オゾン脱臭装置の開発

Development of Ozone Deodorizing Systems

釜瀬幸広　技術開発本部プロジェクトセンタープロジェクト開発グループ　課長
三海幸子　技術開発本部プロジェクトセンタープロジェクト開発グループ
菊池正浩　石川島芝浦機械株式会社防災環境事業部技術部　課長
杉本拓治　石川島芝浦機械株式会社防災環境事業部技術部

オゾンはふっ素に次ぐ強力な酸化力を持つとともに自然分解して酸素に戻る環境に優しい物質であり，殺菌・脱臭・脱色などさまざまな効果が期待できる．本稿では，オゾンが持つ酸化力による脱臭効果を利用したオゾン脱臭装置について報告する．開発した装置は，「空気吸引運転」と「オゾンくん蒸運転」の二つの運転モードを使用することができ，脱臭済みの空気とともにマイナスイオンを放出し，24 時間連続して清浄で良質な空気を作ることができる．また，小型軽量化した天井取付けタイプの装置も併せて紹介する．

Ozone has the strongest oxidization effect after fluorine, and is environmental-friendly, being spontaneously decomposed to oxygen. The oxidization property can be extensively utilized in disinfection, deodorization and decolorization. This report explains the development of ozone deodorizing systems which use the deodorization effect created by the oxidization. One of these is a unit which has dual mode, air-intake mode and fumigation mode, in addition to emitting anions together with deodorized air, to provide clean and quality air for 24 hours a day. The other is a lighter and more compact unit, designed to be installed on the ceiling.

1. 緒　　言

オゾンは酸素原子 3 個からなる常温で無色の気体であり，海や山などに微量存在するほか，地球環境問題で話題に上がる成層圏のオゾン層として，有害な紫外線の地表への到達を防止している．オゾンが持つ酸化力は，自然界ではふっ素に次ぐ強力なもので，塩素の 7 倍である．その特徴を生かして酸化，殺菌，漂白，脱色，脱臭などの幅広い分野で応用[1]が進んでいる．オゾン処理の利点は，電気と酸素さえあれば，どこででもオゾンを発生させることができるので，ボンベに詰め込んだり，薬品のように保管貯蔵しておく必要がない．しかも強力な酸化力を持っているので，他の方法に比べて強い効果（脱臭，殺菌など）が期待できることである．また，最終的には分解して酸素に戻るため，二次公害の心配がなく，環境に優しい点も大きな特徴といえる．オゾン処理における注意点として，オゾンは高濃度になると有害であるため，人体に触れないシステムにする必要があることと，酸素に戻るため持続的な効果が期待できない点が挙げられる．現在までに，これらの特徴を生かして，例えば公害対策と環境水悪化に伴う水道水の悪臭問題に対応するためにオゾンによる高度処理が検討され，導入されてきている[2]．近年では，冷蔵庫やトイレの脱臭など適用先は民生分野にまで広がってきている．

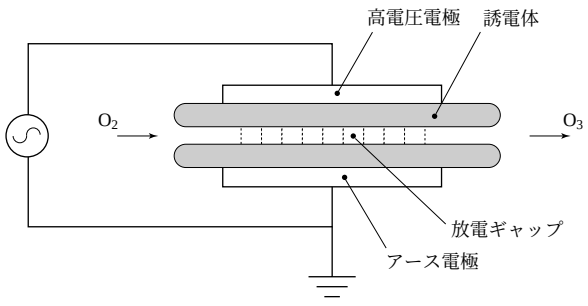
本稿では，オゾンを利用した脱臭装置とオゾン脱臭技術について紹介する．

2. オゾンの発生方法と脱臭の原理

2.1 オゾンの発生方法

オゾンの発生方法[3]には，放電による方法，水の電気分解による方法，紫外線による方法などがあり，用途によって各々の発生方法が適用されている．ここでは，工業的に最も多く使用されている放電法について簡単に説明する．

