

蓄熱機能付き蒸発器の開発*

Development of Thermal Storage Evaporator

長澤 聡也

Toshiya NAGASAWA

Recently, The Automobile manufacture develops Idle-Stop system car for the fuel consumption reduction. On the other hand, for comfort maintenance, there was the problem that turned on an engine. This purpose of Thermal Storage Evaporator is to achieve with the maintaining passenger comfort and fuel efficiency is 2.4% in all seasons. And we will continue to develop New Product to promote Earth-Friendly Car Society.

Key words :

Evaporator, Thermal storage material, Idle-Stop vehicle, Energy conservation, Cooling performance

1. まえがき

近年、環境に与える負荷低減を目指し、車両メーカーは燃費向上を目的とした電気自動車（EV）、ハイブリッド（HV）車、アイドルストップ（IS）車等の開発が進められている。特にIS車は従来車両からシステム変更規模が小さく、他のシステムと比較しても安価に省燃費効果が得られることから、今後は車両台数の大幅な増加が予想されている（Fig. 1）。

一方でIS車は信号待ちなどの車両停止中、エンジンと共にエアコンも作動停止することから、車室内温度が上昇すると、快適性維持のため、折角停止したエンジンを再始動させてしまっている。これが燃費向上効果の低下と停止中ユーザーが意図しないときにエンジンがかかることで、運転フィーリング悪化という実用時の課題となっていた（Fig. 2）。

