

(解説)

電子・電気機器用銅合金及び空調用銅管の開発と将来動向

Developments and Future Trends in Copper Alloy Strip for Electronic Equipment and in Copper Tube for Air Conditioner



原 利久*
Toshihisa Hara



佐伯主税**
Chikara Saeki

Kobe Steel groups have the largest market share in Asia for high performance copper alloy strip for electronic equipment and for air conditioning copper tube. We are constantly developing new copper alloys and one day hope to be the world's leading manufacturer. Our high performance copper alloy strip and copper tube meet all of our client's diverse needs. This paper presents present and future technology trends for copper strip and tube, and our latest products in this field.

まえがき = 当社銅事業部門は、電子・電気機器用銅合金板条と空調用銅管において、アジア圏でナンバーワンのシェアを持つグループであり、時代のニーズに応える性能・機能の製品を創り続けている。

近年、銅板を使用する電子・電気機器は大きく変化した。無線携帯電話の小型化、高性能化やデジタル化が進み、時計・カメラ・テレビの機能を持ち、電子メールも送れるようになった。自動車の電装化が進むとともに、安全のためのABS、バックモニタ及びサイド CCD カメラなども実用化した。また、省エネルギーや高性能化のため、コンピュータ制御機能がエンジンに付与されている。

これらの銅板用途では、導電性と強度のバランスに優れた銅合金が欠かせない材料となっており、当社は独自の銅合金を開発している。銅板部門は、電子・電気機器用銅合金に特化し、生産量の97%が電子材料という、世界でも特徴ある銅板条の工場である。

一方、銅管は、熱伝導性、加工性、耐食性に優れることから、各種熱交換器用伝熱管や配管用として使用されている。

近年、省エネルギーのための高性能化とコストダウン要求が強く、ルームエアコン、パッケージエアコンなどの熱交換器には、銅管の内面に微細な螺旋状の溝を多数有した内面溝付管が使用されている。また、中国の急成長に伴い銅地金が高騰したことから、高強度銅合金による薄肉化への関心も高まっている。

2004年4月に、当社と三菱マテリアル(株)の銅管部門が合体して合弁会社(株)コベルコマテリアル銅管(KMCT)を設立し、高い技術開発力と高品質な製品を製造する生産体制を整えた¹⁾。この会社は、エアコンなどの空調分野向けの溝付管や冷凍機用フィン付管を得意とし、また業界で唯一、耐熱高強度及び耐食性銅合金などの製品を

供給可能な企業である。

当社創立100周年に当たり、最近の銅合金板及び銅管の市場動向や要求仕様の変化と、それに対応した技術開発及び製品のラインアップを中心に紹介する。

1. 銅板条製品の開発

1.1 電子・電気機器用銅板の市場動向

1.1.1 電子・電気機器の小型化

電子・電気機器のさらなる薄型化・小型化・大容量化・高機能化の観点から、銅合金材料には高強度化・高信頼性(耐熱性、耐力緩和特性)・高曲げ加工性が要求されており、この傾向は今後も進んでいくと考えられる。図1に、端子・コネクタ小型化の動向を示す²⁾。

小型化要求に伴い、次世代材料の研究が各分野で行われているが、銅板分野でも、析出物及び結晶粒の微細化技術、製造工程の最適化及び微量添加元素による特性制御などにより、高強度化が進められている。強化メカニ

