

エレクトロニクス関連金属製品

Metal Products for Electronics-Related Industries.

古河電気工業(株) 古河サーキットフォイル(株) (株)古河テクノマテリアル

大山好正*
Yoshimasa Ohoyama

田上信司*
Shinzi Tagami

栗原正明*
Masaaki Kurihara

高橋 功**
Isao Takahashi

中岡忠雄***
Tadao Nakaoka

垣生哲史****
Tetsushi Habu

概要 近年、IT産業の隆盛に伴い、デジタル家電やモバイル機器、また自動車のエレクトロニクス化の進展に伴った車載分野などにおいて、エレクトロニクス関連市場は拡大成長してきている。金属カンパニー（含むグループ企業）では、事業の柱を条製品、機能表面処理製品、線棒製品、銅箔製品及び特殊金属製品においており、エレクトロニクス関連市場で使用する素材や部品の技術開発及び製品開発に力を入れている。これら製品は今後戦略製品として増産体制や拡販体制の確立を進めていく予定である。

1. はじめに

近年、IT産業の隆盛に伴い、デジタル家電やモバイル機器、また自動車のエレクトロニクス化の進展に伴った車載分野などにおいて、エレクトロニクス関連市場は拡大成長してきている。金属カンパニー（含むグループ企業）では、事業の柱を条製品、機能表面処理製品、線棒製品、銅箔製品及び特殊金属製品においており、エレクトロニクス関連市場で使用する素材や部品の技術開発及び製品開発に力を入れている。本稿では、それぞれの事業分野における代表的な製品について、その製品特性や技術について説明する。

2. 条製品

エレクトロニクス関連の条製品としては、主としてリードフレーム用銅合金とコネクタ用銅合金が挙げられる。金属カンパニーとしては、1990年代の半ばまではリードフレーム用銅合金の開発に力を入れてきていたが、2000年代になってコネクタ用の新合金開発に軸足を移してきている。

最近のエレクトロニクス製品に用いられるICやコネクタは、機器の小型軽量化に伴い、小型化、低背化及び狭ピッチ化が進んでいる。このことは、素材に対する要求特性にも顕著に反映され、より高強度化、高導電率化、高加工性化などが求められている。本稿では市場のニーズに対応して開発した高性能銅合金について紹介する。

2.1 リードフレーム用銅合金

図1にETP社(Electronic Trend Publications, Inc)の半導体生産個数予測(2005年版)を示す。BGAやWLPに代表されるようなリードフレームを用いないパッケージの伸び率が高い中、リードフレームを使用するパッケージではDFNやQFNのようなノンリードタイプのパッケージの伸びが非常に高いことが分かる。また、従来のQFPも堅調な伸びを示している。当社の主力製品であるEFTEC®-64Tは、このQFP市場やQFN市場でのシェアが高く、今後も伸びが期待される製品である。

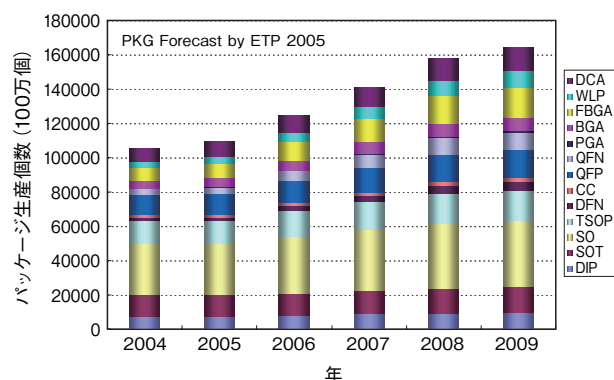


図1 半導体パッケージ別の生産個数予測
IC package forecast by package family.

図2に各種リードフレーム用銅合金の硬さと導電率の関係を示す。図中、赤で示した合金が当社の開発合金である。

* 古河電気工業(株) 金属カンパニー

** 古河電気工業(株) 研究開発本部 メタル総合研究所

*** 古河サーキットフォイル(株)

**** (株)古河テクノマテリアル 特殊金属事業部

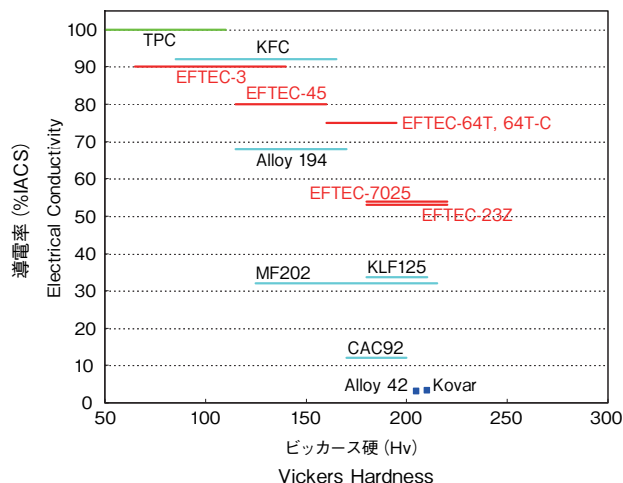


図2 各種リードフレーム用銅合金の硬さと導電率の関係
Relationship between Vickers hardness and electrical conductivity for leadframe materials.

