

# 新型銅合金(Cu-Fe-P-Sn)トロリ線の開発

## Development of Trolley Wire Made of New Copper Alloy (Cu-Fe-P-Sn)

三菱マテリアル株式会社  
堺工場

// 柿本 明廣

■ A. Kakimoto

三菱マテリアル株式会社  
堺工場

// 長 俊之

■ T. Cho

ケーブル事業部  
電線システム部

// 細川 浩一

■ K. Hosokawa

ケーブル事業部  
電線システム部

// 橋本 幸治

■ K. Hashimoto

技術本部  
総合研究所

// 本田 照一

■ T. Honda

技術本部  
総合研究所

// 芦田 哲哉

■ T. Ashida

トロリ線は、パンタグラフとの機械的な接触などにより摩耗するため、摩耗の進行に伴い順次張り替える必要がある。

トロリ線の張り替えは多額の経費がかかる上、作業間合いの確保などが必要となる。そのため、トロリ線の保全上の最大の問題点は摩耗であり、トロリ線には耐摩耗性や経済性が求められている。そこでまず入りトロリ線よりも耐摩耗性に優れ、まず入りトロリ線同様、量産が容易で汎用性に富む Cu-Fe-P-Sn 合金を素材に用いたトロリ線を開発した。

本報では、この Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線について実施した基本特性・性能評価結果について述べる。

【キーワード】トロリ線、銅合金、耐摩耗性

Trolley wires must be exchanged sequentially with the progress of abrasion, worn by mechanical contact with pantographs.

However, exchanging trolley wires is expensive and time consuming. The main problem in trolley wire maintenance is wear-out, and therefore, abrasion resistant and economic trolley wires are in need.

Therefore we developed wires which used Cu-Fe-P-Sn alloys that are superior to Cu-Sn alloy trolley wires in abrasion resistance, easy to mass produce and versatile as a material.

This report describes the basic characteristic and the performance evaluation results of this Cu-Fe-P-Sn alloy trolley wire.

【Key words】 Trolley Wire, Copper Alloy, Abrasion Resistance

### 1 はじめに

電気鉄道において、トロリ線はパンタグラフを介して車両側に電力の供給を行っている重要な部材である。トロリ線は、パンタグラフとの機械的な接触などにより摩耗するため、常にその摩耗量を管理しながら、摩耗の進行に伴い順次張り替える必要がある。トロリ線の張り替えは多額の経費がかかる上、作業間合いの確保などが必要となる。そのため、トロリ線の保全上の最大の問題点は摩耗であり、トロリ線には耐摩耗性や経済性が求められている<sup>(1)</sup>。

トロリ線は、純銅を用いた硬銅トロリ線の他に、長大トンネルなどで用いるために耐熱性を向上させた銀入りトロリ線 (Ag: 0.12% 以上)、すずを添加して強度を増し、耐摩耗性の向上を狙ったすず入りトロリ線 (Sn: 0.3 ± 0.05%) などがある。また、300 km/h を超える高速域用のトロリ線として、複合材料の CS トロリ線 (Copper clad steel) や析出強化型銅合金の Cu-Cr-Zr 合金を用いた PHC トロリ線 (Precipitation hardened copper alloy) がある<sup>(2)</sup>。一般に在来線では、製法の容易さから現在でも硬銅トロリ線が主流であり、耐熱性や耐摩耗性を必要とする箇所にはすず入りトロリ線も比較的多く用いられている状況にある。そこで我々は、すず入りトロリ線より耐摩耗性に優れ、量産が容易で汎用性に富む新型銅合金

を用いたトロリ線を開発した。これは Cu-Fe-P-Sn 合金を素材に用いたトロリ線であり、本報では、この Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線について実施した基本特性・性能評価結果について述べる。

### 2 トロリ線に要求される特性

トロリ線の材料に求められる性能としては、引張強さ、曲げ強さなどの機械的特性や耐候性に優れていることが重要である。また、トロリ線には大電流を流すことから電気抵抗が小さく、耐熱性が大きいことが求められる。さらにパンタグラフとしゅう動しているため耐摩耗性が大きいことも必要とされる<sup>(3)</sup>。

本開発に着手するにあたっては、これらの要求事項を考慮してすず入りトロリ線の基本特性を満たし、さらに耐摩耗性の向上を図ることを目標とした。

### 3 Cu-Fe-P-Sn 合金の適用

すず入りトロリ線の素材は銅 (Cu) にすず (Sn: 0.3 ± 0.05%) を添加した銅合金であるが、固溶する添加元素が導電性を著しく阻害することから、耐摩耗性を向上させるために添加元素を増す手法では導電性との両立が困難である。

