

照明学会・技術指針
JIEG-003(1983)

煙センサーに関する 諸問題と技術指針

社団法人 照 明 学 会

目 次

1. 煙センサに関する諸問題と技術指針の作成に当って	1
2. 煙センサの作動原理と煙感知器の諸規格	2
2・1 煙センサの作動原理	2
2・2 煙感知器に関連するわが国の規格の概説	5
2・3 煙感知器に関連する諸外国の規格の概説	8
3. 煙感知器に関連する ISO 規格案についての諸問題	10
3・1 試験火災	10
3・2 煙感知器	14
4. 煙の光学的特性と煙濃度表示への波長の影響	19
4・1 概説	19
4・2 減光式煙濃度計	19
4・3 煙の光学的性質	21
4・4 各種燃焼物から発生する煙の粒径分布	23
4・5 煙濃度表示への測定波長の影響と技術上の問題点	25
5. 減光式分離型煙センサについての実験結果とその考察	28
5・1 試験火災による実験の方法	28
5・2 試験火災による実験結果とその考察	29
5・3 設置環境におけるノイズ測定実験の方法	33
5・4 設置環境におけるノイズ測定実験結果とその考察	33
6. 煙中の視程と煙センサの作動性能ならびに設置上の指針	35
6・1 煙中の視程に関する理論式及び実験	35
6・2 視程に影響を及ぼす煙の性質	37
6・3 避難時に必要とする見越し距離と許容煙濃度	40
6・4 煙感知器に要求される感度と避難の面から見た設置上の指針	42
7. 各種用途の建物における発報実態調査と、その調査結果から見た 煙感知器設置上の指針	44
7・1 発報原因の分類法と調査の実施方法	44
7・2 調査結果とその考察	46
7・3 非火災時の発報を減少させるための煙感知器設置上の指針	48
参考文献	50

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写機等いかなる方法によっても複写複製すると著作権および出版権侵害となる場合がありますのでご注意下さい。

1 煙センサに関する諸問題と技術指針の作成に当って

煙センサは、わが国の防火対象物となっている建築物においては、世界に類例を見ないほど普及していて、防災上の役割を果たしているが、これに伴って種々の問題も起こっている。

例えば、その規格にしても各国がまちまちであるのに、わが国の火災報知設備の需要が多いだけに、わが国の規格は諸外国にはあたかも非関税障壁のように映るらしい。このため近年、わが国もISOの関連委員会に積極的に参加して規格の国際化に協力している。しかし、光学的な煙濃度の測定においてすらも、使用波長の相違に基く問題が起こり、規格の国際的統一には今後数多くの問題が起こりそうである。

また、人口密度の高いためか、わが国の非火災時の発報率はかなり高く、煙感知器設置上の指針の作成を含む対策を必要としている。

また、今までの光電式感知器は煙による光の散乱を利用するものであったが、わが国においては電子回路技術を駆使して減光式のものが開発され、発光部と受光部とが一体となっているもののほか、両者が数10mを隔てて配置されるものが開発された。後者については、各社ならびに関係省庁の協同実験が行われ、将来の規格制定に資することができた。

また、煙中の視程とセンサの作動性能との関連性も避難の見地から重要な問題である。

今回、上述の諸問題をとりあげてこれらを解説し、併せて煙感知器設置上の指針を示すため、本技術指針を作成することとした。

2 煙センサの作動原理と煙感知器の諸規格

2・1 煙センサの作動原理

2・1・1 イオン化式煙センサ

放射性同位元素（以後、放射源という）のうち、単位長さ当りの空気の電離作用が最も強い α 線を出すアメリカシウム241等で一對の電極間を照射すると、空気分子はイオン化され $\oplus$ イオンと $\ominus$ イオン（電子）に分れる。

このとき図2・1のように電極間に直流電圧を印加すると、 $\oplus$ イオンと $\ominus$ イオンはそれぞれ異符号の電極に移動し、その結果、微弱な電流が流れる。この電流は電極面積、電極間距離、放射源の強さ、印加電圧の大小等によって変わるが、一般にその電圧－電流特性は図2・2の実線のようになる。これは電界によるイオンの動きが低い電圧では小さく、電極に達する前に異符号のイオンと衝突して再結合する度合いが多いため、電圧が高くなるにつれて電流は増加するが、あるところで飽和する。いま、この電極間に煙（燃焼生成物を含む）が侵入すると、煙粒子によるイオンの吸着や再結合が起こり電流が減少する。また、

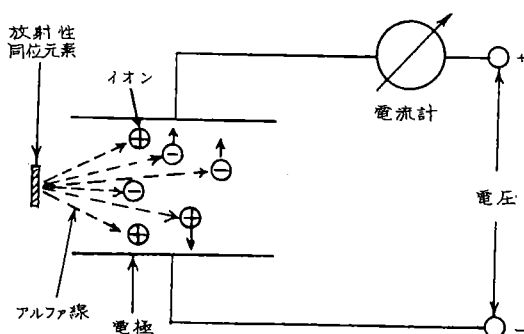


図2・1 イオン電流の流れ方

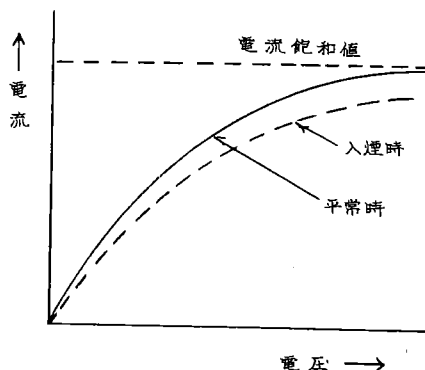


図2・2 イオン電流の電圧－電流 特性

まれには粒子に放射線のエネルギーを吸収され、電離効果が減少する。これらの結果、この電圧－電流特性は図2・2の点線のように変化する。

このような2つの電離室を直列に接続し、1つの電離室は煙が入りやすく（外部電離室という）、他の電離室は煙の入りにくい構造（内部電離室という）とする。

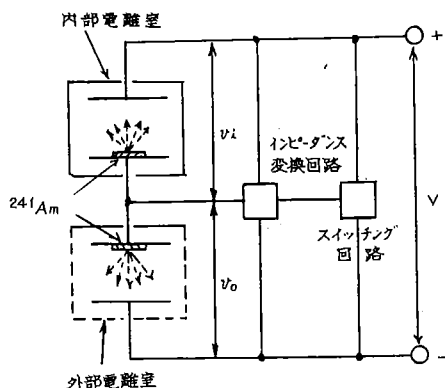


図 2・3 イオン化式感知器の検出原理図

図2・3に示すように一定の直流電圧 V を印加すると、この2つの電離室を通じて微小な電流 i が流れる。

（図2・4参照）

この場合、外部電離室は非飽和特性に、内部電離室は飽和特性に近くなるような構造とする。外部電離室に煙が侵入すると、前記図2・2と同様に電圧－電流特性は、図2・4で点線のように変化し、外部電離室の電圧は ΔV だけ変化する。この ΔV は MOS FET 等のインピーダンス変換回路により、低インピーダンスの出力に変換され、これが所定のいき値を超えた場合、半導体を用いたスイッチング回路が働いて信号を送る。

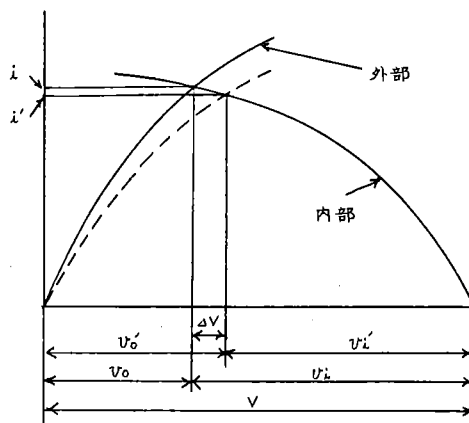


図 2・4 イオン化式感知器の検出部の 電圧－電流特性

v_o, v_o' : 外部電離室の電圧
 v_o, v_i' : 内部電離室の電圧
 ただし、 v_o, v_i : 平常時の電圧
 v_o', v_i' : 入煙時の電圧

2・1・2 光電式煙センサ

一般に外部光は入りにくく、火災による煙が入りやすくした暗箱内に1対の発・受光部を設ける。光源としては長寿命、低消費電力の点でLED（特に近赤外線域のもの）が使用されている。受光素子としてはシリコン系素子（ホトダイオード、ホトトランジスタ、シリコン光電池等）が多い。

光源からの光束の煙による散乱を利用するか、減光を利用するかによって散乱光式と減光式に分ける。

(1) 散乱光式

図2・5のように暗箱の一方から光束を送り、その散乱光を受ける方向に受光素子を配置する。煙の存在しない時は光の散乱が生じないため、受光素子に光の入射は起こらず何の変化も生じない。しかし、火災による煙が暗箱内に入ると、煙粒子によって光の散乱が起こり、受光素子はその散乱光の一部を受けて、

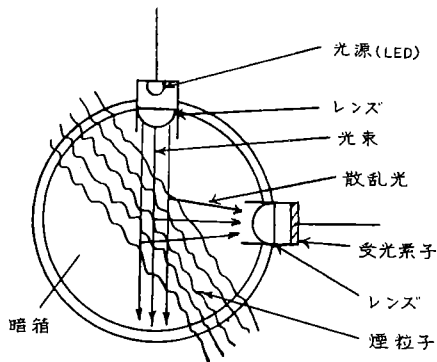


図 2・5 散乱光式センサの原理図

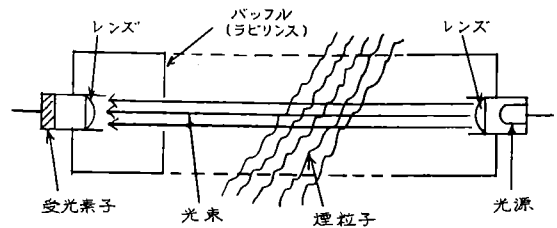


図 2・6 減光式センサの原理図

例えば抵抗が減少し回路の電流が増加して後段(省略)のスイッチング回路を経て信号を発する。なお、LEDは数秒ごとにパルス的に発光され、受光回路では同期増幅を用いて低電力化を計り、また外光の影響を避けている。

(2) 減光式一体型

図2・6のように発・受光部を相対して配置し、外光の影響を避けるため、ラビリンス部

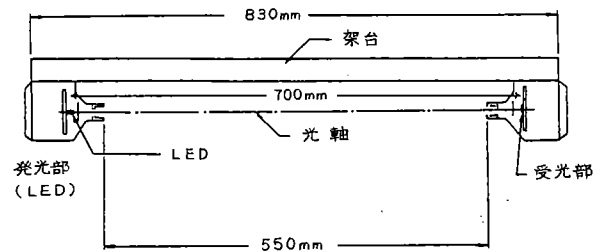


図 2・7 減光式一体型(例1)

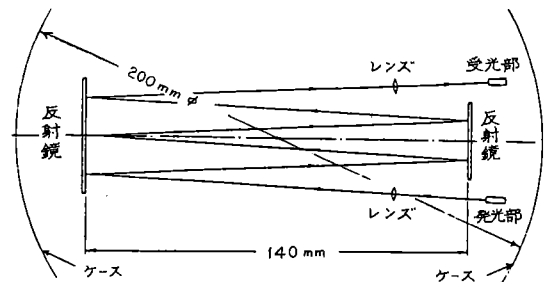


図 2・8 減光式一体型(例2)

を設け発光部ではLEDのパルスの発光を行い、受光部では同期増幅を行う。火災による煙が光束中に入ると、その粒子によって光の散乱、吸収が起こり、受光部に入る光束が減少し、すなわち減光する。煙のないときと、煙で減光されたときとの受光素子の抵抗または起電力の変化による電流変化を検出する。一体型では図2・7のように発・受光部が架台に取付けられ、または図2・8のように2枚の反射鏡を備えた偏平な円形の容器内に取付けられる。

散乱光式では常時は受光素子への入射光がないから、LEDの劣化や汚れによる光束の減少はあまり問題にならないが、減光式ではこれが問題となり、上記の例1では器内に組込んだ記憶回路で、例2では時定数に差のある2つの保持回路を用い差動性によってこの問題を解決している。なお例1では960nmの近赤外光を、例2では660nmの可視光を用いる。

2・1・3 減光式分離型センサ

減光式分離型は図2・6の発・受光部を分離して、数mから100mくらいまで離して設置する。詳しくは第5章を参照されたい。

2・2 煙感知器に関連するわが国の規格の概説

2・2・1 煙濃度表示と濃度計について

(1) イオン化式濃度計

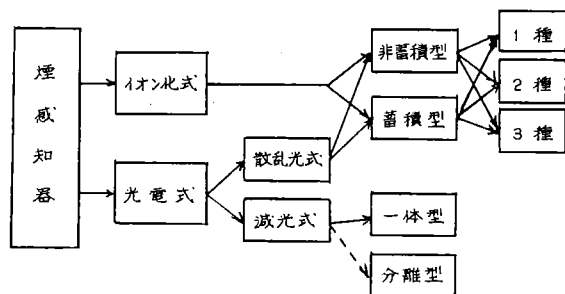
平行板電極（電極間の間隔が2cmで一方の電極が直径5cmの円形の金属板に8.2マイクロキュリーのアメリカシウム241を取付けたものをいう）間に20Vの直流電圧を加えたときの煙による電離電流の変化率をいう。

煙がない場合の電流（ I_0 ）が $220\text{pA} \pm 10\%$ （温度 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $45 \pm 10\%$ 、気圧 $760 \pm 10\text{mm Hg}$ において）流れる平行板電極を用いる場合、煙が入ったとき変化する電流を ΔI とすると、濃度を $\Delta I/I_0$ で表す。これら条件を満たした規定の構造の平行板濃度計を用いて煙濃度を表す。

(2) 光電式濃度計

規定の構造により一定の距離（1m）を置いた送光部と受光部との間に煙がある場合、光の強さがランベルトの法則に従って減ることを利用して測定した値の減光率〔%/m〕を用いる。

光源は色温度2800Kの白熱電球とし、受光部は視感度に近いもの（セレン光電池）とする。



2・2・2 煙感知器の規格

(1) 煙感知器の種類

図2・9のように、イオ

図2・9 煙感知器の分類

ン化式と光電式があり、光電式は散乱光式と減光式に分れる。イオン化式と散乱光式はそれぞれ非蓄積型と蓄積型に、更にこの2つの型はその感度により1種、2種、3種に分類される。

(a) イオン化式感知器の定義（自治省令第17号2条7）

周囲の空気が一定の濃度以上の煙を含むに至ったときに作動するもので、煙によるイオン電流の変化により作動するものをいう。

(b) 光電式感知器の定義（自治省令第17号第2条8）

周囲の空気が一定の濃度以上の煙を含むに至ったときに作動するもので、煙による光電素子の受光電の変化により作動するものをいう。

(2) 感 度

(a) イオン化式（自治省令第17号第16条）

i) 作動試験

電離電流の変化率1.35Kの濃度の煙を含む風速V〔cm/s〕の気流中に投入したとき、非蓄積型のものにあつては T_1 秒以内、蓄積型のものにあつては T_2 秒以内で作動すること。

表2・1 イオン化式感知器の感度

種 別	K	V	T_1	T_2	t
1 種	0.19	20 以上 40 以下	30	60	5
2 種	0.24				
3 種	0.28				

（注）Kは公称作動電離電流変化率

ii) 不作動試験

電離電流の変化率0.65Kの濃度の煙を含む風速V〔cm/s〕の気流に投入したとき、t分以内で作動しないこと。（この試験は感知器が敏感に過ぎることを防ぐためのものである。）