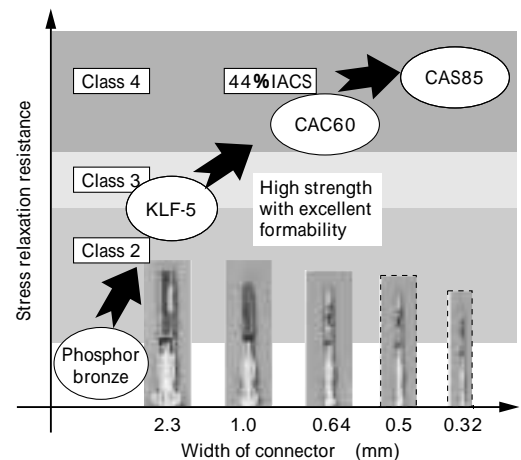


図1 コネクタ形状と要求特性の動向
Fig. 1 Trend of connector shape and demanded characteristic

*アルミ・銅カンパニー 長府製造所 銅板工場 **(株)コベルコマテリアル銅管

ズムの解明及び組織制御技術の向上を含む基礎研究により、高導電率かつ高強度な銅合金の開発が進展している。

1.1.2 生産拠点のアジア集中

ユーザの海外進出が進んでおり、それに伴って端子製造会社は、生産拠点の一部を中国へ移動している。供給拠点を整備するだけでなく、特性に優れかつ低コストな銅合金を供給することが、中国市場で生き残る道と考えられる。現行銅合金に比べ、強度や耐熱性に優れた材料を安価に供給することが必須である。また、低コスト化・リサイクル化を合金設計段階で取入れた銅合金が熱望されている。

1.2 高性能化・高機能化銅板の開発

1.2.1 大電流及び半導体・LED用銅合金

電子・電気用途の銅の材料開発は、「電気伝導率と熱伝導率を低下しないで強度が高い」合金、またはその製法の開発に帰着する。当社では、添加元素の析出効果と固溶強化に着目し、それらを組合わせた強化機構を一貫して研究してきた。

当社は、半導体用銅合金の世界標準とも言える KFC (Kobe Ferrous Copper) を開発し、長年銅合金市場に供給してきた。KFC は、析出物 Fe_2P により、導電率 90% IACS という、非常に電気や熱を通しやすい特性を持ち、かつ 500MPa 近くの優れた引張強度を持っている³⁾。

近年、信号機や自動車用ランプへの導入が進められている白色 LED は発熱量が多いため、これに用いる電極材料は導電率が高く、かつ耐熱性に優れることが要求される。また、部品のコストを安くするための生産性向上に伴い、プレス性や曲げ性に関する要求もますます厳しくなっている。

これら LED の要求に対し当社は、固溶元素を添加して、導電率 75% IACS、引張強度 600MPa で、プレス性や曲げ加工性に優れた KLF2 を新たに開発した。

1.2.2 ミニトランジスタ及び IC 用銅合金

小型の半導体部品では、電気特性とともに生産性や成形性が重要視される。高機能化の進展とともに、電子・電気機器の製造工程が多くなり、はんだ付けの回数が増加しているミニトランジスタ用リード材では、はんだ濡れ性、耐リフロソルダリング性、樹脂密着性、樹脂バリ剥離性、スポット溶接性などに優れることが要求される。

当社は、合金添加元素の上記諸特性への影響を明確にし、バランスさせることで、これに適した KLF125 新調質材を開発した⁴⁾。

また小型部品では、エッチング加工によって製造するものがある。板厚の半分だけ溶かすハーフエッチング工程などでは、板の残留応力が高いと歪が発生するため、残留応力の低い材料が求められ、当社ではこれに対応している⁵⁾。

さらに、生産の初期ではエッチング加工により製造し、量産時はプレス加工に変更される製品も多く、プレス加工性とエッチング加工性の両立が要求されている。そこで、析出物サイズを小さくする工夫により、両方の特性に優れた KLF170 を開発した。

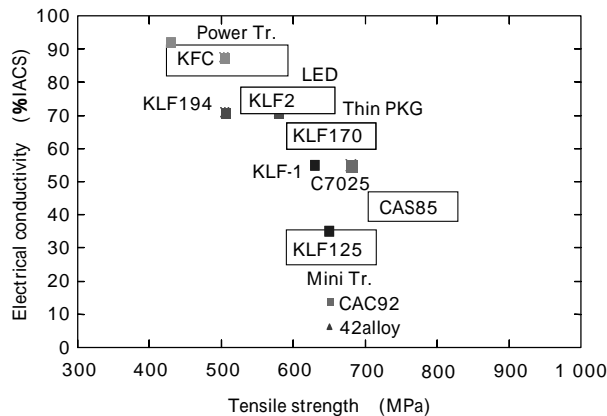


図2 半導体・電子回路用新銅合金の位置付け
Fig. 2 Position of new copper alloys for semiconductor and electrical circuit

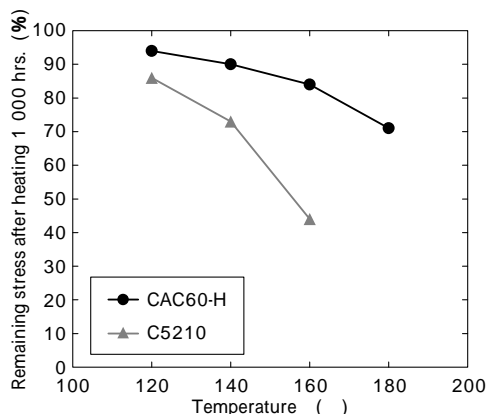


図3 銅合金の耐力力緩和特性
Fig. 3 Remaining stress after heating 1000 hrs.

