

噴霧消煙に関する基礎実験結果について (第1報)

Results of Fundamental Experiments on Smoke Removal by Spray Application (Series1)

伏 見 英*
関 口 研*

Various equipment have been used to cope with smoke generated by a fire. Here, we deal with the smoke removing effects of spray particles applied with fluid atomizers. The results of experiments show the following characteristics of spray particles.

- (1) Properly divided and dispersed plain water particles increase the smoke removing effects.
- (2) Smoke removing effects of spray particles containing certain chemicals such water solutions of polyethylene nonyl phenol ether are remarkable.
- (3) Smoke removing effects of electrically charged water particles are remarkable.

1. はじめに

中高層ビルなど耐火構造の建物火災において消防隊の活動を困難なものとしている煙および有毒ガスに対する簡便な防御手段として、噴霧放射による消排煙効果がどの程度期待できるかが研究課題となっている。

濃煙の中で透視する器材の研究や水噴霧による消排煙効果の研究は過去にも行われているが、実用器材を開発するための基礎データが不足している。水噴霧による消煙効果を向上させるためには、噴霧粒径と分布状態を適正なものとする、粒子に化学物質を添加すること、あるいは粒子を電氣的に帯電させること等のことが考えられる。

そこで通常の水噴霧粒子、化学物質を添加した水噴霧粒子、帯電させた水噴霧粒子のそれぞれの消煙効果について基礎実験を行い、定性的に比較検討したのでその結果を報告する。

2. 実験項目

- (1) 煙の性状及び噴霧ノズルの放射特性等の測定
- (2) 水噴霧による消煙効果
- (3) 化学物質添加の水噴霧による消煙効果

- (4) 帯電水噴霧による消煙効果

3. 実験内容

実験は、内容積1 m³の煙箱内に供試煙を充満させ上部中央に設けた各種ノズルから水噴霧等を放射することにより行った。その効果を煙濃度計による計測と観察を行なったもので、図1はそれらの実験装置の概略である。

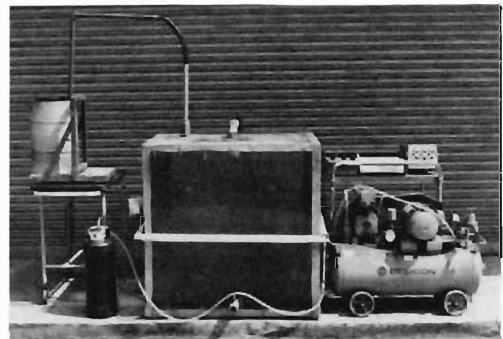


写真1 実験装置の全景

(1) 実験装置

ア. 発煙炉

熱源は、600 Wヒーターを用い、直径280 mm、高さ400 mm、鋼製ドラム缶の中に発煙材として木質セルロース又はプラスチック材のポリエチレン粉末200 gを投入し、ドラム缶を加熱し、くん焼煙を発生させた。

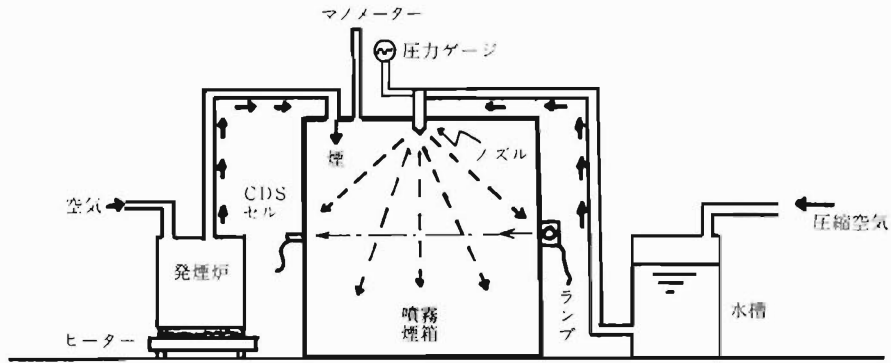


図1 実験装置概略図

また、煙の圧送に要する過剰空気をドラム缶に圧入できる構造とした他に、炉内温度を計測するための熱電対を設けた。

イ. 煙箱

透明塩ビ板を接着し気密構造とした大きさ1m²の矩形槽で上面中心にノズル取付孔を設け、内圧測定用マンノメーター、熱電対、ノズル圧力測定用変換器を取付けた。

ウ. 薬液混合槽及び薬液圧送装置

噴霧ノズルに薬液等を圧送するための薬液混合槽は、容量約10ℓの鋼製タンクで、薬液の圧送には、最大圧力10kg/cm²、容量60ℓのエアークンプレッサーを使用した。

