

# 噴霧消煙に関する基礎実験結果 について (第2報)

Results of Fundamental Experiments on Smoke Removal by  
Spray Application (Series 2)

伏 見 英 \*  
関 口 研 \*

Experiments on the effectiveness of water particles in dissipating smoke from wood and polyethylene smoldering in temperatures of between 65 and 90°C were made in a 2m<sup>3</sup> box. Water particles were applied with a multi-purpose combined nozzle and an electrostatic nozzle.

## 1. はじめに

研究所報19号において噴霧消煙に関する基礎実験結果を報告したが、昭和57年度は、2 m<sup>3</sup>の気密な鋼板製矩形集煙箱を試作し、MPCノズルおよび静電噴霧ノズルを用いて、煙霧質を常温から高温まで変化させた場合の消煙効率の差異と化学物質添加による消煙性能の向上あるいは水噴霧粒子の形状が消煙効率に及ぼす影響等、実用機器の研究開発資料を得るための基礎実験を行ったので報告する。

## 2. 実験期間および実験場所

昭和57年9月～昭和58年3月  
消防科学研究所 総合実験室

## 3. 実験項目

### (1) MPCノズルによる単一水噴霧の消煙効果

ア、ノズル圧力：1および2 kg/cm<sup>2</sup>

イ、発煙材料：木質材およびポリエチレン粉末

ウ、煙の温度条件：常温（14～24°C）および高温（65～90°C）

### (2) MPCノズルによる表面張力低下剤を添加した水噴霧の消煙効果

（ノズル圧力、発煙材料、煙の温度条件は(1)と同じ。）

### (3) 静電噴霧ノズルによる負電荷を帯びた水噴霧の消煙効果

ア、ノズル圧力：2 kg/cm<sup>2</sup>

イ、発煙材料：木質材およびポリエチレン粉末  
ウ、煙の温度条件：常温（14～24°C）および高温（65～90°C）

### (4) 水噴霧粒子径の測定

ア、MPCノズルによる単一水噴霧

イ、MPCノズルによる化学物質添加の水噴霧  
ウ、静電噴霧ノズルによる単一水噴霧

## 4. 実験概要

### (1) 実験装置

実験体系図の概略を図1に示した。実験装置の各部の主要諸元を以下に示す。

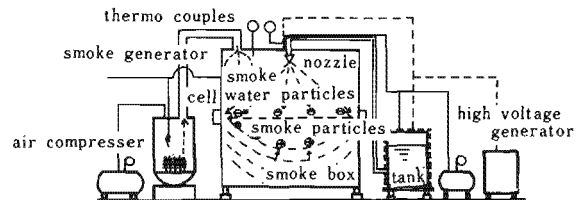


図1 消煙実験体系図

#### ア、発煙炉

都市ガスによるガスコンロを熱源とし、直径280mm、高さ400mmの鋼板製ドラム缶に発煙剤として木質片0.5kg又はポリエチレン粉末0.5kgを入れて、ドラム缶を直接加熱し燻焼煙を発生させた。煙の圧送に要する空気をドラム缶に誘導できるようにした。また、発煙炉内には加熱温度を計測するための熱電対を設けた。

#### イ、集煙箱

大きさ2 m<sup>3</sup> (たて1.2m×よこ1.2m×高さ1.38m) の気密な鋼板製矩形槽を試作し、その上面中心にノズル取付口、煙濃度計測窓(80mm×80mm) 2ヵ所、のぞき窓(180mm×180mm) 2ヵ所、直径150mmの点検口、ドレンコック等を設けた。また、側面には雰囲気温度および内圧計測用パイプを設けた。なお、煙霧質を高温度化するためのオイルパン(100mm×100mm×100mm) 2個を集煙箱の点検口から入れて設定した。

#### ウ、添加薬液と水の混合槽

ノズル部に水又は薬剤水溶液を圧送するタンクは、鋼板製10ℓタンクを用い、薬液等を圧送するためのエアークOMPレッサーは、最大圧力10kg/cm<sup>2</sup>、容量60ℓのものを使用した。

#### エ、MPCノズル

外径30mm、長さ184mm、ノズル口径2mm、中央ニードル径3mmの多流体噴霧ノズル(Multi Purpose Combined Nozzle)で、噴出口中心軸に取付けた共振子の調整によって噴霧分散角度を変化させることができる。

#### オ、静電噴霧ノズル

外径45mm、長さ270mm、噴出口径0.5mmの水と空気の流れ噴霧ノズルで、直流高電圧発生器により50KVの負極性電圧を水槽とノズルに加え、圧縮空気とともに負電荷を帯びた水噴霧粒子を噴射することができる。

#### カ、煙濃度測定装置

##### (7) 減光形煙濃度計

直径30mm、長さ100mmの塩ビ製パイプの先端にCDSセルを接着してセンサーとして、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レコーダーで記録した。

##### (イ) ばいじん濃度計

集煙箱内の木質煙又はポリエチレン煙を図2に示すバカラックばいじん濃度計を用いて測定した。

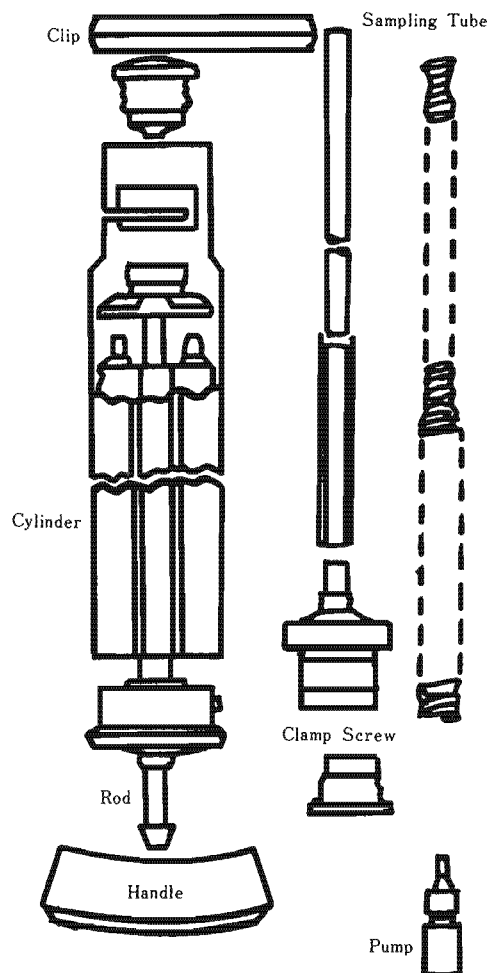


図2 バカラックばいじん濃度計

##### キ、水噴霧粒子の粒子径測定装置

MPCノズル又は静電ノズルから噴射された噴流をシリコンオイル(又はコロジオン)膜で調整した目盛りつきスライドガラス上で捕集し、光学顕微鏡で写真撮影し粒子径を実測した。

