

# SWCC REVIEW

2023 VOL.69

通巻125号

SWCC GROUP TECHNICAL REVIEW

ISSN 2345-518X

特集

電力ケーブル機器

SICONEX<sup>®</sup>



SWCC株式会社  
[www.swcc.co.jp](http://www.swcc.co.jp)



### 目 次

#### 〈巻頭言〉

機器技術開発への想い .....	大久保 仁	… 5
------------------	-------	-----

#### 〈序文論文〉

電力ケーブル機器 SICONEX <sup>®</sup> 技術の概要 .....	SWCC (株) 瀬間 信幸	… 6
---	----------------	-----

#### 〈特集論文〉

電力ケーブル機器 SICONEX <sup>®</sup> の使用例 .....		9
--	--	---

T 形終端接続部 .....	SWCC (株) 光地 芳・城山修二 住本 勉・今西 晋	… 10
----------------	---------------------------------	------

スマート終端接続部 .....	SWCC (株) 住本 勉・田渡未沙 松澤俊輔・丸山英之	… 13
-----------------	---------------------------------	------

ダイレクトモールド気中終端接続部 .....	SWCC (株) 田渡未沙・住本 勉 今西 晋・林 克之 丸山英之	… 17
------------------------	---	------

ダイレクトモールドブッシング .....	SWCC (株) 入田光洋・今西 晋 住本 勉・田渡未沙 丸山英之	… 21
----------------------	---	------

275 kV CV ケーブル用スマート気中終端接続部の開発 .....	SWCC (株) 阿部成将・篠崎一輝 今西 晋・新館 均	… 25
-------------------------------------	---------------------------------	------

#### 〈普通論文〉

航空機搭載用超電導ケーブルの小型電極の開発 .....	SWCC (株) 金山諄志・塩原 敬 佐藤迪夫・中西達尚 高橋保夫・青木裕治 三堂信博・足立和久 産業総合研究所 和泉輝郎 九州大学 岩 熊成卓	… 28
-----------------------------	---	------

錫プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動に関する研究 .....	SWCC (株) 柳 勝幸・清水美雪 株免制震デバイス 木田英範 住友金属鉱山シボレックス(株) 長井大樹 北海道大学大学院工学研究院 石井 建・菊地 優	… 33
---------------------------------	---	------

化学発光測定によるポリプロピレンの寿命推定方法の検討 .....	SWCC (株) 田中菜穂子・藤田道朝 西岡淳一	… 44
----------------------------------	-----------------------------	------

〈新製品紹介〉

e-Ribbon® ケーブル ～ Telcordia GR-20 対応 SJNA, DJSA ～	49
125℃耐熱屋外用 LAN ケーブル (H12-HFS-TPCC® 5-LAP)	50
1 時間低圧耐火ケーブル接続部 –スリーエムジャパン(株)製キットが業界初の対応–	51

〈トピックス〉

日本初！走行中非接触給電の公道実証試験への参画	52
3D スキャンを用いた現場調査の効率化	53
夏のリコチャレ 2023 の開催	55
〈社外技術発表一覧表〉	56

---

表紙写真説明

当社は 2023 年 4 月、「昭和電線ホールディングス株式会社」から「SWCC 株式会社」へ社名変更し、技術情報誌も「SWCC レビュー」に改称しました。この記念すべき最初の号では、電力接続機器「SICONEX®」を特集いたしました。本製品は 66kV ～ 275kV までのフルラインナップが完了し、各電圧階級の変電所・発電所・送電線の建設工事において接続作業の省力化・簡素化に貢献し幅広く使われております。電力機器開発の取組みの一端について、是非ともご一読ください。

# SWCC GROUP TECHNICAL REVIEW

2023 Vol. 69

## CONTENTS

< Thoughts on Equipment Technology Development > .....	5
< Special Papers >	
Overview of Power Cable Termination SICONEX <sup>®</sup> Technology .....	6
Application Examples of Power Cable Termination SICONEX <sup>®</sup> .....	9
T-Type Termination .....	10
Smart Type Sealing End .....	13
Direct-Molded Outdoor Termination .....	17
Direct-Molded Bushing .....	21
Development of Smart Type Outdoor Termination for 275 kV XLPE Cable .....	25
< Regular Papers >	
Development of Small Superconductivity Cable Terminal for Airplane .....	28
Thermal-Mechanical Coupled Behavior of Tin Rubber Bearings .....	33
A Study on Lifetime Estimation Method of Polypropylene by Chemiluminescence Measurement .....	44
< New Products >	
e-Ribbon <sup>®</sup> Cable ~ Telcordia GR-20 Compatible SJNA, DJSA ~ .....	49
125°C Heat Resistant Outdoor LAN Cable .....	50
1 Hour Fire Proof Cables Connection Kit .....	51
< Topics >	
Participation in Public Road Demonstration Test of Dynamic Wireless Power Transfer .....	52
Improving The Efficiency of Field Surveys Using 3D Scanner .....	53
RIKO CHALLENGE SUMMER of 2023 .....	55
< List of Technologies Published since 2023 > .....	56

Published by

**SWCC Corporation**

JMF-Bldg.Kawasaki 01, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku,  
Kawasaki City, KANAGAWA  
URL [www.swcc.co.jp](http://www.swcc.co.jp)



## 特集

## 機器技術開発への想い

愛知工業大学 教授・名古屋大学 名誉教授

大久保 仁



近年、社会が要請する技術開発目標はグローバル的に大きく展開し、技術開発の競争力とその成果に注目が集まっている。このような中で電力機器開発においては、我が国の高度成長期から現代にいたるまで、常に発展を続ける新しい社会を支える基盤技術としての「電気絶縁性能の向上」が機器技術開発の基本の解決課題として位置付けられてきた。同時に機器の電気絶縁性能向上技術は、機器が本来目指すべく普遍的な技術開発目標である「縮小化・高効率化（低損失化）・高出力化・環境適合性向上」を達成するコア技術として貢献してきた。しかし、その後の社会の成熟・低成長化とともに機器開発の主流は新機能の付加技術などに移行し、一方では機器の縮小化は必然的に高電界化を招き、また高効率化と高出力化は環境適合化・縮小化とともに機器の高電圧化ないしは高電界化に帰結し、結果として機器開発の電気絶縁技術への依存度が再び高まっている。しかし、それまでのマクロな物理現象に基づく技術の適用拡大や外挿展開型技術開発などの従来技術依存型の電気絶縁技術はすでに技術の飽和傾向や限界を示しつつあるのが現状である。今後ますます変革していく新しい社会の要請に応えるためには、これまでの技術開発の在り方を基本から検証・改革する必要がある。

まず環境適合・高効率化を指向する機器は同時に縮小化を目指し「高電界化」は必然であり、これからは適用機器の定格電圧の高・低にかかわらず、広く「高電界現象への挑戦」に取り組む必要がある。そのためには同じ材料であっても従来の低電界領域利用から高電界領域の安定した活用技術に進むためには、高電界領域におけるダイナミックな電荷挙動などミクロな物理現象究明は必須である。このような基礎研究開発には、産学を横断した広くオープンな共同研究体制の構築とその成果の共有活用システム作りが必須である。

次に、これからの技術開発において重視すべきものとして、機器技術における「上限（あるいは下限）」を決めている現象の存在を指摘しておきたい。一例として電気・電力機器においては、その限界を制する現象、上限を決める現象の代表的なものが電気絶縁性能であり材料の絶縁破壊現象である。この絶縁破壊現象を上限技術として設定すると、目標とする「高電界現象への挑戦」の技術達成度の可視化が可能となる。この技術の可視化により、例えばFGM（傾斜機能材料）開発や非線形材料適用などの従来技術の延長線にない革新的な「機能性絶縁材料」開発や、電界解析を用いた逆問題・電界空間の最適利用技術、冷却技術・機械構造技術など機器を横断した共通技術との連携・融合、変電・配電システムのトータル最適化など、今後取り組むべきクリティカル技術が明確になってくる。もう一つの方向性として、上限技術として設定する機器実績Dataに基づくAI技術支援によって、機器間のシステム化と相互連携制御するシステム空間軸と、機器の設計・製造から運転・寿命到達までを現実と仮想の間で一貫した時間軸の中でシステムマネージメントする Digital Twin技術の活用が期待される。

将来にわたる技術開発においては、このような上限技術の判別・認識が必ずしも容易ではない場合も多々あるが、上限技術の特定・同定を試み技術達成度を可視化することが技術開発のコアプロセスとなることを明記したい。

今回、本技術誌 SWCCレビュー創刊号の巻頭にあたり、電力・電気機器開発の在り方を改めて俯瞰・展望した。本号ではここで提示した「高電界化への挑戦」を社会に先駆けて具現したケーブルコネクションシステムSICONEX®技術開発が特集紹介されている。新しい時代を開くその取り組み・技術成果に対して大いに敬意を表し、さらにこの開発実績が、将来にわたって業種・業界をも超えた基盤共通技術・デファクトスタンダードとして広く展開されることを期待する。

# 電力ケーブル機器 SICONEX<sup>®</sup>技術の概要

## Overview of Power Cable Termination SICONEX<sup>®</sup> Technology

瀬間 信幸  
Nobuyuki SEMA

SICONEX (Smart Intelligent Connector) はこれまでの一般的な電力ケーブルの機器の設計を更に進化させ、製品自体の性能の向上にとどまらず、これを適用した変電機器などの性能の向上、および変電所建設にかかわる経済性、作業性にも大きく寄与してきた。本稿では、SICONEX を支えるいくつかのユニークな設計技術について紹介する。

The power cable termination SICONEX(Smart Intelligent Connector) has greatly evolved the design of conventional power cable termination and has not only improved the performance of the product itself, but has also made a significant contribution to the performance of the substation equipment to which it is applied, as well as the economy and workability of substation construction. This paper presents some of the unique design technologies underpinning SICONEX.

### 1. はじめに

電気の供給が途絶えることで、暮らしや産業に及ぼす影響は計り知れない。国や地方自治体は、電気を供給し続ける環境対応を含めた強い電力インフラの構築を急務と考え、幅広い分野の知見を結集し課題に取り組んでいる。特に、電力ケーブルとこれを接続する電力ケーブル機器に対しては、省力化、効率化、コスト低減が求められ、以前にも増して、電力インフラとしての信頼性と強靱さが求められている。

SICONEX (Smart Intelligent Connector) はこれまでの一般的な電力ケーブルの機器の設計を更に進化させ、製品自体の性能の向上にとどまらず、これを適用した変電機器などの性能の向上、および変電所建設にかかわる経済性、作業性にも大きく寄与してきた。今後も更なる“強い電力インフラ”を支える重要なポジションを担っていきたいと考える。

SICONEX 製品を支える要素としては、緻密なマーケット戦略、工業製品としての高性能な材料設計、シミュレーション技術、そしてユニークな設計技術が挙げられる。今回は、世界の電力機器部品にも例をみない、SICONEX を支える基本的ないくつかのユニークな設計技術についてスポットを当ててみる。

### 2. 電力ケーブル機器 SICONEX<sup>®</sup>の誕生

1970年代に高電圧 CV ケーブルが誕生してから、CV ケーブルを接続する電力機器は、電力会社を中心とした製品

開発が進められてきた。1990年代まで、電力ケーブル機器は、各電力会社の購入規格に構造や形状が定められており、全メーカーが形式に沿って同等な製品を供給する状況であった。当時の電力マーケットにおいて、コストダウンや効率化は重要な要素ではなく、安定性と品質を求めるがゆえに実績が重視されており、今日のようなイノベーションを起こしづらい環境であったといえる。

SICONEX はこれらの電力規格品の設計に対する疑問から始まっている。これらの規格品の形状は、全て同等な構造で 66 kV, 154 kV, 275 kV と電圧階級が上がるにつれて相似形状でサイズのみがアップする設計であった。

ケーブルは導体を中心とした同心円状構造であり、絶縁部は架橋ポリエチレンという単一な材料でできている。したがって、使用電圧が上がれば絶縁が厚くなり、外径が相似形状で太くなっていくことは容易に理解できる。しかしながら、電力ケーブル機器は、エポキシ樹脂、ゴム、ケーブルの架橋ポリエチレン材料とともにそれらが接触する界面が存在し、更に使用される環境によってガス、油、空気などが絡み合う複合絶縁で構成される。そのため、それぞれの材料・部位が有する絶縁耐力に準じた効率的な設計ができれば、大幅なサイズダウンが可能になる。

橋梁の設計に例えるならば、橋梁に加わる荷重の大きさに応じて鋼材を太くするよりも、力のかかり方や方向性を制御し、それぞれの応力に応じた最適形状に設計すれば強度を維持したまま、橋梁部の形は美しいアーチ形となる。

電力機器についても同様な設計コンセプトを適用し、電界のかかり方や方向性をコントロールし最適な構造設計を

することで、コンパクト化、効率化、省力化、コストダウンを実現できる。「機能を追求すればそこに美が生まれる」まさにこのコンセプトがSICONEXの誕生のきっかけとなっている。

### 3. SICONEX®を支える主な要素技術

#### 3.1 平等電界設計

構造物の機械的破壊は、耐力の弱いところから起こる。それゆえ弱点部分を強化することで、構造物の性能を引き上げることが可能である。但し、いたずらに強化すれば、構造物そのものが巨大化し、重量がかさみ、コスト高となることから製品価値を落とす結果となる。見方を変えると、弱点部分はその構造物の性能を左右するならば、性能に寄与しない他の部位を弱点部分と同等の耐力まで下げて効率化を図っても性能は変わらない。

SICONEXは設計コンセプトに平等電界技術を導入した。一般的に電界ストレスがその部位の絶縁耐力を超えると放電が生じ絶縁破壊に至る。そこで、各部位の絶縁強度を正確に把握し、エポキシの界面の形状、高圧導体および遮蔽金具の形状と配置、ストレスコーンの配置、絶縁厚等を細かく検討し、各部位に対して破壊のポテンシャルに合わせた平等電界設計を行う(図1)ことで、SICONEX製品は絶縁性能を維持したまま大幅なサイズダウンを実現している。

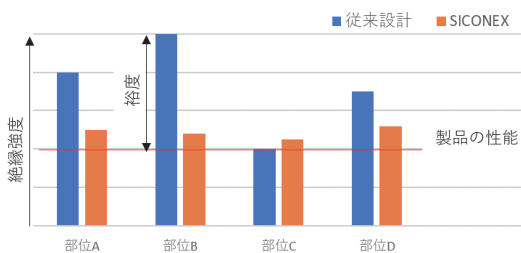


図1 SICONEX®の平等電界設計

#### 3.2 界面の電界ストレスに応じた面圧設計

固体絶縁同士をつなげる電力機器にはストレスコーン(ゴム部)とエポキシ樹脂やストレスコーン(ゴム部)とCVケーブルの界面が存在する。これらの界面の絶縁設計には電界ストレスの最適化設計とともに、それぞれの界面をフィットさせる界面面圧設計が加わる。

界面の面圧が不足すれば、そこには微小ボイドが残留し絶縁破壊に至る。一方、面圧を大きく上げれば、微小ボイドは抑制できるが、熱応力によりストレスコーンやケーブル絶縁体の変形などが生じ、これが原因で絶縁破壊が生じる可能性が出てくる。

このため、従来の電力ケーブル機器の界面面圧設計は、外部環境変化と通電のヒートサイクルを考慮した上で、要求される電圧で破壊しない必要最低面圧が界面全体にわたり加わるように設計を行っている。その結果、電界ストレスの低い界面の部位に対しても必要以上の荷重が加わる非効率な界面面圧設計となってしまう。

SICONEXの主力製品であるT形終端接続部には、機器の耐電圧試験や緊急送電などのために課電口を設けている。この課電口には、SICONEXならではの次の特長をもった絶縁栓を設けている。

- 過度な荷重を必要とせず、試験毎に取り外し取り付けを繰り返すことが可能(回数制限あり)
- 容易に破壊せず、高い耐電圧にも耐えることが可能
- 簡易な構造かつコンパクトであり、高度な組立技術がなくても取り扱いが可能

これらの特長を実現した絶縁栓は、必要最低面圧が界面全体に維持する従来設計と異なり、世界で初めて、電界ストレスの大きさに応じた面圧設計を適用した。簡単なモデルでいえば、界面の電界ストレス(kV/mm) / 界面の面圧(Pa・G)比が界面全体においてほぼ一定となるよう設計されている(図2)。これらの絶縁栓は電気的および機械的シミュレーションと試作品による実験を繰り返しながら絶縁栓内部の電極形状とその配置を決定しており、理想的な界面絶縁構造を実現している。

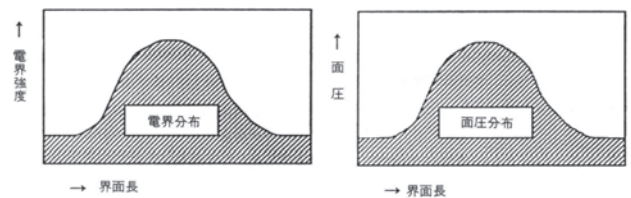


図2 界面絶縁設計の概要図

#### 3.3 マルチラムバンド付ボールロックプラグ

本体(メス側)は予め機器工場で機器に取り付け、現場でのケーブル接続時は機器のガス処理や油処理を必要とせず、プラグインでケーブルを接続可能にするスリップオン式終端接続部が採用されている。

従来のスリップオン式の通電接点は、一部の断路器で使用されていたチューリップコンタクトを流用しており、先端の接点部には数本のフィンガーと呼ばれる通電片(当社は8本)を配置し、これにスプリングによる圧力を加え点接触での通電構造としている。また、挿入後は先端に設けた円周上の凸部が引っ掛かることで引き抜けを防止する機構となっていた。ただし、この構造は、ケーブルの繰り返しの挿抜を考慮しておらず、無理にケーブルを抜くと先端の凸部とフィンガーの擦れが生じて、接点部分の通電機能の低下を招くほか、コンタクトが機械的に破壊するケースもあった。そのため、ケーブルの引き抜き作業は、本体含めてすべて新規材料に交換する制約があった。

超高圧クラスを含めた最新のSICONEX製品には、チューリップコンタクト方式とは異なるマルチラムバンド付きボールロック構造のコンタクト方式を適用している。

通電機能に採用したマルチラムバンドは数十点の多接点ルーバーにより大電流の通電が可能であり、数万回の挿抜を行っても通電機能が低下することはない。さらに、ケーブルの引き抜け防止部は、マルチラムバンド接点通電部と



はセパレートになっており、引き抜き応力が通電部に影響を及ぼさない構造となっている。引き抜け防止部に採用したボールロック構造はケーブルを挿入しストレスコーンをセットするだけで、数トン力でケーブルを引き留め、抜く場合はストレスコーンを引き下げることで簡単に引き抜くことができるうえ、繰り返しの挿抜が可能となる。

この構造は、家庭用ガス機器につなぐガスホースのワンタッチ接続構造をイメージすると解りやすい (図 3)。

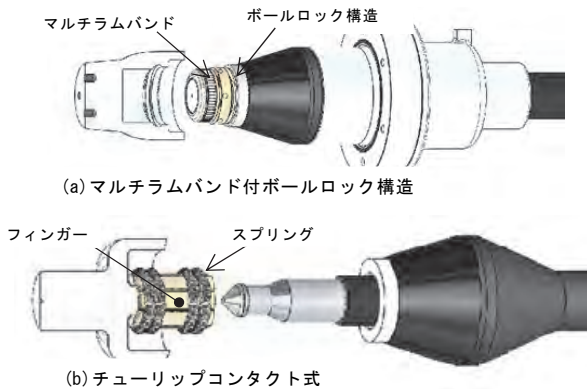


図 3 通電部の比較図

### 3.4 酸化亜鉛素子 (ZnO) による平等電界設計

SICONEX を代表する製品のひとつにダイレクトモールド製品がある。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の固体絶縁構造で、内部の絶縁に絶縁油を使用しない環境調和型製品として、需要が伸びている。66/77 kV のダイレクトモールド製品はエポキシ内部に埋め込まれた遮へい金具の形状や位置による幾何学的な電界緩和設計を適用し、電界ストレスが放電開始電圧を超えないレベルとなるよう設計している。

しかしながら、154 kV の超高压クラスになると気中絶縁部の電界ストレスが高くなり、遮へい金具の位置や形状による幾何学的な電界緩和設計だけではサイズアップになってしまう。超高压の気中絶縁の電界抑制 (平等電界設計) にはコンデンサを使った分圧設計を用いる方法もあるが、完全固体絶縁構造のダイレクトモールド製品にコンデンサを内蔵することは構造を複雑化し、経済的にも不利になる。

そこで、154 kV ダイレクトモールド気中絶縁設計には、避雷器 (アレスタ) で使用している非線形材料 (酸化亜鉛: ZnO) による電界緩和層を設けることで、気中部の電界ストレスの平等電界化を実現させた。通常運転時は、内部導体と遮へい金具の位置・形状、ブッシング外径の最適化により表面放電を抑制しているが、異常時の過大な電圧 (過電圧時や雷サージ進入時など) がブッシングに印加された場合には、酸化亜鉛のバリスタ効果が高電界部分の電圧上昇を制限することで、ブッシングの閃絡性能を向上させ、コンデンサを使用した従来の製品と比較し大幅なサイズダウンを実現させた (図 4)。

### 3.5 軽量化による優れた耐震設計

ダイレクトモールドブッシングは動的耐震設計にて耐震

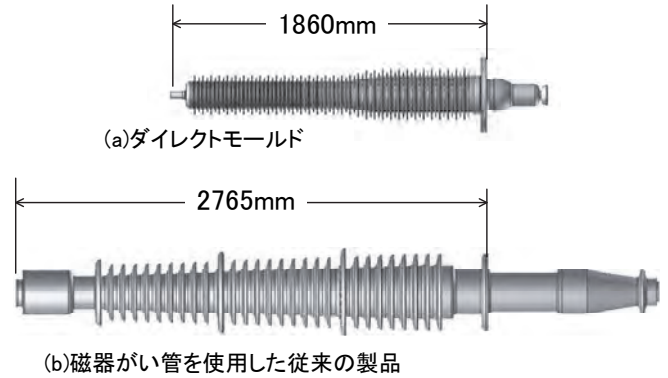


図 4 従来製品との比較図

性を検証している。また、大幅な軽量化の結果、154 kV 級変圧器に搭載する場合においても共振周波数特性は「変電所等における電気設備の耐震設計指針 (JEAG 5003)」に規定されている卓越振動数範囲 0.5 ~ 10 Hz を回避する。実際に「東日本大震災」で生じた地表面波形を加えても健全性を維持し優れた耐震特性を有することを確認している。

## 4. SICONEX® から SICOPLUS® へ

SICONEX の更なる拡大と市場価値の向上を目指していくために、単なる部材メーカーに留まらず、部材と施工を併せて提供するシステムソリューション SICOPLUS を拡大していく。

SICONEX 接続工事においては、熟練技能者の高齢化や、若年労働人口の減少に対し、施工能力の維持・強化が喫緊の課題となっている。そこで、施工する優秀な人材の確保を旨とする SICOPLUS 接続技能士教育プログラムでは、これまでの現場 OJT (On the Job Training) が教育の主流であったプログラムを、DX 教材の活用等により優秀な施工員を短期で育成できる仕組みを構築し大きな効果を出している。

## 5. おわりに

今回は技術的な観点で設計技術をクローズアップした。電力事業のマーケットシェア獲得と拡大は、SICONEX の独自で優れた技術だけではなく、これを支える製造、営業、技術が ONE チームで取り組んできた大きな功績といえる。

SICONEX は電力インフラの強靱化や高電圧化などのニーズの高まりに伴い、現状に留まることなく進化を続けていく。

※ SICONEX および SICOPLUS は SWCC 株式会社の登録商標です。

SWCC (株)

瀬間 信幸 (せま のぶゆき)

執行役員 Smart Stream 戦略、電力システム戦略 担当

☆☆ SICONEX ブランドの立上げ・構築に携わる

# 電力ケーブル機器 SICONEX®の使用例

## Application Examples of Power Cable Termination SICONEX®

一般的な電力ケーブル機器と比較し、小型化・軽量化を実現した SICONEX は、電力設備の省力化、工期短縮に大きく貢献してきた。ここでは、SICONEX の代表的な製品および新たな開発品について紹介する。

Compared with conventional power cable termination, SICONEX is smaller and lighter, and has made a significant contribution to labour-saving and shorter construction periods for power equipment. Here, representative products and new developments of SICONEX are presented.

### 【T形終端接続部】

T形終端接続部は、アルファベットの“T”のようなフォルムで、キュービクル型の開閉器（C-GIS）や変圧器などの機器の側面に3相水平配置で取り付け使用される（図1）。ケーブル接続口の他に課電口を有しており、課電リードケーブルを挿入することで工場内耐圧試験が簡易に実施できる。

### 【スマート終端接続部】

スマート終端接続部は、一般的な電力ケーブル機器と比較し圧倒的な小型化・軽量化を実現しており、タンク型の開閉器のようにケーブルヘッド室を有し、3相三角配置で取り付けられる機器に適している（図1）。小型であることから機器の小型化に寄与している。

### 【ダイレクトモールド気中終端接続部、ダイレクトモールドブッシング】

ダイレクトモールド気中終端接続部は、オープンな受変電設備や架空送電線とリード線を介して接続される（図1）。一般的な気中終端接続部が内部に絶縁油を使用しているの

に対し、本製品はエポキシ樹脂の外側にシリコンゴムを外被として直接モールドした完全固体絶縁構造であり内部に絶縁油を使用していない。部品点数が少なく工期短縮が可能となる。

ダイレクトモールドブッシングは、開閉器や変圧器などに取り付けるブッシングであり、気中終端接続部のダイレクトモールド技術を利用し製品化している。軽量で耐震性が高い。

### 【275 kV スマート気中終端接続部】

275 kV級の開閉器用および変圧器用終端接続部としてスマート終端接続部を製品化していたが、気中終端接続部のラインナップが不足していることから、本製品を開発した。ポリマーがい管を使用し内部に絶縁油を充填した本体を工場ですべて組み立て出荷されることから、工期の大幅短縮が可能となる。

本稿以降ではこれらの製品の特長や仕様について紹介する。

※ SICONEX は SWCC 株式会社の登録商標です。

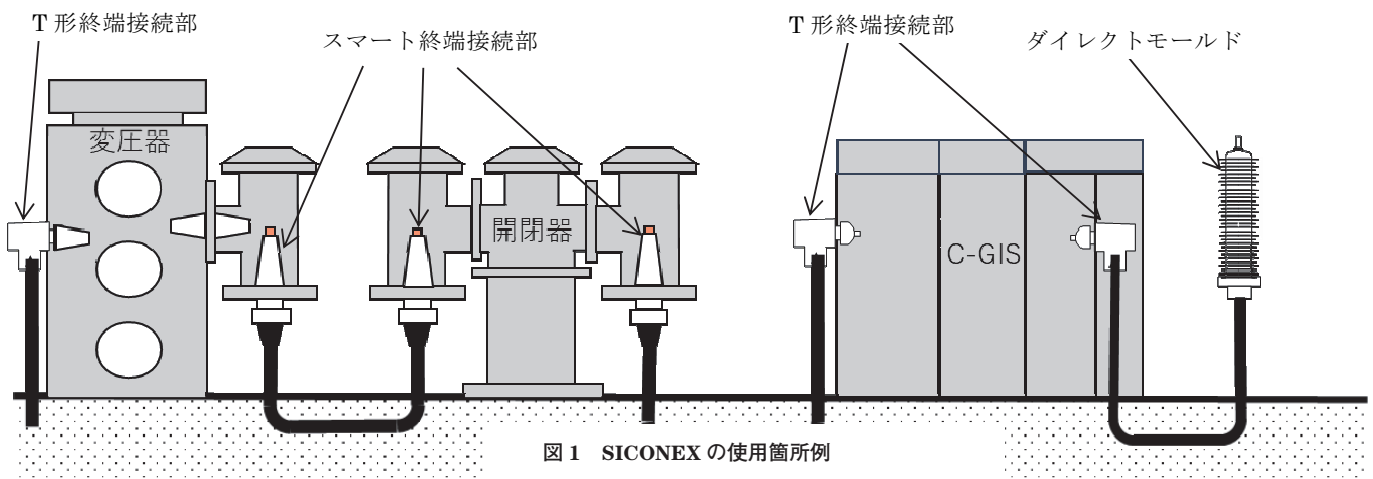


図1 SICONEXの使用箇所例

# T形終端接続部

## T-Type Termination

光地 芳  
Kaori KOCHI

城山修二  
Shuji SHIROYAMA

住本 勉  
Tsutomu SUMIMOTO

今西 晋  
Shin IMANISHI

T形終端接続部はガス開閉装置や変圧器等とCVケーブルを接続するための製品である。終端接続部の小型化・軽量化、接続作業を簡素化・短縮化することで、受変電所内のコンパクト化（機器装置の縮小化、施工、試験作業の簡略化等）を実現している。本論文にてT形終端接続部ラインナップを報告する。

T-type termination is product for connecting XLPE cable to Gas Insulation Switchgear and Transformer. By making the terminal connections smaller and lighter, and simplifying and shortening the connection work, we have achieved a more compact substation. In the paper, we have reviewed T-type products line-up.

