

## 消煙に関する研究(第3報)

内 田 稔\*  
関 根 弘\*

### 1. 研究の概要

本報においては、主に実火災時に近い煙を対象として実験を行なった。従って従来の燃焼炉では、そのような煙をつくりだすことができないので消煙室底板に直接燃焼装置を取り付けることによって、消煙室内雰囲気温度を100°C前後の高温にすることができた。

実験は杉材を燃焼させ、雰囲気温度30°C前後の低温領域と、100°C前後の高温領域、さらに灯油を燃焼させ油煙等に対し消煙実験を行なった。

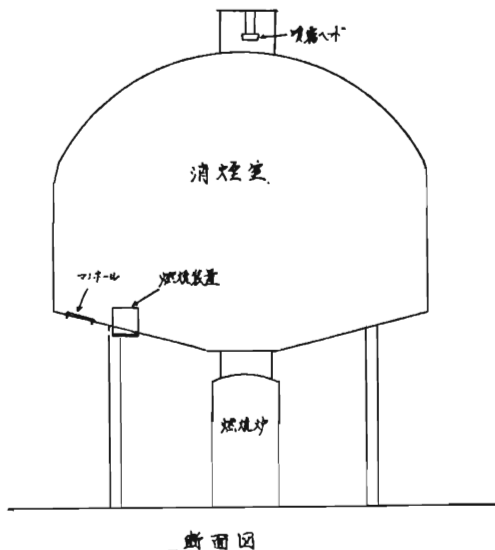
これらの結果からアルコール、グリセリン等のアルコール系薬剤が、また第2リン酸カリウムが高温時において比較的効果を示したが、大巾な消煙効果は得られなかった。

煙の種類については、木煙と油煙とを供したが、木煙はタール質の液相、油煙はカーボンを主体とした固相として捕えられた。

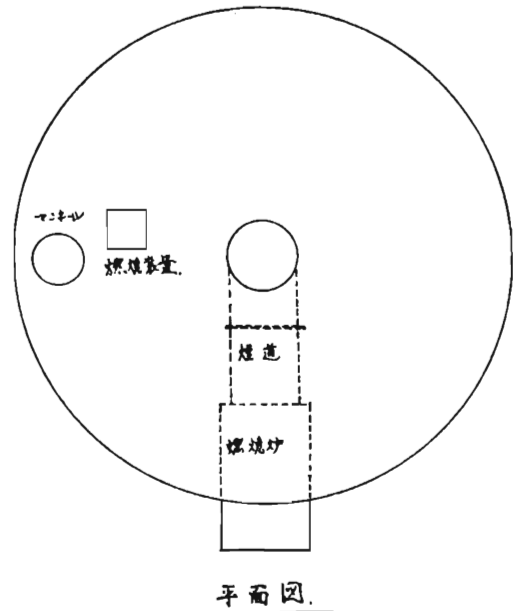
### 2. 実験方法

大型消煙実験装置を用い、第2報では発煙物質をヒーターで加熱したが、この方法では煙の雰囲気温度は

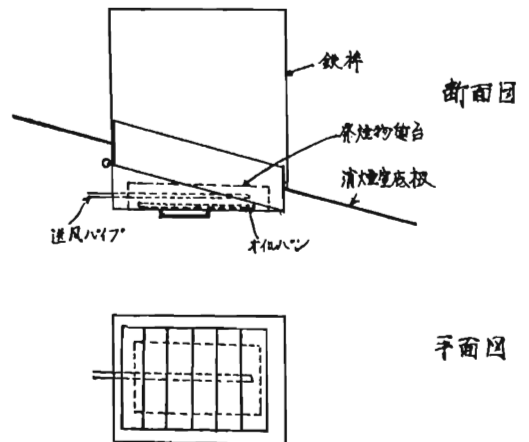
第1図 燃焼装置取付位置図



\* 第二研究室



第2図 燃焼装置図



30~50°Cが最大であり、また薬剤散布に必要な煙量を得るのに40~50分程度の時間となり、消煙効果測定に大きな影響(後述)もあるので、当初の目的である可能な限り実火災時に近い煙をつくることは困難であった。そこで消煙室底板に燃焼装置を取り付けて発煙する方法をとり100°C程度の高温の煙を得た。(第1、

