

特集 | カーエアコン用熱交換器の最新技術*

The Latest Heat Exchanger Technology for Automobile Air Conditioning System

大原 敏夫
Toshio OHARA

山本 道泰
Michiyasu YAMAMOTO

神谷 定行
Sadayuki KAMIYA

Along with advance in vehicle comfort and fuel economy, the demand for greater compactness and higher performance in automobile heat exchangers has grown even more intense. We have been aiming to improve evaporators, heater cores and condensers by refining the tubes and fins or developing a multipath type. The development of technology in terms of production as well as heat exchanger design was inevitable for the realization of this aim. The further innovation of such production technology is a key factor in developing more compact heat exchangers or improving their performance in the future.

Key Words : Heat Exchanger, Euaporator, Condenser, Heater Core

1. 緒言

自動車の快適性や燃費の向上とともに、熱交換器のコンパクト化や高性能化に対する要求は高まる一方である。自動車に用いられる熱交換器としては、エンジン冷却システム、駆動、トランスミッション系に使われるラジエータ、オイルクーラ、インタークーラと、カーエアコンに用いられるエバポレータ、コンデンサ、ヒータコアなどが代表的である(Fig.1)。ここでは、カーエアコンに用いられる熱交換器に焦点を当てて、最近の熱交換器の技術動向について紹介する。

エバポレータ、コンデンサ、ヒータコアとも主な性能向上手段は、チューブの偏平化や微細化、フィンの微細化そして多パス構造の採用である。これらを実現するためには、伝熱技術だけでなく、加工技術や材料技術の進歩が不可欠であった。材料技術とは、高強度、高耐食薄肉材の開発であり、加工技術とは、超微細押し出し技術や超精密プレス技術である。これら生産技術の技術革新が将来の熱交換器の更なるコンパクト化や性能向上のかぎを握るといっても過言ではない。

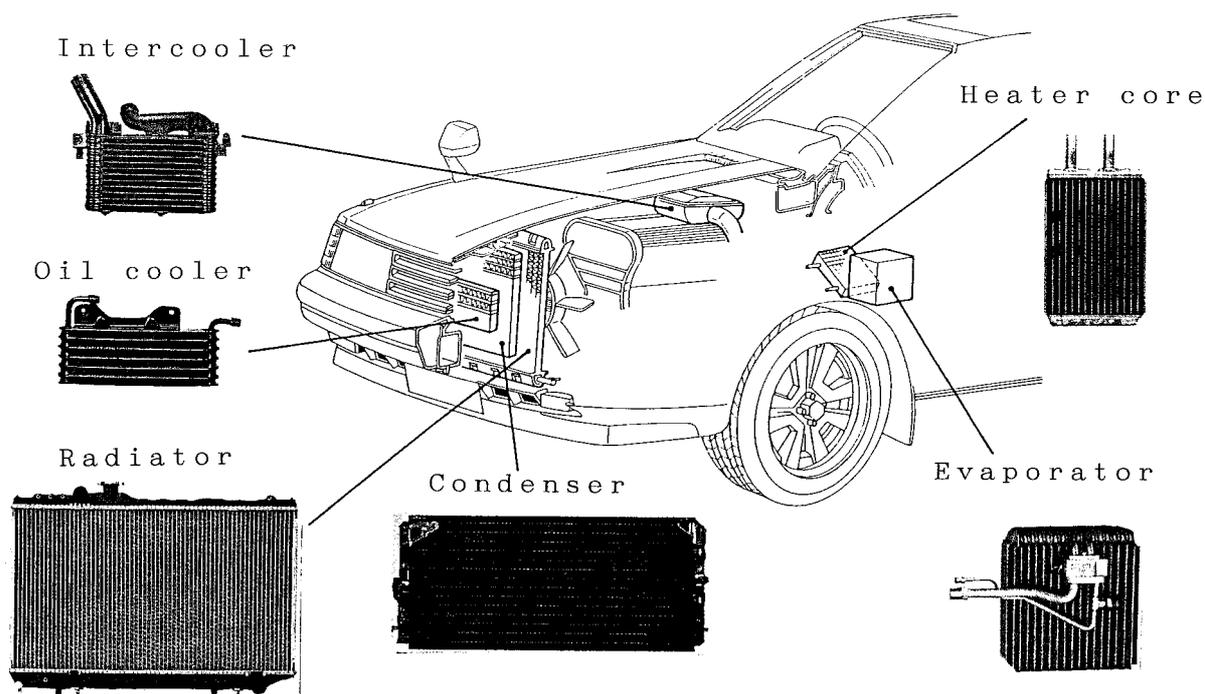


Fig.1 Heat exchangers for vehicle

Begell House, Inc.の了解を得て、Proceedings of the International Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process industries(1999.7)より和訳し加筆転載

