

特集 アイドリングストップ車対応蓄冷エバポレータシステムの開発*

Cold Storage Air Conditioning System for Start-Stop Vehicle

山田 淳司 西田 伸 横山直樹 安部 井 淳
 Atsushi YAMADA Shin NISHIDA Naoki YOKOYAMA Jun ABEI

檀上 貴志
 Takashi DANJO

The number of start-stop vehicles is rapidly increasing in recent years, and air-conditioning technologies that extend engine stopped time while maintaining the cabin comfort are required. When the engine stops during idle-stop mode, the compressor which driven by engine belt for cabin air conditioning also stops functioning. To maintain cabin comfort, the engine is restarted to work the compressor for air-conditioning, which reduces the fuel saving effects.

As a countermeasure, a cold storage air conditioning system has been proposed. The system extends engine non-operation time by using cold storage for generating cool air while the engine is stopped. We have integrated this technology into an evaporator, which is used in the air-conditioning cycle, and the system has a short cold storage period and a necessary cold release period. This report describes its concept and effects.

Key words : Cold Storage, Air Conditioning, Start-Stop, Fuel Saving

1. まえがき

近年、車両が環境に与える負荷の低減を目指し、省燃費を目的とした電気自動車、ハイブリッド車、アイドリングストップ車等の開発が進められている。この中でもアイドリングストップ車は従来車両からのシステム変更規模が比較的小さく、また省動力効果も高いことから、今後車両台数の急増が予想されているが、信号待ち等の車両停車中、エンジンと共にエンジンで駆動されているコンプレッサも止まることで車室内温度が上昇し、快適性が悪化してしまうため車室内温度上昇時にはエンジンを再始動してコンプレッサを作動させ快適性を維持しており、これが燃費向上効果の低下と車両停車中にユーザーが意図せずエンジンがかかることによるフィーリング悪化という実用時の課題を発生させている (Fig. 1)。

この空調要求によるエンジン再始動を低減させるために、コンプレッサ作動時に蓄冷装置に冷熱を蓄えコンプレッサ停止時にその熱を利用することで、車室内の空調快適性を維持してエンジン停止時間を延長させる蓄冷空調システムが提案されている。本報では、デンソーが新たに開発した車両用蓄冷空調システムについて、製品コンセプトと効果確認の詳細を説明する。

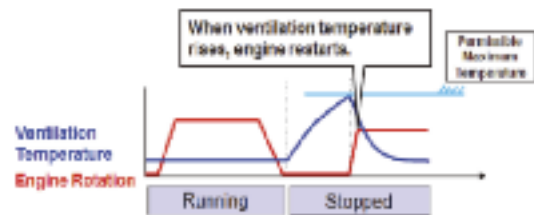


Fig. 1 Issue of Start-Stop Vehicle

2. 蓄冷空調システム

2.1 目標性能

アイドリングストップ車は、全運転時間に対して停車頻度が高い市街地走行モードでの省燃費効果が高いことから、蓄冷空調システムはこのモードで特に効果を発揮することが期待されており、蓄冷空調システムとして重要な蓄冷完了時間と放冷可能時間の各目標値は本条件に対応する様に設定する。日本の市街地における実走行試験から得られた走行/停車時間の出現比率¹⁾をFig. 2, Fig. 3に示すが、蓄冷完了時間はFig. 2より各停車間の連続走行時間は60秒以下の出現比率が高いことから、60秒以内を目標値とした。一方、放冷可能時間としては、停車中に快適性を維持してエンジン停止できる時間の全体停車時間に対する比率をFig. 3右

*SAEの了解を得て、SAE2013-01-1287 (2013.4) を和訳、一部加筆して転載
 Reprinted with permission from SAE paper 2013-01-1287 © 2013 SAE International. Further use or distribution of this material is not permitted without permission from SAE.

