

## 〔報告〕 重要文化財輪王寺本堂の大規模被覆ガスくん蒸 —実施までの経緯の概要—

原田 正彦\*・木川 りか・小峰 幸夫\*<sup>2</sup>・藤井 義久\*<sup>3</sup>

### 1. はじめに

平成25年7および8月に重要文化財輪王寺本堂の虫害対策（写真1，2）として大規模の建物の被覆くん蒸を実施した。大規模素屋根内部で実施する建築物の被覆くん蒸は、これまでに例がなく，修理専門委員会では，近隣住民・参拝者・施工者の安全を担保できるのか，建物内外ともに漆塗装で覆われた木材内部にガスを浸透させ十分な殺虫効果が期待できるのかなど，安全性とくん蒸効果について検討を重ねた。検討の過程において，建物の規模が既往のくん蒸



写真1 鬼斗



写真2 台輪継手

\*公益財団法人 日光社寺文化財保存会

\*<sup>2</sup>公益財団法人 文化財虫菌害研究所

\*<sup>3</sup>京都大学大学院農学研究科

物件に比べて例外的に大規模であることや、既に屋根葺き替え工事のために設置した素屋根がくん蒸ガスの排気を妨げることなどのために安全性の確保が難しく、一旦は、くん蒸不可能との結論に至り、別の道を模索した。しかし本堂の保存のためには、木材内部の虫をほぼ完全に駆除する必要があり、再度大規模被覆くん蒸の実施に向けて検討をおこなった。その結果を受けて平成25年7月17日から8月2日の17日間で本堂周辺を閉鎖し大規模被覆くん蒸を実施した。本報告では実施までの経緯の概略を報告する。

## 2. 被覆ガスくん蒸効果について検討

### 2-1 漆塗材に対する駆除効果の検証

漆塗材に対するくん蒸効果を検証するため2種類の検証実験を行った。

まず二酸化炭素処理によるくん蒸殺虫試験を行った。試験体は2種類とし、本堂の被害材(X線CTでオオナガシバムシ幼虫の棲息を確認したもの)と、新材の樺製の一尺四方材(1辺が303mmの立方体)で表面に漆を塗装したものと無塗装のもので、材中心にコクゾウムシの供試虫を封入したものを用意した。二酸化炭素処理(14日処理)では、被害面の露出した本堂被害材は殺虫可能であったが、新材の漆塗装材は、塗装がない場合であっても一部で虫が生き残っていた。

続いてフッ化スルフルルガス処理によるくん蒸殺虫試験を行った。試験体は前述と同様とした。フッ化スルフルルガスの濃度は50g~70g/m<sup>3</sup>とし、20℃以上で、24、48および72時間くん蒸の3種類の試験をおこなった。その結果、本堂の被害材は、48時間以上のくん蒸で殺虫が可能であった。新材の樺製で漆塗装材のものは、72時間くん蒸でも虫が生き残る場合があった。これら結果から、くん蒸は塗装のない露出面が一部材一面以上必要で、ガス濃度50g~70g/m<sup>3</sup>、20℃以上、48時間くん蒸以上の条件で駆除効果が見込めるものと結論づけた。

さらにくん蒸実施期間についても検討した。フッ化スルフルルガスによる駆除は、気15℃を下廻ると処理が難しくなる。したがって日光地域における過去13年間の平均気温を基にくん蒸効果を最大にするため、一年で最も気温の高い月日から実施日を定めることとし、協議の結果、本堂のくん蒸期間を7月17日から8月2日の17日間とした。なお別途に、大猷院についてもくん蒸を行うこととし、8月6日から10日の5日間で実施することとした。

### 2-2 薬剤と破損

くん蒸にはフッ化スルフルルガス(文化財虫菌害研究所認定品 登録番号6 薬剤, 商品名ヴァイケン(殺虫くん蒸剤, 三井化学アグロ株式会社)を用いたが、使用に際してこの薬剤に関する下記の特徴に留意した)。

- ・引火性・爆発性がない無色のガスで、ほとんど無臭(高濃度では、わずかに硫黄臭)。
- ・木材その他に対する浸透性・拡散性がきわめて高いが、殺菌力には欠ける。
- ・吸着性が少なく、くん蒸終了後残留しないため、ガス抜きが容易。ガスが抜けると安全。
- ・くん蒸による文化財への影響については、彩色の変色等の問題報告なし。
- ・沸点が-55.2℃で、外気が低温でも沸騰気化する(気化器を必要としない)。
- ・大気中に放出すると速やかに加水分解する。オゾン層に影響を与えない。
- ・水に溶けない(水分を含む土をガスは透過しない)。
- ・くん蒸被覆ポリエチレンシートを透過しない。漆層も透過しない。
- ・Hazardは2と猛毒であり、解毒剤はなく、人体に影響ない濃度は5ppm以下である。

