

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

木川 りか・山野 勝次・三浦 定俊・前川 信*

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2005年全廃を控え、わが国の生物被害対策は大きな変革期を迎えている。そのなかで、実際に使える代替殺虫法を早急に導入・開発していくことが必須の課題である。いくつかの代替法のなかで、低酸素濃度による殺虫法は、文化財材質にも影響が少なく、また人体や環境に安全であるため、今後の文化財の殺虫法として期待される。大別して窒素やアルゴンなどの不活性ガスを用いる方法と、脱酸素剤を用いる方法、またこれらを組み合わせる場合もあるが、いずれも密閉空間内の酸素濃度を0.1%程度に長期間保って害虫を酸欠死させる方法である。比較的大型の収蔵品や、まとまった数の収蔵品を処理するときには、気密性の高いプラスチックシートで作ったテントや燻蒸装置の処理室を用いた例が報告されている¹⁾。比較的大きな収蔵品を被覆テントで低酸素濃度処理する場合、長期使用には耐久性が乏しく、窒素ボンベや液体窒素から供給される窒素のガスの湿度調整などにも技術が必要である。そこで、我々は従来型の薬剤用燻蒸装置を改変して、自動運転で窒素処理ができる文化財殺虫処理装置を試作した。この装置は、窒素発生装置と湿度調整装置を備えているため、窒素ガスの供給に伴う煩雑な操作が要らない点が特長である。併せて、この装置を用いた実際の虫害処理例を報告する。

2. 装置の仕様

2-1. 概要

低酸素濃度による殺虫では、温度と酸素濃度の条件がその効果に大きく影響する¹⁾。また、文化財を安全に管理するため、一定した湿度を保つことも重要である。従って、所定の期間で確実な殺虫を行うため、温度・相対湿度を正確に維持でき、酸素濃度を所定の期間充分低く保てるようにした。また、通常は窒素発生装置を使用するが、場合に応じてアルゴンや二酸化炭素などのガスボンベにも接続できるようにした。さらに、装置の故障など不慮の事態が起きた時は、チャンバー内の温度、相対湿度が激変することのないよう、緊急自動停止するようにした。

窒素やアルゴンなどの不活性ガスを多量に噴出すると、酸素濃度が下がるので人体に危険である。アメリカのOSHA (Office of Safety and Health Administration) によると、19.5%以下の酸素濃度で身体に種々の影響が現れ始め、10%以下の酸素濃度空間では死を招くことが知られている¹⁾。このため、作業員に対する安全性も考慮し、作業空間に酸素濃度モニターを設置し、酸素濃度19.5%以下のときは速やかに換気を行えるようにした。

2-2. 仕様

処理方式：原則として、湿度調節した窒素ガスを常時流す常圧処理方式とした。

供給される窒素ガスの流れが内部の文化財に与える影響を最小限にとどめるために、

* The Getty Conservation Institute

窒素ガスの分散板を設置するとともに、その風量にも配慮した。

処理温度：20～40℃の範囲で設定が可能である。

設定精度は±1℃とした。

温度制御方法：温風循環では文化財にあたる風の影響が懸念されるため、従来の燻蒸装置と同様に処理室の周囲を温水循環によって暖める方式とした。水温設定精度は±0.2℃とした。

処理湿度：30%RH～80%RHの範囲で設定が可能である。

設定精度は±2%RHとした。

湿度制御：ドライガスとウェットガスの分流量を相対湿度センサーと比較回路により自動制御する。制御精度は±0.5%とした。

酸素濃度：500 ppm～5000 ppmの範囲で設定可能である。設定精度は設定値の±10%とした。

使用ガス：窒素ガス発生装置 (3.3 m³/hr) により供給する。また窒素、アルゴンなどのガスボンベ等にも接続可能とした。

チャンバー：通常的气体燻蒸用チャンバー(金属製、内寸高さ1.5 m、幅1.15 m、奥行き2.0 m、気密性 100 ppm O₂/day) を使用した。

データ表示・記録：処理空間の酸素濃度、温度、相対湿度、圧力をモニターし、さらに経時データをチャートおよび電子ファイルに記録する。計測精度は、酸素濃度±2%フルスケール、温度±0.1℃、相対湿度±2%RHとした。