第 1 図に無声放電オゾナイザの構造を示す．二つの金属電極間にガラスやセラミックなどの誘電体を挟み，この間



第 1 図　無声放電オゾナイザの構造
Fig. 1　Structure of silent discharge type ozone generator

に数 kV ～ 数十 kV の交流高電圧を印加すると，金属電極と誘電体の間で無声放電と呼ばれる微少な放電が無数に発生する．この放電空間に，原料となる酸素を流すと，放電によって以下の反応が起こり，オゾンが発生する．

$$O_2 + e \rightarrow 2O + e \quad \cdots\cdots (1)$$

$$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M \quad \cdots\cdots (2)$$

M ：第 3 体

2. 2　オゾンの脱臭原理

オゾンが脱臭用に使用され始めたのは 1930 年ころからで，水洗塔との組み合わせによる下水処理場の臭気除去として用いられていたようである．現在では，大気汚染処理として排気の脱臭，排煙処理，室内の空気浄化，あるいは浴室，病院，老人施設などの脱臭でも利用されている．臭い物質を構成する硫化物や有機酸などを，オゾンの強い酸化反応を利用して分解するのが脱臭原理[4]である．一般に，オゾンは –SH，＝S，$–NH_2$，＝NH，–OH，–COH 基を持つ化合物との反応性が大きい．悪臭物質の多くはこれらの基を持つので，オゾンによる脱臭は，多くの悪臭物質に対し効果があることになる．例えば，し尿などの代表的な物質である硫化水素，メチルメルカプタンに対して，オゾンは以下のとおり反応し臭いを消す．

$$H_2S + O_3 \rightarrow S + H_2O + O_2 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$(SO_2 + H_2O)$$

$$CH_3SH + O_3 \rightarrow CH_3OH + SO_2 \quad \cdots\cdots (4)$$

ただし，悪臭対策レベルでの低臭気濃度領域では，反応速度が非常に遅い．例えば，硫化水素とオゾンを 1 ppmで反応させると，その半減期は約 9 000 分，同様にメチルメルカプタンでもその半減期は約 220 分となる．つまり，オゾン単体と脱臭物質との反応システムを考えると，長時間の反応が確保できる脱臭対象空間にオゾンを放出，くん蒸するシステムとする必要がある．通常の短時間反応が必要な脱臭システムでは，反応を確保するために，オゾンの反応を促進させる触媒作用を持ったものとの併用が必須となる．実際に触媒との併用を行った場合の反応は，以下のとおり進行し短時間で対象物質の脱臭を実現できる．

$$O_3 + M \rightarrow M^* + O_2 \quad \cdots\cdots (5)$$

$$M^* + \text{悪臭物質} \rightarrow \text{悪臭物質の酸化物} + M \quad \cdots\cdots (6)$$

M ：触媒

M*：活性状態の触媒

脱臭反応は，まずオゾンで触媒（ M ）が活性状態の触媒（ M* ）に短時間で移行する．ここで，活性状態の触媒（ M* ）は，オゾンに比べ酸化速度が速く，悪臭物質との反応が非常に短時間で起こるとともに，反応後は元の状態の触媒に戻る．したがって，短時間での脱臭を目的とする場合は，触媒との併用による脱臭システムとすることが必要となる．また，高い脱臭効率のためには，上記の反応で最終的に悪臭物質が炭酸ガスと水に酸化されるのが望ましい．しかし，悪臭物質の脱臭反応生成物は**第 1 表**に示すように，中間酸化物までしか反応は進んでいないことが分かる．これらの脱臭反応生成物は無臭に近い成分であり，装置の後段に設ける触媒担体に使用される場合もある活性炭に吸着されやすくなるため，脱臭触媒法の脱臭効果を高めるのにも役立っている．

実際にオゾンによる脱臭方法を考えると，大きく分けて二通りの方法がある．一つ目は，臭気ガスを装置内部に取り込んでオゾンガスと反応させ，余剰オゾンを分解して酸素として装置外に放出する吸引タイプである．この場合，出口側にはオゾン分解用の触媒を設置するが，この触媒はオゾンと臭気物質との反応促進の役割も果たしている．もう一つは，臭いのある室内にオゾンを放出して，空気中に存在する臭い分子や床，壁，天井などに付着している臭いを脱臭するくん蒸タイプである．吸引タイプは，装置外にオゾンが放出されることがないので，人がいる場所での適用が可能であり，トイレや冷蔵庫の脱臭装置などに使用されている．しかし，この方式では，空気中の臭気分子のみの脱臭となるので，室内の壁，カーテンなどに付着した臭気には効果がない．このような場合には，くん蒸タイプが適している．

