

# 美術館の空気質測定に関する検討

岩田利枝\*1 大場奈緒子\*2 塚原弘泰\*2

## Study on measurements of air quality in museums

by

Toshie IWATA, Naoko OBA and Hiroyasu TSUKAHARA

(Received on Sep. 28, 2001)

### Abstract

Passive samplings are required for monitoring indoor air quality in museums because long-term exposure should be investigated for historical heritages and quiet atmosphere should be kept for visitors. In this paper, test measurements conducted in a museum was presented where the concentrations of ammonia, formaldehyde, nitrogen dioxide, acetic acid/formic acid, TVOC, ozone, salt and acidic/alkalinity, temperature and humidity were measured by a trial sampling kit. The results of pH paper showed that not only acidic but also alkaline pollutants other than ammonia possibly existed. The concentrations of NO<sub>2</sub> in the display cases were lower than that in the room, while the concentrations of HCHO in the display cases were higher. The validity of the trial sampling kit was shown to measure IAQ in museums without preventing visitors from appreciating art.

**Keywords:** Indoor air quality, Museum and Passive sampling

## 1. 緒言

### 1.1 背景

博物館・美術館の空気質が文化財に影響を与える可能性が高く、その制御が必要である。各汚染物質の影響と許容値について様々な研究が行われているが、明確な国際基準はない<sup>1)</sup>。たとえば美術館における室内環境に関する最も有名な基準はThomsonによるものであるが<sup>2)</sup>、これもデータがないまま一時的に決められたものにすぎない。しかも、これまでは温湿度、紫外線が主要な課題であり、空気質について真剣に研究されるようになったのは最近のことである<sup>3)</sup>。

美術館の専門家である保存学者にとっては、あらゆる化学物質に対し一般公開の美術館では不可能なほどの低濃度を望むが、国際室内空気質学会はより実務的な立場から国際基準を決めるために世界のデータを集めることから着手した<sup>4)</sup>。日本においても美術品に対する空気質基準はなく、基準濃度以前の問題として、対象汚染物質、その測定法に関する明確な情報が、国内外にないのが現状である<sup>5)</sup>。

美術館の空気質は保存科学分野と建築環境分野から研究されている<sup>6)</sup>。保存科学分野では実験室における曝露試験により、汚染物質が美術品の材料に与える影響について研究され、保存科学者によって汚染物とその影響等が Table 1 に示すようにまとめられた<sup>4)</sup>。建築関連ではコンクリートから発生するアンモニアを中心については対策法が検討されている<sup>9),10)</sup>。

Table 2 に現在国内外にある推奨値をまとめたが、前述したように測定方法などが明らかにされておらず、いくつかは一般空間(人体影響)の値を適用している。

### 1.2 研究の目的

本研究では実態の把握とともに美術館に適した測定法を検討することを目的とした。

筆者らは新築美術館における年間を通じた測定、および築10年の美術館における展示ケース、収蔵室を含めた測定を行い、その際の作業性と美術館関係者の意見などから、簡易な測定法の開発が必要なことを痛感した<sup>11)</sup>。

美術館では、多種の低濃度化学物質について、長期間、美術鑑賞を妨害することなく測定しなければならない。このため、測定サンプラー全体を小さく、サンプラー数を最小限にすることが必要である。美術館の建築物、空気質状態の予備情報、展示、収蔵される美術品についての情報により、測定項目を整理するこ

Table 1 Effects of indoor air pollutants on cultural collections

	Source	Effects
1	Alkaline (ammonia, amine) Concrete, Visitors	Darkening oil painting, Accelerating corrosion of copper and silver
2	Acidic (formic acid, acetic acid) Wood composite panel, Adhesive	Corrosion of metal, Deterioration of verdigris, Discoloration of red lead
3	Aldehyde (formaldehyde) Wood composite panel, Paint, Germicide	Discoloration of red lead, Hardening protein

\*1 第二工学部建設工学科教授

\*2 工学研究科建築学専攻博士前期過程

Table 2 Standard and recommended values

Group	Pollutant	Standard and Recommended
1	Ammonia NH <sub>3</sub>	<30 ppb <30 ppb <sup>4)</sup>
	Nitrogen dioxide NO <sub>2</sub>	<5 ppb <sup>3)</sup>
2	Acetic acid CH <sub>3</sub> COOH	<430µg/m <sup>3</sup> <200µg/m <sup>3</sup> (6),4)
	Formic Acid HCOOH	
3	Formaldehyde HCHO	<80 ppb <40 ppb <sup>4)</sup>
	Ozone O <sub>3</sub>	<1 ppb <sup>3)</sup>
4	TVOC	300µg/m <sup>3</sup> (12)

