

Fig. 1 Outline of apparatus

当)における減衰式は前と同じく、

$$I = I_0 \exp(-\kappa a C)$$

$$I/I_0 = r$$

$$W = CV.$$

$$C = (-\ln r) / (\kappa a) \text{ これより}$$

$$\kappa = V(-\ln r) / (Wa)$$

微分法でも積分法でも同じ κ が得られる。また自然対数でなく常用対数で考えてもよい。

可視部で実用な表現としてTOP(Totally obscuring power)が吸光係数 κ よりもよく使われる。

発煙材1kgからの煙を厚さ a の均一濃度の層にしたと仮定したときの広がり面積を W とす、ただしその層の光透過率は2%とする。この2%は視認能力に関する数値である⁵⁾。1.25%⁶⁾の方式もある。積分法で $r = 0.02$ とおけば $TOP = 0.256\kappa$

2.2 燃 焼 器

ステンレス板とアングルで組み立てた容積260 lの燃焼室とその上部側面の排気口($\phi 200\text{mm}$)に直結した塩ビ製シロッコファン(日立製 POSV-RH, 20 m³/min), 可変定速モーター(日立製 HC-B 0.4 kW)よりなり、空気取入れ口(200mm \times 200mm)に流速測定用の

ピトー管4本組(ウェットマスター社取扱ケンブリッジ型)を備える。

煙は大量の空気と共にファンに吸い込まれ激しく攪はん混合されて断面角型2 m長のダクトを通じ屋根上に排出される。排出口に近いダクト断面上でカノマックス社製アネモマスター-6141型熱線風速計により9点の平均風速をファンの回転数を変えて測定したところピトー管による値は数%高く出た。場所が狭くピトー管使用条件がやや悪いためかも知れない。熱線風速計は目盛りが細かく、かつ多数の平均を求めたので、これを基準とした。13℃から29℃までの気温変化が排気速度に及ぼす影響は実測されなかった。ファンの直上、光束通過部の下部に透明の短い管(170mm \times 190mm \times 100mm)を挿入し煙の混合状態を観察するに全く均一に見えた。熱線風速計の指示の変動は激しい乱流を示すので、十分混合されていることを意味する。従ってダクトを横切る測定光束の太さは直径約2 cmに過ぎないが、壁面ごく近傍を除き全断面を代表していると考えて良からう。

光源、受光器とダクト壁との間隔は振動を伝えないために1 cm程度あけて独立に保持する、ダクト壁に光

の出入口として直径3cmの2孔を相対して設ける。ここにはガラス窓を用いたが、無くても差し支えない。無い場合煙の逸脱、外気の吸い込みは僅かに認められた。

2.3 可視光源と受光器

発煙材使用時の光源、例えば野外使用ならば野外のその時々を光を用いるのが理想的であるかも知れないが、不可能である。そこで照明学上のC、D₆₅光源が自然界の模擬光源として最適となるが、特定の電球と特殊のフィルタ⁷⁾を用意しなければならない。そこで取扱の簡単のために普通の白熱電球よりは白色に近い光⁸⁾(3000K以上)を出すハロゲン豆ランプ(東芝4.8V、4W)をオリンパス光学製顕微鏡用光源セットLSG-2型に組み込んだ。

電源は三端子安定素子(NEC14305)によるものである。

ランプの種類による色温度の差が煙の透過率測定値に及ぼす影響は煙の分光透過率の波長依存性が一般に強くないため、小さいと想像されるが、電球交換には同種が望ましい。煙の光吸収は固体・液体粒子による光の散乱と吸収により起こるので鋭い吸収スペクトル線などは含まれない。

受光器にはモリリカ電機製のセレン光電池を用いたが、フォトダイオードも利用できる。前者は径40mm、暗時の内抵抗感度は文献値⁹⁾とほぼ一致していた。本来セレン光電池は受光量と電流が比例するのであるから、感度は落ちるが、出来るだけ負荷が小さい方が良く、文献⁹⁾のFig. 63aより中間をとり47Ωとした。正比例領域は0~2500LUX以上までである。セレン光電池は波長感度曲線が肉眼に似ているので、感度補正用フィルターを必要としない利点がある。しかし慣れの効果が大きいので、30分100%光に曝してから測定にかかる。