(b) 光電式（自治省令第17号第17条）

表2・2 光電式感知器の感度

種 別	K	V	T_1	T_2	t
1 種	5	20 以上 40 以下	30	60	5
2 種	10				
3 種	15				

i) 作動試験

1 m 当りの減光率 1.5 K の濃度の煙を含む風速 V [cm/s] の気流に投入したとき、非蓄積型のものにあつては T_1 秒以内、蓄積型のものにあつては T_2 秒以内で作動すること。

ii) 不作動試験

1 m 当りの減光率 0.5 K の濃度の煙を含む風速 V [cm/s] の気流中に投入したとき 1 分以内で作動しないこと。

(3) 感知区域（消防法施行規則第 23 条）

表 2・3 感知器の感知面積

取付け面の高さ	感知器の種別	
	1 種及び 2 種	3 種
4 m 未満	150 m ²	50 m ²
4 m 以上 20 m 未満	75 m ²	

廊下・通路・階段及び傾斜路を除く感知区域ごとに、表 2・3 で定める床面積につき 1 個以上の個数を、火災を有効に感知するように設けること。

(4) 感知器に対する諸試験

感知器は火災の早期発見に有効であるが、火災がいつ起こるかわからないので、一旦発生した場合には確実に作動しなければならない、したがって感知器に対しては周囲環境条件に対する耐久性や適応性が要求され、これを調べるための諸試験が課されている。

a. 周囲温度試験：－10℃～50℃

b. 老化試験：50℃の空気中に通電状態において 30 日間放置

c. 腐食試験：一定条件の亜硫酸ガス中に通電状態で 4 日間放置

d. 繰返し試験：1000 回の作動

e. 振動試験

i) 通電状態で、全振幅 1mm で 1000 回/分の振動を任意の方向に 10 分間連続して加える。

ii) 無通電状態で、全振幅 4mm で 1000 回/分の振動を任意の方向に 60 分間連続して加える。

f. 衝撃試験：任意の方向に最大加速度 50 g の衝撃を 5 回加える。

g. 粉じん試験：通電状態で濃度が減光率で 20 % / 30 cm の JIS Z 8901 の 5 種（フライングアッシュ）を含む空氣に 15 分間触れさせる。

h. 衝撃電圧試験

i) 内部抵抗 50Ω の電源から 500 V の電圧をパルス幅 1 μs、繰返し周期

100 Hz で加える。

ii) 内部抵抗 $50\ \Omega$ の電源から 500 V の電圧をパルス幅 $0.1\ \mu\text{s}$ 、繰返し周期 100 Hz で加える。

i. 湿度試験：通電状態において温度 $40\ ^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95 % の空气中に4日間放置

j. 絶縁抵抗試験

k. 絶縁耐力試験

このほか非火災報を防止するため、感知器には気流によって電離電流が、又は外光によって受光量が変化したとき、火災が発生したと同様の信号を発信しないことが要求されている。

i) イオン化式

風速は感知器及び感知器取付け板を取除いた状態で測定し、5m/s に調整した後、取付け板に取付けた感知器を所定の位置において試験を行う。

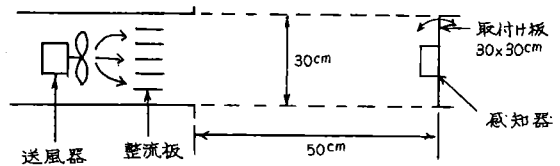


図 2・10 気流試験

(5 分以内に作動せぬこと)

ii) 光電式

a) 白熱電球を点灯させ、感知器を取り去った面が 500 lx となるようにする。

(5 分間点灯させ感知器は回転させる)

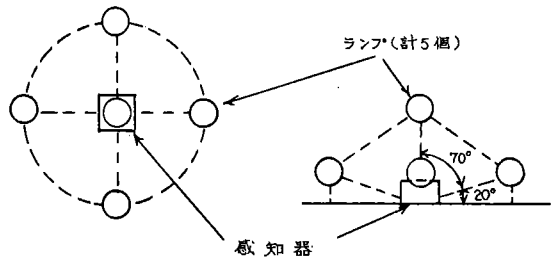


図 2・11 外光試験

b) キセノンランプを閃光させ感知器を取り去った面がガイドナンバー 64 相当となるようにする。(1 回閃光させる)

2・3 煙感知器に関連する諸外国の規格の概説

諸外国のうちここでは代表例として欧州と米国の 2 つについて概説する。

2・3・1 欧 州

保険会社（委員会）で定めた規格を適用している例が多く、例えば欧州保険委員会（CEA: Du Comité Européen des Assurances）、ドイツ保険協会中央試験所（VdS: Verband der Sachversicherer e. V.）、英国の火災保険委員会（FOC: Fire Offices' Committee）等がある。保険会社以外では、英国規格協会（BSI: British Standards Institution）やデンマークの電気試験所（EC: Elektronikcentralen）等がある。近年 EC 圏共通の規格として欧州標準化委員会（CEN: Comité Européen de Normalisation）が順次適用されるようになっている。

しかし、CEN 規格を母体としている ISO（International Organization for Standardization: 国際標準化機構）規格が世界の統一規格として日本も参加して検討されている。ここでは CEN 規格と日本の規格を比べ大きく相違する点の主たるものを下記する。

- (1) 感度試験用の疑似煙として、パラフィン油によるエアロゾルが用いられる。
- (2) 減光式濃度計光源として近赤外線光源が用いられる。
- (3) 煙の濃さは、イオン化式感知器に対しては単一電離室の電離電流の変化率を基とした y 値を、光電式感知器に対しては単位長さ当りの減光率を基とした m 値（単位として dB/m ）が用いられる。
- (4) 5 つの発煙材による試験火災が作動試験として適用され、その感度により A、B、C の 3 つのランク付けがなされる。

2・3・2 米 国

全米防火協会（NFPA: National Fire Protection Association）の基準（No. 72 E No. 74）を基に定められた保険業者試験研究所（UL: Underwriters' Laboratories Inc.）の規格 UL268 が一般建物用煙感知器の規格として適用されている。日本の規格と大きく相違する点の主たるものを下記する。

- (1) 機器の故障率が信頼性予測手法（MIL-HBK-217B に準拠）によって定められている。
- (2) 4 つの発煙材による試験火災が作動試験として適用される。
- (3) くん焼煙試験による作動試験が適用される。
- (4) 感知器の感度試験用燃焼材として綿灯心とケロシンランプが使用される。

3 煙感知器に関連する ISO 規格案についての諸問題

近年、貿易の非関税障壁除去の目的で、諸規格の国際化の動きが活発になった。消防機器もその例外ではなく、ISOの技術委員会TC-21が規格の専門委員会であり、その小委員会SC-3が火災感知及び通報設備に関する審議委員会である。煙感知器についての規格は大別してパラフィンのエアロゾルを用いて行う環境試験を伴う基礎試験と、試験火災での火災感度試験とからなる。これらはまだ草案の段階であるが、規格案の基本的構想、試験火災その他の試験方法について、その概要を述べる。

3.1 試験火災

ひとくちに火災といっても、その種類・進展の過程は千差万別であり、それから生ずる熱・光・煙・ガス・音といったものも変化する。火災によって生ずる種々の物理化学現象を検出し報知すれば、火災感知器と名付けられるであろう。わが国の消防規格の火災感知器は、前章に示したように、その検出原理によって、熱感知器は温度を、煙感知器は煙濃度を測定して感度試験を行っているが、実火災による試験は行っていない。しかし将来技術の進歩によって新しいタイプの検知器が開発される可能性があり、それらを火災感知器として認定するのに火災現象を代表するような試験火災によって感度を求めることは有効であろう。また、火災感知器はその検出原理により火災の種類に対する応答性を異にする。これらの関係を知ることは実際に感知器を設置する際に重要である。ここでいう試験火災は表3・1に示す6種の典型的な特徴をもつ火災であり、実際の火災の大半を代表する。このうち煙感知器は試験火災2、3、4、5を適用する。

試験火災は再現性が良いことが絶対必要条件である。そのために表3・2に示す複数の燃焼パラメータを満足することが要求される。

ただし、dB/m表示の減光係数 m 、減光係数 C_s 及び減光率の関係を表3・3に示す。また電離式煙濃度 y と電離電流変化率 $\alpha = \Delta J/J_0$ の関係を表3・4に示す。

減光式煙濃度は、わが国では可視領域で測定するのに対してISO案では近赤赤外領域で測定する。(第4章参照)

電離式濃度計は、次節の図3・8に示す吸引する方式のものである。

表 3・1 試験火災の種類とその特徴

試験火災 TF	火災の種類 (燃焼材料)	火災の特徴				
		発熱性	上昇気流	煙の発生	エアロゾルの領域	煙の見え方
1	木材の有炎 (木ぶな材)	大	強	有	主に不可視	黒
2	木材くん焼 (木ぶな材)	無視できる	弱	"	主に可視	光を良く散乱する
3	綿灯心の発光くん焼	"	微弱	"	"	"
4	ポリウレタンの有炎	大	強	"	一部不可視	極めて黒
5	液体有炎 (n-ヘプタン)	"	"	"	主に不可視	"
6	液体有炎 (変性アルコール)	"	"	無	無	無

(注) 燃焼量・燃焼方法は表 3・5 参照

表 3・2 各種燃焼パラメータ

燃焼パラメータ	記号	単位
温度上昇	ΔT	°C
減光式煙濃度	m	dB/m
電離式煙濃度	y	
2種類の煙濃度の比	m/y	dB/m
重量減少率(G_0 の初期重量)	$\Delta G/G_0$	

表 3・3 減光式煙濃度の各種表示法

減光率 [%/m]	dB 表示の減光係数 m[dB/m]	減光係数 Cs[1/m]
5.0	0.223	0.051
10.0	0.458	0.105
10.9	0.500	0.115
15.0	0.706	0.163
20.0	0.969	0.223
20.6	1.000	0.230
36.9	2.000	0.461

(注) $m = 10/l \cdot \log_{10} (I_0/I)$
 $C_s = 1/l \cdot \ln(I_0/I)$

次に試験火災の条件について項目別に示す。

(1) 火災試験室の大きさ

図 3・1 に示す直方体の室で、大きさを以下に示す。

長さ 9 ～ 11 m

幅 6 ～ 8 m

高さ 3.8 ～ 4.2 m

表 3・4 電離式煙濃度表示法と、これと電離電流変化率との関係

y	$x = \Delta J/J_0$
0.5	0.219
1.0	0.382
1.5	0.500
2.0	0.586
3.0	0.697
4.0	0.764
6.0	0.838

(注) $y = J_0/J - J/J_0 = x(2-x)/(1-x)$
 $\Delta J = J_0 - J$

(2) 感知器の数

同一の型式の感知器 4 個。

(3) 感知器の設置位置

火点より 60° の角度以内の水平方向 3 m の天井面に濃度計等とともに円弧状に設置する。

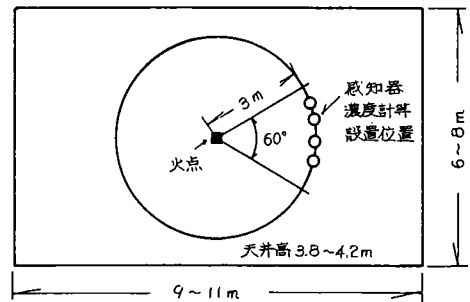


図 3・1 火災試験室の大きさ

(4) 初期条件

試験開始時の条件は、

$$T = 23 \pm 5^\circ\text{C}$$

$$y < 0.05$$

$$(\Delta J/J_0 \approx 0.025)$$

$$m < 0.05 \text{ dB/m}$$

$$(\text{減光率} \approx 1.1\%/\text{m})$$

(5) 感知器作動時の燃焼

パラメータの記録

試験の際には感知器作動時の燃焼パラメータ ΔT_a 、 m_a 、 y_a を記録する。添字 a は作動時を示す。

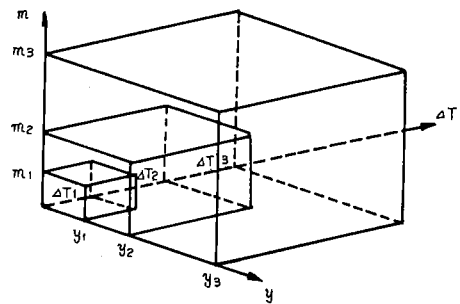


図 3・2 火災感度の分類

(6) 感知器の火災感度の分類

ΔT 、 m 、 y の 3 種の燃焼パラメータをさらに 3 つの等級に分類する。その値を次に示す。

$$\text{等級 A } \Delta T_1 = 15^\circ\text{C} \quad m_1 = 0.5 \text{ dB/m} \quad y_1 = 1.5$$

$$\text{〃 B } \Delta T_2 = 30^\circ\text{C} \quad m_2 = 1.0 \text{ dB/m} \quad y_2 = 3.0$$

$$\text{〃 C } \Delta T_3 = 60^\circ\text{C} \quad m_3 = 2.0 \text{ dB/m} \quad y_3 = 6.0$$

図 3・2 に示す火災感度の分類には温度と 2 種類の煙濃度をパラメータとした 3 つの箱がある。煙感知器の作動時の燃焼パラメータ ΔT_a 、 m_a 、 y_a がすべて最小の箱に入れば、その感知器の感度は等級 A となる。2 番目の箱が B、最大の箱が C となり、それ以上の値では N (不合格) となる。従って 3 種の燃焼パラメータの最も感度の悪い要素によって等級は決定される。感知器の感度は、試験

火災ごとに4個の感知器がすべて作動した時の最低の等級で表示される。

(7) 試験火災の燃焼材料と燃焼方法

6種類の試験火災の燃焼材料と燃焼方法及び終了時のパラメータを表3・5に示す。

表3・5 試験火災の燃焼量・燃焼方法及び終了時のパラメータ

試験火災	火災の種類 (燃焼材料)	燃焼量 / 燃焼方法	試験終了時の燃焼パラメータ				
			ΔT_e	m_e	y_e	$(m/y)_e$	$(\Delta G/Go)_e$
1	木材の有炎 (ぶな材)	10×20×250mm ³ /本(含水率<3%) 70本 約2.3kg アルコールで点火	>40℃	—	6	0.1 ±25%	≤0.5
2	木材くん焼 (ぶな材)	10×20×35mm ³ /本 24本 1.4kWホットプレート(50℃/min)で加熱	—	2	—	1.30 ±25%	≤0.6
3	綿灯心の発光くん焼	3φ×800mm/本 90本 100φの輪につり下げて点火	—	2	—	0.50 ±25%	≤0.8
4	ポリウレタンの有炎	密度20kg/m ³ 、500×500×20mm ³ /枚 マット3枚を、角からアルコールで点火	>50℃	—	6	0.25 ±15%	≤0.8
5	液体有炎 (n-ヘプタン)	3%のトルエンを混合、Go=600g 330×330×50mm ³ の火皿	>60℃	—	6	0.18 ±15%	≤0.8
6	液体有炎 (変性アルコール)	エタノール>90%, Go=2000g 435×435×50mm ³ の火皿	>60℃	—	—	—	≤0.8

(注) 添字“e”は試験終了時の値を示す。

試験火災1の木材の組み方

を図3・3に示す。

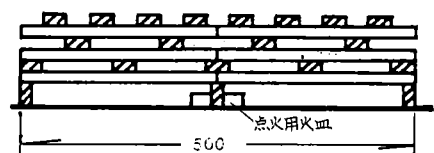
試験火災2を図3・4に示す。

ホットプレートには、幅5mm、深さ2mmの8本の同心円状の溝が刻んである。

試験火災3を図3・5に示す。

(8) 試験成立の条件

表3・5に示す各試験火災について指定されている ΔT_e 、 m_e 、 y_e のいずれかが越えたとき試験が成立し、これを終了する。もしも越えなければ燃焼量を調整して再試験する。



