

# 電子機器の小形・軽量化に対応した 極細エナメル線用微量Sn入り銅線

## Copper Wire Containing a Small Amount of Sn for Fine Enameled Wire Used in Small Electronic Equipment

市川貴朗\* Takaaki Ichikawa 青山正義\*\* Seigi Aoyama  
高橋 勉\*\*\* Tsutomu Takahashi 長山秀寿\*\*\*\* Hidetoshi Nagayama

電子機器の小形・軽量化に伴い、それに使用される極細硬銅線や軟銅線も極細線化が進んでおり、磁気ヘッドコイル、フライバックトランスやステッピングコイルなどに用いられるエナメル線は、その心線に 0.04mm以下の極細銅線が使用されるようになってきている。この導体には、優れた伸線性と焼なまし後の安定した機械的特性が要求される。そこで、このニーズにこたえるために、極細エナメル線用の導体として新たにSnを微量添加した極細銅線を開発した。この希薄銅合金線は、連続製造圧延法で製造可能であり、品質が安定している。現在、本開発導体の用途の拡大が望まれているところである。

### 〔1〕 緒 言

電子機器の小形・軽量化に伴い、それに使用される硬銅線や軟銅線も極細線化が進んでおり、磁気ヘッドコイル、フライバックトランスやステッピングコイルなどに用いられるエナメル線は、その心線に 0.04mm以下の極細銅線が使用されるようになってきており、現在では、0.02mmサイズの超極細心線の開発が検討されている。極細線の製造工程において、冷間伸線後、室温で極細線を保管し、使用すると機械的特性や電気的特性が変化する現象がある。これは、すでに高純度銅で知られる加工ひずみによる室温再結晶<sup>1)</sup>と本質的には同様な現象であり、極細銅線であるが故に加工度が大きくなり、素材に蓄積されるひずみが大きくなるために発生する現象とみなせる。図1に加工度99.8%で冷間伸線した線径

0.04mm極細心線(タフピッチ銅)の機械的特性の経時変化を示す。引張強さと伸びが、時間と共に低下しているのがわかる。これは、前述したように室温で再結晶が起きているためである。図2に極細線の室温再結晶の様子を示す。写真は、伸線直後から室温で60日保管した極細心線の縦断面組織を示したものである。伸線直後は、(a)に示すように加工組織であるが、時間の経過と共に局部的に再結晶粒が生じ(b)、それが成長して粗大化する(c)。この室温再結晶による導体の軟化は、導体の極細伸線性を低下させ、また、心線を焼なまし後の再結晶粒の大きさが不均一になり、心線およびそれを用いて製造される極細エナメル線の機械的特性をも低下

