

(2) VOC 発生量の理論的検討(2)

ある任意の時刻における室内濃度から、その時の発生源発生量 M を求めるものである。(7)で検討した室内 VOC 濃度予測式を用いる。

$$C = C_1 e^{-mt} + \frac{1}{Rm} (M + QC_0)(1 - e^{-mt}) \quad - (30)$$

ここで、 $\therefore (m = \frac{Q}{R} + \alpha + \frac{Q_e}{R})$ とする。

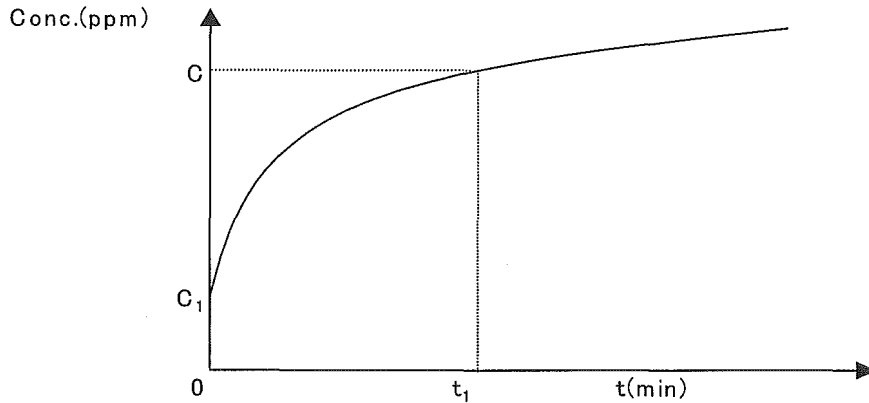


図 - 3.5 オゾン発生源を有する室内の VOC 濃度上昇特性(2)

図-3.5 を参考に次式を得る。

$$C = C_1 e^{-mt} + \frac{1}{Rm} (M - Me^{-mt} + QC_0 - Qe^{-mt}) \quad - (42)$$

(42) 式を展開して、次式を得る。

$$C = C_1 e^{-mt} + \frac{M}{Rm} (1 - e^{-mt}) + \frac{Q}{Rm} (C_0 - e^{-mt}) \quad - (43)$$

よって、 $\therefore \frac{M}{Rm} (1 - e^{-mt}) = C - C_1 e^{-mt} - \frac{Q}{Rm} (C_0 - e^{-mt})$ が得られる。 - (44)

(44) 式を以下のように展開していき、次式を得る。

$$M(1 - e^{-mt}) = RmC - RmC_1 e^{-mt} - Q(C_0 - e^{-mt}) \quad - (45)$$

$$M = \frac{Rm}{(1 - e^{-mt})} (C - C_1 e^{-mt}) - \frac{Q(C_0 - e^{-mt})}{(1 - e^{-mt})} \quad - (46)$$

$$M = \frac{Rm(C - C_1 e^{-mt}) - Q(C_0 - e^{-mt})}{(1 - e^{-mt})} \quad - (47)$$

以上(41)式、(48)式の2式により、室内濃度の定常に達しない場合においても、器具発生量 M を算出することができる。

3.3 実験結果

3.3.1 事務機器の印刷に伴う VOC 濃度の経時変化

レーザープリンタ 2 機種、インクジェットプリンタ 1 機種、及びコピー機 2 機種の印刷に伴う VOC 濃度の経時変化を図-3.6～3.11 に示す。これらの図は、簡易測定法（光音響法）による VOC 濃度の測定結果を示したものであり、定常濃度の達するまでの時間を調べたものである。

図-3.6 から VOC 濃度が定常状態に達するまで 60 分程度の機器運転時間、印刷枚数が 1525 枚であった。

また、図-3.8 から、VOC 濃度が定常状態に達するまで 5 時間程度の機器運転時間、印刷枚数が 116 枚であった。

図-3.10、3.11 から、コピー機は定常濃度に達するまでの時間が早かった。これは、換気回数を 0.5 (1/h) に設定したこと、LP-1、2、IJP-1 と比較すると印刷速度が速いのが大きな要因である。各種機種をを比較すると、定常濃度に達するまでの時間、印刷枚数に大きな差が確認された。これは、機器の機構の違いが考えられる。

図-3.12～3.110 は、精密測定法（GC/MS 法）による VOC 濃度の測定結果を示したものである。

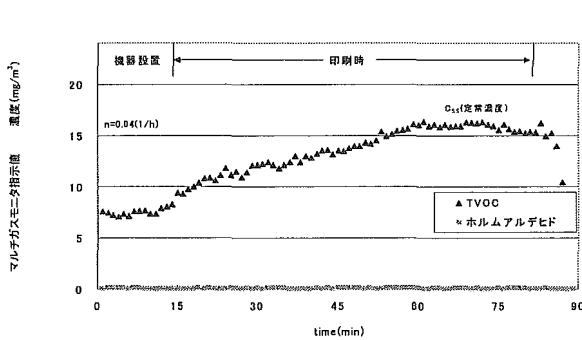


図-3.6 レーザプリンタの使用に伴う VOC 濃度の経時変化 (LP-1)

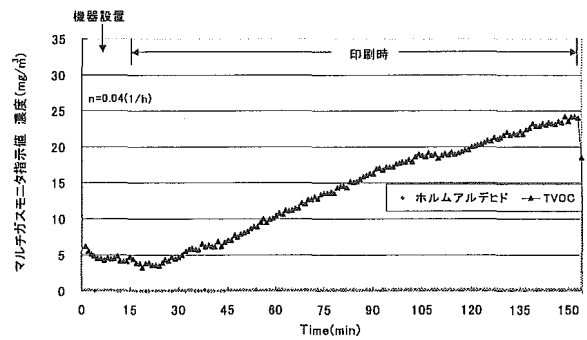


図-3.7 レーザプリンタの使用に伴う VOC 濃度の経時変化 (LP-2)

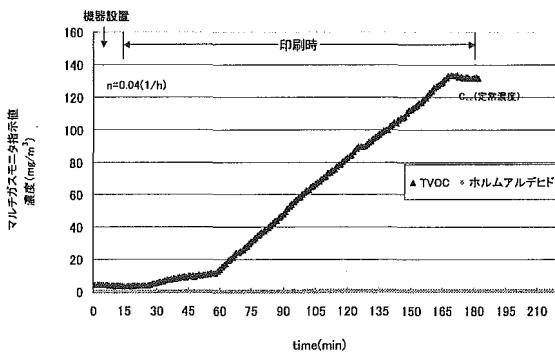


図-3.8 インクジェットプリンタの使用に伴う VOC 濃度の経時変化 (IJP-1)

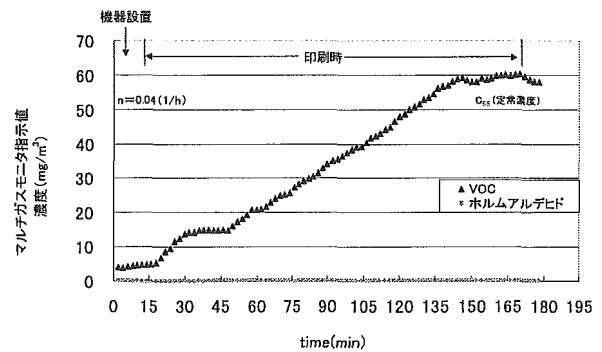


図-3.9 インクジェットプリンタの使用に伴う VOC 濃度の経時変化 2 回目 (IJP-1)

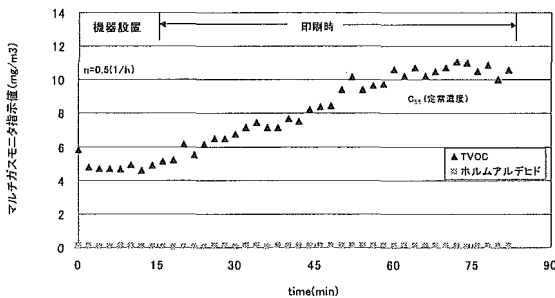


図-3.10 コピー機の使用に伴う VOC 濃度の経時変化 (PC-1)

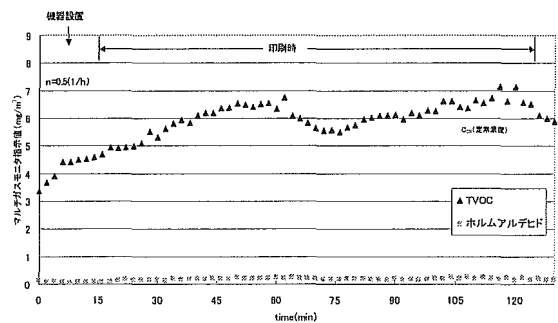


図-3.11 コピー機の使用に伴う VOC 濃度の経時変化 (PC-2)

