

燃焼音の周波数分析について (第2報)

— Burning Sounds Frequency Analysis (Series 2) —

脇 賢*
中西正浩*
佐々木 一治*

概 要

火災時に物が燃焼する際に発生する音を検知する新たな火災感知装置を開発することを目的として、燃焼時の音の特徴をとらえるための燃焼実験を実施し、その音の周波数分析等を行った。その結果、音を各周波数成分に分解した場合に、ある特定の周波数範囲におけるレベルの積分値の時間変化を燃焼時とそうでない場合とで比較すると、諸条件に共通して燃焼時のレベルが時間とともに上昇していくことがわかった。

このことにより、燃焼時に発生する音によって火災時と平常時が区別され、火災と判断するための方法の一つが見出された。

For the purpose of developing a new fire sensor which could exclusively detect the sounds that were generated by burning, fire tests were made to analyse the burning sounds.

After the analysis it was revealed that the integrated value of sound power spectrum during burning was larger than that during other situation and that the difference of the integrated values between the burning and the not burning situations increased as time went on.

These findings indicate that the sounds could be used as means to detect fires.

1 はじめに

燃焼時に発生する音(以下「燃焼音」という。)を検知する新しい火災感知装置を開発するにあたっては、まず、どのようにして燃焼音をとらえて的確に火災と判断することができるか、また、どのようにしたら日常生活に存在する雑音等と燃焼音をうまく分離して、誤作動が起こらないようにできるかという基本的な問題を解決しなければならない。

燃焼音には、あらゆる周波数帯の成分を含んでいるが、これらのうち、概ね10Hz以下の超低周波域において特徴があり、また、これがどんな燃焼現象においても存在するということが、昨年度の研究成果として得られたところである。

今回は、このような前報で述べた内容を受け、燃焼音に含まれる各周波数成分のうち、この超低周波域の部分を対象として、かつ、燃焼供試体、燃焼室、開口部、火災荷重、その他諸条件の設定をいろいろ変えての測定実験を実施した。

2 実験目的

各種の燃焼供試体を燃焼させたときに発生する燃焼音を記録し、その波形分析及び周波数分析等を行うとともに、その特徴を把握し、新たに試作する試験装置の基礎資料とすることを目的とする。

3 実験項目

〔実験Ⅰ〕

コンデンサーマイク及び精密騒音計を使用し、燃焼実験の燃焼供試体として、通常使用されるクリブ(杉の気乾材)及びわが国の標準的な住宅内に存在するふすま等の可燃物を燃焼させ、その際に発生する燃焼音をデータレコーダーに記録し、データアナライザーにより次の波形分析を行った。

- (1) 燃焼供試体ごとの燃焼音の周波数特性の把握
- (2) 音源からの距離による音の減衰状況の把握
- (3) 開口部の設定条件と圧力変動の関係の把握

〔実験Ⅱ〕

コンデンサーマイク、精密騒音計並びにCdSセルを使用し、別表に示す庁舎内の測定場所(各室)における暗騒音(燃焼音以外の音。以下同じ。)及び燃焼音を測定

* 第三研究室

することにより、次の点について確認した。

なお、この場合の燃焼音の測定においては、安全性を考慮し、カートリッジ式ガストーチの炎を使用して実施した。

- (1) 部屋の大きさ等の相違による波形の相違の有無
- (2) 火災荷重の相違による波形の相違の有無
- (3) 炎のゆらぎと燃焼音の波形の相違の有無

〔実験Ⅱの2〕

コンデンサーマイク及び精密騒音計を使用し、庁舎内の測定場所（各室）における暗騒音及び燃焼音を測定することにより、次の点について確認した。

- (1) 部屋の大きさ等の相違による波形の相違の有無
- (2) 火災荷重の相違による波形の相違の有無
- (3) マイクの位置の相違による波形の相違の有無

4 実験資器材等

〔実験Ⅰ〕

(1) 測定機器

ア	低周波対応型マイク（プリモ：EM-121）	3台
イ	精密騒音計（リオン：NA-60）	1台
ウ	アンプ	2台
エ	データレコーダー（TEAC：XR-5000）	1台
オ	データアナライザー（共和電業：DAA-110A）	1台
カ	ビデオカメラ	1台
キ	スチールカメラ	1台

(2) 実験機材

ア	実験用模擬ハウス（3.6m×3.6m≒13m ² ）	1基
イ	クリブ用架台（900mm×900mm×400mm）	1基
ウ	立上り材固定用架台	1基
エ	オイルパン（100cm×100cm）	1台
オ	ウレタンホーム（50cm×50cm×10cm）	1枚
カ	ガスコンロ（2300kcal/h）	1台
キ	鉄製なべ（φ30cm）	1個

(3) 燃焼供試体

ア	クリブ（900mm×35mm×30mm）	40本
イ	ふすま1（和襖）（900mm×1700mm×20mm）	1枚
ウ	ふすま2（段ボール製）（900mm×1700mm×20mm）	1枚
エ	カーテン（1900mm×1750mm）	2枚
オ	紙（新聞紙）	20枚
カ	衣類	5kg
キ	ふとん	1枚
ク	天ぷら油	1ℓ

〔実験Ⅱ〕

(1) 測定機器

ア	低周波対応型マイク（プリモ：EM-121）	1台
イ	精密騒音計（リオン：NA-60）	1台
ウ	CdSセル（MARUHA：T-40）	1台
エ	ブリッジボックス	1台
オ	アンプ	2台
カ	データレコーダー（TEAC：XR-5000）	1台
キ	データアナライザー（共和電業：DAA-110A）	1台
ク	スチールカメラ	1台

(2) 実験機材

ア	カートリッジ式ガストーチ（LPG170g、約1、500kcal/h）	1基
---	------------------------------------	----

〔実験Ⅱの2〕

(1) 測定機器

ア	低周波対応型マイク（プリモ：EM-121）	2台
イ	精密騒音計（リオン：NA-60）	1台
ウ	アンプ	1台
エ	データレコーダー（TEAC：XR-5000）	1台
オ	データアナライザー（共和電業：DAA-110A）	1台

カ	スチールカメラ	1台
---	---------	----

(2) 実験機材

ア	カートリッジ式ガストーチ（LPG170g、約1、500kcal/h）	1基
---	------------------------------------	----

5 測定場所

〔実験Ⅰ〕

室名	室内の各寸法	面積	容積
111	3.6m× 3.6m×2.1m	13.0m ²	27.2m ³

〔実験Ⅱ〕

室名	室内の各寸法	面積	容積
001	16.0m× 12.0m×4.6m	150m ²	690.0m ³
002	5.5m× 6.0m×4.3m	33.0m ²	141.9m ³
003	3.0m× 3.0m×2.5m	9.0m ²	22.5m ³
004	8.0m× 12.0m×4.6m	84.0m ²	386.4m ³
005	8.0m× 6.0m×4.6m	48.0m ²	220.8m ³
006	12.0m× 6.0m×4.6m	72.0m ²	331.2m ³
007	2.0m× 18.0m×4.6m	48.0m ²	220.8m ³
101	3.0m× 2.1m×3.7m	4.8m ²	17.8m ³
102	6.0m× 6.0m×3.0m	36.0m ²	108.0m ³
103	8.0m× 24.0m×9.2m	192m ²	1324.8m ³
104	2.0m× 24.0m×2.4m	48.0m ²	115.2m ³
105	2.0m× 1.2m×2.5m	2.4m ²	6.0m ³

106	10.0m× 6.0m×3.0m	54.0m ²	162.0m ³
107	4.0m× 2.4m×2.8m	9.6m ²	26.9m ³
108	12.0m× 8.0m×2.8m	86.4m ²	241.9m ³
109	4.0m× 6.0m× m	24.0m ²	— m ³
110	11.0m× 8.0m×3.2m	77.5m ²	248.0m ³
201	8.0m× 12.0m×2.8m	96.0m ²	268.8m ³
202	4.0m× 6.0m×2.8m	24.0m ²	67.2m ³
203	11.0m× 6.0m×3.2m	66.0m ²	211.2m ³
204	14.0m× 30.0m×3.1m	404 m ²	1252.1m ³
301	12.0m× 6.0m×2.8m	72.0m ²	201.6m ³
302	2.5m× 6.0m×2.8m	15.0m ²	42.0m ³
303	8.0m× 6.0m×2.8m	48.0m ²	134.4m ³
304	2.0m× 2.0m×2.5m	4.0m ²	10.0m ³
305	2.0m× 30.0m×2.4m	66.0m ²	158.4m ³
306	4.0m× 6.0m× m	24.0m ²	— m ³
401	8.0m× 6.0m×2.8m	48.0m ²	134.4m ³
402	6.0m× 3.0m×2.8m	18.0m ²	50.4m ³
403	4.0m× 3.0m×2.8m	12.0m ²	33.6m ³
501	8.0m× 6.0m×2.5m	48.0m ²	120.0m ³
502	8.0m× 6.4m×2.5m	35.3m ²	88.3m ³
503	3.7m× 2.7m×2.5m	10.0m ²	25.0m ³
504	2.0m× 18.0m×2.4m	47.9m ²	115.0m ³
505	4.0m× 6.0m× m	24.0m ²	— m ³

[実験IIの2]

室名	室内の各寸法	面積	容 積
111	3.6m× 3.6m×2.1m	13.0m ²	27.2m ³
205	3.6m× 2.7m×2.3m	9.7m ²	22.4m ³
5031	3.7m× 2.7m×2.5m	10.0m ²	25.0m ³

6 実験方法

[実験I]

(1) 録音用マイクの設定

実験用模擬ハウス（以下「模擬ハウス」という。）の中央付近に、燃焼音録音用の低周波対応型マイク（以下「マイク」という。）及び精密騒音計（以下「騒音計」という。）をスタンドに取付け、床面から50cmの位置（衝撃及び雑音防止のため、ウレタンホーム（厚さ10cm）の上に置くものとする。以下同じ。）に、マイクを天井部分（音源から近距離、中距離、遠距離の3ヵ所）に設置した。（図1、写真1）

なお、模擬ハウスの開口部は、すべて閉鎖状態とした。

(2) 測定機器の設定

模擬ハウス前面のテーブル上に、データレコーダー及びデータアナライザーを設置し、前(1)のマイクをアンプを介して接続した。（図2、写真2）

(3) 暗騒音の測定

前(1)~(2)の設定状態において、各燃焼供試体を燃焼させない場合の暗騒音を測定し、データレコーダーに記録した。

(4) 各燃焼供試体の燃焼音の測定

次により各燃焼供試体を燃焼させ、発生する燃焼音を測定・記録した。

ア クリブ

模擬ハウスのコーナーに設置されたクリブ用架台上に、クリブを1段あたり5本で井桁状に4段積みとし、クリブ下方の燃焼皿にノルマルヘプタン約30mlを入れ、点火した。（写真3）



写真1 天井用マイクの設置状況



写真2 測定機器の設定状況



写真3 クリブの燃焼状況

イ ふすま

立上り材固定用架台に和襖を垂直に取付け、模擬ハウスのコーナーに対し斜め45度の角度に設置し、ふすまの下方に点火した。また、段ボール襖についても同様とした。

ウ カーテン

立上り材固定用架台にカーテンを垂直に取付け、模擬ハウスのコーナーに対し斜め45度の角度に設置し、カーテンの下方に点火した。

エ 紙類

コーナーに置かれたオイルパンの上に、丸めた新聞紙を載せ、点火した。(写真4)

オ 衣類

コーナーに置かれたオイルパンの上に、木綿の生地で作られたものを主とした衣類を載せ、点火した。

カ ふとん

模擬ハウスのコーナー部分に、ふとんを広げて敷き、その中央付近に点火した。

キ 天ぷら油

ガスコンロ(2300kcal/h程度のもの)の上に、直径30cmの鉄製なべの中に天ぷら油500mlを入れたものを載せ、天ぷら油を加熱し、着火炎上させた。

(5) 開口部の設定条件を変えた場合の燃焼音の測定

前(4)、アによるクリブを燃焼させて、模擬ハウスに設けられた開口部を次の要領で開放又は閉鎖させたときの燃焼音を測定・記録した。

ア 開口部(大)及び開口部(小)ともに閉鎖

→「開口条件1」とする。

イ 開口部(大)を閉鎖、開口部(小)を開放

→「開口条件2」とする。

ウ 開口部(大)を開放、開口部(小)を閉鎖

→「開口条件3」とする。

エ 開口部(大)及び開口部(小)ともに開放

→「開口条件4」とする。

(6) 記録

前(4)、ア～キ及び(5)、ア～エのそれぞれについて、燃焼時に発生する音をマイクにより集録し、データレコーダーに記録した。

なお、データレコーダーの集録条件は次のとおりとした。

ア データレコーダーの集録条件

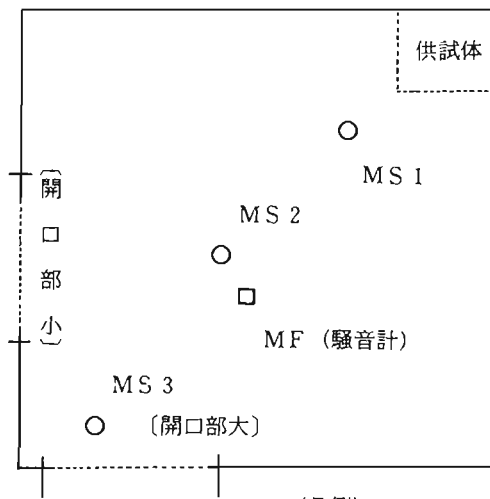
(イ) 入力レンジ

- 1 c h : 10V (MS 1の入力)
- 2 c h : 10V (MS 2の入力)
- 3 c h : 10V (MS 3の入力)
- 4 c h : 10V (MS 1のローパス通過後の入力)
- 5 c h : 10V (MS 2のローパス通過後の入力)

6 c h : 10V (MS 3のローパス通過後の入力)

7 c h : 3~5V (MFの入力)

- (イ) 出力レンジ 1 c h ~ 7 c h : 5V
- (ウ) 帯域選択 HIGH BAND
- (エ) テープスピード 76.2cm/s



(凡例)