図2に、当社の半導体用新銅合金のラインアップを、導電性と引張強度を2軸とした特性の2次元マップで示す。

1.2.3 次世代汎用端子

自動車の電装品は、車内の居住空間を広くするため室内には設置されず、環境の厳しいエンジンルーム内に置かれることが多く、銅合金材料に要求される耐熱特性はますます厳しくなっている。コネクタなどにおいては、120~165の温度での長時間使用における信頼性が高い銅合金が求められている。すなわち、耐力力緩和特性に優れることが必須になっている。当社は、これらの要求に対応した銅合金を各用途で整備している⁶⁾。

自動車規格 JASOD620 では、自動車・電気・電子コネクタ用銅合金の条を特性で分類している。導電率 20~50% IACS の銅合金において、150 で 1000 時間加熱後の耐力緩和率が 15% 以下の銅合金は、耐力力緩和特性に優れた銅合金として区別されている。当社は、析出物及び転位密度の制御、製造工程の最適化により、耐力力緩和特性に優れた銅合金を開発している。

図3に、各温度で 1000 時間加熱後の CAC60 合金の残留応力を示す。CAC60 合金は、高温環境下、自己発熱状態でもばね接圧がへたりにくい性質を有している。

1.2.4 電気分配回路用銅合金

自動車のジャンクションブロック (JB) やバスバーといわれる電気分配回路は、流れる電流が大きいため銅板が厚く、強度よりも導電率や曲げ加工性が要求される。

導電率60%IACS以上の分野で、当社は、各種銅合金を供給しているが、小型化に伴って曲げ加工性に対する要求が非常に厳しくなっている。そこで当社は、導電率が60% IACS以上あり、かつ $R/t = 0.5$ (R : 曲げ半径, t : 板厚) の条件で曲げ加工が可能な合金を開発している。このシリーズである当社合金 CAC12, 16, 17, 19 などが高い評価を得ている⁷⁾。析出焼鈍と高温短時間焼鈍の組み合わせにより結晶粒を微細化し、曲げ加工性に優れた銅合金を開発している。

写真1に、CAC19合金のU字曲げ部の断面写真を示す。銅板の圧延に対し平行方向 (Good way)、垂直方向 (Bad way) ともにクラックなど発生せず、良好な曲げ性を示している。

1.2.5 超小型端子

最近増加している自動車用小型端子は幅0.64mmであるが、将来的にはさらに小さくなる状況にあり、幅0.5mmや幅0.32mmの端子がすでに検討されている。また、数も140種以上へ増えはじめている。当社では、幅0.64mm端子用として、耐応力緩和特性に優れ、導電率45% IACS、引張強度650MPaで密着曲げ加工が可能なCAC60合金を量産している⁸⁾。

次世代の超小型端子では、さらに強度の高い銅合金が要求される。当社は、引張強度750MPa強で、導電率や曲げ加工性を改良したCAS85を開発した⁹⁾。図4に、端子・コネクタ用新銅合金の性能ポートフォリオを示す。

1.2.6 新錫めっき材

当社は錫めっき付き銅合金材料の供給も行っている。電気配線数の増加に伴って、コネクタの嵌合力が高くな

ることにより、作業性・生産性の低下が問題となり、端子の挿入力を下げることが要求されている。

この用途に、ニッケル下地を持つ3層錫めっき付き銅合金を開発した。銅合金成分の錫めっき表面への拡散をニッケル層で抑制することにより、電気的信頼性や耐食性を保持しながら、25%の挿入力低減を達成した¹⁰⁾。

また、環境保護策の中の鉛規制に対応するために、鉛フリーはんだの使用が増加しており、電子・電気機器のはんだ付け温度は250以上へ上昇している。鉛フリーはんだ付け性が良好な当社の新錫めっき付き銅合金の要求はますます増えると考えられる¹¹⁾。

