

高導電高耐熱銅合金条 EFTEC[®]-550 の開発

The Development of a High Electrical Conductive and High Heat Resistance Copper Alloy EFTEC[®]-550

藤井 恵人*
Fujii Yoshito

松尾 亮佑*
Matsuo Ryosuke

樋口 優*
Higuchi Masaru

〈概要〉

EV等の次世代自動車の技術革新やコンピュータネットワークの発展に伴い、電動モーターやサーバー電源等の高電圧・大電流化が進行し通電部品である端子・コネクタ・リレー等には、電力損失や自己発熱の軽減、更には発熱等による高温環境下でも良好な電氣的接続信頼性を維持することが要求されている。そのため導電材料には高い導電性と良好な耐応力緩和性が必要とされるが、今回既存の銅合金より更に良好な耐応力緩和性と接続信頼性に優れた高導電高耐熱銅合金条 EFTEC-550 の開発に取り組んだ。本開発製品は銅母相中に高密度で微細な Cr 析出物を分散させることで、強度と導電率を良好にバランスさせると共に Mg の微量添加により良好な耐応力緩和性を実現した。

1. はじめに

近年、次世代自動車の普及による車載電源系回路の高電圧・大電流化、データ通信の大容量化、電子機器の小型・大電流化が進んでおり、これらの用途においては、通電時の発熱量増加が問題となっている。また、ばね接点部においては車載高温環境等による熱負荷や、大電流通電による発熱により応力緩和が進行し、接続信頼性の低下が懸念されている。このような状況から、高導電率と良好な耐応力緩和性を兼ね備えた材料が望まれていた。しかしながら従来、導電率が高い銅合金は元素添加量が限られ、耐応力緩和性と高導電率とを両立させることは困難であった。

当社では、これまで高導電合金として EFTEC-3 (C14410) や EFTEC-64T (C18045) 等を製造している。これらの合金は、既報^{1), 2), 3)}で示したように、高導電率の他にも様々な優れた特性を有している。しかし、耐応力緩和性に関しては前述の用途で市場の要求を満たせないため、高導電率と良好な耐応力緩和性を有する新合金 EFTEC-550 の開発に着手した。本報では、EFTEC-550 の開発内容と材料特性について報告する。

2. 評価方法

各種の材料特性を、下記の方法により評価した。

2.1 導電率測定

JIS H 0505 に準じ、四端子法により電気抵抗率を測定し導電率を算出した。試験片は幅 10 mm × 長さ 145 mm の寸法で圧延方向に対して平行な方向を長手として採取し、電圧端子間距離を 100 mm、通電電流を 100 mA とした。

2.2 引張試験

JIS Z 2241 に準じて引張試験を行い、引張強さ、0.2% 耐力、伸びを測定した。試験片は JIS 5 号を使用し、圧延方向に対して平行方向を長手とした。標点距離は 50 mm、引張速度は 10 mm/min とした。

2.3 曲げ試験

JCBA T 307 に準じ、90° W 曲げ試験を行った。圧延方向に対して曲げ軸が垂直となる方向 (Good-way) と平行になる方向 (Bad-way) のそれぞれについて、試験を実施した。

試験後、曲げ部外側の表面を光学顕微鏡で観察し、しわ無し (A)、しわ小 (B)、しわ大 (C)、クラック小 (D)、クラック大 (E) の 5 段階に区別して、クラックの発生しない最小内側曲げ半径 (R) と板厚 (t) の比 R/t を見積った。この R/t の値が小さいほど、曲げ加工性が良好であることを意味する。試験片の幅 (W) と板厚 (t) の比を W/t と定義し、 R/t と W/t の関係を整理した。一般的に、同じ板厚であれば、 W/t の値が小さい (板幅が狭い) ほど、曲げ加工性は良好となる。図 1 に、曲げ方向と曲げ試験片の模式図を示す。

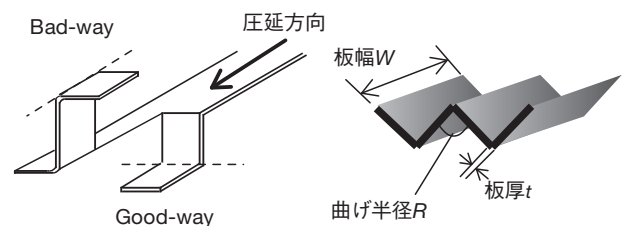


図 1 曲げ試験の模式図
The schematic diagram of the bending test.

