

発煙筒の燃焼時の生成ガスについて

* Combustion Gases of Smoke Candle

薩 佐 之 久*

鈴 木 豊*

概 要

訓練中に、発煙筒の生成ガス或いは粉塵（以下「生成ガス等」という。）により、目や喉の痛みを訴えるケースがある。

このことから、訓練で使用されている数種類の発煙筒を小空間で発煙させ、生成ガス等についての分析や着火時の危険性について実験を行った。

その結果、密閉された小空間において、発煙筒を使用した場合、発煙筒によっては生成ガス中に一酸化炭素の他、塩化物或いは、粉塵等の量が人体に影響を及ぼす濃度に至るものがあり、また、着火時火の粉が飛散し火傷の危険性のあるものもあった。

ここに、生成ガス等の検出状況、並びに着火時の危険性等について報告する。

There are cases in which firefighters complain pains in their eyes and throats during drills using smoke candles.

We analyzed the combustion gases of smoke candles. The smoke contained CO, NO_x and chloride gases.

There was also measured a large quantity of dust.

1. はじめに

最近、発煙筒はその用途として、防災訓練や気密試験などに盛んに使用されるようになってきている。その使用に際して訓練を行った人から目の痛みや喉の痛みを訴えるケースが発生している。

過去において、発煙筒を使用した訓練で多数の訓練実施者が発煙筒からの燃焼生成ガスを吸い中毒症状を訴えたケースが記憶に新しい。

このような状況を踏まえて、安全サイドの基礎的データを得るため、小区画での高濃度中の煙の中に含まれるガスや物質の分析データを得たのでここに報告する。

2. 実験項目

訓練用に使われている発煙筒について、次の二つの項目について実験を行った。

- (1) 実験Ⅰ 発煙筒の燃焼生成ガス等について
- (2) 実験Ⅱ 発煙筒の取扱上の安全性について

3. 実験設備等

(1) 実験供試体

今回は、一般に製造されている表1に示す5社の製品の中から、白色、黄色及び赤色発煙筒を供試体とした。

表1 供 試 体

メーカー	供 試 体 の 種 類		
A 社	白色	黄色	赤色
B 社	白色1	白色2	黄色 赤色
C 社	白色	黄色	赤色
D 社	白色	黄色	赤色
E 社	白色	黄色	赤色

発煙時間は1分30秒以上5分以下のものを使用した。

なお、発煙時間の条件として、1分30秒以上5分以下のものを使用した。

(2) 発 煙 室

今回の実験は、発煙筒の燃焼生成ガスのよ

*第二研究室

り安全側のデータを得る目的のため、発煙室の容積を小区画にし、当研究所燃焼実験室を簡易的に間仕切り、試験室及び観測室を設定した。

なお、簡易間仕切りには、透明なアクリル板を用い、発煙室内の状況を観察できるようにした。

発煙室の大きさは、図1に示すとおり $2.59 \times 1.79 \times 2.42\text{m}$ 、容積 11.22m^3 で、一般の和室に換算すると三畳弱の部屋に相当するものである。

