

# 燃焼音の周波数分析について (第5報)

— 燃焼音検出方式火災感知器の開発 —

Analysis of the Frequencies of Burning Sound (Series 5)

脇 賢\*  
大原 義雄\*  
佐々木 一治\*

## 概 要

音で火災を検出する感知器を開発するため、これまで次のことを行ってきた。

- 1 火災検出手法の検討と試験器による検証 (第1・2報)
- 2 非火災報防止対策の検討と試作器による検証 (第3・4報)

そこで、これらの結果を踏まえた実用タイプの装置を製作し、既存感知器との比較実験を行った。その結果、本装置は火点の位置や遮へい物から受ける影響が少なく、また、早期火災感知が可能であることを確認した。

It has been done so far that to develop a new fire sensor which could exclusively detect the sounds that were generated by burning, as follows.

- 1 Examination of technique of detecting a fire and inspection by a test fire sensor. (Series 1. 2)
- 2 Examination of preventive measures for false alarm and inspection by a trial fire sensor. (Series 3. 4)

So based on these results, we manufactured practical application of a fire sensor and confirmed the efficiency of it by comparative experiment with exiting fire sensor.

## 1 はじめに

従来の自動火災報知設備の感知器 (以下「感知器」という) は燃焼現象に伴う熱・煙などの発生を単独あるいは複合して検出し、火災を感知している。

しかし、日常生活においては喫煙、炊事・暖房用等の火気設備または電気・機械器具等からの放熱や発煙があり、これらは、いずれも火災初期に類似する現象であるため、非火災報を発してしまう場合もある。

燃焼時には熱・煙の他に、音や臭いなども発生しており、これらのあらゆる角度から火災を検出することは、感知器のより一層の信頼性の向上につながると考えられる。

そこで、当研究室では新たな感知手段として、音によって火災を感知する感知器の研究開発を行ってきた。

本報では、これまでの研究結果を踏まえ製作した実用タイプの装置 (以下「実用試作機」という) の概要について報告する。(写真1)

## 2 原 理



写真1 実用試作機

燃焼時には「パチパチ」、「ポーポー」といった音を含め、私達の耳には聞こえない低周波域から超音波域に及ぶ幅広い周波数成分を持つ音が発生している。

このうち低周波域の音 (以下「燃焼音」という) は、火源周辺の空気の熱膨張により発生し、燃焼の拡大とともに音の強さ (以下「エネルギー」という) が増加する特性がある。更に、この現象は燃焼物の種類に影響され

\*第三研究室

ず、共通して発生することが、これまでの研究により判明している。

本装置は、この燃焼音のエネルギーの増加を検出し、火災を感知する。

### 3 構成

本装置は図1に示すように感知部・検出部・警報部から構成され、各回路の役割は次のとおりである。

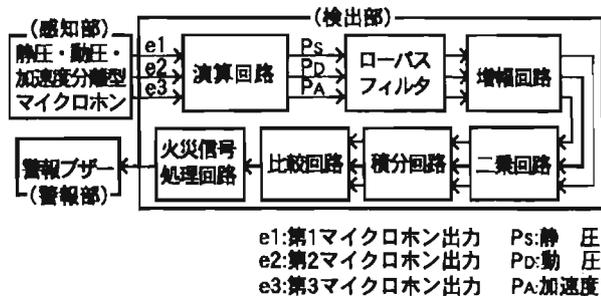


図1 回路構成図

#### (1) 静圧・動圧・加速度分離型マイクロホン

マイクロホンの出力から単に低周波域の成分を抽出すると、その信号には風の影響（以下「動圧」という）や振動の影響（以下「加速度」という）がノイズとして混入してしまい、純粋な音（以下「静圧」という）を検出することができない。

当該マイクロホンは図2に示すように3個のセラミックマイクロホンを内蔵し、このマイクロホンの各出力を演算回路にかけることにより静圧・動圧・加速度の各要素に分離することが可能なものである。(第4報)

