

2017 VOL.63 通卷119号

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

ISSN 2342-518X





昭和電線レビュー



	目	次							
〈普通論文〉 長周期・長照 繰返し変形詞	寺間地震動を想定 式験	した実大天然ゴム系積層ゴ	ムの	昭和電線ケ [.] 福岡大学	ーブル: 清 水 … 秋 葉 … 髙山峯	システ <i>ム</i> 美 雪 ・ 拓 也 夫	、(株) 三須	基規.	5
VHF-Low 帯	^拔 域対応 漏洩同軸	(LCX)ケーブルの開発		昭和電線ケ [.]	- ブル: 太田 田 中 村 瀬 :	システ <i>ム</i> 勇 希 ・ 俊 之 ・ 田 丘	(株) 成田 田 邉 「	敢 浩 . 賢 吾 ·	10
275 kV CV 4	ケーブル用スマー	・ト終端接続部の開発		昭和電線ケ [.]	- ブル: 伊 藤) 稲 庭)	システ <i>ム</i> 康 介 ・ 康 之	(株) 今西	晋·	14
三相同軸超電	電導ケーブルの開	発		昭和電線ケ・ 昭和電線ホ・ 九州大学	- ブル 北菅青 - ルデ 川) お 能 り	シー秀裕 ィ隆 戎テム・・・ス 祐夫治 グ代 卓	(株) 足 立 え 中 三 堂 1 (株)	和久 室言博.	18
シリサイド系	系材料を使用した	熱電変換モジュールの最適 [,]	化	昭和電線ケ	_ ブル☆ 西 岡 林 ☆ 吉岡健	システ <i>ム</i> 享公 樹 ・ 、 太郎	(株) 中 村 井 箕 輪	淪 龍⊒ 	24
〈新製品紹介	·>								
湧水処理仕様	^{羕耐水型発泡浮床}	防振材 SV ブロック			• • • • • • • •	•••••	•••••	• • • • • • • •	·· 29
船舶向け高性	生能シート型制振	材 ショウダンプ® NH-S1 一		•••••	• • • • • • • •	• • • • • • • • • •	•••••	• • • • • • • •	30
Cat.6A 対応	産業用 LAN ケー	-ブル		•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	31
トンネル分岐	支用コネクタ 新	ショウタッチ®5極		•••••	•••••	•••••	•••••		·· 32

リッツ接地線の開発 33 154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の鉄塔上への適用 34

〈トピックス〉

積層ゴム経年変化の研究で日本免震構造協会普及賞を共同受賞	省 ······	35
フタル酸エステル類の規制と対応		36
タブレットと写真管理ソフトを利用した工事現場写真管理 …		37

〈工事紹介〉

DF ケーブル自動消火システム	39

〈技術情報〉

電力ケーブルのインピーダンス	۲	40
----------------	---	----

〈社外技術発表一覧表〉	 43

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2017 Vol. 63

CONTENTS

< Regular Papers >	
Check Test of Full-scale Natural Rubber Bearing for Long Period Earthquake Motion	5
Development of leaky coaxial (LCX) cable corresponding VHF-Low band)
Development of Smart Type Sealing End for 275 kV XLPE cable ······ 14	ŀ
Development of tri-axial superconducting cable	3
Power Generation Performance of Silicide based Thermoelectric Device24	ł
< New Products >	
SV Block Board that is semi-rigid foam and hard to crack)
High performance seat type damping material for ships SHOWDAMP NH-S1 ····································)
Category 6A Industrial Type Cable for Local Area Network ······ 31	Ĺ
Connector for Tunnel Lighting New "Showtouch" 5P ······ 32	2
Development of litz earthing wire ······ 33	3
Application of direct-molded outdoor termination for 154 kV XLPE cable on transmission tower 34	ŀ
< Topics >	
Study of Aged Deterioration on Rubber Bearing, Prized DIFFUSION AWARD of the Japan Society of Seismic Isolation (JSSI)	5
Regulation and Coping of Phthalates	3
Construction Site Photo Management with Tablet and Software	7
< Construction >	
Automatic Fire Extinguishing System for High Voltage Oil Filled Cable	•
< Technical data >	
Impedance of Power Cable 40)
< List of Technologies Published since 2016 > ······ 43	3

Published by SWCC SHOWA HOLDINGS CO., LTD.

Cube Kawasaki Building, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku, Kawasaki City, KANAGAWA URL http://www.swcc.co.jp/ E-mail:kouho@hd.swcc.co.jp

長周期・長時間地震動を想定した実大天然ゴム系積層ゴムの 繰返し変形試験

Check Test of Full-scale Natural Rubber Bearing for Long Period Earthquake Motion

清 水 美 雪	三 須 基 規	秋 葉 拓 也	髙 山 峯 夫*
Miyuki SHIMIZU	Motoki MISU	Takuya AKIBA	Mineo TAKAYAMA

免震建物が長周期・長時間地震動を受けると、免震部材は長大な繰返し変形を起こすため、吸収エネルギー 量の増大による内部温度の上昇によって性能が変化する可能性が指摘されている。そこで、実大の天然ゴム系 積層ゴムに静的繰返し変形を与えて、荷重変位関係や温度変化の確認を行った結果、長時間繰返し変形が天然 ゴム系積層ゴムの性能に与える影響は小さいことが確認された。

Even if base-isolation devices have a little capability of energy absorption, long-period ground motion may change the performance of devices because inner temperature is increased by accumulative deformation. This paper present result of check test to evaluate the variation of mechanical properties due to cyclic loading, and it is confirmed the safety of full-scale natural rubber bearing under this postulated earthquakes.

1. はじめに

関東平野,大阪平野,濃尾平野は厚い堆積層に覆われた 堆積盆地構造である。これらの地域は将来発生すると想定 されている南海トラフ沿いの巨大地震に襲われると特定の 周期帯で揺れが大きくなり,10分近く揺れ続ける長周期地 震動が生じることが指摘されている。2017年4月から時刻 歴応答解析(地震動を与え,建築物の各階の応答を計算す る方法)による検証を行う免震建物の設計では,南海トラ フ沿いで発生するとされるM8~9の長周期成分を含む巨 大地震を対象とすることが求められるようになった¹⁾。

免震建物が長周期・長時間地震動を受けると,免震部材 は長大な繰返し変形を起こすため,吸収エネルギー量の増 大による内部温度の上昇によって性能が変化する可能性が 指摘されている²⁾。そのため時刻歴応答解析における免震 建物の耐震安全性の検証で,繰返し変形による免震部材の 性能変化を考慮することが要求されている。

本報では,減衰性能が小さいため性能変化も小さいとさ れている実大の天然ゴム系積層ゴムに静的繰返し変形を与 えて,履歴特性や温度変化の確認および繰返し変形後の限 界特性を確認した結果を報告する。

2. 試 験 体

表1は当社製品の指定建築材料認定 MVBR-0405(以降, 認定とする)で定めるゴム外径とゴム総厚の関係である。 表1の網掛け部が今回の実験で用いた試験体であり,同じ 累積変形でも繰返し変形回数が多くなり,より過酷な評価に なるようゴム総厚が小さい φ1000 mm(以下 RB1000SL) と最大径の φ1500 mm(以下 RB1500NM)で評価している。

表1 認定のゴム総厚とゴム外径の関係(単位:mm)

ゴム外径	φ300	φ 500	φ600	φ650	φ700	φ750
	58.5	97.5	117.0	127.4	137.8	148.2
ゴノ松原		112.5	135.0	147.0	159.0	159.6
コム総厚		123.8	148.5	161.7	174.9	171.0
I I _r			162.0		201.4	188.1
			171.0			199.5
ゴム外径	φ800	φ850	φ900	φ950	φ1000	φ1100
	156.0	166.4	163.2	184.6	157.5	199.2
	162.0	192.0	176.8	198.8	195.0	215.8
*	180.0	198.4	197.2		202.5	240.7
コム総厚	198.0	211.2	204.0		225.0	249.0
I I _r	228.0		210.8		240.0	273.9
					247.5	
					285.0	
ゴム外径	φ1200	φ1300	φ1400	φ1500		
	198.0	196.0	199.5	293.8		
ゴム総厚	234.0	254.8	273.0			/
H,	270.0					
	297.0					

ゴム総厚 H, =ゴムー層厚 T,× ゴム層数 n

試験体の仕様を表2,試験体の構造図を図1,図2に示す。 RB1000SL はゴム中心部に熱電対を挿入して繰返し変形時 の積層ゴム中心部温度を測定した。また,RB1000SL, RB1500NM ともに放射温度計でゴム表面温度を測定した。

表 2 試験体仕様(認定基準値)

試験体		RB1000SL	RB1500NM
ゴム外径 Do	[mm]	φ1000	φ1500
ゴム内径 Di	[mm]	φ 50	φ75
ゴム総厚 H,	[mm]	195.0	293.8
せん断弾性率 G	[N/mm²]	0.34	0.39
S ₁ ^{*1} /S ₂ ^{*2}	-	31.7/5.1	31.5/5.1
基準面圧 σ	[N/mm²]	12.5	15
規定ひずみ γ	[%]	±100	±100
鉛直剛性 Kv	[kN/mm]	3830±20%	5850±20%
水平剛性 Kh	[kN/mm]	1.38±15%	2.35±15%

* 1 : $S_1 = \frac{(Do - Di)}{4t_r}$ * 2 : $S_2 = \frac{Do}{H_r}$



図1 RB1000SL 構造図



図 2 RB1500NM 構造図

3. 試 験 条 件

試験は昭和電線保有の35 MN 圧縮せん断試験機(鉛直 方向試験加力:35000 kN,水平方向試験加力:±8000 kN) を用いて実施した。

3.1 基本性能試験

基本性能は**表3**に示す条件で実施し,荷重・変位の最大・ 最小値の傾きを剛性として算出し(図3),鉛直剛性,水平 剛性が認定の基準値を満足していることを確認した。

表 3 基本性能試験条件

		DD10	0081	DD15	
計瞈休		пыт	003L	RB1500INIM	
		鉛直剛性	水平剛性	鉛直剛性	水平剛性
鉛直方向面圧 σ	[N/mm ²]	12.5	12.5	15	15
せん断ひずみ γ	[%]	-	±100	-	±100
水平変位 δ	[mm]	-	±195	_	±294
三角波速度	[mm/s]	_	5	_	5
サイクル数	_	3	3	3	3



図3 剛性の算出方法

3.2 長時間繰返し変形試験

表4に長時間繰返し変形試験の条件を示す。基準面圧を 載荷後,規定ひずみの2倍のひずみ(200%)で,累積変 形が50m以上になるように繰返し変形を実施し,長時間 繰返し変形試験での水平剛性の低下およびゴムの温度上昇 を確認した。なお,長時間繰返し変形試験の条件は,長周 期地震動を用いた時刻歴応答解析での累積変形の最大値が 50m程度となることから設定している。

表4 長時間繰返し変形試験条件

試験体		RB1000SL	RB1500NM
鉛直方向面圧 σ	[N/mm ²]	12.5	15
せん断ひずみ γ	[%]	±200	±200
水平変位 δ	[mm]	±390.0	±587.6
三角波速度	[mm/s]	5	5
サイクル数	—	50	25
累積変形	[m]	78.0	58.8

3.3 限界変形試験

表5に限界変形試験の条件を示す。表4に示す長時間繰返し変形を実施後、基準面圧を載荷し、せん断ひずみ400%(限界ひずみ)まで変形し、座屈、破断等の異常が無いことを確認した。限界変形試験は試験機の能力の都合によりRB1000SLのみ実施した。

試験体		RB1000SL
鉛直方向面圧 σ	[N/mm²]	12.5
せん断ひずみ γ	[%]	±400
水平変位 δ	[mm]	±780.0
三角波速度	[mm/s]	3
サイクル数	_	1

表 5 限界変形試験条件

※速度は試験機能力の制約による

4. 試験結果

4.1 基本性能試験

表 6 に基本性能試験結果を示す。RB1000SL の履歴曲線 (3サイクル目)を図4, RB1500NM の履歴曲線(3サイク ル目)を図5 に示す。表 6 より鉛直剛性,水平剛性はいず れも認定の基準値を満足していることを確認した。

表 6 基本性能試験結果

試測	試験体		RB1500NM
ゴム内部法	ゴム内部温度 [℃] (*)		20.3
	設計値	3830	5850
鉛直剛性	測定値	3690	5739
[kN/mm]	温度補正後	3637	5744
	対設計値	-5.0%	-1.8%
	設計値	1.38	2.35
水平剛性 [kN/mm]	測定値	1.287	2.015
	温度補正後	1.267	2.017
	対設計値	-8.2%	-14.2%

(*):温度測定用積層ゴム φ800 の内部温度
 20℃温度補正式…温度補正後剛性=実測値- {設計値×2.85×
 10⁻³×(20℃-ゴム内部温度)}







図 5 RB1500NM 履歴曲線

4.2 長時間繰返し変形試験

表7に長時間繰返し変形試験結果を示す。図6に RB1000SLの繰返し変形試験50サイクルの全履歴曲線,図 7にRB1500NMの繰返し変形試験25サイクルの全履歴曲 線を示す。図8に繰返し変形試験時の水平剛性の変化率を 示す。

RB1000SL は累積変形 78 m (50 サイクル) での水平剛 性の変化は 3% 程度, RB1500NM は累積変形 58.8 m (25 サイクル) での水平剛性の変化は 4% 程度で小さいことが 確認できる。

図9に繰返し変形試験時のゴム内部温度,ゴム表面温度 を示す。測定間隔はRB1000SLが10サイクル毎, RB1500NMが5サイクル毎を基本として,一部のデータは 測定できなかったものの,累積変形50m以上繰返し変形 試験を実施してもゴム内部温度,ゴム表面温度の上昇は約 2℃であった。減衰の少ない天然ゴム系積層ゴムを鋼製の 試験機に取付けて静的変形したため,発熱量が少なく,放 熱もしやすかったためと推定される。

表7 長時間繰返し変形試験結果

試験体		RB1000SL	RB1500NM
	3 サイクル	1.22	2.08
水平剛性	50 サイクル *	1.18	2.00
[kN/mm]	50 サイクル ** / 3サイクル	0.97	0.96