### 1. はじめに

T形終端接続部はガス開閉装置や変圧器等にCVケーブルを接続するための製品である。終端接続部の小型化・軽量化、接続作業を簡素化・短縮化することで、受変電所内のコンパクト化（機器装置の縮小化、施工、試験作業の簡略化等）を実現した。

終端接続部本体には試験時のリードケーブルや事故時の緊急送電用移動用ケーブルを接続可能とした課電口を設けている。また、ケーブル新設工事及び系統変更工事に線路の健全性を確認するため、DC（直流）耐電圧試験やCVケーブルの劣化診断等にAC（交流）やVLF（超低周波電圧）の課電試験を実施している。課電試験時にはケーブルと機器との回路を切り離しケーブルのみに試験電圧を印加する必要があり、終端接続部内に断路機能を設け、コンパクト化を図った製品も実用化している。<sup>1)</sup>

### 2. 接続部の特長

#### 2.1 接続部の構造および特長

T形終端接続部は以下の特長を有している。

- ①終端接続部本体の課電口に課電リードケーブルを接続することにより、ケーブルあるいは機器の諸特性試験を行うことができる。
- ②終端接続部本体は機器側壁に貫通設置されているため、従来より用いられている終端接続部用のケーブルヘッド室やエレファントケースを必要としない。このため、終端接続部組立時の作業スペースを大きく確保でき、作業性が向上する。また、機器の設置スペースを小さくでき

る。(図1)

- ③プッシング本体の遮へい層にギャップを設けることで従来終端接続部の絶縁筒と同等の性能を得ることができるため、絶縁筒及びアダプタが不要になり部品点数の低減と縮小化が図れる。
- ④ケーブルとの接続はマルチラムバンド付ボールロックプラグを採用したプラグイン構造であるため、現地での機器ケース取り外し作業を行うことなく接続が可能である。

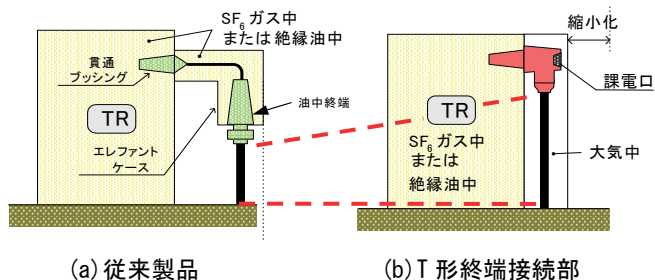


図1 設置スペース比較

#### 2.2 キーテクノロジー

T形終端接続部に共通するキーテクノロジーとして、課電口絶縁栓の界面絶縁構造の最適化とプラグイン構造の適用、電界設計の最適化が挙げられる。課電口絶縁栓は電界ストレスの大きさに応じた面圧設計を適用することで、コンパクトで簡易な構造とし、組立工程の簡略化を実現している。また、高電圧に耐え、繰り返しの取り付け取り外しを可能とした。

#### 2.3 断路機能構造

T形終端接続部には、内部導体を分割し、接続内部に断



路機能を設けた AC/DC 断路機能付 T形終端接続部がある。本製品は課電口から終端接続部内部に配置した絶縁栓・接続導体を引き抜き、断路用絶縁栓を挿入することで、機器のガスおよび油の処理作業を必要とせず簡易な操作で終端接続部内で断路を行い、ケーブルのみに直流や交流の課電が可能である。<sup>2)</sup>

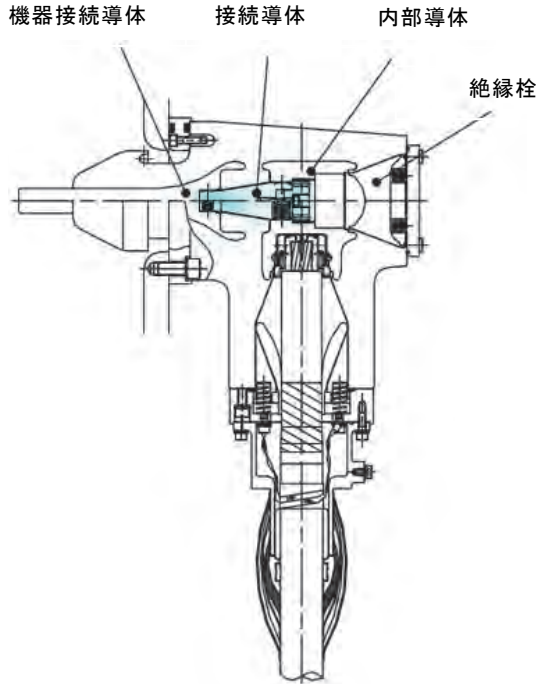


図2 断路機能構造 (通常運転時)

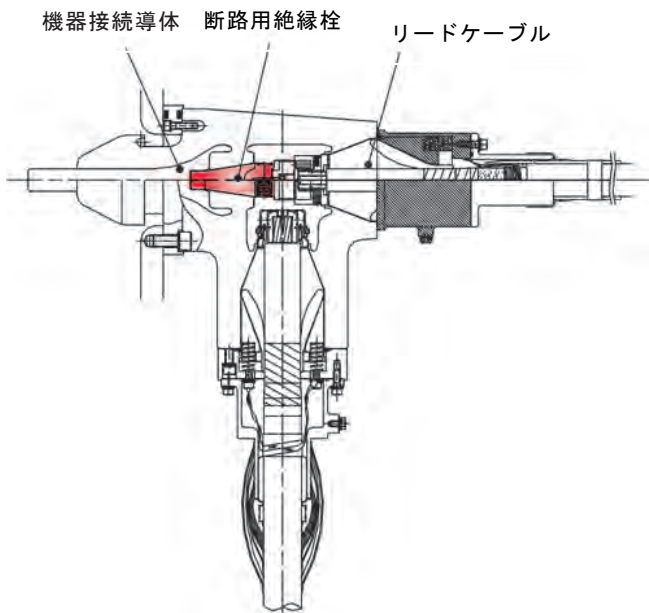


図3 断路機能構造 (課電試験時)

### 3. 接続部の製品ラインナップ

T形終端接続部は、油中とガス中があり 66/77 kV から 154 kV の電圧階級でラインナップしている。油中 66/77 kV 級は植物油にも対応している接続部もあり、ガス中 66/77 kV 級は地球温暖化防止に配慮した SF<sub>6</sub> ガスを使用しないドライエアタイプもある。

表1 T形終端接続部ラインナップ (ガス中)

電圧階級	66/77kV		110kV	154kV	
ケーブル導体サイズ (mm <sup>2</sup> )	80	図 4 コンパクト T	図 5 縮小型	図 6 AC/DC	—
	100				
	150				
	200				
	250				
	325				
	400	図 7	図 8		
	500				
	600				
	800				
	1000				
	1200				
	1400				
1600	図 8				
1800					
2000					

表2 T形終端接続部ラインナップ (油中)

電圧階級	66/77kV	110kV	154kV	
ケーブル導体サイズ (mm <sup>2</sup> )	80	図 4 コンパクト T	図 7	—
	100			
	150			
	200			
	250			
	325			
	400	図 7	図 8	
	500			
	600			
	800			
	1000			
	1200			
	1400			
1600	図 8			
1800				
2000				

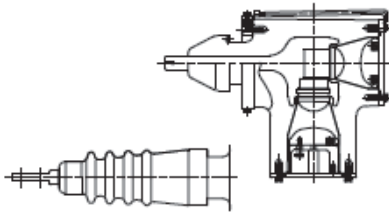


図4 66/77 kV 油中/ガス中コンパクト T形終端接続部

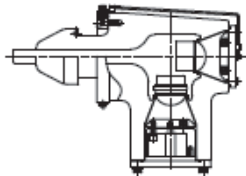


図5 66/77 kV 縮小型ガス中 T形終端接続部

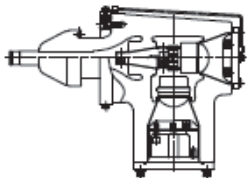


図6 66/77 kVAC/DC 断路機能付ガス中 T形終端接続部

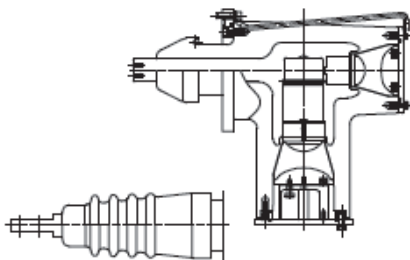


図7 66/77/110 kV 油中/ガス中 T形終端接続部

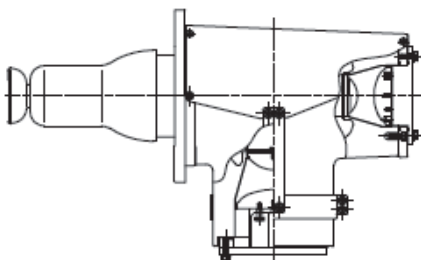


図8 154 kV 油中/ガス中 T形終端接続部

表3に主要な電気特性を示す。製品は規格 JEC-3408 : 2015「特別高圧 (11 kV ~ 500 kV) 架橋ポリエチレンケーブル及び接続部の高電圧試験法」の試験項目を満足している。

表3 T形終端接続部の電気特性

項目	規格値 (参照規格: JEC-3408:2015)		
公称電圧 (kV)	66/77	110	154
ケーブル最高電圧 (kV)	84	120	168
商用周波耐電圧 (kV) 試験時間: 60分	150	210	295
雷インパルス耐電圧 (kV) 極性・回数: 正負各3回	550	760	1035
長期課通電試験 (kV)	75	105	145

#### 4. ま と め

1992年から66/77 kV級製品の販売を開始しており、66/77級では10,000相を超える納入実績を有している。

T形終端接続部は課電口に課電リードケーブルを接続し機器の諸特性の試験を行うことができ、本体は機器側壁に貫通設置されているためエレファントケースを必要としないという特長がある。また、内部に断路機能を有した高機能製品もラインナップしている。

#### 参 考 文 献

- 1) 正木信男, 他:「66/77 kV CV ケーブル用直流課電機能付き T形終端接続部の開発」昭和電線レビュー, Vol.43, No.2, p.118-124 (1993)
- 2) 今西晋, 他:「66/77 kV CV ケーブル用 AC/DC 断路機能付 T形ガス中終端接続部 課電機能付ガス中終端接続部の開発・実用化」昭和電線レビュー, Vol.: 56, p.20-24 (2006)

SWCC (株)

光地 芳 (こうち かおり)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

城山 修二 (しろやま しゅうじ)

電力システム部 電力機器技術課  
電力機器製品の設計・技術に従事

SWCC (株)

住本 勉 (すみもと つとむ)

電力システム部 電力機器技術課  
博士 (工学)  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

今西 晋 (いまし しん)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
グループ長  
電力機器製品の研究・開発に従事

# スマート終端接続部

## Smart Type Sealing End

住本 勉  
Tsutomu SUMIMOTO

田渡未沙  
Misa TAWATARI

松澤俊輔  
Shunsuke MATSUZAWA

丸山英之  
Hideyuki MARUYAMA

スマート終端接続部は、ガス絶縁開閉装置又は変圧器と CV ケーブルを接続するための終端製品である。プラグイン構造を適用することにより、現地接続作業において機器ケースの開放や絶縁媒体（絶縁ガス・油）の充填作業等が省略でき、工期短縮が可能となる。本論文では、66 kV ~ 275 kV までのスマート終端接続部のラインナップについて報告する。

Smart type sealing end is a termination for connecting XLPE cable to the gas insulation switchgear and/or transformer. When we use the conventional (non-plug-in type) sealing end, opening the equipment case and filling the insulation medium (insulating oil or gas) after assembly are required during the on-site assembly work. However, using of the plug-in type sealing end makes it possible to omit those kinds of procedure, so that we can reduce the assembly time. We finished to make the line-up of Smart type sealing end for 66 - 275 kV XLPE cable. In this paper, we have reviewed Smart products line-up.

### 1. はじめに

スマート終端接続部はガス絶縁開閉装置又は変圧器と CV ケーブルを接続するための製品である。当社では以前より終端接続部の小型化・軽量化、接続作業の簡素化・短縮化を目標に製品開発を行ってきた。2019年には275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部<sup>1) - 3)</sup>の納入・運転を開始したので、66/77 kV, 110 kV, 154 kV, 275 kVの全電圧階級のスマート終端接続部ラインナップ化が完了した。本論文では、スマート終端接続部の設計コンセプト、ラインナップレビューを行う。

### 2. スマート終端接続部の特長

#### 2.1 スマート終端接続部の特長

スマート終端接続部は電界設計の最適化により従来製品と比較して小型化・軽量化を図っており、以下のような特長を有する。

- ①従来製品（電力用規格品）と比較し、小型・軽量
- ②従来製品と同等以上の電気絶縁性能
- ③プラグイン構造採用
- ④マルチコンタクト接続採用（日本国内向け）
- ⑤ブッシングと絶縁筒の一体化による部品点数削減
- ⑥油中・ガス中終端接続部本体材料の共通化
- ⑦機器のサイズや設置スペースの最適化

#### 2.2 キーテクノロジー

スマート終端接続部ラインナップに共通するキーテクノロジーとして、プラグイン構造の適用と電界設計の最適化が挙げられる。

プラグイン構造とすることのメリットとしては、接続材料の挿入作業が容易になること、現地で機器ケースを開放することなく作業が可能となることである。また、日本国

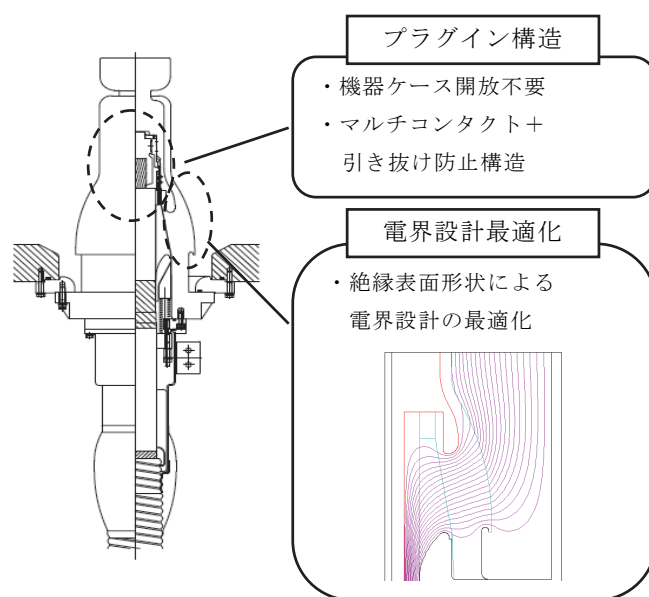


図1 スマート終端接続部のキーテクノロジー



内向け製品では、マルチコンタクト+引き抜け防止構造とすることで、更に信頼性を向上した。

電界設計については、ケーブル終端部はストレスコーン部、エポキシブッシング部、機器絶縁媒体との各々の界面に等電位線が集中するが、ブッシング表面の形状を等電位分布に合わせた設計とすることにより、ブッシング表面の電界分布を最適化した。これにより全長の縮小化を実現した。

一例として、275 kV ガス中終端接続部のスマート製品と従来製品との比較を表1および図2に示す。本体内部の電界設計の最適化により、電気絶縁性能を従来製品と同等以上に保持したまま、重量、全長ともに従来製品の約2分の1とすることができた。

表1 275 kV ガス中終端接続部の従来製品との比較

項目	スマート終端接続部	従来製品
概算重量	約 120kg	約 250kg
全長	約 1160mm	約 2015mm

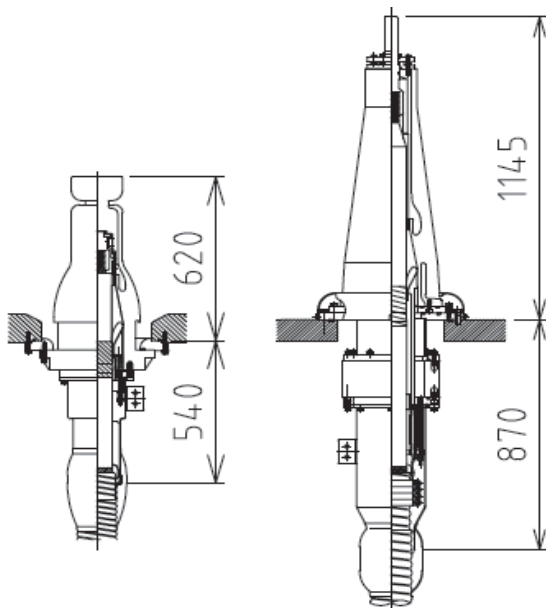


図2 275 kV ガス中終端接続部の従来製品との比較

2.3 施工面のメリット

スマート終端接続部にプラグイン構造を適用したことによる施工面のメリットとして、下記の2つが挙げられる。

(メリット1)

従来品の構造は現地組立方式であり、接続工事のために機器ケースを一度現地で取り外して終端を組み立てる必要があった(図3(b))。スマート終端接続部を適用すると、機器ケースを現地で開放する必要がなくなり(図3(a))、機器ケース内への異物混入リスクの低減が可能となった。

(メリット2)

従来は機器ケースを開放するために機器メーカーとケーブルメーカーが交代で作業に当たっていた複雑な施工区分を明確に分けることができ、現地施工の工期短縮化、省力化、両メーカー間の工程調整の簡略化が可能となった(表2参照)。

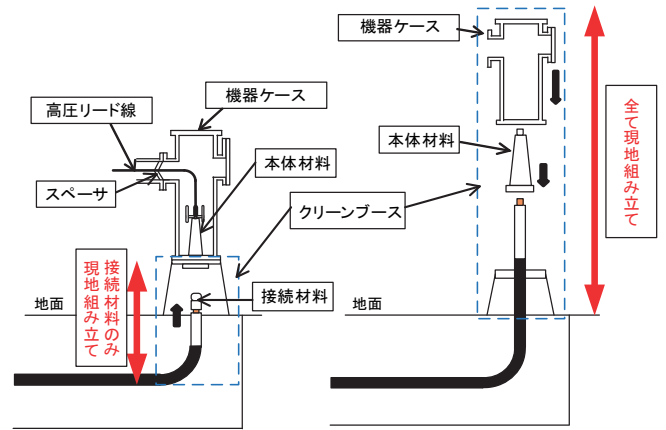


図3 275 kV ガス中終端接続部の組立比較概略図

表2 275 kV スマート終端接続部の施工区分

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	機器
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	ケーブル	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	メーカー
EB-O(ケーブル処理)	メーカー	ケーブル延線	ケーブル
EB-O組立	両社	クリーンルーム設置	ケーブル
試充電	両社	EB-O(ケーブル処理)	メーカー
		底板、Oリング取り合い	両社
		EB-O組立	両社
		エレファントケース取付	機器
		シールドリング取付(EB-O側)	ケーブル
		リード線圧縮(EB-O側)取付	ケーブル
		シールドリング(機器側)取付	機器
		リード線圧縮(機器側)取付	機器
		ハンドホール閉	両社
		真空、油埴	両社
		試充電	両社

↑ 短期化、省力化

3. スマート終端接続部の製品ラインナップ

日本国内と海外では電圧階級、寸法仕様の異なる部分があるため、日本国内向けと海外向けに区分してラインナップした。

3.1 日本国内向け製品ラインナップ

日本国内では66/77 kV から275 kV の電圧階級で、終端本体材料は4種類をラインナップした。66/77 kV ~ 154 kV 製品 (Type I ~ III), 275 kV 製品 (Type IV) の概略図を図4に、本体材料の電圧階級・ケーブルサイズ適用範囲を図5に示す。

Type IIは66 ~ 154 kV 共通の製品であり、接続するケーブルの電圧階級、導体サイズにより、適切なストレスコーンを選定して使用する。電圧階級にまたがり製品を共通設計とすることで、ラインナップのスリム化を図った。Type I, IIIはそれぞれ66/77 kV 小サイズ, 154 kV 大サ

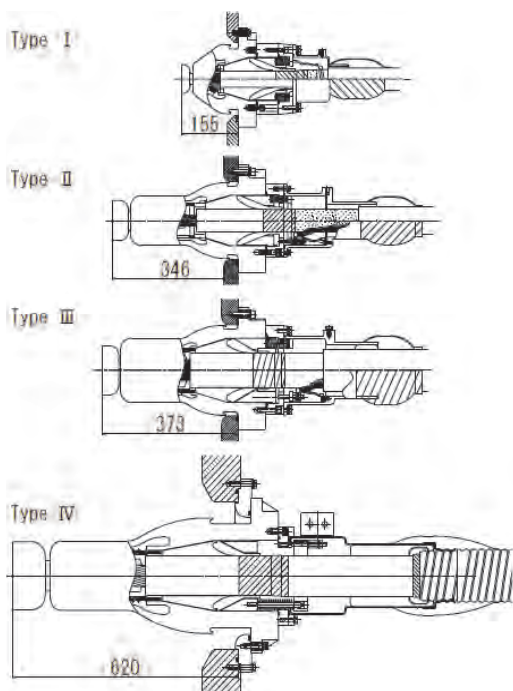


図4 日本国内向けガス/油中終端接続部

電圧階級	66/77kV	110kV (14mm絶縁)	154kV (17mm絶縁)	275kV
ケーブル導体サイズ (mm <sup>2</sup> )	200	Type I (※)	Type II	-
	250			
	325			
	400			
	500			
	600	Type III	Type IV	
	800			
	1000			
	1200			
	1400			
1600	-	-		
1800				
2000				

注) 上記製品区分は代表的なものであり、詳細仕様により変動あり。  
 (※) Type I はガス中終端のみのラインナップであり、66/77 kV 200 ~ 500 mm<sup>2</sup> 用油中終端はコンパクト T 形終端の適用となる。

図5 日本国内向けガス/油中終端接続部適用範囲

表3 日本国内向けガス/油中終端接続部の電気特性

項目	規格値 (参照規格: JEC-3408:2015)			
	Type I	Type II	Type III	Type IV
公称電圧 (kV)	66/77	66/77/154	154	275
ケーブル最高電圧 (kV)	84	168	168	300
商用周波耐電圧 (kV) 試験時間: 60分	150	295	295	525
雷インパルス耐電圧 (kV) 極性・回数: 正負各3回	550	1035	1035	1445
長期課通電試験 (kV)	75	145	145	260

注) 製品は上記規格の他に、JEC-2350:2016, JEC-2200:2014 の電気特性も満足している。

イズケーブル用の製品である (ただし、Type I はガス中終端のみのラインナップであり、66/77 kV 200 ~ 500 mm<sup>2</sup> 用油中終端はコンパクト T 形終端の適用となる)。Type IV は、275 kV 800 ~ 2000 mm<sup>2</sup> に対応する終端接続部である (110 kV 2500 mm<sup>2</sup> 大サイズケーブルへの適用実績あり)。

いずれの製品も従来製品に比較して機器内寸法を小型化しており、これにより機器の縮小化設計が可能となる。Type IV の本体フランジと機器内寸法は、海外向け製品 Type D と共通設計とし、IEC 規格に準拠した取り合い寸法とした。

表3に国内向け製品の主要な電気特性を示す。製品は規格 JEC-3408:2015 「特別高圧 (11 kV ~ 500 kV) 架橋ポリエチレンケーブル及び接続部の高電圧試験法」、JEC-2350:2016 「ガス絶縁開閉装置」、JEC-2200:2014 「変圧器」の各試験項目を満足している。

### 3.2 海外向け製品ラインナップ

海外の電圧階級、ケーブルサイズは各国各様であるため、代表的な区分を取り上げる。ラインナップとしては、66 kV ~ 220 kV の電圧階級で、海外規格 IEC62271-209:2019 に従い、Dry-type と Fluid-filled type の全製品をラインナップしている<sup>4)~6)</sup>。いずれも乾式タイプであり、Dry-type は全てプラグインタイプとなっている。Dry-type の製品外観図を図6に示す。また、製品の代表的な製品区分を図7に示す。

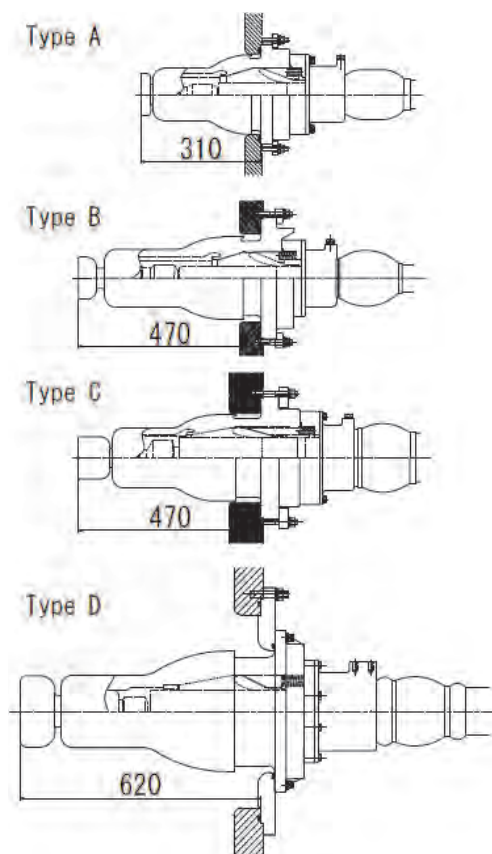


図6 海外向けガス/油中終端接続部

海外向けのガス中終端接続部の機器内寸法および機器フレンジ部取り合い寸法は、海外規格 IEC62271-209 の中で、電圧階級 (Rated Voltage) 毎に細かく定められている。当社製品も規格に沿ってラインナップ化した。

表 4 に海外向け製品の主要な電気特性を示す。製品は規格 IEC60840:2011 (Type A~C), 62067:2011 (Type D) の各試験項目を満足している。

電圧階級	66kV	110/132kV	154/161kV	220kV
ケーブル導体サイズ (mm <sup>2</sup> )	300	Type B		Type D
	400			
	500			
	630			
	800			
	1000	Type C		
	1200			
	1400			
	1600			
	1800			
	2000			

注 1) 上記および図 6 の製品群は IEC62271-209:2019 の Dry-type cable connection に適合したラインナップであり、この他に Fluid-filled cable connection に適合したラインナップもある。

注 2) 接続材料はケーブル導体サイズに応じて更に細かくラインナップされている。

図 7 海外向けガス/油中終端接続部適用範囲

表 4 海外向けガス/油中終端接続部の電気特性

項目	規格値			
	Type A	Type B	Type C	Type D
製品	Type A	Type B	Type C	Type D
Rated voltage (kV)	66	132	161	220
Highest voltage (kV)	72.5	145	170	245
Voltage test (kV)	90	190	218	318
試験時間: 30分				
Partial discharge test (kV)	54	114	131	190
Heating cycle voltage test (kV)	72	152	174	254
Impulse lightning voltage test (kV)	325	650	750	1050
極性・回数: 正負各10回				
参照規格 (IEC)	60840			62067

#### 4. ま と め

当社スマート終端接続部は、2019年に製品リリースした日本国内向け 275 kV 製品を加え、66/77 kV ~ 275 kV までのスマート終端接続部ラインナップ化を完了した。

スマート終端接続部を適用することにより得られる施工面のメリットとして、①機器ケースを現地で開放する必要がなくなり、機器への異物混入リスクの低減が可能となること、②施工区分を簡素化することにより、機器メーカーとケーブルメーカー間の工程調整の簡略化が実現することで、工期短縮につながる。

#### 参 考 文 献

- 1) 伊藤康介, 他: 「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の開発」, 昭和電線レビュー, Vol.63, pp.14-17 (2017)
- 2) 田渡未沙, 他: 「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の開発」, 平成 31 年電気学会全国大会, No.5-165 (2019)
- 3) 田渡未沙, 他: 「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の実用化」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.256 (2019)
- 4) 高安央也, 他: 「IEC 規格準拠 123/170 kV スマート終端接続部の開発」, 平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.129 (2007)
- 5) 李鋒, 他: 「220/345 kV ガス中終端接続部の開発」, 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, pp.25-28 (2008)
- 6) 李鋒, 他: 「IEC 規格準拠 220/345 kV スマート終端接続部の開発」, 平成 20 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.329 (2008)

SWCC (株)

住本 勉 (すみもと つとむ)

電力システム部 電力機器技術課

博士 (工学)

電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

田渡 未沙 (たわたり みさ)

電力システム部 電力機器技術課

電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

松澤 俊輔 (まつざわ しゅんすけ)

電力システム部 電力事業企画推進室

電力機器製品の拡販に従事

SWCC (株)

丸山 英之 (まるやま ひでゆき)

電力システム部 電力機器技術課

課長

電力機器製品の設計・技術に従事



# ダイレクトモールド気中終端接続部

## Direct-Molded Outdoor Termination

田渡 未沙  
Misa TAWATARI

住本 勉  
Tsutomu SUMIMOTO

今西 晋  
Shin IMANISHI

林 克之  
Katsuyuki HAYASHI

丸山 英之  
Hideyuki MARUYAMA

ダイレクトモールド気中終端接続部は、主絶縁にエポキシ樹脂を使用してシリコーンゴムの外被をかぶせた完全固体絶縁タイプの終端接続部である。従来の磁器がい管、絶縁油を使う気中終端接続部と比較して軽量・コンパクト化を実現化した。それにより耐震性や安全性にも優れている。さらにプラグイン構造を適用することで、現地接続作業が省略でき、工期短縮が可能となる。本論文にてダイレクトモールド気中終端接続部ラインナップを報告する。

Direct-molded outdoor termination is a completely solid insulator type product, which is achieved by the structure composed of epoxy resin as a main insulator and silicone rubber as an outer cover. We have achieved Direct-molded outdoor termination, a compact and light-weight product compared to conventional porcelain type. As a result, it has excellent earthquake resistance and safety. By applying the plug-in structure, on-site connection work can be omitted, and the construction period can be shortened. In this paper, we have reviewed Direct-molded products line-up.