エ. 噴霧ノズル

供試ノズルは写真2、3に示すものである。

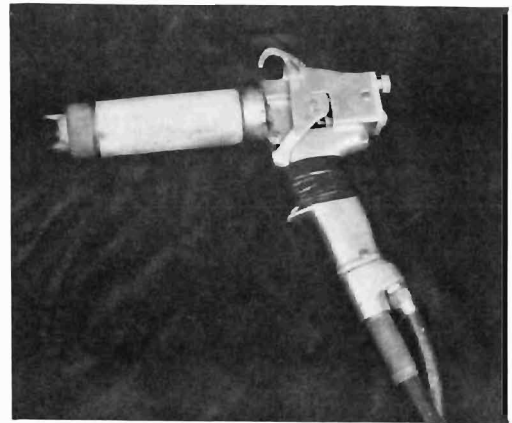


写真3 供試ノズル 静電噴霧ノズル

軸に取付けられた共振子の調整により噴霧拡散角度を変化させることができる。

(イ). スプレーノズル

外径11mm、長さ26mm、ノズル口径2mmの噴霧ノズルである。

(ウ). ジェットノズル

外径30mm、長さ68mm、ノズル口径2mm、中央ニードル径1.5mmの衝突型噴霧ノズルで、2個の噴出口から同時に放射された放水流が、お互いに衝突して拡散噴霧となる。

(エ). 静電噴霧ノズル

外径45mm、長さ270mm、噴出口径0.5mmの水と空気の2流体噴霧ノズルであり、直流高電圧発生器により発生した60kVの負極性電圧を水槽に加えることにより圧縮空気と共に帯電水噴霧を放射することができる。

(オ). 煙濃度計

直径30mm、長さ100mmの塩ビ製パイプ

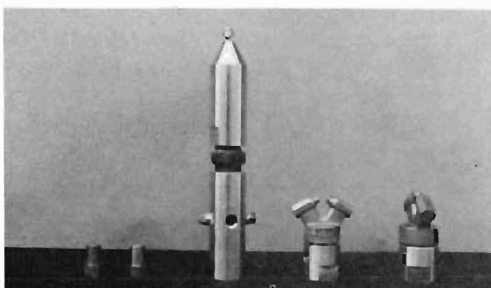


写真2 供試ノズル ①MPCノズル ②スプレーノズル ③ジェットノズル

①MPCノズル
②スプレーノズル
③ジェットノズル

(ア). MPC (多目的) ノズル

外径30mm、長さ184mm、ノズル口径2mm、中央ニードル径3mmの2流体(液体と空気)噴霧ノズルであり、噴出口中心

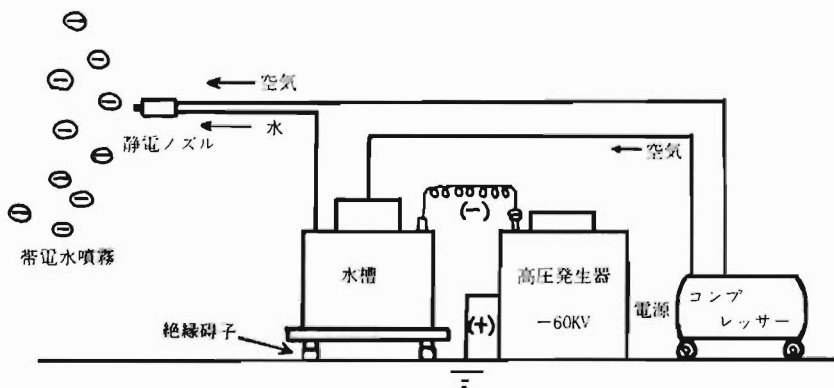


図2 静電噴霧発生原理

の先端にCDSセルを接着してセンサーとし、CDSセルの抵抗が受光量に応じて変化するのを利用して回路構成したもので、煙濃度の変化を電圧に変換してペンコーダーで記録するものである。

(2) 使用薬剤

- ア. Polyethylene alkyl phenol ether (使用濃度0.4v%)
- イ. 市販薬剤A (使用濃度0.4v%)
- ウ. 苛性カリ (使用濃度5wt%)
- エ. 洗濯ソーダ (使用濃度5wt%)

