

文化財用燻蒸剤「エキヒュームS」販売終了後の殺虫殺菌処理等の検討に際しての注意点

公益財団法人文化財虫菌害研究所研究員

岩田 泰幸

1. はじめに

文化財分野における生物被害対策は、総合的有害生物管理（Integrated Pest Management：IPM）の考え方にに基づき、日常的な管理を基幹に据えた上で、非常時の手段として燻蒸などの化学的防除を位置づけている^{1,2)}。害虫の繁殖を制御できない事態が起こった場合や大規模にカビが発生した場合は、公益財団法人文化財虫菌害研究所（以下、「当研究所」という）が認定する文化財用燻蒸剤³⁾で有害生物を殺滅する「初期化」が講じられてきた⁴⁾。こうした場面で広く使用されてきたエキヒュームS（有効成分：酸化エチレン）は、令和7（2025）年3月末日をもって生産が終了し^{5,6)}、各館が実施可能な手法による独自の対策を構築する段階に突入しつつある。

本論文では、①エキヒュームS販売終了後の有害生物対策をどのような観点で考えていくべきか、②被害発生時の対策を選択する際にはどういった点に留意しなければならないかについて解説する。すでに東京文化財研究所主催のフォーラム「ポスト・エキヒュームSの資料保存を考える」⁷⁾の中で示されている事柄と重複する部分も多いと思われるが、ここではできるだけ具体的な事柄に触れたい。

なお、本論文は当研究所の機関誌「文化財の虫菌害89号」に掲載の「文化財用燻蒸剤「エキヒュームS」販売終了後の殺虫あるいは殺菌処理および有害生物対策に係わる注意点」⁸⁾から、特に重要と思われる部分を抜粋したものである。対策の考え方やその組み立てについては割愛した点もあるので、適宜、原典を参照いただきたい。PDFは当研究所ウェブサイトからダウンロード可能である。

2. 今後の有害生物対策の考え方

(1) 虫とカビの対策を「切り分けて」検討する

虫にもカビにも同等の効果をもつほど強力な薬剤は、人間にも環境にも強い影響を与えるものであることから、世界的な潮流として規制が強くなることは間違いない。虫とカビは「まったく異なる生物である」という基本的な部分に立ち返って、それぞれの生物の特徴や特性に応じた対策を別々に立案することが原則となるだろう。

(2) 虫は殺滅する、カビは取り除く⁹⁾

害虫については、ごく少数でも生き残った個体が残存すると、そこから元のレベルまで個体数を回復す

る。したがって、完全に「殺しきる」ことが重要である。

一方、カビは、たとえ殺菌したとしても死菌体が残ったままだと、空气中を浮遊する胞子が付着することで死菌体を栄養源として新たにカビが発生する。したがって、カビの残滓をできる限り取り除くことに注力する必要がある⁹⁾。

(3) 根拠を得るために調査を行う

調査によって、①虫あるいはカビの種類、②個体数（生息密度）、③標的生物の生死、④被害の進行度を明確にする。調査は「根拠を得るための手段」と位置付ける。

調査時の注意点としては、以下のような事柄が挙げられる。

- 1) 害虫：虫の種類を安易に判断しない。形態観察や残置物などの根拠に基づき同定結果を示す。
- 2) カビ：目視のみでカビの属や種を特定することはできない。ATP測定、付着菌調査、浮遊菌調査などを併用して根拠を得ること。

(4) 帰結点を明確化する

標的生物が明らかになり、生物被害の状況が整理されたら、その情報に基づいて対策や手法を選択する。この過程でどういったフェーズを経るか対策の一例については、既報^{6,10)}や当研究所作成の「虫対策のフローチャート」「カビ対策のフローチャート」(図1、2)を参照していただきたい¹¹⁾。

3. 駆除対策等を検討する際の注意事項

(1) 処理方法に係わる知識の習得と整理

調査を経て、実際に駆除対策が必要と判断された場合には、その方法を選択する。「殺虫処理」と「カビの除去（カビの発生が顕著な場合は殺菌を含む）」を切り分けて考え、有効適切な方法を選択するためには、選択肢の特徴と長所短所を把握しておく必要がある。

