

## 〔報文〕 湿度制御した温風処理における殺虫効果の検証

小峰 幸夫・佐藤 嘉則・原田 正彦<sup>\*1</sup>・北原 博幸<sup>\*2</sup>・  
木川 りか<sup>\*3</sup>・藤井 義久<sup>\*4</sup>

### 1. はじめに

栃木県日光市にある歴史的木造建造物では近年の調査で、オオナガシバンムシ *Priobium cylindricum*, クロトサカシバンムシ *Trichodesma japonicum*, エゾマツシバンムシ *Hadrobregmus pertinax* などのシバンムシ類の被害が確認され<sup>1~3)</sup>, 特に被害が甚大であった輪王寺本堂 (国指定重要文化財), 輪王寺大猷院霊廟二天門 (国指定重要文化財) においては2013年に, 二荒山神社別宮滝尾神社拝殿 (国指定重要文化財)・楼門 (国指定重要文化財), 東照宮奥社拝殿 (国指定重要文化財), 輪王寺大猷院霊廟別当所竜光院 (国指定重要文化財), 輪王寺慈眼堂拝殿 (国指定重要文化財) においては2014年に燻蒸による殺虫処理が実施された<sup>4)</sup>。

燻蒸は文化財分野では従来から行われている殺虫処理の手法の一つで, 一度にはほぼ完全に殺虫ができ薬剤の残留も少ないことが特徴であるが, 薬剤の取り扱いには安全対策上の制約が多いこと, 漏洩などによる周辺への影響が懸念されること, 薬剤の種類によっては処理期間中の温度により投薬量を変更しなければならないこと, 10℃未満の低温状態での処理では十分な殺虫効果が得られない<sup>5)</sup>ため寒冷地など地域によって実施期間が限られることなどの課題があり, これらの課題を解決すべき新たな殺虫処理の開発が求められている。

近年, ヨーロッパを中心に大型の木質文化財や建造物の処理に適応されつつある殺虫処理の手法の一つに湿度制御した温風殺虫処理 (以下, 湿度制御温風処理とする) がある。湿度制御温風処理は, 木材の含水率をできるだけ変化させないよう湿度を制御しながら加温して, 木材内部に生息する昆虫類などを駆除する処理である。

日本の歴史的木造建造物は, 複雑な建築構造で表面に漆や彩色が施されていることが多く, 湿度制御温風処理を日本で実用化するには殺虫効果のみならず木材や漆, 彩色への影響など様々な課題を解決して日本の文化財に適した独自の湿度制御温風処理に変える必要がある。これまでに日光社寺文化財保存会, 京都大学, 九州国立博物館, トータルシステム研究所, 文化財建造物保存技術協会, 国立民族学博物館, 千葉県立中央博物館, そして東京文化財研究所の専門家からなる研究チームで歴史的木造建築物での適用に向けたシステム開発のため, 基礎研究として湿度制御温風処理室を作製し, 処理中の部材内の温度分布, 漆仕上げ材の表面ひずみの計測などが行われた<sup>6,7)</sup>。その基礎研究の結果を基に, 実際の建造物を想定した温湿度制御ユニットを作成して, 小型の木造建造物での処理試験を経て, 2017年11月に栃木県日光市にある日光山中禅寺 (輪王寺別院) 愛染堂 (未指定) (以下, 愛染堂と省略する) で, 国内で初となる歴史的木造建造物の湿度制御温風処理に至った。これまでの既往研究の全体像やより詳細なデータ等については, 既報<sup>8,9)</sup>を参照されたい。

