

土木研究所資料

道路トンネル内浮遊粉じん調査(2)

—実トンネル模擬実験による煤煙性状調査—

昭和51年3月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

ま え が き

我国の道路トンネル換気の主対象は自動車から排出される煤煙（黒煙）であり、都市内トンネル等を除く一般のトンネルでは煤煙に対して換気を行えば他の有害成分についても許容濃度以下とすることができ、トンネル内煤煙については昭和30年代以降各関係機関において調査研究が行われ、その結果、現在は煤煙に対する光の透過率を用いたトンネル換気設計手法が一応確立されている。しかし、従来の調査研究では、自動車の黒煙が発生してからトンネル内に拡散し、トンネル内煤煙として測定されるに至るまでの過程を一連のものとして明確にとらえているものは少なく、また、トンネル内煤煙そのものの性状についてほとんど明らかにされていないのが現状である。

一方、最近では、トンネルからの排出ガスがトンネル周辺の環境に及ぼす影響を考慮する必要のある場合も見受けられる。この場合に取扱われる煤煙は重量濃度（ mg/m^3 ）単位を慣用しているため、トンネル内換気に用いている煤煙透過率の単位（ $\%/100m$ ）との相関を明らかにしておくことが必要である。

本報告書は、道路トンネル内の煤煙の性状について、供用中のトンネルに近い状況下で実施した模擬実験から得られた結果を紹介するものであり、上述の問題解決の一助となれば幸いである。

道路部トンネル研究室	室長	今田	徹
	主任研究員	水谷	敏則
		平江	哲
		丸山	要

まえがき

1. 実験目的	1
2. 実験項目	1
3. 実験期間	1
4. 実験場所	1
5. 実験方法	1
5.1 概要	1
5.2 煤煙発生装置	2
5.3 測定器類	2
6. 実験条件の設定	5
7. 実験データの整理方法	6
7.1 トラックが排出する煤煙測定に関するデータ	6
7.2 トンネル内の煤煙測定に関するデータ	7
7.3 実験データの検証	8
8. 実験結果	11
8.1 トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との比較	11
8.2 煤煙の重量濃度と光学濃度との比較	12
8.3 煤煙の分光透過特性	14
8.4 比色式透過率計の特性	15
8.5 S-4透過率計とSBC透過率計の特性比較	15
8.6 煤煙の散乱角特性	15
8.7 煤煙の粒径分布	16
8.8 煤煙の組成分析	16
8.9 その他	16
9. まとめ	17
9.1 トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との関係	17
9.2 煤煙の重量濃度と光学濃度	17
9.3 煤煙の分光透過特性	17
9.4 その他	18
10. 謝辞	18
11. 参考文献	18
付 表	19
付 図	43
写 真	85

1. 実験目的

実験は次に示す内容を明らかにすることを目的として行った。

- (1) 自動車が排出する煤煙量（または濃度）とトンネル内拡散後の煤煙量（または濃度）との希釈収支関係
- (2) トンネル内煤煙の光学濃度（透過率）と重量濃度との関係
- (3) 煤煙の物理的性質とこれが濃度測定に与える影響

2. 実験項目

測定ならびに測定結果の検討を行った主な項目は次のとおりである。

- (1) 自動車からの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との比較
- (2) トンネル内煤煙の重量濃度と光学濃度との比較
- (3) トンネル内煤煙の分光透過特性
- (4) 各種透過率計の特性比較
- (5) トンネル内煤煙の散乱角特性
- (6) トンネル内煤煙の組成分析

3. 実験期間

昭和50年1月27日～昭和50年1月31日

4. 実験場所

一般国道25号線（名阪国道） 三重県鈴鹿郡関町 関トンネル（上り線）

延長	1140m
幅員	車道7.2m 側帯0.65m×2
内空断面積	53m ² （内ダクト断面積9.9m ² ）
縦断勾配	+0.5%（980m）、-5.3%（160m）

5. 実験方法

5.1 概要

本実験は関トンネル（上り線）の中央部と出口部を閉塞して煤煙が外部に漏れないような実験環境をつくり、この中で試験用のトラックを走行させることにより煤煙を発生させたのち、上記実験項目に示した各種測定を行ったものである。

煤煙の発生は閉塞したトンネル内において片側車線でトラックを走行させることによって行った。この場合、トラックから排出された煤煙量を測定するため、トラック上にサージタンクを積載しこれを通じて排気ガス（煤煙）を放出するようにした。しかし、サージタンクを通すことにより排気ガス（煤煙）

の性状が変化することとも考えられるので煤煙をサージタンクを通さず直接トンネル内に放出させ、この状態下での実験も併せて行った。

トンネルの閉塞状況を図-1に示す。

5.2 煤煙発生装置

(1) トラック

煤煙発生源として使用したものでその性能諸元を表-1に示す。トンネル内の煤煙濃度の設定にあたっては100mレーザ光透過率計(5.3(2)(c)参照)の指示値があらかじめ設定した煤煙濃度(透過率)に達するまでトラックを500m区間往復走行させた。

(2) サージタンク

トラックの排気口から出た煤煙の量と濃度の測定、および煤煙の濃度を平均化するための装置でその概要図を図-2に示す。

5.3 測定器類

トラックから排出される煤煙量および濃度は、トラック上で図-3に示す測定器によって測定した。また、トンネル内煤煙の光学濃度、重量濃度、その他煤煙の諸特性は図-4に示すように測定器を車道上に設置して測定した。

実験に使用した測定器の一覧表を実験項目(2章)により分類して表-2に示す。以下に各測定器の原理および測定方法について述べる。

(1) 重量濃度測定器

(a) ハイボリウムエアサンプラ(HVAS)

ハイボリウムエアサンプラ(スタプレクス製)は吸入した粉じんをろ紙(グラスファイバ)によって捕集し、得られた粉じんの量から重量濃度を測定するものである。ろ紙の秤量は次の手順により行った。

- ① ろ紙を温度20℃、湿度50%の雰囲気中に約2時間放置する。
- ② 恒温室(20℃)内で直示天秤(最大秤量20g、読取限度0.05mg)を用いて秤量する。
- ③ トンネル内においてサンプリング直前に直示天秤(最大秤量200g、感量0.05mg)を用いて秤量する。
- ④ トンネル内において試料(煤煙)をサンプリングする。
- ⑤ トンネル内においてサンプリング直後に秤量する。
- ⑥ 20℃、50%の雰囲気中に約2時間放置する。
- ⑦ 恒温室内で秤量する。

重量濃度はサンプリング前後のろ紙重量の差、すなわち捕集した粉じんの重量を吸入空気量で除して求められる。

なおトンネル内においてろ紙を秤量したのは秤量する雰囲気の温度、湿度等の条件の相異による秤量誤差をみるためである。

実験にはハイボリウムエアサンプラを4台使用し、うち3台はトンネル内煤煙の重量濃度測定に、残りの1台は煤煙の組成分析用の試料収集に用いた。

(b) シグリスト粉じん計

シグリスト粉じん計は粉じん粒子による光散乱を利用して煤煙の重量濃度を測定するもので、校正粒子としてポリスチロールラテックス粉体が使われている。実験ではこの測定器をトンネル内に設置した透過率計の受光部付近において路面上の高さ1.7 mの位置に吸引口を設置して浮遊粉じんをサンプリングし、指示値（重量濃度単位）を連続記録した。

(c) ダストカウンタ

ダストカウンタ（柴田化学器械工業製 CODE-8001-634）は粉じんに光を当てると同一粉体では粉じんによる散乱光量が重量濃度に比例することを利用して、空気中に浮遊している粉じんの重量濃度を散乱光量から測定するものである。

なお、校正には石英粉じんが使用されている。この測定器はシグリスト粉じん計と隣接して設置し、各実験条件毎の平均値を求めた。

(d) カスケードインパクト

カスケードインパクト（島津製作所製 CS-50）は6段階のステージ（金属プレート）と1枚のろ紙をもち、粉じん粒子の慣性衝突を利用して各ステージに粉じんを捕集しその重量を秤量することにより浮遊粉じんの粒径別の重量分布を求めるものである。金属プレートおよびろ紙の秤量は次の方法によって行った。

（金属プレート）

- ① 粉じんの付着した捕集板（プレート）を直示天秤により秤量する。
- ② 捕集板上の粉じんを払拭したのち再び秤量する。

（ろ紙）

- ① 捕集する前にろ紙を秤量する。
- ② 粉じん捕集後、ろ紙を秤量する。

上記①と②の重量差から捕集した粉じんの重量が求められる。なお各段の捕集粉じんの50%分離粒子径は粒子密度 $\rho = 2.0$ （一定）と仮定して求めた。

この測定器もシグリスト粉じん計とほぼ同じ位置に設置した。

(2) 光学濃度測定器

(a) ハートリッジスモークメータ

この測定器は自動車排気ガス用の煤煙濃度計であり、排気ガス中を光が通過する際に排気ガス濃度に対応して光が吸収されることを利用したものである。測定単位は Hartridge Unit で示され清浄空気中で0%、完全に光が吸収された状態では100%となる。したがって、一般の透過率計の指示法とは逆になる（不透過率）。

この測定器はトラックに積載してガイドパイプおよびサージタンク内の排気ガス濃度を測定した。

(b) 透過率計 A : (1 m レーザ光透過率計)

本実験には 6 種類の透過率計を使用した。これらの透過率計はいずれも市販のものではなく、また一般に使用されている名称もないためこの報告書の中では便宜上カッコ内の計器名を用いることとする。

図-5 に示すように投光部の光源にはヘリウム-ネオンガスレーザ (発振出力 0.2 mW、光波長 633 nm^{*}) を受光部にはシリコン光電池を用いて光路長 1 m の透過率を測定した。この測定器はトラックに積載しガイドパイプおよびサージタンク内の排気ガスの透過率測定に使用した。

なお、この場合、高濃度、高温の排気ガス (煤煙) を測定する必要があるため光学系とガスとの接触面には防じんガラスを設け、適宜清掃を行った。

(c) 透過率計 B : (100 m レーザ光透過率計)

この測定器の光源および受光器は透過率計 A と同じものを使用した。概要は図-6 に示すとおりであり、トンネル内の 100 m 区間における透過率の測定に用いた。

(d) 透過率計 C : (S-4 透過率計)

以下に示す 4 台の透過率計 C~F は、いずれもトンネル内の 100 m 区間の透過率を測定するために用いたものである。この場合、投光部は 4 台とも S-4 透過率計投光部を併用した。この投光部は白熱電球 (150 W) を定電圧点灯し、この光を回転セクタにより 810 Hz の断続光に変調して受光部に向け放射するものである。

この測定器の受光部は投光部から放射され浮遊粉じん中を通過してきた光を光電子増倍管 (S-4 光電面) により光電変換して電気信号に変え、この信号出力から透過率を求めるものである。概要を図-7 に示す。

(e) 透過率計 D : (SBC 透過率計)

この測定器は S-4 透過率計と受光部内の光電変換素子だけが異なりシリコン光電池 (SBC) を使用している。その他は S-4 透過率計と同じであり、100 m 区間の透過率を測定するものである。

(f) 透過率計 E : (比色式透過率計)

この測定器は煤煙中を通過する光が波長依存性を有することを利用し、特定 2 波長の単色光の減衰割合の相違から透過率を求めるものである。受光部に入射した光から干渉フィルタにより 450, 700 nm の光を選択抽出し、光電子増倍管により各々の光について光電変換する。これら 2 つの電気信号の比を演算することによって透過率が求められる。この測定器の概要を図-8 に示す。

(g) 透過率計 F : (分光透過率計)

図-9 に示すように受光部に入射した光から分光器 (回折格子型分光器, 日本光学製) によって 400 ~ 1000 nm の単色光を 50 nm 毎に選択抽出する。この単色光を光電子増倍管 (マルチア

* nm : nano meter, 10^{-9} m

ルカリ光電面)により光電変換して、その信号出力から分光透過率を測定した。

(3) その他の測定器

(a) 簡易ゴニオフォトメータ

図-10に示すように投光部にはヘリウム-ネオンガスレーザを使用した。投光部から出た光は回転中心に集光したのち、直進成分は箱外に出る。回転中心において煤煙により散乱された光が受光部内に入射する。受光部は回転中心を軸として一平面内で自由に回転できる。この測定器を用いて散乱角とその角度における散乱光量を測定することによって煤煙の散乱角特性を知ることができる。

トンネル内煤煙はフレキシブルホースによって導かれ排気用ファンによって一定流速で箱内を流れるようにしている。

(b) 風量計

三杯型風程計で風杯の回転数から風量を求める。この測定器によりサージタンクから排出されるガスの流量を測定した。

(c) 温度計、湿度計

アスマン型通風温湿度計、自記温湿度計、銅-コンスタンタン熱電対を用いてトンネル内およびサージタンク内の温度、湿度を測定した。

6. 実験条件の設定

実験は4日間の日程で行った。第1日目は予備実験、第2, 3日目は本実験、第4日目は補足実験とした。

実験条件は、トンネル内の煤煙濃度を4段階に変え、これにサージタンク使用の有無の条件を組合せることにより表-3のように定めた。

実験番号A、B(予備実験)は主としてトラックからの煤煙発生状態を知ること、および各測定器の動作をチェックすることを目的としてトンネル内の煤煙濃度を適当な値に設定した。

実験番号C~Fはトラックからの排気ガスをサージタンクを通してトンネル内に排出した。トンネル内の煤煙濃度は100mレーザ光透過率計による光学濃度で設定しそれぞれ0.1, 0.3, 0.5, $0.8 \times 10^{-3}/m$ (透過率約80, 50, 30, 15%/100m)とした。

実験番号G~Jはトラックからの排出ガスをサージタンクを通さずガイドパイプから直接排出した。設定煤煙濃度は実験番号C~Fと同様である。

実験番号K~M(補足実験)は測定器の器差検定、トンネル内煤煙の濃度分布の測定、その他不足データの収集、データの確認等を行った。なお煤煙はサージタンクを通して排出した。

7. 実験データの整理方法

7.1 トラックが排出する煤煙測定に関するデータ

- (1) 各実験条件における光学濃度と流量の測定結果を表-4に示す。表中の光学濃度は次式に基づいて算出した。

- 1 m レーザ光透過率計による光学濃度 α_L (m^{-1})

$$\alpha_L = -\frac{1}{l} \log \frac{T}{100} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 l : 測定距離 (m)

T : 透過率 (%)

- ハートリッジスモークメータによる光学濃度 α_H (m^{-1})

$$\alpha_H = -\frac{1}{l} \log \frac{100-K}{100} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 l : 測定距離 (m)

K : 不透過率 (%)

実験番号 C~F の光学濃度は 1 m レーザ光透過率計により、また実験番号 G~I においてはハートリッジスモークメータにより測定した。透過率 (ハートリッジスモークメータにおいては不透過率) の測定はトラックが片道走行する間に 2 回行い、その平均値を求めた。

流量は三杯型風程計出力 (回転数) と校正図 (図-11) から次式を用いて算出した。

$$Q = 6 k S N \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Q : 流量 (m^3)

k : 図-11 から求まる定数

S : 風量計設置部のサージタンクの断面積 (m^2)

N : パルス信号数 (回)

なお、実験番号 G~I においてはサージタンクを通すことによる煤煙の性状変化を調べるためエンジンからの排気ガスをガイドパイプから直接排気した。したがって、流量計をサージタンク内に設置している関係上これらの実験条件では流量測定ができなかった。

トラックの変速器のギヤ位置は往路においてバックギヤ、復路においてローギヤを使用した。

- (2) 1 m レーザ光透過率計とハートリッジスモークメータの出力特性を比較するため同一煤煙濃度中において両測定器による比較測定を行った。サージタンクにおける測定結果を表-5に、ガイドパイプにおける測定結果を表-6に示す。

なお光学濃度の算出には(1)、(2)式を用いた。

- (3) ガイドパイプからサージタンクへの排気過程における煤煙の性状変化を調べるため、ガイドパイプおよびサージタンクから交互に排気ガスを1 mレーザ光透過率計に導いて煤煙濃度を測定した結果を表-7に示す。透過率から光学濃度への換算には(1)式を使用した。
- (4) エンジンから排気するガスの温度をサージタンクおよびガイドパイプにおいて測定した結果を表-8に示す。温度は熱電対温度計による測定値(電圧)から電圧-温度特性曲線を用いて算出したものである。測定は片道2回行い表-8にはその平均値を示した。

7.2 トンネル内の煤煙測定に関するデータ

- (1) ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度の測定結果を表-9に示す。流量の単位は器番④、⑥の場合(ft^3/min)、⑩の場合(m^3/min)である。流量は測定開始時、終了時およびその中間の3回の測定値の平均を使用した。捕集前後のろ紙重量は、トンネル内と実験室内(20°C 、50%)において測定したが、ここでは実験室における測定結果を用いた。

重量濃度は煤煙重量と平均流量から次式によって求められる。

$$M = k \frac{m}{P T_s}$$

ここに、 M ：重量濃度 (mg/m^3)

k ：定数

m ：煤煙重量 (mg)

P ：平均流量 (ft^3/min または m^3/min)

T_s ：サンプリング時間 (min)

本実験における測定場所は次の3点である。

- ・透過率計投光部付近 (高さ0.76 m)：表-9における投①
 - ・透過率計受光部付近 (高さ0.76 m)： " 受①
 - ・透過率計受光部付近 (高さ2.75 m)： " 受②
- (2) 各実験条件における光学濃度および重量濃度の測定結果を表-10に示す。シグリスト粉じん計による重量濃度は多ペンレコーダによる記録結果から直接読み出したものであり、光学濃度は記録結果から(1)式を用いて算出した。比色式透過率計の出力から求めた光学濃度は次式で表わされる。

$$\alpha_c = -\frac{1}{l} \log \frac{\tau_c}{100} = -\frac{1}{l} \log \frac{\tau_2}{\tau_1} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 α_c ：比色式透過率計による光学濃度 (m^{-1})

l ：測定距離 (m)

τ_c ：比色式透過率計出力

τ_1 ：波長 λ_1 における分光透過率

τ_2 ：波長 λ_2 における分光透過率

すなわち比色式透過率計から求めた光学濃度は波長 λ_1 (700nm) と λ_2 (450nm) との吸光度の差を表わしている。

ダストカウンタによる重量濃度は次式から求められる。

$$N = (C - D) A k \cdots \cdots (6)$$

ここに、 N : 重量濃度 (mg/m^3)

C : カウント数 (CPM)

D : ダークカウント数 (CPM)

A : 1 CPM 当りの重量濃度 ($\text{mg}/\text{m}^3/\text{CPM}$)

k : 補正值

- (3) 煤煙中における分光透過率の測定結果を表-11に示す。分光透過率は分光透過率計出力をデジタル電圧計で読み出し透過率100%のときの出力電圧と任意の煤煙濃度における出力電圧の比から求めた。
- (4) 煤煙中における光の散乱角特性の測定結果を表-12に示す。散乱角は散乱中心に対し光源側を 0° として反時計方向に測ったものである。散乱角 180° の出力電圧測定時には光路上に 10° 倍のNDフィルタを挿入したので出力電圧は測定電圧を 10° 倍した。
- (5) カスケードインパクトによる煤煙の重量分布の測定結果を表-13に示す。
- (6) 自記温湿度計による温度湿度の測定結果を表-14に示す。
- (7) シグリスト粉じん計により測定したトンネル断面の煤煙濃度分布を表-15に示す。
- (8) トンネル断面の温度分布を表-16に示す。
- (9) シグリスト粉じん計において内蔵ヒータをON/OFFした場合の測定値の変化を表-17に示す。
- (10) 煤煙の定性分析の結果を表-18に、定量分析の結果を表-19に示す。また電子顕微鏡による煤煙粒子の拡大写真を巻末に示す。

7.3 実験データの検証

(1) トラック上における光学濃度の測定結果について

- (a) 排気ガスの光学濃度の測定結果は表-4に示したとおりである。トラックの往復回数が増加するに伴って排気ガスの光学濃度は減少しており、これは図-12に示すようにサージタンク内の排気ガス温度とも相関がある。このような傾向はトラックのエンジンの温度が上昇するとともにエンジンの燃焼効率が向上し、不完全燃焼成分(煤煙等)が減少することによって光学濃度が小さくなることを示しているものと考えられる。

煤煙発生(トラック走行)終了時点から次の実験条件における走行開始時点までの30~60分間にトンネル内煤煙の諸特性の測定を行った。この間にトラックのエンジンは徐々に冷却されるため走行再開時の光学濃度は前条件の走行終了時より大きくなっている。このため、図-13に示すように光学濃度および温度は各実験条件毎に増減を繰り返すことにより時間に対して鋸歯状となっている。

(b) 実験にはトラック上の光学濃度測定器としてハートリッジスモークメータおよび1 mレーザ光透過率計を使用した。両測定器の出力から光学濃度を求めて比較すると図-14、15のようである。

ガイドパイプにおける測定結果(図-15)では排気ガスの濃度ムラが大きく両測定器の関係は明確でないがサージタンクにおける測定結果(図-14)から考えると両測定器による光学濃度は比例関係にあり、ハートリッジスモークメータによる光学濃度は1 mレーザ光透過率計に対し約10%大きい値を示している。

(c) サージタンクを使用した場合における煤煙の性状変化を調べるため1 mレーザ光透過率計を用いてガイドパイプとサージタンクとの光学濃度を比較した。測定結果を図-16に示す。ガイドパイプの排気ガス濃度にムラがあること等によりデータのばらつきが大きい傾向としてはガイドパイプよりもサージタンクの光学濃度の方がやや高くなっている。

(2) サージタンクにおける排気ガス流量の測定結果について

(a) サージタンクにおける排気ガス流量の測定結果とエンジン性能から計算によって求めた排気ガス量とを比較することにより測定データの妥当性を検討した。排気ガス量は表-1に掲げたエンジン性能から次式によって求められる。

$$Q = 0.4 \cdot V \cdot N = \frac{0.4}{\pi D} V \cdot C_{\eta} \cdot E_{\eta} \cdots \cdots (7)$$

ここに、 Q : 1 m 走行する間の排気ガス量 (m^3/m)

V : エンジン気筒容積 (m^3)

N : エンジン回転数 (回/m)

D : タイヤ直径 (m)

C_{η} : 変速比

E_{η} : 減速比

これから排気ガス量を次のように求めた。

・バックギヤによる走行距離1 m当りの排気ガス量は、

$$q_B = \frac{0.4}{\pi \times 1.02} \times 0.0120 \times 6.67 \times 6.62 = 0.0662 \text{ (m}^3/\text{m)}$$

・ローギヤによる走行距離1 m当りの排気ガス量は、

$$q_L = \frac{0.4}{\pi \times 1.02} \times 0.0120 \times 6.67 \times 6.31 = 0.0631 \text{ (m}^3/\text{m)}$$

この排気ガス量にトラックの往復回数(10往復)と走行距離(500 m)を掛ければ総排気ガス量が求められる。

・往路（バックギヤ）の排気ガス量は、

$$Q_p = 0.0662 \times 500 \times 10 = 331 \text{ (m}^3\text{)}$$

・復路（ローギヤ）の排気ガス量は、

$$Q_L = 0.0631 \times 500 \times 10 = 316 \text{ (m}^3\text{)}$$

・10往復したときの総排気ガス量は、

$$Q = 331 + 316 = 647 \text{ (m}^3\text{)}$$

(b) 次に測定結果とエンジン性能から求めた計算結果とを比較するためには両者の温度条件を考慮する必要がある。

エンジンの性能から求めた排気ガス量に対する温度補正は吸気温度と排気温度との間に差が生じた場合に必要となるがここでは吸気、排気温度ともにトンネル内の温度（約10℃）と考えてよく、したがって温度補正は不要である。

風量計によって求めた流量はサージタンク内（湿度80～130℃）で測定したものである。これをエンジン性能から求めた排気ガス量と比較するためにはトンネル内の温度における流量に補正する必要がある。理想気体における状態方程式からサージタンク内の圧力を1気圧と考えると任意の温度における流量（体積）は次式によって求めることができる。

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{273 + t_2}{273 + t_1} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 Q_2 (Q_1) : 温度 t_2 (t_1) における流量 (m³)

t_2 : トンネル内温度 (℃)

t_1 : サージタンク内温度 (℃)

実測の結果トンネル内の温度はほとんど変動しないのでここでは10℃一定と見なすこととする。このようにして温度補正を行ったのちの排気ガス流量を表-20に示す。

以上の計算値と実測値は、表-21に示すようによく一致しており今回の実験に使用した風量計の測定結果から排気ガス量を求めても特に問題はないものと考えられる。

(3) ハイボリウムエアサンプラの測定データについて

(a) 本実験には3台のハイボリウムエアサンプラを使用した。補足実験において器差検定を行った結果を表-22に示す。（器差検定の際には3台を透過率計受光部付近に並置してサンプリングした）。この結果、器番⑧（透過率計受光部付近の路面上0.76mに設置）を基準にとると器番④、⑨の補正値はそれぞれ1.08、0.95となった。したがって以下の検討では器番④、⑨の測定結果には器差補正を施すこととした。

(b) 捕集煤煙の秤量条件について

トンネル内で秤量した煤煙重量と、実験室内においてろ紙を20℃、50%の雰囲気中に一定時間放置したのちに秤量した煤煙重量との関係を表-23に示す。これから両者の煤煙重量の差をグ

ラフにすると図-17 のようであるが±2%程度の範囲の重量差は直示天秤の測定誤差としても起こりうることを考えられる。したがって秤量条件による重量の相異は特にはないものと考えられる。以下の検討では20℃、50%の雰囲気中に放置したのち、秤量した煤煙重量を採用した。

(c) ハイボリウムエアサンプラのサンプリング時間について

本実験におけるハイボリウムエアサンプラのサンプリング時間は煤煙濃度とは無関係に30分としたがこれとは別にサンプリング時間を10分、60分とした場合の重量濃度を測定しサンプリング時間と重量濃度との関係を求めた。重量濃度の測定結果を表-24に、サンプリング時間を30分とした場合の重量濃度を基準にとった重量濃度比を図-18に示す。

この結果、サンプリング時間30分と10分の測定値はほぼ一致しているが30分と60分との間ではかなり大きな差異を生じている。よって煤煙濃度の大きい領域ではサンプリング時間の違いによる差異はそれ程生じないが煤煙濃度が比較的小さい領域における最適なサンプリング時間については今後さらに検討する必要があるものと考えられる。

