

論文 クーリングモジュールの開発*

Development of Cooling module

杉本 竜雄

Tatsuo SUGIMOTO

福田 淳

Sunao FUKUDA

武藤 聡美

Satomi MUTO

山本 道泰

Michiyasu YAMAMOTO

松浦 悟志

Satoshi MATSUURA

For vehicle cooling components, down-sizing and higher performance are major drivers in the development of these parts. Common practice dictates that the cooling module contains a separable radiator and condenser. Our recent research has been directed towards integrating the cooling module into one single unit. We have accomplished this by developing a new corrugated fin structure with insulation slits. With our new fin structure, we have succeeded in effectively preventing the heat generated at the radiator from being transmitted to the condenser. Also our new fin has made it possible to improve radiating performance.

Key Words : Heat exchanger / Radiator, Condenser, Cooling module, Insulation slits

1. まえがき

近年、乗用車の車内スペースの拡大により、エンジンルームスペースの縮小化のニーズが高まっている。

そこで車両冷却部品においても、小型・高性能が重要課題である。我々は、従来別々の部品であるエンジン冷却系ラジエータと、空調系コンデンサを一つのクーリングモジュールとして一体化することに成功した。

クーリングモジュールのコルゲートフィンには、断熱スリット構造を備えた一体フィンを採用し、温度の高いラジエータの熱がコンデンサへ伝導する現象を効果的に防止することができた。また、一体フィンの連結部分を有効活用することで放熱性能向上を図ることができた。

その結果ラジエータとコンデンサの距離を約40%縮小すると共に、ラジエータ及びコンデンサの放熱性能を10%向上することができた。

2. 研究の背景

近年の車両メーカーのニーズから車両冷却部品の開発方向について整理してみると、

- ・車室内スペース拡大 部品の小型、薄巾化
- ・ライン生産性向上 ラジエータ&コンデンサ同時搭載
- ・エアコン省動力 コンデンサ性能向上、軽量化
- ・リサイクル性向上 オールアルミ化

等があげられる。これらのニーズは1980年代後半から徐々に高まりモジュール化の研究がはじまった。*)

3. 開発の方向付けと技術課題

Fig. 1に本研究のクーリングモジュールの概略図を示す。このクーリングモジュールの最大の技術課題は、高温のラジエータの熱がコンデンサへ伝わるのをいかに防止するかであった。コンデンサに熱が伝わると、エアコンサイクル内の冷媒の凝縮性能が低下するため、冷媒の圧力が上昇する。これは、冷凍サイクルが冷媒圧力を上げて凝縮しやすくなるように変化するためである。この変化は車室内の冷房性能を低下させるだけでなく、コンプレッサの消費動力を増加させることになり、車両として燃費悪化となる。従って、すべての走行条件においてコンデンサ性能を確保することが製品化の必要条件となるわけである。

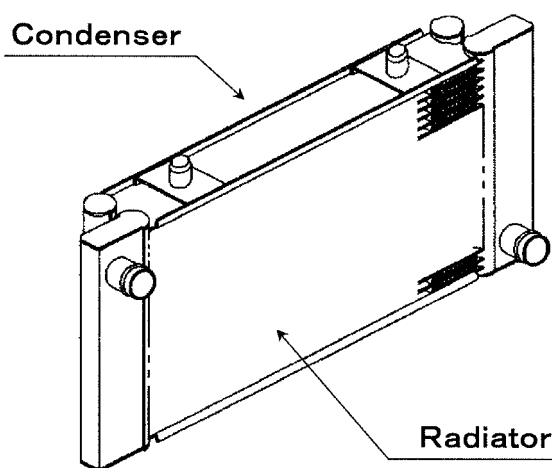


Fig. 1 Cooling module

* (社)自動車技術会の了解を得て、2000年秋季大会学術講演会前刷集・発表No.170より加筆転載

3.1 断熱方法

一体フィン(Fig2)によって、ラジエータからコンデンサへ伝わる熱量は、熱伝導に関する基礎式にて予測が可能である。熱伝導量 Q は、ラジエータとコンデンサの温度差 T 、フィン接合面積 S に比例し、伝達長さ L に反比例する²⁾

