

〔資料〕 空調設備のない収蔵施設の保存環境調査 —岐阜県関市春日神社の取り組み—

小野寺 裕子・小峰 幸夫・森島 一貴*・佐藤 嘉則

1. はじめに

日本の社寺において宝物等を収蔵する施設の中には、規模が小さく空調設備が備えられていない施設が数多く存在している。空調設備を備えていない収蔵施設は、高温多湿の環境に対応するために、高床式にしたり、収蔵施設内に空気層を設けたり、庫内に調湿材料を用いたりして温湿度変化を抑えるための工夫が必要であると指摘されている¹⁾。かつての文化庁の保存施設設計の指針でも、床下などにスペースを設けて換気口を確保し、季節やその日の天候にあわせて換気量を調整して庫内の環境制御を行う自然換気方式が提唱されていた。

しかし、その地域の気候特性や管理体制の限界などから保存環境を良好に維持管理していくことが困難な事例もあり、継続的に温湿度の変化が大きかったり、最終的にカビ被害が起こったりしてしまう収蔵施設も多い。これらを踏まえて指針は見直され、従来の自然換気方式に高气密高断熱構造・機械空調補助方式を追加した新しい方式が提唱されている²⁾。

そこで本稿では、一つの事例研究として空調設備のない収蔵施設における湿度制御と生物被害対策について、岐阜県関市春日神社の神宝殿を対象とし、平成29（2017）年4月から3年間に渡って行った温湿度調査を行いながら、状況に合わせて実施した保存環境改善策の効果について報告する。

2. 現地調査

2-1. 調査地

岐阜県関市の春日神社境内の南東に位置する春日神宝殿は、昭和33（1958）年2月に竣工した。鉄筋コンクリート寄棟造りの高床式で、建坪は四坪半、容積約27 m³である（図1）。建造にあたっては、耐震耐火を考慮して鉄筋コンクリートとし、また湿気などを考慮して通風の良い高床式とし、室内の湿度を調整するために建物の壁面左右に1か所ずつ、床の四隅に1か所ずつ換気口が設けられている。壁面左右の換気口には、それぞれに換気扇1台が取り付けられている。神宝殿内には、国指定重要文化財の能装束や古楽面などを収蔵している³⁾。

2-2. 調査の経緯

平成28（2016）年11月、神宝殿で収蔵している服飾品や古楽面などに、カビ被害が発生しているのではないかと連絡を受けて、カビ被害状況の目視確認と拭き取り用清浄度検査キット（ルシパックⅡ、キッコーマン株式会社）を用いてサンプリングし、ポータブルルミノメータ（ルミテスター C-110、キッコーマン株式会社）によるATP測定を行った。その結果、7点の古楽面にカビの菌糸が確認され、滅菌綿棒でカビ発生部位から採取した試料ではいずれも高いATP発光量（2,140～3,949 RLU）が確認された。さらに神宝殿内には、収蔵品だけでなく

*関市文化財保護センター



図1 神宝殿の外観

収蔵棚や保存箱にもカビ被害が認められており、保存環境をすみやかに改善しなければ収蔵品の生物被害が進行し、これ以上現地で保存していくことが難しくなると考えられた。そこで、カビ発生の最大の原因と考えられた湿度について現状の把握を行い、その後状況にあわせた改善策を試行することとした。

2-3. 温湿度の計測

神宝殿内の温湿度を把握するため、平成29（2017）年4月7日から神宝殿内外の4か所（①右換気口側、②中央、③左換気口側、④屋外）に温湿度データロガー（HOBO UX100-011, Onset 社）を設置して、30分間隔で計測した（図2）。さらに、同年8月8日から古楽面の桐製保存箱内（⑤桐箱内）にもデータロガーを設置して計測した。これを令和2年（2020）年3月31日まで継続して測定を行った。

