

# 車両用フロアヒーティングシステムの開発

— 車内暖房環境の測定 —

保科 秀夫, 富田 和彦, 藤本 新二\*

Development of Floor Heating Systems for Automobiles  
— Measurements of the Thermal Environment in Automobiles —

Hideo HOSHINA, Kazuhiko TOMITA, Shinji FUJIMOTO

## 抄 録

従来の温風ファン方式と比べ、より快適な新しい車内暖房システムとして車両用フロアヒーティングシステムの開発を行った。一次試作による実験を行った結果、温風ファン方式と比べ車内上下の温度差が小さくなるなどのフロアヒーティングの特性が確認できたが、エンジン冷却水を直接利用していたため温水温度や流量の変動が激しく安定した暖房環境が得られず、さらにパネルからの異臭が発生するなどの問題点がみられた。そこで、この様な問題点を改善した二次試作で実験を行い、フロアヒーティングの有効性を確認した。さらに、ゴムチップ床暖房パネルを使用することにより得られるもう一つの利点である遮音性についての測定も行った。

## はじめに

現在の自動車用暖房はエンジン排熱を熱源として、エンジン冷却水の一部をヒータコアに導き、そこで空気と熱交換を行い、ファンによって温風を車内に送り込む温風ファン方式がとられている。その役割は、窓ガラスの曇りを取り除くことによって運転者の視界を確保するだけではなく、乗員に快適な温熱環境を提供することにある。特に、近年の大型乗用車、キャンピングカーや観光バス等の普及や高級化志向などにみられる車内環境の快適性を追求する意識の高まりを考えた場合、心地よい温熱環境の提供は車内の快適性向上にとって欠かすことのできない重要な要素であると考えられる。

冬期寒冷地の車内における熱的快適性の研究として、軽自動車を使った走行実験が持田らによって行われ

ており、従来の温風ファン方式では運転席での足元温風吹き出し近傍温度と床面温度に極端な差があり、このため脚部に不快感を感じるなど快適性に乏しい温熱環境にあることが報告されている<sup>1)</sup>。そこで本研究は、従来の温風ファン方式と比べてより快適な新しい車内暖房システム開発の必要性を考え、フロアヒーティングの車両用暖房としての特性や有効性を把握し、最適設計のための基礎資料を得ることを目的に行った。また、本暖房システムで使われたゴムチップ床暖房パネル<sup>2)</sup>の遮音性についても併せて試験を行った。

## 2 一次試作による車内暖房実験

### 2.1 実験装置及び方法

本実験に使用した実験車両は、排気量 1945cm<sup>3</sup>のディーゼルエンジンを搭載した 1BOX タイプの商用車に、図 1 のように後部座席から後部荷台にかけての約 2.

\*サンフロア工業(株)

5m<sup>2</sup> に、図 2 に示す本試験用に試作したゴムチップ床暖房パネルを施工したものとした。床暖房パネルは厚さ 15 mm、重量 31kg、配管ピッチ 100mm である。

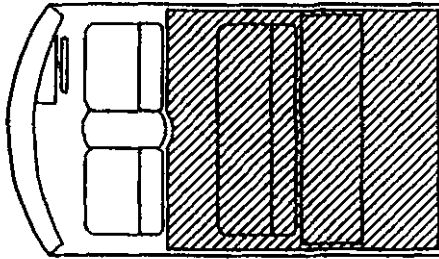


図 1 床暖房パネルの敷設位置

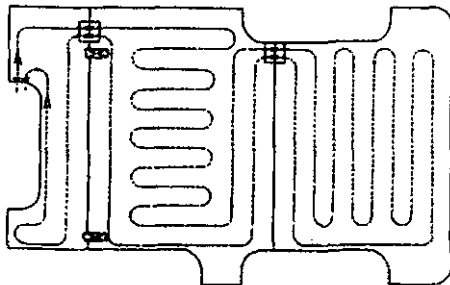


図 2 ゴムチップ床暖房パネル (一次試作)