このエンジン再始動の対応策として、走行時に冷風を発生する蒸発器に冷熱を蓄え、停止時にその冷熱を

利用することで、車室内の空調快適性を維持し、アイドルストップ時間を延長させる蓄熱機能付き蒸発器を開発した。本報ではその製品構想と効果について紹介する。

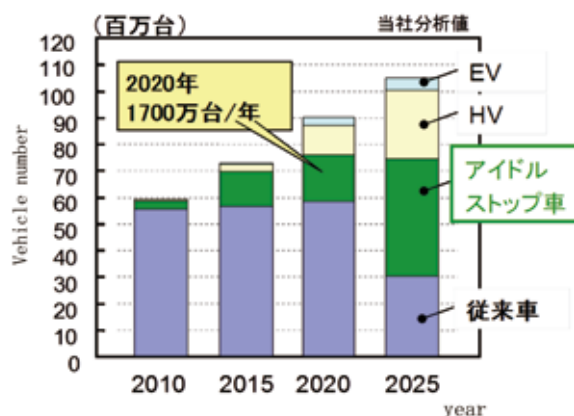


Fig. 1 Vehicle number according to the year

*日本冷凍空調学会の了承を得て、論文誌 冷凍 2017:10 Vol.092 No.1080 P653-657 より一部加筆して転載

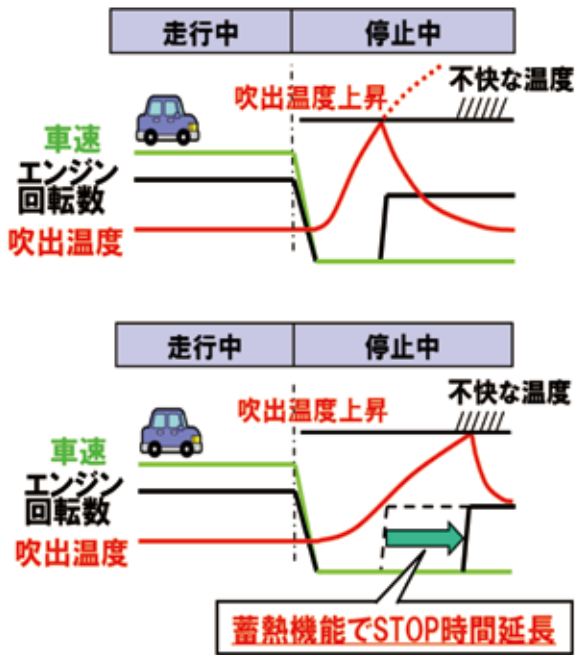


Fig. 2 Behavior of the cycle

2. 蓄熱機能付き蒸発器の概要

2.1 開発目標値の設定

本開発は世界初の取り組みであり、まず蓄熱材の蓄熱量および放冷性能の目標値を決める必要があった。そこでIS車の使われ方に着目し、市街地における発進から停止までの時間、また信号待ち等で車両が停止している時間を調査した。Fig. 3、Fig. 4は国内の市街地で実走行試験を実施したときの走行/停止時間の出現比率を示している。Fig. 3に示されているように、走行時間の出現比率は60秒以下が圧倒的に多いこと、またFig. 4で示されているように、停止時間は60秒以内で再発進する比率が多いことがわかった。ここで蓄熱材の性能目標値の決定には、蓄冷機能の効果によってエンジン停止している時間が、実際に車両が停止している時間の何%をカバーできているかが重要となる。単純に全領域をカバーすることでは、蓄熱材の重量増加を引き起こし効率面で劣る。我々はこの調査から、蓄熱完了時間を60秒以内、また放冷時間は全体停止時間の85%をカバーできる60秒以上を目標値として開発を開始した。

次に車室内で快適と感じる吹き出し温度について、社内ユーザーアンケートを実施した。結果をFig. 5に示

す。この調査からエアコンからの吹き出し温度は、15℃以下でほとんどのユーザーが快適と感じることがわかった。

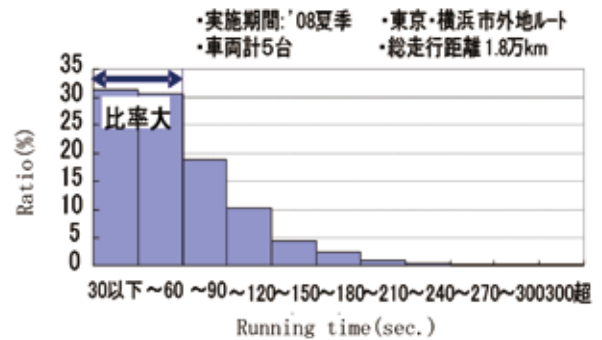


Fig. 3 The running time ratio of the city area

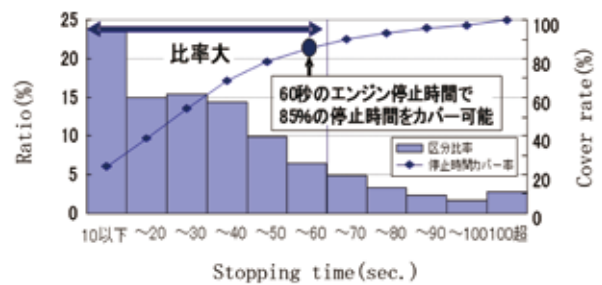


Fig. 4 The stopping time ratio of the city area

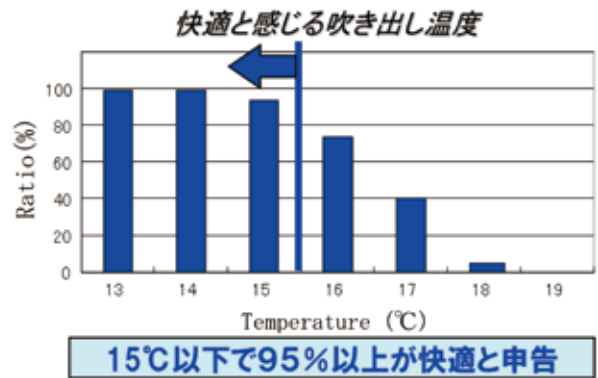

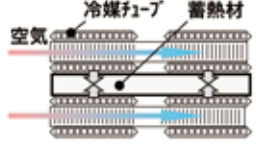
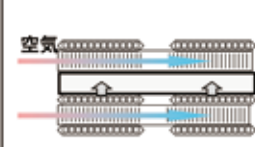
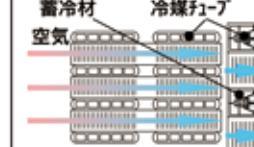