##### (2) 水に添加した表面張力低下剤

水の表面張力を30dyn/cm以下に低下させ、煙粒子に対する水の浸透性、附着力を増加させる非イオン系界面活性剤を主成分とした粘

性液体を使用した

ア, Liponox-A

イ, Persoft NK-60

ウ, Peresoft

### (3) 実験方法

ア, 煙の生成

発煙炉内に有機材料として木質片（又はポリエチレン粉末）0.5kgを投入し、都市ガスコンロ上で加熱し、過剰空気の圧入によって炉内温度が280℃附近になると材料の急激な熱分解にともない発煙量が増加する。この燻焼煙は、エアーコンプレッサーによって連続的に圧送されて、2 m<sup>3</sup>の気密な集煙箱に滞留し、時間経過にともない集煙箱内の煙濃度（減光係数：Cs）が増加し、Cs 4～5程度の高濃度になると、集煙箱内の圧力が増加するため煙の流入は限界に達する。煙霧質が平衡に達し均一になったとき、全ての通気口を遮断し消煙実験を開始した。また、常温状態にある煙霧質を高温雰囲気にするため、集煙箱内に大きき1000cm<sup>3</sup>の矩形オイルパンを2個入れてアルコール400mlを燃焼させた。

イ, 水噴霧放射

薬液タンクに水又は薬剤水溶液を10ℓ入れて、エアーコンプレッサーで1～2 kg/cm<sup>2</sup>（ノズル圧力）までの範囲で加圧し、MPCノズル又は静電噴霧ノズルに圧送してノズルから噴霧放射を行った。放射時間は、集煙箱内圧上昇を考慮して30秒間とし、放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>の場合は、放射回数を4回、放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>の場合は、3回とした。単一水噴霧及び化学物質添加の水噴霧放射実験における各ノズルの放射特性は表1の通りである。

表1 各ノズルの放射特性

放射条件 ノズル種別	圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	流量 (ℓ/min)	放射時間 (sec)	放射回数	放射水量 (ℓ)
MPCノズル	1	2.86	30	4	5.72
	2	3.2	30	3	4.8
静電噴霧ノズル	2	0.3	30	3	0.45

ウ, 煙濃度の測定

(7) 減光係数

集煙箱内の気相中に浮遊する煙霧質がノズルから放射される噴流体によって沈降ないし消滅する過程を簡単に定量する方法として、Lambert-Beerの法則を応用した減光係数表示がある。これは、煙層を通過する光量の変化を電気信号に変換して記録するもので、実際にはCDSセルと白熱電球を一定距離に対向させて光量の変動を電圧に変換させて記録した。なお、減光係数Csは次式により求めた。

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

I<sub>0</sub> : 煙層のないときの光の強さ (mV)

I : 煙層を通過する光の強さ (mV)

ℓ : 煙層の幅 (m)

(4) ばいじん濃度

集煙箱内の木質煙又はポリエチレン煙を集煙箱側板の通気口から誘導してバカラックばいじん濃度計のシリンダーハンドルを10回一定操作し煙霧質を吸引し、吸入管とシリンダー間に挟んだロ紙の変色度合いをスモークスケールで対照し、消煙実験開始直前と消煙後のばいじん濃度を比較し撮像記録した。

エ, 水噴霧粒子径の測定

集煙箱の上面中心に固定したMPCノズル（又は静電噴霧ノズル）から噴射される噴流体を集煙箱内の底部架台上に設定した煙粒子捕集器内の目盛つきスライドグラス上に捕集（油膜法）し顕微鏡撮影した。記録した写真から噴霧粒子の長径を実測して平均粒子径を求めた。

## 5. 実験結果

(1) 煙霧質の性状

本実験に用いた煙霧質は、約290℃の低温度領域で発生させた燻焼煙であり、着火燃焼によって発生する火災煙と比較すると、カーボンと煤が少なく、Cs濃度も4～5であって黒煙というよりも白煙に近いのが特徴であるが、煙霧質としての安定性はきわめて大きい。これは、煙霧質を構成する煙粒子の大きさに起

因する現象であり、今回の実験において生成した煙霧質が相当の微粒子で構成されていることを示す。木質系煙霧質とポリエチレン素材の煙霧質を集煙箱内で1時間自然放置後採取した煙粒子を写真1～写真2に示した。スライドグラス上に捕集された煙粒子は、煙霧質を構成する煙粒子とは異なり、時間経過によって煙粒子同志の衝突、凝集等により粒子の形状が変化しているものと考えられる。

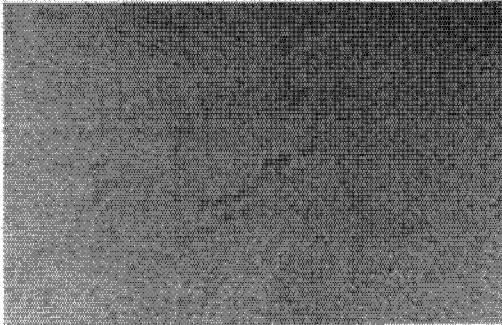


写真1 木質煙粒子 (400倍)

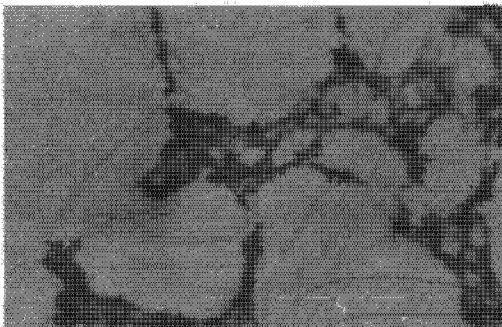


写真2 ポリエチレン煙粒子 (400倍)