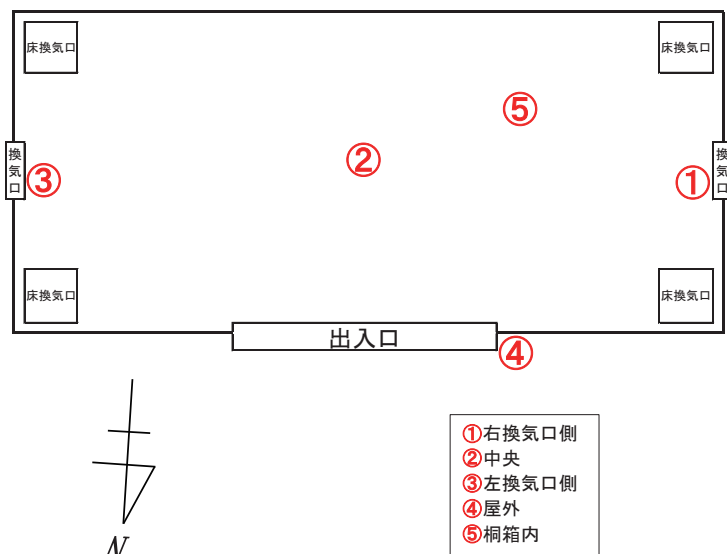


図2 データロガー設置平面図

2-4. 各年度の環境調査と対策

平成29（2017）年度は、害虫トラップ調査を実施した。調査は誘引物質の含まれていない粘着トラップを神宝殿内4か所に設置して、①4月7日から5月16日、②5月16日から6月30日、③6月30日から8月8日、④8月8日から10月17日、⑤10月17日から12月28日、⑥12月28日から翌2月21日まで合計で6回調査を実施した。また、神宝殿に収められている全ての収蔵品を2月22日から23日にかけて、別の場所に運び出し、内部の除塵清掃を行った（図3）。

平成30（2018）年度は、6月7日に神宝殿内の壁面左右の換気口に1台ずつあった換気扇を撤去した。これは壁面の換気扇が内部の相対湿度が60% RHより高くなると稼働する設定となっていたためである。この設定のために屋外の方が湿度の高い雨天時であっても内部の相対湿度が高い場合には換気が行われており、高湿度の空気を積極的に取り込んでしまっていた。屋外の湿度が低く、神宝殿内が高い場合には換気による除湿が期待できるが、神宝殿は特別な用務のない限り閉め切っているため、雨天時は運転を止めるなど天気に合わせてこまめに換気扇を稼働することは運用上難しいことからこのような処置に至った。換気扇を取り外した後の換気口と床にある換気口には、断熱材（スタイロフォーム）を詰め込んで換気口を閉じた（図4）。

平成31（令和元）（2019）年度は、6月17日に断熱材を詰め込んだ壁面の換気口を利用してデシカント方式の除湿機（カラリエ JKT10VS、ダイキン工業株式会社、定格排出水分量：10 L/day）を壁面右換気口側に1台設置した（図5）。本機は、室内の空気中に含まれる水分をデシカントエレメントに吸着させ、ヒーターにより高湿度の空気として気体のまま屋外へ排出するものである。その際、室内の湿気のみを凝縮して排出するため、排出空気は微量であり、ターボモードで運転した場合でも排気風量は $0.35 \text{ m}^3/\text{min}$ であるため、室内が陰圧になることで外気流入が起こり、流入部が局所的に高湿度となりにくい。また、空気中の水分を冷却し結露させて除湿するコンプレッサー方式と比較して、本機はヒーターにより、室内温度が上昇するデメリットがあるが、冬季の気温の低い時期にコンプレッサー方式と比較して除湿能力が落ちないというメリットがある。本機は排水処理が不要であり、換気口を利用して設置できることから選択した。内部センサーで相対湿度が60% RHを超えると稼働し、下回ると自動停止する設定で運用した。



図3 神宝殿内の除塵清掃の様子

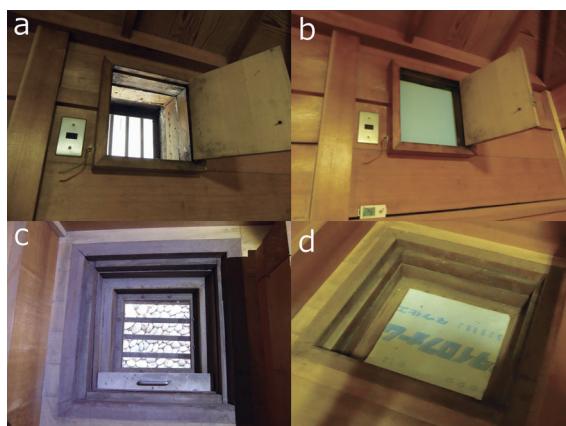


図4 壁面換気口対策前 (a) と対策後 (b), 床換気口対策前 (c) と対策後 (d)