Fig. 5 Temperature of the comfortable air

2.2 基本構造の設計

基本構造を決めるために、まず蒸発器への蓄熱材の挿入方法を検討した。車両メーカーのシステムは同一の車名でISの有無が選択可能な車両が存在する。このため蒸発器としては、蓄熱材の有り無しでも互換性を持たせることが重要と考えた。その構造案をTable 1に示す。Table 1では蓄熱材の空気との接触有無、蓄

Table 1 Structure of the Thermal Storage Evaporator

	両面冷却構造	片面冷却構造	中心冷却構造
構造 断面視 	蓄熱材の両側に冷媒チューブ 	蓄熱材の片側に冷媒チューブ 	蓄熱材の中心に冷媒チューブ 
空気と接触	なし	あり	あり
蓄熱性能	◎	○	△
放冷性能	○	○	△

熱性能、放冷性能の観点から優劣を判定した。片面冷却構造や中心冷却構造では、空気との直接接触部分が存在することから、短時間で冷気を蓄熱するには不向きである。そこで我々は両面冷却構造を採用した。この構造については、特許で権利化することで、差別化を図る事ができた。その構造を Fig. 6 に示す。

これは蒸発器の OUTERフィンの一部を蓄熱ケースで置き換えた構造で、体格同等で、且つ部品も蓄熱ケースの新設のみで、他部品は共通使用が可能である。また最大の特徴は Fig. 7 に示した通り、蓄熱ケースは、高い蓄熱、放冷性能を実現できるように両側に配置された冷媒チューブと一体ろう付けされており、走行中の蓄熱時は冷媒チューブから直接蓄熱材が冷却されるため、短時間で効率よく蓄熱できる。また、アイドルストップ中の放冷時は、蓄えられた冷熱が蓄熱材から冷媒チューブを介して空気側に伝わることで、冷媒チューブ部が熱抵抗となり、ゆっくりと長時間放冷することが可能となっている。

蓄熱材の選定では、潜熱量が大きく、凝固点が車両の冷房システムで発生する冷媒温度の 5℃ 以上で、更に快適と感じる空気吹出し温度の 15℃ 以下である必要がある。また蒸発器自身は車両寿命と同等である為、蓄熱材の劣化が少なく、ケースへの腐食性が無い材料を選定しなければならない。Fig. 8 に代表的な蓄熱材の凝固点と潜熱量、Table 2 に要求性能に対する優劣を示す。潜熱量は水が圧倒的に高いことがわかるが、凝固点が低く腐食性を有しているため、今回はパラフィンを選定した。

次に熱伝導に関する詳細設計を行う。ケース内に封入された蓄熱材は、チューブ壁面から冷媒の冷熱を受

けてケースの内部方向に凝固を開始する。蓄熱材は目標値である市街地における走行パターンから、60 秒という極短時間で完全凝固を達成する必要がある。そこでステファンの式を参考に相変化距離を計算し、蓄熱完了時間とパラフィンの相変化距離から必要範囲を明らかにした。計算式と計算結果を Fig. 9 に示す。

この結果より 60 秒以内に蓄熱材を完全凝固させるための相変化距離は、0.7mm 以下にしなければならないことがわかる。しかし、我々の使用する蓄熱ケースの厚みは 4mm 以上あるため、目標値を満足しない。そこで蓄熱ケース内に INNERフィンという熱伝導部材を挿入した。材質はケースと同じアルミとすることで蒸発器全体のろう付け時に一体で蓄熱ケースに接合することが可能である。この INNERフィンにより蓄熱ケース内の全ての部位で相変化距離 0.7mm を確保することが可能となった。その拡大図を Fig. 10 に示す。