1) EFTEC-64T 及び EFTEC-64T-C

EFTEC-64T 及び EFTEC-64T-C は Cu-Cr-Sn-Zn 系の合金で、中強度及び高導電率を特長としている(図2)。そのバランスの良さから、QFP 市場においては40%近いシェアを維持しており、リードフレーム用材料のデファクトスタンダードの1つとして認知されている。強度及び導電率のみならず、めっき性、酸化膜密着性、はんだ耐性などの実装信頼性にも優れており、さまざまなパッケージに適用可能である。

また、独自の製造技術により素材の残留応力を低く抑えてあるため、QFN 用のリードフレーム製造工程でハーフエッチングが多用されても材料が反らないという特長を有している。更には、モールド樹脂を切断するダイシング工程においても、他の合金と比較して切断性に優れるという特長を有している。

EFTEC-64T-C は EFTEC-64T の組成に微量の Si を添加し、基本的な EFTEC-64T の特性はそのままに、欠点であったスタンピング性を改善した合金である。当社独自の熱処理コントロール技術を用いることでサブミクロンオーダーの Cr-Si 化合物を析出分散させ、これが破壊の起点となりスタンピング性を向上させている。図3にスタンピング後のフレームの表面を示す。EFTEC-64T-C では破断部におけるバリが小さくなっており、スタンピング性が向上していることが分かる。

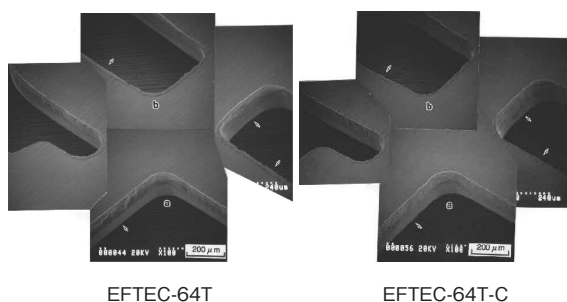


図3 スタンピング後のバリの状況
Observation results of surface after stamping.

2) EFTEC-7025 (C7025)

リードフレーム業界でのデファクトスタンダード合金である C7025 の製造体制を構築し、この市場に参入した。

リードフレーム用銅合金としては最高強度レベルに位置し、かつ中導電率を持つという特長を有している(図2)。主に、QFP などの超多ピンパッケージに適用されている。

開発に当たっては、既存材料の欠点の改善を目標とした。具体的には、スタンピング時の加熱伸縮性、Agめっき性、酸化膜密着性などについて最高のバランスの性能を実現することに成功した。表1に酸化膜密着性評価の1例を示す。既存材料と比較して密着性が良好である。

表1 酸化膜密着性
Adhesiveness of oxide films.

	古河材	他社材 A	他社材 B	他社材 C
酸化膜剥離温度(℃)	370	300	340	360

2.2 コネクタ用銅合金

携帯電話やデジカメなどの携帯機器や液晶テレビ、DVD レコーダ、ゲーム機などデジタル家電の需要が拡大するのに伴い、電子機器用コネクタの市場も急速に拡大している(図4)。

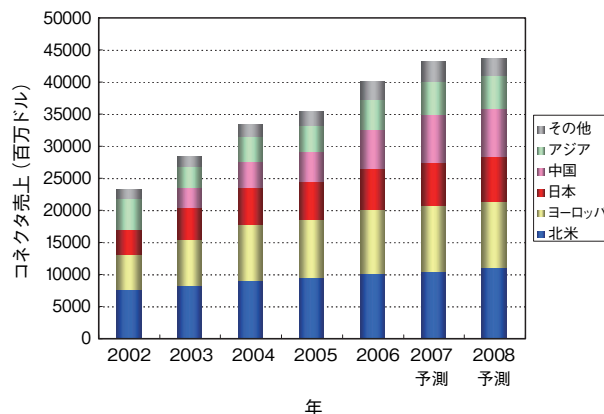


図4 世界のコネクタ売上の推移 (Bishop Report 2006)
Trends in the sales of world's connector market.

電子機器用のコネクタ市場では、小型化、低背化及び狭ピッチ化が著しく進んでいる。図5にコネクタピッチの変遷を示すが、現在では0.3 mm ピッチ以下のコネクタも市場に投入されており、高強度化かつ加工性に優れた素材が要求されている。

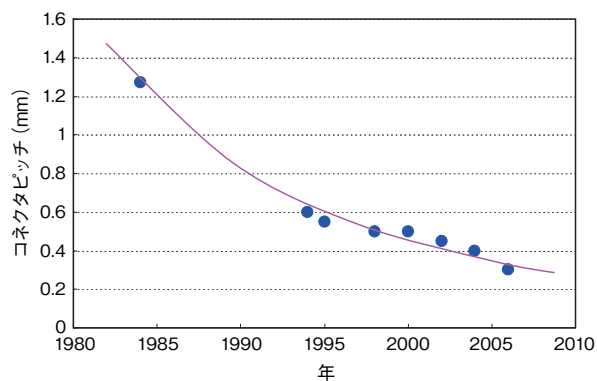


図5 コネクタピッチの変遷
Trends in the connector pitch.

また近年では、環境への配慮からベリリウム銅を使用しない機運が高まりつつあり、これを代替する銅合金の開発が望まれている。図6に各種コネクタ用銅合金の強度と導電率の関係を示す。図中、赤で示した合金が当社の開発合金である。

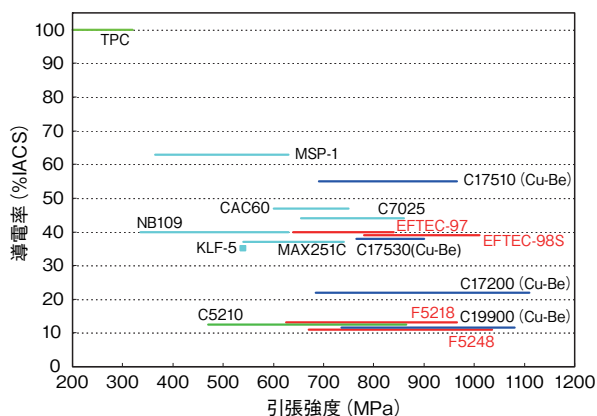


図6 各種コネクタ用銅合金の強度と導電率の関係
Relationship between tensile strength and electrical conductivity for connector materials.

