

氏 名	長 澤 廣 樹		
授 与 学 位	博 士 (工 学)		
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日		
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項		
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 機 械 工 学 専 攻		
学 位 論 文 題 目	Cr-Zr 系 銅 合 金 ト ロ リ 線 の 通 電 下 の 摩 耗 特 性 の 研 究		
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 加 藤 康 司		
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 加 藤 康 司	東 北 大 学 教 授 渡 邊 忠 雄	
	東 北 大 学 教 授 坂 真 澄		

論 文 内 容 要 旨

本論文は、電気鉄道的高速化において必要となる高強度で高い導電性を有するトロリ線として、Cr-Zr系銅合金トロリ線の耐摩耗性と実用性を示し、新材料のトロリ線として提案している。

第 1 章

これまでの研究により、電車的高速走行時にパンタグラフが架線のトロリ線と安定して接触を保つためには、単位長質量の小さなトロリ線を高い張力で設備することが必要とされている。そのため、鋼線を銅またはアルミニウムで被覆したトロリ線が開発されているが、これらでは導電性が不足する場合がある。

高強度で高い導電性を有する材料としては、析出強化型の銅合金があり、その中でも特性上優れているCr-Zr系銅合金をトロリ線に適用することについて、検討を行った。

トロリ線の耐摩耗性は保守を軽減するだけでなく、列車の安全な運行を確保する上でも重要である。しかし、Cr-Zr系銅合金の摩耗特性についてはあまり知られていない状況にあるため、Cr-Zr系銅合金をトロリ線とした場合における通電下の摩耗特性を調べ、トロリ線としての可能性およびパンタグラフすり板への影響を明らかにした。

第 2 章

本研究では、まず室内摩耗実験によりCr-Zr系銅合金トロリ線の通電下および無通電下の摩耗特性を調べ、従来のSn系銅合金および銅トロリ線との比較を行った。相手材のすり板は現在実用されている主な材料として、新幹線用鉄系焼結合金すり板、在来線用銅系焼結合金すり板、在来線用カーボン系すり板の3種類について実験を行った。

実験に供したトロリ線材料は直径4mmの円形断面の線材であり、すり板材料は摩擦方向の長さ25mm、幅80mm、厚さ10mmである。実験装置は直径500mmの回転円板(ディスク)の端面にトロリ線を巻き付け、すり板をばねでトロリ線に押し付ける構造である。すり板はディスクに対し、左右に全振幅30mm、周期1secで揺動する。ディスクおよびすり板は支持物から絶縁し、ディスクを+側として通電できる。

標準の摩擦条件は、速度2.8m/s、押付力20Nで、通電条件は電圧100Vまたは10V、電流10~30Aの場合を無通電の場合と比較した。すり板がトロリ線を摩擦中にトロリ線から離れる離線現象が生じた場合に、電圧100Vの条件ではトロリ線~すり板間にアークが発生し離線期間中は継続するが、電圧10Vの場合には顕著なアークが発生しない。測定項目は、トロリ線とすり板の摩耗量、摩擦力、すり板がトロリ線から離れる時間比率(離線率)であり、摩耗面の外観観察と摩耗粒子の収集も行った。

鉄系焼結合金すり板の場合における実験結果では、通電下にはトリ線がすり板に移着して離線が発生し、その際にアーク放電を伴うと、トリ線とすり板の摩耗率は離線発生前よりも急増する。その場合のCr-Zr系銅合金トリ線の摩耗率は、従来の銅およびSn系銅合金トリ線の $\frac{1}{2}$ 以下で、Cr-Zr系銅合金系銅合金の耐摩耗性が優れていることを明らかにした。また、鉄系焼結合金すり板の摩耗特性はトリ線材質による差異が無いことを示した。

