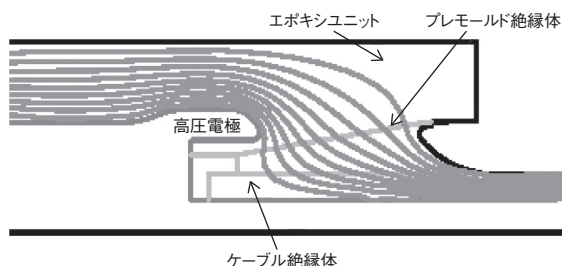
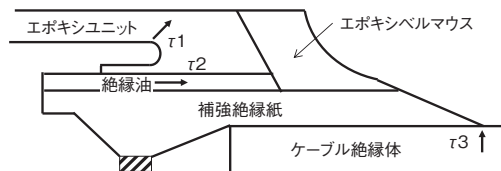


図 2 275 kV SJ CV 側の等電位分布図

4.1.2 OF ケーブル側の絶縁設計

図 3 に電界解析した OF 側各部のストレス位置、表 4 に計算結果を示す。

OF 側の設計ストレスは 275 kV OF ケーブル付属品の耐電圧値をもとに算出した。



r1: エポキシユニットの高圧埋込電極端部
r2: エポキシユニットと絶縁油の界面方向
r3: スロープ立上り部

図 3 275 kV SJ の OF 側各部の電界解析位置

表 4 SJ OF 側の各部のストレス

部位	(kV/mm)			
	商用周波設計ストレス (350 kV)	裕度	雷インパルス設計ストレス (1260 kV)	裕度
r1	10.0	2.1	36.1	1.6
r2	1.7	2.4	6.1	1.7
r3	14.6	1.7	52.6	1.2

5. 構造

5.1 275 kV OF/CV SJ の構造

今回開発した 275 kV OF/CV SJ の構造を図 4 に示す。

保護管外径は $\phi 360$ mm、全長は 2200 mm とし、既設マンホールへの収納が可能となる寸法となっている。

絶縁筒は OF 側に配置し、220 ~ 275 kV OF ケーブル接続部として実績のある部品を使用し、共通部品化した。

5.2 工場内組立

154 kV 用 SJ ではエポキシユニットを単独で搬入し、防湿環境下での組立を実施している。

275 kV CV ケーブル用接続部においては、主絶縁部が露出する工程での異物付着を防ぐため、クリーン環境での作業を実施してきた。

275 kV SJ においても CV ケーブル側の組立は同様にクリーン環境下での作業が要求される。そのため、エポキシユニット保護金具と固定金具を、工場内で予め組立することにした。これにより、主要絶縁体へ異物が付着することなく、クリーン環境下での組立が可能となった。

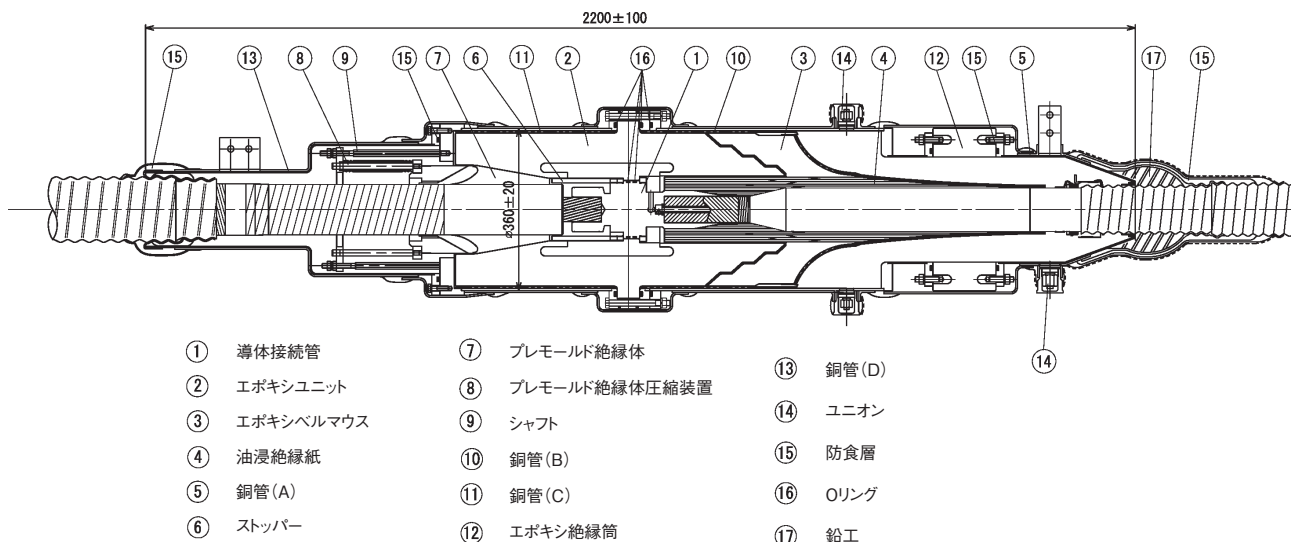


図4 275 kV OF/CV SJ 構造

6. 施工方法

6.1 ユニット挿入方向変更による品質信頼性の改善

275 kV SJにおいて、エポキシユニットをOF側に挿入する場合ユニットの内外面に絶縁油が付着しないような方策が必要である。

今回開発したSJはCV側にユニットを挿入することにより、275 kV用として必要とされるクリーン環境のもとで組立を行うことできる。

6.2 施工日数

施工日数は既設線路の停止時間を考慮し、21日/3相を基本に設定した。

7. 検証試験

開発したSJはJEC-3408「特別高圧(11 kV～275 kV)架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法」およびJEC-3401「OFケーブルの高電圧試験法」他に準ずる性能確認試験を行い、十分な性能を有することを確認した。

7.1 単体試験

表5に示す通り、主要絶縁体のエポキシユニット、エポキシベルマウス、プレモールド絶縁体の単体試験を実施し、必要な特性が得られていることを確認した。

表5 主要絶縁体の単体試験結果

試験項目	試験条件	結果
ヒートショック (エポキシユニット)	10～100℃・10回	良
部分放電試験 (エポキシユニット、 エポキシベルマウス、 プレモールド絶縁体)	AC 300 kV で部分放電発生せず	良

図5にエポキシユニット、プレモールド絶縁体の単体部分放電試験構造を示す。部分放電試験はエポキシユニット

に高圧電極を取り付け後保護金具を組み込み、CVケーブルにセットしたプレモールド絶縁体をプラグインタイプでエポキシユニットに組込む。

図6にエポキシベルマウスの単体部分放電試験構造を示す。

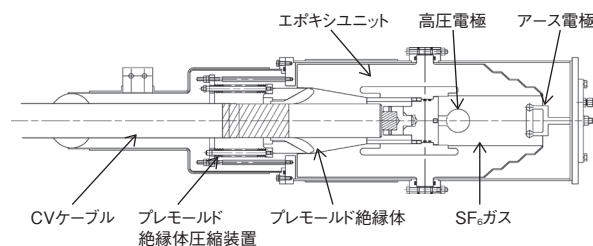


図5 単体部分放電試験 (エポキシユニット, プレモールド絶縁体)

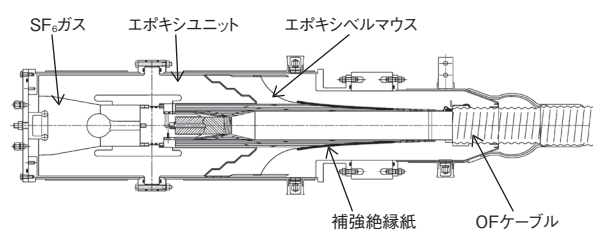


図6 単体部分放電試験 (エポキシベルマウス)

7.2 初期試験

表6に示す通り、275 kV SJの初期試験を実施し、必要な特性が得られていることを確認した。

表6 275 kV SJ 初期試験結果

試験項目	条件	結果
商用周波耐電圧	510 kV・3時間	良
雷インパルス耐電圧	±1155 kV・3回 (高温)	良

7.3 長期課通電試験（6ヶ月開発試験）

275 kV SJ は課通電試験を実施する際、CV ケーブル側の規定導体温度およびOF ケーブル側の規定導体温度いずれも満足している必要がある。CV 側、OF 側の必要ヒートサイクル条件をまとめると表7の通りとなる。

表7 275 kV SJ 長期課通電試験ヒートサイクル条件

	常時導体許容温度 (150 サイクル)	短時間導体許容温度 (30 サイクル)
CV ケーブル	90℃以上となる時間が 2 時間以上	最高到達温度 105℃以上かつ 90℃となる時間が 2 時間以上
OF ケーブル	85℃以上となる時間が 2 時間以上	最高到達温度 95℃以上かつ 85℃となる時間が 2 時間以上

表8に示す通り、6ヶ月課通電試験を実施し、必要な特性を有していることを確認した。

図7に6ヶ月課通電試験線路の回路、図8に試験線路の写真、図9に275kV SJ の外観を示す。

表8 275 kV SJ 長期課通電試験結果

課電条件	230 kV	良
ヒートサイクル数	8 時間オン/16 時間オフ 常時導体許容ヒートサイクル 159 サイクル 短時間導体許容ヒートサイクル 30 サイクル	

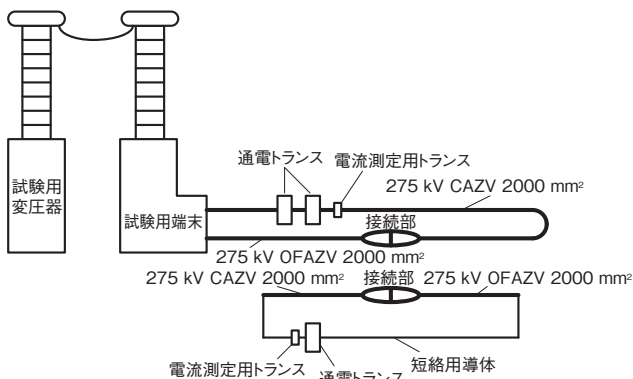


図7 長期課通電試験回路



図8 長期課通電試験線路全体

表9に示す通り、6ヶ月課通電試験後の残存性能試験を実施し、必要な特性を有していることを確認した。

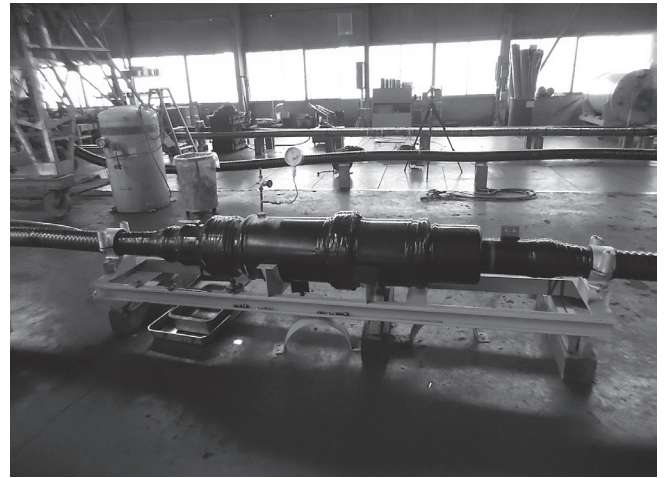


図9 275 kV SJ 外観

表9 275 kV SJ 残存性能試験結果

試験項目	条件	結果
雷インパルス耐電圧	±1155 kV・3 回 (高温)	良
商用周波耐電圧	330 kV・10 分間	良

7.4 地絡試験

7.4.1 目的

275 kV 線路の地絡時のエネルギーは大きく、地絡時に保護管が飛散するので、安全確保のため保護管にスリット部を設け、内圧上昇を降下させる構造とした。

7.4.2 試験概要

今回開発した275 kV SJ の地絡時放圧制御特性を確認するため、SJ のCV 側と同構造である275 kV 絶縁接続部（プレモールド型、PMJ）を代表として地絡試験を実施した。結果を以下に記載する。

地絡試験はスロープ立上り部の貫通破壊を模擬し、放圧制御方向で放圧できているかを高速度カメラの撮影データで確認した。（1秒間に1000コマ撮影）

7.4.3 試験試料

付 属 品：275 kV PMJ

ケ ー ブ ル：275 kV CAZV 2000 mm²

試 料 数：4 試料 地絡点 2 種類 (n=2)

地 絡 点：スロープ立上り部（縁切り側、非縁切り側）

放圧制御方向と反対側に地絡点を設けた。

7.4.4 試験条件

試 験 電 流：50 kA（3 サイクル後実効値）

地 絡 時 間：0.07 秒

最大波高値：50 kA × √2 以上

7.4.5 試験回路

地絡試験回路を図10に示す。

参考文献

- 1) 新井 敦宏 他：「275 kV CV ケーブル用プレハブ接続部の開発」, 昭和電線レビュー, 第 43 巻第 2 号 (1993)
- 2) 松倉 豊 他：「275 kV 級 CV 用乾式ガス中終端接続部の開発」, 昭和電線レビュー, 第 46 巻第 1 号 (1996)

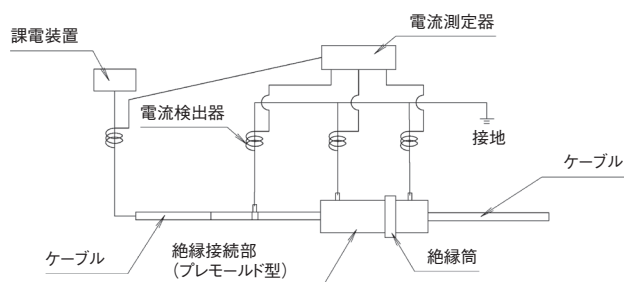


図 10 地絡試験回路図

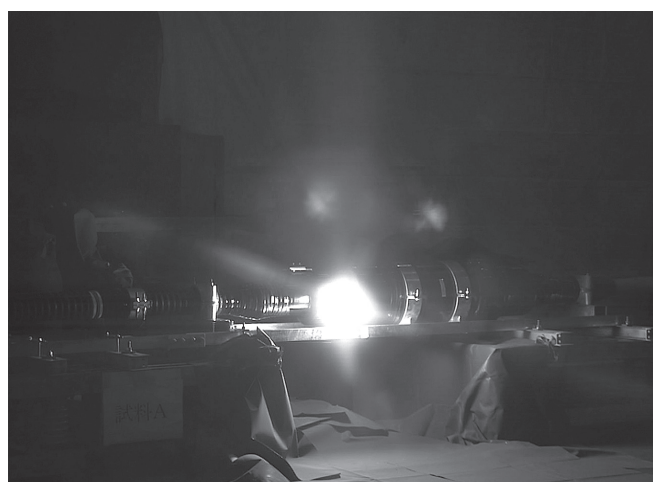
7.4.6 試験結果

4 試料ともに目的の通り、地絡点と反対側に設けた保護管のスリット部での圧力放出制御ができ、判定基準を満足した。

表 10 に試験データを、図 11 に試験状況を示す。

表 10 地絡試験時のデータ

試料番号		試料 A	試料 B	試料 C	試料 D	
アークパワー	第 1 半波最大値	MW	262	303	170	157
アークエネルギー	全通電時間	MJ	5.70	5.63	5.98	3.96



地絡点と反対側（手前側）の放圧制御側でアークが見え始めている。

図 11 地絡試験状況（高速度カメラ撮影）

8. ま と め

今回開発した異種接続部はエポキシユニットを CV ケーブル側に挿入することにより、CV ケーブル側および OF ケーブル側双方とも、接続部の特性を確保するために必要なクリーンな作業環境確保が容易となった。

施工方法の容易さを確保できたため製品性能の安定化が図れ、275 kV 級接続部として必要な要求特性を満足することができた。

さらに工場内作業での事前組立の実施により、現地施工工数の低減により、組立日数も低減できた。

今後は現地の工数を低減できるよう、さらなる改良を模索していく次第である。

昭和電線ケーブルシステム(株)

松倉 豊 (まつくら ゆたか)

電力システムユニット 電力機器部 技術課 主査

電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)

桑木 亮仙 (くわき あきひさ)

品質環境管理統括部 主幹

昭和電線ケーブルシステム(株)

新井 敦宏 (あらい あつひろ)

電力機器事業開発プロジェクト 主幹

電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

小森 博文 (こもり ひろふみ)

電力システムユニット 地中線施工部長

電力用機器の施工関係に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

土屋 信一 (つちや しんいち)

電力システムユニット 技師長

電力用機器・ケーブル全般に従事

66/77 kV SIS 用 AC/DC 断路器機能付 T 形終端接続部の開発

Development of 66/77 kV Cable Sealing End with AC/DC Disconnecting Device for Solid-insulated Switchgear

田渡 未沙
Misa TAWATARI

今西 晋
Shin IMANISHI

桑木 亮仙
Akihisa KUWAKI

清原 悟*
Satoru KIYOHARA

多賀谷 治*
Osamu TAGAYA

近年では CV ケーブルの劣化診断技術が進みケーブルへの AC や VLF（超低周波電圧）の課電試験が用いられるケースが増えている。ケーブルの劣化診断を高精度で実施するためには、ケーブルと機器を分離し、ケーブルのみに試験電圧を印加する必要がある。今回、SF₆ ガス絶縁に対応した AC/DC 断路器機能付ガス中 T 形終端接続部の技術を踏襲し、固体絶縁スイッチギヤに対応した断路器機能を有する AC/DC 断路器機能付 T 形終端接続部を開発した。

In recent years, with the development of cable deterioration diagnosis, AC and VLF (Very Low Frequency Voltage) test is used more widely. As it is necessary to separate the cable from equipment for high precise examination, responding to this situation, we have developed a sealing end with AC/DC disconnecting device for solid-insulated switchgear, following technology of sealing end with AC/DC disconnecting device for SF₆ gas insulation.

1. はじめに

近年の電力機器は、地球温暖化防止京都会議（COP3）において排出抑制ガスの一つとして指定されている SF₆ ガスを使用しない環境調和型製品が望まれており、既に、SF₆ ガスを使用しない 24, 36 kV 固体絶縁スイッチギヤ（以下、SIS と記す）を開発実用化している^{1), 2)}。

今回、AC/DC 断路器機能付 T 形ガス中終端接続部の技術³⁾を踏襲し、72/84 kV の SIS（図 1）に対応した 66/77 kV SIS 用 AC/DC 断路器機能付終端接続部を開発したので報告する。

2. 構造

機器（SIS）外部は既に製品化している AC/DC 断路器機能付 T 形ガス中終端接続部の構造（図 2）を踏襲し、終端接続部内に断路器機能部を有する構造を採用することとした。

また、機器内部は機器側エポキシ部と終端接続部側エポキシ部をシリコンゴム部の弾性を利用してかん合させる構造とし、図 3 に示すように終端接続部のエポキシ部表面

とシリコンゴム部を化学結合により一体化することにより界面のゴムフローを抑えて面圧の安定化を図ることとする。これらの基本設計思想に基づき図 4 に示すように SIS 用 AC/DC 断路器機能付終端接続部の概略構造を決定した。

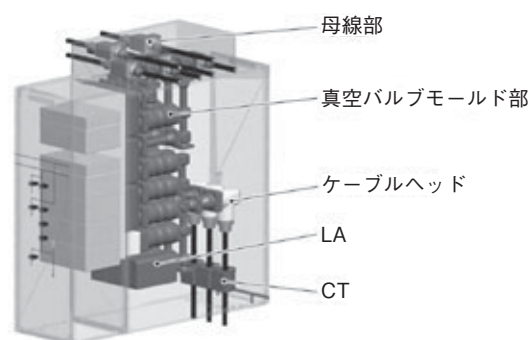


図 1 72/84 kV SIS の構成例

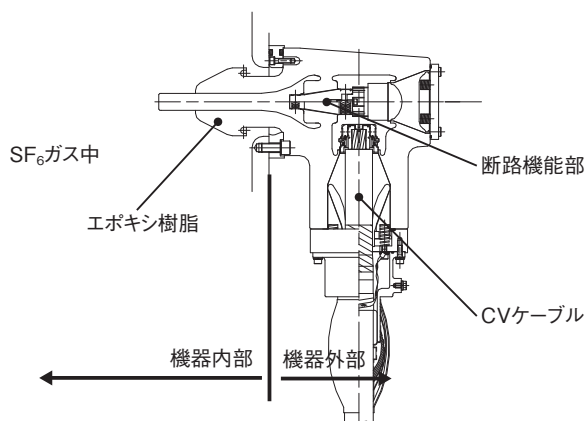


図2 従来品構造図

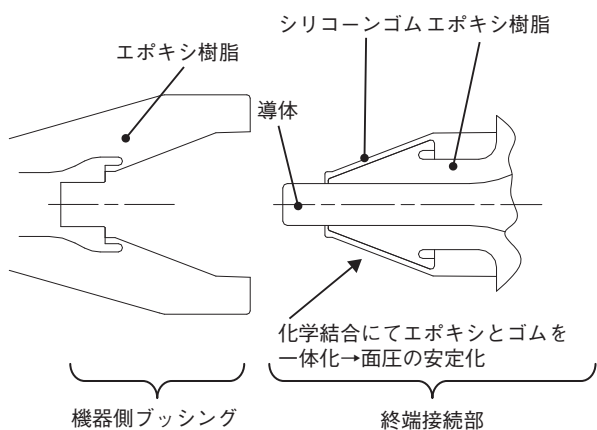


図3 固体絶縁部の構造

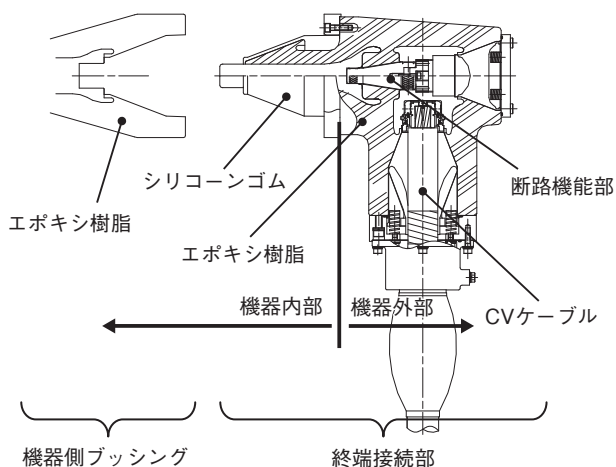


図4 開発品構造図

3. 設計

3.1 面圧設計

開発したSIS用AC/DC断路機能付終端接続部は、2項で述べたように機器側エポキシ部と終端接続部側エポキシ部をシリコンゴム部の弾性を利用してかん合わせ、さらにゴム/エポキシ間化学結合によりゴムフローを抑えた固体絶縁構造となっている。従来の終端接続部は圧縮装置(スプリング)によりプレモールド絶縁界面の面圧保持を行っ

ている。それに対して固体絶縁接続界面では、図5のように圧縮装置を用いずにシリコンゴム部自身の弾性により面圧を保持する設計となっている。つまり界面の面圧を各部位の寸法公差(締め代)でコントロールしている構造となる。シミュレーションによる面圧設計を表1および図6に示す。

表1 設計時の想定面圧

締め代	設計面圧 MPa	設計最低面圧 MPa
最小寸法	0.3~0.9	0.3
中間寸法	0.5~1.4	0.5
最大寸法	0.6~2.0	0.6

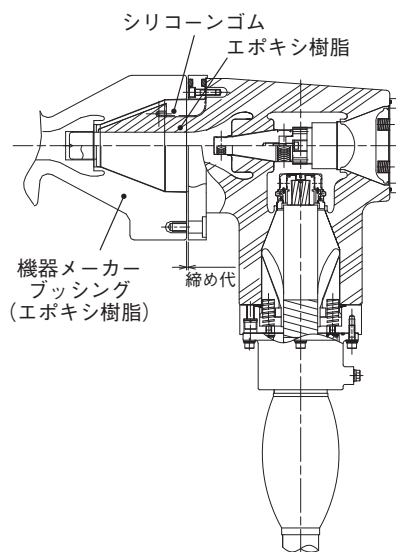


図5 固体絶縁部の構造詳細図



a) 最小締め代時

b) 最大締め代時

図6 固体絶縁接続界面の面圧シミュレーション

3.2 電界設計

固体絶縁接続界面の電界解析結果を図7に示す。固体絶縁接続界面（エポキシ部/シリコンゴム部/エポキシ部界面上）の等電位線が均等配置されるように内部導体とベルマウス（下部遮へい部）にて、電界コントロールを行っている。

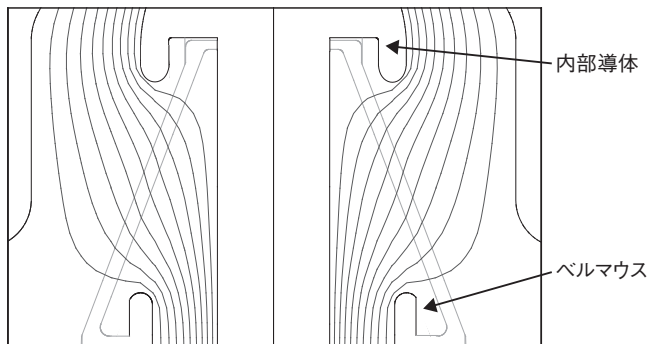


図7 固体絶縁接続界面の等電位分布図

4. 検証試験

開発した SIS 用 AC/DC 断路器機能付終端接続部は JEC-3408「特別高圧（11 kV～275 kV）架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法」および JEC-0102「試験電圧標準」に準じて性能確認試験を行い、十分な性能を有することを確認した。表2に性能確認試験結果、図8に試験状況を示す。

表2 性能確認試験結果

試験項目	条件	結果	
商用周波耐電圧	150 kV・1 時間	良	
雷インパルス耐電圧	±550 kV・3 回	良	
ヒートショック	0～100℃・10 回	良	
断路器機能特性	直流耐電圧	202 kV・10 分間	良
	商用周波耐電圧	130 kV・1 時間	良
直流耐電圧	195 kV・1 時間	良	
長期課通電	75 kV, 30 日間 常時導体許容温度 90℃, 短時間導体許容温度 105℃, 8 時間オン, 16 時間オフ	良	

