

特集

イーサネットLANの高速化と 多様化による今後の発展への期待

昭和電線ホールディングス株式会社

www.swcc.co.jp/

目 次

〈巻頭言〉

イーサネット LAN の高速化と 多様化による今後の発展への期待	児玉 喜直	… 5
-------------------------------------	-------	-----

〈特集論文〉

高速 LAN 配線の最新動向	富士電線株式会社 昭 and 電線ケーブルシステム株式会社	河田 正義・中村雄一郎 浦 卓也 鴨狩之裕・中村雅弘 野呂 互	… 6
----------------	----------------------------------	--	-----

Cat.8 対応 LAN ケーブル「FS-TPCC [®] 8」の開発	富士電線株式会社	中村雄一郎・河田正義 小川 宏	… 12
--	----------	--------------------	------

M12 X code コネクタ付き Cat.6A LAN ケーブルの開発	富士電線株式会社 昭 and 電線ケーブルシステム株式会社	田所弘圭・丸尾久雄 三沢 満・浦 卓也 今井リサ・藤田道朝	… 17
--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------

e-Ribbon [®] 光ケーブルの開発	昭 and 電線ケーブルシステム株式会社	太田勇希・永井傑朗 田邊賢吾・野呂 互	… 22
--------------------------------	----------------------	------------------------	------

車載用シールド付きツイストペアケーブルの開発	昭 and 電線ケーブルシステム株式会社 富士電線株式会社 元 青森昭 and 電線株式会社	光地伸明 河田正義 坂本 喬*	… 26
------------------------	--	-----------------------	------

*) 同社は 2021 年 12 月末付で解散

〈普通論文〉

6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブル用中間接続部の 開発および実証試験 (その 2)	昭 and 電線ケーブルシステム株式会社	足立和久・中西達尚 塩原 敬・三堂信博 青木裕治	… 30
--	----------------------	--------------------------------	------

Cu-Sn 合金線の熱処理特性と調質導体電線の特性評価	昭 and 電線ケーブルシステム株式会社	新井龍一・植田慎之介 仲津照人・小泉 勉 藤田道朝	… 36
-----------------------------	----------------------	---------------------------------	------

小勢力回路用耐熱電線押え巻の検討	富士電線株式会社	小路はるか・茂木淑豪 浦 卓也	… 40
------------------	----------	--------------------	------

〈新製品紹介〉

小勢力回路用 耐火ケーブル (EM-JSH®) - 消防庁告示化対応品 - 44

〈トピックス〉

漏洩同軸ケーブル用コネクタの NETIS 登録：N-J43DU 45

ダイレクトモールド製品のラインナップ化 46

銅合金極細線 47

〈工事紹介〉

関西電力送配電(株)殿向け 154 kV 防蟻剤入り防蟻 CV ケーブル工事 48

〈社外技術発表一覧表〉

..... 49

SWCC SHOWA GROUP TECHNICAL REVIEW

2021 Vol. 67 (High-speed of Ethernet LAN and expectation to future's development by diversification)

CONTENTS

< High-speed of Ethernet LAN and expectation to future's development by diversification >	5
< Special Papers >	
Latest Trends in High-Speed LAN Cabling	6
Development of LAN Cable "FS-TPCC® 8" Compatible with Cat.8 Standard	12
Development of LAN Cable with M12 X Code Connector	17
Development of Optical Fiber Cable with e-Ribbon®	22
Development of Shielded Twist Pair Cable for Automobiles	26
< Regular Papers >	
Development of Cable Joint for 6 kV 3000 A Tri-Axial Superconducting Cable System and Actual Test (Part2)	30
Performance Test of Cu-Sn Alloy Cables with Refining Conductors	36
Consideration of Binding Tape for Heat Proof Instrumentation, Control and Communication Wires and Cables	40
< New Products >	
Instrumentation, Control and Communication Fire Proof Cable	44
< Topics >	
NETIS Registration of Connector for Leaky Coaxial Cable : N-J-43DU	45
Making the Line-up of Direct-molded Outdoor Termination	46
Ultra-Fine Copper Alloy Wire	47
< Construction >	
Installation Work of 154 kV XLPE Cable with Termite-prevention PVC for Kansai Transmission and Distribution, Inc.	48
< List of Technologies Published since 2021 >	49

Published by

SWCC SHOWA HOLDINGS CO., LTD.

Cube Kawasaki Building, 1-14, Nisshin cho, Kawasaki-Ku,
Kawasaki City, KANAGAWA

URL www.swcc.co.jp

特 集

イーサネットLANの高速化と 多様化による今後の発展への期待

執行役員
通信・産業デバイスセグメント長
富士電線株式会社 代表取締役社長

児玉 喜直



ブロードバンド（高速・大容量通信）インターネットは、平成13年版情報通信白書において「ブロードバンド元年」と位置付けられて以降、DSL（Digital Subscriber Line）やケーブルインターネットにより急速に普及し、その後ブロードバンドの主流がFTTH（Fiber To The Home）へ移行することにより、更に高速化・大容量化しています。また、IoT（Internet of Things）の推進、5Gのエリア拡大、Wi-Fi6の普及等、今後もネットワーク通信トラフィック量の増加が見込まれており、更に高速通信が可能な新たな伝送方式が次々と開発されています。

これらのネットワークで使用する有線LANを用いた伝送方式は「イーサネット」と呼ばれ、主に商用ビル（オフィスビル）やデータセンターでの高速・大容量通信に使用されてきましたが、現在では、ネットワークの高速化・共通化志向の高まりにより、FA分野での産業用ネットワークや自動車に搭載される通信機器ネットワークにも用途を広げており、今後もイーサネットの用途は拡大していくものと思われます。

今後の更なる高速・大容量化に対応するためには、新たなネットワークの構築が必要です。そのネットワーク構成要素の一つであるケーブルも重要な役割を担っており、高速化要求に対応すべく進化していく必要があります。

昭和電線グループでは、ネットワークの発展と共に高まるお客様のニーズに対応すべく、LAN用ツイストペアケーブルや光ファイバケーブルの研究・開発に継続して取り組んでまいりました。今後は、これまで事業展開してきたオフィスネットワークのみならず、今後の市場拡大が予想されるFA分野での産業用ネットワークやデータセンター（DC）配線、車載用高速伝送等の新市場へと事業を進展させ、変化が激しい情報通信の世界で、コミュニケーションの新たな価値創出に挑んでまいります。尚、当社グループではこの新たな挑戦に向けて、新ブランド（FLANTEC®（フランテック））戦略導入により、グループ総力を挙げた新たな市場への拡販を加速させ、事業拡大を目指しております（図1、図2）。

本特集号では、多様化するイーサネット市場の動向や、製品開発の取り組みの一端をご紹介させていただきます。ご高覧の上、ご意見、ご批評など賜れば幸甚に存じます。



『FLANTEC®』とは、
“F（First, Fast, Future, Fuji）” + “LAN” + “TEChnology”
を組み合わせたものです。
「昭和電線グループの、高速で、
未来に向けた No.1 LAN ケーブル技術」を意味しています。

図1 新ブランド FLANTEC®（フランテック）コンセプト

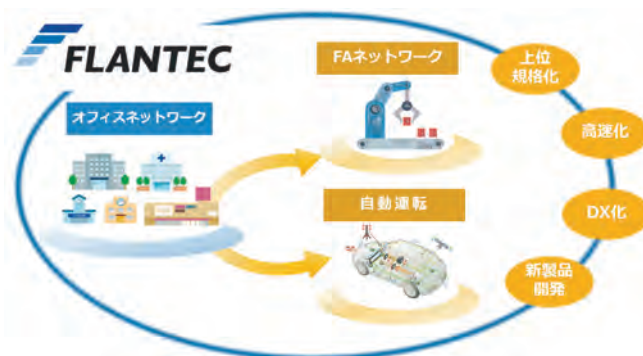


図2 新たな市場への事業拡大イメージ図

高速 LAN 配線の最新動向

Latest Trends in High-Speed LAN Cabling

河田 正義
Masayoshi KAWATA

中村 雄一郎
Yuuichirou NAKAMURA

鴨狩 之裕
Yukihiko KAMOGARI

中村 雅弘
Masahiro NAKAMURA

野呂 互
Wataru NORO

浦 卓也
Takuya URA

インターネットのブロードバンド（高速・大容量通信）が一般化して久しいが、5G（第5世代移動通信システム）やWi-Fi6の普及等により今後も通信量の増加が見込まれている。LAN（Local Area Network）配線についても通信量の増加に対応すべく進化を続けており、本報では様々な分野で利用されている高速LAN配線の最新動向について報告する。

Broadband (high-speed, large-capacity communication) on the Internet has been popular for a long time, but it is expected that the amount of communication will continue to increase due to the spread of 5G (5th generation mobile communication system) and Wi-Fi6. LAN (Local Area Network) cabling is also evolving to cope with the increase in communication volume, and this report reports on the latest trends in high-speed LAN wiring used in various fields.

1. はじめに

LAN配線には、光ファイバケーブルとメタルケーブル（ツイストペアケーブル）が使用されており、これらのケーブルを使用したデータ伝送方式は、有線LANの標準規格であるイーサネットが広く用いられている。

光ファイバケーブルはノイズの影響を受けず長距離伝送が可能、メタルケーブルは布設工事が容易で低コストと、それぞれに利点があり、使用環境や用途によって使い分けられている。

2章以降では、様々な分野で利用されている高速LAN配線についての規格、ケーブル種類、最新規格動向等を分野ごとに詳しく説明する。

2. LAN 配線市場

LAN配線は、これまで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たが、近年では工場や製造現場等の産業用配線においても、オフィス環境と同様に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、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る。

データセンター市場においては、近年の通信量増加によって更なる高速・大容量通信への対応が必須となっており、従来の1 Gbps伝送から10 Gbps、40 Gbps、100 Gbpsへ伝送へと高速化が進んでいる（表1）。

また、車載用ネットワーク配線についても、自動運転機能が進化していく中で通信データ量が増加するため、SPE（Single Pair Ethernet）ケーブルを使用した車載用イーサネットの規格化、高速化が進んでいる（表2）。

表1 LAN 伝送規格と適用ケーブル

伝送速度	伝送規格		適用ケーブル
	適用規格	名称	
1000 Mbps (1 Gbps)	IEEE 802.3ab	1000 BASE-T	ツイストペア
	TIA/EIA-854	1000 BASE-TX	ツイストペア
	IEEE 802.3z	1000 BASE-SX 1000 BASE-LX	光ファイバ
2.5 G/5 Gbps	IEEE 802.3bz	2.5 G/5 GBASE-T	ツイストペア
10 Gbps	IEEE 802.3an	10 GBASE-T	ツイストペア
	IEEE 802.3ae	10 GBASE-SR	光ファイバ
		10 GBASE-LR	
		10 GBASE-ER 10 GBASE-LX4	
25 G/40 Gbps	IEEE 802.3bq	25 G/40 GBASE-T	ツイストペア
	IEEE 802.3ba	40 GBASE-SR4 40 GBASE-LR4	光ファイバ
100 Gbps	IEEE 802.3ba	100 GBASE-SR10	光ファイバ
		100 GBASE-LR4	
		100 GBASE-ER4	
400 Gbps	IEEE 802.3bs	400 GBASE-SR16	光ファイバ
		400 GBASE-DR4	
	IEEE 802.3cm	400 GBASE-SR4.2 400 GBASE-SR8	

表 2 車載用ネットワークの伝送規格と適用ケーブル

伝送速度	伝送規格	
	適用規格	名称
100 Mbps	IEEE 802.3bw	100 BASE-T1
1 Gbps	IEEE 802.3bp	1000 BASE-T1
2.5 G/5 G/10 Gbps	IEEE 802.3ch	2.5 G/5 G/10 GBASE-T1

2.1 汎用 LAN 配線市場（メタルケーブル）

オフィスビルや学校、病院などの構内情報配線は、これまで1 Gbpsに対応した Cat.5e ケーブルが主に使用されてきたが、近年の情報通信トラフィック量の大幅な増加に伴い、上位カテゴリである Cat.6 や Cat.6A の採用が増加している。表3は、伝送速度とそれに対応するケーブルカテゴリ、図1は、2020年度のカテゴリ別使用状況（当社出荷比）を示したものである。

表 3 伝送速度と対応カテゴリ

伝送速度	規格名称	対応カテゴリ
1 Gbps	1000 BASE-T	Cat.5e 以上
2.5 Gbps	2.5 GBASE-T	Cat.5e 以上 (新規配線は Cat.6A を推奨)
5 Gbps	5 GBASE-T	Cat.6 以上 (新規配線は Cat.6A を推奨)
10 Gbps	10 GBASE-T	Cat.6A 以上 (37 m 未満は Cat.6 でも可)

■ Cat.5e ■ Cat.6 ■ Cat.6A

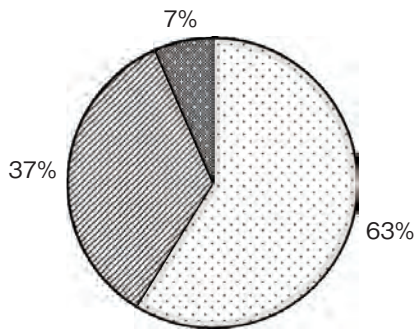


図 1 カテゴリ別使用状況

近年は、オフィスビルや学校では無線 LAN の採用が進んでおり、無線 LAN の高速化に伴ってアクセスポイント (AP) まで配線する LAN ケーブルについても、高速化に対応すべく、上位カテゴリのケーブルを採用する必要がある。2019年12月に文部科学省が打ち出した GIGA スクール構想（児童生徒向けの1人1台の学習用端末と高速大容量の通信ネットワークを一体的に整備するという国の構想）では、学校内の無線 LAN 環境を構築するために無線 AP まで配線する LAN ケーブルのカテゴリに 10 Gbps 伝送に対応した Cat.6A を指定した結果、これまで2%程度であった Cat.6A の採用が7%と大幅に増加し、Cat.6A 普及の大きな引き金となった。

Cat.6A ケーブルでは、Cat.5e や Cat.6 では規定されていなかったエイリアンクロストークという特性が追加されて

いる。エイリアンクロストークとは、隣接する他のケーブルから受ける漏話であり、複数のケーブルを平行に布設した場合に影響を受ける。今までは、4対のケーブル内部での漏話の規格値は規定されていたが、10 Gbps 伝送では、500 MHz という高周波帯域が必要であるため、送信信号の減衰が大きくなると共に高周波ではノイズが増すことから、安定した伝送を実現するために、隣接するケーブルの影響まで考慮することが必要となったのである。そのため、現在採用されている Cat.6A ケーブルは、遮へい等を実施しエイリアンクロストークを抑制する構造が主となっている（図2）。



図 2 Cat.6A 対応ケーブル
[型名：TPCC® 6A 23 AWG x 4P]

2021年5月には、構内で使用する情報配線システムについて規定した日本産業規格 JIS X 5150-2016 構内情報配線システムが改正され、JIS X 5150-1：2021 汎用情報配線設備 - 第1部：一般要件と JIS X 5150-2：2021 汎用情報配線設備 - 第2部：オフィス施設の2部構成となった。

JIS X 5150-2 は、オフィスビル内及びオフィス間の汎用配線設備、又はオフィスビル以外のビルのオフィス空間における汎用配線設備について規定しており、オフィスの水平配線設備では、最低でも Cat.6 以上の性能を提供しなければならず、データ転送速度が 1 Gbps を超えるアプリケーション（2.5 Gbps, 5 Gbps, 10 Gbps）では Cat.6A 以上が望ましいと規定している。

今回の規格改正により、オフィス施設では、これまでの主流であった Cat.5e ケーブル及び部材を使用した場合、JIS 規格に適合しないこととなり、今後は、配線部材に Cat.6 以上を使用する必要がある。

また、LAN ケーブルを使用して機器に電力供給を行なう PoE (Power over Ethernet) 技術についても、ネットワークカメラや無線 LAN アクセスポイントの電力供給に使用されており、電力供給量を増加させた伝送方式 (4PPoE) が規格化され、今後益々採用が広がることが予想される (表4)。

表4 PoE規格一覧

	PoE	PoE Plus	4PPoE	
IEEE規格	802.3af Type1	802.3at Type2	802.3bt Type3	802.3bt Type4
供給電力	15.4 W	30 W	60 W	90 W
最大電流	350 mA/1P	600 mA/1P	600 mA/1P	960 mA/1P
使用ペア数	2P	2P	4P	4P

4PPoEでは、1P当たりの電流値が高くなるため、ケーブルの発熱が懸念される。ケーブル温度が上昇すると、導体抵抗、挿入損失の増加や長期信頼性低下の恐れがあり、温度上昇を低く抑えるには、Cat.6Aなどの上位カテゴリを使用することが有効である。

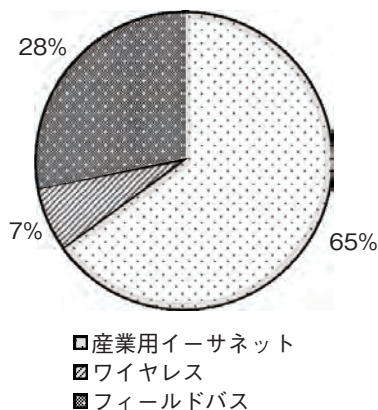
このような背景から、汎用LAN配線市場は、今後の更なる情報通信トラフィック量の増加に対応すべく、Cat.5eからCat.6、Cat.6Aの上位カテゴリへの移行が進んでいくと予想される。

Cat.6Aの上位カテゴリとして25 Gbps、40 Gbpsに対応したCat.8が規格化されているが、これはデータセンタ用の規格であり、本特集の別論文(Cat.8対応LAN「FS-TPCC® 8」の開発)で詳しく説明する。

2.2 産業用LAN配線市場

近年、IoT (Internet of Things) やDX (デジタルトランスフォーメーション)、ローカル5Gが推進され、工場内で使用される産業用ネットワーク市場においてもオフィス環境と同様な伝送方式(イーサネットシステム)の採用が増加しており、産業用LANケーブルの需要も年々増加している。

2021年現在、グローバル市場から見た産業用イーサネットは、参考文献4)によると、産業オートメーション分野における新規設置ノード(ネットワーク構成機器)において、65%を占めており、今後も産業用LANケーブル需要の増加が見込まれる(図3)。

図3 産業用ネットワーク市場シェア⁴⁾

産業用LANケーブルは、工場内での過酷な使用環境下においても正常な通信が可能となるよう、産業用特有の下記①~④のような要求に対応する必要がある。

要求事項に応じた当社のラインアップを示す(表5)。

①高遮へい

工場内、機械周りではノイズ発生が想定されるため、遮へい付ケーブルを推奨。特にノイズが多いと思われる場合は「銅編組+アルミ箔貼付プラスチックテープ」の二重シールド構造。

②耐油

機械周り配線の場合、耐油性を考慮した外被のケーブルが必要。

③耐屈曲

可動部に使用する場合には必須。

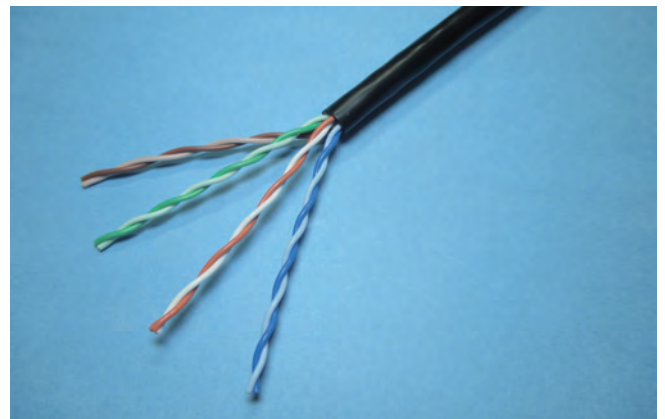
(試験例：左右屈曲、U字折り返し、捻回)

④耐熱

高温環境下で使用する場合には必須。

表5 産業用LANケーブルラインアップ

	種類	型名
Cat.5e	高遮へい・耐油	HFS-TPCC® 5
	高遮へい・耐油・耐屈曲	HFS-TPCC® 5 PATCH-FA
	125°C耐熱	H12-TPCC® 5 (図5)
	125°C耐熱(超細径)	H12-TPCC® 5 (S)
Cat.6A	高遮へい・耐油	HFS-TPCC® 6A (図4)
	高遮へい・耐油・耐屈曲	HFS-TPCC® 6A PATCH-FA

図4 高遮へい付き Cat.6A 対応ケーブル
[型名：HFS-TPCC® 6A 0.5 mm × 4P]図5 125°C耐熱LANケーブル
[型名：H12-TPCC® 5 0.5 mm × 4P]

現状の産業用ネットワークでは、1 Gbps 伝送が主流であり、産業用 LAN ケーブルのカテゴリも Cat.5e が主であるが、今後は、オフィスビルなどの汎用 LAN 配線市場と同様に情報トラフィック量が増加していくことが予想され、Cat.6、Cat.6A の上位カテゴリが必要になってくるものと考えられる。

2.3 データセンタ向け LAN 配線市場

データセンタ (DC) は 5G の普及や IoT の発展に伴う SNS や動画共有サービス (クラウドサービス) 活用などによる通信量の飛躍的増大に対応した高速・大容量化が必須となっている。この高速・大容量化の要求に伴い、伝送規格も 10 Gbps、40 Gbps、100 Gbps、400 Gbps へとより高速化へシフトして来ている。現在の DC ネットワークは 100 Gbps 伝送が主流になりつつあるが、より高速・大容量の要求に対応すべく 400 Gbps 伝送の導入も進んで行くと考えられている (表 6)。

また 2000 年代に建設された DC 老朽化に伴う更新や移設集約によるハイパースケールデータセンタ (HSDC) の新設も進んできている。このように DC 市場は年々拡大することが見込まれている (図 6)。

表 6 LAN 伝送規格, 適用ケーブルと伝送距離

伝送速度	伝送規格 適用規格	適用ケーブルと伝送距離		
		名称		
10 Gbps	IEEE 802.3an	10 GBASE-T	メタル Cat.6A 以上	~ 100 m
		10 GBASE-SR	光 OM1 ~ 4	~ 550 m
	IEEE 802.3ae	10 GBASE-LR	光 OS1, 2	~ 10000 m
		10 GBASE-ER	光 OS1, 2	~ 40000 m
		10 GBASE-LX4	光 OS1, 2 光 OM1 ~ 4	~ 30000 m ~ 300 m
25/40 Gbps	IEEE 802.3ba	25 G/ 40 GBASE-T	メタル Cat.8	~ 30 m
	IEEE 802.3ba	40 GBASE-SR4	光 OM3, 4, 5	~ 150 m
		40 GBASE-LR4	光 OS1, 2	~ 10000 m
100 Gbps	IEEE 802.3ba	100 GBASE-SR10	光 OM3, 4, 5	~ 150 m
		100 GBASE-LR4	光 OS1, 2	~ 10000 m
		100 GBASE-ER4	光 OS1, 2	~ 40000 m
400 Gbps	IEEE 802.3bs	400 GBASE-SR16	光 OM3, 4, 5	~ 100 m
		400 GBASE-DR4	光 OS1, 2	~ 500 m
	IEEE 802.3cm	400 GBASE-SR4.2	光 OM4, 5	~ 150 m
		400 GBASE-SR8	光 OM5	~ 100 m

DC 内でのデータ伝送方式は主にイーサネットが活用され、配線にはメタルケーブルと光ファイバケーブルが使用される。

メタルケーブルは、2.1 項でも述べたとおり、高速・大容量化に伴い、高周波帯域での特性が必要となるため、エイリアンクロストークを抑制する構造が主流となっている。DC 内の配線では伝送速度 10 Gbps から更に高速化が進んでおり、25/40 Gbps では Cat.6A の上位カテゴリとなる Cat.8 が採用されている。

