

(解説)

# IT 産業を支える電子・電気部品用銅合金 KFC<sup>®</sup>

宮藤元久

アルミ・銅カンパニー（長府）

## KFC<sup>®</sup> Copper Alloys for IT-related Electronic and Electric Devices

Motohisa Miyafuji

KFC(Cu-0.1%Fe-0.03%P) is the leading alloy used in semiconductor lead frames, terminals and connectors worldwide. Strengthening of KFC depends on Fe<sub>2</sub>P precipitates. KFC-type alloys, such as KLF-5, KLF5Z, KLF-7, and CAC16, are currently in wide use as connector and busbar material in the automotive industry. This paper describes the important characteristics and developments related to KFC, and the leading KFC-type alloys.

まえがき = IT 産業の四文字がマスコミを毎日賑わしているが、忘れてならないものには IT 産業を支える電気・電子機器やこれらを構成している電子部品および素材がある。素材は地味ではあるが、IT 産業の進歩・発展に重要な役目を果たしてきた。本稿では携帯電話・PHS 産業 / 通信機器などに不可欠である半導体機器およびコネクタ・接続部品材料として世界的なスタンダード材となっている当社の KFC<sup>(1)(2)</sup>の開発経緯とその主要特性に関して述べる。さらには、KFC の強化機構を利用して開発した KLF-5<sup>(3)</sup>他のファミリー合金の主要特性と用途についても触れる。

### 1. KFC 開発の背景と経緯

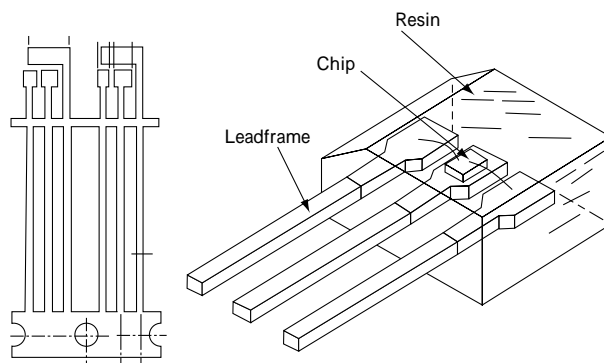
1970 ~ 1980 年は真空管から半導体機器への過渡期であり、前半に登場したトランジスタはまずキャン型ガラスメタル・パッケージ、IC・LSI はセラミック・パッケージの形態で市場に登場したが、1975 年以降にはいずれもフラット型プラスチック・パッケージに移行した。キャン型ガラスメタル・パッケージおよびセラミック・パッケージのリード材として、ガラス、セラミックあるいは素子と熱膨張率が近似するコパールおよび 42 アロイの線・板材が使用された。

トランジスタは構造が単純であり、素子も小さく、技術的な課題も少なかったこともあり、プラスチックへの移行はスムーズであった。プラスチック・パッケージトランジスタのリードフレーム材としては当初冷間圧延鋼

板、0.1% すず入り銅および 0.1% ジルコニウム銅が使用されたが、強度、導電率（熱伝導性）、伸び（曲げ加工性）、耐熱性および価格などの総合的なバランスの面から、1976 年製造・販売された当社の KFC に代替・統合され今日に至っている。

リードフレームとは半導体素子を搭載する金属製の導体であり、素子と外部回路とを電気的に接続するという主要機能を持つが、素子で発生する熱の放散の役目も担っている。

第 1 図にトランジスタの例を示す。第 1 表は半導体の種類とリードフレーム材として必要な特性を示す。その後の薄型のチップキャリア型にも KFC が採用されたが、強度不足の声が一部に出たため 1988 年に強度をさらに向上させた KFC-SH<sup>(4)</sup>を開発して対応した。KFC の



第 1 図 トランジスタ例  
Fig. 1 Transistor leadframe

第 1 表 半導体の種類と対応するリードフレーム材の必要特性

Table 1 Tensile strength and electrical conductivity of leadframe material required for the various semiconductor

Property Type of Leadframe	Electrical Conductivity %IACS	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Semiconductor
Medium Strength / High Conductivity	70	294 / 490	Transistor, Power Transistor, Chip Carrier (SOIC)
Medium Strength / Medium Conductivity	50 ~ 70	343 / 588	Bipolar IC (Linear), Transistor
High Strength / Medium Conductivity	30 ~ 50	490 / 686	Bipolar IC (Digital), MOS IC
High Strength / Low Conductivity	10 ~ 30	490 / 735	Mini-transistor, LED, Bipolar IC