なお、ハイボリウムエアサンプラのサンプリング中における煤煙濃度の変動についてはサンプリング時間30分の重量濃度を基準としてシグリスト粉じん計の測定値によって補正した。また透過率計の投光部付近に設置した器番④についてはシグリスト粉じん計による補正ができないため除外した。

(4) 透過率の100%校正について

本実験における透過率計の100%校正は各測定日の実験開始前に行った。測定結果は表-25のとおりである。

この結果、分光透過率計の測定結果については100%からのズレを考慮したが、その他の測定器の100%に対するズレはいずれも±2%以内にあり測定データに及ぼす影響は小さいと考えられる(図-19)。たとえば光学濃度が $0.3 \times 10^3/\text{m}$ よりも大きい(透過率が50%以下)場合には、100%に対するズレを補正しない場合に生じる誤差が3%以内であり連続記録に使用したペンレコーダの精度が2%であることも加味して本実験の測定データには補正を考慮しないこととした。

8. 実験結果

8.1 トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との比較

トラックからの発生煤煙量はサージタンクで測定した光学濃度と流量との積で表わされるが、流量測定点と光学濃度測定点との間に温度差があるためこれを補正する必要がある。流量測定点の温度はすでに表-20に示したが光学濃度測定点の温度は測定しなかったのでトンネル内の温度が約10℃、サージタンク内の温度が約100℃であることおよび実験状況等を考慮して50℃(一定)と仮定した。トラックからの発生煤煙量は次式から求められる。

$$V = \alpha \cdot Q' = \alpha \cdot Q \cdot \left(\frac{273 + t_T}{273 + t_Q} \right) \cdot \left(\frac{273 + t_a}{273 + t_T} \right) \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 V : 発生煤煙量

α : 光学濃度 (m^{-1})

Q' : 温度補正を施した流量 (m^3)

Q : 温度補正前の流量 (m^3)

t_T : トンネル内温度

t_Q : 流量測定点の温度

t_α : 光学濃度測定点の温度

トンネル内拡散煤煙量は100mレーザ光透過率計の測定結果から求めた光学濃度とトンネル容積 ($53\text{ m}^2 \times 570\text{ m} = 30200\text{ m}^3$) を掛けることによって算出した。

発生煤煙量と拡散煤煙量との算出結果を表-26に示す。希釈比を(拡散煤煙量/発生煤煙量)と定義すると次の仮定が正しいものとすれば希釈比は1になるものと考えられる。

- (a) 希釈前後において煤煙の性状に変化がないこと。
- (b) トンネルから外部への煤煙の漏れがないこと。
- (c) トンネル内の煤煙濃度分布が均一であること。

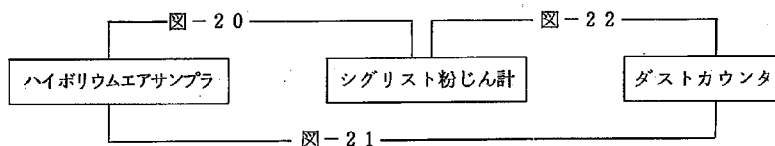
実験番号D~Fにおける発生煤煙量と拡散煤煙量はほぼ一致しており希釈比は約0.93となっている。実験番号Cではトンネル内の拡散煤煙量の方が小さい(0.77)がこれは煤煙濃度が低い場合外乱(トンネル内を流れる自然風、煤煙とトンネル内の温度差等)の影響が顕著に現われたためと考えられる。

以上の結果から、トラックから発生した煤煙量とトンネル内拡散後の煤煙量との希釈関係は一致していると言える。

8.2 煤煙の重量濃度と光学濃度との比較

(1) 煤煙の重量濃度

重量濃度の測定器としてはハイボリウムエアサンプラ、シグリスト粉じん計、ダストカウンタを使用した。各々の測定器による測定結果の相関を下記の図番のものに示した。



ハイボリウムエアサンプラの測定値はシグリスト粉じん計、ダストカウンタと隣接して透過率計受光部付近に設置したものをを用いた。

ハイボリウムエアサンプラはろ過法による測定器であり、シグリスト粉じん計、ダストカウンタは光の散乱を利用した測定器である。このためハイボリウムエアサンプラとシグリスト粉じん計もしくはダストカウンタとの関係は類似した傾向を示し、ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度 $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$ 以上においてハイボリウムエアサンプラと他の測定器とは比例関係にある。

シグリスト粉じん計とダストカウンタとの重量濃度を比較すると、図-22に示すようにシグリスト粉じん計による重量濃度が0~1.0 (mg/m³) の範囲にある場合、両測定器による重量濃度は比例関係にあり、シグリスト粉じん計を1とするとダストカウンタの測定値は0.47となっている。

(2) 煤煙の光学濃度

煤煙の光学濃度は次式によって求められる。

$$\alpha = \frac{-1}{l} \log \frac{T}{100} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 α : 光学濃度 (m⁻¹)

l : 測定距離 (m)

T : 透過率 (%)

重量濃度との比較を容易にするため、ここでは光源に単色光 (He-Neレーザ) を用いて測定した分光透過率から求めた光学濃度を用いることとした。1000 mレーザ光透過率計によって求めた光学濃度はすでに表-10に示している。

(3) 煤煙の重量濃度と光学濃度との比較

煤煙の重量濃度と光学濃度との関係を図-23に示す。このように光学濃度に対する3台の測定器による重量濃度は同一単位 (単位体積中に浮遊する煤煙重量: mg/m³) を用いているにもかかわらず大きくばらついておりハイボリウムエアサンプラによる重量濃度を1とすれば、シグリスト粉じん計で0.40、ダストカウンタでは0.19となっている。シグリスト粉じん計、ダストカウンタはともに光学的な現象を利用したものであり、透過率計による光学濃度と比例関係にあるのは十分予想された結果である。

一方、ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度と光学濃度との関係は光学濃度が0~0.1の範囲にある場合、非直線となった。これについてはハイボリウムエアサンプラの使用方法の検討によって改善し得るものか、あるいは原理的なものに起因するのかを今後究明していく必要がある。

しかし、重量濃度の絶対値としては測定原理から考えてハイボリウムエアサンプラの測定値が最も真値に近いものと思われる。なぜならばシグリスト粉じん計、ダストカウンタは煤煙の性状 (粒径、密度) を推定し校正粒子 (前者は粒径1.0ミクロンのポリスチロールラテックス粉体、後者は石英粉じんあるいは粒径0.3ミクロンのステアリン酸粒子) を用いて重量濃度の値付けをしたものであり、トンネル内の煤煙粒子 (粒径0.2ミクロン以下) について重量濃度の絶対値が測定できるとの確証はないからである。シグリスト社の資料によればシグリスト粉じん計では校正粒子と測定粒子との粒径のみが異なる場合、真の重量濃度は次式で求められるとしている。

$$\text{真の重量濃度} = \text{見かけの重量濃度} \times \frac{\text{測定粒子の直径}}{\text{校正粒子の直径}} \dots\dots\dots (11)$$

またトンネル内に浮遊する煤煙に対する重量濃度の値付けはハイポリウムエアサンプラを対照標準として行っているようである。

8.3 煤煙の分光透過特性

分光透過率の測定結果は表-11に示している。従来の現地実験においては分光透過率測定中に煤煙濃度が逐次変動するため測定と並行して100mレーザ光透過率計によって煤煙濃度を求め、これを対照標準として分光透過特性の検討を行ってきた。しかし今回は実験条件が安定しており、分光器操作中に煤煙濃度がほとんど変化しないので分光透過率間の相互比較が十分な精度で可能となった。分光器の波長送り操作をする間の濃度変化を求めると図-24に示すとおりであり、これから濃度回復率5%以上の測定値は除外して検討することとした。

吸光度は分光透過率の測定結果から次式によって求められる。

$$E = -\log \frac{\tau}{100} \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 E : 吸光度

τ : 分光透過率 (%)

すなわち分光透過率の対数をとったものが吸光度である。したがって吸光度は波長と煤煙濃度との関数であり、これまでのべてきた光学濃度は吸光度を波長によって積分したものと考えることができる。本実験では650nmの吸光度を基準にとって各波長の吸光度を求めた。一例を図-25に示す。これから実験条件（サージタンクの有無等）によって煤煙の光学的な性質は変化しないことがわかる。

次に650nmの吸光度と100mレーザ光透過率計による光学濃度とが比例関係にあることを確認したのち（図-26）、レーザによる光学濃度に対する各波長の吸光度を求め図-27に示した。また図-27から分光透過率曲線を求めると図-28のようである。

次に分光透過率の波長依存性を調べるため波長係数 r を設定した。吸光度と波長との関係を次式によって表わす。

$$E(\lambda, c) = k \cdot \lambda^r \cdot c \cdot l \dots\dots\dots (13)$$

$$\therefore r = \frac{\log \frac{E}{k \cdot c \cdot l}}{\log \lambda} = \frac{\log E_1 - \log E_2}{\log \lambda_1 - \log \lambda_2} \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 E : 吸光度

k : 比例定数

λ : 波長

r : 波長係数

c : 重量濃度

l : 測定距離

波長と吸光度を各々対数にとって両者の関係を求めると図-29のように直線となり、この直線の勾配が波長係数 r を表わす。この場合、波長係数 r は-1.28となっている。

8.4 比色式透過率計の特性

すでに述べたように比色式透過率計の出力の対数をとると、これは波長450nmと700nmの吸光度の差を表わす。表-10に示した測定結果から100mレーザ光透過率計による吸光度と比色式透過率の出力の対数值(吸光度)を比較して図-30に示す。なお、レーザによる光学濃度が0.6以上の場合に直線性が失われたのは比色式透過率計の計測部の整流特性に起因するものであり、本来は直線となることのちの検査でわかった。

また、分光透過特性の測定結果(図-27)からレーザによる光学濃度に対する波長450nmと700nmの吸光度の差を求めて図上に併記した。このように分光透過率から求めた吸光度の差と比色透過率計の出力とはほぼ一致している。なお、5%程度の差異を生じた原因としては分光透過率計の回折格子と比色式透過率計に使用した干渉フィルタとの波長に対する分解能の相違等が考えられる。

8.5 S-4透過率計とSBC透過率計の特性比較

S-4透過率計とSBC透過率計の測定結果は表-10に示したが、これから100mレーザ光透過率計による光学濃度との関係を求め各々図-31, 32に示した。なお、S-4透過率計による光学濃度がレーザによる光学濃度0.7以上において非直線となるのは、S-4透過率計の計測部の整流特性に起因するものである。

光学濃度から再度、透過率を求めてS-4透過率計とSBC透過率計の出力を比較すると図-33のようである。すでに述べたようにS-4透過率計は受光器にS-4光電面をもつ光電子増倍管を用いており、SBC透過率計は受光器にシリコン光電池を使用している。それぞれの受光器の最高感度波長は400nm, 560nmである。光が煤煙中を通過する際に生じる減衰(吸収、散乱)は短波長になる程大きくなるために図-33に示すような透過率の差異を生じたものと考えられる。たとえば、S-4透過率計による透過率が10%のときSBC透過率計による透過率は29%となっている。したがって煤煙濃度を光学的な方法(たとえば透過率計等)で測定する場合には必ず測定器の波長特性を考慮する必要がある。

8.6 煤煙の散乱角特性

表-12に示した煤煙の散乱角特性の測定結果から測定視野による影響を補正したのち、図-34に散乱角特性を図示した。この結果、煤煙中における光の散乱角特性は煤煙濃度の大小とは無関係に一定となることが明らかになった。

なお、任意の散乱角における測定視野の補正は光軸方向を0度とした正弦則に比例するものとして行ったが本実験に使用したゴニオフォトメータは装置の構成に未だ問題があるものと思われる。このような測定視野の補正を行うためには今回のように煤煙が全体に分布した雰囲気中で測定するのではなく、散乱光を測定する部分にのみ煤煙を通し、その他は清浄空気中に置くこと等装置を改良する必要がある。

8.7 煤煙の粒径分布

カスケードインパクタにより測定した各ステージの粉じん重量を表-13に累積重量分布を図-35に示す。実験番号C~Hの測定値はサンプリング時間を30分としたため、特に煤煙濃度が小さい実験条件において捕集粉じん重量が不足している。しかしサンプリング時間および煤煙濃度とは無関係に最終段のろ紙による捕集重量、すなわち粒径0.2ミクロン未満の粒子が総重量の中の約80%を占めている。

次に表-13に示した各ステージの粉じん重量から各ステージの粉じんの比重が等しいものとして粒径に対する相対個数を求め図-36に示す。このように粒径0.2ミクロン以上の粉じんの相対個数は粒径の約3乗に反比例している。

8.8 煤煙の組成分析

煤煙の定性分析および定量分析結果を表-18, 19に示した。試料はハイボリウムエアサンプラを実験中連続運転して捕集したものを用いた。定性分光分析の結果、金属としてはAl, Si, Fe等砂じん中に含有する元素が比較的多く検出されている。しかし定量(化学)分析の結果、灰分(強熱残分)は全体のわずか10%であり、その他は煤煙を構成する諸成分によって占められている。最も多いのが固形炭素(遊離炭素)で全体の54%、次いでタール分の24%となっている。

8.9 その他

トンネル内の煤煙濃度分布を明らかにするため、ハイボリウムエアサンプラを3箇所を設置した。測定結果を表-27に示す。

(a) まずトンネル延長方向の濃度分布を調べるため透過率計の投・受光部付近に設置した2台のハイボリウムエアサンプラの測定値を比較する。同一時刻に測定した投・受光部付近の濃度を比較すると全体に投光部付近の濃度が低くなっている。また実験番号E, F, I, Jの4条件においてサンプリング時間30分の重量濃度を測定した直後にサンプリング時間10分の測定を行っているが表-27からわかるように受光部付近の濃度はほとんど変わらないのに対し、投光部付近の濃度はさらに小さくなっている。以上の結果を重量濃度比で示すと図-37のようであり、これは主に投光部付近の煤煙濃度の回復によるものと考えられる。投光部側から濃度が回復したのは実験期間を通じて閉塞トンネル内を奈良側から亀山側に向けて20~30 cm/sec程度の微風が吹いていたためと思われる。

(b) 次にトンネルの高さ方向における煤煙濃度分布を調べた。透過率計の受光部付近の路面上の高さ0.76mと2.75mに設置した2台のハイボリウムエアサンプラの測定値を比較すると図-38のようである。この測定結果からは2台のハイボリウムエアサンプラに器差があること等から特に路面上の高さと煤煙濃度との関係を求めることは困難であるが全般に2.75mの高さにおける重量濃度の方がやや小さくなっている。

また同様の試みをシグリスト粉じん計の吸入パイプの設置高さを変えて行った結果を図-39に示した。実験番号Lについては温度分布も測定した(表-16)が路面からの高さが高くなるほど煤煙濃度は大きく、温度も高くなっている。また実験番号Mの測定値からみると煤煙濃度は路面から徐々

に回復していくものと考えられる。

9. ま と め

9.1 トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との関係

従来から煤煙の拡散前後の希釈関係については種々の実験が行われているがいずれも明確な相関関係が得られなかった。本実験においてトラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散後の煤煙量がほぼ一致したのは透過率が波長依存性の影響を受けないように希釈前後の煤煙濃度を同一波長の単色光光源(H_e-Neレーザ)の透過率計(トラック上は1 mレーザ光透過率計、トンネル内は100 mレーザ光透過率計)によって測定したことによるものと考えられる。

このことを逆にいえば、従来の実験で希釈関係が得られなかったのは光学濃度測定器(透過率計等)の波長特性があまり考慮されていないこと、とくにこれまで希釈関係の実験に使用してきたハートリッジスモークメータとS-4透過率計との波長特性が一致していなかったためと考えられる。しかし、本実験はあくまでトラック1台の走行によるものであり今後更に同様の実験を積み重ねていく必要がある。

9.2 煤煙の重量濃度と光学濃度

重量濃度の測定には現在比較的良好に使用されている3種の測定器を用いたが各々の測定器相互間の出力のバラツキが極めて大きいことが明らかになった。

従来の実験における測定データと比較すると図-40のようにハイポリウムエアサンプラとシグリスト粉じん計との出力は大きくばらついている。

トンネル内に浮遊する煤煙の物理的(光学的)性質が十分解明されていない現段階において、光散乱を利用した測定器によって重量濃度を定量的に測定することは困難である。したがって現段階では重量濃度を直接測定し得る唯一の測定器であるハイポリウムエアサンプラについて測定方法等の検討によってさらに測定精度を改善していくことが当面の課題であろうと思われる。

一方、光学濃度は測定器(光源、受光器等)の波長特性を考慮すれば比較的安定に、かつ精度よく測定できることがわかった。

本実験においては測定器に問題点が多く重量濃度と光学濃度との関係を明確にすることができなかったが、今後とも是非究明に努める必要がある。

9.3 煤煙の分光透過特性

これまでに行われた実験から煤煙の分光透過特性に関連した部分を抜粋して表-28に示す。

カスケードインパクト最終段の捕集煤煙重量が増加するにしたがって波長係数も大きくなっているがこれは粒径の小さい粒子が多くなる程、光が煤煙中を通過する際に生じる散乱の波長依存性が大きくなるためと考えられる。

また最終段に捕集する煤煙量が増大するのに伴って組成分析結果から求めた灰分の割合は減少している。しかも煤煙の一次粒子径が過去の実験結果¹⁾とほぼ一致していることからトンネルによって波長係

数が異なってくるのは煤煙自身の性状のばらつきよりもむしろ灰分すなわちトンネル内に浮遊する砂じん類の多少に左右されることも考えられる。

9.4 その他

煤煙の分光透過特性についてさらに詳細な検討を加えるためゴニオフォトメータによる散乱角特性の測定を試みたが前述の理由により所期の成果を得られなかった。

10. 謝 辞

終わりに、本実験の実施にあたり御協力をいただいた中部地方建設局名阪国道工事事務所関係者各位に謝意を表します。

11. 参考資料

- 1) 市原、立石、今田、水谷「道路トンネル内浮遊粉じんの実態調査」土木研究所資料第810号、昭和48年3月
- 2) 高速道路調査会「トンネル内自動車排出ガス濃度試験調査報告書」昭和49年3月

付 表 目 次

表-1	トラック諸元	21
表-2	測定器一覧表	21
表-3	設定条件一覧表	22
表-4	トラック上における光学濃度と流量の測定データ	23
表-5	サージタンクにおける同時測定による1 mレーザ光透過率計とハートリッジスモーク メータとの出力比較	24
表-6	ガイドパイプにおける同時測定による1 mレーザ光透過率計とハートリッジスモーク メータとの出力比較	25
表-7	1 mレーザ光透過率計によるガイドパイプとサージタンクの煤煙濃度比較	25
表-8	排気ガスの温度測定データ	26
表-9	ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度	27
表-10	各実験条件におけるトンネル内の重量濃度と光学濃度	29
表-11	分光透過率測定データ	30
表-12	散乱角特性の測定データ	31
表-13	カスケードインパクトによる重量分布の測定データ	31
表-14	トンネル内の温度、湿度測定データ	32
表-15	シグリスト粉じん計によるトンネル断面内の煤煙濃度分布	33
表-16	トンネル断面の温度分布	34
表-17	シグリスト粉じん計において内蔵ヒータをON/OFFしたときの測定値の変化	34
表-18	定性分光分析報告書	35
表-19	分析試験報告書	35
表-20	温度補正を施した場合の排気ガス流量	36
表-21	排気ガス量の実測値と計算値との比較	37
表-22	ハイボリウムエアサンプラの器差比較	37
表-23	ハイボリウムエアサンプラの温湿度設定と煤煙重量との関係	38
表-24	ハイボリウムエアサンプラにおけるサンプリング時間と重量濃度との関係	39
表-25	各測定器の100%校正値	39
表-26	トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との比較	40
表-27	測定位置とハイボリウムエアサンプラによる重量濃度との関係	41
表-28	分光透過特性の比較	41

表-1 トラック諸元

型 式	いすゞSPM 710	原 動 機 型 式	E120
車 両 重 量	8840Kg	最 大 積 載 量	10750Kg
車 両 総 重 量	19755Kg	定 格 出 力	1202馬
長 さ	11.99m	幅	2.49m
高 さ	3.00m	タ イ ヤ 直 径	1.02m
気 筒 容 積	12023cc	燃 料 の 種 類	軽 油
変 速 比	① 6.307 ② 3.811 ③ 2.313 ④ 1.449		
	⑤ 1.000 ⑥ 0.745 ⑦ 6.622		
減 速 比	6.666		

表-2 測定器一覧表

実験項目 測定器	光学濃度と 重量濃度と の 比 較	煤煙の分光 透過 特性	希釈前後の煤 煙濃度比較	透過率計の 特性比較	煤 煙 の 散乱角特性	煤 煙 の 組成分析	そ の 他
ハイボリウムエアサンプラ	○					○	○
シグリスト粉じん計	○						○
ダ ス ト カ ウ ン タ	○						
カスケードインパクト		○				○	
ハートリッジスモークメータ			○				
1mレーザ光透過率計			○				
100mレーザ光透過率計	○	○	○	○	○		
S-4 透 過 率 計				○			
SBC 透 過 率 計				○			
分 光 透 過 率 計		○					
比 色 式 透 過 率 計		○					
ゴニオフォトメータ					○		
風 量 計			○				
自 記 温 湿 度 計			○				○
熱 電 対 温 湿 度 計			○				○

表-3 設定条件一覧表

実験番号	期 日	煤煙発生時間	往復回数	トンネルにおける 測 定 時 間	レーザによる 目標光学濃度	備 考
A	1/28	14:10~14:45	4	14:50~16:10	—	予 備 実 験
B	1/28	16:10~16:55	9	17:00~17:40	—	予 備 実 験
C	1/29	9:49~ 9:55	1	9:55~10:35	($\times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$) 0.10	サージタンク有り(本実験第1日)
D	1/29	10:35~10:50	2	10:55~11:35	0.30	サージタンク有り
E	1/29	12:45~13:05	3	13:10~14:10	0.50	サージタンク有り HVAS測定時間30分, 10分
F	1/29	14:15~14:40	4	14:45~15:30	0.80	サージタンク有り HVAS測定時間30分, 10分
G	1/30	9:40~ 9:50	1	9:50~11:00	0.10	サージタンク無し(本実験第2日) HVAS測定時間30分, 60分
H	1/30	11:00~11:10	2	11:15~12:30	0.30	サージタンク無し HVAS測定時間30分, 60分
I	1/30	13:05~13:20	3	13:30~14:25	0.50	サージタンク無し HVAS測定時間30分, 10分
J	1/30	14:25~14:50	3	14:50~15:50	0.80	サージタンク無し HVAS測定時間30分, 10分
K	1/31	9:30~ 9:50	3	10:00~11:00	0.30	補足実験(サージタンク有り) HVASの比較, 濃度温度分布
L	1/31	11:00~11:25	3	11:30~12:30	0.50	補足実験(サージタンク有り) HVASの比較, 濃度温度分布
M	1/31	13:30~13:50	—	13:50~15:15	—	補足実験(サージタンク有り) レーザ光透過率計 ハートリッジスモークメータ } の相互 比較

表-4 トラック上における光学濃度と流量の測定データ

月/日	実験番号	往復回数	往路(バックギヤ)		復路(ローギヤ)	
			光学濃度	流 量	光学濃度	流 量
1/29	C	1	(m^{-1}) 0.61	(m^3) 43.5	(m^{-1}) 0.32	(m^3) 46.9
	D	2	0.52	46.4	0.34	47.7
			0.27	47.3	0.32	45.6
	E	3	0.34	46.4	0.25	48.1
			0.25	48.1	0.29	44.3
			0.23	46.9	0.24	44.3
	F	4	0.64	49.0	0.41	44.7
			0.32	46.9	0.31	43.9
			0.29	46.4	0.28	43.9
			0.29	45.6	0.28	43.9
1/30	G	1	0.73	—	0.50	—
	H	2	0.72	—	0.66	—
			0.38		0.38	
	I	3	0.40		0.40	
			0.36	—	0.38	—
			0.27		0.31	

注 (1) 実験番号C～Fの光学濃度は1mレーザ光透過率計、G～Iの光学濃度はハートリッジ
スモークメータにより測定した。

(2) 実験番号G～Iの流量は直接排気のため測定できなかった。

表-5 サージタンクにおける同時測定による

1 m レーザ光透過率計とハートリッジスモークメータとの出力比較

レーザ光透過率計		ハートリッジスモークメータ	
透 過 率 (%)	光 学 濃 度 (m^{-1})	不 透 過 率 (%)	光 学 濃 度 (m^{-1})
13	0.90	65	1.07
22	0.67	55	0.81
28	0.56	50	0.70
40	0.40	37	0.47
38	0.42	39	0.50
39	0.41	38	0.49
41	0.39	35	0.44
45	0.35	35	0.44
42	0.38	35	0.44
41	0.39	36	0.45
42	0.38	36	0.45
47	0.33	33	0.41
43	0.37	35	0.44
44	0.36	35	0.44
46	0.34	33	0.41
49	0.31	30	0.36
50	0.30	30	0.36
50	0.30	29	0.35
53	0.28	28	0.33
43	0.37	34	0.42
46	0.34	33	0.41
46	0.34	33	0.41

表-6 ガイドパイプにおける同時測定による

1 mレーザ光透過率計とハートリッジスモークメータとの出力比較

レーザ光透過率計		ハートリッジスモークメータ	
透過率(%)	光学濃度(m ⁻¹)	不透過率(%)	光学濃度(m ⁻¹)
57	0.25	19	0.22
40	0.40	49	0.68
34	0.47	51	0.73
49	0.31	34	0.42
61	0.22	30	0.36
54	0.27	25	0.29
57	0.25	30	0.36
57	0.25	30	0.36
61	0.22	30	0.36
57	0.25	25	0.29
57	0.25	25	0.29
58	0.24	23	0.27
60	0.22	24	0.28
89	0.05	8	0.08

表-7 1 mレーザ光透過率計による

ガイドパイプとサージタンクの煤煙濃度比較

サージタンク		ガイドパイプ	
透過率(%)	光学濃度(m ⁻¹)	不透過率(%)	光学濃度(m ⁻¹)
54	0.27	60	0.22
35	0.46	35	0.46
35	0.46	52	0.28
52	0.28	56	0.25
53	0.28	63	0.20
60	0.22	62	0.21
58	0.24	56	0.25
53	0.28	56	0.25
65	0.19	69	0.16
65	0.19	75	0.12
54	0.27	60	0.22
58	0.24	60	0.22

