

## 消 煙 に 関 す る 研 究 (第 2 報)

内 田	稔*
関 根	弘*
伏 見	英*

## 1. 研究の概要

第1報(所報第5号)では消煙室容積4㎡の小型消煙実験装置において、主に木材を発煙物質とし各種薬剤の消煙効果を求めたが、装置が小型であること、煙の状態が静止に近く、かつ煙の温度も10~30℃の低温領域であったので、実火災時における煙の状態と差があると考えられるので、可能な限り実火災時の煙に近い状態での消煙効果を確認することが必要である。すなわち実験装置も消煙室容積を30㎡に拡大し、流速をもった乱流状態の煙で、その温度も100℃以上の高温領域で実験を推進する。

本報では、この大型消煙実験装置の基礎データを得るため、発煙物質、燃焼方法の決定、噴霧ヘッドの噴射量、煙濃度および煙の自然減衰、消煙室内煙の雰囲気温度およびガス濃度等の各測定を行ない、小型消煙実験装置との比較データを求め、大型装置と小型装置との関連性を確かめた。

散布薬剤については第1報に報告した無機塩の外、現在工業用水、河川等の浄化、清澄に用いられている凝集剤が、次元は異なるがコロイド状見地から有効であろうと考えられたので使用してみた。

消煙効果については、CdSセルの減光係数(Cs)のみで各薬剤を水と比較したが、カリウム塩が若干優れている。

なお、カートリッジフィルターによって測定した濃度をCsによる減光と比較してみた。

## 2. 消煙実験装置の試作

この装置は燃焼炉、ドーム型消煙室(以下消煙室という)、送液装置、排煙装置、および測定装置からなり、次のような構造、機能を有し第1図に示す。

## (1) 燃焼炉

熱源には電熱器(3KW)を用い内面耐火煉瓦、外面鋼板製で熱源の上に鉄板を敷き発煙物質をのせる。

また燃焼状態を見るのぞき窓、空気流入調節を兼ねる灰取出口が設けてある。

## (2) ドーム型消煙室

燃焼炉で発生した煙を入れる内容積30㎡の鋼板製ドームで、中央最上部に噴霧ヘッド取付ボックス、底板にマンホールを設けてあるほか、次のような構造を有する。

ア 煙の状況を観察するため、ドーム周囲に4ヶ所の視窓、および室内照明灯(100W白熱電球)を4ヶ所に設置し、ドーム周囲にはデッキを設けてある。

イ 消煙室内圧の異常上昇による危害防止のため容易にはずれる保安扉を側面に設置してある。

ウ 煙、ガス採取のためタッピングボックス(採取口8ヶ)を、また薬剤による消煙効果をみるためのドレン採取口を排水管に1ヶ所設けてある。

エ 煙量を調節するため、燃焼炉と消煙室間の煙道にダンパーを設けてある。

## (3) 送液装置

薬剤を散布するため、第2図に示す水タンク、加圧装置、噴霧ヘッド、およびこれらを連結する配管、弁等から成り、その構造、機能は次のとおりである。

## ア 水タンク

散布薬剤を貯蔵する容積1.2㎡の鋼板製タンクで、散布量は水面計で直読される。

## イ 加圧装置

散布用ポンプは吐出量46ℓ/min、全揚程125m、口径40%のカスケードポンプで電動機容量は5.5KWである。

## ウ 噴霧ヘッド

薬剤を散布するため消煙室最上部に取付けられ、その性能は第3図のとおりで、詳細は第4図に示す。

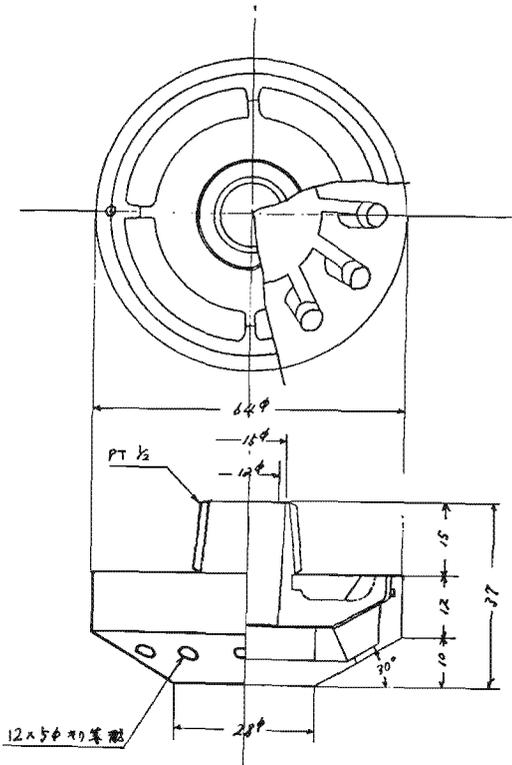
## (4) 排煙装置

煙を系外に排出するため、排風機、冷却器、ダクトから成り、その構造、機能は次のとおりである。

\* 第二研究室



第4図 噴霧ヘッド



ア 排風機

消煙室内の煙を系外に排出するシロッコファンで0.71KWの電動機で駆動する。

イ 冷却器

排風機に直接高温の煙が通らないように冷却器を設けた。これは水量10ℓ/minで散水中の器内を煙が通過するよう散水管、邪魔板から成る鋼板製のものである。

(5) 測定装置

ア 吸引型煙濃度測定器

煙濃度測定に使用するCdSセルは70℃以上になると特性が変化するので、第5図に示す吸引型煙濃度測定器を消煙室外に置き、内径8φ、長さ6mの銅製パイプで2ℓ/minの煙量を吸引し測定器に導入、器内に流入した煙をCdSセルにより光の透過率を測定する方式とした。