温水システムは、図 3 に示すようにエンジン排熱を熱源としエンジン冷却水 (以後、温水と呼ぶ) を直接床暖房パネルに供給するシステムとした。バルブの開閉操作により温風ファン部と床暖房パネルへの通水量の調節を行った。通水量はエンジンの回転数などで変わるが、60 km/h の走行実験では約 130l/h であった。

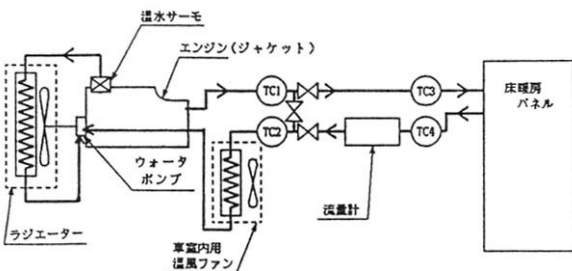
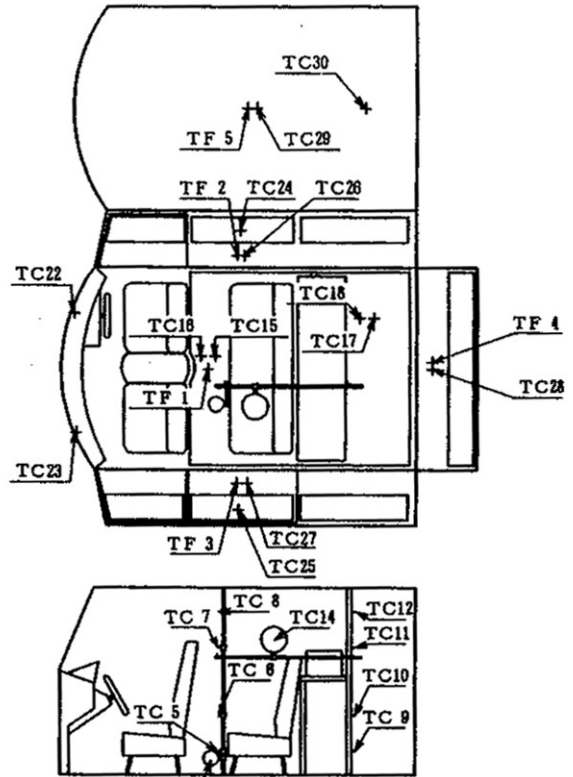


図 3 温水システム概略図 (一次試作)



(TC: 熱電対 TF: 熱流センサー)

図 4 測定位置概略図

測定箇所は、図 3、図 4 に示すように温水温度として床暖房パネル入口と出口付近など 4 箇所 (TC1 ~ TC 4)、室内垂直空気温度分布として後部座席と後部荷台各 4 点 (TC5 ~ TC12)、体感温度の指標として後部座席左側の足元付近と頭部付近 2 箇所のグローブ球温度 (TC13, TC14)、その他に参考値として床面、天井、左右壁面および後部壁面などの表面温度と熱流、左右窓面温度、運転席の温風吹き出し部温度などを測定した。

実験条件を表 1 に示す。条件は、温風ファンの強度を「1」

表 1 実験条件 (一次試作)

運転条件	日 時	温風ファン条件	通水条件
60 km/h 走行	2/6 16:40~18:10	目盛「1」 霧取り+足元吹き出し	約130 l/h (フロアヒーティング)
60 km/h 走行	2/7 6:10~7:00	目盛「4」 霧取り+足元吹き出し	通水なし

に絞り床暖房パネルに通水を行う床暖房実験と、温風ファンの強度を最大の「4」とし床暖房パネルに通水を行わない温風暖房実験の二通りとした。ここで、床暖房実験時においてファンの最小強度を「0」とせず「1」としたのは、走行中のフロントガラスの曇り止めなどの必要上、ファンを停止することが不可能であったためである。

実験は平成4年2月6日と7日の外気温度が低く日射の影響の少ない早朝および日没後に、帯広市郊外の通行車両の少ない一般通路を選びできるだけ時速60km/hの定速で走行し、温水温度が安定したことを確認後10分間隔で測定を行った。

