

土木研究所資料

道路トンネル内浮遊粉じん調査(3)

— 煤煙性状に関する現地実態調査 —

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

我国の一般の道路トンネルでは、自動車が排出する煤煙を主たる対象として換気を行っている。トンネル内煤煙はドライバに対する視距障害として現われるため、現行の換気設計法ではトンネル内における物の見え方を代替する示標である煤煙透過率の単位を換気の設計、運転管理の基準として用いている。しかし、この透過率値は煤煙の粒径分布、組成などによって影響されることが最近の調査研究で明らかにされており、トンネル内煤煙の性状について実態を把握することが重要な課題としてクローズアップされている。

一方、最近では、トンネル内の汚染空気がトンネル外へ排出されることによる周辺環境への影響に対する配慮を強く要請されることが多くなっており、環境保全の立場からの検討も含めてトンネル内煤煙の見なおしが必要となってきた。この場合、煤煙濃度の表わし方としてトンネル換気設計に用いている単位とは異なる重量濃度単位 (mg/m^3) を慣用しているため、両者の相関を明らかにしておかなければならない。

本報告書は、道路の性格が異なる高速自動車道と一般国道のトンネル各1箇所を選び、トンネル内煤煙の性状について実態調査を実施して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になれば幸いである。

道 路 部 ト ニ ャ ル 研 究 室

室 長	今 田	徹
主任研究員	水 谷	敏 則
	平 江	哲
	丸 山	要

目 次

まえがき

1. 調査目的	1
2. 調査期間	1
3. 調査場所	1
4. 調査方法	1
4.1 測定機器	1
4.2 測定器の配置	3
4.3 測定方法	3
5. 調査結果	4
5.1 煤煙の光学濃度と重量濃度	4
5.2 煤煙の分光透過特性	6
5.3 煤煙の組成分析	8
5.4 その他のデータ	9
6. まとめ	9
6.1 煤煙濃度と組成	9
6.2 煤煙の波長係数	9
6.3 煤煙濃度測定機器	10
7. 謝辞	10
8. 参考資料	10
付 表	11
付 図	25
写 真	43

1 調査目的

道路トンネル内煤煙について、供用中のトンネルで現地観測を行い、主として下記の項目について調査することを目的とする。

- (1) トンネル内煤煙の光学濃度（透過率）と重量濃度との関係
- (2) トンネル内煤煙の分光透過特性
- (3) トンネル内煤煙の組成

2 調査期間

昭和50年8月20日～昭和50年8月27日

3 調査場所

- (1) 小仏トンネル・上り線（中央自動車道）

東京都八王子市裏高尾町

延長 1,619 m（勾配+ 2.3 ‰：1,544 m，- 0.024 ‰： 75 m）

- (2) 東栗子トンネル（一般国道13号線）

福島県福島市飯坂町

延長 2,376 m（勾配+ 1.0 ‰：1,495 m，- 1.2 ‰： 881 m）

4 調査方法

4.1 測定機器

- (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）は粉じんをろ紙によって捕集し得られた粉じんの重量から重量濃度（ mg/m^3 ）を測定するものである。

調査にはハイボリウムエアサンプラを2台使用し、1台はトンネル内煤煙の重量濃度測定用に、他の1台は組成分析用の煤煙試料を収集するために用いた。

ろ紙（グラスファイバ）の秤量は次の手順によって行った。

- ① ろ紙を温度25℃湿度50％の雰囲気中に約2時間放置する。
- ② 恒温室（25℃）内で直示天秤（最大秤量20g，読取限度0.05mg）を用いてろ紙を秤量する。
- ③ 煤煙のサンプリング直前に現地に直示天秤（最大秤量200g，感量0.05mg）を用いて

ろ紙を秤量する。

④ 煤煙のサンプリング直後に現地にてろ紙を秤量する。

⑤ 温度 25℃、湿度 5.0% の雰囲気中にサンプリング後のろ紙を約 2 時間放置する。

⑥ 恒温室内でサンプリング後のろ紙を秤量する。

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量を吸入空気量で除して求められる。

(b) シグリスト粉じん計

シグリスト粉じん計は、光散乱を利用して煤煙濃度を測定するもので指示値は重量濃度単位 (mg/m^3) で表示される。なお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。

調査では、この測定器をトンネル内に設置して浮遊粉じんをサンプリングし、指示値 (重量濃度) を連続記録した。

(c) カスケードインパクト

カスケードインパクトは、6 段階の金属プレートによるステージと 1 枚のろ紙により構成され、粉じん粒子の慣性衝突を利用して各ステージに捕集された粉じんの重量を秤量することにより浮遊粉じんの粒径に対する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 (金属プレート) 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)

ハイポリウムエアサンブラのろ紙と同じ方法により秤量した。

(2) 光学濃度測定器

(a) 煤煙濃度測定装置

煤煙濃度測定装置 (松下電器製) は、トンネル内 100 m 区間の視感透過率および分光透過率を測定するものである。投光部は A 光源に等しい色温度になるよう定電圧点灯した白熱電球 (150 W) の光を回転セクタによって 675 Hz に変調して受光部に向け投光する。受光部は受光部 I と受光部 II の 2 つにより構成される。受光部 I は投光部から 100 m 区間の浮遊粉じん中を透過してきた光を、分光感度補正用フィルタをもつ光電子増倍管 (マルチアルカリ光電面) によって光電変換して視感透過率を測定するものである。受光部 II は、受光部 I に入った光をハーフミラによってとり出し、ダイクロイックミラと干渉フィルタによって 400 nm と 800 nm の単色光を選択抽出し、各々の光を光電子増倍管によって光電変換して分光透過率を測定するものである。

(b) 透過率計 A (比色式透過率計)

比色式透過率計 (松下電器製) は、トンネル内 100 m 区間の特定 2 波長の単色光による分光透過率を求めるものである。

投光部は、煤煙濃度測定装置の投光部を併用した。受光部は、投光部から 100 m 区間の浮遊粉じん中を透過してきた光のうち、干渉フィルタにより 450 nm と 700 nm の単色光を選択抽出し、光電子増倍管によって各々の光を光電変換して分光透過率を測定する。

(c) 透過率計 B (100 m レーザ光透過率計)

レーザ光透過率計 (松下電器製) は、トンネル内の 100 m 区間の分光透過率をレーザ光 (単色光) によって求めるものである。

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) を使い、受光部はシリコン光電池を使用した。

(3) その他の測定器

(a) 温湿度計

乾湿球式温湿度計によってトンネル内および現地での直示天秤使用場所の温度・湿度を測定した。

4.2 測定器の配置

(1) 小仏トンネル

小仏トンネルにおける各測定器の設置状況を図-1 に示す。

光学濃度測定器は、トンネル内路肩で路面から 70 cm の高さに設置した。シグリスト粉じん計と重量濃度測定用ハイボリウムエアサンプラは、光学濃度測定器の受光部付近の連絡通路に設置し、シグリスト粉じん計は路面から 150 cm の高さからサンプリングし、ハイボリウムエアサンプラは路面から 105 cm の高さにおいてサンプリングした。カスケードインパクトおよび組成分析用ハイボリウムエアサンプラは、トンネル出口の路肩に設置し、それぞれ 120 cm および 115 cm の高さにおいてサンプリングした。直示天秤は換気塔 1 階の非常用電源室に設置して、煤煙捕集前後のろ紙を秤量した。

(2) 東栗子トンネル

東栗子トンネルにおける測定器の設置状況を図-1 に示す。

光学濃度測定器は小仏トンネルと同様にトンネル内路肩で路面から 95 cm の高さに設置した。重量濃度測定器は光学濃度測定器の受光部付近 (方向転換所) に設置し、それぞれの測定器のサンプリング高さは、路面からシグリスト粉じん計が 130 cm, カスケードインパクトが 90 cm, 重量濃度測定用ハイボリウムエアサンプラが 85 cm, 組成分析用ハイボリウムエアサンプラが 55 cm であった。直示天秤はトンネル内では、交通振動、風圧変化のため秤量できなかったのでトンネル付近の建屋の地下室に設置した。

4.3 測定方法

今回の調査は表-1 の日程表に示すように予備測定も含めて、各トンネルとも 3 日間で行った。

光学濃度については、全測定期間にわたって連続自記記録した。シグリスト粉じん計による重量濃度の測定も、光学濃度測定と同様に連続自記記録した。ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度の測定は、1時間のサンプリング時間で行い、可能な限り測定回数を増した。カスケードインパクトは、サンプリング時間が不十分であると、捕集重量が少なく、秤量誤差が大きくなるため、サンプリング時間を2時間もしくは3時間とした。組成分析用ハイボリウムエアサンプラは、各トンネルにおいてそれぞれ1枚のろ紙で全測定期間中動作させた。

トンネル内の煤煙濃度は供用中のトンネルであるため、トンネルに常置されている透過率計によって制御されていた。ただし、東栗子トンネルでは、ある期間換気ファンを停止もしくはフル運転することによりトンネル内の煤煙濃度を作為的に変化させた。

5 調査結果

5.1 煤煙の光学濃度と重量濃度

(1) 視感透過率の100%校正

今回調査を行った2つのトンネルは、いずれも供用中であるため透過率100%の状態を実現させることは不可能であった。このため光学濃度測定器の指示値を記録したデータは相対的な透過率となり、次式に示すように補正係数を掛けなければ、真の透過率が得られない。

$$\tau = k\tau' \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 τ : 真の透過率 (%/100m)

τ' : 測定データからの透過率

k : 100%校正のための補正係数

以下に、視感透過率のデータの補正方法について述べる。

光学濃度測定器と同時に自記記録した。シグリスト粉じん計は、その測定原理(光散乱方式)からトンネル内の煤煙量とは無関係に濃度ゼロ(透過率100%)の設定ができる。したがって、煤煙濃度測定装置から得られる視感透過率とシグリスト粉じん計の濃度との相関を求め、粉じん計濃度ゼロの点を視感透過率100%であると推定する方法により校正することができる。

シグリスト粉じん計の濃度(Sig.)は、(2)式で換算される光学濃度(VI)と比例関係にあることが過去の実験^{1),2)}により知られている。

$$(VI) = -\log \frac{T}{100} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 (VI) : 真の光学濃度^{*}

T : 真の視感透過率 (%/100m)

* 校正処理後は、光学濃度を次式により計算した。(光学濃度) = $\frac{-1}{100} \log \frac{T}{100}$ (単位: m^{-1})

(1)式の関係を用いて(2)式を変形すると、

$$\begin{aligned}(VI) &= -\log \frac{T'}{100} - \log k_T \\ &= (VI') - \log k_T \dots\dots\dots (3)\end{aligned}$$

ここに、
(VI') : 測定データによる光学濃度
T' : 測定データによる視感透過率
k_T : 視感透過率の補正係数

したがって、

$$(Sig.) \propto (VI') - \log k_T \dots\dots\dots (4)$$

の関係が得られる。

小仏トンネル、東栗子トンネルのそれぞれの連続自記記録データから任意の時刻の視感透過率(T')とシグリスト粉じん計の濃度(Sig.)を読み取り、求めた多数のデータから最小自乗法により回帰直線を求めた結果を表-2に示す。

この結果から、今回の実験における真の光学濃度(VI)は、測定データから得られる光学濃度(VI')に対し、小仏トンネルで-0.0036、東栗子トンネルで+0.0031を加算した値であるとして、以下の検討を行った。

図-2に、補正後の各トンネルの光学濃度(VI)と粉じん濃度(Sig.)の関係を示す。

(2) ハイボリウムエアサンプラのデータ検証

トンネルで測定した煤煙の秤量において、現地と恒温恒湿の室内とで秤量した場合の差異を表-3および図-3に示す。

現地秤量にあたって、小仏トンネルの場合は、換気塔内で行った。なお、8月22日の天候は雨であった。また東栗子トンネルの場合は秤量場所が地下室であった。

表-3において現地秤量と恒温恒湿秤量の差が4%以上あったものにつき末尾に△印を示した。このことから空気中の水蒸気圧が秤量値に影響を及ぼしていることがわかる。空気中の水蒸気量が気温の上昇により急激に増加するため、とくに気温および湿度の高いときの現地秤量には注意が必要である。

以下の検討には、恒温室での秤量結果を用いることにする。

ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度の測定結果は表-4のとおりである。このデータを以下の方法により検証した。

ハイボリウムエアサンプラの測定原理から、ろ紙上の捕集粉じん重量とサンプリング中の吸引空気の流れの変化との間にはある程度の相関関係があるものと思われる。小仏トンネルおよび東栗子トンネルにおけるハイボリウムエアサンプラの測定データについて、粉じん捕集重量に対するサンプリング開始時刻と終了時刻の流量の変化を図-4に示す。図中の○で囲んだデータ

は、他のデータと比較したとき特異な値を示しているため、小仏トンネルのデータの3点および東栗子トンネルのデータの5点は以下の解析・検討から除外した。これらの除外したデータは表-4の末尾にも○印で示した。

(3) 重量濃度と光学濃度の相関

重量濃度測定器としてのハイボリウムエアサンプラの結果は、サンプリング時間中(1時間)の平均濃度値である。したがって、煤煙濃度測定装置、シグリスト粉じん計、ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度および光学濃度の比較・検討は、1時間の平均濃度によって行った。

連続記録データを1時間平均値とするため、シグリスト粉じん計については5分平均のデータおよび煤煙濃度測定装置は1分平均のデータをそれぞれハイボリウムエアサンプラのサンプリングと対応する時間帯について読みとって算術平均することにより求めた。

各測定器の重量濃度と光学濃度の結果(時間平均)を表-4に示す。また、各測定器における測定値間の相関関係を図-5, 6, 7に示す。

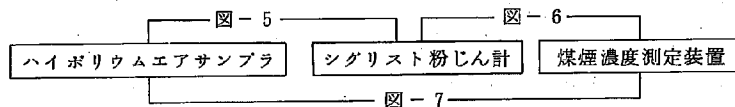


図-6の直線は、表-2の瞬時値に対する回帰直線から求めたものである。平均値から求めた2測定器の関係は瞬時値から求めた関係とよく一致しており、平均値の算出過程に基く影響は含まれていないものと考えられる。

図-5, 6, 7から各測定器による煤煙濃度の測定値に直線比例関係が成立すると仮定すれば、2つのトンネルにおける各測定器の相互関係は表-6のようになる。

5.2 煤煙の分光透過特性

(1) 分光透過率の100%校正

今回の調査で計測した分光透過率値は次のとおりである。

- ① 400 nm 分光透過率(煤煙濃度測定装置)
- ② 800 nm " (")
- ③ 450 nm " (比色式透過率計)
- ④ 700 nm " (")
- ⑤ 633 nm " (レーザ光透過率計)