※RB1500NM は 25 サイクルの水平剛性



図6 RB1000SL 繰返し変形試験履歴曲線



図7 RB1500NM 繰返し変形試験履歴曲線



図8 繰返し変形試験時の水平剛性の変化



図9 繰返し変形試験時の温度変化

4.3 限界変形試験

RB1000SL について, 繰返し変形後の限界変形試験で得 られたせん断ひずみ y 400%変形時の履歴曲線を図10 に 示す。せん断ひずみ y 400%変形後の外観に異常は無く破 断や座屈も起きなかったので, 累積変形78 mの繰返し変 形を受けても限界変形性能 400%は維持されていることが 確認できた。



図10 RB1000SL 限界変形試験の履歴曲線

5. まとめ

天然ゴム系積層ゴムの実大試験体 RB1000SL, RB1500NM に長時間繰返し変形試験を与えてから限界変形 試験を実施した結果を以下に示す。

1) 累積変形 50 m 以上の長時間繰返し変形試験を実施して

も水平剛性の変化は小さく,ゴム内部温度の上昇も小 さい。

繰返し変形を受けても限界変形性能400%は維持されている。

このことから,長時間繰返し変形試験が天然ゴム系積層 ゴムの性能に与える影響は小さいことが確認された。

また、せん断弾性率 (G0.34 N/mm², G0.39 N/mm²) と ゴム外径 (ϕ 1000 mm、 ϕ 1500 mm) が異なる試験体で 試験を実施しているが、試験結果に差が認められなかった ので、減衰機能が無い天然ゴム系積層ゴムの、その他のせ ん断弾性率やサイズでも同様の傾向になると考えられる。

参考文献

 国立研究開発法人建築研究所:長周期地震動対策に関わる技術資料・ データ公開特設ページ

http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/lpe/index. html, 2017.6.29

- 2)飯場正紀他:免震部材の多数回繰り返し特性と免震建築物の地震 応答性状への影響に関する研究,国立研究開発法人建築研究所資 料,2016.4
- 3)秋葉拓也,清水美雪,三須基規,高山峯夫:長周期・長時間地震動を想定した天然ゴム系積層ゴムの繰返し加振試験,日本建築学会大会学術講演梗概集,構造Ⅱ(2017)

昭和電線ケーブルシステム(株) 清水 美雪(しみず みゆき) デバイスユニット 免制震部 技術・品質保証課 主査 免震部材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) **三須 基規**(みす もとき) デバイスユニット 免制震部 技術・品質保証課 主査 免震部材の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 秋葉 拓也(あきば たくや) デバイスユニット 免制震部 技術・品質保証課 免震部材の研究・開発に従事

福岡大学 高山 峯夫(たかやま みねお) 工学博士 工学部 建築学科 教授

VHF-Low 帯域対応 漏洩同軸(LCX)ケーブルの開発

Development of leaky coaxial (LCX) cable corresponding VHF-Low band

太田勇希 成田敏浩 Yuki OTA Toshihiro NARITA

田中俊之 田邉賢吾 村瀬知丘 Toshiyuki TANAKA Kengo TANABE Tomotaka MURASE

わが国では、2011年のアナログ方式の地上テレビジョン放送終了に伴い、空き周波数をFM 補完放送や V-Low マルチメディア放送として運用することが決められた。一方、現在運用されている LCX ケーブルは一 部周波数帯域に適合していないため、放送サービスを完全に提供できない場合が生じる。今回、我々は外部導 体のスロット設計を最適化することで、十分な電気特性を持ち、従来の LCX ケーブルと同等の作業性・機械 特性・耐熱特性を実現した V-Low 帯域対応漏洩同軸ケーブルを開発したので、その内容について報告する。

In our country, the open-frequencies were decided to operate as FM complementary broadcasts and V-Low multimedia broadcasts, in accordance with the termination of analog terrestrial television broadcasting in 2011. On the other hand, since the current LCX cable doesn't conform to a part of the open-frequency band, broadcast service may not be provided completely. In this paper, we introduce the new LCX cable for V-Low band which has advanced electric characteristic, and the same workability, mechanical and heat resistant characteristics as the current LCX cable, by optimizing the slot design of the outer conductor.

1. はじめに

産業の発展にともない,わが国の鉄道交通,自動車交通 の発達は著しく,日本全国の幹線のネットワーク化が大規 模に進められている。わが国の国土の特徴として,山岳の 多い地形から幹線路にはいくつかのトンネルが含まれる状 況にある。また,大都市およびその周辺の交通路の傾向と して,地下鉄道化,地下道路化がすすめられている。

鉄道交通,自動車交通などにおける交通量の増大に対応 した諸計画において安全かつ快適な運行を確保するために は、通信施設の拡充、強化が必須条件と考えられる。これ ら交通の移動体を対象とする通信には無線による方式があ るが、電波の届かない電波不感地帯が生ずることは避けら れない。電波不感地帯では、防災情報を提供するラジオ放 送が聞こえなくなるなど安全上の問題が発生するため、不 感地帯対策として、漏洩同軸ケーブル(Leaky Coaxial cable:LCX ケーブル)を用いた方式が開発され、安定し た品質を確保できることから広く採用されている¹⁾。

一方,わが国では,2011年7月のアナログ方式の地上テレビジョン放送終了に伴い,空き周波数を活用するため,

周波数再編が行われ、アナログテレビで使用していた1~ 3チャンネルの周波数帯域:90~108 MHz(VHF-Low 帯域: V-Low 帯域)は、FM 補完放送や V-Low マルチメディア 放送として運用することが決められた(図1参照)²。 V-Low マルチメディア放送は、①「携帯性・移動性」(携 帯端末や車載型の受信機で、移動しながらも情報を入手で きる)および②「一斉同報性」(不特定多数に対して同時 に情報を提供できる)を実現する新たなメディア放送であ る。V-Low 帯域に対応したケーブルを実現するには使用周 波数帯域の広帯域化が必要となり、80 MHz 帯において、 76~90 MHz の対応から 76~108 MHz の対応まで広げる 必要がある。

LCX ケーブルの広帯域化には、外部導体に対してケーブ ルの長手方向に設けられた電波を発信する細長い孔(スロッ ト)の再設計が必要となり、今回新たなスロット構造を検 討するとともに実際にケーブル開発を行い、電気特性・信 頼性について評価を行ったので、以下に報告する。



図1 周波数再編成

2. ケーブル設計

今回の V-Low 帯域対応 LCX ケーブルの開発目標を表1 に示す。一般的に鉄道交通,自動車交通で使用される LCX ケーブルは,43D サイズ(43:絶縁体外径約43 mm,D: 特性インピーダンス約50 Ω)であり,減衰量・従来コネ クタとの整合性を考慮し,従来と同一構造で設計を行った。 また,電波不感地帯はおもにトンネルや地下街であること が多く,消防法に規定される難燃・耐熱性能を考慮した。

表1 V-Low 対応 LCX ケーブルの開発目標

項目	開発目標
周波数	76 ~ 108, 140 ~ 160, 260 ~ 275, 335 ~ 430, 450 ~ 470 MHz の周波数に対応すること
電気特性・機械特性	従来ケーブルと同等であること ¹⁾
耐熱特性	JCS 5501 に規定される耐熱試験法にて,耐電圧・ 絶縁抵抗・延焼・定在波比の各種要求に合格・認定 すること
作業性	従来ケーブルと同等であること
周辺物品との整合性	従来ケーブルと同等であること ¹⁾

2.1 LCX 構造

ー般にLCX ケーブルは、同軸ケーブルの外部導体に長 手方向にスロットなどの電波漏れ機構が設けられた構造と なる。中心導体は中空パイプで構成され、その周りを螺旋 状にポリエチレン製の紐が巻きつけられ、さらにパイプ状 にポリエチレンが被覆され、外側に外部導体が固定された 構造となる。このとき外部導体は、ケーブルの曲げによる 応力を緩和するため、細かい波形の皺がつけられている。 また、外部導体に設けられるスロットは、支持線に対し反 対側に設けるよう配置されている。

LCX の中心導体と外部導体の間に信号電圧が印加される と、それぞれの導体に電流が流れ、外部導体に設けられた スロットの影響で電流の分布状態が変化し、これに伴いス ロットから電磁界が発生する仕組みとなる³³。

2.2 スロット設計

今回、LCX ケーブルの広帯域化にあたり、外部導体のス ロット構造の見直しをおこなった。従来スロットの設計で は V-Low 帯域近傍で電圧定在波比(Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)が1.5以上と悪化したため、使用周 波数帯域とスロットの共振周波数を考慮しながら、VSWR が悪化しないようにスロットの長さ、幅、傾斜角度、周期 について最適化を行った。ここで、スロットの開口面積は 結合損失を変化させ、傾斜角度は波源強度を変化させ、周 期は VSWR の共振周波数を変化させる。最終的にケーブ ルとしての結合損失や減衰量等が最適となるようスロット 構造を決めた。

図2および表2に今回開発した V-Low 帯域対応 LCX ケーブルの構造を示す。また、図3に開発ケーブルの外観 を示す。従来ケーブルと同等の構造寸法を実現しており、 コネクタ等の周辺機器との整合性も問題ない。



図2 V-Low 対応 LCX ケーブルの断面図

表 2 V-Low 対応 LCX ケーブルの寸法(代表値)

項目	開発品	従来品
内部導体径 (mm)	17.3	17.3
絶縁体外径 (mm)	42.3	42.0
外部導体外径 (mm)	44.8	44.3
ケーブル外径 (mm)	50.0	49.5



図3 V-Low 対応 LCX ケーブル

3. ケーブルの電気特性評価

V-Low 帯域対応 LCX ケーブルの結合損失が異なる 50 dB 型と 65 dB 型の 2 種類について、それぞれのケーブルの電 気特性評価結果(VSWR,減衰量,結合損失)を次に示す。

3.1 電圧定在波比

VSWRは、LCXのスロットによって生じた反射電力と 入射電力の比率を示しており、VSWR = 1.0 は反射のない 理想的な状態を表す。実運用上はVSWR = 1.5 以下で問題 ない。表3に開発品と従来品のVSWRの測定結果を示す。 開発品は使用周波数帯域が広帯域化しているにも関わら ず、VSWRの値がすべての周波数帯域において1.3 以下で あることを確認した。

	開発品	
結合タイプ 周波数	65 dB 型	50 dB 型
76-108 MHz	≦ 1.07	≦ 1.09
140-165 MHz	≦ 1.09	≦ 1.08
260-275 MHz	≦ 1.08	≦ 1.09
335-430 MHz	≦ 1.22	≦ 1.11
450-470 MHz	≦ 1.12	≦ 1.16
	従来品	
結合タイプ 周波数	65 dB 型	50 dB 型
76-90 MHz	≦ 1.06	≦ 1.03
142-162 MHz	≦ 1.07	≦ 1.11
260-275 MHz	≦ 1.10	≦ 1.17
345-430 MHz	≦ 1.11	≦ 1.27
460-470 MHz	≦ 1.13	≦ 1.28

表3 開発品のVSWR 特性

3.2 減衰量

LCX の減衰量は,線路システム設計の関係上,各周波数 で規定の損失が定められている。開発品についても従来品 と同等の減衰量が求められる⁴⁾。図4に開発品と従来品の 減衰量の測定結果を示す。開発品の減衰量特性は,従来品 と同程度の水準を示し,50 dB型の高周波数域(400-460 MHz)においては,改善が見られた。



3.3 結合損失

LCX の結合損失は,ケーブルより 1.5 m 離れて設置され たダイポールアンテナの受信電力とケーブルの伝送電力の 比によって求められる⁴⁾。図5 に開発品と従来品の結合損 失の測定結果を示す。開発品の結合損失は,従来品と同程 度の水準を示し,使用周波数帯域全域における均一性につ いても良好な結果が得られた。



4. ケーブルの信頼性等の評価

開発品の信頼性試験結果を表4に示す。すべての試験に おいて良好な結果が得られた。また、機械特性も問題なく、 作業性においても既存コネクタ・工具にて取り付けが可能 であることを確認した。

表4 V-Low対応LCXケーブルの信頼・作業性および機械特性について

項目		単位	開発	開発品		従来品	
紀	告タイプ	_	65 dB 型	50 dB 型	65 dB 型	50 dB 型	
古法托结	内部導体	0 / km	0.38	0.38	0.38	0.38	
但加抵抗	外部導体	52 / KIII	1.18	1.26	1.17	1.25	
j	絶縁抵抗	MΩkm	186000	116000	232000	186000	
	耐電圧	—	良	良	良	良	
	耐電圧	—	加熱中,A	C 600 V をF	印加したとき	に短絡なし	
耐熱性能·	絶縁抵抗	_	加熱終了直後, DC 500 V の絶縁抵抗計で				
	供試ケーブルの 燃焼長		加熱により、炉の内壁より突き出たケーブル のシース部が 150 mm 以上燃焼なし				
電圧定在波比 – 加熱終了後, 5.0		後,5.0 以下					
機械特性		_	ケーブル本体外径の 30 倍の直径(1400 mmφ)で180°2 往復屈曲に対し、外部導 体および内部導体に亀裂等の異常なし				
作業性		-	既存コネクタとの整合性問題なし,特殊工具 の追加不要				

5. まとめ

外部導体のスロット構造を再設計することにより、 V-Low 帯域に対応した LCX ケーブルを開発した。本ケー ブルは良好な電気特性を持つとともに従来品と同等の作業 性・機械特性・耐熱特性⁵⁾を持つことを確認した。

今後,本 V-Low 帯域対応 LCX ケーブルが電波不感地帯 におけるマルチメディア放送等に使用されることが期待さ れる。

参考文献

- 池辺輝一他:低損失漏洩同軸ケーブルの開発,昭和電線電纜レビュー Vol.26, No.1, p.21 (1976)
- 1)情報通信審議会:「携帯端末向けマルチメディア放送の技術的条件」
 に関する一部答申,(2009)
- 3) 岸本利彦他:LCX通信システム2版,社団法人電子通信学会, p.14,22 (1985)
- 4)林田睦生他:最近の漏洩同軸ケーブルの通信システムについて、 昭和電線電纜レビュー Vol.28, No.2, p.147 (1978)
- 池辺輝一他:難燃,耐熱型漏洩同軸ケーブル,昭和電線電纜レビュー Vol.26, No.1, p.28 (1976)

昭和電線ケーブルシステム(株) 太田 勇希(おおた ゆうき) 通信システムユニット 技術部 技術課 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) 成田 敏浩(なりた としひろ) 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) 田中 俊之(たなか としゆき) 営業本部 営業技術部 主幹 通信ケーブルの設計・拡販に従事

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 課長 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) 村瀬 知丘(むらせ ともたか) 通信システムユニット 技術部 部長 通信ケーブルの研究・開発に従事

275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の開発

Development of Smart Type Sealing End for 275 kV XLPE cable

伊藤康介 今西 晋 稲庭康之 Kousuke ITO Shin IMANISHI Yasuyuki INANIWA

変圧器およびガス絶縁開閉装置とCVケーブルを接続する油中/ガス中終端接続部は接続工事の工期短縮・ 現地での絶縁媒体処理作業削減が望まれている。そのためプラグイン構造で、かつ大幅な縮小化を図った 275 kV CVケーブル用スマート終端接続部を開発・製品化した。

According to the expectation of short working term, no insulator processing which connect a XLPE cable to the Transformer and Gas Insulation Switchgear, we developed a smart type of the seling end for 275 kV XLPE cable. The new product has the features of plug-in structure, compact size.

