

高圧噴霧ノズルの特性及び消煙効果の実験結果について

Experiments on Characteristics of High Pressure Spray Nozzles and Their Smoke Removing Effects

渡	辺		貢*
正	村		厚**
池	辺	昇	一**
菊	地	定	男**
村	上	信	義***
宮	沢	和	良**

In order to obtain fundamental data on high pressure spray nozzles, we carried out experiments on four kinds of nozzles to compare with their characteristics and smoke removing effects.

A 24m³ room filled with smoke from a smoke candle was cleared in about 2 minutes by high pressure spray application.

1. はじめに

中高層建物、地下街等では、火災が発生すると濃煙が充満し消防活動が大きく阻害されることから、煙を効果的に除去する方法の研究開発が現地から強く要望されている。

煙除去の方法としては現在のところ排煙車、小型送(排)風機等による排煙、静電消煙機による消煙及び水噴霧等による消排煙が行われているが、水噴霧による消煙では高圧の噴霧放射が効果的な方法であると考えられている。

当庁では高圧噴霧化学車(最高ポンプ圧力 60 kg/cm²)が2台配備されており、昭和59年度からはすべての水そう付ポンプ車にフォグガン(最高ノズル圧力 15 kg/cm²)が積載されている。これらの高圧噴霧による消火方法は消火効果が高く水損の少ない、新しい消防戦術として注目されているほか、消煙効果についてもかなり期待されている。

そこで高圧噴霧に関する基礎的な資料を得る目的で、各種の噴霧ノズルを使って、その放射特性と消煙効果の比較実験を行ったのでその概要を報告する。

2. 各種ノズルの噴霧特性実験

(1) 供試ノズル及びポンプ装置

ア. 供試ノズル

実験には写真1に示す4種類のノズルを使用した。

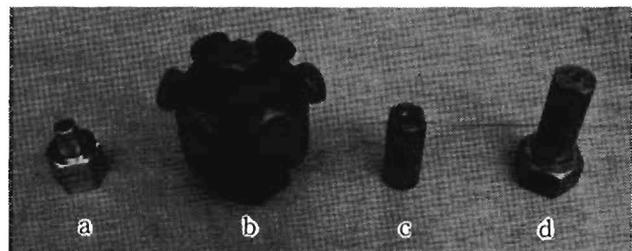


写真1 供試ノズル

a スパイラルノズル c 充角錐ノズル
b 7頭充円錐ノズル d 充円錐ノズル

a スパイラルノズル

放水口の口径 2.7 mm φ の右施回型スパイラルノズル

b 7頭充円錐ノズル

口径 2.0 mm φ の噴霧ノズルを7個放射状に取付けたノズル

c 充角錐ノズル

充四角錐の放射形状となる放水口の口径 4.0 mm φ の噴霧ノズル

d 充円錐ノズル

充円錐の放射形状となる放水口の口径
3.8 mm ϕ の噴霧ノズル

イ. 供試ポンプ装置

ガソリンエンジン駆動の三連プランジャー
ポンプ

定格出力 15PS/3600r.p.m.

吐出圧力 0~68 kg/cm²

最大吐出水量 77.6 l/min(吐出水圧55
kg/cm²)

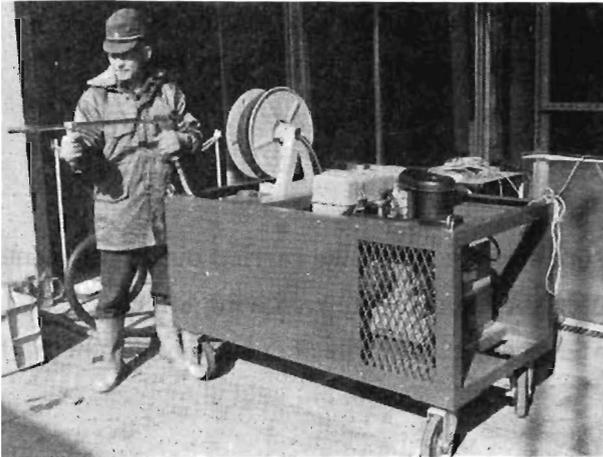


写真2 高圧プラジャーポンプ装置

(2) 噴霧特性の測定項目及び方法

各種のノズルについて噴霧放射形状、放水量、放水量分布、有効放水射程及び噴霧粒子径の測定を行った。

ア. 噴霧放射形状の測定

噴霧放射形状の測定は目盛板を垂直に置き、ノズルをその中心軸に合わせて水平に設定して真横からその全景を写真撮影した。

イ. 放水量の測定

各ノズルともノズル圧力を 10 kg/cm² から順次 10 kg/cm² ごとに最高圧力まで変化させ各圧力において 100 l のステンレス製円筒容器の中に 1 分間放射し、その重量変化を天秤式台ばかりで計量して放水量を測定した。ノズル圧力の測定はノズルの根元に圧力変換器を取り付けペンレコーダーで記録する方法で行った。

ウ. 放水量分布の測定

写真3のように合計100個の受水口(10 cm×10 cm)で構成された放水量分布測定器を水平に設定し、ノズルを受水面の上方 1m(7頭充円錐ノズルの場合は 35 cm)の位置に垂直に固定して放射した。各ノズルともノズル圧力を 10 kg/cm²及び 30 kg/cm²で30