これら分光透過率の100%校正は、5.1(1)で補正した視感透過率による光学濃度(VI)を基準として、5.1(1)と同様の方法により行った。

$$(E_x) = - \log \frac{\tau_x}{100} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 (E_x) : 波長 $x \text{ nm}$ の光による吸光度

τ_x : 波長 $x \text{ nm}$ の光による透過率

吸光度 (E_x) と光学濃度 (VI) とは同じ性格のものであるが、視感透過率のデータと各波長の分光透過率のデータを区別するため、前者を濃度換算したものを「光学濃度」と称し、後者の方を「吸光度」と呼ぶことにする。

計算の結果得られた回帰直線は表-7に示すとおりである。したがって、測定データから得られる吸光度 E_x' に対し、表-7の補正値を加算した値を真の吸光度 E_x であるとした。

校正後の各波長の吸光度と光学濃度との関係を図-8に示す。また、光学濃度が $1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ のとき各波長の吸光度は表-8のようになる。

(2) 煤煙の波長係数

(a) 平均波長係数

図-9、10は各トンネルにおける煤煙濃度測定装置による波長 400 nm と 800 nm の吸光度の関係および比色式透過率計による波長 450 nm と 750 nm の吸光度の関係を示したものである。

吸光度と波長の関係は(6)式によって表わされる。

$$E(\lambda, C) = k \cdot \lambda^r \cdot C \cdot l \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 E : 吸光度 r : 波長係数
 λ : 波 長 k : 比例定数
 C : 重量濃度 l : 測定距離

(6)式を変形すると、

$$r = \frac{\log \left(\frac{E}{kCl} \right)}{\log \lambda} \quad \dots\dots\dots (7)$$

いま、 kCl が一定の条件で、波長 λ の異なる2点で吸光度 $E_1(\lambda_1)$ と $E_2(\lambda_2)$ が求められると、このときの r は、 $\lambda_1, \lambda_2, E_1, E_2$ から次式により算出できる。

$$\begin{aligned} r &= \frac{\log \left(\frac{E_1}{kCl} \right)}{\log \lambda_1} = \frac{\log \left(\frac{E_2}{kCl} \right)}{\log \lambda_2} = \frac{\log E_1 - \log E_2}{\log \lambda_1 - \log \lambda_2} \\ &= \frac{\log \left(\frac{E_1}{E_2} \right)}{\log \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

したがって、各測定器による2つのトンネルでの r は、図-9、10の回帰直線の傾きと対応する各波長の比から求められる。

なお、比色式透過率計の E_{450}/E_{700} の値を分光器による E_{450}/E_{700} と比較校正すると、比色透過率計の方が1.04倍大きくなることがわかったので、以下の検討ではこの補正を行った値

を用いた。

表-9に各トンネルでの波長係数 γ を示す。

(b) 波長係数の変動

任意の時刻の γ を煤煙濃度測定装置の連続記録データ(瞬時値)から求めると表-10および図-11のようである。

この図からトンネル内の浮遊煤煙による波長係数は、平均値を中心に $\pm 10\%$ 程度の変動が見受けられるが、同一トンネルの γ の値(平均値)は煤煙の濃度が変化しても一定の値である。

γ の値が変動する原因は、100 m 区間内の煤煙およびその濃度が均質でないためであると考えられる。

5.3 煤煙の組成分析

(1) 煤煙の粒径分布

カスケードインパクトによる測定データを表-11に、各ステージの重量百分率および累積重量百分率を図-12に示す。

小仏トンネルにおいては最終段のろ紙による捕集重量が80%を超え、第1段から第6段までのステージには約3~4%の煤煙が捕集された。

東栗子トンネルにおいては、最終段のろ紙による捕集重量が60~70%であり、第1段に約10%、第2段に5~10%そして第3段から第6段には約3~4%の煤煙が捕集された。

次に表-11に示した各ステージの重量百分率から各ステージの煤煙の比重が2.0であると仮定して各粒径に対する相対個数を求めた結果を表-12および図-13に示す。図から小仏トンネルにおいては浮遊粉じんの個数は、粒子径の約3乗に逆比例していると考えられる。一方、東栗子トンネルにおいては粒子径が2 μ 以下では、粒子径の約3乗に逆比例し、2 μ 以上では粒子径の約2.2乗に逆比例していると考えられる。

(2) 煤煙の定量分析

2トンネルの浮遊煤煙の定量分析結果を表-13に示す。この分析に用いた煤煙試料は、組成分析用にハイボリウムエアサンプラを調査期間中連続運転することによって捕集したものである。

表-13から強熱残分(灰分)と炭素の重量構成に関して2トンネルでの相違が顕著にあらわれていることがわかる。

(3) 煤煙の顕微鏡写真

写真-1~写真-9は、2トンネルにおける煤煙を透過形電子顕微鏡によって倍率を4万倍と10万倍で観測した結果、および走査形電子顕微鏡によって倍率を3千倍、1万倍と3万倍で観測した結果である。

この観測結果によれば浮遊煤煙の最小粒子径は、2トンネルによってわずかに差が見受けられ、東栗子トンネルのものより、小仏トンネルの煤煙粒子径の方がやや小さいようである。

5.4 その他のデータ

(1) 温度・湿度

2つのトンネル内の測定器を設置した場所の温度および湿度を記録した。結果を表-14および図-14に示す。

また2つのトンネルでの直示天秤使用場所の温度および湿度の記録を表-15および図-15に示す。

(2) 交通量、その他

ハイボリウムエアサンプルのサンプリング時間に合わせて交通量を観測した。その結果を表-16に示す。また、トラフィックカウンタによる結果を図-16に示す。

なお、同図には調査した光学濃度(1時間平均値)も併記した。

6 ま と め

6.1 煤煙濃度と組成

煤煙濃度の測定に使用した3つの測定器(透過率計, HVAS, シグリスト粉じん計)は、それぞれ測定原理が異なるのが、図-5, 6, 7に示したように各測定器間の測定値の間には一応の比例関係が成立すると考えてよい。そして、3つの測定器の間には表-6に示した相関関係があることがわかった。

しかし、その関係を2トンネルについて比較した場合、重量濃度と光学濃度の比例係数は明らかに異なり、小仏トンネルに比べて東栗子トンネルの煤煙は、光学濃度が同じでも重量濃度が大きい結果となっている。この原因は組成分析の結果からも分かるように、砂じん類の混入率が大きいためと考えられる。

3つの測定器間の相関および煤煙の組成分析の結果を、他のトンネルでの測定結果と併記して表-17に示した。この表からも明らかなように、高速道路のトンネルと一般国道のトンネルでは、煤煙の性状はかなり異なるものであり、その主たる原因はトンネル内煤煙中に含まれる砂じん類の量または黒煙の量の多少である。

6.2 煤煙の波長係数

(8)式で定義した波長係数は、同一のトンネルにおいては煤煙の濃度に関係なく一定の値をとる。しかし、この波長係数はトンネルによって異なる値を示す。したがって、波長係数は、トンネル

内煤煙の性状を表わす1つの示標となることがわかった。表-18に今回の調査結果と他のトンネルにおける波長係数の測定結果とを併記した。

なお、波長係数と煤煙の粒子径との間には散乱理論にもとづく一定の関係があるものと推定される。今後は、これらの関係について検討の余地がある。

6.3 煤煙濃度測定機器

トンネル内煤煙は非常に微細な粒子であるため、これを十分な精度で満足なデータを得ることは至難の業である。現在使われている測定器にも問題点が多く、したがって、今後とも煤煙濃度の測定用機器の改良、開発が必要である。

7 謝 辞

終りに、本調査の実施にあたり、御協力をいただいた日本道路公団八王子管理事務所および、東北地方建設局福島工事事務所の関係各位に謝意を表します。

8 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) 今田，水谷，平江，丸山「道路トンネル内浮遊粉じん調査②」土木研究所資料，第1101号，昭和51年3月
- 3) 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	測定日程表	11
表 - 2	光学濃度とシグリスト粉じん計による重量濃度との相関	12
表 - 3	秤量条件の相違による影響	12
表 - 4	ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度	13
表 - 5	トンネル内煤煙の光学濃度と重量濃度	14
表 - 6	各測定器間の相互関係	15
表 - 7	吸光度と光学濃度との相関	15
表 - 8	光学濃度と各波長の吸光度の関係	15
表 - 9	波長係数 (τ)	15
表 - 10	波長係数の変動	15
表 - 11	カスケードインパクトによる煤煙の粒径分布	16
表 - 12	トンネル内煤煙の粒径に対する粒子数の分布	17
表 - 13	分析試験報告書	18
表 - 14	トンネル内温度・湿度	19
表 - 15	秤量場所の温度・湿度	21
表 - 16	トンネル内交通量	22
表 - 17	煤煙の重量濃度・光学濃度の相関と組成	23
表 - 18	各トンネルの波長係数	23

表-1 測定日程表

小仏トンネル

月日	測定項目	0時	6時	12時	18時	24時	備考
8/20 (水)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト				No. 1		No は記録紙の番号またはろ紙No
8/21 (木)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト		No. 2	No. 1 2 3 4 5 6 No. 10 No. 11 No. 12	No. 3		
8/22 (金)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト	No. 3		No. 4 No. 8 7 9 10 11 12 13 No. 13 No. 14 No. 15			(天候雨)

東栗子トンネル

8/25 (月)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト		No. 1	No. 2	No. 15 17 No. 16		
8/26 (火)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト	No. 2	No. 18 19 20 No. 17	No. 21 22 23 24 25 No. 18 No. 19	No. 3 No. 20		換気ファン停止 9:30~12:40 換気ファン全動 14:17~16:00
8/27 (水)	光学濃度測定 H. V. A. S カスケードインパクト	No. 4	No. 26 27 28 29 30 31 No. 21 No. 22				換気ファン停止 9:00~11:30

表-2 光学濃度とシグリスト粉じん計による重量濃度との相関

トンネル名	データ数	回 帰 直 線	光学濃度補正值 ($-\log k_T$)	透過率補正 係数 k_T
小仏トンネル	40	$(VI') - 0.0036 = 0.934$ (Sig.)	-0.0036	1.008
東栗子トンネル	96	$(VI') + 0.0031 = 0.710$ (Sig.)	+0.0031	0.993

表-3 秤量条件の相違による影響

小 仏 ト ン ネ ル				東 栗 子 ト ン ネ ル			
ろ紙No	現地秤量	25℃, 50% 秤 量	差	ろ紙No	現地秤量	25℃, 50% 秤 量	差
1	54.73 ^{mg}	51.05 ^{mg}	3.68 ^{mg}	15	236.06 ^{mg}	233.90 ^{mg}	2.16 ^{mg}
2	42.98	41.65	1.33	17	169.55	167.50	2.05
3	48.63	47.10	1.53	18	131.49	129.45	2.04
4	55.54	54.40	1.14	19	183.57	180.05	3.52
5	46.15	45.15	1.00	20	173.43	169.60	3.83
6	64.95	64.30	0.65	21	174.70	171.30	3.40
8	56.58	50.20	6.38△	22	105.88	104.05	1.83
7	51.15	44.00	7.15△	23	101.85	98.35	3.50
9	48.96	43.55	5.41△	24	177.22	172.25	4.97△
10	62.01	55.70	6.31△	25	210.13	204.30	5.83△
11	50.81	45.45	5.36△	26	170.22	170.40	-0.18
12	64.37	59.85	4.52△	27	184.43	183.80	0.63
13	57.26	52.10	5.16△	28	256.59	254.80	1.79
				29	206.45	204.50	1.95
				30	176.87	171.55	5.32△
				31	216.49	211.80	4.69△

表-4 ハイボリウムエアサンプラによる重量濃度

小仏トンネル

月 日	ろ紙No	サンプリング		サンプリング 時 間	平均静圧	合計流量	煤煙重量	重量濃度	備 考
		開始時刻	終了時刻						
8/21	1	11:00	12:00	分 60	35.3	m^3 60.15	mg 51.05	mg/m^3 0.85	○
	2	12:05	13:05	60	35.3	60.15	41.63	0.69	○
	3	13:10	14:10	60	35.3	60.15	47.10	0.78	○
	4	14:15	15:15	60	37.0	63.05	54.40	0.86	
	5	15:20	16:20	60	37.0	63.05	45.15	0.72	
	6	16:25	17:25	60	36.3	61.86	64.30	1.04	
8/22	8	9:20	10:20	60	36.0	61.34	50.20	0.82	
	7	10:25	11:25	60	35.6	60.66	44.00	0.73	
	9	11:30	12:30	60	36.1	61.51	43.55	0.71	
	10	12:35	13:35	60	34.8	59.30	55.72	0.94	
	11	13:40	14:40	60	39.4	67.14	45.47	0.68	
	12	14:45	15:45	60	43.0	73.27	59.85	0.82	
	13	15:50	16:50	60	43.0	73.27	52.10	0.71	

東栗子トンネル

月 日	ろ紙No	サンプリング		サンプリング 時 間	平均静圧	合計流量	煤煙重量	重量濃度	備 考
		開始時刻	終了時刻						
8/25	15	14:55	15:55	分 60	53.7	m^3 91.5	mg 233.90	mg/m^3 2.56	○
	17	16:06	17:06	60	55.0	93.7	167.50	1.79	
8/26	18	9:10	10:10	60	50.5	86.1	129.45	1.50	○
	19	10:15	11:15	60	44.0	75.0	180.05	2.40	○
	20	11:25	12:25	60	43.0	73.3	169.60	2.31	○
	21	12:30	13:30	60	49.8	84.9	171.30	2.02	
	22	14:35	15:35	60	53.9	91.8	104.04	1.13	
	23	15:40	16:40	60	55.1	93.9	98.35	1.05	
	24	16:45	17:45	60	52.3	89.1	172.23	1.93	
	25	17:50	18:50	60	51.0	86.9	204.28	2.35	
	26	8:05	9:05	60	48.8	84.9	170.41	2.01	
8/27	27	9:10	10:10	60	44.5	75.8	183.78	2.42	○
	28	10:15	11:15	60	46.0	78.4	254.80	3.25	
	29	11:20	12:20	60	47.0	80.1	204.48	2.55	
	30	13:30	14:30	60	51.3	87.3	171.55	1.97	
	31	14:33	15:33	60	51.0	86.9	211.82	2.44	