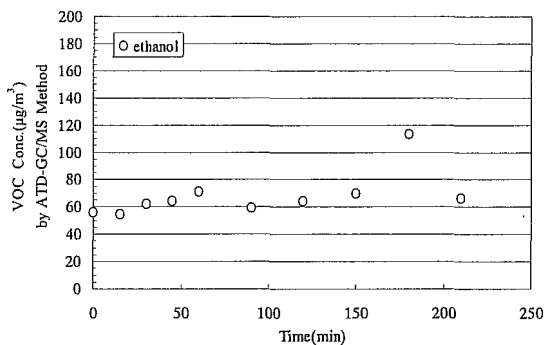


図-3.12 VOC濃度の経時変化 (ethanol)
LP-2

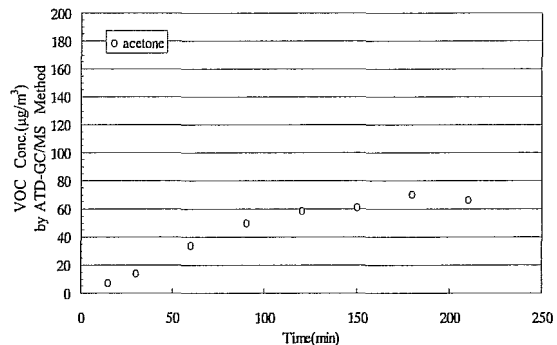


図-3.13 VOC濃度の経時変化 (acetone)
LP-2

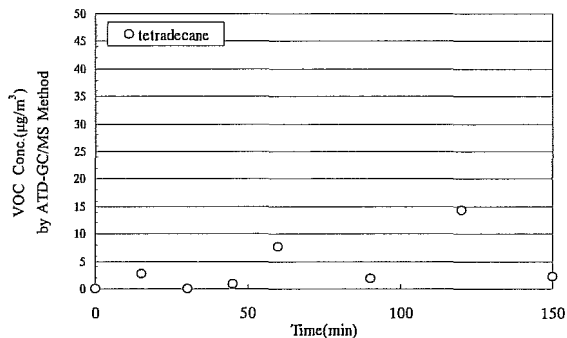


図-3.14 VOC濃度の経時変化 (tetradecane)
LP-2

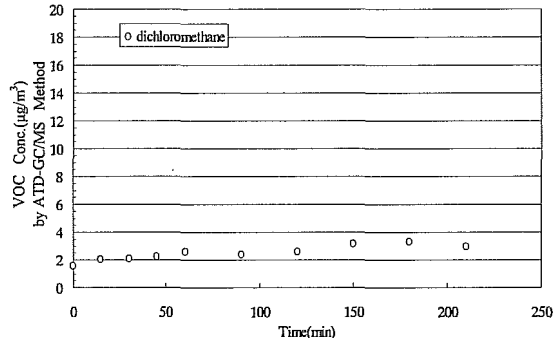


図-3.15 VOC濃度の経時変化 (dichloromethane)
LP-2

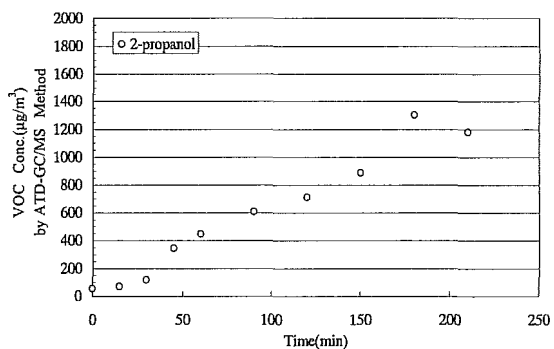


図-3.16 VOC濃度の経時変化 (2-propanol)
LP-2

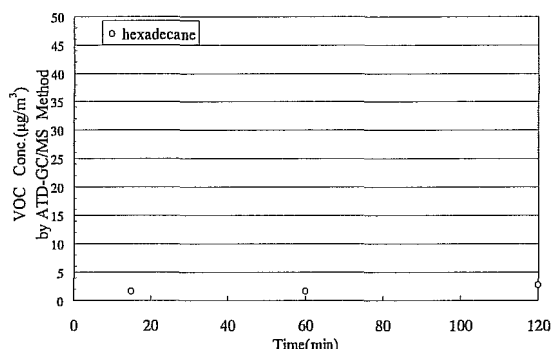


図-3.17 VOC濃度の経時変化 (hexadecane)
LP-2

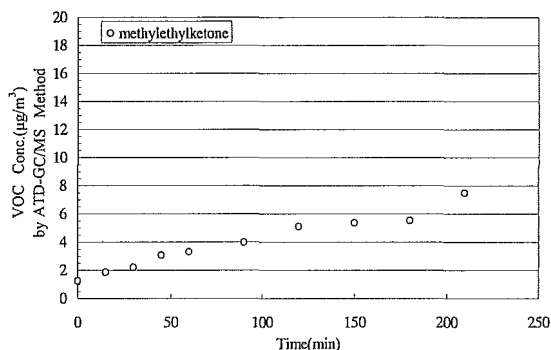


図-3.18 VOC濃度の経時変化
(methylethylketone) LP-2

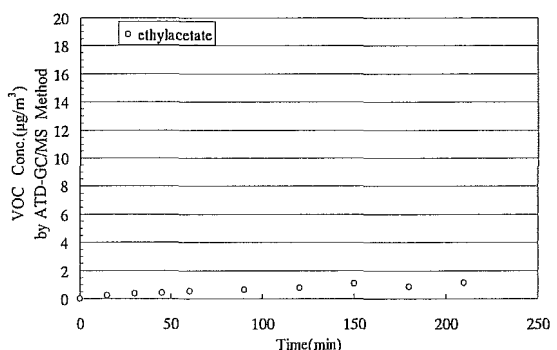


図-3.19 VOC濃度の経時変化 (ethylacetate)
LP-2

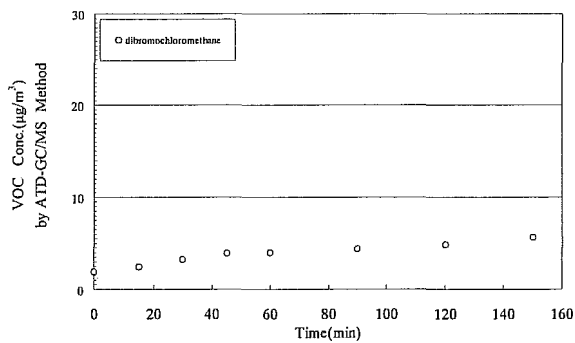


図-3.20 VOC濃度の経時変化 (dibromochloromethane) LP-2

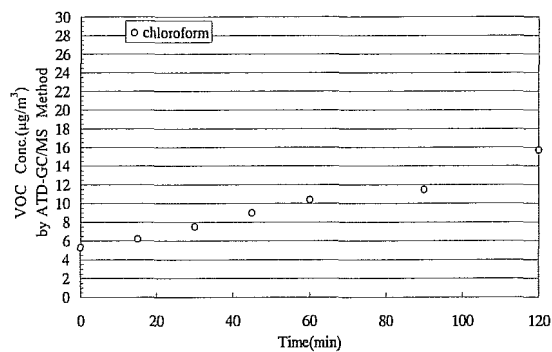


図-3.21 VOC濃度の経時変化 (chloroform) LP-2

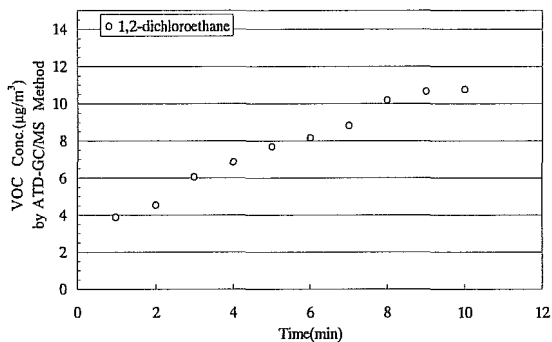


図-3.22 VOC濃度の経時変化 (1,2-dichloroethane) LP-2

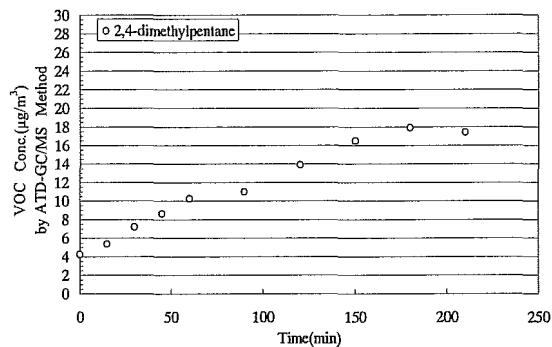


図-3.23 VOC濃度の経時変化 (2,4-dimethylpentane) LP-2

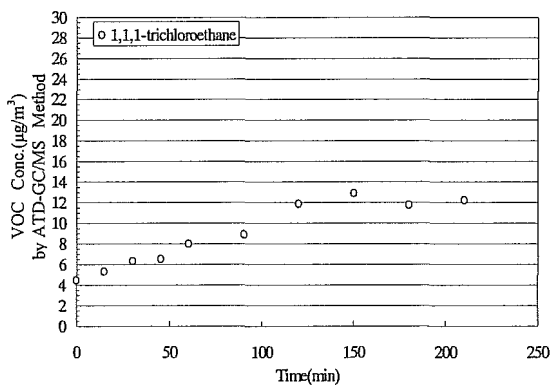


図-3.24 VOC濃度の経時変化 (1,1,1-trichloroethane) LP-2

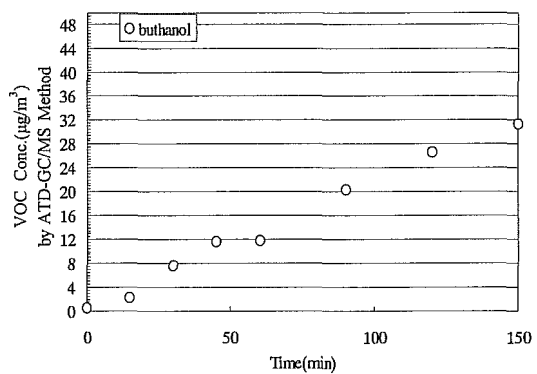


図-3.25 VOC濃度の経時変化 (buthanol) LP-2

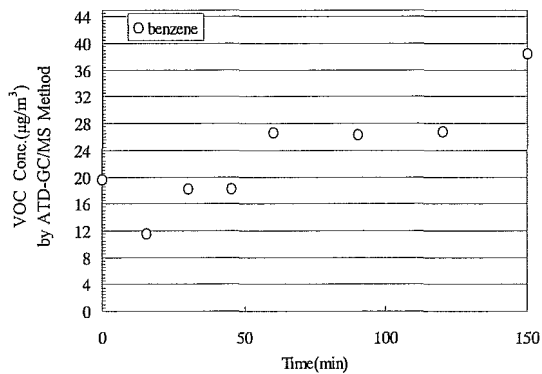


図-3.26 VOC濃度の経時変化 (benzene) LP-2

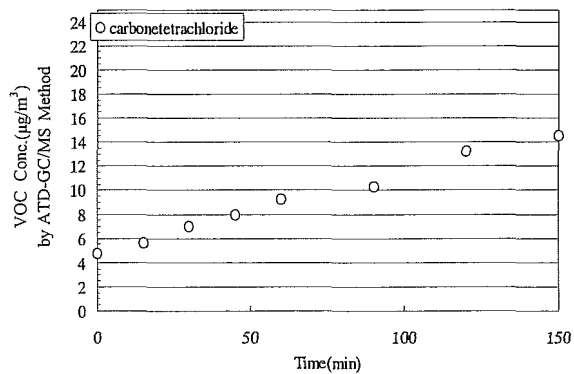


図-3.27 VOC濃度の経時変化 (carbon tetrachloride) LP-2

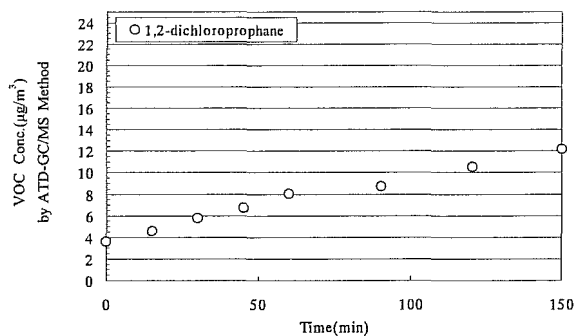


図-3.28 VOC濃度の経時変化
(1,2-dichloropropane) LP-2

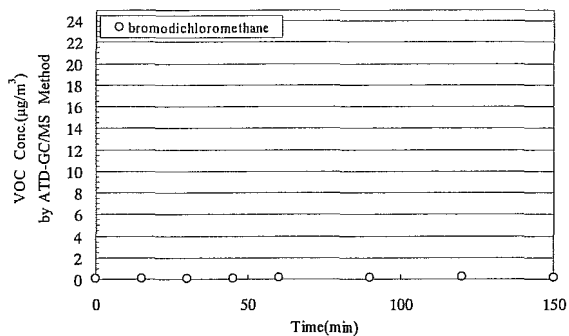


図-3.29 VOC濃度の経時変化
(bromodichloromethane) LP-2

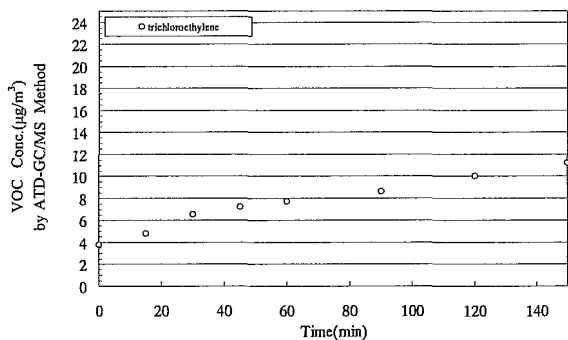


図-3.30 TVOC濃度の経時変化
(trichloroethylene) LP-2

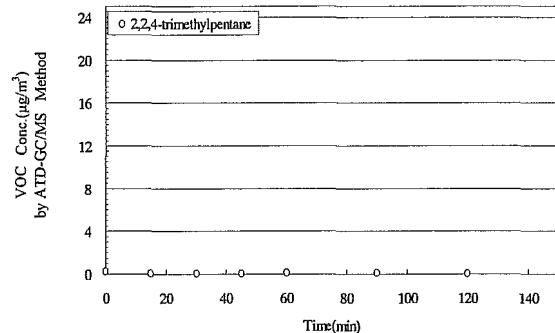


図-3.31 VOC濃度の経時変化
(2,2,4-trimethylpentane) LP-2

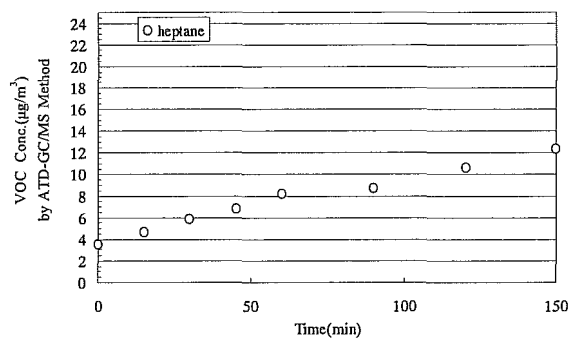


図-3.32 VOC濃度の経時変化 (heptane) LP-2

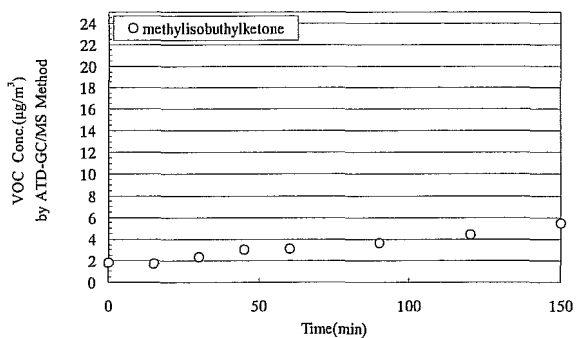


図-3.33 VOC濃度の経時変化
(methylisobutylketone) LP-2

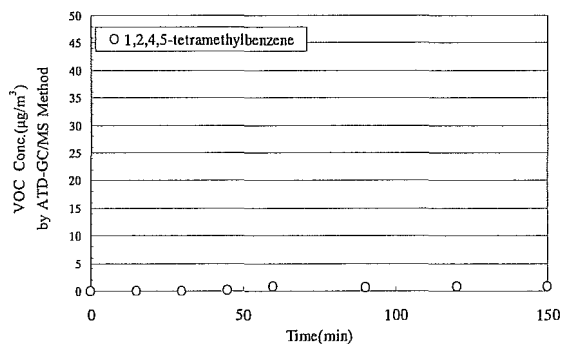


図-3.34 VOC濃度の経時変化 LP-2
(1,2,4,5-tetramethylbenzene)