また今回の駆除対象となるオオナガシバムシによる食害の特徴については、これまでの調

査結果を元に再検討し、くん蒸計画に反映させた。特に食害が進行すると材内部は砂状の虫粉（糞と噛み屑）となるが、材表面は形を留めることや、虫の侵入口と脱出口は塗装のない木部表面や継手・仕口であることなどを考慮した。

### 3. 大規模被覆ガスくん蒸実施に向けての安全対策

#### 3-1 大規模建築の被覆ガスくん蒸は安全性確保

修理専門委員会では、大規模建築の被覆ガスくん蒸の安全性について虫害関係者間で協議を重ねた結果、大規模建築の被覆ガスくん蒸は危険度が高く、無理であるとの結論に一旦達した。さらに虫害の調査に先行して屋根葺き替え工事の準備が進行しており、そのために設置した素屋根がくん蒸時のガス排気の妨げとなるため、重ねてくん蒸作業の実施は困難と判断された。そしてくん蒸以外の方法を検討、薬剤穿孔注入（案）が提案され、本堂被害木材を用いて穿孔注入試験を実施し、乳剤・油剤・水溶性の3種類の薬剤について浸透性を確認した。その結果、健全木材の浸透範囲は2から3mmであり、被害材では粉（糞と噛み屑）部分にまで薬剤が浸透した。しかし、被害部位すべてに薬剤をゆきわたらせるためには、薬剤を使用する範囲が明確でなければならない。X線CTが使用できない現場では、点在するすべての被害位置座標を正確につかむことは不可能で、穿孔注入で薬剤を食害部分へ、的確に到達させることは難しい。結果として、無処理の虫害領域を残してしまう可能性が高い。

#### 3-2 ガスくん蒸に依存した理由

明治12年（1879）本堂移築解体で、すべての柱は根継（床下）補修された。さらに昭和36年（1961）本堂の半解体修理で、この柱継手を外し、再度、柱根継材の取替を実施しているが、当時のガラス乾板写真で虫害破損を確認できた。このように短い周期で大修理を繰り返さなければならなかった理由は、虫が木材の中に残っていたことによると考えられる。したがって、様々な方法はあるにせよ、虫を完全駆除する方法は、フッ化スルフルルガスによるくん蒸しかなく、次に記載した安全対策をとれば、くん蒸が可能であるとの結論を得た。

#### 3-3 近隣住民・日光参拝者への安全対策

くん蒸に際し、以下の安全対策を講じた。

くん蒸期間中は本堂及び近隣建物について完全立ち入り禁止とした。くん蒸中の待避安全距離は、素屋根外壁から15mであり、本堂敷地の出入口6箇所を封鎖し、南北方向200m、東西方向135mの範囲を完全閉鎖範囲に定め、作業員以外の立入を禁止した。また、立入禁止サイン看板は、12ヵ国語の表記とした。

また危険度を軽減のため1回の作業でのガス容積を小さくするため、くん蒸を2回に分割した。第1回目は、第1区画建屋の11,450m<sup>3</sup>とし、第2回目は、第2～第10区画2,672m<sup>3</sup>とした。また排気時刻は、1回目、2回目ともに、人気の少ない早朝5時から排気を開始した。排気位置は、被覆テント下部から軸流扇で空気より少し重いガスを吸い出し、ポリエチレンチューブ管（径500mm、厚さ0.1mm）で素屋根の7階窓まで引き上げ高さ26mから排気した。排気量と排気スピードについては、第1回目の排気時間は延べ29時間で、1分間に約6.6m<sup>3</sup>の速度でガスを大気中に放出した。

警備員の配置については、警戒範囲が広く、大量のフッ化スルフルルガスを現場保有していること、換気のため素屋根の6箇所のシャッター・扉・窓が全開であること、素屋根内に多数の仏像、美術品があること等の理由で、24時間態勢警備で侵入者を監視した。また夏休み期間

中であるため、子供が石垣を登って進入しないように、警戒区域境界の外に職員を配置、警戒にあたった。また、参拝者に対して状況説明、道案内なども併せて行った。極力不安を煽らないように努めた。

