

# 地下街における VOC の状況に関する研究

## Research on situation of VOC in Underground Shopping Malls

J06066-3 田中 祐介

### Abstract

As for the underground shopping malls, management criteria by the building hygiene method have been established as well as the building on the ground. However, it is wandered that the underground malls in the central part of cites is disadvantageous by its own location for indoor air quality. On this study, VOCs are investigated by measuring actual condition of underground malls, and it has been clarified that the Toluene and TVOC exceed the regulated value.

Keywords : 地下街 (underground shopping mall) 揮発性有機化合物 (VOCs) 総揮発性有機化合物(TVOC)

### 1. 背景・目的

都市部を中心に建設され、店舗や公共歩道など多用途に亘って利用されている地下街は、その用途の多様性という側面のほか、立地上の問題から給排気設備を交通量の多い道路付近に設置しなければいけない、自然換気が得られにくい等の理由で、地上に存在する建築物と比べて良好な空気環境の維持が困難であると考えられる。地下街の空気環境の実態把握は、昨年度の鈴木による「地下街におけるガス状汚染物質の実態把握」<sup>1)</sup>によって行われ、規定された基準値に対して一部の超過が確認されたが、測定が冬季の一回のみであったためデータが十分であるとは言えず、継続してデータの蓄積が必要であった。

本研究は、昨年度の調査に続き全国主要6都市における空気環境の実測調査を行い、シックハウス症候群の原因物質であることが知られている揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds、以下 VOC) について、目標値を示した環境基本法及び厚生労働省の室内環境指針値を主な評価の基準として空気環境の考察を行った。

### 2. 実測調査概要

#### 2. 1 調査概要

本研究では、2009年の夏季から冬季にかけて地下街(東京、神奈川、北海道、福岡、愛知、大阪の計6ヶ所)の実測地で、屋内外の2定点における連続測定を8時間にわたって行った(ただし、機器の搬入の関係で8時間に達しない実測地も存在する)各実測地について表1に調査概要を、表2に建物概要を示す。

#### 2. 2 評価対象物質

本研究では、室内の汚染度の指標となるCO、CO<sub>2</sub>に加え、VOCについて目標値を明記している環境基本法の4項目と厚生労働省室内環境指針値9項目、計13項目の化学物質を空気環境評価の対象物質とした。表3に環境基本法4項目を、表4に厚生労働省室内環境指針値9項目を各々示す。

表1 調査概要

名称	所在地	調査日	測定時間	天候
a'	東京	2008.11.28	10:00-18:00	雨/晴
a		2009.08.11	10:30-18:00	晴
b	神奈川	2009.11.13	10:00-18:00	曇/雨
c	北海道	2009.11.26	10:00-18:00	曇
d	福岡	2009.12.04	10:30-18:00	晴
e	愛知	2009.12.09	10:00-18:00	晴
f	大阪	2009.12.10	10:00-18:00	曇

表2 建物概要

名称	竣工年	延床面積[m <sup>2</sup> ]	空調方式	換気方式
a	1965	29,035	全体制御 PAC FCU	AHU OHU HEX
b	1986	56,916	全体制御 PAC FCU	AHU OHU HEX
c	1971	33,645	全体制御	OHU
d	1976	53,300	全体制御 FCU	AHU
e	1978	54,838	全体制御 ゾーン制御 FCU	AHU
f	1970	37,881	全体制御	AHU OHU FCU

表3 環境基本法4項目

物質名	環境上の条件
ベンゼン	1年平均が 3.0 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 以下であること
トリクロロエチレン	1年平均が 200 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 以下であること
テトラクロロエチレン	1年平均が 200 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 以下であること
ジクロロメタン	1年平均が 150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 以下であること

表4 厚生労働省室内環境指針9項目

物質名	指針値 [ $\mu$ g/m <sup>3</sup> ]	主な発生源
ホルムアルデヒド	100	接着剤、防腐剤
アセトアルデヒド	48	接着剤、防腐剤
トルエン	260	自動車、接着剤、塗料の溶剤
キシレン	870	自動車、接着剤、塗料の溶剤等
パラジクロロベンゼン	240	防虫剤、芳香剤
エチルベンゼン	3800	自動車、塗料の溶剤
スチレン	220	断熱材
テトラデカン	330	灯油、塗料の溶剤
TVOC(暫定目標値)	400	—