光源は5V、40Wの白熱電球、内面を黒色塗装の真鍮製である。

3. 実験の方法と内容

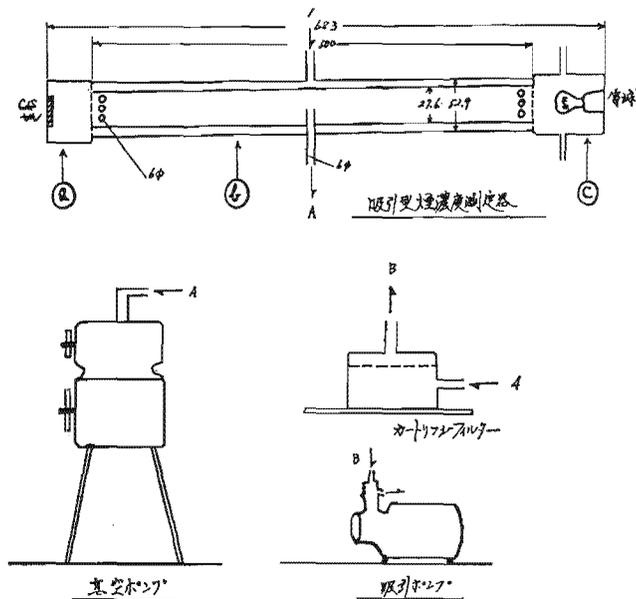
(1) 発煙特性

試作した消煙実験装置の燃焼炉で発煙物質として杉材を使用した。すなわち杉材3kgを電熱器で加熱、燃焼させ発生した煙を消煙室に導入し、吸引型煙濃度測定器により煙濃度を測定した。

(2) 消煙室内水噴霧散布時の減光係数の変化

噴霧ヘッドから高圧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に著しく視界を妨げることが小型装置では認められたので、大型装置でもこのことが消煙剤散布時の煙減衰の過程で計測

第5図 煙濃度測定器図



記号	名稱	備考
Ⓐ	受光部分	CdSセル
Ⓑ	光源部分	
Ⓒ	光源部分	5V 40W 白熱電球

されると問題があるので、水噴霧の粒径及び散布時の減光率を測定し、その特性を調べた。

(3) 水噴霧による消煙効果

消煙室内に導入された煙が一定濃度に達したときに 8 kg/cm<sup>2</sup>の水噴霧を25秒間30ℓ 散布し煙の減衰状況を

調べた。

(4) 各種薬剤による消煙効果

消煙剤として要求される基本的な要件は第1報(所報第5号)に挙げてあり、使用薬剤は第1表に示し、各々単独で散布した。

第1表 使用薬剤

	薬 剤 名	濃 度	備 考		薬 剤 名	濃 度	備 考
1	塩化カリウム	1%5%		7	アルギン酸ナトリウム	0.1%	凝集剤
2	塩化バリウム	1%		8	C. M. C	0.1%	"
3	炭酸カリウム	1%		9	ポリ塩化アルミニウム	0.1, 1% 5%	"
4	第1リン酸アンモニウム	1%		10	ポリアクリル酸ナトリウム	0.1%	"
5	第1リン酸カリウム	1%5%		11	ハイモロックA-8	0.3%	"
6	硫酸アルミニウム	1%	凝集剤				

第1表の6~11は凝集剤である。これらの消煙効果について、杉材を燃焼させ、発生した煙を消煙室に導入し一定濃度に達したとき8 kg/cm<sup>2</sup>の噴霧を30ℓ 散布し、煙濃度の減衰を測定した。

(5) 煙の濃度差による消煙効果

煙の濃度差が消煙効果にどのような影響があるかを水あるいはリン酸カリウムについて測定した。

(6) 薬液濃度変化による消煙効果

薬液濃度を変えることにより消煙効果を調べ、薬剤の有効濃度を求める。

(7) 煙濃度の測定方法

第1図の消煙室内1, 2, 3に設定した銅製パイプにより吸引型煙濃度測定器へ連結し、消煙室内の煙を吸引し測定器を通過させ、その間でCdSセルにより受光量の変化を測定し、煙濃度を求めた。原理は第1報と同様Lambertの法測により減光係数を煙濃度とした。また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、消煙室内4ヶ所(第1図①②③④)に設定した。

(8) 燃焼ガス測定方法

煙の各濃度におけるガス組成と、各種薬剤、および水噴霧によって消失、あるいは減少するガスの分析を行なう予定であるが、今回は一酸化炭素、二酸化炭素につき、消煙室内中心部(第1図4)に設定した銅製パイプでガスを吸引し、前者を北川式検知管で10分毎とし、後者を吸収式m o m o 炭酸ガス分析計により5分毎に測定した。

