

簡易型窒素発生装置と脱酸素剤の併用による中規模の低酸素濃度殺虫処理

木川 りか・宮澤 淑子・三浦 定俊

1. はじめに

文化財の殺虫燻蒸に長らく使用されてきた臭化メチルの2004年末全廃を控えるなか、低酸素濃度処理は今後の有力な代替法のひとつであり、我々はこれまでに二酸化炭素処理の処理条件とともに実用的な処理仕様を策定し、報告してきた¹⁾。脱酸素剤を使用する低酸素濃度処理については、一般的な文化財での使用を念頭においた脱酸素剤や処理用の包装材料が開発され、現在多くの現場で受け入れられつつある。しかし、市販されている包装用ガゼット袋よりも大きい容積、例えば1 m³といった容積での処理を行う場合には脱酸素剤のみではコストがかかりすぎるため現実的ではない。また、窒素のみで処理を行う場合、大容量の窒素を湿度調節しながら導入するための設備投資が一般に高額になり、実際にはまだあまり普及していないという問題がある。

現場においては、1 m³程度の中規模の容積の殺虫処理を必要とする場合は比較的多い。このような場合に、簡便かつあまりコストをかけずに低酸素濃度処理ができるようになれば、その利点は大きいと考えられる。中規模の処理には、窒素など不活性ガスと脱酸素剤を併用する方法 (dynamic-static system) が、一般的にもっともコストや手間を省くうえで有効であると考えられる。そこで、今回我々は、窒素の発生量はあまり大きくはないものの、窒素の湿度調節が簡便にでき、かつ比較的安価な窒素発生装置を用い、脱酸素剤と組み合わせることによって処理を行った。その結果、現場でコストをおさえて簡便に中規模の容積の低酸素濃度処理ができることを実験的に確認したので、報告したい。

2. 文化財の低酸素濃度殺虫処理の規模と方法²⁾

2-1. 小規模な処理——脱酸素剤の使用 (static system)

単品の作品に害虫が発生したような場合には、文化財を対象とした脱酸素剤 (例えばRP-システム[®], Kタイプ, 三菱ガス化学 (株)) とともにガスバリアー性のあるプラスチックバッグに熱シールして封入するという方法が簡便である。しかし、脱酸素剤のコストなどを考慮すると、現実的な処理容積の上限はおおよそ100 l程度であろう (市販のエスカルガゼットでは最大88 lである)。

2-2. 中規模の処理

——窒素など不活性ガスと脱酸素剤の併用 (dynamic-static system)

一般に、おおよそ1 m³程度の容積になると、脱酸素剤のみではコストがかかりすぎる。一方、窒素置換のみで処理を行おうとすると、湿度を調整した窒素をつねに流しつづけるか、あるいは酸素濃度が上昇してきて0.3%を越えるごとに、高純度窒素の供給をくり返し行わなければならない。また空間が大きい場合、窒素だけで置換する場合は、おおよそ0.1~0.2%の酸素濃度に達するまでかなりの時間を要する場合もある。しかし、最初に窒素で空気のある程度置換して酸素濃度を所定の値 (約1%程度が望ましい) 以下に下げたのちに脱酸素剤を併用すると、残りの酸素を脱酸素剤が吸収するため、窒素の追加投入をせずに低酸素濃度を長期間維持する

ことができる。したがって、一般にコストと手間をおさえて処理をすることが可能である。

2-3. 大規模な処理———窒素などの不活性ガスの使用(dynamic system)

およそ $3\text{ m}^3\sim 10\text{ m}^3$ 程度の大規模な処理では、一般に窒素などの不活性ガスで処理を行う場合が多い²⁾。窒素の場合、ガスボンベでは、かなりの本数と別途窒素の加湿装置が必要になる。液体窒素の場合は比較的安価であるが、気化装置と窒素の加湿装置が必要である²⁾。窒素発生装置を使用すると、操作が簡便で有効であることも確認されている³⁾が、大容量の窒素を発生させ、かつ加湿するシステムは現在のところかなり高価である。0.3%未満の酸素濃度を長期間保つための気密性が必要とされるため、燻蒸庫を改変した場合には比較的簡単に処理ができる^{2,3)}が、テントなどを用いる場合、もれのチェックなどを厳密に行う必要がある⁴⁾。

