

博物館・美術館施設における文化財保存環境に関する諸問題

京都大学大学院工学研究科准教授 伊庭千恵美

はじめに

博物館や美術館施設の収蔵庫や展示室では貴重な資料が保管・展示されており、厳密な環境管理が要求される。筆者らはこれまで、環境管理の現状と問題点を明らかにすることを目的に、国内数か所の博物館・美術館施設において、収蔵庫や展示室の温湿度環境や空調にかかる消費電力の測定を行い、各施設でのヒアリング調査を行ってきた。

貴重な資料を保管するという性質上、実際の温湿度環境やエネルギー消費量、資料になんらかの悪影響が生じる状況やその原因については公になりにくく、各施設の管理者や保存担当の学芸員が独自に試行錯誤して管理している現状がある。

本報告では、これらの調査から得られた文化財の保存環境に関する諸問題について述べた後、実際に調査を行った博物館施設の事例を紹介する。

1. 気候変動と社会情勢の変化

博物館や美術館施設の収蔵庫や展示室では厳密な環境管理が要求される。特に湿度に関しては、高湿によるカビや錆の発生、加水分解、吸湿膨張が生じたり、低湿による乾燥収縮が生じたりするなど、適切な制御を行わなければ資料に対して生物的・化学的・物理的劣化を生じさせる可能性があり、保存・展示の現場においても重要視されている。

しかしながら、世界中が気候変動へ対応を迫られる昨今、日本においても今後湿度制御がより困難になることが懸念されている。図1は、1970年から2023年までの東京における各年の6～8月の3か月の外気温と外気の水蒸気圧の平均値をプロットし、5年移動平均をとったものである。一般に温暖化の影響と言われる気温も上昇傾向ではあるが、2010年頃から水蒸気圧が著しく上昇していることが見てとれる。2023年度の値は27℃、77%

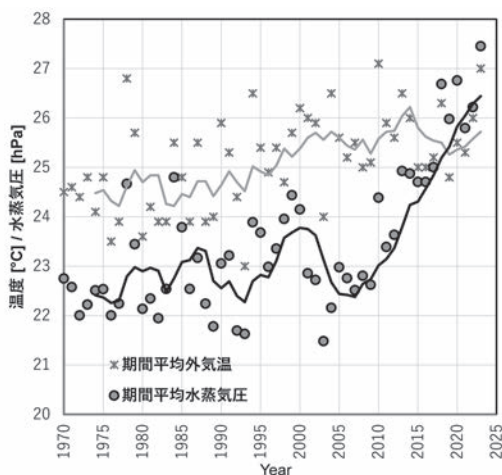


図1 東京における各年の6・7・8月の外気温と水蒸気圧の平均値(気象庁ウェブサイトより)
※水蒸気圧は筆者が計算により求めたもの

RH となっており、この時の露点温度は22.7℃である。次節で述べる温湿度管理基準に照らすと、収蔵庫や展示室において、従来通りの空調設備設計では対応しきれない、あるいは多大なエネルギーを要することが予測できる。

これに加え、近年のエネルギーコストの高騰が、博物館施設の運営をさらに困難にしている。2022年末には「光熱費の高騰により国宝等の文化財の保存が危ぶまれる」として東京国立博物館長が雑誌に緊急寄稿し、2023年には国立科学博物館が資料保存のための光熱費・原材料費の高騰を理由にクラウドファンディングで資金調達を行うなど、適切な保存環境の構築と省エネルギーの両立は喫緊の課題といえる。

2. 保存環境の指針の現状

2.1 保存・展示環境の温湿度管理基準

国内における環境管理の基準は、国宝・重要文化財を所有者から借用し展示を希望する場合は文化財保護法53条の規定に則る。文化財の展示空間や収蔵庫の環境調査を行い、文化財に適した環境であることを確認・報告し、文化庁長官の許可を得る必要がある。その際の温湿度基準は、国宝・重要文化財の公開に係る施設の要件を定めた「国宝・重要文化財の公開に関する取扱要項」(平成30年10月改訂)に展示環境の目安として記載された値(表1)が参照される。本要項では、温度に関しては「地域の夏期及び冬期の平均外気温の変化に応じ、季節によって緩やかな温度の変動はあっても良い」とされているが、相対湿度は「年間を通じて一定に維持すること」とされている。