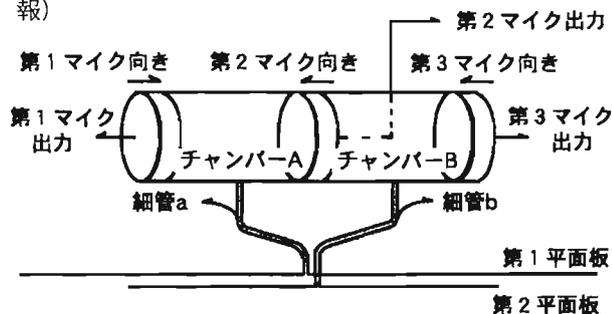


図2 静圧・動圧・加速度分離型マイクロホンの構造

#### (2) 演算回路

静圧・動圧・加速度分離型マイクロホンの出力を演算処理し、静圧・動圧・加速度に分離する。

#### (3) ローパスフィルタ

マイクロホン出力から低周波域成分のみを抽出するための回路で、本装置には0.1~5 Hzの信号を抽出するフィルタを使用した。

#### (4) 増幅回路

ローパスフィルタを通過することで減衰した信号をその後の回路に適正なレベルまで増幅する。

#### (5) 二乗回路

増幅回路から出力される信号は、音圧の時間変化である。音のエネルギーは音圧の二乗に比例することから、この回路によって音圧の時間変化を音のエネルギー値に変換する。

#### (6) 積分回路

二乗回路出力を平滑化する回路で、一過性の信号を抑え、燃焼音の特徴である燃焼拡大に伴うエネルギーの増加を明確化する。

#### (7) 比較回路

積分回路から出力される静圧・動圧・加速度の各信号と火災・非火災の判断基準となる値（以下「しきい値」という）とを常に監視し、火災と判断する状況となったときに火災信号処理回路に信号を送る。

なお、本装置は静圧・動圧・加速度の各要素にそれぞれしきい値があり、静圧のみがしきい値を越えた時に火災信号処理回路に信号を送り、他の動圧や加速度がしきい値を越えている時に静圧がしきい値を越えても火災信号処理回路には発信しない機構になっている。この機構により、日常生活に存在する燃焼音と類似した音（以下「生活音」という）による誤作動を防止している。

#### (8) 火災信号処理回路

従来の自動火災報知設備に採用されている蓄積機能がこれにあたり、比較回路からの信号が一定時間（蓄積時間）以上継続した場合に警報部にブザー鳴動の指令を送る。

一般的な非火災報の防止措置である。

### 4 仕様

仕様は表1のとおり。

表1 仕様

感知部	静圧・動圧・加速度分離型マイクロホン(セラミックマイクロホン式)
抽出周波数範囲	0.1~5 Hz
使用温度範囲	0~40℃
警報ブザー	出力音圧90db以上
蓄積時間	0~60秒(可変)
電源電圧	24V
最大消費電流	150mA(鳴動時)
外径寸法	φ150mm×87mm
重量	284gf
筐体材質	ACS(難燃性)樹脂

## 5 性能確認実験

### (1) 実験目的

従来の感知器との比較実験により、本装置の性能を把握することを目的とする。

### (2) 実験項目

- ア 火点離隔実験
- イ 遮へい実験

### (3) 実験資器材

- ア 測定機器類
  - ア 測定機器類
  - イ 实用試作機 1基
  - ロ 基準電圧調整器 1基
  - ハ 多芯ケーブル線 1本
  - ニ 光電式スポット型煙感知器（1種） 1基
  - ヒ 光電式スポット型煙感知器（2種） 1基
  - フ 差動式スポット型熱感知器（1種） 1基
  - ヘ 差動式スポット型熱感知器（2種） 1基
  - コ 定温式スポット型熱感知器（特種） 1基
  - ケ 受信機（P型2級） 1台
  - ク データアナライザ（DAA-110A） 1台
  - ケ 熱電対式温度計 1台
- イ 燃焼供試体
  - ア N-ヘプタン（助燃用含む） 540ml
  - イ クリブ（15×15×600mm） 40本
  - ロ クリブ（15×15×50mm） 80本
  - ハ 布（化学繊維、500×500mm） 4枚
- ウ 実験機材
  - ア オイルパン（400×150mm） 1基
  - イ クリブ用架台（480×160mm） 1基
  - ロ 石綿板（500×500mm） 1枚
  - ハ メスシリンダ（100ml用） 1基
  - ニ 電気式点火玉（1.5V） 13本
  - ヒ 単1乾電池（点火玉用） 1本