秒間放射した場合の放水量の分布状況を測定した。

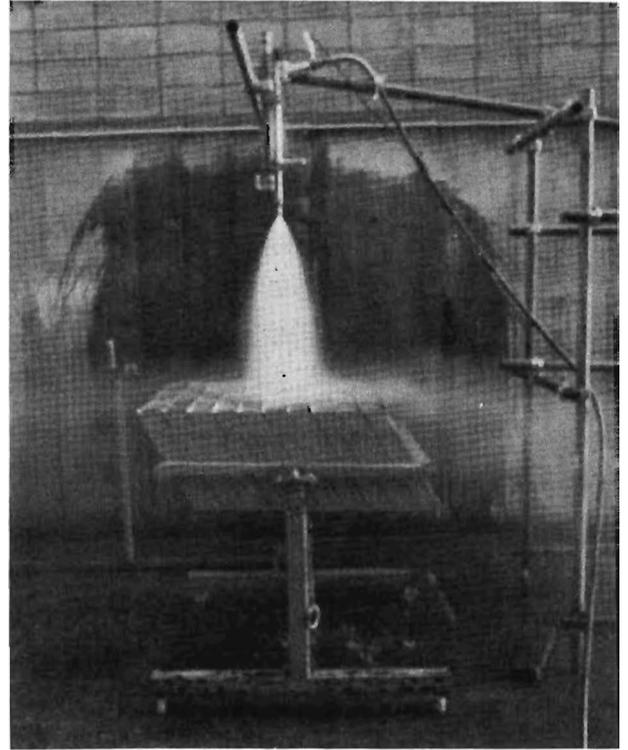


写真3 放水量分布の測定

エ. 有効放水射程の測定

写真4のようにノズルを地上高 1.15m の位置に水平に固定し、ノズルと放水量分布測定器との距離を変えながら噴霧を採取し、前イで測定したノズルから放射される全放水量の 70%の水量が採取できた距離を有効放水射程とした。測定は各ノズルともノズル圧力を 10 kg/cm²及び 30 kg/cm²で 1 分間放射して行った。

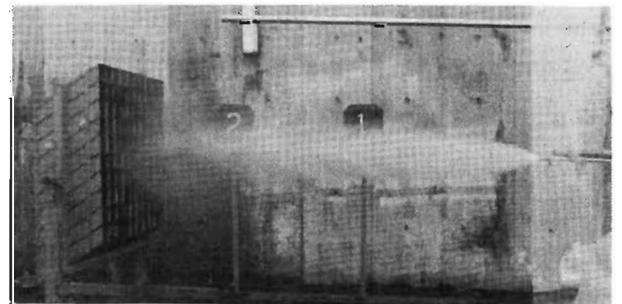


写真4 放水射程の測定

オ. 噴霧の粒子径の測定

各ノズルとも水平に設定した状態でノズル圧力 10 kg/cm²及び 30 kg/cm²で放射し、ノズルから 1 m 及び表 1 に示す有効放水射程 L (m) だけ離れた位置で噴霧粒子を採取した。噴霧粒子は懸垂法によりシリコンオイルを塗布したスライドガラス上に採取し、

1枚のスライドグラスにつき3か所の顕微鏡写真を撮影した。噴霧粒子径の大きさは写真に基づいて測定、算出した。

(3) 噴霧特性の測定結果

ア. 噴霧放射形状

ノズル圧力 10 kg/cm^2 及び 30 kg/cm^2 における各ノズルの噴霧放射形状は写真5～8のとおりである。また噴霧の放射角度は表1のとおり7頭充円錐ノズルが最も広く、 170 度～ 180 度、その他のノズルは 40 度～ 70 度である。



