

特集 冷凍車アイドルストップのための新型エアカーテン (エアリターン方式)の開発*

- ドア開時の侵入熱量低減 -

Development of New Concept Air Curtain (Air Return System) for Idling-stop of Transport Refrigerator - Suppressing Door Opening Heat Load -

西嶋 春幸 武内 裕嗣 加瀬 清司 松永 久嗣
Haruyuki NISHIJIMA Hirotsugu TAKEUCHI Kiyoshi KASE Hisatsugu MATSUNAGA

Keeping the freezing container cold during idling-stop is the focus of transport refrigerator users. For this demand, we developed new concept air curtain (Air Return System) that suppress door opening heatload nearly 75% (nearly 50% of all heat load). By this Air Return System, mean temperature inside container with idling-stop is the same as that without idling-stop.

Key words : Air conditioning, Simulation /Refrigerator, Air curtain

1. まえがき

小型冷凍車は、乗用車用エアコンと同様、エンジン直結式コンプレッサにて駆動される機械式冷凍機を搭載し、冷凍食品などの配送に使われている(Fig.1)。

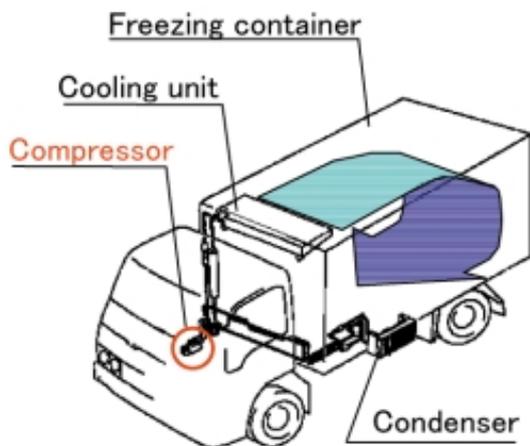


Fig.1 Transport refrigerator (the engine direct driven type)

近年の冷凍車ユーザーの動向をみると、PL法の施行、食品衛生法の改訂、O157の全国発生を背景とした厚生省の緊急通達などにより、食品衛生に対する関心が非常に高くなってきている。一方、大気環境保護を目的とした環境庁のアイドルストップ啓発運動を背景とし、配送業界では『積み下ろし停車時のアイドルリングをやめる』自主規制が励行され、冷凍車においても、大手小型冷凍車ユーザーを中心に全国浸透してきている。

この積み下ろし停車時のアイドルストップは、

エンジンおよび冷凍機の稼働率低下となるため、庫内温度の上昇が懸念される。そこで今回、熱負荷低減の面から庫内の保冷を検討し、ドア開時の侵入熱量に着目した新型エアカーテン(エアリターンシステム)を考案、数値解析を活用した最適化により、代表的な配送条件において、ドア開時の侵入熱量75%(断熱壁からの侵入熱量を合わせた全熱負荷の50%)低減を実現、エンジン稼働率50%にて常にエンジン作動と同等の庫内温度を維持できるシステムを構築したので報告する。

2. アイドルストップ時の温度維持性の調査

アイドルストップによる庫内温度の変化について調査した。配送パターンとしてはエンジン稼働率50%、積み下ろし時のドア開閉時間1分、車両は2トン車8m³冷凍庫にて行なった結果についてFig.2に示す。

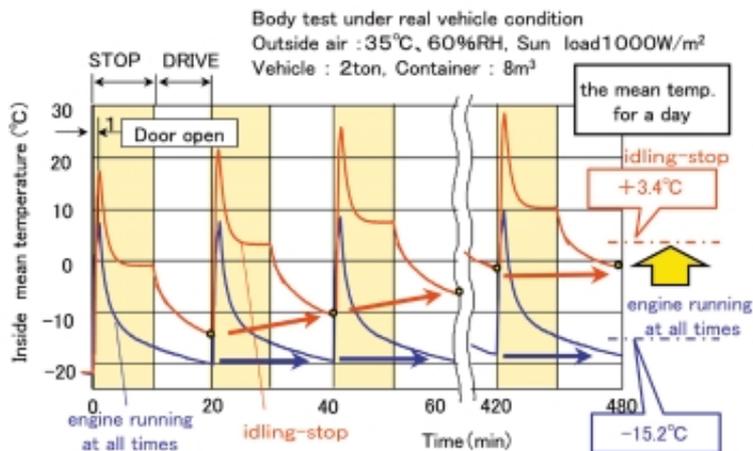


Fig.2 Temperature conditions with idling-stop

*(社)自動車技術会の了解を得て、1999年秋季大会学術講演会前刷集No.89-99, 118より加筆転載

常にエンジン作動の条件では、停車中ドア開による外気侵入により最大6℃まで庫内温度が上昇するものの、冷凍機が停車中も作動しているためドア開閉後20分で-20℃まで急速に庫内を冷却できる。