## 2.2 実験結果および考察

### 2.2.1 車内温度分布

温風暖房条件の後部座席垂直温度分布とグローブ温度の経時変化を図5に、床暖房条件の場合を図6に示す。

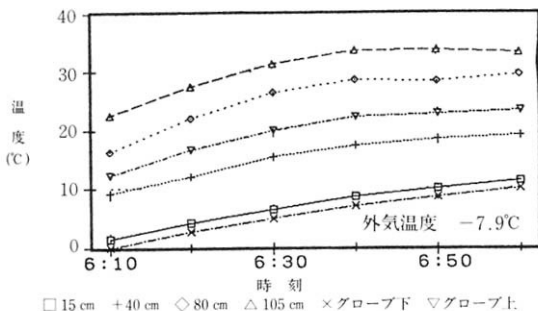


図5 後部座席垂直温度分布とグローブ温度の経時変化 (温風暖房条件)

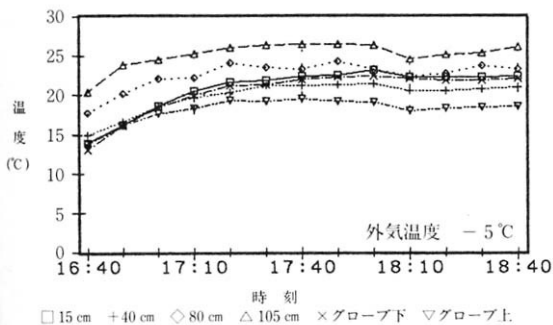


図6 後部座席垂直温度分布とグローブ温度の経時変化 (床暖房条件)

これらから温風暖房条件の空気温度は、天井から床に向かって順に低下し、床上105cm(天井下15cm), 80cm, 40cm, 15cmの位置での平均空気温度は各々34°C, 28°C, 18°C, 10°C, 最高最低温度差は約24Kと大きな値を示していることが分かる。これに対し、床暖房条件の空気温度は床上105cm, 80cm, 15cm, 40cmの順に高く、平均すると各々26°C, 23.5°C, 22°C, 21°Cとなっており、床上15cmと40cmの位置での温度が逆転していること、最高最低温度差が約5Kの範囲内にあることが分かる。また、体感温度の指標を示すグローブ温度は、温風暖房条件では足元部の下グローブ温度が約10°C, 頭部の上グローブ温度が約20°Cと頭部の方が10K程高い指標を示している。これに対し、床暖房条件では足元が約22°C, 頭部は19°Cで足元の方が約3K高く、温風暖房と逆の結果を示していることが分かる。以上のことから、本試作の車両用フロアヒーティングは住宅用フロアヒーティングと同様に頭寒足熱にかなった快適性に優れた暖房方式であることが分かる。

### 2.2.2 温水温度と床表面温度

床暖房パネルに通水した場合の温水温度の経時変化を図7に示す。これと図3の温水システムから、エンジンから出てきた温水は、その一部が84°C~88°Cで床暖房パネルに入り、そこで放熱して温度が9K~11K低下し、バイパスしてきた温水と合流の後にヒータコアを経由しエンジンに戻ることが分かる。