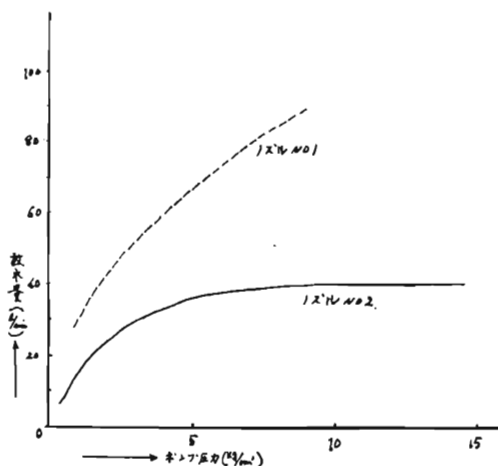
2 図)

発煙方法は発煙物質を通常煙として杉材を用い、アルコールを燃焼補助剤として発煙させ実験を行なった。この場合の煙濃度を見透し距離 1 m の減光係数 ( $C_s$ ) 2.7~3.9 を発煙量の基準とし、この時点で薬剤等の散布を行なった。また油煙は雰囲気温度、煙量等を考慮し 500 cc を燃焼させ、コンプレッサーにより空気を灯油の燃焼皿に吹きつけ燃焼を助け、油煙を発生させた。

煙濃度の測定方法、その他については第 2 報の方法と同様で、前記の方法による煙濃度に達したとき散布圧力 8 kg/cm<sup>2</sup>、散布時間 25 秒、散布量 30 l で薬剤散布を行なった。

噴霧ヘッドについては第 2 報に報告したもの (ノズル No. 1) と、これより粒径の小さいノズル No. 2 (放水曲線第 3 図) とを使用し散布圧力 13 kg/cm<sup>2</sup>、散布時間 25 秒、散布量 13 l とし実験を行なった。

第 3 図 放水量曲線



散布薬剤については、第 2 報までに使用した薬剤のほか他に他の薬剤を単独として、また現在まで使用したものの中から選択し混合を行ない消煙効果の比較を行なった。

更に煙をカードトリッジフィルターにより採取し、ウルトラ顕微鏡により観察し、表面積計を用い木煙、油煙の表面積を測定した。

また水噴霧粒径を求めるため、ガラス板にコロジオンを塗布し、それにアルミニウム粉末を附着させたものを測定板として使用した。

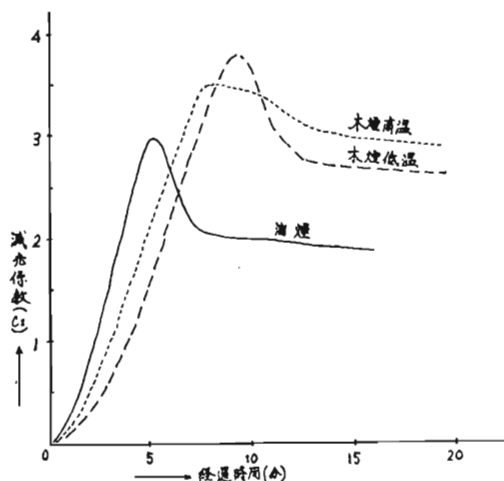
### 3. 実験結果と考察

#### (1) 発煙特性

発煙物質として杉材と灯油とを用いたが、これらの

発煙特性を第 4 図に示す。

第 4 図 発煙特性



杉材は煙の雰囲気温度を低温領域では 3 kg を用いた時が、また高温では 5 kg を燃焼させた場合、煙濃度が  $C_s$  2.7~3.2 で安定となり薬剤散布の条件に良いので、これを目安とし発煙物質量を定めた。

油煙は 500 cc を燃焼させた場合  $C_s$  2.5~3.0 では不安定となり再現性がないので、煙濃度が安定する減光係数 ( $C_s$ ) を 1.5~2.0 とし薬剤を散布した。

また煙の状態については煙をカードリッジフィルターにより採取し、顕微鏡で観察したが、木煙はフィルターの繊維にしみ込んだ状態で固形物は見当らずタール状の液として認められ、油煙は相を成しコークス状の固形物として認められた。