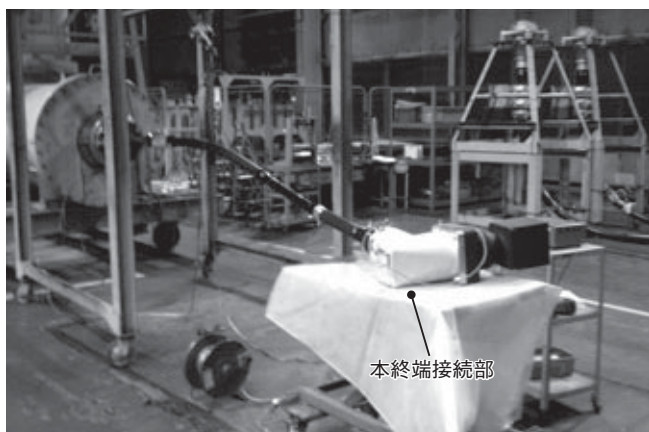
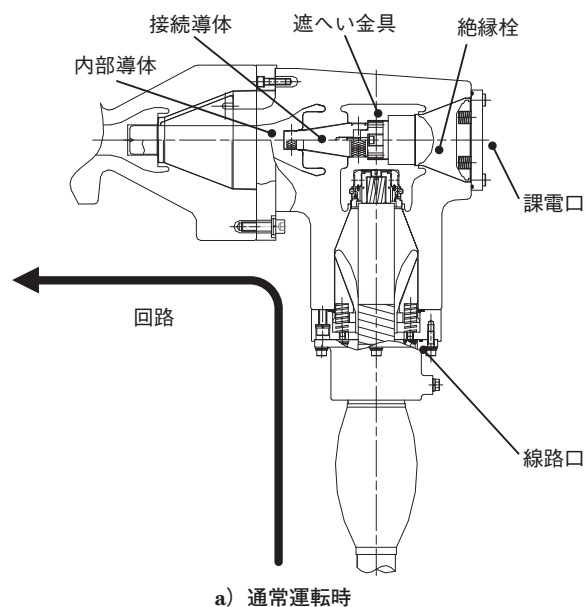


図8 性能確認試験状況

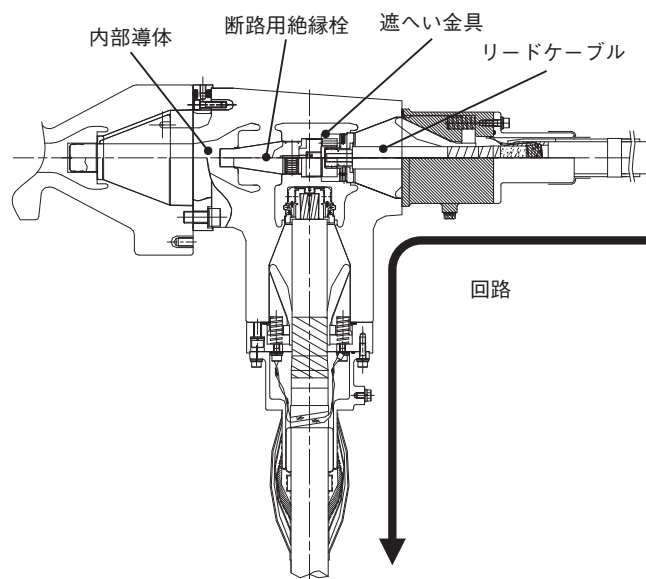
5. まとめ

下記に、開発した SIS 用 AC/DC 断路器機能付終端接続部の特長をまとめた。

- 1) 機器側エポキシとの接続界面は、終端接続部側エポキシとシリコンゴムを一体化させることにより面圧の安定化を図った固体絶縁界面であり、SF₆ ガスを使用しない。
- 2) 専用の課電口にリードケーブルを接続することで機器一括の AC 耐電圧試験および諸特性試験を行うことができる。
- 3) 接続部本体内に断路器機能部を有していることから、機器とケーブルの回路を切り離し耐圧試験やケーブル劣化診断が実施できる（図9）。
- 4) 本接続部は縮小形 YJ, 縮小形 PJ, ダイレクトモールド終端接続部と互換性がある（図10）。



a) 通常運転時



b) 劣化診断時

図9 断路器機能部の構造

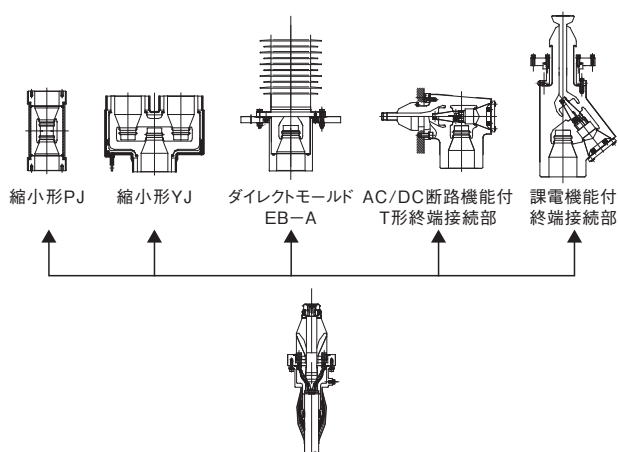


図10 接続材料の共通化

6. あとがき

今回開発した終端接続部を使用することにより、耐電圧試験や劣化診断における試験の省力化が可能となる。需要家の受電設備保守の簡素化、信頼性向上に寄与するものとして本終端接続部の積極的な採用が期待される。

参考文献

- 1) 佐藤純一 他：東芝レビュー， Vol. 58, No. 12, p.66 (2003)
- 2) 佐藤純一：日本機械学会誌， Vol. 107, No. 1026, p.395 (2004)
- 3) 今西，瀬間，宮川，清原 他：「66/77kV AC/DC 断路機能付 T形終端接続部の開発」平成 17 年電気学会全国大会 7-145

昭和電線ケーブルシステム(株)
 田渡 未沙 (たわたり みさ)
 電力機器事業開発プロジェクト 主任
 電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
 今西 晋 (いまにし しん)
 電力機器事業開発プロジェクト 主査
 電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)
 桑木 亮仙 (くわき あきひさ)
 品質保証管理統括部 SPSグループ 主幹

株式会社 東芝
 清原 悟 (きよはら さとる)
 府中事業所 スイッチギヤ部
 スイッチギヤ開発担当

株式会社 東芝
 多賀谷 治 (たがや おさむ)
 府中事業所 スイッチギヤ部
 スイッチギヤ開発担当

産業用高遮へいイーサネットケーブルの開発

Development of High Performance Shield Ethernet Cable

山崎 泰誠 小林 敬久 森下 裕一 宮口 幸一
 Hiroyoshi YAMAZAKI Yoshihisa KOBAYASHI Yuichi MORISHITA Koichi MIYAGUCHI

産業用オープンネットワークに使われるイーサネット伝送用の高遮へいケーブルを開発した。本産業用イーサネットケーブルは、様々なネットワークにも対応できるように2対及び4対の製品ラインアップをそろえた。これらのケーブルは、Category 5e以上の伝送特性だけでなく、耐ノイズ性能・耐油性能・垂直トレイ難燃性能を有している。特に、耐ノイズ性能を考慮して、ケーブル構造をアルミポリエステルテープと編組の二重遮へい構造とした。また、シース材料には耐油・難燃ポリ塩化ビニルを用いている。今後、工場内のネットワークの高度化が進むにつれ、本ケーブルが幅広く使われていくものと期待されている。

High performance shield ethernet cables in industrial open-networks have been developed. In consideration of conforming to various industrial network systems, we have designed two types of cable, which are 2-pair and 4-pair type cables. These cables can be transmitted on Category 5e, and also have good performances of resistance for electrical noises, machine oils and vertical-tray flame retardant. Especially, the shield of the cables consists of double structure of aluminum-polyester tape and braided shield against electrical noises. And the sheath material is polyvinyl chloride for oil resistance and flame retardance. In near future, the cables will be widely utilized in factories with advancing industrial networks.

1. はじめに

産業用オープンネットワークシステムは、自動車組立てや半導体製造など工場内のFA（Factory Automation）ネットワークシステムのひとつとして幅広く使われている。このFAネットワークシステムは、PLC（Programmable Logic Controller）という小型コンピュータを中心にロボット、センサー、安全装置等の制御を行っている。工場内という特殊な環境で使用されるため、ネットワークは独自の

伝送技術やシステム設計で構築され発展してきた。

現在の産業用オープンネットワークシステムは、図1に示すようにコントロールレベル、デバイスレベル、センサレベルといった3つの階層に区分されている。これらのネットワークシステムの初期段階は、デバイスレベルのネットワークの構築が行われた。例えば、ODVA協会のDeviceNetやCC-Link協会のCC-Linkなどがある。当社でもこれらのシステムに使われるケーブルの開発・販売を行

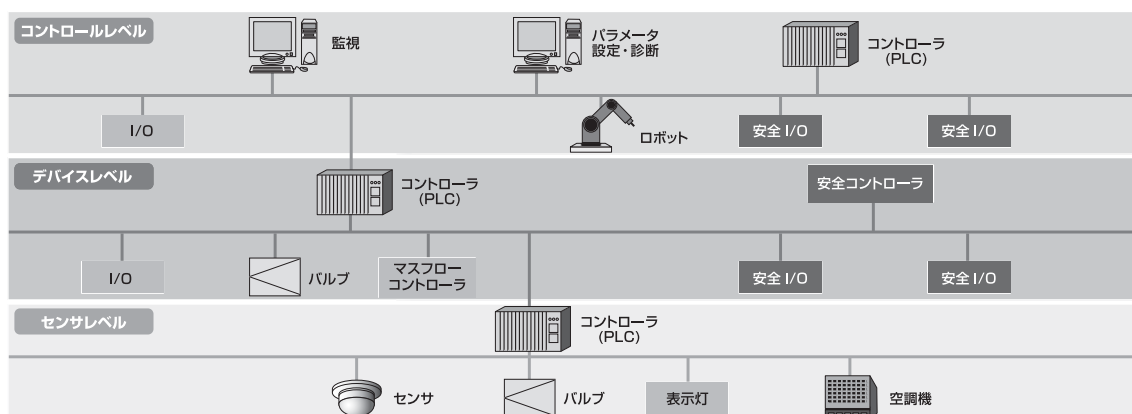


図1 産業用オープンネットワークシステムの階層

ってきた^{1), 2)}。デバイスレベルのネットワークでは、要求される伝送速度は100 kbpsから10 Mbps程度の速度であるが、高ノイズ環境下での伝送が可能ことや、定められた時間内に制御が完了するように通信の定時性の確保が要求されている。またデバイスレベルのシステムの普及と同時にセンサレベルのネットワークも構築され、近年ではコントロールレベルの構築が盛んに行われている。

イーサネット (Ethernet) は、コンピュータネットワークとしてオフィスや家庭をはじめ世界中で一般的に広く使われているLAN (Local Area Network) の規格である^{3), 4)}。FA ネットワークの中ではオフィス内のネットワークとして生産管理等の業務に使用されていたイーサネットが、現在ではコントロールレベルの階層にも適用され始めている。またコントロールレベルの下位層であるデバイスレベルにもイーサネット化の波が及んでいる。

FA システムの中で使用されるイーサネットでは、そのほとんどが100 Mbpsでの伝送速度が要求されており、LANのオフィス用配線規格であるANSI/TIA-568-C規格等のCategory 5e (以後Cat. 5eと表記) 以上の性能を有するケーブルであれば、適用が可能となる。しかしながら、オフィスや家庭内とは異なり、工場内のネットワークシステムでは、伝送速度だけでなく、前述の工場内のモーターやインバーターなどで発生する電磁ノイズ下でも安定に通信可能なことや通信の定時性が要求されている。

今回、我々は産業用オープンネットワークで最適なイーサネット用ケーブルを開発した。本ケーブルは、Cat. 5eを十分満足する特性を有し、コントロールレベルだけでなくデバイスレベルでも適用可能である。本報告では、今回開発した2対タイプ産業用高遮へいイーサネットケーブルFAE-5002とともに、従前より開発・販売している4対タイプ産業用高遮へいイーサネットケーブルFAE-5004⁵⁾の主な設計内容及び各種特性の評価結果を述べる。

2. 開発内容

2.1 目標性能

FA ネットワークに使われる産業用イーサネットケーブルのCat. 5eの要求電気特性を表1に示す。産業用LANネットワークで要求される通信技術及び速度は、10 BASE-T、100 BASE-TX、1000 BASE-Tと3種類ある。10 BASE-T、100 BASE-TXはそれぞれ通信速度が10 Mbps、100 Mbpsの通信技術であり、通信方式は送信側に1対、受信側に1対が固定されている。このため適用するケーブルの対数は2対となる(図2)。大半のFAネットワークではこの技術を適用している。一方、1000BASE-Tは通信速度が1 Gbpsの通信技術で、一部のFAネットワークがこの技術を適用している。通信方式は1 Gbpsを250 Mbps×4分割して4対並列に送受のやりとりをするため、適用ケーブルの対数は4対が必須となる(図3)。また現状10 BASE-T、100 BASE-Tの通信技術を採用して2対ですむケースでも、将

来の1000 BASE-Tへの拡張を見越して4対を採用することもある。

適用される産業用オープンネットワークシステム毎の要求、及び想定される使用条件から必要と考えられる内容は、①使用長が最大100 m、②耐ノイズ性を考慮した二重遮へい、③コネクタに適合する導体サイズ、④従来の産業用ネットワークケーブルと同等な耐油特性及び難燃性となる。

表1 要求電気特性

項目	目標設定値
導体抵抗	$\Omega/100\text{ m}$ 9.38 以下
導体抵抗不平衡	% 5 以下
静電容量	nF/100 m 1 kHz 5.6 以下
静電結合	pF/100 m 1 kHz 330 以下
特性インピーダンス	Ω 1 ~ 100 MHz 100±15 Ω
リターンロス	dB 1 ~ 10 MHz 10 ~ 20 MHz 20 ~ 100 MHz 20+5 log (f) 以上 25 以上 25-7 log (f/20) 以上
挿入損失	dB/100 m 1 ~ 100 MHz 1.967 \sqrt{f} +0.023 \cdot f+0.050/ \sqrt{f} 以下
近端漏話減衰量	dB 1 ~ 100 MHz 35.3-15 log (f/100) 以上
電力和近端漏話減衰量	dB 1 ~ 100 MHz 32.3-15 log (f/100) 以上
ACRF	dB/100 m 1 ~ 100 MHz 23.8-20 log (f/100) 以上
PSACRF	dB/100 m 1 ~ 100 MHz 20.8-20 log (f/100) 以上
伝播遅延時間	ns/100 m 1 ~ 100 MHz 534+ (36/ \sqrt{f}) 以下
Skew	ns/100 m 1 ~ 100 MHz 45 以下

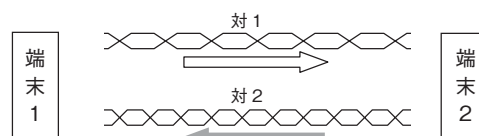


図2 10 BASE-T, 100 BASE-TXの通信方式

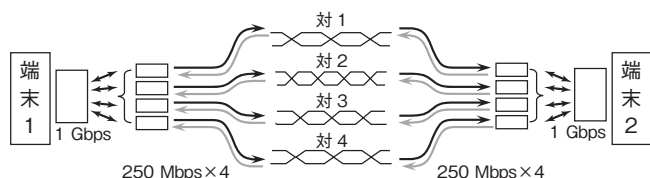


図3 1000 BASE-Tの通信方式

2.2 ケーブル構造

2対タイプのFAE-5002及び4対タイプのFAE-5004のケーブル構造を表2に、ケーブル断面図を図4に示す。10 BASE-T、100 BASE-TX用として2対、1000 BASE-T用として4対を開発した。

導体サイズは、2対タイプのFAE-5002では22 AWG、4対タイプのFAE-5004では24 AWGとした。これは、Cat.5eの挿入損失規格値から考慮する導体抵抗損失値が、24 AWG単線導体より小さいことが求められ、太い導体サイズが必須となるからである。

絶縁体にはポリエチレンを用い、特性インピーダンスを考慮した絶縁外径とした。FAE-5002の撚合構造は、ケーブル外径を細くするためにカッド撚構造とした。また

FAE-5004は、対より線を4本撚り合わせる構造とした。

遮へいは、工場内のモーターやインバーターなどで発生する電磁ノイズの影響を考え、アルミポリエステルテープと錫めっき軟銅線編組の二重遮へい構造とした。そして、シース材料は、産業用オープンネットワークのイーサネット化がデバイスレベルにまで及んでいることを考慮し、従来のデバイスレベル用ケーブルに適用した耐油特性と耐燃焼特性を有した材料を選定した¹⁾。

表2 FAE-5002とFAE-5004の構造表

項目	構造								
当社型名	FAE-5002				FAE-5004				
導体	サイズ	22 AWG (7本/0.26mm)				24 AWG (1本/0.51mm)			
	材質	軟銅線							
絶縁体	材質	ポリエチレン							
	標準外径	1.5mm				1.0mm			
対数	2P				4P				
各対色別	対番号	1	2	1	2	3	4		
	第一種心線	青	黄	白/青	白/橙	白/緑	白/茶		
	第二種心線	白	橙	青	橙	緑	茶		
遮へい①	アルミポリエステルテープ								
遮へい②	錫めっき軟銅線編組								
シース	材質	耐油耐熱ポリ塩化ビニル							
	標準外径	6.3mm				6.6mm			

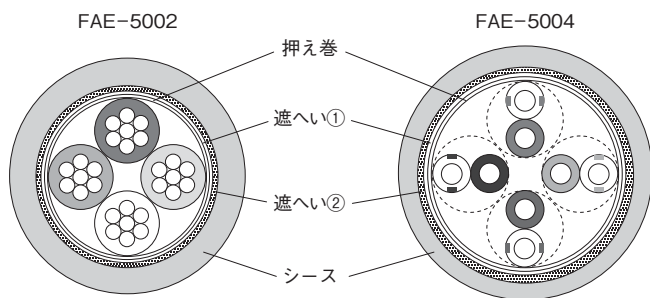


図4. FAE-5002とFAE-5004の構造図

3. 評価結果

3.1 挿入損失

FAE-5002及びFAE-5004の挿入損失結果を図5に示す。両ケーブルともにCat.5eの要求特性値を満足している。また、FAE-5002の挿入損失は、FAE-5004に比べ小さい値となっている。これは、導体サイズがFAE-5002の方が太いため、導体抵抗損失が小さいからである。このことから、FAE-5004に比べFAE-5002の方が耐ノイズ性に優れていることがわかる。ただし、FAE-5004は、1000 BASE-T対応であるため、高速伝送という点ではFAE-5002に比べ有利となる。

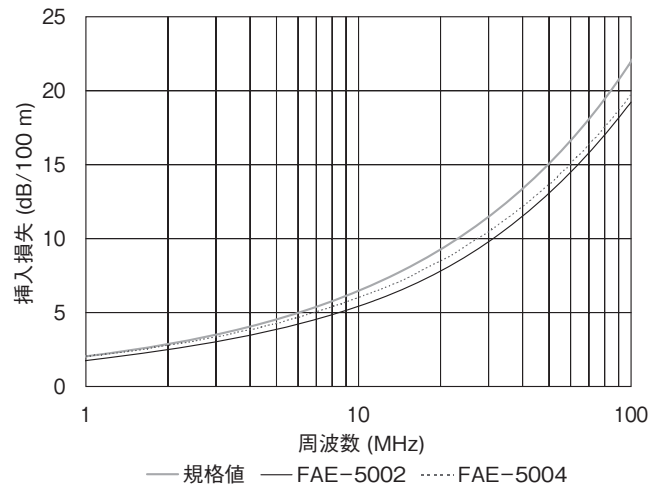


図5 挿入損失

3.2 その他の電気特性

表1に示した他の電気特性についても、両ケーブルともにCat.5eの要求特性値を十分余裕を持って満足した。一例として代表的な特性である近端漏話減衰量の測定結果を図6に示す。

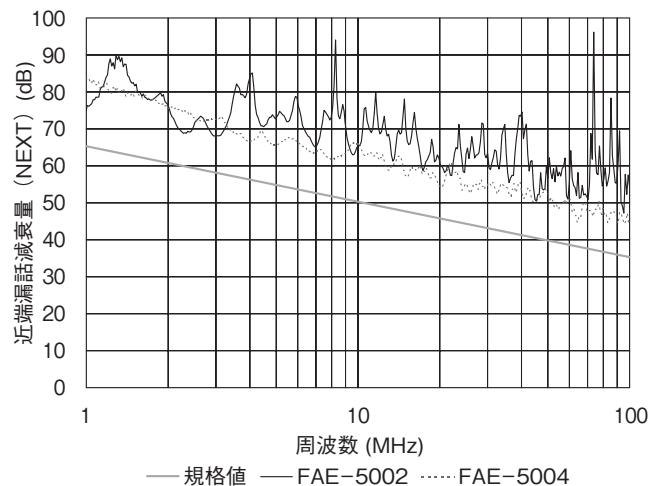


図6 近端漏話減衰量

3.3 耐ノイズ性能

今回、FAE-5004の耐ノイズ性を評価した。比較として、FAE-5004と同じ導体サイズ及び4対絶縁構造で、遮へい構造が異なる4種類のケーブルを用いた。評価したケーブルの遮へい構造の違いを表3に示す。

評価法としては、IEC 61156-1規格の吸収クランプ法を用いた。その模式図を図7に示す。吸収クランプ法とは、ケーブルに任意の周波数で入力した信号が、ケーブル内側から遮へい層とシースを介した外側に対し、どの程度漏洩して吸収クランプに受信されたかを計る測定法である。遮へい効果は測定された放射電力の値が低いほど良いといえる。なお、ここでの基準ノイズとは、評価を行なった電波暗室内でノイズ源が何も無い時（ケーブルに信号を何も入力していない時）に検出された値である。

表3 遮へい材料組合せ

サンプル	遮へい材料	片面アルミ ポリエステルテープ	両面アルミ ポリエステルテープ	編組
GECL-9004R (比較用当社無遮へい品)		-	-	-
GECLS-9004 (比較用当社従来遮へい品)		1層	-	-
検証用試作品1		2層	-	-
検証用試作品2		1層	1層	-
FAE-5004		1層	-	1層

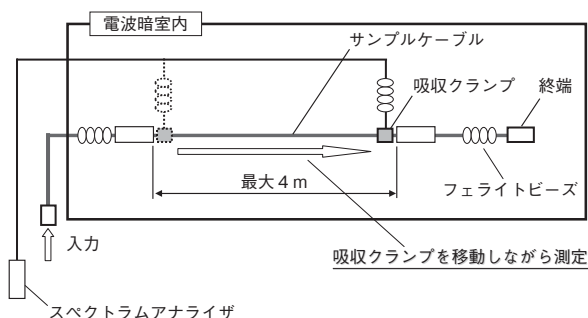


図7 吸収クランプ法 (測定イメージ)

各ケーブルの放射電力の周波数依存性を図8に示す。放射電力は、無遮へいケーブル（当社製品：GECL-9004R）、一層アルミポリエステルテープによる遮へいケーブル（当社製品：GECLS-9004）、そして二層遮へい構造の順に小さくなる。また、二層遮へい構造の中ではアルミポリエステルテープ+編組の組合せのFAE-5004が、格段に放射電力が小さくなる。つまり、本遮へい構造が電磁ノイズに対し遮へい効果が高いことがわかる。

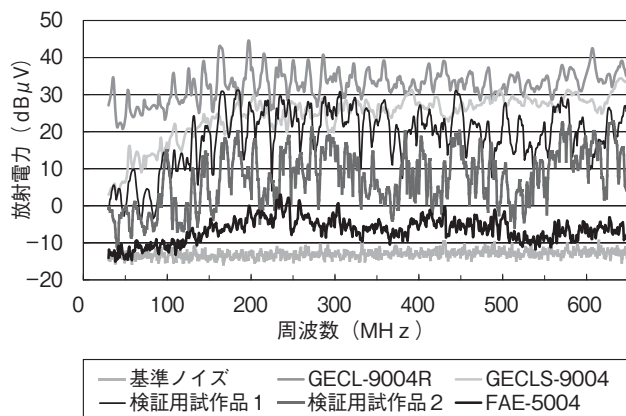


図8 各種遮へい構造と遮へい効果

3.4 燃焼特性

FAE-5002及びFAE-5004は、工場内配線という用途から火災時の延焼を防ぐために、高い難燃性能が求められる。今回、産業用ネットワークケーブルに一般的に求められる

IEEE383垂直トレイ燃焼試験を実施し、合格することを確認した。(図9)

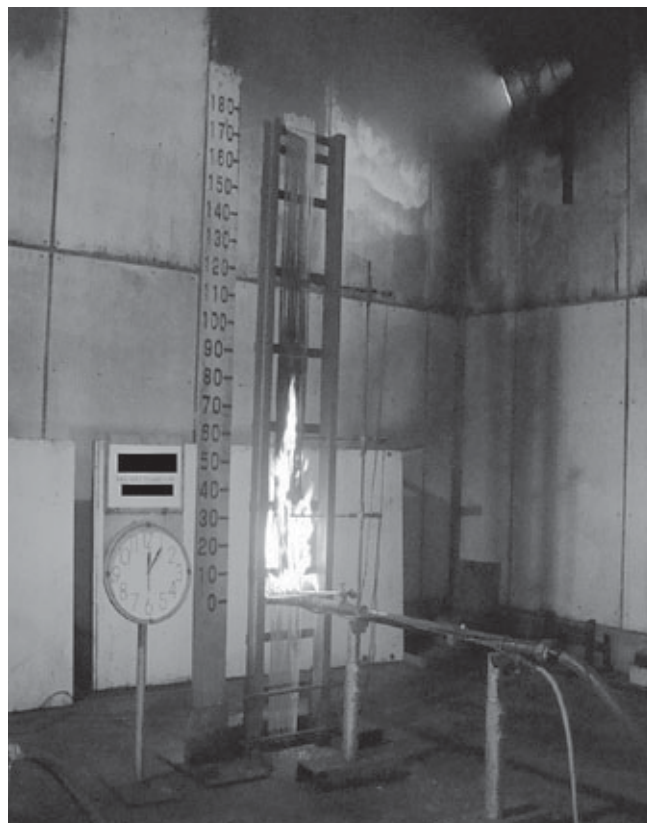


図9 燃焼試験状況

4. まとめ

今回開発した2対の産業用イーサネットケーブルFAE-5002は、各種産業用オープンネットワークシステムのコントロール層において、特に10BASE-T、100BASE-TXの通信技術を適用した2対の伝送が想定される場面に最適な特性を有していることが確認できた。1000BASE-TXの通信技術を適用したシステムに対しては既に開発済の4対ケーブルFAE-5004が好適であり、今回のFAE-5002の開発によってほとんどの産業用オープンネットワークのコントロール層に、それぞれの通信技術に最適なケーブルを提供することが可能になった。今後、本産業用イーサネットケーブルが幅広く使われていくものと思われる。

参考文献

- 1) 森利明, 他: 昭和電線レビュー, Vol.55, No.1, p.25 (2005)
- 2) 昭和電線レビュー, Vol.60, p.71 (2014)
- 3) 山崎泰誠, 他: 昭和電線レビュー, Vol.50, No.1, p.60 (2000)
- 4) 河田正義, 他: 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, P.44 (2008)
- 5) 昭和電線レビュー, Vol.55, No.1, p.38 (2005)

昭和電線ケーブルシステム(株)

山崎 泰誠 (やまざき ひろよし)

産業機器電線事業開発PJ 主査

新製品および新事業のための開発・設計に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

小林 敬久 (こばやし よしひさ)

通信システムユニット 技術部 技術課 主査

情報通信ケーブルの開発・設計に従事

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 技術部長

情報通信ケーブルの開発・設計に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

宮口 幸一 (みやぐち こういち)

営業本部 営業技術部 主幹

情報通信ケーブルの営業技術業務に従事

医療機器向け光アクティブケーブルの開発

Development of Active Optical Cable for Medical Device

田邊賢吾
Kengo TANABE

佐野義昭*
Yoshiaki SANŌ

鈴木修司*
Shuji SUZUKI

村瀬知丘
Tomotaka MURASE

金子貴皇
Takao KANEKO

高機能化した医療機器内において電気伝送は限界を迎えつつあり、光伝送の導入が進められている。今回、細径・小型でかつ、光伝送を意識しない電気伝送のようなインターフェースをコンセプトにした医療機器向け光アクティブケーブルを開発した。光ケーブル部はクラッド径 80 μm の高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線を用い、コネクタ部は光電気変換部の大幅な小型化を実現した。本ケーブルは、極小曲げや耐屈曲性に優れるとともに、最大 6.25 Gbps の信号伝送が可能で、コネクタは一般的な電気コネクタと同様な構造を有している。本ケーブルは、配線形態への要求が厳しい医療機器分野で適用可能である。

Recently, some interconnect wirings into sophisticated medical devices have become optical transmission systems due to electrical limitation of metallic transmission systems. We have developed active optical cable for medical devices, which had design concepts of minimal compact design and metallic-like interface in unconscious optics. The cable consisted of high NA-GI optical fiber with 80 μm cladding diameter and super compact connectors of electric-optic converter for producing high density mounting. Additionally, the cable realized small size wiring, highly flexure resistance and signal transmission rate of 6.25 Gbps. This cable is suitable for wiring with stringent requirements into medical devices.