1) EFTEC-97及びEFTEC-98S

EFTEC-97及びEFTEC-98Sは、強度と導電率のバランスに優れたCu-Ni-Si系合金をベースとし、高強度化かつ中導電率化を実現している(図6)。また、微量元素の添加により曲げ加工性や応力緩和特性なども向上させている。

EFTEC-97は主として低ベリリウム銅の市場をターゲットに開発した合金であり、CPUソケットやFPCコネクタなどを中心に適用が広まっている。また、EFTEC-98SはEFTEC-97のNiとSiの添加量を多くし、より高強度化を実現させた合金であり、低ベリリウム銅の代替のみならず高ベリリウム銅の代替にも適している。これらの合金は約130 GPaという高い縦弾性係数を持つため、少ない変位量で高い接圧を得ることが可能であり、小型化及び低背化するコネクタで使用されても高い接触信頼性を得ることができる。図7に材料強度(耐力)と限界曲げ半径(R/t)の関係を示すが、EFTEC-98Sは低ベリリウム銅と同等の曲げ加工性が得られている。

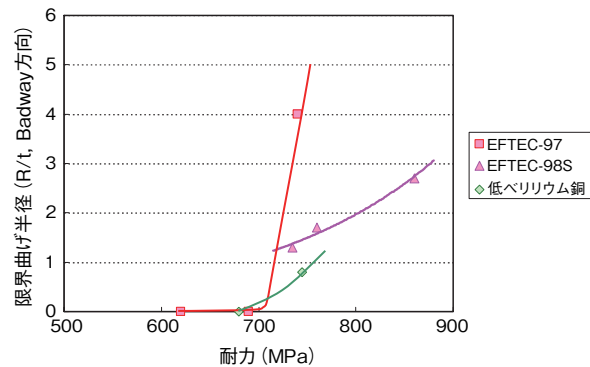


図7 耐力と曲げ加工性の関係
Relationship between yield strength and minimum bending radius.

2) F5218及びF5248

F5218及びF5248はそれぞれ8%ばね用りん青銅及び10%ばね用りん青銅に微量のFeとNiを添加し、従来のばね用りん青銅の持つしなやかなばね特性(縦弾性係数が約110 GPa)はそのままに、高強度化及び曲げ加工性の向上を実現した合金である。

図8に材料強度(耐力)と限界曲げ半径(R/t)の関係を示す。従来の8%ばね用りん青銅と比較し、F5218では同一曲げ加工性で約100 MPa程度強度の高い材料を、F5248では約150 MPa程度強度の高い材料を使用することが可能であり、コネクタ設計の自由度が大幅に向上する。

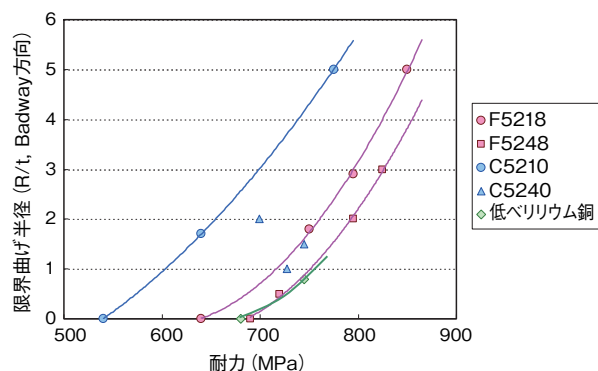


図8 耐力と曲げ加工性の関係
Relationship between yield strength and minimum bending radius.

3. 機能表面製品

金属条の表面にめっきを施しためっき条製品と、電気絶縁性及び耐熱性を持った樹脂を金属の表面にコーティングした樹脂被覆金条／古河Fコート条が機能表面製品の代表である。当社の強みは、これら機能表面製品の素材である銅及び銅合金条から最終製品まで一貫して製造できることであり、お客様のニーズに合致した低コストで高品質の製品を、より速く提供できることである。

これらの製品の市場はIT・エレクトロニクス市場と車載市場に二分される。今後大きく伸張するこれらの市場に対応する当社の機能表面製品について次に紹介する。

3.1 めっき条製品

電子電気機器分野で使用される銅及び銅合金条はその殆どがめっきされた状態で使用される。そのめっき方式は、条材をプレスで部品加工される前にめっきする『前めっき』とプレス後にめっきする『後めっき』に分類される。主に車載用として使用されるワイヤハーネス用の端子材の多くはSnの前めっき材が使用され、エレクトロニクスの電子部品に使用されるコネクタ端子は、貴金属の後めっきで使用されることが多い。現在、日本の自動車メーカーと部品メーカーの世界的な躍進に伴い、これらめっき製品の需要が急拡大している。そこで当社としても、これらめっき製品の増産をいち早く計画し実行に移している。

自動車については、図9に世界の自動車販売台数の推移を示す。日本での販売台数は横這いであるが、中国を筆頭に途上国での販売台数は成長を続けている。一方エレクトロニクス市場では、コネクタ及び半導体ともに成長を続けている。

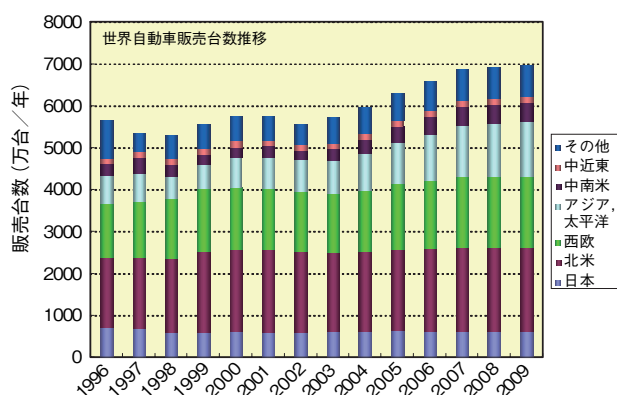


図9 世界自動車販売台数推移
Trends in the sales of automobiles worldwide.

