

厚銅被覆鋼線による高強度電線

Copper-Coated High-Strength Electrical Wire

松岡 健太*
Kenta Matsuoka

星間 昭人
Akihito Hoshima

佐藤 大五
Daigo Sato

IoT化、ドローンの普及に代表される高度情報化社会、少子高齢化に伴うマルチタスクロボットが活躍する近未来社会において、通信電線の高強度化、軽量化ニーズは現在以上に高まることが確実視されている。特殊線事業部では高強度鋼線に厚銅被覆をした導体複合材料であるTCC (Thick Copper Covered) ワイヤーを開発した。TCCワイヤーは他の銅合金や複合材料と比べ高い強度を有し、特に屈曲性に高い優位性を示す。本稿ではTCCワイヤーの特性について報告する。

In an advanced information society where IoT and drones will widespread and in the near future where multitasking robots will be active due to the declining birthrate and aging population, there will be a greater need for stronger and lighter communication wires more than ever. The Special Wire Division has developed a thick copper covered (TCC) wire, which is a conductor composite material in which a high-strength steel wire is coated with a thick copper layer. TCC wire has higher strength than other copper alloy and composite material wires, and is superior in flexibility. This paper reports on the characteristics of TCC wire.

キーワード：銅被覆、高強度電線、耐屈曲、細径化、耐食性

1. 緒 言

本稿はSEIテクニカルレビュー第190号(2017年1月)に掲載された「ベリリウム銅合金に代わる高強度高導電性材料」の続編である。前編では導電性ばねへの適用を意識した内容であったが、その期待に反して高強度電線としての問い合わせが数多く寄せられた。ドローンやロボットの関節部分を通する電線には高い屈曲特性が求められ、センサー等の配線が増えるに従い細径化も要求される。また、電気自動車の普及により、車内暖房の電化が進み、ヒーター線需要が高まる一方で、断線による発火を抑制するために高強度化が求められる。このようなニーズに応えるために特殊線事業部では住友電工グループの電線化技術を用いて銅合金では達成できないレベルの強度を有するTCCワイヤーを開発し、過酷な環境下で使用される用途への適用を開始した。

いるが、芯材の強度、材質を変えることで幅広い用途への適用が可能である。図1にピアノ線を芯材に用いた場合の導電率と引張強さの関係を示す。

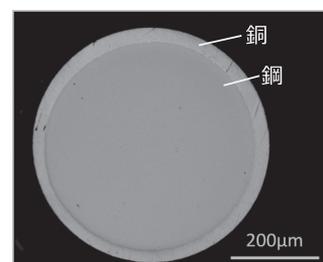


写真1 TCCワイヤー横断面

2. TCCワイヤーの特徴

TCC (Thick Copper Covered) ワイヤーは電線ケーブルを構成する素線であり、ベリリウム銅などの銅合金に比べて高強度であることを特長とした銅と鋼で構成される複合材料である。写真1にTCCワイヤーの横断面を示す。

(1) 導電率-引張強度

TCCワイヤーを検討する場合、必要とされる導電率または抵抗値からどのレベルまでの強度にするか、あるいは目標とする強度からどこまで導電性を要するかを考える必要がある。TCCワイヤーは導電率を20~60% IACS^{*1}として

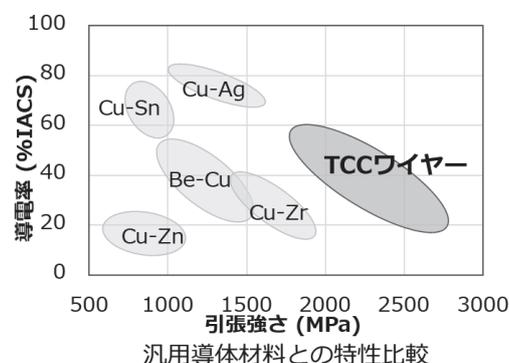


図1 導電率-引張強さ特性

(2) 線 径

TCCワイヤーの高強度特性を活かしたワイヤー線径の細径化は配線の軽量化、省スペース化には有効な手段であり、用途に合わせて線径を $\phi 0.03\sim 0.4\text{mm}$ の範囲で選択することができる。電子機器の配線を既存の銅合金からTCCワイヤーに置き換える場合、同等の強度を確保したままの細径化を実現し、配線の省スペース化により筐体の意匠性向上、サイズダウンを図ることが可能である。

