

居住環境における化学物質汚染

早 福 正 孝 杉 山 孝 一* 古明地 哲 人
(* 現大気保全部)

要 旨

化学物質による居住環境の汚染実態を明らかにするために、都内の6軒の家を対象に各1週間ずつ調査を行った。各調査宅では、室内と屋外の空気、及び居住者への暴露量をみるために居住者自身に空気サンプラーを取り付けて空気を採取した。その結果、次のことが明らかとなった。ホルムアルデヒドの平均的な室内濃度は屋外の約5倍であった。最高0.49 ppmという産業衛生許容濃度に匹敵する高濃度汚染の調査宅があった。ベンゼンは室内、屋外及び身体暴露について全ての調査宅で環境基準値を越えていた。

特異的な事例として、ドライクリーニング店の隣の調査宅では、高濃度のテトラクロロエチレンが検出された。この発生源に対し後に行政からの指導がなされた。

化学物質による平均的な身体への暴露は、室内濃度の約1.3倍であった。窒素酸化物濃度は、室内は屋外に比べNOが約1.4倍、NO₂が約1.1倍であった。NO_x中のNO₂の割合は、室内で33%、屋外で46%であった。気密性の高い部屋における濃度減衰をNOを指標にしてみると、最初の2時間で濃度は1/2になるが、その後の半減期は約4時間と見積もられ、換気扇使用の重要性が判明した。

キーワード：室内汚染、ホルムアルデヒド、ベンゼン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、窒素酸化物

Chemical Substances Pollution in Residential Environment

Masataka Soufuku, Kouichi Sugiyama* and Tetsuhito Komeiji
*Air Quality Prevention Division

Summary

To clarify the pollution realities of the residence environment with chemicals, we investigated each for one week, six houses in Tokyo.

Air samples were collected by installing an air sampler at each investigation house to see the amount of the exposure to body, the residence of the room and outdoor. As a result the following became clear.

The indoor concentration of formaldehyde in the investigation house of the high concentration pollution which equaled to industrial hygienically allowed concentration of 0.49 ppm or less. The average indoor to outdoor concentration was about 5 times. Benzene exceeded the environmental standard value in the room, and the body in all the investigation houses.

High concentration of tetrachloroethylene were detected as a peculiar example in the investigation house near the dry cleaning shop. Guidance from the administration was performed to this source.

The exposure of chemical substances to an average body was about 1.3 times the indoor concentration.

Regarding the concentration nitrogen oxides, NO and NO₂ in the room were about 1.4 and 1.1 times when compared with outdoor respectively. The ratio of NO₂ in NO_x was 33% in the room and was 46% in outdoor. The half life was estimated to be about four hours and the importance of the ventilation turned out the density attenuation in airtight room, though the density in the first two hours became 1/2 if NO was used as the index.

Keywords : indoor pollution, formaldehyde, benzene, tetrachloroethylene, trichloroethylene, nitrogen oxides

1 はじめに

現代の社会を構築しているのは、良きにつけ、悪しきにつけ化学物質と言っても過言ではない。化学物質無くしては現代の生活は成り立たないともいえるくらい、生活の隅々まで多種多様な化学物質が使用されている。しかし化学物質は、有用な側面を持つとともに、環境汚染の面で多くの問題があり、しかも年々新たな問題が明らかになってきている。人畜無害の、夢の化学物質とまでいわれてきたフロンも地球環境の立場から生産中止に追いやられた。有害大気汚染物質ということで平成8年度にベンゼン、トリクロロエチレン、及びテトラクロロエチレンの3物質が環境基準物質として指定された。こういった屋外の環境汚染に対し、室内の環境汚染、例えば住居、事務所、乗物内等の汚染問題が最近増え、その報告事例も年々増加している。¹⁾建物の中の汚染は、扉や窓の密閉性が向上するにつれ、そこに生活する者に大きな影響を与える可能性が高くなる。特に住居は睡眠時間を含めそこに生活している時間が最も長い。従ってその外部から室内へ流入して来る汚染物質や室内で発生している汚染物質は、常にその生活者に大きな影響を与える可能性を含んでいる。本報告は、室内、屋外及び生活者の3つの視点から上記環境基準物質等を中心に調査した結果である。