Cat.8 は、2 GHz までの周波数特性を有する一括フォイルシールド (F/UTP) 構造となっており、今後、短距離用途に適用されていくとみられる (図 7)。

光ファイバケーブルは、メタルケーブルの伝送距離を超える中短距離用 (OM3 ~ 5) または、長距離用 (OS1, 2) として使用される。

高速・大容量化が進むにつれ、データ伝送方式は、従来の 2 心双方向の他、複数の光ファイバに伝送を分散しトータルで高速化に対応する方式や 1 心の光ファイバに波長多重する方式などが導入されるようになった。

中短距離ではマルチモードファイバ (OM5) を適用し波長多重方式で 1 心 100 Gbps (25 Gbps 伝送 × 4 波長) 伝送も可能となっている。今後の 400 Gbps 伝送にも適用が進んで行くと考えられる。

ケーブル構造としては、従来の 2 心平型光ケーブルの他、12、24 心ラウンドコード (図 8)、多心-単心変換用のトランクケーブルなどが使用されるようになっている。

光トランシーバに使用されるコネクタについても LC コネクタだけでなく多心 MPO コネクタの使用が増えている。

HSDC では、建屋間の接続が必要となり、既設管路など限られた狭い空間内に大量の光ファイバを布設するため細径・高密度な超多心ケーブルが主流になってきている。

細径・高密度化には、単心光ファイバのように変形しやすい柔軟な特性を維持しつつ、多くの光ファイバが精密に連結したローラブルリボンを実装することが有効であり、現在 DC 向けローラブルリボンケーブルの使用が拡大している (図 10)。

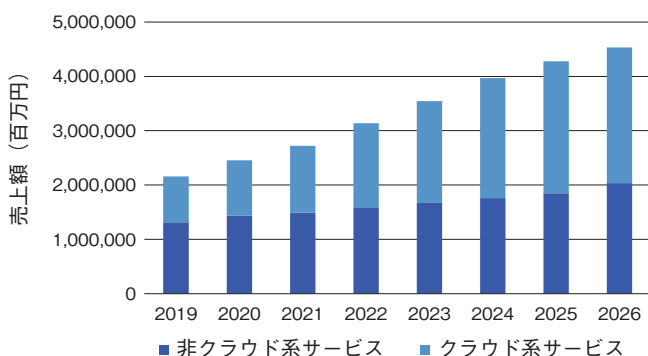


図 6 国内 DC 市場 売上額予測⁵⁾



図 7 Cat.8 ケーブル プラグ加工品
(ケーブル: FS-TPCC® 8)
(プラグ: テレガードナー社製 J00026A5007)



図8 MPO コネクタ付き光ラウンドコード

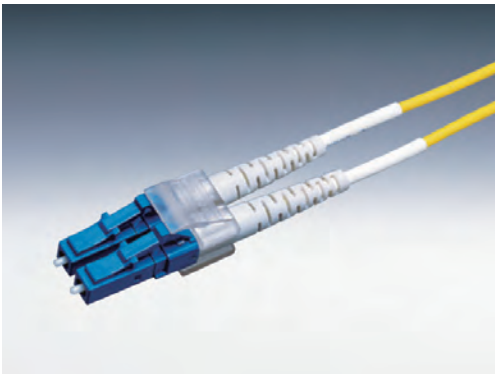


図9 2連LC コネクタ付き光コード

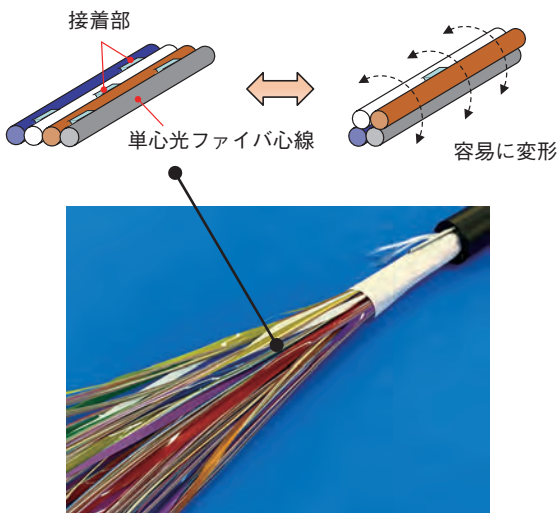


図10 ローラブルリボン (e-Ribbon®) とローラブルリボンケーブル

また、細径・高密度なローラブルリボンは配線工事コストを大幅に低減させることが可能であり、今後ローラブルリボンケーブルがDC内の光線路の主流になっていくものと考えられる。

2.4 車載 LAN 市場

自動車にはセンサや制御装置など多くの電子機器が搭載されており、それを結ぶために多数の配線が必要となって

いる。多数の配線による重量増を解消するため、配線を単純化し軽量化が可能になるよう車内配線のネットワーク化が進んできた。車載ネットワークの主な通信規格として、CAN, LIN, FlexRay, MOST, Ethernet などがある (表7)。近年では通信データ量が飛躍的に増加しているため、Ethernet が注目されており、情報系や制御系への適用が進んでいる。

表7 主な車載ネットワーク

通信規格	アプリケーション		伝送速度
	系統	主な用途	
CAN	制御	エンジン ブレーキ	~数百 kbps
LIN	制御	ドアミラー ウィンドウ	20 kbps
FlexRay	制御	エンジン ブレーキ	~10 Mbps
MOST	情報	ナビゲーション ビデオ	~125 Mbps
Ethernet	制御・情報	カメラ, センサ バックボーン	100 Mbps ~ (表8)

今後の自動車業界はCASEをキーワードとした技術変革が進むと言われている。CASEとは、Connected (コネクテッド), Autonomous (自動運転), Shared (シェアリング), Electric (電動化) の頭文字を取った言葉であり、その中でも、自動車の状態や交通状況のデータを外部と送受信するConnectedや、センサやカメラから得る情報を元に運転を自動で行うAutonomousについては車載ネットワークの高度化に大きな影響を与える。

今後自動運転のレベルが上がっていくにつれ、車にはますます多くのセンサやカメラが搭載され、カメラの高精細化が進み、カメラが受信する膨大なデータを瞬時に制御機器に伝送することが必要となる。そのため車載ネットワークの高速化が必要となってくる。

このような背景から車載Ethernetも規格の高速化が進み、従来の100 Mbps, 1 Gbps 伝送規格から、2020年に伝送速度2.5 Gbps・5 Gbps・10 GbpsのIEEE802.3chが制定された。現在ではさらに伝送速度が高速な25 Gbps・50 Gbps・100 GbpsのIEEE802.3cyが検討されており、2023年以降に制定される見込みとなっている (表8)。

表8 車載用 Ethernet 伝送規格 最新動向

伝送速度	伝送規格	
	適用規格	名称
100 Mbps	IEEE 802.3bw	100 BASE-T1
1 Gbps	IEEE 802.3bp	1000 BASE-T1
2.5 G/5 G/10 Gbps	IEEE 802.3ch	2.5 G/5 G/10 GBASE-T1
25 G/50 G/100 Gbps	IEEE 802.3cy	策定中

3. まとめと今後

以上、ネットワークの高速・大容量化及び高度な技術革新に伴い、当社グループでは、その高まるニーズに対応すべく、LAN用ツイストペアケーブルや光ファイバケーブル

ルの研究・開発に継続邁進しており、今後は、オフィスネットワークのみならず、市場拡大が大いに予想される FA 分野、DC 分野、車載用高速伝送等の新市場へ事業を進展させ、変化が激しい情報通信の世界で、コミュニケーションの新たな価値創出へ挑んでいく。

当社グループではこの新たな挑戦に向けて、新ブランド (FLANTEC[®] (フランテック)) 戦略導入によりグループ総力を挙げた自由な市場への拡販を加速させ、事業拡大を目指していくものとする (図 11)。

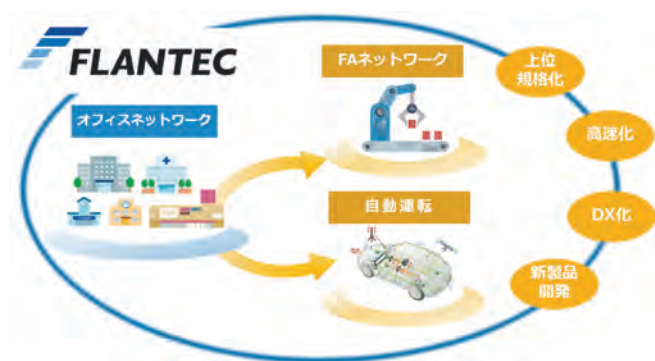


図 11 新たな市場への事業拡大イメージ図

参考文献

- 1) 河田正義, 他: LAN 用ツイストペアケーブルの現状と今後の展望, 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, p.44 (2008)
- 2) 河田正義, 他: 特性を満たすための構造と施工, 電設技術, 平成 29 年 8 月号, p.116
- 3) 日本産業規格: JIS X 5150-2: 2021 汎用情報配線設備 - 第 2 部: オフィス施設
- 4) Thomas Carlsson: 産業用ネットワーク市場シェア動向 2021 (2021.3.31 HMS Networks 統計)
- 5) 野村総合研究所: IT ナビゲーター 2021 年版, 2020 年 12 月 31 日発行, p.154

「TPCC」は富士電線株式会社の登録商標です。

「e-Ribbon」は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

「FLANTEC」は富士電線株式会社の登録商標です。

富士電線(株)
河田 正義 (かわた まさよし)
甲府工場 工場長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
中村雄一郎 (なかむら ゆういちろう)
甲府工場 通信技術課 課長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
鴨狩 之裕 (かもがり ゆきひろ)
通信ケーブル部 技術課
光ケーブルの開発・設計業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
中村 雅弘 (なかむら まさひろ)
新事業開発部 マーケティング G
新製品のマーケティング・拡販業務に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
野呂 互 (のろ わたる)
通信ケーブル部 技術課課長
光ケーブルの開発・設計業務に従事

富士電線(株)
浦 卓也 (うら たくや)
取締役 生産本部長

Cat.8 対応 LAN ケーブル「FS-TPCC® 8」の開発

Development of LAN Cable “FS-TPCC® 8” Compatible with Cat.8 Standard

中村 雄一郎 河田 正義 小川 宏
Yuuichiro NAKAMURA Masayoshi KAWATA Hiromu OGAWA

ツイストペアの LAN (Local Area Network) ケーブルを使用したネットワーク配線は高速化が進んでいる。データセンター配線についても、高速化の要求が高まっている。そのような中、ツイストペアケーブルを使用したデータセンター配線用規格として最大 40 Gbps 伝送が可能な Cat.8 (Category 8) の規格が制定された。本報では、Cat.8 規格の概要と Cat.8 規格に対応した LAN ケーブルについての取り組みを報告する。

Network wiring using twisted pair LAN (local area network) cables speeding up is progressing. Also for data center wiring the demand for high speed is increasing. In such a situation the Cat.8 (Category 8) standard, which enables transmission of up to 40 Gbps, has been established as a standard for data center wiring using twisted pair cable. This report reports on the outline of the Cat.8 standard and the efforts for LAN cables compatible with the Cat.8 standard.

1. はじめに

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や工場、製造現場等の産業用配線においても、ネットワークの高速化志向が高まっている。

データセンター市場においても、近年の通信量増加によって更なる高速・大容量通信への対応が必須となっており、従来の 1 Gbps 伝送から 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps ~ 伝送へと高速化が進んでいる (図 1)。

メタル LAN ケーブル (ツイストペアケーブル) を使用した LAN 配線は従来まで 10 Gbps 伝送に対応した Cat.6A が最上位カテゴリであったが、更なる高速化として、2016 年にデータセンター配線用として、25 Gbps, 40 Gbps に対応した Cat.8 が規格制定された。

本報では、Cat.8 規格の概要と Cat.8 規格に対応したメタル LAN ケーブル「FS-TPCC® 8」について報告する。

2. Cat.8 規格について

データセンター配線では、10 Gbps 伝送より、更なる高速化の要求より、新たな Ethernet 伝送方式として、2016 年に 25 G/40 GBASE-T (IEEE802.3bq) が規格化され (表 1)、この伝送方式に使用されるメタル LAN ケーブル用として Cat.8 が規格制定された (ANSI/TIA-568.D-2, ISO/IEC 11801-9901) (表 2)。

商用ビル等で使用される Cat.5e ~ Cat.6A は最大配線長が 100 m までで、UTP 及び遮へい構造があるのに対し、Cat.8 はデータセンター配線専用の規格であり、構造は遮へい構造のみで最大配線長は 30 m となっている (表 2)。

Cat.8 規格は要求されている周波数帯域が 2000 MHz と非常に高い (表 3)。100 m チャネル配線 (2 台の機器間を接続する伝送線路) の場合、高周波の挿入損失が高く、また、Cat.6A と同じようにチャネル配線で 4ヶ所接続をした場合、その接続点での特性劣化が大きくなる為、Cat.8 のチャネル配線は 2ヶ所までの接続で最大長は 30 m となっている。

表 1 メタル LAN 伝送規格と適用カテゴリ

伝送速度	伝送規格		適用カテゴリ
	適用規格	名称	
1000 Mbps (1 Gbps)	IEEE 802.3ab	1000 BASE-T	Cat.5e 以上
	TIA/EIA-854	1000 BASE-TX	Cat.6 以上
2.5 G/5 Gbps	IEEE 802.3bz	2.5 G/5 GBASE-T	Cat.6A 以上 (*1)
10 Gbps	IEEE 802.3an	10 GBASE-T	Cat.6A 以上 (*2)
25 G/40 Gbps	IEEE 802.3bq	25 G/40 GBASE-T	Cat.8

(*1) 新規配線は Cat.6A 以上を推奨

(*2) 37 m 以下の場合 Cat.6 が使用可能

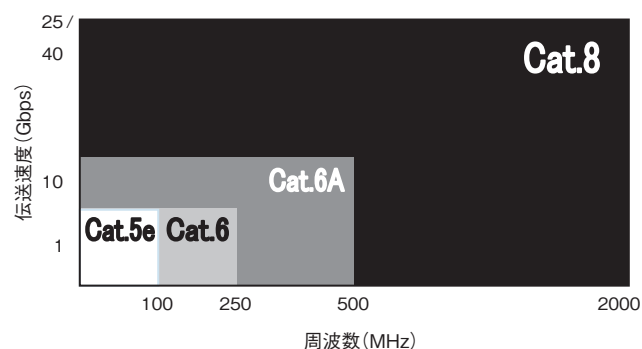


図 1 各カテゴリの伝送速度と周波数の関係

表 2 Cat.8 配線規格について

	TIA ISO	TIA	ISO	
			Class I	Class II
カテゴリ	Cat.6A	Cat.8	Cat.8.1	Cat.8.2
構造	UTP 遮へい	遮へい (F/UTP)	遮へい (F/UTP)	遮へい (S/FTP)
コネクタ	RJ-45	RJ-45	RJ-45	特殊 コネクタ
最高周波数	500 MHz	2000 MHz	2000 MHz	
最大 チャンネル長	100 m	30 m	30 m	
接続点	4ヶ所	2ヶ所	2ヶ所	

表 3 Cat.8 ケーブル主要電気特性

項目	周波数 (MHz)	Cat.6	Cat.6A	Cat.8
最小 NEXT (dB)	1	74.3	74.3	75.3
	10	59.3	59.3	60.3
	100	44.3	44.3	45.3
	250	38.3	38.3	39.3
	500	—	33.8	34.8
	1000	—	—	30.3
	1500	—	—	27.7
最小 RL (dB)	1	20.0	20.0	20.0
	10	25.0	25.0	25.0
	100	20.1	20.1	22.2
	250	17.3	17.3	19.4
	500	—	15.2	17.3
	1000	—	—	15.2
	1500	—	—	14.0
2000	—	—	13.1	

NEXT：近端漏話減衰量

RL：反射減衰量

3. 遮へい付きメタル LAN ケーブル構造について

Cat.6A までは、オフィスビルや学校、病院などの構内情報配線システム等で使用される為、ノイズの影響がない環境では、シールド無しのメタル LAN ケーブル (UTP：Unshielded Twisted Pair) (図 2)、ノイズの影響を考慮する環境では、シールド付きのメタル LAN ケーブルが使用されているが、Cat.8 はデータセンター配線のみで使用される事から、信頼性の高いシールド付きのメタル LAN ケーブルのみが使用される規格となっている。

Cat.8 で規定されているシールド付きメタル LAN ケーブルの構造は 4 対の周囲に遮へいを施す一括遮へい構造 (F/UTP) (図 3) と各対毎に遮へいを施し、更に 4 対の周囲に遮へいを施す構造 (S/FTP) (図 4) の 2 種類がある。

F/UTP 構造は TIA,ISO 規格共に規定され、コネクタは RJ-45 が使用される。一方、S/FTP 構造は ISO 規格のみで規定されており、RJ-45 以外の特殊なコネクタを使用する仕様となっている。

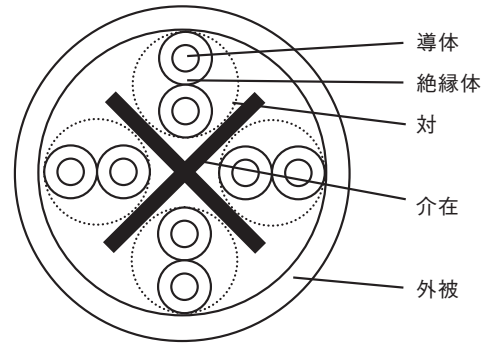


図 2 メタル LAN ケーブル (UTP) 断面図

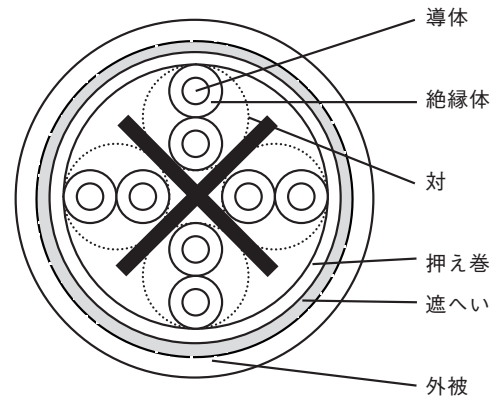


図 3 メタル LAN ケーブル (F/UTP) 断面図

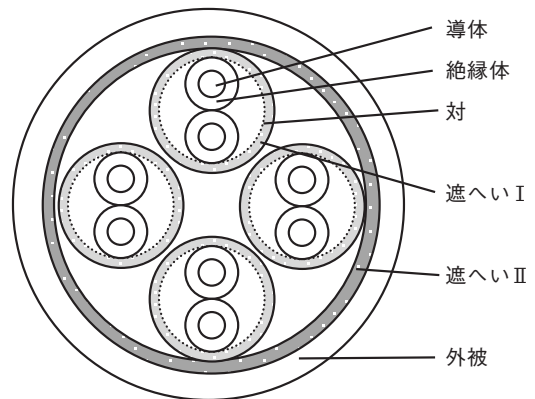


図 4 メタル LAN ケーブル (S/FTP) 断面図

4. Cat.8 対応 LAN ケーブルについて

データセンター配線で使用される、Cat.8 対応メタル LAN ケーブル「FS-TPCC® 8」について当社での取り組みを説明する。

Cat.8 ケーブルの開発は遮へい構造であり、Cat.6A の 4 倍である周波数帯域 2000 MHz までの電気特性を満足させることが必要になる。

当社では、遮へい構造は RJ-45 コネクタが取付けできる、一括遮へいの構造 (F/UTP) で開発に取り組んだ。

4.1 Cat.6A 対応メタル LAN ケーブル特性確認

Cat.8 規格で規定されている周波数帯域 2000 MHz までの電気特性を周波数帯域 500 MHz の Cat.6A 規格に対応している一括遮へい (F/UTP) 構造の「FS-TPCC® 6A」で確認を実施した。

「FS-TPCC® 6A」では、Cat.8 規格で NEXT, RL 特性について、1000 MHz までの周波数では、電気特性が合格できているものの、それ以降の周波数で電気特性が不合格 (表 4) となっており、電気特性の波形にも大きなスパイクが発生していることがわかる (図 5, 6)。

表 4 FS-TPCC® 6A の主要電気特性結果 (Cat.8 規格)

項目	結果
NEXT	不合格
RL	不合格

NEXT: 近端漏話減衰量

RL: 反射減衰量

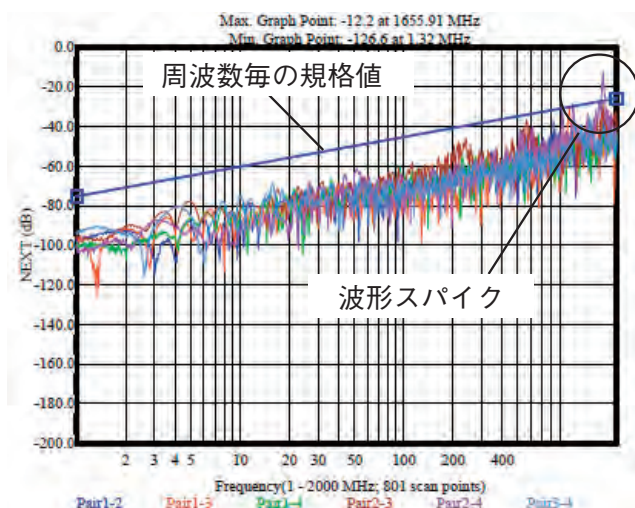


図 5 FS-TPCC® 6A NEXT 特性の波形

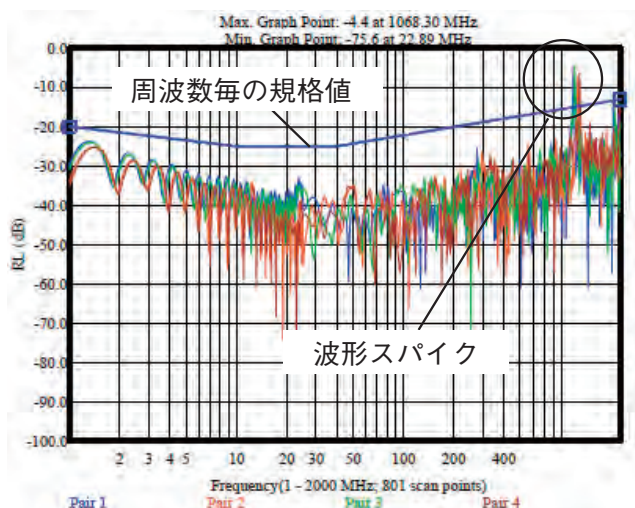


図 6 FS-TPCC® 6A RL 特性の波形

4.2 Cat.8 対応メタル LAN ケーブル「FS-TPCC® 8」構造

4.1 項の結果を基に周波数 2000 MHz までの電気特性を安定的に合格できるように、対捻ピッチ, 4 対集合ピッチ, 遮へいテープの種類, 巻き方等の変更試作を繰り返した結果, Cat.8 規格を満足させる最適条件を見出すことに成功し, ケーブルの設計を確立させた (表 5)。なお, 使い勝手を考慮しケーブル可とう性を向上させる為, 導体径を細くした事で, 最大配線長は 25 m までとなる。

表 5 FS-TPCC® 8 の設計

項目		ANSI/TIA-568.D-2	FS-TPCC® 8 0.5 mm × 4P
導体	外径 (mm)	最大 22 AWG (0.644)	0.510 (24 AWG)
	絶縁	最大: 1.64	約 0.95
遮へい	材質	シールド	アルミ遮へい
外被	厚さ (mm)	—	標準 0.4
	外径 (mm)	最大 9.0	約 7.5
概算質量 (kg/km)		—	50

4.3 Cat.8 対応メタル LAN ケーブル「FS-TPCC® 8」電気特性

4.2 項の設計にて試作を実施した結果, Cat.8 規格で合格させる事ができた (表 6)。また, FS-TPCC® 6A で見られた NEXT, RL 特性について, 周波数 1000 MHz 以降の波形のスパイクも改善した事を確認した (図 7, 8)。