写真5 スパイラルノズルの噴霧放射形状

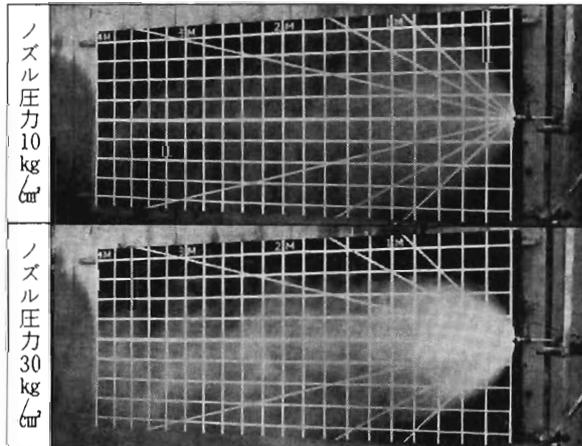


写真6 7頭充円錐ノズルの噴霧放射形状

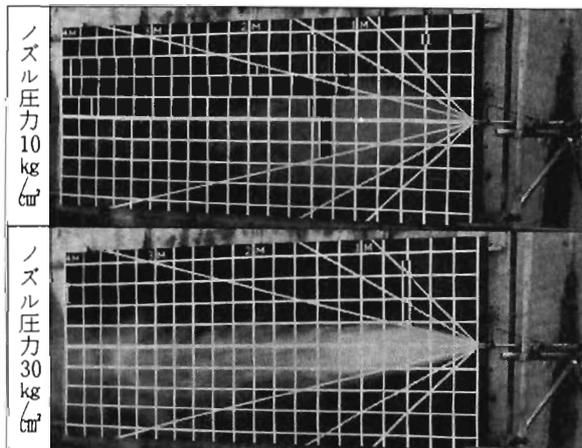


写真7 充角錐ノズルの噴霧放射形状

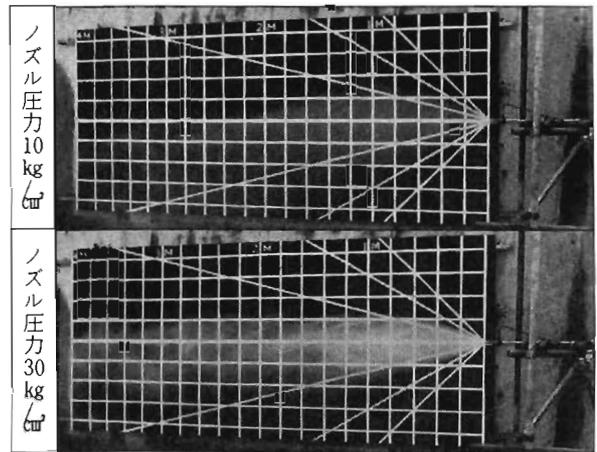


写真8 充円錐ノズルの噴霧放射形状

イ. 放水量

表1のデータからノズル圧力と放水量との関係を求めると図1のようになる。また最小自乗法を用いて求めた方程式を各曲線に付記したが、各ノズルについて放水量は、ノズル圧力の0.5乗(平方根)にほぼ比例して増減する。なお、プランジャーポンプとノズルとを接続する吐出用ホースとしては口径 $3/4$ インチ、長さ 20m の高圧ゴムホースを使用した。7頭充円錐ノズルによりノズル圧力 31.0 kg/cm^2 で放射すると、 23.5 kg/cm^2 の圧力損失がみとめられた。

