

# 風工学研究センターにおける室内化学物質濃度測定と低減対策

伊藤 一秀\*

## Measurement of Indoor Volatile Organic Compounds Concentration in Wind Engineering Research Center

Kazuhide ITO

In Tokyo Institute of Polytechnics, the wind engineering research center was completed as a research base concerning wind engineering in May 2001, and the use as the research facilities has been begun since June 2002. After the beginning to use, the smell, which exceeded a threshold, existed in the entire building, and dissatisfaction concerning the indoor air quality was reported by the users.

Therefore, the concentration of chemical compounds in the building was measured in order to specify the cause compounds, the concentration level and the time history of averaged concentration. This paper reports on the results of measurement and the effects of taking measures to reduce VOCs concentration.

### 1. はじめに

東京工芸大学では、2001 年 5 月に風工学に関する研究拠点として風工学研究センターが竣工し、6 月より研究施設としての使用が開始されている。使用開始後、建物全体において閾値を遙かに越えた臭気があり、室内空気質に関する不満が相次ぎ報告された。そのため、原因解明のために風工学研究センター内の化学物質濃度測定を行い、不快原因物質の特定、化学物質濃度レベルおよびその時間減衰性状の把握を行った。本論文ではその実測結果を報告するとともに、得られたデータをもとに、室内濃度低減のための方法を模索し、対応策を施すことによる濃度低減効果に関して報告する。

さらに室内化学物質濃度低減後に被験者による知覚空気質評価を行うことで、化学物質濃度レベルが知覚による臭気強度や許容度を与える影響に関して併せて検討を行う。

### 2. 風工学研究センター概要

風工学研究センターは、台風や竜巻などによる強風災害の低減、都市域の大気汚染の悪影響の軽減、省エネルギー手法としての通風利用などを主目的とした研究を推進するための拠点として、文部科学省の学術フロンティア推進事業の補助金交付を受けて設置された研究組織である。

風工学研究センターの概要を図 1 に示す。建物 1F 部分はスパイラル乱流境界層風洞と計測室、2F 部分は室内気流実験室と研究準備室、3F 部分は会議室および研究員室より構成されている。また 3 層吹き抜けのエントランスホールを有する。延べ面積は 1,068m<sup>2</sup>、建物構造は RC+S 造である。

### 3. 空調設備および室内各部の仕上げ

1 階ロビーは 3 層吹き抜けのアトリウム空間であり、居住域の温度制御のため、風洞側壁面に空調吹出を有する。この空調設備はロビ

\* 東京工芸大学工学部建築学科講師  
2002 年 8 月 6 日 受理

一の温度制御のみを対象としており、外気は取り入れていない。1階風洞計測室、2階研究準備室および3階会議室等は天井カセット式の空調機が設置されており、全熱交換機を介して供給される外気により必要換気量を満足させる設計となっている。

代表的な室内各部位の仕上げを表1に示す。床面はエントランスホールおよび廊下部分がPタイル、研究準備室、会議室および研究員室がSBRカーペットである。壁面は白色の水性ペイント吹きつけ仕上げである。天井面はすべて石膏ボードである。

#### 4. 実測概要

風工学研究センター内の空気質環境の把握を目的とし、測定項目は(1)温度、(2)湿度、(3)高揮発性のカルボニル類と揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds)の3項目とする。

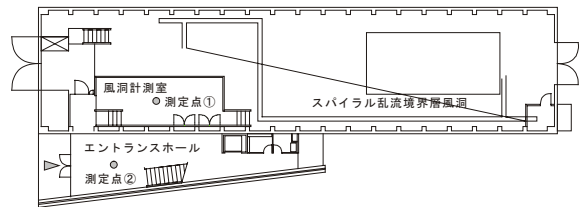
上記3項目の測定は、図1に示す風工学研究センター内の4カ所にて行う。測定場所の各部位の仕上げに関しては表1を参照。

温度・湿度および化学物質濃度測定点は居住域高さを意図し、床面から1.1m位置とする。室内化学物質濃度の測定は、開口部を全開することで新鮮外気を60分間取り入れ、室内化学物質のページを行い、その後開口部は全閉、空調機は運転を停止した状態で約5時間経過した後に行う。2階研究準備室に関しては計算機サーバが設置されているため、24時間空調を運転した状態で測定を行っている。