本研究は, 愛染堂において湿度制御温風処理が行われた際に, 供試虫を用いた殺虫効果判定

\*1公益財団法人日光社寺文化財保存会 \*2トータルシステム研究所 \*3九州国立博物館

\*4京都大学大学院農学研究科

と捕虫テープによる殺虫効果のモニタリング調査の検証を行ったのでその詳細を報告する。

## 2. 調査方法

### 2-1. 供試虫の選定

本研究では最初に湿度制御温風処理の殺虫効果判定に用いることが適切な供試虫の選定を行った。

文化財分野における燻蒸の殺虫効果判定にはコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* が供試虫として使用されている。コクゾウムシは文化財を害することがないこと、薬剤に対して一定の抵抗力があり一般的な文化財害虫の殺虫効果の指標となること、繁殖力が高く飼育しやすいこと、成長期間が供試虫として用いるのに適当であること、などの理由から使用されている<sup>10)</sup>。しかし、湿度制御温風処理の供試虫として考えた場合、コクゾウムシは温風には弱く35℃の飼育では繁殖せずにやがて死滅する<sup>11)</sup>こと、45℃に4時間以上さらすと供試した多くの幼虫と成虫が死亡するという報告<sup>12)</sup>もあるため、湿度制御温風処理の殺虫効果判定には不適である。日光にある歴史的木造建造物において実際に被害をおよぼしている甲虫類はシバンムシ類である<sup>1-3)</sup>が、木材を食害するシバンムシ類の人工飼育の研究は進んでおらず、いまだ確立されていない。野外におけるシバンムシ類の幼虫の成育期間や成虫の発生時期などの生態も不明で、供試虫としていつでも手に入る甲虫類ではない。そこで本研究では、人工飼育が可能で温風に耐性があると考えられる木材害虫のアフリカヒラタキクイムシ *Lyctus africanus* (以下、本種とする)を供試虫として選んだ。

本種はコウチュウ目ヒラタキクイムシ科に属し、体長は2.5~4.0 mmで体色は茶褐色をしており、熱帯から亜熱帯地域にかけて広く分布する甲虫である(図1)。日本では1981年に大阪府高槻市と茨木市の民家での発生例<sup>13)</sup>が報告されてから、近年では西日本から東北地方まで被害の発生が認められている害虫である<sup>14)</sup>。本研究で用いた本種は、京都大学生存圏研究所居住圏環境共生分野の吉村剛博士から2016年に譲り受けて、当研究所内で累代飼育を行っている。累代飼育は、京大式人工飼料(デンプン50%・酵母粉末24%・ラワン木粉またはセルロース粉末26%)<sup>15)</sup>を用い、25℃、55%RHの恒温恒湿器内で行っている。

### 2-2. 種付人工飼料の作成

直径10 cm、深さ8 cmのガラス製の腰高シャーレの底部にろ紙を敷き、直径約3 cm高さ約2 cmに成形して乾燥させた人工飼料[50% (w/w)可溶性デンプン、和光純薬工業；24% (w/w)ビール酵母粉末、自然健康社；26% (w/w)粉末セルロース、バルブスター]を2個と本種成虫のオス10個体、メス10個体を入れて15日間接触させて産卵させた。その後成虫を取り除き人工飼料を16日間飼育後、再び別の成虫のオス10個体、メス10個体を入れて10日間産卵させた。その後成虫を取り除いた人工飼料(以下、これを種付人工飼料とする)を試験に使用した。ここで、種付を2回行った理由は、本種の近縁種で木材害虫の

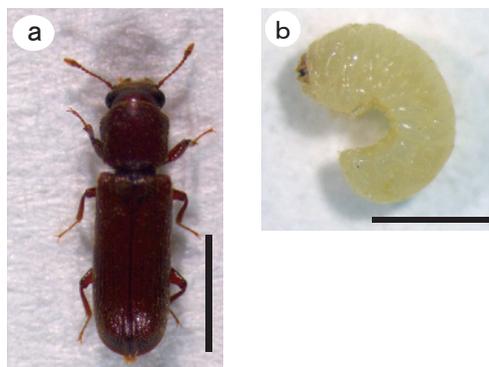


図1 供試虫として用いたアフリカヒラタキクイムシの成虫(a)と幼虫(b)  
(バーの長さは2 mm)

ヒラタキクイムシ *L. brunneus* の生態（卵期7日間前後，幼虫期45～60日）<sup>16)</sup>に基づき，湿度制御温風処理の時点で卵と幼虫が種付人工飼料に入るように調整したためである。

### 2-3. 殺虫効果判定試験材の作成

殺虫効果判定には，一片が30 cmのケヤキ材に以下のような加工をした。木材の末口を上にして中央部から中心部にむけて直径3 cm 深さ16 cmの穴を開け，穴の底部に種付人工飼料をいれた。その後，直径3.2 cm 長さ14 cmのケヤキ材の丸棒を穴に隙間なく入るように紙やすりで表面を削った後に栓をした。さらに加工部分から熱が伝わらないように縦横が30 cm，厚さ10 cmのポリスチレンフォームの断熱材（スタイロフォーム，ダウ加工）を被せてアルミテープ（スーパーアルミテープ VH，共同技研化学）で木材との接触面を塞いだ（以下，これを殺虫効果判定試験材とする，図2）。設置の際は，断熱材が下になるように設置した（図3）。