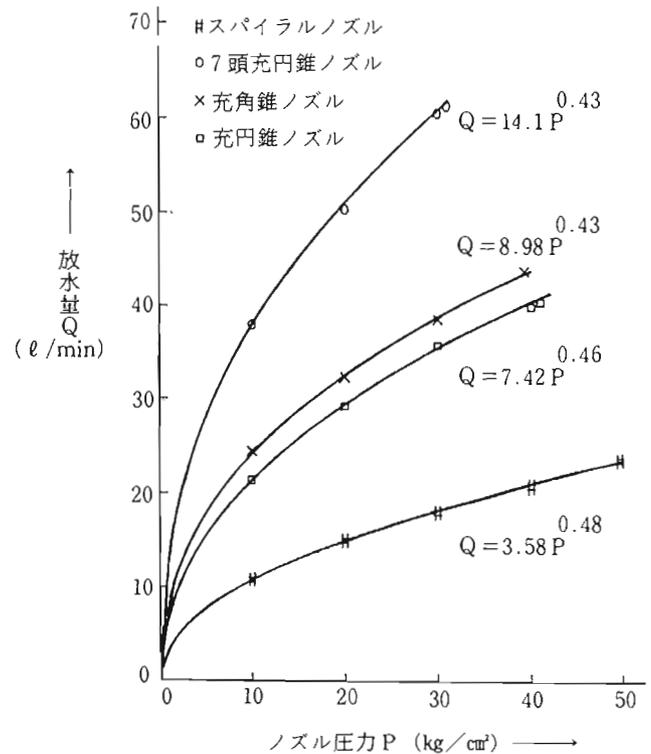


図1 ノズル圧力—放水量曲線

ウ. 放水量の分布状況

放水量の分布状況の測定結果は図2のとおりである。スパイラルノズルはノズル圧

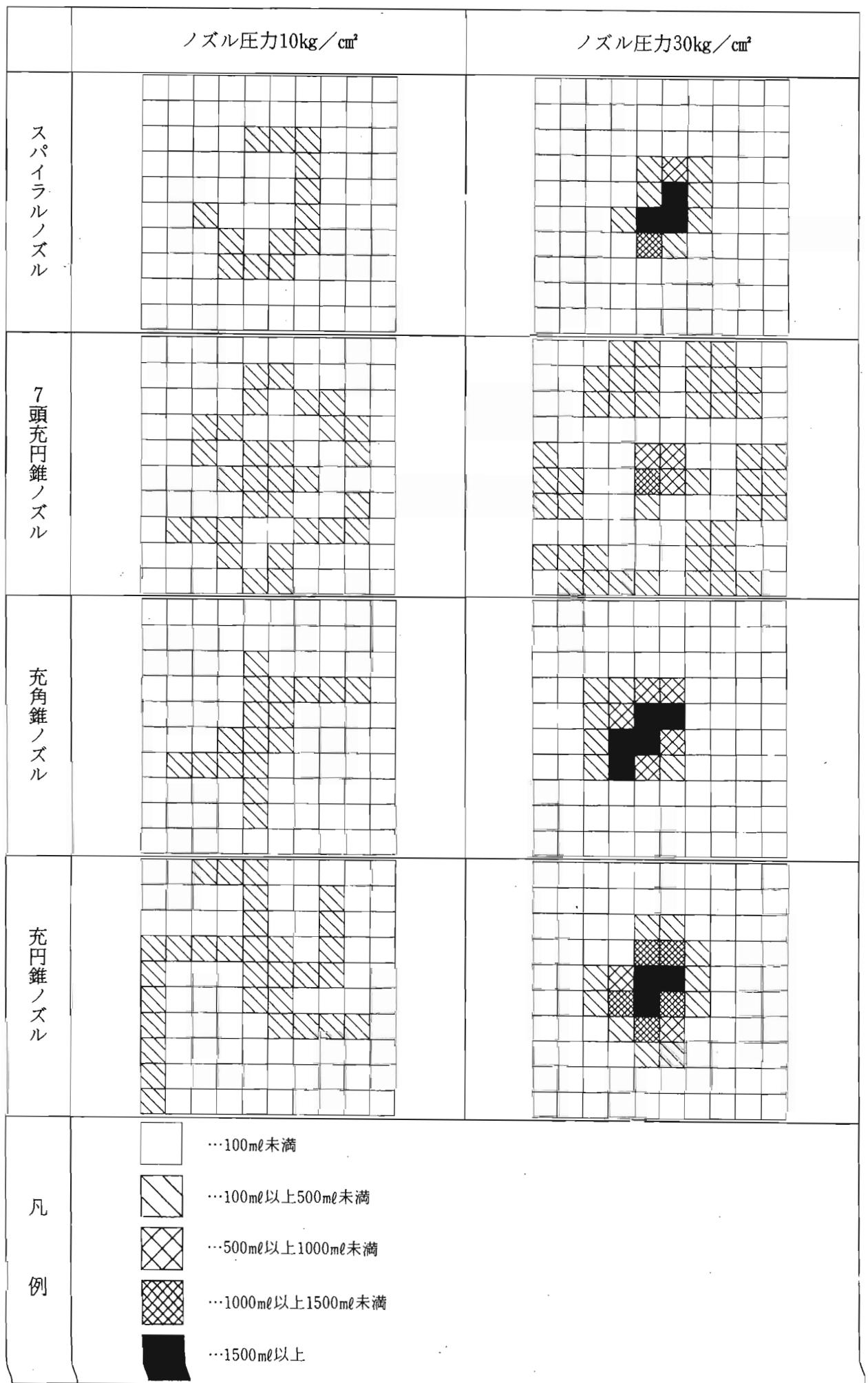


図2 各ノズルの放水量分布

力 10 kg/cm^2 で放射する際には放水量の分布範囲が広く、また、噴霧流がらせん状であることが分り、ノズルの構造上の特徴がよく現われている。そしてノズル圧力 30 kg/cm^2 では放水量の分布範囲が狭くなり、ノズルの中心付近に集中的に分布している。

7頭充円錐ノズルについては、ノズル圧力 10 kg/cm^2 で放射しても 30 kg/cm^2 で放射しても放水量分布の形状はほとんど変化しない。そして7個の各充円錐ノズルの噴霧放射によって7つのブロックを形成している。

充角錐ノズル及び充円錐ノズルではノズル圧力 10 kg/cm^2 で放射の場合、放水量の分布範囲が広く、また、噴霧流が2枚の案内羽根の作用で右に施回していることが分る。また、ノズル圧力 30 kg/cm^2 で放射の場合、放水量の分布範囲が狭くなり、充角錐ノズルではほぼ正方形、充円錐ノズルではほぼ円形の分布となっている。

エ. 有効放水射程と噴霧粒子径

有効放水射程の測定結果は表1のとおりである。また、顕微鏡写真に基づいて測定した噴霧粒子径は表1のとおりザウター平均値で $149 \mu\text{m}$ から $269 \mu\text{m}$ 程度の大きさである。(各ノズルの噴霧粒子の代表例を写真9～12に示した。)スパイラルノズル、充角錐ノズル及び充円錐ノズルでは有効放水射程 L (m) の位置で採取した噴霧粒子径は、1m の位置で採取した噴霧粒子径よりも小さく、ノズル圧力が 10 kg/cm^2 から 30 kg/cm^2 になってもほとんど変化しない。また、7頭充円錐ノズルについても有効放水射程 L (m) の位置で採取した噴霧粒子径は、ノズル圧力が変化してもほとんど同一である。

これらの測定結果を総合的に考察すると、スパイラルノズル、充角錐ノズル及び充円錐ノズルについてはノズル圧力が、 10 kg/cm^2 から 30 kg/cm^2 になると有効放水射程は長くなり、ノズルから1m の位置における噴霧粒子径は大きくなる。ノズル圧力が高くなると放射速度が増大し、それに伴って噴霧粒子に対する空気抵抗は増大する。一方噴霧粒子径が大きくなると空気抵抗も大きくなるので、供試ノズルのようなスパイラ