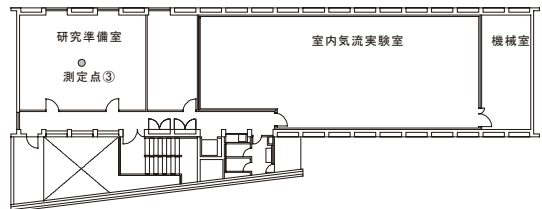
室内化学物質濃度測定は、第1回測定を2001年7月17日に行い、その濃度分析結果をもとに化学物質濃度低減対策を行う。その後、第2回測定を2001年9月17日、第3階測定を2001年11月17日に行い、濃度低減効果を確認する。

#### 5. 化学物質サンプリング・分析法

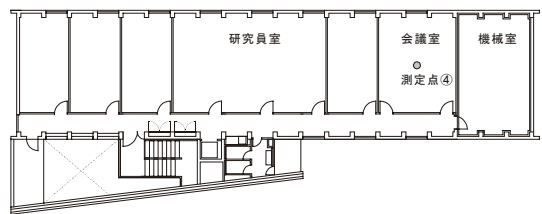
分析対象は高揮発性のカルボニル類と揮発性有機化合物VOCsとする。



(1) 1F 平面図



(2) 2F 平面図



(3) 3F 平面図

図1 風工学研究センター概要

表1 測定対象空間各部の仕上げ

	測定場所	表面仕上げ材
①	1階風洞計測室	床面：SBRカーペット 天井：石膏ボード 壁：水性ペイント吹きつけ
②	1階ロビー	床面：Pタイル 天井：石膏ボード 壁：水性ペイント吹きつけ
③	2階研究準備室	床面：SBRカーペット 天井：石膏ボード 壁：水性ペイント吹きつけ
④	3階会議室	床面：SBRカーペット 天井：石膏ボード 壁：水性ペイント吹きつけ

#### 5.1 カルボニル類

DNPH シリカゲルサンプラー (Waters, Sep-Pak DNPH- Silica)を用いてカルボニル類のアクティブサンプリングを行う。サンプリ

ングには積算流量計付きポンプを用い、300 cc/min の割合で 20L の吸引を行う。定性・定量分析は HPLC にて行う。分析条件を表 2 に示す。

## 5.2 揮発性有機化合物 VOCs

Tenax TA (Gestel, 80/100 mesh) を用いて VOCs のアクティブサンプリングを行う。積算流量計付きポンプにより 100 cc/min の割合で 3L のサンプリングを行う。定性・定量分析は GC/MS にて行う。分析条件を表 3 に示す。

## 6. 測定結果

各濃度測定点における温湿度測定結果を表 4 に示す。7/17 は晴天の為、外気温度は 35℃ を超えており、室温も 30℃ 以上となっている。9/17 は雨天、外気温度は 23.3℃ で、室温は 27℃ 前後であった。また 11/17 は晴天、外気温度は 17.5℃ であった。

測定点③の 2 階研究準備室のみ空調機が運転されているため、測定日に関わらず室温が 26℃ 前後となっている。

本報では、特に厚生労働省によってガイドライン値が設定されている TVOC および HCHO(ホルムアルデヒド)に着目する。各測定点における TVOC および HCHO の濃度履歴を図 2 に示す。ここで TVOC とは分析で得られたクロマトグラムにおいて C6 から C16 の範囲に含まれる揮発性有機化合物の和を示している。未同定物質に関しては toluene 換算により算出した値を用いている。

### 6.1 7/17 測定結果

1 階風洞計測室(測定点①)では TVOC 濃度が 2751[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]であり厚生労働省ガイドライン値(図中の MHLW Guideline)の 6 倍の値となっている。また HCHO 濃度も 202[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]と厚生労働省ガイドライン値の 2 倍以上の値となっている。1 階ロビー (測定点②)では TVOC 濃度が 93[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]、HCHO 濃度が検出限界以下と低濃度となっている。これは入口ロビーに対して人の出入りを制限しなかったため、扉の

表 2 HPLC 分析条件

HPLC	HP 1100
検出器	ダイオードアレイ検出器
カラム	ZORBAX XDB-C18 (4.6mm×250mm)
移動相	Water / Acetonitrile (40 / 60)
カラム温度	40 °C
注入量	10 $\mu\text{L}$
検出波長	360 nm
分析時間	15 min