これに対し、停車中アイドルストップを行なった条件では、ドア開時の温度上昇が高く、ドア開閉後、庫内の断熱壁の熱容量により庫内は冷却されるものの、常にエンジン作動の条件に比べ冷凍機作動時間が短いため、配送パターンが繰り返されるごとに庫内温度は上昇していく。これを、1日の配送時間を8時間として、庫内温度の1日平均でみると、アイドルストップの条件では3.4℃となり、常にエンジン作動の条件に比べ約18%も上昇しており、アイドルストップ時の庫内温度維持技術が必要である。

3. アイドルストップ時の温度維持への対応

アイドルストップ時の温度維持性の悪化は、常にエンジン作動の場合に対し庫内を冷却できる冷凍能力が低下するためである。(Fig.3) そのため対応策としては、Fig.4に示すように

- (1) 冷凍能力の向上(補助冷却手段の構築)
 - (2) 冷凍機に対する熱負荷の低減
(熱負荷低減技術の構築)
- の二つの方向が考えられる。

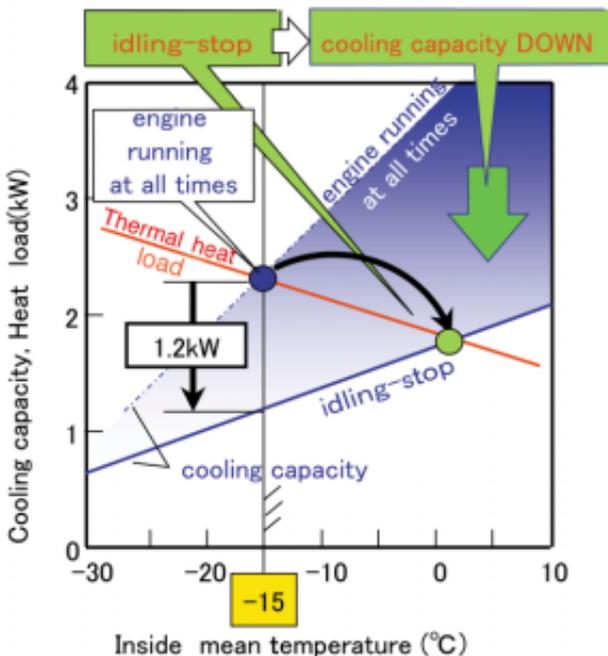


Fig.3 Temperature conditions with idling-stop

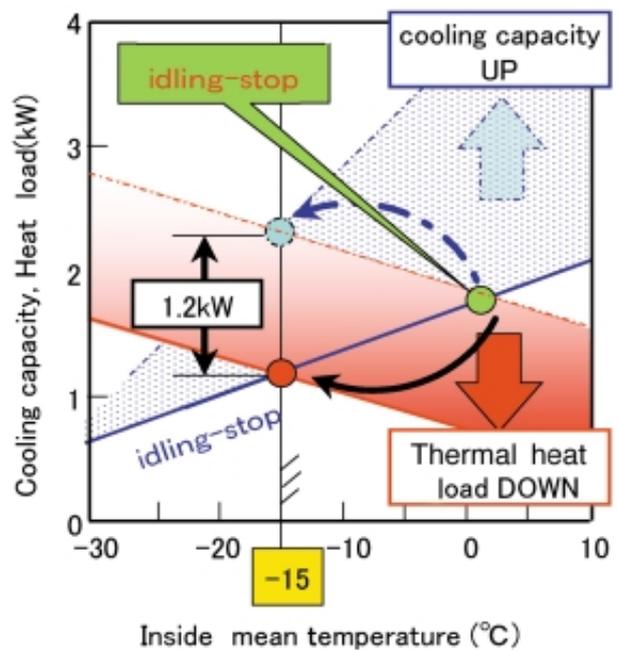


Fig.4 Approach of keeping low temperature (-15°C)

