

空気浄化に関する総合的研究 第IV部

事務所ビルの空気清浄計画 (第1報)

小林 昌弘
矢野 寿人
老川 進
宮路 栄二

§ 1. 序

産業と経済の発展に伴ない都市の大気は汚染され、公害・大気汚染の問題が連日マスコミ紙上ににぎわしている。都市の大気は、工場などからの燃焼ガス、ビル冷暖房熱源からの燃焼ガス、自動車排気ガスなどが原因とされている。都市の大気はこれら複合ガスの影響で、大気汚染防止法による環境基準値を越えることが多く、われわれが空気調和設備で換気のため使用している外気は、「新鮮空気」とはいえず、空気清浄システムを設置して外気中の汚染物質を除去する必要性がある。また、昭和47年10月より、いわゆる「ビル管理衛生法」が施行され、今まで看過されていた居室内の空気環境について法律上規制されるようになった。

一方、都市においては、大規模な交通トンネル、駐車場などが建設されており、この排気ガス対策として汚染物質の拡散を防止し、地域環境を良好に保つための空気清浄システムの確立が急がれている。

当社としては以上のような現状を考慮し、公害防止、環境改善の一環として研究所、設備部、設計部が協力し空気清浄システムの開発に積極的に取り組んできた。開発の例としては、次のようなものがあげられる。

- 昭和46年 大型湿式空気清浄機 (ワッシャタイプ)
- 昭和47年 小型空気清浄機 (商品名: アルサス)
- 昭和48年 大型乾式清浄システム (設置例: 東京都中央区Sビル, Aビル, 江東区Kビル)

これら、空気清浄システムの開発、実験結果については、すでに研究所報第18号および第19号においてその一部を発表している。

今回の報告は「大型乾式清浄システム」について行なった実験結果、システムの設計方法、および清浄システム設置前後の居室内空気環境についてである。

清浄システム設置前後の居室内空気環境について結論を述べると、期待どおりの清浄度が得られ、特にイオウ酸化物、チッソ酸化物の濃度減少が著しい。また、使用

フィルタの耐久性も6ヵ月以上あることが判明した。

§ 2. 空気汚染の現状

空気清浄の計画を行なう場合、その清浄システムを設置したことにより、どの程度空気環境が改善されたかを知る必要がある。大規模建築物にあっては、環境測定が最近行なわれるようになってきたのが現状であり、空気清浄システムを設置し、空気環境改善結果の測定例はない。われわれは、空気清浄システムの清浄効率を知る目的で、清浄計画ビルのシステム設置前空気環境を測定した。清浄計画ビルの基準階平面を図-1に示す。所在地は東京中央区であり、純オフィスビルである。床面積は約1,600㎡、延面積約14,000㎡、地上8階、地下2階である。空調方式は中央ダクト方式であり、北西、南西、東系統にゾーニングされている。計測点は図-1にあるように各系統別に選定し、代表階を2階、3階とし、それぞれ3点で測定した。また、居室内との比較のため、地上面、屋上面 (換気用の外気取入口がある) においても測定した。図-2に清浄計画ビル近辺の測定状況図を示す。

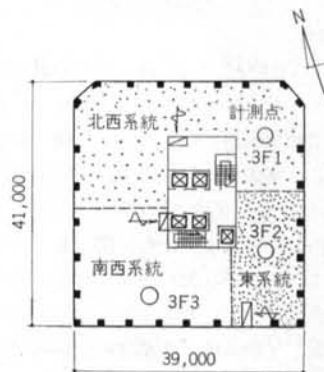


図-1 清浄計画ビル基準階平面および計測点

各系統の処理風量は次のとおりである。

北西、南西系統：両系統とも70,000 m^3/H

東系統：40,000 m^3/H

(ただし、外気も含む)

2.1 イオウ酸化物の測定結果

一般にイオウ酸化物(以下 SO_x とする)は何らかの清浄装置を設けなくとも外気濃度に比べて著しく低いのが普通であると考えられている。この原因は、 SO_x が吸着性の強いガスであるため、外気より居室に入る前に、空調機器、ダクトなどに吸着され、また、居室においても壁、天井面などに吸着されてしまうと考えられている。しかし、実際には、測定結果例の図-3に示すように、居室にかなりの量の SO_x が存在しており、外気(屋上面、外気取入口近く)と居室内濃度は、外気濃度が増加するに従って、居室内も増加する傾向が見られる。これらから判断すると、居室内の SO_x 濃度は一般に考えられているほど低濃度ではない。この原因は空調機器や室内仕上げなどの吸着能は有限であり、この限度を越えると居室内 SO_x 濃度は増加すると考える。