1. はじめに

近年の医療機器内の高機能電子部品は、送受信すべき信号が多様化複雑化し、情報通信量の大容量化・高速化が進んでいる。このため、電子機器間の光伝送化への要求は明らかな高まりを見せている。医療機器内で配線される光ケーブルは、空間的な裕度が非常に少ないため、細径でかつ、極小曲げに対して高い信頼性が要求される。これに加え、固定配線のような静的な曲げだけでなく可動部における動的な曲げが加わることもあるため、高い屈曲寿命をもつことが望まれている¹⁾。このような要求に対し、クラッド径 125 μm の一般的な石英系グレーデッドインデックス (Graded Index : GI) 形光ファイバでは、伝送損失の増加を招きやすだけでなく、屈曲寿命においても破断に至る確率が高くなるなど、そのまま適用するには種々の課題が生じる。

一方、光伝送方式には、必ず光信号と電気信号の変換部

が必要となる。一般に、光電気変換部は、光源からの信号光を効率的に光ファイバに入射することが求められる。そのため、高精度に光源と光ファイバを調心したり、レンズ等の光学部品を内蔵させたりすることがあり、小型化することが非常に難しい。また、メタル伝送方式がいまだに一般的であるため、光伝送方式を意識しない電気コネクタのインターフェースが重要となっている。

そこで、われわれは光ケーブルと光電気変換コネクタを一体化した医療機器向け光アクティブケーブル (Active Optical Cable : AOC) を開発した。外観を図 1 に示す。本 AOC の光ケーブル部は、クラッド径を 80 μm に細径化した高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線²⁾を用いており、半径 10 mm の耐屈曲性試験において連続屈曲回数 300 万回を満足する。また、コネクタ部は、光電気変換部に面発光レーザ (Vertical Cavity Surface Emitting LASER : VCSEL) / 光検出器 (Photo Diode : PD) を用い、封止樹脂の工夫などによって高さ 1.5 mm の低背化を実現している。加えて、一般的な 0.5 mm ピッチの電気コネクタと同様な構造としていて、最大 6.25 Gbps までの高速、

* ヒロセ電機株式会社

高品質の信号伝送が可能である。

本報告では、最初に医療機器向け AOC の光ケーブル部とコネクタ部の設計内容について述べた後、伝送特性および信頼性試験結果について述べる。

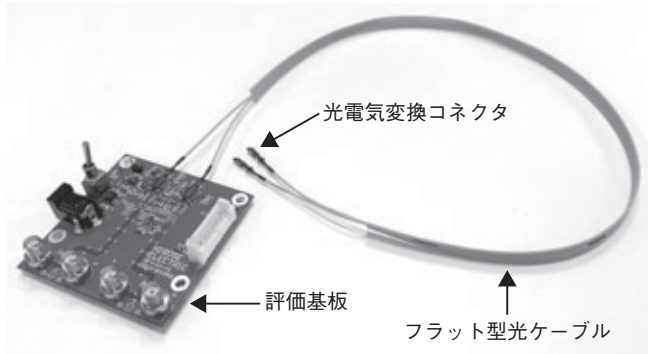


図1 医療機器向け AOC

2. ケーブル設計

医療機器向け AOC は汎用の光通信ケーブルとは異なり、ケーブル構造は配線性を意識して細径化および屈曲寿命を考慮する必要がある。

2.1 光ファイバ心線

光ファイバの極小曲げによる損失増加および屈曲時に生じる光ファイバひずみの低減のため、クラッド径 $80 \mu\text{m}$ 、コア径 $50 \mu\text{m}$ 、開口数 (Numerical Aperture : NA) 0.27 の GI 形光ファイバを熱可塑性フッ素系樹脂で被覆した高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線を開発した。表 1 に心線構造を示す。

図 2 にマンドレルに 1 ターン巻いたときの曲げ損失特性 (波長 850 nm) を示す。曲げ半径 2.5 mm における高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線の損失増加量は 0.14 dB であり、一般的な GI 形光ファイバ心線と比較して十分小さく、極小曲げに強いことがわかる。

また、U 字曲げ (180° 曲げ) 時の耐破断特性を図 3 に示す。高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線の破断確率は一般的な GI 形光ファイバ心線と比較して非常に優れており、曲げ半径 2.5 mm においても高い信頼性を持っていることがわかる。

表 1 高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線構造

項目	単位	設計値
ファイバ	材質	石英系
	屈折率分布	GI 形
	NA	0.27
	コア径	$50 \mu\text{m}$
	クラッド径	$80 \mu\text{m}$
一次被覆	材質	紫外線硬化型樹脂
	最外径	0.17 mm
二次被覆	材質	熱可塑性フッ素系樹脂
	最外径	0.50 mm

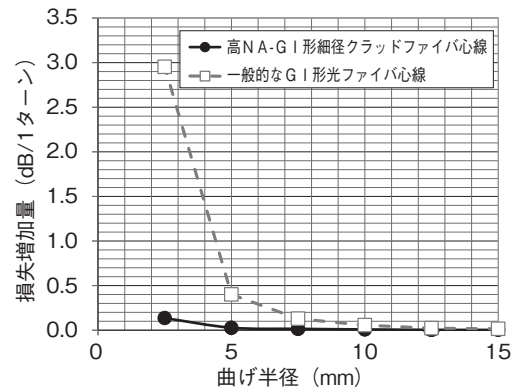


図2 曲げ損失特性 (波長 850 nm)

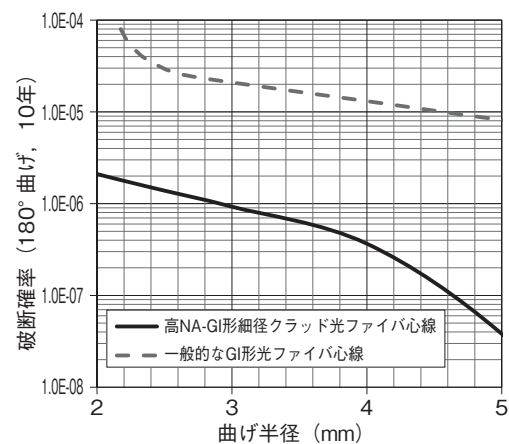


図3 U 字曲げ時の耐破断特性

2.2 ケーブル構造

医療機器向け AOC は双方向通信のため、光ファイバは 2 心実装する。ケーブルの細径化を実現するため充実構造とし、高い屈曲寿命を実現するために外周樹脂は柔軟性と強靭性を兼備したポリ塩化ビニル系樹脂で被覆した。さらに、ケーブル特性の向上と配線時に要求される可撓性を実現するため、プラスチックテンションメンバを光ファイバ心線の両端に配置する構造とした。図 4 にフラット型光ケーブルの断面構造を示す。

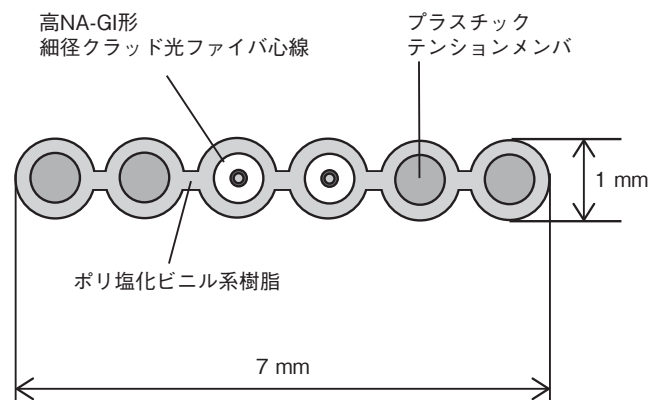


図4 フラット型光ケーブル断面構造

2.3 ケーブル特性

表2に医療機器向けAOCのケーブル特性を示す。ケーブルを短径方向に、半径2.5 mmのマンドレルで1ターン巻きつけても、損失変動は0.1 dB未満となった。医療機器内で配線されるケーブルとして十分な性能をもつ。

表2 ケーブル特性 (波長 850 nm)

項目	評価条件	評価結果
伝送損失	ボビン巻き	<3.0 dB/km
曲げ損失特性 (短径方向)	半径 2.5 mm マンドレル, 1 ターン	<0.1 dB
捻回特性	±360° / 1 m	<0.1 dB
温度サイクル特性	-40 ~ +85°C, 3 サイクル	<0.1 dB/60 m
温湿度サイクル特性	-10 ~ +65°C, 95%RH, 10 サイクル	<0.1 dB/60 m

次に、可動部などで動的な曲げが加わったときの性能を検証するため、図5に示す耐屈曲性試験 (JIS C 5016 準拠) を実施した。このとき、100 往復/minの速さでしゅう動ステージを往復運動させ、光ファイバが破断するなど、伝送不能となったときの屈曲回数 (往復回数) を記録した。表3に評価結果を示す。本AOCは、屈曲半径10 mmの耐屈曲性試験において連続屈曲回数300万回でも伝送可能であり、過酷な使用環境においても十分対応する。

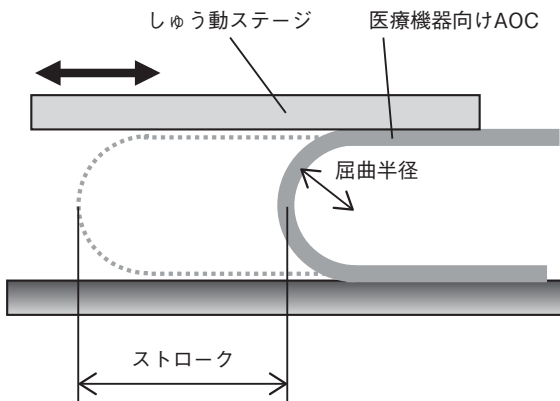


図5 耐屈曲性試験の構成

表3 耐屈曲性試験結果

項目	条件1	条件2
屈曲半径	10 mm	7 mm
ストローク	90 mm	90 mm
屈曲回数	300 万回以上	223 万回にて断線

3. コネクタ設計

医療機器向けAOCはコネクタにおいても小型化が要求される。また、コネクタ挿抜時のハンドリング性についても簡便さが要求される。今回、コストと拡張性を考慮してケーブル片端には、送信用/受信用2個の光電気変換コネクタを各々の光ファイバに実装した。

3.1 コネクタ概要

コネクタ部は光接続点を排除するため、光電気変換を担うプラグコネクタと、通常の電気コネクタと同様の0.5 mmピッチの接点をもつレセプタクルコネクタの2つに着脱可能な構造とした (プラグプル)。これにより、接続は電気接点同士の接触により完結され、挿抜時の清掃処理が不要となり、良好なハンドリング性が実現される。図6にコネクタ外観を示す。

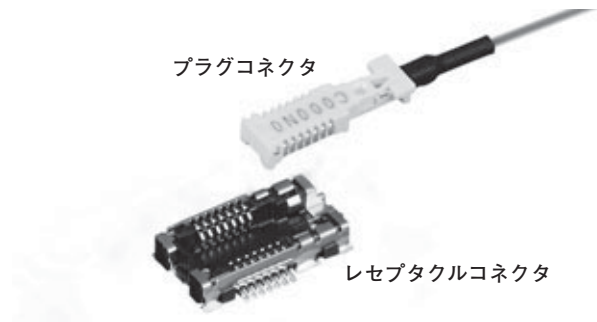


図6 光電気変換コネクタ概要

3.2 アライメント設計

プラグコネクタにおける、光電気変換部のVCSEL/PDと光ファイバまでの光学配置を図7に示す。VCSEL/PDは実装面 (以下リードフレーム) に対して垂直方向に光軸をもつが、光ファイバはリードフレームに対して水平方向に光軸をもつ。そのため、光路を90度変向する必要が生じるが、従来のように反射面を有した部材を空間的に配置させると光軸調整が煩雑になる上、小型化が困難になる。そこで、VCSEL/PD直上まで透明樹脂を充填させ、金型により透明樹脂表面に45度の非球面形状の反射面を形成した。このとき、同時に光ファイバ位置決め用V溝を形成し、光路が光ファイバへ集光されるよう設計することで、光ファイバ実装時の光学的な位置合わせも不要とした。その結果、部品点数が少なく光軸調整が自動的に行われ、かつ光学配置が確実に維持される小型な光電気変換部を実現した。

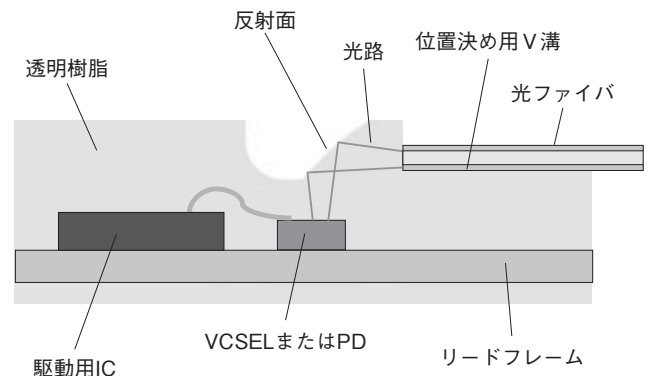


図7 プラグコネクタにおける光学配置

3.3 機構設計

図8に光電気変換コネクタの断面構造を示す。ここで、駆動用ICなどの実装部品からの放射ノイズに対するシールド性能を勘案しながら、リードフレームおよびレセプタクルシェル最適化を図った。また、内部配線のワイヤボンディング長についても短縮化を図った³⁾。それらの結果、プラグコネクタ高さを1.3 mmまで小型化することに成功し、コネクタ嵌合時高さが1.5 mmの低背化を実現した。なお、光電気変換コネクタの幅は5 mm、長さは11 mmである。これらは、一般的な電気コネクタと同様の大きさで、医療機器内に実装される部品として十分な構造である。

また、本コネクタは低消費電力の駆動用ICを使用しているため、発熱量が極めて少なく、放熱設計としてはリードフレームおよび透明樹脂が放熱パスとして機能するのみで十分であり、小型化を追求した構造となっている。

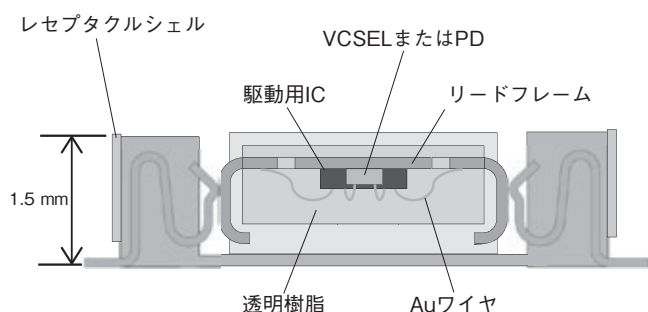


図8 光電気変換コネクタの断面構造 (嵌合時)

4. 伝送特性評価

図9に医療機器向けAOCの伝送特性評価系を示す。信号発生器から出力する信号は6.25 Gbps (PRBS7)とし、評価基板を介して、長さ10 mの本AOCに接続し、出力される信号品質をサンプリングオシロスコープによって確認した。測定系における入力信号のPRBS7は、実際の入力信号として推奨する8b10b符号化でのデータ伝送に近い状態となるため、実使用におけるジッタ値予測と近い値になる。なお、ビットエラーレート (Bit Error Rate: BER) 1×10^{-12} でのジッタ評価は一般に広く用いられている指標である。

図10に本AOCの電気出力信号波形を示す。また、表4にBER 1×10^{-12} におけるランダム・ジッタ (Random Jitter: RJ) p-p値とデターミニスティック・ジッタ (Deterministic Jitter: DJ) の試料数5の平均値を示す。なお、BER 1×10^{-12} におけるRJ (p-p値)は次の式で見積もられる⁴⁾。

$$RJ \text{ (p-p 値)} = 14.069 \times RJ \text{ (rms)} \quad (1)$$

RJ (p-p値)とDJの和として得られるトータルジッタ (Total Jitter: TJ)は34.3 psであった。この結果から6.25

Gbps, BER 1×10^{-12} におけるエラーフリー領域は125.7 ps (=0.79 UI)であり、十分なジッタマージンを有していることを確認した。

このときの本AOCの消費電力は送信側で約25 mW、受信側で約70 mWであった。また、プラグコネクタ上面における温度上昇は送信側が1°C未満、受信側が3°C未満であった。実使用における周囲環境へ与える影響は軽微であるといえる。

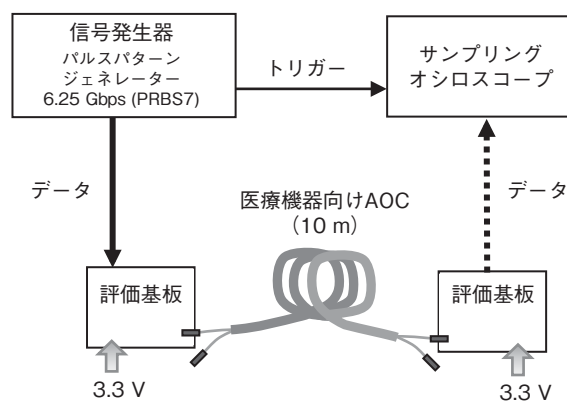


図9 伝送特性評価系

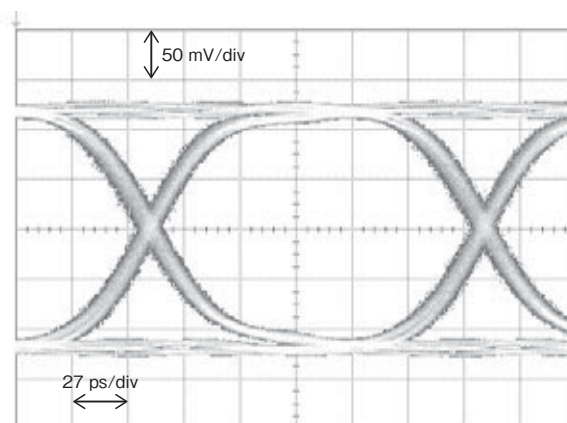


図10 医療機器向けAOCのアイパターン

表4 BER 1×10^{-12} におけるRJおよびDJ値

RJ (p-p 値)	DJ	TJ (BER)
24.7 ps	9.6 ps	34.3 ps

5. 信頼性試験結果

表5に医療機器向けAOCの信頼性試験結果を示す。試験後のケーブル/コネクタの機能は、全試験項目において正常であり、十分な信頼性を有していることを確認した。

表5 信頼性試験結果

項目	試験条件	判定基準	結果
振動特性	10 ⇄ 55 ⇄ 10 Hz, 振幅 1.5 mm, 3 軸方向 各 10 サイクル	試験前後で機能 および外観に異 常ないこと	合格
衝撃特性	加速度 490 m/s ² , 作用時間 11 ms, 3 軸方向 各 3 回		合格
耐熱特性	+85°C, 1000 hr		合格
耐寒特性	-40°C, 1000 hr		合格
温度 サイクル特性	-40°C ~ +85°C, 100 サイクル		合格

6. ま と め

細径・小型で配線性に優れた医療機器向け AOC を開発した。光ケーブル部は、クラッド径 80 μm の高 NA-GI 形細径クラッド光ファイバ心線を用いたフラット型光ケーブルであり、極小曲げや繰返し曲げに優れる。また、コネクタ部は、光電気変換部の樹脂封止の工夫などにより、高さ 1.5 mm の低背であり、かつ電気コネクタと同様な構造を有している。

本 AOC は、過酷な環境下でも高い信頼性を示すことから、ますます高機能化する医療機器分野において、貢献することを期待している。

参 考 文 献

- 1) G. Astfalk : "Why optical data communications and why now?" Applied Physics A, June 2009, Vol. 95 issue 4, pp.933-940
- 2) 村瀬知丘, 他 : 昭和電線レビュー, Vol.53, No.1, pp.32-36 (2003)
- 3) Summit Technical Media, LLC : "Sensitivity of an Optical Receiver", High Frequency Electronics Design Notes, Vol.10, No.6, p.72 (2011)
- 4) J. Hancock : "Jitter - Understanding it, Measuring it, Eliminating it part 1 : Jitter Fundamentals", High Frequency Electronics, Vol.3, No.4, pp.44-50 (2004)

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 技術部 技術課 主査
通信ケーブルの研究・開発に従事

ヒロセ電機株式会社

佐野 義昭 (さの よしあき)
技術本部 SB 事業部 光技術課 主事
光アクティブコネクタの設計・開発に従事

ヒロセ電機株式会社

鈴木 修司 (すずき しゅうじ)
技術本部 SB 事業部 光技術課 副参事
光アクティブコネクタの設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

村瀬 知丘 (むらせ とまたか)
営業本部 営業技術部 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 光素線プロジェクト長
通信ケーブルの研究・開発に従事

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

Development of Ultra High Density Optical Fiber Cable with Rollable Optical Fiber Ribbons

田邊賢吾
Kengo TANABE

金子貴皇
Takao KANEKO

吉原龍夫
Tatsuo YOSHIHARA

野呂 互
Wataru NORO

瀬戸昭博
Akihiro SETO

清武耕三
Kozo KIYOTAKE

近年インターネットの普及に伴い、光ファイバ伝送路をより効率的で低コストに構築するため、光ケーブルの細径・軽量化、高密度化の要求が高まっている。このような要求に対しては、柔軟性のあるテープ構造を有した間欠接着型光ファイバテープが適している。今回、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容し、24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。本ケーブルの主要な設計内容について述べるとともに、各種特性の評価結果を報告する。

Recent years, as the growth of the Fiber to the Home, high density optical fiber cable with small diameter and lightweight is required to build optical fiber networks efficiently and inexpensively. As the requirements, rollable optical fiber ribbons have great advantages in high density cable because of their flexible structure. We have developed the 4-fiber rollable-ribbons which are useful in handling and fiber splicing workability. In addition, we fabricated and experimentally investigated 24-, 40-, 60-, 100- and 200-fiber ultra high density optical fiber cables with the 4-fiber rollable-ribbons. In this paper, we will describe the main design contents and the various characteristics of both the ribbons and the cables.