2 調査方法

(1) 採取方法

調査は、都内の一般的な住宅（木造あるいは鉄骨・鉄筋建て）で行った。室内空気の採取は居間と寝室を中心に2~3カ所行った。屋外は、調査宅のベランダのような場所に1カ所サンプラーを取り付けて行った。さらに、個人への化学物質の暴露レベルをみるために、住宅内だけでなく、外出中も衣類にサンプラーを取り付けた状態で日常生活をしてもらった。調査期間中は、調査ということで特別な生活パターンをとらずに普段どおりの生活

をしてもらった。調査項目と採取方法は、ホルムアルデヒドはパッシブサンプラー（柴田科学製）、芳香族炭化水素と有機塩素系化合物は活性炭入りパッシブサンプラー（柴田科学製）、窒素酸化物は化学発光式自動測定機（モニターラボ 8440 型）である。サンプラーは、1日単位で交換し、調査は原則として1週間実施した。

(2) 分析方法

分析は次の方法で行った。

ホルムアルデヒド：4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール吸光光度法（AHMT法）

芳香族炭化水素：水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ法

分析条件 カラム；5%SP-1200+Benton (Uniport HP) 80/100 mesh
内径3mm×長さ2m

(ガラスカラム)

ガス；N₂ 40 ml/min

温度；60℃ 3分保持後 100℃まで5℃/min昇温

有機塩素系化合物：電子捕獲型検出器付きガスクロマトグラフ法

分析条件 カラム；CHEMI NOT
内径3mm×長さ2m
(ガラスカラム)

ガス；N₂ 80 ml/min

温度；60℃

3 結果と考察

表1~3に、ホルムアルデヒド、芳香族炭化水素、及び有機塩素系化合物の調査期間中の室内、屋外及び身体暴露量の平均濃度と最高濃度及び室内/屋外と身体/室内の各比率を示す。

(1) ホルムアルデヒド

表1 ホルムアルデヒドの調査結果 (1996年度)

ホルムアルデヒド 単位: ppb(比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
調査期間	8/12-19	9/30-10/1	11/6-14	12/4-11	1/9-16	2/10-17	
室内平均	88.0	114	33.1	42.1	54.5	25.1	59.4
屋外平均	9.7	14.4	5.4	16.0	24.5	12.7	13.8
身体暴露平均	57.6	126	33.9	38.9	41.0	45.9	57.3
室内最高値	183	491	50.8	64.7	90.3	57.6	
屋外最高値	15.6	27.0	14.1	27.5	27.5	19.9	
身体暴露最高値	78.8	210	44.8	63.2	55.1	61.0	
室内/屋外比	9.1	7.9	6.1	2.6	2.2	2.0	5.0
身体/室内比	0.7	1.1	1.0	0.9	0.8	1.8	1.0

表2 芳香族炭化水素の調査結果

ベンゼン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
室内平均	4.5	6.3	5.2	8.0	31.7	4.9	10.1
屋外平均	3.8	6.3	6.3	10.1	6.3	5.2	6.3
身体暴露平均	5.6	6.3	6.3	9.8	82.9	5.9	19.4
室内最高値	10.1	9.4	10.8	14.3	318	6.6	
屋外最高値	6.6	8.7	11.1	19.2	10.4	7.0	
身体暴露最高値	8.4	8.4	10.1	15.7	513	11.1	
室内/屋外比	1.2	1.0	0.8	0.8	5.1	0.9	1.6
身体/室内比	1.2	1.0	1.2	1.2	2.6	1.2	1.4

トルエン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
室内平均	36.6	55.9	72.3	66.5	50.5	29.6	51.9
屋外平均	33.7	54.6	69.4	85.0	46.0	34.9	53.9
身体暴露平均	46.4	60.0	73.5	78.0	76.0	37.0	61.8
室内最高値	59.1	77.2	125	168	186	55.0	
屋外最高値	49.7	75.2	144	173	69.4	64.1	
身体暴露最高値	60.8	75.6	114	170	261	73.9	
室内/屋外比	1.1	1.0	1.0	0.8	1.1	0.8	1.0
身体/室内比	1.3	1.1	1.0	1.2	1.5	1.3	1.2