1. はじめに

変圧器およびガス絶縁開閉装置とCVケーブルを接続す る油中/ガス中終端接続部は接続工事の工期短縮・現地で の機器ケース内に封入する絶縁媒体の処理作業削減が望ま れている。この背景には、機器メーカーとケーブルメーカ ーの施工区分の煩雑さ、機器への異物混入のリスク、現地 作業の負荷の大きさ等の工期を長期化させる要因がある。



) 油中用ノールドリンク取り拡大区

図1 本開発品接続部概要

そのためプラグイン構造で,かつ大幅な縮小化を図った 275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部を開発・製品化 した。

2.構造

本開発品の構造を図1(a)および(b)に示す。

構成部品は本体部品と接続部品に大別され、本体部品は 油中とガス中で共通の構造を有している。本体部品は機器 ケースの外側から取り付けることが可能であり、機器との 取り合い寸法は IEC-62271-209 に準拠している。接続部品 は工場内でユニット化され、現地にて組み立てる。

3. 特 長

本開発品は従来型終端接続部と比較して以下の特長を有している。

- ①本体との接続部分は、引き抜け防止構造を有したボールロック機能とマルチコンタクトを採用したプラグイン構造【図2】であることから、現地での機器ケース取外し作業を行うことなく接続が可能である【図3(a)】。
- ②従来型終端接続部と比較し,軽量,コンパクトである【図 4】。
- ③ブッシングと絶縁筒を一体化することにより部品数の 低減を図っている。
- ④機器との取り合い寸法は IEC62271-209 Dry Type に準拠しているため、当該規格対応品との互換性を有している。

⑤油中仕様とガス中仕様で共通の本体部品を使用している。



図2 プラグイン構造



(a)開発品(b)従来品図3 従来品との組立比較概略図



4. 電 界 設 計

本開発品の電界設計は解析により各部の最適形状を決定 している。本開発品の等電位線図を図5に示す。



5. 施 工 区 分

従来品の構造は現地組立方式のみであり,接続工事のた めに機器ケースを一度現地で取外して終端を組み立てる必 要がある(図3(b))。本開発品はプラグイン構造であるこ とから,施工レイアウトによっては機器ケースを現地で取 り外す必要がなくなり(図3(a)),そのため機器への異物 混入のリスクの低減,施工区分の簡略化により,機器メー カーとケーブルメーカーの工期調整が簡素になる。表1に 従来品と開発品の施工区分の比較を示す。表1より短縮化, 省力化がなされていることがわかる。

表1 機器およびケーブル施工区分

開発品(例)	施工区分	従来品	施工区分
仮設,足場組立	両社	仮設,足場組立	両社
防油堤設置	機器	防油堤設置	
エレファントケース据付	メーカー	エレファントケース据付	機器
ケーブル延線		エレファントケース内油抜き	メーカー
クリーンルーム設置	ケーブル	エレファントケース取り外し	
EB-O(ケーブル処理)	メーカー	ケーブル延線	
EB-O 組立		クリーンルーム設置	
試充電 両社		ケーブル延線 クリーンルーム設置 EB-0 (ケーブル処理) 底板, 0 リング取り合い EB-0 組立	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		<u>EB-0() ー) ル処理)</u> <u> 底板, 0 リング取り合い</u> <u> 50 0 切 ナ</u>	
		EB-O (ケーブル処理) ケーブル 底板, Oリング取り合い メーカー EB-O 組立 機器 エレファントケース取付 メーカー	
		エレファントケース取付	機器 メーカー
\bigtriangleup		シールドリング取付(EB-O 側)	ケーブル
短期化,省力化	;	リード線圧縮(EB-O 側)取付	メーカー
		シールドリング(機器側)取付	
		リード線圧縮(機器側)取付	
		ハンドホール閉	メーカー
		真空, 油填	
		試充電	両社

6. 開発試験結果

本開発品は JEC-3408:2015「特別高圧(11 kV ~ 500 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-0102:2010「試験電圧標準」に準じて試験を行い、十分な性能を有することを確認した。試験結果を**表2** に示す。また、試験状況を図6~図8に示す。

表 2 試験結果

試験項目 試験条件		試験結果
商用周波耐電圧試験	商用周波耐電圧試験 AC525 kV / 1 時間(常温)	
雷インパルス耐電圧試験	±1445 kV / 各3回(常温)	良
気密性試験	588 kPa / 30 分	良
ヒートショック試験	10℃・60 分←→ 100℃・60 分 (10 回)	良
商用周波部分放電試験	AC300 kV / 10 分 5 pC 以下	良
曲げ耐荷重試験	6 kN / 10 分	良
引張耐荷重試験	35 kN / 10 分	良
6ヶ月長期課通電試験	AC230 kV×180 日間 90℃ ×150 日, 105℃ ×30 日 (8 時間 ON, 16 時間 OFF)	良
6ヶ月長期課通電 試験後 商用周波耐電圧試験	AC275 kV / 10 分(常温)	良
6ヶ月長期課通電 試験後 雷インパルス耐電圧試験	土1445 kV / 各3回(常温)	良
6 ヶ月長期課通電 試験後 解体調査	電気トリーや部分放電痕跡などの 劣化兆候のなきこと	良

7. まとめ

今回 275 kV クラスで国内初のプラグイン構造を採用した CV ケーブル用終端接続部を開発した。これにより接続工事 の工期短縮,絶縁媒体処理の作業削減,機器の縮小化に寄 与できることを期待する。



図 6 開発試験状況 (垂直布設)



図7 長期試験組立状況



図8 長期試験状況(水平布設)

昭和電線ケーブルシステム(株) 伊藤 康介(いとう こうすけ) 電力機器技術部 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) 電力機器技術部 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) **稲庭 康之**(いなにわ やすゆき) 電力機器技術部 電力用機器の設計・開発に従事

三相同軸超電導ケーブルの開発

Development of tri-axial superconducting cable

北村 祐	足立和久	菅 根 秀 夫	中 西 達 尚
Tasuku KITAMURA	Kazuhisa ADACHI	Hideo SUGANE	Tatsuhisa NAKANISHI
青 木 裕 治	三堂信博	長 谷 川 隆 代	岩 熊 成 卓*
Yuji AOKI	Nobuhiro MIDOU	Takayo HASEGAWA	Masataka IWAKUMA

定格電圧 22 kV,定格電流 3 kA の三相同軸超電導ケーブルを開発した。過冷却液体窒素で超電導ケーブルと 終端を冷却するシステムを設計した。導体は専用の生産設備を使用して自社製 Y 系酸化物超電導(YBCO)線材 を撚り線加工し各相 3800 A 以上の臨界電流を有する超電導ケーブルを設計した。導体コアの外径は約 50 mm, ケーブルの外径は約 130 mm とした。終端の長さは約 4000 mm,外径は 450 mm,質量は 600 kg とした。絶 縁材料は(Polypropylene Laminated Paper (PPL paper))を採用した。絶縁厚はモデルケーブルの破壊試験 結果のワイブル解析結果から求めた最小破壊電圧から決定した。ケーブルシステムの冷却については過冷却液 体窒素を用いて行い,終端の入り口での液体窒素の温度は 70 K,出口での温度は 73 K とした。長さ 20 mの 三相同軸ケーブルを製造し,抜き取り検査として液体窒素温度で臨界電流測定試験と耐電圧試験を実施した。 要素試験の結果に基づきケーブルと終端で構成される超電導ケーブルシステムの型式試験を,「超電導ケーブ ル試験推奨案(CIGRE Technical Brochures 538)」¹¹に基づき実施した。

We developed a tri-axial superconducting cable system with the rated voltage of 22 kV and operating current of 3 kA at liquid nitrogen temperature. We designed the superconducting cable and the termination that was cooled subcooled liquid nitrogen. We used in-house YBCO tapes and a winding machine to prepare the conductor that the I c -value of 3800 A or more per phase at liquid nitrogen temperature. The outer diameters of the conductor and the cryostat were approximately 50 mm and 130 mm, respectively. The length, the diameter and weight of each termination were approximately 4000 mm, 450 mm and 600 kg. The thickness of the insulation layer, which was made from made from PPL paper, was determined by estimation of minimum break down electrical field from Weibull distribution analysis of results, which were obtained by break down tests of the model cables. Regarding the cooling condition of the cooling system, the liquid nitrogen temperatures of the inlet and the outlet of cable system were designed to be 70 K and 73 K, respectively. We manufactured a 20 m tri-axial superconducting cable, and cut out it to get 2 m samples for the I c test and voltage test at liquid nitrogen temperature. We performed type test of cable system including the superconducting cable and the termination, based on "Recommendations for Testing of Superconducting cables (CIGRE Technical Brochures 538)"

1. はじめに

超電導ケーブルはアジア,ヨーロッパ,アメリカを中心 に世界各国で開発が進められている。超電導ケーブルの開 発の技術課題として,低交流損失化,低熱侵入量化が挙げ られる。これに対して三相同軸超電導ケーブルは交流損失, 熱侵入量は同スペックの三心超電導ケーブルや単心超電導 ケーブルと比較して優れた性能を有していることを前報で 報告した²⁰。公称電圧 22 kV× 定格電流3 kA の三相同軸 ケーブル試験がアメリカのオハイオで実施された³⁰。公称 電圧 13.2 kV× 定格電流3 kA の三相同軸ケーブル試験が ドイツのエッセンで実施された⁴⁰。本論文では発電機と昇 圧変圧器をつなぐ公称電圧 22 kV× 定格電流3 kA 相分離 母線を開発ターゲットとして本システムを開発した。開発 にあたり絶縁材料の選定,生産設備でのケーブル製造,終 端の設計と製造,製品の性能検証を行った。

2. コンポーネントの設計, 試作と検証

2.1 三相同軸超電導ケーブルの構造

YBCO 線材はトリフルオロ酸塩塗布熱分解(TFA-MOD) 法により製作した。線材の仕上がり外形は幅が4 mm,厚 さは0.2 mmとした。三相同軸超電導ケーブルの構造を図1, 寸法を表1に示す。



図1 三相同軸超電導ケーブルの構造

表1 三相同軸超電導ケーブルの構造寸法

項目	外径 (mm)
SUS コルゲート内部冷却管	24
U相 YBCO 導体	25
U 相 PPLP 絶縁	32
V相 YBCO 導体	34
V 相 PPLP 絶縁	41
W 相 YBCO 導体	42
W 相 PPLP 絶縁	49
接地相 銅テープ	52
内部アルミコルゲート	83
スーパーインシュレーション	85
外部アルミコルゲート	121
シース	131

ケーブルの中心に内部冷却管としてステンレス製のコル ゲート管を配置した。コルゲート管の上に三相(UV,W相) の超電導線材及び絶縁層を形成した。この構造の超電導ケー ブルが低交流損失であるのは、ケーブルの構造が同軸構造 であるために通電時に導体に生じる漏洩磁界が小さいこと によるものである。また、ケーブル線路に液体窒素を流すこ とについても、中心部分のフォーマに銅導体が使われている と、復路の冷却管が必要になるが、中心部分のSUSコルゲー ト管が往路の冷却管、外部冷却管と導体コアの間の空間部 分を復路の冷却管として使用できるので、ケーブルのみで 液体窒素の往復冷却が可能になるというメリットを有する²。

2.2 絶縁材料の基礎試験

ケーブルの絶縁材料にはPPLP (Polypropylene Laminated Paper)紙を採用した。PPLP紙はOFケーブ ルの絶縁材料としての実績,類似構造の超電導ケーブルで の採用実績がある²⁰。まず,絶縁厚1.2 mmのモデルケー ブルを製作し,AC交流破壊試験と雷インパルス破壊試験 を実施した。測定結果をワイブルプロットして最小破壊電 圧を求めた。ワイブルプロットデータを図2に示す。



図2 モデルケーブル破壊試験ワイブルプロット

これらの結果から,AC 破壊試験の最小破壊電圧 *EL* は 36.9 kV/mm, 雷インパルス破壊試験の最小破壊電圧 *EL* は 87.4 kV/mm であることがわかった。これらの結果から, 公称電圧 22 kV の三相同軸ケーブルに必要な絶縁厚さは約 2.0 mm とした。

2.3 短絡電流試験

三相同軸超電導ケーブル単体には外部からの事故などに より発生する短絡電流に対する保護機能は有していないた め、三相同軸ケーブルに保護機能を付与する必要がある。 我々は超電導ケーブルと電気的に並列な常電導CVケーブ ルを配置して各相超電導導体に接続した。各相のCVケー ブルの銅導体の断面積は250 mm²とした。三相のCVケー ブルは常温の空間に配置する。超電導ケーブルに導体の臨 界電流値を超える数10 kAの大電流が流れ込んでも、大電 流はCVケーブルに分流し、超電導ケーブルに大電流が流 れることを抑制しケーブルが保護されることを事前のシミュ レーションで確認した。三相同軸超電導ケーブル短絡試験 の回路図を図3に示す。



図3 短絡試験回路図

各相に流れた電流を計測するために,超電導ケーブルと CVケーブルに電流計測用のCTを取り付けた。200 MVA の短絡電流発電機を超電導ケーブルの片側三相に接続し, もう片側は三相短絡した上でケーブルに交流26 kA×1.5 秒 の短絡電流を印加した。図4に短絡電流印加後のW相の 超電導ケーブル,CVケーブル,分岐前の導体に流れた電 流の測定結果を示す。