2.2 チツソ酸化物

チツソ酸化物には NO_2 、 NO 、 N_2O_5 など5種類の酸化物が存在する。この中で大気汚染、空気汚染として問題となっているのは NO_2 、 NO であり、大気汚染防止法において NO_2 の環境基準は1時間値の1日平均値が0.02p.p.m以下と定められている。このためわれわれは NO_2 に注目し、測定を行なった。(測定方法はザルツマン法使用)

測定結果を図-4に示す。これによれば、 SO_x と同様外気濃度の増加に伴い、居室内濃度も増加していることがわかる。また、居室内濃度の方が外気濃度より低い傾向であることも知れる。

2.3 一酸化炭素

一酸化炭素(以下 CO とする)は、物質の燃焼に伴い発生するガスで、前記の SO_x や NO_2 と異なり、居室内に喫煙という形で発生源が存在している。図-5にTSビル2階における在室人員、喫煙本数、 CO 濃度の測定結果例を示してあるが、喫煙による CO 増加がよく現われている。居室内外気濃度の比較を図-6に示すが、これらからも居室内の汚染状況が理解できる。また、図-7には、計測点④(屋上)と⑤(地上面)における相関を示してあるが、一般に地上面濃度の方が高いため、外気取入口は高い所の方が好ましいことがわかる。

以上、測定結果をまとめると表-1のようになる。



図-2 空気清浄計画ビル付近の汚染物質計測場所

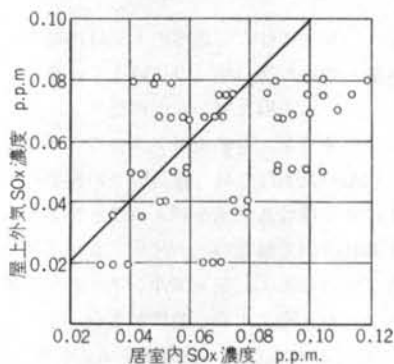


図-3 Sビル居室内、屋上 SO_x 濃度相関

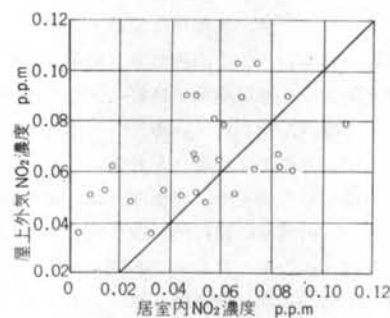


図-4 Sビル居室内、屋上 NO_2 濃度相関

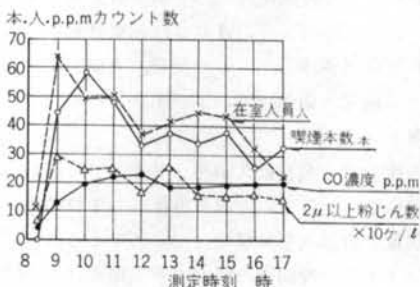
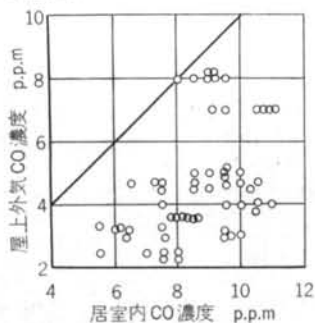