代表組成はCu-0.1wt%Fe-0.034wt%P（以下 wt は省く）である。製造プロセスで微細な Fe<sub>2</sub>P 金属間化合物（平均直径 5nm）を析出硬化させた KFC は強度、導電率、耐熱性および耐応力腐食割れ性などの諸特性がりん含有量同一の脱酸銅よりも大幅に改善された希薄銅基合金である。

1976 年の生産・販売開始以来、世界的にもトランジスタリードフレームのスタンダード材料となり、1981 年には写真 1 に示す自動車電装品 JB 用ブスバ（電流を流すための導体で、材料には高導電性が要求される）などにも採用された。ここでの JB とは自動車電装品の肥大化抑制のための集中電子制御システムの一環として採用されたもので、JB はノード機能を備えた分岐ブスバ、ヒューズ、リレーなどの集合体から構成される。ブスバは厚さ 0.64 あるいは 0.8mm からなり、約 1mm 間隔でしかも多層で JB 中に配置される。

1982 年には、第 2 図のコネクタ・接続部品の雄端子材に、1983 年にはパワートランジスタリードフレーム用の異形条として KFC が採用された。今日、当社では KFC の生産量は月あたり約 2 千トンであり、生産開始以来 1999 年度までの総生産量は約 24 万トンに達している。

## 2. KFC の市場動向

2000 年の世界半導体市場は前年比約 31% 増の 1951 億ドル（20 兆 9 千億円）が見込まれ、このうち日本市場は円ベースで、同 24% 増の約 4 兆 6 千億円を占める予測を WSTS（世界半導体市場統計）が発表した。携帯電話、ネットワーク機器、デジタル情報家電などの需要増を背景に、拡大基調が続く。トランジスタを中心とするディスクリートは約 164 億ドルで、前年比約 22% 増と予測されている。トランジスタ、パワートランジスタでのリードフレーム材料の価格に占める割合はそれぞれ 10 および 25% といわれ、KFC 需要も高水準で続くと予想される。1986 年に当社は仏国トレフィメトウ社に EU 圏での KFC の製造・販売の技術供与をおこない今日に至っている。

1996 年に KFC 国内特許の存続期間満了にともない、海外（ドイツ、韓国）や国内の伸銅メーカー数社が KFC 相当合金の生産を開始した。それらを合わせると KFC の国内生産量は月あたり約 3.5 千トンとなる。第 2 表に各社の KFC 相当合金とその商品名を示す。

KFC は 1978 年米国銅センター（CDA）で NO.19210 として登録された。トランジスタも IC と同様、製造原価低減は必須であり、銀めっきを省いてチップやワイヤを接合する技術<sup>5)</sup>が研究され、リードフレーム材の表面粗さ、酸化膜、清浄度および防錆皮膜を管理すれば、従来の銀めっき材と同等な接合状態がえられる技術を確立し、すでに数社のメーカーは採用実施してきたが、今日、その技術を IC にも適用する動きが現れ、高導電性でありながら比較的強度の高い KFC-SH が注目され始めた。また、KFC は BGA 基板材料として注目されるようになった。

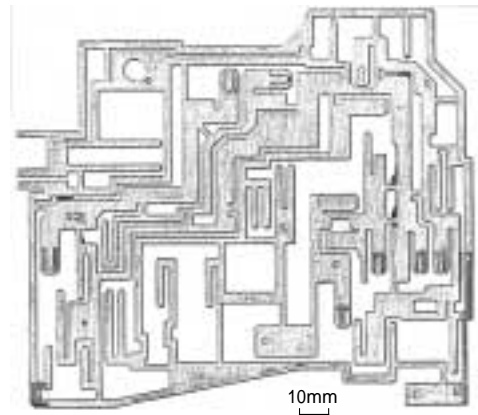
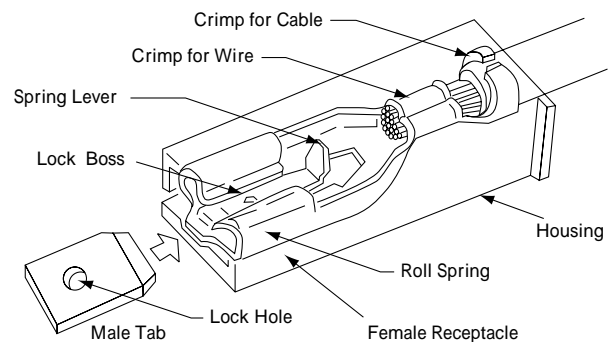


