

2.3 実験概要

2.3.1 実験室概要

(1) 実験チェンバーの概要

実験チェンバーは、換気量が制御でき、オゾン吸着の小さい実験室で行う必要がある。そこで、ステンレス製のチェンバーシステムを作製した。本チェンバーは、任意の換気量が得られる機械換気装置を有したもので、4.98m³ (1.8m × 1.8m × 1.6m) の気積を有している。チェンバーには試料ガスを採取するため、サンプリング孔が設けられており、これを用いて試料ガスの採取を行った。チェンバー内の換気は、機械換気設備により任意の換気回数に設定できる。(写真-2.1 参照)

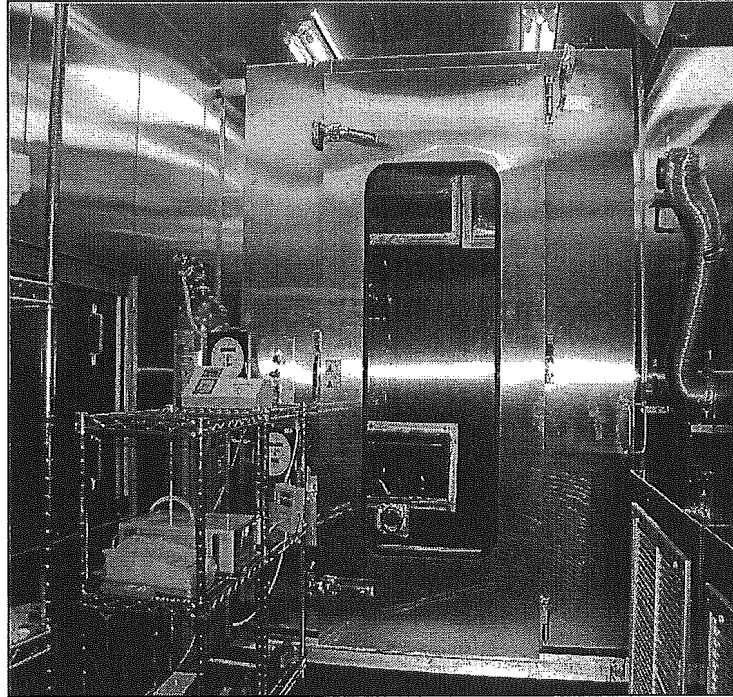


写真-2.1 実験チェンバー

(2) 実験チェンバーの換気回数

設定換気回数と実換気回数の確認をするために、トレーサーガス濃度減衰法により、実換気回数の測定を行った。トレーサーガス濃度減衰法とは、トレーサーガス（六化フッ素硫黄：SF₆）を実験チェンバー内に放散させ、マルチガスモニターを用いてトレーサーガス濃度の経時減衰を測定し、以下に示す(1)式によって求めた。

$$n = 2.303 \times \log \left\{ \frac{(C_1 - C_0)}{(C_2 - C_0)} \right\} \quad - (1)$$

ただし、n: 換気回数 (1/h)

t: 減衰を測定した時間 (h)

C₁: 測定を開始したときの六化フッ素硫黄濃度 (ppm)

C₂: t 時間後の六化フッ素硫黄濃度 (ppm)

C₀: 外気中の六化フッ素硫黄濃度 (ppm) とする。

結果を表-2.17、図-2.7に示す。

表-2.17 実験チェンバーにおけるSF6濃度の経時変化

Time (min)	1回目	2回目	3回目
0	444	448	909
15	441	444	902
30	439	439	898
45	437	433	891
60	435	431	880
75	431	427	875
90	430	423	870
105	427	417	861
120	425	413	856
135	422	410	847
150	418	406	838
165	417	402	830
180	416	397	826
n(1/h)	0.02	0.04	0.03

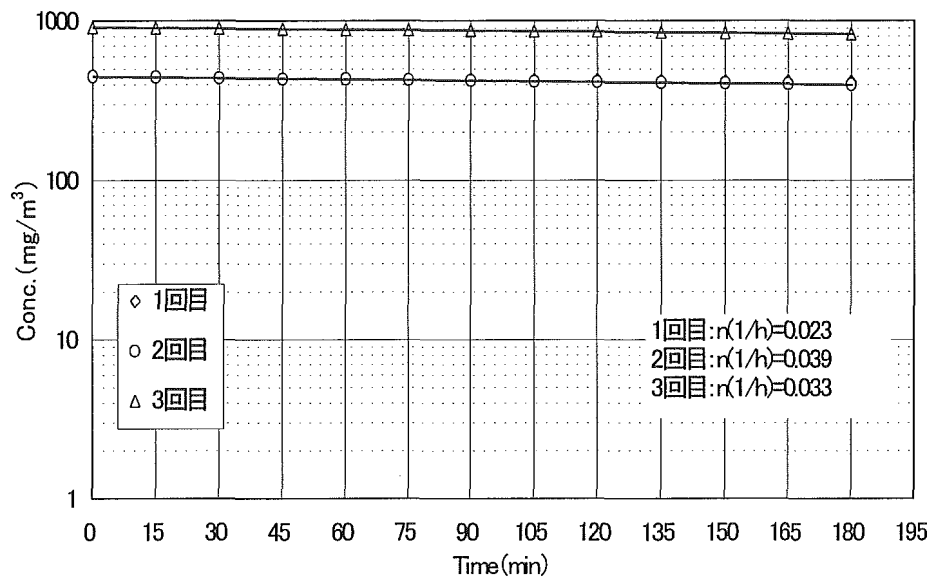


図-2.7 実験チェンバーにおけるSF6濃度の経時変化

結果として、換気回数 $n(1/h)=0.03$ の値が得られた。つまり、本実験チェンバーは換気回数 $n(1/h)=0.03$ の換気回数を有するものと言える。

(3) 実験チェンバーのオゾン吸着率

オゾンは吸着性を持つ物質である。本研究ではオゾン濃度も測定するため、チェンバーの吸着率を求めておく必要があることから、吸着による減衰係数を求めた。

その方法は、チェンバー内にオゾン発生器を設置し、オゾンを発生させた後オゾン発生を停止する。その後オゾン濃度の経時変化をオゾンモニターで測定し記録する。

吸着係数は、換気回数を求めたときと同様に(2.1)式を用いて算出する。その結果を表-2.18、図-2.8に示す。

表-2.18 実験チェンバー内におけるオゾン濃度の経時変化

Time (min)	オゾン濃度(ppm)		
	1回目	2回目	3回目
0	0.57	0.20	0.20
10	0.57	0.19	0.19
20	0.55	0.18	0.18
30	0.50	0.17	0.17
40	0.48	0.16	0.16
50	0.47	0.16	0.15
60	0.45	0.15	0.14
70	0.43	0.14	0.14
80	0.41	0.13	0.13
90	0.39	0.13	0.12
100	0.38	0.12	0.11
110	0.36	0.11	0.11
120	0.34	0.11	0.10
130	0.33	0.10	0.10
140	0.31	0.10	0.09
150	0.30	0.09	0.08
160	0.29	0.09	0.08
170	0.27	0.08	0.08
180	0.26	0.08	0.07
n(1/h)	0.27	0.32	0.35

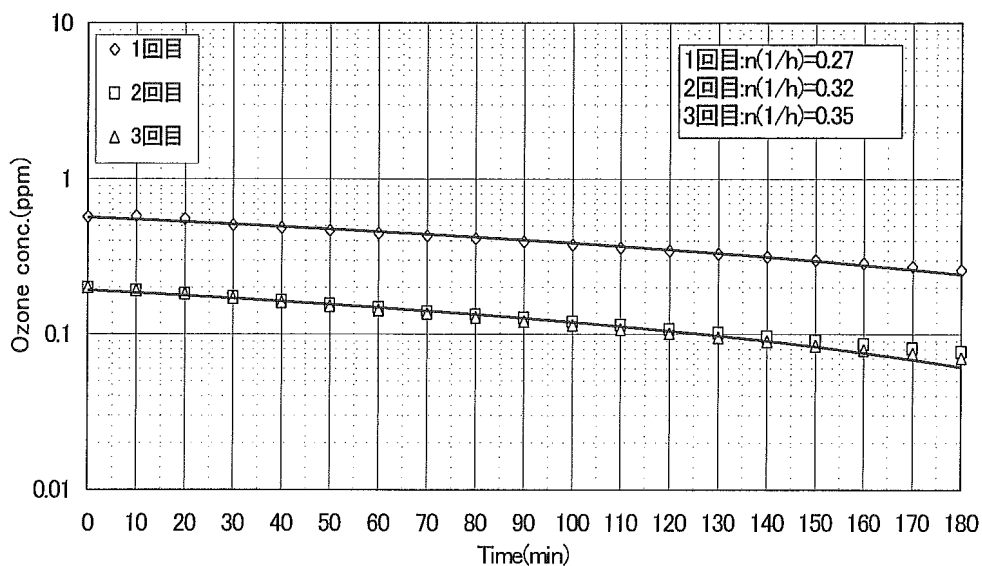


図-2.8 実験チェンバー内におけるオゾン濃度の経時変化

結果として、換気回数 $n(1/h)=0.31$ の値が得られた。この値には先に求めたチェンバー内の換気回数が含まれているため、オゾン吸着率を求めるにはその値を差し引かなければならない。よって、オゾン吸着率 $\alpha(1/h)$ は $0.31-0.03=0.28$ となる。

2.3.2 測定機器及び分析機器

本実験で測定・分析した各種ガスは以下の機器を用いて行った。

- ①オゾン濃度：紫外線吸収法オゾン濃度計(ダイレック社製、model:1200)(写真-2.2参照)
- ②揮発性有機化合物(VOC)：マルチガスモニター(B&K社製、model:1302)(写真-2.3参照)及びGC/MS(Perkin Elmer社製、Turbo mass gold)(写真-2.4参照)
- ③アルデヒド類：マルチガスモニター(B&K社製、model:1302)及びHPLC(日立社製、model:L-7000)(写真-2.5参照)
- ④六化フッ素硫黄(SF₆)：マルチガスモニター(B&K社製、model:1302)

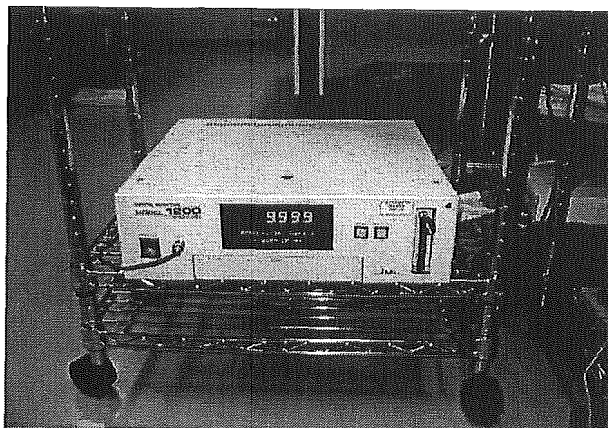


写真-2.2 紫外線吸収オゾン濃度計

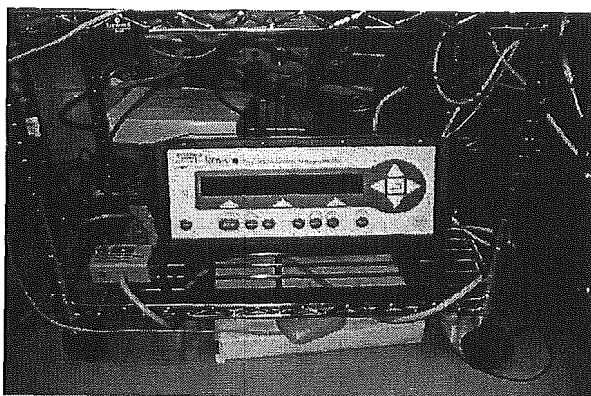


写真-2.3 マルチガスモニター

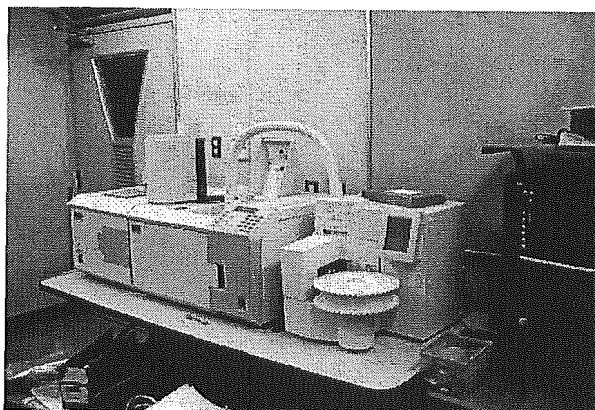


写真-2.4 GC/MS

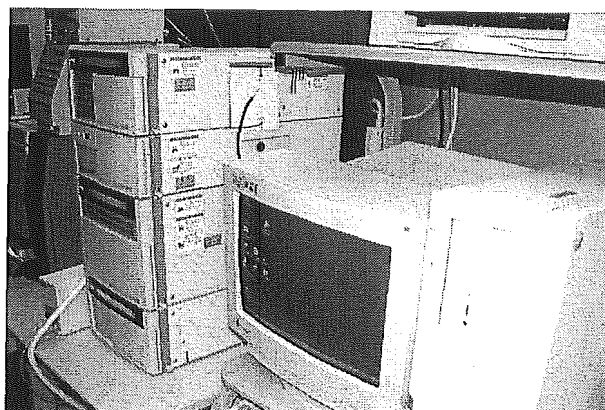


写真-2.5 高速液体クロマトグラフ (HPLC)

