

# 消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



1994 No.1

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防科学研究所

# 目 次

## 【燃 焼 実 験】

- ・耐火煉瓦の遮熱効果と低温加熱着火について ..... 1

## 【研 究 開 発】

- ・高規格救急車（トライハート）における防振ストレッチャー架台の  
防振性能評価について ..... 15
- ・燃焼による灯油成分の変化について ..... 41

## 【事務事業実績】

- ・業務実績表 ..... 49
  - ・危険物確認試験実施状況 ..... 49
- 

# CONTENTS

## 【Combustion Tests】

- ・ The Insulating Effect of Firebricks and Tests of Combustion  
at Low-Temperature ..... 1

## 【R&D】

- ・ Evaluation of the Vibration Resistance of a Stretcher Holder  
for the State-of-the-Art “Try Heart” Ambulance ..... 15
- ・ Changes of Kerosene Components Due to Combustion ..... 41

## 【Results of Activities】

- ・ Table of results ..... 49
- ・ Status of testing for hazardous materials ..... 49

# 耐火煉瓦の遮熱効果と低温加熱着火について

耐火煉瓦製炭焼炉と壁体部分模型を用いた低温加熱着火実験

## The Insulating Effect of Firebricks and Tests of Combustion at Low-Temperature Heating, as They Regard a Charcoal-Making Furnace and a Model Wall

小島 秀吉\*

Kojima Hideyoshi

工藤 潤二\*\*

Kudoo Junji

### 要 約

レストランの厨房から発生した火災の原因を究明するため、出火点である耐火煉瓦製炭焼炉及び同炉に密着する壁体の部分模型を作製し、燃焼再現実験を実施した。

炉及び壁体内部の温度変化を測定した結果、耐火煉瓦は耐火性(一般的に1,350℃まで耐えられる)はあるが、遮熱効果は弱く、低温加熱により壁体木部に着火することが確認できた。

### Summary

To examine the cause of a fire that occurred in a restaurant kitchen, a combustion simulation test was conducted by using a charcoal-making firebrick furnace and a model of the portion of a wall closely adjoining the furnace.

It was confirmed by measuring thermal changes of the furnace and the inside of the wall that the wooden portion of the wall combusted due to low-temperature heating because firebricks have high fire resistance (usually up to 1,350℃) but have low insulating effects.

## 1 はじめに

長期低温加熱による火災は、木部の表面が金属板やモルタル、タイルなどの不燃材で直に覆われた壁裏から出火していることが多い。木製の壁体とガスレンジ等の火気設備の間には、本来、十分な離隔距離を必要とするが、有効な距離を取ることができない場合に、輻射熱を受ける部分を不燃材で覆い遮熱しているケースがある。しかし、この覆いを安易に施工すると遮熱効果が不十分となり、このケースによる火災が本市においても毎年数件発生している。

この低温加熱着火現象は、ベニヤ板や木ずり等の木材が、自己分解発熱を起こす温度いわゆる危険温度(260℃)以下であっても、長期に加熱されると炭化が徐々に進み、やがて出火に至るものであるが、木部の表面に不燃材を張った場合でも、熱伝導によって同様に炭化が進むことは、既に多くの研究がなされ解明されているところである。

ところで、昔から火に強く安価に手に入る耐火煉瓦

が、炉、かまど類の材料として多く使用されているが、火炎と可燃物の遮蔽に有効であっても、遮熱性に劣ることは意外に知られていないようである。

このため当局では、平成5年7月中央区内のレストランで、耐火煉瓦製炭焼炉が出火点となった火災の原因を明らかにするとともに、耐火煉瓦の遮熱効果を確認するため、同炉とこれに接する壁体の部分模型を実験室内に再現し、燃焼実験を実施したのでその結果を報告する。

## 2 実験の目的

耐火煉瓦製炭焼炉と壁体のモデルによる燃焼実験を行い、低温加熱着火の有無及びその過程、並びに耐火煉瓦の遮熱効果を明らかにし、今後、この種の炉及び耐火煉瓦を使用する他の火気設備における安全性の向上に資することを目的とする。

## 3 実験の概要

### 3.1 日時

(1) 実験1～耐火煉瓦製炭焼炉と壁体の部分模型を用いた低温加熱着火実験

\* 消防科学研究所

\*\* 予防課調査一係

平成5年11月30日(木) 10時00分～19時00分

(2) 実験2～熱画像装置による耐火煉瓦製炭焼炉表面の温度分布の測定実験

平成5年12月6日(日) 11時00分～16時00分

### 3.2 場所

実験1及び実験2～西区八軒10条西13丁目  
消防科学研究所 燃焼実験室

### 3.3 温度及び湿度

(1) 実験1～室温18℃，湿度33%  
(2) 実験2～室温24℃，湿度45%

### 3.4 実験方法

(1) 実験1

耐火煉瓦製炭焼炉及び壁体の部分模型を密着させて設置した状態で、炉の二つの焚き口のうち、向かって左側の床煉瓦を敷いた焚き口に合計10kgの備長炭を継続して燃焼させ、炭の表面、炉の表面及び炉に密着する壁体表面及び壁体内部の温度変化を測定しながら、壁体への着火の有無及び遮熱状況を観察する(文末カラー写真9)。

(2) 実験2

実験1で使用した耐火煉瓦製炭焼炉で合計5kgの炭を継続して燃焼させ、熱画像装置により焚き口の炉表面及び炉背面(壁体に接する側)の温度分布、放射熱量、平均表面温度を測定し、この結果とフーリエの熱伝導理論から耐火煉瓦製炉体を通ずる熱量を推定し、耐火煉瓦の遮熱効果を検討する。

### 3.5 模型の概要

(1) 耐火煉瓦製炭焼炉(図1、文末カラー写真10)

素焼き煉瓦9段(560mm)の上に厚さ45mmのコンクリート板(1,200×300mm)2枚を敷き、台座(w1,200×d600×h605mm)を仮設した。

この上に耐火煉瓦(230×115×65mm)をコの字型に2段積重ね、厚さ6mmの鋼板(915×650mm)を乗せ、さらに耐火煉瓦をコの字型に10段積重ねるとともに、焚き口を二口とするため真ん中を仕切り、このうち向かって左側の焚き口に床煉瓦を1段敷きつめ、炉(外寸でw945×d600×h1,510mm)を作製した。

なお、煉瓦の目地材は、シャモットと呼ばれる耐火煉瓦の粉末とセメント、砂を水で練り合わせたモルタルを使用した。

(2) 壁体の部分模型(図2、写真1、2)

壁体は、幅105mmの松製ぬき材で枠を作り、炉に接する側から順に石綿スレート板(厚さ6mm)、ベニヤ板(厚さ3mm)を重ねて張り、枠中には断熱材であるグラスウール(厚さ100mm)を詰め、壁体の外側に

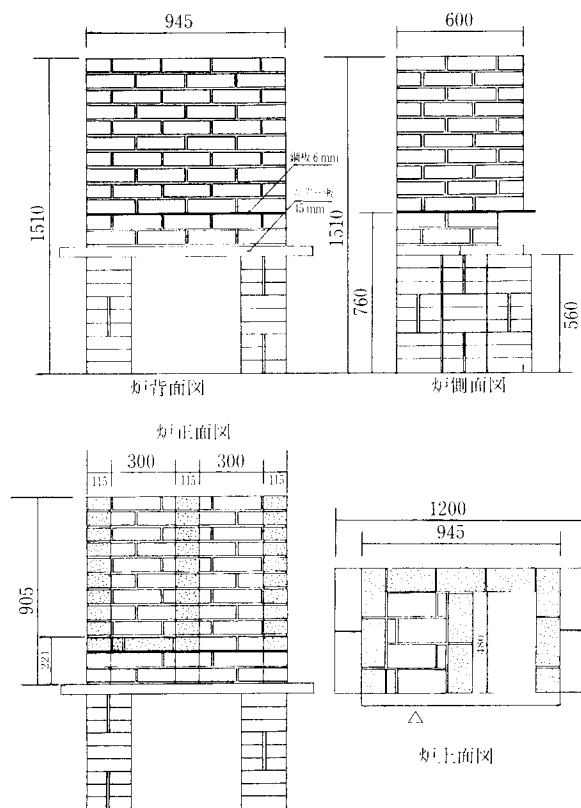


図1 耐火煉瓦製炭焼炉外観図(単位mm)

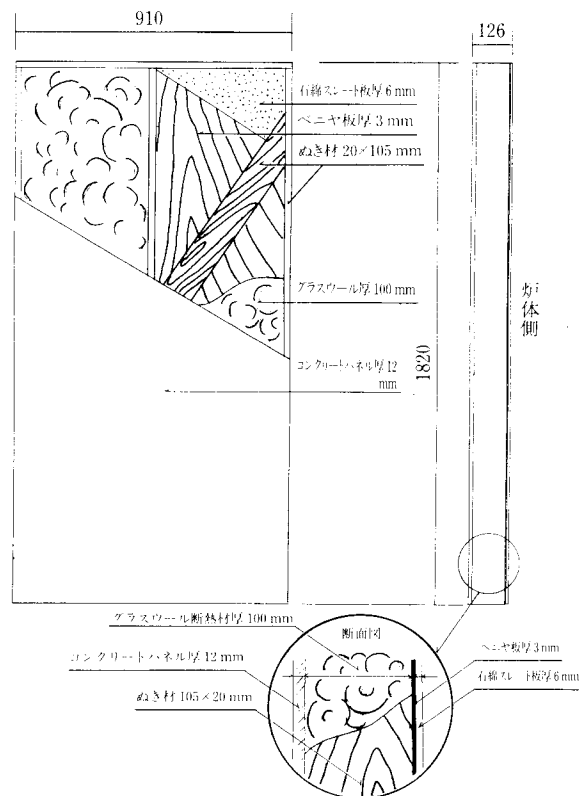


図2 壁体部分模型図(単位mm)

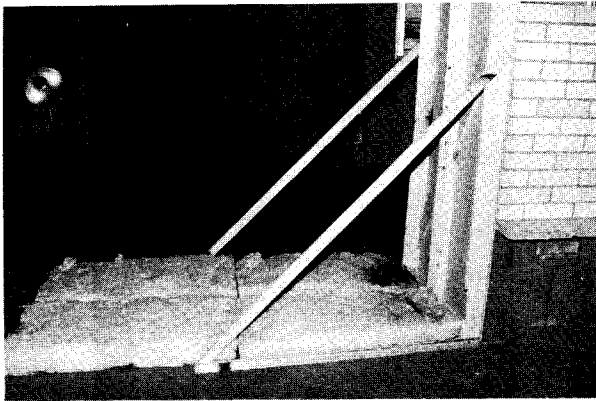


写真1 壁体部分模型内部の断熱材の状況

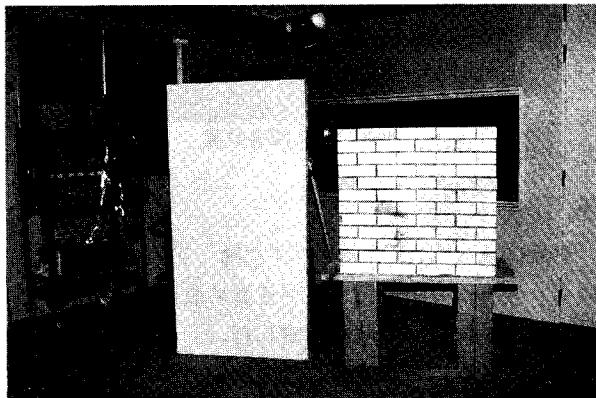


写真2 壁体部分模型の炉背面側及び炭焼炉

コンクリートパネル板(厚さ 12 mm)を張り付けて作製した。壁体模型の外寸は  $w 910 \times d 126 \times h 1,820$  mm であり、炭焼炉に密着状態で設置した。

### 3.6 温度の測定方法

(1) 実験1 (図3, 写真3, 4, 5)

炉及び壁体の測定にはK熱電対を用い、データの収録は打点式記録温度計(横河電気株)で、1分毎に計測記録した。測定点は、床煉瓦を敷いた焚き口から一段上の煉瓦の炉背面及びその直上の目地部分、更にこの2カ所の炉体部分に密着する壁体のスレート板の外側(炉体側)、同内側(壁体内側)及びベニヤ板の内側の合計8カ所(測定点の番号については表1参照)とした。

また燃焼している炭の表面温度については、放射温度計(株)チノー-IR-AH-1S)により30分おきに測定した。

表1 温度測定点の番号

	炉背面	スレート板外側	スレート板内側	ベニヤ板内側
目地	1-①	1-②	1-③	1-④
煉瓦	2-①	2-②	2-③	2-④

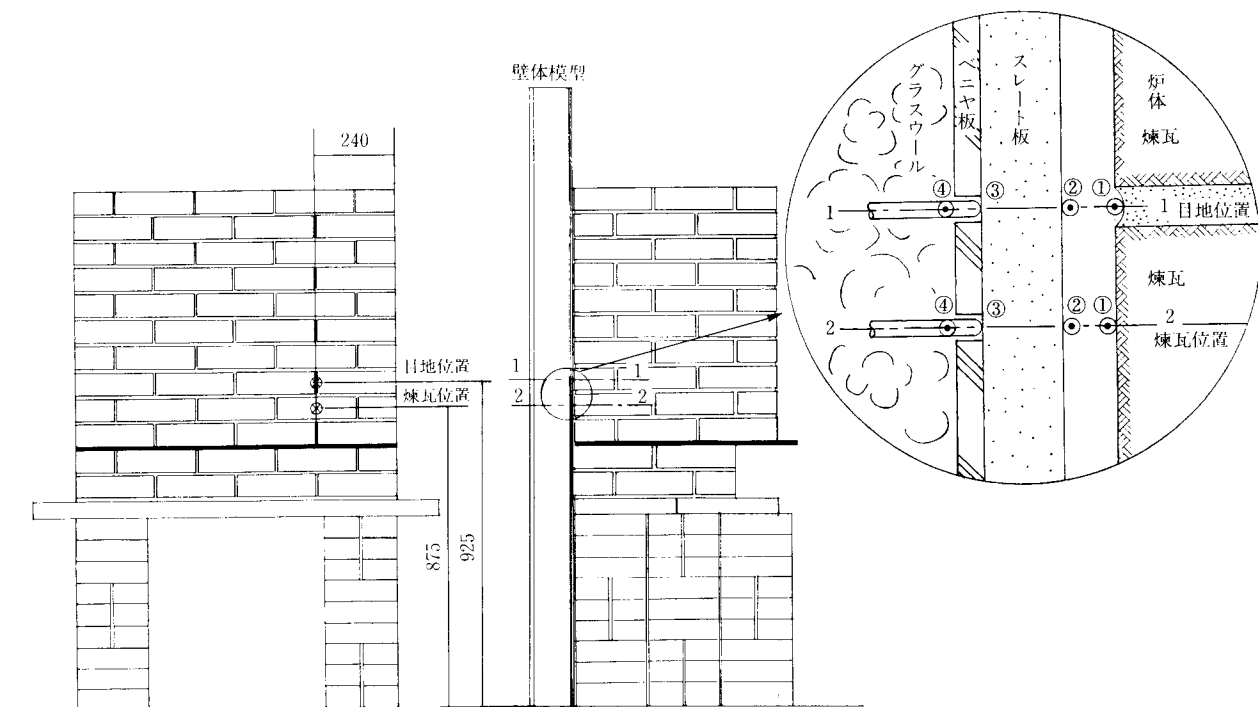


図3 温度測定点位置図(単位 mm)

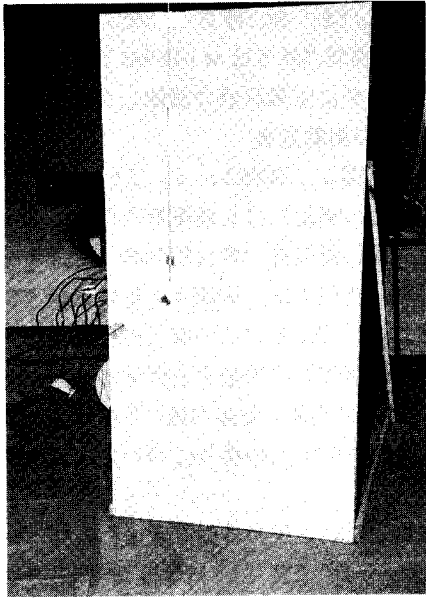


写真3 石綿スレート板における熱電対設置状況

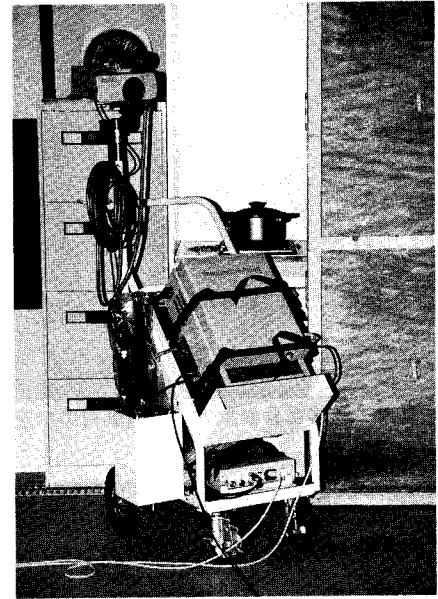


写真6 熱画像装置

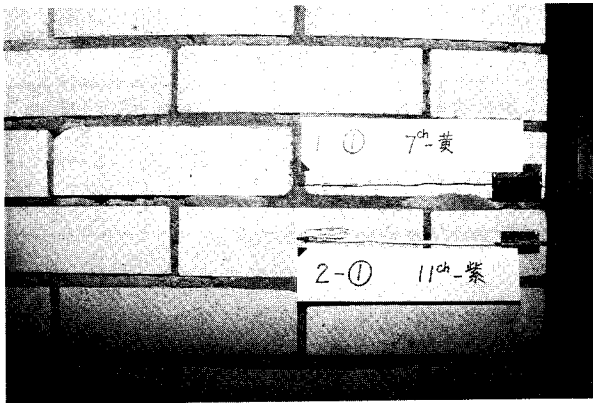


写真4 炉背面における熱電対設置状況

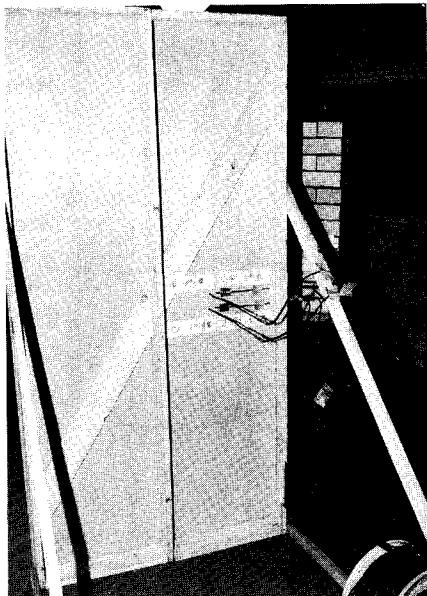


写真5 壁体模型内部の熱電対設置状況

## (2) 実験2 (写真6)

熱画像装置(日本アビオニクス(株) TVS-2200 ST)により焚き口の炉表面及び炉背面の表面温度分布, 放射熱量, 平均表面温度を測定した。

なお, 焚き口の炉表面の温度測定については, 炉が炭と直に接していることから, 測定の代替モデルとして炭の表面温度分布を測定することとした。この場合, 炉と炭と接する部分の寸法は  $w 300 \times h 160 \text{ mm}$  とし, 測定の対象範囲外となる部分を耐火断熱ボード(三菱化成(株)マフテックボード)で遮蔽した(文末カラー写真11)。

## 4 実験結果及び考察

### 4.1 実験1

実験開始と同時に炉に向かって左側の床煉瓦を敷いた焚き口に  $4 \text{ kg}$  の燃えている炭を入れ, 以後30分後にさらにその1時間後と2時間後に, 燃えていない炭を  $2 \text{ kg}$  ずつ投入し, 合計で  $10 \text{ kg}$  の炭を8時間燃焼させた。

また, 実験開始4時間後には, 熱膨張により壁体のスレート板及びベニヤ板がそり返りを起こしたため, 密着させた炉と壁体に隙間(写真7)ができてはじめて, やがてその間隔が大きくなったことから, その1時間後に熱の放散を防ぐためのアルミテープを貼った(写真8)。

以下, 実験開始から終了までの炭の表面温度及び各測定点の温度変化の状況は, 図4から図10に示すとおりである。

図4に炭表面の最高温度の変化を示す。

実験開始時の温度は  $600^\circ\text{C}$  であったが, 30分後に

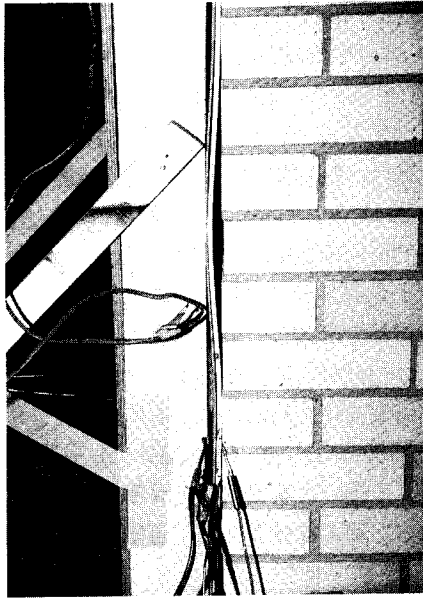


写真7 壁体スレート板及びベニヤ板のそり返り状況



写真8 熱の拡散防止アルミテープの貼付状況

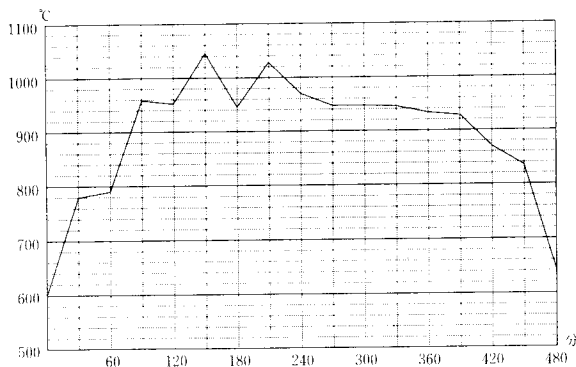


図4 炭表面の最高温度の変化

780℃、1時間30分後に960℃、2時間30分後には最高の1,045℃まで上昇した。なお、この測定直後に温度上昇が緩やかになったりあるいは下降しているのは、燃焼していない炭を追加投入したことによるものである。

その後、炭を投入しなかったため、3時間30分位から約1時間にわたり緩やかに温度が下がりはじめたが、炭がおきの状態となり火力が安定した4時間30分後からは、950～930℃位の一定した温度が約2時間程継続した。6時間30分位から温度は急速に下がり、実験を終了した8時間後の時点では640℃であった。

この間、炭表面の燃焼温度は、実験開始1時間30分後から約5時間の間930℃以上の温度を継続しており、また、8時間の実験中の温度を平均すると900℃強であり、炭の火力の強さ及びその持続性をあらためて認識した。

図5に、炉の目地位置とこれに相対する壁体の断面上に配置した各測定点である炉背面（測定番号1-①）、スレート板外側（1-②）、スレート板内側（1-③）、ベニヤ板内側（1-④）の温度変化を示す。

炉背面（1-①）は実験開始直後から温度上昇が認められたが、その他の測定点は30分を経過した後から温度上昇が始まった。これは、炉体と壁体模型との間に若干の隙間があるため、熱の伝導が遅れたものと思われる。

また40分を経過したあたりから、ベニヤ板内側（1-④）の温度がこれより炉体に近いスレート板内側（1-③）よりも高く、その差も時間の経過と共に大きくなり、実験終了時の8時間後には約15℃も高くなったことから、壁体内部に詰めたグラスウールの断熱効果により、蓄熱が起きていることが推察できる。

各測定点の温度変化を見ると、実験開始から3時間続いた急な温度上昇が、3時間目を境に以後は緩やかな上昇勾配になっているのが認められる。これは、炭の投入による急激な火力の増大がおさまリ、炭全体がおきの状態になり火力が一定したことに対応している