それ以外の文化財に関しては、ICOM(国際博物館会議)、IIC(国際文化財保存学会)、ASHRAE(アメリカ暖房冷凍空調学会)らの機関が示している、資料の安全な保存を目的とした温湿度制御の目標値に基づいて、文化財を構成する材料を考慮して定められる場合が多い。文化庁の「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」では、温度については、高温になると施設内の絶対湿度が上昇するため管理

表1 国宝、重要文化財の公開における
展示ケース内温湿度条件
(文化庁長官裁定、2018年改訂より)

温度	22±1℃	公開を行う博物館その他の施設が所在する地域の夏期及び冬期の平均外気温の変化に応じ、季節によって緩やかな温度の変動は許容
相対湿度	55±5%	一般(年間を通じて一定を維持)
	50~55%	近代の洋紙を利用した文書・典籍類、図面類、写真類など
	50%以下	金属製品

※同一ケース内に材質の異なる文化財を展示する場合は重要文化財等の種類及び個々の保存状態に応じて適切に判断。

※ケース外で露出展示をする場合も、上表と同様の温湿度環境となるよう努める。

上好ましくなく、必ずしも恒温に保つ必要はないが、庫内で作業をする場合等を想定し、空調設備の基本性能として28℃以下への冷房が可能な出力を確保することが推奨されている。相対湿度は、65% RH 以上になるとカビ発生の危険度が上昇し、50% RH 未満になると乾燥によるひび割れ等の障害が懸念されるため、年間を通じて50～60% RH 程度を保つことが推奨されている。

近年では COVID-19 の流行により建物内への換気（外気導入）が重視された結果、夏季の冷房・除湿の負荷が増大した。さらに、「国宝・重要文化財の公開に関する取扱要項」に準じて保存環境の設定温度を22℃近傍にした場合、上述の通り夏季の露点温度が22℃を上回るような環境では、これまで見られなかった部位での結露やカビ等の問題が生じる可能性がある。外気を適切に処理して導入、換気を行うという観点から、今後より重要になるといえる。

2.2 収蔵庫の建物仕様

収蔵庫については、文化庁が「文化財公開施設の計画に関する指針」（平成7年8月）および「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」（平成27年3月）によって、文化財を保存・公開する施設の建物や空調設備について指針を示している。

平成7年の指針では、収蔵庫は地下水や日射の影響を避けるために、地階・最上階・南に面するなどの位置に配置しないこと、収蔵庫の空調は庫内だけでなく、二重壁内の空気層にも行うように配慮すること、間仕切り壁は二重壁として空気の流通が可能な空間を確保すること、照明による温度上昇を抑えることなどが望ましいとされている。さらに、収蔵庫の外壁が外部に面する場合、結露などの点検のために、外壁と接する二重壁には室内側から点検口を設けて、二重壁との間に点検用の空間を確保することなども述べられている。

平成27年のハンドブック（図2）では、床下、庫内、小屋裏スペースに設置された換気口を通して自然換気を行う従来方式の問題点として、望ましい環境を維持することが困難であること、後から空調設備を導入した際に結露等の問題が発生する可能性があること、換気口から汚染空気や虫の侵入リスクがあることが述べられている。そして、これを解決する新方式の例として、収蔵庫の気密・断熱性を高め、内部の温湿度環境を外部に逃がさない（空調負荷を低減する）構造とし、換気は収蔵庫・二重壁内・小屋裏・床下スペースを区切って必要に応じて個別に行うとする高气密高断熱・機械空調補助方式の図が示されている。さらに、「機械空調の導入にあたっては、停電や故障時による停止リスク、設備のランニングコスト、メンテナンスコストにも配慮した計画とする。」という文も追加された。

