

自動車用オートエアコンの3D偏日射対応制御研究

Research of Control Countermeasure for 3-D Uneven Solar Radiation of Car Auto Air-Conditioning System

角 田 功*
Isao TSUNODA

首 藤 裕 紀*
Hironori SHUTO

高 松 育 生*
Ikko TAKAMATSU

要 旨

ABSTRACT

自動車の空調において、さまざまな角度から差し込んで変化する偏日射を受けても快適性を維持できるオートエアコンシステムを開発した。人体が受ける日射エネルギーを直接乗員が受けるものと車体が受けて室内空気を介して乗員に到達するものとに分け、太陽の位置ごとにそれぞれ求めた。その結果からオートエアコンの日射補正係数を変化させるためのマップを作成した。GPSを使って、車両に対しての太陽相対位置を算出し、太陽の位置によって乗員が受ける日射熱量分だけ冷却する制御システムを完成した。このシステムを搭載したオートエアコン車で屋外の実走テストをおこない、車体に対して日射の方向が変化しても、乗員は一定のフィーリングを得られることを確認した。

In the area of automobile air-conditioning, a new system was developed that is capable of maintaining comfort even when receiving uneven solar radiation that changes as it enters from different angles. This project differentiated the solar radiation energy that is absorbed by the human body and thus affects passengers directly, and that energy that is absorbed by the car body and is then conveyed to the passengers by means of the cabin air. Values for these two were then derived for every position of the sun. Based on the results, a map was created that enables the air-conditioning system to change the coefficient adjusting for the influence of solar radiation. A control system has been developed that calculates the position of the sun relative to the automobile by means of GPS, and provides only as much cooling as is needed to offset the amount of solar radiation energy absorbed by the passengers according to the position of the sun. An automobile with this air-conditioning system installed was subjected to outdoor cruising tests, which confirmed that passengers felt a constant level of comfort even when the direction of the sunlight changed with respect to the car body.

1. まえがき

自動車用の空調システムは、建物の空調システムと異なり、外部からの入熱のかかなりの部分を太陽からのふく射熱が占めるため、オートエアコンでは日射センサを設けて日射の強さに応じて吹き出し温度と風量を制御している。ところが、自動車では日射が直接乗員に当たる状況があり、この場合は太陽位置、乗員の位置などで直射による受熱量が異なるため、室内温度を均一にコントロールするだけでは不十分である。

このため2次元日射センサ⁽¹⁾⁽²⁾や、日射センサを2個使った偏日射制御などがあるが、太陽と車両と人体の関係で複雑に変化する偏日射による影響を全域で補正する

事はできない。さらに車両の位置から太陽の位置を算出し、日射強度との関係から偏日射に対してオートエアコンを制御する手法⁽³⁾はすでに考案されているが、実際の制御量を求めた例はない。

本稿では太陽のふく射熱が車両及び乗員に与える熱の流れについて解析し、偏日射全域で快適な制御のできるオートエアコンの検討を行った。

2. 快適要因の解析

2.1. 快適性の要因

自動車の乗員の快適性の要因の一つに、伝熱3要素(対流、放射、伝導)による室内の温熱環境があり、昼夜、季節

などによりそれぞれの要因が変化する。たとえば夜間は室内外の温度差による熱伝達及び換気による熱の移動によって温熱環境が決定され、日中はこの他に太陽のふく射熱の影響が大きくなる。

快適性の要因はこのような温熱環境で決まるものの他に好みの要素があり、ISO7730 などによれば個人差による好みは Fig.1 のような範囲で分布する。

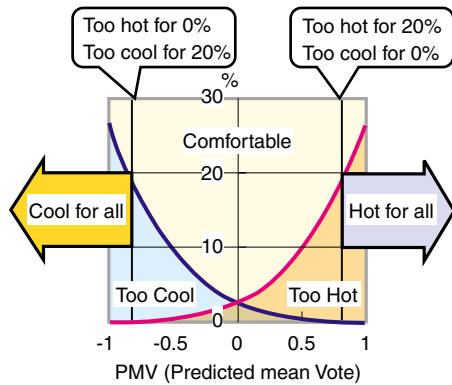


Fig.1 Distribution chart of preference

通常はこれらの要素の組み合わせで快適性が決まる。しかし、自動車は居住空間が狭く、乗員の位置はほぼ固定されており、ガラス窓が室内容積に比べて大きいいため、この他に乗員に直接日射が当たることによる暑さがあり、その影響は他の要素に比べて大きい。