3.　オゾン脱臭装置

当社では，石川島芝浦機械株式会社と共同で，オゾンの持つ強力な脱臭力を利用した脱臭装置を開発した．

第 1 表　オゾンガスと悪臭物質との反応
Table 1　Reaction of ozone and bad odor substance

悪臭成分	脱臭原理	脱臭反応生成物	脱臭効果
アンモニア	化学吸着	NH_4^+	○
硫化水素	酸化	SO_4^{2-} S	◎
メチルメルカプタン	〃	CH_4SO_3H （メタンスルホン酸）	◎
硫化メチル	〃	$(CH_3)_2SO$ （ジメチルスルホキシド酸）	◎
二流化メチル	〃	CH_3SO_3H （メタンスルホン酸）	◎
トリメチルアミン	化学吸着酸化	$(CH_3)_3NO$ （トリメチルオキザミン）	○

（注）　◎：極めて大　　○：大

3.1　オゾン殺菌脱臭機

第 2 図は，オゾン殺菌脱臭機（eZ-10）の外観を示す．本装置は，「空気吸引運転」と「オゾンくん蒸運転」の二つの運転モードを使用することができ，殺菌・脱臭済みの空気とともにマイナスイオンを放出し，24 時間連続して清浄で良質な空気を作ることができる．装置の基本仕様は次のとおりである．

名　　称	オゾン殺菌脱臭機(eZ-10)
オゾン発生量	
空気吸引運転	0.03 g/h
オゾンくん蒸運転	0.6　〃
電　　源	AC 100 V (50/60 Hz)
消費電力	60 W
外形寸法	500（幅）× 180（奥行）× 635（高）mm
質　　量	14 kg
脱臭モード	
風　　量	
弱（サイレント）	1.0 m^3/min
中（通常モード）	1.5　〃
強（急速モード）	2.5　〃
運転時間	
空気吸引運転	2，4，8 時間，および連続
オゾンくん蒸運転	0.5，2，8，12 時間

本装置は，室内空気をオゾンで殺菌・脱臭するだけでなく今回初めて付加したマイナスイオン機能で快適な室内空間を創ることも目的としている．

臭い物質を含んだ汚染空気を装置内に取り込み，装置内部でオゾンガスと反応させて脱臭を行い，残留オゾンガスを分解してから装置外に放出するのが「空気吸引運転」である．**第 3 図**に空気吸引運転の動作概念を示す．本装置には，0.3 ミクロンまでの微粒子を 99.97%除去できる HEPA（High Efficiency Particulate Air）フィルタを内蔵しており，脱臭とともに空気中のちりなどを強力に集じんすることができる．さらに脱臭，集じんを終えた清浄な空気は，マイナスイオン発生器で作られたマイナスイオンとともに装置外部へ放出される．マイナスイオンは，森林浴効果が期待できると注目されているイオンである．装置内部で発生させたオゾンは，装置内部ですべて分解し酸素に戻すのでオゾンが装置外に漏れることはない．

第 2 図　オゾン殺菌脱臭機 (eZ-10)
Fig. 2　Ozone room deodorizer (eZ-10)