3. 中規模の処理を対象とした簡易型窒素発生装置と脱酸素剤の併用

3-1. 窒素発生装置

窒素を用いた殺虫処理を行う場合、現場でもっとも使いやすい窒素供給源としては窒素発生装置がある。窒素ボンベを使用する場合は、高压ガスボンベの扱いに慣れる必要があることと、ボンベの交換などの操作も行わねばならないのに対し、窒素発生装置の場合は、電源に接続するだけで空気中の窒素を高純度窒素として得ることができる。また、適切な加湿装置に接続すれば、発生させた窒素の湿度調節も容易である。

我々は、これまでも燻蒸庫(約 3 m^3)に窒素発生装置および加湿装置を接続し、低酸素濃度殺虫処理に利用してきた³⁾が、この装置は今のところかなり高価であり、現場で気軽に購入できるものとはいえない。そこで、現場で気軽に使用できるものとして以下のような条件を考えた。

- (1) 処置空間としては、およそ 1 m^3 程度までをめやすとし、その処理に十分な能力をもつ装置であること。
- (2) 比較的安価な装置であること。(およそ100万円前後をめやすとする)
- (3) 窒素発生量は、およそ99.9%の窒素を200~300 l/時間程度であること。
- (4) ハンディタイプで、使用したい場所に簡単に移動できること。
- (5) 窒素の加湿が簡単にできること。
- (6) 騒音値が低いこと。

このような装置の候補としては、美術品への使用を対象としたイタリア製のVeloxyl[®]と呼ばれる商標名の窒素発生装置と湿度調節装置のシステムが最近知られている⁵⁻⁷⁾。また、国内でもいくつかの会社が開発中であり、今回は、ちょうど我々の目的に合致した装置をコフロック株式会社から借用することができたので、これを使って実験を行った。

今回使用した窒素発生装置は小型の窒素発生装置で、電源に家庭用の100V電源が使用でき、消費電力は50Hzで420W、寸法、 $410\times 410\times 715\text{ mm}$ 、重量58kgである(写真1)。騒音値は52dBで現場での使用にもさほど抵抗を感じないレベルと思われた。

本装置は、圧力変動型(Pressure Swing Adsorption / PSA)の窒素ガス発生装置で、大気中の空気から高濃度の窒素ガスを分離することによって窒素ガスを供給することができる。この原



写真1 窒素発生装置と処理の実例

理は、以前報告した3 m³の文化財殺虫処理装置³⁾で用いられているものと同様であるが、今回の装置は以前の窒素ガス発生装置より安価で窒素発生容量が少ない。窒素発生容量は、発生する窒素の純度によって変化するが、99.9%以上の純度の窒素を供給する場合は、およそ300 l/時間の窒素供給が可能である。また、水のタンクを用いたこれまでの方式とは異なり、窒素ガスの加湿を空気中の湿度をとりこむ方式によって簡便に行える。

3-2. PSAによる窒素発生の原理

PSAにより高濃度窒素ガスを発生させる原理のフロー図を図1に示した。まず大気中の空気を圧縮源であるコンプレッサーが吸入し、吸着塔へ送り込む。この吸着塔内には吸着剤と呼ばれる活性炭が充填されており、選択的に送り込まれた空気中の酸素分子を圧力を高めることに

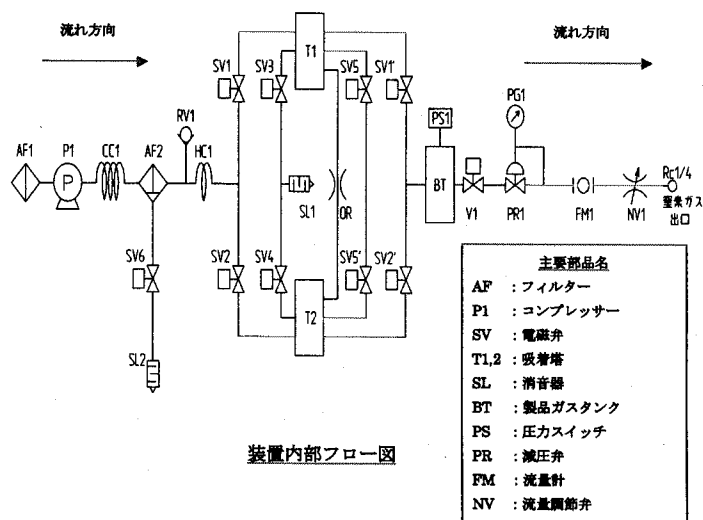


図1 PSAの原理

より吸着分離させる。その結果、吸着塔を通過した空気は酸素分子が除かれ高濃度窒素ガスになる。また、吸着塔は2つあり、片方で酸素分子を吸着分離している間に、もう一方の吸着塔では吸着した酸素分子を圧力を減じることによって、大気中に放出し吸着塔の再生を行える仕組みになっている。そこで、この2つの吸着塔を交互に使用することによって、連続して安定した高濃度窒素ガスを供給することができる。