(3) 実験方法

ア. 煙の生成方法

発煙炉内に有機材料を投入し、ヒーターで加熱すると、木質材の場合は、185℃付近から分解が始まり、過剰空気の圧入によって275℃付近で発煙量が最高となる。ポリエチレン粉末の場合は、280℃付近で発

煙量が最高となる。この発煙炉で発生した煙をエアークンプレッサーによって内容積1m³の煙箱に圧送し自然滞留させる。煙箱内に充満させる煙の濃度は、木質煙又はポリエチレン煙の場合、減光係数Csで3.0~5.0とし、均一かつ安定な状態のものとした。

イ. 噴霧放射の方法

薬液混合槽に水又は薬液を7.5ℓ入れ、エアークンプレッサーで0.5~4.0kg/cm²までの範囲で加圧し、MPCノズル、スプレーノズル、ジェットノズル及び静電噴霧ノズルに圧送し、噴霧放射を行った。水噴霧単一放射及び化学物質添加の水噴霧放射実験では、各ノズルの放射条件は表1のとおりである。

表 1

ノズル種別	放射圧力 (kg/cm ²)	放射時間 (秒)	放射回数
MPCノズル	0.5~1.0	120	3回断続放射
スプレーノズル	4.0	240	連続放射
ジェットノズル	1.0	240	連続放射
静電噴霧ノズル	2.0	120	3回断続放射

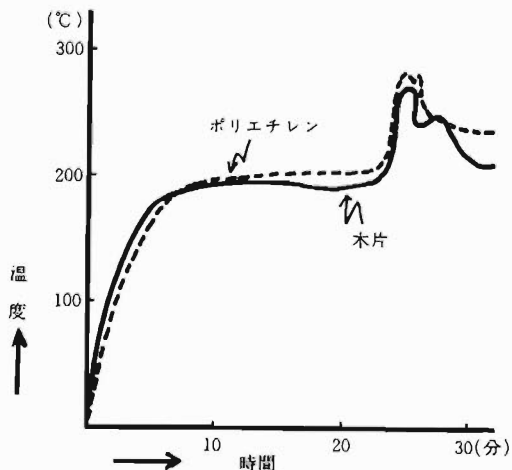


図3 木片、ポリエチレン熱分解温度曲線

ウ. 煙濃度の測定方法

噴霧放射による消煙効果を見るために、煙箱の側面にCDSセルと、白熱電球(40W)を対向させて設定し、消煙に伴って変化する煙層を透過する光の強さを電圧に変換して自記記録する方法で行った。

煙濃度は次の式を用い減光係数Csによって求めた。

$$C_s = \frac{1}{\ell} \log_e \frac{I_0}{I}$$

I_0 = 煙層のないときの光の強さ

I = 煙層を透過した光の強さ

ℓ = 煙層の厚さ (m)

4. 実験結果

(1) 煙の性状実験結果

消煙実験に使った煙は、有機材料のくん焼煙で、材料の化学組成や燃焼時の温度、圧力、空気量によって種々の分解生成物から構成されたものとなっている。

本実験における煙は霧閉気温度が約30°Cで、低温域の静止煙である。

煙粒子の大きさは、0.01~10 μ m程度で、写真4は水噴霧粒子に包まれた煙粒子の状況を示したものである。

粒子径の小さい煙ほど安定な系(エアロゾル)を形成し、消煙しにくく、粒子径の大きい煙は、自然沈降速度も大きく消煙しやすいと云える。

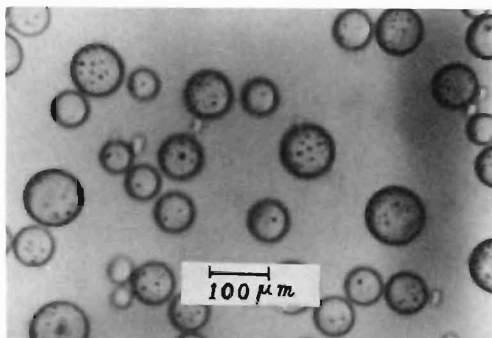


写真4 水噴霧に包まれた煙(ポリエチレン)粒子

煙の自然減衰性については、煙箱内の煙が安定した状態になった時点で全ての通気口を閉じ、自然放置の状態で煙濃度の変化状況を測定した結果、図4に示すとおり木質煙、ポリエチレン煙ともに煙濃度の時間経過にともなう減衰は、きわめて緩慢である。したがって、噴霧による消煙効果には、煙の自然減衰量を加味しなくてもよいものと判断された。また煙箱内圧に関しては、煙をエアークンプレッサーで圧送しているため正確に測定できなかったが最大20mm H₂Oを示した。