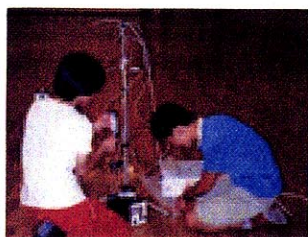


Fig. 1 Active sampling

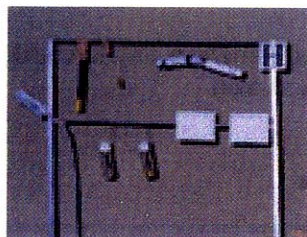


Fig. 2 Passive sampling

とが求められる。Fig.1, Fig.2に示すように、パッシブサンプリングは動力が要らず小型で長期測定に適している。本論文では美術館で測定すべき化学汚染物質をパッシブサンプラーを用いて捕集し、美術館の空気質調査法を考察した。

## 2. 方法

### 2.1 測定場所

2001年2月に海に近い美術館で測定を行った。測定美術館の概要をTable 3に示す。調査は展示室5点、展示ケース5点、収蔵庫、ロビー、外気を対象に行った。展示室は床上約1m、展示ケースは展示ケースの台上約25cmの高さで測定した。美術館の展示ケースは密閉して気密性を良くすることが望まれているが、今回測定した美術館では展示ケース両端に7cm程度の隙間があった。また、ケース内に照明があり、対流によって気流があるのでパッシブサンプラーを使用することが可能だと考えた。展示室1,2とロビーは空調機の吸い込み口付近で測定を行った。Table 4に展示室1~5の換気量と出入り口付近での風速と風向について示す。

### 2.2 測定方法

Table 3 Outline of the museum

Date of starting construction work	November, 1977
Date of furnishing	December, 1981
Date of opening	February, 1982
Structure	SRC
Area	13898 m <sup>2</sup> (1992 m <sup>2</sup> of display area)
Materials of the interior surface	
Storage rooms	Floor, Ceiling, Wall: Spruce
Exhibition rooms	Floor: Japanese oak Ceiling, Wall: Cloth, Paint
Surroundings	1km from ocean, light traffic

Table 4 Air flow of the exhibition rooms

Room	Ventilation rate (m <sup>3</sup> /h)		air velocity (m/s)						
	[from target value]	Supply	Return	height from the floor level					
				2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.1(m)
Exhibition room 1	4815 [-21%]	4080 [-33%]		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	/
Exhibition room 2	5981 [-30%]	6217 [-27%]		+	+	+	+	+	/
Exhibition room 3	----	----		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	/
Exhibition room 4	8133 [+40%]	9198 [+61%]		+	+	+	+	+	/
Exhibition room 5	4562 [-8%]	2708 [-46%]		+	+	+	/	-	-

+ : from the inside of the room to the outside  
- : from the outside of the room to the inside

Table 5に測定項目と測定方法を示す。塩、TVOC、粉塵、浮遊真菌以外は全てパッシブでの測定とし、アンモニア、酢酸・ギ酸、ホルムアルデヒド、オゾンについては自作サンプラーで、他の項目については市販サンプラーで測定した。なお塩、TVOC、pHは1日の測定とし、他の項目については1週間測定を行った。

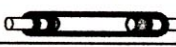

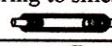


作成したサンプラーについて以下に示す。

①アンモニア 充分乾燥させたシリカゲル40mlに10%リン酸を13ml添着し減圧乾燥させたもの1.5gをパッシブチューブ充填した。

②酢酸・ギ酸 1%TEA1mlをガラス繊維濾紙に染み込ませ乾燥させたものを吸収層としたフィルターバッジと、十分乾燥させたシリカゲル40mlに2%グリセリンを13ml添着し減圧乾燥させたものを、1.5gパッシブチューブに充填した。

