

# 万国博覧会美術館の展示環境調査

門 倉 武 夫・江 本 義 理

## 1. はじめに

万国博覧会美術館における展示物の管理、保存の万全を期するため展示環境について調査、測定が行なわれたが、われわれは汚染因子の濃度測定とそれらの影響に関して調査を分担し、次の測定を行なったのでその結果について述べる。

- 1) アルカリ濾紙法によるイオウ酸化物および窒素酸化物の測定
- 2) 活性炭吸着—ガスクロマトグラフ法による有機物因子の測定
- 3) 粉じんの測定
- 4) 炭酸ガス濃度の測定
- 5) 金属板による汚染度の調査

## 2. アルカリ濾紙法<sup>1,2)</sup>によるイオウ酸化物及び窒素酸化物の測定結果

アルカリ濾紙法は、空気汚染度標準分析法に採用されている方法で、その概要は、炭酸カリウムを付着した濾紙を一定期間(通常1ヶ月間を標準とする)空气中に曝露したのち回収してイオウ酸化物及び窒素酸化物をそれぞれ比色分析によって求め、イオウ酸化物は、 $\text{SO}_2\text{mg/day}/100\text{cm}^2$ 、窒素酸化物は  $\text{NO}_2\text{mg/day}/100\text{cm}^2$  即ち、曝露期間中の1日当り  $100\text{cm}^2$  の濾紙が捕集した  $\text{mg}$  数で表わす方法である。

この方法は、試料濾紙の設置、回収が比較的簡便で、郵送等により遠距離の汚染度も測定可能である。

### (1) 濾紙設置場所

- a. 屋上、新鮮空気取入口付近、クーリングタワー横(図-1) 地上約20m.
- b. テラス、お祭広場に面した傾斜屋根の軒(2階) 地上約5m
- c. 展示ケース内、4階展示室中央の清浄空気導入ケース内(図-2) 床上約1.5m

### (2) 測定期間

万国博覧会開会前の3月6日に屋上、他は4月8日に試料を設置し、閉会後の10月23日まで毎月郵送により濾紙を回収し分析した。尚、取替及び返送は現地の手をわずらわせた。

### (3) 測定結果及び考察

表-1 は測定結果を比較するため、自動車交通量の多い東京都内の美術館付近及び住宅地(東京都国分寺市)の結果を付記したものを示した。数値は試料取替期日の異なる地点があっ

