

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

詳細リスク評価書シリーズ 24

オゾン—光化学オキシダント—

参考資料

6. 空気清浄機のオゾン発生速度と分解係数の測定

2009年9月8日

(独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

1	本資料は「詳細リスク評価書シリーズ 24 オゾン－光化学オキシダント－」の参考資料である.
2	
3	目次
4	6. 空気清浄機のオゾン発生速度と分解係数の測定 6-1
5	6.1. 測定方法 6-4
6	6.1.1. 供試した空気清浄機 6-4
7	6.1.2. チャンバー条件, および試験条件 6-5
8	6.1.3. オゾン発生速度, およびオゾン分解係数の算出 6-6
9	6.2. 測定結果 6-7
10	6.3. 参考文献 6-10
11	
12	
13	
14	

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

6.1. 測定方法

6.1.1. 供試した空気清浄機

2006 年秋に市販されていた，一般に入手しやすい空気清浄機・脱臭機（15 機種 15 台）と当研究センター内に設置されていた空気清浄機（10 機種 16 台）との合計 25 機種 31 台を実験対象とした．参考資料 表 6.1 に供試空気清浄機の一覧を示した．日本電気工業会規格（JEM1467）によると空気清浄機は「脱臭及び集塵又は集塵だけを目的とする装置」とされており，高電圧を利用して粉塵を荷電し，集塵する「電気式空気清浄機」と，濾材を用いて集塵する「機械式空気清浄機」に分けられている（日本電気工業会 1995）．本実験に供試した空気清浄機は，電気式（ファンを含む）空気清浄機 7 機種 8 台，電気式（ファンを含まない，イオン式）空気清浄機 3 機種 3 台，機械式空気清浄機 12 機種 17 台，脱臭機 3 機種 3 台である．機械式空気清浄機のうち，2 機種 3 台は脱臭機能にプラズマ放電が用いられている．また，大部分の機械式空気清浄機にはいわゆるマイナスイオン発生等の付加機能が搭載されていた．

これらの空気清浄機は数時間の稼働チェックを行った後試験に供した．また，既に使用されていた空気清浄機に関してはフィルター等の消耗品を全て新品とした後，数時間の稼働チェックを行い試験に供した．

1 参考資料 表 6.1 オゾン発生速度，オゾン分解係数の推定に用いた空気清浄機の一覧

番号	試験台数	製造年，または購入年	集塵	脱臭	付加機能
1	1	2006	電気	電気	
2	1	2004	電気	電気	
3	1	2004	電気	電気	
4	1	2003	電気	電気	マイナスイオン発生
5	2	2005 (購入)	電気	電気	
6	1	2006 (購入)	電気	電気	マイナスイオン発生
7	1	2006		電気・紫外線	
8	2	2002 (n=2)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
9	1	2006 (購入)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
10	1	2006	フィルター	電気	
11	2	2004 (n=1), 2005 (n=1)	フィルター	電気	マイナスイオン発生
12	2	2001	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
13	1	2001 (購入)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
14	1	不明	電気	電気	
15	1	2006	イオン	イオン	
16	1	2006 (購入)	イオン	イオン	
17	1	2006 (購入)		紫外線	
18	1	2006 (購入)		電気	
19	1	2006	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
20	1	2005	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
21	3	2004 (n=2), 2005 (n=1)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
22	1	2006 (購入)	イオン	イオン	マイナスイオン発生
23	1	2006 (購入)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
24	1	2006 (購入)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生
25	1	2006 (購入)	フィルター	フィルター	マイナスイオン発生

2 注：集塵・脱臭については製造・販売会社のカタログ等をもとに独自に判別して示した。

3

4 6.1.2. チャンバー条件，および試験条件

5

6 茨城県つくば市の研究所の施設内に設置した，幅 1,500 mm×奥 1,500 mm×高 1,520 mm (容
 7 積 3.42 m³) のほぼ立方体のステンレス製簡易チャンバー内で実施した．チャンバーの前面には
 8 テフロンパッキンを設置した出入り口を設け，側面には電源供給用口，測定口，換気回数設定用
 9 口(換気口)を作成した．チャンバーは機械換気式で任意の換気回数が設定でき，試験期間中 0.1/h
 10 に設定した．また，内部には攪拌用のファンを設置し，常に駆動させた．なお，空気清浄機を用
 11 いた試験開始前に，オゾン発生装置(荏原実業，オゾナイザ OZSD-5A)を用いてチャンバー内の
 12 オゾン濃度の空間分布について検討し，オゾン濃度がおおむね均一になっていることを確認した．