第3章

銅系焼結合金すり板の場合における実験結果では、鉄系すり板の場合と同様の傾向であり、Cr-Zr系銅合金トリ線の摩耗率は、通電下及び無通電下で、従来のSn系銅合金および銅トリ線の $\frac{1}{2}$ 以下である。また、銅系焼結合金すり板の摩耗特性もトリ線材質による差異が無い。

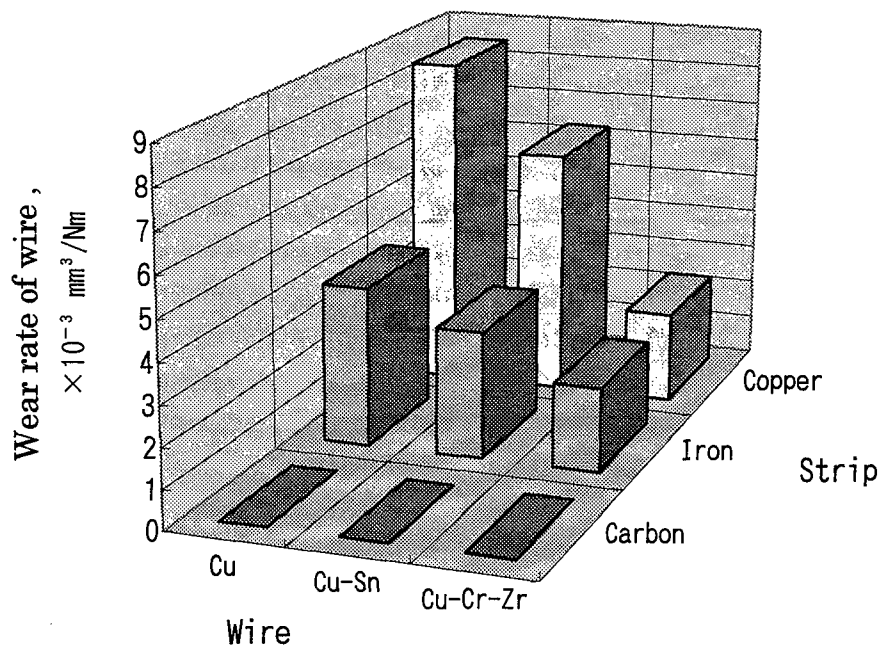


図1 トリ線摩耗率に及ぼす材料の組み合わせの影響
($v=2.8\text{m/s}$, $W=20\text{N}$, $E=100\text{V}$, $I=10\text{A}$)

第4章

カーボン系すり板の場合における実験結果では、アーク発生条件におけるCr-Zr系銅合金線の摩耗率は鉄系および銅系焼結合金すり板の場合の $\frac{1}{100}$ 以下であり、従来の銅およびSn系銅合金トリ線と同様に、摩耗特性が極めて良好である。また、カーボン系すり板の摩耗率も、鉄系および銅系焼結合金すり板の摩耗率の $\frac{1}{100}$ 以下である。

第5章

室内摩耗実験で、3種類のトリ線と3種類のすり板の組み合わせにおけるアーク発生条件でのトリ線摩耗率を図1に示す。Cr-Zr系銅合金トリ線の材料特性が、従来のSn系銅合金および銅トリ線と大きく異なる点としては高温軟化特性があり、再結晶温度はそれぞれ約 500°C 、 300°C 、 200°C である。

また、アーク発生条件における銅トリ線の摩耗面近傍では、温度上昇に伴って金属組織が再結晶し、硬さの低下が観察されるが、Cr-Zr系銅合金トリ線では再結晶層はほとんど認められない。この結果から、Cr-Zr系銅合金線が従来の線材より優れた摩耗特性を有することは、Cr-Zr系銅合金の良好な高温特性に基づくものであると考えられる。

室内摩耗実験の結果によれば、トリ線の摩耗率は通電によって増加し、離線およびアーク発生を伴うと摩耗率はさらに大きくなる。その機構は、摩擦熱や通電およびアークによる熱発生でトリ線摩耗面の温度が上昇し、摩耗面下に強度低下層が形成され、すり板の再着線時の大きな摩擦力で、大型の摩耗粒子が排出されることによる。