軸で整理すると、50秒間エンジンの再始動を抑制することができれば全体停車時間の80%をカバーでき、大部分のエンジン再始動を回避できると言えることから、50秒以上を目標値に設定した。

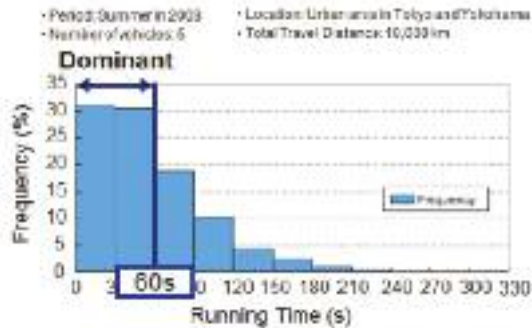


Fig. 2 Frequencies of Running Time

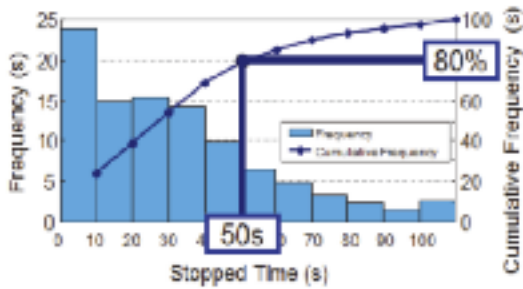


Fig. 3 Frequencies of Stopped Times

2.2 製品コンセプトと概要

蓄冷空調システムは、上記蓄冷機能を従来システムとの互換性や低コスト化など多岐にわたる必要要件と両立しながら実現させることが求められる。そこで我々は従来の空調用エバポレータの構成を大きく変更しなくてよい、空気との熱交換を行うフィンに蓄冷材保持用の蓄冷ケースに置換するストライプ方式²⁾を採用した。その基本構造をFig. 4に示す。

従来エバポレータとの搭載互換性を実現するため、基本構造と体格は従来エバポレータと同等とし、必要蓄冷量に応じて熱交換用フィンの一部を蓄冷ケースへ置き換えるが、その他部品は共通使用する構造とした。蓄冷材は、車輦用蓄冷システムに適した融点と潜熱量を持ち、物質安定性に優れて腐食等の問題が少ないパラフィンを選択した。

蓄冷ケースは、高い蓄冷／放冷性能を実現できるように冷媒チューブと一体ろう付けされ、更に冷媒チューブが蓄冷ケースの両側に配置されることにより、蓄冷時においては冷媒チューブから直接蓄冷材を冷却す

るため短時間で効率よく蓄冷でき、放冷時は、蓄えられた冷熱が冷媒チューブを介して空気側に伝わることで、熱抵抗が大きくなり長時間放冷することが出来る構成としている (Fig. 5)。また、蓄冷ケース内にインナーフィンを設置し、蓄冷材の凝固－融解を促進している。

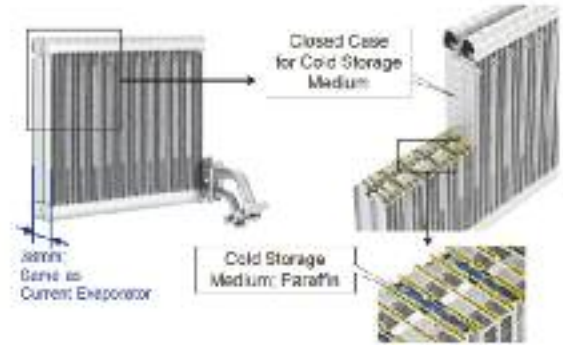


Fig. 4 Basic Structure

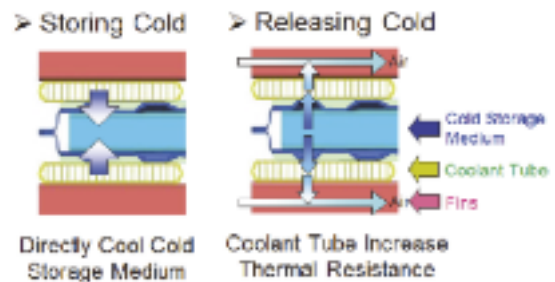


Fig. 5 Storing and Releasing of Cold Energy

3. 快適性改善効果

3.1 蓄冷エバポレータの熱容量

開発した蓄冷エバポレータの特性として、まず熱容量計算により蓄冷材使用の効果を検証する。

Fig. 6は、エバポレータ温度が5℃（コンプレッサ稼動時を想定）から15℃（コンプレッサ停止時の上限を想定）まで変化した場合のエバポレータ重量と熱容量の関係を示したものである。蓄冷材を持たない従来エバポレータに対し、同体格の蓄冷エバポレータは内部に保持された蓄冷材の相変化効果（潜熱量）により2倍以上の熱容量を持つことが分かり、これは蓄冷エバポレータが、コンプレッサ停止時に従来エバポレータに対し2倍以上の放冷能力を持つことを意味する。