図5 除湿機設置の様子

3. 調査結果および考察

3-1. 平成29 (2017) 年度の温湿度変動と対策効果

平成29 (2017) 年4月7日から平成30 (2018) 年3月31日までのデータロガーによって計測された温度, 相対湿度, 絶対湿度をグラフに示す (図6)。なお, データロガーの不具合により計測されなかった期間があり, グラフ内でのデータ欠損箇所が該当する。

神宝殿内 (保存箱内も含む) の温度は, 屋外の温度変化の影響を受けて8月頃に高温のピークに達して, 2月頃に低温のピークに達している (図6 a)。相対湿度は, 5月から7月は60% RH 前後を推移していたが, それ以降は夏季だけでなく冬季でも70% RH 前後を推移していた (図6 b)。神宝殿は年間を通して高湿度環境であり, カビ発生の指標となる60% RH を超えている期間が長いと顕著なカビ被害が発生したと考えた。

害虫トラップ調査の結果は, 文化財害虫としてはゴキブリ類とチャタテムシ類が捕獲された (表1)。ゴキブリ類は, 捕獲数が少ないことから判断すると屋外から偶発的に侵入してきたものと考えられる。チャタテムシ類は内部発生が疑われるが, 塵埃の蓄積と高湿度環境が生育に

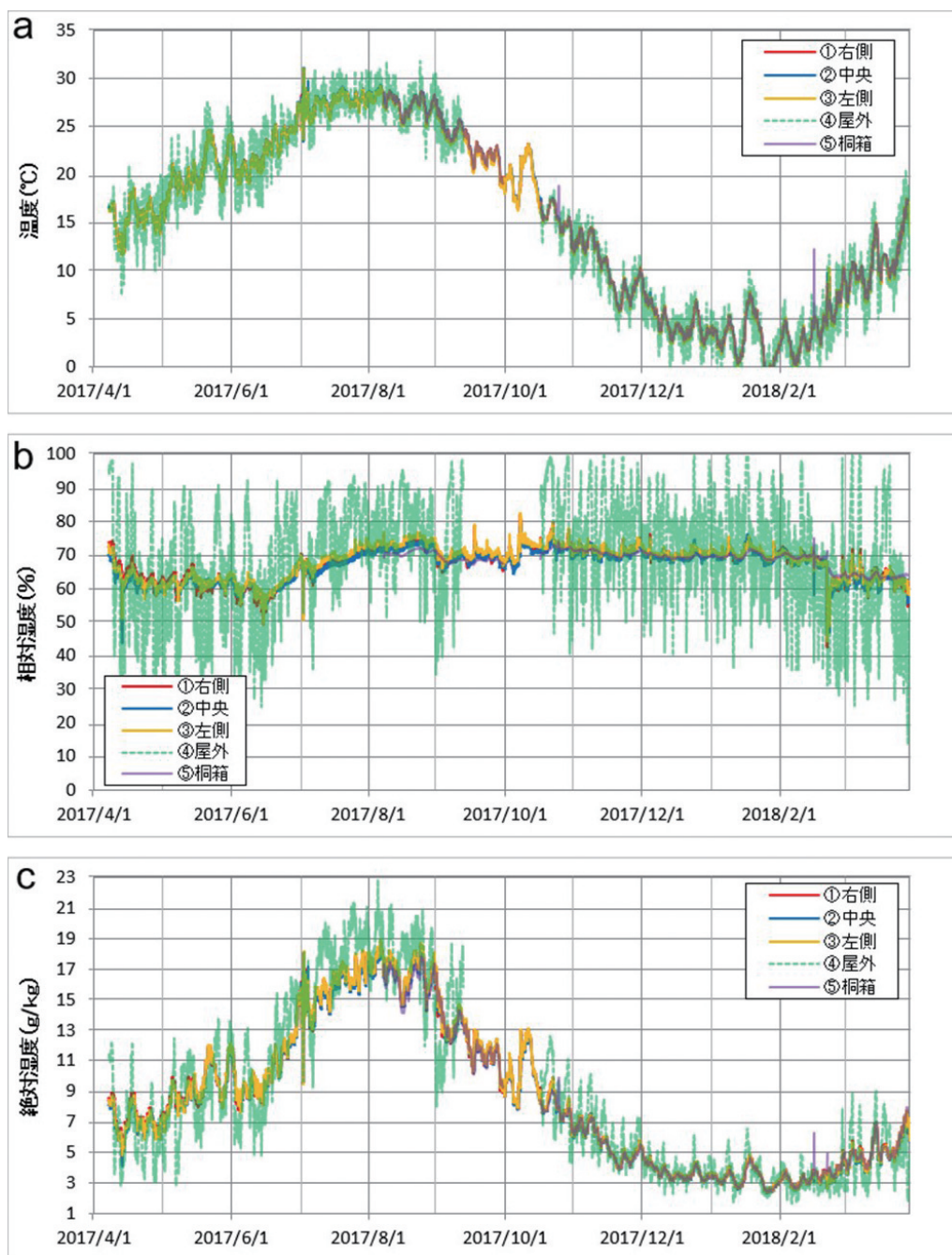


図6 2017年度のグラフ温度 (a), 相対湿度 (b), 絶対湿度 (c)

表1 神宝殿内で捕獲された生物

調査回数	調査期間	捕獲された生物（個体数）
1回目	4.7～5.16	チャタテムシ類(1), クモ類(9), トビムシ類(1), コバエ類(6)
2回目	5.16～6.30	ゴキブリ類(1), チャタテムシ類(8), クモ類(7), トビムシ類(2)
3回目	6.30～8.8	チャタテムシ類(8), クモ類(3), トビムシ類(8), コバエ類(1)
4回目	8.8～10.17	ゴキブリ類(1), クモ類(5), トビムシ類(1), コバエ類(3), アリ類(3), ワラジムシ類(1)
5回目	10.17～12.28	クモ類(13)
6回目	12.28～2.21	クモ類(1)

