

移動式静電消煙機

Portable Type Smoke Extinguisher

清国宣明* Nobuaki Kiyokuni・難波泰明** Yasuaki Nanba

I. まえがき

ビルや地下街で発生する火災で怖いのは炎よりも煙である。大量に発生した煙により視界がさえぎられ、避難出口がわからなくなって大惨事となった例は多く、これに対して建築基準法や消防法では、建物の種類、用途に応じて排煙設備を設置するよう定めている。しかし、床面積 100 m² 以下の空間については排煙設備の設置が義務づけられておらず、このような場所での対策は今後の課題となっている。

また、火災時に消防隊が到着しても、煙のために進入経路がわからないとか、火元が確認できないために消防活動が妨げられるということもよくきくところである。

これらの煙対策としてわれわれは「排煙」ではなく、静電気の微粒子を吸着する性質を利用して、火災時に煙の充満している場所に運びこみ、見通しをじゃまする煙の中の微粒子を吸着あるいは床上に沈降させて、火災現場の状況確認をしやすくし、消防活動を効果的に行うための移動式静電消煙機（第1図）を開発したのでその概要を報告する。

II. 静電消煙機の原理

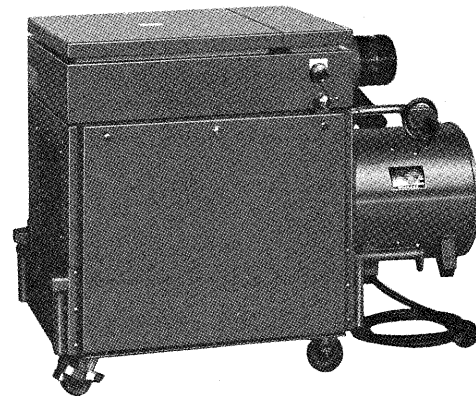
この機械は静電集じん機と送風機から構成されている。第2図に示すように煙は送風機によって吸い込まれ、煙の中に含まれている炭素や灰分などの微粒子あるいは水分、タール分などのミストが帯電部の放電空間を通過する時に荷電され、その後方に設けられた消煙・凝集部に極板に吸着されるか、あるいは微粒子どうしが静電気の力で凝集・粗大化し、床上に沈降する。煙の中の微粒子の数が減少すれば光の透過率が向上し、見通しが改善される。

一般の集じん機では汚染ガスの1回の通過でこれを清浄化し、排出ガス中のばいじん濃度をできるだけ低くすることが要求されるのに対し、消煙機では煙の中の微粒子を単位時間内でできるだけ大量に粗大化して見通しを良くすることが重要である。

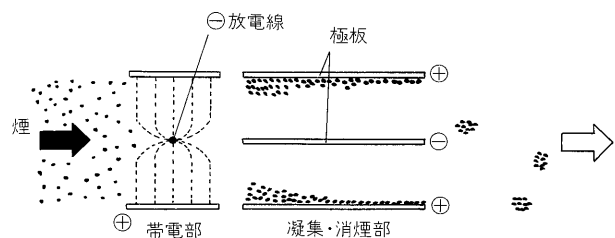
1) 集じんによる見通しの改善

一般に煙の濃さを示す単位として減光係数 C_s が用いられる。

$$C_s = \frac{1}{L} \ln \frac{I_0}{I} \quad \dots\dots\dots (1)$$



第1図 移動式静電消煙機
Fig. 1. Portable type smoke extinguisher



第2図 消煙の原理
Fig. 2. Principle of smoke extinguish

ここで、 L : 測光距離 (m)

I_0 : 煙がない時の光の強さ

I : 煙がある時の光の強さ

一方、煙中の光の減衰は、

$$I = I_0 \exp(-\alpha \cdot C \cdot L) \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表される。

α : 吸光係数 C : ばいじん濃度 (g/m³)