### 1. はじめに

ダイレクトモールド気中終端接続部は主絶縁にエポキシ樹脂を使用し、シリコーンゴムの外被をかぶせた完全固体絶縁タイプであり、絶縁油を使用しないことから軽量・コンパクトを実現した製品である。従来の気中終端接続部は、磁器がい管を使い、内部絶縁にはシリコーン油などの絶縁油を注入していた。これらの部品組み立てを現地で行っていたため、工期短縮と工事の省力化が望まれていた。

当社では2000年代初頭より終端接続部の小型化・軽量化、接続作業の簡素化・短縮化を目標に、2016年までに66～154 kV級の製品を開発<sup>1) 2) 3)</sup>した。

一方、2017年には、国内初のポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化が発刊<sup>4)</sup>され、2019年に電気規格JEC-5202:2019 プッシングが改訂された。それに伴って2021年までに110～154 kV級の製品の所要漏れ距離が見直された。これにより本論文では、設計コンセプト、ラインナップレビューを行う。

### 2. ダイレクトモールド気中終端接続部の特長

ダイレクトモールド気中終端接続部は電界設計の最適化により従来製品と比較して小型化・軽量化を図っており、以下のような特長を有する。

#### 2.1 ダイレクトモールド気中終端接続部の特長

##### ①完全乾式化

エポキシ絶縁部の表面にシリコーンゴムを直接モールドした固体絶縁構造の完全乾式の気中終端接続部である。

##### ②軽量・コンパクト化

がい管部は磁器ではなく、ポリマー材料を適用し、軽量化することで、重機を使用せずに組み立てが可能となり、取り扱いが容易で作業性が大幅に向上する。

##### ③プラグイン化

あらかじめ工場で組み立てた本体材料（がい管部）に接続材料を差し込むだけで接続できるプラグイン構造を採用したことから、信頼性が向上し、現地での組立工程が簡略化できる。

##### ④汚損性能

平均直径を細くすることにより、コンパクト化しても電気協同研究第72巻第4号の154 kV以下の非有効接地系ポリマーがい管の汚損設計基準曲線<sup>4)</sup>を満たす汚損設計を有する。

##### ⑤耐震性能

軽量・コンパクト化により、気中終端本体の固有振動数が地震の卓越振動数範囲（0.5～10 Hz）よりも高く耐震性に優れる。

2.2 キーテクノロジー

キーテクノロジーとして、電界設計の最適化とプラグイン構造の適用が挙げられる。

例として 154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の構造を図 1 に示す。主絶縁にエポキシ樹脂、外被にシリコンゴムを用いて完全固体絶縁構造としたこと、更に非線形材料—電圧・電流特性に非線形性を持つ材料—を電界緩和層として用いたことにより<sup>5)</sup>、従来の磁器がい管を使用した気中終端に比較して大幅な軽量・コンパクト化を実現した(表 1 参照)。

なお、汚損設計は、電気協同研究第 72 巻第 4 号<sup>4)</sup>の中で整理され、154 kV 以下の非有効接地系ポリマーがい管の汚損設計基準曲線が見直されているため、表面漏れ距離及び平均直径を一部再構成した。154 kV 級のダイレクトモールド製品では、気中部の全長等の大幅な変更を行わないために水切りかさを設けることで表面漏れ距離を確保した(図 1 参照)。

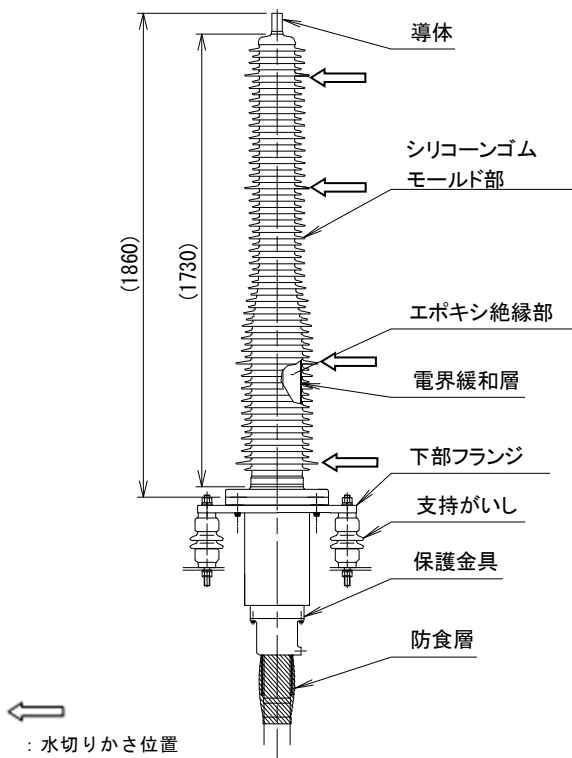


図 1 本製品の構造 (例：154 kV 級)

表 1 気中終端接続部の比較 (例：154 kV 級)

項目	磁器がい管品 PC-227FR (重汚損)	本製品 (重汚損)
質量 (本体)	約 520 kg	約 140 kg
全長	約 2650 mm	約 1860 mm

また、気中部下部のエポキシとシリコン外被の間には、非線形材料(酸化亜鉛)を用いた電界緩和層を設けている(図 1 参照)。電界緩和層の電界-電流特性(図 2)の通り、

設定電界以上になると電流が流れてその場所の電界を一定に保とうとする特性を持つ<sup>5)</sup>。このように電界緩和層は高電界の領域で電界抑制効果を持つ。過電圧時や雷サージ進入時などの異常時の過大な電圧が終端接続部に印加された場合には、気中部下部の高電界となる部分の電界を抑制するため、終端の気中部全長をコンパクト化できる。

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

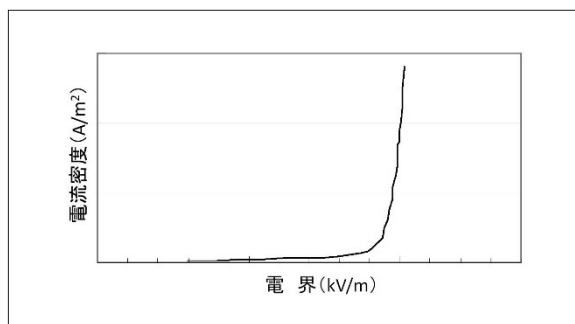
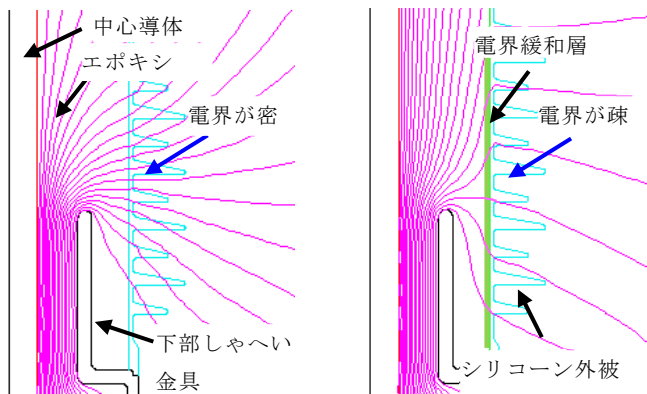


図 2 電界緩和層の非線形電界-電流特性 (例：154 kV 級)



(1) 電界緩和層なし (2) 電界緩和層あり  
図 3 等電位分布図 (例：154 kV 級)

さらにケーブルの挿抜が容易なマルチラムバンド接触子を利用するプラグイン構造を採用した。通電部と固定部を分離することで組立工事の利便性を向上させた。マルチラムバンド接触子の適用により、大サイズケーブル導体を圧縮する時の曲がりを吸収することもでき、現地組立の信頼性も確保した。

2.3 施工面のメリット

軽量であるため、変電所内での低床架台であればクレーン等の重機を使用せず、小型ウインチを使用し本体の据付を行うことが可能である(図 4 参照)。また、従来の気中終端接続部と異なり、ケーブル処理長が約 300 mm と短く、プラグインで接続可能なため、がい管上部での作業が少なく足場組立の省力化ができる(図 4, 5 参照)。

そのため、塔上分岐接続部として採用され、高所での施工作业性の向上も可能となった（図5参照）。

施工でのメリットを以下に示す。

- ①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ある。
- ②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。
- ③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る。
- ④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、施工工程を簡略化できる。全体で約 35%の施工時間の短縮（当社比）を実現した。

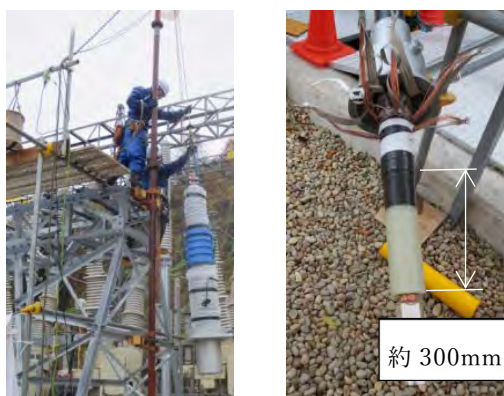


図4 施工例1（低床架台）



図5 施工例2（塔上取付）

### 3. 製品ラインナップ

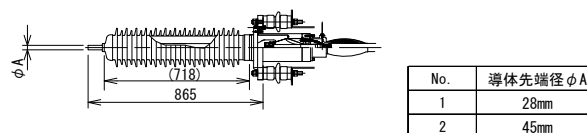
日本国内では対地 30 kV（22/33 kV 兼用）から 154 kV の電圧階級で、終端本体材料は7種類とした。本製品の概略図を図6に、本体材料の電圧階級・汚損区分適用範囲を表2に示す。

いずれの製品も従来製品に比較して小型化しており、これにより施工作业性の向上が可能となる。

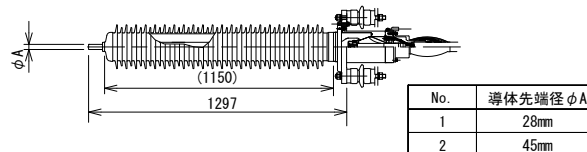
表3に国内向け製品の主要な電気特性を示す。製品は規

格 JEC-3408:2015（CV ケーブルおよび接続部）の各試験項目を満足している。

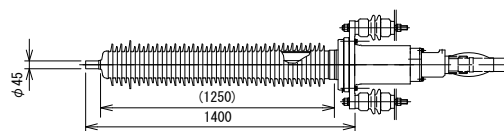
- ①対地 30 kV 超重汚損（22/33 kV 兼用）  
：汚損区分 0.35 mg/cm<sup>2</sup>



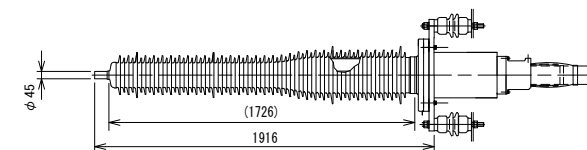
- ② 66/77 kV 超重汚損：汚損区分 0.35 mg/cm<sup>2</sup>



- ③ 110 kV 重汚損：汚損区分 0.12 mg/cm<sup>2</sup>



- ④ 110 kV 超重汚損：汚損区分 0.35 mg/cm<sup>2</sup>  
および 154 kV 重汚損：汚損区分 0.12 mg/cm<sup>2</sup>



- ⑤ 154 kV 超重汚損：汚損区分 0.35 mg/cm<sup>2</sup>

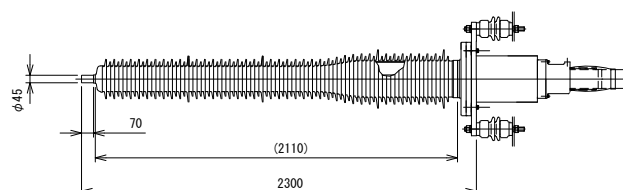


図6 概略図

表2 電圧階級・汚損区分適用範囲

電圧階級	対地30kV(22/33kV)			110kV		
	ケーブルサイズ(mm <sup>2</sup> )	80-400	600	800-2000	200-600	800-2000
汚損区分 (mg/cm <sup>2</sup> )	0.03	①-1	①-2	—	③	④
	0.06					
	0.12				④	
	0.35					
電圧階級	66/77kV			154kV		
ケーブルサイズ(mm <sup>2</sup> )	80-400	600	800-2000	200-600	800-2000	
汚損区分 (mg/cm <sup>2</sup> )	0.03	②-1	②-2	④	⑤	
	0.06					
	0.12					
	0.35					



表 3 電気特性

項目	規格値 (参考規格: JEC-3408: 2015)					
	対地30kV	66kV	77kV	110kV		154kV
汚損区分	~0.35			~0.12	0.25~0.35	~0.12   0.25~0.35
AC耐電圧試験[kV]	130	130	150	210		295
雷Imp耐電圧試験[kV]	280	485	550	760		1035
長期課通電試験[kV]	45	65	75	105		145

注) 対地 30 kV は JEC-3408:2015 に該当しない。

#### 4. ま と め

ダイレクトモールド気中終端接続部を適用することにより、組立時間の短縮、耐震性とメンテナンス性の向上が実現できる。またすでに電力会社で採用されている T 形終端接続部やスマートガス中終端接続部の接続材料等と完全互換性があるため、緊急時の部品供給も容易になっている。

さらに施工面のメリットとして、軽量であるため、従来の気中終端接続部と異なり、ケーブル処理長が短く、プラグインで接続可能なため、がい管上部での作業が少なく足場組立が省力化できる。そのため、塔上分岐接続部として採用され、高所での施工作业性の向上も可能となった。

#### 参 考 文 献

- 戸谷 敦, 田中 敦, 他:「66/77 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の開発」, 平成 16 年電気学会全国大会, No.7-138 (2004)
- 新館 均, 足立 和久, 他:「110/132 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の開発」, 平成 18 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.127, pp.4-1-4-2 (2006)
- 李 鋒, 今西 晋, 他:「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.316 (2016)
- 「ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化」, 電気協同研究, 第 72 巻, 第 4 号 (2017)
- 箕輪 昌啓, 田中 忍, 他:「酸化亜鉛/エポキシ樹脂コンポジットの非線形特性を利用した電界緩和技術の開発」, 昭和電線レビュー, Vol.62-P.18 -24 (2016)

SWCC (株)

田渡 未沙 (たわたり みさ)

電力システム部 電力機器技術課  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

住本 勉 (すみもと つとむ)

電力システム部 電力機器技術課  
博士 (工学)  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

今西 晋 (いまにし しん)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
グループ長  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

林 克之 (はやし かつゆき)

電力システム部 電力機器技術課  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

丸山 英之 (まるやま ひでゆき)

電力システム部 電力機器技術課  
課長  
電力機器製品の設計・技術に従事

# ダイレクトモールドブッシング

## Direct-Molded Bushing

入田 光洋  
Mitshuhiro IRITA

今西 晋  
Shin IMANISHI

住本 勉  
Tsutomu SUMIMOTO

田渡 未沙  
Misa TAWATARI

丸山 英之  
Hideyuki MARUYAMA

ダイレクトモールドブッシングは当社のブッシング製品である。本製品はエポキシブッシング表面にシリコンゴムを直接モールドすることで完全固体絶縁を実現し、製品そのものの小形・軽量化と高耐震性・低環境負荷化に加え、取付姿勢が自由になることでレイアウト自由度の向上を達成した。本論文では、22～154 kVまでのダイレクトモールドブッシングラインナップについて報告する。

Direct-molded bushing is a kind of bushing which adopted the solid insulation structure by direct molding of silicon rubber outside the epoxy bushing surface. This product is smaller and lighter than traditional type, high earthquake-proof, reduces environmental load, and realizes freedom of install composition. In this paper, we have reviewed Direct-molded bushing line-up.

### 1. はじめに

ダイレクトモールドブッシングは完全固体絶縁を実現した当社のブッシング製品であり、変圧器又はガス絶縁開閉装置と気中リード線、または壁を貫通して気中リード線同士を接続する。当社では以前より終端接続部の小形・軽量化、接続作業の簡素・短縮化を目標に製品開発を行ってきた。そうして培った技術をブッシングに応用し、日本国内で22/33 kV, 66/77 kV, 110 kV, 154 kVの各電圧階級においてダイレクトモールドブッシングを展開している。本論文では、ダイレクトモールドブッシングの設計コンセプト、ラインナップレビューを行う。

### 2. ダイレクトモールドブッシングの構造と特長

#### 2.1 ダイレクトモールドブッシングの構造

ダイレクトモールドブッシングはエポキシソリッド構造を採用している。本構造は導体に絶縁体となるエポキシ樹脂を直接モールドしたエポキシブッシングに、外被としてシリコンゴムをさらにモールドしたものであり、各部品が一体として成型された完全固体絶縁構造である。(図1)

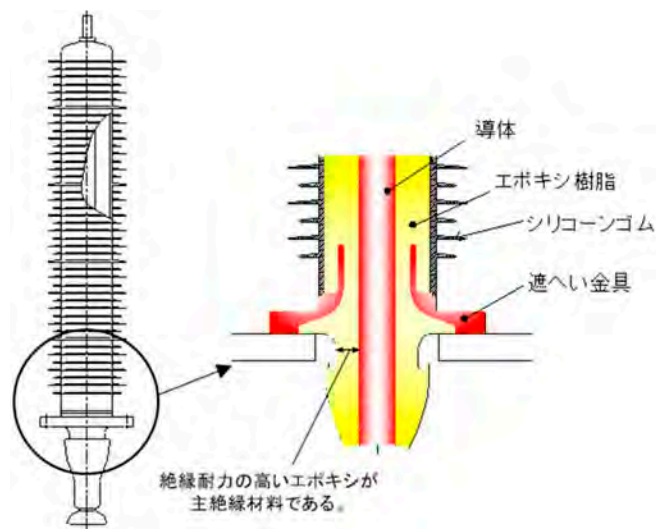


図1 エポキシソリッド構造

#### 2.2 ダイレクトモールドブッシングの特長

ダイレクトモールドブッシングは完全固体絶縁構造により、従来製品と比較して以下のような特長を有する<sup>1)</sup>。

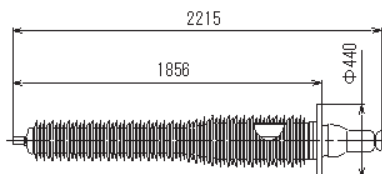
- ①従来製品（磁器がい管製品）と比較し、小形・軽量
- ②据付角度が自由
- ③絶縁油・ガス漏洩リスク低減
- ④高い耐震性

## (メリット1)

従来の磁器がい管を用いたものに比べて小形・軽量であり、固体絶縁で絶縁油やガスの管理も不要なため、取付作業が大幅に簡易化される。(図2)

## 154kV ダイレクトモールドブッシング

約 120kg



## 154kV 磁器がい管ブッシング

約 450kg

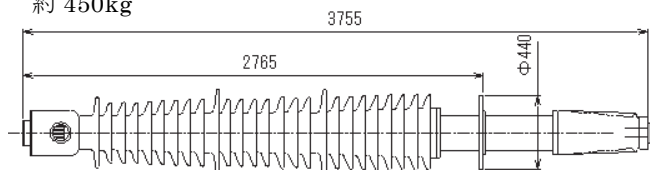


図2 従来形ブッシングとの比較 (154 kV クラス)

## (メリット2)

内部に絶縁油を充填していないため、保管・据付時に姿勢の制約がない。横置き保管が可能な他、据付レイアウトが自由になり省スペース化に貢献する。また、小形化と自由な据付角度により機器全高を抑えられるため、77 kV クラスまでは機器にブッシングを取り付けた状態で運搬することが可能。(図3)

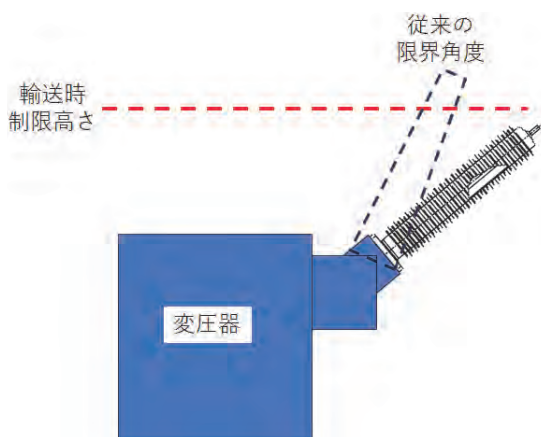


図3 可搬性の向上

## (メリット3)

完全固体絶縁のため、廃棄時の絶縁油・ガスの処理が不要であり、破損時にそれらが流出することもない。がい管に強い衝撃などが加わって破損する場合でも、気中側にある遮蔽金具先端で折損するため、機器の絶縁媒体が流出するリスクも低い。また自己消火性のある材質のため、地絡

しても火災等が発生しない。総じて高安全性・低環境負荷である。(図4)

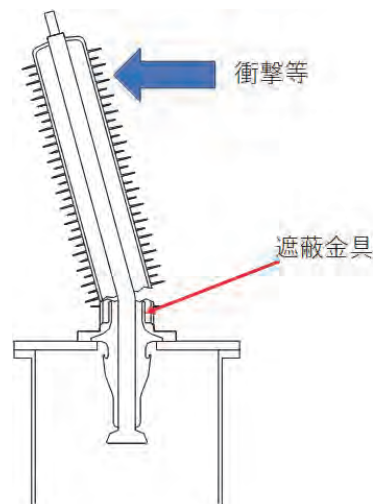


図4 破損時の漏油リスク低減

## (メリット4)

小形・軽量化により固有振動数が高く、地震に対して共振を起こさないため耐震性が高い。JEAG 5003-2019「変電所等における電気設備の耐震設計指針」にて定められている設計基準地震力は、卓越振動数が10 Hz以下である。対してダイレクトモールドブッシングの固有振動数は最も低い154 kV クラスでも20 Hzであり、共振を起こさない。

## 3. ダイレクトモールドブッシングのラインナップ

ダイレクトモールドブッシングは用途により寸法仕様が異なるため、用途別に区分してラインナップを挙げる。

3.1 変圧器用ブッシング<sup>1) 2) 3) 4) 5)</sup>

変圧器用ブッシングは22/33 kV, 66/77 kV, 110 kV, 154 kV用をラインナップしている。図5に変圧器用ブッシングの形番と概略図を、表1に長さを、表2に適用汚損区分を示す。ブッシング形式の末尾に「-CT」と付く製品は油中側にCTを取り付けるためのスペースを有する。

なお、機器台板との取合い寸法は、66/77 kV以下用および110D-HはJEC-5202:2019「ブッシング」の油浸紙コンデンサブッシング標準取付寸法 定格電圧69/80.5 kV 定格電流1200 A以下と同一である。154D-Hは同標準取付寸法 定格電圧161/195.5 kV 定格電流3000 A以下と同一である。



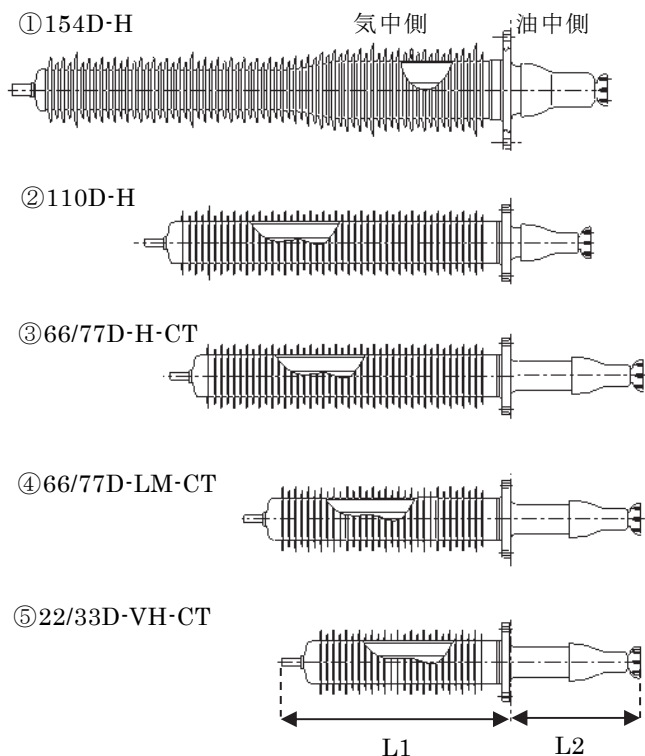


図5 変圧器用ブッシング

表1 変圧器用ブッシング長さ

ブッシング形式	気中側長さ L1 [mm]	油中側長さ L2 [mm]
154D-H	1856	359
110D-H	1376	305
66/77D-H-CT	1280	485
66/77D-LM-CT	992	485
22/33D-VH-CT	848	485

表2 変圧器用ブッシング適用汚損区分

汚損区分 [mg/cm <sup>2</sup> ]	公称電圧 [kV]			
	22/33	66/77	110	154
~0.06		④	②	①
~0.12	⑤			
~0.35		③	①	—

### 3.2 ガス絶縁開閉装置用ブッシング<sup>6)</sup>

ガス絶縁開閉装置用ブッシングは66/77 kV用をラインナップしている。図6にガス絶縁開閉装置用ブッシングの形番と概略図を、表3に仕様を示す。

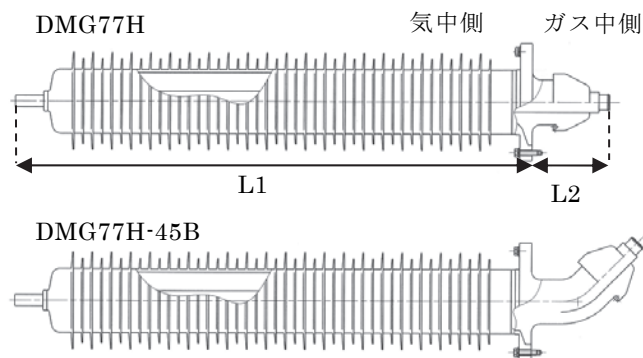


図6 ガス絶縁開閉装置用ブッシング

表3 ガス絶縁開閉装置用ブッシング仕様一覧

ブッシング形式	公称電圧 [kV]	気中側長さ L1 [mm]	ガス中側長さ L2 [mm]	汚損区分 [mg/cm <sup>2</sup> ]
DMG77H	66/77	1280	192	~0.35
DMG77H-45B	66/77	1280	—	~0.35

### 3.3 その他ブッシング<sup>7)</sup>

その他のブッシングとして、壁貫通用ブッシング22/33 kVおよび対地30 kV兼用、66/77 kV用などがある。図7に壁貫通ブッシングの形番と概略図を、表4に長さを、表5に適用汚損区分を示す。

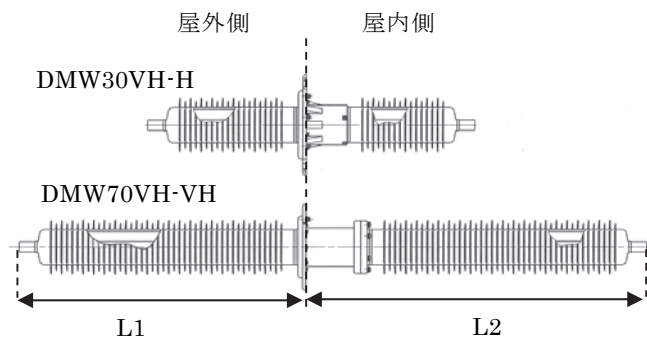


図7 壁貫通ブッシング

表4 壁貫通ブッシング長さ (一例)

ブッシング形式	屋外側長さ L1 [mm]	屋内側長さ L2 [mm]
DMW30VH-H	709	753
DMW70VH-VH	1285	1525

表5 壁貫通ブッシング適用汚損区分 (一例)

汚損区分 [mg/cm <sup>2</sup> ]	公称電圧 [kV]	
	22/33・対地30	66/77
~0.35 / ~0.12 ※	DMW30VH-H	DMW70VH-VH
~0.35	—	

※屋外側 0.35 mg/cm<sup>2</sup> 以下, 屋内側 0.12 mg/cm<sup>2</sup> 以下

#### 4. ま と め

当社ダイレクトモールドブッシングは、22/33 kV～154 kVまでのラインナップを日本国内にて展開している。

ダイレクトモールドブッシングを適用するメリットとして、①製品そのものが小形軽量かつ一体構造であり、据付作業を簡素化できること、②据付角度に制限がなく、取付レイアウトの自由度が向上すること、③材質・構造上の防爆性・安全性向上と環境汚染リスクの低減、④高い耐震性の大きく4つが挙げられる。これにより、電力会社の変電所内機器およびケーブルシステムの全電圧階級におけるトータル建設コストの大幅な削減に寄与できる。

#### 参 考 文 献

- 1) 五十嵐耕, 他:「66/77 kV オイルレスダイレクトモールドブッシング適用の変圧器の完成」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.5-238, p.344(2005)
- 2) 今西晋, 他:「66/77 kV ダイレクトモールド貫通ブッシングの開発・実用化」, 昭和電線レビュー, Vol.56, No.1, p.15(2006)
- 3) 足立和久, 他:「110 kV ダイレクトモールドブッシングの開発」, 平成 19 年電気学会全国大会, No.7-129, p.194(2007)
- 4) 住本勉, 他:「154 kV 機器用ダイレクトモールドブッシングの開発」, 平成 25 年電気学会全国大会, No.5-200, p.327(2013)
- 5) 今西晋, 他:「154 kV 重汚損対応機器用ダイレクトモールドブッシングの実用化」, 平成 27 年電気学会全国大会, No.7-080, p.120(2015)
- 6) 清原悟, 他:「66/77 kV ダイレクトモールドブッシングの C-GIS への適用」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.6-259, p.432(2005)
- 7) 今西晋, 他:「66/77 kV 壁貫通ダイレクトモールドブッシングの開発・実用化」, 平成 18 年電気学会全国大会, No.7-103, p.432(2006)

SWCC (株)

入田 光洋 (いりた みつひろ)  
電力システム部 電力機器技術課  
電力機器製品の設計・技術に従事

SWCC (株)

今西 晋 (いまにし しん)  
電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
グループ長  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

住本 勉 (すみもと つとむ)  
電力システム部 電力機器技術課  
博士 (工学)  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

田渡 未沙 (たわたり みさ)  
電力システム部 電力機器技術課  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

丸山 英之 (まるやま ひでゆき)  
電力システム部 電力機器技術課  
課長  
電力機器製品の設計・技術に従事

# 275 kV CV ケーブル用スマート気中終端接続部の開発

## Development of Smart Type Outdoor Termination for 275 kV XLPE Cable

阿部 成将  
Norimasa ABE

篠崎 一輝  
Kazuki SHINOZAKI

今西 晋  
Shin IMANISHI

新館 均  
Hitoshi SHINTATE

送電線と CV ケーブルを接続する従来の気中終端接続部は、内部の絶縁媒体として油を使用し、全ての部品を現地で組立てることから接続工事の短縮・現地での絶縁媒体処理作業削減が望まれていた。そこでプラグイン構造を採用し、かつ本体材料を事前に工場で作成した構造にすることで、接続工事の工期短縮を図った 275 kV CV ケーブル用スマート気中終端接続部を開発・製品化した。

The conventional outdoor termination for connection between transmission lines and XLPE cables, oil was used as an internal insulation medium, and all components were assembled on-site. This led to a desire for a reduction in connection installation time and on-site insulation processing work. Therefore, a smart type outdoor termination for 275 kV XLPE cables was developed and commercialized, adopting a plug-in structure and pre-assembling the main body materials in the factory to shorten the installation period of the connection work.