③ホルムアルデヒド 10%TEAを入れたのバイアル瓶とDNPHのバイアル瓶の2種類を使用した。

Table 5 Sampling and analyzing method

Object	Sampling methods	Analysis
Ammonia	10% phosphoric acid 	Spectro photometer
Nitrogen dioxide	Filter badge (ADVANTEC) 	Spectro photometer
Acetic acid, Formic acid	10%TEA Filter badge 2%glycerin adhering to silica gel passive tube 	Ion chromatography
Formaldehyde	10%TEA aq.in vial, DNPH aq.in vial 	10%TEA: Spectro photometer DNPH: Liquid chromatography
Ozone	Sodium nitrite filter paper 	Ion chromatography
TVOC*	Activated carbon tube (300ml/min)	Gas chromatography
Suspended fungal spores	Centrifugal sampler RCS	Cultivated by 24C in 6 days
Salt*	Teflon filter (300ml/min)	Gas chromatography
pH*	Discoloration pH paper	
SPM	Laser suspended particulate matter meter LD-1 (SHIBATA)	
Temperature, Humidity	Portable logger (Espec)	

1-week measurement except marked \* 24-hour measurement

④オゾン NaNO<sub>3</sub>添着ろ紙をパッシブ容器に入れた。

### 3. 結果

#### 3.1 温湿度

展示室は20.6~22.4℃, 55.0~61.8%, 展示ケースは18.8~23.1℃, 56.6~70.0%, 収蔵庫は21.0℃, 55.9%であった。展示ケース4ヶ所のうち1ヶ所で70%を超えたが、その他は問題ない範囲であった。

#### 3.2 酸・アルカリ度

変色試験紙の結果と測定した酸性, アルカリ性の各汚染物質の濃度, 捕集量を Table 6 に示す。収蔵庫, 外気が強い酸性(黄色)

色)を示した。外気の酸性の原因は二酸化窒素と考えられ(3.3参照)、収蔵庫は、それにさらに酢酸, ギ酸が加わったと考えられる(3.4参照)。酢酸よりギ酸の方が変色試験紙の変色の色味が、強い褐色になると言われているが、その違いははっきりしなかった。

展示室2点, ロビーでは中性(緑)を示したが、展示ケースと展示室3点では周囲は緑, 中心は黄色となった。通常試験紙の変色は外側から始まる。このように変色が内側から始まったように見えるのは、酸が先に飽和して全体が黄色になった後、アルカリが変色試験紙の外側から飽和して、酸とアルカリが中和することによって中性を示す緑色に変色したためと考えられる。飽和する速度の違いによってこの現象が起きるが、気流の少ないところの方が飽和速度が遅くなるのでこの傾向になりやすい。今回のサンプリングタイムは24時間であったが、長くサンプリングを行えば、全てが中性を示した可能性がある。このことから、中性を示したホールと展示室でも、酸とアルカリが混合して中性を示している可能性が高い。アルカリの原因はアンモニア濃度が低く、(3.2参照)アミンなどのアルカリ物質が存在することが考えられる。

#### 3.3 アンモニア

アンモニアは全ての測定点で1ppb以下であった。築後20年を経過しているので、アンモニアは低濃度で安定していると考えられる。展示室の濃度とその展示室にある展示ケースの濃度の比較では、どちらも低濃度であったので有意な差は認められなかった。

#### 3.4 二酸化窒素

外気濃度は8 ppbで、交通量が都内に比べ少ないため、都内の美術館<sup>11)</sup>(29 ppb)に比べると低かった。しかし、室内の濃度は、ロビーで7 ppbあったのをはじめとして、比較的高濃度であった。Thomsonによる許容値(5ppb)<sup>3)</sup>を上回ったのは測定した12ヶ所中4ヶ所であった。二酸化窒素の展示室濃度とその展示室にある展示ケース濃度をFig. 4に示す。すべての展示ケースで展示ケース内の濃度はそれがある展示室の濃度に比べて低くなった。二酸化窒素は固体表面に吸着されるので、展示ケースは密閉されてい

