特集・臭気対策の現況

生物脱臭法の現状と今後の課題

樋口能士*

1. はじめに

本年一部改訂がなされた悪臭防止法には、新たに官能試験法に基づく規制が導入されている。官能試験法は、従来の機器測定による規制とは異なり、悪臭に關与する微量な未知成分をも含めた、包括的な悪臭評価手法である。したがって、各種の臭気発生源に適用される脱臭装置に対しても、臭気指数（官能測定の結果より得られる、試料ガスの閾値積倍数の表示法）による性能保証を求められる場合が、今後益々増加するものと思われる。

一方、現在適用されている各種の生物脱臭装置については、臭気成分の除去機構に関して未解明な部分が多い上に、悪臭防止法の改訂に伴って、機器分析で評価が困難な微量物質の除去をも考慮する必要が生じてきた。このような不特定対象物質の処理を扱う際には、試行錯誤的な検討が不可欠となるが、現時点で想定し得る理論的考察もまた重要な課題と考えられる。

本報では、充填塔型生物脱臭装置を中心に、現時点での適用状況や研究開発の動向を整理するとともに、将来に向けての検討課題について私見を述べる。

2. 生物脱臭装置の稼働実績と適用状況

著者らは、平成6年に、生物脱臭装置の納入実績を持つプラントメーカーを対象に、アンケート調査を実施し^{1)~3)}、24社から、詳細な御回答を頂いた。ここではその結果に基づいて、現時点における生物脱臭装置の適用状況を紹介する。

生物脱臭装置は、その構造から、バイオフィルター、懸濁バイオスクラバー、バイオフィルム型スクラバーに分けられる⁴⁾が、近年主流となっている充填塔型生物脱臭装置は、バイオフィルム型スクラバーあるいは

これとバイオフィルターとの中間的な構造をしている。多くのプラントメーカーが納入している生物脱臭装置は充填塔型の装置であり、その納入件数は、図-1に示すように、1990年を境に急増している。また、図中のように、従来は下水処理施設への適用が主流であったものが、近年ではその他の業種、例えば食品加工業、畜産業等への適用事例も増加している。

充填塔型生物脱臭装置の操作条件、すなわち通気条件および散水条件は、従来より経験的に行われてきたが、著者らがアンケート結果より算出した平均的条件は、通気条件についてはSV200~500 [l/hr]、LV10~30 [cm/sec]、散水条件については容積基準で6.5 [m³/m³/day]、液ガス比で0.75 [L/m³]であった。ただし、特に硫黄系臭気物質の除去においては、ガスの流入負荷に対応して散水条件を適宜決定する方法が提案されている^{5)~6)}。

生物脱臭装置が適用される代表的な事業場は、下水処理施設とし尿処理施設であるが、この2業種における平均的な臭気組成を表1に示す。この2業種では、主要な臭気成分、すなわち硫化水素 (H₂S)、メチルメルカプタン (MM; CH₃SH)、硫化メチル (DMS; (CH₃)₂S)、二硫化メチル (DMDS; (CH₃)₂S₂) の硫黄系臭気物質、アンモニア (NH₃)、トリメチルアミ

図-1 充填塔式生物脱臭装置の納入件数の推移

* 京都大学工学部 (日本学術振興会特別研究員)
Takashi HIGUCHI

表 1 生物脱臭装置が適用される臭気発生源の平均組成

汚水処理工程

臭気成分	件数	平均濃度 (ppm)	濃度範囲 (ppm)
H ₂ S	9	25	3.6-170
MM	8	0.73	0.065-8.2
DMS	7	0.087	0.013-0.58
DMDS	3	0.012	0.0088-0.016
NH ₃	6	8.7	0.41-190
TMA	1	0.023	—
臭気濃度	5	5300	1500-19000

汚水処理工程

臭気成分	件数	平均濃度 (ppm)	濃度範囲 (ppm)
H ₂ S	10	69	8.2-580
MM	7	1.3	0.15-11
DMS	6	0.23	0.037-1.4
DMDS	6	0.079	0.019-0.33
NH ₃	6	12.3	1.6-95
TMA	1	0.020	—
臭気濃度	7	83000	36000-190000