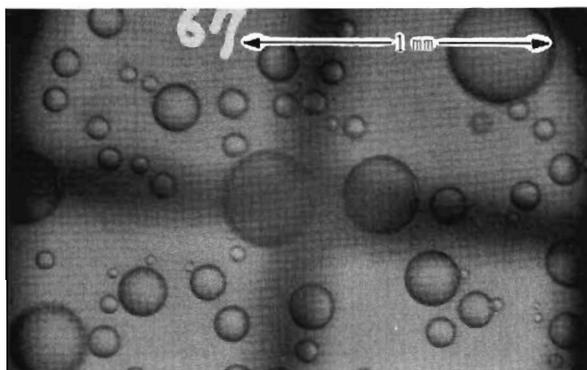


写真9 スパイラルノイズ
(30 kg/cm^2 , 2.5m位置) 噴霧粒子

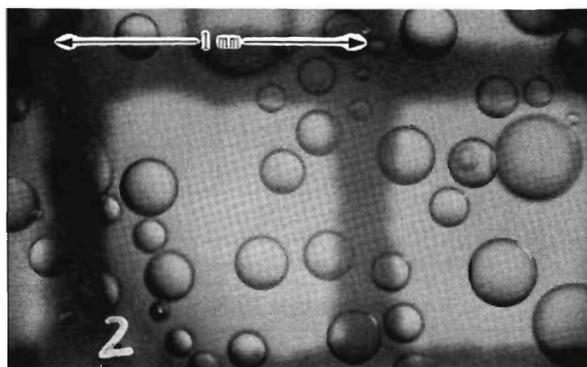


写真10 7頭充円錐ノズル
(10 kg/cm^2 , 1.0m位置) 噴霧粒子

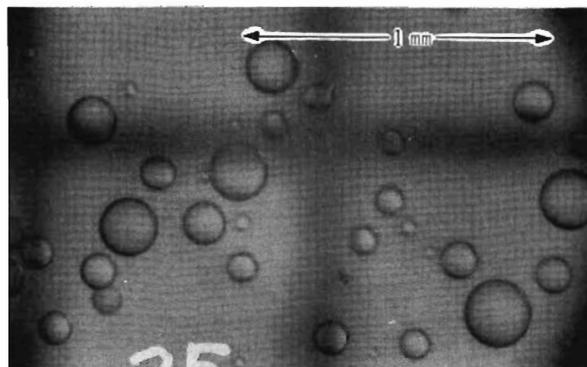


写真11 充角錐ノズル
(30 kg/cm^2 , 2.3m位置) 噴霧粒子

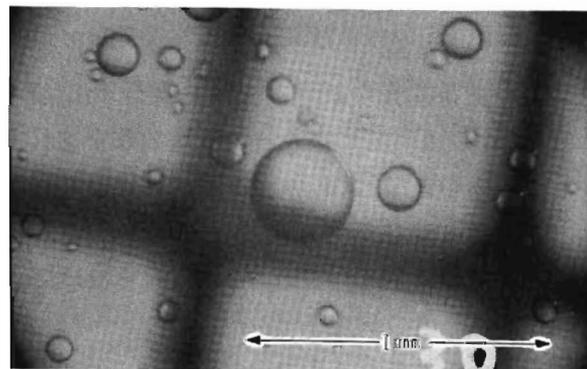


写真12 充円錐ノズル
(10 kg/cm^2 , 1.0m位置) 噴霧粒子

ル式又は案内羽根式の構造のノズルでは、さらに高いノズル圧力で放射しても有効放水射程はあまり伸びないものと思われる。7頭充円錐ノズルでは各圧力とも有効放水射程は1m程度であるが、これは噴霧放射角度がノズル圧力 10 kg/cm^2 のとき 180 度、 30

表1 供試噴霧ノズルの放射特性

ノズル種別	ノズル圧力 (kg/cm ²)	放水量 (ℓ/min)	噴霧放射 角度(°)	有効放水射 程L (m)	噴霧粒子径(μm)	
					ノズルから 1m 位置	有効放水射 程L (m)位置
スパイラルノズル	10	10.8	43	1.5	160	149
	20	15.0				
	30	18.1	40	2.5	260	149
	40	20.8				
	max.49.7	23.4				
7頭充円錐ノズル	10	37.8	180	1.0	227	227
	20	50.3				
	30	60.4	170	1.0	221	221
	max.31.0	61.2				
充角錐ノズル	10	24.2	70	2.0	172	165
	20	32.2				
	30	38.4	65	2.3	253	178
	max.39.3	43.7				
充円錐ノズル	10	21.2	70	1.0	160	150
	20	29.1				
	30	35.5	65	2.0	211	159
	40	39.8				
	max.41.1	40.3				

kg/cm²のとき170度と広いためである。

3. 消煙実験

放射特性を把握した4種類の噴霧ノズルを使って、噴霧放射による消煙効果の実験を行った。

(1) 消煙実験の設備

ア. 煙室

図3に示すような巾3m, 奥行4m, 高さ2mの透明塩化ビニール板製の煙室を作り、前面中央部、床面からの高さ1.25mの位置に2.5cmφのノズル差し込み口を明け、その下方に75cm×75cmの出入口を設けた。

イ. 煙濃度の測定

消煙効果をみるための煙濃度の測定にはCDSセル及び白熱電球(100W)で構成された減光式煙濃度計を使用した。白熱電球は直径7.5cm, 長さ28cmの鉄管の底に入れ、くもり止め液を塗った耐熱ガラスでふたをした。さらに噴霧流が直接かからないようにするために耐熱ガラスの外側に直径8.0cm, 長さ7.5cmの鉄製フードを取り付けた。

また、CDSセルも直径6.0cm, 長さ5.0cmの塩ビ管の底部に接着し、くもり止め液を塗った耐熱ガラスでふたをした。そしてその外側に同様のフードを取り付けて白熱電球に対向させた。実験では白熱電球のガラスの先端とCDSセルの受光面との距離を1mに設定し、煙層を通過したときの白熱電球の光の強さの変化をCDSセルによって電圧に変換しペンレコーダーで記録した。なお煙濃度としては減光係数Cs(m⁻¹)を用い、次式から求めた。

$$Cs = \frac{1}{K} \ell \ln \frac{I_0}{I}$$

K : 光路の長さ(m)

I₀ : 煙層のないときの光の強さ(mV)