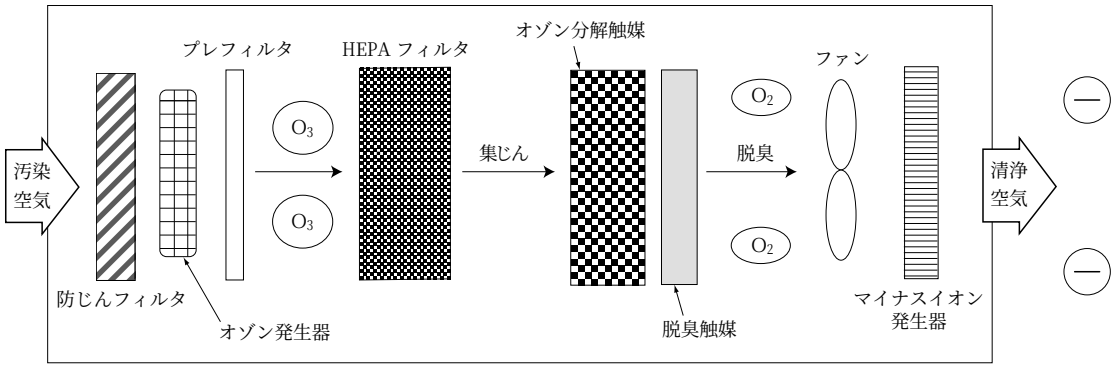
本装置の脱臭効果を確認するために，幾つかの臭気物質を用いて脱臭試験を実施した．5.8 m^3（1.8 × 1.8 × 1.8 m）チャンバ中に本装置を設置した後，臭気物質を注入し，装置を運転することで脱臭効果を確認した．本装置を用いた酢酸およびアンモニアへの脱臭効果の一例を**第 4 図**に示す．それぞれ，6 段階臭気強度表示法で「強いにおい」に相当する高濃度悪臭ガスが，「何のにおいであるかが分かる弱いにおい」（認知しきい値濃度）まで短時間で脱臭されていることが分かる．

また，部屋に人がいないときは「オゾンくん蒸運転」で装置からオゾンとマイナスイオンを放出し，室内の隅々まで充満させて，空気中に存在する臭い分子や壁，天井，床などに付着している臭いを短時間で強力に脱臭することができる．

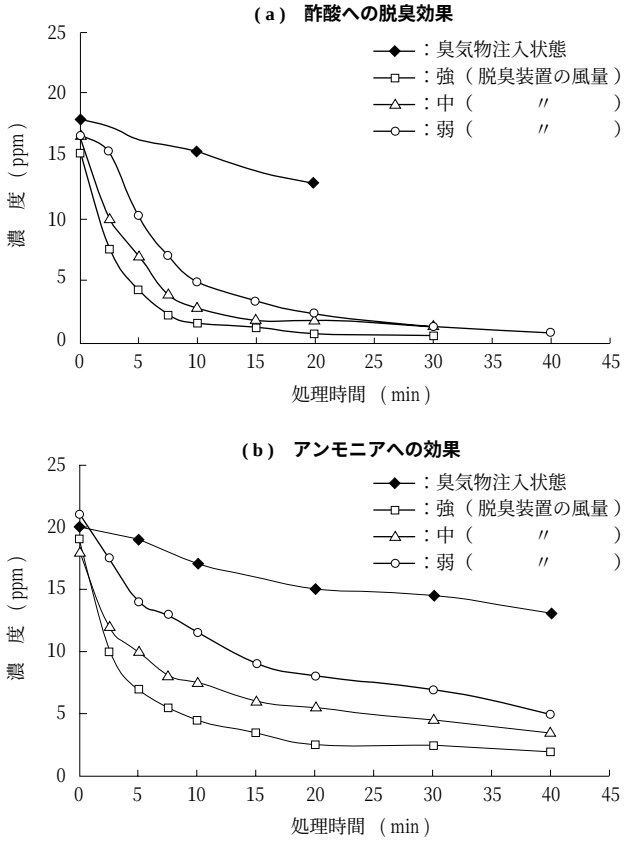
まず，部屋の広さに適合した設定時間に合わせて，オゾンくん蒸工程（オゾン発生）を続け，その後にオゾン分解工程を設定時間行い，処理室内の残留オゾンガスを分解処理する．**第 5 図**にオゾンくん蒸運転の動作概念を示す．なお，本装置の操作はすべてリモコンで行い，オゾン放出・拡散から回収，分解まで自動運転できる．また，空気吸引運転は連続して使用できるが，オゾンくん蒸運転では，処理を一定時間に固定するので部屋の広さによって脱臭性能に違いがでてしまう．そこで，基本仕様に示すように 4 モードを設け，部屋のサイズに適した時間を選択できる方式とした．ちなみに，一般的な床面積 20 ～ 30 m^2 の部屋では，運転時間 30 分で十分な効果を得ることができる．