* 研究開発本部 自動車・エレクトロニクス研究所

2.4 応力緩和率測定

JCBA T 309に準じて応力緩和率の測定を行った。試験片は圧延方向に対して平行な方向を長手とした。試験片への初期最大負荷応力を0.2%耐力の80%とし、所定温度のエアバス中で1000 hまで熱処理して、一定時間毎の試験片の変形量から応力緩和率を算出した。応力緩和率が小さいほど、耐応力緩和性が良好であることを意味する。図2に、応力緩和率測定の様式図を示す。

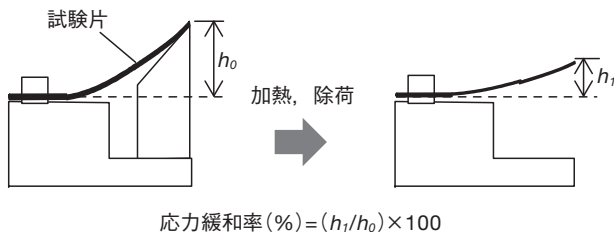


図2 応力緩和率測定の様式図
The schematic diagram of the stress relaxation test.

2.5 軟化特性評価

ソルトバスを用いて所定の温度で30 min加熱後水冷し、JIS Z 2244に準じてビッカース硬さを測定した。硬さ測定は試験力2.942 N、保持時間15 sで行った。

2.6 TEM 観察

EFTEC-550中のCrの析出状態を、TEM観察により確認した。材料を機械研磨後に電解研磨して薄片とし、更にイオンミリングにより表面研磨することで試料を作製した。加速電圧300 kVにて、銅母相の(200)方向から電子線を入射し、観察を行った。

3. 合金組成の検討

合金系としてCu-Cr-Mgを選定し、図3、4に示した開発目標を目指して、成分と工程条件の調整を行った。Crは銅合金中で析出することで高導電率と強度を両立させることに有効な元素、Mgは耐応力緩和性の改善に有効な元素である。

目標とする特性領域は、当社のEFTEC-3やEFTEC-64T、既存高導電合金であるC19210やC19400に比べ、引張強さと導電率とをより高いレベルに設定し、更に耐応力緩和性は高い導電性を有する銅合金の中では著しく良好な領域に設定した。

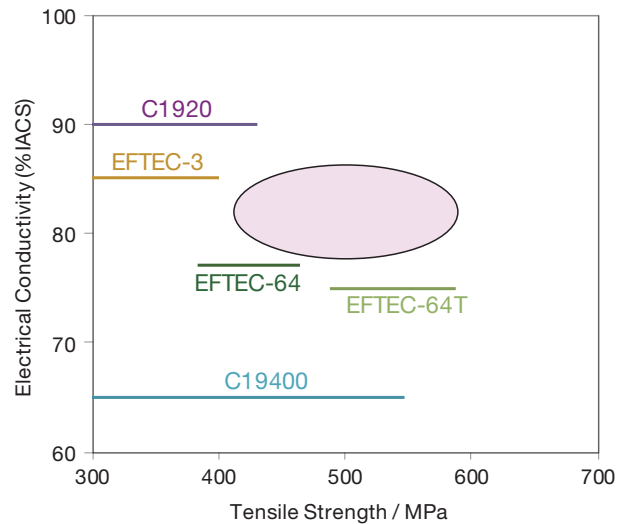


図3 既存合金の引張強さ-導電率と開発目標
Tensile strength vs. electrical conductivity of the existing alloy and the targeted area.

