

(解説)

## 内面溝付管の開発動向

### Development Trend of Copper Inner Grooved Tube for Air Conditioners



羽場恒夫\*  
Tsuneo HABA



立山智之\*  
Tomoyuki TATEYAMA



岩本秀樹\*  
Hideki IWAMOTO



日名子伸明\*  
Nobuaki HINAGO

Kobelco & Materials copper tube, LTD. have the largest market share in Japan of air conditioning copper tube. We are constantly developing new copper tube to remain as the leading manufacturer. Now copper prices are higher than a few years ago and our customers have to meet new regulations to save energy in Japan. So our customers need new copper tubes which are high performance and low cost for air conditioning units. This paper presents present technology trends and our latest products in this field.

まえがき = 伸銅業界を取巻く環境は、数年前と比べ大きく様変わりしている。とくに、銅価の高騰は熱交換器のコストを押し上げ、ユーザの収益を圧迫している。そのため、銅管の軽量化やコストダウンの要求が強くなっており、コストダウンを目的としたランニングチェンジを期中に行うユーザも出現している。また、新省エネ法の施行により空調機の性能向上が必須となり、省エネ基準値のクリアおよび同業他社品に対するAPF (Annual Performance Factor, 年間消費エネルギー効率) 値の大小が製品の売れ行きを大きく左右するようになっている。そのため、軽量内面溝付管や高性能内面溝付管など、各種内面溝付管の開発が必要となっている。

#### 1. 軽量内面溝付管の開発

これまで伝熱管には、頂角が小さくて細く高いフィンを備えた内面溝付管が主に用いられてきた。これに対して軽量内面溝付管では、フィンのねじれ角を比較的大きくするとともに高さを低くしてその数を増やしている。最近開発された軽量化と伝熱性能向上を両立させた溝付管の例を表1と図1、図2に示す。本例では、単管伝熱性能が略同等で内面溝付管の単重において従来材に比較して11%の軽量化を実現している。単管伝熱性能を表2に示す。

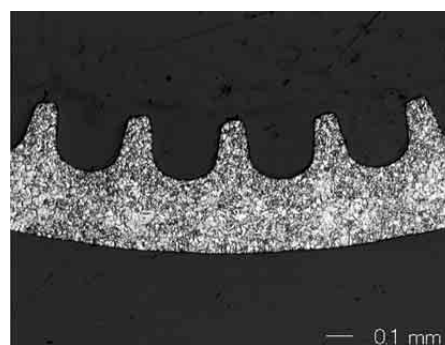


図1 従来内面溝付管 55VH15  
Fig. 1 Original IGT 55VH15

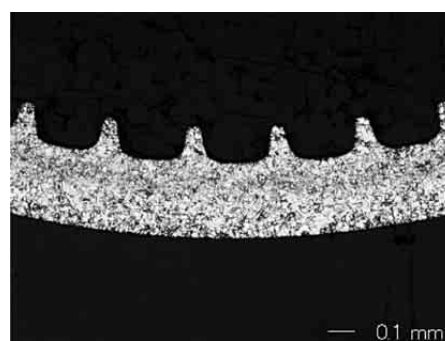


図2 軽量内面溝付管 65SL14  
Fig. 2 Light weight (VA) IGT 65SL14

表1 従来内面溝付管と軽量内面溝付管の比較  
Table 1 Comparison between original IGT and developed IGT

Type	Outside diameter ave.wall thickness [mm]	Number of grooves [-]	Bottom wall thickness [mm]	Fin height [mm]	Apex angle [°]	Lead angle [°]	Inner surface area [mm <sup>2</sup> /cm]	Unit weight [g/m]
Original IGT 55VH15	7.00 × 0.355	55	0.28	0.24	15	27	443	66.2
Light weight IGT(VA) 65SL14	7.00 × 0.314	65	0.28	0.12	14	40	395	59.0 ( - 11% )

\* ㈱コベルコマテリアル銅管 桑野工場 技術部

表 2 単管性能試験結果

Table 2 Single tube heat transfer performance

(Gr: kg/m<sup>2</sup>s)