図-5 TSビル2Fの居室内環境

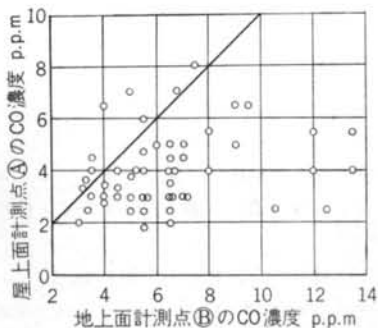
測定場所	測定時刻	CO ₂ (p.p.m)	SO _x (p.p.m)	CO (p.p.m)	NO ₂ (p.p.m)
◎T・Sビル屋上	72.12.8 10.00~13.00	640	—	9.5	0.089
T・Sビル内2F	同 上	2,000	—	9.5	0.071
ⒶSビル屋上	72.11.28~12.1 8.00~17.00	300~450 (390)	—	2.0~7.0 (4.1)	0.035~0.158 (0.074)
Ⓑ地上面	同 上	350~420 (400)	0.038~0.153 (0.081)	3.5~13.5 (6.8)	0.035~0.197 (0.106)
Sビル内5F	同 上	520~1,230 (990)	0.057~0.082 (0.072)	5.0~10.5 (8.3)	0.029~0.078 (0.053)
Sビル内3F	72.11.28 10.00~17.00	900~1,250	—	5.0~10.5	0.030~0.105
ⒶSビル屋上	73.5.29~6.1	350~580 (370)	0.020~0.185 (0.068)	2.5~8.0 (4.1)	0.035~0.160 (0.061)
Sビル内2F	同 上	(880)	(0.082)	(8.5)	(0.050)
Sビル内3F	同 上	(930)	(0.070)	(8.2)	(0.046)
Sビル内5F	73.6.1 10.00~17.00	(1,020)	(0.051)	(8.5)	(0.013)

() 内は平均値

表一 測定結果



図一 6 Sビル屋上、居室内CO濃度相関
(測定法：赤外ガス分析計)



図一 7 Sビル屋上、地上面のCO濃度相関

§ 3. 空気清浄システムの設計

3.1 空気清浄機の種類と設置位置

一般に、空気清浄装置を設置する場合、その方式は乾式方法と湿式方法に分類される。事務ビルなどを対象とした空気清浄には、空気調和を行なっている点を考慮して、温湿度コントロールが複雑にならない乾式方法が有利であると考えられる。

空気清浄機の設置位置は、空調系統と一体と考え大きく分類して次の3通りとなる。

(A) 外気取入系統に設置

特徴

- (イ) 外気のみ処理のため小型である。
- (ロ) 1回濾過であるため清浄効率を高める必要がある。
- (ハ) 隙間風などによる有害ガスの侵入、居室内発生ガスの除去には無効である。



図一 8 外気のみ空気清浄



図-9 外気と循環空気の空気清浄

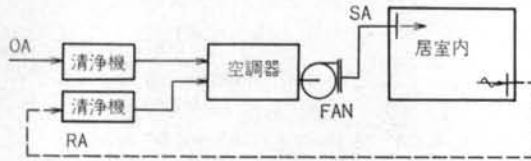


図-10 外気、循環空気の分離空気清浄

(B)循環系統に設置

特徴

- (イ)全風量を処理するため装置が大型となる。
- (ロ)循環濾過であるため清浄効率は低くてよい。
- (ハ)侵入汚染ガス、居室内発生ガスに対し有効である。

(C)清浄機を外気用と循環用に分け設置

特徴

- (イ)装置が2つになるので複雑となる。
- (ロ)汚染ガスに有効なフィルタ構成となるため、最適フィルタが組み込める。
- (ハ)外気用は1回濾過であるため清浄効率を高くする必要がある。

今回、Sビルの空気清浄装置の設計に際しては、前記の特徴を考慮するとともに、清浄システム開発目的のため(B)方式を採用した。また、Kビル(江東区)については(A)方式により空気清浄を行なっている。

3.2 空気清浄システムのフィルタ構成

空気清浄においては、その除去対象物質によりフィルタ構成は次のようになる。

- (A)浮遊粉じん類の除去
- (B)浮遊粉じん類、SO_x、NO_xなどの除去
- (C)浮遊粉じん類、SO_x、NO_x、COなどの除去

Sビルのフィルタ構成を図-11に示す。また、Kビルフィルタ構成を図-12に示す。

3.3 清浄システムの必要除去率計算

清浄システムの設計では、吸着フィルタそのものの除去効率を知るとともに、システム全体の効率を知る必要がある。Sビルの例により現状の汚染状況測定から、どの程度の必要除去性能があれば、居室内環境基準値以下になるか試算した。計算は循環清浄システムのため、換気定常計算で行なった。

