

# 高性能内面溝付管LFタイプの開発

## Development of High-Performance LF-Type Multi-Grooved Tubes

森 康敏\*  
Yasutoshi Mori

橋 爪 利 明\*  
Toshiaki Hashizume

住 友 哲 也\*<sup>2</sup>  
Tetsuya Sumitomo

山 本 孝 司\*<sup>3</sup>  
Koji Yamamoto

**概 要** 現在の冷凍空調器に使用されている冷媒は、オゾン破壊係数(ODP)がゼロであるR410A、R407C等の代替フロンが主流となりつつあり、これら代替フロンを使用した空調機の開発及び商品化が急速に進んでいる。また、省エネ法改正に伴うトップランナー方式が導入され、2003年10月からルームエアコンは一定の省エネ基準を満たす必要があり、空調機の高効率化、省エネ化は重要な課題となっている。本報では新たに開発したLFタイプ高性能内面溝付管の代替フロンR410Aに対する伝熱特性について明らかにした。

高性能化に関しては、リード角を28°以上にした場合、凝縮熱伝達率の向上が顕著であった。例えば内表面積が同じで、リード角を13°から28°に大きくすると凝縮性能は36%向上した。蒸発性能はリード角の影響を受けにくく、主に管内表面積に比例して増加することが分かった。

### 1. はじめに

家庭用ルームエアコンに使用される冷媒は、オゾン層破壊等の地球環境問題により、従来から使用されてきたフロンR22に代わりオゾン破壊係数(ODP)がゼロである代替フロンR410Aが主流となっている。また、省エネ法改正による「トップランナー方式」の導入により、2003年10月からルームエアコンは一定の省エネ基準を満たす必要がある。また京都議定書に基づくCO<sub>2</sub>排出規制も予想されることから、家庭用ルームエアコンの高効率化及び省エネ化の開発は今後更に進むものと考えられる。このようなルームエアコン、パッケージエアコンの高効率化及び省エネ化の手段として、空調機用の伝熱管に内面溝付管を使用する方法が現在広く普及し、その溝形状の改良による高性能化が進められている<sup>1), 2)</sup>。

本報では新たに開発した高性能内面溝付管LFタイプ(高リード角タイプ)の代替フロンR410Aに対する伝熱特性について報告する。

### 2. 供試管

表1に供試管の寸法と断面形状を示し、図1に寸法呼称位置を示す。供試管は、エアコンで主に使われている外径7.0 mmとし、高性能内面溝付管LFタイプとしてリード角を変化させ

た4種類と、比較用供試管としてリード角20°以下の一般形状溝付管(Normalタイプ)3種類を準備した。

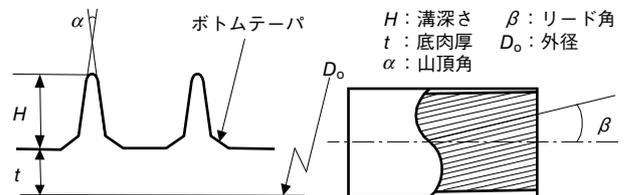


図1 寸法呼称位置  
Transverse cross-sectional view of grooves showing address terms.

### 3. 実験方法

今回の実験で使用した実験装置のフローシートを図2に示す。また、表2に実験条件を示す。

実験装置は一般の空調機と同様に全体が冷凍サイクルにより構成されている。テストセクションは二重管式熱交換器になっており、供試管はその内管に取り付けられる。そして供試管内に冷媒を流し、外側シェルとの間にその冷媒と対向流に水を流し、伝熱管有効長4 mで熱交換を行わせる。その供試管の冷媒入口出口条件が表2に示すように空調機の熱交換器入口条件と同一の条件となるように、水温を調整した後に測定を行う。供試管の入口出口における平均冷媒飽和温度は凝縮実験では48℃、蒸発実験では5℃とした。管内圧力損失は、供試管の入口、出口の圧力差として求めており、管内熱伝達率は次式に示す計算式を用いて算出した。

\* 研究開発本部 メタル総合研究所

\*<sup>2</sup> 金属カンパニー 大阪事業所 生産技術部

\*<sup>3</sup> 金属カンパニー 技術部

表1 供試管の寸法と断面形状写真  
Specification of the tested tubes.