そこで、現行のすず入りトロリ線より耐摩耗性を向上させる手段としてすず入り銅合金に鉄 (Fe)、リン (P) を添加する手法により高温特性を向上させることにした。また、荒引線段階において時効処理 (熱処理) を行うことで、すず入りトロリ線と同じ加工工程でトロリ線形状の伸線加工を可能にした。

Table 1 には、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線および現在実用化されているトロリ線の成分を示す。

Table 1 トロリ線の成分

Constituent elements of trolley wires				
トロリ線	成分			
硬銅 トロリ線	Cu	-	-	-
銀入り トロリ線	Cu	Ag > 0.12%	-	-
すず入り トロリ線	Cu	Sn=0.30 ± 0.05%	-	-
Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線	Cu	Sn=0.12%	Fe=0.09%	P=0.03%

#### 4 Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の製造方法

現行のすず入りトロリ線は、SCR方式によるタフピッチ銅 (Electrolytic Tough Pitch Copper) をベースに Sn を固溶させて連続鋳造圧延で得られた荒引線を、途中で皮剥を施しながらトロリ線形状に伸線加工して製造される。この製法では大きなロットの荒引線が連続で得られることから、荒引線に接続部を設けることなく長尺のトロリ線を製造することができる。

一方、今回開発した Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線は、Sn, Fe, P を添加した連続鋳造圧延材に時効処理 (熱処理) を施して得られた荒引線を、途中で皮剥を施しながらトロリ線形状に伸線加工して製造した。Fig. 1 にはすず入りトロリ線と Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の製造工程を示す。

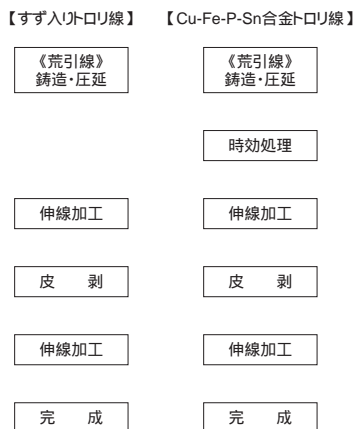


Fig. 1 トロリ線の製造工程  
Production process of trolley wires

これより、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線は連続鋳造圧延で得られる荒引線に接続部を設けることなく、長尺のトロリ線を製造することができる。

### 5 トロリ線の特性

#### 5.1 基本特性

Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の特性を、すず入りトロリ線と比較して Table 2 に示す。この表から Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線は、全ての特性項目ですず入りトロリ線の規格特性を上回っていることがわかる。

Table 2 トロリ線の特性

Properties of trolley wires					
トロリ線 特性	すず入りトロリ線 (規格値)		Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線		
	(GT-SN) 110 mm <sup>2</sup>	(GT-M-SN) 170 mm <sup>2</sup>	(溝付き) 110 mm <sup>2</sup>	(異形) 170 mm <sup>2</sup>	
引張荷重	kN	≥ 40.2	≥ 58.8	50.0	77.2
引張強さ	MPa	(≥ 362)	(≥ 345)	455	451
伸び	%	≥ 2.8	≥ 3.2	4.8	4.4
導電率	%	≥ 70.0	≥ 70.0	77.4	76.5
質量	g/m	982 ± 2%	1513 ± 2%	981	1526
曲げ	回	≥ 8	≥ 8	26	19
耐熱性	% (kN)	≥ 90 (≥ 36.2)	≥ 90 (≥ 52.9)	96.0 (48.0)	94.3 (72.8)

注：耐熱性は 300℃ × 2 h 加熱

#### 5.2 硬度

トロリ線 (110 mm<sup>2</sup>) の横断面硬度を測定した結果を Table 3 に示す。これより、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の硬度はすず入りトロリ線よりも高い値を示している。

Table 3 横断面硬度測定結果 (110 mm<sup>2</sup>)

A cross section- hardness measurements

測定箇所	ビッカース硬度 (Hv)	
	すず入りトロリ線	Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線
①	132	139
②	134	136
③	132	142
④	127	134
⑤	131	134
⑥	132	134
⑦	131	143
⑧	127	146
⑨	129	132
⑩	128	134
Ave	130	138

#### 5.3 焼鈍軟化特性

トロリ線 (110 mm<sup>2</sup>) を各設定温度に 1 時間保持した後、常温まで徐冷し、引張試験を行った結果を Fig. 2 に示す。

これより、すず入りトロリ線は 300℃ 以上で強度の低下と伸びの増大が生じるが、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線は 400℃ まで顕著な変化は生じない。

