



Advanced Digital TransPorter System



目次

〈普通論文〉

AVR®・ADTPS™システム	SWCC (株)	角田 寧・山口 聡 金 悠樹・中山 雄裕 松井 俊哉 床井 浩平	… 4
	和歌山大学		
高強度・高導電率銅銀合金極細線材の開発	SWCC (株)	小泉 勉・新井 龍一 大達 剛・三浦 聖	… 8
天然ゴム系積層ゴムの加振速度が製品性能に与える影響の検証	SWCC (株)	三須 基規・土屋 諒恭 清水 美雪 高山 峯夫・森田 慶子	… 12
	福岡大学		
電動推進航空機向け樹脂コルゲートを用いた超電導ケーブルの開発	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 和泉 輝郎 岩熊 成卓	… 17
	産業技術総合研究所 九州大学		
手術室用 1.5kW ワイヤレス給電システムの試作	SWCC (株)	田中 顯・西岡 淳一 吉光喜太郎・正宗 賢 岡本 淳	… 23
	東京女子医科大学 ソニアセラピューティクス㈱		
〈工事紹介〉			
北陸電力送配電㈱向け 275kV CV ケーブル工事			29
〈新製品紹介〉			
車載向け耐火仕様被覆付き平角線			30
Cat.6A 対応マルチメディア複合ケーブル (MLTT-10G1B11)			31
〈トピックス〉			
「SWCC (株)×東北大学 高機能金属共創研究所」を設置			32
夏のリコチャレ 2024 「未来を創る」			33
〈社外技術発表一覧表〉			34

SWCC GROUP TECHNICAL REVIEW

2025 Vol. 70

CONTENTS

< Regular Papers >

AVR [®] and ADTPS [™] System	4
Development of High Strength and High Conductivity Ultra-Fine Copper-Silver Alloy Wires	8
Test to Confirm the Effect of Loading Velocity on Product Performance of Natural Rubber Bearing	12
Development of Superconducting Cable using Resin Corrugated Tube for electrically propulsion Aircraft ...	17
Prototype of 1.5kW wireless power supply system for operating rooms	23

< Construction >

Installation of 275kV XLPE Cable for Hokuriku Electric Power Transmission & Distribution Company	29
---	----

< New Products >

Fire-Resistant Bus Bar	30
Multimedia LAN TEL TV	31

< Topics >

Establishment of SWCC x Tohoku University Co-Creation Research Center for High Functional Metals	32
RIKO CHALLENGE SUMMER of 2024 「Creating for the Future」	33

< List of Technologies Published since 2024 >	34
---	----

Published by

SWCC Corporation

JMF-Bldg.Kawasaki 01, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku,
Kawasaki City, KANAGAWA
URL www.swcc.co.jp

AVR[®]・ADTPS[™]システム

AVR[®] and ADTPS[™] System

角 田 寧
Nin TSUNODA

山 口 聡
Satoshi YAMAGUCHI

金 悠 樹
Yuki KON

中 山 雄 裕
Yusuke NAKAYAMA

松 井 俊 哉
Toshiya MATSUI

床 井 浩 平 *
Kohe TOKOI

当社は、コア技術として蓄積されてきた技能やデータと DX 技術を掛け合わせた新しい事業モデル「SWCC Smart Stream（スマートストリーム）事業」を推進している。本稿では、電力インフラ業界での技能継承、業務効率化などを実現する AVR[®]（仮想空間に現実空間を合成する VR システム）ならびに ADTPS[™]（トランスポーターシステム）を紹介する。

We are promoting a new business model, the SWCC Smart Stream business, that combines DX technology with the skills and data that have been accumulated as core competencies. In this paper, we will introduce AVR[®] (VR system that synthesizes real space into virtual space) and ADTPS[™] (transporter system) that realize skill transfer and operational efficiency in the electric infrastructure industry.

1. は じ め に

近年、電力インフラ業界においては、少子高齢化による人手不足に加え、技能の継承、労働災害の撲滅、業務の効率化などの課題を抱えている。

特に、高電圧電力ケーブルの現場では接続作業者の技能継承や施工力の確保が課題となっている。また、電力インフラの設備維持のために保守管理の更なる業務効率化が求められている。

今回、これらの課題に対して AVR[®] (Advanced Virtual Reality), ADTPS[™] (Advanced Digital Trans Porter System) の適用検討を行った。

2. AVR[®] システム

2.1 AVR[®] とは

AVR[®] とは、対象物を立体として測定できる RGB-D カメラを VR システム用ヘッドマウントディスプレイに装着することで、撮影データを、VR (Virtual Reality) 空間と合成し、リアルタイムに表示することができるシステムである。加えて、以下の効果から、現実に近い感覚を得ることを実現している。

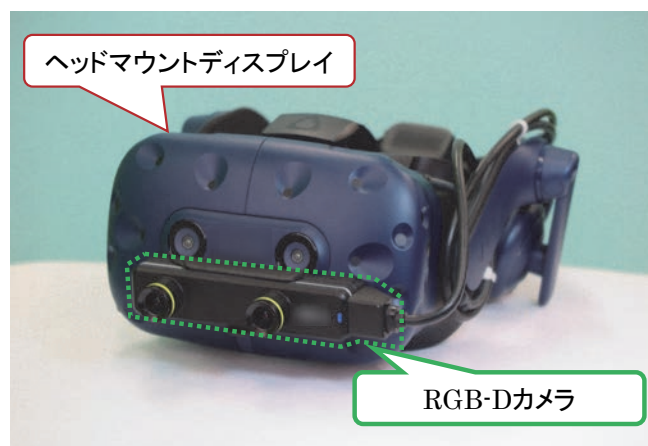


図 1 AVR[®] ヘッドマウントディスプレイ

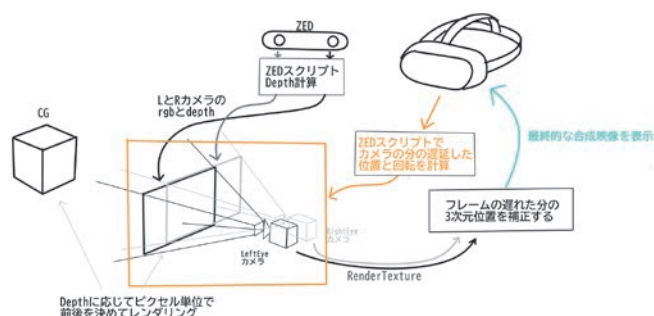


図 2 AVR[®] システム構成

* 和歌山大学



図3 AVR®システム体験状況

- ① 一般的に人間の視線は下側にある。そこで、RGB-D カメラを水平から10数°傾けることにより、人間の視野と同等な環境を再現した。
- ② RGB-D カメラは測定対象物との距離を測定することが可能で、距離に応じた必要な対象物のみが見える。

AVR®のシステムを図1、図2、およびシステム体験状況を図3に示す。

2.2 高電圧電力ケーブル接続教育への適用

高電圧電力ケーブル接続の教育は、現場での作業経験を通じ技能を育成するOJT (On the Job Training) が主流で、技能習得には3～5年程必要としていた。そこで、仮想空間内で訓練ができるAVR®プログラムを導入することで、短期間でかつ容易に技能の取得を可能とした。本システムは以下の特長がある。

- ① 現場に出向くことなく、仮想空間内で繰り返し施工の体験ができる
- ② 訓練資材や工具が仮想空間内に持ち込める
- ③ 動画マニュアルの表示が可能で、手順・方法などを容易に理解することができる
- ④ 重要な工程は設問が表示され、回答正解率から習熟度を把握することができる
- ⑤ 現場作業を行う前に一連の作業概要を理解できる

図4に現場での高電圧ケーブルの接続作業例、図5にAVR®プログラムの導入状況を示す。



図4 高電圧ケーブルの現場での作業

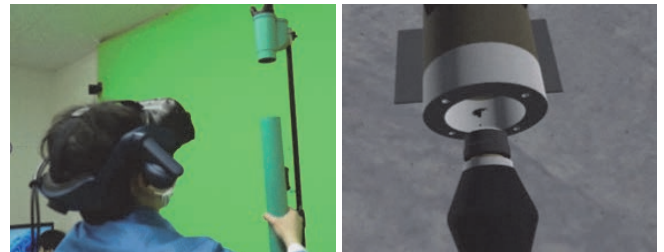


図5 AVR®プログラム



図6 ADTPS™の立体データ化システム構成

3. ADTPS™システム

3.1 ADTPS™とは

ADTPS™とは、AVR®にボリュメトリック技術による立体データを組み込むことで、過去および現在の離れた空間にトランスポートして自由な位置、視点で空間を確認できるシステムである¹⁾。

一般的なボリュメトリック技術は空間を立体データ化し、自由な視点で見ることができる技術として、すでにスポーツ観戦等に活用されている。しかし、この場合、大量の映像データを得るため100台規模のカメラが必要となっ

ている。

今回ADTPS™に導入したボリュメトリック技術は、数台(3台)のRGB-Dカメラで空間を立体データ化することを実現した。

図6にADTPS™システム構成を示す。図7にADTPS™システムの概要、図8に立体データ化の手法²⁾を示す。

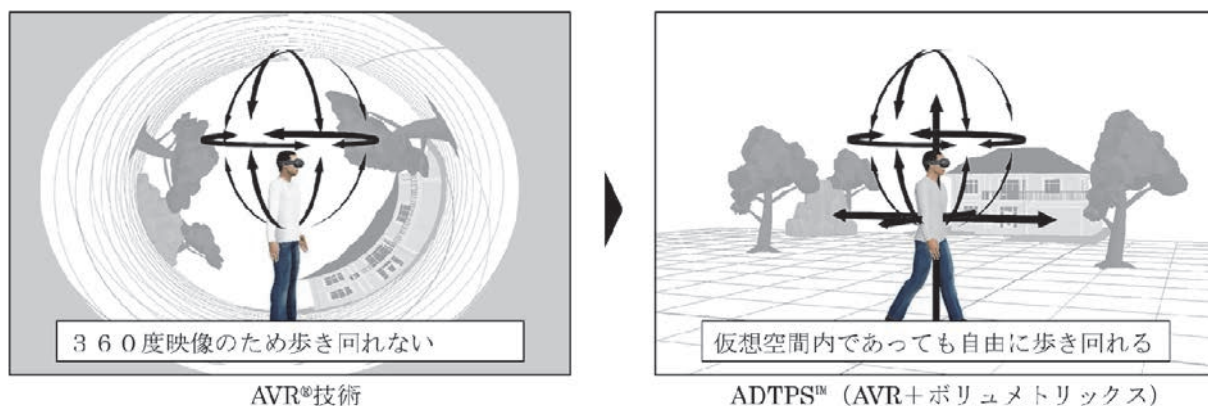


図7 ADTPS™システムの概要

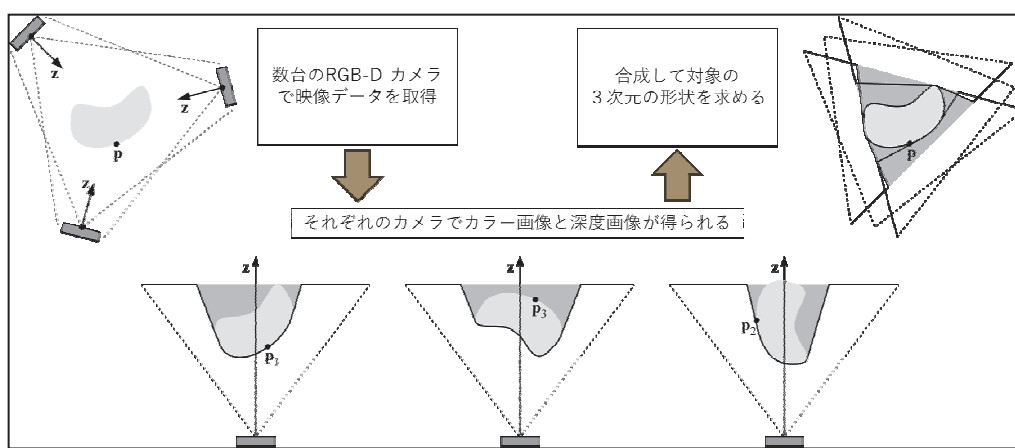


図8 立体データ化の手法

3.2 高電圧電力ケーブル工事現場への適用

高電圧電力ケーブルの工事現場に ADTPS™ システムを導入することにより、離れた場所からの現場空間へのトランスポートーションを実現した。

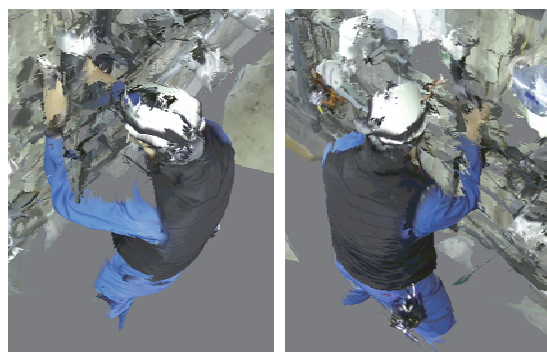
図9に現場でのカメラの配置状況、図10に同じ時刻で異なる視点から見た画像を示す。

本システムは以下の特長を有する。

- ① 数台のカメラで構成できるため設置が容易である
- ② 専用の治具でカメラ位置の校正を容易にした
- ③ カメラ数台によるデータ転送のためリアルタイムでの処理ができる
- ④ カメラ設置ができれば、狭隘および危険な空間の立体データの画像を共有できる
- ⑤ 空間を自由に移動し、あらゆる視点で現場確認ができる
- ⑥ 立体データ化を保存することで、過去の作業等を確認することができる。
- ⑦ 測定機器を仮想空間内に持ち込めるため、現場の寸法測定ができる



図9 現場でのカメラの設置状況



真上から見た様子

右側に回り込み、上から見た様子

図10 異なる視点から見た画像

4. ま と め

AVR®, ADTPS™ は、高電圧電力ケーブルの工事における技能の継承、労働災害の撲滅、業務の効率化などの課題に対応できるシステムであることを確認した。今後、高電圧電力ケーブルの工事以外にも、適用範囲を広げていく。

※ AVR は SWCC 株式会社の登録商標です。

※ ADTPS は SWCC 株式会社の商標です。

謝 辞

ADTPS™ システムの開発にあたり国立大学法人 和歌山大学床井准教授には、終始適切なお指導を賜りました。ここに深謝の意を表します

参 考 文 献

- 1) 角田 寧 他, “ADTPS 技術を用いた遠隔・複合 3 次元空間のリアルタイム自由視点観測システム,” 第 25 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024), 2024.
- 2) 森正樹, 床井浩平, “深度センサを用いて再構成した全周形状の立体視 HMD による観測 (現実世界と融合する立体映像および立体映像技術一般).” 映像情報メディア学会技術報告 38.24. 一般社団法人 映像情報メディア学会, 2014.

SWCC (株)
角田 寧 (つのだ にん)
Smart Stream 事業推進室 第 1 グループ
AVR®・ADTPS™技術の開発に従事

SWCC (株)
山口 聡 (やまぐち さとし)
Smart Stream 事業推進室
AVR®・ADTPS™技術の開発に従事

SWCC (株)
金 悠樹 (こん ゆうき)
Smart Stream 事業推進室 第 1 グループ
Smart Stream 事業の推進業務に従事

SWCC (株)
中山 雄裕 (なかやま ゆうすけ)
Smart Stream 事業推進室 第 1 グループ長
Smart Stream 事業の推進業務に従事

SWCC (株)
松井 俊哉 (まつい としや)
Smart Stream 事業推進室長
Smart Stream 事業の推進業務に従事

和歌山大学
床井 浩平 (とこい こうへい)
システム工学部
准教授
ボリュメトリック技術の研究・開発に従事

高強度・高導電率銅銀合金極細線材の開発

Development of High Strength and High Conductivity Ultra-Fine Copper-Silver Alloy Wires

小 泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

新 井 龍 一
Ryuichi ARAI

大 達 剛
Go ODACHI

三 浦 聖
Kiyoshi MIURA

私達は高強度・高導電率である極細銅銀合金線材の開発を行った。その結果、組成や加工途中の中間熱処理条件を最適化することで、加工性を向上し、銀含有率 24 wt% において、引張強度 2,000 MPa を持つ極細銅銀合金線材を得ることが出来た。今回得られた線材は、小型化が進む電子機器などの配線などに使用される。

We have developed ultra-fine copper-silver alloy wires with high strength and high conductivity. By optimizing the composition and intermediate heat-treatment conditions during the wire drawing process, we improved workability and achieved ultra-fine copper-silver alloy wires with a tensile strength of 2,000 MPa of silver contents of 24 wt%. This wire can be used for wiring in electronic devices and other applications where miniaturization is progressing.

