

インド高速貨物専用鉄道向けトロリ線

Contact Wire for High-Speed Dedicated Freight Corridor in India

室井 保範*
Yasunori Muroi

井水 啓仁
Takahito Isui

中本 稔
Minoru Nakamoto

西川 太一郎
Taichiro Nishikawa

南条 和弘
Kazuhiro Nanjo

トロリ線鉄道ビジネスの海外輸出案件の中で、インド政府が進めている高速貨物専用鉄道建設プロジェクトを受注し生産納入している。インドのトロリ線市場参入にあたっては、海外規格をベースとした高導電率、かつ高強度といった顧客要求の仕様を満足する必要があった。本要求に対応するため、これまでに培った錫入り銅合金トロリ線の開発経験から、素材製造での錫含有量と酸素濃度の制御管理、トロリ線伸線工程の伸線条件変更により開発目標の特性を満たすトロリ線を開発した。本稿ではこれらの技術開発に関して報告する。

As part of its overseas business, Sumitomo Electric Industries, Ltd. has been providing contact wires for the high-speed dedicated freight corridor that is being constructed in India. To enter the Indian contact wire market, it was necessary to satisfy the specifications required by the local customer, such as high conductivity and high tensile strength based on overseas standards. Taking advantage of our accumulated expertise in copper-tin alloys, we achieved the required properties by adjusting the tin and oxygen ratio in material casting and by improving the drawing process of contact wire. This paper introduces our technical development.

キーワード：トロリ線、高導電率、高強度、錫入り銅合金

1. 緒言

現在鉄道ビジネスにおいては、急速な経済発展を遂げている東南アジア・インドといった地域を中心に大型鉄道建設プロジェクトが進行している。当社は、インド鉄道省傘下の貨物専用鉄道公社（Dedicated Freight Corridor Corporation of India Limited以下、DFCCIL）が建設を進めている全長約3,400km（図1：デリー～ムンバイ間、線路

長約1,500km）のトロリ線を受注し、当社海外鉄道案件としては過去最大規模の量を生産納入中である。当事業部としては初めてのインドのトロリ線市場参入であり、今回の納入にあたり国内規格と異なる海外仕様である欧州EN規格をベースとしたDFCCILの要求仕様を満たす必要があった。今回これまで培ったトロリ線開発経験から製造プロセスを設計することで、これまでにない高導電率かつ高強度といった顧客要求仕様を満たすトロリ線を開発したことについて報告する。



図1 インド貨物専用鉄道の受注区間

2. トロリ線

トロリ線とは図2に示すような鉄道車両にパンタグラフを通じて電力を供給する電線である。送電ロスを小さくするためにトロリ線の金属材料としては高い導電率を有する銅が使用されており、この銅に錫や銀などを添加して高強度とすることで個別の要求仕様を実現している。当社はこれまで日本国内のJR在来線・新幹線、民鉄各社の鉄道網構築に、各種トロリ線を納入することで貢献してきた。

表1に当社の主なトロリ線の品名と特徴を示す。品名のGTとはGrooved Trolley wireの略称で、架設時の把持部となるみぞ付きのトロリ線を意味する。GTの直後は添加した金属元素を示しているが、合金化により高強度、耐磨耗性等向上するが、導電率*1は低下する反面がある。

新幹線に代表される高速走行の実現には、高い架線張力が必要となり、より高い引張強さをもった高強度のトロリ

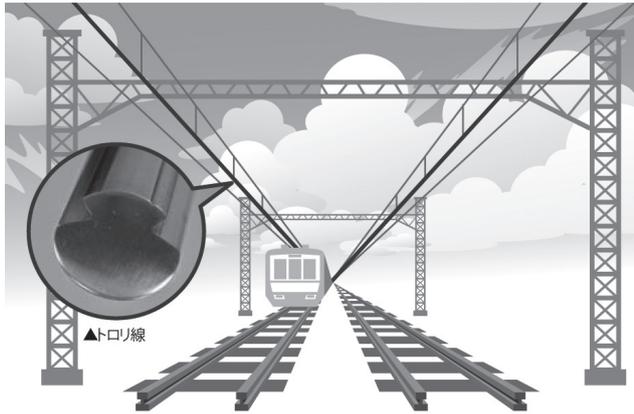


図2 トロリ線の役割 (給電線)

表1 当社トロリ線の品名と特徴・用途

品名	材質	特徴	用途
GT	硬銅 Cu		在来線
GT-SN	錫入り銅合金 Cu-Sn	高強度 耐摩耗性、耐熱性	高速鉄道 在来線
GT-SN-W	錫入り銅合金 Cu-Sn	高強度 (改良型) 耐摩耗性、耐熱性	新幹線 在来線
GT-AG	銀入り銅合金 Cu-Ag	高強度 耐摩耗性、耐熱性	高速鉄道 在来線