2. エアコンシステムの構成

自動車用エアコンシステムの構成をFig.2に示す。コンデンサはコンプレッサで圧縮された高温、高圧のガス冷媒を冷却、液化する役割を持つ。エバポレータは、この液冷媒を蒸発させ、空気を冷却、除湿する役割を持つ。ヒータコアは、エンジン冷却水を利用し空気を加熱する。この加熱された空気はエバポレータで冷却された空気と混合し、適当な温度で車室内に送り込まれる。コンデンサは、冷凍サイクルの高圧を支配するので、省動力化のためにその高性能が求められている。一方、エバポレータとヒータコアは車室内に置かれるためコンパクト化が強く要求されている。

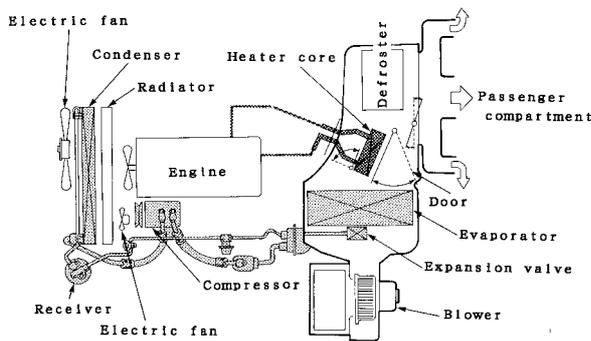


Fig.2 Construction of automotive air-conditioning system

3. エバポレータの改良技術

Fig.3は、当社のエバポレータの改良推移を示している。1970年代に主流だったフィンアンドチューブタイプは、その後サーペンタインタイプに置き換わり、最近の主流はプレートフィンタイプである。このプレートフィンタイプも更に改良されて現在に至っており、過去20年の間に性能同一ベースの体積は1/3まで減少した。

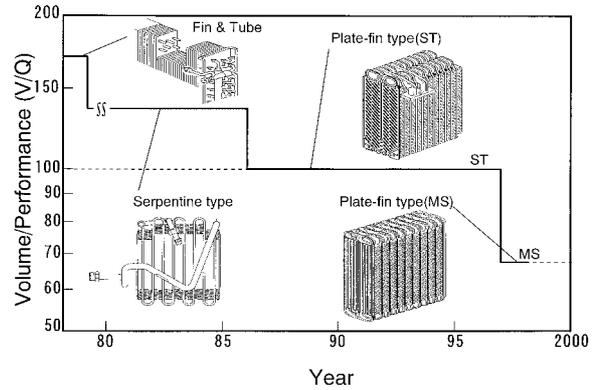


Fig.3 Progress of evaporator

それぞれのエバポレータの改良のポイントをFig.4に示す。サーペンタインタイプでは、フィンアンドチューブタイプの丸型チューブを偏平な多穴チューブに置き換え、通風抵抗の低減と冷媒側熱伝達率の向上を図った。更に、ルーバ付のコルゲートフィンを採用し、空気側熱伝達率を大幅に向上させた。

	Fin & Tube	Serpentine	Plate-fin(ST)	Plate-fin(MS)
Out View				
Core Details				
Improvement point	—	① Flattened pipe is used. ② Corrugated fin is used. ③ Fin efficiency is improved.	① Tube is flattened. ② Cross rib is used. ③ Height of fin is reduced. ④ Multi-pass flow ⑤ Single tank is used.	① Drainage is improved. ② Tube is flattened. ③ Inner fin is used. ④ Refrigerant circuit is improved. (New refrigerant circuit)
Core depth	125	105	90	58
Cooling Performance	75	90	100	100

Fig.4 Main points in evaporator improvements

また、ろう付けによってフィンとチューブの接触熱抵抗を低減した。STプレートフィンでは、フィン高さの縮小によりフィン効率が向上し、チューブ内のクロスリブ構造により冷媒側熱伝達率を向上させた。更に、前後Uターンの冷媒流れの採用により、タンクを片側だけにすることにより、タンクスペースの低減を図った。MSプレートフィンでは、チューブ内にインナフィンを挿入し冷媒側伝熱面積の大幅向上を達成した。