図中,赤色の波形が回路全体の電流,青色が超電導ケー ブルの電流,緑色が常電導ケーブルに分流した電流を示す。 超電導ケーブルに流れる電流は時間に対して非線形の挙動 を示しながら減衰していることがわかる。このことから超 電導ケーブルの臨界電流値を大きく上回る短絡電流が流れ たとしても,超電導ケーブルは超電導状態を維持しながら 通電電流を減衰し,常電導ケーブル側に電流が転流してい ると考えられる。しかし臨界電流 *I*_c (*B*, *T*)を超過する電 流が流れている。この時超電導ケーブルの YBCO 線材では, 電流によって生じた磁束線がピンニングセンターから一定 の確率で外れてしまう磁束クリープ状態から更に大きな電 流を流すことで生じるローレーンツ力が生じ,すべての磁 束線が連続的に運動しているフラックスフロー状態と呼ば れる状態で電流が流れている。我々は同様の結果を U, V 相超電導導体の通電試験結果でも確認した。

2.4 熱侵入量の計測

超電導ケーブルの外部冷却管の熱侵入量を計測した。超 電導ケーブルを実フィールドで運用するためには,超電導 導体を冷却する液体窒素の消費量を低減する必要がある。 外部冷却管は二重のアルミコルゲート管で構成される。コ ルゲート管同士の空間を10³~10⁴ Pa オーダーの真空状態 として断熱層とする。また,内側のコルゲート管の周囲に スーパーインシュレーション層を形成することで輻射によ る熱侵入を抑制し,超低熱侵入を実現している。外側のコ ルゲート上にシース層を形成しカバーとする。我々は外部 冷却管を表1に示す構造寸法のとおりに設計し,長さ5 m の試作品を作製して熱侵入量を評価した。図5 に熱侵入計 測装置の概略図を示す。



まず片側の端末から液体窒素を注入する。冷却管の内部 コルゲートと端末の内部クライオスタットが冷却され,液体 窒素温度まで冷却されると内部に液体窒素が溜まる。液体 窒素の液面が内部コルゲート管の上部まで達した時点が超 電導ケーブルの運転時の状況と等価になるので,この段階 で熱侵入量を計測する。気化窒素ガスの放出側で MFM (Mass Flow Meter)により気化窒素の流量を計測し,蒸 発した液体窒素に与えられた熱侵入量を計算により求め た。計測した熱侵入量に対し,予め両端末のみの熱侵入量 を測定し,その値を計測結果から引くと,長さ5mの外部 冷却管の部分の熱侵入量は8.5Wであった。故に単位長さ 当りのその熱侵入量は1.7W/mであることがわかった。

2.5 終端の設計と開発

超電導ケーブルに接続する終端部品の設計を行った。超 電導ケーブルの各相の導体を終端内において電流リードに 接続して外部に取り出す。各相の絶縁層は絶縁紙によって 形成したストレスコーンによって電界を制御する。クライ オスタットは二重構造を取り,内部は極低温での絶縁性能 に優れた FRP パイプを使用した。内部と外部のクライオ スタットの熱絶縁は固体断熱材を使用した。図6に示すよ うに終端のモデルサンプルを製作し絶縁性能を検証した。

終端テストサンプルの内管と外管の間の空間には固体断 熱材を充填し,内管内部に液体窒素を充填した。所定の交 流電圧を印加して合格することを確認した。



図6 端末テストサンプルの絶縁性能検証

3. 型式試験

超電導ケーブル及び終端を製造し,これらを接続して超 電導ケーブルシステムを構築した後,型式試験を実施した。 型式試験は「超電導ケーブル試験推奨案 (CIGRE Technical Brochures 538)¹¹に基づいて実施した。

3.1 超電導ケーブルの曲げ試験及び電気性能評価試験 製作した長さ20mの超電導ケーブルは推奨案の「3.0ケー ブルシステムの型式試験」にもとづき曲げ試験を実施した。 所定の直径の巻枠に超電導ケーブルを巻きつけた。巻枠の 規格値は4675 mmであるが、今回はこれより曲げ歪みの 大きい3200 mmの巻枠を用いた。曲げ試験は図7に示す ように製造工場の設備を用いて行った。



図7 曲げ試験実施状況

ケーブル 20 m 全長を巻枠に巻き付ける。これを一度引 出した後,ケーブルを 180 度反転させてケーブルを巻き枠 に巻き付ける。これを 3 回繰り返した。曲げ試験後ケーブ ルを 2 m 切り出し,推奨案の「3.4 ケーブルの型式試験」 に基づき電気試験を実施した。図8に示すように超電導ケ ーブルのU相,V相,W相にそれぞれ通電用電極を接続し, 電極間に電圧端子を取り付けた。導体部分を液体窒素に浸 漬し直流四端子法でI-E測定を実施した。臨界電流値のし きい値は1 µV/cmとした。



図9 超電導導体の I-E 曲線

U相の直流臨界電流値は 3800 A であった。V相,W相 の臨界電流値は>4300 A であった。規格値は超電導ケー ブルの臨界電流 3000 A の 95%,すなわち 2850 A である ので,計測値は要求規格を満たすことがわかった(**図 9**)。

3.2 超電導ケーブル試験線路構築

超電導ケーブルが規格の要求値を満たすことが確認できたので、長さ18mのケーブルと終端を接続して型式試験線路を構築した。図10に試験線路の概要を示す。



超電導ケーブルをUベンドに半径3mに曲げ,端末に 終端を2つ取り付けた。終端のU,W相に課電トランスを 接続し,V相と遮蔽層に通電トランスを設置した。ケーブ ル及び端末の圧力試験を行い,気密性の確認後に過冷却液 体窒素を注入し循環させた。その後,課電と通電を同時に 行い,ヒートサイクル試験を行う。図11に試験状況を示す。



図 11 型式試験線路状況

72 時間をかけて超電導ケーブル及び端末の内部を室温から液体窒素温度まで冷却した。その後、過冷却液体窒素を 循環させ、端末の液体窒素導入部分の温度を70 K、排出部 分の温度を73 K に維持した後、耐圧試験を行った。

4. まとめ

我々は AC22 kV×3 kA 三相同軸超電導ケーブルシステ ムを開発した。過冷却液体窒素で超電導ケーブルと端末を 冷却するシステムを構築した。ケーブル及び端末の要素試 験を実施した。

本研究は新エネルギー産業技術開発機構(NEDO)の支援のもと実施した。

参考文献

- Recommendations for Testing of Superconducting cables", CIGRE Technical Brochures 538, 2013
- 2) Kazuhisa Adachi, Hideo Sugane, Tianlong Wang, Hiroki Ohnishi, Shigeki Sano, Kei Shiohara, Tasuku Kitamura, Nobuhiro Mido, Tsutomu Koizumi, Takayo Hasegawa, Masayuki Konno, and Masataka Iwakuma, "Development of 22 kV HTS Triaxial Superconducting Bus" 2017
- Mark Stemmle, Frank Merschel, Mathias Noe, Achim Hobl, "AmpaCity— Advanced superconducting medium voltage

system for urban areapower supply" 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition 10.1109/TDC.2014.6863566

4) J. A. Demko, I. Sauers, D. R. James, M. J. Gouge, D. Lindsay, M.Roden, J. Tolbert, D. Willen, C. Traeholt, C. T. Nielsen, "Triaxial HTS Cable for the AEP Bixby Project" IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2007, Volume: 17, Issue: 2,10.1109/TASC.2007.897842 IEEE 昭和電線ケーブルシステム(株) **北村 祐**(きたむら たすく) 技術開発センター 超電導応用製品開発グループ 主幹 工学博士 超電導ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 足立 和久(あだち かずひさ) 技術開発センター 超電導応用製品開発グループ 主査 工学博士 超電導ケーブル端末部品の開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 菅根 秀夫(すがね ひでお) 技術開発センター 超電導応用製品開発グループ 超電導ケーブル端末部品の開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) **中西 達尚**(なかにし たつひさ) 技術開発センター 超電導応用製品開発グループ 主査 超電導ケーブル端末部品の開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 青木 裕治(あおき ゆうじ) 技術開発センター 超電導応用製品開発グループ長 超電導線材及び超電導ケーブルの開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 三堂 信博(みどう のぶひろ) 電力システムユニット 主幹 電力ケーブルシステムの開発に従事

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) 取締役 工学博士 超電導線材及び超電導ケーブルの開発に従事

九州大学 岩熊 成卓(いわくま まさたか) 大学院システム情報化学研究員 教授 工学博士 超電導電力機器の開発に従事

シリサイド系材料を使用した熱電変換モジュールの最適化

Power Generation Performance of Silicide based Thermoelectric Device

西岡淳一 中村倫之 小林公樹 Jun-ichi NISHIOKA Tomoyuki NAKAMURA Hiroki KOBAYASHI

新井龍一吉岡健太郎 箕輪昌啓 Ryuichi ARAI Kentaro YOSHIOKA Masahiro MINOWA

熱電発電は排熱を有効に利用した発電方法である。中温域(300℃~600℃)での適用を目指したシリサイド 系熱電発電モジュールを開発した。様々な用途での適用を想定し,30 mm 角の平板型のモジュールとして構 造を最適化した。また、本作製プロセスで再現性良く出力の高いモジュールが作製できることを確認した。こ のモジュールは6 W 程度の発電出力を発揮することを確認した。

Thermoelectoric power generation can generate electrical power directly from waste heat. We have developed thermoelectoric modules using Silicide-based material for middle temperature (600-800 $^{\circ}$ C) application. We optimized module design and manufacturing process for plate type module size of \Box 30mm. The maximum output of the module is about 6 W at 600 $^{\circ}$ C.

1. はじめに

近年,エネルギー資源の枯渇や地球温暖化などの環境問 題が深刻化している。このような問題を軽減する方法の 一つとして,廃熱を直接電気エネルギーに変換することが できる熱電発電が注目されている。熱電発電は,産業廃熱 等の熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する技術で ある。また,発電時にはCO2ガスを排出しないクリーンな 発電方法となる。多種の熱電変換材料がある中でシリサイ ド系熱電変換材料は,環境親和性・安定供給性・コスト・ 発電性能など多くの観点から優れており実用が期待されて いる。シリサイド系熱電材料の中で n 形材料であるマグネ シウムシリサイド(Mg2Si)は発電性能が高く有望視され ている。

現在,中温度領域での主力熱電変換材料である,鉛-テ ルル系材料を使用した熱発電デバイスがあるが,鉛(Pb) が有害物質であり,その代替として一部実用化されたコバ ルト-アンチモン系材料もアンチモン(Sb)の毒性に懸念 があり,対策を余儀なくされている。低温度域用にビスマ ス-テルル系材料による熱発電デバイスがあり,実用化さ れてはいるものの,テルル(Te)は既に熱電デバイス向け 原料供給がひっ迫し始めており,また,資源供給の観点か ら,ビスマス(Bi),コバルト(Co),アンチモン(Sb)は 稀少金属に指定されており,資源豊富かつ環境低負荷な材 料系による、熱発電デバイスが望まれる環境がある。

本研究では、シリサイド系熱電変換材料 として、マグネ シウムシリサイド: Mg₂Si, マンガンシリサイド: Mn₄Si₇ を選定した。主原料である、シリコン (Si),マグネシウム (Mg) は、既存の熱発電デバイスに使用されているビスマ ス (Bi),テルル (Te),コバルト (Co) などと比較して、 資源埋蔵量が豊富であり、算出コストも低いことが特徴で ある。

これまで,弊社では300~600℃の中温度域で利用可能 な発電モジュールとしてシリサイド系熱発電モジュールを 開発してきた¹⁾。本報では,モジュールの設計検討と試作 による検証を行い,出力の最適化および耐久性の確認を実 施した。なお,本研究は「クリーンデバイス社会実装推進 事業/熱発電デバイスによる中温度域独立給電型センシン グモジュールの用途開拓」の一環として新エネルギー・産 業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けて実施し たものである。

2. 発電モジュール

熱電発電の原理はゼーベック効果を利用したものであ り、半導体素子の両端に温度差を付けた時に発生する起電 力を用いた発電方式である。熱電発電モジュールは式(1) で示すパワーファクター(PF)が大きいほど発電性能が高 いとされており、ゼーベック係数が高いことすなわち、素 子の両端に掛かる温度差が大きいほど、素子および素子を 集積したモジュール内部の回路抵抗(内部抵抗)が低いほ ど、出力が大きくなる。温度差及び内部抵抗が予測できれ ば出力予測も可能となることから、有限要素法を用いたシ ミュレーションによる出力予測をおこない、発電モジュー ルの設計の最適化を検討した。発電性能の目標としては、 既報¹¹と同じ3Wとしたが、高温側の温度は600℃から 500℃へ下げた設定としたため、より高い発電性能を目指 した。

$$PF = \frac{S^2}{\rho}$$
 (1)
S:ゼーベック係数
 ρ :抵抗率

3. モジュール設計の最適化

3.1 試作モジュールの設計検討(素子サイズの検討)

熱電発電モジュールは使用する素子の対数が多いほど, また素子の占有面積(率)が大きいほど発電出力が高くな るが,その場合,基板サイズも大きくなり取り付け場所が 制限される。本検討では,モジュールの設計仕様として出 力3Wを確保しつつ,基板サイズを30mm×30mm程度 とすることを目標とした。素子のサイズを3mm角,4mm 角,5mm角,素子間隔を1mmとした時の基板サイズは **表1**のように見積もられる。

素子サイズ	対数	基板サイズ	素子の占有面積率
3 mm 角	8 対	17×17 mm	50%
3 mm 角	18 対	25×25 mm	52%
4 mm 角	8 対	21×21 mm	58%
4 mm 角	18 対	31×31 mm	60%
5 mm 角	8 対	25×25 mm	64%

表1 素子サイズと基板サイズ



図1 試作した8対モジュールの外観 (左から素子サイズ5mm,4mm,3mm)

熱電発電モジュールでは高温側と低温側の間の温度差が 大きいほど高い出力が得られる。これらの中で,素子のサ イズを3 mm角,4 mm角,5 mm角としたとき,素子の 高さ5 mmにおける高温側と低温側の温度差をシミュレー ションによる熱解析で求め,素子の熱電性能から出力を予 測した。また,シミュレーションの妥当性確認のために, 8対のモジュールを作製し実測値との比較を行った。作製 した8対モジュールの外観を図1に,シミュレーションに よる温度解析の例を図2に,出力予測と実測値の比較を 表2に示す。



図 2 シミュレーションによる温度解析の例 (4 mm 角 8 対モジュール, 高温側 500℃, 低温側 27℃)

表 2 素子サイズを変えたモジュールの出力比較 (高温側 500℃,低温側 27℃)