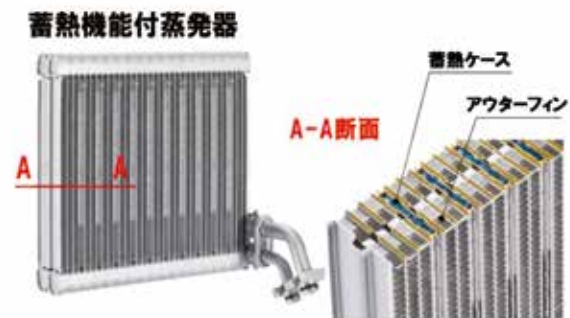
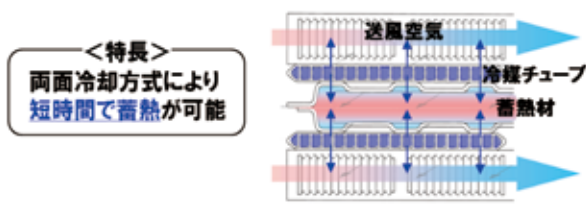


Fig. 6 Structure of the Thermal Storage Evaporator

◆走行時(蓄熱)

冷媒で送風空気 & 蓄熱材を冷やす



◆アイドルストップ時(放冷)

冷やされた蓄熱材で送風空気を冷やす

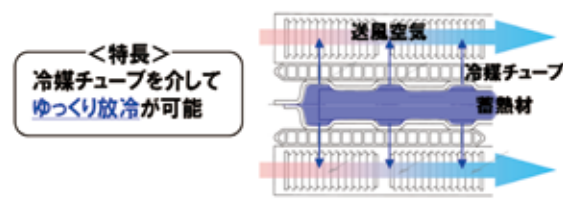


Fig. 7 Characteristic of air-cooling

<Stefan解>

相変化距離 = $R(t) = 2\alpha\sqrt{a_s t}$

$2\alpha \cong \sqrt{Ste} \left\{ 1 - \frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{Ste} - \left(\frac{1}{6} + \frac{\beta}{\pi\sqrt{a_s}} \right) Ste \right\}$

※無限遠方で温度が融点と等しいとの仮定で、 $\beta = 0$ とする(Stefan解)

$Ste = C_p \theta / L$

C_p : 比熱

θ : 温度差

L: 潜熱

a_s : 温度伝導率

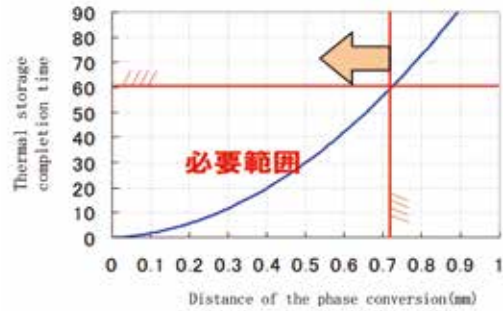


Fig. 9 Thermal storage completion time

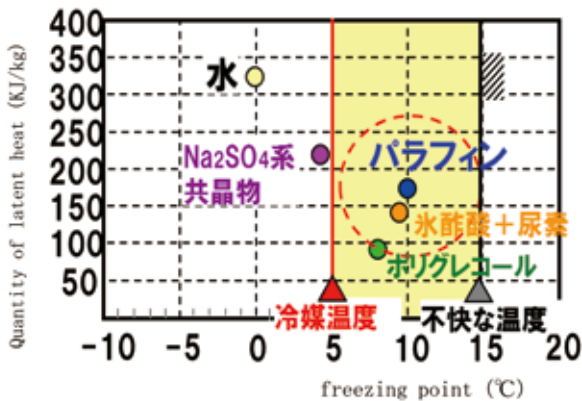


Fig. 8 Characteristic of thermal storage materials

Table 2 Summary of performance of Thermal Storage material

候補蓄冷材	必要要件			判定
	凝固	潜熱量	劣化・腐食性	
パラフィン	○	○	○	○
水酢酸+尿素	○	△	×	×
ポリグレコール	○	×	○	×
水	×	○	×	×
Na ₂ SO ₄ 系共晶物	△	○	×	×