そこで、トリ線の摩耗率を低減するには、①離線率の低減、②発生アーク量の減少、③摩擦係数の低減、④接触面

圧の低減，⑤トロリ線材料の高温強度の向上が挙げられる。

また，室内摩耗実験の結果から，Cr-Zr系銅合金，Sn系銅合金，銅の3種類のトロリ線材料について，鉄系焼結合金すり板との組み合わせにおけるトロリ線の摩耗率マップを図2に示すように作成した。トロリ線の摩耗率は，単位長さのトロリ線摩耗面近傍で発生する熱量と速度の比のパラメータと，見かけの面圧とトロリ線材料の硬さの比による無次元面圧のパラメータによって，およそ示すことができる。トロリ線の摩耗率マップからも，トロリ線の摩耗率低減には摩耗面近傍で発生する熱量の減少と接触面圧の低下が有効であるといえる。

第6章

さらに，Cr-Zr系銅合金を材料とした直径12.3mmの実用サイズのトロリ線を試作し，基本特性の確認後，在来線の銅系焼結合金すり板が使用されている現場に架設して摩耗特性を調べた。その結果から，Cr-Zr系銅合金トロリ線の実用性を示し，従来のSn系銅合金トロリ線に比べてCr-Zr系銅合金トロリ線の摩耗率が約 $\frac{1}{2}$ と優れていること，銅系焼結合金すり板には特に影響を与えないことを確認した。

第7章

以上に述べた室内摩耗実験と現場試験の結果から，Cr-Zr系銅合金トロリ線は実用可能であり，従来の銅およびSn系銅合金トロリ線に比べて優れた耐摩耗性を有し，パンタグラフすり板の摩耗率は従来と同程度である。よって，Cr-Zr系銅合金トロリ線を新材料のトロリ線として提案している。