なお図中の実線が示すように、蓄冷エバポレータと同様の熱容量をエバポレータの重量増、つまり構造材であるアルミニウムの熱容量のみで達成しようとした場合は、アルミニウムの比熱が蓄冷材に対して小さい

ため、従来エバポレータに対し3倍以上の重量が必要となる。

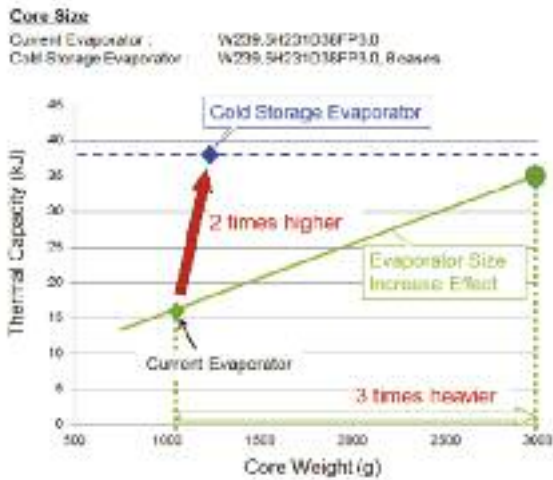


Fig. 6 Thermal Capacity of Cold Storage Evaporator

3.2 放冷時間延長効果

次に従来エバポレータと蓄冷エバポレータのコンプレッサ停止時のエバポレータ吹出し空気温度挙動のベンチ試験結果を示す (Fig. 7)。従来エバポレータはコンプレッサ停止後急激に吹出し温度が上昇し、19秒後に冷感維持目標温度である15℃に到達しているが、蓄冷エバポレータは吹出し温度が10℃を過ぎた付近から蓄冷材の効果により温度上昇が抑制され、15℃到達までの時間が54秒となり従来エバポレータの2倍以上の放冷時間を確保している。これは、Fig. 6で示した熱容量計算と合致し、かつ2.1節で示した目標性能である50秒以上の快適性維持を満足する。

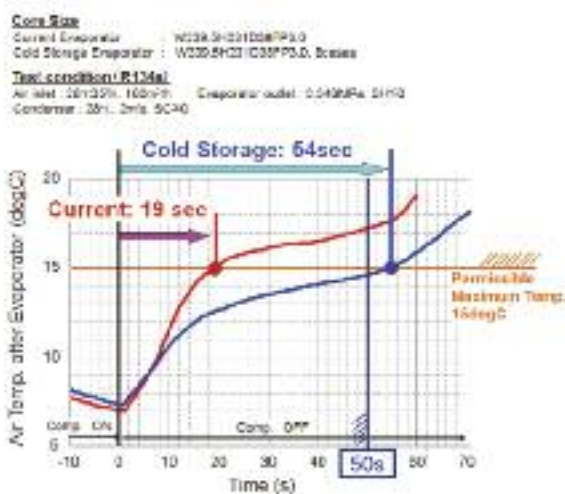


Fig. 7 Comparison of Discharge Time

3.3 蓄冷完了時間の検証

Fig. 8は、コンプレッサ稼働時間をパラメータとし

て、蓄冷量を変化させた場合の冷房感維持目標温度である15℃に達するまでの時間(放冷時間)をベンチ試験により計測した結果である。ここでコンプレッサ稼働時間以外のテスト条件は、Fig. 7で示したベンチ試験条件と同等である。

図からコンプレッサ稼働時間が40秒以上では蓄冷が完了するため放冷時間が一定となっており、2.1節で示した蓄冷完了時間60秒以下を満足していることが分かる。

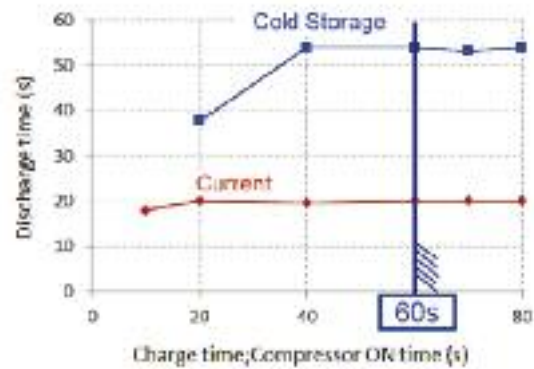


Fig. 8 Comparison of Charge Time

3.4 実車での快適性改善効果

上記ベンチ試験結果を、実車における快適性改善効果という観点で定量化した結果をFig. 9に示す。快適性改善効果は実車での官能試験における被験者の快適性申告数割合を用いて評価した。ここから、従来エバポレータでは、コンプレッサ停止後15秒を過ぎたあたりから急激に冷房感悪化を知覚する人の割合が増加し、停止後25秒後には50%以上の人が冷房感悪化を知覚することが分かる。一方蓄冷エバポレータを用いた場合50%以上の人が冷房感悪化を知覚する時間を60秒まで延長できており、快適性が改善されていることが分かる。