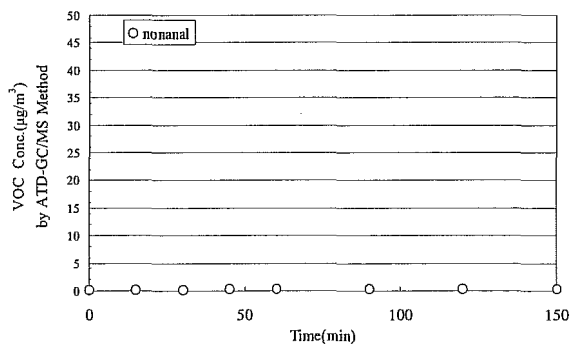


図-3.35 VOC濃度の経時変化 (nonanal) LP-

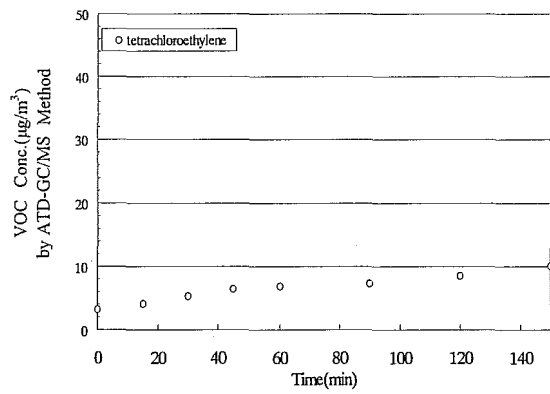


図-3.36 VOC濃度の経時変化 (tetrachloroethylene) LP-2

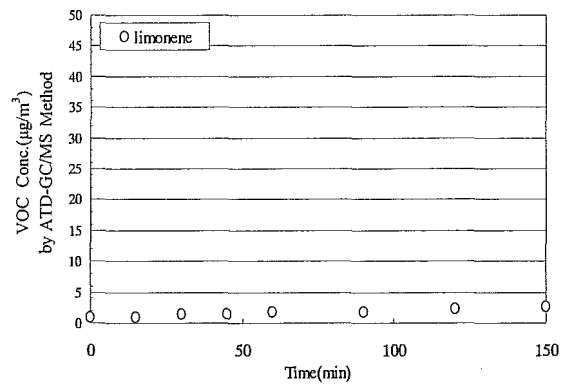


図-3.37 VOC濃度の経時変化 (limonene) LP-2

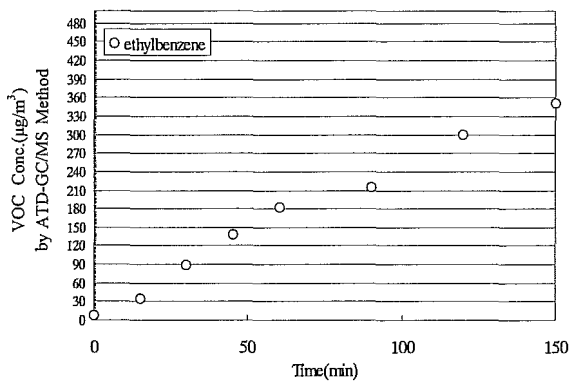


図-3.38 VOC濃度の経時変化 (ethylbenzene) LP-2

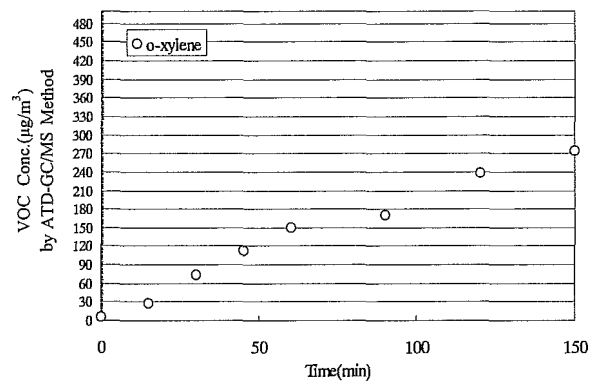


図-3.39 VOC濃度の経時変化 (o-xylene) LP-2

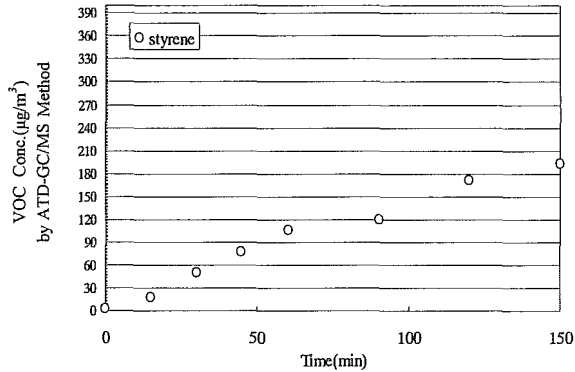


図-3.40 VOC濃度の経時変化 (styrene) LP-2

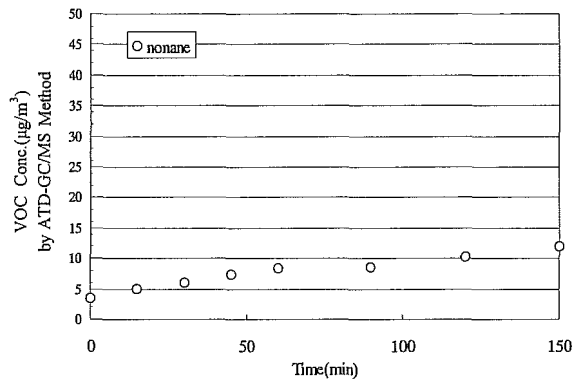


図-3.41 VOC濃度の経時変化 (nonane) LP-2

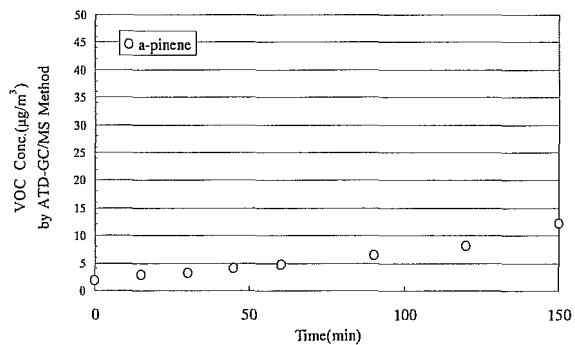


図-3.42 VOC濃度の経時変化 (alpha-pinene) LP-2

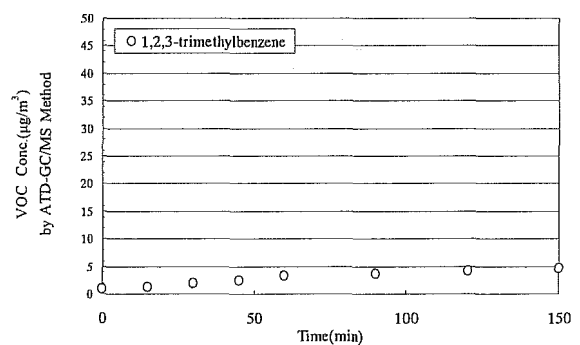


図-3.43 VOC濃度の経時変化 (1,2,3-trimethylbenzene) LP-2

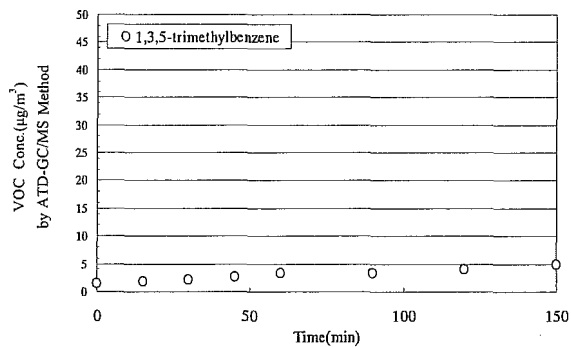


図-3.44 VOC濃度の経時変化
(1,3,5-trimethylbenzene) LP-2

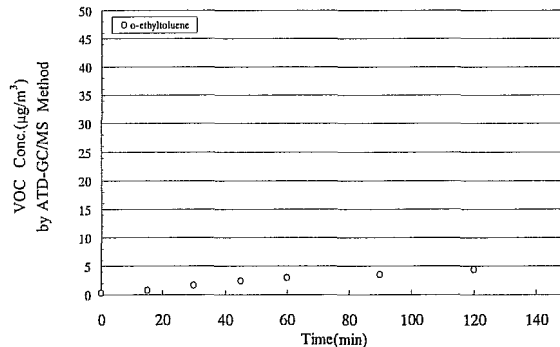


図-3.45 VOC濃度の経時変化
(o-ethyltoluene) LP-2

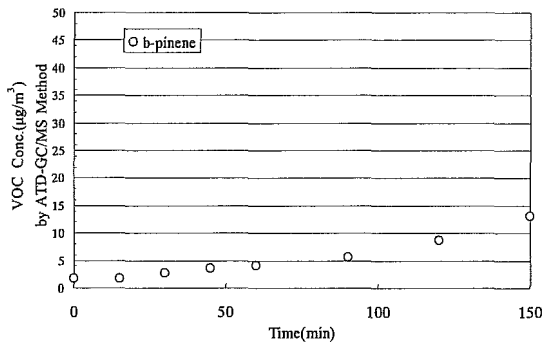


図-3.46 VOC濃度の経時変化 (b-pinene) LP-2

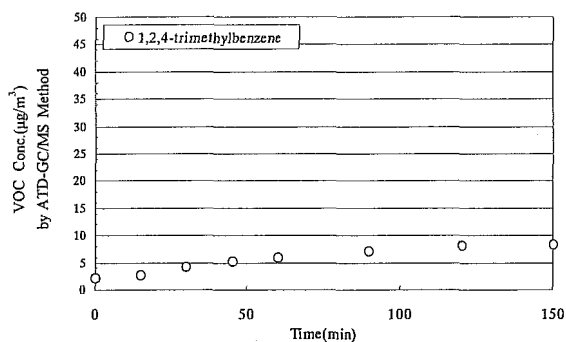


図-3.47 VOC濃度の経時変化
(1,2,4-trimethylbenzene) LP-2

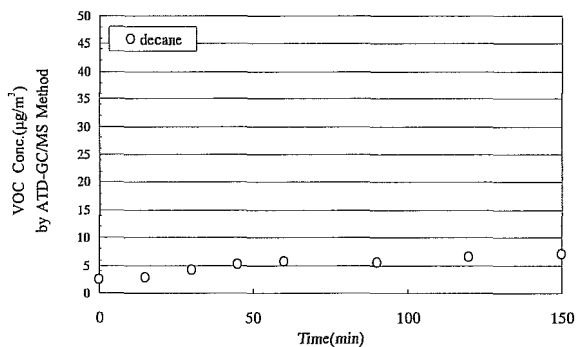


図-3.48 VOC濃度の経時変化 (decane) LP-2

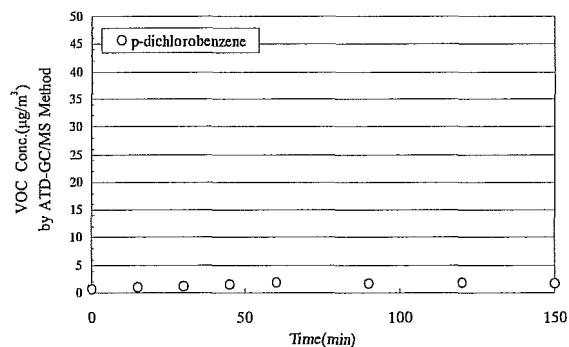


図-3.49 VOC濃度の経時変化
(p-dichlorobenzene) LP-2

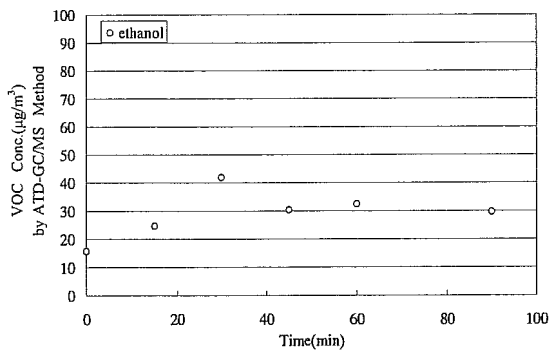


図-3.50 VOC濃度の経時変化 (ethanol) IJP-1

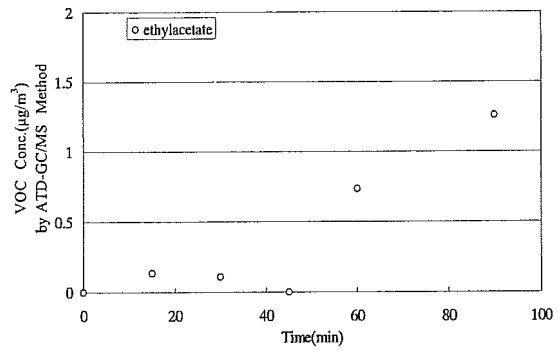


図-3.51 VOC濃度の経時変化 (ethylacetate) IJP-1

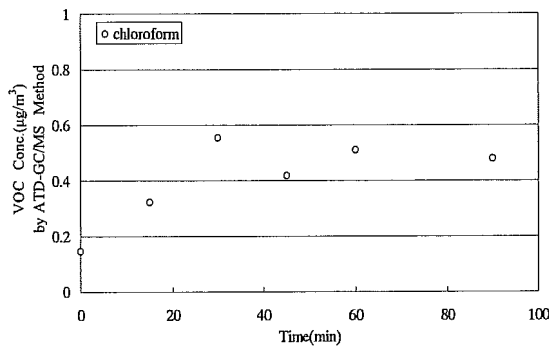