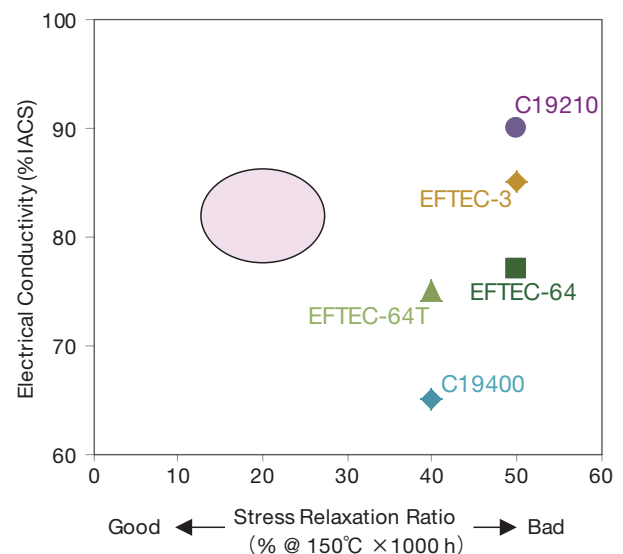


図4 既存合金の応力緩和率-導電率と開発目標
Stress relaxation ratio vs. electrical conductivity of the existing alloy and the targeted area.

合金組成の検討結果を図5と図6に示す。図5は中間での熱処理を400～600℃で実施し、時効熱処理とした場合と焼き鈍し熱処理とした場合のそれぞれの工程におけるCr添加量と引張強さの関係を示す。

熱処理方法によらず、Cr添加量が大きくなるほど引張強さが高くなる。しかしCr過剰添加による铸造性の低下等を懸念し、Cr添加量は0.25 mass%とした。

また、図6は各製造方法におけるMg添加量と応力緩和率、導電率の関係を示す。Mg添加により耐応力緩和性は著しく改善されるが、添加量増加に伴い導電率が低下する。高導電率と良好な耐応力緩和性とを両立させるため、Mg添加量は0.1 mass%とした。

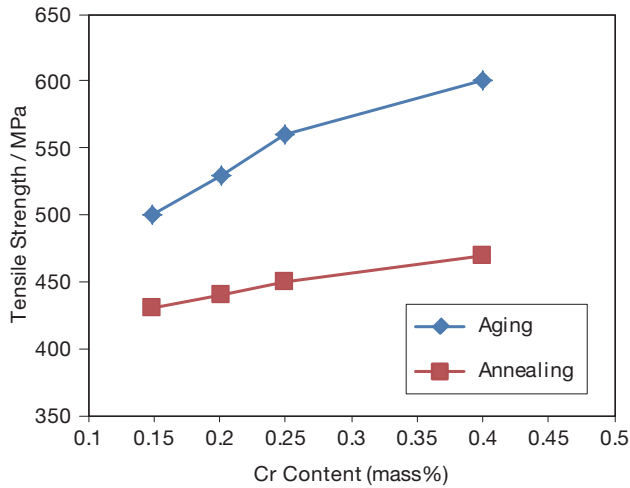


図5 Cr添加量が引張強さに及ぼす影響
The effect of chromium content on the tensile strength.

