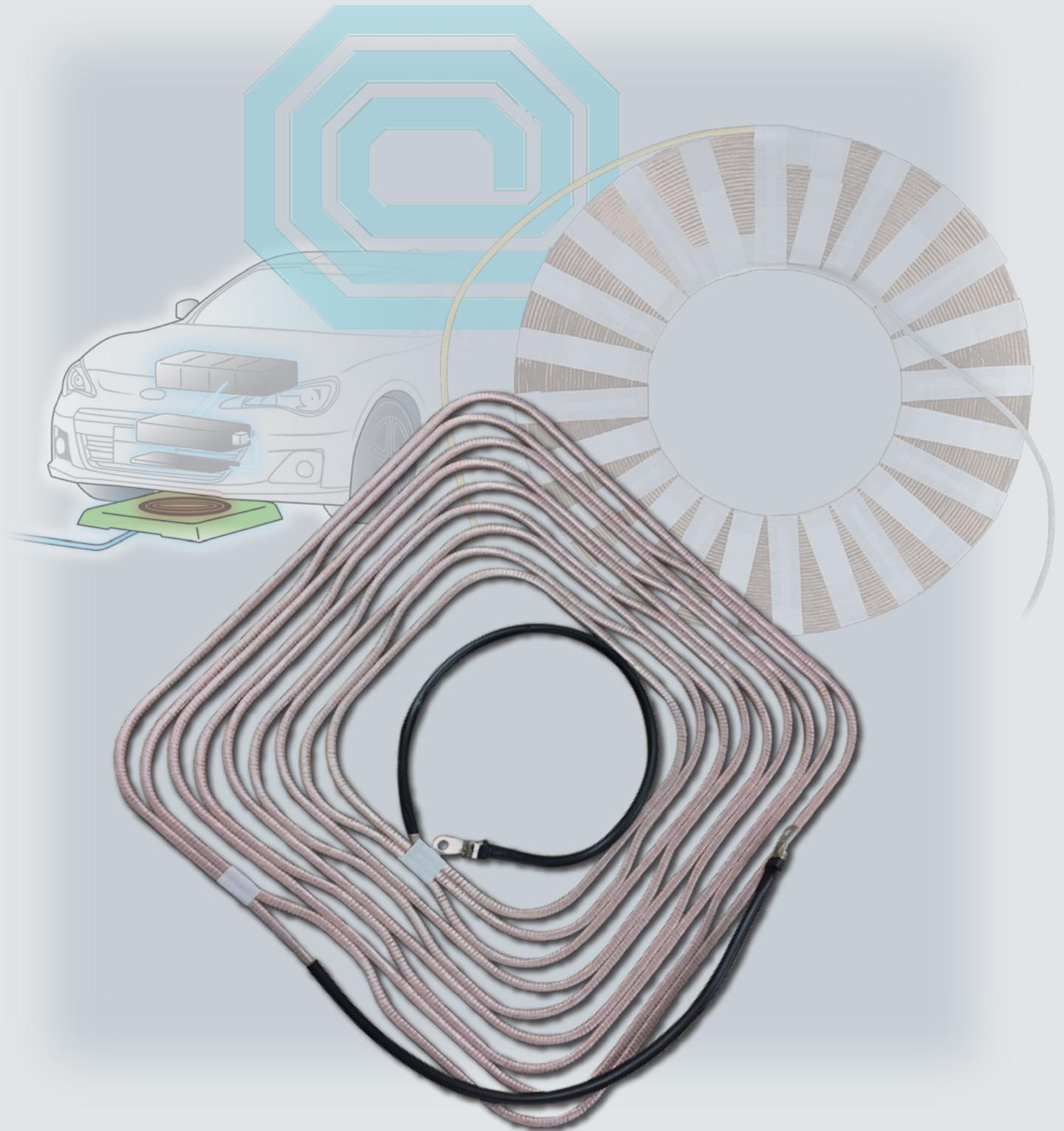


# 昭和電線 レビュー

2018 VOL.64 通巻120号

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

ISSN 2342-518X



昭和電線ホールディングス株式会社

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

### 目 次

#### 〈普通論文〉

高機能的かつ低価格な EV 向けワイヤレス給電用コイルの開発 .....	昭和電線ケーブルシステム(株) 松本秀樹・三浦 聖 野内健太郎・香月史朗 ...	5
	昭和電線ホールディングス(株) 大根田 進	
竣工後 30 年経過した免震建物と天然ゴム系積層ゴムの性能検証 .....	昭和電線ケーブルシステム(株) 三須基規・清水美雪 福田滋夫・加藤直樹 株式会社奥村組 山上 聡・上 寛樹 舟木秀尊・小山慶樹 福岡大学 高山峯夫	13
三相同軸超電導ケーブルのための流路設計 .....	昭和電線ケーブルシステム(株) 菅根秀夫・足立和久 小林公樹・北村 祐 塩原 敬・三堂信博 ... 青木裕治 昭和電線ホールディングス(株) 長谷川隆代	18

#### 〈新製品紹介〉

66/77 kV CT 付壁貫通ダイレクトモールドブッシング .....	23
IO-Link 用ケーブル .....	24
体育館用防振ゴム .....	25
小勢力回路用 耐火ケーブル (EM-JSH®) .....	26
125°C 耐熱 LAN ケーブル H12-TPCC® 5 (S) .....	27
新規耐燃性架橋ポリエチレン電線 LTNC™ の開発 .....	28

〈トピックス〉

275 kV 異種接続部及びプレモールド型直線接続部の開発 .....	29
特別高圧同軸ケーブル用接続部の実用化 .....	30
復元ゴムの経年変化に関する研究 .....	31

〈工事紹介〉

台湾プラスチック向け 161 kV XLPE ケーブル工事 .....	32
-------------------------------------	----

〈技術資料〉

特別高圧電力ケーブルのシース仕様と使用用途 .....	33
-----------------------------	----

〈社外技術発表一覧表〉 .....	34
-------------------	----

# SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2018 Vol. 64

## CONTENTS

### < Regular Papers >

Development of High Performance and Low Cost Coil for Wireless Power Supply for EV .....	5
Aged Deterioration of the Base-isolated Building and Natural Rubber Bearing after 30 years .....	13
Design of flow path in tri-axial superconducting cable system .....	18

### < New Products >

Direct Molded Wall Penetration Bushing with Current Transformer for 66/77 kV .....	23
Cable for "IO-Link" .....	24
Isolation Rubber for gym .....	25
Instrumentation, Control and communication fire proof cable .....	26
125°C Heat Resistant Cable for LAN "H12-TPCC 5(S)" .....	27
Development of New flame resistant crosslinked polyethylene wire .....	28

### < Topics >

Development of Differential Joint and Pre-fabricated Joint for 275 kV Power cable .....	29
Development of Joint for HV Coaxial Cable with Voltage to Ground of 30 kV .....	30
Study of Aging Deterioration of Rubber Bearing .....	31

### < Construction >

Installation of 161 kV XLPE Cable for Formosa Plastics .....	32
--	----

### < Technical data >

Type of Sheath for High Voltage Cable .....	33
---	----

< List of Technologies Published since 2017 > .....	34
---	----

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

# 高機能かつ低価格な EV 向けワイヤレス給電用コイルの開発

## Development of High Performance and Low Cost Coil for Wireless Power Supply for EV

松本 秀樹  
Hideki MATSUMOTO

三浦 聖  
Kiyoshi MIURA

野内 健太郎  
Kentarō NOUCHI

香月 史朗  
Shiro KATSUKI

大根田 進  
Susumu OHNEDA

当社は、EV 向けワイヤレス給電に求められる電気的特性を保持しつつ、価格低減に資するハンドリング性を考慮したコイル形態「ハイブリッド巻コイル」を考案した。

本稿では、ワイヤレス給電用コイルに求められる基本特性について解説し、種々のコイル形態による特性の違いおよび製造上の優劣を明らかにし、EV 向けワイヤレス給電装置に最適なコイル形態「ハイブリッド巻コイル」について報告する。

We have invented the “hybrid winding coil” which is easy to handle and leads to price reduction while maintaining the electrical characteristics required for wireless power supply for EV.

In this paper, we describe basic characteristics required for coils for wireless power supply, and clarify the difference in characteristics due to various coil forms and superiority in manufacturing, and then report the “hybrid winding coil” which is the optimum coil form for wireless power supply device for EV.

### 1. はじめに

各国は環境やエネルギー問題の対策のため、EV 普及に向け様々な政策を打ち出している。特に、欧州や中国では内燃自動車の販売を禁止する時期を明示する動きがあり、今後自動車は内燃機関から EV へと大きくシフトしていくに違いない。

一方、政府は 2018 年 6 月、未来投資戦略 2018 をとりまとめ、無人自動運転に関し 2020 年をめどに公道での移動サービスを開始し、2030 年までに全国 100 カ所以上で展開する目標を掲げた。トラブルの際の責任の所在、3D マップの規格化、サイバーセキュリティ対策など課題は山積するものの、既の実証実験は始まっている。

自動車の EV 化と自動運転化の進展に向けた課題の一つに充電が挙げられる。その打開策と考えられている技術がワイヤレス給電である。ワイヤレス給電によって、EV は駐車中に自動で充電できるようになり、その煩わしさが軽減される。無人自動運転自動車においては、そもそも自動的に充電されなければ意味がない。

EV 向けワイヤレス給電の標準化では、SAE (Society of Automotive Engineers) において標準化作業がなされ、2016 年 5 月技術上のガイドライン「SAE Technical Information Report (TIR) J2954」が発表された。更に、2017 年 11 月伝送電力を 11 kW まで高めた仕様が追加された。これにより、SAE J2954 仕様に準拠した製品の開発が加速されることとなった。

本報告書では、ワイヤレス給電のベースとなっている磁界共鳴方式ワイヤレス電力伝送について解説し、その中核を担うコイルに求められる特性および期待される機能を検討し、EV 向けワイヤレス給電装置に最適なコイル形態として考案した「ハイブリッド巻コイル」について報告する。

### 2. ワイヤレス電力伝送技術の概要

#### 2.1 ワイヤレス電力伝送方式と特徴

EV 向けワイヤレス給電においては磁界共鳴と呼ばれる方式が採用されている。

ワイヤレス電力伝送は、トランスの原理と同様、送信側コイルに高周波電流を流し、受信側に起電力を生じさせることにより電力伝送を行う。磁界共鳴方式では送信側と受信側の共振周波数と伝送周波数を同じとしたものであり、送受信コイル間の位置がずれたり、伝送距離が大きといった結合係数の小さい条件においても、高効率で大電力の伝送が可能である。

#### 2.2 磁界共鳴方式ワイヤレス電力伝送の回路モデル

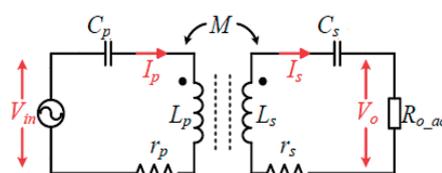


図 1 磁界共鳴方式ワイヤレス電力伝送の回路モデル

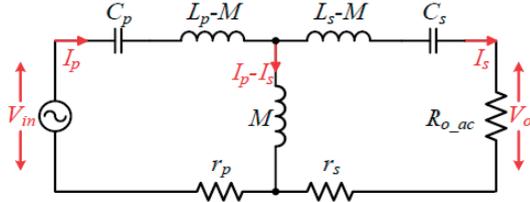


図2 磁界共鳴方式ワイヤレス電力伝送の等価回路

図1の磁界共鳴方式の回路は図2のように変換可能であり、送信回路の入力電圧を  $V_{in}$ 、電流を  $I_p$ 、インピーダンスを  $Z_p$ 、インダクタンスを  $L_p$ 、補償コンデンサの容量を  $C_p$ 、抵抗を  $r_p$ 、送信周波数を  $f_1$ 、受信回路の負荷電圧を  $V_o$ 、電流を  $I_s$ 、インピーダンスを  $Z_s$ 、インダクタンスを  $L_s$ 、補償コンデンサの容量を  $C_s$ 、抵抗を  $r_s$ 、受信周波数を  $f_2$ 、共振周波数  $f_0$  (共振角周波数  $\omega_0$ ) とすると、各素子の値は式(1)の関係が成り立ち、送受信コイル間の相互インダクタンスを  $M$ 、伝送角周波数を  $\omega$  とすると、この回路は式(2)のように表すことができる。

$$f_0 = f_1 = f_2$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_p}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad \text{式(1)}$$

$$\begin{bmatrix} Z_p & -j\omega M \\ -j\omega M & Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{in} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

$$Z_p = r_p + j\omega L_p + \frac{1}{j\omega C_p}$$

$$Z_s = r_s + R_{o\_ac} + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_s}$$

$$I_p = \frac{Z_s V_{in}}{Z_p Z_s + \omega^2 M^2}$$

$$I_s = \frac{j\omega M V_{in}}{Z_p Z_s + \omega^2 M^2}$$

式(2)から、負荷  $R_{o\_ac}$  へ出力する電力  $P_{out}$ 、および入力電力に対する負荷に伝送できる電力の比である伝送効率 PTE は、式(3)および式(4)で表すことができる。

$$P_{out} = |I_s|^2 R_{o\_ac} \quad \text{式(3)}$$

$$PTE = \frac{|I_s|^2 R_{o\_ac}}{|I_p|^2 r_p + |I_s|^2 (R_{o\_ac} + r_s)} \quad \text{式(4)}$$

### 2.3 ワイヤレス電力伝送用コイルに求められる要件

ワイヤレス電力伝送において、伝送電力を大きくすることは、充電時間の短縮に繋がる。また伝送効率の低下は、その主要因がコイルの抵抗が大きいことにあるため、損失が増えるだけでなく、発熱に繋がる。そのため、伝送効率を上げることは装置設計の上でも重要となる。

最大伝送電力および最大伝送効率となるワイヤレス電力伝送の要件は、以下のように求めることができる。

磁界共鳴方式では、伝送角周波数  $\omega$  は共振角周波数  $\omega_0$  である。その角周波数での送信側インピーダンスを  $Z_{p\_ \omega 0}$ 、受信側インピーダンスを  $Z_{s\_ \omega 0}$ 、送信側電流を  $I_{p\_ \omega 0}$ 、受信側電流を  $I_{s\_ \omega 0}$  とした時、負荷抵抗  $R_{o\_ac}$  に印加される電力  $P_{out\_ \omega 0}$  は式(5)、その時の伝送効率 PTE  $\omega_0$  は式(6)で表される。

$$\omega = \omega_0$$

$$Z_{p\_ \omega 0} = r_p + j\omega_0 L_p + \frac{1}{j\omega_0 C_p} = r_p$$

$$Z_{s\_ \omega 0} = r_s + R_{o\_ac} + j\omega_0 L_s + \frac{1}{j\omega_0 C_s} = r_s + R_{o\_ac}$$

$$I_{p\_ \omega 0} = \frac{Z_s V_{in}}{Z_p Z_s + \omega_0^2 M^2} = \frac{(r_s + R_{o\_ac}) V_{in}}{r_p (r_s + R_{o\_ac}) + \omega_0^2 M^2}$$

$$I_{s\_ \omega 0} = \frac{j\omega_0 M V_{in}}{Z_p Z_s + \omega_0^2 M^2} = \frac{j\omega_0 M V_{in}}{r_p (r_s + R_{o\_ac}) + \omega_0^2 M^2}$$

$$P_{out\_ \omega 0} = |I_{s\_ \omega 0}|^2 R_{o\_ac} = \frac{\omega_0^2 M^2 V_{in}^2 R_{o\_ac}}{\{r_p (r_s + R_{o\_ac}) + \omega_0^2 M^2\}^2} \quad \text{式(5)}$$

$$PTE_{\omega_0} = \frac{|I_{s\_ \omega 0}|^2 R_{o\_ac}}{|I_{p\_ \omega 0}|^2 r_p + |I_{s\_ \omega 0}|^2 (R_{o\_ac} + r_s)} = \frac{\omega_0^2 M^2 R_{o\_ac}}{r_p (r_s + R_{o\_ac})^2 + \omega_0^2 M^2 (R_{o\_ac} + r_s)} \quad \text{式(6)}$$

ここで式(6) PTE  $\omega_0$  が最大となる  $R_{o\_ac}$  を求めると式(7)を得る。

$$R_{o\_ac, PTE\_max} = \sqrt{\frac{\omega_0^2 M^2 r_s}{r_p} + r_s^2} \quad \text{式(7)}$$

更に、PTE  $\omega_0$  は、式(7)の負荷抵抗  $R_{o\_ac, PTE\_max}$  の際の伝送効率 PTE<sub>opt</sub> は、送受信コイルの Q 値式(8)および式(9)と送受信コイル間の結合係数式(10)を用いて表すと式(11)となり、その時の伝送電力  $P_{out\_ \omega 0, PTE\_opt}$  は式(12)となる。

$$Q_p = \frac{\omega_0 L_p}{r_p} \quad \text{式(8)}$$

$$Q_s = \frac{\omega_0 L_s}{r_s} \quad \text{式(9)}$$

$$M = k\sqrt{L_p L_s} \quad \text{式(10)}$$

$$PTE_{opt} = \frac{k^2 Q_p Q_s}{(1 + \sqrt{1 + k^2 Q_p Q_s})^2} \quad \text{式(11)}$$

$$P_{out, PTE\_opt} = \frac{V_{in}^2}{r_p \sqrt{1 + k^2 Q_p Q_s} (1 + \sqrt{1 + k^2 Q_p Q_s})^2} \quad \text{式(12)}$$