線が求められた。その要求に対して、当社は1992年に錫入り銅合金のトロリ線GT-SN-Wを開発した⁽¹⁾。この開発により2004年には台湾新幹線にもGT-SN-Wトロリ線を納入し、海外鉄道案件への参入も果たした。

国内市場において新規建設案件は少なく、需要の大部分は摩耗や経年使用による張替によるものである。一方海外市場はアジア圏での新規鉄道建設案件、特に高速鉄道案件が計画されており、今後も大きな需要が見込まれる。

3. 開 発

3-1 要求特性

インド市場参入にあたり、まずDFCCILからEN規格準拠として銀入り銅合金にてトロリ線仕様実現の要求があった。導電率と引張強さの仕様値について、EN規格、開発目標となる顧客要求仕様、従来品の仕様値を表2に示す。日本国内では高速走行のトロリ線の素材は錫入り銅合金が主流であるが、EN規格の欧州では導電率が高い銀入り銅合金等も使われている。しかし銀入り銅合金はコスト面で不利であり、EN規格の錫入り銅合金での提案可否を検討した。DFCCILからは、導電率に関しEN規格以上の82%IACSを仕様とする要求があり、開発目標として錫入り銅合金トロリ線にて導電率82%以上、かつ引張強さ420MPa以上であ

表2 顧客要求仕様と従来品との比較

準拠規格	材質・品名	導電率 [%IACS]	引張強さ [MPa]	コスト
EN	銀入り銅合金 Cu-Ag	97	360	高
EN	錫入り銅合金 Cu-Sn	80	420	安
顧客要求仕様	—	82	420	—
従来品	錫入り銅合金 GT-SN-W	70	430	—

る顧客要求仕様を目指すこととした。

3-2 開発内容

まずトロリ線の製造工程を図3に示す。素材製造ラインは、銅原料を溶解炉で溶かし添加元素を投入した後、連続鋳造機にて鋳造する素材鋳造工程と、この鋳造された素材を圧延機にて連続して熱間圧延を行うことで荒引線を製造する素材圧延工程に分けられる。次工程トロリ線加工ラインは、素材である荒引線をトロリ線専用伸線機に投入し、みぞを含むトロリ線形状を伸線加工していくものである。このトロリ線伸線工程は冷間加工であり、伸線加工時の加工硬化^{*2}により引張強さが上昇する。

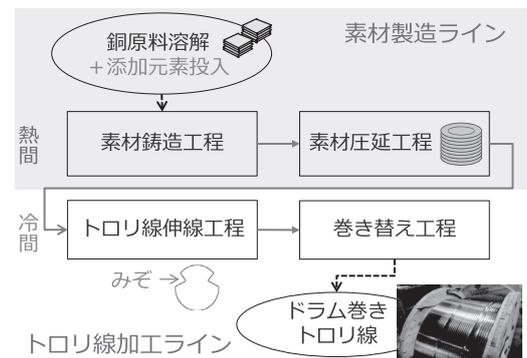


図3 トロリ線の製造工程

今回の開発においては、トレードオフの関係にある導電率と引張強さを両立させるため、これまでの高強度錫入り銅合金や高強度の銀入り銅合金の開発経験から、従来品GT-SN-Wトロリ線をベースとして、合金成分の再設計を含む製造プロセス設計を実施した。

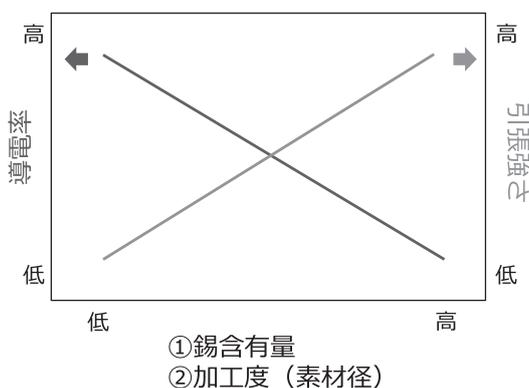


図4 導電率と引張強さのトレードオフの関係

先に概念図を図4に示すが、GT-SN-W トロリ線をベースとした場合、①添加元素である錫の含有量を低減していくと導電率は向上するが引張強さは逆に大きく低下してしまう。②一方で素材径を大きくして伸線加工での冷間加工度^{*3}を大きくすると、引張強さは向上するが導電率が低下する。これは、冷間加工による塑性変形で加工硬化が進むと、ひずみが蓄積されて原子配列が乱れるために導電率が低下すると説明される。なお加工硬化による引張強さ増加の割合は、添加元素である錫含有量が多いほど、大きいことが知られている。これは錫入り銅合金のような固溶強化型合金^{*4}では、固溶した錫原子にひずみが蓄積されることで、加工硬化が増加する現象とされる。