表 6 FS-TPCC® 8 の主要電気特性結果

項目	結果
NEXT	合格
RL	合格

NEXT: 近端漏話減衰量

RL: 反射減衰量

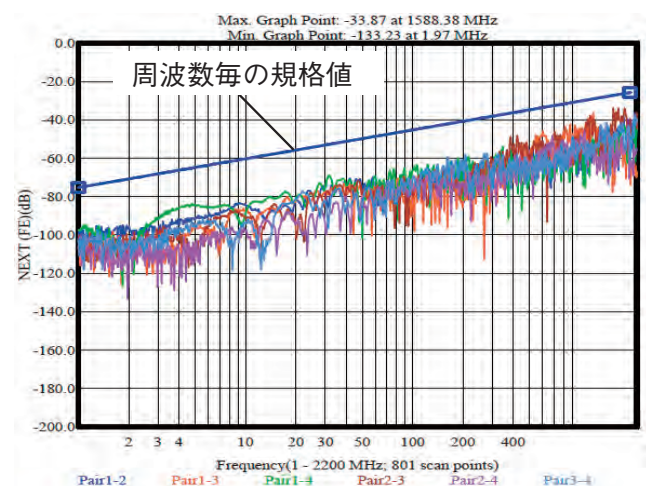


図 7 FS-TPCC® 8 NEXT 特性の波形

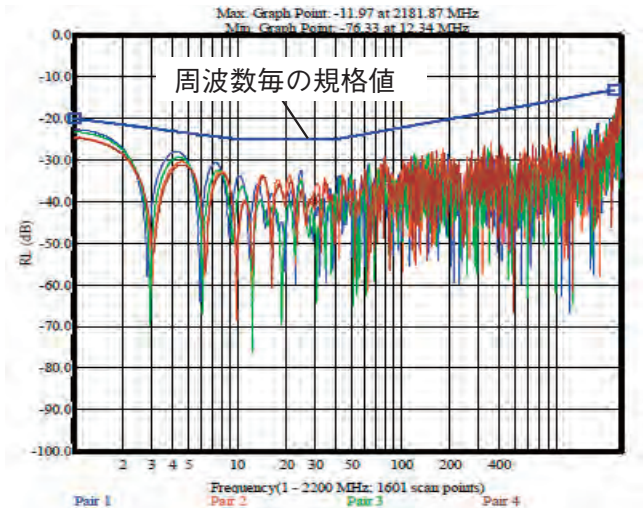


図 8 FS-TPCC® 8 RL 特性の波形

4.4 Cat.8 対応コネクタについて

Cat.8 対応メタル LAN ケーブルは、データセンターでの機器間接続で使用される為、ケーブル両端にプラグを取り付けたパッチコードで機器に直接接続される。

実際の使用方法を考慮し、「FS-TPCC® 8」に Cat.8 規格対応のプラグで加工を行った (図 9)。4.2 項の通り、25 m のケーブル両端末にプラグを加工後、チャンネルリンク試験で電気特性の確認を実施した結果、全ての特性で十分なマージンで合格できる事を確認した (表 7)。また、波形に異常がない事も確認した (図 10 ~ 12)。



図 9 FS-TPCC® 8 プラグ加工品
(プラグ：テレガードナー社製 J00026A5007)

表 7 FS-TPCC® 8 プラグ加工後の主要電気特性結果

測定規格：TIA Cat.8 Channel (+All)

測定器：DSX-8000 (Fluke 社製)

項目	結果
NEXT	合格
RL	合格
Insertion Loss	合格

NEXT：近端漏話減衰量

RL：反射減衰量

Insertion loss：挿入損失

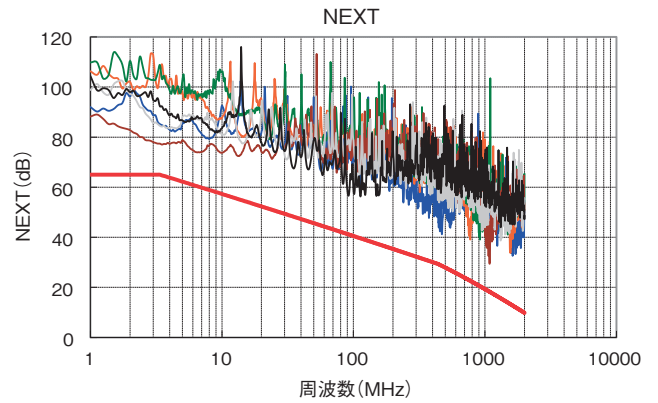


図 10 チャンネル試験 NEXT 特性の波形

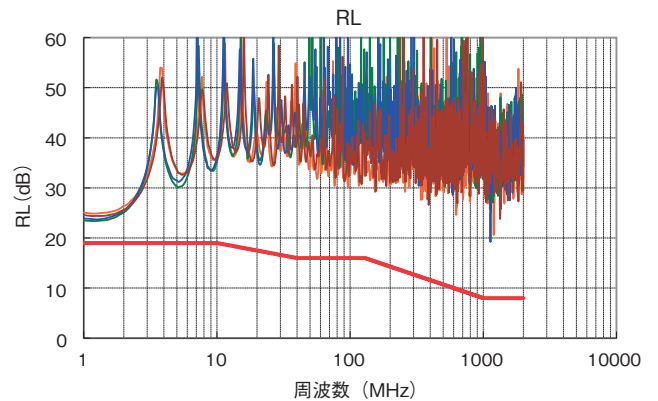


図 11 チャンネル試験 NEXT 特性の波形

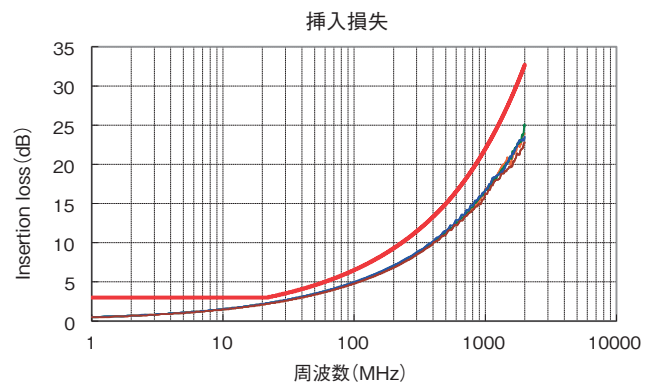


図 12 チャンネル試験 Insertion Loss 特性の波形

5. ま と め

4 章の通り、最大 40 Gbps の伝送が可能で、データセンター配線用 Cat.8 規格に対応したメタル LAN ケーブルとして「FS-TPCC® 8」の開発に成功した。

今後は製品化へ向けて取り組んでいく。

当社では、これまでお客様からの様々なニーズや新しい規格に対応すべく、製品ラインナップの拡充に取り組んでいる。今後もお客様からの声を大事にし、新しいニーズと共に歩んでいけるよう、製品の研究・開発・改良に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 河田 正義, 他: LAN用ツイストペアケーブルの現状と今後の展望 昭和電線レビュー, Vol.58, No.1, p.44 (2008)
- 2) 米国国家標準機関/通信工業会規格: ANSI/TIA 568.2-D-2018

「TPCC」は富士電線株式会社の登録商標です。

富士電線(株)
中村雄一郎 (なかむら ゆういちろう)
生産本部 甲府工場 通信技術課 課長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
河田 正義 (かわた まさよし)
生産本部 甲府工場 工場長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
小川 宏 (おがわ ひろむ)
生産本部 甲府工場 通信技術課
通信用ケーブルの設計・開発に従事

M12 X code コネクタ付き Cat.6A LAN ケーブルの開発

Development of LAN Cable with M12 X Code Connector

田所 弘 圭
Hiroyoshi TADOKORO

丸尾 久 雄
Hisao MARUO

三 沢 満
Mitsuru MISAWA

浦 卓 也
Takuya URA

今 井 リ サ
Risa IMAI

藤 田 道 朝
Michitomo FUJITA

産業用 LAN の普及に伴い、コネクタについても高い接続信頼性が要求されてきている。近年では、従来の RJ45 ではない産業用コネクタも市場に出回り始めている。この中で、高い接続信頼性を誇り、防塵防水性を有する M12 X code コネクタを高遮へい・耐油・耐屈曲の産業用 LAN ケーブルと組合せ、Cat.6A の特性を満足させることに成功した。

With the spread of industrial LAN, high connection reliability is also required for connectors. In recent years, industrial connectors other than the conventional RJ45 have also begun to appear on the market. Among these, we succeeded in satisfying the characteristics of Cat.6A by combining the M12 X code connector, which boasts high connection reliability and is dustproof and waterproof, with an industrial LAN cable with high shielding, oil resistance, and bending resistance.

1. はじめに

昨今、少子高齢化に伴う社会課題解決手段として、介護ロボットの開発やコロナ禍の中、遠隔地での医療ロボット等、様々な分野において、産業用ロボット、AI (Artificial Intelligence 人工知能)、IoT (Internet of Things) のニーズの高まりに伴い、高速化・過酷環境への機能向上が産業用 LAN ケーブル及びコネクタに求められている。

一方、産業用 LAN ケーブルは、既に上市し、需要も年々急速に伸びているが、端末のコネクタ部は、従来の RJ-45 コネクタをマイナーチェンジした防塵・防水機能を付加したコネクタで対応していたが、可動部による引張力には限界があった。

本報では、その課題を解決した M12 コネクタ付きケーブルの開発について報告する。

2. 産業用ネットワークの動向

産業用ネットワークの動向として、フィールドバス方式からイーサネット方式への転換が、2018年に逆転したことが、イーサネットシェア推移で分かる(図1、参考文献2))。

ドイツ起点に提唱されたインダストリー 4.0 による工場 IT 化が進んだことが要因と言われている。

イーサネット方式は、米国 IEEE802.3 委員会で標準化された世界的に最も普及した伝送方式であり、年々高速化への技術開発も凄まじい発展を遂げている。一方、フィールドバス方式は、FA (Factory Automation) 導入の工場や

IoT 対応の機器使用の工場で代表的に使用されている方式であり、様々な会社や団体から提供されているが、通信速度の限界が課題となっていた。

工場ネットワークは、大きく4つに分類されるが、接続の中間地点であるコントロール系に近年、産業用イーサネットが採用され、過酷な環境下における高速化・大容量化を実現している(表1、図2)。

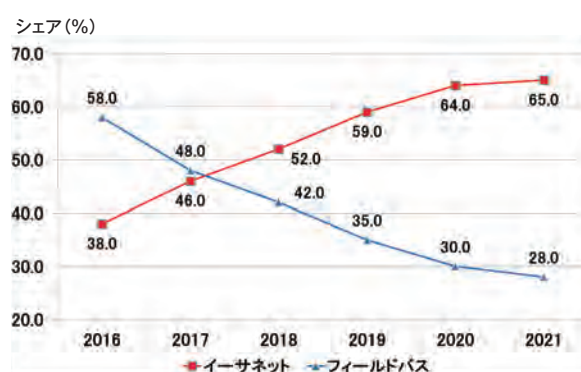


図1 イーサネットシェア

表1 工場ネットワークの分類

ネットワーク分類	名称	サイト
情報系	イーサネット	事務所
コントロール系	イーサネット (産業用) フィールドバス	工場内
フィールド系		設備内
センサ系		

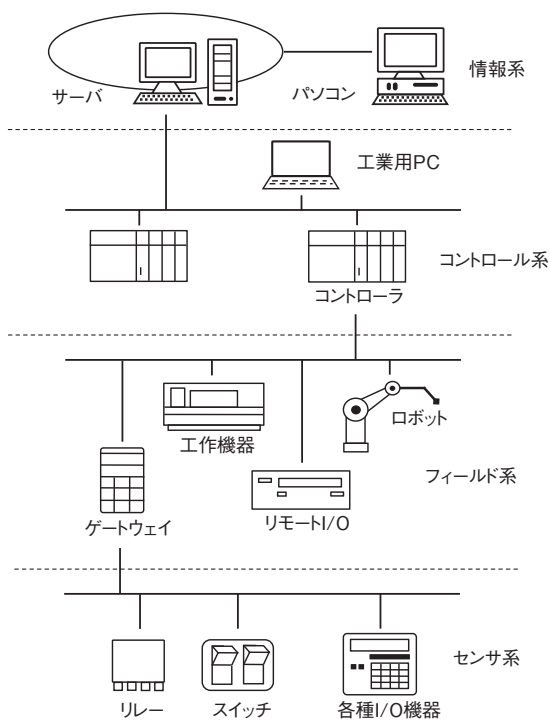


図2 工場ネットワークの構造

3. コネクタ種類

LAN用コネクタは、RJ-45 (Registered Jack) が一般的に普及しており、8極8心接続できるタイプである。ISO 8877にてサイズ等が標準化されている。また、電話用のRJ-11 (6極) と構造が酷似しており、接続や加工の容易さから広く普及している。

一方、オフィス、マンション、家庭環境で使用されることを想定した構造のため、RJ-45コネクタでは、防水性がなく屋外や過酷な条件下での使用には不向きであるため、RJ-45に代わるコネクタの採用が急務であった。

その対応として、産業用として広く使われているねじ込み式の丸形コネクタであるM12コネクタに着目した。

M12コネクタには、codeごとに使用用途が異なり、A codeでは、DC電源で動作するセンサやその他の小型デバイス用、B codeでは、プロフィバス (フィールドバスの一種) で使用されるのが一般的である。

イーサネットでは、長らく4極のD codeによるCat.5eが主流であったが、Cat.6以降の情報伝送量の増大に対応すべく、2014年にM12 X code (IEC61076-2-109) が規格化され、海外メーカーがこぞって製品化を行った (表2)。

当社においても開発が完了していた高遮へい型Cat.6Aケーブルと組立型M12 X codeコネクタとの組み合わせを検討し、問題の無いことを確認する中で、より小型軽量、安価なモールド型への方向転換を行った。

表2 M12コネクタ種類

M12 code種類	使用用途	備考
A code	DC電源センサ	
B code	プロフィバス	
D code	4極 Cat.5e	100 Mbps
X code	8極 Cat.5e ~ Cat.6A	1 Gbps ~ 10 Gbps

4. M12 X codeコネクタの特徴

M12 X codeコネクタは、鉄道及び、産業機器用向けとして開発されており、高速通信対応 (10G Cat.6A) で、耐振性、防塵防水性 (IP67) といった高い接続信頼性を有しながら容易に脱着することが可能である。また、組立型、モールド型といった2種類のタイプがあり、組立型は現地施工が容易に行え、同じ導体サイズであれば、何度か成端し直すことができる一方、コネクタ単体が比較的高価であり加工時の量産性がモールド型と比較し劣る。モールド型は、現地施工ができない代わりに、組立型より比較的安価で量産対応ができ、小型軽量化できる点が優れている (表3)。

表3 組立型とモールド型の違い

	現地施工	価格	量産性	大きさ
組立型	○	△	△	△
モールド型	×	○	○	○

5. M12 X codeコネクタとケーブル接続加工

5.1 ケーブル

ケーブルは、高遮へい型Cat.5e (適用周波数帯域100 MHz) と高遮へい型Cat.6A (適用周波数帯域500 MHz) を用いた (表4, 図3, 図4)。

ケーブル構造の大きな違いは、Cat.6Aケーブルは適用周波数が高いため、伝送特性を満足させるため、中心に十字型の介在が配置されていることである。尚、この構造の違いは、コネクタ接続の際にも注意を要するポイントであり、如何に4対の形状を維持した状態で加工するかということになる。

表4 ケーブル種類

ケーブル型名	サイズ×対数	性能	備考
HFS-TPCC® 5 PATCH-FA	26 AWG × 4P	Cat.5e	~ 100 MHz
HFS-TPCC® 6A PATCH-FA	26 AWG × 4P	Cat.6A	~ 500 MHz



図3 HFS-TPCC® 5 PATCH-FA (Cat.5e)



図4 HFS-TPCC® 6A PATCH-FA (Cat.6A)

5.2 コネクタ

コネクタは M12 X code コネクタ（モールド型）を施す（図5）。

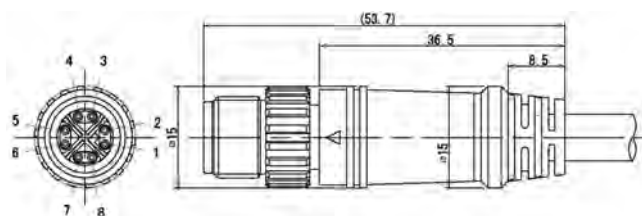


図5 M12 X code コネクタ（モールド型）

5.3 加工時の課題と対策

加工時の課題としては、モールド加工を施す際の射出成型機による樹脂圧力がケーブル内構造にどのような影響を及ぼすかであり、下記に主な2点を挙げた。

（モールド加工時課題）

- ・ 撚り状態の維持（対撚りの乱れ、潰れ等）
- ・ 伝送特性の維持（高周波帯域における性能確保）

上記課題を鑑み、実験を重ねながら、射出成型による樹脂圧力を分散させる為、モールド内の下処理設計を見直し条件確立することで本課題は解決に至った。（特許出願中）

6. 実験結果（構造，伝送特性）

モールド型の M12 X code コネクタ（改善前）と当社の産業用 LAN ケーブルと組合せ、特性の確認を行った。基本特性の評価結果を表5に示す。

Cat.5e ケーブルとの組合せでは良好な結果を得たが、Cat.6A ケーブルでは NEXT（近端漏話減衰量）、RL（反射減衰量）共に不合格となった。この差は、当然 Cat.6A が Cat.5e に対し、カバーする周波数帯域の差（Cat.5e：100 MHz、Cat.6A：500 MHz）もあるが、閾値が厳しいこともある（図6）。

表5 M12 コネクタ付きケーブルの特性（改善前）

LAN ケーブル	バッチコード試験		絶縁抵抗	耐電圧	備考
	NEXT	RL			
HFS-TPCC® 5 PATCH-FA	○	○	○	○	Cat.5e
HFS-TPCC® 6A PATCH-FA	×	×	○	○	Cat.6A

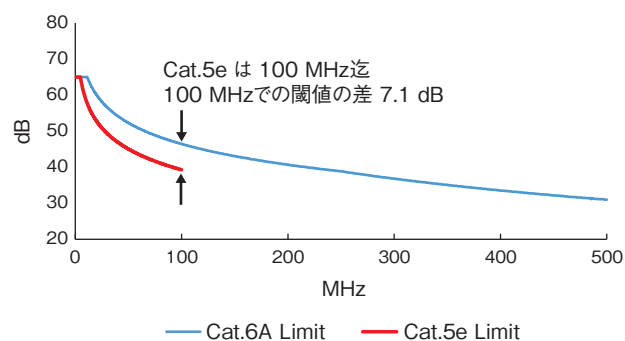


図6 Cat.6A と Cat.5e との閾値の差（NEXT）

Cat.6A 性能を満足させるためには、5.3 項で述べた課題を解消させる必要があり、その改善前後の状態を X 線写真にて確認した。

図7は改善前の状態であり、モールド内の配線の乱れ、偏りが確認できる。この現象は、射出成型時の樹脂圧による影響であり、高周波帯域での特性劣化の原因となる。

一方、図8に改善後の状態があるが、各対間の距離が均等な状態を維持しており、射出成型時の樹脂圧の影響を受けても、配線の乱れ、偏りを最小限に抑えられていることが解る。



図7 X線写真（対撚りの乱れ，偏り）



図8 X線写真（特性改善後）

次に、改善前後の伝送特性の確認結果を図9に示す。

NEXTについて改善前では、全周波数帯域にて閾値を超えることが出来なかったが、改善後では、全周波数帯域にて十分なマージンを確保できている。また、改善前のRLは、特に250 MHz付近～400 MHz付近にて閾値を超えられていなかったが、改善後では、NEXTと同様に全周波数帯域にて十分なマージンを確保することができた。

M12 X codeのモールド型は、組立型に対し、約45%の小型化に成功した(図10)。



図10 組立型(上) モールド型(下) 比較

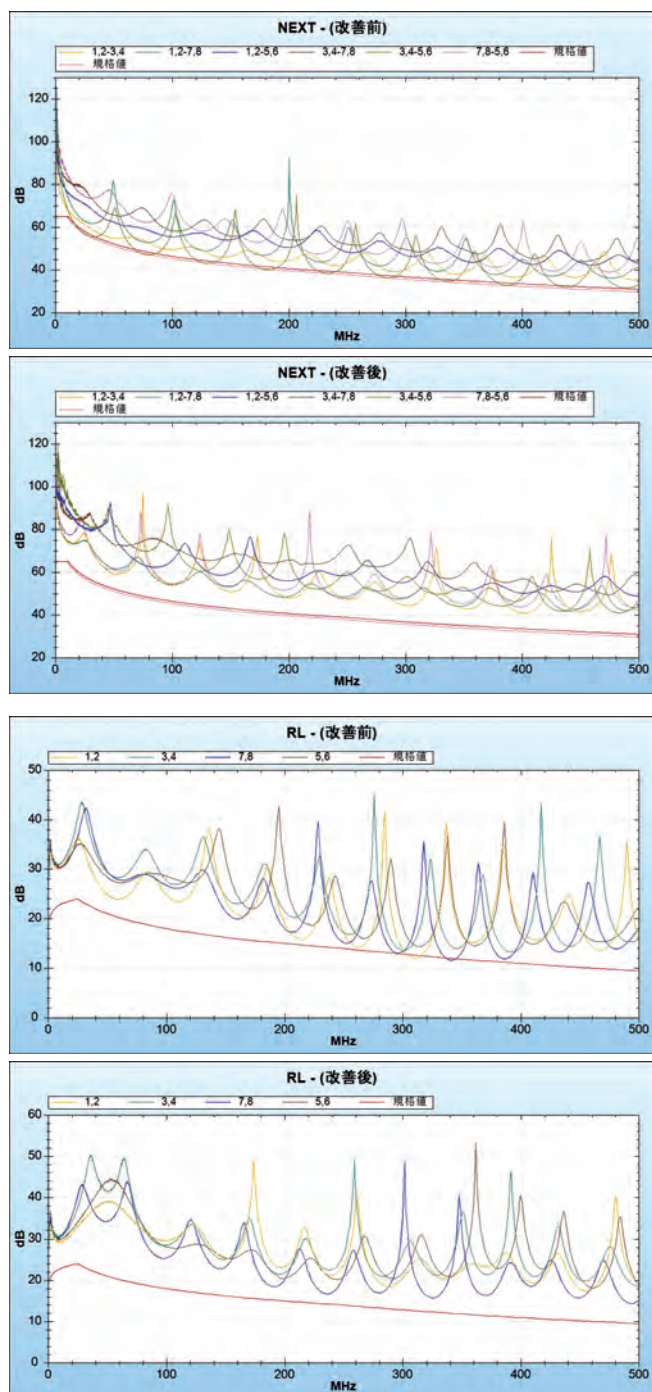


図9 NEXT, RL 特性改善結果

7. 信頼性評価

M12 コネクタ付き Cat.6A ケーブルの信頼性評価試験の結果を表6に示す。試験は、IEC 61076-2-109 からコネクタとケーブルとの組合せによって影響の出る項目を重視し選定、また使用環境を想定した項目について追加、評価を実施した。M12 X code コネクタの特徴である、接続信頼性確認試験の正弦波振動試験、衝撃試験において、瞬断無く問題がなかった。もう一つの特徴である、防塵防水性の確認においても、IP6X 試験、IPX7 試験共に問題ない事を確認した。

表6 信頼性評価結果(抜粋)

試験項目	試験規格 (IEC)	結果	可否
遮へい特性	61196-1	ケーブル同等	○
IP 保護等級	60529	IP67	○
機械的動作	60512-9-1	試験後 初期特性を満足	○
正弦波振動	60512-9-1	1 μ s 以上の瞬断無き事	○
衝撃	60512-9-1	1 μ s 以上の瞬断無き事	○
コンタクトディスターバンス	60512-2-5	2.5 μ s 以上の瞬断無き事	○
混合ガス流腐食	60068-2-60	試験後 初期特性を満足	○
高温	60512-11-9	試験後 初期特性を満足	○
低温	60512-11-10	試験後 初期特性を満足	○

8. まとめ

近年の、産業機器のイーサネット化に対応するため、M12 X code コネクタ付き LAN ケーブルを開発した。本開発品はモールドタイプであるため、現場施工が不要であり、従来の組立型と比較し小型軽量であることが特徴であり、今後は、上市に向けた量産性確認等を進めていく。

参考文献

- 1) 国際電気標準会議：IEC 61076-2-109：2014 CONNECTORS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT -PRODUCT REQUIREMENTS - Part 2-109: Circular connectors - Detail specification for connectors with M 12 x 1 screw-locking, for data transmission frequencies up to 500 MHz
- 2) Thomas Carlsson：産業用ネットワーク市場シェア動向 2021 (2021.3.31 HMS Networks 統計)

「TPCC」は富士電線株式会社の登録商標です。

富士電線(株)
田所 弘圭 (たどころ ひろよし)
光・加工品課
加工品の設計・開発に従事

富士電線(株)
丸尾 久雄 (まるお ひさお)
光・加工品課
加工品の設計・開発に従事

富士電線(株)
三沢 満 (みさわ みつる)
光・加工品課 課長
加工品の設計・開発・製造に従事

富士電線(株)
浦 卓也 (うら たくや)
取締役 生産本部長

昭和電線ケーブルシステム(株)
今井 リサ (いまい りさ)
技術開発センター 先行技術開発課
先行技術開発・商品開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
藤田 道朝 (ふじた みちとも)
技術開発センター 先行技術開発課 課長
先行技術開発・商品開発に従事

e-Ribbon[®]光ケーブルの開発

Development of Optical Fiber Cable with e-Ribbon[®]

太田 勇希
Yuki Ota

永井 傑朗
Takeshiro Nagai

田邊 賢吾
Kengo Tanabe

野呂 互
Wataru Noro

近年、IoTの普及、5G商用の本格化、自動車の自動運転などにより、高速大容量な光ファイバ通信網の整備・構築に関して、細径高密度光ファイバケーブルの需要が高まってきている。このような要求に対し、ローラブルリボン（e-Ribbon[®]）をケーブル内に収容することで実現が可能である。今回、既設ダクト内における光ファイバ心線収容密度の向上を図るため、12心 e-Ribbon[®]を用いた432心スロットレス型光ケーブルを開発した。本報告では、12心 e-Ribbon[®]の基本設計を述べるとともに、ケーブルの特性評価結果について報告する。

In recently, the demand for high density optical fiber cables has been increasing with respect to the development and construction of high-speed and capacity optical fiber communication networks due to the spread of IoT, full-scale 5G commercialization, and automated automobile driving. This demand can be realizable by accommodating rollable ribbon (e-Ribbon[®]) in the cable. We have developed 432 fiber slot-less optical cable using 12 fiber e-Ribbon[®] to improve the density of optical fiber cores in existing ducts.

