

燃焼音の周波数分析について (第3報)

燃焼音検出方式火災感知器の開発

Analyzing the Frequencies of Burning Sound (Series 3)

脇 賢*
中西正浩*
佐々木 一治*

概 要

音で火災を検出する火災感知装置の実用化にあたっては、日常生活に存在する雑音と火災の音を明確に区別できなければならない。火災の音と紛らわしい低周波の音として、換気扇や扇風機による風、ストーブ等の暖房器具の熱対流等があり、それらの測定実験を行い特性を調べた。その結果、ストーブ等の場合はある程度火災を区別できたが、換気扇等によって室内空気に強い対流に伴う動圧が存在している場合には、火災の検出が困難であることがわかった。また、この動圧を除去するための特殊な構造を有したマイクを使用した場合には、火災の音の最大の特徴である熱対流まで除去されてしまうことから、火災の検出において新たな問題を生じる結果となった。

For the purpose of the practical application of a new fire sensor which could exclusively detect the sounds that were generated by burning, the sensor has to have enough powers to distinguish the burning sounds from the background noises. The wind caused by fans and the heat convection caused by heaters have low frequency sounds which are common to the burning sounds.

The new fire sensor could detect a fire in the environment of the heat convection, but had difficulty to detect it in the windy environment. In order to get rid of the influence of the wind, the existing microphone have to be replaced with the new one, but which could also get rid of the heat convection.

A challenge has to be made to overcome the dilemma.

1 はじめに

音によって火災を検出するために、燃焼音と暗騒音それぞれの音のエネルギーとしてパワースペクトルの積分値の時間変化を求めてみると、燃焼音のエネルギーのレベルが暗騒音に比較して高くなることにより、これら両者が分離できることが確認された。しかし、これはその条件として、あくまで日常生活に存在する超低周波の雑音(以下「生活音」という。)のない環境での燃焼音と暗騒音との分離であった。

火災感知装置として実用化を考えた場合、これらの生活音が存在した状態でも的確に火災が検出されなければならず、まずその特性を把握することが必要である。

そこで、日常生活で使用される代表的な機器等から発せられる生活音の測定実験を行った。

2 実験目的

燃焼音と紛らわしい生活音の特性を把握し、また生活音の存在が火災の検出に与える影響について調査することにより火災を的確に検出する方策を見出すことを目的とする。

3 実験項目

(1) 低周波変動によって燃焼音と誤認される可能性があると考えられる生活音のうち次のア～カのものについて測定し、また、これら生活音を背景とした場合の燃焼音と暗騒音との分離の可否について比較検討した。

- ア 扉の開閉
- イ 換気扇の作動
- ウ 大型ファンの回転
- エ 扇風機の作動
- オ 石油ストーブの燃焼
- カ ファンヒーターの燃焼

*第三研究室

- (2) 火災を検出する際の障害となる、生活音による動圧の影響を除去する措置を施した防風型のマイクの防風性能を測定しその効果を確認した。
- (3) 従来の熱感知器の性能確認を行うことにより、音で火災を感知する場合の時間についての検討資料を得るため、その作動時間を測定した。

4 実験資器材等

(1) 測定機器

ア	マイク (プリモ: EM-121)	
ア	従来型	1個
イ	防風型A	1個
ウ	防風型B	1個
イ	アンプ	1台
ウ	データレコーダー (TEAC: XR-5000)	1台
エ	データアナライザー (共和電業: DAA-110A)	1台
オ	ストップウォッチ	1個
カ	ビデオカメラ	1台
キ	スチールカメラ	1台
ク	差動式スポット型感知器 (2種)	1個

(2) 実験機材

ア	実験用模擬ハウス (3.6m×3.6m×2.1m)	1基
イ	換気扇 (サンキ: PF-281、50m ³ /min)	1台
ウ	大型ファン (鎌倉製作所: GQ-90B、300m ³ /min)	1台
エ	扇風機 (サンヨー: EF-30UDT、53m ³ /min)	1台
オ	石油ストーブ (東芝: KSR22G: 2,200kcal/h)	1台
カ	ファンヒーター (東芝: KSG250C: 2,400kcal/h)	1台
キ	クリブ (450mm×15mm×15mm)	120本
ク	〃 (225mm×15mm×15mm)	240本
ケ	クリブ用架台 (500mm×600mm×250mm)	1基
コ	燃焼皿	1個
サ	メスシリンダー	1本
シ	点火棒	1本
ス	n-ヘプタン	50ml

5 実験方法

(1) マイクの設定

実験用模擬ハウス (以下「模擬ハウス」という。) の天井中央付近に、次の3種類のマイクを取付けた。

なお、使用するマイクは、「従来型」「防風型A」及び「防風型B」の3種類で、各々次のような特性を持っている。(図1、写真1)

ア 従来型: 室内空気の対流による動圧及び熱膨張等に伴う静圧の全圧力変動をとらえられる性能を有したものの。

イ 防風型A (1次元防風構造): 前アの動圧分のうち、マイクの受圧面と垂直方向のもののみが除去できる性能を有したものの。(図2(a))

ウ 防風型B (2次元防風構造): 天井面に平行なあらゆる方向の動圧が除去できる性能を有したものの。(図2(b))