(2) 噴霧ノズルの放射特性及び粒子径の測定結果

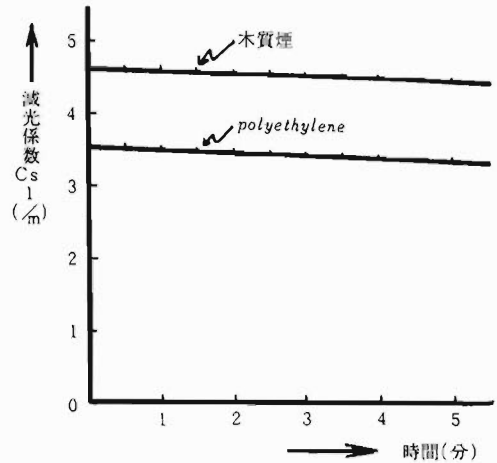


図4 煙箱の煙濃度の自然減衰状況

供試ノズルの圧力と放水量の関係は表2のとおりである。

表 2

ノズル種別	圧力 (kg/cm ²)	放水量 (ℓ/min)
MPCノズル	0.5	2.4
MPCノズル	1.0	2.86
スプレーノズル	4.0	2.8
ジェットノズル	1.0	0.38
静電噴霧ノズル	2.0	0.3

各ノズルの噴霧形状については写真5, 6, 7, 8に示すとおりである。MPCノズルによる噴霧放射の粒子については写真9, 10に示すとおり、約60 μ mであった。



写真5 MPCノズルの噴霧状態 (圧力1 kg/cm²)

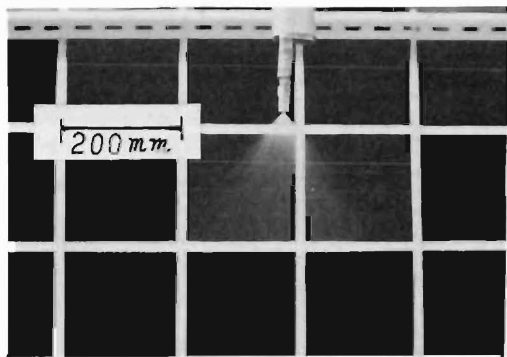


写真6 スプレーノズルの噴霧状態(圧力 4 kg/cm²)

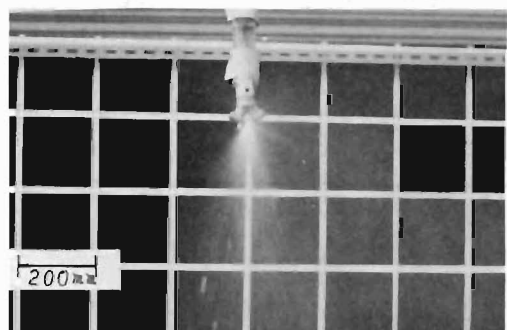


写真7 ジェットノズルの噴霧状態(圧力 1 kg/cm²)

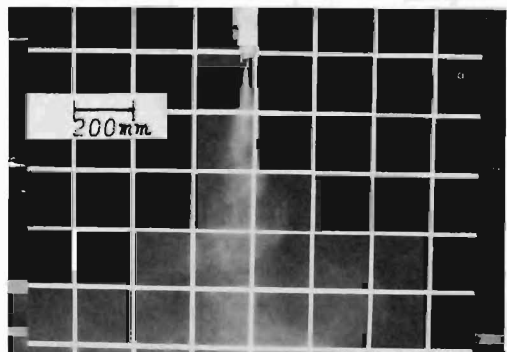


写真8 静電噴霧ノズルの噴霧状態(圧力 2 kg/cm²)

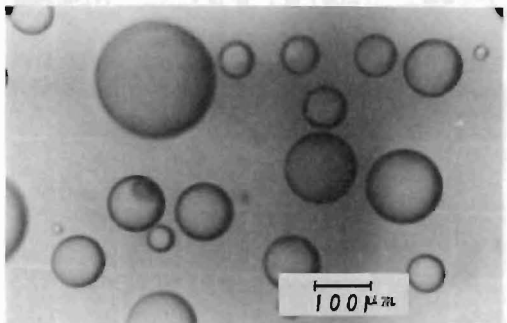


写真9 単一水噴霧粒子
(MPCノズル0.5kg/cm²)