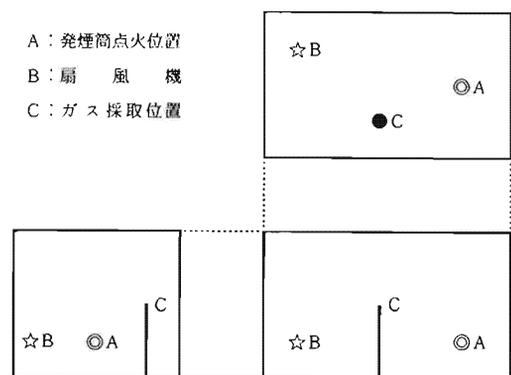


図1 発煙室

(3) 発煙筒の点火位置

図1のA点とし、1回の測定で発煙筒を1本使用し、通常の操作により点火させた。

(4) 環境条件

発煙室は開口部を設けず、図1のB点に扇風機を置き、当該実験室内の煙の濃度を均一にした。

4. 実験I 発煙筒の燃焼生成ガス等について

(1) ガス採取位置

図1のC点にて採取し、人が立位で鼻の高さを想定し床面からの高さを 1.5m とした。

(2) 発生ガス等の測定

測定機器の系統を図2に示す。

ア O_2 (酸素) 濃度

横河電気製ポータブル酸素濃度計OX61型により流量 1 l/min で連続吸引。

イ CO_2 (二酸化炭素) 濃度

富士電気製赤外線ガス分析計ZAR型(測定範囲 $0 \sim 5\%$)により流量 1 l/min で連

続吸引。

ウ CO (一酸化炭素) 濃度

(ア) 富士電気製赤外線ガス分析計ZAR型(測定範囲 $0 \sim 2\%$)により流量 1 l/min で連続吸引。

(イ) 島津製作所製ウラスURA-2S型赤外線ガス分析計(測定範囲 $0 \sim 0.01\%$)により流量 0.5 l/min で連続吸引。

エ HCl (塩化水素)、 HNO_3 (硝酸) 及び H_2SO_3 (亜硫酸)等の物質あるいはそれらの化合物。

流量 2 l/min の供試体ガスを 0.2% の水酸化ナトリウム水溶液 100 ml に10分間吸引させ、高速液体クロマトグラフにより分析を行った。

なお、供試体ガスについては、フィルター(円筒ろ紙)を通過させたもの及びそうでないものの二通りを行った。

オ 粉塵の噴出量

発煙前及び発煙後の発煙筒の重量を測定し、その減じた重量を噴出量とした。

カ 粉塵量

JIS-Z-8808「排ガス中のダスト濃度の測定方法」に準じ、ガラス繊維製円筒ろ紙(アドバンテック、 $25 \times 9\text{mm}$ 、 $1\mu\text{m}$ 以上の粒子を補集)を使用し、約 20 l/min の速度で10分間吸引した。

(3) 実験結果及び考察

燃焼生成ガス等について得られたデータを表2に示してあるが、各生成ガスの発生状況は次のとおりである。

ア O_2 (酸素) 濃度

各供試体ともに発煙に伴う酸素濃度変化は認められなかった。

イ CO_2 (二酸化炭素) 濃度

大気中に含まれる二酸化炭素の濃度は、通常 $300\text{ ppm}^{1)}$ で、この濃度を加算した絶対量として測定し、各供試体ともACGIH²⁾で定める許容濃度($5,000\text{ ppm}$)以下であった。