### 3. 測定結果

図1にCO濃度、図2にCO<sub>2</sub>濃度の測定結果をそれぞれ示す。建築物衛生法では基準値として、COは10ppm、CO<sub>2</sub>は1000ppmと定められているが、何れの実測地でも超過していないことが確認できる。表5に対象とした13項目のVOC測定結果とI/O比(Indoor/Outdoor比、数値が1.0以上であれば室内での発生が考えられ、高くなるほど室内側の汚染の度合いが強いことを示す)を示し、以下に各規定での目標値の超過の有無を示す。

#### 3.1 環境基本法4項目

ベンゼンについてのみ基準値の超過があった(ただし、ベンゼンについては検出器の特性により実際の濃度より低い値を示したため、現実では表中の値よりも更に高いと考えられる)基準値を超えたのは実測地b,c,d,e,fの5都市で、何れも定められた1年平均を大きく上回っていたことから、空気環境の維持について問題があった可能性があった。

#### 3.3 厚生労働省室内環境指針値9項目

評価対象とした9項目のうち、個々のVOCについては何れも指針値を超過することはなかったが、総揮発性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds、検出されたVOCの総和、VOCを総合的に指標化する尺度として用いられる、以下TVOC)の値について、実測地b及びcで暫定目標値の超過が確認された。

### 4. 地下街のVOCの実態

#### 4.1 BTEX濃度

BTEXとは、ガソリンに含まれるVOCであるベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレンの頭文字を表し、自動車による大気汚染の指標として用いられる。BTEXの健康影響としては、大量曝露による中枢神経系への悪影響が指摘されている。図3に内外のBTEX濃度の相関を示す。

室内のBTEXの検出量は、図3から屋外の濃度と相関関係があることが確認できる。このことから、各実測地において内部で検出されたBTEXは外部を走行する自動車由来のものが流入した可能性が高く、これは、空気環境の良好でない道路脇に給排気口を設けなければならない地下街の特徴であると考えられる。また、特にBTEXの数値が高かった実測地の特徴として、連絡口に扉などの空間を隔てる仕切りが存在しないことが挙げられ、この傾向は実測地b、d、fにみられた。これらの実測地では、空調設備以外に、連絡口からの直接の流入が多かった可能性が高い。

#### 4.2 その他のVOC

実測調査で検出されたBTEX以外のVOCについての考察を以下の[1]～[7]に示す。また、図4、図5に各VOCのI/O比を各々示す。

##### [1] トリクロロエチレン

実測地b及びfでのみ検出された。発生源としては、電子部品や羊毛、革製品の脱脂洗浄剤が知られており、検出が確認された2都市の定点測定地点付近に衣料品売り場が存在したことから、店舗や通行人の着衣から発生したものが検出された可能性が高い。

##### [2] テトラクロロエチレン

トリクロロエチレンと同じく実測地b及びfで発生が確認されたが、大阪については外気の影響が強かった。発生源もトリクロロエチレンと同様に、衣料品等に使用する脱脂洗浄剤であることが知られているため、実測地bについては定点測定地付近の衣料品売り場であった可能性が高いが、発生源が外部と考えられる実測地fでの発生源については特定するまでには至らなかった。