2.2. 乗員の受熱

車室内の空気温度は、日射の少ない時は外気からの熱伝達、換気、空調などによって決定される。日射の多い時は太陽のふく射熱が大きな比重を占め、特に外気温度が制御する室温に近い時には、熱伝達による熱の移動は少ないため、外部からの入熱はこのふく射熱が大半を占める。

日射を受けた場合の受熱の経路を Fig.2 に示す。太陽からの日射は、窓から入って内装材などの温度を上げ、室内空気の温度上昇を経て乗員に到達する要素と、窓から乗員に

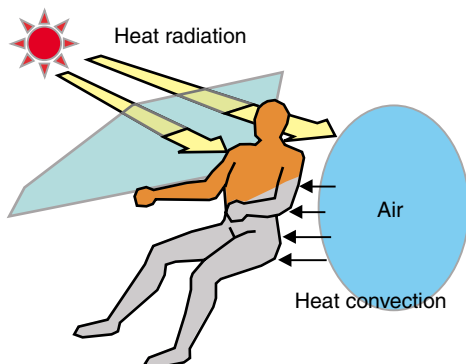


Fig.2 The routes of solar radiation reaching passenger

直接当たり衣服や皮膚の温度を上げる要素に分けられる。前者の場合は太陽の位置の影響による変化は比較的少なく、日射センサなどで室温に対しての補正をかけることによって一定の環境は作りやすい。太陽の仰角が高く乗員にはほとんど日射の当たらない夏の日中に相当する。

後者の場合は窓と乗員の位置関係で受ける熱量が異なるため各席で差が生じ、乗員の受熱量が大きいので太陽の位置による変化の幅も大きい。夏の日中以外の太陽仰角が低い時期すべてに相当する。

3. 日射に対する制御の現状と課題

3.1. 日射に対する制御の現状

一般的なオートエアコンでは外気温、室内温度、設定温度、日射量などから式(1)によって目標となる吹き出し温度 T_{ao} を演算し、ヒータユニットで冷風と温風の混合比を変えることで吹き出し温度を調節して、室内の温熱環境を制御する。

$$T_{ao} = F(T_{set}, T_{am}, T_r, T_{sun}) \quad (1)$$

T_{set} : 設定温度

T_{am} : 外気センサ温度

T_r : 内気センサ温度

T_{sun} : 日射量

太陽のふく射については、日射センサで検出したふく射熱の量に応じて吹き出し温度を低くし、室内空間を一定の環境に保つようにする。

日射センサは室内の日陰になりにくい場所で、運転席に近いところに設定される。一般的には車両のフロントガラス内側前方のインストルメントパネル上が多い。日射センサの感度、及び太陽と日射センサの間に介在するフロントガラスの減衰量によりゲインが決定される。この位置で検出される日射量を太陽からのふく射熱として代表する。

3.2. 日射に対する制御の課題

日射センサに当たる日射は、入射角によってセンサに到達する日射の量に相違が生じる。一方乗員は窓との位置関係で日陰になることもあれば、全身に日差しを浴びることもある。したがって太陽の位置によって日射センサの検出するふく射量と乗員の受熱量とが一致するとは限らない。実際の日射センサの出力が、各太陽の位置でふく射熱を代表できるかどうかを確認するために、一般的なセダンで日射センサに当たる日射と乗員に当たる日射の関係を調べてみた。

Fig.3 は仰角 50 度の太陽の位置から見た車両と乗員の関係を示す、窓から見えている部分が日射の当たる部分である。正面から日射が当たる場合は、乗員も日射センサも日射を受けている。横からの日射の場合は太陽のある方の乗員