近隣住民、新聞、観光関係者への事前告知については、平成25年1月24日、輪王寺職員以外の近隣住民に対して、また東照宮、二荒山神社に対して説明会を開催した。輪王寺は新聞・各種観光関係者にくん蒸概要と閉鎖時期について発表した。輪王寺及び公益財団法人日光社寺文化財保存会のホームページに記事を掲載した。また、くん蒸に関する質問窓口は、公益財団法人日光社寺文化財保存会とした。

くん蒸終了後の周辺建物への侵入について、地下埋設配管を通じて、周辺建物へガスが流入している危険があることから、護摩堂・宝物殿・紫雲閣等の進入に先だて、くん蒸作業員が濃度安全確認を実施した。

### 3-4 くん蒸作業員への安全対策

くん蒸作業員への安全対策については以下のように講じた。特に素屋根内部に漏れたガスの危険性については以下のように方針を立てた。建造物被覆くん蒸はガス漏れがあることが前提のくん蒸方法で、通常は屋外で実施するくん蒸である。今回は素屋根内部での作業であり、素屋根内部はガスのある危険区域であると考え、安全対策を計画した。

そのため清浄空気発生機の設置、素屋根内部の空気配管や呼吸保護具（防護マスク）の設置について検討した。作業員が危険区域内で作業するためには、長時間空気を供給できる送気式、呼吸保護具（防護マスク）が必要である。素屋根外壁から安全待避距離15m離れた位置に、清浄空気発生機（電動式）を設置した。フレキシブル樹脂管で2、4、5および6階に配管し、内部作業員はここから空気供給を受ける（図1、写真3、4、5）。停電時に供えて、バックアップ高圧空気ポンプ2本（14,000リットル）による自動バックアップと更に手動で切替て使用可能な予備の高圧空気ポンプ2本を設置した。また、緊急脱出用携帯空気ポンプ（5分間）も

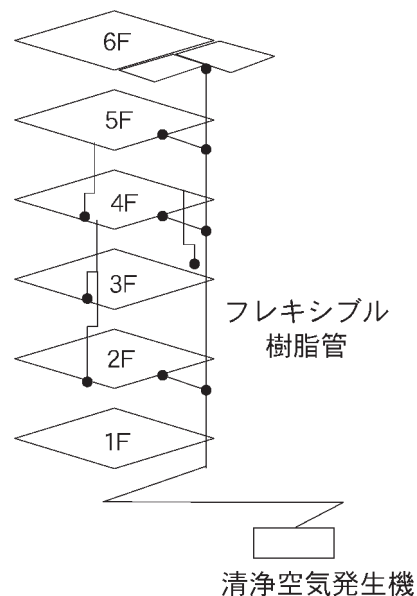


図1 素屋根内の清浄空気供給配管系図

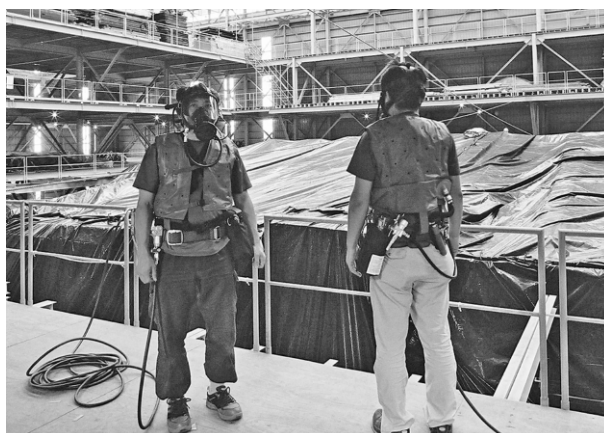


写真3 呼吸保護具・クールベスト装着

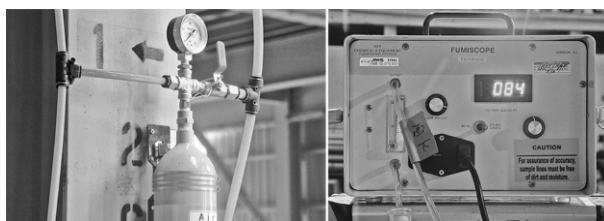


写真4 中継空気供給装置 (左) と濃度測定器 (右)



写真5 清浄空気発生機

併用した。バックアップ高圧空気ポンプ1本(容量7,000リットル)では、成人男子1名が50から60分程度呼吸するための空気を供給することが可能である。防護マスクは、面体内部に正圧でガスの浸入を許さない構造のものである。また、作業員に空気供給する樹脂管の長さは、次の空気供給地点までで、その先に進むためには、新たな樹脂管への差替が必要であるが、このときも正圧でガスの浸入を許さない構造である。また熱中症対策についても検討した。真夏の素屋根内は、高温となることが予測されたため、クールベストを着用した。

