

(解説)

内面溝付銅管の発展

磯崎昭夫*・石川 守*・佐伯主税**

*アルミ・銅カンパニー・秦野工場・品質保証室 **アルミ・銅カンパニー・秦野工場・銅管研究室

Inner Grooved Copper Tubes Development

Akio Isozaki・Mamoru Ishikawa・Chikara Saeki

Freezers and air conditioners play an essential role in our daily life. Kobe Steel has long been a leading supplier and innovation expert for various types of high-performance heat exchanger tubes for such appliances. Over the past twenty years, inner grooved copper tubes have been successfully used in air conditioners to reduce energy consumption and to improve overall performance. This paper introduces historical developments in inner grooved copper tubes over the past twenty years, and how such developments have been in response to changing market demands.

まえがき = 1979 年の第 2 次オイルショックを契機に、同年 9 月に省エネルギー法が制定され、ルームエアコンにおいては厳しい EER 規制値(冷暖房能力/消費電力)が課せられた。当時、熱交換器は平滑なアルミニウムフィンと、内面が平滑な銅管で構成されており、熱交換性能を飛躍的に向上させるものとして、内面溝付銅管と小さなスリットをもつアルミニウムフィンが開発された。

当社は 1978 年に内面溝付銅管の生産技術開発に着手し、1979 年 11 月から量産を開始した。内面溝付銅管はエアコン用伝熱管として急速に普及し、秦野工場の主力製品となった。1989 年には他社に先駆けて米国、マレーシアでも生産を開始し、現在世界一のシェアを有するグローバルサプライヤの地位を確保している。

本稿では、内面溝付銅管の高性能溝形状開発と加工技術開発の歴史について紹介する。

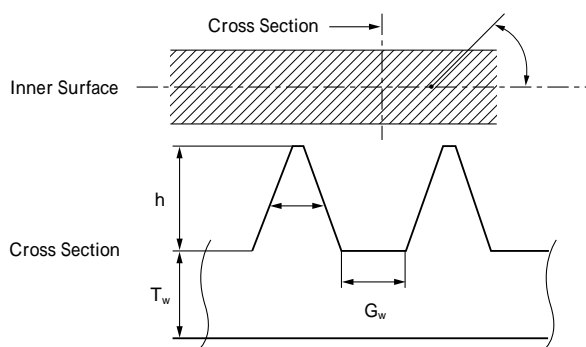
1. 内面溝付銅管開発の取り組み

1.1 高性能溝形状の開発

第 1 図に内面溝付銅管の模式図を示す。内面溝付銅管は管軸に対して螺旋状に連続する微細溝を管内周に多数設けた構造のため、内表面積が平滑管と比較して約 1.4

倍に増加し、さらにこの溝により管内に均一な液膜が形成¹⁾されて管内側の伝熱性能は大幅に向上する。代表的な内面溝付銅管の形状と伝熱性能を第 1 表および第 2 図に示す。

第 1 表に示す No.1 は 1979 年当初の溝形状で、突起部と溝部がほぼ三角形状をしており、通称「三角溝」と呼ばれた。同品は平滑管比約 2 倍の伝熱性能を有し、熱交換器性能を従来比 10~20% 向上させ、ムーンライト計画における厳しいルームエアコンの省エネ基準達成に貢献した。



第 1 図 溝形状
Fig. 1 Groove Shape

第 1 表 代表的な内面溝付管の形状
Table 1 Inspection of typical inner grooved tubes

No.	Grooves Shape	O.D mm	T _w mm	N	h mm	deg.	deg.	G _w mm	Cross Section
1	Triangular	9.52	0.28	65	0.15	25	90	0.10	
2	Trapezoid	9.52	0.30	60	0.20	18	53	0.23	
3	Small O.D Trapezoid	7.00	0.25	50	0.18	18	45	0.23	
4	High-fin Slim	7.00	0.25	55	0.26	15	15	0.24	

O.D: Outside Diameter
T_w: Bottom Wall Thickness
N: Number of Grooves
h: Fin Height
: Lead Angle
: Apex Angle
G_w: Groove Width

第2図 内面溝付銅管の単管伝熱性能 (R-22)