$$Q = \frac{\lambda \times T \times S}{L} \quad (1)$$

ここで、 λ はフィンの熱伝導率を表す。

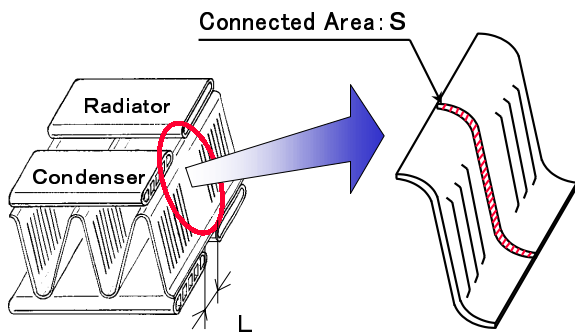


Fig. 2 Single cooling fin

基礎式(1)から、熱伝導量 Q を低減するためには、フィン接合面積 S を低下させるか、伝達長さ L を増加させることが考えられる。 L を増加させることはクーリングモジュールの巾を増加させることになり、またフィン使用材料も多くなる。従って、フィン接合面積 S を低下させる方向で検討を行なうこととした。

前提条件として、夏場の高負荷走行条件を想定し、ラジエータの温度 100°C 、コンデンサの温度 60°C 、 $T = 40\text{deg.}$ として検討することとした。Fig. 3は、コンデンサ放熱量 Q_0 に対する熱伝導量 Q の割合を、フィン全接合面積 S_0 に対するフィン接合面積比率(S/S_0)で示した。

Fig. 3から、ラジエータとコンデンサの連結部に従来発想のルーバやスリットを設けたレベルでは、加工限界によって接合比を30%以下にはできず、熱伝導割合を20%以下にすることは不可能であった。

そこで、コルゲートフィンが波状の連続したフィンであることに着目し、例えばフィン5山おきに接続部が存在する形状(断熱スリット構造)を考えてみた。この形状であれば、大幅な熱伝導低減が可能となり、更にラジエータとコンデンサの間隔 L を小さく(薄巾化)する方向での検討が可能となる。このように、フィン数山おきに接続部が存在する形状のため、3次元熱伝

導解析を用い、熱伝導量 Q を精度良く定量化することとした。

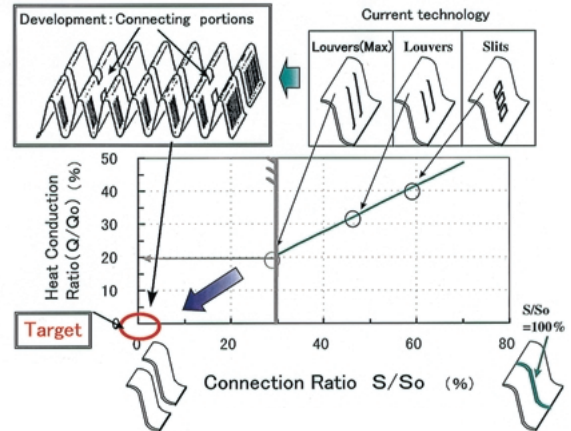


Fig. 3 Heat conduction ratio

3.2 解析結果

解析モデルをFig. 4に示す。モデルは対象性を考慮してフィンの半分を基本モデルとした。Fig. 5に解析結果の例を示す。フィンが一体の場合(図中央: 結合率 $S/S_0=30\%$)、ラジエータからの熱がフィンを介して伝導しコンデンサチューブの温度を上昇させている。これに対し、フィン数山おきに接続部を設けた場合(図右: 結合率 $S/S_0=10\%$)では、熱伝導が減少している。解析結果をまとめると(Fig. 6)、フィン結合比2%以下とすることで、コンデンサへの影響度合い Q/Q_0 を1%以下とできる。