In this paper, we describe the design of the 12 fiber e-Ribbon[®] and the various characteristics of the 432 Fiber slot-less optical cable.

1. はじめに

近年、IoTの普及、5G商用の本格化、自動車の自動運転などにより、データトラフィックが飛躍的に増加しており、それを支える高速大容量光ファイバ通信網の整備・構築に関して、世界的に需要が高まってきている。

なかでも、欧米諸国における情報通信ケーブルは、地下埋設のダクトに布設されることが多く、ダクト内の布設スペースに物理的な制約をうける。そのため、欧米諸国の高速大容量な光ファイバ通信網の整備、構築を経済的に実現するには、既存ダクトを用いたまま従来ケーブルよりも光ファイバ心線が高密度なケーブルを導入することで布設コストを低減させることが強く求められている。

一方で、当社はこれまで4心ローラブルリボン（ローラブルリボン：e-Ribbon[®]）を用いたスロットレス型の細径高密度光ファイバケーブルにおいて、日本国内における経済的な光ファイバ通信網の整備、構築に大きく貢献してきた実績がある¹⁾。

そこで、今回我々は高密度にケーブル収納が可能であるe-Ribbon[®]を活用し、既設ダクト内における光ケーブルの通信容量向上を図るため、12心 e-Ribbon[®]を用いた432心スロットレス型光ケーブルを開発した。本報告では、12心 e-Ribbon[®]の基本設計を述べるとともに、432心ケーブルの特性評価結果について報告する。

2. 12心 e-Ribbon[®]の設計

2.1 12心 e-Ribbon[®]の構造設計

e-Ribbon[®]は、連結部と分離部より構成され、光ファイバ心線が幅方向及び長手方向に間欠的に連結された構造の光ファイバテープ心線である。連結部の構成は光ファイバテープ心線の心線数に応じ、光ファイバ心線を単心連結する単心毎と2心線を連結する2心毎の間欠構造がある(図1)。この間欠構造は、製造条件により自由に設計することが可能となっている。

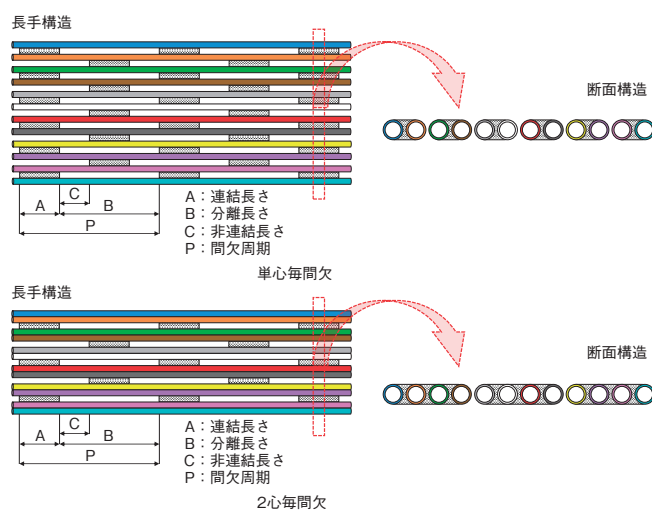


図1 12心 e-Ribbon[®]の間欠構造の模式図

さらに、e-Ribbon®は高密度に集線してケーブル化するとき、折りたたまれるように変形実装される。この変形は間欠構造の非連結長さCによって連結部同士の重なり(Overlap)及び非連結部のねじり(Twist)が変化する。ケーブル内におけるe-Ribbon®のこれらの変形が光ファイバの歪みに大きく影響することが分かっている²⁾。

そこで、12心e-Ribbon®の開発にあたり、非連結長さCをパラメータとすることで最適な構造の検討を行った。表1に間欠パターンと曲げ歪を比較した結果を示す。非接着部長さCが長くなるほど、曲げ歪は良好な特性になることが分かった。また、融着接続時間に関して、単心毎と2心毎の構造を比較すると12心e-Ribbon®では、2心毎構造の方が優れていることが分かった。これは、e-Ribbon®の幅方向に連結部の数が増えると、ホルダへセットする作業時間が遅くなる傾向と考える。

以上の結果より、今回は曲げ歪みと融着接続時間の特性が良好なパターン6の間欠構造を12心e-Ribbon®の構造として採用することとした。

表1 間欠パターンと曲げ歪みの比較結果

間欠パターン	間欠構造	非連結長さC (相対値 ^{*1})	曲げ歪み (相対値 ^{*2})	融着接続時間
パターン1	単心毎	1.0	○ (1.0)	△
パターン2	単心毎	2.0	◎ (0.5)	×
パターン3	2心毎	0.7	△ (1.4)	◎
パターン4	2心毎	1.0	× (1.7)	◎
パターン5	2心毎	1.2	△ (1.2)	○
パターン6	2心毎	2.0	◎ (0.7)	○
4心 e-Ribbon®	単心毎	1.0	○ (1.0)	◎

*1 4心 e-Ribbon® の非連結長さCを1としたときの相対値

*2 ケーブル曲げによる4心 e-Ribbon® の最大曲げ歪を1としたときの相対値

2.2 12心 e-Ribbon® の融着接続性

間欠構造パターン6と従来12心テープ心線との融着接続性を評価するため、接続時間と接続損失について評価した。融着接続手順を図2に示す。接続時間の評価は、図2のステップ(1)～(4)の手順で要した時間を融着接続時間として測定し、ステップ(5)にて接続損失(推定法)を測定した。融着接続に関して、融着機をはじめとした周辺機器についても既存の機器を用いて融着接続が可能である。

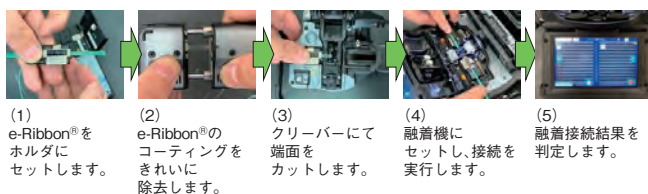


図2 12心 e-Ribbon® の接続手順

融着接続時間の比較結果を図3に示す。従来の12心テープ心線同士の接続時間と比較しても遜色なく、一括接続作業ができた。従来12心テープ心線同士の接続時間と比較しても同等の接続作業性を確保できていると考える³⁾。

また、融着接続損失(推定法)の比較結果を図4に示す。図4に示すように、一括融着接続の損失値は従来の12心テープ心線と同等であることが分かった。

これらの結果から、12心e-Ribbon®は、従来の12心テープ心線と同等の接続性を有することを確認した。

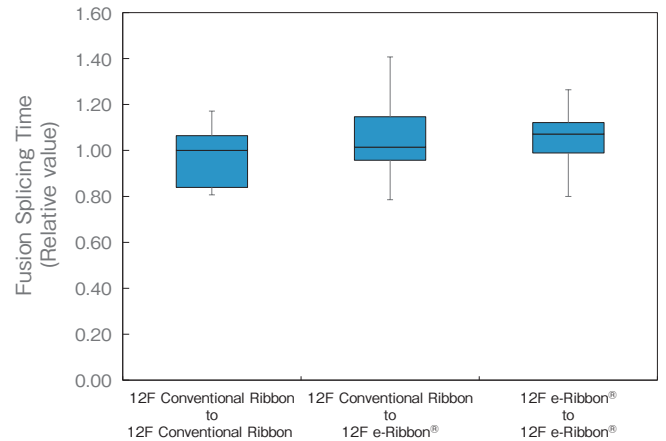


図3 12心 e-Ribbon® の融着接続時間の比較結果

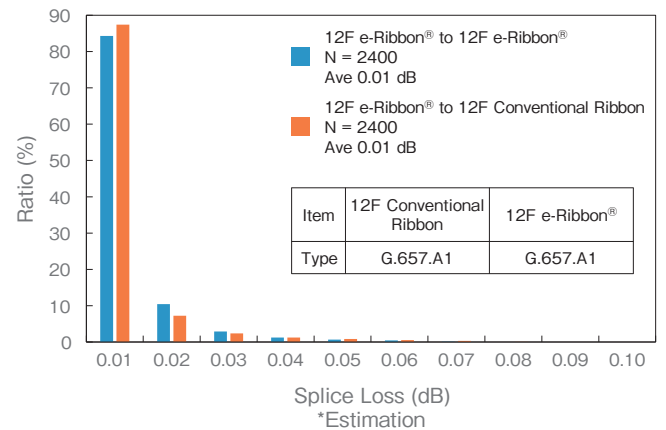


図4 12心 e-Ribbon® の融着接続損失の比較結果

2.3 12心 e-Ribbon® の識別

e-Ribbon®をケーブル内に収納する際、ユニット単位での識別を行うが、更にユニット内においても光ファイバテープ心線同士の識別を確保する必要がある。今回、図5に示すようなストライプマークを施すことで、ユニット内での12心e-Ribbon®を識別する。これにより、ケーブル内に12心e-Ribbon®を複数収容しても識別が可能となる。

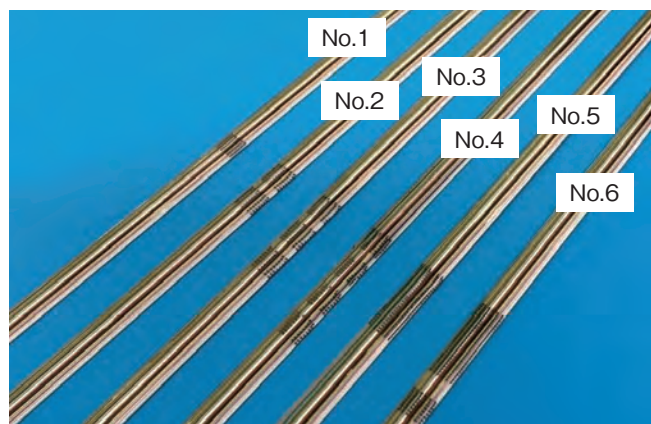


図5 12心 e-Ribbon®の識別

3. 432心スロットレス型光ケーブルの構造

今回開発した432心スロットレス型光ケーブルの構成を図6に示す。12心 e-Ribbon®×6枚をバンドルテープで束ねた72心ユニットを構成し、さらに72心ユニットを6本撚合せたのちに、吸水性押え巻きを施した。

バンドルユニットは、施工時における識別性の観点から432心ルースチューブ型光ケーブルのチューブ構成に合わせ、6ユニット構成とした。図7に示すように、バンドルユニット単位での束形状の一体感もよく、ユニット単位での識別が容易になっている。

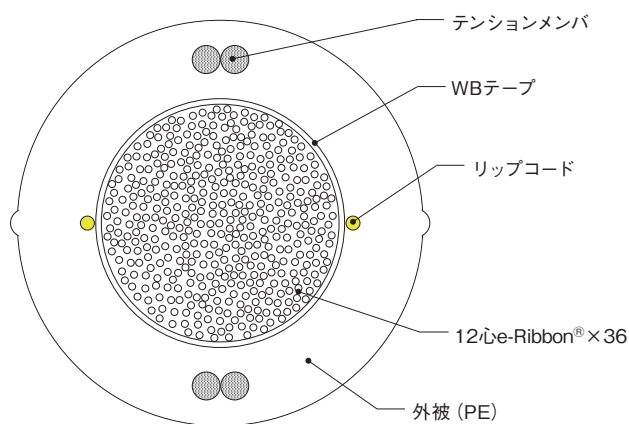


図6 432心スロットレス型ケーブルの断面図



図7 72心ユニットの識別性

従来ケーブルとの比較を図8に示す。光ファイバにはマイクロバンド特性が良好なITU-T G.657に適合した光ファイバを適用し、間欠構造を最適化した12心 e-Ribbon®を收容することで、従来ケーブルよりも心線充填密度（ファイバ心数/ケーブル断面積）を2.1倍まで飛躍的に向上させた細径なケーブルを実現した。

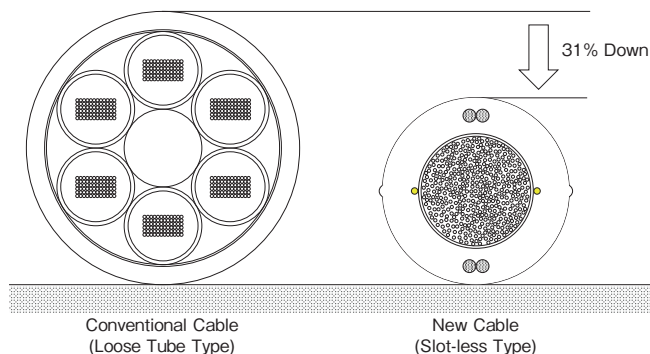


図8 従来ケーブルとの比較

4. 432心スロットレス型光ケーブルの特性

新たに開発した432心スロットレス型光ケーブルの光学特性、機械特性、温度特性、防水特性の評価結果を表2に示す。すべての評価試験において、良好な特性を示す結果が得られた。

表2 ケーブル特性評価結果

項目	参照規格	試験方法	評価結果
伝送損失	FOTP-78	波長：1550 nm	≦ 0.25 dB / km
低温-高温曲げ特性	FOTP-37	曲げ径：20 D 温度範囲：-30°C ~ +60°C ターン数：4 Turns サイクル数：3 Cycles	≦ 0.15 dB / 心
衝撃特性	FOTP-25	エネルギー：4.4 N・m	≦ 0.15 dB / 心
測圧特性	FOTP-41	荷重：2200 N / 100 mm 時間：1 min	≦ 0.15 dB / 心
引張特性	FOTP-33, 38	荷重：2700 N	≦ 0.15 dB / 心
捻回特性	FOTP-85	捻回角度：± 90° サイクル数：10 Cycles	≦ 0.15 dB / 心
繰り返し曲げ特性	FOTP-104	曲げ径：15 D サイクル数：25 Cycles	≦ 0.15 dB / 心
損失温度特性	FOTP-3	温度範囲：-40°C ~ +70°C サイクル数：2 Cycles	損失増加量 ≦ 0.15 dB / km
防水特性	FOTP-82	水頭長：1 m 試験長さ：3 m 試験時間：24 hr	端面から 水の漏出なし

5. 432心スロットレス型光ケーブルの経済性

光ファイバ通信網の整備、構築の経済的な観点でも新たに開発した432心スロットレス型光ケーブルは、飛躍的な細径軽量化を実現したことで既設ダクトにおける占有面積を減らせる他、輸送コストにおいても大きく低減することが可能となっている。

表3に従来432心ケーブルとの輸送効率を比較した結果を示す。開発ケーブルは約31%の細径化により、ドラム巻

き条長を 1.3 倍まで長尺化することができ、海上輸送時の素線長さで約 1.8 倍にまで効率化できることを確認した。

表 3 海上輸送効率の比較

ケーブル	定尺長	40 フィートコンテナ輸送効率
従来ケーブル (Loose Tube Type)	4.5 km	15552 ckm / コンテナ
開発ケーブル (Slot-less Type)	6.0 km	28512 ckm / コンテナ

6. ま と め

12 心 e-Ribbon® は、良好なハンドリング性と融着接続性を示し、それを収容した 432 心スロットレス型光ケーブルの開発に成功した。

開発ケーブルは、伝送特性、機械特性、温度特性において従来ケーブルと同等の性能を示し、外径比で 31% の細径化と重量比で 60% の軽量化に成功した。本ケーブルは、大幅な細径・軽量化を実現したことで欧米諸国を始めとする世界各国の光ファイバ伝送路の経済的な構築に貢献できることが期待される。

参考文献

- 1) 田邊賢吾，他：間欠接着型光ファイバテープを用いた細径高密度光ケーブルの開発，IEICE Technical Report (2012)
- 2) 山田裕介，他：光通信網の経済的な構築を可能とする細径高密度光ファイバケーブルの設計，電子情報通信学会論文誌 Vol. J101-B No.8 (2018)
- 3) 山田裕介，他：間欠接着型光ファイバテープを実装した超細径高密度光ケーブルの設計と特性，IEICE Technical Report OFT2010-49 (2011)

「e-Ribbon」は昭和電線ケーブルシステム株式会社の登録商標です。

昭和電線ケーブルシステム(株)
太田 勇希 (おおた ゆうき)
通信ケーブル部 技術課 主任
製品の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
永井 傑朗 (ながい たけしろう)
通信ケーブル部 技術課 主任
製品の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
田邊 賢吾 (たなべ けんご)
海外事業部 海外事業課 技監
製品のマーケティング・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
野呂 互 (のろ わたる)
通信ケーブル部 技術課 課長
製品の研究・開発に従事

車載用シールド付きツイストペアケーブルの開発

Development of Shielded Twist Pair Cable for Automobiles

光地 伸明
Nobuaki KOCHI

河田 正義
Masayoshi KAWATA

坂本 喬
Takashi SAKAMOTO

乗用車の自動運転技術が高度化されるにつれ、センサーや ECU 等の機器間の通信データの高速・大容量化が必須となっている。従来のシールド付きツイストペアケーブルでは十分なデータ容量を高速で伝送ができず、ケーブルの伝送速度向上が求められている。当社では、この自動運転技術に欠かせないケーブルとして、ケーブル外径が 4 mm の高速伝送可能なシールド付ツイストペアケーブルを開発した。

With the advancement of autonomous driving technology in automobiles, it has become essential to increase the speed and capacity of data communication between devices such as sensors and ECUs. However, the transmission capacity of conventional cables is not sufficient to transmit sufficient data at high speed, and there is a need to improve the transmission speed of cables. We have developed a shielded twisted pair cable with an outer diameter of 4 mm, which can be used for high-speed data transmission as an essential cable for autonomous driving.