(2) 暗騒音及び燃焼音の測定

生活音の存在しないときの状態 (以下「安静時」という。)並びに(3)による生活音の存在したときの状態の各々において、次により暗騒音及び燃焼音を測定した。

ア クリブに点火する前の模擬ハウス内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。

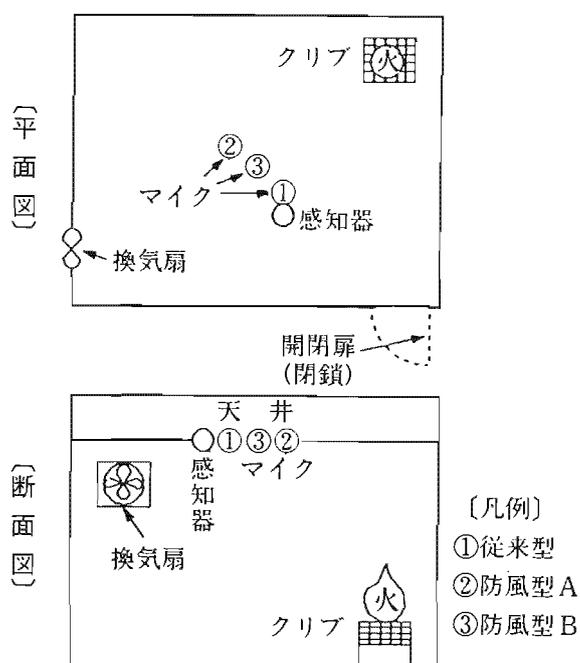
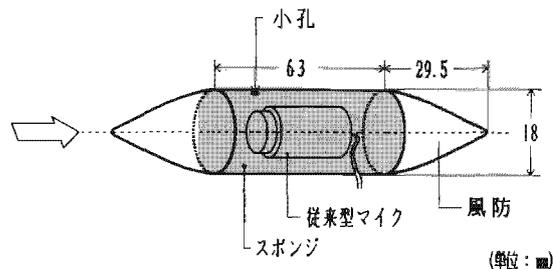
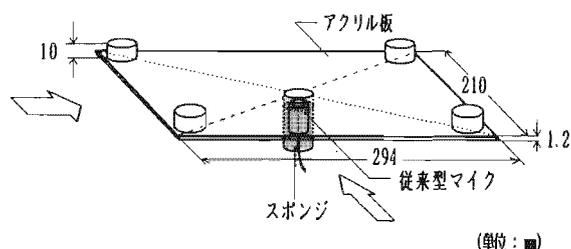


図1 各機器等の配置 (換気扇の例)



(a) 防風型A



(b) 防風型B

図2 防風型マイクの構造



写真1 天井への各種マイクの設置状況



写真2 換気扇

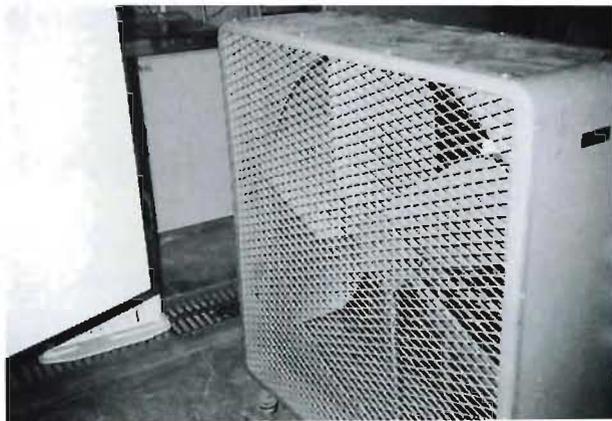


写真3 大型ファン

イ 模擬ハウス床面中央とコーナーを結ぶ線の間付近の位置に斜め45度の角度に設けられたクリブ用架台上に、クリブを10本、5本、10本、5本、10本、5本、10本、5本と井桁状に8段積みとし、クリブ下方の燃焼皿にn-ヘプタン約5mlを入れ点火し、燃焼音を測定した。

なお、測定時間は、点火から燃焼状態が概ね最盛期に達する時点まで(約3分間)とした。

(3) 生活音の操作方法

ア 扉の開閉

- (ア) 開閉扉を閉状態から開放し、開放状態を1秒間維持した後、再び閉鎖する。
- (イ) 開閉扉の開操作の後、すぐに閉操作を繰り返し3回行う。

イ 換気扇の作動

換気扇の起動スイッチを入れ作動させる。(写真2)

ウ 大型ファンの回転

開閉扉を開放し、模擬ハウスの外部から、大型ファンを用いて室内に向けて送風する。(写真3)

エ 扇風機の作動

扇風機を作動させ、首振りの状態及び首を静止した状態とする。

オ 石油ストーブの燃焼

石油ストーブ(以下「ストーブ」という。)を室内にて点火し、定常燃焼状態とする。

カ ファンヒーターの燃焼

ファンヒーターを室内にて点火し、定常燃焼状態とする。

※ イ、エ、オ及びカにおいては、開閉扉はすべて閉状態とする。

(4) 熱感知器の作動時間の測定

前(2)、イについて、点火時から感知器作動までの時間を測定した。

なお、感知器は、差動式スポット型(2種)を使用し、模擬ハウス天井のマイクに近接した位置に設置した。(図1)

(5) 記録

前(2)における暗騒音、燃焼音のそれぞれをマイクにより集録し、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。