3.2　天井取付脱臭システム

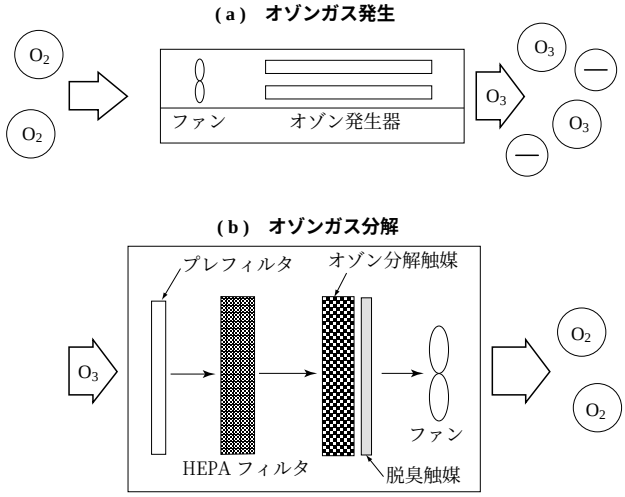
老人施設や公共施設のトイレなどの施設向け脱臭システムとして開発したのが**第 6 図**に示す天井取付脱臭システム（eZ-1S）である．本装置の基本仕様を以下に示す．



第 3 図　空気吸引運転の動作概念
Fig. 3　Movement of air-intake mode



第 4 図　悪臭物質への脱臭効果 (eZ-10)
Fig. 4　Effect of deodorizing by ozone gas (eZ-10)



第 5 図　オゾンくん蒸運転の動作概念
Fig. 5　Movement of fumigation mode

名　　称	天井取付脱臭システム (eZ-1S)
マイナスイオン発生量	1 000 000 個／cc 以上（吹出し口付近）
オゾン発生量	15 mg/h 以下
処理風量	2 m^3/min
オゾン濃度	0.06 ppm 以下（吹出し口付近）
電　　源	AC 100 V (50/60 Hz)
消費電力	10 W

第 6 図　天井取付脱臭システム (eZ-1S)
Fig. 6　Ozone room deodorizing system (eZ-1S)

外形寸法	219（幅）×236（奥行）×200（高）mm
取付方式	ボード挟み込み方式
適応面積	1 台当たり 30 ～ 40 m^2

第 7 図に本装置の脱臭概念を示す．本装置は，天井からマイナスイオンと低濃度オゾンガスを室内に吹き出して，空気中の臭い物質やちりなどの空気の汚れを取り除き，脱臭・空気清浄を行うものである．併せて，独自開発した脱臭触媒で，装置内に取り込んだ室内空気を強力に脱臭することができる．また，本装置には，発生する微量オゾンガスを人体に安全な低濃度に保つ機能をもっているとともに，万一，発生器に異常が生じた場合はオゾンガス発生を停止するセーフティ制御を行っている．実際に，某施設のトイレで，天井取付脱臭システムを使用して，装置の運転の有無で脱臭試験を実施した．脱臭効果は，6 段階臭気強度表示法による臭気強度判定で実施した．その結果，装置を運転することで，ほとんど臭いが無い状態に脱臭されることが確認できた．

また，独自開発の脱臭触媒を用いて尿臭のもとであるアンモニアや，ふん便臭のもとであるメチルメルカプタンに対する脱臭試験を 1.46 m^3 チャンバを用いて実施した結果を**第 8 図**に示す．短時間で高い脱臭効果が得られていることが分かる．また，脱臭効果は，臭気物質を触媒表面で分解することによって得られているので，吸着による活性炭の効果とは異なり，継続して高い脱臭効果が保持できる．