各手法の概要は、以下の書籍などで解説されているので、これらを熟読の上、最低限の知識を習得していただきたい。

- ・文化財の虫菌害防除と安全の知識2025年（図3）¹²⁾
- ・文化財害虫事典¹³⁾
- ・文化財保存環境学 第3版²⁾
- ・「文化財の虫菌害」掲載論文集¹⁴⁾
- ・文化財害虫検索（web.）「対処方法の種類」のページ¹⁵⁾

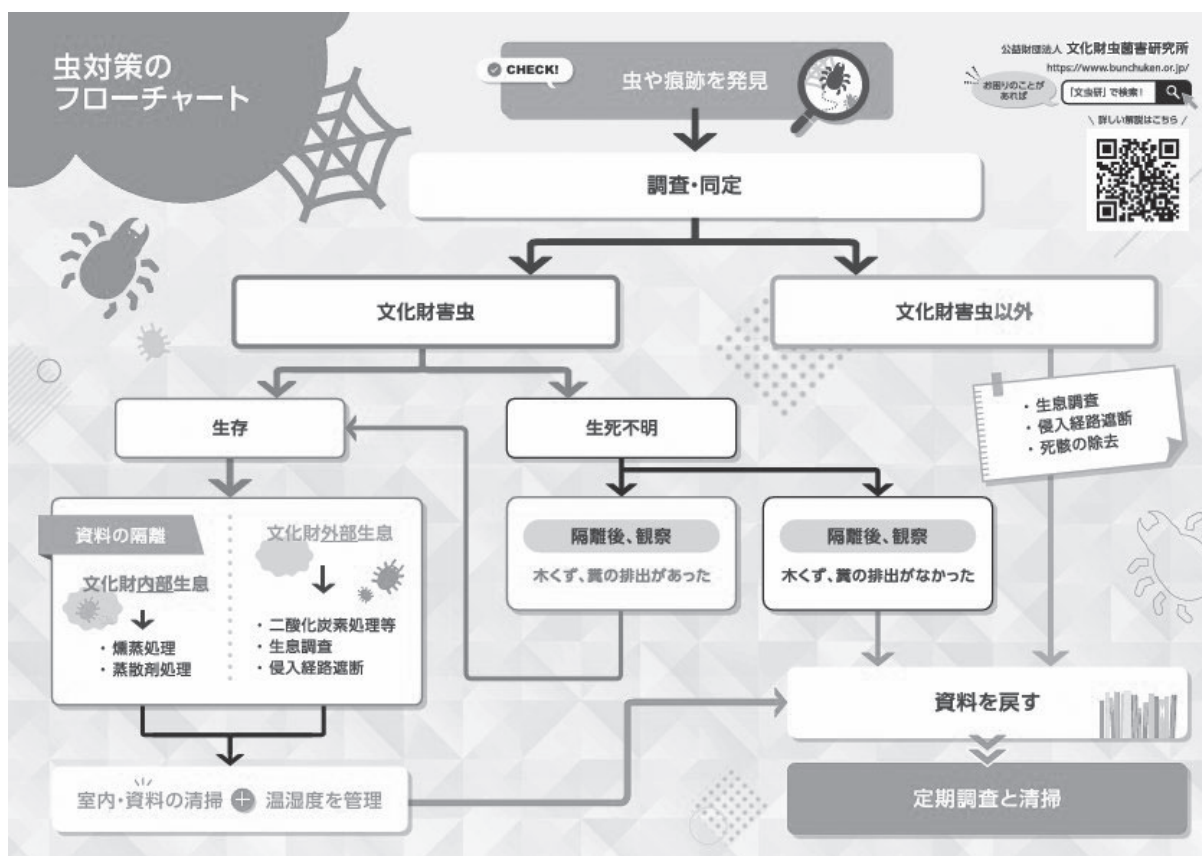


図1 虫対策のフローチャート

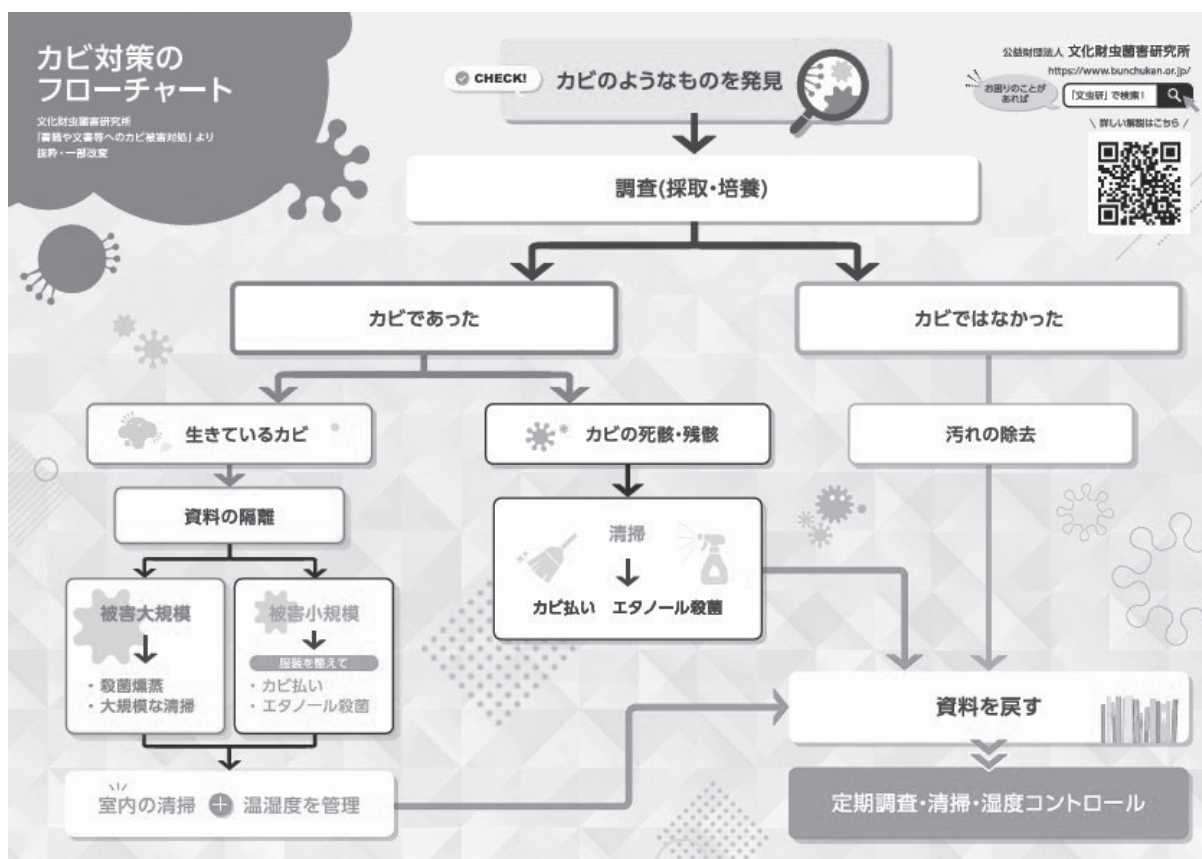


図2 カビ対策のフローチャート

URL : <https://www.tobunken.go.jp/ccr/pest-search/top/> (令和7年5月4日参照)