(9) フィルターによる煙濃度測定

消煙室内中心部(第1図4)に設定した銅製パイプにより5分毎に煙を吸引し煙濃度と水、薬剤散布前後の煙濃度変化をフィルターによって採取し、Cs濃度と対比した。吸引量は4ℓ/minで2分間とした。

なお、フィルター濃度は、米国BACHRACH社のTrue Spot煙試験器の「オイルバーナー煙尺度」と比較し濃度判定を行なった。

(注) オイルバーナー煙尺度は10段階に分けられている。True Spot煙試験器にフィルターを差しこみオイルバーナーから出る煙の一定量を吸引し、そのフィルターを尺度にあわせる。

4. 実験結果

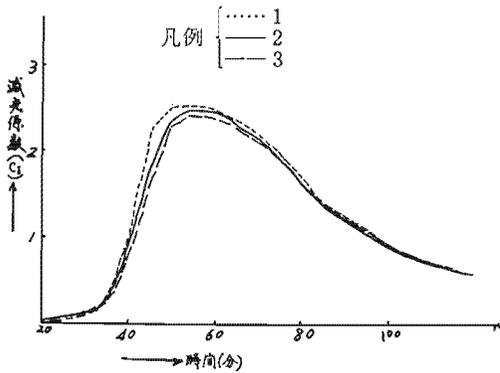
(1) 発煙特性

燃焼炉で木材を燃焼させ、発生する煙を消煙室内中心部に上, 中, 下(第1図1, 2, 3)の3点に取り付けた銅製パイプにより煙濃度測定器に誘導し、煙濃度を測定したところ、第6図の結果を得た。この図より1, 2, 3の3点は最高濃度に達した後は、ほとんど一致することが認められたので、実験結果は2の1点のみを測定することとした。

またこのときの煙濃度と消煙室内の温度との関係は第7図に示す。次に消煙室内の煙が一定濃度に達したとき、煙道のダンパーを閉じた場合、煙濃度の減少の仕方が第8図のようになるのは、煙の中に水分や水溶性の有機物質が存在するためにこれらが消煙室内壁に付着されるためと思われる。

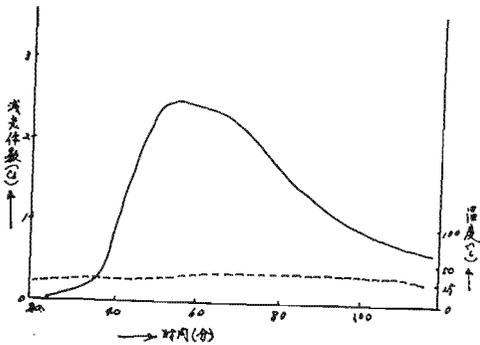
第6図 発煙特性

発煙物質 杉材 3 kg

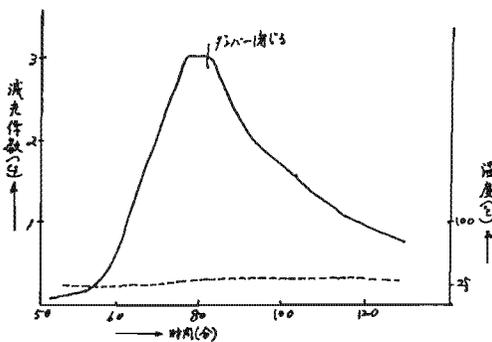


第7図 発煙特性 (煙道ダンパー開放)

凡例 {  
 ——— 煙濃度  
 ..... 消煙室内温度



第8図 発煙特性 (煙道ダンパーを途中で閉じる)



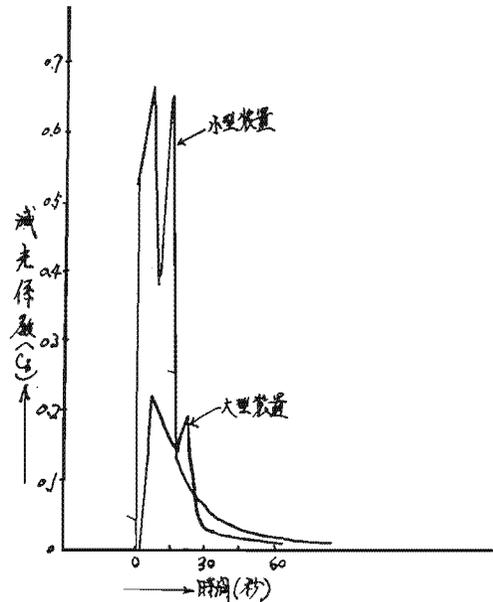
(2) 消煙室内水噴霧散布時の減光係数変化

本装置における水噴霧の粒径を実測したところ13~100 $\mu$ で小型装置における粒径1~50 $\mu$ と比較すると、粒径が大きくなっている。粒径が1~10 $\mu$ では空中に浮遊することが文献等にて示されている。

