

技術論文

光触媒内蔵型空気清浄機 (MaSSC クリーン) とオゾン脱臭機の諸特性とその比較

Characteristics and the comparison of photocatalyst air cleaner (MaSSC clean) and ozone deodorization unit



技術開発センター
基盤技術開発室
係長 博士(工学) 坂口 昇平
Shohei Sakaguchi

技術開発センター
事業化開発室
主任 山本 清司
Kiyoshi Yamamoto

技術開発センター
メカトロニクス開発室
主任 高巢 圭介
Keisuke Takasu

技術開発センター
事業化開発室
焼山 なつみ
Natumi Yakiyama

技術開発センター
センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要旨

オゾン脱臭機は装置からオゾンを放出することで消臭殺菌を行い、近年、ホテルの室内、待合室等で用いられている。しかし、オゾンは一定の濃度を超えると人体に有害であり、労働衛生的許容濃度は0.1ppm以下と定められている。そのため、使用環境が制限される。一方、当社が開発した光触媒内蔵型空気清浄機 (MaSSC クリーン) は、筐体内にガスまたは菌を取り込み光触媒フィルターを用いて、消臭殺菌を行うため人体に無害である。本稿では MaSSC クリーンとオゾン脱臭器の性能比較試験を行い、性能面においても MaSSC クリーンの優位性を見出したので報告する。

Synopsis:

The ozone generators perform deodorant sterilization by producing ozone from a device. It is used mainly the place such as the hotel room and waiting room lately. However, ozone is harmful to the body which was exposure to exceeding constant value of ozone. Ozone standard of the maximum allowable concentration for workers is less than 0.1ppm. Therefore, using the environment of ozone is limited.

On the other hand, we developed the photocatalyst air cleaner (the MaSSC clean), takes in gas or bacteria within an air purifier and perform deodorant sterilization using a photocatalyst filter. Therefore it is harmless to the body. In this report, we carried out the performance comparison between MaSSC clean and ozone generators. We report superiority of the MaSSC clean in the performance.

1. 背景

オゾンは酸素原子3つでできている不安定な分子であり、独特な青臭いにおいがあるが、悪臭物質や菌と接触することで無臭気物質に変化させる特性を持つ。代表的な臭気物質のオゾンとの化学反応式を示す (式1-1~式1-4)。

・ アンモニア $2\text{NH}_3 + \text{O}_3 \Rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ … (式1-1)

・ 硫黄化水素 $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_3 \Rightarrow \text{H}_2\text{O}, \text{SO}_2$ … (式1-2)

・ 尿素 $\text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{O}_3 \Rightarrow \text{N}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NO}_2$ … (式1-3)

・ アセトン $\text{CH}_3 \cdot \text{CO} \cdot \text{CH}_3 + \text{O}_3 \Rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ … (式1-4)

しかし、オゾンは人体に有害な物質であり¹⁾、低濃度の場合は定期的な換気、高濃度の場合は無人環境下

での使用が一般的である。さらに、日本のオゾンに対する労働安全基準は0.1ppm以下（8時間労働/日）と定められている（Table 1）。また、WHOの空気質ガイドラインでは、8時間平均値で120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のガイドラインが定められている²⁾。

Table 1 Influence on human body of the ozone.

空气中濃度 (ppm)	影響
0.01	敏感な人への嗅覚閾値
0.01~0.015	正常者における嗅覚閾値
0.06	慢性肺疾患患者における吸気能に影響ない
0.1	正常者にとって不快、大部分の者に鼻、咽喉の刺激
(労働衛生的許容濃度)	
0.1~0.3	喘息患者における発作回数増加
0.2~0.5	3~6時間曝露で視覚低下
0.23	長期間曝露労働者における慢性気管支炎有病率増大
0.4	気道抵抗の上昇
0.5	明らかな上気道刺激
0.6~0.8	胸痛、咳、気道抵抗増加、呼吸困難、肺のガス交換低下
0.5~1.0	呼吸障害、酸素消費量減少
0.8~1.7	上気道の刺激症状
1.0~2.0	咳嗽、疲労感、頭重、上気道の乾き、2時間で時間肺活量の20%減少、胸痛、精神作用減退
5~10	呼吸困難、肺うっ血、肺水腫、脈拍増加、体痛、麻痺、昏睡
50	1時間で生命の危機
1000以上	数分間で死亡