(A)使用計算式

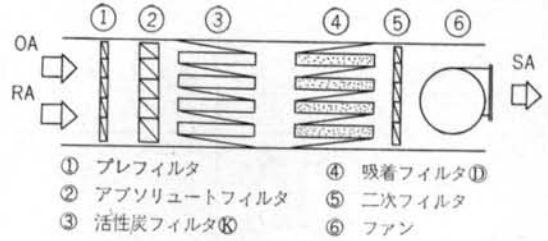


図-11 Sビル空気清浄機フィルタ構成

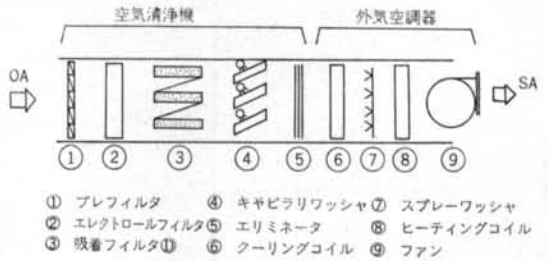


図-12 Kビル空気清浄機フィルタ構成

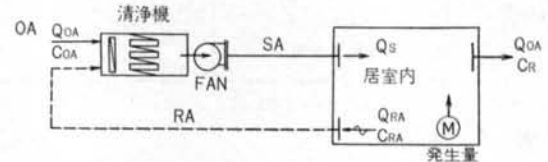


図-13 換気計算

居室内濃度が平衡状態のとき、

$$C_R = \frac{M + \beta \cdot C_{OA} \cdot Q_{OA}}{Q_S - \beta \cdot Q_R} \quad \dots\dots(1)$$

$$\beta = \frac{Q_S \cdot C_R - M}{C_{OA} \cdot Q_{OA} + C_R \cdot Q_R} \quad \dots\dots(2)$$

$$\beta = 1 - \alpha \quad \dots\dots(3)$$

(使用記号)

- C : ガスまたは粉じん濃度 [m³/m³], [mg/m³]
- M : 居室内のガスまたは粉じんの発生量 [m³/H], [mg/H]
- α : フィルタの除去効率

(サフィックス)

- OA : 外気, S : サプライ空気, R : 居室内, RA : レターン空気

(B)NO_xについて

居室内濃度を0.02p.p.mに保つためのシステム必要効率計算をする。外気濃度は表-1の実測値を使用する。

(使用データ)

- Q_S=180,000m³/H, C_R=0.02p.p.m, M=0
- Q_R=145,000m³/H, C_{OA}=0.095p.p.m, (実測1日平均値の最大), Q_{OA}=35,000m³/H

式(2)より、

$$\beta = 0.58$$

したがって、42%以上の除去効率が必要である。

(C)SO_xについて

居室内濃度を0.04p.p.m以下に保つためのシステム必要効率は、外気濃度を表-1の実測値1日平均最大値より0.12p.p.mとして計算すると(B)と同様にして、

$$C_R = 0.04 \text{ p.p.m}, M = 0, C_{O_A} = 0.12 \text{ p.p.m}$$

Q_s, C_Rは(B)と同じであるから式(2)より、

$$\beta = 0.72$$

したがって、28%以上の効率が必要である。

以上の試算によれば、吸着フィルタの交換はNO₂については42%、SO_xについては28%に除去率がダウンしたところ交換すればよいことがわかる。

(D)COについて

CO除去についてはSビルは計画されていないが、参考までに居室内濃度を5p.p.m以下に保つための必要効率を計算すると次のようになる。

Q_s, Q_R, Q_{O_A}は前記と同じ。

$$C_R = 10 \text{ p.p.m}, M = 0.08 \text{ m}^3/\text{H注}) C_{O_A} = 5.1 \text{ p.p.m}$$

以上のデータより計算すると8.5%の除去性能があればよい。

3.4 圧力損失の検討

使用する吸着剤により、圧力損失は大きく変化するため、システム設計上で重要な問題である。われわれは実大実験装置を使用し、使用フィルタの圧力損失を求めた。

測定結果を図-14に示す。測定結果によれば、フィルタ厚90mm、平均通過0.5m/s風速において①フィルタの圧力損失は16mmAqとなる。

3.5 吸着フィルタの耐久性の検討

フィルタの耐久性を知ることは、除去効率を知ることとともに重要な問題である。耐久性の検討および各種吸着剤の除去性能の優劣については、本研究所報の鈴木論文³⁾、⁴⁾に詳しく述べられているから、ここでは省略するがSビル空気清浄システムには、実験結果より性能が優れていると判断した⑥活性炭および、空気清浄用として新しく開発された金属酸化物の①吸着フィルタを使用した。また、前述の実験結果より①吸着フィルタの耐久性を吸着保持量より試算してみると、SO_x濃度が平均し