1) Agめっきステンレス条

近年携帯電話はますます高機能化され、押しボタン（タクトスイッチ）の打点回数は増加の一途を辿っており、接点の高信頼性が要求されてきた。特に日本製の携帯電話は、電子メール、ゲームなどの導入により急激に打点回数が増加してきた。従来その接点は、ステンレス条のめっきなし品あるいはNiめっき条がプレス加工され使用されていた。しかしその接点信頼性を高めるため、接点側にAgめっきを施したAgめっきステンレス条が使用されるようになってきた。当初は携帯電話の高機能化を急激に目指していた日本メーカーのみの採用であったが、最近海外の携帯電話メーカーもこれに追随するようになってきた。そこでこのAgめっきステンレス条の需要が飛躍的に伸びてきた。当社は当初から設備投資も積極的に行い、製造能力の拡大を図ってきた。

図10に世界の携帯電話の販売台数の伸びを示す。

ステンレスはその性質からめっき性が大変悪く、良好な密着性を持つめっき皮膜を形成することが難しいとされてきた。

当社は長年のめっき技術をベースに独自の技術を生かし、良好な密着性を有したAgめっきステンレス条を開発した。その高信頼性から、日本では80%を越えるシェアを持ち、かつ世界でも50%を超えるシェアを確保している。

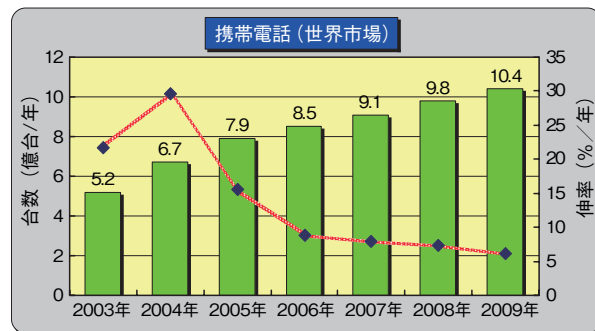


図10 携帯電話の販売台数(世界市場)
Trends in the sales of mobile phones worldwide.

2) 貴金属部分めっき条

貴金属めっき条は、重要な接点に使用されてきた。特に代表的なAuめっきは、接続信頼性に優れていることから、重要な電子部品のコネクタに多用されてきた。またSnめっきが主流である自動車用途でも重要保安部品（ABS、エアバックなど）には、その接続安定性からAuめっきの端子が最近になって使用されるようになってきた。更に、近年自動車の電子化が加速され、Auめっきを使用する端子が急激に増加してきた。特に、日本の自動車メーカーの世界的な躍進により、Auめっき部品も大幅に増加してきた。当社ではその市場の急進に対応するため、貴金属めっきの増産体制を検討してきた。また、貴金属めっきは高価なため、条全体にめっきするのではなく、部分的にめっきする製品がほとんどである。また貴金属は、近年その価格が高騰しており、より貴金属の使用を少なくするいわゆる省貴金属化が図られ、带状に部分めっきするストライプめっきから接点部のみをめっきするスポットめっきへの移行が加速している。特に使用量が增大している車載用のAuめっき品についてはこの傾向が顕著である。また当社は、素材から一貫して製造している強みを生かし、図11に示すように素材からめっきに至る作りこみにより、プレス（曲げ）加工に強い製品を提供している。

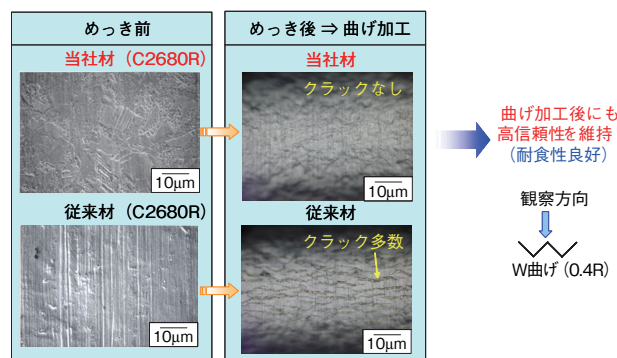


図11 曲げ加工性の向上
Improvement of bending radius.

3) Snめっき条製品

Snめっき条製品はそのほとんどがハーネスを含む自動車用端子材として使用されている。この自動車用端子材は、今後自

自動車生産台数の世界的な伸び、カーエレクトロニクス化の進行及びハイブリット化などの機能の多様化により今後増加していくことが予想されている。このSnめっき条製品の技術トレンドとして大きなものは、めっきのPbフリー化と端子の挿入力低減である。Pbフリーについては、従来のはんだめっきからリフローSnめっきに移行が加速している。挿入力の低減は、端子の小型化及び多極化に伴ってより表面摩擦係数の低下の要求が増している。

当社は今後の需要増を見込んでリフローSnめっき設備の増強を図っている。また低挿入力端子については、挿入力を低減させ、かつ耐熱性を向上させた、耐熱低挿入Snめっきを開発した。その一部の低挿入力特性を図12に示す。