オゾンは長時間曝露すると人体へ影響があるため、オゾン脱臭を行っている際は、室内作業が行えない。そのため、ホテル等の清掃業務の際の作業効率が著しく低下する。また、某駅男性トイレではオゾン脱臭器が使用されている。トイレの床面積は約50 m^2 でオゾン脱臭器を入口付近と部屋中央部に2機設置している（Fig.1）。

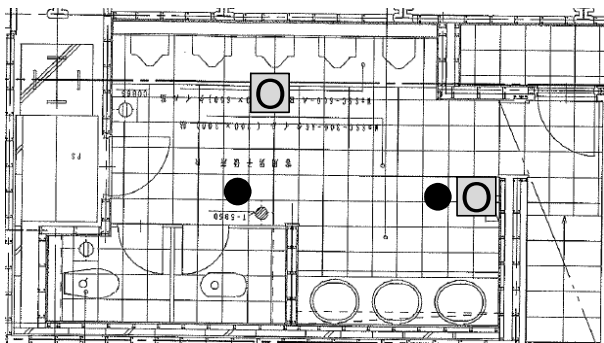


Fig.1 Men's toilet sampling point.
O:Ozone deodorization unit, ●sampling point

2機を同時に起動させた時の入口付近でのオゾン濃度は35.73ppmと長時間曝露すると人体に影響を与える高い数値を示した。また、部屋中央部のオゾン濃度値は0.18ppmであり、労働衛生的許容濃度を上回る数値を示した（Table 1）。上記のようにオゾン脱臭機

は使用環境に十分留意しなければならない。

一方、光触媒内蔵空気清浄機（MaSSC クリーン）は、強制吸引した外気が光触媒担持フィルターを通過することで、臭気成分を吸着し、分解を行う。吸着分解は主に二酸化チタンで行い、人体に無害なものへと変換する。このように、MaSSC クリーンは低環境負荷な製品であるため、使用環境を選ばず多岐にわたるシーンでの使用が可能である。MaSSC クリーンはMC-C、MC-VII（2013年12月発売）、MC-F(2013年12月発売)、MC-T1~3、MC-Aの計7機種がある。Fig.2にMaSSC クリーンの商品ラインナップとその性能による適用範囲を示す。MC-C、MC-VII、MC-Fは主に家庭や車内等で使用し、MC-TやMC-Aは強力かつ迅速な脱臭・殺菌が求められる公共施設や病院等で使用されている。

本稿ではMaSSC クリーンとオゾン脱臭機の脱臭性能を比較し、MaSSC クリーンの優位性が見出されたので報告する。

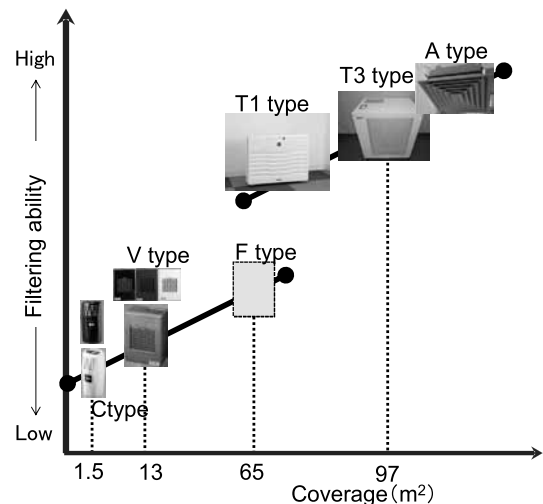


Fig.2 Product lineup of the MaSSC clean.
Relationship of coverage and the filter ability.

