

小ロット需要に対応可能で低コストな 高速電車線用トロリ線の開発

白木 理倫* 山下 主税* 菅原 淳*
小原 拓也* 中本 齊** 池田 国夫***

Development of Low Cost Contact Wire for High-speed Train Lines Capable of Responding to Small Lot Demand

Tadanori USUKI Chikara YAMASHITA Atsushi SUGAHARA
Takuya OHARA Hitoshi NAKAMOTO Kunio IKEDA

The PHC (Precipitation hardened copper alloy) contact wire had been developed for Shinkansen from the viewpoint of cost and environment. However, it have had a problem which is that the production of PHC contact wire is not possible to flexibly respond to the small lot demand of railway infrastructure managers. Therefore, to meet the small lot demand of the contact wire, the authors have developed a new contact wire; the low-cost CPS contact wire has the same strength and conductivity as PHC contact wire. This paper describes the test results of the performance of the new contact wire.

キーワード：トロリ線，高速電車線，小ロット需要，低コスト，CPS トロリ線，PHC トロリ線

1. はじめに

高速電車線用トロリ線として開発したクロム-ジルコニウム系析出強化型銅合金トロリ線（以下、PHC トロリ線）は、高速電車線用トロリ線に求められる強度と導電率の両立を実現したトロリ線であるが、鉄道事業者の小ロット需要に対して柔軟な対応ができないという課題があるため、小ロット需要に対応可能な高速電車線用トロリ線を開発することとした。そこで、PHC トロリ線と同等の機械的・電気的性能を有しつつ、小ロット需要に対応可能で、さらにPHC トロリ線より低コストなトロリ線（CPS トロリ線）を開発した。定置試験ならびに現地敷設試験によりCPS トロリ線はPHC トロリ線に対する置き換え使用が可能であることを確認した。

2. CPS トロリ線の試作

2.1 CPS トロリ線開発の背景

PHC トロリ線は、合金の製造過程において熱処理温度が管理値に対して少しでも低下すると即座に銅と添加物（クロム、ジルコニウム）が析出物を形成するため、 casting 工程において厳格な温度管理が必要である。そのため、熱処理を含む casting と圧延を連続的な工程¹⁾で行うことができない。PHC トロリ線の荒引線（引抜加工を

行う前の線材）の製造工程の概略を図1に示す。PHC トロリ線の荒引線製造には、大きく分けてケーキ（铸塊）の casting 工程および圧延工程の2つの工程がある。前述した理由により、ケーキは一度に200トン以上製造しないと安定した品質が得られないため、PHC トロリ線は一度に最低でも200トン（公称断面積110mm²トロリ線の長さで約200km）を製造する必要がある。そのため、大量の需要がある新線建設時にはPHC トロリ線の供給に特段の問題はないが、既設路線におけるPHC トロリ線への張替においては、メーカーに在庫がないと、納入までに長期間を要する場合のあることが問題となっている。

そこで、PHC トロリ線と同等の機械的・電気的性能を有しつつ、鉄道事業者の小ロット需要に対応可能なトロリ線を開発を行った。

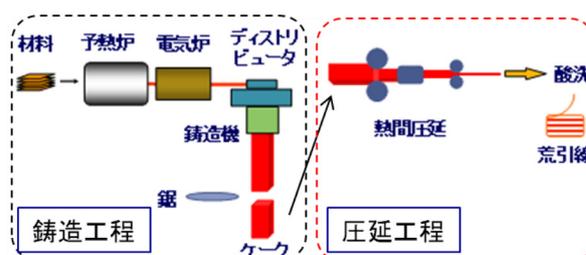


図1 PHC トロリ線の荒引線の製造工程概略

* 電力技術研究部 集電管理研究室

** 三菱マテリアル株式会社

*** 東日本旅客鉄道株式会社

2.2 材料組成と仕様値

トロリ線の高強度化には析出強化が有効であり、PHCトロリ線のような熱処理温度の厳格な管理が不要となる。そこで、析出する際の反応時間が比較的長いコバルト-りん系析出強化型銅合金を新しい高速電車線用トロリ線の候補材料として選定した。コバルト-りん系析出強化型銅合金は、コバルとりんが溶質同士で析出物を作るため、析出する際の反応時間が比較的長く、クロム-ジルコニウム系析出強化型銅合金ほど厳格な温度管理が不要であり、圧延温度がある程度低下してもコバルとりんが溶体化状態を保つことができる。そのため、硬銅トロリ線やすず入りトロリ線（以下、SNトロリ線）の製造方法と同じ連続铸造圧延方式（図2）による製造が可能である。連続铸造圧延方式は铸造と圧延を1つの工程で行うため、工程を簡略化でき、製造に要するコストを抑えることが可能である。また、最低製造数量を30トン（公称断面積110mm²トロリ線の長さで約30km）と小さくできるため、鉄道事業者のトロリ線張替計画にきめ細かく対応した製造が可能となる。