以上を踏まえて導電率と引張強さを両立させるためには、錫含有量を極力下げずに導電率を高める必要があった。その方策として、広く導電用材料として使用されているタフピッチ銅の酸素の役割に着目した。タフピッチ銅は一般的に酸素を200~500ppm含んでおり、この酸素は主に酸化銅の粒子として結晶粒内や結晶粒界に存在している。そして銅中に含有するその他の不純物元素(数ppm以下)は、この酸化銅粒子とともに晶析出^{*5}することで不純物元素による導電率低下が少なくなり、結果導電率を高くすることができる。そこで今回の開発では、銅合金中の酸素濃度を制御することで、導電率と引張強さの両立を目指した。銅合金中の酸素濃度が高いと、添加元素である錫が酸素と反応して酸化物となり特性が低下してしまう。一方酸素濃度が低いと、銅中に含有するその他の不純物元素による特性への影響が出てしまう。そのため合金成分の再設計として、添加元素である錫の含有量と銅中の酸素濃度制御を加えることで、必要な成分範囲を探った。あわせて製造プロセス設計として、必要な引張強さを確保すべく銅合金素材径と伸線加工条件の試作評価を実施した。実製造ラインでの試作によりトロリ線特性を確認し、要求仕様を満たすトロリ線製造条件を確立した。

4. 開発結果

図5に従来品の錫入り銅合金トロリ線と製造プロセスの再設計にて製造した開発品のトロリ線特性を示す。製造プロセス設計は、添加元素である錫含有量と銅中の酸素濃度の制御管理、伸線加工による加工硬化を考慮した銅合金素材径と伸線加工条件を確立した。

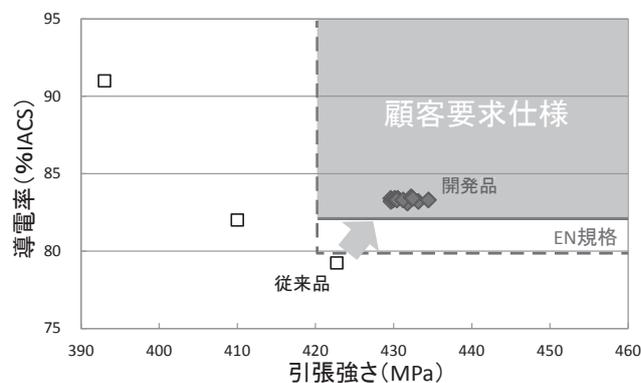


図5 従来品と開発品のトロリ線特性

その結果開発品のトロリ線特性は、顧客DFCCILが要求した仕様である導電率82%以上、引張強さ420MPa以上を満たしており、高機能な新規トロリ線を開発することができた。

5. 結 言

海外規格をベースとしてDFCCILの要求特性として高導電率かつ高強度が求められた中、培った錫入り銅合金の開発経験を活用してこれまでにない両特性を満たすトロリ線の開発を進めた。製造プロセスの再設計として、錫含有量と酸素濃度の制御管理、そして銅合金素材径と伸線加工条件の確立を実施したことで、要求仕様を満たすトロリ線を開発して生産納入している。

用語集

※1 導電率

焼鈍標準銅の導電率を100%IACSとする。
IACSはInternational Annealed Copper Standardの略。

※2 加工硬化

金属に応力を与えると塑性変形によってひずみが蓄積され硬さが増す現象。

※3 加工度

加工前初期の素材断面積から最終のトロリ線断面積を引いた減少量を初期の素材断面積で割ったもの。

※4 固溶強化型合金

添加した元素を母相の金属中に固溶（固体状態で均一に混ざり合った状態）させ、材料を強化している合金。

※5 晶析出

溶解した金属や固体の金属に原子状態で溶け込んでいた添加元素が、母相の金属と異なる化合物を形成して、母相の金属から現れ出る現象。

参 考 文 献

(1) 池田健司 他、「新種銅合金トロリ線の開発」、住友電気第145号、P32-P36 (September 1994)

執 筆 者

室井 保範* : 導電製品事業部 主査



井水 啓仁 : 導電製品事業部



中本 稔 : SEI Thai Electric Conductor Co.,Ltd.
General Manager



西川 太郎 : 導電製品事業部 主幹



南条 和弘 : SEI Thai Electric Conductor Co.,Ltd.
Managing Director



*主執筆者