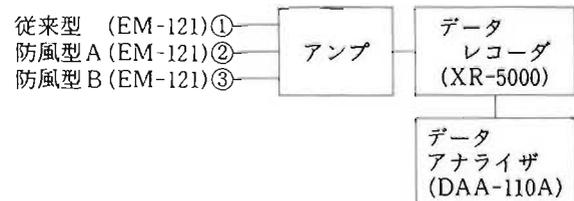


図3 各機器の結線図

ア データレコーダーの集録条件

(ア) 入力レンジ

- 1 ch : 5 V (従来型の入力)
- 2 ch : 5 V (防風型Aの入力)
- 3 ch : 5 V (防風型B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

- イ データアナライザの集録条件
- ㉞ サンプルング周期 10ms
- ㉟ データ量 (暗騒音) 8192ポイント
(燃焼音) 各々測定に要した時間に応じたポイント数
- ㊱ 入力レンジ 5V

6 実験結果及び考察

安静時並びに各生活音(「扉の開閉」を除く。)における燃焼音及び暗騒音の音のエネルギーの変化を表す時間波形の二乗和の累積値(以下「累積値」という。)の比較と、マイクの防風対策の効果に係る検討、さらに熱感知器の感知性能との比較について、以下のように考察する。

(1) 安静時並びに各生活音における暗騒音及び燃焼音の比較

- ア 安静時
- ㉞ 暗騒音

安静時の暗騒音の時間波形を巨視的に眺めた全体の形(以下「エンベロープ」という。)は、時間が経過しても一定のレベルで変動せず、平坦な形をとっている。また、累積値は直線状であり、時間による変化がないことを表している。(図4(a)、図6)

㉟ 燃焼音

燃焼音における時間波形のエンベロープをみると、概ね30秒以降に5秒程度の周期で大きなうねりを生じ始めているのがわかる。つまり、周波数として0.2 Hzの成分が時間とともに増大していることを表しており、これが、燃焼時の熱により発生した室内空気の圧力変動で、燃焼音の基本的な特徴である。

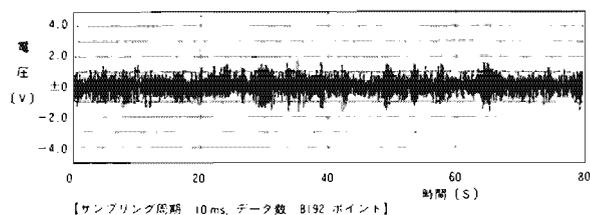
累積値を比較すると、はっきりと時間の経過とともに暗騒音とに差が現れているのが確認できる。(図4(b)、図6)

- イ 扉の開閉
- ㉞ 開閉動作

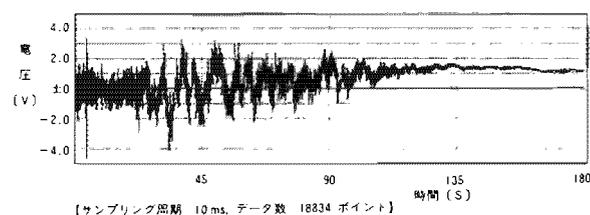
時間波形では、1秒周期での変動を示す。また、累積値については、扉の開閉の場合、通常一過性の動作であり継続性がないので、値は時間の経過とともに上昇せず、燃焼音とは分離できると考えられる。

㉟ 反復開閉

通常、このような方法で扉を開閉することは少ないと考えられるが、仮に前㉞と異なり開閉動作を継続的に行った場合に火災と紛らわしい状況が発生するかどうかを確認するために実施した。

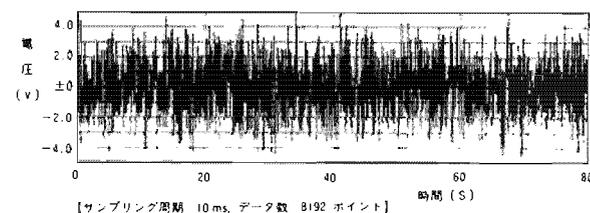


(a) 暗騒音

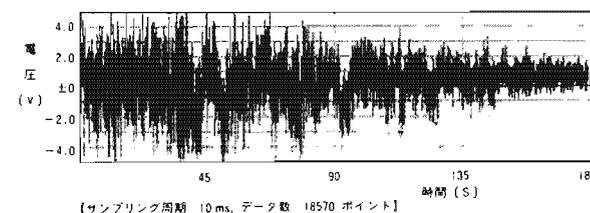


(b) 燃焼音

図4 安静時の時間波形



(a) 暗騒音



(b) 燃焼音

図5 大型ファンの時間波形

開閉操作を繰り返すこの方法では、扉の開閉ごとに累積値が飛躍的に増加し階段状に上昇している。しかもその値が非常に大きいため、燃焼音と同等の現象としてとらえられる可能性がある。

ウ 換気扇の作動

時間波形は、安静時に比べてそのレベルは全体的に高いが、時間とともに変動しない定常的なものである。これは、ファンの回転が定常的なものであるためである。しかし、前イと同様に暗騒音との差が非常に大きいため、火災と同様な現象としてとらえられる恐れがあり、燃焼音との区分については問題が残る。