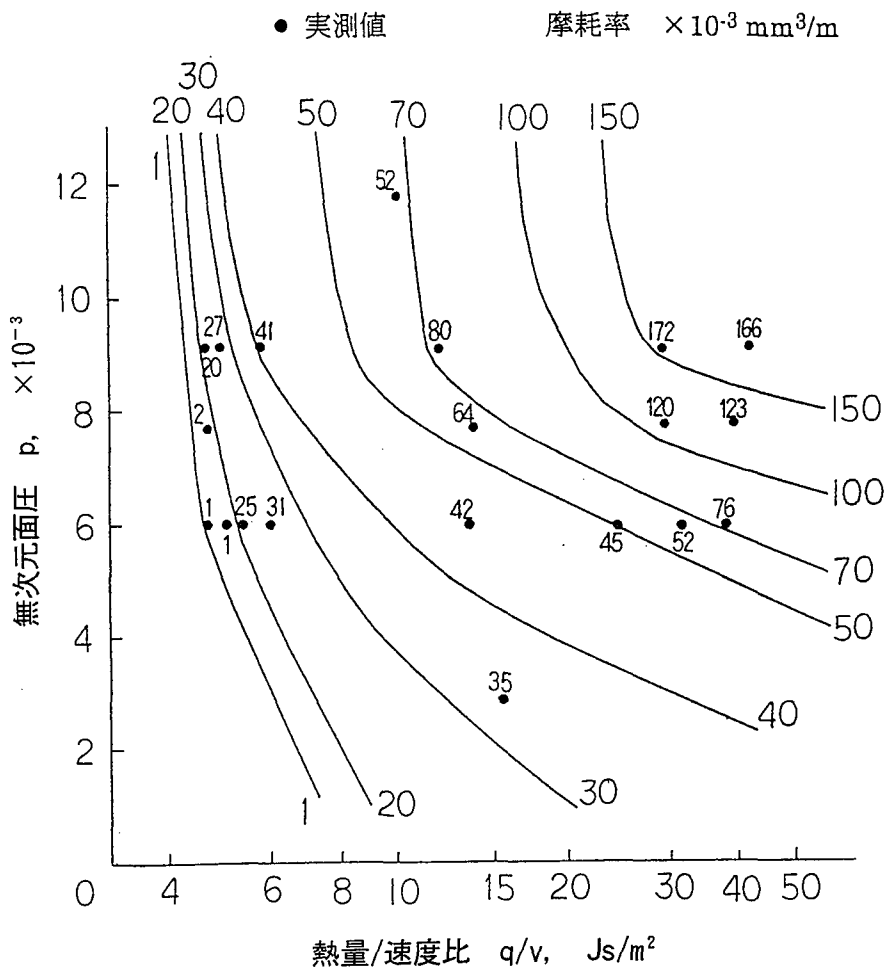


図2 トロリ線の摩耗率マップ
(鉄系焼結合金すり板の場合)

審査結果の要旨

電気鉄道的高速化のためには高強度で高導電性を有すると共に、耐摩耗性に優れたトロリ線の開発が重要な課題である。

本論文は Cr-Zr 系銅合金をトロリ線に適用した場合における通電下の摩耗特性を室内実験によって調べた上、現場試験により実用性を確認した成果をまとめたもので、全編 7 章よりなる。

第 1 章は緒論である。

第 2 章では、新幹線で使用している鉄系焼結合金すり板との組み合わせにおける Cr-Zr 系銅合金線の摩耗特性を室内実験により調べ、従来のトロリ線材料である銅及び Sn 系銅合金線との比較を行い、Cr-Zr 系銅合金線の通電下の摩耗率が従来のトロリ線の摩耗率の $\frac{1}{2}$ 以下であること、及びすり板の摩耗率には差異が無いことを示している。また、トロリ線材料がすり板の摩耗面に移着することにより、すり板がトロリ線から離れる離線現象が発生することを明らかにしている。これは重要な知見である。

第 3 章では、在来線で使用している銅系焼結合金すり板との摩耗実験を行い、鉄系焼結合金すり板の場合と同様に、Cr-Zr 系銅合金線の摩耗特性が優れていること、及びすり板の摩耗率には差異がないことを示している。

第 4 章では、在来線で用いられているカーボン系すり板との摩耗実験により、Cr-Zr 系銅合金線の摩耗率は従来のトロリ線と同様に焼結合金すり板の場合の $\frac{1}{100}$ 以下の低い値が得られることを示している。

第 5 章では、室内実験の結果を基にトロリ線の摩耗機構について考察している。トロリ線は通電下で離線現象が発生し、その際にアークを伴うと大型の摩耗粒子を排出して摩耗率が顕著に増大する。そのような摩耗の増大には、再結晶温度が支配的役割を果たしている事、および Cr-Zr 系銅合金線では、再結晶温度が高いため摩耗が少ないことを初めて明らかにしている。これは工学的に重要な成果である。

さらに、室内実験の結果を基に、鉄系焼結合金すり板の場合におけるトロリ線の摩耗率マップを作成し、トロリ線の摩耗率低減には、摩耗面近傍の発生熱量の減少とすり板の接触面圧の減少が重要であることを示している。

第 6 章では、Cr-Zr 系銅合金を用いた実サイズのトロリ線の試作と、その現場試験を行い、銅系焼結合金すり板の場合に、Cr-Zr 系銅合金トロリ線の摩耗率が Sn 系銅合金トロリ線の摩耗率の約 $\frac{1}{2}$ であることを確認している。

第 7 章は、結論である。

以上要するに本論文は、電気鉄道において Cr-Zr 系銅合金をトロリ線に用いた場合に優れた耐摩耗性が得られることを実験的に明らかにし、その摩耗機構を明らかにすると共に、実機試験によりその実用性を確認したもので機械工学及びトライボロジーの発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。