式 (11) より, 最大伝送効率  $PTE_{opt}$  は  $k^2 Q_p Q_s \gg 1$  となるほど 1 に近づくことから, 伝送効率を上げるためには, 送受信コイル間の結合係数  $k$  を上げることで, コイルの  $Q$  値を大きくすることが必要であると分かる。

更に,  $Q$  値を大きくするためには, 式 (8) および式 (9) からコイルのインダクタンスを大きくする, または抵抗を小さくすることが必要となる。磁界共鳴型では伝送周波数と共振周波数よりインダクタンスが決定されてしまうことから, 伝送効率を上げるためには, いかにかコイルの抵抗を下げることができるかが肝要となる。

### 3. コイルの特性

前項にて示したように, ワイヤレス給電用コイルにおいては, 伝送周波数を決定するインダクタンスと伝送効率を決定する  $Q$  値に直結する交流抵抗を知ることが必要となる。

#### 3.1 矩形コイルのインダクタンス

5.2 項にて後述するように EV 用ワイヤレス給電用コイルには図 4 に示すレーストラック型コイルが利用される。このレーストラック型コイルのインダクタンスを算出するにあたり, 図 3 で示す矩形コイルのインダクタンスを算出方法 Greenhouse Method と呼ばれる手法について解説する<sup>1)</sup>。

Greenhouse Method では, 矩形コイルのインダクタンスは各セグメントの自己インダクタンスとセグメント間の相互インダクタンスを合計することにより算出する。

図 3 に示すような巻数  $n$  の矩形コイルでは, 各セグメント長は式 (13) で算出できる。そして, このセグメント長を有する自己インダクタンスの合計は式 (14) で, 幅  $w$ , 厚み  $t$ , 間隔  $s$ , 長さ  $l_1$  と  $l_2$  の平行セグメント間の相互インダクタンス  $M_{ij}$  は以下のように式 (15) から式 (23) で算出できる。

$$l_i = \frac{l_1 + l_2 + (-1)^i (l_2 - l_1)}{2} - \left\langle \frac{i}{2} - 1 \right\rangle (w + s) \quad \text{式 (13)}$$

ここで,  $i$ : セグメント番号,  $\langle \rangle$  で示す部分は, 整数を示している。

$$L_s = \sum_{i=1}^{4n} \frac{\mu_0}{2\pi} l_i \left[ \ln \left( \frac{2l_i}{w+t} \right) + 0.5 + \frac{w+t}{3l_i} \right] \quad \text{式 (14)}$$

$$M_{ij} = M(l_i + \delta) - M(\delta) \quad \text{式 (15)}$$

$$M(l) = \frac{\mu_0}{2\pi} l \left\{ \ln \left[ \frac{l}{GMD} + \sqrt{1 + \left( \frac{l}{GMD} \right)^2} \right] - \sqrt{1 + \left( \frac{GMD}{l} \right)^2} + \frac{GMD}{l} \right\} \quad \text{式 (16)}$$

$$GMD = \exp \left( \ln d - \frac{w^2}{12d^2} - \frac{w^4}{60d^4} - \frac{w^6}{168d^6} - \frac{w^8}{360d^8} - \frac{w^{10}}{660d^{10}} \right) \quad \text{式 (17)}$$

$$\delta = \frac{(l_j - l_i)}{2} \quad \text{式 (18)}$$

更に, 電流の向きが同じとなるセグメント間の相互インダクタンスの合計  $M_{T+}$  は式 (19) となる。

$$M_{T+} = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^4 M_{4(i-1)+k, 4(j-1)+k} \quad \text{式 (19)}$$

ここで,  $i, j$  は外周から内周へカウントした巻数を示し,  $k$  はその巻数のセグメント番号を示している。このとき, それぞれのセグメント間の距離は式 (20) となる。

$$d_+ = (j-i)(w+s) \quad \text{式 (20)}$$

一方, 電流の向きが逆となるセグメント間の相互インダクタンス  $M_{T-}$  は式 (21), セグメント間の距離は式 (22) で示される。

$$M_{T-} = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^2 M_{4(i-1)+k, 4(j-1)+k; 2} \quad \text{式 (21)}$$

を

$$d_- = \frac{l_1 + l_2 + (-1)^i (l_1 - l_2)}{2} - (i+j-2)(w+s) \quad \text{式 (22)}$$

そして, コイルの全インダクタンス  $L$  は式 (23) で求められる。

$$L = L_s + M_{T+} - M_{T-} \quad \text{式 (23)}$$

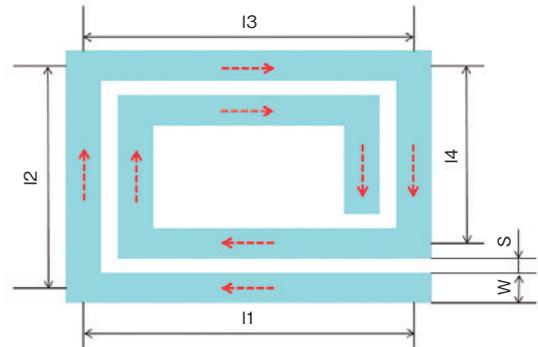


図3 矩形スパイラルコイルのパラメータ

#### 3.2 コーナー径 $R$ を有するコイルのインダクタンス

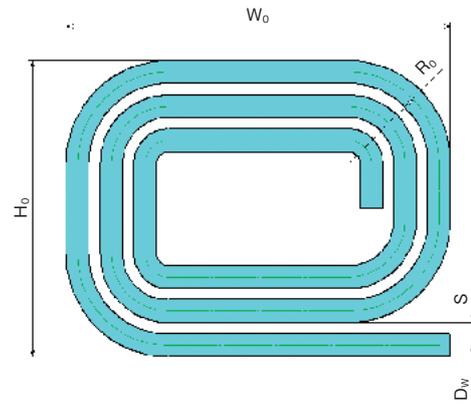


図4 レーストラック型コイル

図4に示すように、コーナー部が半径Rの弧を持つコイルがレーストラック型のコイルである。このような形状のコイルのインダクタンスは、コーナー部を図5に示すような3つの直線のセグメントに近似して求めることができる<sup>2)</sup>。すなわちレーストラック型コイルのインダクタンスは、図6に示すような八角形のコイルのインダクタンスとして算出可能となる。

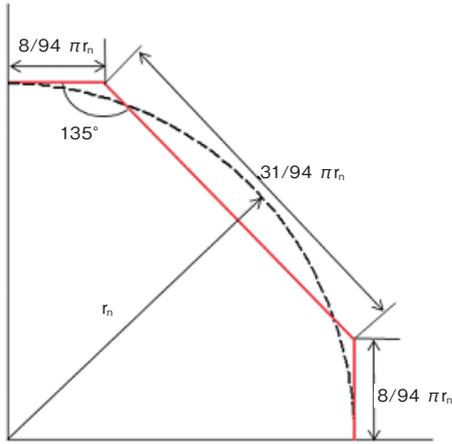


図5 レーストラックコイルのコーナー部の直線近似

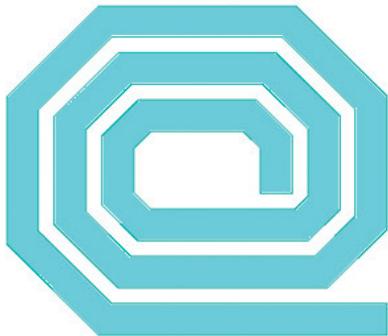


図6 レーストラックコイルの八角形コイル化

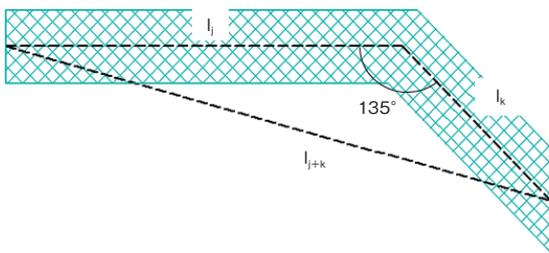


図7 135度で隣接するセグメント間の位置関係

$$L = L_s + M_{T+} - M_{T-} - M_{T135} \tag{24}$$

$$M_{jk} = 0.0001 \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \right) l_j \left[ \ln \frac{1 + \frac{l_k}{l_j} + \frac{l_{j+k}}{l_j}}{1 - \frac{l_k}{l_j} + \frac{l_{j+k}}{l_j}} + \frac{l_k}{l_j} \ln \frac{\frac{l_k}{l_j} + \frac{l_{j+k}}{l_j} + 1}{\frac{l_k}{l_j} + \frac{l_{j+k}}{l_j} - 1} \right] \tag{25}$$

八角形コイルのインダクタンスは、矩形コイルのインダクタンスの算出と同様、各セグメントの自己インダクタンスとセグメント間の相互インダクタンスの合計により求められる。ただし、相互インダクタンスには対向するライン間の相互インダクタンスに加え、135度にて隣接するセグメント間(図7)の相互インダクタンス式(25)を考慮し、式(24)のとおりとなる。

### 3.3 コイルの交流抵抗

ワイヤレス電力伝送では85 kHzという高周波で電力伝送を行うことから、表皮効果と近接効果による線材の損失を低減するためリッツ線が利用される。リッツ線自体の交流抵抗は、Frederic Emmons Termanによって式(26)であることが示されている<sup>3)</sup>。式(26)において、Fは表皮効果による抵抗増を、kで始まる項は近接効果による抵抗増を示している。これより、素線径を細くすることにより、表皮効果および近接効果による抵抗増が小さくなることわかる。しかしながら、直流抵抗を維持しつつ素線径を小さくするためには、素線数を大幅に増やすことが必要であり、むやみに素線径を細くすることはコストアップにつながってしまう。システム全体を鑑み、適切な素線径と素線数のリッツ線を選択しなければならない。

$$R_{ac\_straight} = R_{dc} \left[ 1 + F + k \left( \frac{nd_s}{d_0} \right)^2 \times G \right] \tag{26}$$

$d_s$  : 素線径

$d_0$  : リッツ線径

$n$  : 素線数

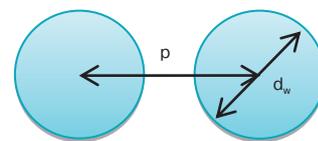
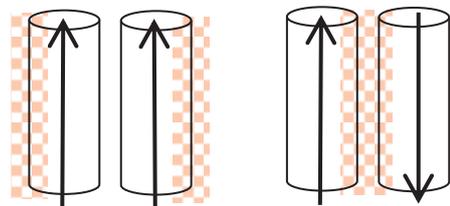
$$G \approx \left[ \frac{d_s}{4\delta} \right]^4$$

表皮厚:  $\delta = \sqrt{\rho / \pi f \mu}$   
 $\rho$ : 抵抗率 [ $\Omega/m$ ]  
 $f$ : 周波数 [Hz]  
 $\mu$ : 透磁率

$$F = G/3$$

$$k \approx 2 - (1.4/n)$$

$R_{dc}$  : リッツ線の直流抵抗



$p$  : 導体間距離  
 $d_w$  : 導体径

図8 平行導体の近接効果による電流密度の偏り

近接効果による損失は、リッツ線をコイルに巻線することによっても生じる。巻線により導体が近接するとそれぞれの電流によって生じた磁界により、他方の導体に渦電流を生じさせ、電流密度に偏りを生じる（電流の向きにより図8のようになる）。この電流の偏りにより、線材の位置により抵抗値に偏りが生じ、結果コイル全体の抵抗を増加させる。

平行導体の導体抵抗  $R_0$  と近接効果を受けた抵抗  $R$  の比  $R/R_0$  は、式 (27) のようになることが示されている<sup>4)</sup>。図9に式 (27) より求めた平行ライン間の距離と近接効果による交流抵抗の悪化の関係を示す。図に示すように、ライン間隔が小さくなり近接するようになると交流抵抗が大きくなり、導体径相当の間隔があれば、その増加は10%程度にまで軽減される。後述するコイルの巻線形態において、巻線間にスペースを持たない密巻コイルでは近接効果による抵抗の悪化をもたらすことがわかる。

$$\frac{R}{R_0} \approx 1 + \left[ \left( \frac{1}{r'_1} \right) - \left( \frac{1}{r'_2} \right) \right] \quad \text{式 (27)}$$

$$r'_1 = \left( \frac{2p}{d_w} + 0.5d_w / p - 1 \right)$$

$$r'_2 = \left( \frac{2p}{d_w} - 0.5d_w / p + 1 \right)$$

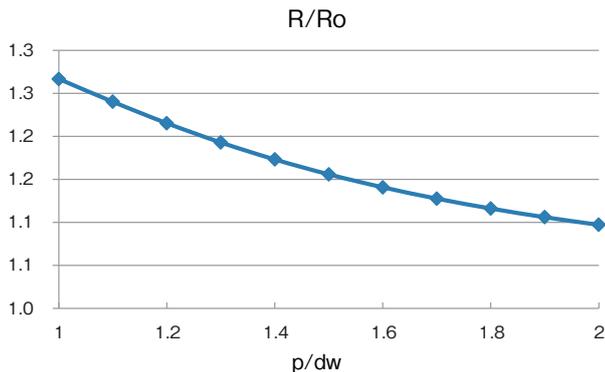


図9 平行ラインの間隔と交流抵抗の増加

#### 4. SAE J2954 規格

表1 SAE J2954 におけるクラス分け

パワークラス	WPT1	WPT2	WPT3
伝送電力	~ 3.7 kW	~ 7.7 kW	~ 11 kW
適用	乗用車 普通充電	乗用車 普通充電	乗用車 急速充電

「SAE TIR J2954」においては、地上側送信機と車載側受信機間の相互接続性や安全対策についての規格の他、標準化した装置の仕様も示されている。

標準仕様では、表1に示すように伝送電力の大きさにより WPT1, WPT2, WPT3 にクラス分けされ、それぞれにコイル形状を始めとする機構部品の仕様や回路部品の定数といった情報が提供されている。そのため、本標準仕様に基づいて規格に準拠したワイヤレス給電装置を制作するこ

とが可能となっている。

### 5. コイル形態と特徴

#### 5.1 コイル形態と特徴

表2にコイルの形状、表3にコイル巻線形態、表4にコーナー形状、の違いとその特徴について示す。

表2 コイルの形状と特徴

分類	円形	矩形 (レールトラック型)
形状		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動巻きしやすい。</li> <li>矩形に比べ送受信コイル間の位置ずれに弱い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>円形に比べ自動巻きづらい。</li> </ul>

表3 コイルの巻線形態と特徴

分類	密巻	ギャップ巻
形状	 巻線間にスペースを設けない。	 巻線間にスペースを設ける。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流抵抗が大きい。</li> <li>自動巻きしやすい。</li> <li>ハンドリングしやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流抵抗が小さい。</li> <li>ハンドリングしづらい</li> </ul>

表4 コイルコーナー形状と特徴

分類	同心コーナー	同径コーナー
形状	 コーナーの中心位置が同じ。	 コーナーの径が同じ。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁界強度の分布の偏りが大きい。</li> <li>内側の径が小さく、自動巻きづらい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁界強度の分布の偏りが小さい。</li> <li>自動巻きしやすい。</li> </ul>

IH 調理用コイルでは、自動巻きやすく、自己融着線を用いることにより形状保持が可能な円形の密巻コイルが利用されてきた。しかし、このタイプのコイルは、交流抵抗が大きくなり、ワイヤレス給電装置には向かない。

## 5.2 SAE規格のコイル形態

EV向けワイヤレス給電装置では、地上側装置と車載側装置との位置ずれに対して許容度が大きく、伝送効率を劣化させないコイル形態が望まれる。そのため、「SAE TIR J2954」では、車載側コイルに、矩形、同心コーナー、ギャップ巻のコイルが標準化され、地上側コイルにおいては、安全性の観点から磁界分布の偏りの少ない矩形、同径コーナー、ギャップ巻コイルが標準化されている。

しかし、これらのギャップ巻コイルでは、交流抵抗を小さくできるものの、巻線がしづらい。さらに、コイル自身で形状を保持することができず、形状を保持するためのトレイが必要となり、製作コストが非常に高くなる。

我々は、交流抵抗を増加させることなく、自動巻可能でハンドリングしやすいコイル、コイルトレイが不要なコイル形態を検討した。

## 5.3 ギャップ巻コイルと密巻コイル

密巻コイルは、自己融着線を使ってコイルを固着することにより形状保持が可能で、コイルトレイを不要とすることができる。巻線の自動化も容易であるから、大幅なコストダウンが可能である。課題は、2.4項にて記述したように、コイルの交流抵抗が大きくなることにある。