13

14 オゾン濃度測定は，室外，実験室内，2 台のチャンバー内の合計 4 ヶ所で行った．室外のオゾ
 15 ン濃度はチャンバーを設置した研究所の建屋から約 10 m 程度離れた独立建屋内に設置したオゾ

ン計 (Dashibi 社製モデル 1006-AHJ) にて測定した。また、実験室内のオゾン濃度は 2 台のチャンパー間 (間隔は約 3 m) の高さ約 1.5m の濃度とした。チャンパー内のオゾン濃度はチャンパー内中央に設置した、空気清浄機の空気吹き出し口より上方 0.250 m, および後方 0.25 mm の濃度とした。これらの実験室内、チャンパー内濃度をオゾン計 (ダイレック社製モデル 1150×2 台, および荏原実業製 EG-2001F×1 台) により測定した。なお、実験室内温度、湿度も同時に測定した。参考資料 表 6.2 にこれらの実験条件を示した。

8 参考資料 表 6.2 試験期間中の各種条件

項目	測定場所		平均 ± 標準偏差
オゾン濃度	室外	日最大 1 時間値	47 ± 11 ppb
		日最大 8 時間値	38 ± 12 ppb
		8 時間値 (10~18 時)	36 ± 12 ppb
		24 時間値	27 ± 9 ppb
	実験室内		0.5 ± 1.5 ppb
温度	実験室内		15.2 ± 2.3 °C
湿度	実験室内		46.0 ± 10.0%

9 注: 室外オゾン濃度は試験期間 (2006 年 12 月~2007 年 1 月) の平均値である。その他の項目は
10 試験を実施した時間 (845 h) における平均値や標準偏差などである。

11
12 空気清浄機を設置したチャンパー内オゾン濃度の測定は濃度が平衡となるまで行ったが、一部
13 の機体では直線的な増加が見られ、濃度が平衡とならなかったため測定の上限值である約 1,000
14 ppb まで測定した。

15
16 なお、空気清浄機は、風量等の各種運転条件を設定することが可能である。本実験では、基本
17 的に機種固有の自動運転は用いず、風量、および他の付加機能を検討し、最も高いオゾン濃度が
18 検出された条件にて試験を行った。例えば、運転条件として風量が 5 段階の機種の場合、少風量
19 から 1, 3 と 5 段階目にあたる運転モードにて予備試験を行い、最も高いオゾン濃度が観測され
20 た運転モードで、3 回以上の測定を実施した。また、オゾン発生の見られない空気清浄機は、別
21 途、高濃度オゾンの分解を経時的に観察した。このときの運転条件は最小風量とした。

22
23 6.1.3. オゾン発生速度, およびオゾン分解係数の算出

24
25 オゾン発生速度 (M , $\mu\text{L/h}$), およびオゾン分解係数 (D) は、参考資料 式 6.1 のマスバラン

1 ス式を変形した参考資料 式 6.2 を用いて測定値に対するフィッティングにより推定した。フィ
2 ッティングには SPSS for Windows 15.0J を用いた。

3

$$4 \quad \frac{dC}{dt} = \frac{M}{R} - (C - C_0) \times \frac{Q}{R} - (m + l) \times C \quad (\text{参考資料 式 6.1})$$

5 [房家ら (1998) から改変]

6

$$7 \quad C = \frac{nC_0}{\lambda} \times (1 - e^{-\lambda t}) + C_1 \times e^{-\lambda t} + \frac{M}{\lambda R} \times (1 - e^{-\lambda t}) \quad (\text{参考資料 式 6.2})$$