写真 1 自動車 JB 用 KFC ブスバ  
Photo 1 KFC busbar for automotive Junction Block



第 2 図 端子・コネクタ例  
Fig. 2 Terminal & Connector

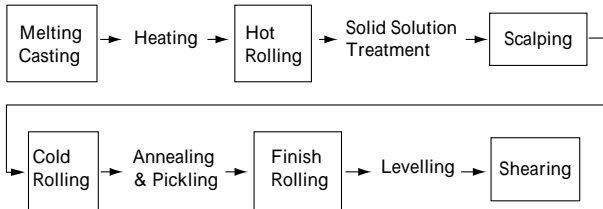
第 2 表 KFC および相当合金（C19210）の商品名とメーカー  
Table 2 Manufacturers and trade marks of C19210

Manufacturer	Trade Mark
Kobe Steel	KFC
Mitsubishi Shindoh	TAMAC4
Furukawa Electric	EFTEC7
Poongsan (Korea)	PMC90
Wieland-Werke (Germany)	K80

## 3. KFC の製造方法および主要特性

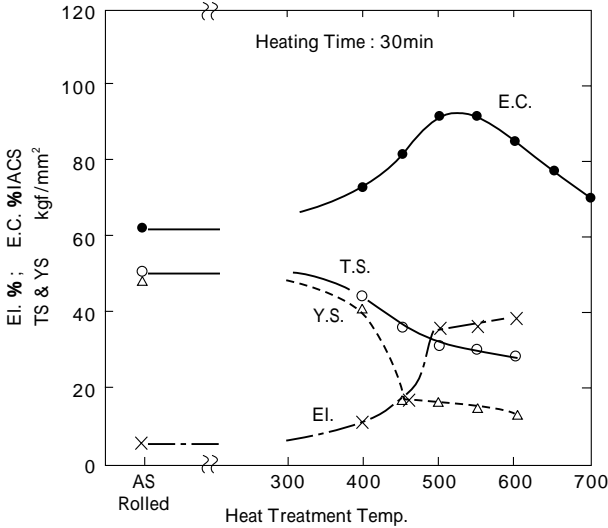
KFC の代表組成は Cu-0.1%Fe-0.034%P であり、組成範囲は Fe: 0.07~0.12%, P: 0.028~0.04%, Cu: 残部である。KFC の製造工程を第 3 図に示す。溶解鑄造、熱間圧延および冷間圧延は従来のりん脱酸銅の半連続鑄造材とまったく変わらない。ただし、熱間圧延直後に 700 以上の温度から 200 以下まで急速冷却して、Cu 中に Fe と P を固溶させるための工夫が必要であり、その後冷間圧延を減面率少なくとも 90% でおこない、500 で 30 分以上の熱処理をおこなうと微細な Fe<sub>2</sub>P が生成される。

第 4 図に減面率 97.5% の板厚 0.5mm の熱処理特性を示す。500 × 30 分の熱処理によって、導電率 92% IACS、耐力 162N/mm<sup>2</sup>、伸び 37% の特性がえられる。この熱処理時の材料の密着防止対策<sup>6)</sup>とその後の洗浄が製品の表面のポイントとなる。目標の強度に応じた減面率の冷間圧延を加え、圧延のままあるいは歪除去をおこない製品化される。



第3図 リードフレーム向け KFC の製造工程

Fig. 3 Production process of KFC for semiconductor leadframe



第4図 Cu-0.1Fe-0.03P の 97.5% 冷間圧延材の機械的性質および導電率の熱処理特性

Fig. 4 Tensile properties and electrical conductivity of Cu-0.1Fe-0.03P after 97.5% cold rolling and heat treatment for 30 min

銅 98% 以上の銅基合金および代表特性を第3表に示す。Cu-Zr は溶解鑄造が難しく、今日ではほとんど製造されなくなった。第5図に KFC と脱酸銅 (DHP) の軟化特性を示す。KFC は 475 × 5 分の加熱に耐えることを示している。KFC は導電率の高さ、機械的性質、価格が評価され、リードフレーム、JB プスバ、コネクタ・接続部品の雄端子はもとより、プレーカ、マグネットスイッチなどにも適用されている。