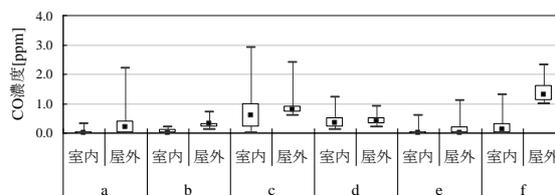


図1 CO濃度

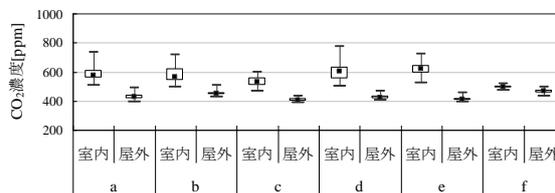


図2 CO<sub>2</sub>濃度

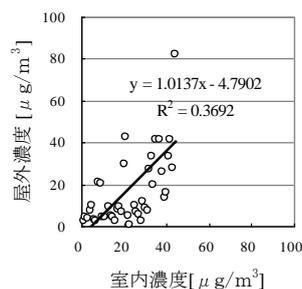


図3 内外のBTEX濃度の相関

表5 VOCの測定結果とI/O比

物質名	濃度[μg/m <sup>3</sup> ] <sup>*)</sup>																	
	実測地a		実測地b		実測地c		実測地d		実測地e		実測地f							
	室内	屋外	I/O比	室内	屋外	I/O比	室内	屋外	I/O比	室内	屋外	I/O比	室内	屋外	I/O比			
ベンゼン	ND	ND	—	19.4	2.6	7.5	22.5	4.0	5.7	1.3	8.6	0.2	10.5	2.8	3.8	12.3	20.9	0.6
トリクロロエチレン	ND	ND	—	5.1	3.3	1.5	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	3.5	ND	—
テトラクロロエチレン	ND	ND	—	1.7	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	0.8	2.0	0.4
ジクロロメタン	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—	ND	ND	—
ホルムアルデヒド	11.3	7.4	1.5	7.6	4.5	1.7	6.4	6.1	1.0	5.2	4.5	1.1	7.1	4.0	1.8	8.1	8.1	1.0
アセトアルデヒド	11.0	6.5	1.7	4.5	3.4	1.3	5.4	5.0	1.1	4.0	2.4	1.6	10.6	2.7	4.0	6.3	5.8	1.1
トルエン	34.2	30.6	1.1	155.4	41.1	3.8	66.4	19.7	3.4	120.2	24.8	4.8	99.7	34.6	2.9	113.1	97.9	1.2
キシレン	10.6	2.7	3.9	33.0	9.6	3.4	18.2	6.2	2.9	7.8	7.2	1.1	27.3	8.0	3.4	17.1	30.1	0.6
パラジクロロベンゼン	11.1	1.9	5.8	16.0	3.4	4.7	1.6	ND	—	3.9	ND	—	1.8	ND	—	3.3	2.7	1.2
エチルベンゼン	6.6	4.7	1.4	34.7	9.1	3.8	10.9	4.7	2.3	6.6	5.5	1.2	32.8	8.1	4.1	18.4	36.3	0.5
スチレン	4.1	2.0	2.1	12.5	3.8	3.3	7.5	2.2	3.4	3.5	1.8	2.0	9.7	2.7	3.6	7.0	12.4	0.6
テトラデカン	4.5	1.3	3.5	2.1	0.8	2.6	2.8	0.3	9.3	3.3	1.5	2.2	4.4	0.9	4.8	4.0	1.9	2.1
TVOC	243.7	105.0	2.3	678.2	132.3	5.1	333.5	98.5	3.4	258.0	87.0	3.0	407.7	112.0	3.6	359.3	365.5	1.0

\*):着色部は目標値の超過

### [3] ホルムアルデヒド

すべての実測地で、概ねI/O比が1.0以上であり、室内側で発生していることが判った。発生源には、室内では建材用の接着剤、屋外では自動車の燃焼機関であることが知られているため、規制が強化された現在でも多くの実測地で接着剤から発生していたものと考えられる。

### [4] アセトアルデヒド

I/O比は概ね1.0を超過しており、室内で発生していた可能性が高い。ホルムアルデヒドの代替品である接着剤が発生源であったと考えられる。

### [5] パラジクロロベンゼン

屋外での検出は少なく、主に室内でのみ検出された。防臭剤や殺虫剤といった化学製品が発生源として知られており、付近の店舗での使用や通行者の衣類からの飛散が発生の可能性として挙げられる。パラジクロロベンゼンの検出は実測地a及びbで多く、定点測定地点付近に衣料品売り場があったことから、店舗から発生したことが推察される。

### [6] スチレン

室内側から多く検出されることが多かった。合成樹脂塗料、スチレンを原料とする断熱材や内装材から発生した可能性がある。

### [7] テトラデカン

全実測地で室内側からの発生であったことが判った。室内での溶剤から揮発が主な発生の原因であると考えられる。

### [8] TVOC

VOCを総合的にみたととき、ほとんどの実測地で室内側での発生が多かったことを確認できたが、実測地fでは発生源が屋外である物質が多く、外気への依存が高かったことが分かる。

### 4.3 VOCの官能基別分類

検出されるVOCの種類は非常に多く、個々の物質による健康影響評価を行うことは大変難しいため、VOCを同じ特性を持つグループに分ける官能基別分類による評価は空気環境の検証に対して大変有効である。ここで、図6にVOCの官能基別濃度を示す。

実測調査を行った全都市で、図6より芳香族炭化水素類が目立って検出されたことが判る。芳香族炭化水素は化石燃料の燃焼に伴い生成することが知られ、その他にも石油製品中に含まれるなど、多様な発生源をもつ物質である。芳香族の値に対して特に顕著な数値を示した実測地bでは、個々のVOCにおいて、自動車由来と考えられるBTEXの検出量が他の実測地より目立って多かったため、室内で検出されたVOCは自動車の排気ガスによるものが多くを占めていた可能性がある。その他の実測地について、BTEXの検出量が少なかった場所でも芳香族炭化水素の濃度比率は高いことが確認され、この場合は建築物内の溶剤や接着剤が主な発生源であったと考えられる。