表-8 排気ガスの温度測定データ

a) サージタンク内を通して排気した時のサージタンク内温度

実験条計	トラックの 往 復 回 数	測定電圧 (V)	温 度 (℃)	実験条件毎の 平均温度(℃)
C	1	3.48	83	83
D	2	4.65	108	126
	3	6.10	138	
E	4	4.27	100	129
	5	6.15	140	
	6	6.57	148	
F	7	4.12	97	133
	8	6.45	145	
	9	6.58	148	
	10	6.44	145	

b) ガイドパイプから直接排気した時のガイドパイプ内温度

実験条件	トラックの 往 復 回 数	測定電圧 (V)	温 度 (℃)	実験条件毎の 平均温度(℃)
G	1	—	—	—
H	2	9.72	209	228
	3	11.68	247	
I	4	9.17	199	229
	5	11.55	244	
	6	11.40	242	
J	7	9.83	211	232
	8	11.38	241	
	9	11.60	245	

表-9(1) ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度

月/日	実験番号	ろ紙番号	HVAS 器 番	測定番号	測定時間 (分)	流 量				ろ紙重量 (g)		煤煙重量 (mg)	重量濃度 (mg/m ³)
						開 始	中 間	終 了	平 均	捕集前	捕集後		
1/28	A	1	㊦	受光部①	30	42	43	43	42.7	3.8801	3.8998	19.7	0.54
	A	3	㊦	受光部②	30	1.15	—	1.15	1.15	3.8616	3.8798	18.2	0.52
	A	4	㊦	投光部①	30	35	35	35.5	35.2	3.8513	3.8650	13.7	0.46
	B	6	㊦	受①	30	42	38	35	38.3	3.8714	3.9347	63.3	1.94
	B	7	㊦	受②	30	1.35	1.25	1.25	1.29	3.8510	3.8918	40.8	1.05
	B	5	㊦	投①	30	35	31	30	32.0	3.8295	3.8906	61.1	2.24
1/29	C	8	㊦	受①	30	42	40	41	41.0	3.8921	3.9174	26.2	0.77
	C	9	㊦	受②	30	1.15	1.14	1.12	1.14	3.8892	3.9124	23.2	0.68
	C	10	㊦	投①	30	35	35	35	35.0	3.8217	3.8362	14.5	0.49
	D	11	㊦	受①	30	41	40	37	39.3	3.8603	3.9061	45.8	1.37
	D	12	㊦	受②	30	1.15	1.13	1.13	1.14	3.8587	3.8984	39.7	1.16
	D	13	㊦	投①	30	35	34	32	33.7	3.8514	3.8846	33.2	1.16
	E	14	㊦	受①	30	42	37.5	32	37.2	3.8642	3.9211	56.9	1.79
	E	17	㊦	受①	10	45	—	—	(45)	3.8680	3.8908	22.8	1.78
	E	16	㊦	受②	30	1.12	1.06	1.06	1.08	3.8758	3.9264	50.6	1.56
	E	15	㊦	投①	30	35	32	28	31.7	3.8644	3.9091	44.7	1.66
	E	18	㊦	投①	10	35	—	35	35.0	3.9058	3.9193	13.5	1.35
	F	19	㊦	受①	30	42	33	25	33.3	3.8668	3.9464	79.6	2.81
	F	22	㊦	受①	10	45	—	42	43.5	3.8576	3.8909	33.3	2.70
	F	20	㊦	受②	30	1.10	1.00	0.92	1.01	3.8565	3.9298	73.3	2.42
	F	21	㊦	投①	30	35	30	31	32.0	3.8663	3.9290	62.7	2.30
	F	23	㊦	投①	10	34.5	—	31	32.8	3.8911	3.9087	17.6	1.89
1/30	—	24	㊦	受①	30	50	—	49	49.5	3.9046	3.9107	6.1	0.14
	G	25	㊦	受①	30	44	42	42	42.7	3.8767	3.9120	35.3	0.97
	G	27	㊦	受①	60	1.15	1.12 1.15	1.15	1.15	3.8466	3.8972	50.6	0.73
	G	26	㊦	投①	30	34	34	33	33.7	3.9108	3.9287	17.9	0.62
	H	29	㊦	受①	30	41	39	35	38.3	3.9862	4.0367	50.5	1.55
	H	30	㊦	受①	60	1.10	1.08 1.03 1.03	1.00	1.06	3.8814	3.9567	75.3	1.19
	H	28	㊦	投①	30	34	32	29	31.7	3.8549	3.8897	34.8	1.29
	I	32	㊦	受①	30	42	36	32	36.7	3.8806	3.9507	70.1	2.24
	I	35	㊦	受①	10	45	—	42	43.5	3.9083	3.9345	26.2	2.12
	I	33	㊦	受②	30	1.09	0.98	0.89	0.99	3.8944	3.9565	62.1	2.09
	I	31	㊦	投①	30	33	29	27	29.7	3.8409	3.8931	52.2	2.06
	I	34	㊦	投①	10	34	—	33	33.5	3.8481	3.8630	14.9	1.57
	J	38	㊦	受①	30	42	33	28	34.3	3.8738	3.9609	87.1	2.98
	J	40	㊦	受①	10	46	—	38	42.0	3.8947	3.9303	35.6	2.98
	J	36	㊦	受②	30	1.09	0.91	0.90	0.97	3.8697	3.9500	80.3	2.76
	J	37	㊦	投①	30	34	28	24	28.7	3.8665	3.9324	65.9	2.70
	J	39	㊦	投①	10	35	—	32	33.5	3.8558	3.8786	22.8	2.40
	J	B	㊦	受①	30	50	51	50	50.3	(3.8609)	(3.8662)	5.3	0.12

表-9(2) ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度

月/日	実験番号	ろ紙番号	HVAS 器 番	測定番号	測定時間 (分)	流 量				ろ紙重量(g)		煤煙重量 (mg)	重量濃度 (mg/m ³)
						開 始	中 間	終 了	平 均	捕集前	捕集後		
1/31	—	A	㊦	投①	30	38	33	—	38.0	(38161)	(38177)	1.6	0.05
	K	C	㊦	受①	30	43	33	35	38.7	(38778)	(38295)	51.7	1.57
	K	D	㊦	受①	30	42	40	36	39.3	(38853)	(39334)	48.1	1.44
	K	E	㊦	受①	30	1.08	1.05	1.00	1.04	(39142)	(39566)	42.4	1.36
	L	F	㊦	受①	30	40	34	31	35.0	(40293)	(41015)	72.2	2.43
	L	G	㊦	受①	30	42	36	31	36.3	(40165)	(40866)	70.1	2.27
	L	H	㊦	受①	30	1.05	0.98	0.90	0.98	(39973)	(40605)	63.2	2.15
	M	41	㊦	受①	30	1.05	0.88	0.80	0.91	39086	39785	69.9	2.56
	M	42	㊦	受①	30	42	33	28	34.3	38522	39299	77.7	2.65

注 (1) ハイボリウムエアサンプラの器番は次のとおり

HVAS ㊦ : 主として投光部付近に設置(松下№2)

㊦ : 主として受光部付近(高さ0.76m)に設置(松下№3)

㊦ : 主として受光部付近(高さ2.75m)に設置(土研№2)

注 (2) 測定場所の表示

受光部① : 受光部付近(高さ0.76m)

受光部② : 受光部付近(高さ2.75m)

投光部① : 投光部付近(高さ0.76m)

注 (3) 流量の単位

HVAS ㊦ ㊦ : feet³/min

HVAS ㊦ : m³/min

注 (4) 実験番号A~Hのろ紙重量はトンネルにおける測定値、その他は25℃、50%における測定値である。

表-10 各実験条件におけるトンネル内の重量濃度と光学濃度

期 日	実験条件	重 量 濃 度 (mg/m^3)			光 学 濃 度 ($\times 10^{-2} \text{m}^{-1}$)			
		ハイボリウム エアサンブラ	シグリスト 粉じん計	ダストカウンタ	100m レーザ光 透過率計	S-4 透過率計	SBC 透過率計	比色式 透過率計
1/28	A	0.54	0.198	0.161	0.07	0.11	0.059	0.078
	B	1.94	0.985	0.505	0.62	0.94	0.49	0.51
1/29	C	0.77	0.178	0.102	0.10	0.13	0.083	0.077
	D	1.37	0.498	0.266	0.29	0.43	0.25	0.23
	E	1.79	0.843	0.368	0.48	0.73	0.41	0.37
	F	2.81	1.44	0.595	0.82	1.32	0.69	0.73
1/30	G	0.97	0.165	0.0814	0.11	0.15	0.097	0.078
	H	1.55	0.518	0.284	0.32	0.47	0.28	0.25
	I	2.24	0.888	0.372	0.56	0.82	0.46	0.41
	J	2.98	1.43	0.596	0.84	1.29	0.69	0.72
1/31	K	1.57	0.463	0.230	0.31	0.45	0.26	0.24
	L	2.43	0.970	0.495	0.58	0.92	0.48	0.46
	M	2.65	1.41	0.534	0.81	1.35	0.67	0.70

表-11 分光透過率測定データ

番号	実験番号	各波長の分光透過率(%)									
		波長400(nm)	450(nm)	500(nm)	550(nm)	600(nm)	650(nm)	700(nm)	750(nm)	800(nm)	850(nm)
1	C-1	62.5	70.7	70.5	73.7	75.9	78.4	80.6	82.2	84.7	86.8
2	C-2	64.6	73.1	72.1	75.3	77.4	79.6	81.4	83.0	85.7	87.4
3	D-1	26.1	33.4	36.7	41.7	45.4	49.6	52.9	56.1	59.7	63.9
4	D-2	28.0	35.8	38.8	43.7	47.1	51.0	55.1	57.9	61.7	65.5
5	E-1	13.0	16.8	21.2	25.6	29.9	33.4	36.8	39.7	42.5	45.2
6	E-2	15.0	19.1	23.8	28.2	32.5	36.2	39.8	42.4	44.7	47.6
7	F-1	2.9	4.4	6.8	9.4	11.9	14.7	17.3	20.2	22.4	25.1
8	F-2	3.7	5.6	8.1	10.8	13.8	16.6	19.5	22.3	24.9	28.0
9	F-3	10.5	14.6	18.8	22.7	27.6	30.9	34.3	41.3	44.4	37.4
10	G-1	59.6	64.4	68.5	71.5	74.1	76.4	78.4	79.8	80.5	80.7
11	G-2	62.8	67.8	72.2	74.7	77.8	79.1	81.2	82.3	83.1	85.5
12	G-3	69.9	73.4	76.9	79.0	80.6	82.1	83.8	84.8	85.0	85.7
13	H-1	22.2	27.4	33.4	38.0	42.1	46.6	49.7	52.7	55.3	58.7
14	H-2	25.4	30.6	36.2	41.3	44.4	48.7	52.0	54.8	57.2	59.9
15	H-3	38.9	44.4	49.9	54.4	57.5	61.3	63.7	65.8	67.4	69.8
16	I-1	9.2	12.5	16.7	20.5	24.3	27.7	31.5	33.9	36.7	40.9
17	I-2	10.5	14.1	18.0	22.1	26.4	29.8	33.0	35.8	38.3	41.5
18	J-1	3.0	4.5	6.9	9.5	11.9	14.9	17.5	20.2	22.7	25.4
19	J-2	6.0	8.2	11.4	14.7	17.5	20.4	23.4	26.0	28.4	31.6
20	K-1	8.5	11.1	14.7	18.8	22.2	26.1	29.7	32.8	35.9	38.8
21	K-2	12.7	15.9	20.1	24.6	28.7	32.5	36.3	40.2	43.8	47.1

表-12 散乱角特性の測定データ

散乱角 (°)	出力電圧 (mV)		
	1)	2)	3)
140	3	2	—
145	4	2	—
150	7	3	—
155	10	4	1
160	16	6	2
165	34	18	11
170	73	38	19
180	1.1×10^3	1.1×10^3	1.1×10^3
190	70	38	19
195	31	14	6
200	15	6	2
205	9	4	—
210	7	3	—
215	5	—	—
220	3	—	—

注 (1) 光源はHe-Ne レーザ (633nm) を使用

(2) 測定中の煤煙濃度は

番号 1): 100m レーザ光透過率 25%

2): " 50%

3): " 80%

表-13 カスケードインパクトによる重量分布の測定データ

月 日	実験 番号	ろ紙 番号	サンプリング 時間 (分)	各ステージの重量 (mg)							総重量 (mg)	備 考
				1	2	3	4	5	6	ろ紙		
1/29	C	10	30	0.10	0.10	0.20	0.10	0.30	0.40	1.50	2.70	
	D	6	30	0.10	0.10	0.10	0.30	0	0.20	3.10	3.90	
	E	4	30	0.35	0.10	0.30	0.20	0.25	0.35	4.30	5.85	
	F	7	30	0.25	0.10	0.05	0.15	0.10	0.45	7.15	8.25	
1/30	G	2	30	0.20	0	0.10	0.20	0.10	0.20	2.00	2.80	
	H	15	30	0.30	0	0.10	0.20	0.10	0.30	4.50	5.50	
	I	14	30	0.30	0	0.30	0.30	0.10	0.40	6.80	8.20	
	J	13	30	0.30	0.15	0.05	0.40	0.15	0.25	6.85	8.15	
1/31	K	12	60	0.30	0.05	0.20	-0.05	0.20	0.50	6.00	7.25	
	L	5	60	0.30	0.10	0.10	0.30	0.30	0.60	8.70	10.40	
	M	11	60	0.20	0.10	0.40	0.20	0.40	1.00	11.60	13.70	

表-14 トンネル内の温度、湿度測定データ

測定点(東坑口より150m)

実験条件	時 刻	温 度	湿度
A	1/28 15:35	9.3℃	80%
	16:05	9.3	80
B	17:10	10.0	80
	17:40	9.5	82
C	1/29 10:00	8.5	65
	10:30	8.6	66
D	10:55	9.3	66
	11:25	9.1	67
E	13:15	9.5	70
	13:45	9.3	71
F	14:00	9.3	71
	14:45	9.6	72
	15:15	9.5	73
	15:30	9.5	73
G	1/30 8:50	7.3	62
	9:20	7.3	62
	9:55	7.5	62
	10:25		
	10:55		

実験条件	時 刻	温 度	湿度
H	1/30 11:20	9.5	64
	11:50	9.4	66
	12:20	9.2	66
	13:30	9.7	67
I	14:00	9.5	68
	14:15	9.5	68
J	14:50	9.7	68
	15:20	9.6	69
	15:35	9.5	69
	1/31 8:45	8.7	63
	9:15	8.9	63
K	10:00	10.0	64
	10:30	9.6	65
	11:00	9.6	65
	11:30	10.3	66
L	12:00	9.7	68
	12:30	9.7	68
M	14:10	10.5	69
	14:40	10.2	70
	15:10	10.0	70

表-15 シグリスト粉じん計によるトンネル断面内の煤煙濃度分布

○測定期日 : 1月31日

○測定場所 : 透過率計受光部付近の車道中央

単位 (mg/m^3)

実験番号 時刻 高さ	K 10:21	L 12:05	L 12:20	L (トンネル壁) 12:30	M 14:15	M 15:05
0.05 (m)	0.42	0.64	0.56	0.72	1.30	0.96
0.1			0.56		1.30	0.96
0.2			0.58		1.31	1.00
0.3			0.58	0.72		
0.4			0.64			
0.5	0.46	0.80	0.72	0.82	1.31	1.34
0.7			0.72			
1.0			0.80	0.90	1.31	
1.3			0.92		1.30	
1.5	0.47	0.94	0.92		1.32	1.40
2.0			0.94		1.32	1.40
2.5	0.47	0.88				
3.0		0.92	0.94		1.32	1.38
3.5	0.465					
4.0	0.46		0.82		1.32	1.34
4.4	0.455	0.84	0.80		1.32	1.30
ダクト内	0.58	1.04	0.96		1.26	1.22
元の(1.7m) 位置	0.465	0.82	0.92		1.44	1.44

表-16 トンネル断面内の温度分布

○測定期日：1月31日 12:30

○測定場所：透過率計受光部付近の車道中央

単位(℃)

高さ	温度計	サーミスタ	熱電対
0.05 (m)		9.4	8.4
1.0		9.9	8.7
2.0		—	9.0
3.0		10.4	9.2
4.0		11.2	9.5
ダクト内		—	9.5

表+17 シグリスト粉じん計において内蔵ヒータをON/OFFしたときの測定値の変化

単位(mg/m^3)

期 日	時 刻	ヒータ ON	ヒータ OFF
1/28	17:20	0.98	1.16
1/29	10:35	0.18	0.22
	11:32	0.49	0.57
	13:32	0.81	0.97
	14:44	1.44	1.72
1/30	10:17	0.17	0.20
	11:40	0.52	0.64
	13:43	0.86	0.99
	15:13	1.44	1.70
1/31	10:44	0.96	1.10
	11:32	0.98	1.22
	14:15	1.40	1.66

表-18 定性分光分析報告書

3.4 M エバート型 分光器			試料名	自動車 煤 煙
回 析 格 子 : 600本/mm			試料明細 検出元素	
次 数 : 1				
スリット巾 15μ, 電極間隙 3mm				
分 析 条 件			Ag	—
露 光 時 間 (sec)		10	Al	S
CC-DC-ARC (280V)	A	10	As	—
UNI-ARC FULL, HALF (280V)	A	—	B	<WWW
			Ba	WWW
			Bi	—
I. G. AC-ARC S. S. (280V)	A	—	Ca	W
			Cd	—
			Co	—
S P A R K	PRI. V	—	Cr	WWW
	L	—	Cu	WW
	C	—	Fe	M
	Ω	—	K	—
	A	—	Mg	WW
	BREAK HALF	—	Mn	WW
AC-ARC (2400~4800V)	A		Mo	—
乾 板			Na	W
			Ni	—
現 像 液		Fuji Rendol	P	—
定 着 液		Fuji - Fix	Pb	WW
備 考 SSS. SS. S. M. W. WW. (主成分) 多い ← 中等 → 少ない WWW. <WWW. (痕跡) — : 全く認めない / : 判定不能又は困難			Sb	—
			Si	S
			Sn	WW
			Ti	W
			V	—
			Zn	WW

表-19 分析試験報告書

試験目的 (試料名) 自動車煤煙の分析	
試験条件 ベンゼン抽出 不溶分 強熱残分 C 可溶分 水抽出 SO_4^{--}	
ベンゼン 不溶分 可溶分	重 量 法
強 熱 残 分	重 量 法
C	電 量 測 定 法
SO_4^{--}	吸 光 光 度 法
試料名 (No.)	ばい え ん
試験項目	
ベンゼン不溶分%	76.0
ベンゼン可溶分%	24.0
強 熱 残 分 %	10.5
SO_4^{--} %	2.8
C %	54.0
備 考 - 強熱残分, Cの定量値はもとの試料に対する値です。 SO_3^{--}の定量値はSO_4^{--}より、換算して求めた。	

表-20 温度補正を施した場合の排気ガス流量

実験番号	往 路 (バックギヤ)			復 路 (ローギヤ)		
	測定流量	サージタンク内 温 度	温度補正後の 流 量	測定流量	サージタンク内 温 度	温度補正後の 流 量
C	(m³) 43.5	(°C) 54	(m³) 37.6	(m³) 46.9	(°C) 110	(m³) 34.7
D	46.4	92	36.0	47.7	116	34.7
	47.3	133	33.0	45.6	143	31.0
E	46.4	79	37.3	48.1	118	34.8
	48.1	135	33.4	44.3	143	30.1
	46.9	144	31.8	44.3	149	29.7
F	49.0	70	40.4	44.7	121	32.1
	46.9	142	32.0	43.9	148	29.5
	46.4	148	31.2	43.9	148	29.5
	45.6	145	30.9	43.9	146	29.7
合計流量	—	—	343.6	—	—	315.8

総流量 660 (m³)

表-21 排気ガス量の実測値と計算値との比較

単位 (m³)

排気ガス量	往 路	復 路	合 計
エンジンの性能から計算した 排気ガス量	331	316	647
風量計により実測した 排気ガス流量 (表-20)	344	316	660

表-22 ハイボリウムエアサンプラの器差比較

HVAS④：投光部付近に設置 (松下№2)

HVAS⑤：受光部付近に設置 (松下№3)

HVAS⑥：受光部付近 (高さ2.76m) に設置 (土研№2)

比較条件	重量濃度 (mg/m³)			HVAS⑥に対する比		レーザによる 光学濃度 ($\times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$)
	④	⑤	⑥	④/⑥	⑤/⑥	
1/31 10:00~10:30	1.57	1.44	1.36	1.09	0.94	0.31
1/31 11:30~12:00	2.43	2.27	2.15	1.07	0.95	0.58
1/31 14:10~14:40	—	2.63	2.56	—	0.97	0.81

注 (1) 比較する際にはHVAS 3台を受光部付近に並置してサンプリングした。

器差補正值 (HVAS⑥を基準)

HVAS④：1.08

HVAS⑤：0.95

表-23 ハイボリウムエアサンプラの温湿度設定と煤煙重量との関係

単位(μg)

ろ紙 番号	トンネル内 で秤量した 煤煙重量	20℃, 50% で秤量した 煤煙重量	重量濃度差	ろ紙 番号	トンネル内 で秤量した 煤煙重量	20℃, 50% で秤量した 煤煙重量	重量濃度差
6	66.0	63.3	2.7	24	6.8	6.1	0.7
7	42.7	40.8	1.9	25	34.4	35.3	-0.9
5	64.3	61.1	3.2	27	50.8	50.6	0.2
8	25.4	26.2	-0.8	26	17.0	17.9	-0.9
9	23.8	23.2	0.6	29	52.3	50.5	1.8
10	16.3	14.5	1.8	30	104.9	75.3	29.6
11	45.3	45.8	-0.5	28	34.9	34.8	0.1
12	40.0	39.7	0.3	32	75.7	70.1	4.6
13	68.0	33.2	34.8	35	25.1	26.2	-1.1
14	57.2	56.9	0.3	33	63.0	62.1	0.9
17	22.5	22.8	-0.3	31	53.0	52.2	0.8
16	50.6	50.6	0.0	34	14.0	14.9	-0.9
15	44.7	44.7	0.0	38	88.3	87.1	1.2
18	18.1	13.5	4.6	40	35.2	35.6	-0.4
19	81.8	79.6	2.2	36	80.4	80.3	0.1
22	33.7	33.3	0.4	37	65.6	65.9	-0.3
20	74.3	73.3	1.0	39	21.5	22.8	-1.3
21	63.5	62.7	0.8	41	69.9	69.9	0.0
23	17.8	17.6	0.2	42	76.9	77.7	-0.8

表-24 ハイボリウムエアサンプラにおけるサンプリング時間と重量濃度との関係

実験条件	重量濃度 (mg/m^3)			重量濃度比		シグリスト 粉じん計による 重量濃度 (mg/m^3)
	サンプリング時間 30分	サンプリング時間 60分	サンプリング時間 10分	分 60/30	分 10/30	
E	1.79		1.78		0.994	0.843
F	2.81		3.01		1.07	1.44
G	0.97	0.55		0.567		0.165
H	1.55	1.19		0.768		0.518
I	2.24		2.12		0.946	0.888
J	2.98		3.13		1.05	1.43

注 (1) サンプリング時間10分、60分の重量濃度はシグリスト粉じん計の測定値によって補正した。

表-25 各測定器の100%校正値

単位(%)

	1/28	1/29	1/30	1/31
100mレーザ光透過率計	100	99	99	98
S-4透過率計	100	100	100	98
SBC透過率計	100	101	100	100
分光透過率計	100	97	98	97
比色式透過率計	100	101	101	99

表-26 トラックからの発生煤煙量とトンネル内拡散煤煙量との比較

実験 番号	トラック（往路）		トラック（復路）		トンネル内の 光 学 濃 度	トラックからの 発 生 煤 煙 量	トンネル内の 拡 散 煤 煙 量	希 釈 比
	光学濃度	流 量	光学濃度	流 量				
C	0.6 1	3 7.6	0.3 2	3 4.7	0.10×10 ⁻²	3 9 m ³	3 0 m ³	0.7 7
D	0.5 2	3 6.0	0.3 4	3 4.7	0.2 9	9 5	8 8	0.9 3
	0.2 7	3 3.0	0.3 2	3 1.0				
E	0.3 4	3 7.3	0.2 5	3 4.8	0.4 8	1 5 5	1 4 5	0.9 4
	0.2 5	3 3.4	0.2 9	3 0.1				
	0.2 3	3 1.8	0.2 4	2 9.7				
F	0.6 4	4 0.4	0.4 1	3 2.1	0.8 2	2 6 1	2 4 8	0.9 5
	0.3 2	3 2.0	0.3 1	2 9.5				
	0.2 9	3 1.2	0.2 8	2 9.5				
	0.2 9	3 0.9	0.2 8	2 9.7				

注 (1) 光学濃度は1mレーザ光透過率計による測定値である。

(2) 光学濃度の単位は(m⁻¹)、流量の単位は(m³)である。

(3) (希釈比) = $\frac{(\text{トンネル内の拡散煤煙量})}{(\text{トラックからの発生煤煙量})}$

表-27 測定位置とハイボリウムエアサンプラによる重量濃度との関係

実験条件	サンプリング時間	重量濃度 (mg/m^3)			HVAS④に対する比	
		④	⑤	⑥	④/⑤	⑥/⑤
A	30分	0.43	0.54	0.57	0.80	1.06
B	30	2.07	1.94	1.11	1.07	0.57
C	30	0.45	0.77	0.72	0.58	0.94
D	30	1.07	1.37	1.22	0.78	0.89
E	30	1.54	1.79	1.64	0.86	0.92
F	30	2.13	2.81	2.55	0.76	0.91
G	30	0.57	0.97	—	0.59	—
H	30	1.19	1.55	—	0.77	—
I	30	1.91	2.24	2.20	0.85	0.98
J	30	2.50	2.98	2.91	0.84	0.98
K	30	0.05	0.12	—	0.37	—
E	10	1.25	1.78	—	0.70	—
F	10	1.75	2.70	—	0.65	—
I	10	1.45	2.12	—	0.68	—
J	10	2.22	2.98	—	0.74	—