表-5 トンネル内煤煙の光学濃度と重量濃度

小仏トンネル

期 日	時 間	光 学 濃 度	重 量 濃 度		備 考
			ハイボリウム エアサンプラ	シグリスト粉じん計	
8/21	11:00~12:00	$\times 10^{-2} m^{-1}$ 0.359	mg/m^3 0.85	mg/m^3	○
	12:05~13:05	0.323	0.69		○
	13:10~14:10	0.341	0.78		○
	14:15~15:15	0.276	0.86		
	15:20~16:20	0.287	0.72		
	16:25~17:25	0.307	1.04		
8/22	9:20~10:20	0.327	0.82	0.36	○印のハイボ リウムエアサ ンプラのデー タは除外する
	10:25~11:25	0.341	0.73	0.38	
	11:30~12:30	0.337	0.71	0.33	
	12:35~13:35	0.394	0.94	0.41	
	13:40~14:40	0.377	0.68	0.36	
	14:45~15:45	0.366	0.82	0.41	
	15:50~16:50	0.362	0.71	0.40	

東栗子トンネル

期 日	時 間	光 学 濃 度	重 量 濃 度		備 考
			ハイボリウム エアサンプラ	シグリスト粉じん計	
8/25	14:55~15:55	$\times 10^{-2} m^{-1}$ 0.241	mg/m^3 2.56	mg/m^3 0.34	○
	16:06~17:06	0.246	1.79	0.33	
8/26	9:10~10:10	0.320	1.50	0.41	○
	10:15~11:15	0.582	2.40	0.78	○
	11:25~12:25	0.561	2.31	0.85	○
	12:30~13:30	0.281	2.02	0.39	
	14:35~15:35	0.170	1.13	0.24	
	15:40~16:40	0.150	1.05	0.23	
	16:45~17:45	0.281	1.93	0.38	
	17:50~18:50	0.284	2.35	0.36	
8/27	8:05~ 9:05	0.307	2.01	—	○
	9:10~10:10	0.474	2.42	0.62	
	10:15~11:15	0.405	3.25	0.63	
	11:20~12:20	0.362	2.55	0.53	
	13:30~14:30	0.303	1.97	0.42	
	14:33~15:33	0.328	2.44	0.50	

表-6 各測定器間の相互関係

測定器 トンネル名	煤煙濃度 測定装置	ハイボリウム エアサンプラ	シグリスト粉じん計
小仏トンネル	$\times 10^{-2} m^{-1}$ 1.00	mg/m^3 2.4	mg/m^3 1.07
東栗子トンネル	1.00	7.5	1.41

表-7 吸光度と光学濃度との相関

トンネル名	波長 (nm)	データ数	回帰直線	吸光度 補正值	備考
小仏 トン ネル	400	74	$(E'_{400}) + 0.026 = 1.370$ (VI)	+0.026	
	800	74	$(E'_{800}) + 0.006 = 0.662$ (VI)	+0.006	
	450	74	$(E'_{450}) - 0.026 = 1.142$ (VI)	-0.026	
	700	74	$(E'_{700}) + 0.001 = 0.691$ (VI)	+0.001	
	633	40*	$(E'_{633}) - 0.085 = 0.753$ (VI)	-0.085	*8/21 10:15~16:55
東栗 子 ト ン ネル	400	97	$(E'_{400}) + 0.062 = 1.538$ (VI)	+0.062	
	800	97	$(E'_{800}) - 0.009 = 0.713$ (VI)	-0.009	
	450	97	$(E'_{450}) - 0.069 = 1.347$ (VI)	-0.069	
	700	97	$(E'_{700}) + 0.004 = 0.795$ (VI)	+0.004	
	633	38*	$(E'_{633}) - 0.120 = 0.869$ (VI)	-0.120	*8/27 8:20~15:30

表-8 光学濃度と各波長の吸光度の関係

吸光度 トンネル名	VI	E_{400}	E_{800}	E_{450}	E_{700}	E_{633}
小仏トンネル	1.00	1.37	0.66	1.14	0.69	0.75
東栗子トンネル	1.00	1.54	0.71	1.35	0.80	0.87

表-9 波長係数(τ)

測定器 トンネル名	煤煙濃度 測定装置	比色式 透過率計
小仏トンネル	-1.05	-1.05
東栗子トンネル	-1.11	-1.10

表-10 波長係数の変動

トンネル名	データ数	平均値	最大値	最小値
小仏トンネル	74	-1.05	-1.16	-0.94
東栗子トンネル	97	-1.11	-1.26	-0.91

表-11 カスケードインパクトによる煤煙の粒径分布

小仏トンネル

月 日	ろ紙 No.	サンプリング 開始時刻 サンプリング 時 間	平 均 流 量	総重量	各ステージの重量および重量百分率						
					1	2	3	4	5	6	ろ紙
8/21	10	10:45	ℓ/min 113	mg 1225	mg 0.450	mg 0.435	mg 0.310	mg 0.485	mg 0.435	mg 0.730	mg 9.40
		120 分			3.7%	3.5%	2.5%	4.0%	3.5%	6.0%	76.8%
"	11	13:05	113	9.93	0.355	0.270	0.340	0.280	0.170	0.530	7.98
		120			3.6	2.7	3.4	2.8	1.7	5.4	80.4
"	12	15:20	112	12.82	0.630	0.285	0.200	0.335	0.265	0.355	10.75
		120			4.9	2.2	1.6	2.6	2.1	2.8	83.8
8/22	13	8:55	113	13.06	0.480	0.270	0.350	0.265	0.315	0.450	10.93
		180			3.7	2.1	2.7	2.0	2.4	3.4	83.7
"	14	12:08	113	14.17	0.355	0.377	0.280	0.360	0.405	0.620	11.77
		180			2.5	2.7	2.0	2.5	2.8	4.4	83.1
"	15	15:20	114	13.38	0.375	0.275	0.205	0.175	0.450	0.545	11.35
		180			2.8	2.0	1.5	1.3	3.4	4.1	84.9

東栗子トンネル

月 日	ろ紙 No.	サンプリング 開始時刻 サンプリング 時 間	平 均 流 量	総重量	各ステージの重量および重量百分率						
					1	2	3	4	5	6	ろ紙
8/25	16	14:10	ℓ/min 113	mg 18.03	mg 2.165	mg 1.435	mg 0.660	mg 0.775	mg 0.760	mg 0.830	mg 11.40
		180 分			12.0%	8.0%	3.7%	4.3%	4.2%	4.6%	63.2%
8/26	17	9:38	113	26.67	2.110	1.470	0.670	0.850	0.880	1.390	19.30
		180			7.9	5.5	2.5	3.2	3.3	5.2	72.4
"	18	12:40	113	14.42	1.880	1.880	0.600	0.550	0.720	0.885	7.90
		180			13.0	13.0	4.2	3.8	5.0	6.1	54.8
"	19	15:45	113	15.99	2.220	1.505	0.810	0.555	0.645	0.905	9.35
		180			13.9	9.4	5.1	3.5	4.0	5.6	58.5
8/26 8/27	20	18:54 13時間	114	48.48	4.590	3.515	1.110	2.115	0.885	2.330	33.93
					9.5	7.2	2.3	4.4	1.8	4.8	70.0
8/27	21	8:03	113	21.05	2.030	1.270	0.900	0.910	1.020	0.965	13.95
		180			9.6	6.0	4.3	4.3	4.9	4.6	66.3
"	22	11:10	113	20.19	2.400	1.375	1.515	0.780	1.075	1.245	11.80
		180			11.9	6.8	7.5	3.9	5.3	6.2	58.4

表-12 トンネル内煤煙の粒径に対する粒子数の分布

小仏トンネル

月 日	ろ紙 No.	1 ステージ	2	3	4	5	6
		10 μ	5 μ	2 μ	1 μ	0.5 μ	0.2 μ
8/21	10	3.7 $\times 10^{-3}$ 個	2.9 $\times 10^{-2}$ 個	3.1 $\times 10^{-1}$ 個	4.0 個	2.9 $\times 10$ 個	7.5 $\times 10^2$ 個
"	11	3.6	2.2	4.4	2.8	1.4	6.8
"	12	4.9	1.8	2.0	2.6	1.7	3.5
8/22	13	3.7	1.7	3.4	2.0	1.9	4.3
"	14	2.5	2.2	2.5	2.5	2.3	5.5
"	15	2.8	1.7	1.9	1.3	2.7	5.1
平 均		3.5 $\times 10^{-3}$	2.0 $\times 10^{-2}$	2.9 $\times 10^{-1}$	2.5	2.2 $\times 10$	5.5 $\times 10^2$

東栗子トンネル

月 日	ろ紙 No.	1 ステージ	2	3	4	5	6
		個	個	個	個	個	個
8/25	16	12.0 $\times 10^{-3}$	6.4 $\times 10^{-2}$	4.6 $\times 10^{-1}$	4.3	3.4 $\times 10$	5.8 $\times 10^2$
8/26	17	7.9	4.4	3.1	3.2	2.7	6.5
"	18	13.0	10.4	5.3	3.8	4.0	7.6
"	19	13.8	7.5	6.3	3.5	3.2	7.0
8/26 ~ 8/27	20	9.5	5.8	2.9	4.4	1.4	6.0
8/27	21	9.6	4.8	5.4	4.3	3.8	5.8
"	22	11.9	5.4	9.4	3.9	4.2	7.8
平 均		11.1 $\times 10^{-3}$	6.4 $\times 10^{-2}$	5.3 $\times 10^{-1}$	3.9	3.2 $\times 10$	6.6 $\times 10^2$

表-13 分析試験報告書

(試料名)			
トンネル内煤煙			
試験条件 ペンゼン抽出 ↓ ペンゼン可溶分 ペンゼン不溶分 ↓ C 強熱残分 温水抽出 ↓ SO₃		分析方法	
		ペンゼン不溶分	重量法
		強熱残分	重量法
		C	電量測定法
		SO ₃	吸光光度法
試験項目 \ 試料名 (No.)	小仏トンネル	東栗子トンネル	
ペンゼン可溶分 (%)	10.7	11.6	
強熱残分 (%)	12.6	54.9	
C (%)	6.6	2.4	
SO ₃ (%)	2.2	1.7	

備考

- 強熱残分とCはもとの試料に対する値
- SO₃の値はSO₄の定量値より換算して求めた。

表-14(1) トンネル内温度・湿度 (小仏トンネル)

小仏トンネル

月 日	時 刻	温 度 ℃	湿 度 %	月 日	時 刻	温 度 ℃	湿 度 %
8/21	10:15	26.0	73	8/22	10:25	25.8	79
	11:00	26.5	74		10:40	26.3	78
	11:30	26.5	74		10:55	26.5	78
	12:00	27.0	74		11:10	26.2	80
	12:05	26.5	74		11:25	26.5	82
	12:30	27.2	67		11:46	26.5	79
	13:30	27.0	70		12:00	26.3	78
	13:40	27.0	70		12:15	26.5	78
	14:10	26.5	73		12:30	26.5	78
	14:30	27.5	67		12:50	26.0	82
	14:45	27.8	67		13:05	26.2	79
	15:00	27.0	70		13:20	26.3	79
	15:20	27.5	67		13:35	26.1	82
	15:35	27.5	67		13:55	26.5	81
	16:05	27.8	64		14:10	26.5	80
	16:20	27.5	64		14:25	26.5	78
	16:41	27.5	64		14:40	26.4	79
	16:56	28.2	58		15:00	26.2	81
	17:12	28.5	56		15:15	26.1	82
8/22	8:50	26.0	78		15:30	26.3	78
	9:20	26.0	78		15:45	26.6	77
	9:38	26.0	78		16:05	26.4	79
	9:50	26.0	78		16:20	26.4	79
	10:05	26.3	78		16:35	26.5	78
					16:50	26.5	78

表-14(2) トンネル内温度・湿度 (東栗子トンネル)

東栗子トンネル

月 日	時 刻	温 度 ℃	湿 度 %	月 日	時 刻	温 度 ℃	湿 度 %
8/25	14:49	26.0	53	8/26	17:20	25.8	59
	15:42	27.0	56		17:40	26.8	54
	16:10	26.8	56		18:12	25.5	58
	16:55	26.4	61		18:45	26.0	57
	17:06	26.8	62	8/27	8:15	25.2	57
8/26	9:00	25.2	52		8:40	25.3	59
	9:30	25.8	54		9:00	25.0	62
	10:00	26.0	64		9:25	26.3	57
	10:30	26.5	53		9:45	26.5	59
	10:50	26.5	53		10:05	26.2	60
	11:10	26.3	57		10:30	26.5	55
	11:40	27.0	58		10:50	26.8	57
	11:45	25.3	57		11:10	26.5	59
	12:00	26.8	54		11:35	27.2	54
	12:26	25.0	57		11:55	26.0	59
	12:45	26.8	57		12:15	25.0	64
	13:57	25.8	55		12:30	26.5	57
	14:25	25.5	59		13:45	26.5	53
	14:50	25.2	58		14:00	26.5	55
	15:10	25.0	58		14:15	27.5	52
	15:35	24.8	58		14:25	26.0	59
	15:55	25.0	62		14:50	26.5	57
	16:15	25.2	62		15:10	27.3	56
	16:35	26.8	54		15:30	27.2	54
	17:00	25.8	58				

表-15 秤量場所の温度・湿度

小仏トンネル(換気塔内1階)				東栗子トンネル(ドライブイン地下室)			
月 日	時 刻	温 度	湿 度	月 日	時 刻	温 度	湿 度
8/21	9:26	29.0℃	74%	8/26	8:40	22.0℃	80%
	12:25	30.2	70		12:52	22.5	80
	13:52	29.5	69		13:44	22.5	85
	16:38	29.0	71		14:53	22.8	70
	17:17	29.0	67		16:19	22.5	76
	18:10	28.5	67		17:32	22.5	85
	18:55	28.5	63		19:06	22.0	85
8/22	9:00	26.8	80	8/27	9:20	22.0	72
	9:58	26.5	84		11:48	23.0	80
	11:05	26.5	82		12:41	23.3	75
	12:38	26.8	80		14:42	23.3	75
	15:50	26.8	82		15:19	23.5	73
	19:55	26.5	82				

表-16 トンネル内交通量

小仏トンネル

月 日	時 間	サンプリング時間	大型車台数	小型車台数	総 台 数
8/21	11:00～12:00	20 分	204 台	288 台	492 台
	12:05～13:05	20	144	315	459
	13:10～14:10	20	195	525	720
	14:15～15:15	20	177	618	795
	15:20～16:20	20	174	771	945
	16:25～17:25	20	165	753	918
8/22	9:20～10:20	20	129	237	366
	10:25～11:25	20	126	345	471
	11:30～12:30	20	117	492	609
	12:35～13:35	20	201	378	579
	13:40～14:40	20	177	522	699
	14:45～15:45	20	168	642	810
	15:50～16:50	20	219	759	978