タイプ	外径 (mm)	底肉厚 (mm)	溝数	リード角 (°)	溝深さ (mm)	山頂角 (°)	内表面積比 (%)	断面形状写真
Normal-1	7.00	0.25	50	18	0.18	40	100.0	
Normal-2			50	13	0.24	30	116.2	
Normal-3			55	16	0.26	15	130.5	
LF-1			48	24	0.18	30	103.1	
LF-2			48	30	0.18	30	105.6	
LF-3			48	28	0.22	15	116.2	
LF-4			48	30	0.24	15	123.4	

①交換熱量  $Q$  (kW)

$$Q = G \cdot C_p \cdot |t_{w1} - t_{w2}|$$

②対数平均温度差  $t_m$  (°C)

・凝縮時

$$t_m = \frac{(t_{s1} - t_{w2}) - (t_{s2} - t_{w1})}{\ln \frac{t_{s1} - t_{w2}}{t_{s2} - t_{w1}}}$$

・蒸発時

$$t_m = \frac{(t_{w1} - t_{s2}) - (t_{w2} - t_{s1})}{\ln \frac{t_{w1} - t_{s2}}{t_{w2} - t_{s1}}}$$

③管外熱伝達率  $\alpha_o$  (kW/m<sup>2</sup>K)

$$\alpha_o = 0.02 \cdot (k/D_e) \cdot (D/d)^{0.53} \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$$

④管内熱伝達率  $\alpha_i$  (kW/m<sup>2</sup>K)

$$\alpha_i = \frac{1}{\frac{A}{Q} - \frac{1}{\alpha_o}}$$

⑤冷媒流速  $V_f$  (kg/m<sup>2</sup>s)

$$V_f = \frac{Q}{\Delta h \cdot F}$$

- $G$  : 冷却水流量 (kg/s)
- $C_p$  : 冷却水比熱 (kJ/kgK)
- $t_{w1}$  : 冷却水入口温度 (°C)
- $t_{w2}$  : 冷却水出口温度 (°C)
- $t_{s1}$  : 冷媒入口飽和温度 (°C)
- $t_{s2}$  : 冷媒出口飽和温度 (°C)
- $D_e$  : 環状部相当直径 (m)
- $k$  : 冷却水熱伝導率 (kW/mK)
- $D$  : シェル内径 (m)

- $d$  : 供試管外径 (m)
- $Re$  : 冷却水レイノルズ数
- $Pr$  : 冷却水プラントル数
- $A$  : 供試管外表面積 (m<sup>2</sup>)
- $F$  : 供試管内流路面積 (m<sup>2</sup>)
- $\Delta h$  : 冷媒エンタルピー差 (kJ/kg)

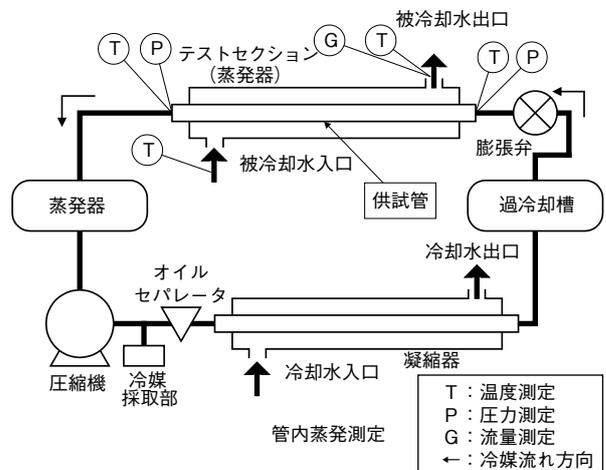
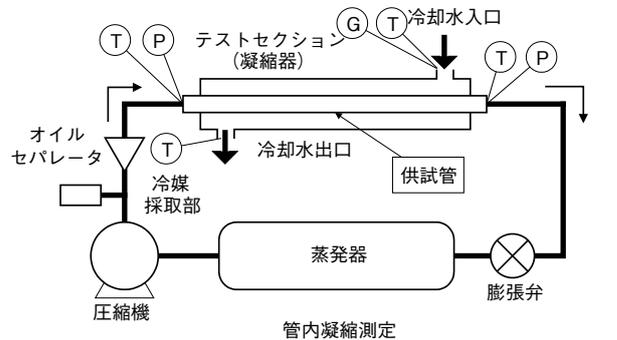


図2 測定装置のフローシート  
Flow sheet for experimental apparatus.

表2 実験条件  
Test conditions.