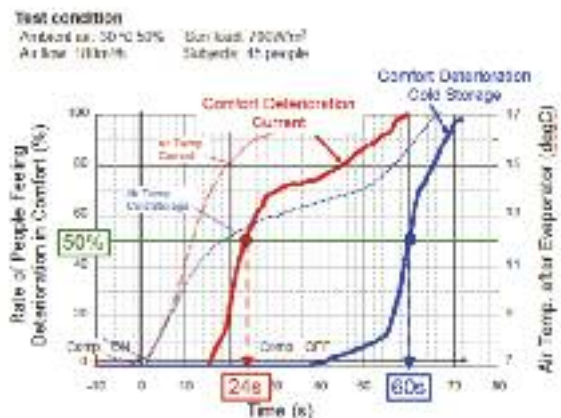


Fig. 9 Rate of People Feeling Deterioration in Comfort

4. 燃費削減効果

4.1 燃費効果検証用走行モードの検討

先に述べたようにアイドルストップ車の省燃費効果は、頻繁に走行/停車を繰り返す市街地走行で大きくなり、蓄冷エバポレータはこの走行での燃費低減を目的としていることから、効果検証には市街地走行を含む走行パターンが望ましい。

Table 1は各国の排出ガス規制用テストパターンにおける最長停車時間と停車時間比率を示している。最長停車時間は、日本のJC08モードが最も長く、停車時間比率は、北米のNYCCモードが最も高いことから、この2つのモードが効果を検証するのに適していると思われる。Fig. 10, Fig. 11において、JC08モードとNYCCモードの停車時間出現比率をFig. 3で示した日本の市街地における実走行データと比較するが、両モード共に累積比率の傾向は市街地をよく再現しており(図中の折れ線)、これらの走行パターンを用い蓄冷エバポレータの燃費削減効果の評価することとした。

Table 1 Dynamometer Drive Schedules

Modos	Test Time (s)	Longest Stop Time (s)	Stop Time Ratio (%)
Japan	JC08	1204	77
	10.15	660	65
United States	SC03	594	24
	LA#4	1372	39
	NYCC	600	52
Europe	NEDC	1180	27

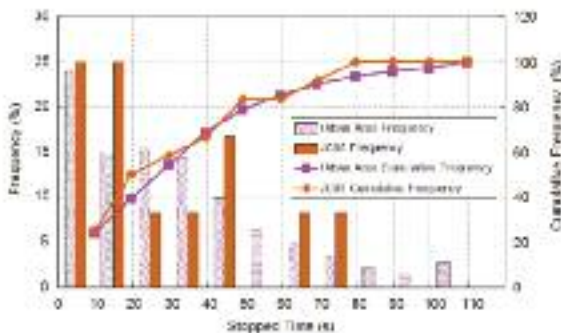


Fig. 10 Frequencies of Stopped Time in JC08 and in Japan Urban Area

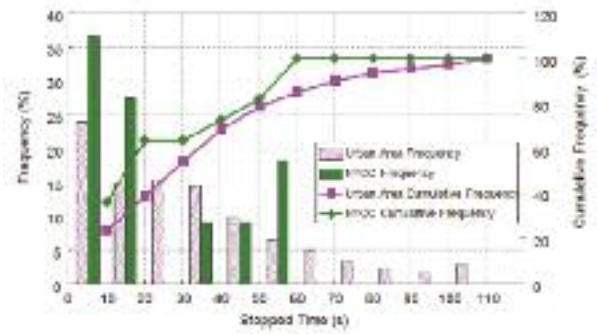


Fig. 11 Frequencies of Stopped Time in NYCC and in Japan Urban Area

4.2 実車および計算による燃費低減効果検討

実車に本蓄冷エバポレータを搭載し、JC08モード、外気温度30℃湿度50%日射500W/m²の夏季条件において、エアコン作動時の蓄冷システム有無での燃料消費量を計測した。車両は、Bセグメントのアイドルストップ車を用い、アイドルストップ時にエバポレータのサーミスタ温度が15℃に到達した時点で、快適性要求によりエンジンを再始動する制御を組み込んでいる。