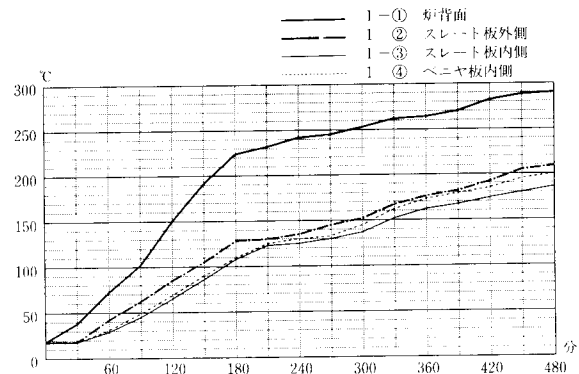


図5 目地位置の断面方向の温度変化

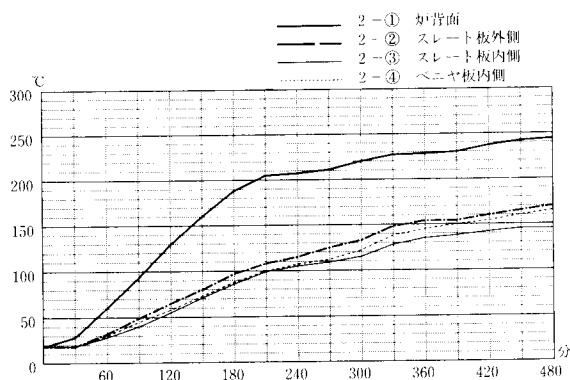


図6 煉瓦位置の断面方向の温度変化

ものと思われる。

図6に、炉の煉瓦位置とこれに相對する壁体の断面上に配置した各測定点である炉背面（測定番号2-①）、スレート板外側（2-②）、スレート板内側（2-③）、ベニヤ板内側（2-④）の温度変化を示す。

前述の目地位置部分と同様に、炉体と壁体に若干の隙間があり熱の伝導が遅れるため、炉背面（2-①）は実験開始直後から温度上昇が認められたが、その他の測定点については、30分経過後から温度上昇が認められた。

また、ベニヤ板内側（2-④）の温度を見ると、目地部分の状況と同様に40分を経過したあたりから、炉体に近いスレート板内側（2-③）よりも温度が高くなり、その差も実験終了時の8時間後には約20°Cとなり、壁体内部の蓄熱性の高いことが認められる。

炉背面の温度変化（2-①）を見ると、実験開始から続いた上昇勾配は、3時間30分を境にして緩やかな上り勾配に変化しているのが認められるが、他の測定点では30分の上昇開始時点から緩やかな上り勾配が継続しており、炉背面ほどはっきりした勾配の変化は認められない。これを前5図と比較すると、時間的に遅れがあるものの、煉瓦の温度勾配には同様の変化が認められるが、壁体の温度上昇は目地位置とは違い滑らかである。これは、壁面が受ける熱量が一定であることを示しており、煉瓦の蓄熱効果の影響により、放射熱量に大きな変化が起きなかったものと推察される。

図5、図6において、目地位置のスレート板内側（1-③）と同ベニヤ板内側（1-④）及び煉瓦位置のスレート板内側（2-③）と同ベニヤ板内側（2-④）の温度変化を観察すると、開始30分からほとんど温度差がなく同様に変化していたが、4時間30分過ぎからベニヤ板内側の温度が高くなり、両者に温度差異ができ始めたため、この時点あたりからベニヤ板に何らかの変化が生じていることが推察できる。

また、炭表面の最高温度の変化（図4）と各部の温

度変化（図5、図6）を比較すると、炭の温度は実験開始後の6時間30分から終了時までの1時間30分間で約300°Cも下がり640°Cとなったが、炉及び壁体の各部は温度勾配もあまり変化がなく、同様のペースで温度上昇を続け、終了時には炉背面の目地部分で290°C、同煉瓦で244°Cとなっている。これは、炉及び壁体の双方が部材的にも構造的にも蓄熱効果が大きいため、炭の火力が多少弱まっても、この時点までは同様のペースで温度上昇を継続しているものと推察される。

図7に、炉背面の目地部分（1-①）と煉瓦部分（2-①）との温度変化を対比させたものを示す。

実験開始30分までは、目地部分（1-①）の方が煉瓦部分（2-①）より温度の上昇率が高い。これは目地部分の方が煉瓦部分より熱伝導率が高いためと推察される。

炭の表面温度が実験開始から3時間後に一時下がった時点で、目地部分（1-①）の温度勾配は緩やかな上昇に変化した。煉瓦部分（2-①）の温度勾配は、それから30分後に変化が始まった。これは目地部分が煉瓦よりも炭の温度変化に対して敏感に反応していることを示しており、すなわち目地部分は煉瓦に比べ熱伝導性、放熱性が高く、一方煉瓦は蓄熱効果が高いため、温度勾配の変化点に時間差が出たものと推察される。

実験開始から両者の温度差は徐々に広がり続け、8時間後の実験終了時にはその差は47°Cであった。

以下、目地位置と煉瓦位置の壁体断面における比較を行うため、図8にスレート板外側、図9にスレート板内側、図10にベニヤ板内側の温度変化を示す。

壁体の各測定点は実験開始の30分後から温度上昇が始まったが、いずれも目地位置が煉瓦位置より温度が高くその勾配も急である。このことから目地部分が煉瓦より熱を強く放射していることが推察できる。

実験開始後の3時間あたりから5時間までの間において、温度勾配に若干の低下が見られる。これは炭の投入により火力が変化したことと、スレート板及びベ

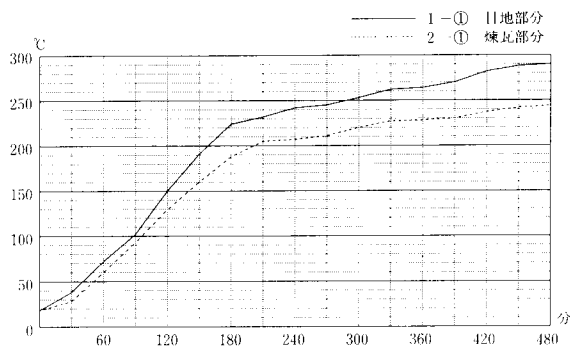


図7 炉背面の温度変化



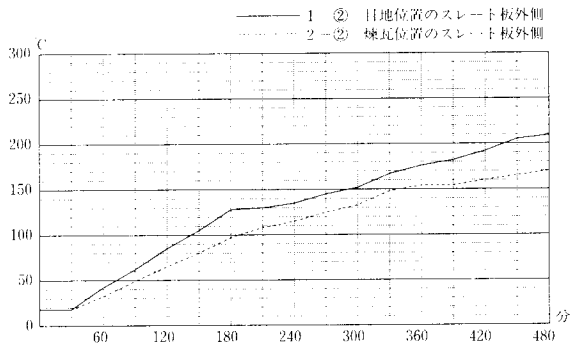


図 8 スレート板外側の温度変化

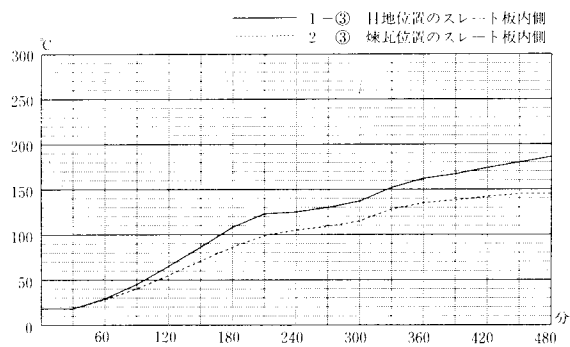


図 9 スレート板内側の温度変化

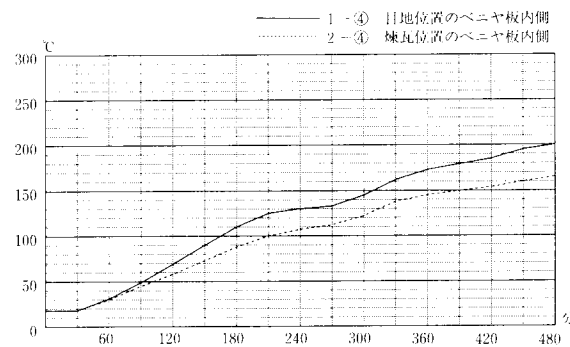


図 10 ベニヤ板内側の温度変化

ニヤ板のそり返りにより炉と壁体に隙間ができたことから、壁体が受ける熱量が変化したことによるものと推察される。

図 10 に示すとおり、ベニヤ板内側の目地位置(1-④)については2時間50分後、同煉瓦位置(2-④)については3時間30分後に、条件によっては低温着火が起きるといわれている100°Cを超えた。

実験開始から8時間後における目地位置と煉瓦位置の各温度差は、スレート板外側が40°C、スレート板内側が40°C、ベニヤ板内側が35°Cであった。

また丁度この時、壁体上部から白煙が発生(文末カラー写真12)したので、壁体内部の観察を行うため、熱源である炉から壁体を離れた。この時点の炉背面の目地部分(1-①)の温度は290°C、同煉瓦部分(2-

①)は244°C、また目地位置のベニヤ板内側(1-④)は200°C、煉瓦位置のベニヤ板内側(2-④)は165°Cであった。

さらに、内部を観るため壁体のスレート板を剥がしたところ、この直後に発炎(文末カラー写真13)したことから、水ホースで消火した。これは、壁面からスレート板を取り除いたため、蓄熱により十分な熱エネルギーを持ちながら酸欠で発火できなかった状況が解消され、酸素が供給されたことにより発火したものである。

炉の背面について観察すると、焚き口に敷いた煉瓦から上に数えて3段目と4段目の間の目地部分が一部剥離し、ひび割れ(文末カラー写真14)が認められた。

壁体の各部材が上記のひび割れた目地部分に密着していた場所は、写真の矢印に示す位置(文末カラー写真15)であり、以下壁体各部の状況を検分する。

スレート板は、焚き口に敷いた煉瓦の1段上の位置から上部にかけて白色に変色した楕円形(h380×w290mm)が認められ、その中央部には縦のひび割れが入っており、強く受熱した様相を示している。

ベニヤ板は、スレート板同様に焚き口に敷いた煉瓦の1段上の位置から6段目あたりまで炭化しており、特に炉のひび割れた目地位置に相当するあたり(矢印で示す位置)から、h250×w300mmの範囲(図11)で焼け抜けが認められる。

また、ぬき材も同様にひび割れた目地位置に最も近い部分が、炭化による焼け細りが強く、この部分に接するグラスウールは白色に変色しているのが認められた。

#### 4.2 実験2

実験開始と同時に炉に向かって左側の床煉瓦を敷いた焚き口に3kgの燃えている炭を入れ、その3時間後とさらに1時間後に、燃えていない炭を1kgずつ投入し、合計で5kgの炭を燃焼させた。

熱画像装置による炉背面の温度分布の測定結果については、4時間30分経過の状態を文末カラー写真16に示すとおりであり、煉瓦部分よりも目地部分の方が高い温度分布を示しているのが確認された。参考比較として、実験1における測定点の位置で、同時間における目地部分は143°C、煉瓦部分は117°Cであった。

また、炉表面の温度分布は、代替モデルである焚き口の炭の放射熱を測定したが、4時間30分を経過した状態は文末カラー写真17に示すとおりである。

放射熱量は温度分布の結果から、次式により求めた。

Q : 放射熱量 [Kcal/h]

Ta : 物体から離れた大気温度 [°C]

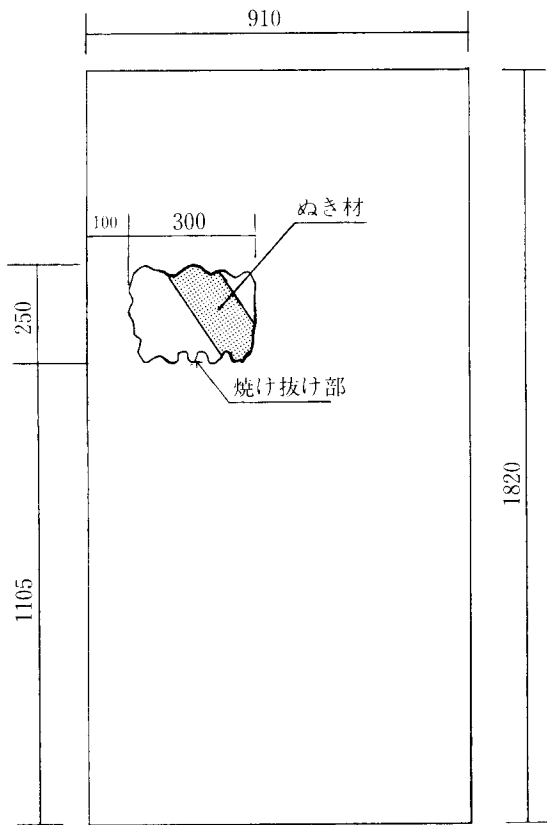


図 11 ベニヤ板の焼け抜け状況図 (単位 mm)

- $A_i$  : 物体表面積 [m<sup>2</sup>]
- $\alpha_{1i}$  : 自然対流伝熱係数 [Kcal/h · °C · m<sup>2</sup>]
- $T_{oi}$  : 物体表面の温度 [°C]
- $\alpha_{2i}$  : 放散伝熱係数 [Kcal/h · °C · m<sup>2</sup>]
- $Q = \Sigma(\alpha_{1i} + \alpha_{2i}) \times (T_{oi} - T_a) \times A_i$
- $\alpha_{1i} = 1.173 \times (T_{oi} - T_a)^{1/3}$
- $\alpha_{2i} = \frac{4.88 \times 10^{-8} \times \{(T_{oi} + 273)^4 - (T_a + 273)^4\}}{T_{oi} - T_a}$

この結果、実験開始 2 時間後で炉表面が約 1,077 Kcal/h、炉背面が約 49 Kcal/h、4 時間 30 分後で炉表面が約 1,666 Kcal/h、炉背面が約 213 Kcal/h となり、炉表面の熱量は 1.5 倍の増加であるのに対し、背面は 4.3 倍となった。

また、炉背面の温度分布が安定した 4 時間 30 分後の炉背面の放射熱量を、炉体の耐火煉瓦を通り抜けた熱量と仮定して、この耐火煉瓦製炭焼炉の平均熱伝導率をフーリエの熱伝導法則に基づき、次式により求める。

- $k_{av}$  : 物体の平均熱伝導率 [Kcal/m · h · °C]
- $q$  : 移動熱量 [Kcal/h]
- $t_1$  : 物体の高温側の温度 [°C]

- $A$  : 物体の断面積 [m<sup>2</sup>]
- $t_2$  : 物体の低温側の温度 [°C]
- $y$  : 物体の熱移動方向の厚さ [m]

$$k_{av} = \frac{q \times y}{A \times (t_1 - t_2)} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、移動する時間当たりの熱量  $q$  は、炉体の耐火煉瓦を通り抜けた熱量が炉背面の放射熱量に等しいと仮定すると 213 Kcal/h、物体の熱移動方向の厚さ  $y$  は炉体の厚さ 0.115 m、断面積  $A$  は炉表面の温度測定代替モデルの開口部面積  $w \times h = 0.3 \times 0.16 \text{ m} = 0.048 \text{ m}^2$ 、高温側の温度  $t_1$  は炭表面の平均温度 607°C、低温側の温度  $t_2$  は炉背面の炭表面開口部に対応する部分の平均温度 114°C として、(1)式に代入すると平均熱伝導率  $k_{av}$  は 1.03 [Kcal/m · h · °C] となる。

この伝導率の値は、耐火煉瓦の高温状態 (600~1,000°C) における一般的な熱伝導率 (0.95~1.12) と一致することから、炉体の耐火煉瓦を通り抜けた熱量は、先に仮定した炉背面の放射熱量にほぼ同じであることが推察される。

したがって、このことから炭から発生した放射熱量 1,666 Kcal/h は、炉材の耐火煉瓦の遮蔽により 213 Kcal/h に減少したと見なされ、この時の遮熱率は約 87% であることが認められた。

また、上記で求めた平均熱伝導率の値から実験 1 における、4 時間 30 分後の炉背面の放射熱量を次式から求めて推定する。

$$q = k_{av} \times A \times \frac{(t_1 - t_2)}{y} \dots\dots\dots(2)$$

つまり (2) 式において、平均熱伝導率  $k_{av}$  を 1.03 [Kcal/m · h · °C]、断面積  $A$  を 0.048 m<sup>2</sup>、 $y$  を炉体の厚さ 0.115 m として、また、高温側の温度  $t_1$  及び低温側の温度  $t_2$  に、実験 1 における 4 時間 30 分後の炭の表面温度 950°C (図 4)、炉背面煉瓦部分 (2-①) の温度 210°C (図 6) をそれぞれに代入して計算すると、移動熱量  $q$  は 318 Kcal/h となることから、実験 1 での 4 時間 30 分後の炉背面の放射熱量はこれと同程度であったと推察される。

## 5 ま と め

レストラン厨房の耐火煉瓦製炭焼炉からの火災は、同炉を設置してから毎日約 3 時間半の使用を続け、4 カ月後に出火に至ったものであるが、実験 1 では、炉及び壁体を同厨房と同様の仕様とし、熱源である炭を連続燃焼させたものである。

この結果、実験開始から8時間後に壁体から白煙が発生したが、この時のベニヤ板内側の温度は炉の目地位置で200℃、煉瓦位置では165℃となり、木材が自己分解発熱を起こす危険温度の260℃までには至っていない。しかし、この時の壁体内部の状況は検分で示す通り、木部であるベニヤ板及びぬき材に強い炭化が認められる。一方、条件によっては低温着火が起きるといわれる100℃に至るまでの時間は、ベニヤ板内側の炉の目地位置では2時間50分、煉瓦位置では3時間30分であり、同厨房の炉の使用時間内においても、発火エネルギーを十分に有する温度に達することから、本火災は伝導加熱による低温着火により発生したものと史料される。

実験2により、耐火煉瓦の平均熱伝導率を求め熱量の出入りを推定した結果、耐火煉瓦は、約87%の遮熱効果が認められた。また、この平均熱伝導率を基に、実験1における4時間30分後の炉背面の放射熱量を計算すると、約318 Kcal/hであることが推定された。

一般的に、耐火煉瓦は不燃材料の中でも特に耐火性に優れていることから、炉材等に用いられる場合が多いが、この時、建築物の構造や使用時の条件等により、壁体に密着させて設置施工するケースがある。しかし、耐火煉瓦の常温時の熱伝導率は表2に示すとおりであり、他と比較すると、例えば七輪と同じ材質である珪藻土煉瓦の約8～9倍程度、また空気の約24～40倍程度も熱を伝え易く、遮熱効果は期待できない。

表2 物質の熱伝導率（常温）

単位：Kcal/m.h.℃

物 質	熱 伝 導 率
耐 火 煉 瓦	0.5～0.8
珪 藻 土 煉 瓦	0.06～0.09
銅	300～340
空 気	0.021
コンクリート	0.9
水	0.49

ここで実験結果に基づき具体的な例示を上げてみると、厚さ115mmの耐火煉瓦で造った炉内の温度が1,000℃を越えたとすると、炉の外表面は260℃以上になり、木材などの可燃物が接していると実に危険である。このように、本火災は燃えることのない耐火煉瓦で炉を作り、この炉と接する壁体に不燃材である石綿スレート板を張れば火災の危険性が無いという誤解により生じた典型的事例である。

この種の火災を未然に防ぐためには、火災の遮蔽と遮熱にそれぞれ適した材料があることを、今一度周知することが重要であるとともに、この様な炉の製作に関しては、設計段階から構造、使用材料、施工方法及び可燃物までの離隔距離などに十分な配慮が必要である。また、熱を発生し、若しくは受ける構造物や設備等において熱膨張率の異なる材質を組み合わせる場合は、熱による変形、ひび割れ、剥離が発生することも考慮すべきである。

#### 〈参考文献〉

- (1) 「事例と実験からみた火災原因調査の要点（物理・化学編）」名古屋市消防局編
- (2) 「日本アビオニクス熱画像装置資料」日本アビオニクス㈱
- (3) 「建築防火」堀内三郎
- (4) 「燃焼火災（原因と鑑識）」東京消防庁警防部調査課編
- (5) 「理科年表」国立天文台編
- (6) 「火災調査技術教本」東京消防庁予防部調査課編
- (7) 「例題演習 化学工学」光武 量
- (8) 「伝熱工学の学び方」西川兼康・北山直方



写真10 耐火煉瓦製炭焼炉（焚き口側）

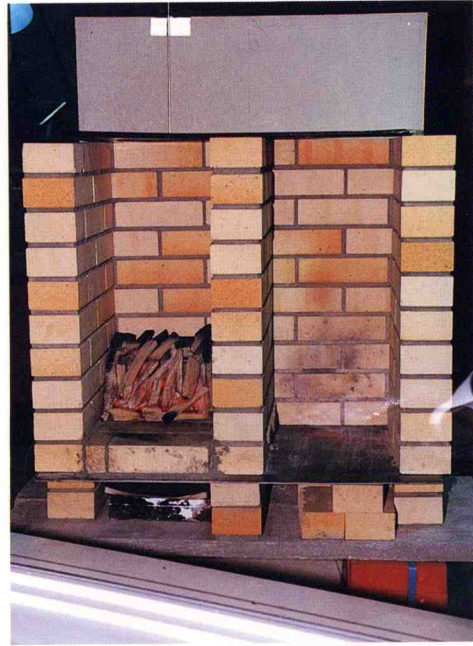


写真9 炭の燃烧状况



写真11 焚き口の炉表面温度測定用代替モデル  
（開口部寸法，w 300×h 160 mm）



写真12 壁体上部からの白煙の発生状况



写真13 壁体内部ベニヤ板の酸素供給による発炎状况

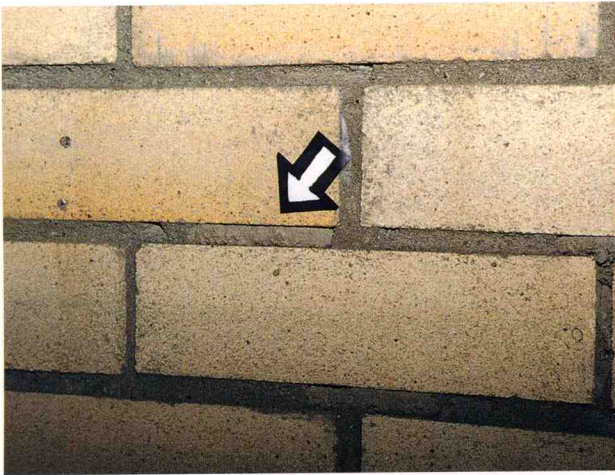


写真 14 炉背面目地部分の剝離及びひび割れ状況



写真 15 壁体各部材の受熱及び焼け状況

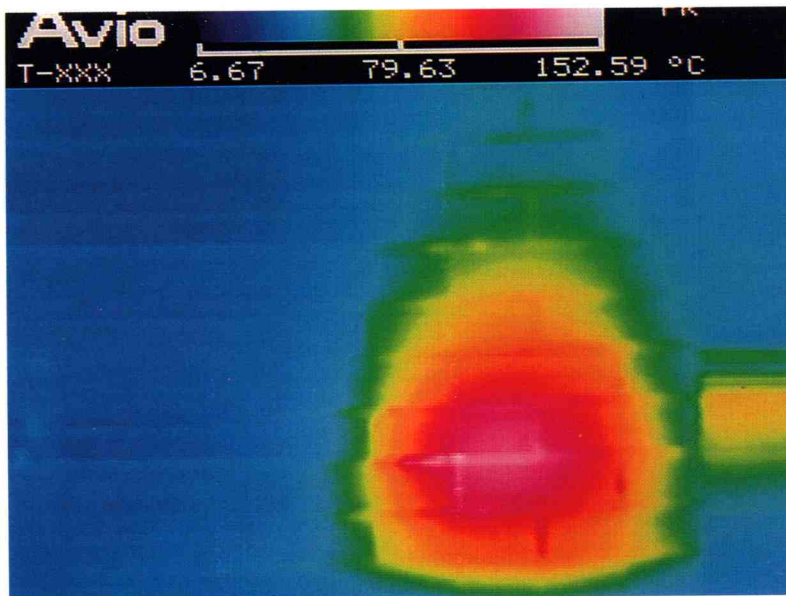


写真 16 炉背面温度分布の熱画像（4時間30分経過）

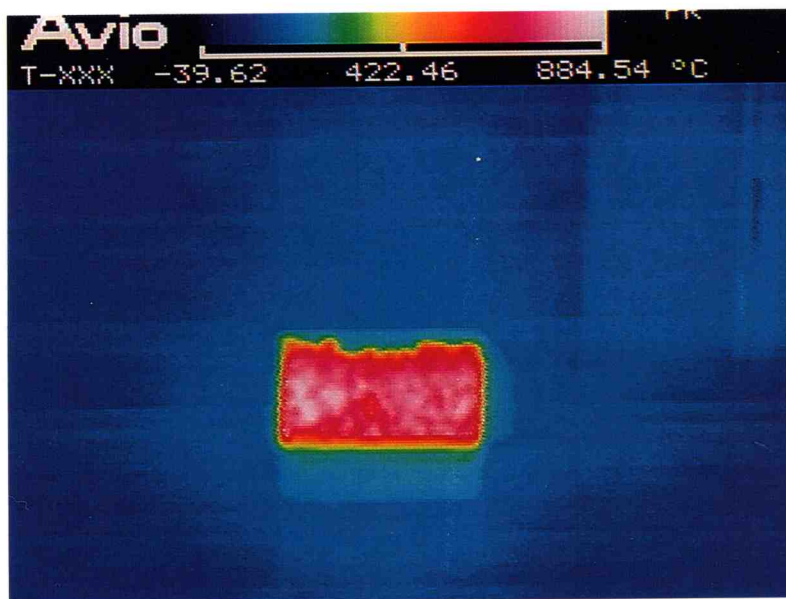


写真 17 代替モデルにおける炭表面の温度分布の熱画像

# 高規格救急車（トライハート）における防振ストレッチャー架台の防振性能評価について

## Evaluation of the Vibration Resistance of a Stretcher Holder for the State-of-the-Art "Try Heart" Ambulance

桜井 清明\*  
Sakurai Kiyooki

### 要 約

高規格救急車（トライハート）の独自開発に伴い、新たに製作された防振ストレッチャー架台について、実走行実験を基に振動レベル及び振動特性の解析を行い、既存の高規格救急車の防振ストレッチャー架台との防振性能の比較評価を行った。

この結果、防振機構の改良による防振性能の向上が認められた。

### Summary

A new vibration-resistant stretcher holder was produced in conjunction with the development of the unique "Try Heart" state-of-the-art ambulance. Levels and characteristics of vibration were analyzed based on a traveling test of a state-of-the-art ambulance. The analysis aims to evaluate the new vibration-resistant stretcher holder through comparison with conventional stretcher holders of commonly used state-of-the-art ambulances.