Fig. 2 Single tube heat transfer performance on R-22

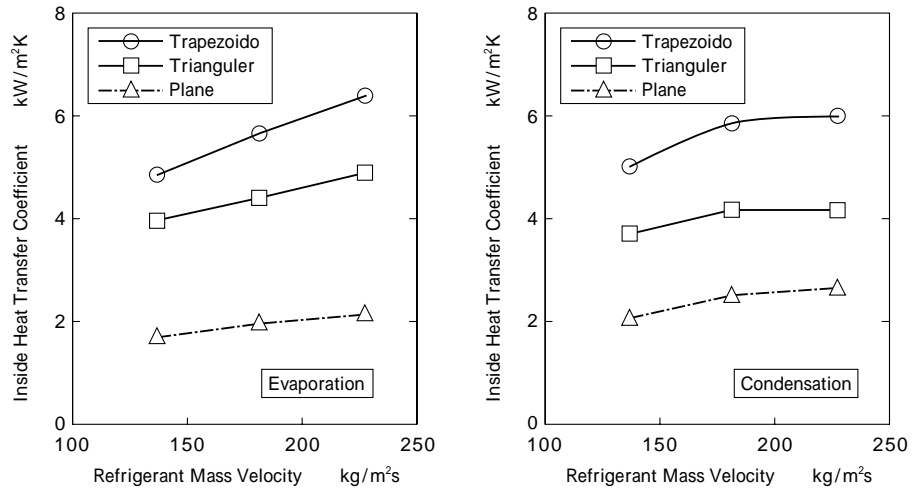


写真1 熱交換器性能測定装置

Photo 1 Heat exchanger performance test equipment

その後、エアコンの高性能化に要求にともない、1983年に「台形溝(第1表 No.2)を開発した。1987年にはエアコンのコンパクト化に対応した小径管(外径 9.52 mm 7.0mm)を開発(第1表 No.3)した。1998年にはハイフィンスリム(第1表 No.4)を開発し、伝熱性能は平滑管比約3倍に達した。

また、エアコンの価格低下に対応して、フィンのスリム化とともに底肉厚を強度限界近くまで薄くした軽量高性能内面溝付銅管を他社に先駆けて開発し、ユーザーニーズに応えてきた。

これら形状開発を支えてきたのは優れた伝熱性能評価技術であり、開発当初より単管伝熱測定装置をフル活用するとともに、1989年に空気熱交換器の性能測定装置(写真1)を導入し、内面溝付銅管の性能を熱交換器として評価できる体制を整えた。1990年以降は溝形状因子(溝数、溝リード角、フィン高さ、フィン山頂角、溝底幅など)が及ぼす伝熱性能への影響を形状解析技術²⁾を活用して明らかにし、開発期間を大幅に短縮してきた。

このように秦野工場の内面溝付銅管は、その時々ユーザーニーズを的確に捉えて脱皮を繰り返し、国内エアコン市場の拡大とともに成長してきた。

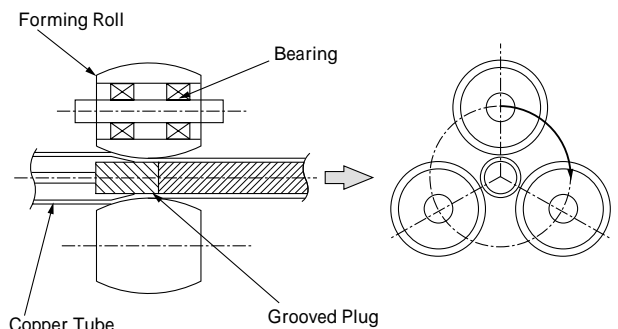
1.2 加工技術開発

1.2.1 溝付転造法の開発

当社は従来から小径薄肉銅管の抽伸技術では世界トッ

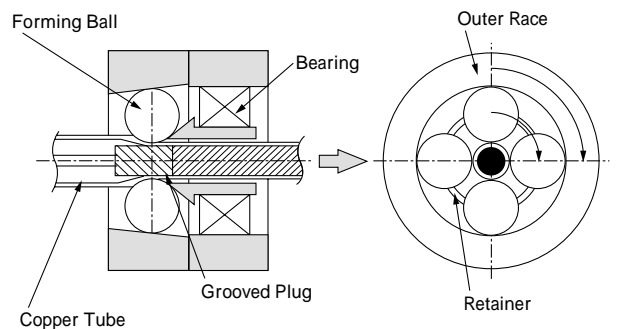
クラスであり、内面溝付ローフィン加工技術³⁾が内面溝付銅管の加工方法として活用できる可能性を見出し、装置を含めて開発に着手した。1978年末に「ロール転造法」を開発し、内面溝付銅管の量産が可能となった。第3図は初期の3ロール転造法の概略図で、管内に自由回転する溝付プラグを挿入し、管外より自由回転するロールを押し付けて遊星回転させながら銅管を引き抜くことにより、銅管内面に連続する溝を成型する方法である。

生産性向上と品質向上のために1980年より転造ヘッド部そのものをベアリング構造とする製法の開発に着手し、ボールダイス抽伸法⁴⁾を参考に、1983年に第4図に示す独自の「ボール転造法」⁵⁾を完成させた。当技術により転造ヘッド部が大幅に軽量化され、高速回転が可能となるとともに、さまざまな問題点も一挙に解決することができた。