表 3 GC/MS 分析条件

GC	HP6890
加熱脱着装置	Gestel TDS
加熱脱着温度	20℃(5min)→60℃/min→280℃(2min)
CIS 温度	-100℃(0.01min)→12℃/sec →300℃(3min)
カラム	HP5 (60m×0.25mm×1 $\mu\text{m}$ )
オープン温度	40℃(3min)→10℃/min →220℃(10min)
Split 比	100 : 1
検出器 (MS)	HP5973MSD

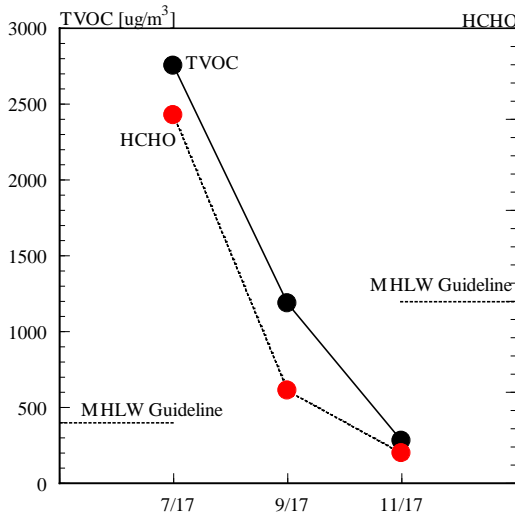
表 4 温度(℃)・湿度(RH%)測定結果

	測定場所	7/17	9/17	11/17
①	1 階 風洞計測室	29.3 °C	29.2 °C	23.5 °C
		73.2 %	57.5 %	40.1 %
②	1 階ロビー	30.4 °C	26.7 °C	17.6 °C
		65.8 %	60.1 %	50.0 %
③	2 階 研究準備室	25.8 °C	26.8 °C	21.8 °C
		62.9 %	55.6 %	42.5 %
④	3 階会議室	33.5 °C	27.1 °C	15.6 °C
		58.9 %	66.1 %	63.1 %
	外気 (12 時)	35.4 °C	23.3 °C	17.5 °C
		51.4 °C	78.3 %	47.6 %

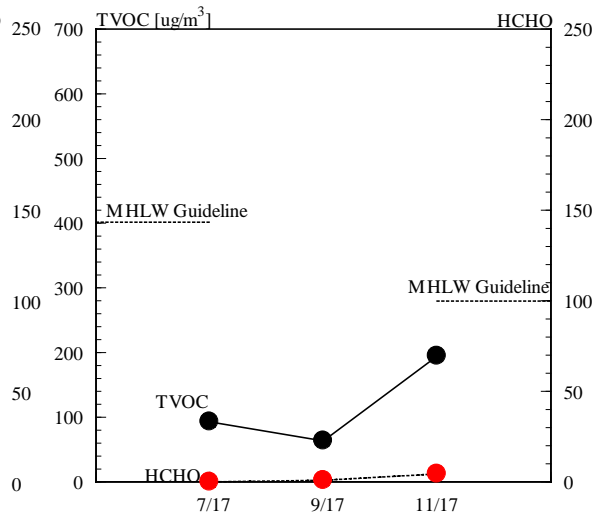
開閉に伴い相当量の外気が流入したためと考えられる。2 階研究準備室 (測定点③)および 3 階会議室 (測定点④)では、TVOC 濃度はガイドライン値をやや下回る値、HCHO 濃度はガイドライン値の 2 倍程度の値となった。

### 6.2 化学物質濃度低減対策 1

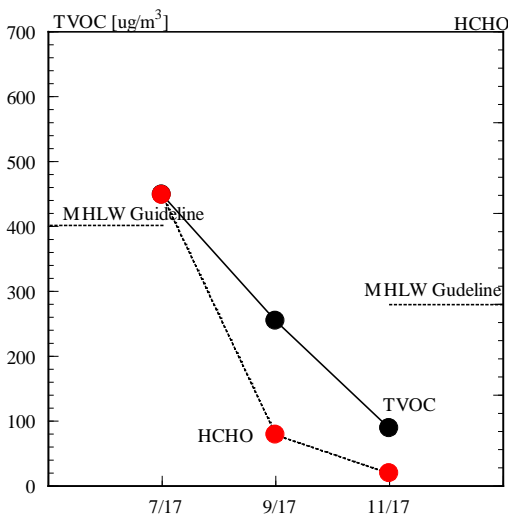
7/17 の濃度測定結果より、厚生労働省ガイドライン値程度もしくはガイドライン値を大きく越える部屋が存在することが明らかとな