### (4) 実験方法

#### ア 火点離隔実験

N-ヘプタン、クリブ、布の各燃焼供試体をそれぞれ図3に示すように1.5m地点および3m地点で燃焼させ、实用試作機にあっては作動時間と積分回路出力を、従来感知器にあっては作動時間を測定するとともに、点火から測定終了までの感知器周辺の温度を測定する。

測定時間にあっては点火から燃焼が終息するまでを原則とし、次に示すケースが生じたときは、その時点で測定を終了した。

- ア 感知器周辺の温度が80℃以上となり装置の許容温度範囲を越えた場合。
- イ すべての感知器が作動した場合。

- ロ 燃焼の進行が緩慢で、かつ、感知器周辺の温度が下がり始め、これ以上測定を継続しても感知器が作動しないと判断された場合。

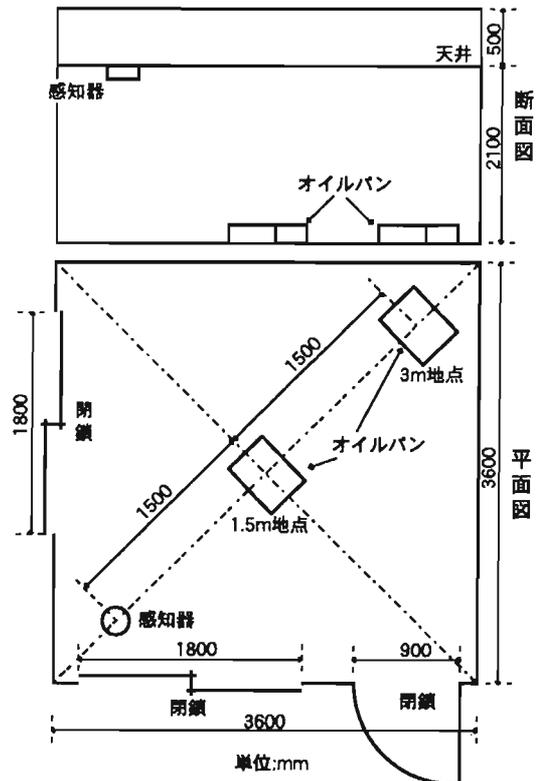


図3 火点離隔実験の配置例

各燃焼供試体の設定・点火方法等は、次のとおりとした。

#### ア N-ヘプタン

オイルパン（400×150mm）にN-ヘプタン100mlを入れ、電気式点火玉を使用し模擬ハウスの外から点火する。

#### イ クリブ

クリブ用架台（480×160mm）上にクリブを5本（15×15×600mm）・10本（15×15×50mm）・5本（15×15×600mm）・10本（15×15×50mm）と井桁状に4段積みとし、助燃剤（N-ヘプタン）10mlをかけ電気式点火玉によって模擬ハウスの外から点火する。

#### ロ 布

布（化学繊維、500×500mm）1枚をオイルパン（1000×1000mm）上に丸めて置き、助燃剤（N-ヘプタン）5mlをかけ電気式点火玉によって模擬ハウスの外から点火する。

#### イ 遮へい実験

図4に示すように遮へい物として厚さ9mmの石綿板（H500×W500mm）を实用試作機から火点側に15cm離れた天井に取り付け、N-ヘプタン100mlを1.5m地点で燃焼させ、实用試作機の作動時間および積