ウ CO (一酸化炭素) 濃度

B社白色2を除き全ての供試体はACGIHで定める許容濃度(50 ppm)を越えた結果となった。

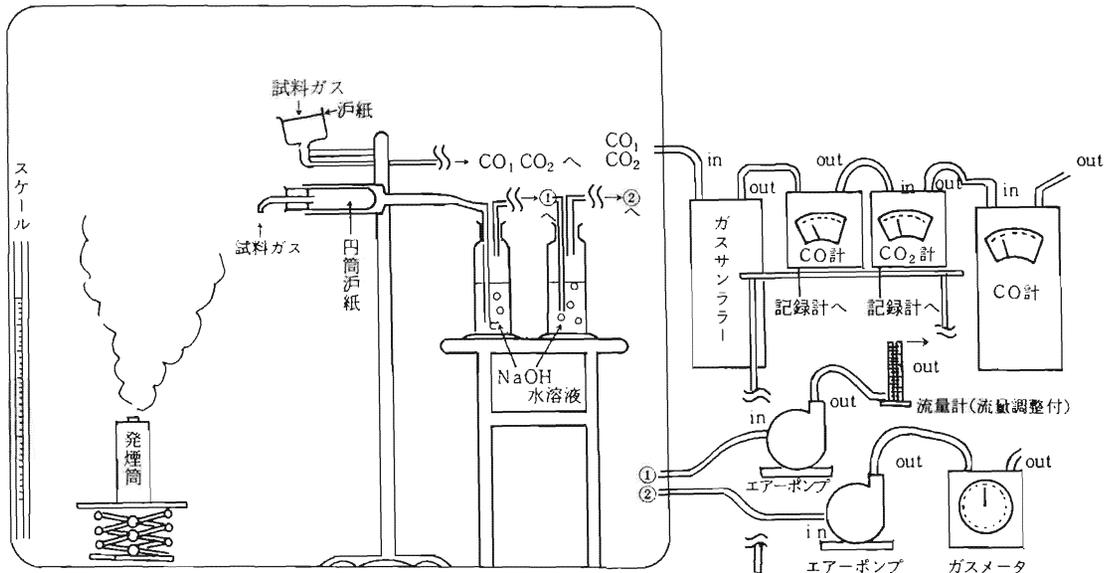


図2 発煙室及び装置

しかし、一酸化炭素に対しての曝露時間による症状を考え合わせると、300ppmで腰掛けた人が1時間曝露したとすると個人差もあるが、めまいや頭痛の症状が表れる。また、作業に従事している場合は、20分で同様の症状になる。³⁾

今回の実験において300ppm以上の平均濃度が測定されたのは、D社白色の460ppmのみで、この濃度で長時間にわたり素面で今回設定した発煙室内にいた場合、一酸化炭素の影響が表れることが考えられるが、実際には訓練室の容積及び新鮮空気の流入等があれば、ほとんどが許容濃度以下になると考えられる。

エ Cl, NO₃, SO₃ (塩酸, 硝酸, 亜硫酸) イオン濃度

Cl, NO₃及びSO₃イオンは、ほとんどの供試体について検出されたが、特にClイオンについては、フィルターの有無により大きく濃度に差が生じた。中でも白色の供試体について図3に示すグラフにより比較してみるとフィルターの有る場合と無い場合とのClイオンの比率は、E社は388倍、D社については88倍、及びB社白色1については68倍となっている。

フィルターがない場合にClイオン濃度が高くなったのは、発煙室内の粉塵(塩化物

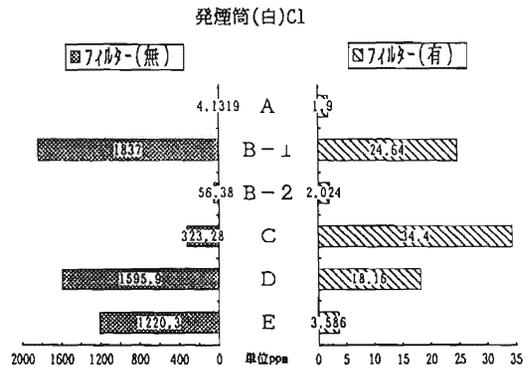


図3 発煙筒白色によるCl⁻の比較

……例えば塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化亜鉛)、あるいはガス(HCl, 塩素, ハロゲン化アルキル)等を直接捕集溶液の中に吸い込んだためと考えられる。

オ 粉塵の噴出量について

B社, C社及びD社の供試体は白色の方が黄色, 赤色に比べ多量の噴出量が認められた。

また, A社の黄色, 赤色は他社とほぼ等量の噴出量であったが, 白色については他社とは逆に減少が認められた。

従って, A社以外の供試体は黄色, 赤色よりも白色に多量の発煙剤が用いられていることが考えられる。

カ 粉塵量

粉塵の許容濃度⁴⁾として日本産業衛生学会は、8 mg/m³の値を示しているが、今回の実験では、最高でその1,280倍、最小で87倍という許容濃度を遥かに越える結果を得た。これは、発煙室を11.22m²の密閉された小区画としたこと、及び発煙筒という通常の作業環境とは異にすること等から考えてやむを得ない。

これらの発煙筒の燃焼生成物の中には、発煙剤だけでなく化学反応による生成物がある。例えば塩化亜鉛などはその一例であり、人体に極めて有害で目や粘膜等、皮膚や喉に強い刺激を与えるものである。

なお、日本産業衛生学会で勧告している許容値 8 mg/m³においての環境を考慮すると、いずれにしても（全ての粉塵が許容濃度を遥かに越えているため）直接煙を吸うことは好ましくない。