次に、集煙箱内において自然放置した状態の煙霧質の煙濃度変化を図3に示した。図3を見ると、木質系煙霧質の方がポリエチレン素材の煙霧質よりも安定度が大きく、30分後の自然放置状態においても、いずれの煙霧質も視程がほとんど回復しないことを示している。また、噴霧放射開始から終了までの3分間における煙霧質の光学的減率率を図3から実験的に求めると、約3% (外気温13℃)である。したがって煙霧質の温度依存性を考慮すると微小時間における煙霧質の自然沈降量はほとんど無視できるものとした。

図4は、集煙箱内における噴霧放射開始から終了までの時間経過にともなう内圧力変化

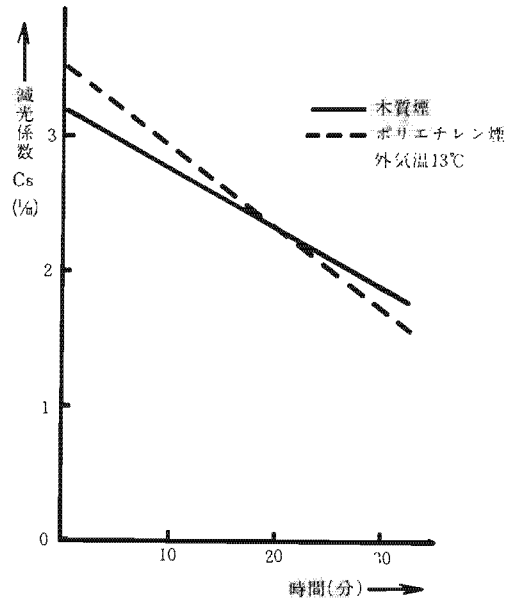


図3 煙霧質の自然沈降図

を示したものである。測定値は二流体噴霧ノズルの特徴が表われており、また、集煙箱の気密性が一定に保たれていること、煙霧質を構成する煙の微粒子が集煙箱から拡散消滅していないことなどがわかる。

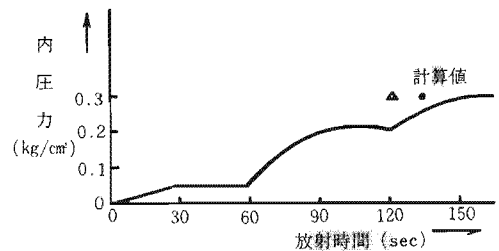


図4 噴霧放射による集煙箱の内圧変化曲線

## (2) MPCノズルによる消煙効果

ア、水噴霧放射圧力1 kg/cm<sup>2</sup>の場合

MPCノズルによる消煙実験結果を図5～図12に示した。図5、図6は、常温における木質煙又はポリエチレン煙を放射圧力1 kg/cm<sup>2</sup>で噴霧放射した場合の単一水噴霧と表面張力低下剤を添加した水噴霧の消煙実験結果である。図7、図8は、高温(65～90℃)における木質煙又はポリエチレン煙

に対し、放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>で噴霧放射した場合の実験結果である。図5～図8をみると、一般的傾向として、常温状態の煙霧質は、高温状態の煙霧質よりも消煙効果が大きく、また、水質煙とポリエチレン煙を比較すると、煙霧質の性状についての実験結果からも予想されることであるが、木質煙の方が消煙（又は減煙）しにくいという基本的な性状を示していることがわかる。

単一水噴霧と表面張力低下剤を添加した水噴霧の消煙効果を比較すると、常温における木質煙の単一水噴霧の消煙効果が42%であるのに対してリポノックス添加の水噴霧の消煙効果が69%で、約30%増加する結果を示したが、十分な視程を回復することができなかった。なお、ここでいう消煙効果（消煙効率）とは、あくまで一定時間内の光学的な煙の透過率の減衰効率であり、効率の算出は次の式を用いた。

$$\text{消煙効率(\%)} = \frac{\text{消煙開始直前の煙濃度}(C_{s0}) - \text{終了後の煙濃度}(C_s)}{\text{消煙開始直前の煙濃度}(C_{s0})} \times 100$$

#### イ、水噴霧放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>の場合

次に図9、図10は、常温における木質煙又はポリエチレン煙に対し、単一水噴霧と表面張力低下剤を添加した水を放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>で噴霧放射した場合の消煙効果を示したものである。図11、図12は、高温における木質煙又はポリエチレン煙に対して、放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>で水噴霧放射した場合の消煙効果を比較実験した結果である。図9、図11をみると、まず、常温および高温の木質煙に対する単一水噴霧放射の場合、放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>では消煙効率が約30%増加し、74～75%を示した。また、図10、図12のとおり、ポリエチレン煙に対する消煙効率も74～75%を示した。結局、単一水噴霧放射の場合、消煙効率は75%を越える数値を示さなかったが、表面張力低下剤を添加した水噴霧放水の場合は、常温における木質煙に対する消煙効率が最大82%、ポリエチレン煙に対しては87%を示した。また、高温における木質煙に対しては、単一水噴霧による消煙効果を若干上回る程度であったが、ポリエチレン煙に対しては、最大85%の消