フォトダイオードの時は受光面が小さいのでレンズで光をほぼ集束した。完全にビントを合わせない方がよい。感度の波長依存性は大略肉眼に近いとはいえ補正フィルターの使用が望ましい。しかし入手出来なかったのでフォトダイオード受光器は殆ど使っていない。何れの場合も一回の測定中光源との位置関係は変えてはいけない。

2.4 IR源と検知器

吸光分光計用線源にはグローバー灯等が使用されるが、性能がたいして劣らぬニクロムのリボンを用いた市販の自動車用シガーライターを利用した。接続箇所はすべて硬銅付けした。リボンは密に巻いてあり正面からは黒体に近く見え好都合である。電源は市販の定電圧電源で5Aを通電した。ミノルタ放射温度計IR

600によると放射率を1としてほぼ900℃である。定格の12Vでは過熱する。このIR源の直前で4枚羽のアルミ製チョッパーを60rpmの同期モータで回転させた。

検知器としては近時はTO-5型の熱電堆や焦電素子が安価に入手できる。共に常温で使用できる。前者はそれ自身の熱的時定数で、後者はその時定数と内蔵アンプの時間特性とで時間レスポンスが決まるが、市販品は1秒あたりに最大感度がある。ここでは村田製作所製、堀場製作所製の焦電素子¹⁰⁾を使用した。

従ってチョッパーが必要である。なお可視光の場合では視野角が狭い形(平行光入射)で使用できるので、S/N比が良くチョッパーは不用である。従って回路は直流的になる。IR測定では波長帯域を規定することが多いが、焦電素子は熱電堆と同じく広い範囲にわたり感度の波長依存性が小さい。目的の通過帯のフィルターを素子の直前に挿入する。近赤外域ではS/N比が良く測定が楽である。

2.5 電気回路

2.1項の計算をアナログ回路で行わせる。可視部測定では光量を電圧(1V程度)に変換した後、増幅(741)し対数化(AD755N)し、パルス化(AD450J)し、周波数が高すぎるので1/10(SN7490)に減じて後、積算値を表示(TR5101)させる、これに定数を乗ずれば吸光係数となる。

光が煙で完全遮断されたときは無限大Hzに成るべきだが現実には10kHzで飽和する。実際は煙濃度は無限大にならないから差し支えない。

確認のために黄銅の金網につきミットヨ機械工作用投影拡大器で幾何学的寸法を計り、これより透過率(63.7%、50.2%、22.7%)を算出し、これを直線応答性の確認に用いた。この種の減光板は波長依存性がない減光フィルターである。その結果3%の差があったが光束が完全平行でないからであろう。

IRの時は焦電素子出力を千倍にTEAC製SA-15増幅器で増幅し、2Hz高域濾波器で零点移動を防ぎ、全波整流器で直流化、ついで1Hz低域濾波器で平坦化し、出力の低い中波赤外では残留直流分が記録に邪魔になるので直流バイアスを加えて消去し、出力をナショナル製VP-6537Aペン書きレコーダーに記録する。これで百分率記録を得るが、上記の3種金網フィルターで直線性に対し補正をする必要があった。これはセンサーの内蔵増幅器か濾波器かどちらかの特性が低電圧部で良くないためであろう。