注) 居室内在室人員：1,000名

在室人員による喫煙数：1本/1人・1H

喫煙本数あたりのCO発生量：80cc/1本²⁾

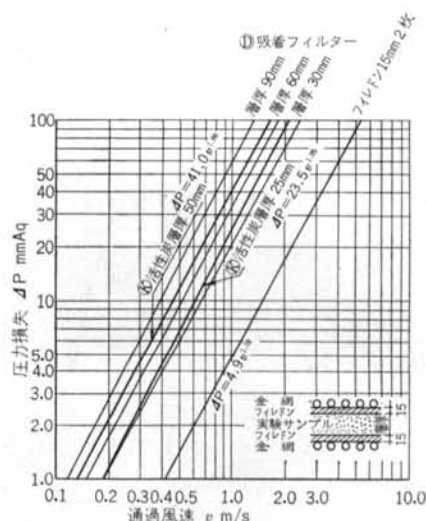


図-14 ⑥活性炭フィルタおよび①吸着フィルタの圧力損失実測結果

て0.03p.p.mのとき、最低でも約3,000時間の耐久性がある⁴⁾。したがって、1日の清浄装置稼働時間が10時間とすれば、約1カ年の使用が可能となる。

§ 4. 空気清浄システム設置後の居室内環境

前述の考察のもとに、Sビルに空気清浄システムを設置した。居室内の空気環境改善結果は、同一計測点における汚染物質濃度を比較することにより知ることができる。

測定結果例を図-15～図-18に示す。

これらより判明することは、どの計測点においても清浄度は、設置後の方が向上していることであり、居室内の空気環境はかなり改善されたことがわかる。しかし、外気濃度の影響により居室内濃度は変化するため、外気濃度の影響を考慮してプロットしたのが図-19、20である。この図より、常に居室内濃度は清浄に保たれ、特にSO_xの除去は完全であるといえる。

浮遊粉じん類の3階における測定結果を図-21に示してあるが、清浄度を、

$$\eta = \frac{\int f_1(x) dx - \int f_2(x) dx}{\int f_1(x) dx} \times 100 \quad \dots\dots(4)$$

と表示するなら、浮遊粉じん粒径1μ～5μの範囲においては、39.1%清浄度が改善したことになる。

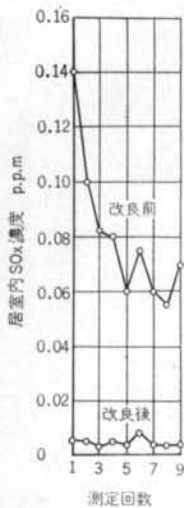


図-15 Sビル居室内のSO_x濃度比較 (測定点2F2)

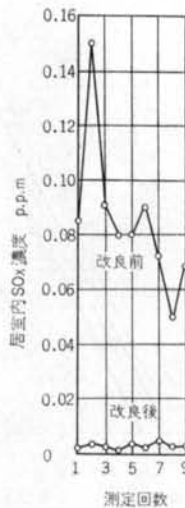


図-16 Sビル居室内のSO_x濃度比較 (測定点3F2)



図-17 Sビル居室内のNO₂濃度比較 (測定点2F1)



図-18 Sビル居室内のNO₂濃度比較 (測定点3F2)