注) 平均濃度は幾何平均値

また濃度範囲の上限と下限については、濃度の対数が正規分布していると仮定した上で、

その標準偏差を σ とすると、

$$(\text{下限濃度}) = \exp((\text{対数平均値}) - \sigma)$$

$$(\text{上限濃度}) = \exp((\text{対数平均値}) + \sigma)$$

により求めた値

ン (TMA ; (CH₃)N) の窒素系臭気物質の濃度に大きな差異はない。しかし、臭気濃度 (閾希釈倍数) は、し尿処理施設の臭気で極端に高い。このように、臭気発生源の業種、さらには発生源の操業状態の差異によって、機器測定では把握不可能な臭気組成の差異が生じている。

このような臭気組成に対して、同じくアンケートの結果から、実際に稼働している充填塔型生物脱臭装置の除去効率は、図-2に示すようにまとめられた。すなわち、従来から指摘されている^{2) 7)} ように、主要臭気成分の中では、H₂S が比較的容易に除去され、逆に DMS および DMDS が除去困難な場合が多い。また、NH₃ については、硫黄系臭気物質との組成比の違いによって、除去効率に大きな差異が生じている⁸⁾ が、その濃度が硫黄系臭気物質の濃度と等価かそれ以下の場合 (モル比として)、硫黄系臭気物質の酸化生成物である硫酸 (H₂SO₄) との中和反応により除去される⁹⁾。

生物脱臭装置を新規に導入する要因として、低コス

図-2 充填塔型生物脱臭装置における各臭気成分の除去率

ト化が挙げられるが、実際に従来法と比較して、どの程度のコスト削減効果があるかを、アンケート結果より算出した。結果は表2に示す通りであり、イニシャルコストは若干上昇するものの、ランニングコストは1/2程度に減少しており、明かなコスト低減効果が認められている。

ただし同時に、生物脱臭装置の問題点として、図-3に示すような項目が挙げられた。これらの課題を個々に解決していくことが、今後の研究開発のテーマであるが、多くのプラントメーカーの担当者は、おおよそ、

表 2 生物脱臭装置導入によるコストの増減

生物脱臭装置 のタイプ	比較対象の 脱臭装置	件数	イニシャル コスト相対値	ランニング コスト相対値
充填塔型 ^{*)}	薬液洗浄	4	0.61	0.44
充填塔型 ^{*)}	活性炭吸着	2	1.48	0.42
充填塔型 ^{*)}	薬液+活性炭	3	1.63	0.45
スクラバー型	活性炭吸着	1	1.40	0.20
曝気槽型 ^{*)}	薬液+活性炭	4	1.09	0.82

*) 後処理の活性炭吸着装置に係わる費用を含める

#) 後処理の薬液洗浄装置と活性炭吸着装置に係わる費用を含める

図-3 生物脱臭装置によく起こるトラブル

今後の生物脱臭装置の改善および高機能化に対して、明るい見通しを予測している。

3. 生物脱臭装置の研究開発の動向

3. 1 研究開発の歴史⁹⁾

1941年、ドイツで最初に土壌脱臭装置が提案¹⁰⁾されて以来、生物脱臭装置では、バイオフィルター法とスクラバー法（あるいは曝気法）の2方法が独自に発展し、1980年代後半からは、これらの中間的方法である充填塔法（バイオフィルム型スクラバー）が主流となっている。

このような生物脱臭装置の開発は、従来は、実際の臭気発生源を対象としたパイロット試験に基づいて行われた^{11) - 13)}。一方、福山らによる活性汚泥曝気法の研究^{14) - 17)}、平井らによるピートバイオフィルターの研究^{7) 18)}などに代表される、実験室レベルでの基礎的研究では、主要な臭気成分の除去速度が得られ、脱臭装置設計の指針として提案された。また、藤江らによる微生物固定化担体による脱臭装置の開発⁹⁾は、我が国における充填塔型生物脱臭装置の発展の発端となり、その後は、各種の充填担体が提案されている。