5. 実験II 発煙筒の安全性について

目視観測及び体感、発煙筒の炎さらに噴出物等の飛散状況を観察することにより、操作性の安全性について確認を行った。

(1) 実験装置

実験装置は実験Iと同様に図2の発煙室を用いて行った。

(2) 測定方法

ア 目視観測

次の各項目について着火時の炎及び噴出物の飛散状況を観測した。

(ア) 炎の高さ

発煙室内の壁体に設けた高さ1.8mのスケールを用いて、炎の高さを1cm刻みの目盛りで読み取った。

(イ) 炎噴出時間

点火から炎が終息するまでの炎噴出時間をストップウォッチで測定した。

(ウ) 発煙筒周囲の状況

発煙筒をA2版大の上質紙上で、その中央で点火し噴出物及び飛散状況を観察した。

イ 体感

測定者2名により実際に発煙室に入り、刺激臭及び目の痛みについて体感を行った。

(3) 実験結果及び考察

ア 目視観測について

着火時の炎の状態等、目視で得られた結果を表3に示す。

表3から着火時「炎」の噴出時間は、各発煙筒とも10秒以内と、ごく短時間で終息し、特にD社黄色が1秒と着火と同時に発煙に移行している。

表2 煙の有毒性に関する総括表

色	メーカー	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₃ ²⁻ (ppm)	粉塵量 (g/m ³)	噴出量 (g)
白	A	286	900	4.132 1.900	0.299 0.139	0.111 0.411	1.521	64.0
	B-1	210	750	1837 26.64	2.182 0.257	1.467 0.378	7.352	110.6
	B-2	33	1700	56.38 2.024	0	1.340 0.080	2.546	110.5
	C	68	400	323.3 34.40	0.446 0.078	1.566 1.342	3.488	60.65
	D	460	650	1596 18.16	1.912 0.032	1.274 0.350	10.34	214
E	86	4600	1220 3.586	1.215 0.039	6.604 2.091	6.323	209.8	
黄	A	155	1200	3.743 1.104	6.006 0.152	2.316 0.024	2.457	92.0
	B	180	900	5.856 2.690	2.658 8.804	0.230 0.032	2.415	87.2
	C	110	500	4.343 1.163	3.260 0.900	0.679 0.129	1.247	33.1
	D	275	900	25.33 1.520	2.023 0.190	0.668 0.254	2.262	60.2
赤	A	280	1120	2.997 0.663	0.672 0.056	0.783 0.139	1.406	57.0
	B	160	800	8.997 1.975	14.56 6.952	0.484 0.121	1.258	78.9
	C	210	650	0.875 2.179	14.09 4.975	0.708 0.203	0.741	37.1
	D	160	800	17.35 3.380	0.550 1.940	0.192 0.030	0.813	76.7

注1 表中のCO、CO₂は平均濃度を示す。

注2 CO（一酸化炭素）、CO₂（二酸化炭素）の数値は、大気中に含まれた量を加算した絶対量として測定した。（大気中の存在量 CO：0.1ppm、CO₂：300ppm）

注3 Cl⁻、NO₃⁻、SO₃²⁻の上段はフィルター無し、下段は有り。

表3 着火時の目視状況

色	メーカー	炎の高さ	炎噴出時間	発煙筒周囲
白	A	15 cm	4 sec	白茶色粉状：中
	B-1	25	5	黒色粉状：極多
	B-2	10	10	灰色粉状：極少
	C	20	9	白と灰色の粉状1:1：少
	D	30	2	黒い粒：少
E	15	8	白と灰色の粉状1:1：多	
黄	A	15	7	黒い粒：極少
	B	50	5	黒い球状粒子：中
	C	10	3	黒い球状粒子：極少
	D	2	1	灰色黒色粒子：極少
赤	A	30	7	黒と灰色の粉状1:1：中
	B	20	5	黒色粉状：多
	C	10	3	黒色粉状：少
	D	2	2	黒、赤色粉状：極多

