

消煙に関する研究(第1報)

金 坂 武 雄*
内 田 稔*
関 根 弘*

1. ま え が き

火災時の消防活動を阻害する様々な要因の中、我々が、最も注目しているものに煙の問題がある。

近年、建物は益々高層化し、無窓建築が増え、また、地下街が激増しているすう勢にあるが、これらは一たん、火災になると濃煙のため、火点の確認がおくれ、有効な注水、消火ができなかったり、避難誘導、あるいは人命の検索、救助に困難を来たすことが多い。

これらのことから、消防活動の成否を左右するものは、煙をいかに処理するか、ということである。

従来、消防行動上の煙対策としては、個人装備として呼吸保護器を使用したり、あるいは、排煙車、搬送式排煙機などを使用して、煙を強制排除するなどの手段が取られてきたが、僅かの煙によっても消防隊の視界が妨げられることは免れない。これを解決するため、煙を局部的に消煙、または抑制するとともに流動性を増し、排煙機による排煙効果を促進させ、十分な消火活動が出来るような態勢を作ることは急務のことである。

一般に消煙、もしくは煙を抑制する方法として、小規模なものを含めると、次のような方法がある。

(1) 粒子を落下沈着せしめる方法

水または薬剤(水溶液または粉体)の散布により煙の粒子を凝集沈着させ、遠心力によって粒子を落下沈着させる。

(2) 煙を適当な炉層を用いて炉過して粒子を捕える方法(粒子径が選択的になる)

(3) 煙を液体中にくぐらせて洗う方法(極性が合わないとき不可)

(4) 煙粒子を固体面にうちつけて、そこに附着させる方法(見掛け上の比重が空気より大きくなくては不可)

(5) 静電的に粒子を電極に沈着させる方法(湿

煙霧質には不適當)

(6) 温度差による煙粒子の捕集

(7) 超音波をあて煙粒子を凝集する

(極大空間には実用性がない)

などが挙げられるが、火災現場のような大規模かつ苛酷な条件下での実用性を考えると、水、または薬剤の散布により、煙粒子を凝集沈降せしめ、視界の回復を計ることが適當と考えられる。

このような観点から、まずここでは、水に可溶性薬剤の散布により消煙、もしくは煙を抑制することを目的とする基礎研究に着手した。

2. 消煙実験装置の試作

消煙実験を行なうため、中規模の実験装置を試作した。この装置は発煙室、煙溜、薬液タンク、消煙室等から成り、次に記す構造、機能を持っている。

(1) 発煙室

熱源には、ヒーター(2kW)を用い、その上に発煙試料を置く鉄製角皿をのせてある。発煙室の前面には視窓のある落し扉を取付け空気の流入を調節できる。

(2) 煙溜

消煙室に煙を定期的に入送するため、発煙室から発生した煙を一たん貯蔵する円筒形の貯槽で、底部には煙量を調整するためのフロートがあり、フロートは加圧空気て上下させることができる。

(3) 薬液タンク

消煙室に取り付けた噴霧ヘッドに消煙剤を溶かした溶液を送るための貯蔵タンクで、耐圧20kg/cm²、容量50l、液の輸送は加圧ポンプで行なわれる。

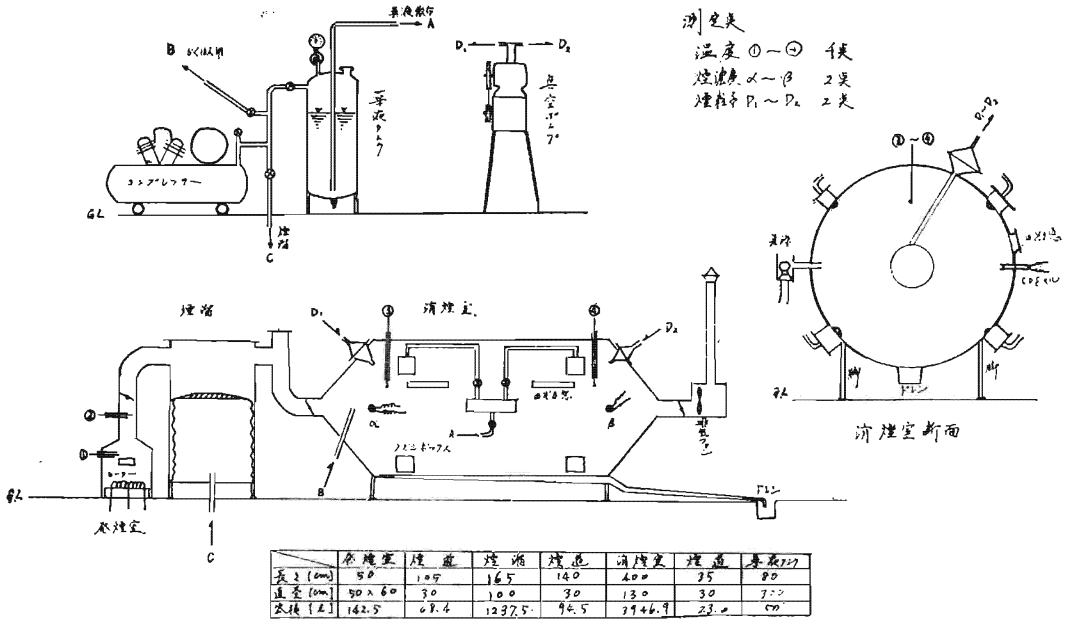
(4) 消煙室

煙溜から流動してくる煙霧質に消煙剤を散布するため、8個の噴霧ヘッドを具えている内容積約4m³の空洞で、他端に煙を系外に排出する1HP排風機を取り付けてある。

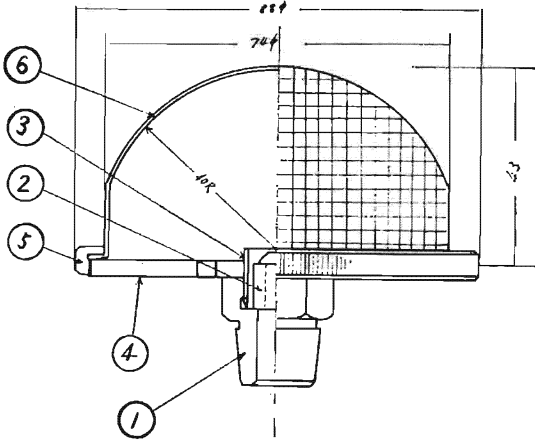
* 第二研究室

以上各部の仕様，形状は，第1図～第3図に示すとおりである。

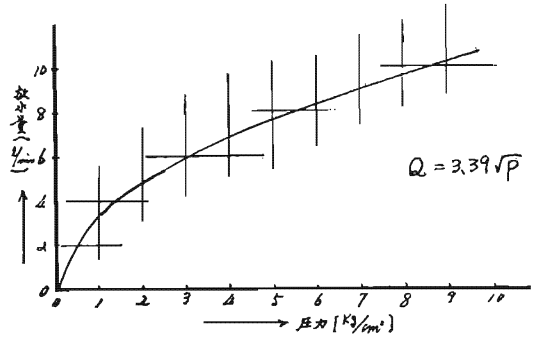
第1図 消煙実験装置



第2図 水噴霧ヘッド



第3図 水噴霧放水量曲線



なお，消煙実験装置には，煙の挙動を調べるために，消煙室内二ヶ所にCDSセルを取り付け，また，成煙時の装置各部の雰囲気温度を測定するため，サーモカップルを発煙室，煙道に各1ヶ所，消煙室に2ヶ所設定した。

番号	名称	番号	名称
1	鏡子	4	網ハンガー
2	ノズル	5	ケシジ
3	オリフィス	6	網

3. 実験の内容と方法

(1) 消煙装置の特性

ア 発煙特性

試作した消煙装置の発煙室の試料皿上に発煙物質（杉材1.5×1.5×25cm, 200~500gr, ウレタンフォーム 30×30×5cm 約60gr）を置き、ヒーターで加熱し、燻焼もしくは燃焼させ、発生した煙を消煙室に導入し、自然拡散、あるいは空気を吹きこみ強制拡散せしめ、一定時間における煙の挙動をCDSセルで捕えた。