東栗子トンネル

月 日	時 間	サンプリング時間	大型車台数	小型車台数	総 台 数
8/26	9:10～10:10	20 分	160 台	252 台	412 台
	10:15～11:15	30	112	342	454
	11:25～12:25	30	158	348	506
	12:30～13:30	10	120	270	390
	14:35～15:35	30	130	284	414
	15:40～16:40	30	152	332	484
	16:45～17:45	30	150	308	458
	17:50～18:50	30	164	216	380
8/27	8:05～9:05	30	94	208	302
	9:10～10:10	30	116	260	376
	10:15～11:15	30	164	330	494
	11:20～12:20	30	112	274	386
	13:30～14:30	30	110	296	406
	14:33～15:33	30	130	278	408

表-17 煤煙の重量濃度・光学濃度の相関と組成

トンネル名	H.V.A.Sによる 重 量 濃 度	シグリストによる 重 量 濃 度	シグリストによる 重 量 濃 度	定量分析結果	
	光 学 濃 度	光 学 濃 度	H.V.A.Sによる 重 量 濃 度	灰 分	炭 素
	$\frac{mg/m^3}{10^{-2}m^{-1}}$	$\frac{mg/m^3}{10^{-2}m^{-1}}$	$\frac{mg/m^3}{mg/m^3}$	%	%
小 仏 ト ン ネ ル	2.4	1.1	0.45	13	66
東 栗 子 ト ン ネ ル	7.5	1.4	0.19	55	24
関 ト ン ネ ル ²⁾	2.6	1.0	0.40	10	54
東栗子他3トンネル ¹⁾	10.3	1.4	0.14	50	37

表-18 各トンネルの波長係数

トンネル名	波 長 係 数	カスケードインパクト のろ紙の煤煙量
小 仏 ト ン ネ ル	-1.05	80 %
東 栗 子 ト ン ネ ル	-1.11	60
関 ト ン ネ ル ²⁾	-1.28	80
東栗子他3トンネル ¹⁾	-1.15	50

付 図 目 次

図-1	測定器配置図	25
図-2	光学濃度とシグリスト粉じん計による重量濃度	26
図-3	秤量条件の相違による影響	27
図-4	ハイボリウムエアサンプラの粉じん捕集重量と流量の変化	28
図-5	ハイボリウムエアサンプラとシグリスト粉じん計	29
図-6	煤煙濃度測定装置とシグリスト粉じん計	30
図-7	煤煙濃度測定装置とハイボリウムエアサンプラ	31
図-8	各波長の吸光度	32
図-9	吸光度の相関（煤煙濃度測定装置）	33
図-10	吸光度の相関（比色式透過率計）	34
図-11	波長係数の変動（煤煙濃度測定装置）	35
図-12	カスケードインパクトによる煤煙の粒径分布	36
図-13	煤煙の粒径分布	38
図-14	トンネル内の温度・湿度	39
図-15	秤量場所の温度・湿度	40
図-16	トンネル内交通量	41

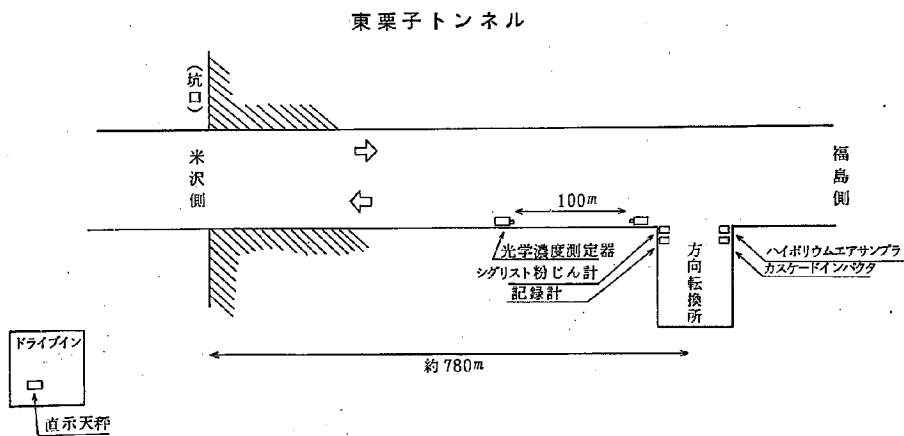
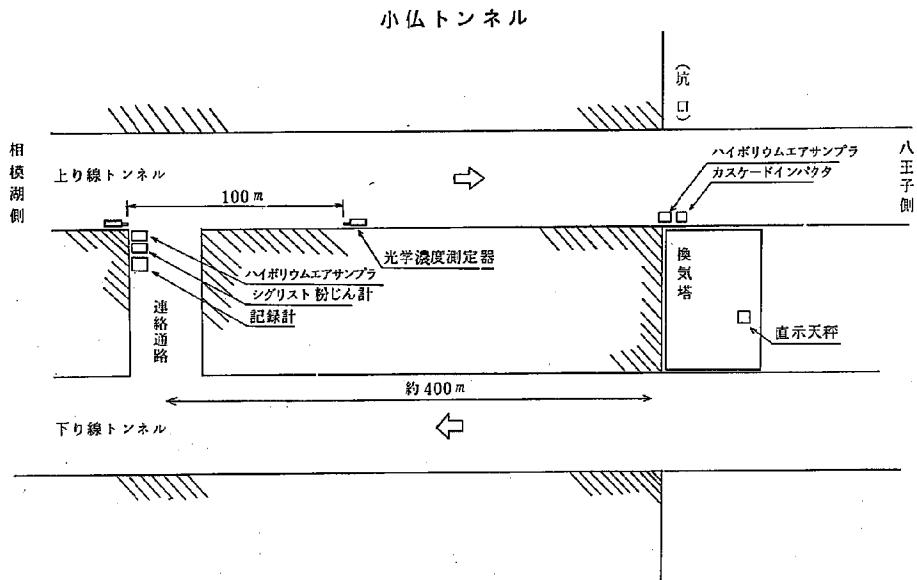


図-1 測定器配置図

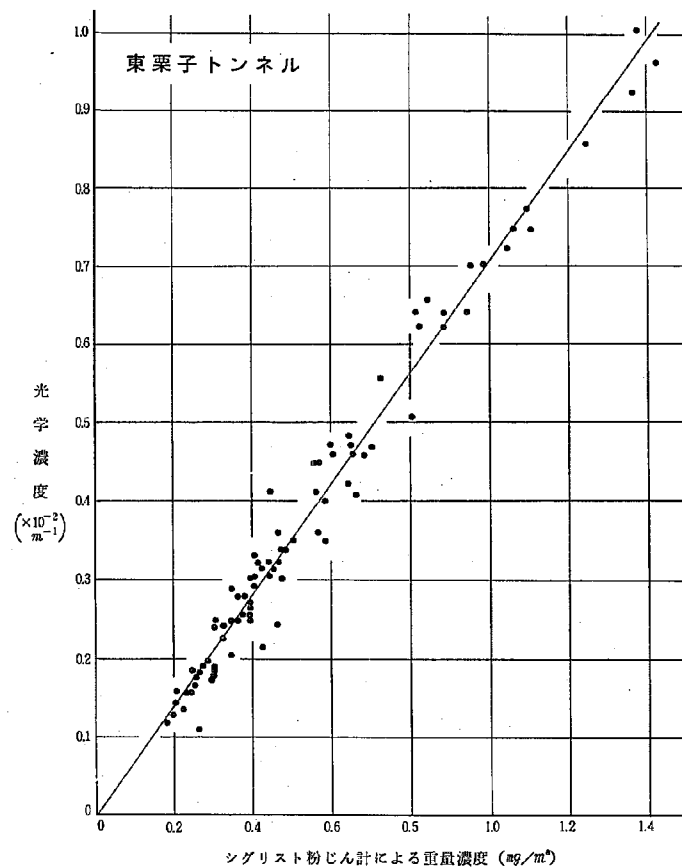
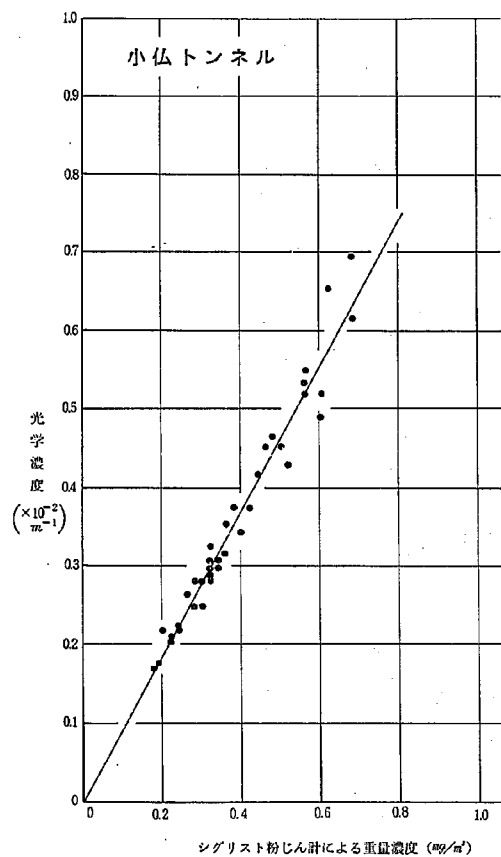


図-2 光学濃度とシグリスト粉じん計による重量濃度

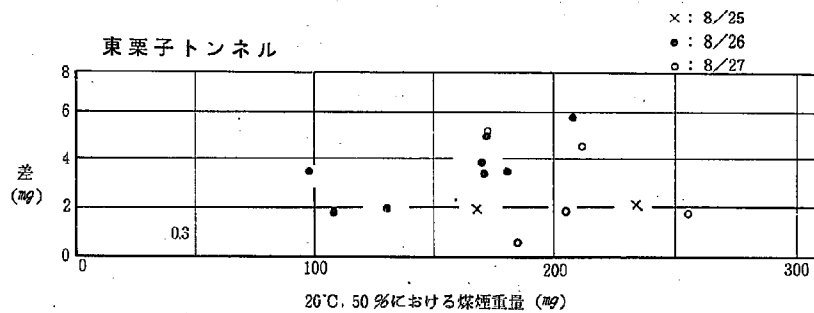
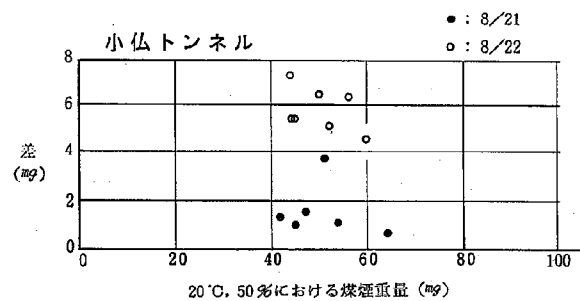


図-3 秤量条件の相違による影響

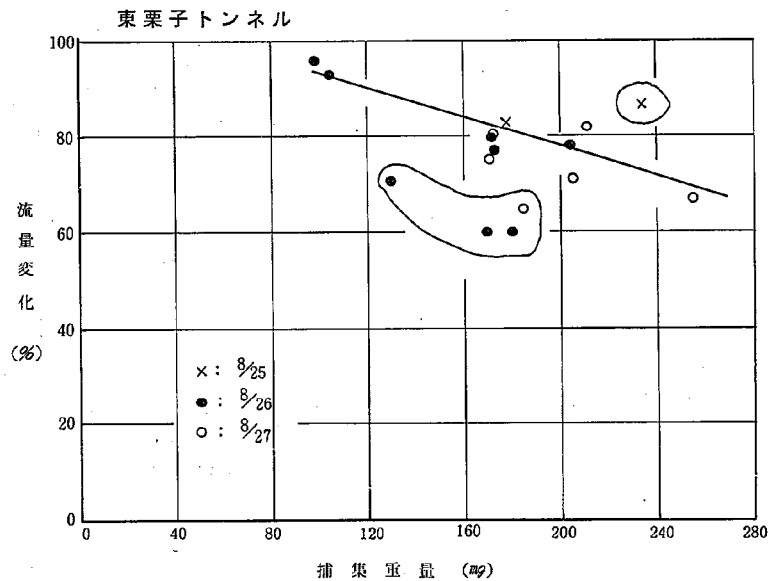
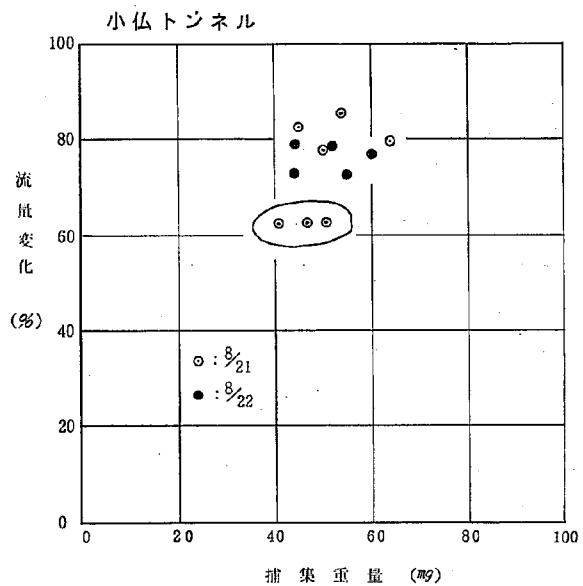


図 - 4 ハイボリウムエアサンプラの粉じん捕集重量と流量の変化

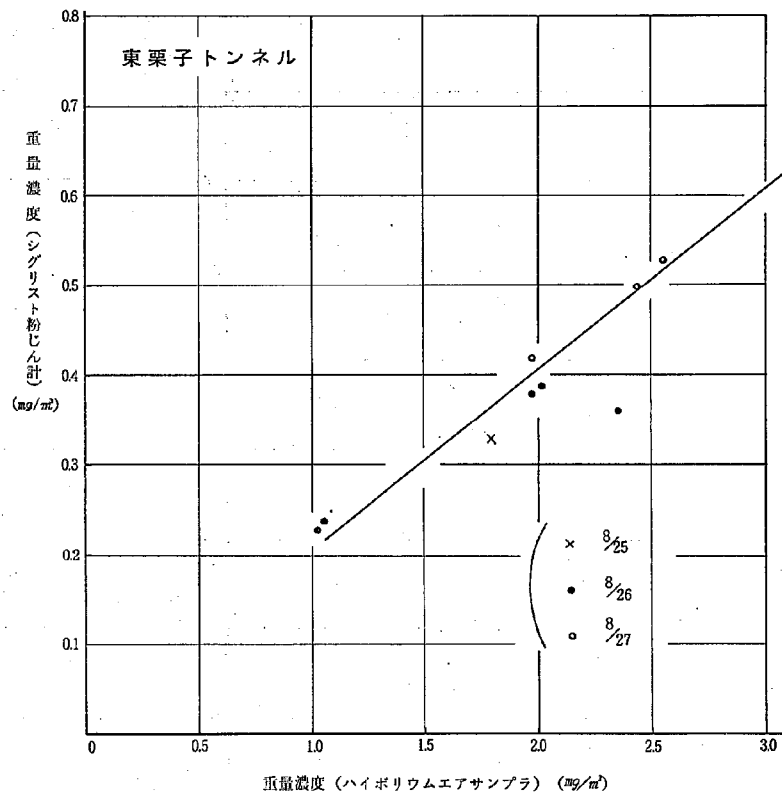
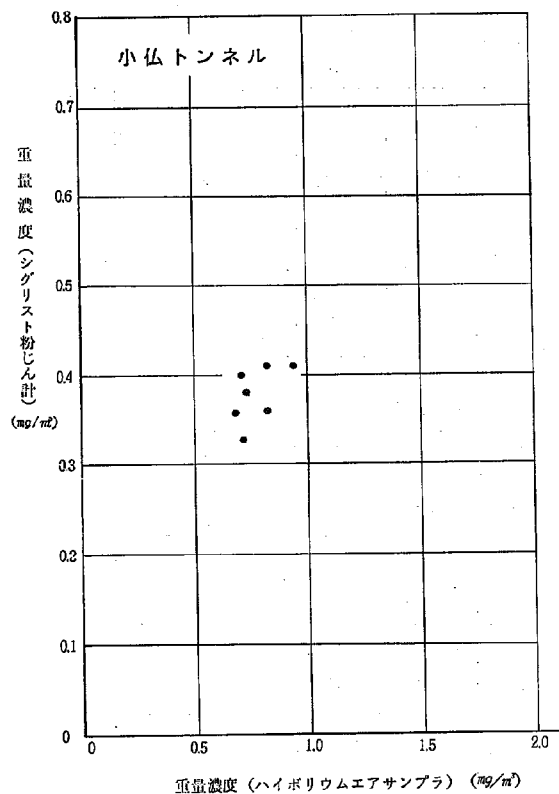