CPSトロリ線の化学組成を表1に示す。CPSトロリ線の材料は、コバルト（Co）、りん（P）、すず（Sn）を主な合金元素とする銅合金であり、それらの元素記号か

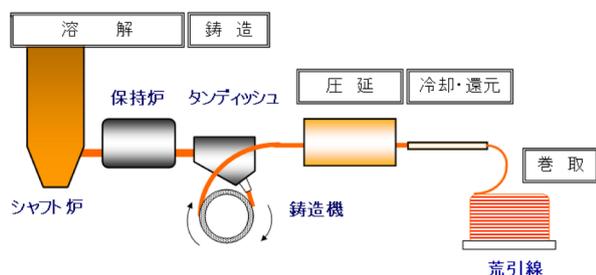


図2 連続铸造圧延方式による荒引線製造工程概略

表1 CPSトロリ線の化学組成

銅 (Cu)	コバルト (Co)	りん (P)	すず (Sn)
≥99%	0.3%	0.1%	0.05%

表2 CPSトロリ線の仕様

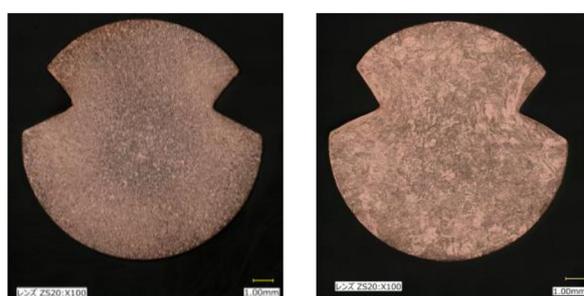
引張強度	耐引張荷重	最大引張荷重	伸び	導電率
≥532MPa	47.2kNを3分間印加しても 外観上異状がないこと	≥59.0kN	≥2.0%	≥76%IACS

表3 CPSトロリ線の引張強度と導電率

	断面積	引張強度	導電率
CPSトロリ線（実測値）	111.1mm ²	559MPa	79%IACS



図3 CPSトロリ線外観



CPSトロリ線

PHCトロリ線

図4 CPSトロリ線およびPHCトロリ線の金属組織

らCPSトロリ線と名付けた。

CPSトロリ線の外観を図3に、CPSトロリ線およびPHCトロリ線の金属組織を図4に示す。CPSトロリ線はPHCトロリ線に比べ微細な金属組織であることがわかる。このことから、素材の強度（引張強度や耐疲労性）の向上が見込まれる。

CPSトロリ線は、PHCトロリ線を代替することを目的として開発したため、CPSトロリ線試作時の性能仕様はPHCトロリ線の仕様に準じることとした。これを表2に示す。

2.3 材料特性

以下に示す定置試験により、CPSトロリ線の基本的な材料特性を確認した。

試験の概略図を図8に示す。加振波形は正弦波、加振周波数は5Hzとし、CPS トロリ線の一般的な疲労特性を取得することを目的に試験張力を14.7kNとした。

その結果を図9に示す。比較のため、併せて実施したPHC トロリ線(110mm²,張力14.7kN)の結果も併記する。なお、図9中の矢印は、トロリ線が破断しない状態で試験を打ち切ったことを示している。

同じひずみが生じる曲げ変形をトロリ線に与えた時に疲労破断に至る回数はPHC トロリ線よりもCPS トロリ線の方が多。したがって、CPS トロリ線は、PHC トロリ線より疲労特性が優れていることがわかる。これは、図4に示したようにCPS トロリ線の金属組織がPHC トロリ線より微細であることに起因すると考えられる。