図-3.52 VOC濃度の経時変化 (chloroform) IJP-1

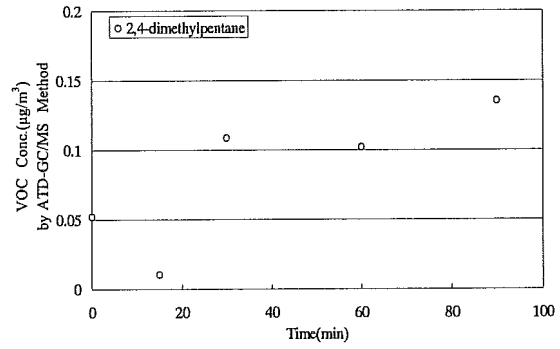


図-3.53 VOC濃度の経時変化 (2,4-dimethylpentane) IJP-1

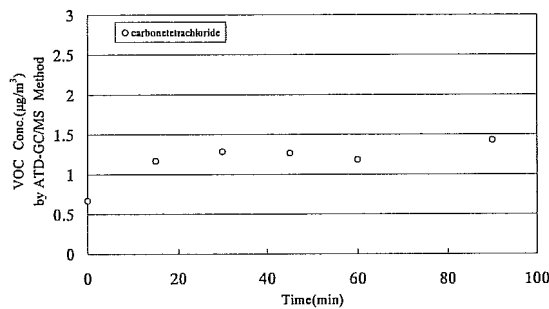


図-3.54 VOC濃度の経時変化 (carbon tetrachloride) IJP-1

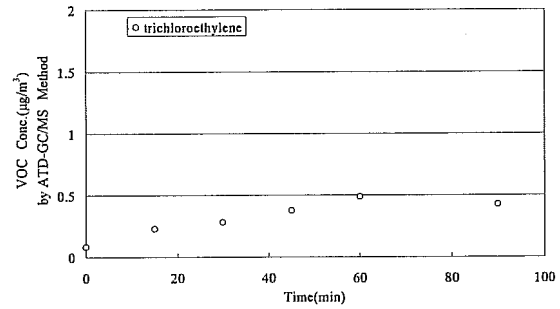


図-3.55 VOC濃度の経時変化 (trichloroethylene) IJP-1

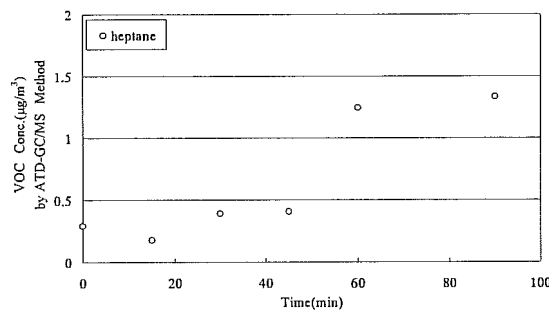


図-3.56 VOC濃度の経時変化 (heptane) IJP-1

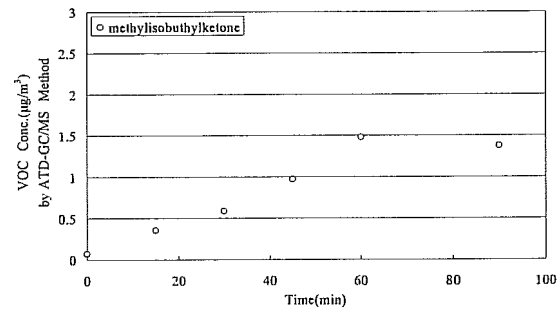


図-3.57 VOC濃度の経時変化 (methylisobutylketone) IJP-1

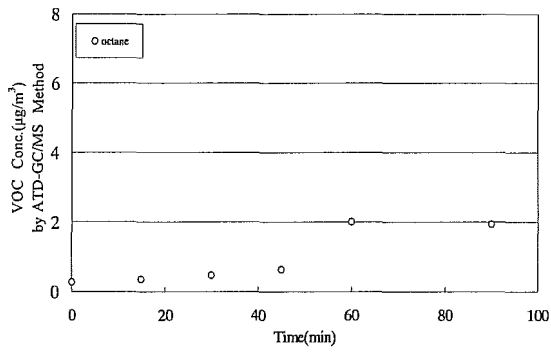


図-3.58 VOC濃度の経時変化(octane) IJP-1

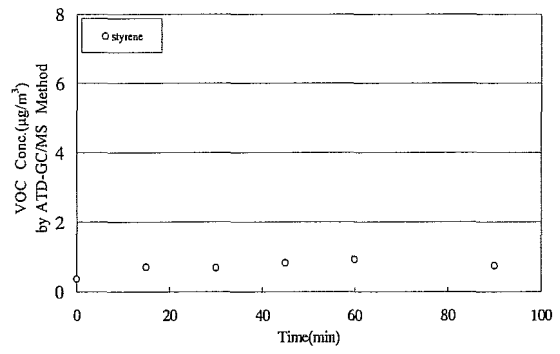


図-3.59 VOC濃度の経時変化(styrene) IJP-1

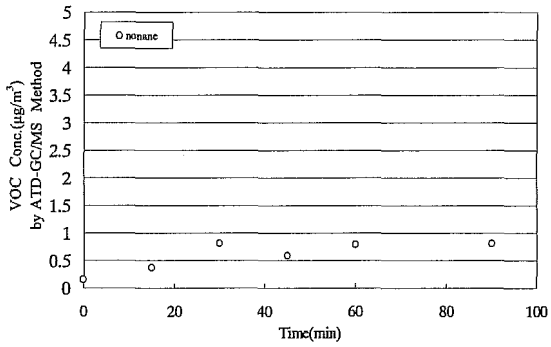


図-3.60 VOC濃度の経時変化(nonane) IJP-1

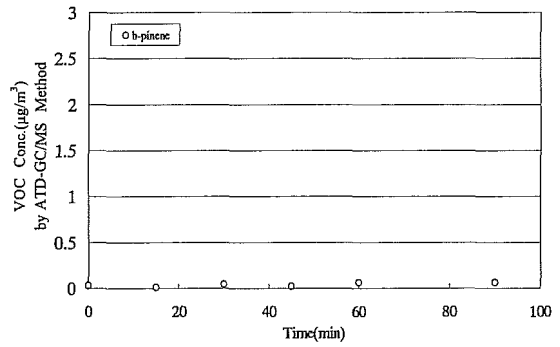


図-3.61 VOC濃度の経時変化(b-pinene) IJP-1

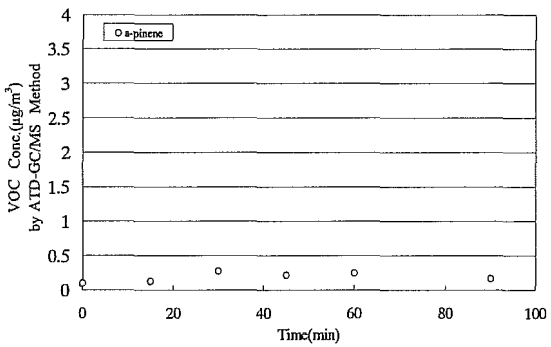


図-3.62 VOC濃度の経時変化(a-pinene) IJP-1

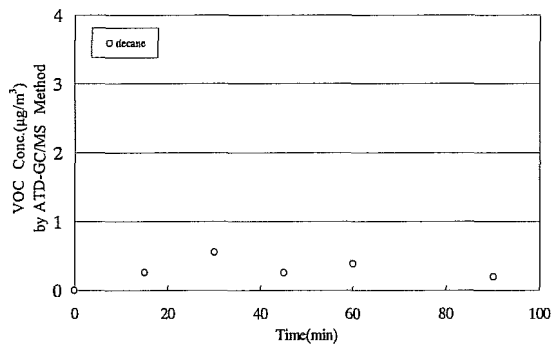


図-3.63 VOC濃度の経時変化(decane) IJP-1

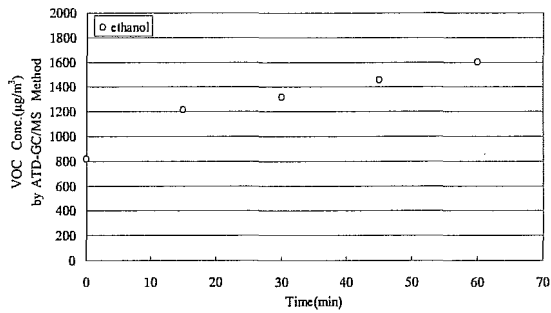


図-3.63 VOC濃度の経時変化(ethanol)

PC-1

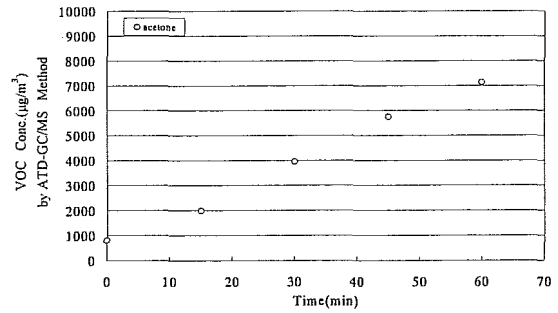


図-3.64 VOC濃度の経時変化(acetone)

PC-1

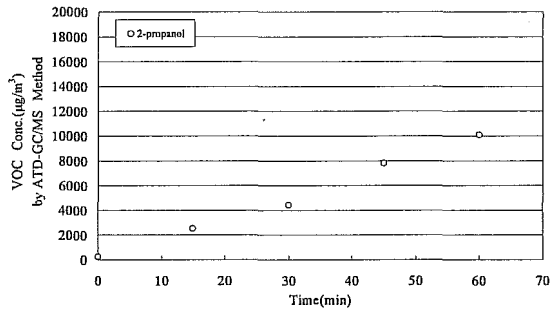


図-3.65 VOC濃度の経時変化(2-propanol)

PC-1

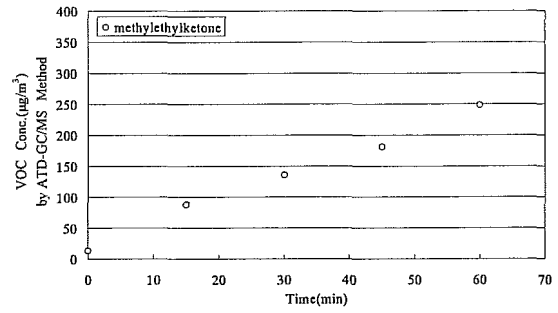


図-3.66 VOC濃度の経時変化(methylethylketone) PC-1

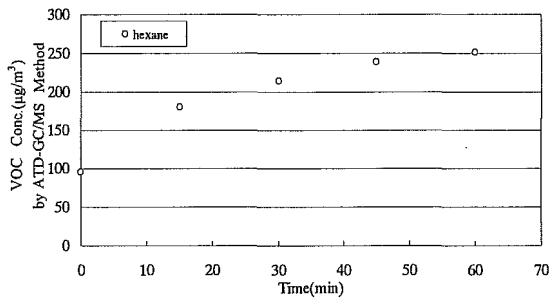


図-3.67 VOC濃度の経時変化(hexane)

PC-1

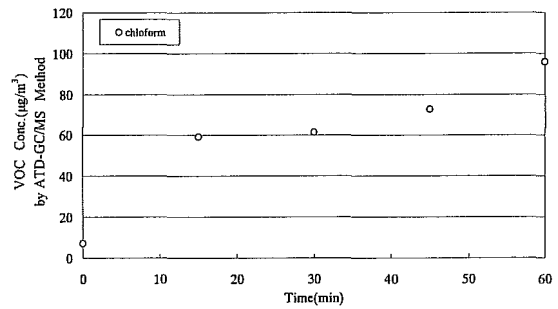


図-3.68 VOC濃度の経時変化(chloroform)