またJC08モード試験にて得られた蓄冷エバポレータの特性データを用いてNYCCモードでのシミュレーションによる燃費低減効果をあわせて検討した。

各走行モードでのエンジン停止時間と燃費削減効果をTable 2とFig. 12に示す。JC08モードを使った実車試験においてエンジン停止時間を延長することにより5.0%の燃費削減効果を確認することができた。またNYCCモードにおける燃費削減効果は7.4%と試算された。

Table 2 Total Engine Stop Time in JC08 and NYCC

Modos	Test Time (s)	Total Stop Time (s)	Total Engine Stop Time (s)	
			Current	Cold Storage
JC08 [Measurement]	1204s	358s	171s	331s
NYCC [Calculation]	600s	229s	119s	229s

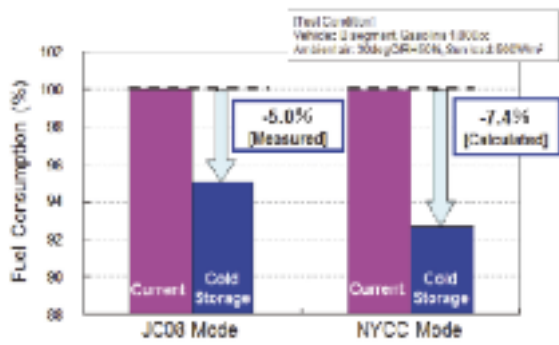


Fig. 12 Fuel Saving Effects in JC08 and NYCC

4.3 停車時間比率に対する省燃費効果

蓄冷エバポレータの燃費効果は、走行モードにより大きく異なるため、Fig. 13に停車時間比率（全運転時間に対する停車時間の割合）と省燃費効果の関係を整理する。

グラフから、停車時間比率が増えるにつれて燃費効果が増加しており、蓄冷エバポレータは特に都市部や渋滞が多発する地域などでその効果が大きいことがわかる。

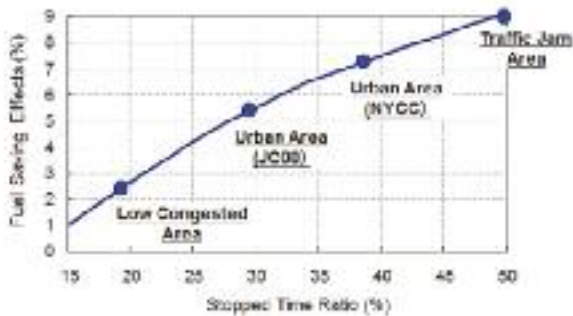


Fig. 13 Relationship between Stopped Time Ratio and Fuel Saving Effects

5. むすび

- (1) アイドルストップ車における空調課題を解決するため、蓄冷エバポレータシステムを開発しその製品コンセプトを示した。
- (2) ベンチ試験と実車試験結果に基づき、アイドルストップ時の快適性改善効果を示した。
- (3) 実車試験結果に基づき、実走行時の省燃費効果を示した。

上記結果から、今後のアイドルストップ車数急増という車両の変化に対して、快適性と省燃費の両立という新たな価値創出に貢献できるアイテムであると考え

<参考文献>

- 1) NEDO技術開発機構の実証研究「エコドライブ用蓄熱空調システムの研究開発（FY2007-FY2009）」において収集された実走行データ
- 2) 横山他8名：特許第5444782号

<著 者>



山田 淳司
(やまだ あつし)
熱システム開発部
車両用エアコンシステムの開発
に従事



安部井 淳
(あべい じゅん)
熱交換器開発部
蓄冷エバポレータの開発に従事



西田 伸
(にしだ しん)
熱システム開発部
車両用エアコンシステムの開発
に従事



檀上 貴志
(だんじょう たかし)
熱システム開発部
車両用エアコンシステムの開発
に従事



横山 直樹
(よこやま なおき)
冷暖房技術1部(現在TOYOTA
MOTOR EUROPEに出向中)
車両用エアコンシステムの評価・
開発に従事