表5 ギャップ巻および密巻コイルの構成

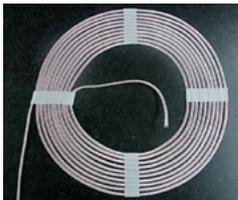
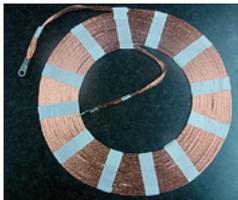
巻線	ギャップ巻	密巻
リッツ線	0.1 mm, 1020本	0.1 mm, 510本×2
コイル 外径/内径	300/168 mm	
巻数	10 Turn	
外観		

表5の左側のようなスパイラル型ギャップ巻コイルを形状とインダクタンス値を変えずに密巻コイルにするには、リッツ線を分割し、これらを並べて巻線することによって実現できる。たとえば、素線数1000本のリッツ線でギャップ巻のコイルであれば、リッツ線を2分割し、素線数500本のリッツ線2本を並べて密巻のコイルとすることができる(表5右側)。

表5に示したギャップ巻と密巻のスパイラルコイルのインダクタンスを図10、交流抵抗を図11に示す。インダクタンスは、巻線間の結合係数が大きい密巻が若干大きい。一方、交流抵抗については、密巻での増加が顕著に表れる。図11に示すように近接効果による抵抗増は数kHzの周波数から馬の背のように盛り上がる特徴がある。

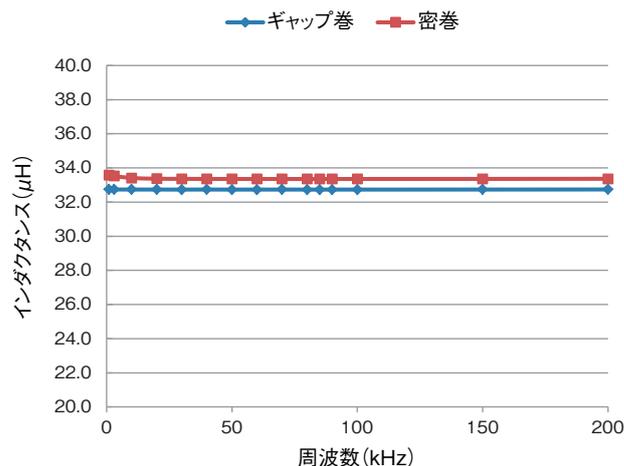


図10 密巻およびギャップ巻コイルのインダクタンス

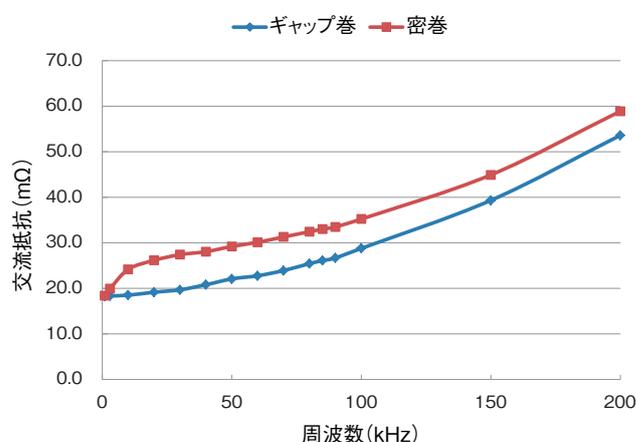


図11 密巻およびギャップ巻コイルの交流抵抗

## 5.4 転位巻コイル

前項において、本来1本のリッツ線によるギャップ巻コイルを2本のリッツ線に分割し密巻(パラ密巻)とすると、交流抵抗が大幅に増加してしまうことを示した。これを低減させる方法に転位巻と呼ぶ巻線方法がある。

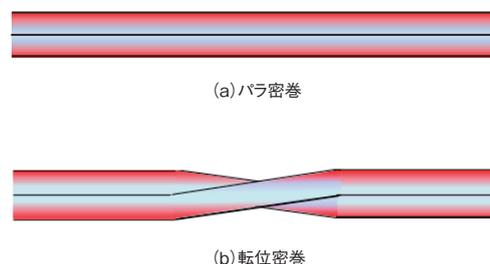


図12 平行ラインの転位巻

図12(a)に示すパラ密巻では、近接効果により電流密度の偏りによる抵抗値の偏りが長く続く、すなわち、線材の位置により抵抗値の大小に大きな差異が生じる。結果、コイル全体の交流抵抗が増加する。転位巻は図12(b)に示すように、平行するそれぞれのラインの位置関係のあるポイントにおいて反転させる巻線方法である。転位巻では、

この反転により線材の位置による電流密度の偏りがなくなり、近接効果による交流抵抗の増加を軽減することができる。

図 13 に平行 2 本のラインの転位巻コイルの交流抵抗測定結果を示す。線材は 0.1 mm/500 本のリッツ線、コイルは外径 300 mm、内径 210 mm、巻数 7 Turn、転位の回数は 28 と 4 で調査した。図 13 に示すとおり、わずか 4 回の転位でも交流抵抗の低減効果があることがわかる。

しかし、転位巻については、線材を入れ替える簡便な方法が見当たらないこと。また、転位部において線材が重なるためコイルの厚みの厚い部分が発生することなどの課題がある。

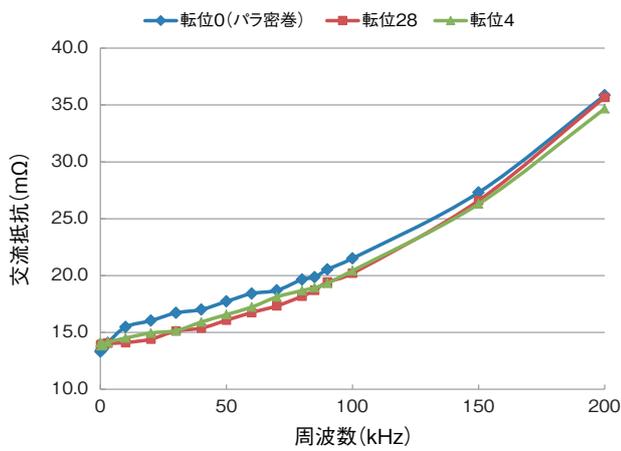


図 13 転位巻コイルの交流抵抗

### 5.5 ハイブリッド巻コイル

われわれは、ギャップ巻や転位巻のように交流抵抗が小さく、密巻のように巻線し易く、そして取扱い易いコイル形態としてハイブリッド巻 (HB 巻) を考案した。

HB 巻コイルは、図 14 に示すように巻数  $n$  の偶数ターンの巻線を奇数ターンである巻数  $(n-1)$  と  $(n+1)$  の間を蛇行させ当接させた巻線形態である。こうすることにより、転位巻のように線材内の電流密度の偏りを無くし、交流抵抗の悪化を防ぐことができる。

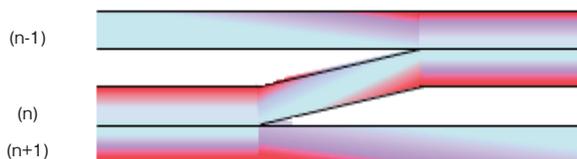


図 14 ハイブリッド巻

この HB 巻を行ったコイルを図 15、主な仕様を表 6 に示す。本 HB 巻コイルのインダクタンスと交流抵抗の評価結果は図 16 に示すとおりである。このように交流抵抗は近接効果による抵抗悪化を示すことなく、良好な値を示している。

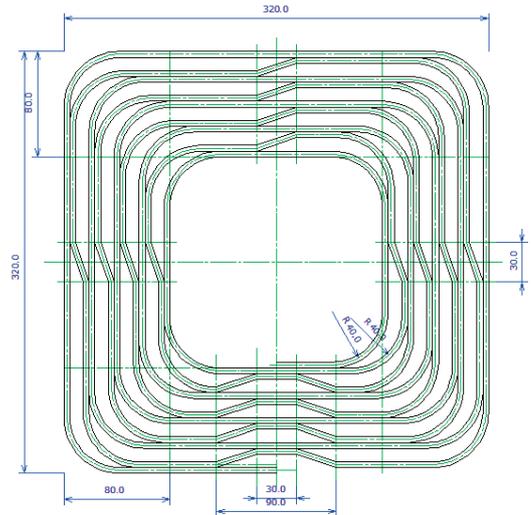


図 15 ハイブリッド巻コイル

表 6 ハイブリッドコイルの仕様概要

項目	仕様
リッツ線	0.1 mm/1050 本
コイル外径 / 内径	320/160 mm
コーナー径	40 mm (同径)
コイル厚	4.0 mm
巻数	9 Turn

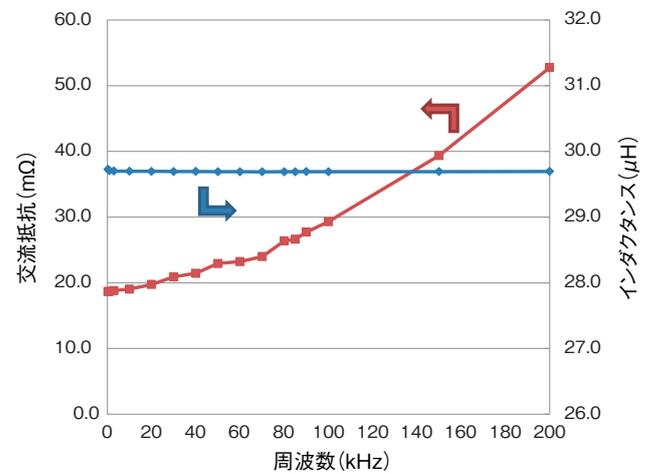


図 16 交流抵抗とインダクタンス

また、コーナー径 40 mm のレーストラック型である本コイルのインダクタンスを、ギャップ巻コイルとして算出した結果、 $29.6 \mu\text{H}$  となり測定値  $29.7 \mu\text{H}$  に良く近似した。このことにより、先に示したレーストラック型コイルのインダクタンス算出モデルが妥当であること、HB 巻コイルのインダクタンスはレーストラック型ギャップ巻コイルのインダクタンスより推定可能であることが示された。

更に、本 HB 巻コイルは、自己融着線や溶融固着する糸を巻いたリッツ線を用いることにより、形状の保持が可能となる。当社では、その製造のし易さから、アセテート糸を巻いたリッツ線を用い、コイルを固着することにより、

形状保持を実現した。図 17 にその実施例を示す。

以上のように、HB 巻コイルではその Q 値を損なうことなく、形状保持が可能なことから、ハンドリングが容易となり、形状保持のためのトレイを準備する必要がないなど多くの利点がある。



図 17 ハイブリッド巻コイルの実施例

## 6. ま と め

磁界共鳴方式のワイヤレス給電に利用されるコイルには、Q 値が大きいこと、すなわち交流抵抗が小さいことが求められることを示し、それを実現するコイル形態を明らかにした。

更に、低価格を実現するため、高 Q 値を維持しつつ、ハンドリングが容易でコイルの形状保持のためのトレイを省略可能なコイル形態、ハイブリッド巻 (HB 巻) コイルを考案し、その有効性を示した。

また、当社では、自動巻による製造方法を開発済みであり、HB 巻コイルそれ自体が低コストで製造可能である。

以上のことより、HB 巻コイルはワイヤレス給電装置の低価格化に大きく寄与するものである。我々は、HB 巻コイルの利用によりワイヤレス給電装置の価格低減が進み、EV および自動運転車の発展に貢献することを望むものである。

## 参 考 文 献

- 1) Greenhouse, H. M. (1974), Design of planar rectangular microelectronic inductors, IEEE Trans. Parts Hybrids Packag, 10(2), 101-109. doi:10.1109/TPHP, 1974. 1134841.
- 2) Grove, F. W. (1946), Inductance Calculations: Working Formulas and Tables, Van Nostrand, New York.
- 3) TERMAN F E: Radio Engineers' Handbook, McGraw-Hill Book Company, First Edition 1927.
- 4) Alan Payne: "Skin Effect, Proximity Effect and the Resistance of Circular and Rectangular Conductors", 2016. <http://g3rbj.co.uk>
- 5) 松本秀樹, 他: 「ワイヤレス給電用コイルの最適化検討」, 昭和電線レビュー, Vol.62 (2016)

昭和電線ケーブルシステム(株)  
松本 秀樹 (まつもと ひでき)  
先行商品開発センター 産業用機能商品開発 G  
非接触給電用コイルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
三浦 聖 (みうら きよし)  
先行商品開発センター 産業用機能商品開発 G  
非接触給電用コイルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
野内 健太郎 (のうち けんたろう)  
先行商品開発センター 産業用機能商品開発 G  
非接触給電用コイルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
香月 史朗 (かつき しろう)  
先行商品開発センター長

昭和電線ホールディングス(株)  
大根田 進 (おおねだ すずむ)  
執行役員 新事業開拓部長

# 竣工後 30 年経過した免震建物と天然ゴム系積層ゴムの性能検証

## Aged Deterioration of the Base-isolated Building and Natural Rubber Bearing after 30 years

三須基規  
Motoki MISU

清水美雪  
Miyuki SHIMIZU

福田滋夫  
Shigeo FUKUDA

加藤直樹  
Naoki KATO

山上 聡\*  
Satoshi YAMAGAMI

上 寛樹\*  
Hiroki UE

舟木秀尊\*  
Hidetaka FUNAKI

小山慶樹\*  
Yoshiki KOYAMA

高山峯夫\*\*  
Mineo TAKAYAMA

1980年代に実用化された免震構造は長期的な経年変化の検証が求められている。そこで竣工後 30 年経過した免震建物に自由振動試験等を実施した後、建物から積層ゴムを抜取って限界変形試験を実施した。

その結果、竣工後 30 年経過した建物の免震性能の変化は当初の予想範囲内であった。また抜取った積層ゴムの水平方向変形性能は製作時と同等以上で、十分な変形能力を有していることが確認できた。

For demand to tendency of aged deterioration about isolated structure and rubber bearing since 1980's developed, we have tested the performance of the based-isolated building and natural rubber bearing removed from this building.

As a result, aged deterioration of this building is within the range of expectation. In addition, sufficient deformation capability of this rubber bearing has been confirmed.

### 1. はじめに

ゴムを用いた免震構造は海外で開発され、国内ではまず橋梁分野で実用化された。水平方向の剛性が低く、大変形できる積層ゴムが必要な建築分野では 1983 年に国内初の免震建物「八千代台住宅」が完成している<sup>1)</sup>。

その実現に尽力した福岡大学多田研究室は国内の地震動には更に低剛性で大変形できる積層ゴムによる免震構造が必要と判断され、建設会社やメーカーとの共同研究を推進した。

この取り組みの一環として 1985 年から開発された積層ゴム 25 体（直径φ 500 mm、ゴム厚さ 7 mm × 14 層）は、福岡大学多田研究室による全数試験で製品性能を確認後、1986 年に奥村組技術研究所管理棟に設置された。これが、昭和電線製積層ゴムの第一号納入件名である。

1986 年は他にも免震建物が相次いで完成<sup>2,3)</sup>しているが、研究者と建物設計・施工者とメーカーが建物や積層ゴムの性能を竣工時から継続評価（表 1）している例は他に無いため、2017 年には第 18 回日本免震構造協会普及賞を株式会社奥村組と共同受賞している。

本書では一連の活動のうち、2016 年に実施した「建物の自由振動試験」と、2017 年に実施した「建物に使用された積層ゴムの限界変形試験」について報告する。



図 1 奥村組技術研究所管理棟

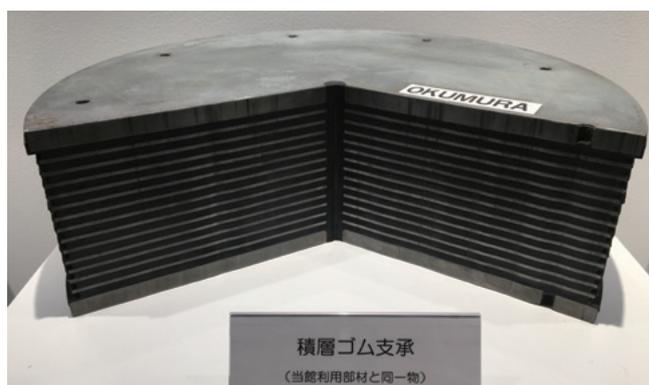


図 2 積層ゴムφ 500 モデル

\* 株式会社奥村組

\*\* 福岡大学

表 1 奥村組技術研究所管理棟の評価履歴：着色部が本書

時期	経過年数	評価内容						備考
		建物(図1)の自由振動試験・静的加力試験	積層ゴム(図2)				奥村組	
			建物に使用した製品		同ロット製作の別置試験体			
		奥村組	福岡大学	昭和電線	福岡大学	昭和電線		
1986年	竣工	実施	実施		実施			参考文献4)
1987~1993年	1~7	実施(1年目)					実施	参考文献5)
1997年	11					実施	実施	
2005年	19	実施						参考文献6)
2007年	21				実施			参考文献7)
2010年	24					実施		
2016年	30	実施				実施		参考文献8)
2017~2018年	31	2体抜き取り前後で実施	2体抜き取り、うち1体を限界変形試験					参考文献9)