(2) 有資格者に求められること

殺虫や殺菌を含む有害生物対策の処理方法を学ぶ機会としては、当研究所が発行する2つの資格取得に係

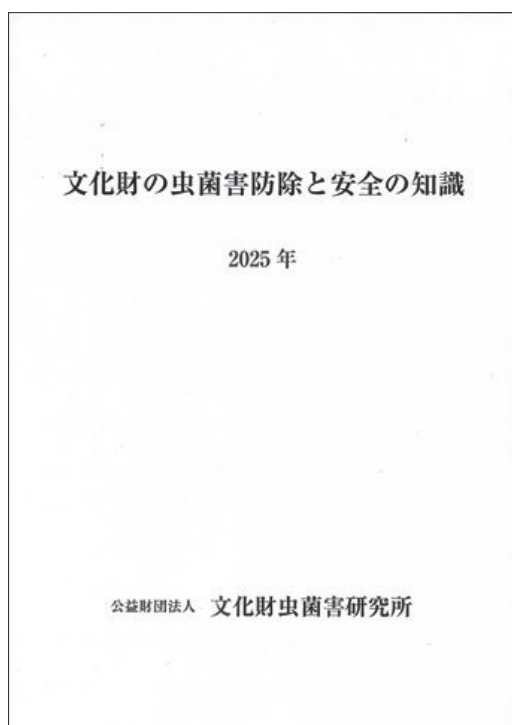


図3 文化財の虫菌害防除と安全の知識2025年

わる講習会が挙げられるが、以下のような注意喚起を行っている。

文化財IPMコーディネータ資格を取得しただけでは実際に対策を選択できるだけの知識レベルとは言い難い。自身で書籍や各種論文を駆使して知識の補完を行う必要がある。

文化財虫菌害防除作業主任者も資格取得と同時に駆除対策を自在に実施できるわけではない。実際には各手法で注意すべき点や現場で運用するための落とし込みが必要である。

4. 各駆除対策等の留意点

各駆除対策等の留意点を以下に示したので、実施の可否を検討する際の材料として活用していただきたい。

4-1. 薬剤を用いる方法の留意点

(1) 薬剤とは

薬剤は、以下のような基本的な事柄が検証されている必要がある。

薬剤に求められる具備条件（概要）

- ①科学的な手法で効果が実証されていること。
- ②効果に再現性があること（同一条件下で、効果に大きな差異が生じない）。
- ③殺虫殺菌機構など効果の根拠が科学的に明らかであること。

使用実績がある、広く使われているものだからといって、効果の検証が科学的に実施されているとは限らない。上記の事柄をしっかりと検証すること。

なお、文化財虫菌害防除薬剤として「文化財」に用

いる薬剤においては、上記の他にも満たすべき事柄や注意事項があるため、詳しくは既報^{16,17)}を参照いただきたい。これらの文献PDFも当研究所ウェブサイトから入手可能である。

文化財分野において用いる薬剤が備えるべき条件（抜粋）

- ①対象文化財に薬害をおよぼさない。
- ②文化財に残留・吸着される薬量が少ない。
- ③薬剤に拡散性・浸透性がある。
- ④薬剤に引火性・爆発性がほとんどない。
- ⑤殺虫・殺菌力がある。
- ⑥人体や環境への影響ができるだけ少ない。

(2) 燻蒸剤

①酸化エチレン

大気汚染防止法における有害大気汚染物質の優先取組物質¹⁸⁾に指定されており、事業者による排出抑制の自主的な取組みや、国と地方公共団体の連携によるモニタリングなどが実施されている¹⁸⁾。文化財分野においては活性炭による吸着除害が実施されているが³⁾、こうした簡易な除害装置での対応は困難となることが予想される。医療分野などでは、費用が数百万円となる排ガス処理装置の導入が進んでいるが¹⁸⁾、博物館・美術館等で同様の対応を講じることはコスト面から極めて難しい。

令和7年5月現在、同年3月までに出荷されたエキヒュームSによる燻蒸処理は実施可能だが、本剤を何年も長期保管して処理を実施するようなことはできない。

エキヒュームSは、保管期間が延びると酸化エチレンが重合することで殺菌効果が得られなくなったり、グリコールのような粘性物質が生じ、それが資料に付着することにより汚損が生じたりする可能性がある¹⁹⁾。

②酸化プロピレン

アルプの有効成分であり、大気汚染防止法における「有害大気汚染物質に該当する可能性のある物質」に指定されている^{20,21)}。使用が拡大すると酸化エチレンと同様の対応（大気放出抑制など）を求められる可能性があり、薬剤の乗り換えでは抜本的な解決とならないことが指摘されている^{20,21)}。

③フッ化スルフリル

ヴァイケーンの有効成分であり、地球温暖化係数はCFC-11（別名：トリクロロフルオロメタン、フロンガスの一種）と同程度、二酸化炭素の約4,780倍の温室効果を有することが論文で指摘されている²²⁾。既存の燻蒸ガスに代わって市場が拡大することによって国際的な規制が生じる可能性もあるため、動向に留意する必要がある^{20,21)}。

④その他燻蒸剤

医療分野や農業分野で利用されるその他燻蒸剤の多くは、酸化あるいは還元反応で殺滅効果を得るものであり、強い化学反応を伴うことから、文化財の材質に影響を生じる。具体的には、金属の酸化や腐食、顔料の変色、染料の漂白、変色、有機物の脆化が生じる可能性がある^{23~25)}。こういった化学反応によって殺虫あるいは殺菌効果が得られているのか、その機構を必ず確認する癖をつけることが大切である。