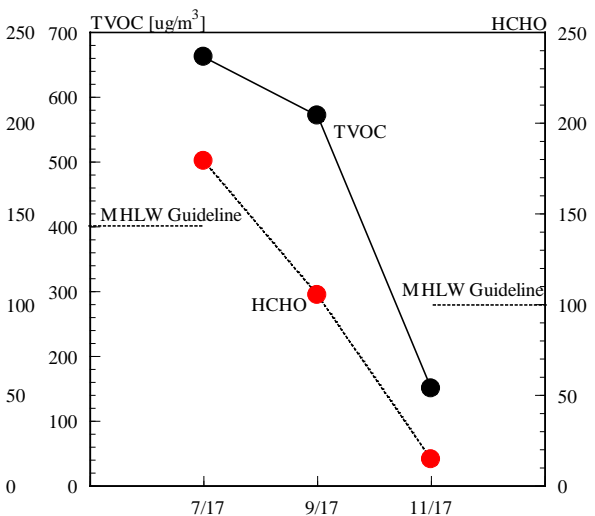
(1) 1階風洞計測室 (測定点①)



(2) 1階ロビー (測定点②)



(3) 2階研究準備室 (測定点③)



(4) 3階会議室 (測定点④)

図2 化学物質濃度履歴

り、化学物質濃度低減対策として以下の2点を行った。

(1) エアコンフィルターの清掃および交換：  
建物竣工から引き渡しまで十分な期間が確保できず、室内化学物質のパージが行われていないため、各室のエアコンフィルターに施工中に放散した化学物質の吸着が予想された。そのためエアコンフィルターの清掃および交換を行った。

(2) 空調換気ルートの見直し：

建物竣工後、梅雨時に1階風洞実験室が浸水し、実験室内に大量のカビが発生し、異臭が籠もり、空気質が悪化した。この風洞実験室内の空気がアトリウム内に進入し、建物全体の空気質を悪化させていることが予想された。そのため浸水の原因を解明し、実験室内の湿度低減およびカビ取りを行った。