p, m-キシレン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
室内平均	15.6	17.0	16.6	22.2	27.0	18.5	19.5
屋外平均	12.8	15.1	16.6	26.5	18.0	14.7	17.3
身体暴露平均	21.3	17.0	18.5	25.6	43.5	18.9	24.1
室内最高値	40.2	22.7	24.6	36.4	96.5	45.4	
屋外最高値	18.0	21.8	27.4	48.7	26.0	17.5	
身体暴露最高値	27.0	20.8	25.1	34.5	163	39.8	
室内/屋外比	1.2	1.1	1.0	0.8	1.5	1.3	1.2
身体/室内比	1.4	1.0	1.1	1.1	1.6	1.0	1.2

o-キシレン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
室内平均	0.5	2.8	2.8	6.2	4.3	2.4	3.2
屋外平均	0.9	3.3	3.8	11.4	7.1	2.8	4.9
身体暴露平均	2.8	3.3	3.3	7.1	7.1	2.4	4.3
室内最高値	3.3	3.8	6.2	9.5	14.2	3.3	
屋外最高値	2.8	4.3	9.0	23.7	30.8	3.8	
身体暴露最高値	5.2	4.3	5.7	10.4	26.0	3.8	
室内/屋外比	0.5	0.9	0.8	0.5	0.6	0.8	0.7
身体/室内比	6.0	1.2	1.2	1.2	1.7	1.0	2.0

表3 有機塩素系化合物の調査結果

トリクロロエレン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
室内平均	51.0	105	57.5	168	81.5	16.4	80.0
屋外平均	45.2	101	55.1	290	77.4	21.7	98.4
身体暴露平均	52.8	106	49.3	185	72.2	15.3	80.1
室内最高値	74.5	199	112	276	104	59.5	
屋外最高値	54.6	146	106	727	120	54.3	
身体暴露最高値	75.1	156	59.4	276	80.0	24.1	
室内/屋外比	1.1	1.0	1.0	0.6	1.1	0.8	0.9
身体/室内比	1.0	1.0	0.9	1.1	0.9	0.9	1.0

テトラクロロエレン 単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (比)

調査宅	AK	SE	TY	KU(*)	SA	NA	総平均値
室内平均	30.4	11.8	12.6	8.6	12.6	5.2	14.5
屋外平均	18.5	13.3	12.6	12.2	9.6	3.7	11.5
身体暴露平均	24.4	13.3	11.1	8.9	12.6	7.4	13.8
室内最高値	41.5	25.1	19.0	13.0	17.0	11.8	
屋外最高値	25.2	19.3	27.1	17.6	15.5	7.2	
身体暴露最高値	38.5	17.8	16.7	11.5	18.9	12.0	
室内/屋外比	1.6	0.9	1.0	0.7	1.3	1.4	1.2
身体/室内比	0.8	1.1	0.9	1.0	1.0	1.4	1.0

(注)KU宅のテトラクロロエレンの濃度値は mg/m^3 である。
 テトラクロロエレンの総平均値はKU宅を除いて計算されている。

各成分の平均値では、KU宅のテトラクロロエチレンを除けば、ホルムアルデヒドが最も濃度が高い結果となっている。これは、従来から言われている室内汚染の典型である建築材、衣類関係からの寄与が他成分に比べ大きいと考えられる。現在化学物質等に対する室内汚染の基準は設定されていないが、日本産業衛生学会が1995年に許容濃度として勧告した0.5 ppmという値が²⁾ホルムアルデヒドにある。これは1日8時間、週40時間程度の労働時間中に、肉体的に激しくない労働に従事する場合の暴露濃度である。ホルムアルデヒドの調査結果をみると、室内及び身体の内総平均ではこの0.5 ppmの1/9程度の汚染であるが、SE宅では室内濃度の最高値が0.49 ppm という許容濃度に近い濃度であった。この発生場所は台所であった。1日単位の空気採取方法のため、1日の中の時間的な濃度変動は不明である。発生原因は不明であるが、換気扇の使用の徹底が必要である。

(2) 芳香族炭化水素

平成8年度に指定された化学物質の環境基準値(ベンゼン=3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トリクロロエチレン=0.2 mg/m^3 、テトラクロロエチレン=0.2 mg/m^3)と調査結果を比較すると、ベンゼンはどの調査宅の室内、屋外、及び身体暴露量は、いずれも基準値を越えた濃度となっている。環