第3図 ロール転造法

Fig. 3 Roll forming process



第4図 ボール転造法

Fig. 4 Ball forming process

1990年以降の内面溝付銅管の小径化、溝形状のハイフィンスリムにともない、溝付プラグの欠損という問題が発生した。技術開発本部のバックアップをえて加工解析をおこなった結果、第5図に示すように溝加工時に溝付プラグの底部に高応力が認められた。この対策として、溝付プラグの溝口に円弧状の面取りを施すこと、および転造ボールの回転方向を従来と逆方向とすることで応力緩和が図れることが判明し、ハイフィンスリム形状の量産対応が可能となった。

1.3 生産技術開発

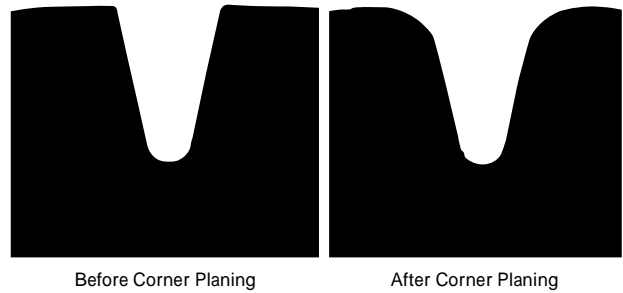
内面溝付銅管の加工は、溝付ヘッドを回転させながら銅管を引き抜くという方法のため、溝付ヘッドの回転を高速化することが生産性向上のための必須条件であった。内面溝付銅管の生産開始当初は油圧モータを使用していたが、ヘッド回転数8000~10000rpmが限度であり、加工速度も25~40m/min程度であった。1980年代は内面溝付銅管の受注が増加するいっぽうで、ボールヘッドの開発とともに、1986年に中空軸の電動モータを導入して高速化を図った。その後の改良でヘッド回転数は30000rpmとなり、内面溝付銅管加工速度は60~70m/minまで達した。そして、1992年には磁気ベアリング方式のモータ導入もおこなった。

高速加工以外の技術としては、1982年に他社に先駆けて高周波誘導加熱を使用した素材の連続焼鈍技術⁶⁾を確立した。これらの取組みにより、内面溝付銅管の生産性向上とコスト競争力強化を図ってきた。

2. 現在の技術(環境問題に対応した溝形状開発)

地球環境保護の点から、ルームエアコンは2004年、パッケージエアコンは2008年までにエネルギー消費効率を大幅に改善させることが要求されている。また、エアコン用冷媒として使用されてきたR-22冷媒が塩素を含まない代替冷媒へ急速に転換が進んでいる。当社はこの動きに対応して、既存の伝熱測定装置を代替冷媒での評価がおこなえるよう改造するとともに、シームレス管と溶接管の両面で溝形状開発を推進している。

新冷媒用として、シームレス管では写真2に示すスリムなフィンと高リードの溝を有する軽量高性能内面溝付銅管、溶接管では写真3に示す高性能溶接溝付銅管⁷⁾⁸⁾をすでに開発している。第6図に示すように、両