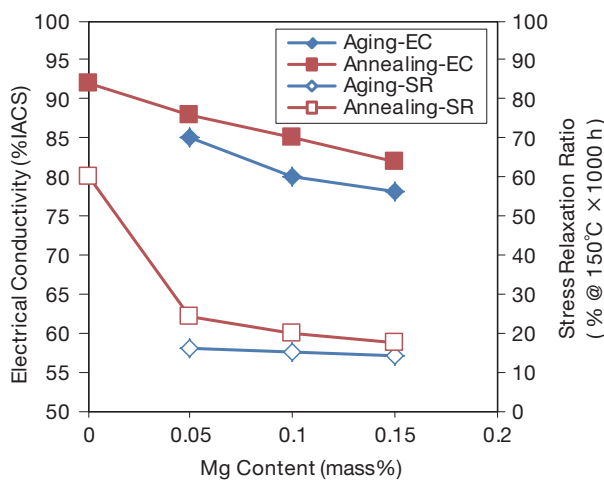
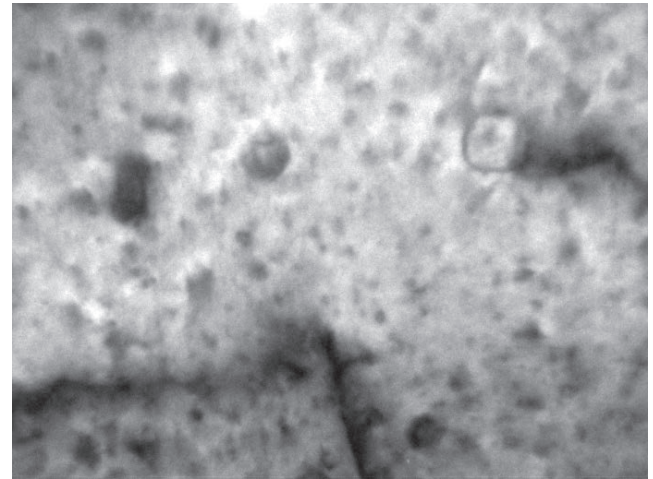


図6 Mg添加量が応力緩和率と導電率に及ぼす影響
The effect of Mg content on the stress relaxation ratio and the electrical conductivity

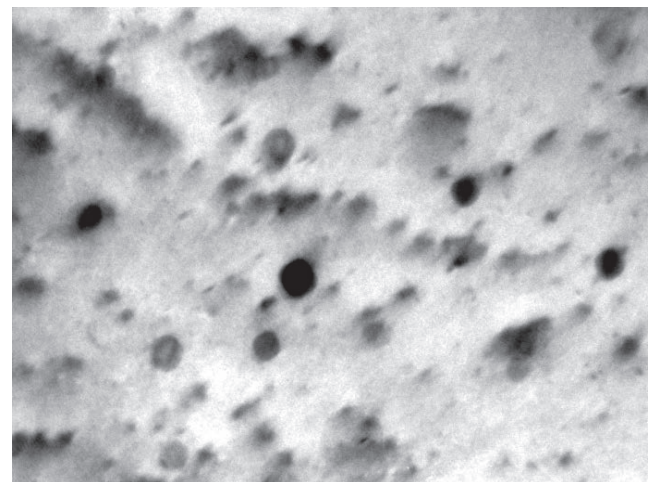
これらを鑑みて決定したCu-0.25%Cr-0.1%Mgを中心組成として各工程とその条件を調整することでCrの析出状態を制御し、引張強さを重視したEFTEC-550Tと、導電率を重視したEFTEC-550Eを開発した。

図7にそれぞれのCr析出状態を示す。EFTEC-550TはCrをより緻密微細に析出させることで強度を高めており、EFTEC-550Eは析出物を成長させて析出量を増やすことで導電率を高めている。



a. EFTEC-550T

50 nm



b. EFTEC-550E

50 nm

図7 EFTEC-550T/EのCr析出状態
The precipitation state of Cr for EFTEC-550T/E.

4. 材料特性の評価

本項では、EFTEC-550T/Eそれぞれの材料特性について報告する。

4.1 化学組成と物理的特性

表1にEFTEC-550の化学組成を示す。EFTEC-550T/Eとも、Cu-0.25%Cr-0.1%Mgを代表組成としている。また表2に、EFTEC-550の物理的特性を示す。

EFTEC-550Tは約80%IACS、EFTEC-550Eは約85%IACSの高導電率を有しており、大電流通電における発熱抑制効果が大きいことが期待される。

表1 EFTEC-550の化学組成
The chemical composition of EFTEC-550.