Tests show that the improved vibration-resistant system increased vibration resistance.

## 1 はじめに

札幌市消防局では、平成4年度から高規格救急車（トライハート）を独自に開発しており、これに伴い、緊急走行時の車両の揺れに対して、救急隊員がよりスムーズに応急処置を実施することができるとともに、搬送患者への振動による影響を軽減するため、車両に装備されるストレッチャー架台の防振構造の改良を進めているところである。

この度、平成5年度に製作された高規格救急車（トライハート）の導入に伴い、新たに開発した改良型の防振ストレッチャー架台の防振性能を評価するため、過年度より運用中の2車種を比較車両として、実際の走行による振動測定実験を行い、振動レベル（加速度変化）及び振動特性（周波数分布）について解析した。

ここでは、この振動測定実験の概要と防振性能評価に係る分析結果等について報告する。

## 2 防振性能評価のねらい

今回の実験・分析による防振性能の評価にあたっては、以下の3点をねらいとして、3車種の比較により

評価した。

- ① 人体が揺れとして感じている振動レベル（加速度変化）の大きさを明らかにするため、その時間的な変化と最大加速度値を分析する。
- ② 人体に影響を及ぼす共振周波数を持つ振動の発生程度を明らかにするため、共振周波数帯域上における振動特性（周波数分布）を解析する。
- ③ 救急搬送患者に与える振動を乗心地の観点から判断するため、生体による体感振動の判定を行う。

## 3 実験概要

### 3.1 実験日時

- (1) 第1回目：平成5年10月22日(金) 13時00分～17時00分
- (2) 第2回目：平成5年10月29日(金) 14時00分～17時00分
- (3) 第3回目：平成5年11月29日(月) 14時00分～17時00分
- (4) データ分析及び評価判定期間：平成5年12月1日～平成6年2月28日

### 3.2 実験場所

札幌市西区八軒10条西13丁目 消防科学研究所敷地及び消防訓練所自動車走行訓練場

### 3.3 走行コース（路面条件）

振動測定実験は、次の5種類の路面条件を組み合わせたコースを使用して行った。

\* 消防科学研究所

- ①直線舗装路 ②砂利道 ③カーブ（回転半径10 m） ④障害段差（10 cm） ⑤停止

なお、走行コースの概略は図1のとおりである。

### 3.4 実験車両

(1) 本実験には、以下の3タイプの高規格救急車を使用した。

- ① 平成5年度製作の三菱キャンター型高規格救急

車（以下「H5トライハート」という。）

- ② 平成4年度製作の三菱キャンター型高規格救急車（以下「H4トライハート」という。）

- ③ 平成3年度導入のメルセデスベンツ型高規格救急車（以下「H3ベンツ」という。）

なお、実験車両の車種、重量等の諸元は表1のとおりである。（写真1、2、文末カラー写真8、9参照）

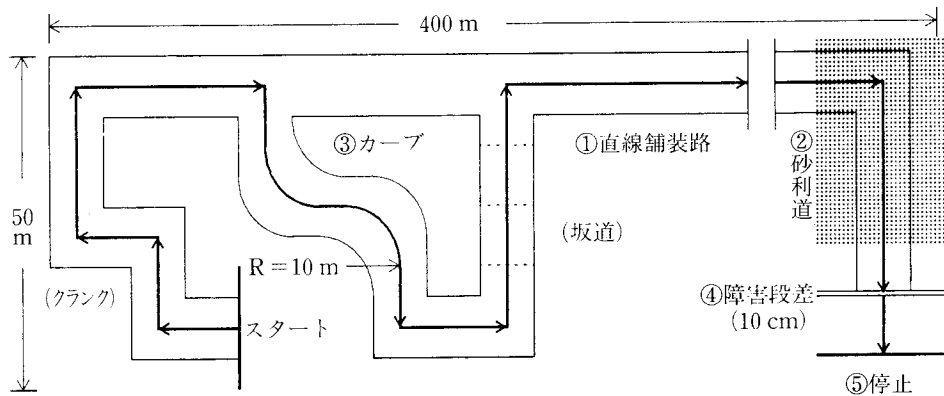


図1 走行コース概略図

表1 実験車両諸元

実験車両	メーカー・型式	年式	車両総重量	車両本体のサスペンション構造	ストレッチャーの防振機構
① H5トライハート	三菱U-FG 437 E (キャンター4WD)	H5	4,950 kg	エア・サスペンション方式	コイルばね方式
② H4トライハート	三菱U-FG 437 E (キャンター4WD)	H4	4,950 kg	重ね板ばね + 油圧ダンパ方式	エア・ダンパ方式
③ H3ベンツ	メルセデス ベンツ	H3	3,495 kg	重ね板ばね + 油圧ダンパ方式	コイルばね方式



写真1 防震ストレッチャー架台（防震作動状態）

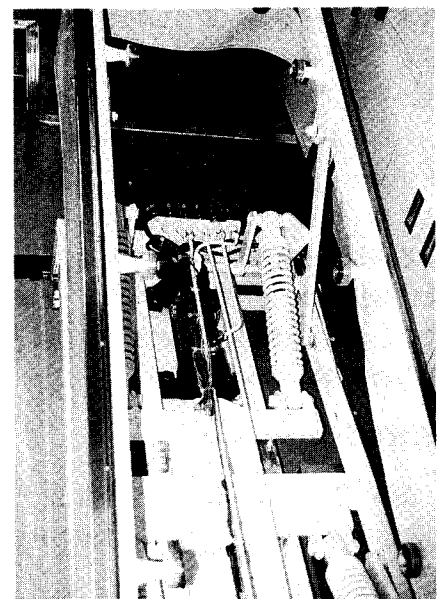


写真2 改良型架台（コイル方式）

(2) タイヤ条件

- ・メーカー、タイヤサイズ～三菱キャンター：ブリジストン 700 R-16-12 P, ベンツ：ダンロップ 215-14
- ・空気圧（各車両共通）～前輪 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, 後輪 4.5 kg/cm<sup>2</sup>

3.5 走行速度条件

各実験車両は、以下に示す速度条件に従ってそれぞれ3回の走行を行った。

- ① 1回目～直線：20 km/h, 砂利道：20 km/h, カーブ：10 km/h, 障害段差：5 km/h

- ② 2回目～直線：40 km/h, 砂利道：30 km/h, カーブ：15 km/h, 障害段差：5 km/h
- ③ 3回目～直線：60 km/h, 砂利道：40 km/h, カーブ：20 km/h, 障害段差：5 km/h

3.6 測定部位及び測定方向

測定部位は、図2に示すとおり、ストレッチャー上の①頭部、②腹部、③足部、及び車両床面上の④頭部下位置、⑤腹部下位置の計5ポイントとし、それぞれ3方向（X軸：上下、Y軸：左右、Z軸：前後）について測定した。（写真3～7参照）

(①, ②, ③, ④, ⑤の5ポイント) × 3方向 (X, Y, Z) → 15チャンネル

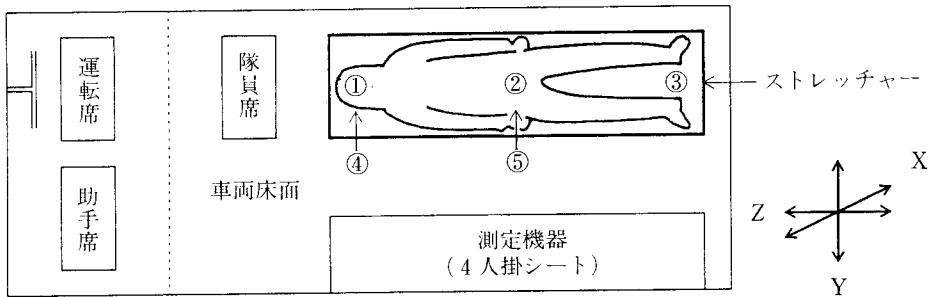


図2 測定部位及び測定方向



写真3 測定ポイント①：ストレッチャー頭部

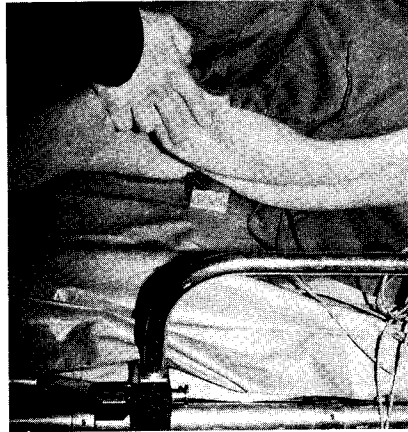


写真4 測定ポイント②：ストレッチャー腹部



写真5 測定ポイント③：ストレッチャー足部

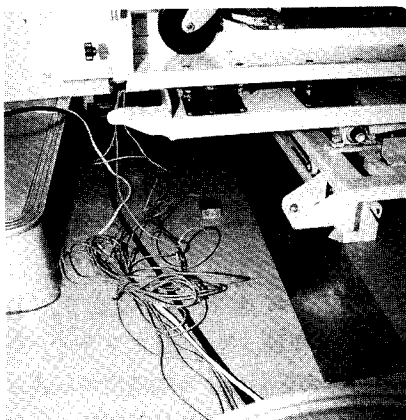


写真6 測定ポイント④：車両床面頭部下位置

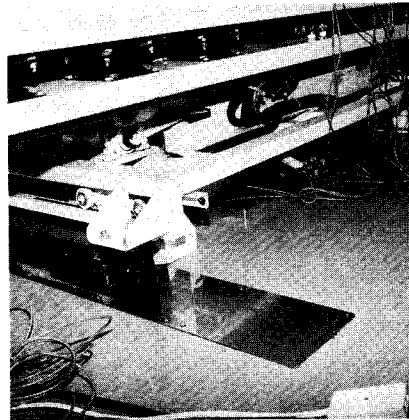


写真7 測定ポイント⑤：車両床面腹部下位置



### 3.7 乗車人員等

各実験車両の乗車人員は、運転席、隊員席に各1名、4人掛けシート付近に2名、防振架台のストレッチャー上に模擬患者(体重60kgの生体)1名の合計5名(320kg)とした。

なお、4人掛けシート上に測定機器3台(合計40kg)を積載した。

### 3.8 振動測定及びデータ分析の手順

#### (1) 振動測定の手順

防振架台に積載したストレッチャー上に生体を仰臥位の状態とし、各車両〔3車種〕ごとに、各路面条件〔5条件〕及び各速度条件〔3条件〕における、ストレッチャー上及び車両床面上〔5カ所〕に固定した加速度変換器(センサー)からの各軸方向〔3方向〕の加速度の時間軸上の変化を、信号増幅器(アンプ)を介してデータレコーダに収録するとともに、データ出力装置により振動波形のプリンタ出力(確認)を行った。(文末カラー写真10参照)

#### (2) データ分析の手順

データレコーダに収録した測定データを、各走行・測定条件ごとに一定時間単位に抽出し、分析器(データアナライザ)を用いて振動レベル(加速度変化)及び振動特性(周波数分布)の整理、演算を行い、その結果(波形及び統計表)をデータ出力装置(カラープロッター等)により出力した。

### 3.9 測定機器及び分析機器のシステム構成

次に掲げる機器により、図3に示す測定システム及び図4に示す分析システムを構成した。

#### (1) 加速度変換器

(株)共和電業製 AS-10 TG

#### (2) 信号増幅器(アンプ)

(株)共和電業製 MCC-16 A

#### (3) データレコーダ

(株)共和電業製 RTP-772 A

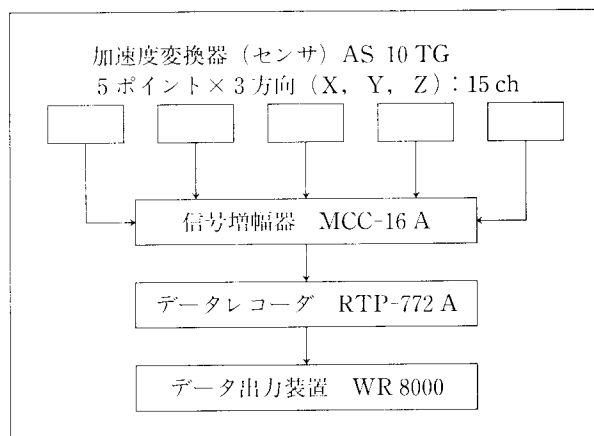


図3 測定システム

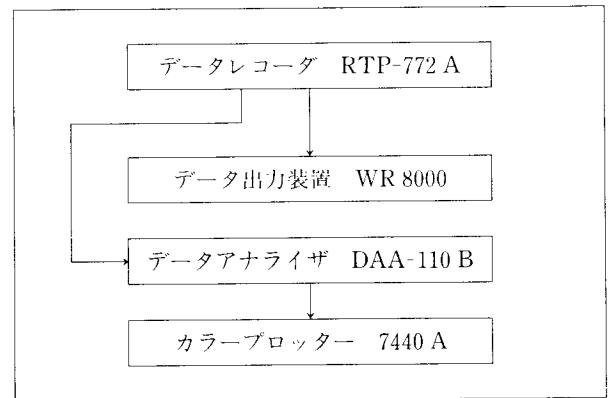


図4 分析システム

#### (4) データ出力装置

グラフティック(株)製 WR 8000

#### (5) データアナライザ

(株)共和電業製 DAA-110 B

#### (6) カラープロッター

ヒューレットパッカード社製 7440 A

## 4 振動レベルの分析及び評価

### 4.1 分析及び評価の方法

それぞれの走行及び測定条件における加速度の時間軸上の変化について、20ms(0.02秒)ごとに連続した256点の加速度値を検出し、その+(プラス)方向及び-(マイナス)方向の各最大加速度値から最大加速度の幅(絶対値)を求め、3車種による比較評価を行った。

なお、振動レベル(加速度変化)の分析及び比較評価は、

- ① 路面条件別(直線舗装路、砂利道、カーブ、障害段差、停止)
- ② 走行速度別(直線舗装路: 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h ほか)
- ③ 測定部位別(ストレッチャー: 頭部・腹部・足部, 車両床面: 頭部下位置・腹部下位置)
- ④ 測定方向別(X軸: 上下, Y軸: 左右, Z軸: 前後)

の各走行・測定条件についてそれぞれ行った。

また、評価の目安として、“◎”(優れる)“○”(普通)“△”(劣る)の各記号を併記した。

### 4.2 振動レベル(加速度変化)の分析及び評価結果

……【表2～5, 14～17, 図10～23参照】

#### (1) 路面条件別

ストレッチャー上の腹部は、表2に示すとおり、「H5トライハート」は他の2車種、特に「H4トライハート」と比較して、走行時の振動による加速度の伝達が低く保たれた。中でも、直線舗装路及び砂利道走行時におけるX軸(上下)方向の加速度伝達が低い値を示

表2 路面条件別によるストレッチャー部の最大加速度値比較

(単位：G)

車種	直線舗装路		砂利道		カーブ		障害段差		停止	
	・40 km/h ・腹部 ・X軸上下	◎	・30 km/h ・腹部 ・X軸上下	◎	・10 km/h ・腹部 ・Y軸左右	◎	・5 km/h ・腹部 ・X軸上下	◎	・5 km/h ・腹部 ・Z軸前後	◎
H5トライハート	0.30	◎	0.61	◎	1.08	◎	2.64	◎	0.52	◎
H4トライハート	0.73	△	2.75	△	1.46	△	6.22	△	1.08	△
H3ベンツ	0.59	○	1.56	○	1.30	○	4.92	○	0.71	○

すとともに、障害段差進入時における同方向の衝撃振動の緩衝効果が顕著に見られた。また、カーブ走行時におけるY軸(左右)方向及び停止時におけるZ軸(前後)方向の加速度伝達の改善が見られた。

これらについては、ストレッチャー上のポイント及び車両床面上のポイントの加速度伝達値が、共に他車種と比較して低い値を示していることから、防振架台の機構の改善と同時に、車両本体のサスペンション構造の改良によるところが大きいと思われる。

さらに、車両床面上とストレッチャー上における加速度の変化を比較すると、全体的に見て、車両床面上においては周期の短い、細かい(固い)揺れが現れているが、ストレッチャー上においては周期の長い、ゆるやかな(柔らかい)揺れとなって現れている。これは、防振機構のバネあるいはダンパによる緩衝効果であると考えられる。

(2) 走行速度別

直線舗装路走行時のストレッチャー腹部、X軸(上下)方向の振動レベルは、表3に示すとおり、20 km/h及び40 km/hの各走行時、特に低速(20 km/h)走行時における加速度の伝達が、他車種と比較して低い値を示した。しかし、60 km/h走行時は「H3ベンツ」と比較して若干高い値を示した。

また、走行速度が高くなるにしたがって、車両床面及びストレッチャー共に振動による加速度の伝達が高い値を示しており、この傾向は他の2車種についても同様に見られた。これは、一定の路面条件のもとにおける走行速度の変化が、直接各部位の加速度の大きさ

の変化として比例的に影響したものと思われる。

(3) 測定部位別

直線舗装路40 km/h走行時のX軸(上下)方向の振動レベルは、表4に示すとおり、車両床面上の頭部及び腹部における加速度の伝達値が、他車種、特に「H4トライハート」と比較して低い値を示した。これは、測定部位の異なる2点がほぼ同様の値であることから、車両本体のサスペンション構造の改良による結果と思われる。

一方、ストレッチャー上の腹部も低い値を示しているが、ストレッチャー頭部及び足部における加速度の変化は、車両床面上と比較して明らかに大きく、他車種と比較した場合にも、同部位の加速度伝達値が高い値を示している。

このため、「H5トライハート」のストレッチャー頭部及び足部の振動波形を見ると、同腹部の波形とは異なり、周期が短く振幅の大きい比較的規則正しい波が顕著に現れている。これらの波形を比較すると、周期及び振幅とも相似が認められることから、ストレッチャー上の中心である腹部を支点として、両端である頭部と足部において、防振架台の構造に起因する共振現象が発生したと思われる。

(4) 測定方向別

直線舗装路40 km/h走行時の腹部の振動レベルは、表5に示すとおり、車両床面、ストレッチャー共に、X軸(上下)、Y軸(左右)及びZ軸(前後)方向における加速度の伝達値が、いずれも他車種と比較して低い値を示した。

表3 走行速度別によるストレッチャー部の最大加速度値比較

(単位：G)

車種	20 km/h		40 km/h		60 km/h	
	・直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)	◎	・直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)	◎	・直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)	◎
H5トライハート	0.13	◎	0.30	◎	0.95	○
H4トライハート	0.69	△	0.73	△	2.54	△
H3ベンツ	0.37	○	0.59	○	0.92	◎

表4 測定部位別によるストレッチャー部の最大加速度値比較

(単位：G)

車種	頭部		腹部		足部	
	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	△	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	◎	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	△
H5トライハート	1.21	△	0.30	◎	0.97	△
H4トライハート	0.64	◎	0.73	△	0.83	○
H3ベンツ	0.78	○	0.59	○	0.72	◎

表5 測定方向別によるストレッチャー部の最大加速度値比較

(単位: G)

車種	X軸(上下)		Y軸(左右)		Z軸(前後)	
	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	◎	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	◎	・直線舗装路 ・60 km/h ・腹部	◎
H5トライハート	0.30	◎	0.35	◎	0.38	◎
H4トライハート	0.73	△	1.21	△	0.86	△
H3ベンツ	0.59	○	0.69	○	0.54	○

また、各軸方向における加速度の伝達傾向を比較すると、「H5トライハート」は、車両床面及びストレッチャー共に、Z軸(前後)方向の加速度がやや大きな値を示している。「H3ベンツ」、「H4トライハート」は共に、車両床面上ではX軸(上下)方向、ストレッチャー上ではY軸(左右)方向の加速度が大きな値を示しており、車種の違いにより各軸方向の加速度の伝達傾向に差異が見られた。これは、各車両のサスペンション構造及び防振機構の特性の違いによるものと思われる。

## 5 振動特性の分析及び評価

### 5.1 分析及び評価の方法

振動特性(周波数分布)の解析は、データアナライザ(周波数成分の解析装置)によるFFT(FAST FOURIER TRANSFORM: 高速フーリエ変換)解析の手法を採用した。

また、分析及び比較評価は、3.9に示す分析システムを使用し、サンプリング周期20ms(0.02秒)ごとに連続的に収録した256点の時間軸領域における加速度変化(デジタルデータ)を解析し、時間にして20ms×256点=5.12秒間の走行中に発生した周波数領域上の各周波数成分の分布(振動の大きさ)について、①路面条件別 ②走行速度別 ③測定部位別 ④測定方向別

の各走行・測定条件ごとに、3車種による比較評価を行った。

なお、「5.3 振動による生体への影響」で後述するように、生体に影響を及ぼす周波数帯域として、腹部については、表6に示す1~14Hzの共振周波数帯域の振動に着目して分析を行った。

頭部及び足部については、測定部位別等の比較の中で、表7に示す共振周波数帯域(頭蓋:〔X軸(上下)方向50~70Hz, Y軸(左右)方向0.6~4Hz, Z軸(前後)方向1~4Hz], 足部:〔X軸(上下)方向16~31Hz, Y軸(左右)方向0.8~3Hz, Z軸(前後)方向1~3Hz])の振動についての分析を加えた。

### 5.2 FFT (FAST FOURIER TRANSFORM: 高速フーリエ変換) 解析の考え方

振動の時間的変化として、横軸を時間、縦軸を振幅(振動の大きさ)として表した時間軸信号の波形は、周期も振幅も異なる多くのサイン波あるいはコサイン波の重なりあったものと考えられる。例えば、図5の(a)の信号は、(b), (c), (d)の三つの規則的な波に分けることができる。すなわち、この三つの波が合成されて一つの時間軸信号ができていくことになる。