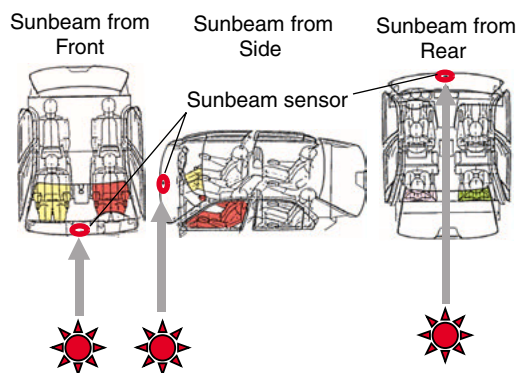


Fig.3 Comparison of solar radiation on sunbeam sensor and on passengers

と、日射センサが日射を受け、反対側の乗員は日陰になる。後方からの日射の場合は、前席の乗員は日陰となるが、日射センサは日射を受ける。このように、乗員の受ける日射と日射センサの受ける日射は必ずしも一致せず、横からの日射の場合は左右席によっても差が生じるため、日射センサによる単純なエアコン制御では乗員全員に快適な空調は得られない。

3.3. 太陽位置による偏日射の影響

上述のように、日射補正と人体受熱量とがずれていると乗員に対しての熱の収支が崩れるため、日射の方向によって暑かったり寒かったりする。このような問題点を解消するためには、日射センサの日射に対する補正量と、乗員が受ける熱量とを一致させる必要がある。

以後に使用する車両に対しての太陽の位置関係を Fig.4 に示す。

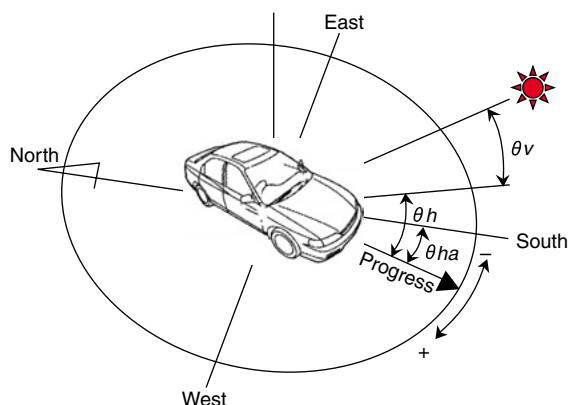


Fig.4 Description of sun position

θ_h : 車両進行方向に対しての太陽方位角

θ_v : 太陽仰角

θ_{ha} : 南中に対しての太陽方位角

実際に日射量を検出している位置と乗員の位置及び条件は異なっている。このことを定量的に確認するため、太陽の位置に対して日射センサの日射検出量と乗員のふく射熱受

熱量の関係を比較し、日射センサによる補正が乗員が受けるふく射による熱量を解消できるかどうかを確認した。

日射センサ単体は指向性により Fig.5 のように太陽の仰角によって出力が変動する。

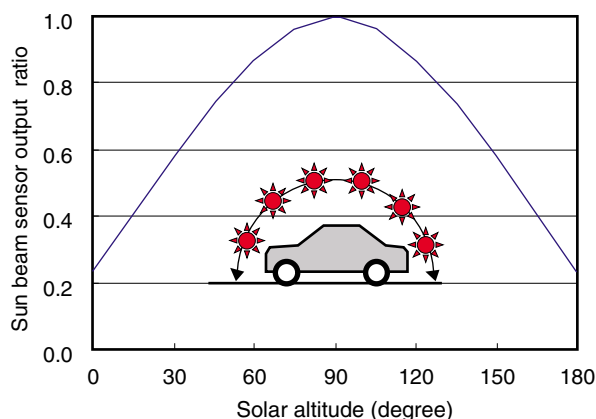


Fig.5 Sun beam sensor output ratio

センサ単体は方位に対して指向性は持たないが、センサはフロントガラスの内側に設定されるので、ガラスへの入射角によってセンサに到達する日射量は変動する。実際に制御に使われる日射センサの出力変化は仰角と方位に対して Fig.6 のようになる。

車体の中心前方に太陽が位置するときには出力は最大となり、横方向になるに従ってガラスに対しての入射角が小さくなるため出力は下がり補正は弱くなる。

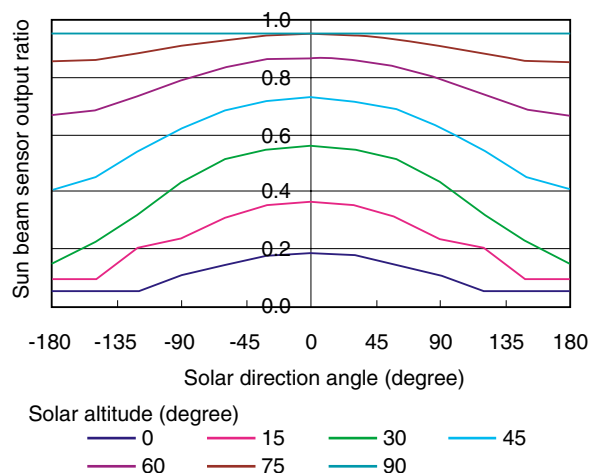


Fig.6 Sun beam sensor output ratio in car

一方実際に必要な日射に対する補正がどうなっているかを検証するために、自動車の乗員の受けるふく射熱と、太陽の位置関係を一般的なセダンモデルとして Fig.2 に示した経路別に求めた。

