

自動車室内の熱環境改善による省エネ効果に関する研究

Energy-saving effect by control of the car temperature

相田 洋志^{*}・井原 智彦^{*}・永山 雅之^{*}・吉田 好邦^{*}・松橋 隆治^{**}

Aida Hiroshi

Ihara Tomohiko

Nagayama Masayuki

Yoshida Yoshikuni

Matsuhashi Ryuji

村瀬 俊和^{***}・三木 勝夫^{***}

Murase Toshikazu

Miki Katsuo

長尾 五郎^{****}・木下 正勝^{****}

Nagao Goro

Kinoshita Masakatsu

The car inside temperature is influenced by the body color and windows transmittance. According to our simulation, temperature is reduced more than 10 degrees C by changing these factors. The highest temperature is calculated in the case of black body with see-through window and the lowest is in the case of white body with reflecting window. It is well known that the use of air conditioners is able to make the fuel consumption bad. If the fuel consumption gets bad, both discharged heat and CO₂ emissions are increased. In this paper, we express energy-saving effect by the control of car inside temperature. In addition, we are going to start the comparative experiment with two actual cars (black body and white body). We attempt to explain this energy-saving effect from both simulation and experiment. The outline of the experiment is mentioned at the end and I will present the result of the experiment in the oral announcement in January.

Keywords: Radiation, Heat load, Reflectance, Transmittance, Fuel consumption, Car air conditioner

1. はじめに

このまま何も策を講じない場合には、我が国の交通部門の二酸化炭素排出量は、2010年には1990年比で約40%増加することが見込まれている。1997年における我が国全体の二酸化炭素排出量のうち、交通部門の占める割合は20%以上を占め、1990年度から1997年にかけて21.3%の伸びを示している。¹⁾

また、自動車交通は、地球環境問題への影響のみでなく、都市環境問題にも影響を与えている。自動車の排ガス中に含まれるNO_x、SO_xによる空気の汚染はよくいわれているところであるが、その他に、都市温暖化、いわゆるヒートアイランド現象に自動車が寄与している、という報告がある。自動車燃費に関して、自動車製造各社の努力、政府のトッ

プランナー方式等により、自動車の燃費は年々向上してきているものの、実走行時における燃費に関してはまだまだ改善の余地がある。実燃費を決める要因は様々であるが、その中の一つにエアコンの使用による燃費の悪化がある。真夏のエアコン使用時には、燃費は2割も悪化するという報告もある。

自動車室内の温度を決定する要因として、日射・外気温度・風向風速等が考えられる。本研究では、それらの外界気象条件および車内への熱流入を決定する自動車固有の値（外壁表面反射率・放射率、窓面反射率等）から、自動車各部温度を決定する自動車室内熱負荷計算モデルを作成した。本稿では、熱負荷モデルから計算した車内各部温度、また12月から予定している実車2台を用いた比較実験の概要について説明する。実験ではエアコン使用時の燃費悪化について検証をおこなう。実験の結果は、冬季条件に置き換えた熱負荷計算の検証等に用い、真夏におけるシミュレーションを改めておこなう予定である。本研究は、シミュレーション・実験から、自動車ボディカラーの物性値の違い、遮熱諸技術（遮熱シート・窓面フィルム等）が、1: エアコン使用量減少による燃費向上とCO₂排出量減少効果、

^{*} 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻開発工学研究室

^{**} 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻環境システムコース環境経済システム学分野

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 4 号館

^{***} 三木コーティング・デザイン事務所

〒330-0834 埼玉県さいたま市大宮区天沼町 2-809-4

^{****} 日本ペイント株式会社

〒140-8675 東京都品川区南品川 4-1-15

2：ヒートアイランド対策効果，をどの程度持っているのかを明らかにするのを目的とする．

2．自動車熱負荷モデル

2.1 モデル概要

本モデルは，ある単体の自動車を単純化し，車内の熱環境を評価するモデルである．モデル作成に際し，自動車をできる限り単純化し，主に建築の分野で用いられる室内の熱負荷計算のモデルを参考にした．そこに，外部条件として，日射，気温，車速などが入力される．