文化財への安全性：万一、処理室内の温度・相対湿度異常が起きると、警報が鳴り装置を緊急停止する。

人体への安全性：作業空間に酸素濃度モニターを設置し、酸素濃度が19.5%以下の場合には換気で

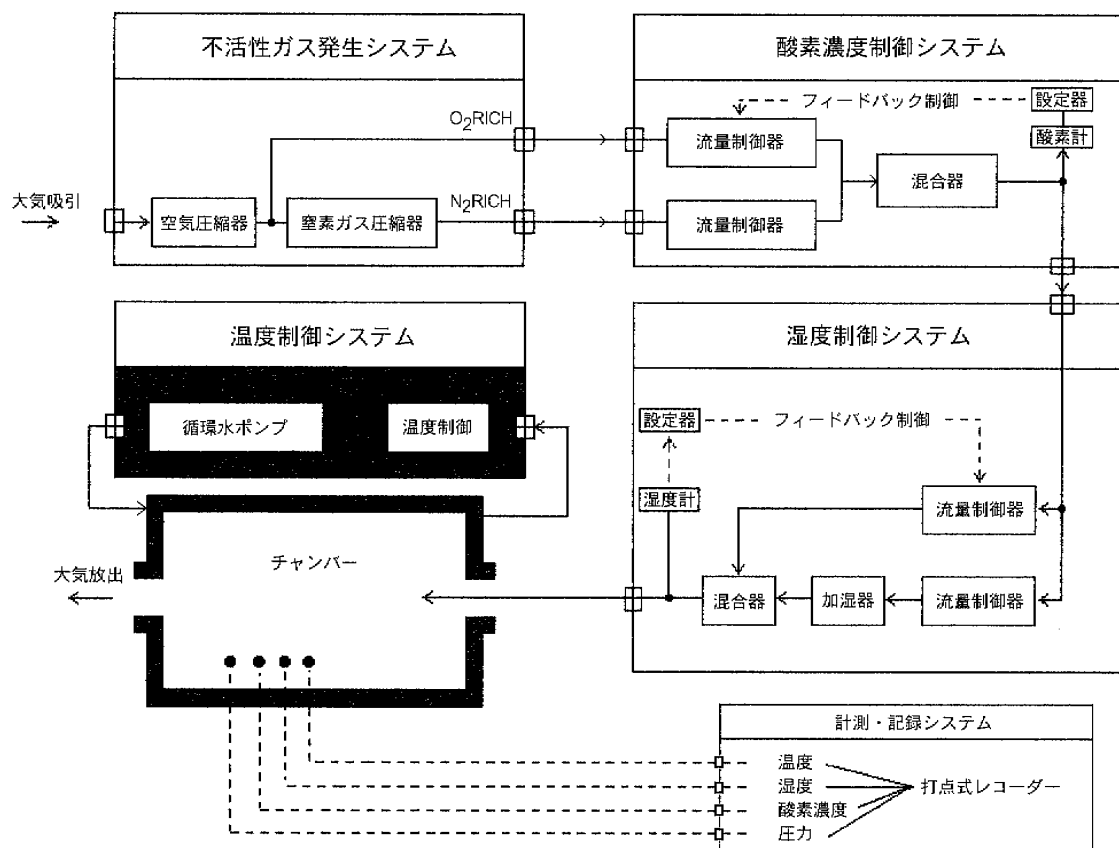


図1 処理装置の構成

きるようにした。

装置の自動運転：処理温度、処理湿度、酸素濃度、処理時間を設定して自動運転が可能。

チャンバーは特許理化興業株式会社製を使用し、窒素発生装置、窒素ガスの自動湿度調整装置など一連の装置の設計、製作はコフロック株式会社によった。

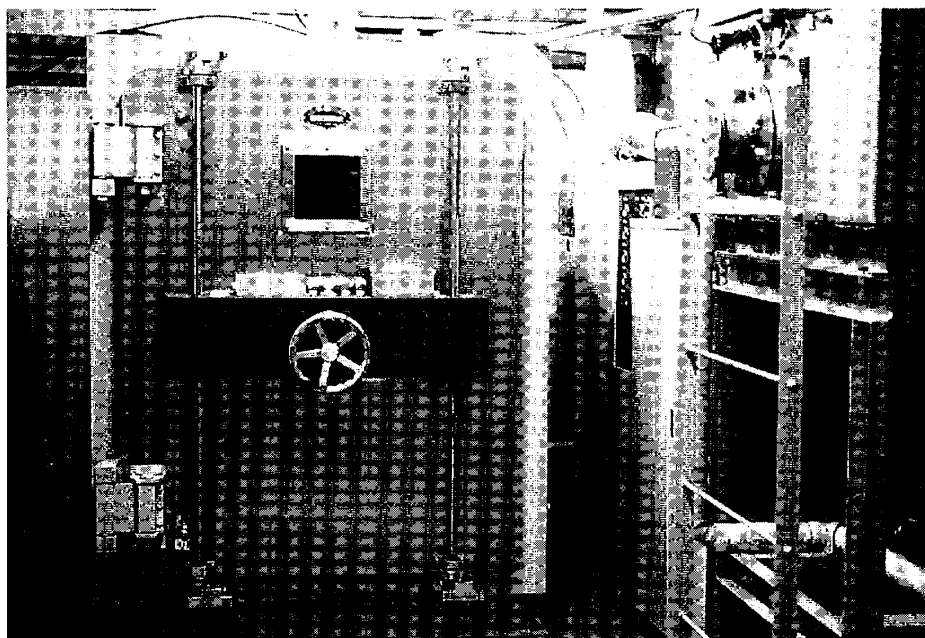


写真1 チャンバー（左）、窒素発生装置（中央奥）および湿度調整装置（右手前）