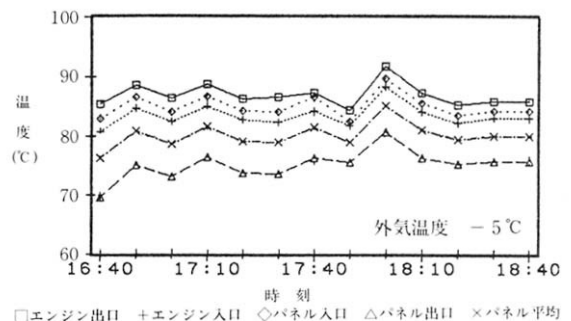


図7 温水温度の経時変化

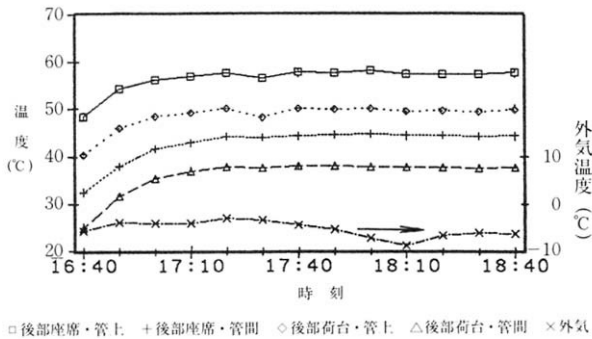


図8 パネル表面温度の経時変化

次に、この時のパネル表面温度の経時変化を図8に示す。これから後部座席の配管上パネル表面温度は約58℃、配管間の温度は45℃、後部荷台では各々50℃と37℃であることが分かる。この温水温度とパネル表面温度は一般住宅の床暖房における温度レベル（温水温度：40～50℃、床表面温度：25～30℃）に比べかなり高い値を示している。このため、足裏に不快感を覚えることがあったり、ゴムチップパネルから異臭が発生するなどの問題が生じた。

2.3 一次試作のまとめ

一次試作を用いた暖房実験の測定結果を表2にまとめて示す。

表2 測定結果（一次試作）

		温風暖房のみ	床暖房併用
パネル温水温度		—	81
床表面温度	中部	2～4	52
	後部	0～2	43.5
車内温度 (床上cm)	105	34	26
	80	28	23.5
	40	18	21
	15	10	22
	平均	22.5	23
グローブ温度	上	20	19
	下	10	22
外気温度		-7.9	-5

(単位：℃)

床暖房を用いた車両暖房は、従来の温風ファンヒータによる暖房に比べ、車内上部と下部の温度差が小さく、また、頭部よりも足元のグローブ温度の方が高い値を示した。このことから、車両用床暖房は足元が暖かく温風ファンをつけたときの頭部の暑過ぎ、足元の寒すぎといった不快は解消され、同時に温風ファンの騒音が小さく、より快適な暖房環境を実現できる優れた暖房方式であることが分かった。しかし、エンジン冷却水を直接床暖房パネルへ供給する本システムでは温水温度や流量の変動が大きく、走行時にエンジン温水温度が約90℃近くまで上昇することがあり、このためパネル表面の温度が場所により約60℃にも達することなど安定した暖房環境が得られないことが分かった。また、ゴムチップパネルから異臭が発生すること、さらに漏水などのトラブルでエンジンを損傷させる懸念があることなどが問題点として挙げられる。そこで、これらを改善するために二次試作による車両暖房実験を行った。

3 二次試作による車内暖房実験

3.1 実験装置及び方法

実験に使用した車両は、排気量2180cm<sup>3</sup>のディーゼルエンジンを搭載した1BOXタイプの商用車で、一次試作と同様に後部座席から後部荷台にかけての約3.9m<sup>2</sup>に本実験用に試作したゴムチップ床暖房パネルを施工したものとした。床暖房パネルは厚さ15mm、重量63kg、配管ピッチ100mmであり、一次試作で発生した異臭の対策としてパネルの表面をフロア用塩化ビニールシートで覆い、さらに周囲部にシーリングを行った。

温水システムは、図9に示すように温度や流量の変動が大きいエンジン冷却水を一次温水として熱交換器に導き、そこで熱交換をして得られる二次温水を手動サーモミキシングバルブで温度変動の少ない状態にして循環ポンプにより一定流量で床暖房パネルに供給するシステムとした。本実験での通水量は約210l/hとした。このように、熱交換器を挟んで温水配管系をエンジン側とパネル側に分離したため、パネル側での漏水トラブルによるエンジン損傷の懸念は解消されるものと思われる。

測定箇所は、一次試作による暖房実験とほぼ同様とした。

実験条件を表3に示す。条件は走行試験とアイドリ

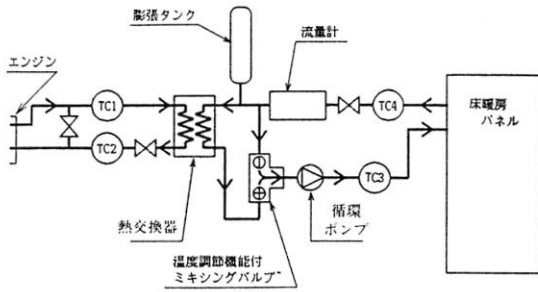


図9 温水システム概略図 (二次試作)