素屋根の外部に外気と通じたくん蒸作業員の監視用足場を設置した(写真8)。くん蒸中の素

屋根内部は危険区域であり、内部作業中の作業員の身に異変が生じた場合、監視者が救出に向う必要から、監視足場を素屋根の外に設置した。またそこから死角となる背面側・西面側は、監視カメラ(画像は無線ラン接続でノート PC で見る)を併用して作業領域を監視し、2 から 4 階出入口にアクリル窓付の扉を設置した。

被覆くん蒸では、ガス漏れ発生が前提となるが、極力密閉性を確保しガス漏れを最小限に抑制する必要がある。地盤面の舗装上に幅0.2m×高さ0.2m の木枠を据え、土(水分を含む土に限る)を入れ、この土にシート端部を埋設、ウォータースネーク(水を注入した径100ミリのホース)で重しをかけガス漏れを抑制した(写真9)。また素屋根内部は外壁で囲まれガスを排気しにくいいため、くん蒸実施中は素屋根のシャッターを開口し、7階展望通路の窓・各階段室の扉を全開し、外気を取込んだ。また軸流扇とポリエチレンチューブ管(径500ミリ・厚0.1ミリ)により内部空気を常に強制排気した。さらに被覆シート縦方向の接続は、特大シート(12.8m×15.24m)の使用により、接続箇所を少なくした。また縦方向の接続で足場の無い箇所は、作業員の安全管理のため、腰掛け式のハーネスを着用、ロープで鉄骨から吊り下がりくん蒸シートを接続した。

## 4. 大規模被覆ガスくん蒸の施工

### 4-1 くん蒸規模

今回のくん蒸処理の規模は以下の通りである。

建屋の被覆ガスくん蒸については、第1回くん蒸(第1区画)は11,450m<sup>3</sup>であった(図3、写真10)。解体部材の個別くん蒸処理として設定した第2回くん蒸は2,672m<sup>3</sup>であった。その内訳は、素屋根1階に設けた第2から4区画の280m<sup>3</sup>、第5から第88区画の576m<sup>3</sup>、素屋根6階に設けた第9から第10区画の1,816m<sup>3</sup>であった。また別途の経費負担によって本堂内で仏像、美術品および木製品のすべてをくん蒸処理した(写真6)。

### 4-2 輪王寺本堂のくん蒸条件の監視

事故や失敗の許されなくん蒸であるため、試験結果から基準値を厳しく設定した。処理条件は、フッ化スルフリルガスの濃度が80g/m<sup>3</sup>以上(試験値に10g加算)でかつ気温20℃以上(外気温で判定)の条件で、処理時間が確実に48時間以上となるよう、気温とガス濃度を監視し、気温、濃度のどちらかが規定値に達しない場合、ロスタイムとしてくん蒸時間に積算しないようにした(写真7)。なお今回の処理ではくん蒸効果を確認するための供試虫は設置しなかった。解体材についても素屋根内に積積みし、シートで被覆してくん蒸した。その効果を高めるため、解体材は3ミリ以上の隙間を設けて積上げた。第1区画の建屋では台輪下端に9ミリ以上の隙間を空け、柱上部からガスが浸透し易くした。第1~10区画の被覆テント内にデータログ(温湿度計)を設置し、ガス排気後に回収して第1区内部気温を確認した。

7月20日の16時に規定濃度80g/m<sup>3</sup>に到達し、7月24日5時の排気開始までの85時間のうち、外気温が20℃を下廻った37時間をロスタイムとしたが、第1区画内部気温は20℃を下廻っていなかったため、濃度70g/m<sup>3</sup>以上を維持していて期待以上のくん蒸効果を得たと考えられる。