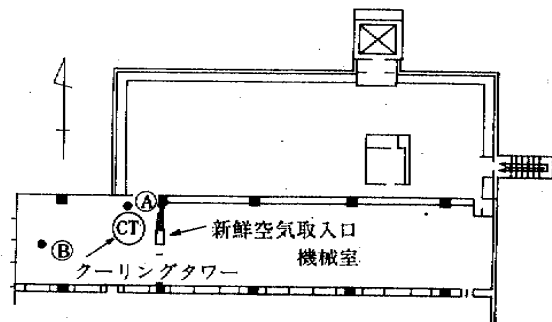


図-1 屋上測定点略図

- Ⓐ: アルカリ濾紙設置点
- Ⓑ: 有機成分測定試料採取点

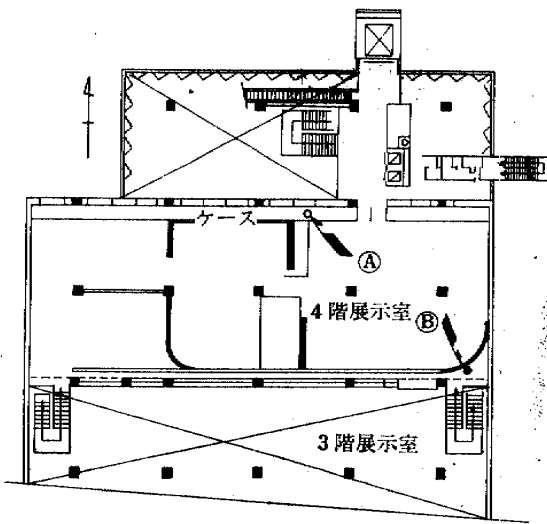


図-2 4階展示室測定点略図  
 ①：アルカリ濾紙設置点  
 ②：有機成分測定試料採取点

たため、曝露期間をその月の1日から30日又は31日に換算して表わした。

a. イオウ酸化物

図-3 は各測定点の月別変化を比較したものである。

図から考察されるようにテラスでは、5月の値を除いて屋上とよく相関性を示したパターンが認められた。5月のテラスの値は、分析誤差か、あるいは試料付近に局部汚染があった（例えばお祭広場の催物）と考えられるがはっきりしないためこの数値は除外して考えた。

屋外での最高値は7月の屋上で0.54、最低値は10月のテラスで0.14、平均値は0.31であった。これは東京都内の道路付近（最高0.82、

表-1. イオウ酸化物及び窒素酸化測定結果

| 45年月 | イオウ酸化物 SO <sub>2</sub> mg/day/100 cm <sup>2</sup> |       |        |           |           | 窒素酸化物 NO <sub>2</sub> mg/day/100 cm <sup>2</sup> |       |        |           |           |
|------|---|-------|--------|-----------|-----------|--|-------|--------|-----------|-----------|
|      | 屋上  | 2階テラス | 4階ケース内 | 住宅地(国分寺市) | A美術館(交通多) | 屋上   | 2階テラス | 4階ケース内 | 住宅地(国分寺市) | A美術館(交通多) |
| 3    | 0.36  |       |        | 0.19      | 0.82      | 0.018  |       |        | 0.026     | 0.125     |
| 4    | 0.34  | 0.26  | 検出せず   | 0.06      | 0.49      | 0.014  | 0.042 | 0.023  | 0.022     | 0.131     |
| 5    | 0.43  | 0.59* | //     | 0.05      | 0.45      | 0.025  | 0.030 | 0.028  | 0.007     | 0.109     |
| 6    | 0.48  | 0.42  | //     | 0.12      | 0.57      | 0.025  | 0.023 | 0.019  | 0.014     | 0.085     |
| 7    | 0.54  | 0.48  | //     | 0.12      | 0.64      | 0.035  | 0.037 | 0.017  | 0.031     | 0.088     |
| 8    | 0.28  | 0.25  | //     | 0.06      | 0.62      | 0.040  | 0.039 | 0.015  | 0.028     | 0.101     |
| 9前   | 0.26  | 0.23  | //     | 0.03      | 0.37      | 0.050  | 0.060 | 0.018  | 0.021     | 0.108     |
| 9後   | 0.21  | 0.17  | //     |           |           | 0.033  | 0.038 | 0.016  |           |           |
| 10   | 0.18  | 0.14  | //     | 0.02      | 0.23      | 0.022  | 0.022 | 0.016  | 0.020     | 0.093     |

\* 分析誤差又は局所汚染と考えられるが不明に付除外

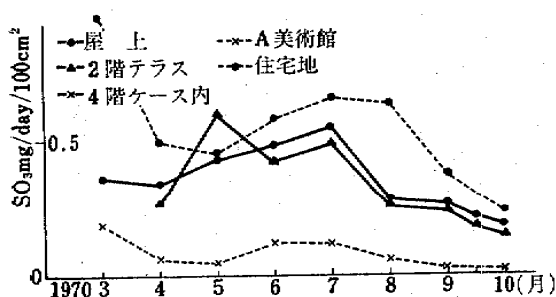


図-3 イオウ酸化物測定結果（月別変化）

最低0.23、平均0.52）と住宅地（同0.19、0.02、0.08）の中間よりやや高い程度であった。

屋上とテラスを比較すると

$$\text{テラス} + 0.04 \sim 0.06 = \text{屋上}$$

の式で安定した関係がみられ、4月にやや下り、以後次第に上昇して7月に最高値となり会期終了後まで降下していた。

ケース内では測定期間中いずれも検出されなかった。

#### b. 窒素酸化物

図-4 は窒素酸化物の測定結果を a. と同様にまとめたグラフである。

屋外の屋上とテラスではイオウ酸化物ほどはっきりした相関性はみられず、ほぼ同程度の値であった。最高値は9月の前半のテラスで0.060、最低値は4月の屋上で0.014、平均0.033であり東京都内(同0.131, 0.085, 0.105)と住宅地(同0.031, 0.007, 0.017)の中位より低い濃度であった。月別の傾向は開会より6月までは下向に以後9月まで上昇し、9月の後半から低下して10月には最低値となった。

