室内環境条件下における材料から放散される準揮発性有機化合物測定に関する
マイクロチャンバー法の性能評価STUDY ON MEASUREMENT OF DI-2-ETHYLHEXYL PHTHALATE FROM
BUILDING PRODUCTS BY MICRO CHAMBER METHOD

星野邦広*, 加藤信介**, 安宅勇二***

Kunihiro HOSHINO, Shinsuke KATO and Yuji ATAKA

It is examined as a standard for the Micro chamber method to measure SVOC emitted from building materials. DEHP is classified as SVOC and widely used as plasticizers in polyvinyl chloride (PVC). The indoor guideline of the Japan Ministry of Health, Labour and Welfare for DEHP was set at $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In this study, the authors measured DEHP emitted from PVC wallpaper and flooring using the Micro chamber method. And we evaluated various experiments concerning this method. In these experiments we found that the silylation of the internal chamber surface was effectively in the measurement of SVOC emitted.

Keywords: SVOC, DEHP, Emission Rate, TDC method, Micro chamber method

準揮発性有機化合物, ジ-2-エチルヘキシルフタレート, 放散速度,
チャンバー内吸着-加熱脱着法, マイクロチャンバー法

1. はじめに

塩化ビニル樹脂系を代表とする建築材料には一般的に可塑剤としてフタル酸エステル類が含有されている。フタル酸エステル類は準揮発性有機化合物(SVOC: Semi-Volatile Organic Compounds)に定義され、その中でもフタル酸ジブチル(DBP: Di-butyl phthalate)とフタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP: Di-2-ethylhexyl phthalate)は厚生労働省から室内濃度指針値が示されている¹⁾。

これらの物質は建材・内装材以外の材料からも放散されており、各種材料から放散するSVOCを測定する必要性と要望が高まっている。SVOCは240~260℃から380~400℃の沸点範囲を持つため²⁾、JIS A 1901の小形チャンバー法³⁾を始めとしたテストチャンバー法ではSVOC成分がチャンバー内壁に吸着されてしまう。従って、これらのテストチャンバー法でSVOCの正確な放散量を求めることが極めて困難である。そこで著者らは建築材料を始めとした各種材料からのSVOC放散速度を測定するチャンバー内吸着-加熱脱着法(Thermal Desorption Test Chamber method: TDC method)を開発し、様々な材料の測定を行い報告している⁴⁻⁹⁾。

以上の背景から現在、建築材料からのSVOC放散測定方法の標準化としてTDC methodをベースとした「マイクロチャンバー法」が検討されている¹⁰⁾。この標準化が行われることにより、マイクロチャンバー法によるSVOC放散測定が多く利用されると考えられる。そこで本研究ではマイクロチャンバー法の性能評価を研究目的とした。

一般的にテストチャンバー法においては温度、相対湿度、換気回数、試料負荷率が性能に関与するが、本研究においてはマイクロチャンバー法を実施するに当たり、測定精度と測定再現性に大きく関わると思われる4項目すなわち、バックグラウンド、回収率、検量線の作成、マイクロチャンバー内面処理効果に関して検討を行い、その結果を報告する。

また、実試料測定として、塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートから放散するDEHPの測定を実施し再現性の確認を行い、実試料に対するマイクロチャンバー法の測定精度の確認を行うと同時に、マイクロチャンバーと試験体とのシール性確認も行ったのでその結果についても報告する。

2. マイクロチャンバー法の概要

図1にマイクロチャンバー法概念図を示す。この手法は室内環境条件下(28℃, RH50%)で放散するSVOCをチャンバー内壁に吸着させる工程(24時間)(以下SVOC吸着工程)とチャンバー内壁に吸着したSVOC成分を加熱脱着する工程(以下SVOC加熱脱着工程)から構成される。SVOC吸着工程においてもチャンバー出口に捕集管を取り付け、試験体表面から放散する化学物質を捕集する。この工程において捕集管に捕集される化学物質は超揮発性有機化合物(VVOC: Very Volatile Organic Compounds)や揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)が主となり、SVOCはほ

* ジーエルサイエンス(株)

** 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*** 吉野石膏(株) 博士(工学)

GL Sciences Inc.

Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Yoshino Gypsum Co., Ltd., Ph. D.