2.3.3 実験対象機器

本実験の測定対象器具の一例である対象機器Mは3つのフィルターとオゾン分解脱臭触媒とオゾン分解NO₂吸収剤、イオン集塵電極棒、オゾン発生装置、オゾンセンサーからなり、オゾンセンサーによりオゾン濃度が常に0.05ppm以下になるように制御している(図-2.9参照)。機器Mの主な仕様を表-2.19、機器Mの外観を写真-2.6に示す。その他、フィルターを有しない機器Sも実験対象機器とした。

表-2.19 対象機器Mの主な仕様

除去方式	オゾン触媒方式		
除去対象物質	粉塵・花粉・ホコリ・細菌・臭気・ホルムアルデヒド・Nox・SOx		
利用対象施設	医療機関・交通機関・店舗・オフィス・公共施設		
オゾン発生量	強12[mg/hr]	中8[mg/hr]	弱6[mg/hr]
風量	強500[l/min]	中350[l/min]	弱250[l/min]
有効面積	7坪以下(容積約52m ³ 以下)		
オゾン発生間隔	3.5分間隔でON/OFFを繰り返す。		

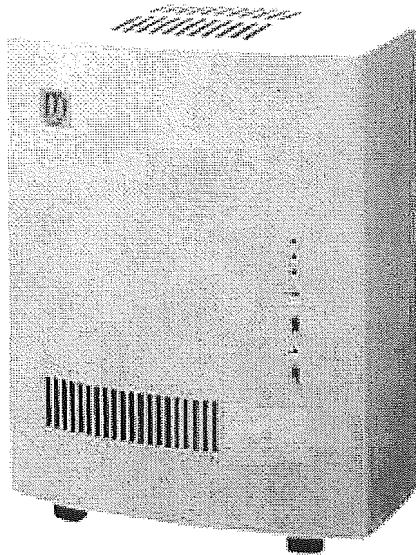


写真-2.6 機器Mの外観

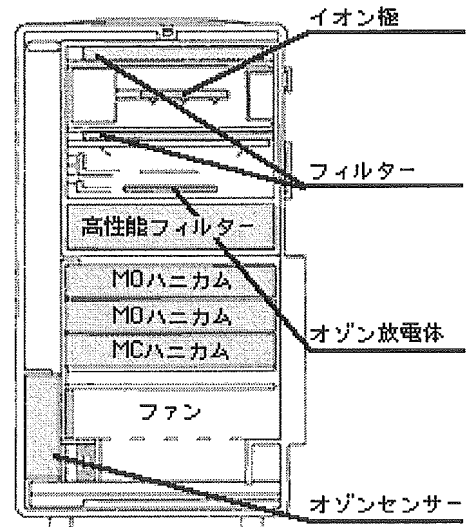


図-2.9 機器Mの内部図

ここで、オゾン分解脱臭触媒(M0ハニカム)とオゾン分解NO₂吸収剤(MCハニカム)について示す。

(a) M0ハニカム

M0ハニカムは、二酸化チタンとアルミン酸石灰で形成された多孔質ハニカム構造体にマンガノ酸化物及び酸化銅が均一分散した構成をしている。臭気成分の吸着は主に多孔質体が受け持ち、オゾンの吸着及び余剰のオゾン分解は金属酸化物を受け持つものである。

・特徴

- ①ハニカム構造で反応効率がよく、圧力損失が小さい。
- ②触媒作用によるオゾン分解剤であり、長寿命である。

(b)MC ハニカム

MC ハニカムは、消石灰、活性炭、炭酸カリウム成分を石膏で固めた構成で、アルカリ成分と活性炭でオゾンを分解するとともに NO_2 (二酸化窒素)、 SO_2 (二酸化硫黄) 等の酸性ガスを活性炭で効率よく吸着し、アルカリ成分との中和反応により吸収浄化する。

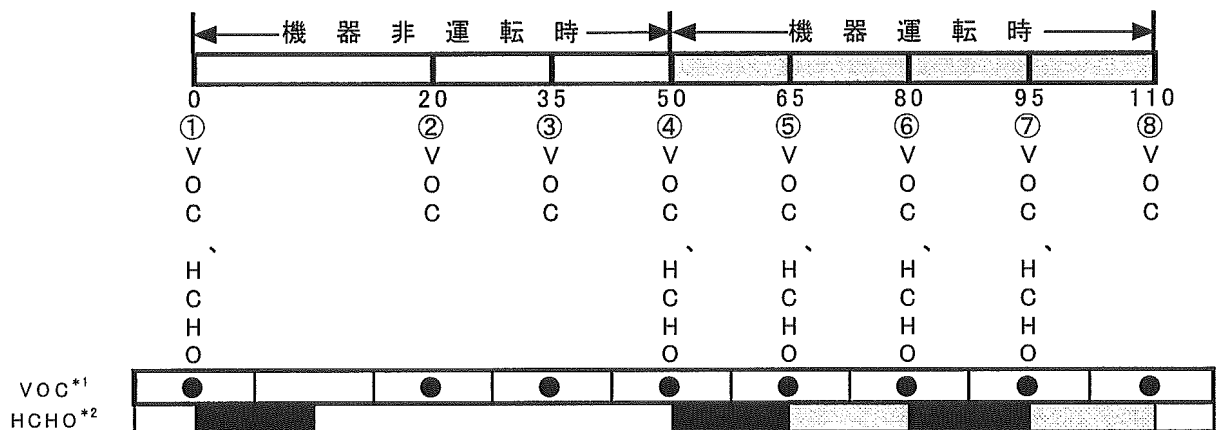
・特徴

- ①アルカリ成分の触媒作用と活性炭によりオゾンを効率よく分解する。
- ②常温、乾式で NO_2 、 SO_2 等の酸性ガスを吸収浄化し長寿命である。
- ③結合剤として石膏を用いており、活性炭の消耗などによる破壊はない。

2.3.4 新たに提案する実験手順

本研究により、新たに提案する実験手順を以下に示す。

- ①チェンバー内を十分に換気した後、チェンバー内にオゾン発生機器を設置し、チェンバーを密閉する。
- ②バックグラウンド濃度を測定するために、VOC ガス注入前の空気をATD チューブ(捕集管)(写真-2.7 参照)に捕集する。
- ③既知濃度のVOC ガス(51)をチェンバー内に注入する。VOC ガスの成分表を表-2.20に示す。
- ④20分間の機器非運転時の濃度変化を測定した後、オゾン発生機器によりオゾンを発生させ、機器運転時の濃度変化を測定する。
- ⑤VOCは、ATD チューブでVOC ガス注入直後、機器運転開始0分、15分、30分、45分、60分後の間隔で、50(ml/min)の流量で2分間捕集する。(図-2.10 参照)
- ⑥ホルムアルデヒドは、DNPHカートリッジ(写真-8 参照)の上流側にオゾンスクラバー(写真-2.9)を結合させ、機器運転開始0分、15分、30分、45分後の間隔で1(L/min)の流量で15分間捕集する。(図-2.10 参照)
- ⑦オゾン濃度は、オゾンモニターで機器運転開始直後から5分間隔で測定する。
- ⑧捕集したATD チューブはGC/MSで分析及び定性・定量を行う。DNPHカートリッジは、アセトニトリルで溶出した後、HPLCに導入し分析を行う。



*1: ●がついたタイミングでATDチューブに捕集した。

*2: 着色したタイミングにDNPHカートリッジに捕集した。

図-2.10 捕集タイミングと捕集物質

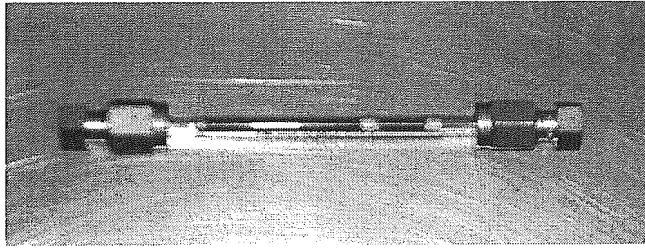


写真-2.7 ATD チューブ



写真-2.8 DNPN カートリッジ



写真-2.9 オゾンスクラバー

表-2.20 VOC ガス成分表

	対象成分	化学式	分子量	沸点	比重	濃度 (ppm)
1	ジクロロメタン	CH ₂ Cl ₂	84.9	40.1	1.34	96.0
2	アセトン	(CH ₃) ₂ CO	58.1	56.2	0.792	96.0
3	クロロホルム	CHCl ₃				95.8
4	n-ヘキサン	n-C ₆ H ₁₄	86.2	68.7	0.659	97.0
5	エタノール	C ₂ H ₅ OH	46.1	78.3	0.816	96.6
6	1,1,1-トリクロロエタン	1,1,1-C ₂ H ₃ Cl ₃				97.2
7	テトラクロロエタン	CCl ₄				95.9
8	酢酸エチル	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88.1	77.0	0.895	96.2
9	メチルエチルケトン	CH ₃ COOC ₂ H ₅	72.1	79.6	0.805	97.4
10	2,4-ジメチルペンタン	2,4-(CH ₃) ₂ C ₅ H ₁₀				98.1
11	ベンゼン	C ₆ H ₆	78.1	80.1	0.879	98.2
12	1,2-ジクロロエタン	1,2-C ₂ H ₄ Cl ₂				98.5
13	トリクロロエチレン	C ₂ HCl ₃	131	86.7	1.46	97.1
14	1,2-ジクロロプロパン	1,2-C ₃ H ₆ Cl ₂				96.8
15	n-ヘプタン	n-C ₇ H ₁₆	100	98.4	0.684	99.2
16	i-ブタノール	2-(CH ₃) ₂ C ₃ H ₁₀				97.7
17	トルエン	C ₇ H ₈	92.1	111	0.866	97.1
18	メチルイソブチルケトン	CH ₃ CO(i-C ₄ H ₉)	100	116	0.804	96.4
19	n-ブタノール	n-C ₄ H ₉ OH				97.7
20	クロロジブロモメタン	CHClBr ₂				95.7
21	テトラクロロエチレン	C ₂ Cl ₄	166	121	1.63	96.7
22	酢酸ブチル	CH ₃ COOC ₄ H ₉	116	126	0.883	97.3
23	n-オクタン	n-C ₈ H ₁₈	114	126	0.703	97.5
24	エチルベンゼン	(C ₂ H ₅)C ₆ H ₅	106	136	0.867	98.5
25	p-キシレン	p-C ₆ H ₁₀	106	139	0.868	97.9
26	m-キシレン	m-C ₆ H ₁₀	106	139	0.861	98.2
27	o-キシレン	o-C ₆ H ₁₀	106	144	0.880	98.2
28	スチレン	(C ₂ H ₅)C ₆ H ₅				99.6
29	n-ノナン	n-C ₉ H ₂₀	128	151	0.722	96.7
30	α-ピネン	α-C ₁₀ H ₁₆	136	160	0.862	97.6
31	1,3,5-トリメチルベンゼン	1,3,5-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃	120	165	0.863	97.6
32	1,2,4-トリメチルベンゼン	1,2,4-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃	120	236	0.957	98.0
33	p-ジクロロベンゼン	p-C ₆ H ₄ Cl ₂	147	174	1.458	90.5
34	n-デカン	n-C ₁₀ H ₂₂	142	174	0.730	98.4
35	1,2,3-トリメチルベンゼン	1,2,3-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃	120	176	0.894	98.3
36	リモネン	C ₁₀ H ₁₆	136	176	0.842	98.1