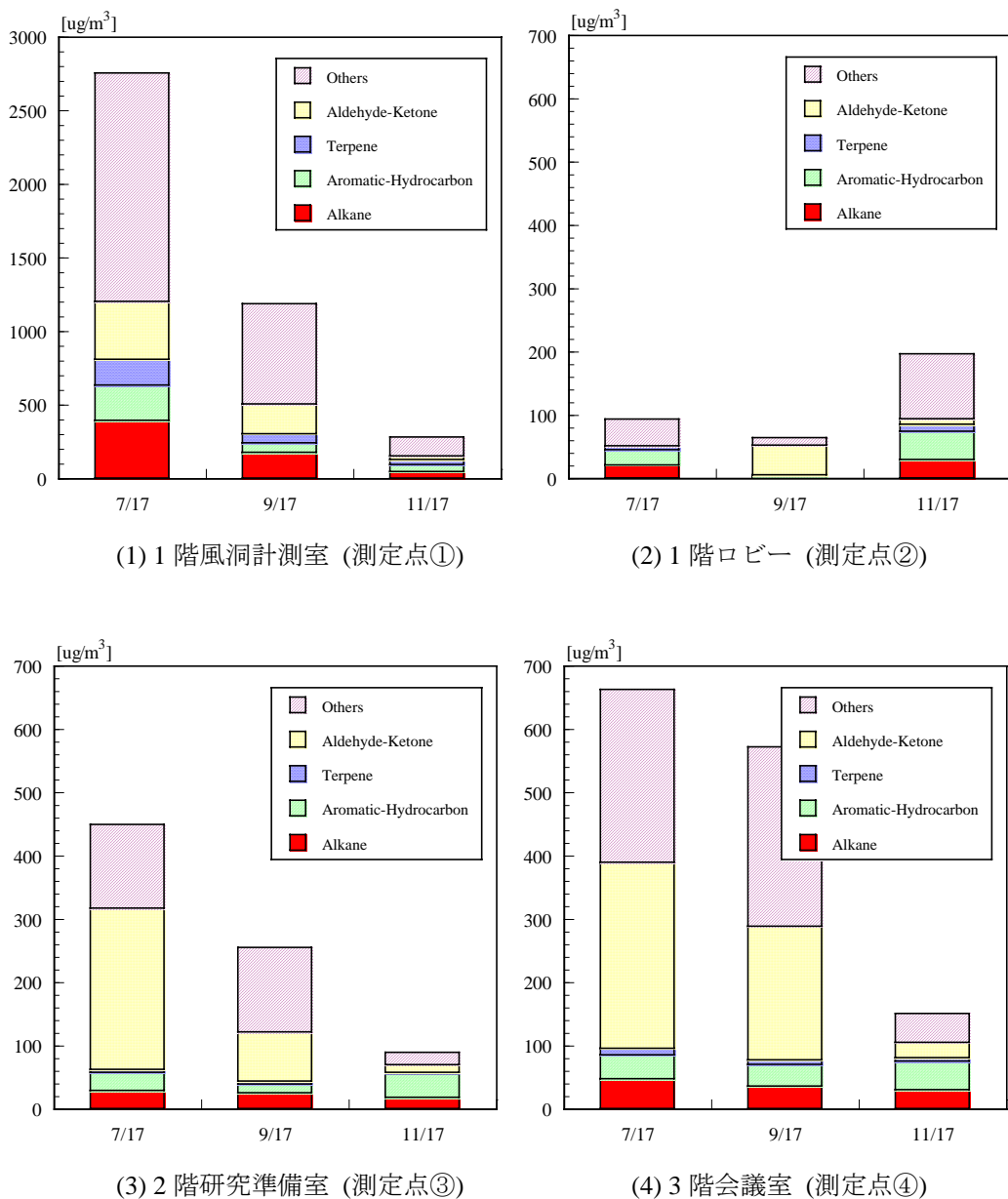


図3 TVOC 値の化学物質構成

### 6.3 9/17 測定結果

上記の濃度低減対策の効果を確認するために行った9/17の濃度測定結果を図2に示す。1階風洞計測室(測定点①)ではTVOC濃度が大きく低減している( $1184[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ )が、厚生労働省ガイドライン値の2倍以上の値となっている。2階研究準備室(測定点③)および3階会議

室(測定点④)では、TVOC濃度は10%程度低下するに留まった。時間による放散速度の減衰効果ならびに室温の低下を考慮すると、上記の濃度低減対策の効果は相対的に小さいと考えられる。また、風洞実験室のカビ取りを行ったことで、建物全体に充満していた異臭が軽減することが確認された。

表5 空気環境・形容詞対を用いたアンケート

質問1) この室内のにおいをどの程度強く感じますか？

0.無臭      1.かすかに感じる      2.軽度を感じる      3.強く感じる      4.非常に感じる      5.耐え難く感じる

質問2) この室内の温熱環境どう評価しますか？

3.暑い      2.暖かい      1.やや暖かい      0.どちらでもない      -1.やや涼しい      -2.涼しい      -3.寒い

質問3) この室内の空気質をどう評価しますか？

1.あきらかに受け入れられ 0.どちらかといえば受け入れ 0.どちらかといえば受け入れ -1.あきらかに受け入れられない

質問4) この部屋の目、鼻、喉への刺激をどう感じますか？

0.刺激がない      1.かすかな刺激      2.軽度の刺激      3.強い刺激      4.非常に強い刺激      5.耐えがたい刺激

目

鼻

喉

質問5) あなたは現在、この室内環境をどのように表現しますか？以下に示す項目について答えてください

湿度が高い      -3.非常に      -2.かなり      -1.やや      0.どちらで      1.やや      2.かなり      3.非常に      乾燥している

空気が汚れている      空気が新鮮である

暗い      明るい

静か      騒がしい

質問6) あなたは現在、以下の項目について、それぞれどのように感じていますか？以下に示す項目について答えてください

鼻がつまっている      -3.非常に      -2.かなり      -1.やや      0.どちらで      1.やや      2.かなり      3.非常に      鼻がとおっている