1. は じ め に

近年、電子機器の小型化が進み、使用される各種部品も極小化が進められている。それに伴い配線にも細径化が求められるが、特性として細径化前と同様な強度や動作電流が求められている。このような要求に応えるため合金化が必要になるが、強度と導電率にはトレードオフの関係があり、高強度と高導電率化を同時に実現することは非常に困難なことであり課題となっている。

図 1 に主な商用合金線の特性を示す。ほとんどの合金において、高強度化ならびに高導電率化を同時に満たされることはないが、銅銀合金については高強度化ならびに高導電率化を同時に満たす可能性があることが分かる。これまで我々は銅銀合金線材の開発に着手し、動作時に非常に大きな応力が線材に印加される強磁場マグネット用の平角線材²⁾、常に大きな屈曲応力が印加される車載シートヒーター用の極細燃線線材などを開発してきた。また、銅銀合金は加工性にも優れ、図 1 及び表 1 に示すように直径約 0.010 mm の極細線化に成功している¹⁾。しかしながら、上述の通り極細線にも機械特性、特に線材強度の向上が求められるようになっており、それら要求を満たすことで配線、配策性の向上や耐久性の向上に貢献し銅銀合金線材の用途が広がる。

本開発においては、細線化前の引張荷重及び通電容量を保持するため、引張強さ 2,000 MPa、導電率 45%IACS 以上を目標とした。

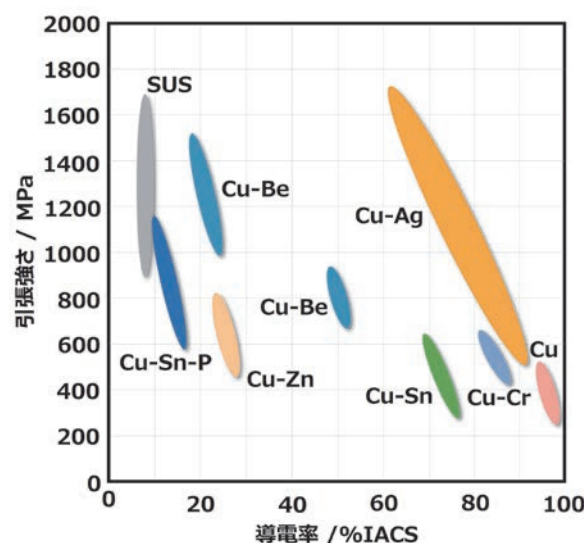


図 1 主な商用銅合金線の特性¹⁾

表 1 極細銅銀合金線の特性¹⁾

項目	特性
合金種類	銅銀合金 (Cu-Ag)
線径	0.0097 mm
引張強さ	> 1,600 MPa
導電率	> 60 %IACS

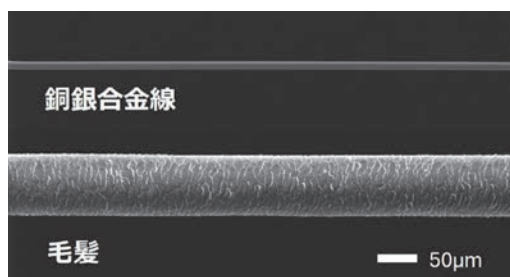
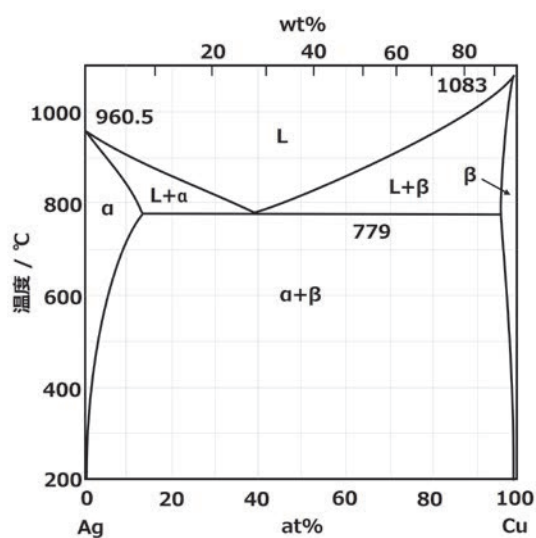


図2 極細銅銀合金線

2. 実験

現在我々が開発中の銅銀合金線材は、連続铸造の後、伸線加工と熱処理を組合せることにより、強度が向上することが報告^{2) 3)}されており、その高強度・高導電率メカニズムを基に極細線の開発を進めて来た。熱処理の役割として、铸造後の銀の偏析防止のための均質化处理、線材強度ならびに導電率向上のための、銅基固溶相(β相)から銀相を析出させるための析出処理があり、最終の線材特性を決定させる重要な条件である。これら条件については、図3に示す平衡状態図を考慮し、銀濃度、熱処理を施す加工度、加工限界を向上させるための処理条件について検討を行った。

図3 銀銅合金の平衡状態図⁴⁾ (大気圧)

銅銀合金は、無酸素銅をベースとし、所定の質量分率で銀を混合し、均一溶解の後、連続铸造法により、直径φ8～15 mmの丸形状の棒材を作製した。その後、伸線加工ならびに熱処理を組合せ、細線化したものを試料とした。

銅銀合金組成は、銅に対し銀を質量分率10～25%の範囲とした。

今回、加工度を基準とした加工を実施しており、式1に示す式により加工度を定義した。

$$\text{加工度}(\eta) = \ln(A_0/A) \quad (\text{式1})$$

A_0 : 加工前の線材断面積

A : 加工後の線材断面積

引張強さの測定は、インストロン型引張試験機により、標点間距離100 mm、試験速度10 mm/minにて実施した。

導電率は、室温20℃にてダブルブリッジ法を用いて、電圧端子間距離300～500 mmにて抵抗値を測定し、導電率(%IACS)に換算した。

3. 結果と考察

3-1 細線加工結果

銀の含有率が15 wt%になるように銅と銀を混合し、溶融の後、連続铸造により丸棒形状の元材を作製した。その後、均質化处理を施した。この時点での加工度を0とし、減面率10～20%にて伸線加工を施し、加工度が3に達した時点で、熱処理(中間熱処理)を施した。中間熱処理は加工度0と同様な引張強さとなるよう、370℃で40時間、減圧窒素下にて行った。その後、所定の径まで伸線加工を施し、細線化を行った。

図4にAg15 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示すように、引張強さは中間熱処理前後ともに、加工度の増加に伴い直線的に向上することが分かる。しかしながら、総加工度11の時点で加工限界に達し、これ以上加工度を増加させるに至らなかった。また、この時点での引張強さは、1,600 MPaであり、目標の引張強さには至らず、さらなる引張強さの向上が必要となる。

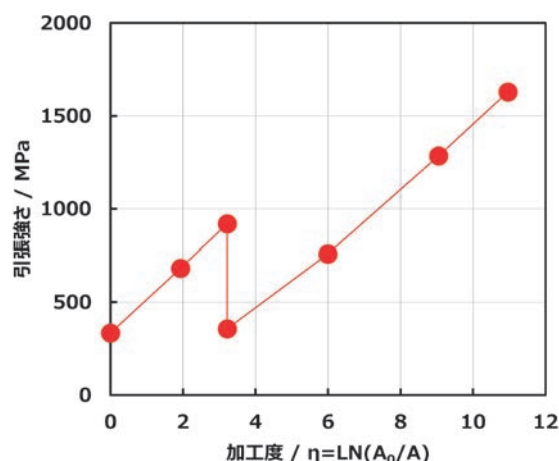


図4 Ag15 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

そこで、引張強さの向上に必要なファクターとして、銀濃度、熱処理条件、加工度が挙げられ、各々最適化を進める必要がある。

3-2 細線化と引張強さの向上

前項において、引張強さの値が目標値に至らなかったため、銀の含有率を24 wt%に増加させることで目標達成を試みた。尚、これ以上の銀の含有率増加は、導電率が目標

の45%IACSを下回る可能性があるため、今回の含有率とした。また、表2に示す条件にて中間熱処理を実施し、各々を比較した。元材鑄造ならびに伸線加工方法については、前項と同様とした。

表2 中間熱処理条件

No.	Ag wt%	熱処理温度 (°C)	熱処理加工度
Ref.	15	370	3
1	24	370	3
2	24	450	3
3	24	450	2

* 保持時間:40 時間, 雰囲気: 減圧窒素下

図5にAg24 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示したように、すべての中間熱処理条件にて、前項と同様の総加工度11まで加工可能であった。しかしながら、No.2の加工度3にて中間熱処理を450°Cで施した線材については、引張強さがAg15 wt%線材よりも低下していることが分かる。本現象については、線材に加えられた熱量が大きいことで、焼鈍が進んだと考えられる。

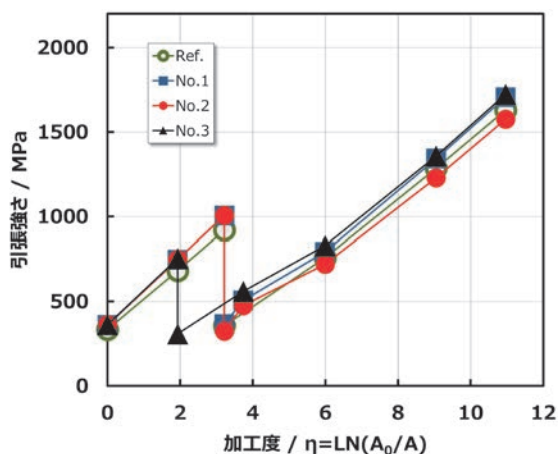


図5 Ag24 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

図6にAg24 wt%線材の加工度と導電率の関係を示す。図に示すように、各線材ともに、総加工度11において、50%IACSを超える導電率が得られていることが分かる。また、No.2の加工度3にて中間熱処理を450°Cで施した線材の導電率が他の線材よりも高いことから、中間熱処理により焼鈍が進んだものと考えられる。

本線材についても現段階では引張強さの目標に届いていないため、さらに加工を加えることとした。Ag15 wt%線材においては、前項で述べた通り、総加工度11が加工限界であった。

以降の伸線加工については、熱処理は施さず、減面率10～20%にて伸線加工を行った。

図7に加工度向上に伴うAg24 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示したように、加工度11の時点で引張強さが高いNo.1及びNo.3の条件にて中間熱処理を施した線材については、加工度12以降で引張強さは向上

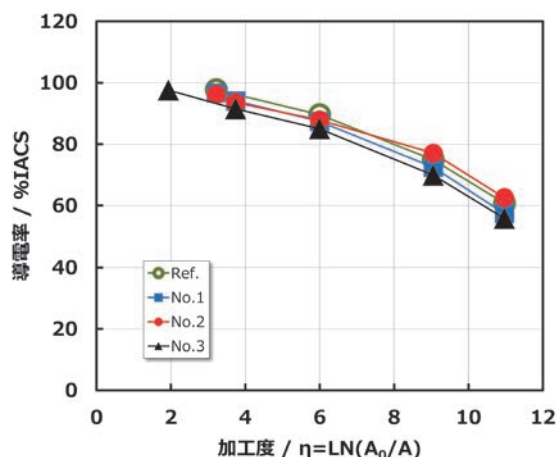


図6 Ag24 wt% 線材の加工度と導電率の関係

せず、加工限界を迎えたと考えられる。しかしながら、中間熱処理条件No.2において熱処理を施した線材については、加工度12以降においても、引張強さの向上が確認された。本実験においては、加工度14以上の加工性が確認され、その際の引張強さは2,000 MPaを超えるものとなった。

本実験結果より、銀濃度を増加させることにより、中間熱処理条件を最適化することにより、引張強さだけではなく、加工性の向上にも寄与することが確認された。

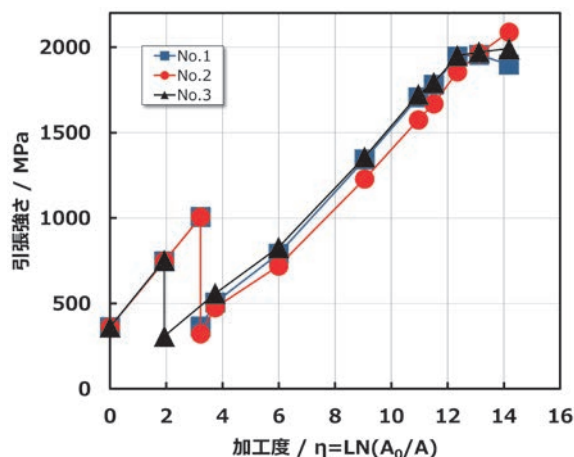


図7 加工度向上に伴うAg24 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

4. まとめ

極細銅銀合金線材の、高強度・高導電率化を目標に開発を進めてきた。今回の実験結果から、組成及び中間熱処理条件を最適化することで、加工性が向上し、高強度な極細線を作製するに至った。また、導電率については著しい低下は見られず高強度でありながら高導電率を実現した。

また、今回の検討では、銀含有率24 wt%において、引張強度2,000 MPaが得られ、検討開始時に目標とした特性に達することが出来た。

今後もさらなる高強度・高導電率という線材特性の向上を目指していくが、今回得られた強度に関する結果と金属組織とを関連付け、金属組織を制御する方向からも特性向上にアプローチしていく。

参考文献

- 1) 銅合金極細線，昭和電線レビュー，vol.67, No.1, p.47 (2021)
- 2) 坂井義和 他：高強度・高導電率銅合金の開発とその応用，昭和電線レビュー，vol.48, No.2, p.140-144 (1994)
- 3) 坂井義和 他：高強度・高導電性 Cu-Ag 合金の開発，日本金属学会誌，vol.55, No.12, p.1382-1392 (1991)
- 4) 金属データブック 改訂 2 版，丸善，p417 (1984)

SWCC (株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
モビリティ開発センター 開発 2G 長
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
新井 龍一 (あらい りゅういち)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
大達 剛 (おおだち ごう)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
三浦 聖 (みうら きよし)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事

天然ゴム系積層ゴムの加振速度が製品性能に与える影響の検証

Test to Confirm the Effect of Loading Velocity on Product Performance of Natural Rubber Bearing

三 須 基 規
Motoki MISU

土 屋 諒 恭
Ryosuke TSUCHIYA

清 水 美 雪
Miyuki SHIMIZU

高 山 峯 夫 *
Mineo TAKAYAMA

森 田 慶 子 *
Keiko MORITA

天然ゴム系積層ゴムは減衰が小さい材料を用いており、試験機容量の制約もあったため、これまで地震動より遅い変形速度（静的加振）で限界変形性能を確認していた。そこで、地震動に近い変形速度（動的加振）で大サイズ製品の水平剛性や限界変形を測定した結果、加振速度が天然ゴム系積層ゴムの製品性能に与える影響は小さいことを確認した。したがって静的加振による過去の検証方法は妥当であった。

Due to the low damping material properties and the limited capacity of test machines, the critical deformation performance of natural rubber bearing had been conducted mainly by static loading, which had slower velocity than seismic motions. This dynamic loading test showed that the effect of loading velocity on the product performance was small, and the past verification by static loading tests were considered valid.