1. はじめに

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) が急速に拡大しており、光ファイバ伝送路をより効率的で低コストに構築することが求められている。FTTHに使用する光ケーブルは、効率的な接続作業を実現するため、複数の光ファイバテープをスロットに収容したものが一般的である。また、敷設時の牽引力や電柱への荷重負担を低減させるための軽量化の要求や、追加敷設の際の空きスペース不足の問題から、細径・高密度化の要求が高まっている。

従来の一括被覆型光ファイバテープをケーブルに収容し高密度化すると、ケーブルを曲げた時に一部の光ファイバテープで大きな光ファイバひずみが生じてしまい、光損失の増加を招くとともに、光ファイバ破断率が增大する等の問題があった。そこで、光ファイバテープを幅方向に曲げ

やすく、筒状に、あるいは折り畳んでケーブル内に収容可能な間欠接着型光ファイバテープが提案され、高密度収容してもひずみが低減されることが示されている^{1)~5)}。

今回我々は、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容し、24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。本ケーブルの主要な設計内容について述べるとともに、各種特性の評価結果を報告する。

2. 間欠接着型光ファイバテープの設計

図1に間欠接着型光ファイバテープの構造を示す。間欠接着型光ファイバテープは隣接する2心の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である。このような構造のテープは、従来の一括被覆型光ファイバテープ心線に比べ、自由に形を変えることができるとともに、テープから単心光ファイバを個別に後分岐しやすい。その上、光ファイバを

接続する際は所定の配列に光ファイバを整理させ、一括接続可能という利点を持っている。

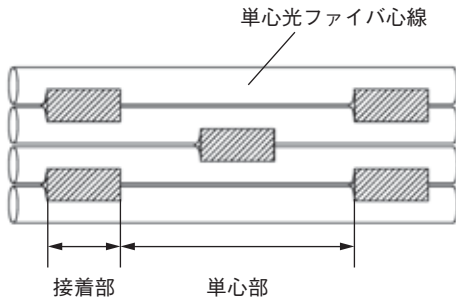


図1 間欠接着型光ファイバテープ構造

2.1 テープ強度

間欠接着型光ファイバテープは、ケーブル曲げ時のひずみが小さい単心光ファイバ心線の特性和、接続作業時に作業性が良い一括被覆型光ファイバテープの特性をあわせ持った構造といえる。その反面、一括被覆型光ファイバテープと比較して光ファイバ同士を連結するテープ強度が弱く、光ケーブルに応力を加えた際、ケーブル内で単心光ファイバに分離してしまう懸念がある。これは、中間分岐作業の作業性に大きく影響を与えてしまうため、間欠接着型光ファイバテープを設計する上で考慮する必要がある。

そこで、単心部長さと接着部長さの関係からテープ強度を相対的に検証するため、図2に示すしごきユニットによって検討した。本しごきユニットは光ファイバテープを一定張力で張線したあと、任意回数捻回してからローラーでしごく機構となっており、しごいた後の光ファイバテープ分離状態を確認する装置である。ここに、単心部長さを接着部長さで除した値を単心部比率とし、分離が発生しない最大の捻回数をテープ強度とした。

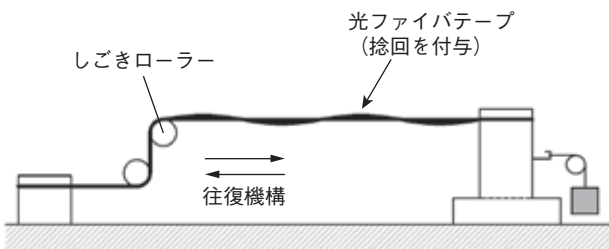


図2 しごきユニット

図3にしごきユニットを用いて単心部比率の異なる間欠接着型光ファイバテープを評価した結果を示す。テープ強度の値は単心部比率が25のときを1とした相対値で示す。図3より、単心部比率が小さいテープ構造ほどテープ強度が高くなる。また、単心部比率が12以下の光ファイバテープは、光ケーブルに応力を加えた際もケーブル内で単心光ファイバへ分離しないことを確認した。

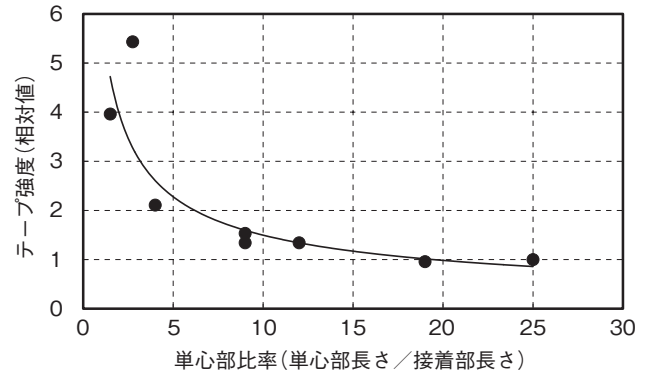


図3 しごき試験結果

2.2 ハンドリング性

間欠接着型光ファイバテープは、長手方向に単心部を部分的に持っているため、配列・整列性が従来の一括被覆型光ファイバテープと比較して劣ることが懸念される。そこで、光ファイバテープを融着ホルダにセットし、融着機のV溝へセットするまでの作業時間と光ファイバテープの単心部長さの関係について検証した結果を図4に示す。作業時間の値は従来の光ファイバテープの作業時間を1としたときの相対値で示す。

単心部長さが長くなるほど作業時間は長くなる傾向があり、融着ホルダへの配列・整列性が徐々に失われていくことがわかる。逆に単心部長さが63 mm以下の光ファイバテープは従来の光ファイバテープと同等の作業時間であり、ハンドリング性は良好であった。

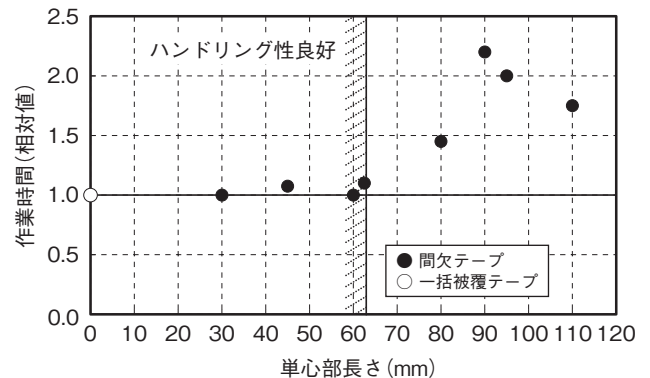


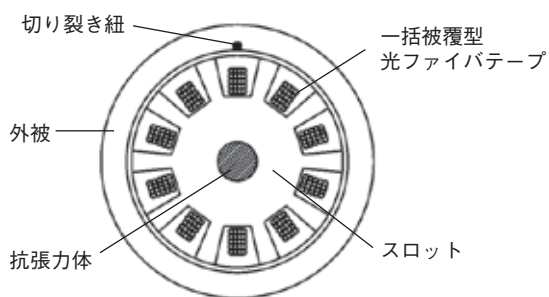
図4 ハンドリング性評価結果

これらのことから、間欠接着型光ファイバテープの単心部比率を12以下、単心部長さを63 mm以下として、光ファイバテープを設計した。なお、光ファイバ心線にはITU-T G.657.A1に準拠したR15 mm曲げ対応心線を適用した。

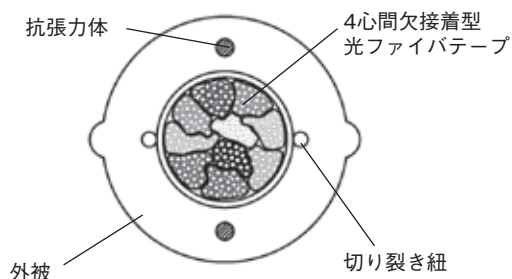
3. 超細径高密度光ケーブルの設計

従来の一括被覆型光ファイバテープを収容した光ケーブルは、図5 a)に示すようなスロット構造をとっており、スロットがケーブルの大半の容積を占めていた。今回開発の超細径高密度光ケーブルは、間欠接着型光ファイバテープ

プを收容するため、その特徴からスロット構造は不要となり（スロットレス構造）、図5 b) に示すような高密度收容が可能となる。



a) 従来 200 心スロット型光ケーブル



b) 200 心超細径高密度光ケーブル

図5 光ケーブル断面構造

3.1 曲げ特性

従来のスロット型光ケーブルは、スロット溝に光ファイバテープを整列して收容しているため、ケーブル曲げ時にもその整列性が維持され、光ファイバテープへの著しい側圧によるマイクロベンドロスや、光ファイバテープ条長差によるマクロベンドロスは発生しなかった。しかし、スロットレス構造としつつ、光ファイバ充填密度を高くしてケーブル内に收容すると、光ファイバテープ同士の押し付け合いにより、マイクロベンドロスやマクロベンドロスが生じる可能性がある。

そこで、24, 40, 60, 100, 200 心の光ケーブルを異なる光ファイバ充填密度で作製し、各々の光ケーブルを曲げ半径 75 mm で曲げたときの光損失値を測定した。光ファイバ充填率と曲げ光損失特性の結果を図6 に示す。ここで、光ファイバ充填率は、ケーブル外被内側の光ファイバが収納されている部分の断面積と收容されている光ファイバの総断面積の比とした。また、光ファイバ收容心数 24 心における、充填率が最小のときを 1 として規格化した。あわせて、曲げ損失が 0.1 dB より大きい場合、マイクロベンドロスやマクロベンドロスが生じていると判断し、(×) で表示した。

図6 より、どの心数のケーブルでも充填率が高くなるに従い曲げ損失が高くなる。また、收容心数が多くなると、充填率が高くても曲げ損失が生じにくいことがわかる。こ

れは、收容心数の多いケーブルは少心ケーブルと比較してケーブル外被内側の寸法が大きいいため、光ファイバが内部で比較的稠密に收容されることが一因と考えられる。

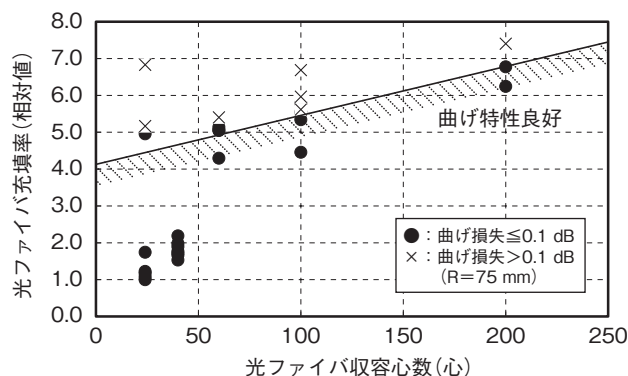


図6 光ファイバ充填率と曲げ特性

3.2 側圧特性

従来の光ケーブルは、スロットによって光ファイバが保護されているため、断面方向の外力（側圧）に対して十分な耐性を持っていた。しかし、スロットレス構造とすることにより、ケーブル外被構造だけで外力に対する強度を確保しなければならない。そこで、外被厚さをパラメータとした強度設計が重要となる。

光ケーブル外被厚さと側圧特性について検証した結果を図7 に示す。外被厚さの値は光ファイバ收容心数 24 心で最小のときを 1 とした相対値で示す。ここに、側圧損失が 0.1 dB 以下であれば、実用上問題ない強度を持っていると判断した。

この結果から、光ファイバ收容心数が多いほど、外被厚さを大きく設計しなければならないことが分かる。これは、收容心数の増加とともにケーブル外径が大きくなり、同一の外被厚さではケーブル断面方向の変形量が大きくなることが一因と考えられる。

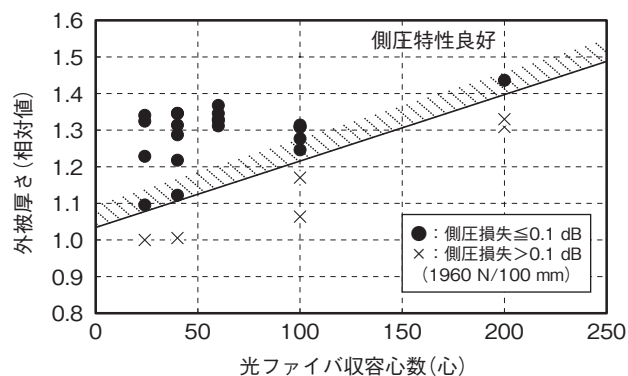


図7 光ケーブル外被厚さと側圧特性

3.3 ユニットの設計

従来の光ケーブルは、複数の光ファイバテープ心線をスロットの溝ごとに区分けすることで、光ファイバテープの識別を容易にしていた。今回のスロットレス構造は、20心ごとに光ファイバテープを着色されたバンドル材で束ねてユニットを構成し、識別性を確保した。

バンドル材は幅を持った着色ポリエチレン (PE) テープと着色ポリエチレンテレフタレート (PET) テープ、柔軟性のある着色系の三種類について検討した。表1にユニット識別性と加熱収縮性を検討した結果を示す。加熱収縮性については温度変動時に光ケーブル性能へ影響を及ぼす可能性があるため考慮した。

この結果から、幅を持ったテープ状のバンドル材は識別性が良好であり、さらに着色PETテープは加熱収縮性が良好であった。

表1 バンドル材検討結果

検討材料	識別性	加熱収縮性
着色PETテープ	○	○
着色PEテープ	○	△
着色系	△	○

これらのことから、超細径高密度光ケーブルの光ファイバ充填率と外被厚さは、光ファイバ収容心数ごとに適切な値で設計し、ユニットを構成するバンドル材は着色PETテープを選定した。

4. 検証

今回、丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルについて、光ファイバ収容心数が24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを製作し、各種特性を評価した。

4.1 構造寸法

図8、図9に丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルの外形・質量をそれぞれ示す。比率の値は従来の光ケーブルを1としたときの相対値で示す。

丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルどちらも、光ファイバ収容心数が多いほど細径化率・軽量化率が増加していることが分かる。これは、従来の光ケーブルのスロット構造が外周に光ファイバテープを配置する設計のため、光ファイバ収容心数が多いほど必然的に外径が大きくなることに起因する。

今回、200心丸型光ケーブルにおいては、従来の光ケーブルと比較して、4割の細径化、6割の軽量化を実現した。

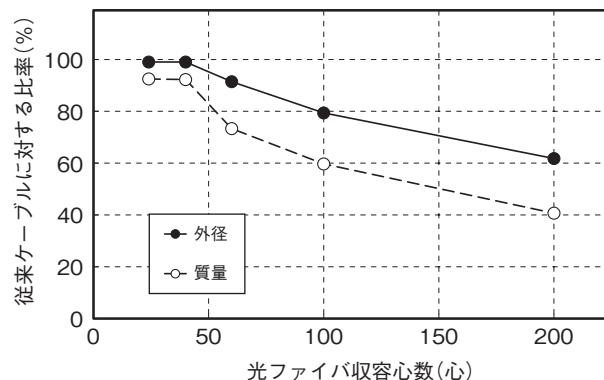


図8 丸型光ケーブルの外径と質量

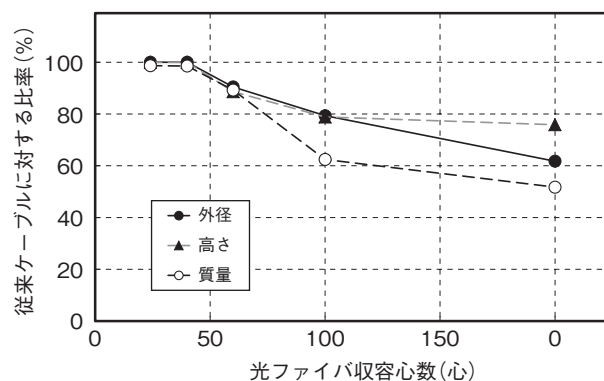


図9 自己支持型光ケーブルの外径と質量

4.2 ケーブル特性

表2に開発した超細径高密度光ケーブルの伝送特性、機械特性、温度特性の評価結果を示す。

各評価項目において、良好な特性を持つことを確認し、従来の光ケーブルと同等性能であることを確認した。

表2 ケーブル特性評価結果

項目	試験条件 (測定波長は1.55 μm)	超細径高密度光ケーブル (丸型, 自己支持型)				
		24心	40心	60心	100心	200心
伝送損失	OTDR ^{注)}	0.25 dB/km 以下				
曲げ特性	R=160 mm, ±180°, 10 cyc	0.01 dB/心以下				
側圧特性	1960 N/100 mm	0.01 dB/心以下				
衝撃特性	φ20 mm, 1 kg, 1 m	0.01 dB/心以下				
捻回特性	±90°/m	0.01 dB/心以下				
しごき特性	R=250 mm, 90°	0.01 dB/心以下				
温度特性	-30 ~ 70°C, 3 cyc	最大損失変動 0.1 dB/km 以下				

注) OTDR : Optical Time Domain Reflectometer

4.3 作業性

表3に中間分岐性、融着接続性の評価結果を示す。表3の評価結果は従来の光ケーブルを1としたときの相対値で示す。

各評価項目において従来の光ケーブルと同等の特性を持つことを確認した。また、融着接続時の接続損失についても従来の光ケーブルと同等であることを確認した。

表3 作業性評価結果

項目	試験条件	200心 従来 光ケーブル	200心 超細径高密度 光ケーブル
中間分岐性	ケーブル中間部で外被除去を行い、任意の単心光ファイバ心線を取出すまでの時間	1.00	0.94
融着接続性	光ファイバテープ1組の融着接続時間	1.00	1.02

5. ま と め

光ファイバ充填率と外被厚さを光ファイバ収容心数ごとに最適化し、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容する24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。開発したケーブルは伝送特性、機械特性、温度特性、作業性において従来の光ケーブルと同等な性能を持つことを確認した。

本ケーブルは、大幅な細径化・軽量化を実現しており、今後の効率的な光ファイバ伝送路の構築に貢献することが期待される。

参 考 文 献

- 1) 戸毛, 山田, 保莉: “間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径・高密度光ファイバケーブル”, 信学会ソ大会, B-13-38 (2008)
- 2) 保莉, 山田, 戸毛: “20心間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ファイバケーブル”, 信学技報, OFT2009-87, P23-26
- 3) 山田, 泉田, 倉嶋, 戸毛, 保莉: “間欠接着型光ファイバテープを実装した超細径高密度光ケーブルの設計と特性”, 信学技報, OFT2010-49, P9-14
- 4) 田邊, 金子, 野呂, 今川, 瀬戸, 清武: “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”, 信学会ソ大会, B-10-19 (2012)
- 5) 田邊, 金子, 吉原, 野呂, 瀬戸, 清武: “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”, 信学技報, OFT2012-45, P65-69

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 技術部 技術課 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)

金子 貴皇 (かねこ たかお)

通信システムユニット 光素線プロジェクト長
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 製造部 製造1課 主査
通信ケーブルの設計・製造に従事

杭州富通通信技術股份有限公司

野呂 互 (のろ わたる)

通信ケーブルの設計・製造に従事

(2014年6月まで 昭和電線ケーブルシステム(株)
通信システムユニット 通信製造部 技術課長)

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 開発営業部 主査

新製品および新事業のための企画業務に従事

富士電線(株)

清武 耕三 (きよたけ こうぞう)

生産本部 光ケーブル加工品部 部長

通信ケーブルの設計・製造に従事

(2014年6月まで 昭和電線ケーブルシステム(株)
通信システムユニット 技術開発部長)

オイルダンパー付き弾性すべり支承の開発

Development of Base Isolation Device of Sliding Support with Oil Dampers

三須基規
Motoki MISU

福田滋夫
Shigeo FUKUDA

加藤直樹
Naoki KATO

谷地 畝和夫*
Kazuo YACHIUNE

飯塚 信一**
Shinichi IIZUKA

露木 保男***
Yasuo TSUYUKI

微振動対策が必要な生産施設等にも免震構造を適用できるように、弾性すべり支承に制振用オイルダンパーを組み込んだ免震装置を開発した。本報ではその概要と各種評価結果を報告する。

For demand to seismic device which can be applied to productive facilities, we have developed new device "Sliding support with oil dampers" to decrease the micro-vibration. This paper reports the outline of device and results of performance test.

1. はじめに

近年、生産施設ではBCPに基づく地震リスク低減対策として免震構造が増加している。しかし電子部品や精密機器等の生産施設を免震構造にする場合、常時の微振動の対策が重要になる。免震構造の水平方向固有周期を3秒以上にして地震時の揺れを低減させると、低振動数領域で振幅が増幅して、生産施設の振動許容値を越える可能性がある。このような場合、従来では低荷重時の剛性が高い剛すべり支承を採用することで振幅を抑える方法や、粘性ダンパーを採用することで減衰を付加させる方法が主流であった。しかしいずれも微振動を効率良く減衰させることは難しいと考えられる。

そこで戸田建設株式会社、西松建設株式会社、カヤバシステムマシナリー株式会社と共同で、微振動を効率良く減衰できる制振用オイルダンパーを弾性すべり支承に組み込んだ免震装置を開発した。本報はその概要をまとめたものである。

2. 仕様検討

2.1 構造

オイルダンパーはストロークが ± 200 mm以上の免震用と、 $\pm 60 \sim 120$ mmの制振用に大別できる。微振動を効率良く減衰させるため、オイルダンパー付き弾性すべり支承

(以下『本品』)は制振用オイルダンパーの片端を上部の建物基礎に、もう片端を弾性すべり支承の積層ゴム部とすべり材の間に取り付け構造とした。オイルダンパーは積層ゴム部と一緒に変形する。また地震時はオイルダンパーと積層ゴム部が変形したまますべるので、既存の弾性すべり支承の免震性能を損なうことなく、ストロークが短い制振用オイルダンパーを免震層に用いることができる。その機構を図1に示す。

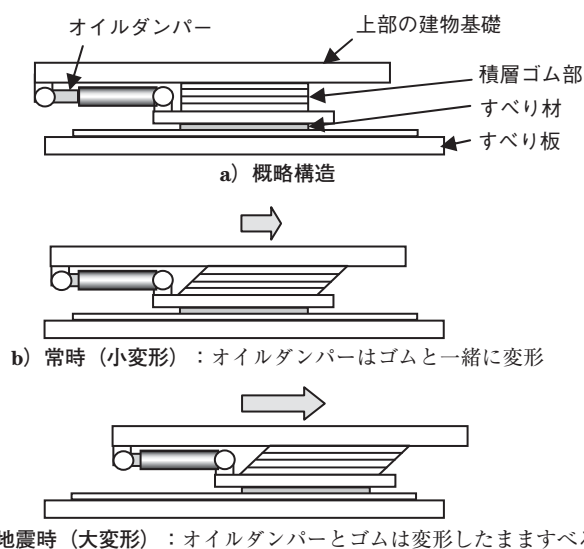


図1 オイルダンパー付き弾性すべり支承の機構

* 戸田建設株式会社

** 西松建設株式会社

*** カヤバシステムマシナリー株式会社

2.2 縮小試験体と製品形状

開発に際してまず表1に示すφ300 mm縮小試験体で各種試験を実施した。次に実際の製品サイズであるφ900 mm～φ1100 mmを試作した。試験体はいずれも弾性すべり支承のゴム・すべり材径で呼称している。φ300 mm縮小試験体に最大減衰力66.6kN、φ900 mm～φ1100 mm試験体に最大減衰力250 kNのオイルダンパーを図2のように2本ずつ平行に取り付ける。オイルダンパーの取付部はボールジョイントなので伸縮方向の振動は減衰させ、伸縮直交方向の振動には追従できる。従って本品は、オイルダンパーの伸縮方向を建物の長手方向と短手方向に向けたものを各1体ずつ、計2体を1組として建物に設置する必要がある。

表1 オイルダンパー付き弾性すべり支承仕様

部品	項目	縮小試験体	製品			
すべり支承	摩擦係数*		0.094			
	ゴム・すべり材径 (mm)	φ300	φ900	φ1000	φ1100	
	ゴム総厚さ (mm)		21			
オイルダンパー	減衰係数 C1 (kN・s/mm)	0.78	7.8			
	減衰係数 C2 (kN・s/mm)		0.18			
	リリース速度 (mm/s)		21			
	最大減衰力 (kN)	66.6	250			
	限界速度 (mm/s)	300	500			
	ストローク (mm)		±60			

* 面圧 20 N/mm², 速度 400 mm/s 加振時

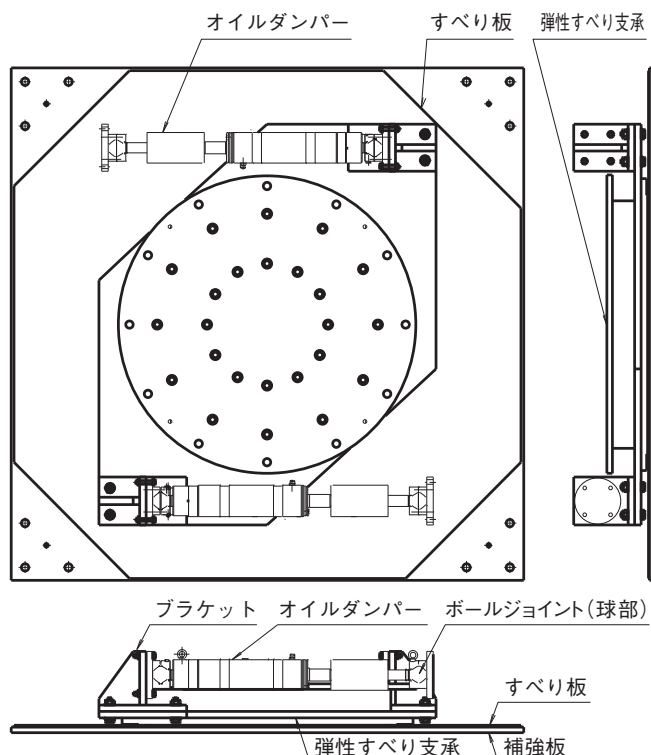


図2 オイルダンパー付き弾性すべり支承の形状

3. 製品性能試験

3.1 静的加振試験

表2に示す25 MN試験機と35 MN試験機で静的加振時の基本性能を確認した。加振速度は5 mm/sで、弾性すべり支承のみの時と、図3のようにオイルダンパーを取り付けた時の2とおり、振幅は±30 mmと±200 mmの2条件で実施した。

φ300 mm縮小試験体及びφ900 mm試験体の水平方向履歴曲線の3サイクル目を図4に例示する。振幅±30 mmの履歴曲線面積が僅かに大きくなったのは、静的加振でオイルダンパーが減衰力を発生させたためである。水平荷重は殆ど変化が無いので、オイルダンパーを取り付けても弾性すべり支承の摩擦係数に殆ど影響を与えないことが確認された。