3-3. 窒素加湿の原理

従来の文化財の殺虫処理に使用された窒素ガスの加湿方式は、水を入れたタンクのなかをくぐらせて窒素を加湿し、これを乾燥した窒素と混ぜ合わせて供給する方式がほとんどであった²⁾。しかし、今回は、水分透過膜(図2)を利用し、大気中の湿気を高純度窒素ガスに取り込む方式をとっている。この水分透過膜は、テフロンと硫酸の重合体からなる素材でできた選択性透過膜で、膜によって仕切られた2つの空間の水蒸気分圧を均等にする特性がある。それぞれ

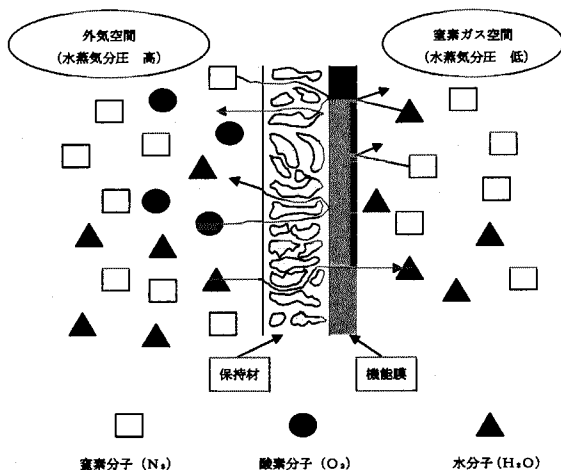


図2 発生した窒素の加湿方法
今回の加湿方法は、水分透過膜を利用した加湿チューブによる。その水分透過膜の原理を示す。

の空間の酸素分子や窒素分子は、この透過膜を通過することはできないが、水の分子だけが分圧の高い空間から低い空間へ膜を通過するため、時間の経過とともに、2つの空間は同等の水蒸気圧になる。この膜をチューブ状に成形して内部に乾燥した窒素ガスを流すと、外気の水分子が膜を透過して窒素ガス中に移動し、外気中の相対湿度とほぼ同等の湿度が窒素ガス中に得られる。水の補充や交換を必要とせず、周囲の環境とほぼ同レベルに加湿された窒素が供給される仕組みである（図2）。

実際には、窒素供給量とのかねあいにより、加湿の効果も異なり、窒素流量が小さいほど周囲の空気から十分に湿気を取りこむことができるため、周囲とほぼ同等の湿度の窒素が得られる。逆に窒素供給量を上げると、周囲よりもやや湿度が低めの窒素が供給されることになる。しかし、実用的には、この方式により、窒素の加湿にはほとんど大きな問題もなく、容易に行えることが確認された。

3-4. 脱酸素剤との併用

低酸素濃度によって殺虫する場合は、0.1%以下の酸素濃度で維持することが望ましく、最大でも0.3%未満の環境を維持する必要がある。窒素置換だけでこの値を長期間維持するためには、こまめな濃度測定と、必要に応じた窒素の再供給が必要な場合が多いが、脱酸素剤を併用することによって、より簡便な処理を実現することができる。以下にその実際の例を述べる。

4. 処理の実際

- (1) 1 m²のエスカルガゼットに処理対象物を酸素濃度計とともに入れる。そのまわりに窒素置換後の酸素濃度が約1~2%になると仮定したときにさらに酸素濃度を0.1%未満に下げるのに必要となる脱酸素剤（RP-システム[®], Kタイプ）の量を計算して配置し（図3）、袋の内側の見やすい位置に酸素濃度インジケータ（錠剤）をセロテープで固定する。