成分 Elements	Cr	Mg	Cu
含有量 (mass%) Content	0.25	0.1	残 Remainder

表2 EFTEC-550T/Eの物理的特性
The physical properties of EFTEC-550T/E.

特性 Property	EFTEC-550T	EFTEC-550E
熱伝導率 / $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ Thermal Conductivity	330	340
導電率 (%IACS) Electrical Conductivity	80 (≥ 75)	85 (≥ 80)
電気抵抗率 / $\mu\Omega \cdot cm$ Electrical Resistivity	2.16	2.03
比重 Specific Gravity	8.9	8.9
縦弾性係数 / GPa Modulus of Elasticity	140	130

4.2 機械的特性

表3にEFTEC-550の機械的特性を示す。EFTEC-550Tは約550 MPa、EFTEC-550Eは約450 MPaの引張強さを有する。EFTEC-550は、既存の高導電性を示す銅合金に比べ、より高いレベルで引張強さと導電率を両立させている。

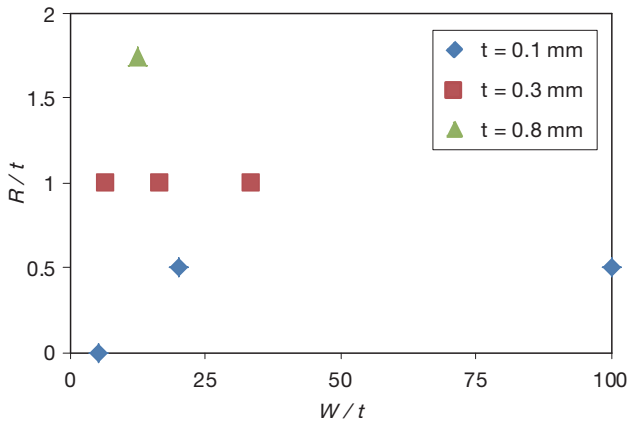
表3 EFTEC-550T/Eの機械的特性
The mechanical properties of EFTEC-550T/E.

特性 Property	EFTEC-550T (質別 Temper : H)	EFTEC-550E (質別 Temper : H)
引張強さ / MPa Tensile Strength	550	450
伸び (%) Elongation	10	10