2. 建物の自由振動試験

開発時から積層ゴムの使用期間は60年以上が想定されたので、奥村組技術研究所管理棟(茨城県つくば市)は建物の性能を評価できる構造で設計・施工されている。

油圧ジャッキで建物を水平方向に100 mm変形させた状態(図3, 図4)から急速解放する自由振動試験の結果(図5), 30年経過した積層ゴムの水平剛性は竣工時に対して約9%増加していた。建物を水平方向に0~100 mm×3サイクル加振させる静的加力試験から得られた水平剛性からも、積層ゴムの経年変化は開発時にゴム材料の熱老化試験結果から予測された性能変化率17%以内で推移していることが確認された(図6)。

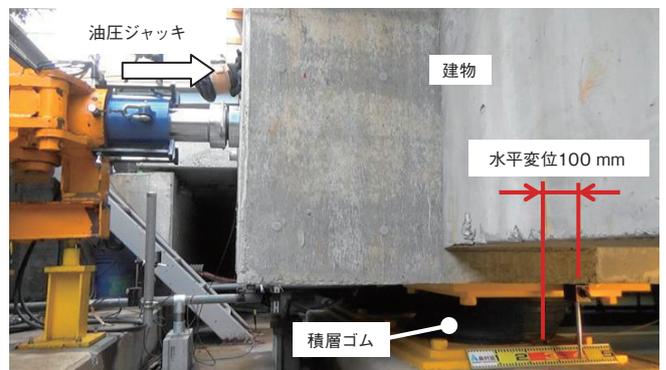


図4 油圧ジャッキによる加力状態

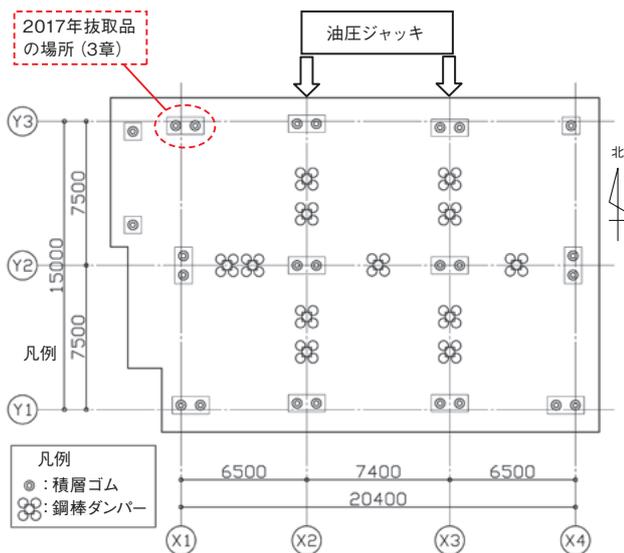


図3 積層ゴム及び鋼棒ダンパー配置図

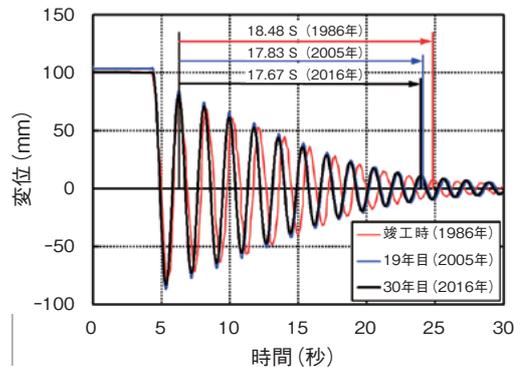


図5 自由振動試験の変位時刻歴波形

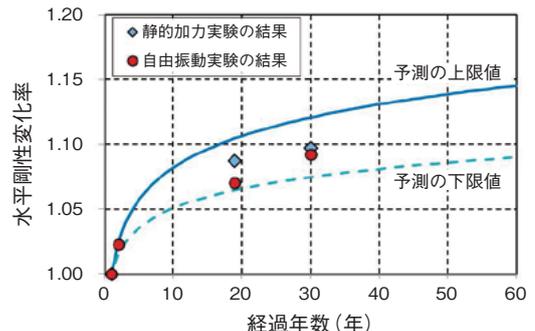


図6 開発時の予測と測定値の比較

### 3. 積層ゴムの抜取り評価

当時の昭和電線製積層ゴムは、現在より形状係数 S1 と天然ゴムの重量比が小さい（表 2）ので酸化劣化しやすい可能性がある。今後も建物の検証を継続できるように当時のゴム材料配合を復元した積層ゴムを 2 体新規製作して図 3 の位置に示す積層ゴム 2 体と交換した（図 7）。

表 2 昭和電線製積層ゴム仕様

項目		1986 年当時 A40-500 × 7-14	現在の例 R40-500-3.75 × 26
形状係数	1 次 S1	17.1	20 ~ 40
	2 次 S2	5.1	3.5 以上
ゴム物性	せん断弾性率 [N/mm <sup>2</sup> ]	規定無し	0.44
	硬さ (JIS A)	40 ± 3	40 ± 5
	低伸長 25% 応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	0.26 ± 0.098	規定無し
	100% 引張応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	規定無し	0.9 ± 0.2
	切断時伸び [%]	600 以上	
切断時引張応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	15.7 以上		
重量比 [%]	天然ゴム	55	75
	カーボンブラック	18	15
	加硫剤	3	10
	その他	24	

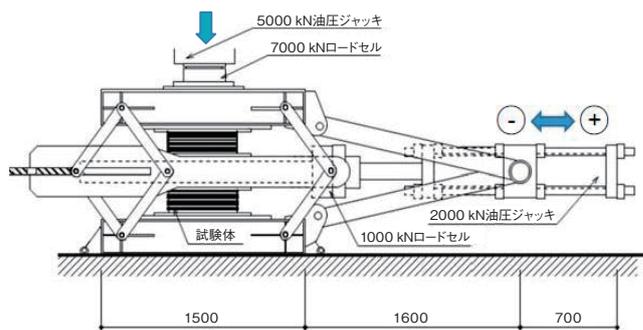


図 8 福岡大学所有試験機

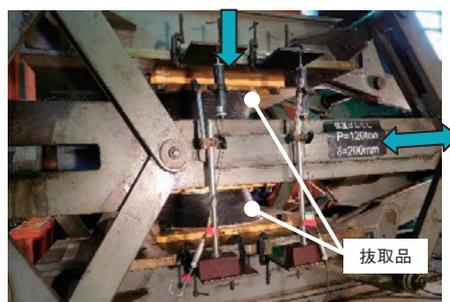


図 9 福岡大学所有試験機での試験状況



図 7 積層ゴムの交換

#### 3.1 同一試験機での基本性能評価

建物からの採取品 2 体を、1986 年納入時と同じ福岡大学所有試験機（図 8）を用いて、同様に 2 体 1 セット（図 9）で基本性能を測定した。この 2 体は 1986 年納入時と同じ組み合わせで測定している。加振条件は鉛直荷重 1176 kN（= 建物の設計荷重：面圧 6 N/mm<sup>2</sup>），せん断変形率 ± 100% と ± 200% を建物南北方向に 3 サイクル加振して得られた荷重の 1/2 値を採取品 2 体の平均値とする。

積層ゴム 25 体で支持された建物を複数回静的加力して、得られた荷重を 1/25 倍して積層ゴム 1 体あたりの水平方向荷重 - 変位関係 1 サイクル分として比較したものを図 10 に示す。採取品の 1 サイクル目は建物の静的加力から得た荷重 - 変位関係に殆ど重なった。ゴムの大変形に伴う応力低下（Mullins 効果）で 2 サイクル目以降は荷重が下がるため、各 1 サイクル目を同じ方法で竣工時と比較したものを図 11 に示す。採取品は竣工時も経年変化後も建物を支持する積層ゴム 25 体の平均的な性能を有すると考えられる。

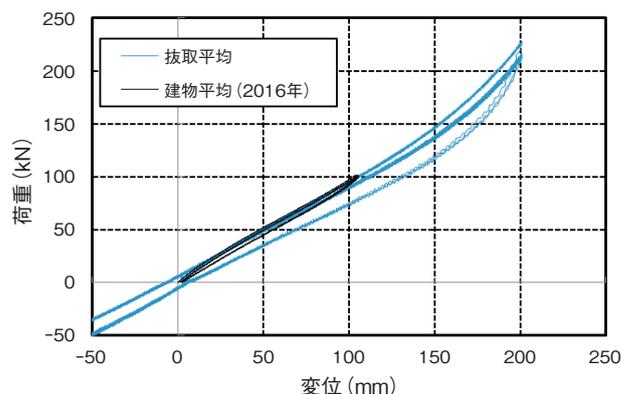


図 10 建物の静的加力試験と採取品を積層ゴム 1 体あたりの水平方向荷重 - 変位関係で比較した結果

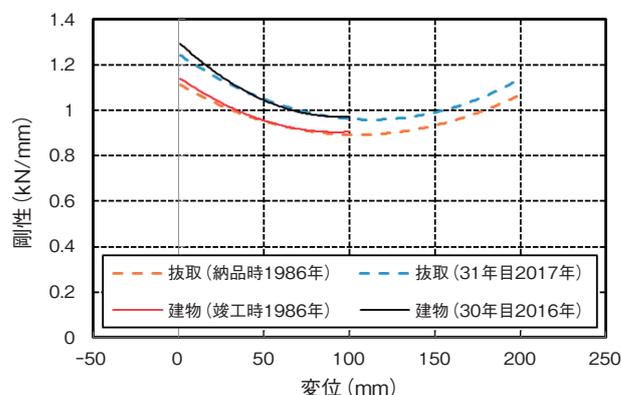


図 11 建物の静的加力試験と採取品の水平剛性を竣工時と比較した結果

### 3.2 限界変形試験

抜取品の1体を、昭和電線所有 25MN 試験機 (図 12) を用いて建物南北方向に加振して限界変形性能を確認した。加振条件を表 3、せん断変形時の外観を図 13 ~ 図 14、水平方向荷重 - 変位関係を図 15 に示す。

せん断変形率 ± 300% 以降の正負変位 250 mm ~ 280 mm 間の水平荷重の変動は試験機とフランジ間が滑ったためでゴムに異常は認められなかった。またせん断変形率 ± 350% 加振時でゴム表面に亀裂が発生したものの荷重 - 変位関係に影響を与えず水平荷重は増加を続けており、支承能力に問題は無いと判断して試験を継続した。せん断変形率 ± 400% 加振でも同様の傾向が継続されたが、安全確保及び今後の評価のため破断させず途中で試験を中止した。

過去に実施された型式と鉛直面圧が同じ当社積層ゴムの一方向加振破断試験<sup>10)</sup> から読み取り SI 単位換算したせん断応力との比較を表 4 に示す。抜取品のせん断応力が若干増加したのは経年変化によるものと推定される。しかし、それでも十分な変形能力を有していたと言える。

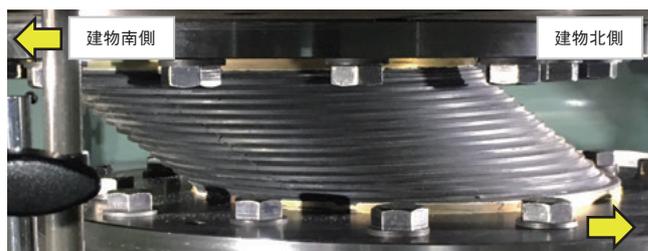


図 13 せん断変形率 ± 300% 加振時の外観

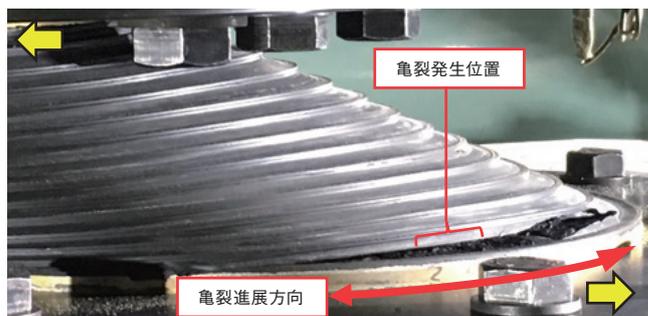


図 14 せん断変形率 ± 400% 加振時の外観

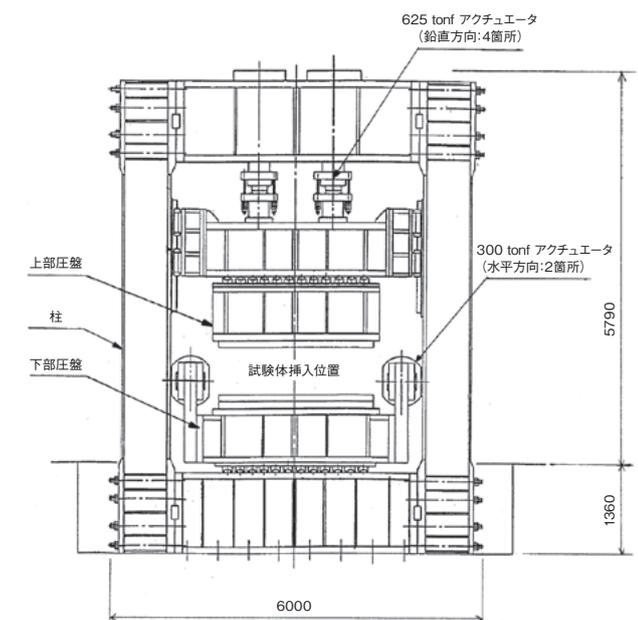


図 12 昭和電線所有 25MN 試験機

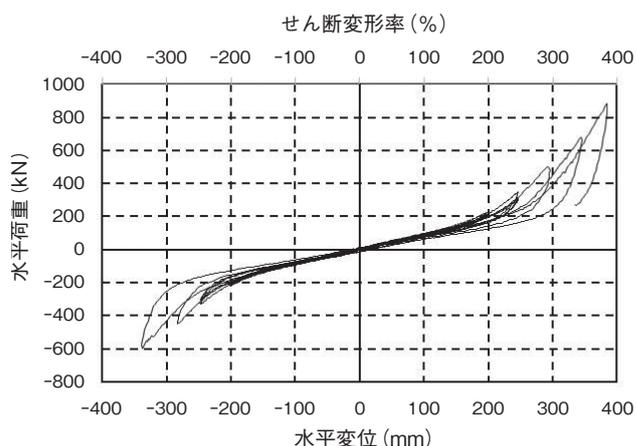


図 15 水平方向荷重 - 変位関係

表 4 過去の一方向破断試験との比較

せん断変形率 [%]	せん断応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	
	過去の一方向加振破断試験 <sup>10)</sup>	今回の引取品 ± 400% 加振時
+ 100	約 0.4	0.47
+ 350	約 2.8	2.83
+ 360 ~ + 370	約 3.1 (破断)	3.16 ~ 3.50

表 3 限界変形試験加振条件

鉛直方向 面圧 [N/mm <sup>2</sup> ]	水平方向			
	せん断変形率 [%]	せん断変位 [mm]	速度 [mm/s]	サイクル
6	± 100	± 98	5	3
	± 153	± 150		
	± 200	± 196		
	± 250	± 245	3	1
	± 300	± 294		
	± 350	± 343		
	± 400	± 392		

## 4. ま と め

竣工後 30 年経過した免震建物に自由振動試験等を実施した結果、その経年変化は当初の予想範囲内であった。

建物から抜取った積層ゴム 2 体の水平剛性平均値は、建物の静的加力試験結果と同等と考えられる。また 1 体に限界変形試験を実施したところ、製作時と同等以上の十分な変形能力を有していることが確認された。

今後もゴム材料の特性評価等を実施して、積層ゴムの経年変化の研究を継続する予定である。

## 謝 辞

この「竣工後 30 年経過した免震建物の自由振動試験」は 2016 年 11 月に一般公開され、テレビ等のメディアにも免震構造の長期使用を検証した結果として紹介されました。

事例が殆ど無かった時期に、免震建物の設計とその実現に尽力された株式会社東京建築研究所殿や奥村組及び当社の先輩方が数十年後を見据えた取り組みをされたため貴重なデータを測定できました。ここに感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば一般社団法人日本ゴム協会及び一般社団法人日本免震構造協会編：「改訂版 設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック」(2017)
- 2) 谷 佑馬, 他：「約 30 年間使用した積層ゴムの経年変化 (その 1 ~ その 2)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.943 ~ 946 (2017)
- 3) 長弘健太, 他：「竣工後 30 年を経過した LRB の経年変化」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1001 ~ 1002 (2018)
- 4) 例えば多田英之, 他：「免震アイソレータの開発」, 昭和電線電纜レビュー, Vol.36, No.1, pp.109 ~ 119 (1986)
- 5) 早川邦夫, 他：「積層ゴムの経年変化」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.596 ~ 570 (1997)
- 6) 安井健治, 他：「免震建物に設置された積層ゴムの経年変化」, 日本建築学会技術報告集, 第 24 号, pp.167 ~ 170 (2006)
- 7) 柳 勝幸, 他：「天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究」, 昭和電線レビュー, Vol.59, No.1, pp.68 ~ 72 (2012)
- 8) 山上 聡, 他：「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経年変化」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.937 ~ 938 (2017)
- 9) 山上 聡, 他：「竣工後 30 年経過した免震建物から採取した天然ゴム系積層ゴムの性能検証 (その 1 ~ その 2)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.997 ~ 1000 (2018)
- 10) 日本建築学会：「免震構造設計指針 (第 2 版)」, p.309 (1993)