鼻が乾燥している      鼻水がちである

喉が乾燥している      喉が乾燥していない

口が乾燥している      口が乾燥していない

唇が乾燥している      唇が乾燥していない

目が乾燥している      涙目である

目がチカチカしている      目がチカチカしない

目がかゆい      目がかゆくない

頭痛が激しい      頭がスッキリしている

気分が悪い      気分が良い

疲れている      元気な

集中するのが困難      容易に集中できる

落ち込んでいる      気分が晴れやかである

覚醒している      ぼんやりしている

## 6.4 化学物質濃度低減対策2

ロビーを除く風洞計測室、研究準備室および会議室は使用時のみ機械換気を行っていたが、9/17 の濃度測定日以降、発生化学物質の flush-out を目的として 24 時間の機械換気を行った。

## 6.5 11/17 測定結果

上記の濃度低減対策の効果を確認するために行った 11/17 の濃度測定結果を図 2 に示す。ロビーを除く全ての測定点において化学物質濃度が著しく低下している。ロビー(測定点②)

において TVOC 濃度が大きく上昇した原因として、測定日(11/17)の午前中に建物全面でアスファルト工事が行われたこと、およびロビーへの人の出入りを制御しなかったために外気が大量に取り込まれたこと、等が原因と考えられる。

## 6.6 TVOC 濃度成分

図 3 に各測定点における化学物質濃度測定において定性・定量された成分を化学的性質によって分類した結果を示す。ロビーを除く室内測定点では、アルデヒド類の割合が高く、

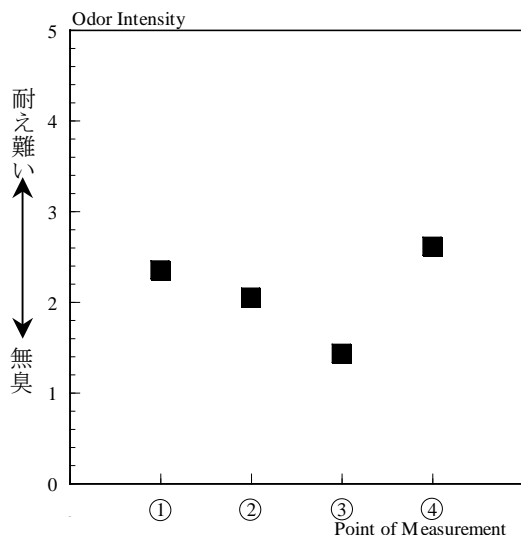


図4 臭気強度の申告結果

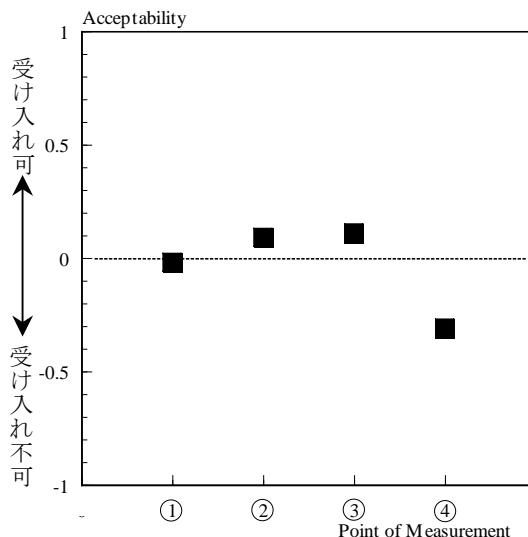
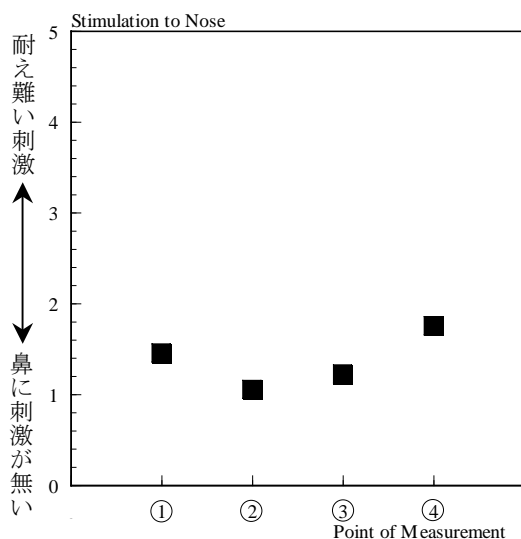
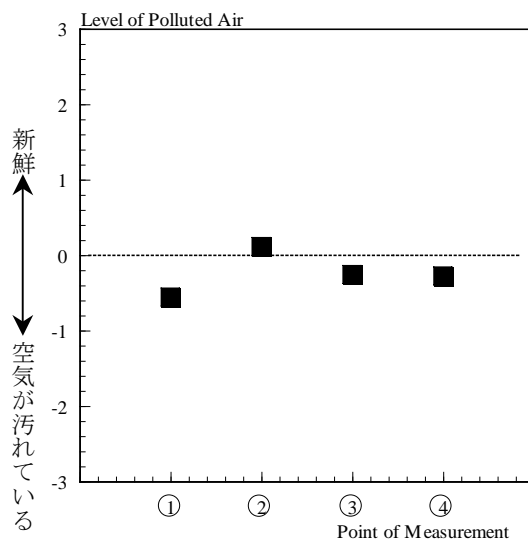