(側面)



(正面)

図3・3 試験火災1



図 3・4 試験火災 2

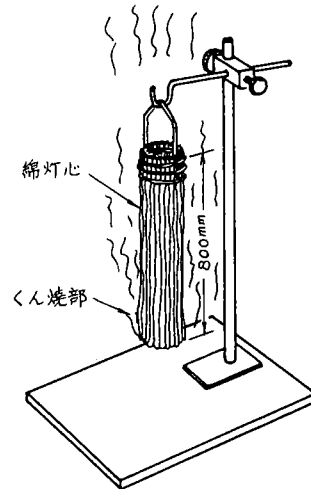


図 3・5 試験火災 3

以上の試験方法により煙感知器の火災に対する感度の等級が、火災の種類ごとに決定される。

試験火災の問題点について述べると次のとおりである。

- (1) 天井高が 4 m の建築物はわが国では少ない。
- (2) 減光式煙濃度の測定を近赤外領域で行うため、人間の視感度と合致しない。
- (3) ぶな材は、わが国では一般的に使用されていない。
- (4) 綿灯心は温度によって燃焼速度が変化しやすい。わが国は、季節により高湿になりやすく、乾燥には特に注意を要する。

3・2 煙感知器

3・2・1 感知器に関する ISO 規格案の構成

ISO 規格に適合していることを評価するための感知器試験全分野の構成を図 3・6 に示す。詳細仕様には試験用サンプル数、各機能試験を実施する感知器番号の指定等の試験計画と、各機能試験に対する許容変動範囲の

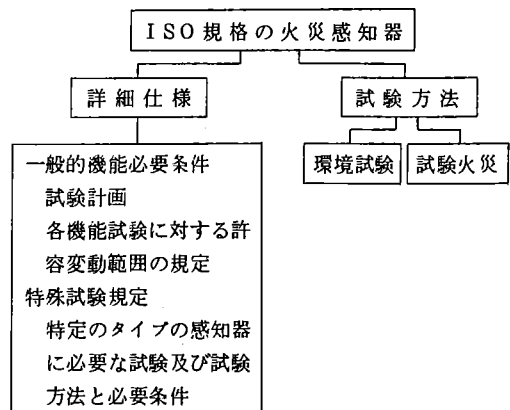


図 3・6 ISO 感知器規格の構成

規定を含む一般機能必要条件、また、特定タイプの感知器（例えば熱感知器又は煙感知器等）に必要な試験及び試験方法と必要条件を含む特殊試験規定とが述べられている。試験方法は環境試験と試験火災に分けられている。

現在、感知器は各国それぞれに規格を設けている。これらの規定を国際的に統一するためには、適正な技術レベルを維持し、将来の技術の進歩発展を十分に受け入れ得る規格とすることが重要である。従って、ISO案では感知器をブラックボックスと見なし、試験を通して機能、特性を実証し、生産管理試験ともいえる方法で品質に対する信頼性を実証する方針がとられている。

3・2・2 スポット型煙感知器の規格案（ISO/TC21/SC3 N75）の概要

(1) 試験計画

煙感知器には、本案の第5条～第20条で規定されている基礎的な試験と第21条に規定されている火災感度試験が課せられる。試験には16個の感知器が要求され、任意に1から16までの番号を付ける。表3・6の計画に従って試験が行われるが、順序は一般的には特に指定されない。

(2) 一般的必要条件

この規格に適合する感知器はすべての試験に合格し、また必要条件を満たすことをメーカーは保証せねばなら

ない。販売される感知器には、性能を保証するためのデータを明示するか、いつでも明示できなければならない。表示事項としては規格の番号、製造者又は販売者名もしくは商標及び型名とされている。国によってはこの規格に適合するということを実証するための検定を公的機関によって行うことが認められている。

(3) 作動いき値の測定

第5条～第20条に示す各基礎試験の前後に作動いき値の測定を行う。測定は次に説明する

表 3・6 煙感知器試験計画表

規格条号	細則番号	試験項目	供試感知器の番号
5	C	スイッチ投入	1
6	D	繰返性	2
7	E	指向性	3
8	F	再現性	全数（16個）
9	G	電圧変動	1
10	H	気流	3
11	J	高周囲温度	11
12	K	外光	4
13	L	振動	5
14	M	湿度	6. 10
15	N	ショック（落下）	12
16	O	インパクト	4
17	P	腐食	3. 9
18	Q	絶縁抵抗	13
19	R	絶縁耐力	7
20	S	低周囲温度	14
21	試験火災	火災感度	2. 8. 15. 16

風洞、試験エアロゾル及び種々の測定機器によって行う。

a、試験用風洞

0.1～1m/s の風速を出し得る閉回路風洞が使用され、風洞内の気温は毎分1℃以下の割合で20℃から50℃まで上昇させ得る。測定部分の機器の配置、寸法を図3・7に示す。

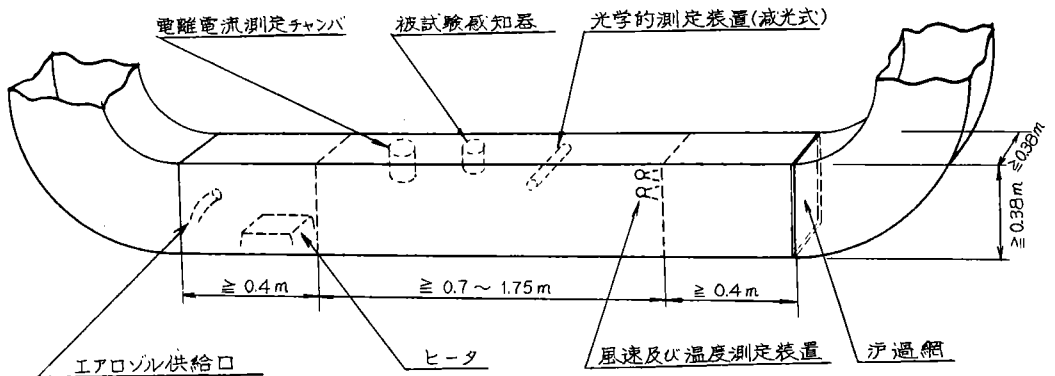


図3・7 試験用風洞

b、試験用エアロゾル

試験用エアロゾルの粒径分布の最大値は、0.5～1μmの間にあるものとする。粒子の屈折率はほぼ1.4とする。また、粒径分布、粒子の光学的定数、粒子の形態及び構成が安定であり、再現性があるものとし、エアロゾルの材料として液体パラフィンが推奨されている。

c、測定機器及び測定方法

i) 光学的測定方法

光電式感知器の作動いき値は、次式で示されるエアロゾルのdB減光係数 m [dB/m] で示される。

$$m = -(10/l) \log_{10} (I/I_0)$$

ここに l = 光路長 [m]

I_0 = 試験用エアロゾルがない場合の透過光強度

I = 試験用エアロゾルが含まれる場合の透過光強度

測定に用いる光束の拡がりは3°以内とし放射束は少なくとも50%以上は800～950nmの範囲内にあり、800nm以下では1%以下、また、1050nm以上では10%以下とする。

ii) 電離電流による方法

イオン化式感知器の作動いき値は、この測定方法による電離電流の変化率の関数で与えられる無次元量の y で示される。測定用電離室は図3・8に示す構造で連続的吸引によりエアロゾル含有量を電離

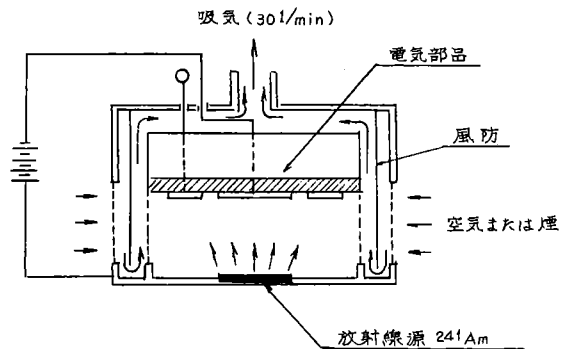


図3・8 測定用電離室

電流変化率によって測定する。測定用電離室は次式の関係が成立するように設計する。

$$Z \cdot \bar{d} = n \cdot y$$

$$\text{ここに } y = x(2-x)/(1-x) \quad x = \Delta J / J_0$$

J_0 = エアロゾルのない状態における電離電流 [A]

$\Delta J = J_0$ とエアロゾルを含む状態における電離電流との差 (電離電流減少分) [A] n = 電離室の定数

Z = 粒子の個数濃度 [m^{-3}] $\bar{d}$ = 平均粒子直径 [m]

N75には測定電離室の機械的構造、部品リスト、技術的データが示されている。⁽³⁾

d、試験方法 (気流速度、温度等)

風洞内の気流速度は指定のない限り $0.2 \pm 0.04 \text{ m/s}$ とし気流温度は同じく $23 \pm 5^\circ\text{C}$ とする。エアロゾル濃度測定は感知器の付近で行い、試験用エアロゾルは m 及び y の増加速度が

$$\text{光電式の感知器に対し} \quad \Delta m / \Delta t < 0.2 [\text{dB/m}]_{\text{min}^{-1}}$$

$$\text{イオン化式の感知器に対し} \quad \Delta y / \Delta t < 0.15 \text{ min}^{-1}$$

となるように風洞内に供給する。

(4) 基礎的試験

基礎的試験の項目は第5～20条に掲げてあり、これが表3・6に示されているが、これらの試験は、実際に起こり得る周囲状況に耐えることが基礎的に可能かどうか、また長時間のうちに機能変化を生じないかどうかを確認する環境試験である。なお、この基礎試験は個々の感知器の作動いき値の不変性と感知器相

互間の作動いき値の一様性を実証するためのものである。それぞれの試験は、試験前後の作動いき値を測定し、その最大値を $m_{\max}$ 又は $y_{\max}$ とし最小値を $m_{\min}$ 又は $y_{\min}$ とする。この場合

$$\begin{array}{ll} m_{\max} / m_{\min} < 1.6 & \text{又は} \quad y_{\max} / y_{\min} < 1.6 \\ m_{\min} > 0.2 \text{ dB/m} & y_{\min} > 0.05 \end{array}$$

でなければならない。

注) 第 5 ～ 20 条の試験の中の多くは別途規定される環境試験の基準に示される試験方法に基づいて試験を行うことになるが、現在、環境試験基準は検討中であるので、N75 では CEN の規格案がそのまま示されている。

(4) 火災感度試験

第 21 条の火災感度試験は別途規定される試験火災 (3・1 節参照) に基づいて行われる試験である。TF1 ～ 6 まで 6 種の定義された試験火災による試験方法と A、B、C 3 種の感度区分 (図 3・2 参照) が規定されている。N75 では煙感知器として TF2 ～ 5 の各試験において、いずれの場合も A、B 又は C の等級の中に入ることを必要条件としている。

4 煙の光学的特性と煙濃度表示への波長の影響

4.1 概 説

煙の濃度測定の方法は次に示すように種々ある。

- (1) 重量測定 フィルタ捕集法
- (2) 光学式測定 光の減光・散乱
- (3) 静電気法 静電エアロゾル分析器 (EAA)
- (4) ピエゾ発振子法

濃度の表示法も対象となる分野によって異なり、ビル環境や大気中の浮遊粉じんの測定では重量濃度 [mg/m^3]、無じん室等では個数濃度 [$\text{個}/\text{cm}^3$]、そして消防の分野では減光率 [$\%/m$]あるいは減光係数 [$1/m$]等が用いられる。これらの濃度間の関係は粒子の性質・測定器の特性等により必ずしも一定にならない。

図4・1はガソリンの主成分であるヘプタンの有炎燃焼煙と綿灯心の発光くん焼煙の減光率煙濃度と重量濃度の関係である。個々の燃焼物に対しては相関があるが、燃焼物の種類で大きく変化する。

第3章で示したように現在火災報知設備に関して国際規格化 (ISO) の動きがあるが、この中で使用する減光式煙濃度測定においても測定機器の使用波長の違いによる測定値の差が認められる。従って本章ではこのような問題を論述する。

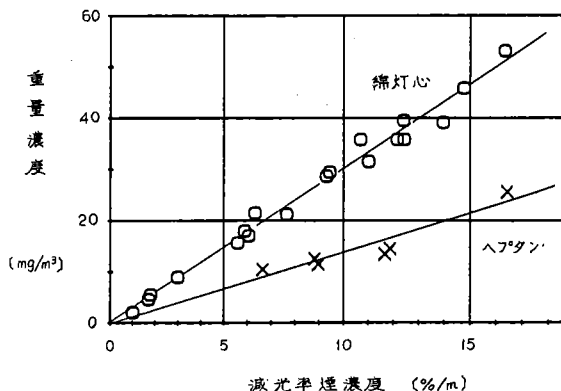


図 4・1 燃焼煙の減光率煙濃度と重量濃度の関係

4.2 減光式煙濃度計

減光式煙濃度測定には発光源と検出部が必要となる (表4・1参照)。一般に光源には白熱電球・発光ダイオード (LED)・レーザ等があり、検出部には太陽電池 (Se, SPD, SBC)・光電管・光導電素子 (CdS, CdSe, PbS)等がある。

これらはおのこの特性が異なる。図4・2に代表的な光源の分光分布を示す。白熱電球は火報規格では、2800K、米国UL規格では2373Kである。LEDは可視赤色(GaAs)と近赤外(GaAsP)を示した。なおレーザはHe-Ne(630nm)などがある。

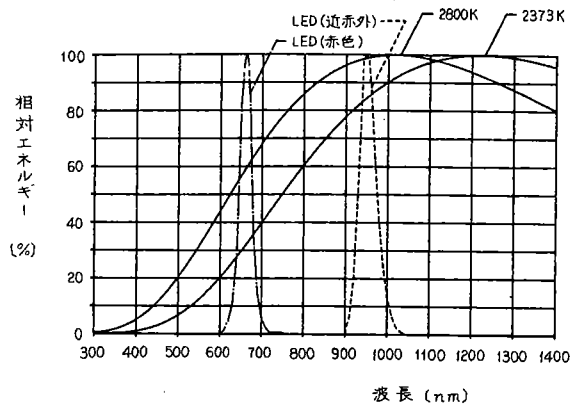


図4・2 各種光源の分光分布

同様に検出素子の分光感度を図4・3に示す。

上記の素子類に光学フィルタを用い分光感度補正を行う場合もある。

次に各種の減光式煙濃度計の例を表4・1に示す。表中の減光式煙濃度計の分光感度は図4・4に示すようにA、B、Cは可視領域、D、Fは近赤外領域、

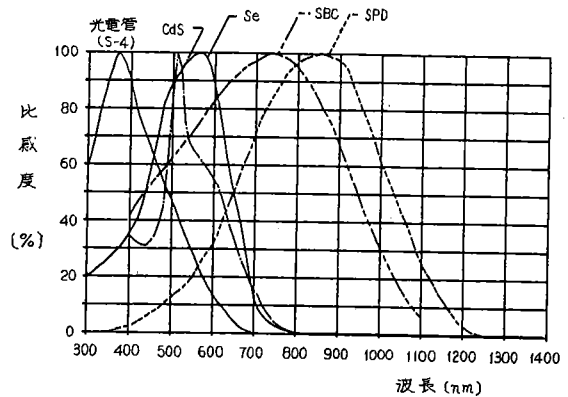


図4・3 各種検出素子の比分光感度

表4・1 各種減光式煙濃度計

記号	適用	光源			受光素子
A	火報規格	白熱電球 (色温度 2800±30K)			Se光電池 (グレイタイプ)
B	UL規格 (UL217 ⁽⁵⁾)	白熱電球 (色温度 2373±50K)			Se光電池 (米国ウェストン社594 R.R.)
C	建築材料の 発煙量測定	白熱電球 JIS標準A光源 (色温度 2856K)			光電管+光学フィルタ 又はCdS
D	ISO規格案	波長	< 800 nm	800~950	SPD、光学フィルタ
		放射量	< 1%	> 50%	
E	その他の例	白熱電球 (色温度 2800K)			SBC(シャープ)
F	(参考) 減光 式煙感知器	LED (近赤外 950nm)			SPD