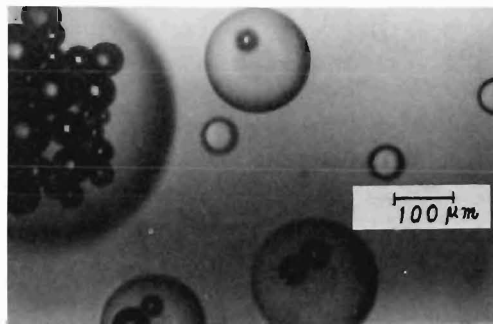


写真10 薬剤添加水噴霧粒子
(MPCノズル0.5kg/cm²)

(3) 水噴霧単一放射による消煙効果

図5及び図6はMPCノズルによる消煙効果、図7及び図8はスプレーノズル及びジェットノズルによる消煙効果を示したものである。MPCノズルで放射圧力が0.5kg/cm²における煙濃度の減衰曲線を見ると、放射時間延160秒では63%、ポリエチレン煙は59%減衰し、放射圧力1kg/cm²においては、木質煙は86%、ポリエチレン煙は93%減衰する結果を示した。また、放射圧力の大小にかかわらず噴霧放射停止の状態では、煙濃度が平衡か、あるいはきわめて緩慢な減衰性を示すことが特徴である。

次にジェットノズルおよびスプレーノズルによる場合は、木質煙に対して連続放射したにもかかわらず消煙効果が不良であり、特にジェットノズルによる場合は、煙箱内に安定な煙層を形成する傾向が認められた。

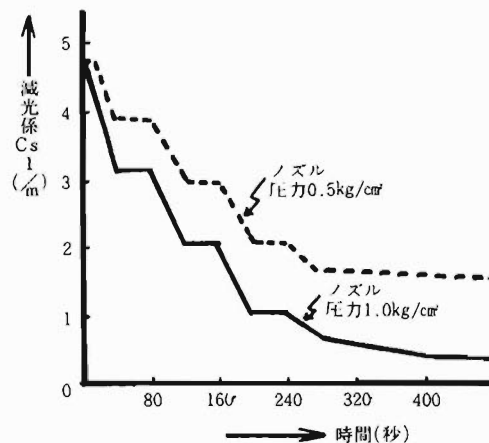


図5 MPCノズル単一水噴霧の消煙効果
(木質煙)

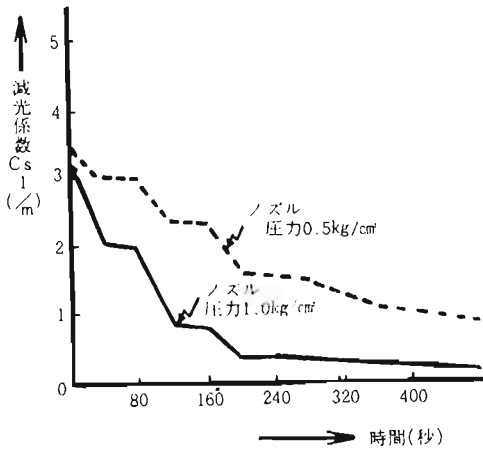


図6 MPCノズル単一水噴霧の消煙効果 (ポリエチレン煙)

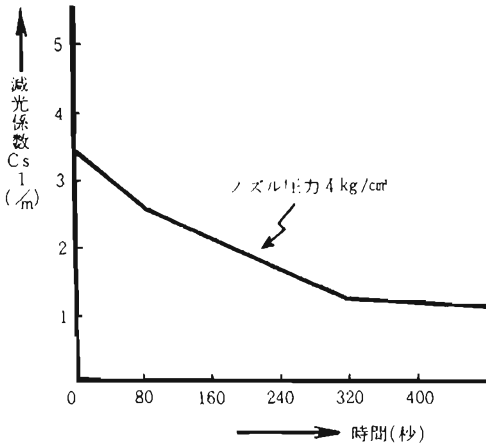


図7 スプレーノズル単一水噴霧の消煙効果 (木質煙)

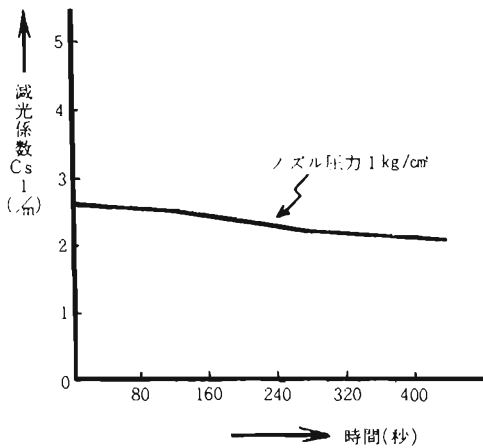


図8 ジェットノズル単一水噴霧の消煙効果 (木質煙)