図 - 5 ハイボリウムエアサンプラとシグリスト粉じん計

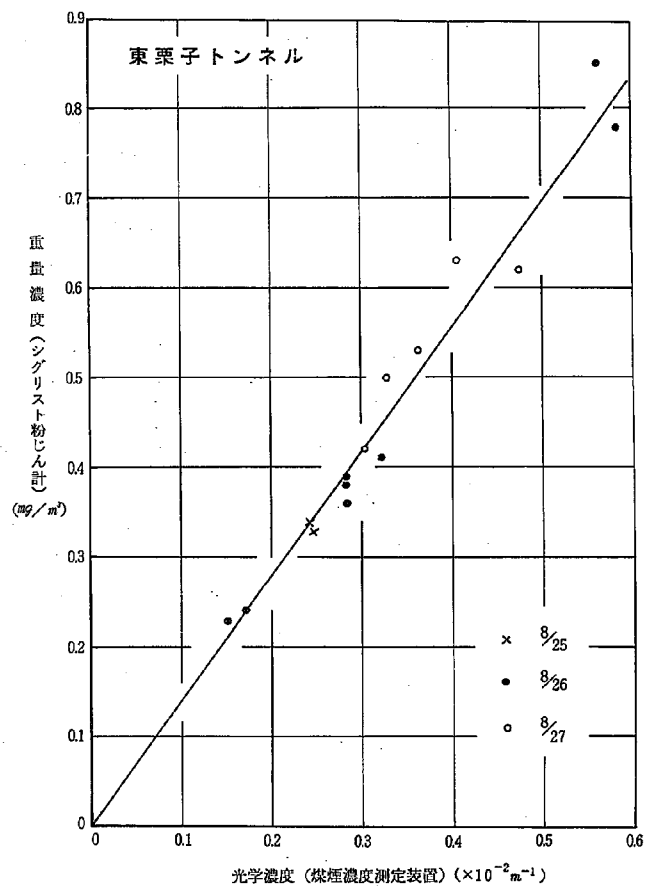
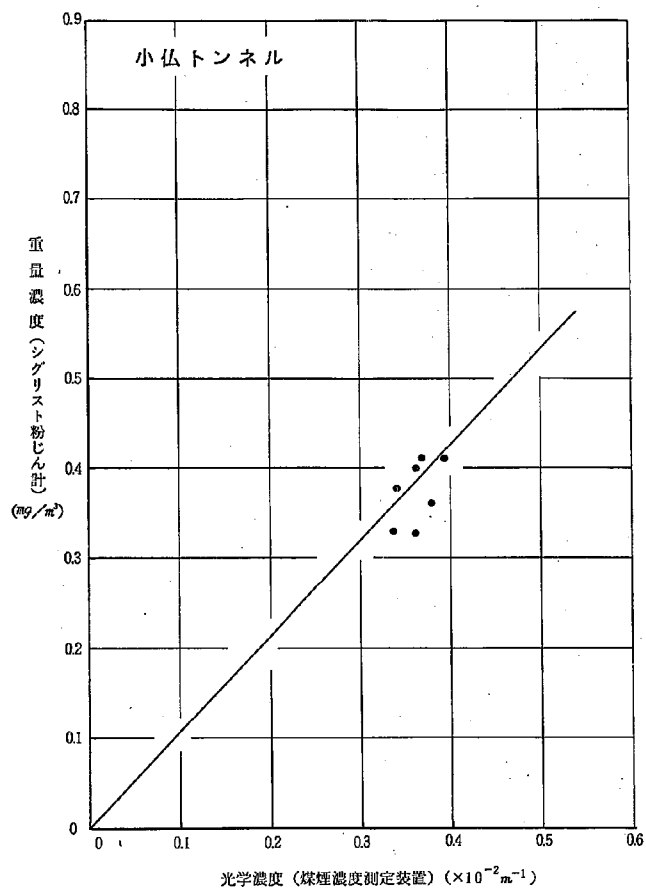


図 - 6 煤煙濃度測定装置とシグリスト粉じん計

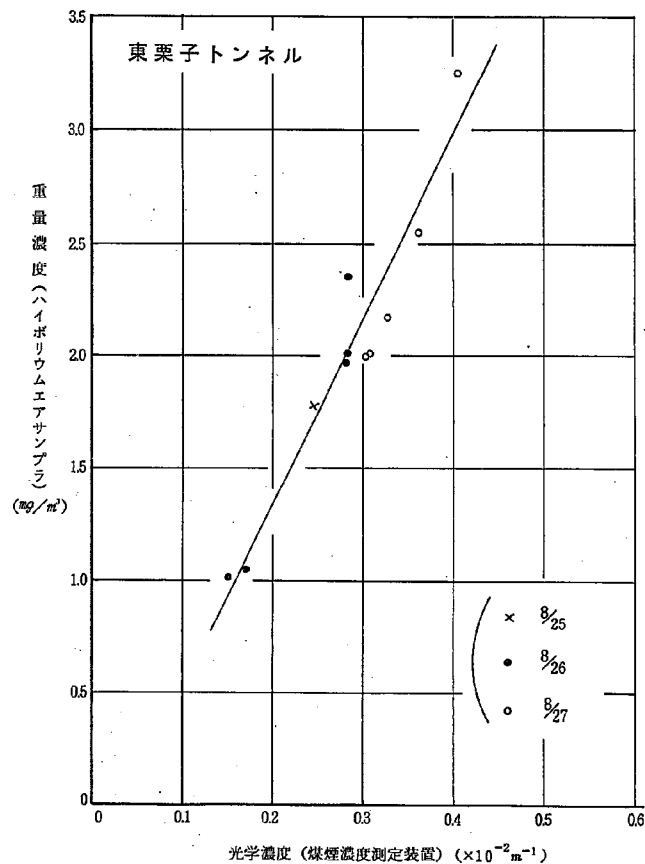
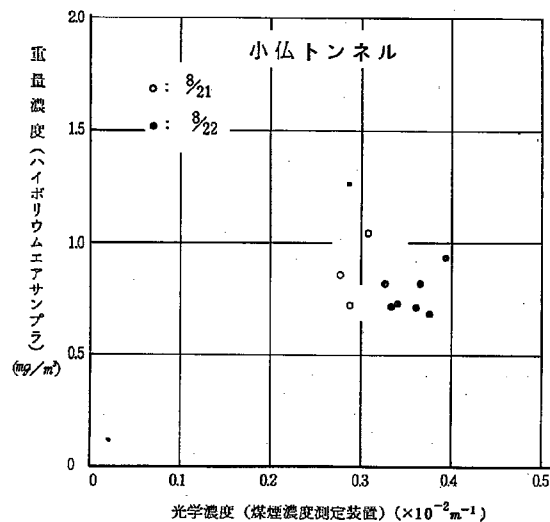


図-7 煤煙濃度測定装置とハイボリウムエアサンプラ

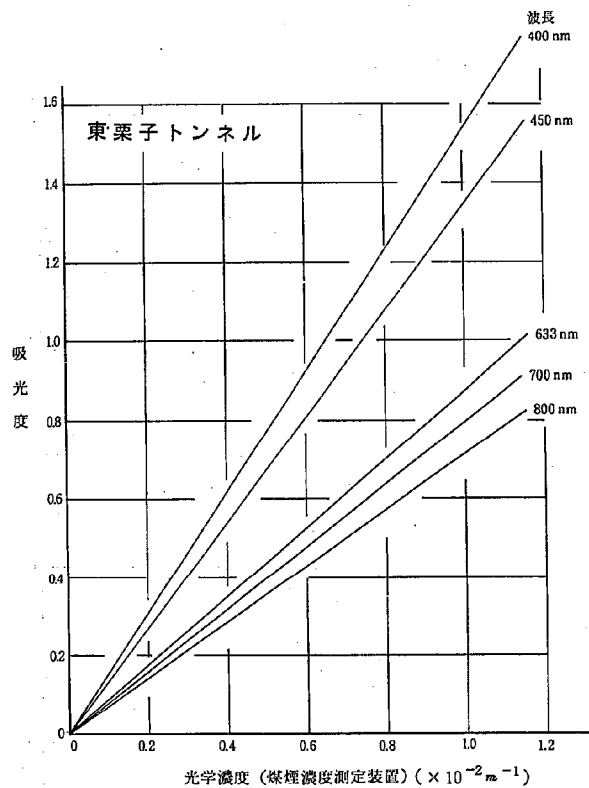
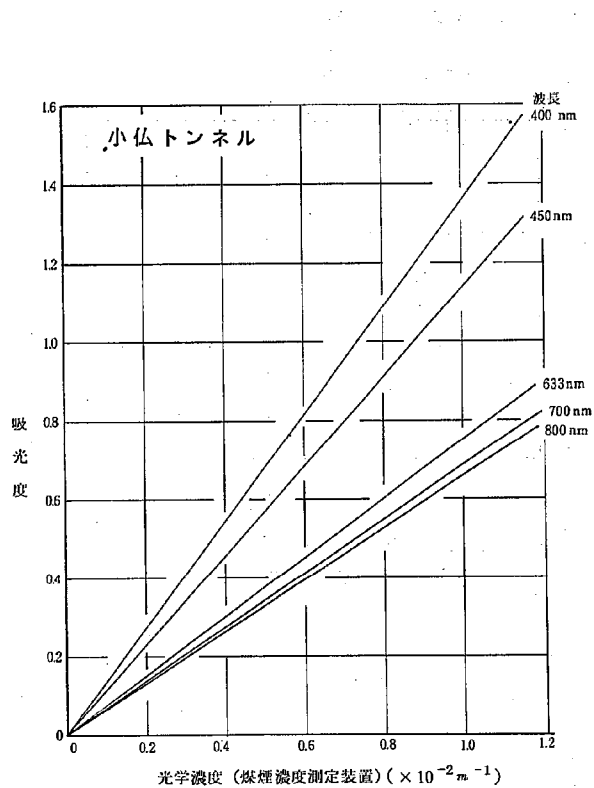


図 - 8 . 各 波 長 の 吸 光 度

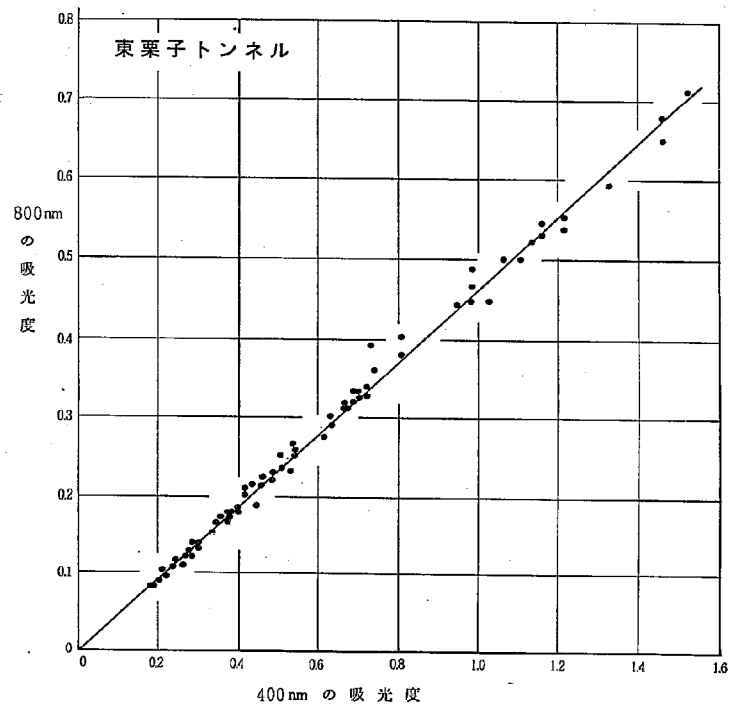
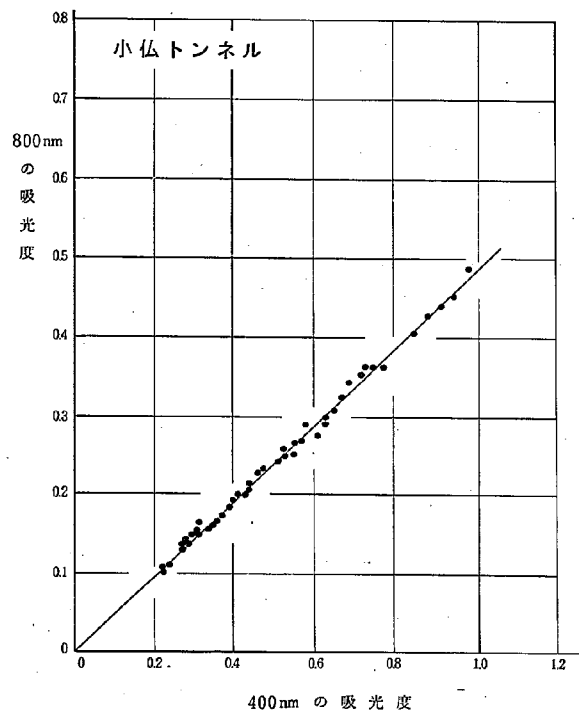