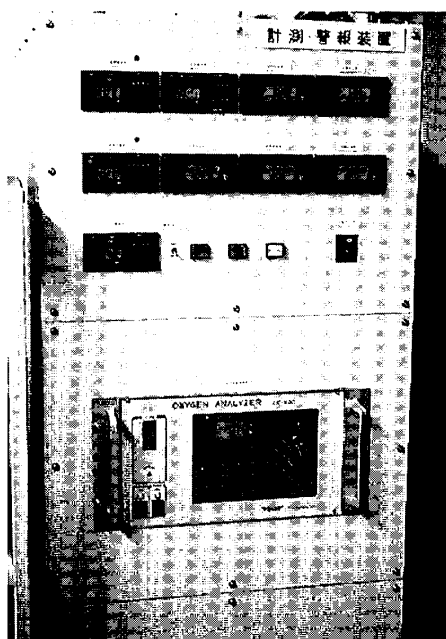


写真2 計測・警報装置

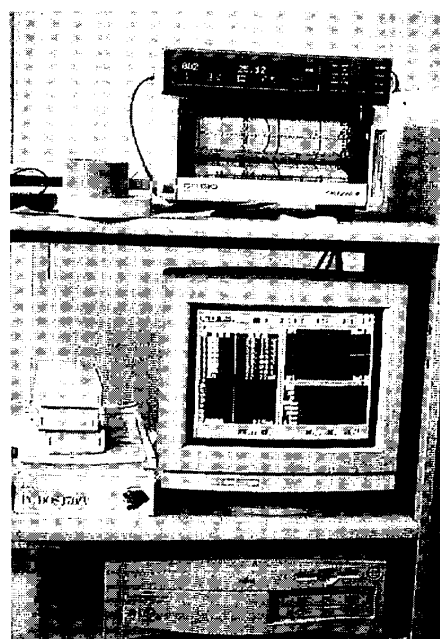


写真3 データ記録装置

3. 処理の実例

本装置を使って処理した、2件の虫害例について報告する。

最初の例は、植物乾燥標本にタバコシバンムシ *Lasioderma serricorne* が発生したものである(写真4, 5)。もう一例は、キャビネットの中に同じくタバコシバンムシが発生したものである(写真6, 7)。タバコシバンムシの脱酸素処理における100%致死時間についての既存のデータ²⁻⁵⁾および我々の実験データをもとに、処理条件を酸素濃度0.1%未満, 30°C, 55%RHで3週間維持するという条件に設定し、自動運転を行った。