### 1. はじめに

従来の 275 kV CV ケーブル用気中終端接続部は、端末部の処理を施したケーブルの外側に磁器製のがい管を被せ、内部に絶縁油を充填する構造が一般的である。これらの組立は全て現地で実施されることから、現地組み立て部品が多く工期を要する。これに対し、本接続部は、事前に工場内で本体部分を組み立て油充填した状態で現地に納入することが可能な構造とすることで、現地では本機をトラックから吊り上げ、所定の場所へ設置するだけで本体部分の組立が完了する。また、ガス/油中終端接続部<sup>1)~3)</sup>ですすでに採用されているプラグイン構造を採用し、部品を共通化することにより、作業の簡素化・省力化を図った。

これにより、プラグイン構造を有する 275 kV クラスの終端接続部のラインナップが揃った<sup>4)</sup>。

### 2. 構造

本製品の構造を図 1 に示す。ポリマーがい管内の下部には、エポキシブッシングの直上に電界緩和を目的としたアウターラバーブロック（絶縁ゴムと半導電ゴムで形成された電界緩和形状を有するブロック）を被せたユニットを配置し、上部の導体引出棒との接続には可とう性を有するフレキシブル導体を使用している。また、ポリマーがい管内には絶縁媒体としてシリコン油を充填している。フレキシブル導体は撓みを持たせた構造としており、温度変化による熱膨張・熱収縮を吸収し、かつ地震等の振動によ

て発生するポリマーがい管のしなりがエポキシブッシングに及ぼす機械的負荷を低減する。

なお、本体材料は事前に工場内で組み立て、電気試験を

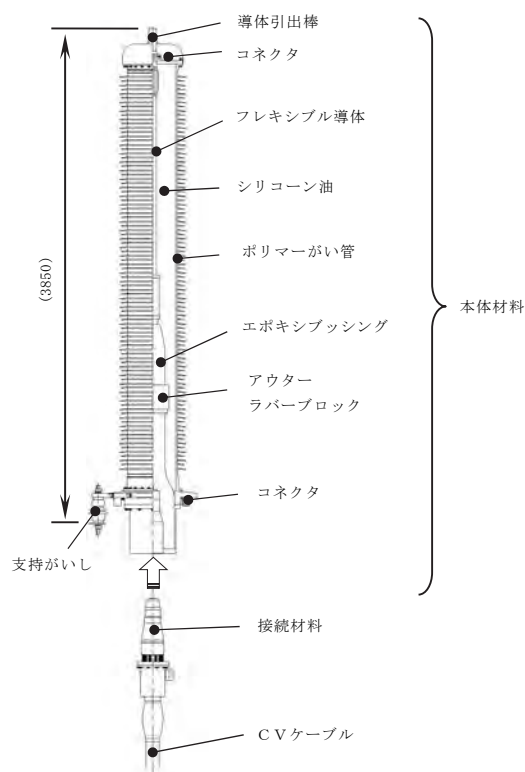


図 1 275 kV スマート気中終端接続部構造



実施し、がい管内部をシリコン油で満たした上で専用運搬架台にて出荷される。また、接続材料は既に製品リリース済みの 275 kV スマートガス中・油中終端接続部と共通部品を適用したプラグイン構造を採用している。

### 3. 特長

本開発品は従来の気中終端接続部と比較して以下の特長を有している。

- ① 本体部分を工場で組立て現地に納入することで工期短縮が図れる。
- ② 本体部分の組み上がったものを検査し納入することができるので、信頼性が向上する。
- ③ 275 kV スマートガス中・油中終端接続部で採用しているプラグイン構造を気中終端接続部でも採用しており、部品が共通化されているため、作業の簡素化や省力化が図れる。

### 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 2 に示す。

ポリマーがい管内部 (A 部) はアウターラバブロックによりがい管表面の電界を緩和している。また、CV ケーブルとの接続箇所であるポリマーがい管下部 (B 部) では接続材料であるプレモールド絶縁体によりケーブル遮への電界を緩和させている。

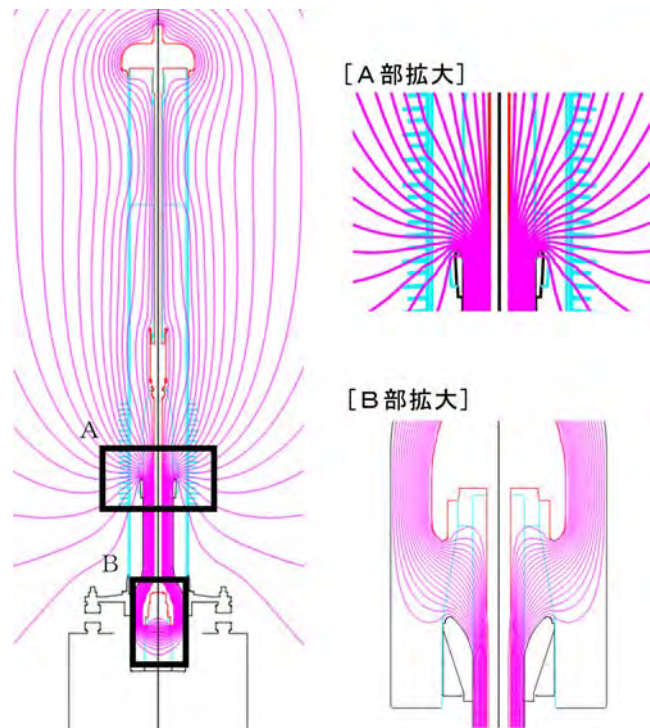


図 2 等電位線図

### 5. 運搬・組立施工

本製品の専用運搬架台を図 3 に、本体の組立の状況を図 4 に示す。運搬時の急ブレーキの際に発生するウォーターハンマー現象を考慮し、がい管内部はシリコン油を完全に満たした状態で出荷する。搬送時の気温変動による油の熱膨張は架台に据え付けられたサブタンクにて吸収し、がい管に過度な内圧が加わらない様設計している。

また、運搬架台は軸受を使用した回転機構を有しており、現地での本体材料の組み立ては、図 4 に示すようがい管を吊り上げ、架台に設置するのみのため、開梱から本体据付まで 3 時間程度で完了する。

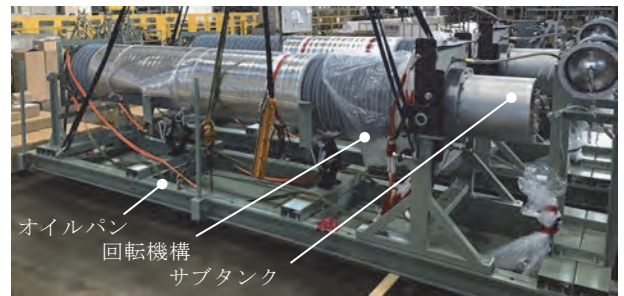


図 3 専用運搬架台の構造



図 4 本体材料の据付状況

図 5 に従来品と開発品の現地接続工事に要する工期の比較を示す。図 5 より、従来品に対し、約 30% 工期が短縮された。



図 5 工期比較

## 6. 仕様

本開発品の仕様を表1に示す。

表1 仕様

公称電圧	275 kV
適用ケーブルサイズ	800～2000 mm <sup>2</sup> (絶縁厚 23 mm)
汚損区分	～0.12 mg/cm <sup>2</sup>

## 7. 開発試験結果

本製品はJEC-3408-2015「特別高圧（11 kV～275 kV）架橋ポリエチレンケーブル及び接続部の高電圧試験法」に基づいて検証試験を実施し、十分な性能を有することを確認している。表2に検証試験結果、試験状況を図6に示す。

表2 開発試験結果

項目	試験条件	結果
部分放電試験	300 kV 5 pC 以下	良
商用周波耐電圧試験	【常温】 525 kV 1時間	良
雷インパルス耐電圧試験 (常温試験又は高温試験)	【常温】	良
	内部絶縁部: ±1445 kV 各3回(外部補強あり)	
	【高温】	
	±1155 kV 各3回	
長期課通電試験	230 kV 0.5年以上	良
	8時間オン 16時間オフ	



図6 長期課通電試験

## 7. まとめ

275 kV クラスでは初めてのプラグインタイプの気中終端接続部を開発・実用化した。

本開発により下記を実現した。

- ① 275 kV スマートシリーズの電力機器部品の共通化
- ② 本体の事前組立・工場内出荷試験による信頼性の向上
- ③ 現地接続工事に要する工期を約 30% 削減（当社比）

## 参考文献

- 1) 伊藤康介, 他:「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の開発」, 昭和電線レビュー, Vol.63, No.3, p.14-17(2017)
- 2) 田渡未沙, 他:「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の開発」, 平成 31 年電気学会全国大会, No.5-165 (2019)
- 3) 田渡未沙, 他:「275 kV CV ケーブル用スマート終端接続部の実用化」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.256 (2019)
- 4) 阿部成将, 他:「275 kV CV ケーブル用スマート気中終端接続部の実用化」, 令和 5 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.230 (2023)

SWCC (株)

阿部 成将 (あべ のりまさ)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

篠崎 一輝 (しのざき かずき)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

今西 晋 (いまにし しん)

電力システム部 電力事業企画推進室 開発グループ  
グループ長  
電力機器製品の研究・開発に従事

SWCC (株)

新館 均 (しんたて ひとし)

電力システム部 電力事業企画推進室  
室長  
電力機器製品の研究・開発に従事

# 航空機搭載用超電導ケーブルの小型電極の開発

## Development of Small Superconductivity Cable Terminal for Airplane

金山 諄志  
Atsushi KANAYAMA

塩原 敬  
Kei SHIOHARA

佐藤 迪夫  
Michio SATO

中西 達尚  
Tatsuhisa NAKANISHI

高橋 保夫  
Yasuo TAKAHASHI

青木 裕治  
Yuji AOKI

三堂 信博  
Nobuhiro MIDO

足立 和久  
Kazuhisa ADACHI

和泉 輝郎 \*  
Teruo Izumi

岩熊 成卓 \*\*  
Masataka IWAKUMA

航空機業界においても二酸化炭素排出削減が強く求められている。これまで我々は航空機向け超電導推進システム向けとして、大容量で軽量の線材積層型超電導ケーブルを開発してきた。この論文では開発の課題の一つである線材積層型超電導ケーブルの端子構造を検討した。積層線材を1箇所接続する構造では線材と端子の接続面積が少ないため、積層ケーブルの臨界電流の実測値が構成線材の臨界電流値の総和に対して40~60%しか流れないことが確認された。我々が開発したスリット型電極により、超電導線材と電極の接続面積が増え通電特性が向上した。

There is also a strong need to reduce carbon dioxide emissions in the aircraft industry. To date, we have developed large-capacity, lightweight wire-stacked superconducting cables for use in superconducting propulsion systems for aircraft. In this paper, we investigated the terminal structure of a wire-stacked superconducting cable. In a structure in which the wire-stacked superconducting cable is connected in one place, the connection area between the wire and the terminal is small, so the actual measured critical current of the laminated cable is only 40 to 60% of the total critical current value of the constituent wires. By developing new terminals with some slits, we have increased the connection area between the wire and the terminal to improve the current-carrying properties.

### 1. はじめに

近年、世界的に地球温暖化が進み、温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などの排出削減が強く求められている。航空機業界においては、国際航空運送協会(International Air Transportation Association : IATA)や国際民間航空機関(International Civil Aviation Organization : ICAO)が、CO<sub>2</sub>排出量を2050年までに実質ゼロとする目標を掲げている<sup>1), 2)</sup>。

航空機の需要は年々増加する傾向であり、2021年に比べて2041年には旅客機は倍増することが予想される<sup>3)</sup>。この需要の増加に対するCO<sub>2</sub>排出量削減の方法として既存技術、運航方法やインフラの改善がある。また、次世代技術としてSAF(Sustainable Aviation Fuel)などのバイオ燃

料が注目されている。しかしながら、CO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロとするためには新たな技術革新が必要であり、その一つとして超電導技術を用いた航空機システムの電動化がある<sup>4), 5)</sup>。

我々は図1に示すように発電機、モーター、ケーブルのすべてに超電導技術を用いた航空機推進システムを提案している。航空機の電動化で求められていることは、大容量かつ軽量である出力密度(kW/kg)の向上が必要である。これまで我々は、超電導推進システムのケーブル開発を行い、積層型超電導ケーブルの開発を行ってきた。積層型超電導ケーブルは図2に示すように超電導線材を複数積層したケーブルで、当社がこれまで開発してきた三相同軸型超電導ケーブルに比べて、コンパクトかつ大容量、軽量である<sup>6)</sup>。ケーブルシステムとしてのもう一つの開発要素として端末がある。航空機応用に向けて安定して電流を流すために積層型超電導ケーブルに適した小型端末構造(電極)

\* 国立研開発法人 産業技術総合研究所

\*\* 九州大学



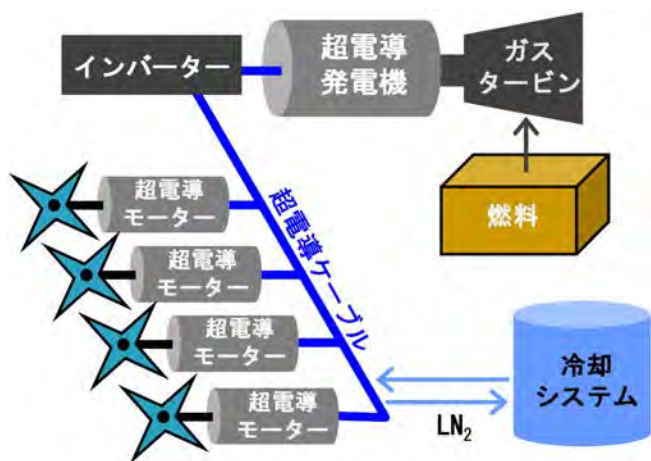


図1 次世代超電導推進システムの概略図

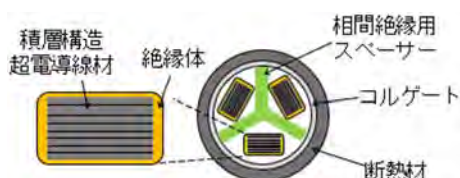


図2 積層型超電導ケーブルの概略図

を開発する必要がある。積層型超電導ケーブルの末端構造として積層した線材を扇状に広げて電流の流し込む面積を確保する方法が報告されている<sup>7)</sup>。しかし、この方法では末端部分が大きくなり航空機に応用するにはより小型の末端が求められることから、積層型超電導ケーブルに適した小型末端構造に適する電極構造について検討、開発を行ったので報告する。

## 2. 電極作製と評価方法

### 2.1 積層型超電導ケーブルと電極の取り付け

積層型超電導ケーブルの構造は、図2に示すように超電導線材を複数積層した構造となっている。使用した線材は、図3に示すように安定化層としてAg層とCu層を形成した線材である。超電導層は、人工ピンとしてBaZrO<sub>3</sub>(BZO)を選択し、BZOナノ粒子導入Y<sub>0.77</sub>Gd<sub>0.23</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>((Y,Gd)BCO+BZO)である<sup>5), 8)</sup>。使用した(Y,Gd)BCO+BZO線材の諸元を表1に示す。

図4に積層させた線材を電極にはんだにて接続した場合の概略図を示す。ここで、はんだは超電導線材の特性劣化を防ぐために低融点のはんだを選択した。電極に挿入した長さを接続長(L)とした。

表1 (Y,Gd)BCO+BZO線材の諸元

臨界電流 ( $I_c$ ) @ 77 K, self-field	100 ~ 150 A
線材幅	4.2 mm
安定化層 (Cu, Ag)	50 $\mu$ m
線材厚さ	0.25 mm

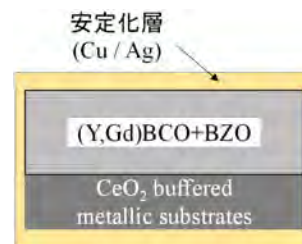


図3 (Y,Gd)BCO+BZO線材の断面概略図

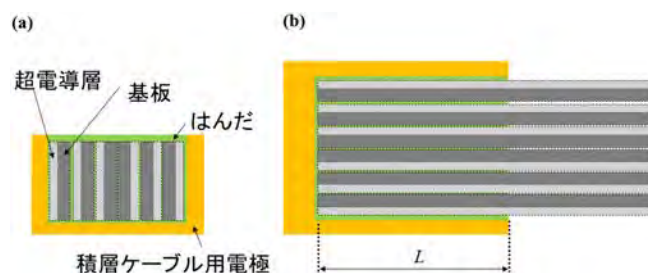


図4 積層型超電導ケーブルと電極との接続概略図

### 2.2 超電導ケーブル直流通電試験

積層超電導ケーブルの直流通電試験回路図を図5に示す。電圧端子は接続部を含む超電導線ケーブルすべての電圧を確認するために積層ケーブル端部に取り付けられた。積層超電導ケーブルの線材本数(n)は、 $n = 2 \sim 30$ 本、接続長 $L = 30$  mm, 150 mmの条件で作製した。作製した試料は液体窒素(77 K)が充填されたオープンバス中に浸漬し、直流四端子法にて評価した。電流-電圧特性を計測し、発生電圧が電界基準(1  $\mu$  V/cm)に達したところを臨界電流(critical current:  $I_c$ )と定義した。



図5 電極を付けた積層型超電導ケーブル通電試験の概要

## 3. 積層型超電導ケーブル対応した電極構造

### 3.1 積層一体型電極

超電導線材の積層枚数を増加させた場合の線材枚数nと積層型超電導ケーブルの $I_c$  ( $I_c^{stack}$ )値との関係を確認した。図6(a)に77 Kにおける $L = 30$ mmと150mmでのnに対する $I_c^{stack}$ の関係を示す。図に示すようにnを増加させると $I_c^{stack}$ 値も増加することがわかる。しかしながら、 $L =$



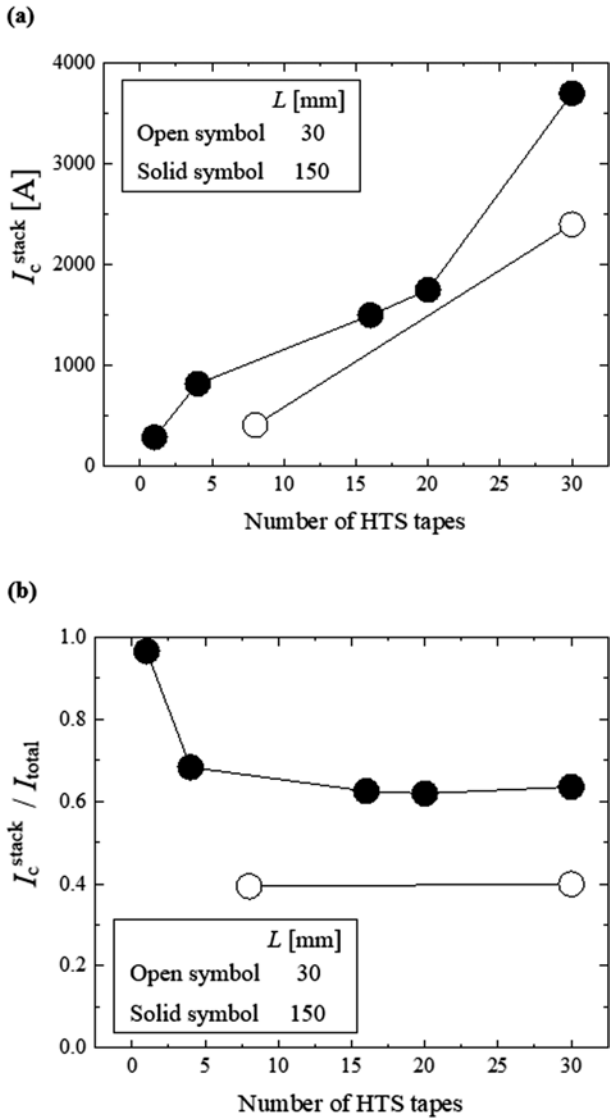


図6 線材枚数  $n$  に対する (a)  $I_c^{\text{stack}}$ , (b)  $I_c^{\text{stack}} / I_{\text{total}}$

30 mm は 150 mm に比べていずれの  $n$  に対して  $I_c^{\text{stack}}$  値が低いことが分かる。

次に、線材の  $I_c$  値から算出した積層超電導ケーブルの合計電流値 ( $I_{\text{total}} = I_c \times n$ ) で  $I_c^{\text{stack}}$  値を規格化した値を図6 (b) に示す。図より、 $n = 8$  以上では、 $L = 150$  mm で  $I_c^{\text{stack}} / I_{\text{total}}$  は約 0.6、 $L = 30$  mm で  $I_c^{\text{stack}} / I_{\text{total}}$  は約 0.4 である。いずれも  $I_{\text{total}}$  値に対して 40 ~ 60% 減少していることが分かる。

以上のことより、積層一体型電極では接続長を確保することが必要であることが分かる。しかしながら、 $L = 150$  mm においても  $I_{\text{total}}$  値に対して約 40% 減少と大きく乖離している。この原因の一つとして自己磁場による影響を考えた。次項にて自己磁場の影響について考察した。

### 3.2 自己磁場による影響

一般的に、磁場の増加に伴い超電導線材は  $I_c$  値が低下する。積層型超電導ケーブルの場合には  $I_c^{\text{stack}}$  値が増加する

につれて自己磁場が増加し、この時発生した磁場によって超電導線材の  $I_c$  値が低下する。そこで、自己磁場による積層型超電導ケーブルの通電特性への影響について考えた。積層超電導ケーブルでの発生磁場を下記の式より計算した<sup>9), 10)</sup>。

$$H_x = -\frac{l}{8\pi ab} \left\{ \begin{aligned} &\frac{x+a}{2} \ln \frac{(x+a)^2 + (y+b)^2}{(x+a)^2 + (y-b)^2} - \frac{x-a}{2} \ln \frac{(x-a)^2 + (y+b)^2}{(x-a)^2 + (y-b)^2} \\ &+ (y+b) \left( \arctan \frac{(x+a)}{(y+b)} - \arctan \frac{(x-a)}{(y+b)} \right) \\ &- (y-b) \left( \arctan \frac{(x+a)}{(y-b)} - \arctan \frac{(x-a)}{(y-b)} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$H_y = \frac{l}{8\pi ab} \left\{ \begin{aligned} &\frac{y+b}{2} \ln \frac{(x+a)^2 + (y+b)^2}{(x-a)^2 + (y+b)^2} - \frac{y-b}{2} \ln \frac{(y-b)^2 + (x+a)^2}{(y-b)^2 + (x-a)^2} \\ &+ (x+a) \left( \arctan \frac{(y+b)}{(x+a)} - \arctan \frac{(y-b)}{(x+a)} \right) \\ &- (x-a) \left( \arctan \frac{(y+b)}{(x-a)} - \arctan \frac{(y-b)}{(x-a)} \right) \end{aligned} \right\}$$

また、図7に積層型超電導ケーブルにおける磁場計算モデルを示す。ここで、 $H_x$  と  $H_y$  はそれぞれ超電導線材表面に対して平行成分と垂直成分の磁場強度、 $2a$  は超電導線材の幅方向、 $2b$  は  $n$  枚線材を積層した時の膜厚方向、 $x$  と  $y$  は点  $P$  における座標、 $I$  は積層型超電導ケーブルの断面全体に様な電流が流れると仮定した値である。図のモデルの対称性より、 $0 \leq x \leq 2a$ 、 $0 \leq y \leq 2b$  の範囲で計算する。 $n = 16$  枚、 $a = 2.1$  mm、 $b = 2$  mm の条件で計算した結果、 $H_x$  及び  $H_y$  の最大値は  $H_x = 0.124$  T、 $H_y = 0.167$  T であった。超電導線材は、磁場中  $I_c$  値において磁場印加角度依存性を有しており、線材表面に対して垂直磁場で磁場中  $I_c$  値が最小になる。そこで、垂直成分における今回使用する超電導線材の  $I_c$  値の磁場依存性を確認した。図8に YGdBCO+BZO 線材の垂直磁場 ( $B \parallel c$ ) における  $I_c$  値の依存性を示す。0.167 T の時、磁場印加のない場合に比べて約 18% 減少していることが確認できる。この結果より、積層一体型電極を用いた積層型超電導ケーブルの  $I_{\text{total}}$  値に対する乖離は、自己磁場の影響だけではないと考えられる。

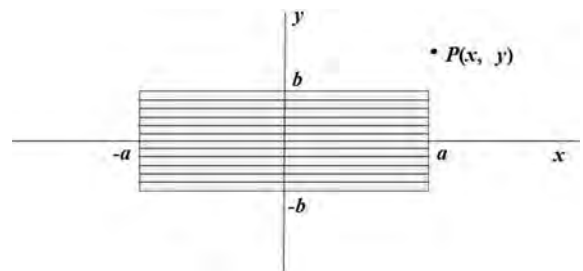


図7 積層型超電導ケーブルの磁場計算モデル

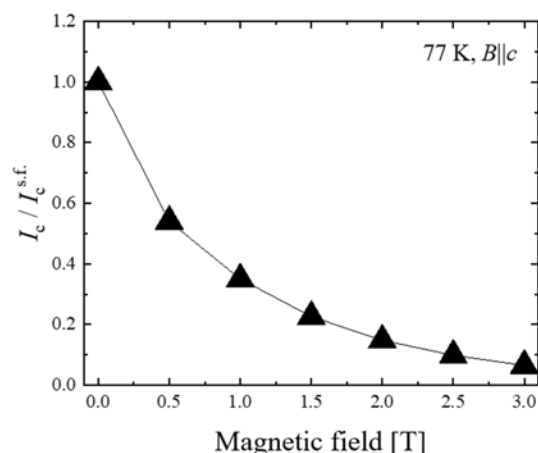


図8 (Y,Gd) BCO+BZO 線材の磁場に対する規格化  $I_c$

### 3.3 スリット型電極構造

積層型超電導ケーブルの場合、最外層の線材は超電導層が電極に面しており十分な接続面積が確保できていると考えられる。一方、それ以外の線材は線材の側面から超電導層に電流が流れるため接続面積が不十分だと考えられる。これより接続面積が不十分であることが積層型超電導ケーブルの  $I_{total}$  との乖離の要因と考えた。

そこで接続面積を確保するためにスリット型電極構造を検討した。図9にスリット構造を採用した電極構造を示す。図に示すように、積層一体型電極と比較してスリット構造を採用することですべての線材表面が電極に面する構造となる。今回は、接続長  $L = 30$  mm にて  $n = 15$  枚の線材をスリットに挿入、はんだにて接続し、従来の電極構造を有する積層型超電導ケーブルと同様の評価を行った。測定結果より、積層型超電導ケーブルの  $I_c^{stack}$  値は 1650 A であった。この時の  $I_{total}$  値は、1800 A ( $n = 15$ ,  $I_c = 120$  A @ 77 K, self-field) であり、 $I_c^{stack}$  値は  $I_{total}$  値に比べて約 9% 低下であることが確認できた。この値に対して 3.2 項での自己磁場による影響を考慮すると  $H_y$  の最大の値は約 0.125 T となり、線材の磁場依存より約 15% 減少低下することが分かる。最大の自己磁場が積層導体に一様に印加される訳ではないので、スリット型電極を用いた超電導ケーブルの  $I_c$  値において  $I_{total}$  値からの低下は自己磁場による影響と説明することが可能である。スリット型電極を採用することで、線材と電極間の接続面積が確保され、通電特性が改善されたと考えられる。

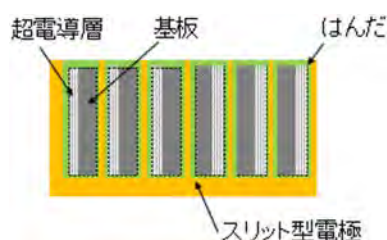


図9 スリット型電極の概略図

## 4. まとめ

本稿では、積層型超電導ケーブルに適した小型端末構造に適する電極構造について検討・開発について報告した。積層導体を電極の1か所に接続すると、超電導ケーブルの  $I_c^{stack}$  値が  $I_{total}$  値に対して 40~60% 低下することが確認された。この現象は線材の自己磁場による  $I_c$  値の低下だけでは説明をすることができず、線材と電極の接続面積の不十分さからなる線材への電流の流し込みに原因があると考えた。

一方、スリットを設けた電極を用いた15枚積層の超電導ケーブルでは  $I_c^{stack}$  値の  $I_{total}$  値に対する低下が約 9% であった。線材の自己磁場の影響は最大約 15% の低下と計算されるので、この低下は線材の自己磁場による影響と考えられる。

スリット型電極を採用することで線材と電極間の接続面積が確保され、通電特性は改善されたと考える。航空機搭載に向けたスリット型電極を用いた超電導ケーブルの開発が期待される。

## 謝 辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP15005) の結果得られたものです。

## 参考文献

- 1) International Air Transport Association, 2021, "Net-Zero Carbon Emission by 2050," [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/pressroom/pressroom-archive/2021-releases/2021-10-04-03/>.
- 2) International Civil Aviation Organization, 2022, "States adopt net-zero 2050 global aspirational goal for international flight operations," [Online]. Available: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/States-adopts-netzero-2050-aspirational-goal-for-international-flight-operations.aspx>.
- 3) 一般財団法人 日本航空機開発協会, 2022, "民間航空機に関する市場予測 2022-2041."
- 4) H. Sasa et al., "Experimental Evaluation of 1 kW-class Prototype REBCO Fully Superconducting Synchronous Motor Cooled by Subcooled Liquid Nitrogen for E-Aircraft" IEEE Trans. Appl. Supercond. 31 (2021) 5.
- 5) T. Izumi, et al.: "Development of Superconducting Cable and Coated Conductors for Airplane Electric Propulsion System," IEEE Trans. Appl. Supercond. 31 (2023) 5.
- 6) 塩原敬他, 「超電導を用いた航空機用高効率・高出力電気推進システム-超電導ケーブルの開発-」, 昭和電線レビュー Vol. 68 P5-9
- 7) M. Takayasu et al., "Present Status and Recent Developments of the Twisted Stacked-Tape Cable Conductor," IEEE Trans. Appl. Supercond. 26 (2016) 2.
- 8) M. Sato, et al.: Abstracts of CSSJ Conference, Vol. 104 (2022) p. 20.

- 9) M. Takayasu et al., "Cabling Method for High Current Conductors Made of HTS Tape," IEEE Trans. Appl. Supercond. 21 (2010) 3.
- 10) S. Chikazumi, Physics of Magnetism, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1964

SWCC (株)  
金山 諄志 (かなやま あつし)  
新領域開発センター 超電導システム課  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

SWCC (株)  
塩原 敬 (しおはら けい)  
新領域開発センター 超電導システム課  
博士 (工学)  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

SWCC (株)  
佐藤 迪夫 (さとう みちお)  
新領域開発センター 超電導システム課  
博士 (工学)  
超電導線材の研究・開発に従事

SWCC (株)  
中西 達尚 (なかにし たつひさ)  
新領域開発センター 超電導システム課  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

SWCC (株)  
高橋 保夫 (たかはし やすお)  
新領域開発センター 超電導システム課  
超電導線材の研究・開発に従事

SWCC (株)  
青木 裕治 (あおき ゆうじ)  
新領域開発センター 超電導システム課  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

SWCC (株)  
三堂 信博 (みどう のぶひろ)  
新領域開発センター 超電導システム課  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

SWCC (株)  
足立 和久 (あだち かずひさ)  
新領域開発センター 超電導システム課  
課長  
博士 (工学)  
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

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

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

# 錫プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動に関する研究

## Thermal-Mechanical Coupled Behavior of Tin Rubber Bearings

柳 勝幸  
Masayuki YANAGI

清水美雪  
Miyuki SHIMIZU

木田英範\*  
Hidenori KIDA

長井大樹\*\*  
Hiroki NAGAI

石井 建\*\*\*  
Ken ISHII

菊地 優\*\*\*  
Masaru KIKUCHI

本研究では、長時間の繰り返し変形による錫プラグ入り積層ゴム (SnRB) の熱・力学連成挙動に着目している。最初に、SnRB に長時間の繰り返し試験を実施した。次に、地震応答解析と熱伝導解析を組み合わせることにより、熱・力学連成挙動を考慮した新たな解析モデルを構築した。最後に、SnRB を用いた免震建物の動的挙動を評価するために、このモデルを使用した地震応答解析を実施した。SnRB は長周期地震動に対する長時間の繰り返し変形による特性変化を考慮することが必要である。

The authors focus on the thermal-mechanical coupled behavior of tin rubber bearings (SnRBs) under cyclic loading. First, the tests providing a large number of cyclic deformations to the SnRBs were performed. Second, an analysis model considering the thermal-mechanical coupled behavior was constructed by combining a seismic response analysis and thermal conductivity analysis. Finally, seismic response analyses using the model were conducted to evaluate the dynamic behavior of seismically isolated buildings with SnRBs. The authors conclude that characteristic change due to cyclic deformations of the SnRBs should be considered for long-duration earthquake ground motions.