2.4 実験結果と考察

2.4.1 機器Mについて

(1) オゾンのVOCに対する低減効果

捕集した空気をGC/MSに導入して分析を行った。分析後、定性・定量を行った結果を図-2.11～2.53に示す。図ではTVOC値と各成分ごとの経時変化を示した。

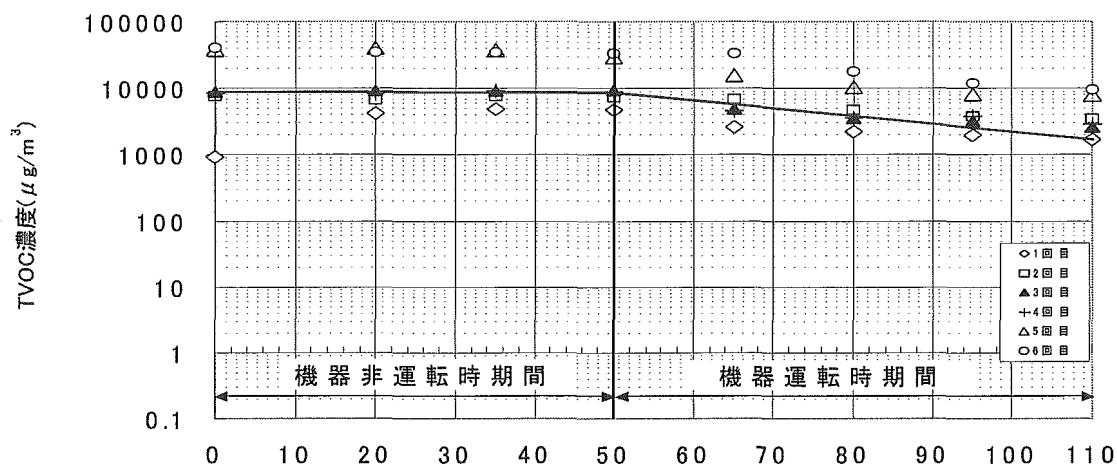


図-2.11 TVOC濃度の経時変化

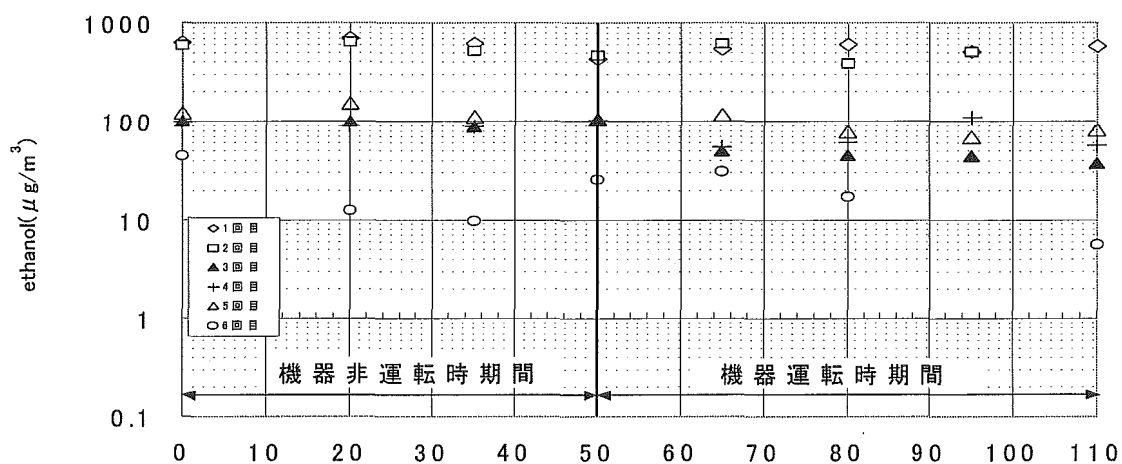


図-2.12 ethanolの経時変化

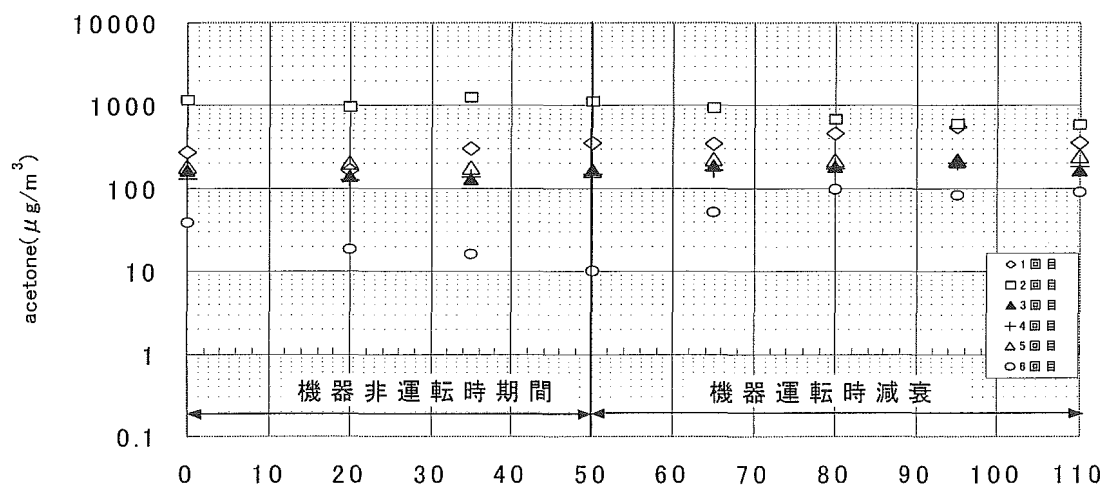


図-2.13 acetoneの経時変化

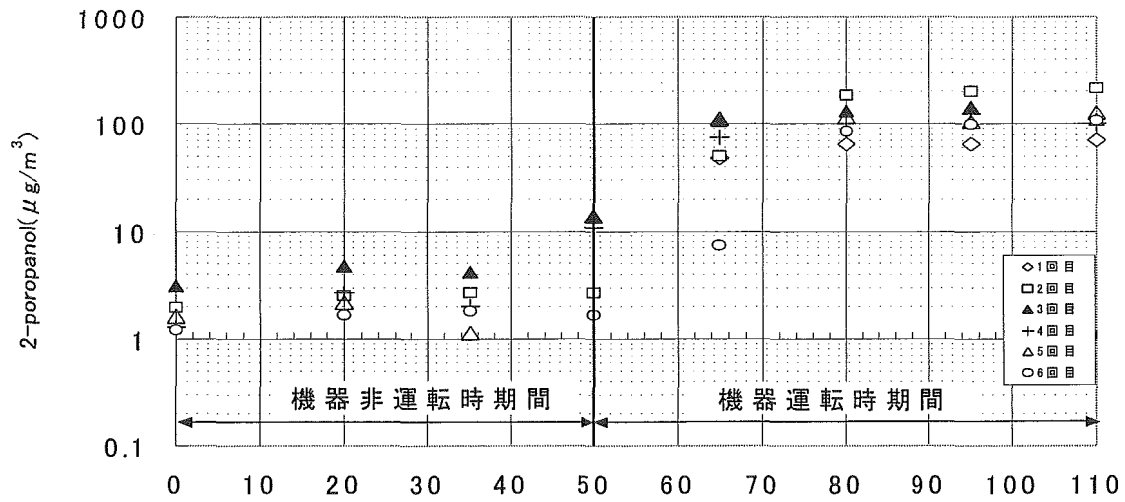


図-2.14 2-propanolの経時変化