す。

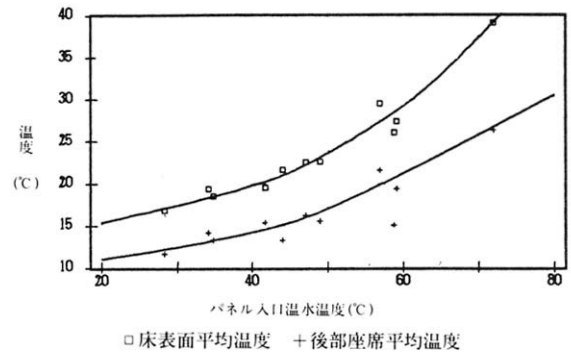


図10 床暖房パネル温度特性

表3 実験条件 (二次試作)

試験内容	走行試験					アイドリング試験	
	無し	60℃	60℃	無し	75℃	無し	50℃
床暖房 <sup>a)</sup>							
ファン <sup>b)</sup>	3	3	1	5	1	5	1
条件No.	1	2	3	4	5	6	7

a) 「床暖房」の温度は、手動サーモミキシングバルブで設定したパネル入口の温水温度を示す。  
 b) 「ファン」の数字は、0から5までであるファン調節ツマミの位置を示す。

ング試験の二通りあり、それぞれにおいて床暖房パネルの入口温度とファンの強度を幾つかの条件に設定し実験を行った。ここで、床暖房の条件にある「60℃」は、床表面温度を住宅用床暖房における上限温度と言われている30℃<sup>3)</sup>に設定した場合のパネル入口温水温度を表し、「75℃」と「50℃」はそれぞれ走行条件とアイドリング条件における手動サーモミキシングバルブ全開時のパネル入口温水温度を表す。ファンの条件にある「3」は、運転席の暖房環境や騒音などから冬期間温風ファンのみで暖房する場合に最も使用頻度が高いと思われた設定を表し、「1」は一次試作による実験と同じ理由によるファンの最小設定、「5」はファンの最大設定を表す。

実験は平成5年2月17日と18日の外気温度が-5℃以下で日射の影響の少ない早朝および日没後に士別市郊外の通行車両の少ない一般道路を選び走行し、温水温度が安定したことを確認後5分間隔で測定を行った。

### 3.2 実験結果および考察

#### 3.2.1 暖房システムの制御特性

実験の全条件におけるパネル入口温水温度に対する床表面温度と後部座席垂直温度分布の平均値を図10に示

これから、パネル入口温水温度は20℃～70℃の範囲、床表面温度は15℃～40℃の範囲に制御されていることが分かる。また、床表面温度を30℃にするためには、平均温度約63℃の温水を流すことになり、住宅用に比べ20K程度高い温水温度が必要となることが分かる。ここで、温水温度60℃の時のパネル入出の温度差は8K、流量は216l/h、比熱は3.5kJ/(kg・K)、密度は1060kg/m<sup>3</sup>であるため、パネルの全放熱量を計算すると1810W(465W/m<sup>2</sup>)となる。さらに、熱流センサーにより測定したパネル表面からの平均放熱量は170W/m<sup>2</sup>である。これから、車内暖房に有効に使われた熱量は全放熱量の内の約4割しかないことが分かる。これは、床暖房パネルを実験車両の鉄板がむき出しの床に直接施工したことに起因するものであり、熱伝導性に優れた鉄板製の床が放熱板として作用し、約6割の熱が外気に奪われたためと思われる。

#### 3.2.2 車内温度分布

走行時でファン強度「3」の温風暖房のみ(条件1)、パネル入口温水温度60℃の床暖房のみ(条件3)、およびパネル入口温水温度60℃の床暖房とファン強度「3」の温風暖房の併用(条件2)における後部座席垂直温度分布とグローブ温度の比較を図11に示す。これから、温風暖房のみの条件(条件1)では床上122cm(天井下10cm)で最も温度が高く25℃。位置が下がるにつれ温度が下がり床上10cmでは9℃となり平均温度は17℃と暖房温度としては低く、車内上下温度差についても16Kもあることが分かる。一方、床暖房のみ(条件3)では最高温度が19℃、最低温度が14℃と温度差は5Kとなり温風暖房のみに比べ1/3程度に改善されたが、平均温度は