Fig.5にインナフィンの効果を示す。

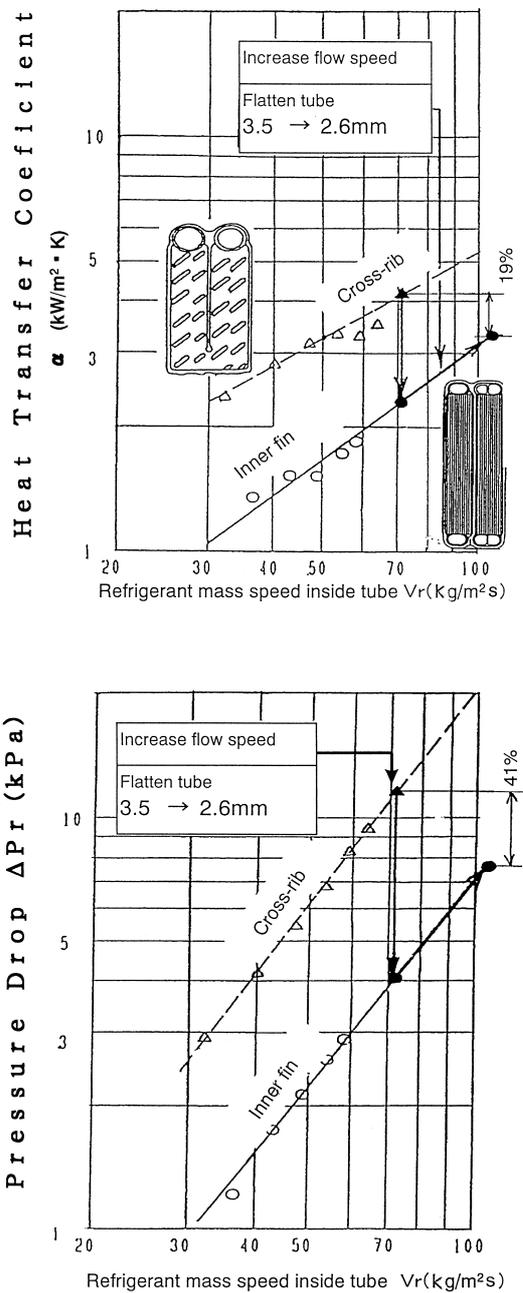


Fig.5 Effects of inner fin

質量速度が同じ場合、インナフィン付流路の冷媒側熱伝達率はクロスリブ付流路の半分しかない。しかし、流動抵抗もクロスリブ付流路の約1/3である。従って、インナフィン流路の熱伝達率は、流路を偏平化して管内流速を増すことにより向上させることが可能である。その結果、熱伝達率と伝熱面積の積はインナフィン流路のほうがクロスリブ付流路よりも勝り性能向上約7%を得ることができる。

次に新しい冷媒回路について述べる。STプレートフィンタイプのUターンフローをFig.6に示すが、エバポレータの出口近傍の過熱ガス域を通過する空気は十分冷却されず、結果として吹き出し温度は上昇する。

この理由は、Fig.7左に示すように、Uターンフローの場合、過熱ガス域が拡大するとそこを通過する空気は十分冷却されない。これを改良するために冷媒流路を空気の流れ方向に独立した2つのセクションに分け、過熱ガス域が空気の流れ方向に重ならない構造を考案した。

