

第3章 収蔵庫の空気質環境の実態調査

3.1 調査・測定内容

RC造建物の地下に位置する文化財収蔵庫で、室内が高湿で文化財へのカビ付着が問題となっている収蔵室を対象とした。設置されたデシカント除湿機は、室内の空気に含まれる湿分をデシカントに吸着させ除湿し室内へ給気している。収蔵室とその周りの温湿度分布、微生物分布を調べ、収蔵庫内の熱水分・空気質の季節変動などの実態を明らかにするとともに、デシカント式除湿機の挙動を調べた。

除湿機が運転された収蔵室内の温湿度分布の通年の計測を行い、エアースンプラーにより収蔵庫や非居住空間や隣室、外気のカビの菌数の測定を2023年3月と8月に行い、場所ごと、季節ごとの菌数の比較を行った。また2023年3月に採取した菌を培養後にDNAシーケンスを行い、各空間のカビの種の同定を行い結果について考察を行った。

3.2 地下収蔵庫の概要

地下収蔵庫は、竣工してからおおよそ20年経過する鉄筋コンクリート造の建築物の地下に位置し、図3-1に示すような南側と西側の壁が地盤に接する文化財収蔵庫である。室内が高湿で文化財へのカビ付着が問題となり除湿対策が必要となったため、2021年6月に改善対策としてデシカント式除湿機を導入した。本デシカント除湿機は、図3-2に示すように室内から吸込んだ空気に含まれる湿分をデシカントに吸着させ除湿し室内へ給気する。尚、除湿した空気の一部はデシカントの再生側に使用され、内蔵された電気ヒーターにより加温しデシカントを再生し脱着水分はホースを通じ外気に気体で排湿する仕組みである。これにより対象室内は陰圧になる。現在、常時デシカント式除湿機を運転している。

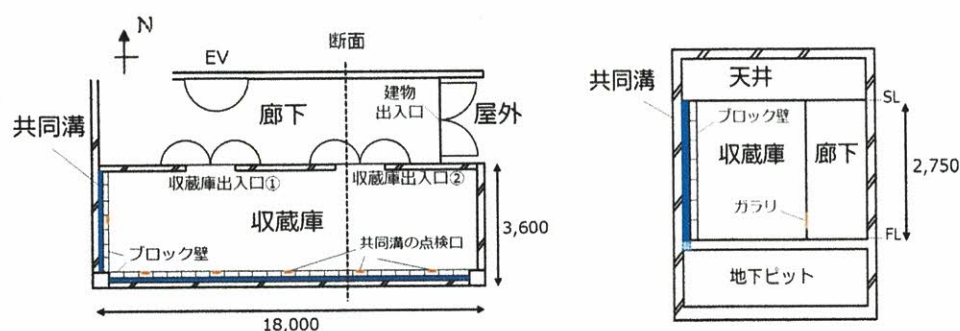


図3-1 収蔵庫平面図（左）と断面図（右）



図 3-2 デシカント除湿機外観と除湿の仕組み

3.3 収蔵庫の温湿度

3.3.1 測定概要と設置機器

収蔵庫内の環境の変化を検証するために温湿度の計測を以下のとおり実施した。温湿度計測には温湿度センサー Sensirion 社製 SHT75 を使用した。温湿度センサーは図 2.2-3 に示す位置に設置した。図の右端のオレンジの枠がデシカント除湿機であり二つ設置している。これら除湿機に近いほうから設置位置 A1～C3(廊下側), B1～D2(共同溝側)とし、平面に 11 箇所、高さ方向に 6 点(FL+100mm, FL+600mm, FL+1100mm, FL+1600mm, FL+2100mm, SL-100mm;FL は床面, SL は天井面)と共同溝、廊下、天井内の合計 69 点に設置し、1 分間隔で記録した。