2.2 モデル作成

モデルの作成においては，建築分野の熱負荷計算で用いられている計算を主に用いて計算を行った．その詳細は文献²⁾を参照されたい．計算の骨子は以下の点である．

・日射受熱と放射冷却

全天日射量から日射成分を直達日射，天空日射に分離し，各面に降り注ぐ日射成分量を計算する．壁面・窓面への入射角度等も考慮する．

・壁体の熱伝導

壁面に到達した日射は，壁面外側の温度を上昇させ，その熱が内部に伝わっていく．その表現には非定常熱伝導方程式の計算を用いた．また，ある壁面が受けている日射量を表現する手法として，その面の「相当外気温度」というパラメータを使用する．

・室内温度の計算

室内温度の計算方法も，上述の熱平衡の概念と同様である．対象とする室の代表点として，温点を1点設定する．その1点とその室に隣接する壁面の温点との間で同様に次のような熱平衡式をたてればよい．

$$\frac{\partial \theta_{air}^p}{\partial \theta} = \sum_k \frac{S_k}{(cr)_{air} V_{room}} \alpha_c (\theta_{wall,k}^{p-1} - \theta_{air}^{p-1})$$

ここで， θ_{air} ：室の温度， S_k ：壁面 k の面積， $(cr)_{air}$ ：空気 の熱容量， V_{room} ：室の体積， α_c ：室内対流熱伝達率である．

2.3 モデルの全体

ここで，モデルの全体像について整理をしておく．このモデルはInputとして，

- ・ 外部気温
- ・ 外部日射
- ・ 壁面(外面)物性値：色(反射率・放射率)，断熱特性(熱容量・熱伝導率)
- ・ 窓面物性値：透過率，反射率，吸収率

- ・ 車速(風速)

をもつ．これらの入力からOutputとして，

- ・ 車内温度

が計算される．

この車内温度が計算されると，車内をエアコン(冷房・暖房)で調節するとき，その除去熱量はいくらになるのか，空調機器稼働時間はどの程度になるのか，そのときの燃費はどの程度低下するのか，さらに使用エネルギーはどの程度増加するのか，の算定が可能になる．

3．計算結果

3.1 計算条件

(1) 窓面の設定

今回の計算における窓面の物性値には，窓用フィルム製造会社が公表している値⁵⁾を用いた．性能の違いから，いくつかのラインナップが存在するが，その中でも代表的な二つを透明ガラスの物性値と合わせて表1に掲載する．

表1 透明ガラスと窓用フィルムの物性値

	日射		
	透過率	反射率	吸収率
透明ガラス(3mm)	0.85	0.07	0.08
窓用フィルム(吸収タイプ)	0.66	0.07	0.27
窓用フィルム(反射タイプ)	0.55	0.2	0.25
	可視光線		紫外線
	透過率	反射率	透過率
透明ガラス(3mm)	0.9	0.08	0.51
窓用フィルム(吸収タイプ)	0.87	0.07	< 0.01
窓用フィルム(反射タイプ)	0.75	0.08	< 0.01

この3つの中で大きく異なるのが，日射透過率である．窓面からの日射透過が多ければ多いほど車内温度は上昇するので，これは重要な要素である．また，透明ガラスと窓用フィルムでは異なる，可視光線の透過率はすなわち外界の見易さとなるが，この値が法律で定められている0.7以下になると，自動車の窓には採用できなくなるが，今回の2つはこの条件を満たしている．また，紫外線遮蔽効果は窓用フィルムを付けた場合は大きく上昇する．今回は通常の透明ガラス(3mm)と窓用フィルム(反射タイプ)の2通りにて計算を行った．

(2) 壁面の設定

実験では黒色と白色の塗装を施した自動車の比較実験を予定している．表は老化したアルミペイント，黒色ペイント，白色ペイントの物性値である．

表2 各ペイントの物性値

	日射吸収率 α	長波放射率
老化したアルミペイント	0.5	0.6
黒色ペイント	0.93	0.88
白色ペイント	0.2	0.9

長波放射率に関しては、黒色、白色ともに変わらず高いのだが、日射吸収率に関しては大きく異なり、黒色の方が圧倒的に高い。今回は黒色ペイント、白色ペイントの2ケースにおいて比較をおこなった。

