

## 1 緒言

京都議定書が発効され、運輸部門では CO<sub>2</sub> 排出量を 90 年比 15.1% 増以下に抑えるという目標に対し、カタログ燃費改善や自動車走行量の伸びの鈍化により排出量は漸減傾向にあるが、CO<sub>2</sub> 排出量に直接影響する実燃費の改善による排出量削減の余地があると言える。実燃費悪化の一因である車内冷房使用の抑制が期待できる技術として、太陽熱高反射塗装 (SRP: Solar Reflective Paint) の自動車への導入がある。

SRP とは、特殊顔料の配合により可視光域の反射率を変えことなく近赤外域における日射反射率を向上させる塗料である(図 1)。自動車塗装は図 2 のような構成であり、本研究ではダークブルーマイカメタリック色の小型車の中塗り、上塗りベース塗装への高反射塗料の適用により日射反射率は 10.3% 向上した(表 1)。

先行研究<sup>1)</sup>では、同車種同年式で上記の SRP を塗装した SRP 車と同色通常塗装車(NOR 車)との比較実験を冬期に行い、車内天井付近で最大 3.9℃、腰部付近で最大 1.6℃、SRP 車の温度低下効果を実証した。また自動車熱負荷シミュレーションにより、SRP 車の方が空調による除去熱量が削減されることを示し、燃料消費削減の可能性を示唆した。

本研究は、先行研究<sup>1)</sup>と同じ車両を用い夏期静置実験と走行実験を行い、SRP 車の車内熱環境緩和、燃費改善効果を示すことを目的とした。本研究の新規性は、①夏期における SRP 車内熱環境緩和効果の実証、②燃料消費量測定による省エネ効果の実証、③冷房稼動走行時の燃料消費量推計モデルの作成、および任意気象・走行モードでの燃費改善効果の評価、をそれぞれ試みたことである。

## 2 夏期静置実験

ダークブルーマイカメタリック色の SRP 車と NOR 車を静置し(図 3)、両車の熱環境計測、除去熱量計算用気象データを得る、冷房稼動由来燃料消費量の測定という目的に対し車両各部温度計測実験、気象測定実験、アイドリング実験を行った。

### 2.1 実験構成

車両各部温度計測では各車内外に 23 箇所ずつ熱電対を取り付け、各部の温度を計測した。気象測定では下向き長波・短波放射量、風向・風速、外気温度を測定した。アイドリング実験ではエンジン始動後アイドル放置した状態で、エンジン回転数  $r[\text{rpm}]$ 、燃料噴射時間  $t_f[\text{ms/s}]$ 、インテークマニホールド圧  $p[\text{kPa}]$ 、エアコン信号データを ECU(Engine Control-

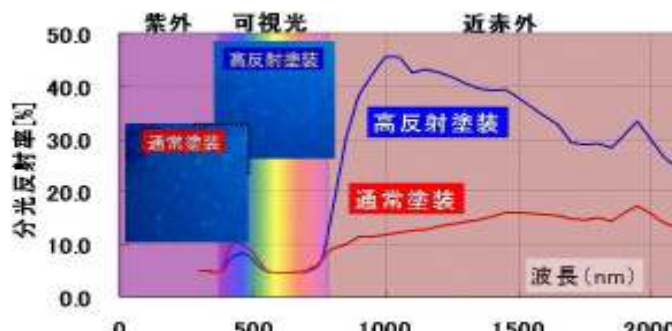


図 1 ダークブルーマイカメタリック色の分光反射率

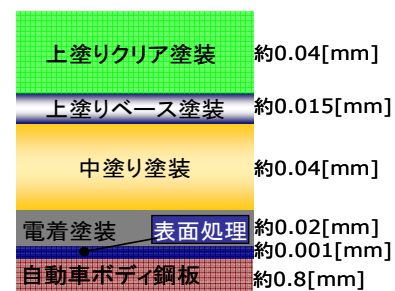


図 2 自動車塗装の構成



図 3 静置実験の様子

表1 実験車のボディ日射反射率

	日射反射率[%]	長波放射率[%]
NOR車	9.8	90
SRP車	20.1	90

Unit)から取得した。冷房は非稼働または稼働の条件を設定した。

○アイドリング実験の条件

冷房非稼働条件では、実験車 2 台のエンジンを同時に始動後アイドル放置し、冷房非稼働、窓は閉め切り、内気循環で測定した。測定日は 8/20,22,24,27,28,31,9/2,4 である。