有利であるため、除塵清掃を実施していなかったことと高湿度環境であることが原因と考えられた。文化財害虫以外では、トビムシ類、クモ類などが捕獲された。それでも調査前に想定したよりも捕獲数は少なく、高床式の構造が生物の侵入を妨げていることが理由の一つと考えた。2月22日から23日にかけて収蔵品を全て別の場所に移動し、内部の除塵清掃を実施した。これはチャタテムシ類の制御に効果があったと予想されるが、その後に害虫モニタリング調査を実施することができなかったため効果の検証をすることはできなかった。

3-2. 平成30（2018）年度の温湿度変動と対策効果

平成30（2018）年4月1日から平成31（2019）年3月31日までの温湿度の推移を図7に示す。神宝殿内の温度は、前年と比較すると8月頃はより高温となった。6月7日に換気扇撤去・換気口封鎖を行ったため、気密性が上がったことが温度上昇に繋がったと考えたが、屋外の温度をみると前年よりも高かったため、年変動による温度上昇ではないかと考えた（図7 a）。相対湿度は、7月中旬までの推移は前年と同様であったが、8月以降緩やかに低下していく傾向を示した（図7 b）。これは、換気扇撤去・換気口封鎖によって、雨天時など屋外が高湿度の際に神宝殿内に空気を取り込まなくなった効果であると考えた。それでも年間を通して60% RHを下回ることではなく、依然としてカビ発生が起こる相対湿度を推移した。

3-3. 平成31（令和元）（2019）年度の温湿度変動と対策効果

平成31（令和元）（2019）年4月1日から令和2（2020）年3月31日までの温湿度の推移を図8に示す。6月にデシカント方式の除湿機を1台導入した。その後は神宝殿内の温度（特に除湿機側に設置した①右換気口側の温度）がやや上昇した。屋外の温度よりも高い日もあることから、除湿機からの排熱の影響と考えられる。一方で、冬季は気密性が上がったことと除湿機の排熱の影響から低温のピークが緩やかとなった（図8 a）。相対湿度については、除湿機の稼働後は60% RHを下回るようになり、年間を通して55% ± 5%を推移した（図8 b）。