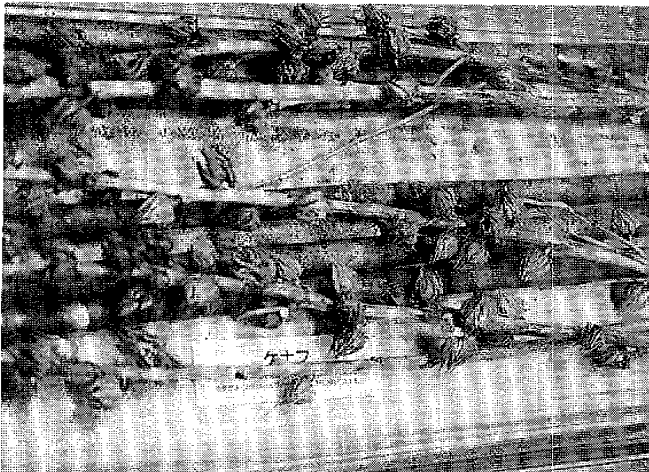


写真4 乾燥植物標本に発生したタバコシバンムシ

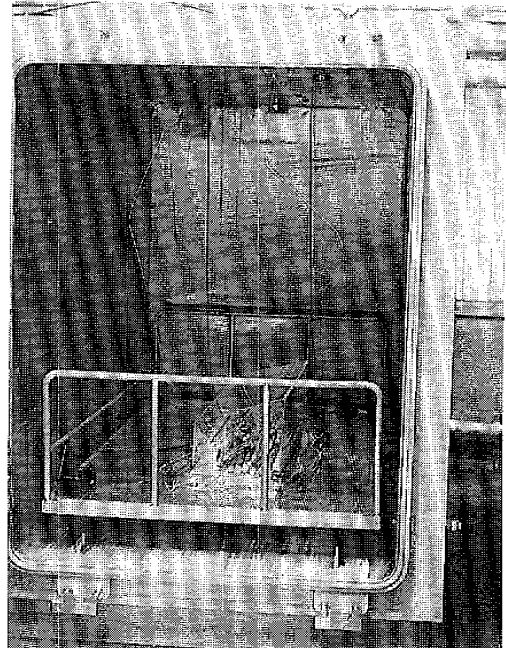


写真5 乾燥植物標本の処理

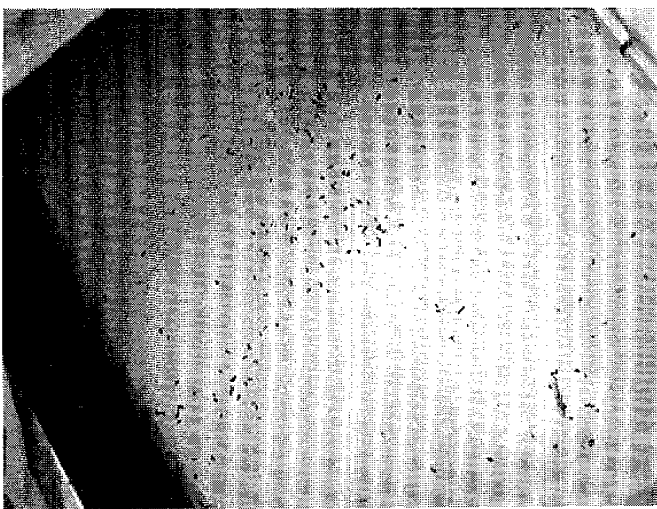


写真6 キャビネット内に発生したタバコシバンムシ

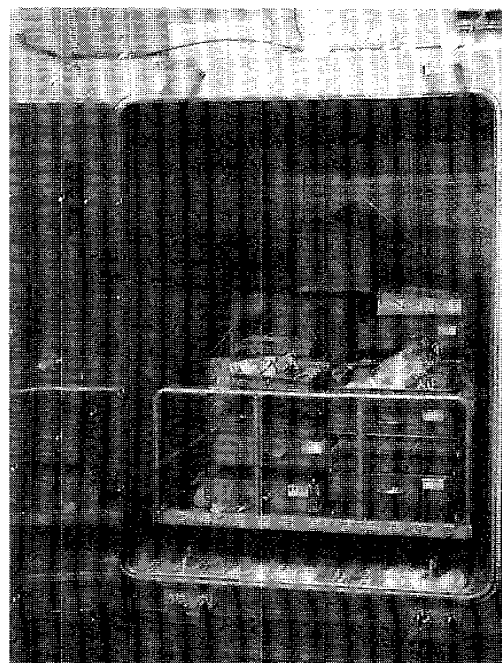


写真7 キャビネット内容物の処理

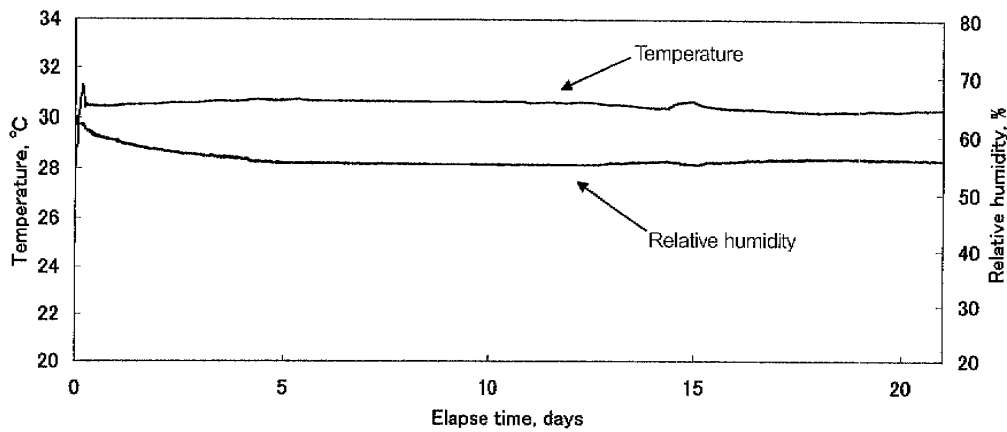


図2 窒素処理中の温湿度の経時変化

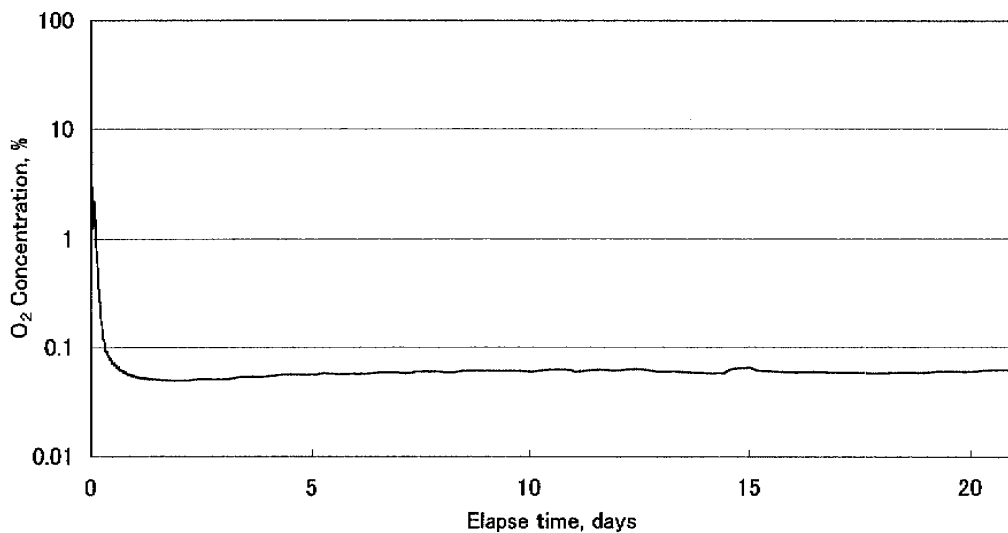


図3 窒素処理中の酸素濃度の経時変化

キャビネット内に発生したタバコシバンムシを処理したときのチャンバー内のデータを図2、図3に示す。いずれの処理においても、酸素濃度は処理開始後急速に低下し、酸素濃度1%に達するのに約3時間、0.1%に達するのは約8時間以内であった。また、いずれの処理においても、処理中3週間の酸素濃度は約800 ppm以下に維持されており、温度はおよそ $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度はおよそ $55 \pm 3\% \text{RH}$ に維持されていた。