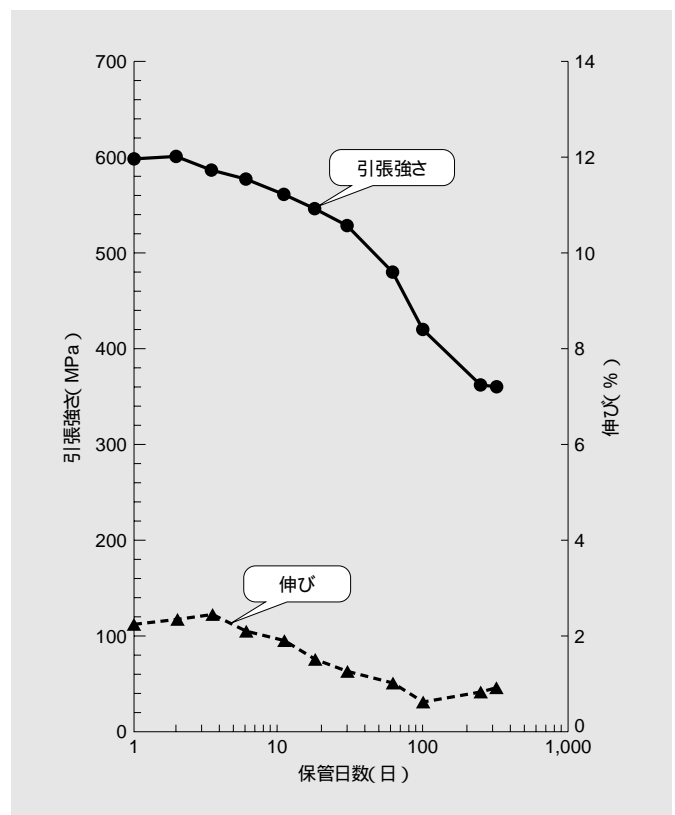


図1 室温における極細心線(0.04mm)の引張強さと伸びの変化 保管日数の経過とともに極細心線が室温で再結晶し、その結果、その引張強さと伸びが低下する。

\* 日立電線株式会社 総合技術研究所 \*\* 日立電線株式会社 総合技術研究所 工学博士  
\*\*\* 日立電線株式会社 電線事業本部 豊浦工場 \*\*\*\* 日立電線株式会社 電機事業本部 豊浦工場

させる。この問題は、心線が極細線化するにつれて顕著になると考えられることから、その対応が求められていた。そこで、著者らは、これに対処するために、極細心線として品質に優れかつ経済性や量産性にも優れた新素材を開発した。

以下、本導体の開発経緯と特長および特性について述べる。

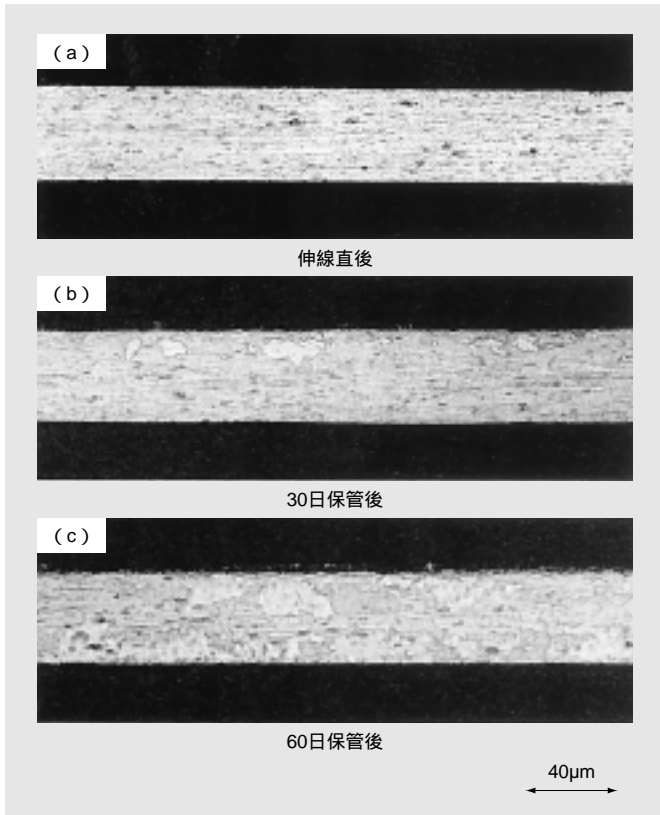


図2 冷間伸線された極細線(0.04mm)の縦断面組織 伸線直後は、加工組織を有しているが(a)、時間の経過とともに局部的に再結晶粒が生じ(b)、その後、結晶粒は粗大化する。

## 〔2〕 導体開発のコンセプト

エナメル線用の極細導体には、室温軟化の防止、優れた極細伸線性、高導電性、良好な機械巻線性などが求められるとともに、品質や生産性の向上も求められる。ここで、極細線の室温再結晶による軟化を防止するためには、導体の室温再結晶挙動を制御する必要がある。再結晶挙動の制御方法としては、図3に示す方法が考えられる。1つは、素材要因を制御する方法であり、もう1つは、工程要因を制御するものである。