まず室内気温に影響する成分として、太陽光が窓ガラスから入ることにより室内空気が受ける熱量を仰角別に方位との関係を整理すると Fig.7 のようになる。

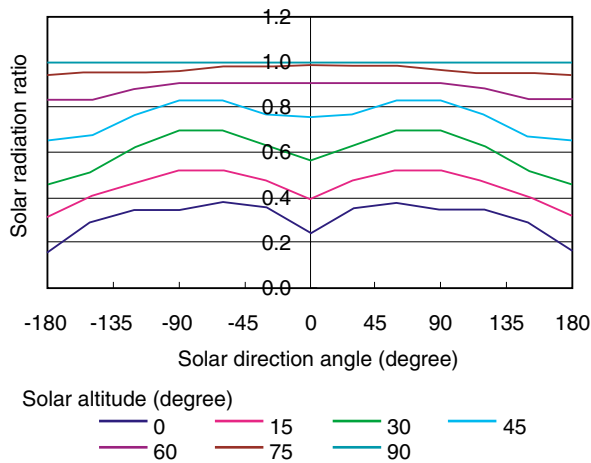


Fig.7 Solar radiation affecting interior

室内空気の受けるふく射熱は主に仰角により変化し、太陽の仰角が高いほど受熱量は大きくなることわかる。

次に、日射が窓を通して直接乗員に当たり、乗員が受ける熱量を左側の席の乗員について求めた。太陽の位置との関係は Fig.8 のようになる。太陽の仰角が高いときには太陽が乗員側にある時に最も強く日差しを受け、仰角が低い時にはむしろ反対側に太陽がある時に日差しのピークが発生する。特に仰角が低い時に方位によって受熱量の変化が大きい。

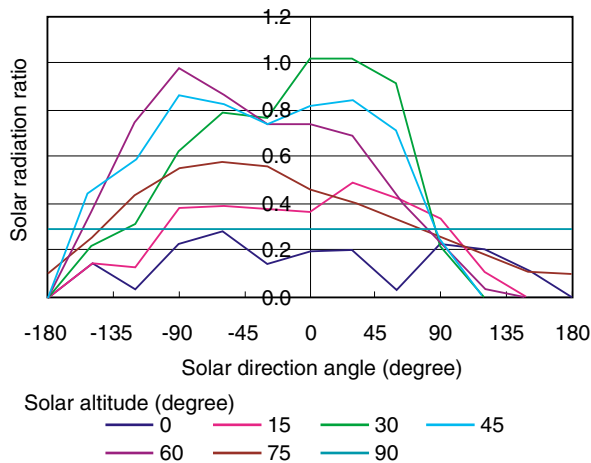


Fig.8 Direct solar radiation reaching left passenger

この二つの熱量の合計が、乗員が受ける太陽からのふく射熱となる。代表的な仰角 30 度、60 度について太陽の方位別に整理し、日射センサ出力の方位特性と比較した。Fig.9 及び Fig.10 に示す結果から、日射センサの日射に対する補正量は実際に受ける熱量に対して、仰角 30° では正面側で全体に不足し、仰角 60° では後方で過剰、左側で不足、右側で過剰。であり適正に日射に対する補正のかからない部分が多いことがわかった。

