

【研究報告】

低濃度オゾンを利用した介護療養環境用多目的脱臭装置の開発

松尾清美,杉光英俊,上村元子,淵上義文

日本医療・環境オゾン研究会会報, Vol.6, No.4, 1-6. (1999)

研究報告

低濃度オゾンを利用した 介護療養環境用多目的脱臭装置の開発

総合せき損センター医用工学研究室 松尾 清美

徳山大学 杉光英俊 山口大学 上村元子 (株)カンキ 淵上義文

要約 線状オゾン発生体を開発し、これを利用して排便時の脱臭、ふとんや衣類の殺菌・乾燥など、介護者や療養者の生活環境の改善に用いることができる多目的脱臭乾燥機を開発した。

キーワード：オゾン、殺菌、脱臭、乾燥

1. はじめに

総合せき損センターには、毎年多くの脊髄損傷者が入院し、医学的治療やリハビリテーション訓練を通して、車いすなどの福祉機器を活用した生活方法を修得したり、退院後の社会生活に関する情報を入手し退院していく。その中で、四肢麻痺を呈し、自分の力では身体を全く動かすことのできない高位頸髄損傷者では、衣服の着脱や排泄動作などに関して、家族などの介助に依存せざるを得ない場合が多いが、特に手術後など安静状態を保たなければならない場合は、排泄行為をベッド上で、介助者により行わざるを得ない。

脊髄損傷者は神経因性直腸障害を有するため、準備動作から後始末動作まで含めると、その所要時間は30分以内で終了する場合もあれば2時間かかる場合まで、個々あるいはその日の調子などで様々である。本人の尊厳を保ちながら、看護婦などの介助でできるだけ速やかに行われるが、この際に拭い去れないのが、「臭い」である。このため当センターをはじめ、全介助の必要の高齢者をかかえる特別養護老人ホームなどの施設では、本人や家族あるいは同室者などから、脱臭方法について、様々な要望が出されてきている。著者等もこれまで様々な脱臭装置、脱臭剤について検討を行ってきたが、満足できる成果を得ることができなかった。今回筆者等はオゾンの脱臭効果に着目して、院外の専門家の協力を得ながら、身体に安全な低濃度オゾンを利用した脱臭装置を試作したところ、予期以上の効果を確認することができ、また、その装置の活用方法について検討を加え、脱臭・除菌機能付き多目的脱臭乾燥機として市販化したのでその研究成果を報告する。

2. 装置の構成と脱臭試験条件

通常のオゾンを利用した脱臭機は、臭気物質を含む空気を脱臭機内に吸い込み、オゾンと反応させて脱臭した後、余剰オゾン进行分解して室内に戻す方式がとられている。しかし、これでは室内に臭気源が存在する場合に、そこから発生し続ける臭気物質の拡散をおさえることができない。そこで、臭気源に微量オゾンを含む空気を直接接触させることにより、発生源で脱臭を行うことを検討した。

今回用いたオゾン発生体は著者等が新たに共同開発したもので、その構造を図1に、発生試験結果を表1に示す。オゾン発生体の両放電電極は高分子絶縁体で被服された二軸平行線で、この二軸間に高電圧パルスをかけることで線状にオゾンが発生する。一般に放電式のオゾン発生体にはガラスやセラミックス、金属線などが用いられるが、いづれも放電生成物やホコリ等の付着が起り、放電の不安定さや火災の原因になったりすることが知られている。さらに、電極の形状が複雑な上、高電圧を使用するために発生体の清掃が難しいという欠点があった。今回用いた線状オゾン発生体は電極面が外部に露出し、構造が単純なため清掃が容易なこと、柔軟性があるため、電極形状や長さを自由に設計できること、両電極が絶縁されているために直接触れても感電の恐れがないこと、発生量が高電圧パルス数によって安定した制御が可能であることなどの特長がある。

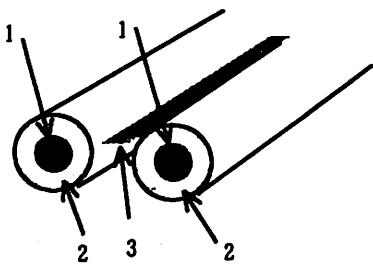


図1 線状オゾン発生体
1 金属導体 2 絶縁体 3 放電間隙

表1 オゾン発生量試験結果 (線長45cm)