3.1 補助冷却手段の検討

補助冷却手段としては、融解熱利用、昇華熱利用、気化熱利用などさまざまな方式が考えられる。

具体的なシステムとしては、Fig.5に示す蓄冷式冷凍機の併用、固体CO₂の利用、液体N₂の噴射式、電気駆動式が考えられるが、コスト、重量面で問題がある。

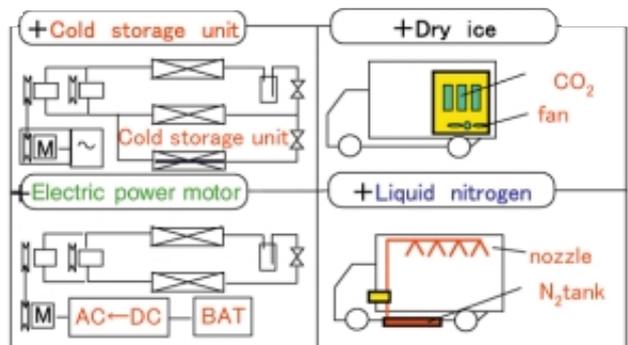


Fig.5 The principal auxiliary refrigerator

3.2 冷凍車の熱負荷の検討

冷凍車の熱負荷としては、侵入経路別に、断熱壁からの侵入熱量とドア開による侵入熱量に大別できる(Fig.6)。配送パターンにおいて外気35℃、日射1000W/m²の環境条件で、庫内侵入熱量を実験にて調査してみると、ドア開による侵入熱量が約3/4を占めており、この熱量の低減が先決である。

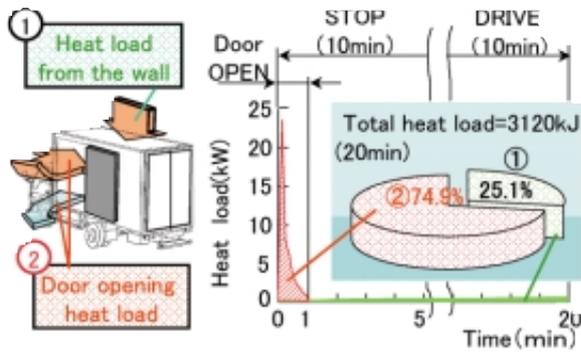


Fig.6 Heat load of transport refrigerator

3.3 ドア開時の熱侵入抑制手段の検討

ドア開時の温度上昇は、温度の高い外気が上部より侵入、ドア下方から冷気が流出するため生じる。この現象は、まず密度の大きな庫内冷気が流出、このため庫内圧力が低下し外気が流入することで生じると考えられる。そこでこの冷気の流出を抑制できれば、外気侵入を抑えられるのではないかとこの点に着目した。

冷気の流出を抑制する従来技術としては、エアカーテンがある。これは一般的には、庫内冷気を上方から吹き下ろし下部でこれを吸込み、循環させることで、冷気の漏れを抑制するものである。ところが、冷凍車において吸込み部を庫内下方に設置することは、搭載面での制約等により実用的ではない。そこで、Fig.7に示すように、吹出し側のみでの成立性について検討した。

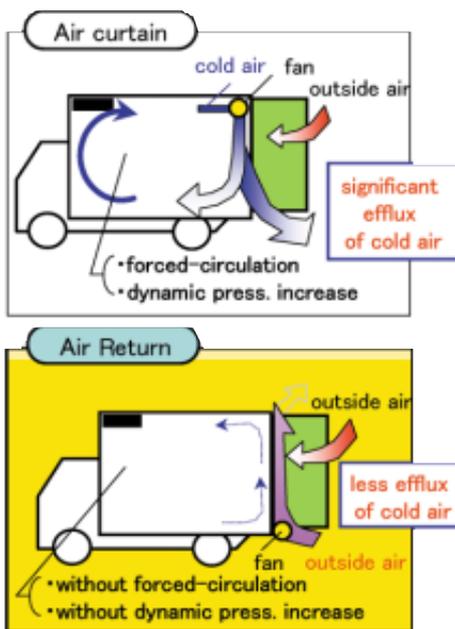


Fig.7 Approach of suppressing door opening heat load

庫内冷気による天井吹出しエアカーテンの場合、吹出された庫内冷気により庫内を強制攪拌するため庫内動圧が上昇し、これによる庫外への冷気漏れが発生すると予測される。

そこで、外気を下から吹上げれば、庫内冷気の攪拌が減少し、庫内冷気の漏れをより少なくできると考え、この『エアリターン』方式（庫外へ流出しようとする冷気を庫内へ戻すという意味）の特性把握を行なった。