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  
免制震製品の設計・開発に従事

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  
免震製品の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
福田 滋夫 (ふくだ しげお)  
デバイスユニット 免制震部 技術・品質保証課長

昭和電線ケーブルシステム(株)  
加藤 直樹 (かとう なおき)  
デバイスユニット 免制震部長

株式会社奥村組  
山上 聡 (やまがみ さとし)  
技術研究所 建築研究グループ 主任研究員

株式会社奥村組  
上 寛樹 (うえ ひろき)  
技術研究所 建築研究グループ長

株式会社奥村組  
舟木 秀尊 (ふなき ひでたか)  
技術研究所 建築研究グループ 構造チームリーダー

株式会社奥村組  
小山 慶樹 (こやま よしき)  
技術研究所 建築研究グループ 主任研究員

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

# 三相同軸超電導ケーブルのための流路設計

## Design of flow path in tri-axial superconducting cable system

菅根 秀夫  
Hideo SUGANE

足立 和久  
Kazuhiisa ADACHI

小林 公樹  
Hiroki KOBAYASHI

北村 祐  
Tasuku KITAMURA

塩原 敬  
Kei SHIOHARA

三堂 信博  
Nobuhiro MIDO

青木 裕治  
Yuji AOKI

長谷川 隆代  
Takayo HASEGAWA

三相同軸超電導ケーブルは、最内層のコルゲート管に冷媒の往路、外層の管に復路を持つ。この構造において、往路管と復路管の間で熱交換が生じる。循環流路内で交換される熱量はループ内の特定の部位に残り続けるため、冷媒の最大温度はこの影響を受けて増大する。我々はこの寄与を考慮し、圧力損失と温度分布の計算を行った。本報ではこれらの計算結果について報告する。

In the tri-axial superconducting cable, the most inner corrugated pipe (former) is the outward path of the refrigerant, and the outer pipe (inner corrugated pipe) is the returning path. In this structure, heat exchange occurs during outward and returning paths. Since the amount of heat exchanged in the circulation loop continues to remain in the specific part of the loop, the maximum temperature of the refrigerant rises. We calculated the pressure loss and temperature distribution of tri-axial cable with considering the contribution of heat exchange. In this paper, we report the result of the calculation.

### 1. はじめに

超電導機器の開発は、二酸化炭素排出量削減のための有効な手段の一つとして期待されている。超電導機器の中でも、近い将来実用化が期待されている機器の一つが超電導ケーブルである。

通常のケーブルを超電導ケーブルに置き替えた場合、ジュール損失が0となることから、送電の際に損失するエネルギーの量が削減される。ジュール損失が0であるという特徴は、超電導ケーブルが低電圧・大電流の送電ラインに適用されたときに大きなコストメリットが得られる事を意味している。一方、超電導状態を得るためにはシステムを超電導体の臨界温度以下となる液体窒素温度に維持しなければならない。今回我々が開発している三相同軸超電導ケーブルは、液体窒素の往路管、U、V、W相の超電導線材で形成される各超電導層を絶縁紙を介して同軸上に形成した導体、及び液体窒素の復路管を1条のケーブルの中に有しており、単芯や三芯一括のような他のタイプの超電導ケーブルに比べてコンパクトな構造を得ることができる。<sup>1)</sup>一方で、液体窒素の流路が狭い空間の中に2流路格納されていることから、流路断面積を確保することが難しく、その結果液体窒素の圧力損失が大きくなってしまふ点が課題である。

今回、我々は過去に開発した単芯超電導ケーブルシステ

ム<sup>2)</sup>の運転データを元に、コルゲート管の圧力損失を算出した。また、結果を計算値と比較し、コルゲート管の直管相当長さを算出した。この直管相当長さの傾向を元に、三相同軸超電導ケーブルの圧力損失を見積り、圧力損失が最小となる組み合わせを算出した。

### 2. 圧力損失計算方法

直管の圧力損失は下記に示す Darcy-Weisbach 則で求めることができる。

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{\rho u^2}{2} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta P$ 、 $\lambda$ 、 $l$ 、 $d_e$ 、 $\rho$  および  $u$  はそれぞれ圧力損失、管摩擦係数、管長さ、等価直径、流体密度、および流体流速を表す。このとき、管摩擦係数は Blasius の式により算出した。圧力損失を計算する際、直管ではない部分の圧力損失計算には直管相当長さが利用される。本報では、超電導ケーブルの液体窒素流路に用いられるコルゲート管の圧力損失を、直管相当長さをを用いることによって算出した。このとき、圧力損失は下記により計算できる。

$$\Delta P = l' \lambda \frac{l}{d_e} \frac{\rho u^2}{2} \quad (2)$$

ここで  $l'$  は直管相当長さを意味し、 $\Delta P_{Data}$  を実験や公称値から得た圧力損失、 $\Delta P_{Calc}$  を(1)式による圧力損失の計算値として、 $l' = \Delta P_{Data} / \Delta P_{Calc}$  により算出した。

### 3. 単芯超電導ケーブルの圧力損失測定結果

当社は2015年度にAC35 kVの単芯超電導ケーブルシステムの開発を実施、CIGRE TB538に準拠した形式試験を実施した。この超電導ケーブルシステムの構成を図1、仕様及び使用した超電導ケーブルの寸法を表1に示す。

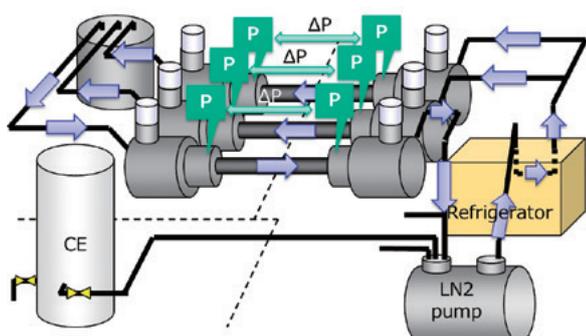


図1 AC35 kV 超電導ケーブルシステム形式試験構成

表1 35 kV 超電導ケーブルシステムの仕様

	仕様
定格電圧	35 kV
定格電流	600 A
臨界電流 ( $I_c$ )	1200 A
クライオスタット運転圧力	0.3 - 0.4 MPa・G
クライオスタット運転温度	65 - 70 K
ケーブル長	100 m
流路内径	61.0 mm
ケーブルコア外径	31.3 mm

この超電導ケーブルシステムでは冷凍機でシステムの運転温度まで冷却された液体窒素を、循環ポンプでケーブルシステム全体に循環させた。循環流量は約40 L/min.とし、超電導ケーブル両端の圧力差を測定することで超電導ケーブルの圧力損失を測定した。3条のケーブルのうち、2条を液体窒素の往路、1条を復路の配管として用いた。本測定では13日間に渡り、同一時刻のデータを測定し、その平均値を採用した。測定結果を表2に示す。圧力センサでの測定にばらつきが見られるが、得られた結果よりこの単芯ケーブルで使用したコルゲート管の直管相当長さは4~7であると考えた。

表2 単芯超電導ケーブルの測定結果

	$\Delta P_{Measurement}$ [kPa]	流量 [L/min.]	$\Delta P_{Calc}$ [kPa]	$l'$ [-]
1 往路	6.80	20.33	0.97	7.08
2 往路	3.89	19.28	0.88	4.44
3 復路	21.07	39.61	3.10	6.79

### 4. コルゲート管の直管相当長さ

流体が水の場合のコルゲート管の圧力損失のデータ<sup>3)</sup>を元に、コルゲート管の直管相当長さを算出した。計算結果を図2に示す。

コルゲート管の直管相当長さは配管サイズが小さなものほど大きな値を示した。この結果と、前項で示した液体窒素を用いた超電導ケーブルの圧力損失測定結果はよく一致していることから、水のデータから得られる直管相当長さを超電導ケーブルの圧力損失の見積りに採用した。

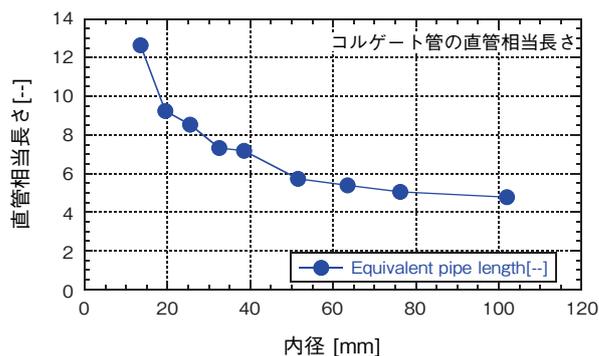


図2 コルゲート管の直管相当長さ

上記のデータより、水の圧力損失データから得られる直管相当長さに基づいて超電導ケーブルの圧力損失を計算した。三相同軸超電導ケーブルの構造は図3及び表3に示されたとおりである。

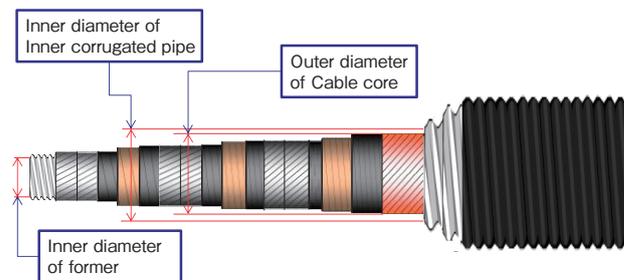


図3 三相同軸超電導ケーブルの構造

表3 三相同軸超電導ケーブルの構成

	材質及び形状
フォーマー	SUS304 コルゲート管
クッション層	不織布テープ
U層導体	YBCO 超電導テープ線材
絶縁層 (U-V)	ポリプロピレン半合成紙 & 半導電テープ
V層導体	YBCO 超電導テープ線材
絶縁層 (V-W)	ポリプロピレン半合成紙 & 半導電テープ
W層導体	YBCO 超電導テープ線材
絶縁層 (W-遮蔽)	ポリプロピレン半合成紙 & 半導電テープ
遮蔽層	銅テープ
保護層	不織布
内コルゲート管	Al コルゲート管

三相同軸超電導ケーブルの液体窒素流路は、外側流路用コルゲート管(内コルゲート),内側流路用コルゲート管(フォーマー)で構成されている。ここで、圧力損失の計算に関わる寸法は内コルゲートの内径、フォーマー上に形成されているケーブルコアの外径、およびフォーマーの内径である。ケーブルコアの外径は、フォーマーサイズとフォーマー上に形成される超電導層、絶縁層の厚みの和によって決まる。ここでは、十分な絶縁圧を想定して超電導層と絶縁層の厚さの和として14 mmを想定した。そのため、ケーブルコア外径をフォーマー外径 + 28 mmとして考えた。

5. 三相同軸ケーブルの流路設計

ケーブルを通過する液体窒素の流量  $W$  は、 $Q$  を熱負荷、 $\rho$  を流体密度、 $\Delta T$  を許容する上昇温度として、下記 (3) 式によって計算することができる。

$$W = \frac{Q}{\rho C \Delta T} \quad (3)$$

ここでは、熱負荷を熱侵入(外部からの伝熱及び内部発熱)とケーブルシステム内部で発生する熱交換量の和とした。熱交換量は図4のQSで表される通り、同一流路内で互いに接触している2地点の間で発生する熱交換の大きさである。冷却システムに要求される冷凍能力は(2)式より液体窒素の入り口と出口の温度差と流量から得られる。ここで、前述の単芯超電導ケーブルのように流路の上流と下流が熱交換しない場合、この温度差は熱侵入の温度上昇のみから構成され、システム内の温度分布は下流に位置するほど高くなるのが分かる。一方、熱交換が発生している場合、システムの最高温度点は熱交換が発生する2地点の間で発生し、熱侵入の温度分布に熱交換による温度上昇を加えた値になるのが分かる。

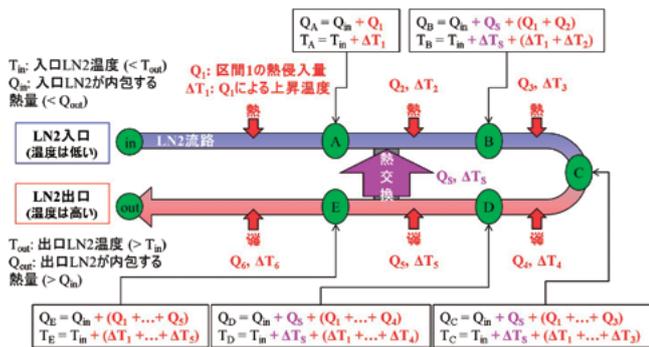


図4 熱侵入量と熱交換量の概念図

超電導ケーブルシステムに必要な液体窒素の流量と、必要流量を流し切るための流路構成を決定するため、我々は各構成部品の想定熱侵入量を積み上げ、裕度も考慮してシステムの熱侵入量を3000 Wと見積もった。また、熱交換量を単位長さ5.1 W/mとし、250 mで約1300 Wとして見積もった。ここで、熱交換量はMark.Sらによって報告さ

れている三相同軸超電導ケーブルの試験データ<sup>4)</sup>より仮に見積もった。また、これらの熱負荷を受けた際に許容する温度上昇を7 Kとして設定し、(3)式より必要な液体窒素流量を約25 L/min.として算出した。

得られた液体窒素流量を流すことができる寸法を検討するため、(2)式を用いて圧力損失計算を実施した。検討候補としたコルゲート管を表4、表5に示す。これらのコルゲート管を組み合わせて、液体窒素がケーブル内を往復する際に発生する圧力損失を計算した。ここでは、250 mのケーブル長を想定した。内コルゲート管サイズごとに、フォーマーサイズを変化させたときの圧力損失の変化を計算した結果を図5に示す。また、最も圧力損失の低い3つの組み合わせを表6に示す。

表4 計算に用いた内コルゲート管サイズ

サイズ名称	内径
Size 65	63.5 mm
Size 80	76.2 mm
Size 100	102.0 mm

表5 計算に用いたフォーマーサイズ

サイズ名称	内径	外径
Size 15	13.5 mm	19.0 mm
Size 20	19.5 mm	26.0 mm
Size 25	25.5 mm	33.0 mm
Size 32	32.5 mm	41.0 mm
Size 40	38.5 mm	47.6 mm
Size 50	51.5 mm	61.5 mm

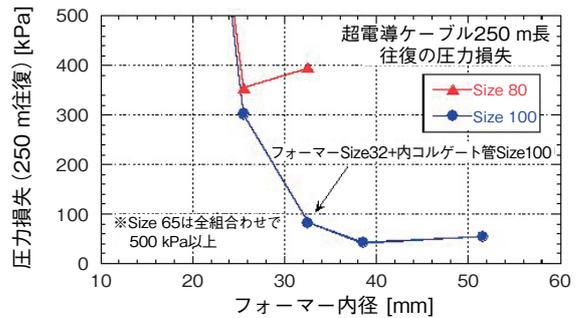


図5 フォーマー内径変化による圧力損失の変化

表6 圧力損失が低くなるコルゲート管の組み合わせ

No.	内コルゲート管	フォーマー	$\Delta P$ [kPa/250 m]
1	Size 100	Size 40	42.7
2	Size 100	Size 50	55.4
3	Size 100	Size 32	83.5

表6より、最も圧力損失が低くなる組み合わせは内コルゲート管がSize 100、フォーマーがSize 40のときで、圧力損失は42.7 kPaであった。次点はSize 100とSize 50の組み合わせで55.4 kPa。3番目がSize 100とSize 32で83.5 kPaであった。実ケーブルを想定して200 kPaの揚程力を持つポンプを使用することを仮定する事とし、ケーブ

## 参考文献

- 1) 大西浩樹他：昭和電線レビュー，Vol.62, No.1, p.9 (2016)
- 2) 菅根秀夫他：昭和電線レビュー，Vol.62, No.1, p.5 (2016)
- 3) Product catalogue of SHIN TOKYO FLEX CO.,LTD.
- 4) Mark S. et al., "Three years operation experience of the AmpaCity system installation in Essen", Eucas2017 3LO4-05

ルコアのサイズを最も小さくできる3番目の構成でシステムの設計を行った。

上記で採用した構成を元にケーブルの詳細設計を行い、実際の寸法に基づいてシミュレーションを行った。冷媒は25 L/min.の液体窒素が内部流路から流れ込み、250 m地点で折返して外部流路を通過して戻る条件とした。また、ケーブル部は合計2 W/mの熱侵入量とし、250 mの折返し部では終端部を構成する部材の熱侵入を積算し、1000 Wの入熱を与える条件とした。図6は結果として得られたケーブルの温度分布である。