イ 消煙室内水噴霧作動時の減光係数の変化

水噴霧ヘッドから高圧（約10kg/cm²）で水が噴出する場合、水の微細な粒子が室内に浮遊し霧を形成するため著しく視界を妨げる。これが消煙剤散布時の煙減衰の過程で計測されると問題があるので、その特性を調べた。

(2) 水噴霧による消煙効果

本研究においては、消煙剤は水をベースにしてあるため、基本条件として水のみ消煙効果を確認する必要があるため、消煙室内に導入された煙が一定濃度に達したときに、10kg/cm²の水噴霧を10秒間散布し、煙の減衰状況を観測した。

(3) 消煙剤による消煙効果

各般の消防状況から、消煙剤に要求される基本的な要件としては、次のことが挙げられる。

- (ア) 水溶性であること。
- (イ) 短時間に効果が発揮できること。

- (ウ) 燃焼抑制作用のあること。
- (エ) 無害であること。
- (オ) 廉価であること。

これらのことを勘案して、必ずしも要件を満足するものばかりではないが、次の薬剤を抽出、使用した。

(ア) 塩化物

塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化バリウム、塩化マグネシウム

(イ) 炭酸塩

炭酸ナトリウム、炭酸カリウム

(ウ) 重炭酸塩

水素化炭酸ナトリウム
水素化炭酸カリウム

(エ) 界面活性剤（主成分、ラウリルアルコール硫酸エステルアンモニウム）

(オ) 明ばん塩

鉄明ばん

使用濃度は、予備実験により、5%程度が適当と考えられたので、この濃度を使用濃度とした。

杉材、ウレタンフォームを燻焼、もしくは燃焼させ、発生した煙を消煙室に導き一定濃度に達したとき、10kg/cm²に加圧した薬液を10秒間噴射し、煙の減衰を調べた。

その実施項目を第1表に示す。

4. 煙濃度の測定法

CDSセル法（硫化カドミウム光電池法）によったが、これは可視距離を直接測定する方法で一定光源間の距離の間の受光量の減衰を測定し、これより煙の濃

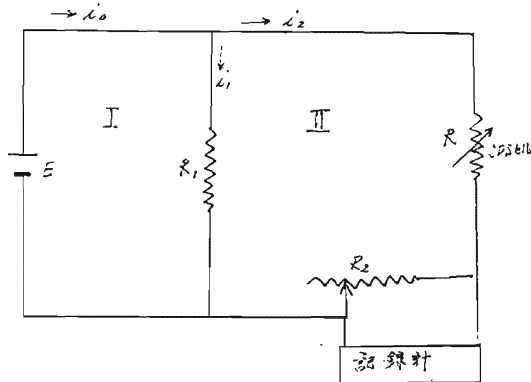
第1表 消煙実験実施項目一覧表

	発煙物質	採取量	燃焼方法	使用消煙剤	拡散方法
1	杉材	200gr	燻焼	塩化ナトリウム	強制
2	"	"	"	塩化カリウム	"
3	"	"	"	塩化バリウム	"
4	"	"	"	塩化マグネシウム	"
5	"	"	"	水素化炭酸ナトリウム	"
6	"	"	"	水素化炭酸カリウム	"
7	"	"	"	炭酸カリウム	"
8	"	"	"	鉄みょうばん	"
9	"	"	"	界面活性剤（エマルジョン型）	"
10	"	"	"	塩化ナトリウム	自然
11	"	"	"	塩化カリウム	"
12	"	"	"	水素化炭酸ナトリウム	"
13	"	"	"	水素化炭酸カリウム	"
14	"	"	"	炭酸ナトリウム	"
15	"	"	"	炭酸カリウム	"

	発煙物質	採取量	燃焼方式	使用消煙剤	拡散方法
16	杉材	200gr	燻燃	界面活性剤(エマルジョン型)	自然
17	"	"	燻燃	塩化カリウム	"
18	ウレタンフォーム	60gr	燻燃	塩化カリウム	"
19	"	"	燻燃	塩化カリウム	"

度を求める方法で原理は、CDSセルの抵抗が受光量に応じて変化するのを利用し、抵抗の変化を2ペンレコーダーで読み取り、Lambertの法則により減光係数を求め煙濃度とする。

(1) 測定回路および計算法



この回路から次の式が成立つ

$$i_0 = i_1 + i_2 \dots\dots\dots 1 \sim 1$$

$$\text{I 回路から } E = R_1 i_1 \dots\dots\dots 1 \sim 2$$

$$\text{II 回路から } 0 = (R + R_2) i_2 - R_1 i_1 \dots\dots\dots 1 \sim 3$$

$$\therefore i_2 = \frac{E}{R + R_2}$$

記録計に入る電圧を V_m とする。

$$V_m = \frac{R_2}{R + R_2} E \dots\dots\dots 1 \sim 4$$

Robert-Lourant の法則から減光係数は

$$C_s = \frac{1}{l} \log e \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots 2 \sim 1$$

- l : 光源とCDSセルとの距離[m]
- I_0 : 煙のないときの透過光量[Lux]
- I : 煙のあるときの透過光量[Lux]
- C_s : 減光係数[1/m]

光量とCDSセルの抵抗変化

$$R = \frac{k}{I} \dots\dots\dots 2 \sim 2$$

k : 比例定数 [Lux Ω]

この式を 2 ~ 1 式に代入する

$$C_s = \frac{1}{l} \log e \frac{R}{R_0} \dots\dots\dots 2 \sim 3$$

R : 煙のあるときの抵抗

R_0 : 煙のないときの抵抗

1 ~ 4 式より

$$R = R_2 \left(\frac{E}{V_m} - 1 \right)$$

ここで R_2 を $I_0 = \infty$, $R_0 = 10 \Omega$ のとき, $V_m = 0$, $I = 0$, $R = 10 \text{k}\Omega$ のとき, $V_m = V_{m0}$ となるように調整すると、次のようになる。

$$C_s = \frac{1}{l} \log e \frac{\frac{E}{V_m} - 1}{\frac{E}{V_{m0}} - 1} = \frac{1}{l} \log e \left(\frac{V_{m0}}{V_m} \right)$$

$$\left(\frac{E - V_m}{E - V_{m0}} \right) \dots\dots\dots 2 \sim 4$$

- $V_m = 0$ のときスケール巾 = 0
- $V_m = x$ のときスケール巾 = L_x
- $V_m = V_{m0}$ のときスケール巾 = L_0

ここで 2 ~ 4 式は次のようになる

$$C_s = \frac{1}{l} \log e \left(\frac{L_0}{L_x} \right) \left(\frac{E - L_x}{E - L_0} \right)$$

$$= \frac{1}{l} \left[\log e \frac{L_0}{L_x} + \log e \frac{E - L_x}{E - L_0} \right]$$

..... 2 ~ 5

故に減光係数は、直接チャートの目盛量 (L_x) を 2 ~ 5 式の L_0 , L_x を以って計算できる。

なお、本装置においては、 $E = 2.5 \text{V}$, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 0 \sim 100 \Omega$, $R = 10 \sim 10 \text{k}\Omega$, $l = 156.5 \text{cm}$, $i_0 = 20 \text{mV}$ に調整した。

5 実験結果

(1) 消煙装置の特性

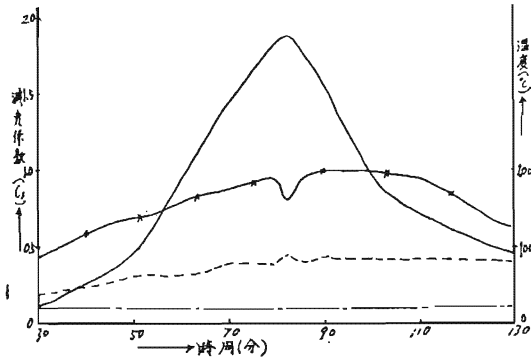
ア 発煙特性

消煙実験時に必要な煙量を得るために、100gr, 200gr, 500gr.....と適宜、発煙物質の量を変えて加熱、熱分解、もしくは燃焼させ、発生する煙霧質を消煙室に流入させ、自然放置し、減衰状況をCDSセル法で捕えた結果、発煙量、計器の測定範囲、あるいは煙の減衰曲線の状態から、供試すべき発煙物質の量を検討した。