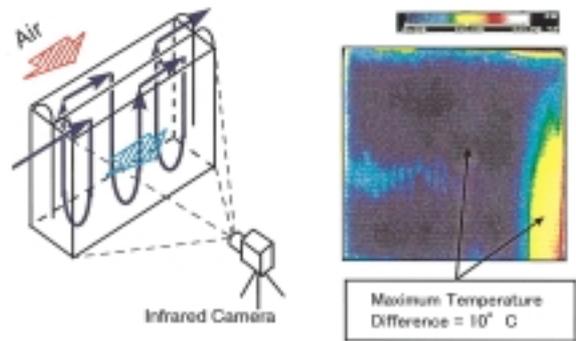


Fig.6 Outlet air temperature distribution

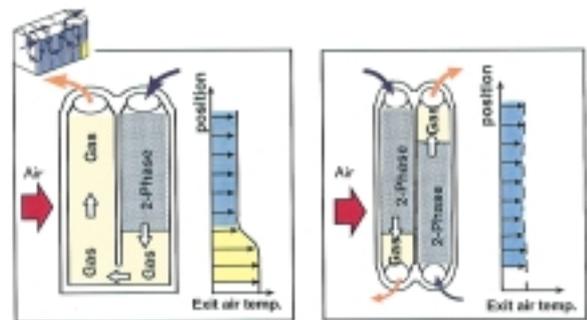


Fig.7 Cause of uneven temp. distribution and countermeasure

更に、タンク内の冷媒分配特性として、上タンクから下へ向かうチューブ群への分配の場合、液冷媒の重力の影響で入口付近の多くの液冷媒が流れる傾向にあり、一方、下タンクから上向きチューブ群への分配の場合は、液冷媒の慣性力により入口から遠い方が多くの液冷媒が流れる傾向を持つ。

この2つの特性を組み合わせると、Fig.8左の冷媒回路では、エバポレータ中央に液冷媒の不足した領域が発生し、これが空気の通過方向に重なることで、中央部を通過する空気は十分冷却されず、出口空気温度は周りより高くなる。これを回避するために、Fig.8右のような冷媒回路を考え、液冷媒欠乏域が空気の通過方向に重ならないようにした。

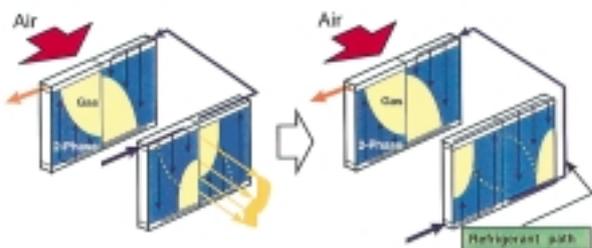


Fig.8 Concept of new refrigerant circuit

この結果Fig.9右に示すように、エバポレータ出口空気温度の均一化を達成することができた。

Fig.10は、STプレートフィンおよびMSプレートフィンの外観ならびに、チューブの写真である。

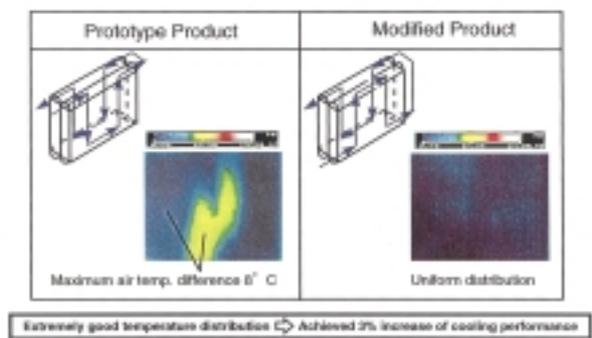
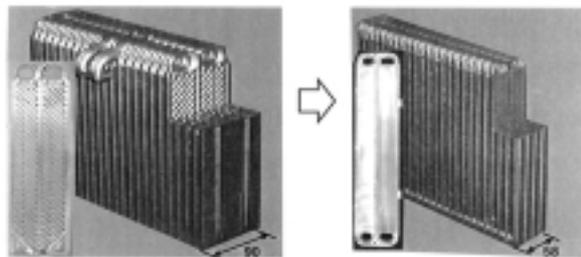


Fig.9 Effect of new refrigerant circuit

4. ヒータコアの改良技術

Fig.11に当社のヒータコアの小型化の推移を示す。ヒータコアは、コルゲートフィンと偏平チューブから構成されており、1975年に比べ現在までに同一性能当たりの体積が40%まで小型化された。