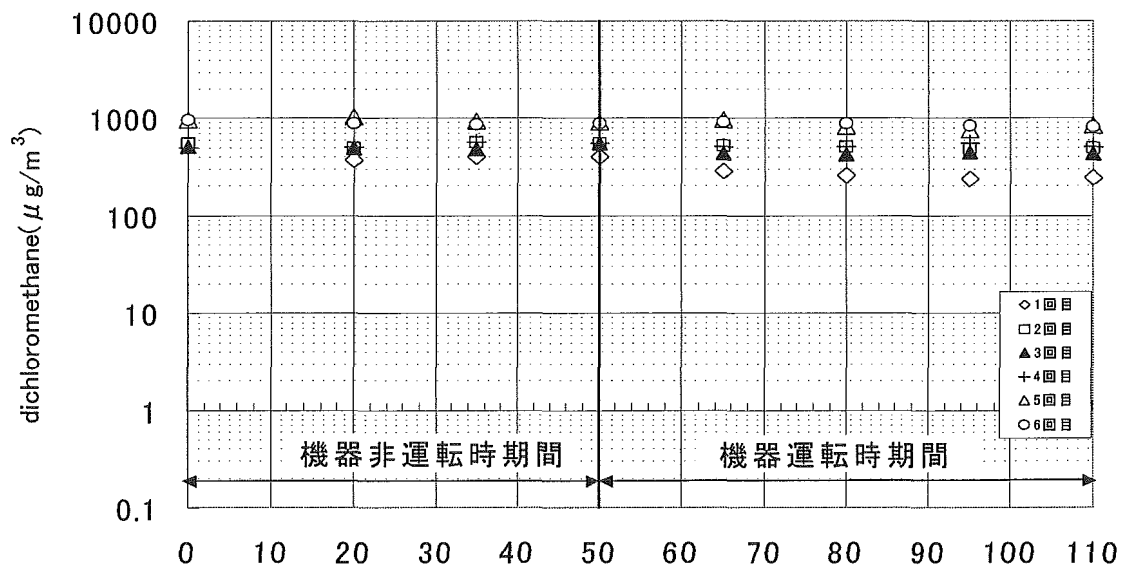


図-2.15 dichloromethaneの経時変化

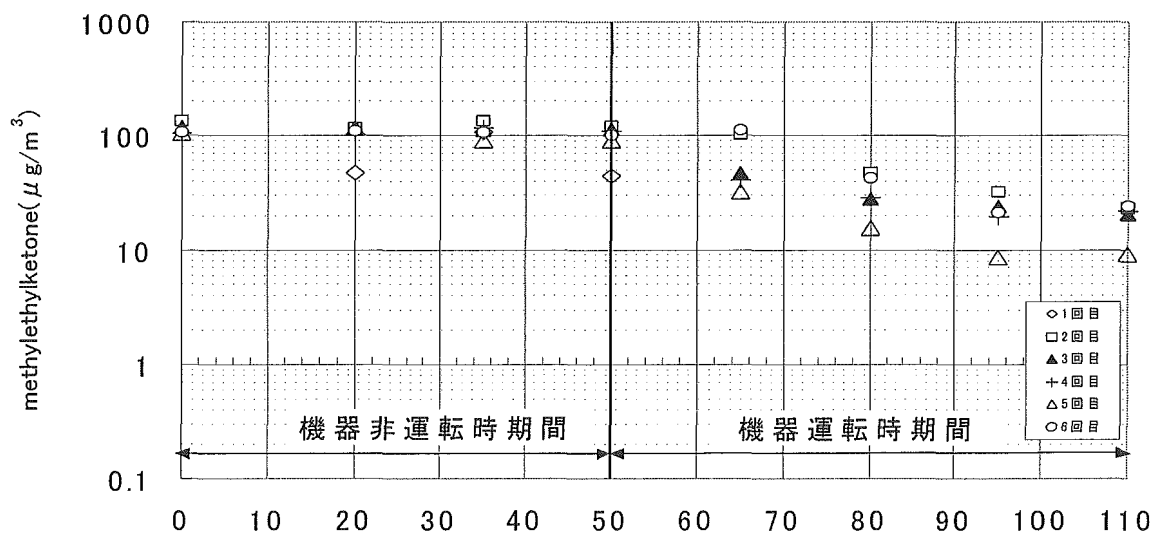


図-2.16 methylethylketoneの経時変化

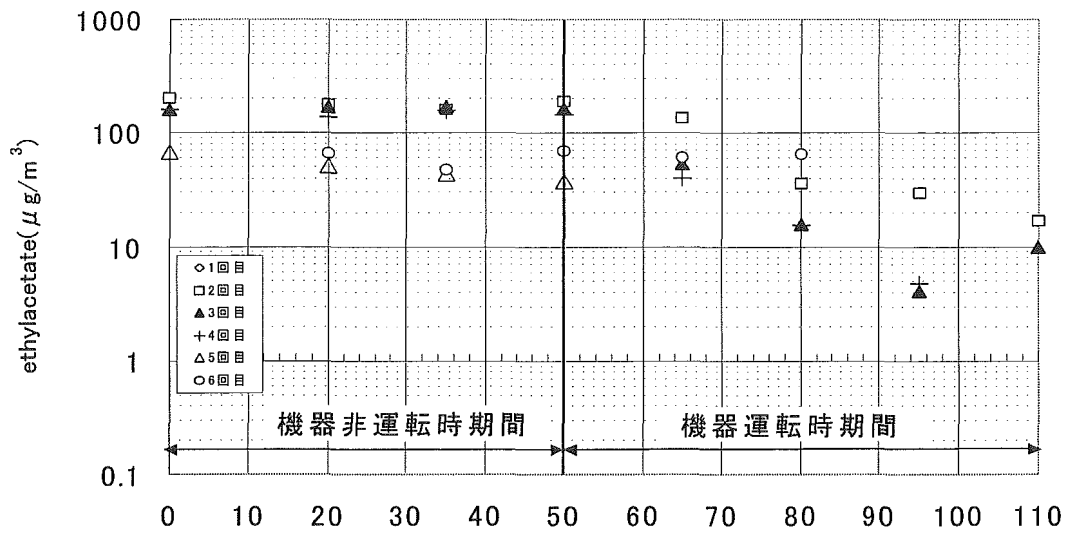


図-2.17 ethylacetateの経時変化

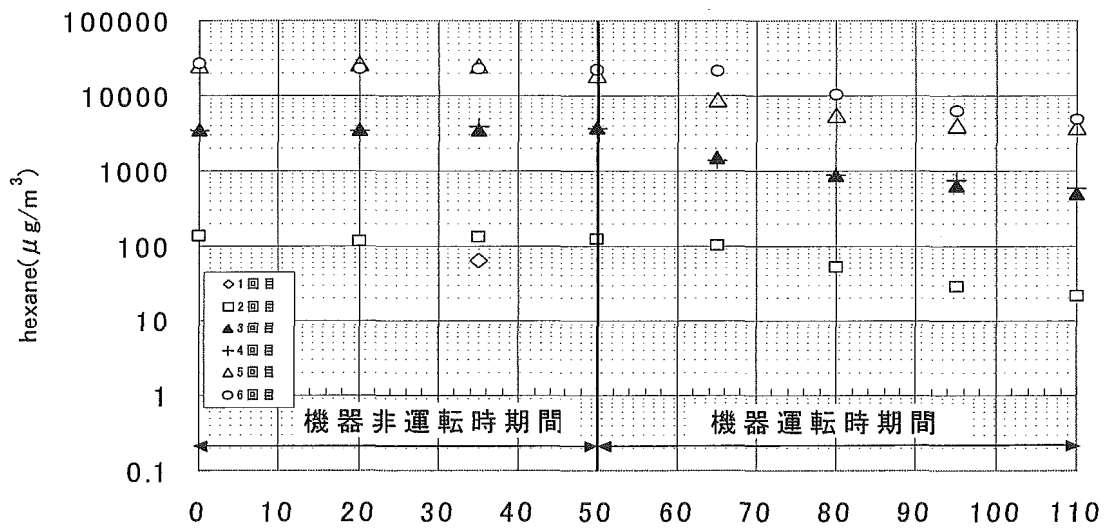


図-2.18 hexaneの経時変化

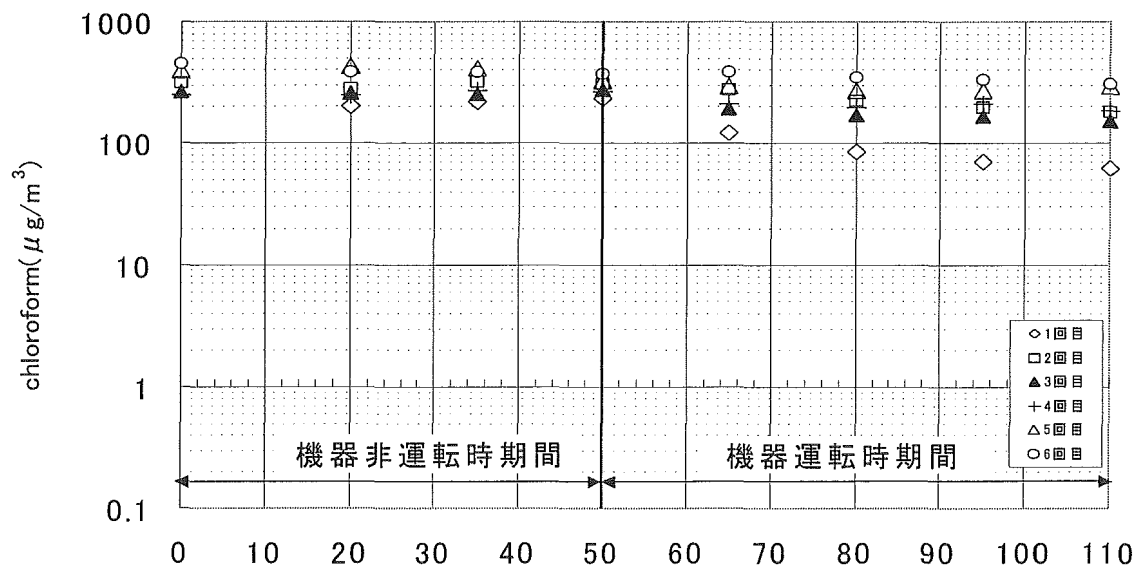


図-2.19 chloroformの経時変化

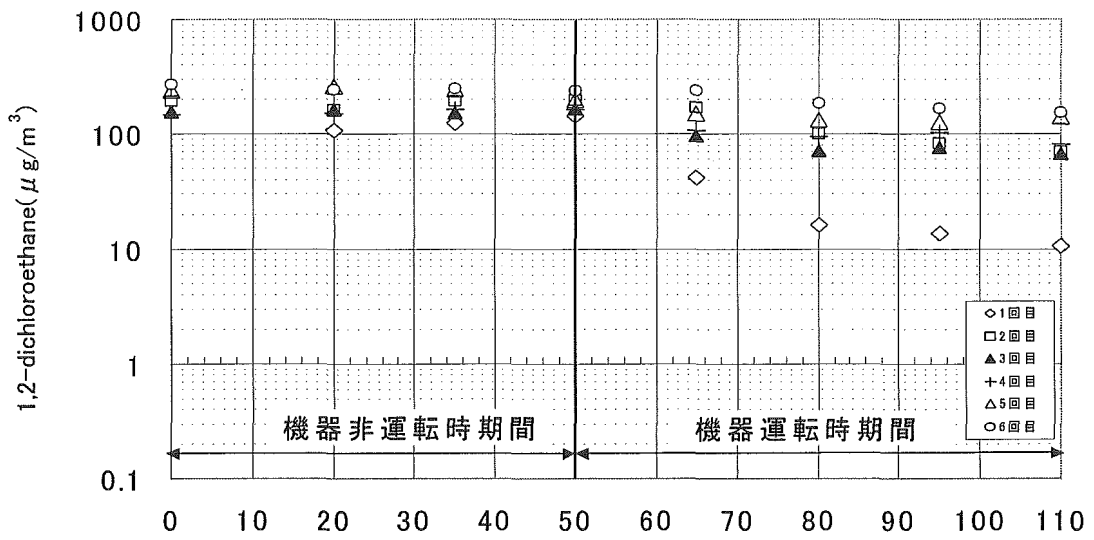


