

AN INVESTIGATION OF SOLIDIFICATION  
MICROSTRUCTURE AND COPPER OXIDE FORMATION ON  
MELTED MARK OF COPPER WIRE FOR FIRE  
INVESTIGATION

スパットラ, サチャナー

<https://hdl.handle.net/2324/6787568>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : SUPHATTRA SACHANA (スパットラ サチャナー)

論 文 名 : AN INVESTIGATION OF SOLIDIFICATION MICROSTRUCTURE AND COPPER OXIDE FORMATION ON MELTED MARK OF COPPER WIRE FOR FIRE INVESTIGATION (火災調査のための銅線の熔融点における凝固微細構造と酸化銅形成の解析)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

電化製品を始めとする生活必需品の多くは銅線によって配線されている。近年、電力消費の拡大と共に、電化製品の数や種類も多くなってきているが、不注意による既定電力以上の使用は、電化製品内部や配線の予期せぬ発熱や発火を招く場合がある。火災現場において出火元を特定することは重要とされ、電化製品からの出火が特定できれば、捜査を効率良く進めることが可能となる。しかしながら、火災現場に残された家電製品や配線は発火の熱影響のみならず、長時間の火災により高温にさらされるので、冶金組織学的に出火原因を特定するためには、熱的条件を整理し、得られる組織を系統的に調査する必要がある。そこで本研究では、火災の発生を配線から出火と仮定し、銅線を種々の条件で凝固および熱処理して、出火場所の特定手法の指針を明らかにしたものであり、5章で構成されている。

第1章は緒論であり、銅線に用いられる純銅の性質や酸素との平衡状態図について基礎的知見についてまとめた。また、銅線の製造プロセスについて技術的背景を示した。さらに、火災現場における温度変化の仮説を立て、火災のモデル実験となるための凝固および熱処理条件について明らかにした。この時、銅線同士が接触し、出火原因となった銅線を第一出火場所とし、火災によって加熱された場所を第二出火場所とし、それぞれ区別して調査を行う指針を示した。

第2章では、考案した火災のモデル実験を確認するため、黒鉛電極を用いて銅線を熔融させ、種々の条件で冷却・凝固させて、第一出火場所と想定した銅線の凝固組織に及ぼす冷却速度の影響を調査した。その結果、火災は大気中で発生するため、わずかでも熔融した銅には必ず酸素が含まれることが明らかとなった。さらに、銅-酸素平衡状態図を参照することにより、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 相が共晶として生成することを明らかにした。また、水や空気による冷却を想定して、種々の冷却速度で凝固させた試料を作製し、冷却速度に依存してデンドライトアーム間隔が変化することを示した。併せて熱伝導方程式に基づき、熱拡散状態を数値解析し、銅の高い熱伝導率から凝固は必ず未熔融部の固相から生じること、およびデンドライトアーム間隔の冷却速度依存の妥当性を明らかにした。続いて、酸素の混入は試料表面が最も高く試料内部ほど低くなることから、酸素の拡散は場所に依存し、冷却速度依存性が小さいことを示した。逆に、水による冷却は冷却速度が速いにもかかわらず、酸素の混入を増加させることを明らかにした。

第3章では、第2章で用いた第一出火場所がその後の火災によりどのような組織へ変化するか調査した。一度凝固試料を出発材とし、火災の温度を想定した温度と時間で保持して凝固組織に及ぼ

す温度および時間の影響について調査した。第 2 章で得られたデンドライト組織は、高温保持により拡散・消滅し、同時に  $\text{Cu}_2\text{O}$  共晶組織は成長して粒状組織へ変化することを示した。デンドライト消滅は時間および保持温度に依存し、 $600^\circ\text{C}$  以下では 4hr 後も残存するが、 $800^\circ\text{C}$  を超えると急激に拡散が起こることが明らかとなった。一方、高温保持により試料表面および内部の酸化物が生成された。試料表層部では  $\text{Cu}_2\text{O}$  層が数百ミクロンの厚さで時間の平方根に比例して発達することを示し、さらに、アレニウスプロットによる解析により、 $400^\circ\text{C}$  の上下で生成速度が著しく変化することを明らかにした。また、表層部では高温では網目状の  $\text{Cu}_2\text{O}$  と薄膜上の  $\text{CuO}$  が混在するのに対して、比較的低温では  $\text{Cu}_2\text{O}$  の生成が支配的であり、保持温度に依存して  $\text{CuO}$  や  $\text{Cu}_2\text{O}$  の分布や形態が変化することを示した。すなわち第一出火場所の酸化物の形態調査が火災温度の推定に役立つことが示唆された。

第 4 章では、第 2 章および第 3 章の成果から出火発生時の第一出火場所とそれ以外の場所の凝固組織および熱処理組織からフローチャートを作成し、実際の火災に適応できるか調査した。実験試料には実際の火災現場から採取した銅線を用いて、凝固組織、熱処理組織および表層部の酸化物を冶金学的知見で観察し、フローチャートで分類した。複数の採取試料のうち、 $\text{Zn}$  を含む銅合金線以外の純銅試料においては、主として熱処理組織と酸化物形態により明確に区別できることが明らかとなり、フローチャートに従うと凝固および熱処理温度の推定ができることが示された。

第 5 章は総論であり、本研究の内容ならびに得られた成果をまとめて示した。