消煙室内で直接測定したところ減光が認められ、これを小型装置における結果と比較すると第9図のよう

第9図 水噴霧による減光係数の変化

散布量 {大型装置 3.0 $\ell$   
 小型装置 11.6 $\ell$

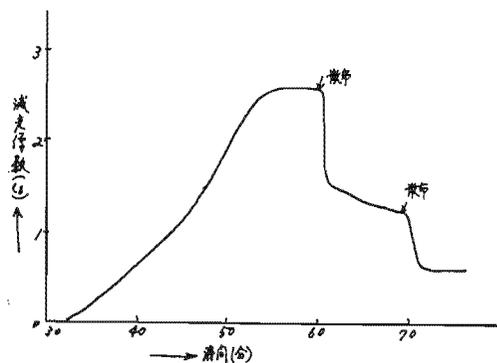


になる。これは粒径が大きくなったためと考えられる。しかしその測定値がCsで0.22となるが、誘導パイプを使用する本装置の測定では減光は認められなかった。これは誘導パイプに水滴が付着されたためと考えられるが、この減光量は僅かで消煙効果を求める上から影響はないものと思われる。

(3) 水噴霧による消煙効果

消煙室に入れた煙に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10図に示す。

第10図 水による消煙効果



水を散布する場合、ポンプ運転開始後5~6秒で散布がはじまり、40~45秒で減光係数が低下することが認められた。その数値を第2表(散布薬剤-水)に示

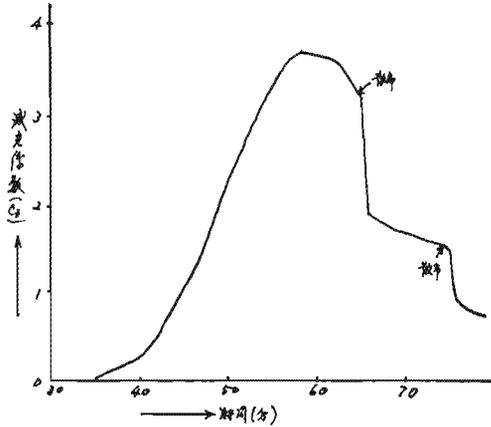
す。

水によりある程度の効果が認められたが、このことは杉材の煙が水噴霧に吸着されて落される部分と、水噴霧によって煙粒子がたたき落される部分があるものと考えられる。

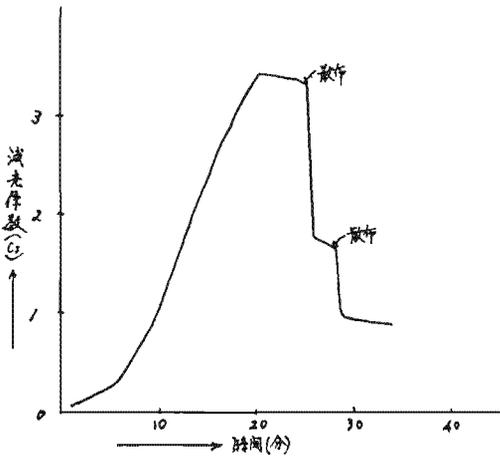
(4) 薬剤による消煙効果

消煙室に入れた煙に薬剤を散布し、散布前後のCsの変化を求めた。この結果を第11図～第25図に示す。

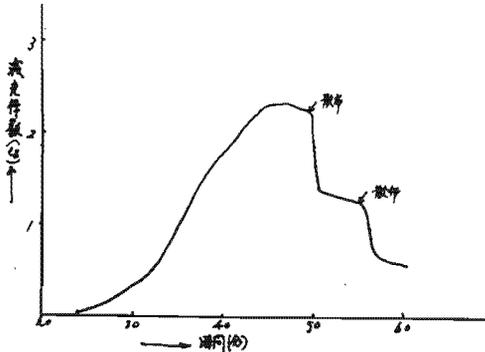
第11図 塩化カリウム (1%sol) による消煙効果



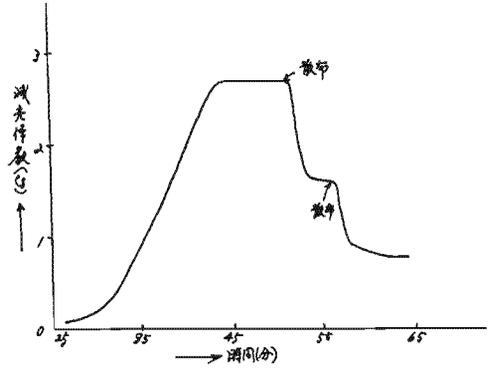
第12図 塩化カリウム (5%sol) による消煙効果