FFT解析による周波数分析は、図6に示すとおり、周期のない複雑な波形(時間軸信号)を、周波数の異なる単純な波に分解し、それぞれの波の周波数と振幅を求めるものである。

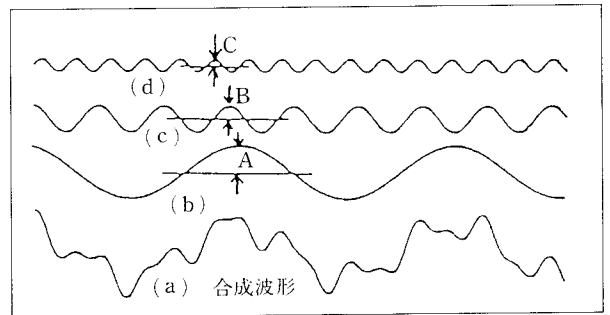


図5 波形の合成

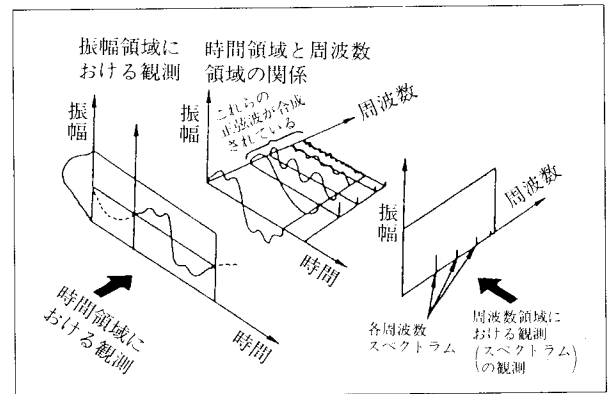


図6 時間領域と周波数領域

### 5.3 振動による生体への影響

振動が傷病者に与える影響の程度についてはまだあまり研究が進んでいない分野ではあるが、一般的に20Hz以下の低周波数帯域の振動が臓器に共振を与えるといわれており、また、表6のようにも報告されている。

これによると、生体は4~11Hzの周波数帯域の振動に暴露されると、心・血管系への影響が発現し、血圧上昇や胸部疼痛などの反応を示す。同様に、1~8Hzの振動は、呼吸困難や呼吸運動制限など呼吸器系に影響を及ぼす。また、3~14Hzの振動は腹痛や胃腸

表6 振動による生体反応〔金沢大学医学部：岡田ほか〕

		1~14 Hz 帯域			
周波数 (Hz) : 0		5	10	15	
心・血管系	抹消血管収縮・血圧上昇		— —		
	左胸部疼痛 胸骨部疼痛		— —		
呼吸器系	呼吸困難	— —			
	呼吸運動制限		— —		
	換気量増大	— —			
消化器系	腹痛		— —		
	胃腸内圧増加	— —			
	腹圧増加	— —			
その他	難聴		— —		
	腰背部痛・脊柱変形	— —			

表7 振動方向による人体各部位の共振周波数

(ヨハネスグーテンベルグ大学：H. デュビィ/G. ツェレット)

部位	X軸(上下)方向	Y軸(左右)方向	Z軸(前後)方向
頭蓋	50~70 Hz	0.6~4 Hz	1~4 Hz
胸	6~12 Hz	—	—
腹	4~8 Hz	0.8~4 Hz	1.5~6 Hz
膝	4~8 Hz	—	—
足	16~31 Hz	0.8~3 Hz	1~3 Hz

内圧増加など消化器系に影響を及ぼし、その他、3.5~5 Hz で難聴や腰背部痛をきたす。

したがって、生体が1~14 Hzの周波数帯域の振動に曝されると、心・血管系、呼吸器系、消化器系などに、臓器共振による影響が見られるとされている。

また、別の研究によると、表7に示すとおり、頭蓋(頭部)については、X軸(上下)方向の50~70 Hz、Y軸(左右)方向の0.6~4 Hz、Z軸(前後)方向の1~4 Hzの各周波数帯域の振動に対して共振を起こし、また、足部については、X軸(上下)方向の16~31 Hz、Y軸(左右)方向の0.8~3 Hz、Z軸(前後)方向の1~3 Hzの各周波数帯域の振動に対して共振を起こし、影響を受けるとされている。

さらには、各軸方向の振動による生体の各部位における振動伝達と振動数(周波数)の関係についても報告されており、これによると、X軸(上下)方向の振動による伝達係数(\*)は、図7のとおり、腹部、胸骨及び膝では8 Hzにおいて最大値を示し、足では16~31 Hzの範囲でピークを示し、前額では約63 Hzにおいて伝達係数2.0を越える最大値を持つとされている。  
注：(\*)「伝達係数」~当該部位への刺激(入力)振幅

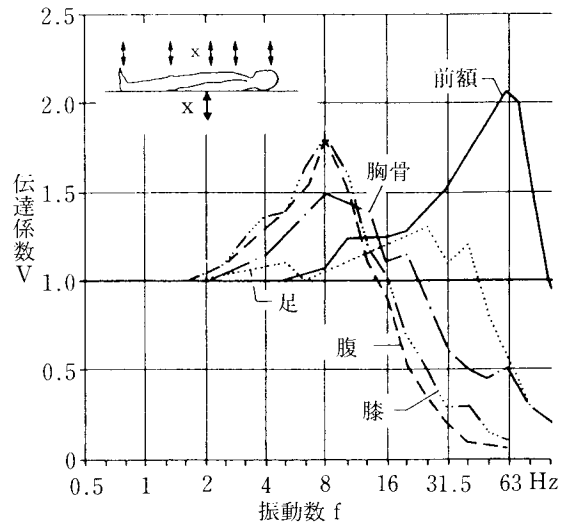


図7 X軸(上下)方向の垂直振動中の仰臥位の生体の5部位における振動伝達と振動数の関係

に対する反応(出力)振幅の大きさ

Y軸(左右)方向の振動に対しては、図8のとおり、共振の最大は約1.7 Hzで、伝達係数が3.0~4.0、Z軸(前後)方向においては、図9のとおり、2~4 Hzの周波数帯で伝達係数1.8~2.7を示している。

このことから、上記の各周波数帯域においてスト

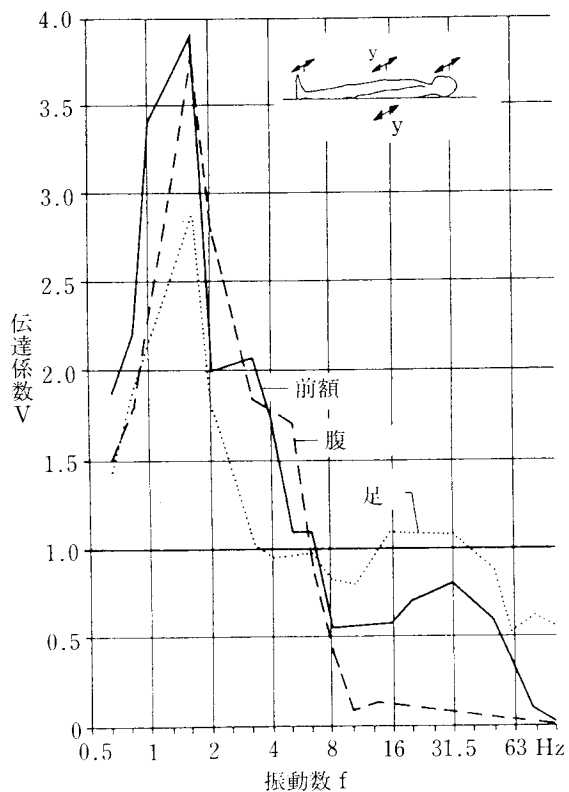


図8 Y軸(左右)方向の水平振動中の仰臥位の生体の3部位における振動伝達と振動数の関係

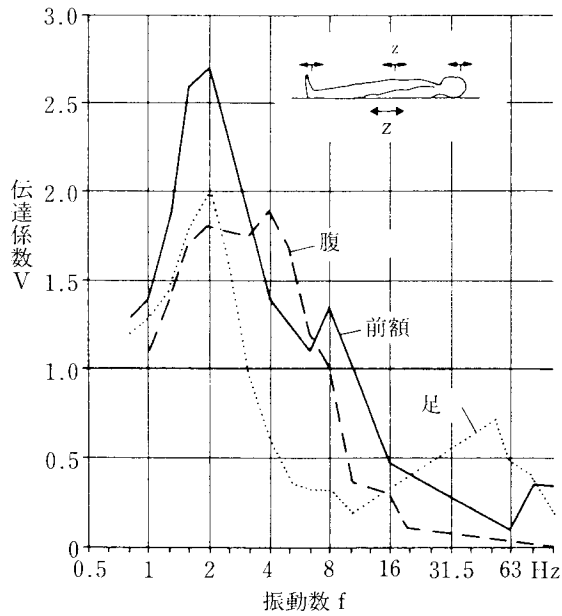


図9 Z軸(前後)方向の水平振動中の仰臥位の生体の3部位における振動伝達と振動数の関係

ストレッチャーへの振動伝播が軽減されると、救急搬送患者に対する振動の影響が生じにくいといえる。

#### 5.4 振動特性(周波数分布)の分析及び評価結果

……【表8~12, 18~22, 図24~39 参照】

##### (1) 路面条件別

ストレッチャー腹部は、特に直線舗装路、砂利道走行及び障害段差進入時の周波数分布において、X軸(上下)方向の1~14 Hzの周波数帯域の振動が、他の2車種、中でも「H4トライハート」と比較して低い値を示した。一方、カーブ走行時は、Y軸(左右)方向の1~14 Hzの周波数帯域の振動が、既存の2車種、特に「H3ベンツ」と比較して高い値を示した。

これは、「H3ベンツ」の振動の最大値がストレッチャー、車両床面共に低い値を示していることから、同車両のサスペンション構造がY軸(左右)方向の振動を軽減しやすい特性を持つとともに、防振架台の構造が3車種の中で唯一横スライド型の機能を有していることによるものと考えられる。

表9 走行速度別：共振周波数帯域におけるストレッチャー部の振動の最大値比較 (単位： $\times 10^{-2}G$ )

車種	20 km/h		40 km/h		60 km/h	
	直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)		直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)		直線舗装路 ・腹部 ・X軸(上下)	
H5トライハート	1.22	◎	1.62	◎	6.14	○
H4トライハート	6.30	△	6.75	△	26.72	△
H3ベンツ	2.30	○	3.27	○	5.02	◎

また、停止時は、Z軸(前後)方向の1~14 Hzの周波数帯域の振動が、既存車種と比較して低い値を示した。

##### (2) 走行速度別

直線舗装路走行時のストレッチャー腹部、X軸(上下)方向の周波数分布は、20 km/h及び40 km/hの各走行時の1~14 Hzの周波数帯域の振動値が、他車種と比較してかなり低い値を示した。同様に、60 km/h走行時においては「H4トライハート」と比較して低い値を示した。

また、速度が高くなるにしたがって、7 Hz未満、特に2 Hz前後の周波数帯域の振動が大きくなる傾向が見られた。一方、「H4トライハート」は2~6 Hz、「H3ベンツ」は1 Hz前後の周波数帯域の振動が、速度が高くなるにしたがって大きくなる傾向を見せており、これは、各車種の防振機構の特性の違いによるものと思われる。

「H4トライハート」の振動特性を見ると、車両床面上の振動は各周波数帯に分散しているが、ストレッチャー上では臓器の共振周波数帯域特に1~7 Hzの帯域の振動が増幅される形で伝達されており、速度が高くなるにしたがって大きくなる傾向を示した。

##### (3) 測定部位別

直線舗装路走行時のX軸(上下)方向の周波数分布は、ストレッチャー腹部及び車両床面腹部における1~14 Hzの腹部共振周波数帯域の振動値が、他車種と比較して低い値を示した。また、車両床面上の腹部下位置で見られる8~14 Hzの周波数帯域の振動が、防

表8 路面条件別：共振周波数帯域におけるストレッチャー部の振動の最大値比較 (単位： $\times 10^{-2}G$ )

車種	直線舗装路		砂利道		カーブ		障害段差		停止	
	・40 km/h ・腹部 ・X軸上下		・30 km/h ・腹部 ・X軸上下		・10 km/h ・腹部 ・Y軸左右		・5 km/h ・腹部 ・X軸上下		・5 km/h ・腹部 ・Z軸前後	
H5トライハート	1.62	◎	2.15	◎	4.72	△	13.24	◎	1.61	◎
H4トライハート	6.75	△	25.09	△	3.58	○	23.98	△	4.05	△
H3ベンツ	3.27	○	13.18	○	2.12	◎	20.93	○	1.92	○

表 10 測定部位別：共振周波数帯域におけるストレッチャー部の振動の最大値比較 (単位： $\times 10^{-2}G$ )

車種	頭部		腹部		足部	
	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)	・直線舗装路 ・40 km/h ・X軸(上下)
H5トライハート	1.08	△	1.62	◎	21.68	△
H4トライハート	0.70	◎	6.75	△	2.11	○
H3ベンツ	1.04	○	3.27	○	1.28	◎

振機構により軽減され、ストレッチャー腹部では低い値を示した。

同条件のストレッチャー頭部の周波数分布を見ると、50~70 Hzの頭部共振周波数帯域の振動値が他の2車種と比較して若干高い値を示した。

また、ストレッチャー腹部には見られない15 Hz以上の比較的高い周波数成分、特に18 Hz前後の周波数の振動が頭部及び足部に見られ、ストレッチャー上の部位による周波数分布の違いが見られた。

さらに、ストレッチャー足部の周波数分布を見ると、16~31 Hzの足部共振周波数帯域の振動値が他車種と比較してかなり高い値を示した。

これは、車両床面上において各周波数帯域に平均的に分散していた振動が防振架台を介してストレッチャー上に伝達される際に、それぞれの防振機構の特性の違いにより、「H5トライハート」については高周波数帯域側へ、他の2車種については低周波数帯域側へそれぞれ移行したためによると思われる、「H5トライハート」の防振機構に改良の余地があることを示唆した。

#### (4) 測定方向別

直線舗装路走行時のストレッチャー腹部の周波数分布は、X軸(上下)、Y軸(左右)及びZ軸(前後)の各方向における1~14 Hzの周波数帯域の振動値が、他車種と比較して低い値を示した。

また、同条件の各軸方向の周波数分布を比較すると、X軸(上下)方向は7 Hz前後で他の2軸方向よりも高い振動値を示し、同様に、Y軸(左右)方向は3 Hz前

表 11 測定方向別：共振周波数帯域におけるストレッチャー部の振動の最大値比較 (単位： $\times 10^{-2}G$ )

車種	X軸(上下)		Y軸(左右)		Z軸(前後)	
	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部	・直線舗装路 ・40 km/h ・腹部
H5トライハート	1.62	◎	2.74	◎	3.59	◎
H4トライハート	6.75	△	7.02	△	6.19	△
H3ベンツ	3.27	○	2.94	○	3.92	○

後、Z軸(前後)方向は2 Hz前後でそれぞれ他の2軸方向よりも高い値を示した。

他車種の各軸方向の周波数分布を見ると、「H4トライハート」は、X軸(上下)方向では2~6 Hz前後、Y軸(左右)及びZ軸(前後)方向では1 Hz前後、また「H3ベンツ」は、各軸方向共に1 Hz前後の周波数帯域の振動が高い値を示しており、車種の違いにより3軸方向の周波数特性に差異が見られた。

次に、測定部位別の比較で触れた直線舗装路走行時のストレッチャー頭部及び足部の周波数分布について、他の軸(Y及びZ軸)方向の共振周波数帯域に着目して見ると、Y軸(左右)方向は、ストレッチャー頭部における頭蓋の共振周波数帯域〔Y軸方向0.6~4 Hz〕及びストレッチャー足部における足の共振周波数帯域〔Y軸方向0.8~3 Hz〕の振動値が、特に0.9 Hz前後の周波数域で、他車種と比較して高い値を示した。

また、Z軸(前後)方向は、ストレッチャー頭部における頭蓋の共振周波数帯域〔Z軸方向1~4 Hz〕の振動値が、他車種と比較して低い値を示した。同様に、ストレッチャー足部における足の共振周波数帯域〔Z軸方向1~3 Hz〕の振動値は、「H4トライハート」と比較して低い値を示した。

## 6 生体による体感振動の評価

### 6.1 評価の方法

救急搬送患者への振動による影響を、実際の乗心地

表 12 方向・部位別：頭部及び足部の共振周波数帯域におけるストレッチャー部の振動の最大値比較

(単位： $\times 10^{-2}G$ )

車種	Y軸(左右)				Z軸(前後)			
	・直線舗装路 ・40 km/h ・頭部	・直線舗装路 ・40 km/h ・頭部	・直線舗装路 ・40 km/h ・足部	・直線舗装路 ・40 km/h ・足部	・直線舗装路 ・40 km/h ・頭部	・直線舗装路 ・40 km/h ・頭部	・直線舗装路 ・40 km/h ・足部	・直線舗装路 ・40 km/h ・足部
H5トライハート	7.99	△	9.14	△	2.98	◎	3.29	○
H4トライハート	6.23	○	6.74	○	6.20	△	5.45	△
H3ベンツ	5.63	◎	4.34	◎	3.54	○	2.10	◎

表 13 体感振動の比較

車 種	直線舗装路	砂 利 道	カ ー ブ	障 害 段 差	停 止
H 5 トライハート	ユラユラ	ユラユラ	ユレはあまり感じず	ユラユラ	ユラユラ
H 4 トライハート	ゴツゴツ	ゴツゴツ	ユレはあまり感じず	ドドドン	ゴツゴツ
H 3 ベ ン ツ	フワフワ	フワフワ	フワフワ	フワフワ	フワフワ

の観点から判断するため、振動データの測定実験と並行して、模擬患者1名がストレッチャー上に搭乗し、走行中の体感振動について比較評価を行った。

## 6.2 生体による体感振動の評価結果

防振ストレッチャー架台上での体感振動は、表13に示すとおり、特に「H4トライハート」と比較して、障害段差などの衝撃振動がそれ程感じられず、また、全体的に安定した体感であった。この体感振動を言葉で表現すると「ユラユラ」とした感じで、「H3ベンツ」の「フワフワ」感と、「H4トライハート」の「ゴツゴツ」感との中間位程度の体感があった。

「H4トライハート」は、全体的に「ゴツゴツ」した感じであり、特に、障害段差では下から突き上げるようなかなり激しい衝撃を感じるとともに、ピッチング（左右軸回りの回転振動）、あるいはローリング（前後軸回りの回転振動）を感じた。

「H3ベンツ」は、いずれの場合も「フワフワ」とした感じであり、衝撃的な振動はあまり感じられず、また走行条件にもそれ程左右されなかった。これは、防振架台の構造として上下方向の振動を吸収するバネのほかに、唯一左右方向の振動を吸収する横スライド方式の機構を備えていることなどによると考えられる。しかし、柔らかく大きな揺れがあることから、「酔い」に似た体感を受けた。

また、カーブ走行時では、「H5トライハート」「H4トライハート」は共に、横向きに押される力は受けるが、揺れ自体はあまり感じない状況であった。

「H5トライハート」の体感振動を総合的に判断すると、他車種と比較して、特に上下方向の振動による影響が明らかに低減され、乗心地が改善された。

## 7 ま と め

### 7.1 結論

今回は、高規格救急車3車種の防振ストレッチャー架台について、

- ①振動レベル（加速度変化）
- ②振動特性（周波数分布）
- ③体感振動（乗心地）

の3点に着目し、各走行・測定条件別に振動測定実験及び分析・評価を行った。

その結果、振動レベル（加速度変化）を見ると、「H5トライハート」は他の2車種と比較し、概して加速度の伝達値が低く保たれており、安定した振動レベルを示した。これは、車両本体にエア方式のサスペンションを採用したこと、及び防振架台に使用しているスプリングに適正なバネ特性のものを選択したことなどにより、ストレッチャー上への加速度の伝達が緩衝されたものと考えられる。また、走行中における生体の体感振動については、特に上下方向の振動による影響が明らかに低減され、乗心地が改善された。

一方、「H4トライハート」は、特に障害段差や砂利道でかなり大きな振動が見られた。これは、防振機構として採用しているエアダンパの振動の吸収能力が低いため、車体のサスペンションを通った路面からの振動が、それ程緩衝されずにストレッチャー上に伝達されていることによると思われる。

「H3ベンツ」は、走行及び測定条件にそれ程左右されない防振性能を示した。これは、車体のサスペンション構造として「H4トライハート」より柔らかいリーフスプリング（重ね板ばね）を使用していること、また、防振架台の構造として上下方向の振動を吸収するバネを使用するとともに左右方向の振動を吸収する横スライド方式の機構を備えていることなどによると考えられる。しかし、乗心地からすると、柔らかく大きな揺れは「酔い」に似た体感を受けた。

また、振動特性（周波数分布）を見ると、特に、生体に影響を及ぼす1～14 Hz（臓器）、50～70 Hz（頭蓋）及び16～31 Hz（足部）の共振周波数帯域の振動に着目して分析を行った結果、「H5トライハート」は他の2車種と比較して、とりわけ臓器に影響を及ぼす共振周波数帯域における振動が低減された。

以上のように、高規格救急車3車種の防振性能を比較した結果、表23、24に示すとおり、「H5トライハート」の改良型ストレッチャー架台の防振機能は、他車種との相対評価として、生体への振動伝達が3割程度軽減され、防振性能の改善が認められた。

### 7.2 今後の課題

今回実施した車両床面とストレッチャー上の加速度変化及び周波数分布の比較・分析を通して、効果的な振動吸収を考える上で必要とされる条件として次の3

点を得た。

- ① 防振機能により架台上への加速度の伝達を低く保つこと。
- ② 防振機構の固有共振周波数を人体の共振帯域からはずすこと。
- ③ 車両本体のサスペンション機能（ダンパの減衰特性等）を向上させること。

なお、乗心地の判定にあたっては、振動、音、視界等、人間の感覚の総和で評価されるとともに個人による感覚の差があるため、実験評価による定量化が難しい領域であり、今後、その評価・判定の方法について検討を要すると思われる。

また、救急搬送患者に対する振動による影響のより一層の低減化と救急活動の効率化を図るため、今後、架台の材料や防振機構と振動特性との関連、振動波の周波数の違いによる路面→車体→架台への振動の伝達特性、加速度変化や周波数分布の結果と生体の体感振動との関連、車体及び架台のピッチング（左右軸回りの回転振動）ローリング（前後軸回りの回転振動）ヨーイング（上下軸回りの回転振動）が人体に与える影響などについて、さらに実験・分析を重ねるとともに、

従来の機械的懸架装置（パッシブサスペンション）からマイクロコンピュータによる電子制御を応用した能動的懸架装置（アクティブサスペンション）への転換の可能性などについて検討を進め、防振ストレッチャー架台の防振性能の改良を進める必要がある。

#### ＜参考文献＞

- (1) 「騒音・振動」安全工学協会
- (2) 「振動・騒音計測技術」日本機械学会
- (3) 「機械・構造物の振動」ラプラス研究会
- (4) 「全身振動の生体反応」H・デュピイ／G・ツェレット 名古屋大学出版会
- (5) 「フーリエの冒険」トランスナショナルカレッジオブプレックス編 ヒップファミリークラブ
- (6) 「防振ストレッチャーの振動測定実験」『日救急医誌』（1990.1.103-9）  
石田詔治，黒田誠一郎，吉永和正
- (7) 「自動車のサスペンション」カバヤ工業㈱
- (8) 「自動車設計と解析シミュレーション」三浦登，福田水穂





写真8 H5型高規格救急車(トライハート)