1. は じ め に

免震構造用積層ゴムは、大きな鉛直荷重を支持しながら水平方向に大変形して建物を地震動から守る製品である。そのため製品性能の検証には、鉛直荷重と水平変形を同時に加振できる圧縮せん断試験機を用いる必要がある。

天然ゴムは減衰特性が小さいので、変形速度による特性の変化（速度依存性）も小さい。そのため、これまで天然ゴム系積層ゴムの限界変形等は、主に静的加振と呼ばれる地震動より遅い速度で確認していた¹⁾。地震動に近い速度の動的加振で製品性能を測定する際は、試験機の制約から直径φ 300 mm等の小さい製品を用いており²⁾、大サイズの積層ゴムを動的加振する場合は、海外の試験機関を使う必要があった³⁾。

2023年に大サイズの積層ゴムを動的加振できる試験機E-Isolationが⁴⁾、一般財団法人免震研究推進機構によって兵庫県三木市に整備された⁴⁾。そこで直径φ 1000 mmの天然ゴム系積層ゴムを複数用意して、加振速度が製品性能に与える影響を比較した⁵⁾。

2. 試 験 方 法

2.1 試験機

E-Isolationの建物外観と、反力梁と加振台間に試験体を取り付けた状態を図1、当社35 MN試験機との比較を表1に示す。加振台がリニアガイド上を水平に摺動して、試験



(a) 建物外観

(b) 試験体の取付け状態

図1 免震試験機 E-Isolation

表1 試験機の概要

		鉛直方向		水平方向		
		最大 荷重 [kN]	最大 速度 [mm/s]	最大 荷重 [kN]	最大 変位 [mm]	最大 速度 [mm/s]
当社 35MN 試験機	静的	35,000	2	8,000	± 800	5
	動的	30,000	70	6,500	± 1,300	800

* 福岡大学

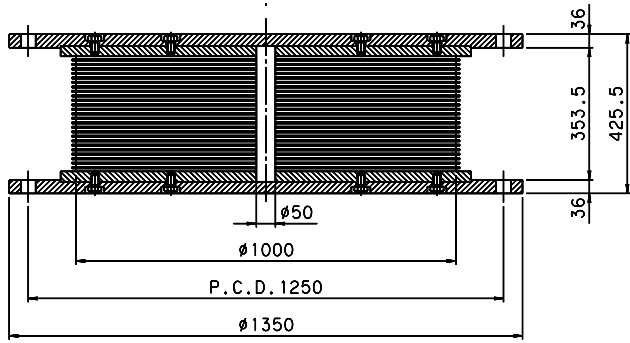


図2 試験体の形状

表2 試験体の仕様

ゴム材料	形状			出荷検査の加振条件		
	せん断 弾性率 [N/mm ²]	直径 × 厚さ [mm]	層数	形状 係数	基準面圧 [N/mm ²]	せん断 ひずみ γ 加振 速度 [mm/s]
0.39		φ1000 × 7.5	26	S ₁ =31.7 S ₂ = 5.1	15	±100% (せん断変形 = ±195mm) 5 三角波

体の下から圧縮せん断変形を与える構造である。水平荷重はアクチュエータ側のロードセルではなく反力梁から直接測定する。そのため慣性力やリニアガイドの摩擦力の影響を受けずに水平荷重を測定できる。

2.2 試験体

試験体の形状を図2、仕様を表2に示す。数量は2体として、名称は試験体S、試験体Dとした。

2.3 加振条件

加振条件の概略を表3に示す。試験体に2体とも同様の圧縮せん断変形を与えた後、せん断ひずみ±400%加振のみ加振速度と加振波形を変えて、両者を比較した。

正弦波加振は開始直後と終了直前に速度が最大になる。そこで所定のサイクルの前後に、プレラン及びポストランと呼ばれる予備加振を実施した。そのため最初に目標変位へ到達するのは、図3のとおり三角波加振は水平荷重と水平変位が正（水平荷重－変位関係の第1象限）の時、正弦波加振時は水平荷重と水平変位が負（第3象限）の時となる。

なお表3に記載した以外にも、E-Isolationの動作確認等により、弾性変形範囲を中心に複数回の加振を実施した。そのため順序1と同じ加振条件を、順序3、順序8～9、順序12として、初期状態からの変化を確認しながら測定した。試験体Dの試験は2日間に跨ったので、順序8の後に試験機へ取り付けたままの状態で鉛直荷重を除荷して1日目を終えた。2日目は最初に順序9を実施して、時間経過が後述する水平剛性に与える影響を確認した。ただしE-Isolationは、振動数と振幅を組み合わせで加振速度を制御するので、水平剛性測定時の加振速度は表2の出荷検査(5 mm/s)に最も近い4.7 mm/sとした。他の加振速度は、過去の試験結果と同様の3 mm/sや400 mm/s等として、後者を動的加振の基本条件とした。

水平剛性算出方法を図4に示す。せん断ひずみ±100%加振の3サイクル目の荷重と変位の最大・最小値の傾き（割線剛性）を、当社補正式で20℃値に換算した。試験温度は試験体付近の気温21～26℃ではなく、試験体付近に置いたゴムブロックの内部温度22～26℃とした。

試験機と試験体の相対位置を測るレーザー変位計と圧縮せん断変形状態を図5に示す。相対位置を測定したのは、もし加振中に試験機と試験体の間でスリップが発生しても、後から水平変位を補正できるようにするためである。

表3 加振条件の概略

順序	加振条件					試験体		水平剛性の 算出対象
	鉛直 面圧 [N/mm ²]	波形	せん断 ひずみ γ [%]	加振 速度 [mm/s]	サイ クル	S	D	
1	15	三角波	±100	4.7	3	実施	実施	初回
2		正弦波	±100 以下の 複数条件	400 以下の 複数条件		実施	実施	
3		三角波	±100	4.7		—※	実施	γ ±100%後
4		正弦波	±100	400 周期3秒		実施	実施	
5			±200	400等		実施	実施	
6			±250	400		実施	実施	
7				400等	1	実施	実施	
8	15	三角波	±100	4.7	3	実施	実施	γ ±250%後
9						—※	実施	γ ±250%後 約20hr経過
10		正弦波	±300	400	1	実施	実施	
11	30～3		±360	800		実施	実施	
12	15	三角波	±100	4.7	3	実施	実施	γ ±360%後
13		三角波	±400	3	1	実施	—※	
14		正弦波	±400	400	1	—※	実施	

※ 計画外または日程の都合等で試験を実施せず

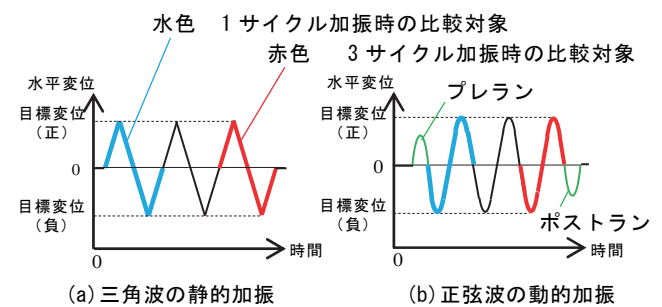


図3 水平変位波形と比較対象サイクル

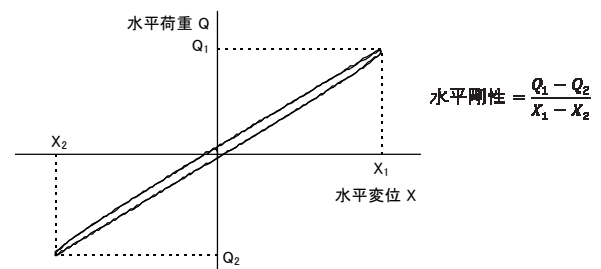


図4 水平剛性の算出方法

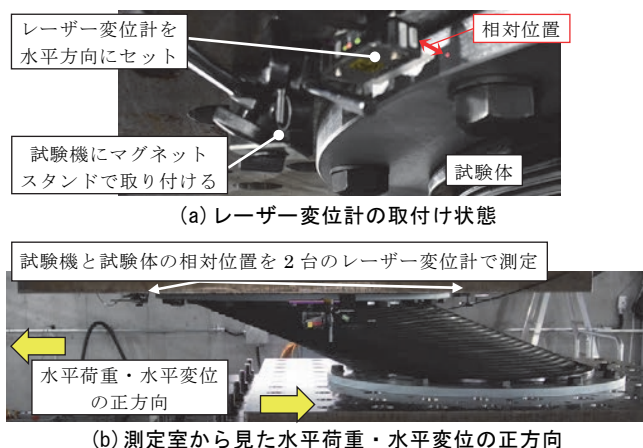


図5 圧縮せん断変形状態

2 台のレーザー変位計を水平方向に向かい合わせて取り付けただけで、片方の相対位置が増加すると、もう片方は減少する。

3. 試験結果

出荷検査相当の加振条件の水平荷重－変位関係を図 6、水平剛性測定値を表 4 に示す。いずれの試験体も基準値に対する差は小さく、試験体 D の順序 1 と 3 の水平荷重－変位関係は殆ど重なったので後者を例示した。

その他の水平荷重－変位関係を図 7～図 9 に例示する。図 7 (a) で、同じ加振条件の順序 1 より順序 12 の水平荷重が小さくなった。このようにせん断ひずみ $\pm 250\%$ 以上の変形を与えた後の水平荷重は若干低下した。また図 8 のように、同じせん断ひずみでも面圧が大きいと水平荷重が非線形に増加（ハードニング）した。これらは過去の静的

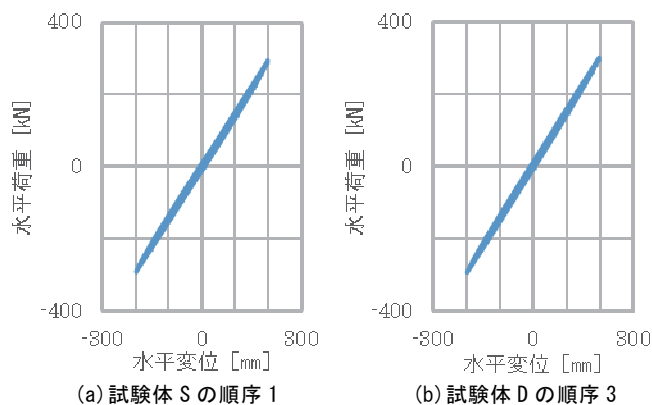


図 6 出荷検査相当加振条件の水平荷重－変位関係例
(面圧 15 N/mm^2 ，せん断ひずみ $\gamma \pm 100\%$ ，三角波 4.7 mm/s ，3 サイクル目)

表 4 水平剛性測定結果 (括弧内は対基準値)

温度 [°C]	水平剛性 [kN/mm]		
	基準値	測定値 20°C 補正	
		試験体 S	試験体 D
約 23	1.575	1.523 (-3%)	1.496 (-5%)

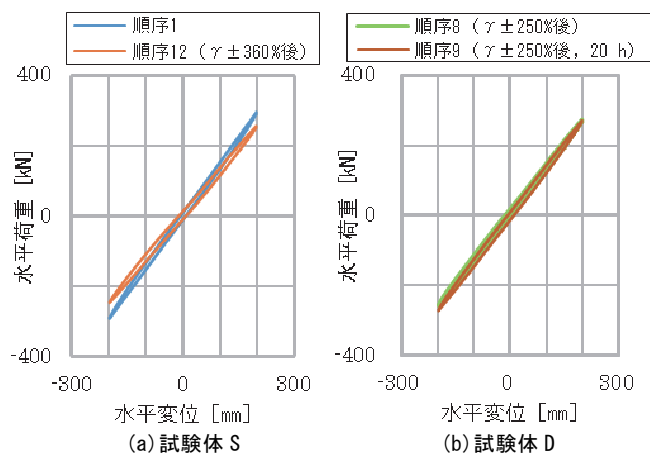


図 7 大変形を与えた前後の水平荷重－変位関係の比較例
(面圧 15 N/mm^2 ，せん断ひずみ $\gamma \pm 100\%$ ，三角波 4.7 mm/s ，3 サイクル目)

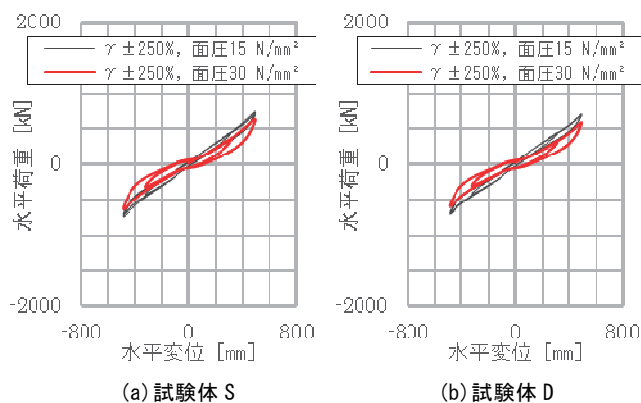


図 8 面圧変量時の水平荷重－変位関係の比較
(順序 6 と 7: せん断ひずみ $\gamma \pm 250\%$ ，予備加振を含む正弦波 400 mm/s)

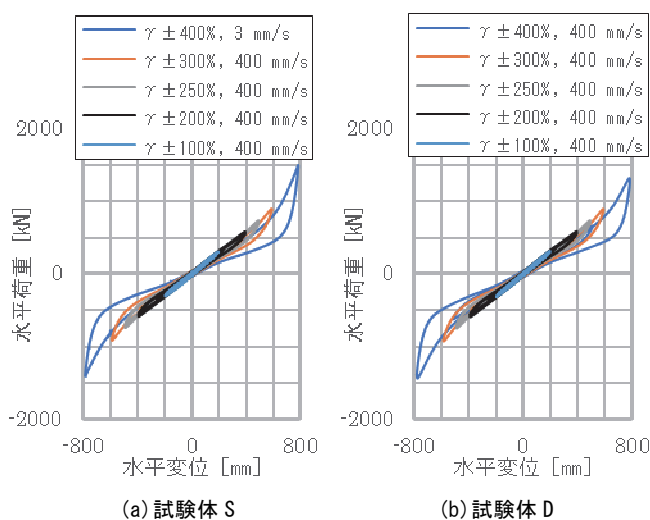


図 9 せん断ひずみ変量時の水平荷重－変位関係の比較
(面圧 15 N/mm^2 ，せん断ひずみ $\gamma \pm 100 \sim 400\%$ ，予備加振を含む正弦波 400 mm/s とせん断ひずみ $\gamma \pm 400\%$ ，三角波 3 mm/s)

加振結果⁶⁾と同様であった。せん断ひずみ $\pm 400\%$ 加振時の水平荷重は三角波 3 mm/s で水平変位 +800 mm 付近(第1象限)、正弦波 400 mm/s では水平変位 -800 mm 付近(第3象限)で最大になった。

ここで試験機と試験体 S の相対位置を図 10 に例示する。ゼロ調整は最初の順序 1 の前のみ実施したため、最後の順序 14 では原点から約 0.5 mm の位置を中心に、加振に応じた変動をした。試験中の異音や試験後の試験体外観にスリップ痕は無かったので、レーザー変位計のマグネットスタンドが加振によって僅かな弾性変形や残留変形を起こした可能性がある。

この相対位置の変化は 1 mm 未満で、試験結果に与える影響は小さい。そのため水平変位は補正せず試験機検出値をそのまま採用した。

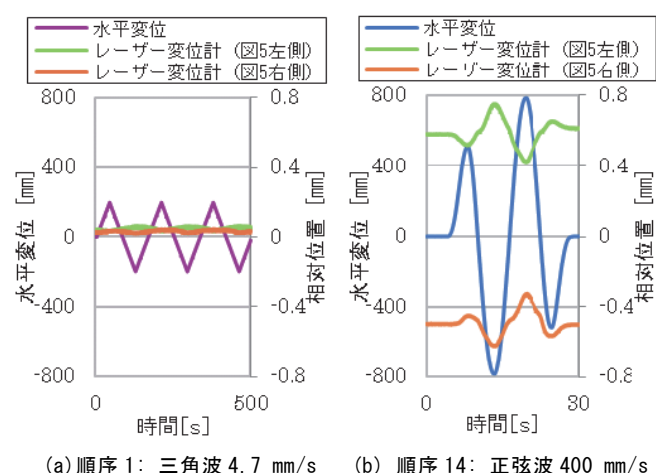


図 10 試験機と試験体 D の相対位置

4. 考 察

三角波加振と正弦波加振で最初にせん断ひずみ $\pm 400\%$ に到達した時のせん断応力を図 11 に示す。正弦波加振は 2.3 節のとおり、応力とひずみの正負を反転させたものである。三角波加振は目標変位まで一定の速度を維持するが、

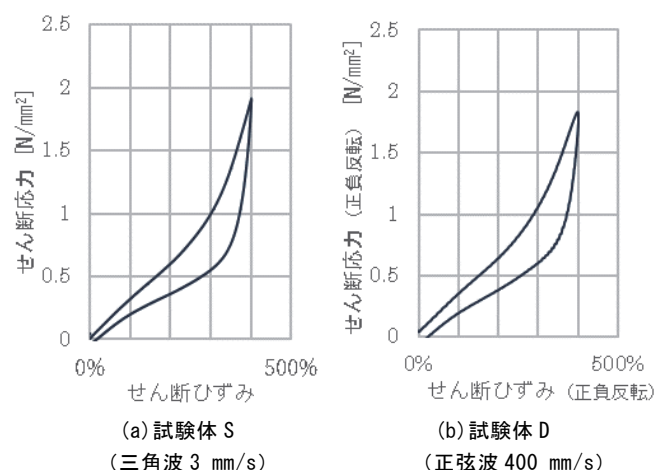


図 11 せん断ひずみ $\gamma \pm 400\%$ 加振時のせん断応力

正弦波加振は変位原点で速度が最大になった後、目標変位に向かって減速する。これらの相違点があるものの、加振速度や加振波形が、天然ゴム系積層ゴムの大変形時の挙動に与える影響は小さいと考えられる。

水平剛性の基準値に対する変化を図 12 に示す。こちらも過去の静的加振結果⁶⁾と同様に、せん断ひずみ $\pm 250\%$ 以上の変形後に水平剛性が低下して、翌日になってからもほぼ変わらなかった。この変化は基準値に対して -20% 以内に留まった。