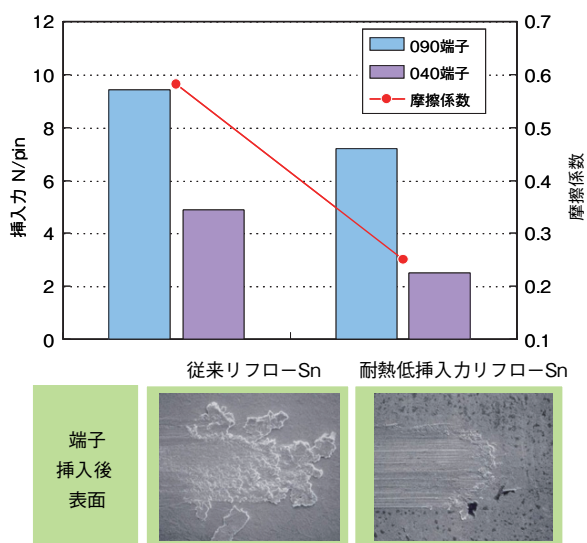


図12 低挿入力特性
Low insertion force characteristics.

3.2 樹脂被覆合金条／Fコート®条

前述したように携帯電話の製造台数は世界的に増大している。日本における携帯電話台数の伸びは少ないものの、高機能化及び小型薄型化が進んでいる。その結果、携帯電話に搭載する電子部品への薄型化及び低背化の要求が急速に高まってきている。携帯電話内部には、使用されている電子部品のノイズ遮断のためのモジュール金属ケースが用いられている。従来この金属ケースと内部素子との隙間は充分あり絶縁性は特に問題にならなかった。しかし近年の低背化により金属ケースと内部素子との隙間が狭くなり電気絶縁性が確保できなくなってきた。そこで予め絶縁性樹脂を条材にコーティングしておき、これをプレスして金属ケースを作成することが考えられた。これにより容易に絶縁樹脂付き金属ケースが得られる。この対策により金属ケースと内部素子の隙間をなくし携帯電話内の電子部品の低背化を実現することができる。

当社は、電線製造で培った金属と樹脂の密着性についての独自の技術を用いて、プレス加工に充分耐えられる密着性を有した複合材を開発した。また当社はめっき条製品と同様に、素材メーカーとしての強みも生かし、素材から最終製品までを一貫して製造することにより、品質保証、リードタイム、コストなど

に優れた製品を提供することができ、今後需要が増大すると期待している。

図13に本製品の概略構造と使用例を示す。

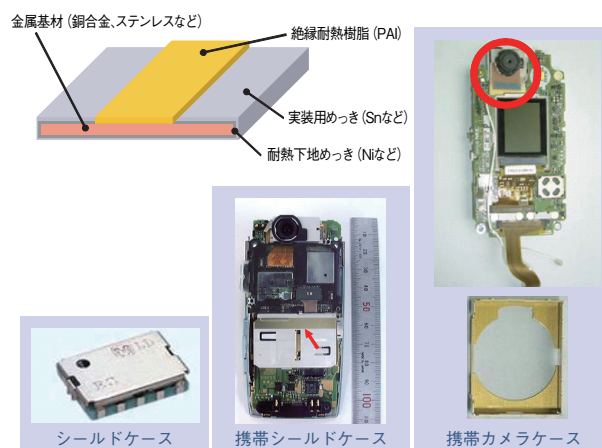


図13 樹脂被覆合金条／古河Fコート条の構造と使用例
Structure and applications of Furukawa FCOAT.

4. 線棒

線製品は、主力品種に変化が見られる。これまで主力であった、リード線用途の銅めっき銅線 (品名: EF線) やワイヤ放電加工機用電極線 (品名: フルエース®) は、海外の廉価品の流入や国内での生産過剰により市場価格が低下している。EF線は関連会社との事業統合により国内での生産は平成13年に撤退した。フルエースは表面洗浄設備を導入し、付着粉を削減して放電加工機での停止トラブルを削減するなどの差別化を図った。昨今の線製品は、材料の特性向上やめっきによる高機能化を行い、特にエレクトロニクス関連用途への参入を強化している。特性向上では、条製品の開発で得た合金設計技術を活用して種々の析出型合金を製品化している。例えば後述するEFTEC-194WはパソコンのCPU部材に採用され、現在、線的主力製品の1つになっている。また、コネクタピン用線材には従来はんだめっきを行ってきたが、Pbレス化の流れから現在はSnめっきに特化しており、各種電気電子機器の多ピンコネクタのピン材に採用されている。今後、電気電子機器の高性能化及び小型軽量化により、使用される材料の細径及び薄肉化がますます進み、それに伴い強度及び導電性の高い材料が必要になると考えられる。市場要求にマッチングした材料を開発し、エレクトロニクス関連への展開を強化していく方針である。線材の断面形状についても、これまでの丸や角 (正方形) だけでなく、平角あるいは異形なども製造し、種々の用途に対応していく方針である。

棒製品は、タフピッチ銅、無酸素銅、銀入銅などの平角材、クロム入銅の丸棒材を主力製品としている。平角材は、ブスバ、マグネトロンのアノード、モータのロータコイルなどに使用される。クロム入銅は抵抗溶接機の電極用途が主であるが、最近、高強度及び高導電の特長を活かし、高性能モータのロータコイル部材として平角材の要求がある。また、線同様、種々の析出型合金を投入し、新規分野への参入を進めている。

線、棒のいずれも、社内で溶解、ビレット casting 及び熱間加工

を行い、素材を製造している。析出型合金の特性向上には、これら上流工程での成分制御及び組織制御が必須であるが、これらを一貫で行える線棒メーカーは少なく、当社の強みとなっている。