Eはその中間領域である。
これらの分光感度の波長
中央値〔nm〕を表4・2に
示す。

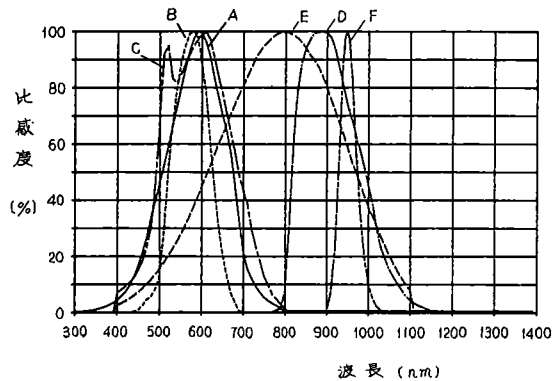


図4・4 各種減光式煙濃度計の分光感度

表4・2 減光式煙濃度計の分光感度の波長中央値

記 号	A	B	C	D	E	F
波長中央値〔nm〕	580	570	590	900	780	950

4・3 煙の光学的性質

煙の光学的性質は煙粒子の粒径・粒径分布・形状・屈折率・吸光性・濃度・光の波長等に依存するが、ここでは煙の減光特性についてのみ述べる。

煙粒子による光の減衰は煙濃度（減光係数）と透過距離との積の指数関数になるといいうゆる Lambert-Beerの法則に従う。測定波長 λ における光の透過率を $\tau(\lambda)$ とすると、 $\tau(\lambda)$ は次式で示される。

$$\tau(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda) = e^{-C_{EXT}(\lambda, d, M(\lambda) \cdot z \cdot l} \quad (4 \cdot 1)$$

ただし $I_0(\lambda)$: 波長 λ の入射光強度〔cd〕 d : 粒径〔m〕
 $I(\lambda)$: 波長 λ の透過光強度〔cd〕 $M(\lambda)$: 複合屈折率
 C_{EXT} : 減光断面積〔m²〕 z : 個数濃度〔m⁻³〕
 λ : 波長〔m〕 l : 光路長〔m〕

上式によれば減光係数は $(C_{EXT} \cdot z)$ となり、これは光学的煙濃度表示の一方法として用いられる。（後述の脚注参照）

また単色光の減光係数は次式で示される。

$$C_S(\lambda) = -1/l \cdot \ln \{ I(\lambda)/I_0(\lambda) \} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (4.2)$$

ここで煙粒子を単分散（粒径が一樣であること）・等方性・均一と仮定すると、式(4.1)と式(4.2)とから減光係数は次式のように粒子の個数濃度と減光断面積との積となる。

$$C_S(\lambda) = C_{EXT} \cdot z \quad [\text{m}^{-1}] \quad (4.3)$$

減光断面積 C_{EXT} は粒子の幾可学的断面積 ($\pi d^2/4$) と粒径及び波長の関数である減光作用係数 Q_{EXT} との積として式(4.4)で表わされる。

$$C_{EXT} = \pi d^2/4 \cdot Q_{EXT} \quad [\text{m}^2] \quad (4.4)$$

この Q_{EXT} は Hosemann⁽⁷⁾ により Mie の理論等から波長等をパラメータとして計算されている。図4・5にプロパンの煤についての一例（概略値）を示す。図4・5でわかるように減光作用係数は測定波長と粒径の関係から3つの領域に分けられる。すなわち波長に対して粒径が

(1) 小さい領域

$$Q_{EXT} \propto d \quad (C_{EXT} \propto d^3)$$

(2) 大きい領域

$$Q_{EXT} \approx \text{一定} \quad (C_{EXT} \propto d^2)$$

(3) (1)と(2)の中間領域

過渡領域

以上の結果は当然のことながら測定波長を短くするほど微小粒子の煙濃度を高感度で測定できることを示している。例えば粒径 d が $0.1 \mu\text{m}$ で個数濃度 Z が 10^7 個 / cm^3 の煙に対して測定波長 λ を 300, 500, 900 nm で測定すると減光係数は表4・3に示す値になる。また図4・5においておのおのの波長の曲線がほぼ平行していることから、同一の煙を異な

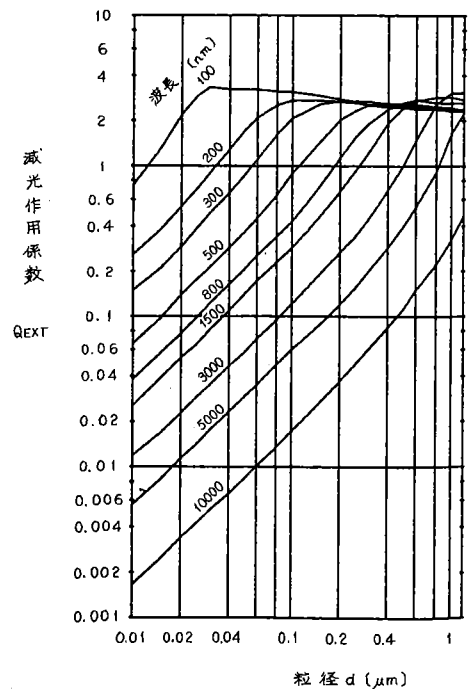


図4・5 粒径と減光作用係数との関係（プロパンの煤、単分散、球）

表 4・3 測定波長別の減光係数

測定波長 λ [nm]	減光係数 C_s [1/m]	$\lambda = 500$ nmにおける C_s 値との比	減光率 [%/m]
300	0.165	2.41	16.2
500	0.068	1.00	6.6
900	0.036	0.52	3.5

る波長で測定した時の煙濃度の比は、煙の粒径が例えば1/2あるいは2倍と多少変化してもほぼ同一値になることがわかる。

4・4 各種燃焼材料から生成する煙の粒径分布

減光式煙濃度計で測る煙濃度は煙の粒径に依存することを前節で示した。ここでは燃焼によって生成する煙の粒径分布を示す。燃焼によって生成する煙の粒径は、燃焼材料の種類・燃焼温度・酸素分圧あるいは有炎燃焼かくん焼かといった条件で変化する。一般に有炎燃焼の煙は粒径が小さく黒いものが多く、逆にくん焼煙は比較的粒径が大きく白色にみえるものが多い。わが国の煙感知器の検定に使用する煙は400℃における沓紙のくん焼煙で白色煙である。一方、ISOで検討されている試験火災は、前章の表3・1に示したように火災として考えられる特徴のある例で、煙の粒径分布・光の吸収率等様々である。これらの煙の粒径分布を文献より求めてみた。⁽⁸⁾⁽⁹⁾

図4・6は沓紙を500℃でくん焼させた場合と有炎燃焼させた場合のEAA（静電エアロゾル分析器）による測定データである。⁽⁸⁾縦軸は個数濃度を示す。明らかに有炎燃焼の方が粒径が小さく測定範囲内にピークがなく、くん焼に比較して粒径の小さい範囲で個数濃度が高いことがわかる。くん焼煙は0.08 μ m付近にピークがある。

図4・7は木材（ぶな）の例である。⁽⁹⁾沓紙のデータに比較して個数濃度が異なるが、粒径分布は大きい方にシフトしている。くん焼煙では0.08～0.15 μ m付近に、有

（脚注）各種光学的煙濃度表示の関係

- (1) 減光率 $D = (I_0 - I) / I_0 \times 100 = 100 \times \{ 1 - \exp(-C_s) \}$ [%/m]
- (2) 減光係数 $C_s = -1/l \times \ln(I/I_0) = 0.230 m$ [1/m]
- (3) ISO案 $m = -(10/l) \times \log_{10}(I/I_0) = 4.33 C_s$ [dB/m]
- (4) 光学的密度（UL規格） $OD = -(1/l) \times \log_{10}(I/I_0) = m/10$ [1/m]

ただし I_0 : 入射光強度、 I : 透過光強度 l : 光路長

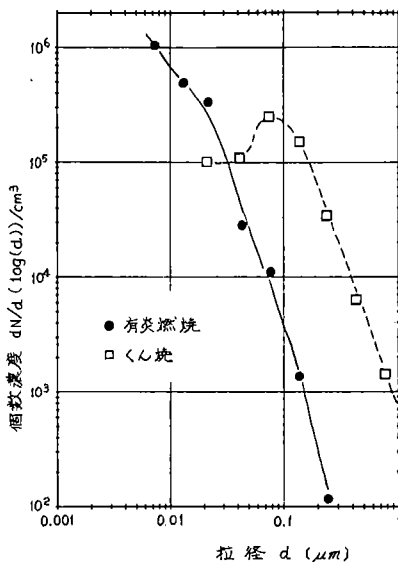


図 4-6 浜紙の有炎燃焼及びくん焼の煙の粒径分布

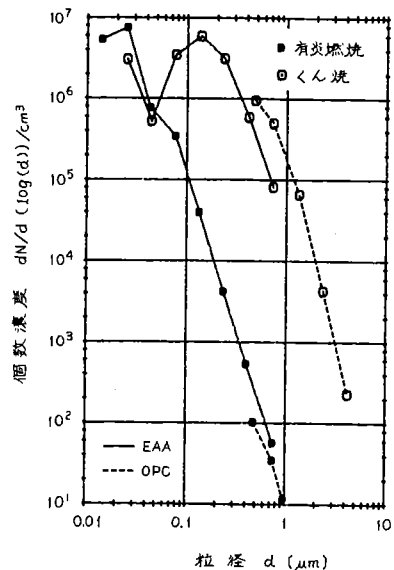


図 4-7 木材(ぶな)の有炎燃焼及びくん焼の煙の粒径分布

(注) EAA 静電エアロゾル分析器
OPC 光学式粒子カウンタ

炎燃焼では $0.02\mu\text{m}$ 付近にピークが認められる。図中の OPC は光学式粒子カウンタによる測定値である。

EAA による値と多少差があるが、同一の傾向を示している。

図 4-8 は綿灯心の発光くん焼煙とヘプタンの有炎燃焼煙のデータである⁽⁸⁾。粒径分布のピークは、ともに $0.15\mu\text{m}$ 付近であり、特にヘプタンの有炎燃焼煙は粒径分布の分散が小さくなっている。

各種燃焼材料の煙のピーク粒径は、表 4-4 に示すように $0.2\mu\text{m}$ 以下になっている。この値は可視領域あるいは近赤外領域に感度をもつ減光式煙濃度計の感度波長より小さい。従って減光式煙濃度計の測定値は、煙

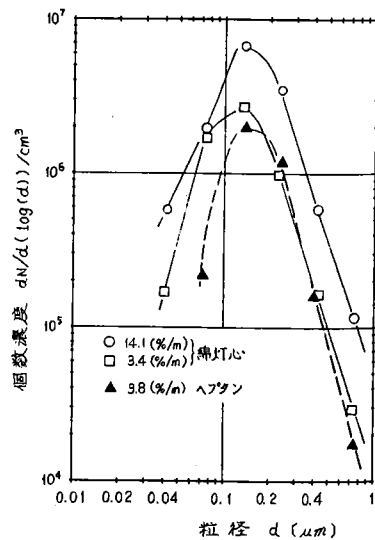


図 4-8 綿灯心及びヘプタンの燃焼煙の粒径分布

のピーク粒径より大きい粒径の分布、すなわち粒径の分散の大小に影響されることを示している。

表 4・4 EAA 測定による各種燃焼材料の煙のピーク粒径

燃 焼 材 料	紙		木 材 (ぶな)		綿 灯 心	ヘブタン
燃 焼 条 件	有 炎	くん 焼	有 炎	くん 焼	発光くん焼	有 炎
ピーク粒径[μm]	< 0.01	0.08	0.025	0.15	0.15	0.15

4・5 煙濃度表示への測定波長の影響と技術上の問題点

前節まで減光式煙濃度計、減光式煙濃度測定に影響する因子、燃焼で生成する煙の粒径分布等について述べたが、ここでは実際に減光式煙濃度計を用いた燃焼煙の濃度測定値を示す。

わが国の火報規格に使用される減光式煙濃度計と ISO 案の減光式煙濃度計の測定値を比較する。

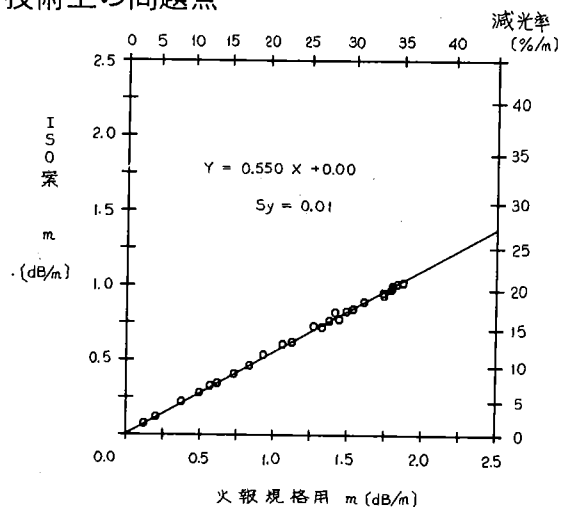


図 4・9 濃度計による測定値の相違
(木材ぶなの有炎燃焼)

図 4・9 は木材の有炎燃焼の例である。ここでは煙濃度表示を前章で示した ISO 案の m [dB/m] を用いているが、それに対応する減光率煙濃度の値も図中に示している。

2 種類の濃度計の煙濃度は一定の直線関係に乗るが、分光感度の波長中央値 900 nm の ISO 案の濃度計の値が 590 nm の火報規格の濃度計の値の約 1/2 (0.55) になることを示している。同様に種々の燃焼材料の煙に対する規定値の相違をまとめて図 4・10 に、また比率を表 4・5 に示す。燃焼材料の乾燥状態・湿度条件にも影響されるが、低温くん焼では 1 : 1 の関係のものが加熱温度を上昇されるのに比例し濃度値の差が拡大する。特に綿灯心は発生する状態でくん焼させると、濃度計の違いによる差が最も大きい。