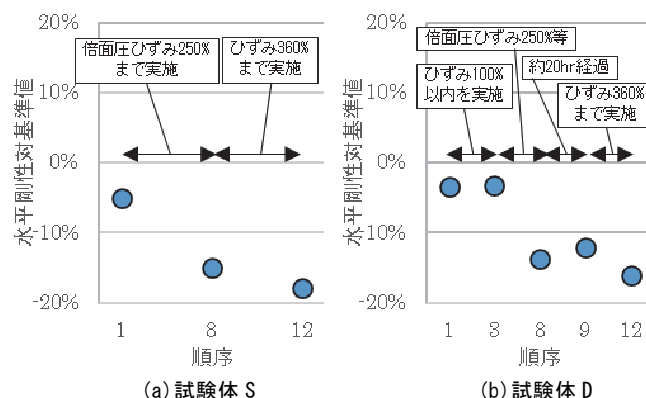


図 12 水平剛性対基準値の変化

5. ま と め

2 体の天然ゴム系積層ゴム $\phi 1000$ mm で動的加振時と静的加振時の限界変形性能等を比較した結果、加振速度による影響は小さいことを確認した。したがって従来の静的加振で製品性能を確認する方法は妥当と考える。

また大変形を与えた後に、静的加振時と同様に水平剛性は若干低下する傾向が確認された。今後も社内外でデータを増やして、これらの検証を継続する予定である。

謝 辞

一般財団法人 免震研究推進機構と、元 SWCC (株) 加藤直樹氏には多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 免震構造設計指針 (第 4 版), pp. 275-277, (2013)
- 2) 足立拓朗, 他: TMD に用いる天然ゴム系積層ゴムの繰返し加振試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 857-858 (2017)
- 3) NISHI T., et al.: International investigation of shear displacement capacity of various elastomeric seismic-protection isolators for buildings, Journal of Rubber Research, Vol. 22, 33-41 (2019)
- 4) 和田章, 他: 高鉛直荷重下の水平荷重測定において摩擦力と慣性力から解放された実大動的免震実験装置の開発と実現 (その 1 ~ 17), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 497-530 (2023)
- 5) 三須基規, 他: 天然ゴム系積層ゴムの加振速度が限界変形等に与える影響の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 751-752 (2024)

- 6) 永井正弘, 他: 天然ゴム系積層ゴムの性能に関する実験的研究 (その4~5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.523-526 (1997)

SWCC (株)
三須 基規 (みす もとき)
免震制振部 技術課
免震制振製品の設計・開発に従事

SWCC (株)
土屋 諒恭 (つちや りょうすけ)
免震制振部 技術課
免震制振製品の設計・開発に従事

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

福岡大学
高山 峯夫 (たかやま みねお)
工学部 建築学科
教授
工学博士

福岡大学
森田 慶子 (もりた けいこ)
工学部 建築学科
助教
博士 (工学)

電動推進航空機向け 樹脂コルゲートを用いた超電導ケーブルの開発

Development of Superconducting Cable using Resin Corrugated Tube for electrically propulsion Aircraft

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

著者らは電動推進航空機向けの超電導ケーブルの開発を行っており、この超電導ケーブルには所定の重量目標と通電性能が求められている。事前に開発／試験を実施した超電導ケーブルは、金属製コルゲート管を用いていたことにより、所定の重量目標に至らなかった。重量目標に対する対策として、ケーブル内で大きな割合を占めるコルゲート管に着目し、コルゲート管の樹脂化を試みた。今回、樹脂製コルゲート管が液体窒素浸漬下においても使用が可能で、軽量化に有効であることを確認した。また、今回作製した積層導体では三相通電試験においても目標値を達成することが確認された。

We have been developing the superconducting cable for an electrically propulsion aircraft that is required to have a specified weight target and current-carrying performance. The superconducting cable developed and tested in advance failed to meet the prescribed weight target owing to the use of metallic corrugated tubes. As a countermeasure to the weight target, we focused on the corrugated tube, which accounts for a large proportion of the cable, and attempted to convert it to resin. In this study, we confirmed that corrugated resin tubing can be used under liquid nitrogen immersion and is effective for weight reduction. In addition, it was confirmed that the target values were achieved in a three-phase current-carrying test of the laminated conductor fabricated in this study.

1. は じ め に

近年世界的に地球温暖化に対する取り組みとして、温室効果ガスの排出量を実質ゼロとするカーボンニュートラルへの取り組みが注目を浴びている。航空機業界においても同様で、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、二酸化炭素（CO₂）排出量を2050年までに実質ゼロにする目標を掲げている^{1), 2)}。

旅客機の需要は増加傾向にあり、2021年に比べて20年

後には倍増となることが予想されている³⁾。この需要の増加に対してCO₂排出量を削減の方法として、既存技術の改善や、次世代技術としてのバイオ燃料などが注目されている。しかし、CO₂排出量を実質ゼロにするためには更なる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電動航空機推進システムがある^{4), 5)}。

SWCC(株)では、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization : NEDO）から委託を受け、2019-2023年度「航空機用先進システム実用化プロジェクト／次世代電導推進システム研究開発」に参画した。さらに2024-2026年度「航空機向け革新的推進システム開発事業」に参画している。このプロジェクトにおいて発電機、モーター、ケーブルのすべてに超電導技術を使

* 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

** 九州大学

用した電動航空機推進システムを提案している⁶⁾。その中でSWCC(株)の開発項目の担当の一つに超電導ケーブル開発が挙げられる。この超電導ケーブルにおける主たる開発目標としては重量目標として1.0 kg/kA/m以下、通電特性として三相交流通電での運転電流(I_{op} (operation current))値1110 A_{rms}通電が求められている。先行研究として、SWCC(株)の愛知工場において20 mの線材積層型超電導ケーブルを製作し、通電試験を実施した⁶⁾。その際に作製した超電導ケーブルの重量は1.45 kg/kA/mであった。この超電導ケーブル⁶⁾において大きな割合を占める金属コルゲート管部分に着目し、コルゲート管材料の樹脂化により、超電導ケーブル全体としての劇的な軽量化を図ることを本研究の目的とした。そこで、本レビューでは新しく開発した樹脂コルゲート管を用い15 m級三相一括構造の線材積層型超電導ケーブルを作製し、液体窒素冷却時の通電試験を実施した結果について報告する。

2. 樹脂コルゲートを用いた超電導ケーブル開発

2.1 超電導ケーブルの構造

超電導ケーブルに使用した超電導線材は、有機酸塩塗布熱分解法(Trifluoroacetates Metal Organic Deposition : TFA-MOD法)によりSWCC(株)で作製された $Y_{0.77}Gd_{0.23}Ba_2Cu_3O_y + BaZrO_3$ 線材である⁷⁾。

航空機の翼の長さからケーブル長は15 mとし、0.2 mmの絶縁紙を各相の積層導体に巻き付けた⁶⁾。1 kVの相間電圧に耐えうるために、相間にスペーサーを設けた。

直流通電の臨界電流(critical current : I_c)値を交流通電時の波高値と定義し、 I_{op} 値は I_c 値の実効値換算とすると、プロジェクト目標として $I_c=1570$ A以上が求められる。さらに自己磁場を考慮すると最大で素線 I_c 値の30%の低下が考えられるため⁸⁾、2240 A以上の素線 I_c 値の総和が必要となる。この値に25%以上の安全率を考慮し、本超電導ケーブルの直流での I_c 値の仕様値を3 kAとした。このことから積層する超電導線材の積層枚数を30枚とした。

この超電導ケーブルの概略構造を図1に示す。今回、コルゲート管の二重管構造を採用した。内管部分は液体窒素の流路となり、内部の積層導体三相分を冷却する。内管と外管の間の部分は真空断熱層を形成する。本開発品では、この内管、外管のコルゲート管を樹脂化することで大幅な軽量化を図った。

2.2 樹脂コルゲート管を用いた超電導ケーブル試作

スーパーエンジニアリングプラスチックの一種であるポリフェニルスルホン(PolyPhenylSulfone : PPSU)を用いたコルゲート管を作製した。コルゲート管は内管(内径21 mm ϕ)および外管(内径35 mm ϕ)の2種類を作製した。内管ならびに外管コルゲート管の概略図と寸法を図2に示す。

PPSUは低温でも弾性を示し、衝撃に強いという特長がある。試作した外管コルゲート管を液体窒素にて3時間浸

漬させたのち、直ちに図3のように曲げてみたが、PPSUコルゲート管にひびや割れなどが生じることなく、極低温下においても十分な可撓性を有することを確認した。

このPPSUコルゲート管を用いて三相一括の線材積層型超電導ケーブルを作製した。前述した愛知工場での製作においては、内管は金属コルゲート管を採用し、外周に断熱材を設ける構造としていた。先行製作での超電導ケーブルの外径は140 mmに対して、本開発品の超電導ケーブルの外径は40.1 mmであり、大幅にコンパクト化した。本開発品の超電導ケーブルはPPSUコルゲート管での二重管構造

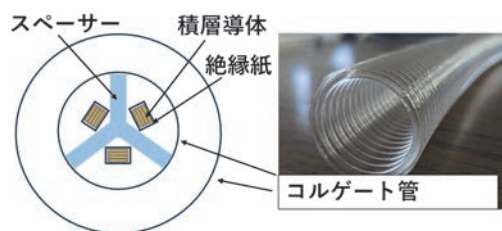


図1 超電導ケーブル概略構造

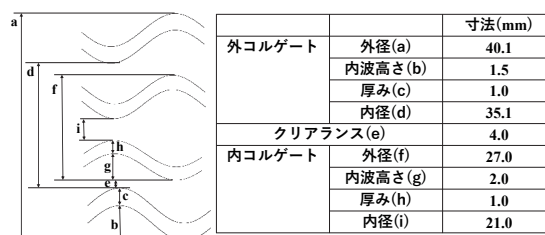


図2 二重管コルゲート概略図および寸法表



図3 液体窒素浸漬後の外管コルゲート管の曲げ試験

表1 愛知工場開発品と本開発品超電導ケーブルの重量比較

	愛知工場試験 超電導ケーブル (1 kV-1.5 kA)	本開発品 超電導ケーブル (1 kV-3 kA)
断面構造		
液体窒素流路部分内径[mm]	39.5	21.0
超電導ケーブル外径[mm]	140	40.1
導体コア[kg/m]	0.57	0.60
スペーサー[kg/m]	0.16	0.16
SUSコルゲート管[kg/m]	0.58	-
PPSUコルゲート管[kg/m]	-	0.25
断熱材[kg/m]	0.27	-
液体窒素[kg/m]	0.52	0.28
ケーブル全体[kg/m]	2.17	1.29
ケーブル全体[kg/kA/m]	1.44	0.43

を採用することにより、重量は 0.43 kg/kA/m となり、プロジェクトの目標数値を満たす軽量化を達成することができた。表 1 に愛知工場試験製作品と本開発品の重量比較表を示す。

3. 超電導ケーブル通電試験

3.1 樹脂コルゲートを用いた 15 m 長線材積層型超電導ケーブル通電試験方法

開発した樹脂コルゲート管を用いた 15 m 長三相一括線材積層型超電導ケーブルの直流および交流での通電特性を把握するために内管コルゲート管に液体窒素を注液し、通電試験を実施した。なお本通電試験においては、各積層導体に電圧の印加は行わないため、スペーサーを取り外して通電試験を実施した。

直流での各相の超電導ケーブルの I_c 値の測定方法は、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 ($1 \mu \text{ V/cm}$) に達した電流値を I_c 値と定義した。

交流通電試験の際には図 4 のように回路を組み、周波数は 51 Hz にて交流通電を実施した。各相測定 I_c 値の実効値換算の I_{op} 値近傍まで交流通電試験を実施した。その後直流で I_c 値を測定することで、交流通電によるケーブルの劣化の有無を確認した。

3.2 樹脂コルゲートを用いた 15 m 長線材積層型超電導ケーブル通電試験結果

コルゲート管の内径が細く圧力損失が大きいため、注液側の液体窒素容器に蓋を取り付け、 0.05 MPaG 程度の圧力をかけて液体窒素を圧送した。圧送することにより図 5 のように PPSU コルゲート管内を液が流れていくことが確認された。

15 m 長線材積層型超電導ケーブルの通電試験結果を表 2 に示す。表 2 に各超電導ケーブルの自己磁場を考慮した際の I_c 値総和、そして今回の測定での I_c 値、 I_{op} 値を記載した。

直流での I_c 値測定結果について述べる。プロジェクトの目標は 1570 A 以上であった。測定結果は、U、V、W 相でそれぞれ、 867 A 、 816 A 、 1570 A であり、W 相のみプロジェクト目標を達成した。

次に、各相の単相での交流通電試験結果について述べる。各相の交流通電時の I_{op} 最大値は U、V、W 相でそれぞれ 517 A_{rms} 、 612 A_{rms} 、 1117 A_{rms} であった。交流通電試験実施後、直流にて I_c 値を測定したところ、交流通電の前後で I_c 値に変化はなく、交流通電によるケーブルの劣化は確認されなかった。W 相のみプロジェクト目標である 1110 A_{rms} 通電を達成した。

液体窒素冷却中には常に内管コルゲート管内に液体窒素が流れていることが外から確認された。

全相とも自己磁場 I_c 値に対して実測電流値が低かった理由については図 5 のように、内管内は液相と気相が混合状態であり、積層導体が十分に冷却できなかつたためと考え

た。そこで今回作製した超電導線材積層型導体の健全性を確認するために、冷却状態が改善された場合を想定し、オープンバスにて本試験で使した積層導体を液体窒素に浸漬させた状態で通電試験を再度実施した。

3.3 オープンバスにおける 2.5 m 線材積層型超電導ケーブル通電試験方法

今回作製した超電導線材積層型導体の健全性を確認するために、15 m 試験で用いたケーブルを 2.5 m ずつに切り分けて図 6 に示すオープンバスにおける液体窒素浸漬状態で通電試験を実施した。切り分けた 2.5 m 長のケーブルは 15 m 試験時の注液側に近い側から 1 とし各相 1 から 6 まで番号を割り振った (例えば、注液側に最も近い 2.5 m 分の各相のケーブルは U1、V1、W1 と記述する)。

全ての 2.5 m に切り分けた超電導ケーブルの直流 I_c 値を取得し積層導体の健全性を確認した。その後、15 m 試験において注液側から最も離れており、冷却状態が最も悪いと考えられる U6、V6、W6 の単相での交流通電を実施し、さらに三相一括での各相 1110 A_{rms} の交流通電を実施した。

3.4 オープンバスにおける 2.5 m 線材積層型超電導ケーブル通電試験結果

直流 I_c 値を取得した結果、全ての超電導ケーブルにおいて 2800 A 程度の自己磁場を考慮した I_c 値総和に近い想定通りの結果を得られた (表 3)。

U6、V6、W6 の超電導ケーブルの単相での交流通電試験の結果、その I_{op} 最大値はそれぞれ 1505 A_{rms} 、 1618 A_{rms} 、 1709 A_{rms} (表 3) であり、いずれもプロジェクト目標を達成した。また三相一括での 1110 A_{rms} 通電を実施し、試験後の直流 I_c 測定により、導体の劣化 (I_c 値劣化) がないことを確認した。以上の試験により、今回作製した超電導導体はプロジェクト目標を満たす通電性能を有することを確認した。

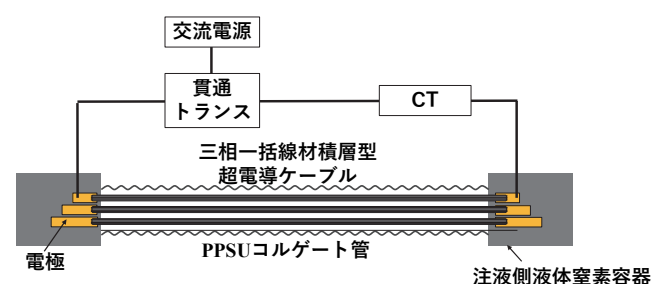


図 4 樹脂コルゲートを用いた 15 m 長線材積層型超電導ケーブル交流通電試験時回路図

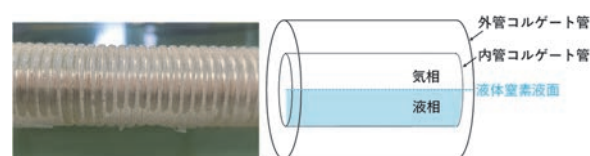


図 5 液体窒素冷却時のコルゲート管の様子と模式図

表2 15 m 超電導ケーブルの各 I_c 値 (左) と I_{op} 値 (右)

	自己磁場考慮 I_c 値総和 (A)	直流 I_c 値 (A)		I_{op} 最大値 (A_{rms})
U相	2804	867	U相	571
V相	2805	816	V相	612
W相	2800	1570	W相	1117

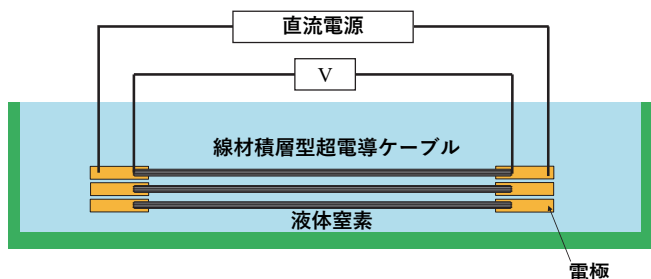


図6 オープンバスにおける直流通電試験概略図

表3 2.5 m 超電導ケーブル各 I_c 値 (上) と I_{op} 値 (下)