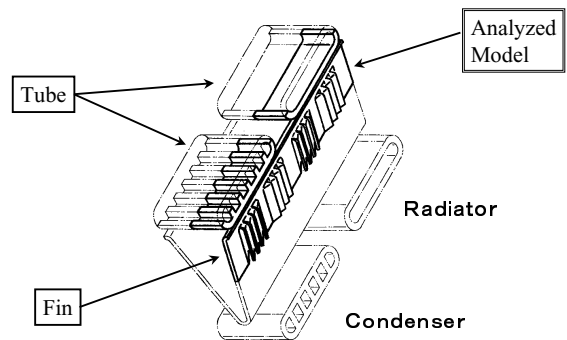


Fig. 4 Analyzed model

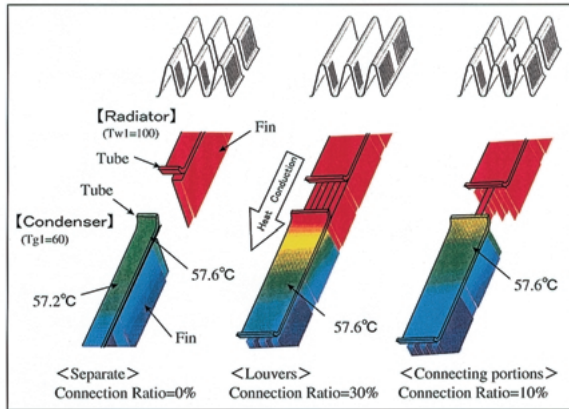


Fig. 5 Example of analysis

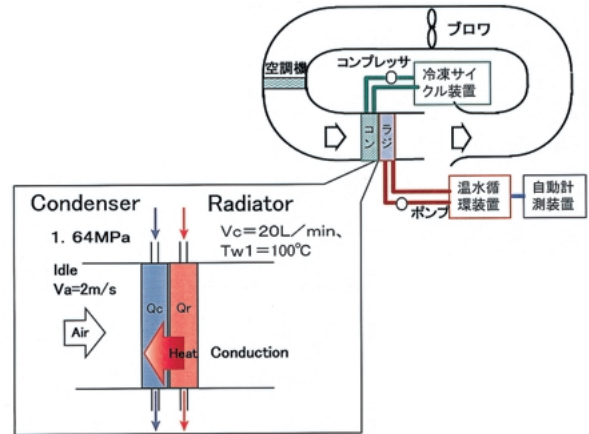


Fig. 7 Experiment device

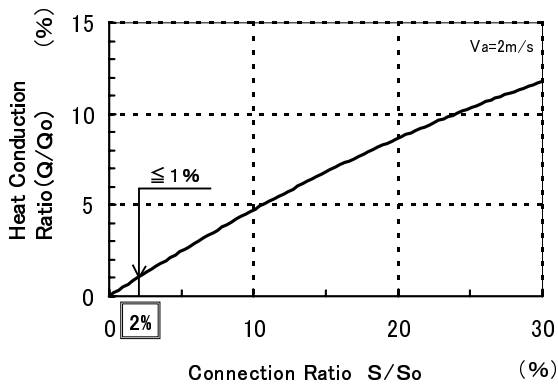


Fig. 6 Result of analysis

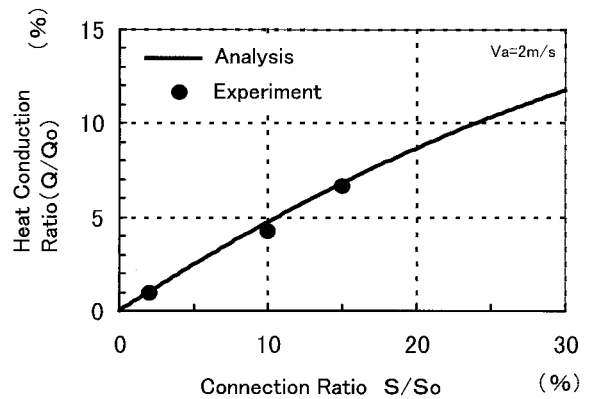


Fig. 8 Result of Experiment

3.3 ベンチ評価結果

フィン結合比 2%、10%、15%の試作品を製作しベンチ評価を行なった。ベンチは冷凍サイクルと温水を供給できる回流式風洞装置とし、コンデンサ及びラジエータの性能を同時に解析可能な実験装置を開発した。(Fig. 7)