Space	Exhibition Room			Display Case		
	acid	pH paper	alkali	acid	pH paper	alkali
Exhibition room 1	NO <sub>2</sub> 5.6ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb	NO <sub>2</sub> 1.8ppb		NH <sub>3</sub> <1ppb
	CH <sub>3</sub> COOH 5.3μg			CH <sub>3</sub> COOH 9.2μg		
	HCOOH 2.7μg			HCOOH 1.9μg		
Exhibition room 2	NO <sub>2</sub> 4.8ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb	NO <sub>2</sub> 0.5ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb
	CH <sub>3</sub> COOH -			CH <sub>3</sub> COOH -		
	HCOOH -			HCOOH -		
Exhibition room 3	NO <sub>2</sub> 4.7ppb		NH <sub>3</sub> <1ppb	NO <sub>2</sub> 3.3ppb		NH <sub>3</sub> <1ppb
	CH <sub>3</sub> COOH -			CH <sub>3</sub> COOH -		
	HCOOH -			HCOOH -		
Exhibition room 4	NO <sub>2</sub> 5.6ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb	NO <sub>2</sub> 1.0ppb		NH <sub>3</sub> <1ppb
	CH <sub>3</sub> COOH -			CH <sub>3</sub> COOH -		
	HCOOH -			HCOOH -		
Exhibition room 5	NO <sub>2</sub> 3.7ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb	NO <sub>2</sub> 1.3ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb
	CH <sub>3</sub> COOH -			CH <sub>3</sub> COOH 13.2μg		
	HCOOH -			HCOOH 1.6μg		
Storage room	NO <sub>2</sub> 5.4ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb			
	CH <sub>3</sub> COOH 9.4μg					
	HCOOH 3.1μg					
Lobby	NO <sub>2</sub> 6.8ppb		NH <sub>3</sub> <1ppb			
	CH <sub>3</sub> COOH -					
	HCOOH -					
Outdoor	NO <sub>2</sub> 7.9ppb		NH <sub>3</sub> 0ppb			
	CH <sub>3</sub> COOH -					
	HCOOH -					

Fig. 3 Results of pH paper, acid and alkali

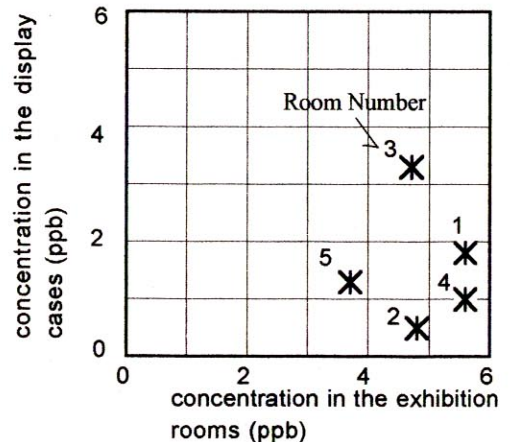
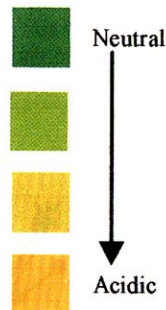


Fig. 4 Concentration of NO<sub>2</sub>

Table 6 Concentration of acetic and formic acid

Measurement point	Acetic acid		Formic acid	
	mg	mmol	mg	mmol
Storage room	9.4	0.089	3.1	0.058
Exhibition room 1	5.3	0.156	2.7	0.067
Display case 1	9.2	0.153	1.9	0.042
Display case 5	13.2	0.220	1.6	0.034

ないものの吸着する表面が容積に対して多く、吸着によって濃度が低くなったと考えられる。

3.5 酢酸, ギ酸

酢酸, ギ酸の2%グリセリン添着シリカゲルによる測定法での捕集量の一部をTable 6に示す。サンプリング係数については実験中である。酢酸は木材のコーティングが発生源といわれており<sup>5)</sup>、展示室より収蔵庫, 展示ケースで濃度が高い。収蔵庫はスプルス材から酢酸が発生していると考えられる。展示ケース5では他の測定点より非常に濃度が高くなったが、空気がよどんでいることが原因の一つと考えられる。ギ酸は展示ケースでは低い収蔵庫は酢酸と同じように他の測定点より高い濃度となっている。

3.6 ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドの展示室濃度とその展示室にある展示ケース濃度をFig.5に示す。展示室と展示ケースの濃度を比較するとTEA法, DNPH法ともに展示ケース濃度のほうが高い。これからケース内に発生源があることが考えられる。展示ケースは隙間があっても換気量が少ないことので、接着剤を含めケースの材質を確認する必要がある。美術館での許容値は現在人体のためのガイドライン(80 ppb)を使用しているが<sup>12)</sup>、これより十分低い濃度であった。TEA法, DNPH法を比較するとDNPH法が高い濃度を示した。