	直流 I_c 値 (A)		直流 I_c 値 (A)		直流 I_c 値 (A)
U1	2600	V1	3150	W1	3000
U2	3400	V2	3400	W2	3500
U3	2800	V3	3100	W3	3100
U4	2900	V4	3400	W4	3400
U5	3200	V5	3300	W5	3300
U6	3300	V6	3200	W6	2800

	I_{op} 最大値 (A_{rms})
U6	1505
V6	1618
W6	1709

4. 樹脂コルゲート管を用いた超電導ケーブルの設計指針

オープンバスでの液体窒素浸漬状態での通電試験結果から、積層導体はプロジェクト目標を超えるような通電性能を有することがわかった。PPSU コルゲート管を用いた通電試験において通電性能が低下した原因は、コルゲート管内部の冷却が不十分のためと考えられる。ここで、冷却状態の改善を行うための施策の一つとして、液体窒素の流量を増やす必要があるが、圧力損失を増やさずに流量を増やすためにはコルゲート管の大口径化が必要となる。大口径化に伴う重量変化を算出し、今後の設計指針を示す。

仮定として、積層導体の通電特性は今までと同様各相 3 kA で、導体重量も同様の重量（線材構成）とする。内管の内径半径、外径半径が r_i , r_e [m], 外管の内径半径、外径半径が R_i , R_e [m] で内管・外管ともに長さが L [m] の一様な円筒モデルとして考える。内管コルゲート管のモデルを図7に示す。また液体窒素重量を考える際には積層導体の断面積をゼロとして考える。

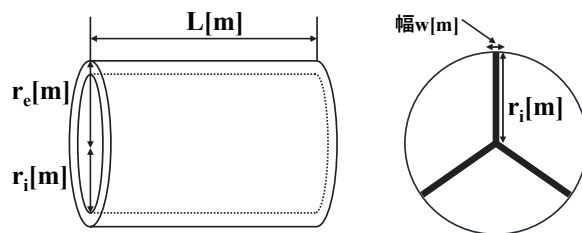


図7 内管コルゲート管とスペーサー（断面図）の計算モデル

実際のコルゲート管は図2のように長さ方向にその内外径が一樣ではないので、仮定として、内管は、

$$r_i = \frac{i}{2}, r_e = \frac{f}{2} \quad (1)$$

外管は、

$$R_i = \frac{d}{2}, R_e = \frac{a}{2} \quad (2)$$

として r_i , r_e , R_i , R_e を規定する。ただし、 a , d , f , i は図2において示した二重管コルゲートの概略図で定義した文字である。PPSU の密度を d_p [kg/m³] とすると、内管、外管の重量 W_i , W_e はそれぞれ式 (3), 式 (4) で表される。

$$W_i = d_p \pi (r_e^2 - r_i^2) L \quad (3)$$

$$W_e = d_p \pi (R_e^2 - R_i^2) L \quad (4)$$

ここで、コルゲート管（内管、外管）の内径半径、外径半径を n 倍した時の重量と、スペーサー重量、内管の内部全体が液体窒素で満たされているときの液体窒素重量を算出し、大口径化に伴う超電導ケーブルとしての単位重量を把握する。

内管、外管の内径半径、外径半径を n 倍した際にそれぞれの重量 W'_i , W'_e は式 (5), 式 (6) となり重量は n^2 倍となる。

$$W'_i = d_p \pi n^2 (r_e^2 - r_i^2) L = n^2 W_i \quad (5)$$

$$W'_e = d_p \pi n^2 (R_e^2 - R_i^2) L = n^2 W_e \quad (6)$$

次にスペーサーの重量について考える。スペーサーは図7に示すように、内径半径 r_i [m] の内管コルゲートに配置され、長さが r_i [m], 幅が w [m] の3つの部分から構成されるモデルと仮定し、長さが L [m] で一様で、密度は d_s [kg/m³] とする。またその幅 w は一定であるとし、積層導体同様に液体窒素重量を考える際にはその断面積はゼロとして扱う。スペーサーの重量 W_s は式 (7) で表される。

$$W_s = d_s \times r_i \times w \times 3 \times L = 3 d_s r_i w L \quad (7)$$

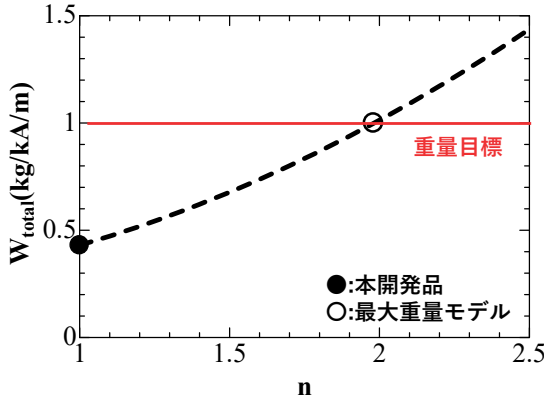


図8 コルゲート管の内管、外管の内径半径、外径半径を n 倍した際の三相一括線材積層型超電導ケーブルの重量
※破線はコルゲート管の各寸法を n 倍した際の W_{total} の変化を示す

内管コルゲートの内径半径が、 n 倍された時のスパーサー重量 W_s' は式 (8) となり、重量は n 倍になる。

$$W_s' = d_s \times nr_i \times w \times 3 \times L = 3nd_s r_i w L = nW_s \quad (8)$$

同様に液体窒素重量は最初の仮定に基づき、内管に配置される三相分の積層導体とスパーサーの断面積はゼロとして扱うため、単純に内管の径の増加に伴う内管の断面積変化のみを考慮すればよい。内管の断面積が n^2 倍になることから、液体窒素重量も n^2 倍となる。

本開発品の積層導体の重量は、0.6 kg/m であり、液体窒素重量が 0.28 kg/m である。内管、外管の内径半径、外径半径が n 倍された超電導ケーブルの単位長さ当たり重量 w_{total} は、式 (5), (6), (8) より、式 (9) で表される。

$$w_{total} = n^2(W_i + W_e + 0.28) + nW_s + 0.6 \text{ [kg/m]} \quad (9)$$

本開発品の PPSU コルゲート管重量 ($W_i + W_e$) は 0.25 kg/m、スパーサー重量 W_s は 0.16 kg/m であるので、式 (10) で表される。

$$w_{total} = 0.53 \times n^2 + 0.16 \times n + 0.6 \text{ [kg/m]} \quad (10)$$

この超電導ケーブルは 3 kA の通電性能を有することから、大口径化した際の 1 kA 当たりの単位長さ重量 W_{total} は、式 (11) で表される。

$$W_{total} = \frac{0.53 \times n^2 + 0.16 \times n + 0.6}{3} \text{ [kg/kA/m]} \quad (11)$$

また重量目標を満たす際の n の値は、式 (12) を満たすときで、 $n \leq 1.98$ となる。

$$W_{total} \leq 1 \text{ [kg/kA/m]} \quad (12)$$

本開発品は外内コルゲート内径がそれぞれ $R_e=35.0$ [mm], $r_e=21.0$ [mm] であるのに対して、式 (12) を満たす最大重量モデルでは、外内コルゲート内径がそれぞれ $R_e=69.3$ [mm], $r_e=41.6$ [mm] となる。

図 8 に本開発品のコルゲート管の内管、外管の内径半径、外径半径を n 倍した時の n を x 軸、その際の超電導ケーブル重量 W_{total} を y 軸としてグラフに示す。

今後の冷却状態の改善に向けた大口径化は、本開発品の径の 1.98 倍までの範囲という設計指針を得た。

5. ま と め

電動航空機用超電導ケーブルは軽量化が求められている。軽量化に寄与する PPSU コルゲート管を試作した。

試作した PPSU コルゲート管は液体窒素浸漬下において十分な可撓性を示すことを確認した。

次に PPSU コルゲート管を用いた 15 m 長三相一括線材積層型超電導ケーブルを試作した。通電試験実施の際には、液相と気相が混在しており、十分な冷却が実施できていないことが考えられた。この状態でも通電試験では、W 相で要求通電性能を満たしていることを確認した。

十分に冷却が実施できた場合の通電性能を確認するため、15 m 長超電導ケーブルを 2.5 m 長に切り分けたのち、オープンバスでの液体窒素浸漬下における通電試験を実施した。結果として積層導体は全相でプロジェクト目標を満たす十分な通電性能を有していることを確認した。このことから本開発品の PPSU コルゲート管の冷却状態の改善が必要であることが分かった。

冷却状態改善にはコルゲート管の大口径化が必要である。重量を目標の 1 kg/kA/m 以下にするためには本開発品の径の 1.98 倍までが許容限界であることを確認した。今後、その範囲における PPSU コルゲート管の大口径化を検討し、冷却状態の改善を行う。

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 (New Energy and Industrial Technology Development Organization : 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, doi: 10.1109/TASC.2021.3055452
- 5) T. Izumi, et al.: "Development of Superconducting Cable and Coated Conductors for Airplane Electric Propulsion System," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 31 (2023) 5, doi: 10.1109/TASC.2023.3258902
- 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－」, *SWCC レビュー* Vol. 68 P5-9
- 7) M. Sato, *et al.*, "Development of Ba-Zr-O-doped Y-Gd-Ba-Cu-O coated conductors using a reel-to-reel system furnace," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 34, 6600304, May. 2024, doi:10.1109/TASC.2023.3343314
- 8) 金山諄志他「航空機搭載用超電導ケーブルの小型電極開発」, *SWCC レビュー* Vol.69 P28-32

SWCC (株)

金山 諄志 (かなやま あつし)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ
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)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ博士
(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 遼夫 (さとう みちお)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ博士
(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)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ超電導
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)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ超電導
線材の研究・開発に従事

SWCC (株)

青木 裕治 (あおき ゆうじ)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ超電導
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)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループ超電導
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)

技術開発本部 新領域開発センター 超電導システムグループグルー
プ長
博士 (工学)
超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

国立研究開発法人 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

手術室用 1.5 kW ワイヤレス給電システムの試作

Prototype of 1.5 kW wireless power supply system for operating rooms

田 中 顯
Akira TANAKA

吉光喜太郎 *
Kitaro YOSHIMITSU

岡 本 淳 **
Jun OKAMOTO

正 宗 賢 *
Ken MASAMUNE

西 岡 淳 一
Junichi NISHIOKA

近年、医療現場における医療機器からの各種ラインは増加傾向にあり、それに伴う医療アクシデント・インシデントも増加している。手術室における各種ラインにおいて電線ライン（電源ラインと通信ライン）の割合は多い。電線ラインのうち通信ラインはワイヤレス通信技術がライン削減に貢献し始めている。一方、床面を這う電源ラインのワイヤレス化においては種々の理由から実用化されていない。そこで我々はその対策として手術台周りの床からスポット給電できるワイヤレス給電システムの初号機を完成させ電源ラインの減少に貢献できる可能性を見出した。

In recent years, there has been an increase in the use of various lines from medical devices in healthcare settings which has led to a rise in incidents and accidents. The electric wire lines (power and communication lines) make up a significant proportion of various lines in operating rooms. Among these, wireless communication technologies are starting to contribute to reducing the number of communication lines. However, for several reasons, the transition to wireless of power lines crawling across the floor has not yet been implemented. Therefore, we have successfully developed the first prototype of a wireless power supply system that can supply power in spots from the floor around the operating table, indicating potential for reduction of power lines.

1. は じ め に

医療機器からの各種ラインは増加傾向にあり¹⁻⁴⁾、それに伴う医療アクシデント・インシデントも増加している⁵⁾。そして医療現場からラインをなくしたいと言う要望は多く聞かれる。ラインの中でも特に電線ライン（電源ラインと通信ライン）は多く、近年のワイヤレス給電技術を用いればライン数の減少に貢献できる可能性がある。電線ラインのうち通信ラインにおいてはワイヤレス通信技術の Wi-Fi や Bluetooth 他が電子カルテ (PC)、医用テレメーター（生体情報モニター）などの医療機器に組み込まれ、ライン減少に貢献し始めている⁶⁻⁸⁾。一方、電源ラインにおいてはワイヤレス給電技術が主に低侵襲性を目的として体内植込み型の人工内耳、人工眼、ペースメーカーなどの内部バッテリー充電用として一部採用されている⁹⁻¹⁶⁾。しかし問題となっている床を這う電源ラインのワイヤレス給電への取り組みは技術的ハードルが高い、給電の途絶えや医療器機の誤

動作などのリスクが不安、研究開発のための医療フィールドがないなどの理由から実用化されていない。そこで我々は既存の磁界結合方式のワイヤレス給電技術を医療用に適合させ、手術台周りの床からスポットで給電できる手術室用 1.5 kW ワイヤレス給電システムの初号機を完成させた。そして電源ラインの減少に貢献できる可能性を見出した。

2. 法的要求事項と手術室現場の調査

システムを医療用として適合させるために法的要求事項と手術室現場の調査を行った。

2.1 法的要求事項の調査

有識者へのヒアリングの調査の結果、本システムは医療機器には該当せず電源設備としての扱いにできることがわかった。表 1 に医療用途への適合化のための法令調査結果を示す。この中で手術室用給電システムとして特に考慮したのが JIS T1022「病院電気設備の安全基準」に定められている非常電源と等電位接地、そして JIS T0601-1「医用電気機器－第 1 部：基礎安全及び基本性能に関する一般要

* 東京女子医科大学

** ソニア・セラピューティクス株式会社

求事項」の保護接地，更に CISPR11「工業用，科学用及び医療用機器－無線周波妨害特性－限度値及び測定方法」に定められている周波数妨害に関する項であった。

非常電源は商用電源が停止したときに無停電供給あるいは 40 秒以内に回復するいわゆる緑コンセントや赤コンセントの機能であり，これを備える必要性がわかった。

医療機器への保護接地については 3P コンセントのアースピンの導通を確保できる構造にする必要性があった。また手術室内の患者環境においてはそれぞれの金属導体表面に電位差を生じさせないように等電位接地 (EPR システム) が要求される。そのため EPR ポイント (通常は医用接地センタ) に医療機器を 0.1 Ω 以下で接続する必要があることがわかった。

EMC (Electromagnetic Compatibility) 対策については，CISPR11 グループ 2 のクラス A 機器への規定または高周波利用設備を満足する必要があることがわかった。

表 1 医療用途適合化に向けての法令調査結果

規番	法令(名称)	該当内容
JIS T1022	病院電気設備の安全基準	●非常電源 停電防止対応 ●等電位接地 Z: 0.1Ω以下
IEC60601-1, JIS T0601-1	医用電気機器-第1部(基礎安全及び基礎性能に関する一般要求事項) 電撃に対する保護 漏れ電流及び患者測定電流	●クラス I 機器 保護接地 3Pコンセントへの対応 ・患者漏れ電流 B.BF.CF 装置医療機器への対応
CISPR11, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, IEC 61000-4	工業用，科学用及び医療用機器－無線周波妨害特性－限度値及び測定方法	●CISPR11 グループ2 クラスA 機器
—	高周波利用設備	●100Hz以上，50W以上 許可状必要
—	電波法 我が国の電波の使用状況(整理基準)	●3000kHz以下のワイヤレス電力伝送への制限 79～90.425～471.480-489.491-494.506-517 kHz
ICNIRP(2010)	国際非電離放射線防護委員会 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (電磁波による生体への影響)	ガイドラインとなっているが，法令ではない
—	医薬品医療機器等法(薬機法)	非該当
薬機法23条の2 QMS省令及びISO13485	医療機器の製造・販売・届出制度	非該当

2.2 手術室現場の調査

ワイヤレス給電能力を決めるために医療機器の消費電力を調査した。表 2 にその調査結果を示す。目安として人工心肺装置 1.2 ～ 2.5 kW (2427 W^{*})，麻酔器 0.5 ～ 1.5 kW (795