### 2-4. 湿度制御温風処理と処理後の殺虫効果判定

湿度制御温風処理は愛染堂で行われ，殺虫効果判定試験材は湿度制御温風処理前に堂内に設置した（図4）。湿度制御温風処理は2017年11月3日から11月16日の14日間行われ，その間愛染堂の堂内の温湿度は，処理開始時は18℃，73%RHで4.5日かけて60℃，83%RHにまで昇温・加湿した。60℃に到達後3日間保持し，その後4日かけて10℃，73%RHまで降温・除湿した<sup>8)</sup>。なお，湿度制御温風処理のシステムの仕様や使用機材等の詳細は別に報告<sup>8,9)</sup>があるため，ここでは割愛する。湿度制御温風処理終了後に殺虫効果判定試験材の内部にある種付人工飼料を取り出し容器に移し25℃，55%RHで31日間飼育して羽化した成虫の個体数を計数した。また，処理区と同様に作成した殺虫効果判定試験材を25℃に設定した研究室において18日間おいたものを無処理区とし，同様に25℃，55%RHで31日間飼育して羽化した成虫の個体数を計数した。

### 2-5. 捕虫テープによる捕獲調査

湿度制御温風処理の前年と翌年の期間に捕虫テープを設置して捕獲された木材害虫の種類と個体数について調査することで，湿度制御温風処理の殺虫効果についての評価を試みた。捕虫テープによる調査の方法は先の報告<sup>17)</sup>に準じて行った。捕虫テープは市販のハエ取り紙を使

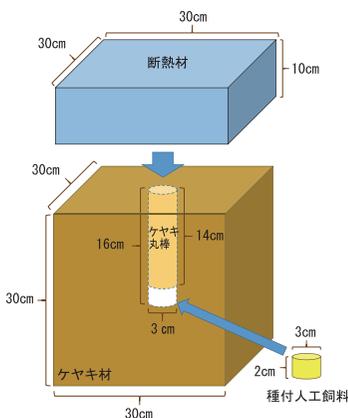


図2 湿度制御した温風処理に用いた殺虫効果判定試験材の模式図



図3 処理区に設置した効果判定試験材



図4 湿度制御した温風処理が行われた中禅寺愛染堂(a)と処理時の様子(b)

用し、愛染堂の堂内〔小屋裏、壇上、地袋中、室内（正面右、正面左）〕に合計102本の捕虫テープを設置した（図5）。設置期間は湿度制御温風処理前の2017年6月1日から8月31日、湿度制御温風処理後の2018年6月1日から8月31日までとした。その後回収した捕虫テープに捕獲された昆虫類の同定と個体数の集計を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. 本種を用いた殺虫効果判定の結果

処理区においては、湿度制御温風処理後に種付人工飼料を31日間飼育し、羽化する成虫を確認した結果、成虫の発生は全く見られなかった。その後湿度制御温風処理後56日間まで観察期