(4) 化学物質添加の水噴霧による消煙効果

図9、図10は、木質煙又はポリエチレン煙に対して、MPCノズルを用い、ポリエチレンアルキルフェノールエーテル添加の水噴霧を放射したときの煙濃度の減衰曲線である。薬剤添加による場合は、放射圧力0.5kg/cm²においても、減光係数Csは0.5以下に減衰しており、水噴霧単一放射による場合と比較すると良好な消煙効果を示している。

なお、放射圧力を漸増させた場合はさらに良くなる結果を示した。したがって、化学物質を適切に選択すれば、水噴霧による消煙効果をいっそう向上させることができるといえる。

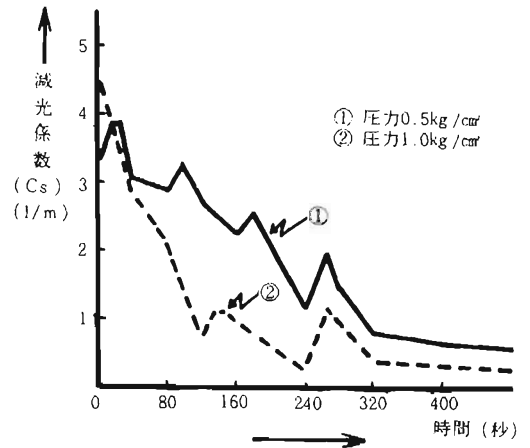


図9 MPCノズルポリエチレンアルキルフェノールエーテルの消煙効果 (木質煙)

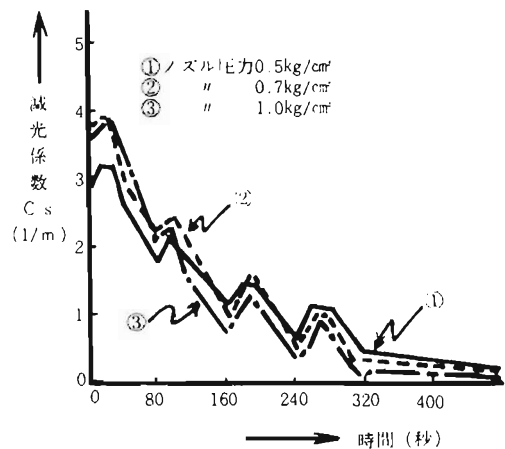


図10 MPCノズルポリエチレンアルキルフェノールエーテルによる消煙効果(ポリエチレン煙)

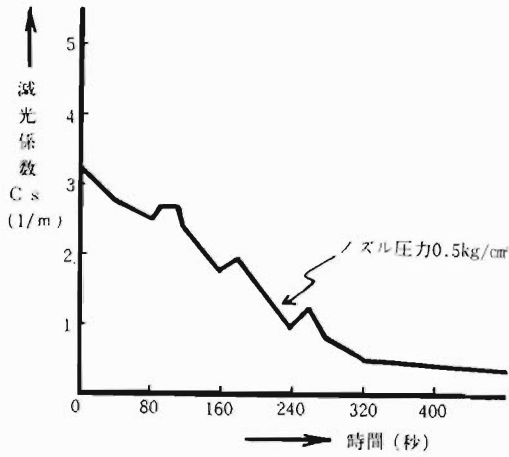


図11 市販薬剤(A)による消煙効果 (木質煙)

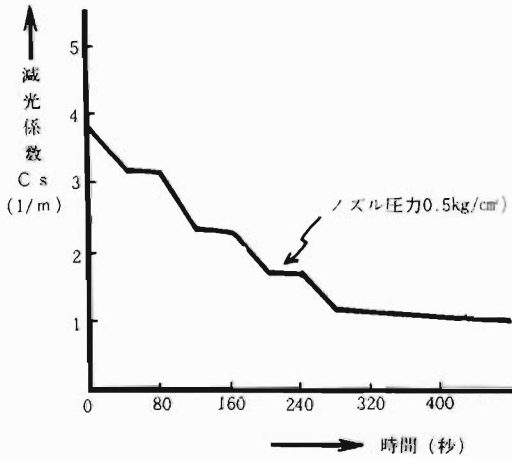


図12 KOHによる消煙効果 (木質煙)

