Japanese Society of Human-Environment System

The 13th Symposium on Man-Thermal Environment System (Sapporo 1989)

PRESENTATION 9

Comprehensive studies of the office environments, Part II
--- Air quality I ---

Masahiro HORI* Koichi IKEDA**
Takashi TANAKA*** Takehiro TANAKA*

* Yokohama National University ** The Institute of Public Health
*** Yamatake Honeywell Co. Ltd.

Concentrations of carbon dioxide and monoxide, suspended particulates, nitrogen dioxide and organic gases and outputs of semi-conductor gas sensors were measured in offices. The data were analyzed to study indication factors of air quality for amenity.

The carbon dioxide and monoxide and suspended particulate were measured with NDIR meter, amperometry and light scattering dust meter, respectively. Nitrogen dioxide was determined after passive sampling, and the organic gases by gas chromatography and mass spectrometry. The distribution of carbon dioxide concentrations showed that the concentration at a continuously measuring point represented those in the offices at every time. The carbon dioxide levels (980-1680 ppm in geometric means) at working time in one of the offices (Bekkan) were out of the criterion (1000 ppm) and those of another office (Honkan) were less than that. The carbon monoxide levels were a half to a third of the criterion (10 ppm). Geometric means of suspended particulate were 0.02 to 0.14 mg/m^3 which was less than the criterion(0.15 mg/m^3). The concentrations of nitrogen dioxide were 23 to 62 ppb.

The sensor output was indicated a concentration of a total gaseous reductant of carbon monoxide, hydrogen, methanes, unsaturated and aromatic hydrocarbons, alcohols and the others. The mutual relation coefficients among the outputs of the four kinds of gas sensors were 0.79 to 0.91, and relation coefficients between the outputs and the concentrations of carbon dioxide and monoxide 0.76 to 0.97, respectively. Therefore the sensor out puts were considered indicating some air quality. The coefficients between the concentrations of suspended particulate and carbon dioxide or monoxide without operating an electro-static air cleaner were 0.82 and 0.87, respectively. The relationships were observed among all kinds of contaminants measured in the offices.

On the other hand, the relationship between the air quality evaluated by the questionnaire, answered 12 times at seven grades by workers in the office, and the concentrations or the sensor outputs at the time were examined. The suspended particulate only showed relationship (coefficient: -0.62). The examination should be repeated in improved performance of the questionnaire.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Human-Environment System

第13回　人間－熱環境系シンポジウム報告集（札幌 平成元年11月）

研究発表 9

オフィス環境の総合調査研究（Ⅱ）
― 空気環境　その１ ―

（横浜国立大学）　○堀　雅宏、　（国立公衆衛生院）　池田耕一
（山武ハネウエル）　田中　隆　　（横浜国立大学）　田中毅弘

ここでは、ビル管理法などで従来から用いられている測定法に加え、濃度計と半導体ガスセンサによる連続計測および低濃度有機ガスのガスクローマススペクトルグラフ法による成分分析を行った結果について述べる。快適環境のためには温熱条件のほかに空気質の制御も合せて行わなければならないが、そのためのモニタリングにおける汚染指標の検討も合せて行った。

1　測定方法

［二酸化炭素，一酸化炭素、浮遊粉塵］　定点における経時変化と一日に４回分布の測定を行った。経時変化の測定には非分散型赤外線吸収式炭酸ガス濃度計（富士電機製　2FP5、測定レンジ:0-2000ppm）定電位電解型一酸化炭素濃度計（エコライザーmodel 2500、0-50ppm）光散乱式デジタル粉塵計（柴田科学製P-5H、1c/min: 0.001mg/m³)を用い、出力をスキャナに接続、データベースに落として記録した。ガス濃度の空間分布の測定はテドラバッグ（２ℓ）に２連ゴム球を用いて吸引、栓をし試料とした。サンプリング終了後、炭酸ガス・一酸化炭素濃度計（原理は経時変化測定用と同一、光明理化学工業製、UM-260）で測定した。浮遊粉塵の濃度分布の測定では測定者が同型の粉塵計を持って各サンプリング位置で一分間のデジタル出力を読んだ。このほか、パーテクルカウンター（柴田科学製PCK3010A）を用いて粒径分布を測定した。