		予測値		実測値	
素子構成	基板サイズ	開放電圧	最大出力	開放電圧	最大出力
3 mm 角 8 対	17×17 mm	0.80 V	0.87 W	0.82 V	0.74 W
4 mm 角 8 対	21×21 mm	0.78 V	1.59 W	0.83 V	1.63 W
5 mm 角 8 対	25×25 mm	0.77 V	2.54 W	0.84 V	1.75 W

シミュレーションによる予測値,8対モジュールによる 実測値いずれも,開放電圧は素子サイズに依らずほぼ同じ であるが,最大出力は3mm,4mm,5mmと素子サイズ が大きくなるにしたがって高くなっている。これは,内部 抵抗が素子断面積が大きくなることにより低下することに よる。

3 mm 角及び4 mm 角の8対モジュールで予測出力と実 測出力が近く、シミュレーションによる予測と実測値はよ く一致している。5 mm 角の8対モジュールでは実測値の 開放電圧は予測値とよく一致しているものの最大出力が小 さい。これは作製時の接合不足による内部抵抗の増加が原 因と考えられる。

素子サイズ3 mm の場合,内部抵抗が高いため対数を 18対に増やしても目標とする3 W には到達しないと考えら れる。素子サイズ5 mm 角の場合は,出力3 W 以上とする ために対数を18対にすると基板サイズが37 mm×37 mm と見積もられ目標の基板サイズ30 mm×30 mmを大きく 上回ってしまう。 素子サイズ4mm角の場合は、18対の構造で目標とした 500℃で3Wを達成できると想定され、出力予測は後述する 表3の通り、目標の3Wを超える出力が得られることが 期待できるので、試作モジュールとしては4mm角18対 の構造とすることとした。

素子高さに関しても同様に、シミュレーションを用いた 出力予測を行いその結果を表3に示す。素子の高さが大き いほど、高温側と低温側の温度差が付きやすくなり、開放 電圧が高くなるが、素子が長いことで内部抵抗が大きくな りその結果、発電出力が低下することがわかる。そのため、 素子高さは5 mmを選定した。

表 3 素子高さを変えたモジュールの出力比較 (高温側 500℃,低温側 27℃)

			予測値	
モジュール構造	素子高さ	開放電圧	内部抵抗	最大出力
4 mm 角 18 対 基板サイズ 31 mm×31 mm	5 mm	1.88 V	0.27 Ω	3.28 W
	7 mm	2.01 V	0.38 Ω	2.67 W

3.2 素子の熱膨張差を考慮した低温側基板の設計

8対モジュール試作では、低温側基板(アルミナ)でp型 n型2つの素子をつなぐ形としていたが、基板と素子・電 極の膨張率差を考慮して、低温側基板は各素子に個別に配 置することを検討した。低温側基板の構造を変更した場合 の素子に掛かる応力分布をシミュレーションで調べた結果 を図3に示す。



図3 低温側基板連結と分割での素子に掛かる z 軸方向の応力の分布 (高温側 500℃,低温側 27℃ 図の下側が高温側)

p型(Mn₄Si₇)とn型(Mg₂Si)の素子ではn型(Mg₂Si) の方が熱膨張係数が大きく,高温側の基板を基準とすると 低温側接合面ではn型素子の方が高くなると考えられる。 そのため、アルミナ基板が連結している場合(図3右), 素子間の段差のために隣接する素子の辺に圧縮/引張応力 が掛かる。上図では、p型素子とn型素子が近接している 辺同士において, p型との接合部では22.7 MPaの引張応力, n型との接合部では41.6 MPaの圧縮応力が生じている。 そのため、図3下段の模式図のように、基板が素子から剥 がれやすくなり、接続不良を起こす可能性が高い。このこ とから、低温側基板は各素子個別に配置することとした。

4. モジュールの試作

試作モジュールの仕様を表4に,外観写真を図4に示す。 試作モジュールは,出力測定の結果500℃で3W以上の出 力が得られることを確認した。この試作では3個の18対 モジュールの作製を行った。各測定結果は表4に示すよう に,いずれも目標とした出力3Wを達成した。しかし,評 価中に素子端子部において破損が生じ,接合部の強化及び モジュール端子部分の構造に課題が残り,これを改善する こととした。



図4 試作モジュールの外観

表4 試作モジュールの仕様

分類	項目	備考	
	素子材料	p∶Mn₄Si7 n∶Mg₂Si	
1#1/4	素子サイズ,対数	4 mm×4 mm×5 mmt, 18 対	
構造	高温側基板サイズ	31 mm×31 mm	
	低温側基板サイズ	4.5 mm×4.5 mm	
	モジュール高さ	7.5 mm	
	使用可能温度	550℃まで	
特性	最大出力	3W以上(@ 500℃)	
	開放電圧	1.9 V (@ 500°C)	
	短絡電流	6.8 A (@ 500°C)	
	内部抵抗	140 mΩ (@ RT)	

表 5 試作モジュールの測定結果(高温側 500℃,低温側 27℃)

	開放電圧(V)	短絡電流(A)	最大出力(W)
No.1	1.84	6.59	3.01
No.2	1.84	6.61	3.03
No.3	1.86	6.69	3.10
平均	1.85	6.63	3.05

5. 改善モジュールの試作

試作モジュールの出力目標はクリアされているものの, 接合部強化とリード線取り出し部の変更を行った。接合部 強化においては接合条件を変更した。また,モジュールか らリード線取り回し時に素子に掛かる負担を軽減するため に,リード線取り出し部分のアルミナ基板の支持を無くし, フレキシブルになる Ag テープ電極により取り出しを行った。 それ以外の構造は試作モジュールと同じとした。作製した 改善モジュールの仕様を**表6**に外観写真を図5に示す。

 分類	項目	備考
	素子材料	p∶Mn₄Si ₇ n∶Mg₂Si
	素子サイズ,対数	4 mm×4 mm×5 mmt, 18 対
構造	高温側基板サイズ	31 mm×31 mm
	低温側基板サイズ	4.5 mm×4.5 mm
	モジュール高さ	7.5 mm
	リード線取り出し	Agテープのみ
	使用可能温度	550℃まで
	最大出力	3 W 以上(@ 500℃)
特性	開放電圧	1.9 V (@ 500°C)
	短絡電流	6.8 A (@ 500°C)
	内部抵抗	140 mΩ (@ RT)

表6 改善モジュールの仕様



図5 改善モジュールの外観

作製プロセスの安定性を評価する目的で合計 17 個のモジュールを作製し、その測定結果を表7 に示す。平均出力は 3.29 W(最大 3.51 W,最小 3.04 W)となり、目標とする出力 3 W を超えるモジュールを安定して作製することができた。

表 7 改善モジュールの測定結果(高温側 500℃,低温側 27℃)

	開放電圧(V)	短絡電流(A)	内部抵抗(Ω)	最大出力(W)
No. 1	1.82	6.90	0.26	3.13
No. 2	1.87	6.92	0.27	3.24
No. 3	1.89	6.87	0.28	3.25
No. 4	1.92	6.92	0.28	3.32
No. 5	1.95	7.14	0.27	3.47
No. 6	1.86	6.74	0.28	3.14
No. 7	1.84	6.77	0.27	3.11
No. 8	1.94	6.98	0.28	3.39
No. 9	1.89	6.77	0.28	3.20
No.10	1.85	6.58	0.28	3.04
No.11	1.89	6.66	0.28	3.14
No.12	1.94	6.77	0.29	3.28
No.13	1.93	6.89	0.28	3.33
No.14	1.91	7.13	0.27	3.41
No.15	1.96	7.15	0.27	3.50
No.16	1.98	7.04	0.28	3.48
No.17	1.97	7.14	0.28	3.51
平均	1.91	6.90	0.28	3.29

6. モジュールの耐久性評価

改善モジュールの耐久性を評価するために、500℃での 長期試験において、出力変化を測定した。測定は大気中で 行い、高温側 500℃、低温側 30℃として、定期的に出力測 定を行い、初期出力からの変化を調べた。結果を図6に示す。



図 6 耐久性評価結果(高温側 500℃,低温側 27℃)

500℃連続加熱試験で,開放電圧は試験期間中ほとんど 変化していないが,内部抵抗は徐々に上昇し,試験時間 101 hで内部抵抗は初期の110%まで上昇した。この時出 力は初期の91%となった。試験後のモジュールを観察して も外観上に破損や亀裂の発生などは見られず,著しい劣化 は見られなかった。モジュールに破損がなく,開放電圧に 変化が見られないこと,抵抗が徐々に変化していることか ら,出力低下の原因はモジュールの破損やシリサイド素子 の劣化ではなく,接合部の抵抗上昇であると推察した。

7. モジュールの限界性能評価

ここまではモジュールは 500℃での評価を中心に行った が、使用上限に近い 600℃までの性能評価を行った。また、 測定時には熱源及び冷却板との熱接合を向上するため、高 温側及び低温側の接合材を変更して行った。

モジュール性能評価の結果を図7及び表8に示す。



熱板設定温度 300°C 400°C 500°C 600°C 開放電圧(V) 1.04 1.55 2.09 2.68 短絡電流 (A) 4.27 5.87 7.43 8.94 最大電力(W) 2.27 3.88 5.98 1.11 出力密度(kW/m²) 1.16 2.36 4.04 6.22

表8 改善モジュールの性能評価結果

600℃までの評価を行ったところ、最大出力は約6 W, 出力密度としては 6.22 kW/m²が得られており、本検討で 作製したシリサイドモジュールは高い発電性能を有するこ とを確認した。

8. まとめ

本検討では、シリサイド系熱電発電モジュールのシミュ レーションと試作による設計の最適化を行い、500℃で3 W の出力が得られる18対モジュールを開発し、出力が安定 して得られるモジュールの作製プロセスを確立した。また、 開発したモジュールは600℃で6 W 程度の最大出力が得ら れることを確認した。

耐久性能向上に関してはまだ改善の余地があると見てお り,実用化に向けた耐久性向上の検討が必要と考えている。

参考文献

1) 中村倫之, 他:昭和電線レビュー, Vol.60, No.1, p.5 (2014)

昭和電線ケーブルシステム(株) 西岡 淳一(にしおか じゅんいち) 技術開発センター 分析・評価グループ長 熱電変換素子およびモジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 中村 倫之(なかむら ともゆき) 技術開発センター 分析・評価グループ 熱電変換素子およびモジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 小林 公樹(こばやし ひろき) 技術開発センター 分析・評価グループ 熱電変換素子およびモジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 新井 龍一(あらい りゅういち) 技術開発センター 分析・評価グループ 熱電変換素子およびモジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) 吉岡 健太郎(よしおか けんたろう) 技術開発センター 分析・評価グループ 熱電変換素子およびモジュールの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株) **箕輪 昌啓**(みのわ まさひろ) 技術開発センター 次長



湧水処理仕様耐水型発泡浮床防振材 SV ブロック

SV Block Board that is semi-rigid foam and hard to crack

1. 概 要

近年の建設物ではより一層の騒音対策が求められ,固体 伝搬音防止の点から湿式浮床工法が用いられています。比 較的安価なグラスウールなどの繊維系浮床材で床を支持す る工法が一般的ですが,含水により防振効果が低下する,許 容荷重が低い,床の沈下が進行する等の問題点があります。

SV ブロックは, 逆四角錘台形状を有する特殊防振ゴム と柔軟で割れにくいミラブロック[®]リブタイプとを組合せ た湧水処理仕様の耐水型発泡浮床防振材です。優れた遮音・ 防振性能を有し, グラスウールなどの繊維系材料の問題点 を解決します。

(※)「ミラブロック」は株式会社 JSP の登録商標です。

2. 用 途

建物の床衝撃音、固体音、振動等を軽減します。



◆優れた施工性

壁等に立上材をセットし、SV ブロックを床に敷き、継ぎ 目等に布ガムテープ等を貼り付けるだけで、セメントペー スト(ノロ)の流出を防ぐことができます。ポリエチレン フィルムは不要です。(浮床コンクリート厚が250 mm 以 下の場合)。またミラブロック[®]リブタイプは発泡倍率を低 く抑えた独立気泡の26倍発泡プラスチックで、適度の柔 軟性と弾性とを有し、繰り返しの使用にもへたりが少なく 非常に割れにくい半硬質フォームです。 ◆優れた防振・防音性能

表 2 動的ばね定数				
型 名	荷重(kg/m²)	固有振動数(Hz)	ばね定数(N/m³)	
	300	15	2.6×10 ⁶	
SV-50-800	450	13	2.9×10 ⁶	
	600	13	3.7×10 ⁶	
	800	12	4.4×10 ⁶	
SV-50-1600	1200	13	7.4×10 ⁶	
	1600	12	8.4×10 ⁶	
SV-50-2400	2400	12	13.2×10 ⁶	



JIS A 1440-1 附属書 JC 及び JIS A 1440-2 附属書 C に規定する壁式構造によるコンクリート製標準床(厚さ 200 mm)の所定の位置に SV ブロックを設置し、上部の押さえコンクリートとして寸法 2.2 mx2.7 m で、厚さは 150 mm の鉄筋コンクリート製パネルを用いたコンクリート浮床構造にて、JIS A 1440-1 「実験室におけるコンクリート床上 の床仕上げ構造の床創業自レベル低減量の測定方法、第1 部:標準軽量衝撃源による方法」及び JIS A 1440-2 「同 - 第 2 部:標準重量衝撃源による方法」に基づいて測定を行いました。







船舶向け高性能シート型制振材 ショウダンプ®NH-S1

High performance seat type damping material for ships SHOWDAMP NH-S1

1. 概 要

2012 年 11 月の第 91 回海上安全委員会(MSC91) にお いて正式に採択された改正騒音コードでは,主に総トン数 10,000 トン以上の船舶の居住区域に対して,現行コードの 基準値に比べ 5 dB (A)* 強化されることとなりました。

本コードの改正に伴い,制振材の需要は従来の軽量薄型 タイプよりも制振性能が重要視されると考えられます。

従来の薄型制振シートの材料構成を見直し,制振性能を 重要視した NH-S1 を開発致しました。

(※) dB(A):騒音レベル

2. 用 途

船体の壁,床に貼り付けることで主機から船体の鋼板を 介して伝わる振動を減衰させ,個体伝搬音を抑制します。

これにより, 居室の騒音低減に効果を発揮します。 (構成)