とんどチャンパー内壁に吸着することになる。その後のSVOC加熱脱着工程では、試験体を取り出した空のチャンパーにHeもしくはN₂等の不活性ガスの供給を行いながら高温加熱し(200~220℃)、チャンパー内壁に吸着したSVOCなどの高沸点有機化合物成分を加熱脱着させ、捕集管に捕集する。ここで、図1に記載しているように、両工程とも供給ガスとチャンパー入口の間にベントラインを設け、供給ガス流量を捕集流量より多く流し余分なガスはベントラインから放出することで、チャンパー内を大気圧に保ちながら外気との換気を防ぐ工夫をしている。

その後、各捕集管をサーマルディソープションーガスクロマトグラフ質量分析計(TD-GC/MS)等で分析する。これら一連の測定から室内環境条件下における材料からのSVOC放散速度(24時間平均)を求める。

また、マイクロチャンパー法で使用するチャンパーは加熱脱着時に吸着成分の分解が起きにくいガラス製や石英製などの材質を使用し、さらにチャンパー内面をシラン処理することが有効である。図2にマイクロチャンパーの概要を示す。マイクロチャンパーの形状は内寸φ82×H120mm、容積は約630mlの円筒形状である。

室内環境条件下で放散するSVOCをチャンパー内壁に吸着させる工程(24時間捕集)

チャンパー内壁に吸着したSVOCを加熱脱着させる工程

図1 マイクロチャンパー法概念図

図2 マイクロチャンパー概要

3. マイクロチャンパー法の評価

マイクロチャンパー法の測定精度と測定再現性に大きく関わるバックグラウンド、回収率、検量線の作成、マイクロチャンパー内面処理効果に関して検討を行った。

3.1 測定条件

表1、表2、表3に各工程の測定条件およびTD-GC/MS分析条件を示す。

SVOC吸着工程は約28℃に設定された低温恒温器LTI-400E(東京理化学機(株))内にマイクロチャンパーを設置し、RH50%に加湿した清浄空気をチャンパーに24時間通気する。また、それと同時に放散ガスをTenax TA捕集管に捕集する。捕集用のサンプリングポンプにはSP208-100Dual(ジーエルサイエンス(株))を使用した。

次にチャンパー内壁に吸着したSVOC加熱脱着工程では試験体をチャンパーから取り外した後、空のチャンパーを発生ガス濃縮導入装置MSTD258M-B(ジーエルサイエンス(株))に設置する。Heをチャンパーに供給しながら、室温で30分間換気を行った後、200℃まで加熱し、脱着されるSVOC成分をTenax TA捕集管に捕集する。各工程で捕集を行ったTenax TA捕集管は、加熱脱着(TD)オートサンプラーTMD253H(ジーエルサイエンス(株))に取り付け、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)QP2010(島津製作所)にて分析を行う。分析結果から各試験体からのSVOC成分の放散速度を求める。

表1 SVOC成分吸着工程測定条件

チャンパー材質・体積	ガラス: $6.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (内寸φ82×H120mm)
供給空気湿度	RH50±5%
温度	28℃
捕集流量(換気量)	15ml/min
換気回数(N)	1.43 h^{-1}
測定表面	φ82mm
ローディングファクター(L)	$8.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$
N/L	0.17
放散ガス捕集量	21.6L (15ml/min×24h)
捕集剤	Tenax TA, mesh25/35, 100mg

表2 SVOC成分加熱脱着工程測定条件

発生ガス濃縮導入装置	MSTD258M-B (ジーエルサイエンス)
チャンパー加熱脱着温度	30℃(30min)→200℃(30min) Rate11.3℃/min
供給ガス流量(He)	90ml/min
捕集流量	60ml/min
捕集時間・捕集量	75min, 4.5L
換気時間・温度	30min, 30℃
捕集剤	Tenax TA, mesh25/35, 100mg
捕集管脱着温度	250℃, 15min
コールドトラップ温度	-130℃

表3 TD-GC/MS分析条件

TD-GC/MS	TMD253H(ジーエルサイエンス), QP2010(島津製作所)
捕集管脱着温度・時間	250℃, 14min
コールドトラップ温度	-130℃
TDスプリット比	1:20
分析カラム	InertCap 1MS 0.25mmI.D.×60m, d _f =0.25μm
オープン温度	40℃(5min)→10℃/min→280℃(21min)
測定モード	SCAN 35~450