3. 2 生物脱臭装置の除去機構に関する検討事例

このように、従来の生物脱臭装置の開発手法は、まず装置構造や充填担体が提案され、その装置を用いた実証実験という形態が採られてきた。その中で、各種の充填担体の比較検討がなされた¹⁹⁾が、除去速度の解析には、平井らが提案した Michaelis-Menten 型の速度係数⁷⁾が用いられている。この解析手法により、従来の土壌脱臭法やピートバイオフィルターと、新規に開発された充填担体との比較も行われ、充填塔型生

物脱臭装置の有効性が示された²⁰⁾。

ここで用いられている解析では、充填担体単位容積当たりの最大除去速度 R_m と、最大除去速度の $1/2$ の除去速度が得られる臭気成分濃度 K_s の2つのパラメータを、充填担体と臭気成分の組み合わせごとに算出している。しかし、新規の充填担体を使用して脱臭装置を設計する際に、この除去モデルを適切に適用するためには、膨大なデータを必要とする。また、極めて高濃度の場合にのみ観察される除去速度 R_m を、低濃度臭気に適用するなどの、誤った適用が危惧された。そこで著者らは、生物脱臭装置の充填層内におけるガス状臭気成分の物質移動過程を整理した上で、より簡便な除去速度式（律速段階定義型）を提案した。Michaelis-Menten 型および律速段階定義型の除去速度式の概念の比較を図-4に示す。詳細については既報⁵⁾で解説している。

3. 3 脱臭微生物に関する検討事例

脱臭、すなわちガス状臭気成分の除去に関与する微生物群は、通常は広く自然界に存在する微生物である。充填層など生物脱臭装置のガス液接触部には、様々な微生物の集合体が存在しているが、その中からガス状臭気成分を直接代謝する微生物を単離培養し、ガス液接触部に付加することによって、装置の高機能化を図るという研究が幾つか行われている。

金川らは、特に有機硫黄系臭気物質の除去に関与する微生物群を単離²¹⁾し、この微生物懸濁液を循環した充填層にガス状臭気成分を通気し、著しい除去効果を確認²²⁾した。また趙ら^{23), 28)}は、硫黄系臭気物質を分解する種々の微生物を単離し、これをピートバイオフィルターに付加することによって、除去効果が向上する

図-4 Michaelis-Menten型の除去モデルと律速段階定義型の除去モデルの概念

ことを確認した。これらの単離菌は、いずれも自然界に存在する微生物より得たものであり、遺伝子操作などの人工的手段により作成されたものではない。

これらの研究の方向性が、生物脱臭法の高機能化に寄与するかについては、否定的な要素も残っている。すなわち、通常の生物脱臭装置の構造では、装置外への微生物の流出および装置内への流入が、定常に行われているため、装置内外で微生物の移動を制御することは困難である。したがって、遺伝子組替えなどを施した微生物の適用を現時点では考え難く、また、集積した天然の微生物を装置内に付加した場合も、他の雑種の混入や、散水に伴う流出などによる機能低下が考えられる。

ただし、特に難分解性臭気物質の分解に関与する微生物群の集積は、装置稼働直後の馴養期間の短縮に有効と考えられる。また、装置内の環境条件（流入負荷、散水組成等）が、集積微生物群の増殖に特に有効で、他種の増殖には不利となるような場合には、馴養期間後も効果的に機能すると考えられる。例えば、脂肪酸や窒素系臭気など他の成分の濃度が低い DMS 臭気に対しては、DMS 分解菌を付加した装置は極めて有効に機能するであろう。

4. 今後の生物脱臭装置の研究課題²⁰⁾

今後、生物脱臭装置に関して特に重要となるであろう課題について、著者らの検討事例を交えて議論する。

4. 1 充填担体の多角的検討

現在、充填塔型生物脱臭装置には、多種多様の充填担体が提案され、実用化されている。脱臭操作時における充填担体の相互比較は、藤江らにより検討されているが、空隙率、水分保持能、表面積などの物理的諸性能との関係については、系統的研究が著しく不足している。

生物脱臭塔の充填担体表層には、微生物が層状に吸着し、その表層を更に液膜が覆う構造になっている。この液膜の厚さと H_2S ガスの除去速度との関係について行った実験の結果を図-5 に示す。生物脱臭装置では、微生物の生育に必要な水分として、また、充填塔内の代謝生成物（例えば硫黄系臭気物質の酸化反応で生成する H_2SO_4 ）の洗い流しを目的に、散水が行われる。しかし、図の結果から明らかなように、過度の散水によって液膜が必要以上に厚くなれば、ガス状臭気成分分子の微生物相への到達を妨げる結果となる。