表2 静的試験機と試験体 (○印は試験実施品)

	試験機荷重仕様 (MN)		ゴム・すべり材径 (mm)			
	鉛直 (静的)	水平 (静的)	φ300	φ900	φ1000	φ1100
25MN試験機	25	6	○			
35MN試験機	35	8		○	○	○

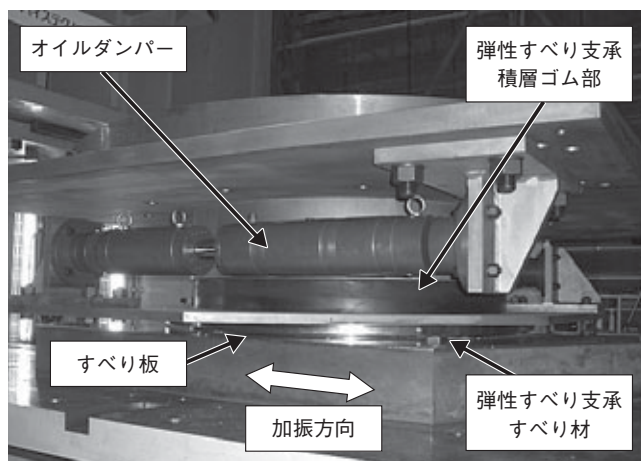


図3 静的加振試験状況

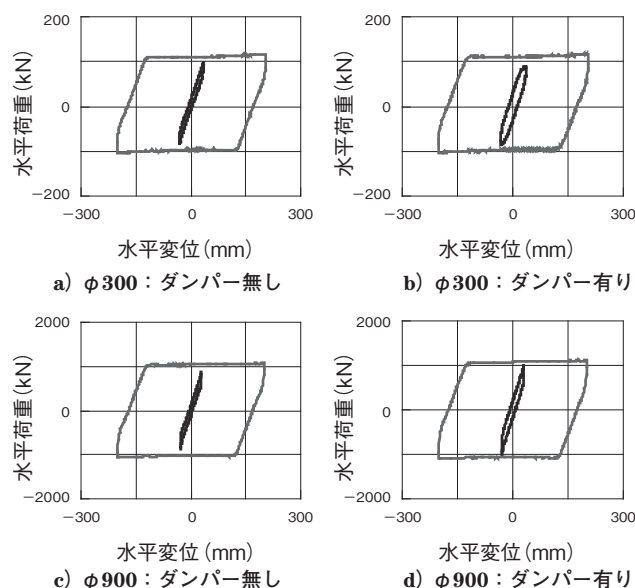


図4 静的加振試験結果

3.2 動的加振試験

オイルダンパーは加振速度に応じて減衰力が増加する。そこで表3、図5に示す動的試験機でφ300縮小試験体の速度と減衰力の関係を確認した。実際の建物の熱伝導を模擬して断熱材を介在させ繰り返し加振時の摩擦熱がすべり材とすべり板から容易に放熱されないようにした。静的加振試験と同様に弾性すべり支承のみの時とオイルダンパーを取り付けた時の2とおり、振幅±30mm時は最大速度300mm/s、振幅±150mm時は最大速度500mm/sまで実施した。

φ300mm縮小試験体の水平方向履歴曲線の3サイクル目を図6 a) b) に、全175サイクルを図6 c) d) に例示する。加振速度の速い動的加振試験では履歴曲線面積が大きく、オイルダンパーが所定の減衰力を発生させたことがわかる。一方で動的加振でも水平荷重は殆ど変化していないので、本品の摩擦係数はオイルダンパーの有無や加振速度、サイクル数に影響されず、安定した免震性能を発揮することが確認された。

表3 動的試験機と試験体 (○印は試験実施品)

試験機荷重仕様 (MN)		ゴム・すべり材径 (mm)			
鉛直 (静的)	水平 (動的)	φ300	φ900	φ1000	φ1100
10	0.4	○			

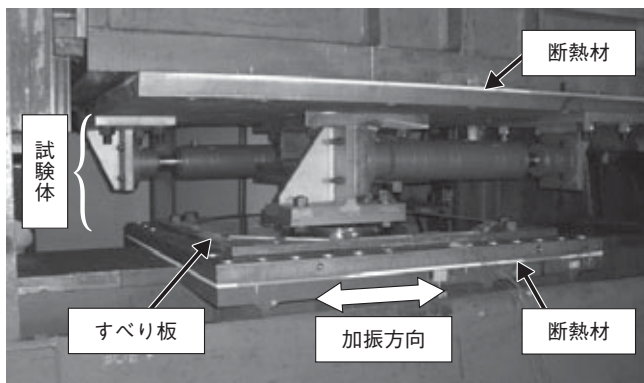


図5 動的加振試験状況

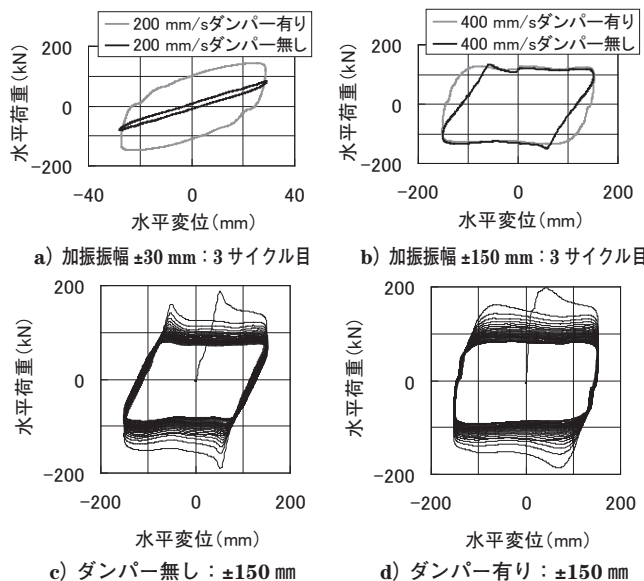


図6 動的加振試験結果

4. 実験棟加振試験

4.1 実験棟

本品の建物設置時の効果を確認するため、戸田建設株式会社技術開発センター内の実験棟に設置して加振試験を実施した。

実験棟は階高3.0m、最高高さ18.9m、各階のスパン長さ8.0m×8.0m、総質量500tの6層鉄骨造で、1階と3階に積層ゴムと転がり支承を設置して約5秒の固有周期を再現できる免震層として設計された。実験棟の立面図と1階の平面図を図7に示す。形状等の制約でφ300mm縮小試験体を1体、図8に示すようにオイルダンパーが1本ですべり板を用いない構造に変更したものを取り付けることで、オイルダンパーの有無で応答を比較できるようにした。

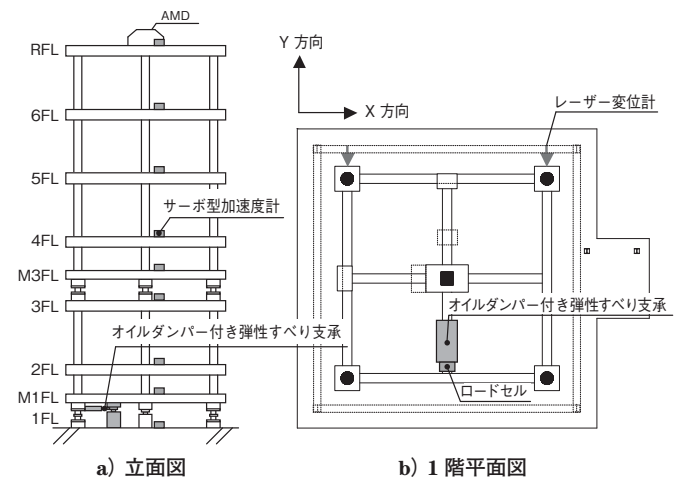


図7 実験棟の立面図および1階平面図

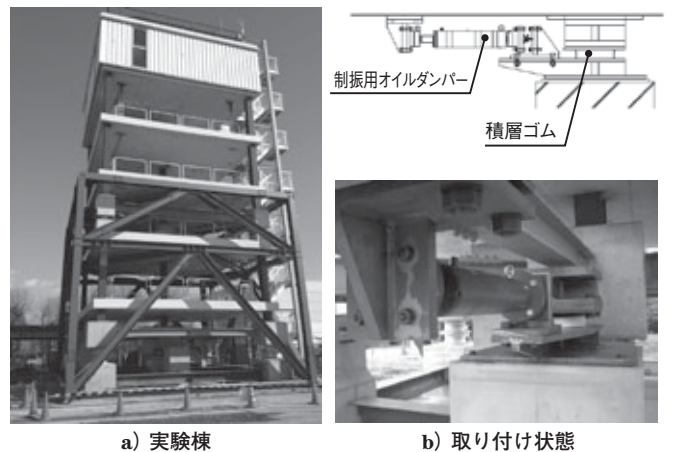


図8 φ300mm縮小試験体設置状況

4.2 加振試験

加振試験に用いた地震波を表4に示す。いずれも小振幅領域の性能を検証するため0.2~0.5Hzの低振動数成分を卓越させて免震層の応答振幅が数mm程度になるよう調整して作成したもので、入力エネルギーと各階の吸収エネル

ギーを算出して計測精度を確認している。この地震波で実験棟屋上のアクティブマスダンパー（AMD）を図7のY方向に加振させて各階の加速度や1階の変位等を測定した。

実験棟のねじれ成分を0.65～0.95 Hzのバンドストップフィルタで除去する前後の例として、サイト波site-0311の免震層の変位フーリエスペクトルを図9に示す。オイルダンパーが無い弾性すべり支承のみの時と比べて、本品は並進成分の1次固有振動数で42%、2次で33%の低減効果を示した。また1次固有振動数より低い振動数領域でも低減効果が確認できた。

この時の免震層の応答変位時刻歴波形を図10に示す。主要動区間の60～80秒で免震層の変位は大きく低減されており、本品の小振幅領域における性能が確認できた。

免震装置の開発その2～その6」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.379-388 (2010)

3) 渡部幸宏他:「AMDを加振装置として利用した実大振動実験 その1～その3」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1079-1084 (2012)

表4 各地震波の名称と最大加速度

種類	既往の観測波		告示波	サイト波
名称	El Centro-NS	Hachinohe-NS	BCJ	site-0311
最大加速度 (cm/s ²)	10.0	5.0	5.0	10.0

※site-0311：建築研究所で観測された2011/3/11の地震波

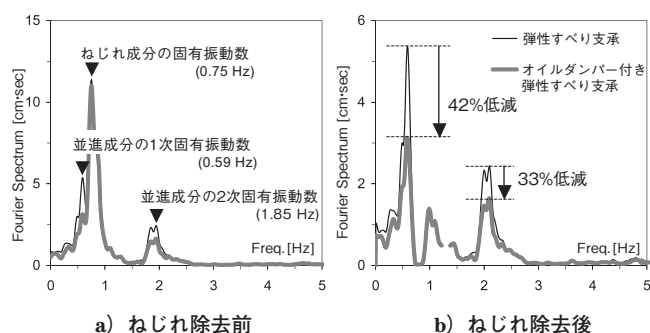


図9 免震層の変位フーリエスペクトル例 (site-0311)

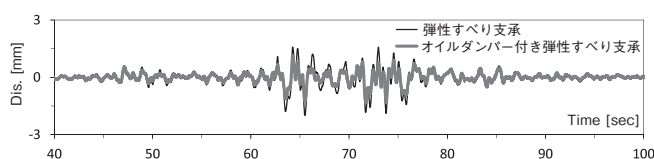


図10 免震層の応答変位時刻歴波形 (site-0311)

5. まとめ

制振用オイルダンパーを弾性すべり支承に組み込んだ免震装置を開発した。静的・動的加振試験結果から摩擦係数の変化は小さく安定した免震性能が得られたこと、動的加振試験結果や実験棟加振試験結果から目標としていた小振幅領域における振動の低減効果を確認できた。

参考文献

- 1) 谷地 敏和 他:「弾性すべり支承に制振用オイルダンパーを組み込んだ免震装置の開発」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.891-892 (2009)
- 2) 山添 秀敏 他:「弾性すべり支承に制振用オイルダンパーを組み込んだ

昭和電線デバイステクノロジー(株)
三須 基規 (みす もとき)
免制震制音事業部 免制震部 技術課 主査
免制震製品の開発・設計に従事

昭和電線デバイステクノロジー(株)
福田 滋夫 (ふくだ しげお)
免制震制音事業部 免制震部 技術課長
免震製品の開発・設計に従事

昭和電線デバイステクノロジー(株)
加藤 直樹 (かとう なおき)
取締役 免制震制音事業部長

戸田建設株式会社
谷地 畝 和夫 (やちうね かずお)
建築設計統轄部 構造設計部

西松建設株式会社
飯塚 信一 (いづか しんいち)
技術研究所 建築技術グループ

カヤバシステムマシナリー株式会社
露木 保男 (つゆき やすお)
専務取締役

過大変位抑制積層ゴムの開発

Development of Excessive Displacement Suppression Rubber Bearing

谷川 友秀
Tomohide TANIKAWA

福田 滋夫
Shigeo FUKUDA

加藤 直樹
Naoki KATO

吉田 聡*
Satoshi YOSHIDA

伊藤 敦*
Atsushi ITO

田代 靖彦*
Yasuhiko TASHIRO

吉澤 幹夫*
Mikio YOSHIZAWA

兵庫県南部地震以降、活断層調査や地震動の観測網と記録の充実、地震動計算手法や計算機の能力の発達などにより、近年ではより精度の高い地震動予測が可能となり、多数の地震動予測が行われている。近年の被害地震の強震観測記録では、周期帯によっては現在の設計レベルを大きく上回るものもみられる。また、地震動予測結果では、現行の建築基準法の規定に従って作成した超高層建築物等用の設計用地震動波形に比べ、その応答結果が大きく上回るものも多数提案されている。提案されている地震動で検討した際、通常の免震構造が想定している変位を上回り、建物が擁壁に衝突したり大変形により免震部材が破損する恐れがあり、免震構造採用の主目的である建物の機能維持に支障が生じる場合がある。このような課題に対応するため免震構造用の「過大変位抑制積層ゴム」の開発を行ったので報告する。

When it was examined by a maximal earthquake reported in late years, the displacement is exceeded that normal seismic isolation structure assumes, and a building collides to a retaining wall or a seismic isolation device might be damaged by large transformation, so a trouble may occur for the function maintenance that is a main purpose of the seismic isolation structure adoption. Therefore, we report it because we performed development of “The Excessive Displacement Suppression Rubber Bearing” for the seismic isolation structure.

1. はじめに

大阪府域においては、「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針」^{1), 2)} (以下、大震研指針) が示されている。大阪府域を南北に走る上町断層帯が連なって全長 58 km にわたって同時にずれると想定し、35 ケースの地震発生シナリオを設定し 500 m メッシュ点における予測地震動を作成、32 ゾーンに分類された地域毎に 3A, 3B, 3C の 3 つのレベルでの設計用地震動波形が提示されている。

大震研上町断層波 (指針が推奨する 3B レベル) (図 1)、南海トラフを対象として作成した設計用地震動に対する内部粘性減衰 20% 時における変位応答スペクトルを示す (図 2)。いずれも大阪市北区周辺を想定した地震動波形であり、内部粘性減衰 20% は免震構造の免震層最大変位を推定するためである。3B レベルの地震動波形は、断層活動時の予測地震動波全体の 70% 程度を含んだレベルの地震動波形とさ

れている。

南海トラフを対象として作成した設計用地震動は、伊予灘を含まない東海・東南海・南海の 3 連動地震を対象として作成したものである^{3)~6)}。この変位応答スペクトルでは、通常の免震構造が想定している大地震時の固有周期帯の 4~6 秒程度では、図 2 に示す通り免震層の最大応答変位が 60 cm を超え、80 cm を上回ることもあり得ることがわかる。大震研指針では、このような巨大地震に対しては、擁壁への衝突を許容し衝突時の衝撃荷重等を考慮した設計や、積層ゴムアイソレータの破断時のフェイルセーフを考慮した設計法が示されている。しかしそのような設計法では、構造安全性は確保できるものの免震構造採用の主目的である機能維持については支障が生じる。

設計の対処法としては、①免震層の変形性能の向上、②ダンパー量 (ダンパーによる減衰量) の増強 等が考えられるが、①については、大径の積層ゴムアイソレータを使用し、それに応じたアイソレータ軸力となるように軸力を集約する必要が生じ、上部構造の構造計画・躯体費用に大きく影響を与える。②については、ダンパー量の増加に

* 株式会社日建設計

伴い免震層の水平剛性が上昇し、免震効果が低減、再現期間の短い地震動での応答が悪化する等の問題が生じる。

中小地震から大地震、極大地震が発生した際に水平剛性を増加させ変形を抑制し建物の損傷を防ぐ為の部材が必要と考えた。

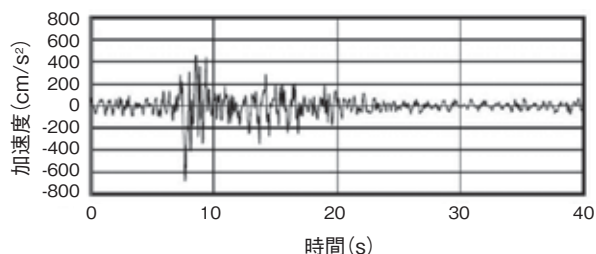
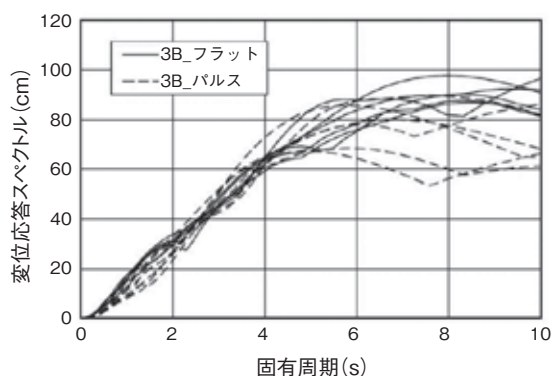
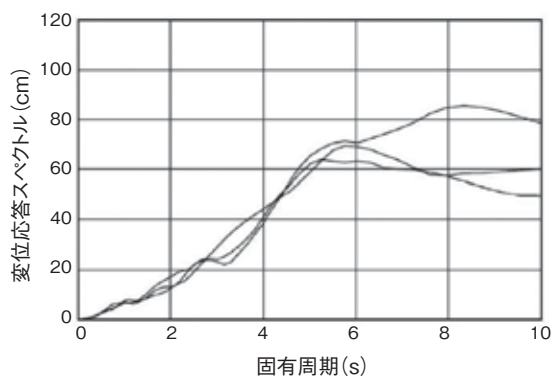


図1 大震研上町断層波 (A3ゾーン レベル3B)



(1) 上町断層帯地震の変位応答スペクトル (A3ゾーン, レベル3B)



(2) 南海トラフ地震の変位応答スペクトル (日建設計作成 大阪市北区想定)

図2 内部粘性減衰20%時の変位応答スペクトル

2. 「過大变位抑制積層ゴム」の検討

これらの問題を解決するために、図3に示す「過大变位抑制積層ゴム」の開発を行った。主な特長は、以下のとおりである。

- 1) 大地震までで想定される応答変位を超える変位が生じた際、免震層の水平剛性を増加させ免震層の応答変位を抑制させる。

- 2) 水平全方向に対して等質で力学的特性が安定しているため、設置台数を最少にできる。
- 3) 既存の積層ゴムアイソレータの金型を用いて製作できるため比較的安価である。
- 4) 既存の免震建物にも容易に増設可能である。

この過大变位抑制積層ゴムを検討する際の基本方針は、

- ① 既存の積層ゴムの金型を使用する。
 - ② 建物を支えている柱以外の場所に自由に設置する。
 - ③ 柱以外の場所に設置することを前提としているため、硬いゴムを使用し設置個所を少なくする。
 - ④ 中小地震から大地震では機能せず、極大地震が発生した時点から400 mm程度の変形を可能とした機構とする。
 - ⑤ 新規建物でも既存建物でも利用できる形状とする。
- 検討項目として考えられたのは、これまでの積層ゴムアイソレータの使用法と異なり上面が拘束されていない状態なので、

- ① 大きな傾斜が発生するか。
- ② 安定した水平剛性が発揮できるか。
- ③ 過大变位抑制積層ゴムが建物と衝突した衝撃でゴム部が破損しないか。
- ④ 衝突した時に安定した水平剛性が発揮されるか。
- ⑤ 設置した時の施工誤差で生じる隙間の差が傾斜に影響を与えるか。
- ⑥ 隙間による影響で過大に傾斜が生じて接触部分が外れてしまうようなことはないか。

等の確認を行う必要があると考え性能確認試験等を行った。

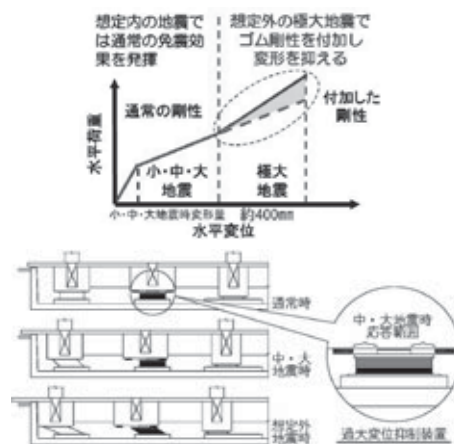


図3 過大变位抑制積層ゴムのイメージ

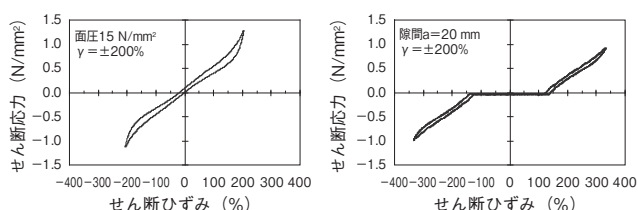
3. 過大变位抑制積層ゴムの静的試験

本部材は積層ゴム部の上面の回転が拘束されていない影響から、水平剛性の性能変化と曲げ変形に伴う傾斜発生が想定されたため、静的試験で安定した復元力が確保できるか、水平変形によりどの程度傾斜が発生するかの確認を実施した。試験体の形状・仕様を図4および表1に示す。φ100の試験体について図5に示す試験機、治具を用いて

表3 加力条件 (φ600 静的試験)

ゴム部せん断ひずみ γ (%)	±100	±125	±150	±175	±200	
ゴム部せん断変形量 (mm)	±117	±146	±176	±205	±234	
試験機水平変形量 (mm)	±267	±296	±326	±355	±384	
隙間 a (mm)	10	①	②	③	④	⑤
	12	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	15	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
	20	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
	25	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕
	30	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚

図10にせん断応力-せん断ひずみ関係を、図11、図12に回転角、モーメント、せん断ひずみの関係を示す。隙間20 mmせん断ひずみ200%時の最大回転角は0.027 radであった。



a) 上下フランジ固定 b) 上フランジ自由

図10 せん断応力-せん断ひずみ関係

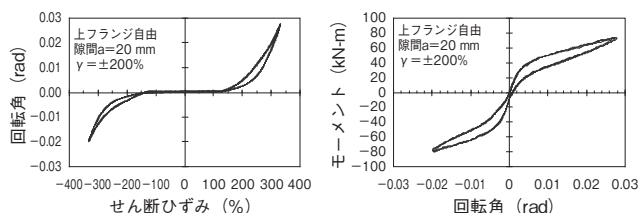


図11 回転角-せん断ひずみ関係 図12 モーメント-せん断ひずみ関係

今後の動的試験およびサイズ拡大に備えてFEM解析を行った。積層ゴム部は線形モデルおよびゴム材料の非圧縮性を考慮した超弾性モデル (Ogden-Model) を用いた。FEM結果と実測結果の比較を図13に示す。超弾性モデルを用いることで傾斜角の非線形を再現しており概ね良い対応を示している (図14、図15)。図16に部材上下金具とゴム部の境界面の応力を示す。鉛直方向応力の大半は端部に集中してバランスしていることがわかる。

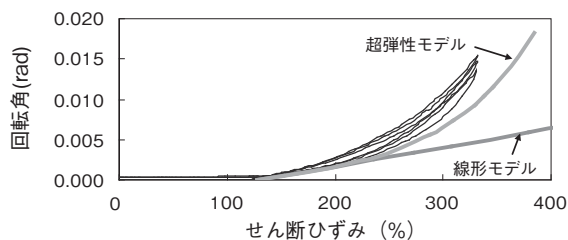


図13 実測値とFEM解析結果の比較

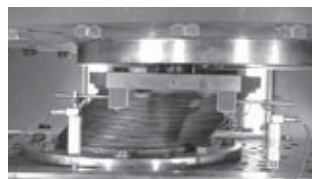
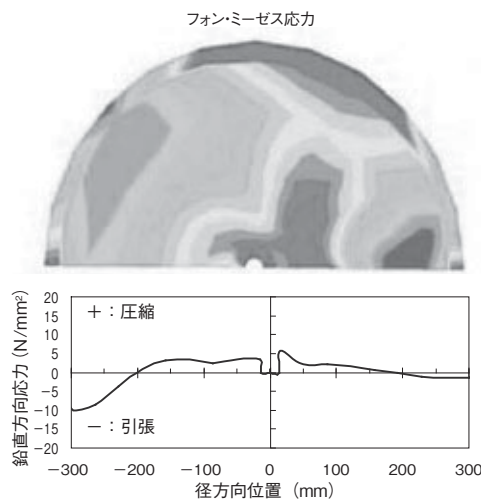