処理後約3カ月にわたって再発生がないかどうかをモニターした結果、いずれの事例についても100%の害虫の致死が確認された。また、同時にコクゾウのテストサンプルによっても殺虫処理の達成を確認した。

4. まとめ

本装置の仕様は実験を主目的とするものであるが、現場で使用する装置を設計する場合は、必要な仕様にしほり、価格に配慮することも重要であろう。

今回の試作で特に気づいた点について次にまとめておく。

(1) 処理温度

処理温度は、殺虫効率に非常に大きな影響を及ぼす⁵⁻⁷⁾。20℃以下では、脱酸素処理による殺虫効率はかなり低下するので、少なくとも25℃以上が望ましい。一般に処理温度が高いほど殺虫効率は上がるが、実際の事例では文化財材質への影響を考慮して30℃以下で処理されることが多い。ただし、一部の書籍類では30℃以上で処理された例もある。

従って、装置では25～35℃程度の範囲で温度設定が可能で、できる限り正確な温度調節ができることが望ましい。今回の試作ではかなり厳密に温度制御を行えるようにしたが、実際には設定精度はもう少し緩和できる可能性がある。

(2) 処理湿度

一般に処理湿度は低いほど殺虫効率は向上する。しかし、本装置のように常時窒素ガスを流す方式では、低湿度のガスでは材質が乾燥してしまう。従って、日本の文化財の保存環境として一般的な50%RH～70%RH程度に設定できればよいと思われる。

(3) 酸素濃度