図 - 9 吸光度の相関 (煤煙濃度測定装置)

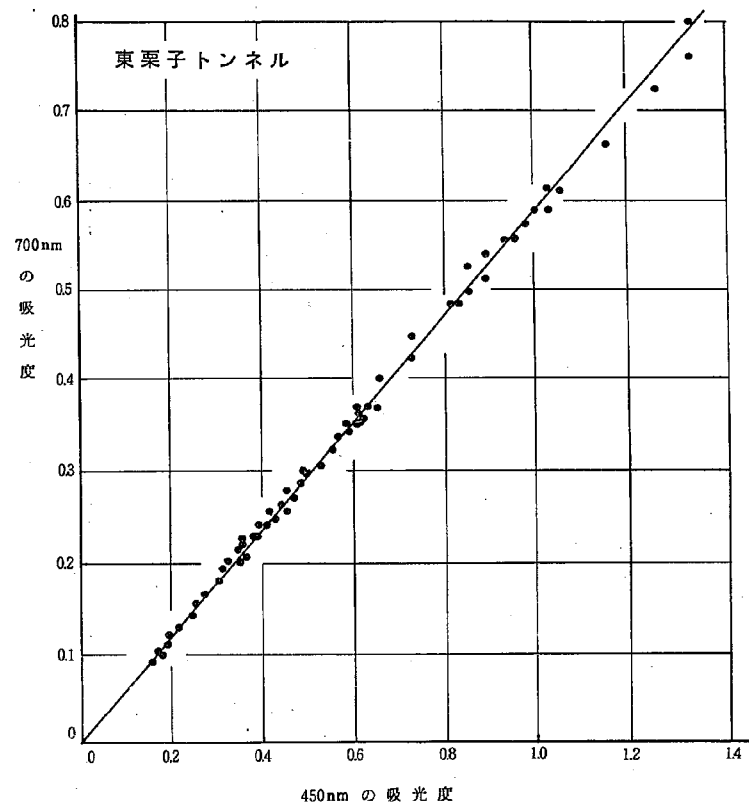
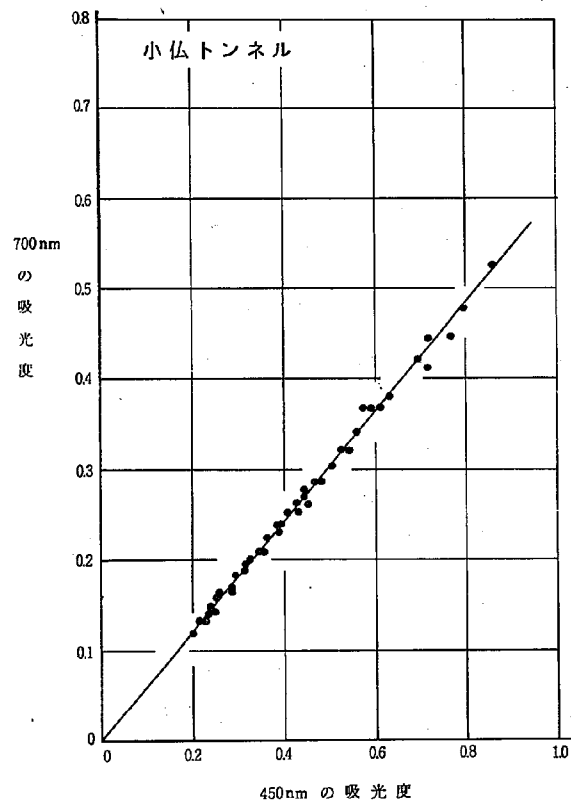


図 - 10 吸光度の相関 (比色式透過率計)

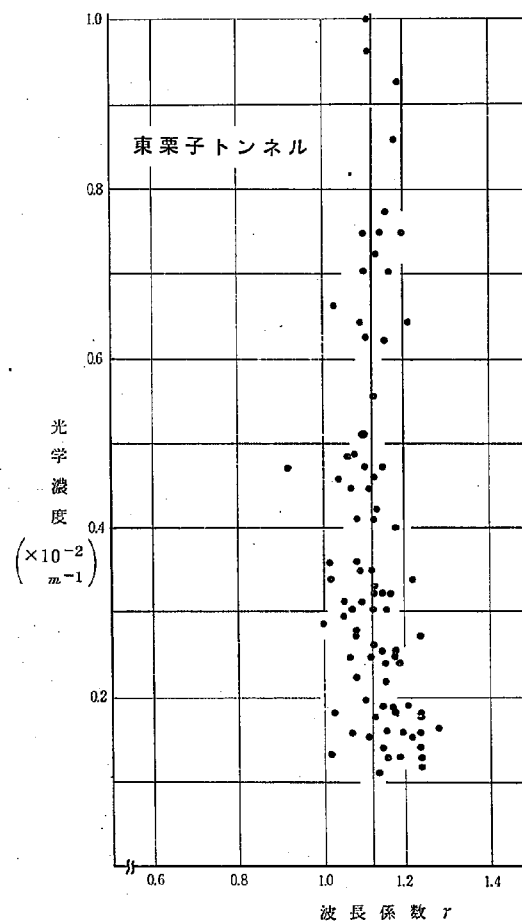
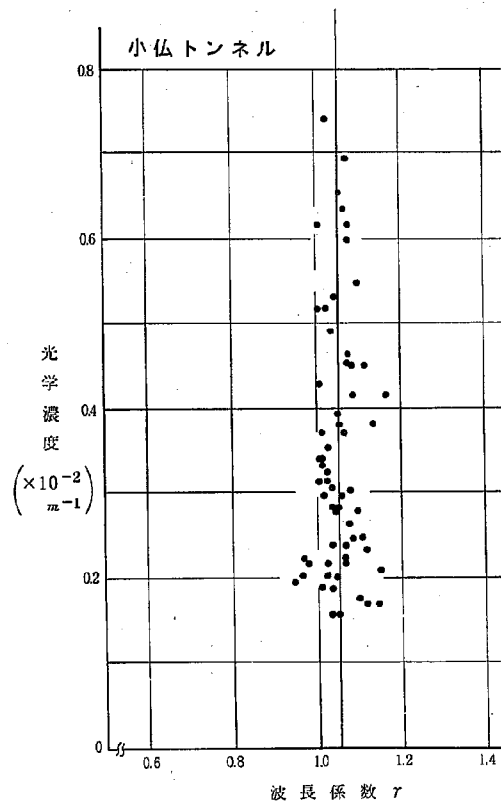


図-11 波長係数の変動（煤煙濃度測定装置）

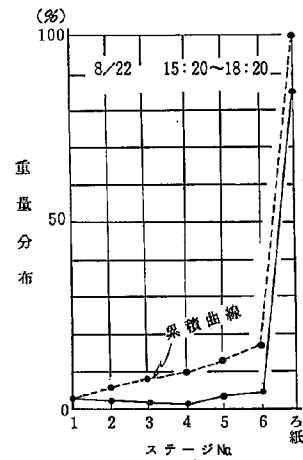
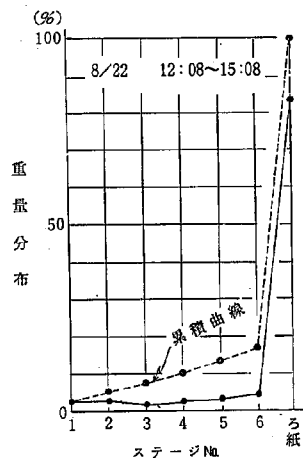
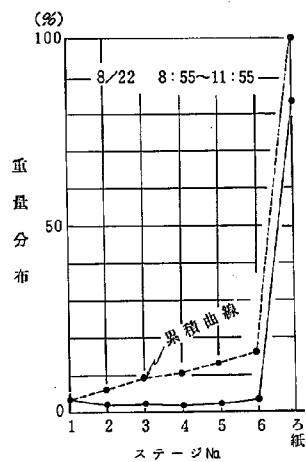
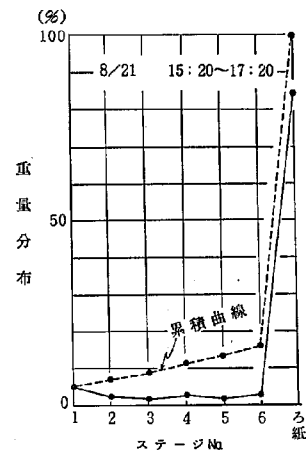
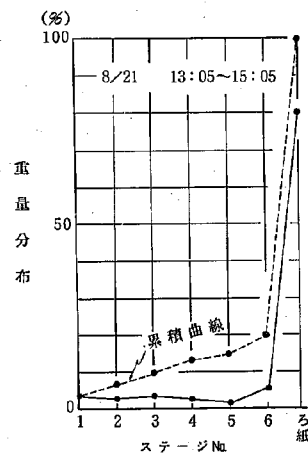
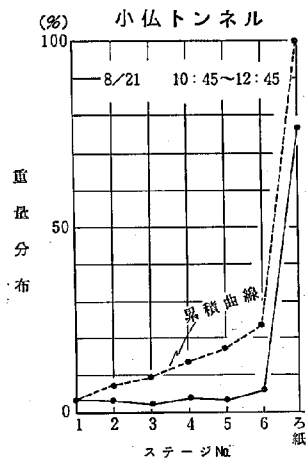


図-12 (1) カスケードインパクトによる煤煙の粒径分布 (小仏トンネル)

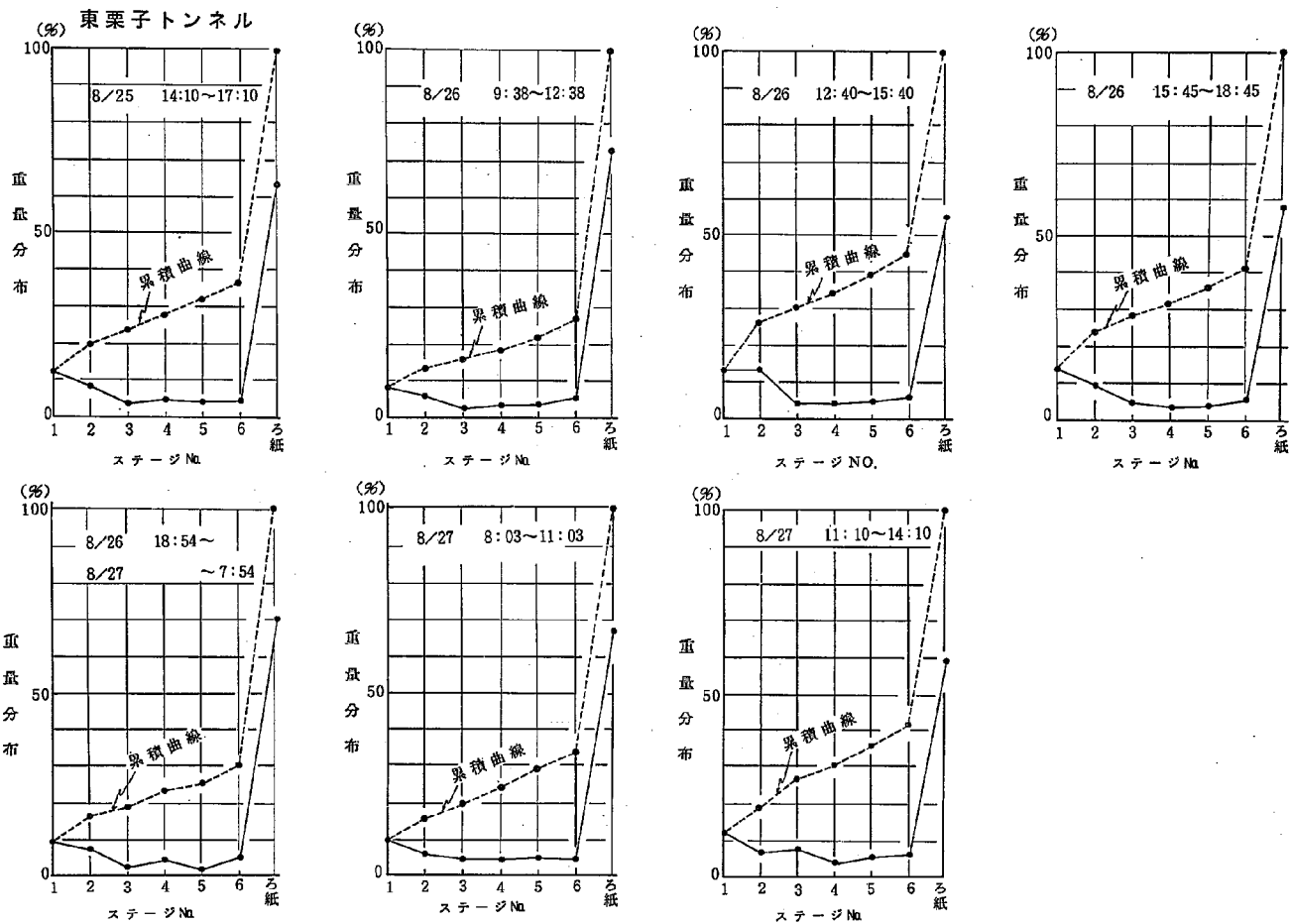


図-12 (2) カスケードインパクトによる煤煙の粒径分布 (東栗子トンネル)