1. はじめに

近い将来 ADAS (先進運転支援システム) が進化し、自動運転レベルが向上してくる¹⁾と、カメラやセンサーと ECU 間を結ぶ伝送ケーブルに求められる要素の一つにデータの大容量高速伝送が考えられる。これらの自動運転技術で使用されるデータが画像や動画であり、かつ遅延が許されないため、大容量のデータを高速に短時間で伝送できることが必要不可欠である。このような要求は、センサーや制御装置の処理能力向上に加え、機器同士を接続するケーブルにも当てはまる。つまり機器が作動するまでの時間をできるだけ短くし、人間が行う動作と限りなく同じスピードにし、センサーや制御装置の能力を最大限に生かし、かつ活用できるケーブルが必要とされている。

将来の車載システムでは、現在一般的に用いられているアプリケーションごとの機能分散型 ECU から、機能ごとに整理されたドメイン・アーキテクチャに向けた ECU の統合化が進み、さらに、中央に配置された高性能な ECU を有するブレインコンピュータへの通信を車載 Ethernet で行うゾーン・アーキテクチャが主流となるといわれている²⁾。統合 ECU やゾーン・アーキテクチャの構造になると、さらに、機器同士を接続するケーブルに大容量伝送、高速伝送、リアルタイム性が求められる。

また、膨大なデータの伝送が必要となってくる背景から、車載 Ethernet の規格も高速化対応が進んでいる。IEEE では、2020 年に伝送速度 2.5 Gbps・5 Gbps・10 Gbps の規格“IEEE802.3ch”が制定され、ケーブルの性能向上が必須となってきたことが分かる^{3), 4)}。

一般的には大容量伝送や高速伝送化するには、使用する導体径を大径化すること、ケーブルの本数を増やすことで可能となる。しかしながら、使用電力量の増加、配策スペースの制限など、搭載するうえでの問題が発生するため、ケーブル外径をできる限り細くしながら、高速伝送を実現させる必要がある。

さらに、コネクタ加工性、取り回し性を考慮すると従来の差動伝送用ケーブルと同様な構造が望ましいと考えられる。

我々はシールド付ツイストペアケーブル (以下 STP ケーブル) の構造でありながら、従来のケーブル外径を維持したまま、伝送特性を向上させ、最新の車載 Ethernet 規格“IEEE802.3ch”に適合したケーブル、さらに、今後の要求を見据え、大容量伝送や高速伝送が可能なケーブルを開発したので報告する。

2. 開発品の構造

STP ケーブルは図 1 に示すように、導体上に絶縁体を被覆した絶縁線を対よりし、遮へいを施したケーブルである。開発したケーブル構造例を表 1 に示す。

表 1 開発品構造例および設計値

構造	導体、対数	26 AWG × 1 対
	絶縁	ポリオレフィン
	押え巻	プラスチックテープ
	遮蔽	2 重遮蔽 (遮蔽テープおよび編組)
	シース	耐熱耐燃ポリオレフィン or 塩化ビニル
設計	ケーブル外径	4.0 mm
	特性インピーダンス	100 Ω

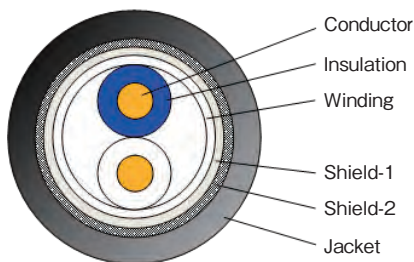


図1 開発品参考断面図

3. 開発品の特性

3.1 挿入損失の低減

高速伝送を実現するためには、高周波領域においても伝送信号の減衰が無く、伝送可能にする必要がある。しかし、入力信号の周波数が高くなるほど、電流が表面に集中する現象“表皮効果”が起こるため、高周波領域の伝送信号が減衰する。表皮効果は、周波数に対する伝送表皮深さ「スキンドープス」として、以下の式で成り立つ。

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$$

δ : スキンドープス [m]
 ρ : 体積抵抗率 [$\Omega \cdot m$]
 ω : 角振動数 [rad/s]
 μ : 透磁率 [H/m]

上記式を基に、高周波領域における導体断面に対する交流の電流密度の状態を確認するため、電磁場解析（動磁場解析）のシミュレーションにて、電流密度の可視化・数値化を試みた。シミュレーションにて得られたコンター図を図2に示す。

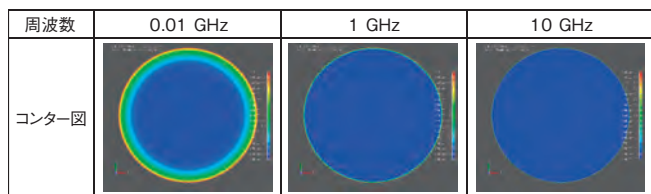


図2 電流密度コンター図

体積抵抗率 1.72×10^8 [$\Omega \cdot m$] の銅導体の場合、0.01 GHzで表層から約 $21 \mu m$ まで、1 GHzでは $2 \mu m$ までの表層部の電流密度が高い。つまり、より高周波の伝送となると、信号は導体の表層部でほとんど流れることとなる。今回のシミュレーションの結果から、高周波の信号を損失なく伝送するためには、表層部の凹凸が少ない導体を使用する必要があることがわかり、導体設計に反映した。

また、特性インピーダンスが長手方向もしくは局部的に外れた部分が存在すると、減衰量が悪くなる傾向がある。

特性インピーダンスを安定化させるには、対よりピッチ長さの変動や導体と遮へい間の距離の変動などをできるだけ小さくする必要がある。

特性インピーダンスの安定化のため、ケーブル製造条件を最適化させた。これにより、長手方向の対よりピッチ長さの変動や導体と遮へい間の距離の変動を最小化させることができ、各種の変動を最小化することにより、低損失化が実現できた。図3に低損失化検討を行っていない従来品と先に挙げた項目を改善した挿入損失低減品の挿入損失の比較結果を示す。なお、損失の測定はベクトルネットワークアナライザにより行った。

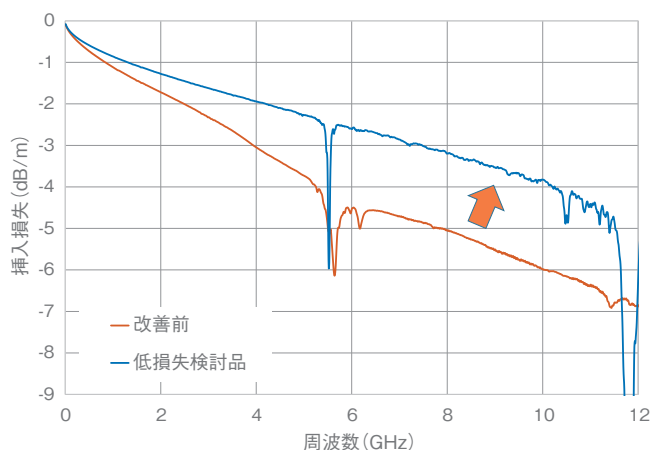


図3 低損失化の実現

3.2 伝送特性 サックアウトの改善

3.1項にて低損失化が実現できる可能性を見出したが、差動伝送ケーブルは、ある特定周波数において、急激な減衰量が落ち込む現象“サックアウト”が発生する問題がある。このサックアウトも、高周波で使用できない原因の一つである。

サックアウトは送信信号の周波数と反射した信号の周波数の共振で発生する。対よりピッチ長さおよび遮へいテープのらせん巻きによる周期的構造が、サックアウトの主な原因となるため、対よりピッチ長さの最適化、遮へいテープ材料・材質の設計、巻付け方法の最適条件を見出し、サックアウトの発生を10 GHzより高周波側へシフトさせた。

サックアウト改善前後の挿入損失およびIEEE802.3chの規格値を図4、サックアウトを高周波側へシフトさせた改善前後の反射減衰量とIEEE802.3chの規格値との比較の結果を図5に示す。

開発したケーブルは、挿入損失および反射減衰量双方ともIEEE802.3chの規格値を十分満足し、かつ、サックアウトが高周波側にシフトした結果が得られている。

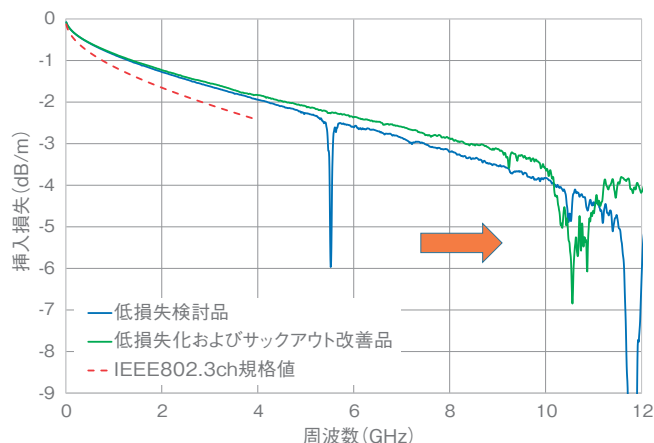


図4 サックアウトの改善 (挿入損失)

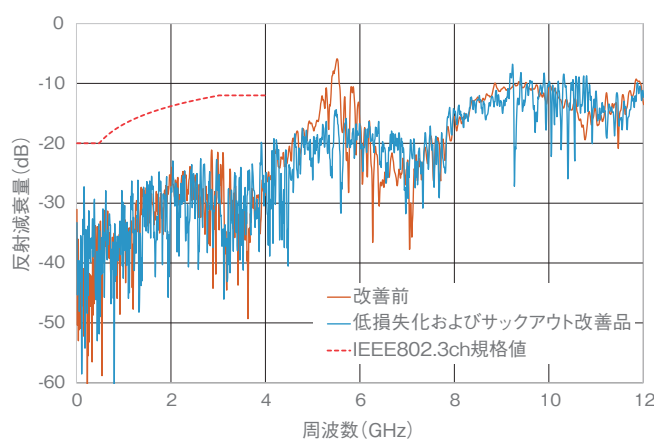


図5 サックアウトの改善 (反射減衰量)

3.3 低対内スキュー

STPケーブルは対より構造であり、2本の信号線で信号を伝送している。信号線を通る信号の速さの逆数を伝搬遅延時間といい、一般的なSTPケーブルの場合、2線間での信号伝搬の時間差が発生する。これを「対内スキュー」と呼び、対内スキューが大きくなると入力した信号が出力側では乱れた伝送状態となるため、伝送性能が悪化する傾向がある(図6)。

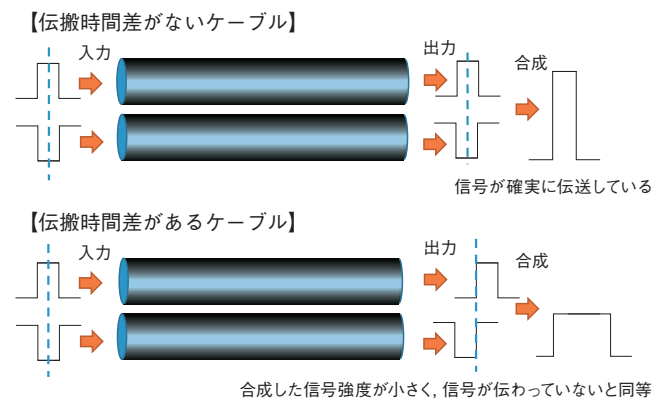


図6 伝搬時間の概念図

対内スキューを低減させるには、ツイストペアのコア線の長さの差をできるだけ少なくすることが必要である。具体的には、絶縁線心の外径変動を減らすこと、対より時の2本のコア線張力を合わせ、ピッチの長さ変動を無くすことであり、上記2項目について、ケーブル製造条件を最適化することにより、低対内スキューを達成した。表2に開発品の対内スキュー結果を示す。

表2 開発品のスキュー

	従来品	開発品
対内スキュー	約 10 ps/m	5 ps/m 以下

4. まとめ

開発したSTPケーブルは、ケーブル外径4 mmでありながら、最新規格“IEEE802.3ch”の特性を満足した。

さらに、今後の大容量伝送や高速伝送の要求を見据え、低損失かつ10 GHzまでサックアウトが無く、低対内スキューを達成し、高速伝送特性を向上させた。

本ケーブルは、規格適合に留まらず、次世代の車載イーサネットへの適用が期待でき、自動運転化促進に貢献できる。

参考文献

- 1) 株式会社富士キメラ総研：車載伝送デバイス&コンポーネンツ総調査2021(上巻)〈システム、デバイス編〉
- 2) 株式会社富士キメラ総研：車載伝送デバイス&コンポーネンツ総調査2021(下巻)〈ECU関連デバイス編〉
- 3) 河田正義 他：高速LAN配線の最新動向、昭和電線レビュー、vol.67(2021)
- 4) IEEE：IEEE Std 802.3ch-2020: Multi-Gig Automotive Ethernet PHY

英語略称

- 1) ADAS：Advanced Driving Assistant System
- 2) ECU：Electronic Control Unit
- 3) STP：Shielded Twisted Pair Cable

昭和電線ケーブルシステム(株)
光地 伸明 (こうち のぶあき)
技術開発センター 先行技術開発課
先行技術開発・商品開発に従事

富士電線(株)
河田 正義 (かわた まさよし)
甲府工場 工場長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

元 青森昭和電線(株)*
坂本 喬 (さかもと たかし)
技術課 課長
通信用ケーブルの設計・開発に従事
*) 同社は2021年12月末付で解散

6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブル用中間接続部の 開発および実証試験（その2）

Development of Cable Joint for 6 kV 3000 A Tri-Axial Superconducting Cable System and Actual Test (Part2)

足立和久*
Kazuhisa ADACHI

中西達尚
Tatsuhisa NAKANISHI

塩原 敬
Kei SHIOHARA

三堂信博
Nobuhiro MIDO

青木裕治
Yuji AOKI

2020年から2021年の約1年間に亘りBASFジャパン株式会社殿戸塚工場において6 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブルを用いた実証試験を実施した。

試験中には冷却装置の年次点検や地上高6 mのケーブル内の冷媒の有無を確認するためのX線検査、最終耐電圧試験等も実施した。

また、監視システムを用いて各ケーブルの電圧、電流、電力、超電導ケーブルの温度、圧力、冷却装置の流量等を記録した。実証試験の結果、通電の際には超電導と常電導ケーブルで電流が分流していることや、圧損検討、入出口の温度差と冷媒流量から熱侵入量計算を行い、試験前の検討値とほぼ一致していることが確認できた。

An actual verification test with 6 kV 3000A tri-axial superconducting cable was conducted at the Totsuka Site of BASF Japan Ltd. for about one year from 2020 to 2021.

During the test, as an annual inspection of the cooling system, X-ray inspection was carried out to confirm the presence of refrigerant in the cable mounted on 6 m above the ground, and the finally withstand voltage test was also conducted.

In addition, the voltage, current, electric power, temperature and pressure of the superconducting cable, the flow rate of the cooling device, etc. were recorded using the monitoring system. From the verification test, it was clear that a part of current have flowed through the normal conducting cable beside the superconducting cable. The pressure loss and heat entering have been calculated from the difference of pressure or temperature of the input / output port. As a result, it was confirmed that the examined value and the estimated value before the test were almost same.

1. はじめに

私たちは高温超電導線材の第2世代と呼ばれる $YBa_2Cu_3O_y$ (YBCO) 線材をMetal Organic Deposition (MOD) 法で開発、製造している^{1), 2)}。更にこの線材を使用したアプリケーションとして35 kV 600 A 超電導ケーブルを開発し、KEMAの認証試験に合格した^{3), 4)}。その後、三相同軸ケーブルの開発に着手、22 kV および11 kV 3000 A 三相同軸超電導ケーブルとその終端接続部、中間接続部を開発し、CIGRE TB538に規定されたtype testに準じる試験を行い、信頼性を確認した^{5), 6)}。

三相同軸超電導ケーブルは内部流路のコルゲート管の上に三相の超電導導体と銅条の遮へい層を同心軸上に配置し、その外側を真空断熱コルゲート管で覆った構造である(図1)なお、各導体間には絶縁紙による絶縁層を施している。

三相同軸超電導ケーブルは以下の特長を有している。

1. 冷媒の液体窒素は内側流路を通過して、外側流路を通過して戻る。これにより液体窒素のリターン管が不要になる。
2. 三相が打ち消しあうことで遮へい層への誘導電流がほとんどないことから遮へいの超電導線が不要となる。
3. 上記により低コストで非常にコンパクトなケーブル構造となることから熱侵入量も小さい。

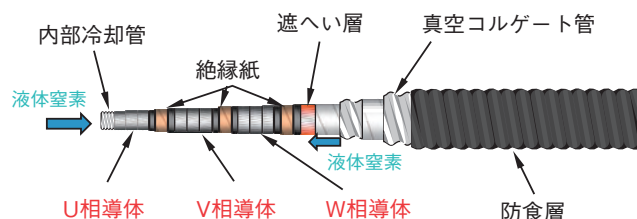


図1 三相同軸超電導ケーブルの模式図

私たちは2019年からBASF ジャパン株式会社殿にご協力を頂き、同社戸塚工場において三相同軸超電導ケーブル200 m、中間接続部、気中終端接続部、株式会社エア・ウォーター殿製サブクール方式冷却装置、監視システムを設置し、実際に電力を送電する実証試験を開始した⁷⁾。この実証試験を戸塚プロジェクトと呼称する。実証試験は2020年秋から2021年秋にかけて約1年間実施した。本レビューでは実証試験の内容を報告する。

2. 戸塚プロジェクト システム構成

戸塚プロジェクトでは給電側（D307）から受電側（D501）に約200 mに亘って超電導ケーブルを敷設している。プラント内であるため、輸送/作業車両等に干渉しない様に地上高6 mにトラフを配置し、超電導ケーブルを敷設した。ケーブルの中央部には地上高6 mに2つの中間接続部を配置した。

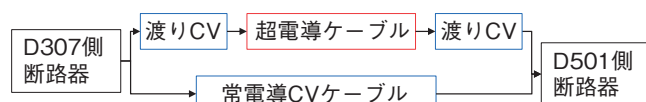


図2 戸塚プロジェクトケーブル回路

また、短絡時のバイパスケーブルとして常電導 CV ケーブル（6 kV CVT 3X 60 mm²）を超電導ケーブルと並列に接続した。モデルケーブルによる短絡試験により、短絡時には超電導ケーブルに臨界電流（ I_c ）以上の電流が流れることにより超電導線材がフラックスフロー状態になり抵抗が発生し、CV ケーブルに電流が移行することを既に実験で確認している⁸⁾。

冷却はエア・ウォーター株式会社製のサブクール方式の冷却装置を使用した。サブクール装置はサブクーラー内を真空ポンプで負圧にすることで、内部の液体窒素の温度を下げている。超電導ケーブル内に循環する液体窒素はサブクール内の熱交換器を通ることで68 Kまで冷却している。

監視システムにより超電導ケーブル、常電導ケーブルの電圧、電流、電力および超電導ケーブル各部の圧力、温度、液面レベル、真空度および冷却装置の流量等を常時監視記録し、万一管理レベルを超える場合は自動的に超電導ケーブルを系統から切り離し、関係者に電子メールが配信される仕様とした。



図3 戸塚プロジェクトの各設備

3. 通電開始—常電導ケーブルとの分流確認

超電導ケーブルと常電導ケーブルを並列に接続して通電を開始した。1日の電圧変化、電流変化を図4に示す。通電前には超電導ケーブルは抵抗が0のため、全て超電導ケーブルに電流が流れると予想していたが、監視システムで観測したところ、常電導ケーブルにも全体の20%程度通電されていることが確認された。

常電導ケーブルのインピーダンスをJCS168E⁹⁾に基づき計算した。管路内敷設とし導体温度25℃とすると、計算の結果、導体抵抗は0.311 (Ω/km)となった。また、導体外径9.3 mm、導体中心間隔23 mmとするとインダクタンスは0.37 mH/km、インピーダンスは200 mで0.0665 Ωと計算された。

この計算結果と分流比率から考えると超電導ケーブルのインピーダンスは0.0133 Ωとなる。超電導ケーブルと常電導ケーブルの間は渡りのCVケーブル（両端合計30 m）およびジャンパー線3 mで接続されており、この部分のインピーダンス0.0109 Ωを差し引くと、今回の超電導ケーブルシステムのインピーダンスは(1)式から0.0024 Ωと計算された。電流リードの抵抗分やジャンパー線、電流リード、超電導ケーブル間の接続抵抗を考慮すると妥当な値であると考えられる。

$$0.0665 \Omega \times 0.2 (\text{分流比}) - 0.0109 = 0.0024 \Omega \quad (1)$$

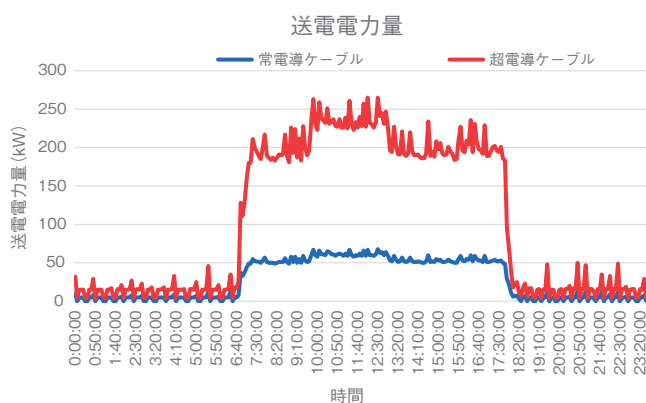


図4 送電量の日時変化

4. 冷却装置の年次点検

超電導ケーブルシステムを敷設後、世界的な新型コロナウイルス（COVID-19）の蔓延により政府から緊急事態宣言が発令されたので、すぐに通電できず、冷却装置設置後1年を超えても実証試験を継続することとなった。本システムは電気事業法に準拠したが、冷却設備は高压ガス保安法に準拠して年次点検を実施した。

年次点検のためには冷却装置を停止する必要がある。そこで、以下の方法で年次点検を実施した。

- ①超電導ケーブルを電力系統から切り離して、常電導ケーブルのみで通電した。
- ②初期冷却と同様にコールドエバポレーター（CE）から初期冷却装置を介して超電導ケーブルに直接液体窒素を流し、超電導ケーブルの冷却を継続した。
- ③冷却装置の点検終了後、再度冷却装置と超電導ケーブルを接続して、循環冷却を再開した。

従来、他のプロジェクトでは点検のために冷却装置を2台にしてバックアップ運転をしていたが、この方式によりより低コストで冷却装置の点検が可能であることが確認できた。冷却装置の点検状況を図5に示す。

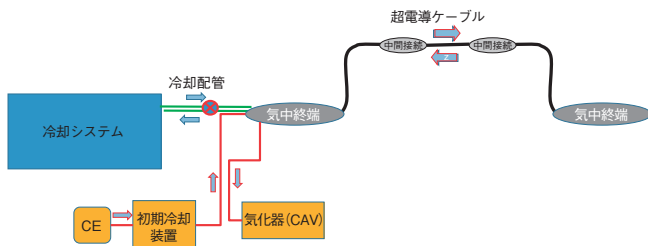


図5 冷却装置の点検状況

5. X線撮影による地上高6mの液体窒素量確認

地上高6mに設置したケーブルに液体窒素が充満しているか確認するために超電導ケーブルのX線撮影を試みた。

撮影箇所は地上高6mのケーブルおよび参考のために地上高1mのケーブルと終端接続部として行った。

撮影位置を図6に示す。撮影したX線写真を図7に示す。X線写真では超電導線材の撚り状態まできれいに撮影できているが、液体窒素と窒素ガス界面の界面は視認できなかった。このことにより地上高6mの超電導ケーブル内部も液体窒素が充満していることが確認できた。

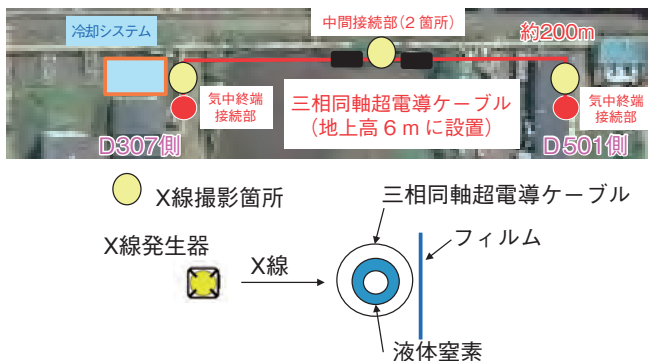


図6 X線撮影位置および撮影状況

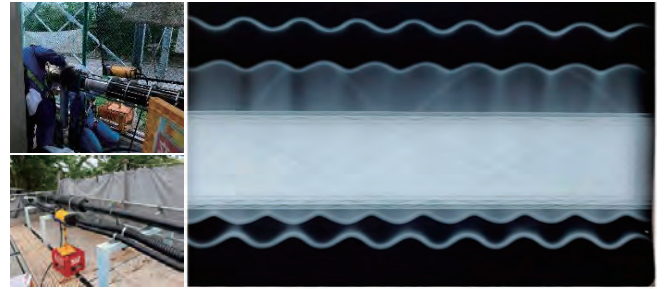


図7 撮影時の状況写真と撮影結果

6. 圧力差の測定と検討

監視システムにより超電導ケーブルの入口出口の圧力と温度を測定した。測定結果を図8～図10に示す。なお、図中の中央部付近の圧力低下、温度上昇している箇所は冷却装置の年次点検の際にCEからの冷却に変更したことによるものである。

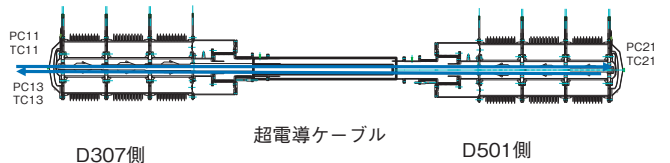


図8 超電導ケーブルの内部圧力、温度測定箇所

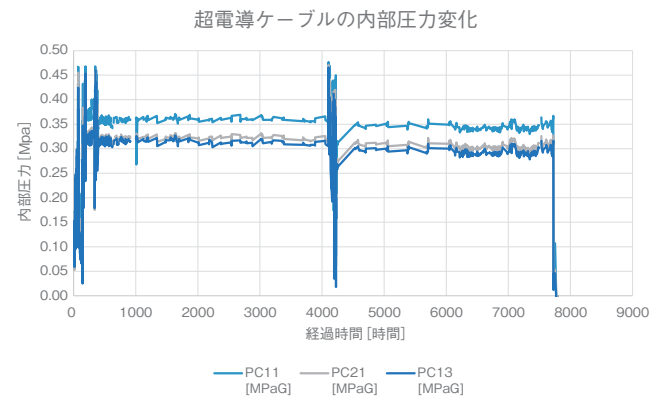


図9 実証試験中の圧力変化



図10 実証試験中の温度変化

表 1 各部の温度、圧力測定結果

測定箇所	No.	圧力 (kPa)	圧力差 (kPa)	No.	温度 (K)	温度差 (K)
冷却側ケーブル (内側流路入口)	PC11	338	0	TC11	68	0
逆側終端 端部 (内側流路出口 外側流路入口)	PC21	300	38	TC21	69.3	1.3
冷却側終端出口 (外側流路出口)	PC13	286	52	TC13	70.3	2.3