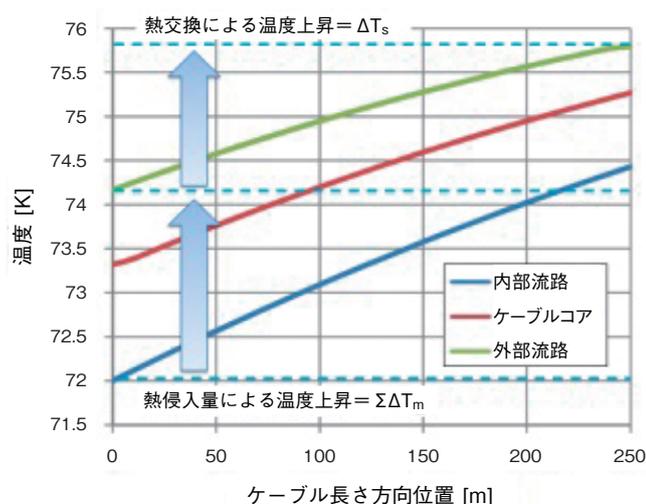


図6 三相同軸超電導ケーブル内の温度分布

ケーブルが全長に渡って熱交換をしているため、想定通り往路と復路が切り替わる折返し部が最高温度点となった。また、最高温度点の温度は前提条件とした $\Delta T = 7 \text{ K}$ 以下の条件を満たすものであった。

## 6. まとめ

本報では、過去の試験結果をもとにしてコルゲート管に液体窒素を流したときの圧力損失から得られる直管相当長さが、水を流した場合のデータから得られる直管相当長さ一致を確認した。この結果を元に、水のデータから各寸法のコルゲート管で直管相当長さを算出し、三相同軸ケーブルの圧力損失が低くなる構成を検討した。システムに必要な液体窒素流量を算出する際、過去の報告から超電導ケーブル内で発生する熱交換を仮定し、流量算出を行った。

上記によって得られた構成を元に詳細設計を行い、最終構造でシミュレーションを行ったところ、最高温度が許容できる温度を超えない構造であることを確認できた。

今後、三相同軸超電導ケーブルシステムの実証を視野に入れ、形式試験を実施する予定である。

昭和電線ケーブルシステム(株)

菅根 秀夫 (すがね ひでお)

先行商品開発センター

超電導応用製品開発グループ 主任

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

足立 和久 (あだち かずひさ)

先行商品開発センター

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)

小林 公樹 (こばやし ひろき)

基盤技術開発センター

分析・評価グループ 主査

計算機を用いたシミュレーション業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

塩原 敬 (しおはら けい)

先行商品開発センター

超電導応用製品開発グループ 主任

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)

先行商品開発センター

超電導応用製品開発グループ 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)

三堂 信博 (みどう のぶひろ)

先行商品開発センター

超電導応用製品開発グループ 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)

青木 裕治 (あおき ゆうじ)

先行商品開発センター

超電導応用製品開発グループ 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)

取締役社長

兼 昭和電線ケーブルシステム(株)

プラント内超電導ケーブルプロジェクト プロジェクト長



# 66/77 kV CT 付壁貫通ダイレクトモールドブッシング

## Direct Molded Wall Penetration Bushing with Current Transformer for 66/77 kV

### 1. 概要

架空送電線から屋内変電所等の建屋内に直接送電線を引き込む場合、気中-気中タイプの壁貫通ブッシングを適用する場合があります。

現行の壁貫通ブッシングは磁器がい管を用いているため重く、内部は絶縁油が充填されているため、設置形態の制限や工事の煩雑さがあります。弊社では、2005年にエポキシとう管にシリコンゴムを直接モールドした完全乾式タイプの66/77 kV 壁貫通ダイレクトモールドブッシング(以下、壁貫通 DMBg) を実用化しました。

今回、66/77 kV 壁貫通 DMBg の製品ラインナップに、変流器 (CT) を実装したタイプを加えましたのでご紹介します。

### 2. 用途

本製品は下図に示すように、変電所において架空送電線から引き込む際に、建屋の壁や床との絶縁を保ち安全に受電するため使用されます。

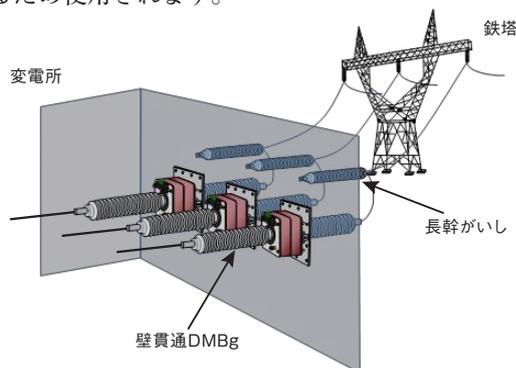


図1 使用例

### 3. 特長

壁貫通 DMBg は、現行の磁器がい管タイプのブッシングと比較して以下の特長を有しており、変流器 (CT) を実装することにより、電流の変化をモニタリングする機能を追加しました。

- (1) エポキシブッシングの表面にシリコンゴムを直接モールドした完全乾式固体絶縁構造です。
- (2) 耐汚損性能に優れ、軽量・コンパクトです。
- (3) 内部に絶縁油を使用していないため、取付向きに制限

が無く、施工設計の自由度があります。

- (4) 固体絶縁構造であるため、がい管内部で地絡した場合でも、絶縁油等の飛散がなく自己消火性を有しています。

### 4. 仕様

66/77 kV 壁貫通 DMBg は、ブッシングと CT に分けられ、CT は 2 段まで実装可能となっています。



図2 壁貫通 DMBg  
DMWCT-O77M-M (CT2 段)

表1 ブッシング定格

項目	定格
定格電圧	80.5 kV
定格周波数	50/60 Hz
定格電流	1200/2000 A
定格短時間耐電流	31.5 kA・2 秒

表2 ブッシング種類 (6 種類)

【壁貫通】	型番	汚損区分 (mg/cm <sup>2</sup> )	
		屋内・屋外	屋内
	DMWCT-O77VH-VH	0.35	0.35
	DMWCT-O77VH-M		0.06
	DMWCT-O77M-VH	0.06	0.35
	DMWCT-O77M-M		0.06

【床貫通】	型番	汚損区分 (mg/cm <sup>2</sup> )	
		屋内 (下)	屋内 (上)
	DMWCT-I77VH-M	0.35	0.06
	DMWCT-I77VH-VH		0.35

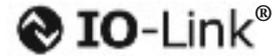
表3 変流器 (CT) 種類 (組合せ 30 種類)

項目	定格				
定格周波数	60 Hz				
確度階級	1 PS				
過電流定数	n>20				
過電流	31.5 kA・2 秒				
定格一次電流	2000-1000 A	1200-800 A	1200-600 A	800-400 A	400-200 A
定格二次電流	5 A				
定格負担	100 VA	100 VA	100 VA (2台直列接続)	100 VA (2台直列接続)	—
	40 VA	40 VA	40 VA	40 VA	40 VA (2台直列接続)

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 電機システム機器グループ  
電話(044)223-0535 FAX(044)223-0558



## IO-Link 用ケーブル



### Cable for “IO-Link”

#### 1. IO-Link とは

一般的な製造工場では、①計画的な生産が確実に実施できるよう設備が故障しにくい（予防保全）、②故障してもすぐに復旧できる（冗長化）システムが構築されています。しかし、複雑な設備になるほど故障が発生するリスクは高まり、保全のための時間とコストが増大してしまいます。そこで、工場設備の末端までデジタル通信を導入すると、正確な状態情報を現場デバイス機器自身（センサやアクチュエータ端末）から発信させることができるため、短時間で安価に情報を収集でき、修理時間を最小にできます。

これまでの一般的な FA (Factory Automation) 制御システムは I/O ターミナルまでを通信するフィールドネットワークが主流であり、多くのセンサ・アクチュエータなどのデバイスはデジタル通信の対象外でした。IO-Link は、工場現場のデバイスまでデジタル双方向通信が可能な IEC61131-9 に準拠した通信規格で、デバイスの情報を監視・設定でき、また配線工数も削減できます。

IO-Link 物理層は、制御を司るマスタと端末デバイス、それらを繋ぐケーブルで構成されます。マスタは複数の IO-Link ポート（チャンネル）があり、複数のデバイスが最大 20 m のケーブルでポイントトゥポイント（1対1）接続されます。

#### 2. IO-Link ケーブルとデザイン

IO-Link 規格では、既存の ON/OFF 信号を取り扱うような単純な非シールドのセンサケーブルが利用できます。

当社では、IO-Link 通信と FA 配線に適したケーブルとして、以下のコンセプトを加えた IO-Link ケーブルをラインアップしております。

- ・良好な可とう性を有する。  
± 90 度首振屈曲試験において、断線まで 30 万回超。  
(当社試験条件下の実測値で、保証値ではありません。)
- ・高温に耐えられる架橋 PVC 絶縁体。  
IO-Link で推奨されている M12 プラグやデバイス側への半田付けで絶縁体収縮が少ない。
- ・耐油、耐熱、難燃性を持つ PVC シース。  
厳しい工場環境に適した高い信頼性・耐久性を提供。

- ・ UL758 (AWM) 規格に適合。
- ・ RoHS 指令 10 物質の閾値以下を保証可能。
- ・ 専用梱包箱入り。  
必要なとき、必要なだけすぐ取り出せる。

#### 3. 仕様と外観

当社製 IO-Link 用ケーブル (IOL-26AWG-3C) の構造・仕様を表 1 に、外観を図 1 に示します。

表 1 IOL-26AWG-3C の構造・仕様

構造	項目	仕様
導体	材質	すずめっき軟銅燃線
	サイズ	26 AWG
絶縁体	材質	架橋 PVC
	外径	標準 1.0 mm
シース	材質	耐油耐熱難燃 PVC
	外径	標準 3.4 mm
ケーブル	色	ライトグレー
	印刷	IO-Link ロゴ及び UL 関連項目
	環境	RoHS10 物質対応



図 1 IOL-26AWG-3C 外観

IO-Link は、PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. の登録商標です。

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



## 体育館用防振ゴム

### Isolation Rubber for gym

#### 1. 概要

近年、敷地面積の不足や土地の有効利用の観点から、階上に体育館やフィットネスジム、階下に教室や事務所等を設置する複合施設が増加しています。こうしたケースでは、階上の運動施設で発生する床振動が、階下の施設に騒音問題を引き起こすことが懸念されます。この対策として、運動施設の床下に設置し、床衝撃音を低減させる体育館用防振ゴムを開発致しました。



図1 製品外観

#### 2. 用途

本製品は、体育館・柔剣道場等の、床への衝撃が多く発生する建築物の鋼製床を支える脚に組み込まれる形で使用されます。

階下への振動伝達経路を絶縁することで、階下の騒音を低減します。図2に使用例を示します。

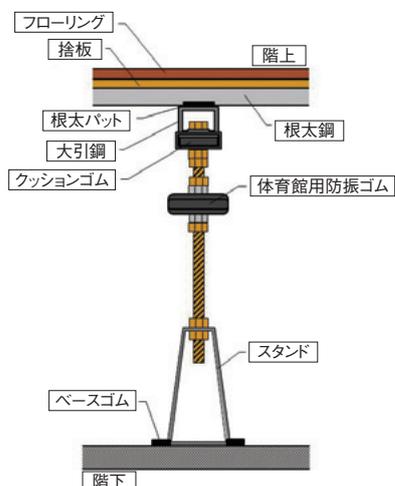


図2 使用例

#### 3. 特長

##### 3.1 体育館用床下地規格 JIS A6519 品質性能

試験項目について、既定値を満足しています。JIS 試験は第三者証明機関である、建材試験センターの中央試験所にて実施しました。

##### 3.2 遮音性能

体育館等の遮音性能の評価に用いられる、軽量床衝撃音、重量床衝撃音の低減量は以下となっており、高い遮音性能を持っています。

低減量 (対スラブ)

軽量床衝撃音: 約 19 dB (250 Hz 帯域)

重量床衝撃音: 約 6 dB (63Hz 帯域)

##### 3.3 耐久性

###### ・繰り返し载荷試験

繰り返し試験の前後で、本製品の荷重-変位曲線を測定し、耐久性において実用上問題のないことを確認しました。

###### ・クリープ試験

製品の許容荷重である 4 kN を载荷した状態で 2000 時間静置し、クリープ性を確認しました。測定結果から 25 年後のクリープ量を推定すると値は 0.61 mm となり、十分小さい値となっています。

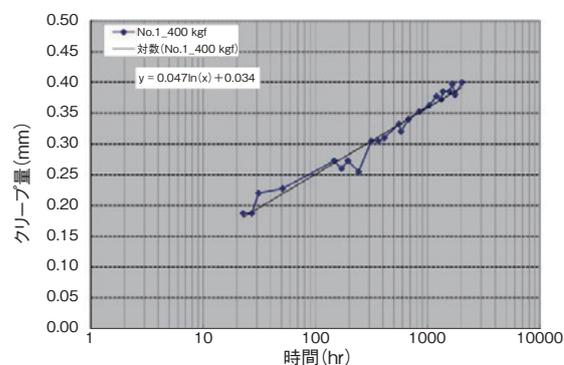


図3 クリープ試験結果

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)  
デバイス営業部 営業2課  
電話(044)223-0545 FAX(044)223-0562



## 小勢力回路用 耐火ケーブル (EM-JSH®)

### Instrumentation, Control and communication fire proof cable

#### 1. 概要

平成 29 年 2 月に埼玉県三芳町で発生した大規模倉庫火災では、感知器にかかる電気配線の短絡によって、多数の防火シャッターが作動しなくなる事象が発生し、延焼の拡大、消火活動の長時間化に影響しました。

このことを受け、国土交通省は、告示\*の改正を行い、50000 m<sup>2</sup> 以上の大規模倉庫に、火災情報信号を発生するアナログ式感知器を設置する場合、その電気配線に下記いずれかの対策を行う事が義務付けられました。

##### ①配線（耐熱電線）の短絡を防止する措置

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

##### ②短絡の影響を局限化する措置

短絡が発生した場合でもその影響が床面積 3000 m<sup>2</sup> 以内の防火区画された部分以外に及ばないように、断路器その他これに類するものを設けること。

この度、当社は①の「その他の短絡を有効に防止する措置」に対応したケーブルとして、耐熱電線の導体上に、マイカテープを施し、短絡防止を図った、小勢力回路用耐火ケーブル（品名：EM-JSH®）を国内で初めて開発しました。

#### 2. 用途

50000 m<sup>2</sup> 以上の倉庫に設置されたアナログ式感知器及び、その他 60 V 以下の弱電電源配線への使用が期待されます。

#### 3. 特長

・耐熱電線より性能を向上させ、より高温に晒されても短絡しない性能を持ったケーブルです。

（耐熱電線：380℃ 15分 → EM-JSH®：840℃ 30分）

・ケーブル単体で短絡の防止を図っているため、現場でのマイカテープ処理の必要がなく、施工時間の削減が図れます。

・低圧耐火ケーブルと比べると、20%細径・30%軽量で取扱い性に優れた製品です。



図 1 小勢力回路用 耐火ケーブル (EM-JSH®)

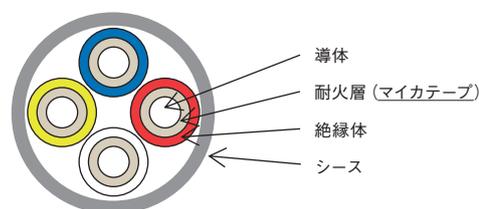


図 2 ケーブル断面図 (例：4C)

表 1 ケーブル仕様

項目	EM-JSH®		
	1.2 mm × 2C	1.2 mm × 3C	1.2 mm × 4C
仕上外径 (約 mm)	4.5 × 7.5	7.5	8.5
概算質量 (約 kg/km)	55	70	90

\* 防火区画に用いる防火設備等の構造方法を定める件  
(昭和 48 年建設省告示第 2563 号)

公布：平成 30 年 3 月 27 日 / 施行：平成 31 年 4 月 1 日

EM-JSH は富士電線株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目18番13号  
(内神田中央ビル2階)

富士電線(株) 営業本部 営業企画部  
電話(03)5217-0911 FAX(03)5217-0920



## 125°C 耐熱 LAN ケーブル H12-TPCC® 5 (S)

### 125°C Heat Resistant Cable for LAN “H12-TPCC 5(S)”

#### 1. 概要

近年、LAN ケーブルは、オフィスビルのみではなく、病院や大型倉庫、工場等の様々な場所で使用されており、特に工場等では、過酷な環境下でも使用できる LAN ケーブルのニーズが高まっています。このような背景から過酷な高温環境下でも使用可能な 125°C 耐熱 LAN ケーブルの開発を行いました。

LAN ケーブルの配線について規定した日本工業規格 JIS X 5150:2016「構内情報配線システム」において、ケーブルの機械的、電気的劣化の無い温度範囲は、施工時：0～+50°C、動作時：-20～+60°Cと規定されていますが、H12-TPCC® 5 (S) は、その規定の上限温度を大きく上回る +125°C まで使用可能であり、本製品を使用することで LAN ケーブルの利用範囲がますます広がります。