Type		Ratio of heat transfer coefficient				Ratio of pressure drop			
		Gr = 172	Gr = 259	Gr = 345	Gr = 430	Gr = 172	Gr = 259	Gr = 345	Gr = 430
COND.	Original IGT 55VH15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Light weight IGT(VA) 65SL14	1.01 (+ 1%)	1.00 (± 0%)	0.99 (- 1%)	0.98 (- 2%)	1.10 (+ 10%)	1.04 (+ 4%)	1.07 (+ 7%)	1.03 (+ 3%)
EVAP.	Original IGT 55VH15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Light weight IGT(VA) 65SL14	0.99 (- 1%)	0.98 (- 2%)	1.02 (+ 2%)	1.00 (± 0%)	0.99 (- 1%)	0.98 (- 2%)	0.98 (- 2%)	0.99 (- 1%)

表 3 従来内面溝付管と高性能内面溝付管の比較

Table 3 Comparison between original IGT and high performance IGT

Type	Outside diameter ave.wall thickness [mm]	Number of grooves [ - ]	Bottom wall thickness [mm]	Fin height [mm]	Apex angle [ ° ]	Lead angle [ ° ]	Inner surface area [mm <sup>2</sup> /cm]	Unit weight [g/m]
Original IGT 50SM15	7.20 × 0.262	50	0.23	0.16	15	35	402	51.1
High performance IGT 70SL14	7.20 × 0.271	70	0.23	0.14	14	37	437	52.7
High performance IGT 80SL14	7.20 × 0.277	80	0.23	0.14	14	37	461	53.8

## 2. 高性能内面溝付管の開発

新省エネ法の基準値に適應する伝熱管の開発も行った。空調機の APF 値は次の五つの測定点で評価される。

冷房定格（外気温度 35 °C での冷房条件）

冷房中間（冷房定格と同じ外気温度条件の下で能力を 2 分の 1 に絞った状態での条件）

暖房定格（外気温度 7 °C での暖房標準条件）

暖房中間（暖房定格と同じ外気温度条件の下で能力を 2 分の 1 に絞った状態での条件）

暖房低温（外気温度 2 °C での暖房条件）

上記特性のうち、暖房中間の性能向上が空調機の APF 値改善に有効であることがわかっている。すなわち室内機における凝縮性能の向上と冷媒圧力損失の低減、室外機における蒸発性能の向上と冷媒圧力損失の低減が有効な手段となる。

これらの内面溝付管に要求される特性を考慮し開発を行った。表 3、図 3、図 4 および図 5 はその開発例を示したものである。従来材である 50SM15 に対し、70SL14 や 80SL14 はフィン高さを低くして冷媒圧力損失を低減させ、フィン数を多くすることで内面積を増加させることにより伝熱性能も改善した。その結果、実機での APF 値を 1.0% 以上向上でき、顧客の要求を満足させることができた。さらに、70SL14 は室内機に採用された。各銅管を使用した熱交換器の性能例を表 4 に示す。

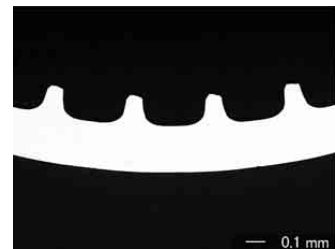


図 3 従来内面溝付管 50SM15  
Fig. 3 Original IGT 50SM15

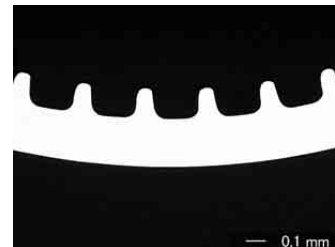


図 4 高性能内面溝付管 70SL14  
Fig. 4 High performance IGT 70SL14

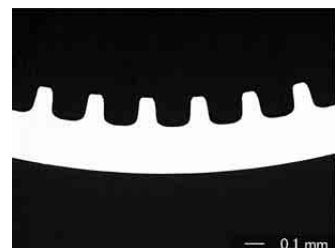


図 5 高性能内面溝付管 80SL14  
Fig. 5 High performance IGT 80SL14

表 4 熱交換器性能試験結果  
Table 4 Heat exchanger performance

Type		Ratio of heat flow rate			Ratio of pressure drop		
		Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.2 (m/s)	Air velocity 2.0 (m/s)	Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.2 (m/s)	Air velocity 2.0 (m/s)
COND.	Original IGT 50SM15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	High performance IGT 70SL14	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	0.97 (- 3%)	0.98 (- 2%)	1.00 (± 0%)
	High performance IGT 80SL14	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	0.92 (- 8%)	0.93 (- 7%)	0.95 (- 5%)
EVAP.	Original IGT 50SM15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	High performance IGT 70SL14	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	0.99 (- 1%)	0.99 (- 1%)	1.01 (+ 1%)	1.00 (± 0%)
	High performance IGT 80SL14	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	1.01 (+ 1%)	0.94 (- 6%)	0.95 (- 5%)	0.96 (- 4%)