煙効率を示した。

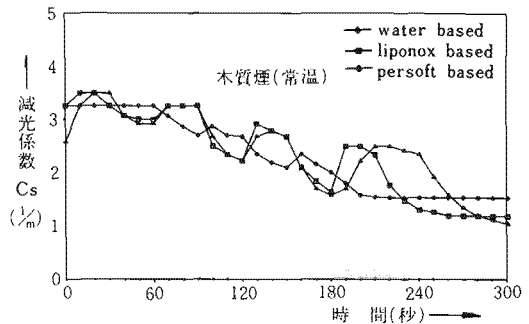


図5 MPCノズルの消煙効果(放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

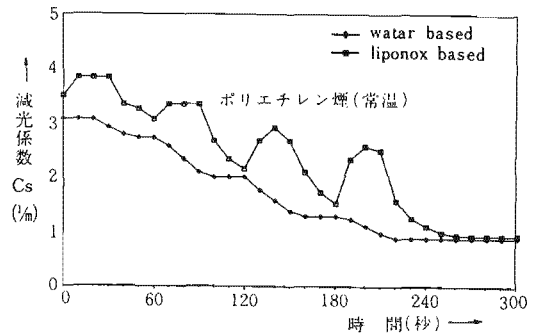


図6 MPCノズルの消煙効果(放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

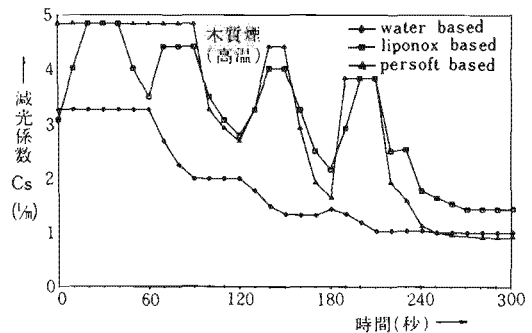


図7 MPCノズルの消煙効果(放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

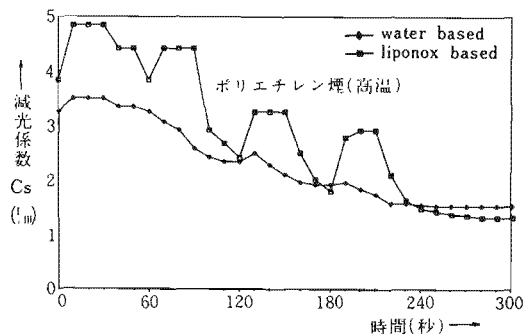


図8 MPCノズルの消煙効果(放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

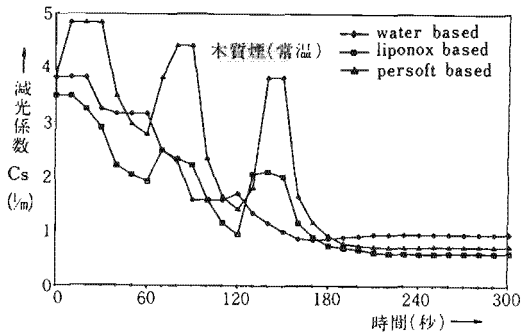


図9 MPCノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

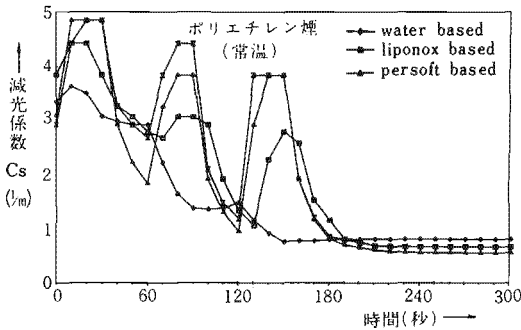


図10 MPCノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

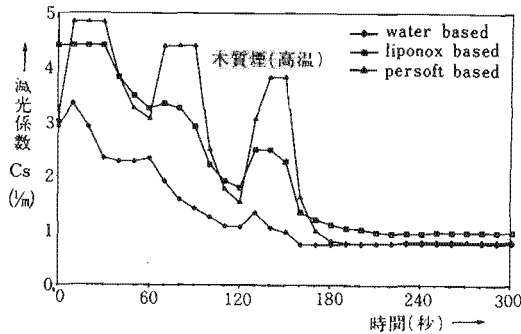


図11 MPCノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

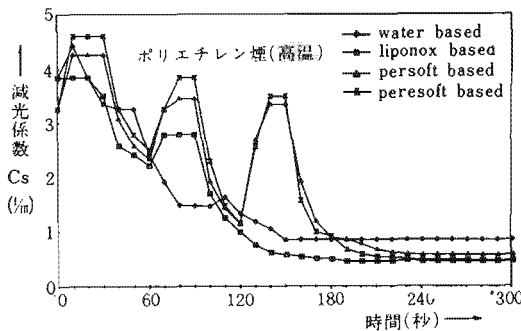


図12 MPCノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

### (3) 静電噴霧ノズルによる消煙効果

静電噴霧ノズルによる消煙実験結果を図13、図14に示した。

図13は、高温における木質煙に対し放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>で水噴霧対射した場合の無帯電単一水噴霧、帯電単一水噴霧、帯電空気、および表面張力低下剤添加の帯電水噴霧の消煙実験結果である。同様に、図14は、常温におけるポリエチレン煙に対する消煙実験結果である。前述のMPCノズルによる消煙実験結果でも明らかなように、高温状態における木質煙が一般的に消煙しにくい傾向を示しているが、図13の煙濃度減衰曲線のとおり、表面張力低下剤を添加した帯電噴霧の消煙効率率は88%、また、電荷を帯びた単一水噴霧の場合は、94%の消煙効率を示し、今回の実験に於いて最も効果的であった。また、帯電空気放射の場合には、図13に示すとおり、55%の消煙効率が認められた。

これは、静電気による煙粒子の凝集効果と集煙箱内壁への静電吸着作用によるものと思われる。

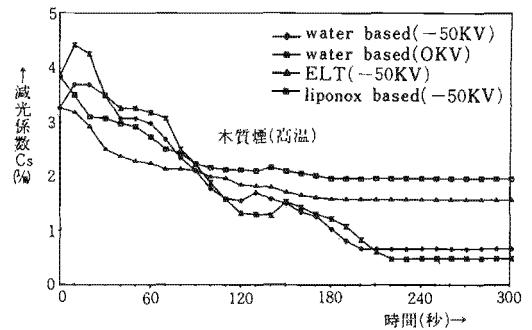


図13 静電噴霧ノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

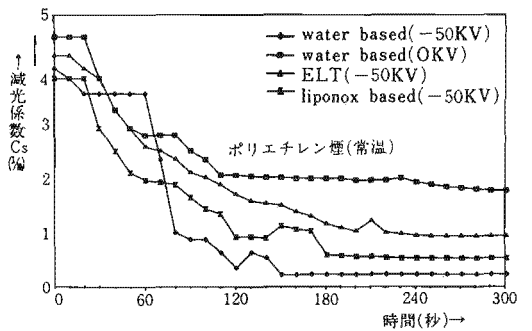


図14 静電噴霧ノズルの消煙効果(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

(4) バカラック煙濃度計による測定結果

バカラック煙濃度計によって集煙箱内の気体層を一定量吸引し、口紙に附着した煙粒子の画像から消煙効果を比較したものが写真3、写真4である。写真3の①は、常温の木質煙粒子(消煙前)、写真3の②は、MPCノズル(放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>)で単一水噴霧を放射した後の煙粒子である。写真4の①は、同様に消煙前の煙粒子、写真4の②は、静電噴霧ノズルによって水噴霧放射した後の煙粒子を表わしている。