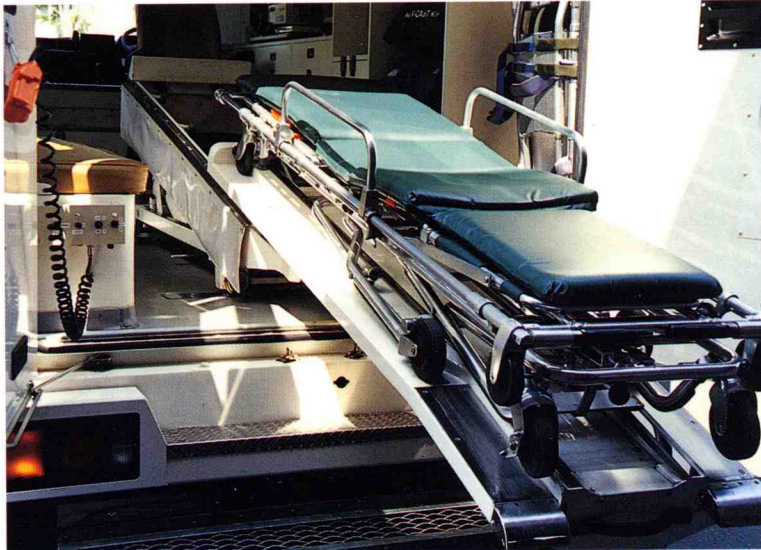


写真9 防震ストレッチャー架台(ストレッチャーを降ろした状態)



写真10 振動測定実験の状況

表 14 路面条件別の振動レベル(加速度変化)比較

車種	測定ポイント	直線舗装路			砂利道			カーブ			障害段差			停止		
		・走行速度～40 km/h ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)			・走行速度～30 km/h ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)			・走行速度～10 km/h ・測定位置～腹部 ・測定方向～Y軸(左右)			・走行速度～5 km/h ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)			・走行速度～5 km/h ・測定位置～腹部 ・測定方向～Z軸(前後)		
		最大加速度(G)		評価	最大加速度(G)		評価	最大加速度(G)		評価	最大加速度(G)		評価	最大加速度(G)		評価
		+方向 ↓ -方向	加速度幅 :絶対値		+方向 ↓ -方向	加速度幅 :絶対値		+方向 ↓ -方向	加速度幅 :絶対値		+方向 ↓ -方向	加速度幅 :絶対値		+方向 ↓ -方向	加速度幅 :絶対値	
1 H5トライハート	ストレッチャー	0.17 ↓ -0.13	0.30 (0.51)	◎	0.28 ↓ -0.33	0.61 (0.39)	◎	0.71 ↓ -0.37	1.08 (0.83)	◎	1.40 ↓ -1.24	2.64 (0.54)	◎	0.12 ↓ -0.40	0.52 (0.73)	◎
	車両床面	0.19 ↓ -0.11	0.30 (0.40)	◎	0.59 ↓ -0.48	1.07 (0.48)	◎	0.61 ↓ -0.32	0.93(0.94)	◎	0.89 ↓ -0.67	1.56 (0.40)	◎	0.18 ↓ -0.37	0.55 (0.71)	◎
2 H4トライハート	ストレッチャー	0.37 ↓ -0.36	0.73 (1.24)	△	1.51 ↓ -1.24	2.75 (1.76)	△	0.52 ↓ -0.94	1.46 (1.12)	△	2.42 ↓ -3.80	6.22 (1.26)	△	0.45 ↓ -0.63	1.08 (1.52)	△
	車両床面	0.87 ↓ 0.80	1.67 (2.23)	△	1.29 ↓ -1.35	2.64 (1.19)	△	0.50 ↓ -0.76	1.26 (1.27)	△	2.19 ↓ -2.27	4.46 (1.14)	△	0.40 ↓ -0.29	0.69 (0.88)	○
3 H3ベンツ	ストレッチャー	0.36 ↓ -0.23	0.59 (1.00)	○	0.96 ↓ 0.60	1.56 (1.00)	○	0.62 ↓ -0.68	1.30 (1.00)	○	1.50 ↓ -3.42	4.92 (1.00)	○	0.18 ↓ -0.53	0.71 (1.00)	○
	車両床面	0.46 ↓ -0.29	0.75 (1.00)	○	0.95 ↓ -1.26	2.21 (1.00)	○	0.43 ↓ -0.56	0.99 (1.00)	○	1.35 ↓ -2.55	3.90 (1.00)	○	0.12 ↓ -0.66	0.78 (1.00)	△

(注) 1 表中( )書きは、最大加速度幅(絶対値)の「H3ベンツ」との比較(倍数)である。  
2 「評価」は、最大加速度値の3車種の比較による。

【路面条件別-1】

〈測定条件〉 ・走行速度～時速40 km/h  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

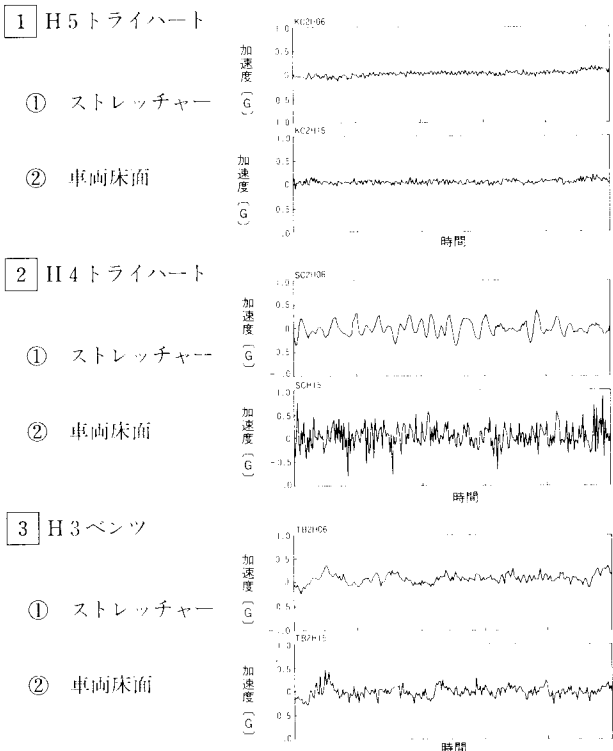


図 10 直線舗装路走行時の加速度変化

【路面条件別-2】

〈測定条件〉 ・走行速度～時速30 km/h  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

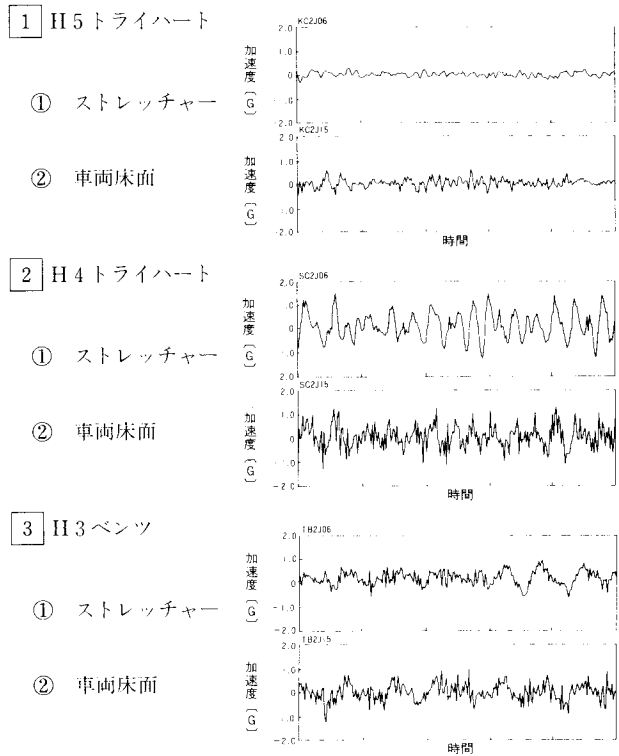


図 11 砂利道走行時の加速度変化

【路面条件別-3】

〈測定条件〉 ・走行速度～時速 10 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
 ・測定方向～Y 軸 (左右) 方向

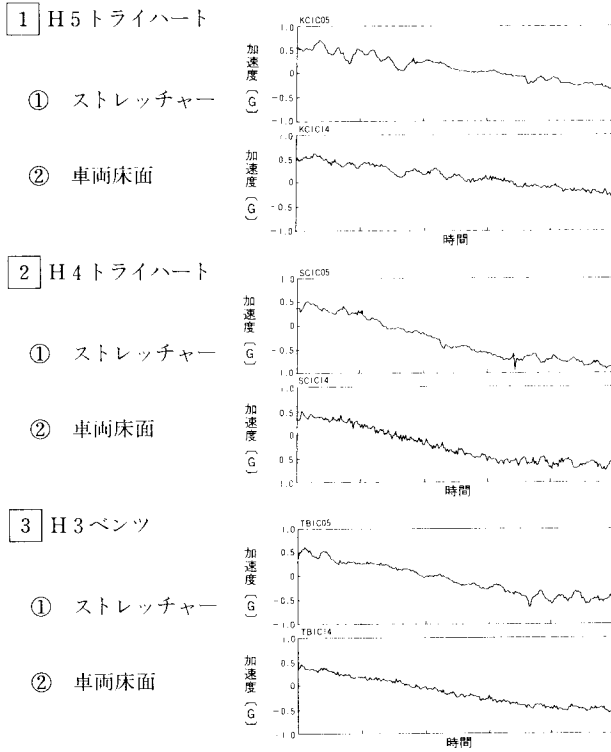


図 12 カーブ走行時の加速度変化

【路面条件別-4】

〈測定条件〉 ・走行速度～時速 5 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
 ・測定方向～X 軸 (上下) 方向

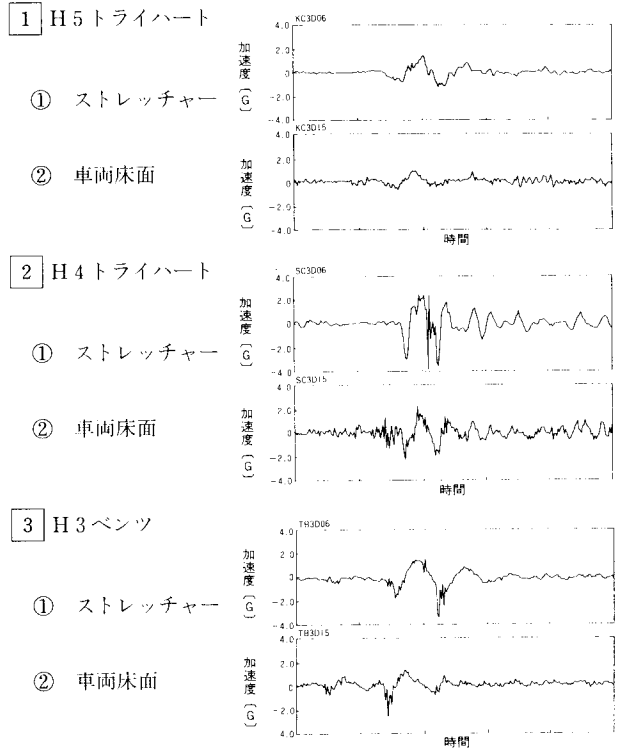


図 13 障害段差進入時の加速度変化

【路面条件別-5】

〈測定条件〉 ・走行速度～時速 5 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー② 車両床面)  
 ・測定方向～Z 軸 (左右) 方向

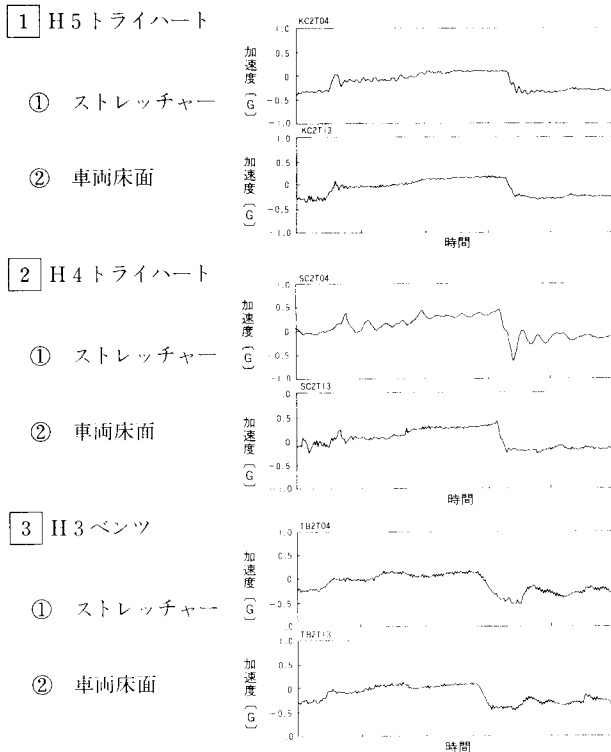


図 14 停止時の加速度変化

表 15 走行速度別の振動レベル(加速度変化)比較

車種	測定ポイント	20 km/h			40 km/h			60 km/h		
		・路面条件～直線舗装路 ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)			・路面条件～直線舗装路 ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)			・路面条件～直線舗装路 ・測定位置～腹部 ・測定方向～X軸(上下)		
		最大加速度 (G)		評価	最大加速度 (G)		評価	最大加速度 (G)		評価
+方向 ↓ -方向	最大加 速度幅 :絶対値	+方向 ↓ -方向	最大加 速度幅 :絶対値		+方向 ↓ -方向	最大加 速度幅 :絶対値				
1 H5トライハート	ストレッチャー	0.04 ↓ -0.09	0.13 (0.35)	◎	0.17 ↓ -0.13	0.30 (0.51)	◎	0.45 ↓ -0.50	0.95 (1.03)	○
	車両床面	0.03 ↓ -0.08	0.11 (0.16)	◎	0.19 ↓ -0.11	0.30 (0.40)	◎	0.56 ↓ -0.71	1.27 (1.15)	○
2 H4トライハート	ストレッチャー	0.35 ↓ -0.34	0.69 (1.86)	△	0.37 ↓ -0.36	0.73 (1.24)	△	1.55 ↓ -0.99	2.54 (2.76)	△
	車両床面	0.82 ↓ -0.71	1.53 (2.28)	△	0.87 ↓ -0.80	1.67 (2.23)	△	1.76 ↓ -1.76	3.52 (3.20)	△
3 H3ベンツ	ストレッチャー	0.30 ↓ -0.07	0.37 (1.00)	○	0.36 ↓ -0.23	0.59 (1.00)	○	0.17 ↓ -0.73	0.92 (1.00)	◎
	車両床面	0.31 ↓ -0.36	0.67 (1.00)	○	0.46 ↓ -0.29	0.75 (1.00)	○	0.77 ↓ -0.33	1.10 (1.00)	◎

(注) 1 表中( )書きは、最大加速度幅(絶対値)の「H3ベンツ」との比較(倍数)である。  
2 「評価」は、最大加速度値の3車種の比較による。

【走行速度別-1】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

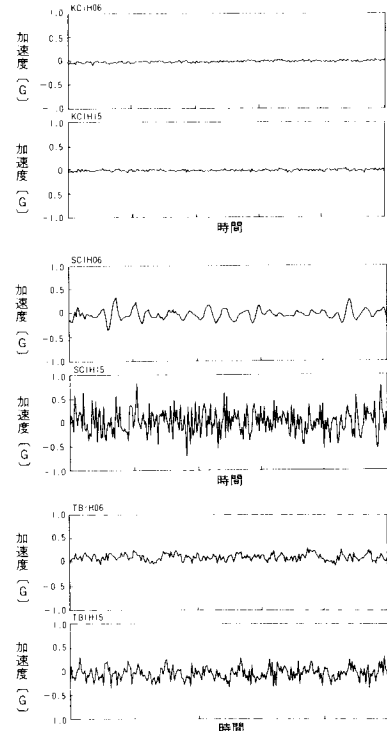


図 15 20 km/h 走行時の加速度変化

【走行速度別-2】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

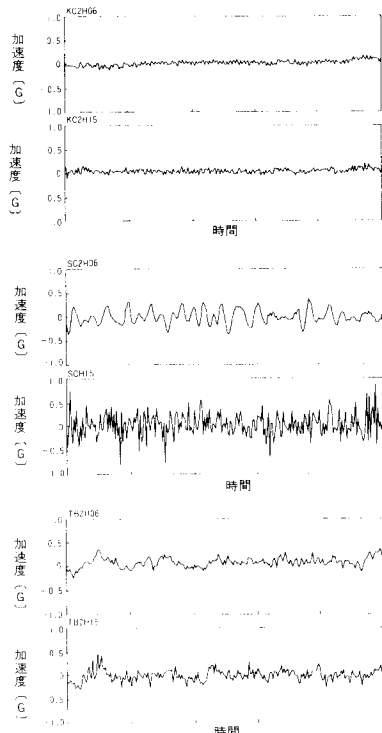


図 16 40 km/h 走行時の加速度変化

【走行速度別-3】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

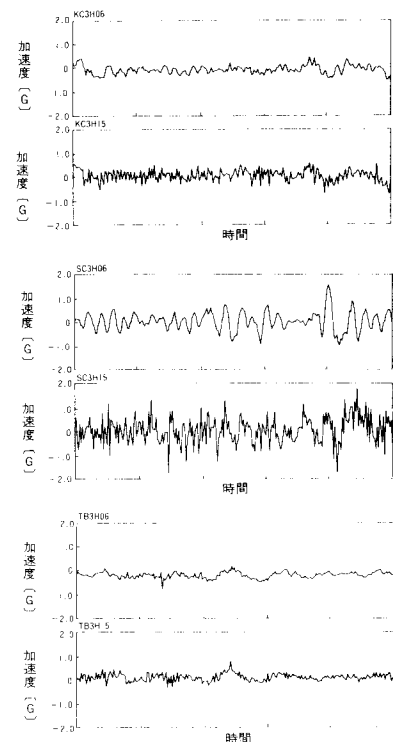


図 17 60 km/h 走行時の加速度変化

表 16 測定部位別の振動レベル(加速度変化)比較

車種	測定ポイント	頭部		腹部		足部				
		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定方向～X軸(上下)		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定方向～X軸(上下)		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定方向～X軸(上下)				
		最大加速度(G)		最大加速度(G)		最大加速度(G)				
		-方向 ↓ -方向 :絶対値	最大加 速度幅 ↑ :絶対値	評価	+方向 ↓ -方向 :絶対値	最大加 速度幅 ↑ :絶対値	評価	+方向 ↓ -方向 :絶対値	最大加 速度幅 ↑ :絶対値	評価
1 H5トライハート	ストレッチャー	0.70 ↓ -0.51	1.21 (1.55)	△	0.17 ↓ -0.13	0.30 (0.51)	◎	0.37 ↓ -0.60	0.97 (1.35)	△
	車両床面	0.06 ↓ -0.32	0.38 (0.45)	◎	0.19 ↓ -0.11	0.30 (0.40)	◎	-	-	-
2 H4トライハート	ストレッチャー	0.52 ↓ -0.12	0.64 (0.82)	◎	0.37 ↓ -0.36	0.73 (1.24)	△	0.46 ↓ -0.37	0.83 (1.15)	○
	車両床面	1.07 ↓ -0.72	1.79 (2.13)	△	0.87 ↓ -0.80	1.67 (2.23)	△	-	-	-
3 H3ベンツ	ストレッチャー	0.55 ↓ -0.43	0.78 (1.00)	○	0.36 ↓ -0.23	0.59 (1.00)	○	0.44 ↓ -0.28	0.72 (1.00)	◎
	車両床面	0.48 ↓ -0.36	0.84 (1.00)	○	0.46 ↓ -1.29	0.75 (1.00)	○	-	-	-

(注) 1 表中の書き込みは、最大加速度幅(絶対値)の「H3ベンツ」との比較(倍数)である。  
2 「評価」は、最大加速度値の3車種の比較による。

【測定部位別-1】

＜測定条件＞ ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

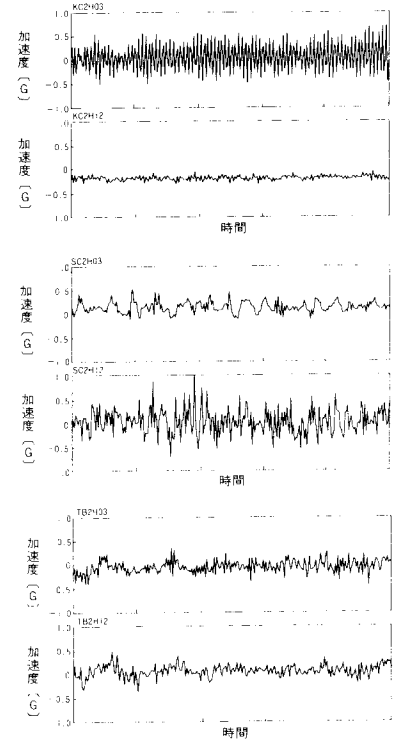


図 18 頭部の加速度変化

【測定部位別-2】

＜測定条件＞ ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

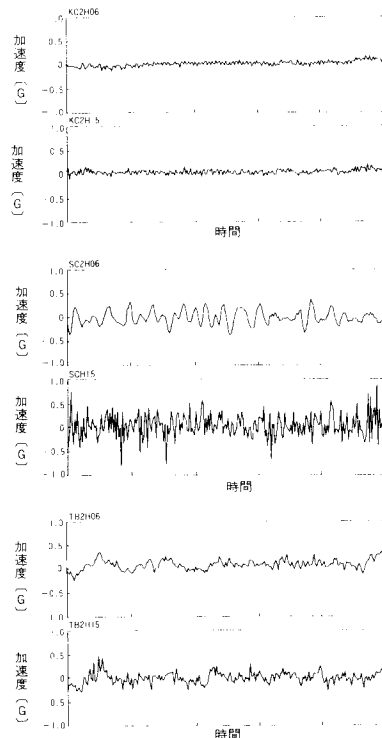


図 19 腹部の加速度変化

【測定部位別-3】

＜測定条件＞ ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

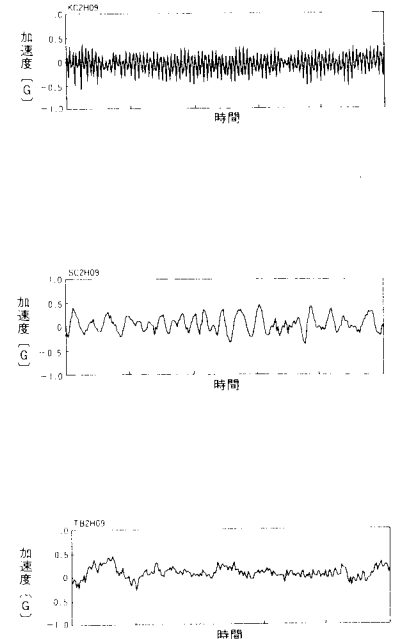


図 20 足部の加速度変化

表 17 測定方向別の振動レベル(加速度変化)比較

車種	測定ポイント	X軸(上下)		Y軸(左右)		Z軸(前後)		評価
		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定位置～腹部		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定位置～腹部		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定位置～腹部		
		最大加速度(G)		最大加速度(G)		最大加速度(G)		
		-方向   -方向	最大加 速度幅   絶対値	-方向   -方向	最大加 速度幅   絶対値	+方向   -方向	最大加 速度幅   絶対値	
① H5トライハート	ストレッチャー	0.17   -0.13	0.30 (0.51)	0.24   -0.11	0.35 (0.51)	0.25   -0.13	0.38 (0.70)	◎
	車両床面	0.19   -0.11	0.30 (0.40)	0.18   -0.02	0.20 (0.37)	0.32   -0.10	0.42 (0.93)	◎
② H4トライハート	ストレッチャー	0.37   -0.36	0.73 (1.24)	0.28   -0.93	1.21 (1.75)	0.39   -0.47	0.86 (1.59)	△
	車両床面	0.87   -0.80	1.67 (2.23)	0.13   -0.61	0.74 (1.37)	0.39   -0.30	0.69 (1.53)	△
③ H3ベンツ	ストレッチャー	0.36   -0.23	0.59 (1.00)	0.12   0.57	0.69 (1.00)	0.44   0.10	0.54 (1.00)	○
	車両床面	0.46   -0.29	0.75 (1.00)	0.06   -0.48	0.54 (1.00)	0.26   -0.19	0.45 (1.00)	○