(3) ミスト剤・炭酸ガス製剤

ミスト剤（ブンガノンなど）は燻蒸剤と混同されることがあるが、その効果がまったく異なる^{16,17)}。「簡易燻蒸」などと称する事例があるが、本剤による処理は燻蒸処理ではない。また、炭酸ガス製剤と二酸化炭素処理との混同も見られるが、これもまったく異なる。

ミスト剤は、薬剤成分が物に付着して残るため、文化財自体やその近傍で使用することは原則ない^{16,17)}。化学物質の残留による経年的変化や影響に対する検証が不十分である。

使用にあたっては、施工範囲を事前によく検討するとともに、剤型の特徴をよく調べることが大切である。

ブンガノンの生産終了に伴い、ミラクンGXへの変更を検討している館もあるようだが、ミラクンGXは文化財用ではなく、防疫用殺虫剤（第二類医薬品）で衛生害虫に用いるものである。適用害虫として文化財害虫を想定していない。

4-2. 薬剤を用いない方法の留意点

(1) 低酸素濃度処理法

脱酸素剤を用いた方式による実施が増えることが予想される。本方法は既出研究や注意事項^{26~29)}が公開されており、「文化財害虫検索」にも詳しい説明がある³⁰⁾。

失敗例や注意事項としては、①対象種を見誤ったことによる殺虫条件の設定ミス、②文化財用ではない脱酸素剤を使用したことによる資料への影響、③熱圧着の失敗（あるいは熱圧着以外の方式を用いたこと）による密閉の不十分、④処理温度の低下による施工失敗、⑤テストサンプルやインジケータの未使用による効果の未検証、⑥処理後も梱包状態のまま放置したことによる資料への影響などが挙げられる。特に密閉度と温度低下による影響をダイレクトに受ける方法であるから、低酸素濃度処理を「駆除」目的として用いるならば、条件を厳密に守らなければ虫は全く死なない。

(2) 二酸化炭素処理

燻蒸剤と比較すれば安全性は高いが、二酸化炭素は濃度が上がるにつれて人体に影響を生じ、25~30%濃

度では死に至るものであるため³⁾、取り扱いに注意が必要である。実績を有する企業や施工者が処理を行うことが重要である。

前項の低酸素濃度処理と同じく、密閉が不十分だった場合や温度の低下による殺虫の失敗が起こりやすい。特に難防除害虫（材質内部に生息するシバンムシ類やヒラタキクイムシ類）に対しては、処理温度が常に25℃以上となるよう維持した方が確実である。

本方法でカビは死なないので、高湿度条件での実施や水気を含む資料を処理すると資料にカビが発生する。また、材質影響についても文献^{2,3,12)}を参照し十分に検討すること。

認定外の二酸化炭素を用いた処理は、仕様や薬害の可能性を使用者（あるいは施工を提案した者）が事前の実験などに基づき検討しなければならない。製造ラインやロットが異なると含有する二酸化炭素以外の不純物などがわずかに変化し、それが文化財の材質に影響を生じる可能性もある。

(3) 温度処理

化学物質を用いない方法であることから活用が増えることが考えられるが、温度の高低に伴う湿度変化が激しいため、適用材質や資料が限定される。

①低温処理

スズを含む金属製品、美術工芸品、絵画などに用いてはならない。「文化財害虫検索」内では低温殺虫処理を詳しく解説しているので、必ず参照すること³¹⁾。

処理温度は少なくとも-20℃以下が必要であり、期間も比較的長く、対象物の中心温度が十分に下がらないと効果が得られない。結露を生じないように、対象資料を薄葉紙などで包んでからポリエチレン袋に納めて、空気をよく抜くなどのケアが必要である³¹⁾。処理後すぐに常温に戻すのではなく、馴らしを要する。

②高温処理

資料が乾燥するため、適用材質が限定される。高温で溶ける素材に用いてはならない。資料の中心温度が55~60℃に達してから5~6時間を維持する³²⁾。

建造物に対しては湿度制御温風処理³³⁾が用いられるが、大掛かりな設備を用いるものであり、小型資料に適用する方法とは異なる。

5. 環境改善に際しての留意点

(1) カビ払いに関する注意事項

菌体を取り除くためのクリーニング作業を検討する際には、事前調査でカビの状態を把握することが第一段階となる。カビが旺盛に発生している状態では、深在性真菌症などの健康被害を生ずる可能性があるため、十分な装備の上で作業にあたる必要がある⁹⁾。文化財防災センターの「室内労働環境の浮遊カビの測定・評価と浮遊カビ等からの防護に関する管理基準」³⁴⁾