［二酸化窒素］　二酸化窒素パッシブサンプラー（アドバンテック社製）で採気後、ナフチルエチレンジアミン法（吸光光度法）で定量した。

［低濃度有機ガス］　一日に２回、室内の数箇所の点で、小型吸引ポンプを用いてテドラバック（20ℓ）に採り、この一部を濃縮後あるいは直接、ガスクローマススペクトルグラフ法で分析する。

［全還元性ガス］　ガス濃度計のサンプリング口の近くに４種類の半導体ガスセンサ（フィガロ技研製、Table 2-1)を置き、環境空気に暴露させ、拡散によりセンサ表面に到達したガス成分を全還元性ガスとして検出し、センサ出力（フルスケール：５Ｖ）の経時変化をみた。ガスセンサは酸化錫を主成分とするｎ型半導体で還元性ガスに対して感度を持ち、ドーピング成分を変えて特定のガスにある程度選択性を持たせている。

Table 2-1 Gas sensors applied in measurement

Type	Selectivity	Detection limit
TGSE701A	Carbon monoxide	50 ppm
TGSE701N	Volatile sulfide	0.1 ppm
TGS813	Hydrocarbon	500-1000ppm
TGS800	Hydrogen,Carbon monoxide	a few ppm

2．測定結果及び考察

2．1　濃度分布

各部屋の各時間帯の測定値をTable 2-2 に示した。濃度分布は各時間帯の幾何平均値と幾何標準偏差から分るCO_2 について一例をFig.2-1 に示す。この結果から、環境条件を３段階に変えた場合を比較すると別館、本館とも集塵機を止め、外気ダンパーを閉じた場合の分布がやや広がっているが、通常の条件の場合かなり均一化されているといえる。一方、ＣＯは濃度が定量下限のためNO_2 は12時間平均値のため測定値の分布は小さい。また、ＣＯ濃度、浮遊粉塵の各時間帯における経時変化測定点の値と部屋全体の平均値の差をみるといずれも10%以下で代表性はあるといえる。またCO_2 の垂直分布から装置を置いた床上70cmの高さも代表性が認められた。

Ｉ／Ｏ率は室内の幾何平均値（Ｉ）と同じ時間帯の外気の濃度（Ｏ）の比をとったものである。CO_2 は浮遊粉塵とともに１より大きく、内部発生源の寄与率は高いＣＯは１に近い時間帯も多く、かなり外気の影響を受けているといえる。

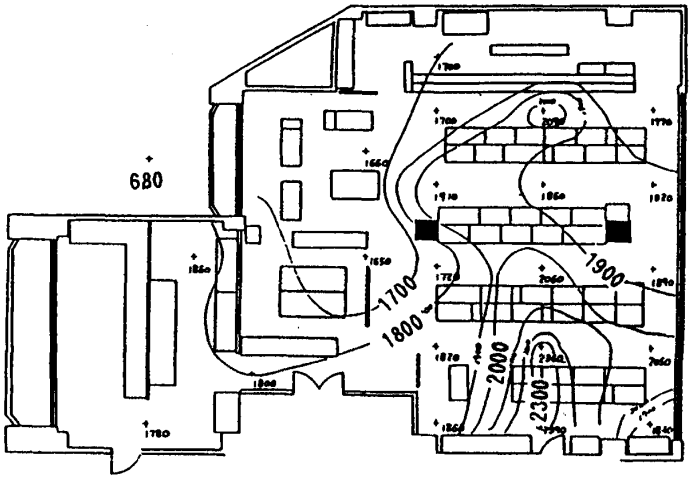

Fig.2-1　Example of CO_2 distribution　(Unit:ppm)
(11:15-11:45, 1 February)

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Human-Environment System

２．２　経時変化

Fig.2-2 に示す結果は在室者数（Fig.1-3)と相関性が大きく、在室時間帯（9-17時）は各濃度とも高い。CO_2について夜間と比較すると集塵機を止め、外気ダンパーを閉じた場合は約５倍、通常の条件の場合約３倍であった。なお、在室者数は減少するが、空調機が停止する18時－21時は濃度の高い場合も見られた。

２．３　全還元性ガス及び低濃度有機ガス

４種類の半導体ガスセンサを用いて全還元性ガス濃度に対応する出力の経時変化を測定した。別館のチャートをFig.2-3 に示す。センサ出力は雰囲気の温度や湿度の影響を受けるので、不十分ながら温度補正を行ったものであるが、その相対値は補正前とほぼ同じ傾向を示した。