4. 結　　言

強力な酸化力を持つオゾンを利用した脱臭装置の開発を行い，各装置の脱臭性能を確認したところ，十分な効果が得られることが確認できた．オゾン脱臭法は，オゾンの酸化力で臭気成分を無臭成分に分解，変質し，余剰オゾンは触媒で分解するため臭気が残らない優れた技術である．本技術がさまざまな分野の快適環境創造のために貢献できれば幸いである．21 世紀は環境の世紀と呼ばれており，強力な酸化力を持つとともに，高い環境親和性を兼ね備えているオゾンは，さらに多くの分野への応用が可能であると考えられる．

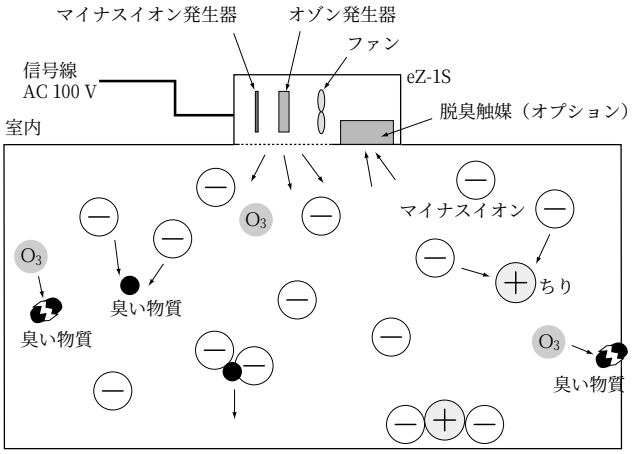
参 考 文 献

(1) 杉光英俊：クリーンで強力なオゾンとは　電気学会誌　第 114 巻第 10 号　1994 年 10 月　pp.637－639

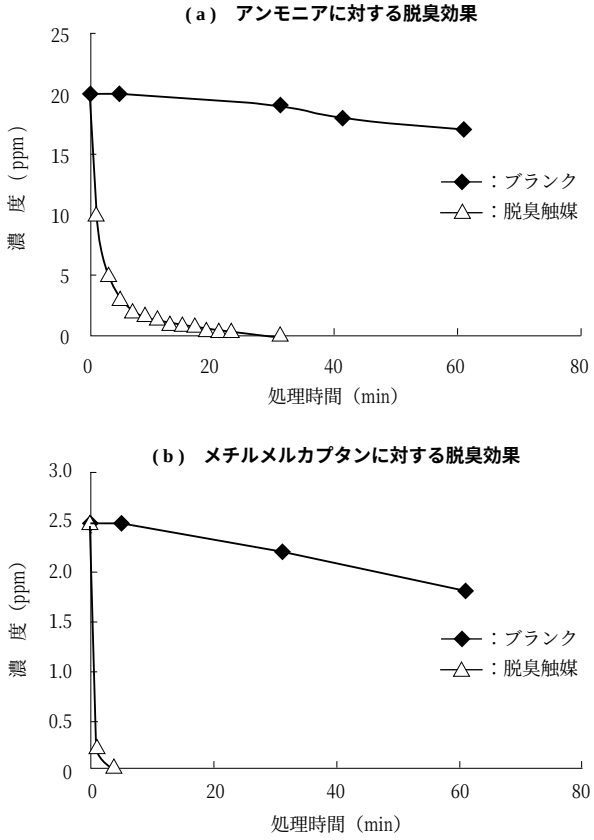
(2) 釜瀬幸広：オゾンによる空気浄化　エネルギー・資源　第 20 巻第 5 号　1999 年 9 月　pp.39－44

(3) 山本克治，設楽和弘，広瀬宏樹：高濃度オゾナイザの開発　石川島播磨技報　第 36 巻第 3 号　1996 年 5 月　pp.153－158

(4) 太田静行：新版オゾン利用の新技術　三琇書房　1993 年



第 7 図　脱臭装置の動作概念 (eZ-1S)
Fig. 7　Movement of deodorizing system (eZ-1S)



第 8 図　悪臭物質への脱臭効果 (eZ-1s)
Fig. 8　Effect of deodorization by ozone gas (eZ-1S)