注: 1 表中「|」書きは、最大加速度幅(絶対値)のH3ベンツとの比較(倍数)である。  
2 「評価」は、最大加速度値の3車種の比較による。

【測定方向別-1】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

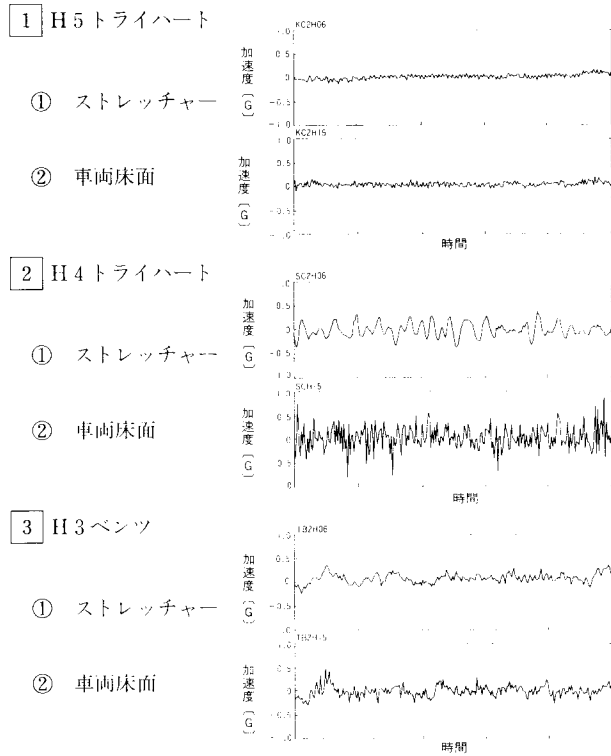


図 21 X軸(上下)方向の加速度変化

【測定方向別-2】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

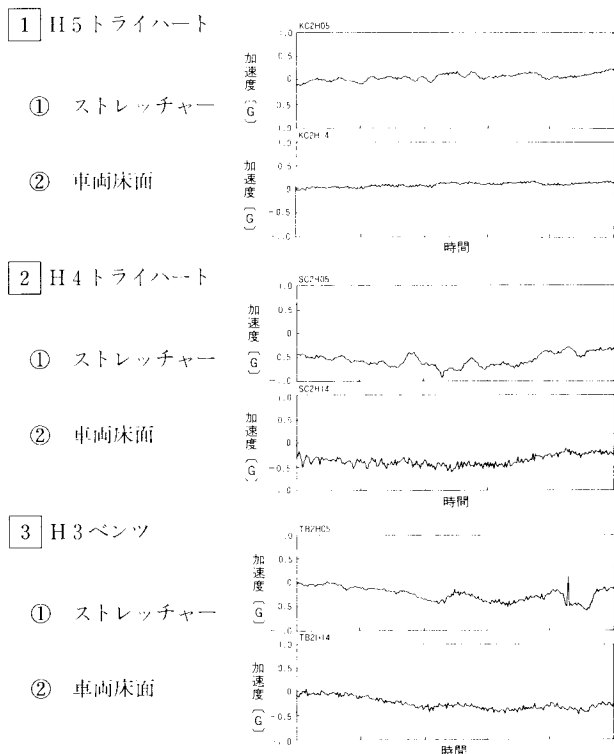


図 22 Y軸(左右)方向の加速度変化

【測定方向別-3】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～40 km/h  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

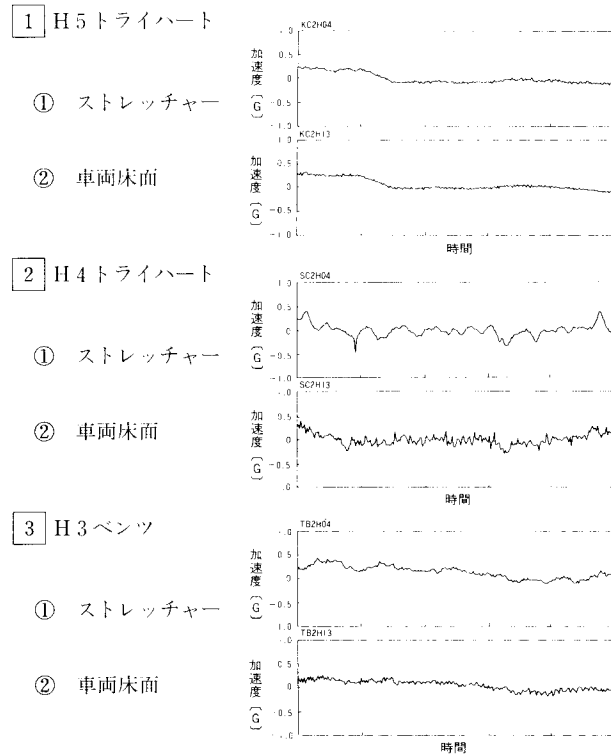


図 23 Z軸(前後)方向の加速度変化

表 18 路面条件別の振動特性(周波数分析)比較

車種	測定ポイント	直線舗装路			砂利道			カーブ			障害段差			停止		
		・走行速度~40 km/h ・測定ポイント~腹部 ・測定方向~X軸(上下)			・走行速度~30 km/h ・測定ポイント~腹部 ・測定方向~X軸(上下)			・走行速度~10 km/h ・測定ポイント~腹部 ・測定方向~Y軸(左右)			・進入速度~5 km/h ・測定ポイント~腹部 ・測定方向~X軸(上下)			・走行速度~5 km/h ・測定ポイント~腹部 ・測定方向~Z軸(前後)		
		1~14 Hzの周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	1~14 Hzの周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	1~14 Hzの周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	1~14 Hzの周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	1~14 Hzの周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価
1 H5トライハート	ストレッチャー	1.62 (0.50倍)	1.5	◎	2.15 (0.16倍)	6.4	◎	4.72 (2.23倍)	1.1	△	13.24 (0.63倍)	1.6	◎	1.61 (0.84倍)	1.2	◎
	車両床面	1.70 (0.43倍)	1.6	◎	3.67 (0.25倍)	3.6	◎	3.18 (3.88倍)	1.1	△	7.74 (0.82倍)	8.8	◎	1.52 (0.58倍)	1.2	◎
2 H4トライハート	ストレッチャー	6.75 (2.06倍)	5.1	△	25.09 (1.90倍)	3.0	△	3.58 (1.69倍)	1.2	○	23.98 (1.15倍)	2.6	△	4.05 (2.11倍)	1.6	△
	車両床面	5.74 (1.46倍)	10.5	△	17.74 (1.23倍)	3.0	△	2.34 (2.85倍)	2.5	○	16.53 (1.75倍)	2.6	△	3.29 (1.25倍)	1.6	△
3 H3ベンツ	ストレッチャー	3.27 (1.00倍)	1.2	○	13.18 (1.00倍)	1.3	○	2.12 (1.00倍)	2.9	◎	20.93 (1.00倍)	1.2	○	1.92 (1.00倍)	1.5	○
	車両床面	3.94 (1.00倍)	1.7	○	14.48 (1.00倍)	1.3	○	0.82 (1.00倍)	1.6	◎	9.42 (1.00倍)	1.1	○	2.64 (1.00倍)	2.5	○

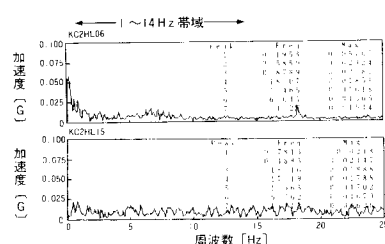
(注) 1 表中〔 〕書きは、測定部位の共振周波数帯域における振動の最大値の“H3ベンツ”との比較(倍数)である。  
2 「評価」は、生体の共振周波数帯域における周波数分布の3車種の比較による。

【路面条件別-1】

〈測定条件〉 ・走行速度~時速40 km/h  
・測定部位~腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向~X軸(上下)方向

1 H5トライハート

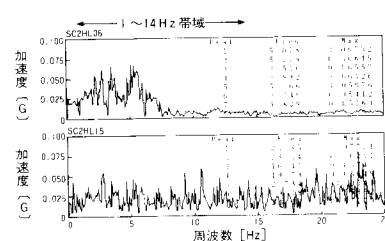
① ストレッチャー



② 車両床面

2 H4トライハート

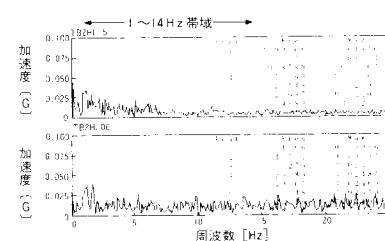
① ストレッチャー



② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー



② 車両床面

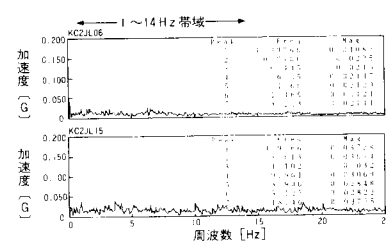
図 24 直線舗装路走行時の周波数分布

【路面条件別-2】

〈測定条件〉 ・走行速度~時速30 km/h  
・測定部位~腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向~X軸(上下)方向

1 H5トライハート

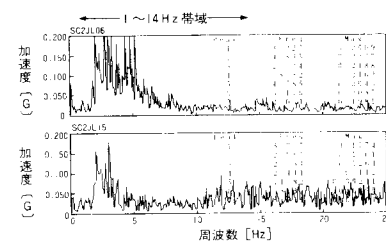
① ストレッチャー



② 車両床面

2 H4トライハート

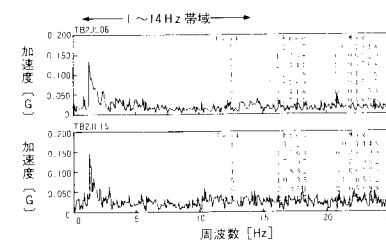
① ストレッチャー



② 車両床面

3 H3ベンツ

① ストレッチャー



② 車両床面

図 25 砂利道走行時の周波数分布

【路面条件別-3】

＜測定条件＞ ・走行速度～時速 10 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
 ・測定方向～Y軸 (左右) 方向

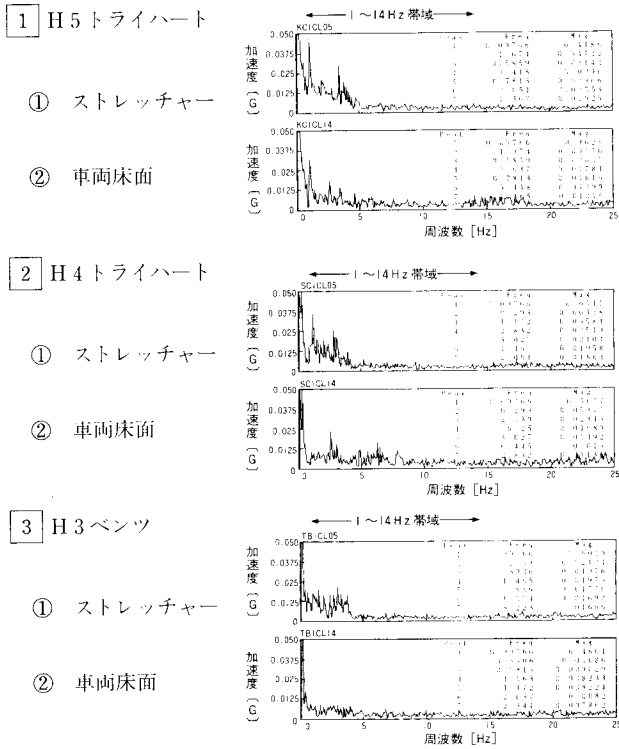


図 26 カーブ走行時の周波数分布

【路面条件別-4】

＜測定条件＞ ・走行速度～時速 5 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
 ・測定方向～X軸 (上下) 方向

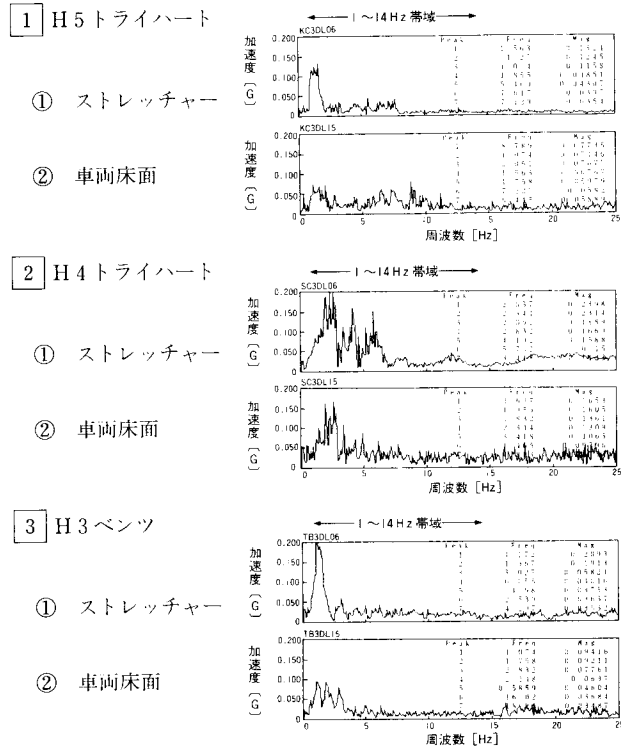


図 27 障害段差進入時の周波数分析

【路面条件別-5】

＜測定条件＞ ・走行速度～時速 5 km/h  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
 ・測定方向～Z軸 (前後) 方向

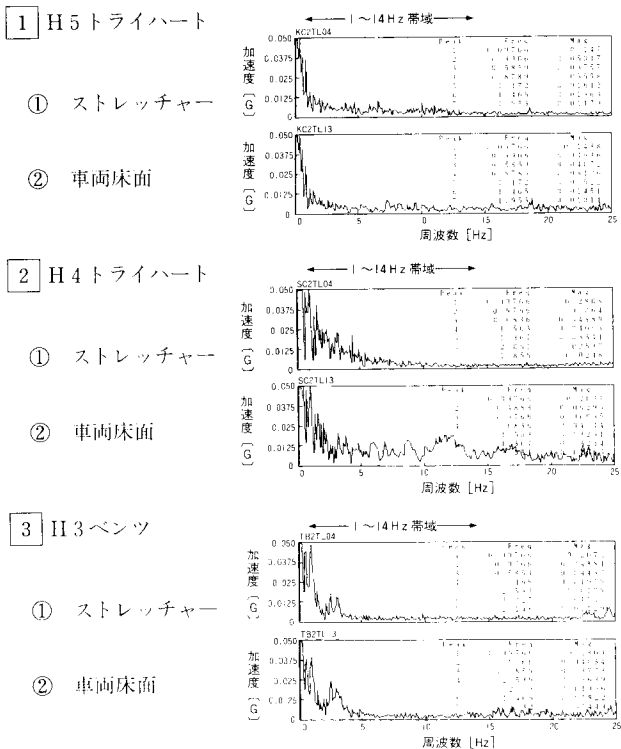


図 28 停止時の周波数分析



表 19 走行速度別の振動特性(周波数分析)比較

車種	測定ポイント	20 km/h		40 km/h		60 km/h	
		1~14Hzの周波数帯域における振動の最大値 ×10 <sup>-3</sup> (G)		1~14Hzの周波数帯域における振動の最大値 ×10 <sup>-3</sup> (G)		1~14Hzの周波数帯域における振動の最大値 ×10 <sup>-3</sup> (G)	
		最大振動波の周波数 (Hz)	評価	最大振動波の周波数 (Hz)	評価	最大振動波の周波数 (Hz)	評価
1 H5トライハート	ストレッチャー	1.22 (0.53倍)	◎	1.62 (0.50倍)	◎	6.14 (1.22倍)	○
	車両床面	1.50 (0.40倍)	◎	1.70 (0.43倍)	◎	7.65 (1.66倍)	○
2 H4トライハート	ストレッチャー	6.30 (2.74倍)	△	6.75 (2.06倍)	△	26.72 (5.32倍)	△
	車両床面	6.54 (1.76倍)	△	5.74 (1.46倍)	△	16.11 (3.49倍)	△
3 H3ベンツ	ストレッチャー	2.30 (1.00倍)	○	3.27 (1.00倍)	○	5.02 (1.00倍)	◎
	車両床面	3.71 (1.00倍)	○	3.94 (1.00倍)	○	4.62 (1.00倍)	◎

注: 1 表中「」内は、測定部位の共振周波数帯域における振動の最大値の「H3ベンツ」の比較倍率である。  
2 「評価」は、体の共振周波数帯域における周波数分布の3車種の比較による。

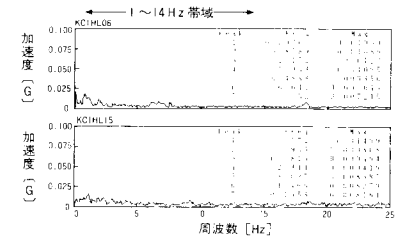
【走行速度別-1】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

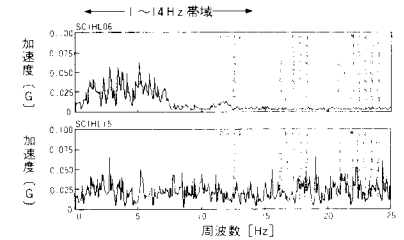
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

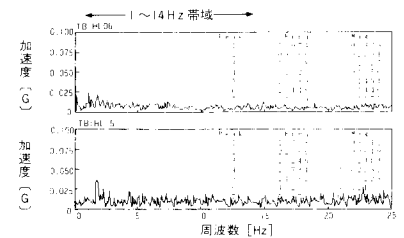


図 29 20 km/h 走行時の周波数分析

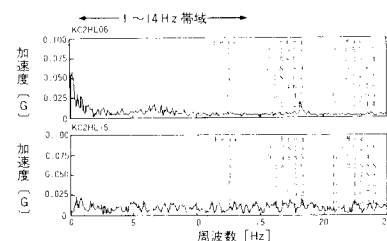
【走行速度別-2】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

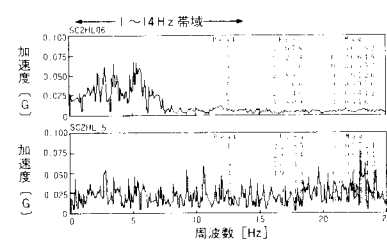
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

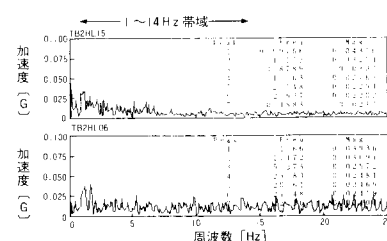


図 30 40 km/h 走行時の周波数分析

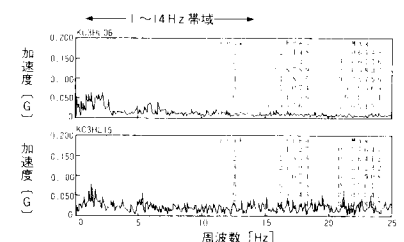
【走行速度別-3】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)  
・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

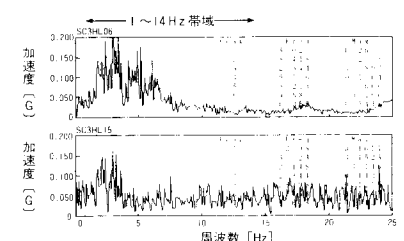
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

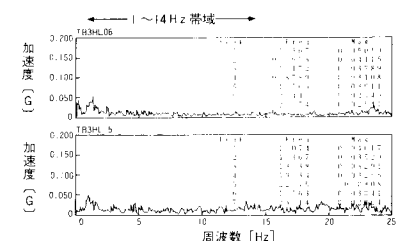


図 31 60 km/h 走行時の周波数分析

表 20 測定部位別の振動特性(周波数分析)比較

車種	測定ポイント	頭部		腹部		足部	
		50~70Hzの周波数帯域における振動の最大値 (×10 <sup>-3</sup> G)	最大振動の周波数 (Hz)	1~14Hzの周波数帯域における振動の最大値 (×10 <sup>-3</sup> G)	最大振動の周波数 (Hz)	16~31Hzの周波数帯域における振動の最大値 (×10 <sup>-3</sup> G)	最大振動の周波数 (Hz)
1 H5トライハート	ストレッチャー	1.08 (1.04倍)	54.7 △	1.62 (0.50倍)	1.5 ◎	21.68 (16.94倍)	18.4 △
	車両床面	1.00 (0.26倍)	55.1 ◎	1.70 (0.43倍)	1.6 ◎	-	-
2 H4トライハート	ストレッチャー	0.70 (0.67倍)	58.6 ◎	6.75 (2.06倍)	5.1 △	2.11 (1.65倍)	25.8 ○
	車両床面	4.49 (1.17倍)	52.3 △	5.74 (1.46倍)	10.5 △	-	-
3 H3ベンツ	ストレッチャー	1.04 (1.00倍)	53.1 ○	3.27 (1.00倍)	1.2 ○	1.28 (1.00倍)	30.9 ◎
	車両床面	3.83 (1.00倍)	55.5 ○	3.94 (1.00倍)	1.7 ○	-	-

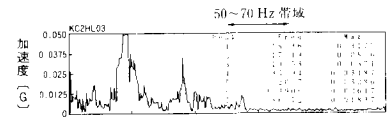
注: 1 表中の「倍」は、測定部位の共振周波数帯域における振動の最大値のH3ベンツとの比較(倍数)である。  
 2 「評価」は、生体の共振周波数帯域における周波数分布の3車種の比較による。

【測定部位別-1】

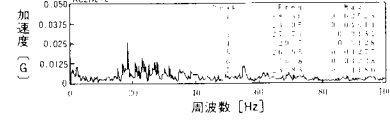
〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
 ・走行速度～時速40km  
 ・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

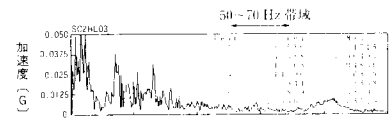


② 車両床面

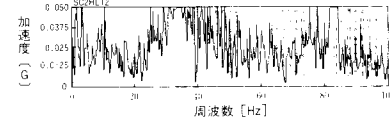


2 H4トライハート

① ストレッチャー

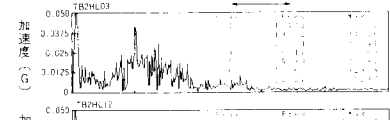


② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー



② 車両床面

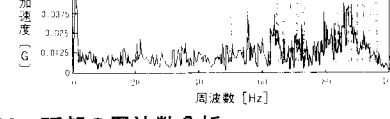


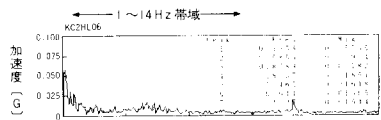
図 32 頭部の周波数分析

【測定部位別-2】

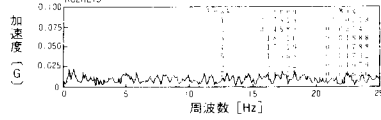
〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
 ・走行速度～時速40km  
 ・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

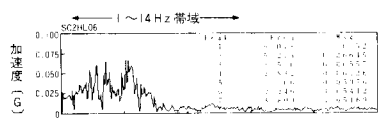


② 車両床面

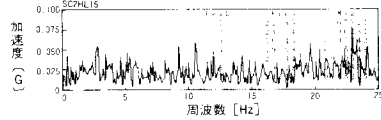


2 H4トライハート

① ストレッチャー

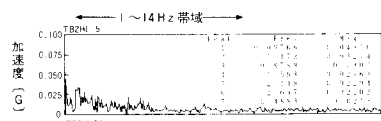


② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー



② 車両床面

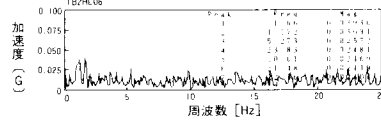


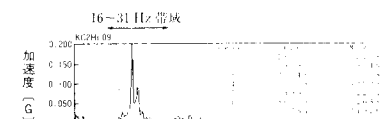
図 33 腹部の周波数分析

【測定部位別-3】

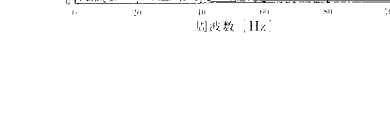
〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
 ・走行速度～時速40km  
 ・測定方向～X軸(上下)方向