図5 許容度の申告結果



(1) 鼻への刺激



(2) 空気汚染

図6 形容詞対を用いたアンケートの申告結果

その濃度減衰も高い。また 11/17 の測定では、外気流入のあった1階ロビー(測定点②)において炭化水素系物質の濃度が高くなっており、その他の室内測定点における炭化水素系物質の濃度上昇は、外気に起因すると予想される。

## 7. 被験者による知覚空気質評価

物理的・化学的測定法によって測定される化学物質濃度レベルが基準濃度レベル以下であるにもかかわらず、在室者が不快であると感じる空間が多く存在している。この現象は基準濃度と比較し、知覚レベルで測定される濃度(臭気閾値)が非常に低濃度であることに起因する。そこで風工学研究センター内の室

内空気汚染度が許容(ガイドライン)濃度レベル以下となった段階で被験者による知覚空気質評価を行った。

### 7.1 被験者実験概要

被験者実験は室内空気汚染度が許容濃度レベル以下となった 3 回目の化学物質濃度測定後の 11/19 に行っている。被験者は健全な大学生 38 名(男女比 1:1)で、化粧品・香水等の臭いのするものを身につけることを禁じられている。被験者はパネルスクリーニングテストを受けたが、嗅覚に異常があると判断されたものはいなかった。

### 7.2 実験手順

被験者は 15 分間座位状態で外気に暴露された後、図 1 中の①から④の各室に順番に入室し、15 分間座位状態で室内空気に暴露される。各室内は空調を行っている状態である。室内空気に暴露後、表 5 に示す空気環境に関するアンケート(質問 1~4)、および形容詞対を用いたアンケート(質問 5~6)について被験者から申告を得た。表 5 の質問項目は Wargocki らの研究で用いたものを和訳して使用している。

### 7.3 被験者による申告結果

被験者の温熱環境に関する申告結果は、暑くも寒くもない状態(どちらでもない状態)であり、ほぼ熱的中立状態で空気質に関するアンケート調査が行われた。

図 4 に被験者全員の平均値による臭気強度(表 5 質問 1)を、図 5 に許容度(表 5 質問 3)の申告結果を示す。全ての測定点において被験者は臭気を感じており、風工学研究センターに長時間滞在する利用者は存在する臭気に順応し、嗅覚疲労を起こした状態で作業を行っている可能性が高い。

許容度に関しては、測定点④が他の測定点と比較して有意に許容度が低くなっている。この有意性は化学物質濃度測定結果には現れておらず、知覚レベルでの汚染物質の存在が予想される。

形容詞対を用いたアンケートの申告結果の

一例を図 6 に示す。図 6(1)より被験者は全ての測定点において鼻に対して「かすかな刺激」～「軽度の刺激」を感じており、化学物質濃度が基準濃度レベル以下であっても臭気閾値の方が遙かに低いレベルで反応していることが分かる。図 6(2)より、外気の進入が予想されるエントランスホール(測定点②)を除き、化学物質濃度が基準濃度レベル以下にも関わらず被験者は建物内の空気が汚れていると感じている。