測定結果から入口～出口の圧力差 ΔP は約 52 kPa であった。エア・ウォーター製液体窒素 (LN₂) ポンプの最大差圧 P は 200 kPa であるので、(2) 式から LN₂ ポンプ 1 台で 769 m のケーブルに対応可能である。

$$L_s = \frac{P}{\Delta P} \times l = \frac{200 \text{ (kPa)}}{52 \text{ (kPa)}} \times 200 \text{ (m)} = 769 \text{ (m)} \quad (2)$$

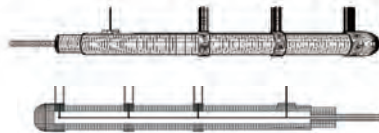
7. 温度差の測定～熱侵入量計算

監視システムの測定データから超電導ケーブル入口出口の温度差 ΔT は 2.3 K であった。また流量 W は 21.3 kg/min (26.4 L/min) = 0.355 kg/s であった。ここから (3) 式により熱侵入量を計算した。ここで、液体窒素の比熱は C=2042 J/kg・K とした。

計算した熱侵入量は 1667 W であり、事前に計算したシミュレーションの値 1400 W と大きな違いは見られなかった。

$$Q = c \times \Delta T \times W = 2042 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \times 2.3 \text{ (K)} \times 0.355 \text{ (kg/s)} = 1667 \text{ (W)} \quad (3)$$

解析ソフト
メッシュ作成 GAMBIT
熱流体解析 FLUENT



熱損失

	損失分	個数/長さ	計
終端部 熱侵入分	200 W	2 組	400 W
電流リード発熱分	100 W	6 本	600 W
超電導ケーブル交流損失	0.5 W/m	200 m	100 W
ケーブル部 熱侵入分	1.5 W/m	200 m	300 W
合計			1400 W

液体窒素圧力損失
0.52 MPa (ケーブル長 200 m、流量 25 L/min)

図 11 熱侵入量シミュレーション結果

8. 省エネルギー効果検討～脱炭素量検討

今回の実証試験では大電流を流すことはなかったが、仮に 30 MW の電力システムに本三相同軸超電導ケーブルを適用した場合の送電損失から脱炭素量を計算した。

従来ケーブルを 6600 V 1000 mm² 3 条引きとすると JCS 168 E により 1 条のインピーダンス Z は 0.0889 (Ω/km) となる。

なお、1000 sq の定数は以下を使用した。

Ro : 20℃ 直流最大抵抗 (1000 sq) 0.0187 Ω/km

T1 : 導体許容最高温度 (℃) 90℃

d1 : 導体外径 38 mm

s : 導体中心間隔 56 mm (俵積)

K_{sl} : CV ケーブル分割導体 0.6

30 MW の電力システムの場合、通電電流は (4) 式によりトータルで 2624 A、3 条引きなので、1 条当たり 875 A となる。

$$30 \text{ MW} / 6600 \text{ V} \times \sqrt{3} = 2624 \text{ A} \quad (4)$$

875 A を通電した際の 1 km 当たりのジュール発熱による送電損失量は (5) 式により 612 kW/km となる。

$$I^2 R = 875 \text{ (A)}^2 \times 0.0889 \text{ (}\Omega/\text{km)} \times 3 \text{ 条} \times 3 \text{ 相} = 612 \text{ kW/km} \quad (5)$$

一方、超電導ケーブル 1 km の熱損失は (3) 式で計算した 200 m 分の熱侵入量 1667 W にケーブルの熱侵入量 (1.7 W/m)¹⁰⁾ 800 m 分と JCS168E を元に計算した誘電損失分 0.027 W/m、交流損失分 0.38 W/m、電流リードの熱損失量 W_{lead} 40 W/相 6 相分、冷却装置の損失分 1120 W を加えて、(6) 式により計算できる。

$$\begin{aligned} W_{\text{totsuka@200m}} + q_{\text{cable}} \times 800 \text{ m} + W_{\text{d}} + W_{\text{ACloss}} \times \\ 1000 \text{ m} + W_{\text{lead}} \times n + W_{\text{cool}} = \\ 1667 + 1.7 \times 800 + 27 + 0.38 \times 1000 + 40 \times 6 + \\ 1120 = 4.79 \text{ kW/km} \quad (6) \end{aligned}$$

(6) 式の超電導ケーブルの発熱分を冷凍機で冷却すると冷凍機の成績係数 COP を COP=0.1 とすると冷却に要する電力は (7) 式で計算できる。

$$\frac{4.79 \text{ kW/km}}{0.1} = 47.9 \text{ kW/km} \quad (7)$$

冷却装置をサブクールシステムで検討すると、今回の試験では約 200 m の線路であるが、今回使用したサブクールシステムは実測値で 6 kW 以上の冷却能力があるので、(6) 式で求めた 1 km 分の発熱量を冷却することができる。

本実証試験のシステムでは (6) 式の超電導ケーブルの発熱分を液体窒素により冷却するが、この熱によって気化した液体窒素を全て工場内で使用すると仮定した場合、超電導ケーブルの発熱分は無視できることになり、サブクールシステムの使用電力量のみが消費される。今回の実証試験結果からサブクーラーと LN₂ ポンプの電力使用量は (8) 式となる。

$$\sqrt{3} \times 200 \text{ V} \times 83 \text{ A} = 28.8 \text{ kW} \quad (8)$$

すなわち (5) 式と (8) 式の差

$$612 \text{ kW} - 28.8 \text{ kW} = 583.2 \text{ kW} \quad (9)$$

95%以上の電力低減が期待できる。

環境省の温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン¹¹⁾により1年間分の二酸化炭素排出低減量を計算すると、

$$583.2(\text{kW}) \times 24(\text{hours}) \times 365(\text{days}) \times 0.468(\text{kg-CO}_2/\text{kWh}) = 2391 \times 10^3(\text{kg-CO}_2/\text{year}) \quad (10)$$

1 km 当たり1年間で2000 t以上の二酸化炭素が削減可能となる。

*東京電力エナジーパートナー(株)の基礎排出係数

9. 試験終了から撤収

2021年9月に約1年間の実証試験を終了した。終了後に系統から切り離して電気設備技術基準の6 kVの竣工試験である10350 V 10分間の耐電圧試験を実施し、耐えることを確認した。これにより長時間運転においても問題なく稼働することを確認した。

10. ま と め

BASF ジャパン株式会社殿戸塚工場において三相軸超電導ケーブルの実証試験を実施した。約1年間の実証試験を無事に終え、超電導ケーブルの実フィールド信頼性を確認した。

実証試験の結果、通電の際には超電導と常電導ケーブルで電流が分流していることや、圧損検討、入出力口の温度差と冷媒流量から熱侵入量計算を行い、試験前の検討値とほぼ一致していることが確認できた。

超電導ケーブルと常電導ケーブルを並列で通電することで約20%が常電導ケーブルに通電されることが確認された。これは超電導ケーブルの両端に渡りCVケーブルがあり、そのインピーダンスの影響が大きい。常電導への分流分を少なくするためには渡りケーブルを短くする(インピーダンスを下げる)ことが有効で、これにより更なる電力損失の低減が期待できる。

- 実証試験中に冷却装置の年次点検やX線撮影による地上高6 mでの液体窒素充填の確認ができた。
- 圧力差から液体窒素ポンプ1台で769 mのケーブルに対応できることが確認できた。
- 温度差と流量から計算した熱侵入量は当初の計算結果と大きな差が見られなかった。
- 本実証試験により高低差のあるプラントにも超電導ケーブルが適用できること、圧損、熱侵入量が設計どおりであることが確認できた。
- 本ケーブルは30 MW以上のプラントに適用することにより95%以上の電力低減および1 km 当たり年間2000 t以上の二酸化炭素排出量低減が期待できる。

今後はプラントへの適用を検討している。

謝 辞

この論文作成に当たり、冷却システム技術について各種ご教授頂いたエア・ウォーター株式会社の方々、試験場所を提供いただき、多大なるご支援を頂いているBASFジャパン株式会社戸塚工場の方々に心から感謝いたします。

この成果の一部は、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)の助成金事業として得られたものです。

参考文献

- 1) 中西達尚, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 58, No. 1, P12-16 (2008)
- 2) 木村一成, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 60, P20-24 (2014)
- 3) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 61, P15-19 (2015)
- 4) 菅根秀夫, 他: 昭和電線レビュー, Vol. 62, P5-8 (2016)
- 5) K.Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 26, 4, Article number 5400604, 2016. 06.
- 6) K.Adachi, et, al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 27, 4, Article number 5401105, 2017. 06.
- 7) 足立和久, 他: 昭和電線レビュー, Vol.66, P10-15 (2020)
- 8) K.Adachi, et,al: *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 28, 4, DOI: 10.1109/TASC.2018.2798058
- 9) JCS 168 E 電力ケーブルの許容電流(その1): 電線工業会規格(1995)
- 10) 北村祐, 他: 昭和電線レビュー, Vol.63, P18-23 (2017)
- 11) 温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン Ver1.0
: 平成29年3月 環境省 総合環境政策局 環境計画課発行

昭和電線ケーブルシステム(株)

足立 和久（あだち かずひさ）

技術開発センター 超電導応用製品課

博士（工学）

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

中西 達尚（なかにし たつひさ）

技術開発センター 超電導応用製品課

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

塩原 敬（しおはら けい）

技術開発センター 超電導応用製品課

博士（工学）

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

三堂 信博（みどう のぶひろ）

技術開発センター 超電導応用製品課

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

青木 裕治（あおき ゆうじ）

技術開発センター 超電導応用製品課

課長

超電導ケーブルシステムの研究・開発に従事

Cu-Sn 合金線の熱処理特性と調質導体電線の特性評価

Performance Test of Cu-Sn Alloy Cables with Refining Conductors

新井 龍一
Ryuichi ARAI

植田 慎之介
Shinnosuke UEDA

仲津 照人
Teruhito NAKATSU

小泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

藤田 道朝
Michitomo FUJITA

産業用設備や車載用途でも小型軽量化や配策スペースの減少に伴い、電線においても細径で高強度、高導電率かつ高耐久性が要求されている。今回、一般的には硬質線材として利用されている固溶強化型である Cu-Sn 合金の熱処理特性を調査して、調質導体を作製した。得られた調質 Cu-Sn 導体を用いた電線の評価をし、強度と耐久性に優れる結果が得られた。

The electric wires used for industry and automobile are required to have small diameter, high strength, high conductivity, and high durability in order to reduce weight and space for arrangement. In this study, we investigated the heat treatment properties of Cu-Sn alloy conductors, which are generally used as hard wire. And, we have been developed the refining Cu-Sn conductor by optimization of the heat treatment conditions. As a result of investigating the characteristics of the refining Cu-Sn conductor, it was clear that the electric wire with the refining conductor has the advantages such as high strength and high durability.

1. はじめに

近年、多くの製品が小型軽量化を目指しており、それに伴い、電線においても配策スペースの制限や軽量化を目的に細径化が求められている。一般的な導体としては無酸素銅 (OFC) やタフピッチ銅 (TPC) などの純銅が使用されているが、細径化するにあたり導体の破断荷重は低下してしまう。細径かつ強度が必要な配策部では、強度を確保するために銅合金線が利用されている。

強度と導電率のバランスがよい合金としては固溶強化型である Cu-Sn 合金、Cu-Mg 合金や Cu-Ag 合金、析出強化型のコルソン合金などがある。一般的に固溶強化型である合金は加工による転位強化と合わせて強度を上昇させるために硬材として主に用いられ、析出強化型では熱処理により強度に加えて延性ととのバランスが必要なものに用いられる。

その中でも Cu-Sn 合金は耐熱性向上のために銅に 0.1% 程度の Sn を添加したものや、トロリー線用途向けに耐摩耗性向上目的で開発された 0.3% 程度の Sn を添加した合金が知られている。連続鋳造圧延法による荒引線 (WR) の大量生産も可能なことから主要な導電性希薄銅合金として古くから利用されている¹⁾。また、近年では細径高強度用電線の導体材料としても利用されている。しかし、Cu-Sn 合金などの固溶型合金では伸び特性の制御が難しく、特に加工度が大きくなる細径線においては伸び特性を調質によ

り制御して使用されることは少ない。

今後、様々な産業用電線分野において、軽量化、細径化の要求が進むと考えられることから、今回、Cu-Sn 合金での調質導体の特性評価を実施するために焼鈍特性を調査した。また、Cu-Sn 合金の調質導体にて電線を作製し各種評価を実施したので報告する。

2. 調査内容

供試材として導電性を必要とする一般的な Cu-Sn 合金の組成範囲である Cu-0.10, 0.20, 0.30wt%Sn 導体を作製した。純度 99.99% の無酸素銅と Sn を原料とし、黒鉛坩堝中で溶解させ、横型連続鋳造機にて ϕ 12 mm の WR を作製した。その後、 ϕ 0.17 mm まで伸線加工を施し供試材とした。供試材は下記の式 (1) で求められる冷間加工度が $\eta = 8.5$ となり、強加工の部類に入る。

$$\text{加工度 } \eta = \ln (\text{加工前断面積} / \text{加工後断面積}) \quad (1)$$

焼鈍方法は試料の酸化を防ぐために真空封入し、試料が設定温度に到達してからの時間を保持時間とし、所定時間に到達したら取り出して室温冷却をした。

表 1 に焼鈍条件を示す。等時軟化曲線 (1 h の熱処理) ならびに等温軟化曲線を取得することで、焼鈍特性を把握するとともに調質導体を得る条件を調査した。

表 1 焼鈍条件

	等時軟化特性	等温軟化特性
保持温度 (°C)	200, 250, 300, 350, 400, 450	300
保持時間 (h)	1	1, 2, 4, 8

線材試料の評価として、機械特性である引張強さ、伸びは、ゲージ長 250 mm にてインストロン型引張試験機を用いて引張試験を行い、導電率はダブルブリッジ法により電気抵抗測定を行い算出した。組織観察は走査型電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) にて実施した。

電線評価としては Cu-Sn 導体に PVC 被覆を施した電線を作製し、疲労特性として 90° 屈曲試験を荷重 150 g, マンドレル径 D=2.5 mm で実施し、屈曲までの破断回数で評価した。

また、所定条件で端子を圧着装着した後に、静的強度として引張試験、動的強度として耐衝撃性の評価をした。耐衝撃性の評価では電線の片端に所定荷重の錘をつけて一定の高さから垂直落下させ、導体破断時の自由落下エネルギー量にて評価をおこなった。

3. 調査結果

3.1 Cu-Sn 合金の焼鈍特性

図 1 に導電率の焼鈍特性を示す。各 Sn 濃度の伸線加工材の導電率は Sn 濃度によって初期の導電率は 77 ~ 89% IACS であり、Sn 濃度と比例したものになっている。焼鈍特性は 200°C の時点ですでに回復傾向にある。いずれの試料も 300 ~ 350°C でほぼ飽和状態となっており、0.1 ~ 0.3wt%Sn で導電率の回復傾向には差は見られない。

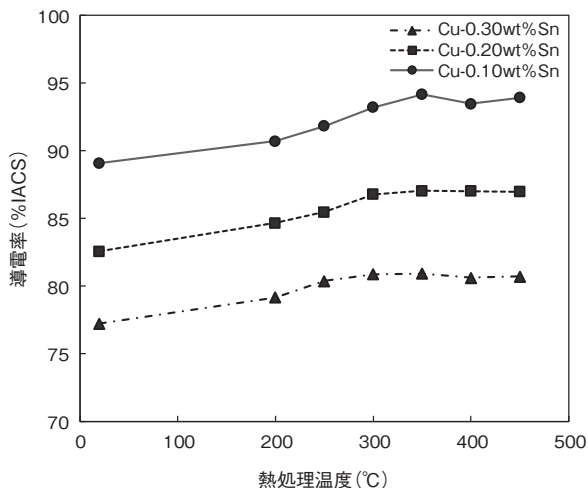


図 1 等時焼鈍特性 (導電率)

図 2 の等時焼鈍特性より、引張強度は 250°C から低下傾向となり 350 ~ 400°C で軟化が完了している。伸びは 300 ~ 350°C で急激な増加傾向を示し 350°C では 20%前後まで回復する傾向となっている。図 3 の 300°C における等温焼鈍特性では時間とともに強度が低下し、伸びが増加する傾向がみられるが、Sn 濃度が高い程、伸びの回復が遅い傾向にあり、Sn 濃度による回復傾向への差が確認できる。

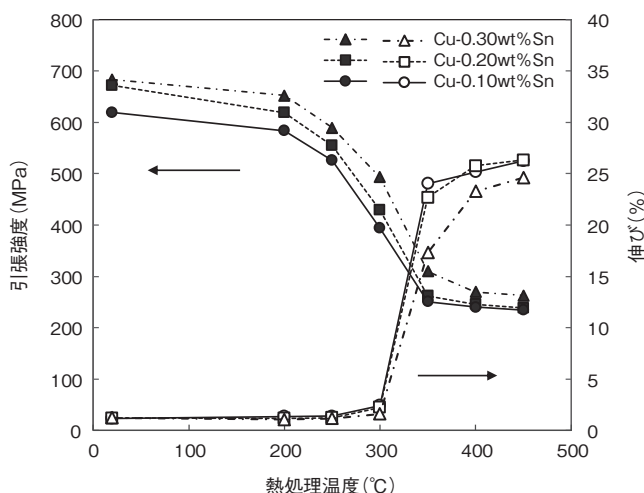


図 2 等時焼鈍特性 (引張強さ、伸び)

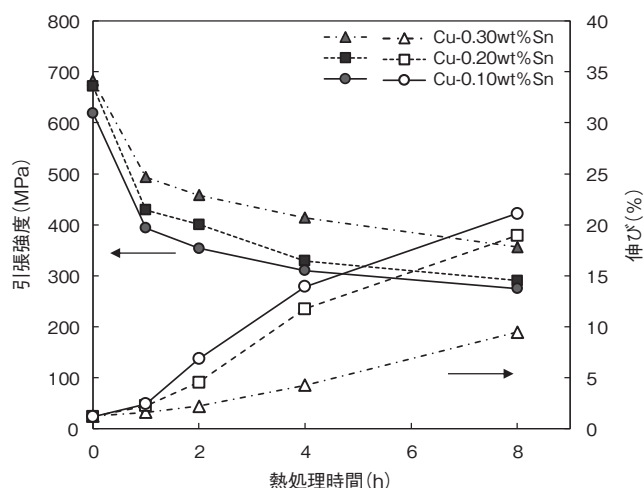


図 3 等温焼鈍特性 (300°C)

図 4 の引張強度と伸びの関係から φ 0.17 mm の Cu-Sn 合金線では引張強度 400 ~ 350 MPa で伸び 5 ~ 10% 程度が得られることが分かる。また、0.1 ~ 0.3wt%Sn においては引張強度と伸びは Sn 濃度が高い程、強度も伸びも高い傾向にある。

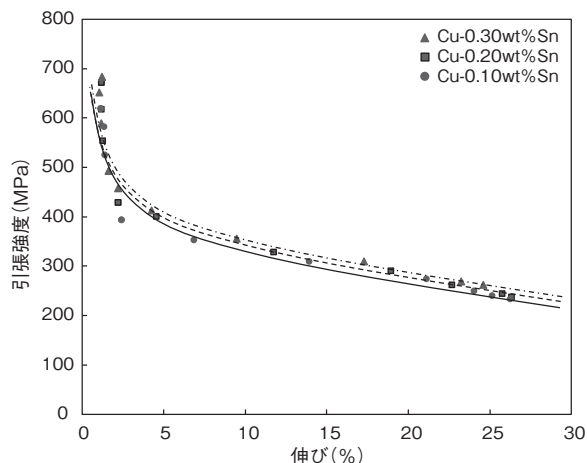
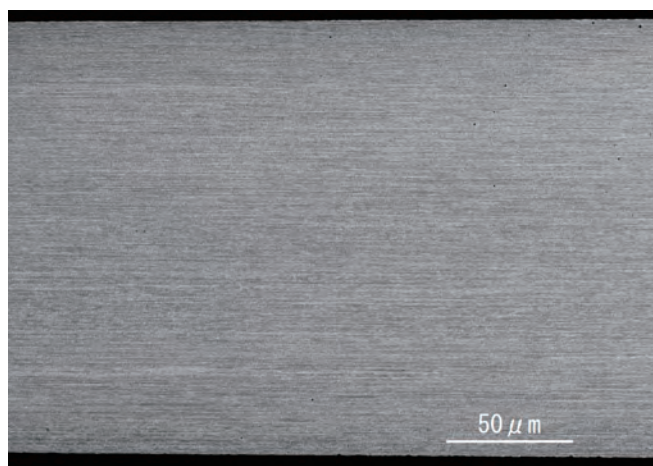
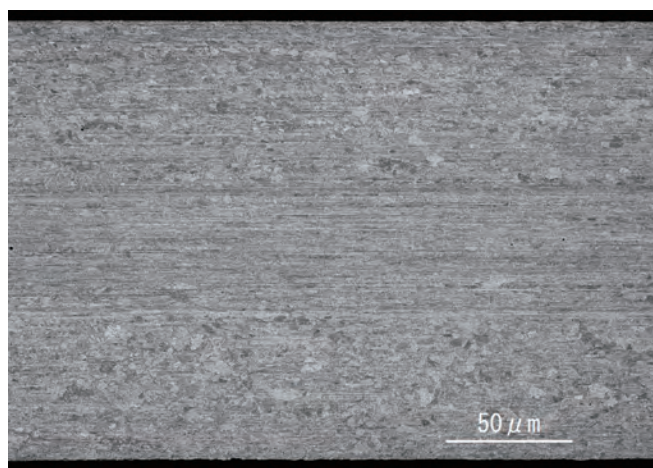


図 4 強度 - 伸びトレードオフ曲線

図5にCu-0.3wt%Sn線の伸線後ならびに焼鈍後試料の長手方向断面組織のSEM写真を示す。伸線材では長手方向に伸びた伸線加工組織となっている。一方、伸び10%の特性が得られている300℃×8hの熱処理試料では表層付近では等軸晶状の結晶粒が明確にみられるが、中央付近では長手方向に伸びたままの組織形状をしている。調質材における金属組織の状態は再結晶組織と加工組織が混在している状態となっている。強度に影響のある加工組織と伸び特性に影響を与える再結晶組織の割合に応じた強度と伸び特性が得られると考えられる。



(a)伸線加工材



(b)300℃×8h焼鈍材

図5 Cu-0.30wt%Sn 導体 断面組織 SEM 写真

3.2 電線評価

Cu-Sn合金の調質導体における電線特性評価を実施するにあたり、代表としてCu-0.30wt%Sn導体を使用し、焼鈍条件を制御して調質導体の圧縮撚線を作製した。また、Cu-Sn調質導体にはPVC樹脂を被覆厚さ0.2mmで押出被覆して、絶縁電線を作製した。

3.2.1 導体特性

表2に導体構造ならびに各特性を示す。撚線における調質導体は電気用タフピッチ硬銅線(C1100W)と同等な強度を確保しつつ、伸びは10%以上の導体特性が得られた。

表2 導体構造, 各特性

	Cu-Sn		TPC (C1100 W)	
	硬質導体	調質導体	硬銅線	軟銅線
構造	7/0.16		—	
導体外径 (mm)	0.46		—	
引張強度 (MPa)	710	375	≥ 345	≥ 195
伸び (%)	2	11	—	≥ 15
導体抵抗 (Ω /km)	160	153	—	—