- MS 1 : マイク (近距離)
- MS 2 : マイク (中距離)
- MS 3 : マイク (遠距離)
- MF : 精密騒音計

図1 各測定機器等の配置図

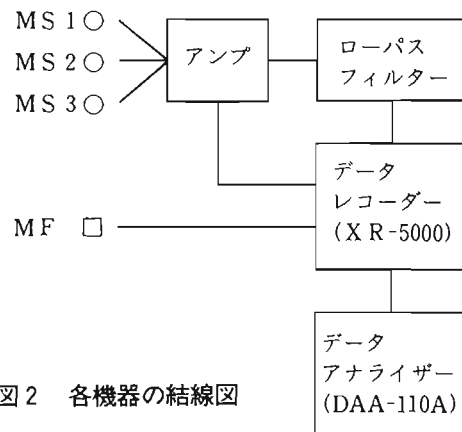


図2 各機器の結線図



写真4 紙類の燃焼状況

- (ハ) サンプリング周期 $10\mu s$
- イ データアナライザの集録条件
- (ケ) サンプリング周期 $5ms$
- (ク) データ量 512ポイント
- (コ) 入力レンジ $5V$

〔実験II〕

各測定室において、次の要領により実施した。

(1) 録音用マイク等の設定

各室の中央付近に、燃焼音録音用のマイク及び騒音計、並びに炎検出器としてCdSセルをスタンドに取り付け、床面から50cmの位置に設置した。(図3、写真5)

なお、各室の開口部は、可能な限りすべて閉鎖状態とした。

(2) 測定機器の設定

テーブル(キャスター付のもの)上に、データレコーダー及びデータアナライザを設置した。

前(1)のマイクはアンプを介し、騒音計は直接、またCdSセルはブリッジボックスに取付けたものをアンプを介しデータレコーダーに接続した。それぞれの各センサーの信号がデータレコーダーに入力され、データレコーダーの出力信号がデータアナライザに入力されるように結線した。(図4)

(3) 暗騒音の測定

前(1)、(2)の設定状態において、各室の暗騒音を測定した。

なお、測定時間は、約40秒間とした。

(4) 燃焼音の測定

暗騒音の測定後、カートリッジ式ガストーチにより、当該ガストーチのバーナー部吸気口を閉鎖して拡散炎

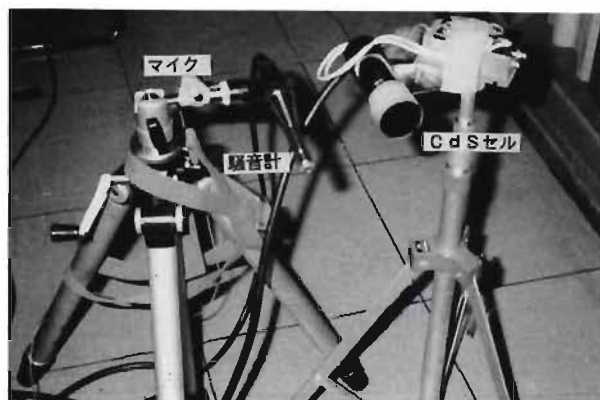


写真5 各種センサー類の設定状況

を作り、調整つまみを全開とした状態で燃焼させ、また、全開時の炎の半分程度の大きさの炎で燃焼させて、各々前(1)のマイク及び騒音計から水平距離50cm離れた位置の床面上に置いて、燃焼音を測定した。(図3)

なお、測定時間は、各々約20秒間とした。

(5) 炎のゆらぎの測定

前(4)において、燃焼音の測定と同時に、その時のガストーチの炎のゆらぎを各々CdSセルにより測定した。

(6) 記録

前(3)、(4)における暗騒音及び燃焼音をマイクと騒音計により、また(5)における炎のゆらぎをCdSセルによりそれぞれ集録し、データレコーダー及びデータアナライザに記録した。

なお、各機器の条件設定は次のとおりとした。

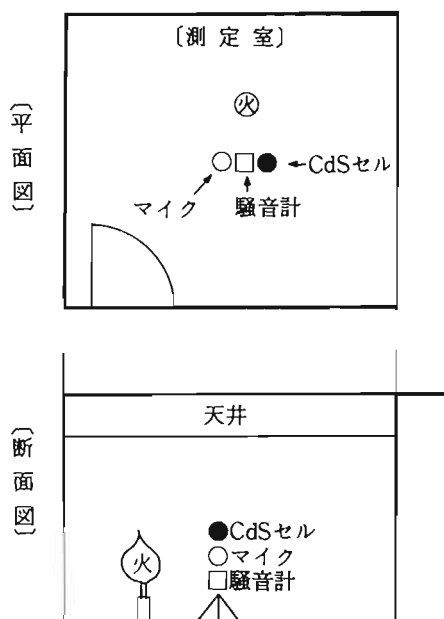


図3 各測定機器等の配置例

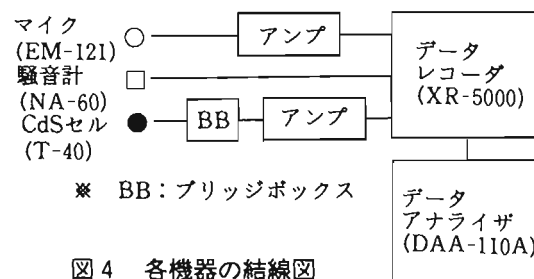


図4 各機器の結線図

ア データレコーダーの集録条件

(ア) 入力レンジ

- 1ch: $1V$ (マイクの入力)
- 2ch: $0.7V$ (騒音計の入力)
- 3ch: $3V$ (CdSセルの入力)

(イ) 出力レンジ 1ch~3ch: $5V$

(ウ) 帯域選択 WB G-1

(エ) テープスピード $4.76cm/s$

(オ) サンプリング周期 $20\mu s$

イ データアナライザの集録条件

(ア) サンプリング周期 $10ms$

- (イ) データ量 (暗騒音) 4096ポイント
- 〃 (燃焼音) 2048ポイント
- 〃 (ゆらぎ) 2048ポイント

(ウ) 入力レンジ 5 V

[実験IIの2]

(1) 録音用マイク等の設定

各室の中央付近に、燃焼音録音用のマイク及び騒音計をスタンドに取付け、床面から50cmの位置に設置した。また、その直上の天井部分にマイクを取付けた。

(図5)

なお、各室の開口部は、可能な限りすべて閉鎖状態とした。

(2) 測定機器の設定

テーブル(キャスター付のもの)上に、データレコーダー及びデータアナライザーを設置した。

前(1)のマイク及び騒音計の信号をそれぞれデータレコーダーに入力し、データレコーダーの出力信号をデータアナライザーに入力するように結線した。(図6)

(3) 暗騒音の測定

前(1)~(2)の設定状態において、各室の暗騒音を測定した。

なお、測定時間は、約1分20秒間とした。

(4) 燃焼音の測定

暗騒音の測定後、カートリッジ式ガストーチにより、当該ガストーチのバーナー部吸気口を閉鎖して拡散炎を作り、調整つまみを全開とした状態で燃焼させたとき、また、全開時の炎の半分程度の大きさの炎で燃焼させたとき、前(1)のマイク及び騒音計から水平距離50cm離れた位置の床面上に置いて、燃焼音を測定した。

(図5、写真6)

なお、測定時間は、各々約20秒間とした。

(5) 記録

前(3)、(4)のそれぞれにおける、暗騒音及び燃焼音をマイクと騒音計により集録し、データレコーダー及びデータアナライザーに記録した。

なお、各機器の条件設定は次のとおりとした。

ア データレコーダーの集録条件

イ 入力レンジ

1 ch: 5 V (マイク (M1) の入力)

2 ch: 3 V (騒音計 (S) の入力)

3 ch: 5 V (マイク (M2) の入力)

(イ) 出力レンジ 1 ch~3 ch: 5 V

(ウ) 帯域選択 WB G-1

(エ) テープスピード 4.76cm/s

(オ) サンプルング周期 20μs

イ データアナライザーの集録条件

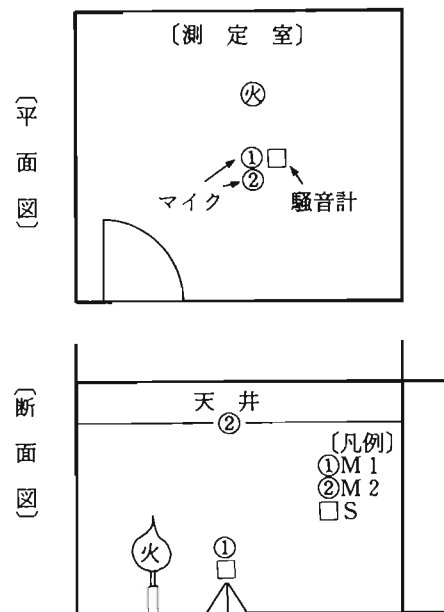


図5 各測定機器等の配置例



写真6 カートリッジ式ガストーチの状況

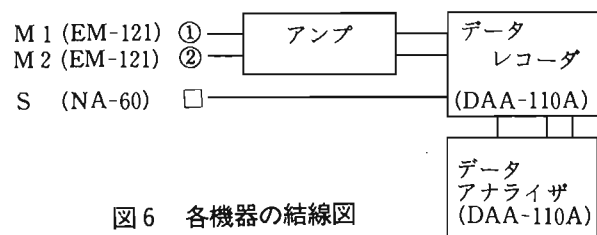


図6 各機器の結線図

(イ) サンプルング周期 10ms

(イ) データ量 (暗騒音) 8192ポイント
(燃焼音) 2048ポイント

(ウ) 入力レンジ 5 V

【実験に使用するセンサーの基本特性及び妥当性の検証について】

「実験Ⅰ」、「実験Ⅱ」及び「実験Ⅱの2」において、音をとらえるセンサーとして使用するマイクの基本特性及びその妥当性の確認に際し、実験Ⅱの結果から得られた次のデータに基づき、次のように検討した。

(1) マイクと騒音計のとらえる周波数特性の一致について

マイク及び騒音計のピーク時の周波数を比較すると、ほとんどの室において第1ピークから第3ピークまでの範囲で、何れかの値が双方で一致していることがわかる。即ち、マイクと騒音計という異なるセンサーにより集録された2つの音の周波数特性がほぼ一致しているということである。

騒音計は、「音」を検出する測定装置であり、その検出器としてマイクロフォンを使用している。また、マイクも同じ音という物理量を検出する装置であり、いずれもその対象として同一の音を集録しているのであるから、当然それらから検出された音の周波数特性は同じになるはずである。即ち、ここで重要なことは、異なる複数のマイクによって集録されたデータの内容が一致したということであり、このデータはマイク及び騒音計の個々の特性にはよらない普遍性のあるものといえる。

(2) 騒音計のとらえる周波数範囲について

各センサー（マイク、騒音計）ごとに測定した部屋の面積と周波数との関係の散布図を作成してみると、概ね2 Hzの線を上下の境として、上方には、マイクと騒音計の両方のデータが散在しているのが認められるが、下方にあっては、マイクによるデータのみで、騒音計によるデータは存在していない。

一般的に、通常のマイクは1 Hz前後の超低周波の音（空気の振動）が加えられた場合には、マイク内部の振動板両面の差圧がほとんど等しくなってしまう、音を検出できなくなる。騒音計の場合には、実用上その目的から指向性をもたせるため、そのようになっているか、あるいは回路的にフィルターを入れて2 Hz以下の音を検出できないようにしてあるものと思われる。一方、マイクの方は、振動板の片側を密閉してあり、両面の差圧がゼロにはならないため、かなりの低周波の音まで検出可能である。

本実験において扱う燃焼音等は、実際1 Hz以下のかなりの低周波域においてもその特徴が表れている可能性が高い。しかし、騒音計ではその特性上、それらの特徴をとらえることが困難であるといえる。

以上により、(1)から本マイクはその周波数特性が騒音計と同等であり、かつ、(2)から概ね2 Hz以下の周波数域においては、騒音計では得られない燃焼音の特徴

である超低周波成分をとらえらえる性能を併せ持っていることがわかった。

また、レベルについては、アンプ操作にて調整することにより、最適なデータ集録が可能であると考えられる。

よって、これで、マイクの基本特性が確認されたことで、今後、燃焼音等の測定に関するすべての実験において、本マイクを使用することとした。

7 分析方法

(1) 周波数分析（リニアスペクトル）による比較検討

前6において各燃焼供試体を燃焼させて集録した燃焼音の各データ並びに各室で集録したデータについて、データアナライザーを使用して、音の時間波形及び周波数スペクトルを作成し、各実験ごとに次の内容を検討した。

〔実験Ⅰ〕

ア 燃焼供試体ごとの燃焼音の超低周波域の特徴の抽出について

イ 音源からの距離とレベルの関係による音の減衰状況について

ウ 開口部の設定条件の違いによる圧力変動への影響について

〔実験Ⅱ〕

ア 大きさ、形状の異なる各室における特性の相違について

イ 炎の大きさの違いによる特性の相違について

ウ 炎のゆらぎと燃焼音における周波数特性の比較について

〔実験Ⅱの2〕

ア 大きさ、形状の異なる各室における特性の相違について

イ 炎の大きさの違いによる特性の相違について

ウ マイクの位置の相違による特性の相違について

(2) パワースペクトルの積分値（時間波形の二乗積分値）の時間変化による比較検討

前(1)における〔実験Ⅰ〕、〔実験Ⅱ〕、〔実験Ⅱの2〕の各項目ごとに、集録データについてそれぞれパワースペクトルを時系列に作成し、かつ、そのうちの0.05 Hzから3 Hzまでの範囲について積分値を求めその時間変化を比較した。

具体的には、各設定条件における項目ごとに、暗騒音及び燃焼音それぞれの積分値を時間ごとに累積していき、縦軸を積分値、横軸を時間としたグラフに両方をプロットして、その変化率を比較するものとした。

この方法は、前(1)における検討内容が、燃焼音において、その周波数分布から燃焼時特有の成分を抽出しようとするものであるのに対し、音のレベルの時間による変化をとらえることで、燃焼時とそうでない時とで、図7のようにレベルに差が生じていくことによって暗騒音と燃焼音を分離しようとするものである。

ここで、積分する範囲を前述のように決定した理由については、積分値の変化率を求めた場合に、暗騒音と燃焼音の差を明確にするために、当初0.5、1、3、6、9 Hzの各周波数までの範囲で積分値を求め、その中で差が顕著に現れ、かつ、値にばらつきが生じない場合がどれかを検討した結果、この3 Hzが最も適当であると判断したことによる。