表 5 エコキュート用従来内面溝付管と軽量内面溝付管の比較  
Table 5 Comparison between original IGT and developed IGT for ECO CUTE application

Type	Outside diameter ave. wall thickness [mm]	Number of grooves [ - ]	Bottom wall thickness [mm]	Fin height [mm]	Apex angle [ ° ]	Lead angle [ ° ]	Inner surface area [mm <sup>2</sup> /cm]	Unit weight [g/m]
Original IGT 50VH15	6.00 × 0.450	50	0.37	0.24	15	25	358	71.0
Light weight IGT(VA) 60VL15	6.00 × 0.419	60	0.37	0.14	15	25	296	65.7 (- 7.5%)
Bare tube	6.00 × 0.400	-	0.40	-	-	-	163	62.7 (- 11.7%)

表 6 熱交換器性能試験結果 (冷凍機油 0.1%)  
Table 6 Heat exchanger performance (oil 0.1%)

Type		Ratio of heat flow rate			Ratio of pressure drop		
		Air velocity 0.5 (m/s)	Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.5 (m/s)	Air velocity 0.5 (m/s)	Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.5 (m/s)
EVAP.	Original IGT 50VH15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Light weight IGT(VA) 60VL15	1.00 (± 0%)	1.00 (± 0%)	1.00 (± 0%)	0.77 (- 23%)	0.78 (- 22%)	0.79 (- 21%)
	Bare tube	0.86 (- 14%)	0.87 (- 13%)	0.90 (- 10%)	0.32 (- 68%)	0.36 (- 64%)	0.41 (- 59%)

### 3. エコキュート<sup>注)</sup> 室外機用内面溝付管

エコキュート用内面溝付管はCO<sub>2</sub>冷媒の使用圧力が高いため、空調機用に比べ厚肉の製品になる。このため当社では合金管による薄肉化を推奨している。また、CO<sub>2</sub>冷媒に含まれる冷凍機油が溝付管内面に付着し、冷媒と溝付管内面の熱伝達を阻害するため性能が低下することが知られている。そのため、エコキュートメーカーは冷凍機油を回路内に流出させないように改善を行っている。その結果、内面溝付管の性能阻害要因が排除され、内面溝付管のフィン形状が変化してきた。従来はフィンの高さが高く細く、フィン頂角が小さい形状の内面溝付管を使用することが多かったが、最近では比較的緩やかな形状の内面溝付管でも性能が確保されるようになった。表 5 の開発例は、内面溝付管の単重を大幅に低減し、性能を現行材と同等に維持できたものである。軽量内面溝付管 60VL15 は従来材 50VH15 に対して重量で 7.5% 減少させ、さらに圧力損失を低減させることで従来材と同等の熱交換器性能を確保することができた。表 6 に熱交換器

性能を示す。

### 4. 細径内面溝付管の開発

現在主流となっている伝熱管は外径 7 ~ 8mm の内面溝付管である。

しかし、熱交換器の高性能化、軽量小型化のために 5mm 管やそれ以下の細径内面溝付管の需要が今後増加すると思われる。細径管を使用するにあたり最も大きな課題は、熱交換器の圧力損失をできるだけ低減することである。

これまでは、7mm 管と同様にフィンが細くて高く、ねじれ角が大きい内面溝付管が多く採用されてきた。しかし、今後は圧力損失を小さくするため、フィン高さが低くて条数が少なく、ねじれ角が小さい形状の内面溝付管が増えていくと考えられる。当社におけるいくつかの開発事例を表 7、図 6 および図 7 に示す。高性能内面溝付管 45XM12 は大きなリード角とシャープなフィン形状を採用することにより、フィン数を少なくすることができ、従来管に比べ重量を 5.1% 減少させると同時に凝縮性能を向上させることができた。熱交換器性能を表 8 に示す。