また、消煙実験装置には、発煙室上部、煙道部、煙溜と消煙室の間の煙道および消煙室と排風機間の煙道に3ヶ所のダンパーがあり、これらの開閉によって煙量を調整できる。この間の発煙特性を第4図~第13図に示す。

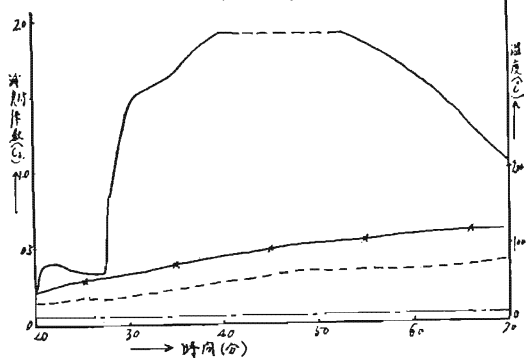
第10図 発煙物質の発煙特性と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材100gr (燻焼)
ダンパー 入口開
出口閉



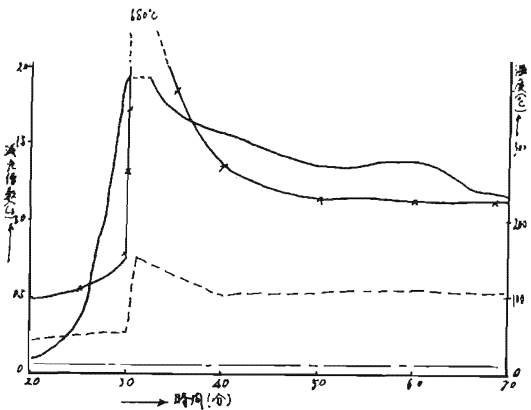
第12図 発煙物質の発煙特性と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム
59gr (燃焼)
煙の拡散 自然拡散
スケールオーバー



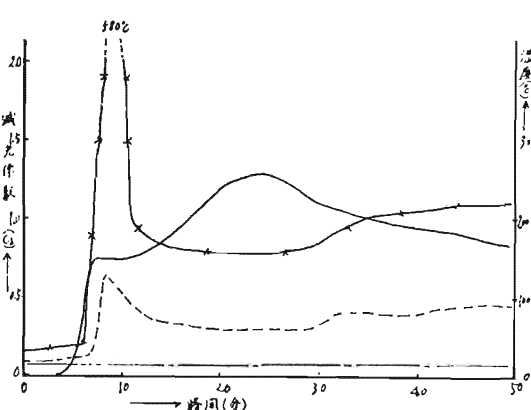
第11図 発煙物質の発煙特性と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燃焼)
煙の拡散 自然拡散



第13図 発煙物質の発煙特性と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム
65gr (燃焼)
煙の拡散 自然拡散



また、実験条件を変化させて行なった煙の自然拡散 による消滅時間を第2表に示す。

第2表 煙の自然拡散による消滅時間

減光係数 C_s	木材500gr						木材200gr	木材100gr	木材200gr	ウレタン フォーム 59gr	ウレタン フォーム 65gr
	燻焼 ダンパー 出入口 開	燻焼 ダンパー 入口 閉	燻焼 ダンパー 入口 1/3開	燻焼 ダンパー 入口 1/3開	燻焼 ダンパー 入口 2/3開	燻焼 ダンパー 入口 全開	燻焼 ダンパー 入口 全開	燻焼 ダンパー 入口 全開	燻焼 ダンパー 入口 全開	燻焼 ダンパー 入口 全開	燻焼 ダンパー 入口 全開
~1.9	38分	23分	60分	56分	40分	—	—	2.4分	—	—	
1.9~1.5	1.4分	4.0分	4分	7分	4分	26分	8.8分	9.6分	12分	—	
1.5~1.0	5.6分	6.0分	8分	4分	4分	28分	8.8分	32分	9.6分	9.2分	
1.0~0.5	7.0分	10分以上	26分	22分	7分	30分以上	26分	—	8.8分	28分以上	

この結果より、次のように実験条件を設定した。

発煙物質量

木材 200gr, ウレタンフォーム 60gr

ダンパー

排風機側のダンパー 閉

その他のダンパー 開

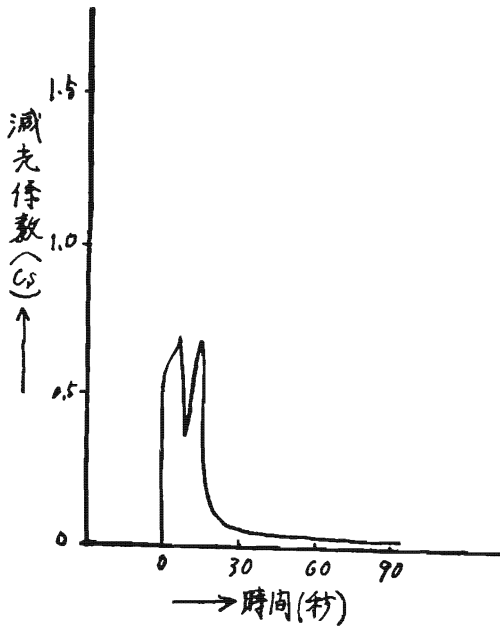
煙霧質の拡散法

自然拡散, 空気吹込みによる強制拡散

イ 消煙室内水噴霧作動時の減光係数の変化

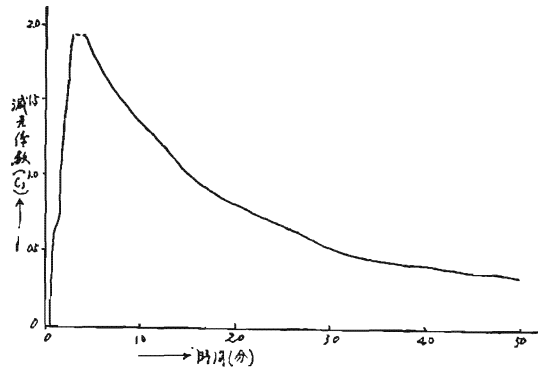
水噴霧ヘッドから高圧で水が噴出する場合、水の微粒子が煙霧質を形成して視界を妨げる。ここでは10kg/cm²の高圧でヘッドから10秒間、水を噴出させた場合の減光係数の変化を求めた。これを第14図に示す。こ

第14図 水噴霧の減光係数の変化
散布量 11.6 l

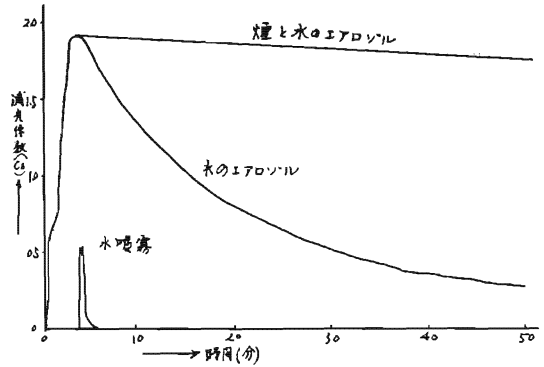


の結果から減光係数が半減する時間は約13秒、煙霧質が消滅する時間は約40秒である。これは正常に水噴霧が噴出する場合で、噴出の途中、薬液タンクに充填した水が不足し、かつ充填圧力がある場合は、さらに細かい微粒子となり、空間に浮遊し、エアロゾルを形成して沈降しにくい。この状態を第15図に示す。これよりこの場合の水の微粒子が沈降し、減光係数が半減する時間は、約12分、 $\frac{1}{4}$ 減する時間は、約30分である。このことは消煙剤を溶解した薬液についても、ほぼ同じことが言える。また、煙と水の超微粒子が会合すると安定相を形成し、殆んど沈降しない。この状態を第16図に示す。

第15図 水噴霧による減光係数の変化
(エアロゾルを形成した場合)