3.2.2 耐屈曲性

耐疲労特性として90°屈曲試験を実施した。硬質導体電線では約70回、調質導体電線では約200回と屈曲特性は約3倍近くに改善した(図6)。

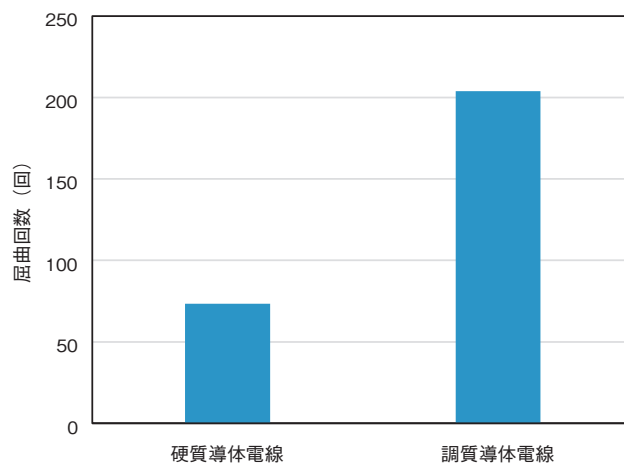


図6 屈曲特性

3.2.3 耐衝撃性

絶縁電線に一般的な自動車用圧着端子を表3の条件で圧着接合し、端子部の引張強度ならびに耐衝撃性の評価を実施した。

調質導体の引張強度は61Nと硬質導体の引張強度83Nより低いものの、耐衝撃性の評価では硬質材と比較して、破断時の落下エネルギーは4倍近く向上している(図7)。調質導体材の耐衝撃性の向上は、強度は硬質導体材と比較して低下しているものの、伸びが向上したことにより衝撃によるエネルギーを吸収できる量が増えたことが要因であると考えられる。

表3 端子圧着条件ならびに引張強度

	硬質導体電線	調質導体電線
電線外径 (mm)	0.91	
導体クリンプ高さ: CCH (mm)	0.79	0.79
絶縁クリンプ高さ: ICH (mm)	1.43	1.42
端子装着後 引張強度 (N)	83	61

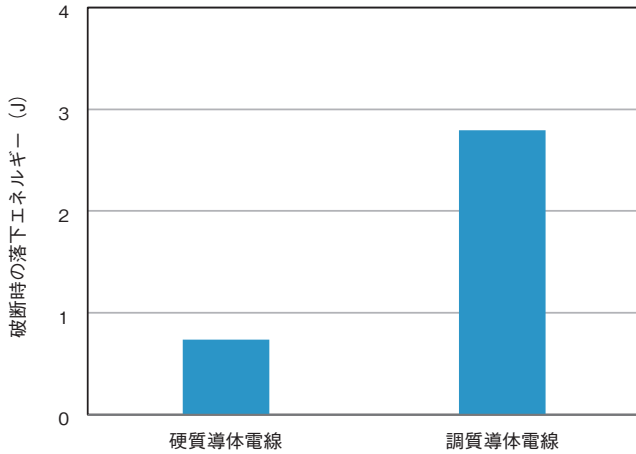


図 7 耐衝撃特性

4. ま と め

Cu-Sn 合金の細径線における熱処理特性を取得した。

0.1 ~ 0.3wt%Sn 濃度の差で熱処理による導体特性の挙動は Sn 濃度が高い程、軟化温度は高くなる傾向を確認した。Cu-Sn 合金では Sn 濃度の上昇とともに強度と伸びの特性が各々上昇傾向にあることが分かった。

Cu-0.3wt%Sn 合金導体に調質処理を施すことによる PVC 被覆電線特性の向上を試みた。各種評価結果より、硬質導体と比較して耐屈曲特性ならびに耐衝撃性に優れた電線を得ることができ、Cu-Sn 合金を導体とした電線の適用用途の拡がりを確認することができた。今後、より耐久性が求められる電線への応用展開を図る。

参 考 文 献

- 1) 銅および銅合金の基礎と工業技術 (改訂版) 日本伸銅協会

昭和電線ケーブルシステム(株)
新井 龍一 (あらい りゅういち)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
仲津 照人 (なかつ てるひと)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
植田慎之介 (うえだ しんのすけ)
技術開発センター 先行技術開発課
先行技術開発・商品開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
藤田 道朝 (ふじた みちとも)
技術開発センター 先行技術開発課 課長
先行技術開発・商品開発に従事

小勢力回路用耐熱電線押え巻の検討

Consideration of Binding Tape for Heat Proof Instrumentation, Control and Communication Wires and Cables

小路はるか
Haruka SHOJI

茂木淑豪
Yoshitake MOTEGI

浦 卓也
Takuya URA

小勢力回路用耐熱電線の耐熱性能は、押え巻テープの素材により大きく左右される。近年、遮熱性を考慮し、金属化成紙を用いるのが一般的であるが、本報告は、様々なテープを用いて、耐熱性能、ケーブルへの馴染み及び可とう性への影響、さらには、製造経済性を考慮した検討を行った。

The heat resistance performance of a heat proof cable depends on the material of the binding tape.

In recent years, metallized paper has been commonly used for the binding tape in consideration of heat insulation properties.

In this report, various tapes were examined with special attention to the heat resistance performance, the adaptability to cables, the effects on flexibility, the ease of manufacture.

1. 小勢力回路用耐熱電線とは

消防用ケーブルは、人の密集するビル火災で大勢の人命が奪われる事故が相次いで発生したことから、火災時の非常電源の確保が重要視され、昭和45年に弱電回路用の「耐熱電線の基準」、昭和46年に強電回路用の「耐火電線の基準」として消防庁により定められた。法令により定められた非常用設備における非常電源、操作回路に使用され、現在では、耐火ケーブル（記号：FP-C）、小勢力回路用耐熱電線（記号：HP）、警報用ケーブル（記号：AEV）を主として、全5種類が存在する。

このうち、小勢力回路用耐熱電線（以下、耐熱電線）は、被災時に感知器や自動火災報知設備、非常放送配線等に使用され、被災時でも一定時間の通電ができる耐熱性能を有する60V以下の弱電回路用の電線である。

2. 耐熱電線の要求特性と耐熱試験

2.1 要求特性

耐熱電線の要求特性は、消防庁告示第11号（平成9年12月18日「耐熱電線の基準」）に定められ、15分/380℃の加熱条件下で性能を維持する事が求められている（表1）。

表1 耐熱電線における要求特性

		耐熱性能	
加熱温度・時間		JIS A1304の標準加熱曲線Bの1/2に従い15分で380℃まで加熱	
試験体	試験体長	1.3 m	
	取付	S字状	外径が15 mm未満
		U字状	外径が15 mm以上30 mm未満
直線状	外径が30 mm以上		
	荷重	試験体重量（1.3 m自重）の2倍	
絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ以上	
	加熱5分	0.1 MΩ以上	
	加熱10分		
	加熱15分		
絶縁耐力	加熱中	250 Vに耐えなければならない	
燃焼性	加熱後	炉壁内から150 mm以上燃焼してはならない	

2.2 耐熱試験

耐熱試験は、表1に示す通りJIS A 1304に定める標準加熱曲線Bの1/2に準じて15分間で380℃に達する加熱を行い、この間に異常なく通電できる性能を有するかの判定を行う試験である（図1）。

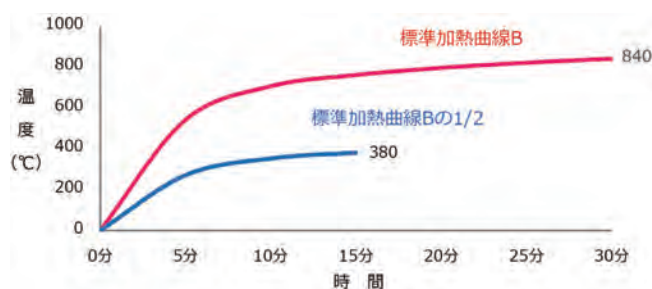


図1 標準加熱曲線B及び標準曲線Bの1/2

試験方法は、「JCS 3501：2017 小勢力回路用耐熱電線」「JCS 7504：2020 電線・ケーブル耐熱試験方法」に則り1.3 mの試験体をけい酸カルシウム板に取り付け、その中央部に自重の2倍の荷重をかけて15分間の加熱を行う。

絶縁抵抗の測定は、加熱前と加熱5分後から加熱15分後に至るまでの5分毎に測定を行い、それぞれの測定値に非接地側の線心数及び対数を乗じた値を絶縁抵抗値とする。

試験炉への試験体の設置は、けい酸カルシウム板に取り付け行われ、その取り付け方法は、屈曲によるケーブルへの負荷を考慮し、試験体外径の大きさより、その設置形状がS字状又はU字状、直線状と異なってくる。そのため、試験体に生じる屈曲部の数や曲げ直径が異なり、S字状では、曲げ直径が40 mmの屈曲部が2つ、U字状では、曲げ直径100 mmの屈曲部が、1つ生じる（図2）。

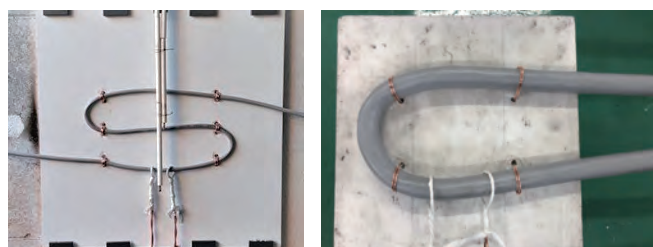


図2 試験体の設置

3. 耐熱電線の構造と押え巻

耐熱電線の基本構造は、導体、絶縁体、押え巻、シースにより構成され、CEPV等の一般的な通信ケーブルと類似しているが、耐熱層を絶縁体と兼ねるものとして、架橋ポリエチレンを採用している。また、線心数又は、対数の多いケーブルについては、押え巻にアルミニウム箔、クラフト紙、ポリエステルテープ（以下、PET）をラミネートした金属化成紙を採用し、アルミにより熱線を反射させ、紙による断熱を行い、耐熱性能を向上させている（図3）。

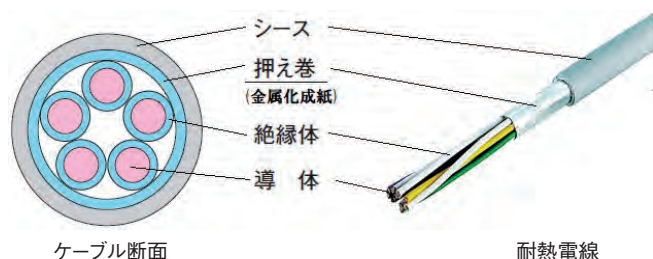


図3 耐熱電線の構造

4. 金属化成紙使用の意味と問題点

通常、銅テープやアルミ箔付ポリエステルテープ（以下、AL/PET）を始めとする金属テープは、電力回路等の影響による誘導電圧の発生防止のために静電遮蔽として施され、これを接地する事で、静電誘導を遮蔽する事が出来る。故に、金属面が露出したテープ構造となっている。

押え巻に使用される金属化成紙（以下、AZP）の全体構成を図4に示す。本テープは、あくまで、熱遮へいを意図したテープであり、本構造に於いて、アルミ層は、ポリエステルテープ及びクラフト紙により挟まれ、金属層は露出していないため、静電遮へい効果を期待するものではない。故に敷設に於いて接地の必要がないテープである。このテープをラップ巻きに施す事で、テープ同士が重なり合う隙間のない構造となり、耐熱性能の維持に寄与している（図4）。

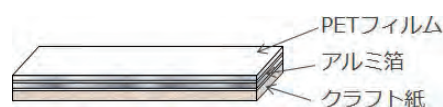


図4 金属化成紙のテープ構造

しかし、AZPは、テープ構造にクラフト紙を含むため、殆ど伸びないテープであり、これを押え巻に使用した本製品は、AZPを使用していないCEPV等の一般的な通信ケーブルに比べ、可とう性に劣る。又、ケーブル製造時の張力や側圧に耐え切れず、ズレや破れを生じる可能性がある。従って、製造工程では、クラフト紙を湿らせ、馴染み性を持たせた状態で使用するなど工夫を要している。

よって、本開発では、現行品と同等の耐熱性能を持ちながら、上記課題を解決しうるケーブル構造または、押え巻の適用検討を目的とした。

5. ケーブル構造・押え巻の検討

検討に当たり、押え巻不使用構造にて、絶縁またはシース厚を増加させ、耐熱性能向上を目的としたもの、また、クラフト紙を含まないテープとして一般的に使用されているポリエステル不織布、アルミ箔付ポリエステルテープ（以下、AL/PET）を押え巻として使用したものを試作品として作成し、耐熱性能評価を実施した。

その結果、押え巻不使用の試作品については、何れの構造においても耐熱性能を満足することは出来ず、押え巻にAL/PETを使用した試作品のみが、現行AZPと同等の耐熱性能を維持することが確認できた（表2）。

表2 押え巻の有効性検討

試験サイズ		1.2 mm × 5P					
構造	項目	現行品	検討①	検討②	検討③	検討④	
	押え巻	AZP	無し	無し	不織布	AL/PET	
	絶縁厚 (mm)	0.25	0.3	0.25	0.25	0.25	
シース厚 (mm)	0.95	0.95	2.0	0.95	0.95		
耐熱試験結果	項目	規格値					
	絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ ≤	>100 × 5	>100 × 5	>100 × 5	>100 × 5
		5分	0.1 MΩ ≤	>100 × 5	>100 × 5	>100 × 5	>100 × 5
		10分		>100 × 5	0.0 × 5	0.0 × 5	10 × 5
	15分	20 × 5	0.0 × 5	0.0 × 5	0.0 × 5	35 × 5	
	絶縁耐力	250 V/15分	良	否	否	否	良
燃焼性	150 mm 未満	良	良	良	良	良	
合否		合格	不合格	不合格	不合格	合格	

しかし、AL/PETは、AZPからクラフト紙を除いた構造をしており、アルミ面が露出するため、静電遮へい構造となり、外来ノイズを拾う可能性があることから、敷設において接地が必要となってしまう(図5)。

よって本件では、このAL/PETのアルミ面にクラフト紙に代わりPETを張り合わせ3層構造にする事により、非静電遮へい構造としながら、柔軟性があり遮熱効果を持つPET/AL/PETの適用を検討する事とした(図6)。

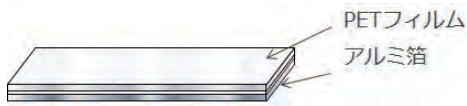


図5 AL/PET テープの構造

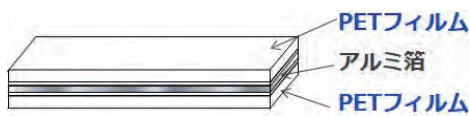


図6 PET/AL/PET テープの構造

6. 試作検討と有用性評価

評価するに当たり、PET/AL/PET テープは材料メーカーにて製造頂き、その物理特性を以下に示す(図7)。

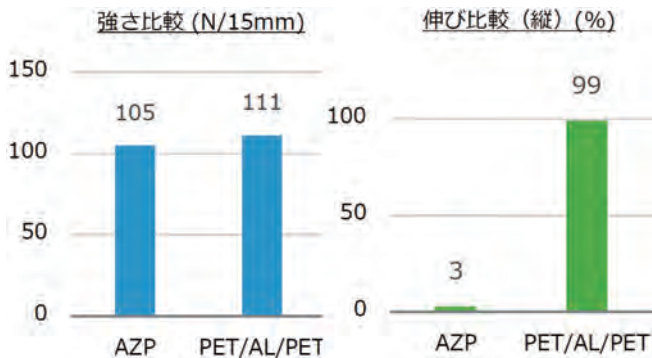


図7 各テープの引張試験結果

テープ強度では、AZPよりも6%向上しており、伸びにおいては、99%向上する値が得られている。クラフト紙を使用しない事により、AZPに対し、特に伸びの値が大きく向上しており、切れづらく、馴染性の高い特性を持ったテープである事が窺える。

続いて本テープを用い、ケーブルの試作製造を行った。製造にあたっては、その馴染性の高さから、テープの破断やコブも見られず、作業性の観点からは大きな向上が見られている。そこで得られた完成品において、耐熱性能以外の特性評価として、可とう性評価及び屈曲時のテープへの影響評価を行った。

可とう性評価では、完成品1mをサンプルとし、サンプル重量と同じ重さの荷重を端末部につけ、60秒後の変位量を、また、荷重を外した後の跳ね返り量(戻り量)を円周上に4方向(0,90,180,270度)測定の上、その平均値より柔

らかさの評価を行った。

結果は、AZPを用いた完成品よりも跳ね返り量が小さくなり、柔らかさが9%向上した(図8、図9)。

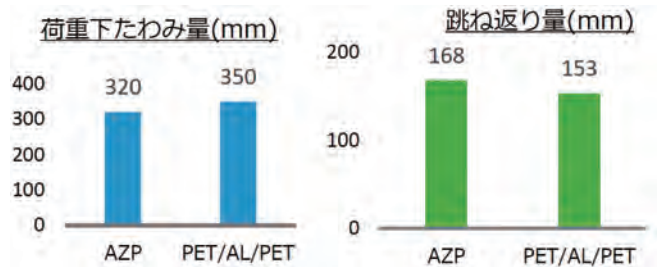


図8 可とう性評価におけるたわみ量と跳ね上がり量

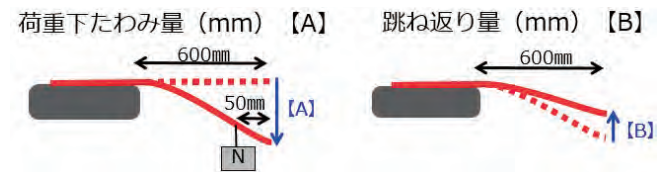


図9 可とう性の評価方法

屈曲における影響評価として、耐熱電線の燃焼試験に準じS字状の設置で生じる曲げ直径40mmの屈曲負荷を与え、テープの重なりにもズレが生じるかの評価を行った。AZPのズレ幅が4mmであったのに対し、PET/AL/PETでは約1/3の1.5mmに抑えられた(図10)。又、この屈曲部におけるテープの立ち上がり(隙間の発生)もPET/AL/PETでは生じず、高い馴染性が確認された。さらに、規定曲げ半径6D(D:ケーブル外径)よりも小さい5D, 4D, 3D, 2Dと曲げ半径を小さくし、テープへの影響を比較したが、AZPが曲げ半径3Dで破れが生じたのに対し、PET/AL/PETでは、2Dまで破れは生じなかった(図11)。

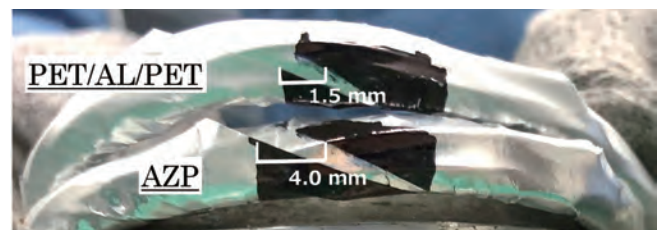


図10 屈曲部におけるズレの差異

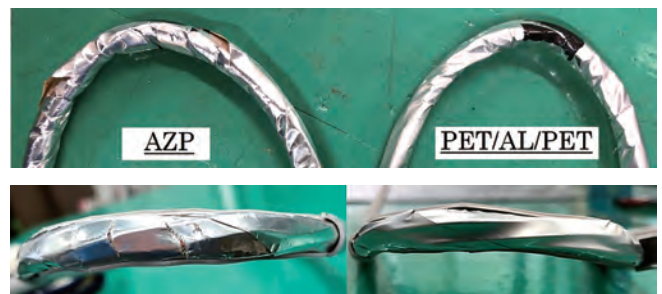


図11 テープの立ち上がりと破れ

7. 耐熱試験の結果

当該試作品の耐熱試験結果を以下に示す（表5）。

結果、加熱15分時の絶縁抵抗値において、現行品20 MΩに対し、PET/AL/PETは50 MΩとなり、約2.5倍の抵抗値を維持しており良好な結果が得られた。

表5 耐熱試験結果

試験サイズ			1.2 mm × 5P	
耐熱試験結果	項目	規格値	現行品	PET/AL/PET
	絶縁抵抗	加熱前	50 MΩ ≤	>100 × 5
5分		0.1 MΩ ≤	>100 × 5	>100 × 5
10分			>100 × 5	>100 × 5
15分			20 × 5	50 × 5
絶縁耐力	250 V/15分	良	良	
燃焼性	150 mm 未満	良	良	
合否			合格	合格

この結果は、PET/AL/PETがAZPに比べ、押え巻の重なり部のズレが少なく、テープの立ち上がり（隙間）の発生も少ないため、熱の入力が抑えられ、遮熱効果が向上したことに起因するものと推測している。

尚、本検討結果で得られたノウハウは、特許を出願し、その権利化を進めている。

8. まとめ

耐熱電線の押え巻として、PET/AL/PETを用いる事で、
 ①耐熱性能 ②テープ強度 ③テープ伸び（馴染み性）
 ④可とう性の4点においての性能が向上する事が確認できた。また、本テープは、AZPで発生したテープのズレや破れも改善されるため、製造時の作業性向上や、敷設時の取扱性向上も期待できる。

参考文献

- 1) JCS 3501 (2017) 小勢力回路用耐熱電線
- 2) JCS 7504 (2020) 電線・ケーブル耐熱試験方法
- 3) 平方和良, 他: 消防用電線の現状と今後の展望
 昭和電線レビュー, Vol.57, No.1, p.5 (2007)

富士電線(株)
 小路はるか (しょうじ はるか)
 生産本部 伊勢原工場 電力技術課
 消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
 茂木 淑豪 (もてぎ よしたけ)
 生産本部 伊勢原工場 電力技術課長
 消防用ケーブルの設計・開発に従事

富士電線(株)
 浦 卓也 (うら たくや)
 取締役 生産本部長
 通信・消防用ケーブルの設計・開発に従事



小勢力回路用 耐火ケーブル (EM-JSH®) - 消防庁告示化対応品 -

Instrumentation, Control and Communication Fire Proof Cable

1. 概要

当社が2018年に「独自規格品」として上市していた本製品は、その有用性がお客様に認められ、業界団体を通して消防庁に告示化を働き掛けるに至りました。その結果、令和3年5月24日、消防庁告示*1が改正され、最大使用電圧が60V以下の低圧ケーブルが新たに基準化されました。

背景としては、平成29年2月に埼玉県三芳町で発生した大規模倉庫火災では、感知器にかかる電気配線の短絡により、多数の防火シャッターが作動しなくなる事象が発生し、延焼の拡大に影響しました。これを受けて国土交通省は告示*2を改正し、50000 m²以上の倉庫のアナログ感知器と配線との接続部にマイカテープ等で被覆を講じる措置を義務付けました。

上記措置に対応したケーブルとして、当社では耐熱電線の導体上にマイカテープを施し、840℃ 30分の耐火性能を持たせた小勢力回路用耐火ケーブル（品名：EM-JSH®）を国内で初めて開発し、「独自規格品」として2018年に上市しました。

同時に、（一社）日本電線工業会を通じ、消防庁へ本製品の告示化を要請した結果、令和3年5月24日に改正に至りました。

2. 用途

50000 m²以上の倉庫に設置されたアナログ式感知器及び、受信機の機能を持った共同住宅のインターホン等、60V以下の耐火配線に使用が可能となります。



図1 使用用途例

3. 特長

- ・絶縁体及びシースにはポリオレフィン系の材料を使用しているため、燃焼しても有害物質を発生しません。
- ・50000 m²以上の倉庫のアナログ感知器への接続に際し、現場でのマイカテープ処理の必要がなく、施工時間の削減が図れます。
- ・低圧耐火ケーブルと比べると、20%細径・30%軽量で取扱い性に優れた製品です。

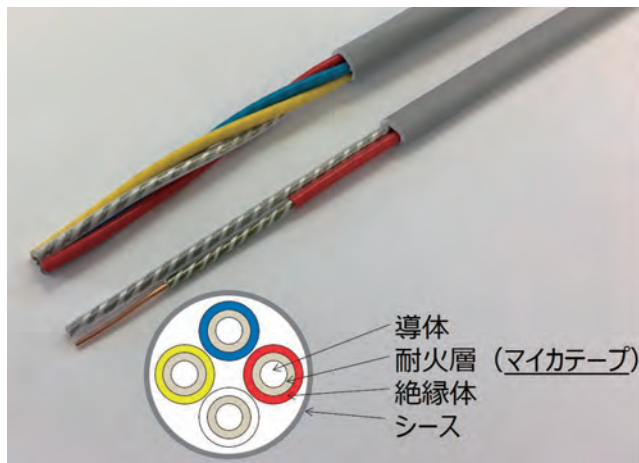


図2 EM-JSH®及びケーブル断面図(例：4C)