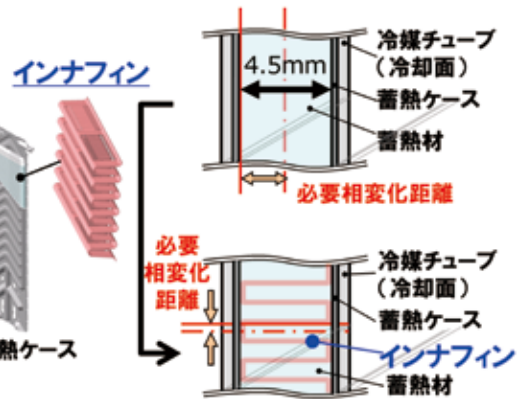


Fig. 10 Detailed structure

3. 蓄熱機能付き蒸発器の効果

3.1 性能確認結果

この章では蓄熱機能付き蒸発器の性能及びその燃費向上効果について確認する。蓄熱、放冷性能の検証は、実際の走行を模擬し、一定時間冷凍サイクルを稼働し、蓄熱材の凝固時間をパラメータに、その放冷時間を測定した。蒸発器は一般的に中型セダクラスに用いられている W239 × H231 × D38mm サイズで実施した。吸い込み空気は真夏の内気条件を想定し 28℃で行った。ユーザアンケートで決めた吹き出し空気温度 15℃以下を保持できる時間を放冷時間として測定した。Fig. 11, Fig. 12 にその結果を示す。従来品でも 20

信頼の確立

秒程度の放冷時間が有る理由は、蒸発器本体と冷房時に保持した凝縮水の熱マスによるものである。開発品は60秒の蓄熱時間に対し目標の放冷時間60秒以上を満足することが確認できた。またこの蒸発器サイズでは蓄熱時間が40秒でも目標値の放冷時間60秒を満足する事が得られた。

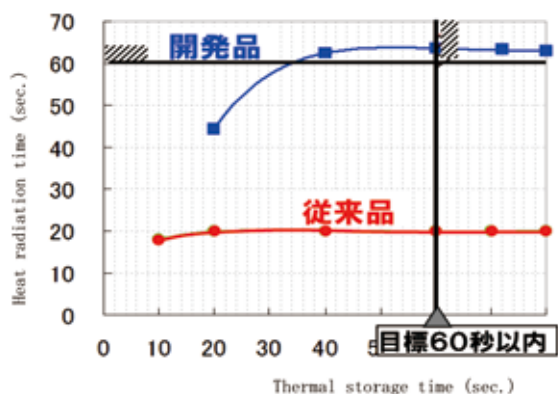


Fig. 11 Performance of the development product

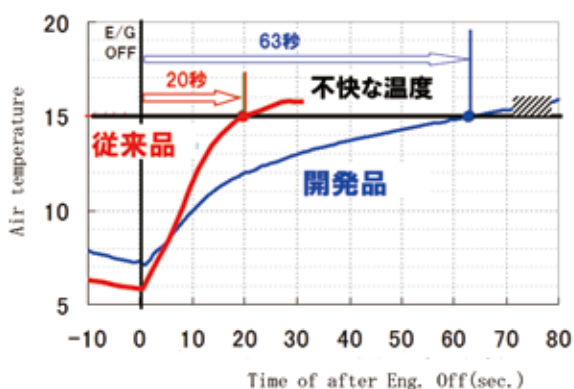


Fig. 12 Air temperature

3.2 燃費向上効果

この蓄熱機能付き蒸発器を車両搭載する事で、信号待ちなどによるIS時間の延長が可能になった。この効果を定量的に示すため、国内で一般的に用いられている走行パターンのJC08を参考に、夏場の条件で燃費を測定した。外気温度30℃、50%、日射500Wの各条件で実車風洞ベンチを使用し、車速が0Km/hになったところでエンジン駆動をOFFし、蒸発器後流の空気温度が15℃を超えたところでエンジンを再始動させるプログラムを組み、ガソリン満タン法で測定した。Fig. 13が今回の夏季条件での燃費測定結果である。本条件ではこの蓄熱機能付き蒸発器の搭載で、5%の