除湿機導入前の平成29（2017）年8月と平成30（2018）年8月、導入後の令和元（2019）年8月の神宝殿内（中央）と屋外の相対湿度と絶対湿度を比較した（表2）。平成29（2017）年と平成30（2018）年は相対湿度、絶対湿度ともに神宝殿内の数値が屋外とほとんど変わらないのに対して、令和元（2019）年は神宝殿内の数値を低く抑えることができていた。除湿機導入後の神宝殿内は、絶対湿度が下がっているため、温度が上がったことによって相対湿度が下がったのではなく、神宝殿内の水分が減少した結果と言える。

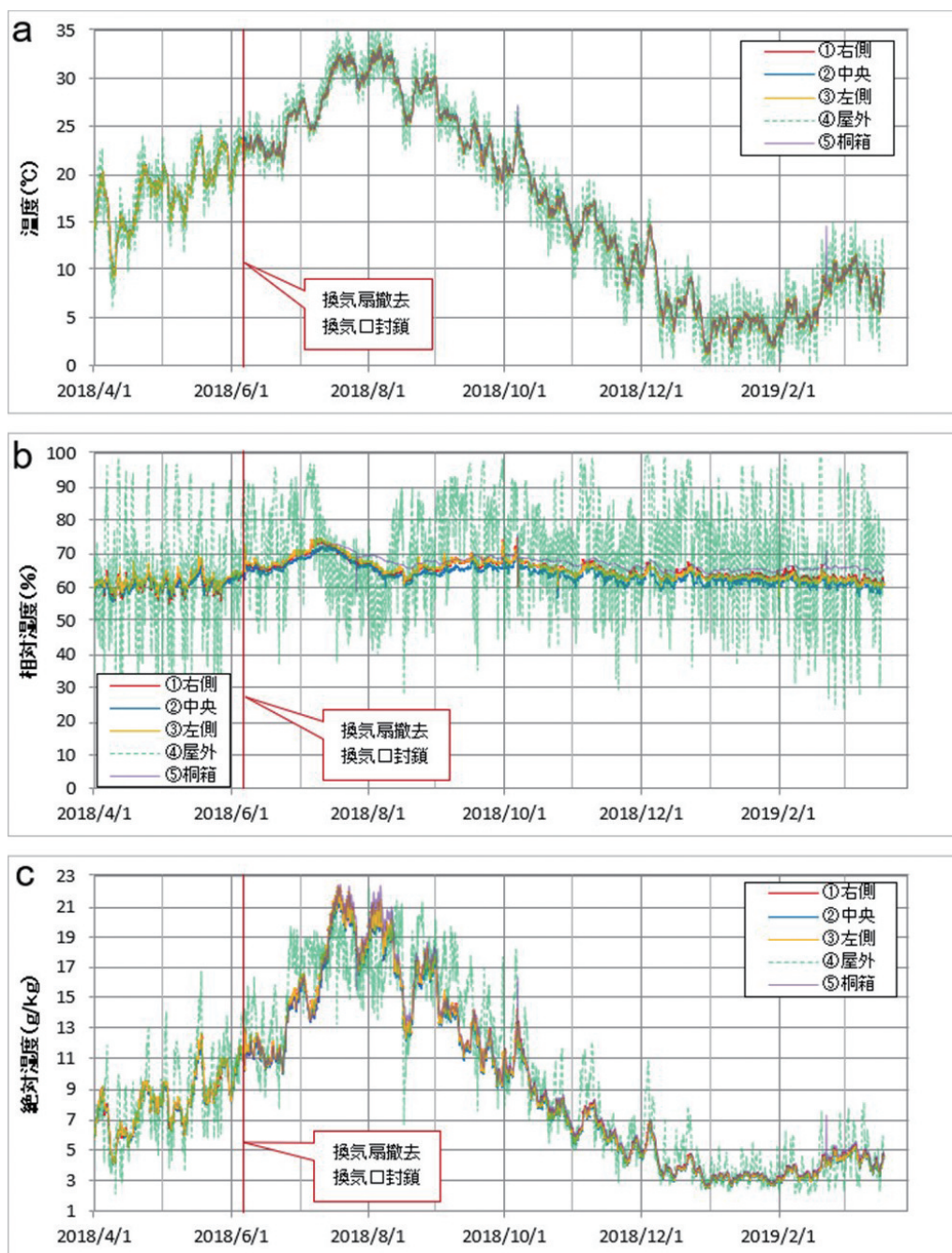


図7 2018年度のグラフ温度 (a), 相対湿度 (b), 絶対湿度 (c)

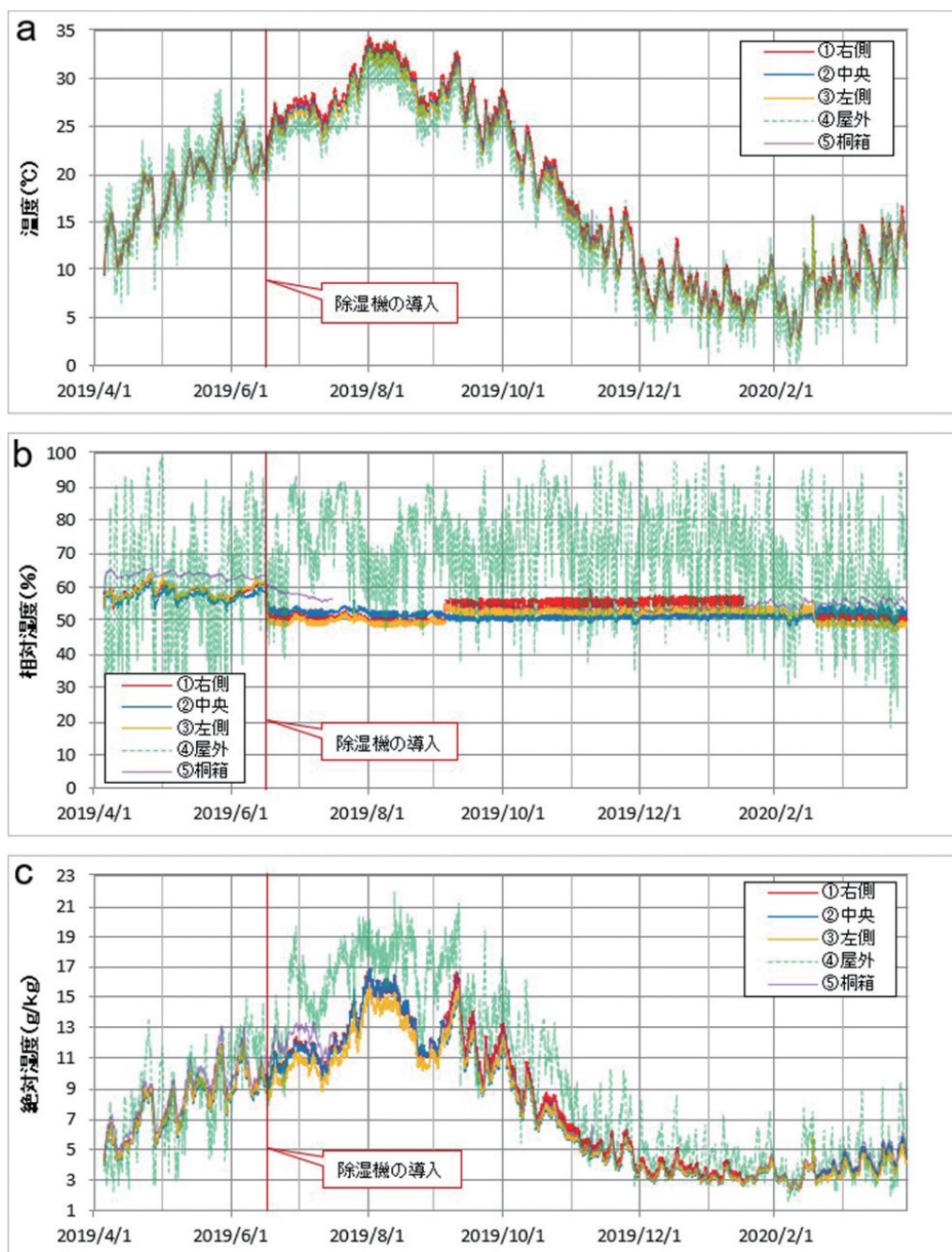


図8 2019年度のグラフ温度 (a), 相対湿度 (b), 絶対湿度 (c)