次に全時間帯で８回（この他対照５回）行った低濃度有機ガス成分の分析結果をみると、メタン（2.9-5.1ppm）アルコール（メチル、エチル34-1040ppb）が主で、このほか飽和炭化水素類（73-320ppb）不飽和炭化水素類（40-200ppb 芳香族炭化水素類（50-330ppb)のほかハロゲン化物(6-91ppb）も検出された。また、悪臭成分といわれるアミンや有機硫黄化合物は検出されずppb オーダー以下である。今回の測定においてＣＯを含め、個々の成分濃度はセンサの検出下限よりかなり小さいことが確認されたが、アルコールや芳香族炭化水素など比較的感度のよい成分も含まれ、このような多成分系では特定のガスのみ検出されることはなく、出力は個々の成分に対する感度の和としてのみ得られる。従ってここでは全還元性ガス（有機ガスやＣＯ、水素）の相対濃度の指標として用いた。　ところで、検出された成分の大半は有臭物質であるが、個々にはいき値以下である。にもかかわらず5-30% の在室者が明らかに臭いを感じているのは相加効果のためと推察される。また鎖状炭化水素や芳香族炭化水素の各成分の濃度比から自動車排気ガスの取込みが示唆される。有機ハロゲン化合物は通常の都市大気にも存在するものであるが、ビル内に発生源をもつ物質も検出された。

２．４センサ出力及び濃度測定値との相関

クロス相関表をTable 2-3 に示す。ここに得られた値はいずれもかなり高い。特にTGSE701N,813,800の相関性は高い。また、ＣＯ選択性のTGSE701AはＣＯとの相関性も高いが、結果的にCO_2 との相関は１に近い値が得られた。このような低濃度室内汚染質に対してセンサ特性の差はほとんど見られなかったが、出力の変化率からみるとTGSE701Aの汚染度検出の感度が最も高いといえる。

浮遊粉塵との相関を日単位でみると、２、３日に低下しているのは集塵機を作動させたためである。浮遊粉塵との相関がガス同士のそれに比してやや低いのは粉塵とガスで挙動が異なるためであろう。いずれにしても他の汚染濃度との相関が高いので、還元性ガスのトータル値を検出するセンサ出力は何らかの汚染度を反映していると考えられる。

Table 2-2　Concentrations of each pollutant

Time(Feb.)	CO_2(ppm) X_g	σ	1/0	CO(ppm) $X_{min-max}$	1/0	Suspd.part.(mg/m³) X_g	σ	1/0	NO_2(ppb) 時刻	$X_{min-max}$
1日09:30-10:00	1320	1.19	2.5	3-4	1.3	0.123	1.24	2.1	9:00-21:00	28-31
11:15-11:45	1680	1.71	2.5	6-7	1.0	0.140	1.63	1.6	21:00-9:00	16
14:00-14:30	1660	1.03	3.6	3-4	1.3	0.126	1.18	1.4		
16:30-17:00	1510	1.70	3.3	2	---	0.069	1.89	1.6		
2日09:30-10:00	980	1.05	2.3	4-5	1.2	0.054	1.34	3.2	9:00-21:00	26-38
11:15-11:45	1040	1.09	2.5	3-4	1.5	0.031	1.53	2.4		
14:00-14:30	1050	1.13	2.6	2	1.0	0.027	1.64	3.8		
16:30-17:00	1000	1.06	2.6	2-5	1.0	0.031	1.52	3.9		
3日09:30-10:00	1070	1.06	2.7	3-4	1.3	0.049	1.31	9.9	9:00-21:00	26-34
11:15-11:45	1320	1.08	3.5	4	2.0	0.020	1.37	3.4		
14:00-14:30	1030	1.65	2.7	2-3	2.0	0.027	1.52	3.2		
16:30-17:00	1610	1.05	4.0	2-4	3.0	0.042	1.27	4.7		
6日09:30-10:00	1040	1.08	2.1	1-3	2.0	0.082	1.32	4.6	9:00-21:00	44-52
11:15-11:45	880	1.09	2.2	1-2	2.0	0.046	1.48	2.7	21:00-9:00	23
14:00-14:30	780	1.75	2.2	1	1.0	0.036	1.63	2.4		
16:30-17:00	810	1.07	2.2	2-3	2.0	0.056	1.18	2.5		
7日09:30-10:00	820	1.66	2.0	1-2	2.0	0.127	1.21	16	9:00-21:00	23-36
11:15-11:45	850	1.06	2.4	1-2	---	0.096	1.21	7.4	21:00-9:00	19
14:00-14:30	720	1.10	1.9	2	2.0	0.062	1.26	3.6		
16:30-17:00	690	1.19	1.7	2-3	0.7	0.042	1.16	3.3		
8日09:30-10:00	900	1.08	1.9	2-4	1.0	0.072	1.73	1.4	9:00-21:00	54-62
11:15-11:45	810	1.87	1.6	4-5	1.2	0.048	1.10	0.7		
14:00-14:30	780	1.54	1.8	4	1.3	0.052	1.60	0.8		
16:30-17:00	830	1.10	2.2	2-3	1.5	0.031	1.74	2.2		