第16図 煙と水とのエアロゾルを形成した場合のCsの変化



この微量放水時に起きる安定相(減光係数の減衰が全く起きない状態を指す)の形成は、次の理由によるものと推測される。

実験結果によれば、煙霧質雰囲気1cc中に水分が 5×10^{-5} gr相当量が存在する時に必ず起きる。しかし同様の煙霧質雰囲気1cc中に水分が 1×10^{-6} gr相当量が存在するも、また、放水量をじん大にして、過剰放水時に空气中に浮遊する水分を測定すると、 4×10^{-6} gr/cc程度である。各実験で明らかになった煙霧質の減衰特性を第3表に示す。

第3表 煙霧質の減衰特性

煙霧質状態	放水状態	安定相	雰囲気中の水の有無分	Cs減衰
I型	放水なし	無	1×10^{-6} gr/cc	普通
II型	微粒子放水	有	5×10^{-5} gr/cc	全くない
III型	粒子状(過剰)放水	無	4×10^{-6} gr/cc	大きく減衰

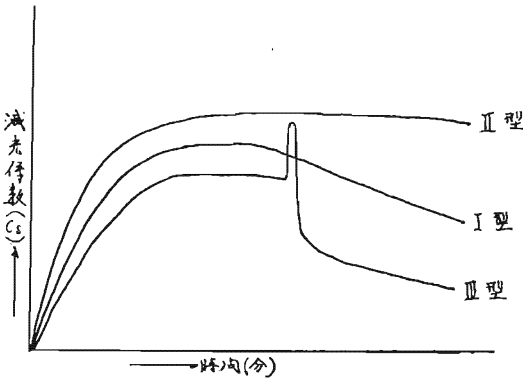
上表から放水粒子径分布がII型に相当するものが多い場合は放水量の大小によっては、I型、III型に移行

することがある。

これは、II型放水を長時間続ければ、浮遊粒子は増大して過剰放水と同様な相を作る。

また、極微量放水であれば、I型相を作り、II型相にはなり得ない。よってII型放水を一定空間に適当に行なえば、安定相を作ってしまうことになる。実験のいずれの場合でも、こうして出来た局所的な安定相を強制的に破かいすることによってCs減衰を効果的に行なうことができるものと推定される。

煙霧質の減衰状態モデル図



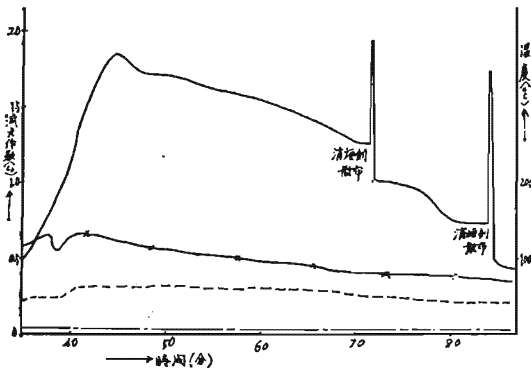
これらのことにより、消煙時の噴霧作動の要件として、水または水溶液の極微粒子を作ることは忌避され、水噴霧には実験的な定常状態（圧力、水量）が必要となる。

(2) 水噴霧による消煙効果

消煙室に流積された煙霧質に粒径1~10μ程度の水噴霧を散布した場合の煙の減衰状況を測定したが、その結果を第17図に示す。この図から水噴霧散布後、2

第17図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 水
煙の拡散 自然拡散



~3秒で減光係数1.25から1.0に低下し、また引続き行なった実験では、0.74から0.5になった。

また、水噴霧散布前後に消煙室内煙霧質を一定時間吸引し、フィルターの附着物を乾燥、秤量して煙量を計算した結果、約4m³の消煙室に流積する煙量は、最初7.16grで、水噴霧使用後は、4.8grとなり、かなりの減少が認められた。

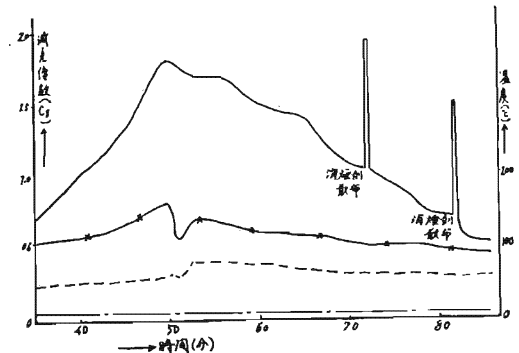
このことは、自然沈降を勘案しても煙粒子が、水噴霧に捕捉され、沈降することがわかる。ここで問題になるのは、煙粒子と水粒子の粒径である。もし煙の粒子が水粒子より大きければ、煙粒子の外側にいくつかの水粒子が附着するし、水粒子が大きければ、煙粒子が水粒子に附着することになる。これを明らかにするために、水噴霧使用前後の煙粒子の状態を観察したが、倍率(1,200倍)、その他の関係から計測できなかったが、水噴霧粒子の場合、粒径1~10μ程度であることが実測された。概して水噴霧の粒径は煙の粒径より大きいものと予想された。

(3) 消煙剤による消煙効果

消煙剤散布前後の減光係数の変化から、使用薬剤の効果を判断した結果、塩化カリウムのように、消煙剤

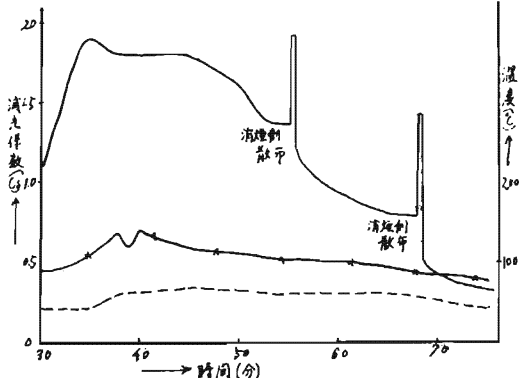
第18図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 NaCl 5% sol
煙の拡散 自然拡散



第19図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 KCl 5% sol
煙の拡散 自然拡散

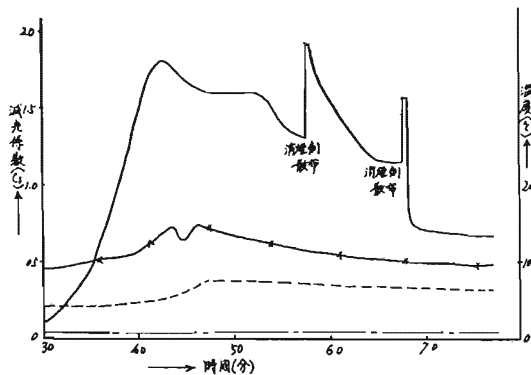


散布後3秒以内に急激に煙が減衰するものも認められ

た。これらの測定結果を第18図～第40図に示す。

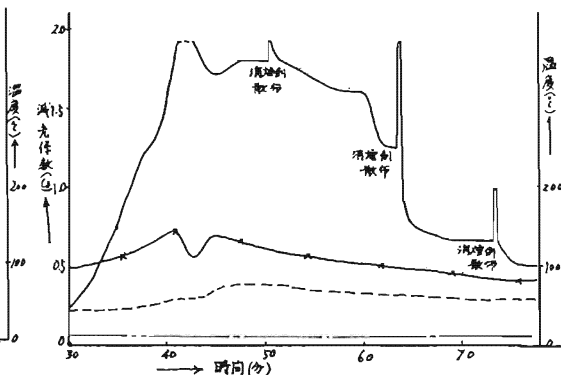
第20図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 NaHCO_3 5% sol
煙の拡散 自然拡散



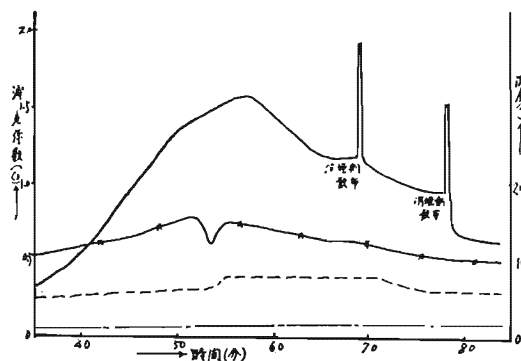
第23図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 K_2CO_3 5% sol
煙の拡散 自然拡散