2. MaSSC クリーンの構造と捕集原理

MaSSC クリーンの基本構造と捕集原理を Fig.3 に示す。MaSSC クリーンはプレフィルター、二酸化チタン担持アルミ繊維フィルター、イオナイザー、ファンで構成されている。臭気成分、塵、ホコリ、VOC(揮発性有機化合物)、病原菌等が含まれた外気はファンにより強制的に筐体内に吸引される。プレフィルターで数百 μm 程度のものは捕集され、捕集できなかった菌または臭気成分、VOC等がアルミ繊維フィルターに吸着し、二酸化チタンがそれらを分解する。アルミ繊維での捕集原理は1) フィルターを構成するアルミ繊維による粒子（臭気成分、菌等）流線の遮り、2) 粒子が慣性によって流線からはずれ、アルミ繊維に接触、3) 重力による粒子の沈降、4) 粒子のブラウン運動によるアルミ繊維への接触、5) イオナイザーより放

出されるマイナス電子がアルミ繊維フィルターをマイナスに帯電させ、待機中のプラスに帯電している粒子を引き付けるといった事が挙げられる。

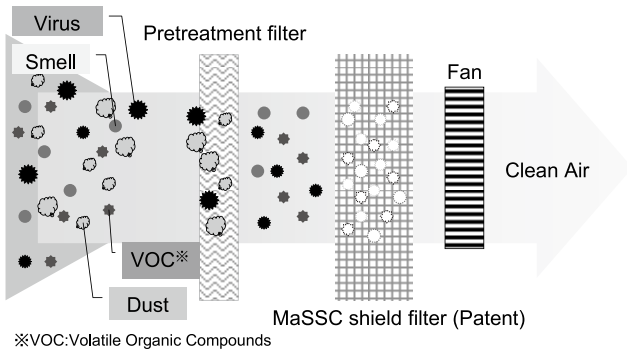


Fig.3 Structure and sampling principle of MaSSC clean.

3. 実験方法

脱臭評価試験には弊社が製造販売している空気浄化装置 MaSSC クリーン MC-T3 型、MC-T1 型を用いた (Fig.4)。MC-T3 の仕様を Table 2 に、MC-T1 の仕様を Table 3 に示す。MC-T3 は MC-T1 の上位機種で内蔵されているフィルター数等が異なり、より大空間に適用できる仕様となっている。風量は MC-T3 は $9\text{m}^3/\text{min}$ 、MC-T1 は $8\text{m}^3/\text{min}$ で起動させた。

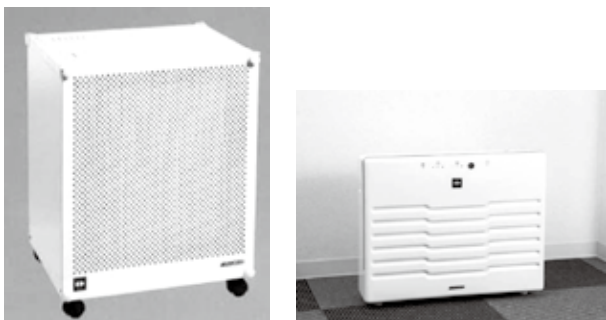


Fig.4 MaSSC Clean MC-T3 (left) MC-T1 (right)

Table 2 Performance of MaSSC Clean MC-T3

Power supply	Low/340W, Normal/350W, High/360W AC100V 50/60Hz
Air volume	Low/ $5.5\text{m}^3/\text{min}$, Normal/ $7.5\text{m}^3/\text{min}$, High/ $9\text{m}^3/\text{min}$
Weight	38Kg
Working temperature, humidity	5~40°C, 20~85%
Size	525 (W) × 400 (D) × 600 (H) mm

Table3 Performance of MaSSC Clean MC-T1

Power supply	Low/85W, Normal/92W, High/110W AC100V 50/60Hz
Air volume	Low/ $1\text{m}^3/\text{min}$, Normal/ $5\text{m}^3/\text{min}$, High/ $8\text{m}^3/\text{min}$
Weight	10Kg
Working temperature, humidity	5~40°C, 20~85%
Size	570 (W) × 175 (D) × 450 (H) mm