ケース内は最高が5月の0.028、最低が8月の0.015、平均0.019であり、期間中の前半(4月から6月)は住宅地より高く後半(7月から10月)は1/2位であった。

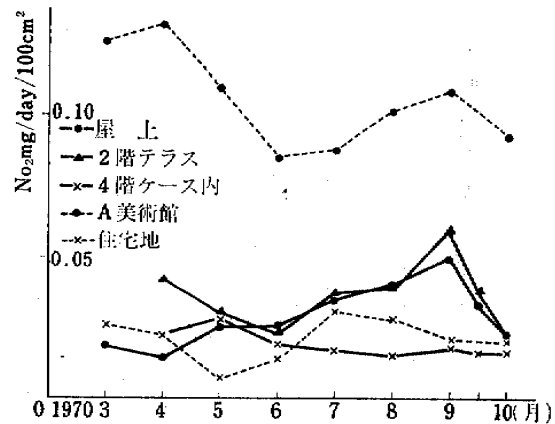


図-4 窒素酸化物測定結果(月別変化)

### 3. 活性炭吸着—ガスクロマトグラフ法<sup>3-6)</sup>による有機物因子の測定

あらかじめ加熱し脱気した活性炭をガラス管に充填し、一定量の試料空気を通じ、空気中に存在する微量の汚染因子を吸着捕集して実験室に持ち帰り、再び加熱して液体酸素で冷却した試料管に移したのち、ガスクロマトグラフで分析した。

この方法により測定されるものは分析条件により異なるが、本測定では主として屋外の自動車からの排出ガス及び展示場内に存在する有機物質を検討した。

#### (1) 試料空気採取点

主として屋上及び4階展示室に於て試料を採取した。採取空気量は10l/30min又は30l/minであった。

a. 屋上(屋外)アルカリ濾紙設置点付近の床上30cm(図-1参照)

b. 4階展示室東側階段上の床上30cm(図-2参照)

#### (2) 測定期日

会期前の3月と会期中の8月に現地に出張試料空気を採取した。

#### (3) 測定結果及び考察

ガスクロマトグラムを1例を図-5に示した。それぞれのピークについては同定に至らなかったが、ピークパターンから相対的に考察すると、3月の会期前では屋上でLPGを主体とした燃料の燃焼排気成分に類似した結果が得られた。濃度は東京都上野公園付近とほぼ同程度あるいはやや低い量で、n-ヘキサンとして0.03~0.06ppmであった。

室内では、屋外の空気に多量の高沸点成分が加わったピークパターンが得られた。この高沸点物質については、分析条件を変えて測定したが同定には至らなかった。しかし、保持時間からみて沸点80~130°C位の物質と推定された。

これは試料採取時が会期前の内装作業中であったため塗料の溶剤蒸気と考えられる。

会期中の8月の測定結果は、屋上、展示室共会期前よりやや低い同様なパターンであった。会期前に展示室内でみられた高沸点物質と思われるピークは認められなかった。又、テラス(二階)で開館前の8時30分に採取した試料空気は2割程度高いピークパターンであった。こ