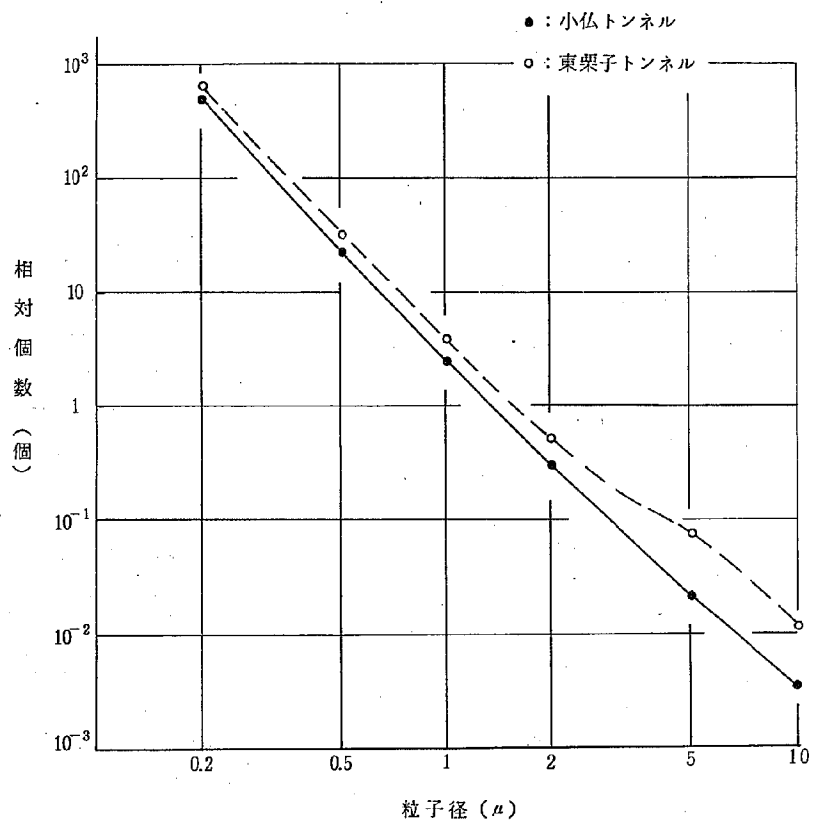


図-13 煤煙の粒径分布

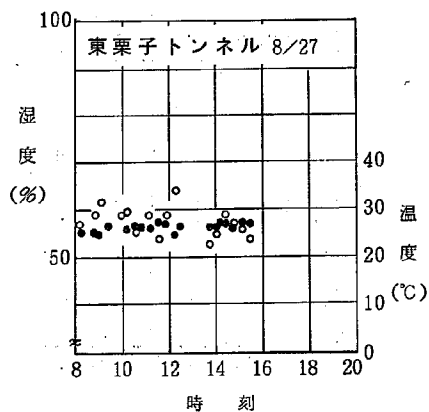
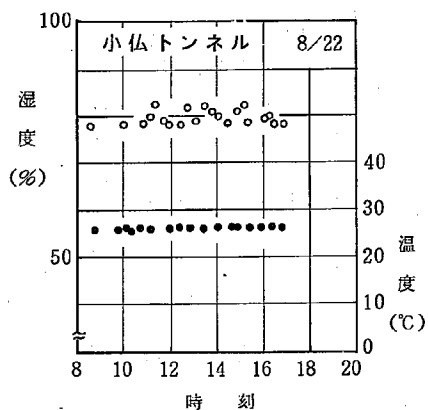
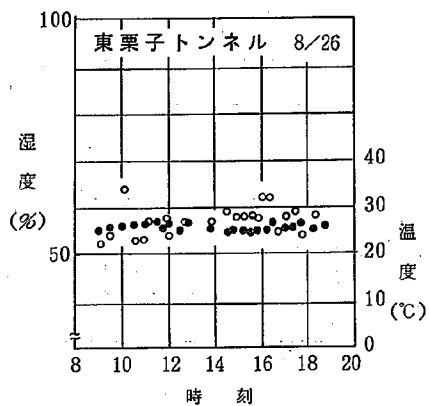
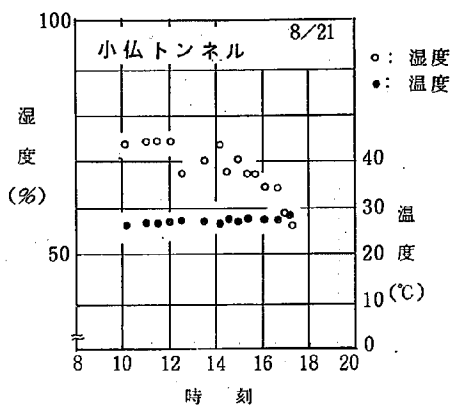


図-14 トンネル内の温度・湿度

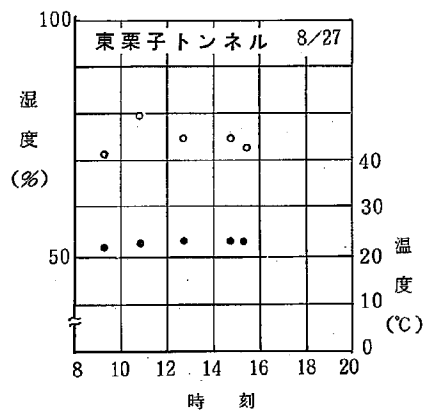
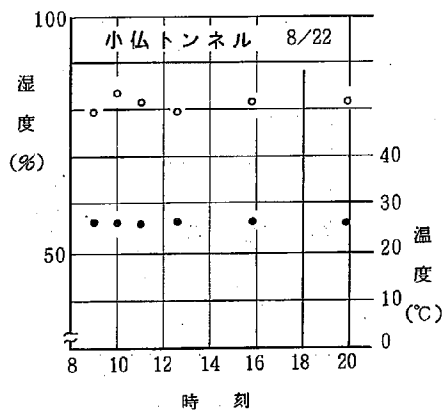
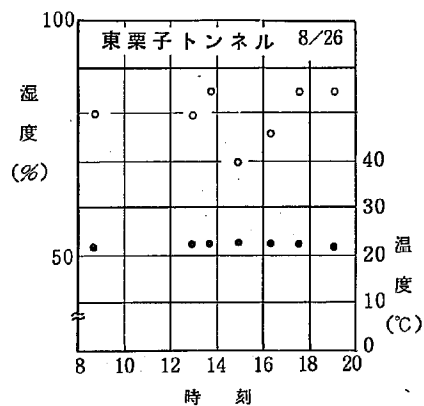
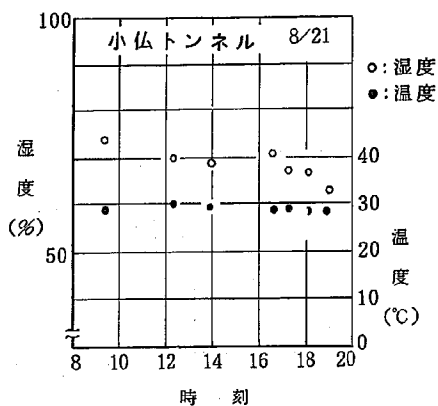


図-15 秤量場所の温度・湿度

小仏トンネル

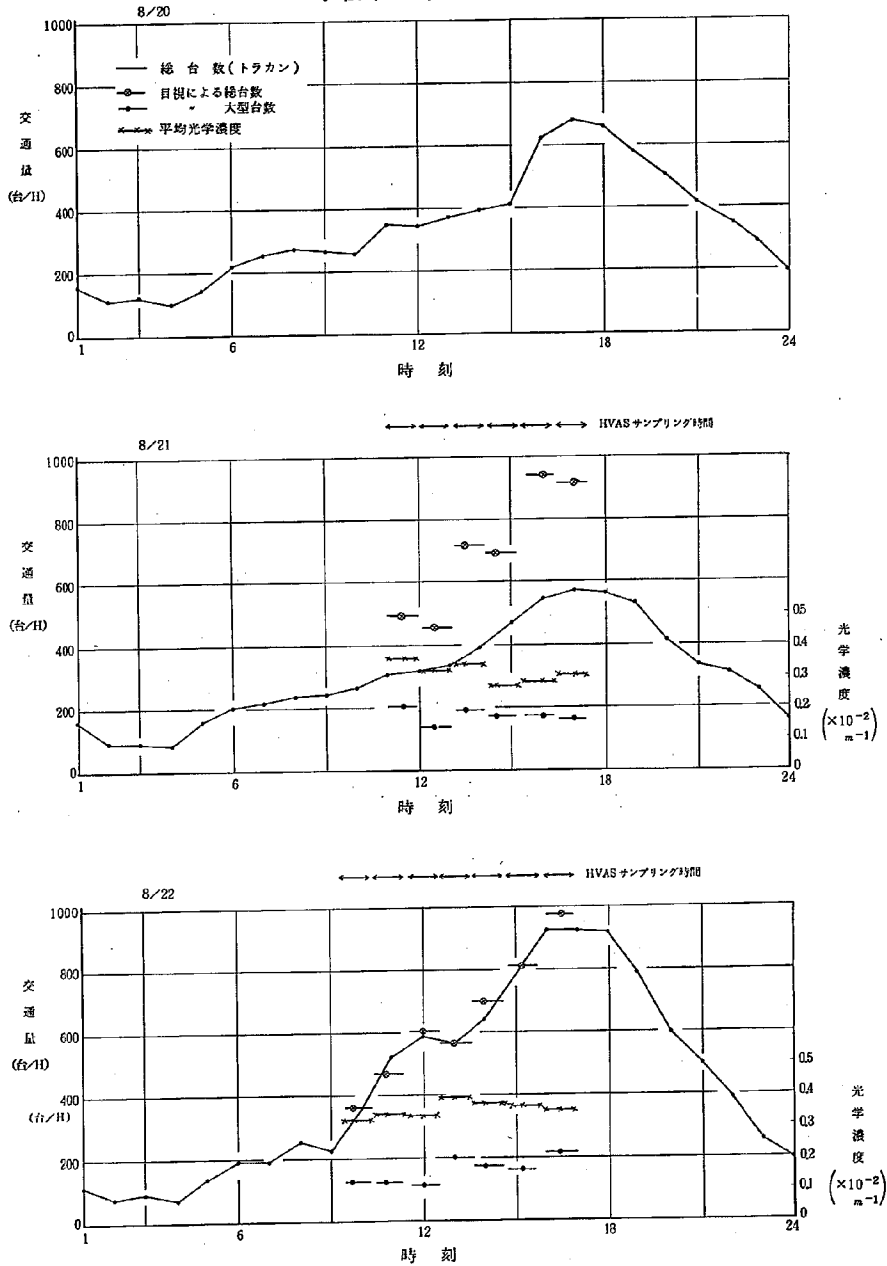


図-16 (1) トンネル内交通量 (小仏トンネル)

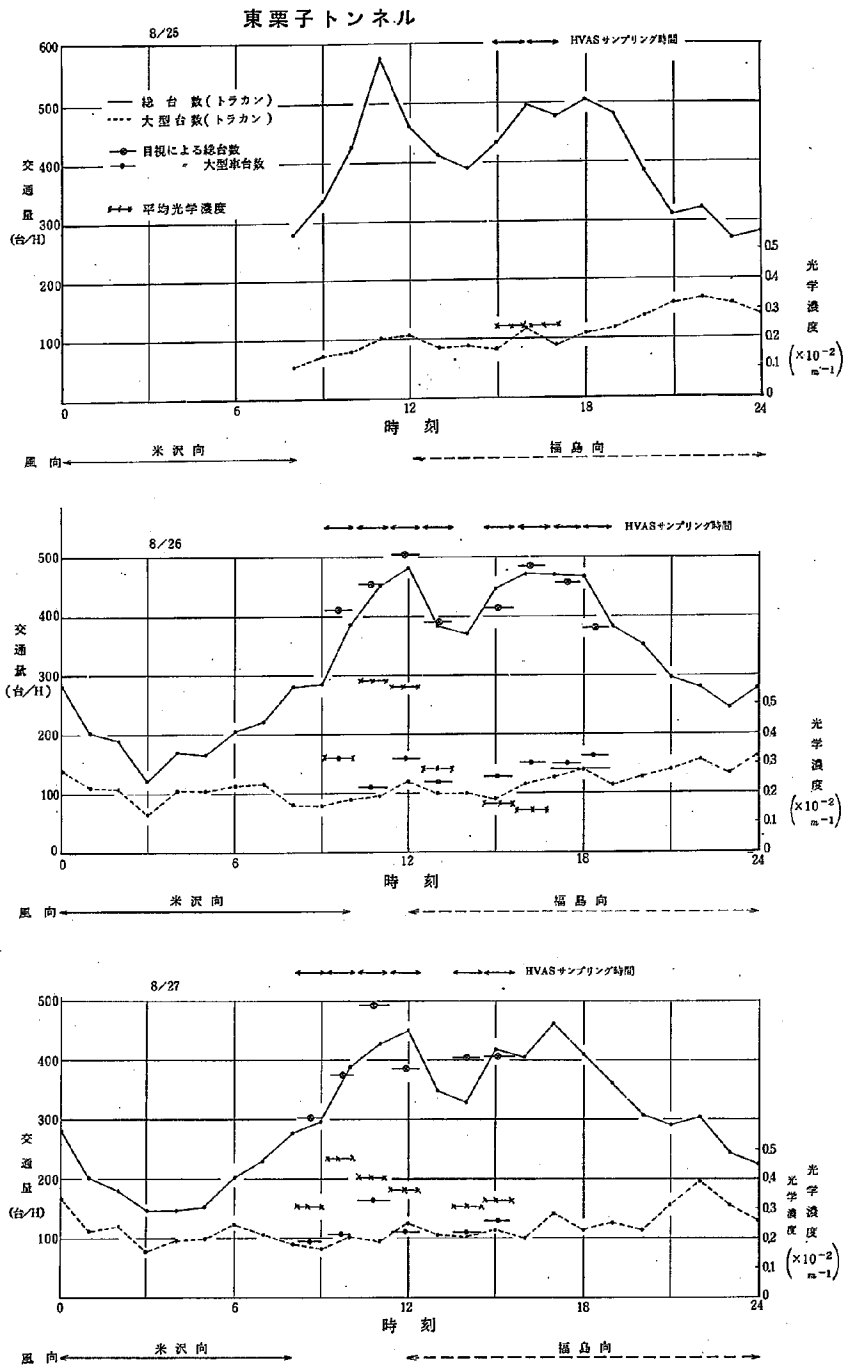


図-16(2) トンネル内交通量 (東栗子トンネル)

写 真 目 次

透過形電子顕微鏡写真

写真 - 1	小仏トンネル煤煙 (4 万倍)	43
写真 - 2	小仏トンネル煤煙 (10 万倍)	43
写真 - 3	東栗子トンネル煤煙 (4 万倍)	44
写真 - 4	東栗子トンネル煤煙 (10 万倍)	44

走査形電子顕微鏡写真

写真 - 5	小仏トンネル煤煙 (1 万倍)	45
写真 - 6	小仏トンネル煤煙 (3 万倍)	45
写真 - 7	東栗子トンネル煤煙 (3 千倍)	46
写真 - 8	東栗子トンネル煤煙 (1 万倍)	46
写真 - 9	東栗子トンネル煤煙 (3 万倍)	46

実験状況写真

写真 - 10	光学濃度測定器の投光部	47
写真 - 11	光学濃度測定器の受光部	47
写真 - 12	煤煙濃度測定装置の受光部	47
写真 - 13	煤煙濃度測定装置の制御部	48
写真 - 14	比色式透過率計の制御部	48
写真 - 15	シグリスト粉じん計およびハイボリウムエアサンプラ	48
写真 - 16	カスケードインパクト	49
写真 - 17	ハイボリウムエアサンプラ	49
写真 - 18	連続自記記録計	50
写真 - 19	小仏トンネル実験状況	50