図14に綿棒用合金の引張強さと導電率の関係を示す。最近の主力品とその用途例をいくつか述べる。

4.1 線製品

1) EFTEC-194

パソコンのCPUに広く使用されているPGAパッケージのリードピン材に、当社のEFTEC-194W（主線径φ0.3 mm）が採用されている。本合金は銅鉄系の析出型合金で、析出物の微細な分散により高屈曲性及び高導電性を得ている。従来本用途にはKovar（Fe-Ni-Co合金）が使用されていたが、CPUの動作速度向上に伴い、導電性及び熱伝導性の高い材料が必要となり、リードフレーム条として実績の多いCDA19400合金を線材に適応して製品化したものである。本用途では強度、導電性などの特性のみならず、線の表面性状に関する要求品質も高く、伸線加工時に発生する微小キズを防ぐために、伸線機のキャプスタン形状を独自に設計するなどの製造技術開発を行っている。

2) EFTEC-98

マイクロ波帯の通信に使用されているSMA型同軸コネクタのメスピんに当社のEFTEC-98BD（線径φ2～6 mm）が採用されている。EFTEC-98BDはコルソン合金（Cu-Ni-Si合金、Ni-Si化合物による析出型合金）に微量の添加元素を加えた当社オリジナル合金である。本用途では、バネ性の耐経時劣化に優れること及び微細な切削加工が行えることが必要とされるため、従来快削ベリリウム銅（CDA17300合金、Cu-Be-Pb合金）または快削りん青銅（JIS-C5441合金、Cu-Pb-Sn-Zn-P合金）が広く使用されているが、鉛（Pb）の有害性やベリリウム銅のコスト高を理由に、前記特性に優れ、強度及び電性の高いEFTEC-98BDが採用されている。

3) リフロー錫めっき角線

コネクタピン用材料として、リフロー錫めっき角線が使用されている。母材質は黄銅及びりん青銅が主であり、断面形状は一辺が0.3～1.0 mm程度の正方形である。リフローは、錫めっき特有のウィスカの発生を抑制するために、めっきを一度溶融させ、再び凝固させる処理である。独自のリフロー技術により、均一なめっき厚さ分布が得られている。

4.2 棒製品

1) クロム入銅

N700系新幹線のモータ用ロータコイル部材に当社のクロム入銅平角棒が採用されている。従来、ロータコイル材には、錫入銅や銀入銅が使用されているが、導電性が高く、かつ疲労特性の優れるクロム入銅が使用されている。

2) EFTEC-98

工業用高速ミシンの針を摺動するシャフトの軸受け材にEFTEC-98BD（線径φ13 mm）が採用されている。衣類への汚れ付着を防ぐために軸受けはオイルフリーであり、鋼材シャフトとの耐焼付き性及び耐摩耗性に優れる材質として、従来ベリリウム銅（CDA17200合金、Cu-Be合金）が使用されていた。EFTEC-98BDは、CDA17200合金より熱伝導性が高く放熱性に優れ、また組織が緻密であることから焼付きが生じにくく、

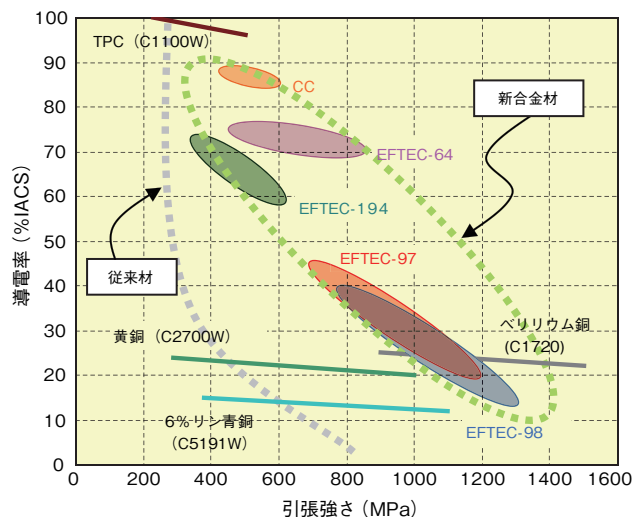


図14 線棒新合金の引張強さ、導電率
Relationship between tensile strength and electrical conductivity for developed wire and bar.

シャフト及び軸受けの寿命の向上が確認されている。

5. 電解銅箔製品

プリント配線板の主要構成材料である銅箔は、電解銅箔と圧延銅箔に分けることができる。

電解銅箔は円筒状のチタンドラムをカソードとし、回転させながらその表面に高い電流密度で銅めっきを行い、生成された銅めっき膜を連続的に引き剥がし、巻き取ることで製造を行う。

これに対して圧延銅箔は、まず立方体の銅の鋳塊を作成し、これを多数回にわたり圧延を繰り返して箔にする。

このような製造方法の違いから、電解銅箔は圧延銅箔に比較して、比較的薄い箔の製造がしやすく、1 mを超える幅のものの製造ができるという特長を持つ。このため、多くの分野のプリント配線板用銅箔として使用されている。

古河サーキットフォイル(株)は電解銅箔メーカーとして、30年以上の歴史を持つが、最近10年程は、従来のリジッドプリント配線板用銅箔に加え、フレキシブル配線板用銅箔、ビルドアップ配線板用銅箔、セミアディティブ配線板用銅箔、部品内蔵配線板用銅箔など多くの新用途の銅箔を開発し、販売を行っている。

また、プリント配線板用のみならず、リチウムイオン電池負極用銅箔、プラズマディスプレイ電磁波シールド用銅箔など、異分野にもその販路を広げてきている。

表2に当社の主な電解銅箔とその技術的特長をまとめた。

6. Ni-Ti合金

6.1 Ni-Ti合金製品

Ni-Ti合金は形状記憶特性、超弾性特性を持つ合金として知られており、多くの応用製品が開発されている。一方、合金としての歴史は40年程度であり一般的な金属と比較すると非常に若い合金である。原子比50:50付近でNi-Tiの配合比を若干変更することで、変態温度を0～100℃近くまで自由に変える

表2 電解銅箔の種類及び特長
Kinds and features of electrodeposited copper foils.