また、オゾン脱臭器は一般的に市販されているものを用いた。オゾン脱臭器の出口オゾン濃度は 40ppm、オゾン発生量は $1000\text{mg}/\text{h}$ で起動させた。

脱臭評価及びオゾン濃度測定は空間容積 25m^3 を用い調査を行った。試験ガスはアセトアルデヒドガスを用いた。アセトアルデヒドは独特の臭気と刺激性を持ち、自動車の排気ガスやたばこの煙に含まれる。また、合板の接着剤などに由来し、シックハウス症候群の原因物質の一つである。アセトアルデヒドガス注入はあらかじめ試験空間内を 1 時間程度換気し、二酸化炭素濃度が一般大気濃度程度である 450ppm 以下になったことを確認し注入を行った。アセトアルデヒド濃度は試験空間内が 2.5ppm になるように調整した。その後、MC-T3 またはオゾン脱臭機を起動させ、アセトアルデヒド濃度を観察した。

オゾン濃度測定は気体検知管 (No.18L/測定範囲 0.025~3ppm、No.18M/測定範囲 4~400ppm 株式会社ガステック社製) を用い測定を行った。オゾン濃度測定は壁から検知管を通し測定を行った。アセトアルデヒドガス等のガス種の測定は INNOVA 製マルチガスモニターを用いた。アセトアルデヒド濃度または他のガス種においては 25m^3 空間中央にスタンドを立て、床から 700mm の位置よりガスを採取した。Fig.5 に試験を行った各装置の配置図を示す。アセトアルデヒド濃度観察中はファンを起動させ空間の空気循環を行った。

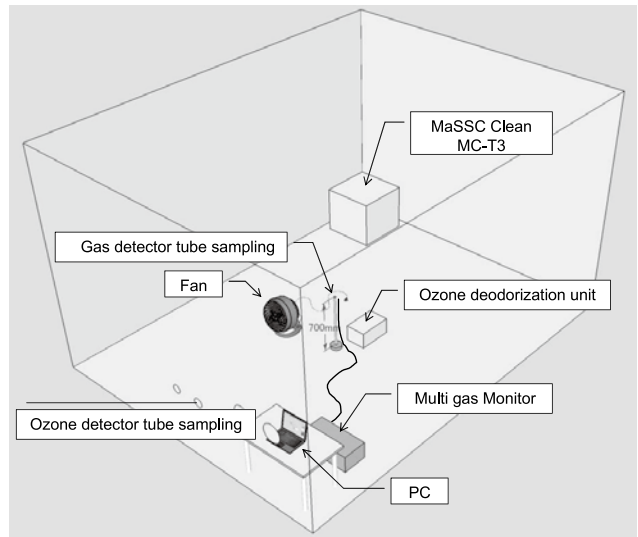


Fig.5 Schematic diagram of the experimental setup for decomposition of ozone gas and acetaldehyde by air purification equipment.

4. 結果及び考察

Fig.6 にオゾン脱臭機と MC-T3 稼働時において、 25m^3 空間内のオゾン濃度の推移を示す。オゾン脱臭器の出口オゾン濃度は 40ppm である。オゾン脱臭機は起動時より、オゾン濃度は約 $0.09\text{ppm}/\text{min}$ で上昇していき、90 分後には 8ppm の値を示した。この数値

は、長時間曝露すると、呼吸困難、肺うっ血、肺水腫、脈拍増加、体痛、麻痺、昏睡の症状が考えられ、起動時の同時作業は危険である。MaSSC クリーン MC-T3 は90分後も25m³空間内のオゾン濃度は0である事を確認した。