ポリウレタンの有炎燃焼煙はカーボンがよく凝集した煙であり、 n -ヘプタ

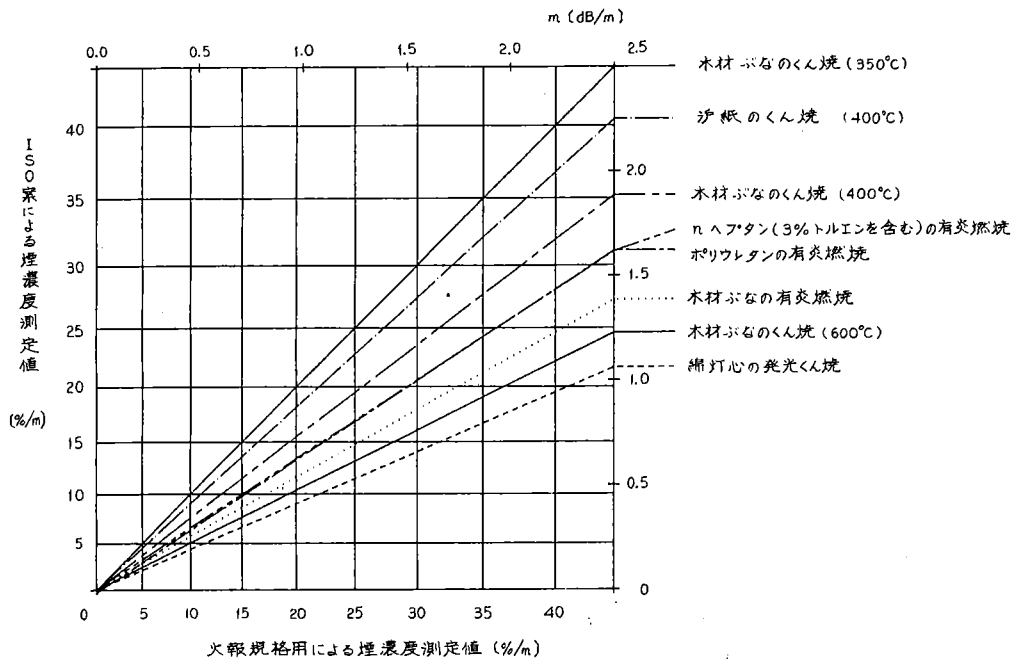


図4・10 わが国とISO案の濃度計による測定値の相違

ンの有炎燃焼煙は比較的良好に分散した煙であるが、両測定値の比率は共に0.64である。一方、図4・5で検討したプロパンの煤が煙粒子の質としては、この両者と同等と考えられる。波長中央値590nmの火報規格濃度計と900nmのISO案の濃度計とのプロパン煤に対する濃度の比率を前記のHosemann等の方法によって試算すると0.64となり、上記の比とよく一致している。すなわち煙の質が同等であれば凝集による影響が少ないことを示している。

表4・5 火報規格とISO案の濃度計による測定値の比較

燃 焼 材 料	燃 焼 条 件	比 率
木材 (ぶな)	くん焼	350°C 1.00
		400°C 0.75
		600°C 0.49
沙 紙	400°C	0.90
綿 灯 心	発 光 くん 焼	0.42
ポリウレタン	有 炎 燃 焼	0.64
n -ヘプタン		0.64
木材 (ぶな)		0.56

次に視感度に近い太陽電池 (SBC、図4・3参照) を用いた減光式煙濃度計 (波長中央値780nm) と火報規格濃度計の測定値の比較を図4・11に示す。

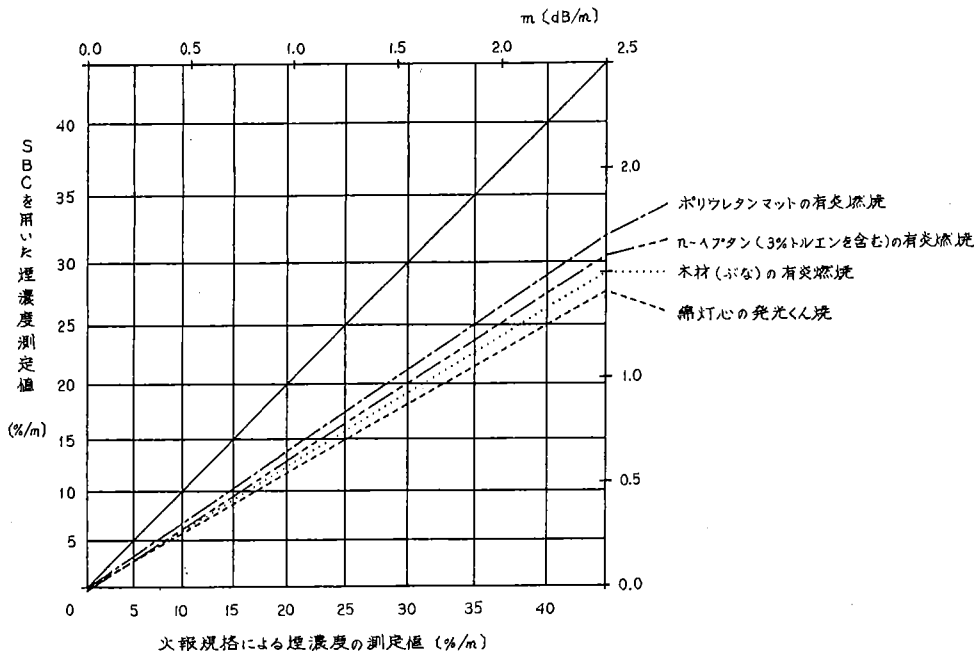


図 4・11 濃度計の違いによる測定値の相違（受光素子 S_e と SBC）

図 4・10 の ISO 案の濃度計の値に比較し差が減少するが、測定値の相違を無視できない。

ここには示さなかったが、UL 規格あるいは表 4・1 の C に示す濃度計と火報規格濃度計の測定値を比較すると、ともに分光感度がほぼ視感度と一致しているため、濃度計の測定値の差は無視できる程小さい値である。

上述のように煙濃度計の違いによる濃度測定値の差は、濃度計の分光特性に起因する。例えば可視光（590 nm）濃度計の測定値に対する近赤外光（900 nm）濃度計の測定値の比が、燃焼材料又は燃焼温度によって変化し、有炎燃焼では 0.5～0.64、くん焼では 0.4～1.0 となる。現在の光電式感知器では主として近赤外光が使用されているため、例えば ISO 案の火災感度試験を行うとき、減光式煙濃度計に同じく近赤外光を使用する方が良いとの提案があるが、火災時の避難の面からは可視光を用い、濃度計の分光感度を人間の視感度に合わせる必要がある。故に、この使用波長に関する問題は更に将来検討する必要がある。

5 減光式分離型煙センサについての実験結果とその考察

5.1 試験火災による実験の方法

本センサについては2.1.3節にその大要を記したが、本節においてはこれを用いた実験について記す。⁽¹⁰⁾

前述のように本センサは在来の一体型のものとは異った特性、性能を示すと考えられるので、将来、規格を制定するために必要な資料を得る目的で、火災報知機製造会社3社が主体となって関係省庁を含めLS(long span)研究会を組織して、協同実験研究を行った。その一部である低天井における実験(能美防災工業メヌマ工場の実験棟において実施)について記す。実験棟内に幅10m、長さ30m、天井高4.8mの実験室を仮設し、ここに3社が銘々に試作した計6台(組)のセンサ、多数の濃度計、風速計等を図5.1のように配置した。

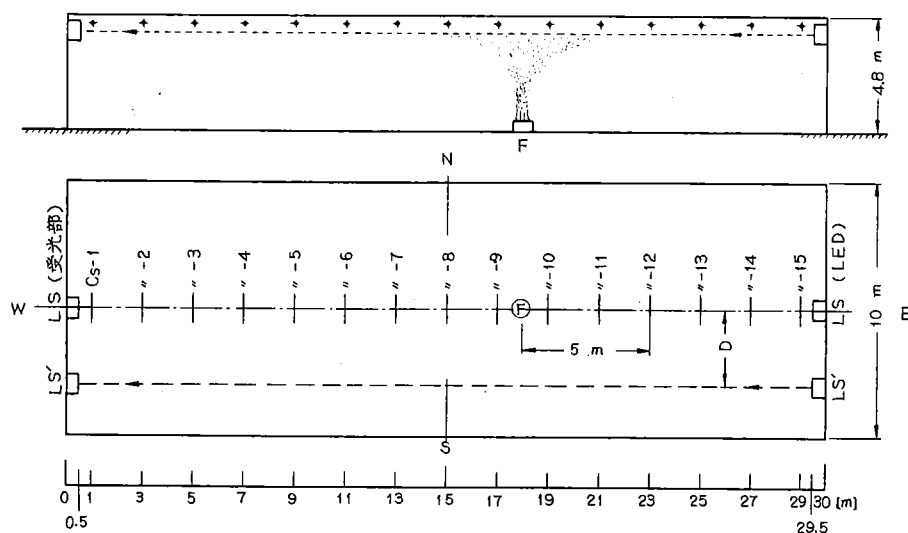


図5.7 実験室における火源、センサ及び濃度計の配置

図にLSとあるのは6個のセンサの内、室の中心線上に位置するものを、Fとあるのは煙源を、 $C_S-1 \sim 15$ は可視光を用いる減光式濃度計を示す。各 C_S でそれぞれの位置の煙濃度を単独に測定するとともに、これらの測定値(減光係数) $C_{S1} \sim C_{S15}$ を次式に従ってデータ処理装置によって加算して、スパン $L=29\text{m}$ にわたる区間の減光係数 C_{SL} の近似値を求める。

$$\begin{aligned}
 C_{SL} &= 1.5 C_{S1} + 2 C_{S2} + 2 C_{S3} + \cdots + 2 C_{S14} + 1.5 C_{S15} \\
 &= 2 (C_{S1} + C_{S2} + \cdots + C_{S14} + C_{S15}) - 0.5 (C_{S1} + C_{S15})
 \end{aligned}
 \quad (5 \cdot 1)$$

スパン $L = 29\text{m}$ の区間の減光率 δ_L は上式から次のように求められる。

$$\delta_L = (1 - e^{-C_{SL}}) \times 100 [\%] \quad (5 \cdot 2)$$

煙源としてはISO規格の試験火災(3・1節参照)に準じて木材、ウレタン、 n -ヘプタン等の有炎燃焼及び木材及び綿灯心のくん焼による煙を用い、これにウレタンのくん焼を加えた。

5・2 試験火災による実験結果とその考察

多数の実験が行われたが、そのうち F 点に火源を置いて、その直上からビームに沿って 5m を隔てた C_S-12 における濃度 C_{S12} が 10 及び $15\% \cdot \text{m}^{-1}$ に達した時点の濃度分布を検討の対象とした。燃焼材料及び有炎かくん焼かの別によって、上記の時点及び濃度分布の異なることはもちろんである。

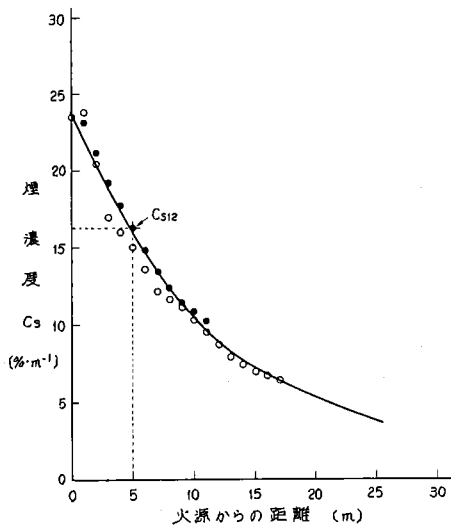


図 5・2 木材に着火後、3'45"における煙濃度分布

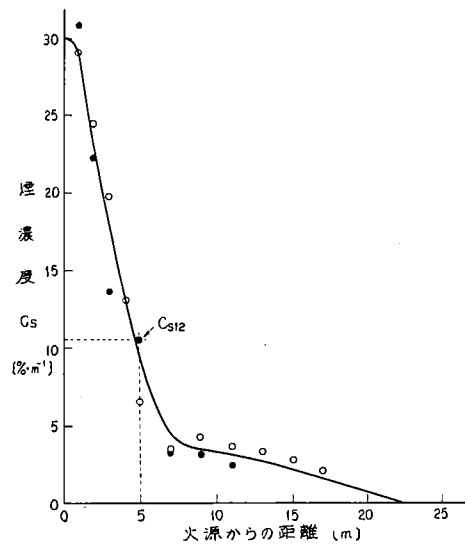


図 5・3 綿灯心に着火後 67'52"における煙濃度分布

図5・2は木材を有炎燃焼した際の、着火後3'45"における煙濃度分布を示す。○印及び●印は火源からそれぞれ西及び東方向の各 C_s の測定値及び相隣る2点の値の単純平均による補間値であり、実線はこれらの値から求められた濃度分布である。

図5・3は綿灯心をくん焼した際の着火後67'52"における濃度分布を示す。前図の有炎燃焼の場合と比較するとくん焼による煙が拡散しにくいことがわかるであろう。

煙の拡散に対する壁面の影響を無視すると、高さ4.8 mの床面積が無限に大きい室内では、煙濃度の空間分布は前の図5・2、図5・3の濃度分布曲線を、縦軸を軸として回転した回転面となる。図5・4にこれを示す。

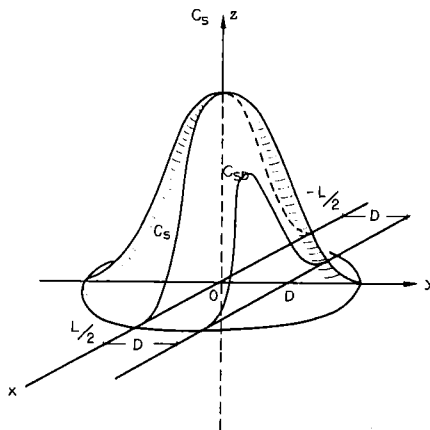


図5・4 減光係数 C_s の空間分布

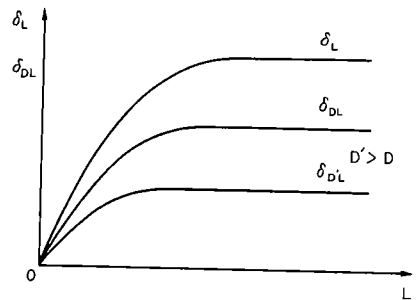


図5・5 スパン L に対する δ_L , δ_{DL} , $\delta_{D'L}$ の関係

ここで x 軸をビームの方向とすれば、 x 上に $\pm L/2$ の2点をとって、

$$C_{SL} = \int_{-L/2}^{L/2} C_s \, dx \quad (5.3)$$

なる積分を求めれば、原点を中心としてスパンが L である場合の区間の減光係数となる。これを式(5・2)に代入すると δ_L が得られる。

もしも、 $y = D$ なる、 xz 面に平行な平面でこの回転面を切断して得られる曲線 C_{SD} について同様の積分を行ない、積分値を C_{SDL} としてスパン L の区間の

減光率 δ_{DL} を求めると、図 5・1 の LS のビームの L [m] の区間の減光率が得られる。

図 5・5 は L に対する δ_L ならびに δ_{DL} の関係を示したものである。積分区間が $x y$ 平面上において回転面の外まで広がると、減光率が一定値で飽和することは図 5・4 から明らかであろう。 D が増大すると図 5・5 のように δ_{DL} は L の小さい値で飽和する。

図 5・6 は木材の有炎燃焼による実験から得られた L と δ_L 、 δ_{DL} との関係を示し、 $D = 15$ m まで計算してある。また、“ LS 換算値”とあるのはセンサに近赤外光が用いられ、これが煙濃度計に用いられる可視光より煙中で小さい減光率を示すことを考慮して換算を行なった結果である。

さて、前の図 5・4 からわかるように、その F 点にある火源を図 5・7 に示すように、これから平面上で D 離れた、すなわち相互に $2D$ （これをビームピッチと称する。）離れた 2 本のビーム（2 組のセンサ）を用いて検出しようとする、図 5・3 のような煙の拡散の遅いくん焼火災の場合の方が、図 5・2 の有炎燃焼の場合よりも検出しにくくなる。換言すれば $2D$ なる距離を縮小しないと同等な効果を収めにくくなる。