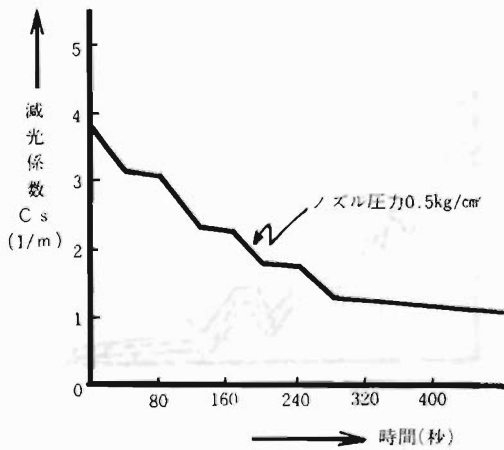


図13 Na_2CO_3 による消煙効果 (木質煙)

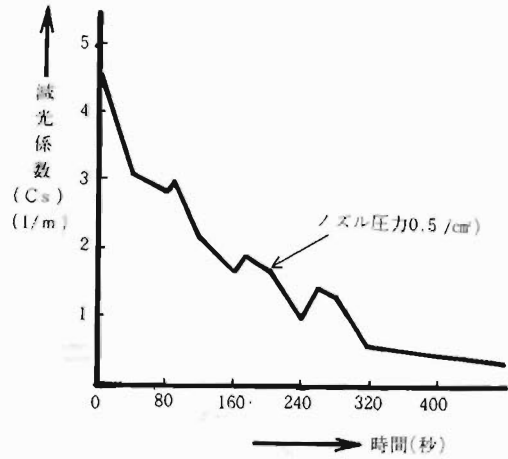


図14 非イオン剤と無機塩混合液による消煙効果 (木質煙)

図9、図10に示す実験結果を総合的にみると煙濃度の最大減衰率は87%で、良好な結果となっている。次に図11は市販薬剤A添加による水噴霧の消煙効果であるが、ポリエチレングリコールフェノールエーテル添加の場合とほぼ同一の良好な消煙効果を示した。

図12及び図13は無機塩の苛性カリと洗濯ソープ添加による消煙効果であるが、図11に示した非イオン剤添加の場合と比較すると消煙効果は劣性である。

図14は、非イオン剤と無機塩の混合液添加による消煙効果であるが、非イオン剤添加の場合と同程度の効果を示した。

(5) 静電噴霧ノズルによる消煙効果

図15、図16は静電噴霧ノズルを用いた帯電

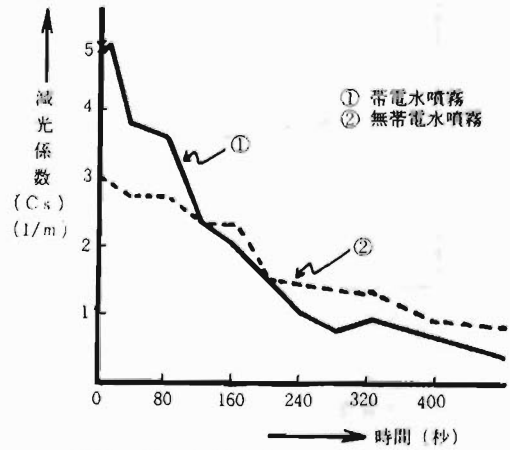


図15 静電噴霧ノズルによる消煙効果 (圧力2.0kg/cm² 木質煙)

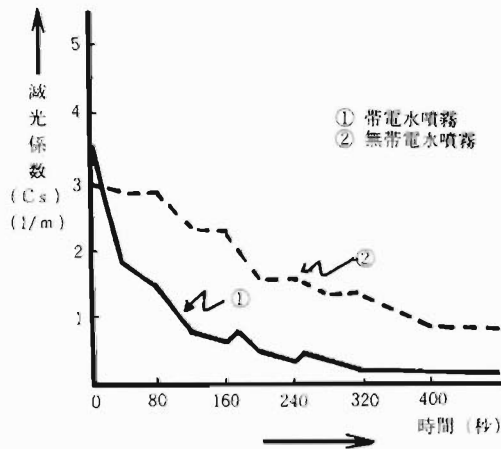


図16 静電噴霧ノズルによる消煙効果 (圧力 2.0 kg/cm² ポリエチレン煙)