冷房稼働条件では、2 台のエンジン始動後 20 分ほどアイドル放置しエンジン回転数を安定させた後、2 台同時に冷房を稼働させて測定。AUTO モードとし、設定温度は 25℃、窓は閉め切り、内気循環、吹出口は上半身、吹出角度は水平を目安に調整した。測定日は 8/22,24,28,31,9/2,4 である。

## 2.2 実験結果

8/11 の天板外表面温度、車内前方腰部温度、日射量、大気放射量、外気温度を図 4 に示す。NOR 車に比べ SRP 車では、天板外表面で 10 時~14 時に平均 3.7℃、最大 5.7℃の温度低下、また車内前方腰部では平均 3.2℃、最大 4.3℃の温度低下が見られた。夏期でも、日中に SRP 車内熱環境が緩和されていると言える。

○アイドリング実験

エンジン始動後、 $t_r$  と  $r$  は下降し安定する。冷房稼働により急増するが、その後緩やかに下降もしくは平均的に安定した推移となる。取得したエンジン回転数  $r$ 、燃料噴射時間、インテークマニホールド圧、およびメーカーから得た式より燃料噴射量  $E[\text{ml/s}]$  を算出し、SRP 車と NOR 車を比較する。各パラメータの関係は式(1)の通りである。

$$E \propto r, t_s, \sqrt{\text{大気圧項} - f(p)} \quad (1)$$

冷房非稼働時の比較は、エンジン回転数推移が安定した時間を分析対象とした。実験全体の平均値を表 2 に示す。表 2 より、冷房非稼働時では両車の燃料消費量に差が無いことが分かった。この結果を基に冷房稼働時の燃料消費量を比較する。

冷房稼働時の比較は、冷房稼働~停止を分析対象とした。結果として、計 6 日間の実験中、4 日間で燃料噴射量は NOR 車  $\leq$  SRP 車となった。この原因として冷房稼働時のエンジン回転数が NOR 車  $\leq$  SRP 車となったことが考えられる。具体的には AC 信号が ON の時のエンジン回転数が SRP 車の方が大きく、また AC 信号の切替が無い場所でも SRP 車の方が大きい(次頁図 5)。これは両車のエンジン制御学習状態の違いに起因すると考えられる。従って、仮に冷房稼働時のエンジン回転数が両車等しいとした場合の燃料消費量を比較し、次頁表 3 にその結果を示す。両車の燃料消費量は 0.01[ml/s](約 4~5%)削減される結果となった。これより、学習状態など燃料消費量に関するパラメータに差がなければ、SRP 車の省エネルギー効果を実証できると言える。

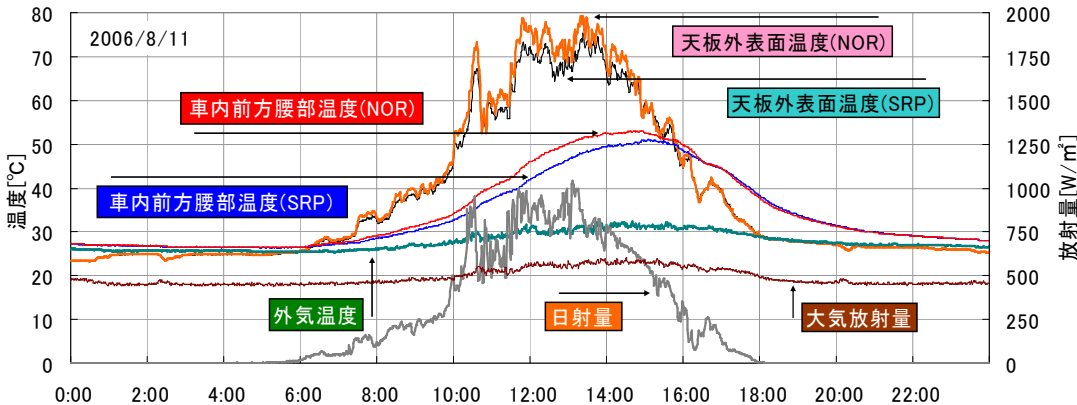


図 4 気象データおよび SRP 車と NOR 車の天板外表面および車内腰部温度

表2 冷房非稼働時の燃料噴射量の比較:06/8/20,22,24,27,28,31,9/2,4の平均値

エンジン回転数[rpm]			燃料噴射時間[ms/s]			インマニ圧[kPa]			燃料噴射量[ml/s]		
NOR	SRP	SRP	NOR	SRP	SRP	NOR	SRP	SRP	NOR	SRP	SRP
709	709	0	2.55	2.56	0.01	33	33	0	0.14	0.14	0.00