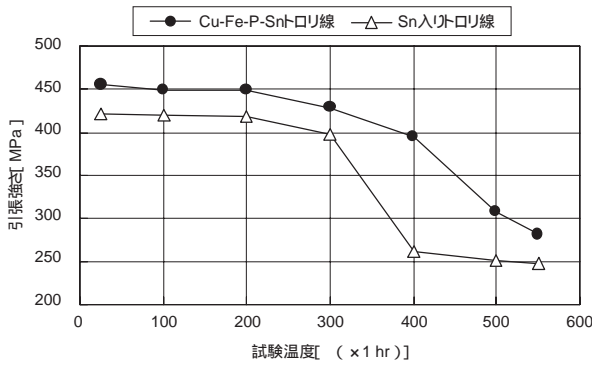


Fig. 2-1 焼鈍軟化特性 (引張強さ)  
Annealing curve (Tensile strength)

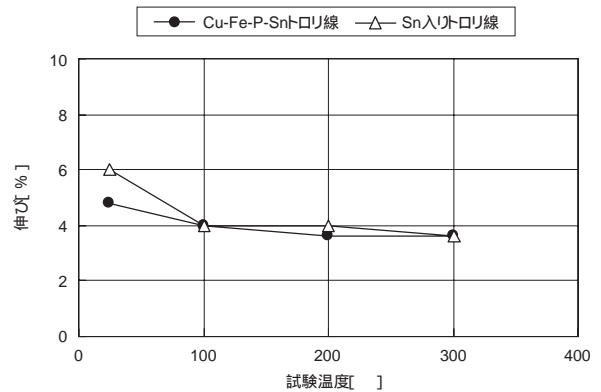


Fig. 3-2 高温引張特性 (伸び)  
Tensile strength at high temperature (Elongation)

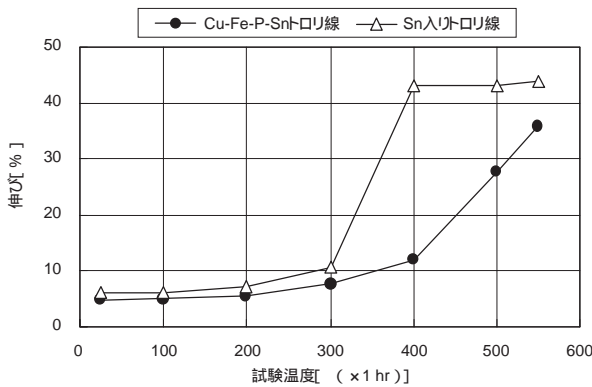


Fig. 2-2 焼鈍軟化特性 (伸び)  
Annealing curve (Elongation)

### 5.4 高温引張特性

トロリ線 (110 mm<sup>2</sup>) を各設定温度に 10 分間保持した後、その温度で引張試験を行った結果を Fig. 3 に示す。これより、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の高温引張特性は、すず入りトロリ線より高い強度を有している。

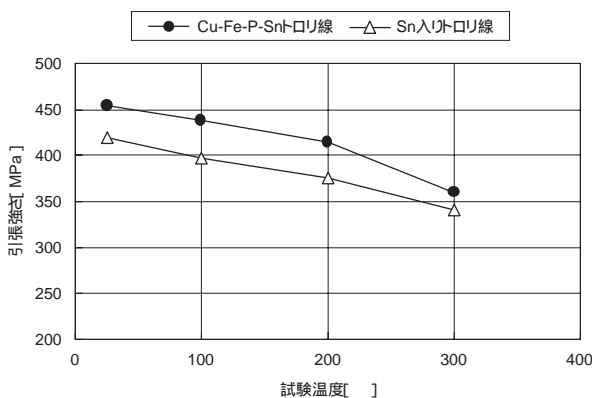


Fig. 3-1 高温引張特性 (引張強さ)  
Tensile strength at high temperature (Tensile strength)

### 5.5 振動疲労特性

トロリ線 (170 mm<sup>2</sup>) に張力 9.8 kN, 周波数 5 Hz で加振したときの振動疲労特性を Fig. 4 に示す。これより、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の疲労強度は、すず入りトロリ線よりも大きく、破断回数が 10<sup>7</sup> 回となるひずみ量を疲労限界とすると、ひずみ振幅は 1000 × 10<sup>-6</sup> である。