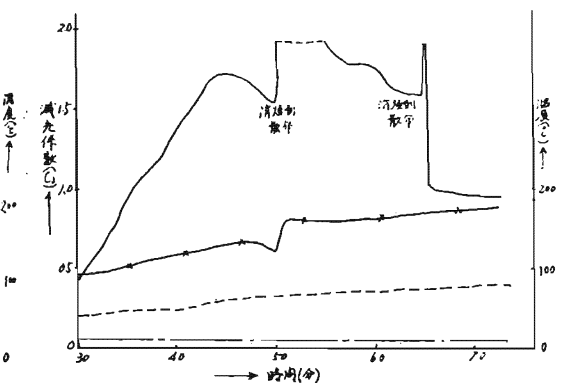
第21図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 KHCO_3 5% sol
煙の拡散 自然拡散



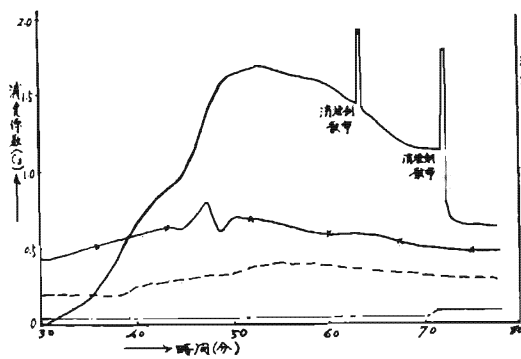
第24図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 界面活性剤(エマール型)
煙の拡散 自然拡散



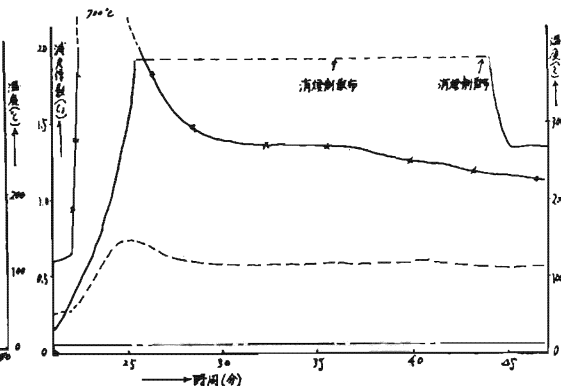
第22図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 Na_2CO_3 5% sol
煙の拡散 自然拡散



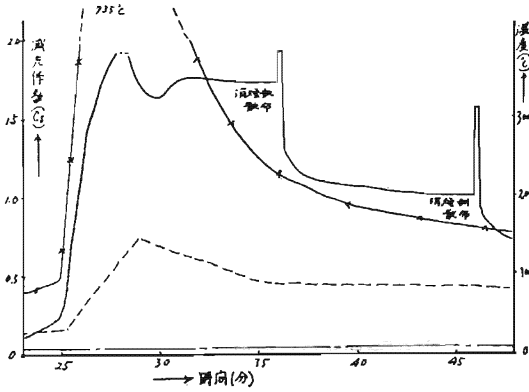
第25図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燃焼)
消煙剤 水
煙の拡散 自然拡散



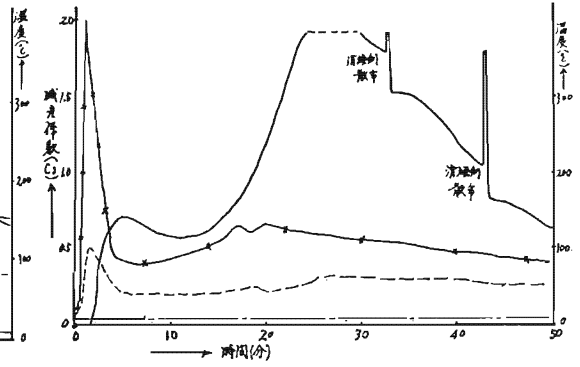
第26図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燃焼)
消煙剤 KCl 5% sol
煙の拡散 自然拡散



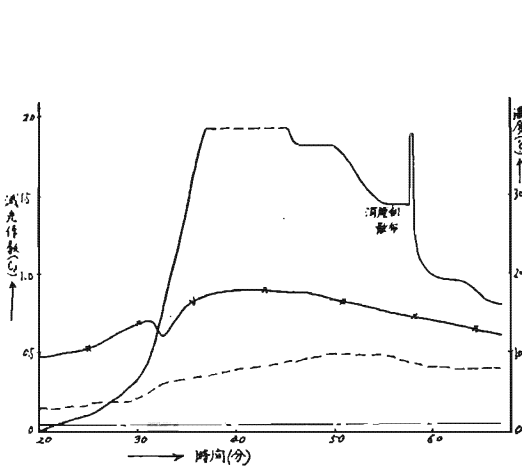
第29図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム60gr (燃焼)
消煙剤 水
煙の拡散 自然拡散



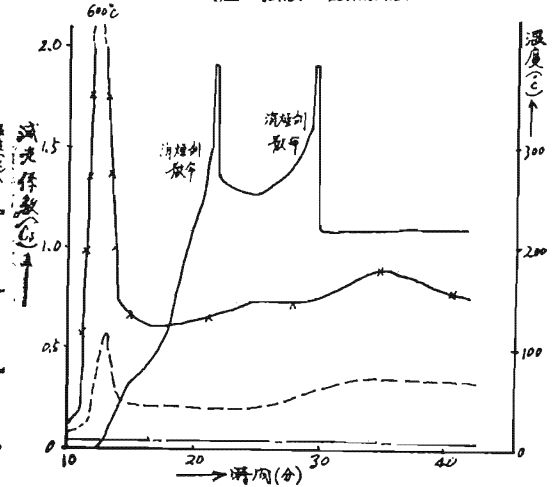
第27図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム62gr (燃焼)
消煙剤 水
煙の拡散 自然拡散



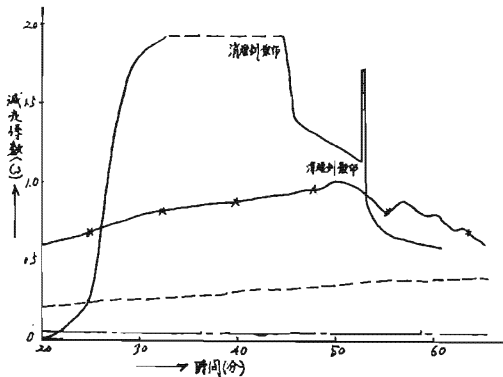
第30図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム60gr (燃焼)
消煙剤 KCl 5% sol
煙の拡散 自然拡散



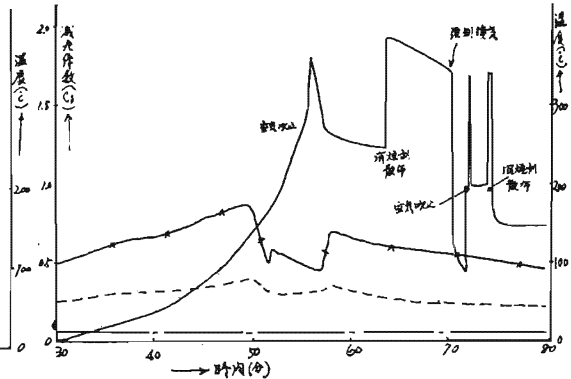
第28図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 ウレタンフォーム61gr (燃焼)
消煙剤 KCl 5% sol
煙の拡散 自然拡散



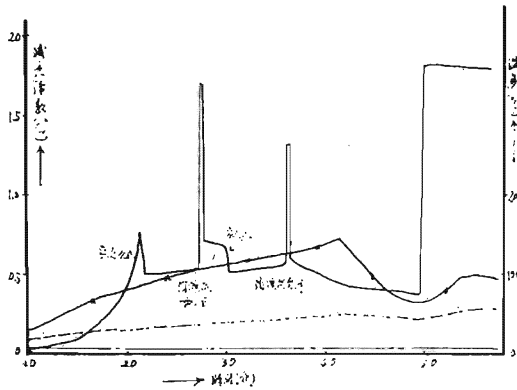
第31図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燃焼)
消煙剤 水
煙の拡散 強制拡散