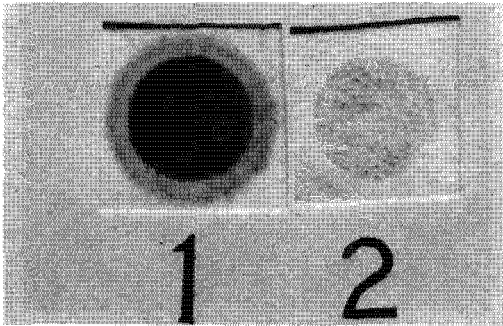


写真3 MPCノズルによる消煙の前後  
①木質煙(消煙前)  
② // (単一水噴霧による消煙後)

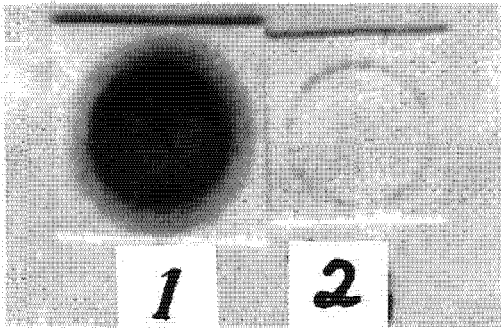


写真4 静電噴霧ノズルによる消煙の前後  
①木質煙(消煙前)  
② // ((単一水噴霧(-50KV)による消煙後))

表2 MPCノズル単一水噴霧(圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

測定結果 粒径範囲	代表値d ( $\mu\text{m}$ )	粒子個数 (n)	最大粒径 dmax ( $\mu\text{m}$ )	相対度数	累積%
0 < n <sub>k</sub> ≤ 10	5	0	—	0	0
10 < n <sub>k</sub> ≤ 20	15	1	12	0.4	0.4
20 < n <sub>k</sub> ≤ 30	25	37	27	12.3	12.7
30 < n <sub>k</sub> ≤ 40	35	49	39	16.3	29
40 < n <sub>k</sub> ≤ 50	45	51	48	17	46
50 < n <sub>k</sub> ≤ 60	55	40	58	13.3	59.3
60 < n <sub>k</sub> ≤ 70	65	44	68	14.7	74
70 < n <sub>k</sub> ≤ 80	75	19	77	6.3	80.3
80 < n <sub>k</sub> ≤ 90	85	19	90	6.3	86.6
90 < n <sub>k</sub> ≤ 100	95	16	97	5.3	91.9
100 < n <sub>k</sub> ≤ 110	105	9	107	3.0	94.9
110 < n <sub>k</sub> ≤ 120	115	6	119	2.0	96.9
120 < n <sub>k</sub> ≤ 130	125	2	121	0.6	97.5
130 < n <sub>k</sub> ≤ 140	135	4	138	1.3	98.8
140 < n <sub>k</sub> ≤ 150	145	2	150	0.6	99.4
150 < n <sub>k</sub> ≤ 160	155	1	153	0.3	99.7
総計	—	300	—	99.7	—

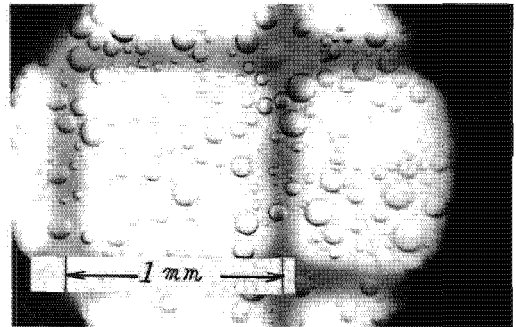


写真5 MPCノズル(1kg/cm<sup>2</sup>)単一水噴霧粒子

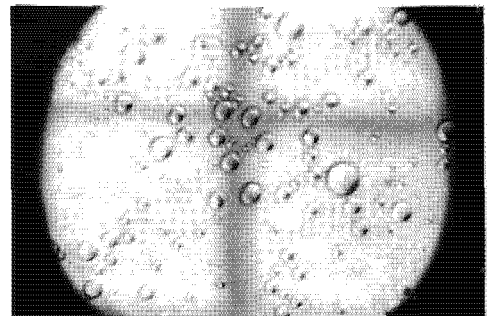


写真6 MPCノズル(1kg/cm<sup>2</sup>)単一水噴霧粒子

(5) 水噴霧粒子径の測定結果

ア、MPCノズルの水噴霧粒子

(ア)水噴霧放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>の場合

MPCノズルによる水噴霧粒子の状況は、写真5、6、7、に示すとおりである。粒子径の大きさ、分布状況については、写真5、6、7に含まれる300個の粒子を計測し、粒径範囲別にまとめた結果、表2のとおりである。