分回路出力を測定する。

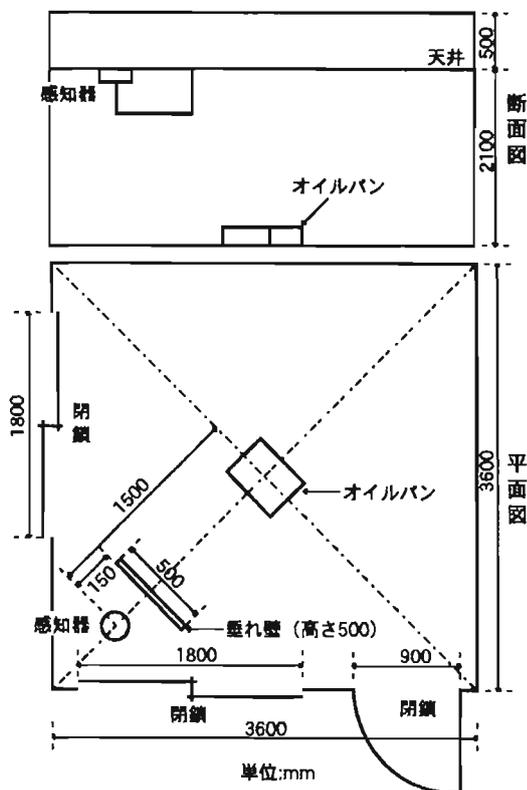


図4 遮へい実験の配置例

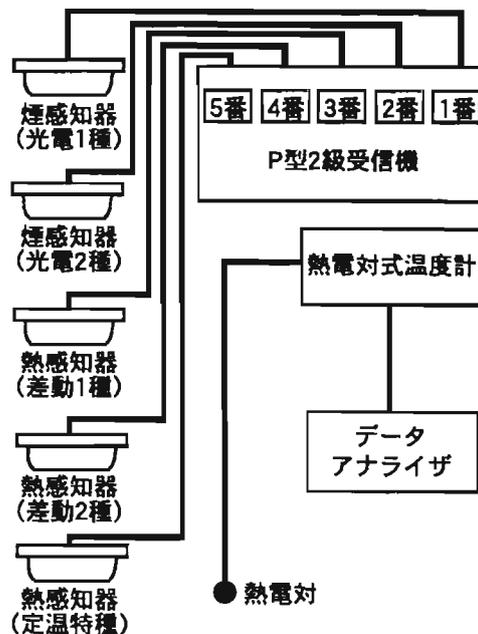


図6 測定機器接続方法 (従来感知器)

(5) 測定機器の接続方法

ア 実用試作機

図5のように接続し、積分回路出力をデータアナライザに記録した。

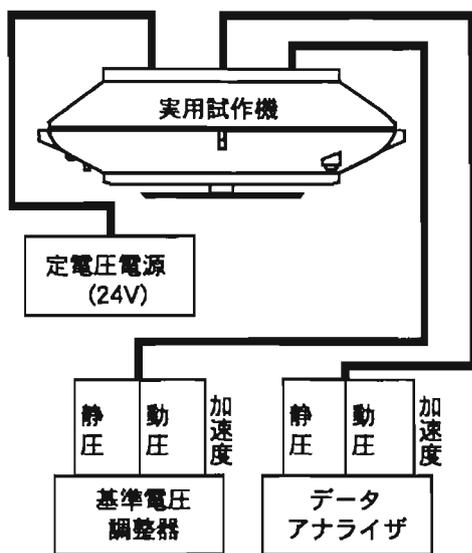


図5 測定機器接続方法 (実用試作機)

イ 従来感知器

図6のように接続し、熱伝対式温度計の出力をデータアナライザに記録した。

(6) 設定条件

ア 実用試作機

- (ア) しきい値 静 圧：2 V
- 動 圧：2 V
- 加速度：2 V

(イ) 蓄積時間 0 秒

イ データアナライザ

(ア) 実用試作機

- 入力レンジ 1ch=5V (積分回路出力：静 圧)
- 2ch=5V (積分回路出力：動 圧)
- 3ch=5V (積分回路出力：加速度)
- サンプリング周期 0.5秒

(イ) 従来感知器

- 入力レンジ 13ch=AUTO (熱伝対式温度計出力)
- サンプリング周期 0.5秒

ウ 受信機 (P型2級)

(ア) 表示入力

- 1番：煙感知器 (1種)
- 2番：煙感知器 (2種)
- 3番：熱感知器 (差動1種)
- 4番：熱感知器 (差動2種)
- 5番：熱感知器 (定温特種)

(イ) 蓄積時間 0 秒

(7) 実験結果および考察

ア 火点離隔実験

(ア) N-ヘプタン (表2) (グラフ1~3)

a 従来感知器

火点位置1.5mと3mとでは、熱感知器(差動1種)

は33秒3、熱感知器（差動2種）では54秒8と感知時間に差が生じるとともに測定中の感知器周囲の温度変化を示すグラフ1からも同様に差が認められることから、火点からの距離が熱感知器の感知時間に大きく影響することがわかる。