## 8. 考察

シックハウス対策として、厚生労働省は室内空気汚染物質のガイドライン値を設定しており、2001 年 10 月時点でホルムアルデヒド、トルエン、キシレンを含む 14 物質(13 物質+TVOC)に関して公表されている。これらの物質に引き続き、厚生労働省は 1 年に 10 物質程度の割合で新しいガイドラインを確定していく方針であり、最終的には 40~50 物質についてガイドライン値が設定される予定である。また、建築基準法においても室内化学物質に関する規制が開始され、ホルムアルデヒドに関しては室内濃度基準 0.08ppm のクリア、防蟻剤に含まれるクロルピリホスの使用禁止が義務づけられ、規制に必要な知見が整い次第、優先順位の高い物質を追加していくこととなっている。

大阪府堺市では 2001 年に保育園で職員や園児にシックハウス症候群とみられる症状が出たことを受け、施工業者を 3 ヶ月間の指名停止処分としている。今後は更に建築基準法による規制が加わり、施工業者は対応を怠ると法的に厳しく責任を追及される時代となる。

風工学研究センターに関しては、設計段階より施工業者に室内化学物質濃度に対する配慮を強く求めていたが、引き渡し後の室内化学物質濃度は厚生労働省ガイドライン値を大きく超えるものであった。今回のケースでは、室内化学物質濃度がガイドライン濃度以下に



減衰するまでに建物竣工後から半年程度の期間を要しており、化学物質放散速度の自然減衰を期待する場合には、十分なパージ期間が必要である。本来ならば、有害な化学物質を含有しない内装仕上げ材料等を選定すると共に、施工方法に関しても配慮が必要である。

## 9. 結論

- (1) 風工学研究センターを対象として約半年間にわたり化学物質濃度の測定を行った結果、竣工直後にはほとんどの測定場所で厚生労働省ガイドライン値前後もしくはその値を大きく上回る値が検出された。
- (2) 室内化学物質濃度は竣工後約半年で 1/10 程度に低下した。
- (3) 被験者による知覚空気質評価を行った結果、室内化学物質濃度が規準濃度レベル以下となった段階においても、知覚レベルでの空気汚染が確認された。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、2001 年度環境工学研究室卒論生の芝波田信義、丹波和希両氏の協力を得た。また化学分析に関しては東京大学生産技術研究所 加藤信介教授ならびに朱清宇先生にご助言頂いた。記して深甚なる謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Wolkoff., P. (1995): Volatile Organic Compounds – Source, Measurements, Emissions, and The Impact on Indoor Air Quality, Indoor Air, Supplement, No. 3
- 2) Chang, J.C.S., et al. (1992): Characterization of organic emissions from a wood finishing product - wood stain., Indoor Air, 2, 146- 153
- 3) Christianson, J., et al., (1993): Emission of VOCs from PVC-flooring-models for predicting the time-dependent emission rate and resulting concentration in indoor air. Proceedings of Indoor Air '93, 2, 389- 394
- 4) Haghighat, F. and de Bellis, L. (1998): Material Emission Rates : Literature Review, and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity. Building and Environment, 33, 261- 277
- 5) Bluyssen, P. M., et al., (1995): European database of indoor air pollution sources: the effect of temperature on the chemical and sensory emissions of indoor materials. TNO-Report 95-BBI- R0826.
- 6) Sparks, L.E., Tichenor, B.A., Chang, J. and Guo, Z. (1996): Gas-phase mass transfer model for predicting volatile organic compound (VOC) emission rates from indoor pollutant sources., Indoor Air 6, 31-40
- 7) J.C. Little, A.T. Hodgson and A.J. Gadgil, (1994): Modeling emissions of volatile organic compounds from new carpets, Atmospheric Environment, Vol. 28, No.2, 227-234
- 8) R. Meinighaus, H.N. Knudsen and L. Gunnarsen (1998): Diffusion and sorption of volatile organic compounds in indoor surface materials, EPIC'98, Lyon, France, 19- 21 November, vol. 1, 33-38
- 9) P. Wargocki, et. al. (1999): Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads, Indoor Air, vol.9, pp165-179
- 10) 岩下妙美、岩下剛 (2000): 在室者の知覚空気質評価および作業効率へ影響をおよぼす要因に関する検討、空気調和衛生工学会講演論文集、pp1181-1184