境基準値は屋外の年平均値であるため、今回の調査結果とは単純な比較はできないが、一般の人の生活が屋外よりも室内にいる時間の方が多いため、室内濃度は少なくとも環境基準値より低いことが望ましい。通常ベンゼンを含んだ家庭用品類は少ないため、屋外からの汚染空気の影響が大きいと考えられる。

環境大気中では、芳香族炭化水素成分の中でトルエンが常に濃度が高いパターンを示す。今回の調査結果においても同様のパターンを示している。平均値と最高値から、ベンゼンはSA宅、トルエンはTY、KU、SA宅、キシレンはSA宅が濃度が高い。これらの成分に共通して高濃度を示しているのは、SA宅である。SA宅は鉄筋・鉄骨コンクリート建築団地の中の4階の住居で、自動車排ガスの影響を直接受ける可能性は少ない。これらの個々の成分は、溶剤として使用されることが多いため、これらを直接使用した家庭用品類の可能性は少ない。むしろこの住居は、建築後数年しか経過していないため建築材等からトルエンやキシレンが浸出してきた可能性³⁾がある。

(3) 有機塩素系化合物

ア テトラクロロエチレン

テトラクロロエチレンの濃度は、KU宅以外の平均濃

度は、環境基準値の約 1 / 15 というかなり低い結果であったが、KU宅のみは室内と身体暴露濃度の平均値で環境基準値の約 40 倍(約 8.8 mg/m³)、屋外で 55 倍(12.2 mg/m³) という強度の汚染を示している。KU宅は隣がクリーニング店で、クリーニングに使用するテトラクロロエチレンの排出ガスの影響を受けた結果となっている。室内汚染のパターンとして、室内に汚染源を持つものと、外部からの汚染物質流入によるものとの二つに大別できるが、今回の場合は典型的な後者のパターンといえる。ホルムアルデヒドの場合と同様に、1 日の中の時間的な濃度変動は不明であるが、夜間は営業活動が下がることを考慮すると、実質的な日中の汚染はかなりの高濃度といえる。調査期間中は、連日高濃度であった。これは、排出除去装置が付いていないか、あるいは付いていても除去効果が低下している結果、外部に高濃度のガスを排出しているものと思われる。労働環境の改善さらに外部の環境改善の立場から、岩崎ら⁴⁾が報告しているようにクリーニング用の溶剤を、例えばn-デカンやn-ウンデカンといった溶剤に転換することが望まれる。この発生源については、この後行政からの指導が行われた。

イ トリクロロエチレン

トリクロロエチレンの室内の平均濃度は身体暴露濃度とほぼ同じ 80 μg/m³で、環境基準値の 1 / 3 程度である。しかし、テトラクロロエチレンと同様にトリクロロエチレンもKU宅のみが、他の調査宅に比べ際立って濃度が高い結果となっている。屋外の最高濃度も 0.73 mg/m³ という非常に高い濃度となっている。本来、ドライクリーニングではテトラクロロエチレンに比べればトリクロロエチレンの用途は少ないが、KU宅の高濃度のトリクロロエチレンの発生源は隣の店の可能性が高い。

(4) 室内と屋外の濃度差

屋外から室内への影響をみるために各平均値の室内/屋外の比、室内の汚染と身体との関係を知るために身体/室内の比を求め、総平均値の比較したのが図 1 である。室内/屋外比は、1.0 前後の成分が多いが、ホルムアルデヒドの室内汚染は屋外の約 5 倍もある結果となった。中でもAK宅は約 9 倍、SE宅は約 8 倍という非常に高い汚染レベルで、室内に大きな発生量をもつものがあることを伺わせる。