3.2 バックグラウンドの確認

測定精度を高めるためにはバックグラウンドの低減が必要である。そのためには、清浄な空気と汚染のないマイクロチャンパーを使用することが不可欠である。また、新たに測定を行う前にはバックグラウンドの確認試験を行う事が必要である。試験方法としては、試験体を挟まない空のチャンパーに24時間加湿空気を供給し、チャン

パー出口空气中 VOC 成分の測定とチャンパー内壁に吸着した SVOC 成分の測定を行う。本実験では、上記方法によりマイクロチャンパー法のバックグラウンド確認試験を行った。

3.2.1 バックグラウンド測定結果 バックグラウンド確認試験は2つのマイクロチャンパーで行った。SVOC 吸着工程におけるバックグラウンドについては、検出された化学物質各成分のトルエン換算による濃度合計値が平均で $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。確認された主な成分としては、2-Butanone oxime, 2-Ethyl-1-hexanol, Nonanal および Decanal であった。また、フタル酸エステル類である DBP, DEHP は検出されなかった。

続いて、SVOC 加熱脱着工程におけるバックグラウンドについては主にシロキサン類が確認された。また、フタル酸エステル類については DBP がそれぞれ 4.4, 6.0ng/24hr 検出された。DEHP は検出下限値(2.4ng/24hr)以下(N.D.)であった。

3.2.2 バックグラウンド測定考察 バックグラウンド確認試験と同時に行った供給空气中の不純物測定の結果から空気の高湿を行うことにより、2-Ethyl-1-hexanol, Nonanal, Decanal の3成分が検出されていることが判明した。従って、空気の高湿を行う過程でこの3成分の汚染が生じていることが推測された。また、低温恒温器内の空気を捕集して分析したところ、大量の 2-Butanone oxime とシロキサン類が検出された。2-Butanone oxime はシリコーンゴムの硬化剤として使用されている¹¹⁾ことから、この成分は低温恒温器内で使用されているシリコーンゴムが発生源と予想される。そして、その一部がマイクロチャンパー内に進入し、検出されたものと推測される。このことから、汚染となる原因を突き止め対策することによりバックグラウンドをさらに低減させることが可能である。

次に、SVOC 加熱脱着工程のバックグラウンドで確認されたシロキサン類は、この後述べるマイクロチャンパー内面のシラン処理によるものと考えられる。また、DBP については供給空气中に含まれている可能性が考えられるが、汚染源の解明についてはさらなる検討が必要である。しかし、今回の DBP のバックグラウンドは定量下限値(11.1ng/24hr)よりも低い値のため、実際の測定に支障のあるレベルではなかった。

3.3 検量線の作成および回収率の確認

マイクロチャンパー法を行うに当たって一番注意を要するところはチャンパー内に吸着した SVOC 成分を定量するための検量線の直線性を得ることと、チャンパーからの SVOC 成分の回収率を向上させることである。

検量線の作成および回収率の確認は加熱オープンにマイクロチャンパーが設置されている状態で、マイクロチャンパー出口のラインを外し、マイクロシリンジにて SVOC 混合標準試料をマイクロチャンパー内に注入し、添加を行う。その際、マイクロチャンパー内への空気の漏れこみを防ぐため、ヘリウムまたは窒素ガスを加圧状態で流通させチャンパー内を静圧に保ちながら添加を行う。添加後、直ちにマイクロチャンパー出口のラインを接続し、数分間室温で He を流してマイクロチャンパー内の空気を取り除いてから加熱を行う。図3に SVOC 混合標準試料のマイクロチャンパーへの注入方法を示す。SVOC 混合標準試料の成分はシロキサン 6 量体 (D6: Dodecamethyl Cyclohexasiloxane)、フタル酸エステル(フタル酸ジ

エチル DEP: Diethyl Phthalate, DBP, DEHP)、アジピン酸エステル [アジピン酸ジブチル DBA: Dibutyl Adipate, アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル DOA: Di(2-Ethylhexyl) Adipate]、リン酸エステル [リン酸トリブチル TBP: Tributyl Phosphate, リン酸トリス-2-クロロエチル TCEP: Tris(2-chloroethyl) phosphate, リン酸トリフェニル TPP: Triphenyl Phosphate)、酸化防止剤 (ブチルヒドロキシトルエン BHT: Butylated hydroxytoluene) である。