素材要因の制御としては、1つには、微量元素を添加して軟化温度を向上させることである。これには、微量の元素添加による導電性の低下を最小限にできるような添加元素の選定が必要である。もう1つには、熱処理などにより素材中の微量元素を析出状態から固溶状態にすることによって、軟化温度を高温側に移動させることである。純銅の軟化特性に関して述べると、無酸素銅はタフピッチ銅に比較して軟化温度が高い。これは、無酸素銅は、酸素濃度が3ppm以下と極めて少ないため、酸素を300ppm程度含有するタフピッチ銅に

比べて、微量の不純物がマトリックス中に固溶しやすいためである。したがって、極細銅線の室温再結晶を防止するには、無酸素銅の適用が有効と考えられるが、タフピッチ銅に比較して経済性に劣るのが難点である。一方、工程要因の制御としては、1つには、伸線加工度の低減がある。これは、中間焼なましの回数を増やして、冷間伸線工程で素材に蓄積される加工ひずみを少なくして再結晶を制御する方法であるが、製造コストが増加するという不具合がある。さらに、伸線加工した心線を低温で保管し、再結晶速度を遅くする方法も可能である。このように、室温再結晶を制御する方法は、いろいろ考えられるが、著者らは、経済性を重視し、現状の生産工程を変えずに室温再結晶を制御する方法を選択した。すなわち、素材要因に着目し、SCR連続製造圧延システム(Southwire Continuous Rod System)による量産を目的に、現在エナメル線用の導体に適用されているタフピッチ銅への微量元素添加による制御の可能性を検討した。

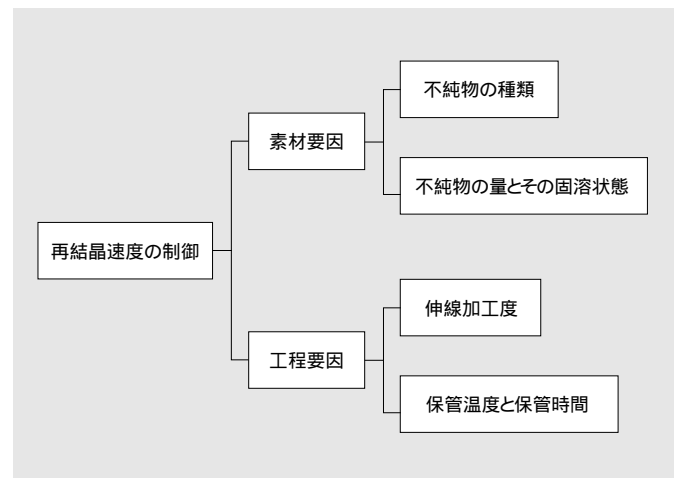


図3 室温再結晶に影響を及ぼす因子 極細伸線の室温再結晶を防止するためには、素材要因または工程要因を制御する必要がある。

## 〔3〕 添加元素の選定

無酸素銅やタフピッチ銅の軟化特性に及ぼす微量添加元素の影響については、過去にSmartらが研究している<sup>2)</sup>。その結果をまとめたものを表1に示す。無酸素銅とタフピッチ銅では、軟化温度に及ぼす各不純物の挙動が異なり、無酸素銅はタフピッチ銅よりも微量元素の添加により、軟化温度が高くなっていることがわかる。また、表からタフピッチ銅の軟化温度を高めるには、Sb, As, Bi, Ag, Sが有効であり、一方、Sn, Fe, Niは軟化温度を上昇させない結果が示されている。著者らは、この結果を詳細に検証するために、SCRで連続製造されるタフピッチ銅線の軟化特性に及ぼす微量不純物の影響を検討した。その結果、これまで、タフピッチ銅の軟化温度を上昇させないとされていたSnについて、その微量の添加により軟化温度が上昇することを新たに見いだした。これを踏まえて、タフピッチ銅への微量Sn添加による極細銅線の室温再結晶制御の可能性を体系的に検討した。