(3) 車速の設定

壁体表面が空気と接しているとき、壁体表面の温度が高ければ壁体表面から空気に向かって、また空気温度が高ければ空気から壁体表面に向かって、熱が移動する。このとき移動する熱量は、ニュートンの冷却則より、その温度差と対流熱伝達率に比例することが分かっている。今回の計算では、停車時における状態を考えている為、壁面にあたる空気の早さは通常の風速を与えている。走行中の自動車を考える場合には Jürges の式を考えて計算する必要がある。

3.2 計算結果

次に計算結果を掲載する。上述した通り、ケースは、窓面の設定(2 ケース)、壁面の設定(2 ケース)で、計4通りがある。

(1) 各部分の温度

まず、始めに1つのケース(白色ペイント、透明窓)における、各部分の温度について、図1に示す。

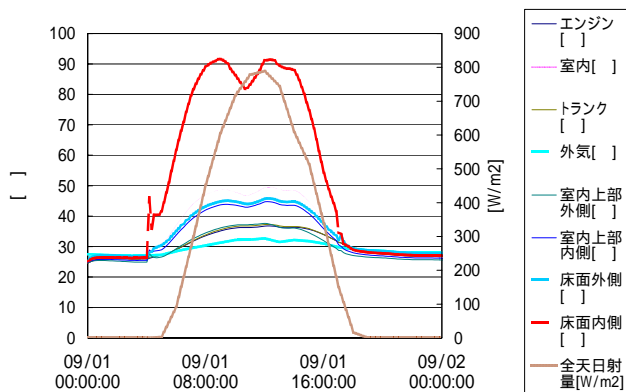


図1 白色ペイント、透明ガラスにおける各部分の温度

日中の室内温度、トランクルーム温度のいずれも外部気温よりも高くなっていることがわかる(場所・時間によっては10 近く)。室内温度とトランクルーム温度の温度差は窓からの日射の有無によるものである。また、2室とも、全天日射量もしくは外部気温に追従しているが、室および壁体の熱容量の影響が、最高気温は若干の時間遅れを伴って現れる。この結果が実測と合うかどうかは今後の課題である。

といえる。後述する実験の結果が出た後に、ここで示した各部温度との整合性を保つようなパラメータ設定(熱容量・熱伝達率 etc)をおこなう予定である。

(2) 各ケースの室内温度

次に、各ケース(計4通り)の室内温度の比較をおこなう。結果を図2に示す。

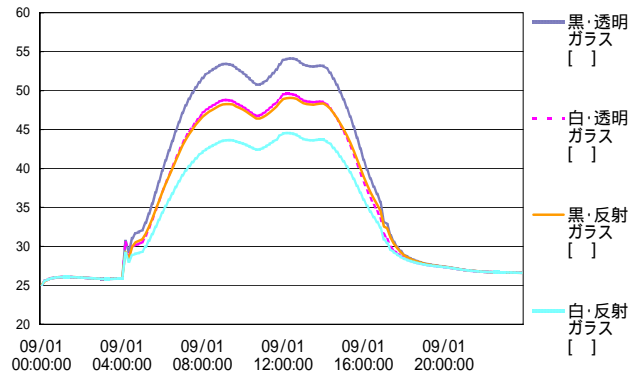


図2 各条件(4 ケース)における室内温度の比較

最も温度が高かったのは、(黒色、透明ガラス)のときとなり、最も温度が低かったのは、(白色、窓用フィルム装着)のときとなった。その差は10 近くも開く結果となった。この4通りの結果を解析すると、どちらもかなりの影響力があるが、窓フィルムの方が若干、室内温度に与える影響が大きいといえる。このあたりは今後の実験とともに検討していく予定である。また、本稿には記載していないが、先に述べた熱伝達率(風速)の与える影響もかなり大きいことを筆者らは計算で確かめている。今後さらに解析を進める予定である。