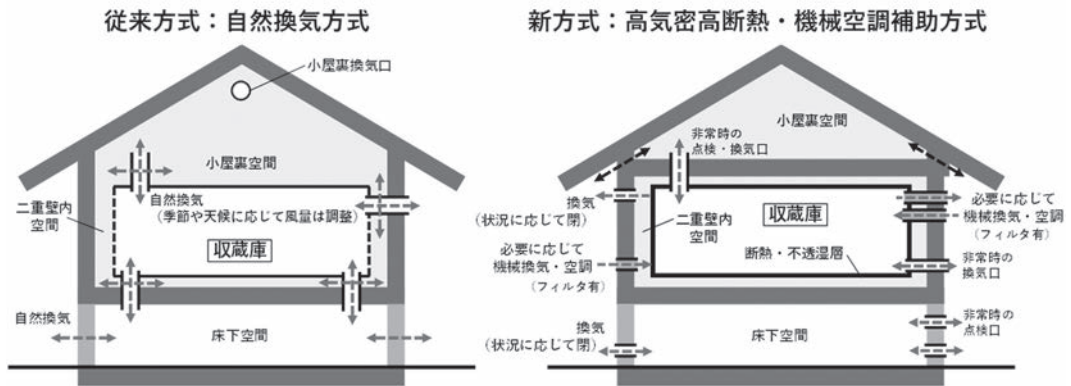


図2 平成27年のハンドブックに記載された収納庫の換気・空調方式と建物仕様
(ハンドブックの図を基に筆者が作成)

いずれにしても、文化庁が推奨する指針では収納庫を二重壁構造とすることが前提となっており、既往研究では、二重壁構造のメリットとして、①断熱性の向上による外気の影響の緩和、空調の発停時における温湿度の急変動の抑制（権藤ら）、②コンクリートからのアルカリ性汚染因子の放出による美術品の損傷などを避け、清浄な空気質の維持（荒井ら）、③地下水・高湿空気の流れ防止（見城ら）などが挙げられている。一方、デメリットとしては、①外気との通り道を複数意図せず作ってしまい（ハンドブックにおいても点検口や換気口の設置が求められている）、非空調外気の流入や虫の侵入につながる可能性がある、②メンテナンスがしづらい（①のような問題が生じていたとしても気づきにくい）といったことが挙げられる。

さらにこのような二重壁構造の収納庫に対し、温湿度の安定化、空気清浄化を図るため空調設備を導入するということが一般的になっている。しかしながら、二重壁構造の是非や、二重化構造と空調方式の組み合わせ（図3）に関する問題については、あまり議論

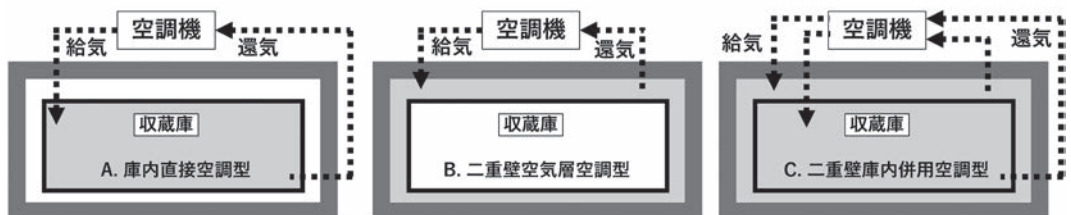


図3 二重壁構造の収納庫と空調方式の組み合わせの例

されてきていない。二重壁構造の目的が上述のメリット①のように外気の影響の緩和のみであるならば、図2の新方式に見られるように、収蔵庫の壁・床・天井の断熱・気密・防湿を着実に行うことで、二重壁構造とする必要性はなくなる。今後新しく収蔵庫を計画する際には、二重壁構造を前提とするのではなく、目的を明確にした上で採否の判断をすべきであると考ええる。