表1 純銅の半軟化温度に及ぼす添加元素の影響(文献2) 無酸素銅(OFHC)とタブピッチ銅(TPC)では、それらの軟化温度に及ぼす微量不純物の影響が異なる。

Quantity	0.002%		0.005%		0.01%	
	TPC	OFHC	TPC	OFHC	TPC	OFHC
O <sub>2</sub>	140	140	140	140	140	140
Sn	140	198	140	277	140	315
Fe	140	146	140	153	140	155
Sb	180	192	258	282	296	317
As	168	168	189	189	205	205
Ni	140	140	140	140	140	140
Pb	146	250	146	270	146	274
Bi	210	260	247	300	275	328
Ag	148	148	172	172	207	207
S	181	181	183	183	183	183

#### 〔4〕 微量Sn添加による室温再結晶の制御

##### 4.1 微量Sn添加による軟化特性の改善

素材の軟化温度は、それに含まれる不純物元素の固溶状態に関係している。そこで、室温再結晶を制御するために微量Snを固溶させる検討を行った。まず、Snの固溶状態を反映する軟化特性の評価は、評価の容易な太サイズの2.6mmで実施した。SCR連続鑄造機を用いて製造した微量Snを添加した荒引き線(8mm)を2.6mmまで冷間伸線し、その軟化特性と半軟化温度を図4と表2にそれぞれ示す。Snを55mass ppmおよび、94mass ppm添加した伸線材(SCR55、

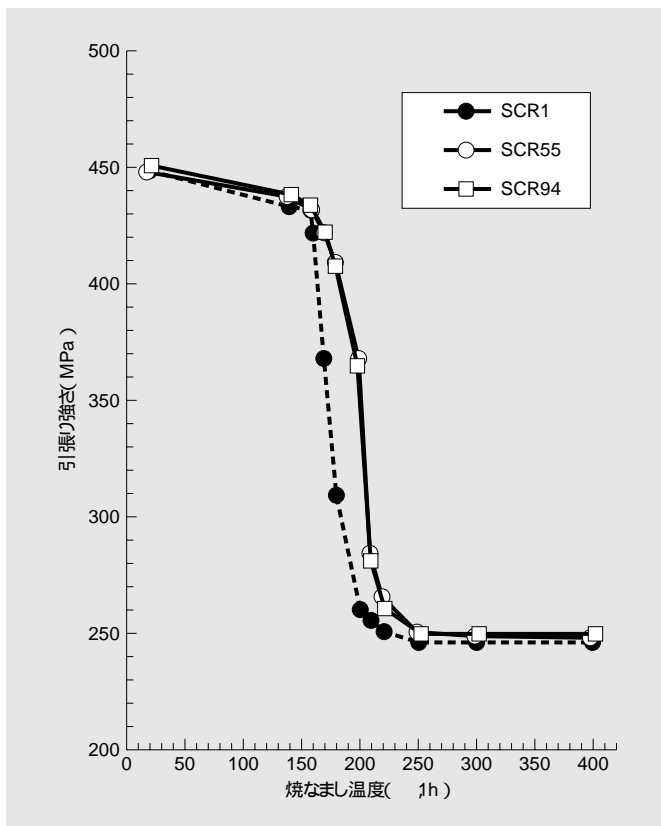


図4 冷間伸線材(2.6mm)の軟化特性 微量Snの添加により、冷間伸線材の軟化温度が向上する。

表2 冷間伸線材(2.6mm)の半軟化温度 微量のSnを55mass ppm添加した冷間伸線材(SCR55)とSnを94mass ppm添加した冷間伸線材(SCR94)の半軟化温度は、Snを添加しないもの(SCR1)よりも20 高い。

	半軟化温度(°C)
SCR1	180
SCR55	200
SCR94	200

表3 試料の化学成分(mass ppm) Sn以外の元素の含有量は、各試料で同等とみなせる。

	Sn	Pb	Ag	Ni	Fe	As	Sb	Bi	Si	S	O
SCR1	1	5	4	1	<1	<1	<1	1	<1	8	318
SCR55	55	3	5	1	<1	<1	<1	1	<1	8	380
SCR94	94	5	5	1	<1	<1	<1	1	<1	8	367