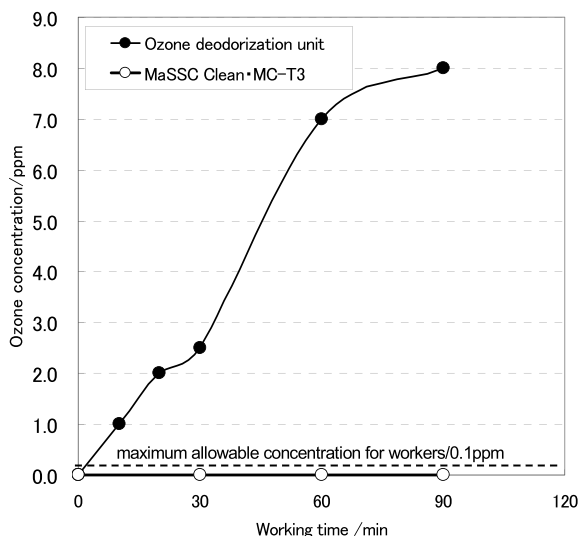


Fig.6 Ozone density when I started a ozone deodorization unit or MaSSC Clean MC-T3.

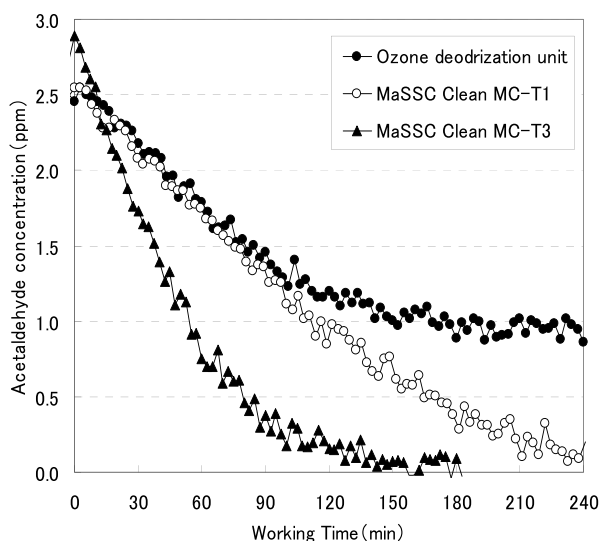


Fig.7 Acetaldehyde resolution examination of ozone deodorization unit and MaSSC clean.

Fig.7にオゾン脱臭機、MC-T3、MC-T1のアセトアルデヒド分解試験を行った結果を示す。オゾン脱臭機は出口濃度40ppmで起動させた。オゾン脱臭機は約120分で2.5ppmから1ppmまでアセトアルデヒド濃度が減衰した。しかし、その後は飽和傾向にあり、120分以降の25m³空間中のアセトアルデヒド濃度の減衰はほとんど見られなかった。アセトアルデヒド濃度の減衰が飽和傾向になった理由として、オゾン脱臭機は空間中にオゾンを放出し、アセトアルデヒド成分に接

触することで分解を行う。そのため、アセトアルデヒド濃度が低くなると、オゾンとの衝突確率が低下し、分解しにくい環境になったと考えられる。また、MC-T1は装置起動後90分まではオゾン脱臭機と同じ減衰曲線を描くが、その後、オゾン脱臭機は分解されないのに対し、MC-T1は分解し続け、装置起動後240分には25m³内のアセトアルデヒド2.5ppmを完全分解した。MC-T3も同様に装置起動後約120分で完全分解した。

アセトアルデヒドガスはオゾンにより酸化されると酢酸になる(式4-1)。



酢酸は食用酢にも使われており人体に影響はないが、酢酸の嗅覚閾値は0.006ppmであり、高濃度になると不快を感じる人も少なくない。Fig.8にアセトアルデヒドをオゾン脱臭機で酸化を行っている際の酢酸の濃度推移を示す。酢酸濃度はアセトアルデヒド濃度が減衰するにつれ0.016ppm/minで上昇した。アセトアルデヒドがオゾンにより完全分解できず酢酸に酸化されてしまう要因は、オゾンの酸化ポテンシャル(2.07V)が炭素単結合の結合エネルギー(2.4V)よりも低いためである。