電 極	長さ45cm	線電極径	1mm
測定条件	気温 24.6℃	大気圧	空気流速 1L/分
オゾン濃度	185ppm (最高濃度 536ppm)		
オゾン発生量	23.8mg/h		
消費電力	10W		
発生効率	2.38 g/kWh		

冬季においては冷風が直接肌に当たることは問題があり、できれば温風にする必要があると考えられた。しかし、温風内でオゾンを発生させれば温度の上昇にともなってオゾン発生量が減少し、一定のオゾン発生量が確保されない。外部でオゾンを発生させて混合する方法は機構が複雑になる。もっとも簡便な方法は空気の吸い込み口でオゾンを発生させることであるが、一般にオゾンは不安定で温度が高いと分解しやすい²⁾。このため、加熱部のヒーターとの接触において直ちに分解消滅してしまうと考えられた。しかし、実際に試験を行ったところ、実用上十分量のオゾンが残留することが分かった。このため温風式ふとん乾燥機に直接オゾン発生体を組み込み、オゾン混合温風を送風することとした。

11月の室温21度の環境で、吹き出し口から10cmと50cm地点での温度を時間経過と共に計測した。ヒーターをONにしてから、送風開始後3分程度で吹き出し口温度は52度に達したが、50cm地点では34度になった。そこで、低温火傷を避けるために吹き出し口から50cm以上離して使用することとした。

オゾン濃度に関しては、使用者がオゾン混合空気を吸引する可能性があるため特に注意して、各種条件でテストを行った。吹き出し口で0.3ppmにセットすると、30cm地点で0.18ppm、吹き出し口で0.17ppmにセットすると、30cm地点で0.08ppmを記録した。吹き出し口濃度を0.08ppmにセットすると、30cm地点濃度はゼロとなった。以上の結果、吹き出し口濃度0.08ppm、吹き出し口から1mの距離での脱臭効果を評価することとした。

3. 排便時脱臭試験結果

病棟(4人部屋)において、1998年11月19日から4月8日の約4.5カ月間にわたって実地調査を行った。排便時に脱臭装置の吹き出し口を臀部から1mの位置にセットし、臀部に向かって送風した。その結果について、本人および同室者に3段階で聞き取り調査を行った結果を表2に示した。160名の回答の内訳は、「臭わなかった」110名(69%)、「少し減った」45名(28%)、「同じように臭った」5名(3%)であった。また、装置の運転音についても88%の方が「気にならなかった」、10%の方が「少し気になった」という結果であった。これらの結果はこれまでの各種脱臭装置のテストでは得られなかったものである。

水洗の洋式便器を使用する脊髄損傷者の在宅で、排便時に便器に向かって送風する方法で、10カ月間使用評価を行った。その結果、便の臭いを感じないで排便時間を過ごすことができたという評価が得られた。以上の結果から、本機が効果的に排便臭を改善できることが認められた。

表2 消臭効果

本人	同室者	本人	同室者	本人	同室者
1	2	2	2	2	1
2	1	1		2	2
1	1	2	1	2	2
2	2	2	2	1	2
2	2	2	1	1	2
2	1	2		2	2
2	2	2		1	1
2	0	1	1	1	1
2		2	2	2	2
0	1	2	2	2	2
2	1	1	2	2	2
2	2	2	1	2	2
2	1	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2
1	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2
2	2	1		2	
2	1	1	2		
2	2	1	1		
2	1	0			
1	1				
消臭効果	本人	85.9%	同室者	81.0%	

2: 臭わなかった 1: 少し減った 0: 変わらなかった

4. その他の応用

4.1 布団乾燥除菌機としての応用

車いす使用者にとって、ふとんを干すという動作は大変難しく、これまでの調査でも、他の日常生活動作は、自立していても、布団を天日に干す動作を自立して行っている者はまれで、布団を干し、乾燥させるという習慣は少ない。ほとんどが、家族や介助者に依存している状況である。そこで、本機を本来の用途である布団乾燥機に用いれば、単なる乾燥だけでなく、オゾンの脱臭効果や殺菌効果が加わったものになることが期待された。オゾンは不安定で温度が高いと分解しやすいため、乾燥機の温熱下では布団表面で直ちに反応し消滅するとも考えられたが、実際には大部分が安定して存在していることが分かった。そこで、布団付着菌に対する殺菌効果を評価した。