### 1. はじめに

錫プラグ入り免震積層ゴム (以下、SnRB と呼称) は、積層ゴム中央に錫プラグが挿入されており、地震時に積層ゴムの水平変形により錫プラグが塑性変形することによって履歴減衰を発揮して、建物の揺れを抑える。錫は常温で再結晶し延性に富むなど鉛と同様の性質を有する。一方、切片荷重は鉛の 1.7 倍と高くエネルギー吸収性能に富むことが特徴である。錫は環境に配慮した材料として、様々な工業製品に使用されており、SnRB の開発については、鉛に代わるプラグ材料の模索から始まり<sup>1)</sup>、様々な条件の下での実大 SnRB の試験実施と性能評価法の確立<sup>2)</sup>を経て、2005 年に実用化に至った。SnRB は、2022 年 2 月の時点で、144 棟の免震建物に供されている。SnRB の復元力特性のモデル化に関しては、履歴ループ形状がバイリニア型に近いことから、バイリニアモデルの適用を前提とし、切片荷重や剛性のせん断ひずみ依存性を考慮した修正バイリニアモデル<sup>3)</sup>が提案され、すでに設計実務に用いられている。

一方 2003 年十勝沖地震を契機として、海溝型巨大地震の発生で予測される長周期地震動に対する関心が高まり、国土交通省は免震建築物や鉄骨造の超高層建築物等について長時間の繰り返しの累積変形の影響を考慮して安全性の検証を行うことを要求している<sup>4)</sup>。材料の塑性化によって履歴減衰を発揮する免震部材は、長周期地震動下では多数回の大変形繰り返し変形を受けて力学特性が変化すると懸念から、時刻歴解析における免震建物の耐震安全性検証では力学特性の変化を考慮する必要がある<sup>5)</sup>。著者らは 2021 年に長周期地震動に対応するために、せん断ひずみ 400% まで適用可能な大変形復元力モデル (Kikuchi-Aiken モデル)<sup>6)</sup>を構築した。これにより、長周期地震動に対する懸念事項の一つである免震層の過大な応答変形に関する詳細検討が可能となった。

本研究は、長周期地震動に対するもう一つの懸念事項である長時間の繰り返し変形による SnRB の発熱の影響に関する詳細検討を行い、SnRB の熱・力学連成挙動を解明することを目的とする。この目的に沿い、初めに SnRB の実大サイズであるゴム直径  $\phi$  700 試験体を用いて標準プラグ径と小径プラグ径の 2 種類について長時間繰り返し試験を実施して熱・力学連成挙動を把握する。続いて、地震応答

\* 株式会社 免制震デバイス

\*\* 住友金属鉱山シボレックス株式会社

\*\*\* 北海道大学大学院工学研究院



解析と熱伝導解析を組み合わせることにより、熱・力学連成挙動を考慮した新たな解析モデルを構築する。今回、SnRB 特有の構造（内部鋼板露出型）を忠実に再現したモデル化を実施する。また、標準プラグ径だけでなく小径プラグ径についても解析を実施することにより、解析モデルの汎用性を検証する。最後に、SnRB を用いた免震建物モデルの地震応答解析を実施して、復元力モデルの違いによる応答値の差異について検証する。また、著者らは長周期地震動に対する設計上の対応として、熱・力学連成挙動を簡易な方法で考慮して地震による応答を評価できる手法（簡易法）<sup>7)</sup> をすでに提案しているが、この簡易法に対する応答評価精度についても検証を行った。

## 2. 繰り返し载荷試験

### 2.1 試験体

繰り返し载荷試験に用いた SnRB 試験体の形状を図 1 (a), (b) に示す。ゴム外径は  $\phi 700$  mm, 錫プラグ径は標準径の  $\phi 140$  mm と小径の  $\phi 100$  mm (以下,  $\phi 700-140$ ,  $\phi 700-100$  と呼称), ゴム総厚は 137.8 mm (5.3 mm 厚  $\times$  26 層), 内部鋼板は 4.5 mm 厚  $\times$  25 層であり, 2 次形状係数は 5.1 である。試験体は各 1 体製作した。また, 各試験体には温度測定のため, 図 1 (c) に示す箇所熱電対を挿入した。ゴム表面, 中間鋼板表面については, 接着剤を用いて熱電対を固定した。

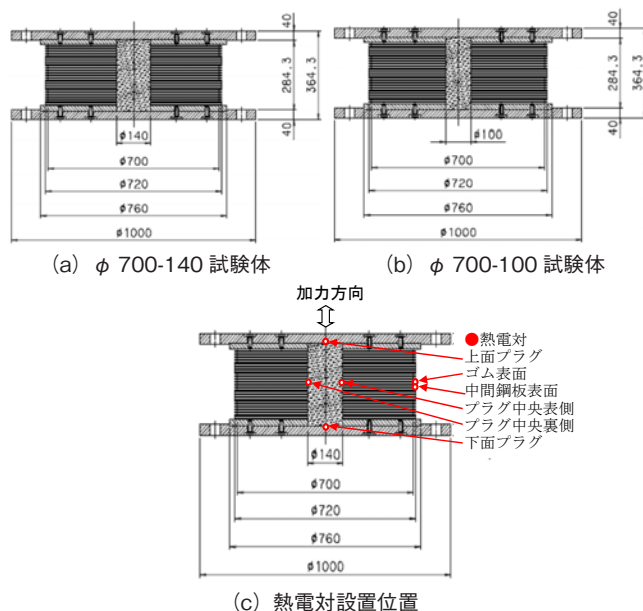


図 1 試験体の形状

### 2.2 試験方法

試験条件を表 1 に示す。各々の試験体に対して, 基本性能試験とせん断ひずみ  $\pm 100\%$  と  $\pm 178\%$  の 150 サイクルの繰り返し载荷試験を行った。 $\pm 178\%$  の繰り返し载荷試験は, 試験機の制約から最大水平ストローク  $\pm 245$  mm のせん断

ひずみ量とした。また, 同様に試験機能力の制約から連続 150 サイクルの加振ができないため, 30 サイクル + 約 5 分間のインターバル (アキュムレータへの再蓄圧) を 1 セットとして, 5 セットを繰り返す手順で試験を実施した。

表 1 試験条件

基本性能試験	鉛直試験	面圧 15 MPa 荷重振幅 $\pm 30\%$ 3 サイクル
	水平試験	面圧 15 MPa せん断ひずみ $\pm 100\%$ 4 サイクル
多数回繰り返し試験	試験面圧	15 MPa
	最大せん断ひずみ	$\pm 100\%$ , $\pm 178\%$
	繰り返し回数	$\pm 100\%$ : 連続 150 サイクル $\pm 178\%$ : 連続 30 サイクル $\times$ 5 セット
	試験波形	Sin 波
	周期 (最大速度)	5 sec (max 173 mm/s 100% 時) 5 sec (max 308 mm/s 178% 時)

試験機の概要を図 2 に示す。鉛直荷重は試験機のアクチュエータに内蔵されているロードセル, 水平荷重は 400 kN 電気サーボ型油圧式疲労試験機に内蔵されているロードセル, 水平変位はレーザー変位計で計測した。測定状況を写真 1 に示す。また, 試験体と試験機面板の間には断熱材 (板厚 10 mm, 熱伝導率:  $0.3$  W/m  $\cdot$  K) を設置した。

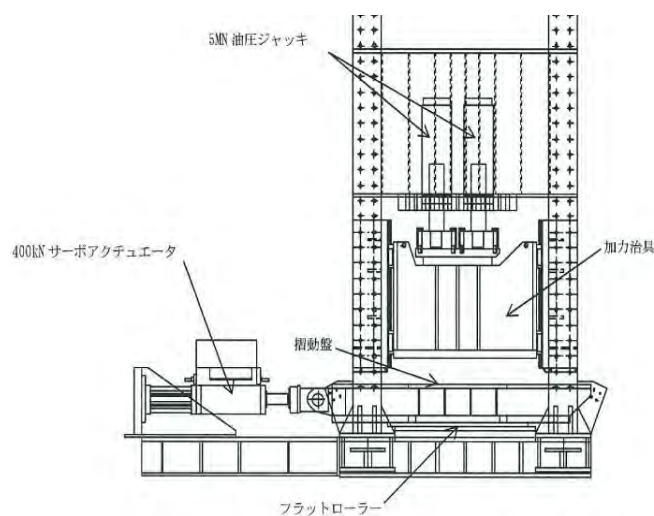


図 2 試験機の概要

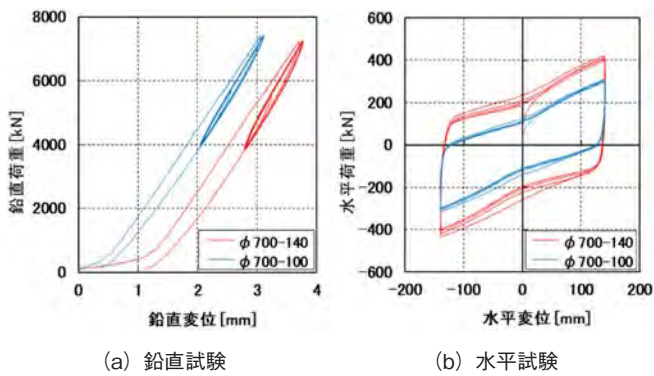


写真 1 測定状況

2.3 試験結果

(1) 基本性能試験結果

基本性能試験で得られた各々の鉛直・水平の荷重変形関係を図3(a)(b)に重ね描く。また、各試験体の鉛直剛性(K<sub>V</sub>)、2次剛性(K<sub>2</sub>)、切片荷重(Q<sub>d</sub>)の算出方法を図3(c)に、算出結果および補正結果を表2、3に示す。鉛直剛性・2次剛性については温度依存性があり、試験体の初期温度が約28℃であったことから、標準温度20℃で温度補正を実施した。切片荷重については速度依存性があることから、標準速度400 mm/sへの速度補正を実施した。各補正後の結果はSnRBの設計式<sup>2)</sup>による鉛直剛性、切片荷重に対して±20%以内、2次剛性に対して±15%以内であり、大臣認定値の許容範囲内であることを確認した。



(a) 鉛直試験

(b) 水平試験

$$\text{前項剛性: } K_V = \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2}$$

$$\text{二次剛性: } K_2 = \frac{K_{2EP} + K_{2EO}}{2}$$

切片荷重:

$$Q_d = \frac{\left( \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2} + \sqrt{\left( \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2} \right)^2 + \frac{1}{K_2 - K_1} \Delta W} \right) \times (K_2 - K_1)}{2}$$

(c) K<sub>V</sub>, K<sub>2</sub>, Q<sub>d</sub>の算出方法

図3 基本性能試験結果

表2 基本性能試験結果 (φ 700-140)

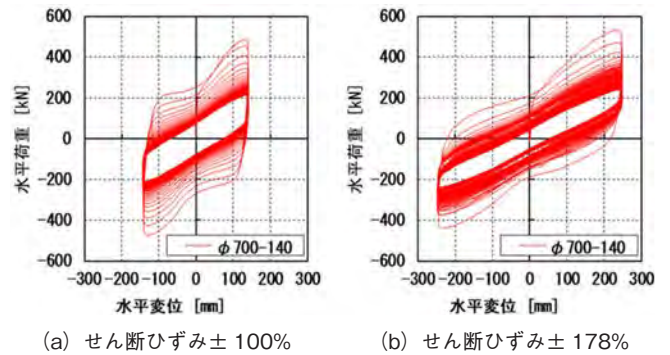
φ 700 - 140	試験体初期温度 [°C]	K <sub>V</sub> [kN/mm]		K <sub>2</sub> [kN/mm]		Q <sub>d</sub> [kN]	
		設計値	3670	設計値	1.05	設計値	228
試験結果	27.6	3527	—	1.155	—	209.0	—
補正後	—	3606	-1.7%	1.178	12.2%	258.1	13.2%

表3 基本性能試験結果 (φ 700-100)

φ 700 - 100	試験体初期温度 [°C]	K <sub>V</sub> [kN/mm]		K <sub>2</sub> [kN/mm]		Q <sub>d</sub> [kN]	
		設計値	3810	設計値	1.07	設計値	116
試験結果	27.7	3283	—	1.136	—	111.4	—
補正後	—	3367	-11.6%	1.159	8.4%	137.6	18.6%

(2) 長時間繰り返し試験結果

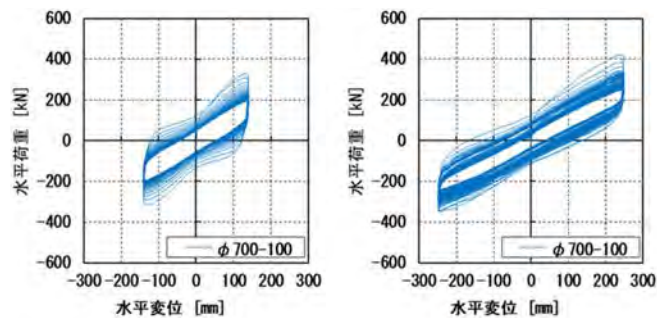
図4、図5に各試験体のひずみ±100%連続150サイクルおよびひずみ±178%断続150サイクルの水平荷重—水平変形関係とφ700-140試験体の試験時の外観写真を写真2、3に示す。また、図6、図7にはサイクル数と錫プラグ上下面の温度の関係を示す。なお、両試験体とも錫プラグ中央部に挿入した熱電対が試験途中から抜け出たため試験結果からは除外している。錫プラグ上下面の温度は±100%の試験では上面が高くなっているが、±178%の試験では下面が高い結果となった。これは写真2、3の赤点線部に示す試験時の外観の目視状況より、±100%の試験の方が±178%の試験よりも試験体の下部側のせん断変形に対する上部側のせん断変形の比率が大きくなっている傾向が見られることから、せん断ひずみに応じた錫プラグの変形状態に起因している可能性が考えられる。したがって局所的な錫プラグの変形による発熱量のアンバランスにより、蓄熱した錫プラグの上下面に温度差が生じた可能性がある」と推定されるが、検討の余地を残す結果となった。



(a) せん断ひずみ±100%

(b) せん断ひずみ±178%

図4 φ700-140試験体



(a) せん断ひずみ±100%

(b) せん断ひずみ±178%

図5 φ700-100試験体



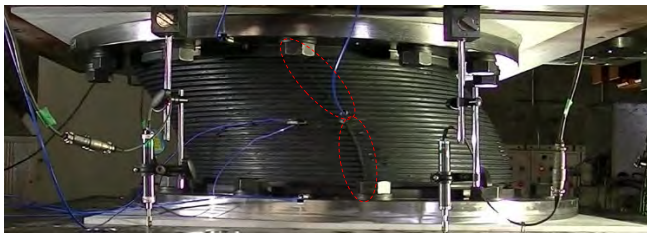


写真 2 せん断ひずみ±100%の試験時外観 (φ 700-140)

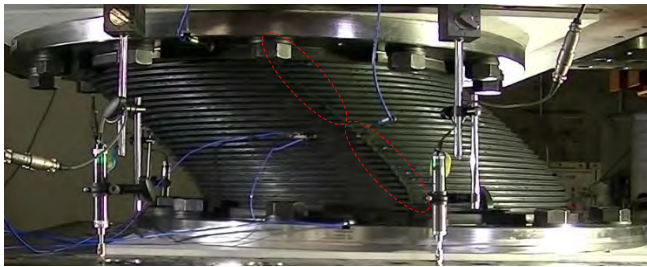
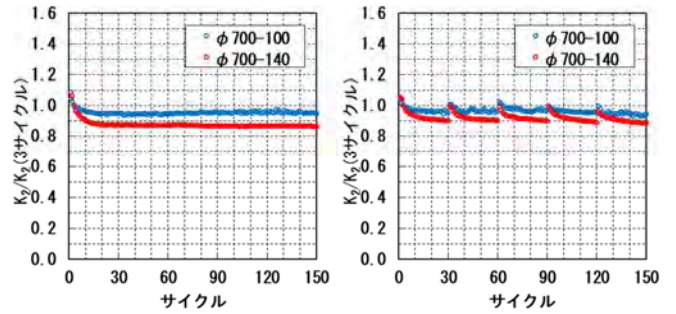
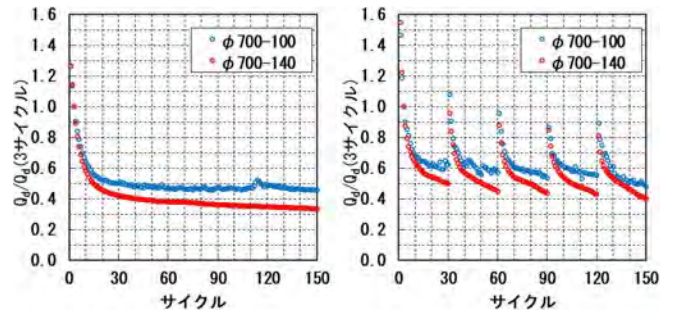


写真 3 せん断ひずみ±178%の試験時外観 (φ 700-140)



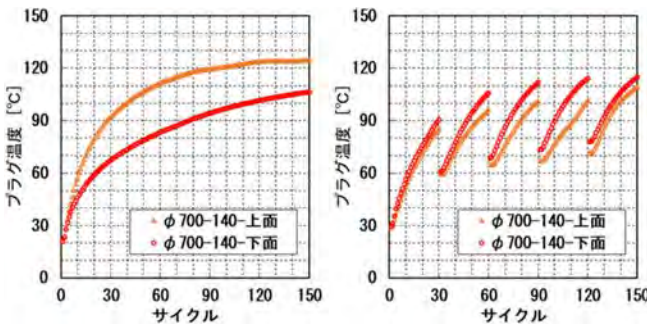
(a) せん断ひずみ±100% (b) せん断ひずみ±178%

図 8 サイクル数と2次剛性  $K_2$  の変化率



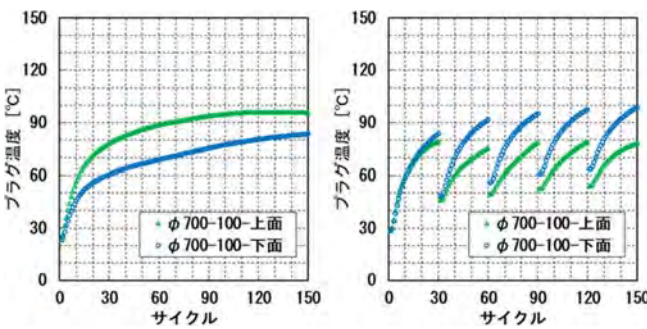
(a) せん断ひずみ±100% (b) せん断ひずみ±178%

図 9 サイクル数と切片荷重  $Q_d$  の変化率



(a) せん断ひずみ±100% (b) せん断ひずみ±178%

図 6 サイクル数と錫プラグ温度 (φ 700-140)



(a) せん断ひずみ±100% (b) せん断ひずみ±178%

図 7 サイクル数と錫プラグ温度 (φ 700-100)

図 8 に 2 次剛性 ( $K_2$ ), 図 9 に切片荷重 ( $Q_d$ ) の各サイクルの数値を 3 サイクル目の値で基準化して比較した結果を示す。小径プラグの φ 700-100 試験体は φ 700-140 試験体に比べて、温度上昇量が少なく、特性低下量も少ない結果となった。これは、発熱温度が低いため特性低下量も少なくなったと推定される。また、今回の繰り返し試験では、試験体 1 体を用いてせん断ひずみ ± 100%, ± 178% の試験を実施しているため、± 178% の試験結果は ± 100% の試験を経験したことによる試験履歴の影響により、1 ~ 3 サイクル目の水平荷重が低下傾向にあると考えられる。このため、図 9 に示す ± 178% の  $Q_d$  の変化率が ± 100% の変化率に比べて小さくなっていると推定される。

### 3. 熱・力学連成モデルの構築と検証

#### 3.1 熱・力学連成モデルの構築

本節では、SnRB の熱・力学連成挙動を再現するための解析手法について記述する。本解析では、下記に示す復元力モデルと熱伝導解析モデルを併用して時刻歴解析を行う。

まず、熱・力学連成挙動解析の復元力モデルには、Kikuchi-Aiken モデル<sup>®</sup> (以下、KA モデルとする) を適用する。錫プラグの温度上昇による降伏耐力の変化を考慮した KA モデルの基本式を (1) ~ (3) 式に、履歴ループの概略を図 10 に示す。

$$F = F_1 + c_T \cdot F_2 \quad (1)$$

$$F_1 = \frac{1}{2}(1 - u)F_m\{x + \text{sgn}(x)|x|^n\} \quad (2)$$

$$F_2 = \pm uF_m\{1 - 2e^{-a(1\pm x)} + b(1 \pm x)e^{-c(1\pm x)}\} \quad (3)$$

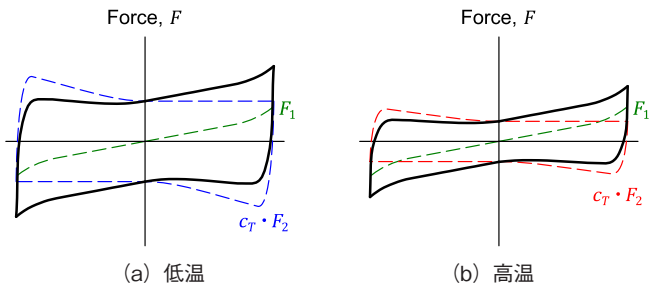


図 10 KA モデルの履歴ループの概略

(1) 式において、 $F$ は荷重、 $F_1$ は荷重の非線形弾性成分、 $F_2$ は荷重の履歴減衰成分、 $c_T$ はプラグ温度による修正係数である。パラメータ  $c_T$  は本研究における熱・力学連成挙動解析のために、新たに導入されたものである。(2) 式および (3) 式を構成する各パラメータは、加力試験に基づきせん断ひずみ 400% の大変形領域まで対応した値が著者らによって提案されている<sup>6)</sup>。具体的なパラメータの評価方法は文献<sup>6)</sup>を参照されたい。KA モデルは、図 10 のように非線形弾性成分と履歴減衰成分を分離して評価し、それらを重ね合わせるというコンセプトを有する。この履歴減衰成分に錫プラグの温度上昇による降伏耐力の変化を考慮することで、繰り返し変形による力学特性の変化を容易に表現できることから、熱・力学連成挙動解析との親和性は非常に高い。また、比較のために、修正バイリニアモデルに対しても同様に温度による修正係数を考慮した復元力モデルを別途、作成した。

次に、熱・力学連成挙動解析の熱伝導解析モデルには、上下方向および中心軸周りに対称の有限差分モデル<sup>8)</sup>を適用する。図 11 に繰り返し载荷試験における標準プラグ径積層ゴムのモデル断面図を示す。同図に示すように、SnRB 特有の内部鋼板露出型構造を忠実にモデル化している。また積層ゴム取り付け部の持つ熱容量も評価するために、フランジプレートの上側の断熱材および試験機の鋼製クロスヘッドについてもモデル化した。表 4 に、熱伝導解析モデルに用いる物性値を示す。コンクリートの物性値は、後述する 4 章の解析モデルにおける積層ゴム取り付け部に使用する。

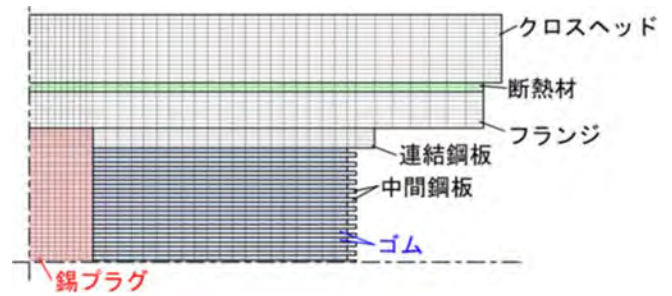


図 11 熱伝導解析モデルの断面図

表 4 熱伝導解析に用いる物性値

材質	熱伝達率 [w/(m <sup>2</sup> ·K)]	体積熱容量 [J/(m <sup>3</sup> ·K)]
鉄	59	3.718 × 10 <sup>6</sup>
ゴム	0.13	1.976 × 10 <sup>6</sup>
錫	64	1.679 × 10 <sup>6</sup>
コンクリート	2.1	2.410 × 10 <sup>6</sup>
断熱材	0.3	1.980 × 10 <sup>6</sup>

モデル表面からの熱伝達率は 15 W / (m<sup>2</sup>·K) とした。差分モデルにおいて、各コントロールボリュームの温度変化は次のように差分化された熱伝導方程式により計算される<sup>8)</sup>。

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\lambda \Sigma (\delta_s \frac{\delta T}{\delta l}) + \alpha \frac{\Delta Q}{\Delta t}}{C_v} \quad (4)$$

ここで、 $\Delta$ は時間差分、 $\delta$ は空間差分、 $T$ は温度、 $t$ は時刻、 $\lambda$ は熱伝導率、 $C_v$ はコントロールボリュームの熱容量である。 $\delta_s$ と $\delta_l$ は、それぞれ、隣接するコントロールボリュームの接触面積と中心間距離である。空間差分と $\Sigma$ で計算される総和は温度分布のラプラシアンを表す。 $\alpha \Delta Q$ は発生する熱量の空間分布を表し、本研究ではゴム層と同じ高さにある錫プラグ部分のみに熱エネルギーを与える。

以上の復元力モデルおよび熱伝導解析モデルを用いて、熱・力学連成挙動解析を行う。図 12 に連成解析の流れを示す。

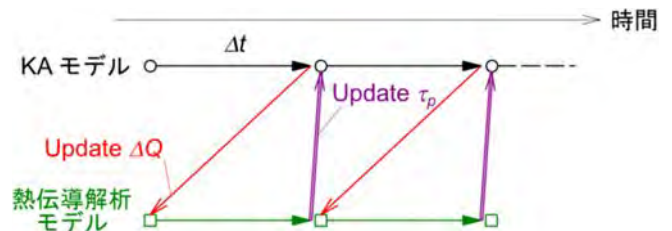


図 12 熱・力学連成挙動解析の流れ

連成解析では、二つの解析モデルが互いの計算結果を参照しながら時刻歴解析を行う。復元力モデルにおいて (1) 式の  $c_T \cdot F_2$  の項が生じる履歴吸収エネルギーに相当する



熱量  $\Delta Q$  が、熱伝導解析モデルの発熱部分に分配される。また、熱伝導解析により計算される錫プラグの体積平均温度  $T$  に応じて、復元力モデルの降伏応力度  $\tau_p$  が更新される。プラグの降伏応力度  $\tau_p$  [MPa] と温度  $T$  [°C] の関係を図 13 に示す。これは、著者らの提案した (5) 式<sup>9)</sup> に基づいており、(1) 式における履歴成分の係数  $c_T$  は基準となる降伏応力度 14.8 MPa で基準化して (6) 式で与えられる。

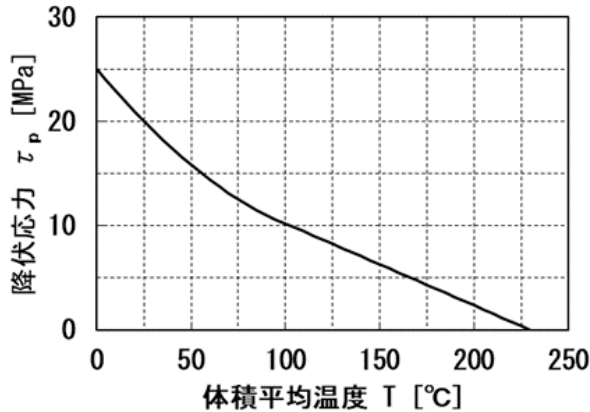


図 13 プラグの降伏応力度と体積平均温度との関係

$$\tau_p = \begin{cases} 25.0 - 0.218T + 0.000695T^2 & (T < 100) \\ (230.0 - T)/12.7 & (T \geq 100) \end{cases} \quad (5)$$

$$c_T = \tau_p / 14.8 \quad (6)$$

これらの連成解析手法を、オープンソースの構造解析フレームワークである OpenSees<sup>10)</sup> に実装した。

### 3.2 熱・力学連成モデルの検証

本節では 2.3 項で示した長時間繰り返し試験の結果に対して、3.1 項の連成解析を行った検証結果について記述する。連成解析については、KA モデルとの比較のため、既往の修正バイリニアモデルについても実施した。解析モデルの初期温度については、各試験結果の試験開始温度を与えた。図 14, 15 に標準プラグ径の  $\phi$  700-140 試験体、図 16, 17 に小径プラグ径の  $\phi$  700-100 試験体について、各モデルの履歴ループと試験結果との比較を示す。各モデルのひずみ依存性はほぼ同じであることから、二次剛性、切片荷重については整合していることを確認した。また、KA モデルについては、せん断ひずみ  $\pm 100\%$  の試験結果の履歴ループの戻り勾配の丸みを帯びた形状を既往バイリニアモデルよりも良く再現していることが確認できた。今回の繰り返し試験では、試験体 1 体を用いてせん断ひずみ  $\pm 100\%$ 、 $\pm 178\%$  の試験を実施しているため、 $\pm 178\%$  の試験結果は  $\pm 100\%$  の試験を経験したことによる試験履歴の影響により、1~3 サイクル目の水平荷重が低下傾向にあると考えられる。このため、図 15, 図 17 に示す  $\pm 178\%$  の試験結果については、KA モデルでの履歴ループの戻り勾配の丸みを帯びた形状との差が生じたと考えられる。