3.4 エアリターン方式の特性把握

Fig.8は、ドア開閉時の庫内温度変化について、エアリターンと、庫内冷気による天井吹出しエアカーテンを実験にて比較確認したものである。送風機としては、ドア開放部相当の幅をもつクロスフローファンにて、ドア開時のみ送風を行なった。

ドア開時の庫内温度が最も高くなるピークを比較すると、庫内冷気による天井吹出しエアカーテンでも通常のドア開閉に比べ7℃低減できる効果はあるが、エアリターンではエアカーテンに比べ11℃、現状に比べ18℃とさらに高い温度低減効果が確認できた。

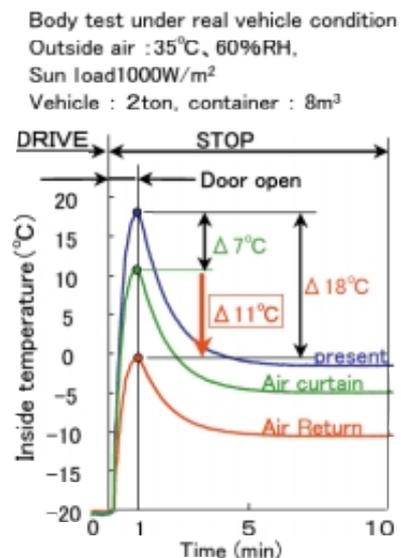


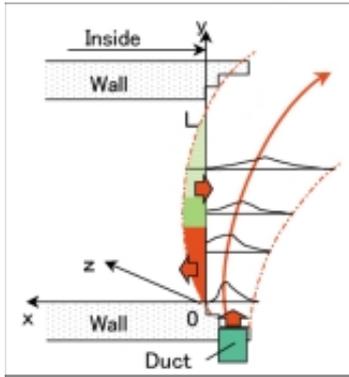
Fig.8 Characteristics of Air Return

4. エアリターンの最適化

考案したエアリターン方式の効果がエアカーテンに比べ高いことが分かったので、開発工数の低減を狙い数値解析を活用し、気流の最適化を検討した。

4.1 計算手法の構築

考慮すべきドア開時の侵入熱量 E は, Fig.9に示すように, 庫内端部 x = 0 の断面を通過する熱量で考えればよく, 下式で表すことができる.



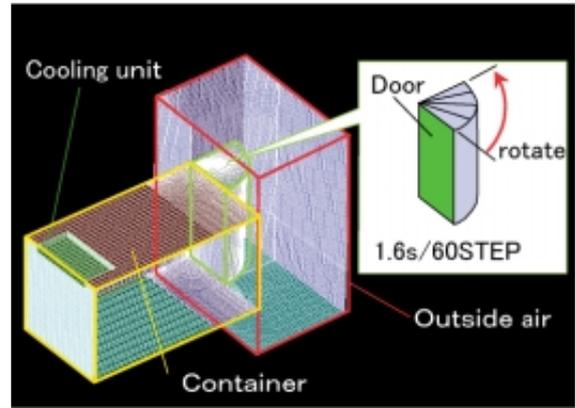
$$\Delta E (\text{Quantity of door opening heat transmission}) = \int \int \int \{ e(t,y,z) \cdot \rho(t,y,z) \cdot u(t,y,z) \} \partial t \cdot \partial y \cdot \partial z$$

- e(t,y,z) : enthalpy change amount of the minute volume in cross section of x=0
- u(t,y,z) : component x of velocity through the minute volume in cross section of x=0
- ρ(t,y,z) : air density of the minute volume in cross section of x=0
- L : door height B : door width t : door opening time=60s

Fig.9 Quantity of door opening heat transmission

解析モデルとしてはFig.10に示す庫内, ドア部, クーリングユニット部および外気部からなる3次元非定常計算モデルとし, ドア開前の庫内温度が, ドア開時の庫内温度分布に影響を与えるため, 走行時の庫内温度分布をまず計算し, その結果を初期条件とした非定常計算にてドア開時の温度・気流・水蒸気拡散を解き, 侵入熱量を算出した. ドア部においては, ドア開直後の庫内冷気の流出量は, ドアを開けることで生じる圧力変動にも依存しているため, これを考慮するべく同図に示すような条件でドアが開くようモデル化した.