注 (1) ハイボリウムエアサンプラの設置場所

HVAS ④：投光部付近（高さ0.76m）

HVAS ⑤：受光部付近（高さ0.76m）

HVAS ⑥：受光部付近（高さ2.75m）

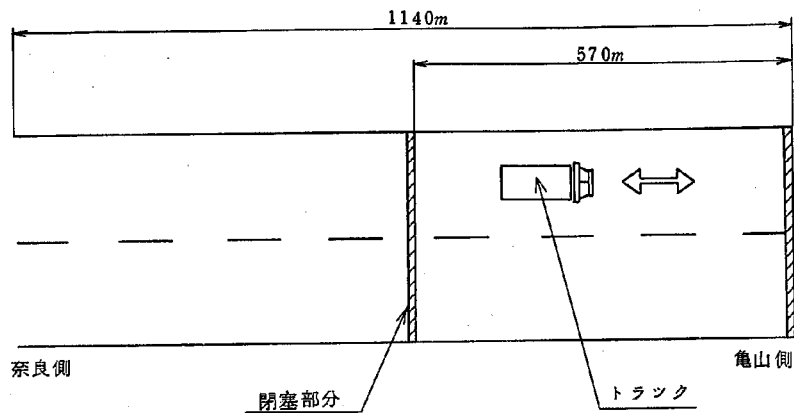
注 (2) 重量濃度④, ⑥にはHVAS⑤を基準とした器差補正を施している。

表-28 分光透過特性の比較

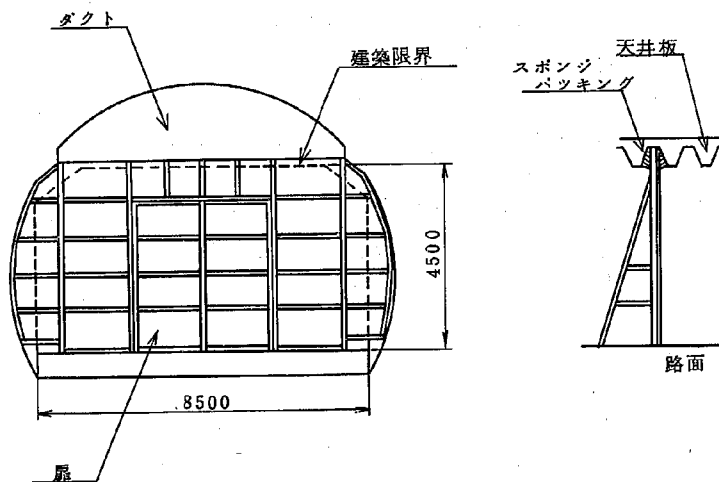
項目 トンネル名	波長係数 γ	カスケードインパクタによる 全捕集重量中に占める最 終段（ろ紙）重量比	煤煙中に占める 灰分の割合	電子顕微鏡による 煤煙の一次粒子径
栗子他3トンネル ¹⁾ 47年10月	1.15	50%	50%	0.03 μ
妻沼模倣トンネル ²⁾ 49年2月	0.85	35	—	—
関トンネル 50年1月	1.28	80	10	約0.03

付 図 目 次

図-1	トンネル閉塞状況	45
図-2	トンネルにおける測定器の配置	46
図-3	トラック上の測定器配置	47
図-4	サージタンクの構造図	47
図-5	1 m レーザ光透過率計	48
図-6	100 m レーザ光透過率計	48
図-7	S-4 透過率計	49
図-8	比色式透過率計	49
図-9	分光透過率計	50
図-10	簡易ゴニオフォトメータ	50
図-11	風速計校正曲線	51
図-12	サージタンクにおける排気ガス温度と光学濃度との比較	52
図-13	サージタンクにおける排気ガスの温度と光学濃度の時間変化	53
図-14	サージタンクにおける1 m レーザ光透過率計とハートリッジスモークメータとの比較	54
図-15	ガイドパイプにおける1 m レーザ光透過率計とハートリッジスモークメータとの比較	55
図-16	1 m レーザ光透過率計によるガイドパイプとサージタンクとの煤煙濃度比較	56
図-17	秤量条件の相異による煤煙重量の変化	57
図-18	ハイボリウムエアサンプラのサンプリング時間と重量濃度との関係	58
図-19	透過率100%に対するズレを補正しない場合に生じる誤差	59
図-20	ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度とシグリスト粉じん計による重量濃度との比較	60
図-21	ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度とダストカウンタによる重量濃度との比較	61
図-22	シグリスト粉じん計による重量濃度とダストカウンタによる重量濃度との比較	62
図-23	光学濃度と重量濃度との比較	63
図-24	分光透過率測定中における煤煙濃度の回復	64
図-25	吸 光 度	65
図-26	分光透過率計による650 nm の吸光度とレーザによる光学濃度との比較	66
図-27	各波長の吸光度	67
図-28	分光透過率曲線	68
図-29	波長係数(τ)の算出	69
図-30	比色式透過率計の出力特性	70
図-31	レーザによる光学濃度とS-4 透過率計による光学濃度の比較	71

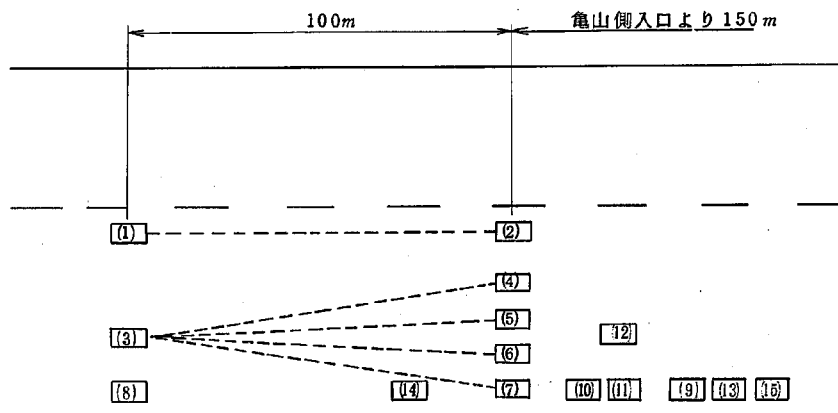


a) 実験場所



b) 閉塞部

図-1 トンネル閉塞状況



- (1) 100 m レーザ光透過率計投光部
- (2) " 受光部
- (3) S-4 透過率計投光部 ((4)~(7) に兼用する)
- (4) 比色式透過率計受光部
- (5) SBC 透過率計受光部
- (6) S-4 透過率計受光部
- (7) 分光透過率計受光部
- (8) ハイボリュームエアサンプラ (投光部付近)
- (9) " (受光部付近)
- (10) シグリスト粉じん計
- (11) ダストカウンタ
- (12) カスケードインパクタ
- (13) ゴニオフォトメータ
- (14) 自記温湿度計
- (16) その他 (交流安定化電源, ペンレコーダ, デジタル電圧計等)

図-2 トンネルにおける測定器の配置

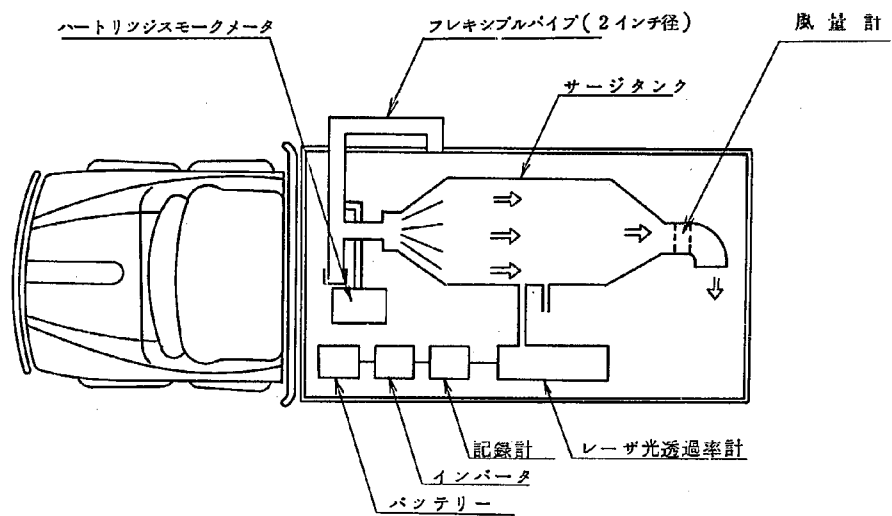


図-3 トラック上の測定器配置

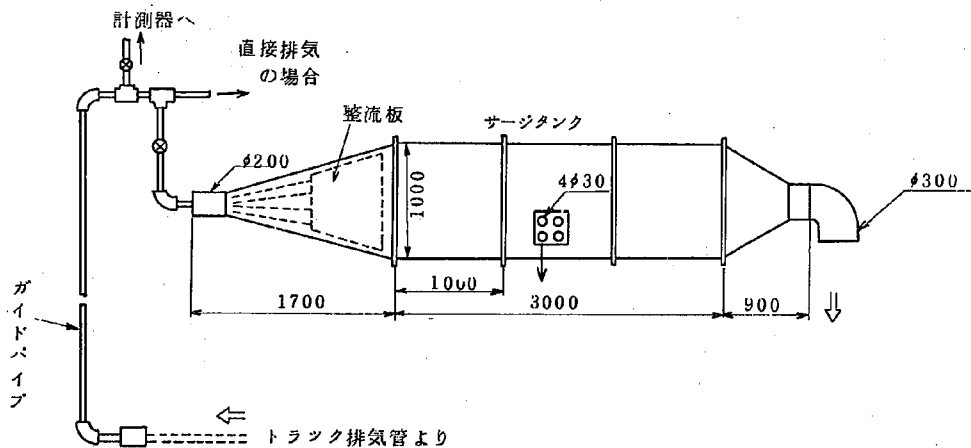


図-4 サージタンクの構造図

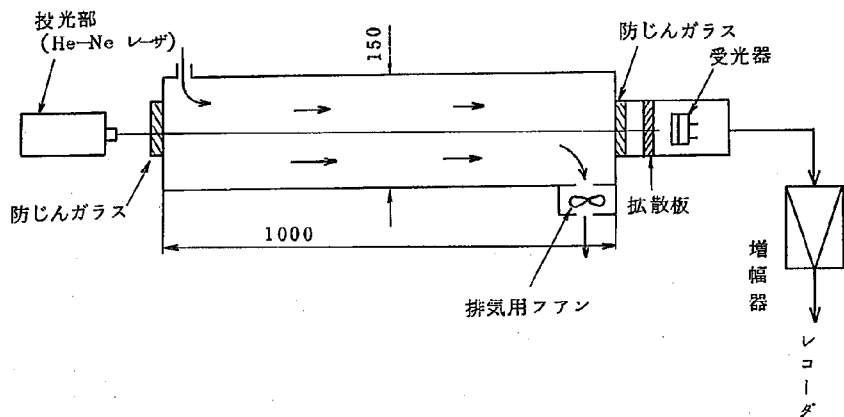


図-5 1 m レーザ光透過率計

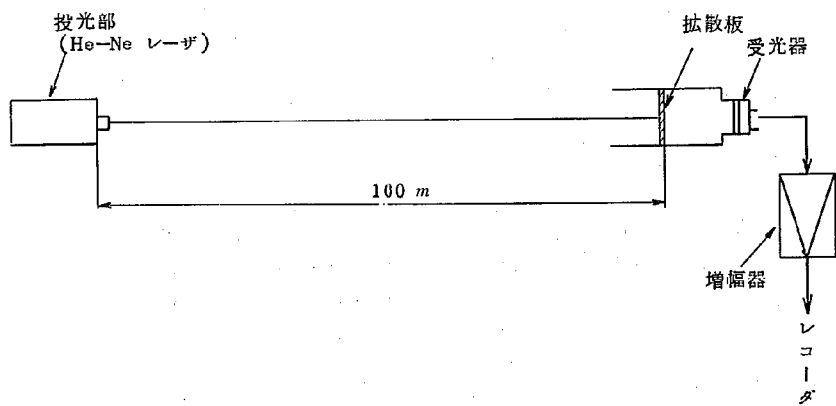


図-6 100 m レーザ光透過率計

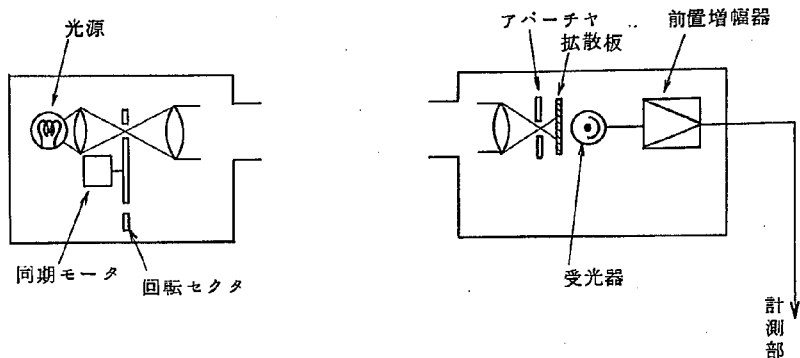


図-7 S-4 透過率計

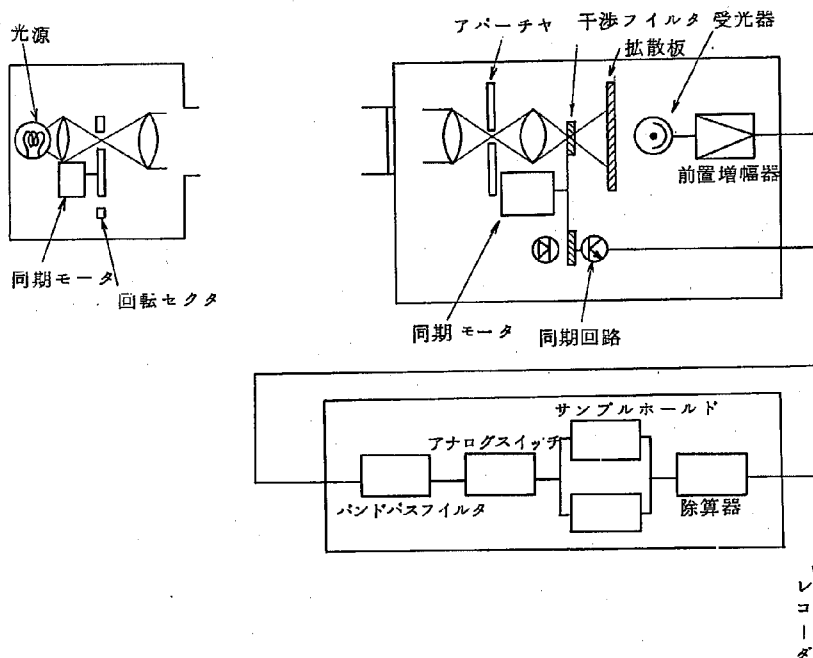


図-8 比色式透過率計

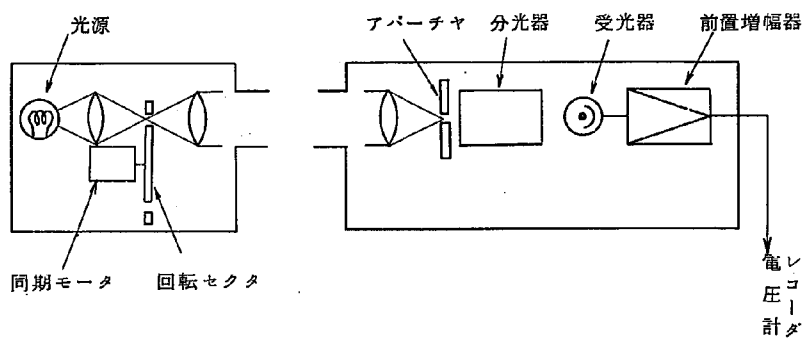


図-9 分光透過率計

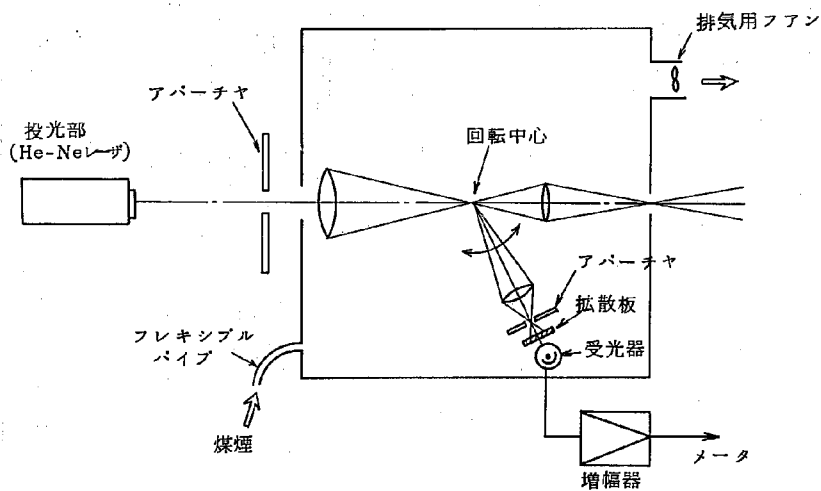
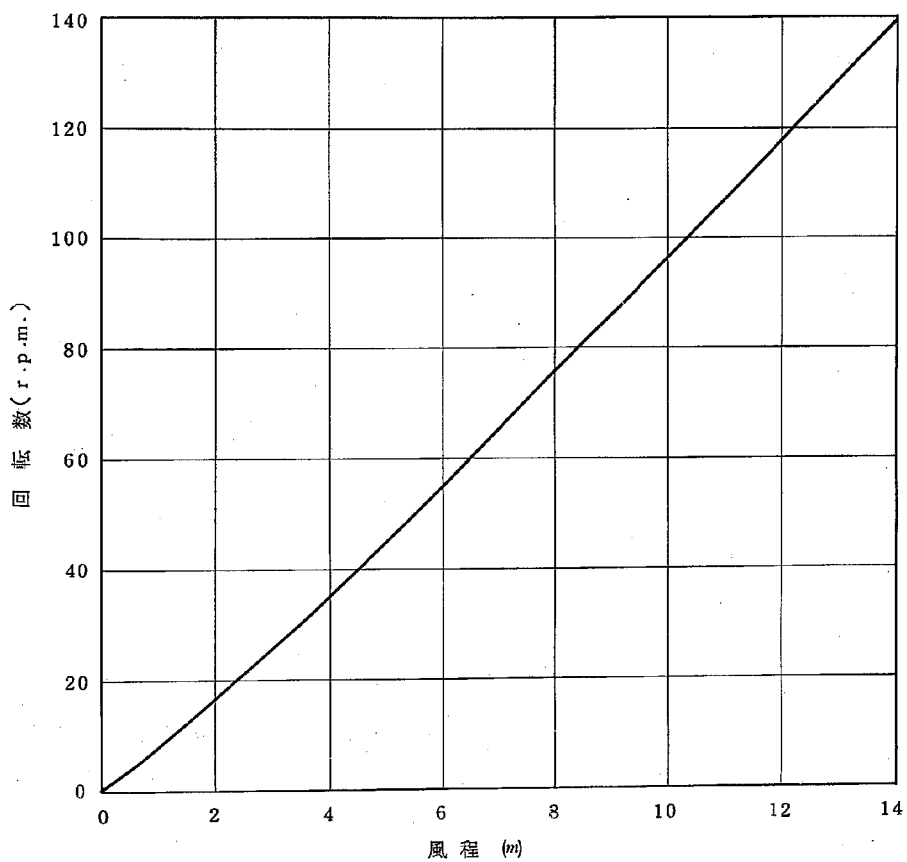


図-10 簡易ゴニオフォトメータ



注) 信号出力 1 pulse = 6 r.p.m.