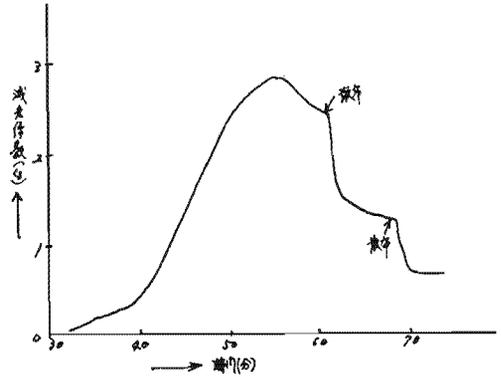
第13図 塩化バリウム (1%sol) による消煙効果



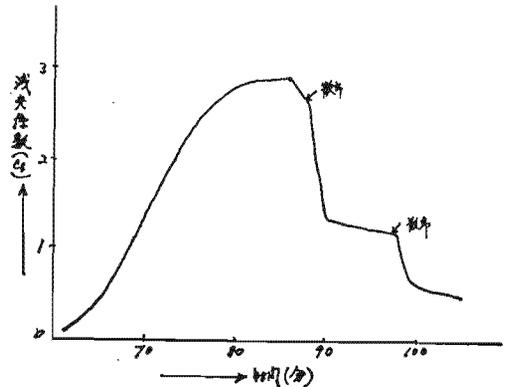
第14図 炭酸カリウム (1%sol) による消煙効果



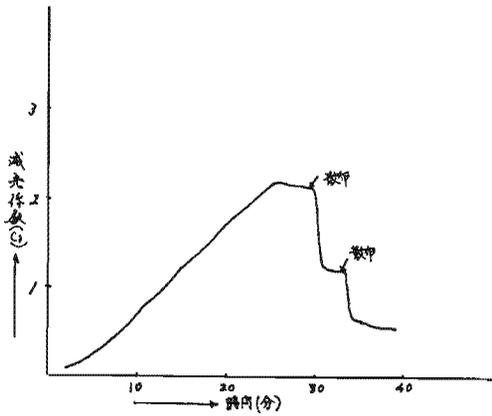
第15図 第1リン酸アンモニウム (1%sol) による消煙効果



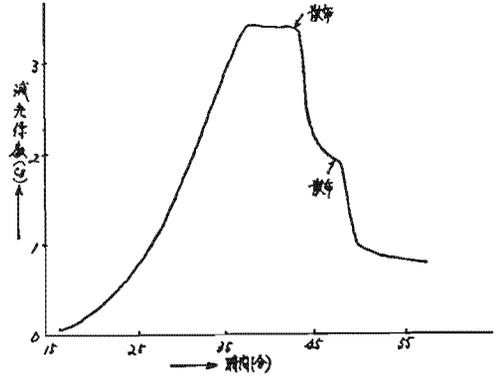
第16図 第1リン酸カリウム (1%sol) による消煙効果



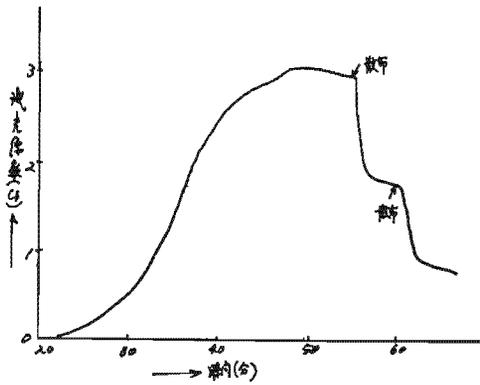
第17図 第1リン酸カリウム (5%sol) による消煙効果



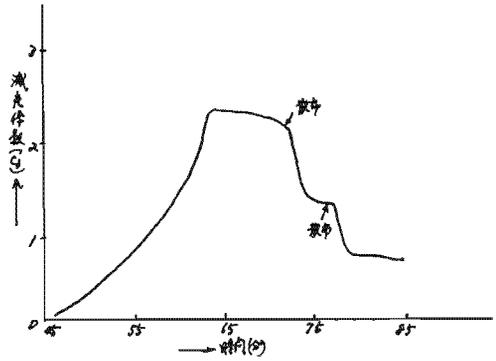
第20図 CMC0.1%solによる消煙効果



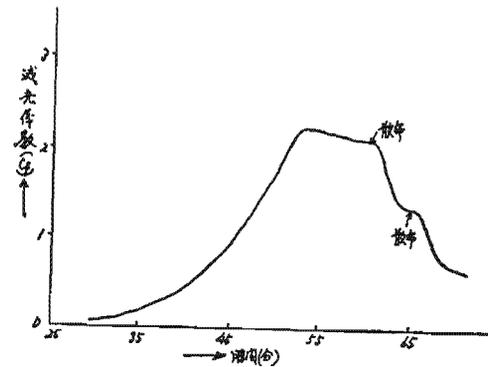
第18図 硫酸アルミニウム (1%sol) による消煙効果



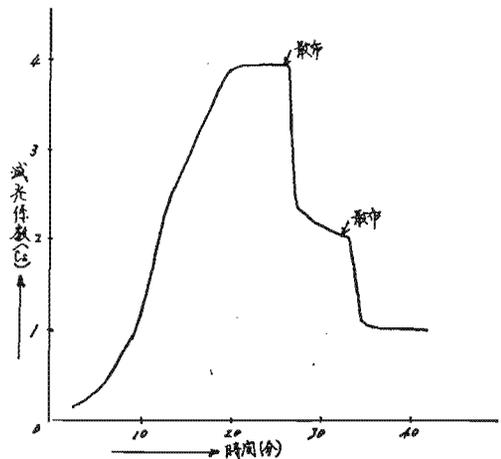
第21図 ポリ塩化アルミニウム (0.1% sol) による消煙効果



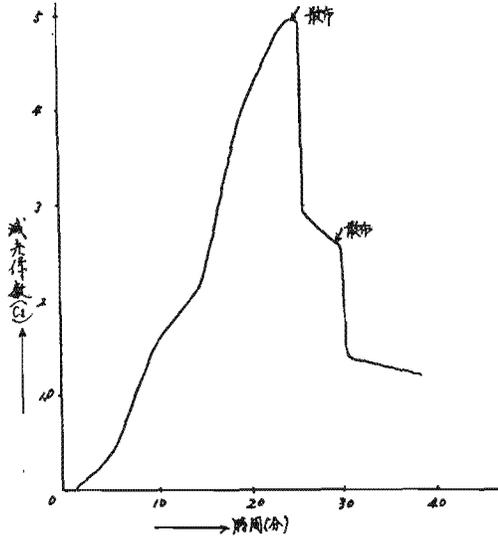
第19図 アルギン酸ナトリウム (0.1% sol) による消煙効果



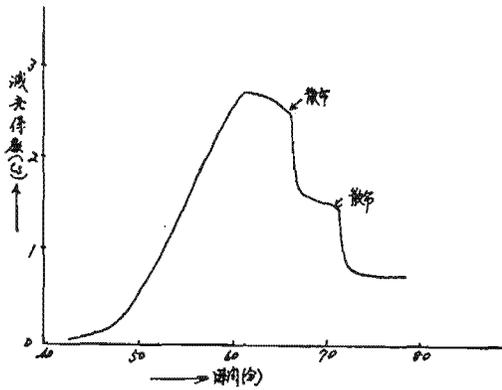
第22図 ポリ塩化アルミニウム (1%sol) による消煙効果



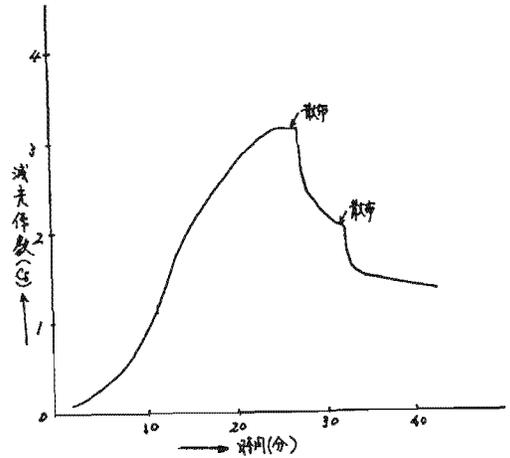
第23図 ポリ塩化アルミニウム (5%sol) による消煙効果



第24図 ポリアクリル酸ナトリウム (0.1%sol)による消煙効果