制振材は難燃合成ゴムを主成分とし,船舶火災試験 FTP コードに適合した製品となっております。



3. 特 長

- 1. 従来の薄型制振シートより,優れた振動減衰性能を有 しています。
- 2. 強固な粘着層により施工が容易です。
- 3. 施工対象面である鋼板の歪みが大きい場合にも密着力 の低下を抑える形状の製品があります。
- 壁に施工する場合,脱落防止機能を有した形状の製品 があります。
- 次の船級認定を取得しております。
 日本海事協会(NK)
 (難燃性上張り材)認定番号 17FPA22CV
 (一次甲板床張り材)認定番号 17FPA21DC

6. 損失係数測定結果









問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 営業本部 デバイス営業部 営業2課 制振制音G
 電話(044)223-0530 FAX(044)223-0549



Cat.6A 対応産業用 LAN ケーブル

Category 6A Industrial Type Cable for Local Area Network

1. 概 要

産業用ネットワークでは、上位層(コンピュータレベル) と下位層(コントローラレベル)を接続する情報・制御 LAN については、1000BASE-T(ギガビット伝送)等の高 速ネットワーク技術が適用され、産業用 LAN ケーブルの 需要が増加しています。

今後は、より高速な 10GBASE-T (10 ギガビット伝送) の要求も考えられる事から、10GBASE-T に対応する、 Cat.6A (周波数帯域: 500 MHz)対応産業用 LAN ケーブ ル (耐屈曲、高遮蔽)の開発を行いました。

2. 用 途

工場内, 医療設備等の電磁妨害対策や耐屈曲・耐ノイズ 性が要求される工場内, 産業用設備の配線に適しています。

3. 特 長

- ・10GBASE-T(10 ギガビット伝送)に対応しています。
- ・ANSI/TIA-568-C.2 "Category 6A" に適合しています。
- ・周波数帯域 500 MHz まで安定した電気特性を有しています。
- ・撚線導体を採用しており、耐屈曲性能が優れています。
- 二重シールド(AL/PET+編組)の構造で耐ノイズ性 が優れています。
- ・外被には耐油性に優れた PVC を採用しています。
- ・RJ-45 プラグ両端加工品で販売致します。



図 1 Cat.6A 対応産業用 LAN ケーブル(耐屈曲用) (HFS-TPCC[®] 6A PATCH-FA 26AWG×4P)

表 1 HFS-TPCC[®] 6A PATCH-FA 26AWG×4P 仕様

仕様	耐屈曲用
品名	HFS-TPCC [®] 6A PATCH-FA
サイズ・対	26AWG (**) ×4P
仕上外径	約 6.8 mm
概算質量	57 kg/km

(※)挿入損失をTIA規格の1.5倍で管理している事から使用ケーブル長は最大60mです。



図2 U字折り返し試験方法



図3 屈曲特性(U字折り返し試験)

4. 産業用 LAN ケーブルラインアップ

産業用 LAN ケーブルは固定配線用, 耐屈曲用として Cat.5e,Cat.6A 製品を取り揃えています。

表 2 産業用 LAN ケーブルラインアップ一覧

仕様	ギガビット伝送 (Cat.5e)	10 ギガビット伝送 (Cat.6A)
固定配線用 HFS-TPCC [®] 5		HFS-TPCC® 6A
耐屈曲用	HFS-TPCC [®] 5 PATCH-FA	HFS-TPCC [®] 6A PATCH-FA

TPCC は冨士電線株式会社の登録商標です。

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



トンネル分岐用コネクタ 新ショウタッチ®5極

Connector for Tunnel Lighting New "Showtouch" 5P

1. 概 要

昭和電線ケーブルシステム(株)と行田電線(株)は,高速道路 等のトンネル照明用のケーブルとして分岐付ケーブル(シ ョウブランチ[®]L),分岐線の端末用コネクタとしてショウ タッチ[®]を開発し,11年間製造してきました。

昨年リリースした新ショウタッチ[®](2~4極)をベース とし、新たに5極用をリリースいたします。

2. 用 途

トンネル照明用の分岐線の端末用コネクタとして使用さ れます。作業時間の短縮,工場製造の高い信頼性,LED 照 明でのコネクタ仕様標準化などの影響で,コネクタの需要 は高まっています。

2013年に5極,6極用の照明器具直付タイプのショウタッチ[®]を開発しましたが,近年は照明器具がLED化されたことで薄型,小型化が進み,2~4極用と同じ取り付けスペースで5極化が必要となると判断し,照明器具直付タイプおよびケーブル中継タイプの開発を行い,製品化しました。

3. 特 長

従来のショウタッチ[®]と比べ, ①剛性向上, ②絶縁抵抗 向上, ③作業性向上が図られています。

5極用もコネクタ内部のピン配列以外は、2~4極用と 同じ外観,取付穴形状(照明器具直付タイプの場合)とな ります。



図1 ショウタッチ[®]外観図(照明器具直付タイプ)



図2 ショウタッチ[®]外観図(ケーブル中継タイプ)

表1 新ショウタッチ[®]5極 仕様

適用ケーブルサイズ	2 mm ²
定格電圧	600 V
定格電流	12 A
防塵防水性能	IP65, IP66, IP67

従来,防塵・防水試験として,外部認証機関における IP67 試験のみでしたが,トンネル照明の洗浄等での水圧を 考慮し,新たに IPX5, IPX6 試験を追加実施し,合格しま した。

表2 新ショウタッチ[®]5極 特性表

特性	判定基準
絶縁抵抗	水中1mで1時間後 DC 500 V 印加し,100 MΩ以上。
耐電圧	水中1mで1時間後 AC 2200 V 1 分間印加し異常なきこと。
温度上昇	12 A 電流通電時のコネクタ 温度上昇値が 30℃以下。
防湿	40℃,湿度 100% / 30 分暴露後, AC 2200 V 1 分間印加し異常なきこと。
耐食	塩水を 1500 時間噴霧後, 腐食観測を行い異常なきこと。

※ 注意点

従来品と新設計品の互換性はありません。従来品の照明器具直付タ イプの5極,6極は廃番となります。

問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 営業本部 開発営業部
 電話(044)223-0532 FAX(044)223-0555



リッツ接地線の開発

Development of litz earthing wire

1. 概 要

近年,鉄道用変電所はコンピュータ制御の機器が多く採用 されていますが,これらの機器は従来の機器に比べて雷に対 して脆弱であり,雷への対策の重要性が高まっています。鉄 道事業者では雷撃時の電位上昇を約50%低減可能な新しい 変電所の接地システムを開発しました。当社は,上記接地 システムで適用可能な「リッツ接地線」(エナメル線を複 合よりした電線)及び端末接続工法を開発しました。

2. 構 造

落雷は電流の変化が1μ秒(百万分の1秒)程度の間に 起こる過渡現象です。このような過渡現象では、従来の接 地線は表皮効果という現象により電流が流れにくくなるた め、落雷時の電位上昇が大きくなります。しかしながら、 リッツ線(図1)は各素線を薄い絶縁被覆で覆っている為、 表皮効果を抑えることが出来ます。直径0.45 mmの素線に 0.02 mmのエナメル被覆を施し、集合より、複合より(19本/20本/0.45 mm)をして製品化いたしました。



図1 リッツ接地線の断面(中:集合より,右:複合より)

一般的にリッツ線を端末加工する場合,エナメル絶縁の 剥がし作業が必要となり,工場内で30分程度の作業が必 要で,仕上がりのばらつきを一定に出来ない課題がありま した。そこで,リッツ接地線専用端子及び接続工法(はん だ流し込み圧縮端子)を開発しました。この端子の構造は 導体圧縮により機械的にリッツ線を保持,はんだ注入に よりリッツ線端部(切断面)と電気的接続を得ることを特 徴としております(図2)。



3. 特 長

○リッツ線

- ・柔らかく取り回しが良好
- ・雷などの高周波電流が流れても表皮効果を起こしにくい

○リッツ接地線専用端子及び接続工法

- ・現場施工が可能(必要工具はバーナーのみ)です。
- ・作業時間約60~80%低減できます
 (5~10分程度で接続作業可能)。
- ・リッツ線同士の接続が容易です。
- ・品質管理が容易で誰でも均等に仕上げられます。
- ・接地端子(羽子板)タイプとリード線タイプの2タイプ を取り揃えております(リード線タイプの場合リード線
 同士をT形コネクタで接続可能です)。

問合せ先:〒530-0004 大阪市北区堂島浜1-4-16アクア堂島西館
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 営業本部 関西支店 電機・情報システム営業課
 電話(06)6345-1156 FAX(06)6344-8069



154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の鉄塔上への適用

Application of direct-molded outdoor termination for 154 kV XLPE cable on transmission tower

1. 概 要

磁器製がい管を使用した従来の154 kV クラスの気中終 端接続部は重量があり、作業が煩雑であることから、塔上 分岐接続部として鉄塔上に据付されるケースは稀であり、 地上まで引き下ろされるケースが一般的です。

当社はエポキシ樹脂上にシリコーンゴム外被をモールド することで軽量・コンパクトを実現した154 kVダイレクト モールド気中終端接続部を2016年に製品化しています¹²⁾。 今回,本製品が北陸電力株式会社殿の154 kV塔上分岐接 続部として採用され,高所での施工作業性の向上が可能と なった施工事例の概要を紹介します。

2. 特 長

本製品の構造を図1に,従来の磁器がい管タイプとの比 較を表1に示します。主絶縁にエポキシ樹脂,外被にシリコ ーンゴムを用いて完全固体絶縁構造としたことおよび非線形 材料を電界緩和層として用いたことにより,従来の磁器がい 管タイプ気中終端接続部と比較して大幅な軽量・コンパクト 化を実現したプラグイン構造の終端接続部を特長とします。

	我I J 工 主主比较	
項目	従来磁器がい管品	本製品
重量(本体)	約 520 kg	約 140 kg
平均直径	320 mm	210 mm
全長	約 2640 mm	約 1860 mm
漏洩距離	7215 mm	6215 mm
	重汚損 (SDD: 0.12 mg/cm ²)	





図1 154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の構造

3. 施工事例



らかじめ工 図2 本体取付 図3 ケーブル処理図4 ケーブル挿入

場で組立て出荷電気試験を実施したがい管部(本体材料) をクレーンを用い腕金上へ据え付けた後,端末処理を施し たケーブルをプラグインにより接続しました。

今回の施工で塔上分岐接続部用としての適用に際し確認 できたメリットを以下に示します。

- ・ケーブル処理長が約 300 mm と短いことから,処理作 業に要する時間が短縮でき,また挿入時の引き戻し作 業性も良好でした。
- ・従来品のようにケーブル処理後にがい管を上部から挿入する必要が無いことから、上部に充電部や他の腕金がある場合でもがい管据付スペースに余裕ができることが確認できました。
- ・ケーブル処理をする際の足場や準備作業などが簡素化 できました。
- ・プラグイン構造であり,接続作業も省スペースで済むことから,施工時間の短縮と施工工程の簡略化が確認できました。

参考文献

- 李 鋒・今西 晋・新井敦宏ら:「154 kVダイレクトモールド気中 終端接続部の開発」, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.318
- 今西 晋・新井敦宏・森口至郎:「154 kV ダイレクトモールド気 中終端接続部の実用化」,平成29年電気学会全国大会,No.7-154

問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 電機産業システム営業部 情報・交通システムグループ
 電話(044)223-0536 FAX(044)223-0558

トピックス

積層ゴム経年変化の研究で日本免震構造協会普及賞を共同受賞

Study of Aged Deterioration on Rubber Bearing, Prized DIFFUSION AWARD of the Japan Society of Seismic Isolation (JSSI)

1. 概 要

(㈱奥村組殿と当社の共同研究「竣工後30年を経過した 免震建物に設置された積層ゴムの経年変化」が,第18回 日本免震構造協会普及賞を受賞しました。

2. 研究の背景

茨城県つくば市の奥村組技術研究所管理棟は,1986年に 当社が最初に免震用積層ゴム(ゴム直径 φ500 mm,ゴム 厚さ7 mm×14 層)25 体を納入した建物です。免震製品 は60年以上の使用期間が想定されたので,奥村組殿は 定期的に建物全体の性能を継続評価できるよう予め油圧 ジャッキで加振できる構造で設計・施工されました。

竣工後から現在まで,油圧ジャッキで建物全体を水平方向に100 mm 変形させてから急速解放させる自由振動試験 と呼ばれる評価を実施しており,特に30年目の2016年度 は福岡大学高山教授にご指導を頂きながら奥村組殿と当社 が共同で各種試験を実施しました。



図1 奥村組技術研究所管理棟(左)と展示用積層ゴム(右)

3. 内 容

自由振動試験の結果,当社積層ゴムの水平剛性は竣工時 に対して 30 年で約 9%増加したことがわかりました。当社 ゴム材料熱老化試験に基づき建物設計時に予測された性能 変化率 17%以内であり,これらの成果は 2017 年日本建築 学会大会学会等で発表されています。

また,30年使用された免震建物の自由振動試験は他に例 が無く,特に2016年11月に奥村組殿が開催された公開実 験は一般応募者やテレビ等のメディアも参加されており, これらの活動を通じて経年変化の測定結果の発表が免震構 造の普及に貢献したと評価されました。

免震建物の実例が殆ど無かった時期に先輩方が数十年後 を見据えて取り組まれたため貴重なデータを測定できました。 今後も当社のみならず免震業界全体に有用な知見が得られ るよう努力いたします。



図2 積層ゴムの剛性変化率 (熱老化試験による予測値との比較)



図3 奥村組殿(後列)との表彰式

問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎) 昭和電線ケーブルシステム(株) デバイス営業部 免制震グループ 電話(044)223-0546 FAX(044)223-0562

フタル酸エステル類の規制と対応

Regulation and Coping of Phthalates

1. 規 制

電気・電子機器には有機,無機の多様な物質が含まれており、その中には人の健康、環境に有害な特性を持つ物質も存在します。RoHS(Restriction of Hazardous Substances)指令 2002/95/EC によって、鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル(PBB)およびポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)の6物質が2006年から使用制限されてきました。一方、特定の製品に対しては、制限の除外が認められてきました。これらの6物質は電線被覆材料の安定剤、着色剤、難燃剤等に使用されることから、制限物質に対しての含有量調査や代替品の検討を行ってきました。

2008年には、技術的および科学的進歩に合わせ、RoHS 指令の見直しが検討され、2011年7月に改正RoHS 2011/65/EU (RoHS2) として公布されています。