(3) 芯 材

TCCワイヤーの芯材は鋼線のほかにステンレス鋼線を選択することも可能であり、より耐食性がが必要な環境における使用にも対応可能である。

3. TCCワイヤー特性

3-1 耐屈曲性

(1) TCC 撚り線

電線は、撚り線に加工することで耐屈曲性が向上する。一般的に本数が多く、素線が細い撚り構成ほど耐屈曲性が向上するが、それに加えて高強度なTCCワイヤーを素線に使用することで、圧倒的な耐屈曲性を持つ電線を得ることができる。

表1はTCCワイヤー撚り構成の一例である。要求される耐屈曲性や用途に応じて最適な撚り構成を選択することができる。また、写真2にTCC撚り線の外観写真を示す。

表1 TCCワイヤー撚り構成と断面図

撚り構成	断面図
1×7	
1×19	
7×7	

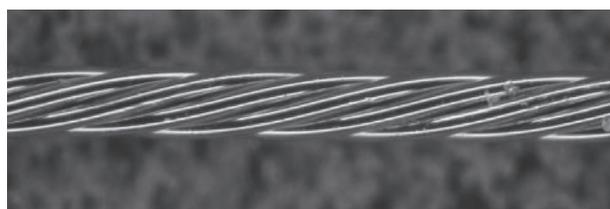


写真2 TCC撚り線 (1×7)

(2) 耐屈曲性評価

電線は使用される場所によって、折れ曲がりやねじりなど様々な外力を受ける。これを再現し、電線ケーブルの寿命を推測することは、機械（ロボット）の寿命を判断する上での重要な指標となる。今回は図2のような屈曲試験を実施してTCC撚り線の屈曲特性を評価した。

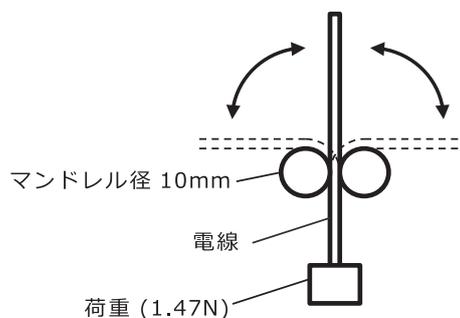


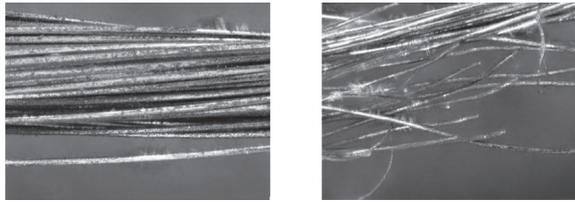
図2 屈曲試験概要

表2に屈曲試験で評価した電線の仕様を示す。比較材はCu-3%Sn合金を使用し、荷重1.47N、マンドレル径^{※2}は10mmと設定した。

表2 屈曲試験用導体仕様

	TCC (30%IACS)	Cu-3%Sn合金
撚り構成	65/ $\phi 0.05\text{mm}$	7×20/ $\phi 0.03\text{mm}$

写真3に1,000万回試験実施後の撚り線の状態を示す。Cu-3%Sn合金は20～30%程度の素線が断線したのに対し、TCCワイヤーの素線断線は皆無であった。更に、より過酷な条件で試験を実施するため、マンドレル径を5mmに設定して試験を継続したところ、TCC撚り線は1,300万回の屈曲後も断線しないという結果となった。この結果は細径化多本数化より高強度化の方が屈曲特性に効果が大きいことが示された事例といえる。



TCC ワイヤー Cu-3%Sn 合金

写真3 1000万回屈曲試験後の撚り線状態

3-2 端子接続性

電線を電子機器の配線として組み込む際、端子に接続する方法として、圧着など、加圧による機械的接続が選択されることが多いが、その際十分な接続強度と導通性が要求される。図3はTCCワイヤーと銅合金を加圧によって変形させた際の断面のイメージである。銅合金は導体全体が硬いためあまり変形せず、端子への食い込みが小さいが、TCCワイヤーの場合は軟銅である銅被覆が適度に変形することで端子との接触面積が大きくなり、高い導通性を確保できる。

図4にTCCワイヤー、銅合金線の接続強度と導通性の関係を示す。Cu-Sn合金とCu-Ag合金を比較すると、Cu-Ag合金は導体強度が高く大きい力で加圧できるため接続強度