表 2 医療機器の消費電力調査結果

医療機器名 ¹⁾	消費電力 ²⁾ W (n=3)		
生体情報モニター	F社 230, 60	N社 180, 140	O社 110
麻酔器	A社 (入力1500)	F社 300(入力1500)	T社 50
輸液ポンプ, シリンジポンプ	J社 20	T社 20	T社 16 (シリンジP)
電気メス	R社 100	B社 330	C社 924
超音波メス	J社 500	O社 300	H社 800
一時使用ベージング付き除細動器	A社 220	N社 220	N社 300
超音波画像診断装置	O社 370	F社 1200	A社 600
汎用人工呼吸器	E社 (入力1500)	N社 70	N社 220
人工心肺装置	G社 1500	I社 1200	T社 2000
IABP補助循環用バルーンポンプ駆動装置	Z社 350	T社 420	Z社 250
下肢圧迫装置(フットポンプ)	N社 10	M社 40	T社 40
エアバッド加温装置	I社 260	T社 500	S社 900
透析装置	N社 (入力1500)	T社 1500	G社 1275
吸引器(分岐用, 可搬型)	A社 360	M社 300	M社 120
医療用ベッド(汎用診療・処置台)	A社 (入力680)	N社 1000	T社 370
清拭車	A社 350	N社 750	A社 800
洗髪車	A社 230	N社 350	I社 500
ベッドサイドモニター	G社 140	G社 300	G社 200
保育器	A社 540	A社 220	D社 1000
麻酔計	F社 100	N社 600	F社 310

i) 床面からワイヤレス給電が可能と考えられるキャスター付の装置またはワゴン上で使用されるもの
ii) 調査データ: Pmda <https://www.pmda.go.jp/PmdaSearch/kikiSearch/>, 各社HP, 現物調査による

W^{*})，電気メス 0.3 ～ 1.0 kW (724 W^{*})，超音波診断装置 0.3 ～ 1.2 kW (842 W^{*}) などの消費電力が大きいことがわかった (※括弧内は調査内の平均消費電力)。JIS T1022 では定格電流が 10 A を超える医用電気機器を使用する医用室では配電盤から専用の分岐ラインにより給電することになっている。よって壁面コンセント 1 口分に相当する給電スポット (送電ヘッド部) の電力容量は 1.2 ～ 1.5 kW あれば殆どの機器に給電可能であると判断した。

次に手術室で用いるシステムの要求事項を調べるために医療関係者へのヒアリングを行い，手術台周りの必要な電源数，医療機器の種類や配置について調査した。その結果，術中に使用する医療機器の最大数は診療科や術者の手技によって異なり，直接コンセントに差し込まれている数は最大 13 台程度 / 手術室であった (テーブルタップで分岐させているものは除く)。また使用する医療機器や配置は大規模の病院において診療科により手術室が決まっているが，そのほかの病院では様々な診療科が手術室を使用するため機器種類やレイアウトがその都度異なることがわかった。麻酔器や超音波診断装置，内視鏡など術中に必要に応じて出入りする機器もあった。

手術室の床面送電部への要求項目として考慮しておく項目として以下のことがわかった。床面は様々な医療機器が移動し特に手術台の小さなキャスターにかかるスポット荷重に耐える必要がある。大柄な患者を載せるとキャスター 1 個にかかる最大荷重は 1 kN/cm² 程度となる可能性があることがわかった。そのほか血液や清掃時の液体の飛散対応，清掃の容易さ，機器の通過などから平面フラット構造，術中に機器の位置を調整できるなどの必要性がわかった。

3. ワイヤレス給電システムの仕様

第 2 項で得られた情報から表 3 の通りシステムの仕様を決め試作した。

表 3 手術室，ICU 用ワイヤレス給電システムの仕様

項 目		仕 様
電 気 的 特 性	給電能力	1.5kW (AC100V 50/60Hz) 連続1.2kW
	瞬停防止	1.5kW 1分以上
	接地(アース)	3Pプラグ対応 等電位接地対応
	EMC	CISPR11 Group 2 Class A (高周波利用設備)
機 械 的 特 性	給電スポット形状	床面フラット構造
	耐荷重構造	1kN/cm ² 以上(設計値)
	防水・防塵構造	IP65
	耐薬品構造	ハロゲン系の薬品など 耐食部材を使用
安全機能(画面表示と音声): 過負荷, ヘッド過熱, 電気回路異常, ヘッド位置ずれ その他: ヘッド適合時給電, 操作ガイド案内		

図 1 に本システムブロック図を示す。入力 AC200 V を送電ユニットにて 85 kHz の高周波に変換して送電ヘッド

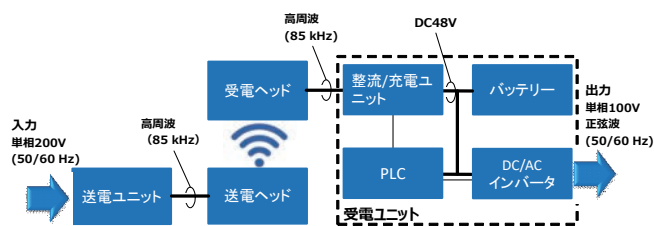


図1 システムブロック図

へ送る。次にコイルから発生する磁界を受電ヘッドで受け取り、整流・充電ユニットからDC48 VでLi-ionバッテリーおよびDC/ACインバータへ送りAC100 Vを出力させた。さらにシステムの操作を簡素化させるために、PLC (Programmable Logic Controller) を用いて起動までの操作の自動化と異常警報と対処方法を音声と画面表示するようにした。

図2に接地の取れるヘッド構造を示す。送電ヘッド（以下、給電スポット）と受電ヘッドのケースの縁を接触させ接地ラインを確保した。また接触抵抗が増加するのを防ぐために送電側の接地リングには耐食性のある導体を用い、受電ヘッド側には接触性を高めるためにバネ性の突起がある部材を用いた。

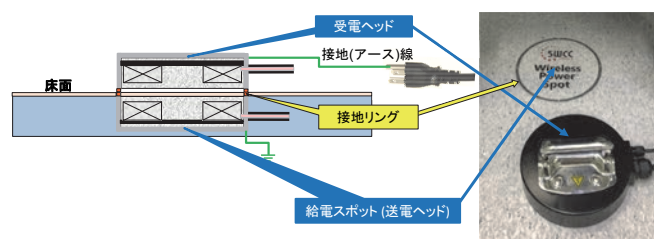


図2 接地の取れるヘッド構造図

4. システムの評価結果

試作したシステムが第3項で定めた仕様通り動作するか評価した。

4.1 システム単体の評価結果

給電能力試験：受電ユニットに電子負荷装置を接続し連続給電における出力と経過時間を調査した。その結果 1.5 kW (AC100V15A) では約 30 分で給電スポットと受電ヘッド温度が異常温度設定の 60℃を超えて送電が停止しバッテリーバックアップに切り替わってしまった。負荷を 1.2 kW (AC100V12A) に低下させた結果、ヘッド温度は約 4 時間で 50℃に到達し飽和状態になった。そして連続 8 時間までの供給を確認した。同時に電圧波形が正常な正弦波であることも確認した。

瞬停防止試験：給電スポットから受電ヘッドを外して送電を停止し、バッテリーからの給電に切り替えた。その時点から 1.5 kW で 5 分給電できた。よって仕様で定めた 1 分以上を満足した。

接地（接地端子間電気抵抗測定）：システム接地端子間

の電気抵抗を目安としてデジタルテスターで測定した結果ヘッド位置ずれ 0 mm 時で 0.3 Ωであった。これを JIS T1022 に当てはめると受電ユニット側に設けた接地端子から EPR ポイントまでのインピーダンス 0.1 Ω以下を満足できない可能性が高く、改善する必要があることがわかった。

EMC 試験：CISPR11 グループ 2 のクラス A 機器および高周波利用設備を満足できるか外部認定機関で測定を行った。その結果規格を満足した。しかし後述する超音波診断装置で不具合が発生した。

耐荷重試験：キャスター付きの超音波診断装置（重量 130 kg）を用い、給電スポット上を通過させ外観および通電に問題がないことを確認した。給電スポット内のコイル上面は厚い FRP 板を配置し、筐体内はエポキシ樹脂の充填構造としてコイルを荷重から保護する構造とした。設計上はスポット荷重に耐えられる構造にしたが一点の試作であるため、この荷重に留めた。

防水・防塵（IP 試験）耐薬品対応：給電スポットおよび受電ヘッドにおいて IEC 60529, JIS C 0920「電気機械器具の外郭による保護等級」に定める試験を実施した。その結果 IP65 を満足した。また給電中において給電スポットと受電ヘッド間に水を散布し漏電なく通電できることを確認した。なお床面に露出する接地リングは前述した接触抵抗の低下を抑制するために塩素、次亜塩素酸ナトリウムやヨウ素などのハロゲン物質にも耐えられる素材を採用した。

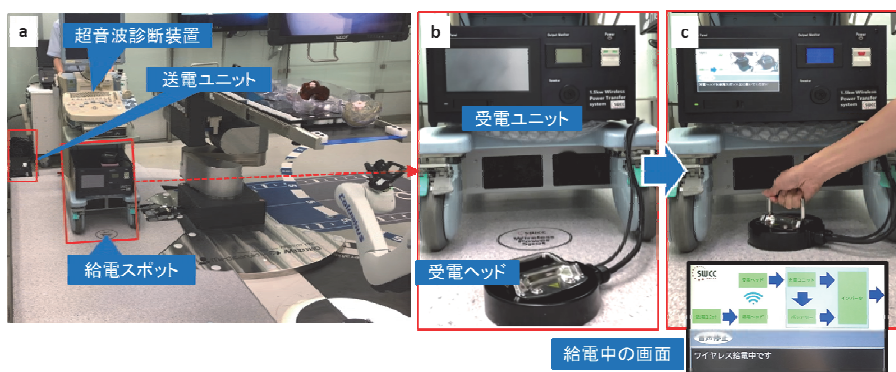
安全機能の動作確認：ヘッド位置ずれ、温度異常、過負荷、回路異常などの安全機能の動作については故意に異常を起こした時には警報が出ることを確認した。

4.2 医療機器への給電結果

図3に完成したシステムを模擬手術室に設置した様子を示す。受電ユニットは超音波診断装置に乗せてある（図3a）。床面には給電スポットが埋め込まれており、そこへ装置を移動させ（図3b）受電ユニットの電源を入れて音声と画像の案内に従い、給電スポット上に受電ヘッドを置くだけで給電が始まる動作を確認した（図3c）。

超音波診断装置（EMC 確認と対策）：図4に超音波診断装置（最大消費電力 1.2 kW）への給電結果を示す。その結果、問題なく給電できたが超音波診断装置 A において赤枠の白矢印で示すモアレ状のノイズ（以下モアレ）が発生した（図4a, b）。一方、最新の超音波診断装置 B にはモアレは現れなかった（図4c, d）。この原因を超音波診断装置 A で調査したところ商用電源ではモアレは発生せず、本システムの給電中にプローブを人体に接触させると発生することから、本システムの放射ノイズが影響していることがわかった。この対策として送電ユニット-送電ヘッド、受電ヘッド-受電ユニット間のケーブルを電源用遮蔽ケーブル ノイレックス[®]に交換し、さらに各ユニット筐体の FG (Frame Ground) を強化した。

図5に 10 m 電波暗室で測定した EMC 対策前後の放射



a) 超音波診断装置への給電の様子 b) 受電ヘッドおよびユニットの拡大写真 c) ヘッド合わせと通電開始の様子

図3 完成したシステムの外観

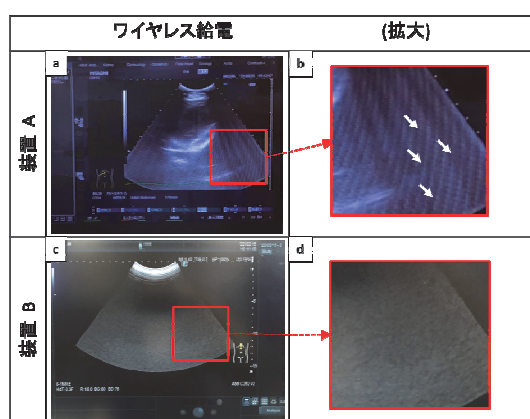


図4 超音波診断装置に発生したモアレ

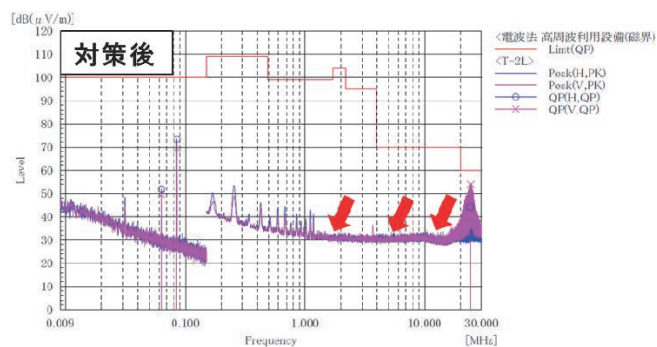
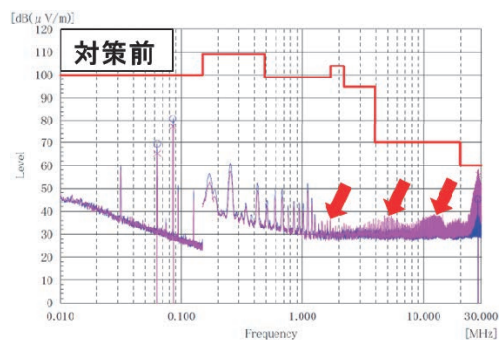


図5 EMC対策前後の放射ノイズレベル

磁界レベル 10 kHz ~ 30 MHz の測定結果を示す。超音波診断装置に使用されている数~十数 MHz 領域 (赤矢印) において対策前のスパイク状のノイズがほぼ消失したことを確認した。

図6にEMC対策前後の超音波診断装置Aの画像を示す。

共にプローブ (コンベックス) に手で触れて図4よりも最もモアレが目立つように最大輝度にしたものである (図6a)。対策後はモアレが完全に除去できた (図6b)。

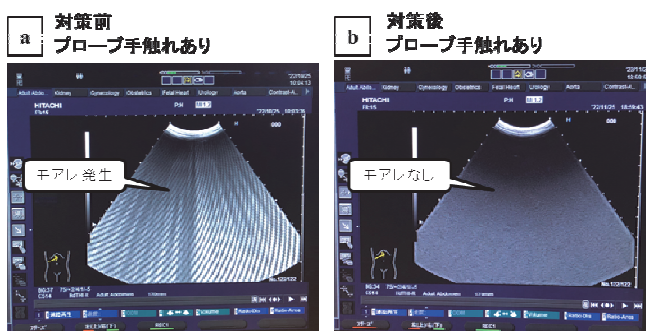


図6 EMC対策前後の超音波診断装置Aの画像

そのほか麻酔器、生体情報モニターにも給電を行い、誤動作など不具合がないことを確認した。

電気メス装置 (負荷変動確認): 図7a, bに負荷変動の大きな電気メス装置への給電の様子を示す (条件: モノポラ 300 W (最大) カットモード)。また図7c, dに本システムの給電出力電圧、電流の波形を時間軸で表示したオシロスコープ画面を示す。図7cは本システムからの給電結果である。電圧 (紫色) は切断開始後 50 msec で Vp138 V から 130 V へ 8 V (6%) 電圧降下し, 270 msec 後に元の電圧に復帰した。一方, 図7dの商用電源においては Vp141 V のまま電圧降下が認められなかった。また, 普段から電気メス装置を使用している医師に本システムからと商用電源からの給電による切断感覚を比較してもらったところ, 差はなしと回答を得た。

4.3 試作機デモによるヒアリング結果

試作機のデモを医療従事者、医療機器メーカーおよび病

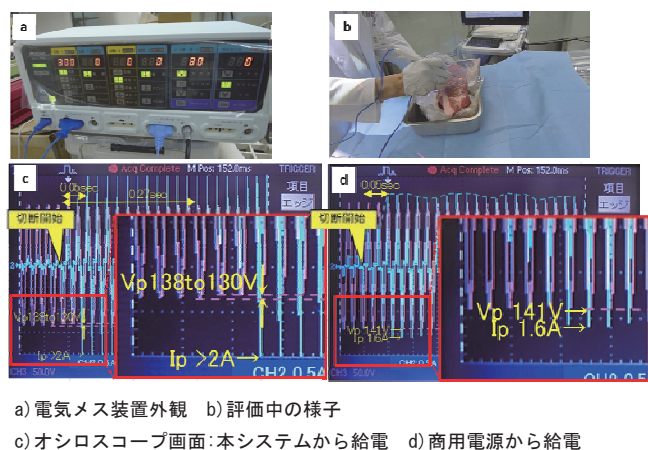


図7 電気メス装置の負荷変動確認

院施設設計業者に行い以下の改善要望を得た。手置き式の受電ヘッドについては、位置合せの手間と術中に受電ヘッドがずれた場合に床面にある受電ヘッドのハンドルを持つと不潔になってしまうことが指摘された。また様々な医療機器配置に対応させるために給電スポットを多く設けることを想定したが、位置を気にしないで勝手に給電できるフリーポジション給電の要望が寄せられた。受電ユニットについて手術室内で用いられる医療機器の消費電力は多岐に渡るため、小型の医療機器には小型の受電ユニットの開発も必要であることがわかった。施工については、給電スポットの厚さが40 mmであるため床面のコンクリートを削るか床面をかさ上げする必要がある。これは工事コストがかかるため敬遠されるとの意見が得られた。また給電能力については手術台周り4～8 kW程度あれば賄え、システム1基あたりシーリングペンダントと同様に2 kW×数系統あれば更に良いなどの意見が得られた。以上の結果から既存床へ設置可能な薄型送電部、電気容量2 kW/基のフリーポジション給電できるシステムが理想であることがわかった。