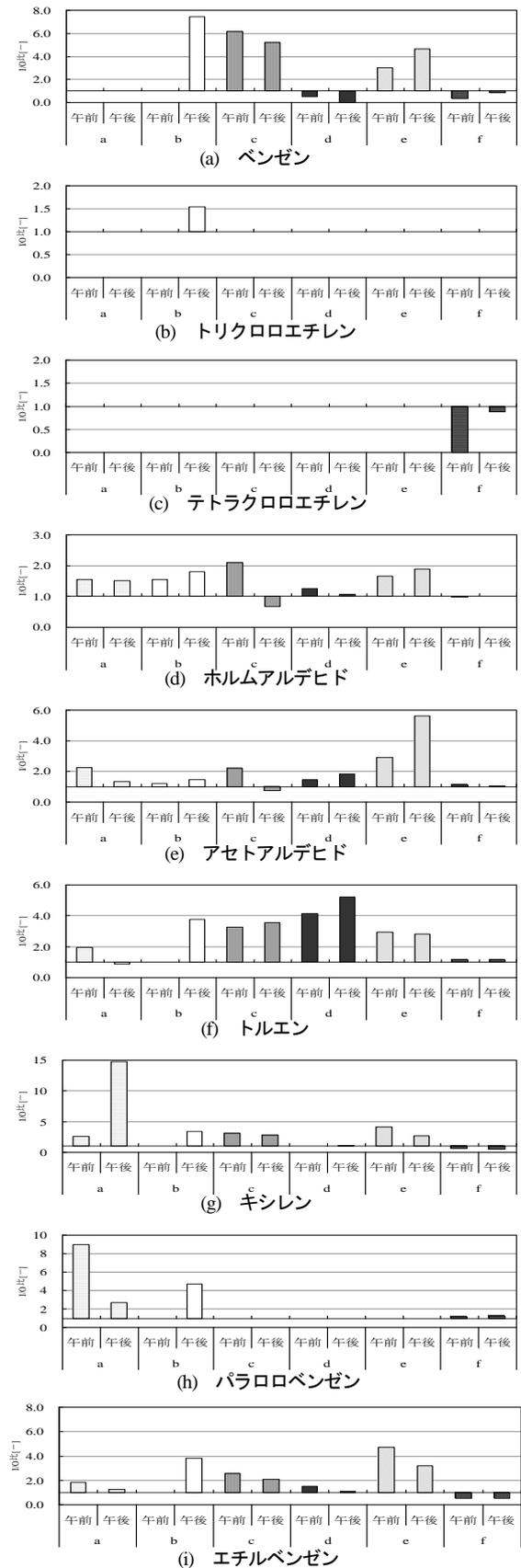


図4 VOCのI/O比 その1

#### 4. 4 季節間の比較

実測地 a において昨年度の冬季に行った結果と、本研究で得られた結果の比較を行う。図 7(a)~(c)に実測地 a における夏季と冬季の比較を示す。

一般的に VOC 等のガス状汚染物質の発生量は、温度の高い夏季の方が高くなる傾向にあるが、TVOC の値では冬季の方が高濃度であった。CO、CO<sub>2</sub> の I/O 比は冬季の方が高かったため、室内の換気量に差が生じていたと推察できる。官能基別 VOC 濃度からは、特に芳香族炭化水素類が冬季における室内の TVOC 濃度を引き上げていることが判るため、芳香族に分類される自動車由来の VOC の排出量の差が、季節間による室内での TVOC 濃度に差を与えた可能性がある。また、冬季の実測では通行人の着衣量が多く、冬物衣料を身に着ける人も多かったため、衣料品に付着した防虫剤や消臭剤等の化学薬品が検出された可能性も考えられる。

#### 5. まとめ

本研究で空気環境を検証する指標として使用した VOC の見地から述べると、室内の空気環境は実測地ごとの空調方式や機器の仕様由来した差異は現れず、平面計画や立地条件に影響されることが判った。このうち、施設の平面計画による傾向として、外部との連絡口に内外を隔てる仕切りが無く、常時外気の流入が許されていた実測地では、発生が自動車に起因すると思われる汚染物質の室内濃度が高かった。