式(1)と式(2)より、

$$C_s = \alpha \cdot C \quad \dots\dots\dots (3)$$

すなわち、減光係数はばいじん濃度と吸光係数の積に比例することがわかる。今、消煙機を通過することによって、ばいじん濃度が C_1 から C_2 ($C_1 > C_2$) に低下したとすると集じん率 η は、

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (4)$$

で示され、同時に煙濃度も消煙効率 η_{cs} で示される効率

$$\eta_{cs} = \frac{C_{s1} - C_{s2}}{C_{s1}} \times 100 (\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 = \eta \quad (5)$$

* 中央研究所 ** 建設技術部

で低下する。

なお煙濃度 C_s と見通し距離 D (m) との間には次の関係があるとされている。

$$C_s \cdot D = K \cdots \cdots (6)$$

K は定数で反射形標識の場合には 2 ~ 4

K は定数で発光形標識の場合には 5 ~ 10

2) 煙粒子の凝集・粗大による見通しの改善

火災時の煙粒子の大きさは $0.1 \sim 10 \mu$ 程度であろうといわれている。消煙機によって煙粒子はいったん極板上に吸着されるが、ある程度以上極板上に推積すると気流のために部分的にはく離し、再び気流中に飛散する（再飛散現象という）。この再飛散した粒子の大きさは元の粒子に比べて非常に大きく、数十 μ ~ 数 mm のオーダに達する。これが静電集じん機による凝集効果である。

今、消煙機の入口、出口のばいじん濃度 C_1, C_2 が等しく、粒子径は $r_1 < r_2$ と凝集した場合を考えると、吸光係数 α が変化し、概略 $\alpha \propto r_1/r_2$ となる。すなわち、同一重量濃度の煙の場合には粒子径が n 倍大きくなると吸光係数は $1/n$ となり、したがって、煙濃度 C_s も $1/n$ に低下し、見通し距離は n 倍となる。

さらに凝集・粗大化した粒子は空間での沈降速度が大きくなるため、消煙機通過後は急速に床上に落下し、見通しは上述した以上に改善される。

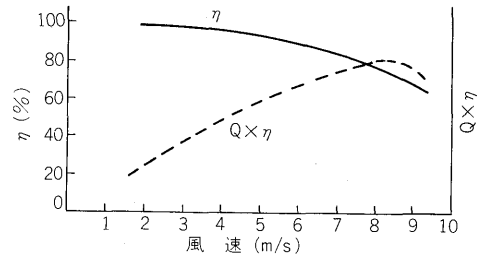
3) 消煙機による見通し改善効果

消煙機の消煙効率を式 (5) の η_{cs} 、消煙しようとする部屋の容積を V (m³)、この部屋へ流入する煙の量を $K(C_s \cdot \text{m}^3/\text{min})$ 、消煙機の処理風量を Q (m³/min)、消煙機運転開始時点の煙濃度を C_{so} とし、消煙機を通過して煙粒子が除去された空気は直ちに部屋中に拡散すると仮定すれば、煙の濃度は時間とともに、

$$C_s = C_{so} \exp\left(-\frac{Q\eta_{cs}}{V}t\right) + \frac{K}{Q\eta_{cs}} \left\{1 - \exp\left(-\frac{Q\eta_{cs}}{V}t\right)\right\} \cdots \cdots (7)$$

で変化する。式 (7) の右辺第 1 項は運転開始時に存在していた煙が指数関数的に減少することを示し、もし、室内に発煙源がなく、また室外からの煙の流入もなければ煙濃度は $V/Q\eta_{cs}$ の時定数で減少する。第 2 項は発煙源もしくは煙の流入による項であり、 $K > 0$ であれば、 C_s は $K/Q\eta_{cs}$ の平衡点に漸近することを示している。