I : 煙層を通過した後の光の強さ(mV)

ウ. 発煙源

発煙時間3分, 薬剂量200gの発煙筒を1回の実験につき1本使用した。

(2) 実験方法

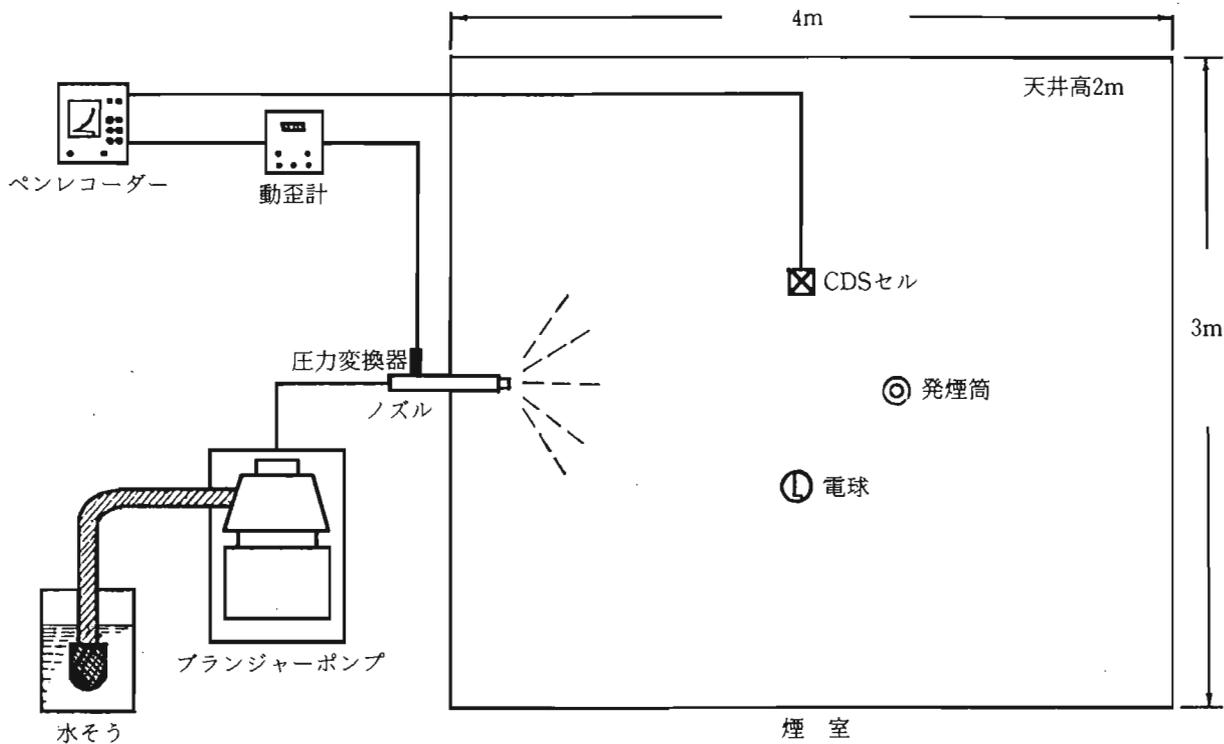


図3 消煙実験の設備

減光式煙濃度計を煙室中央部の床面からの高さ1.25mの位置に設定し、そこから水平距離で1.0m後方の床面上で発煙筒を燃焼させた。発煙開始4分後、煙の流動が停止した状態で噴霧放射を開始し、2分間継続放射した。各ノズルは水平に固定した状態でノズル差し込み口から煙室内に突き出るように設定し、ノズル圧力10 kg/cm²、20 kg/cm²及び30 kg/cm²の各圧力で噴霧放射した。

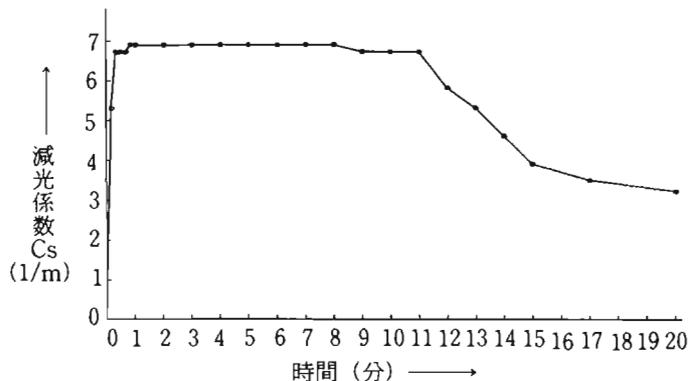


図4 発煙筒の煙濃度(自然減衰状況)

(3) 消煙実験の結果

ア. 煙濃度と自然減衰状況

実験で使用した発煙筒の発煙性状及び煙濃度の自然減衰の状況は図4のとおりである。発煙開始後50秒～60秒で煙濃度はCs=6.91に達し、その後発煙が続いてもほとんど変化せず一定であった。また、約3分経過後に発煙が完了すると、すぐに煙の流動が停止し発煙開始4分後までその状態が続いていることが観測された。次に煙濃度の自然減衰状況を見ると発煙開始後9分頃から急激に減少し始め、20分後にはCs=3.22となった。従って噴霧放射開始から終了までの2分間(発煙開始4分後から6分後まで)における煙濃度の自然減衰は無視できる程度の値であることが分った。