16℃と依然低いことが分かる。これらに対し、床暖房と温風暖房の併用(条件2)では最高温度が23℃,最低温度が18℃,平均温度は21℃,温度差は5Kとなり車内温度および温度差とも、快適な暖房環境とあることが分かった。また、グローブ温度についてみると、窓や周囲の壁からの冷輻射を受けて若干温度が低めになるが、ほぼ空気温度と同じ傾向を示していることが分かる。

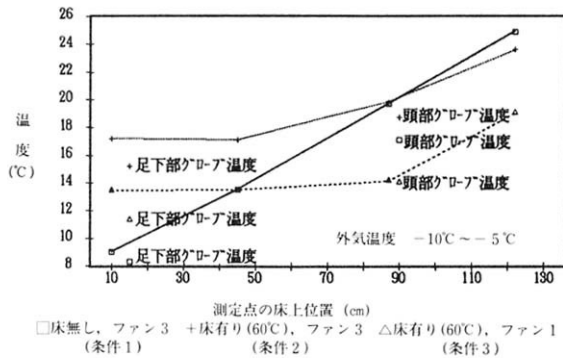


図11 後部垂直温度およびグローブ温度分布 (条件1, 条件2, 条件3)

次に、走行時でのファン強度最大「5」の温風暖房のみ(条件4)とパネル入口温水温度が最高設定の床暖房のみ(条件5)における後部座席垂直温度分布とグローブ温度の比較を図12に、アイドリング時でのそれぞれの場合(条件6, 条件7)の比較を図13に示す。図12から、走行時における床暖房のみの場合の平均温度は27℃,上下温度差は4Kとなり、外気温度-7℃程度の条件においても十分な暖房能力を有していることが分かる。但し、パネル入口温水温度は75℃である。また、図13からアイドリング時における床暖房のみの場合は、平均温度22.5℃,温度差3Kとなり、この時の床表面温度が25℃ということから、床暖房として快適な温度環境が得られることが分かる。なお、図12, 図13から分かるように温風暖房のみの平均温度は走行時18.5℃,アイドリング時10.5℃で、上下温度差はそれぞれ15K, 13Kであることから、床暖房のみの方が温風暖房のみの場合よりも優れた暖房環境にあることが分かる。

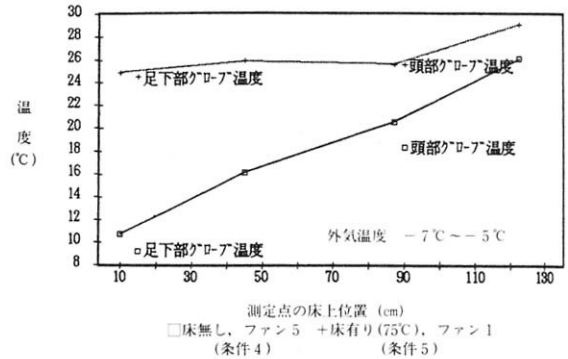


図12 後部垂直温度およびグローブ温度分布 (条件4, 条件5)

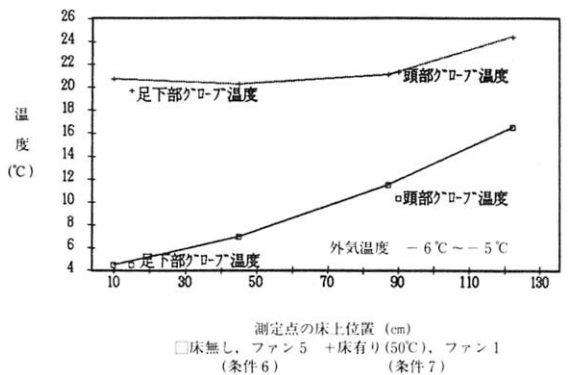


図13 後部垂直温度およびグローブ温度分布 (条件6, 条件7)