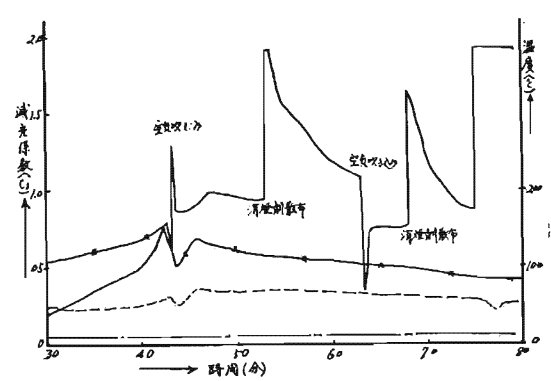
第32図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 NaCl 5% sol
煙の拡散 強制拡散



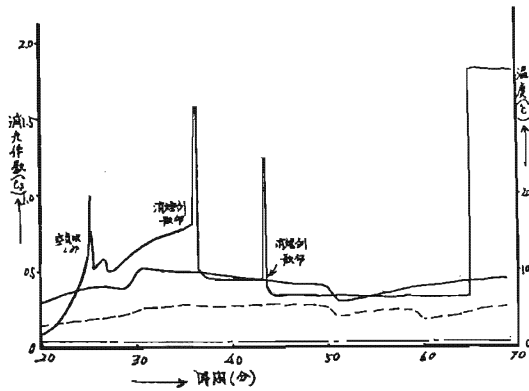
第35図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 MgCl₂ 5% sol
煙の拡散 強制拡散



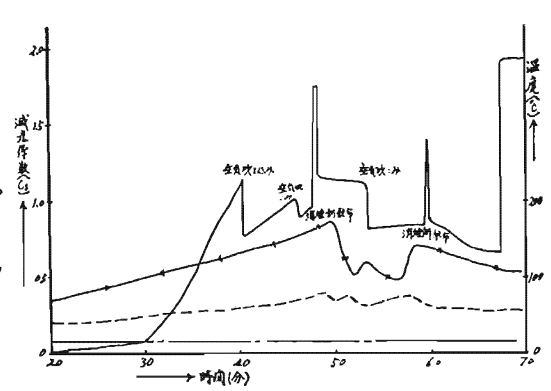
第33図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 KCl 5% sol
煙の拡散 強制拡散



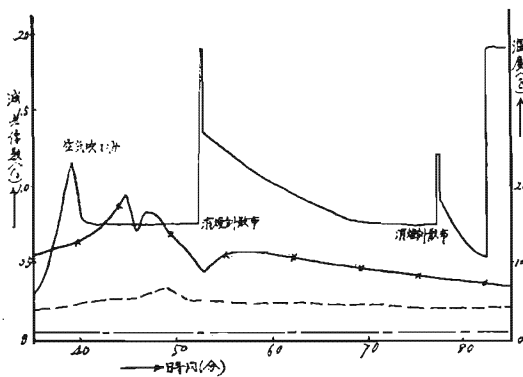
第36図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 NaHCO₃ 5% sol
煙の拡散 強制拡散



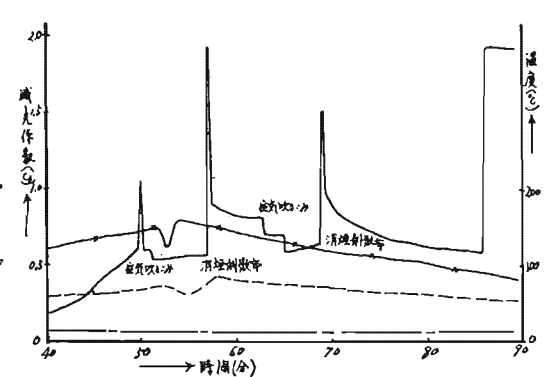
第34図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 BaCl₂ 5% sol
煙の拡散 強制拡散



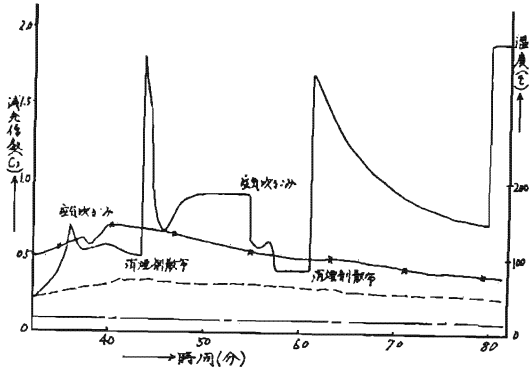
第37図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 KHCO₃ 5% sol
煙の拡散 強制拡散



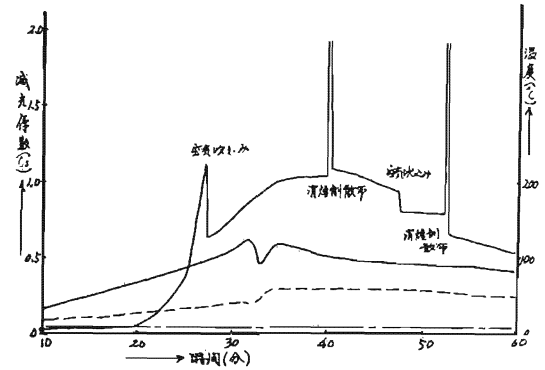
第38図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 K₂CO₃ 5% sol
煙の拡散 強制拡散



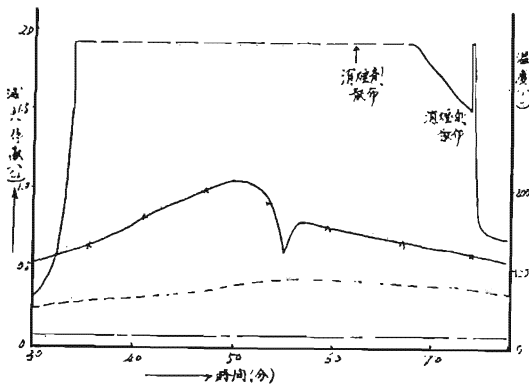
第40図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材200gr (燻焼)
消煙剤 界面活性剤(エマルル型)
煙の拡散 強制拡散



第39図 消煙剤による消煙効果と温度曲線

実験条件 { 発煙物質 杉材 200gr (燻焼)
消煙剤 鉄みよばん 5%
煙の拡散 強制拡散



たとえば、第19図の塩化カリウム溶液を使用した場合、薬剤散布前後の減光係数は、第1回目が1.31から1.07に、第2回目が0.79から0.45と低下し、室内煙霧質の自然減衰を相殺しても約20%の減少となる。

また、カートリッジフィルターで消煙室内に浮遊する煙粒子を16.5 l/min で5分間吸引し、フィルター内炉紙に附着したススの量から消煙室(4 m³)内の煙量を計算したところ、第4表のとおりであった。これより、消煙剤(KCl 溶液)の散布により煙量はC_s濃度に比例して急激に減少していることがわかる。

各測定グラフから各種消煙剤使用による煙の減少率を計算したところ、第5表～第6表のとおりである。

実験は、薬液タンクの容量の関係から、2～3回連続して行なったが、概して第2回目の方が第1回目に

第4表 消煙剤(KCl 溶液)使用時の煙量の変化例

発煙経過時間	減光係数(C _s)	フィルター炉紙に附着したススと水分の重量(gr)	ススの重量(gr)	水分重量(gr)	煙量(4 m ³)(gr)
21分(消煙剤散布直前)	2.0 以上	0.0187	0.0151	0.0036	7.16
30分(第1回消煙剤散布直後)	1.19	0.0063	0.0047	0.0016	2.28
40分(第2回消煙剤散布直後)	0.59	0.0036	0.0019	0.0017	0.92

第5表 消煙剤による消煙効果(自然拡散)