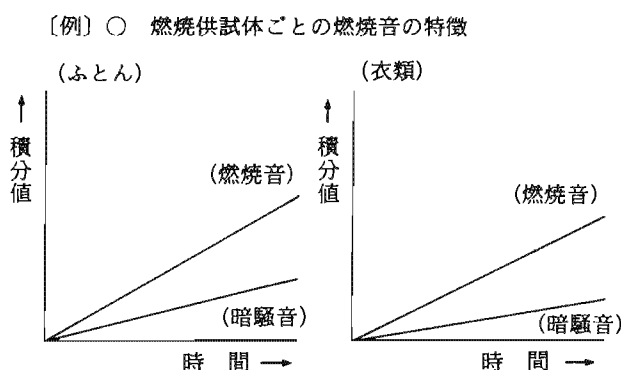


図7 暗騒音及び燃焼音の分離表示

実際、燃焼音の周波数スペクトルを見ると、概ね共通して3 Hz以下の部分に特に顕著なレベルの増大が認められた。

なお、実際の計算においては、パワースペクトルを積分する場合と等価の関係にある時間波形の二乗積分値を使用した。

これは、次の②式に示す「パーセヴァルの定理」を利用して、計算を合理的に行おうとするためである。

今ここに、任意の音の波形を時間の関数として $x(t)$ とし、そのフーリエ変換により得られた周波数関数を $X(f)$ とすると、

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad ①$$

の関係が成り立つ。

このとき、時間関数 $x(t)$ を2乗したものを考え、それを時間で積分した場合、その $X(f)$ との関係を表すと、

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} X^2(f) df \quad ②$$

となる。すなわち、時間関数の2乗積分値は、そのパワースペクトル(フーリエスペクトルを2乗したもの)を周波数で積分したものに等しい。

このことから、パワースペクトルの積分値を求めようとした場合、それが時間領域における処理で同じ結果を得ることができるので、計算上効率的であり、この手法を採用することとした。

8 実験結果及び考察

(1) 周波数分析による抽出

次の①から⑦の各項目ごとに、集録した暗騒音及び燃焼音の各データについて時間波形及び周波数スペクトルを作成し比較検討した結果、それぞれ次のような内容が得られた。

① 燃焼供試体の相違による波形の比較について

ア 暗騒音と燃焼音を比較すると、そのレベルに違いがある。

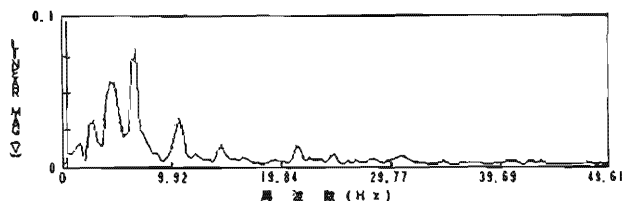
暗騒音及び各燃焼供試体(以下「供試体」という。)を燃焼させたときの燃焼音の周波数スペクトルにおいて、例として「暗騒音」(図8(a))と「紙」(図8(d))を比較した場合についてみると、1 CH、2 CH及び7 CHのいずれも第1ピークで6.641 Hzとなっており、周波数特性は同じであるが、このときのレベルを比較すると0.0855 V→0.1472 Vで約1.7倍(約5 dB)の振幅をもっていることがわかる。また、「カーテン」(図8(e))に至っては、ピークの周波数は6.641 Hz、レベル0.245 Vで2.8倍(9 dB)である。

これは、燃焼により発生した熱により、室内空気中の分子のブラウン運動が活発になり、その運動エネルギーの増加に伴って空気に圧力変動が生じ、これが音源となって暗騒音と比較して音のレベルが上昇しているものと推定される。そしてその変動周波数は概ね10 Hz程度の超低周波域であって、それがこのスペクトルに表れているものである。

イ 燃焼音はほとんどの供試体の場合において、何れも6 Hz付近にピークをもっており、また、暗騒音のピークと同じである。

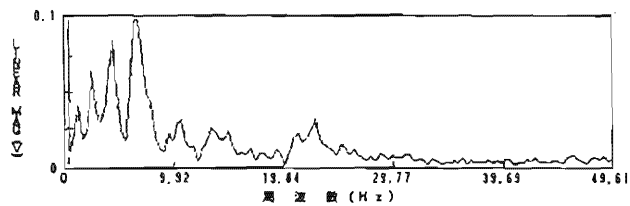
各燃焼供試体の燃焼音の周波数スペクトルのうち、「暗騒音」、「ふとん」、「衣類」、「紙」、「カーテン」、「ふすま1」、「ふすま2」、「クリプ1~4」の多くの場合において、第1ピーク又は第2ピークの周波数をみると6.641 Hz若しくは6.25 Hzという値を示している。(図8、図9)

このことから、燃焼時に発生する音の周波数成分には、どの供試体を燃焼させた場合においても、概



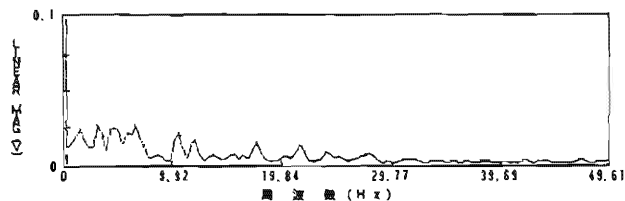
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(a)暗騒音



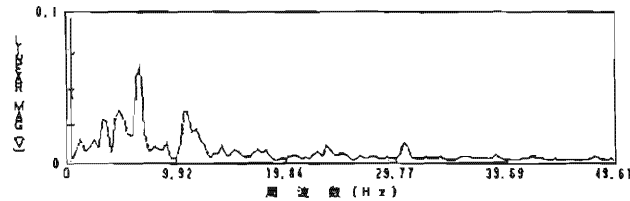
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(e)カーテン



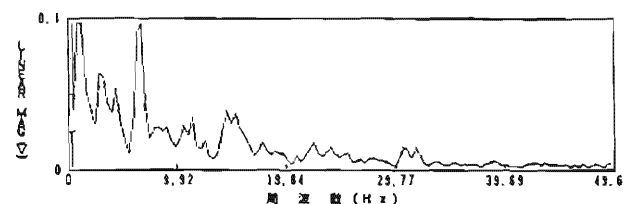
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(b)ふとん



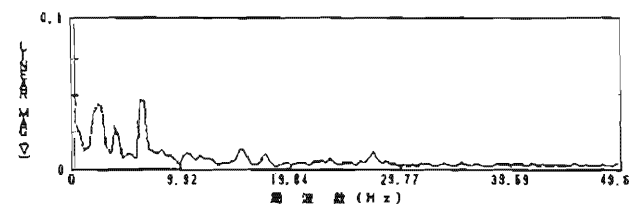
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(f)ふすま 1



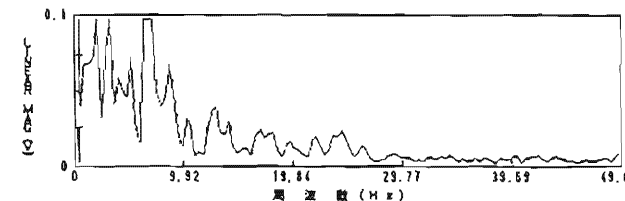
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(c)衣類



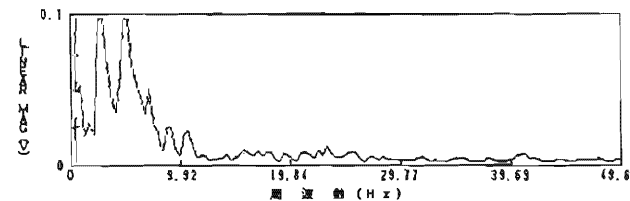
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(g)ふすま 2



【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

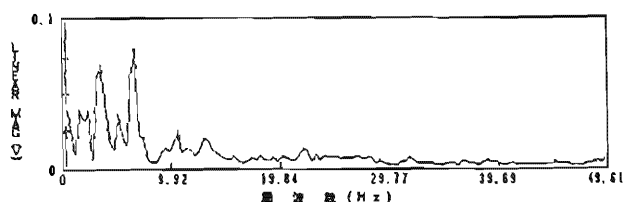
(d)紙



【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

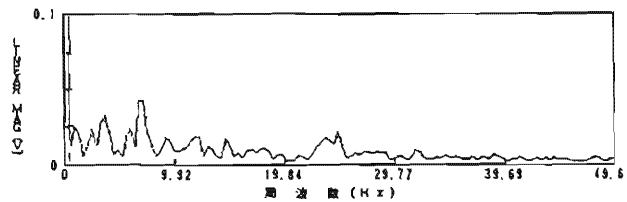
(h)天ぷら油

図8 暗騒音及び各燃烧供試体における燃烧音の周波数スペクトル



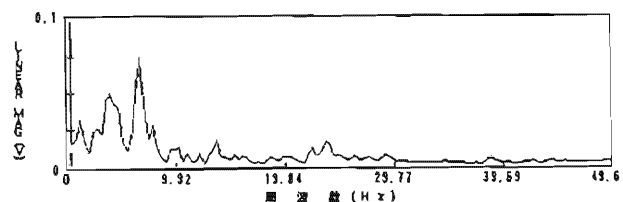
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(a)クリップ 1 (小開、大閉)



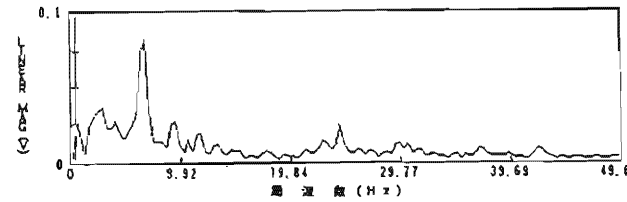
【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(c)クリップ 3 (小開、大閉)



【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(b)クリップ 2 (小開、大閉)



【サンプリング周期 5 ms, 分析範囲4(f)No. = 1 (+5114(f))】

(d)クリップ 4 (小開、大閉)

図9 各開口条件における燃烧音の周波数スペクトル

ね6 Hz付近のものが多いということがわかる。しかし、暗騒音のピークも同じ6 Hzであることから、この周波数成分が、燃焼時特有の周波数とはいえない。

また、この場合の燃焼実験は、すべてについて模擬ハウスで行われており、後述の④、アに示すように、燃焼場所を変えて測定した場合には、そのピークを持つ周波数が6 Hzではなくいろいろな値をとっていることから、これはその室内空間の大きさから定まる固有振動数が関係しているものと推定される。

ウ 「衣類」と「紙」の燃焼音のレベルが他と比較して極端に高い。

衣類の場合のピークのレベルは「衣類」(図8(c))で0.12V、紙の場合は「紙」(図8(d))で0.14Vを示している。他の供試体を燃焼させた場合のピークのレベルは、概ね0.1V未満であることと比較すると、かなり高い値であることがいえる。

また、時間波形をみても、衣類、紙の場合には、その振幅がかなり大きく、中にはスケールアウトしているものもある。

この理由を考察してみると、衣類、紙の燃焼方法と他の供試体の燃焼方法との違いに起因していることが推定される。

即ち、これらの供試体は、大きさ1000mm×1000mmのステンレス製オイルパンに一樣に拡げ、かつ、中央部分は、約30cm位に積み上げた状態で点火した。

この場合、他の供試体の燃焼状態と比較して火炎の水平投影面積が大きくなり、かつ、火炎のボリュームも大となり、単位時間あたりに発生する熱量が多かったことが推察できる。また、マイクは、供試体上方の天井部分に設置しているため、その影響を特に大きく受けたためであると思われる。

このことから、燃焼音のレベルは、供試体の体積、形状等(置きかた)に強く依存してくるということがわかる。

エ 「天ぷら油」の燃焼音の周波数特性は、他の供試体のそれとまったく異なる。

「天ぷら油」(図8(h))の第1ピーク及び第2ピークの周波数をみると、2.734Hz、5.078Hz等の値となっている。これは、同じ模擬ハウスにおいて燃焼させた他の供試体の場合(約6 Hz)とまったく異なる値である。また、そのレベルもかなり他と比較すると大きめの値となっている。

この場合の他の供試体と大きく異なる点は、他がすべて固体であるのに対し、これは液体の燃焼であるということである。

一般的に、容器内の液体が燃焼する場合、油面において可燃性蒸気に気化するときの状態において複雑な空気の圧力変動を伴う。そしてこれは、容器の大きさ(液面の燃焼面積)に依存して、異なる周波数をもった音が発生するといわれている。また、油の種類が変われば気化のし易さが異なるため、違う音が発生することが予想される。

レベルについては、前項の紙類等の燃焼と同様に、火炎の面積が大きいために、発生エネルギーが大きく、レベルが大となっており、これが、さらに部屋の固有振動をも打ち消す状態になっているのではないと思われる。

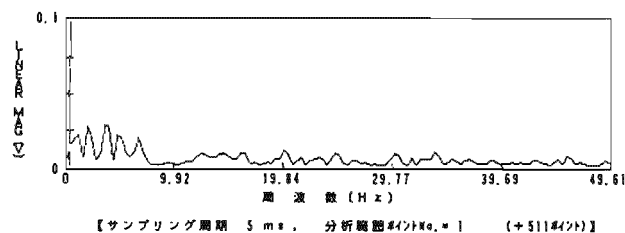


図10 暗騒音(外)の周波数スペクトル

② 音源からの距離の相違による波形の比較について

ア 暗騒音については、測定空間の大きさにより大きな差がある。

模擬ハウスの外部で総合実験室内のほぼ中央部分で測定した暗騒音のデータは「暗騒音(外)」(図10)に示すとおり1.9~3.5Hzとなっており、模擬ハウス内の周波数特性(約6 Hz)と異なっている。また、後述の④、アにも示すとおり、各部屋ごとにそれぞれそのピークの周波数は違っており、また、暗騒音だけでなく、燃焼音についても同様に異なる値を示していることがわかる。

測定場所を変えた場合に、その周波数特性が変わるということは、場所ごとに異なる固有振動数を持った空間が存在するということが推定される。

なお、一般に反射壁で囲まれた直六面体の室の固有振動数は、その室の大きさを ℓ [m]× m [m]× n [m]とし、音速を c [m/s]とすると、

$$f = (c/2) [(p/\ell)^2 + (q/m)^2 + (r/n)^2]^{1/2}$$

で与えられる。

実際の固有振動数は、この式においてその空間を構成する各寸法(ℓ 、 m 、 n)が同一であっても、 p 、 q 、 r (0又は正の整数)の組合せによって、一通りには決まらない。そして、このうちの一つが強く共鳴して、その部屋の暗騒音等に表れているものと思われる。