さらに、2015年6月には制限物質を定めた2011/65/EU のAnnex IIを置き換えるEU2015/863が公布されました。 この官報公布により、制限物質は従来の物質(6物質)に 新たに4物質が追加され、合計10物質になりました。追 加物質として、フタル酸ビスジエチルヘキシル(DEHP)、 フタル酸ブチルベンジル(BBP)、フタル酸ジブチル(DBP) 及びフタル酸ジイソブチル(DIBP)の4物質が追加され、 いずれもフタル酸エステル類が規制対象となっています。

表1に制限物質と規制濃度について示します。

制限物質	規制濃度(閾値)
	0.1 wt% (1000 ppm)
水銀	0.1 wt% (1000 ppm)
カドミウム	0.01 wt% (100 ppm)
六価クロム	0.1 wt% (1000 ppm)
ポリ臭化ビフェニル(PBB)	0.1 wt% (1000 ppm)
ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE)	0.1 wt% (1000 ppm)
フタル酸ビスジエチルヘキシル (DEHP)	0.1 wt% (1000 ppm)
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	0.1 wt% (1000 ppm)
フタル酸ジブチル (DBP)	0.1 wt% (1000 ppm)
フタル酸ジイソブチル (DIBP)	0.1 wt% (1000 ppm)

表1 制限物質と規制濃度

これらのフタル酸エステル類の用途は、プラスチック製品 (主にポリ塩化ビニル)の柔軟性や成型加工性を向上させる ために添加する可塑剤として使用されます。特に、フタル酸 ビスジエチルヘキシル (DEHP) は日本国内において、工業 的に幅広く、最も多量に消費されている可塑剤であるため、 RoHS2の制限物質に追加された影響は大きいと考えられます。

可塑剤の性能には、可塑化効率、相溶性、化学的安定性、 絶縁性等が用途に応じて要求されています。これら全てを 満足する可塑剤はありませんが、今回制限物質に追加され たフタル酸ビスジエチルヘキシル(DEHP)はこれらの性 能が平均して良好で、安価であることから、電線・ケーブ ルのポリ塩化ビニル被覆材料に多用されている物質です。

2. 対 応

RoHS2 の追加制限物質の適用開始時期は 2019 年 7 月からであり,既に一部国内電機メーカーでは「グリーン調達 ガイドライン」等で禁止日の設定に動き始めており,弊社 の製品に対し, RoHS2 制限物質の含有量調査等を行っています。

弊社では、RoHS2の規制対象となる電気電子機器に使用 される電子ワイヤ製品全てに関して、支給品等の除外製品 を除き、2018年1月新規製造分から制限10物質の対応を 開始しました。また、その他600V CV ケーブル等の電力・ 制御用途向け及びLAN ケーブル等の情報通信用ケーブル の汎用電線、電子・電気機器部品につきましても、2019年 1月までに、制限物質に対して RoHS2 対応品への完全移行 を計画しています。

今後,施行に向けて,各材料メーカーの体制が整備され ると予想できますので,各材料メーカーと連携を取り,出 来る限り早期に,RoHS2の制限10物質への対応が出来る よう働きかけていく予定です。

なお, RoHS2の制限10物質への対応有無のご確認は, 下記の問合せ先にご連絡願います。

問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 営業本部 営業技術部
 電話(044)223-0531 FAX(044)223-0554

 \mathbb{P}

(ツ)

 $(\mathbf{7})$

(ス

ト ピ ッ ク ス

タブレットと写真管理ソフトを利用した工事現場写真管理

Construction Site Photo Management with Tablet and Software

1. 写真管理ソフト導入の背景

通信工事現場において工事の記録として施工写真,完成 写真は,重要な位置づけです。近年の記録媒体の電子化, 品質管理の多様性と現場で黒板を持ち歩かなければならな い不便さ,そして発注元の写真管理方法に電子媒体が追加 されたこともあり写真管理ソフトの導入を行いました。

2. 選 定 方 法

公共工事における施工記録として工事写真を撮ります。 近年では、デジタル化の流れによりデジタルカメラで撮影 することが基本ですが、画素数、記録(整理保存)方法な ど細かく決められています。当然改ざん防止のため施工写 真の編集(画素数の変更、トリミング、照度等の変更)も できません。

工事写真は何を撮影したか判別するために工事黒板を使 用します。理由は撮影した内容(材料検査,施工状況,立 会等)が何であるか判別するためです。一つの工種を例に とると、

工種:配線工

場所:昭和電線ケーブルシステム㈱相模原工場 ケーブル種別:CCP-AP0.65-10P

- 施工前
- ・ケーブル布設準備状況
- ・ケーブル布設状況
- ·品質管理 布設張力確認
- ・端末処理状況
- ・施工後

という内容を黒板に記載していきます。工事内容によって は黒板に図面を書き込んだりします。その為黒板の記載内 容を書き込む手間を省くために複数枚の黒板を用意し、そ れぞれの内容毎に記載して持ち運びをします。

黒板を誰かに持ってもらって撮影したり,黒板の持ち運 びや工事内容を記載したり消したりする労力は,かなりの ものです。また雨等で視界が悪くなったりチョークで記載 した文字が雨で消えてしまい黒板の内容が読み取れない事 や,狭いところに持ち運べないという不便さがあります。 工事完了後撮影した膨大な量の工事写真を提出用アルバ ムに編集して提出用記録媒体(CD, DVD)に保存する作 業も写真のフォルダ整理,撮影した写真のコメント入力等 大変な手間となっています。

その煩雑な工事写真撮影を簡略化するために電子黒板と 施工写真管理ソフトの導入を検討しました。公共工事にて 認定されているものの中で

- (1) 省力化(撮影から提出書類作成まで)
- (2) 情報の管理
- (3) 取扱いやすさ

を考慮して、㈱ルクレ社の蔵衛門[®] Pad を採用することと しました。



図1 蔵衛門[®] Pad

3. 特 長

採用したタブレット(ソフト)の特徴として以下の3点 があります。

(1) 専用タブレットと電子黒板による撮影

電子黒板を使用して撮影するため,事前に電子黒板に撮 影内容を書き込み記録したり,電子黒板に図の挿入が簡単 に行えます。写真上の黒板の配置も大きさの変更も容易に 行えます。 10.1型のタブレットを使用していますので、画面が大き く文字の入力や撮影後の写真確認で手ブレ・ピンボケ等の 確認も容易に行えます。



図 2 蔵衛門[®] Pad を使用した電子黒板付写真 (右下の電子黒板が写真にはめ込みできる)

また今までのように撮影項目毎に黒板を何枚も持ち歩か なくても済みますし,雨の日に黒板の文字が消えてしまう 不便さもなくなります。

本ソフト専用タブレットですので,当社の情報セキュリ ティガイドに基づき、管理しています。

(2) 図面, 仕様書の保存と書込み

発注図や施工図, 仕様書のデータを保存専用ソフトにて タブレットの指定したホルダーに記録し持ち運ぶことがで きるため, 図面を別途持ち運ぶ手間がなくなりました。ま た現場にて変更点があった場合などは, タブレットにて修 正箇所を書き込むことも可能ですし, その変更図面を PC に取り出すことも可能です。



図3 タブレット上にて仕様書の変更している様子

(3) 専用写真管理ソフトにて一括管理

撮影した写真を専用ソフトに取り込むことにより,自動 的にアルバムを作成し提出用フォーマットに変換します。 今までは,写真を取り込みいちいち施工写真の説明文を入 力していましたが,電子黒板のデータを読み込むことによ り編集の手間が格段に省略できます。



図4 専用ソフトによる写真整理

以上が主な特長です。現在当社が請け負っているほとん どの通信工事現場にて本タブレットとソフトを使用してお ります。お客様の評判もよく,また少しでも従業員の省力 化に役立てばと期待しています。

問合せ先:〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 電機・情報システム営業部 情報・交通システムグループ
 電話(044)223-0537 FAX(044)223-0558



OF ケーブル自動消火システム

Automatic Fire Extinguishing System for High Voltage Oil Filled Cable

1. 概 要

近年発生した洞道内 Oil Filled (OF) ケーブル火災事故に 対し,初期消火を目的とした消火設備の開発が急務となっ ています。

この程,ガスジェネレータ方式の消火システムに加えて, 窒素ガスボンベと電磁弁の組合せによる 275 kV OF ケー ブル接続部・オフセット部向け自動消火設備を開発実用化 し電力会社へ納入しました。

2. 用 途

洞道内に布設された 275 kV OF ケーブルの接続部・オフセット部などの初期消火に適用します。

3. 構 造 (システム構成)

電気制御系統とガス制御系統から構成され、電源には停 電対策として UPS (無停電電源装置)を設置します。

火災感知には炎感知器と煙感知器を使用し, 論理積回路 として両方の感知器が動作したときのみ消火剤を放射する こととし, 誤作動防止にも対応します。ガス系統は電磁弁 と圧力スイッチ・窒素ガスボンベを採用し従来のガスジェ ネレータ方式よりも取扱いが簡素化されます。またガス圧 低下の監視やレギュレータで放射圧力を制御することで, 設置個所の状況に合わせて施工が可能となっています。

使用する配管は、ステンレス製を採用して万一の地絡事 故時の衝撃に耐えうる構造としています。



4. システム図

5. 設置状況写真



図 2.1 電気系統



図 2.2 ガス系統



図 2.3 水での放射試験状況

 問合せ先: 〒210-0852 神奈川県川崎市川崎区鋼管通4-13-12
 (㈱エステック 技術営業部 営業課 電話(044)344-6545 FAX(044)366-5221



電力ケーブルのインピーダンス

Impedance of Power Cable

1. 概 要

再生可能エネルギーの適用拡大に伴い,エンジニアリン グに必要な諸定数の要求が増してきている状況にあります。 本報では特別高圧電力ケーブルについて,電力系統の短絡 容量や電圧降下等のシステム設計の際に一般的に使用され ている交流導体抵抗,リアクタンス,インピーダンスを電圧 階級,導体サイズ,配列,使用周波数毎に表にまとめました。 なお,表中の数値は標準的なケーブル仕様を用いた計算 値であり,保証値ではありません。

2. 計 算 式

 $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $X = \omega L = 2 \pi f L$

Z:インピーダンス (Ω/km) R:交流導体抵抗 (Ω/km) X:リアクタンス (Ω/km) L:インダクタンス (H/km) f:周波数 (Hz)

周波数 50 [H	lz]									
導体断面積	単	込3条平積み(S=3	2D)		単心3条俵積			トリプレックス		
mm ²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
60	0.389	0.195	0.435	0.389	0.137	0.413	0.397	0.137	0.420	
100	0.234	0.183	0.297	0.234	0.125	0.265	0.239	0.125	0.269	
150	0.156	0.175	0.235	0.156	0.117	0.195	0.159	0.117	0.197	
200	0.117	0.170	0.206	0.118	0.111	0.162	0.120	0.111	0.164	
250	0.0952	0.166	0.191	0.0956	0.108	0.144	0.0975	0.109	0.146	
325	0.0737	0.162	0.178	0.0743	0.104	0.128	0.0756	0.105	0.129	
400	0.0605	0.158	0.169	0.0613	0.0999	0.117	0.0624	0.101	0.119	
500	0.0491	0.155	0.163	0.0501	0.0969	0.109	0.0509	0.0982	0.111	
600	0.0417	0.153	0.159	0.0430	0.0949	0.104	-	-	-	
周波数 60 [⊦	lz]									
導体断面積	単	し 3条平積み(S=3	2D)	単心3条俵積			トリプレックス			
mm ²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
60	0.389	0.234	0.454	0.389	0.164	0.423	0.397	0.164	0.430	
100	0.234	0.219	0.321	0.234	0.150	0.278	0.239	0.150	0.282	
150	0.156	0.210	0.262	0.157	0.141	0.211	0.159	0.141	0.212	
200	0.118	0.203	0.235	0.118	0.134	0.178	0.120	0.134	0.180	
250	0.0957	0.199	0.221	0.0962	0.129	0.161	0.0981	0.131	0.164	
325	0.0743	0.194	0.208	0.0751	0.124	0.145	0.0764	0.126	0.147	
400	0.0612	0.190	0.199	0.0623	0.120	0.135	0.0633	0.121	0.137	
500	0.0499	0.186	0.193	0.0513	0.116	0.127	0.0521	0.118	0.129	

表1 22 kV CV ケーブルインピーダンス表

600

0.0427

0.184

0.188

0.0444

0.114

0.122

_

_

_

表 2 33 kV CV ケーブルインピーダンス表

周波数 50 [H	lz]									
導体断面積	单位	込3条平積み(S=	2D)		単心3条俵積			トリプレックス		
mm²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
60	0.389	0.204	0.439	0.389	0.146	0.416	0.397	0.146	0.423	
100	0.234	0.191	0.302	0.234	0.133	0.269	0.239	0.133	0.274	
150	0.156	0.185	0.242	0.156	0.127	0.201	0.159	0.127	0.203	
200	0.117	0.178	0.214	0.118	0.120	0.168	0.120	0.120	0.170	
250	0.0952	0.174	0.199	0.0955	0.116	0.150	0.0974	0.116	0.152	
325	0.0737	0.170	0.185	0.0741	0.112	0.134	0.0755	0.112	0.135	
400	0.0605	0.166	0.176	0.0611	0.108	0.124	0.0622	0.108	0.124	
500	0.0490	0.162	0.170	0.0498	0.104	0.115	0.0507	0.1042	0.116	
600	0.0416	0.160	0.165	0.0426	0.102	0.110	-	-	-	
周波数 60 [H	lz]		·				·	·		
導体断面積	单位	込3条平積み(S=	2D)		単心3条俵積			トリプレックス		
mm ²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
60	0.389	0.245	0.460	0.389	0.175	0.427	0.397	0.175	0.434	
100	0.234	0.230	0.328	0.234	0.160	0.283	0.239	0.160	0.288	
150	0.156	0.222	0.271	0.157	0.152	0.218	0.159	0.152	0.220	
200	0.118	0.214	0.244	0.118	0.145	0.187	0.120	0.145	0.188	
250	0.0956	0.209	0.230	0.0960	0.139	0.169	0.0979	0.139	0.170	
325	0.0742	0.204	0.217	0.0749	0.134	0.154	0.0762	0.134	0.154	
400	0.0611	0.199	0.208	0.0620	0.129	0.143	0.0631	0.129	0.144	
500	0.0498	0.195	0.201	0.0510	0.125	0.135	0.0518	0.125	0.135	
600	0.0426	0.192	0.196	0.0439	0.122	0.130	_	_	_	