イ. ノズル種別と消煙効果

ノズル圧力10 kg/cm²、20 kg/cm²及び30 kg/cm²で噴霧放射したときの各ノズルの消煙実験の結果をそれぞれ図5、図6及び図7に示した。時間経過に対する煙濃度Csの減少が最も大きいのは7頭充円錐ノズル、2番目は充角錐ノズル、3番目は充円錐ノズル、そして最も小さいのはスパイラルノズルで、放水量の多いノズルの方が消煙効果が大きいという基本的な性状を示している。

また、2分間の継続噴霧放射が終了した際の煙濃度の減衰率を次式から求め表2のようにまとめた。

煙濃度の減衰率(%) =

$$\frac{\text{噴霧放射直前の煙濃度}(Cs) - \text{終了後の煙濃度}(Cs)}{\text{噴霧放射直前の煙濃度}(Cs)} \times 100$$

表2によるとノズル圧力が10 kg/cm²から

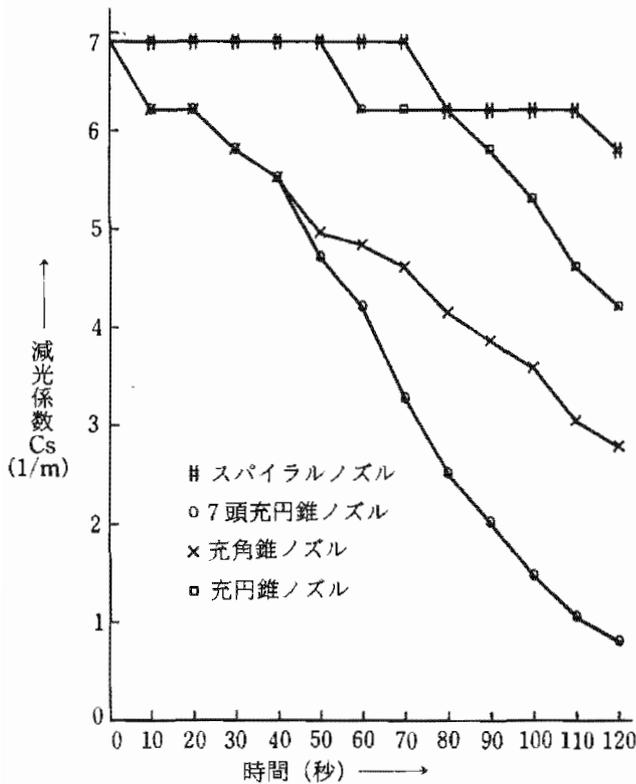


図5 各種ノズルの消煙効果(ノズル圧力10kg/cm²)

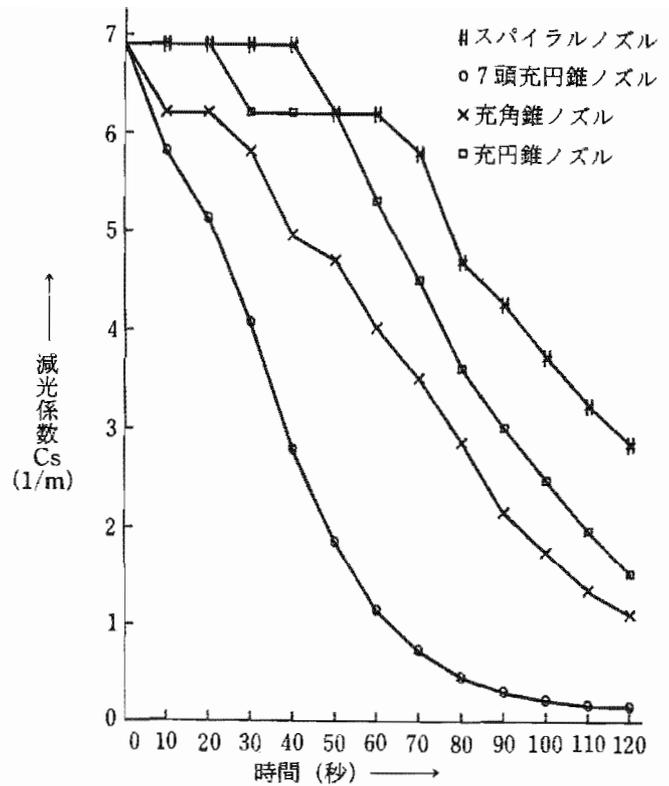


図6 各種ノズルの消煙効果(ノズル圧力20kg/cm²)