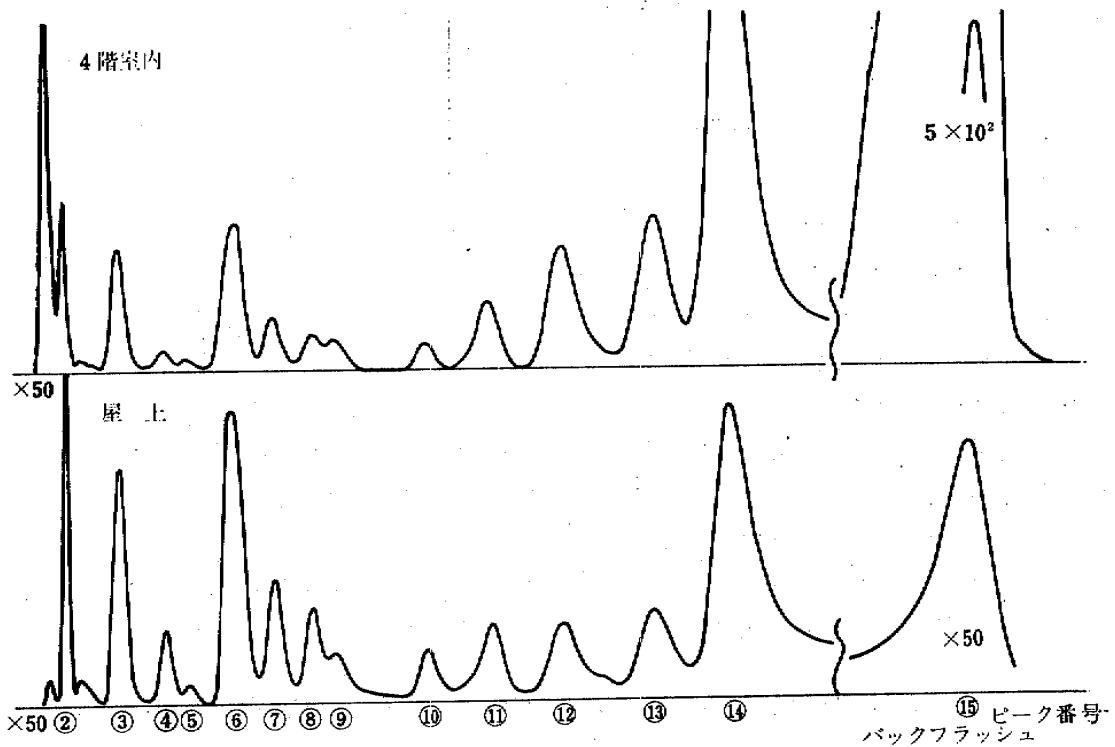


図-5 屋上及び屋内のチャートの1例

条件 カラム DMS 6m 温度 40°C 水素炎イオン化検出器 試料空気 30%  
 ⑥ n-ブタン ⑨ n-ペンタン ⑭ n-ヘキサン ⑮ 高沸点物質

これはお祭広場の夜間作業中に排出されたと思われる、時間の経過と共に拡散されていた。

#### 4. 粉じん測定結果

##### (1) 浮遊粉じん測定結果

ポータブル浮遊粉じん計による、各展示室内の測定値を表-2に示した。測定期日は会期前の3月5日に行なった。

単位は標準物質(ステアリン酸0.3μ粒子)との相対値を mg/m<sup>3</sup> で示したものである。

表-2. 浮遊粉じん測定結果

| 測定点     | 粉じん量 (mg/m <sup>3</sup> ) | 測定点           | 粉じん量 (mg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| 屋外 屋上   | 0.229                     | 屋内 4階床上 50 cm | 0.265                     |
| 屋内 4階中央 | 0.176                     | " 1 m         | 0.221                     |
| 3階中央    | 0.370                     | " 1.5 m       | 0.221                     |
| 2階中央    | 0.176                     | " 2.0 m       | 0.247                     |
| 1階中央    | 0.229                     | " 2.5 m       | 0.388                     |
| 1階入口    | 0.229                     | " 3.0 m       | 0.476                     |
| 地下荷解場   | 0.176                     | " 3.5 m       | 0.679                     |

測定期日：45年3月5日

測定器：柴田化学デジタル粉じん計 P-2型

各階の床面上約70 cmでは大差なかったが4階で室内空間の測定を行なった結果、図-6のごとく高い所に舞上がっている傾向がみられた。これは測定対象が微粒子であるため、浮遊し、一種の気体に近い挙動を示していると思われたが、他の測定も行なっていたため詳細を把握するに十分な資料を得ることができなかった。