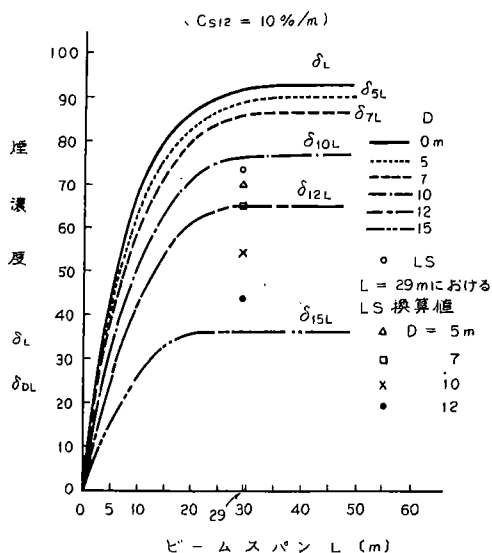


図 5・6 木材の有炎燃焼による実験結果

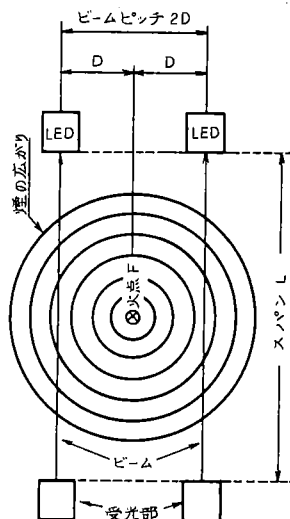


図 5・7 煙の広がり と ビームピッチ $2D$ との関係

このようなことを考慮するとビームピッチ $2D$ を

$$2D \leq 14 \text{ [m]} \quad (5.4)$$

とすることが必要であることがわかった。

上述のような実験と考察によって、減光式分離型センサの感度及び設置基準について次のような結論を得た。

- (1) 木材、ウレタン、 n -ヘプタン及びダンボール箱の有炎燃焼を検知の対象とする場合。

発熱量が大きく、また対流速度が大きいので、煙の拡散は広い範囲にわたっている。 C_s-12 (図5.1参照) が $10 \sim 15 \% \cdot m^{-1}$ に達した時点で本センサの作動レベルを $30 \% / 5m$ 、 $60 \% / 29m$ 以下に設定すれば (すなわちこれ以上に敏感に設定すれば)、ビームピッチ (相隣るビーム間の間隔) は $20m$ でも十分に検知できるものと推定する。

- (2) 木材、綿灯心、ウレタンのくん焼を検知の対象とする場合。

発熱量が極端に少なく、また対流の速度が遅いため、広い範囲にわたる煙の拡散はあまり期待できない。このような火災を検知するには、ビームピッチを $14m$ 以下とし、センサの作動レベルを $15 \% / 5m$ 、 $30 \% / 29m$ くらいに設定すれば十分検知できるものと推定する。

以上から光源に近赤外光を使用した減光式分離型センサの通常天井の高さにおける感度ならびにビームピッチに関する設置基準について次の結論を得た。

- (1) 作動レベル

- a. $1m$ 以上 $45m$ 以下の投・受光器間の距離すなわちビームスパン L では、本センサの作動レベルの上限値 (最も感度の低い状態) を $30 \% / 5m$ と $60 \% / 30m$ の点、すなわち図5.8の a 点と b 点を通る曲線とする。これを実験式で示せば、 L [m] をビームスパンとして、

$$(\text{作動レベル})_{1 \leq L \leq 45 \text{ [m]}} \leq [1 - \exp(-0.022L - 0.245)] \times 100 (\% / L)$$

(5.5)

- b. $45m$ 以上のビームスパンでは、作動レベルの上限値を $70 \% / L$ とする。

(2) ビームピッチ

2 台のセンサのビーム間隔（ビームピッチ）は14m 以下に設置する。

（式（5・4）参照）

なお、非火災時の作動を防止するための不作動レベルの決定については次節に記す。

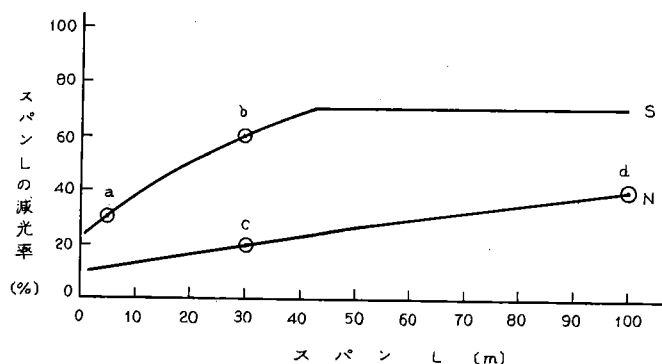


図 5・8 減光式分離型センサの作動及び不作動レベル

5・3 設置環境におけるノイズの測定実験の方法

社員食堂厨房前の通路、開発センターの倉庫（1階）、工場棟、映画館スクリーン際、国鉄駅の地下駐車場、航空会社の整備ビル、私鉄駅の通路の計7か所の相異った環境に本センサを設置し、その受光部の出力を記録した。

また、併せて環境条件を把握するため、設置環境の温度及びガラス板によるじんあい量の測定を行った。更にセンサの不作動レベルを検討するために、ビームスパン 50m 以下に設置した4か所と、100m前後に設置した3か所で実験を行った。

ビームスパン 100m 前後の実験場所の測定期間は1～3か月と短く、設置環境内に浮遊するじんあい等によるノイズを検討するデータに留まるが、50m 以下での実験結果は約1年の長期間であるため、このほかに投・受光面に付着する汚れによる受光出力の経時変化を検討するデータが得られた。

5・4 設置環境におけるノイズ測定実験結果とその考察

測定された一時的な受光出力の変化の主な原因として、人の通行や作業により生じるじんあい等の浮遊、厨房や浴室からの煙や湯気、空調及び外気侵入に

よりビーム中の空気の乱れ（屈折率の変化）等が挙げられる。

これらのノイズが複合して一時的な環境ノイズを構成するものと考え、受光出力の変化を不作動レベルの検討の対象とした。

(1) 不作動レベル

上述の一時的な受光出力変化から、センサの不作動レベルを 20%/30m と 40%/100m、すなわち図 5.6 の C 点と d 点とを通る曲線とすれば、今回の実験で記録されたノイズをほぼカバーできるものと考えた。これより不作動レベルは次の実験式で示される。

$$(\text{不作動レベル}) = [(1 - \exp(-0.004L - 0.100))] \times 100 [\%/L] \quad (5.6)$$

ただし、 L = ビームスパン[m]

(2) 受光出力の経時変化

これの主な原因としては上述のような投受光面の汚れのほか、投・受光器の光軸のずれ、発光素子等の電子部品の劣化等が考えられるが、今回は解析すべきデータが得られなかったので、投・受光面の汚れの経時変化を検討するに留めた。

以上で減光式分離センサに関する諸実験の検討を終るが、本実験と併行して同時に行われたイオン化式ならびに光電式感知器の作動実験で得られたデータと比較して、式(5.5)で定められる感度をもつ本センサは、各種の燃焼に対して十分な検知能力を示し、火災に対して有効な検知器であると判断する。

6 煙中の視程と煙センサの作動性能ならびに設置上の指針

本章では、火災建物より在館者が安全に避難するためには、煙センサがどの程度の煙濃度のときに作動しなければならないかに焦点を合せている。そのため、まず煙の中でのものの見え方（視程）と見え方に影響を及ぼす煙の性質について触れている。

一方、煙の濃度が濃くなり、見え方が悪化すると避難者が心理的に動揺し、安全に避難できなくなる。そこで、次の避難時に必要とする視程及び許容煙濃度に関しての実験の結果を紹介している。

最後に、上記のデータから煙センサに要求される感度と避難から見た設置上の指針に触れている。

6・1 煙中の視程に関する理論式及び実験⁽¹²⁾

煙のないとき、物が背景から識別できるのは、物及び背景からの光が観測者の目に到達するときの強さをそれぞれ B_E 、 B_B とするとき、これらの間に次式のような関係が成立するときである。すなわち、

$$\left| \frac{B_E - B_B}{B_B} \right| \geq \delta_c \quad (6 \cdot 1)$$

ここで δ_c は視認限界の輝度対比
式(6・1)の左辺を輝度対比、
あるいは単に対比とかコントラストという。この対比が限界値 δ_c より大きいとき、物が背景から識別できる。

煙が存在すると物が見えにくくなるのは、図6・1に示すように、物からの光が途中の煙粒子に遮られ観測者の目に到達する光が減少するためと、煙粒子

により散乱させられた廊下又は室内の照明光が物や背景からの光に加わり、観測者の目に入るので、煙を透して物の見かけの輝度対比の値（式(6・1)の

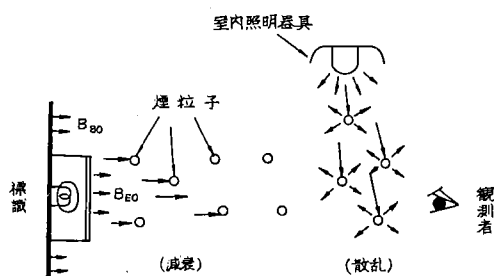


図 6・1 煙中での物の見え方

左辺の値)が、煙がないときよりも小さくなるためである。すなわち、対比の値が限界値 δ_c に近付くためである。煙濃度の濃いときほど、又は物と観測者間の距離の長いときほど対比は小さくなり、ついには限界値 δ_c と等しくなる。このときの物と観測者の距離が、煙中での物の見越し距離である。このように煙中での物の見え方は、煙濃度に大きく左右されることがわかる。

廊下又は室内の照明光が煙粒子により散乱させられ、そのために煙中での照明光の強度が位置及び方向によりほとんど差のない場合、標識の見越し距離 V は次式で示すことができる。

$$V = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{B_{EO} + \delta_c k L - (1 + \delta_c) B_{BO}}{\delta_c k L} \quad (6.2)$$

ここで、 σ : 煙濃度 (減光係数 1/m)

B_{EO} : 標識の輝度 [cd/m²]

B_{BO} : 標識の背景輝度 [cd/m²]

k : 減光に寄与する散乱の割合 ($k \approx 0.3 \sim 1.0$)

L : 照明光の散乱による煙の輝度 [cd/m²]

標識の輝度が、背景輝度 B_{BO} 及び $\delta_c k L$ に比べ十分に大きい場合には式(6.2)は

$$V \approx \frac{1}{\sigma} \ln \frac{B_{EO}}{\delta_c k L} \quad (6.3)$$

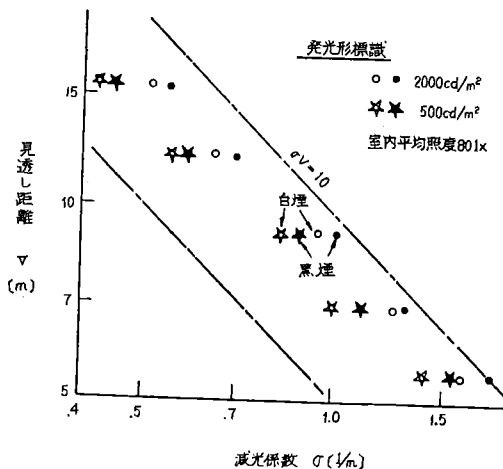


図 6.2 煙中での発光形標識の見越し距離

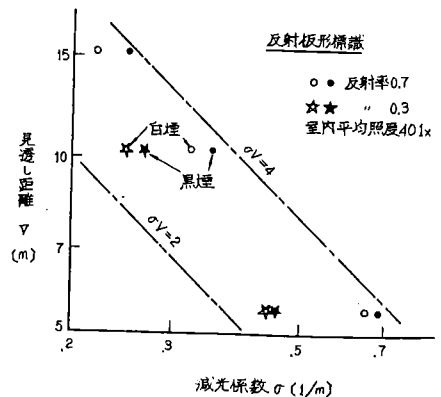


図 6.3 煙中での反射板形標識の見越し距離

となる。また反射板形標識（室内照明の反射光を利用するもの）の場合、標識の輝度 B_{EO} は照明光の散乱による煙の輝度 L 及び標識の反射率 ρ により定まる。すなわち

$$B_{EO} = \rho L$$

これを式(6・2)に代入すると

$$V = \frac{1}{\sigma} \ln \left(1 + \frac{\rho}{\delta_c k} \right) \quad (6 \cdot 4)$$

となる。実用的な標識では $\rho/\delta_c k \gg 1$ なので式(6・4)は

$$V \doteq \frac{1}{\sigma} \ln \frac{\rho}{\delta_c k} \quad (6 \cdot 5)$$

となる。

図6・2は種々な煙濃度における発光形標誌（電球を内蔵したもの）の見透し距離の変化を調べたものである。煙濃度(σ)と見透し距離(V)との積が、ほぼ一定値を示している。また明るい標識の方が見透し距離が幾分長い。更に黒煙中の方が、白煙中よりも幾分見透し距離が長いことがわかる。図6・3は同じような実験を反射板形標識について行った結果である。発光形の場合とほぼ同じような傾向を示しているが、 σV の値が発光形の場合には5～10なのに対して、反射板形の場合には2～4となっている。

図6・2、図6・3より発光形及び反射板形標識の見透し距離（視認限界）はおおよそ次式で示される。すなわち

$$\text{発光形標識では} \quad V \doteq \frac{5 \sim 10}{\sigma} \quad [\text{m}]$$

$$\text{反射板形標識では} \quad V \doteq \frac{2 \sim 4}{\sigma} \quad [\text{m}]$$

となる。また標識以外のものも、たとえば階段とか出口の扉などの煙中での見透し距離は、反射板形標識の場合の下限値がほぼ適用できるものと考えてよい。

6・2 視程に影響を及ぼす煙の性質

6・2・1 煙粒子の大きさ⁽¹²⁾と種類

煙粒子の光学顕微鏡写真を図6・4、図6・5に示す。木材の加熱くん焼煙粒子は500～1000nmの大きさの球形をなし、液滴で空気中で凝集し大きくなる。また、この煙の色は白色に近い。したがって、この煙は光を吸収することなく

ほとんど散乱させる。プラスチック建材の加熱くん焼煙も木材の加熱くん焼煙と同じように、液滴（球形）でほぼ白色を呈している。

一方、木材の有炎燃焼煙は種々の大きさのものから成立っている。煙の色はほぼ黒色であり、光の約半分は吸収し、残りの光は散乱させる。表6・1は各建材の煙がどの程度光を散乱させるかを示したものである。