官能基別分類による室内 TVOC 濃度の内訳でも、自動車から発生する汚染物質を含む項目が全体的に多くを占めていることが確認でき、先述の特徴の有無にかかわらず、自動車由来と思われる汚染物質が室内に流入することは地下街という特殊な立地地下にある建築物の特徴であるといえる。

以上のことから、地下街の空気環境を向上させるためには、内外の連絡口で汚染物質の流入を防ぎ、かつ内部で滞留を起こさないため換気性能を向上させる等の措置が必要である。

#### 6. 今後の課題

本研究では、環境基本法と厚生労働省の室内環境指針値について、それぞれベンゼンの基準値と TVOC の暫定目標値の超過が確認されたため、継続して調査をし、より多くのデータを蓄積する必要がある。

##### 【参考文献】

- 鈴木淳：地下街におけるガス状汚染物質の実態調査、2008 年芝浦工業大学学士論文
- 日本建築学会：シックハウスを防ぐ最新知識～健康な住まいづくりのために～、日本建築学会、2005 年 3 月 pp.102-107
- 永吉敬行他：病院における空気環境調査 その 2 ガス状物質の実態調査、第 25 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、2007.4.12-4.13、pp.193-195

##### 【謝辞】

本研究は、平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学研究事業）「建築物の特性を考慮した環境特性管理に関する研究（代表：大澤元毅）」によって行った。記してここに感謝の意を表す。

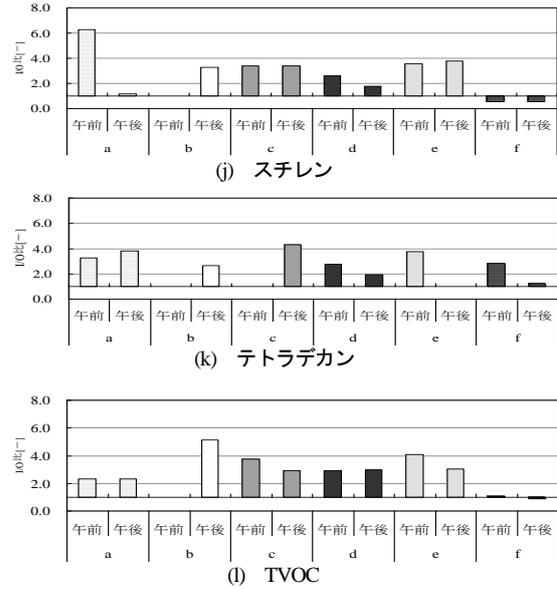


図5 VOC の I/O 比 その2

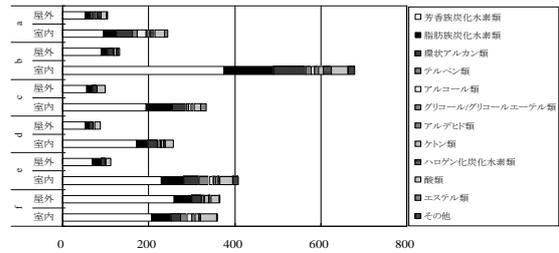
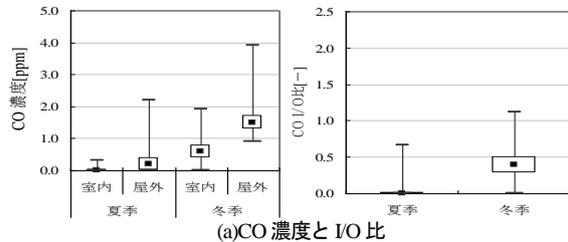
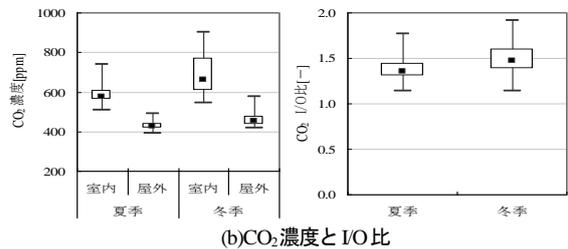


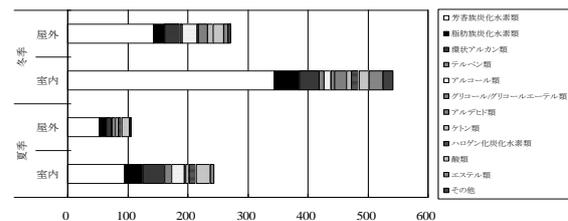
図6 VOC の官能基別濃度



(a)CO 濃度と I/O 比



(b)CO<sub>2</sub> 濃度と I/O 比



(c)VOC の官能基別分類

図7 夏季と冬季の比較