第3表 銅基合金 (Cu 98.0%) および代表特性

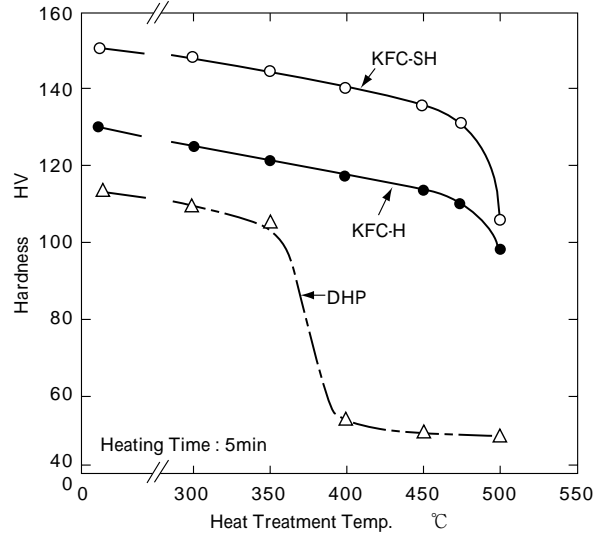
Table 3 Cu rich copper alloys and typical properties

Designation (Copper No.)	TS N/mm <sup>2</sup>	EI. %	Electrical Conductivity %IACS	Softening Temperature	Coeff. of Thermal Expansion × 10 <sup>-6</sup> /°C
KFC-H (19210)	415	7	92	475	17.0
KFC-SH (19210)	502	6	87	475	
Cu-0.1Zr (C15100)	441	5	90	470	17.5
Cu-0.1Sn	500	4	90	375	17.3

第4表 KFC および KFC ファミリー合金の開発経緯

Table 4 History of KFC and its family alloys

1938	Production of Chofu Plant Started
1945	Commencement of Copper and Copper Alloy Production
1976	KFC for Transistor Leadframes, Busbars and Connectors
1982	KLF-5 for Automotive Terminals and Connectors
1983	KLF-7 for Spring Contacts and Connectors
1985	KLF5Z for more Reliable Terminals and Connectors in Such Environment as Humidity Condition
1988	KFC-SH for Plastic Leded Chip Carrier IC
1990	CAC16 for Automotive Busbars with High Resistance to Copper-ion Migration and Clip Terminal



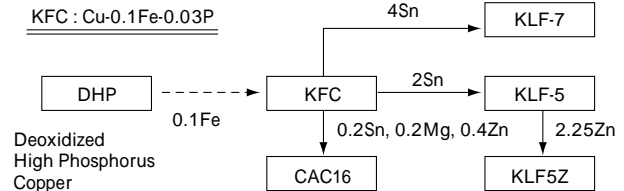
第5図 KFC およびりん脱酸銅の軟化特性

Fig. 5 Softening properties of KFC and DHP after heated for 5min

#### 4. KFC ファミリー合金とそれらの主要特性

KFC の強化は直径約 5nm の Fe<sub>2</sub>P 析出物に基づき、その耐力向上寄与は純銅では 5% 減面率、Sn の Cu への固溶とすると 3.5% 添加に相当する。Fe<sub>2</sub>P の強度向上を利用して開発した合金を第6図に示す。KFC に Sn を 2 および 4% 添加した合金がそれぞれ KLF-5 および KLF-7<sup>7)</sup>である。また、KLF-5 に 2.25% の Zn を加えた合金が KLF5Z<sup>8)</sup>である。KFC に 0.2%Sn、0.2%Mg および 0.4% Zn を加えた合金が CAC16<sup>9)</sup>である。

KFC ファミリー合金の開発経緯を第4表に示す。1981



第6図 KFC および KFC ファミリー合金

Fig. 6 KFC and its family alloys

第5表 KFC ファミリー合金の代表的な機械的性質  
Table 5 Representative properties of KFC family alloys