1 H5トライハート

① ストレッチャー

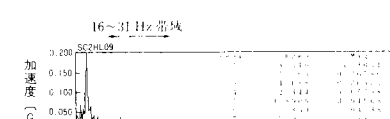


② 車両床面

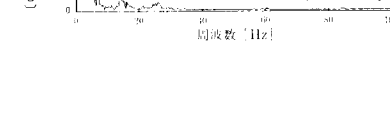


2 H4トライハート

① ストレッチャー

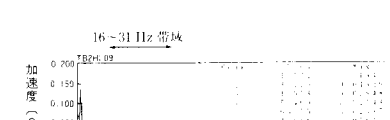


② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー



② 車両床面

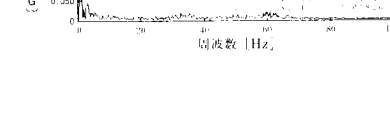


図 34 足部の周波数分析

表 21 測定方向別の振動特性(周波数分析)比較

車種	測定ポイント	X軸(上下)		Y軸(左右)		Z軸(前後)	
		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定部位～腹部		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定部位～腹部		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h ・測定部位～腹部	
		1～14Hzの周波数帯域における振動の最大値(×10 <sup>-2</sup> G)	最大振動波の周波数(Hz)	1～14Hzの周波数帯域における振動の最大値(×10 <sup>-2</sup> G)	最大振動波の周波数(Hz)	1～14Hzの周波数帯域における振動の最大値(×10 <sup>-2</sup> G)	最大振動波の周波数(Hz)
1 H5トライハート	ストレッチャー	1.62 (0.50倍)	1.5 ◎	2.74 (0.93倍)	1.3 ◎	3.59 (0.92倍)	1.2 ◎
	車両床面	1.70 (0.43倍)	1.6 ◎	0.97 (0.67倍)	3.5 ◎	2.96 (1.52倍)	1.1 ○
2 H4トライハート	ストレッチャー	6.75 (2.06倍)	5.1 △	7.02 (2.39倍)	1.1 △	6.19 (1.58倍)	1.7 △
	車両床面	5.74 (1.46倍)	10.5 △	2.31 (1.59倍)	1.1 △	3.41 (1.75倍)	1.8 △
3 H3ベンツ	ストレッチャー	3.27 (1.00倍)	1.2 ○	2.94 (1.00倍)	1.3 ○	3.92 (1.00倍)	1.1 ○
	車両床面	3.94 (1.00倍)	1.7 ○	1.45 (1.00倍)	2.7 ○	1.95 (1.00倍)	1.1 ◎

(注) 1 表中「」書きは、測定部位の共振周波数帯域における振動の最大値の「H3ベンツ」との比較(倍数)である。  
2 「評価」は、身体の共振周波数帯域における周波数分布の3車種の比較による。

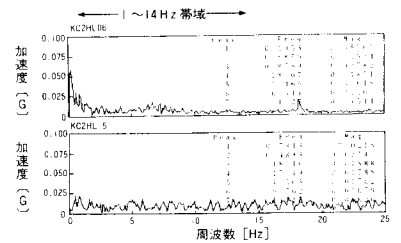
【測定方向別-1】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～時速40 km  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

1 H5トライハート

① ストレッチャー

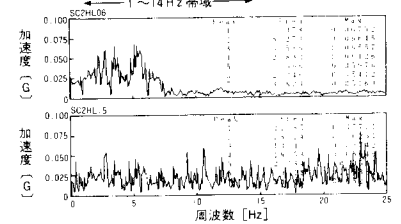
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

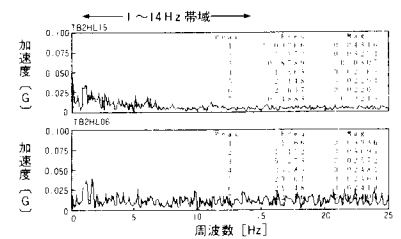


図 35 X軸(上下)方向の周波数分析

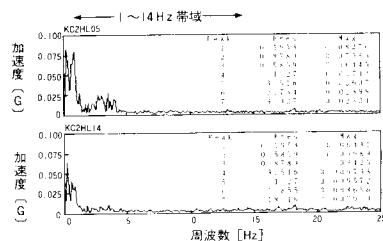
【測定方向別-2】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～時速40 km  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

1 H5トライハート

① ストレッチャー

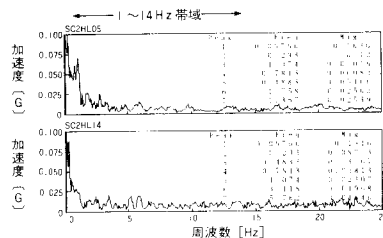
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

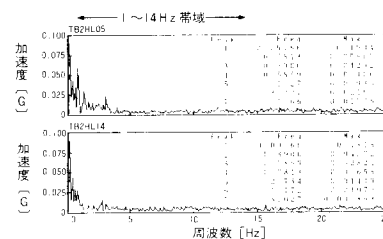


図 36 Y軸(左右)方向の周波数分析

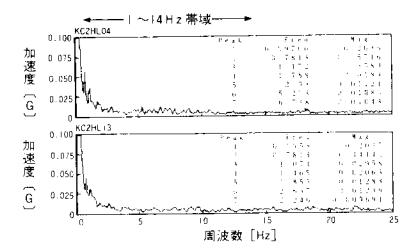
【測定方向別-3】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
・走行速度～時速40 km  
・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

1 H5トライハート

① ストレッチャー

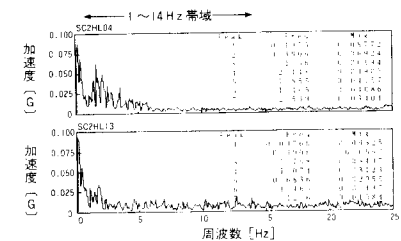
② 車両床面



2 H4トライハート

① ストレッチャー

② 車両床面



3 H3ベンツ

① ストレッチャー

② 車両床面

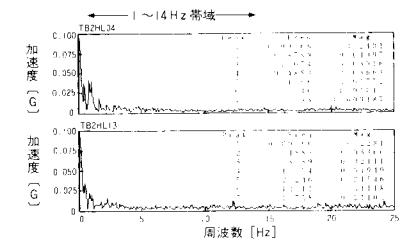


図 37 Z軸(前後)方向の周波数分析

表 22 方向・部位別の振動特性(周波数分析)比較

車種	測定ポイント	X軸(上下)			Y軸(左右)			Z軸(前後)		
		・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h			・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h			・路面条件～直線舗装路 ・走行速度～40 km/h		
		各部位の共振周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	各部位の共振周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価	各部位の共振周波数帯域における振動の最大値×10 <sup>-2</sup> (G)	最大振動波の周波数(Hz)	評価
① H5トライハート	ストレッチャー 頭部	共振周波数: 50~70 Hz * 1.08 [1.04倍]	54.7	△	共振周波数: 0.6~4 Hz 7.99 [1.42倍]	0.9	△	共振周波数: 1~4 Hz 2.98 [0.84倍]	1.2	◎
	ストレッチャー 腹部	共振周波数: 1~14 Hz * 1.62 [0.50倍]	1.5	◎	共振周波数: 1~14 Hz * 2.74 [0.93倍]	1.3	◎	共振周波数: 1~14 Hz * 3.59 [0.92倍]	1.2	◎
	ストレッチャー 足部	共振周波数: 16~31 Hz * 21.68 [16.94倍]	18.4	△	共振周波数: 0.8~3 Hz 9.14 [2.11倍]	0.9	△	共振周波数: 1~3 Hz 3.29 [1.57倍]	1.2	○
② H4トライハート	ストレッチャー 頭部	共振周波数: 50~70 Hz * 0.70 [0.67倍]	58.6	◎	共振周波数: 0.6~4 Hz 6.23 [1.11倍]	1.1	○	共振周波数: 1~4 Hz 6.20 [1.75倍]	1.7	△
	ストレッチャー 腹部	共振周波数: 1~14 Hz * 6.75 [2.06倍]	5.1	△	共振周波数: 1~14 Hz * 7.02 [2.39倍]	1.1	△	共振周波数: 1~14 Hz * 6.19 [1.58倍]	1.7	△
	ストレッチャー 足部	共振周波数: 16~31 Hz * 2.11 [1.65倍]	25.8	○	共振周波数: 0.8~3 Hz 6.74 [1.55倍]	1.1	○	共振周波数: 1~3 Hz 5.45 [2.60倍]	1.7	△
③ H3ベンツ	ストレッチャー 頭部	共振周波数: 50~70 Hz * 1.04 [1.00倍]	53.1	○	共振周波数: 0.6~4 Hz 5.63 [1.00倍]	0.8	◎	共振周波数: 1~4 Hz 3.54 [1.00倍]	1.1	○
	ストレッチャー 腹部	共振周波数: 1~14 Hz * 3.27 [1.00倍]	1.2	○	共振周波数: 1~14 Hz * 2.94 [1.00倍]	1.3	○	共振周波数: 1~14 Hz * 3.92 [1.00倍]	1.1	○
	ストレッチャー 足部	共振周波数: 16~31 Hz * 1.28 [1.00倍]	30.9	◎	共振周波数: 0.8~3 Hz 4.34 [1.00倍]	1.3	◎	共振周波数: 1~3 Hz 2.10 [1.00倍]	1.1	◎

(注) 1 表中〔 〕書きは、測定部位の共振周波数帯域における振動の最大値の「H3ベンツ」との比較(倍数)である。  
 2 「評価」は、生体の共振周波数帯域における周波数分布の3車種の比較による。  
 3 \*印に該当する波形データの3車種比較は、「測定部位別」及び「測定方向別」の中に掲載しているため、以下省略する。

【方向・部位別-1】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
 ・走行速度～時速40 km  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

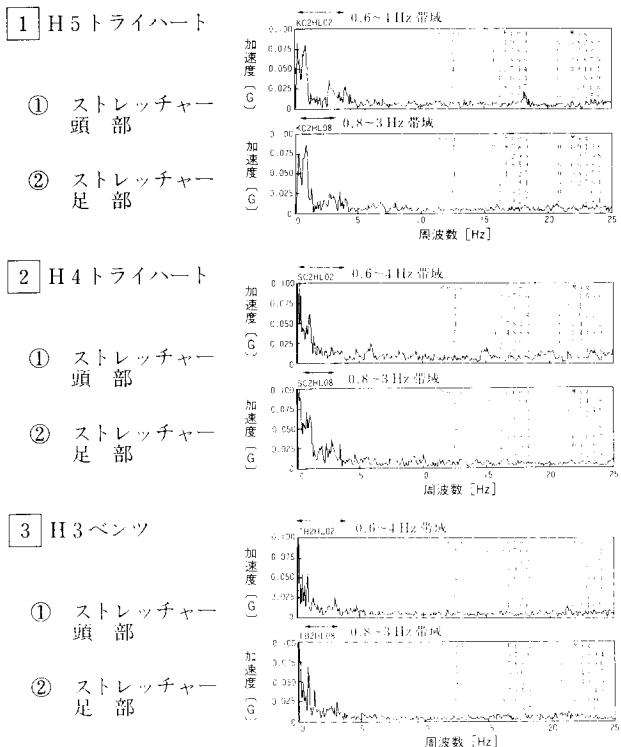


図 38 Y軸(左右)方向, ストレッチャー頭部・足部の周波数分析

【方向・部位別-2】

〈測定条件〉 ・路面条件～直線舗装路  
 ・走行速度～時速40 km  
 ・測定部位～腹部 (①ストレッチャー ②車両床面)

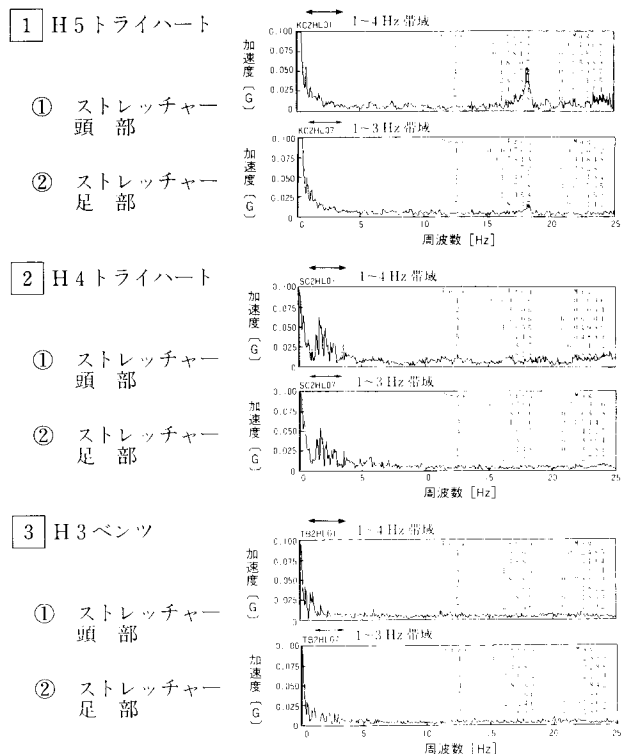


図 39 Z軸(前後)方向, ストレッチャー頭部・足部の周波数分析

表 23 振動レベル(加速度変化)の相対比較

(単位：G)

車種	測定位置	方向	路面条件別					走行速度別			測定部位別			測定方向別		
			直線舗装路	砂利道	カーブ	障害段差	停止	20 km/h	40 km/h	60 km/h	頭部	腹部	足部	X軸：上下	Y軸：左右	Z軸：前後
H5型トライハート	ストレッチャー	+方向	0.17	0.28	0.71	1.40	0.12	0.04	0.17	0.45	0.70	0.17	0.37	0.17	0.24	0.25
		-方向	-0.13	-0.33	-0.37	-1.24	-0.40	-0.09	-0.13	-0.50	-0.51	-0.13	-0.60	-0.13	-0.11	-0.13
	車両床面	+方向	0.19	0.59	0.61	0.89	0.18	0.03	0.19	0.56	0.06	0.19	-	0.19	0.18	0.32
		-方向	-0.11	-0.48	-0.32	-0.67	-0.37	-0.08	-0.11	-0.71	-0.32	-0.11	-	-0.11	-0.02	-0.10
H4型トライハート	ストレッチャー	+方向	0.37	1.51	0.52	2.42	0.45	0.35	0.37	1.55	0.52	0.37	0.46	0.37	0.28	0.39
		-方向	-0.36	-1.24	-0.94	-3.80	-0.63	-0.34	-0.36	-0.99	-0.12	-0.36	-0.37	-0.36	-0.93	-0.47
	車両床面	+方向	0.87	1.29	0.50	2.19	0.40	0.82	0.87	1.76	1.07	0.87	-	0.87	0.13	0.39
		-方向	-0.80	-1.35	-0.76	-2.27	-0.29	-0.71	-0.80	-1.76	-0.72	-0.80	-	-0.80	-0.61	-0.30
H3型ベンツ	ストレッチャー	+方向	0.36	0.96	0.62	1.50	0.18	0.30	0.36	0.17	0.35	0.36	0.44	0.36	0.12	0.44
		-方向	-0.23	-0.60	-0.68	-3.42	-0.53	-0.07	-0.23	-0.75	-0.43	-0.23	-0.28	-0.23	-0.57	-0.10
	車両床面	+方向	0.46	0.95	0.43	1.35	0.12	0.31	0.46	0.77	0.48	0.46	-	0.46	0.06	0.26
		-方向	-0.29	-1.26	-0.56	-2.55	-0.66	-0.36	-0.29	-0.33	-0.36	-0.29	-	-0.29	-0.48	-0.19

(注) 数値は、それぞれの条件における最大加速度値である。  
 H5トライハート平均値 0.83 G  
 H4トライハート、H3ベンツ平均値 1.44 G } 既存車に対する振動軽減率~42%

表 24 振動特性(周波数分布)の相対比較

(単位：×10<sup>-2</sup>G)

車種	測定位置	区分	路面条件別					走行速度別			測定部位別			測定方向別		
			直線舗装路	砂利道	カーブ	障害段差	停止	20 km/h	40 km/h	60 km/h	頭部	腹部	足部	X軸：上下	Y軸：左右	Z軸：前後
H5型トライハート	ストレッチャー	最大値	1.62	2.15	4.72	13.24	1.61	1.22	1.62	6.14	1.08	1.62	21.68	1.62	2.74	3.59
		周波数	1.5Hz	6.4Hz	1.1Hz	1.6Hz	1.2Hz	1.2Hz	1.5Hz	2.1Hz	54.7Hz	1.5Hz	18.4Hz	1.5Hz	1.3Hz	1.2Hz
	車両床面	最大値	1.70	3.67	3.18	7.74	1.52	1.50	1.70	7.65	1.00	1.70	-	1.70	0.97	2.96
		周波数	1.6Hz	3.6Hz	1.1Hz	8.8Hz	1.2Hz	1.2Hz	1.6Hz	1.3Hz	55.1Hz	1.6Hz	-	1.6Hz	3.5Hz	1.1Hz
H4型トライハート	ストレッチャー	最大値	6.75	25.09	3.58	23.98	4.05	6.30	6.75	26.72	0.70	6.75	2.11	6.75	7.02	6.19
		周波数	5.1Hz	3.0Hz	1.2Hz	2.6Hz	1.6Hz	5.1Hz	5.1Hz	3.0Hz	58.6Hz	5.1Hz	25.8Hz	5.1Hz	1.1Hz	1.7Hz
	車両床面	最大値	5.74	17.74	2.34	16.53	3.29	6.54	5.74	16.11	4.49	5.74	-	5.74	2.31	3.41
		周波数	10.5Hz	3.0Hz	2.5Hz	2.6Hz	1.6Hz	2.7Hz	10.5Hz	2.9Hz	52.3Hz	10.5Hz	-	10.5Hz	1.1Hz	1.8Hz
H3型ベンツ	ストレッチャー	最大値	3.27	13.18	2.12	20.93	1.92	2.30	3.27	5.02	1.04	3.27	1.28	3.27	2.94	3.92
		周波数	1.2Hz	1.3Hz	2.9Hz	1.2Hz	1.5Hz	1.1Hz	1.2Hz	1.3Hz	53.1Hz	1.2Hz	30.9Hz	1.2Hz	1.3Hz	1.1Hz
	車両床面	最大値	3.94	14.48	0.82	9.42	2.64	3.71	3.94	4.62	3.83	3.94	-	3.94	1.45	1.95
		周波数	1.7Hz	1.3Hz	1.6Hz	1.1Hz	2.5Hz	1.8Hz	1.7Hz	1.1Hz	55.5Hz	1.7Hz	-	1.7Hz	2.7Hz	1.1Hz

(注) 1. 「最大値」~生体の共振周波数帯域における振動の最大値  
 2. 「周波数」~最大振動波の周波数  
 H5トライハート平均値5.44×10<sup>-2</sup>G  
 H4トライハート、H3ベンツ平均値7.74×10<sup>-2</sup>G } 既存車に対する振動軽減率~30%

# 燃焼による灯油成分の変化について

## Changes of Kerosene Components Due to Combustion

橋 上 勉\*

Hashigami Tsutomu

### 要 約

標準灯油を実験室で燃焼させ、その燃焼灯油をガスクロマトグラフで分析し、それぞれのクロマトグラムの波形変化及び主な成分の減少率を比較した。

この結果、燃焼時間の違いによる主成分のクロマトグラムの推移状況が把握でき、燃焼灯油に関して鑑定照合に必要なデータが蓄積された。

### Summary

Specimens of standard kerosene were combusted at a laboratory. The products of each kerosene combustion were compared in terms of chromatographic wave changes and rate of decreases of major components by analyzing the kerosene with a gas chromatograph.

Throughout the test, the researcher determined chromatographic changes of major components of combusted kerosene from the differences of combustion duration and accumulated data necessary for identifying the duration of kerosene combustion.

## 1 はじめに

本市は、積雪寒冷の気候風土であることから、各種の暖房装置や器具類が普及し、これに伴い、燃料の中でも比較的安全で取扱いが容易である灯油が多量に消費されている。しかし、その一方では灯油をガソリンと間違えて給油したり、保管方法が悪くて成分が変質したり、あるいは放火の手段に利用されるなど、灯油が火災の発生原因に密接に係わっている場合が度々発生する。

このため、これらの火災原因を究明する際には、焼残物に含まれる油分の特定や識別をするいわゆる鑑定能力が重要となる。しかし、火災現場から採取された油分を含む試料は、燃焼や火災熱等によりその成分の一部が消失したり減衰したりするため、日常使用されている標準の灯油やガソリンなどに比べ、構成成分が大いに異なるものである。

本研究では、燃焼灯油の鑑定照合に必要なデータを蓄積するために、標準灯油を実験室で燃焼させ、燃焼時間の違いにおける主成分の変化をガスクロマトグラフ(以下「GC」という。)により分析したので、その結果を報告する。

## 2 実験の概要

### 2.1 実験方法(写真1, 2)

標準灯油(JIS-2203-1号)を内径88mmのシャーレに30ml入れ、簡易点火器具(LPGガスバーナー)で点火してから、1分後に窒息消火させたものを1分燃焼灯油の試料とし、同様に2分、3分、4分、5分、6分までの6試料をそれぞれ作製した。

燃焼灯油には煤が浮遊するため濾紙で濾過後、GC分析を行い、それぞれのクロマトグラムの波形変化及び主な成分の減少率を比較した。

### 2.2 試料作製の日時及び場所

平成5年12月10日、消防科学研究所 燃焼実験室

### 2.3 温度及び湿度(試料作製時)

室温20℃、湿度42%

### 2.4 分析装置

ガスクロマトグラフ

ヒューレット・パッカード製GC-5890

### 2.5 分析条件

昇温速度 20℃/min

昇温範囲 50℃~280℃

注入口温度 300℃

検出器温度 380℃

検出器 FID

キャリアガス He 1.2ml/min

\* 消防科学研究所

カラム Ultra ALLOY キャピラリーカラム  
10 m×φ 0.255 mm

### 3 実験結果及び考察

#### 3.1 概観

作成した燃焼灯油の試料を試験管に入れ、色を観察(写真3)すると、標準灯油は無色であるのに対し、1分燃焼灯油から同6分までは、順に淡黄色、黄褐色、褐色へと徐々に褐色化しているのが認められる。これは、燃焼により発生したカーボンが油分に溶け込み着色され、その色合いの変化は燃焼時間の長さに比例して強くなったものと推察される。

また、灯油の残存量は燃焼時間の経過とともに減少しており、その残量及び減少率は表1に示すとおりである。

表1 燃焼灯油の残量

燃焼時間	標準	1分	2分	3分	4分	5分	6分
残量 ml	30.0	25.8	22.3	18.5	12.4	9.3	4.3
減少率%	—	14.0	25.7	38.3	58.7	69.0	85.7

#### 3.2 GC分析

標準灯油及び各燃焼灯油の試料についてGC分析したところ、そのクロマトグラムは図1から図7に示すとおりである。

標準灯油と1分燃焼灯油、同2分、同3分のクロマトグラムを観ると、複数のノルマルパラフィン(以下「C<sub>n</sub>」という。)のピークが、保持時間の2分から8分の間にはほぼ等間隔で特徴のある山形を成して連なり、個々のピーク波形はC<sub>7</sub>から徐々に右上がりとなりC<sub>10</sub>を最高頂点として以下C<sub>15</sub>まで右下がりとなっている。

4分燃焼灯油を観ると、上記の燃焼灯油と同様に等間隔で特徴のある山形波形が見られるが、ピーク波形の最高頂点がC<sub>10</sub>からC<sub>11</sub>に移動するとともに、低沸点成分であるC<sub>7</sub>、C<sub>8</sub>、C<sub>9</sub>に減衰が認められる。

また、5分燃焼灯油及び同6分では、最高頂点がさらにC<sub>12</sub>へと移動している。個々のピーク波形のうち、低沸点成分については同4分と同様にC<sub>7</sub>、C<sub>8</sub>、C<sub>9</sub>の減衰が著しく、特に同6分ではC<sub>7</sub>が完全に消失している。一方、高沸点成分であるC<sub>14</sub>、C<sub>15</sub>のピークには増加が認められる。これは、各クロマトグラムを比較すると明らかなように、燃焼が進むほど試料に占める高沸点成分の構成割合が増加していることから、低沸点成分が高沸点成分に比べ先に燃焼していることが推察される。