3. 二重壁内を空調する博物館収蔵庫の事例

国内で二重壁構造をもつ収蔵庫に空調設備が導入されている場合、多くは図3に示す3種類の空調方式のいずれかを採用していると考えられる。比較的小規模な施設の場合は、パッケージエアコンやヒータと除・加湿機の組み合わせ、サーキュレータによる空気の攪拌のみ、などの方法が取られる場合もある。

ここで紹介する事例は、関西地方に位置する博物館における、図3のBの二重壁内空間のみを空調する方式を採用した収蔵庫である。1980年代に竣工した建物であるため、設計時の意図が明確ではないものの、当時の空調の発停時における温湿度の急変動の抑制を目的として、このような方式が採用されたのではないかと推察している。

3.1 建物・設備概要と調査内容

収蔵庫の空調方式の概要を図4に示す。外壁はRC造内断熱で、二重壁の内壁・床・天井は木板で構成されている。収蔵庫の床面積は約90㎡、天井高さは約2.4mである。天井裏に換気のための排気ダクトが設置されているが、通常排気ファンは稼働していない。室の外気側に計6か所、二重壁の内外壁に小窓（約40cm×60cm）が設置されているが、おそらく排気ファン稼働時の給気経路として計画されたものと考えられる。小窓は常時閉じている。

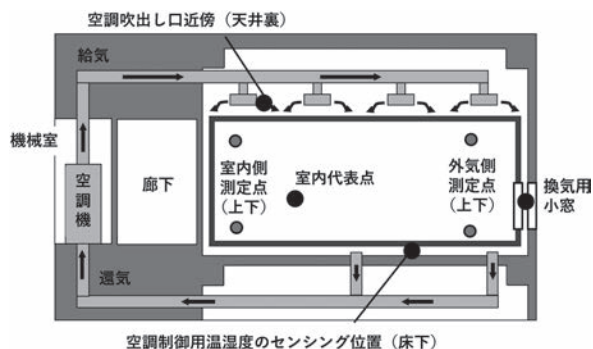


図4 調査対象収蔵庫の空調方式と温湿度測定点

空調は、機械室のパッケージエアコンと蒸気加湿器で温湿度が調整された空気を二重壁内に循環させる方式を取っている。吹き出し口は天井裏に15か所、吸込み口は床下に2か所あり、空調制御用のセンサは床下の吸込み口付近にある。1年を通して設定温湿度は21℃、49% RHである。

対象収蔵庫では、室内代表点（室の中央付近）、床下吸込み口近傍、天井裏吹き出し口近傍、

二重壁内小窓付近の4か所で年間の温湿度測定を行った他、夏季・冬季それぞれで室内各所の温湿度の集中測定を行い、分布を把握した。

3.2 温湿度測定結果と問題点

2022年の夏季、室内代表点は設定温湿度にほぼ保たれていた（図省略）。本収蔵庫の空調機には外気が導入されておらず、室内の空気を循環させて空調を行っていること、日常的な人の出入りが少ないことから冷房・除湿負荷も小さかったと推察される。ただし、空気質を保つために新鮮外気を導入する場合は、換気用小窓から調整されていない外気を直接取り入れるしかないため、夏季は特に収蔵物への結露やカビ被害が懸念される。

図5に2022年9月～2023年3月の収蔵庫各所の温度変化を外気温と合わせて示す。なお、外気温は気象庁ウェブサイトで公開されている京都市のデータを用いた。外気温が低下するにつれて天井裏の吹出し口温度が約40℃となり、室内代表点の温度は12月頃から上昇し始め、冬季は約23～25℃の範囲にあることがわかる。この期間、相対湿度は40% RH程度まで低下しており、収蔵物への影響が懸念された。一方、空調制御用センサがある床下吸込み口近傍は21℃に保たれていた。

この原因を調べたところ、空調制御用の温湿度センサが設置されている床下に、二重壁外壁側の小窓の隙間から低温外気が侵入したことで、金属製の小窓によるコールドドラフトにより、センサが低温を感知し、空調機が過剰な暖房運転を行っていたことが確認できた。また、天井裏の高温吹出し空気により冬季は室内で約1.5℃の上下温度差が生じていた。