更に表面積計を用い木煙、油煙の表面積を測定したところ、油煙に対しては数値が得られたが、木煙に対しては値が小さく数値としては得るに至らなかった。これらの測定値を次に示す。

	表面積 (m <sup>2</sup> /g)	試料量 (g)
油 煙	44.1	0.1502
木 煙	微	0.1893

また顕微鏡による観察からも木煙はタール状であり、試料管壁に附着した状態であって試料としては油煙よりも多いにもかかわらず表面積の測定値は小さく誤差の範囲をでなかった。

#### (2) 水噴霧による消煙効果

消煙効果を比較する上で、この効果を大きく左右する要因には少なくとも次の三条件が考えられる。すなわち発煙物質点火後の経過時間、散布時間、散布圧力

と噴霧粒径等である。水噴霧による消煙効果は第1、2表に示す。

第1表 水噴霧による消煙効果  
(低温、ノズル No.1)

減光係数(Cs)の変化				経過時間(分)
散布前	散布後	減量	減量率(%)	
3.20	2.12	1.08	33.75	17
2.80	1.85	0.95	33.90	20
3.20	2.12	1.08	33.75	20
2.92	2.07	0.85	29.10	10
2.67	1.90	0.77	28.92	21
2.80	2.00	0.80	28.60	12
3.15	2.20	0.95	30.50	20
2.51	1.60	0.91	36.25	60
3.0	1.70	1.10	36.70	64

この結果から前記の要因を検討する。

ア 発煙物質点火後の経過時間と消煙効果の関係

この関係をみるために木煙の低温時で時間の範囲を15~60分とし、データーをプロットしたところ第5図の結果を得た。すなわち時間の経過に伴い消煙効果が増加する傾向がみられる。

これは煙が時間の経過に伴い濡れ易い状態になるのか、煙粒子相互の会合等により粒径が大きくなり沈降し易くなっているのか、またこれら両者の現象が同時におこっているのか等が考えられる。

このことについては第2報において水噴霧による消煙効果が36%程度であり、本報では29~33%程度となっていて多少の相異があるのは散布する時点が前者は40~50分、後者が15~20分であったことによるものと思われる。

イ 散布時間と消煙効果の関係

各種薬剤の散布時間は25秒間で実験を行なったが、標記の関係を求めるため、ノズル No.2 を用いて木煙の低温時において水噴霧により実験を行なった結果か

第2表 水噴霧による消煙効果(低温ノズル No.2)

減光係数(Cs)の変化				散布時間(秒)	散布量(l)	散布圧力(kg/cm <sup>2</sup> )	雰囲気温度
散布前	散布後	減量	減量率(%)				
3.18	1.94	1.24	38.90	25	13	13.5	低温
3.23	2.25	0.98	30.35	"	"	"	"
3.18	2.03	1.15	36.20	"	"	"	"
3.12	1.20	1.92	61.6	60	36.3	"	"
3.15	0.92	2.23	70.70	"	"	"	"
3.17	0.53	2.64	83.30	90	60	"	"
3.20	0.27	2.93	91.70	"	"	"	"
2.67	1.80	0.27	13.10	25	10	8.5	"
2.83	2.33	0.50	17.65	"	"	"	"
2.52	2.30	0.22	8.70	"	7	5	"
2.49	2.31	0.18	7.25	"	"	"	"
2.90	2.05	0.85	29.3	"	13	13.5	高温
3.13	2.45	0.68	21.7	"	"	"	"

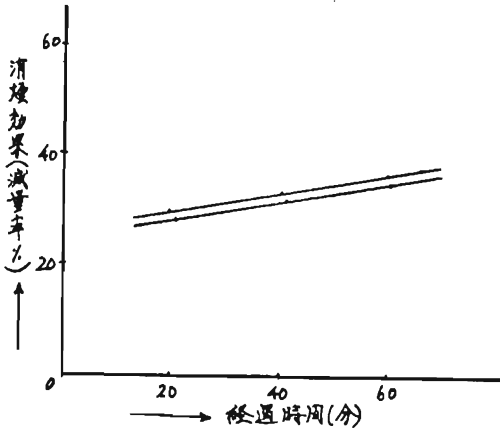
ら第6図を得た。散布時間は90秒までしか行なわなかったが、この図から散布時間が多くなるとそれに比例して消煙効果も増大する。