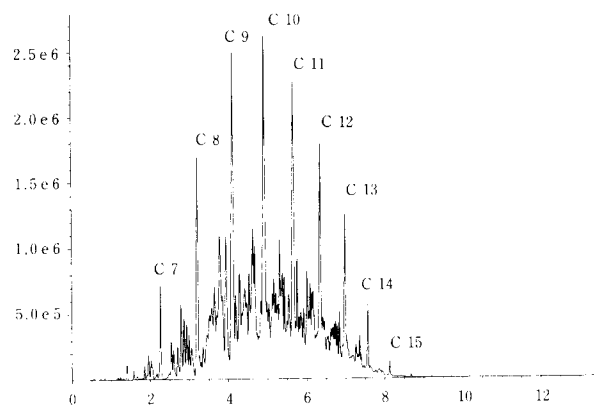


図1 標準灯油のクロマトグラム

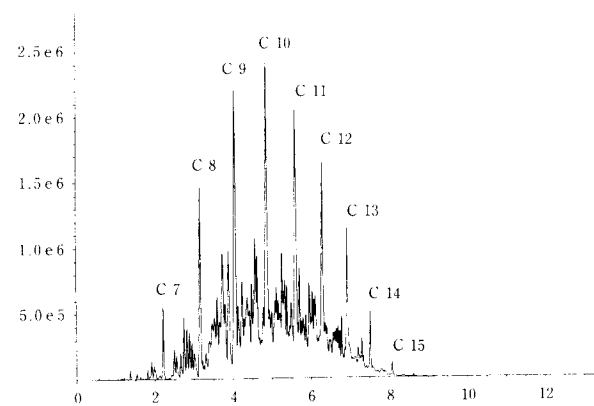


図2 1分燃焼灯油

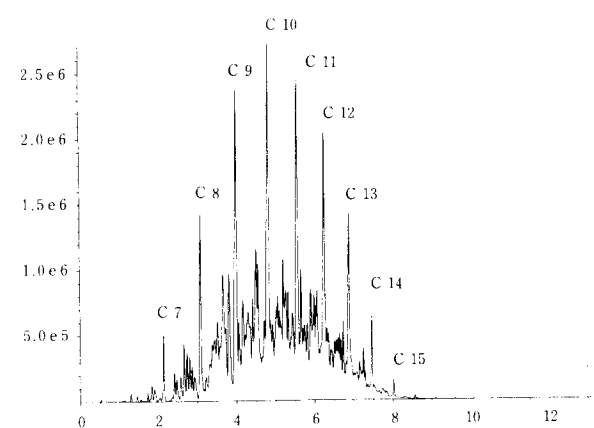


図3 2分燃焼灯油

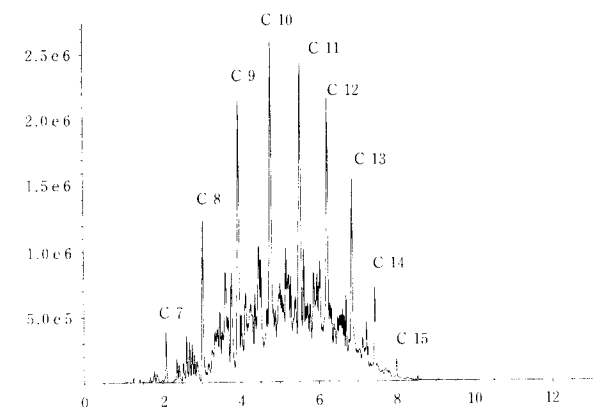


図4 3分燃焼灯油

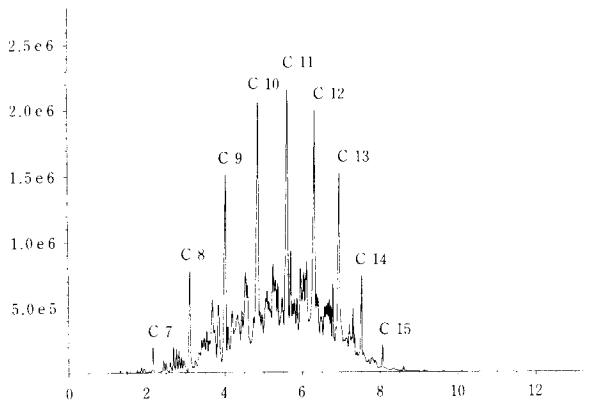


図5 4分燃焼灯油

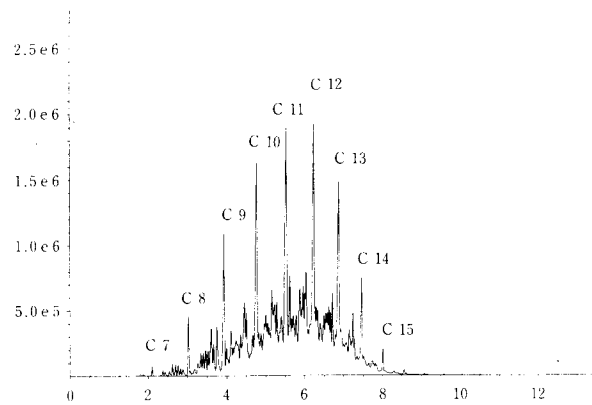


図6 5分燃焼灯油

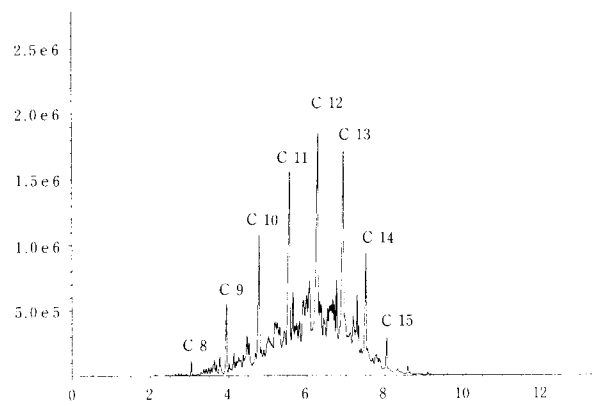


図7 6分燃焼灯油

### 3.3 ノルマルパラフィンの減少率

#### (1) 燃焼灯油 1 $\mu\ell$ 中に占める $C_n$ の容積

標準灯油及び燃焼灯油における各  $C_n$  を定量するため、前記のクロマトグラムからピーク成分の面積率を求めるとともに、これを標準灯油及び各燃焼灯油 1 $\mu\ell$  中に占める各  $C_n$  の容積に換算したものを表2に、同容積をグラフ化したものを図8に示す。

このグラフは、ピーク成分の面積率を基にして容積を表しているため、クロマトグラムで考察したピーク波形の最高頂点の位置とは多少異なるものの、低沸点と高沸点の間に頂点がある山形となり、燃焼が進むに

したがって頂点が右側（高沸点側）に移行しているのが分かる。

また、成分毎の構成割合を標準灯油と比較すると、頂点の移行に伴い  $C_9$  までの低沸点が減少する一方で、 $C_{11}$  以上の高沸点成分が増加しているのが認められる。

表2 1 $\mu\ell$  中に占める各  $C_n$  の容積 (単位:  $\mu\ell \times 10^{-3}$ )

	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$
標準灯油	23.1	71.9	125.2	108.5	94.4	55.4	32.0	13.6	2.6
1分燃焼	17.6	62.6	120.0	110.0	100.3	60.1	35.6	15.5	3.1
2分燃焼	15.0	55.3	114.0	114.3	110.6	66.5	39.5	17.6	3.5
3分燃焼	11.0	45.5	104.5	115.5	120.0	78.0	46.7	21.0	4.2
4分燃焼	5.0	29.0	86.6	114.3	135.3	103.6	66.0	27.0	6.2
5分燃焼	2.3	18.3	70.0	110.3	147.3	116.6	85.0	35.0	8.2
6分燃焼	0	5.0	35.5	86.0	154.0	161.0	133.5	59.0	13.9

( $\mu\ell \times 10^{-3}$ )

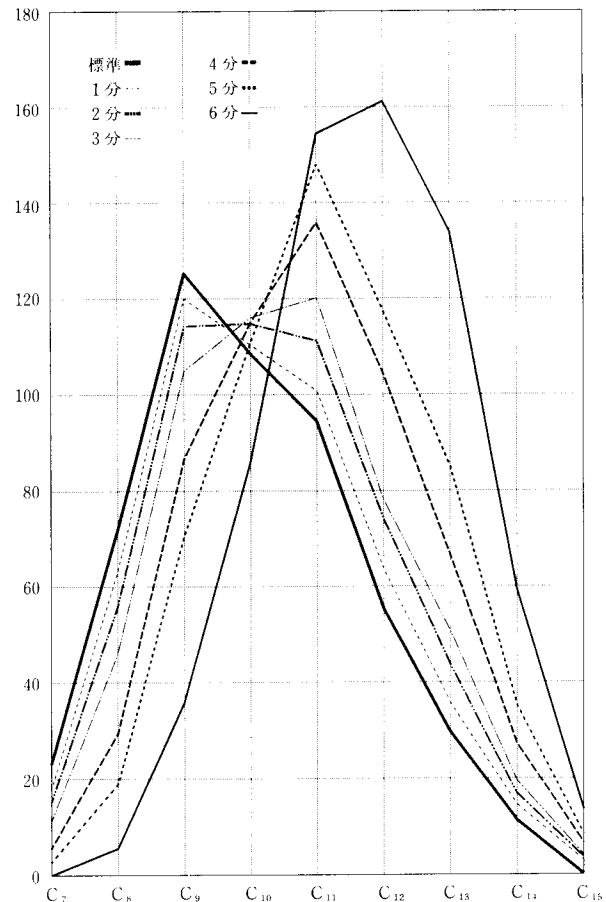


図8 燃焼灯油 1 $\mu\ell$  中に占めるノルマルパラフィンの容積比較

#### (2) 燃焼灯油の残量における $C_n$ の容積

ここで、標準灯油の燃焼が進むと各  $C_n$  の容積がどのように変化したかを明らかにするため、表2の 1 $\mu\ell$  中に占める各  $C_n$  の容積を基に、燃焼灯油の残量にお



ける  $C_n$  の容積を算出し、グラフ化したものを図9に示す。

一番外側の太実線が燃焼していない標準灯油を示しており、以下内側に1分燃焼灯油から同6分までのグラフが、燃焼時間の経過にしたがって順に山形が小さくなっているのが認められる。

前図8では、燃焼が進むと高沸点成分の  $C_n$  に増加が見られたが、これは、あくまでも各燃焼灯油の  $1\mu\text{l}$  中に占める  $C_n$  の成分構成を表したもので、残量成分における  $C_n$  の分布状況は図9に示すとおり、高沸点成分も含め全ての  $C_n$  が燃焼時間の経過とともに減少しているのが認められる。6分燃焼灯油と標準を比較すると、容積の減少量が最も著しいものは、 $C_9$  で次に  $C_{10}$ 、 $C_{11}$ 、 $C_8$  の順に減少しているが、高沸点成分である  $C_{14}$ 、 $C_{15}$  はやはり減少量が少ない。

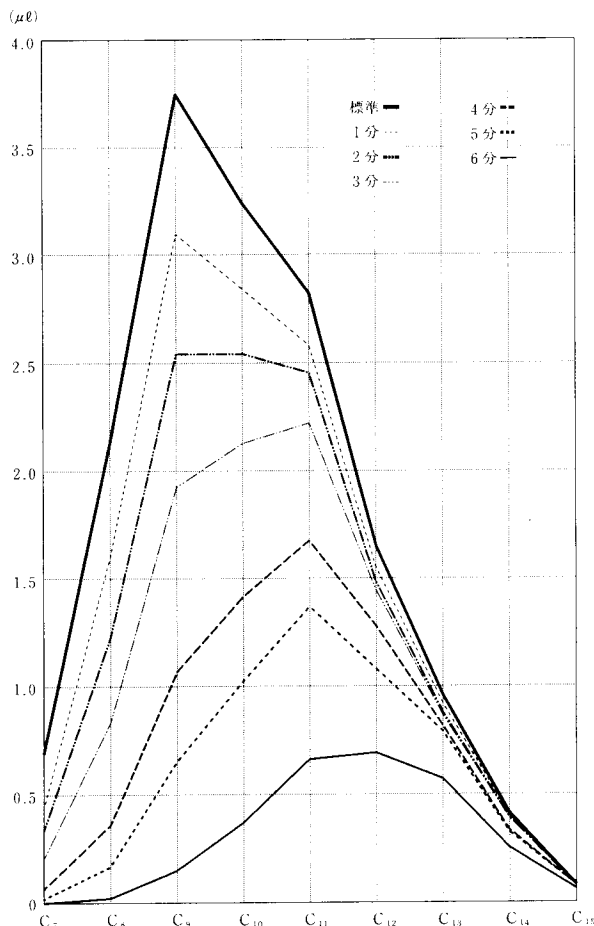


図9 燃焼灯油の残量におけるノルマルパラフィンの容積比較

### (3) 燃焼灯油の各 $C_n$ 容積の減少率

さらに、 $C_n$  の燃焼時間の経過における減少率を比較するため、前図9で示した燃焼灯油の各  $C_n$  容積について、標準灯油を基準に減少率を求め、グラフ化したものが図10である。

低沸点成分を見ると、1分燃焼灯油の減少率は、 $C_7$  が36%、 $C_8$  が24%、 $C_9$  が17%で、表1に示した燃焼灯油の残量における減少率14%を大幅に上回っており燃焼の初期段階においては、低沸点成分が他の成分に先行して燃焼していることは明らかである。

また、5分燃焼灯油の減少率は  $C_7$  が97%、 $C_8$  が92%、 $C_9$  が82%と既に8割以上が消失しているが、一方、高沸点成分である  $C_{13}$  は17%、 $C_{14}$  が9%、 $C_{15}$  は5%といずれも2割未満の消失であり、ほとんど残留していることが確認された。この時の燃焼灯油の残量における減少率が69%であることから、やはり低沸点成分が高沸点成分に先行して燃焼していることが認められる。

各燃焼灯油について、中沸点成分の  $C_{10}$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{12}$  に着目すると、それぞれの減少率は、燃焼時間の経過に比例してほぼ一定であることが認められる。中でも、 $C_{10}$  の減少率は、表1に示した燃焼灯油の残量における減少率に、非常に近似した値を示している。

なお、6分燃焼灯油を見ると、高沸点成分である  $C_{13}$  の減少率が40%、 $C_{14}$  が29%、 $C_{15}$  が25%となり、同5分に比べ2~5倍も急激に減少率が変化している。

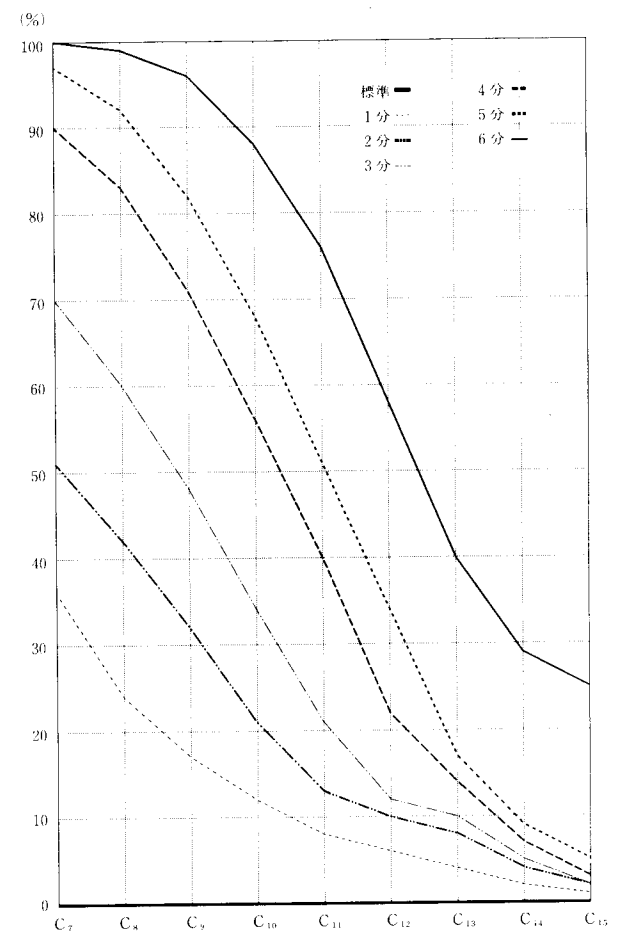


図10 燃焼灯油のノルマルパラフィン容積の減少率

これは、先行して燃焼していた低沸点成分がほとんど消失したため、高沸点成分の蒸発量が増加したことによるものと推察される。

#### 4 ま と め

今回の実験分析は、試料の燃焼前の容積と燃焼後の容積が重要であることから、標準灯油 30 ml を内径 88 mm のシャーレ内で一定時間燃焼させ、その容積を測定してから GC 分析を実施した。

分析の結果、灯油の燃焼時間の違いによるクロマトグラムを把握するとともに、低沸点成分が高沸点成分に先行して燃焼していることが、当然のことながら確認された。また、クロマトグラムの読み取りだけでは、燃焼が進むと高沸点成分の  $C_n$  があたかも増加しているかのように見えるが、残量中における  $C_n$  容積に着目すると、高沸点成分も含め全ての  $C_n$  が、燃焼時間の経過とともに減少していることが認められるなど、燃焼灯油の鑑定に必要な基礎的データが蓄積できた。

さらに、 $C_n$  容積の減少率について詳細に分析すると、中沸点成分における  $C_n$  の減少率は、経過時間に比例してほぼ一定であり、中でも、 $C_{10}$  の減少率は燃焼灯油の残量の減少率に近似した値を示した。また、低沸点成分がほとんど消失してから、高沸点成分の蒸発量が急増していることが分かった。

この分析値は、火災現場から採取される試料のように、灯油の燃焼前後の容積が不明であっても、クロマトグラムにおける各  $C_n$  成分の面積率を比較分析することにより、灯油の燃焼継続時間を判定するための一

つの手掛かり的傾向を示していると思料される。

今回の実験では、燃焼時間が 6 分を越えると灯油は燃え尽きてしまい、さらに燃焼を継続させた試料の作製はできなかった。一方、火災現場から採取される試料は、床材の材質により燃焼状況も異なり、また燃焼表面積や燃焼時間についても、本実験の条件とは大きく差異があると思われる。

このため今後の課題としては、板床、畳、カーペットなど材質の違いに対する油面の広がり、油分の浸透性、受熱による蒸発量などを実験条件として、分析を継続する必要がある。

生活様式の多様化が進む中、火災原因を究明のために現場から採取される試料には、多種多様の物質が含まれている。しかも、そのほとんどは燃焼や受熱により原形を留めていなかったり、あるいは構成成分が変化していることから、これらの物質を確実に鑑定するためには、今後も多くの基礎データを蓄積する必要がある。

#### <参考文献>

- (1) 「火災」Vol.41 No.5 日本火災学会
- (2) 「ガスクロマトグラフィー」荒木峻
- (3) 「ガスクロマトグラフ法」小島次雄, 大井尚文, 森下富士夫
- (4) 「ガスクロマトグラフィーの実際」松隈昭
- (5) 「ガスクロマトグラフの注入口と試料の導入」Matthew S. Klee

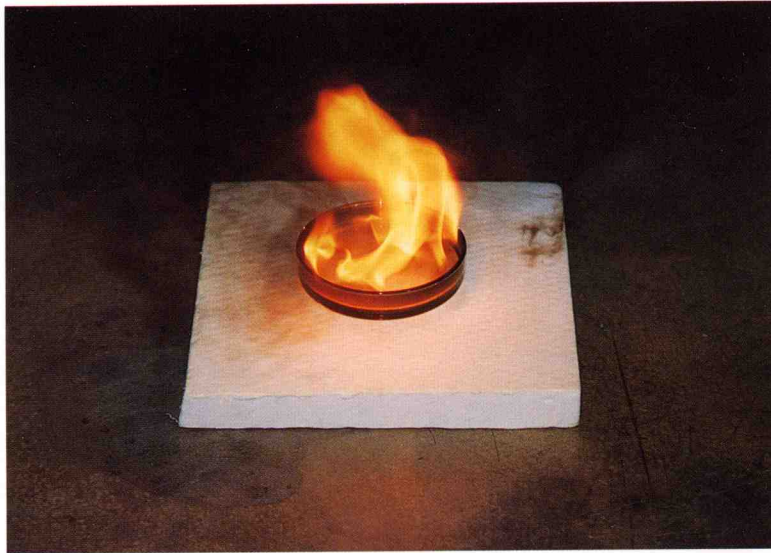


写真1 燃烧灯油の作成状況

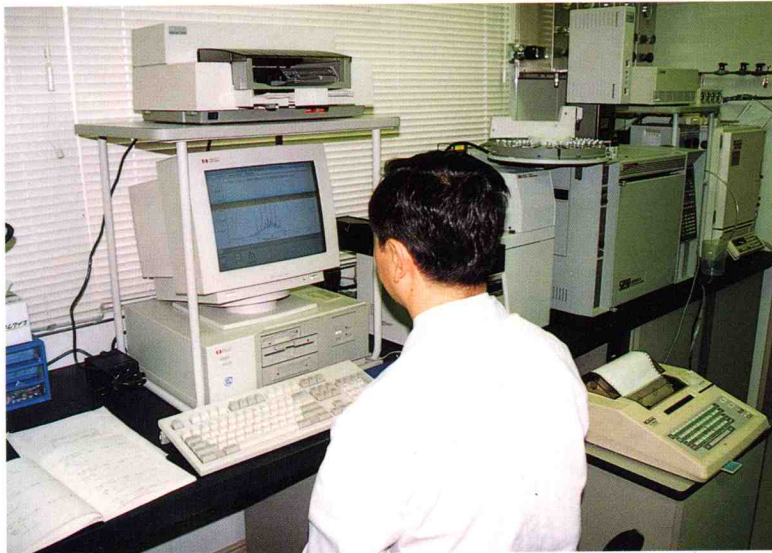


写真2 分析状況

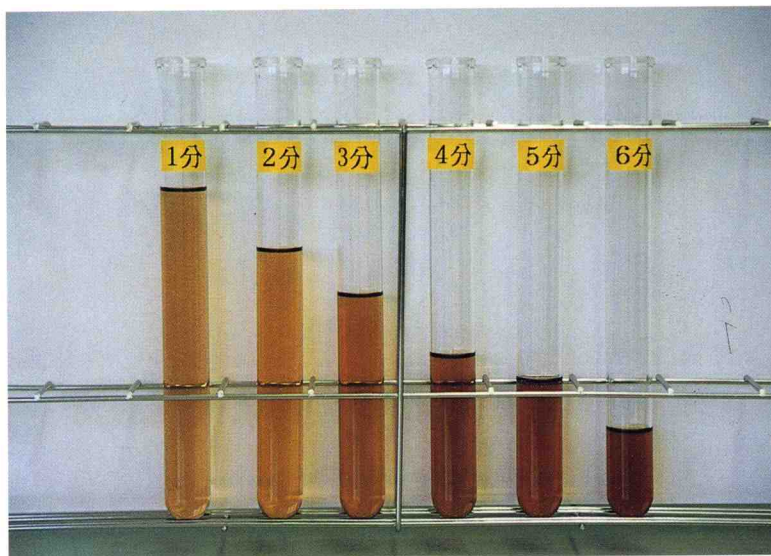


写真3 各時間毎の燃烧灯油の変色状況

業務実績表（平成5年度中）

（単位：件）

総数	装備開発	成分鑑定	燃焼実験	危険物 確認試験	研修	防火教室	施設見学行政視察対応	その他
147 (1,319)	1	4	22	41	3 (36)	9 (551)	50 (644)	17 (88)

- (注) 1. 「その他」は、式典及び取材の対応である。  
2. ( ) は、対象者の人数である。

危険物確認試験実施状況（平成5年度中）

（単位：件）

総数	第1類		第2類		第3類		第4類						第5類		第6類	
	燃焼試験 〔固体〕	落球式打撃感度試験	小ガス炎着火試験	引火点測定試験 〔固体〕	自然発火性試験	水との反応性試験	引火点測定試験 〔液体〕	動粘度測定試験	液状確認試験	発火点測定試験	沸点測定試験	可燃性液体量測定試験	燃焼点測定試験	熱分析試験	圧力容器試験	燃焼試験 〔液体〕
41 (34)	—	—	—	—	—	—	27 (20)	3 (3)	3 (3)	4 (4)	1 (1)	—	3 (3)	—	—	—

- (注) ( ) は、手数料を徴収して実施した件数である。(内数)

---

平成6年10月発行

消防科学研究所報 (1994 No.1)

編集・発行 札幌市消防科学研究所  
〒063 札幌市西区八軒10条西13丁目  
☎(011)622-5357

印刷 (株)アイワード

---