ST plate-fin

MS plate-fin

Fig.10 Photographs of evaporator

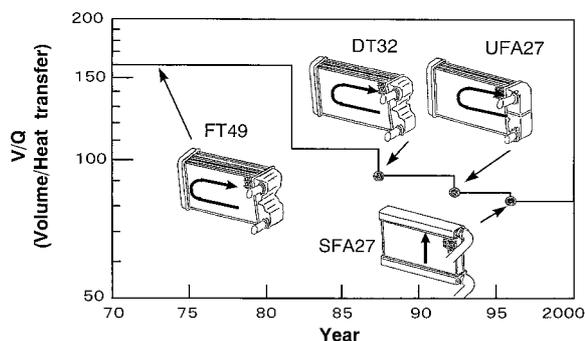


Fig.11 Progress of heat core

Fig.12に、そのヒータコアの改良のポイントを示す。DT32は、チューブ内壁にディンプルを採用し、乱流効果により水側熱伝達を向上させた。更に、フィンのルーバ長さの縮小とフィンピッチの縮小により空気側熱伝達率を向上させた。UFA27では、ディンプル付チューブに代わり偏平平滑チューブを採用し、そのチューブの偏平度増加により水力直径を縮小し層流域の熱伝達率を向上させた。SFA21は更にチューブの偏平度を増すことで水側熱伝達率を向上させたが、同時にUターンフローから全パスフローに変更して流動抵抗の増加を抑制した。

Fig.13は、偏平平滑チューブの効果を示している。ディンプルチューブの場合、かく乱効果の増大とともに熱伝達率は向上するものの、流動抵抗も増加する。流動抵抗を下げるために水側流速を落とすと熱伝達率も低下してしまい、性能向上効果は得られない。

一方、平滑チューブの場合、偏平度の増加とともに熱伝達率は増加する。当然、流動抵抗も増加するが、この抵抗を減らすために流速を落としても、熱伝達率はほとんど低下しない。これは、層流域の熱伝達率は流速に依存しないという特性を利用したものである。その結果、ヒータコアの性能向上の効果を得ることが

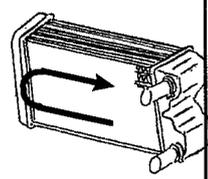
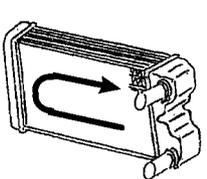
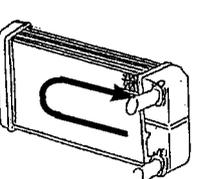
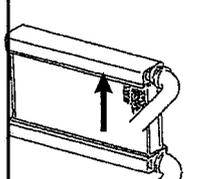
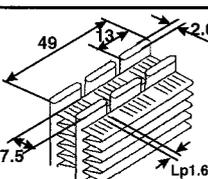
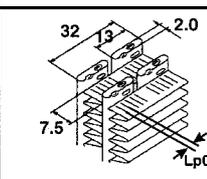
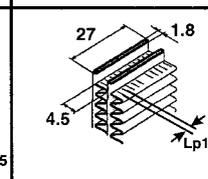
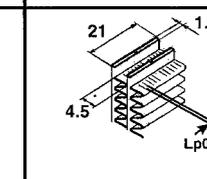
	Plate fin	Plate fin	Plate fin	Plate fin
	FT 49	DT 32	UFA 27	SFA 21
Out View	 Brass & Copper	 Brass & Copper	 Aluminum	 Aluminum
Core details	 49, 13, 2.0, 7.5, Lp1.6	 32, 13, 2.0, 7.5, Lp0.75	 27, 1.8, 4.5, Lp1.0	 21, 1.4, 4.5, Lp0.8
Point for improvement		Turbulent effect of dimple Reduction of louver pitch	Flatten tube Reduction of height of fin	Flatten tube Reduction of louver pitch Total path flow
Core depth	49	32	27	21
Performance	100	100	105	105