図-11 風速計校正曲線

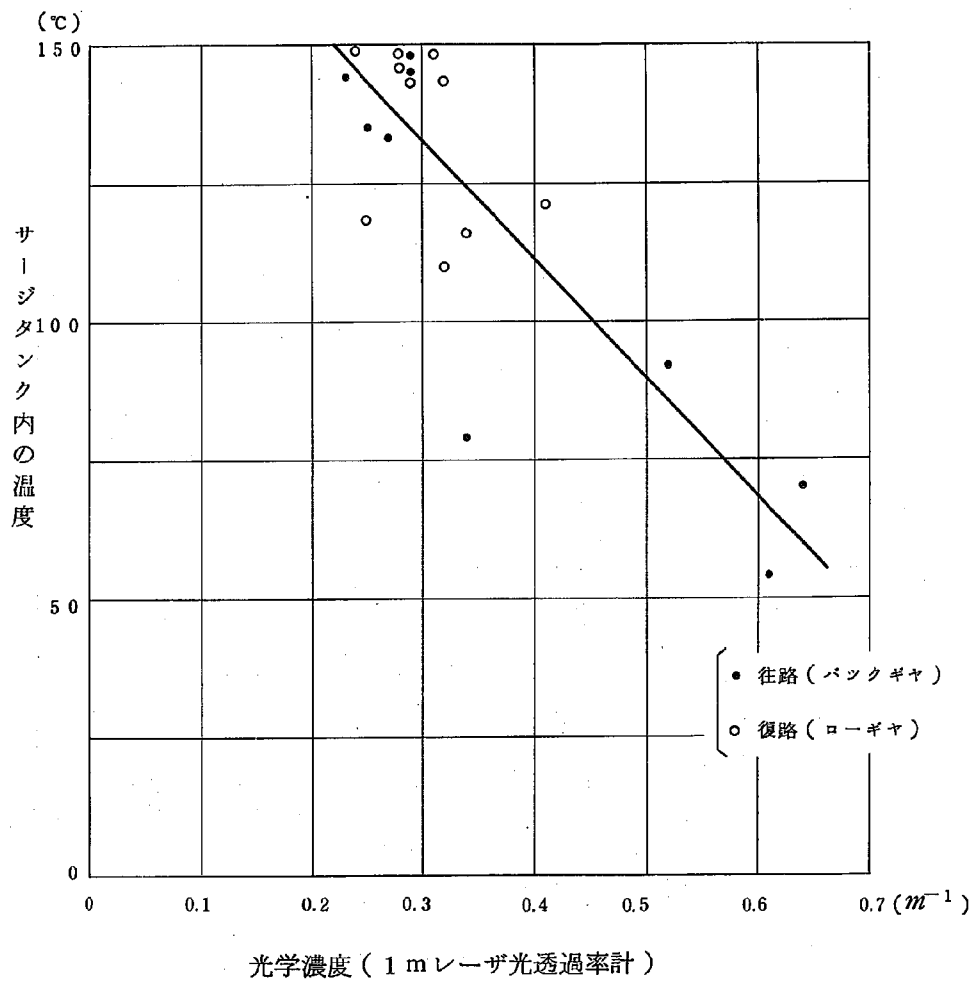


図-12 サージタンクにおける排気ガス温度と光学濃度との比較

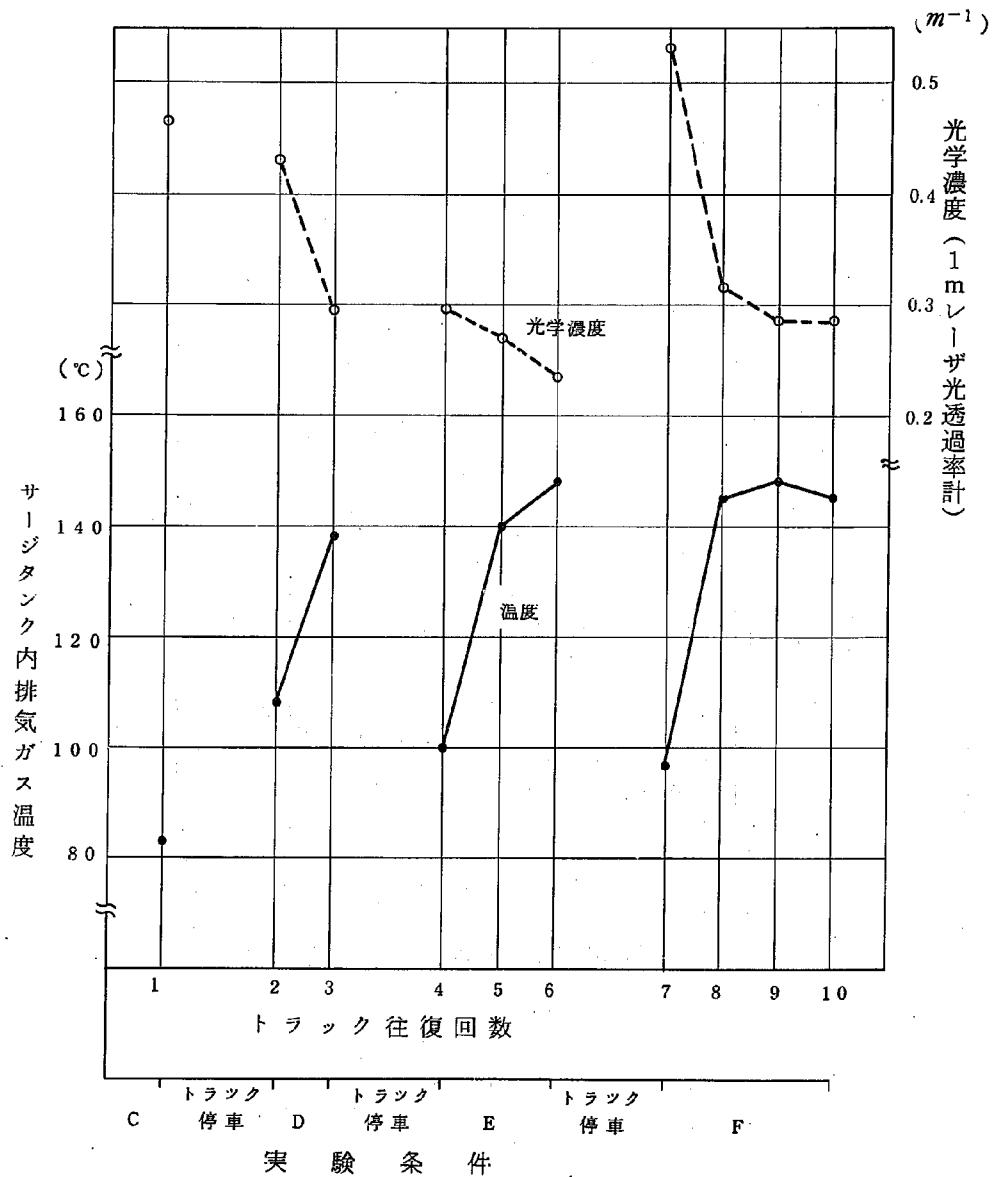


図-13 サージタンクにおける排気ガスの温度と光学濃度の時間変化

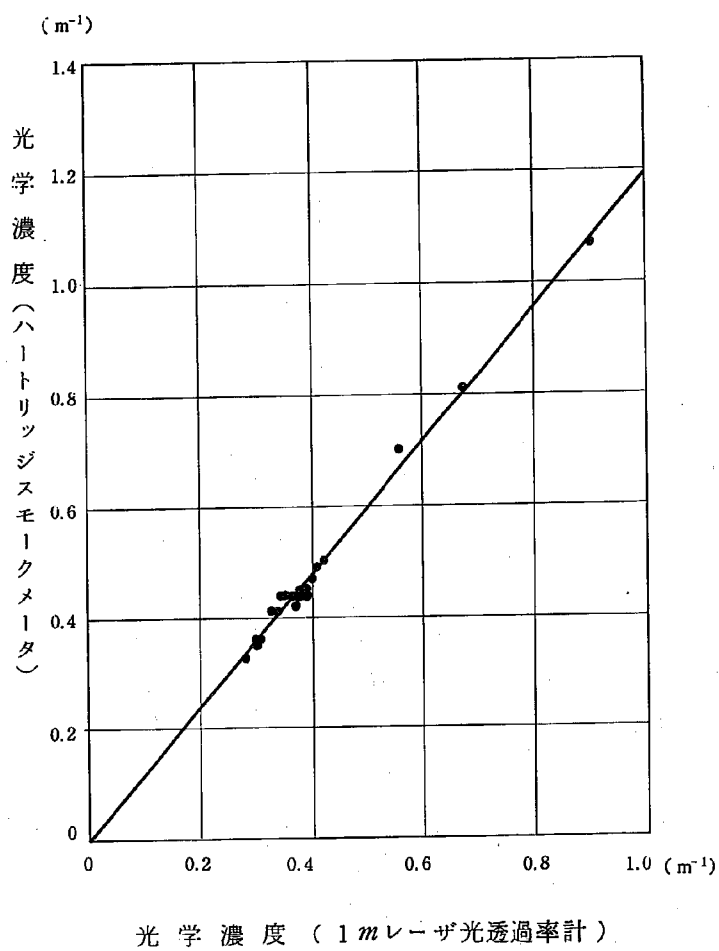


図-14 サージタンクにおける $1m$ レーザ光透過率計と
ハートリッジスモークメータとの比較

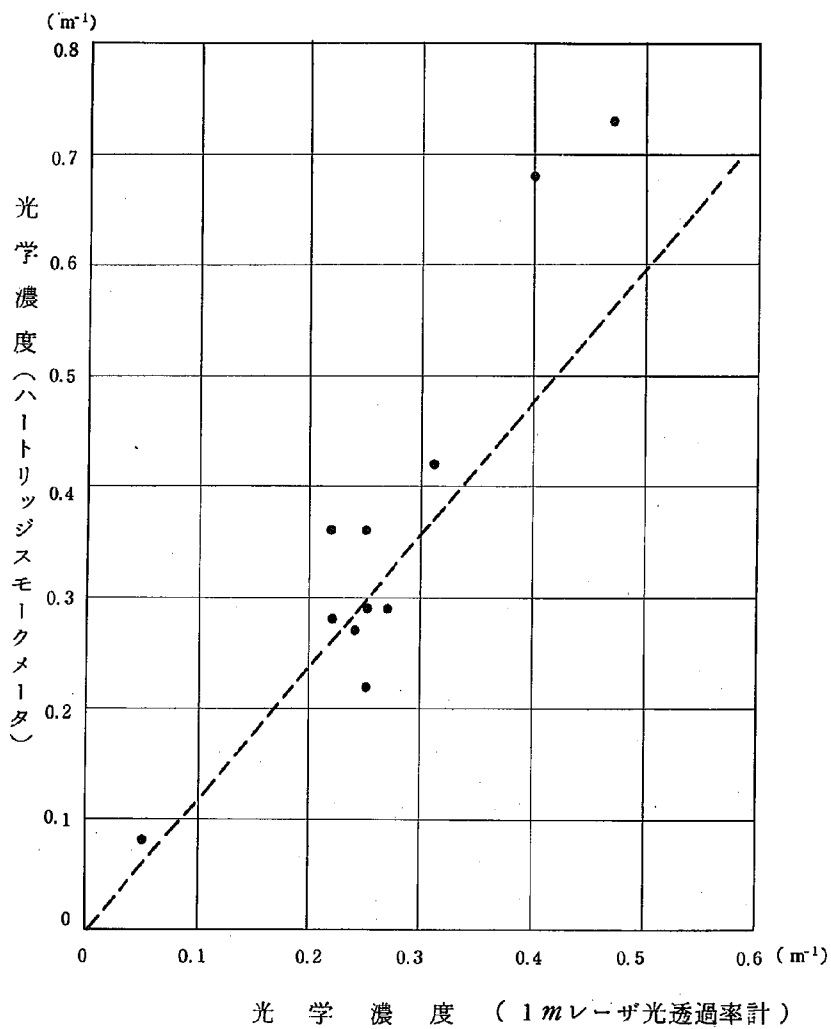


図-15 ガイドパイプにおける1mレーザ光透過率計と
ハートリッジスモークメータとの比較

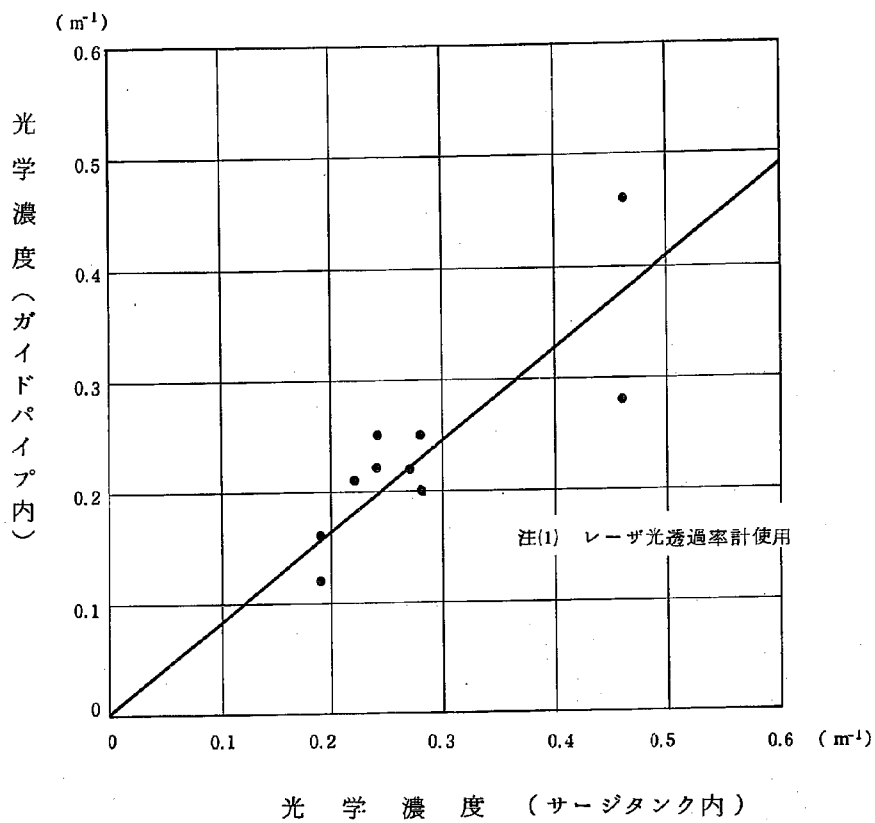


図-16 1mレーザ光透過率計によるガイドパイプとサージタンクとの煤煙濃度比較

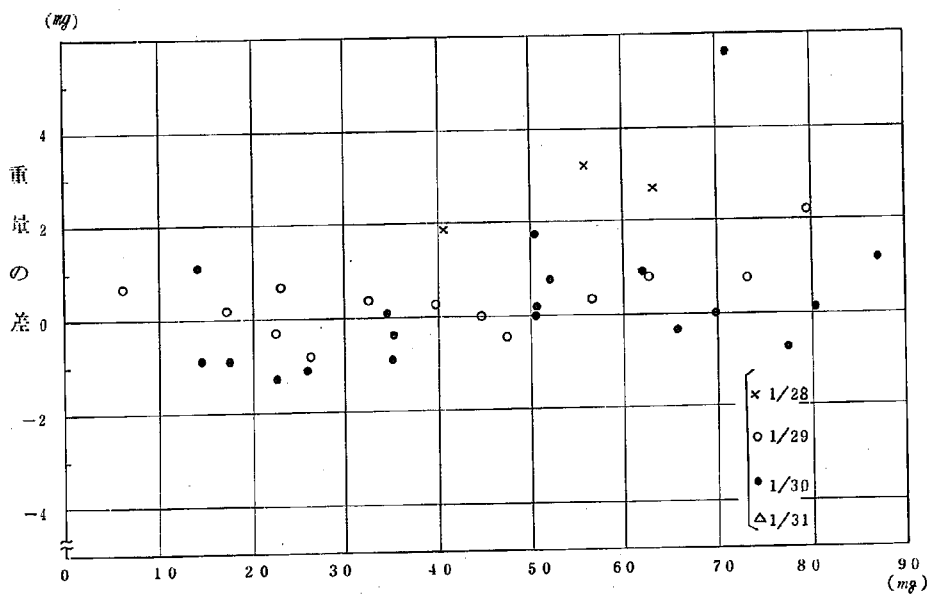


図-17 秤量条件の相異による煤煙重量の変化

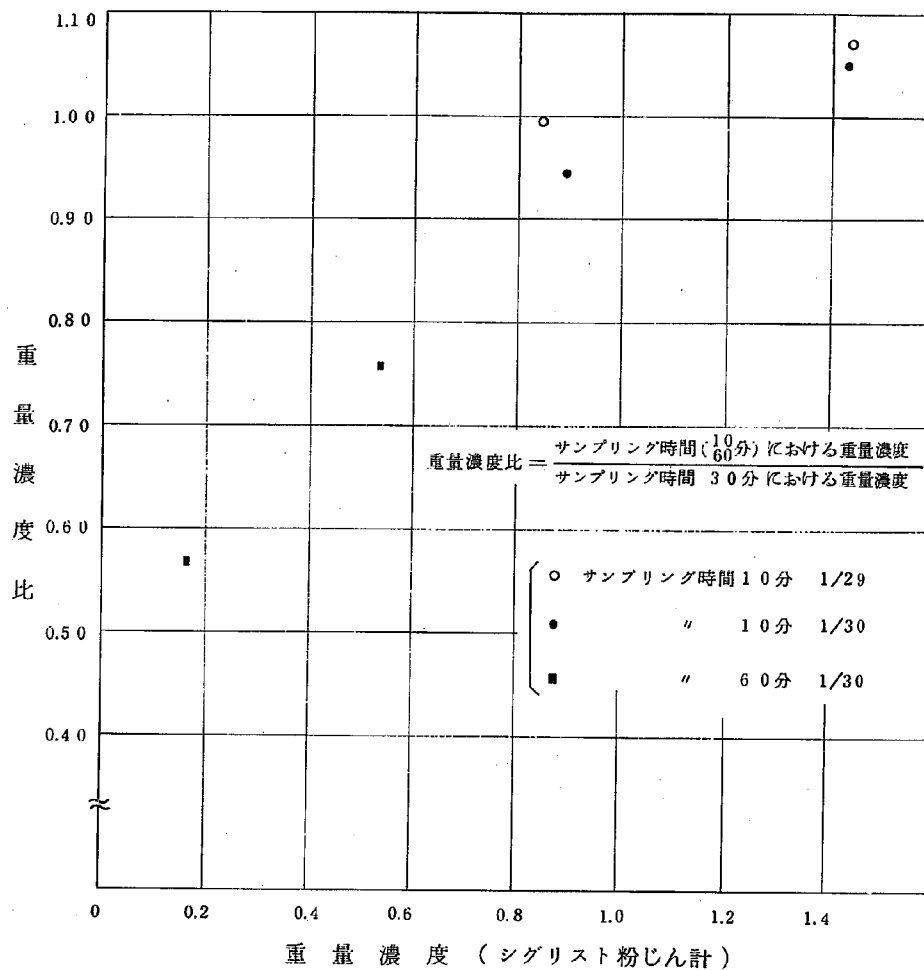


図-18 ハイボリュームエアサンプラのサンプリング時間と重量濃度との関係

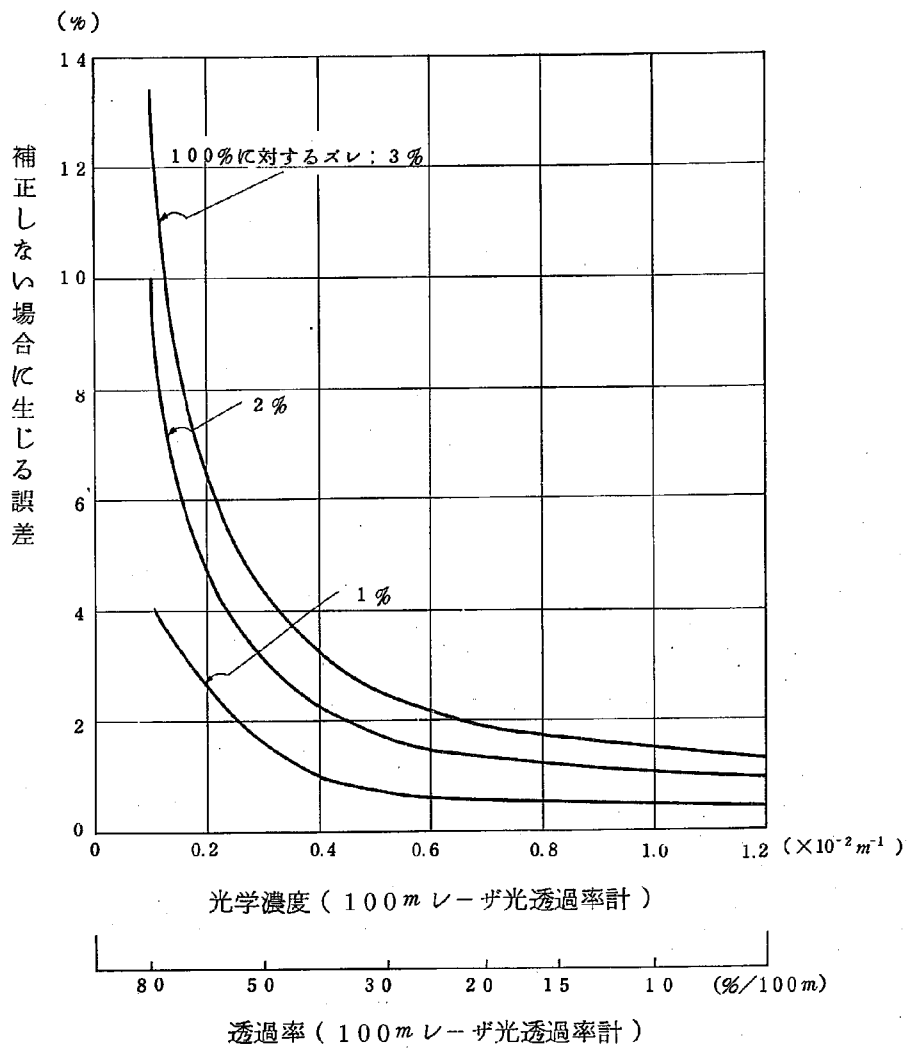


図-19 透過率100%に対するズレを補正しない場合に生じる誤差

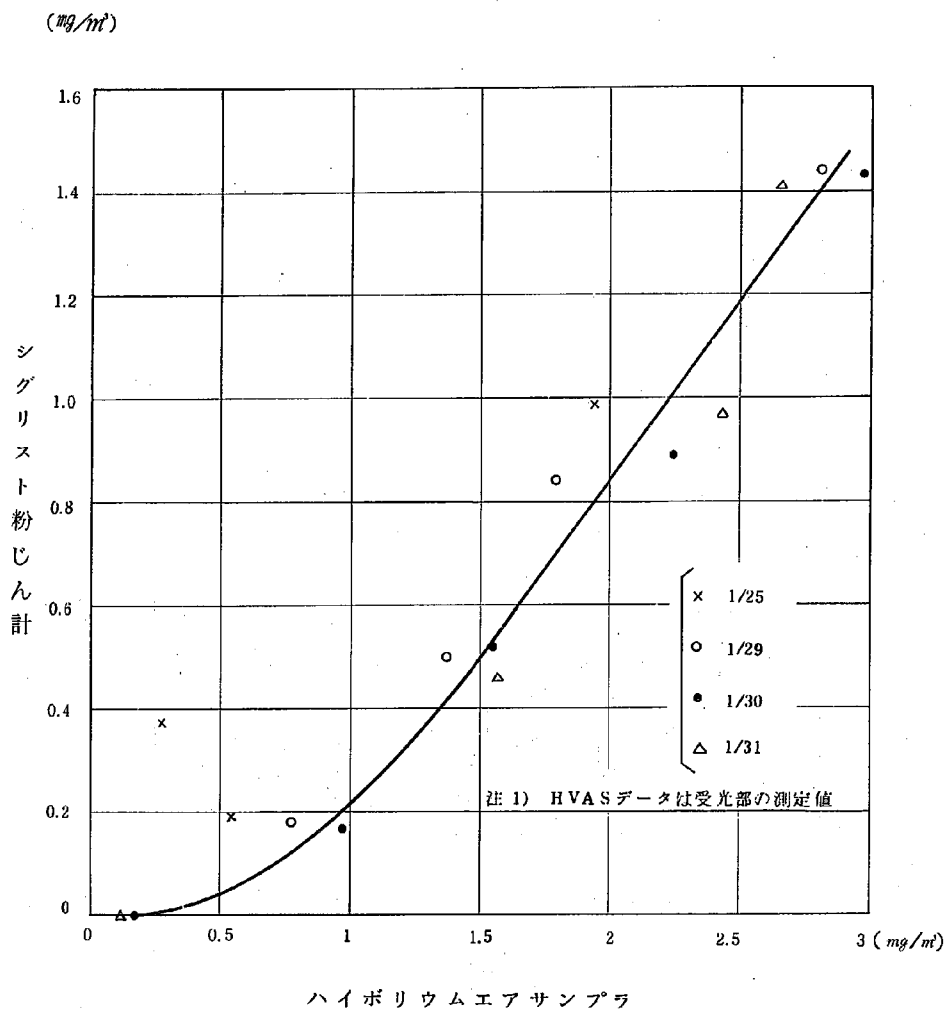


図-20 ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度と
シグリスト粉じん計による重量濃度との比較