補正した透過率より2.1の式に従い吸光係数 k を求めた。

2.6 測定例

典型的の処方¹⁾である六塩化エタン(HC)を主成分

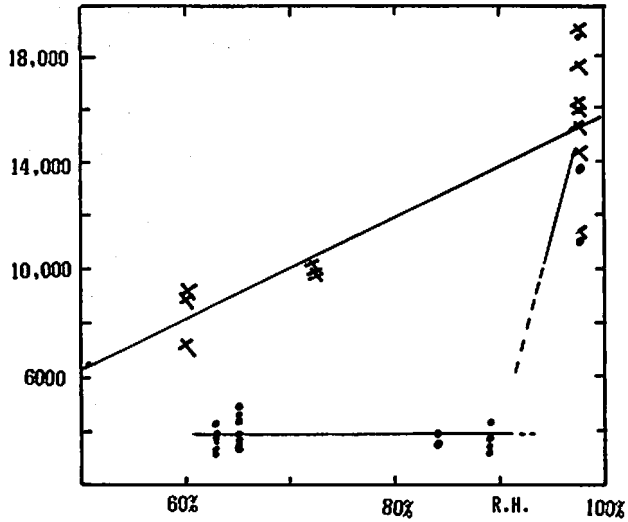


Fig. 2 Visual extinction coeff. (M.K.S. unit) vs. relative humidity Dot: Hexachlorethane-Al-ZnO smoke, Cross: Red phosphorous smoke

Table 1 Observed extinction coefficients at R. H. 76% in M. K. S. unit

Wave length (μ)	3.2-5.2	8.3-17
Hexachlorethane-Al-ZnO smoke	1.1×10^2	7.8×10^2
Red P. smoke	6.5×10^2	7.2×10^2

Figures are averaged from two or five data which are scattered within 7-25%.

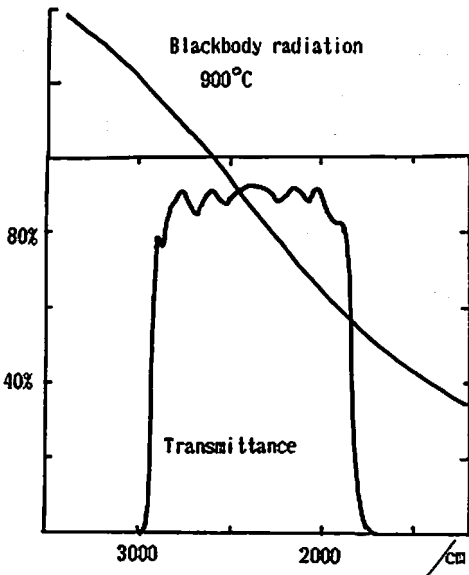


Fig. 3 (a) Transmittance of 3-5 μ filter and Planck radiation in arbitrary unit

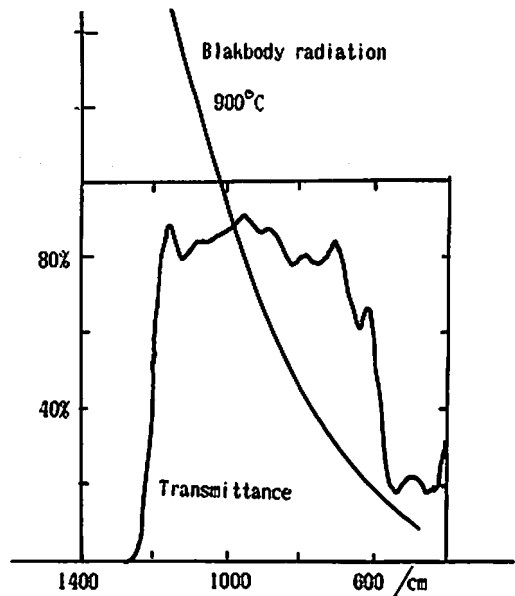


Fig. 3 (b) Transmittance of 8-16 μ filter and Planck radiation in arbitrary unit

とした組成粉末 (Al 9.0%, HC 44.5%, ZnO 46.5%) を直径 12mm, 長さ 1-3 cm の円筒型にプレスした発煙材と赤燐粉末との燃焼煙で可視と赤外において下記の結果を得た。前者は着火用に大粒の Mg 粉を用いた, その分の煙の影響は僅かである。薬量は 0.5-10 g の範囲である。

湿度はアースマン通風乾湿計に依った。

近赤外部では3.2-5.2 μ 、中赤外部では8.3-17.2 μ の SPECTROGON 社製バンドパスフィルターを使用した。その吸収曲線を Fig. 3(a)(b) に示す。得た吸光係数は文献¹¹⁾の値と大体合っている。