検量線の作成時におけるマイクロチャンパーへの SVOC 混合標準試料の添加量は 100, 200, 500, 1000ng で行った。これは検量線作成時の SVOC 成分の添加量を実試料測定における SVOC 成分のチャンパー内吸着量の範囲で設定することにより精度の良い測定が行えるためである。すなわち今回の測定で、可塑剤として DEHP が使用されている建築材料の場合、チャンパー内吸着量は 100ng から数 μg となり、これに合わせて、SVOC 混合標準試料を添加している。

次に回収率についてであるが、マイクロチャンパー法を行うにあたって、チャンパー内に一端吸着した SVOC 各成分がどの程度の割合で回収できるかを確認しておくことは非常に重要である。SVOC の回収率が高いチャンパーを使用することが望ましいが、少なくとも測定前に回収率を確認しておく必要がある。求め方は予め既知量の SVOC 混合標準試料を直接捕集管 (Tenax TA) に添加して TD-GC/MS 測定により得られた値を 100% とし、チャンパー内に同量の SVOC 混合標準試料を注入して得られた値との比を回収率とする。田中らはチャンパー内面をシラン処理することにより回収率が向上することを報告している¹²⁾。そこで本実験では、シラン処理済のマイクロチャンパーとシラン処理を行っていないマイクロチャンパーに SVOC 混合標準試料を 200ng 注入して得られた回収率を求め、比較を行った。

図3 マイクロチャンパーへの SVOC 混合標準試料注入方法

3.3.1 SVOC 成分の検量線作成および回収率確認結果 表4に各 SVOC 成分の検量線の相関係数および各 SVOC 成分 200ng の添加回収結果を示す。両試験共、シラン処理済およびシラン処理を行っていないマイクロチャンパーについて実施した。シラン処理を行うことにより全ての SVOC 成分の回収率が向上していることが判る。特に TBP, TCEP, TPP, DEHP, DOA の回収率が大幅に向上していることが判る。

検量線に関しては回収率の低い成分ほど相関係数が良くない傾向が見られた。また、シラン処理を行うことにより検量線の相関係数も向上する傾向が見られる。

3.3.2 SVOC 成分の検量線作成および回収率に関する考察 上記結果よりマイクロチャンパー内面のシラン処理を行うことにより目的としている SVOC 成分の回収率および検量線の直線性を向上させるこ

とから、測定精度と測定再現性を高めることが確認された。ただし、バックグラウンド確認試験でも述べたように SVOC 加熱脱着工程においてシロキサンがブランク成分として多く発生し SVOC 成分の測定に影響を及ぼすような場合は、シラン処理の方法を見直すなどの注意が必要である。

表 4 SVOC 成分検量線相関係数および添加回収率

	シラン処理あり		シラン処理なし	
	相関係数	回収率(%)	相関係数	回収率(%)
D6	0.9977	96.9	0.9926	91.1
BHT	0.9995	99.1	0.9998	90.3
DEP	0.9990	98.8	0.9998	87.8
TBP	0.9978	91.5	0.9789	5.2
TCEP	0.9995	95.3	0.9948	27.7
DBA	0.9992	98.4	0.9998	81.5
DBP	0.9989	98.4	0.9998	82.7
TPP	0.9994	95.1	0.9965	37.6
DOA	0.9993	97.5	0.9969	33.2
DEHP	0.9993	97.2	0.9926	34.4

4. マイクロチャンバー法による実試料の測定

約 $\phi 112\text{mm}$ の円形にカットした塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートを試験体とした。試験体をアルミパッキンで挟み、チャンバーとの接触を防ぐようにしてからチャンバーの蓋と容器の間に挟んで表面 ($\phi 82\text{mm}$) からの DEHP 放散の測定を行った。図 4 にマイクロチャンバーと試験体である塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートを示す。

マイクロチャンバー 塩化ビニル樹脂系壁紙 塩化ビニル樹脂系床シート

図 4 マイクロチャンバーおよび試験体

4.1 マイクロチャンバーと試験体のシール性の確認

まず、実試料の測定に先立ってマイクロチャンバーと試験体のシール性確認を行った。マイクロチャンバー法は試験体をマイクロチャンバーに挟んで測定を行うため、試験体表面の形状によりシール性が得られないことが予想される。シール性が得られないと SVOC 成分の正確な放散測定を行うことが難しくなる。そこで、実試料の測定を行う場合、事前にシール性の確認を行うことが必要である。