凝縮		蒸発	
冷媒平均飽和温度	48℃	冷媒平均飽和温度	5℃
冷媒入口過熱度	35℃	冷媒入口乾き度	0.21
冷媒出口過冷却度	5℃	冷媒出口過熱度	5℃
伝熱管有効長さ	4 m		
使用冷媒	R410A (R32/R125, 50/50 mass%)		

また、代替フロンは混合冷媒であるため実験中に圧縮機出口部の冷媒採取部で冷媒を採取し、ガスクロマトグラフにより冷媒組成比を測定しながら実験を行った。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 LFタイプの管内凝縮熱伝達率

図3に各供試管の管内凝縮熱伝達率測定結果を示す。LFタイプとNormalタイプの凝縮熱伝達率を比較するとLFタイプの性能が向上しておりリード角が28°以上の供試管にその傾向が顕著に現れている。また表1より、管内表面積比率の値がほぼ等しいNormal-1とLF-1およびNormal-2とLF-3についてそれぞれ比較すると、冷媒流速300 (kg/m<sup>2</sup>s)において前者の性能向上率は7%であるのに対して後者は36%向上していた。この結果より管内表面積が同じ場合でもリード角が大きくなるほど性能向上効果が大きくなっている。

##### 4.2 管内表面積によるLFタイプの凝縮熱伝達率

図4に管内伝熱面積増加率と管内凝縮熱伝達率の関係を示す。リード角20°以下のNormalタイプ内面溝付管の性能は内表面積の増加に比例して向上している。これに対してLFタイプはリード角の影響により、その挙動が明らかに変化しているのが観察される。特にリード角24°のLF-1の性能向上は、リード角増加に伴う内表面積向上分にはほぼ相当するのに対し、リード角28°以上のLF-2～LF-4は内表面積向上分以上の効果が観察された。このような現象の原因として凝縮液冷媒の流動様式が挙げられる。凝縮した液冷媒はリード角に沿って水平に設置された供試管上部にまで持ち上げられ環状流となり流れていく。この時、高リード角管では溝内を流れる冷媒に対する重力の影響が大きくなり低リード角管と比較すると管上部における冷媒液膜厚が薄くなり熱伝達が促進されるものと推測される。しかし、図3よりリード角24°の供試管には顕著な性能向上効果が現れていないため、上記以外の要因が存在するものと考えられる。

本実験の結果からは、高リード角化による性能向上効果を効率的に得るためにはリード角を28°以上にすることが必要であることが判明したが、実際にはリード角の影響が顕著に現れるポイントが24°～28°の間にあると考えられる。今後はこの範囲における性能の検証および検討を詳細に進めていく必要がある。

##### 4.3 LFタイプの管内蒸発熱伝達率

図5に各供試管の管内蒸発熱伝達率測定結果を示す。LFタイプとNormalタイプの蒸発熱伝達率を比較するとLF-4の性能はNormal-1比で16%向上していたが、凝縮熱伝達率測定結果

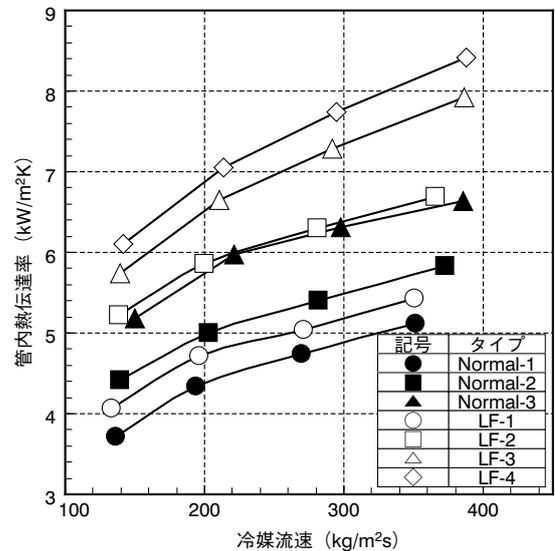


図3 外径7mm伝熱管の管内凝縮熱伝達率  
Inside condensing heat transfer coefficient of φ7mm Multi-Grooved Tubes.

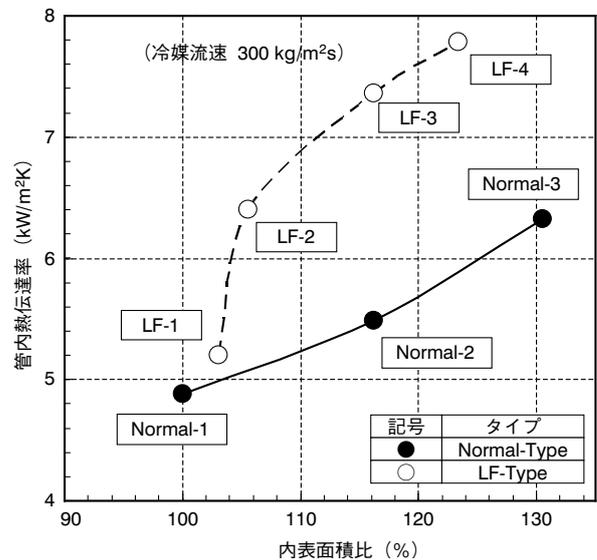


図4 内表面積比における管内凝縮熱伝達率  
Effect of inside surface area ratio on inside condensing heat transfer coefficient.