3.7 揮発性有機化合物(VOCs)

Fig. 6に類別の推奨値に対する各割合を示す。図中の()内は推奨値( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )である。TVOC濃度はScifertらによる人体を対象とした推奨値 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>12)</sup>より低い $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。既報の都内の新築美術館の結果<sup>11)</sup>と比べてみると芳香族炭化水素類は低い濃度を

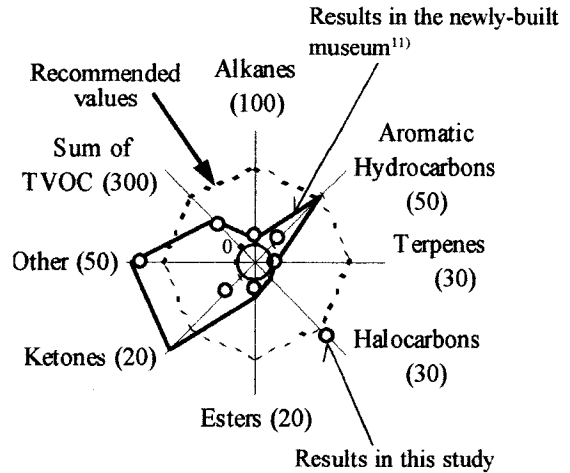


Fig.6 Concentration of VOCs

示している。ハロゲン類は都内の美術館では検出されていなかったが、ここでは推奨値より高い濃度を示した。この内訳を見るとp-ジクロロベンゼンが $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い濃度を示した。この物質は、防虫剤, 殺虫剤, 有機合成中間体などによく用いられていたものである。今回の測定点は展示室5のみでの測定であるが、展示ケース, 収蔵庫での高濃度も予想され、原因の検討が必要である。またその他(含む未同定物質トルエン換算)の濃度も高い。しかし、個々のVOCが美術品のそれぞれの材料に与える影響はわずかしか知られていないのが現状である。

3.8 浮遊粉塵

粉塵は表面にさまざまな汚染物質を付着させ、それらが美術品に影響を与えるので、濃度を低く保つことは美術館において重要である。Fig.7に床上100 cmと15 cmの粉塵濃度を示す。粉塵濃度は全体にビル管法の基準値の $0.15 \text{mg}/\text{m}^3$ に比べ十分低い。床上100 cmの高さでの測定では、展示室1~5において0.02~0.07の濃度を示し、測定場所による濃度の違いに大きな差はなかった。しかし、床上15 cmでの測定では17:30の測定において測定場所による濃度の違いが見られ、展示室3と4で $0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。同じ時刻における床上100 cmの測定を行っていないので一概には言えないが、高さ約15 cmの方が、来館者等の影響に敏感に反応することが考えられる。