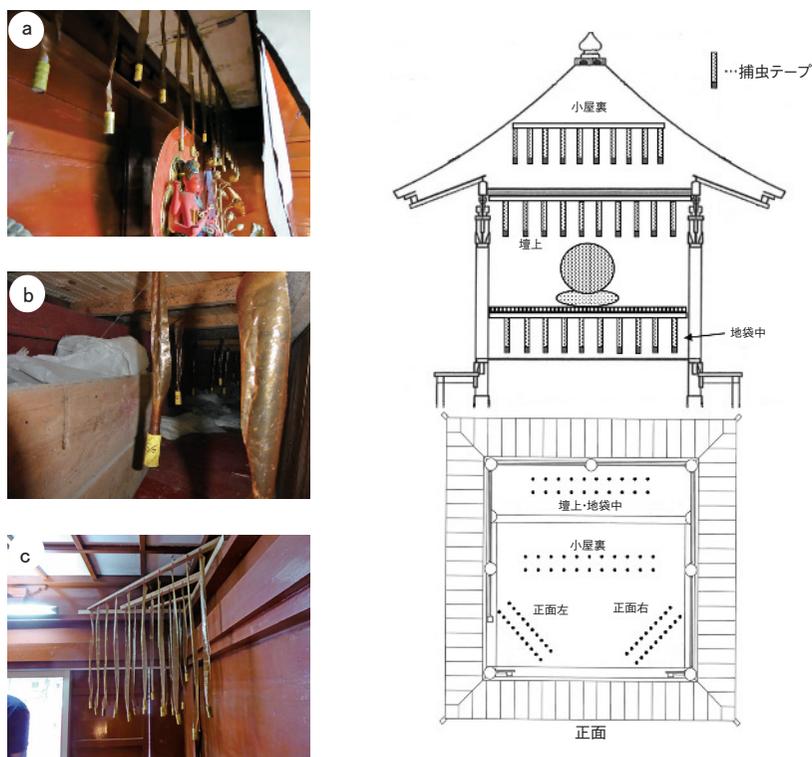


図5 中禅寺愛染堂内の捕虫テープ設置箇所と各箇所〔壇上(a), 地袋中(b), 正面左(c)〕の設置様子

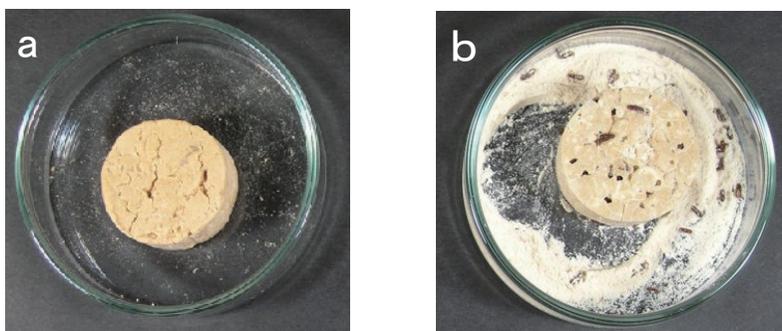


図6 各処理後 {処理区(a), 無処理区(b)} の種付人工飼料における成虫の発生状況

間を延期したが、成虫が発生することはなかった (図6 a)。一方、無処理区の種付人工飼料からは湿度制御温風処理後31日間で合計44個体の成虫の発生が見られた (図6 b)。このことから処理区に設置した種付人工飼料内の卵や幼虫は、殺虫効果判定試験材の内部まで目的とする温度に至ったために、高温によって死滅したものと考えられる。

なお、予備的な調査として、殺虫効果判定試験材の内部に種付人工飼料と一緒に蛹と成虫を各10個体入れて、処理区と無処理区の両方で致死を確認したところ、いずれの処理区でも死亡が確認された。無処理区においても蛹と成虫が死亡した理由は不明だが、供試虫を直接殺虫効果判定試験材の中に入れる方法は適切ではないことが確認された。これらのことから、種付人工飼料を用いて行う必要があることが本研究によって示された。

### 3-2. 捕虫テープによる捕獲結果

捕獲調査の結果は表1に示した。湿度制御温風処理前にあたる2017年に行った調査では、シバンムシ類甲虫は合計でエゾマツシバンムシが2個体、アカチャホソシバンムシ *Oligomerus japonicus* が50個体捕獲されたが、湿度制御温風処理後にあたる2018年の調査では、シバンムシ類甲虫は合計でエゾマツシバンムシが3個体、チビキノコシバンムシ *Sculptiheca hilleri* が1個体捕獲された。アカチャホソシバンムシは木材を加害する害虫で、成虫の捕獲数から推測すると2017年は建物の部材に生息していた幼虫が成虫となって部材から脱出した個体が捕虫テープに捕獲された可能性が高いと考えられる。一方、2018年は湿度制御温風処理により部材

表1 捕虫テープによる捕獲調査の概要と結果

設置場所 (愛染堂)	設置本数	2017年6月1日から8月31日				2018年6月1日から8月31日			
		シバンムシ類	(個体数)	その他甲虫	(個体数)	シバンムシ類	(個体数)	その他甲虫	(個体数)
小屋裏	22	エゾマツシバンムシ	(1)	ハナノミ科 ゴミムシ科	(3) (1)	エゾマツシバンムシ	(1)	ハナノミ科	(2)
正面右	20	エゾマツシバンムシ	(1)	コメツキムシ科	(1)	エゾマツシバンムシ	(2)	ハナノミ科	(2)
		アカチャホソシバンムシ	(11)	カツオブシムシ科 ハナノミ科	(4) (1)			カツオブシムシ科	(4)
正面左	20	アカチャホソシバンムシ	(22)	ジョウカイボン科	(1)	-		カツオブシムシ科	(2)
				カツオブシムシ科	(3)			ハナノミ科	(1)
地袋中	20	-		ハナノミ科	(1)	チビキノコシバンムシ	(1)	ハナノミ科	(1)
				ジョウカイボン科	(1)				
壇上	20	アカチャホソシバンムシ	(17)	コメツキムシ科	(4)	-		ハナノミ科	(3)
				カツオブシムシ科	(1)			ハムシ科	(1)
				ハナノミ科	(1)				