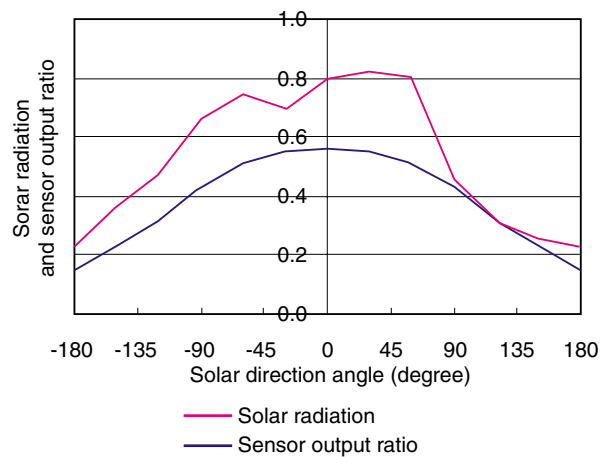


Fig.9 Output ratio of sunbeam sensor and heat ratio of left passenger (Solar altitude 30°)

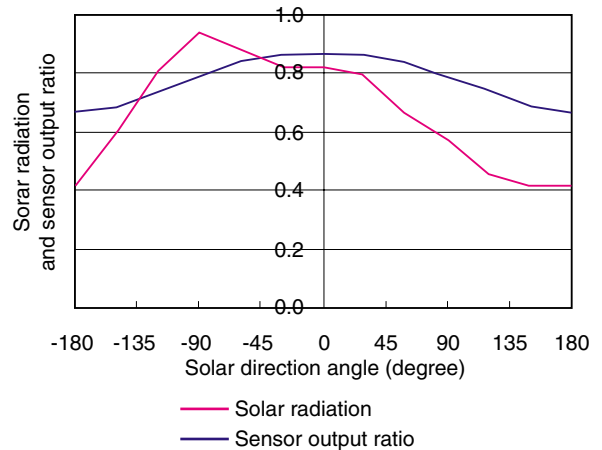


Fig.10 Output ratio of sunbeam sensor and heat ratio of left passenger (Solar altitude 60°)

3.4. 偏日射による影響の解消方法

実際に日射を受けた乗員が受けない場合に対して、どの程度吹き出し温度を下げればよいかについて、実験的に温度及び風量を求めた。

Fig.3 に示したように実車を静止状態で、正面日射(最も多く日射を受ける場合)、後方日射(車体は日射を受けるが乗員は受けない場合)、右側、左側からの日射(左右差がある場合)、日陰(日射が無い場合)の比較を行いそれぞれ同じフィーリングとなるよう、吹き出し温の調整を行った。

Fig.11 に示すように、日射が当たる時と当たらない時で風量及び吹き出し温を調節することで、同じフィーリングが得られる条件があることがわかった。

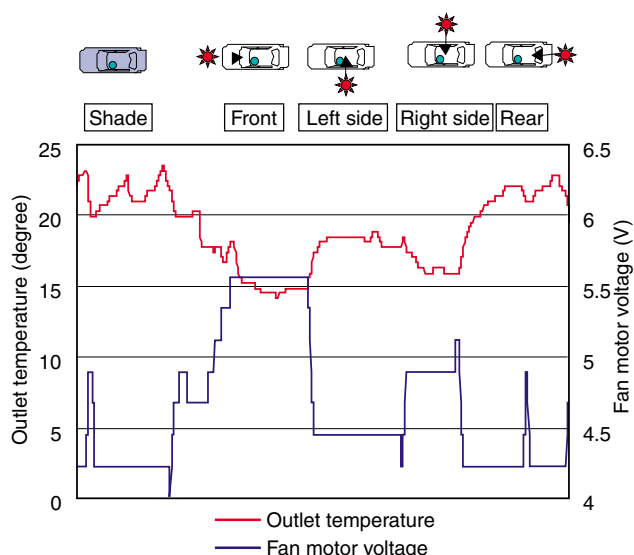


Fig.11 Same feeling outlet temperature

4. 偏日射に対する制御

4.1. 基本的な考え方

太陽仰角, 方位角によって乗員の受熱量は複雑に変化する。日射センサで検出した日射に対する補正量が, 太陽の位置に応じて, 乗員の受熱量と一致するように変化すれば, 太陽の位置によらず一定のフィーリングが得られる。

そのためには日射センサの出力と人体の受熱量を合わせるマップと, 太陽の位置検出が必要である。

4.2. 制御アルゴリズムの設計

目標吹き出し温 T_{ao} の演算式は(1)式を用い, T_{sun} の係数項を, 太陽の仰角, 方位角(θ_v , θ_h)の関数とした。日射センサの指向性を正規化し法線面での日射強度とする。これに乗員受熱量変化をかけて, 日射に対する補正量が乗員の受けるふく射熱変化と一致するようにする。日射に対する補正係数 K_{sun3D} は式(2)から求められる。

$$K_{sun3D} = \frac{F\{F_h(\theta_v, \theta_h), F_r(\theta_v, \theta_h)\}}{F_s(\theta_v, \theta_h)} \quad (2)$$