PC-1

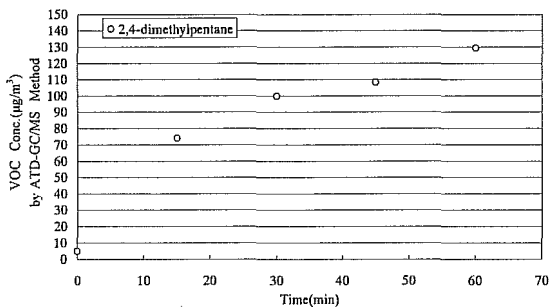


図-3.69 VOC濃度の経時変化(2,4-dimethylpentane) PC-1

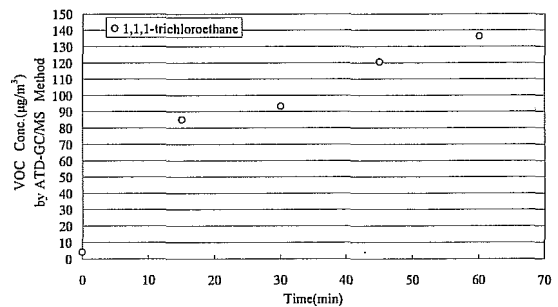


図-3.70 VOC濃度の経時変化(1,1,1-trichloroethane) PC-1

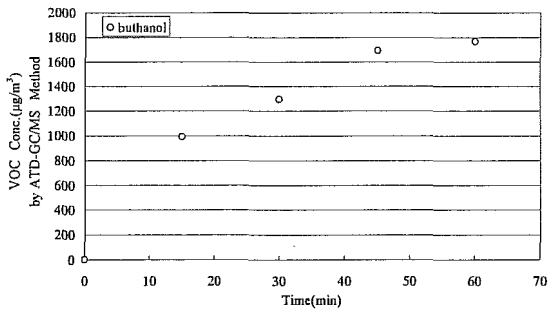


図-3.71 VOC濃度の経時変化(buthanol) PC-1

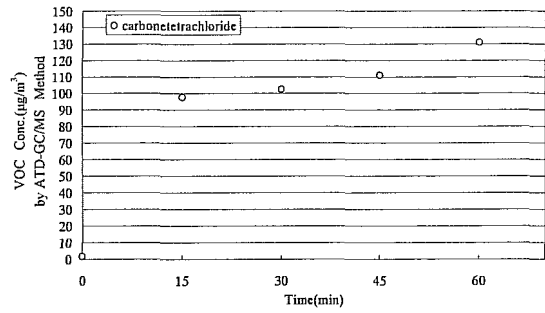


図-3.72 VOC濃度の経時変化
(carbonetetrachloride) PC-1

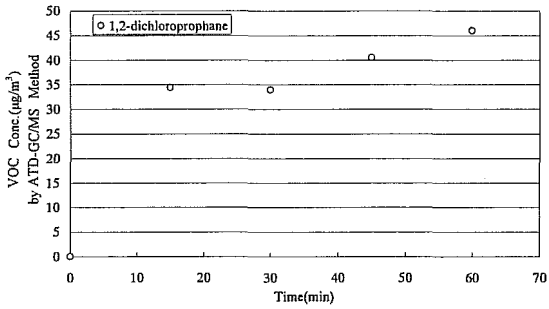


図-3.73 VOC濃度の経時変化
(1,2-dichloropropane) PC-1

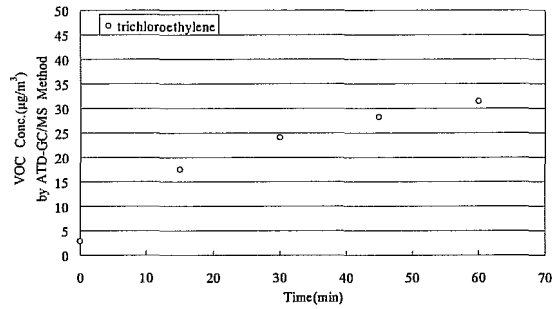


図-3.74 VOC濃度の経時変化
(trichloroethylene) PC-1

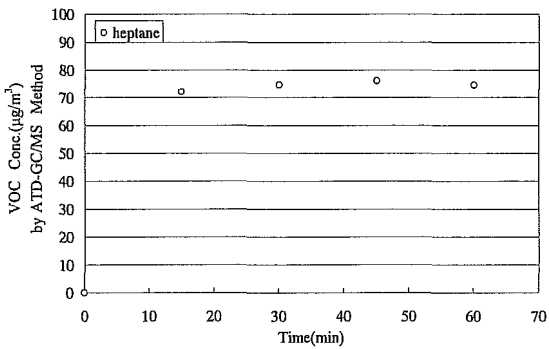


図-3.75 VOC濃度の経時変化(heptane) PC-1

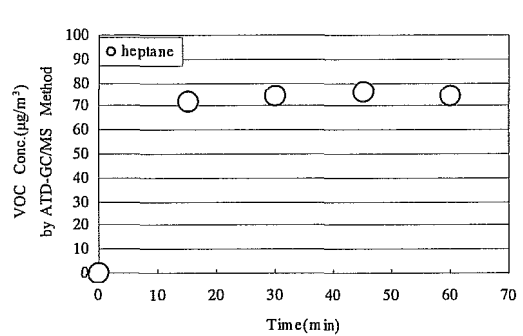


図-3.76 VOC濃度の経時変化(toluene) PC-1

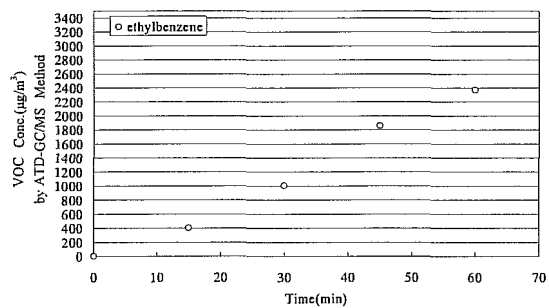


図-3.77 VOC濃度の経時変化
(ethylbenzene) PC-1

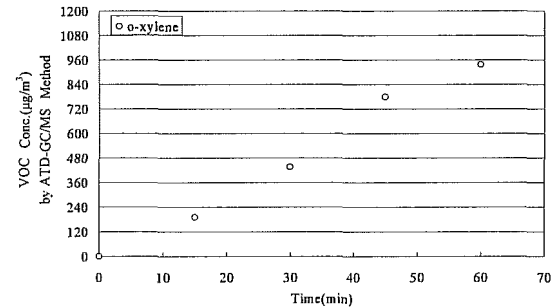


図-3.78 VOC濃度の経時変化(o-xylene)
PC-1

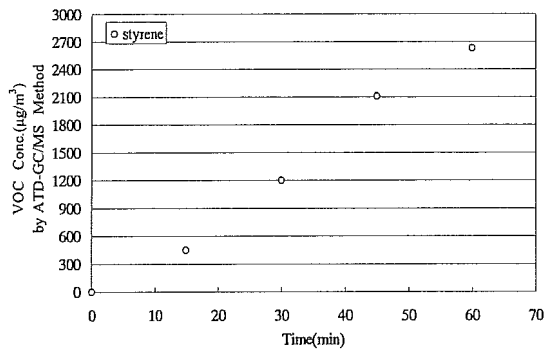


図-3.79 VOC濃度の経時変化(styrene) PC-1

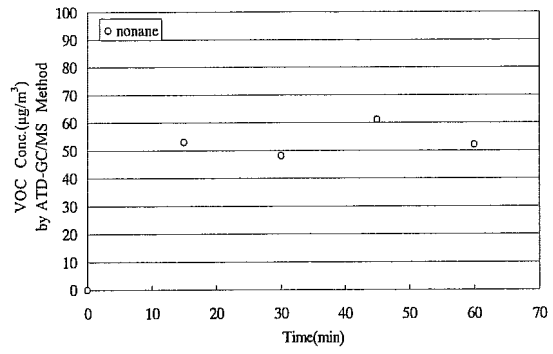


図-3.80 VOC濃度の経時変化(nonane) PC-1

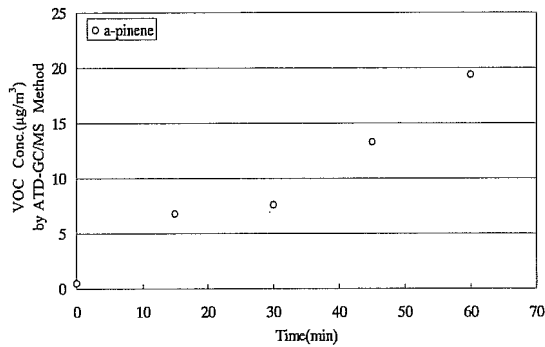


図-3.81 VOC濃度の経時変化(a-pinene) PC-1

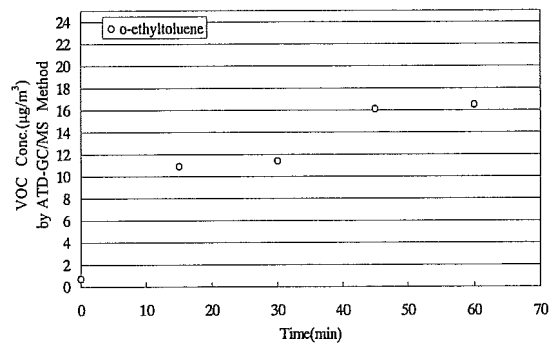


図-3.82 VOC濃度の経時変化
(o-ethyltoluene) PC-1

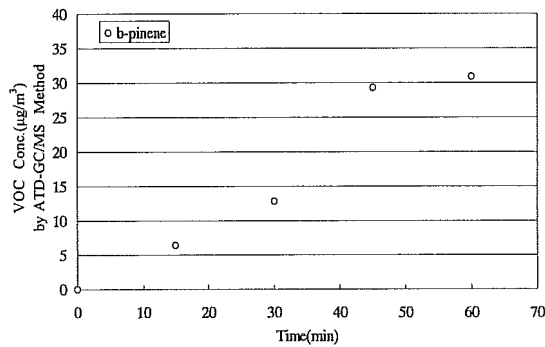


図-3.83 VOC濃度の経時変化(b-pinene)
PC-1

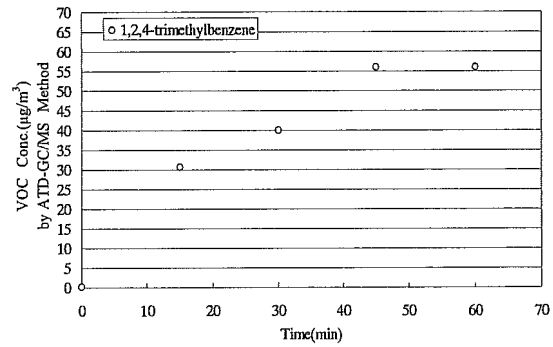