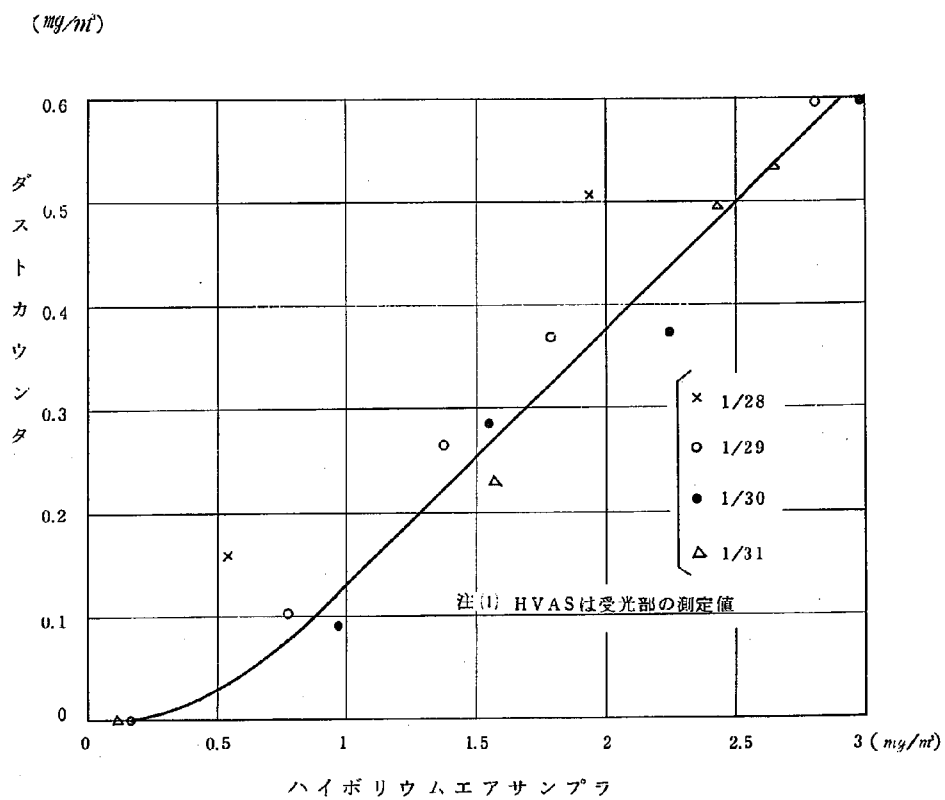


図-21 ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度と
ダストカウンタによる重量濃度との比較

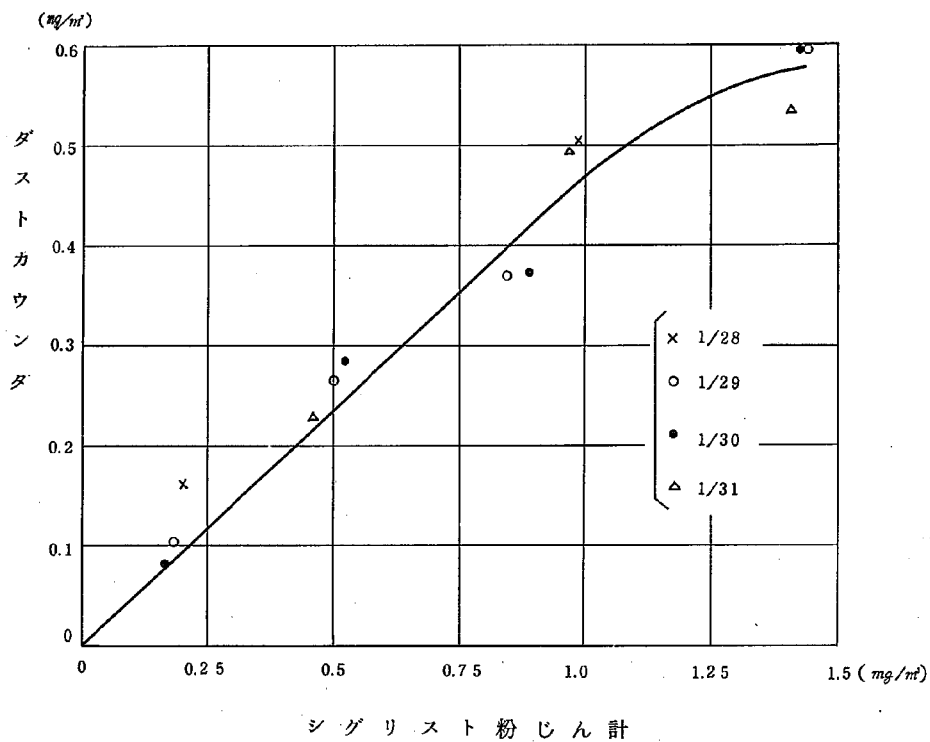


図-22 シグリスト粉じん計による重量濃度と
ダストカウンタによる重量濃度との比較

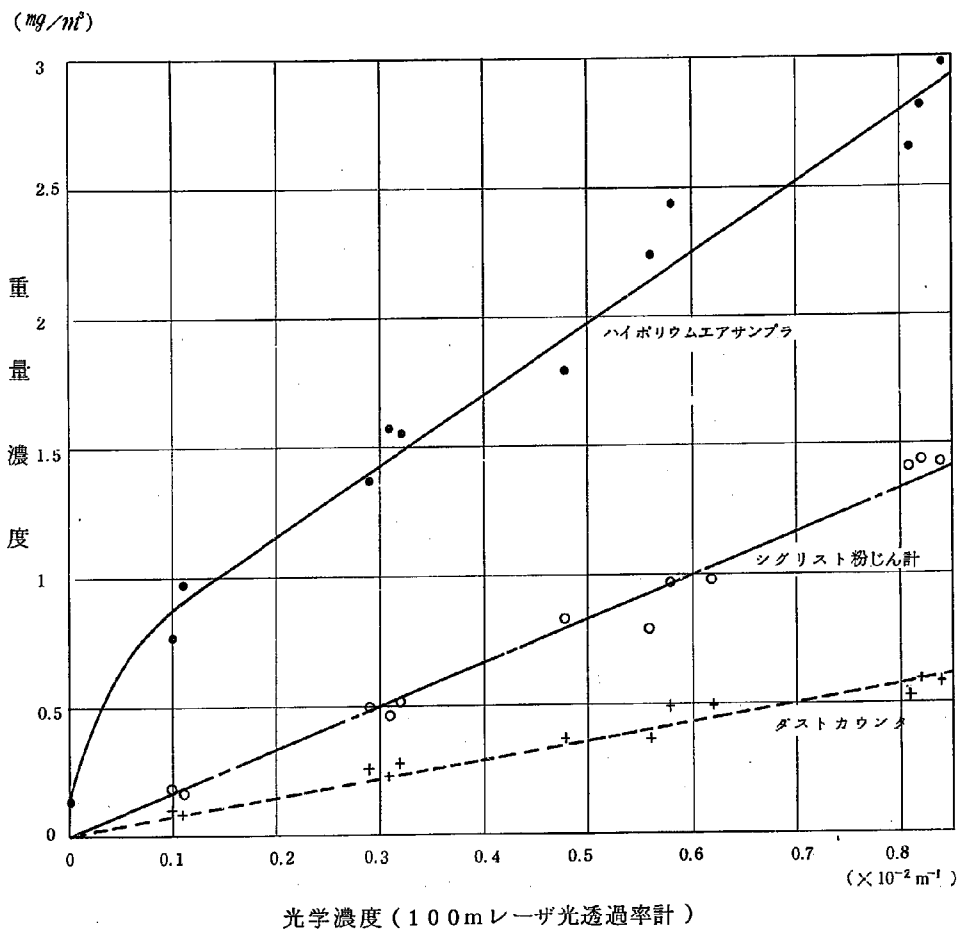


図-23 光学濃度と重量濃度との比較

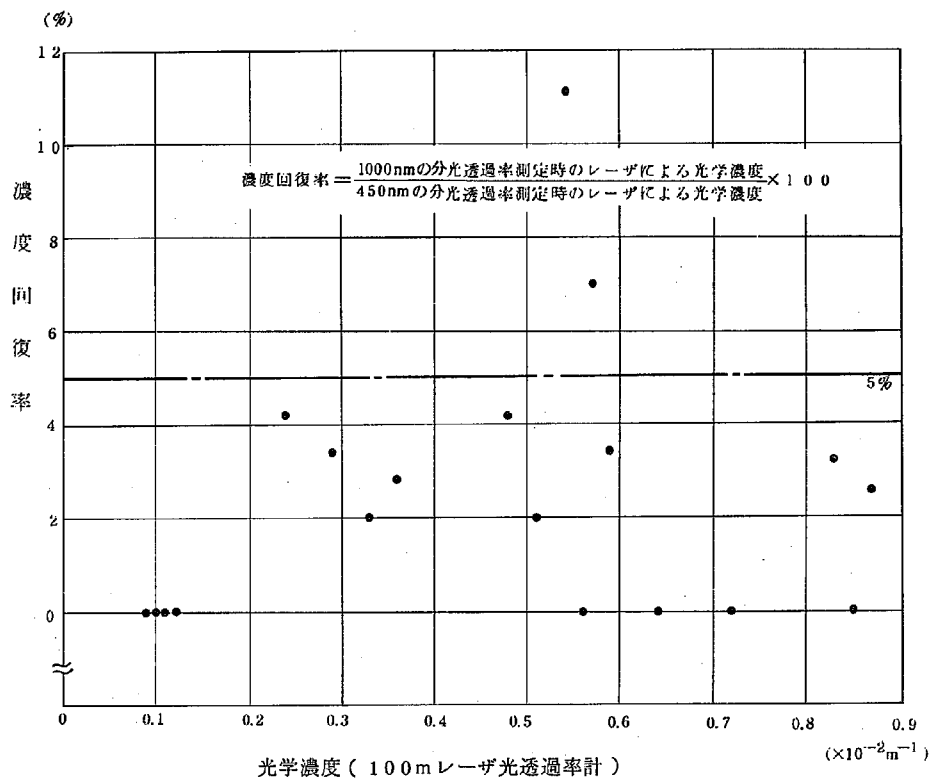


図 - 2 4 分光透過率測定中における煤煙濃度の回復

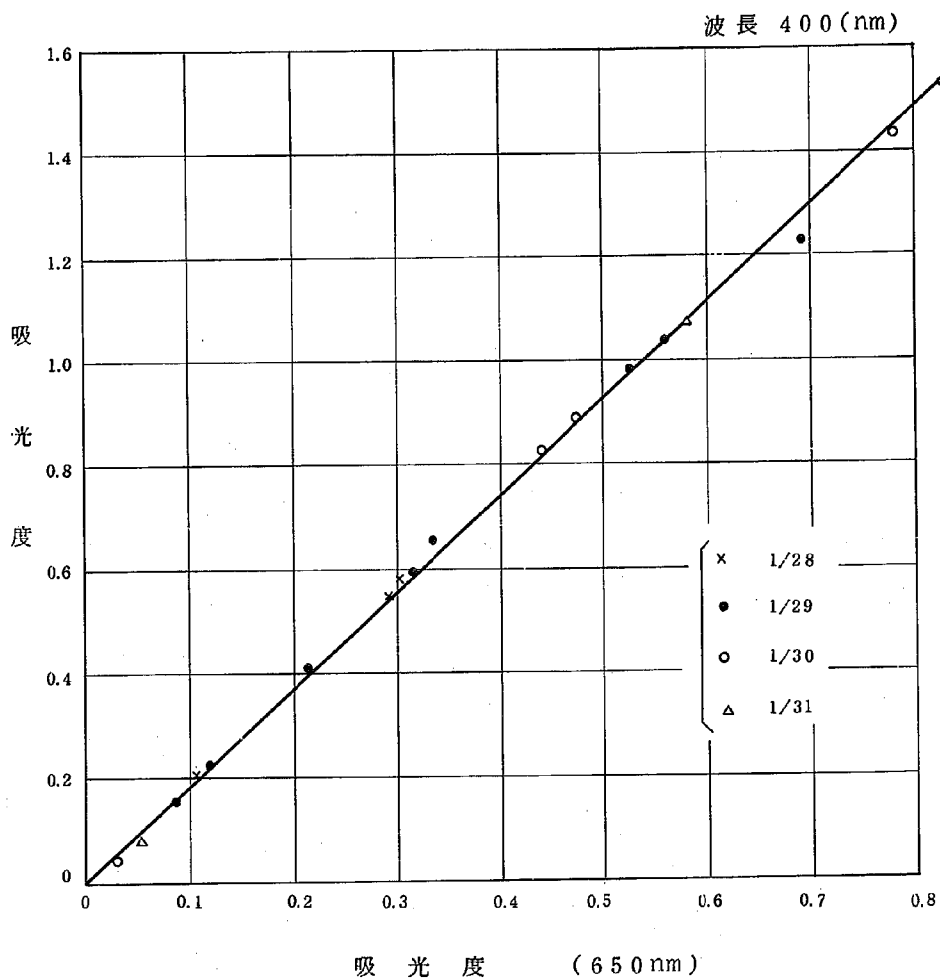


图-25 吸 光 度

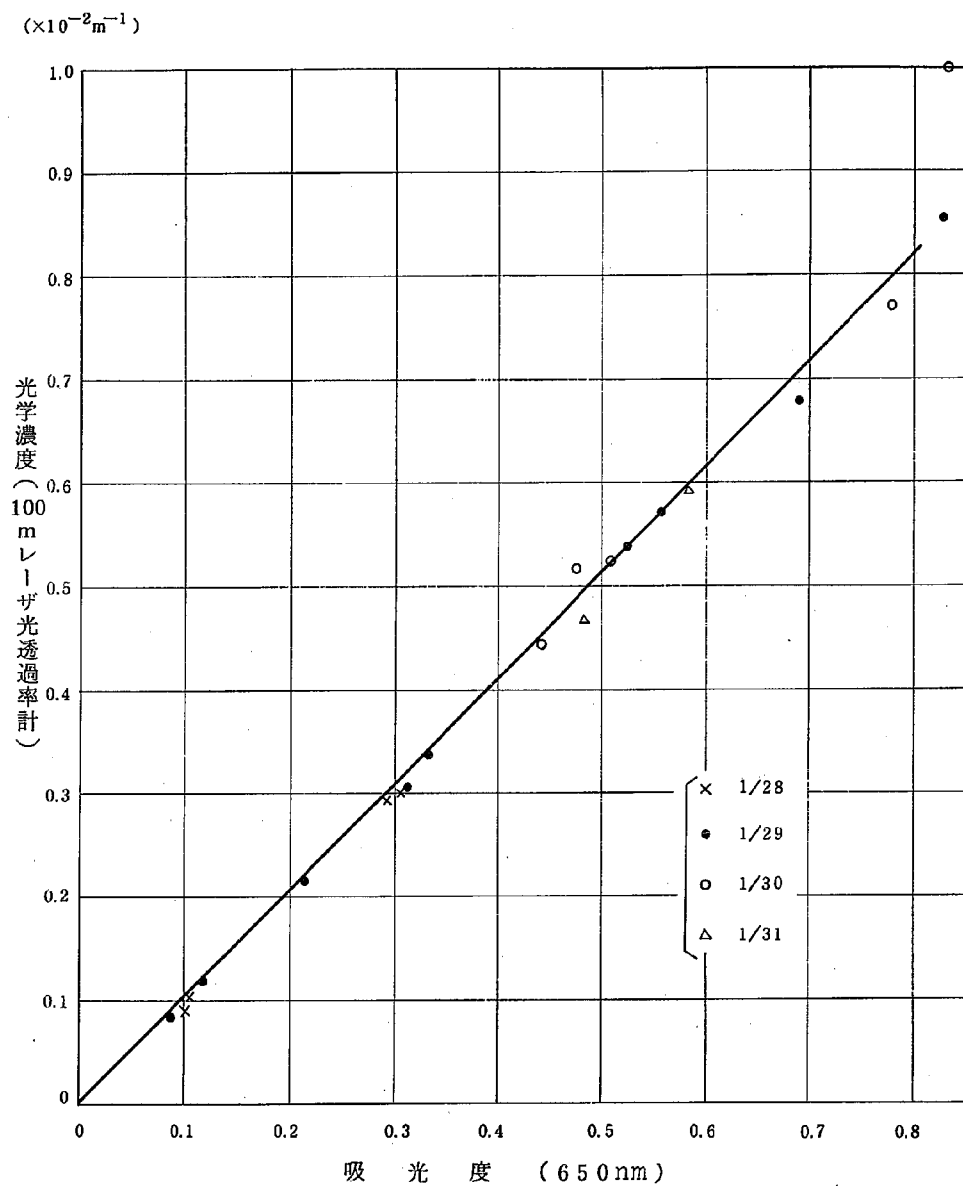


図-26 分光透過率計による650nmの吸光度と
レーザによる光学濃度との比較

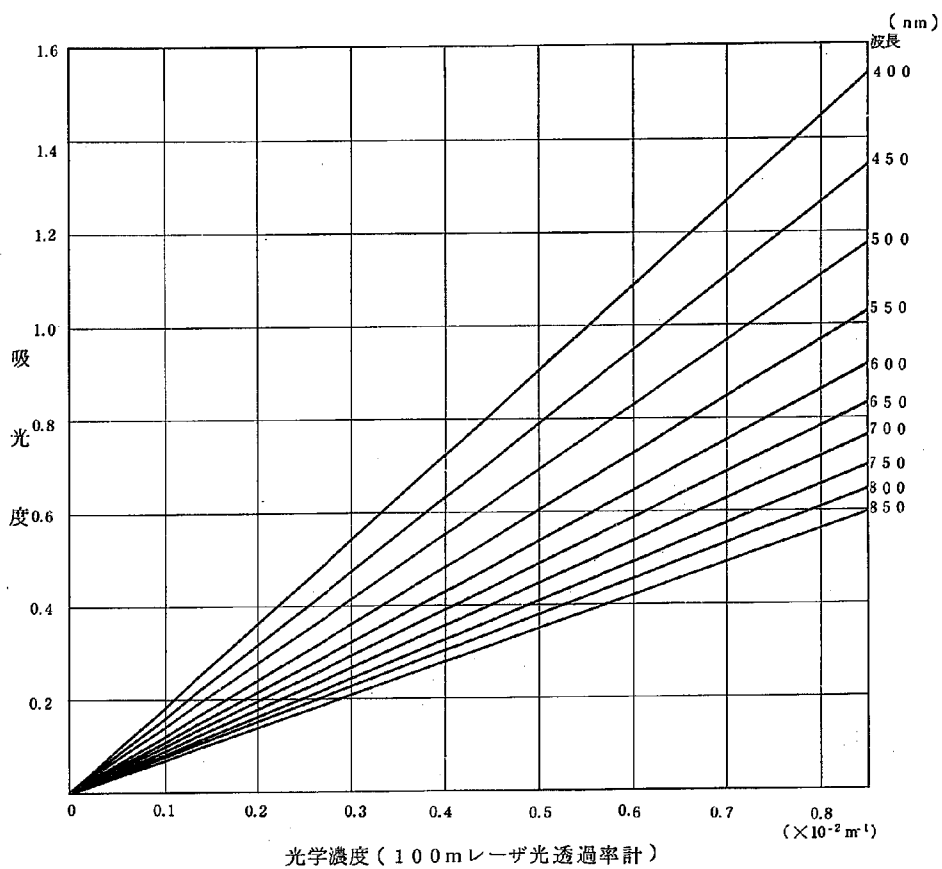


図-27 各波長の吸光度

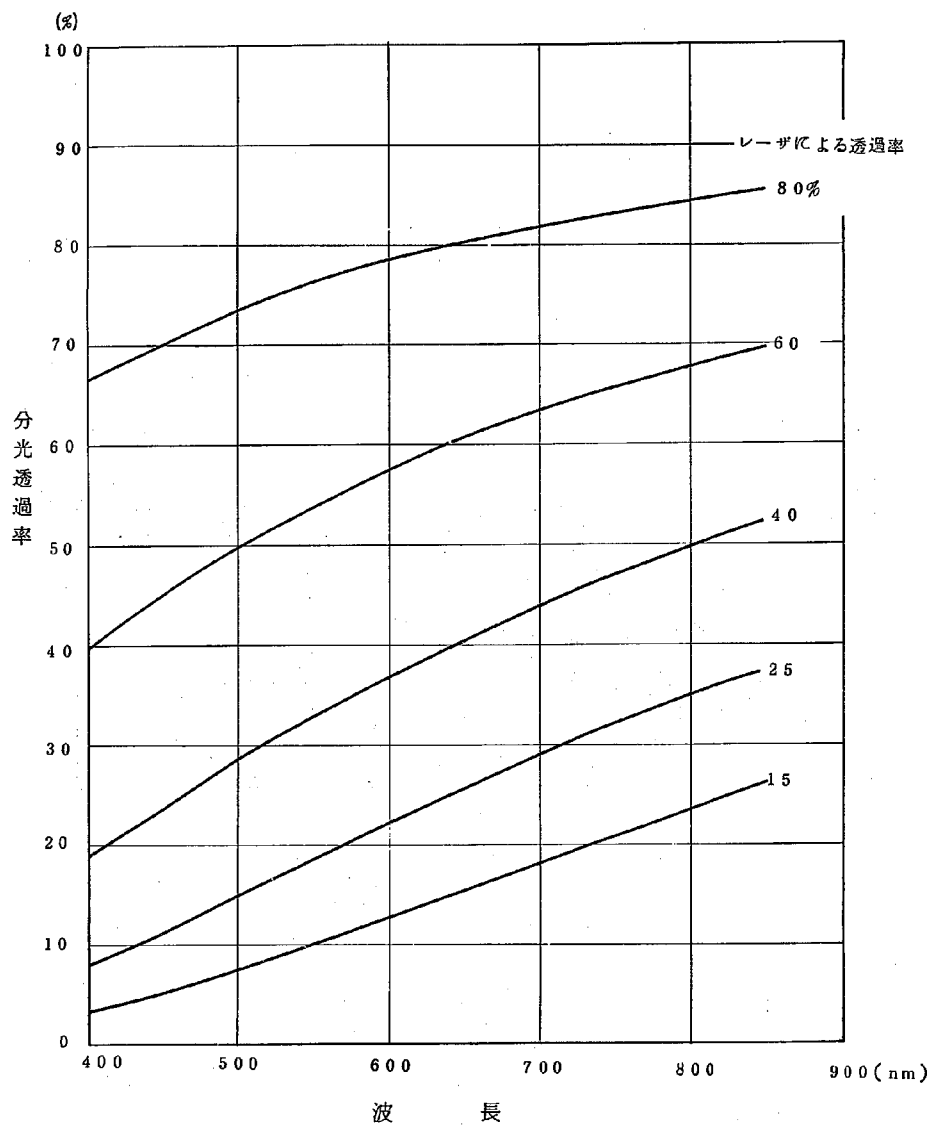


図-28 分光透過率曲線

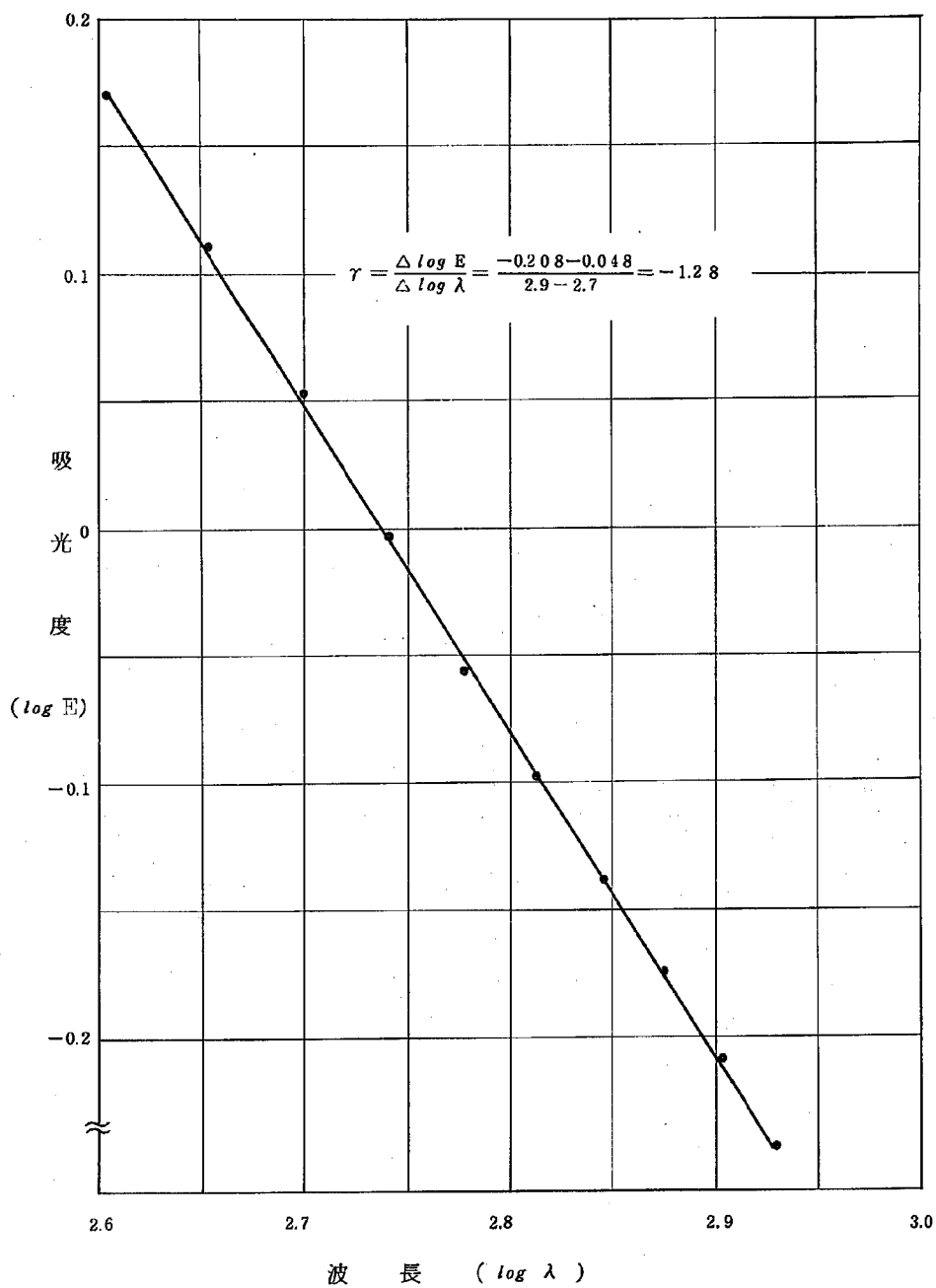


図-29 波長係数 (γ) の算出

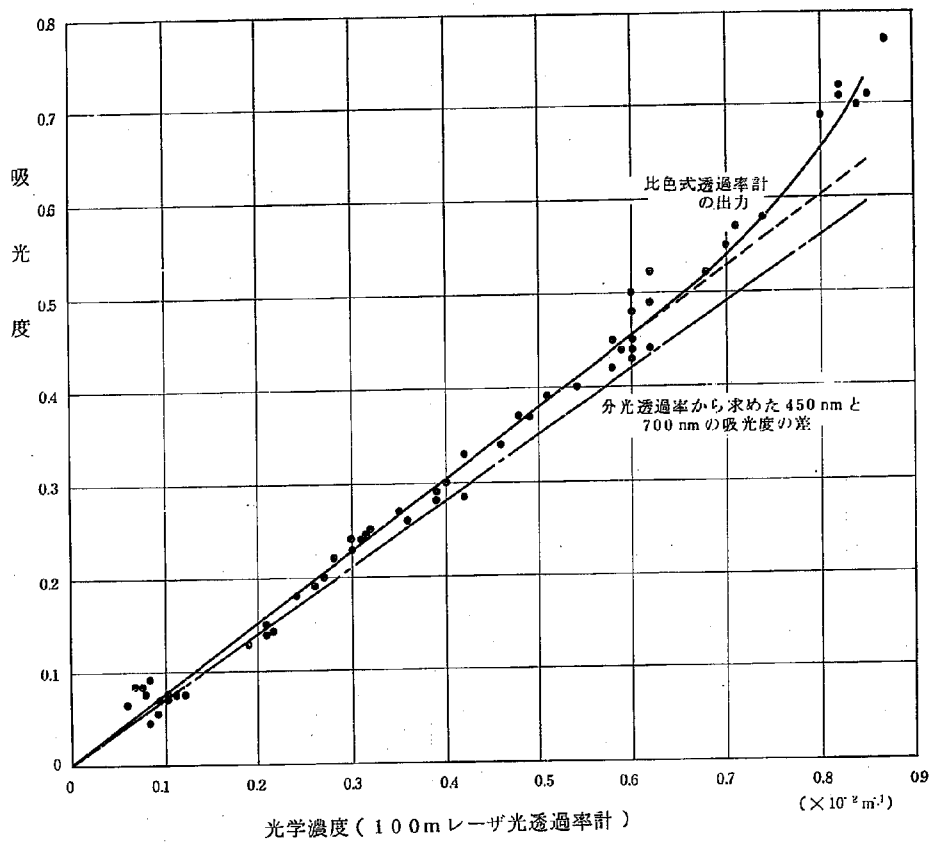


図-30 比色式透過率計の出力特性

($\times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$)

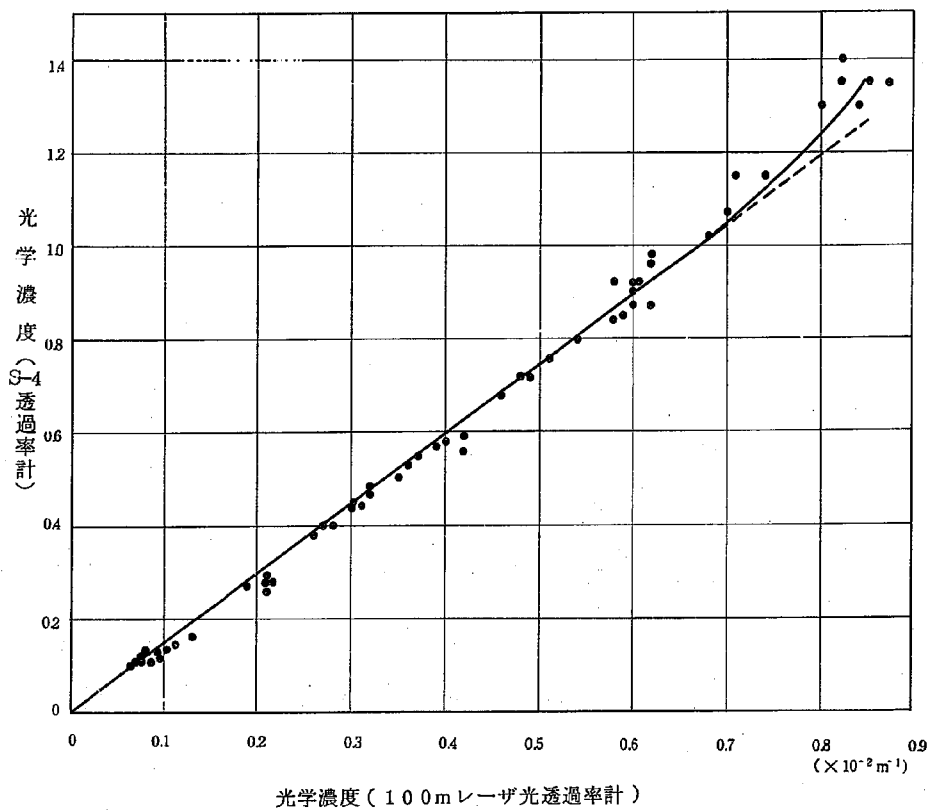


図-31 レーザによる光学濃度とS-4透過率計による光学濃度の比較

($\times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$)