酸素濃度と致死効率の関係は害虫の種類により異なるが、Rust and Kennedyの実験⁸⁾によると25℃、55%RHにおいて窒素ガスで効率よく殺虫を行うためには酸素濃度は少なくとも3000 ppm以下にする必要があることが示唆されており⁹⁾、酸素濃度を十分に低く保つことが極めて重要である。

(4) 処理方式

今回の装置では、湿度調整した窒素ガスを常時流す形(dynamic mode)にした。これに対して、酸素濃度が設定値以下に到達したのち処理空間を密閉して静置する方法(static mode)もある。博物館等では、夜間、休日などは電源を切るところも少なくないので、必要に応じてdynamic modeとstatic modeの切り替えができる設計の方が現場に適しているかもしれない。

(5) 他のガスとの併用

脱酸素処理は、今後の文化財の殺虫法として期待されるが、万能ではない。例えば、木彫像などの深部に潜んだ害虫を致死させる場合に、どの程度処理時間を延長するべきか等についてはまだデータが不足している。従って、場合に応じて二酸化炭素などのポンペに接続できるようにしておくとも汎用性が高まると考えられる。

このほか、臭化メチルや酸化エチレンなどの燻蒸剤を用いると、酸素濃度計などのセンサー類が破壊される場合がある。従って、これらの燻蒸剤を併用せざるを得ない場合は、できれば別のチャンバーを確保するか、被覆燻蒸などで対応するのが望ましいと考えられる。