4.1.1 マイクロチャンバーと試験体のシール性の確認方法 図 5 に示すようにマイクロチャンバーに各試験体を挟んだ状態で加湿空気を 30ml/min 供給し、チャンバー出口に Tenax TA 捕集管を接続し、サンプリングポンプを用いて 15ml/min の流量で吸引した。その際の供給側ペント流量を計測し、シール性の確認を行った。試験体と

チャンバーのシール性が良ければ、ペントライン流量は 15ml/min になるはずである。

4.1.2 マイクロチャンバーと試験体のシール性の確認結果 ペントライン流量は床シートの場合： 15ml/min 、壁紙の場合： 11ml/min であった。このことから、床シートの場合はリークがないと言えるが、壁紙の場合は 4ml/min がチャンバーと壁紙のすき間から外部にリークしている可能性が示唆された。

4.1.3 マイクロチャンバーと試験体のシール性の確認考察 シール性確認の結果、床シートは表面が平らで滑らかであるのに対し、壁紙の場合は凹凸があるためリークしたと考えられる。今回の実験では材質的に硬い厚み 0.2mm のアルミパッキンを使用したため、凹凸がある試験体を挟んだ場合、試験体とパッキンの間にすき間が生じリークが発生したと考えられる。そこで厚みが 0.012mm のアルミホイルをパッキンとして使用したところリークが確認されなかった。これはアルミホイルが凹凸面とのすき間をふさぐ役割を果たしたためと考えられる。このことから凹凸がある試験体のシール性対策の一つとして厚みの薄いアルミホイルを使用することが有効であると考えられる。

4.2 塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートから放散する DEHP の測定

塩化ビニル樹脂系壁紙および床シート各試験体から放散する DEHP の測定を行い、DEHP 放散速度を求めた。それぞれ同一試験体を 5 回連続で測定した際の再現性の確認を行うことにより、マイクロチャンバー法の実試料に対する測定精度の確認を行った。なお、測定にはシラン処理済みのマイクロチャンバーを使用した。

4.2.1 各試験体からの DEHP 放散速度再現性 図 6 にマイクロチャンバー法により塩化ビニル樹脂系床シートを測定した際のマスプロトグラム (MC) を示す ($m/z=149$)。このクロマトグラムを見ても判る様にチャンバー出口空気測定からは DEHP は検出されなかった。このことは壁紙においても同じ結果であった。また、表 5 に床シートおよび壁紙を 5 回連続で測定した際の DEHP 放散速度の再現性を示す。床シート、壁紙どちらも良好な結果であった。

図 5 マイクロチャンバーと試験体のシール性の確認方法

表 5 塩化ビニル樹脂系床シート、壁紙からの DEHP 放散速度再現性

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	Ave	RSD(%)
床シート	391	417	379	390	367	389	41
壁紙	296	344	342	312	336	326	58

単位： $(\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h})$

図6 塩化ビニル樹脂系床シート測定 MC(m/z=149)

4.2.2 実試料測定結果に対する考察 床シート、壁紙共に5回連続測定におけるDEHP放散速度の再現性は良好であった。このことから、マイクロチャンバー法による実試料測定の適用が可能であり、測定精度も得られることを確認した。また、それと同時にDEHPの放散速度の減少は測定期間内では起きていないことも実証された。

しかし、シール性確認の項目でも述べたように試験体表面の凹凸など形状による影響からリークが起きると放散速度に誤差が生じてくる。例えば今回の塩化ビニル樹脂系壁紙の測定ではチャンパーと壁紙のすき間から4ml/minが外部にリークしている可能性が示唆された。よって実際にマイクロチャンパー内を流れる空気は換気量は19ml/minになることから換気回数は1.81回/hになる。この値から放散速度を求めると4.22 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ となり、表5の値よりも約1.3倍高い値となってしまう。今回の実験ではアルミホイルをパッキンとして使用することにより対応が可能であったが、測定可能な試験体の範囲を広げるためにも今後アルミよりも材質的に柔軟な四フッ化エチレンなど樹脂系のパッキンによるシール方法の評価を行い、マイクロチャンバー法をなるべく多くの試験体に対応できるような測定手法にするよう検討していきたい。