1.3 銅板製品まとめ

当社創立100周年に合わせて、銅板部門では、市場のニーズに対応した新銅合金と新錫めっき材を整備することができた。新銅板製品を市場に投入し、強い商品へ育成していくとともに、海外拠点の整備、海外の企業との提携を推進し、銅板部門の新製品をグローバルに展開していく。

2. 銅管製品の開発

2.1 銅管の市場動向

2.1.1 空調用伝熱銅管の高性能化

銅管は、熱伝導性が良く耐食性に優れることから空調用に多用されており、製品の約80%を占めている。

空調用熱交換器にはこれまで、銅管の内面に微細な螺旋状の溝を多数有した内面溝付管が使用されてきたが、今後は、内面形状による伝熱性能改善の余地は少なく、細径化や異なる管径を同一フィンに収納するハイブリッド型に進むとみられる。

また、原料の銅地金が高騰したことから、コストダウンを目的とし軽量化と高性能化を実現することが強く求められている。

2.1.2 冷凍機用伝熱銅管

小型圧縮式は、ステンレス製プレート型熱交換器への移行が進んでいるが、二重管式熱交換器も小型機種用として製造され、高圧冷媒のR410A用に厚肉の伝熱管が使用されている。

吸収式冷凍機は、ガス会社からの省エネ機種開発の圧力が強く、伝熱管に対しては低圧損での高性能化を求められるが、高効率の三重効用などの新システム開発や熱輸送効率に優れた大温度差システムなどが実用化されていく。

2.1.3 銅合金管

りん脱酸銅管は、空調用や配管用に長年使用されて大きな問題を生じなかったことから、微量元素を添加した合金の開発は海外も含めてもその例がなかったが、当社は新規用途として、高強度、耐熱性、耐食性に優れた合金管を開発してきた。今後、銅地金の高騰や冷媒の高圧化から、空調用伝熱管は高強度合金による薄肉化が必須となり、配管においても信頼性向上のため耐食性合金が使用されていくものと考えられる。

2.1.4 熱交換器

熱交換器は、従来各需要家が独自に開発を進めてお

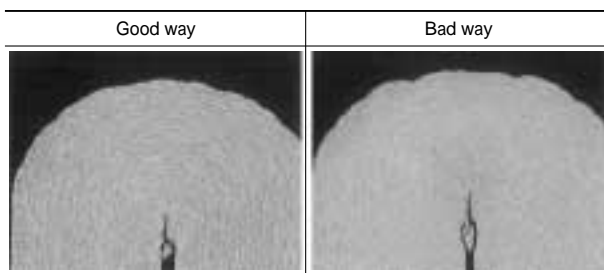


写真1 U字曲げ部の断面写真 (CAC19 alloy, 0.5R)
Photo 1 Cross-section of U bend (CAC19 alloy, 0.5R)

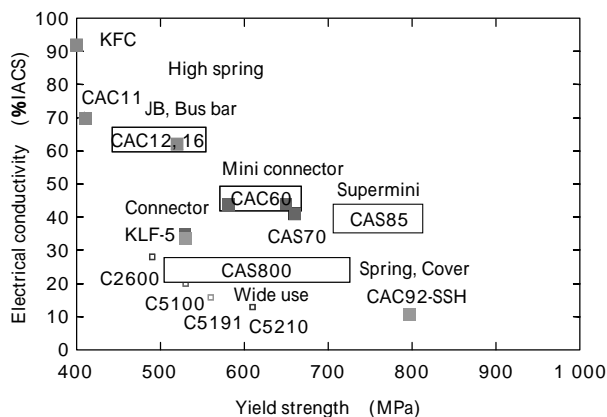


図4 端子・コネクタ用新銅合金の位置付け
Fig. 4 Position of new copper alloys for terminal and connector

り、高性能化に向け伝熱管の性能を最大限に引出す設計となってきた。このため、伝熱管の局所伝熱性能解析が必要とされる。

炭酸ガス用については超臨界の熱交換器であり、伝熱現象の解析と熱交換器設計技術の確立が求められる。

2.2 高性能化・高機能化銅管の開発

2.2.1 空調用伝熱銅管

近年、省エネルギーのための高性能化とコストダウン要求が強く、軽量で低冷媒循環量下での伝熱特性に優れたものが求められている。

新冷媒 R410A 用には、フィン高さを抑えてリード角を大きくすることが有効との知見を見出した。本結果にもとづく設計コンセプトをもとに、高リード角を有した新製品を開発し、単位質量の増加を伴わず高性能化を達成した。