4. 実験

12 月初めから予定している実際の車両を用いた実験の概要・測定項目等について簡単に述べる。なお、この実験の結果は口頭で発表する予定である。

4.1 概要

同車種同年式の2 台の乗用車を用いて、晴れた日における各部温度、室内温度、エアコンの使用状況、さらに燃料消費量を計測する。2 台の車のボディカラーは黒と白である。

4.2 測定項目

実験は日中太陽が照っているときにおこなう。今回測定する項目を以下に示す。

< 外部気象条件 >

- ・ 日射(長短波放射計)
- ・ 風向, 風速(風向風速計)
- ・ 気温, 湿度(温湿度計)

< 自動車温度 >

- ・ ボディ外側表面温度
- ・ ボディ内側表面温度(内装材表面温度, インパネ部分表面温度など)
- ・ 室内温度

< 自動車燃費 >

- ・ インジェクタ噴射時間
- ・ エンジン回転数
- ・ エンジン水温
- ・ エアコンスイッチ状態(エアコンコンプレッサ部分のマグネットクラッチ)

< 自動車燃費 > 項目におけるインジェクタ噴射時間とエンジン回転数は「燃料消費量」を求めるためのパラメータである。

4.3 配置予定

実際には, 図 3 に示すような配置で計測をおこなうことを予定している。

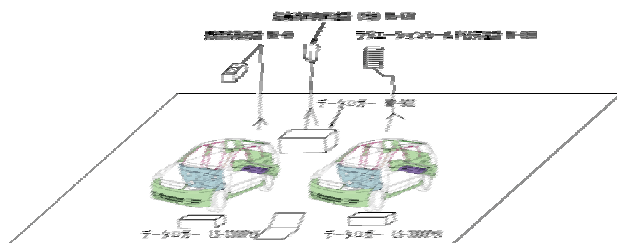


図 3 実験車配置予定図

5. おわりに

今回は, 自動車室内の熱環境改善技術の評価として, 単純な室内熱負荷計算をおこなった。車内の熱環境改善のために, 今回パラメータとして用いた, 窓面物性, 壁面物性のいずれもが大きな可能性をもつことが示された。今後, モデルのさらなる精緻化を実現するため, 実車を用いた実験が必要である。以下に今後の予定を示す。

5.1 熱負荷モデルの改良

車体内部からの発熱(エンジンからの排熱)を現在まだ考慮していない。アイドリング時の計算, 走行時の計算をおこなう上でこれらの考慮は不可欠である。また, 室内の熱容量設定(壁体, シート, ハンドル etc)も適切な値を与える必

要がある。後述する実験の結果と合わせ, より信頼性のあるモデルを構築することが必要となる。

なお, 本実験は 12 月におこなう予定であるが, この実験結果をプログラムに反映させる必要がある。具体的には以下のプロセスを考えている。

1. 12 月に実験実施
2. 12 月の気象条件における計算をし, パラメータを決定
3. 真夏の室内状況を再計算

5.2 冷房負荷の計算の組み込み

カーエアコン(熱量除去)の計算への組み込みが必要である。真夏にカーエアコンをかけない自動車は最近では一般的でない。また, 二酸化炭素・熱などの排出との関連をカーエアコン使用状況と合わせてみるのが本研究の目的であるので早急におこなう必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省;
<http://www.mlit.go.jp/index.html>
(アクセス日 2003.10.10)
- 2) 井原智彦, 半田隆志 ほか 3 名; 行列計算を改良した多数室温計算手法の提案と高反射高放射塗料による CO₂ 排出削減効果の評価, 電学論 C, 123-8, (2003), 1493-1501.
- 3) 浦野良美, 中村洋; 建築環境工学, (1996), 森北出版株式会社.
- 4) 渡辺敏; カーエアコン[第 2 版], (2003), 株式会社山海堂.
- 5) 市場創造株式会社;
<http://www.attsu-9.com/>
(アクセス日 2003.10.1)