図2に試験条件を示す。供試菌にはJISの繊維製品抗菌性試験方法の指定菌であるS.aureus（黄色ブドウ球菌）、K.pneumoniae（肺炎桿菌）の2種菌株に、皮膚カンジダ症の原因菌であるC.albicans（真菌）を加えた。4cm角の綿100%の布片の全面にこれらの菌液0.1mlを浸透させ試験片とした。付着菌液の菌数はそれぞれ、S.aureus 10^6 cfu/0.1ml、K.pneumoniae 10^7 cfu/0.1ml、C.albicans 10^4 cfu/0.1mlであった。一定時間処理後にコントロールおよび試験片の生残菌数を計測した。図3はふとん内のオゾン濃度、図4は乾燥機使用時の温湿度の変化を示したものである。オゾン濃度は30分後には90%近くまで回復している。温度は30分で約50度に、1時間後には60度に達し、湿度は1時間後に10%以下にまで乾燥した。

図5～図7に吹き出し口濃度0.17ppmのオゾンによる各種細菌への殺菌効果を示す。図5は、黄色ブドウ球菌に対する効果をみたものである。この菌は布団に多く見られる菌で、肺炎や乳腺炎などの原因になる。通常の乾燥機使用で2桁、オゾン使用時に2～3桁の減少が見られる。

図6は、気管支・肺・皮膚カンジダ症などの原因菌である真菌への効果である。通常の乾燥機で1桁、オゾン併用で2桁の減少が認められる。

実験用ふとん

		縦×横×厚さ (cm)	側地の繊維	わたの組成	重さ (kg)
実験用 布団	掛け布団	150×90×8	綿100%	綿100%	2.2
	敷き布団	20×30×10	綿100%	綿100%	0.14

供試菌

グラム陽性球菌…Staphylococcus aureus IAM 1011 (黄色ブドウ球菌)
(略称 S. aureus)

グラム陰性桿菌…Klebsiella pneumoniae IAM 12015 (肺炎桿菌)
(略称 K. pneumoniae)

真菌…Candida albicans JCM 9061 (略称 C. albicans)

図2 試験条件

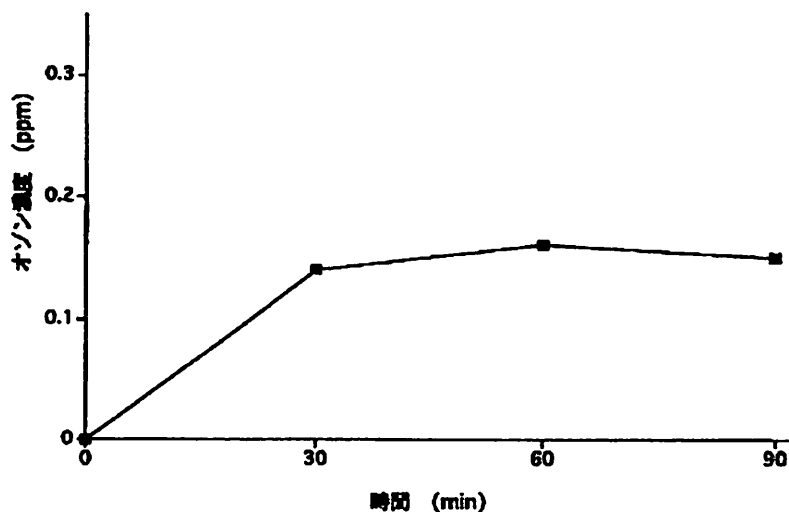


図3 実験用布団のオゾン濃度 (側地の上・中央部)
(吹き出し口のオゾン濃度 0.17 ppm)