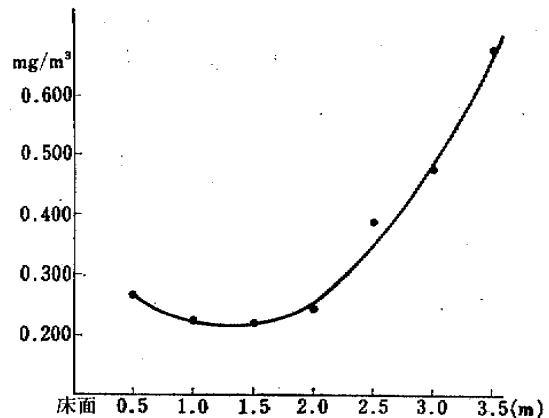
##### (2) 降下粉塵

会場内配電盤上、床上などで会期中、機会あるごとに採取した粉塵に

表—3. 炭酸ガス測定結果

| 4階展示室 |            | 屋 上   |            | テ ラ ス |            |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| 測定時間  | 炭酸ガス (ppm) | 測定時間  | 炭酸ガス (ppm) | 測定時間  | 炭酸ガス (ppm) |
| 9.30  | 400        | 10.50 | 400        | 8.45  | 400        |
| 9.50  | 650        |       |            |       |            |
| 10.30 | 800        |       |            |       |            |
| 15.50 | 2500       | 14.50 | 350        |       |            |
| 16.30 | 2400       |       |            |       |            |
| 18.30 | 1300       |       |            |       |            |

昭和45年 8月



図—6 浮遊粉じん量と高さの関係

ついて、X線回折分析を行なった結果は、方解石型炭酸カルシウムと $\alpha$ -石英が主なもので、前者は床の大理石、後者は持ち込まれる泥などに起因するものと考えられる。

検鏡の結果も床の材料である大理石、赤レンガ、耐火レンガ（黄色）の微粉が認められたし、展覧会場のごみとしての特徴である繊維類（綿ぼこり）も目立った。

### 5. 炭酸ガスの測定結果

会期中の8月6日に4階展示室内を中心に検知管法により炭酸ガスの測定を行なった。測定点は3.の活性炭による試料採取点と同じである。

測定結果は表—3の通りである。

屋外では空気中のバックグラウンドである350~400 ppmで1日中大差なかったが、室内展示場では開館時は400 ppmであったが入館者が増加すると共に上昇し、1時間後には環境基準の1000 ppm (0.1%) 近くの濃度となった。入館者館内最高滞留時は14~15時頃といわれているが、測定手順の都合により16時に測定した結果は2500 ppmであり、30分後には2400 ppmと低下しつつあった。そして閉館後の18時30分には1300 ppmであった。

展示室内の炭酸ガスは入場者館内最高滞留時には2500~3000 ppmに達すると考えられる。この濃度は16時前後より減少し、閉館後2~3時間ではほぼバックグラウンド程度になると予想される。

### 6. 金属板による汚染度の調査

方法 銅および銀の薄板（厚さ銅板0.05 mm, 銀板0.1 mm）を金属円筒内に固定し大気中に曝露して、一定期間の間隔をおいて端から一定の大きさ（2×2.5 cm）に切取って試料とし、X線回折法により分析し、腐食生成物を同定し、その回折X線強度を測定して腐食度を知り、汚染因子とその汚染度や影響を判定しようとする方法である。

測定箇所および測定期間

1. 屋上 クーリングタワー脇 昭和45年3月5日—11月27日
2. 2階 テラス 昭和45年4月6日—12月24日
3. 4階 展示場 ケース内 //

結 果

銀—腐食生成物は塩化銀 AgCl および硫化銀 Ag<sub>2</sub>S が検出されており、両者の強度は余り

差がないが、どちらかというとも塩化銀の方が目立つ存在であった。

経験的に塩化銀は(200)面  $d : 2.79$ , 硫化銀は(120)面  $d : 2.66$  の回折線を選び、その強度を測って、その消長を腐食度として記録した。