Fig. 8は、評価結果を解析結果 (Fig. 6) にプロットしたものである。Fig. 9は、風速を水準にとり評価を行なった結果である。これらの結果から解析結果と評価結果は良く一致しており、また熱伝導防止に対する断熱スリット構造の有効性が確認できた。

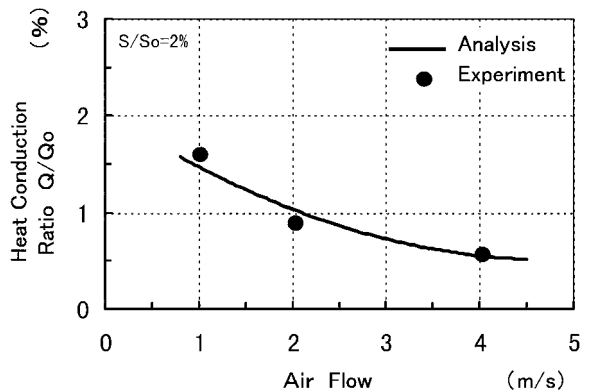


Fig. 9 Result of experiment

4. フィン連結部の仕様検討

一体フィンにおける 2 番目の課題は、フィン連結部の仕様検討である。フィン連結部分での通風抵抗増加を抑え、かつフィンの放熱面積として有効活用できる仕様検討 (Fig. 10) が重要である。

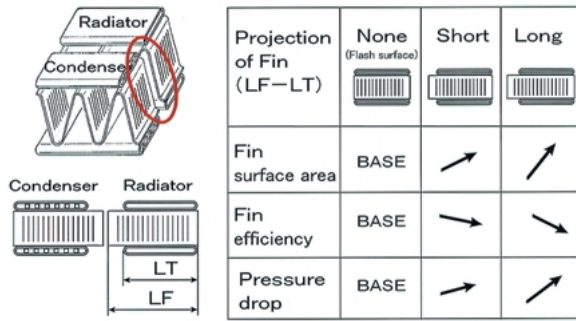


Fig. 10 Fin structure

フィン連結部分を長くすると通風抵抗が増大し、ラジエータ及びコンデンサの性能低下を招く。またフィン使用材料も多くなりコストアップにつながるだけでなく、熱交換器の巾も増大し、重量増加と車両搭載性を悪化させる。

一方フィン連結部分の長さを適当な長さになれば、フィンに配設できるルーバ枚数を増加でき、またフィンの放熱面積増加と合わせて、フィンからの放熱性能を向上できる^{3)・5)}。このためには、ルーバ枚数を増加させた場合のフィン熱伝達率の向上効果と、通風抵抗の増加における性能への影響等を考慮した検討が必要となる。

4.1 解析結果

解析モデルをFig. 11に示す。モデルはラジエータ側の例である。解析パラメータは、フィンの巾とルーバ枚数等であり、使用材料あたりの最大性能を發揮できるフィン最適仕様について検討をおこなった。