すなわち散布時間25秒では減光係数の減量率が30~40%、90秒では80~90%前後となっている。この数値

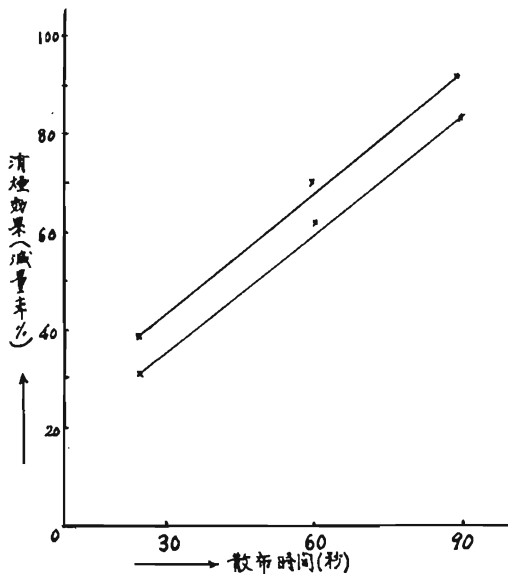
を見透し距離にすると、25秒間散布では1mのものが3~4mとなるのに対し、90秒間散布した場合は10m前後になる。

従って、消煙効果は散布時間に大きく影響されることがわかる。

第5図 煙経過時間と消煙効果



第6図 散布時間と消煙効果



ウ 散布圧力と消煙効果との関係

この関係についてはノズル No. 2 を用い木煙の低温時において実験を行なった結果から第3表を得た。

この表から散布圧力を  $5 \text{ kg/cm}^2 \sim 13.5 \text{ kg/cm}^2$  の範囲で検討すると散布圧力を高くすると消煙効果も大きくなり、さらに水  $1 \text{ l}$  当りの消煙効果も大きくなることかわかる。

第3表 散布圧力と消煙効果

散布圧力 ( $\text{kg/cm}^2$ )	散布量 ( $\text{l}$ )	消煙効果 (%)	消煙効果 (%/l)
5	7	8	1.14
8.5	9.5	15	1.58
13.5	13	34.5	2.65

これは圧力が高くなるに伴い噴霧の物理的沈降効果(たたき落とす効果)と粒径が小さくなり噴霧の表面積が全体として増大するので煙との接触面積が大きくなるためによると推定する。しかし散布圧力を高め粒径を小さくすることによる効果には限界があるかと考えられるが、この限界については求められなかった。

水噴霧粒径をノズル No. 1 を用いて測定したところ、第4、5表のとおりで  $200 \mu$  程度以下が大部分を占めている。

第4表 散布圧力  $8.5 \text{ kg/cm}^2$  時の粒度分布

粒径 ( $\mu$ )	0	50	100	150	200	250	300	350	500	700
		50	100	150	200	250	300	350	400	550
個数	3	7	5	2	1	1	2	1	1	1

第5表 散布圧力  $5 \text{ kg/cm}^2$  時の粒度分布

粒径 ( $\mu$ )	0	50	100	150	200	250	300	400	450	800
		50	100	150	200	250	300	350	450	500
個数	1	4	5	5	3	1	3	1	1	1

水による消煙効果は水粒子によって煙粒子をたたき落とすこと、煙粒子を濡らし水粒子に附着あるいは吸着させることが考えられる。煙の濡れについては第2報において1回の実験で再度散布した場合、2度目の散布が概して消煙効果を大きくしていることからもうなずける。

また木煙と油煙とを比較した場合、木煙の方が消煙効果が大きいのは、木煙が水噴霧によって濡れ易いためと思われる。

油煙の場合消煙効果が23%程度で木煙に比較して10%程度低いのは水噴霧による濡れが少ないためと思われる。しかし同じ木煙でもその雰囲気温度の違いにより効果が異なり、すなわち低温時の方が消煙効果が大きいことがわかった。

これは高温時では雰囲気温度が  $100^\circ\text{C}$  前後であり、飽和蒸気圧が高いため、同じ散布量では有効な水量が少なくなるためと考えられる。