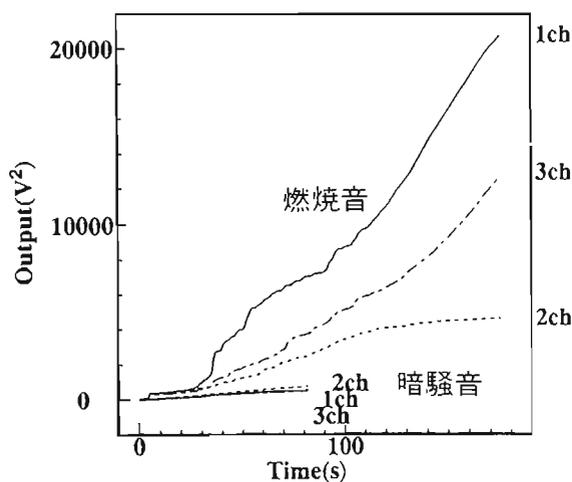


図6 安静時の累積値

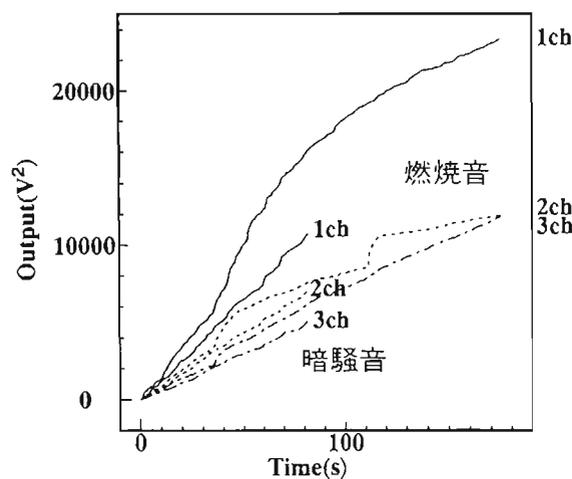


図7 大型ファンの累積値

また、燃烧音の累積値は、点火5秒後に人の操作による変動が蓄積された後は、その勾配に暗騒音との有意差は認められず、分離が困難な状況である。

なお、防風型Aのマイクにおけるデータをみると、全体的にレベルが小さくなっており、防風効果があることを示している。

エ 大型ファンの回転

暗騒音において、前ウの換気扇とで時間波形の形状を比較すると、安静時より高いレベルで定常状態を保っている点等で類似している。ここで、換気扇は室内空気を外部に誘引しているため室内が負圧に、逆に大型ファンは外部の空気を室内に押し込むことにより正圧になっているという現象的な違いがある。しかし、両者の累積値は同様な傾向を示す。

一方、燃烧音のエンベロープは、安静時と同様の5～10秒程度の大きなうねりの上に、暗騒音の波形が乗った形となっている。

しかし、累積値にあつては、燃烧音と暗騒音に大きな差はなく、むしろ逆転している部分も存在し、両者を分離することは困難である。(図5(a)、(b)、図7)

オ 扇風機の作動

(ア) 首振り時

風向がマイクに正対又は近づいたときレベルが上昇するため、累積値は階段状となるが、基本的には静止時との有意差はないと考えられる。

(イ) 首静止時

燃烧音における累積値をみると、従来型の上昇が顕著であり、一方、防風型Aの場合は暗騒音とに大きな差が認められない。すなわち、従来型では暗騒音との分離が可能であるが、防風型Aは難しいという結果になっている。

このことから、防風型Aは、生活音による動圧を除去する効果があるが、反面、燃烧時特有の圧力変動も同時に抑制してしまい、結果的に区別がつきにくくなったものと推定される。(写真4)



写真4 扇風機と燃烧音の測定状況

カ ストープの燃焼

暗騒音では、累積値は安静時とほぼ同レベルで推移する。燃烧音においては、従来型及び防風型Aともに点火時からある程度分離されており、防風型Bにあつても80秒前後までは暗騒音とほぼ同じ状態で推移しているが、以後途中から急激に上昇し、最終値、勾配とも防風型Aを上回るような結果となった。

すなわち、この場合、両者ははっきりと分離できたといえる。

キ ファンヒーターの燃焼

暗騒音、燃焼音ともに、前カとほとんど同様の傾向で、従来型及び防風型Aは点火時から上昇しており、防風型Bは80秒前後から暗騒音と分かれて急激に上昇を始め、130秒以降には累積値、勾配とも防風型Aを上回るようになり、ストーブと同様に分離できている。

(2) 暗騒音と燃焼音との分離に係る検討

今回行った実験データの分析結果をもとに、暗騒音及び燃焼音の分離について総合的に検討するために、各生活音における暗騒音及び燃焼音について、マイクの種別ごとの対応状況からその分離の可否についてまとめてみると、次のようになる。(表1)

ア 暗騒音と燃焼音との分離のしやすさは、換気扇が一番悪く、安静時側に向かうほど良くなっていく。

イ 動圧を受ける強さは、従来型が一番大きく、防風型Aが一番小さい。

ウ 暗騒音と燃焼音を分離しやすいのは従来型で、比較的分離しにくいのが防風型Aである。

エ 防風型A及びBにおいては、0.2Hzの成分が各生活音とも抑えられているが3Hzの成分は従来型と同等にとらえられている。

オ 換気扇及び大型ファンでは、曲線の勾配、値のいずれも暗騒音と明確な差が現れているとはいえ、さらに一部に逆転した結果が出ており、分離が困難

な状況である。

カ 石油ストーブ以下においては、従来型でははっきりと分離できている。また、防風型の場合も、3Hzの成分の拡大により、ある程度分離できている。ほぼ期待された結果が得られているといえる。