また、噴出炎の高さについても発煙筒ごとにまちまちであるが、最高でB社黄色が50cmと比較的大きな炎の立ち上がりとなっている。

従って、着火時一瞬にして火炎が噴出することにより、実施者は腕、手並びに顔面への火傷等に注意を払わなければならない。(写真1)

特にB社の白色1・黄色・赤色は、着火しておおよそ5秒間「炎」が噴出した後、火の粉が発煙室内に飛び散り、白色1にあっては発煙筒の下部に敷いてあった紙を



写真1

燃焼させ(写真2)、黄色では実施者の着衣の袖口に直径1.5mmの焼け抜けを生じさせた。

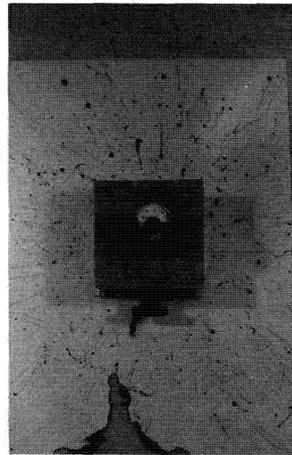


写真2

イ 体感

表4の体感状況に示すとおり、刺激臭及び目の痛みが比較的少なかったのは、A社の白色、黄色、赤色、B社の白色2の4種類だけで、他は刺激臭、目の痛みが共に多かった。

これらの目の痛み、刺激臭は煙を吸った時に感じたことから、発煙剤に起因するところが大であると判断される。さらに、これらの症状は、発煙筒によっては実験終了後長時間に渡り継続するものがあった。

表4 体感状況

色	メーカー	円筒ろ紙内部の状況	刺激臭	目の痛み
白	A	灰色に近い白色	+	+
	B-1	黒色	+++	+++
	B-2	白色	+	+
	C	灰色に近い白色	++++	++++
	D	黒色	++++	++++
	E	白色	++++	++
黄	A	茶色	++	+
	B	茶色	++++	+++
	C	茶黄色	+++	+++
	D	茶黄色	+++	+++
赤	A	濃い赤	++	++
	B	黒に近い赤	++++	++++
	C	濃い赤	+++	++++
	D	黒に近い赤	++++	++++

凡例：++++極多 >+++多 >++中 >+少

6. ま と め

密閉された小空間において、発煙筒を使用した場合、発煙筒によっては、CO、Clイオン及び粉塵の量が人体に影響を及ぼす濃度に至るものがあった。

実際に体感による観察では、刺激臭及び目や喉の痛みが強く感じられるものがあった。これらのことから、発煙筒については発煙生成物が人体に害の少ないものを選択することが望ましい。

結論的には、訓練にはできるだけ煙を吸わないよう注意を心掛けることが必要であるが、次のことに注意することにより事故等を未然に防ぐことができる。

- (1) 実験結果からフィルターによる効果が顕著に表れたことから、煙の中では防塵メガネや防塵マスクなど簡易的なものを装着するだけでも、十分効果がある。
- (2) 密閉された狭い空間での使用はできるだけ避け、濃い煙及び長時間煙を吸わない。
- (3) 訓練終了後は目や喉を洗い、新鮮な空気のもとで十分休養をとる。
- (4) 体調の悪い時はできるだけ煙を吸わない。

(5) 訓練等で発煙筒に着火する場合は、皮膚を露出させないで、衣類により皮膚を保護すること。

(6) 周囲の可燃物からの距離に注意を払うこと。

7. 参 考 文 献

- 1) “化学大辞典” 共立出版
- 2) American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- 3) 東京消防庁消防科学研究所：“火と煙と有毒ガス” 東京法令出版
- 4) “許容濃度等の勧告(1988)” 日本産業衛生学会
※ ACGIH及び日本産業衛生学会で定める許容濃度は、労働時間中の平均値を意味しており、労働者が有害物質に曝露される場合に当該物質の空气中濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響がみられないと判断される濃度である。
従って、発煙筒により生成されたガス等の環境下では、根本的に人体への曝露条件が異なり、ここでは、比較として、この許容値を引用した。