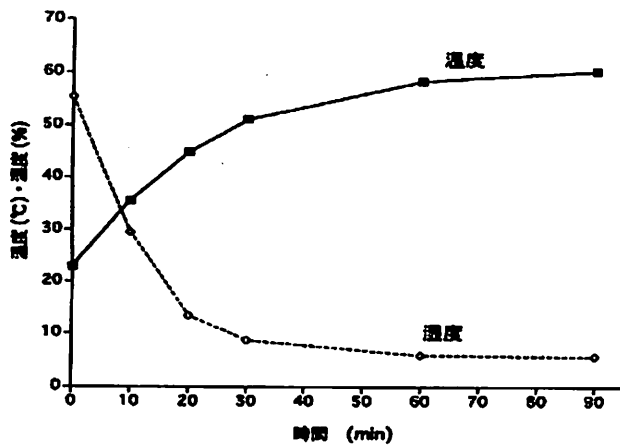


図4 布団乾燥機使用時の湿温度
(実験用布団・側地の上・中央部)

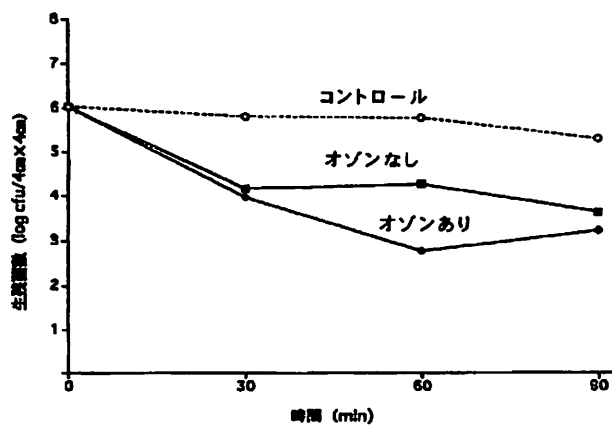


図5 オゾンが *S.aureus* の生残に及ぼす影響
(布団表面)

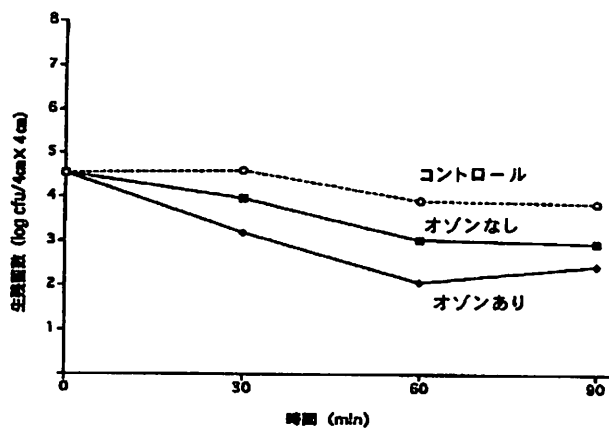


図6 オゾンが *C.albicans* の生残に及ぼす影響
(布団表面)

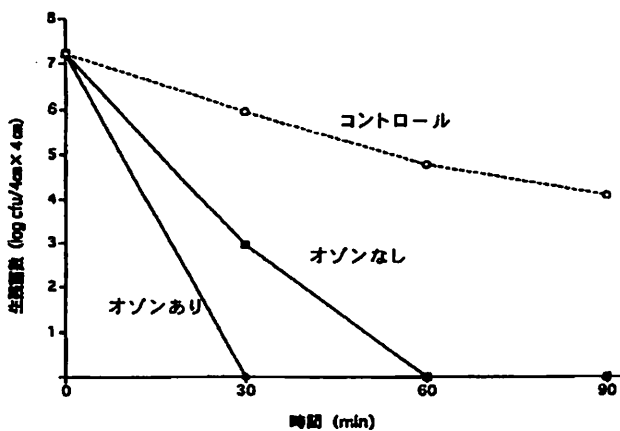


図7 オゾンが *K.pneumoniae* の生残に及ぼす影響
(布団表面)

図7は、グラム陰性菌の肺炎桿菌への効果である。グラム陰性菌は出血性肺炎・尿路感染症・乳児下痢症などの原因菌として知られる。オゾンを含まない温風だけでも60分で死滅したが、オゾンの併用により30分で死滅している。

これらの結果から、加熱乾燥による除菌効果に加えてオゾン添加による殺菌効果が認められた。脱臭効果は現場で確認した。また、布団外でのオゾン濃度はゼロであった。

そこで実際に車いす使用者に本機での試用を依頼したところ、自立して布団を乾燥させることができ、天日に干したときと同様の太陽の臭いを感じたとの意見が得られた。以上により本機を使用する場合の動作手順や方法などを明確にすることで、車いす使用者により快適な就寝環境を提供できる可能性が明らかになった。