居住者に対する室内と屋外からの合計された化学物質の暴露量をみるためにサンプラーを常に携帯してもらっ

た。各対象者は調査期間中買い物等で外出はするが、家にいる時間の方が多かった。従って、対象者は屋外よりも室内の影響を強く受けていると判断できる。その結果

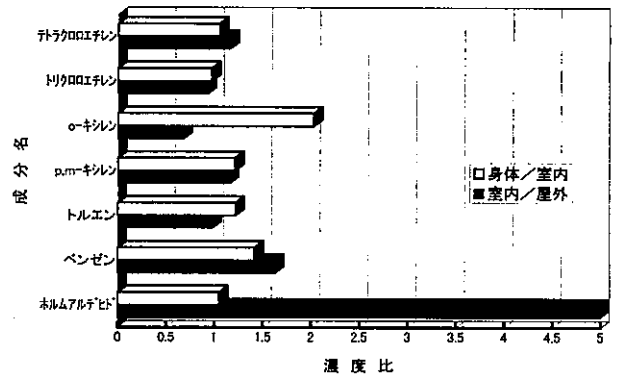


図 1 成分別 身体/室内比と室内/屋外比

図 1 に示している 7 成分の身体/室内比の平均は約 1.3 倍である。つまり、対象者は室内の汚染より高濃度の化学物質の暴露を受けていたことになる。対象者は、調査対象の部屋以外にも常に出入りしているわけであるから、他にもっと高濃度の汚染された部屋が製品からの影響を受けている可能性があることを示唆している。

表 4 は室内と外における NO、NO₂ の調査期間中の平均値と最高値を示し、さらに NO、NO₂ の室内/屋外比及び室内、屋外における NO_x (=NO+NO₂) 中に占める NO₂ の割合を示している。測定は 1 時間毎に室内と屋外を交互に、電磁弁の切替えて行った。機器の不調で屋外のデータが欠けている調査宅もある。NO₂ の環境基準値は 0.04~0.06ppm である。平均値では SE 宅が室内も屋外も 0.04ppm を越えているだけであるが、最高値はほとんどの調査宅で基準値の 0.04ppm を越えた結果になっている。

NO と NO₂ のそれぞれの室内/屋外比をみると、NO は室内は屋外の平均 1.4 倍の汚染で、NO₂ は 1.1 倍の汚染である。これは、厨房のガス器具の使用が各部屋に影響を及ぼしているとみてよい。次に、室内と屋外のそれぞれの NO_x 中の NO₂ の割合をみると、夏~秋は比が高いが、冬季はかなり低い。総平均値では、NO_x 中の NO₂ の割合は室内で 33%、外では 46% である。一般環境では温度が高く紫外線量の多い季節には NO から NO₂ への酸化反応が早いため、夏~秋に NO₂ 比が高くなる。従って室内より紫外線量が多い屋外の方が酸化反応が進みやすいため、屋外の NO₂ 比の方が高くなった考えら

表4 窒素酸化物の調査結果

単位:ppb(比)

		調査宅	AK	SE	TY	KU	SA	NA	総平均値
平均値	室内	NO	6	51	41	70	138	37	57
	室内	NO ₂	13	41	13	9	25	20	20
	屋外	NO	5	61	—	—	64	—	43
	屋外	NO ₂	12	28	—	—	38	—	26
最高値	室内	NO	50	225	150	225	493	128	
	室内	NO ₂	45	82	49	49	87	67	
	屋外	NO	25	275	—	—	260	—	
	屋外	NO ₂	31	80	—	—	116	—	
比率	室内/屋外比	NO/NO	1.2	0.8	—	—	2.2	—	1.4
	室内/屋外比	NO ₂ /NO ₂	1.1	1.5	—	—	0.7	—	1.1
	室内	NO ₂ /NO _x	0.68	0.44	0.24	0.11	0.15	0.35	0.33
	屋外	NO ₂ /NO _x	0.71	0.31	—	—	0.37	—	0.46

—:未測定

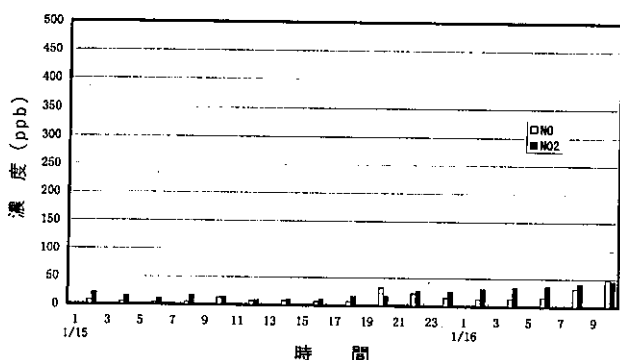


図2 屋外空気のNO, NO₂ (SA宅)