また、煙感知器は発煙が少ないため作動せず、この種の火災に適していないことがわかる。

b 実用試作機

火点位置1.5mと3mとでは5秒5と、ほとんど感知時間に差を生じておらず、更に、積分回路出力波形を示すグラフ2と3で、静圧の相対的なレベルの推移に大きな差がないことから、火点位置の影響は、熱感知器ほど受けないことがわかる。

また、動圧の積分回路出力波形が火点位置1.5mと比較し火点3mで減衰しており、燃焼時に発生する熱対流に伴う動圧が、距離が離れることにより減衰する状況を実用試作機が明確にとらえていることがわかる。

表 2

従来感知器および実用試作機の作動時間(N-ヘプタン)

感知器種別	作動時間・作動時周囲温度	
	火点 1.5 m	火点 3 m
煙感知器（1種）	—————	—————
煙感知器（2種）	—————	—————
熱感知器（差動1種）	0'37"9・35℃	1'11"2・35℃
熱感知器（差動2種）	0'54"2・39℃	1'45"0・39℃
熱感知器（定温特種）	—————	—————
実用試作機	0'09"3・19℃	0'14"8・18℃

(i) クリブ（表3）（グラフ4～6）

a 従来感知器

火点位置1.5mと3mでの感知時間の差は、熱感知器（差動1種）で1分07秒7、熱感知器（差動2種）で49秒8、熱感知器（定温特種）で1分25秒8となり、N-ヘプタンより更に差が拡大した。

これは、クリブの燃焼がN-ヘプタンのように瞬時に拡大せず徐々に拡大するため、温度上昇が緩慢になったことに伴い、火点位置の影響が更に大きく影響したと考えられる。

また、煙感知器が作動しなかった原因は、クリブの乾燥状態が良くほぼ完全燃焼したことにより、発煙量が不足したためと考えられる。

b 実用試作機

N-ヘプタンと同様に火点位置1.5mと3mとでは、作動時間、静圧の積分回路出力波形ともに大きな差はなく、火点位置の影響が少ないことがわかる。

表 3

従来感知器および実用試作機の作動時間(クリブ)

感知器種別	作動時間・作動時周囲温度	
	火点 1.5 m	火点 3 m
煙感知器（1種）	—————	—————
煙感知器（2種）	—————	—————
熱感知器（差動1種）	1'09"1・30℃	2'16"8・41℃
熱感知器（差動2種）	2'03"7・50℃	2'53"5・54℃
熱感知器（定温特種）	2'39"8・68℃	4'05"6・72℃
実用試作機	0'06"9・20℃	0'06"7・19℃

(v) 布（表4）（グラフ7～9）

a 従来感知器

火点位置1.5mと3mとの作動時間の差は、煙感知器（1種）で1分27秒8、煙感知器（2種）で1分37秒6、熱感知器（差動1種）にあつては火点位置1.5mのみ作動し、その他の感知器はいずれの地点でも作動しないという結果であった。このことから、煙感知器にとつても熱感知器と同様に火点位置が作動時間に影響することがわかる。

燃焼状況は火点位置1.5mでは、助燃剤の燃焼が約30秒で終息した後に無炎燃焼状態となり、温度上昇は点火120秒後からは50℃前後に推移し、大きな変動は認められなかった。

表 4

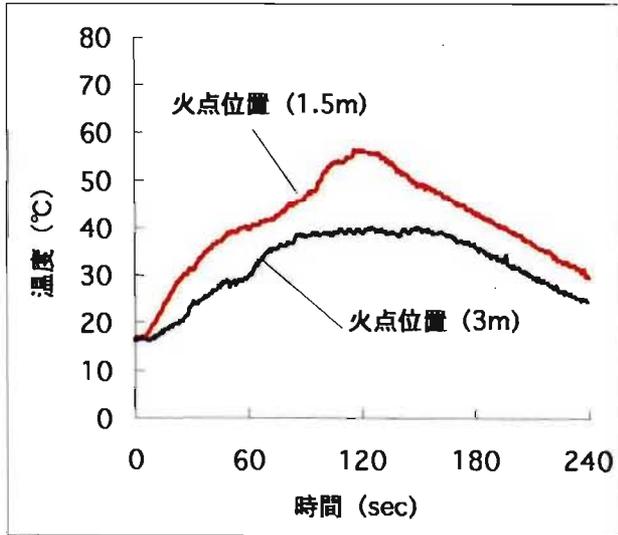
従来感知器および実用試作機の作動時間(布)