透過形電子顕微鏡写真

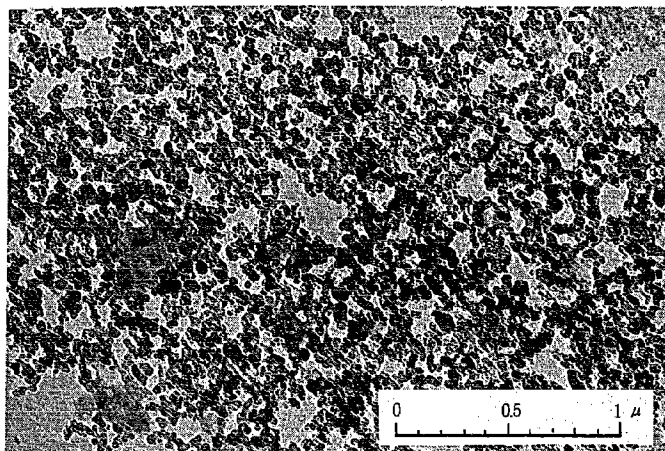


写真-1 小仏トンネル煤煙 (4万倍)

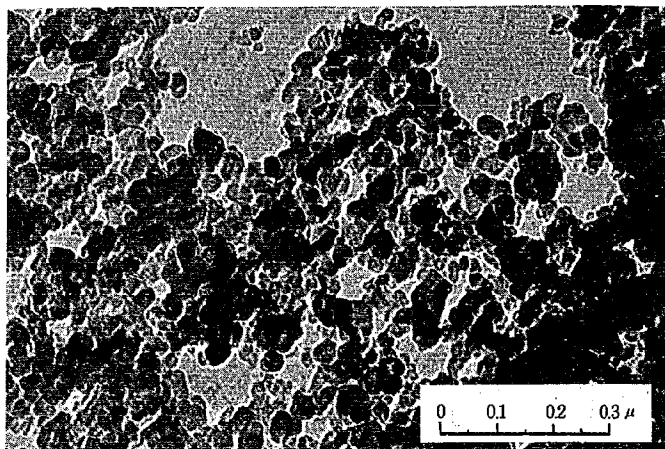


写真-2 小仏トンネル煤煙 (10万倍)

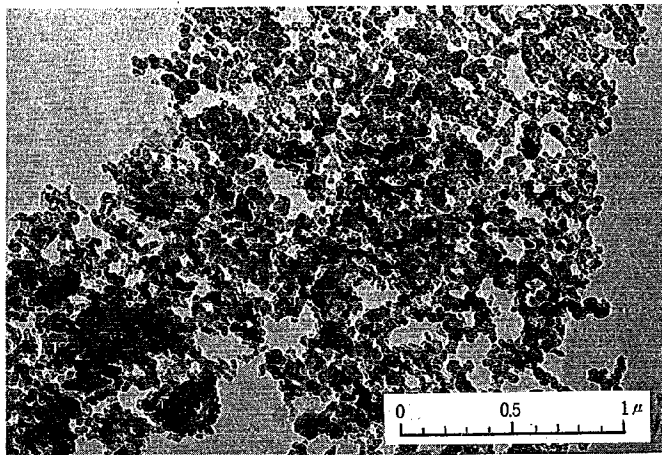


写真-3 東栗子トンネル煤煙 (4万倍)

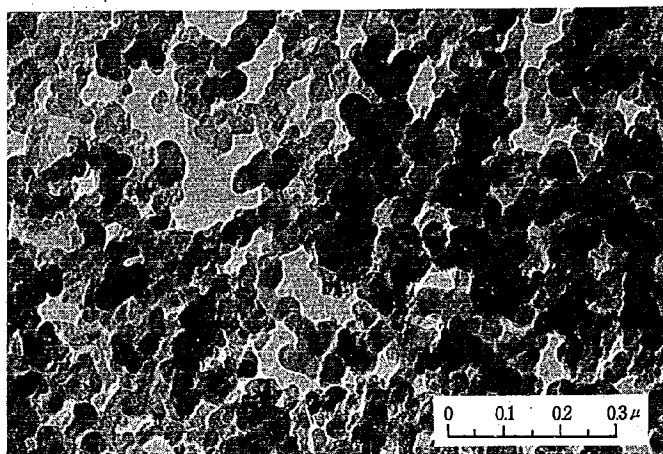


写真-4 東栗子トンネル煤煙 (10万倍)

走査形電子顕微鏡写真

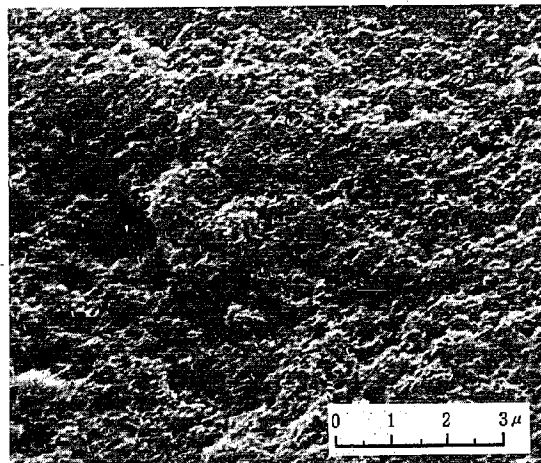


写真-5 小仏トンネル煤煙 (1万倍)

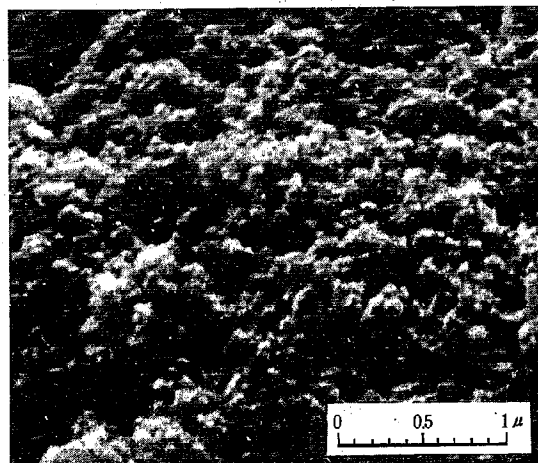


写真-6 小仏トンネル煤煙 (3万倍)

写真-7

東栗子トンネル煤煙

(3千倍)

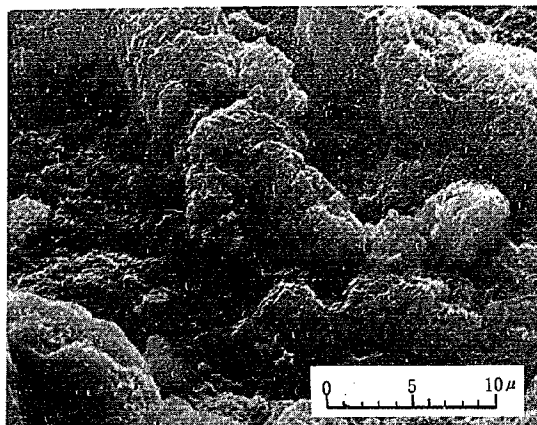


写真-8

東栗子トンネル煤煙

(1万倍)

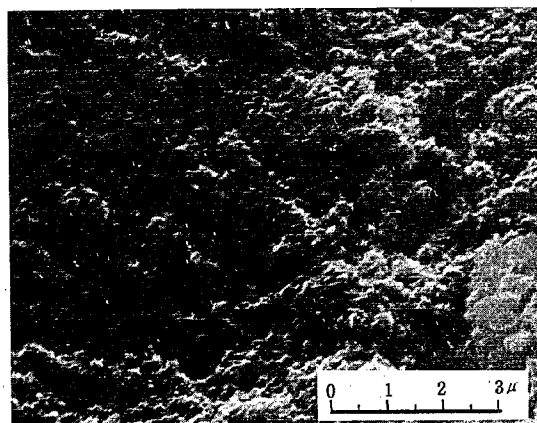
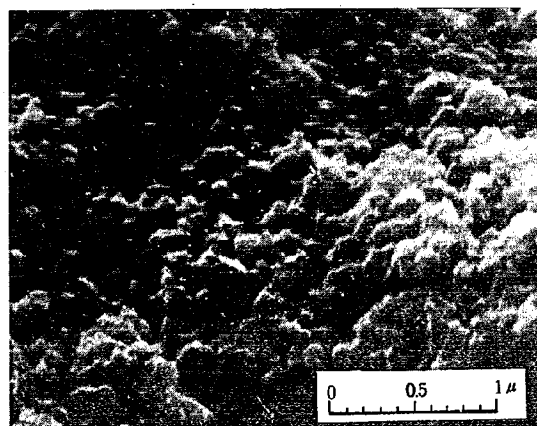


写真-9

東栗子トンネル煤煙

(3万倍)



実験状況写真

写真-10
光学濃度測定
の投光部

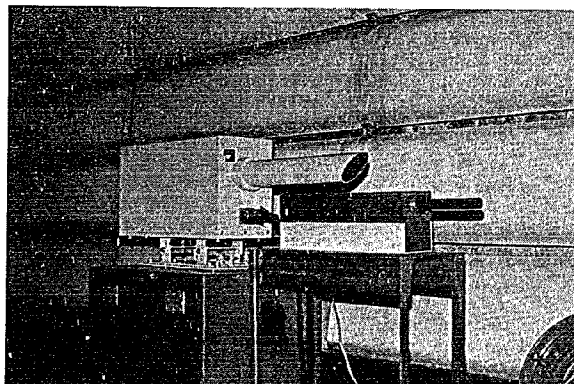


写真-11
光学濃度測定
器の受光部

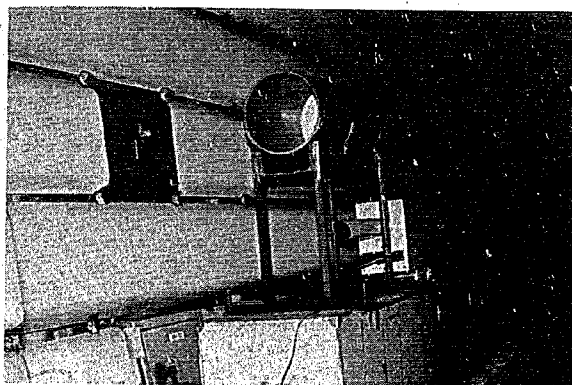


写真-12
煤煙濃度測定
装置の受光部

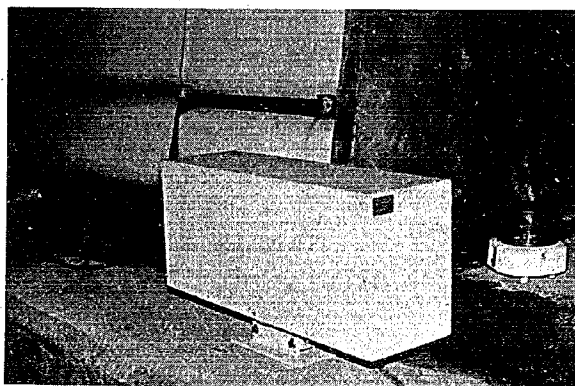


写真-13

煤煙濃度測定
装置の制御部

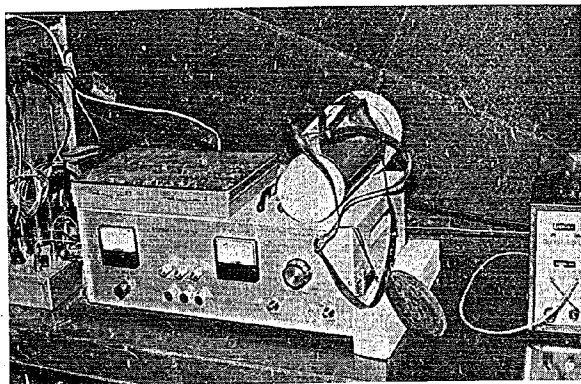


写真-14

比色式透過率
計の制御部

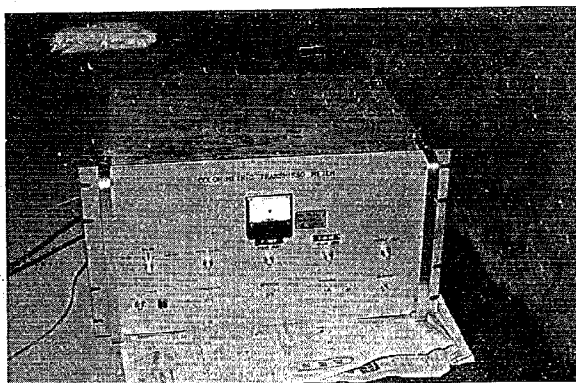


写真-15

シグリスト粉じん計
およびハイボリウム
エアサンプラ



写真-16
カスケード
インパクタ

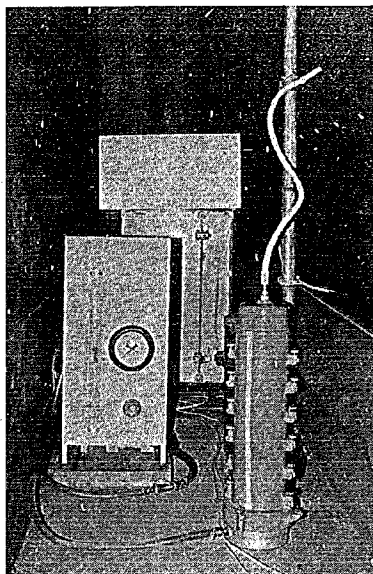
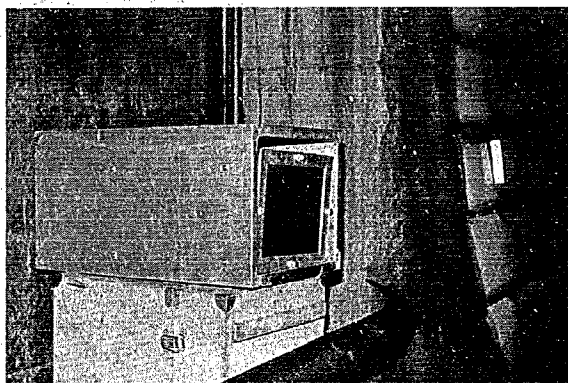


写真-17
ハイポリウム
エアサンプラ



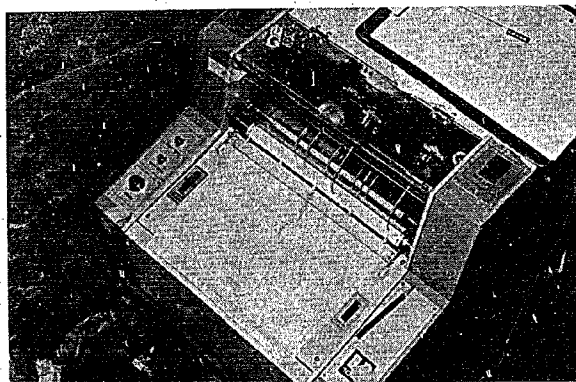


写真-18 連続自記記録計



写真-19 小仏トンネル実験状況