(3) マイクの防風性能に係る検討

ア 防風型Aのマイクでは、燃焼音において出現する0.2Hzの成分が従来型と比べてかなり抑えられている。この成分はほぼすべての燃焼音に共通して存在するもので、燃焼に伴う室内の熱対流による「動圧」と推測される。

従って、動圧を除去するための防風措置を施すことによって、逆にこの燃焼音の最大の特徴が殺されてしまうことにもなり、燃焼音と暗騒音とを分離する上で新たな問題であるとも考えられ、別の方策の検討も同時に必要である。

イ 防風型B(2次元の防風対策を施したもの)による累積値をみると、全体的に従来型の勾配との差に大きな違いはなく、一方、防風型Aの勾配は両者に比較して顕著に小さいことがわかる。このことは、防風型Bによる防風効果がありえないことを示している。

この理由としては、熱による対流や、ファン等の風による室内空気の流れが、このマイクの防風板と天井との間隙(10mm)に与える影響によって結果的に動圧に対応しきれなかったものと考えられる。しかし、これら対流の方向や間隙内の流れの速さ等と

表1 暗騒音と燃焼音の分離状況

マイク	生活音	従来型					防風型B					防風型A				
		0.2Hz	3Hz	最終値	勾配	分離	0.2Hz	3Hz	最終値	勾配	分離	0.2Hz	3Hz	最終値	勾配	分離
換気扇	暗	/	/	28000	160	×	/	/	36000	210	×	/	/	17000	100	×
	燃	○	×	34000	120	×	×	×	30000	160	×	×	×	15000	40	×
大型ファン	暗	/	/	23000	130	△	/	/	10000	55	×	/	/	15000	85	×
	燃	◎	△	23000	135	×	×	12000	65	×	△	×	12000	70	×	
扇風機	暗	/	/	2200	11	◎	/	/	1300	4	△	/	/	3500	19	×
	燃	◎	×	10000	75	◎	×	△	5000	39	△	◎	△	4000	26	×
石油ストーブ	暗	/	/	800	4	◎	/	/	300	1	◎	/	/	800	4	◎
	燃	◎	◎	8000	70	◎	×	◎	6000	60	◎	△	◎	2300	14	◎
ファンヒーター	暗	/	/	1300	6	◎	/	/	300	2	◎	/	/	800	5	◎
	燃	◎	◎	7500	49	◎	×	◎	4500	39	◎	△	◎	2500	13	◎
安静時	暗	/	/	1000	3	◎	/	/	1000	3	◎	/	/	1800	11	◎
	燃	◎	○	21000	128	◎	◎	◎	13000	80	◎	△	◎	6000	35	◎

※「0.2Hz」：燃焼音の周波数スペクトルにおけるこの成分の存在の有無を示す
 「3Hz」：燃焼音の周波数スペクトルにおけるこの成分の存在の有無を示す
 「最終値」：累積値のグラフにおける測定終了時点での累積値を示す
 「勾配」：累積値のグラフにおける各値の単位時間あたりの上昇率を示す
 「分離」：暗騒音と燃焼音との分離の可否を示す
 (◎：顕著に認められる、○：やや認められる、△：あまり認められない、×：ほとんど認められない)

の相関が現時点では解明できないことから、今後検討を重ねる必要がある。

(4) 熱感知器の作動時間との比較

本測定項目は、将来的に音で火災をとらえる火災センサーを実用化するにあたって、従来の熱感知器等との性能比較を行うための基礎資料として、今回参考として燃焼時における作動時間を測定したものである。

表2 燃焼音の測定時間及び感知器作動時間

No.	種 別	測定時間	感知器作動時間
①	安 静 時	3'00"	1'12"
②	換 気 扇	3'00"	1'22"
③	大 型 フ ァ ン	3'00"	1'35"
④	扇 風 機	2'50"	1'31"
⑤	ス ト ー プ	2'50"	1'19"
⑥	ファンヒーター	3'00"	1'22"

この結果をみると、今回測定に使用した熱感知器(差動式スポット型2種)の場合は、全体として概ね1分10秒から1分30秒前後で作動していることがわかる。一方、燃焼音については、累積値の分離という点では早いものは点火直後から差が開始しており、また、時間波形をみても40秒から1分位の間にエンベロープの形で暗騒音と異なるものが現れている。このように、音の情報から火災の発生を知り得るタイミングは、従来の熱感知器と比較して決して遅いものではないという結果が得られた。

この場合、具体的に何秒後を感知時間とするかの定量的な判断については、今後の検討に委ねるとしても、大枠で音の火災センサーの実用化の可能性を示唆するものといえる。(表2)

7 ま と め

(1) 燃焼音と生活音の区分ということについて、次の二つの点で検討した。一つは、生活音そのものが燃焼音と類似しているかどうかということ。他は、生活音を背景として暗騒音と燃焼音を分離できるかどうかということである。

ア 前段については、各生活音と安静時の燃焼音のレベル及び勾配について比較すると、両者はいずれも同等の値をとっており、また、防風型Aのマイクに至っては、一部逆転した結果となっている。これは、これらの生活音と安静時の燃焼音を区別するのが困難であることを示している。