$F_h(\theta_v, \theta_h)$: 乗員が直接受けるふく射熱係数

$F_r(\theta_v, \theta_h)$: 車室内空気が受けるふく射熱係数

$F_s(\theta_v, \theta_h)$: 日射センサの指向性係数

4.3. 太陽位置検出

太陽の位置検出方法については, 3D日射センサによるものや, GPS 信号から計算するなどさまざまな方法が考えられる。実走確認用システムには, 比較的簡単に高精度の得られる GPS 信号から, 太陽位置を求める手法を用いた。

GPS 信号より現在位置の緯度, 経度および現在時刻を求め, 地球と太陽の幾何学的な位置関係より, 太陽の仰角

θ_v , 南中に対する方位角 θ_h を演算した。

さらにGPS信号から車両の進行方向を求め, 進行方向と θ_h から車両に対しての相対方位角 θ を算出した。

5. 実車による検証結果

5.1. テスト車構成

3Dでの偏日射に対する制御を行った場合, 実車として効果が得られるかどうかの確認するためにテスト車を作成した。

テスト車は一般的なセダンをベースとし, 日射センサはフロントガラスの影響を受けないように, 簡易的にルーフに水平に取り付けた。

仰角および方位角については, GPSアンテナからの信号をコンピュータに取り込んで演算を行ない, その信号をオートエアコンの ECU に送った。吹き出し温度を調節するヒータユニットは左右別々に温度が制御できるように改造した。正確な吹き出し温とするために, 吹き出し口には吐気温度センサを設けて, 温度調節にフィードバックをかけた。吹き出し温度はモニタができるようにした。オートエアコンの目標吹き出し温は式(1)の T_{ao} 演算式を左右席用に別々に設け, 日射に対する補正係数は太陽の仰角, 方位角によって日射センサのゲインをコントロールできる様にマップを備えた。オートエアコンの ECU はパーソナルコンピュータにつないで各センサの値と仰角方位角がモニタできるようにした。

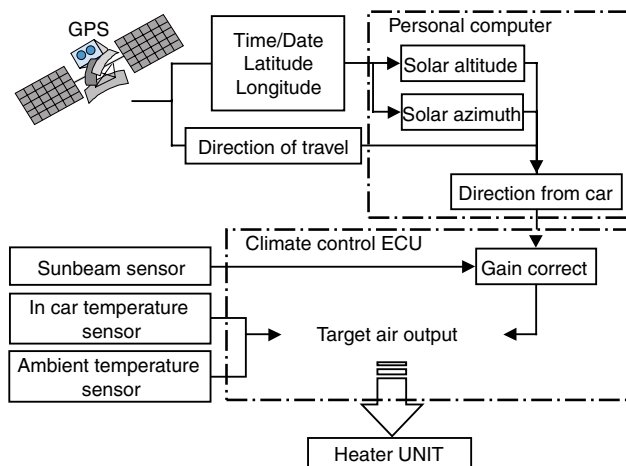


Fig.12 Control flow chart

5.2. テスト方法

テストは屋外での実走により行った, あらかじめ日時, 緯度, 経度から何時にどのような角度で日射が当たるかを演算によって求めた。

太陽仰角, 方位角と時刻の関係の例を Table 1 に示す。これを元にしてテスト確認したい方位に車体を合わせて,

Table 1 Test location and solar angle

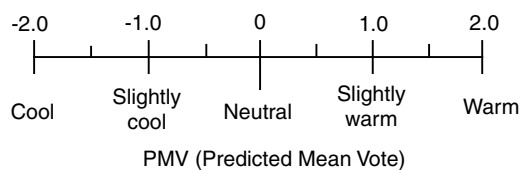
Time	Solar altitude (°)	Solar azimuth (°)
6:00	4.1	87.1
7:00	15.9	77.7
8:00	27.3	67.2
9:00	37.8	54.4
10:00	46.5	37.8
11:00	52.0	16.4
12:00	52.8	-8.3
13:00	48.7	-31.2
14:00	40.9	-49.4
15:00	31.0	-63.3
16:00	19.8	-74.4
17:00	8.0	-84.0