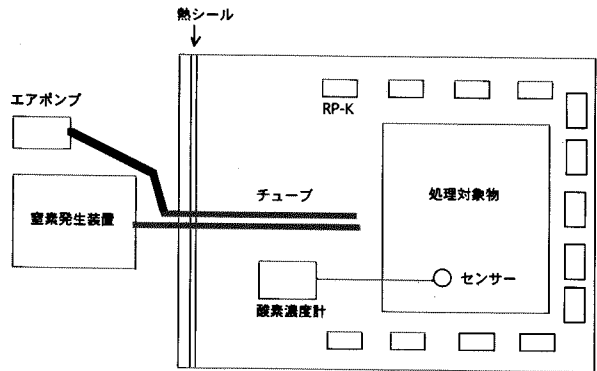


図3 処理の方法の見取り図

- (2) エアポンプ（IWAKI, AP-220Z, 15 l / 分）と窒素発生装置のチューブをガゼットの中央まで差し込み、そのさしこみ口を残して、その他のガゼットの開口部を熱シールする（写真2）。ガゼットに直接ジョイントを取り付けてコックで開閉できるようにするとこのあとの操作がスムーズで、酸素濃度の管理も容易になるが、それができなくてもチューブの差し込み口をわずかに残

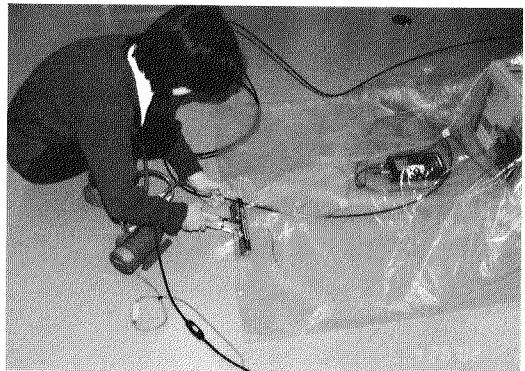


写真2 処理の準備
チューブ類の導入部を除いてガゼットの熱シールを行う。

してうまく熱シールし、漏れを少なくする工夫をするだけでも対応は可能である。

- (3) ガゼットを上から押さえて中の空気をできるだけ押し出したのち、吸引を開始する。処理対象物に影響が出ない範囲でできるだけ十分に吸引しておくことが大切である。エアポンプのスイッチを切ったら、次に窒素発生装置より加湿した窒素を注入する(写真1)。
- (4) 吸引・窒素注入を何回かくり返し、酸素濃度が約1~2%になったことを確認したら、素早く2本のチューブを抜き取り、熱シールして完全に密封する。ガゼットに直接ジョイントを取り付けている場合は、コックで閉めるだけで済み、操作は容易になる。
- 今回の一連の実験では、ガゼット内の最終的な容積を約300ℓに設定し、3回の吸引・窒素注入のサイクルをへて、作業全体は5時間以内に終了した。実際の測定値の例を表1に示す。酸素濃度計としては、理研計器株式会社製 O₂ Monitor, Model OX-62Bを、内部の空気吸引にはエアポンプ (IWAKI, AP-220Z, 吸引量15ℓ/分) を用いた。処理対象物は、被害木材を詰めた約60ℓ容積の段ボール箱で、ガゼット内の最終容積は約300ℓであった。同じ条件で実験を3回くり返したが、ほぼ同様の結果が得られた。
- (5) 2~3日後に酸素濃度インジケータでガゼット内部の酸素濃度が0.1%未満になっていることを確認し、適切な温度条件(25℃以上が望ましい)で、必要な処理期間処理を行う。実際の処理温度と処理期間の関係については、文献¹⁾を参照されたい。

実際の処理工程の例を表1にまとめる。

酸素濃度計は、理研計器株式会社製 O₂ Monitor, Model OX-62Bを用いた。内部の空気吸引には、エアポンプ(IWAKI, AP-220Z, 吸引量15ℓ/分)を用いた。処理対象物は、被害木材を詰めた約60ℓ容積の段ボール箱で、ガゼット内の最終容積は約300ℓであった。同じ条件で実験を3回くり返したが、ほぼ同様の結果が得られた。

表1 実際の処理工程の例

操作のサイクル	操作	時間	ガゼット内部の酸素濃度
1回目	吸引	45分	21%
	窒素吸入	30分	5%
2回目	吸引	45分	10%
	窒素吸入	30分	5%
3回目	吸引	45分	10%
	窒素吸入	30分	1.5%