イ 後段の各生活音における暗騒音と燃焼音との分離について検討した結果、次の2つのパターンに分類された。

(ア) 「換気扇」「大型ファン」「扇風機」にあつては、これらの機器が発生させる空気の強い対流又は風圧が燃焼音のエネルギーを相殺又は抑制しており、暗騒音と燃焼音との分離が困難な状況である。

(イ) 「安静時」「ストーブ」「ファンヒーター」では、これら熱器具から発生する放射又は対流熱が、燃焼音による強制対流を助長しており、両者の分離においてほぼ支障ない結果を得た。

(2) マイクの防風構造については、防風型Aの場合は動圧を抑制する性能が確認できたが、燃焼音の特徴までも抑えてしまう弊害が生じた。

(3) 熱感知器との性能比較については、音による火災感知はその迅速性において、従来のものと劣らない性能が期待できる。

8 今後の課題

(1) 防風措置の検討及び動圧の活用

今回の実験結果において、防風型Aのマイクによりある程度動圧を抑制することができ、効果が確認できた。しかし、火災により生じる動圧成分は非常に大きく、また、従来の熱感知器も、その熱対流による熱の伝搬を利用していることを考えると、今後は、この動圧をとらえる方法をさらに検討していくことが重要である。

(2) 高周波域等での解析

従来の低周波域における音のエネルギーの時間変化と併せて高周波域の解析、さらにマイクで検出可能な温度変化の状況等、火災時における様々な他の情報をとらえることによって、より精度の高い火災感知の手法について検討する。

9 試作器の製作

前年度に製作した試験器に引続き、音のエネルギーを累積して燃焼音と暗騒音を分離する考え方に沿って、アナログで処理して火災を検出する「燃焼音検出方式火災感知器」(以下「試作器」という。)を製作した。

以下、試作器の概要並びに性能確認実験及びその結果概要について述べる。

(1) 試作器の概要

ア 構成

本装置は、コンデンサーマイクロホンよりなる感知部と、自動レベル制御回路、ローパスフィルター、

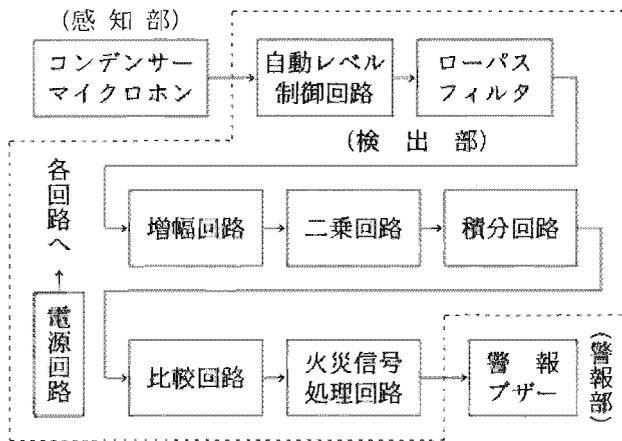


図8 ブロックダイアグラム

増幅回路、二乗回路、積分回路、比較回路及び火災信号処理回路よりなる検出部並びに警報ブザーよりなる警報部により構成される。(図8、写真5)

イ 動作原理及び信号処理の流れ

コンデンサーマイクロホンより収録された音が、自動レベル制御回路により過大信号が適正化されたのち、フィルターを通過し、増幅回路により増幅され、二乗回路で全波整流され、さらにそれを一定時間積分した累積値が算出され、その値が比較回路において基準値を超えた場合に、火災信号処理回路により火災信号が出力され、警報ブザーが鳴動する。

表3 試作器の仕様

項目	内容
入力電圧範囲	DC24V±10%
定電圧回路出力	100mV以下(発報時)
最大消費電流	80mA以下(発報時)
平均監視電流	55mA以下(発報時)
感知部コンデンサーマイク	EM-121(プリモ製)
自動レベル制御出力	可変設定可
ローパスフィルタ回路特性	低域 $f_{c1} \leq 0.05\text{Hz}$ 高域 $f_{c21} = 3\text{Hz}$ $f_{c22} = 10\text{Hz}$
二乗回路特性	専用IC: AD633JN
積分回路時定数	$\tau = 0.5 \sim 20\text{s} \pm 10\%$
比較回路基準電圧	$V_{\text{ref}} = 0.2 \sim 5\text{V} \pm 10\%$
火災信号処理回路	$T_w = 1 \sim 66\text{s} \pm 10\%$
警報部圧電ブザー	出力音圧70dB以上(1m) 自動復旧/タイマ鳴動 ($T_{\text{RZ}} = 1 \sim 33\text{s} \pm 10\%$)
モニター出力端子	2信号選択出力
移報出力機能	オープンコレクタ方式
外箱材質	ACS樹脂
使用温度範囲	-10~+40°C
形状・寸法	$\phi 146\text{mm} \times 79\text{mm}$
重量	323g