### 3.3 二次試作のまとめ

二次試作を用いた暖房実験の測定結果を表4にまとめて示す。一次試作による実験で確認できた床暖房の利点が今回の実験においても確認することができ、さらに以下の点が明らかとなった。

床暖房を用いた車両暖房は、従来の温風ファンヒーターによる暖房のみではいくらファンを最大にしても得ることのできなかつた高い空気温度を得ることができる。しかし、床表面温度を住宅用床暖房における上限温度と言われている30℃に設定すると、従来の温風ファンヒーターによる暖房に比べ車室内上下の温度差は小さいが全体的に多少温度が低い場合がある。この場合は温風ファンと併用することにより理想的な暖房環境を得ることが分かった。また、床暖房パネルの全放熱量の内の約6割が、パネル床下から車外へ逃げていることが分

かった。今後、床暖房を施工する際には断熱材などをパネルの下に敷くと、より効率の良い暖房を行うことができると思われる。なお、床暖房パネルからの異臭の発生は無いことが確認できた。

表4 測定結果 (二次試作)  
(温度単位℃)

試験条件		中部垂直温度分布		グローブ温度		床暖房パネル表面温度	
試験内容	床暖房	ファン	温度幅	差	温度幅	差	
走行試験	無し	3	9~25	16	8~17	9	3~8.5
	60℃	3	18~23	5	15~19	4	26~29
	60℃	1	14~19	5	12~14	2	25~28
	無し	5	11~26	15	9~18	9	3.5~8.5
	75℃	1	25~29	4	25~26	1	38~40
アイドリング試験	無し	5	4~17	13	4~10	6	0~4
	50℃	1	21~24	3	20~22	2	24~25

#### 4 車内騒音試験

##### 4.1 実験方法

実験車両に、スタッドレスタイヤを装着した二次試作による車内暖房実験で用いた排気量 2180cm<sup>3</sup> のディーゼルエンジン車を用いた。

実験は、乾燥路面の高速道路を 100km/h で定速走行した場合の後部座席頭部付近の騒音を、ゴムチップ床暖房パネルを施工する前と、施工した後のそれぞれについて測定した。

##### 4.2 実験結果および考察

測定結果を図 14 に示す。通常、人間の耳で聞こえる可聴周波数範囲は 20~16000Hz と言われ、その範囲内で観測された周波数のほとんどにおいて 5~10dB の低減がみられ、騒音レベル (A 値) においても約 5dB の低減がみられた。この値は、騒音の改善レベルとしてはかなり高いレベルであり、ゴムチップパネルの遮音効果が確認された。

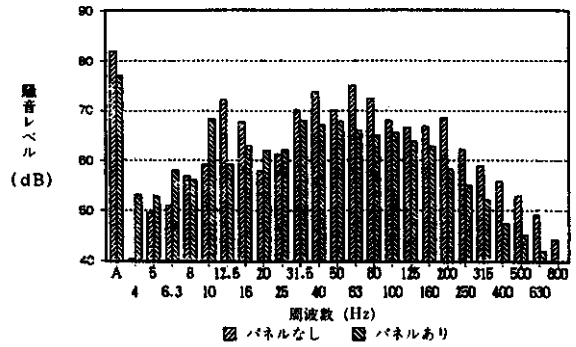


図 14 車内騒音試験測定結果

#### 5 まとめ

二度の車内暖房実験および車内騒音試験の結果から、快適な車内環境という面でフロアヒーティングシステムの有効性が確認された。今後は実用化に向けて、温水温度の自動制御化やシステムのコンパクト化などを検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 持田ほか；冬期寒冷地における乗用車室内の温熱性状と熱的快適性に関する実験的研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.49，p35 (1992)
- 2) 富田ほか；ゴムチップ床暖房パネルの開発，北海道立工業試験場報告，No.287，p101 (1988)
- 3) 日本床暖房工業会；温水床暖房 — 快適・健康的な省エネシステム —，p14 (1986)