5. おわりに

今回我々は、簡易型窒素発生装置を用い、脱酸素剤と組み合わせて用いた結果、現場でもコストをおさえてかつ簡便に中規模の容積の低酸素濃度処理ができることを確認した。今後、このような方法が文化財の殺虫代替法として、より普及する一助になれば幸いである。

謝 辞

実験のために窒素発生装置と各種の資料をご提供いただきましたコフロック株式会社の安岡憲二氏に感謝いたします。また、エスカルガゼットをご供与下さいました三菱ガス化学(株)の田中正彦氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 木川りか, 宮澤淑子, 山野勝次, 三浦定俊, 後出秀聡, 木村広, 富田文四郎: 低酸素濃度および二酸化炭素による殺虫法—日本の文化財害虫についての実用的処理条件の策定—, 文化財保存修復学会誌, 45, 73-86 (2001)
- 2) Selwitz, C. and Maekawa, S.: "Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests", the Getty Conservation Institute, (1998)
- 3) 木川りか, 山野勝次, 三浦定俊, 前川信: 窒素等不活性ガスによる文化財殺虫処理装置の試作と処理例, 保存科学, 38, 1-8 (1999), in Japanese with English title and summary
- 4) Elert, K. and Maekawa, S.: Rentokil Bubble in Nitrogen Anoxia Treatment of Museum Pests, Studies in Conservation, 42, 247-252 (1997)
- 5) Akerlund, M. and Bergh J.-E.: Nitrogen Treatment: An Insect Case Study, Proceedings of 2001: A Pest Odyssey, pp.89-94, James & James (2001)
- 6) Conyers, S.: Velox[®]: A Novel System for Nitrogen Disinfestation Treatments, Proceedings of 2001: A Pest Odyssey, pp.145, James & James (2001)
- 7) Valentin, N., Berg, J.-E., Ortega, R., Akerlund, M., Hallström, A. and Jonsson, K.: Evaluation of Portable Equipment for Large-scale Deinfestation in Museum Collections Using a Low-oxygen Environment. ICOM Committee for Conservation, Proceedings of the 13th Triennial Meeting, pp.96-101, (Rio de Janeiro, 2002)

キーワード: 低酸素濃度処理 (low oxygen treatment); 窒素発生装置 (nitrogen generator);
脱酸素剤 (oxygen absorber, oxygen scavenger); 害虫駆除 (pest eradication)

Combined Use of a Simplified Nitrogen Generator and an Oxygen Absorber for Efficient Medium-scale Low Oxygen Treatments for the Eradication of Museum Pest Insects

Rika KIGAWA, Yoshiko MIYAZAWA and Sadatoshi MIURA

In Japan, oxygen absorbers such as RP-system[®] K-type are commonly used for the eradication of insect pests for treatment of small museum objects (up to approximately 100l by volume) these days. However, in case of medium scale treatment (commonly up to about 1m³ by volume), much oxygen absorber will be needed and it is not cost-effective. In this situation, combined use of nitrogen and oxygen absorber is a recommended strategy²⁾. For larger volumes of treatments, we introduced a chamber (approximately 3m³) attached to a high efficiency nitrogen generator with a humidity adjusting device³⁾. But this system with the nitrogen generator is expensive, and it is not generally easy for museums to purchase this kind of system.

Therefore, we aimed to use a more cost-effective, small scale and easy to operate nitrogen generator system to facilitate medium scale low oxygen treatment, which is now in high demand in most museums.

Examples of such nitrogen generators are Velox[®] system, product of Italy⁵⁻⁷⁾, and testing machines being considered by some companies in Japan. We used a nitrogen generator from Koflok Co. Ltd. Japan for our experiments. It can generate approximately 300l/ hour of 99.9% nitrogen. The generator is 58kg in weight, 410mm in width, 410mm in depth and 715mm in height. Humidification of nitrogen is performed by a special membrane system which enables incorporation of water vapor from the surrounding air. Therefore, we need not humidify nitrogen with a water tank.

We tested the efficacy of the system using air tight clear plastic bags (ESCAL) of which inner volume is up to 1m³. With about three cycles of pulling out of air inside and flushing humidified nitrogen, the oxygen concentration inside the bags could be reduced to approximately 1%. By inserting an appropriate amount of oxygen absorbers inside the bags at the start of the pulling out - flushing cycles, low oxygen treatments were easily performed for actual infested objects.