写真6 本堂の被覆と排気チューブの状態

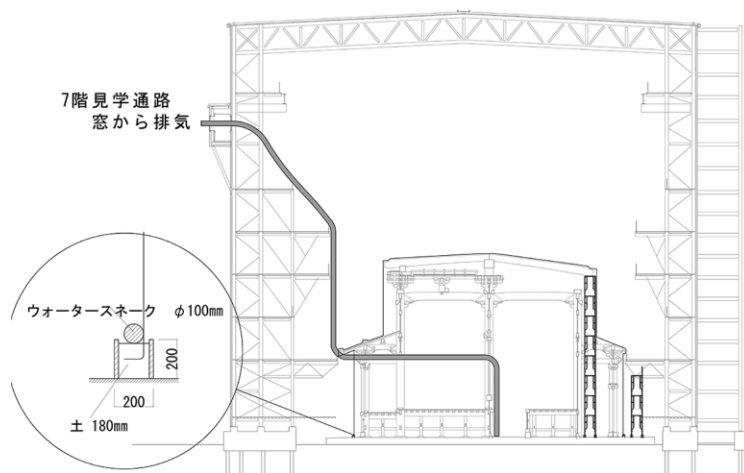


図2 素屋根・本堂断面におけるガス排気経路



写真7 フッ化スルフルガス



写真8 素屋根外部に設置された作業員監視足場

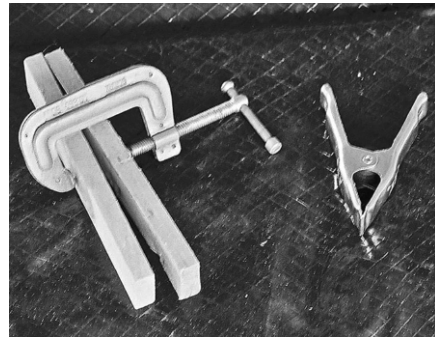


写真9 ウォータースネーク (左) と被覆シート接続具 (右)

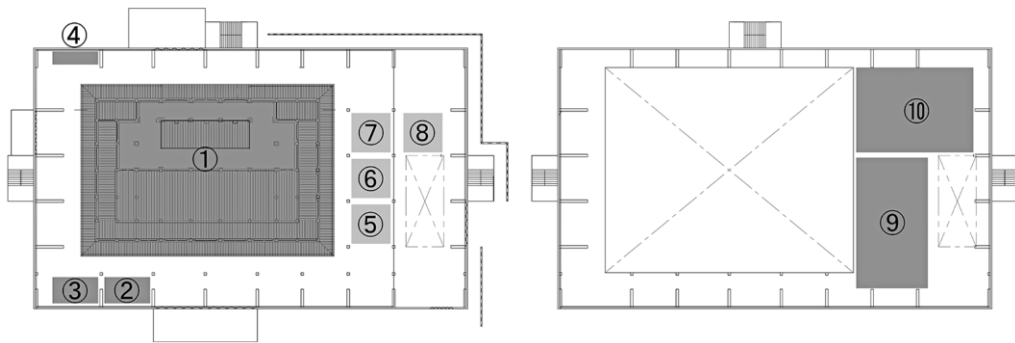


図3 くん蒸区画平面配置図 (1階 (左) と6階 (右))





写真10 第1区画建屋被覆作業

#### 参考文献

- 1) 木川りか, 他: 日光の歴史的建造物を加害するシバンムシ類の殺虫処理方法の検討, 保存科学, **50**, 141-155 (2011)
- 2) 小峰幸夫, 他: 日光山輪王寺の虫損部材を用いて行った木材保存剤の浸透試験, 保存科学, **52**, 113-117 (2013)
- 3) 公益団法人文化財虫菌害研究所: 文化財くん蒸処理標準仕様書 (改訂版) (2007)

キーワード: 輪王寺 (Rin-noh-ji temple); くん蒸 (fumigation); オオナガシバンムシ (*Priobium cylindricum*)

## Report on Fumigation Process Conducted at Rin-noh-ji Temple

Masahiko HARADA\*, Rika KIGAWA, Yukio KOMINE\*<sup>2</sup>  
and Yoshihisa FUJII\*<sup>3</sup>

A large scale fumigation process to control insect attack was conducted from July 17 to August 2, 2013 in the main hall of Rin-noh-ji temple in Nikko, Japan. It was revealed in the previous survey that the main structural members of the hall such as posts and beams had been severely attacked by *Priobium cylindricum*. Fumigation was conducted for the main hall (11,450m<sup>3</sup>) firstly and secondly for the disassembled wooden parts (2,672m<sup>3</sup>). For fumigation, sulfuryl fluoride gas was used. Based on the results of laboratory tests, the concentration of the fumigation gas was kept at 50 to 70g/m<sup>3</sup> with temperature higher than 20°C for 48 hours or more. To conduct the fumigation safely, special tools, equipment and plans were introduced, such as using an apparatus to supply fresh air to operators, procuring evacuation routes, and covering the hall and the stacked wooden members with special sheets.

---

\*Nikko Cultural Assets Association for the Preservation of Shrines and Temples

\*\*Japan Institute for Insect Damage to Cultural Properties      \*\*Kyoto University