KMCT は熱交換器の試作装置と性能評価装置を所有していることから、伝熱管の開発のみではなく加工技術改善やリターンベンドの溝付管化による冷媒流動改善による高性能化も提案している。また、未来技術ともいえる、銅管とアルミフィン管の接触熱抵抗低減技術開発にも取り組んでいる。今後、自然冷媒の炭酸ガスを使用した製品が急成長する可能性が高く、超臨界における内面溝付管の伝熱特性解析を世界に先駆けて行っている。

2.2.2 圧縮式冷凍機用伝熱銅管

従来、伝熱管の性能向上は表面積の増大が主流であったが、この方法は単位質量の増加を伴いコストアップとなることから、当社は、高速度ビデオによる冷媒の流動様式に着目し、半硬素材による薄肉精密加工との組み合わせで高性能化を実現した。

当社が凝縮器用に開発したトップクロス CHT34-N2 は、フィン先端が開いた構造により管外での凝縮性に優れ、またフィン先端を鋭利に加工することで凝縮液を早く滴下させる特長をもつ¹²⁾。

蒸発器用に開発したトップクロス EHT34 は、従来のキャビティ型の沸騰促進構造とは異なる開放型にすることで、汚れに強い特長をもつ。写真 2 にトップクロス CHT34-N2、写真 3 にトップクロス EHT34 の外観を示す。図 5 にトップクロス CHT34-N2 の R134a での凝縮性能、図 6 にトップクロス EHT34 の蒸発特性を示す。

2.2.3 吸収式冷凍機用伝熱銅管

吸収式冷凍機は、フロン冷媒を使用せず地球環境にやさしいため、日本及びアジア地区で冷暖房用として多用されている。蒸発器、吸収器、凝縮器、低温再生器などの熱交換器で構成されており、それぞれが全く異なる伝熱様式のため異なる伝熱管が使用されている。

当社は、硬質半硬素材による精密加工で薄肉高性能伝熱管を開発し、VOF 解析¹³⁾を進めたことなどにより、国内で約 80% のシェアを有している。

蒸発器は、真空下で水平に配置した伝熱管に水を滴下して蒸発させて冷水を得る熱交換器で、管外面の水濡れ性が性能を左右する。当社エンドクロスは、管外面に独立した突起を多数有し、管軸方向への水濡れ性を改善するとともに、突起頂部の液膜が表面張力で薄くなること



写真 2 トップクロス CHT34-N2 の外観写真
Photo 2 Overview of TOPPCROSS CHT34-N2



写真 3 トップクロス EHT34-N2 の外観写真
Photo 3 Overview of TOPPCROSS EHT34-N2

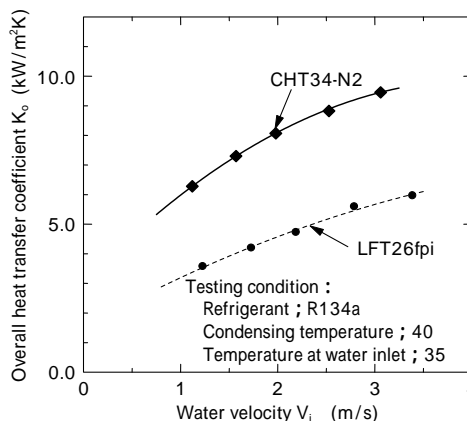


図 5 総括伝熱係数 (R134a 凝縮)
Fig. 5 Overall heat transfer coefficient vs. water velocity

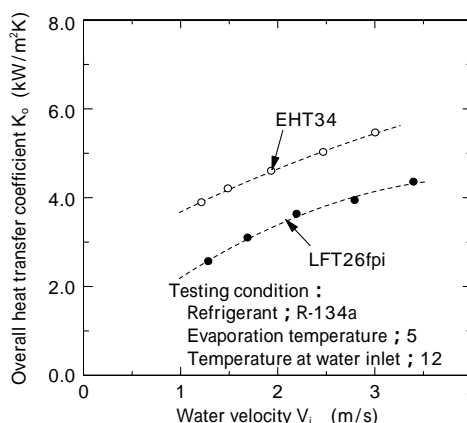


図 6 総括伝熱係数 (R134a 蒸発)
Fig. 6 Overall heat transfer coefficient of flooded type evaporator