### 3 自動車熱負荷シミュレーション

自動車熱負荷シミュレーションモデル<sup>2)</sup>では自動車は乗車室、インパネ室、壁体で構成される。壁体は単一部材層が複数重なって構成される1枚平板と仮定されている。1室に1点、壁体は各層境界の中央に1点温度計算点を設け、各点における熱平衡を1次元熱伝導方程式で表現し連立させて解くことで室温、除去熱量を計算する。モデルの検証は先行研究<sup>1)</sup>で行われ、車内温度の計算値は実測値をほぼ追従することが確認されている。入力気象条件、空調スケジュール、設定温度は、夏期静置実験での条件を用いた。

計算結果および各実験日の累積日射エネルギーを表4に示す。これよりSRP車の除去熱量はNOR車に比べて1.05%~2.85%削減されること、また累積日射エネルギーが大きいほど除去熱量削減率が高いことが分かる。

次に、冷房由来燃料消費量=冷房非稼動時燃料消費量-冷房稼動時燃料消費量とし、夏期静置実験でのNOR車の冷房由来燃料消費量と除去熱量を比較することにより、以下の冷房由来燃料消費量推計式を得た。決定係数は0.7796である。

$$\text{冷房由来燃料消費量 } E_{ac} [l] = 0.0466 [l/MJ] \times \text{除去熱量 } Q_{ac} [MJ] \quad (2)$$

### 4 走行実験

冷房非稼動で都内を走行し燃料消費量、速度、加速度などを測定する。実験データを用いショートトリップ(ST: 次頁図6)解析を行い、燃料消費量推計モデルを作成する。夏期静置実験と同様に走行中ECUデータを取得した。日本ペイント(株)東京事業所を拠点とし、2台同時に内回り(山手通り→玉川通り→環七通り→第一京浜→山手)と外回りの2周走行した。1周25.8kmで所要約1時間、冷房非稼動日は10/24である。

ST解析では式(3)により走行由来燃料消費量  $E_{run}$  を推計する。

$$E_{run} = \sum E_{ST} = \sum (b_i \cdot t_i + b_a \cdot \alpha_a \cdot v_a \cdot t_a + b_c \cdot v_c \cdot t_c + b_d \cdot v_d \cdot t_d) \quad (3)$$

$E_{ST}$ : ST毎燃料消費量 添字: 走行モード(i: 停止 a: 加速 c: 定速 d: 減速)

ST毎モード毎走行特性:  $t$ (モード時間),  $v$ (モード平均速度),  $\alpha$ (モード平均加速度)

$b$  は回帰係数で、10/24の走行特性データ(実測値)と燃料消費量(実測値)から求める。

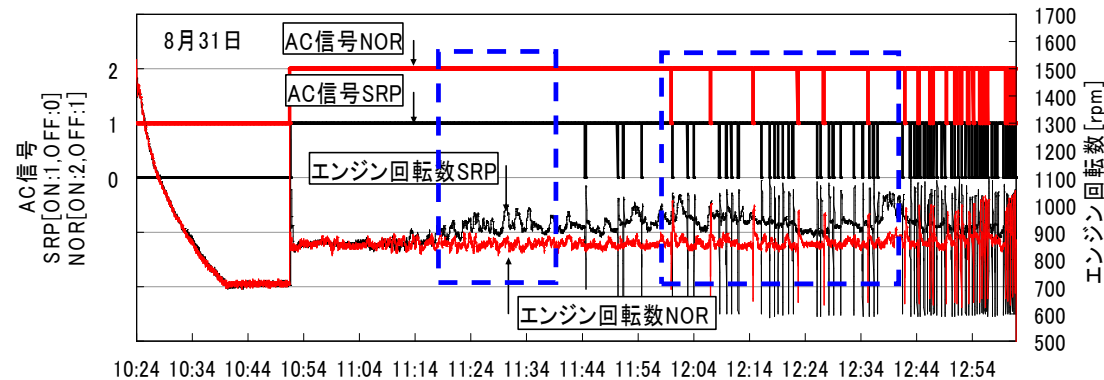


図5 エンジン回転数の差異

表3 エンジン回転数補正後の燃料噴射量

冷房稼動時	比較時間[s]	燃料噴射量[ml/s]		
		SRP	NOR	NOR-SRP [ml/s]
8/22(2)	1298	0.26	0.27	0.01
8/24	1976	0.25	0.26	0.01
8/28	15300	0.21	0.22	0.01
8/31	7200	0.24	0.25	0.01
9/2	7080	0.24	0.25	0.01
9/4	11880	0.23	0.24	0.01