感知器種別	作動時間・作動時周囲温度	
	火点 1.5 m	火点 3 m
煙感知器（1種）	1'25"3・38℃	2'53"1・41℃
煙感知器（2種）	1'27"5・38℃	3'05"1・41℃
熱感知器（差動1種）	1'13"3・35℃	—————
熱感知器（差動2種）	—————	—————
熱感知器（定温特種）	—————	—————
実用試作機	—————	—————

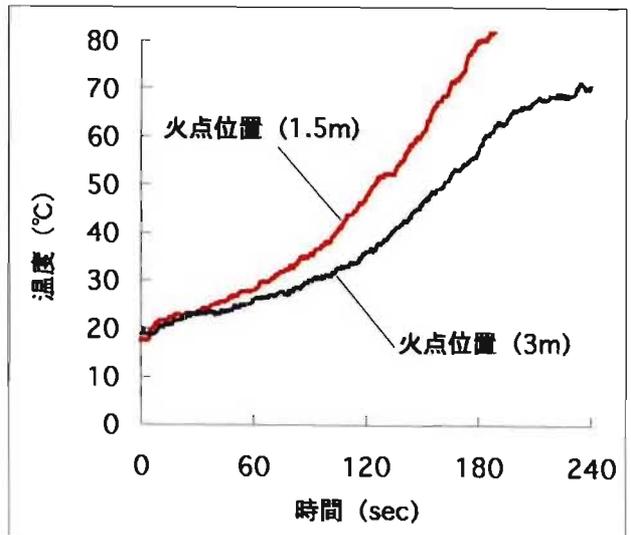
b 実用試作機

火点位置1.5mと3mともに静圧の積分回路出力波形に変化は認められるが、しきい値には至らず作動しなかった。

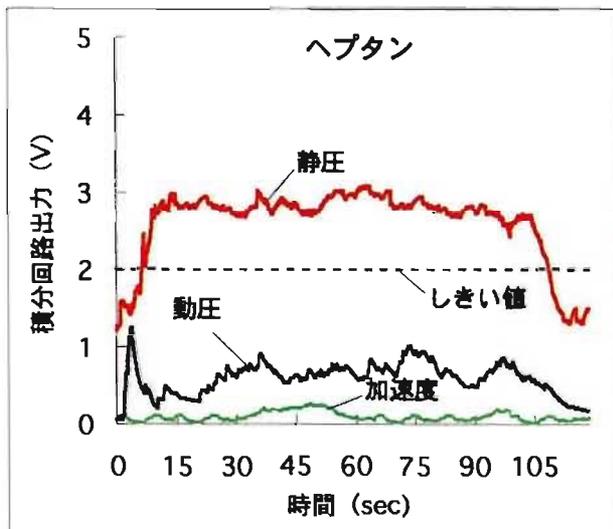
このことから、本装置は燃焼拡大速度の緩慢な無炎燃焼火災には適さないことがわかる。



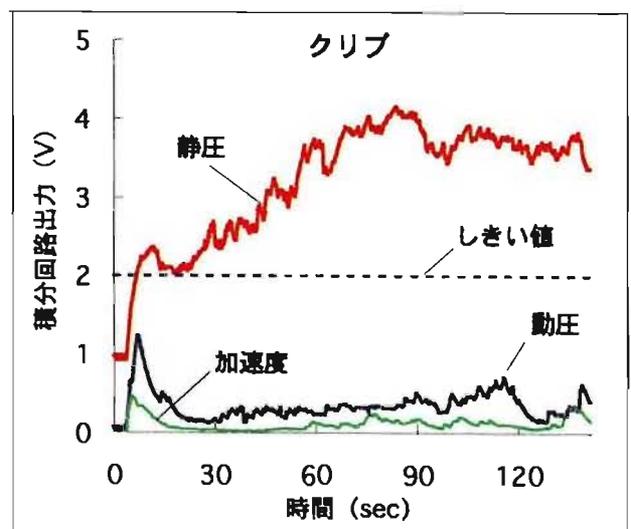
グラフ1 感知器周囲温度 (ヘプタン)