第25図 ハイモロック (0.3%sol) による消煙効果



またこれらについて、Cs の変化を数値にしたものを第2表に示す。

なお、水、薬剤を散布することにより Cs が減少するが、散布開始より Cs が減少停止するまで約40秒あり、この間に自然に減少する量 (第26図)、すなわち自然減光量を求め減光率を補正した。第2表から第1リン酸カリウム、塩化カリウム、ポリ塩化アルミニウムが水より僅かであるが、効果があるという結果を得たが、大巾な消煙効果というものは現在までの実験では得られなかった。

また、薬剤等の散布回数は2回連続して行なったが、概して2回目の方が1回目と比較して、Csの減光率が大きいのは濡れの効果があるため、このような結果になったと思われる。

(5) 煙の濃度差による消煙効果

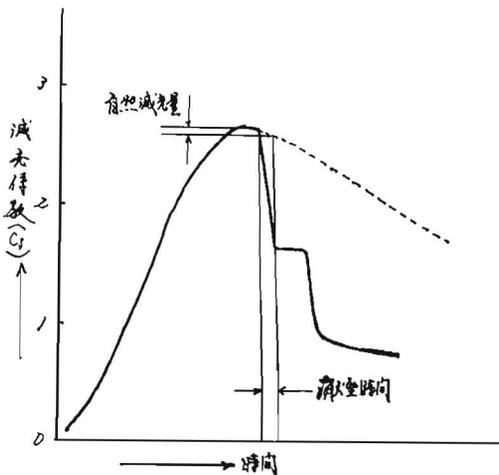
煙量と消煙効果の関係を、第1リン酸カリウム1%溶液を散布しその結果を第27図に示す。未だ実験回数

第2表 薬剤による消煙効果

散 布 薬 剤	回数	減光係数 (Cs) の変化					
		薬剤散布前	薬剤散布後	自然減光量	減 光 量	減光率(%)	
水	1	2.52	1.55	0.05	0.92	36.51	
	2	1.27	0.86	0.03	0.38	29.90	
塩化カリウム	1%	1	2.95	1.78	0.07	1.10	37.29
		2	1.43	0.81	0.03	0.59	41.26
	5%	1	3.36	1.80	0.09	1.47	43.70
		2	1.69	0.98	0.04	0.67	39.60
塩化バリウム	1%	1	2.16	1.43	0.05	0.68	31.48
		2	2.13	0.67	0.03	0.53	30.89
炭酸カリウム	1%	1	2.59	1.64	0.06	0.81	31.27
		2	1.50	0.76	0.04	0.70	46.67