また、薬液洗浄装置と比較して、生物脱臭装置の充

填塔への散水速度は非常に低く、担体表層の液膜にも相当量の菌体が存在する。充填担体表層の各部位の水分の表面張力を測定した結果を図-6 に示す。このように、充填担体表層の液膜は、菌体の存在により、通常の水の物理特性と大きく異なる可能性がある。今後、このような特性の変化がガス吸収特性にどのように影響するかを詳細に検討する必要がある。

一方、充填層中の液の流れを把握することによって、必要以上の微生物の流出を防ぐことも重要である。2種類の充填担体および市販の粒状活性炭の内部保持水（ホールドアップ）の調査結果を図-7 に示す。微生物の流出には、流動状態にある保持水、すなわち動的ホールドアップが関与すると思われる。したがって今後は、全体の保持水量が高く、その中で動的ホールドアップの比率の低い充填担体の構造を検索する必要がある。

図-5 液相厚さと H_2S 吸収速度定数 π_s との関係

図-6 充填担体液相各部の表面張力の測定結果

図-7 充填担体の静的および動的ホールドアップ

4. 2 多種多様な流入負荷条件に対する生物脱臭装置の挙動の把握

生物脱臭装置が適用される臭気発生源では、物理化学的特性や生物分解性が大きく異なる複数の臭気成分が混合状態で排出されることが多く、また多くの場合、流入負荷が大きく変動する場合が多い。

多数の臭気成分の存在する、いわゆる混合臭気の除去特性については、特に窒素系臭気の代表である NH_3 と、硫黄系臭気物質との混合臭気を対象とした検討が多い。

藤江ら³⁰⁾は、 H_2S と NH_3 の混合臭気の除去においては、 H_2S が優先的に微生物により酸化され、生成される H_2SO_4 は、 NH_3 の中和反応に寄与することを確認した。一方、著者らはアンモニアの濃度比が高い硫黄系-窒素系混合臭気を対象とした実験を行い、図-8に示すように、液相に蓄積する NH_4NO_3 の蓄積が、硫黄系混合臭気の除去を阻害する可能性があることを指摘し

図-8 充填塔型生物脱臭装置のドレン水を用いたバイアル吸収実験における H_2S 吸収速度定数、液相 NH_4NO_3 濃度およびチオ硫酸酸化細菌数の比較

た。このように、混合臭気の除去では、その組成によって装置内の微生物反応が大きく異なる可能性があるため、今後、主要な臭気成分について、系統的な実験的検討が必要である。

一方、生物脱臭装置が十分に機能しない理由の一つに、流入負荷の著しい変動が挙げられる。流入負荷変動が著しい場合、充填層（ガス液接触層）の馴養が困難で、結果として高い除去効率が得られないことになる。流入するガス濃度が周期的に変動する場合の生物脱臭装置の馴養過程を、数値解析により予測した結果を図-9に示す。また著者らは、一時的な流入負荷の増大に対する除去率低下の現象について、追従性指標というパラメータを用いて簡便に表現した³⁰⁾。このような解析を今後も更に継続することによって、生物脱

図-9 周期的な濃度変動に対する生物脱臭装置の馴養過程の数値計算による予測例

臭装置の適用可能な流入負荷変動の範囲を明確にする必要がある。

4. 3 ガス吸収効率の向上を目的とした装置の工夫

先にも述べたように、生物脱臭装置の高機能化に最も重要な因子は、ガス状の臭気成分が微生物相に到達するまでの物質移動過程である。そのためには、表面積が広く、液膜を薄くするなどの工夫が必要であるが、表面が濡れた状態でこれらの条件を満たすには限界がある。そこで、物質移動を減じさせるような液相構造の改変が、今後の高機能化では最も有効な手段となると考えられる。