具体的に、この部屋の固有振動数を求める場合、まず、一番強く影響するのが、部屋を囲む長さで最

も長いスパンの間に存在する定在波であると考えるとき、この部屋の場合28mとして、基本周波数($p=1$ の場合)を求めると、 $c=340$ 、 $\ell=28$ を代入して、

$$f = (340/2) \times (1/28) \approx 6 \text{ [Hz]}$$

となる。

この値は、模擬ハウスにおける暗騒音等に含まれる成分であった。総合実験室の暗騒音では、上述のとおりこれと違った値が得られているが、それは、このデータの取りかたが、長い暗騒音のうちの任意の2.5秒間を切り取ったものに過ぎず、そのときまたまたとらえられた値であるということもでき、むしろ6 Hzの成分も存在していると考えられる。

イ 燃焼音は、音源からのマイクまでの距離が異なっても、同一室内ではそのレベルに有意差はない。

「暗騒音」で各ピークにおけるレベルを比較すると、MS 1で 0.08659V、MS 2で0.09491V、MS 3では0.1052Vを示している。また、「クリブ1」にあつては、同様に0.118V、0.07358V、0.2011Vとなっている。

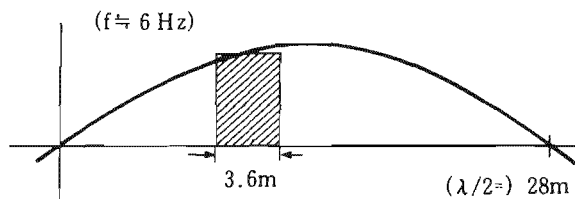


図11 音圧の均一化のイメージ

このことは、火源からの距離が遠くなるとレベルが低下するというような距離との反比例の関係にはなっておらず、ほぼ同等の値をとっているといえる。

これは、この部屋(模擬ハウス)の暗騒音等が周波数6 Hzであり、この場合の半波長28mに比べて部屋が充分小さいため、室内全体がほぼ均一の圧力分布となる点である。(図11) そしてこの場合、中央部分よりも角の部分の方が周囲からの空気の流れが集中することから圧力が大きくなる。

実際、データをみても、MS 3(角のマイク)が一番レベルが高くなっている。

- ③ 開口部の設定条件の相違による波形の比較について
ア 開口条件が異なっても、暗騒音及び燃焼音の周波数特性のピークは、いずれも6 Hz付近で有意差はない。

「クリブ1」(開口条件1)、「クリブ2」(開口条件2)、「クリブ3」(開口条件3)、「クリブ4」(開口条件4)において、いずれもそのピーク時の周波数をみると、6.25Hz又は6.641Hzとなっており、その特性については、開口条件1~開口条件4までを比

較した場合でも、その差は特に認められない。(図9)

この場合も、前②で述べたとおり、これらの暗騒音及び燃焼音が、模擬ハウスの中の定在波によるものというよりは、この部屋が置かれている総合実験室全体として考えた方が説明がつく。即ち、模擬ハウスの大きさが、総合実験室内に定在する音の波長に比較して極端に小さいため、部屋全体が28m(半波長のエリア)の中にすべて入ってしまい、かつ、その中の開口部の開口率を少々変えてもあまり特性の変化には影響がないと考えられる。

イ 開口率を大きくしていくと、全閉時には存在しない別の周波数成分を多く含むようになる。

開口条件4に係るスペクトルを見ると、開口条件1の場合と比較して、20~30Hzの成分がより多く含まれていることがわかる。(図9(a)、図9(d))

これは、模擬ハウス外部の総合実験室内における暗騒音等のスペクトルと類似している部分であり、このことから、開口部の開口率を増した場合には、その室外環境の影響をより多く受けることによるものとする。

- ④ 部屋の大きさ等の相違による波形の比較について
ア 暗騒音及び燃焼音は、部屋によってそのピークの周波数成分が全く異なる。

表1並びに表2-1~表2-3により、暗騒音及び燃焼音ともに、各室のピークにおける周波数を比較した場合、ほとんど共通した値が存在しない。即ち、部屋によって、音の周波数特性が異なるということである。ただし、同一の部屋においては、暗騒音と燃焼音の周波数特性を比較すると、多少の一致が見られる。

前②、アで述べたように、これは、各室ごとに固有振動数を有しており、暗騒音及び燃焼音のいずれにおいてもその成分が基本的に存在しているためであると推定できる。

なお、レベルにおける比較にあつては、前①、アにより、暗騒音に比べて燃焼音がここでも高くなっている。(図13~図15)

イ 部屋の面積と周波数特性に相関関係はない。

部屋の面積と当該室における周波数分布との散布図を作成して調べてみると、各プロットの分布範囲は周波数及び面積において全般にわたっていることから、双方に相関関係は認められない。

部屋の周波数特性、又は固有振動数については、その部屋の面積よりも、前②、アで述べたとおり、その部屋の定在波の波長を決定する部屋の各辺の長さであり、その中でも最長辺の長さが一番大きく効いてくる。従って、部屋の最長辺の長さで周波数の

表1 測定場所別の周波数分析結果 (実験II関係)

No	室名	暗騒音〔1CH〕			燃焼音(炎大)〔1CH〕			燃焼音(炎小)〔1CH〕		
		第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク
1	001	0.1953 0.5618	0.7813 0.3454	2.539 0.08335	0.5859 0.2362	0.1953 0.2239	4.883 0.04886	0.5859 0.3418	1.563 0.1015	4.883 0.07318
2	002	0.3906 0.1425	5.469 0.08019	46.29 0.02227	0.1953 0.2128	5.273 0.1879	46.68 0.1798	5.859 0.1299	6.641 0.08286	4.883 0.06084
3	003	0.7813 0.2015	1.563 0.1905	2.539 0.1262	8.984 0.2789	8.398 0.2146	8.008 0.1663	8.984 0.3595	0.3906 0.251	11.33 0.158
4	004	0.7813 0.1568	31.25 0.1082	27.73 0.09893	0.9766 0.1867	0.1953 0.1835	31.25 0.09984	0.9766 0.2109	10.55 0.08606	31.25 0.08414
5	005	27.73 0.2955	0.1953 0.1794	2.734 0.1345	27.73 0.2609	0.1953 0.1225	24.22 0.05883	27.73 0.2577	0.1953 0.137	1.563 0.1166
6	006	1.367 0.1356	0.1953 0.106	27.73 0.07946	0.1953 0.2661	1.367 0.1292	1.953 0.08181	0.3906 0.2491	1.953 0.1485	27.73 0.07406
7	007	0.1953 0.3147			0.1953 0.1492	1.172 0.07789	39.84 0.06045	0.7813 0.1047	0.1953 0.09993	39.84 0.0783
8	101	4.688 0.3603	0.5859 0.2715	3.125 0.1709	9.766 0.2324	0.3906 0.1685	2.148 0.1548	3.125 0.1974	0.5859 0.1374	2.148 0.1312
9	102	2.539 0.3645			2.93 0.3972	2.148 0.2126	3.516 0.1777	3.125 0.2802	0.5859 0.2096	2.148 0.1994
10	103	3.32 0.1863	0.5859 0.1649	2.148 0.1625	3.516 0.3616	2.734 0.283	1.953 0.1816	0.1953 0.1676	1.953 0.1657	1.172 0.1396
11	104	3.125 0.1417	2.344 0.1371	0.1953 0.07659	0.9766 0.3218	1.563 0.1637	9.961 0.1122	10.94 0.1837	0.3906 0.08763	23.83 0.06557
12	105	0.3906 0.1116	23.83 0.06366	37.3 0.02713	0.1953 0.2485	10.35 0.1986	1.172 0.1755	20.9 0.17	12.11 0.1652	23.83 0.0955
13	106	2.539 0.05831	0.7813 0.05202	6.25 0.04924	0.1953 0.1029	10.74 0.09178	2.148 0.07204	0.3906 0.06872	10.16 0.06023	3.711 0.04409
14	107	23.83 0.06798	3.516 0.05501	4.102 0.0513	9.57 0.1827	9.18 0.1723	5.859 0.1198	10.74 0.1335	7.031 0.07756	3.516 0.07621
15	108	0.3906 0.1169	2.148 0.04285	47.46 0.04278	0.1953 0.09305	1.172 0.0587	2.734 0.04575	1.953 0.1963	0.3906 0.1453	0.9766 0.122
16	109	4.688 0.1984	6.055 0.1592	7.031 0.1481	0.3906 0.1365	23.83 0.08078	47.27 0.07644	0.1953 0.1573	49.02 0.1077	23.83 0.06987
17	110	0.1953 0.4464	48.83 0.1167	36.33 0.09602	0.1953 0.1738	47.46 0.07752	28.52 0.04869	2.344 0.09695	0.1953 0.09142	47.27 0.07505
18	201	0.1953 0.1734	1.367 0.032	5.273 0.0275	1.367 0.09604	3.32 0.05407	10.35 0.03273	1.953 0.0807	0.1953 0.05191	3.125 0.04279
19	202	0.1953 0.09011	0.7813 0.07724	3.906 0.047	0.1953 0.2013	3.711 0.1344	4.297 0.1297	0.7813 0.1009	14.26 0.04271	23.63 0.04035
20	203	0.1953 0.1046	16.2 0.07592	1.563 0.07065	5.273 0.09439	0.7813 0.07016	1.563 0.05791	49.02 0.1052	0.1953 0.07811	1.172 0.04587
21	204	0.7813 0.0442	0.1953 0.03768	24.8 0.02495	0.3906 0.08794	10.35 0.05424	10.94 0.04665	0.3906 0.06619	12.7 0.04798	24.8 0.03432
22	301	1.563 0.1352	2.93 0.1143	0.9766 0.1105	23.83 0.0756	24.22 0.06746	1.953 0.04587	23.83 0.06123	1.758 0.0712	0.1953 0.05395
23	302	49.24 0.1017	1.367 0.05237	0.1953 0.0465	10.55 0.1974	49.22 0.09502		11.72 0.0881	49.22 0.08712	2.344 0.0705
24	303	0.1953 0.03615	23.83 0.02911	2.539 0.02892	0.5859 0.09488	1.367 0.0767	2.539 0.06102	2.93 0.05841	1.367 0.04375	0.1953 0.0423
25	304	11.13 0.06363	10.35 0.05503	0.1953 0.05292	9.75 0.7452	11.91 0.3515	15.63 0.242	11.91 0.5887	0.1953 0.08838	
26	305	0.3906 0.1777	9.766 0.04466	8.398 0.04079	10.16 0.148	8.594 0.0881	0.1953 0.07454	10.55 0.1741	0.1953 0.1071	2.148 0.0702
27	306	27.15 0.09145	49.61 0.08403	49.02 0.07543	49.02 0.12	9.57 0.09972	0.1953 0.09513	49.22 0.1026	0.3906 0.1014	27.15 0.09483
28	401	0.1953 0.1937	2.148 0.1458	0.9766 0.1457	0.1953 0.2422	1.953 0.1949	23.83 0.07463	0.9766 0.308	2.539 0.2659	23.83 0.0735
29	402	0.3906 0.1512	1.172 0.08093	14.65 0.06105	10.55 0.2837	2.93 0.1266		3.125 0.1009	0.1953 0.07327	11.52 0.06944
30	403	3.516 0.0831	0.1953 0.06622	16.6 0.04926	0.5859 0.3094	5.469 0.2664	9.961 0.2662	0.1953 0.1542	11.72 0.1345	0.9766 0.08058
31	501	23.83 0.4505	0.3906 0.08065		23.63 0.4055			23.83 0.4474		
32	502	23.83 0.1081	0.3906 0.06986	1.172 0.05147	0.1953 0.1681	23.83 0.08378	10.35 0.07097	23.83 0.09141	11.52 0.05662	0.9766 0.04097
33	503	0.3906 0.2165	1.172 0.06359	23.83 0.06318						
34	504	0.1953 0.2104	23.83 0.1406	1.953 0.07914	23.83 0.1023	1.367 0.08852	12.3 0.06183	0.1953 0.1338	23.83 0.0885	11.52 0.07012
35	505	23.83 0.1423	0.1953 0.09367	28.91 0.09057	23.83 0.1223	22.66 0.09574	0.1953 0.07149	23.83 0.1462	22.66 0.05943	1.563 0.05483

関係の散布図を作成して、その相関関係をみることにする。この場合、測定する場所は、できるだけ音の減衰のない壁（コンクリート等）で作られた部屋等であるほど、よりその傾向が顕著に現れる。散布図を図12に示す。

これをみると、部屋の長さとして概ね2.5mから12mまで、及び周波数にして15Hzから1.5Hzまでの範囲において、長さの増加に従って周波数値が減少している、いわゆる逆相関の関係がはっきりと現れているのが認められる。また、長さで6mから30m、周波数で50Hzから8Hzくらいまでの範囲においても、同様な逆相関を示している傾向が伺える。これら二つの帯状の分布は、部屋の長さが長くなると、その間の空間内で共鳴する定在波の波長が長くなる（周波数が低くなる）ことを示しているものと考えられ、また、上下に別れているのは、高調波の存在を意味しているものと思われる。

ウ 同一の部屋においては、測定日が異なっても概ね

同様の周波数特性を示す。

実験Iにおいては、同一場所における暗騒音を、日時を変えて2度測定している。その結果、その周波数特性をみると両日も第1ピークとして6.641Hzが現れている。即ち、測定日が異なっても同一場所であれば、基本的にはその周波数特性に変化はないということがいえる。

日常的に考えて、一般に同一場所における環境は、長期間経過した場合を除き、さほど大幅に変化するものではない。「音」の周波数については、前イのとおり、部屋の最長辺の長さから定まるものであるので、測定日の違いによって周波数は変わらない。従って、測定データは再現性をもっているといえる。ただし、音は、測定環境のうち気圧、湿度には関係ないが、気温の違いによって音速が変化するため、同じ波長の音でも周波数が異なってくる。従って、季節が異なった場合には、周波数特性に若干の影響は出てくるとと思われる。