第1リン酸アンモニウム 1%	1 2	2.40 1.28	1.55 0.73	0.05 0.03	0.80 0.52	33.33 40.63	
第1リン酸カリウム	1%	1 2	2.52 1.12	1.43 0.63	0.05 0.03	1.04 0.46	41.27 41.07
		1 2	2.10 1.17	1.23 0.70	0.05 0.03	0.82 0.44	39.0 37.6
硫酸アルミニウム	1%	1 2	2.93 1.63	1.88 0.94	0.07 0.04	0.98 0.65	33.45 39.88
アルギン酸ナトリウム 0.1%	1 2	1.99 1.23	1.40 0.78	0.05 0.03	0.54 0.42	27.14 34.15	
C. M. C	0.1%	1 2	3.38 1.87	2.19 0.98	0.09 0.04	1.10 0.83	32.54 44.39
ポリ塩化アルミニウム	0.1%	1 2	2.00 1.17	1.30 0.63	0.05 0.03	0.65 0.51	32.50 43.59
		1 2	3.83 1.99	2.36 1.05	0.07 0.05	1.37 0.89	36.8 44.6
	5%	1 2	4.90 2.46	2.91 1.37	0.12 0.05	1.87 1.04	38.2 42.3
ポリアクリル酸 ナトリウム	0.1%	1 2	2.40 1.44	1.64 0.78	0.05 0.04	0.71 0.62	29.58 43.06
ハイモロック A-8	0.3%	1 2	3.12 2.04	2.47 1.59	0.08 0.05	0.57 0.40	18.30 19.60

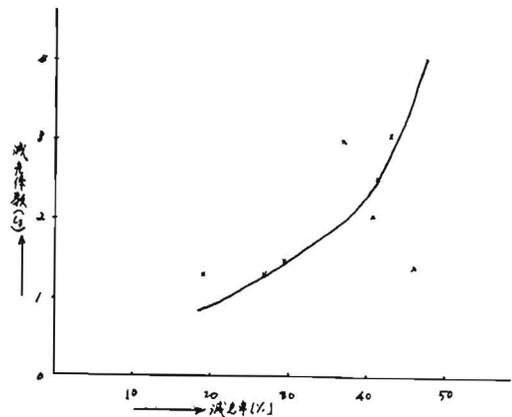
第26図 自然感光量モデル図



が少ないため決定的な値ではないが、 $C_s$ 濃度が高くなると概して消煙効果も大きくなる傾向があるが、これは高濃度領域では、その性状が比較的不安定となるためと思われる。

また、本実験の煙濃度測定方法は第1報で示したように、CdSセルを用い受光量の変化を電圧に変換しその変化量を Lambert の式により減光係数 ( $C_s$ ) を算出する。この電圧変化量と減光係数との関係を第28図に示す。

第27図 煙の濃度差による消煙効果  
散布薬剤, 第1リン酸カリウム1%sol



この図から測定誤差の少ない有効な煙量は  $C_s$  2.5~3.0 の範囲と考えられた。

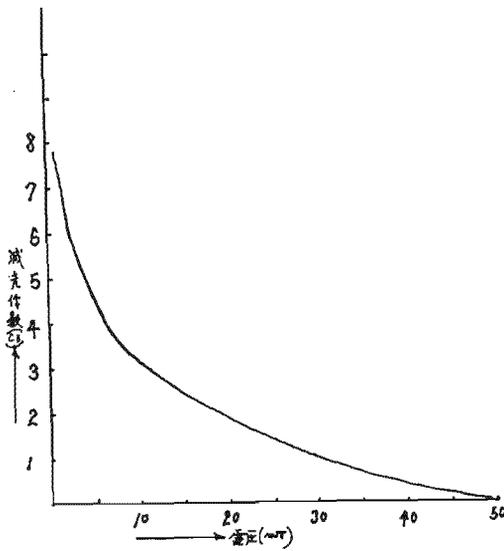
(6) 薬液濃度変化による消煙効果

第1リン酸カリウム、ポリ塩化アルミニウムについて、その濃度を 0.1, 1, 5% とし消煙効果を比較したが、第3表のとおりである。

第3表から 5% は他に比べ最も消煙効果があるが、1% との差は僅かである。また 0.1% は効果ももっとも劣り 1%, 5% との差が大きい。

このことから 1% 前後が適当ではないと思われる

第28図 電圧度化量と減光係数の関係図



第3表

散布薬剤	濃度 (%)	減光係数 (Cs) の変化				
		薬剤散布前	薬剤散布後	自然減光量	減光量	減光率 (%)
ポリ塩化アルミニウム	0.1	2.0	1.30	0.05	0.65	32.5
	1	3.83	2.36	0.07	1.37	36.8
	5	4.9	2.91	0.12	1.87	38.2
第1リン酸カリウム	1	2.02	1.20	0.05	0.77	38.1
	5	2.1	1.23	0.05	0.82	39.0

が、実験回数が少なく、また各薬剤により有効濃度も異なると思われるので、今後も検討を加え決定したい。

(7) 燃焼ガス測定結果

本報では二酸化炭素、一酸化炭素のみにつき測定した。

ア 二酸化炭素 (第29図)