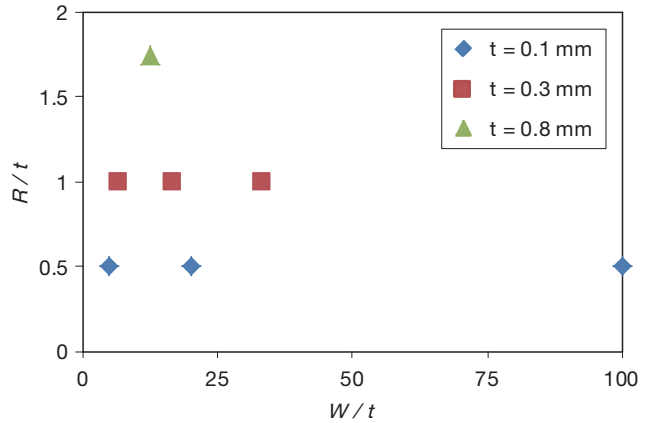
4.3 曲げ加工性

近年電子部品の小型、複雑化が進み、材料には様々な曲げ方向に対してより厳しい曲げ加工が施される。

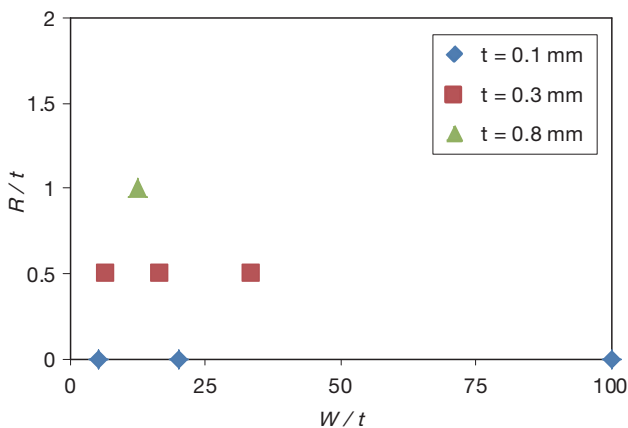
図8にEFTEC-550の90°W曲げ加工性を示す。EFTEC-550Tは0.3 mm、EFTEC-550Eは0.8 mmより薄い板厚では、 $R/t \leq 1$ で加工することが可能である。またEFTEC-550T/E共に、 R/t は曲げ方向に対する異方性が小さい。



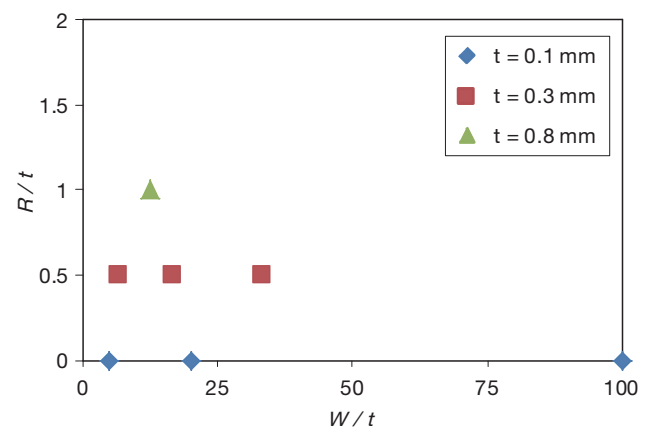
a. EFTEC-550T Good-Way



b. EFTEC-550T Bad-Way



c. EFTEC-550E Good-Way



d. EFTEC-550E Bad-Way

図8 EFTEC-550T/Eの曲げ加工性
The bending workability of EFTEC-550T/E.

4.4 耐応力緩和性

自動車エンジンルーム等のような高温環境で使用する部品や、大電流通電による発熱が起こる部品などにおいては、ばね接点部の材料が応力緩和現象によりへたりを発生させ、通電不良などが懸念される。このため材料には耐応力緩和性が要求される。

図9にEFTEC-550の耐応力緩和性を示す。EFTEC-550T/Eのいずれも、電子機器等に広く用いられるC5210に比べて著しく応力緩和率が小さい。また図4に示した通り、既存の高導電合金に対しても耐応力緩和性が著しく改善されている。特にEFTEC-550Tの耐応力緩和性は、一般的なコルソン合金(Cu-Ni-Si)と比較しても同等かそれ以上である。

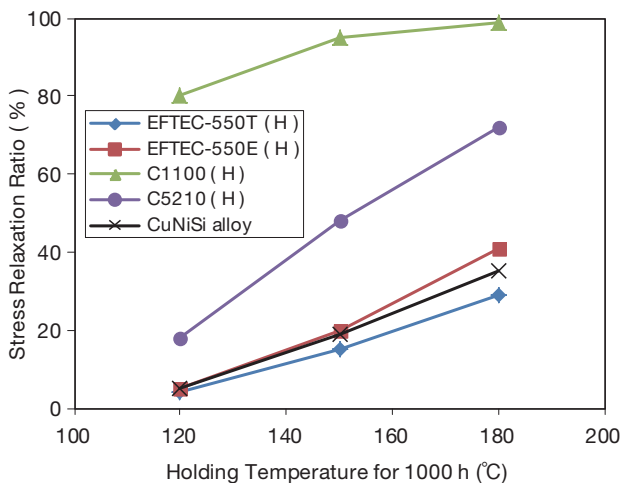


図9 EFTEC-550T/Eの耐応力緩和特性
The stress relaxation property of EFTEC-550T/E.