今回、従来の薬剤用燻蒸装置のチャンバーを改造して、自動運転で窒素処理ができる文化財殺虫処理装置を試作した。この装置では、湿度調整された窒素の供給が自動であるので、一般の学芸員にも使用が可能である。本例は、臭化メチルが全廃された後の燻蒸施設として大きな可能性をもつ方法のひとつといえる。

謝 辞

装置の製作にあたっては、コフロック株式会社の安岡憲二氏、特許理化興業株式会社の多昌英成氏にご尽力いただきました。また、害虫処理の実務にあたっては、榎元晶子氏にお世話になりました。記して深く感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) Selwits, C. and Maekawa, S. "Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests.", Getty Conservation Institute (1998)
- 2) Gilberg, M., "The Effects of Low Oxygen Atmospheres on Museum Pests.", *Studies in Conservation*, **36**, 93-98 (1991)
- 3) Gilberg, M. "Inert Atmosphere Disinfestation Using AGELESS Oxygen Scavenger." in ICOM Committee for Conservation 9th Triennial Meeting, Dresden, 812-816, (1990)
- 4) Rust, M. K. and Kennedy, J. M. "The Feasibility of Using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums.", GCI Scientific Program Report, The Getty Conservation Institute (1993)
- 5) Valentin, N., "Comparative Analysis of Insect Control by Nitrogen, Argon and Carbon Dioxide in Museum, Archive and Herbarium Collections." *International Biodeterioration & Biodegradation*, **32**, 263-278 (1993)
- 6) Bailey, S. W. and Banks, H. J., "A Review of Recent Studies of the Effects of Controlled Atmospheres on Stored Product Pest." in Shejbal, J. [ed.], *Controlled Atmosphere Storage of Grains.*, pp.101-118. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. (1980)
- 7) 木川りか, 永山あい, 山野勝次: 低酸素濃度殺虫法 一処理温度と殺虫効果の検討, 保存科学 **38**, 9-14 (1999)
- 8) Rust, M. K. and Kennedy, J. M., "Pest Control by Oxygen Deprivation Using Nitrogen." Internal Report, The Getty Conservation Institute Scientific Program (1995)

An Automated Anoxic Treatment Chamber for Cultural Objects A Novel System with Nitrogen Generator

Rika KIGAWA, Katsuji YAMANO, Sadatoshi MIURA and
Shin MAEKAWA*

An automated fumigation chamber, with an attached nitrogen generator, for the eradication of insect pests in cultural objects by anoxia was installed at the Tokyo National Research Institute of Cultural Properties. It is an experimental system and the first of this type in Japan. The air-tight steel chamber is 3.3m³ (1.1meter wide, 2.0meter deep, and 1.5meter high) and equipped with temperature, relative humidity, and oxygen control devices. Thus, the chamber can maintain any combination of environmental conditions involving oxygen concentrations between 0.05 and 0.5%, temperatures between 20 and 40°C, relative humidities from 30 to 80% and treatment times from hours to weeks. It is instrumented to produce records of all the environmental conditions— temperature, relative humidity, oxygen concentration, and chamber pressure over the course of the anoxic treatment. Although permanently fitted with a nitrogen-generating unit, the chamber can also be used with argon or carbon dioxide or any combination of these gases by attaching the appropriate gas supplies. As a safety precaution for the objects being treated, the chamber sounds an alarm and shuts down its operation whenever abnormal temperature or relative humidity is sensed. For an operator's safety the installed room is equipped with a ventialator that automatically activates when the oxygen concentration drops below 19.5%.

To eliminate *Lasioderma serricornis* from two quite different infested materials, the chamber was first used for a plant specimen and then for the contents in a cabinet. The chamber system maintained the oxygen concentration near 0.08% and at 30±0.5°C and 55±3%RH for a three week period. The targeted oxygen concentration was reached within eight hours and a 100% kill of the insects was confirmed in both treatments. The chamber has been easy to operate even for a minimally-trained conservator. This type of anoxic treatment system can be used as a safe and effective alternative for insect eradication in infested cultural objects. Its success is especially important because use of the fumigant methyl bromide will be completely phased out by the year 2005.

* The Getty Conservation Institute