さらに、図5より二重壁内空気は冬季に外気の影響を受け温度が18℃程度まで低下して

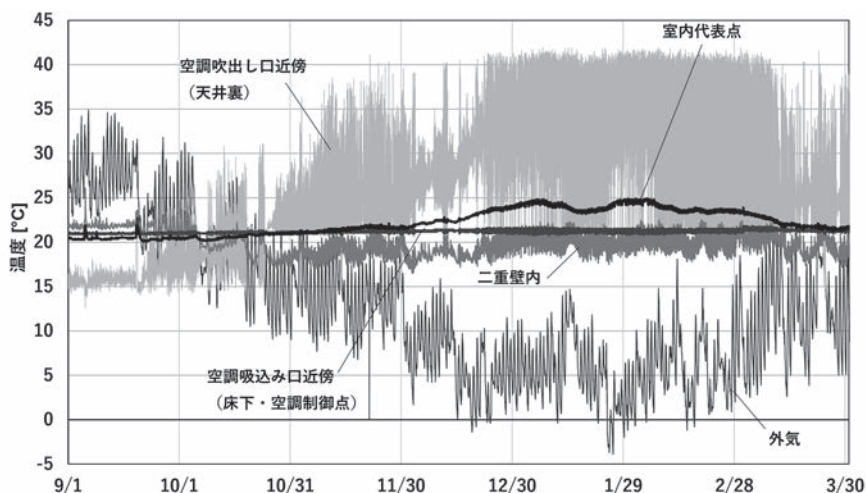


図5 対象収蔵庫の冬季の温湿度（2022年9月～2023年3月）

いることも見てとれる。この二重壁内は天井裏に40℃で吹出された空気の経路となっているが、天井裏には大きな梁が通っており、15か所の吹出し口から吹き出された高温空気の流れが阻害され、廊下側の二重壁内への風量が増加し、外気側二重壁内への風量が減少したものと考えられる。その結果、収蔵庫内の外気側は室内側よりも約1℃温度が低くなっていた。外気側と室内側の温度差は夏季も同様であり、夏季は外気側が約1℃高くなっていた。

このように比較的小規模な収蔵庫での調査からも、二重壁内を空調する方式を採用した場合は、換気用の小窓の気密性や断熱性、空調空気の流れへの配慮を要すること、空調制御用センサの位置を適切な個所に設置した上で室内の分布をモニタリングする必要があることなどいくつもの課題が見つかった。一方、冬季の空調吹出し口温度が20～40℃と変動が大きいことから、直接庫内に吹き出さない方式としたことで、庫内温度が過剰に変動することは避けられたともいえる。

4. おわりに

厳密な温湿度管理が求められる博物館・美術館施設について、本報では、この数年現場実測やヒアリング調査を行った結果から、現在から今後にかけて課題となると考えている点について述べた。

比較的新しい建物においては、高効率の熱源機やBEMSの導入、潜熱・顕熱分離空調の採用などによる省エネ化と安定した温湿度環境構築が計画されているが、一方で既存の建物においては老朽化に伴う設備機器の更新はあるものの、建物構造と設備の特性をふまえた運用方法の見直しが十分にできていないことも多い。

多くの博物館・美術館施設の収蔵庫は連続空調を前提として設計されているが、光熱費を抑えるために、日サイクルでは夜間に空調を停止させたり、年サイクルでは春・秋のような中間期に停止させたりするような運用が行われる施設も散見される。観覧者や作業者の快適性を考えたうえで、温度の目標値や日変動・年変動をどのように考えるかは、それぞれの施設に委ねられている現状がある。

今後は、国内の多くの博物館・美術館施設において、そもそものような温湿度管理が行われているのかを明らかにするため、アンケート調査を実施する予定である。さらに、詳細な温湿度環境とエネルギー消費量の調査を行う博物館・美術館施設の数を増やし、匿名性に配慮した上で情報を公開する。今後新築される施設だけではなく、既存施設の改修や運用改善に役立つ情報を提供していきたいと考えている。