のような顕著な差は観察されなかった。

##### 4.4 管内表面積によるLFタイプの蒸発熱伝達率

図6に管内伝熱面積増加率と管内凝縮熱伝達率の関係を示す。LFタイプとNormalタイプはともに内表面積の増加に比例して性能が向上していた。高リード角化に伴う若干の性能向上が観察されたが凝縮時ほど顕著ではなく、LFタイプとNormalタイプの性能曲線はほぼ重なっている。このような傾向は液または気体の単相流における熱伝達で観察され、蒸発における冷媒流動様式が単相流と酷似した状態であることが要因と考えられる。

参考文献

- 1) 森康敏, 山本孝司, 住友哲也, 橋爪利明: 伸銅技術研究会誌, 40 (2001), 80.
- 2) 山本孝司, 橋爪利明, 住友哲也: 古河電工時報, No.99,(1996), 23.

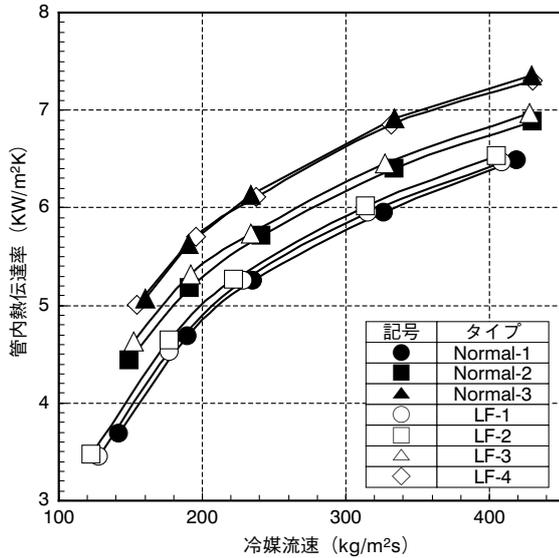


図5 外径7 mm 伝熱管の管内蒸発熱伝達率  
Inside evaporating heat transfer coefficient of  $\phi$  7 mm Multi-Grooved Tubes.

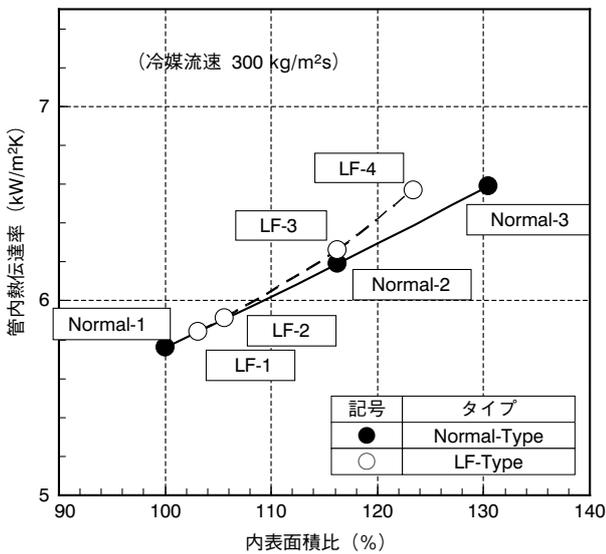


図6 内表面積比における管内蒸発熱伝達率  
Effect of inside surface area ratio on inside evaporating heat transfer coefficient.

5. まとめ

本報はLFタイプ高性能内面溝付管(高リード角内面溝付管)開発のため、リード角を変化させた伝熱管についてR410A冷媒を用いて性能評価を実施したものである。その結果、以下に示す知見を得ることができた。

- (1) 凝縮性能は内表面積が同じでも、リード角が大きくなるほど向上する。
- (2) 高リード角化による凝縮性能向上効果はリード角を28°以上にすると顕著である。
- (3) 蒸発性能は主に内表面積に依存し、リード角を大きくしても内表面積増加以外の効果は小さい。