式 (7) からわかるように消煙機の性能は消煙効率 η_{cs} だけでなく、処理風量 Q と消煙効率 η_{cs} の積で左右される。一般に静電集じん機の風速と集じん率は第 3 図に実線で示すように風速が大きくなると集じん率が低下する傾向があり、一過性の一般の集じん機では集じん率を重視して、風速 $2 \sim 3$ m/s で η が 90% 以上の範囲で使用するが、消煙機では $Q \cdot \eta$ が最大になるように風速 $7 \sim 8$ m/s とするのが効果的である。



第 3 図 風速と集じん効率

Fig. 3. Efficiency characteristics

III. 消煙機の仕様

今回開発した移動式静電消煙機（外観は第 1 図）の概略仕様を第 1 表に、外形寸法図を第 4 図に示す。

本機は消防隊員が火災現場に持ち込み、消火活動をスムーズに行うことを主目的としたため、安全性はもちろんであるが、装置のコンパクト、軽量化に配慮している。

運搬は通常 3 人で行うが、消煙部本体とファンを分割することも可能である。第 5 図に運搬中の一例を示す。

各部分の特長を列記すると、帯電・凝集消煙部は軽量化のためアルミ板を使用し、高濃度の煙による絶縁物表面の電気漏えいを防ぐためにいし部に特別の配慮をされており、さらに保守・清掃が容易にできるようにしている。

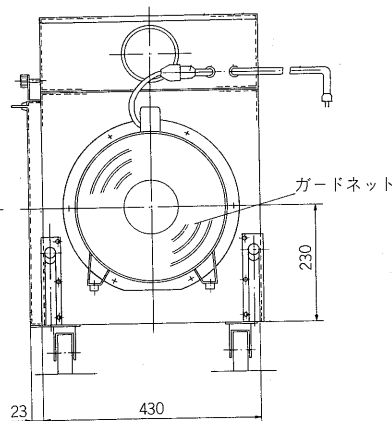
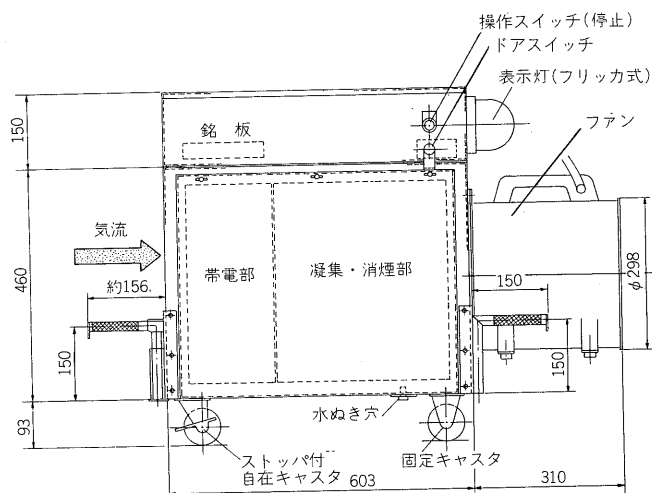
ファンは小形・軽量化のために 2 極モータを使用して大風量を得ており、風管を取り付けて排気ファンとして使うことも可能になっている。また強力な赤色フリッカランプによって煙中で消煙機の位置および運転状況を監視することができる。