表2-1 暗騒音の周波数分析結果（実験IIの2関係）

No	室名	1 CH (マイク1)			2 CH (騒音計)			3 CH (マイク2)		
		第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク
1	111	3.125	3.711	5.469	15.63	5.469	3.906	3.125	3.711	5.469
		0.04249	0.04053	0.03638	0.06216	0.05199	0.04216	0.04725	0.04347	0.03694
2	205	13.87	0.9766	12.7	13.87	12.7	20.7	0.9766	13.87	0.3906
		0.02604	0.01784	0.01348	0.04633	0.02296	0.02161	0.02488	0.02237	0.01845
3	5031	0.5859	0.7813	2.344	3.516	23.83	2.344	0.5859	0.7813	0.9766
		0.08996	0.08732	0.04632	0.02862	0.02646	0.02024	0.1294	0.1242	0.03408

表2-2 燃焼音（炎大）の周波数分析結果（実験IIの2関係）

No	室名	1 CH (マイク1)			2 CH (騒音計)			3 CH (マイク2)		
		第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク
1	111	2.93	1.758	6.25	6.25	3.906	2.93	0.3906	1.367	2.93
		0.06022	0.04654	0.03475	0.05856	0.04434	0.04398	0.33	0.1523	0.08083
2	205	5.273	3.516	4.102	5.273	4.102	3.516	0.1953	0.7813	1.367
		0.03146	0.02855	0.02667	0.04435	0.03221	0.02942	0.5258	0.2336	0.1591
3	5031	1.953	0.9766	2.734	3.711	5.078	9.961	0.1953	1.953	2.734
		0.09356	0.07324	0.04964	0.05127	0.04523	0.03854	0.3811	0.1355	0.0914

表2-3 燃焼音（炎小）の周波数分析結果（実験IIの2関係）

No	室名	1 CH (マイク1)			2 CH (騒音計)			3 CH (マイク2)		
		第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク	第一ピーク	第二ピーク	第三ピーク
1	111	3.125	24.41	6.445	3.516	3.125	24.41	0.1953	3.516	1.563
		0.04446	0.02396	0.01788	0.04476	0.04401	0.04069	0.05358	0.04643	0.04432
2	205	0.7813	1.367	13.09	13.09	13.87	23.63	0.3906	0.7813	3.125
		0.02231	0.02033	0.02026	0.03571	0.03375	0.02224	0.1005	0.08272	0.04557
3	5031	1.953	2.93	1.367	2.93	23.83	1.953	0.1953	2.148	2.734
		0.06298	0.05625	0.03091	0.03811	0.02856	0.01687	0.1157	0.07111	0.06843

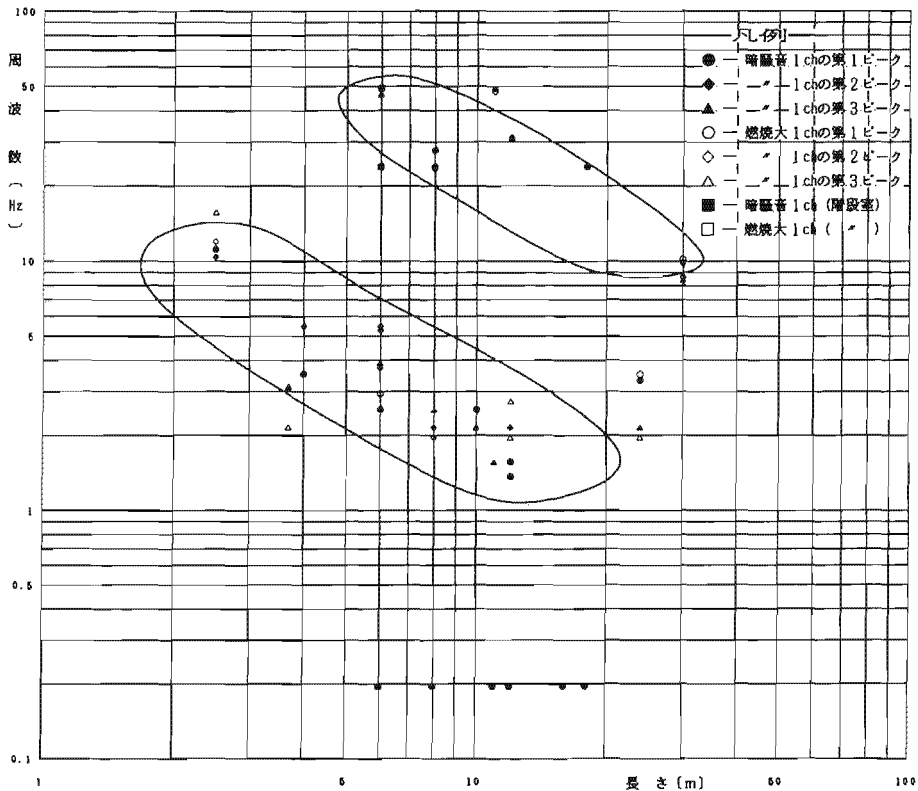


図12 部屋の長さによる周波数分布

エ 暗騒音と燃焼音の周波数特性は、あまり一致していない。

前①、イ及び⑤、アにおいて述べた内容と一見矛盾するようであるが、別の方法により、暗騒音と燃焼音の周波数特性を比較してみると、このようなことがいえる。まず、表1をみると、各室ごとに暗騒音と燃焼音（炎大）を比較した場合、一部同じ値があるが全体的に少ない。そこで、表1に掲げる各数値の暗騒音及び燃焼音（炎大）ごとの出現頻度を数えてみると、概ね2 Hz以下の成分については、暗騒音が多く、10 Hz付近では、燃焼音の方が多くなっていることがわかる。これは、言い換えれば、暗騒音と燃焼音とでその周波数特性は異なるということがいえる。

ここで、①、イ（実験Ⅰ）の結果と異なるという理由には、次のことが考えられる。まず、供試体の状態の違いとして、実験Ⅰにおいては、クリブ、ふすま、カーテン等の実大火災に近い火源を用いたが、実験Ⅱでは、ガストーチのバーナーの炎（約1、500kcal/h）のみの火源であった。この場合、気体の圧力と温度との関係式である $PV = nRT$ における T が小さい（温度上昇の度合いが低い）ため、室内空気の圧力変動への影響も小さいものとなる。

また、マイクの設置の仕方も、実験Ⅰでは天井部分に設置したのに対し、実験Ⅱでは床面近くに置いた。即ち、燃やし方やセンサーの位置の違いによ

ってレベルに差が生じている関係であることが推定できる。

いずれにしても、このことを結論づけるほどにはデータ量が充分ではないが、要因の一つとしては存在する可能性はある。

オ 燃焼音において、特定の周波数成分が部屋の違いに係わらず存在している。

表1の各燃焼音（炎大）における周波数の値で、その出現頻度をみると、概ね1~2 Hz及び9.5~10.5 Hz近辺が比較的多いことから、燃焼音においては、各部屋に共通して存在するとまではいえないものの、これらの成分が存在する機会が多いという一つの傾向が伺える。

実験Ⅱにおいては、各測定室に共通して供試体はガストーチのバーナーのみである。一般的に同一のものを燃焼させた場合には、その音は場所に係わらずどこで燃やしても、類似性をもっている。このことは、可聴域に限らず超低周波域でも同じことがいえると思われる。従って、ここで、部屋の違いに係わらず同じ周波数成分が存在するというのは、単一のバーナーによる音だからであり、これが他の燃焼音に普遍的に存在するものとはいえない。

⑤ 火災荷重の相違による波形の比較について

ア マイクについては、炎の大きさが違っても、大体においてピークの成分が共通であり、その周波数特性は一致している。

イ 表1により、各室のうち「001~007」及び「110」において、ピークの周波数を燃焼音（炎大）、燃焼音（炎小）で比較すると概ね一致している。

火災荷重の相違とは、炎の大きさの大小と言い換えることもでき、ここでは炎が大きい場合と小さい場合との音の比較をしているわけである。レベルの相違については当然ながらある程度推測できるが、周波数については、炎の大小には影響されない理由として、同じものを燃焼させたのであるから、燃焼状態（現象）が同じであり、音の出かたも同じであると考えられる。

ロ 実験Ⅱの2の結果をみると、表2-2及び表2-3により、「205」及び「5031」では、天井面でのデータにおいてピークの成分が共通であるという傾向が

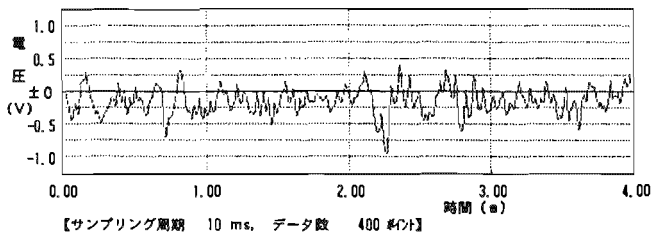


図13-1 「111」の暗騒音の時間波形

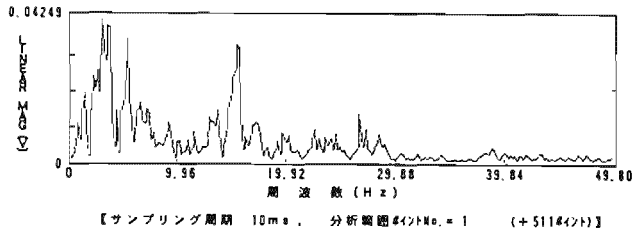


図13-2 上記波形の周波数スペクトル

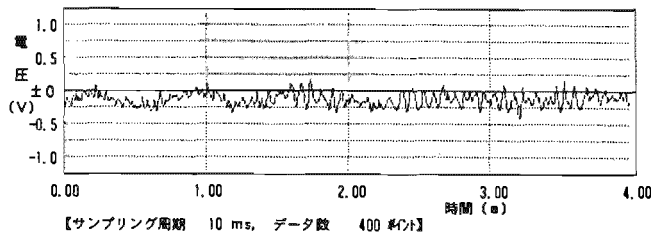


図14-1 「205」の暗騒音の時間波形

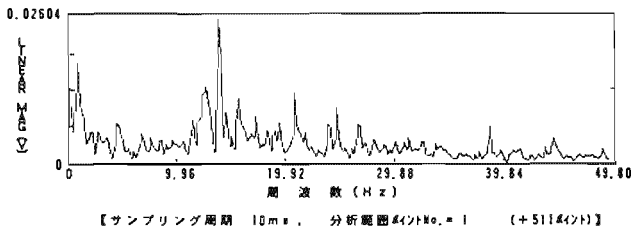


図14-2 上記波形の周波数スペクトル

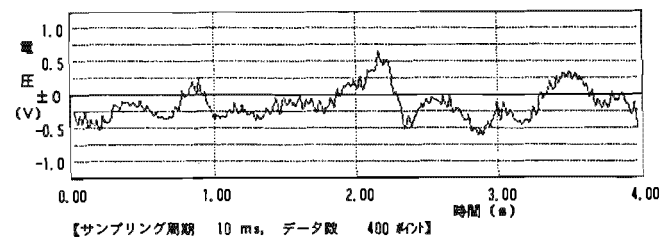


図15-1 「5031」の暗騒音の時間波形

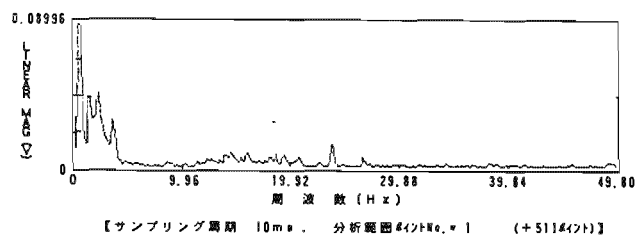


図15-2 上記波形の周波数スペクトル

特に顕著である。また、そのレベルをみると、燃焼音（炎大）の場合が、燃焼音（炎小）に比べて全般的にレベルが高い。

これも、各測定室と比較して、この二つの室は特殊な構造を有しており、外部環境とほぼ完全に遮断された状態であることから、外乱の影響がないことが関係していると思われる。また、レベルについては、炎の大きい場合の方が発熱量が大きいことは明らかであり、それに伴う空気の変動（音）のレベルが高くなるのも当然といえる。

イ C d Sセルについては、炎の大きさによってそのゆらぎの周波数特性が違う。

C d Sセルにおいては、マイクの場合と異なり燃焼音（炎大）-燃焼音（炎小）の値で一致しているものがほとんどない。

また、燃焼音（炎小）においては、ちらつき又はゆらぎの周波数が燃焼音（炎大）に比べて大きいことがわかる。（主として燃焼音（炎大）においては5～7 Hz、燃焼音（炎小）においては10 Hz以上の成分が多い。）

C d Sセルの検出する物理量は、光の強度の変化であることから、この場合は、燃焼時に発生する光の周期的なちらつき、即ち、炎のゆらぎの状態をとらえているといえることができる。

本実験においては、「炎大」と「炎小」の区別を、バーナーの燃料の噴出速度を変化させることによって行った。一般的に、炎の状態は燃料の噴出速度によってその状態が「層流火炎」と「乱流火炎」とに変化する。本実験における炎小は層流火炎、炎大は乱流火炎に該当すると思われる。

噴出速度が増すと層流火炎から乱流火炎に移行し、そのゆらぎが大きくなるため、C d Sセルのとらえる光の強弱の周期が長くなることが原因であると考えられる。

⑥ 炎のゆらぎと燃焼音の波形の比較について

ア 特定の部屋においては、マイクの周波数特性と、C d Sセルの周波数特性が一致しているものがある。

実験IIで得られた分析結果において、マイクの周波数特性とC d Sセルの周波数特性を比較してみると、燃焼音（炎大）においては、ピーク時の周波数特性がほとんど一致しないが、燃焼音（炎小）においては、一致する場合は燃焼音（炎大）に比べて多いことがわかる。特に、騒音計とC d Sセルでの比較においては、各室のピーク時の周波数に両者が同じ値を示す場合がかなり多く、その傾向が顕著である。すなわち、燃焼音（炎小）の場合は、音と炎のゆらぎは、その周波数特性において、概ね一致して

いるといえる。

マイクの周波数特性とCdSセルの周波数特性が同じであるということは、音、即ち室内空気の変動と燃焼時の炎のゆらぎとが同一周期で動いているということである。

このことは、昨年度の実験結果における考察で述べたとおり、炎から発生する熱により室内空気にゆっくりとした圧力変動が生じ、炎がゆらぐのに伴って、圧力変動もこれに呼応してゆらぐため、音の周波数とゆらぎの周波数が一致したということである。しかし、ここで一致しているのは炎小の場合のみであって、炎大においてはあまり一致していない。この点については、次のように考えられる。