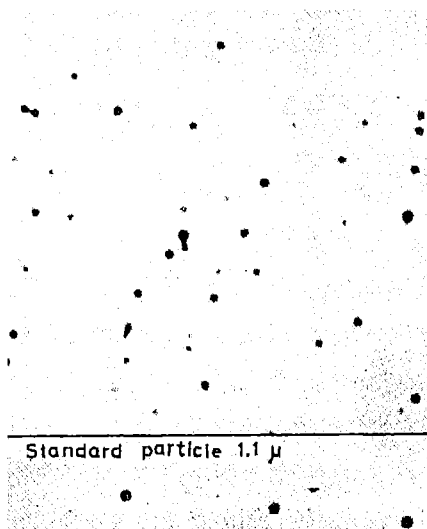


図6・4 木材の加熱くん焼煙粒子の写真

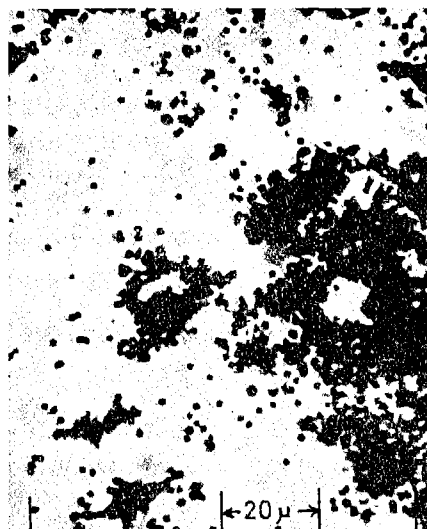


図6・5 木材の有炎燃焼粒子の写真

加熱くん焼煙の方が光を散乱させる割合（式（6・2）の k の値）が大きいので有炎燃焼煙（黒煙）中よりも物の見え方が悪い（式（6・2）参照）

表6・1 散乱係数（ σ_s ）と減光係数（ σ ）

建材の種類	K (σ_s/σ)	
	加熱くん焼煙	有炎燃焼煙
木 材	1.0	0.4
ス チ レ ン	0.9	0.5
塩 化 ビ ニ ル	0.9	0.5
ア ク リ ル	1.0	0.6
（ 灯 油 ）	—	（ 0.4 ）

6・2・2 煙の散乱光強度の角度の依存性⁽¹³⁾

木材の加熱くん焼煙及び有炎燃焼煙が光をどの方向にどれだけの強さで散乱させるかを調べたものを図6・6に示す。前方向への散乱光の強さは横方向への強さに比べ約数百倍も大きい。このことは、目標物の近くに強力な光源があると煙の中での目標物の見え方が悪くなることを示している。

また、散乱光の強度は散乱角によっては、加熱くん焼煙（白煙）と有炎燃焼煙（黒煙）とで数倍くらい異なる。白煙と黒煙とで散乱光を利用した煙センサの作動特性の異なる一因はこのためである。ただ、この実験結果からは散乱角

10°及び150°付近で加熱くん焼と有炎燃焼煙の散乱光の強度が等しくなっている。この辺に着目した煙センサの開発が興味のもてるところである。なお、プラスチック建材の煙の散乱光の特性も木材とほぼ同様な傾向を示す。

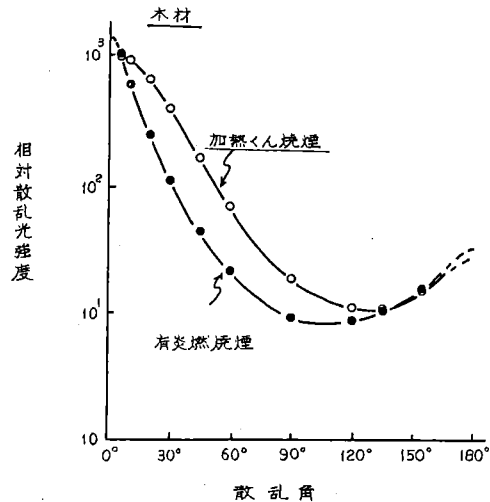


図 6・6 木材の煙の散乱光強度の角度分布

6・2・3 煙の分光減光特性⁽¹⁴⁾

木材の煙が光をどの程度減衰させるかを波長別に調べた結果を図 6・7 に示す。減衰特性は、木材の加熱くん焼煙の場合、発煙後の経過時間により異なるが、有炎燃焼煙の場合には大きな変化はない。しかし、発煙初期では短波長（青色光系）の方が長波長（赤色光系）よりも減衰が大きい。すなわち、煙の中では青色光よりも赤色光の方が透過度がよい。表 6・2 は、赤色光の煙の中で見透し距離 ($V_{(赤)}$) と青色光のそれ ($V_{(青)}$) との比を示したものである。赤色光の見透し距離の方が青色光に比べ、加熱くん焼煙（白煙）の場合には約 2 ～ 4 割、有炎燃焼煙（黒煙）の場合には 2 ～ 3 割大きい。

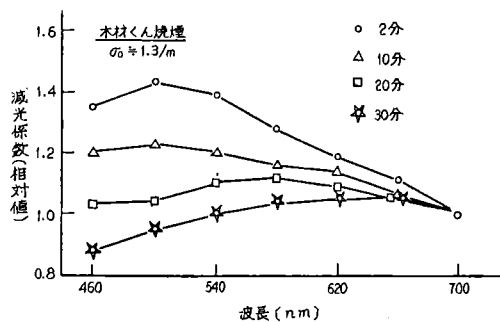


図 6・7 煙の分光減光特性

表 6・2 各種建材の煙のV(赤色)/V(青色)の値

加熱くん焼煙	V(赤色) / V(青色)	着炎燃焼煙	V(赤色)/V(青色)
木 材	1.3	木 材	1.2
ス チ レ ン	1.4	ス チ レ ン	1.2
塩 化 ビ ニ ル	1.2	塩 化 ビ ニ ル	1.2
		灯 油	1.3

6・2・4 煙の刺激性の影響⁽¹⁵⁾

火災煙には目やのどを強く刺激するものがある。特に目を強く刺激する煙の場合には流涙が激しく、そのために見越し距離が、刺激の弱い煙中よりも低下することがある。図6・8は刺激の強い煙(木材の加熱くん焼煙)及び刺激の比較的弱い煙(灯油の燃焼煙)の中での市販誘導灯(非常口)の文字の判読できる限界の煙濃度と見越し距離との関係を示したものである。無刺激性の煙中では、図6・2 図6・3に示した $\sigma V \propto$ 一定なる関係がほぼ成立しているが、刺激性煙中では、濃度がある程度以上になると、急激に $\sigma V \propto$ 一定なる関係からはずれる。すなわち見越し距離が急激に低下する。例えば、煙濃度が減光係数で0.3/mのときは無刺激性煙中と刺激性煙中での文字の判読できる距離にほとんど差が認められないのに、

濃度が0.5/mになると前者では15m先から判読できるのに対し、後者では5mまで近付かないと文字が判読できない。

このように、刺激性煙中での標識の見越し距離は、煙濃度や判断する内容の難易度に大きく左右されることがわかる。したがって煙中で用いる標識の文字は、できるだけ単純なものにする必要がある。

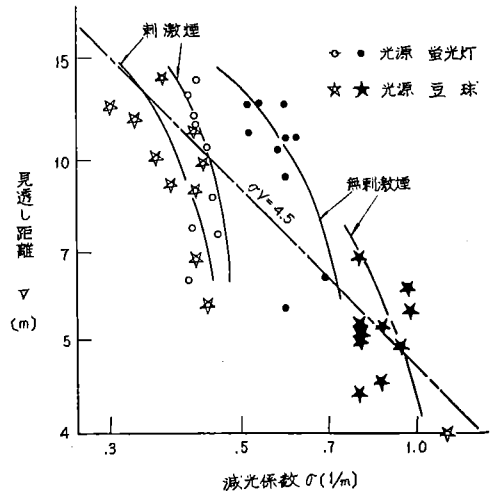


図 6・8 煙中での市販誘導灯の文字の判読限界の距離

6・3 避難時に必要とする見越し距離と許容煙濃度

煙の中を避難する際、見越し距離がある程度以下になると、煙の中の人是不安

を感じる。特にデパートや地下街のように不特定者の多数集まっているところでは、混乱を生ずる恐れがある。ここでは、煙の中での歩行速度の実験及び煙の中での心理的動揺に関する実験から、避難時に必要とする見越し距離と許容煙濃度を推定する。

6・3・1 煙濃度と歩行速度⁽¹⁶⁾

煙の中での歩行速度は、煙の濃度や煙の目への刺激の度合い、更に廊下や室内の明るさにも影響される。通常の照明状態及び停電時における煙濃度と歩行速度との関係を図6・9に示す。廊下の明るさの違いによる歩行速度の差異は比較的小さいことがわかる。これに対して、煙濃度や刺激性の有無による差異はかなり大きい。

すなわち、無刺激性の煙の中での歩行速度は煙濃度にはほぼ比例して遅くなる。一方、刺激性の強い煙の中での歩行速度は、煙濃度がある程度以上（この実験では0.4/m）になると急激に低下する。刺激の強い煙（濃度の濃いときほど刺激も強くなる）の中では流涙が激しく、ほとんど目を開いていないことができない。このような状態では視認性が極端に低下し、被験者は千鳥足で歩行したり、壁伝いに歩行するようになる。したがって歩行速度も極端に低下する。

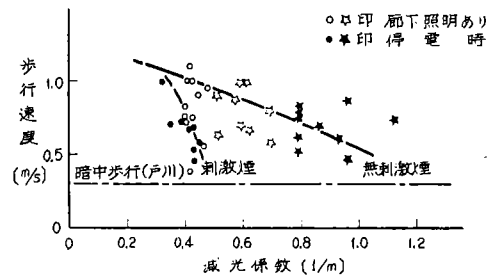


図6・9 刺激性煙及び無刺激性煙の中での歩行速度と煙濃度

6・3・2 煙の中での心理的動揺度⁽¹⁷⁾

煙の中にいる人が、煙が濃くなるにしたがい、どの程度動揺するかを調べた結果を図6・10に示す。

一般の人の場合、煙濃度が0.1/mに達した時点で大部分の人が動揺をし始めるが、少

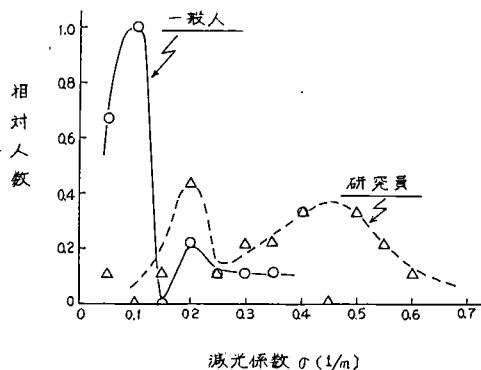


図6・10 煙濃度と動揺し始めた人の数（相対人数）

数の人は煙濃度 $0.2 \sim 0.4 / \text{m}$ に達したとき動揺し始めていること。これに対し、研究員の場合には、少数の人は濃度が $0.2 / \text{m}$ に達した時点で動揺し始めるが、大部分の人は煙濃度が $0.35 \sim 0.55 / \text{m}$ に達したときに動揺をし始めている。一般人と研究員とで動揺し始める煙濃度がかなり異なることがわかる。上記のデータから不特定多数の者の出入りする建物内で火災の際安全に避難できる限界濃度として一般人のほとんどの人が動揺をし始めるときの煙濃度 $0.15 / \text{m}$ が採用できるものと考えられる。

研究員は、実験前の説明により煙に対してある程度の予備知識を持っており、かつ、建物内を熟知している。それでも煙濃度が $0.5 / \text{m}$ を越えると大部分の人は動揺し始めている。このことから建物内を熟知した者でも煙濃度が $0.5 / \text{m}$ を越えると安全に避難することが困難になるものと考えられる。

上記の避難限界のときの見越し距離を計算すると表 6・3 のようになる。建物内熟知者が避難の際、必要とする見越し距離が 4 m 程度なのに対し、不特定者の場合には 13 m の見越し距離が確保されなければならない。

表 6・3 避難時の許容煙濃度と見越し距離

建物内の熟知度	煙 濃 度 (減光係数)	見越し距離
熟 知 者	$0.15 / \text{m}$	13 m
不 特 定 者	$0.5 / \text{m}$	4 m

6・4 煙センサに要求される感度と避難の面から見た設置上の指針

前述の実験結果からもわかるように一般人の場合、煙濃度が減光係数で $0.15 / \text{m}$ に達するとほとんどの人が心理的に動揺をしはじめる。したがって、火災建物がこの濃度になる前に在館者を安全な場所まで避難させることが望ましい。

一方、現在の市販の煙センサは、煙濃度が $0.1 / \text{m}$ で動作するようにセットされているが、現実には煙の種類等により $0.05 \sim 0.3 / \text{m}$ のときに作動している。このため火災の発生した階では感知器が発報してから安全に避難できる時間は極くわずかしかなることになる。ただ、一般に火災階では煙の温度が高く、そのため煙が天井に張り付くように流れるので、発報後多少の避難時間が確保できる。また、煙の水平方向の流動速度は $0.5 \text{ m} / \text{s}$ 前後(階段部での上昇速度は $3 \sim 5 \text{ m} / \text{s}$)なので、大きな建物の場合、火災階より上階では避難可能な時間が火災階より幾分ある。

少しでも多くの避難可能な時間を確保するためには、できるだけ高感度の煙センサを必要とする。しかし、現在の煙センサの感度を上げることは同時に非

火災報の発生頻度も上げることになる。

この非火報を避ける手段として、設置場所により使用する感知器の種類を変えることが有効であることが最近の研究で明らかになった。例えば、イオン化式感知器は、たばこの煙の少ないオフィスビルや調理の煙の流れ込まない廊下のような所で使用すると非火報がかなり抑えられる。また上記とは反対に、たばこの煙の多い遊技場や調理の煙の出る飲食店などでは、光電式（散乱光式）蓄積型感知器を用いると非火災報が少なくなる。

将来、非火災報の根本的な解決策としては、どのような種類の煙に対しても同じ煙濃度で作動する感知器の開発が望まれる。これに最も近いものとして可視光を用いた減光式感知器が考えられる。現在、減光式感知器には、一体型と分離型のものの開発が進められている。一体型については、すでに製品化されているが、感度の点および光源の波長が近赤外寄りである点、幾分問題が残る。避難時のことを考えると感知器の感度は煙濃度が減光係数で $0.1 / \text{m}$ で作動すること、及び感知器の光源としては可視域の波長のものを用いることが望ましい。また、長い廊下を1個の感知器で煙を監視できる分離型の感知器の実用化も期待したい。

できるだけ長い避難可能な時間を確保するためには、高感度の煙センサの開発が必要であるが、現実の火災時の避難状況をみると、感知器発報後の在館者の避難行動にも多くの問題がある。特にビル火災での煙の恐ろしさについての認識に欠けていたような場合がかなりみられる。発報後の避難可能な時間がわずかしかなことを認識し、あらかじめ避難口を確認しておくとともに、常時、非火災報を減少するような対策を実施し、非火災報と思われる場合でも避難体制を整えておくことが肝要である。

7 各種用途の建物における発報実態調査と、その調査結果から見た煙感知器設置上の指針

煙感知器はわが国において広く用いられ、防災上の効果を発揮しているが、その半面、非火災時に作動、発報することがしばしばあり、数千個が設置されている大規模な建築物においては問題となることがある。本章においてはこの問題をとり上げ、まず発報の原因別分類法を論じて、次にこれに基づく調査結果⁽¹⁸⁾を述べ、これに考察を加えるとともに、煙感知器の実験結果をも検討し、非火災時発報減少のための煙感知器設置上の指針を示す。なお、上述の調査は日本消防設備安全センターにより行われたものである。

7・1 発報原因の分類法と調査の実施方法

7・1・1 発報の原因別分類法

従来の発報分類法によると、非火災時発報は一括して“非火災報”と呼ばれ、感知器が正常な感度を有するにもかかわらず、例えば煙草の煙の濃度が著しく高くなったため発報したのか、又は故障が原因で発報したのか判別できなかった。

それ故、本分類法においては表7・1に示すように“正常発報Ⅰ”として“火災又は異常燃焼”という大分類に起因する場合をとった。

これを更に細分し、小分類として、a、火災、b、小火、c、書類の焼却などに分ける。

“正常発報Ⅱ”として、“日常生活又は作業に伴う燃焼又は人為的温度上昇”に起因する場合をとった。小分類には喫煙、調理の煙又は熱などが含まれる。ただし、ここで熱を原因に加えたのは熱式の感知器も併設されている場合があるからである。正常発報Ⅱは利用者の側から見れば不要な発報なので、不要発報と呼んでも差支えあるまい。