第一に考えられる方法として、液相組成に微生物反応を補助するような化学物質を添加させる、という手法が挙げられる。その一例として、鉄の酸化還元反応を硫化水素ガスの酸化吸収に利用する概念を図-10に示す。この反応では、鉄酸化細菌（硫黄酸化細菌の一種）による鉄イオンの酸化と、 H_2S ガスの酸化に伴う鉄イオンの還元がサイクリックに行われ、すなわち、鉄イオンを介して、 H_2S ガスの微生物による酸化が定常的に行われていることを示している。著者らは、この反応が、特に H_2SO_4 酸性の条件下で有効に機能することを確認した³¹⁾。このような形で、微生物反応を仲介するような物質、あるいは微生物反応を活性化させる物質の検索によって、除去効率を向上させることが考えられる。

第二の方法として、液相の物理特性の改変、特に難溶性物質の吸収に効果的な液相特性の付加、という手法が挙げられる。その一例として、充填担体表面に脂溶性の液相をコーティングした場合のDMSガスの吸収速度の変化³²⁾を図-11に示す。この手法では、充填層への散水が影響するために、実際の脱臭装置では劇

図-11 各種の液相に対するDMSの静的吸収速度定数

的な除去効率の向上は確認されなかったものの、微生物の付着性の上昇といった、付加的な効果も認められた。

生物脱臭装置が多様な臭気組成および発生特性に対応するためには、今後は、従来の常識を越えた斬新な工夫を、積極的に導入する必要があると思われる。

5. お わ り に

悪臭防止法が強化され、一方で事業活動の合理化が叫ばれている現在の社会状況において、低コストな脱臭方法の一つである生物脱臭法は、今後も益々普及するものと思われる。しかし、悪臭発生の事象そのものが多種多様である上に、装置の機構が十分に解明されていない現時点においては、画一的な指針を提供することは不可能である。また今後においても、容易な設計指針の提示は、生物脱臭法の発展の阻害にもなりかねない。本報では、生物脱臭法の現況と、将来へ向けての研究課題について意見を述べてきた。今後も様々な視点から研究開発を継続するとともに、実際の悪臭事象に柔軟に対応することが、生物脱臭法の発展にとって最も重要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 大迫政浩, 樋口能士, 田中 勝; アンケート調査に基づく生物脱臭法の技術的評価(その1) - 納入実績と適用範囲 -, 臭気の研究, 25 (3), 186-189, 1994
- 2) 大迫政浩, 樋口能士, 田中 勝; アンケート調査に基づく生物脱臭法の技術的評価(その2) - 操作条件と除去効率 -, 臭気の研究, 25 (4), 245-251, 1994
- 3) 大迫政浩, 樋口能士, 田中 勝; アンケート調査に基づく生物脱臭法の技術的評価(その3) - 脱臭コストと今後の課題 -, 臭気の研究, 25 (5), 310-313, 1994
- 4) 樋口能士, 西田耕之助 抄訳; 微生物懸濁スクラバーにおける理論の統合, 臭気の研究, 24 (6), 395-403, 1993