すなわち消煙室  $30 \text{ m}^3$  中の飽和水蒸気量は計算値によると  $100^\circ\text{C}$  で  $23.22 \text{ l}$ 、 $40^\circ\text{C}$  では  $1.73 \text{ l}$  でありこの差が原因しているのではないかと考えられる。

(3) 薬剤による消煙効果

薬剤散布前後における減光係数 ( $C_s$ ) の変化から消煙効果の有無を確認した。

煙の種類は木煙、油煙とし、煙の雰囲気温度を  $30 \sim 40^\circ\text{C}$  の低温時と  $100^\circ\text{C}$  前後の高温時として、散布薬剤は単独、混合したものについて各々消煙効果の比較を行なった。

なお薬液濃度については1%水溶液とした。

ア 煙の雰囲気温度が低温、薬剤を単独とした場合実験結果を第6表に示す。水による消煙効果は第1表から29~33%程度であるが、水よりも効果の認められた薬剤は、アルコール、グリセリン、第2リン酸カリウム、第3リン酸カリウム、ポリ塩化アルミニウム等であり、この中で最も効果のあったものはグリセリンで、その減量率は約40%、それ以外の薬剤は大体37%程度であり、水との差も僅かで大巾な消煙効果は得られなかった。

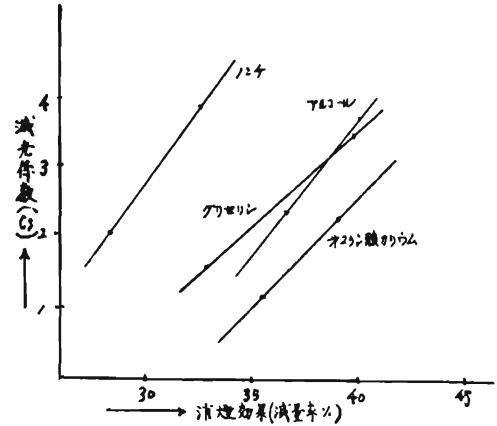
第6表 薬剤による消煙効果(低温)

散布薬剤	減光係数の(Cs)変化		減量	減量率(%)
	散布前	散布後		
アルコール	2.80	1.77	1.03	36.6
	3.02	2.00	1.02	33.8
	3.25	1.95	1.30	40.0
第2リン酸カリウム	2.40	1.55	0.85	35.4
	2.78	1.70	1.08	38.9
第3リン酸カリウム	2.91	1.85	1.06	36.45
第2リン酸アンモニウム	2.97	1.97	1.00	33.7
	2.35	1.60	0.75	31.9
C M C	3.35	2.32	1.03	30.5
石綿	2.88	1.97	0.91	31.6
	3.18	2.20	0.98	30.81
ノンチ	3.30	2.23	1.07	32.50
	2.70	1.94	0.76	28.15
尿素	3.02	2.31	0.71	23.52
グリセリン	3.18	1.92	1.26	39.62
	2.53	1.60	0.93	36.80
ポリ塩化アルミニウム	2.97	1.95	1.02	34.6
	2.99	2.02	0.97	32.4
	3.03	1.88	1.15	38.0
塩化カリウム	2.99	2.19	0.82	27.4
	3.01	2.12	0.89	29.4
	2.89	1.94	0.85	29.4
アロン	2.76	2.03	0.73	26.3
	3.05	2.08	1.01	32.6
	3.07	2.06	1.01	32.9

また煙濃度と消煙効果の関係については第7図に示すとおり、煙濃度が高くなると消煙効果も大きくなる傾向が認められた。

イ 煙の雰囲気温度が高温、薬剤を単独とした場合実験結果を第7表に示す。高温雰囲気では煙のイオン化が大きいためか、第2リン酸カリウムが比較的良く、グリセリンはこの場合でも最も効果が認められた。グリセリンの効果は比重が大きく粘性があるので