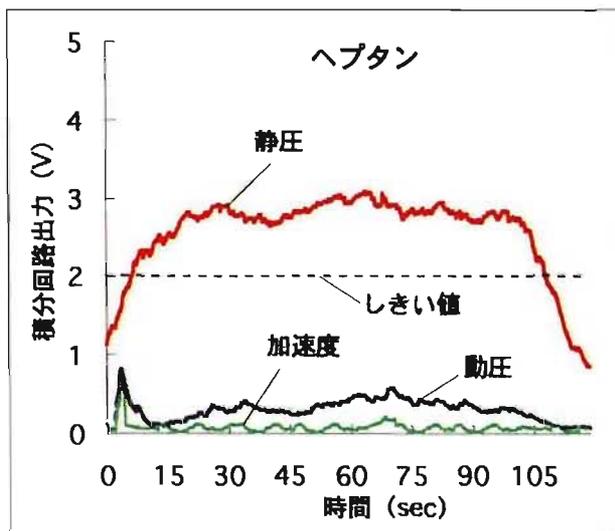
グラフ4 感知器周囲温度 (クリプ)



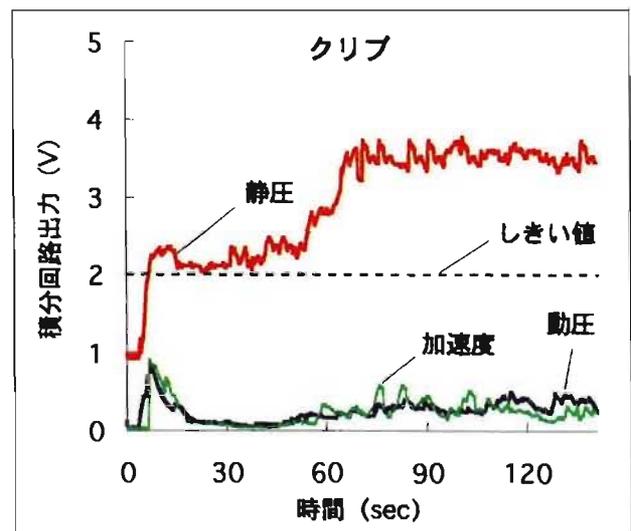
グラフ2 実用試作機 (火点位置1.5m)



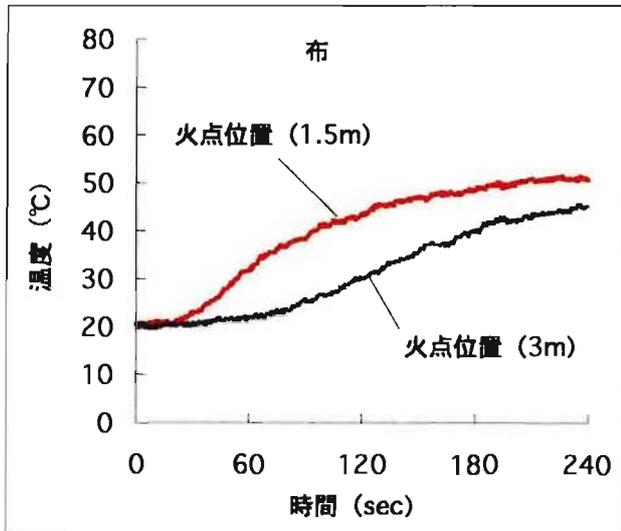
グラフ5 実用試作機 (火点位置1.5m)



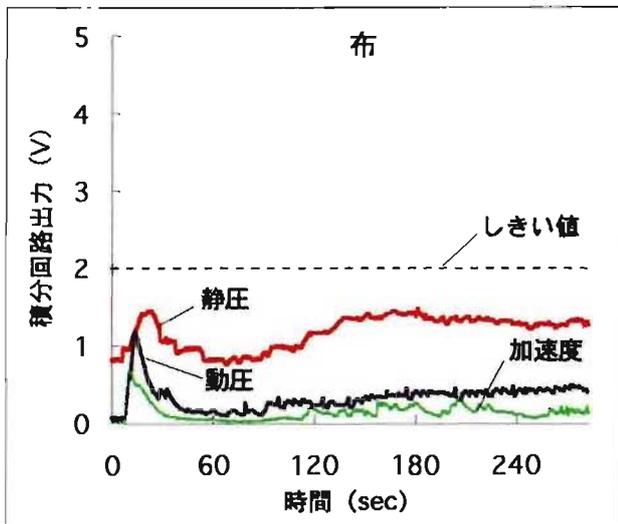
グラフ3 実用試作機 (火点位置3m)