内部に生息するアカチャホソシバンムシの個体が死亡したため、設置した捕虫テープに捕獲されなかったと考えられる。エゾマツシバンムシやチビキノコシバンムシはともに捕獲数が少ないことから、屋外環境から侵入した個体が捕獲されたと推察される。シバンムシ類以外の甲虫類ではハナノミ科、ゴミムシ科、コメツキムシ科、カツオブシムシ科、ジョウカイボン科、ゴミムシダマシ科、ハムシ科に含まれる甲虫類が捕獲された。これらの甲虫類はそれぞれの甲虫の生態やその捕獲数から判断して、建物内で発生しているのではなく屋外環境から侵入したものが捕獲された可能性が高いと考えられる。

捕虫テープは設置した場所のすべての昆虫を捕獲することはできないものの、日常的なモニタリング調査を通じて被害の早期発見を行う目的にのみならず、殺虫処理の効果判定にも用いることが可能であることが本研究によって示唆された。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では湿度制御した温風処理が愛染堂で行われた際にその殺虫効果の検証のため、殺虫効果判定試験材を用いた殺虫効果判定と湿度制御温風処理前後に行った捕虫テープによる捕獲調査を行った。供試虫にはアフリカヒラタキクイムシを選定し、卵と幼虫が入るように調整した種付人工飼料を開発した。これを30 cm 角のケヤキ材の中央部に封入して湿度制御温風処理の処理空間内に設置した。湿度制御温風処理後に一定期間飼育したところ、処理区の種付人工飼料からは成虫の発生は全く見られなかった。これらのことから、本研究で作成した種付人工飼料と殺虫効果判定試験材は湿度制御した温風処理の殺虫効果判定に有効であると考えられる。一方、捕虫テープを用いた捕獲調査では、シバンムシ類成虫の発生が見られる時期の6月から8月に同条件で処理前後に設置して捕獲された昆虫類の種類と個体数を調査した。その結果、湿度制御温風処理前の2017年に多数捕獲された木材害虫のアカチャホソシバンムシが湿度制御温風処理後の2018年には捕獲されなかった。これは湿度制御した温風処理によって木材内部に生息するアカチャホソシバンムシの殺虫効果が得られたことを示す調査結果であると考えられる。

今後は別の歴史的木造建造物において同様の殺虫効果判定試験材を用いた殺虫効果判定の現地検証を重ねて、その有効性について検証していく予定である。また、供試虫に用いた本種について温度と致死率に関する詳細な基礎研究を行い、本種が木造建造物における湿度制御した温風処理の殺虫効果判定の供試虫として実用化できるように研究を進めていくことが課題と考える。湿度制御した温風処理は、従来の燻蒸殺虫処理が直面した諸問題を克服する新しい技術として期待されている。湿度制御した温風処理の普及に向けては、別の歴史的木造建造物で現地検証を行うとともに、手法の安全性の評価や運用面での最適化を図ることなどが当面の課題として挙げられる。