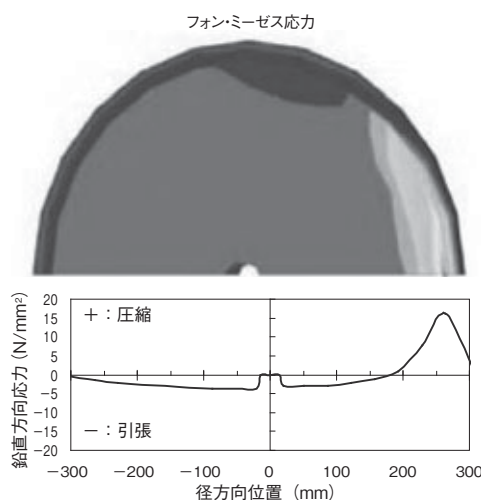
図14 実験写真



図15 応力分布



a) 上部鋼板下面



b) 下部鋼板上表面

図16 鋼板面の応力分布

4. 実大試験体の動的試験

試験体は静的試験を行ったφ600と同じものとした。試験機および取付け状況を図17に示す。試験機加振能力の制約から、せん断キーがロックプレートに接触した状態を加振変位中心とし片側のみ载荷する設定としたことにより、実機とは異なり加振時の最大速度でせん断キーとロックプレートが衝突する構成となった。積層ゴム上面の傾斜 (回転角) は静的試験と同様に4点の鉛直変位から算出した。表4に試験条件を示す。

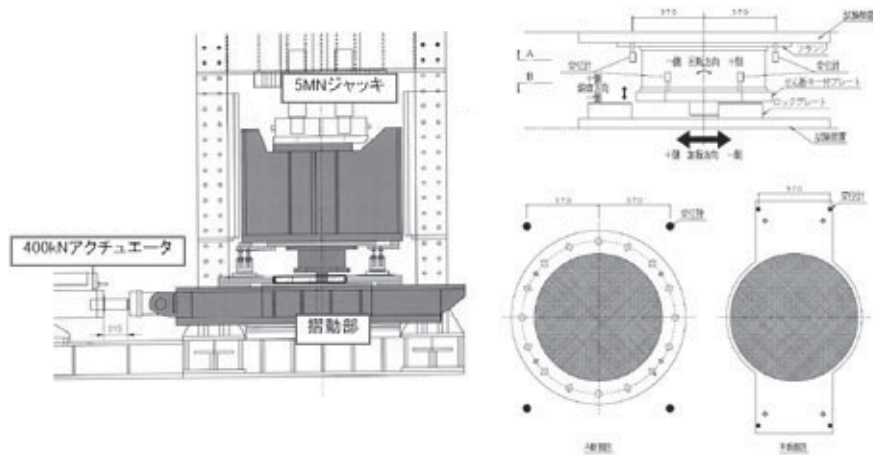


図 17 実大動的試験機と取付け状況

表 4 実大動的試験条件

隙間	せん断ひずみ (水平変形)			
	±50% (±58 mm)	±100% (117 mm)	±150% (±176 mm)	±200% (±234 mm)
10 mm		5 ①		
		10 ②		
		20 ③		
		50 ④		
		100 ⑤		
		200 ⑥		
		400 ⑦		
		600 ⑧		
		1000 ⑨		
20 mm	5 ⑭	5 ⑮	5 ⑰	5 ⑱
	400 ⑩	400 ⑫	400 ⑲	400 ⑳
	1000 ⑪	1000 ⑬	1000 ⑳	1000 ㉑
30 mm		5 ⑯		5 ㉒
		400 ⑰		400 ㉓
		1000 ⑱		1000 ㉔

表中の数字は試験最大速度 (mm/s) を示す。
○内の数字は試験順序を示す。
加力は正弦波とした。

隙間 20 mm 最大速度 400 mm/s 時のせん断応力-せん断ひずみ関係を試験結果代表例として図 18 に示す。

せん断キー接触後の応力-ひずみ関係はほぼ線形な特性を示している。せん断キーとロックプレートが最大速度で衝突する変位 0 mm 付近では、静的試験には見られなかった荷重の立ち上りがプラスマイナスの方向で認められた。

図 18 と同じ試験で計測された回転角-せん断ひずみ関係を図 19 に示す。せん断ひずみ 150% を超えると非線形性が強くなり、履歴曲線の往路と復路に差が生じている。最大回転角は約 0.02 rad であった。

表 4 に示す条件のうち最大せん断ひずみ 200% 試験のモーメント-回転角関係を図 20 に示す。図 20 で非線形性が現れる約 0.005 rad (せん断ひずみ約 150%) からモーメントの増加傾向が低下していることが読み取れる。図 21 には今回実施した試験全条件の最大モーメント-最大回転角関係を示す。微小回転角範囲にばらつきはあるものの、一定の回転角を越えると非線形性が現れる傾向を示している。

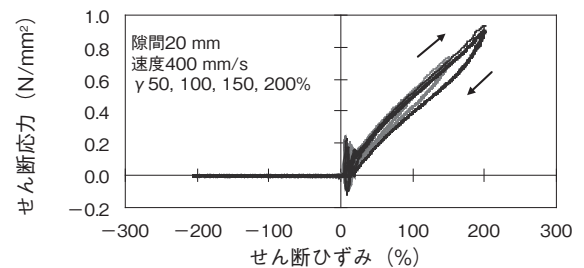


図 18 水平荷重-水平変位関係

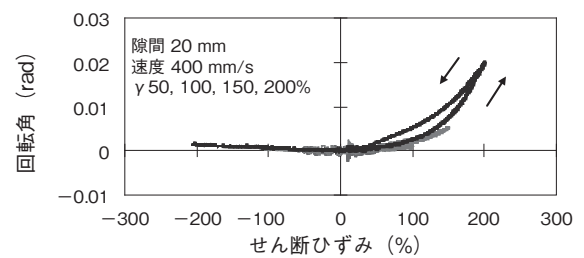


図 19 回転角-せん断ひずみ関係

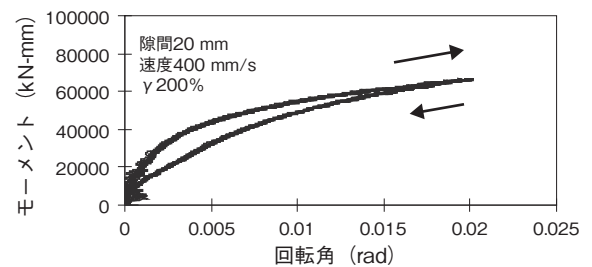


図 20 モーメント-回転角関係

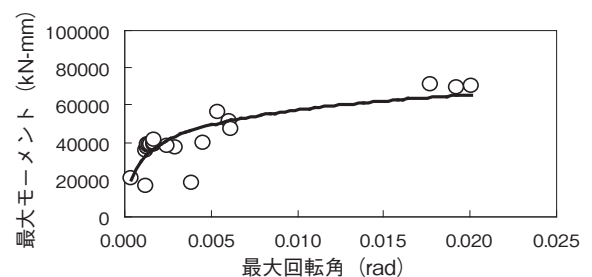


図 21 最大モーメント-最大回転角関係 (全試験)

ロックプレートと積層ゴムの鉛直方向の隙間は部材が機能するために重要な要素であり、免震建物の施工精度や鉛直クリープ現象、積層ゴム変形などの影響を受けることから、**図 22** の通り最大回転角 - 隙間関係を調査した。

隙間が大きくなると荷重作用点が上昇してモーメントも増加するが、回転角への影響はせん断ひずみの変化による影響が支配的であると考えられる。また最大回転角および水平剛性についても**図 22**、**図 23** に示す通り速度変化により大きな影響は受けないものと考えられる。

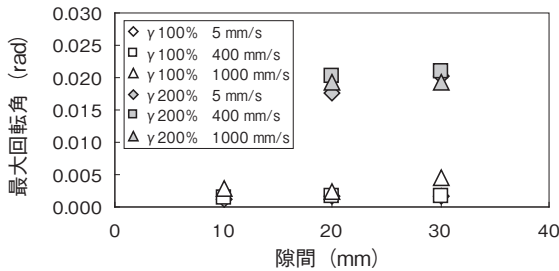


図 22 最大回転角－隙間関係

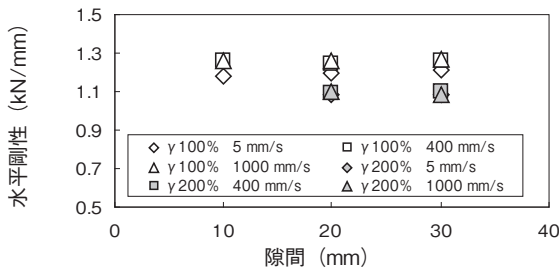


図 23 水平剛性－隙間関係

過大变位抑制積層ゴムは地震時にせん断キーとロックプレートが衝突を繰り返して機能する。このとき**図 24** のように水平荷重－せん断ひずみ関係に衝突荷重による立上りが計測された。今回の全試験条件で発生した衝突荷重の最大値と速度の関係を図 25 に示す。衝突荷重は速度と共に増加する傾向を示しているが、1000 mm/s で衝突した場合でも、積層ゴム部のせん断ひずみ 100% 程度時の水平荷重と同等であった。本部材の躯体取付け部の検討にあたる際は、使用範囲と想定されるせん断ひずみ時（200% 程度）に静的に生じる荷重をもとに検証することで特に問題ないものと判断される。

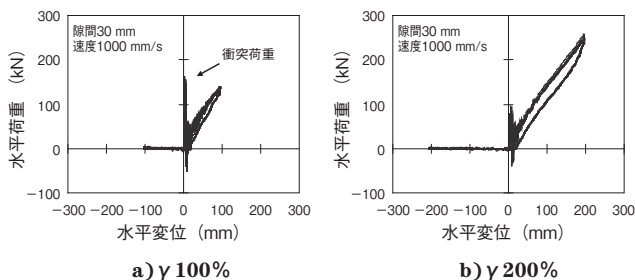


図 24 衝突時の水平荷重－せん断ひずみ関係

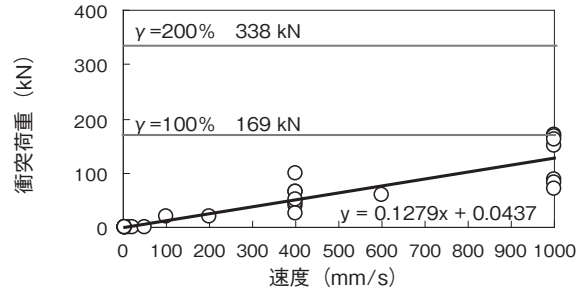


図 25 衝突荷重－速度関係

5. 変位抑制効果の検証

解析モデルは、免震構造設計指針¹⁾ 第三版の p.315 に示される基礎免震の 6 階建て建物とする。振動解析に用いる解析モデルは 1 層を 1 質点とした串団子モデルとする。各層質量および剛性を**図 26** に示す。上部構造の各階は弾性とする。

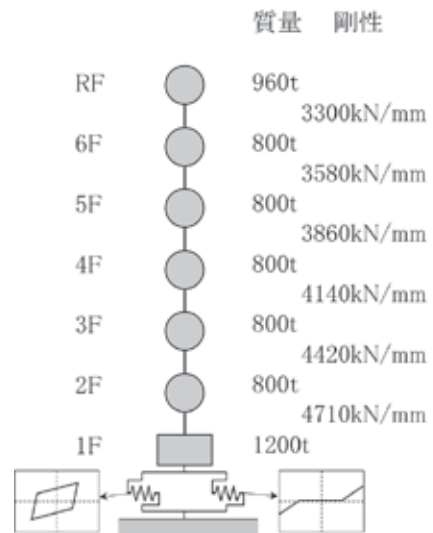


図 26 解析モデル

本モデルの基礎固定時の固有周期は $T_0 = 0.37$ 秒となる。免震層の特性は、一般的な免震建物を想定し、**表 5** に示す積層ゴムのみによる固有周期 T_i を 4 秒と 5 秒の 2 種類、ダンパー耐力の上部重量に対する比は 4% の 1 種類とする。過大变位抑制積層ゴムは、**表 6** に示す特性とする。パラメータとしては、積層ゴムが効きはじめるオフセット変位と設置基数とする。

表 5 免震層の特性

アイソレータ	剛性	$T_i = 4.0$ s	15.2 kN/mm
		$T_i = 5.0$ s	9.73 kN/mm
ダンパー ($\alpha_y = 4.0\%$)	一次剛性	87.5 kN/mm	
	二次剛性	15.1 kN/mm	
	降伏せん断力	2415 kN	

表 6 過大変位抑制積層ゴムの特性

過大変位抑制積層ゴム	外径	1500 mm
	せん断弾性率	G6
	ゴム総高さ	203.4 mm
	水平剛性	5.2 kN/mm
	オフセット変位 (効きははじめ変位)	300 mm
		400 mm
		500 mm
設置基数	1, 2, 4 基	

検討用地震動としては、大震研指針で示される上町断層波とし、入力レベルは指針が推奨する 3B レベル (予測地震波全体の 70% 程度を包含するレベル)、地域としては大阪市北区・中央区西側を想定した A3 ゾーンとする。

入力地震動の最大加速度・最大速度を表 7 に示す。変位応答スペクトルは図 1 に示している。地震波名の B1 はフラットタイプを、B2 はパルスタイプを示す。

応答解析に用いる減衰定数は上部構造に対して 3%、免震層に 0% の剛性比例型減衰とする。

表 7 入力地震動の最大加速度

地震波名称	時間 (s)	最大加速度 (mm/s ²)	最大速度 (mm/s)
UMTA3_B1NS1	40.95	5940	1016
UMTA3_B1NS2	40.95	5150	1364
UMTA3_B1NS3	40.95	6060	1421
UMTA3_B1EW1	40.95	6650	1581
UMTA3_B1EW2	40.95	6780	1134
UMTA3_B1EW3	40.95	5260	1499
UMTA3_B2NS1	40.95	3350	779
UMTA3_B2NS2	40.95	4070	900
UMTA3_B2NS3	40.95	3690	784
UMTA3_B2EW1	40.95	3070	1046
UMTA3_B2EW2	40.95	3100	876
UMTA3_B2EW3	40.95	3170	1183

応答解析結果を表 8、表 9 にまとめて示す。表 8 は免震層周期 T_f が 4 秒の結果を、表 9 は 5 秒の結果を示す。過大変位抑制積層ゴムを用いない場合に対して、基数を増やすと最大変位は小さくなり、最大加速度および免震層せん断力が増大していることがわかる。変位抑制効果はオフセット変形が小さいほど大きく、最大で 12% の抑制効果が得られた。

表 8 応答結果 ($T_f = 4.0$ s)

オフセット (mm)	基数	最大変位 (mm)	最大加速度 (mm/s ²)	最大せん断力 (kN)
抑制装置なし		791	2570	15616
300	1	742 (0.94)	2824	17085
	2	708 (0.90)	3132	18472
	4	708 (0.90)	3759	22712
400	1	761 (0.96)	2824	16986
	2	729 (0.92)	3022	18003
	4	714 (0.90)	3643	20850
500	1	775 (0.98)	2743	16783
	2	759 (0.96)	2915	17768
	4	729 (0.92)	3242	19303

() 内は過大変位抑制積層ゴムなしに対する応答低減率を示す

表 9 応答結果 ($T_f = 5.0$ s)

オフセット (mm)	基数	最大変位 (mm)	最大加速度 (mm/s ²)	最大せん断力 (kN)
抑制装置なし		842	1946	11853
300	1	798 (0.95)	2347	13949
	2	794 (0.94)	2768	16451
	4	741 (0.88)	3449	19896
400	1	812 (0.96)	2264	13668
	2	803 (0.95)	2601	15611
	4	780 (0.93)	3259	19049
500	1	828 (0.98)	2202	13412
	2	811 (0.96)	2448	14739
	4	803 (0.95)	3019	17714

() 内は過大変位抑制積層ゴムなしに対する応答低減率を示す

図 27 には、一例としてオフセット変形 300 mm、基数 2 基の場合の免震層の履歴曲線を装置なしの場合と比較して示す。地震波は表 7 の UMTA3_B2NS1 である。300 mm より装置が働き、剛性が急増しているのがわかる。

図 28 は、オフセット変形 300 mm の場合の基数の違いによる応答加速度とせん断力の最大値包絡線を示す。基数が増えるほど、加速度・せん断力ともに大きくなるのがわかる。

本装置を使用しない条件で、オフセット 300 mm・基数 2 と同等の応答変位とするためには、ダンパー量 αy は現状より 2 割増の $\alpha y = 4.8\%$ とする必要がある。極大地震対応のためにダンパー量を増やすことは、大地震まででの応答を悪化させることに繋がるため、大地震まででの応答に影響がない本装置の優位性が認められる。

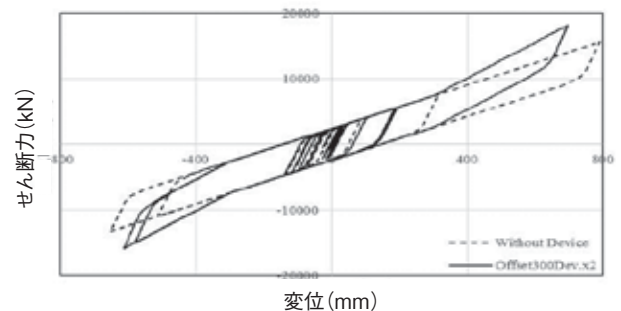
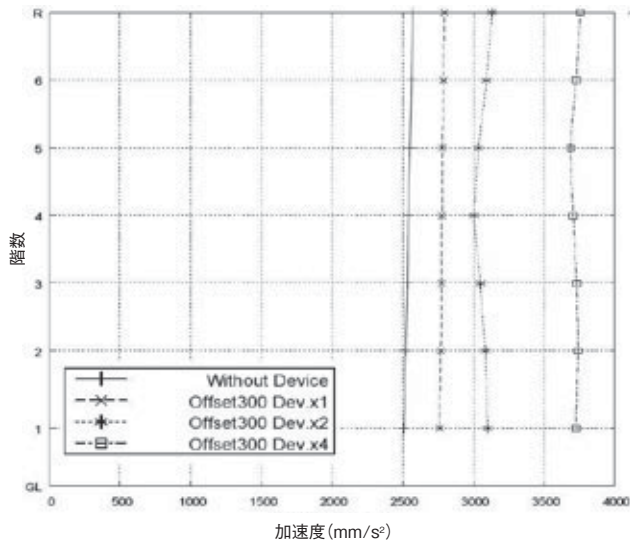
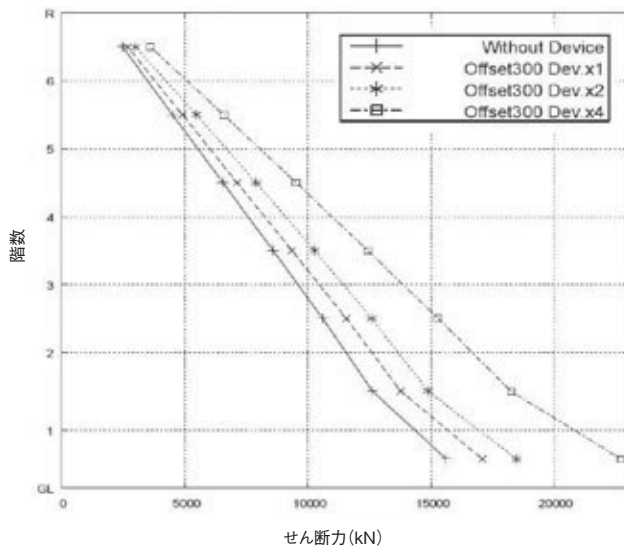


図 27 免震層の履歴曲線の例 ($T_f = 4.0$ s, B2NS1)



a) 最大応答加速度



b) 最大応答せん断力

図 28 装置数の違いによる最大応答値包絡線 ($T_r = 4.0$ s)

- ①変位抑制効果は最大で 12%程度得られた。
- ②レベル 2 応答に影響のない範囲のできるだけ小さい変形から効かせることで大きな応答低減効果が得られる。
- ③変位抑制装置の基数増による系の剛性増大により、抑制効果よりも加速度およびせん断力応答の増が問題となる場合があり、適正量の見極めが必要である。

今回開発した過大变位抑制積層ゴムは以下の特長を有しており建築基準法の規定を上回る巨大地震に対応する免震デバイスのひとつとして今後の使用拡大を期待している。

- 1) 大地震時の応答変位を超える変位が生じた際、免震層の水平剛性を増加させ免震層の応答変位を抑制させる。
- 2) 水平全方向に対して等質で力学的特性が安定しているため、設置台数が最小とできる。
- 3) 既存の積層ゴムアイソレータの金型を用いて製作できるため比較的安価である。
- 4) 既存の免震建物にも容易に増設可能である。

6. ま と め

過大变位抑制積層ゴムの開発を行って 2 種類の静的な加力試験を行い、想定どおりの動作を確認した。上端を固定していない状態でも安定した復元力が認められた。また今後のサイズ拡大に備えて FEM 解析も行い、性能を再現できるモデルであることを確認した。

動的試験の結果から速度の違い (5 ~ 1000 mm/s) による自由端フランジの回転角の変動幅はせん断ひずみ 200% 時で 10% 程度、水平剛性の変動幅は 5% 程度とわずかである。

速度 1000 mm/s 時の衝撃荷重はせん断ひずみ 100% 程度の静的荷重値程度以下であり、使用上特に問題にならないものとする。以上から免震建物の過大变位抑制積層ゴムとして使用する上で問題のないことを確認した。

応答解析の結果、以下のことが得られた。

参考文献

- 1) 大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動及び設計法に関する研究会
 - 2) 多賀謙蔵, 亀井功, 角彰, 近藤一雄, 林康裕, 宮本裕司, 井上一朗他: 上町断層帯地震に対する設計用地震動ならびに設計法に関する研究 その1~その7
 - 3) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その1 位相差分分布と地震動経時特性の関係に関する理論的背景, 日本建築学会構造系論文集, 第553号 pp.49-56, 2002.3
 - 4) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その2 位相差分分布と震源・伝播・地盤特性の関係に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第559号, pp.55-62, 2002.9
 - 5) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その3 ω^2 モデルに基づいた地震動評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 第572号, pp.55-64, 2003.10
 - 6) 山根尚志, 長橋純男: 位相差分特性を考慮した設計用模擬地震動作成に関する研究 その4 ω^2 そのモデルで規定したフーリエ振幅と位相差分の標準偏差を基準として選択したフーリエ位相を用いた模擬地震動作成手法, 日本建築学会構造系論文集, 第590号, pp.45-53, 2005.4
 - 7) 日本建築学会編: 免震構造設計指針 第3版(第IV編 設計資料編, 第4項 4.2), 2001年
 - 8) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その1) 開発の背景と装置の概要, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 9) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その2) 縮小体および実大試験体の静的試験, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 10) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その3) 実大試験体の動的試験, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
 - 11) 吉澤幹夫, 田代靖彦, 伊藤敦, 吉田聡, 加藤直樹, 福田滋夫, 谷川友秀: 過大変位抑制積層ゴムの開発(その4) 変位抑制効果の検証, 日本建築学会学術講演梗概集(近畿), 2014.9
-
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
谷川 友秀 (たにかわ ともひで)
営業部 免制震営業課 営業技術グループ長
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
福田 滋夫 (ふくだ しげお)
免制震制音事業部 免制震部 技術課長
- 昭和電線デバイステクノロジー(株)
加藤 直樹 (かとう なおき)
取締役 免制震制音事業部長
- 株式会社日建設計
吉田 聡 (よしだ さとし)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
主管
- 株式会社日建設計
伊藤 敦 (いとう あつし)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
主管
- 株式会社日建設計
田代 靖彦 (たしろ やすひこ)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
構造設計部長
- 株式会社日建設計
吉澤 幹夫 (よしざわ みきお)
博士(工学)
エンジニアリング部門 構造設計グループ
構造設計部長



154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシング

154 kV Direct-Molded Bushing for Transformation Facilities

1. 概要

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、シリコンゴムの外被をかぶせた完全固体絶縁タイプのブッシングである。従来品と比較し軽量で、耐震性に優れるなどの特長から地震対策として脚光を浴び、66 kV～77 kVクラスを中心に広く適用されている。今回さらなる高電圧化の要求に応えるため、酸化亜鉛の電界緩和技術を適用し、従来の同電圧クラスのブッシングに比較して大幅な軽量化・コンパクト化を実現した154 kVクラスの機器用ブッシングを開発し納入した。本製品は株式会社日立製作所殿の変圧器に搭載され東北電力株式会社殿管内変電所で運用されている(図1)。

2. 仕様および構造

本製品の仕様を表1に、従来磁器がい管タイプとの比較を表2、図2に示す。本品は酸化亜鉛を電界緩和層として用いたことにより、従来のブッシングと比較して大幅な軽量化・コンパクト化を実現している。

表1 仕様

項目	仕様
定格電圧	161 kV
定格電流	2000 A
定格短時間耐電流	50 kA 2秒

表2 構造比較

項目	磁器がい管タイプ (PC-227FR)	ダイレクトモールド タイプ (154D-H)
質量	約 450 kg	約 120 kg
最大直径	515 mm	310 mm
気中側全長	2765 mm	1860 mm
汚損区分	～0.12 mg/cm ²	



図1 変圧器適用例



ダイレクトモールド

従来磁器がい管タイプ

図2 従来ブッシングとの比較

3. 特長

今回の製品の特長を以下に示す。

①軽量・コンパクト

絶縁油を用いない完全固体絶縁構造により軽量・コンパクト化を実現

②高耐震性能

高剛性かつ軽量化した構造により、地震のゆれに共振せず耐震性に優れる

③レトロフィット

機器取付部のフランジ取合い構造は、従来磁器がい管タイプと同じで、交換・リプレイスが可能

④環境調和

従来の磁器がい管と比較し内部に鉱油を使用していないことから、環境調和型変圧器に最適

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・情報システム営業部 電機システム機器グループ

電話(03)5404-6967 FAX(03)3436-2583



66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用接続部

Joints for 66/77 kV Aluminum Conductor XLPE Cable

1. 概要

近年の電力自由化傾向に伴い大規模容量の再生可能エネルギーによる発電所の建設が急速に進んでいる。これまでの発電所から連系点までの地中送電は銅導体を使用した CV ケーブルが主流であったが、導体にアルミを採用することにより送電システムの建設コスト低減が可能となる。そこで、アルミ導体を使用した接続システムに必要な 66/77 kV 級 CV ケーブル 150 mm² 用接続部を開発実用化した。