発煙物質	消煙剤	回数	減光係数(C _s)の変化		減光係数(C _s)の増減(%)	消煙剤の使用量(l)	備考
			消煙剤散布前	消煙剤散布後			
杉	水	第1回	1.20	0.99	-10.5	10.1	燻焼
		第2回	0.69	0.54	-7.5	11.7	"

発煙物質	消煙剤	回数	減光係数(Cs)の変化		減光係数(Cs)の増減(%)	消煙剤の使用量(l)	備考
			消煙剤散布前	消煙剤散布後			
杉	塩化ナトリウム	第1回	1.07	0.99	-4.0	10.8	燻焼
		第2回	0.71	0.56	-7.5	12.5	"
"	塩化カリウム	第1回	1.31	1.07	-12.0	9.3	"
		第2回	0.79	0.45	-17.0	12.3	"
"	水素化炭酸ナトリウム	第1回	1.35	1.52	+8.5	9.8	"
		第2回	1.12	0.76	-17.5	12.8	"
"	水素化炭酸カリウム	第1回	1.17	1.15	-1.0	11.2	"
		第2回	0.95	0.65	-15.0	13.3	"
"	炭酸ナトリウム	第1回	1.47	1.42	-2.5	12.0	"
		第2回	1.08	0.72	-18.0	13.0	"
"	炭酸カリウム	第1回	1.77	1.87	+5.0	10.5	"
		第2回	1.27	0.84	-21.5	11.2	"
		第3回	0.64	0.56	-4.0	8.4	"
"	界面活性剤(エマール型)	第1回	1.52	スケールオーバー	+不明	8.8	"
		第2回	1.54	1.06	-24	10.8	"
"	水	第1回	スケールオーバー	不明	不明	10.0	燃焼
		第2回	スケールオーバー	1.33	-24	10.8	"
"	塩化カリウム	第1回	1.74	1.18	-27	9.5	"
		第2回	1.00	0.72	-38	11.0	"
ウレタンフォーム	水	第1回	スケールオーバー	1.83	-不明	10.5	燻焼
		第2回	1.44	1.05	-17.5	8.5	"
"	塩化カリウム	第1回	スケールオーバー	1.40	-不明	9.7	"
		第2回	1.12	0.90	-10	10.5	"
"	水	第1回	1.80	1.54	-13	9.5	燃焼
		第2回	1.15	0.82	-15.5	11.5	"
		第3回	0.60	スケールオーバー	+不明	不明	"
"	塩化カリウム	第1回	1.58	1.38	-10	9.8	"
		第2回	1.62	1.10	-26	11.6	"

第6表 消煙剤による消煙効果(強制拡散)

発煙物質	消煙剤	回数	減光係数(Cs)の変化		減光係数(Cs)の増減(%)	消煙剤の使用量(l)	備考
			消煙剤散布前	消煙剤散布後			
杉	水	第1回	1.21	1.91	+35.0	7.9	燻焼
		第2回	1.02	0.76	-12.8	13.9	"
		第3回	0.42	0.34	-4.0	13.6	"
"	塩化ナトリウム	第1回	0.57	0.96	+9.5	11.4	"
		第2回	0.57	0.51	-3.0	12.7	"
"	塩化カリウム	第1回	0.74	0.5	-12.0	13.6	"
		第2回	0.44	0.36	-4.0	13.6	"
		第3回	0.91	0.55	-18	12.6	"

発煙物質	消煙剤	回数	減光係数(C _s)の変化		減光係数(C _s)の増減(%)	消煙剤の使用量(D)	備考
			消煙剤散布前	消煙剤散布後			
杉	塩化バリウム	第1回	0.75	1.22	+23.5	9.3	燻焼
		第2回	0.65	0.70	+2.5	12.9	"
"	塩化マグネシウム	第1回	0.92	1.67	+39.5	10.0	"
		第2回	0.70	1.17	+23.5	9.1	"
"	水素化炭酸ナトリウム	第1回	0.95	1.15	+10.0	10.0	"
		第2回	0.84	0.88	+2.0	13.4	"
"	水素化炭酸カリウム	第1回	0.59	0.91	+16.0	10.6	"
		第2回	0.66	0.93	+13.5	12.8	"
"	炭酸カリウム	第1回	0.57	0.93	+18	12.1	"
		第2回	0.48	1.16	+34	11.8	"
"	鉄みょうばん	第1回	スケールオーバー	スケールオーバー	—不明	10.6	"
		第2回	1.47	0.76	-35.5	12.5	"
"	界面活性剤(エマール型)	第1回	1.04	1.08	+2	13.0	"
		第2回	0.83	0.69	-7	13.6	"

第7表 各濃度領域における消煙剤散布時の減光係数の減少

第1回消煙実験				第2回消煙実験			
消煙剤散布時のC _s	消煙剤	C _s 落差	発煙物質・燃焼形式	消煙剤散布時のC _s	消煙剤	C _s 落差	発煙物質・燃焼形式
1.0~1.1	塩化ナトリウム	0.08	杉 燻焼	0.6~0.7	水	0.15	杉 燻焼
1.1~1.2	水素化炭酸カリウム	0.02	" "	0.7~0.8	塩化ナトリウム	0.15	" "
1.2~1.3	水	0.01	" "		塩化カリウム	0.34	" "
1.3~1.4	塩化カリウム	0.24	" "	0.9~1.0	水素化炭酸カリウム	0.30	" "
	水素化炭酸ナトリウム	0.17	" "		塩化カリウム	0.28	" "
1.4~1.5	炭酸ナトリウム	0.05	" "	1.1~1.2	塩化カリウム	0.22	ウレタンフォーム燻焼
1.5~1.6	炭酸ナトリウム	0.05	" "	1.1~1.2	水素化炭酸ナトリウム	0.36	杉 " "
	炭酸ナトリウム	0.05	" "		水	0.43	ウレタンフォーム燻焼
1.5~1.6	塩化カリウム	0.20	ウレタンフォーム・燃焼	1.2~1.3	炭酸カリウム	0.43	杉 燻焼
1.7~1.8	炭酸カリウム	—	杉 燻焼	1.3~1.4	水	0.39	ウレタンフォーム燻焼
	塩化カリウム	0.56	杉 燃焼	1.4~1.5	界面活性剤	0.48	杉 燻焼
1.8~1.9	水	0.26	ウレタフォーム燃焼	1.5~1.6	塩化カリウム	0.52	ウレタンフォーム燻焼

比較して効果があることが認められた。これは煙粒子は乾いた状態では表面に空気が吸着して水に濡れ難いので一度濡らしておけば、煙が水粒子に捕えられ易いことによる。

各濃度領域における、消煙剤散布時の減光係数の変化を第7表に示す。

ここで、消煙室内の煙の拡散については、自然拡散による場合と、空気吹込みによる強制拡散をした場合とし、消煙剤の散布を行なったが、自然拡散の場合には、消煙効果の有無が比較的明らかであるが、強制拡

散の場合は塩化カリウムを消煙剤に使用した場合のほかに、煙の減衰がかんまんで、あるいはかえって減光係数が上昇しているものも見受けられた。この理由としては、現段階では判然としないが、ただ煙霧質の計測上に問題があるのではないかと考えられる。即ち減光係数(C_s)は、一定霧囲気間の透過光の量をCDS感度で計測する値で、透過光の量と波長はそれぞれ試料霧囲気の煙の粒子の大きさ(a)と粒子数(n)によって異なり、その値は、一般に次式で表わされる。

$$C_s \propto f(a) \cdot f(n)$$

よって、 C_s の値は煙の粒径と粒子数とが実測されないといふ求められないが、霧囲気全体の変化に対する前後の相対的变化は求め得られるものであるので、これを相対値とするのが妥当である。空気吹込みによる C_s 値の顕著な変化は、第31図から推測される領域、即ち、空気吹込み時の煙濃度の大小によって、消煙量が異なってくる事実である。これは吹き込み時の煙濃度が大きければ、消煙量も大きく、濃度が小さければ、消煙量も少なくなるところから推測されることは、空気吹込みによって起こる「煙の拡乱」が消煙に大きな影響があるという事である。