SCR94)は、Snを添加しない伸線材(SCR1)よりも半軟化温度が20 高いことがわかる。また、荒引き線の化学成分を表3に示す。Sn以外の不純物量については、同等とみなせる。これより、微量Snの添加により、半軟化温度が上昇することが確認できた。

##### 4.2 Snの固溶量の評価

この軟化温度の上昇は、銅中への微量Snの固溶によるものと考えられるため、同2.6mmサイズの試料を用いて、その固溶量を比抵抗測定により調査した。Snを添加しない冷間伸線したままの試料(SCR1)とSnを55mass ppm添加した同様な試料(SCR55)の比抵抗を液体窒素中で評価した。また、測定は比抵抗に及ぼす試料形状の測定誤差の影響に十分に留意して行った。測定結果を図5に示す。Sn微量添加材

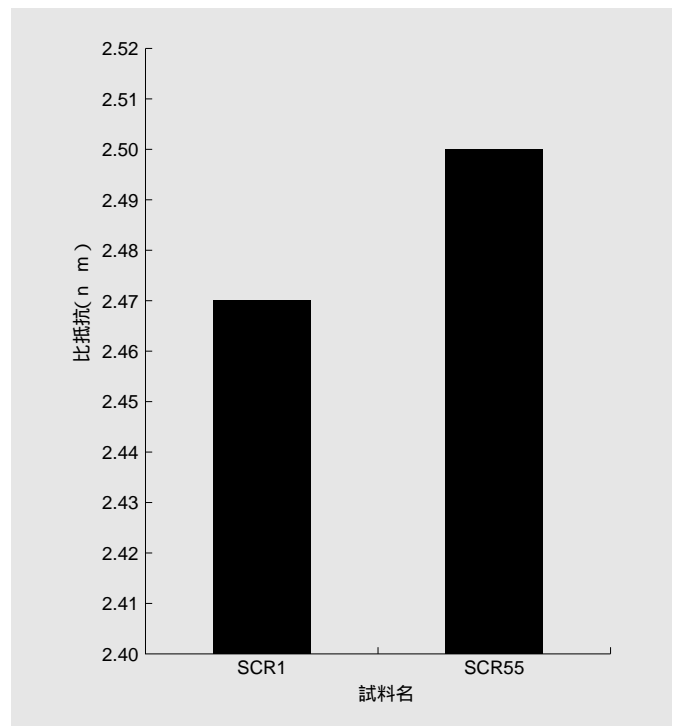


図5 冷間伸線材(2.6mm)の比抵抗 微量のSnを添加した冷間伸線材(SCR55)の比抵抗は、Snを添加しない冷間伸線材(SCR1)のそれよりも0.03n m大きい。この比抵抗の増加は、20mass ppmのSnの固溶量に相当する。

の比抵抗は、無添加材よりも0.03n m大きい。銅の比抵抗に及ぼす微量不純物の影響を調べたGregoryらのデータ<sup>3)</sup>からSnの固溶量を見積もると、この比抵抗の増加は、約20mass ppmの固溶量に相当する。また、前述したとおり、Smartは酸素共存状態においては、Snの微量添加による軟化温度の向上は認められない結果を示しているが、溶銅が急速冷却される連続鋳造による本検討条件の場合には、酸素共存下でも微量のSnが固溶することを示している。

### 〔5〕 開発品の特長

最後に、開発した極細線の室温軟化特性制御状況についての結果を示す。図6に微量Snを添加した線径 0.04mmの極細線(SCR55)の室温軟化挙動を示す。本材は、通常材(SCR1)と比較して、室温再結晶が抑制され、機械的特性の経時変化がほとんどないことがわかる。本開発導体の特長をまとめると以下ようになる。