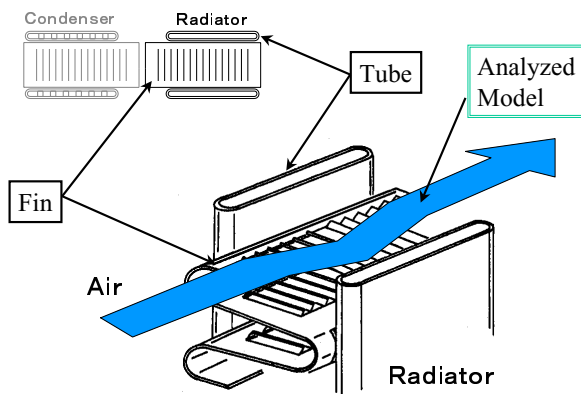


Fig. 11 Analyzed model

ラジエータの検討結果をFig. 12に示す。ラジエータチューブ巾LTに対するフィン巾LFの比が1.15、ルーバ枚数14枚が最適である。また、ルーバ枚数を

16枚に増加しても、通風抵抗が増加し効果が無いことがわかった。同様にコンデンサについても検討を行った。

なお、解析に用いたフィンルーバ部における冷却風流れと熱伝達率、フィン効率の検討例をFig. 13に示す。

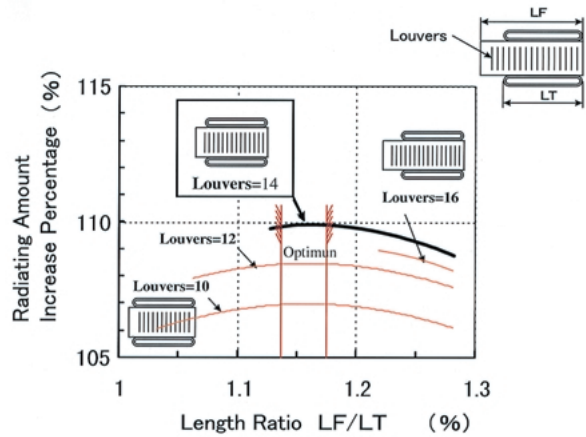


Fig. 12 Result of analysis

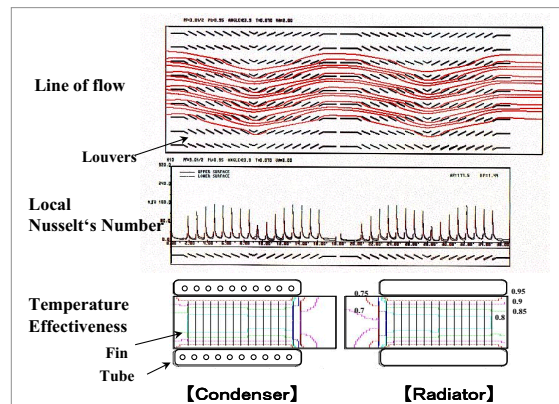


Fig. 13 Example of analysis

5. 性能評価結果

実験車両は、FF駆動で、排気量2リットルのガソリンエンジン車とした。本製品は薄巾化されているため、車両への取付けは、Fig. 14.に示すようにコンデンサ前方をベース車両と合わせるように搭載した。

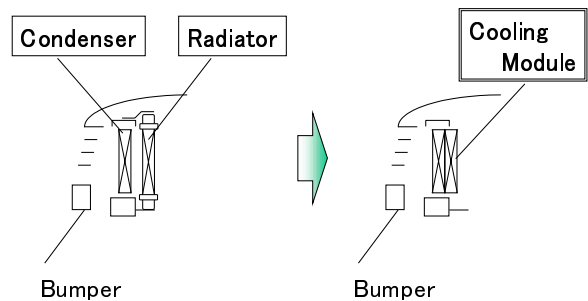


Fig. 14 Cooling module on car

評価条件は、冷房性能が最も要求させる夏場のアイドル条件、冷却性能が最も要求される夏場の低速登坂走行条件と、夏場の高速走行条件を想定しておこなった。その評価した結果をFig. 15.に示す。本製品は全ての条件で冷房性能と冷却性能が向上できていることが分かる。

アイドル時のエアコン性能は、コンデンサ性能向上約10%分に相当し、コンプレッサ動力を約2.5%低減できる。また登坂時の冷却性能は、ラジエータ性能向上約10%分に相当する効果を実車で確認することができた。

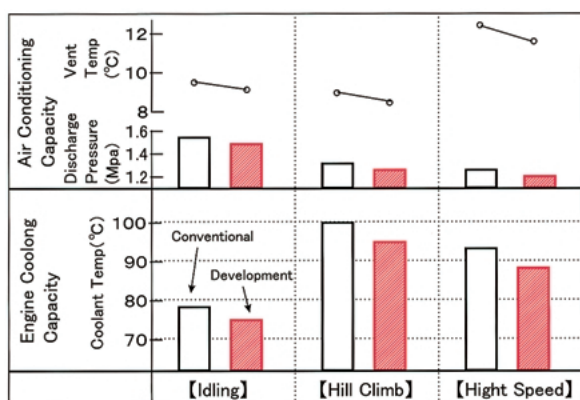


Fig. 15 Result of experiment

6. 製品概要

開発した製品の外觀および、一体断熱フィンを用いた構造をFig. 16に示す。製品はラジエータ及びコンデンサを一体化して製作したオールアルミニウム合金製で、リサイクル性が大幅に向上できた。一体断熱フィンの断熱スリットはフィン接触による熱の移動を防止できる最小クリアランスとすることで熱交換器の大幅な薄巾化を達成した。また、従来品との変更点と効果をTable 1 にまとめた。