Fig.12 Main points in heater core improvements

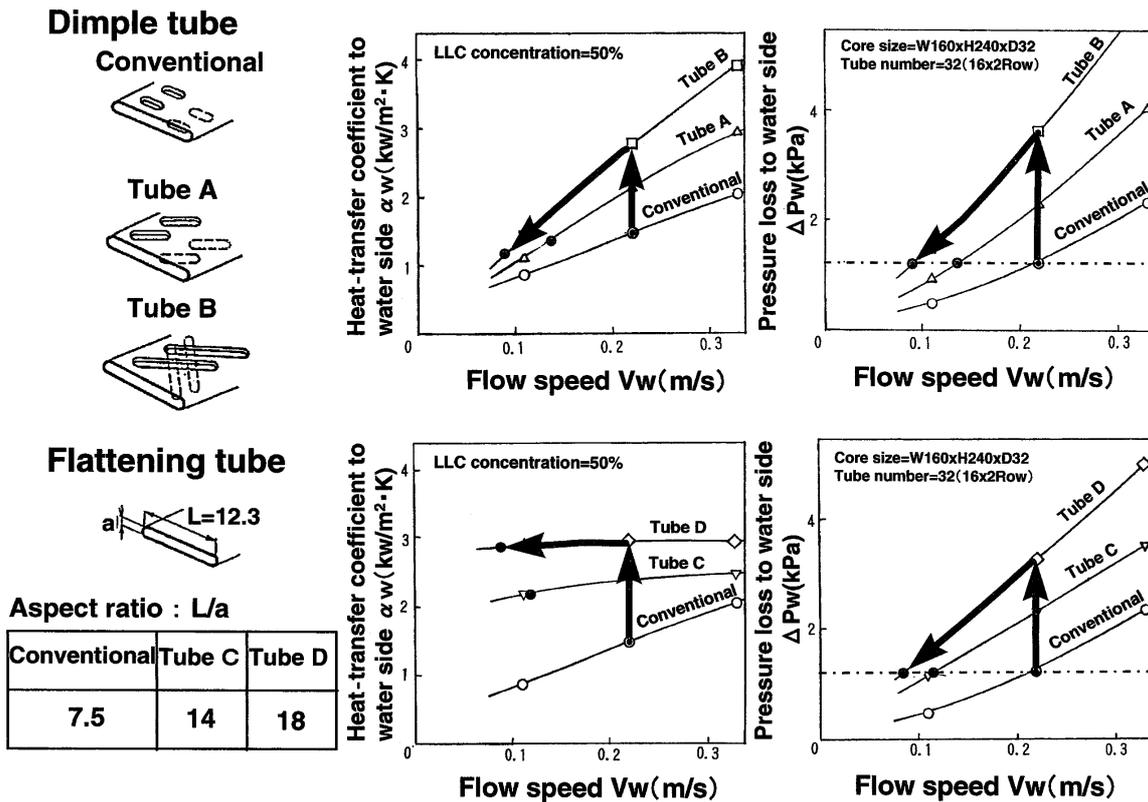


Fig.13 Effect of turbulator and flattening tube

できた。

Fig.14は全パスフローの考え方を示している。前述のように、チューブの偏平化は熱伝達率を増加させるが同時に流動抵抗も増加させる。流動抵抗を減らすため、流速の低減が必要であるがこれを実現する手段がUターンフローから全パスフローへの転換である。ここで特筆すべきは、全パスフローにして流速が低下しても熱伝達率がほとんど低下しないことである。