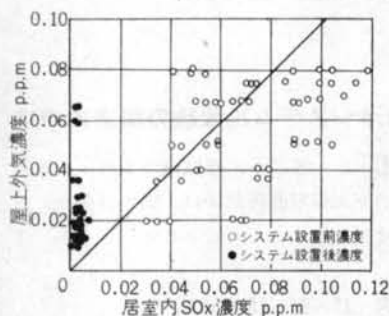


図-19 Sビル清浄システム設置前後におけるSO_x濃度相関

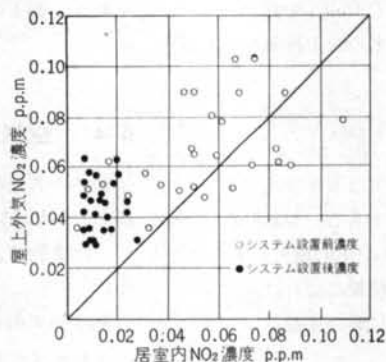


図-20 Sビル清浄システム設置前後のNO₂濃度相関

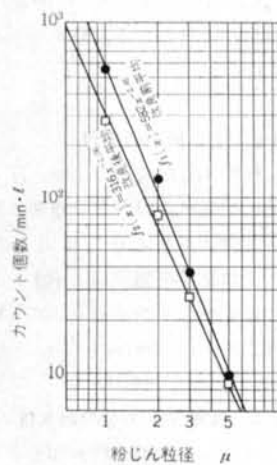


図-21 Sビル3Fにおける浮遊粉じん量の変化

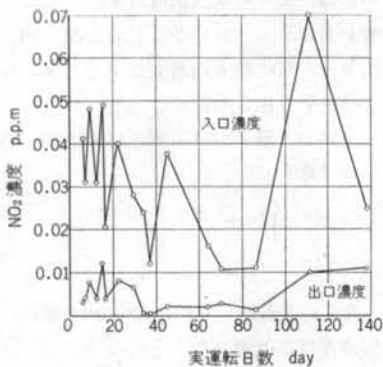


図-22 Sビル東系統清浄機の除去性能経日変化NO₂について

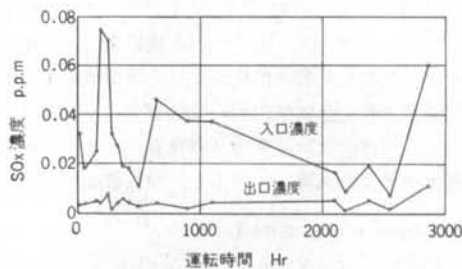


図-23 Kビル外気清浄機の除去性能経時変化SO_xについて

§ 5. フィルタ類の耐久性測定結果

3.5 においてフィルタの耐久性は最低でも約3,000時間と試算したが、現実の使用では、汚染ガス中の浮遊粒子、吸着阻害ガス、温湿度などの影響により吸着能は低下する。われわれは現実を使用している清浄システムを例にとり、耐久性の調査を行なった。測定物質としては、浮遊粉じん類、 SO_x 、 NO_2 などである。

図-21は、Sビルの NO_2 に対する耐久性測定結果である。濃度は測定平均値で示してある。また、図-22は、Kビルにおける①吸着フィルタのみによる測定結果であるが、いずれも、吸着性能は持続していることがわかる。とくに、Kビルにおいては設置後満1年以上経過しているが SO_x の除去性能は非常に高く、測定期間中の除去平均効率は83.3%である。また、Sビルにおける NO_2 については、84%の除去平均効率となっている。

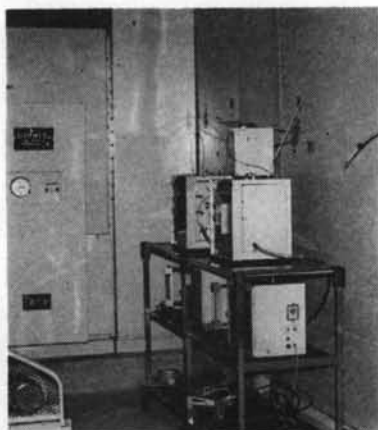


写真-1 Kビル空気清浄機の性能測定状況

§ 6. 今後の課題

乾式空気清浄システムは、その実施例も少なく、研究開発も始ったばかりである。また、吸着剤そのものについても未知の分野が多く、とくに、耐久性については現実使用における発表はない。われわれは、デスク実験と実測を続け、耐久性問題にある解決をつける必要がある。

また、 SO_x 、 NO_x 以外の汚染ガスについても清浄を考慮する必要があり、とくにCOについては除去方法の確立が望まれる。なお、CO除去に関してはすでにデスク実験は終了しており、実大実験装置の測定結果をまち、次回報告する。また、臭気に関する除去方法についても次回に報告する。

おわりに、本研究は「シミズエアクリーンシステム」の開発に関連して行なわれたものであり、ご指導、ご協力をいただいた建築設計本部第一部の吉田氏、設備部の徳弘氏、および鯉淵氏に深く謝意を表わすとともに、測定に協力していただいた第一設備工業㈱の皆様にも深くお礼を申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 小林昌弘：「宝町清水ビル室内環境調査について」清水建設研究所報告 RP-72-1395
- 2) 檜崎正也：「喫煙に関する研究〔4〕」建築学会大会学術講演梗概集 昭46. p. 251.
- 3) 鈴木良延：「吸着剤による空気中の各種ガスの吸着第一報」昭和48年度空調和衛生工学会学術講演論文集 p. 243.
- 4) 鈴木良延：「空気清浄に関する総合的研究第I部 吸着剤による空気中の各種ガスの吸着(第1報)— SO_2 の吸着—」清水建設研究所報第22号