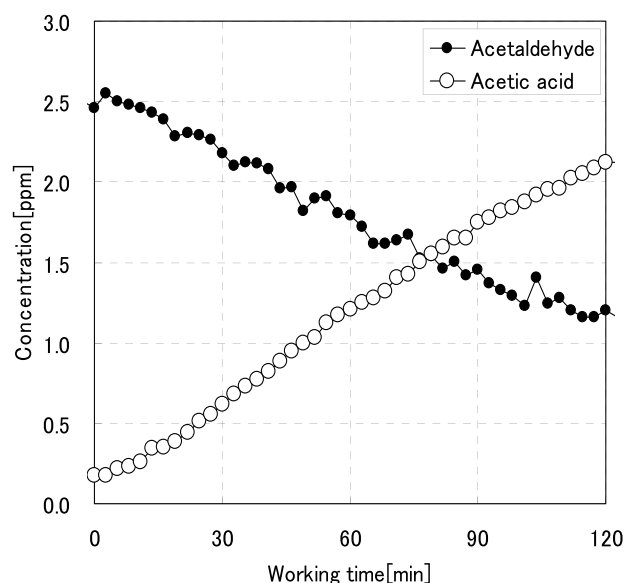


Fig.8 Relationship of the resolution of acetaldehyde and the acetic acid generation when I started a ozone deodorization unit.

一方、光触媒内蔵MaSSCクリーンではアセトアルデヒドを分解する際の酢酸濃度値はMaSSCクリーン排気口、25m³空間中央部、共に上昇は見られなかった(Fig.9)。

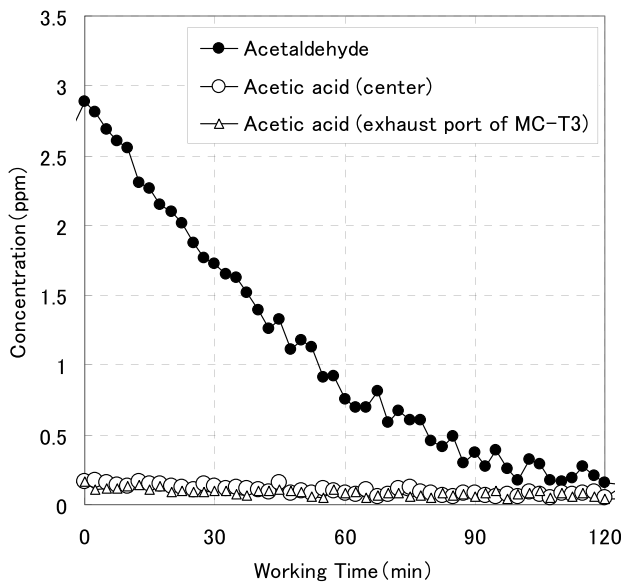
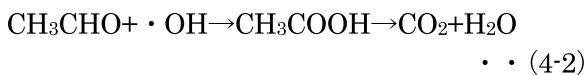


Fig.9 Relationship of the resolution of acetaldehyde and the acetic acid generation when I started a MaSSC Clean.

光触媒を用いてアセトアルデヒドを分解する際においても、中間生成物として酢酸が生成される(式 4-2)。



しかし、MaSSC クリーンは多層フィルター構造となっており、本機筐体内で中間生成物まで分解したため、25m³ 空間内の酢酸濃度値が上昇しなかったと考えられる。

5. 結言

本稿では、オゾン脱臭機と弊社が開発した MaSSC クリーンの分解及び酸化性能を比較し、MaSSC クリーンの方が短時間でアセトアルデヒドガスを分解できることを示した。また、アセトアルデヒドガス分解、酸化時に生成される中間生成物(酢酸)においてもオゾン脱臭機は、空間内に中間生成物(酢酸)が拡散したが、MaSSC クリーンにおいては筐体内で完全分解していることを示した。

今後、他のガス種や菌についても継続して調査検討を進めていく。

参考文献

- 1) 入江建久、「IAQ 専門委員会報告(前半)」空気清浄, Vol.34(5), p357-405, 1997
- 2) World Health Organization (WHO), Geneva, "Air quality guidelines", December 10, 1999