表4 除去熱量計算結果と累積日射エネルギー

	8/24	8/28	8/31	9/2	9/4
除去熱量[MJ] SRP車	8.48	41.70	9.84	7.00	15.35
除去熱量[MJ] NOR車	8.57	42.47	10.04	7.19	15.80
除去熱量削減率[%]	1.05%	1.81%	1.99%	2.64%	2.85%
累積日射エネルギー[kWh/m <sup>2</sup> ]	0.30	1.32	1.85	1.91	2.03

冷房稼働走行時燃料消費量=走行由来+冷房由来と分け、式(2)+式(3)により推定する(結果は表 5)。ただし走行中の停止時はアイドリングストップ装置が働くため、停止モードの  $b$  は夏期静置実験で得た冷房非稼働時燃料消費量  $0.14[\text{ml/s}]$  を用いる。

### 5 燃費改善効果

作成したモデルを用いて、東京、バンコクにおける SRP 車、NOR 車の燃費を推定した。気象条件は年間で最も車両天板外表面の相当外気温度  $\theta$  が高い日時を選択した。実走行モードは、東京、バンコクともに、代表的な 10 個の都内走行パターン(東京都モード)を想定し、SRP 車と NOR 車の実燃費を推定した。冷房設定温度は  $25^{\circ}\text{C}$ 、走行モード所要時間のみ稼働するとした。結果を表 6 に示す。東京、バンコクともに最も平均車速が低い走行モードでの燃費改善率が大きい。平均車速が速い走行モードほど燃費改善率が低いのは、冷房由来に比べて走行由来燃料消費量がより支配的だからである。10 個の東京都モードにおける燃費改善率の平均は東京都では  $0.72\%$ 、バンコクでは  $1.11\%$  となった燃料消費量は燃費  $[\text{km/l}]$  の逆数で効くので、SRP 車一台につき燃料消費量、および  $\text{CO}_2$  排出量は東京とバンコクでそれぞれ約  $0.7\%$ 、 $1.1\%$  削減される。

### 6 結言

本研究では、自動車ボディの反射率向上により夏期車内熱環境が改善されることを実証した。夏期静置実験の結果、車内前方腰部付近でも  $10\sim 14$  時平均で SRP 車の方が  $3.2^{\circ}\text{C}$  温度が低下した。これは感覚的にも認識できる温度差であり、車室内のアメニティの向上に寄与し得る結果である。また走行実験に基づき作成した冷房稼働走行時燃料消費量推計モデルにより都市部走行時の燃費を推定し、高反射塗装による実燃費改善効果を理論的に示した。



図6 ショートトリップ

表5 各回帰係数値と決定係数

回帰係数	単位	値	決定係数
$b_i$	$[\text{ml/s}]$	0.14	-
$b_a$	$[\text{ml}/(\text{km/h/s})/(\text{km/h})/\text{s}]$	0.0179	0.9226
$b_c$	$[\text{ml}/(\text{km/h})/\text{s}]$	0.0150	0.9564
$b_d$	$[\text{ml}/(\text{km/h})/\text{s}]$	0.0052	0.6964
$b_{ac}$	$[\text{ml}/\text{kJ}]$	0.0466	0.7796

表6 東京、バンコクにおける東京都モードでのSRP車、NOR車の推定燃費

mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
所要時間[s]	1018	879	1206	1506	1178	901	1300	1182	1082	1177
平均車速[km/h]	4.6	8.3	11.7	14.6	17.9	18.5	23.6	28.5	34.7	44.3
東京										
推定燃費 SRP車	4.17	6.38	8.36	9.53	10.90	10.53	11.51	13.19	13.73	14.85
[km/l] NOR車	4.22	6.44	8.44	9.61	10.98	10.60	11.58	13.27	13.80	14.91
燃費改善率	1.11%	0.94%	0.88%	0.80%	0.75%	0.70%	0.60%	0.57%	0.48%	0.41%
バンコク										
推定燃費 SRP車	3.37	5.26	6.92	7.99	9.18	8.97	9.99	11.48	12.16	13.37
[km/l] NOR車	3.43	5.34	7.01	8.09	9.28	9.07	10.08	11.58	12.25	13.46
燃費改善率	1.63%	1.40%	1.32%	1.21%	1.14%	1.08%	0.94%	0.89%	0.78%	0.67%

### 参考文献

- 1)井原智彦, 安江勇祐ら 9 名: 太陽熱高反射塗装による自動車の省エネルギー効果, 第 25 回エネルギー・資源学会研究発表会講演要旨集
- 2) 井原智彦, 相田洋志ら 9 名: 自動車ボディの日射反射率向上による省エネルギー効果に関する研究, 自動車技術会論文集, 36-4(2005), p175-180
- 3) EA 気象データ(日本建築学会; 拡張アメダス気象データ, 2000, 丸善株式会社)より算出。