4.5 耐熱性

電子部品等を製造、実装する際には、一般的に250～300℃程度の温度ではんだ付けやそのリフロー処理が行われるため、材料にはこの温度範囲で軟化しないことが要求される。

図10にEFTEC-550の軟化特性を示す。EFTEC-550T/Eのいずれにおいても、リフロー温度帯で30 minの熱処理後も機械的特性が維持されており、部品実装時の加熱にも十分耐えることができるものと期待される。

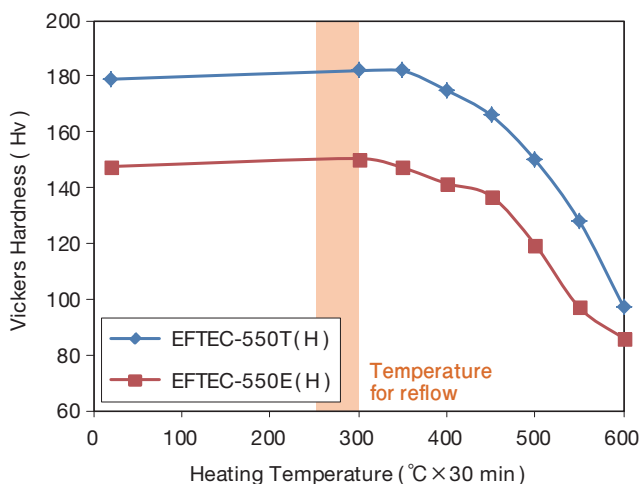


図10 EFTEC-550T/Eの軟化特性
The softening resistance of EFTEC-550T/E.

4.6 磁気特性

材料が磁性を有していると、周辺の電子機器やモーター、半導体素子等の誤作動を招く恐れがある。既報に、既存銅合金の比透磁率 μ が示されている²⁾。当社既存合金であるEFTEC-3、EFTEC-64Tは、無酸素銅(C1020)と同等の比透磁率であり、磁性によるシステムの信頼性低下を招く危険性がほとんど無い。EFTEC-550はEFTEC-64Tと合金成分が類似しており、同等の磁気特性を有すると推定される。これに対し、合金成分にFeを含むC19210やC19400は、比透磁率が大きくなる。

5. まとめ

EFTEC-550の材料特性について以下にまとめる。

- (1) 既存の高導電合金に対しより高いレベルで強度と導電率を両立させ、更に良好な耐応力緩和性を兼ね備えている。強度を重視したEFTEC-550Tは約550 MPaの引張強さと約80%IACSの導電率、導電率を重視したEFTEC-550Eは約450 MPaの引張強さと約85%IACSの導電率を有する。
- (2) 耐応力緩和性は、電子部品等で多く用いられるC5210や既存高導電合金に比べ著しく改善されている。特にEFTEC-550Tは、一般的なコルソン合金と同等以上の耐応力緩和性を有する。
- (3) 電子部品等の製造、実装時に施されるはんだ付けやリフロー処理といった加熱による材料軟化の危険性は小さい。
- (4) 比透磁率がC1020と同等であり、周辺の電子機器やモーター、半導体素子等の誤作動といった磁性によるシステムの信頼性低下を招く危険性は小さい。

これらの材料特性を有するEFTEC-550は、次世代自動車の普及による車載電源系回路の高電圧・大電流化、データ通信の大容量化、電子機器の小型・大電流化等に伴い懸念される通電時の発熱の抑制並びにばね接点部の接続信頼性向上に貢献できる。

参考文献

- 1) 黒柳：最近の半導体パッケージ用銅合金材料の動向，古河電工時報，70 (1980)，103.
- 2) 大山，谷川，浅井，佐藤，篠崎，志賀，桑原，吉田：電子機器用銅合金EFTEC-64および64Tの特性，古河電工時報，80 (1987)，111.
- 3) 浅井，大山，佐藤：古河リードフレーム用銅合金EFTEC-64について，伸銅技術研究会誌，27 (1988)，109.