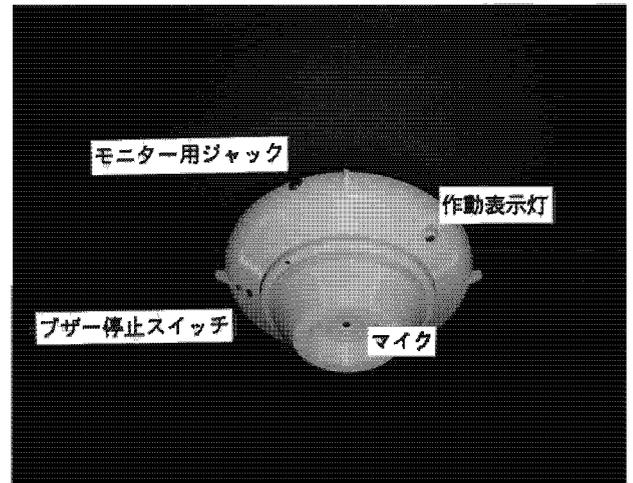


写真5 試作器

(2) 実験目的

試作器の性能としての、的確に火災を検出するための設定条件を検証し、また、構造・性能上の問題点を検討して以後の改良試作器の製作に資することを目的とする。

(3) 実験資器材

- ア 試作器 A (HFX-A01: No.001) (遮断周波数 3 Hz) 1台
- イ 試作器 B (HFX-A01: No.003) (遮断周波数 10 Hz) 1台
- ウ モニター信号用プラグ付 2 芯シールド線 1本
- エ 定電圧直流電源装置 (国洋電機: AS-1000T) 1台
- オ データレコーダー (TEAC: XR-5000) 1台
- カ ペンレコーダー (理化電機: R-56GPIB) 1台
- キ ストップウォッチ 1台
- ク スチールカメラ 1台
- ケ クリブ (15×15×160mm) (24×4) 本
- コ " (15×15×500mm) (8×4) 本
- サ クリブ用架台 (480×160mm) 1台
- シ メスシリンダー 1本
- ス 点火棒 1本
- セ n-ヘプタン 100ml

(4) 実験方法

- ア クリブによる性能試験
 - 試作器 A 及び試作器 B を用いて、次の要領でクリブを燃焼させたときの警報音の鳴動時間を測定した。
- (ア) 簡易消火第一模型によるクリブを、床面上で感知器の水平投影位置及びコーナーを結ぶ線の間付近の位置に斜め45度の角度に設定した。
- (イ) 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。
- (ウ) 助燃剤に n-ヘプタン 20ml を使用してクリブに点

火し、測定を開始した。測定は、点火から試作器の警報音鳴動を確認した時点までとした。(図9)

イ n-ヘプタンによる性能試験

試作器Aを用いて、次の要領でn-ヘプタンを燃焼させたときの警報音の鳴動時間を測定した。

- (ア) 燃焼皿(クリブ用架台兼用(480×160mm))を床面上で感知器の水平投影位置及びコーナーを結ぶ線の間付近の位置に斜め45度の角度に設定した。
- (イ) 前(ア)の燃焼皿にn-ヘプタン100mlを入れ点火し、測定を開始した。測定は、点火から試作器の警報音鳴動を確認した時点までとした。

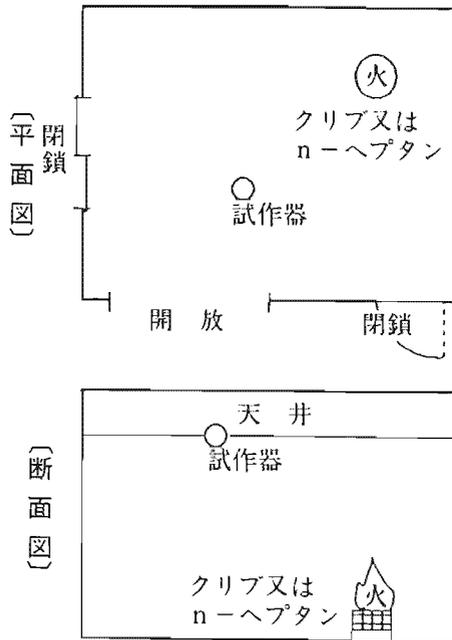


図9 実験状況

〔条件設定範囲〕

- ① 自動レベル制御機能：OFF
- ② 警報音モード：比較回路出力がしきい値以下にて停止／自動復旧
- ③ モニター出力：ローパスフィルター／積分回路
- ④ フィルター遮断周波数(高域)： $f_{c21} = 3\text{ Hz}$
： $f_{c22} = 10\text{ Hz}$
- ⑤ 比較回路基準電圧： $V_{ref} = 1\text{ V}$
- ⑥ 積分回路時定数： $\tau = 10\text{ s}$
- ⑦ 蓄積時間： $T_w = 15\text{ s}$
- ⑧ ブザー鳴動時間：設定なし