5. 考 察

5.1 システムの給電能力

システムの給電能力について電気回路は1.5 kWの出力が可能であったが、連続通電は1.2 kW (AC100V12A) となってしまった。これは手置き式受電ヘッドの発熱による火傷防止のため筐体温度が60℃を超えると給電を停止する設計にしたため、およびヘッド筐体をφ150と小型にしたためである。連続1.5 kWを出力させるためにはヘッドを大型化するか、放熱の工夫が必要と考えられる。

電気メス装置を用いての負荷変動による電圧降下については2つの理由が考えられる。1つは図7cのワイヤレス給電時は水色の電流波形の I_p が2 Aを超えているのに対し、図7dの商用電源時では I_p が1.6 Aと小さい。これはメスの入れ方の差によるものと考えられ、それに伴い電圧降下の差を生じたものと考えられる。もう1つはDC/ACイン

バーターの電圧変動帰還から制御までのタイムラグによるものと考えられる。しかし今回の実験で発生した極短時間の変動に関しては術者の使用感に影響はないレベルと考えられる。

5.2 システム接地端子間のインピーダンス改善策

システム接地端子間のインピーダンス0.1 Ω以下を満足できない可能性についてはJIS T1022の等電位接地や後述の患者漏れ電流の規格を満足させるために重要と考えられる。この改善策として接地リングと受電ヘッドの接触抵抗を下げるために接触面積を上げたり導電性の良い部材に変更したりなどが考えられる。

患者漏れ電流について医療機器は患者に直接繋がったり接触したりするため、機器を介して漏れる微小な電流値が規定されている。本システムは医療機器でなく患者が直接触れることはないと考えられるが本システムに接続された医療機器が規格を満足する必要がある。これについても今後確認しておく必要があると考えられる。

5.3 EMC 対策

EMC対策により超音波診断装置のモアレが除去できたことについては以下のように考えられる。

- ・送受電ケーブルをノイレックス®に交換することによりケーブルからの放射磁界が遮蔽できた。
- ・送電ユニット、送電ヘッド、受電ヘッド、受電ユニット間のFGと遮蔽ケーブルの接続インピーダンスを小さくすることにより受電ユニットから発生したコモンモードノイズのリターンパスを形成することができた。

受電ヘッドへ容量結合分で伝わってしまったコモンモードノイズも図2の送受ヘッドの接地ラインを通じて発生源である送電ユニットに向かってリターンパスを形成することができた。これらによりモアレが除去できたと考えられる。

最新の超音波診断装置Bには上記のEMC対策を施さなくともモアレが現れなかったことについては、外部からのイミュニティに対する対策が強化されていると考えられる。どこまで放射ノイズレベルを下げる必要があるかについては法令を満足すると共に、低レベルの放射ノイズが影響しそうな医療機器でテストする必要があると考えられる。

5.4 ワイヤレス給電システム導入の利点と欠点

本目的は床面の電源ケーブルをなくすことであるが、電気設備として以下の利点があると考えられる。

手術室の配電は電源盤内のアイソレーショントランスを介して商用電源ラインからフローティングされている。本システムを用いると送受電間は磁界を用いて給電しているため商用電源とアイソレートされる。そのためトランスが不要となるかも知れない。また4.1項で述べたように送受間に液体がこぼれても問題なく給電できる。更にバッテリーを搭載しているためバッテリー容量を増大させればUPS（無停電電源装置）としても利用できると考えられる。

一方、電源ラインのワイヤレス化において予期しない事態が発生する可能性がある。例えばシステム故障時のバックアップが働かず突然給電が止まってしまう、送電ユニットから漏れた高周波が医療機器を誤動作させてしまう、漏れた磁場が金属を発熱させて火傷の原因となったりするなどが考えられる。医療用ワイヤレス給電技術を実用化するには、新たな不具合が発生しないように考慮する必要があると考えられる。

6. ま と め

電線ラインに関するアクシデント・インシデント抑制のための根本対策として電源ラインをなくすために手術室用ワイヤレス給電システムの試作を行い模擬手術室内に1基設置した。給電能力は1.5 kW (連続1.2 kW)、瞬停防止対策、3P コンセントへの対応、EMC 対策などの要求条件への対応を実施した。そして超音波診断装置や電気メスなどへ正常に給電できることを実証した。

今後、実用化に向けての課題として等電位接地の規格満足化、位置合せのフリーポジション化、発熱対策を考慮した出力2 kW 化、送電部の薄型化、受電システムの小型化、各種電気容量に対応するバリエーションなど多くの課題があることがわかった。更なる改良により実用化を目指す。

謝 辞

本ワイヤレス給電システムの研究開発の機会をご提供頂きました神戸大学 (前 東京女子医科大学) の村垣善浩教授、山口智子先生、システムシーケンスにご協力頂いた生産技術課の日下部匡孝氏、ワイヤレスユニット製作にご協力を頂いた株式会社ピー・アンド・プラス様、ケーシングおよび設置にご協力頂きました東京女子医科大学ものづくり工房の皆様、情報提供を頂いた医師、手術室設計メーカー、医療機器メーカーの皆様に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Cesarno FL, Piergeorge AR : The Spaghetti Syndrome. A new clinical entity, Crit Care Med.7 (4) , p.182-183 (1979)
- 2) Michael Imhoff : The Spaghetti Syndrome Revisited, Anesth Analg.98, p.566-567 (2004)
- 3) 小川雄之亮:スパゲッティ症候群, 医学のあゆみ, p.158-359 (1991)
- 4) 小川雄之亮:スパゲッティ症候群, 検査と技術 20 卷 11 号, p.935-936 (1992)
- 5) 田中 顯, 吉光喜太郎, 山口智子, 正宗賢, 村垣善浩: 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, 医療の質・安全学会誌, Vol. 17, No. 4, p.399-406 (2012)
- 6) 宮花礼子, 川崎俊博, 前田久美子, 上原久美子, 兵頭永一, 田口晴之, 他: ワイヤレス 12 誘導心電計を用いた運動負荷心エコー図検査の有用性, 医学検査, Vol.63 No.2, p.140-145 (2014)
- 7) 渡辺敏: 新しい医療用テレメータシステムについて, 日本麻酔科学会機関誌, 38 (7), p.954-959
- 8) 高橋俊輔: ワイヤレス給電の技術概容, 特技懇誌, no.279, p.3-14 (2015)

- 9) 花田英輔: 医療現場における無線通信の需要と実現の条件, 電子情報通信学会通信ソサエティマガジン, No.25, p.33-37 (2013)
- 10) H.G.Lim, M.W.Kim, J.W.Lee, E.S.Jung, K.W.Seong, J.H.Lee, et al : A method for reducing body exposure to electromagnetic field of pillow type wireless charger in fully implantable middle ear hearing device, IEICE Electronics Express, Vol.6 No.18, p.1318-1324 (2009)
- 11) 日経エレクトロニクス 寝ている間に人口内耳に充電するスマート枕 2014 年 3 月 3 日号, p.16-17 (2014)
- 12) A. Hennig, J. Lauko, A. Grabmaier, C. Wilson : Wireless Tear Glucose Sensor, Procedia Engineering 87, p. 66- 69 (2014)
- 13) 川守田 拓志: スマートコンタクトレンズの進化と未来 視覚の科学, 2021 年 42 巻 4 号, p. 96-101 (2021)
- 14) 松木 英敏: Wireless Energy Transmission for Medical - Devices, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 13 No. 6 (2010)
- 15) 谷内 一彦, 吉川 雄朗, 相良 健一, 佐々木 秀: ワイヤレス給電と体内埋め込み型センサーを用いた新しい動物行動薬理学, 公益社団法人 日本薬理学会 日本薬理学会年会要旨集, 93 (0) 1-LBS-08 (2020)
- 16) 木村 光一: 生体内機器を駆動させるワイヤレス給電システムの開発, 上原記念生命科学財団 上原記念生命科学財団研究報告集, 34, p.1-4 (2020)

SWCC (株)

田中 顯 (たなか あきら)
新領域開発センター 商品開発 G
博士 (医学)
医療用ワイヤレス給電の研究・開発に従事

東京女子医科大学

吉光 喜太郎 (よしみつ きたろう)
先端生命医科学研究所 先端工学外科学分野 特任講師
博士 (工学), 博士 (医学)
デジタル手術室の構築に関する研究開発に従事

ソニア・セラピューティクス株式会社

岡本 淳 (おかもと じゅん)
(前 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所先端工学外科学分野
特任准教授)
取締役 COO
博士 (工学)
手術支援ロボティクス・メカトロニクスの研究に従事

東京女子医科大学

正宗 賢 (まさむね けん)
先端生命医科学研究所 先端工学外科学分野 教授
博士 (工学)
手術支援システムの研究開発に従事

SWCC (株)

西岡 淳一 (にしおか じゅんいち)
新領域開発センター 商品開発 G グループ長
新規商品開発に従事

工 事 紹 介

北陸電力送配電(株)向け 275 kV CV ケーブル工事

Installation of 275 kV XLPE Cable for Hokuriku Electric Power Transmission & Distribution Company

1. 概 要

SWCC (株)はこのほど、275 kV F-CVSS ケーブルとスマート終端接続部を北陸電力送配電(株)殿へ納入し、加賀変電所へ据付を行いました。

2. 仕 様

ケーブルは 275 kV F-CVSS の単芯ケーブル 4 回線 (12 相)、終端接続部は気中終端、ガス中終端、油中終端の全てで SICONEX® のスマート終端接続部が採用されました。

3. 経 緯

変圧器の増設にともなう GIS 化工事である本件は、新設 GIS、新設変圧器ともに、ガス／油中スマート終端接続部が採用されています。また、気中取り合い部にもスマート気中終端接続部が採用されています。

ケーブルの延線作業においては、品質はもちろん延線機材の選定、適切配置などにより施工性も考慮した延線方法を検討し、施工を行いました。

土木設計のタイミングからお客様と協議させていただき、ケーブル延線や施工を考慮したスペースを確保頂きました。実際の施工においては、ケーブルの取り回しなどに苦勞しながらも確実な延線・接続作業が実施されました。

効率的な作業が実施できました。また、初納入にもかかわらずガス／油中スマート終端接続部と接続部品が共通化されているため、他終端接続部と同様の作業でスムーズに接続を実施することができました。



図 2 GIS 側終端接続部組立状況



図 3 変圧器側終端接続部組立状況



図 1 ケーブル延線・布設状況



図 4 気中終端接続部組立状況

スマート気中終端接続部は、工場であらかじめ本体を組み立てることから、特殊技能が必要な作業がなくなることによって施工性も大幅に向上しました。プラグイン構造の採用により、架台に本体が据えついた後は、地上部だけでの接続作業となり、大規模な仮設足場の準備が不要となり、架空線への近接作業や、高所での作業がなくなることによって安全に、

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



車載向け耐火仕様被覆付き平角線

Fire-Resistant Bus Bar

1. 概 要

近年、「電動化」「自動運転」「コネクティッド」など、モビリティ市場は100年に一度の大変革期と呼ばれ、目まぐるしい技術革新、搭載部材の変化が進んでいます。

特に車内居住空間の快適性を求められ、居住空間を広く取る工夫がなされています。

そのため、居住空間を広げることにより、エンジン、バッテリーなどの動作機器、接続部材の小型化、高効率化が求められています。

この課題に対し、SWCC(株)は今まで使用していた丸形のケーブルに代わり、省スペースへの配策が可能な平角線を適用することに加え、耐火性能を施した耐火仕様被覆付き平角線を開発いたしました。

2. 用 途

xEVなどの車載バッテリー間の接続や充電口からバッテリー間の接続に適用できます。

さらに、バッテリーの発火、熱暴走の懸念がある場所に適しております。

3. 特 長

I. 耐火性能

当社の要素技術である耐火構造を採用することにより、被覆付き平角線の基本特性に加え、火災にも耐える耐火・耐熱特性を有しており、バッテリーの熱暴走による発熱・耐火耐性を備えております。

耐火性能は、弊社独自試験である1100℃のバーナー火炎で30分加熱しても絶縁性能を有しています。

II. 被覆付長尺の供給

従来の粉体塗装絶縁においては、長尺品の製造効率が悪い問題点に対し、絶縁被覆の押出被覆を採用することで、長尺品の提供が可能です。

III. 優れた加工性を有した「MiDIP®」の採用

省スペース化のため、限られた隙間を縫うような配策となるため、加工性が容易な材料として、導体にMiDIP®を採用しております。

エッジワイズやフラット曲げの厳しい曲げに対しても亀

裂の発生なく、さらに電気特性も維持しております。



図1 耐火バスバー外観

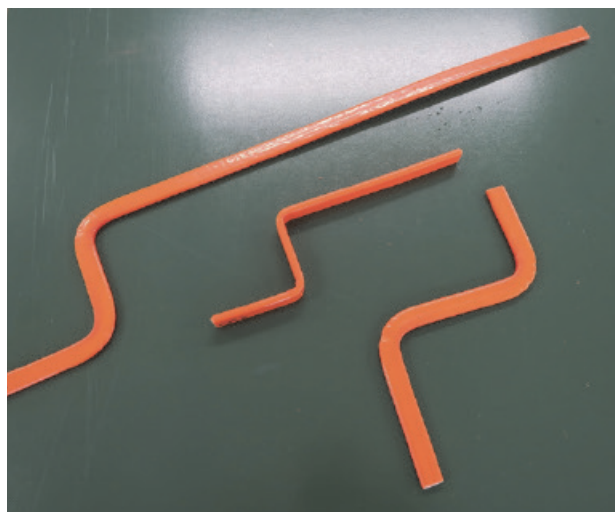


図2 加工後外観

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 電装営業グループ
電話(044)223-0538 FAX(044)223-0558



Cat.6A 対応マルチメディア複合ケーブル (MLTT-10G1B11)

Multimedia LAN TEL TV

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います。情報社会となった現在、通信ネットワークにおいて、通信量が増加し、高速・大容量通信への対応が必須となっており、LAN 配線では従来の 1 Gbps 伝送から 10 Gbps 伝送へと高速化が進んでいます。

昨今、各家庭でのテレワーク、リモート授業などの普及に伴い、マンションやホテル等についても、高速大容量の 10 Gbps 伝送に対応した Category 6A (以下「Cat.6A」) の要求があります。

本ケーブルは、10 Gbps 伝送に対応した Cat.6A の LAN 用ケーブル、電話用ケーブル、4K・8K 放送に対応した衛星放送テレビジョン受信用同軸ケーブルを 1 本に集約した複合ケーブルです。

大容量の動画視聴の際も高速通信や低遅延を実現するほか、複合化によりケーブル毎の布設も不要となり、布設時の作業性も向上します。

2. 用 途

主にマンションやホテルなどの配線に適しています。

3. 特 長

- ・LAN 用ケーブルは、Cat.6A (UTP) を使用し 10 GBASE-T に対応しています。
- ・衛星放送テレビジョン受信用同軸ケーブルは、JIS C 3502 適合品です。
- ・LAN 用ケーブル、電話用ケーブル、衛星放送テレビジョン受信用同軸ケーブルを 1 本に集約したケーブルですので、布設が便利です。
- ・同一ルートへ、情報系、映像系のケーブルを一度に配線可能です。
- ・情報分電盤から各部屋の情報コンセント間にスター配線することで、家庭内での LAN 構築が可能になります。
- ・引裂紐を使用して、簡単に外被がむけます。

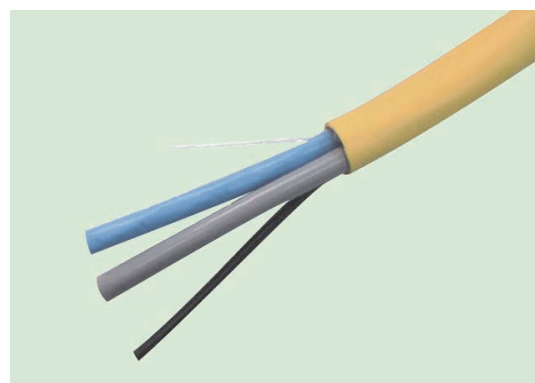


図 1 Cat.6A 対応マルチメディア複合ケーブル “MLTT-10G1B11”