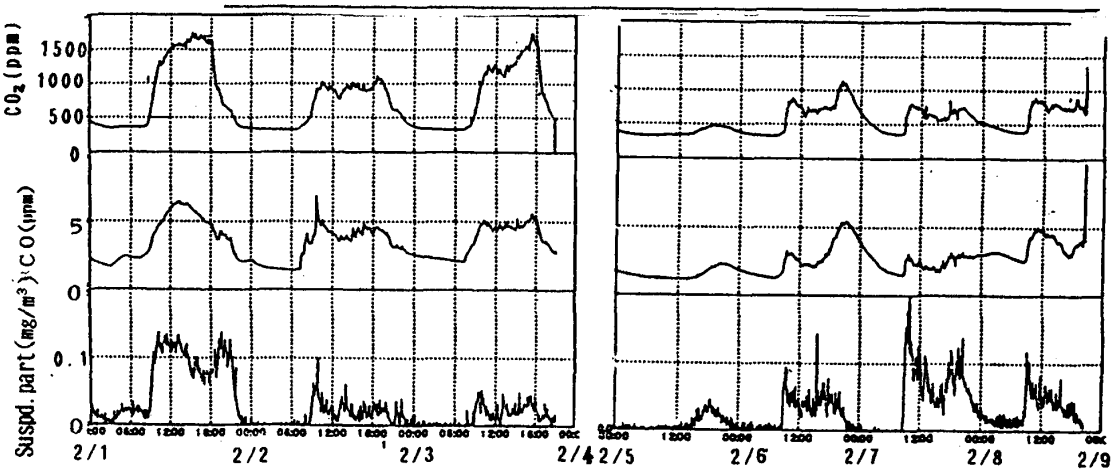

Fig.2-2　Continuous fluctuation patterns of CO_2,CO and suspended particulate concentrations

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Human-Environment System

２．５　濃度の評価

CO_2 ：別館の在室時間帯について、外気ダンパーを閉じると1200-1700ppmになり、ビル管法の基準1000ppmを越える。外気ダンパー開の通常の換気条件の時1000ppmを切るが、別館より本館の方が汚染度が低い。

ＣＯ：測定範囲の下限界に近い低濃度であるため相対測定誤差も大きいと考えられるが、概ねビル管法の基準10ppm の２分の１以下であった。

浮遊粉塵：粒径分布は個数濃度では大部分が１μm以下で、２－５μmのものも20-100個／ℓ 存在した。Ｉ／Ｏ率から内部発生源が支配的であるが、本館の集塵機非作動時（７日午前）を除き、ビル管法の基準0.15mg/m以下であった。

二酸化窒素：昼間と夜間の差は約２倍であり、汚染度は環境基準濃度（0.06ppm)と同程度ないし1/2 であった。Ｉ／Ｏ率は１以下の場合が多く、外気の自動車排ガスの影響、内壁への吸着等が考えられる。