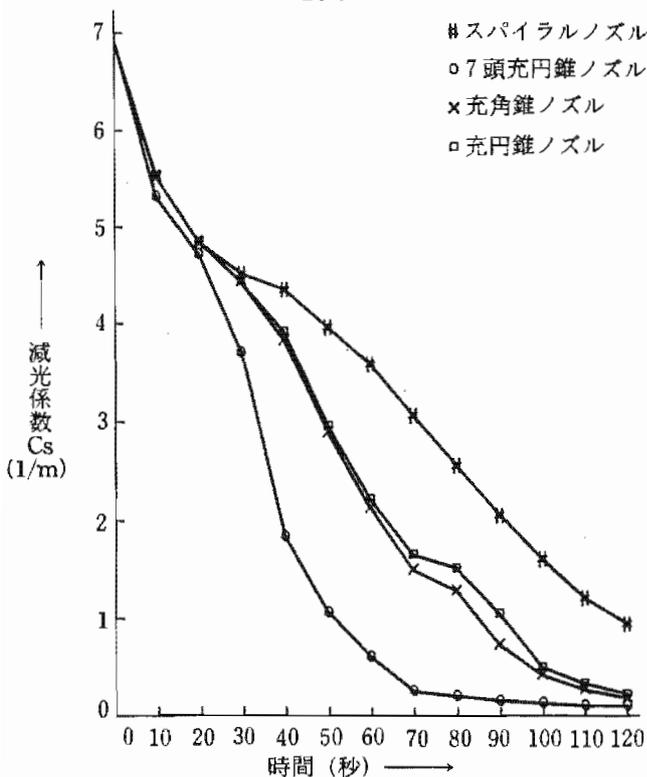


図7 各種ノズルの消煙効果(ノズル圧力30kg/cm²)

30 kg/cm²になると煙濃度の減衰率はスパイラルノズルの場合70%, 7頭充円錐ノズルの場合11%, 充角錐ノズルの場合37%, 充円錐ノズルの場合58%増加する。次に煙室内の見透し距離が2m及び4mに回復したときの煙濃度(Cs)を一般に用いられている次式から求めるとそれぞれCs=1.35(m⁻¹)及びCs=0.675(m⁻¹)となり、これら

表2 煙濃度の減衰率

ノズル種別	ノズル圧力(kg/cm ²)	煙濃度の減衰率(%)	1ℓ当りの煙濃度の減衰率(%/ℓ)
スパイラルノズル	10	16	0.74
	20	59	1.97
	30	86	2.38
7頭充円錐ノズル	10	88	1.16
	20	98	0.97
	30	99	0.82
充角錐ノズル	10	60	1.24
	20	84	1.30
	30	97	1.26
充円錐ノズル	10	39	0.92
	20	78	1.34
	30	97	1.37

の見透し距離に回復するまでに要する時間は表3のとおりである。

$$V = 2.7/Cs$$

V : 見透し距離(m)

Cs : 減光係数(m⁻¹)

噴霧放射を2分間行って見透し距離が2m以上となるのはスパイラルノズルでは、ノズル圧力30 kg/cm²以上で放射した場合、7頭充円錐ノズルでは、ノズル圧力10 kg/cm²以上で放射した場合、充角錐ノズルでは、ノズル圧力20 kg/cm²以上で放射した場合、充円錐ノズルでは、ノズル圧力30 kg/cm²以

上で放射した場合である。また、噴霧放射を2分間行って見透し距離が煙室の奥行長さの4m以上となるのは7頭充円錐ノズルでノズル圧力20 kg/cm²以上で放射した場合、充角錐ノズル又は充円錐ノズルでノズル圧力30 kg/cm²以上で放射した場合である。

表3 見透し距離の回復時間

ノズル種別	ノズル圧力 (kg/cm ²)	見透し距離が2mに回復するまでの時間 (sec)	見透し距離が4mに回復するまでの時間 (sec)
スパイラルノズル	10	347	447
	20	167	208
	30	107	135
7頭充円錐ノズル	10	103	126
	20	56	72
	30	47	58
充角錐ノズル	10	176	226
	20	111	138
	30	75	93
充円錐ノズル	10	200	254
	20	128	155
	30	82	95

4. 実験結果の総合的考察

噴霧の放射圧力を高くすると放水量、放水量分布、有効放水射程及び噴霧粒子径が変化し、消煙効果に影響を及ぼすわけであるが、これらの要素の中でも消煙効果に大きく影響するものと、それほど影響しないものがあることが予測される。2分間継続して噴霧放射した場合の放水量と消煙効果の関係をみると、各ノズルとも放水量の増加に伴って消煙効果も良くなる傾向が認められた。

この実験の範囲では放水量が多く、噴霧の展開角度も大きい7頭充円錐ノズルが最も良好であっ

た。また同一放水量における各ノズルの消煙効果を比較するために、使用水量に対する煙濃度の減衰率の割合を次式から求めると表2のようになる。

$$S = \frac{\text{煙濃度の減衰率 (\%)}}{\text{使用水量 (l)}}$$

S : 1 l 当りの煙濃度の減衰率 (%/l)

表2から分るようにスパイラルノズルではノズル圧力が高くなるとSの値も大きくなり、7頭充円錐ノズルでは逆に小さくなる。また、充角錐ノズル及び充円錐ノズルではノズル圧力が変化してもSの値はほとんど変わらない。噴霧放射を2分間行って見透し距離が2m以上となり、かつ、Sの値が大きいのはスパイラルノズルでノズル圧力30 kg/cm²以上の噴霧放射をした場合である。従って、単位水量で比較した場合には、消煙効果の最も良いノズルはスパイラルノズルである。

5. おわりに

本実験はノズル圧力30 kg/cm²以下の噴霧放射においてどのような噴霧を放射すれば最も良い消煙効果が得られるのか、また、消煙効果をどのように評価すればよいのかを検討するために行ったものであるが、これまでの実験では消煙効果と噴霧の放射形状、放水量の分布状況、有効放水射程、噴霧粒子径、噴霧の放射速度等とがどのような相関関係を持っているのかは十分に解明できなかったため、今後さらに実験を継続し解明していくと共に、異なった構造又は口径のノズルについての実験も進めていきたい。また、実火災において発生する煙に対する消煙実験も行っていく予定である。