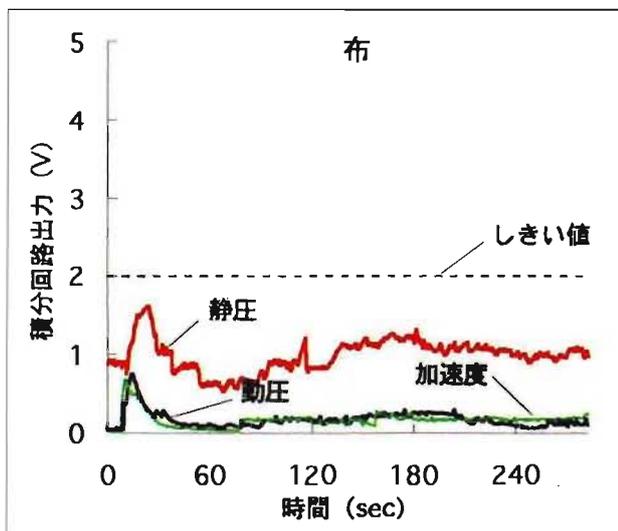
グラフ6 実用試作機 (火点位置3m)



グラフ7 感知器周囲温度 (布)



グラフ8 実用試作機 (火点位置1.5m)



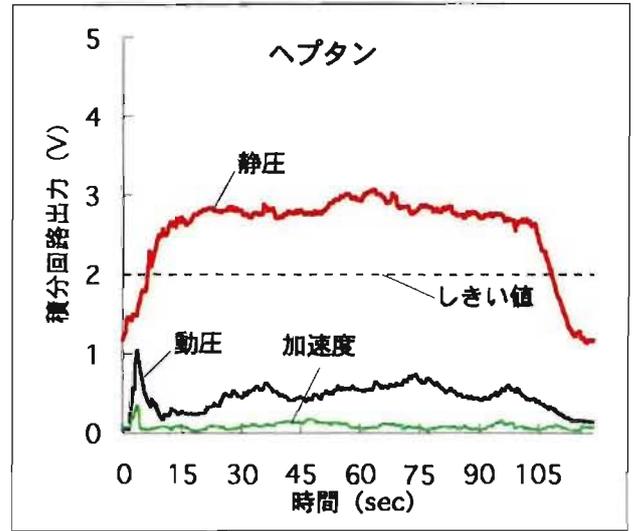
グラフ9 実用試作機 (火点位置3m)

#### イ 遮へい実験 (グラフ10)

点火6秒3で静圧の出力波形がしきい値を越えており、前ア、(ア)、b実用試作機の火点1.5mの出力波形と感知時間および出力レベルともに差異がないことから、垂れ壁の影響を受けていないことがわかる。

この理由は、音の回折特性により垂れ壁を燃焼音が回り込んだためと考えられる。

なお、回折特性は周波数の低い音ほど顕著に現れる現象である。



グラフ10 実用試作機 (遮へい実験)

#### (8) まとめ

本実験の結果から次のことが判明した。

ア 実用試作機は、従来の熱・煙感知器と比較し、火点からの距離による感知時間への影響が少ないことが判明した。

イ 燃焼の拡大速度が緩慢な無炎燃焼の感知には、適さないことが判明した。

ウ 従来感知器の感知障害となる垂れ壁等の障害物が実用試作機には影響しないことが判明した。

#### 6 おわりに

これまでの研究により、本装置は従来感知器と比較し、火点の位置や遮へい物から受ける感知性能への影響が少なく、また、早期感知が可能であることを確認するなど、一応の成果を修めることができた。

本研究は以上をもって終了とするが、今後は関係機関等に実用化を目指し、働きかけるものである。

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りまとめたものである。