脚注) エコキュートは関西電力㈱の登録商標である。

表 7 細径従来内面溝付管と細径高性能内面溝付管の比較

Table 7 Comparison between original IGT and High performance IGT with small outside diameter

Type	Outside diameter ave.wall thickness [mm]	Number of grooves [ - ]	Bottom wall thickness [mm]	Fin height [mm]	Apex angle [ ° ]	Lead angle [ ° ]	Inner surface area [mm <sup>2</sup> /cm]	Unit weight [g/m]
Original IGT 52SM13	5.00 × 0.283	52	0.23	0.15	13	37	305	37.5
High Performance IGT 45XM12	5.00 × 0.268	45	0.23	0.15	12	40	280	35.6 ( - 5.1% )

表 8 熱交換器性能試験結果

Table 8 Heat exchanger performance

Type		Ratio of heat flow rate			Ratio of pressure drop		
		Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.5 (m/s)	Air velocity 2.0 (m/s)	Air velocity 1.0 (m/s)	Air velocity 1.5 (m/s)	Air velocity 2.0 (m/s)
COND.	Original IGT 52SM13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	High Performance IGT 45XM12	1.03 ( + 3% )	1.01 ( + 1% )	1.01 ( + 1% )	1.00 ( ± 0% )	1.00 ( ± 0% )	0.99 ( - 1% )
EVAP.	Original IGT 52SM13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	High Performance IGT 45XM12	1.00 ( ± 0% )	1.00 ( ± 0% )	1.00 ( ± 0% )	0.89 ( - 11% )	0.88 ( - 12% )	0.87 ( - 13% )

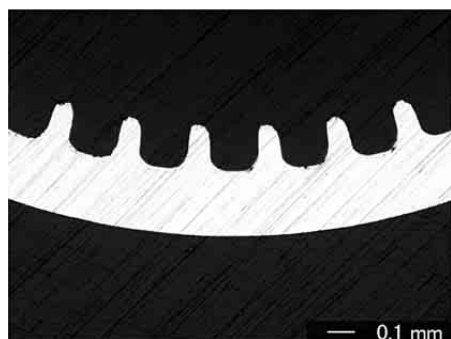


図 6 従来内面溝付管 52SM13  
Fig. 6 Original IGT 52SM13

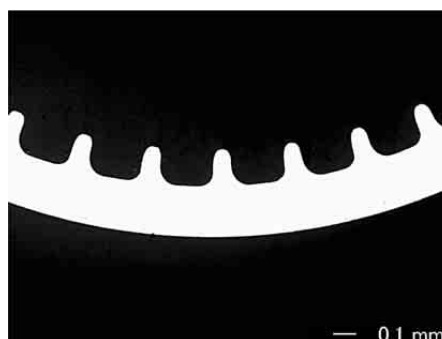


図 7 高性能内面溝付管 45XM12  
Fig. 7 High Performance IGT 45XM12

むすび=これまで述べてきたように、内面溝付管に要求される特性は軽量化だけではなく、軽量化と高性能化を両立させることに移行してきている。しかしながら、内面溝付管を軽量化するために内面フィンを細くすると内面溝付管の生産速度が遅くなる。また、細いフィンは熱交換器拡管加工時にフィンの潰れや倒れが発生しやすい。このフィン形状の変化は、伝熱性能の低下と拡管時の外径拡管率の低下を招き内面溝付管とアルミフィンとの密着性の低下や、結果として熱交換器性能の低下を引起す。このように、内面溝付管の性能向上だけではなく、内面溝付管を含めた熱交換器全体の性能を向上させ

ることが重要になってきている。したがって、内面溝付管自体の軽量高性能化の研究に加えて我々の取組むべき課題は、

- (1) 熱交換器のアルミフィンと内面溝付管の密着性向上
- (2) 拡管後に伝熱性能が維持される内面溝付管フィン形状の開発
- (3) 内面溝付管の生産性向上と超難加工フィン形状の生産技術の確立

などが考えられる。今後ますますユーザと協力しながら開発を進めていくことが重要となっている。