6. まとめ

標準化が検討されているマイクロチャンバー法による測定を実施したところ以下の知見が得られた。

- (1) バックグラウンド測定結果、まずSVOC吸着工程においてチャンパー出口で捕集された化学物質各成分の合計濃度は平均で8.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算)であった。これに関しては、加湿用の純水、低温恒温器など汚染となる原因を突き止め対策することによりバックグラウンドをさらに低減させることが可能である。また、SVOC加熱脱着工程においてはマイクロチャンパー内面のシラン処理の影響によるシロキサン類が確認されたが、実際の測定に影響を及ぼすレベルではなかった。また、測定対象となるDBPは定量下限値(11.1ng/24hr)以下、DEHPは検出下限値(2.4ng/24hr)以下(N.D.)であった。
- (2) SVOC混合標準試料をマイクロチャンパー内に注入し、添加を行う方法で検量線の直線性、SVOC成分の回収率試験を実施したところ、マイクロチャンパー内面のシラン処理を行うことにより測定精度を向上させることが確認された。
- (3) マイクロチャンパーと試験体のシール性については試験体の形状(凹凸)が要因する。今後さらにシール方法の評価を行い、

マイクロチャンバー法をなるべく多くの試験体に対応できるような測定手法にするよう検討していきたい。

- (4) 塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートの実試料による5回連続測定におけるDEHP放散速度の再現性はおおそ良好であった。このことから、マイクロチャンバー法による実試料測定の適用が可能であり、測定精度も得られることを確認した。

謝辞

本研究は、「建材からのVOC等放散量の評価方法に関する標準化」委員会(委員長:村上周三 慶応義塾大学 理工学部教授)SVOC測定法部会より提供された塩化ビニル樹脂系壁紙および床シートを使用した。SVOC測定法部会長の田辺新一 早稲田大学理工学部教授および各委員の方々に深甚なる謝意を表する次第である。また、本研究を進めるにあたり、徐長厚氏(東京大学生産技術研究所)、勝又寛子氏(慶応義塾大学大学院)にご協力をいただいた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 厚生労働省医薬品安全対策室:シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会中間報告書-第8回~第9回のまとめについて、平成14年2月8日
- 2) WHO, Indoor Air Quality: Organic Pollutants, EURO Reports and Studies 111, 1987
- 3) JIS A 1901: 建築材料の揮発性有機化合物(VOC), ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法-小形チャンパー法, 2003.1
- 4) 星野邦広, 今中努志, 加藤信介, 朱 清宇, 安宅勇二, 安福勝: 実温度条件下における材料から放散される半揮発性有機化合物(SVOC)測定に関する研究(その1), チャンパー内吸着-加熱脱着法の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2, 857-858, 2002.8
- 5) 朱 清宇, 星野邦広, 加藤信介, 安宅勇二, 安福勝: 実温度条件下における材料から放散される半揮発性有機化合物(SVOC)測定に関する研究(その2), 建材、家電製品からのSVOC放散量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2, 859-860, 2002.8
- 6) 星野邦広, 加藤信介, 朱 清宇, 安宅勇二: 実温度条件下における材料から放散される半揮発性有機化合物(SVOC)測定に関する研究(その5) チャンパー内吸着-加熱脱着法によるノートパソコンから放散されるSVOC測定-2, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 481-484, 2003.9
- 7) K Hoshino, S Ogawa, S Kato, Q Zhu, Y Ataka: Measurement of SVOCs emitted from building materials and electric appliances using thermal desorption test chamber method, Proceedings of the 7th International Conference on Healthy Buildings 2003, Vol.1, 474-479, 2003.12
- 8) 朱 清宇, 星野邦広, 加藤信介, 安宅勇二: 室温条件下における材料から放散される半揮発性有機化合物(SVOC)測定法の開発, 日本建築学会環境系論文集 第574号, 35-41, 2003.12
- 9) 星野邦広, 加藤信介, 朱 清宇, 安宅勇二: 室内環境条件下における材料から放散される半揮発性有機化合物測定に関するチャンパー内吸着-加熱脱着法の性能評価, 日本建築学会環境系論文集 第596号, 53-59, 2005.10
- 10) ISO/TC146/SC6 国内対策委員会: シックハウス対策に関する標準化の枠組みと今後の展望梗概集, 145-147, 2004.12
- 11) 化学工業日報社: 13901の化学商品, 580, 2001.1
- 12) 田中浩史, 横溝正昭, 福井三俊, 高橋裕明, 牧野哲哉: マイクロチャンパーを用いた建材等からの難揮発性有機化合物放散量測定法の開発, 日本分析化学会第52年会講演要旨集, 17, 2003.9

(2005年9月9日原稿受理, 2006年2月21日採用決定)