３　アンケート結果と測定値の相関

オフィス環境の総合的な空気質の快適（不快）度を量的に示す方法は確立されていないが、ここではアンケートで、総合的空気質を７段階に分けて得られた回答の各段階のパーセンテージと評価点(Table 2-4) との積の和を総合的空気質として評価を試みた(Table 2-5)。なおこのデータの質的欠点としては本館と別館でアンケート記入者と記入者数が異なる点、天候、室温（本館）がコントロール不十分である点等があげられる。この様にして算出した総合的空気質とCO_2 、ＣＯ、浮遊粉塵、センサ出力（TGSE701A）との相関を求めた。(Table 2-5) から浮遊粉塵のみがある程度相関性を示しているといえる。浮遊粉塵濃度をｙ（mg／m^3）、総合的空気質の評価点をｘとすると両者の関係は次式で示される。

$$y = -3.8x + 0.001$$

浮遊粉塵に相関性が認められた理由としては、光散乱式粉塵計（最大感度粒径：0.3 μm)で測定しているところから粒径分布の小さい煙草の煙の検出率が高いこと、喫煙時の生成物質にヒトが感応し易いことがあげられる

一方、Table2-3で各測定項目間の相関が高いにもかかわらずここでは浮遊粉塵のみ相関が得られたのはアンケートと測定値との対応数が少ない（Table2-3は在室してない夜間も含めた全時間帯の相関）ことによると推察される。

総合的空気質のモニタリング法を評価するために、アンケートは先にあげた点のほか、設問の仕方に検討を加え、さらに空気質のシフト幅がもっと大きとり、アンケート時間帯の濃度分布（とくに悪い環境の場合）の幅を小さくとる、アンケートタイミングを厳密にするなどして更に試行を繰返す必要があると考えられる。

なお、低濃度有機物の分析は横浜国大環境科学センターの花井義道氏により行われ、ガスセンサはフィガロ技研から提供を受けたものである。

Table 2-3 Cross correlationships between measurement values by a method and those by the others

TGS 813	2/1	0.96					
	2/2	0.87					
	2/3	0.88					
	全体	0.85					
TGS 800	2/1	0.93	0.98				
	2/2	0.84	0.98				
	2/3	0.89	0.99				
	全体	0.79	0.97				
TGSE 701N	2/1	0.91	0.95	0.93			
	2/2	0.86	0.91	0.90			
	2/3	0.94	0.96	0.97			
	全体	0.87	0.91	0.85			
Suspd part.	2/1	0.86	0.85	0.81	0.93		
	2/2	0.77	0.73	0.73	0.77		
	2/3	0.79	0.73	0.74	0.79		
	全体	0.55	0.58	0.65	0.51		
CO	2/1	0.98	0.93	0.91	0.90	0.87	
	2/2	0.93	0.89	0.87	0.96	0.78	
	2/3	0.98	0.93	0.94	0.98	0.82	
	全体	0.89	0.80	0.76	0.86	0.61	
CO_2	2/1	0.98	0.96	0.94	0.89	0.82	0.96
	2/2	0.99	0.86	0.83	0.86	0.74	0.93
	2/3	0.99	0.86	0.87	0.93	0.77	0.97
	全体	0.97	0.84	0.80	0.84	0.62	0.89
		TGS 203	TGS 813	TGS 800	TGSE 701N	Suspd. part.	CO

Table 2-5 Relationship between air quality and measurement values

Pollutant	Corren. coeffit.
Carbon dioxide	0.25
Carbon monoxide	0.04
Suspended particulate	-0.62
Total gaseous reductant	-0.15

Table 2-4 Marks of air quality and example of answer

	Grade	Mark	Answer
1	bracing	+3	0%
2	fairly good	+2	0
3	rather good	+1	2
4	neutral	0	14
5	rather bad	−1	36
6	fairly bad	−2	33
7	to avoide inhaling	−3	16

Answers at 16:00-17:00 in 6 Feb.

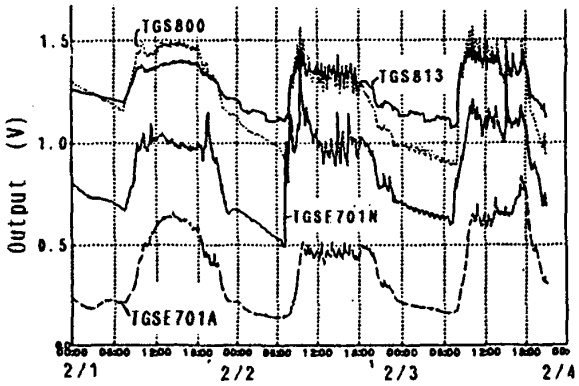

Fig. 2-3 Sensor outputs (Bekkan)

NII-Electronic Library Service