図-2.20 1,2-dichloroethane の経時変化

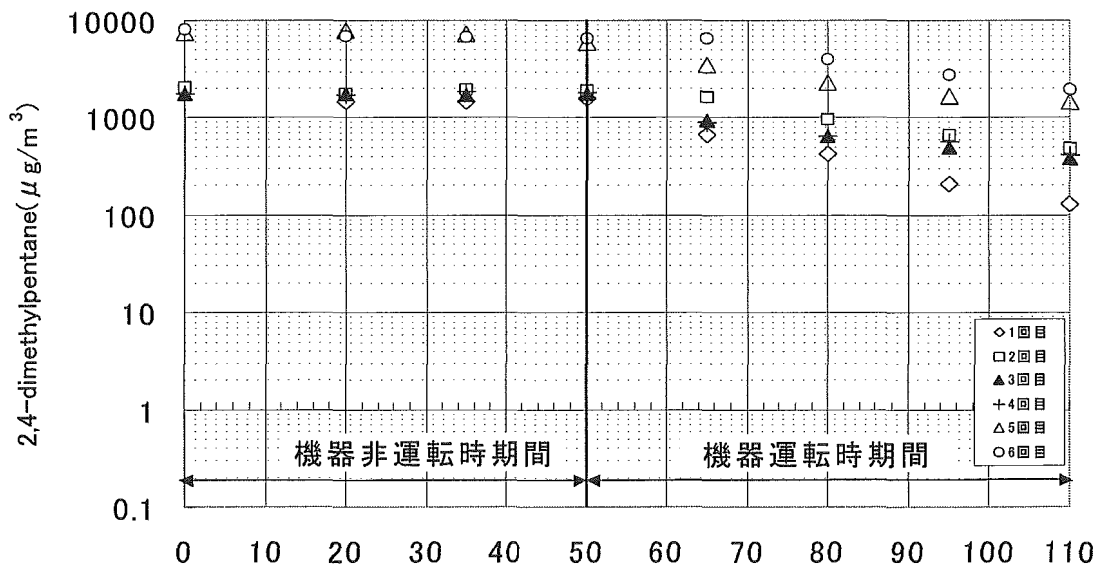


図-2.21 2,4-dimethylpentane の経時変化

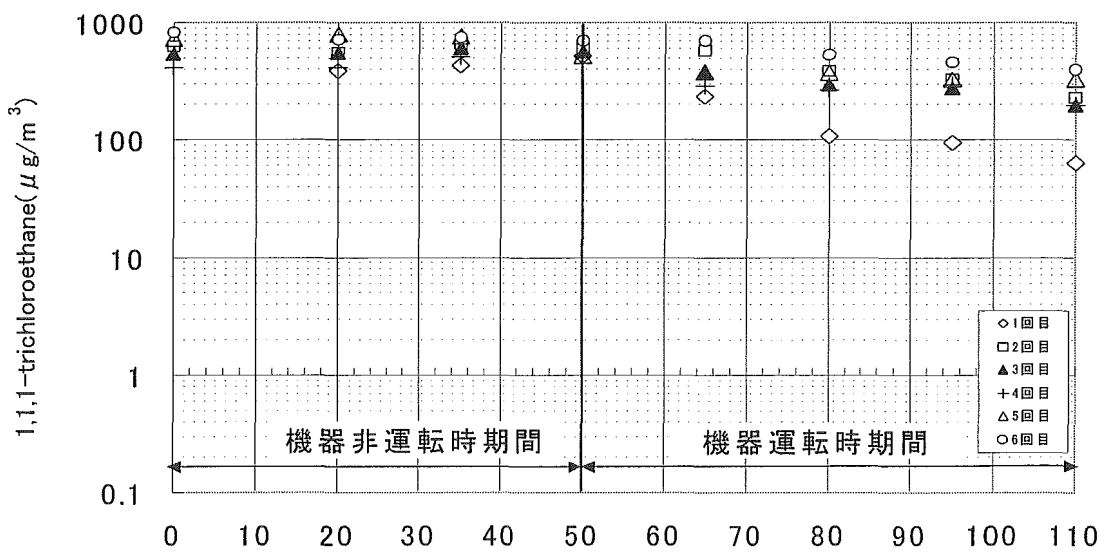


図-2.22 1,1,1-trichloroethane の経時変化

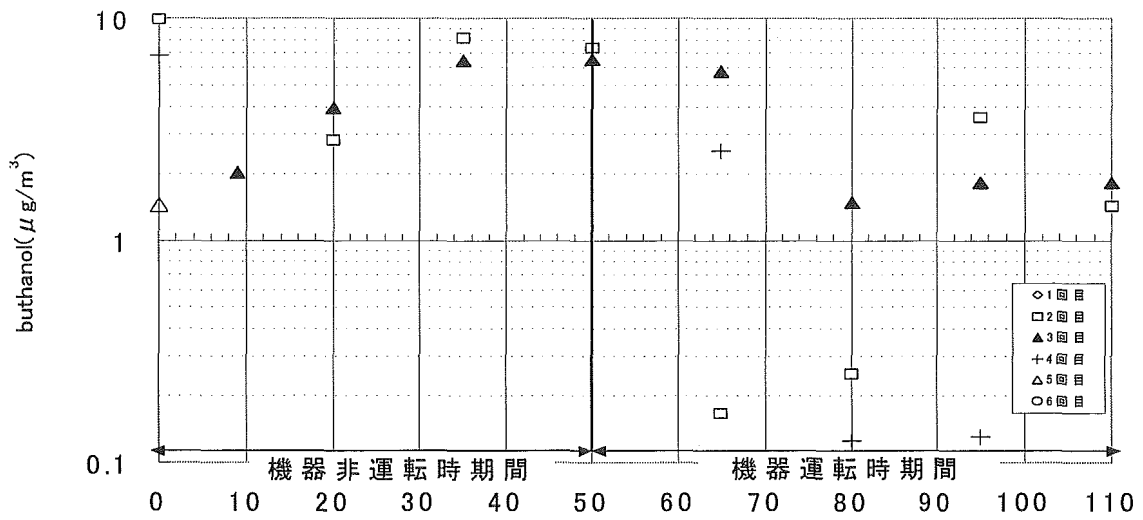


図-2.23 buthanol の経時変化

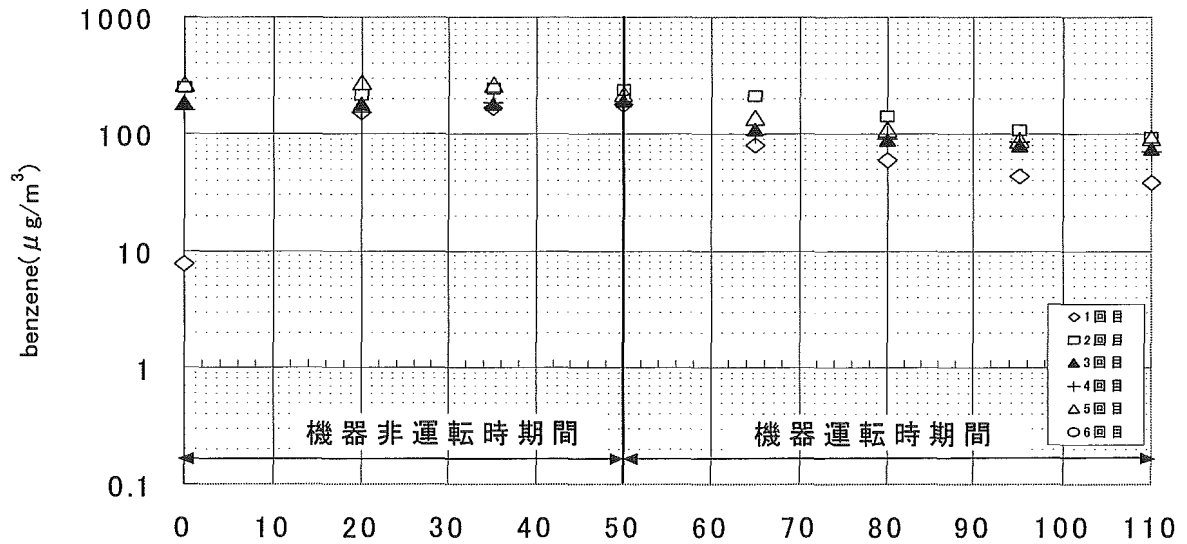


図-2.24 benzene の経時変化

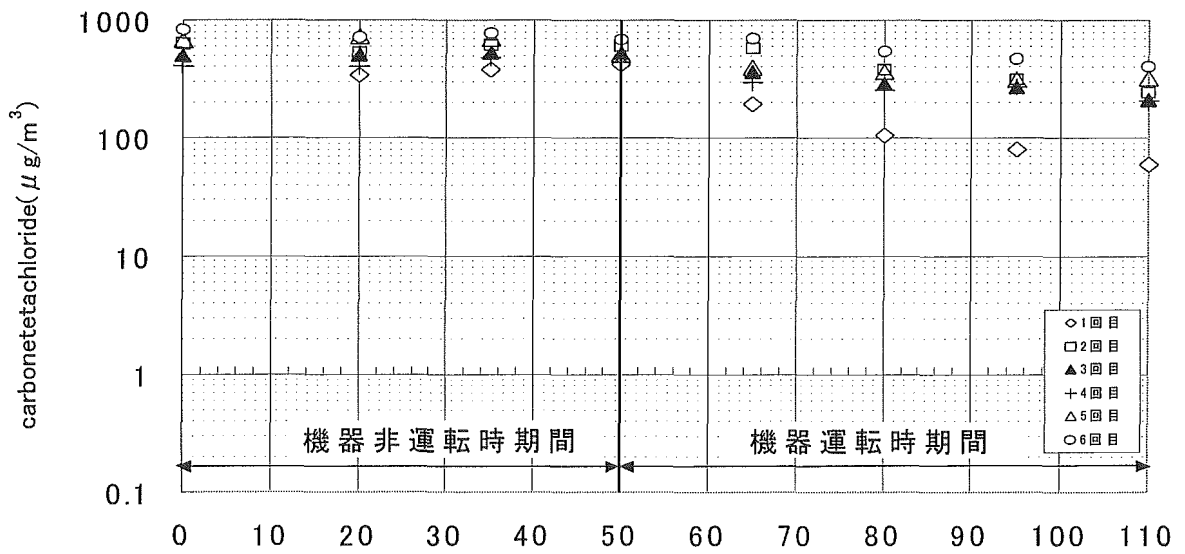


図-2.25 carbon tetrachloride の経時変化