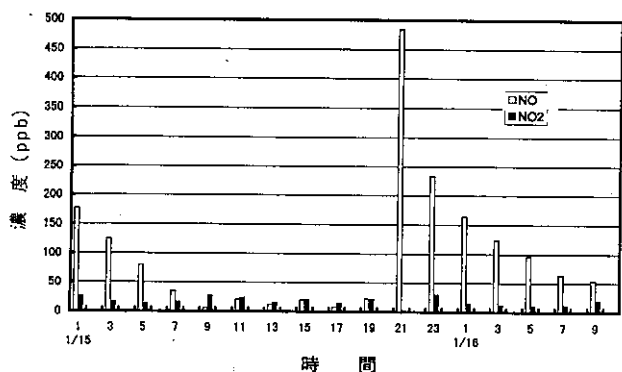


図3 室内空気のNO, NO₂ (SA宅)

れる。大気汚染常時測定局の測定結果ではNO₂/NO_x比は約0.6 (平成6年度平均) である。⁵⁾

(5) 暖房用ストーブの影響

総平均値のNO_xでは室内は屋外の約1.1倍の汚染レベルである。調査宅の中ではSA宅が最も汚染が高い。これは調査が冬季であったため、暖房用都市ガスストーブの使用による濃度上昇への寄与が大きい。図2と3にSA宅の室内と外の濃度の経時変化の例を示す。この調査宅では日中は日当たりが良いためあまりストーブは使用せ

ず、夜に使用することが多い。点火後間もなく室内の濃度は最高濃度に達する。その後就寝のため消火することにより、濃度は最初の2時間近くで1/2に低下するが、それ以降の半減期は約4時間の緩やかな減少傾向となる。これは、他の化学物質についても同様の傾向があると推測できる。アルミサッシのガラス戸であるため、気密性が高いことが濃度低下を遅らせている原因となっている。日本は高湿度であるため結露を防ぐには、気密性の高い部屋では換気扇が各部屋に必要なが、汚染空気の濃度を早く低下させるためにも必要であろう。

今回の調査対象物質から、テトラクロロエチレンの特異的事例を除くと、室内汚染として注目される物質は、ホルムアルデヒドとベンゼンである。これらの物質の低減には、ホルムアルデヒドの不使用建材・製品類の開発と大気環境中のベンゼンの低下が不可欠といえる。

4 まとめ

化学物質による居住環境の汚染について6軒の家を対象に室内、屋外、身体について各1週間ずつ調査した結果、次のことが明らかとなった。

- ①ホルムアルデヒドの平均的室内濃度は、日本産業衛生学会が勧告した労働暴露許容濃度(0.5 ppm)の約1/9の濃度であったが、許容濃度に匹敵する0.49 ppmを示した調査宅があった。
- ②ベンゼンは、室内、屋外、身体について全ての調査宅で、環境基準値を越えていた。
- ③ドライクリーニング店の隣家の調査宅で、テトラクロロエチレンの室内と身体の前平均値が環境基準値の約40倍(約8.8 mg/m³)で、屋外で約55倍(12.2 mg/m³)という高濃度を検出した。ト

リクロロエチレンについても他の調査宅に比べ高い濃度であった。この発生源に対しては、この後行政側から指導が行われた。

④室内の汚染と外の汚染との比較から、ホルムアルデヒドの平均的な室内汚染は屋外の約5倍であった。調査宅によっては8～9倍の高濃度汚染があった。

⑤身体の汚染と室内の汚染との比較から、身体の平均的暴露は室内汚染の約1.3倍であった。

⑥NOは、室内が屋外に対して平均約1.4倍、NO₂は約1.1倍の汚染であった。

⑦NO_x中のNO₂の割合は、室内で33%、屋外で46%であった。

⑧気密性の高いアルミサッシ戸の部屋における濃度減衰をNOを指標にしてみると、最初の2時間で濃度は1/2になるが、その後の半減期は約4時間と見積もられ、汚染濃度を早く低下させるためには換気扇の使用が重要である。

引用文献

- 1) 例えば、松下秀鶴：室内汚染、季刊化学総説、日本化学会編 学会出版センター No.29、p.156-173 (1996)
- 2) 日本産業衛生学会：許容濃度の勧告(1995)、産業衛生学会誌 11、p.259-300 (1995)
- 3) 陳 永紅ら：建材による室内空気汚染、第35回大気汚染学会講演要旨集、p.439 (1994)
- 4) 岩崎好陽ら：ドライクリーニングにおける溶剤対策の検討、東京都環境科学研究所年報 1993、p.171-173
- 5) 東京都環境保全局：大気汚染常時測定局測定結果報告(平成6年度年報)、p.414.