8 [出典：房家ら (1998)]

9

10 ここで、 C はチャンバー内濃度(ppb)、 C_0 は実験室内 (チャンバー外) 濃度(ppb)、 C_1 は初期濃
11 度(ppb)、 λ は減衰係数(1/h)、 Q は換気回数 (m^3/h)である。 λ は換気回数 n (1/h)、吸着係数 m (1/h)、
12 オゾン分解係数 l (1/h)の和であり、 Q は n と気積 R (m^3)の積である。

13

14 参考資料 式 6.1、参考資料 式 6.2 にも示したようにオゾン減衰に係わる項は、換気回数 (n)、
15 チャンバーへの吸着係数 (m) と空気清浄機によるオゾン分解係数 (l) である。空気清浄機から
16 のオゾン発生速度を推定するために、換気回数 (n) とチャンバーへの吸着係数 (m) を以下のよ
17 うに設定した。換気回数 (n) は、試験期間中 0.1/h と設定したことから計算には 0.1/h を用いた。
18 チャンバーへの吸着係数 (m) は、チャンバー表面における分解・吸着によるものであり、ステ
19 ンレス製簡易チャンバー内に一定濃度のオゾンを封入し、経時的なオゾン濃度の測定を行うこと
20 で算出した 0.276 /h を用いた。なお、空気清浄機による分解係数 (l) は空気清浄機からのオゾン
21 発生速度とともにフィッティングより算出した。