また、所要電源容量は 1 kW 以下であるので、商業電源、非常用電源あるいは可搬形エンジン発電機のいずれでも使用できる。

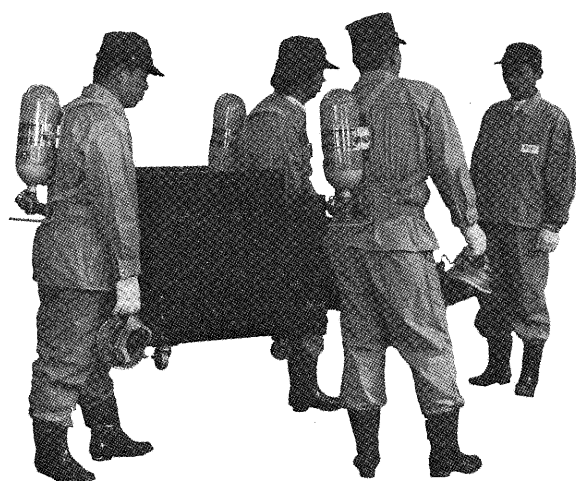
第 1 表 移動式静電消煙機の概略仕様

Table 1. Specifications of portable type smoke extinguisher

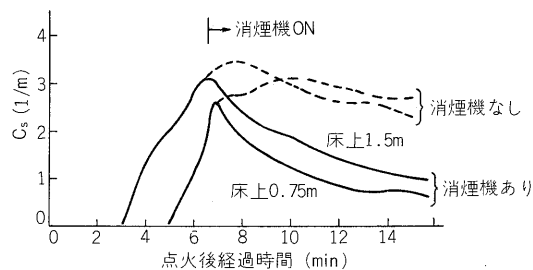
項目	内 容
消煙性能	容積 150 m ³ の室が減光係数 2 の煙で充満され（見通し距離 1 ~ 2 m）、さらに 20 $C_s \cdot \text{m}^3/\text{min}$ の煙が流入している状態を本機 2 台により 5 分以内に減光係数 0.5 以下とする（見通し距離 4 ~ 8 m）。
定格風量	50 m ³ /min
静圧損失	10 mmAq
電源容量	AC 100 V 50/60 Hz 800/900 W
寸 法	430 × 610 × 960 (mm)
重 量	72 kg



第 4 図 外形寸法図
Fig. 4. Dimensions



第 5 図 運搬状態
Fig. 5. Carrying appearance



第 6 図 消煙実験結果
Fig. 6. Smoke extinguish effect

IV. 試験結果

某ビルにおける火災実験時に測定した消煙結果を第 6 図に示す。火災室と廊下を隔てて対向した約 120 m³ の部屋に本消煙機を 1 台設置し、点火後 6.5 分で運転を開始したところ、5 分後には床面上約 1 m の点の煙濃度は C_s 2.6 から 0.8 に低下しており、消煙機のなかった隣室の同じ位置の煙濃度が同時刻に $C_s \div 3$ であったのと比較

すると十分その効果が認められた。またこの特性は式 (7) ともよく一致していることが確かめられた。

V. 消防隊以外の用途

この消煙機は消防隊が持ち込む以外に種々の用途が考えられる。たとえば電力会社やガス会社など公共性の強い事業所の地下変電所などで火災が発生した場合には一刻も早く状況を確認する必要がある、このためにはまず見通しを良くすることが先決問題となる。このような場合に、まず、消煙機で見通しを回復すれば、緊急復旧に有効であると考えられる。

また、燃焼実験時の煙処理や溶接工場などで発生する煙を手軽に処理することも可能である。

なお、この原理を応用して工場内で発生する粉じんやミストを集じんして工場環境を改善する機器も用意している。

VI. あとがき

今回開発した移動用静電消煙機はすでに某消防署に配備され、実際の消火にも出動を開始している。

本機は火災時に消防隊が持ち込むことを主眼としたものであるが、この原理を利用して避難路の見通しを改善し、人々を安全に避難誘導させることも可能であろう。特に地下街やビジネスホテルなどでは有効と思われる。

煙対策には建物の構造、建築材料、防災設備や消防対策などの多面的な検討が必要であるが、本稿が多少とも参考になれば幸いであり、関係各位のご叱正を頂ければ望外の喜びである。今後とも頂戴したご意見をもとに改良を続け大方の期待に沿うよう努力する所存である。

最後に、消煙機開発にあたり多大なご指導を頂いた東京消防庁・消防科学研究所の皆様、特に第 3 研究室の上野宰室長殿、加藤勝文主査殿、島光男主任殿の諸氏に対し心から深甚の謝意を表する。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。