	主な用途	処理タイプ		箔タイプ	箔厚 (μm)	技術的特長・優位点
プリント配線板 用銅箔	2層フレキシブル配線板 パッケージ配線板	片面	F0 F1 F2 F3	WS	9 12 18	・低表面粗さ → ファインパターン作成が容易 ・樹脂との接着力大 ・耐屈曲性良好
	液晶ポリマー配線板 高周波配線板	片面	FWL	WS	9 12 18	・低表面粗さ → ファインパターン作成が容易 ・樹脂との接着力大 ・高周波特性良好
	COF 高周波配線板	片面	U	WZ	9 12 18	・F-WS箔より更に低表面粗さ → ファインパターン作成が容易 ・高周波特性良好 ・接着力良好 ・耐屈曲性良好
	多層配線板 高密度多層配線板 ビルドアップ配線板 3層フレキシブル配線板	片面	GTS	STD MP	9 12 18 35 70	・樹脂との接着力大 ・耐熱性良好
	大電流配線板 高放熱性パッケージ配線板 自動車用配線板	片面	GTS	STD	105 140 175 210	・樹脂との接着力大 ・耐熱性良好
携帯電話用ビル ドアップ配線板 用銅箔	ALIVH (全層IVH構造) 基板	両面	GLD	STD	9 12 18	・高接続信頼性両面粗化処理 ・粉落ちのない両面粗化処理
銅キャリア付き 極薄銅箔	パッケージ配線板 ファインパターン配線板	キャリア 付	F U FWL	DP HP HP	1 3 5 9	・キャリア銅箔の上に剥離可能な極薄箔 (1～9 μm) を形成した電解銅箔 ・超ファインパターン回路形成可能 ・安定したキャリアピール値 HP箔：高温(300℃)工程が入っても 剥離可能
抵抗層付き銅箔	携帯電話等モバイル電子 機器配線板	片面	FR	WS	12 18	・銅箔表面に電気抵抗層が形成された箔 ・抵抗内蔵配線板に使用され、従来の配線板 外付け抵抗器が不要となる。
リチウムイオン 電池負極用銅箔	リチウムイオン電池負極	—	NC	WS	6 8 10 15 20	・両面平滑 ・伸び率大 ・耐屈曲性良好
PDP電磁波 シールド用銅箔	PDP電磁波シールド	片面	B	WS	10	・黒色表面処理(高級品用途に使用) ・低表面粗さ → 格子状パターン作成が容易

ことができる。変態温度が室温以下で、室温で使われる製品は超弾性特性を利用したものである。変態温度が室温以上で、熱が加わることで元の形状に戻る効果を利用したものが形状記憶特性を使用した製品である。

Ni-Ti合金は、他の形状記憶効果が認められた合金より、形状記憶特性、加工性、耐食性などの点で優れており、実用化されている製品は圧倒的に多い。

Ni-Ti合金製品は、“金属としての新機能性”をいかに”応用製品”として展開していくか、という典型的な開発型製品である。このことは製造会社として、夢があると同時に悩みの種でもあ

る。市場での”製品寿命”が短いのである。過去20年の主力製品は、女性用のブラジャ、携帯電話のホイップアンテナと変遷している。現在は、パネ材、メガネ材の拡販を進める一方、新たな参入分野である医療用途に特化した製品開発を進めている。

6.2 製造工程における問題点

1) 特性制御

Ni-Ti合金の配合比は変態温度に対し非常に大きな影響を及ぼす。0.1 at%の配合値の変動が約10℃の変態温度の違いを生ずる。要因としては配合値のばらつきあるいはカーボン、酸素をはじめとする不純物の影響があるため、真空度などの casting 条

件管理が重要である。(株)古河テクノマテリアルではNi-Ti合金の溶解鑄造工程は真空高周波溶解炉(VIM)により、用途に応じた合金種の管理を行っている。

2) 加工性

Ni-Ti合金はそれ自体が金属間化合物であるため、加工性が悪く、製造上の問題も多い。冷間加工においては、加工硬化により加工性が劣化するため焼鈍間加工率は40%程度に押さえる必要がある。この加工性を補うために、1997年に3方ロール方式熱間12段圧延機を導入し生産性が大きく向上した。前述の携帯電話アンテナの拡販に多大な貢献を果たした。

また、上記の難加工性とは別に形状記憶特性あるいは超弾性特性自体が製造上の難しさを生じる原因となっている。材料が加工されても元に戻ろうとするので、これが伸線径のコントロール、切削性、焼鈍時の形状変化などのさまざまな問題を引き起こす。このため製造ラインは一般のNi合金と区別し、専用設備としている。