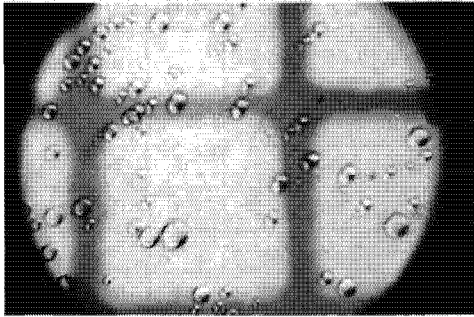


写真7 MPCノズル(1kg/cm<sup>2</sup>)単一水噴霧粒子

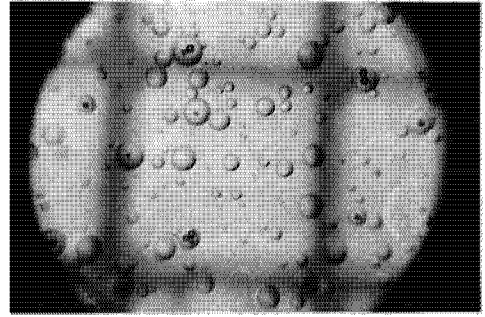


写真8 MPCノズル(1kg/cm<sup>2</sup>)表面張力低下剤添加の水噴霧粒子

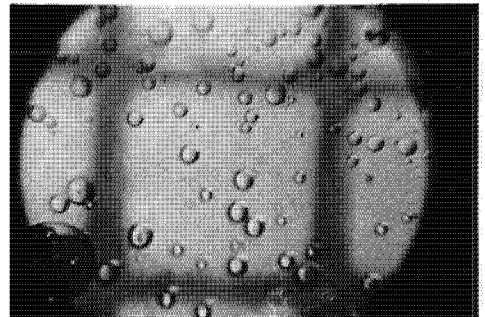


写真9 MPCノズル(1kg/cm<sup>2</sup>)表面張力低下剤添加の水噴霧粒子

表2のデータから、粒度累積曲線を求めると、図15のようになる。また、平均粒子径の一般式を変形した(1)式を用いて表2のデータから体面積平均粒子径(ザウテル径)を求めると、 $d_3=76.0(\mu\text{m})$ となる。

$$d_3 = \frac{\sum n_k d_k^3}{\sum n_k d_k^2} \dots (1)$$

$d_3$ : 体面積平均粒子径(ザウテル径)

$n_k$ : k番目のランクにある粒子個数

$d_k$ : k番目のランクの代表径

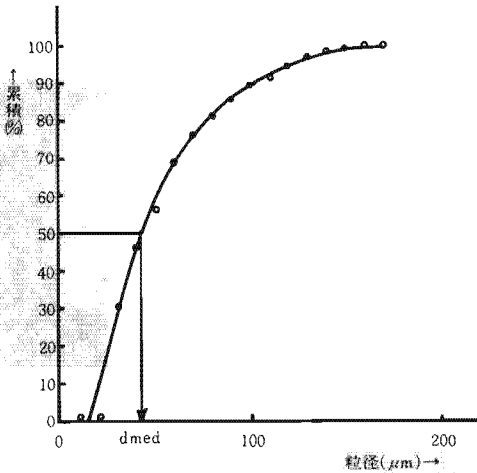


図15 粒度累積曲線(MPCノズル放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

次に、MPCノズルによる表面張力低下剤添加の水噴霧粒子の状況は、写真8、9のとおりである。粒子径の大きさ及び分布状況については、表3のとおりである。

表3のデータから、粒度累積曲線を求めると図16のようになる。また、ザウテル径は、 $d_3=65.3(\mu\text{m})$ であった。

表3 MPCノズル表面張力添加の水噴霧(圧力1kg/cm<sup>2</sup>)

測定結果 粒径範囲	代表値 ( $\mu\text{m}$ )	粒子個数 (n)	最大粒径 $d_{\text{max}}$ ( $\mu\text{m}$ )	相対度数	累積%
$0 < n_k \leq 10$	5	1	9.8	0.3	0.3
$10 < n_k \leq 20$	15	25	19.8	8.3	0.6
$20 < n_k \leq 30$	25	67	28.6	22.3	30.9
$30 < n_k \leq 40$	35	46	39.6	15.5	46.2
$40 < n_k \leq 50$	45	34	48.4	11.3	57.5
$50 < n_k \leq 60$	55	35	59.4	11.7	69.2
$60 < n_k \leq 70$	65	22	68.2	7.3	76.5
$70 < n_k \leq 80$	75	14	77	4.7	81.2
$80 < n_k \leq 90$	85	14	85.8	4.7	85.9
$90 < n_k \leq 100$	95	10	95.8	3.3	89.2
$100 < n_k \leq 110$	105	11	110	3.7	92.9
$110 < n_k \leq 120$	115	5	119	1.7	94.6
$120 < n_k \leq 130$	125	9	128	3	97.6
$130 < n_k \leq 140$	135	3	136	1.	98.6
$140 < n_k \leq 150$	145	1	145	0.3	98.9
$150 < n_k \leq 160$	155	2	156	0.6	99.5
$160 < n_k \leq 170$	165	1	169	0.3	99.8
総計	-	300	-	99.8	-



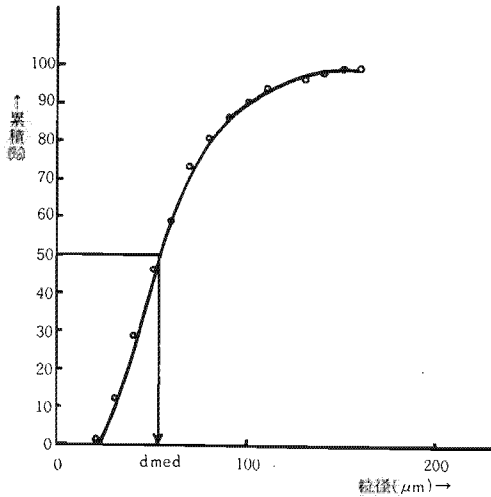


図16 粒度累積曲線  
(MPCノズル放射圧力1kg/cm<sup>2</sup>  
表面張力低下剤添加の水噴霧粒子)

(イ) 水噴霧放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>の場合

MPCノズルによる水噴霧粒子の状況は、写真10に示すとおりである。粒子径の大きさ及び分布状況については、写真10に含まれる300個の水噴霧粒子を計測し、粒径範囲別にまとめた結果、表4のとおりである。