表1 ケーブル仕様

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

*1 耐火電線の基準（平成9年消防庁告示第10号）

改正：令和3年5月24日

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

公布：平成30年3月27日／施行：平成31年4月1日

EM-JSHは富士電線株式会社の登録商標です。

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

富士電線(株) 営業本部 営業企画部

電話(03)5217-0911 FAX(03)5217-0920



漏洩同軸ケーブル用コネクタの NETIS 登録：N-J43DU

NETIS Registration of Connector for Leaky Coaxial Cable : N-J-43DU

1. 概要

トンネル内、地下駐車場など電波の届かない空間に、電波を届けるためのアンテナケーブルとして漏洩同軸ケーブル (LCX ケーブル) が使用されています。

この LCX ケーブル用に開発したコネクタ (N-J-43DU) は、その特長が認められ、国土交通省の新技术情報提供システム (NETIS) に新規登録されました。

国土交通省 NETIS 登録品 番号：TH-200004-A

「軽量・細径 漏洩同軸ケーブル用コネクタ」

2. 用途

本コネクタ (N-J-43DU) は、主に高速道路、一般道路などのトンネル内で使用されている FM 再放送設備や管理用無線、警察無線及び消防用の無線通信補助設備で使用される LCX ケーブルの専用コネクタです。

【主要なお客様】 国土交通省、NEXCO、地方自治体

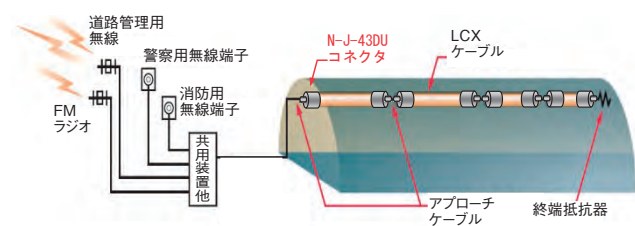


図1 LCX システム構成例



項目	性能
規格	JIS C 5411 準拠
接続方式	5/8-24UNEF-2A
公称インピーダンス	50 Ω
絶縁抵抗	1000 MΩ 以上 (D.C500 V)
VSWR	1.2 以下

図2 コネクタ形状と性能

3. 特長

本コネクタ (N-J-43DU) は、以下の特長が認められ NETIS (New Technology Information System：新技术情報提供システム) に登録された製品です。

NETIS は、公共工事等で有用な新技术の積極的活用を推進するためにまとめられたデータベースシステムで、国土交通省が運用し、広く一般にも公開されています。

国土交通省が発注する工事に NETIS 登録された製品を使用することで、工事成績評定の加点対象になります。

(1) 軽量、細径化

従来コネクタと比較し、約 18% 軽量化、約 7% 細径化を実現しました (当社比)。

(2) コネクタ共通化

2種類ある LCX ケーブル (アルミ導体、銅導体) のコネクタを共通化しました。従来コネクタのようにコネクタを使い分ける必要がありません。

(3) コネクタ取付作業性の向上

組立時間を約 2/3 に短縮しました (当社比)。また市販工具での組立も可能にしました。

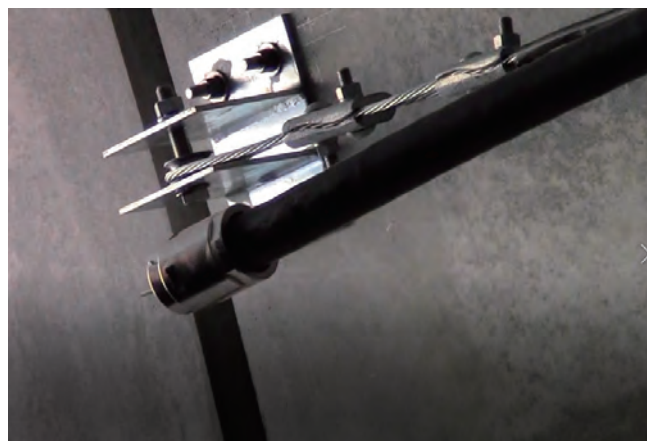


図3 コネクタ取付状態 (LCX 端末部)

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)

昭和電線ケーブルシステム(株)

通信・デバイス営業部 通信デバイス営業課

電話(044)223-0537 FAX(044)223-0558



ダイレクトモールド製品のラインナップ化

Making the Line-up of Direct-molded Outdoor Termination

1. 概要

規格 JEC-5202:2019 ブッシングが改訂され、ポリマーがい管の試験法が標準化されました。ポリマーがい管（ダイレクトモールドを含む）の汚損設計は、電気協同研究第72巻第4号の中で整理され、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は図1に示す通りに見直されています。表面漏れ距離及び平均直径はがい管の汚損設計に重要なパラメータとなっています。そこでダイレクトモールド製品の表面漏れ距離及び平均直径を整理し、見直しました。

今回 22 kV ~ 154 kV までのダイレクトモールド製品のラインナップ化が完了したことから、本書にて報告します。

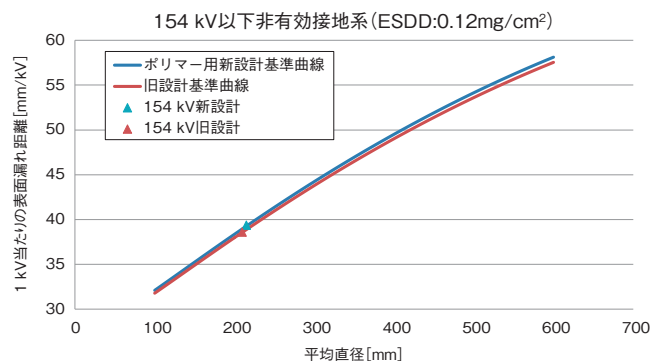


図1 汚損設計基準曲線（例：154 kV 以下非有効接地系）

2. 表面漏れ距離の見直し

154 kV 以下非有効接地系の平均直径 210 ~ 215 mm のがい管は改定後の汚損設計基準曲線を適用すると表面漏れ距離が 62.4 ~ 62.9 mm 不足します（表1）。また 154 kV 級のダイレクトモールド製品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笠を設けることで表面漏れ距離を確保しました（図2）。

表1 汚損設計（例：154 kV 以下非有効接地系）

汚損区分 (mg/cm ²)	公称電圧 (kV)	汚損耐電圧値 (kV) : E	平均直径 (mm) : D	改訂前必要漏れ距離 (mm) : l ₁	改訂後必要漏れ距離 (mm) : l ₂
0.12	154	161	210	6210.9	6273.3
0.12	154	161	215	6259.3	6322.2

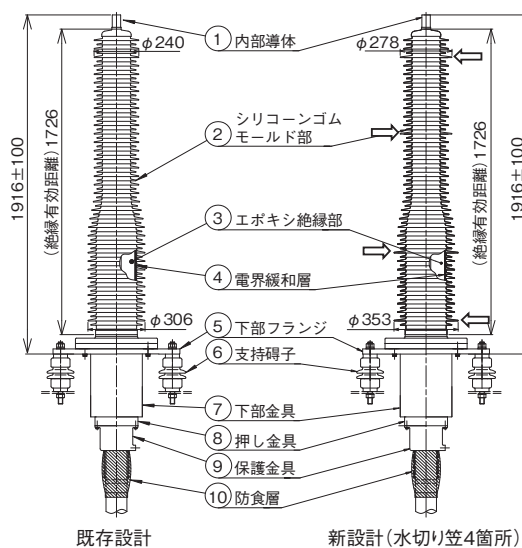


図2 新旧製品の比較

3. 特長

汚損設計基準曲線の見直しに伴い、表面漏れ距離及び平均直径を表2の様に整理しました。また 154 kV 級の製品は水切り笠を設けることで表面漏れ距離を確保しました。

表2 ダイレクトモールド製品の代表ラインナップ

公称電圧 (kV)	型番	定格電流 (A)	絶縁有効長 (mm)	表面漏れ距離 (mm)	平均直径 (mm)	汚損区分 (mg/cm ²)	定格電圧 (kV)
22/33	22/33D-VH	1200	718	2395	195	0.35	34.5
	22/33D-VH-CT	1200	718	2395	195	0.35	34.5
66	66/77D-LM	1200	862	2926	195	0.12	69
	66/77D-LM-CT	1200	862	2926	195	0.12	69
	66/77D-H	1200	1150	3988	195	0.35	69
77	66/77D-LM	1200	862	2926	195	0.06	80.5
	66/77D-LM-CT	1200	862	2926	195	0.06	80.5
	66/77D-H	1200	1150	3988	195	0.35	80.5
154	154D-H	2000	1726	6336	215	0.12	161

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)

昭和電線ケーブルシステム(株)

電力・インフラ営業部 電機・交通営業課

電話(044)223-0535 FAX(044)223-0558



銅合金極細線

Ultra-Fine Copper Alloy Wire

1. 概要

近年、電子機器の小型化により、使用される線材も細径化が進んでいます。一方で、線材の細径化は配線時の断線や電気特性の低下など課題を抱えており、電子機器の小型化を進めるための課題となっています。

図1に示す通り当社の銅銀合金線は引張強さ、導電率をバランス良く有しています。この特徴を有したまま更なる細径化を進め、市場課題の解決に適した線材の開発を行いました。開発においては以下のコンセプトとしました。

- ①配線時に断線しない高強度
- ②通電時の発熱を抑える高導電率
- ③環境負荷の低い材料の使用

2. 用途

- ①医療機器用配線
- ②半導体製造装置用配線
- ③車載用配線

3. 特長

環境負荷の低い銅及び銀のみを使用し、鑄造、熱処理条件の最適化により細径、高強度、高導電率材料を開発しました。

表1 特性

項目	特性
合金種類	銅銀合金 (Cu-Ag)
線径	9.7 μm
引張強さ	1600 MPa 以上
導電率	60% IACS 以上

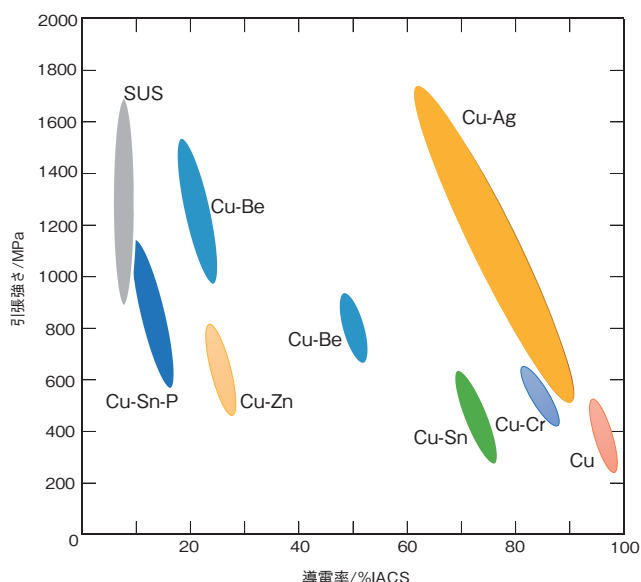


図1 各種銅合金線の特性

問合せ先：〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
 昭和電線ケーブルシステム(株)
 電装コンポーネンツ営業部 機能材料営業課
 電話(044)223-0538 FAX(044)223-0558

工 事 紹 介

関西電力送配電(株)殿向け 154 kV 防蟻剤入り防蟻 CV ケーブル工事

Installation Work of 154 kV XLPE Cable with Termite-prevention PVC for Kansai Transmission and Distribution, Inc.

1. 概 要

当社は 154 kV の防蟻剤入り防蟻 CV ケーブルを関西電力送配電株式会社殿に納入しました。

図 1 に示すとおり、大阪市にある S 変電所から住吉川、大和川を横断し、堺市の M 変電所間を結ぶ長尺線路です。

154 kV 級でケーブルサイズの大きい防蟻剤入り防蟻ケーブルは初納入であり、ケーブル布設区間も約 3000 m と大規模な工事となります。



図 1 線路概要図

2. ケーブル仕様

ケーブル仕様は当社が新しく開発した防蟻 PVC シース材料を用いた 154 kV CVSS-AT (AT: Anti-Termite agent) $1 \times 1200 \text{ mm}^2$, 1500 mm^2 となります。新しい防蟻 CV ケーブルの特徴や製品詳細は当社ホームページにも載せておりますので、そちらも参照願います。

3. 防蟻剤入り防蟻 CV ケーブルの特徴

従来の防蟻ケーブルは CV ケーブルにナイロン材料による防蟻層を施すため、ケーブル外径が大きくなり、また硬いナイロン材料を有することで可とう性が劣ります。そのため、輸送ドラムや布設時のケーブル曲げ半径、マンホール内のオフセット部などで曲げ倍率を大きく確保する必要があります。

防蟻剤入り防蟻 CV ケーブルは防蟻剤入りのビニルシースを使用することで、硬いナイロン材料を使用せず一般的な CV ケーブルと同等の可とう性・細径化を実現しております。上記の特徴によりオフセットスペースや輸送ドラムの縮小化が期待でき、本件名の様に長尺線路でケーブルサイズの大きい場合、特に輸送費のトータルコスト低減や可とう性向上による作業性向上に寄与します。

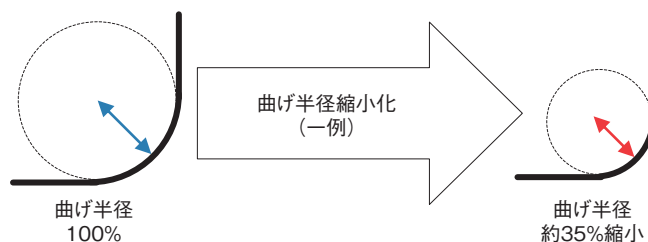


図 2 曲げ半径縮小化概要図

4. ケーブル布設工事

ケーブル布設工事の状況を図 3 に示します。

通常のナイロン防蟻ケーブルの場合は布設時の曲げ半径として 30 D 程度を確保する必要がありますが、本ケーブルは普通シースと同じ 20 D で布設できるため、蟻装を含めた延線設備を小さくできました。

また、くせ取り時にナイロン防蟻にシワが入ったりすることがないため通常のケーブルと同じように取り扱ってよいといったメリットもありました。



図 3 防蟻 CV ケーブル布設状況

問合せ先：〒530-0004 大阪府大阪市北区堂島浜1-4-16(アケア堂島西館)
昭和電線ケーブルシステム(株)
関西支店 営業課
電話(06)6345-1151 FAX(06)6225-8771

社外技術発表一覧表

(2020. 11 ~ 2021. 11)

[Third Symposium on SEISMIC REHABILITATION OF HERITAGE STRUCTURES] (2021年2月20日～21日)

Development of Vibration Control Techniques Using Viscous Damper for Traditional Wooden Structures
 …………… 花里利一¹⁾, 佐藤信夫²⁾, 三須基規³⁾, 内田龍一郎⁴⁾, 萩原幸夫⁵⁾, 坂本 功⁶⁾

[電気学会 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会] (2021年3月12日)

防蟻 CV ケーブルの開発
 …………… 堀将太郎³⁾, 斉藤真利子³⁾, 藤田道朝³⁾, 岡本貴裕³⁾, 中矢勝士³⁾, 秋谷安司³⁾, 三浦浩二³⁾, 安田真之⁷⁾, 瀬川和秀⁷⁾

[第67回構造工学シンポジウム] (2021年4月17日～18日)

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
 …………… 柳 勝幸³⁾, 清水美雪³⁾, 齊木健司⁸⁾, 安永 亮⁹⁾, 菊地 優¹⁰⁾

[電気学会 電力エネルギー部門大会] (2021年8月24日～26日)

アルミ導体 CV ケーブルの開発 (その3)
 —同種同径ボルトスリーブの適用検討—
 …………… 相原靖彦¹¹⁾, 木村祐介¹¹⁾, 佐藤秀憲¹²⁾, 辻 浩¹²⁾, 岩崎公裕¹²⁾, 堀 豊貴³⁾, 林 克之³⁾, 中山雄裕³⁾

[電子情報通信学会 光ファイバ応用技術研究会 (OFT)] (2021年8月26日～27日)

航空機向け操縦装置用光線路の細径化および軽量化の検討
 Study of Downsized and Light weight Optical fiber cord for Fly by Light
 …………… 永井傑朗³⁾, 田邊賢吾³⁾, 鴨狩之裕³⁾, 野呂 互³⁾

[2021年(第39回)電気設備学会 全国大会] (2021年9月2日～3日)

小勢力回路用耐火ケーブルの開発
 …………… 茂木淑豪¹³⁾, 岡崎英明¹³⁾, 浦 卓也¹³⁾

[2021年度日本建築学会大会(東海)] (2021年9月7日～10日)

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
 …………… 土屋諒恭³⁾, 清水美雪³⁾, 三須基規³⁾, 福田滋夫³⁾, 加藤直樹³⁾, 高山峯夫¹⁴⁾, 森田慶子¹⁴⁾

竣工後30年経過した免震建物から採取した天然ゴム系積層ゴムの性能検証 その5 限界変形試験後の亀裂調査

…………… 清水美雪³⁾, 三須基規³⁾, 舟木秀尊¹⁵⁾, 山上 聡¹⁵⁾, 小山慶樹¹⁵⁾, 山際 創¹⁵⁾, 高山峯夫¹⁴⁾

竣工後30年経過した免震建物から採取した天然ゴム系積層ゴムの性能検証 その6 加力履歴と経年変化の関係

…………… 山上 聡¹⁵⁾, 舟木秀尊¹⁵⁾, 小山慶樹¹⁵⁾, 山際 創¹⁵⁾, 三須基規³⁾, 清水美雪³⁾, 高山峯夫¹⁴⁾, 森田慶子¹⁴⁾

[17th WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING] (2021年9月27日～10月2日)

AN ANALYTICAL MODEL FOR TIN RUBBER BEARINGS UNDER LARGE SHEAR DEFORMATION
 …………… 柳 勝幸³⁾, 清水美雪³⁾, 小橋裕人⁸⁾, 安永 亮⁹⁾, 菊地 優¹⁰⁾

A STUDY ON AGED DETERIORATION OF RUBBER BEARINGS INSTALLED IN THE ISOLATED BUILDING AFTER 30 YEARS IN USE

…………… 小山慶樹¹⁵⁾, 山上 聡¹⁵⁾, 舟木秀尊¹⁵⁾, 三須基規³⁾, 清水美雪³⁾, 高山峯夫¹⁴⁾

[2021 Virtual Coated Conductors for Applications (Virtual CCA 2021)] (2021年10月11日～15日)

Verification Test of Tri-Axial Superconducting Cable at Chemical Plant in Yokohama Totsuka

…………… 足立和久³⁾, 塩原 敬³⁾, 中西達尚³⁾, 三堂信博³⁾, 青木裕治³⁾, 和田彩香¹⁶⁾, 福永峻之¹⁶⁾, 河原伸哉¹⁶⁾, 太田智道¹⁷⁾, 小川正彦¹⁷⁾

[The Ninth International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021)] (2021年10月21日～22日)

Study on Electrical Properties of ZnO Micro Particles under Different Temperature Conditions

…………… 須賀達哉¹⁸⁾, カピールムハムドゥル¹⁸⁾, 春日靖宣¹⁹⁾, 田中 忍³⁾

[軽金属学会 第141回 秋期大会] (2021年11月12日～14日)

低温時効を施した Al-Mg-Si 合金荒引線におけるナノクラスタの形成挙動

…………… 宮澤一彦²⁰⁾, 芹澤愛²⁰⁾, 塩田正彦²¹⁾, 田内雄一朗²¹⁾, 西本一恵³⁾, 仲津照人³⁾

- 1) 三重大学
- 2) 松井建設株式会社
- 3) 昭和電線ケーブルシステム株式会社
- 4) 内田建築構造コンサルタント
- 5) 元 田治見エンジニアリングサービス
- 6) 東京大学
- 7) 未来工業株式会社
- 8) 株式会社免制震デバイス
- 9) 住友金属鉱山シボレックス株式会社
- 10) 北海道大学
- 11) 東京電力ホールディングス株式会社
- 12) 東京電力パワーグリッド株式会社
- 13) 富士電線株式会社
- 14) 福岡大学
- 15) 株式会社奥村組
- 16) エア・ウォーター株式会社
- 17) BASF ジャパン株式会社
- 18) 秋田大学
- 19) 東芝エネルギーシステム株式会社
- 20) 芝浦工業大学
- 21) 日本軽金属株式会社

昭和電線グループ会社アドレス

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

■直轄事業子会社(連結)

昭和電線ケーブルシステム株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
富士電線株式会社 〒259-1146 神奈川県伊勢原市鈴川10番地
株式会社SDS 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎)
株式会社アクシオ 〒141-0031 東京都品川区西五反田二丁目12番19号(五反田NNビル)
昭和電線ユニマック株式会社 〒511-0427 三重県いなべ市北勢町麻生田1326番地の1
SFCC株式会社 〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14(キューブ川崎5階)

■その他事業子会社(連結)

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1-14(キューブ川崎)
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1-14(キューブ川崎5階)
SWCC SHOWA (VIETNAM) CO., LTD. Plot B8, Thang Long Industrial Park, Dong Anh Dist., Hanoi, Vietnam
SWCC DAIJI VIETNAM RF No. 7C, Plot No. H-1, Thang Long Industrial Park II,
INTERCONNECT PRODUCTS CO., LTD. Di Su commune, My Hao District, Hung Yen Province, Viet Nam
嘉興昭和機電有限公司 中国浙江省嘉興市雲海路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2501室
東莞昭和機電有限公司 中国広東省東莞市莞龍路段獅龍路 莞城科技园
福清昭和精密電子有限公司 中国福建省福清市融僑技術開発区(清華路南側)
香港昭和有限公司 香港九龍尖沙咀科学館道1号康宏広場南座701室

■その他のグループ会社

エヌエスティ・グローバルバリスト株式会社 〒171-0014 東京都豊島区池袋二丁目43番1号(池袋青柳ビル4F)
株式会社ケイ・エス・デー 〒813-0034 福岡県福岡市東区多の津一丁目1番3号
華和工程股份有限公司 台湾高雄縣仁武郷高楠公路30号 華榮電線電纜股份有限公司 高楠廠内
特変電工昭和(山東)電纜附件有限公司 中国山東省新泰市新汶工業園区
富通昭和線纜(杭州)有限公司 中国浙江省杭州富陽区富春街道金秋大道富通科技园9号楼
富通昭和線纜(天津)有限公司 中国天津市滨海新区滨海科技园惠新路399号

昭和電線 レビュー

第67巻 (通巻123号)

昭和電線レビュー編集部会

部会長 森下 裕一
委員 西岡 淳一 浦 卓也
野呂 互 足田 靖成
坂口 義則 稲庭 康之
岡下 稔 大石 智雄
三栗野雅俊 鈴木 大介
土屋 諒恭 澤田 隼
石川 和久 生方 通夫
(順不同)

編集・発行人 北川 陽一


発行 2022年1月

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

制作 株式会社栄光舎

【禁無断転載・複製】

©2022 SWCC SHOWA HOLDINGS CO.,LTD.



みんなの未来を、
この技術でつなごう。

昭和電線ホールディングス株式会社 / SWCCグループの持株会社

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

富士電線株式会社 / LANケーブル、消防用電線、通信ケーブル、ビニル電線

株式会社SDS / SWCCグループの総合商社

株式会社アクシオ / ネットワークソリューション

昭和電線ユニマック株式会社 / エナメル線、横巻線

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、関連資材類の販売