Fig.15は、UFA27とSFA21の外観写真である。

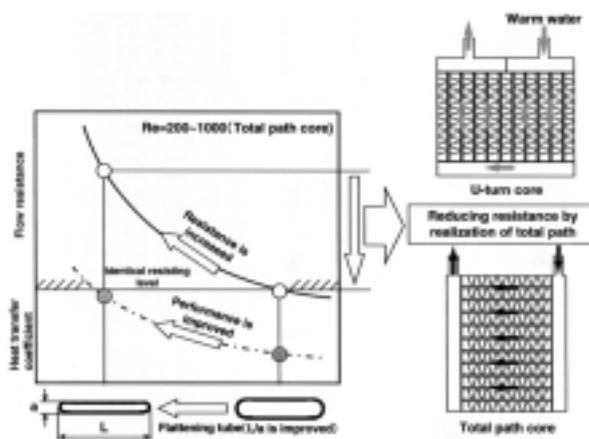


Fig.14 Concept of total path flow

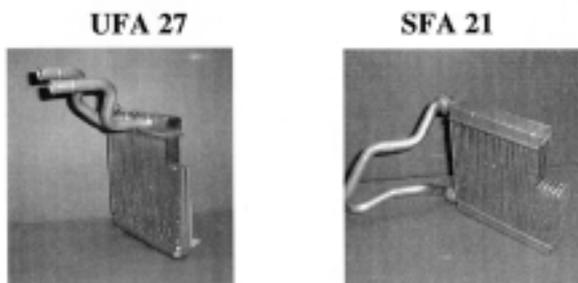


Fig.15 Photographs of heater core

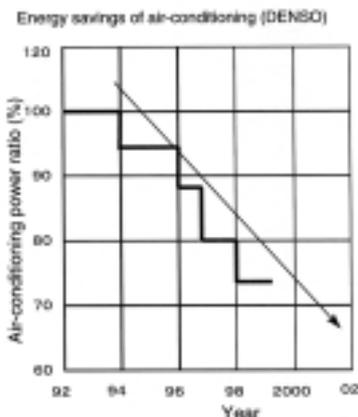
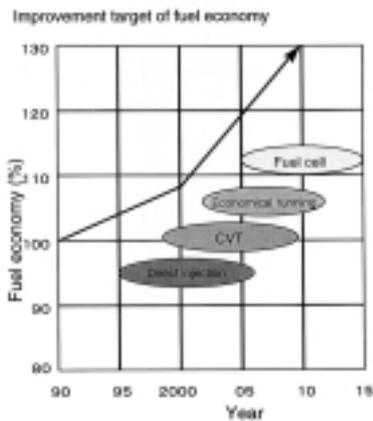


Fig.16 Demand for condenser

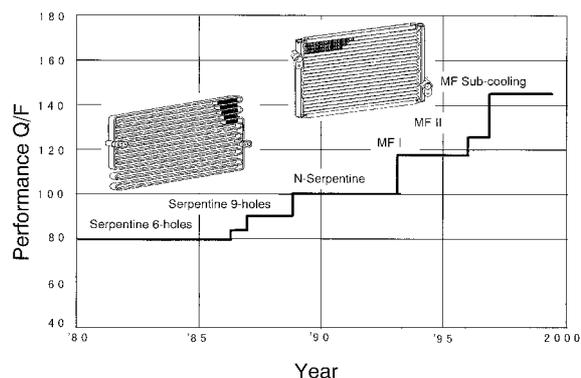


Fig.17 Progress of condenser

5. コンデンサの改良技術

Fig.16に示すように、今後自動車の省燃費化はどんどん進み、それにつれてカーエアコンの省動力化のニーズは高まってくる。前述のようにカーエアコンの動力低減の手段としてコンデンサの高性能化は極めて有効な手段である。

Fig.17は当社のコンデンサの性能向上の推移を示している。過去20年の間に同一正面面積当たりの性能は1.8倍にも向上した。

コンデンサのおもな改良ポイントをFig.18に示す。2パス、3パスのサーペントタイプからマルチフロータイプに転換し、冷媒側の圧力損失を低減した。更に、偏平多穴チューブの改良により冷媒側熱伝達率を向上させ、フィン高さの縮小によりフィン効率を向上させた。

チューブの微細加工技術はコンデンサの性能向上の大きな要因になっていることをFig.19に示す。

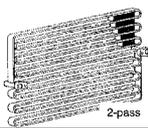
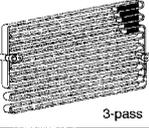
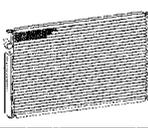
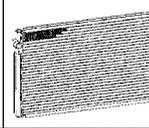
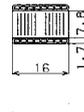
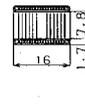
	Serpentine	N-Serpentine	Multiflow I	Multiflow II
Out View				
Core Details				
Point for improvement	—	Reduce height of fin → Fin efficiency is improved Fine louver Fine tube hole	Reduce height of fin → Fin efficiency is improved Fine louver Fine tube hole Multi-flow type	Super-fine tube hole Enlarge cutting length of louver Multi-flow type
Core depth	22	22	16	16
Cooling Performance	90	100	118	125