表4 MPCノズル単一水噴霧(圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

粒径範囲	測定結果	代表値(μm)	粒子個数(n)	最大粒径dmax(μm)	相対度数	累積(%)
0 < n <sub>k</sub> ≤ 10		5	0	—	0	0
10 < n <sub>k</sub> ≤ 20		15	0	—	0	0
20 < n <sub>k</sub> ≤ 30		25	10	29	3.3	3.3
30 < n <sub>k</sub> ≤ 40		35	27	37	9.0	12.3
40 < n <sub>k</sub> ≤ 50		45	34	48.1	11.3	23.6
50 < n <sub>k</sub> ≤ 60		55	33	59.2	11.0	34.6
60 < n <sub>k</sub> ≤ 70		65	21	66.6	7	41.6
70 < n <sub>k</sub> ≤ 80		75	20	77.7	6.7	48.3
80 < n <sub>k</sub> ≤ 90		85	33	86.8	11	59.3
90 < n <sub>k</sub> ≤ 100		95	29	99.9	9.7	69.0
100 < n <sub>k</sub> ≤ 110		105	19	107	6.3	75.3
110 < n <sub>k</sub> ≤ 120		115	12	118	4	79.3
120 < n <sub>k</sub> ≤ 130		125	13	130	4.3	83.6
130 < n <sub>k</sub> ≤ 140		135	18	137	6	89.6
140 < n <sub>k</sub> ≤ 150		145	13	148	4.3	93.9
150 < n <sub>k</sub> ≤ 160		155	3	155	1	94.9
160 < n <sub>k</sub> ≤ 170		165	4	170	1.3	96.2
170 < n <sub>k</sub> ≤ 180		175	2	178	0.6	96.8
180 < n <sub>k</sub> ≤ 190		185	3	189	1	97.8
190 < n <sub>k</sub> ≤ 200		195	1	192	0.3	98.1
200 < n <sub>k</sub> ≤ 210		205	4	192	1.3	99.4
210 < n <sub>k</sub> ≤ 220		215	0	217	0	99.4
220 < n <sub>k</sub> ≤ 230		225	0	—	0	99.4
230 < n <sub>k</sub> ≤ 240		235	0	—	0	99.4
240 < n <sub>k</sub> ≤ 250		245	1	246	0.3	99.7
総計			300		99.7	—

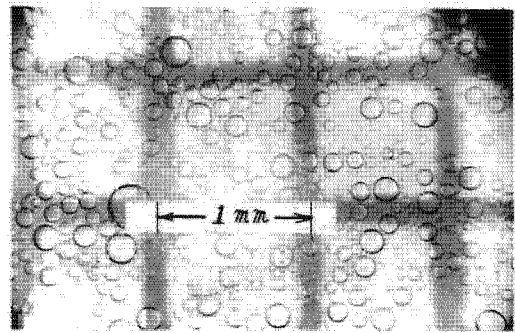


写真10 MPCノズル(2kg/cm<sup>2</sup>)単一水噴霧粒子

表4のデータから粒度累積曲線を求めると図17のようになる。また、ザウテル径は、 $d_3 = 123.1(\mu\text{m})$ であった。

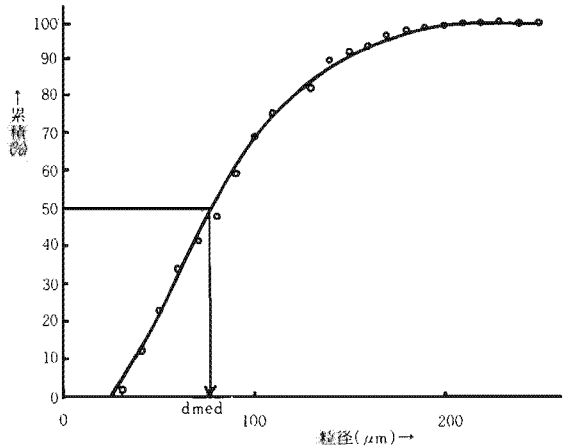


図17 粒度累積曲線  
(MPCノズル放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>の単一水噴霧粒子)

イ、静電噴霧ノズルによる水噴霧粒子の状況は、写真11に示すとおりである。粒子径の大きさ及び分布状況については、写真11に含まれる300個の水噴霧粒子を計測し粒径範囲別にまとめた結果、表5のとおりである。

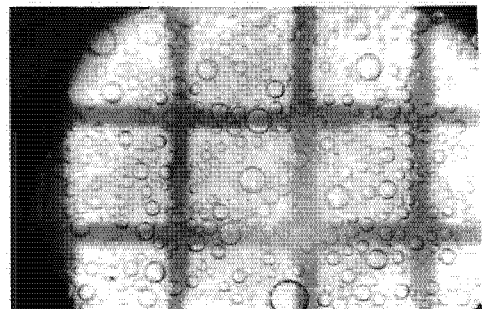


写真11 静電噴霧ノズル(2kg/cm<sup>2</sup>)単一水噴霧粒子

表5 静電噴霧ノズル単一水噴霧(圧力2kg/cm<sup>2</sup>)

測定結果 粒径範囲	代表値 ( $\mu\text{m}$ )	粒子個数 (n)	最大粒径 dmax ( $\mu\text{m}$ )	相対度数	累積 (%)
0 < n <sub>k</sub> ≤ 10	5	8	9.15	2.7	2.7
10 < n <sub>k</sub> ≤ 20	15	33	18.3	11	13.7
20 < n <sub>k</sub> ≤ 30	25	67	29.3	22.3	36
30 < n <sub>k</sub> ≤ 40	35	57	38.4	19	55
40 < n <sub>k</sub> ≤ 50	45	64	47.6	21.3	76.3
50 < n <sub>k</sub> ≤ 60	55	34	58.6	11.3	87.6
60 < n <sub>k</sub> ≤ 70	65	20	69.5	6.7	94.3
70 < n <sub>k</sub> ≤ 80	75	8	78.7	2.7	97
80 < n <sub>k</sub> ≤ 90	85	4	87.8	1.3	98.3
90 < n <sub>k</sub> ≤ 100	95	5	98.8	1.7	100
総計	-	300	-	100	-

表5のデータから粒度累積曲線を求めると図18のようになる。また、ザウテル径は、 $d_3 = 55.3(\mu\text{m})$ であった。

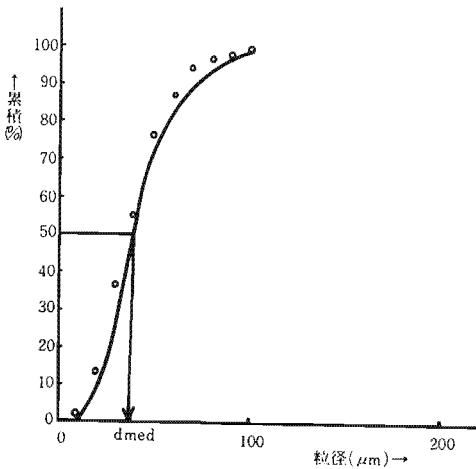


図18 粒度累積曲線  
(静電噴霧ノズル放射圧力2kg/cm<sup>2</sup>の単一水噴霧粒子)