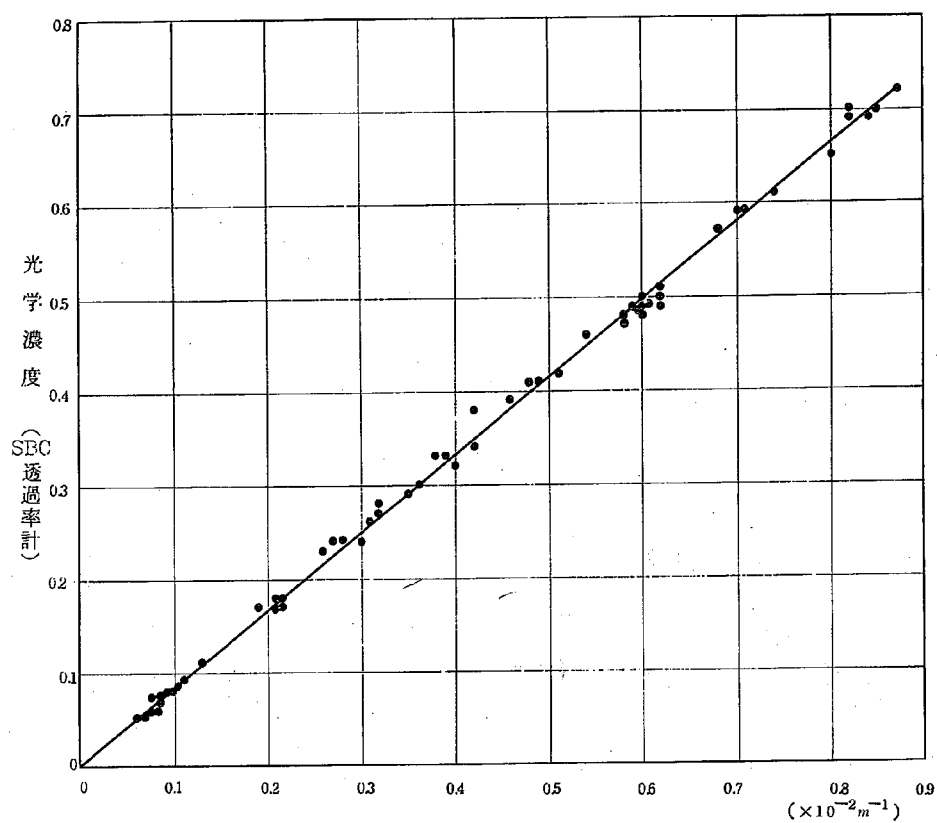


図-32 レーザによる光学濃度とSBC透過率計による光学濃度との比較

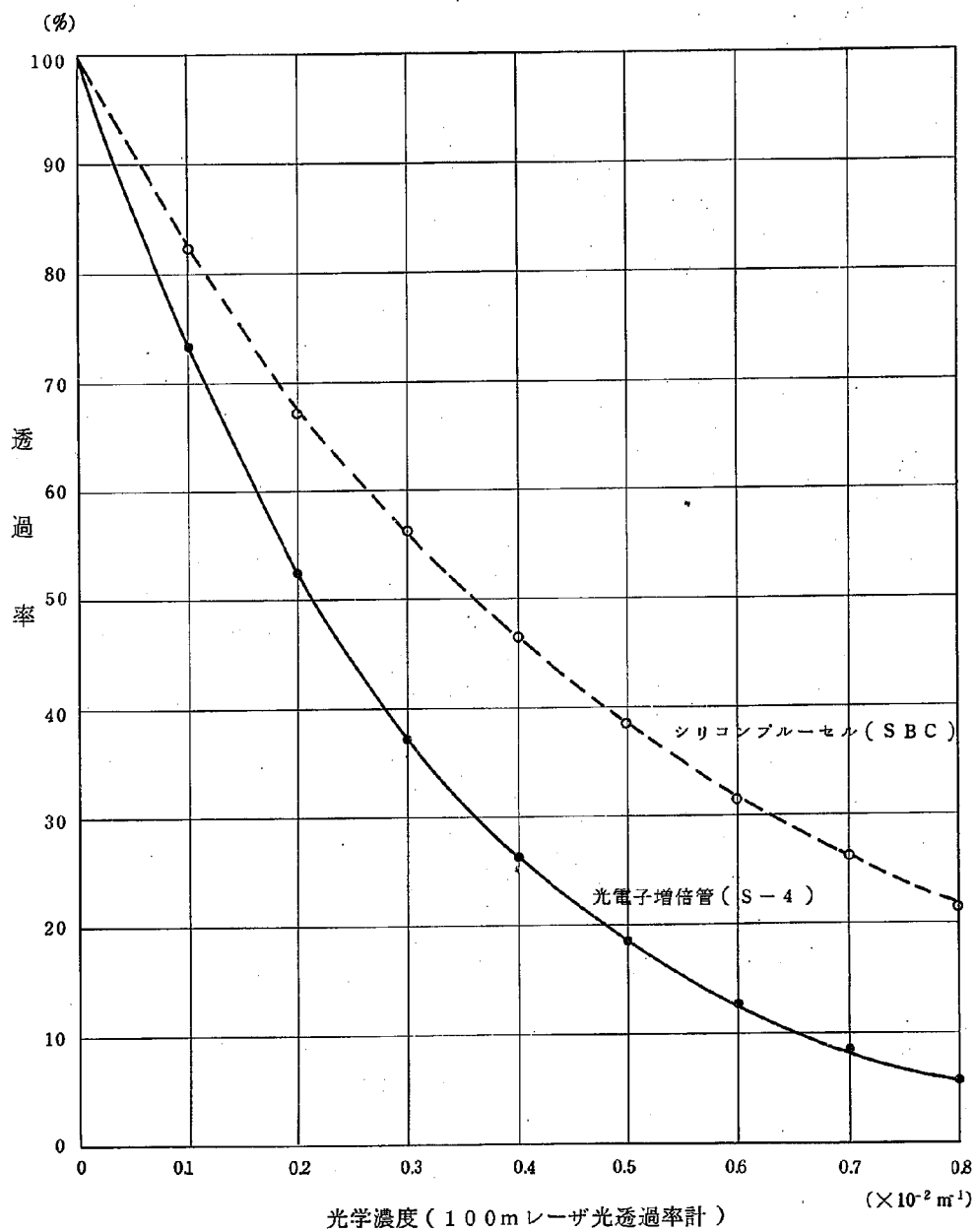


図-33 S-4 透過率計とSBC透過率計の出力比較

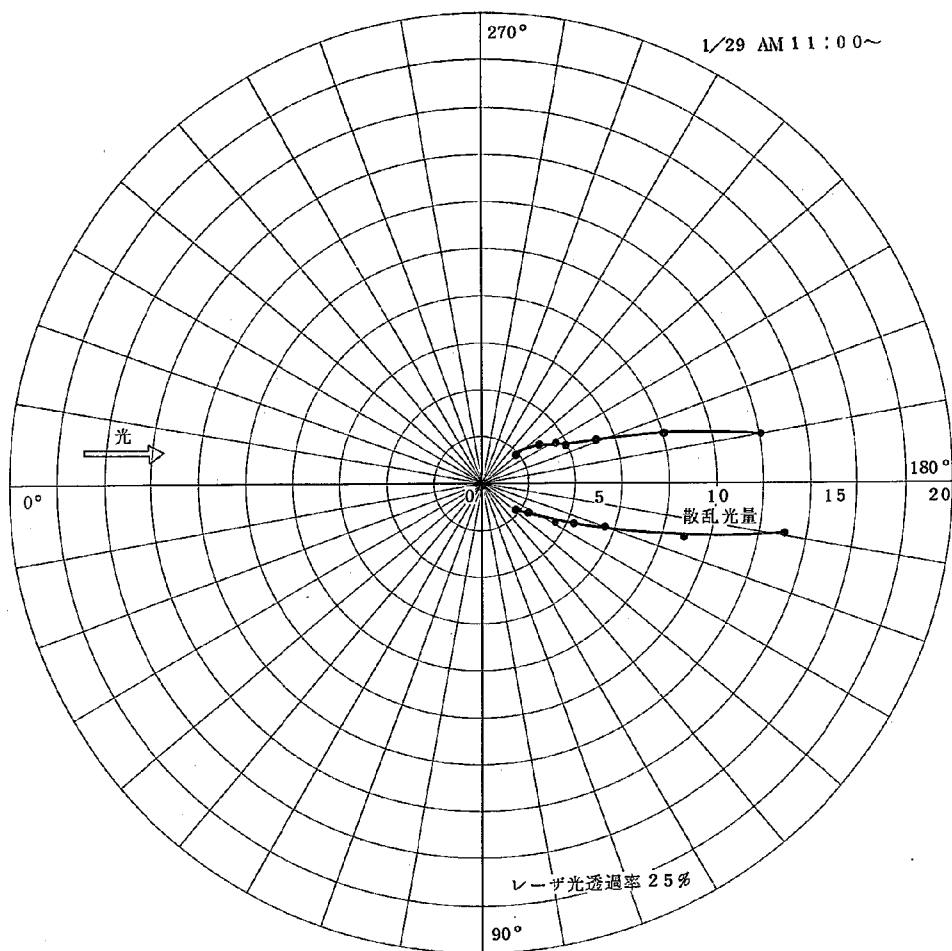


図-3 4 (1) 煤煙の散乱角特性

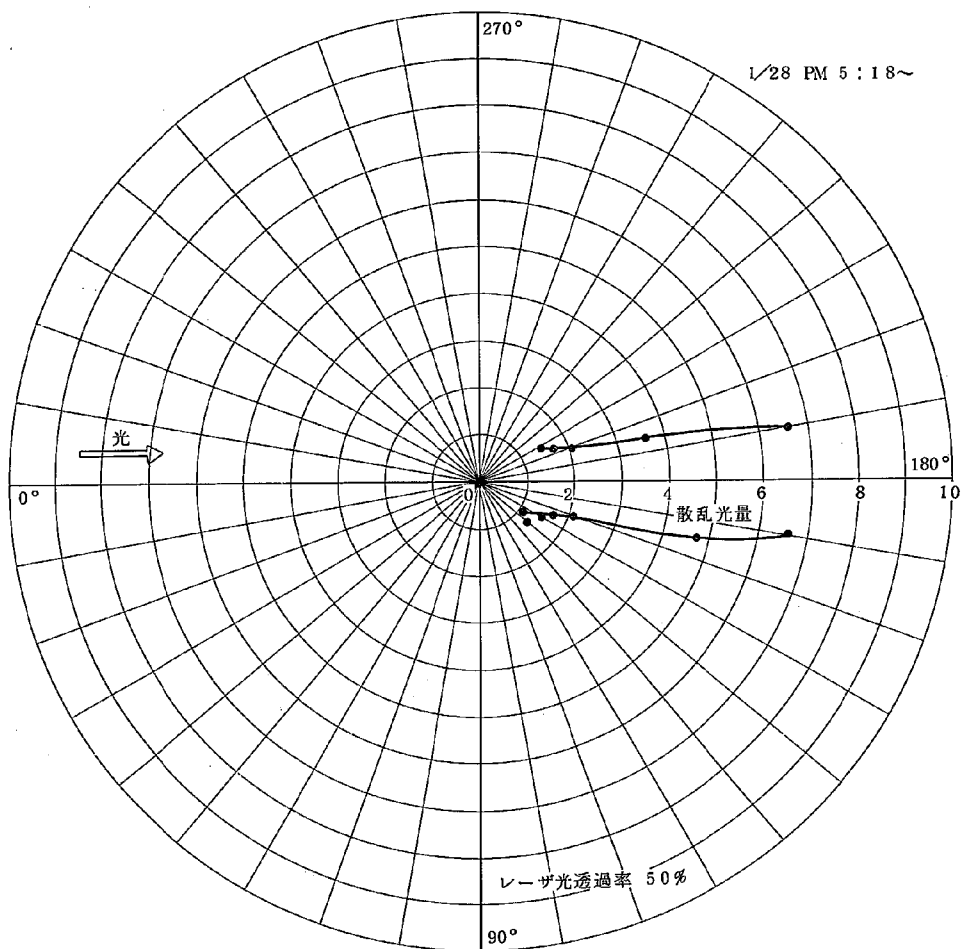


図-3 4 (2) 煤煙の散乱角特性 (2)

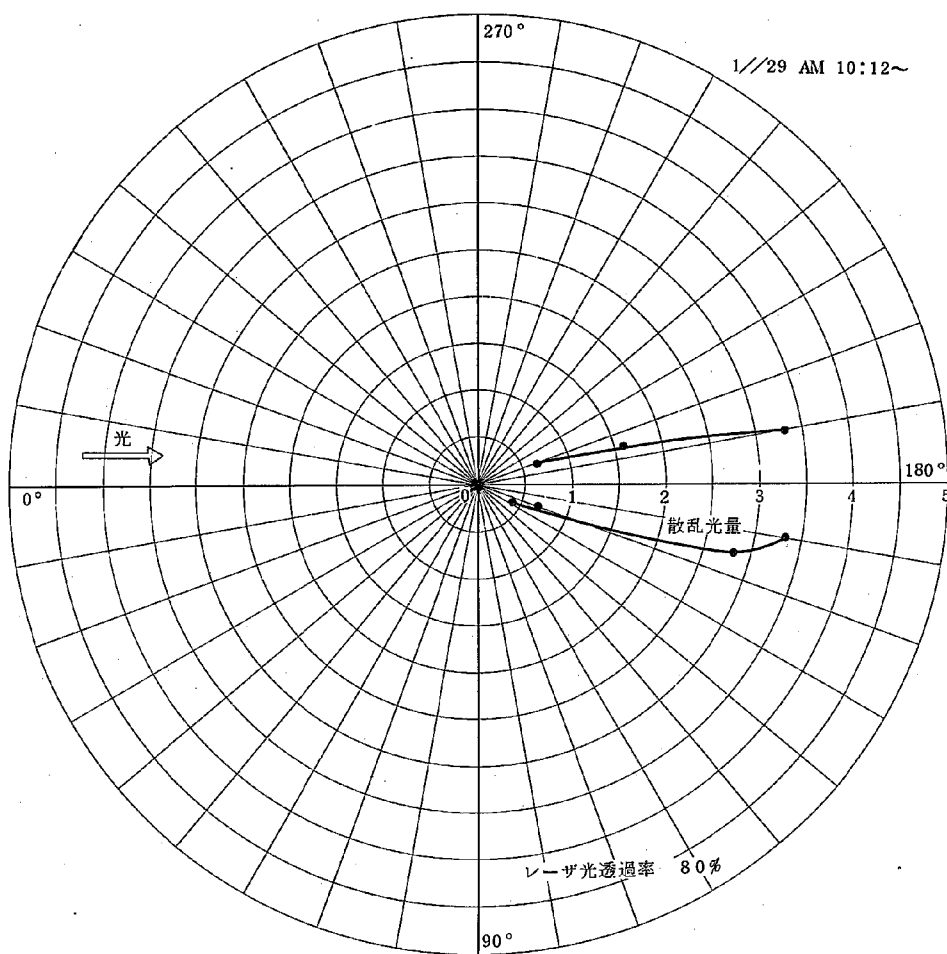


図-3 4 (3) 煤煙の散乱角特性

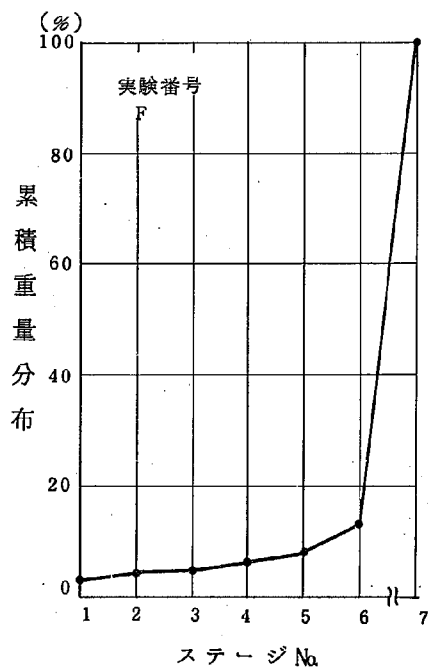
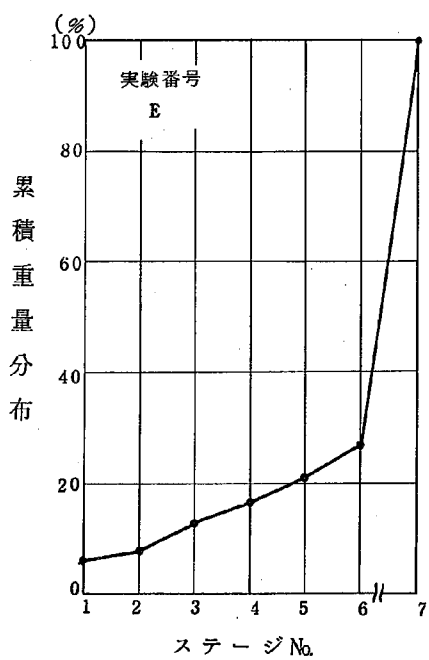
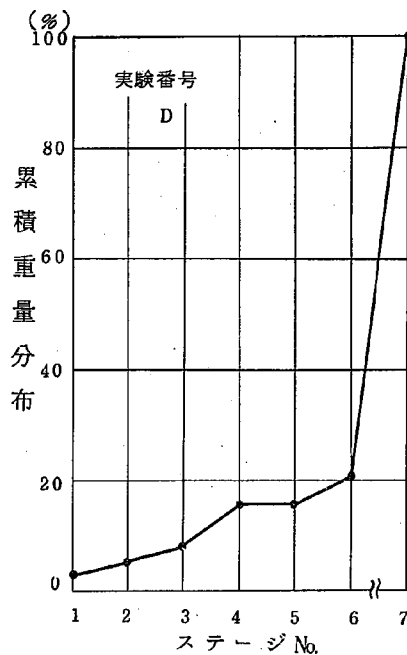
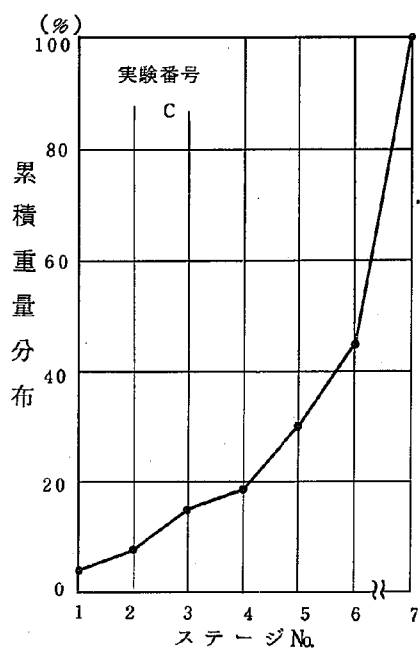


図-35(1) 煤煙の累積重量分布

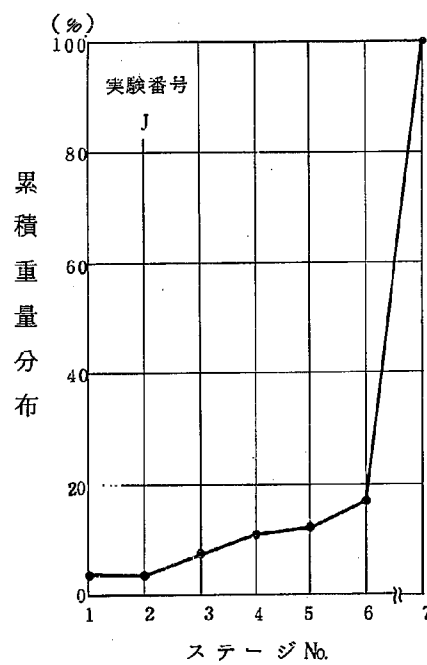
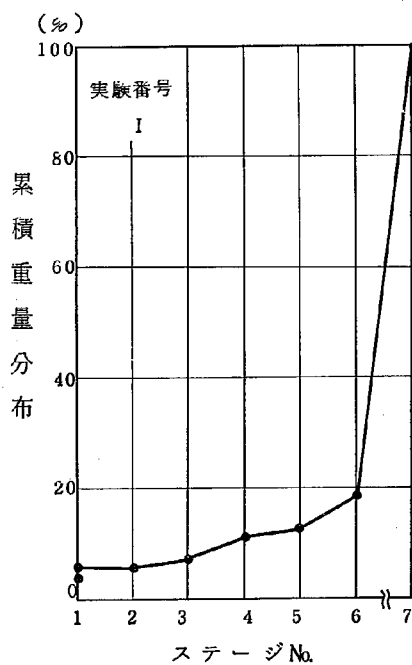
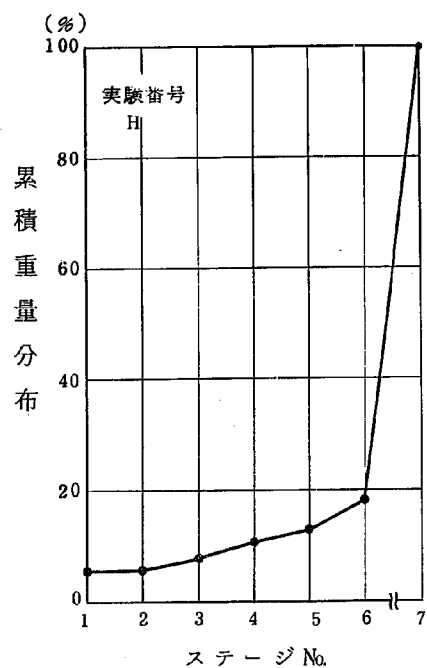
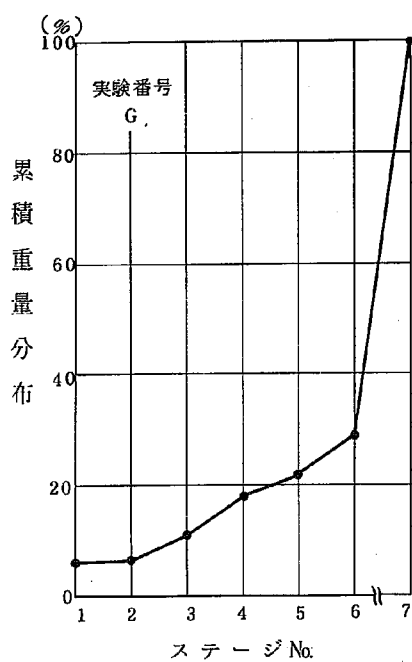


図-3 5(2) 煤煙の累積重量分布

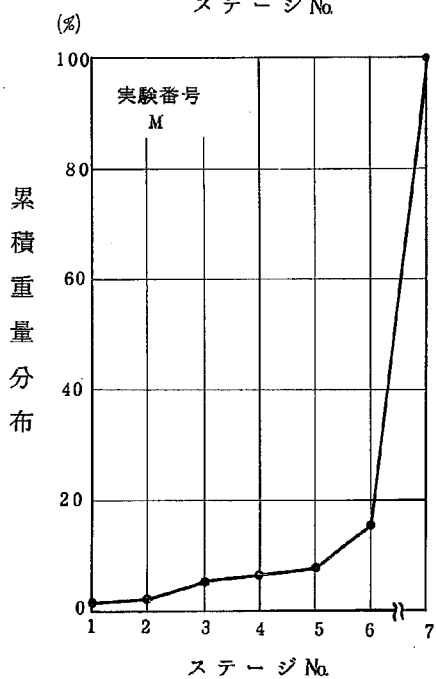
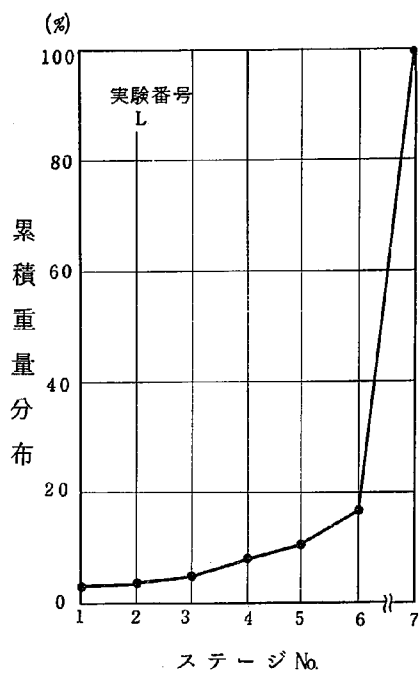
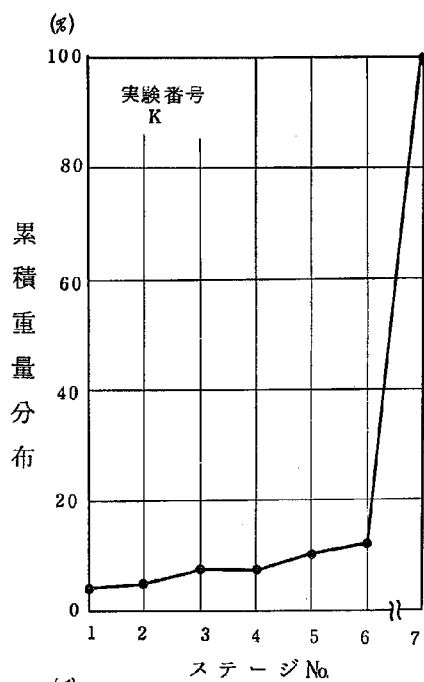