6.3 超弾性特性の医療分野への新たな応用

医療製品におけるNi-Ti合金の応用は、“人体の中で”体温を利用した応用例とも言える。同時に、Ni-Ti合金の優れた生体適合性と耐食性の賜物でもあり、うってつけの用途でもあるといえる。近年はこの高い超弾性特性を応用したさまざまな医療分野における製品開発が欧米を中心に進んでいる。背景としては、高カロリーの食生活あるいは現代社会におけるストレスに起因する動脈硬化、脳梗塞などに代表される血管系疾患の治療方法の発達がある。従来の開腹手術から、人体への負担、及び安全性が向上したガイドワイヤ、カテーテル、ステントなどを使用したインタベンション治療技術へと移行し、近年、目覚ましい進歩を遂げている。前述のように、Ni-Tiの超弾性効果を利用した医療用デバイスの開発は血管系疾患以外でも開発が進んでおりさらなる展開が期待される。

一方で、Niアレルギーが懸念されること、環境面での規制対象物質ともなっているNiを含むNi-Ti合金の生体への安全性を危惧する声は従来からあった。しかし、Ni-Ti合金の安定性は高く、ステンレスと同等以上の耐溶出特性を示すことも知られている。また、医療用途に使用される場合、欧米では新たな基準ASTM-F2063への適合が求められることが多い。このように、人体内での安全性(強度、耐久性、生体適合性など)に対する検討も進んでいる。

1) 医療用ガイドワイヤ

超弾性特性を利用した医療用ガイドワイヤは、人体の複雑に曲がった血管を通すため、剛性、直線性、トルク伝達性などが要求される。Ni-Ti合金線は、従来のステンレス合金線よりこれらの特性が優れており、以前から利用されてきた。更に高いプッシュビリティ及びトルク伝達性を達成するために応力ステージを持たないFHP-NT(図15-1)が開発された。

このFHP-NT製造用の製造装置を自社開発し新しいお客様を獲得してきた。更に同型機を増設することで製品サイズのバリエーションも増加し、生産能力を強化した。また、これまで超弾性タイプ(図15-2)のガイドワイヤについても近年の医療技術進歩に伴い要求特性も高度化しており、固有技術強化を進めている。

2) Ni-Ti 合金チューブ

一般的に加工性が良くないといわれるNi-Ti系超弾性合金であ

るが、最近では外径 ϕ 10 mmから ϕ 0.3 mmのチューブ(図16)も製造可能となっている。Ni-Ti合金チューブを使用して、カテーテル、ステント(図17)、リーマなどの医療製品が、開発され製品化されている。Ni-Tiチューブには、肉厚の均一性、厳しい外径内径許容差に対応することが求められる。製造技術としては前述の超弾性特性による加工の困難さが随所に存在し、ワイヤ以上に複雑な工程管理が必要である。上記の問題点に対応するために、設備導入や新技術の開発や導入が欠かせない。また改善推進活動も積極的に導入しており生産性向上に大きく寄与している。

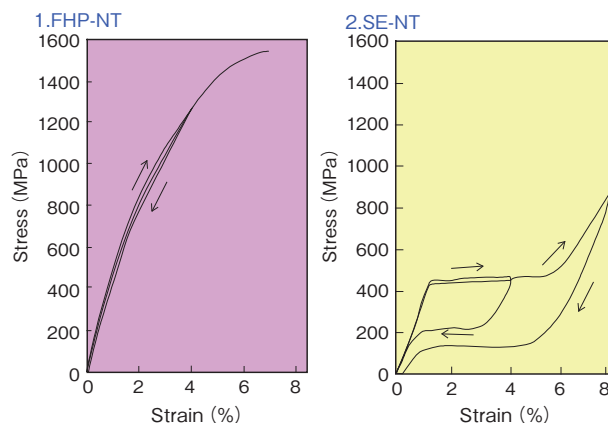


図15 ガイドワイヤの特性
Property of guide wire.
1.FHP-type, 2.Super elastic type.



図16 Ni-Ti チューブ
Ni-Ti Tube.

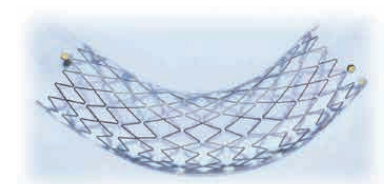
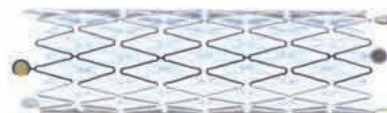


図17 ステントの外観
Appearance of stent made of Ni-Ti tube. (By courtesy of Biotronik GmbH & Co.)

3) Pt-cored wire

カテーテル手術に代表されるように医師が体外からX線画像を見ながら行われる場合、ガイドワイヤの透過性の向上が要求される。このため、透過性を向上する添加元素を含む合金線の開発、あるいはチューブ加工技術に応用した図18のような白金、金などを芯に入れたcored wireなどの製品も開発されており、医療デバイスへの応用も進んでいる。

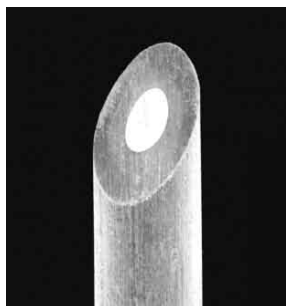


図18 コアド ワイヤ
Cored wire of Ni-Ti alloy.

7 おわりに

以上、古河電気工業(株)金属カンパニーにおけるエレクトロニクス関連金属商品の紹介を行ってきた。これら商品は戦略商品として位置づけられており、今後増産体制や拡販体制の確立が急務である。そこで、条製品の主力工場である日光工場では、09年度に向けて大型の設備投資を実施中である。具体的には、コアレス型 casting 機、薄板連続熱処理炉及び小径多段圧延機を順次導入中であり、2009年度には条製品を現在の月産3,500 tonから4,500 tonに増産する計画である。また、銅箔製造メーカーである古河サーキットフォイル(株)も国内工場及び台湾工場での設備投資を実施中であり、増産体制を整えつつある。