このようなモデルとすることで, 計算精度としては, 実験値(測定84ヶ所×3回)の95%信頼区間において庫内温度±2.1, 気流速度±0.3m/s, ドア開の侵入熱量±6%であり, 十分にドア開閉時の侵入熱量を予測できると考えた.



Solver	STAR-CD
Mesh	Hexa
Turbulence Model	k-ε
Scheme	SFCD
Analysis object	<ul style="list-style-type: none"> •air velocity •temperature •vapor diffusion •enthalpy of the air

Fig.10 Analysis model

4.2 エアリターンの最適化の効果

この数値解析を活用し, エアリターンの分析を行った.

単純吹き上げでも, 内気によるエアカーテンに比べ性能は勝っているものの, 庫内冷気の流出, 外気侵入を最小限にするには, Fig.11に示すように, 庫内下部での吹出し外気と庫内冷気の混合による庫外への冷気流出, および庫内上部での吹出し外気の侵入を抑制する必要があると考えられる.

具体的な対応手段としては, 吹出し気流に速度勾配を設けることを考案し, 最適気流について検討した.

数値解析の活用により求めた最適気流でのエアリターンの効果を, 通常のドア開との比較でFig.12に示す. 上段が通常のドア開, 下段がエアリターンがある場合のドア開で, ドア開後の庫内外の温度変化をドア開部中央断面で経過時間順に示している.

まず, ドア開後10秒後をみると, 通常のドア開では庫内下方から庫内冷気が流出し, 上部から外気が流入している様子がよく分かる. これに対し, エアリターンがある場合では, 上方から庫内冷気と混合した吹出外気がわずかに吹出していくのが確認できるものの,

下方からの冷気流出はほとんどなく、また通常のドア開でみられるような上部からの明確な外気の侵入もないことが分かる。またこの庫内冷気の流出、外気の侵入の差は、20秒後、30秒後と時間の経過とともに大きくなり、ドアを閉める直前の60秒後では、通常のドア開閉では、庫内平均温度が18まで上昇してしまうのに対し、エアリターンありの場合では-5に抑えられ、エアリターンによりドア開による熱侵入を大幅に抑制できていることが分かる。

このエアリターンの熱負荷低減効果を計算結果に基づき算出すると、通常のドア開により侵入する熱量を76%抑制しており、これは、断熱壁からの侵入熱量を合わせた全熱負荷に換算すると約50%の低減となる。これは現状搭載の小型冷凍機の冷凍能力を約2倍したのと同等の効果であり、エアリターンは非常に合理的な手段と考えられる。

5. 実機での評価

以上のように、ドア開時の熱侵入を大幅に抑制できるエアリターンの必要 airflow を明確化できたので、この airflow を発生できるダクト形状を先の数値解析を活用し明確化、実機にて温度維持性の効果把握を行なった。

5.1 エアリターンシステム概要

システムの概要、搭載状態の外観を Fig.13 に示す。システムとしては、ドアスイッチに連動して外気を吹上げる簡素なもので、ドア下方に設置した吹出しダクト、ブロウユニット、吸込みダクトから成り、ダクト内の粉塵、水等の吹上げ防止のため、防塵ネット、水抜き孔等をその内部に備える。

5.2 実機評価結果

先のアイドルストップの現状調査と同じ条件にて、エアリターンシステムの効果を確認した結果を Fig.14 に示す。

まず、エアリターンにより停車中ドア開時の温度上昇が -5 と、現状のアイドルストップに対し約23 と大幅に低減できており、アイドルストップにより低下した冷凍能力でも、10分の走行時間で急速に庫内