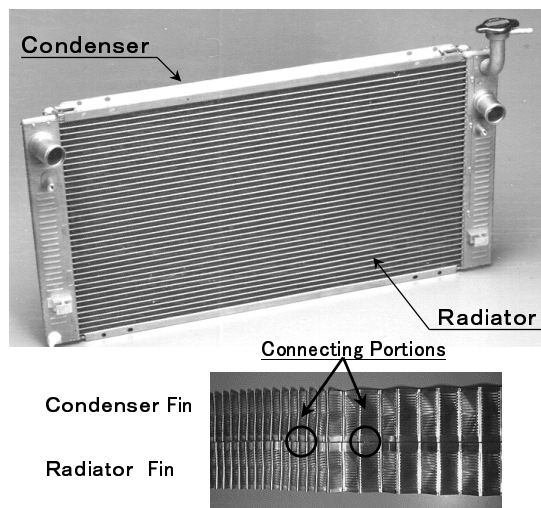
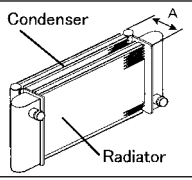
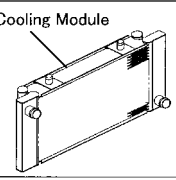


Fig. 16 Picture of cooling module

Table 1 Advantage

	Conventional Type	Developed Type
Structure		
Compactness (Dimension A)	100%	60%
Radiator Performance	100%	110%
Condenser Performance	100%	110%
Weight Reduction	100%	90%

@Same Frontal Area

7. むすび

ラジエータからコンデンサへの熱移動量を解析によって明らかにし、効果的な断熱スリット構造と、フィン連結部分の有効活用にて高性能・薄巾クーリングモジュールを開発できた。

本製品をトヨタ自動車株式会社と共同で実車に搭載して評価した結果、冷房性能、冷却性能を共に約10%向上できることが確認できた。

部品メーカーとして、更に高性能・小型化に向けた研究はもちろんのことであるが、エアコンとエンジン冷却を含めた車両冷却系システムとしての最適化に向けた取り組みに挑戦していきたいと思う。本稿が、車両冷却系システム開発・研究の一助になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) TORU ASANUMA: " ANALYSIS OF MUTUAL THERMAL EFFECTS IN RADIATOR AND CONDENSER COOLING " ; SAE 971774
- 2) 日本機械学会：伝熱工学資料，改定第4版，丸善，（1986）P5
- 3) Tsuneo Ishimaru: " Transition of Heat Exchanger for Automobile and Their Problems Text of No.586 Study Course, JSME(1984)
- 4) Michio Hiramatu: " Heat Transfer Analysis for Heat Exchanger Fin(No.2 Report Numerical Analysis of Heat Transfer Rate in Louver Fin) Lecture Papers of No.20 Japan Heat Transfer Symposium(1983)
- 5) Toshio Hirata: " Automotive Air Conditioning system Using HFC-134a Comparison of Refrigeration Cycle Characteristics of CFC-12 and HFC-134a " ; SAE 930229



<著 者>



杉本 竜雄
(すぎもと たつお)

冷却機器技術部
主にエンジン冷却用熱交換器の開発・設計に従事。



福田 淳
(ふくだ すなお)

冷却機器技術部
主にエンジン冷却用熱交換器の開発・設計に従事。



武藤 聡美
(むとう さとみ)

冷却機器技術部
主にエンジン冷却用熱交換器の開発・設計に従事。



山本 道泰
(やまもと みちやす)

冷暖房開発2部
主に空調用熱交換器の開発・設計に従事。



松浦 悟志
(まつうら さとし)

冷暖房開発2部
主に空調用熱交換器の開発・設計に従事。