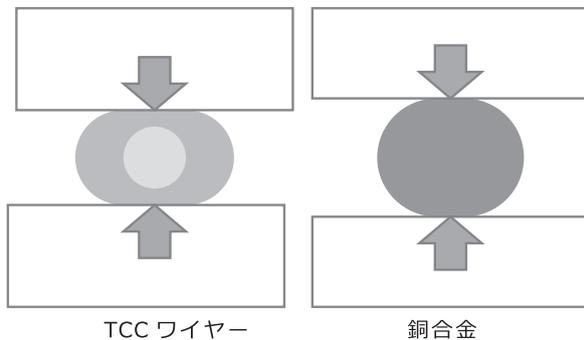


図3 加圧時導体変形イメージ

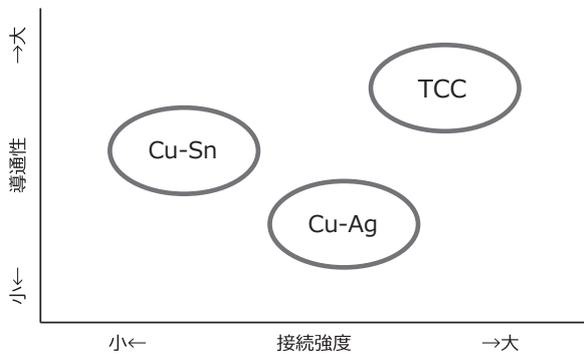


図4 導通性-接続強度特性

が高いが、導体の変形が小さいため導通性は悪化する。そのため、接続強度と導通性はトレードオフの関係にある。一方、TCCワイヤーは導体強度を高強度の芯材が担保し、銅被覆が適度に変形するため、接続強度と導通性を両立している。

3-3 伝送特性

TCCワイヤーの伝送特性評価結果を以下に示す。表3、図5は評価に使用したサンプルケーブル構造とその横断面である。ケーブル長は10m、測定周波数範囲は1~100MHzとし、LANケーブルの伝送特性規格であるCAT5eチャネル規格値の評価項目の中から以下の4つを評価した。

- ・挿入損失^{*3}
- ・反射減衰量^{*4}
- ・近端漏話減衰量^{*5}
- ・遠端漏話減衰量^{*6}

表3 伝送特性評価用サンプル構造

項目		TCC導体 3対ケーブル
導体	サイズ	AWG28
	構成	7x7/φ0.05
	外径 [mm]	0.45
対撚り	外径 [mm]	1.7
	撚りピッチ	小、中、大
集合	対数	3対

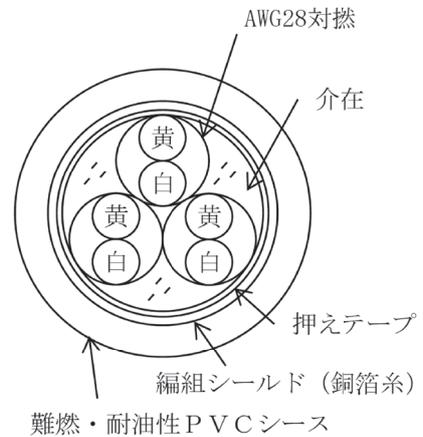


図5 伝送特性評価用サンプル構造

図6、7はそれぞれ挿入損失特性、反射減衰量特性の評価結果である。対①、②、③はそれぞれ撚りピッチ^{*7}小、中、大を表す。図7の反射減衰特性については、今回の評価ではインピーダンス設計を実施していないために低周波側で反射が大きくなり、規格値同等のレベルとなっているが、図6の挿入損失は10m以下であればLANの規格値を満

足していることを確認した。また、近端漏話減衰量、遠端漏話減衰量も規格値内であり、汎用的に使用されている軟銅や銅合金と比較しても伝送特性は遜色ないレベルであることを確認した。