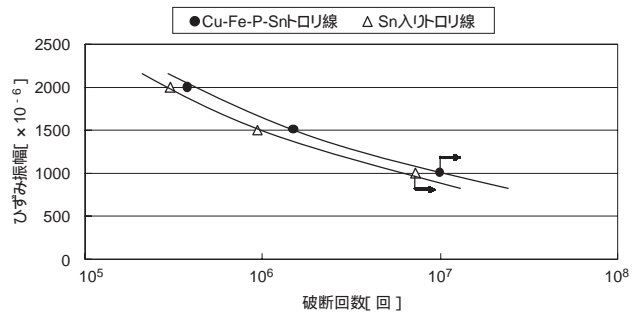


Fig. 4 トロリ線の振動疲労特性  
Fatigue characteristics

### 5.6 摩耗特性

Fig. 5 に略図を示す回転摩耗試験機の回転円盤 (直径 2000 mm) の外周にトロリ線 (110 mm<sup>2</sup>) を取り付け、これにパンタグラフ (PS200 A型) に取り付けられたメタライズドカーボンすり板 (PC78) をしゅう動させたときのトロリ線の断面積摩耗率を Fig. 6 に示す。ここでの試験条件は、すり板の押付力 54 N で電流 200 A を通電した状態にて、しゅう動部へ 3 l/分にて散水し、速度 100 km/h でしゅう動した。Fig. 6 より、Cu-Fe-P-Sn 合金トロリ線の摩耗率は同条件でのすず入りトロリ線よりも小さく、耐摩耗性は約 1.3 倍であり良好であることがわかる。

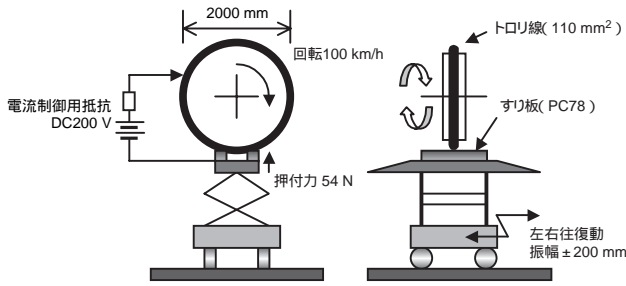


Fig. 5 回転摩耗試験機概略図  
Abrasion resistance test equipment

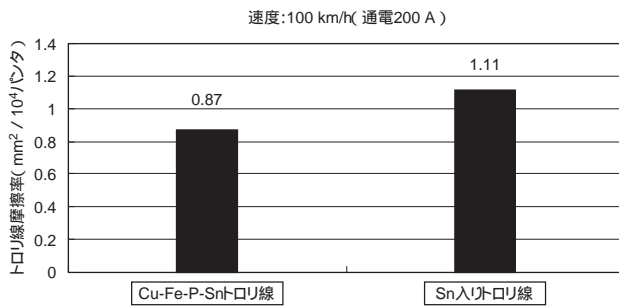


Fig. 6 トロリ線摩耗率  
Abrasion resistance

## 6 結論

電気鉄道に用いるトロリ線について、現行すず入りトロリ線の基本特性を満たし、さらに耐摩耗性を向上させるため、新しく開発したCu-Fe-P-Sn合金トロリ線を評価した。

その結果をまとめると次のとおりである。

- (1) Cu-Fe-P-Sn合金トロリ線は、強度450 MPa以上、導電率76%以上が得られ、現行のすず入りトロリ線の規格特性を全て満たすことが確認できた。
- (2) Cu-Fe-P-Sn合金トロリ線の硬度はすず入りトロリ線よりも高い。また、焼鈍軟化特性および高温引張特性はすず入りトロリ線よりも高い強度を有している。
- (3) Cu-Fe-P-Sn合金トロリ線の振動疲労強度はすず入りトロリ線よりも大きく、破断回数が $10^7$ 回となるひずみ量を疲労限界とすると、ひずみ振幅は $1000 \times 10^{-6}$ である。
- (4) Cu-Fe-P-Sn合金トロリ線の耐摩耗性はすず入りトロリ線の約1.3倍である。

## 7 むすび

トロリ線の素材として、Sn, Fe, Pを添加した新しい銅合金を素材とするCu-Fe-P-Sn合金トロリ線は、荒

引線段階で時効処理を行うことにより、すず入りトロリ線と同じ加工工程で長尺なトロリ線を得ることが可能である。

このトロリ線は、すず入りトロリ線の規格特性を全て満たす上に、すず入りトロリ線よりも耐摩耗性が向上することを確認した。

今後は、トロリ線の保守軽減や摩耗対策への適用に展開されることを期待している。

## 謝 辞

最後に本開発にあたって耐摩耗性の評価にて助言を頂き、トロリ線の回転摩耗試験をお願いした(財)鉄道総合技術研究所殿に深く感謝の意を表明する。

## 参考文献

- (1) 長沢広樹. 電車線とパンタグラフの特性. 1993, p. 142.
- (2) 電気学会編. 最新電気鉄道工学. 2000, p. 128~137, p. 168~173.
- (3) 片山信一. 鉄道と電気技術. Vol. 14(No. 3), 2003, p. 58~63.