3. 営業線における敷設試験

3.1 試験概況

敷設試験に先立ち、現在、PHC トロリ線で使用している金具がそのままCPS トロリ線に使えるか確認するため、代表的なPHC トロリ線用金具類とCPS トロリ線との金具適合試験を実施した。対象とする金具は、曲線引金具、ハンガイヤー、ダブルイヤーとした。その結果、CPS トロリ線が既存のPHC トロリ線用電車線金具と適合すること、つまりPHC トロリ線を把持するために使用されている既存の電車線金具をそのままCPS トロリ線の把持に使用できることを確認した。

営業線での使用におけるトロリ線の摩耗や動特性を評価するため、最高速度240km/hで営業運転されている本線において敷設試験を行った。試験の概況を表5に示す。表3に示したとおり、CPS トロリ線の引張強度の実測値はPHC トロリ線の引張強度の仕様値よりわずかに高くなっている。一般的な金属材料において、引張強度と硬さには正の相関があり、CPS トロリ線は従来のPHC トロリ線より曲げ変形に対する抵抗が大きいため、

表5 敷設試験の概況

敷設試験の概況		備考
敷設区間	新幹線本線上 (明かり区間)	<ul style="list-style-type: none"> コンパウンドカテナリ ちょう架線張力：24.5kN 補助ちょう架線張力：14.7kN トロリ線張力：19.6kN CPS110を敷設(引留区間全て) 前後引留区間のトロリ線はCS110(鋼芯は未露出)
すり板	鉄系焼結合金	—
試験日数	364日	—

PHC トロリ線の張替方法と全く同じ方法で張替工事が実施可能か懸念があった。そこで、今回のCPS トロリ線敷設試験において、PHC トロリ線の張替工事と同じ手順や工事用車両で施工を行ったところ、施工上の問題は発生しないことを確認した。

3.2 摩耗測定、しゅう動面観察

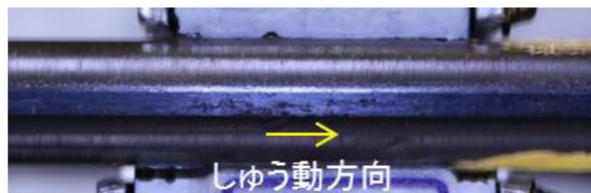
CPS トロリ線と比較用のCS トロリ線(CPS トロリ線の隣接引留区間、鋼芯は未露出)の敷設試験開始直後と終了直前の摩耗測定結果、および摩耗断面積を表6に示す。CPS トロリ線の摩耗断面積はCS トロリ線に比べて1/3以下であることを確認した。

敷設から約1年間経過後に観察したCPS トロリ線のしゅう動面の状況を図10に示す。調査箇所のおいでもしゅう動面は平滑であり、局部摩耗などの異常な摩耗は認められなかった。

表6 トロリ線の残存直径および摩耗断面積

トロリ線		残存直径 (mm)	試験中に摩耗した 摩耗断面積 (mm ²)
CPS110	試験開始直後	12.34*	0.20
	試験終了直前	12.22	
CS110	試験開始直後	11.74	0.66
	試験終了直前	11.62	

※トロリ線製造時の公称残存直径



支持点(振止金具)箇所



一般箇所

図10 CPS トロリ線のしゅう動面(新幹線における敷設約1年後)

3.3 動特性測定

CPS トロリ線の敷設期間および敷設試験終了後に同ドラムに敷設された PHC トロリ線の同一支持点で動特性測定を行った。測定項目は支持点押上量および支持点のトロリ線小弧面のひずみである。

各測定結果のうち最大値を表7に示す。CPS トロリ線の押上量およびひずみは PHC トロリ線とほぼ同等であること、押上量の目安値 100mm⁵⁾ およびひずみの目安値 500×10^{-6} ⁶⁾ を下回っていることから、今回試験を実施した本線上の使用において CPS トロリ線の動特性は特に問題ないと言える。

3.4 撤去品調査

敷設試験後に回収した CPS トロリ線に対する測定項目と CPS トロリ線製作時の仕様及び測定結果を表8に示す。いずれのサンプルも全ての項目において仕様を満足していることを確認した。

断面形状は、敷設試験後も JIS E 2101:1990 に規定され

た仕様を満足し、パンタグラフのしゅう動に伴う摩耗以外、断面形状に変化がないことを確認した。また、トロリ線表面に異常な腐食が発生していないことも確認した。

CPS トロリ線敷設試験前後の金属組織の様子を図11に示す。腐食処理の都合上、濃淡に違いがあるが、金属組織自体の大きさに変化はなく、敷設試験による金属組織の異状は認められなかった。