前記、CDS感度の式に示されているように、煙の粒子数の変化が煙の粒子径の変化より優先して起きているのか、また、その逆が起きているのかを適確な手段で測定しない限り、明らかにし得ないので、この現象が煙粒子同志の会合による粒子増大と粒子数の減少を意味しているのか、沈降などによる粒子数の減少が表われているのか、今後の研究により解明する。

6 消煙機構

煙霧質は静かにしておくと、粒子が漸次沈降し、同時に粒子同志が合併して大形となってゆく。粒子の大きさは、比較的揃った煙霧質では、何れの粒子も同じ速さで沈んでゆくが、不揃の煙であると、大きい重い粒子が先づ沈み、小さい軽い粒子が残る。

それで粒子が揃っている場合は、煙の質量の減少は時間に比例するが、不揃の場合は、初めの中に質量が急激に減少し、後には、それ程減少しなくなる。最初は粒子の数が多く、ブラウン運動は盛んであるが、互に衝突する機会が多く、従って凝集も起り易い。

ここで、本研究の眼目は、強制的に、しかも短時間に空間に浮遊する煙粒子を増粒沈降させることにあるが、主として次の効果を期待して、実験を行なった。即ち、

- (ア) 添加剤（消煙剤）使用による増粒沈降
- (イ) 帯電効果による煙粒子の凝集沈降

消煙剤は、水をベースにした薬剤を用いるので、比重は空気よりはるかに重く、また、水より大きいから、これを煙に付着させることにより、粒子の比重を増大させ、より早く煙を沈降させることができる。

分散媒と分散相との密度の差を大きくすれば、それだけ煙霧質の安定度がわるくなるという考え方である。即ち、付着現象は、粒子が異種の粒子と合体する現象で、衝突、拡散、あるいは静電気の帯電によって生ずる付着現象による煙の降下は粒子径が大きい場合には、特に衝突は重要な因子であり、微小粒子の場合、

拡散現象は凝集の場合と同様に付着に対して効果的と言われる。

一般に酸ミストや食塩ヒュームのように親水性のもの以外の粒子は、その表面に吸着気体層が存在するため、濡らすことは難かしい。このように表面と付着粒子の性質から定まる濡れ易さを考えることは必要であろう。

次に放水量に対する濡れ効果について述べる。

本実験の霧囲気温度は、5~25°C程度である。この霧囲気中に乾湿温度計をもって、その時の湿度を測定すると、水噴霧前後における変化は大きく、噴霧後の湿度は95%以上となる。このことは、水噴霧によって放水される水のうち、水蒸気となって空間に固定されたものがあることを示すものである。因みに25°Cにおける水分を測定すると下記のとおりでである。

25°Cの空気1 m³中に含有される水分は23.7grである。よって消煙室4 m³中に固定される水分は、 $23.7 \times 4 = 94.8\text{gr}$ （相対湿度100%）となる。水噴霧後における4 m³中の煙吸着水分は実測によると、 $1.6 \times 10^{-2}\text{gr}$ となる。よって、その時の消煙室4 m³中に存在する水分は湿分の94.8grと、煙吸着水分の $1.6 \times 10^{-2}\text{gr}$ の合計94.816grとなる。この量は放水量11.6 l（約11,600 gr）に比較して非常に少ない量である。

即ち $\frac{94.816}{11,600} = 8.1\%$ が4 m³中に残る水分である。そのうち直接影響ある水分は、 $\frac{0.016 \times 100}{11,600} = 0.00014\%$ で湿分と比較して、湿分の0.01%程度で非常に少ないことが示されている。これによると放水量の大部分は、水粒子となって挙動し、直接煙粒子と衝突するという物理作用をしているものと推測される。

この様に直接吸着されるという現象は、非常に効率のわるいように見られるが、消煙効果には、実に大きな意味をもたらしている。

即ち、煙を濡らすという現象がそれである。しかし、実火災霧囲気（200~300°C）を想定した場合、この効率はさらに低下することは言うまでもない。その霧囲気を100°Cとした場合の例をもってすれば、次の如くである。

この100°Cの霧囲気が、相対湿度100%となる時の4 m³の空間に水蒸気となって固定される水分は16,000gr（16kg≒16 l）となり、本実験の装置規模においては、放水量16 lは全部水蒸気となって消費され、煙を濡らす水分は絶無となることであろう。

よって、装置を拡大し、実験規模を大きくする必要性がでてくる。

次に、帯電効果について考察する。

煙霧質は一般に帯電した粒子と帯電しない粒子とを含む、それらの割合は、煙霧質の種類、成煙条件、経

過時間によって異なるが、燃焼などによって生ずる煙は、正負両イオンのいずれかに帯電しているか、帯電していない粒子とが混合しているかであるが、粒子が同種の電荷に帯電する場合には、粒子同志が互に反発するから凝集し難くなり、煙の安定度が増す。しかし、異種の電荷を帯びた場合は、結合し易くなり凝集し易い。

この性質を利用して、電荷の大きい塩類などを水溶液とし、煙霧質に散布し、正負の電荷をもった煙粒子を凝集、大きくさせ、短時間に沈降させることができる。

これを実験結果から比較的効果を認められた塩化カリウム (KCl) について考察すると、KCl は電離して、 $KCl \rightarrow K^+ + Cl^-$ に帯電するが、水溶液の場合、 Cl^- の極性が大きいため負に帯電する。微量の KCl 添加によってできる負電荷水粒子の消煙効果は、その粒子の基体である水分自体の持つ消煙力と、KCl の分極による消煙効果との相和によるものであろう。

よって、KCl 添加量によっては、この分極によって帯電効果が異ってくることであろうから、KCl 濃度差による消煙効果も考慮しなければならないであろう。本段階では、この濃度差による消煙効果について論述するところまで実験が進展していないが、この効果は、水噴霧時の消煙力よりもはるかに大きいことが予想される。

7 総 括

煙霧質は概して粒子が微小であるため、浮力の作用が大きく影響し、気体中の沈降速度は極めておそくなる。特に火災時に発生する煙は熱気流のため、上昇、あるいは水平方向への流速がつくので、なかなか沈降しにくい。一般に煙の沈降落下する速度は粒子径によって著しく異なり、 100μ 以上のものは静止気体中を幾分加速度をもって、自然沈降し $0.1 \sim 1\mu$ のものではその沈降は stokes の法則により一定速度である。

また 0.1μ 以下のものではガス分子の衝突によって、ブラウン運動をし、拡散して静止気体中では、沈降しにくい。

空気中に浮遊する煙粒子を除去するための力学的因子としては重力、慣性力、遠心力、電気力、熱反発力が考えられ、この粒子の分離を容易にするような煙霧質の性質、即ち凝集現象、帯電現象、付着現象などが付加されてくる。

我々は水に可溶な薬剤を煙霧質に散布し、粒子の分離を容易にするような煙霧質の性質

即ち、凝集、帯電、付着各現象を促進させ煙粒子を可及的速かに凝集沈降せしめ、視界を回復して、消防活動を容易ならしめることを目的とし研究を進めたが、まだ、その緒についたばかりで今後の研究に待つことが大きい。

本研究段階では、煙濃度は $10 \sim 30^\circ C$ の低温領域で、しかも静止煙に近い状態で実施しているの、今後は火災時の煙を対象とし、煙に流速を加えて乱流状態とし、また $100 \sim 300^\circ C$ の高温領域で実験を推進する。

また、消煙効果の確認も、今回は主として煙濃度を CDS セル法での光の透過減衰率で捕えたに止まったが、今後はさらに消煙剤によって降下された煙霧質の粒形、大きさ、粒度分布、内部表面積、およびガス分析などを行ない、効果を確め、消煙剤の開発を行なう。

8 あとがき

本題は、自治省消防庁消防研究所からの委託研究であり、研究に要した費用は、科学技術庁特別研究促進調整費によって充当された。

ここに第1報をまとめるに当たり、研究の推進に尽力され、指導鞭達を賜った消防研究所名雪健一氏にお礼を申し上げるとともに、研究途次転出された前第二研究室員和田弘氏の労に深く感謝する次第である。