水噴霧の消煙効果である。静電気によって帯電された水噴霧は、無帯電の水噴霧よりも消煙効果が優れていると同時に噴霧停止時間帯にも煙濃度の減衰が認められ、化学物質添加の場合と同様な下降曲線を描く傾向が認められた。

5. 考 察

(1) 水噴霧単一放射による消煙効果について

MPCノズル、ジェットノズル及びスプレーノズルを用いた水噴霧単一放射による消煙実験においては、MPCノズルが図5、図6に示すとおり良好な消煙効果を示したが、ジェットノズルとスプレーノズルは、図7、図8に示すとおりにMPCノズルに比較して良くない。これは、写真5、6、7に示す水噴霧放射状況を見ても明らかであるが、スプレーノズル及びジェットノズルの水噴霧放射の分散角度が小さいことが原因の一つになっている。煙層に対して均一に水噴霧を散布させることが消煙効果を得るために最も必要であると思われる。

次に、水噴霧粒子径については、ジェットノズル<MPCノズル<スプレーノズルの順に粒子径が粗大になっており、写真9、10に示すようにMPCノズルの水噴霧粒子径は、おそらく60 μ m程度のオーダーと推定されるが水噴霧の粒子径を過度に微粒化した場合、煙と混合して安定な系を形成して視程を妨げることがあり、図8に示すジェットノズルの

実験例はこの状態ではないかと思われる。従って水噴霧によって消煙効果の向上を計るためには、水噴霧の分布形態と粒子径の適正化が必要であるということがいえる。

(2) 化学物質添加の水噴霧による消煙効果について

水噴霧単一放射による消煙効果と化学物質添加による消煙効果を見ると、いずれも煙濃度Csの最終的な減衰値としては0.5以下になる。減光係数Csが2.7のとき視程が1 m程度であるがCsが0.5では視程が5.4 mまで改善されたことになる。従って煙濃度(減光係数Cs)を0.5以下に下げることができれば消煙効果としては相当有効であると思われる。

化学物質添加の水噴霧による消煙効果の特徴としては、水噴霧単一放射による場合と若干異なり噴霧放射を中断しても煙濃度が減衰する傾向が認められる。これは、化学物質の添加によって煙粒子の凝集や沈降が進行している間接的な証明になっていると思われる。そこで、現在までの実験研究段階としては、有効な減煙剤又は消煙剤としてポリオキシエチレングリコール系の非イオン界面活性剤をあげることができる。この界面活性剤は、水の表面張力(72dyn/cm)を30dyn/cm以下に下げる性質があり、浸透力と濡れ効果に優れているから、特殊火災(タイヤ、ゴム、プラスチック火災等)に対して消煙効果のほかに消火効果の向上も期待できると思われる。

特に、この種の化学薬剤は使用濃度(0.1~0.4%)の点からも経済的であり、溶解性が高いと同時にほぼ無害であるという特徴をもち、実験結果からも明らかなように無機化合物である炭酸塩類あるいは加里塩類よりも有用性に富んでいる。

(3) 帯電水噴霧による消煙効果について

静電噴霧ノズルによって放射された水噴霧粒子群は、負の電荷を帯びており、これが煙粒子に電気的作用を及ぼすことによって煙粒子の凝集ないしは沈降を促進させ、結果的に単一の水噴霧放射による場合よりも消煙効果が向上する要因の一つになっているものと推察される。いずれにしても、静電噴霧ノズルによる消煙方法は、実験の緒についたばかり

であり今後の研究課題としていく考えである。

6. 結 論

実火災煙は、多量の有毒ガスと熱気流をともなって連続的に発生するものであることから、静止煙による消煙実験結果をそのまま適用することはできないが、以下に示すような方法によってノズル機構を検討すれば、火災煙の視程（見越し距離）を回復することは十分可能であると思われる。

- (1) 水噴霧によって消煙効果を向上させるためには適正な噴霧粒子径及び分布形態をとるようにノズル機構を設定する。また、放射圧力を高圧力にすることも煙霧質のたたき落とし作

用で消煙効果が期待できる。

- (2) 界面活性剤を添加した水噴霧粒子を煙霧質に作用させると濡れの効果によって消煙効果を向上させることができる。
- (3) 帯電させた水噴霧粒子を煙霧質に作用させることによって消煙効果を向上させることができる。

7. おわりに

今後は、煙箱を順次大形化して実験を継続する予定であるが、さらに高温煙霧質を対象とした消煙実験を考慮すると同時に、汎用性の高い効果的なノズルの研究開発を進めていく考えである。