今回の炎のゆらぎの測定は、センサーであるCdSセルをフィルター（黒色のポリエチレン）で覆い、炎から発する光が直接でなく、フィルターで平均化されて入力するような方法で実施した。

炎小においては、その燃焼状態が、層流火炎に近く、そのゆらぎは単一の振動としてセンサーに入力されるが、炎大においては、乱流火炎であって、そのゆらぎは単一ではなく多くの成分を同時に含んだ複雑な動きをしているものが、フィルターで平均化されて入力されることとなったため、炎のゆらぎ信号が必ずしも音の信号と一致しなかったということが考えられる。もし、仮に炎を映像として集録し、それを画像処理して明るさの時間変化をみれば、部分的には一致しているところもあるかも知れない。

⑦ マイクの位置の相違による特性の比較について

ア 床面と天井面で周波数特性は概ね一致している。

表2-1～表2-3において、ピーク時の周波数の値をみると、床面（1ch）と天井面（3ch）の両者で部分的であるが一致していることがわかる。

本条件を設定した目的は、マイクの設置位置によって、そのデータの周波数特性が異なってくる場合が考えられるということであったが、実際に測定してみた結果、両者は一致した。これは、同一空間内において、一つの「音源」から発する音をとらえているのであるから、その成分が一致することは、感覚的には当然といえる。

即ち、室内において燃焼音をとらえた場合に、その周波数特性は設置場所には左右されないということがいえる。

イ 一般的に床面に比較して、天井面においてのレベルが顕著に高い。

表2-2のうち、床面及び天井面において、その第1ピーク値を比較してみると、「111」では、 $0.06022V \rightarrow 0.33V$ 、「205」では、 $0.03146V \rightarrow 0.5258$

V、「5031」では、 $0.09356V \rightarrow 0.3811V$ となっており、4倍から15倍程度高くなっていることがわかる。

これも、感覚的には当然のこととして予想されたとおりである。

即ち、燃焼時に発生する空気の変動をとらえているのであるから、一般的に上方へ移動する熱により、天井面においてはその影響を床面に比較して強く受けることとなるのが理由の一つとして考えられる。

(2) 積分値の時間変化による抽出

前7、(2)に基づき作成した、各項目ごとの積分値の時間変化を求めるにあたり、その手順について以下のとおり説明する。

ア 実験Iにおける燃焼音をFFTにより解析したものの時間変化

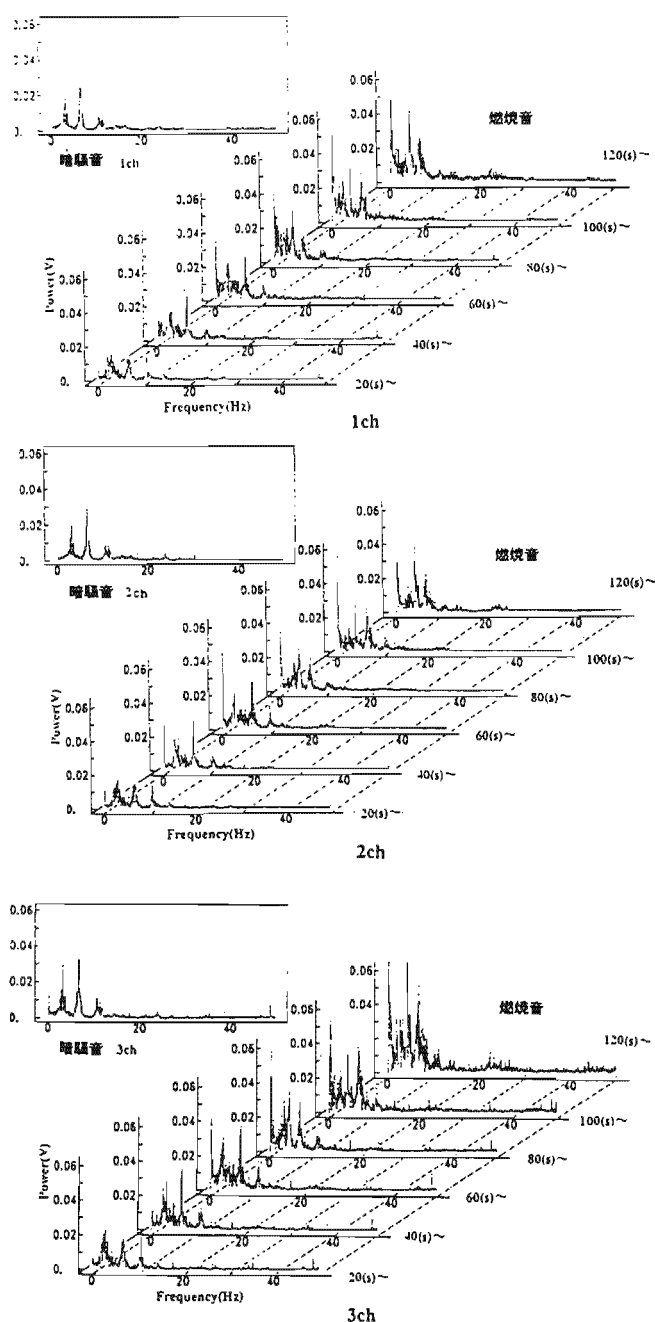


図16 パワースペクトルの時間変化

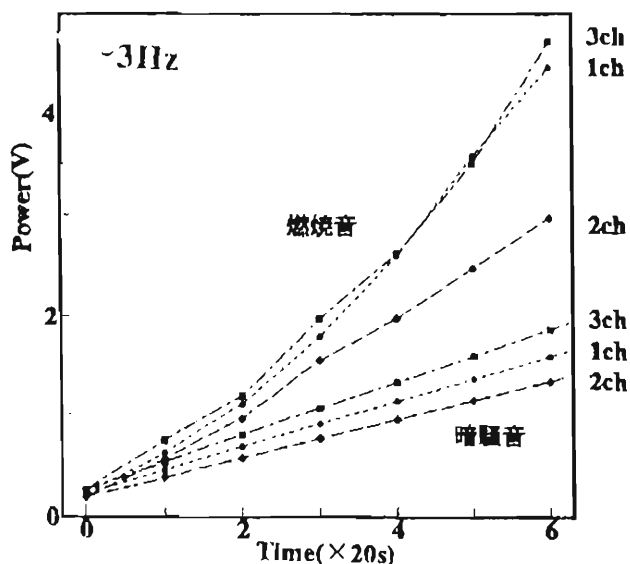


図17 パワースペクトルの積分値の累積

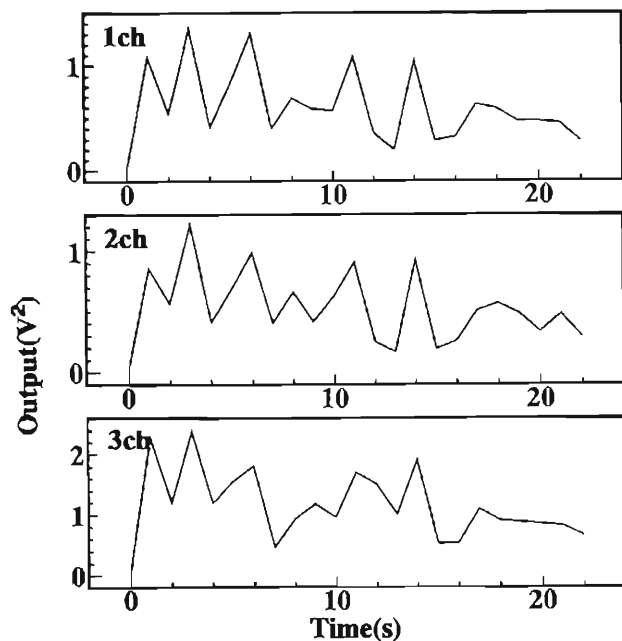


図18-1 時間波形の2乗和

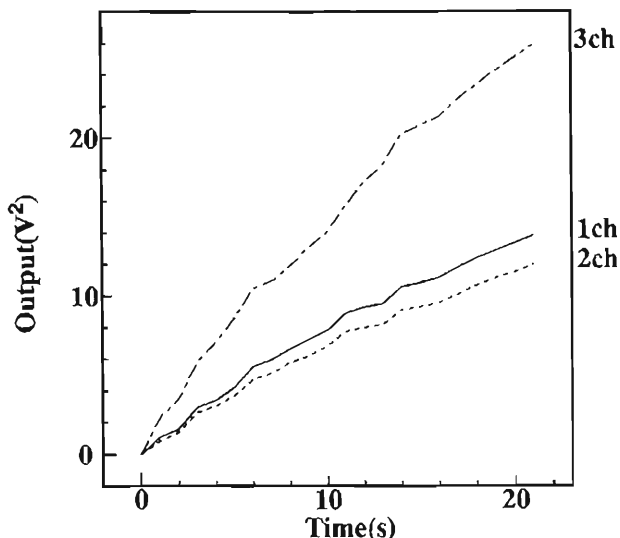


図18-2 時間波形の2乗和の累積値

各供試体別に、燃焼音のワースペクトルを時系列 (20秒間隔) に並べて表示する。(図16)

イ パワースペクトルの積分値の時間累積値

前アにより作成したワースペクトルを周波数で 0.05~3 Hzまで積分し、その値を時間ごとに累積してプロットする。

なお、各供試体ごとに暗騒音の積分値と比較した。(図17)

ウ 時間領域における2乗和の算出及び時間累積

パーセヴァルの定理に基づき、ワースペクトルの積分値の時間変化と等価の関係にある手法として、時間領域における生データの2乗和 (1秒毎の和) を求め、それを時間により累積する。(図18-1、図18-2)

以上の方法により、実験 I において実施した各供試体、音源からの距離並びに開口条件ごとの燃焼音及び暗騒音に係る2乗和の累積値の変化の状態を以下に図示した。(図19)

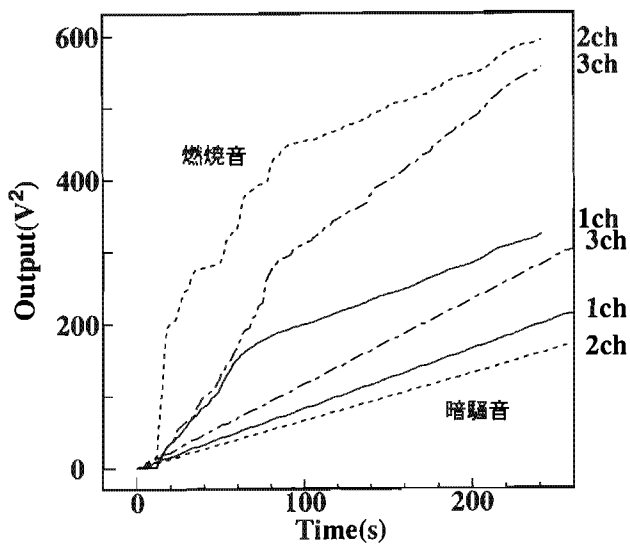
なお、これは即ち音のワースペクトルの積分値 (音のエネルギー) の時間変化を表すものであり、この結果をもとに、以下に掲げる各設定条件のそれぞれについて、その変化の状況を比較検討することとした。

① 燃焼供試体の相違による波形の比較

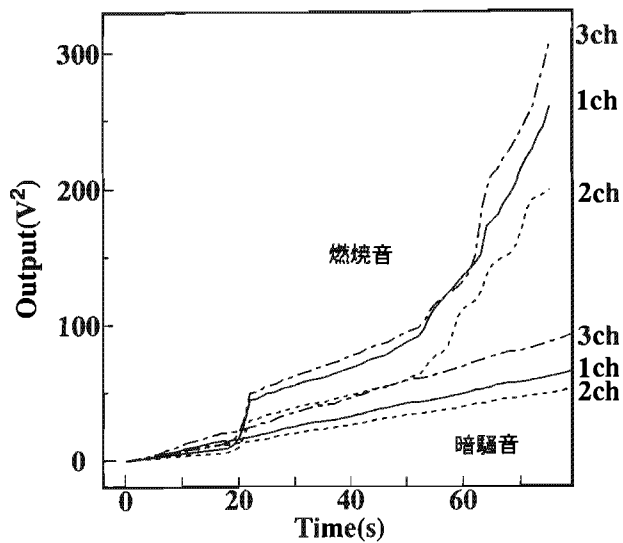
各供試体ごとに積分値の時間変化について検討すると、次のようである。

	検 討 結 果
ふ と ん	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
衣 類	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
紙	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
カーテン	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
ふすま1	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
ふすま2	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
天ぶら油	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大
クリブ1	1~3 chの比較□燃焼音の増加率が大

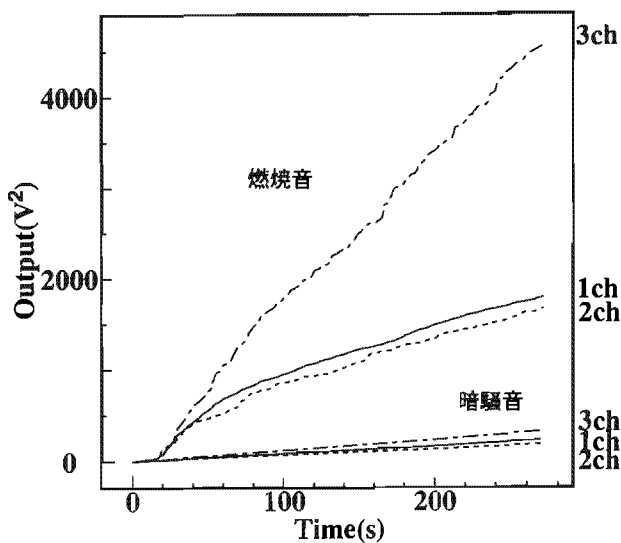
以上のとおり、各供試体の場合ごとに暗騒音及び燃焼音の累積値の変化を比較すると、いずれの場合も、燃焼音に係るレベルが暗騒音よりも大 (変化率が大い) である。このことは、燃焼音では、時間が経過す