煙道のダンパーを開放したまま消煙室に煙を導入した場合、煙濃度が上昇するとともに二酸化炭素濃度も増加するが、煙濃度がピークを過ぎた後も増加することが認められた。

また上記ダンパーを煙濃度が一定になった時点で閉じた場合、それ以後の二酸化炭素濃度はわずかに減少する。

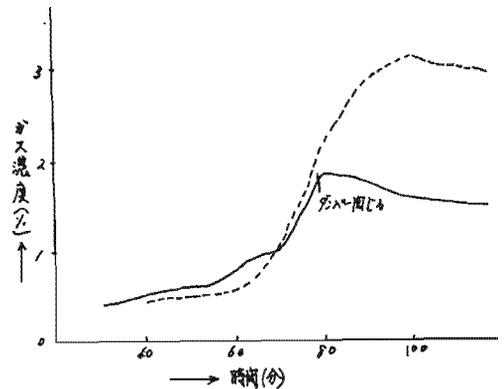
イ 一酸化炭素 (第30図)

二酸化炭素とほとんど同様な傾向を示す。

水、薬剤を散布した場合、二酸化炭素、一酸化炭素ともに変化はなかった。これは水または現在までに使

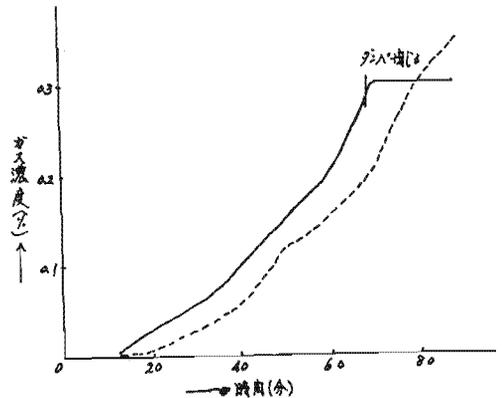
第29図 二酸化炭素濃度と経過時間の関係図

凡例 { — 煙道ダンパーを閉じた場合  
 { ..... 煙道ダンパーを開放した場合



第30図 一酸化炭素濃度と経過時間の関係図

凡例 { — 煙道ダンパーを閉じた場合  
 { ..... 煙道ダンパーを開放した場合



用した薬剤によっては、これらのガスは吸着されることが認められた。

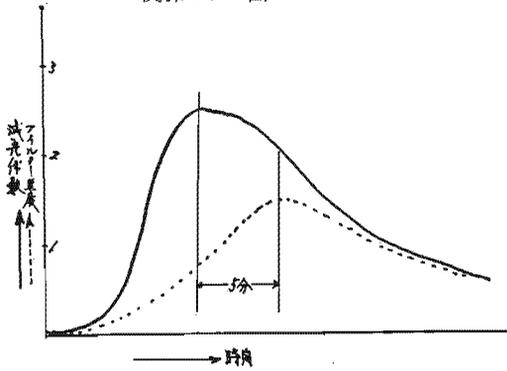
(8) フィルターによる煙の黒度測定結果

煙道ダンパーを開放したまま煙を導入した場合、フィルターの黒度は Cs 濃度のピーク後15~20分が最高濃度となり、その後少しずつ薄くなる。

煙道ダンパーを Cs 濃度がピークになった時点で閉じた場合、フィルター黒度はその直後から5分程度が最も濃く、その後徐々に薄くなるということが認められた。このことを図示すれば第31図のようになる。

このことから Cs による煙濃度と、フィルターによる黒度とは違いがあることが判明した。すなわちフィルターが水蒸気等によっては変化せず、カーボン、タール質の付着により着色され変化するので、カーボン等が増加すれば黒度は濃くなる。これに対して Cs による濃度は、水蒸気等が感知されるため、これが消煙

第31図 減光係数濃度とフィルター黒度の関係モデル図



室内で冷却されることにより水滴となり消失すると、カーボン、タール質の量に変化がなくともCs濃度は減少する。この差がピークの時間のずれとして表われたものと思う。

## 5. 総 括

消煙に関する基本的な考え方、消煙機構等については、第一報に述べたとおりである。散布薬剤による消煙効果について、水よりも効果があると認められたのは、第1リン酸カリウム、塩化カリウム、凝集剤ではポリ塩化アルミニウムであったが、水とこれら薬剤との減光率の差は、約5%程度であり大差はない。

薬剤による消煙効果について推察できることは、比較的電離度の大きいものに、その効果が見られたので帯電効果によるものであろうと考えられる。また散布薬剤は水をベースとして用いているので、水による消煙効果が大きな割合を占めているが、噴霧粒径が、13~100 $\mu$ 程度で、粒径が大きいためたき落される部分が多いのではないと思われる。各薬剤の消煙効果を比較するために容易に判別できるような噴霧粒径、噴霧量を見出すことが必要である。

散布薬剤は単独で使用したが、各々の消煙効果を判別し、更に各種薬剤の混合等を行ない実験を進める。

使用濃度について各薬剤により有効濃度は異なると思うが、現在までに水より効果のあった薬剤を0.1~5%に変え散布したところ、1%前後が有効な濃度と考えられたが今後も検討を加える。

燃焼ガスは、一酸化炭素、二酸化炭素につき調べたが、変化は認められなかったが、今後他のガスについても求めたい。

以上本装置での基本的なデータを得るため、煙の状態が静止煙、低温領域で実験を行ない、消煙効果の測定もCdSセル法によって求めたが、今後実火災に近い煙で実験を行ない消煙効果のあるものについて、降下された煙の粒径等の煙の性状についても研究を行ない消煙剤の開発を推進する。