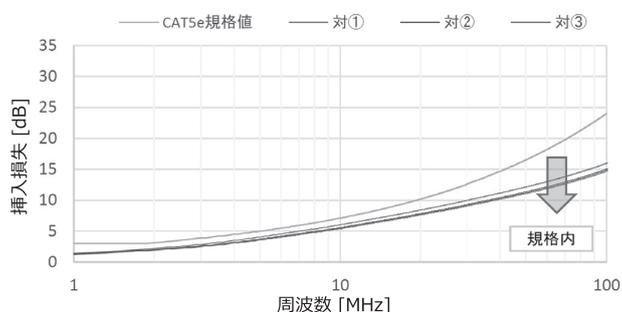


図6 挿入損失特性

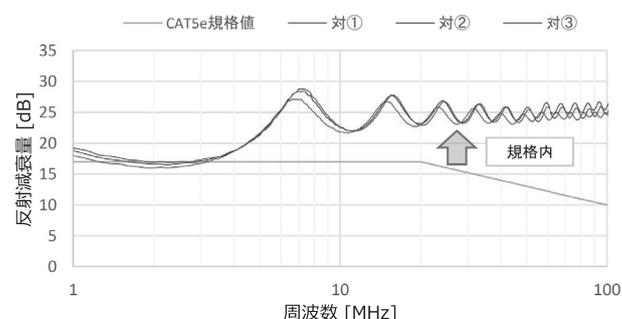


図7 反射減衰量特性

4. TCCワイヤー適用例

4-1 高強度、耐屈曲電線用途

(1) 可動用ケーブル

エアシリンダーや産業用ロボットアームなどの可動部に使用される電線は特に断線のリスクが高い。図8に可動用センサーケーブルの使用例を示す。この事例ではシリンダー

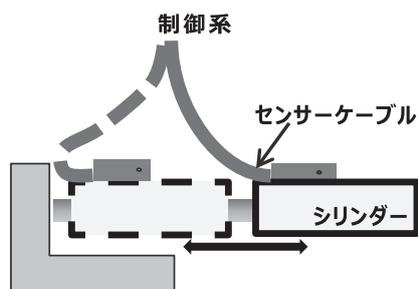


図8 エアシリンダー概要図

が左右に可動するたびにケーブルが屈曲するため断線の懸念があり、ケーブルの屈曲寿命がそのまま製品寿命に直結する。

産業用ロボットアームも同様の理由で、関節部などのケーブルは屈曲を繰り返すため断線のリスクが大きい。そこで、銅合金線を上回る耐屈曲性を有するTCCワイヤーを使用することで製品の長寿命化を図ることができる。

(2) 車載ヒーター線

自動車のEV化は室内暖房の省エネ化が進むだけでなく、車内空間での快適性も追求されている。このため、空気乾燥を伴うエアコン暖房より直接搭乗者を温めるヒーター線の需要は増加する一方で、搭乗者の動きによってはヒーター線の断線が懸念される。そのため強度、耐屈曲性が求められるが、TCCワイヤーの撚り線をヒーター線に適用することで、断線のリスクを低減することができる。

4-2 細径、軽量電線用途

IoT化に伴い、情報機器などの内部配線はますます長尺化、複雑化すると予想されるが、TCCワイヤーによる電線細径化で配線の省スペース化を実現できる。

また、機器本体の軽量化が望まれるドローンや、自動車の配線としての使用も期待できる。

5. 結 言

本稿では高強度複合線TCCワイヤーの電線への適用について紹介した。電線の高強度化による耐断線性向上、軽量化、省スペース化のメリットは大きい。近年、銅の抗菌効果も注目され、TCCワイヤーをテキスタイルで使用する用途も期待されている。また、本製品に並行して銅線にステンレス鋼を被覆したSUS覆銅線^{※8}（仮称）の製品化にも成功し、導電性ばねや、耐摩耗性が要求される過酷な環境での用途への適用も試みている。一方で本製品を銅資源枯渇の観点から着目すると、必要な導電率の面積分だけ銅に銅を被覆する本構造は銅鉱可採年延長の一助になり得ると考えられる。本製品を通じて豊かで環境にやさしい社会づくりに貢献できれば幸いである。

用語集

※1 IACS

International Annealed Copper Standardの略。導電率の基準として、焼鈍標準軟銅の体積抵抗率 $1.7241 \times 10^{-2} \mu\Omega\text{m}$ を100% IACSと規定している。

※2 マンドレル径

屈曲試験でのワイヤーの曲げ外径。マンドレル径が小さいほど過酷な試験になる。

※3 挿入損失

CAT5eの規格の内、入力信号が出力側でどの程度減衰するかを評価する項目。

※4 反射減衰量

CAT5eの規格の内、入力信号がどの程度反射してくるのかを評価する項目。

※5 近端漏話減衰量

CAT5eの規格の内、入力信号がどの程度他対の入力側（近端）に誘導されてしまうかを評価する項目。

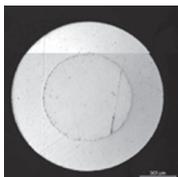
※6 遠端漏話減衰量

CAT5eの規格の内、入力信号がどの程度他対の出力側（遠端）に誘導されてしまうかを評価する項目。

※7 撚りピッチ

素線が撚り線の回りを 360° 1周するのに要する長さ。

※8 SUS覆銅線（仮称）



芯材に純銅、外部にステンレス鋼を被覆した複合材料。ばね接点、耐摩耗性が要求されるヒーター線やモータブラシへの適用が期待される。

・TCCは住友電気工業㈱の商標、または登録商標です。

参考文献

- (1) 赤田匠、泉田寛、渡邊隆志、岩本力俊、「ベリリウム銅合金に代わる高強度高導電性材料」、SEIテクニカルレビュー第190号、p.148-151 (2017)

執筆者

松岡 健太* : 特殊線事業部



星間 昭人 : 特殊線事業部 主幹



佐藤 大五 : 特殊線事業部 室長



*主執筆者