銅一検出された腐食生物の回折線は、ほとんど酸化銅であるが屋上、テラスでは設置後3.4ヶ月位で塩基性硫酸銅  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$  の回折線のうち最強線2~3本が認められるようになり、その後も徐々に生長して行った。酸化第一銅の(111)面と銅の(111)面の回折X線強度比をとって銅の腐食度とし、この値の大きい程、腐食度が大きいとした。

## 考 察

### (1) 屋 上

銅の腐食度を示す曲線は、僅かに下にふくらむ弧を描き上昇しており、かなりの腐食速度を示している。会期終了後も引続き測定した結果、大体28週あたりから上昇がにぶり、平になり始めた。強度は二階テラスと比して2倍程度である(図-7)この結果を従来のデーターと比べると、最も腐食度が高く、特に銅は東京都上野で円筒カバーをつけず、銅板をむき出しで曝露

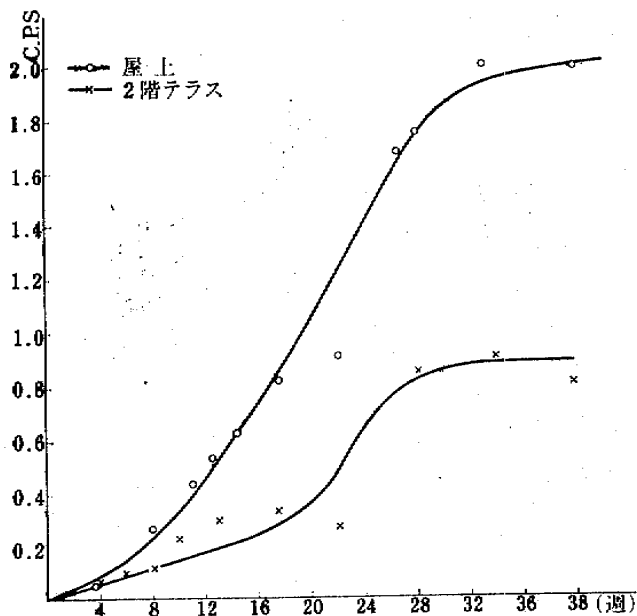


図-7 銅の腐食度  $\text{Cu}_2\text{O}(111)/\text{Cu}(111)$

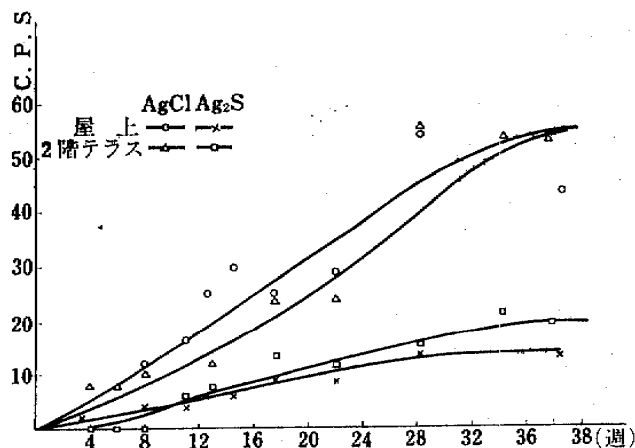


図-8 銀の腐食度

したデーターと同程度であった。塩基性硫酸銅の出現も非常に早い、これはクーリング・タワーの脇で、その水しぶきが西風にあおられ、かなり試片にかかったためではないかと考えられたので、4月末、影響を軽減するように位置を少し移動した。

### (2) 二階テラス

銅、銀ともに普通の腐食度と考えられる。しかし銀については屋上と共に回折角度の小さい  $d : 7.6$  位のところの回折線が時間と共に生長し有機物との化合物と考えられ特徴的であった。(図-8)