22

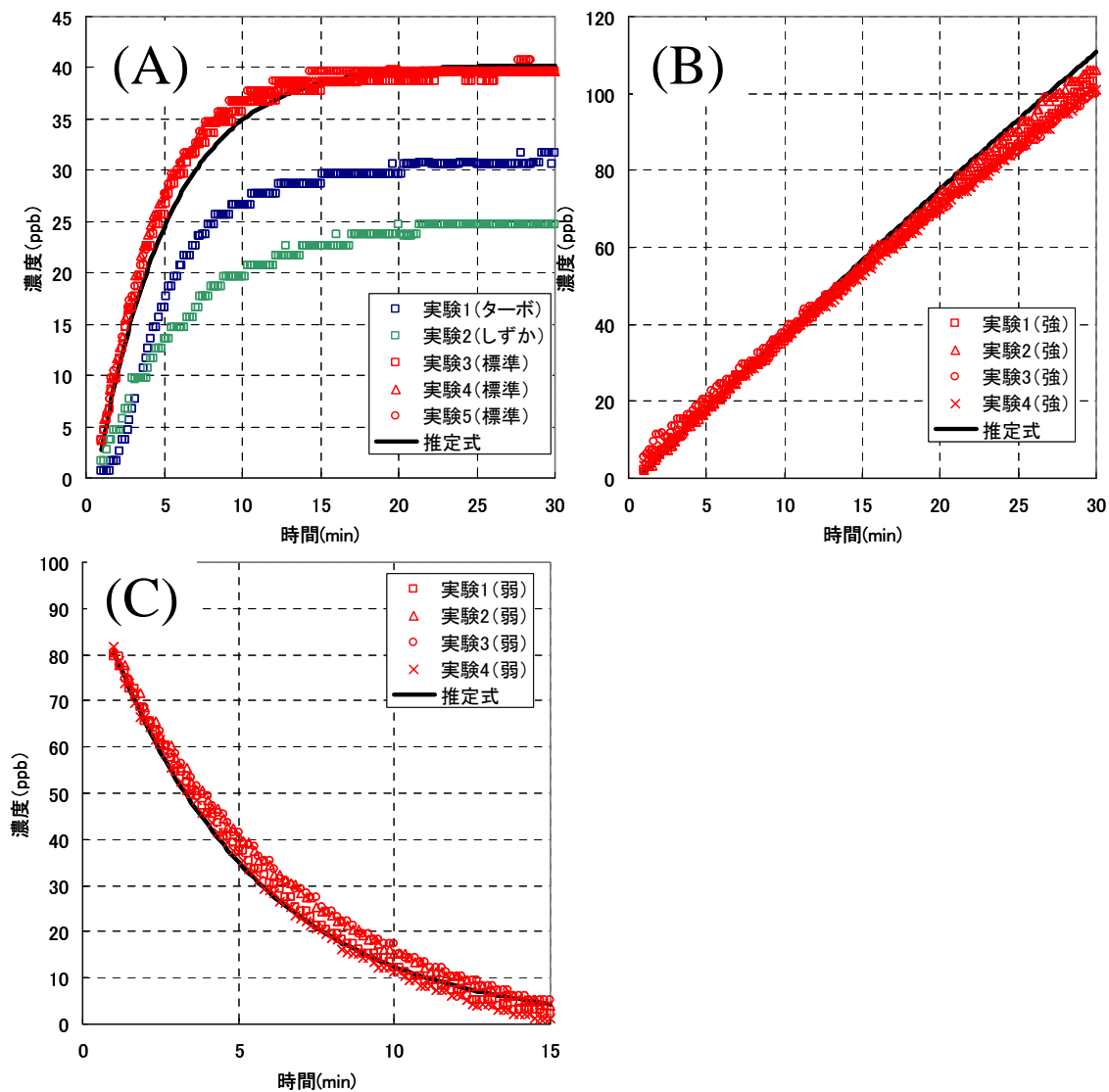
23 6.2. 測定結果

24

25 測定結果の代表例として、参考資料 図 6.1 に No.1, 15, 8-1 の空気清浄機を設置したチャン
26 ー内のオゾン濃度の経時変化を示した。No.1 の空気清浄機はオゾン濃度が平衡となる代表例
27 である。また、No.15 は直線的な増加、No.8.1 はオゾン発生の見られない代表例である。参考資
28 料 表 6.3 にフィッティングによる発生速度、分解係数の推定結果を示した。

29

30



1

2

参考資料 図 6.1 チャンバー内のオゾン濃度の測定例

3

A: 濃度が一定に達する例 (空気清浄機 No.1), 運転条件「ターボ」は空気清浄機の「ターボ」運

4

転モードで風量 $8.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 「しずか」は「しずか」運転モードで風量 $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 「標準」は「標

5

準」運転モードで風量 $4.0 \text{ m}^3/\text{min}$ を示す. B: 直線的な濃度増加の例 (空気清浄機 No.15), 「強」

6

は空気清浄機の「強」運転モードを示す. C: 濃度増加が見られない例 (空気清浄機 No.8-1), 「弱」

7

は空気清浄機の「弱」運転モードを示す. 推定式はフィッティング結果を示す. ただし, 推定し

8

た各パラメータの平均値を用いている.