図 18, 19 に各モデルの錫プラグ上部の温度の解析結果と実験結果の比較を示す。解析では積層ゴムの上下方向および中心軸周りを対称としてモデル化していることから、解析上の錫プラグ上下面の温度は同じとなる。各モデルによる錫プラグ上(下)部の温度差はわずかであった。図 18 に示す  $\pm 100\%$  試験の錫プラグ上(下)部の温度の解析結果は両試験体ともに上下プラグ温度のほぼ中央の値となり、図 19 に示す  $\pm 178\%$  試験の解析結果は下プラグ温度と概ね合致することを確認した。また、図 19 は 30 サイクル + 約 5 分間のインターバルの 5 セットの断続試験であるが、このインターバルを伴う断続試験結果についても概ね再現していることを確認した。2.3 項の長時間繰り返し試験結果で示した通り、試験結果の錫プラグ上下面の温度差は、局所的な錫プラグの変形による発熱量のアンバランスにより生じた可能性があるが、今回の解析では上下面の温度差の再現はできず、検討の余地を残す結果となった。

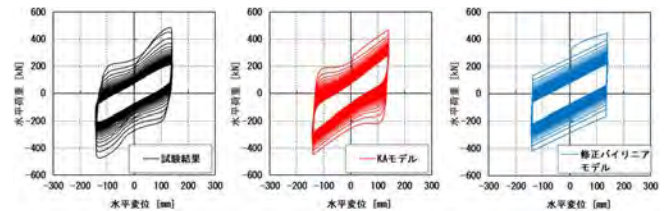


図 14  $\phi$  700-140 のひずみ  $\pm 100\%$  の解析結果

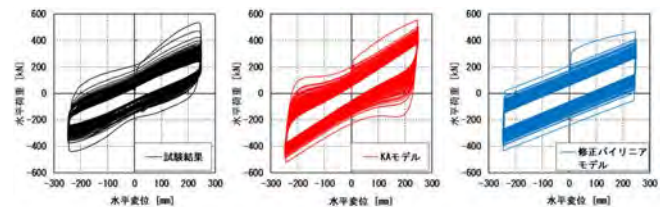


図 15  $\phi$  700-140 のひずみ  $\pm 178\%$  の解析結果

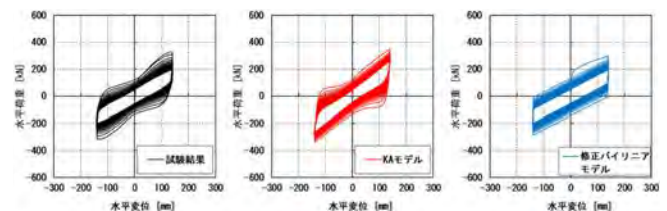


図 16  $\phi$  700-100 のひずみ  $\pm 100\%$  の解析結果

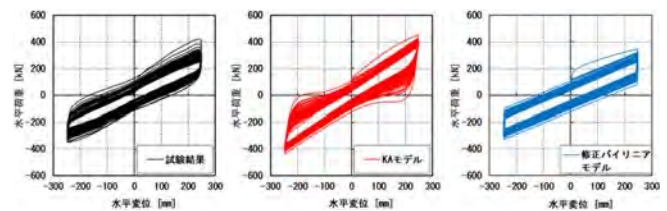
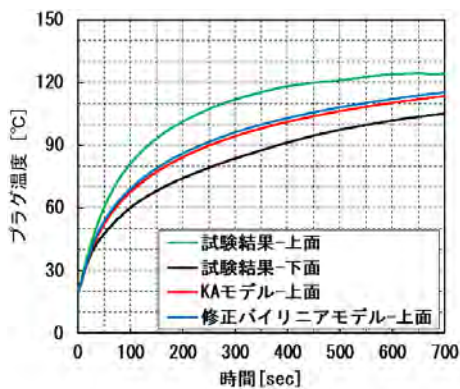
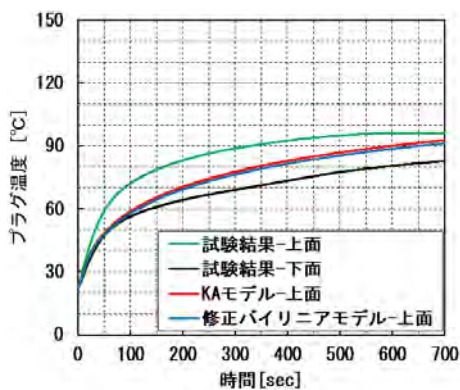


図 17  $\phi$  700-100 のひずみ  $\pm 178\%$  の解析結果

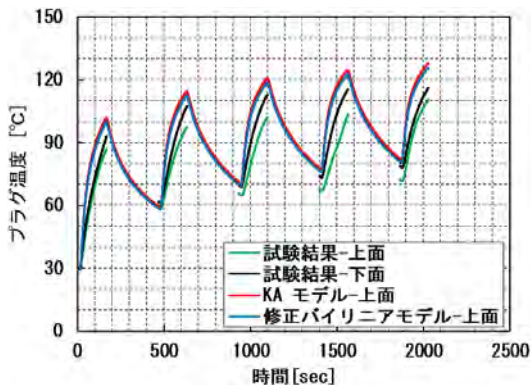


(a) φ 700-140

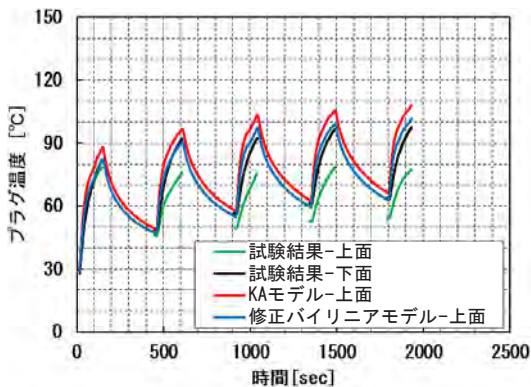


(b) φ 700-100

図 18 ひずみ 100% 試験での錫プラグ温度の解析結果



(a) φ 700-140



(b) φ 700-100

図 19 ひずみ 178% 試験での錫プラグ温度の解析結果

#### 4. 地震応答解析

##### 4.1 建物モデル

検討対象の建物モデルとしては、各階の床面積を 1000 m<sup>2</sup> 程度とする 12 層の RC 造免震建物を想定し、図 20 のような多質点系せん断型振動モデル<sup>6)</sup>を作成した。上部構造は弾性とし、基礎固定時に建物高さ (m) に 0.02 を乗じた値が 1 次固有周期となるような直線分布の層剛性を仮定し、減衰は基礎固定時の 1 次固有振動数に対して 2% の剛性比例型減衰とする。免震層はゴム外径 φ 900 mm の SnRB20 台とし、建物規模を考慮して設定した SnRB の構成を図 20 に合わせて示す。免震層上部質量と 20 台の SnRB の降伏後 2 次剛性 K<sub>2</sub> (100%) から算出した免震層の接線周期 (略算) は 4.66 秒であり、免震層全体の切片荷重の上部重量に占める割合は約 5.8% である。また熱伝導解析モデルは表 4 に示す物性値を用い、積層ゴム取り付け部の持つ熱容量を評価するために、フランジプレートの上側のコンクリート層についてもモデル化している。

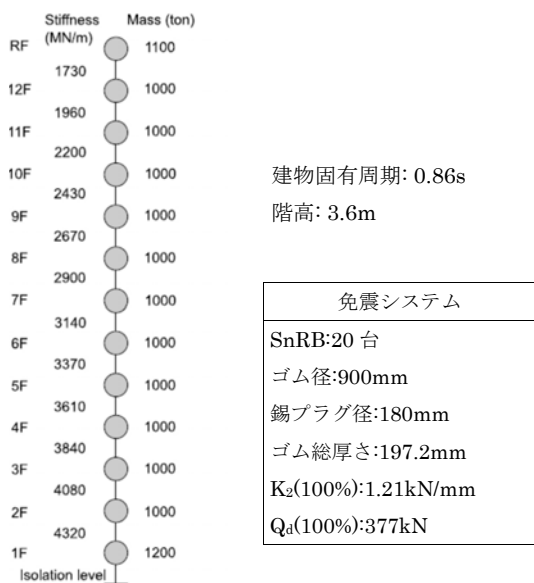


図 20 地震応答解析のための建物モデル

##### 4.2 入力地震動

入力地震動には、設計用長周期地震動 (基整促波)<sup>4)</sup> の 3 波 (CH1, OS1, SZ1) と告示スペクトル<sup>11)</sup> に適合させ、位相を 3 通りに設定した波 (1968 年十勝沖地震八戸 NS 成分位相 (以下、八戸位相) と 1995 年兵庫県南部地震 JM-Kobe NS 成分位相 (以下、神戸位相) およびランダム位相) を用いた。

##### 4.3 応答評価法

応答評価法として以下の 3 種類の方法を用いて、応答値を比較検討する。

- ① KA モデルを用いた熱・力学連成挙動解析 (詳細法 1)
- ② 修正バイリニアモデルを用いた熱・力学連成挙動解析



(詳細法2)

③簡易法 (図21に示す方法)

詳細法1, 詳細法2については3章で説明した方法を用いる。簡易法は錫プラグの多数回繰り返し依存性を考慮しない時刻歴応答解析を行って算出した累積吸収エネルギー量から錫プラグ特性を評価し, 多数回繰り返し依存性を考慮した地震応答解析を行うものである。累積吸収エネルギー量を評価する際, ④地震応答解析終了時, もしくは⑥免震層が最大応答変位に至るまでの値を用いる2種類の方法が著者らによって提案されている<sup>7)</sup>。本解析では, ⑥の方法を用いた。簡易法による応答解析フロー<sup>7)</sup>を図21に, 適用範囲を表5に示す。適用範囲については, 熱・力学連成挙動解析より, 錫プラグの最高温度が融点230℃となる時の錫プラグの体積平均温度 $T_p = 190℃$ とし, その時の累積変位量, 切片荷重の残存率としている。また, 簡易法の力学モデルには修正バイリニアモデルを使用した。累積吸収エネルギー量と切片荷重の残存率との関係式<sup>7)</sup>を(7)式に, 累積吸収エネルギー量と錫プラグ温度との関係式<sup>7)</sup>を(8)式に示す。

表5 適用範囲

項目	適用範囲
累積変位	$\Sigma\delta \leq 100 \text{ m}$
錫プラグ温度	$T_p \leq 190 \text{ }^\circ\text{C}$
切片荷重の低下率	$\frac{T_p}{T_{p0}} \geq 0.2$

$$\frac{T_p}{T_{p0}} = \frac{\zeta}{\left(1 + \alpha \cdot \frac{\Sigma E}{V_p}\right)^\beta} \quad \text{ただし } \frac{T_p}{T_{p0}} \geq 0.2 \quad (7)$$

$$T_p = \psi_1 \cdot \left(\frac{\Sigma E}{V_p}\right)^{\psi_2} + 20 \quad \left(\frac{\Sigma E}{V_p} < \varepsilon\right)$$

$$T_p = \psi_3 \cdot \left(\frac{\Sigma E}{V_p}\right) + \psi_4 \quad \left(\frac{\Sigma E}{V_p} \geq \varepsilon\right) \quad \text{ただし } T_p \leq 190 \quad (8)$$

$\frac{T_p}{T_{p0}}$ : 切片荷重の残存率,  $T_p$ : 降伏応力度(MPa),  $T_{p0}$ : 基準降伏応力度(MPa)

$\zeta$ : せん断歪み影響係数,  $\Sigma E$ : 累積吸収エネルギー量(N・mm)

$V_p$ : 錫プラグ体積(mm<sup>3</sup>),  $\alpha, \beta$ : プラグ径の影響係数

$T_p$ : 錫プラグ温度(°C),  $\varepsilon$ : 判別値,  $\psi_1$ : 周期・プラグ径の影響係数(1.1~4)

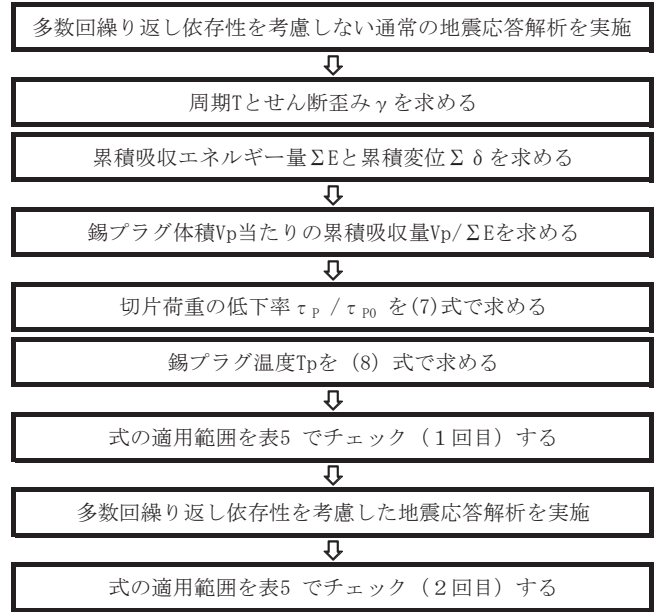


図21 簡易法のフローチャート

4.4 解析結果と考察

最初に設計用長周期地震動であるCHIを入力した場合の建物内の最大応答加速度および最大応答変位の高さ方向の分布について, 図22に解析結果を示す。修正バイリニアモデルの適用限界ひずみ200%を超える領域についてはKAモデルとの差が徐々に大きくなることから, せん断ひずみ200%を超えるような入力地震動レベルの地震応答解析にはKAモデルが必要である。

図22から復元力モデルによる応答値の違いを見ると, KAモデルによる応答加速度は既往の修正バイリニアモデルよりも下回る。また, 修正バイリニアモデルでは頂部が振られる傾向が強い。一方, 応答変位については復元力モデルによる差は少ない。

上部構造の応答加速度に大きな差が生じた要因については, バイリニアモデルのように一定の剛性が継続する場合は特定の振動モードが励起されやすく, 曲線系の復元力モデルではそれが抑制されることが, 高次モードの励起状態の差となって応答加速度分布の大小に現れたものと推察される。

図23に12層モデルの頂部節点の応答加速度波形に対する加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を, 表6に免震層の評価する剛性の違いに対する固有値結果を示す。図23より, 各復元力モデルは表6に示す固有周期近傍に対応するピークが見られる。

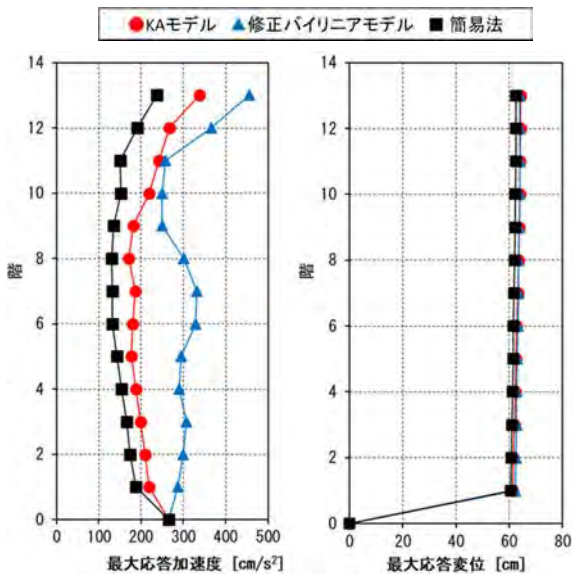


図 22 12 層モデルの最大応答値 (CH1)

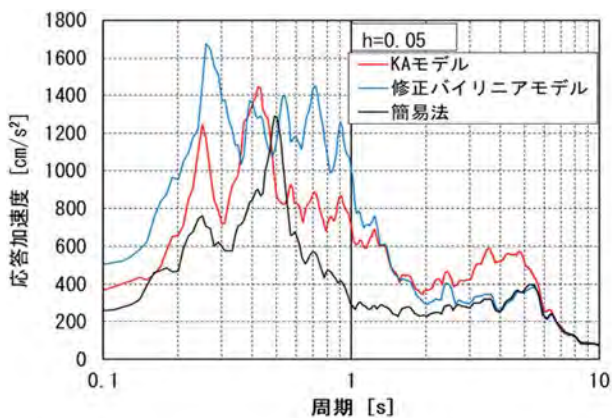
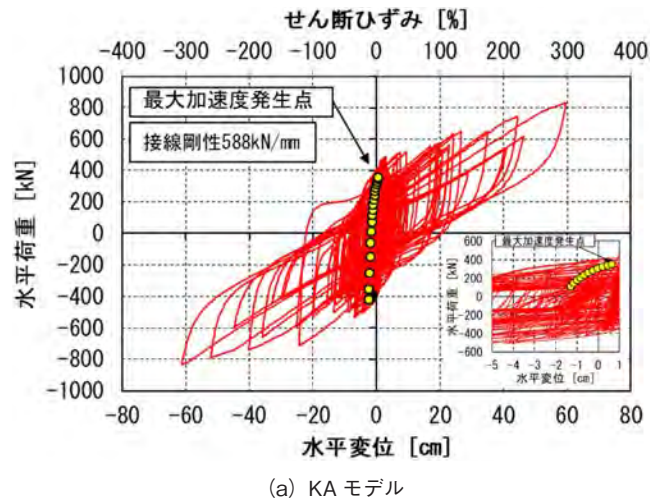


図 23 CH1 波による頂部節点の加速度応答スペクトル

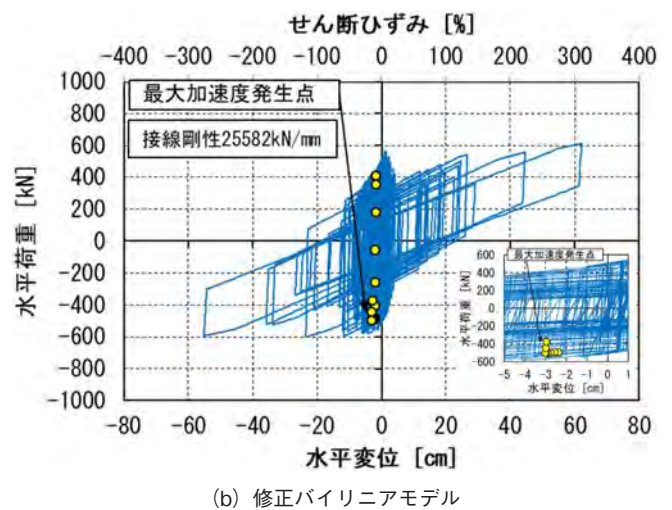
表 6 免震層を評価する剛性の違いに対する固有値結果

免震層を評価する剛性	1次モード	2次モード	3次モード
1次剛性 $K_1$ (100%)	0.95 s	0.35 s	0.21 s
2次剛性 $K_2$ (100%)	4.72 s	0.49 s	0.25 s

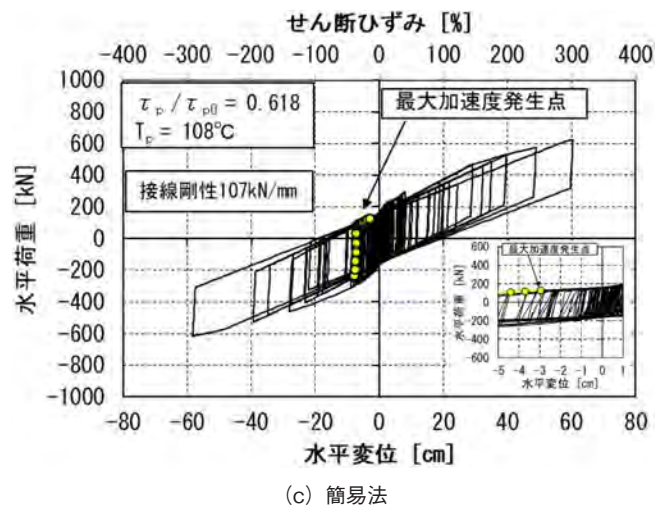
免震層の評価する剛性を1次剛性  $K_1$  (100%) とした場合の1次モードの約 0.95 s や、3次モードの約 0.21 s 近傍では、修正バイリニアモデルによる加速度応答スペクトルはKAモデルの約 1.4 倍となっており、応答加速度の影響が大きい  $K_2$  (100%) 評価時の免震周期 4.72 s より十分短い短周期領域の振動モードで大きな差が現れている結果となっている。文献<sup>12), 13)</sup>では他種の免震部材について、曲線系と直線系の復元力モデルによる地震応答値の違いが検討されており、短周期領域の高次振動モードの励起状態による差が要因であるとする本検討結果と調和的な結論が示されている<sup>6)</sup>。



(a) KA モデル



(b) 修正バイリニアモデル



(c) 簡易法

図 24 各モデルによる履歴曲線の比較

各復元力モデルによる履歴ループを図 24 に示す。図 24 には最大加速度発生ポイントとその直前のポイントを含めた拡大図も合わせて示す。最大加速度発生ポイント直前の履歴ループ形状から、KAモデルの最大加速度発生ポイント近傍での接線剛性 588 kN/mm は、修正バイリニアモデル



ルの1次剛性  $K_1=14400$  kN/mm よりも小さいことが確認できる。この剛性の違いについても、上部構造の応答加速度に大きな差を生じた要因の一つと考えられる。また、簡易法について、3つの復元力モデルの中で最も応答加速度が小さくなったのは、最大加速度発生ポイントが降伏後の2次剛性  $K_2$  の領域で発生していることや免震層の負担せん断力が他のモデルに比べて小さいことが要因と推察される。一方、免震層の応答変形に関しては、各復元力モデルで最大変形に至る履歴減衰の大きさはほぼ同じであったため、免震層の最大応答変形にあまり差が見られない傾向となっている。

次に図25に各地震波における免震層最大層せん断力係数、頂部の最大加速度、免震層最大水平変形について、それぞれKAモデル、修正バイリニアモデル、簡易法の結果をKAモデルによる結果と比較して示す。免震層最大層せん断力係数については、修正バイリニアモデル、簡易法ともにハードニング現象についてはモデル化されていないため、いずれの地震波においてもKAモデルよりも小さい値を示しており、危険側の評価となっている。修正バイリニアモデル、簡易法における頂部の最大加速度については、簡易法のCH1、SZ1を除くほとんどの地震波でKAモデルよりも大きい値を示しており、安全側の評価となっている。免震層最大応答変形については、簡易法のOS1を除いて修正バイリニアモデル、簡易法ともにKAモデルと良く一致している。簡易法については、免震層が最大応答変位に至るまでのエネルギー量を用いて評価することにより、概ねKAモデルと同様な傾向となるが、入力地震動によっては、最大応答変位に達した後に免震層が繰り返し大きく変形する場合があります、この場合は免震層最大水平変形が過小評価となるため注意が必要となる。また、長周期地震動のOS1波のように長周期成分の影響が強い波の場合は、水平変形が過大評価となる可能性があるため注意が必要となる<sup>9)</sup>。

## 5. まとめ

本研究は、長周期地震動に対する懸念事項である免震層の過大な応答変形や長時間の繰り返し変形によるSnRBの発熱の影響に関する詳細検討を行い、SnRBの熱・力学連成挙動を解明した。初めにSnRBの実大サイズであるゴム直径 $\phi$ 700の試験体を用いて標準プラグ径と小径プラグ径の2種類について長時間繰り返し試験を実施して力学挙動を把握した。続いて、地震応答解析と熱伝導解析を組み合わせることにより、熱・力学連成挙動を考慮した新たな解析モデルを構築した。今回、SnRB特有の構造（内部鋼板露出型）を忠実に再現したモデル化を行った。また、標準プラグ径だけでなく、小径プラグ径の場合にも、今回構築した解析モデルによる結果が試験結果を良く再現できることを確認した。最後に、SnRBを用いた免震建物モデルの地震応答解析を実施して、復元力モデルの違いによる応答値の差異について検討した。複数の入力地震動による結果

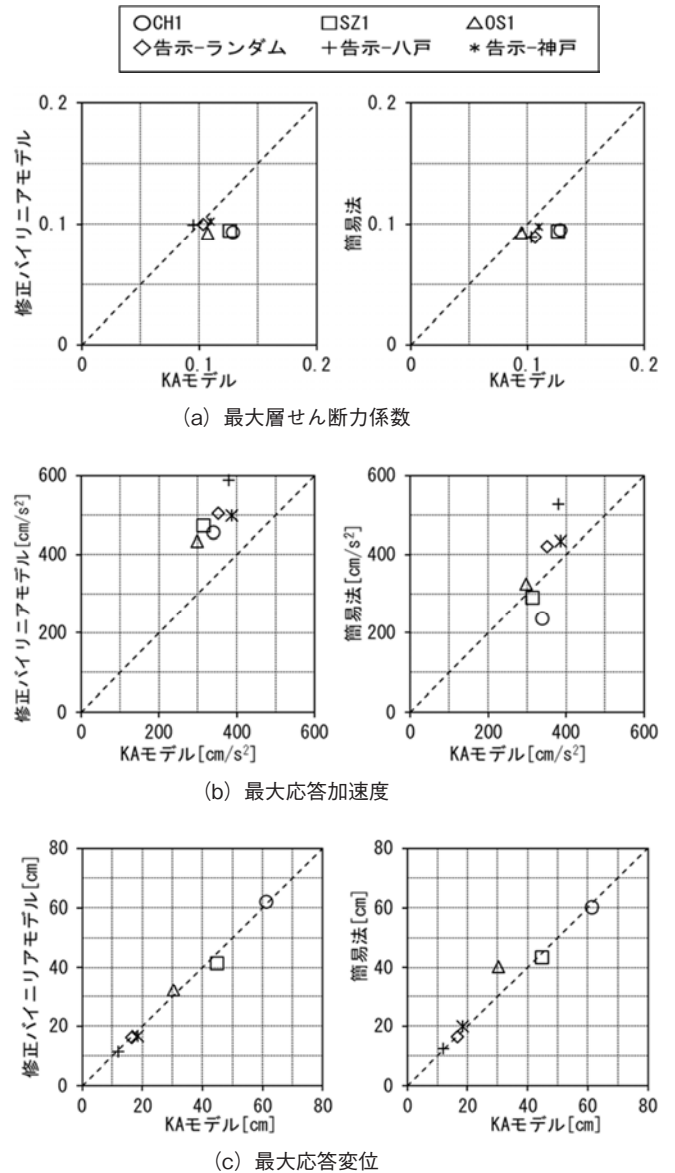


図25 各モデルの比較

からは、構築した復元力モデル（熱・力学連成挙動解析のKAモデル）による応答加速度は既往の修正バイリニアモデル（熱・力学連成挙動解析のバイリニアモデル）よりも小さく、応答変位はほぼ同じとなる傾向が共通して見られた。

また、長周期地震動に対する設計上の対応として、熱・力学連成挙動を簡易な方法で考慮して地震による応答を評価できる手法（簡易法）がすでに適用されているが、この簡易法に対する応答評価精度についても検証を行った。

簡易法において免震層が最大応答変位に至るまでのエネルギー量を用いて評価する方法と、本研究で構築した熱・力学連成挙動解析モデルとの比較により、4.4項に示す特殊な入力地震動を除き概ね同様な傾向となることが示された。

本研究で構築した熱・力学連成挙動解析により、長周期

地震動に対する免震層の過大な応答変形や長時間の繰り返しによる錫プラグの発熱の影響に関する詳細検討が可能となった。SnRBは長周期地震動に対する長時間の繰り返し変形による特性変化を考慮することが必要である。

今後は、積層ゴム直径や錫プラグ径を変更した他形状のSnRBを用いた場合の長周期地震動に対する免震建物の応答評価を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 山口直之, 柏木栄介, 福田滋夫, 中田安洋, 田中久也: 錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発(その1) 非鉛金属の機械特性試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.747-748, 2005
- 2) 免制震デバイス, 昭和電線電纜: 免制震デバイス式錫プラグ入り積層ゴムアイソレータ, 大臣評定-MVBR-0257, 2005
- 3) 光阪勇治, 朴紀衍, 山口直之, 福田滋夫, 中田安洋: 錫プラグ入り積層ゴム免震装置の開発(その5) 復元力特性のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.755-756, 2005
- 4) 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について(プレスリリース), 2016
- 5) 北村春幸, 大宮幸: 長周期地震動対応を行う際の注意点, 特集今知りたい長周期地震動の基本と対処法, 建築技術, 第815号, pp. 116-125, 2017
- 6) 柳勝幸, 清水美雪, 齊木健司, 安永亮, 菊地優: 錫プラグ入り免震積層ゴムの大変形復元力モデルに関する研究, 構造工学論文集, Vol. 67B, pp. 519-529, 2021
- 7) 免制震デバイス: 長周期地震動に対する免震材料の性能変化(免制震デバイス式錫プラグ入り積層ゴム2017)
- 8) Masaru Kikuchi, Ken Ishii: Thermal-mechanical coupled behavior of elastomeric isolation bearings under cyclic loading, 16th European conference on earthquake engineering, pp. 18-21, 2018
- 9) 本田栄, 菊地優, 石井建, 中南滋樹, 安永亮, 福田滋夫: 長周期地震動に対する錫プラグ入り積層ゴム免震建物の応答評価精度に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp. 155-156, 2019
- 10) Open System for Earthquake Engineering Simulation - Home Page, <https://opensees.berkeley.edu/>, accessed Feb. 1, 2022.
- 11) 建設省: 平成12年建設省告示第1461号「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」
- 12) 菊地優, 北村佳久, 井上圭一, 上田正生: 履歴減衰型免震部材の復元力モデルに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第565号, pp.63-71, 2003 (DOI:[https://doi.org/10.3130/aijs.68.63\\_2](https://doi.org/10.3130/aijs.68.63_2))
- 13) Masaru Kikuchi, Ian D. Aiken, Yoshihisa Kitamura, Masaiki Ueda, 'Seismic Response of Isolated Structures Depending on Hysteresis Models for Isolation Devices', JSSI 10th Anniversary Symposium on Performance of Response Controlled Buildings, Yokohama, Japan, 2004

SWCC(株)  
柳 勝幸(やなぎ まさゆき)  
電力・インフラ営業部 免震営業課  
博士(工学)  
免震製品の拡販に従事

SWCC(株)  
清水 美雪(しみず みゆき)  
免震制振部 技術課 課長  
免震製品の設計・開発に従事

株式会社 免制震デバイス  
木田 英範(きだ ひでのり)  
開発設計部  
博士(工学)

住友金属鉱山シボレックス株式会社  
長井 大樹(ながい ひろき)  
免制震材料部

北海道大学大学院工学研究院  
石井 建(いしい けん)  
助教  
博士(工学)

北海道大学大学院工学研究院  
菊地 優(きくち まさる)  
教授  
博士(工学)

# 化学発光測定によるポリプロピレンの寿命推定方法の検討

## A Study on Lifetime Estimation Method of Polypropylene by Chemiluminescence Measurement

田中菜穂子  
Nahoko TANAKA

藤田道朝  
Michitomo FUJITA

西岡 淳一  
Jun-ichi NISHIOKA

電線被覆材料には塩化ビニル樹脂やポリエチレンなど様々な材料が使用されている。製品設計において、要求性能に応じて使用材料の長期劣化評価を行い、その製品の寿命を推定している。特に熱老化による寿命推定の場合、これまで機械的特性である伸びを劣化指標とした方法を用いてきたが、今回、化学発光を指標とした代替方法による残存寿命の推定方法について検討した。

Various materials such as polyvinyl chloride resin and polyethylene are used as sheathing and insulation materials for electrical wire. In product design, according to the required performance, the lifetime of the product is estimated by evaluating the long-term degradation test. For the case of lifetime estimation by thermal aging, elongation or other mechanical properties have been conventionally used, as a degradation index.