図-3.84 VOC濃度の経時変化
(1,2,4-trimethylbenzene) PC-1

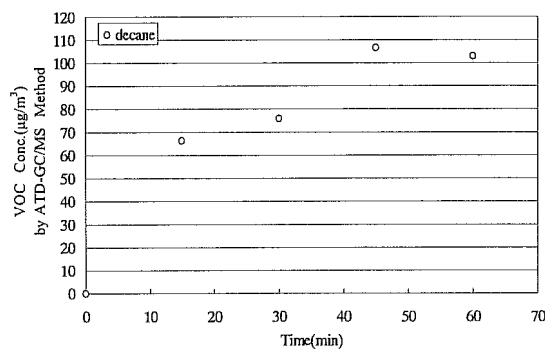


図-3.85 VOC濃度の経時変化(decane) PC-1

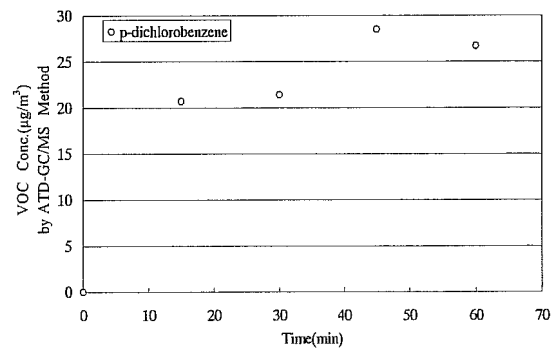


図-3.86 VOC濃度の経時変化
(p-dichlorobenzene) PC-1

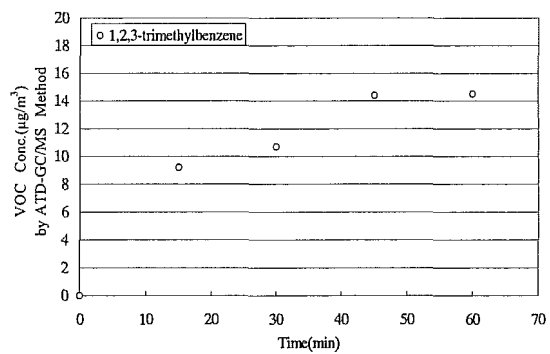


図-3.87 VOC濃度の経時変化
1,2,3-trimethylbenzene) PC-1

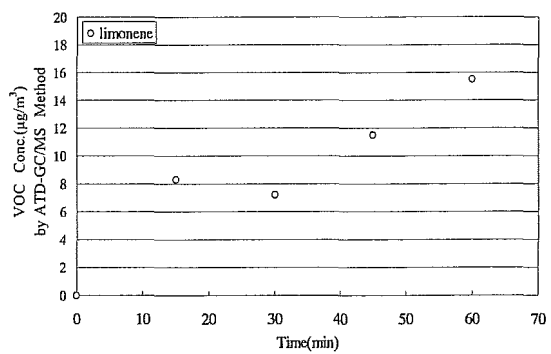


図-3.88 VOC濃度の経時変化 (limonene)
PC-1

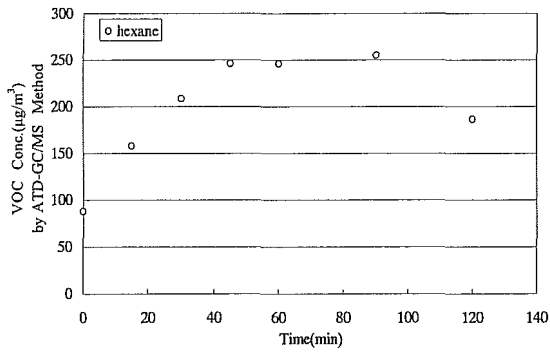


図-3.89 VOC 濃度の経時変化 (hexane)
PC-2

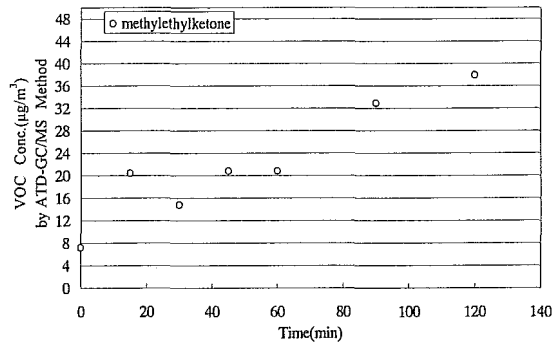


図-3.90 VOC 濃度の経時変化
(methyl ethyl ketone) PC-2

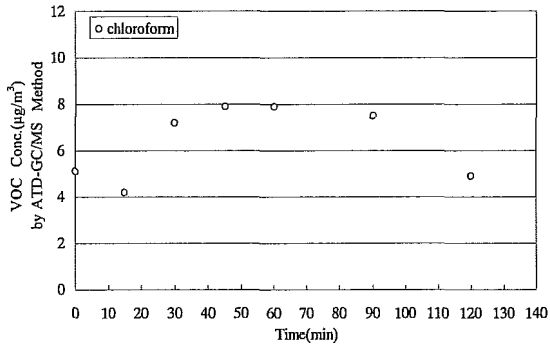


図-3.91 VOC 濃度の経時変化 (chloroform)
PC-2

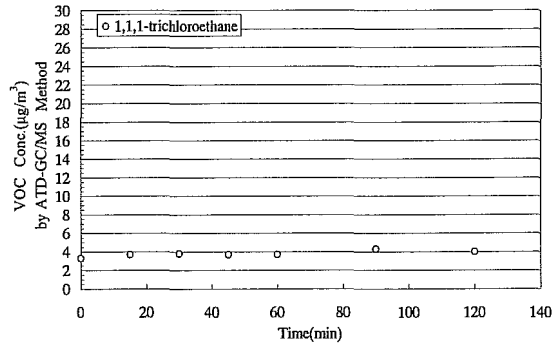


図-3.92 VOC 濃度の経時変化
(1,1,1-trichloroethane) PC-2

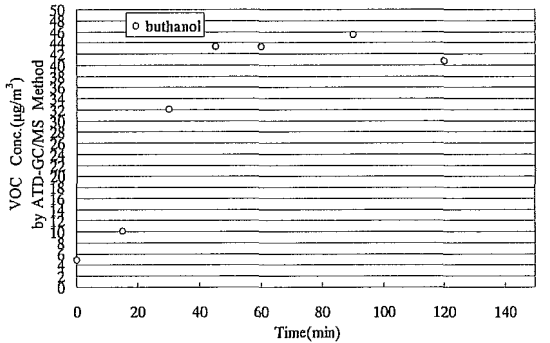


図-3.93 VOC 濃度の経時変化 (butanol) PC-2

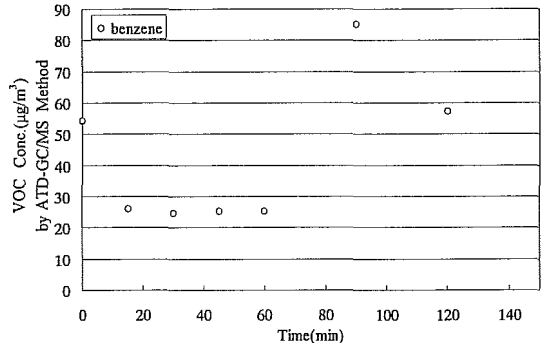


図-3.94 VOC 濃度の経時変化 (benzene) PC-2

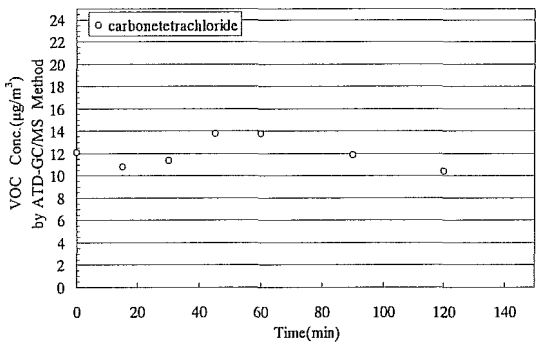


図-3.95 VOC 濃度の経時変化
(carbon tetrachloride) PC-2

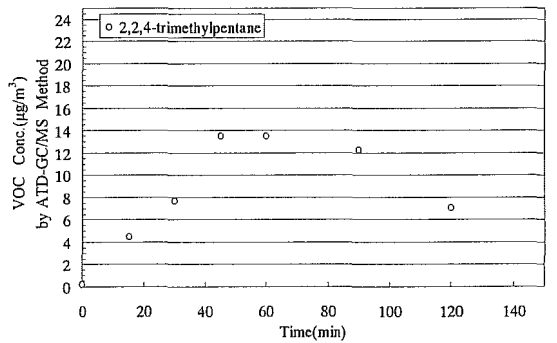


図-3.96 VOC 濃度の経時変化
(2,2,4-trimethylpentane) PC-2

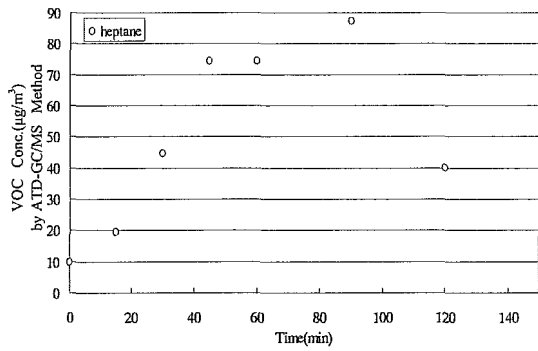


図-3.97 VOC濃度の経時変化 (heptane) PC-2

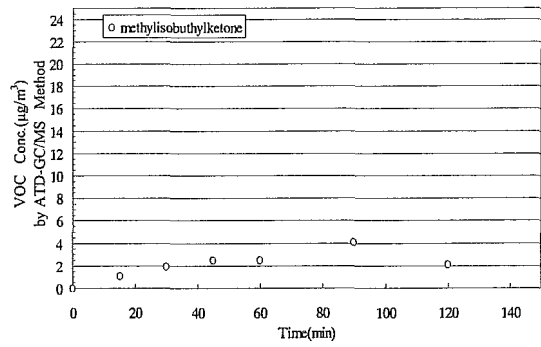


図-3.98 VOC濃度の経時変化 (methylisobutylketone) PC-2