2. 用途

再生エネルギーによる発電所の変電設備から電力会社の連系点までの 66/77 kV アルミ導体 CV ケーブルによる長距離線路に適する。

3. 構造

66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用ダイレクトモールド気中終端接続部 (DM-EB-A) の構造を図 1 に、従来の銅導体 CV ケーブル用ダイレクトモールド気中終端接続部との比較を表 1 に示す。また 66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用ゴムブロック式中間接続部 (RBJ) の構造を図 2、比較を表 2 に示す。

表 1, 2 に示す通り、導体サイズ 150 mm² に関しては銅導体 CV ケーブル用と同重量・同サイズとなっている。

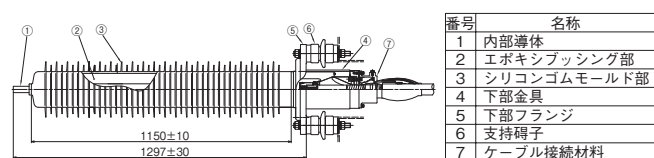


図 1 66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用 DM-EB-A の構造

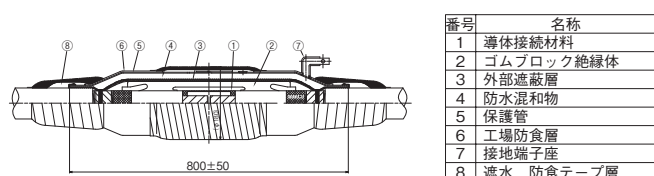


図 2 66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用 RBJ の構造

表 1 従来品との比較 (DM-EB-A) (導体サイズ 150 mm²)

項目	開発品	従来品
端子材質	アルミ	銅
質量 (本体)	約 80 kg	
平均直径	195 mm	
気中側全長	1297 mm	
漏洩距離	3988 mm	
汚損区分	0.35 mg/cm ²	

表 2 従来品との比較 (RBJ) (導体サイズ 150 mm²)

項目	開発品	従来品
端子材質	アルミ	銅
保護管全長	800 mm	
保護管外径	約 180 mm	

4. 性能確認

本開発品は JEC-3408 (1997) (特別高圧架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法) に基づき初期及び形式試験を実施した。(表 3, 4)

表 3 初期試験結果

項目	特性	結果
商用周波耐電圧試験	130 kV 1 時間 150 kV 1 時間	良
雷インパルス耐電圧試験	±485 kV 3 回 ±550 kV 3 回	良
直流耐電圧試験	195 kV 1 時間	良

表 4 形式試験結果

項目	特性	結果
長期課通電試験	75 kV 連続課電 8 h on/16 h off 90°C 25 サイクル 105°C 5 サイクル	良
雷インパルス耐電圧試験	±485 kV 3 回 ±550 kV 3 回	良

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

昭和電線ケーブルシステム(株)

電機・情報システム営業部 電機システム機器グループ

電話(03)3597-7102 FAX(03)3597-7156



アース線付 600 V ポリエチレン絶縁 耐燃性ポリエチレンシースケーブル EEF/F(G)

600 V Polyethylene-insulated Flame-retardant-polyethylene-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 の需要が高まってきたため、VVF(G) を開発した。以後、環境に配慮したケーブルについても要望が高まってきたため、今回、環境配慮型の EM EEF/F(G) 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屋内配線に使用される200 V回路

3. 特長

- (1) JCS 4520 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) 環境配慮型のケーブル
- (4) アース線を必要とする工事に適している
- (5) 従来のワイヤーストリッパーでシースの皮剥ぎが可能

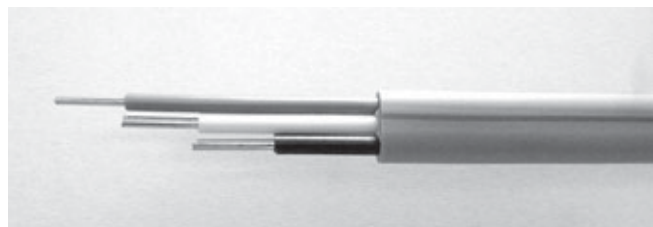


図1 ケーブル外観

従来、EM EEF/F は、主に公共施設（学校、病院等）に使用されており、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 EM EEF/F が使用されていた。

アース線付 VVF の開発後、環境に配慮したケーブルの要望があったため、環境配慮型のアース線付ケーブルとしてアース線付 EM EEF/F を開発した。

従来使用されている EM EEF/F 3×2.0 mm は、一把が

約17 kg と重く扱い難いケーブルであることから、電力線を2.0 mm、アース線を1.6 mm とすることで約2 kg の軽量化を図った。

また、VVF や EM EEF/F の皮剥ぎには専用のワイヤーストリッパーが一般販売されており、そのワイヤーストリッパーに対応できる構造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事ができ、シース及び絶縁体の剥ぎ取りが容易にできるようにした。

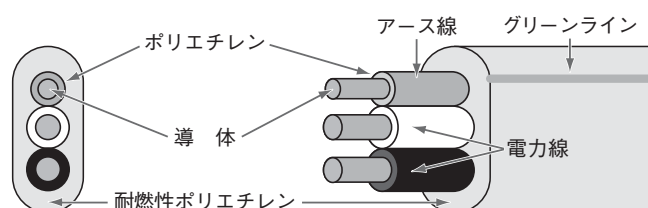


図2 ケーブル構造図

表1 仕様

線心数	導体径 mm	仕上外径 (約) mm	概算質量 kg/km
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℃) Ω/km	絶縁抵抗 (20℃) MΩ・km	試験電圧 V・1分	
3	2 (電力線)	5.65	2500	1500
	1 (アース線)	—	2500	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 第二営業グループ

電話(03)5404-6973 FAX(03)3436-2592



産業用高遮へいイーサネットケーブル FAE-5002

High Performance Shield Ethernet Cable “FAE-5002”

1. 概要

産業用オープンネットワークの通信方式は、イーサネットが主流になりつつある。対応するケーブルは LAN (Local Area Network) のオフィス用配線規格 ANSI/TIA-568-C.2 の Category 5e 以上の伝送特性に加え、耐電磁ノイズ性が要求されるため、高遮へい特性が必須となっている。今回当社は Category 5e に対応した高遮へい 2 対 LAN 用ケーブルを開発した。

2. 用途

FA (Factory Automation) 分野における PLC (Programmable Logic Controller, 制御装置) 間及び PLC 上位層間等のイーサネット配線に適している。

3. 特長

- (1) ANSI/TIA-568-C.2, Category 5e に対応した伝送特性を持つケーブルである。ケーブル構造及び仕様を表 1 に断面図を図 1 に示す。
- (2) 産業用シールド付 RJ45, M-12 コネクタに適合
- (3) UL 1685, IEEE 383 の垂直トレイ燃焼試験に合格
- (4) 二重遮へい構造のため耐ノイズ性が良好。
一般的な AL/PET 一重遮へい付き LAN ケーブルと比較して放射電力が 20 ~ 30 dB μ V 小さく、遮へい特性に優れる。
- (5) RoHS 指令に適合した鉛フリーの耐油耐熱ビニルをシースに使用。

表 1 ケーブル構造, 仕様

項目		仕様	
導体	サイズ	22 AWG (7 本 / 0.26 mm)	
	材質	軟銅線	
絶縁体	材質	ポリエチレン	
	標準外径 (mm)	1.50	
各対色別	対番号	1	2
	第一種心線	青	黄
	第二種心線	白	橙
遮へい①	アルミポリエステルテープ		
遮へい②	錫めっき軟銅線編組		
シース	材質	耐油耐熱ビニル	
	標準外径 (mm)	6.3	
最大導体抵抗	(Ω /km)	9.38	
導体抵抗不平衡	(%)	5 以下	
静電容量 (nF/100m)	1kHz	5.6 以下	
静電結合 (pF/100m)	1kHz	330 以下	
特性インピーダンス (Ω)	1 ~ 100MHz	100 \pm 15	
	1 ~ 10MHz	20+5log (f) 以上	
リターンロス (dB)	10 ~ 20MHz	25 以上	
	20 ~ 100MHz	25-7log (f/20) 以上	
挿入損失 (dB/100m)	1 ~ 100MHz	1.967 \sqrt{f} +0.023 * f +0.050/ \sqrt{f} 以下	
近端漏話減衰量 (dB)	1 ~ 100MHz	35.3-15log (f/100) 以上	
電力和近端漏話減衰量 (dB)	1 ~ 100MHz	32.3-15log (f/100) 以上	
ACRF (dB/100m)	1 ~ 100MHz	23.8-20log (f/100) 以上	
PSACRF (dB/100m)	1 ~ 100MHz	20.8-20log (f/100) 以上	
伝播遅延時間 (ns/100m)	1 ~ 100MHz	534+ (36/ \sqrt{f}) 以下	
Skew (ns/100m)	1 ~ 100MHz	45 以下	

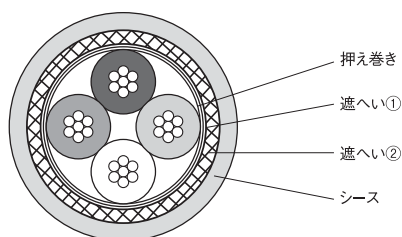


図 1 ケーブル断面図

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・情報システム営業部 通信システムグループ

電話 (03) 5404-6965 FAX (03) 3436-2583



細径ドロップ光ケーブル

Small Size Optical Fiber Drop Cable

1. 概要

FTTH (Fiber To The Home) サービスの普及により光開通工事が増加している。このため、開通までの時間を短くするためにドロップ光ケーブルの施工性の向上が求められている。また、各家庭の壁や室内に配線されることから、ケーブルの配線時にはなるべく小さく曲げられることが望まれる。

今回開発した細径ドロップ光ケーブルは、従来のケーブルより軽量化・細径化することで施工性の向上をはかった。また光ファイバ心線に超高屈曲型光ファイバを使用する事によりケーブルを小さく曲げたときに発生する光損失増加量を低減した。

2. 構造

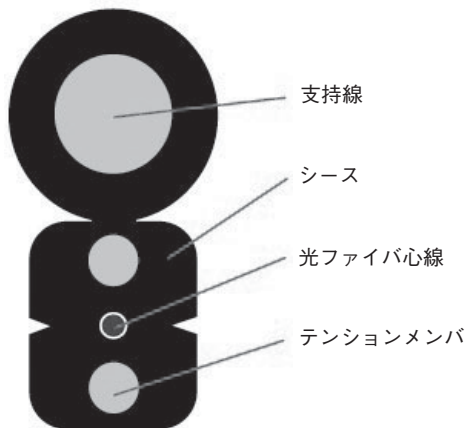


図1 ドロップ光ケーブル構造図

表1 ケーブル仕様

項目	仕様
光ファイバ種別	超高屈曲光ファイバ R7.5 mm 対応 e-Bend [®]
光ファイバ心数	1心
支持線	銅線
シース	黒色難燃ポリエチレン
テンションメンバ	FRP
仕上外径	1.6 mm × 4.3 mm
概算質量	15 kg/km
許容曲げ半径	7.5 mm

3. 特長

- (1) ケーブル高さ及び質量を従来品から 25% 削減。
このため、布設スパン長を従来品に比べ長くすることが可能となった。

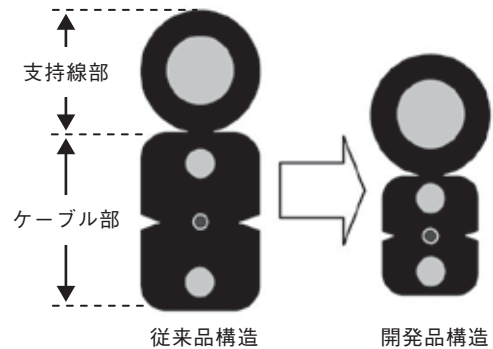


図2 従来品との比較

- (2) 施工時のハンドリング性が向上。
超高屈曲型光ファイバを使用する事により施工時のドロップ光ケーブルの曲げ半径を小さくすることが可能。

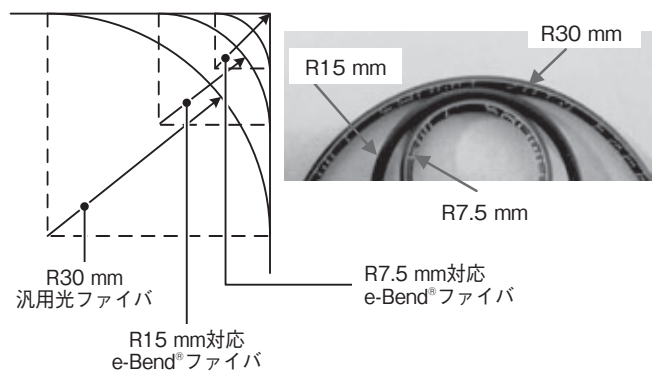


図3 曲げ半径 イメージ図

e-Bend[®] は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒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・情報システム営業部 通信システムグループ
電話(03)5404-6965 FAX(03)3436-2583



強風対策用 2 心ドロップ光ケーブル

2-Fiber Optical Drop Cable with Reduction of Wind Effect

1. 概要

光ファイバドロップケーブルは、光架空ケーブルと各ユーザー宅との間に布設されるケーブルであり、FTTH (Fiber To The Home) の普及に伴い様々な環境で布設されている。布設範囲が広がるにつれ、例えば風の強い地域や台風の襲来など、強風下ではドロップケーブルを固定している引き留め金物の脱落やケーブルが振動による疲労破断のため通信ができなくなる事例も発生してきている。このため、非常に過酷な状況となっても安定した通信環境を得るためにドロップ光ケーブルに対して風圧荷重の低減が求められている。

FTTH のシステムには、光ファイバ 1 心で複数の光波長を用いて基地局と各家庭間の双方向通信を行う方式と、光ファイバ 2 心で双方向通信をする方式とがある。2 心双方向の FTTH システムは、1 心で CATV の映像データを送信し、インターネットなどのデータ通信をもう 1 心で通信するシステムとなっている。

当社では、1 心の強風対策ドロップ光ケーブルを過去に開発・上市しているが、今回新たに光ファイバ 2 心としケーブル構造を SZ 捻り構造にすることにより耐風特性の向上させた 2 心強風対策ドロップケーブルを開発した。

2. 用途

光ドロップクロージャと各家庭内の ONU (Optical Network Unit) との間に配線されるケーブルである。

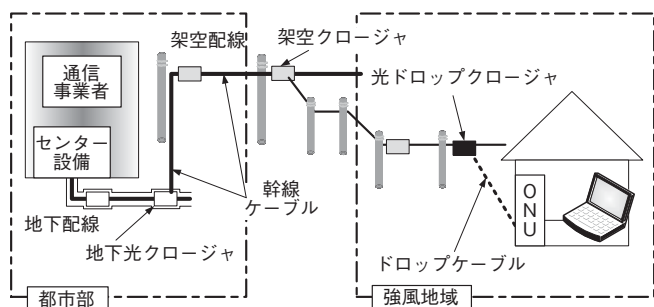


図 1 ネットワーク構成図



図 2 ドロップ光ケーブル断面構造と SZ ケーブル構造

表 1 ケーブル仕様

項目	仕様
光ファイバ種別	高屈曲光ファイバ R15 mm 対応 e-Bend®
光ファイバ心数	2 心
支持線	鋼線
シース	黒色難燃ポリエチレン
テンションメンバ	抗張力繊維
仕上外径	2 mm×5.2 mm
概算質量	20 kg/km
許容曲げ半径	15 mm

3. 特長

- (1) 映像及びデータ通信等の 2 心双方向通信の FTTH のシステムに適合
- (2) 従来の 2 心光ドロップと同一の断面構造としたため布設用部材・施工方法の共通化が可能
- (3) 風圧荷重を軽減
 - ・布設可能なスパン長が増加。(工事費の削減)
- (4) 自励振動を軽減
 - ・振動による支持線の疲労破断を改善。
 - ・支持線引き留め金物の脱落を防止。
- (5) クマゼミ耐性シース材料を使用
- (6) 高屈曲光ファイバ R15 mm 対応 e-Bend® を使用することによりコンパクトな配線が可能

e-Bend は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

問合せ先: 〒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・情報システム営業部 通信システムグループ

電話(03)5404-6965 FAX(03)3436-2583



構内配線用コード集合型光ケーブル Slick ケーブル™

Cord-set Optical Cable for Premises Wiring

1. 概要

構内配線用光ケーブルを、スペースの狭い場所や既設管路内へ布設する場合、引き込み作業中に大きな摩擦抵抗が発生することで、布設作業の難航や多条布設による外部圧力でケーブル性能を低下させる懸念がある。

今回、低摩擦で耐側圧特性を有し、施工性を向上させた構内配線用コード集合型光ケーブル「Slick ケーブル™」を開発・製品化した。

2. 用途

データセンターや通信事業施設内の、光配線ネットワーク用として使用される。

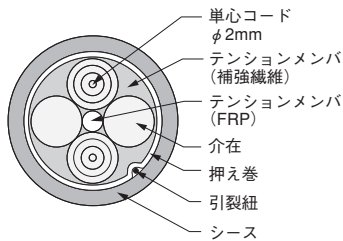


図1 Slick ケーブル™の断面構成

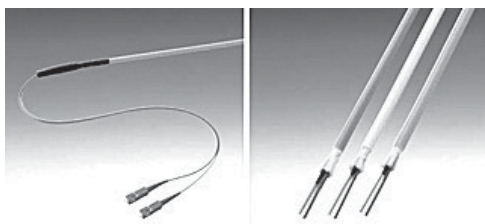


図2 加工例

表1 ケーブル構成

項目	仕様	
光ファイバ心線	種別	シングルモード型 マルチモード型
	標準外径	0.9 mm
光コード	心数	1 ~ 4 心
	標準外径	2.0 mm
光ケーブル	シース	耐燃性 PE
	標準外径	7.0 mm
	概算質量	40 kg/km

3. 特長

3.1 耐側圧特性

本製品へ外部荷重（1000 N/mm）を負荷したときの光損失増加量を、汎用構造の見直しにより、汎用ケーブルの1/2以下に低減。

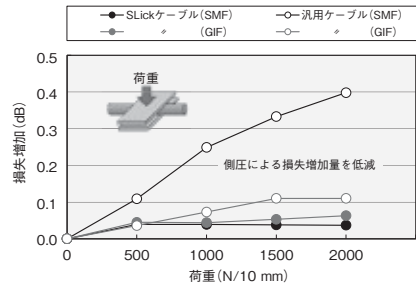


図3 耐側圧特性の評価

3.2 低摩擦性

本製品同士が互いに擦れたときの摩擦係数を、シース材料の見直しにより、汎用ケーブルの1/3に低減。

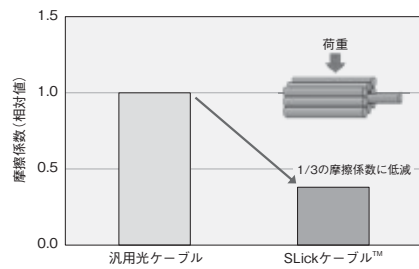


図4 摩擦特性の評価

3.3 難燃性

JIS C 3665-1 一条垂直燃焼試験を満足する高難燃特性。

3.4 環境配慮型製品

ケーブルの構成材料にハロゲンを含まない、環境にやさしい光ファイバケーブル。

Slick ケーブルは昭和電線ケーブルシステム(株)の商標です。

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)

電機・情報システム営業部 通信システムグループ

電話(03)5404-6965 FAX(03)3436-2583



Cat.6A 対応屋外用 LAN ケーブル (TPCC® 6A-LAP)

Cat.6A Outdoor Type Cable for LAN (TPCC® 6A-LAP)

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 (1000 BASE-T, 1000 BASE-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 (10 GBASE-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先行配線としての採用が増加している。

Cat.6A 対応 UTP (Unshielded Twisted Pair) ケーブルは、PANDUIT (日本法人：パンドウイットコーポレーション日本支社) が開発した不連続な導電層を有する押え巻テープ (AX テープ) を使用することで、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」を抑制する事が可能となり、2013 年 6 月より販売を開始した。

今回は Cat.6A 対応ケーブルの更なるラインアップ増強を目的として、屋外用ケーブル (LAP シース) の開発を行った。

2. 用途

10 ギガビット伝送 (10 GBASE-T) まで対応した屋外用の 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
- ・ 屋外用 LAP シース
- ・ 優れた耐水、耐紫外線、耐寒性
- ・ 周波数帯 500 MHz まで安定した電気特性
- ・ エイリアンクロストーク対応
- ・ サージノイズ接地用ドレインワイヤ入り
- ・ 外被を剥ぐことでジャック加工も可能
- ・ コネクタ端末部のシールド処理が不要
- ・ ケーブル内被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 屋外用 LAP シースケーブル (TPCC® 6A-LAP)

表1 TPCC® 6A-LAP 仕様

項目	TPCC® 6A-LAP
サイズ・対	23AWG×4P
外被	黒色 PE
仕上外径	約 12.0 mm
概算質量	100 kg/km

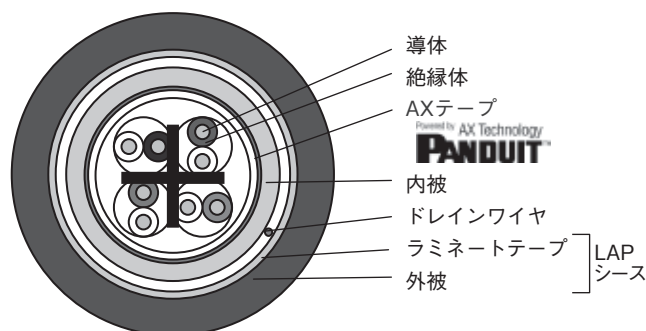


図2 ケーブル断面図 (TPCC® 6A-LAP)

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



エアレス・メンテナンスフリー 卓上型除振台 PB-SMG

Airless Maintenance-free Desktop Vibration Isolator PB-SMG

1. 概要

卓上型除振台は、床面・テーブル面の微弱な振動を取り除き、上に搭載する光学顕微鏡や電子天秤などの本来の性能を確保するために使用されている。一般的に空気ばねを用いた製品の除振性能が優れていると言われているが、使用開始時や空気抜きのメンテナンス時に手押しポンプ等で複数の空気ばねそれぞれに空気を適量入れる必要がある。これは不慣れな使用者には荷が重い作業となっていた。

卓上型除振台 PB-SMG シリーズは、コイルバネとシリコンゲルを組み合わせた除振要素により空気ばねと同等の除振性能を実現した。空気を入れる必要がないので、経験の乏しい使用者にも簡単に扱うことができる。

2. 用途

光学顕微鏡、硬度計、小型干渉計など

*装置の下に置くだけですぐに使うことができる。

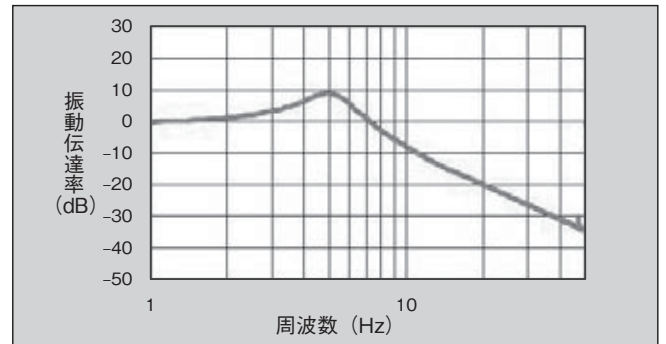


図1 外観

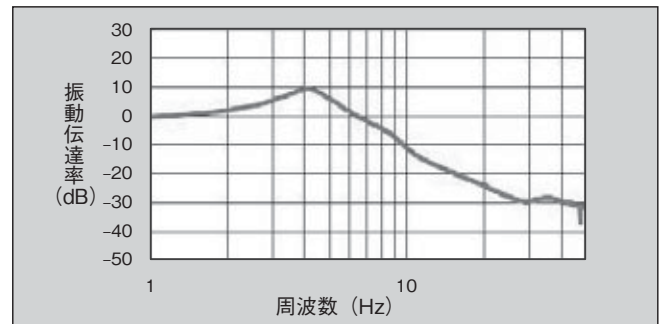
表1 仕様

型式	搭載可能質量 kg	幅 mm	奥行 mm	高さ mm	本体質量 kg
PB-SMG-4050	10 ~ 40	400	500	59 ~ 81*	12
PB-SMG-5060		500	600		15

*搭載質量による



a) 垂直方向



b) 水平方向

*固有振動数 垂直方向約 5 Hz, 水平方向約 4 Hz

図2 振動伝達関数 (搭載質量 40 kg 時)

3. 特長

- ・エアレスで設置が簡単
- ・除振性能は空気ばねと同等レベル
- ・メンテナンスが不要

問合せ先：〒140-0011 東京都品川区東大井5-12-10 (大井朝陽ビル)
 (株)昭和サイエンス 営業部
 電話(03)5781-3300 FAX(03)5463-5001



真空ポンプ音をシャットアウト 防音ボックス SIB シリーズ

SOUNDPROOF BOX SIB Series to Reduce the Noise of Vacuum Pump

1. 概 要

大学、研究機関、民間企業などの研究室は、静かな環境が一般的だが、真空ポンプを付属している研究分析用機器類が身近にあると、その真空ポンプ音が気になる場合がある。また工場設備の真空ポンプの中には、会話ができないほどの、非常に大きな騒音を発生しているものがある。

真空ポンプの音を「気にならない」「日常生活に支障のない」レベルまで軽減する防音ボックスがSIBシリーズである。騒音の程度に応じてSIBc型（廉価タイプ）とSIB型（高性能タイプ）の2種類を揃えており、気になる騒音を軽減して静かな作業環境を手に入れることができる。