第5図 溝プラグの応力解析
Fig. 5 Stress analysis in grooved plug

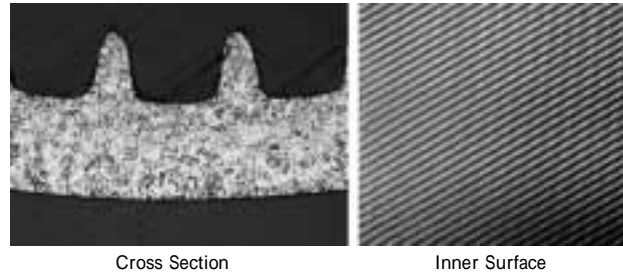


写真2 高性能軽量溝付銅管
Photo 2 Light weight high performance inner grooved copper tube

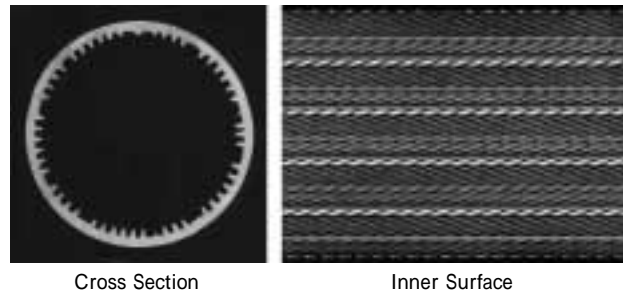


写真3 溶接溝付銅管の形状
Photo 3 Welded inner grooved copper tube

者ともに従来の内面溝付銅管に比較して1.2倍以上の伝熱性能をえている。

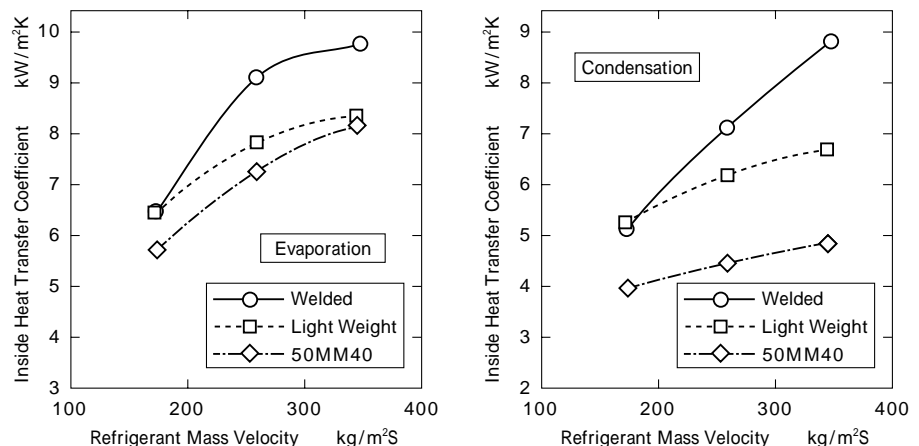
3. 今後の発展の方向

3.1 さらに高性能化

近年、熱交換器の設計も大きく変化し、部分2パス化、過冷却熱交換器の導入などが図られている。当社は内面溝付銅管を最適活用するため2000年に局所伝熱測定装置(写真4)を導入した。今後は局所伝熱解析⁹⁾などを

第6図 7高性能内面溝付管の性能 (R-410A)

Fig. 6 Heat transfer performance of 7 inner grooved tube on R410A



駆使した効率的な形状設計を計画している。当社はシームレス管と溶接管の製造技術を有しており、両技術と伝熱解析をリンクさせることにより、さらなる高性能管の開発が可能である。当工場にとって伝熱管の高性能化は永遠のテーマであり、今後も開発の歩みがとどまることはない。

3.2 高精度加工技術への挑戦

地球環境保護の点から、将来の冷媒としては炭酸ガスなどの自然冷媒が検討されている。これらの冷媒は蒸気圧が高いため、伝熱管は耐圧強度の点から外径4mm以下の極細管に移行すると予測されている。細管になるほど溝形状はより繊細となり、溝成形は困難となる。したがって、今後の形状開発は高精度加工技術が必要となってくる。この観点から現行の加工技術上の課題は、高速加工時の工具微振動の抑制であり、すでに研究部門が中心となって取組みに着手している。

むすび=内面溝付銅管は生産開始以来20年を経過しても当社の主力製品のひとつとして存続している。これは、市場ニーズを的確にとらえ、ニーズに先行した開発を推進してきた結果である。また、研究、開発、製造、営業、さらには技術開発本部が一体となって開発活動を推進してきたことも大きな支えとなっている。今後もこの基本姿勢を保ち世界トップの銅管工場としてさらなる発展を目指す。

参考文献

- 1) 森 英夫ほか：日本伝熱シンポジウム講演論文集，(1999) p.23.

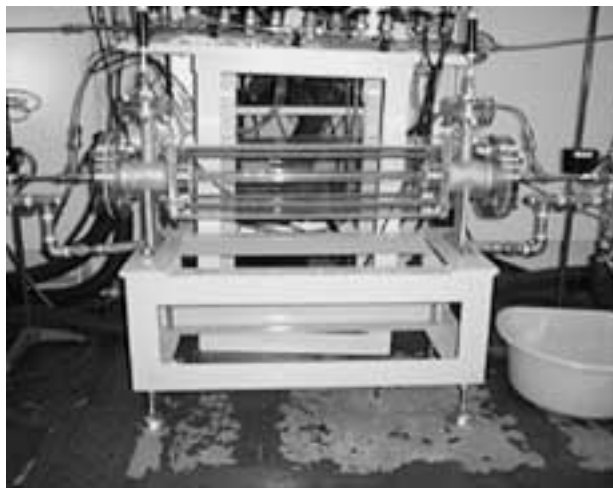


写真4 局所伝熱性能測定装置

Photo 4 Test apparatus for local heat transfer performance

- 2) 石橋明彦ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.43, No.1(1993)，p.117.
- 3) US PAT 3768291
- 4) 金山公三ほか：名古屋工業試験所報告別冊，Vol.33, No.11 (1984) p.417.
- 5) 公告特許，平3 - 71923.
- 6) 公告特許，平3 - 9653.
- 7) 公開特許，平10 - 206060.
- 8) 小関清憲ほか：冷凍空調講演会講演論文集(2000) p.21.
- 9) 沢田範雄ほか：SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.29, No.2 Nov. (1997) p.57.