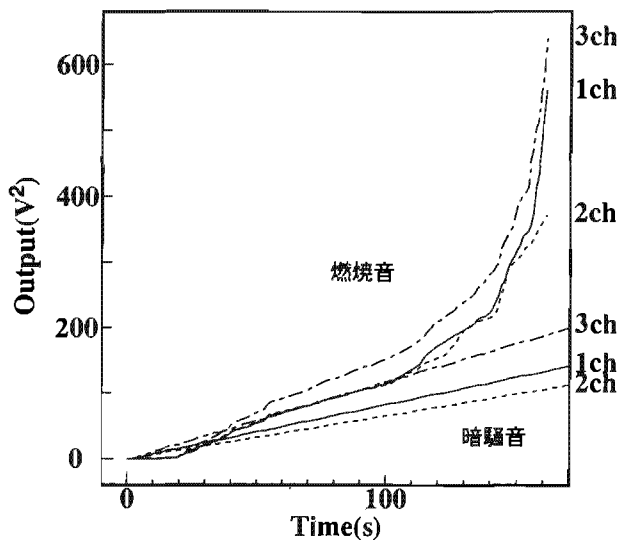
(a) ふとん



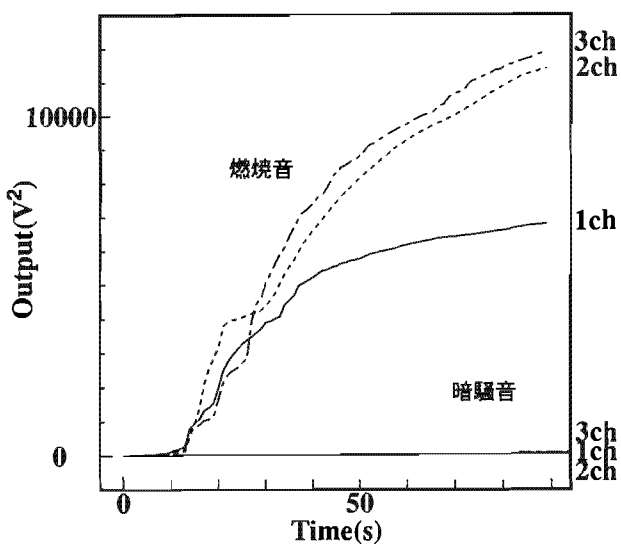
(d) カーテン



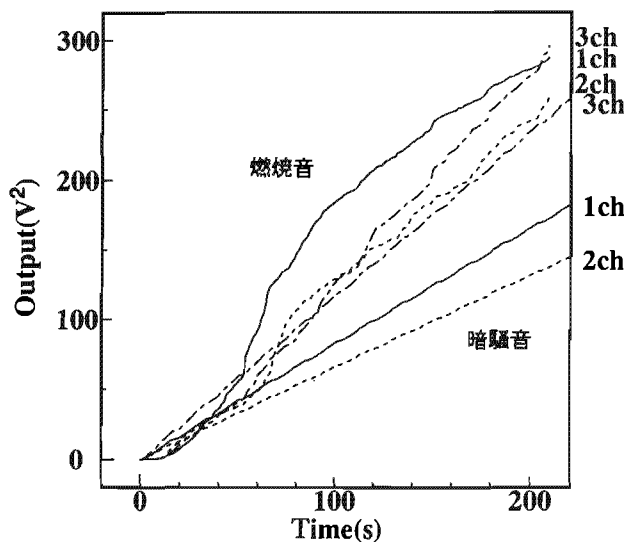
(b) 衣類



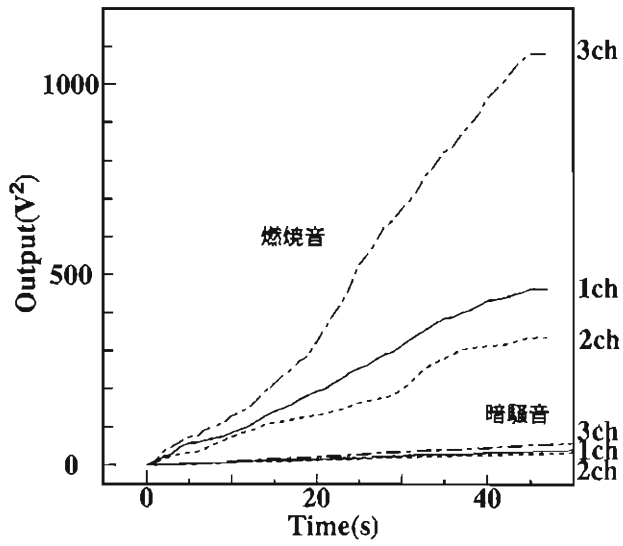
(e) ふすま 1



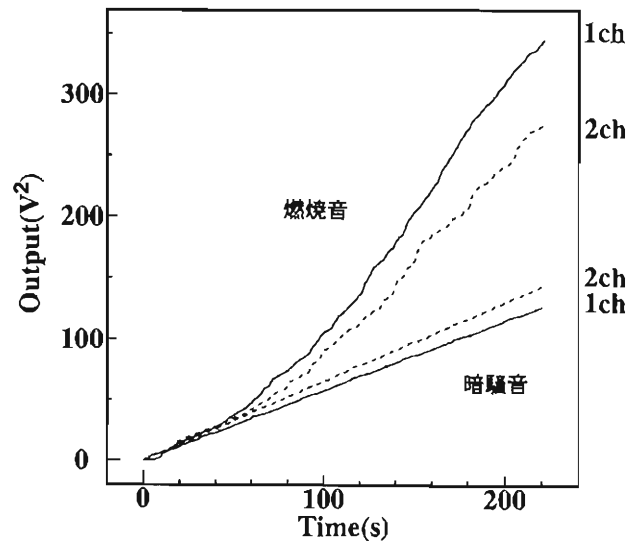
(c) 紙



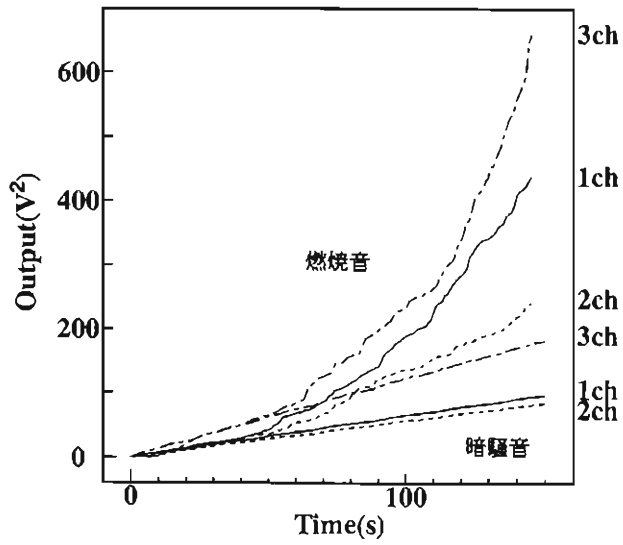
(f) ふすま 2



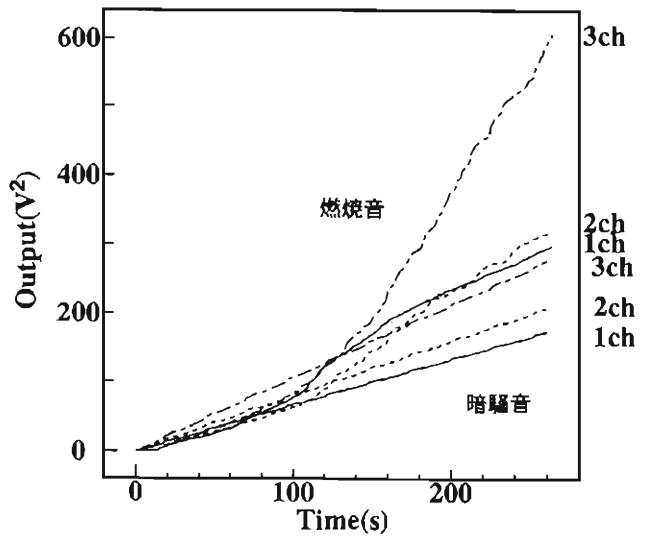
(g) 天ぶら油



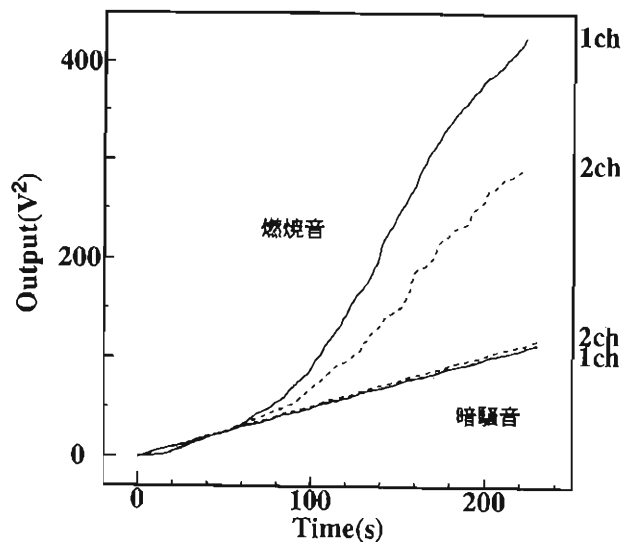
(i) クリブ 3



(h) クリブ 1



(k) クリブ 4



(i) クリブ 2

図19 時間波形の2乗和の累積値による暗騒音と燃焼音の分離

ることにより、そのレベル値において暗騒音と一定の差が現れたということである。

これによって、暗騒音と燃焼音はある程度識別できたといえる。

② 音源からの距離の相違による波形の比較

各チャンネルごとに積分値の時間変化について検討すると、次のようである。

検 討 結 果	
1 c h	ふとん〜クリブ1の比較□燃焼音の増加率が大
2 c h	ふとん〜クリブ1の比較□燃焼音の増加率が大
3 c h	ふとん〜クリブ1の比較□燃焼音の増加率が大

以上のとおり、各チャンネル（火源からのマイクの距離）ごとに暗騒音及び燃焼音の累積値の変化を比較すると、①と同様に、いずれの場合も、燃焼音に係るレベルの方が大となっている。これにおいても、暗騒音と燃焼音はある程度識別することができた。

③ 開口部の設定条件の相違による波形の比較

各開口条件ごとに積分値の時間変化について検討すると、次のようである。

検 討 結 果	
クリブ1	1〜3 c hの比較□燃焼音の増加率が大
クリブ2	1〜3 c hの比較□燃焼音の増加率が大
クリブ3	1〜3 c hの比較□燃焼音の増加率が大
クリブ4	1〜3 c hの比較□燃焼音の増加率が大

以上のとおり、開口部の設定条件を変えてクリブを燃焼させたときの暗騒音及び燃焼音の比較においても、前①及び②と同様に、燃焼音に係るレベルが大となっている。ここでも、暗騒音と燃焼音は分離できた。

以上が、実験Ⅰに係る各設定条件における積分値の時間変化の比較検討結果である。

なお、実験Ⅱ及び実験Ⅲの2に係る、⑥を除く以下に掲げる各項目においても同様に検討を行った。

- ④ 部屋の大きさ等の相違による波形の比較
- ⑤ 火災荷重の相違による波形の比較
- ⑦ マイクの位置の相違による特性の比較

以上の④、⑤及び⑦においても、前①〜③と同様に、基本的には燃焼音に係るレベルが大となる結果が得ら

れた。

しかし、一部に燃焼音と暗騒音の分離がはっきりできないものも散見された。この理由について考察すると、それらの概要としては、例外もあるが、一般的に、暗騒音と燃焼音との分離が困難であるという結果がでているのは、場所として比較的面積の大きい部屋が多く、また逆に、結果がうまく出ているのは、主として小さい部屋であることがわかった。これは、理想気体の状態方程式 $PV=nRT$ の関係から、容積 V が大きい場合には当然温度 T も大きくなければならず、今回の実験では、ガストーチの炎を使用したため、部屋が大きい場合には、室内の温度を上昇させるためのエネルギーが十分でなかったということが考えられる。いずれにしても、本実験は各部屋1回ずつのみの測定であり、再現性は確認できないことから、この結果だけをみて適正に判断することは困難である。

9 まとめ

前8、(1)において、まず各項目ごとにそれぞれ個別に周波数分析の結果からその特徴を検討したところ、一応それなりの内容が得られた。しかし、いずれにおいても、それらは、本実験の最終目的である火災を感知し、認識する装置の作成のための資料として欠かせない、燃焼時に発生する音と、それ以外の音との分離に必要な特徴には直接結びつかず、火災を誤認することなく感知するための決定的な方法は見出せない状況であった。

そこで、前8、(2)に述べたように、新たに別の観点から集録データを処理することによって、暗騒音と燃焼音をより確実に分離できる方策として、音のパワースペクトルの積分値の時間変化というものを導入した。

これによると、前8、(1)に掲げるそれぞれの独立した要素における比較においても、概ね共通して火災の拡大に伴って、パワースペクトルの積分値の時間変化率が暗騒音のそれよりも顕著に増大することが認められた。言い換えれば、燃焼音のエネルギーのレベルは暗騒音に比較して明らかに高いということである。即ち、この方法によって、暗騒音と燃焼音の分離についての一応のめどが立ったといえる。

10 今後の課題

音の波形分析といえば、一般的にフーリエ変換により周波数スペクトルを求める方法があるが、これ以外にも、音声の合成による分析、線形予測分析、またはケプストラム分析と呼ばれる方法が知られている。しかし、それらの分析方法は、その目的に応じて適正に選択しなければ

ばならず、今回の暗騒音と燃焼音との分離という点に関しては、今のところこのパワースペクトルの積分値を用いることが最も有効であると判断されるため、以後この方法を主体に検討を進めていくこととし、その前提において、今後の課題として次の点が考えられる。

(1) 積分値の時間変化について

- ア 暗騒音と燃焼音とを分離する場合、その差がはっきり識別できるまでの最低時間の検討が必要である。
- イ 今回は0.05Hzから3 Hzまでの範囲で積分値を求めたが、さらにその範囲を再検討し、状況に適合した最適な周波数範囲の選択が必要である。

(2) 日常生活音の特性把握について

前9で述べたとおり、パワースペクトルの積分値の時間変化をもって、燃焼音の特性を得ることができたわけであるが、しかし、今回はあくまで暗騒音との比較であり、これは建物が無人状態で、かつ、空調等の各種機械設備類が稼働していないときの閑静な環境における燃焼音の分離であった。

実際、火災感知装置として実用化を考えた場合には、当然日常の雑音が存在した自然の環境において正常な動作が要求されることから、今後は、日常生活における種々の雑音に対して測定データを蓄積し、そこにおいて、同じ要領によって燃焼音の分離ができるかどうかを検証する必要がある。