により、蒸発性能を大幅に向上した製品である。

吸収器は、高濃度の臭化リチウム水溶液に蒸発器で発生した水蒸気を吸収させ、反応熱により温水をつくる熱交換器であり、管外面の独立突起が液の攪拌を促進して性能を向上し、かつ管内圧力損失の小さい管内リブ無し仕様のエンドクロスを推奨している¹⁴⁾。

凝縮器は、低温再生器で発生した水蒸気を凝縮させる

熱交換器であり、蒸発性能の向上に適した独立突起を有した、当社開発のコンデクロスを推奨している¹⁵⁾。

低温再生器は、吸収器で濃度低下した臭化リチウム溶液を、管内に蒸気を通して加熱し濃度を上げる熱交換器である。これはプール沸騰に近い伝熱様式であり、臭化リチウムの結晶で目詰まりを生じるため、現在は単純なローフィン管が主として使用されているが、当社は新伝熱管の開発を進めている。写真4に蒸発器用エンドクロス、写真5に凝縮器用コンデクロスの外観を示す。

2.2.4 銅合金管

当社は、銅管業界で唯一各種銅合金管を製品化しており、新用途開発などによる拡販を進めている。合金管は、高強度を特長とした製品と、耐食性をねらった製品に分類される。

HRS35LTは、析出硬化型にもかかわらず約1000の耐熱性を有する高強度合金で、その特性から炉中ろう付け製品用として使用されている¹⁶⁾。

一方KHRTは固溶強化型で、耐熱性が約900であるが加工性が非常に優れており、内面溝付管や複雑な加工の機内部品などに適している¹⁷⁾。また、自社内で鋳造でき製造コストアップを抑えられることから、高強度合金の本命と考えている。さらにMA5Jは、耐熱性は低いも

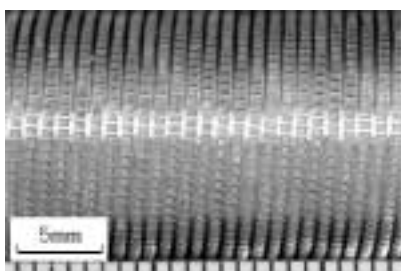


写真4 エンドクロスの外観
Photo 4 Overview of ENDCROSS

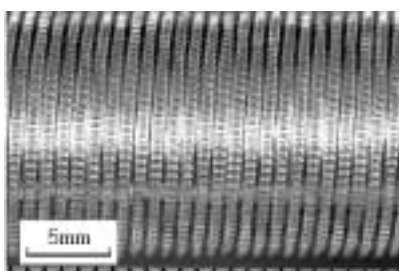


写真5 コンデクロスの外観
Photo 5 Overview of CONDCROSS

の強度が高くJISの成分規格内にあることが特長で、自動ろう付けで組立てられる製品に適している¹⁸⁾。

耐食性合金ピコレスは、ジルコニウム添加により温水配管で生じる型孔食防止を目的に開発したもので、当社製の被覆銅管に適用している。一方、合金KALTはマンガンを追加して、有機物の加水分解による蟻の巣腐食抑制を目的としたもので、食品工場や機械加工工場などの油分の多い環境用エアコンの伝熱管に適用されている。

表1に各種銅合金の特徴を示す。

2.2.5 熱交換器

これまで培ってきた設計・解析技術を駆使し、高付加価値製品として将来性の高い炭酸ガス関連熱交換器の開発を進めている。

炭酸ガス冷媒用熱交換器の最適化はまだ十分とはいええず、今後冷蔵庫、自動販売機、エアコンなどへの実用化に向け、ろう付け一体型新型熱交換器のような新タイプの開発を進めている。

2.3 銅管製品まとめ

銅管業界は、国内需要の多くをエアコン用に依存してきたが、エアコン各社の海外生産へのシフトが進み、国内需要が低減しKMCT設立に至ったが、炭酸ガス冷媒を使用した製品が急増しており、新規需要増に期待している。

KMCTは、内面溝付管、高性能フィン付管、高強度銅合金管、高耐食性銅合金管や熱交換器などの独自技術を有し、省エネルギーや環境問題にも対応した新製品の研究開発を通じて、社会に貢献していく所存である。