### (3) 四階展示場ケース内。

銅一酸化第一銅のピークが、はっきり認められない程度であり、ピークとして拾って腐食度として計算しても0.02~0.03であり、腐食は認められない。僅かに銅の回折線のピークが幾分下がって行く傾向が認められる。

銀一観察されるピークは地金の銀のものだけで、塩化銀、硫化銀のピークは認められない。ケース内では上述の如く腐食は認められず、外部の汚れに対し館内での汚染因子による腐食はなかったものとする。

## 7. ま と め

以上万国博覧会美術館に於ける展示環境について会期前と会期中に行なった調査結果を記した。

イオウ酸化物は、その発生源が主として屋外にあり、従来の実験経験からみても室内では1/10以下に減少し、ケース内ではそれ以下となっている。今回の調査は屋外とケー内のみであったが、美術館付近の屋外環境からみて室内の美術品展示環境におけるイオウ酸化物は極微量と思われた。

室内で、しかも清浄空気で換気しているケース内で外気の1/2程度の窒素酸化物が検出された。

これについては調査例が少く、室内及びケース内の挙動がつかめていないが、その後の実験で正倉院展に於ける環境空気調査<sup>2)</sup>を行なった際、目張をした陳列ケース内では検出されなかった。屋内には主として外気と共に侵入するものとみられる。外気のイオウ酸化物と窒素酸化物では月別のパターンに相違がみられ、それらの発生源は異なるものと思われた。

有機成分については、自動車の排気に似たピークパターンで試料数が少なかったため個々の成分は定量出来なかったが総体的にみて上野公園内よりやや低い程度で、外気と共に侵入し、室内でもほぼ同様であった。会期前は室内のディスプレイ作業中で塗料の臭気が感じられ、測定結果にも現われていたが、継続測定でなかったため開会後の存続経過については不明であった。

浮遊粉じんは、当時、当方に測定器がなかったため借用測定器により会期前に測定したが、微粒子が空中で高い所に舞上がっている傾向がつかめた。人体等に付着してきたものか脱落し舞上っているものが多いと思われる。会期中入館者の増加により高濃度になる可能性があったが十分な検討は出来なかった。

炭酸ガスは人体の呼吸によって排出されるものが主で、入館者の滞留者数に左右される。特にこの点に付いては館側でも入館者制限をし、充分注意していたが、測定値からみて2000 ppm以上に達した時間帯も相当あったと予想される。

以上不完全なデータも併せて考察したが、美術館屋示場における環境は、外気そのものが比較的清浄であり、更に館内は空気清浄機により調整していたため、状態は非常に良好であったと思われるが、一部の炭酸ガス、じんあい、溶剤蒸気等についての資料は今後参考になることである。

尚、今後文化財等貴重物件を展示する際は観覧者には不便を感ずるが保存保護のために温湿度等を考慮した密閉ケースを考える必要があると思われる。

終りに、本調査に御協力下さった富永惣一館長他館員諸氏及び試料の取替、返送等の手をわざわざさせた森田恒之氏、並びに汚染度に関する資料等を提供下さった大阪市大気汚染管理センター所長、中野道雄氏に感謝致します。

## 文 献

- 1) 大気汚染研究懇談会：大気汚染標準分析法 (A-2) 分析化学 Vol.16 (1967) p.514.
- 2) 門倉武夫・江本義理：奈良国立博物館に於ける正倉院展览展示環境調査 保存科学 第8号 昭47.3 p.51.
- 3) 荒木峻, 高橋昭：大気汚染の機器分析 化学同人 (1967) p.35.
- 4) 荒木峻, 加藤龍夫：ガスクロマトグラフィーによる大気汚染成分の分析 分析化学 Vol.11 (1965) p.533.
- 5) 加藤龍夫：活性炭吸着法による都市空気中の自動車排気ガス測定法 分析化学 Vol.12 (1966) p.14.
- 6) 江本義理, 門倉武夫：ガスクロマトグラフィーによる収蔵庫内外の文化財環境調査 保存科学 第8号 昭47.3 p.39.