#### 2. 用途

製錬工場等の周囲温度が高温になる箇所での配線に最適な耐熱 LAN ケーブルです。

#### 3. 特長

- ・ ANSI/TIA-568-C.2 “Category 5e” 規格に対応\*<sup>1</sup>
- ・ 絶縁体にフッ素樹脂 (FEP)、外被に 125°C 耐熱ビニルを使用しており、幅広い温度環境で使用可能 (-20°C～125°C)
- ・ 超細径・軽量タイプであり、可とう性に優れる
- ・ 28AWG (超細径) 用のプラグ、ジャックが取付可能\*<sup>2</sup>
- ・ 最大配線長 40 m

\* 1 挿入損失：TIA 規格の 1.7 倍以下

\* 2 プラグ、ジャックは 125°C 耐熱仕様ではありません

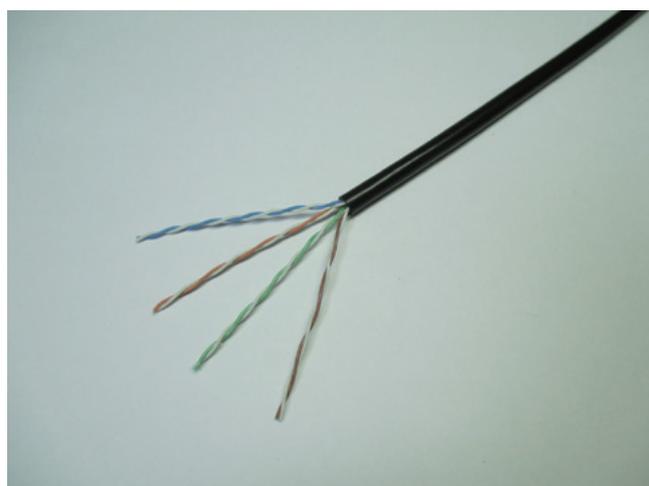


図 1 125°C 耐熱 LAN ケーブル “H12-TPCC® 5(S)”

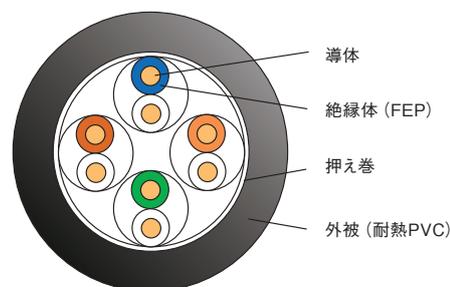


図 2 ケーブル断面図

表 1 ケーブル仕様

項目	H12-TPCC® 5(S)
サイズ・対	28AWG × 4P
仕上外径	約 3.7 mm
概算質量	20 kg/km

TPCC は富士電線株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目18番13号  
(内神田中央ビル2階)

富士電線(株) 営業本部 営業企画部

電話(03)5217-0911 FAX(03)5217-0920



## 新規耐燃性架橋ポリエチレン電線 LTNC™ の開発

### Development of New flame resistant crosslinked polyethylene wire

#### 1. 概要

当社では耐燃性架橋ポリエチレン電線として EM-TNC を上市しています。近年、配電盤及び制御盤の小型化が進み、配線の取り回しや作業性の良さが求められています。これらの要求に答えるため、従来の EM-TNC の柔軟性及び被覆の剥ぎ取り性を向上させた新製品 (LTNC™) を開発・販売することとしました。

#### 2. 用途

主として配電盤や制御盤等の盤内配線、その他の電気機器などの配線等に用います。

なお、当開発品はノンハロゲン、RoHS 対応品です。

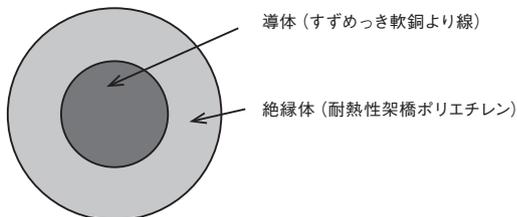


図1 LTNC™ 断面図



図2 LTNC™ 外観 (手前から导体サイズ 100, 22, 3.5 mm²)

#### 3. 特長

本製品の特徴は以下の通りです。

##### (1) セパレータレス

セパレータが巻かれていることによる電線の締め付け、被覆剥ぎ取り時のセパレータ残り等はなく、次項に記載す

る柔軟性被覆の剥ぎ取り性を向上させた。

##### (2) 柔軟性が良好

図3にLTNC™とEM-TNC(导体構成・サイズは同じ、比較品のEM-TNCは分かり易いよう黄色を使用した)の柔軟性比較結果を示します。

导体構成：当社盤内配線用電線は例えば、100 mm<sup>2</sup> 导体の場合、直径0.45 mmの素線を34本撚り、さらにその导体を19本撚り合わせた柔らかいロープ撚り导体を使用しています。

絶縁材料：LTNC™は柔らかい絶縁材料を採用しております。

上記理由に加え、(1)項で記載した通り、セパレータレスの構造となっている為、柔軟性が非常に優れており、狭いスペースでの配線等も容易です。



図3 LTNC™ 柔軟性比較試験結果 (比較対象は EM-TNC)

##### (3) 剥ぎ取り性が良好

絶縁材料が柔らかく、セパレータレスであるため、ワイヤーストリッパーでの剥ぎ取りが良好であり、作業性の向上が望めます。

問合せ先：〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦二丁目14番21号

昭和電線ケーブルシステム(株)

営業本部 中部支店 営業課

電話(052)218-6011 FAX(052)218-3306



## 275 kV 異種接続部及びプレモールド型直線接続部の開発

### Development of Deferential Joint and Pre-fabricated Joint for 275 kV Power cable

#### 1. 概要

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おり、老朽化した OF ケーブル線路を CV ケーブルへ更新する工事が計画されています。

長距離線路の交換は主要幹線であることから長期間停止することはできません。そのため、一部区間の OF ケーブルを CV ケーブルと置き換え、短期間で送電を再開し、これを繰り返します。

その際、OF ケーブルと CV ケーブルを接続する異種接続部（以下 DJ と称す）が必要となります。

今回これらの工事に使用する DJ および、CV ケーブルと CV ケーブルとを接続するプレモールド型直線接続部（以下 PMJ と称す）を開発しましたので紹介します。

#### 2. 構造

275 kV DJ の構造は図 1 の通りです。保護管外径は  $\phi$  360 mm、全長は 2200 mm（OF ケーブル用油止接続部と同等レベルの寸法）とし、既設 OF 用マンホールへの収納が可能となっています。CV ケーブル側は 275 kV PMJ と同一の構造です。OF ケーブル側は 154 ~ 275 kV 級で実績のある油止接続部と同一の構造を用い、275 kV 用として各部のストレスを最適化しました。

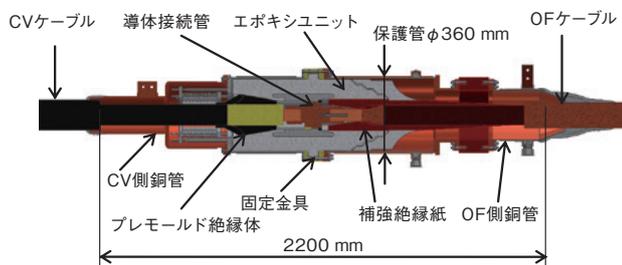


図 1 275 kV DJ 構造図

275 kV PMJ の構造は図 2 の通りです。保護管外径は  $\phi$  360 mm、全長は 1900 mm としました。

PMJ の構造は DJ の CV ケーブル側と同等の構造とし、部品を共通化しています。

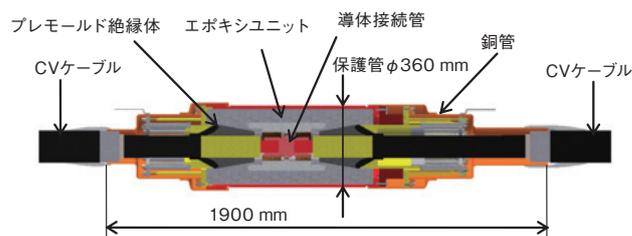


図 2 275 kV PMJ 構造図

#### 3. 特長

(絶縁材料の信頼性)

- ・ DJ の CV 側に使用している主絶縁材料はプレハブ接続部として多くの実績があり、信頼性の確認された構造を適用しており、PMJ と構造を共有しています。

(施工品質の向上)

- ・ DJ 組立ての際、エポキシユニットを CV 側に挿入することにより、超高压の組立て環境として必要とされるクリーン管理下で CV 側の組立を行うことが容易な構造としました。(CV 側部品への OF 絶縁油の付着防止)
- ・ 工場内で予めエポキシユニットに CV 側保護管・固定金具をユニット化したため、現場での組立て工数を低減でき、エポキシへの外傷防止構造となっています。

(安全性)

- ・ 万が一の地絡事故の際、安全確保のため、プレハブ接続部の保護管にスリット部を設け、破壊時の放出ガスの方向制御が可能な構造としています。

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)  
 電力営業部  
 電話(044)223-0534 FAX(044)223-0557



## 特別高圧同軸ケーブル用接続部の実用化

### Development of Joint for HV Coaxial Cable with Voltage to Ground of 30 kV

#### 1. 概要

新幹線は裸電線のき電線からトロリ線を介して車両に電力供給しています。そのため、裸電線のき電線と対地間は絶縁隔離を確保する必要があります。この隔離の確保が困難な狭小トンネル区間においては同軸ケーブルき電方式によりトロリ線に電力供給しています。同軸ケーブルを使用することで裸電線と比較して絶縁隔離を小さくすることが可能となります。また従来では、特別高圧同軸ケーブル（対地 30 kV CV-CX ケーブル）を対地 30 kV と 6.6 kV 回線に接続する端末には磁器がい管タイプの気中終端接続部が使用されてきました [図 1 (a) 参照]。しかし近年では、変電所の縮小化、現地工事の簡略化、防災面や人的安全性の観点から充電部の露出しない接続部が望まれています。今回、新幹線き電用特別高圧同軸ケーブル（対地 30 kV CV-CX ケーブル）を対地 30 kV の CAZV ケーブルと 6.6 kV の CV ケーブルを接続する密閉型の接続部を実用化しました [図 1 (b) 参照]。

#### 2. 用途

図 1 に概略図、図 2 に構造、図 3 に外観、図 4 に適用例を示します。

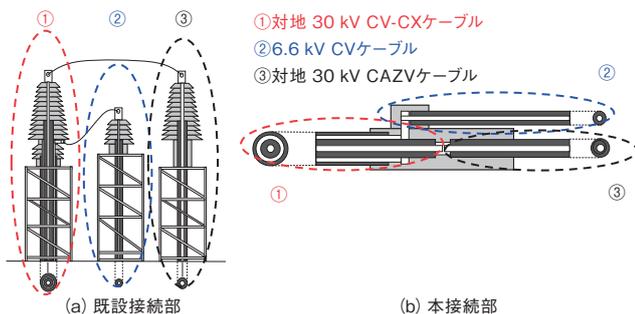


図 1 概略図

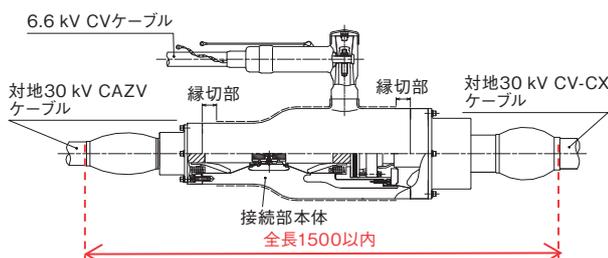


図 2 特別高圧同軸ケーブル用接続部構造



図 3 特別高圧同軸ケーブル用接続部外観

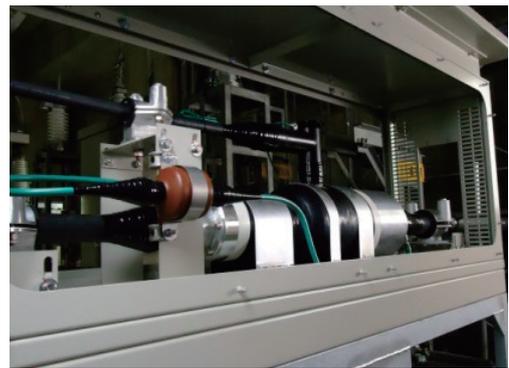


図 4 適用例\*

\*本製品は東日本旅客鉄道株式会社管内の同軸ケーブルき電区間のき電区分所等で実用化されています。

#### 3. 特長

特別高圧同軸ケーブル用接続部の特長を以下に示します。

- (1) 充電部が露出しない密閉型の接続部であるため、隔離距離の確保が不要となり、設置スペースが縮小しました。
- (2) CV ケーブルを用いて機器に直接接続可能です。
- (3) エポキシユニット本体とシース絶縁筒を一体成型した構造となっているため、部品数の低減と縮小化が可能になり作業性が向上しました。
- (4) ケーブル接続部は多数の実績があるプラグイン方式を採用することで施工時間の大幅な短縮が可能となりました。

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

## 復元ゴムの経年変化に関する研究

### Study of Aging Deterioration of Rubber Bearing

#### 1. 概要

当社は名古屋大学減災館に建物を地震から守るための積層ゴムアイソレータを、地震体験設備には復元ゴムを納入し、名古屋大学と免震に関する共同研究を行っています。

名古屋大学は平成 22 年 12 月に減災連携研究センターを立上げ、地震による被害低減に向けた様々な研究を行っています。減災連携研究センターは大学内に免震構造の減災館を建設し、そこで免震に関する研究も行っています。

減災館の地震体験設備は建物に油圧ジャッキで地震力を与え地震の揺れを再現できる機構が備わっており、当社の復元ゴムも加振実験を行っています。加振実験では復元ゴムの特性を測定することができ、経年変化特性や繰り返し加振による耐久性を評価することができます。



図 1 名古屋大学減災館



図 2 減災館に設置された積層ゴムアイソレータ



図 3 減災館の地震体験設備に設置された復元ゴム

#### 2. 経年変化

2013 年 11 月に減災館に納入した復元ゴムは減災館の地震体験設備に設置され、2014 年 6 月から加振実験を行っています。2016 年 12 月には設置されていた復元ゴムを引き取り、当社の圧縮せん断試験機で水平剛性の評価を行いました。製品出荷時と引き取り後の製品特性を図 4 に示します。

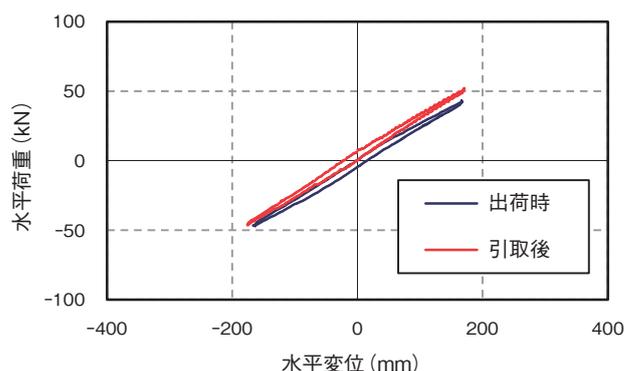


図 4 製品出荷時と引き取り後の製品特性の比較

引き取り後の製品は出荷時とほぼ同等の基本性能を有していることが確認できました。

#### 3. まとめ

名古屋大学減災館では福和教授が中心となり、研究施設の加振実験による免震特性の検討を行い、地震の理解を深める活動をされており、当社も製品を納入して研究会に参加しています。

本研究会を通じてさらに復元ゴムの経年劣化と繰り返し加振による耐久性に関する知見を深め、よりよい製品作りに活かしていきます。

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)  
 デバイス営業部 営業2課  
 電話(044)223-0546 FAX(044)223-0562

# 工 事 紹 介

## 台湾プラスチック向け 161 kV XLPE ケーブル工事

### Installation of 161 kV XLPE Cable for Formosa Plastics

#### 1. 概 要

台湾プラスチック・グループは、台湾を代表する企業グループであり、中でも麦寮工場火力発電設備は、台湾国内の主要な電力を賄っております。弊社は2008年より161 kV ケーブルシステムを数多く納入し、電力安定供給とサービス向上を図って参りました。

この程、麦寮工場内において電力負荷調整の系統変更が進められており、昭和電線がそのケーブル工事類を受注し、161 kV ケーブル工事においては約 50000 m のケーブルを納入しております。

#### 2. 仕 様

ケーブルは 161 kV XLPE (Cross-Linked Polyethylene) の単芯ケーブル、中間接続箱は PJ (プレハブ接続箱)、終端接続箱はプラグインタイプのものを納入しております。

#### 3. 特 長

ケーブルはパイプラックの最上部に設置したトレイに收容する為、延線ルートによっては約 20 m の上りと下りが連続する区間があり、約 1000 m の長尺ケーブルの延線がプロジェクト全体の7割を占めています。