Alloy	Chemical Composition wt%	TS N/mm <sup>2</sup>	YS N/mm <sup>2</sup>	El. %	HV	Kb 0.1 N/mm <sup>2</sup>	Electrical Conductivity %IACS	Migration Resistance
CAC16	Cu-0.1Fe-0.03P -0.2Sn-0.2Mg-0.4Zn	495	478	12	149	395	61	Good
KLF-5	Cu-2Sn-0.1Fe-0.03P	568	530	13	180	460	35	—
KLF5Z	Cu-2Sn-0.1Fe-0.03P-2.25Zn	585	575	13	186	540	33	Good
KLF-7	Cu-4Sn-0.1Fe-0.03P	649	629	18	215	585	22	—

JIS Z 2201 : NO.5 Test Piece ; Thickness : 0.25mm ; Rolling Direction

年大手自動車メーカーは、電装品の集約・簡素化の一環としてコネクタ・接続部品材料の見直しのコンペをおこない、黄銅、りん青銅を代替できる材料を募集した。その結果、当社のKLF-5が採用・認定された。

KLF-5は2%Snを含むが、4%Snのりん青銅とくらべて、強度、ばね特性は同等で、曲げ加工性も良好で導電率も35%IACSと高く、かつ價格的にも優位であり、総合的に優れると判断された。

KLF-7は4%Snを含むが、6%Snのりん青銅と同等の機械的性質を備え、しかも縦型鑄造で造塊でき、熱間圧延が適用できることに着目して開発された。もちろん、KLF-5にも縦型鑄造も熱間圧延も適用している。

自動車電装品が肥大化し、限られた空間に装着されるようになると回路間距離も近接するようになり、その上、結露あるいは浸水などの過酷な環境下では、コネクタ材料でのCuイオンマイグレーションさらには短絡のおそれが生じてきた。銅およびりん青銅はこの現象を生じやすいことがわかり、金属元素の標準電極電位を考慮して、導電率の低下を見込んだ上でKLF-5にZn2.25%添加した合金KLF5Zを開発した。

KLF5Zは電気すずめっき材がウイスカを生じ難い、プレス加工性が良いなどの長所も兼ね備えている。CAC16はまずMg、Znの共存でCuイオンマイグレーションを抑制し、Mg、Snの共存でばね特性および応力緩和特性を向上させた銅合金であり、電線を圧接するための端部を備えるブスバ材に適している。KFCファミリー合金の代表的な特性を第5表に示す。これら合金の総生産量は1982年以降1999年までに8.2万トンに達している。

むすび=国内では月あたり約8千トンの半導体用リードフレームが生産・販売されているが、そのうちの半分がトランジスタ(T092)、パワートランジスタ(T0220)などのディスクリート用である。これらのトランジスタは高出力のものが多いため、ICに比べてリードの断面積を大きくして電気抵抗を小さくする必要がある。KFC

を代表とするC19210合金は総合的な特性のバランスおよび経済的にも優れるため、トランジスタリードフレームのほぼ全体を占めるスタンダード材となった。

また、KFCにSn、MgおよびZnなどの固溶元素を加えて、固有特性を改善した多くのファミリー合金を開発し、半導体分野以外の電子部品材料にも適用し、電気・電子およびIT産業の発展に多大に貢献してきた。今後、KFCは微量元素による強化銅合金の代表的なワールドワイドの共通材料として普及すると考えられ、伸銅業界にKFCを開発した当社名が永久に残ることを期待している。

KFCの開発は僅か0.01%の鉄がりん脱酸銅に混入し、組織が混粒化し、引張強さが極端に低下するという現象の疑問に端を発し、鉄とりん添加量と製造工程の研究の上完成した。研究・開発に携わる人達は常に好奇心を抱き、微妙な特性の変化や異常に気付き、忍耐強く探求し、新技術や新製品を開発して、発明者の当事者だけが味わえる喜びを体験することを望んで止まない。素材開発においては、ユーザの声を聞くことは当然であるが、自分自身の理念を持って実行できる人の参加を願い、近い将来にブレークスルーの観点からKFCに代る新銅合金の登場を期待する次第である。

#### 参考文献

- 1) 中村寿雄ほか：伸銅技術研究会誌，Vol.16(1977) p.165.
- 2) 宮藤元久ほか：ibid., Vol.18(1979) p.129.
- 3) 宮藤元久ほか：ibid., Vol.22(1983) p.190.
- 4) 宮藤元久ほか：ibid., Vol.29(1990) p.224.
- 5) 副田益光ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.37, No.4(1987) p.89.
- 6) 特許，第2578462号
- 7) 特許，第1670468号
- 8) 特許，第1522391号
- 9) 特許，第2977839号