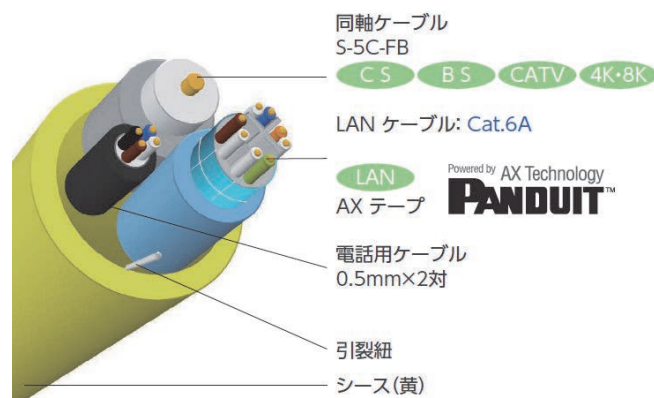


図 2 ケーブル断面図

表 1 ケーブル仕様

項 目	MLTT-10G1B11
LAN ケーブル : Cat. 6A	約 7.5 mm
電話用ケーブル : 0.5 mm×2 P	約 3.8 mm
同軸ケーブル : S-5C-FB	約 7.7 mm
仕上外径	約 17.5 mm
概算質量	225 kg/km

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



「SWCC (株)×東北大学 高機能金属共創研究所」を設置

Establishment of SWCC x Tohoku University Co-Creation Research Center for High Functional Metals

1. 概 要

SWCC (株)は、国立大学法人東北大学 片平キャンパス 金属材料研究所に「SWCC (株)×東北大学 高機能金属共創研究所」(以下 共創研究所)を2024年2月1日に設置した。東北大学の最先端材料の研究資源を最大限活用し、SWCC (株)のパーパスにある“いま、あたらしいことを。いつか、あたりまえになることへ。”を軸とした持続的な社会の実現を目指した研究開発テーマの探索及び推進する。

2. 共創研究所とは

東北大学では、産学共創のさらなる振興 / 発展のために、企業との共創研究所という制度を創設している。共創研究所は、東北大学との共同研究や人材育成などの幅広い共創活動を企画・実施するための拠点となる。この共創研究所という拠点を起点として、東北大学との幅広い分野で、かつ世界トップクラスの研究を探索・遂行できるようになる。

3. 活動内容

SWCC (株)では仙台事業所(宮城県柴田町)に金属材料開発部門と銅合金線材の製造部門を持ち、モビリティ分野のヒーター線などの銅合金製品開発から製造までを一貫している。共創研究所の設置により、数々の新物質・材料を創製してきた金属材料研究所を持つ東北大学での基礎研究、SWCC (株)での製品開発・製造までのプロセスを仙台地区に集約し、新製品開発や社会実装の加速をさせる。本取り組みにより合金設計や金属材料開発技術、金属加工技術の強化を進める。

東北大学との共同研究としては、銅銀合金線の微細構造の組織解析を探究しており、これまで不明であった加工による詳細な銅合金組織構造が明らかになってきている。また加工プロセスによる組織及び物性変化予測や酸化物超電導線材の磁場中特性の評価・解析などの研究を進めていく。そして研究活動を通じて、未来につながる技術研究開発の推進、学理の探究と応用の研究を通じ高度な材料科学研究者の育成も進める。



2024年2月2日に開催された開所式にて
右：東北大学金属材料研究所長 佐々木孝彦
左：SWCC 株式会社 代表取締役社長 長谷川隆代



SWCC (株)仙台事業所
銅合金線材の開発から製造まで有している(宮城県柴田町)



夏のリコチャレ 2024 「未来を創る」

RIKO CHALLENGE SUMMER of 2024 「Creating for the Future」

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、内閣府男女共同参画局が中心となって、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。

「夏のリコチャレ 2024 ～さあ、この夏、ステキな理工系の未来を探しに行きませんか？！～」は、主に女子小・中高生を対象として夏休み期間を活用し、全国各地の企業・大学・学術団体等が理工系の仕事体験や女性技術者との交流イベントを企画したものです。なお、2023 年は 96 団体 162 イベントに約 6,300 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) では、誰もが平等に能力を最大限に生かせる環境・仕組みを作り、社会や組織に貢献する活動の一環として、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. リコチャレ 2024 の活動報告

SWCC (株)相模原事業所は、8 月 8 日と 9 月 16 日にイベントを開催しました。また SWCC グループでは、富士電線(株)と SWCC (株)三重事業所でもリコチャレを開催しています。

相模原事業所でのリコチャレ開催は、3 年連続となります。今回は、神奈川県内外から小中高生 (19 名) とその保護者 (12 名) の計 31 名が参加しました。

相模原事業所のリコチャレ 2024 は、「未来を創る」をテーマにエンジニアたちがそれぞれ担当する領域から、経験を踏まえてどうやってこれからの「未来を創る」のかを、ロールモデル紹介や工場見学、体験学習、交流会を通して

参加者にお伝えしました。また馴染みのない製品や専門用語もある中で、参加した皆さんはエンジニアの説明に真剣に耳を傾けてくださいました。



図 1 ロールモデル紹介の様子

工場見学では、研究棟や免震製造ライン、SICONEX®を見学しました。研究棟では、X 線 CT と電子顕微鏡での測定を見学していただきました。またリニアモーターカーの原理実験を体験して、超電導に関するたくさんの質問をいただき、従業員にも笑顔があふれていました。



図 2 ADTPS™ 体験の様子

AVR® 技術についての座学説明を受け、実際に「AVR®」や「ADTPS™」を体験していただきました。参加者の皆さんがゴーグルをはめると別室にいるはずの保護者や関係者が映し出されており、目の前にいると感じられ、握手しようとする人が多くいました。また映し出された人と重なり同じ方向を見ると、映し出された人の視点に切り替わり、「どうして！？」「これはどういう仕組みなの？」と驚かれた反応に、従業員も共に楽しんでいました。

3. 未来を創ること

SWCC (株)の「未来を創る」仕事から感じたことをリコチャレ 2024 参加者の皆さんに共有していただきました。体験学習を自分の興味あるもので生かしてみようとする意見や「理系をもっと勉強したい」、「研究者に興味がでた」という未来を意識した言葉をいただき、この活動を通して参加者の皆さんの創る未来に関われたことを大変光栄に思います。今後もダイバーシティ推進 PJ は、次世代の理工系人材育成に貢献してまいります。

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) 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

(2023. 11 ~ 2024. 10)

【日本地震工学シンポジウム】 (2023年11月23日～25日)

長周期地震動に対する弾性すべり支承の熱・力学連成挙動の
評価手法に関する研究

…………… 菊地 優¹⁾, 石井 建¹⁾, 高田悠大²⁾, 柳 勝幸³⁾

【2023年度秋季 第106回 低温工学・超電導学会研究発表会】 (2023年12月4日～6日)

RtR 式本焼成炉を用いた BaZrO₃ ナノ粒子導入 YGBCO 線材の作製

…………… 佐藤迪夫³⁾, 高橋保夫³⁾, 青木裕治³⁾, 足立和久³⁾,
中岡晃一⁴⁾, 和泉輝郎⁴⁾

Reel to Reel 式 TFA-MOD 法 (Y0.77Gd0.23) Ba₂Cu₃O_y+BaZrO₃
線材の高 J_c 化

…………… 齋藤隼輝⁵⁾, 青砥慶典⁵⁾, 鈴木 匠⁵⁾, 佐藤迪夫³⁾,
青木裕治³⁾, 三浦正志⁵⁾

航空機用超電導ケーブル接続部の開発

…………… 金山諄志³⁾, 足立和久³⁾, 塩原 敬³⁾, 佐藤迪夫³⁾,
中西達尚³⁾, 高橋保夫³⁾, 青木裕治³⁾, 三堂信博³⁾,
和泉輝郎⁴⁾, 岩熊成卓⁵⁾

【2023年度日本建築学会関東支部報告集】 (2024年3月)

高摩擦弾性すべり支承の摩擦係数の変化を考慮した解析モデルの構築
その1 すべり材の解析モデルの構築

…………… 牧平康也⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, Alex Shegay⁸⁾,
三須基規³⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾,
石田琢志¹⁰⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾

高摩擦弾性すべり支承の摩擦係数の変化を考慮した解析モデルの構築
その2 弾性すべり支承の解析モデルの構築

…………… 牧平康也⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, Alex Shegay⁸⁾,
三須基規³⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾,
石田琢志¹⁰⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾

荷重指針に基づく風応答時におけるベースシア係数の評価 その1
風洞実験気流および風力特性に関する検討

…………… 立元 拓⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 牧平康也⁷⁾, 稲井慎介⁹⁾,
桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾,
三須基規³⁾

荷重指針に基づく風応答時におけるベースシア係数の評価 その2
弾性すべり支承を有する免震建物での検討

…………… 立元 拓⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 牧平康也⁷⁾, 稲井慎介⁹⁾,
桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾,
三須基規³⁾

【マテリアルライフ学会「第16回ケミルミネッセンス研究会」】 (2024年3月6日)

ケミルミネッセンス法による樹脂材料を用いた余寿命推定方法の検討
…………… 田中菜穂子³⁾

【電気学会全国大会】 (2024年3月14日～16日)

66kV 気中 VCT 用ダイレクトモールドブッシングの開発

…………… 福濱大河³⁾, 今西 晋³⁾, 新館 均³⁾

【日本建築学会構造系論文集】 (2024年7月)

低速度領域における摩擦係数の変化を考慮した弾性すべり支承の
解析モデルの構築

…………… 佐藤大樹⁷⁾, 牧平康也⁷⁾, Alex Shegay⁸⁾,
三須基規³⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾,
石田琢志¹⁰⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾

【Cigre2024】 (2024年8月25日～30日)

Development of HPFF cable replacement method
by installing XLPE cable into steel pipes

HPFF ケーブルから老朽鋼管を支える XLPE ケーブルシステムへの
交換方法の開発

…………… 村上友介¹¹⁾ (ポスター発表),
古泉寛隆¹¹⁾ (ポスター発表),
岩崎公裕¹¹⁾ (ポスター発表),
Yasuhiko AIHARA¹²⁾ (ポスター発表),
Makoto SUIZU¹³⁾ (ポスター発表),
松尾 竜¹⁴⁾ (ポスター発表)

【2024年度日本建築学会大会(関東)】 (2024年8月27日～30日)

天然ゴム系積層ゴムの加振速度が限界変形等に与える影響の検証

…………… 三須基規³⁾, 土屋諒恭³⁾, 清水美雪³⁾, 加藤直樹³⁾,
高山峯夫¹⁵⁾, 森田慶子¹⁵⁾

弾性すべり支承を有する超高層免震建物を対象とした荷重指針に基
づく組合せ荷重の評価

…………… 立元 拓⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾,
川又哲也⁹⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾, 三須基規³⁾

弾性すべり支承に対する平均成分を有する正弦波荷重制御加振実験
その1 実験概要および荷重・速度とスリップ現象との関連性の検証

…………… 崎谷俊太⁷⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 牧平康也¹⁶⁾, 三須基規³⁾,
Alex Shegay⁸⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾, 川又哲也⁹⁾,
得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾

弾性すべり支承に対する平均成分を有する正弦波荷重制御加振実験

その2 各種パラメータとスリップ現象との関係性の検証

…………… 佐藤大樹⁷⁾, 牧平康也¹⁶⁾, 三須基規³⁾,
Alex Shegay⁸⁾, 稲井慎介⁹⁾, 桑 素彦⁹⁾,
川又哲也⁹⁾, 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾

高ゴム総厚弾性すべり支承を用いた免震建物に関する研究

その1 高ゴム総厚弾性すべり支承の概要と地震応答解析

…………… 得能将紀⁹⁾, 丸尾純也⁹⁾, 中村 匠⁹⁾, 稲井慎介⁹⁾,
加藤直樹³⁾, 三須基規³⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 小林正人¹⁷⁾

高ゴム総厚弾性すべり支承を用いた免震建物に関する研究

その2 風応答解析

…………… 丸尾純也⁹⁾, 得能将紀⁹⁾, 中村 匠⁹⁾, 稲井慎介⁹⁾,
加藤直樹³⁾, 三須基規³⁾, 佐藤大樹⁷⁾, 小林正人¹⁷⁾

伝統的な木造建物に用いる面格子制振壁の開発

(その1 壁要素試験体の静的実験)

…………… 佐藤信夫¹⁸⁾, 花里利一¹⁹⁾, 島崎和司¹⁹⁾, 白井佑樹¹⁹⁾,
佐藤宏貴¹⁹⁾, 三須基規³⁾, 坂本 功²⁰⁾

リング形鋼板を用いた免震基礎接合部に関する実験的研究

(その1) 実験概要

…………… 西村英一郎⁹⁾, 稲井慎介⁹⁾, 吉江一馬⁹⁾,
三須基規³⁾, 小林正人¹⁷⁾

[ASC2024] (2024年9月1日～6日)

Development of a Stacked Superconducting Cable using coated
conductors and Cable Terminations for Electric Propulsion System
for Aircraft

…………… 塩原 敬³⁾, 佐藤迪夫³⁾, 金山諄志³⁾, 足立和久³⁾,
和泉輝郎⁴⁾, 岩熊成卓⁶⁾

Enhancement of the in-field critical current in long BaZrO₃-doped
(Y, Gd)Ba₂Cu₃O_y-coated conductors through TFA-MOD

…………… 佐藤迪夫³⁾, 塩原 敬³⁾, 小山田拓真³⁾,
高橋保夫³⁾, 青木裕治³⁾, 足立和久³⁾,
中岡晃一⁴⁾, 和泉輝郎⁴⁾

System Configuration for Power Transmission from Large-scale
Photovoltaic Power Generation using Superconducting Cables
with Energy Storage Function

…………… 東川甲平⁵⁾, 宮寄智也⁵⁾, 田淵竜也⁵⁾, 浅野将輝⁵⁾,
諸井 翔⁵⁾, 木須隆暢⁵⁾, 佐藤迪夫³⁾, 塩原 敬³⁾,
S. M. Mueen²¹⁾

[令和6年_電気学会電力・エネルギー部門大会] (2024年9月6日)

CV ケーブルリプレースのためのPOF ケーブル撤去工法 開発について

…………… 瀧 文彦¹¹⁾, 岩崎公裕¹¹⁾, 下平由巳¹⁴⁾,
松尾 竜¹⁴⁾

1) 北海道大学

2) 日揮グローバル株式会社

3) SWCC 株式会社

4) 産業技術総合研究所

5) 成蹊大学

6) 九州大学

7) 東京工業大学

8) オークランド大学

9) 戸田建設株式会社

10) 元 戸田建設株式会社

11) 東京電力パワーグリッド株式会社

12) 東京電力ホールディング株式会社

13) 住友電気工業株式会社

14) 株式会社エステック

15) 福岡大学

16) 元 東京工業大学

17) 明治大学

18) 松井建設株式会社

19) 神奈川大学

20) 東京大学

21) Qatar University

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		
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)
富士電線株式会社	〒259-1146	神奈川県伊勢原市鈴川10番地
株式会社アクシオ	〒141-0031	東京都品川区西五反田二丁目12番19号(五反田NNビル)
株式会社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)
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
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)
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
エヌエスティ・グローバルリスト株式会社	〒171-0021	東京都豊島区西池袋三丁目1番15号(西池袋TSビル)
愛世達喜(上海)投資有限公司		中国上海市長寧区仙霞路137号 盛高国際大廈23A室
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD.		Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam
嘉興昭和機電有限公司		中国浙江省嘉興市雲海路825号
東莞昭和機電有限公司		中国広東省東莞市莞龍路段獅龍路 莞城科技园内
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
SWCC SHOWA VIETNAM INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD.		D1 road, Yen My II Industrial Park, Yen My District, Hung Yen Province, Vietnam
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
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
華和工程股份有限公司		台湾高雄縣仁武鄉高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内

SWCC
REVIEW

第70巻 (通巻126号)

SWCCレビュー編集部会

部会長	森下 裕一
委員	稲庭 康之 霜田 光弘 住本 勉 高橋 儀浩 土屋 諒恭 中村 重利 中山 雄裕 西岡 淳一 野崎 裕人
	野呂 互 平方 和良 堀 将太郎 箕輪 昌啓 (五十音順) 舘山 雄一 長谷川 聡 林 真千

編集・発行人 鈴木 大介

発行	2025年3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】

©2025 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。

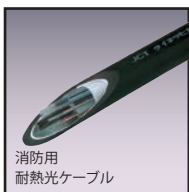
環境と人にやさしい社会へ。 スマートグリッドの実現をサポートする SWCCグループ



地中送電線
CV ケーブル



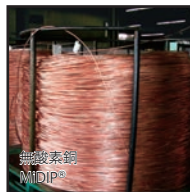
電力機器部品
ダイレクトモールド



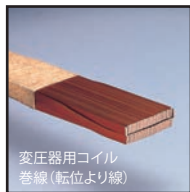
消防用
耐熱光ケーブル



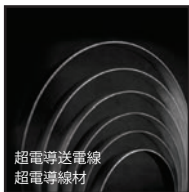
e-Ribbon®



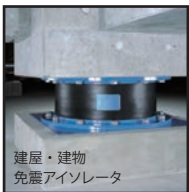
超電送電線
超電導線材



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
免震アイソレータ

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