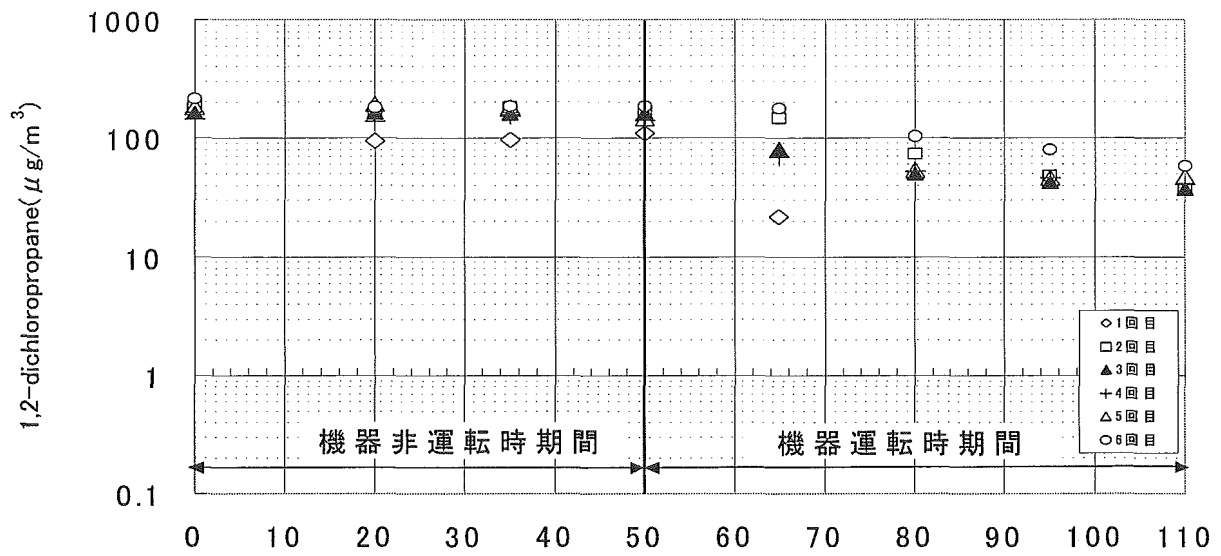


図-2.26 1,2-dichloropropaneの経時変化

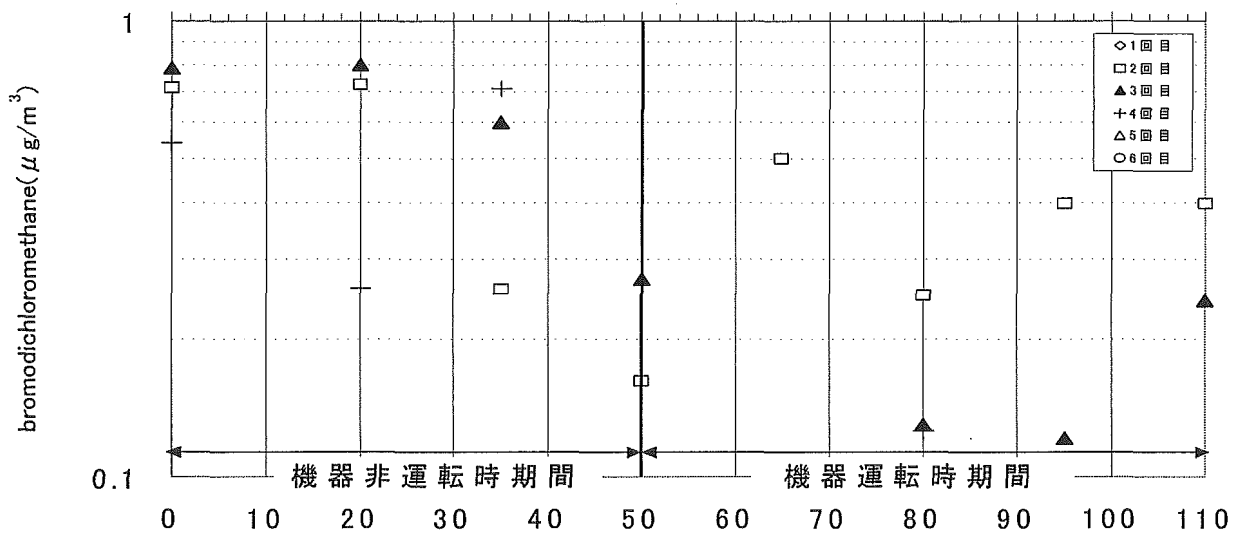


図-2.27 bromodichloromethaneの経時変化

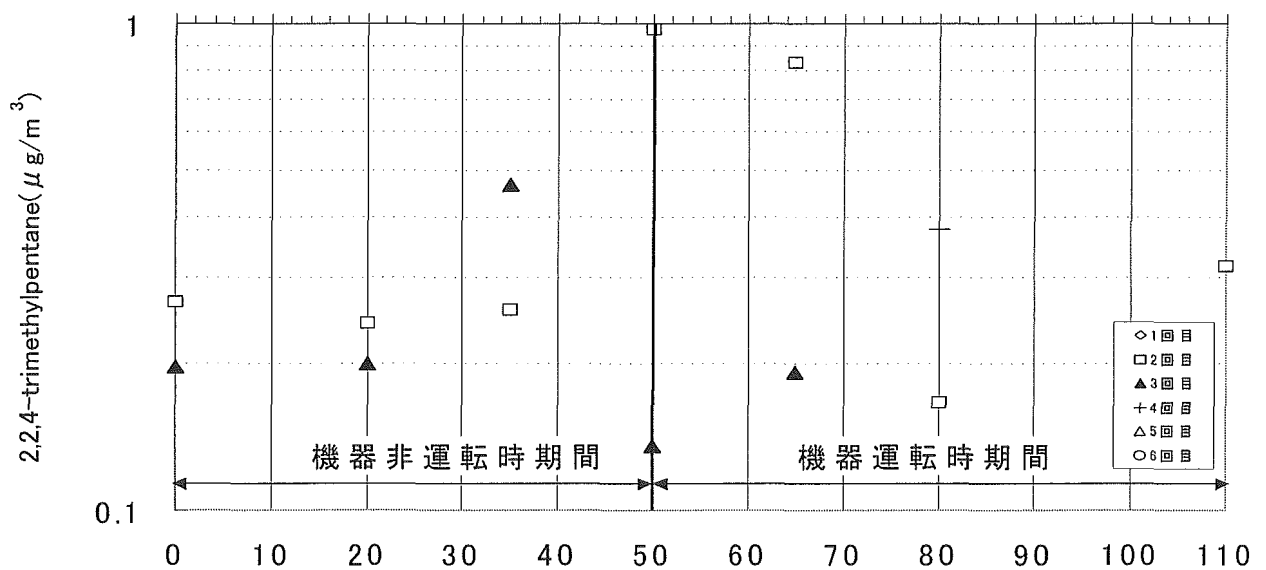


図-2.28 trichloroethyleneの経時変化

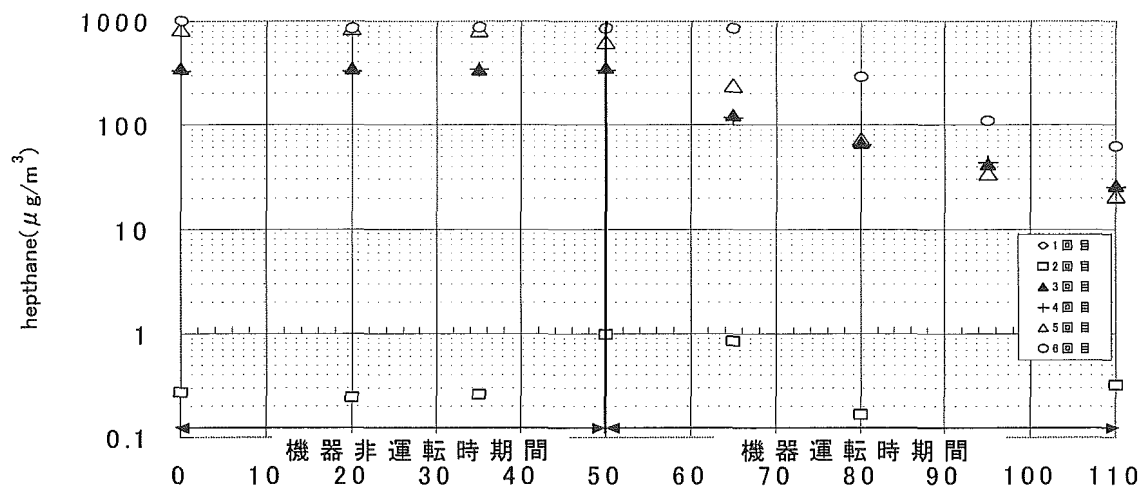


図-2.29 2,2,4-trimethylpentane の経時変化

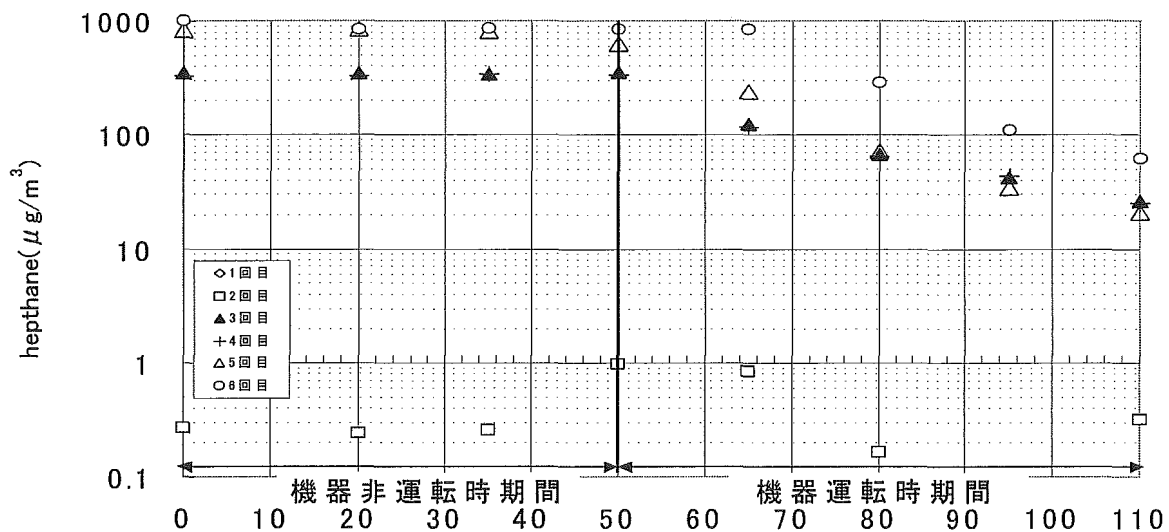


図-2.30 heptane の経時変化