3. 検 討

可視及びIR部における煙の光学濃度測定装置を試作し、使用するに誤差範囲において正しい値を与えたとと思われる。吸光係数の精度は2~4%程度かと思われる。結果の再現性に及ぼす最も大きな影響は試料の燃え方の不均一性で、発煙材は普通は完全燃焼組成比からは離れており燃焼し難く、推測するに残葉の発生、化学反応の多岐性¹²⁾、燃焼面から煙になる分散度等が一定し難いためであろう。

時間応答性は受光素子と回路の特性で決まる。1秒位である。早い必要は無く結局積分するので結果には影響しない。

この測定器の目的は煙の透過光に関するものであるが、反射光を測ることも同じ装置の僅かの変更で出来る筈である。

受光器出力はアナログ回路で処理したが、百分率の信号をパソコンに導いて同じ結果を得ることが出来よう。そのための出力端子を付した。IRの時も直流化出力をパソコン処理できよう。

テストでダクト内流速が2.73 m/sで試料数gが数秒で燃焼し尽くす状態において煙の逆流等の支障が無かった。最高流速12 m/sではより大きい燃焼速度でも処理できるはずである。

試験後気付いたことは、ダクトにおける煙層の厚さ0.17 mでは透過率がやや大に過ぎるので、2倍位にした方が測定し易いであろう。

本装置では直進する光の他に光路及びその近傍に発生する散乱光も視野に入り透過光として測定される。これは可視部とIR部では量的には多くはない、紫外部では大きいであろう。

煙粒子の吸湿性のため湿度の影響¹³⁾は大きく、常に留意する必要がある。

文 献

1) AD/A001859 A. A. Shildolovskii : Principles of

pyrotechnics, Foreign Technology Division, Wright Paterson Air Force Base, U S A (1974) p. 408

2) AD/A025-509 NWSC/CR/RDTR-28 Henry A. Webster, Forrest L. Burton : Smoke Color Measuring Instrument, Naval Weapons Support Center, U S A (1979)

3) 渡辺彰夫, 竹本昭夫, 安全工学 10 164 (1971)

4) Herbert Ellern, Military and Civilian Pyrotechnics, Chem. Publish. Co. (1986) p. p. 150. 372

5) AD072166 J. P. Podzimek, Survey of technics for cleaning of military smoke clouds, Univ. Missouri, 1979

日本色彩学会, 色彩科学ハンドブック p. 801 (昭57)

6) Engineering Design Handbook Military Pyrotechnic Series Part III, Design of Ammunition for pyrotechnic effects AD780673 AMCP706-188 (1974)

7) 水島容二郎, 中村信哉, 友田宜忠, 川崎正美, 日本写真学会誌 20 96 (1958)

8) Phillip H. Paul, Sidney A. Self, Rev. Sci. Instr. 59 260 (1988)

色彩科学ハンドブックのp. 70

9) John W. T. Walsh, Photometry, Constable & Co. (1953) p. 103

10) 高見勝巳, 須田 匡, 古閑 正, 応物誌, 37 147 (1963)

William L. Wolfe, George J. Zissis, The Infrared Handbook, Revised Ed. 11-27 (1985)

11) A. L. Turetsky, G. P. Young, 13th Internat.

Pyrotech. Seminar 1988 p. 805

Engineering Design Handbook, Military Pyrotechnic Series Part IV Design of Ammunition for Pyrotechnic Effects AD780673 AMCP706-188 (1974)

A two-way optical densitometer for smoke

Yojiro MIZUSHIMA

An extinction coefficient-measuring apparatus for visible and infrared regions was developed which was composed of a combustion chamber, a blower, ducts, a small halogen lamp as a light source, a selenium cell and an analogue circuit. A counter in the circuit integrates pulses whose frequency is proportional to logarithm of reciprocal intensity of light transmitted through smoke in the duct. In the case of IR a cigalighter of car with a chopper as a radiation source and a pyroelectric sensor are utilized. The apparatus is inexpensive, gives almost directly coefficients and can deal with a large quantity of smoke in spite of its small size. Some coefficients are given in a table and a figure as examples.

(*HOSOYA KAKO Co. Ltd., Sugao 1847, Akigawa, Tokyo, Tel. 0425-59-2578
Fax. 0425-59-2413)