## Résumé

Takeo KADOKURA and Yoshimichi EMOTO: Researches on the Exhibit Environment at the Expo '70 Museum of Fine Arts

This is a report of our researches on the environment of the exhibition held between March 15 and September 13 at the Expo '70 Museum of Fine Arts in Osaka. The subjects of the researches were as follows:

- (1) Measurement of sulfur oxides and nitrogen oxides by alkali filter paper method.
- (2) Measurement of organic pollutants by active carbon-gas chromatography.
- (3) Measurement of suspended dust and fall dust.
- (4) Measurement of carbon dioxide by detector tube method.
- (5) Pollution survey by X-ray analysis of corrosion products on metal plates.

#### 1. Sulfur oxides and nitrogen oxides

Measurement was made from March 4 to October 23 in front of the air duct opening on the roof (5th story), under the eaves of the 2nd story, and inside the clean air intake case in the 4th story. Sulfur oxides were, outside the building, somewhat higher on the roof than at the 2nd story, the peak having been 0.54  $\text{SO}_2$ mg/day/100 $\text{cm}^2$  on the roof in July and 0.14 at the 2nd story in October. No sulfur oxide was detected inside the showcases during the period of our researches.

The amount of nitrogen oxides was not much different between the roof and the 2nd story. The peak was 0.060  $\text{NO}_2$ mg/day/100 $\text{cm}^2$  at the 2nd story in September and 0.014 on the roof in April. Inside the showcases throughout the research period, they were 1/2~1/3 of those outside the building.



These results were lower than the normal slight exterior pollution, and inside the showcases they were still lower.

## 2. Organic pollutants

We measured these in March prior to the exhibition and in August during the exhibition. We measured them on the roof and in the exhibit gallery on the 4th story. The low boiling point peak pattern was that of fuel exhaust, mainly of LPG. The measurements prior to the exhibition revealed, inside the building, a substance of a boiling point between 80 and 130°C, which however was not detected during the exhibition. It was probably the vapor of paint solvent, for the sample air prior to the exhibition was taken during the installation of the display. The concentration of organic pollutants was slightly higher than that in a residential district.

## 3. Dust

### a) Suspended dust

Suspended dust of 0.3 micron or thereabout in the exhibit galleries, as measured at the height about 70 cm. above the floors, was largely similar (about 0.2 mg/m<sup>3</sup>). It tended to be higher at higher spots in the air (about 0.68 mg/m<sup>3</sup> at 3.5 m. above the floors). Minute particles rose with the air current were concentrated near the ceiling.

### b) Fall dust

The results of X-ray diffraction and microscopic observation of fall dust collected inside the exhibit galleries, detected calcium carbonate (calcite),  $\alpha$ -Quartz, fire-proof brick and fiber filaments. They were judged to be fragments of the flooring marble, and mud, cotton dust and others brought in by visitors.

## 4. Carbon dioxide

Measurements taken on August 6 during the exhibition read 350~400 ppm both inside and outside the building. The measurements rose along with the increase of visitors, reaching 2500 ppm at 4 o'clock p. m. The amount of carbon dioxide thereafter decreased and went down to 1300 ppm at 6:30 p. m. It was judged that carbon dioxide inside the exhibit galleries would often rise to 2500~3000 ppm when attendance was the largest.

## 5. Pollution survey

Copper and silver plates were exposed to the environing atmosphere. Corrosion products on them were measured by X-ray diffraction method to determine the pollutants and the pollutant concentration. They were judged by the amount of silver chloride and silver sulphide on the silver plates, and that of cuprite and brochantite on the copper plates.

a) Comparison among the measurements outside the building, on the roof and in the 2nd story proved that corrosion on the roof was about two times higher than the others. Generation of brochantite on the copper plates was also much more rapid. Corrosion in the 2nd story was normal and did not show any unusual pollution.

b) Corrosion products either of copper or of silver were almost entirely absent inside the showcases.

Taken altogether, the environment of the Expo Museum was good. It was judged that there was little if any bad influence of environment inside the showcases. Further studies, however, must be necessary about carbon dioxide and suspended dust in the exhibit rooms.