図-10 鉄酸化細菌 *T. ferrooxidans* の硫黄酸化のメカニズムとして推定される径路

- 5) 樋口能士, 西田耕之助, 大迫政浩, 松井三郎; 充填塔型生物脱臭装置の設計基準および操作条件の考え方, 環境技術, 24(6), 355-364, 1995
- 6) 桶谷 智, 品部和宏, 堅田智洋, 前本義幸; 充填式生物脱臭法による水処理系低濃度臭気の脱臭, 第32回下水道研究発表会講演集, 950-952, 1995
- 7) 平井光代, 寺沢真琴, 稲村 功, 藤江幸一, 正田 誠, 久保田宏; ピートを用いた有機硫黄系化合物の生物脱臭, 臭気の研究, 19(6), 305-312, 1988
- 8) 藤江幸一, 立澤弘久, 浦野紘平, 久保田宏, 小西功三, 藤田勝美; 固定化微生物による脱臭装置の開発, 臭気の研究, 21(2), 98-109, 1990
- 9) 福山丈二; 生物脱臭の現状, 大気汚染学会誌, 26(6), 359-370, 1991
- 10) Pruss M., Blunk H.; German Patent No.710954, 1941
- 11) 本多淳裕; 臭気とその除去法(6) 酸化による臭気除去(その2), 生活と環境, 12(12), 61, 1967
- 12) 渡辺鉄四郎, 棟方晃三, 柳井多兵衛, 福森 功; 鶏糞乾燥機からの排ガスの脱臭法の一例, 日本家畜管理研究会講演要旨集, p10, 1968
- 13) 金刺博康, 岡田和夫; 微生物処理による脱臭方法—シェールモールド鋳造工場への適用例—, 臭気の研究, 9(44), 28-38, 1980
- 14) 福山丈二, 伊藤尚夫, 本多淳裕, 小瀬洋喜; 活性汚泥による悪臭除去に関する研究(第1報)—イオウ系臭気の活性汚泥による除去—, 大気汚染学会誌, 14(10), 442-429, 1979
- 15) 福山丈二, 本多淳裕, 小瀬洋喜; 活性汚泥による悪臭除去に関する研究(第2報)—アミン系臭気の活性汚泥による除去—, 大気汚染学会誌, 15(2), 56-63, 1980
- 16) 福山丈二, 本多淳裕, 小瀬洋喜; 活性汚泥による悪臭除去に関する研究(第3報)—低級アルコール系臭気の活性汚泥による除去—, 大気汚染学会誌, 16(2), 125-132, 1981
- 17) 福山丈二, 井上善介; 活性汚泥による悪臭除去に関する研究(第4報)—低級アルキルアルデヒド系臭気の活性汚泥による除去—, 大気汚染学会誌, 19(4), 227-233, 1988
- 18) 平井光代, 久保田宏; 繊維質泥炭を用いた生物脱臭, 環境技術, 12(3), 163-167, 1983
- 19) 鍋島 理, 立澤弘久, 藤江幸一, 浦野紘平; 生物脱臭に用いる最適な微生物固定化担体の検索, 第3回臭気対策研究発表会講演予稿集, 177, 1990
- 20) 西田耕之助 監修; 消・脱臭技術の進歩と実務, p298, 総合技術センター, 1991
- 21) 金川貴博; 硫化メチル分解菌, 昭和61年度第1回悪臭公害対策セミナー要旨集, p33-41, 1986
- 22) 金川貴博, イオウ系悪臭物質の生物学的脱臭, 用水と廃水, 31(5), 397-404, 1989
- 23) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[1]—ピートバイオフィルターにおける硫黄系悪臭物質の除去特性及び微生物相—, 臭気の研究, 23(5), 215-221, 1992
- 24) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[2]—*Thiobacillus* sp. HA43の特性及び硫化水素の除去への応用—臭気の研究, 23(6), 279-286, 1992
- 25) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[3]—*Thiobacillus thioparus* DW44の特性及びし尿処理悪臭の除去への応用—, 臭気の研究, 24(1), 15-23, 1993
- 26) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[4]—硫化水素をポリサルファイド酸化する従属栄養細菌 *Xanthomonas* sp. DY44の特性—, 臭気の研究, 24(2), 107-115, 1993
- 27) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[5]—ピートバイオフィルターから単離した脱臭菌の混合系による硫黄系悪臭化合物の効率的な除去—, 臭気の研究, 24(3), 141-147, 1993
- 28) 趙 敬淑, 平井光代, 正田 誠; ピートバイオフィルターから単離した硫黄酸化微生物の特性および生物脱臭への応用[6]—ピートバイオフィルター硫黄系悪臭化合物の脱臭機構及び単離した脱臭菌の応用法の提案—, 臭気の研究, 24(4), 247-251, 1993
- 29) 樋口能士, 生物脱臭装置の動特性および機構解明に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, 1995
- 30) 樋口能士, 西田耕之助, 松井三郎; ガス状臭気成分の流入負荷変動に対する充填塔型生物脱臭装置の動特性, 環境技術, 24(8), 467-479, 1995
- 31) 樋口能士, 樋口隆哉, 西田耕之助, 松井三郎; 生物脱臭法による硫化水素とアンモニアの同時除去を目的とした実験的検討, 環境工学研究論文集, 29, 9-16, 1992
- 32) 樋口能士, 西田耕之助, 武内伸勝, 土橋隆二郎; 生物脱臭装置の改良の試み(第1報)—植物油コーティング担体を用いて—, 第7回臭気学会講演要旨集, 22-23, 1994