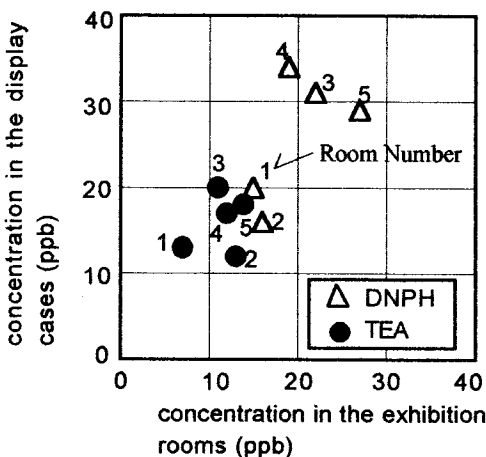


Fig. 5 Concentration of formaldehyde

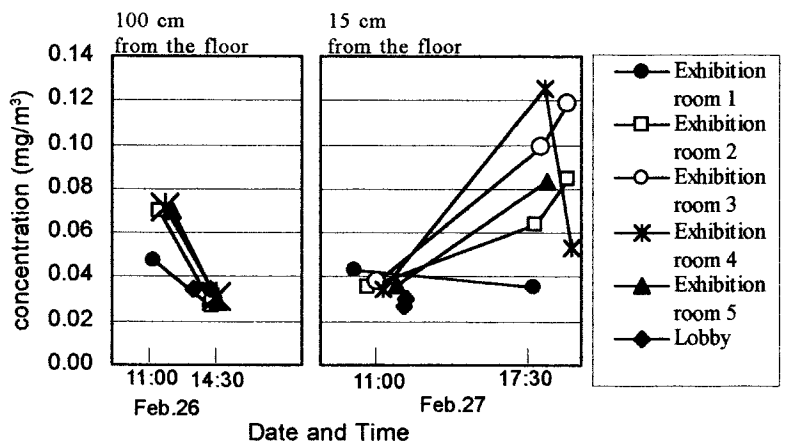


Fig.7 Concentration of suspended particulate matters

### 3.9 その他

#### a 浮遊真菌

浮遊真菌は30CFU/m<sup>3</sup>以下で、住宅での実測<sup>13)</sup>で得られた平均値の約10分の1程度であった。

#### b 塩

塩は展示室5では1.5mg/m<sup>3</sup>、展示ケース4では定量下限界(0.3mg/m<sup>3</sup>)以下であった。この美術館は海に近いといっても、高低差があるので低濃度であったと考えられる。

#### c オゾン

外気で8 ppb、展示室2で2 ppbであった。Thomson<sup>3)</sup>の推奨値は1 ppbであり、十分低いとはいえない結果となった。

## 4. まとめ

現場組立て測定台を使用して美術館で測定を行い、以下の知見を得た。

1. 変色試験紙の使用により、アンモニア以外のアルカリ性物質の存在を認めた。
2. アンモニア、ホルムアルデヒド、粉塵、TVOCは低濃度であった。
3. 二酸化窒素濃度は展示室濃度に比べ展示ケース濃度は低かったが、ホルムアルデヒド濃度は逆の結果となった。二酸化窒素は12ヶ所中4ヶ所で推奨濃度を上回った。
4. 組立て測定台とパッシブサンプラーの使用により、美術品鑑賞を妨害せずに必要な汚染物の濃度を測定をすることができた。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、横浜国立大学・堀雅宏教授、独立行政法人文化財研究所佐野千絵博士にご指導を賜った。また実測を行うにあたり日本エアフィルターの岡本氏・美術館関係者にご協力を得た。記して感謝の意を示す。

#### 参考文献

- 1) J.P.Brown et al.: Why do we need new IAQ guidelines for museums?,

Proceedings of 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol.2, pp.447-454, 1996

- 2) W.Esposito and B.Prezant: Indoor air quality and climate in cultural and heritage institutions, Workshop summaries of Healthy Buildings 2000, pp.101-106, 2000
- 3) G. Thomson: The Museum Environment, Butterworth Heinemann, 1978
- 4) 佐野千絵: 美術館・博物館の空気質の現状と望ましいレベル・対策, 空気清浄, 第38巻第1号 pp.20-26, 2000
- 5) 小瀬戸恵美, 佐野千絵, 三浦定俊: ホルムアルデヒドによる無機顔料の化学変化, 文化財保存修復学会誌 43 pp.22-30 1999
- 6) J. Tetreault, J. Sirois and E. Stamatopoulou: Studies of lead corrosion in acetic acid environments, Studies in Conservation 43, pp.17-32 1998
- 7) M.Ryhl-Svendsen: Pollution in the photographic archive - a practical approach to the problem, Proceedings of the 9th international IADA congress, pp.211-215 1999
- 8) J. Tetreault and E. Stamatopoulou: Determination of concentration of acetic acid emitted from wood coatings on enclosures, Studies in Conservation 42, pp.141-56 1997
- 9) 三谷一房他: 美術館・博物館におけるアンモニアの抑制工法の開発, 大林技術研究報, No.53 pp.99-104, 1996
- 10) 岩波洋他: 美術館の空気中に存在するアンモニアおよびホルムアルデヒドの定量, 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.815-816, 1995
- 11) T. Iwata, M.Hori and H.Tsukahara: Field investigation on IAQ in museums and examination of methods for monitoring, Pilot study for air quality guidelines in museums, Part 1, 日本建築学会計画系論文集第550号 pp.10-16, 2001
- 12) M.Maroni, B.Seifert and T.Lindvall: Air quality monographs vol.3, Indoor air quality, A comprehensive reference book, Elsevier, 1995
- 13) 塚原弘泰, 篠原史彦, 岩田利枝: 住宅におけるカビ・ダニに関する調査研究, 日本建築学会学術講演梗概集 D-II, 949-952