## 6. 考 察

実火災において発生する煙は、高温の熱気と有毒ガスをともなった燃焼煙で、多量のカーボンと煤を含む黒煙の場合が多いが、これに対して実験室規模で生成される燃焼煙は、ほぼ白煙に近く、煙霧質としての安定性はきわめて大きい。これは、煙霧質に含まれる煙粒子の大きさに起因するものであって、CO<sub>2</sub>ガスやCOガス分子の大きさ(0.3~0.5 $\mu\text{m}$ )に比較すれば大きい、相当の微粒子を煙霧質に含有しているためである。また、実験室規

模で生成され、集煙箱に誘導されて滞留する煙霧質は、いわゆる、静止煙ともいべきものである。したがって煙霧質の消煙性能あるいは消煙効率の有無(又は大小)を論じる場合、最終的には実火災煙を対象としなければならないし、また、実火災煙の相似法則を緩和した煙霧質に対する消煙効果の優劣が、実火災煙に対してどのように適応するかを十分考慮しておく必要があると思われる。

今回の実験によって、消煙効果の良好なものから順位をつけると①電荷を帯びた水噴霧粒子、②化学物質添加の水噴霧粒子、③単一水噴霧粒子の順であることが明らかになった。単一水噴霧放射の場合、最大75%の消煙効果を示したが、同一ノズルによって放射時間を延長しても放射時間に対応した消煙効率は得られなかった。これは、煙粒子と水噴霧粒子の大きさが煙霧質に対する消煙効果に基本的に関連することを示すものであり、微細な煙粒子を含む煙霧質を除去するためには、粗大な水噴霧粒子ではなく、水粒子の形状はさらに微粒化されたものでなければならないといえる。小規模な消煙実験において使用するノズルは放水量がきわめて少ない(約3 l/min)ために噴流体の微粒化も二流体噴霧機構を採用するなど容易であるが、実際には、実大火災を対象とした場合の噴霧体の微粒化方法が問題であり、火災の炎および輻射熱を考慮すると、可変ノズル機構を取入れることによって火災および煙の両方を制圧するような方法を検討することが有効であると思われる。

### (1) 水噴霧粒子の形状が消煙効果に及ぼす影響について

ノズルから放射される噴流体は、分散角度、均一性、流速、粒子径等で特徴づけられているが、良好な消煙効果を得るためにはこれらの噴霧放射条件が満足される必要がある。今回、MPCノズルの消煙性能が良好であった理由は、これらの放射条件が適当であったためと思われる。実験では、放射圧力が1kg/cm<sup>2</sup>と2kg/cm<sup>2</sup>の場合の消煙効率を比較すると、最大30%の差異を生じる。これは、噴流体の分散角度、均一性、粒子径等に大きな差はないが、水噴霧粒子が煙粒子に衝突する直前の流速、言い換えると、運動エネルギーの差に起因する現象であるものと推定される。

## (2) 表面張力低下剤を添加した水噴霧の消煙効果について

表面張力低下剤を添加した水噴霧による消煙実験の結果を見ると、噴霧放射中にピークによる立ち上り現象が認められる。このために、減光係数が見かけ上増加するから、噴霧放射中は視程が全く回復しないが、最終的な消煙効率、実験結果からも明らかなように、単一水噴霧に比較して約10%以上増加する。理想的な消煙曲線は、噴霧放射開始と同時に直角双曲線のような減衰性を示す曲線であるが、化学物質を添加した場合であっても、減光係数の小さい範囲の煙霧質を微小時間に沈降消滅させることが困難であることを消煙曲線の終端部分が示している。

なお、今回の実験において水に添加した表面張力低下剤は、非イオン系界面活性剤の一種で、ポリエチレングリコール誘導体のアルキルフェノールエチレンオキシド付加物 ( $R-\text{C}(\text{O})_n\text{OH}$ ) であるが、その他の有機性分散剤、凝集剤等も消煙剤としての有効性を検討してみる価値はあるものと思われる。また、今回使用した表面張力低下剤は、毒性がほとんどなく、水に対する溶解性に優れており、水に対する混合方式を単純化することによって実用化できるものと思われる。

## (3) 静電噴霧ノズルによる消煙効果について

負電荷を帯びた水噴霧粒子の煙霧質除去能力は、図13、図14のとおりきわめて優れていることが明らかになった。水噴霧粒子のもつ電荷量の測定は直接的には難しいが、絶縁導体板に噴流体を衝突させて間接的に測定することは可能であり、今後はこの間接的手法

によって、水噴霧粒子の帯電現象あるいは静電霧化現象を究明する必要がある。

負電荷を帯びた水噴霧粒子による消煙方法は、(7)煙粒子が衝突し易い性質をもつ、(4)煙粒子が内壁に静電吸着される。(7)煙粒子同志が凝集沈降作用をもつ等、消煙効率が良くなる要素があるものと推定されるが、さらに定量的な実験を行うことによって、消煙機構を究明していく必要があると思われる。

## 8. ま と め

これまでの実験結果をまとめると、次のことがいえる。

- (1) 単一水噴霧の消煙効率は、水噴霧の分散性、均一性、流速ならびに粒子径に大きく作用されるが、平均粒子径が $100\sim 200\mu\text{m}$ の単一水噴霧の消煙効率は最高値で75%であった。なお、微細な煙粒子で構成された煙霧質が気相中に残存することから、100%消煙することは困難である。
- (2) 上記の水噴霧に表面張力低下剤を添加した場合、消煙効率は約10%増加する。
- (3) 平均粒子径が $50\sim 100\mu\text{m}$ の負電荷を帯びた水噴霧の消煙効率は、最大94%を示し、表面張力低下剤を添加した水噴霧の消煙効率よりさらに良好である。

## 9. おわりに

今後は実用化の可能性を追求するため、静電噴霧ノズルの開発を行っていく予定である。

今回の静電噴霧の消煙実験を行うためツルギ技研の技術協力をいただいたことに対し謝意を表する次第であります。