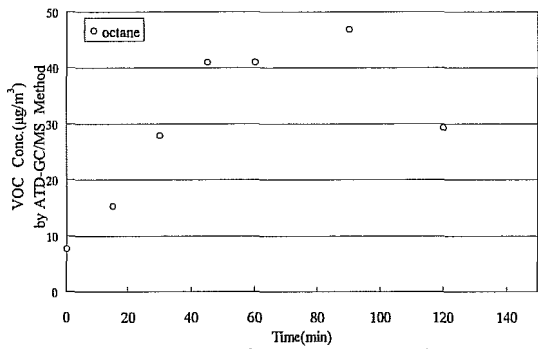


図-3.99 VOC濃度の経時変化 (octane) PC-2

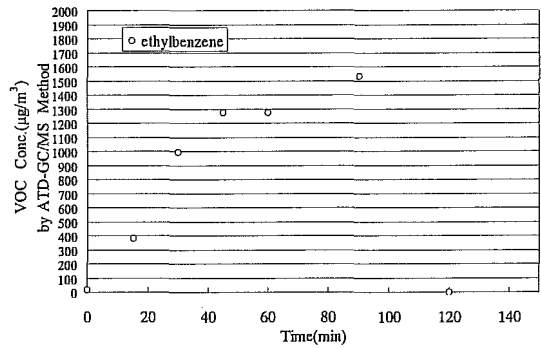


図-3.100 VOC濃度の経時変化 (ethylbenzene) PC-2

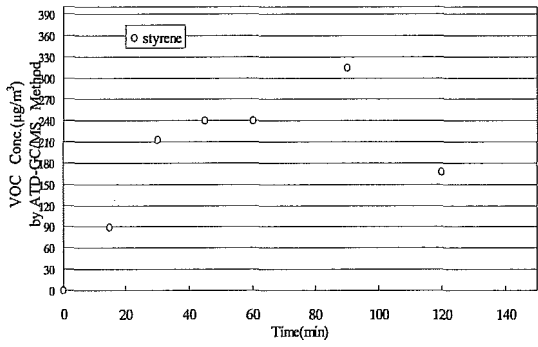


図-3.101 VOC濃度の経時変化 (styrene) PC-2

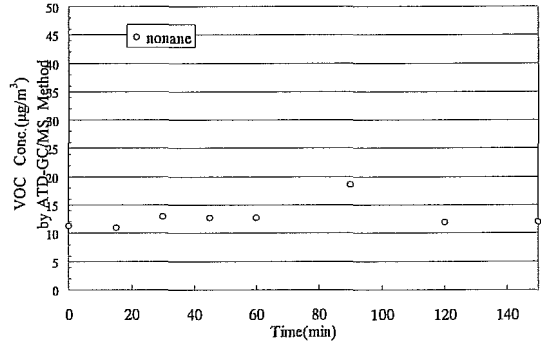


図-3.102 VOC濃度の経時変化 (nonane) PC-2

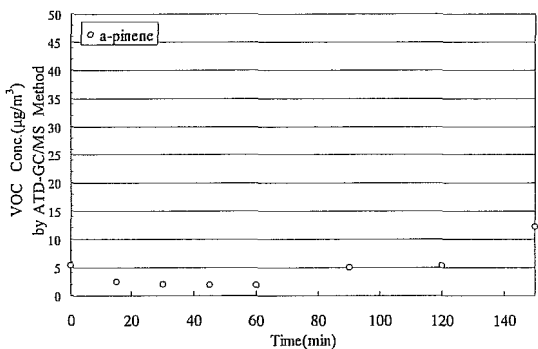


図-3.103 VOC濃度の経時変化 (α-pinene) PC-2

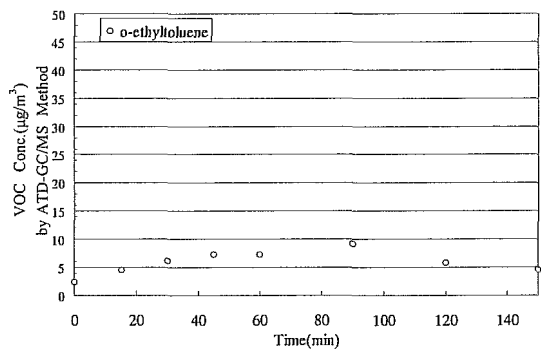


図-3.104 VOC濃度の経時変化 (o-ethyltoluene) PC-2

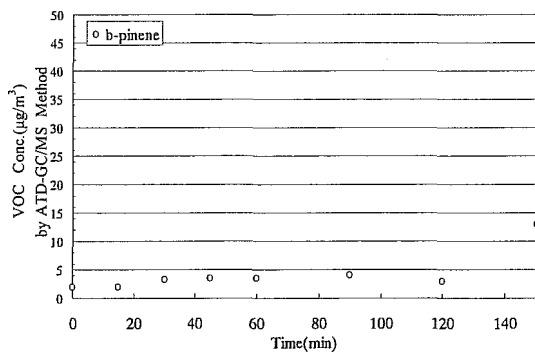


図-3.105 VOC濃度の経時変化 (b-pinene)
PC-2

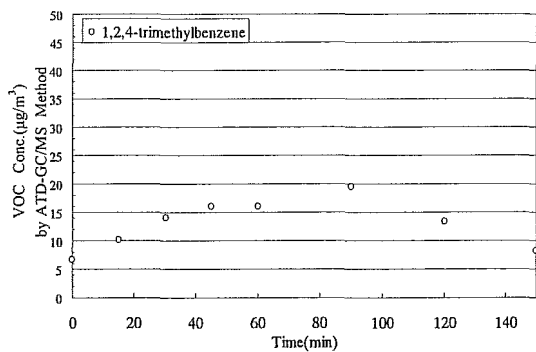


図-3.106 VOC濃度の経時変化
(1,2,4-trimethylbenzene) PC-2

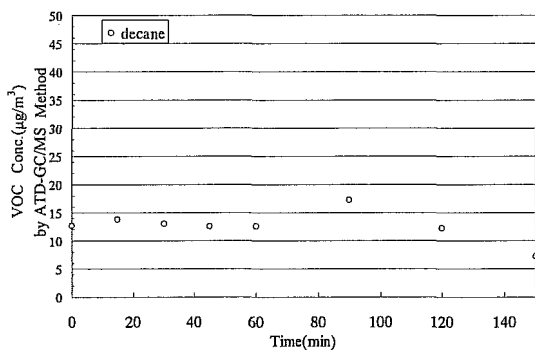


図-3.107 VOC濃度の経時変化 (decane)
PC-2

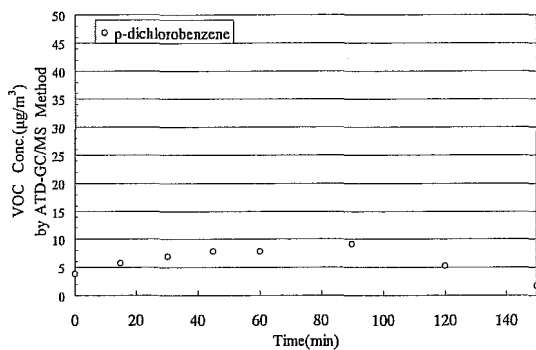


図-3.108 VOC濃度の経時変化
(p-dichlorobenzene) PC-2

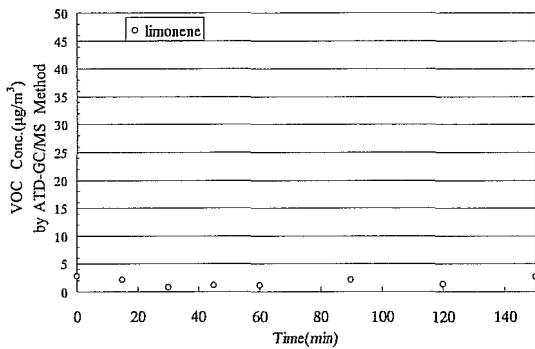


図-3.109 VOC濃度の経時変化
(1,2,3-trimethylbenzene) PC-2

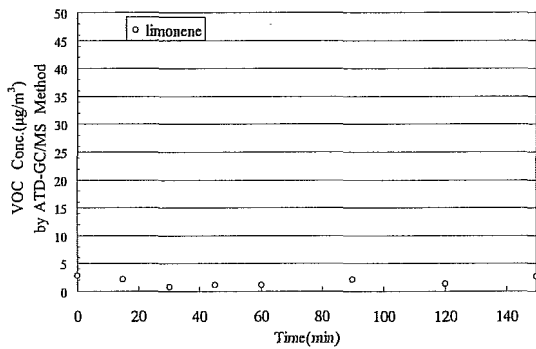


図-3.110 VOC濃度の経時変化 (limonene)
PC-2

3.3.2 各種発生源からのVOC発生量の検討

表-3.5～3.8は、VOCの機種別発生量である。

表-3.5、3.7、3.8から、印刷速度・枚数に比例してVOC発生量が大きくなっている。

表-3.6のインクジェットプリンタは、印刷速度は遅いがVOC発生量はLP-2を上回る結果となった。

表-3.5 機器運転に伴うVOCの発生量

LP-2	
n(1/h)	0.04
V(m ³)	4.98
C _{SS} (μg/m ³)	3335
C ₀ (μg/m ³)	1984
M(μg/h)	270
M(μg/h・1枚)	0.174