In this study, we have investigated an alternative method for of estimation test the residual lifetime using chemiluminescence as an index.

### 1. はじめに

寿命推定等の劣化評価には、熱老化試験や耐候性試験など製品が利用される環境よりも過酷な条件で試料の劣化を促進させ、その試料の機能性が低下する時間を評価することにより実環境での寿命を推定する手法が用いられている。特に、電線の被覆に使用する絶縁材料は、製品使用温度の上限値を決定する試験方法に準じた評価方法を用いて、伸びの変化が終点に至る時間から温度-寿命特性（アレニウスプロット）を求めることにより耐熱性能を評価し、材料の配合設計及び材料選定の判断基準の一つとしている。

従来から用いられてきた寿命評価方法の課題の一つとして、熱劣化期間を予測しにくく、データ取得が予想通りに進まず長期の評価期間を費やしてしまうことが挙げられる。特にポリプロピレンやポリエチレン等の場合、伸び変化が徐々に低下するのではなく、ある時点で急変することから、所望のデータが得られず評価の出戻りが生じる場合もある。また、これら材料の抗酸化性向上を図った場合には評価期間の更なる長期化も考えられる。

これまでの劣化評価における課題を解決するために化学発光（ケミルミネッセンス）法による酸化誘導時間（OIT: Oxidative Induction Time）から材料の残存寿命を求めて余寿命を推定する方法について検討を行ったので本稿で報告する。

### 2. 化学発光法（ケミルミネッセンス法）

#### 2.1 自動酸化機構と酸化防止剤の役割

高分子材料は様々な環境下に曝される間に、光、熱、放射線、電気的作用、機械的作用、微生物、薬品、大気汚染物質、水分、金属、塩素、酸素などが劣化因子となり、劣化を受ける。なかでも酸素は上記のほとんどの劣化因子に関与しており、その役割は大きく、図1に示す自動酸化反応により連鎖的に高分子の劣化は進行する。<sup>1)</sup>

高分子材料（RH）は、光や熱などの刺激によりラジカル（R・）を生成して酸素と反応しペルオキシラジカル（ROO・）を生じ、ROO・はRHから水素を引き抜いてR・を再生し自身は過酸化物（ROOH）となる。この繰り返しにより高分子材料の酸化劣化が進行する。ROOHは不安定でその分解により新たなラジカル（RO・など）を生成する。これらの新たなラジカルはRHからH・を引き抜きR・を増加させるため酸化劣化が加速される。このように連鎖的に劣化が進行し、徐々に加速していくことから自動酸化と呼ばれる。



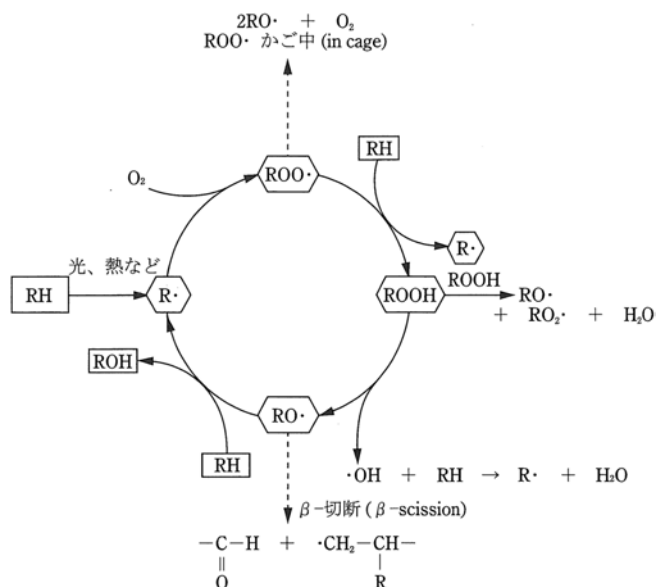


図1 自動酸化機構

高分子の劣化によって特性が失われて様々な不具合を生じることから、通常高分子材料には劣化を防止するために酸化防止剤などの添加剤が用いられている。酸化防止剤の役割としては、フェノール系酸化防止剤はROO・にH・を供与しROOHとし、自らはより安定なラジカルであるフェノキシラジカルとなりROO・の安定化を図る。また、リン系酸化防止剤はROOHをより安定なROHに分解し、自らは酸化されることでROOHの安定化を図ることが一般的に知られている。高分子材料の種類によって酸化防止剤を複数組み合わせることで効果を高めている。

### 2.2 化学発光による劣化評価

高分子材料の解析には様々な分析装置、分析方法が用いられるが、代表的な劣化分析法としてフーリエ変換赤外分光光度法 (FT-IR) での成分分析及び構造変化、示差走査熱量測定 (DSC) によるエンタルピー (熱量) の変化、ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC) 法による劣化前後での分子量変化を調べる方法などがある。これらの劣化分析では目的に応じて適切な化学的アプローチで分析する必要がある。

本検討で用いた化学発光法 (ケミルミネッセンス法) では、先述した自動酸化反応で生成するペルオキシラジカル (ROO・)、アルコキシラジカル (RO・) や過氧化物 (ROOH) などが励起状態のカルボニルや活性酸素の1つである一重項酸素を生成しながら安定な基底状態の化合物に変化し、その際に過剰なエネルギーが熱や光として放出された微弱な光、つまり化学発光 (ケミルミネッセンス) を検出する方法である。<sup>2)</sup> 発光メカニズムの一例を図2に示す。<sup>3)</sup>

この原理を用いた装置 (ケミルミネッセンスアナライザー) は、人の眼には見えない非常に微弱な光 (例えば、蛍の光の10000分の1程度) を測定する高感度な微弱発光検出装置であり、高分子の酸化劣化由来のケミルミネッセ

スを捉えて材料の酸化劣化度を測定することができる。物性試験のような機械的特性の変化や他の劣化分析法ではある程度酸化反応が進まないと変化が見られないが、ケミルミネッセンス法は、酸化の中間生成物であるROOHを高感度に直接検出するため、強度の低下、色の変化などが現れる前の酸化の極初期の変化を捉えることが可能である。

この化学発光測定の活用により長期促進試験や暴露試験の時間を削減、開発時間の短縮、不良や故障の原因解明、原料のチェック、製造工程時の酸化劣化の管理による品質向上などが期待できる。<sup>4)</sup>

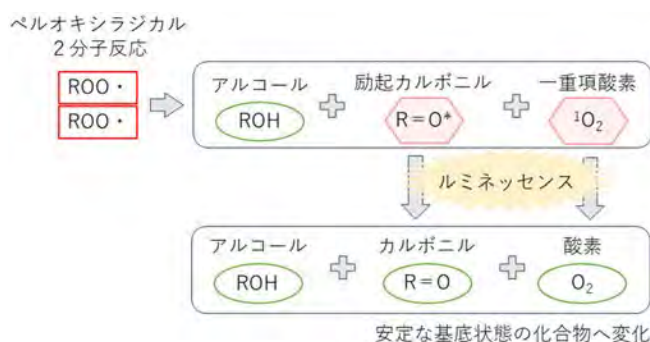


図2 発光メカニズム (例)

## 3. 試料及び測定装置

### 3.1 試料

本検討では、酸化防止剤を所定量添加したPP樹脂 (ブロックPP) をφ0.4 mm単線導体に厚さ0.23 mmで被覆したものを試料とした。なお、酸化防止剤はフェノール系酸化防止剤、リン系酸化防止剤、金属不活性剤の3種類を一定の比率で添加した。表1に試料概要を示す。

表1 試料

試料	酸化防止剤総量 [wt%]
No. 1	0.15
No. 2	0.45
No. 3	0.75

### 3.2 装置及び測定条件

東北電子産業(株)製ケミルミネッセンスアナライザーCLA-FS5を用いて、所定温度の試料室に試料を入れ、酸素流通下 (50 ml/min) で加熱し発光強度を測定した。試料容器は20 mm φのアルミシャーレを使用した。

試料No. 2を試料室温度160℃で測定した例を図3に示す。試験開始後、発光は一定時間平衡を保つが、樹脂の劣化が始まると発光が観測される。樹脂の劣化の進行とともに発光強度は急激に大きくなり、劣化のピークを迎えたのち発光強度は減少に転じる。

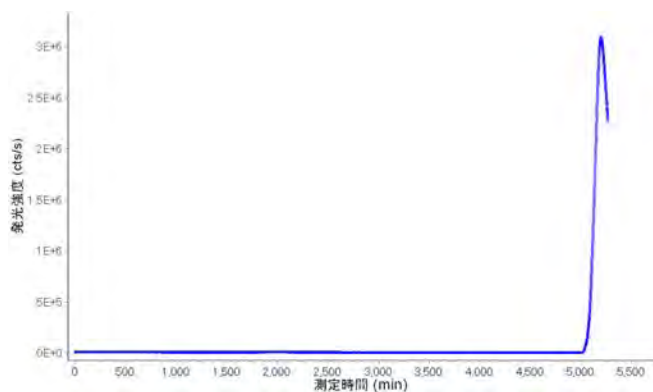


図3 化学発光測定例

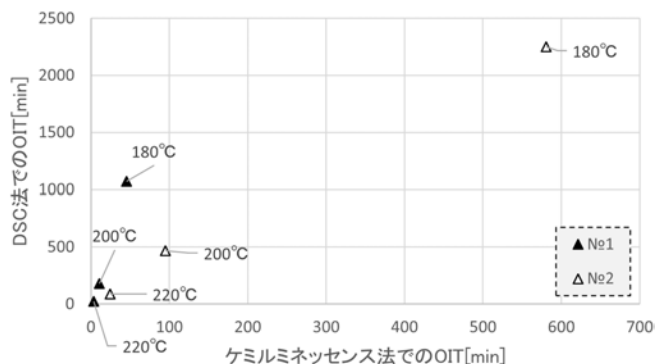


図4 測定方法の違いによる OIT の関係性

## 4. 検討結果と考察

### 4.1 酸化誘導時間の測定

酸化誘導時間とは、酸化反応により発熱や発光が生じる時間（酸化誘導時間：Oxidative Induction Time）であり、材料劣化の指標の一つである。従来より酸化特性を評価する方法として示差走査熱量計（DSC）を用いた OIT 測定方法が用いられている。DSC 法はケミルミネッセンス法と同様、自動酸化反応を捉えることができる装置でありこれまでも比較検証が報告されている。<sup>5)</sup> 両者の同時測定においては PP 樹脂の融点以下の温度範囲では OIT がよく一致した結果が報告されている。また、300℃近くまでの高温領域までの昇温条件での比較実験では、DSC 法では結晶融解等の影響が顕著に出ており、融点以上の高温領域では DSC 法は酸化挙動のみをとらえることはできないとし、酸化反応を捉えるのはケミルミネッセンス法の方が感度が高いと結論付けている。

今回、DSC（NETZSCH 株製 DSC3500）を用いて、ケミルミネッセンス法と OIT の比較を行った。試料は No.1 と No.2 を用いた。

ケミルミネッセンスアナライザーによる OIT 測定では、測定温度 180～220℃の試験室に試料を入れて密閉、酸素流通下（50 ml/min）で加熱した。発光強度の立ち上がり時間（酸化が始まる際に急激に発光が増加するまでの時間、ベースラインと立ち上がりの傾き）から OIT を算出した。また、DSC による OIT 測定では、発熱反応の立ち上がり時間から OIT を算出した。測定温度における両者測定法での OIT 値の関係性を図 4 に示す。ケミルミネッセンス法の方が立ち上がり時間は早く、その違いは測定温度が低くなるほど顕著に現れることが分かった。このことは、酸化による発熱反応より早く化学発光が生じていることを示唆している。したがって、OIT を指標とした劣化評価においては、ケミルミネッセンス法の方がより短時間で測定できることから効率的な寿命推定評価に活用できると考える。

### 4.2 長期熱老化試験における伸び変化

試料 No.2 及び No.3 での熱老化後の引張試験における破断時伸びの変化を図 5 および図 6 に示す。島津製作所製オートグラフを用いて管状試験片での引張試験を行った。熱老化温度は 120、135、150℃とした。どの温度条件においても伸びの変化は、ある時点で急変することがわかる。熱老化試験においては、より低い温度条件では伸び変化まで長時間を要する。また、酸化防止剤添加量が多いほど伸び変化に至るまでの時間は延びる。

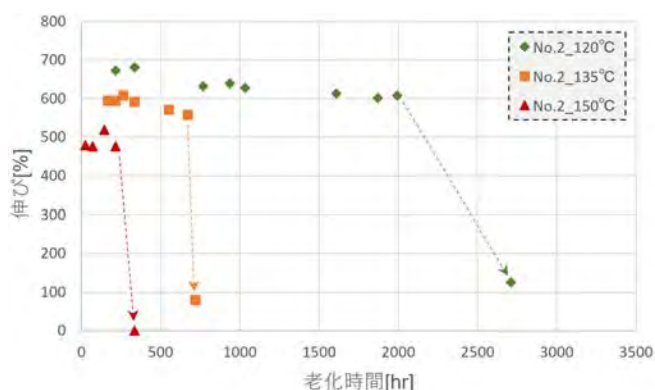


図5 熱老化3条件での伸びと時間の関係

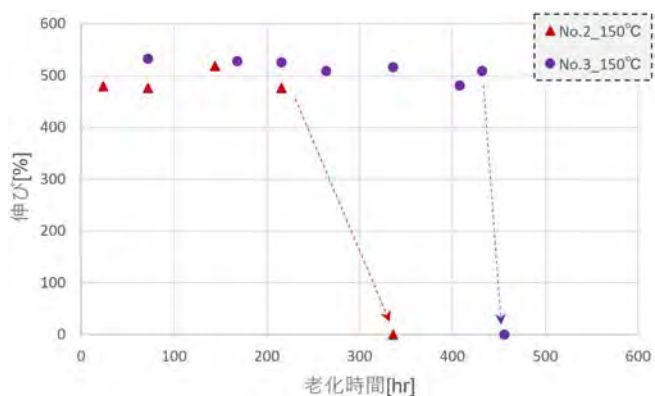


図6 添加量異なる試料での伸びと時間の関係

### 4.3 酸化防止剤量の変化

材料の劣化の進行を防止するために酸化防止剤を添加しているが、熱老化試験における酸化防止剤含有量の変化を把握するために高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を用いて定量分析を行った。試料No.2の熱老化した被覆部分を採取して凍結粉碎した後にソックスレー抽出を行い、添加剤成分を抽出した溶液で測定を行った。熱老化時間に対する酸化防止剤の初期からの残存割合を図7に示す。

材料中の酸化防止剤の残存割合は時間の経過とともに徐々に減少していることから、材料の加熱時間とともに酸化防止剤が消費され、酸化防止効果が低下していると考えられる。また、図6の伸びが急変する時点を照らし合わせると酸化防止剤の残存割合が小さいことから、酸化防止剤が消費されて初めて伸びが低下することも分かった。つまり、酸化防止剤の効果がなくなると一気に樹脂自体の劣化が進行し、伸びの変化が現れると考えられる。

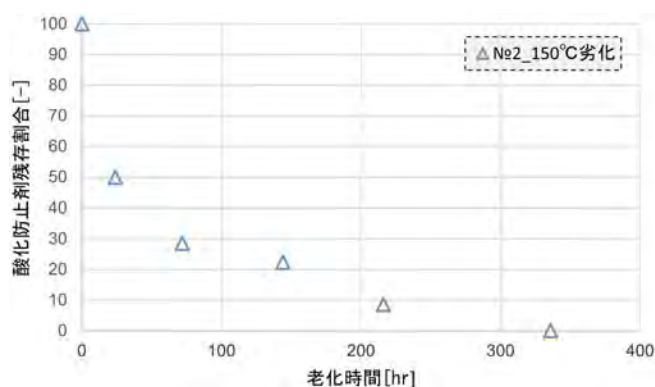


図7 試料No.2 150°C劣化品での酸化防止剤残存割合

### 4.4 ケミルミネッセンス法による酸化誘導時間

試料No.2を用いて150°C熱老化試験を行い所定の時間に取り出した試料毎にケミルミネッセンス法によりOITを測定した。

試料の熱老化時間とOITとの関係を図8に示す。OITは熱老化時間の経過とともに徐々に短くなり、酸化しやすくなっていることを示した。4.2項で示した伸びのような

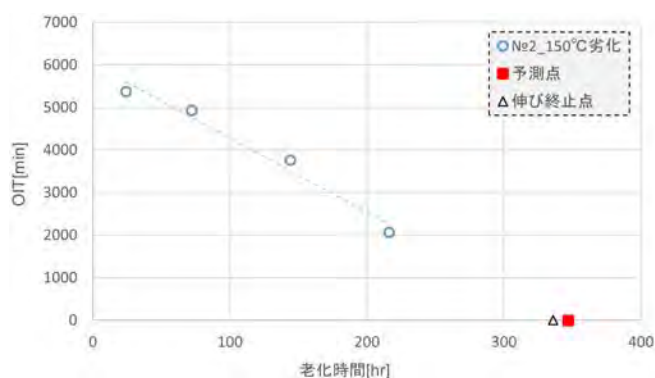


図8 試料No.2 150°C劣化のOIT変化

劣化直前の急な変化ではなく時間の経過とともに徐々にOITが減少し、OITは直線的な変化を示した。その近似式から伸びの終止点を予測したところ、伸びの実測終止点と概ね一致していることが分かった。

### 4.5 予測法の妥当性検証

ケミルミネッセンス法から得られたOITを劣化指標とし、その変化から伸びの終止点を予測する寿命推定方法を見出したが、その妥当性を確認するために熱老化温度条件および酸化防止剤添加量の違いにおけるOITの終止点予測と伸び終止点との比較を行った。

まず、熱老化温度条件では試料No.2での135°C熱老化試料を用いてOITを測定した。135°C熱老化試料でのOIT変化を図9に示す。加熱条件違いでも同様に伸び変化が見られない時間からOITは変化し、その近似式から予測した終止点時間は伸び実測値と概ね一致することが分かった。

さらに、酸化防止剤添加量の異なる試料No.3での150°C熱劣化試料を用いてOITを測定した結果を図10に示す。温度条件の違いと同様の傾向を示し、そのOIT変化の近似式から予測した終止点は伸び終止時間と概ね一致した。これらの結果から、ケミルミネッセンス法でのOITの変化を用いた伸び終止点予測は精度が得られると考えられる。

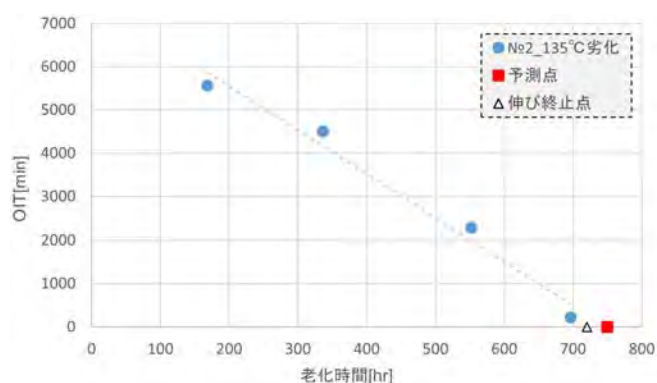


図9 試料No.2 135°C劣化品での予測

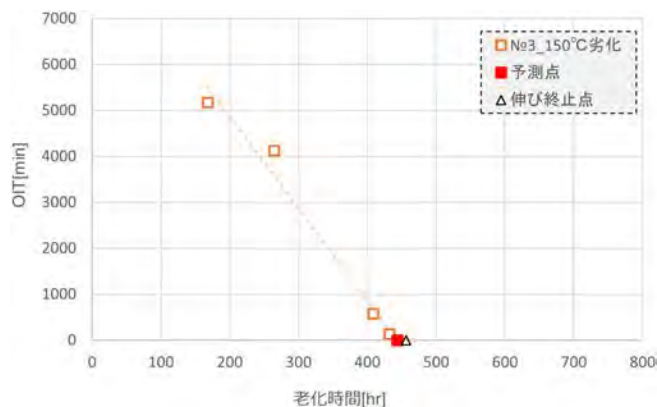


図10 試料No.3 150°C劣化品での予測



## 5. ま と め

今回、ケミルミネッセンス法を用いて、OIT を劣化指標とした寿命推定方法の妥当性を確認した。

- ・酸化防止剤の効果がなくなると一気に樹脂自体の劣化が進行して伸びの変化が現れる。
- ・ケミルミネッセンス法での OIT は酸化防止剤の減少とともに徐々に短くなる。
- ・伸びの変化が見られない段階であっても、ケミルミネッセンス法での OIT を用いて伸びの劣化終止点を予測可能である。

今回は、PP 樹脂を被覆した電線を用いて劣化の終止点を予測する方法について報告したが、次の段階として、ケミルミネッセンス法による OIT を劣化指標としたアレニウスプロットからの活性化エネルギーを用いた寿命推定方法について検討を行っている。引き続き、短時間で効率的な評価方法の一つとしてケミルミネッセンス法の活用、実用化に向けた検討を進める。

## 参 考 文 献

- 1) 大澤善次郎, “ケミルミネッセンス”, 丸善, 78-80
- 2) 大澤善次郎, “ケミルミネッセンス”, 丸善, 43-45
- 3) 東北電子産業(株), カタログ, Oct. 2020, Vol.02.2
- 4) 山田理恵ら, マテリアル学会誌, 19[4]173-178
- 5) P. K. Fearon, et. al., DSC combined with chemiluminescence for studying polymer oxidation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol.76 (2004) 75-83

SWCC (株)

田中 菜穂子 (たなか なほこ)  
技術開発本部 評価センター  
製品 / 開発品および材料の評価業務に従事

SWCC (株)

藤田 道朝 (ふじた みちとも)  
技術開発本部 評価センター長  
製品 / 開発品および材料の評価業務に従事

SWCC (株)

西岡 淳一 (にしおか じゅんいち)  
技術開発本部 新領域開発センター 基盤技術開発課長  
先行技術開発・新製品開発に従事



## e-Ribbon® ケーブル ～ Telcordia GR-20 対応 SJNA, DJSA ～

### e-Ribbon® Cable ～ Telcordia GR-20 Compatible SJNA, DJSA ～

#### 1. 概要

近年、ディープラーニング（深層学習）と呼ばれる機械学習（ML）法を取り入れた生成型人工知能（Generative AI）やMLアルゴリズム、AIを採用したIoT（Internet of Things）デバイスの普及に伴い、世界的にデータ通信トラフィック量は飛躍的に増加しており、光ファイバ伝送路をより効率的に低コストで構築することが求められています。

この課題に対し、SWCC(株)は光ファイバ心線を間欠的に接合した光ファイバテープ心線を開発し、ケーブル内の光ファイバ充填密度を増大させた超細径高密度光ケーブルを2012年より国内上市させてきました。

一方、海外では日本と異なるケーブル仕様が求められており、今回 Telcordia GR-20, ICEA S-87-640 に適合した e-Ribbon® ケーブルをリリースしました。

これにより、世界の高速で大容量な光通信網の構築に大きく貢献できると考えます。

#### 2. 用途

屋外で使用する e-Ribbon® ケーブルとして、Single Jacket Non Armored (SJNA) と Double Jacket Single Armored (DJSA) の2品種をラインナップしました。

架空、直接埋設、地下ダクトなどに敷設する光通信ケーブルとして使用することができます。

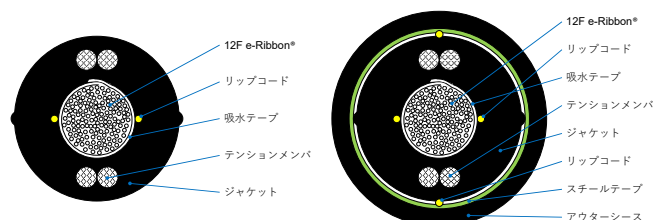


図 ケーブル断面図  
(左) SJNA, (右) DJSA

表 製品ラインナップ

項目	SJNA				DJSA			
ファイバ種	ITU-T G.652.D / ITU-T G.657.A1, A2							
ファイバ径 (μm)	250							
モードフィールド径 (μm)	8.6 / 9.1							
心数 (F)	144	288	432	864	144	288	432	864
ケーブル外径 (mm)	11.0	13.0	14.0	18.5	18.0	20.0	21.0	25.5
ケーブル重量 (mm)	95	130	155	235	275	330	370	490
許容曲げ半径 (mm)	ケーブル外径×15倍径							
許容張力 (N)	短期				2700			
	長期				800			
設置温度 (°C)	-30 ~ +60							
動作温度 (°C)	-40 ~ +70							
止水性	漏水なし							

#### 3. 特長

##### I. 細径・軽量化

- 光ファイバ心数が同一の既設ケーブル対比で、最大34%の細径と最大41%の減量を実現。
- 細径化でコイル／ハンドホールの細径化も可能です。
- 細径化でドラムへの巻取数量を長くできます。
- 一条あたりの条長が長いほど融着接続点数が減り、融着コストの削減に貢献できます。
- 巻取数量が長く、重量が軽いため輸送コスト削減に貢献できます。

##### II. 色別バンドル／セントラルコア構造

- 光ファイバ心線の識別は、e-Ribbon® への帯状印字と色別バンドルテープにて可能です。
- 色別バンドルテープは、複数枚の e-Ribbon® が束ねられたユニットの選別と光ファイバ心線の良好な取出し性を兼ね備えています。

##### III. 海外規格に適合した諸特性

- 北米の第三者認定機関にて、Telcordia GR-20 規格の適合認定を受けています。

\*e-Ribbon は SWCC 株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14  
(JMFビル川崎01)

SWCC(株) 営業本部 e-Ribbon事業PJ  
電話(044)223-0542 FAX(044)223-0561  
e-mail: opticalcable@swcc-g.com



# 125°C耐熱屋外用 LAN ケーブル (H12-HFS-TPCC® 5-LAP)

## 125°C Heat Resistant Outdoor LAN Cable

### 1. 概 要

LAN 配線は、主にオフィスビルや学校、病院などの構内情報配線システムに使用されてきましたが、近年では工場や製造現場の産業用配線においても、ネットワークの高速化・共通化志向が高まっており、データ伝送については、Ethernet（イーサネット）伝送技術を用いたものに集約され、上位層から下位層までの全てがそれに置き換わる動きが加速しています。

特に工場では、過酷な環境下でも使用できるネットワークとして、産業用イーサネット技術の採用が増加しており、ギガビット伝送に対応した LAN ケーブルの需要が高まっています。

このような背景から高温環境下でも使用可能な 125°C 耐熱 LAN ケーブルを 2018 年にリリースしました。本シリーズは、お客様のニーズと相まって、年々需要が増加傾向となっています。同ケーブルのラインアップは、屋内用のみですが、今後、屋外環境での要求も想定できることから、工場等の配線として、屋内外で兼用可能な 125°C 耐熱 LAN ケーブルを新たに開発しました。

### 2. 用 途

工場、産業設備付近で、周囲温度が高温になる箇所の配線に最適な屋外・屋内兼用の耐熱 LAN ケーブルです。

また、内部の構造は高遮へい構造であり、耐ノイズ性が要求される場所に適しています。

### 3. 特 長

- ・絶縁体にフッ素樹脂 (FEP)、内被に耐熱ビニル、外被に屋外用 LAP シース構造を採用しており、幅広い温度環境で使用可能 (-20°C ~ +125°C) です。
- ・サージノイズ接地用ドレインワイヤを挿入しています。
- ・内部ケーブルは二重シールドの高遮へい仕様 (AL/PET + 編組) です。
- ・PoE (Power over Ethernet)、PoEplus に 対 応 (IEEE802.3af,at) しています。

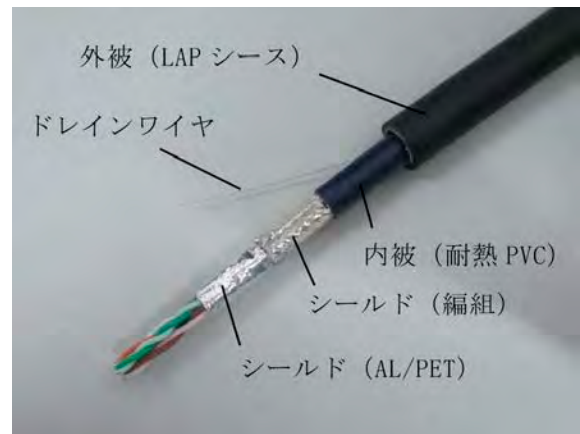


図 1 125°C耐熱屋外用 LAN ケーブル  
“H12-HFS-TPCC® 5-LAP”

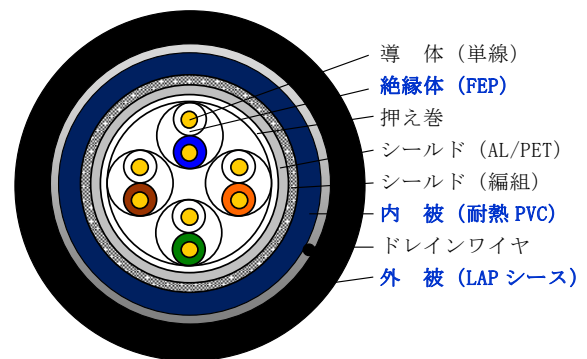


図 2 ケーブル断面図

表 ケーブル仕様

項 目	H12-HFS-TPCC® 5-LAP
サイズ・対	0.5 mm × 4 P
仕上外径	約 10.5 mm
概算質量	120 kg/km

※最大配線長は 80 m になります。

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





## 1 時間低圧耐火ケーブル接続部 —スリーエムジャパン(株)製キットが業界初の対応—

### 1 Hour Fire Proof Cables Connection Kit

#### 1. 概 要

2021年1月より販売しています1時間低圧耐火ケーブル「IHEM-SH-C」の接続に、スリーエムジャパン株式会社製の接続キット「3M™ スコッチキャスト™ 低圧電力耐火ケーブル用レジンキット」が業界初対応いたしました。同キットは、30分低圧耐火ケーブルの接続用として販売されておりましたが、このたび（一社）電線総合技術センターによる「日本電線工業会規格への性能基準適合性の評定に関する規則」に定められた「1時間低圧耐火ケーブル接続部工法」の評定を取得し、新たに1時間耐火ケーブル接続部としての使用が可能となりました。（評定番号 JF0083号）