4.2 脱臭乾燥機としての応用

車椅子使用者等が洗濯物を戸外に干すことも容易ではない。そこで、布団乾燥機に付属するファンシーケースタイプの衣類乾燥機に本脱臭機を接続することで、洗濯物が乾燥できるかどうかをテストした。洗濯物を脱水後、ケース内に吊し、タイマーをセットしたところ、嫌な臭いが残留することなく無臭に乾燥できることが分かった。実際に、アトピー性皮膚炎の子供がいる当病院職員の家庭では、洗濯物を屋外に干すと、アレルギーが洗濯ものに付着するからという理由で、この脱臭装置と衣類乾燥機を接続して使用し高い評価が得られている。また、本機の使用により煙草臭が付着した丹前や調理臭が付着した衣類などの脱臭効果も認められ、靴の乾燥にも有効であった。特に殺菌効果はテストしていないが、布団乾燥機の例で考えれば一定の除菌効果もあるものと考えている。

5. 安全性および安定性

オゾン濃度を高くすれば、脱臭および除菌効果が高くなることは、周知のことであるが、悪影響も心配される。表3にオゾンの環境基準を示した³⁾。

表からオゾンを作業的に利用する場合は0.1ppm、居住環境中では0.05ppmを超えないようにしなければならないことがわかる。本脱臭装置では、安全のために吹き出し口で0.1ppm以下に抑えることとした。

4カ月間の試用評価において、看護婦の一人から、便の臭いは無くなったが、オゾン臭が少しするとの報告があった。頸髄損傷者の中には、呼吸量の少ない方も多いため、継続して計測したが、製品化タイプの脱臭装置の吹き出し口でのオゾン濃度は、湿度50%において0.08ppmで、部屋の中で脱臭装置から30cm離れた場所でのオゾン濃度はゼロであった。オゾン臭は人によって0.02ppmという超低濃度でも感知されるといわれているので、実際上の問題はないと考えられた。実際に、

計測した4か月間、呼吸量の少ない四肢麻痺の方にも問題は全く生じなかったし、その後も継続して試用しているが1年経過した時点でも体調の変化など、問題は生じていない。在宅での評価(10か月間試用)を行っている頸髄損傷者も身体的な変化は全く現れていない。以上のことから、本機の使用による健康上の問題は無いものと結論した。

低濃度のオゾンを利用する装置において重要なことはオゾン出力の信頼性である。通常の小型オゾン発生体では発生初期には高濃度に発生するが、その後急速に発生量が低下したり、停止したりするケースがあり、信頼性を損なう恐れがある。そこで、本装置は一般室内で6か月間連続発生テストを実施した。その結果、この装置は0.1ppm以下の濃度を安定して発生でき、放電生成物やゴミ等の付着も起こらず、メンテナンスの必要性もないことがわかった。また、パルス音によってオゾンの発生を確認することができることがわかった。さらに、特殊実験室(簡易人工気象室)において、オゾン濃度と温度および湿度との関連を計測したところ、湿度が上がるとオゾン発生量は減少するが、時間的な変動は見られなかった。以上により、本機は実用上の安定性を有するものと認められた。

表3 オゾンの環境基準

法律・勧告等	基準 ppm	備考
ICSC*	0.1(0.2mg/m ³)	天井値 (1996)
米国 EPA	0.12	1時間値 (1979)
米国 OSHA	0.10	8時間値
米国 FDA	0.05	空気清浄機
米国 ACGIH	0.1	天井値 (1989)
日本大気汚染防止法	0.12	1時間値 (昭43)
日本空気清浄協会	Max 0.1 平均 0.05	(1967)
日本大気環境基準	0.06	1時間値 (昭48)
日本産業衛生学会	0.1	8時間値 (1963)

* International Chemical Safety Cards

** Occupational Safety and Health Administration

*** American Conference of Governmental and Industrial Hygienist

6.まとめ

重度身体障害者や高齢者の中には、その身体機能のため、あるいは住環境が整備されていないため、ベッド上での排便を余儀なくされている方がいる。当センターでも、手術後の入院患者や高位頸髄損傷者では、排便をベッド上にて介助で行っており、本人や同室の患者および看護婦から脱臭についての相談が多く寄せられていた。