#### 謝辞

本稿をまとめるにあたり日光山輪王寺の関係者の皆様には現地調査を始め多大なるご協力をいただきました。本研究に用いたアフリカヒラタキクイムシは京都大学生圏研究所居住圏環境共生分野の吉村剛博士からご提供いただきました。また、捕獲調査の集計結果には東京藝術大学大学院生の岡部迪子氏（現在、東京文化財研究所保存科学研究センター）、中村舞氏、英国レスター大学大学院の池田華衣氏にご協力いただきました。以上、ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 小峰幸夫、木川りか、原田正彦、藤井義久、藤原裕子、川野邊渉：日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバムシ *Priobium cylindricum* による被害事例について、保存科学、48、207-213 (2009)
- 2) 小峰幸夫、原田正彦、野村牧人、木川りか、山野勝次、藤井義久、藤原裕子、川野邊渉：日光山輪王寺本堂におけるオオナガシバムシの発生状況に関する調査について、保存科学、49、173-181 (2010)
- 3) 小峰幸夫、林美木子、木川りか、原田正彦、三浦定俊、川野邊渉、石崎武志：日光の歴史的建造物で確認されたシバムシ類の種類と生態について、保存科学、50、133-140 (2011)
- 4) 原田正彦、木川りか、小峰幸夫、藤井義久：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—、保存科学、53、215-224 (2013)
- 5) 文化財虫菌害研究所編：文化財の殺虫・殺菌処理標準仕様書2016年版、公益財団法人文化財虫菌害研究所 (2016)
- 6) 木川りか、北原博幸、秋山純子、赤田昌倫、藤井義久、藤原裕子、岩橋神奈子、泊智子、光山文枝、山崎久美子、トム ストラング、本田光子、今津節生：博物館展示資料の加湿温風による殺虫処理について—山笠土台部材の処理事例—、文化財保存修復学会第38回大会研究発表要旨集、132-133 (2016)
- 7) 竹口彩、藤原裕子、藤井義久、木川りか、佐藤嘉則、古田嶋智子、犬塚将英：湿度制御した温風処理による漆仕上げ材の表面ひずみの測定、保存科学、56、165-174 (2017)
- 8) 藤井義久、原田正彦、北原博幸、藤原裕子、木川りか、佐藤嘉則、小峰幸夫、犬塚将英、古田嶋智子、日高真吾、斉藤明子、福岡憲：湿度制御した温風処理による甲虫類の駆除—社寺建築における効果の検証—、文化財保存修復学会第40回大会研究発表要旨集、46-47 (2018)
- 9) 原田正彦：現場レポート 栃木県日光二社一寺建造物保存—湿度制御した温風処理による新たな殺虫方法の検討—、文建協通信、130、120-122 (2017)
- 10) 山野勝次：燻蒸効果判定用昆虫テストサンプルについて、文化財の虫菌害、26、33-36 (1993)
- 11) 原田豊秋：食糧害虫の生態と防除、光琳書院 (1971)
- 12) 岩田泰幸：殺虫処理効果判定用テストサンプルの高温耐性の検討、文化財の虫菌害、74、21-26 (2017)
- 13) 岩田隆太郎：ケプトヒラタキクイムシおよび本邦未記録種アフリカヒラタキクイムシの発生例、家屋害虫、13・14、60-63 (1982)
- 14) 古川法子、吉村剛、今村祐嗣：ヒラタキクイムシ類による家屋被害調査—加害種および発生地域の特定制—、木材保存、35 (6) 260-264 (2009)
- 15) 岩田隆太郎：ヒラタキクイムシの生態と飼育 (2) 飼育法、家屋害虫、14 (1)、28-41 (1992)
- 16) 岩田隆太郎：ヒラタキクイムシの生態と飼育 (1) 生態、家屋害虫、12 (2)、143-149 (1990)
- 17) 林美木子、小峰幸夫、木川りか、原田正彦、川野邊渉、石崎武志：日光の歴史的建造物において捕虫テープ(ハエ取り紙)に捕獲された甲虫の集計方法と調査結果、保存科学、50、123-132 (2011)

キーワード：湿度制御温風処理 (humidity-controlled warm-air treatment)；殺虫効果 (Insecticidal effect)；シバムシ (death watch beetle)；歴史的木造建造物 (historic wooden buildings)；害虫調査 (survey on pests)；生物劣化 (biodegradation)

## Investigation of Insecticidal Effect under Humidity-controlled Warm-air Treatment

Yukio KOMINE, Yoshinori SATO, Masahiko HARADA\*,  
Hiroyuki KITAHARA\*<sup>2</sup>, Rika KIGAWA\*<sup>3</sup> and Yoshihisa FUJII\*<sup>4</sup>

“Humidity-controlled warm-air insecticidal treatment” enables elimination of insects living inside wood by gradually increasing the temperature up to 60 degrees Celsius and regulating the humidity without altering the water content of the wood.

To investigate the insecticidal effect of this process conducted at Aizen-do Hall, two methods were examined: evaluation of insecticidal effect and insect trap investigation using adhesive tapes.

*Lyctus africanus* was selected as a test insect. A specialized artificial feed containing eggs and larvae was developed. Later on, this feed was enclosed in the center of zelkova lumber and mounted in an environmental chamber.

As a result, after rearing the insect under treatment for a certain period, no adult bugs developed from the artificial feed. For this reason, this research revealed that the use of artificial feed is an effective measure for investigating insecticidal effect under high-temperature treatment. Trap investigation was conducted during the most abundant season for the Anobiid species, and the number of species and individuals were studied. As a result, wood-boring insect, *Oligomerus japonicus*, which was frequently caught before the treatment was not caught afterward. This insecticidal treatment is thought to be effective towards *O. japonicus* living internally in wooden materials.

---

\* Association for the Preservation of the Nikko World Heritage Site and Temples

\*<sup>2</sup>Institute of Total System

\*<sup>3</sup>Kyushu National Museum

\*<sup>4</sup>Kyoto University