表2 除湿機導入前後の相対湿度，絶対湿度の比較

除湿機	年月	相対湿度 (%)		絶対湿度 (g/kg)	
		神宝殿内 (中央)	屋外	神宝殿内 (中央)	屋外
導入前	2017年 8 月	72.1±1.1	77.7±10.2	16.8±0.9	17.9±2.0
	2018年 8 月	63.7±1.4	65.6±12.4	17.1±2.2	17.2±2.6
導入後	2019年 8 月	51.9±0.5	70.0±10.8	14.2±1.8	17.5±1.8

4. まとめ

本稿では，空調設備のない収蔵施設における湿度制御と生物被害対策の事例研究として岐阜県関市春日神社の神宝殿を対象とした温湿度調査と環境改善のための除湿対策効果について検証した。神宝殿内の不適切な換気システムが内部の湿度上昇を招いていることが分かり，換気扇の撤去と換気口の封鎖によってある程度湿度の低下が確認された。常時閉鎖されている収蔵施設であるため，排水管理が必要な除湿機の導入は不可であったが，換気口を利用できる排水処理が不要なタイプのデシカント方式の除湿機の導入によって，さらなる湿度の低下を達成し，年間を通してカビが発育することのない相対湿度である55%±5%を維持することができた。調査開始時のカビ被害の状況は大幅に改善され，現在では目視観察ではカビがほとんど観察されない状況になった。また，水分を含んで膨張し，開閉が困難であった木製保存箱や箆笥の引き出しも，現在では容易に開閉できるようになった。その一方で，温度は制御できず，夏季の高温と冬季の低温と年間を通しての変動については課題として残った。本報告が空調設備のない収蔵施設での保存環境改善の一助となれば幸いである。

謝辞

本稿をまとめるにあたり，関市春日神社宮司の伊佐地金嗣様をはじめ関係の皆様には多大なご協力を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 登石健三、見城敏子：文化財の保存対策、文化財虫菌害防除概説、138－157（1991）
- 2) 文化庁文化財部美術工芸課：文化財（美術工芸品）保存施設、保存活用施設設置・管理ハンドブック（2015）
- 3) 関春日神社文化財保護委員会：文化財のかすが（1975）

キーワード：関市春日神社（Seki Kasuga Shinto shrine）；収蔵庫（storage）；保存環境（conservation environment）；温度湿度変動（temperature humidity variation）；デシカント方式除湿機（desiccant dehumidifier）

Study on Conservation Environment in a Storage Facility without Air Conditioning Equipment: The Case of Seki Kasuga Shinto Shrine, Gifu Prefecture

ONODERA Yuko, KOMINE Yukio, MORISHIMA Kazuki* and SATO Yoshinori

In the present paper, as a case study of humidity control and biological damage countermeasures in a storage facility without air conditioning equipment, temperature and humidity surveys were conducted and the effect of dehumidification for environmental improvement of the Shimpoden at the Kasuga Shinto Shrine in Seki City, Gifu Prefecture was tested. It was confirmed that improper ventilation system caused an increase in internal humidity, and a decrease in humidity was confirmed to some extent by removing the ventilation fan and closing the ventilation port in Shimpoden.

Since Shimpoden is a storage facility that is always closed, it was not possible to introduce a dehumidifier that requires drainage management, but with the introduction of a desiccant dehumidifier that can use ventilation openings, a further reduction in humidity was achieved. Additionally, it was possible to maintain a relative humidity of $55\% \pm 5\%$ throughout the year, which is the suggested environment in which molds would hardly grow. The condition of mold damage at the start of the survey has improved significantly, and now mold is hardly observed visually.

*Seki Protection Center for Cultural Properties