第7図 煙濃度と消煙効果



第7表 高温時における薬剤の消煙効果

散布薬剤(%)	減光係数(Cs)の変化			
	散布前	散布後	減量	減量率%
水	3.0	2.3	0.7	23.35
"	2.9	2.1	0.8	27.6
アルコール1%	2.92	2.05	0.87	29.8
"	3.23	2.32	0.91	28.15
"	3.32	2.36	0.96	28.9
ポリ塩化アルミ1%	2.78	2.04	0.74	26.6
"	2.96	2.20	0.76	25.7
"	3.21	2.46	0.75	23.35
第2リン酸カリウム1%	3.07	2.22	0.85	27.7
"	2.83	1.92	0.91	32.15
"	2.83	1.97	0.86	30.4
グリセリン1%	2.91	2.13	0.78	26.8
"	2.87	2.04	0.83	28.9
"	2.27	1.45	0.82	36.1

附着、あるいは吸着がよいために効果があったものと考えられるが、現段階では判然としない。また高温雰囲気の場合は低温雰囲気時に比べて効果が劣る傾向がみられるが、これは煙の動きが低温時に比べて大きいためであり、更に煙の濡れの効果が少ないことは「水による消煙効果」の項で述べたとおりである。

ウ 煙の雰囲気温度が低温、薬剤を混合とした場合薬剤を単独で散布した場合にある程度の効果がみられたが、これら有効と思われる各種薬剤を混合して、その相乗効果の有無をみるために実験を行なった結果は

第8表に示す。この中で比較的効果がみられたものには、アルコール+グリセリン、アルコール+ポリアクリル酸ナトリウム等であるがアルコール、グリセリンを単独で散布した場合の効果とほとんど同程度である。

このことから相乗効果は期待したほどには得られなかった。しかしこの種の実験は今後行なう必要があると考えられる。

第8表 混合薬剤による消煙効果（低温）

散布薬剤名	減光係数 (C <sub>s</sub> ) の変化			
	散布前	散布後	減量	減量率 (%)
塩化カリウム アルコール	3.02	1.95	1.07	35.5
塩化カリウム アロ	2.74	1.97	0.77	28.05
塩化カリウム 第2リン酸カリウム	2.95	2.10	0.85	28.8
塩化カリウム A T 剤 アルコール	3.16	2.10	1.06	33.55
塩化カリウム アロ アルコール	2.97	2.03	0.94	31.7
アルコール アロ	3.06	1.92	1.14	37.3
アルコール 第2リン酸カリウム	3.13	2.05	1.08	34.52
アルコール ポリ塩化アルミニウム	3.22	2.15	1.07	33.25
アルコール グリセリン	3.27	2.03	1.24	37.9
アルコール A T 剤 第3リン酸カリウム	3.07	1.95	1.12	36.5
第2リン酸カリウム アロ	3.07	2.05	1.02	33.25
ノ グリセリン	3.17	2.01	1.16	36.6
ノ ポリ塩化アルミニウム	3.20	2.0	1.2	35.0
ノ ノ チ N チ III	3.02	2.15	0.87	28.8

エ 油煙に薬剤を単独で散布した場合

木煙の場合は煙濃度を減光係数 (C<sub>s</sub>) で2.5~3程度で薬剤の散布を行なったが、油煙ではこの程度の濃度では煙が不安定(煙が短時間に自然沈降する)なために消煙効果の測定には不適当であり、C<sub>s</sub> 1.5~2.0程度で実験を行なった。その結果第9表を得た。

第9表 薬剤による消煙効果（油煙）

散布薬剤 %	減光係数 (C <sub>s</sub> ) の変化			
	散布前	散布後	減量	減量率 (%)
水	3.02	2.32	0.71	23.2
	2.90	2.31	0.59	20.35
	1.65	1.32	0.33	20.0
	1.55	1.23	0.32	20.6
アルコール 1 %	2.65	2.09	0.56	21.1
	2.23	1.82	0.41	18.3
ポリ塩化アルミニウム 1 %	1.80	1.45	0.35	19.45
	1.7	1.4	0.3	17.65
第2リン酸カリウム 1 %	1.77	1.42	0.35	19.75
	1.58	1.38	0.20	12.65
グリセリン 1 %	1.73	1.42	0.31	17.9
	1.37	0.98	0.39	28.45
	1.35	0.95	0.40	29.6