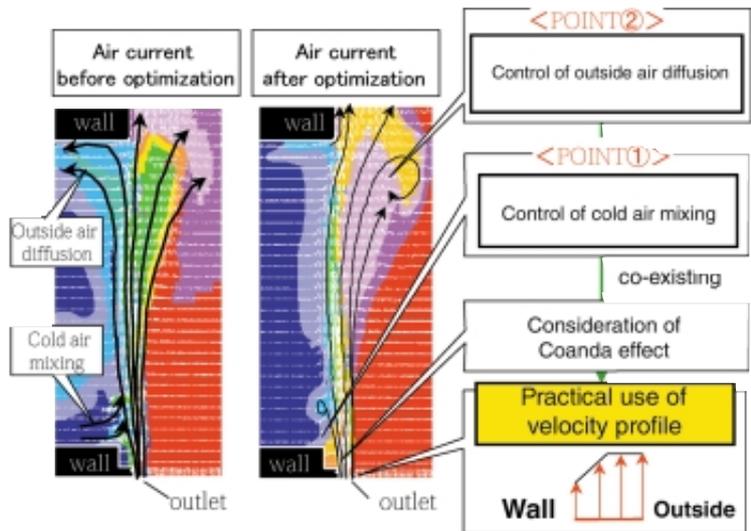


Fig.11 Analysis of flow distribution and optimization

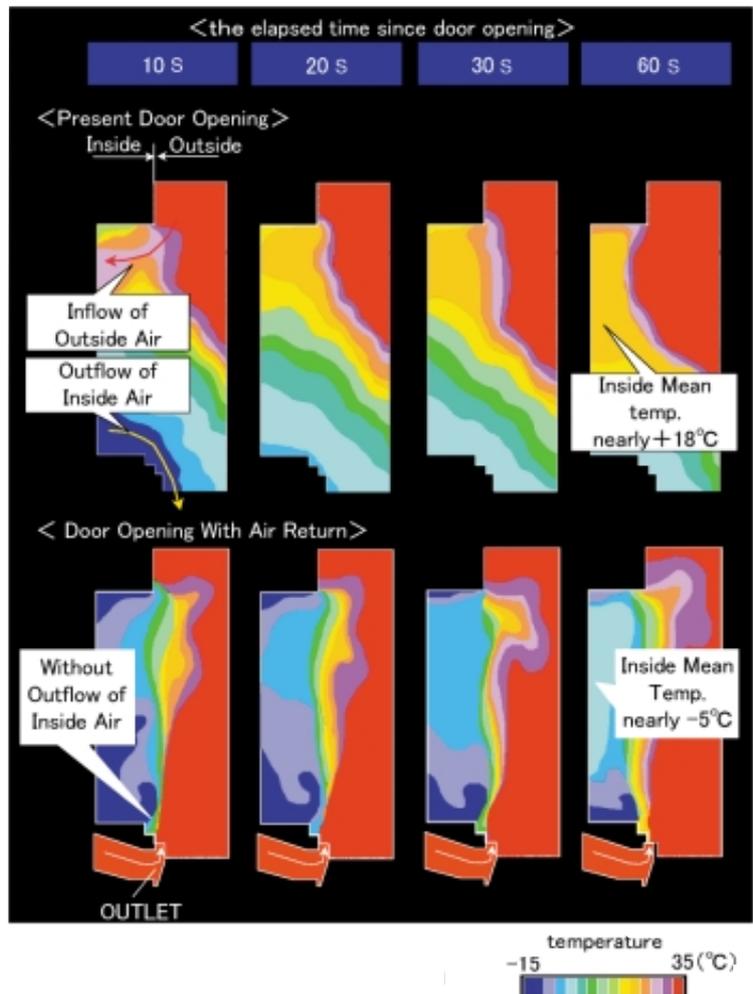


Fig.12 Effect of Air Return

を -20 以下に冷却できており、一日（8時間配送）の時間平均温度でも、現状アイドルストップの+3.4 に対し、-15.1 と常にエンジン作動（-15.2）と同等の庫内温度維持ができており、ほぼ数値解析と同等の熱侵入抑制効果があることが分かった。

5.3 エアリターンの波及効果
エアリターンシステムによりドア開時の侵入熱量の低減が図れるため、走行時のクールダウンに必要なコンプレッサ動力の低減効果が考えられる。名古屋地区の外気条件にて年間の冷凍機省動力効果を算出すると、現状アイドルストップに対し、約26%の省動力となり、エアリターンは、経済的にもメリットがあることが分かる。