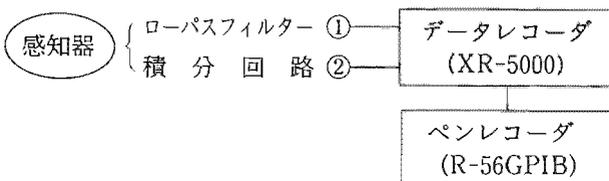


図10 各機器の結線図

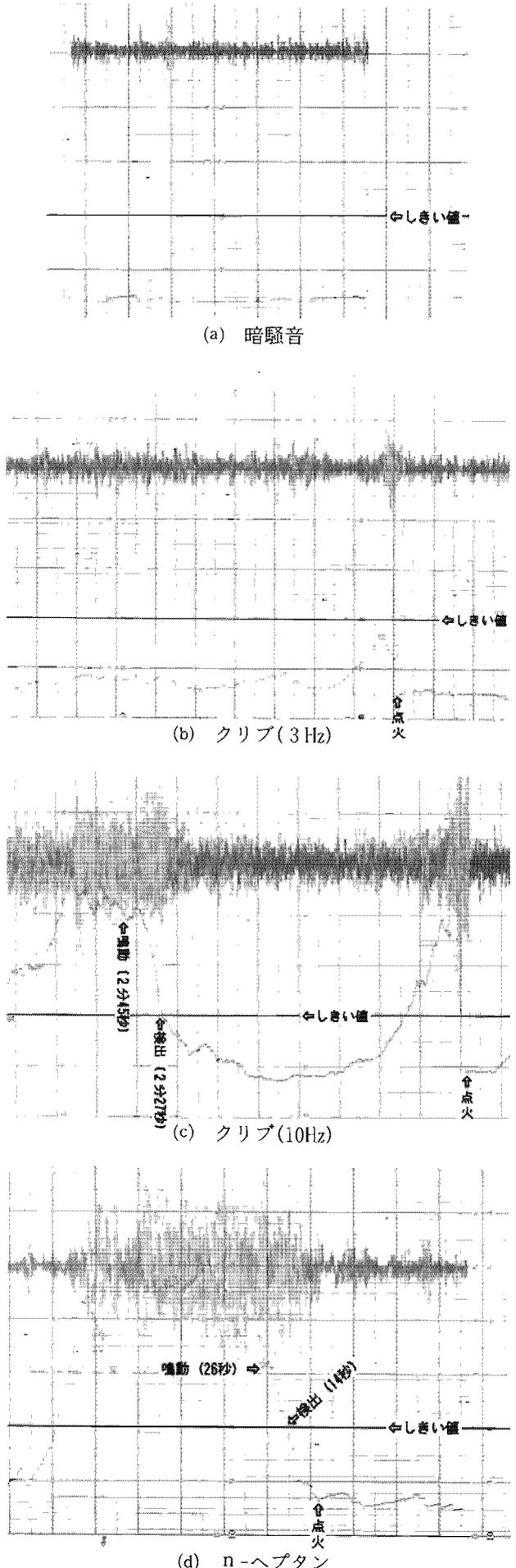


図11 時間波形と累積値の出力結果

[ペンレコーダーの設定条件]

- ① 入力レンジ No.4 : 20V (フィルタ出力信号)
No.3 : 5V (積分回路出力信号)
- ② レンジシフト : AUTO
- ③ チャートスピード : 6 cm/min

(5) 実験結果

ア 暗騒音

暗騒音は、フィルタ出力信号(以下「時間波形」という。)でみると時間的に変化のない振幅の比較的小さい波形である。また、積分回路出力信号(以下「累積値」という。)も時間とともに上昇せず、変化していないことがわかる。(図11(a))

イ クリブ(試作器A:遮断周波数3 Hz)

時間波形及び累積値をみると、暗騒音に比べて若干のレベルの増加は認められるが時間変化はほとんどなく、燃焼音検出の基準値には到達しなかった。(火災検出及びブザー鳴動なし)(図11(b))

ウ クリブ(試作器B:遮断周波数10 Hz)

遮断周波数10 Hzの場合は、点火時に、人の動きにより累積値が急激に上昇し、しきい値を超えブザーも鳴動する。約30秒後にブザーが停止し、火災の拡大するまでの間、積分値は低位で推移する。その後、徐々に上昇を始め、点火後2分27秒後に火災を検出、2分45秒後に再びブザーが鳴動した。(図11(c))

エ n-ヘプタン(試作器A:遮断周波数3 Hz)

時間波形をみるとその振幅が拡大しており、燃焼による音のエネルギーの増加が認められる。また、累積値は点火直後から徐々に上昇し、約14秒後に火災を検出、さらに遅延タイマーにより26秒後にブザーが鳴動した。(図11(d))

(6) 考察

ア 試作器Aにおいて、クリブの燃焼で、火災検出ができなかった理由について、次のことが考えられる。

本試作器は、遮断周波数として3 Hzのローパスフィルターを組み込んである。一方、クリブの燃焼により発生する音のエネルギーは3 Hzより上の周波数帯に存在しており、これがフィルターにより遮断されたと推定される。

イ 10 Hzの場合は、3 Hzに比べて多くの他の周波数の情報を拾うことから、総合的にレベルが高まるため累積値が急速に上昇し、燃焼以外の現象に対してもしきい値を超えてしまう。これは、火災感知器としての本来の機能上問題となる。

ウ 10 Hzの場合の火災検出については機能することが確認できたが、点火からブザー鳴動まで概ね2分30秒程度かかっており、この数値については、今後さらに実用面からの検討が必要である。

エ n-ヘプタンの場合は、燃焼時にエネルギーの増加が顕著に現れて、検出時間、鳴動時間ともに適正な値が得られ、基本的には問題はないと考える。

(7) 今後の改良点の検討

ア 今回の試作器は、マイクに何ら防風措置を施さず、燃焼実験では安静時の条件下で実施し上記の結果を得たものである。従って、実用化への改良点の第一として、生活音に対して的確に対応のできる防風構造等の検討を行うものとする。

イ 遮断周波数、時定数及びしきい値の適正な選択により、クリブを始めとするn-ヘプタン以外の燃焼に適應させるための方策についてさらに検討が必要である。

ウ 昨今の生活様式の多様化に対応して、意匠的に形状・寸法の小型化、軽量化を図っていくものとする。

本報告は、法政大学工学部の渡辺嘉二郎教授との共同研究によってまとめたものである。