や「浮遊カビ等からの人体の防護に関するマニュアル」³⁵⁾を必ず参考にすること。

また、資料自体だけではなく、収蔵・保管環境の湿度制御と清掃をセットで考えておかないとカビが再発する懸念が大きい⁹⁾。環境改善も必須事項と考えるべきである。

(2) カビ払いの効果を評価するための方法

カビ払い後に客観的に効果を判定する方法としてATP測定⁹⁾を行い、作業前後で数値にどの程度の変化が生じたかを評価することも重要となる。胞子を大量に産生し飛散するカビでは、一度の清掃では完全に胞子の除去が難しい。特に繊維質など凹凸が多い基質表面に付着した胞子は繰り返しの清掃（特に吸引）で取り除くことになる。作業に用いる清掃用具やその使い方についても、ATP測定値を参考として、実際にどの程度数値が下がるかを確認しながら作業を進めることが大切である。

6. おわりに

これまでエキヒュームSによる恒常的な燻蒸処理を実施していた館においては、その代わりとして文化財IPMの導入を早急に進めていきたいとの相談を受けることが多い。

しかしながら、事前の十分な調査なしにIPMの設計を依頼されたという事例も散見される。文化財IPMでは「今を知る、平常値を知る」¹⁾ことが重要であり、問題を明確化して優先順位を付けてから、実際の対策を講じることとなる。施工業者にIPMの構築を「丸投げ」するのではなく、本稿で示してきたような過程をもって、状況の積み上げに基づき、館独自のIPMや有害生物対策を構築する必要がある。

館の構造、収蔵物、置かれた情勢、予算組、人員配置を把握しているのは「館に属する人間だけ」である。あくまでも最終的に判断を下すのは館であることを再認識の上、自身（自館）のこととして問題に対峙していただければと思う次第である。

(いわた・やすゆき)