(3) 高周波域（超音波域）における分析について

今回は、概ね10Hz以下の超低周波域における分析を主として行ったことにより、ある程度良好な結果が得られた。今後は、超音波域に対しての分析を実施することによりその特性について模索して、超低周波域の特性との融合がうまく図られれば、より有効であると考えられる。

(4) マルチセンサーフュージョンの導入について

現時点では（音によるセンサーとしての）単体の性能の模索を先決とし、さらに、その性能の限界が認められた場合に対しては、マルチセンサーフュージョンによる対応も今後含めて検討するものとする。

11 試験器の試作

燃焼音をとらえる手法の一つとして見出された前述の考え方を基にして、燃焼時の音のレベルの時間変化をとらえる新たな火災感知装置を実現するための試験用装置として、以下のような簡易な試験器を試作した。

この試験器は、その信号処理方法として前に述べた燃焼音におけるパワースペクトルの積分値を求めるものではなく、時間領域において、一定時間内のレベルの単純平均値の変化をみるものであり、それによって燃焼現象

が存在するかどうかを判断しようとするものである。

以下に、この試験器の概要並びに性能確認実験の内容及びその結果について述べることにする。

(1) 装置の概要

この試験器は、「低周波アナライザー」と呼ばれ、音のセンサーとしてのマイク、アンプ、A/D変換器及び演算部から構成されており、本来は周波数としてDC～32Hzの、超低周波域（16Hz未満）及び可聴域（16Hz以上）の一部の範囲について、周波数分析（FFT演算）を行う装置である。このFFT演算の結果、その音場における超低周波域等での各周波数成分とそのレベル値が出力され、この値をもとに、一定の周波数範囲、しきい値、データ数、分析周期の回数を様々に指定することによって、警報音を鳴動させるための条件設定を行うことができる。（図20、写真7）

なお、本試験器の仕様については、表3のとおり。

(2) 実験目的

新たに試作した試験器の性能として、燃焼現象を的確にとらえるための目標とする周波数帯、レベルの設定値等を求めることを目的とする。

(3) 実験資器材等

- ア 低周波アナライザー（試験器）(MX-3307) 1台
- イ マイク (MX-3309) 3本
- ウ ビデオカメラ 1台
- エ スチールカメラ 1台
- オ クリップ (15×15×160mm) (24×11) 本
- カ // (15×15×500mm) (8×11) 本

(4) 実験方法

① 共通事項

表3 試験器の仕様

分析範囲	DC～32Hz		
ポイント選択	①64ポイント	②32ポイント	③16ポイント
分解能	0.5Hz	1 Hz	2 Hz
分析周期	2秒	1秒	0.5秒
サンプリング	64Hz (15.6ms)	64Hz (15.6ms)	64Hz (15.6ms)
データ数	128ポイント	64ポイント	32ポイント
応答	遅い←→速い
入力	マイク入力 1CH φ6.34フォーンジャック		
出力	LCD表示、24桁×4行 レベル上位より、順位、周波数、レベル値を1画面に8ポイントまで表示。 9位以降は画面切換え。		
キー操作	4×4キー		

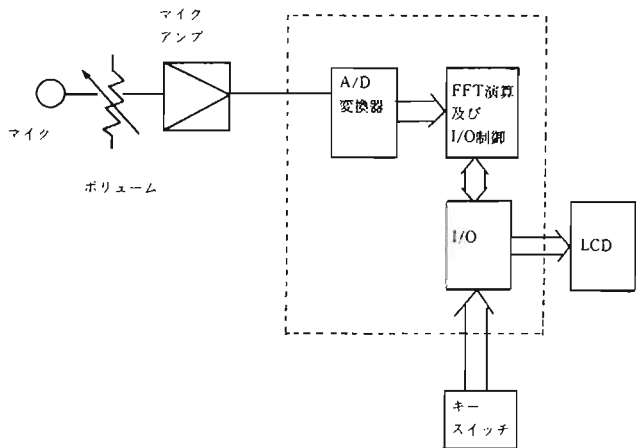


図20 試験器のブロック図

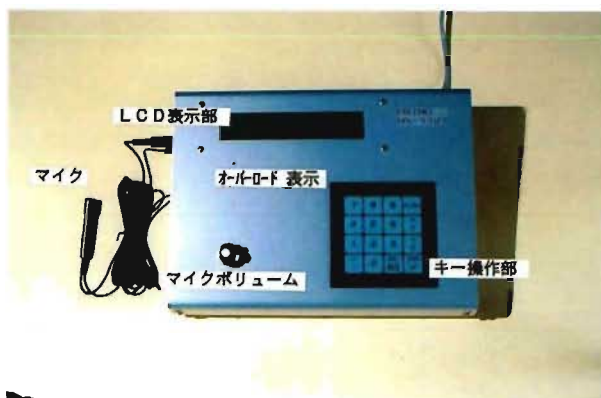


写真7 低周波アナライザー（試験器）

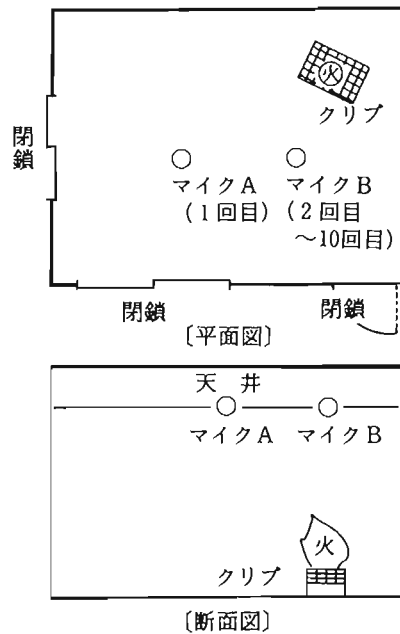


図21 測定機器等の配置図



写真8 試験器の性能確認実験

- ア 模擬ハウスの天井中央部分及び火点直近の2ヵ所に、マイクを設置した。また、開口部は、すべて閉鎖とした。
 - イ 簡易消火模型によるクリブを、部屋の対角線上で、かつ、室の中央からコーナーまでの中間付近の位置に斜め45度の角度に置いた。
 - ウ 低周波アナライザーにて、分解能を0.5Hz(64ポイント)に設定した。
 - エ 炎の最盛期の状態において、極力オーバーロードしない範囲で、予め適正な入力レベルに調整した。
 - オ クリブに点火しない状態で、暗騒音を測定した。測定時間は2分間とした。
 - カ クリブに点火し、測定を開始した。測定は、点火から火炎の最盛期を経て概ね鎮圧に至る状態まで(概ね5分間)とした。(ディスプレイ部分をビデオカメラにより撮影した。)(図21、写真8)
- ② 条件設定方法
- ア 無指定方式(1回目~4回目)
低周波アナライザーにおいて、周波数及びレベル(しきい値)の設定を行わず、かつ、入力データも処理しない状態で次のとおり条件を変えて測定した。

- (ク) マイクの位置は天井中央と、火点直近との2ヵ所とする。
- (キ) マイクの設置状態は、天井から吊りした場合及び天井に直付けした場合の2通りとする。
- (ク) 入力レベル調整は大小2通りとする。
- イ 周波数指定方式(5回目~8回目)
周波数帯を2.0Hz~7.5Hzとし、この範囲におけるレベルの平均値(分析周期が3回分のデータを蓄積する。)が一定の値に達したときに警報音を発する

表4 各設定条件及び警報鳴動時間

回数	周波数 (Hz)	レベル (閾値) (dB)	点数	分析時間 (s)	マイクNo	マイク位置・状態	クリップ段数	入力レベル調整	警報鳴動時間 (s)
1回目	—	—	1	2	No.1	中央吊下げ	4	大	—
2回目	—	—	1	2	No.5	直近吊下げ	4	大	—
3回目	—	—	1	2	No.5	直近固定	4	大	—
4回目	—	—	1	2	No.5	直近固定	4	小	—
5回目	2.0 } 7.5	35	12	6	No.5	直近固定	4	小	頻繁に鳴動
6回目	2.0 } 7.5	40	12	6	No.5	直近固定	4	小	6~15
7回目	2.0 } 7.5	40	12	6	No.5	直近固定	6	小	6~13 114~116
8回目	2.0 } 7.5	37	12	6	No.5	直近固定	6	小	8~22 43~45 53~69~133 146~160~190
9回目	2.5 } 7.5	40	4	6	No.3	直近固定	4	小	6~23 79~105 109~225
10回目	2.5 } 7.5	40	4	6	No.3	直近固定	4	小	4~18 23~26 65~97 100~ 193~200

※天候：くもり、室温：10℃、湿度：50% (燃焼開始前)

ようにした状態で測定した。

ウ 周波数・順位指定方式 (9回目、10回目)

周波数帯を2.5Hz~7.5Hzとし、これらの周波数のレベル値のうちの上位4位までのデータを採り、この範囲におけるレベルの平均値 (分析周期が3回分のデータを蓄積する。)が一定の値に達したときに警報音を発するようにした状態で測定した。(表4)

(5) 実験結果及び考察

① 無指定方式の場合

1回目から4回目までは、周波数及びレベル値の指定を行わずに測定した。また、各測定の直前に暗騒音を記録し、燃焼させた場合と比較できるようにした。その結果は次のとおり。

ア 1回目及び2回目において、マイクの設置位置を、天井中央の場合と火点直近の場合とで比較した。レベルの変化を暗騒音と燃焼音とで比較すると、火点直近の方が、レベル差がより顕著に現れたことから、以後、マイクの設定位置は、火点直近のみとした。

イ 2回目と3回目において、マイクの設置方法を、天井から宙吊りにした場合とマイク本体を天井に直付けした場合とで比較した。宙吊り状態は、当初振動の影響を受けにくいという判断でこれを選択した

が、実際は、直付けの方が影響が少ないことがわかり、以後この設置方法で測定を実施することとした。

これは、天井の上下振動がマイクに与える影響について考えた場合、宙吊りでは、振動方向がマイクの受圧面と同一方向であることから、振動が音と同様にキャッチされてしまうので、測定上問題が生じるが、直付けの場合は、マイク本体を水平方向に固定するため、天井が上下しても、マイクの受圧面には振動が直接加わらないためであると考えられる。

ウ 3回目と4回目とにおいては、入力レベル調整の位置を変えて比較した。1~3回目における暗騒音のレベルが全体的に高く、燃焼音と識別するにはしきい値をかなり高いレベルに設定しなければならなくなると予想されたため、全体のレベルを少々下げた測定することとした。

なお、以後の測定は前(1)~(3)の条件において実施した。

② 周波数指定方式の場合

当初は、前①の方式における測定結果から、燃焼時においてある特定の周波数を見つけ、そこにおいて一定のレベルを設定することを試みたが、実際の1回目から4回目までの測定結果をみると、燃焼時だけの特

微的な周波数は見いだせず、周波数を特定することは困難であると判断した。そこで以後は、周波数を特定するのではなく一定の範囲で指定して、かつ、それらのレベルをある時間内で平均化し、その値が一定レベル以上に達した場合を燃焼現象と判断するように考え方を改めた。その結果は、次のとおりである。

ア 5回目～8回目においては、周波数0.5Hz刻みで2.0～7.5Hzの12点で、かつ、3回分の分析結果の計36点のレベルの平均値を求める処理をした。5回目は、まずレベルのしきい値を35dBに設定して警報音を発するようにした。その結果、警報音は、燃焼時全般にわたって断続的に鳴動し続け、暗騒音と燃焼音との分離という点であまり明確な結果が得られなかった。

イ 6回目は、しきい値を40dBに上げ、他の条件は同一にして実施した。この場合は、鳴動したのが、最初の立ち上がりのみ（助燃材による一時的な拡大現象によるもの）で、その後は鳴動しなかった。

ここまでの結果をみると、35dBでは低すぎ、40dBでは高すぎるということであるが、双方のレベル差が5dBしかなく、これ以上細かく設定値を区分しても、ばらつきの程度によってはあまり結果は変わらないと考え、次の条件設定は、燃焼材の量を変えて、発熱量を高める方法で行うこととした。

ウ 7・8回目は、燃焼材であるクリブを従来の1.5倍にして測定した。6回目と7回目は同じしきい値であり、発熱量を増やすことによって鳴動の頻度は若干上がったが、ほとんど変わらなかった。8回目は、しきい値を37dBに下げて行った。その結果、最初の立ち上がり時を除いて、43秒後及び53秒後以降から3分10秒後までに渡って断続的に鳴動した。

③ 周波数・順位指定方式の場合

8回目の実験において、ある程度の良い結果が得られたが、燃焼材の量が多いこと、及び7回目と8回目とでしきい値の差が少ないにも関わらず結果が違い過ぎること等、未だ不安定要素が多い点を考慮して、9回目と10回目においては、別の方法を試みることにした。

周波数の指定範囲はほぼ同じものとし、レベル値にあつては、それらの周波数範囲のもの全てに対して処理するのではなく、そのうちの上位4点のみに着目し、その平均値を以て判断するという考え方に改めた。具

体的には、周波数2.5～7.5Hz、レベルのしきい値を40dB、分析周期3回分で6秒間監視させ、クリブは従来の4段積みで測定を2回実施した。

それらの結果は、2回の測定において、いずれも概ね1分前後で鳴動が開始され、3分30秒位までの間ほぼ継続して鳴り続けた。(図22)

(6) 結論

以上、前(5)、①～③の結果を見て、データの処理方法及び条件設定方法について、どれが最も妥当性があるかを考えた場合、③の方式による場合が最も良い結果が出ている。これは、前9でも述べられているとおり、特定の周波数及びレベルを追いかけるのではなく、ある周波数範囲を指定して、その全体のパワー（レベル）の積分値の時間変化をもとに燃焼現象の有無を識別する方法が妥当であるとした考え方にも沿った内容となっている。



図22 各設定条件における警報鳴動時間

従って、この試験器の基本特性として、このような形に仕様を定めることとした。

本報告にあたり、実験及び測定分析に際しご指導頂いた法政大学工学部の渡辺嘉二郎教授に対し、厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- (1) 疋田 強、秋田一雄：「燃焼概論」 コロナ社
- (2) 水谷幸夫：「燃焼工学」 森北出版
- (3) 疋田 強：「火の科学」 培風館
- (4) 崎川範行：「やさしい火の科学」全国加除法令出版
- (5) 小橋 豊：「音と音波」 裳華房
- (6) 牧田康雄：「現代音響学」 オーム社
- (7) 城戸健一：「音声の合成と認識」 オーム社