3. 銅事業のグローバル展開

当社の銅板部門は、長府製造所の銅板工場をマザー工場として、タイにKEMT (Kobe Electronics Material Thailand Co., Ltd.) というスリット加工センターを設立し、さらに中国蘇州のKCTS (Kobe Copper Technology (Suzhou) Co., Ltd.) への拠点整備を行っている。シンガポールには、銅板のめっき加工・異形条加工・スリット加工ができる関連会社SKPL (Singapore Kobe Pte. Ltd.) を持ち、北九州市にある神鋼リードミック(株)にて銅板のプレス加工・めっき加工を行っており、ニッケルめっき、銀めっき、鉛フリー錫合金めっきなどの技術を持つ。神鋼リードミック(株)は、中国の無錫にもめっき工場(神鋼

表1 各種銅合金の特徴

Table 1 Features of each copper alloy tubes

Alloy name	Function	Features	Application
HRS35LT	Precipitation hardening type	Super heat-resistant and strength	Heat exchanger for Eco-cute, 4 way valve
KHRT	Solid-solution hardening type	High heat-resistant and strength	Heat exchanger for air conditioner
MA5J	Precipitation hardening type	High strength (within JIS)	Home refrigerator, Heat exchanger for Eco-cute
PICOLESS	Corrosion-resistance copper alloy	Corrosion resistance toward type corrosion	Insulated tube for piping
KALT	Corrosion-resistance copper alloy	Corrosion resistance toward ant nest type corrosion	Heat exchanger for heavy duty air conditioner

力得米克電子部件有限公司)を持っている。

一方、銅管部門は、海外で銅管の製造・販売を行う関連会社として、北米にKWCP (Kobe Wieland Copper Products, LLC), マレーシア及びタイでKMCT (Kobelco & Material Copper Tube Co., Ltd.) を設立しており、三菱マテリアルとの事業統合により、東南アジアからの供給体制をさらに強化している。さらに、北九州市の神鋼メタルプロダクツ(株)にて、特殊銅合金管及び鋼連铸用モールドなどの製造・販売を行っている。

むすび= 当社銅事業部門は、電子・電気機器用銅合金板及び空調用銅管分野において、特徴的な技術開発力で、時代のニーズに応えた新合金及び新製品群を開発し、グローバル展開によりアジア圏でトップのシェアを持つグループに至っている。

今後も、さらなる基礎研究を重ね、その時代の厳しいニーズに果敢に挑戦することによって、さらなる新材料、新製品を開発していく。

参 考 文 献

- 1) コベルコマテリアル銅管ホームページ: <http://www.kmct.jp>
- 2) 日本伸銅協会: 伸銅品データブック (1997) p.193.

- 3) 中村寿雄ほか: 伸銅技術研究会誌, Vol.16 (1977) p.165.
- 4) 宮藤元久ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.39, No.4 (1989) p.24.
- 5) 野村幸矢: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1 (2004) p.13.
- 6) 野村幸矢: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1 (2004) p.2.
- 7) 野村幸矢: 銅と銅合金, Vol.41, No.1 (2002) p.192.
- 8) 小倉哲造: R&D 神戸製鋼技報, Vol.48, No.3 (1998) p.13.
- 9) 宮藤元久, 中島安啓: 電子材料 Vol.5 (1992) p.27.
- 10) 原 利久ほか: 銅と銅合金, Vol.42, No.1 (2003) p.179.
- 11) 原 利久ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1 (2004) p.9.
- 12) 高橋宏行ほか: 銅と銅合金, Vol.40, No.1 (2001) p.223.
- 13) 小林利之ほか: 銅と銅合金, Vol.43, No.1 (2004) p.162.
- 14) 高橋宏行ほか: 伸銅技術研究会誌, Vol.38, No.1 (1999) p.263.
- 15) 高橋宏行ほか: 銅と銅合金, Vol.43, No.1 (2004) p.156.
- 16) 田中真次ほか: 伸銅技術研究会誌, Vol.39, No.1 (2000) p.143.
- 17) 白井 崇ほか: 銅と銅合金, Vol.43, No.1 (2004) p.302.
- 18) 須藤雄一郎ほか: 伸銅技術研究会誌, Vol.39, No.1 (2000) p.113.