引用文献

- 1) 三浦定俊（編）（2014）文化財IPMの手引き。64pp.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 2) 三浦定俊・佐野千絵・木川りか（2025）文化財保存環境学第3版。209pp. 朝倉書店、東京。
- 3)（公財）文化財虫菌害研究所（2025）文化財の殺虫・殺菌処理標準仕様書。85pp.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 4) 秋山純子・佐藤嘉則（2023）収蔵庫の保存環境をめぐる現状と課題。博物館研究, 58（12）：9-12.
- 5) 岩田泰幸（2024）文化財用燻蒸剤の動向とその変化に伴う生物被害対策の再考について。博物館研究, 59（6）：24-25.
- 6) 岩田泰幸（2024）文化財用燻蒸剤の変容に伴う生物被害対策の再考とその立案について。文化財の虫菌害,（87）：16-21.
- 7) 東京文化財研究所（編）（2025）フォーラム「ポスト・エキヒュームSの資料保存を考える」講演資料（配布資料）。50pp. 東京文化財研究所、東京。
- 8) 岩田泰幸（2025）文化財用燻蒸剤「エキヒュームS」販売終了後の殺虫あるいは殺菌処理および有害生物対策に係わる注意点。文化財の虫菌害,（89）：26-35.
- 9) 佐藤嘉則（2025）第2章 カビに関する基礎知識。文化財の虫菌害防除と安全の知識2025年。pp.21-30.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 10) 岩田泰幸（2025）第3章 文化財分野における生物被害の予防対策。文化財の虫菌害防除と安全の知識2025年。pp.31-39.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 11)（公財）文化財虫菌害研究所（2024）【お知らせ】「虫・カビ対策フローチャート」のPDF版を公開しました。URL：<https://www.bunchuken.or.jp/newstotopics/2469.html/>（2025年5月5日参照）
- 12)（公財）文化財虫菌害研究所（編）（2025）文化財の虫菌害防除と安全の知識2025年。68pp.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 13) 東京文化財研究所（編）（2001）文化財害虫事典。231pp. クバプロ、東京。
- 14)（公財）文化財虫菌害研究所（編）（2015）「文化財の虫菌害」掲載論文集。308pp.（公財）文化財虫菌害研究所、東京。
- 15) 東京文化財研究所保存科学研究センター生物科学研究室（2024）文化財害虫検索（web.）「対処方法の種類」のページ。URL：<https://www.tobunken.go.jp/ccr/pest-search/top/>（2025年5月4日参照）
- 16) 岩田泰幸（2023）＜講座（前編）＞文化財虫菌害防除薬剤の選定に際しての注意点。文化財の虫菌害,（85）：22-25.
- 17) 岩田泰幸（2023）＜講座（後編）＞文化財虫菌害防除薬剤の選定に際しての注意点。文化財の虫菌害,（86）：14-17.
- 18) 環境省（2024）事業者による有害大気汚染物質の自主管理の促進。URL：https://www.env.go.jp/page_00365.html（2025年5月5日参照）
- 19) 佐藤嘉則（2025）文化財収蔵施設における生物被害対策－記録媒体の紙資料を守るための虫・カビ対策－。群馬県市町村公文書等保存活用連絡協議会会報「ねっと群文協」,（54）：1-16.
- 20) 佐藤嘉則（2022）持続可能な資料保存における有害生物管理の諸課題。園田直子編『持続可能な博物館資料の保存を考える』国立民族学博物館調査報告, 155：343-354.
- 21) 佐藤嘉則（2024）ポスト・エキヒュームSを見据えた資料の生物被害対策。ネットワーク資料保存,（134）：1-3.
- 22) J. Muhle, J. Huang, R. F. Weiss, R. G. Prinn, B. R. Miller, P. K. Salameh, C. M. Harth, P. J. Fraser, L. W. Porter, B. R. Grealley, S. O'Doherty and P. G. Simmonds（2009）Sulfuryl fluoride in the global atmosphere. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 114, D05306, doi: 10.1029/2008JD011162
- 23) 森 八郎・熊谷百三（1954）文化財に対する燻蒸剤の薬害についてⅠ。金属に及ぼす影響。古文化財の科学, 8：17-21.
- 24) 森 八郎・熊谷百三（1955）文化財に対する燻蒸剤の薬害についてⅡ。顔料に及ぼす影響。古文化財の科学, 11：21-28.
- 25) 森 八郎（1982）文化財に薬害の少ない燻蒸剤。文化財の虫菌害,（5）：52-56.
- 26) 小野寺裕子・小峰幸夫・木川りか（2015）低酸素濃度殺虫法－25℃, 27.5℃, 30℃における処理期間の検討－。保存科学, 54：161-170.
- 27) 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（2001）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.
- 28) 三菱ガス化学株式会社（2018）RP剤Kタイプご使用の方へ重要なご注意。URL：https://www.mgc.co.jp/products/sc/rpsystem/metal/pdf/RP-K_i.pdf（2025年5月5日参照）
- 29) 佐藤嘉則・岡部迪子・犬塚将英（2021）低酸素濃度殺虫法に用いるRP剤Kタイプからの有機酸発生。保存科学, 60：27-32.
- 30) 東京文化財研究所保存科学研究センター生物科学研究室（2024）低酸素濃度殺虫処理（文化財害虫検索内）。URL：https://www.tobunken.go.jp/ccr/pest-search/taisho_mesod/pdf/low-oxygen_treatment.pdf（2025年5月5日参照）
- 31) 東京文化財研究所保存科学研究センター生物科学研究室（2024）低温殺虫処理（文化財害虫検索内）。URL：https://www.tobunken.go.jp/ccr/pest-search/taisho_mesod/pdf/low-temperature_treatment.pdf（2025年5月5日参照）
- 32) 木川りか・永山あい・山野勝次（1998）温度を利用した殺虫法（1）－低温処理および高温処理による殺虫効果の検討－。保存科学, 37：15-22.
- 33) 小峰幸夫・佐藤嘉則・原田正彦・北原博幸・木川りか・藤井義久（2018）湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証。保存科学, 58：21-28.
- 34) 文化財防災センター（2022）室内労働環境の浮遊カビの測定・評価と浮遊カビ等からの防護に関する管理基準（ガイドライン）URL：<https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/115771>（2025年5月5日参照）
- 35) 文化財防災センター（2022）浮遊カビ等からの人体の防護に関するマニュアルURL：<https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/115772>（2025年5月5日参照）