ケーブルの延線作業ではケーブルへの外傷のほか、過度な曲がりや側圧がケーブルに加わらない様に、延線機材の配置間隔の計算、現地での配置確認、機材の電圧降下等による速度低下など作業に支障が起きないように延線システムをスパン毎慎重に検討しました。その検討結果を基に、現地延線業者と打合せを綿密に行い、延線工事を進捗させました。特に、垂直箇所での延線では、垂直部にホーリングマシンを配置し、ケーブルへの荷重が一点に集中することがないように注意を払って工事を無事に終了させました。



図1 垂直箇所のホーリングマシン設置状況



図2 延線ルート (パイプラック)



図3 ケーブル延線中状況



図4 ケーブル延線中状況

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)  
昭和電線ケーブルシステム(株)  
海外システム営業部 営業課  
電話(044)223-0542 FAX(044)223-0561



## 特別高圧電力ケーブルのシース仕様と使用用途

### Type of Sheath for High Voltage Cable

#### 1. 概要

電力ケーブルは、様々な施設・地域で使用されており、それぞれ使用環境に応じて要求性能が異なります。そのため、電力ケーブルは多種多様なシース材料が開発されており、使用環境に適したシース仕様を選定する必要があります。

本資料では、これまで弊社で開発されてきたシース仕様および使用用途例を紹介します。

#### 2. シースの種類および用途

シースを被覆する目的は、外傷、水分、有害物質などからケーブルコアを保護することであり、遮へい層（あるいは遮水層）上にシースを設けます。

シース材料の種類としては主に、ビニルとポリエチレン

があります。これらの樹脂をベースに硬さや難燃性等の材料特性を変化させ、要求性能に合わせたシース材料が開発されています。主なシース仕様および特徴・用途例は、表1のとおりとなります。

#### 3. 国内の動向

従来、電力ケーブル用のシースの種類としては JEC-3403-2001 でビニルシース 1 種、2 種（耐外傷性向上）、3 種（難燃性向上）およびポリエチレンシースが定められています。

近年では、環境への配慮が重要度を増してきており、上記以外に耐燃ポリエチレンや難燃ポリエチレンも標準的に採用されています。

今後も要求される特性の変化に適切に対応していきます。

表 1 主なシース仕様および特徴、用途例

シース種類	記号*	仕様	特徴・用途例
ビニル	CV 等	普通	JEC3403 におけるビニルシース 1 種。
		普通（耐外傷性）	JEC3403 におけるビニルシース 2 種。耐外傷性に優れている。
		耐寒	耐寒性能を高めた寒冷地仕様。（-30℃）
	F-CV 等	難燃	通常のビニルシースの耐燃性（JIS C 3005 傾斜試験）よりもさらに厳しい難燃性（IEEE Std.383 垂直トレイ）を有する。
		難燃（耐外傷性）	難燃性（IEEE Std.383 垂直トレイ）を有する、かつ耐外傷性に優れている。
		耐寒難燃	耐寒性能を高めた寒冷地仕様、かつ難燃性（IEEE Std.383 垂直トレイ）を有する。
ポリエチレン	CE 等	普通	ハロゲンや鉛を含まない材料であり環境配慮型製品として用いられる。
	EM-CE, EM CE/F 等	耐燃（エコ）	ポリエチレンシースに耐燃性（JIS C 3005 傾斜試験）を付加した仕様。
	NH-CE 等	難燃（ノンハロ）	ポリエチレンシースに難燃性（IEEE Std.383 垂直トレイ）を付加した仕様。
ナイロン	CV-Y 等	防蟻	白蟻による食害対策として用いられる。

\* CV：架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル，CE：架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシースケーブル。

問合せ先：〒441-0304 愛知県豊川市御津町佐脇浜式号地1-10  
 昭和電線ケーブルシステム(株)  
 電力システムユニット 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

(2018. 2 ~ 2018. 12)

[電気学会 誘電・絶縁材料 電線・ケーブル合同研究会]

(2018年3月2日)

CV ケーブル用遮水層の長期安定性の評価方法についての考察

…………… 藤田道朝<sup>1)</sup>, 伊藤康亘<sup>1)</sup>, 岡本貴裕<sup>1)</sup>

[平成30年電気学会全国大会] (2018年3月14日～16日)

77 kV GIS-Tr 間ケーブル母線システムの実用化

…………… 加藤寛隆<sup>1)</sup>, 丸山英之<sup>1)</sup>, 佐藤浩正<sup>1)</sup>, 森口至郎<sup>1)</sup>,  
小濱濱弥<sup>2)</sup>

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鉄塔上への適用

…………… 今西 晋<sup>1)</sup>, 新井敦宏<sup>1)</sup>, 森口至郎<sup>1)</sup>

[12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials] (2018年5月20日～24日)

Development of superconducting triaxial cable

…………… Kazuhisa Adachi<sup>1)</sup>, Hideo Sugane<sup>1)</sup>,  
Kei Shiohara<sup>1)</sup>, Hiroki Onishi<sup>1)</sup>,  
Tatsuhisa Nakanishi<sup>1)</sup>, Tasuku Kitamura<sup>1)</sup>,  
Nobuhiro Mido<sup>1)</sup>, Yuji Aoki<sup>1)</sup>,  
Takayo Hasegawa<sup>1)</sup>, Masayuki Konno<sup>3)</sup>,  
Masataka Iwakuma<sup>4)</sup>

[日本建築学会技術報告集 第24巻 第57号] (2018年6月)

木造五重塔の心柱の応答制御技術

…………… 佐藤信夫<sup>5)</sup>, 花里利一<sup>6)</sup>, 内田龍一郎<sup>7)</sup>,  
荻原幸夫<sup>8)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>, 坂本 功<sup>9)</sup>, 高山峯夫<sup>10)</sup>,  
中井 孝<sup>11)</sup>, 近藤典夫<sup>12)</sup>

[World Conference on Timber Engineering 2018]

(2018年8月20日～23日)

Response control technique of the central column in

Timber Five-storied Pagoda

…………… 花里利一<sup>6)</sup>, 佐藤信夫<sup>5)</sup>, 内田龍一郎<sup>7)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>,  
坂本 功<sup>9)</sup>

[2018年度日本建築学会大会(東北)]

(2018年9月4日～6日)

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

その2: 形状係数 S2 と基準面圧時鉛直変位の検討

…………… 秋葉拓也<sup>1)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>, 高山峯夫<sup>10)</sup>, 森田慶子<sup>10)</sup>

過大入力地震動に対するフェイルセーフ機構を有する免震すべり

支承の提案 (その1 樹脂製すべり板の要素試験)

…………… 三好 新<sup>21)</sup>, 高坂隆一<sup>22)</sup>, 福田滋夫<sup>1)</sup>, 白井宏和<sup>1)</sup>

27年間使用した積層ゴムの経年変化

(その1) 概要および据置試験体の基本性能

…………… 川原佑介<sup>23)</sup>, 西尾浩治<sup>23)</sup>, 加藤直樹<sup>1)</sup>, 清水美雪<sup>1)</sup>

27年使用した積層ゴムの経年変化

(その2)  $\phi$  900 の基本性能と限界変形性能

…………… 加藤直樹<sup>1)</sup>, 清水美雪<sup>1)</sup>, 西尾浩治<sup>23)</sup>, 川原佑介<sup>23)</sup>

竣工後30年経過した免震建物から採取した天然ゴム系積層ゴムの

性能検証 (その1) 建物の静的加力実験との比較

…………… 山上 聡<sup>24)</sup>, 上 寛樹<sup>24)</sup>, 舟木秀尊<sup>24)</sup>,  
小山慶樹<sup>24)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>, 高山峯夫<sup>10)</sup>

竣工後30年経過した免震建物から採取した天然ゴム系積層ゴムの

性能検証 (その2) 限界変形試験結果

…………… 三須基規<sup>1)</sup>, 山上 聡<sup>24)</sup>, 上 寛樹<sup>24)</sup>,  
舟木秀尊<sup>24)</sup>, 小山慶樹<sup>24)</sup>, 高山峯夫<sup>1)</sup>

大地震を想定した天然ゴム系積層ゴムの定振幅多数回繰返し加振試験

…………… 清水美雪<sup>1)</sup>, 加藤直樹<sup>1)</sup>, 福田滋夫<sup>1)</sup>, 西村勝尚<sup>25)</sup>,  
大住和正<sup>26)</sup>, 福本義之<sup>26)</sup>

錫プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動を考慮した免震建物の

地震応答評価

…………… 本田 栞<sup>27)</sup>, 菊地 優<sup>27)</sup>, 石井 建<sup>27)</sup>,  
中南滋樹<sup>28)</sup>, 安永 亮<sup>29)</sup>, 福田滋夫<sup>1)</sup>

高摩擦弾性すべり支承の多数回繰返し加振における摩擦係数変化の

定式化

…………… 福田滋夫<sup>1)</sup>, 加藤直樹<sup>1)</sup>

積層ゴムフランジの取付ボルト孔径に着目した圧縮せん断実験

(その1) 実験計画

…………… 高山峯夫<sup>10)</sup>, 西島佳紅<sup>10)</sup>, 森田慶子<sup>10)</sup>, 柳 勝幸<sup>1)</sup>

積層ゴムフランジの取付ボルト孔径に着目した圧縮せん断実験

(その2) ボルト孔径 34.5 mm と 36 mm のフランジを用いた実験結果

の比較

…………… 柳 勝幸<sup>1)</sup>, 高山峯夫<sup>10)</sup>, 森田慶子<sup>10)</sup>, 西島佳紅<sup>10)</sup>

積層ゴムフランジの取付ボルト孔径に着目した圧縮せん断実験

(その3) ボルト孔径 36 mm のフランジを用いた大変形実験

…………… 高山峯夫<sup>10)</sup>, 柳 勝幸<sup>1)</sup>, 森田慶子<sup>10)</sup>, 西島佳紅<sup>10)</sup>

ゴムリングを用いた天然ゴム系積層ゴムの長周期繰返し加振試験

…………… 足立拓朗<sup>1)</sup>, 得能将紀<sup>30)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>, 桑 素彦<sup>30)</sup>

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提案（その2 常時微動測定）

…………… 大村祐樹<sup>6)</sup>, 内田龍一郎<sup>7)</sup>, 佐藤信夫<sup>5)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>,  
花里利一<sup>6)</sup>, 坂本 功<sup>9)</sup>

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提案（その3 自由振動試験）

…………… 佐藤信夫<sup>5)</sup>, 内田龍一郎<sup>7)</sup>, 大村祐樹<sup>6)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>,  
花里利一<sup>6)</sup>, 坂本 功<sup>9)</sup>

**[International Rubber Conference 2018] (2018年9月4日～6日)**

International investigation of shear displacement capacity of various elastomeric seismic-protection isolators for buildings

…………… 西 敏夫<sup>14)</sup>, 鈴木重信<sup>15)</sup>, 青木正巳<sup>16)</sup>,  
澤田 毅<sup>17)</sup>, 福田滋夫<sup>1)</sup>

**[2018年電子情報通信学会ソサエティ大会]**

(2018年9月11日～14日)

V-Low 帯域対応 LCX ケーブルの開発

…………… 太田勇希<sup>1)</sup>, 成田敏浩<sup>1)</sup>, 田邊賢吾<sup>1)</sup>, 村瀬知丘<sup>1)</sup>

**[平成30年電気学会 B 部門大会] (2018年9月12日～14日)**

66/110 kV 共用ガス機器用課電口の実用化

…………… 加藤寛隆<sup>1)</sup>, 丸山英之<sup>1)</sup>, 佐藤浩正<sup>1)</sup>, 森口至郎<sup>1)</sup>,  
小野 勉<sup>13)</sup>

**[IWCS 2018 Cable & Connectivity Symposium]**

(2018年10月14日～17日)

Development and application of leaky coaxial cable corresponding with V-Low band

…………… Yuki Ota<sup>1)</sup>, Toshihiro Narita<sup>1)</sup>, Kengo Tanabe<sup>1)</sup>,  
Tomotaka Murase<sup>1)</sup>

**[Applied Superconductivity Conference SEATTLE 2018]**

(2018年10月28日～11月2日)

DESIGN OF LN2 FLOW PATH IN TRI-AXIAL SUPERCONDUCTING CABLE SYSTEM

…………… Hideo Sugane<sup>1)</sup>, Kazuhisa Adachi<sup>1)</sup>,  
Hiroki Kobayashi<sup>1)</sup>, Kei Shiohara<sup>1)</sup>,  
Tasuku Kitamura<sup>1)</sup>, Nobuhiro Mido<sup>1)</sup>,  
Yuji Aoki<sup>1)</sup>, Takayo Hasegawa<sup>1)</sup>,  
Masataka Iwakuma<sup>4)</sup>

**[13th Fall Rubber Colloquium] (2018年11月6日～8日)**

INTERNATIONAL ULTIMATE BEHAVIOR INVESTIGATION OF VARIOUS ELASTOMERIC SEISMIC-PROTECTION ISOLATORS FOR BUILDINGS

…………… 西 敏夫<sup>14)</sup>, 鈴木重信<sup>15)</sup>, 青木正巳<sup>16)</sup>,  
澤田 毅<sup>17)</sup>, 福田滋夫<sup>1)</sup>

**[日本非開削技術協会の研究発表会]**

(2018年11月14日)

ケーブルを収納した管路内への通線工法開発

…………… 戸矢孝幸<sup>18)</sup>, 吉本正治<sup>18)</sup>, 梶島正樹<sup>19)</sup>

**[電気学会 誘電・絶縁材料 電線・ケーブル合同研究会]**

(2018年11月16日)

ZnO マイクロバリスタ / エポキシ複合体の電気特性の測定

…………… 阿部拓也<sup>20)</sup>, 小倉一歩<sup>20)</sup>, 櫻田光貴<sup>20)</sup>,  
カピール・ムハムドゥル<sup>20)</sup>, 箕輪昌啓<sup>1)</sup>

**[International Superconductivity Industry Summit**

**Meetings-27]**

(2018年12月10日～11日)

Status of Development of Triaxial Cables and YBCO Tape Manufacturing

…………… Yuji Aoki<sup>1)</sup>

- 1) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 2) 中部電力株式会社
- 3) 富士電機株式会社
- 4) 九州大学
- 5) 松井建設株式会社
- 6) 三重大学
- 7) 内田建築構造コンサルタント
- 8) 元 株式会社田治見エンジニアリングサービス
- 9) 東京大学
- 10) 福岡大学
- 11) 元 独立行政法人森林総合研究所
- 12) 日本大学
- 13) 中国電力株式会社
- 14) 東京工業大学
- 15) 株式会社ブリヂストン
- 16) 一般社団法人日本ゴム工業会
- 17) オイレス工業株式会社
- 18) 東京電力パワーグリッド株式会社
- 19) 株式会社エステック
- 20) 秋田大学
- 21) 東電設計株式会社
- 22) FEArch 一級建築士事務所
- 23) 日本国土開発株式会社
- 24) 株式会社奥村組 技術研究所
- 25) 摂南大学
- 26) 株式会社大林組
- 27) 北海道大学
- 28) 株式会社免制震デバイス
- 29) 住友金属鉱山シボレックス株式会社
- 30) 戸田建設株式会社

## 昭和電線グループ会社アドレス

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

### ■直轄事業子会社(連結)

昭和電線ケーブルシステム株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)  
富士電線株式会社 〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川10番地  
株式会社ダイジ 〒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 〒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  
SWCC DAIJI VIETNAM RF No. 7C, Plot No. H-1, Thang Long Industrial Park II,  
INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD. Di Su commune, My Hao District, Hung Yen Province, Viet Nam  
嘉興昭和機電有限公司 中国浙江省嘉興市中環西路2121号  
昭和電線電纜(上海)有限公司 中国上海市長寧区仙霞路137号 盛高国際大廈2501室  
東莞昭和機電有限公司 中国広東省東莞市莞龍路段獅龍路 莞城科技园  
福清昭和精密電子有限公司 中国福建省福清市融僑技術開発区(清華路南側)  
香港昭和有限公司 香港九龍尖沙咀科学館道1号康宏広場南座701室

### ■その他のグループ会社

エヌエスティ・グローバルリスト株式会社 〒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)信息技术有限公司 中国上海市普陀区中江路388弄5号 新城控股大廈B座1305室  
華和工程股份有限公司 台湾高雄縣仁武郷高楠公路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64巻 (通巻120号)

### 昭和電線レビュー編集部会

部会長 香月 史朗  
委員 西岡 淳一 清武 耕三  
村瀬 知丘 足田 靖成  
坂口 義則 稲庭 康之  
岡下 稔 秋谷 安司  
野地 悠 島崎 俊也  
秋葉 拓也 大武 仁  
北嶋 祐司 生方 通夫  
(順不同)

編集・発行人 舘山 雄一

発行 2019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

[禁無断転載・複製]

©2019 SWCC SHOWA HOLDINGS CO.,LTD.



君たちの未来を、  
この技術でつなごう。

## 昭和電線ホールディングス株式会社 / SWCCグループの持株会社

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

富士電線株式会社 / LANケーブル、消防用電線、通信ケーブル、ビニル電線

株式会社ダイジ / 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