そこで、低濃度オゾン（0.1ppm以下）を安定して発生させることのできるオゾン発生体を布団乾燥機に組み込んだ脱臭装置を開発した。この装置を病棟や施設におけるベッド上での排便時に、臀部に向かって送風するなどの実使用評価および実験室内での評価を様々な角度から行った。その結果、顕著な脱臭効果を確認し、また安全に使用できることが分かった。さらに、車いす使用者にとって、ふとんや洗濯物を天日に干すという動作は、大変難しく、ほとんどが、家族や介助者に依存している状況であるが、今回開発した脱臭装置を使用することで、排便時の脱臭のみならず布団や洗濯物あるいは靴などを除菌をしながら乾燥させることができ、乾燥後に嫌な臭いが残らないことが分かった。

以上のような評価が得られたことから介護、療養環境における多目的脱臭乾燥機として市販化するに至った。市販化にかかる製品の詳細は本センターの研究報告書において、また、その殺菌効果については山口大学論叢において報告した^{4,5)}。

参考文献

- 1) 杉光英俊、上村元子、松尾清美 淵上義文 芦田真人：線状オゾン発生体の開発とその応用、日本オゾン協会年次研究講演会（1999）。
- 2) 杉光英俊：オゾンの基礎と応用、pp.85-88、光琳（1996）
- 3) 杉光英俊：空調でのオゾン利用、第17回オゾン技術に関する講習会講演要旨、 pp.31-42、日本オゾン協会（1999）。
- 4) 松尾清美、江原喜人、藤家馨、寺師良輝、小林博光、杉光英俊、上村元子、淵上義文：低濃度オゾンを利用した排便時の脱臭装置の開発、労働福祉事業団総合せき損センター医用工学研究室研究報告書（1998）。
- 5) 上村元子、中村智美、オゾンを利用した布団乾燥機の殺菌効果、山口大学教育学部論叢、第49巻、pp.43-54（1999）

付記：オゾンの環境基準

ICSCは、WHO、UNEP、ILOの共同事業であるIPCS（国際化学物質安全性計画）が化学物質による被害を防止することを目的に作成しているもので、日本では国立医薬品食品衛生研究所化学物質情報部が担当している。米国では大気は環境保護局（EPA、Environmental Protection Agency）、作業場の環境は労働安全衛生局（OSHA、Occupational Safety and Health Administration）、有害物全般については食品医薬品局（FDA、Food and Drug Administration）が規制を行い、さらに消費者製品安全委員会（CPSC、Consumer Product Safety Commission）が全消費者製品の安全に関係している。

基準にかかる用語の意味は次の通りである。時間荷重平均濃度（TLV-TWA、Threshold Limit Value- Time Weighted Average Concentration）：1日8時間、週40時間の正規の労働時間中の時間平均濃度で、大多数の労働者はその条件に連日繰り返し暴露されても健康に悪影響を受けない。短時間暴露限界（TLV-STEL、Short Term Exposure Limit）；1日の平均暴露がTWAを超えないことを条件に、短時間（15分間、1日4回以内）継続的に暴露されても、1）耐えられないほどの刺激、2）慢性的または非可逆的生体組織の損傷、3）麻酔作用による障害事故発生の危険増加、自制心の喪失、または著しい作業能率低下の起こらない濃度限界。天井値（TLV-C、Ceiling Value）：瞬間的でも超えてならない暴露限界濃度。

ACGIHは長年TWA0.1ppm、STEL0.3ppmを採用してきたが、1989年からTLV-Ceiling 0.1ppm（=2.0mg/m³）を採用している。FDAは電気機器から出るオゾンの安全基準値を0.05ppmとし、米国の消費者月刊誌Consumer Reportsはそれにもとづいて安全性の検査を行っている。

日本空気清浄協会は最大0.1ppm、平均0.05ppmを採用している。大気汚染防止法によるオゾンや窒素酸化物を含めたオキシダント（二酸化窒素+オゾン+有機過酸化物等）の環境基準は1時間平均値で0.06ppm、排出規制の基準は0.12ppm、日本産業衛生学会は労働環境における基準としてTWA値0.1ppmを勧告している。