9

10

11

12

1 参考資料 表 6.3 オゾン発生速度とオゾン分解係数の測定結果

空気清浄機		発生速度(μL/h)			分解係数(1/h)		
番号	種別	運転モード	測定数	平均 ± 標準偏差	測定数	平均 ± 標準偏差	
1	電気	標準	6	1,485 ± 371	6	10.90 ± 2.45	
2	電気	ターボ	14	1,325 ± 384	14	2.82 ± 2.09	
3	電気	ターボ	4	1,291 ± 377	4	3.81 ± 0.74	
4	電気	標準	8	360 ± 171	8	3.61 ± 2.53	
5-1	電気	弱	15	1,005 ± 390	15	2.81 ± 1.96	
5-2	電気	弱	26	2,084 ± 737	26	2.55 ± 1.85	
6	電気	弱	10	2,039 ± 890	10	0.28 ± 0.26	
7	脱臭機	強	3	1,075 ± 162	3	14.27 ± 1.89	
8-1	機械	静音	4	0 ± 0	4	12.11 ± 0.89	
8-2	機械	静音	3	0 ± 0	3	9.74 ± 1.05	
9	機械	静音	4	0 ± 0	4	7.40 ± 0.63	
10	機械	静音	4	0 ± 0	4	22.48 ± 2.24	
11-1	機械	静音	4	0 ± 0	4	20.32 ± 0.33	
11-2	機械	静音	3	0 ± 0	3	21.10 ± 0.64	
12-1	機械	静音	4	0 ± 0	4	11.50 ± 2.00	
12-2	機械	静音	5	0 ± 0	5	12.70 ± 3.31	
13	機械	静音	4	0 ± 0	4	9.63 ± 1.03	
14	電気	イオン	3	554 ± 146	3	7.86 ± 0.70	
15	イオン	強	8	775 ± 236	8	0.00 ± 0.00	
16	イオン	強	5	2,313 ± 127	5	0.00 ± 0.00	
17	脱臭機		3	0 ± 0	未測定		
18	脱臭機	強	4	573 ± 72	4	0.00 ± 0.00	
19	機械	静音	4	0 ± 0	4	10.56 ± 1.72	
20	機械	静音	4	0 ± 0	4	11.37 ± 2.75	
21-1	機械	静音	4	0 ± 0	4	9.41 ± 0.45	
21-2	機械	静音	4	0 ± 0	4	10.18 ± 0.36	
21-3	機械	静音	3	0 ± 0	未測定		
22	イオン	強	5	561 ± 91	5	0.00 ± 0.00	
23	機械	静音	4	0 ± 0	4	14.16 ± 0.30	
24	機械	静音	4	0 ± 0	4	12.75 ± 0.39	
25	機械	静音	4	0 ± 0	4	10.75 ± 0.64	

2 注1：空気清浄機の種別は製造・販売会社のカタログ等をもとに独自に判別して示した。

3 注2：運転モードは予備試験により決定した空気清浄機から最も高いオゾンの発生が認められた
4 条件を示した。

5 注3：分解係数は実験で使用したチャンバーの容積での値である。

6

7 オゾン発生が見られた空気清浄機、脱臭機は、全ての電気式空気清浄機（ファンの有無にかか
8 わらず）と2台の脱臭機の合計13台であった。これらのオゾン発生速度の範囲は360～2,313 μL/h、

1 平均オゾン発生速度は 1,188 $\mu\text{L/h}$ であった. 中でもチャンバー内のオゾン濃度の上昇が高い機種
2 は No15, 16, 18, 22 で, これらはファンを含まない電気式 (イオン式) 空気清浄機や脱臭機で
3 あった. これらの機種は, ファンやフィルター (プレフィルターや活性炭入りフィルター) がな
4 く, オゾン分解に大きく関わる因子がないことから濃度が直線的に上昇し, 高濃度になったもの
5 と思われた. これに対して, ファンを含む電気式空気清浄機は, ファンを含まない電気式 (イオ
6 ン式) 空気清浄機よりも高いオゾン発生速度が観察された機種もあったが, オゾン分解に関係す
7 ると思われるフィルターがあるために, みかけ上のオゾン濃度の増加が少なかったと考えられた.
8 また, マイナスイオン発生装置の一部ではオゾン発生機構の一つであるコロナ放電などが用いら
9 れていることからオゾンを発生する可能性があったが, マイナスイオン発生装置の有無にかかわ
10 らず機械式空気清浄機からのオゾン発生は認められなかった. 同じように, オゾン発生の機構の
11 一つであるプラズマ放電による脱臭機能をもつ機械式空気清浄機 (No,10, 11-1, 11-2) からもオ
12 ゾン発生は認められなかった.

13

14 以上のことから, 電気式 (イオン式を含む) 空気清浄機は発売時期にかかわらずオゾン発生が
15 認められ, 一方, 機械式空気清浄機ではオゾンの分解が見られた. 室内オゾン濃度を推定する上
16 では, 空気清浄機からのオゾン発生速度だけでなく, そのオゾンの分解係数も重要である可能性
17 がある.

18

19 6.3. 参考文献

20

21 日本電機工業会 (1995). 日本電気工業会規格「家庭用空気清浄機」(JEM1467)
22 房家正博, 雨谷敬史, 松下秀鶴, 相馬光之 (1998). 空気清浄機から発生するオゾンとその室内
23 濃度に与える要因. 環境化学 8(4):823-830.

24

25