6. まとめ

- (1) 冷凍車のアイドルストップ時の保冷に対し、従来の蓄冷等の冷却手段の追加の考えに対し、熱負荷低減の面から検討し、外気を下から吹上げるエアリターン方式を考案した。（特許出願済み）
- (2) 数値解析を活用した最適化検討により、ドア開時の侵入熱量を約75%（代表配送パターンでは全熱負荷の約50%）低減できる最適気流を明確化し、エンジン稼働率50%の配送パターンにおいて、補助冷却装置なしで、時間平均庫内温度を -15 に維持できるシステムを構築した。
- (3) 本システムは、99年5月製品化した。

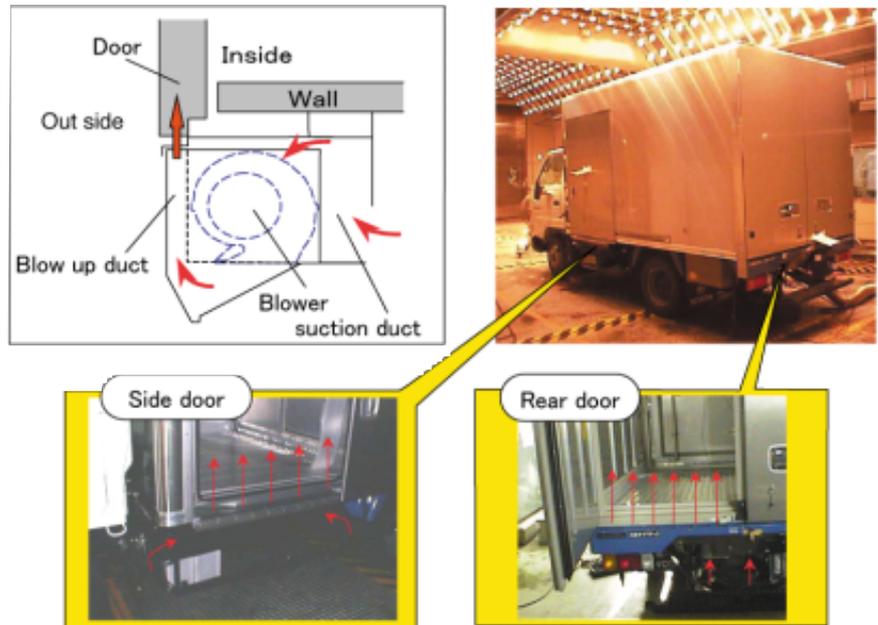


Fig.13 Air Return System

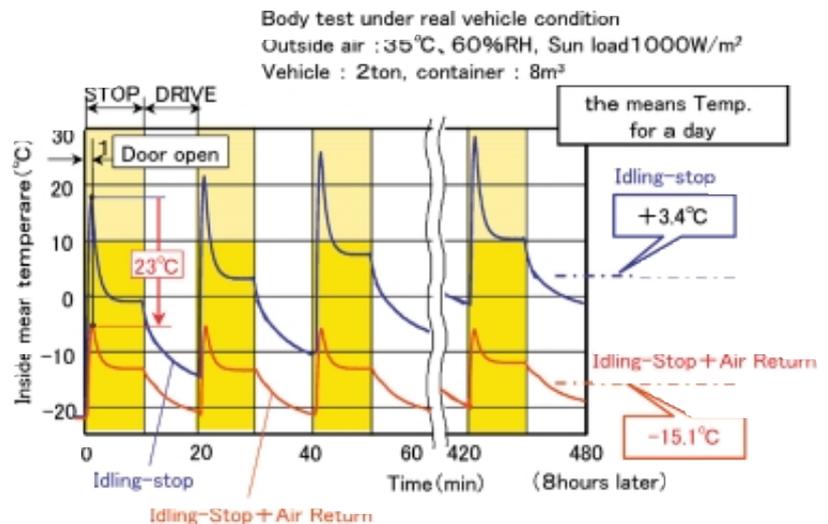


Fig.14 Temperature condition with Air Return



< 著 者 >



西嶋 春幸
(にしじま はるゆき)
冷暖房技術 4 部
車両用空調，冷凍機関連の開発，設計に従事



武内 裕嗣
(たけうち ひろつぐ)
冷暖房技術 4 部 工学博士
車両用空調，冷凍機関連の開発，設計に従事



加瀬 清司
(かせ きよし)
冷暖房技術 4 部
車両用冷凍機関連の開発，設計に従事



松永 久嗣
(まつなが ひさつぐ)
冷暖房実験部
車両用冷凍機関連の開発に従事