Longitude	140°E
Latitude	37°N
Date	09/19/00

その方向に走行してフィーリングの確認を行なった。

結果については各席それぞれ Table 2 に示すスケールによるフィーリングの申告結果により評価した。

Table 2 PWM scale



5.3. テスト結果

各方位で実際に走行して各席での吹き出し温度制御とフィーリングを確認した結果を Fig.13 に示す。

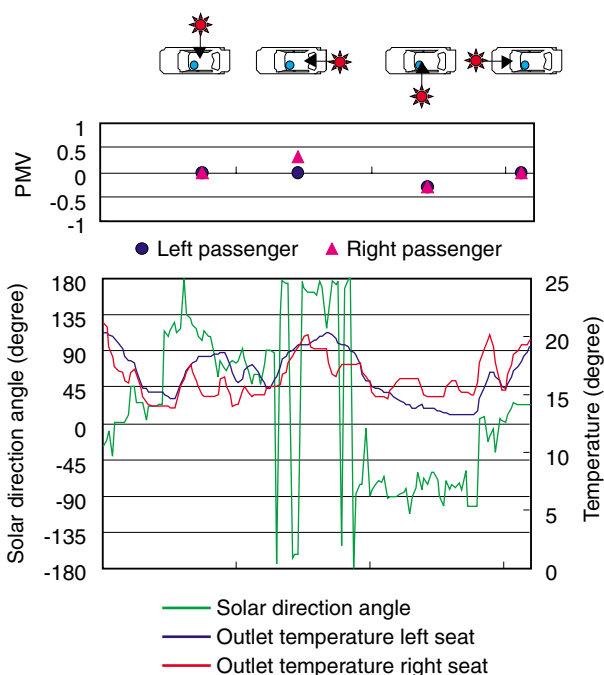


Fig.13 Outlet temperature and feeling of passengers

右側からの日射の場合は、右席の乗員に直達日射が当たるため右席の吹き出し温度が低めとなり、左右のフィーリングが維持される。次に後方からの日射の場合は両席ともに日射が当たらないため、吹き出し温は上昇する。さらに左席側から日射が当たるようになると、左席の吹き出し温が低めとなり左側からの偏日射による暑さを解消するようになる。正面日射では、乗員はもっとも多く日射を受けるため、吹き出し温度は下がり、左右の吹き出し温度は一致する。

この結果から、受熱量と日射補正量を合わせることによって人体に日射が当たる場合でも、適切に吹き出し温度が低くなるので、太陽の位置が変化し偏日射が変化してもフィーリングを維持する事ができることが確認できた。

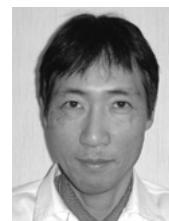
6. まとめ

- (1) 自動車の乗員が受ける太陽ふく射による熱エネルギーに注目し、直接窓から到達するものと、車体が受け空気を介して到達するものに分けて太陽の位置ごとに求めた。
- (2) 日射センサの指向性とガラス透過角度に依存する日射センサの日射に対する補正と乗員の受熱量の太陽位置別比較から、オートエアコンの日射に対する補正が、太陽位置によっては適切におこなわれないことが明らかになった。
- (3) 乗員受熱量解析の結果から受けた熱に応じて吹き出し温を低くするような、オートエアコンの日射に対する補正を適切にするためのマップを作成した。
- (4) マップによって、各席それぞれの吹き出し温及び風量を変させることのできるテスト車を作成し、走行して確認した結果、車両に対して太陽の位置によらず、昼夜快適な空調制御が得られることを確認した。

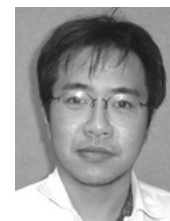
参考文献

- (1) 西村 要二ほか：マルチゾーン空調システムの開発，自動車技術，Vol.50, No.2, P.9(1996)
- (2) 浅野 秀夫ほか：セルシオ エアコン開発物語 電装技術会会報，Vol.38, No.3, P.24-25(1994)
- (3) 特許第 1416760 号 車両用空調制御方法および装置

■ 著 者 ■



角田 功



首藤 裕紀



高松 育生