2. 用 途

真空ポンプの音を軽減する。真空ポンプサイズは最大W400×L600×H400 mmまで使用可能である。



a) SIBc 型



b) SIB 型

図1 外観

3. 特 長

● SIBc 型（廉価タイプ）

外形寸法 W560×L754×H500 mm 質量約 45 kg
騒音レベルを約 10～15 dB 低減（感覚で 3/1～1/5 に）

うるさいと感じる A 特性音圧レベル 60～70 dB の騒音を日常生活に支障のない 50～60 dB へ軽減する。

- ・組立式！特別な工具は必要ない
- ・長寿命ファンが内部の熱を強制排気
- ・埋め込み型温度計を標準装備
- ・ホースは最大 φ50 mm まで対応

● SIB 型（高性能タイプ）

外形寸法 W607×L1,018×H732 mm 質量約 85 kg
騒音レベルを約 15～25 dB 低減（感覚で 1/5～1/20 に）

うるさいと感じる A 特性音圧レベル 60～80 dB の騒音を日常生活に支障のない 40～60 dB へ軽減する。

- ・吸排気吸音ダクトを採用し防音性向上
- ・長寿命ファンが内部の熱を強制排気
- ・埋め込み型温度計を標準装備
- ・キャスター、アイボルト付で移動が楽

※ 騒音低減測定方法：音源はスピーカ、ピンクノイズを使用。周囲の環境、騒音源の状況により実際の値は変化する。

* 音の大きさの例：80 dB 電車内

70 dB 掃除機

60 dB 静かな乗用車内

50 dB 静かな事務所

40 dB 図書館

問合せ先：〒140-0011 東京都品川区東大井5-12-10 (大井朝陽ビル)

(株)昭和サイエンス 営業部

電話(03)5781-3300 FAX(03)5463-5001



アルミ導体 CV ケーブルを採用した長距離送電システムの初納入

First Supply of Aluminum Conductor XLPE Cable for Long Distance Power Transmission System

近年の強い電力自由化傾向に伴い大規模容量の再生可能エネルギー発電所の建設が急速に進んでおり、地中送電システムの市場でも存在感を高めている。地中送電システムは従来銅導体を使用したケーブルが主流であったが、導体にアルミを採用することによって地中送電システムの建設コスト低減が可能となる。

この度当社は東京パワーテクノロジー(株)様から、日本国内のメガソーラー向けでは初の 66/77 kV アルミ導体ケーブルを使用した地中送電システムとして、茨城県の袋田太陽光発電所向けの件名を受注し、アルミ導体 CV ケーブル及び付属品を初納入した。

1. 線路概要

ルートは発電プラントから送電連系点までとなっており、回線長は 7.4 km にも及ぶ。

アルミ導体 CV ケーブルサイズはいずれも 150 mm² である。アルミ導体 CV ケーブルとアルミ導体 CV ケーブル用ゴムブロック絶縁型直線接続部 (RBJ)、アルミ導体 CV ケーブル用プレハブ型複合がい管気中終端接続部 (DM-EB-A) を用いて送電システムを構築している。

2. アルミ導体 CV ケーブルについて

ケーブル製品設計は従来の銅導体ケーブルの導体部分をアルミとしているのみで、他の製品設計は従来の銅導体 CV ケーブルと同じであるため曲げ半径倍率等は従来の銅導体 CV ケーブルと変わらず扱うことができる。

また、導体をアルミにすることによって銅導体 CV ケーブルより軽量になることから、銅導体より扱いやすい利点もある。アルミ導体 CV ケーブルの外観を **図 1** に示す。



図 1 アルミ導体 CV ケーブル

3. 据付

アルミ導体 CV ケーブルは軽量であることかつ、単位面積当たりの許容張力が銅より低いことから、従来の銅導体 CV ケーブルとは異なる設計定数を用いた管路引入れ設計が必要となる。

本件名でも、アルミ導体 CV ケーブル用の管路引入れ設計を行い、引入れ設計の妥当性を計画段階で確認した。また、線路の一部に傾斜地への布設があったため、こちらも従来の銅導体 CV ケーブルとは異なる設計定数を用いた滑落対策検討を行った。

納入したアルミ導体 CV ケーブルは東京パワーテクノロジー様によって現地に延線据え付けられ、当社で中間接続部と終端接続部を組立て、竣工試験までを無事に完了した。

引入れ状況を **図 2** に示す。



図 2 引入れ状況写真

4. むすび

今回当社では、アルミ導体用の接続部の開発から納入、現地据付までを無事終了させ、アルミ導体 CV ケーブルシステムを採用した長距離送電システムの初納入を無事終了させた。

今後もアルミ導体を適用した CV ケーブルは地中送電システムの一翼を担うものと期待されており、当社ではアルミ導体を使用した地中送電システムを構築し生活や産業基盤の整備に貢献していく。

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・情報システム営業部 電機システム機器グループ
電話(03)5404-6967 FAX(03)3436-2583



EM-TNC 小サイズのセパレータレス化 (WL 対応品)

Omission of Separator for Small Size "EM-TNC" Compliant with WL

1. 概要

低圧盤内の配線、電気機器の口出し線として、口出し性、可とう性の良い電線が望まれる。

従来は、全サイズに導体上のセパレータを施しており、端末加工の際に、セパレータが残ってしまうことがあった。

そこで、盤内の配線などに使用されることが多い 3.5 mm² 以下の電線において、特殊な導体を採用することで、セパレータを無くし、端末加工を容易にし、作業性を向上させた。

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線に用いる。

JRIS (日本鉄道車輛工業会規格) 適合品であるため、鉄道車両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 "HFWL" * を印字)。

また、600 V のみならず、1500 V にも対応しているため、太陽光発電システムに使用される接続箱内及びパワーコンディショナー内の機器内配線にも使用可能である。

* HFWL は WL のハロゲンフリー対応品

断面図を図 1 に示す

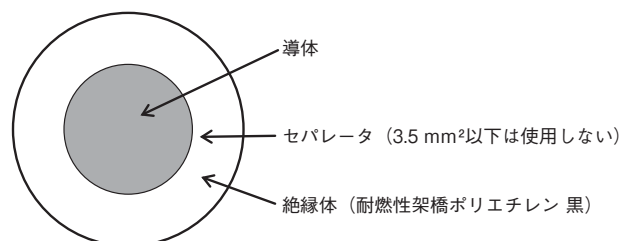


図 1 EM-TNC 断面図

3. 特長

本製品の特長は以下の通りである。

- (1) WL 対応 (HFWL にも対応)
JRIS に適合しているため、鉄道車両向けとしても使用可能。
- (2) 被覆剥取作業性
3.5 mm² 以下の電線において、セパレータを無くすことで、端末加工作業性を向上。
- (3) 1500 V クラス対応
1500 V クラスにも対応することで、様々な盤内の配線に使用可能。
- (4) 環境対応
環境に優しい材料を使用することで、ハロゲンフリーかつ、RoHS 指令にも適合。
- (5) 柔軟性
柔軟性の高い絶縁体と細径軟銅より線を採用した構造により、柔軟性が良好 (最小曲げ半径: 4 D)。
- (6) 最高許容温度
絶縁体の耐熱温度が 120℃ * で、高い耐熱性を有しているため、盤内の配線によく使用される IV と比較して許容電流が大きい。
* CMJ 暫定登録中 (No.Z118AC0801)
- (7) 難燃性
JRIS にて定められる燃焼試験において、“難燃性” に適合。



製品写真

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



免震ビルで活躍する卓上アクティブ除振台「SATシリーズ」

Tabletop Active Vibration Isolator "SAT Series" Used in the Seismic Isolation Building

1. 概要

免震ビルは、震災対策の切り札として、研究拠点や生産工場での採用の機会が増えている。

ところが、振動的に困った問題が発生することがある。

対策として卓上アクティブ除振台「SATシリーズ」を使用し振動問題を解決している事例を紹介する。

2. 卓上アクティブ除振台

免震ビルに限らず、卓上アクティブ除振台「SATシリーズ」を使用する機会が増えている。干渉計メーカーの技術者は、このように語る。「卓上アクティブ除振台を使用すると、観察時の像揺れが無くなるのと同時に、操作後の像の揺れが瞬時に止まる。これは使い勝手の上で圧倒的に有利となり、別次元の操作性だ。」

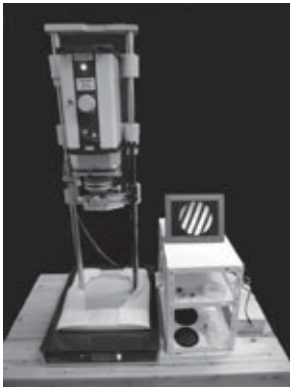


図1 干渉計を搭載した SAT-56
(東明技研様ご提供)

3. 免震ビルでは

最近、免震ビルで使用されているお客様から振動に困っているという相談が多々ある。

ある測定器メーカーは、ショールームが免震ビルで、計測に問題を生じ、色々な種類のパッシブ除振台を使用したけど、どれも振動が止まらないと言ひ、何とかならないかとの相談を受けた。

光学機器メーカーからの相談もあった。免震工場内に設置された、評価用の干渉計の像が安定しない。いくつか卓上

アクティブ除振台を使用したけど、像が大きく揺れて使い物にならない。

いずれも、「SATシリーズ」を使用すると、良好な測定結果が得られるようになった。

4. なぜ「SATシリーズ」が良かったのか？

免震ビルでは、水平方向において除振対策が難しい低い周波数の共振点があり、精密機器の要求レベルと比較して常時大きく揺れている。パッシブ除振台ではこの低い周波数で除振台自体が共振して更に大きくなってしまふ。

一般的な卓上アクティブ除振台で効果が無かったのは、低い周波数の大きな振動により、制御がオーバーフローし、断続的な制御になったためと思われる。

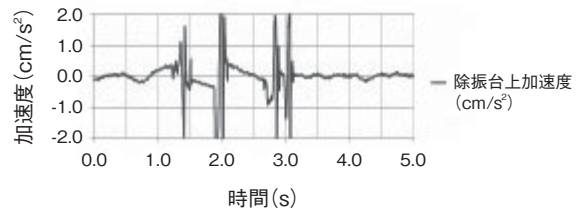


図2 オーバーフロー時のアクティブ除振台上の振動例

原理上は、どのアクティブ除振台でも制御のオーバーフローが生じる可能性がある。「SATシリーズ」では水平方向の制御力に十分な余裕があるため、免震ビルの環境でも問題無く使用できたものと思われる。

5. SATシリーズの概要

形式	SAT-45		SAT-56	
サイズ	mm	420 W×500 D×93 H	500 W×600 D×93 H	
搭載可能質量	kg	10～80		
本体質量	kg	26	34	
電源		AC 85～264 V 36 W		

問合せ先：〒140-0011 東京都品川区東大井5-12-10(大井朝陽ビル)
 (株)昭和サイエンス 営業部
 電話(03)5781-3300 FAX(03)5463-5001
<http://www.ssvi.co.jp>

社外技術発表一覧表

(2014. 1 ~ 2015. 10)

[電子情報通信学会 光ファイバ応用技術研究会]

(2014年1月24日)

低風圧・自励振動抑制型光ドロップケーブルの開発

…………… 田邊賢吾¹⁾, 有田謙志¹⁾, 吉原龍夫¹⁾, 瀬戸昭博¹⁾,
金子貴皇¹⁾

[電気学会 誘電・絶縁材料 電線・ケーブル合同研究会]

(2014年2月19日)

残留電荷の電荷蓄積に関する検討

…………… 川井二郎²⁾

[平成26年 電気学会全国大会]

(2014年3月18日~20日)

ポリマーがいし・がい管の構造と特徴

…………… 瀬間信幸³⁾

エポキシ/ZnO 複合体の誘電特性

…………… 楊 瀚知⁴⁾, 小野結太⁴⁾, カビール ムハムドゥル⁴⁾,
鈴木雅史⁴⁾, 吉村 昇⁴⁾, 荻島みゆき¹⁾, 桑木亮仙¹⁾

[第89回 2014年度春季低温工学・超電導学会]

(2014年5月25日~28日)

nPAD-YBCO[®] 電流リードの機械的特性及び熱履歴の影響評価

…………… 高橋 亨¹⁾, 木村一成¹⁾, 引地康雄¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾,
小泉 勉¹⁾, 山田 豊⁵⁾

[INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRICS

2014]

(2014年7月6日~10日)

Power generation performance of π -structure thermoelectric module using silicide element

…………… T. Nakamura¹⁾, K. Hatakeyama¹⁾,
M. Minowa¹⁾, Y. Mito⁶⁾, K. Arai⁷⁾, T. Iida⁷⁾,
K. Nishio⁷⁾

Demonstration test on thermoelectric generator for high-temperature industrial furnaces

…………… K. Hatakeyama¹⁾, T. Nakamura¹⁾,
T. Fujisawa⁸⁾, H. Kobayashi¹⁾, Y. Hikichi¹⁾,
H. Kurata⁸⁾, A. Nakamura⁸⁾, M. Minowa¹⁾

[日本建築学会2014年度大会(近畿)]

(2014年9月12日~14日)

低弾性 G0.25 N/mm² 仕様積層ゴムの開発

…………… 開発美雪⁹⁾, 柳 勝幸⁹⁾, 高山峯夫¹⁰⁾

過大変位抑制積層ゴムの開発(その1) 開発の背景と装置の概要

…………… 伊藤 敦¹¹⁾, 吉澤幹夫¹¹⁾, 田代靖彦¹¹⁾,
吉田 聡¹¹⁾, 加藤直樹⁹⁾, 福田滋夫⁹⁾,
谷川友秀⁹⁾

過大変位抑制積層ゴムの開発(その2)

縮小体および実大試験体の静的試験

…………… 福田滋夫⁹⁾, 吉澤幹夫¹¹⁾, 田代靖彦¹¹⁾,
伊藤 敦¹¹⁾, 吉田 聡¹¹⁾, 加藤直樹⁹⁾,
谷川友秀⁹⁾

過大変位抑制積層ゴムの開発(その3)

実大試験体の動的試験

…………… 谷川友秀⁹⁾, 吉澤幹夫¹¹⁾, 田代靖彦¹¹⁾,
伊藤 敦¹¹⁾, 吉田 聡¹¹⁾, 加藤直樹⁹⁾,
福田滋夫⁹⁾

過大変位抑制積層ゴムの開発(その4)

変位抑制効果の検証

…………… 吉田 聡¹¹⁾, 吉澤幹夫¹¹⁾, 田代靖彦¹¹⁾,
伊藤 敦¹¹⁾, 加藤直樹⁹⁾, 福田滋夫⁹⁾,
谷川友秀⁹⁾

免震装置下基礎の回転を考慮した免震構造の開発その1:
解析モデルの構築

…………… 中村 匠¹²⁾, 今泉祐樹¹²⁾, 太田行孝¹²⁾,
谷地畝和夫¹²⁾, 三須基規⁹⁾, 加藤直樹⁹⁾,
前野 慧⁹⁾, 白井宏和⁹⁾

免震装置下基礎の回転を考慮した免震構造の開発その2:
弾性すべり支承の傾斜試験

…………… 前野 慧⁹⁾, 三須基規⁹⁾, 加藤直樹⁹⁾,
白井宏和⁹⁾, 渡壁守正¹²⁾, 稲井慎介¹²⁾,
石田琢志¹²⁾, 森田泰弘¹²⁾, 佐藤直樹¹²⁾

[第90回 2014年度秋季低温工学・超電導学会]

(2014年11月5日~7日)

nPAD-YBCO[®] 電流リードの機械的特性②

…………… 高橋 亨¹⁾, 木村一成¹⁾, 引地康雄¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾,
小泉 勉¹⁾, 山田 豊⁵⁾

TFA-MOD 法 YBCO テープ線材を用いた電流リードの開発⑨

…………… 松村亮佑⁵⁾, 細野優人⁵⁾, 谷本涼亮⁵⁾, 山田 豊⁵⁾,
引地康雄¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾, 小泉 勉¹⁾, 田村 仁¹³⁾,
三戸利行¹³⁾

**[27th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
SUPERCONDUCTIVITY (ISS2014)]**

(2014年11月25日～27日)

The durability of nPAD-YBCO current lead against cooling cycles and mechanical stresses

…………… K. Takahashi¹⁾, K. Kimura¹⁾, Y. Hikichi¹⁾,
M. Minowa¹⁾, T. Koizumi¹⁾, Y. Yamada⁵⁾

The Latest Trends of MOD REBCO Superconducting Coated Conductors in SWCC

…………… T. Koizumi¹⁾, K. Kimura¹⁾, R. Hironaga¹⁾,
T. Nakamura¹⁾, Y. Takahashi¹⁾,
K. Takahashi¹⁾, Y. Hikichi¹⁾, M. Minowa¹⁾,
T. Hasegawa¹⁾

Highly in-plane textured IBAD-MgO buffer layer for TFA-MOD REBCO coated conductor

…………… Y. Takahashi¹⁾, R. Hironaga¹⁾, T. Nakamura¹⁾,
T. Koizumi¹⁾, T. Hasegawa¹⁾

Development of the Assembled Superconducting Current Lead Prepared by the TFA-MOD Processed YBCO Tapes

…………… R. Matsumura⁵⁾, H. Motohashi⁵⁾, Y. Hosono⁵⁾,
Y. Yamada⁵⁾, Y. Hikichi¹⁾, M. Minowa¹⁾,
T. Koizumi¹⁾, H. Tamura¹³⁾, T. Mito¹³⁾

[日本建築学会東海支部研究報告会]

(2015年2月23日～24日)

心柱制震工法を用いた木造五重塔の地震時挙動

－2014年3月14日 伊予灘沖地震による観測結果－

…………… 佐高奈々絵¹⁴⁾, 花里利一¹⁴⁾, 坂本 功¹⁵⁾,
内田龍一郎¹⁶⁾, 佐藤信夫¹⁷⁾, 三須基規⁹⁾

[平成27年 電気学会全国大会]

(2015年3月24日～26日)

66/77 kV アルミ導体 CV ケーブル用接続部の開発

…………… 田渡未沙¹⁾, 今西 晋¹⁾, 萩島みゆき¹⁾,
伊藤康介¹⁾, 桑木亮仙¹⁾

66/77 kV SIS用 AC/DC 断路機能付 T 形終端接続部の開発

…………… 田渡未沙¹⁾, 今西 晋¹⁾, 多賀谷治¹⁸⁾, 風間啓介¹⁸⁾

154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの実用化

…………… 今西 晋¹⁾, 萩島みゆき¹⁾, 桑木亮仙¹⁾

[第91回 2015年度春季低温工学・超電導学会]

(2015年5月27日～29日)

nPAD-YBCO[®] 電流リードの耐久性評価

…………… 高橋 亨¹⁾, 中村達徳¹⁾, 引地康雄¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾,
小泉 勉¹⁾, 山田 豊⁵⁾

TFA-MOD 法 YBCO テープ線材を用いた小型超電導電流リードの特性

…………… 坂本太紀⁵⁾, 細野優人⁵⁾, 高橋祐樹⁵⁾, 山田 豊⁵⁾,
高橋 亨¹⁾, 広長隆介¹⁾, 引地康雄¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾

nPAD-YBCO テープ線材を用いた超電導電流リードの通電特性

…………… 高橋祐樹⁵⁾, 坂本太紀⁵⁾, 山田 豊⁵⁾, 高橋 亨¹⁾,
中村達徳¹⁾, 箕輪昌啓¹⁾

[2015年 超電導技術動向報告会]

(2015年6月8日)

昭和電線における超電導線材と応用製品開発

…………… 小泉 勉¹⁾

[Jicable'15

(9th International Conference on insulated Power Cables)]

(2015年6月21日～25日)

DEVELOPMENT OF 500 kV XLPE CABLE ACCESSORIES

…………… Guoji LI¹⁾, Akihisa KUWAKI¹⁾,
Tsutomu SUMIMOTO¹⁹⁾, Kenji TAKAHASHI²⁾,
Zhaojian LIU²⁰⁾

[電設技術]

(2015年6月号 Vol.61 no.751)

絶縁破壊の原因と絶縁劣化について - 電線・ケーブルについて -

…………… 岡下 稔¹⁾, 野中健司¹⁾

[平成27年 電気学会 電力・エネルギー部門大会]

(2015年8月25日～27日)

77 kV CV ケーブル用終端部の施工合理化

…………… 嶋田亮太²¹⁾, 熊澤昌宏²¹⁾, 嘉屋 健²²⁾,
井上雅弘²²⁾, 八木橋清春²³⁾, 中嶋慎論²⁴⁾,
永倉 到²⁴⁾, 丸山英之²⁾

OF ケーブルの硫化銅など銅化合物による課電劣化メカニズムについて (その3)

…………… 川井二郎²⁾, 中出雅彦²⁵⁾, 松井健郎²⁵⁾

6 kV CV ケーブルの経年劣化に関する調査

…………… 伏屋貴文²¹⁾, 大川雅希²¹⁾, 三浦浩二²⁾, 古寺孝之²⁾

[ISIS 24]

(2015年9月2日～4日)

昭和電線における超電導ケーブルシステムの開発状況

…………… 三堂信博¹⁾

[日本建築学会2015年度大会(関東)]

(2015年9月4日～6日)

低層鉄骨造の損傷抑制用 DIY 制震補強に関する技術開発

- その 10 - 既存 5 層鉄骨造建物に対する DIY 制震補強工法の

施工実験

…………… 曾田五月也²⁶⁾, 花井 勉²⁷⁾, 佐藤剛生²⁶⁾,
皆川隆之²⁷⁾, 三須基規⁹⁾, 井上雄貴²⁶⁾[3rd International Conference on Structural Health
Assessment of Timber Structures]

(2015年9月9日～11日)

STRUCTURAL MONITORING OF TRADITIONAL TIMBER
FIVE-STORIED PAGODA EMPLOYING NEW VIBRATION
CONTROL TECHNIQUE…………… Toshikazu HANAZATO¹⁴⁾,
Nanae SADAKA¹⁴⁾, Nobuo SATO¹⁷⁾,
Ryuichiro UCHIDA¹⁷⁾, Motoki MISU⁹⁾,
Isao SAKAMOTO¹⁵⁾

[International Conference on Magnet Technology 24]

(2015年10月18日～23日)

Development of HTS current lead prepared by nPAD-YBCO[®]…………… K. Takahashi¹⁾, K. Kimura¹⁾, Y. Hikichi¹⁾,
K. Adachi¹⁾, T. Koizumi¹⁾, T. Hasegawa¹⁾,
Y. Yamada⁵⁾

HTS Current Lead Prepared by nPAD-YBCO Tapes

…………… Y. Takahashi⁵⁾, T. Sakamoto⁵⁾, Y. Yamada⁵⁾,
K. Takahashi¹⁾, T. Nakamura¹⁾,
T. Hasegawa¹⁾Transport Performance and Current Distribution of HTS Current
Lead Prepared by YBCO Tapes…………… R. Matsumura⁵⁾, Y. Hosono⁵⁾, R. Tanimoto⁵⁾,
Y. Yamada⁵⁾, K. Takahashi¹⁾, R. Hironaga¹⁾,
T. Hasegawa¹⁾, H. Tamura¹³⁾, T. Mito¹³⁾

Design of 22 kV 10kA HTS Triaxial superconducting bus

…………… K. Adachi¹⁾, H. Ohnishi¹⁾, R. Hironaga¹⁾,
S. Sano¹⁾, K. Shiohara¹⁾, N. Mido¹⁾,
T. Koizumi¹⁾, T. Hasegawa¹⁾, M. Konno²⁸⁾,
M. Iwakuma²⁹⁾, M. Iwakuma²⁹⁾

1) 昭和電線ケーブルシステム株式会社

2) 株式会社 エクシム

3) 昭和電線ホールディングス株式会社

4) 秋田大学

5) 東海大学

6) 昭和 KDE 株式会社

7) 東京理科大学

8) 昭和電線ビジネスソリューション株式会社

9) 昭和電線デバイステクノロジー株式会社

10) 福岡大学

11) 株式会社日建設計

12) 戸田建設株式会社

13) 自然科学研究機構 核融合科学研究所

14) 三重大学

15) 東京大学

16) 内田建築構造コンサルタント

17) 松井建設株式会社

18) 株式会社東芝

19) SHOWA-TBEA (SHANDONG) CABLE ACCESSORIES CO., LTD

20) TBEA SHANDONG LUNENG TAISHAN CABLE CO., LTD

21) 中部電力株式会社

22) 関西電力株式会社

23) 株式会社ビスキャス

24) 株式会社ジェイ・パワーシステムズ

25) 東京電力株式会社

26) 早稲田大学

27) 株式会社えびす建築研究所

28) 富士電機株式会社

29) 九州大学

昭和電線グループ会社アドレス

昭和電線ホールディングス株式会社 〒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
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 中国天津市西青経済開発区賽達世紀大道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・グローバルリスト株式会社 〒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
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 中国上海市普陀区中江路879号天地軟件園17棟4楼
華和工程股份有限公司 台湾高雄縣仁武鄉高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内
杭州富通昭和線纜材料研究開發有限公司 中国浙江省杭州富陽区富春街道金秋大道富通科技园9号楼
特変電工昭和(山東)電纜附件有限公司 中国山東省新泰市新汶工業園区
富通昭和線纜(杭州)有限公司 中国浙江省杭州富陽区富春街道金秋大道富通科技园9号楼
富通昭和線纜(天津)有限公司 中国天津市滨海新区滨海科技园惠新路399号

昭和電線 レビュー

第61巻 (通巻117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 西岡 淳一 横溝 博次
森下 裕一 足田 靖成
鴨狩 之裕 稲庭 康之
岡下 稔 秋谷 安司
桑木 亮仙 会田 二三夫
野地 悠 舘山 雄一
柿澤 雅彦 森 純一郎
香月 史朗 長谷川 聡
内田 順之 三上 豪
(順不同)

編集・発行人 舘山 雄一

発行日 2016年1月22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]

©2016 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、電力機器部品、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

株式会社ユニマック / エナメル線、横巻線