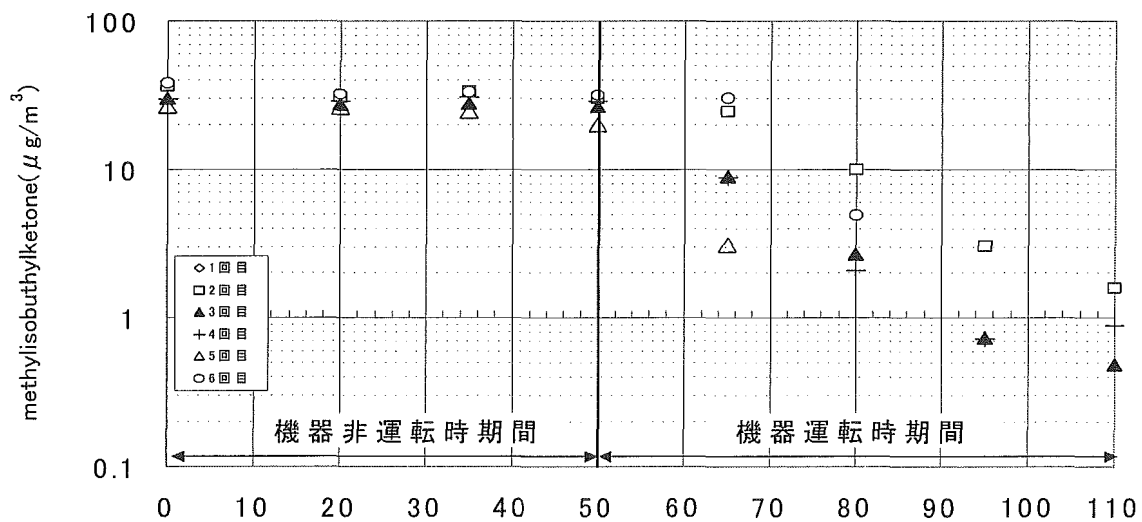


図-2.31 methylisobutylketone の経時変化

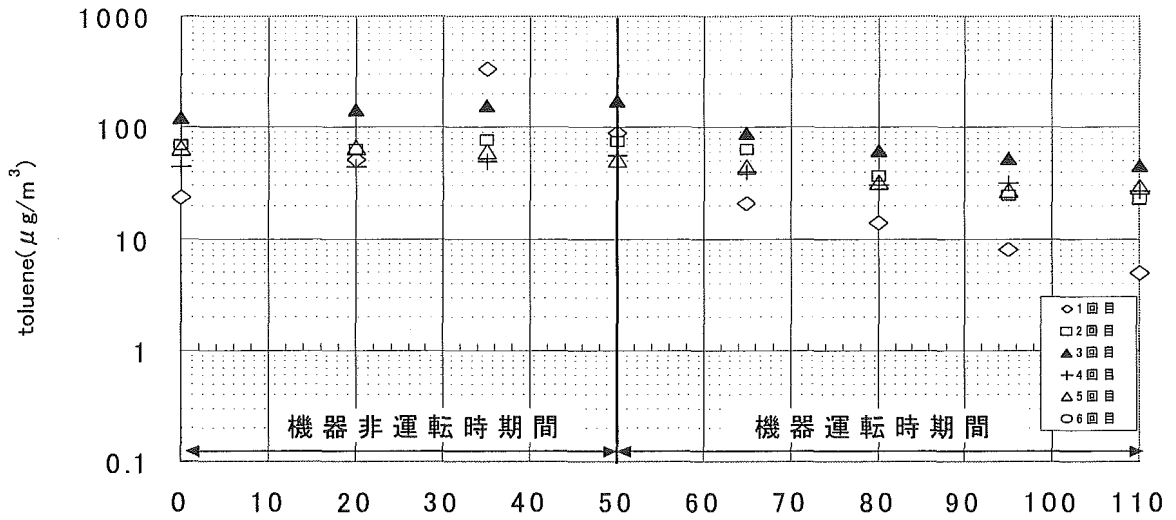


図-2.32 tolueneの経時変化

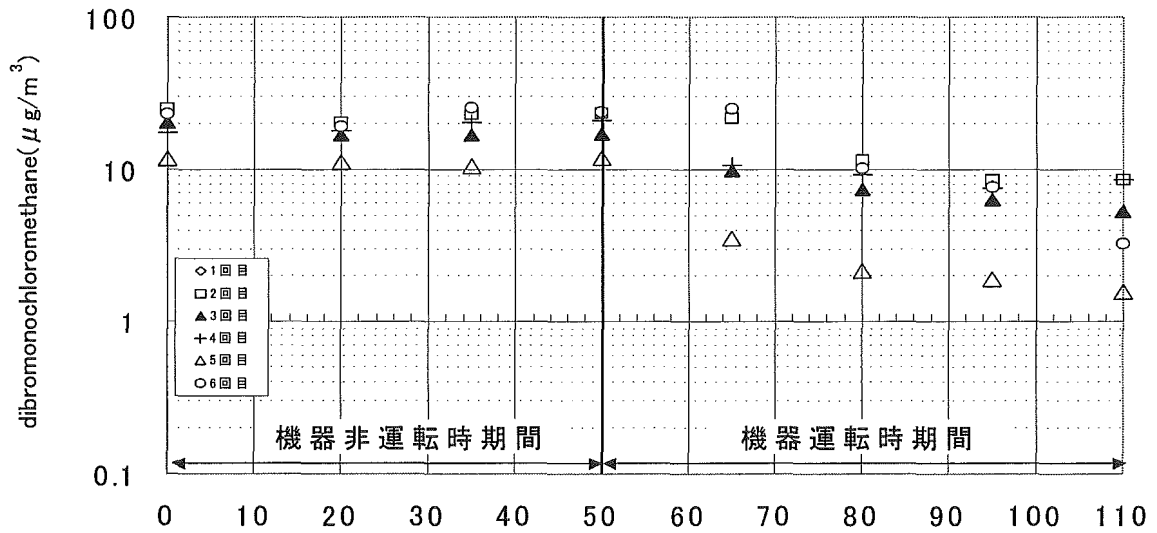


図-2.33 dibromochloromethaneの経時変化

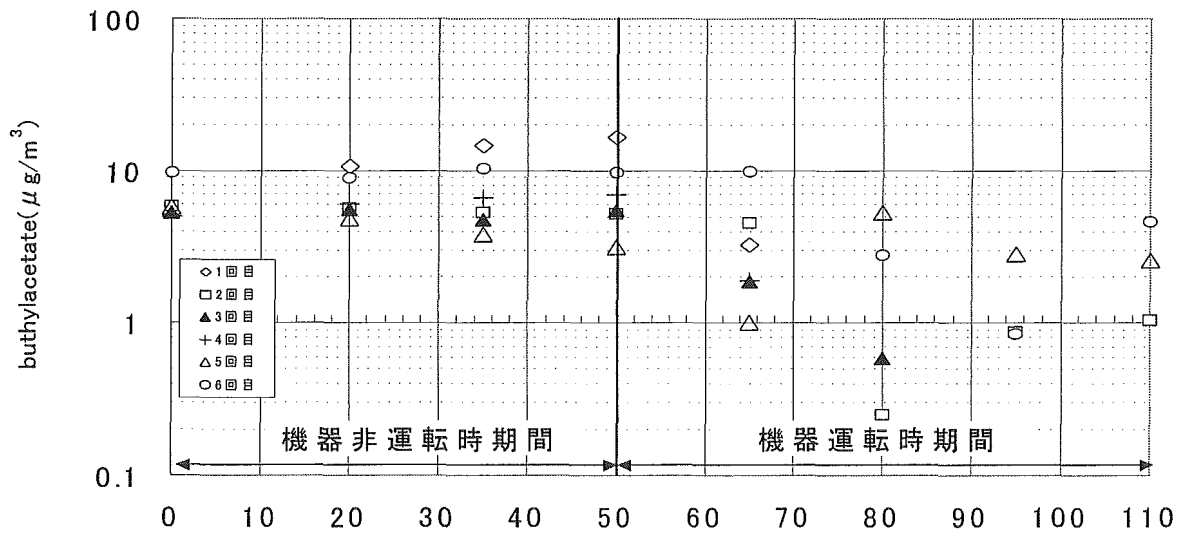
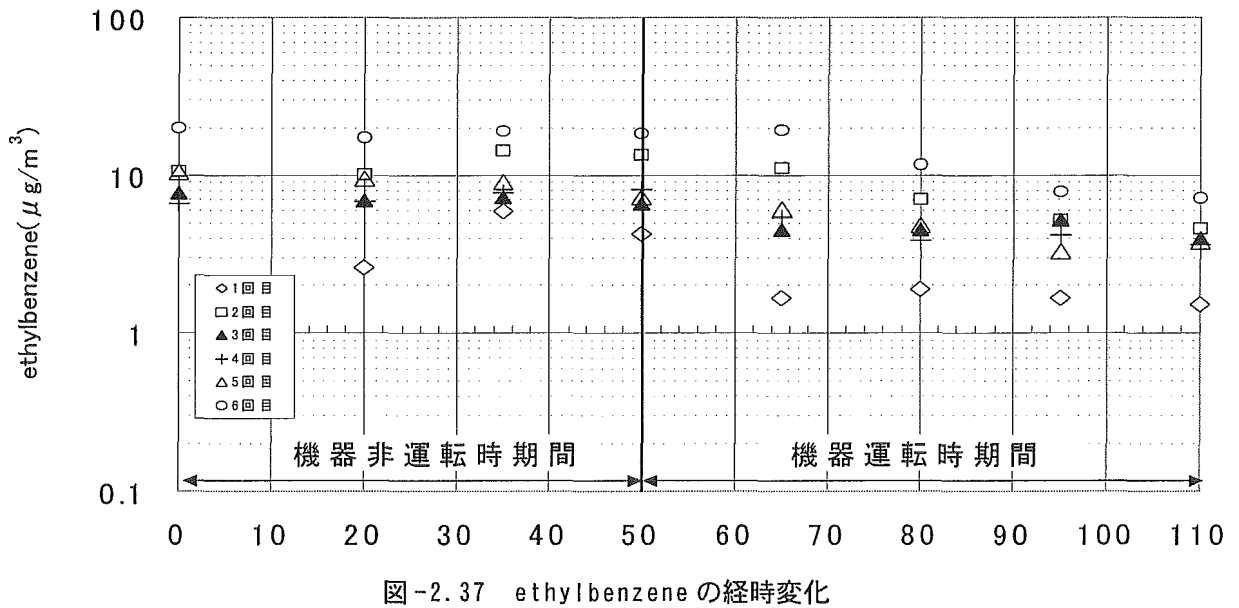
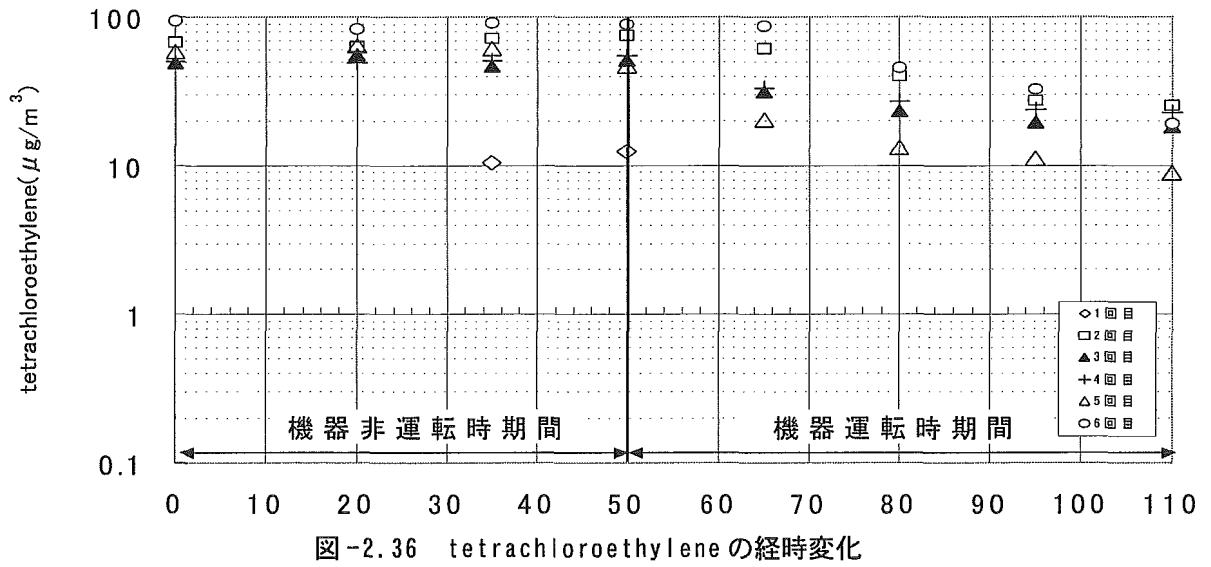
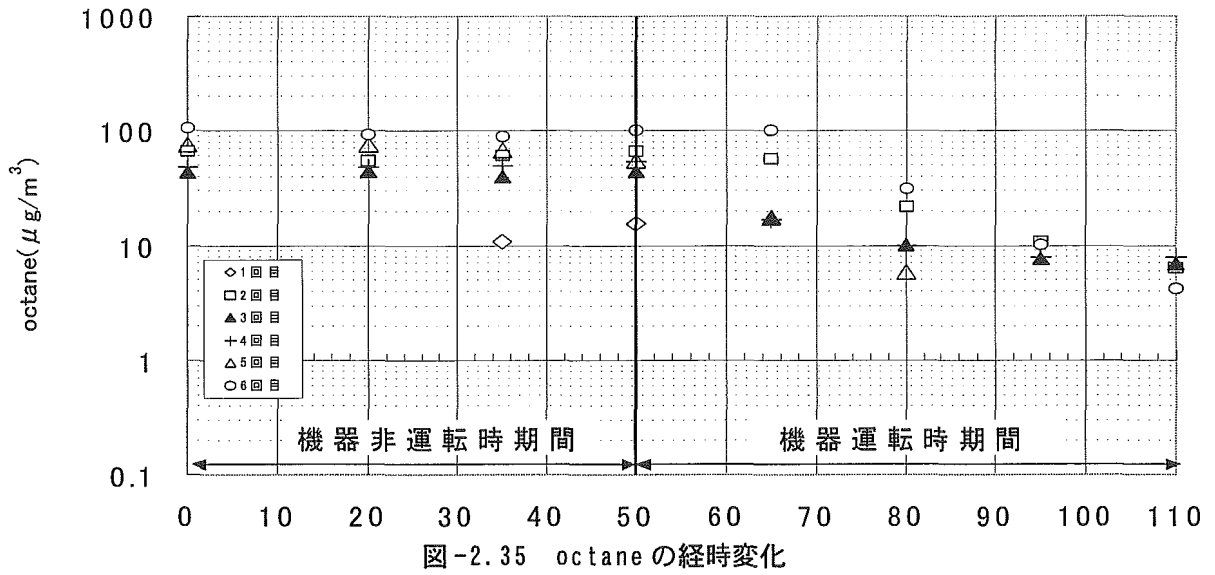