4. まとめ

PHC トロリ線と同等の強度と導電率を有しつつ、小ロット需要に対応可能で、さらに PHC トロリ線より低コストなトロリ線（CPS トロリ線）を開発した。成果は以下の通りである。

- (1) CPS トロリ線は PHC トロリ線と同等の機械的・電気的特性を持つことを定置試験により確認した。
- (2) PHC トロリ線を把持するために使用されている既存の電車線金具をそのまま CPS トロリ線に使

表7 電車線動特性測定結果（最大値）の比較

トロリ線支持点押上量		トロリ線正ひずみ	
CPS	PHC	CPS	PHC
35.0 mm (238.3km/h)	36.4 mm (237.8 km/h)	247×10^{-6} (238.3km/h)	264×10^{-6} (232.5 km/h)

※ () 内はパンタグラフ通過速度を示す

表8 敷設試験後の CPS トロリ線の測定項目とその結果

測定項目	仕様	敷設試験前	敷設試験後
耐引張荷重	47.2kN を3分間印加しても外観上異状がないこと	合格	合格
最大引張荷重	$\geq 59.0\text{kN}$	合格 (59.3kN)	合格 (60.1kN)
伸び	$\geq 2.0\%$	合格 (3.8%)	合格 (4.1%)
導電率	$\geq 76\%$ IACS	合格 (79.8% IACS)	合格 (79.8% IACS)

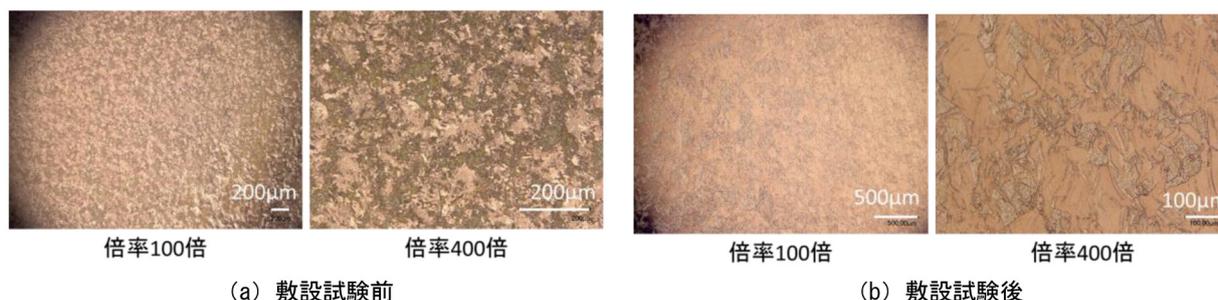


図11 新幹線敷設試験前後の CPS トロリ線金属組織

用して敷設しても問題ないことを確認した。

- (3) 新幹線本線における約1年間の敷設試験の結果、CPS トロリ線の性能に関して、以下を確認した。
- ・ PHC トロリ線と同じ施工方法で張替工事が可能であること
 - ・ 摩耗断面積はCS トロリ線の摩耗断面積の1/3以下であること
 - ・ 同一の支持点における電車線動特性（押上量とトロリ線ひずみ）は、PHC トロリ線と同等であること
 - ・ しゅう動面に局部摩耗などの異常摩耗が発生していないこと
 - ・ 表面に異常な腐食が発生していないこと
 - ・ 1年間の使用後においてもトロリ線製作時の仕様を満足していること
 - ・ 金属組織が変化していないこと
- (4) 以上より、CPS トロリ線はPHC トロリ線の置き

換えとして使用が可能であることを確認した。

文 献

- 1) 服部芳明, 堀和雅, 和田正彦: SCR による無酸素銅荒引線及び銅合金荒引線製造, 伸銅技術研究会誌, Vol.40, No.1, pp.153-155, 2001
- 2) 日本工業標準調査会, 電気用銅線及びアルミニウム線試験方法, JIS C 3002, 1992
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 電車線とパンタグラフの特性, 研友社, p.150, 1993
- 4) 社団法人鉄道電化協会編: 電車線材料の研究, p.2, 1974
- 5) 鉄道総合技術研究所編: 電車線とパンタグラフの特性, 研友社, p.217, 1993
- 6) 鉄道総合技術研究所編: 電車線とパンタグラフの特性, 研友社, p.221, 1993