燃費向上効果を確認できた。

次に冬場では、外気温が下がることから、効果が薄まることを加味して通年での燃費向上効果を検証した。Fig. 14はその検討結果である。本来車両がアイドルストップシステムを採用した車両は、エアコン無しの条件では通年で燃費7%の向上効果が期待される。しかし特に夏場は車室内温度が急上昇するので、快適性維持のため、信号待ちの途中でエンジンを早期にONさせることから、運転フィーリングの悪化だけではなく、約半分の3.9%しか燃費向上効果が得られない。すなわち3.1%の効果がエアコンの使用により目減りしてしまっていることになる。そこにこの蓄熱機能付き蒸発器を搭載することで通年でも2.4%の効果が発揮され、悪化分は全体の0.7%となり、エアコンを使用しても最大限にアイドルストップ車両の燃費低減効果を発揮できるようになった。

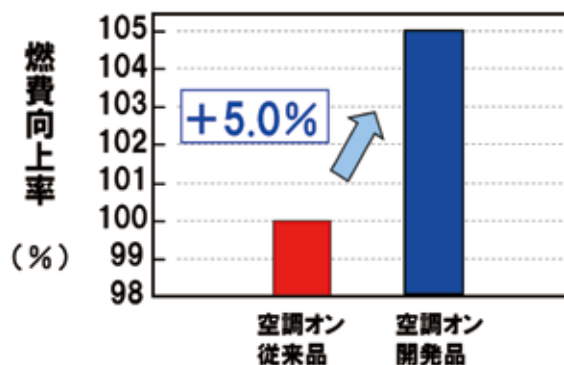


Fig. 13 Mileage improvement of the summer

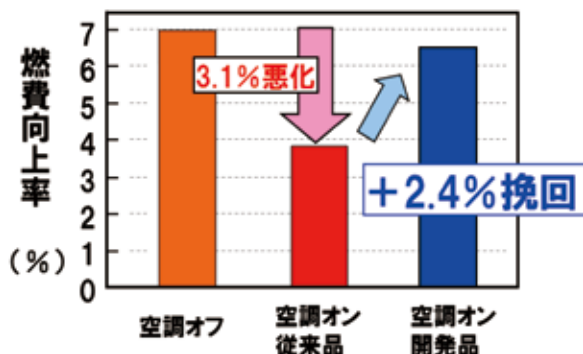


Fig. 14 Mileage improvement of all seasons

4. むすび

将来拡大が見込まれるIS車の更なる燃費向上と、快適性維持のため早期エンジンONの課題を蓄熱機能付き蒸発器を開発し、製品化することで解決した。またこの蒸発器の開発にあたり、市場の使い方を独自調査し、開発目標値に落とし込み、製品化に対しては、短時間で蓄熱し長時間放冷するケース挟み込み構造を実現した。この蒸発器の採用で、通年で2.4%の燃費向上効果が確認できた。

我々は今後も、製品開発を通じ「省燃費」と「快適性」の両立に貢献し、地球にやさしいクルマ社会の実現を目指していく所存です。

参考文献

- 1) Atushi YAMADA : "Cold Storage Air Conditioning System for Idle Stop Vehicle" 2013-01-1287 SAE International,
- 2) 安部井 淳 : "アイドルストップ時の快適性向上を目指した蓄冷機能付きエバポレータの開発" 自動車技術会, 2013 春季大会講演

著者



長澤 聡也

ながさわ としや

TMU 技術1部 修士(工学)

エアコン用熱交換器の開発・設計に従事