1時間耐火ケーブルは（一社）電気設備学会による、ビルの高層化や高齢化を背景とした消火活動・避難誘導の長時間化を考慮した場合、現行の30分/840℃を超える60分/925℃の火災環境に耐えうるケーブルが必要である、との研究結果\*1を受け、（一社）日本電線工業会にて規格化されました。

一方、耐火ケーブルはその接続部にもケーブルと同等の耐火特性が求められることから、30分耐火ケーブル接続キットの国内最大手である、スリーエムジャパン株式会社と共同で1時間低圧耐火ケーブル接続部工法の検証を実施し、当該キットが1時間耐火性能を持ち合わせていることを確認いたしました。



図 低圧電力耐火ケーブル用レジンキット

#### 2. 用 途

高層ビルや長距離トンネル、ショッピングセンター、高齢者施設等、火災時の避難誘導に30分以上を要することが考えられる建築物の誘導灯・非常灯をはじめとする消防用設備配線（非常電源回路）の直線接続にご利用いただけます。

#### 3. 特 長

製品および施工方法は従来と変わらず、新たに1時間耐火ケーブルでの評定を取得いたしました。1時間耐火性能への対応は「IHEM-SH-C」の直線接続のみとなります。

表 接続部耐火特性比較

項 目	耐火ケーブル 接続部試験方法	1時間 耐火ケーブル 接続部試験方法
加熱時間	30 min	60 min
到達温度	840℃	925℃
絶縁耐力	加熱前後：1,500 V/min 加熱中：600 V/30 min	加熱前後：1,500 V/min 加熱中：600 V/60 min
絶縁抵抗	加熱前：50 MΩ以上 加熱後：0.4 MΩ以上	

\*1（一社）電気設備学会：防災設備配線の要求性能に関する調査研究報告書（2014）

EM-SH-Cは富士電線株式会社の登録商標です。  
3M™ スコッチキャスト™ は米国3M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3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

〒141-8684 東京都品川区北品川6丁目7番29号  
スリーエムジャパン(株) 電力マーケット事業部  
カスタマーコールセンター  
電話(0570)012-321



## 日本初！走行中非接触給電の公道実証試験への参画

### Participation in Public Road Demonstration Test of Dynamic Wireless Power Transfer

#### 1. 概要

SWCC (株)は、東京大学大学院新領域創成科学研究科の藤本博志教授、清水修准教授らの研究グループ（以下、東大研究グループ）が中心となり進めている JST 未来社会創造事業「電気自動車への直接給電が拓く未来社会」に東大研究グループのメンバーとして参画し、走行中非接触給電システムの共同研究開発を行っています。

2023年10月より開始された日本初の電気自動車への走行中給電公道実証試験において、当社非接触給電コイルユニットが地上側で採用されました。

#### 2. 適用した電力伝送方式

電気自動車向け非接触給電において磁界共振結合と呼ばれる電力伝送方式が多く採用されています。磁界共振結合による電力伝送は、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で行われます。磁界共振結合は送信側と受信側の共振周波数を同じにすることにより、送受信コイル間の位置がずれたり、コイル間距離が大きくなったりした場合でも、高効率で大電力の伝送が可能です。東大研究グループにおいても磁界共振結合による走行中非接触給電の研究開発が行われています。

#### 3. コイルユニットの構成

コイル、コンデンサを筐体に入れ、電源と筐体がリッツ線ケーブル、コネクタで接続された構成となります（図1）。

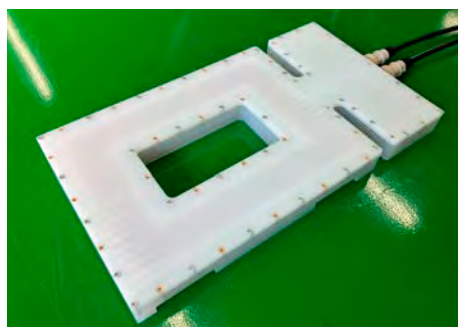


図1 SWCC製コイル、コネクタ、リッツ線ケーブル

#### 4. コイルユニットの特性

当社のコイルユニットは軸重 11 t の大型自動走行車による 10 万輪の載荷走行（交通区分 N4 相当）において、試験前後での電気特性の変化はなく、良好な結果が得られています（図2, 3）。

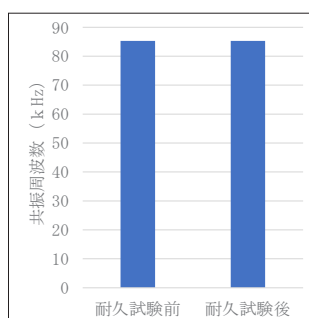


図2 共振周波数特性

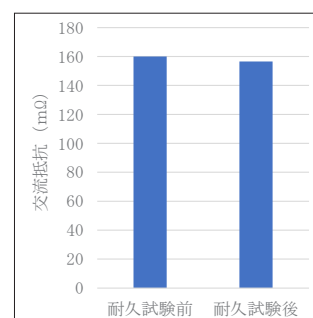


図3 交流抵抗特性

上記特性が認められ、当社コイルユニットが埋設された公道にて日本初の走行中非接触給電の実証試験が実施されております（図4）。



図4 路面構造\*と実証実験車両

当社は本実証試験の結果を反映し、東大研究グループ、JST 未来社会創造事業参画メンバーと連携することにより、走行中給電の実現を目指し快適なモビリティ社会の実現に貢献します。

\*東京大学大学院新領域創成科学研究科 HP より引用

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14  
(JMFビル川崎01)

SWCC(株) 電装営業部 電装営業G

電話(044)223-0538 FAX(044)223-0558



## 3D スキャンを用いた現場調査の効率化

### Improving The Efficiency of Field Surveys Using 3D Scanner

#### 1. 概要

電力ケーブルを洞道やマンホール内に据え付けるにあたり、現場調査をより効率的に行うため、3D スキャナー、3DCAD の利用について現在研究を進めています。

本トピックスでは実際の現場調査で3D スキャンを実施した結果についてご紹介します。

#### 2. 機器選定と効率化の流れ

現在、現場調査を行う場合はコンベックス等を用いて、マンホール等構造物の幅・奥行・高さや支持材の長さ・太さ等を測り、紙の図面にスケッチし、それを基に2DCADで製図しております。

しかしこの方法では高所や充電部など、手で触れられない範囲は測れず、調査後に追加測定の必要が判明した場合も再度現場へ出向く必要があるなど、さまざまな問題があります。

そこで、近年開発された3D スキャナーに着目し、上記のような問題を解消、さらに作業の効率化ができないかを検討しております。

まず、3D スキャナーを測量機器のように三脚に載せ、周囲360度をくまなく測定できるタイプのもの調査できるように、測定速度、精度の高いライカジオシステムズ社製の「Leica RTC360」を採用しました(図1)。



図1 ライカジオシステムズ社 RTC360

#### 3. 現場調査での使用

3D スキャンを実施する場所として、当社が実際に電力ケーブルおよび中間接続部を据え付ける、東京電力パワーグリッド株式会社殿の洞道を選定し、三桜電設株式会社殿の協力によりスキャンを実施しました。

実際のスキャン作業は、洞道内にケーブルや中間接続部が輻輳しており、死角となる場所については何度もスキャナーの据付場所を移動して対応しました(図2)。

なお、RTC360ではタブレットを併用することにより、現場で逐一測定状況を確認することができるため測定漏れを未然に防ぐことが可能です(図3)。

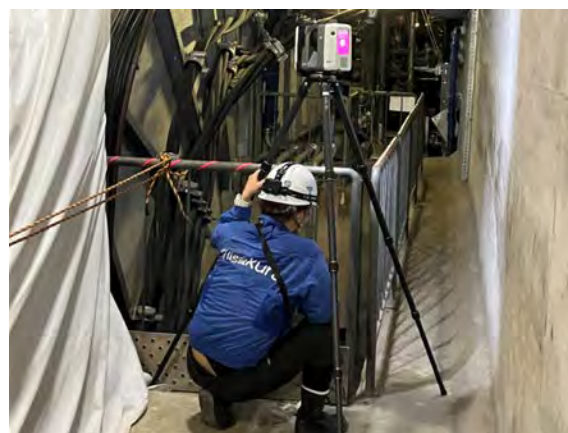


図2 現場での3D スキャン作業状況

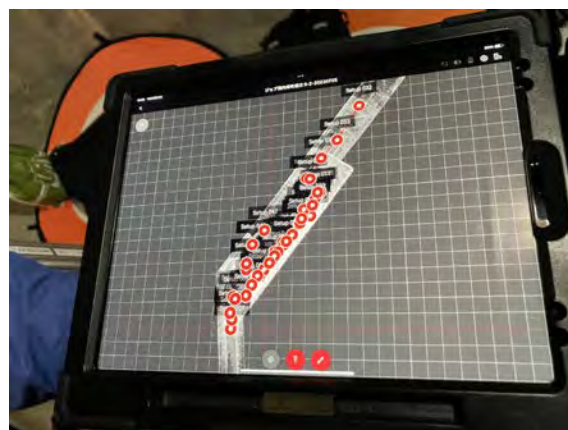


図3 タブレットによる測定状況確認(赤い点が測定箇所)



#### 4. 3D データの利用

こうしてスキャンしたデータは、社内に持ち帰り専用ソフトにて整理し、精度の高い3Dデータとして距離測定等に利用できます。

一例として、現場を撮影した画像と、同じアングルで表示した3Dデータの対比を図4に示します。



図4 撮影画像と3Dデータ  
(上：撮影画像 下：3Dデータ)

また、スキャンした3Dデータに別途3DCADで作図したケーブル等を合成し、より現場状況に即した設計確認が可能となります(図5)。

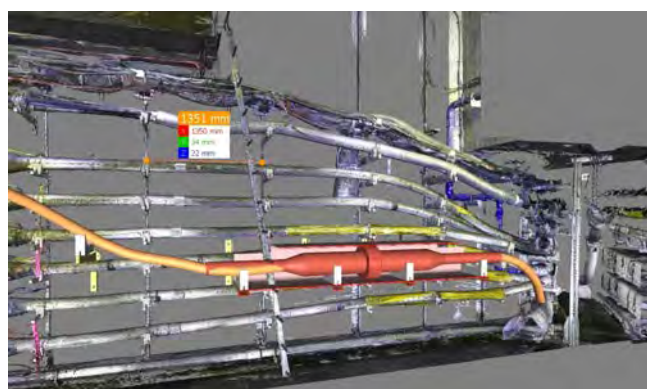
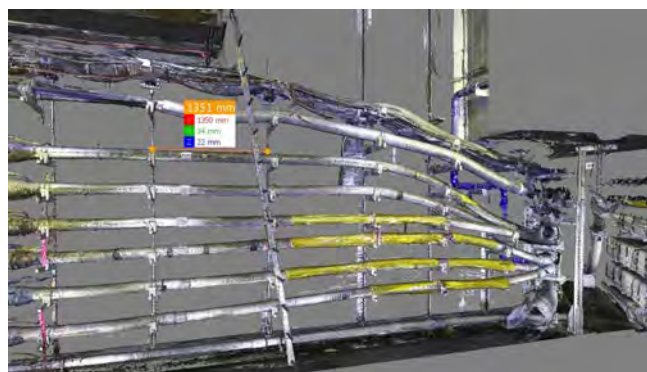


図5 3DデータとCADの合成  
(上：3Dデータのみ  
下：3Dデータに別途3DCADで製図したケーブル類を合成したもの)

#### 5. ま と め

3Dスキャンは直接手で触れることなく測定ができ、周囲360度を測定できるため測り漏れが少ないなどの利点があります。

また3DCADは物の配置設計や確認を三次元的に行うことで、作業員へ現場状況を引き継ぐ際にPCの画面などで立体的に見せることができ、イメージが付きやすくなるなどの利点があります。

今後はこれらの利点を生かし、2Dより高効率・高精度の設計を実現すべく検討を進めていきます。

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14  
(JMFビル川崎01)

SWCC(株) 電力・インフラ営業部 電力営業課  
電話(044)223-0534 FAX(044)223-0557



## 夏のリコチャレ 2023 の開催

### RIKO CHALLENGE SUMMER of 2023

#### 1. リコチャレとは

理工チャレンジ、略して「リコチャレ」とは、女子中高生・女子学生の皆さんが、将来の自分をしっかりイメージして理工系分野に進路選択（チャレンジ）することを応援する取り組みです。内閣府男女共同参画局が中心となっており、さまざまな大学や企業などが「リコチャレ応援団体」として参加しています。

「夏のリコチャレ～理工系のお仕事を体感しよう～」は夏休み期間に、主に女子小・中高生を対象として実施する企業・大学・学術団体等のイベントで、2022年は92団体162のイベントに約5,000名が参加しました。

SWCCグループのダイバーシティ推進PJ（SWCCarat）も同取り組みに賛同し、同年にイベントを開催しています。

#### 2. 夏のリコチャレ 2023

富士電線(株)は2023年7月28日に本社・伊勢原工場イベントを開催しました。地域の小中学生7名（中学生5名、小学生2名）と保護者3名が参加し、会社概要や製品紹介に続き、伸線や絶縁、より合わせといった消防用ケーブルの製造工程、民間企業では唯一となる検定炉での燃焼試験の様子を見学し、光ファイバの融着やLANケーブルの端末加工の体験も行いました。



図1 夏のリコチャレ 2023 参加者

製造工程の見学では自分より大きいドラムが回転する様子や、粒状の樹脂材料が押出機によって溶融されケーブルに被覆されていく様子を観察し、積極的に質問を行って

ました。燃焼試験の見学では説明に熱心に耳を傾けながら、試験後のケーブルや、実際にケーブルが試験炉内で燃やされている様子も興味深く観察していました。

参加者からは「学校で教えてもらえないことを知れて良かった」「理系について少し興味を持てた」「LANケーブルを作るのが楽しかった」などの声が上がりました。



図2 試験後のケーブルを確認する子どもたち

SWCCグループでは、富士電線(株)の他にSWCC(株)の相模原事業所と三重事業所で夏のリコチャレ 2023のイベントを開催しています。

相模原事業所では、仮想現実映像に実写映像を重ねる独自技術・AVR®システムの体験や、地震から建物や人命を守る免震部材の製造現場などを見学した後、エンジニアとの交流会を行いました。

三重事業所では、高性能無酸素銅『MiDIP®（ミディップ）』を製造する国内唯一のディップ・フォーミング・システムなどを見学し、同事業所で製造する製品を使用した体験学習や、従業員との座談会を行いました。

ダイバーシティ推進PJは、今後もリコチャレを通して次代を担う理工系人材の育成を応援していきます。

AVRは株式会社ACW-DEEPの登録商標です。  
MiDIPはSWCC株式会社の登録商標です。

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14  
(JMFビル川崎01)

SWCC(株) ダイバーシティ推進PJ(SWCCarat)  
電話(044)223-0526 FAX(044)223-0550



## 社外技術発表一覧表

(2022. 11 ~ 2023. 10)

### [一般社団法人 医療の質・安全学会]

(医療の質・安全学会誌第17巻 第4号399 ~ 406頁)

院内における医療機器と電線ラインに係わるアクシデント・インシ  
デント調査

…………… 田中 顯<sup>1)</sup>, 吉光喜太郎<sup>2)</sup>, 山口智子<sup>2)</sup>, 正宗 賢<sup>2)</sup>,  
村垣善浩<sup>2)</sup>

### [日本振動技術協会講演会「振動制御のトレンドに関する講演会」]

(2022年11月17日)

特定天井に対応した防振技術

…………… 内田岳男<sup>3)</sup>

### [日本建築学会構造系論文集] (2022年12月第87巻第802号)

錫プラグ入り免震積層ゴムの熱・力学連成挙動に関する研究

…………… 柳 勝幸<sup>1)</sup>, 清水美雪<sup>1)</sup>, 木田英範<sup>4)</sup>, 長井大樹<sup>5)</sup>,  
石井 建<sup>6)</sup>, 菊地 優<sup>6)</sup>

### [2022年度秋季 第104回 低温工学・超電導学会研究発表会]

(2022年12月7日~9日)

プラント内利用のための低コスト型三相同軸超電導ケーブルシステム  
の開発

…………… 塩原 敬<sup>1)</sup>, 佐藤勉夫<sup>1)</sup>, 金山諄志<sup>1)</sup>, 長井港太<sup>1)</sup>,  
高橋保夫<sup>1)</sup>, 青木裕司<sup>1)</sup>, 中西達尚<sup>1)</sup>, 三堂信博<sup>1)</sup>,  
足立和久<sup>1)</sup>

Reel-to-Reel 式本焼成炉による TFA-MOD YGdBCO+BZO 線材の  
作製

…………… 佐藤勉夫<sup>1)</sup>, 高橋保夫<sup>1)</sup>, 青木裕司<sup>1)</sup>, 足立和久<sup>1)</sup>,  
中岡晃一<sup>7)</sup>, 和泉輝郎<sup>7)</sup>

### [2022年度日本建築学会関東支部研究報告集] (2023年2月)

高摩擦弾性すべり支承における水平クリープ現象に関する実験的検討  
-縮小試験体を用いた荷重制御加振実験-

…………… 牧平康也<sup>8)</sup>, 佐藤大樹<sup>8)</sup>, Alex Shegay<sup>8)</sup>, 三須基規<sup>1)</sup>,  
稲井慎介<sup>9)</sup>, 桑 素彦<sup>9)</sup>, 川又哲也<sup>9)</sup>, 石田琢志<sup>9)</sup>,  
得能将紀<sup>9)</sup>, 丸尾純也<sup>9)</sup>

### [令和5年 電気学会全国大会] (2023年3月15日~17日)

ホース反転工法を用いたケーブル拘束装置

…………… 岡 滋晃<sup>10)</sup>, 篠口芽子<sup>10)</sup>, 中島 陽<sup>10)</sup>,  
岩崎公裕<sup>11)</sup>, 井出勇人<sup>12)</sup>, 倉田正博<sup>13)</sup>

### [マテリアルライフ学会「第15回ケミルミネッセンス研究会」]

(3月15日)

ケミルミネッセンス法による PP 樹脂材料の余寿命推定方法の検討

…………… 田中菜穂子<sup>1)</sup>

### [北海道大学博士論文] (2023年3月23日 甲第15372号)

長周期地震動に対する錫プラグ入り免震積層ゴムの力学挙動に関す  
る研究

…………… 柳 勝幸<sup>1)</sup>

### [ISH2023] (2023年8月27日~9月1日(英国・グラスゴー))

Development and Practical Realization of 154kV Direct-molded  
Bushing using ZnO Electric-field-relaxation Layer

…………… 今西 晋<sup>14)</sup>, 住本 勉<sup>14)</sup>, 田渡未沙<sup>14)</sup>,  
林 克之<sup>14)</sup>, 稲庭康之<sup>14)</sup>, Mahmudul Kabir<sup>15)</sup>

### [EUCAS2023] (2023年9月3日~7日)

Development of a Superconducting Cable for Aircraft Electric  
Propulsion System

…………… 塩原 敬<sup>14)</sup>, 佐藤勉夫<sup>14)</sup>, 高橋保夫<sup>14)</sup>,  
足立和久<sup>14)</sup>, 和泉輝郎<sup>7)</sup>, 岩熊成卓<sup>16)</sup>

### [EUCAS2023] (2023年9月3日~7日)

Development of Ba-Zr-O-doped Y-Gd-Ba-Cu-O coated  
conductors using a reel-to-reel system furnace

…………… 佐藤勉夫<sup>14)</sup>, 塩原 敬<sup>14)</sup>, 高橋保夫<sup>14)</sup>,  
青木裕司<sup>14)</sup>, 足立和久<sup>14)</sup>, 中岡晃一<sup>7)</sup>,  
和泉輝郎<sup>7)</sup>, 岩熊成卓<sup>6)</sup>

### [令和5年電気学会電力・エネルギー部門大会]

(2023年9月4日~6日)

自然由来ガス絶縁 GIS への 66kV CV ケーブル用終端接続部の適用

…………… 田中大暉<sup>11)</sup>, 鈴木幹保<sup>11)</sup>, 岩崎公裕<sup>11)</sup>,  
住本 勉<sup>14)</sup>, 丸山英之<sup>14)</sup>

275kV スマート気中終端接続部の実用化

…………… 阿部成将<sup>14)</sup>, 篠崎一輝<sup>14)</sup>, 今西 晋<sup>14)</sup>,  
新館 均<sup>14)</sup>

### [2023年度日本建築学会大会(近畿)] (2023年9月13日~9月15日)

錫プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動の評価法に関する検討

…………… 塩浦拓弥<sup>6)</sup>, 菊地 優<sup>6)</sup>, 石井 建<sup>6)</sup>, 柳 勝幸<sup>14)</sup>



弾性すべり支承の熱力学連成挙動の評価方法に関する研究 (その1)  
評価方法

…………… 高田悠大<sup>17)</sup>, 杉浦美音<sup>6)</sup>, 石井 建<sup>6)</sup>, 菊地 優<sup>6)</sup>,  
柳 勝幸<sup>14)</sup>

弾性すべり支承の熱力学連成挙動の評価方法に関する研究 (その2)  
加力実験のシミュレーション解析・地震応答解析

…………… 杉浦美音<sup>6)</sup>, 高田悠大<sup>17)</sup>, 石井 建<sup>6)</sup>,  
菊地 優<sup>6)</sup>, 柳 勝幸<sup>14)</sup>

高摩擦弾性すべり支承の耐風領域における摩擦特性の検討 その1  
弾性すべり支承実験を用いた滑動時の摩擦係数とすべり出し時の摩擦係数の比較

…………… 二村夏樹<sup>9)</sup>, 佐藤大樹<sup>8)</sup>, Alex Shegay<sup>8)</sup>,  
牧平康也<sup>8)</sup>, 三須基規<sup>14)</sup>, 稲井慎介<sup>9)</sup>, 桑 素彦<sup>9)</sup>,  
川又哲也<sup>9)</sup>, 石田琢志<sup>9)</sup>, 得能将紀<sup>9)</sup>, 丸尾純也<sup>9)</sup>

高摩擦弾性すべり支承の耐風領域における摩擦特性の検討 その2  
すべり材実験結果を用いた摩擦係数の速度および面圧依存式の構築

…………… 牧平康也<sup>8)</sup>, 佐藤大樹<sup>8)</sup>, Alex Shegay<sup>8)</sup>,  
三須基規<sup>14)</sup>, 稲井慎介<sup>9)</sup>, 桑素彦<sup>9)</sup>, 川又哲也<sup>9)</sup>,  
石田琢志<sup>9)</sup>, 得能将紀<sup>9)</sup>, 丸尾純也<sup>9)</sup>, 二村夏樹<sup>9)</sup>

線路上空建築物における座屈拘束を施した免震機構に関する研究  
(その1) 積層ゴムと剛すべり支承を用いた構造形式の提案

…………… 小笠原康介<sup>18)</sup>, 山高 円<sup>18)</sup>, 今阪 剛<sup>18)</sup>,  
和田泰典<sup>18)</sup>, 藤原圭佑<sup>18)</sup>, 三須基規<sup>14)</sup>

線路上空建築物における座屈拘束を施した免震機構に関する研究  
(その2) 圧縮せん断試験結果

…………… 今阪 剛<sup>18)</sup>, 山高 円<sup>18)</sup>, 小笠原康介<sup>18)</sup>,  
和田泰典<sup>18)</sup>, 藤原圭佑<sup>18)</sup>, 三須基規<sup>14)</sup>

ゴム直径が天然ゴム系積層ゴムの熱老化に与える影響の検証  
(その2) 加熱時間等の追加検証

…………… 清水美雪<sup>14)</sup>, 三須基規<sup>14)</sup>, 山上 聡<sup>19)</sup>,  
舟木秀尊<sup>19)</sup>, 小山慶樹<sup>19)</sup>, 高山峯夫<sup>20)</sup>

伝統木造建物の柱脚部制振に関する研究 その4 一定軸力下における動的実験

…………… 佐藤信夫<sup>21)</sup>, 花里利一<sup>22)</sup>, 島崎和司<sup>22)</sup>,  
白井佑樹<sup>22)</sup>, 佐藤宏貴<sup>22)</sup>, 三須基規<sup>14)</sup>,  
坂本 功<sup>23)</sup>

- 1) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 2) 東京女子医科大学
- 3) 株式会社昭和サイエンス
- 4) 株式会社免制震デバイス
- 5) 住友金属鉱山シボレックス株式会社
- 6) 北海道大学
- 7) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
- 8) 東京工業大学
- 9) 戸田建設株式会社
- 10) 東京電力ホールディングス株式会社
- 11) 東京電力パワーグリッド株式会社
- 12) 株式会社エステック
- 13) 芦森工業株式会社
- 14) SWCC 株式会社
- 15) 秋田大学
- 16) 九州大学
- 17) 日揮グローバル株式会社
- 18) 東日本旅客鉄道株式会社
- 19) 株式会社奥村組
- 20) 福岡大学
- 21) 松井建設株式会社
- 22) 神奈川大学
- 23) 東京大学

## SWCCグループ会社アドレス

SWCC株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号(JMFビル川崎01)

### ■グループ企業

富士電線株式会社	〒259-1146	神奈川県伊勢原市鈴川10番地
株式会社SDS	〒210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号(JMFビル川崎01)
株式会社アクシオ	〒141-0031	東京都品川区西五反田二丁目12番19号(五反田NNビル)
SFCC株式会社	〒210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号(JMFビル川崎01)
株式会社エステック	〒210-0843	神奈川県川崎市川崎区小田栄二丁目1番1号
昭光機器工業株式会社	〒143-0002	東京都大田区城南島四丁目3番4号
株式会社昭和サイエンス	〒210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号(JMFビル川崎01)
株式会社ロジス・ワークス	〒210-0024	神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号(JMFビル川崎01)
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD.		Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam
SWCC SHOWA VIETNAM INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD.		D1 road, Yen My II Industrial Park, Yen My District, Hung Yen Province, Vietnam
嘉興昭和機電有限公司		中国浙江省嘉興市雲海路825号
昭和電線電纜(上海)有限公司		中国上海市長寧区仙霞路137号 盛高国際大廈23A室
東莞昭和機電有限公司		中国広東省東莞市莞龍路段獅龍路 莞城科技园内
福清昭和精密電子有限公司		中国福建省福清市融僑経済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
エヌエスティ・グローバリスト株式会社	〒171-0021	東京都豊島区西池袋三丁目1番15号(西池袋TSビル)
Keyspider株式会社	〒101-0025	東京都千代田区神田佐久間町三丁目21番24 AKIHABARA CENTRAL SQUARE 3F
株式会社ケイ・エス・デー	〒813-0034	福岡県福岡市東区多の津一丁目1番3号
株式会社ACW-DEEP	〒252-0523	神奈川県相模原市中央区南橋本四丁目1番1号
かもめエンジニアリング株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀二丁目19番6号(ヤサカ八丁堀ビル)
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

# SWCC レビュー

第69巻 (通巻125号)

### SWCCレビュー編集部会

部会長	森下 裕一
委員	西岡 淳一 高橋 儀浩 野呂 互 坂上 佳宏 坂口 義則 平方 和良 稲庭 康之 井田 誠年 蛭子 洋年 生方 通夫 土屋 諒恭 森川 進豪 石川 和久 (順不同)

編集・発行人 鈴木 大介

発行	2024年2月
発行所	SWCC株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14
制作	港北メディアサービス株式会社

【禁無断転載・複製】

©2024 SWCC Corporation

## SWCC パーパス

時代は、変化でできている。  
 私たちが、変化をしないわけにはいかない。  
 インフラだけじゃない。電線だけでもない。  
 つないでいるのは、昨日や、今日や、明日のこと。  
 この先も、人が和やかに生きるために。  
 いつかの、愛すべきあたりまえのために。  
 人を想う品質と信頼で、応えていく。  
 だから、情熱と輝きをたやさない。挑戦をやめない。  
 いま、あたらしいことを。  
 いつか、あたりまえになることへ。

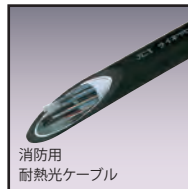
環境と人にやさしい社会へ。  
 スマートグリッドの実現をサポートする  
 SWCCグループ



地下送電線  
CV ケーブル



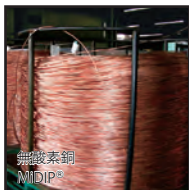
電力機器部品  
ダイレクトモールド



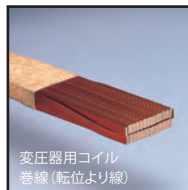
消防用  
耐熱光ケーブル



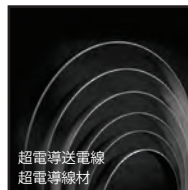
トンネル内移動通信  
漏洩同軸ケーブル



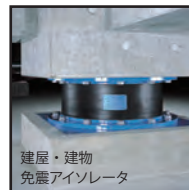
無酸素銅  
MIDIP



変圧器用コイル  
巻線(転位より線)



超電送電線  
超電導線材



建屋・建物  
免震アインレータ

### SWCC株式会社

電線・ケーブル、電力機器部品、巻線、光ファイバケーブル、  
情報機器用ローラ、免震・制振材、防振ゴム等の製造販売

### SFCC株式会社

建設・電販市場向け各種電線・ケーブルおよびその付属品、  
関連資材類の製造(アルミ導体製品を除く)ならびに販売

### 富士電線株式会社

消防用電線、LANケーブル、通信ケーブルの製造販売

### 株式会社アクシオ

ICT ソリューション(ネットワーク構築、セキュリティ、  
システム開発・保守運用等)

### 株式会社SDS

電線・ケーブル、付属品、ワイヤハーネス、防振材等の販売

### 株式会社ロジス・ワークス

貨物自動車運送、倉庫管理、出荷および配送、電線用ドラム  
等の製造販売ならびに電線・ケーブルの解体加工

### 昭光機器工業株式会社

電線・ケーブル用付属品および配電用機器の製造販売

### 株式会社昭和サイエンス

精密除振装置、防振材、制振材の製造販売および除振・防振  
関連工事

### 株式会社エステック

電気工事等の設計・施工・監理

### 株式会社ACW-DEEP

映像制作及び映像制作に関するコンサルティング、映像製  
作機材の輸入・販売・保守