図-35(3) 煤煙の累積重量分布

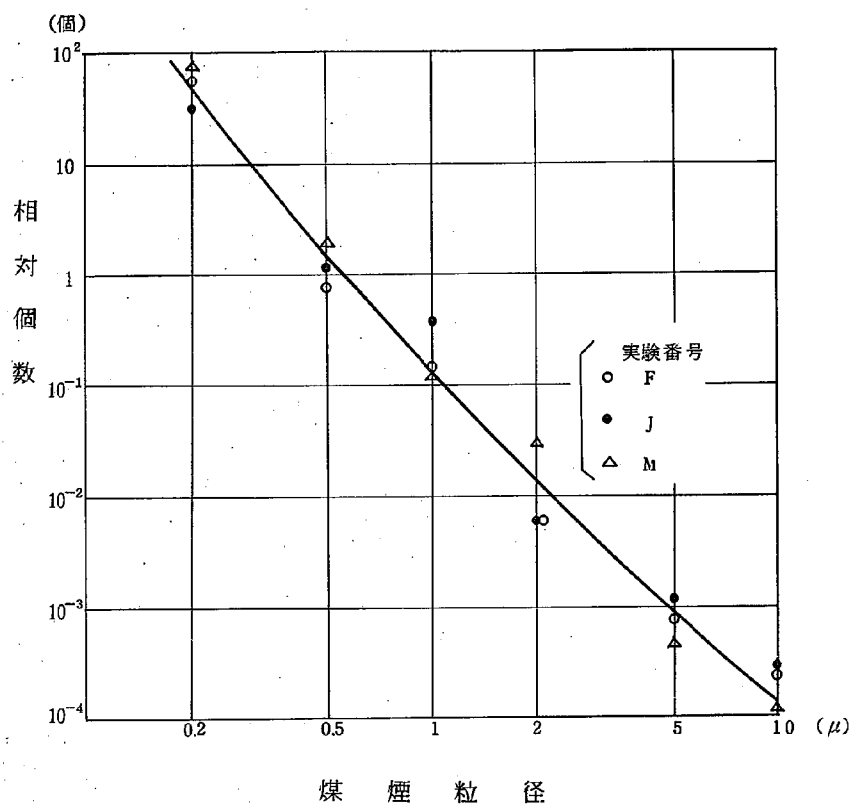


図-36 煤煙の粒径分布

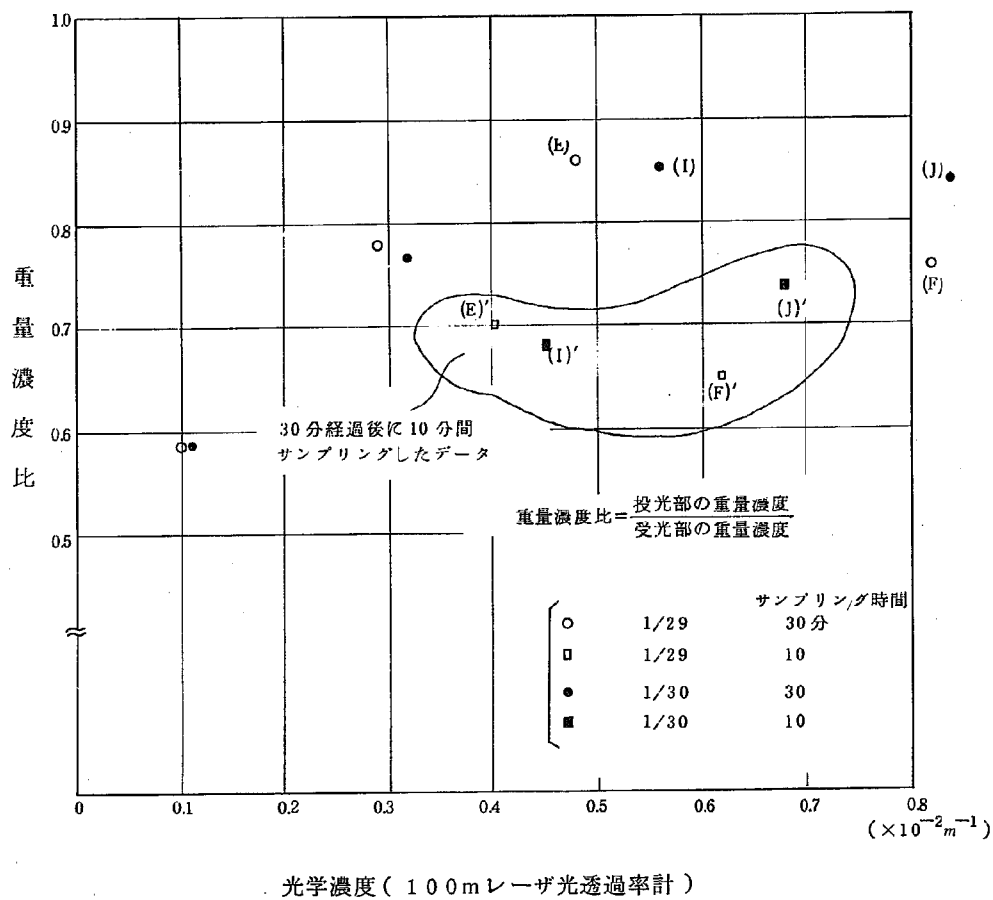


図-37 ハイボリウムエアサンプラによる投光部と
受光部付近の重量濃度の比較

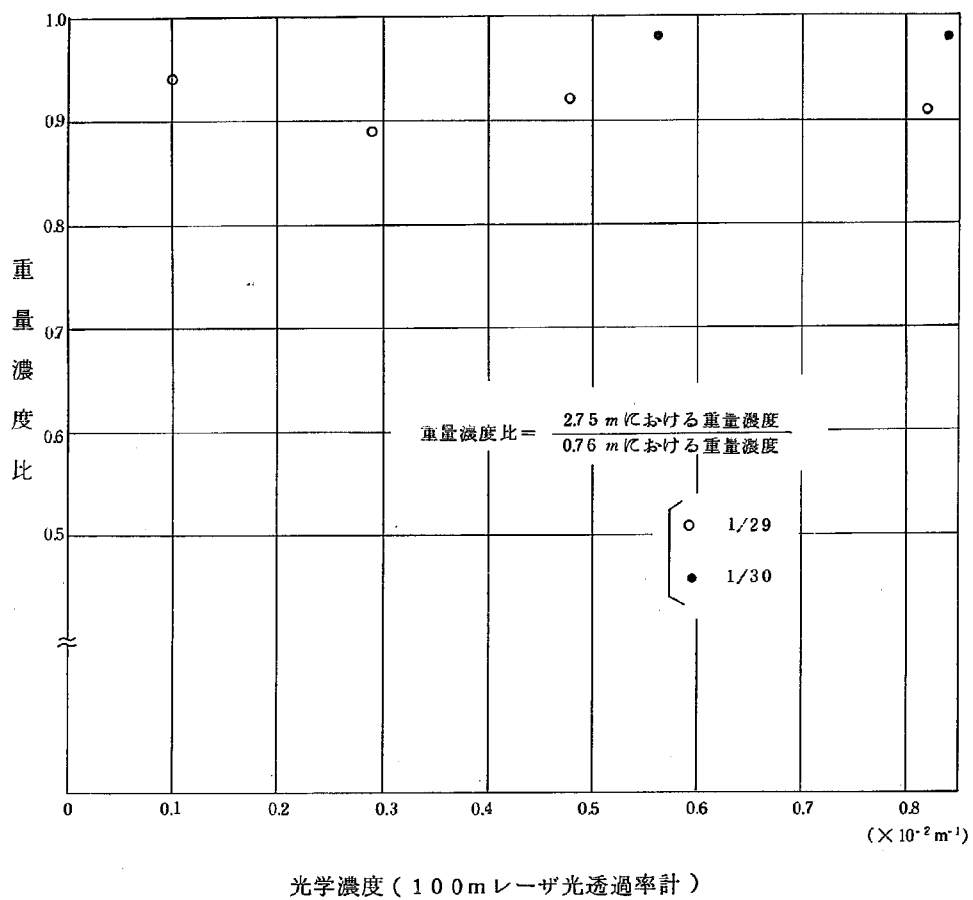


図-38 ハイボリウムエアサンプラの設置高さによる重量濃度の比較

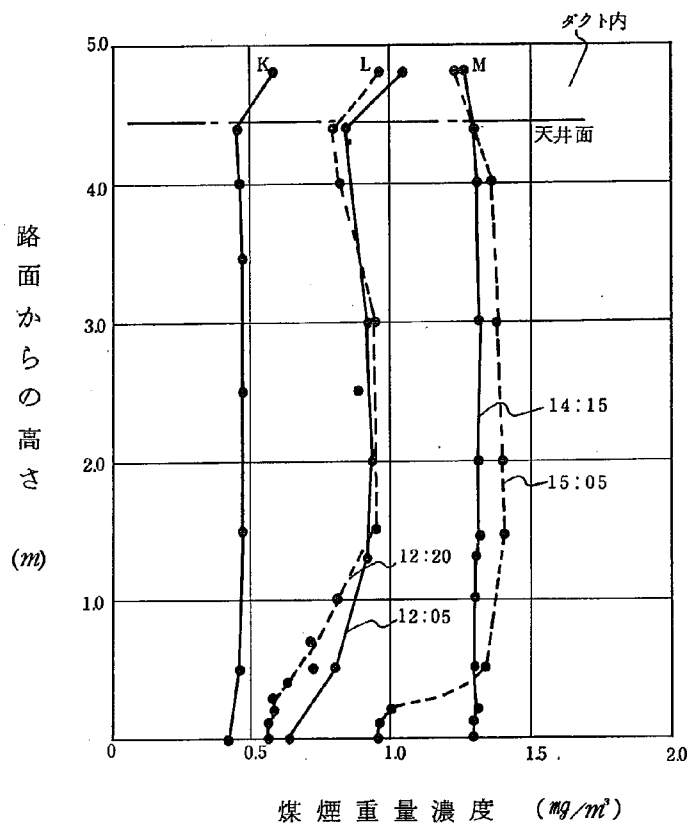


図-39 トンネル断面内の煤煙濃度分布

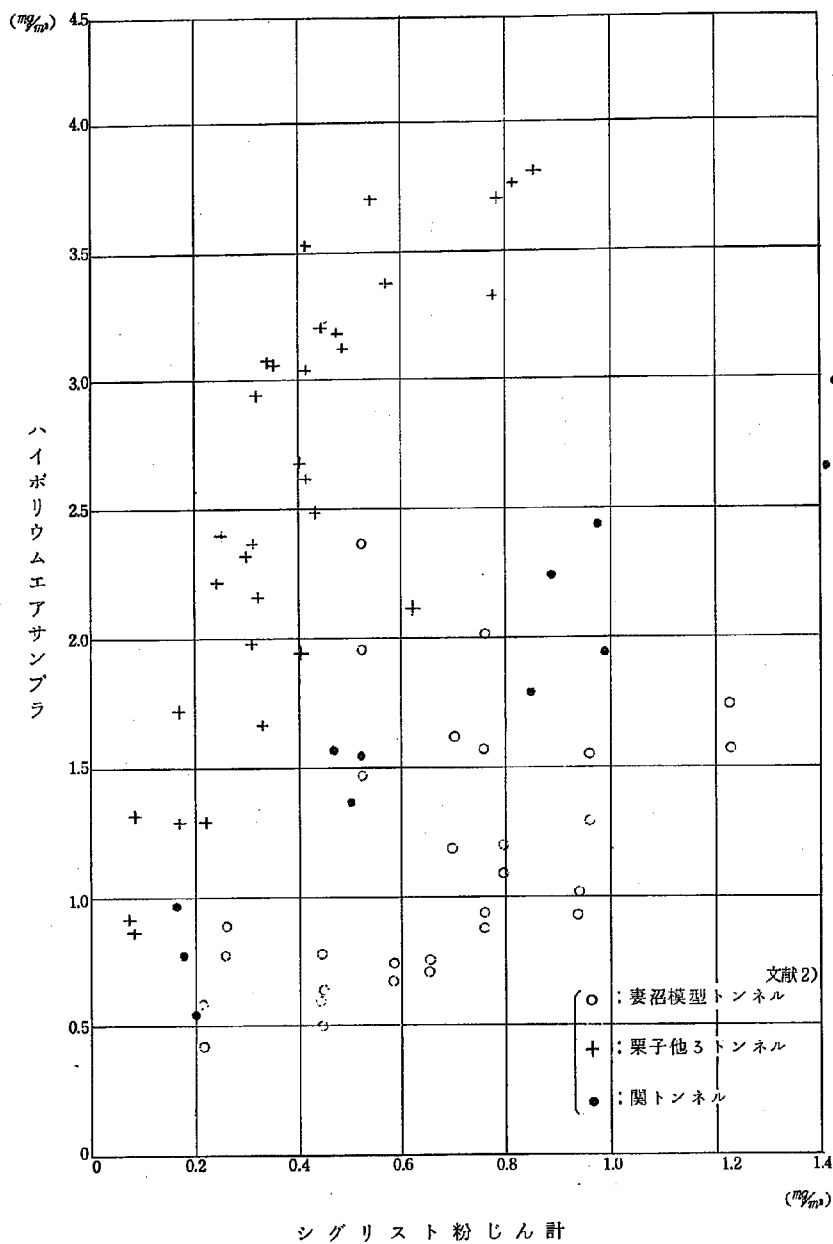


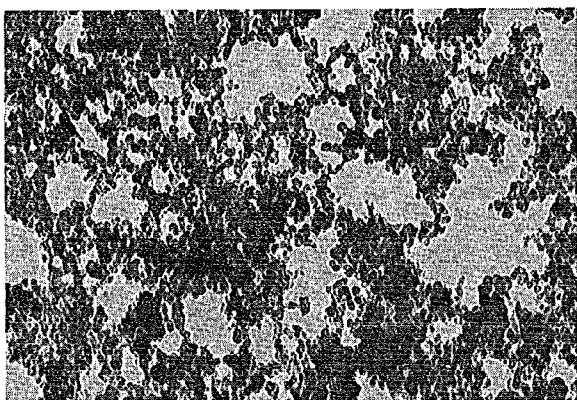
図-40 ハイボリウムエアサンプラとシグリスト粉じん計の出力比較

写 真 目 次

写真-1 煤煙粒子の電子顕微鏡による拡大写真(40000倍)	87
写真-2 実験状況	87
写真-3 トンネル閉塞状況(1)	87
写真-4 トンネル閉塞状況(2)	88
写真-5 トンネル閉塞状況(3)	88
写真-6 トラック排気パイプとガイドパイプの接続部	88
写真-7 ガイドパイプ	89
写真-8 ガイドパイプとサージタンクの接続部	89
写真-9 サージタンク	89
写真-10 トラックからの発生煤煙量測定器	90
写真-11 透過率計投光部	90
写真-12 透過率計受光部	90
写真-13 100mレーザ光透過率計受光部	91
写真-14 透過率計計測部	91
写真-15 多ペン記録計	91
写真-16 シグリスト粉じん計	92
写真-17 カスケードインパクタ	92
写真-18 ダストカウンタ	92
写真-19 ゴニオフォトメータ	93
写真-20 ハイボリウムエアサンプラ(路面上高さ0.76m)	93
写真-21 ハイボリウムエアサンプラ(路面上高さ2.75m)	93

写真-1

煤煙粒子の電子顕微鏡による
拡大写真(40000倍)



0 0.5 1 (μ)

写真-2

実験状況

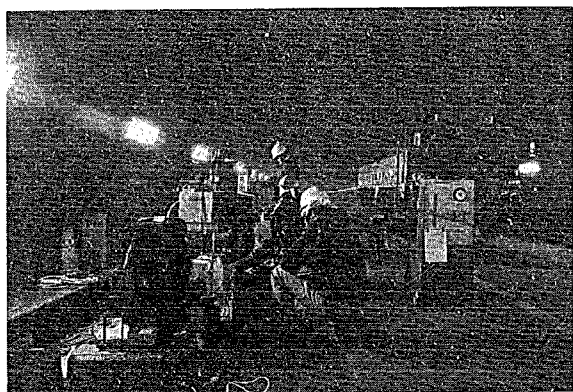


写真-3

トンネル閉塞状況(1)

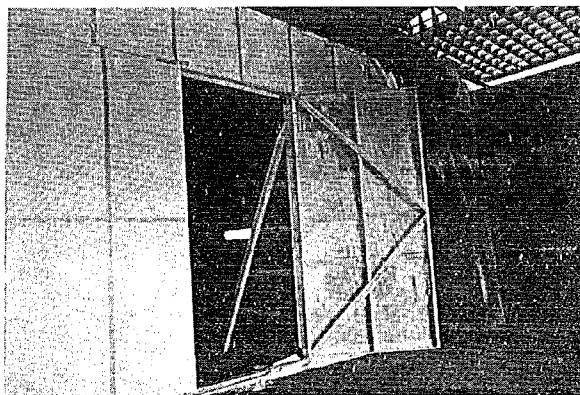


写真-4

トンネル閉塞状況(2)

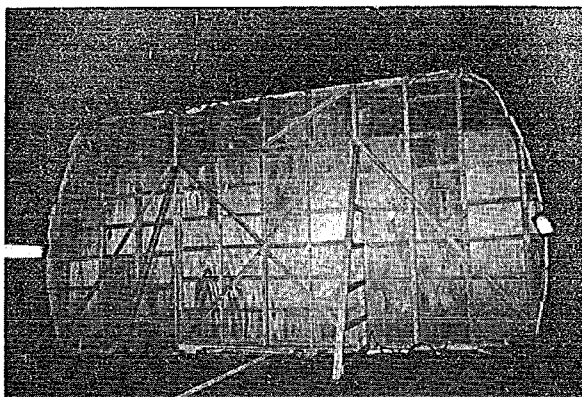


写真-5

トンネル閉塞状況(3)

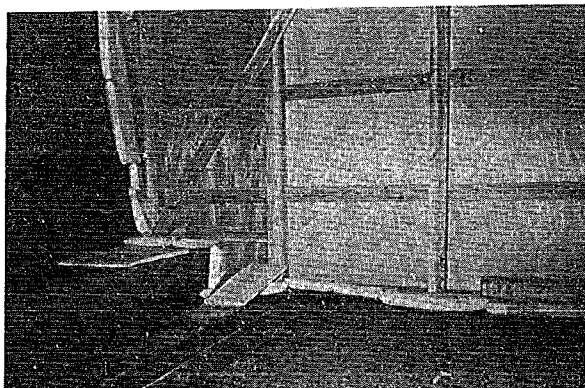


写真-6

トラック排気パイプとガイドパイプ
の接続部

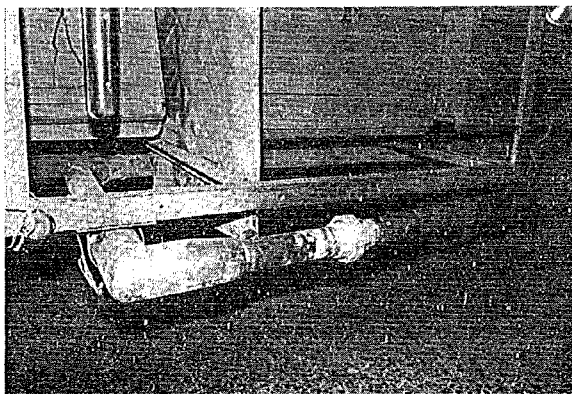


写真-7

ガイドパイプ

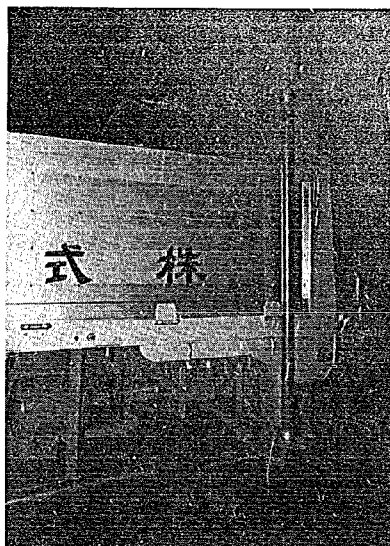


写真-8

ガイドパイプとサージタンクの接続部



写真-9

サージタンク

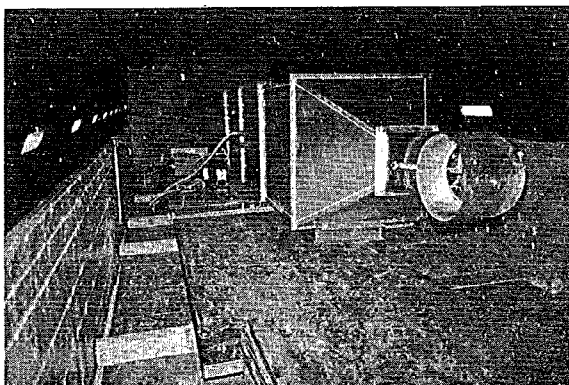


写真-10

トラックからの発生煤煙量測定器

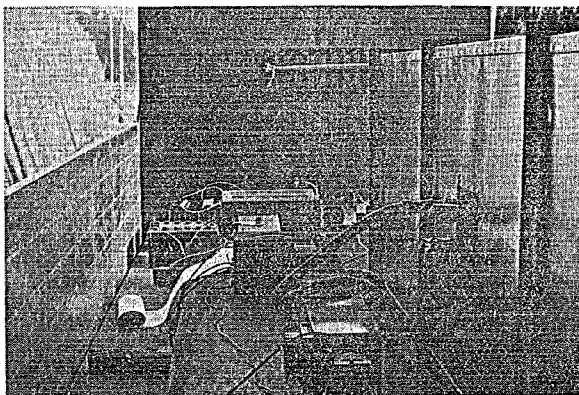


写真-11

透過率計投光部

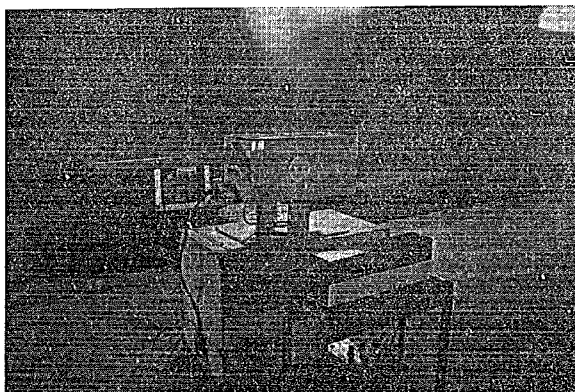


写真-12

透過率計受光部

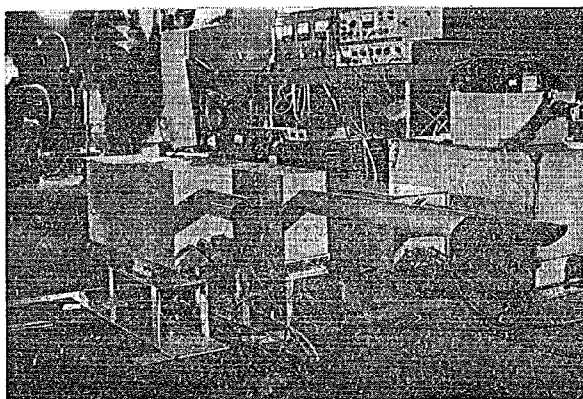


写真-13

100mレーザ光透過率計受光部

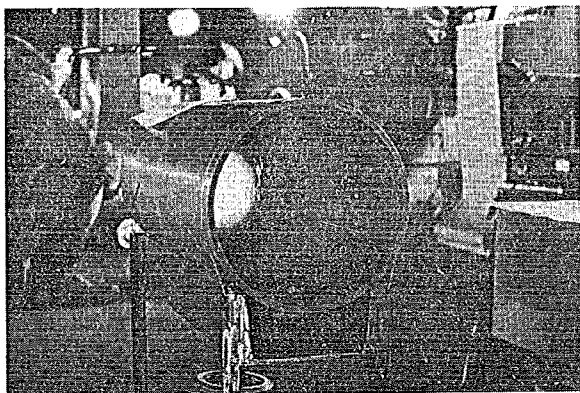


写真-14

透過率計測部

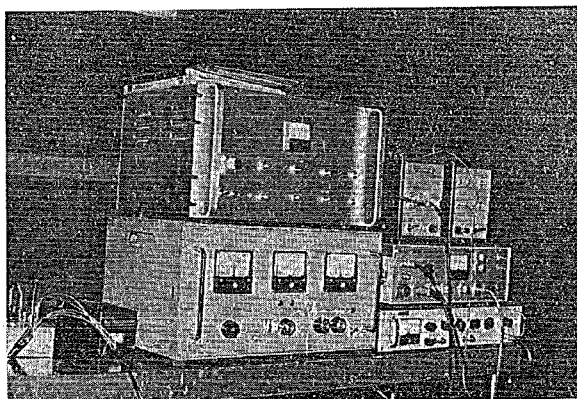


写真-15

多ペン記録計

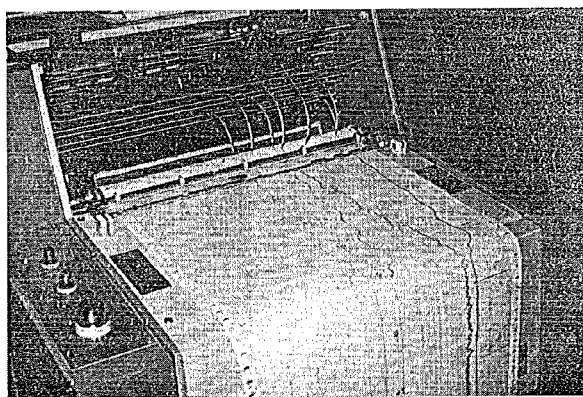


写真-16

シグリスト粉じん計

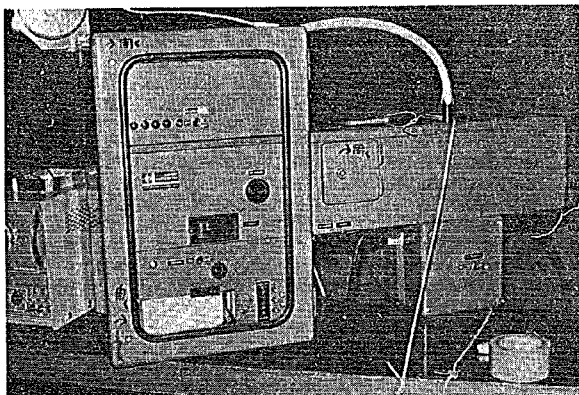


写真-17

カスケードインパクト

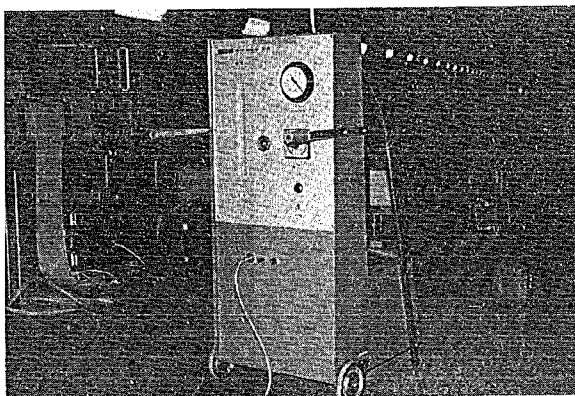


写真-18

ダストカウンタ

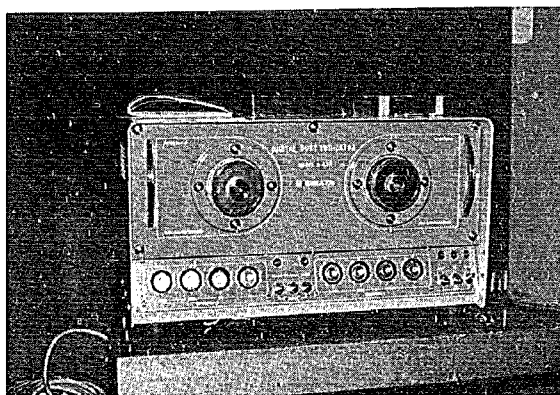


写真-19

ゴニオフォトメータ

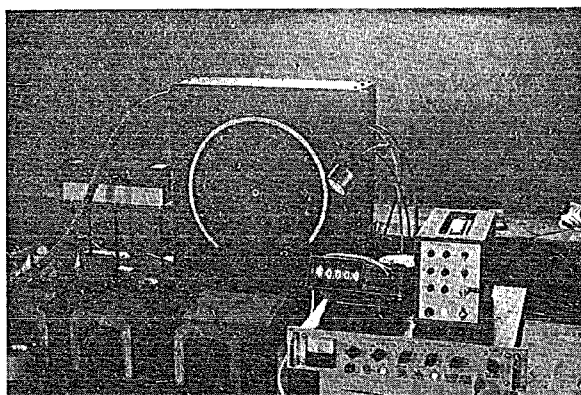


写真-20

ハイポリウムエアサンプラ
(路面上高さ0.76m)

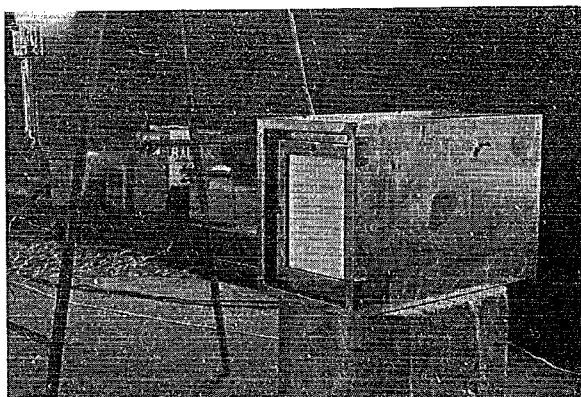


写真-21

ハイポリウムエアサンプラ
(路面上高さ2.75m)