- (1) 本開発品は室温軟化を防止できる。
- (2) 本開発素材は、SCR連続鋳造圧延システムで量産性を持ち、安定供給可能である。
- (3) 開発品の導電性は、従来のタフピッチ銅と同等で、従来と同じコンセプトで製品設計ができる。
- (4) 本開発品の軟化温度の上昇範囲では、エナメル線製造上、従来の製造ラインで問題なく焼なまし可能である。

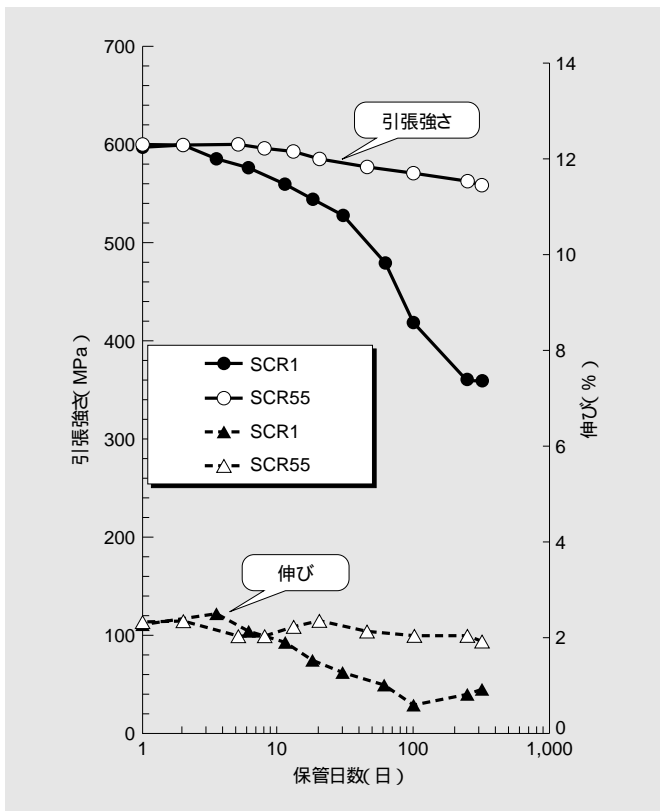


図6 室温における極細伸線(0.04mm)の引張強さと伸びの変化 Snを微量添加した極細心線(SCR55)は、Snを添加しない極細心線(SCR1)と比較して、引張強さと伸びの変化がほとんど生じない。

### 〔6〕 結 言

SCR連続鋳造圧延方式により、微量Sn入りタフピッチ銅線を製造する技術を確立した。これによって、室温で保管しても機械的特性の経時劣化のない高品質極細銅線、並びに、焼なまし後、安定した機械的特性を示す高品質エナメル線の製造を可能にした。今後、本開発導体のエナメル線や溶融Snめっき線をはじめとする各種極細心線への応用が期待される。

### 参考文献

- 1) 加藤正憲：伸銅技術研究会誌，35，28(1996)
- 2) J.S.Smart：The effect of impurities in copper, Copper : The Metal its Alloys and Compounds, Van Nostrand Reinhold, New-York, 410(1954)
- 3) P.Gregory and J.E.Hargreaves：J.Australian Inst. Metals, 11, 23(1966)



**市川 貴 敏** (いちかわ たかあき)  
総合技術研究所 第六部  
平成元年4月入社  
導電材料の研究・開発に従事  
日本金属学会会員



**青山 正 毅** (あおやま せいぎ)  
総合技術研究所 第六部  
昭和53年4月入社  
導電材料の研究・開発に従事  
日本金属学会会員  
工学博士(ph. D. 東京大学1995)



**高橋 敏** (たかはし つとむ)  
豊浦工場 製線部  
平成3年4月入社  
導線の設計・開発に従事



**長山 秀 寿** (ながやま ひでとし)  
豊浦工場 巻線製造部  
平成4年4月入社  
エナメル線の製造に従事