図-2.34 buthylacetateの経時変化



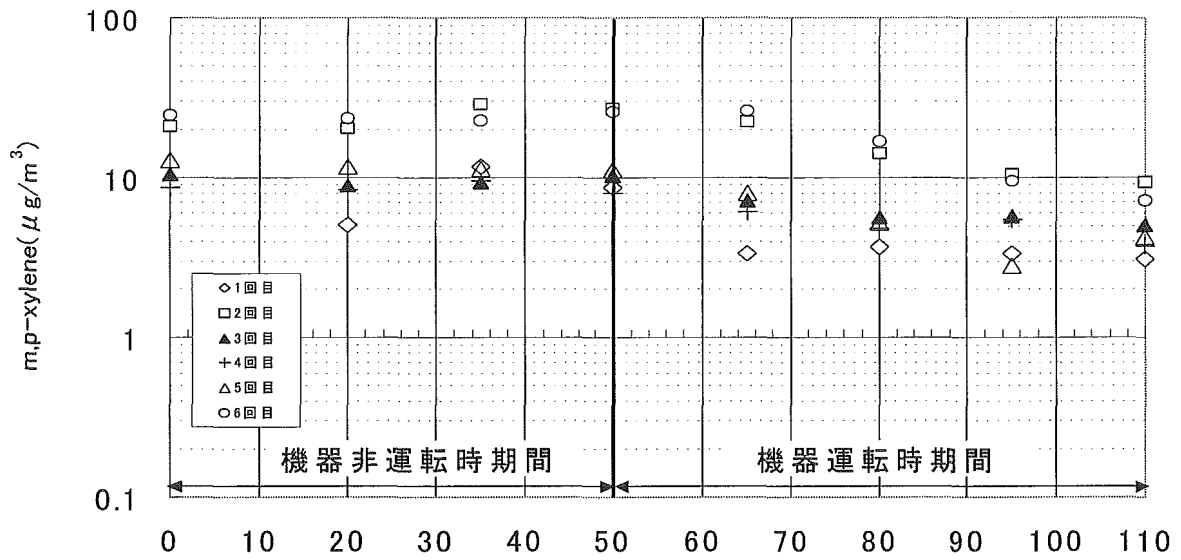


図-2.38 m,p-xylene の経時変化

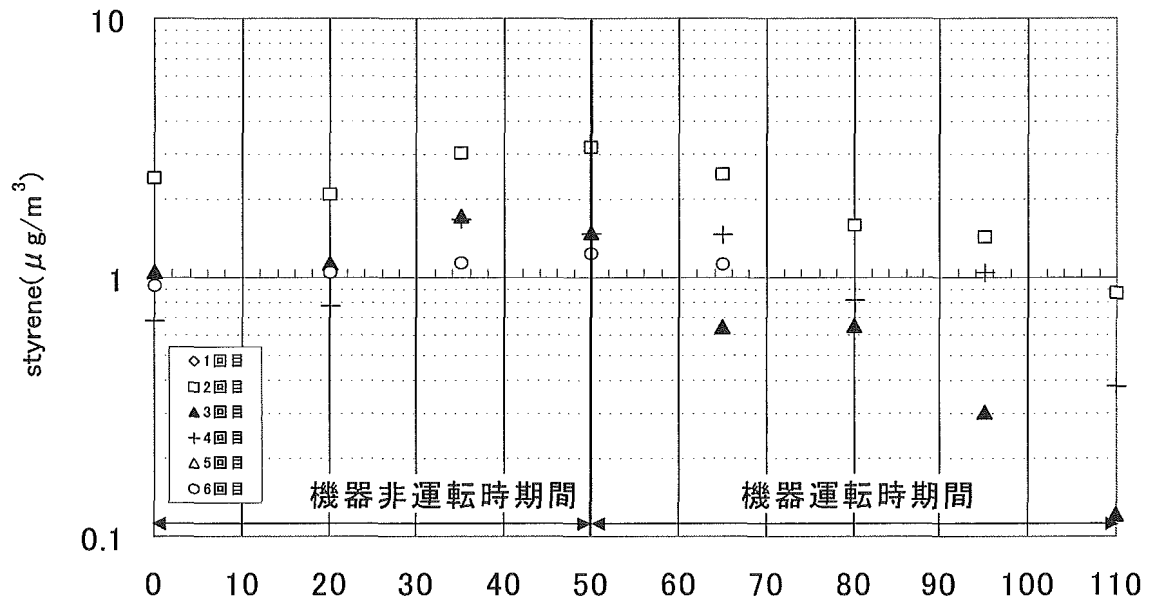


図-2.39 styrene の経時変化

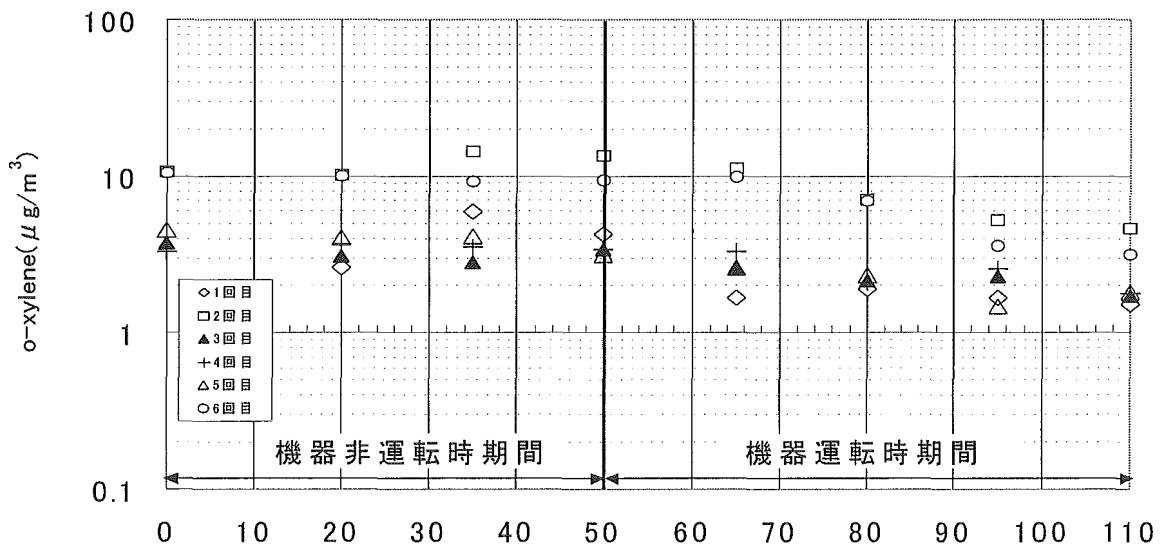


図-2.40 o-xylene の経時変化

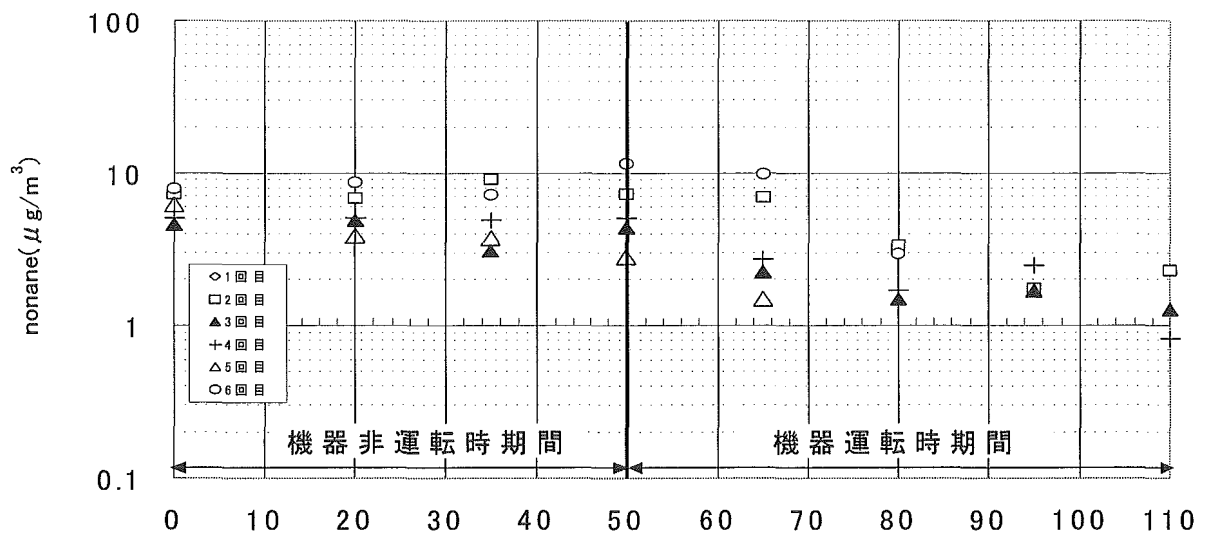


図-2.41 nonaneの経時変化

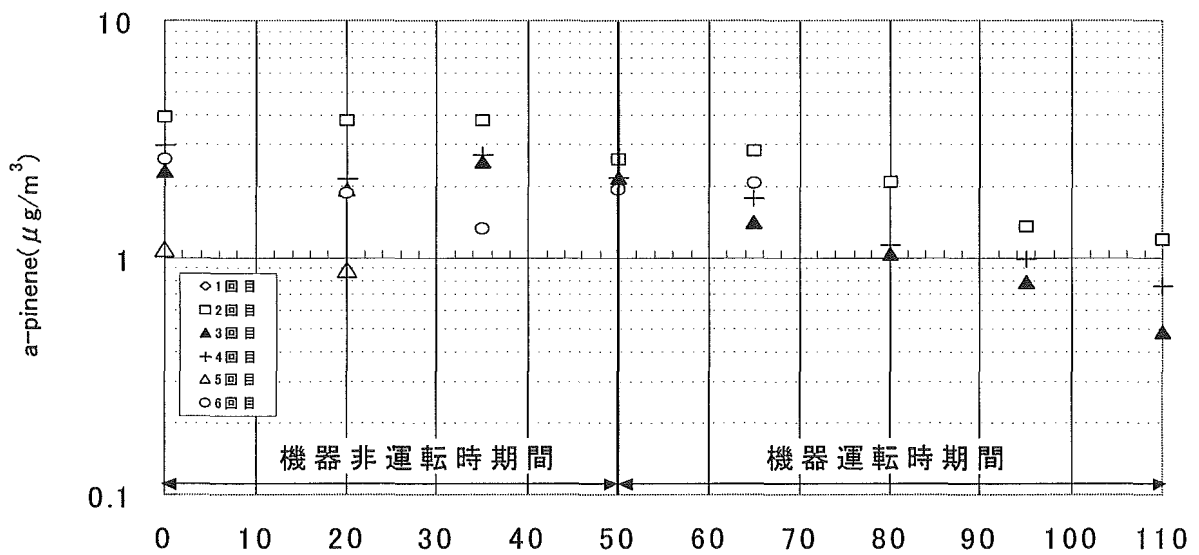


図-2.42 a-pineneの経時変化

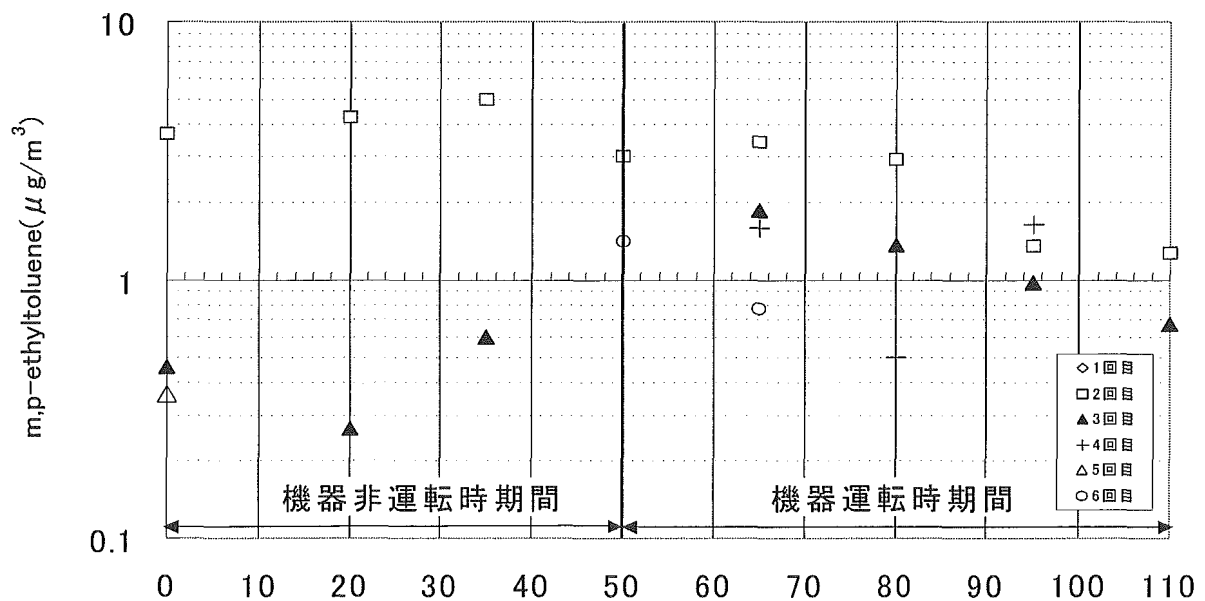


図-2.43 m,p-ethyltolueneの経時変化