表 3 66 kV CV ケーブルインピーダンス表

周波数 50 [Hz]									
導体断面積	単心3条平積み(S=2D)			単心3条俵積			トリプレックス		
mm ²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]
80	0.292	0.207	0.358	0.292	0.149	0.328	0.297	0.149	0.333
100	0.234	0.202	0.309	0.234	0.144	0.275	0.239	0.144	0.279
150	0.156	0.193	0.248	0.156	0.135	0.206	0.159	0.135	0.208
200	0.117	0.187	0.220	0.118	0.129	0.174	0.120	0.129	0.176
250	0.0952	0.182	0.205	0.0954	0.124	0.156	0.0973	0.124	0.158
325	0.0737	0.177	0.192	0.0740	0.119	0.140	0.0755	0.119	0.141
400	0.0604	0.173	0.183	0.0609	0.115	0.130	0.0620	0.115	0.130
500	0.0490	0.169	0.176	0.0496	0.111	0.121	0.0506	0.111	0.122
600	0.0415	0.170	0.175	0.0423	0.112	0.119	-	-	-

周波数 60 [Hz]

導体断面積	単心3条平積み(S=2D)			単心3条俵積			トリプレックス		
mm ²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]
80	0.292	0.248	0.384	0.292	0.179	0.343	0.298	0.179	0.347
100	0.234	0.242	0.337	0.234	0.173	0.291	0.239	0.173	0.295
150	0.156	0.231	0.279	0.157	0.162	0.225	0.159	0.162	0.227
200	0.118	0.224	0.253	0.118	0.154	0.194	0.120	0.154	0.196
250	0.0956	0.218	0.238	0.0959	0.149	0.177	0.0978	0.149	0.178
325	0.0742	0.212	0.225	0.0747	0.142	0.161	0.0762	0.142	0.162
400	0.0611	0.207	0.216	0.0618	0.138	0.151	0.0629	0.138	0.151
500	0.0498	0.203	0.209	0.0507	0.133	0.142	0.0516	0.133	0.143
600	0.0424	0.204	0.208	0.0434	0.134	0.141	—	-	_

昭和電線レビュー Vol. 63 (2017)

表 4 77 kV CVSS ケーブルインピーダンス表

周波数 50 [H	lz]									
導体断面積	単	単心3条平積み(S=2D)			単心3条俵積			トリプレックス		
mm²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
80	0.292	0.208	0.359	0.292	0.150	0.329	0.297	0.150	0.333	
100	0.234	0.203	0.310	0.234	0.145	0.275	0.239	0.145	0.280	
150	0.156	0.194	0.249	0.156	0.136	0.207	0.159	0.136	0.209	
200	0.117	0.188	0.222	0.118	0.130	0.175	0.120	0.130	0.177	
250	0.0952	0.183	0.206	0.0954	0.125	0.157	0.0973	0.125	0.158	
325	0.0737	0.178	0.193	0.0740	0.120	0.141	0.0755	0.120	0.142	
400	0.0604	0.174	0.184	0.0609	0.116	0.131	0.0620	0.116	0.131	
600	0.0415	0.170	0.175	0.0423	0.112	0.119	0.0430	0.112	0.120	
周波数 60 [H	Iz]								·	
導体断面積	单位	込3条平積み(S=	2D)	単心3条俵積			トリプレックス			
mm²	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	Z [Ω/km]	
80	0.292	0.250	0.385	0.292	0.180	0.344	0.298	0.180	0.348	
100	0.234	0.244	0.338	0.234	0.174	0.292	0.239	0.174	0.296	
150	0.156	0.233	0.281	0.157	0.163	0.226	0.159	0.163	0.228	
200	0.118	0.225	0.254	0.118	0.156	0.195	0.120	0.156	0.197	
250	0.0956	0.220	0.240	0.0959	0.150	0.178	0.0978	0.150	0.179	
325	0.0742	0.213	0.226	0.0747	0.144	0.162	0.0761	0.144	0.163	
400	0.0611	0.209	0.217	0.0617	0.139	0.152	0.0628	0.139	0.153	
600	0.0424	0.204	0.208	0.0434	0.134	0.141	0.0441	0.134	0.141	

問合せ先:〒441-0304 愛知県豊川市御津町佐脇浜弐号地1-10
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 電力システムユニット 電力ケーブル部 技術課
 電話(0533)76-2359 FAX(0533)76-3691

社外技術発表一覧表

(2016. 11 ~ 2018. 1)

[電気学会 平成28年誘電・絶縁材料 電線・ケーブル合同研究会]	[2017年度日本建築学会大会(中国)] (2017年8月31日~9月3日)
(2016年11月25日)	長周期・長時間地震動を想定した天然ゴム系積層ゴムの繰返し加振
温度・湿度変化におけるエポキシ /ZnO 複合体の誘電特性	試験
工藤貴大 ¹⁾ ,カビール ムハムドゥル ¹⁾ ,安部拓也 ¹⁾	··················秋葉拓也 ²⁾ ,清水美雪 ²⁾ ,三須基規 ²⁾ ,髙山峯夫 ⁹
櫻田光貴 ¹⁾ , 箕輪昌啓 ²⁾	TMD に用いる天然ゴム系積層ゴムの繰返し加振試験
[ISS2016 - The 29th International Symposium on	錫プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動解析
Superconductivity] (2016年12月13日~16日)	······ 本田 栞 ¹¹⁾ , 菊地 優 ¹¹⁾ , 石井 建 ¹¹⁾ ,
Development of Artificial Pinning Center Introduced Coated	中南滋樹 ¹² , 安永 亮 ¹³⁾ ,福田滋夫 ²⁾
Conductor by MOD Method Using a New Row Material Solution	地震入力の遮断を追及した免震構造(その3)低水平剛性ゴムの実
······ K. Kimura ²⁾ , R. Hironaga ²⁾ , T. Nakamura ²⁾ ,	証試験
K. Takahashi ² , Y. Hikichi ² , Y. Takahashi ² ,	·····································
T. Koizumi ² , T. Hasegawa ² , K. Nakaoka ³ ,	福田滋夫 ²⁾ ,柳 勝幸 ²⁾ ,三須基規 ²⁾
T. Izumi ³⁾	積層ゴムの形状が圧縮せん断変形時の鉛直沈み込みに与える影響
	·······加藤直樹 ²⁾ ,高山峯夫 ⁹ ,三須基規 ²⁾ ,森田慶子 ⁹
[中温度域熱電池開発および熱電標準化検討シンポジウム]	積層ゴムと弾性すべり支承を組み合わせた過大変位抑制免震支承の
(2016年12月15日)	開発 その1 開発の背景
熱電発電デバイスの最適化	
	福田滋夫 ²⁾ ,吉澤幹夫 ⁹⁾
	積層ゴムと弾性すべり支承を組み合わせた過大変位抑制免震支承の
[平成29年電気学会 全国大会] (2017年3月15日~17日)	開発 その2 装置の概要
特別高圧同軸ケーブル用接続部の実用化	福田滋夫 ²⁾ ,田代靖彦 ¹⁵⁾ ,伊藤 敦 ¹⁵⁾ ,
······ 田渡未沙 ²⁾ , 荻島みゆき ²⁾ , 浅野敬之 ⁴⁾	吉田 聡 ¹⁵⁾ ,加藤直樹 ²⁾ ,吉澤幹夫 ⁹⁾
154 kV CV ケーブル用ダイレクトモールド気中終端接続部の実用化	積層ゴムと弾性すべり支承を組み合わせた過大変位抑制免震支承の
············· 今西 晋 ²⁾ ,新井敦宏 ²⁾ ,森口至郎 ²⁾	開発 その3 効果の検証
275 kV OF/CV 異種接続部の開発	························伊藤 敦 ¹⁵⁾ ,田代靖彦 ¹⁵⁾ ,吉田 聡 ¹⁵⁾ ,加藤直樹 ²⁾ ,
·····································	福田滋夫 ²⁰ ,吉澤幹夫 ⁹⁰
	竣工後30年経過した免震建物に設置された天然ゴム系積層ゴムの
[Cryogenic Engineering Conference (CEC) and International	経年変化
Cryogenic Materials Conference (ICMC)]	·······山上 聡 ¹⁶ , 舟木秀尊 ¹⁶⁾ , 安井健治 ¹⁶ ,
(2017年7月9日~13日)	小山慶樹 ¹⁶ ,三須基規 ² ,高山峯夫 ⁹⁾
Development towards all Superconducting Motor in Japan	水平構面内に粘弾性ダンパーを付加した木造本堂の制振補強工法の
······ M. Iwakuma ⁵ , A. Tomioka ⁶ , M. Konno ⁶ ,	提案(その1 開発目的と研究概要)
N. Mido ²⁾ , K. Adach ²⁾ , T. Hasegawa ²⁾ ,	·····································
T. Izumi ³⁾ , A. Ibi ³⁾ , T. Machi ³⁾ , H. Hirai ⁷⁾	三須基規 ²⁾ ,坂本 功 ²⁰⁾
Development of 22 kV HTS Triaxial Superconducting Bus	
······ N. Mido ²⁾ , H. Sugane ²⁾ , K. Adachi ²⁾ ,	[平成29年電気学会 電力・エネルギー部門大会]
K. Shiohara ²⁾ , M. Iwakuma ⁵⁾ , M. Konno ⁶⁾	(2017年9月5日~9月7日)
R. Hironaga ²⁾ , S. Sano ²⁾ , T. Hasegawa ⁸⁾ ,	特別高圧同軸ケーブル用接続部の実用化
T. Kitamura ²⁾ , T. Koizumu ²⁾	
	66/77 kV コンパクトガス中終端接続箱の実用化
	·····································

[European Conference on Applied Superconductivity	1) 秋田大学
(EUCAS) 2017] (2017年9月17日~21日)	2) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
Sudden Short-Circuit Test of 22 kV YBCO Triaxial	3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所
Superconducting Cable	4) 東日本旅客鉄道株式会社
······ K. Adachi ²⁾ , K. Shiohara ²⁾ , H. Sugane ²⁾ ,	5) 九州大学
T. Kitamura ²⁾ , N. Mido ²⁾ , T. Hasegawa ²⁾ ,	6) 富士電機株式会社
M. Konno ⁶⁾ , M. Iwakuma ⁵⁾	7) 大陽日酸株式会社
	8) 昭和電線ホールディングス株式会社
[MRS (Material search Society) Fall Meeting 2018]	9) 福岡大学
(2017年11月26日~12月1日)	10) 清水建設株式会社
Thermoelectric properties of Cr-doped higher manganese silicides	11) 北海道大学
prepared using spark plasma sintering	12)株式会社免制震ディバイス
······ T. Nakamura ²⁾ , K. Yoshioka ²⁾ , R. Arai ²⁾ ,	13) 住友金属鉱山シポレックス株式会社
J. Nishioka ²⁾ , M. Hirakawa ²¹⁾ , K. Fujimoto ²¹⁾ ,	14) 鹿島建設株式会社
R. Tamura ²¹⁾ , K. Nishio ²¹⁾	15)株式会社日建設計
	16)株式会社奥村組
[ISS2017 - The 30th International Symposium on	17) 松井建設株式会社
Superconductivity] (2017年12月13日~15日)	18) 三重大学
Fabrication of coated conductor with artificial pinning center by	19) 内田建築構造コンサルタント
MOD method using new calcination process	20) 東京大学
······ K. Kimura ²⁾ , Y. Takahashi ²⁾ , Y. Aoki ²⁾ ,	21) 東京理科大学
T. Hasegawa ²⁾ , K. Nakaoka ³⁾ , M. Miura ²²⁾ ,	22) 成蹊大学
T. Izumi ³⁾	23) 東京電力パワーグリッド株式会社
DEVELOPMENT OF TRI-AXIAL SUPERCONDUCTING CABLE	
SYSTEM	
······ T. Kitamura ²⁾ , K. Adachi ²⁾ , H Sugane ²⁾ ,	
T. Nakanishi ²⁾ , Y. Aoki ²⁾ , N. Mido ²⁾ ,	
M. Iwakuma ⁵⁾ , T. Hasegawa ²⁾	
[電気現場] (2018年1月号)	
OF ケーブルを収容する橋梁添架管路の防災対策	
·····································	

44

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	7210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)			
■直轄事業子会社(連結)					
ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー	₹210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)			
富士電線株式会社	〒259-1146	神奈川県伊勢原市鈴川10番地			
株式会社ダイジ	〒567-0012	大阪府茨木市東太田三丁目7番7号			
株式会社SDS	₹210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)			
株式会社アクシオ	〒141-0031	東京都品川区西五反田二丁目12番19号(五反田NNビル)			
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	7038-0031	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	7210-0852	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 〒989-21		宮城県亘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 盛高国際大厦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 莞城科技園			
福清昭和精密電子有限公司		中国福建省福清市融僑技術開発区(清華路南側)			
香港昭和有限公司		香港九龍尖沙咀科学館道1号康宏広場南座701室			
■その他のグループ会社					
エヌエスティ・グローバリスト株式会社	〒171-0014	東京都豊島区池袋二丁目43番1号(池袋青柳ビル4F)			
株式会社ケイ・エス・デー	₹813-0034	福岡県福岡市東区多の津一丁目1番3号			
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388弄5号 新城控股大厦B座1305室			
華和工程股份有限公司		台湾高雄縣仁武郷高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内			
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園9号楼			
富通昭和線纜(天津)有限公司		中国天津市浜海高新区浜海科技園恵新路399号			



昭和電線レ	ビュー編集部	法
部会長	長谷川 隆代	-
委員	西村坂岡野秋北岡岡瀬口下地葉嶋﨑河知義 花石市地菜県崎	足稲秋舘渡箕生 備康安雄伸昌通 (順不同)

編集·発行人		亍人	北川陽一			
発		行	2018年3月			
発	行	所	昭和電線ホールディングス株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14			
制		作	株式会社栄光舎			
[禁						

©2018 SWCC SHOWA HOLDINGS CO., LTD.





昭和電線ホールディングス株式会社 / SWCCグループの持株会社

昭和電線ケーブルシステム株式会社 / 電線・ケーブル、電力機器部品、光・通信ケーブル、精密デバイス、免震装置、振動制御機器の総合メーカー 富士電線株式会社 / LANケーブル、消防用電線、通信ケーブル、ビニル電線 株式会社ダイジ / 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