表-3.6 機器運転に伴うVOCの発生量

IJP-1	
n(1/h)	0.04
V(m ³)	4.98
C _{SS} (μg/m ³)	1556
C ₀ (μg/m ³)	185
M(μg/h)	274
M(μg/h・1枚)	0.277

表-3.7 機器運転に伴うVOCの発生量

PG-2	
n(1/h)	0.5
V(m ³)	4.98
C _{SS} (μg/m ³)	10549
C ₀ (μg/m ³)	1711
M(μg/h)	22095
M(μg/h・1枚)	15.1

表-3.8 機器運転に伴うVOCの発生量

PC-1	
n(1/h)	0.5
V(m ³)	4.98
C _{SS} (μg/m ³)	31085
C ₀ (μg/m ³)	2776
M(μg/h)	70772
M(μg/h・1枚)	48.4

3.3.3 レーザプリンタ、インクジェットプリンタの印刷に伴うオゾン濃度の経時変化

レーザプリンタ2機種とインクジェットプリンタ1機種の印刷に伴うオゾン濃度の経時変化を図-3.111～3.114に示す。

図-3.111、3.112から、オゾン濃度の変化が著しく、定常濃度に達するまでにはいたらなかった。

インクジェットプリンタは、既報¹⁾によりオゾン発生が認められなかったことが指摘されている。本実験ではこの報告と同様に、オゾン発生は確認できなかった。

図-3.113、3.114から、コピー機は30分程度で定常濃度が確認できた。これは、連続コピー枚数が多く、コピー用紙補給時の急激なオゾン濃度低下を防止できたためである。

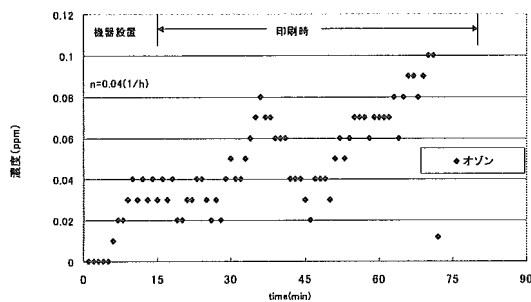


図-3.111 レーザプリンタの使用に伴うオゾン濃度の経時変化 (LP-1)

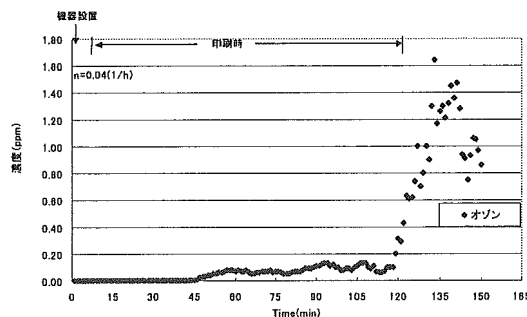


図-3.112 レーザプリンタの使用に伴うオゾン濃度の経時変化 (LP-2)

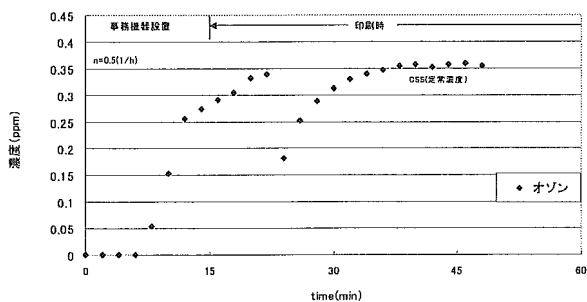


図-3.113 コピー機の使用に伴うオゾン濃度の経時変化 (PC-1)

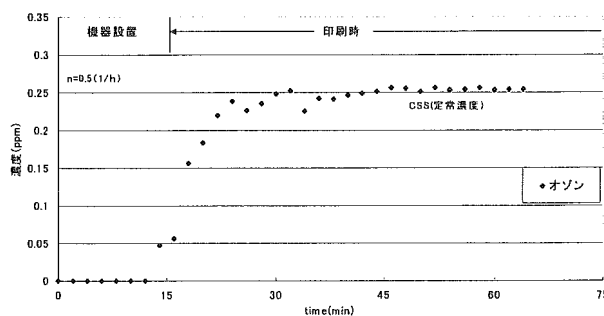


図-3.114 コピー機の使用に伴うオゾン濃度の経時変化 (PC-2)

3.4 考察

3.4.1 VOC 濃度の経時変化について

1) 事務機器からオゾンが発生が確認されている。発生したオゾンがVOCと化学反応を起こすことが考えられるので、機器のVOC発生量を求めるためには、十分な検討が必要である。

2) GC/MSの分析結果から、VOCの初期濃度が以上に高い物質が確認されたので、この原因についても検討していく必要がある。

3.4.2 オゾン濃度の経時変化について

1) オゾン濃度が顕著な上昇をみせた。これは印刷時にトナーからの熱転写により、コピー用紙（約50%が水分）の水分が蒸発し、オゾン濃度計に反応した可能性がある。

2) オゾン濃度が定常に達しなかった原因として、事務機器の用紙切れ時（事務機器停止状態）によるオゾンの急激な濃度低下を確認した。

3.5 まとめ

本研究では、事務機器からの化学物質発生量を求めるため、チェンバー内に事務機器を設置し、印刷時の化学物質濃度測定を行った。実験結果から、VOC濃度の定常を確認できた。

オゾンについては、濃度変化が激しく、PC-1・PC-2の両機種しか定常濃度を確認することはできなかった。

今後の課題としては、①より多くの事務機器のVOC濃度上昇特性を確認し、これらの機器VOC発生量について求める。②オゾン濃度の正確な測定、事務機器の用紙補給時によるオゾン濃度の急激な濃度低下の防止策を検討していく必要がある。

3.6 謝辞

本研究を遂行するにあたり、協力を頂いた山川拓君（東北文化学園大学）、及び関係者各位に深謝致します。

3.7 引用文献

- 1) 野崎淳夫他：室内オゾン汚染に関する研究(2)、各種オゾン発生源とオゾン発生量、日本建築学会講演梗概集、pp975～976、2002年
- 2) 野崎淳夫他：脱臭機、空気清浄機、コピー機からのオゾン発生機構に関する研究、平成13年度厚生科学研究費補助金 生活安全総合研究事業 研究成果報告書
- 3) 並木則和他：学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、2002年度

第4編
空気清浄機の浮遊粒子状物質除去特性
に関する研究

平成15年3月

分担研究者
東京美装興業株式会社

清澤 裕美

4.1 はじめに

4.1.1 本研究の背景

近年、花粉症に悩まされる人が増加し、東京都が平成8年度に行った調査によると、都民のおよそ5人に1人がスギ花粉症であると認められている。

屋外に比べ、室内では花粉の濃度は格段に低いと考えられるが、花粉量による症状の重度は人それぞれで、ごく少量のアレルゲンであっても症状が出る人もいる。

花粉は外気中の汚染物質であるが、室内へも何らかの経路により持ち込まれる。例えば、建物の開口部から侵入する、または人や物に付着し室内に搬入される、などである。そのため、今や花粉症患者にとって建物の中でも安心してられない状況である。¹⁾

室内での花粉対策としては、窓や玄関などの開口部をなるべく開けないようにする、頻繁に掃除を行う、また空気清浄機をつける方法などが考えられる。

家庭用空気清浄機は、もともと室内のタバコ煙の除去を主目的として開発されたものであり、従来は主に花粉症対策として購入する人が多い季節商品だった。しかし、現在はタバコ煙のみならず、ガス状物質に変移してきている。また、建材などから発生する化学物質で頭痛などの症状を訴えるいわゆる「シックハウス症候群」の予防や、健康志向の高まりから、季節に関係なく購入するケースも増加し、一般家庭でも空気清浄機が広く利用されるようになった。

しかしながら、アレルゲン物質としての花粉の除去に関する学術的研究報告はなく、科学的知見が求められている。

4.1.2 既往の研究

スギ花粉を粒子状物質とて扱った研究には、以下のものがあげられる

菅原ら²⁾は、スギ花粉をアレルゲンを有するエアロゾルとして捉え、落下法と容量法によって測定し、目視による計数とアレルゲン量によって、室内外の粒径分布と落下量を求めている。結果、飛散中のスギ花粉の粒子分布は屋内外共に $25 \mu\text{m}$ 以上と $5 \mu\text{m}$ をピークとする二山形であったことを示している。

大橋ら³⁾は、スギ花粉粒子の粒径・重量の測定と空気力学特性について調べ、粒子直径 $30 \mu\text{m}$ の粒子密度 $\rho = 0.14$ 、重量が約 2×10^{-9} (g/個) であり、このときの空気力学径を算定した結果約 $11.3 \mu\text{m}$ であることを示している。また、アンダーセンサンプラーにより野外実測を行った結果、野外浮遊スギ花粉の空気力学径がほぼ $11 \mu\text{m}$ であることを確認している。⁴⁾

清澤ら⁵⁾は、人の居住している住宅や使用中の事務所ビルにおいて、花粉の侵入量を実測調査し、花粉の侵入率は室内中央は約1.6%、窓際では3.1%、常時開いている場所では26%であることを示している。また、清澤らは人や物によって運搬され、室内へ搬入されると思われる花粉を被験者実験により求め、人への付着量は外出時間と飛散量に比例することを確認している。⁵⁾

4.1.3 本研究の目的および内容

そこで本研究は、市販されている家庭用空気清浄機の浮遊粒子状物質の除去特性について、対象を花粉粒子としたときの除去特性を明らかにすることを目的としたものである。

本研究は、スギ花粉が室内へ侵入し、あるいは搬入されて、居住者が暴露される状態を定量的に把握、予測し、技術的なコントロールを行うための基礎資料を得ることを目的としている。

そこで、以下について提案し、その試験方法と妥当性について検討を行った。

(1) 実験による検証

家庭用空気清浄機の汚染除去特性の評価に、「相当換気量 (m^3/h)」という指標を用いた。ここでは濃度減衰法に基づき、家庭用空気清浄機の効果について実験を行う事により検証を行ったが、対象物質を花粉粒子として行った実験が過去にないため、今年度はまずその試験方法の妥当性を検討する事から行った。

スギ花粉の評価には、花粉を粒子状物質とした扱う評価と、アレルゲン量としての評価方法があるが、ここでは花粉粒子としての評価方法に限っている。

(2) 花粉粒子の室内濃度に関する理論的検討

室内に侵入、あるいは搬入された花粉粒子を除去するため、家庭用空気清浄機を用いた時の室内濃度予測を、計算式を用いて示した。