ここでもグリセリンの消煙効果は29.6%で、散布した薬剤の中では最も効果が認められ、それ以外のポリ塩化アルミニウム、第2リン酸カリウムでは水噴霧の効果(20%程度)以下であり顕著な効果はみられない。このことから油煙に対する効果を考えると、油煙では木煙でのイオン化、帯電効果等は問題とならず、油煙との附着性のよい有機質に効果があるのではないかと推定される。そこで油煙に対する効果は粘性、溶解性、界面活性のいずれか、またはこれらの相乗したものであるのか、については現在のところ判然とせず、今後の課題で解明したい。

#### 4. 結 語

消煙効果の実測において、測定値を左右する要因として、煙の性状に関する事項と、薬剤等の散布に関する事項に分別される。

煙は発煙方法、発煙材質、雰囲気温度、湿度、煙濃度、煙の経過時間等の諸条件により性状が異なる。従って消煙効果の実測値に対して、これらは大きな影響をおよぼす。

すなわち高濃度、低温雰囲気、高湿度、生成後長時間経過等の諸条件における煙は消煙効果が大きく現われ、低濃度、高温雰囲気、低湿度、生成後短時間の煙の場合は消煙効果が小さく現われるという傾向が示される。

また薬剤等の散布については、散布時間を長くする

と消煙効果も比例して大きくなることと、更に散布圧力を高くした場合にも消煙効果は大きくなる傾向がみられる。この原因としては、圧力の加わった噴霧と煙の衝突によるたたき落としの効果、散布圧力が高くなると噴霧粒径が小さくなることにより噴霧の総表面積が増加し、煙との接触面積が大きくなる等のためと推定される。

噴霧の粒径について検討すると、圧力を高め粒径を小さくすると消煙効果は増大するが、粒径が過小に過ぎる(20 $\mu$ で沈降速度1.2 cm/sec, 200 $\mu$ で120cm/sec)と空間に浮遊するので同数値以上を求める必要がある。

目下の実験による薬剤の消煙効果を検討した結果、現時点で最も効果のあるものは、グリセリンであり、その作用としては、粘性、溶解性(相溶性)、界面活性性による効果と推定される。更に薬剤と煙との化学的相互反応による効果としては極めて小さく、むしろ物理的な附着、溶解、濡れ等による重量の増加、あるいは噴霧粒子によるたたき落とし等による効果が大きいものと考えられる。

今後、さらに多種の薬剤については化学的、物理的作用による消煙効果の増大を期待できる物性の選定を行なう。

しかし前記の結果における消煙効果の数値が必ずしも100%発揮された効果として認め得るかは、なお不明確であり、この点についても今後の検討を要する。

消煙効果を定量的検討の前段には、先づ煙の性状を明確にする必要がある。しかし煙には発煙物質により極めて多様であり、目的とする煙は火災時の煙であり、かつ火災時には木煙が最も多いので特にこれを対

象とし、これの成分は木タール、酢酸、アルデヒド等の水溶性液体と水分、および媒、灰分等であり、このうち木タールは水溶性液体と混ざった状態であるので実験結果からも水噴霧によりある程度の効果が求められたものと思われる。

以上の事柄を基に実火災について検討すると、火災室に高圧で細かい噴霧を送りこむことにより、火災室の雰囲気温度を下げると同時に湿度を与えることにより煙を抑制する効果を増大し、火災を制圧することが可能と考えられる。

噴霧ヘッドによる効果の比較には衝突式のノズル No.1、遠心式のノズル No.2 を用いたがこれら2種による効果の比較は散布量、散布圧力等に相違があり、特性上本質的に相違があるので検討を中止した。

散布条件については

1. 噴霧粒径が小さいこと。
2. 装置内(火災室等)に均一に薬剤等を散布ができること。
3. 煙と噴霧の衝突による「たたき落としの効果」を上げるため散布圧力を高く(10kg/cm<sup>2</sup>)すること。

等が考えられ、これらの条件を満たす噴霧ヘッドを必要とする。

今時研究は、これら未決の諸問題が多く残されているが、消煙剤の選定方法の実験的確立を果し実火災消煙対策の基礎的条件を解明したものであって、消煙剤選定についてはあらゆる物性についての実験研究を今後も継続する予定である。

なお、本報をまとめるに当り、研究の推進に尽力され、指導鞭撻を賜った消防研究所名雪健一氏にお礼を申し上げる次第である。