Fig.18 Main points in condenser improvement

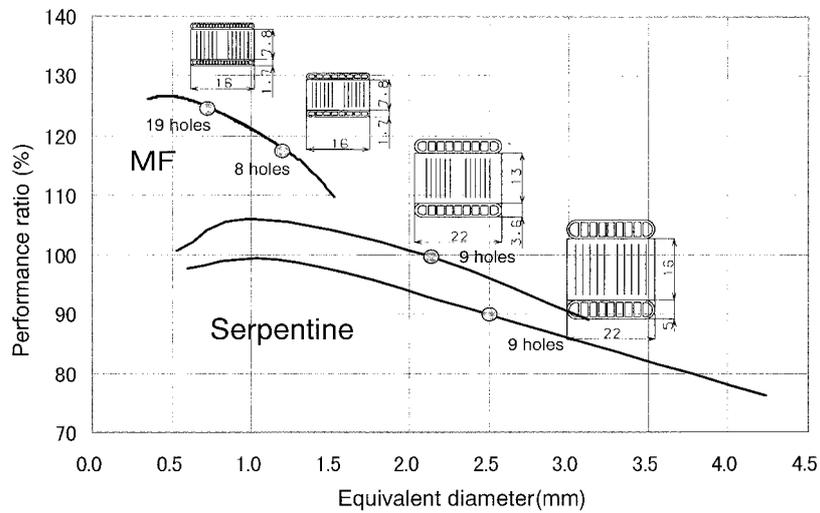


Fig.19 Realization of fining condenser tube

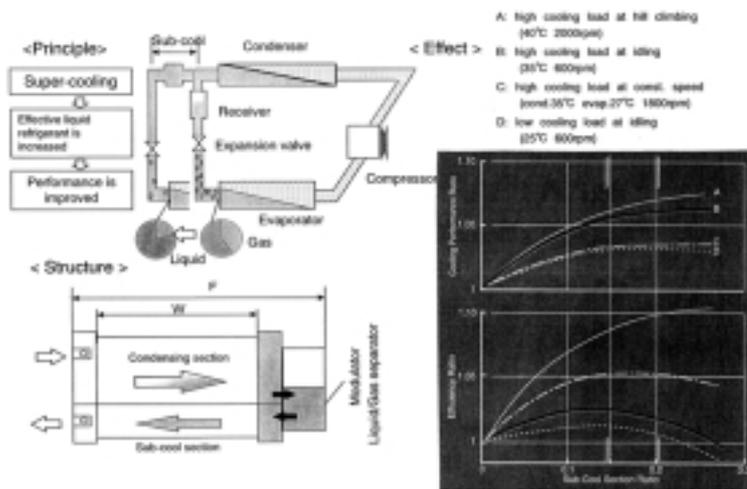


Fig.20 Concept of sub-cool condenser

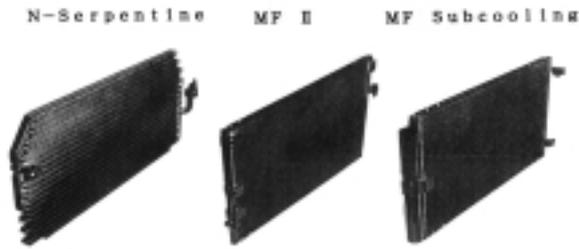


Fig.21 Photographs of condenser

コンデンサの最新技術はFig.20に示すサブクール機能の一体化である。従来のコンデンサは、コンプレッサで圧縮された高温、高圧のガス冷媒を冷却、液化しているが、サブクーラー一体型は、液冷媒を過冷却の状態まで冷却することでシステム効率の向上を図っている。このコンデンサの構造は、凝縮部と気液分離室と過冷却部(サブクール部)を一体にしたものである。その効果は、システムの運転条件によってさまざまであるが、高負荷アイドリング条件で5%のシステム効率向上が得られた。

Fig.21にサーペントタイプ、マルチフロータイプ、サブクールタイプの各コンデンサの外観写真を示す。

6. 結言

- 1) 過去20年間でカーエアコン用熱交換器は体積、重量が1/2から1/3まで縮小した。
- 2) これらの熱交換器の高性能、小型、軽量化のキー技術は以下のようなものである。
 コアマトリックスの細密化、すなわち、フィン高さ、チューブ厚さ、フィンピッチの縮小。これらは高耐食、薄肉材の開発によって実現できた。
 多パス化による管内側圧力損失の低減
 ルーバフィンの高性能化
 チューブ流路の微細化による管内側熱伝達率の促進
 冷媒ディストリビューションの改良
- 3) 精密加工技術、ろう付け、高耐食、高強度薄肉材の実現が熱交換器の進歩に大きく貢献してきた。これら技術は今後の熱交換器の発展にとっても不可欠である。

< 参考文献 >

- 1) 大原敏夫：“高性能熱交換器の開発”，SAE Trans.,97-4,11988, 25-35.
- 2) 神谷定行他：“高性能熱交換器の開発”，SAE Paper 980058.

< 著 者 >



大原 敏夫
(おおはら としお)

冷暖房開発2部
熱交換器の開発，設計に従事。
工学博士



山本 道泰
(やまもと みちやす)

冷暖房開発2部
熱交換器の開発，設計に従事。



神谷 定行
(かみや さだゆき)

冷暖房開発2部
熱交換器の開発，設計に従事。