“誤報Ⅰ”は燃焼又は人為的温度上昇と無関係な一時的異常原因に起因する発報である。中分類として環境と気象をとり、前者の小分類中には結露による絶縁の一時的低下、多量の水蒸気による光の散乱による作動などを含み、後者の小分類中には、例えば台風による強風、高湿度などを含む。

“誤報Ⅱ”は機器故障又は保守不良によるもので、施工の不良によるもの、人為的な機器の破損によるものなどを含む。

“誤報Ⅲ”は原因不明の場合である。

表 7・1 発報の原因分類表

発報の名称	大 分 類	中 分 類	小 分 類
正常発報Ⅰ	1 火災又は異常燃焼	0	a 火災 b 小火 c 書類等の焼却 x その他
正常発報Ⅱ	2 日常生活又は作業に伴う正常な燃焼又は人為的温度上昇	0	a 喫煙 b 調理の煙又は熱 c 暖房による煙又は熱 d 作業用たき火 e 工作又は化学実験用ガスバーナ f 溶接の煙 g 排気ガス x その他
誤 報Ⅰ	3 燃焼又は人為的温度上昇と無関係な一時的異常原因	1 環 境	a 結露 b 蒸気 c 虫の侵入 d ほこり e 空調 f 照明 g 外光 h 電氣的誘導 i 振動 j 薬剤散布 x その他
		2 気 象	a 強風 b 湿度 c 気温 d 気圧 e 弱い雷撃 f 霧 x その他
誤 報Ⅱ	4 機器故障又は保守不良	1 施 工	a 接続 b 絶縁 c 取付け d 短絡 x その他
		2 人 為	a 破損 b 短絡（施工に原因するものを除く） x その他
		3 気 象	a 強い雷撃 x その他
		4 自 然	a 腐食 b 塩害 c 温泉 x その他
		5 機 器	a バイメタル b リーク抵抗 c 半導体 d 絶縁 e 汚染 x その他
		6 保 守	a 劣化及び経年変化 b 清掃不良 x その他
		7 建物管理	a 浸水 x その他
誤 報Ⅲ	5 原 因 不 明	0	0

7・1・2 発報調査の実施要領と調査結果の処理方法

本調査においては煙感知器、すなわちイオン化式ならびに光電式感知器を主対象とした。選定した防火対象物は、百貨店 4 件、事務所ビル 2 件、学校 2 件、ホテル、病院、店舗ビル、店舗と事務所の混在するビル各 1 件の計 12 件である。

調査期間は昭和 54 年 9 月 1 日から 1 年間とし、調査対象の防火関係者に依頼して調査表に器種別の設置個数、発報日時、原因等を記入してもらい、その結

果から次式によって年間発報率を求めた。

$$\text{年間発報率} = \frac{(\text{ある器種のある種類の年間発報件数})}{(\text{ある器種の設置個数})} \times 100\% \quad (7 \cdot 1)$$

7.2 調査結果とその考察

表7・2は器種別の全調査対象にわたる合計の設置個数、年間発報件数及び同発報率を示す。

イオン化式非蓄積2種の設置個数は4,797であり、正常発報Ⅰを4回、Ⅱを209回発している。誤報Ⅰ、Ⅱ、Ⅲはそれぞれ、30、2、149回である。

これから年間発報率を計算すると、正常発報Ⅰ、Ⅱはそれぞれ0.08及び4.36%、誤報Ⅰ、Ⅱ、Ⅲはそれぞれ、0.63、0.04、3.11%となる。

なお、同様な計算を他の器種についても行った。

表7・2 年間発報件数と同発報率

器 種			イオン化式 （ 2 種 ）		光 電 式 （ 2 種 ）	
			非蓄積	蓄 積	非蓄積	蓄 積
設 置 個 数			4797	1720	1606	4
年 間 発 報 件 数	正常発報	I	4	0	2	0
		II	209	8	14	0
		(計)	(213)	(8)	(16)	(0)
	誤 報	I	30	4	9	0
		II	2	2	3	1
		III	149	12	27	0
	(計)	(181)	(18)	(39)	(1)	
〔 総 計 〕		〔394〕	〔26〕	〔55〕	〔1〕	
年 間 発 報 率 〔%〕	正常発報	I	0.08	0	0.12	0
		II	436	0.47	0.87	0
		(計)	(4.44)	(0.47)	(0.99)	(0)
	誤 報	I	0.63	0.23	0.56	0.27
		II	0.04	0.12	0.19	0
		III	3.11	0.70	1.68	0
	(計)	(3.78)	(1.05)	(2.43)	(0.27)	
〔 総 計 〕		〔8.21〕	〔1.51〕	〔3.42〕	〔0.27〕	

図7・1は発報率の比較を容易にするために、正常発報Ⅱの発報率をy軸に、誤報Ⅰのそれをx軸に、同Ⅱ、Ⅲのそれらをそれぞれ(-y)、(-x)の方向にとった。本図から次のことがわかる。

- (1) イオン化式、非蓄積型2種にあっては、正常発報Ⅱと誤報Ⅲとが共に3%をこえている。
- (2) イオン化式、蓄積型2種にあっては、正常発報Ⅱが(1)の場合の約1/9に、誤報Ⅰが約1/3に、同Ⅲが約1/4に減少している。
- (3) 光電式、非蓄積型2種にあっては、正常発報Ⅱの発報率が(1)の場合の1/5で、他の発報率も総体的に見て少ない。

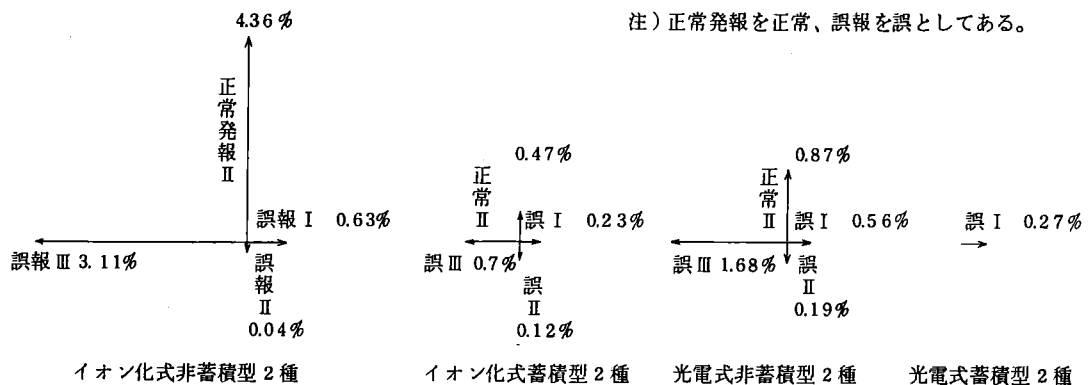


図 7・1 各種感知器の各種年間発報率の比較

(4) 光電式、蓄積型 2 種にあっては、誤報 I の年間発報率が 0.27% を示すほかはすべて零である。

更に各器種間の比較を行うために、正常発報 I 以外の各種年間発報率の計、すなわち非火災時の年間発報率を求め、表 7・3 に示す。この率は光電式蓄積型において最小の 0.27 となる。

次に参考のため、発光くん焼煙に対する煙感知器の作動実験について説明する。感度試験用の循環式風洞内で、線香、綿灯心ならびにたばこに点火して、イオン化式ならびに光電式の非蓄積型 2 種の作動試験を行うと、表 7・3 に示すように前者はくん焼煙に敏感で電離電流変化率が約 40% に達すると、減光率のまだ低いうちに早く作動し、後者は減光率が規格値を満足するような十分な値に達してから数分後に作動する。⁽¹⁹⁾

表 7・3 各器種の非火災時年間発報率

器 種	正常発報 I 以外の各種年間発報率の計
イオン化式非蓄積型 2 種	8.13 %
" 蓄 積 型 "	1.51
光 電 式 非蓄積型 "	3.30
" 蓄 積 型 "	0.27

表 7・4 各種煙感知器の作動実験結果
(3 回の平均値)

	くん焼材料	作動時間	減 光 率	電離電流変化率
イオン化式	線 香 16 本	27'	6.5 %/m	39.1 %
	綿灯心 8 本	33'	4.2	38.7
	煙 草 9 本	25'	2.1	42.3
光電式	線 香 16 本	1' 56'	24.9	71.9
	綿灯心 8 本	3' 05'	24.1	73.2
	煙 草 9 本	3' 54'	35.8	79.8

7.3 非火災時の発報を減少させるための煙感知器設置上の指針

前節においては、各種煙感知器の非火災時の発報について全調査対象物について総体的に論じたが、本節においては対象物の用途別に論ずる。

(1) 百貨店について

(事例 a) イオン式化、非蓄積型 2 種を設置した事例については、延面積 10 万 m² 当りの年間件数を調査すると（以下のすべての事例について同じ）、売場における件数 12.1 件中、5.8 件は原因不明であるが、4.3 件は正常発報Ⅱ、2.1 件は誤報Ⅰである。正常発報Ⅱが多いことはこの器種が売場に適していないことを示す。食堂における 3.8 件中、2.1 件も正常発報Ⅱであり、売場と同様であり、また厨房に対しても同様である。

(事例 b) 光電式、非蓄積型 2 種を設置した事例については、売場における 4.5 件中、原因不明は 2 件で、1.8 件が正常発報Ⅱである。食堂における 2.3 件は大部分原因不明である。

(事例 c) 同上の器種を設置した他の事例においては、売場における非火災時の発報件数は 0.4 件に過ぎず、建物が特に注意深く使用されている場合には、非蓄積型を使用しても十分な信頼性が保たれることがわかる。

(事例 d) 光電式蓄積型を使用した事例では売場における非火災時の発報は 0.2 件に過ぎない。

上記の結果から考えて、百貨店の売場ではその使用状況が特に留意されていれば光電式、非蓄積型 2 種を用いて差支えなく、また使用状況に応じては光電式、蓄積型 2 種を使用することが望ましい。食堂では調理やたばこの煙を考慮して、いずれの場合にも光電式、蓄積型 2 種を用いることが望ましい。

(2) 事務所ビルについて

(事例 a) イオン化式、非蓄積型 2 種を使用している例について検討すると、設備機械室における発報が 0.53 件で、事務室、厨房、階段室がこれに次いで共に 0.32 件である。厨房における発報は正常発報Ⅱが多く、この器種が厨房に不適當であることがわかる。

(事例 b) イオン化式、蓄積型 2 種を使用している事例については、食堂における発報が 0.4 件で最も多く、これらはすべて正常発報Ⅱであり、この器種が食堂に不適當であることがわかる。

上記の結果から考え、事務所ビルの厨房や食堂では光電式、蓄積型 2 種を用

いることが望ましい。

(3) 店舗、事務室の複合ビルにおいては、事務室における発報 21.2 件中、13.5 件がイオン化式、非蓄積型 2 種によるもので、喫茶店における発報 26.9 件中 25 件も同様である。

上記の結果から考え、このような複合ビルの事務室においてはイオン化式、蓄積型 2 種又は光電式、蓄積型 2 種を用いることが望ましい。

(4) ホテルにおいてイオン化式非蓄積型が使用されている事例については食堂における発報 13.7 件中、11 件が正常発報Ⅱである。また宴会場における 4.2 件も同様である。

上記の結果から考えて、ホテルの食堂や宴会場においては光電式、蓄積型 2 種を用いることが望ましい。

(5) 病院においてイオン化式、非蓄積型 2 種を用いた事例を検討すると、研究室や事務室に対してこの器種がやや敏感に過ぎるかも知れないが、安全側をとってこの器種を用いても差支えないと考える。

なお、学校及び店舗ビルについては感知器の設置個数が少ないため、用途別の検討から除外した。

参考文献

- (1) (社)日本火災報知機工業会：自動火災報知設備工事基準書
- (2) 小林哲夫：病院設備 Vol. 11 No 2 (昭 44)
- (3) M. Avlund : Investigation of ionization chamber for reference measurements of smoke density, Elektronikcentralen, Danish Research Centre for Applied Electronics, Venlighedsvej 4, DK-2970 Hørsholm, Denmark.
- (4) Thomas G. K. Lee & George Mulholland : "Physical Properties of Smokes Pertinent to Smoke Detector Technology.", NBS IR77-1312.
- (5) UL217, Standard for Safety: "Single and Multiple Station Smoke Detectors", Underwriters Laboratories Inc, (USA).
- (6) Rainer Portscht : "Vergleich der physikalischen Meßprinzipien von Rauchdetektoren automatischer Brandmeldeanlagen.", Z VFDB 2/74, (West Germany).
- (7) J. P. Hosemann : "Über Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung hochkonzentrierter Polydispersionen von dielektrischen Mie-Partikeln.", Dissertation, TH Aachen, 1970, (West Germany).
- (8) Richard W. Bukowski & George W. Mulholland : "Smoke Detector Design and Smoke Properties.", NBS Technical Note 973, Nov. 1978, (USA)
- (9) C. Helsper, H. J. Fissan, J. Muggli and A. Scheidweiler : "Particle Number Distributions of Aerosols from Test Fires.", J. Aerosol Sci. Vol. 11, pp439-446, 1980, (UK).
- 10 L S 研究会：減光式分離型検知器燃焼実験報告書（天井高 4.8mにおける検討）、昭 56
- 11 L S 研究会：減光式分離型検知器フィールド実験報告書、昭 57
- 12 神 忠久：日本建築学会論文報告集 No. 182 (昭 46)
- 13 神 忠久：消防研究所報告 No. 40 (昭 50)
- 14 神 忠久：日本火災学会論文集 Vol. 23 (昭 48)
- 15 神 忠久：日本火災学会論文集 Vol. 22 (昭 47)
- 16 神 忠久：消防研究所報告 No. 42 (昭 51)
- 17 神 忠久：日本火災学会論文集 Vol. 30 (昭 55)
- 18 日本消防設備安全センター、防災システム研究委員会、昭和 55 年度中間報告 (昭 56)
- 19 三山 醇：日本損害保険協会、災害の研究、Vol. 13 (昭 57)

火災報知機研究委員会構成 (50音順)

委員長
幹事
委員

三山 醇			
薄羽 利久			
荒谷 輝正	糸谷 成章	石見 文夫	上野 宰
金谷 惣一	河口 明	小林 和生	佐々木 晃寿
神 忠久	曾根原 勇夫	竹元 昭夫	谷 和 明
塚原 秀一	永井 健一	永田 恵二	長谷川 常雄
藤井 博文	古川 義男	堀田 博文	本江 豊治
安江 正彦	芦浦 義雄	渡辺 彰夫	

編集分科会 ()内は担当章節番号

主査
執筆委員

三山 醇			
石見 文夫 (3.1, 4)	佐々木 晃寿 (5)	神 忠久 (6)	
曾根原 勇夫 (2)	永田 恵二 (3.2)	堀田 博文 (3.1, 4)	
三山 醇 (1.5, 7)			

© 照明学会 1983

煙センサに関する諸問題と技術指針

昭和58年1月10日 印刷

昭和58年1月20日 発行

編集者 社団法人 照 明 学 会

発行所 〒100 東京都千代田区有楽町1-7-1

電話 03-201-0645

社団法人 照 明 学 会

代表者 石 塚 直 弘

印刷所 株式会社 東 京 プ リ ン ト

〒105 東京都港区西新橋3-24-9

飯田ビル 電話 03-434-4371

落丁・乱丁本はお取替えいたします