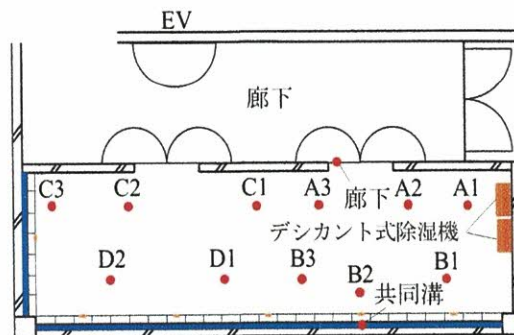


図 3-3 温湿度センサー設置状況

3.3.2 収蔵庫内の温湿度の測定結果と考察

図 3-4, 3-5, 3-6 にそれぞれ収蔵庫内の温度, 相対湿度, 絶対湿度の変化を示す。

図 3-4 より, 収蔵庫の温度は外気の変動からやや遅れて上昇し, 変化していることが分かる。

図 3-5 より, 収蔵庫の相対湿度は夏期には 60%以上となり, やや高くなるが, 通年を通じて 60%を下回っている。収蔵庫内では, C2 の床上 100mm が梅雨期から夏季にかけて最も高い。一方, 共同溝は, 2023 年 5 月は 90%以上あったが, 6 月から 9 月にかけて低下し 80%程度まで下がり, 10 月には 90%以上にもどりそれ以降 90%以上を維持している。

図 3-6 より, 収蔵庫の絶対湿度は夏期に高く冬期に低くなっている。また, 絶対湿度の収

蔵庫内分布は非常に小さい。一方、共同溝の絶対湿度は2023年6月から9月にかけて廊下の値に近くなるが、それ以外の時期は高い値を維持している。

絶対湿度の分布が小さいことから、C2の相対湿度が高い理由は、温度が低いためと考えられる。また、共同溝の絶対湿度が高い理由は、地下ピットの排水口から湿気が流入している可能性が考えられる。2023年6月から9月にかけて一時的に低くなっている理由は現時点では不明であるが、共同溝側に空気が流入しやすくなる状況となった可能性がある。

以上から除湿機稼働により、収蔵室の相対湿度は一部を除き60%以下で維持できていること、また除湿機設置から距離が離れ、床に近いほど温度が低く相対湿度が高い傾向が確認された。なお、収蔵室の壁裏の共同溝に接する空間の相対湿度は2023年6月から9月まで一時的に80%程度まで湿度が下がるもののそれ以外は90%以上を維持し年間を通じて高湿であった。

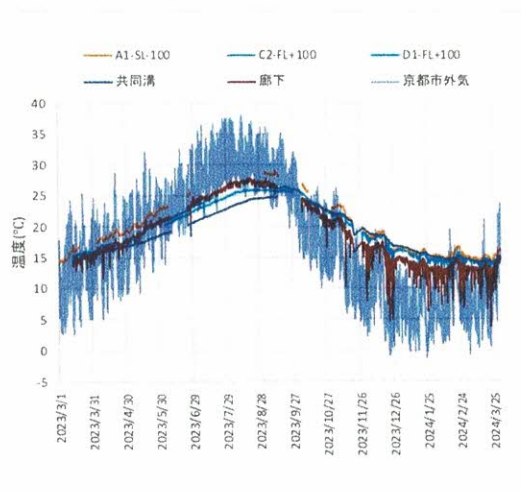


図 3-4 収蔵庫内の温度変動 (2023/3/31-2024/3/25)

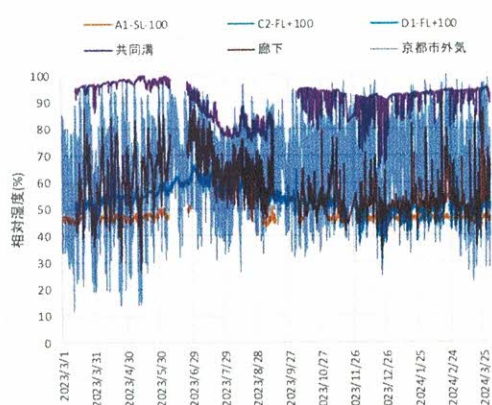


図 3-5 収蔵庫内の相対湿度変動 (2023/3/31-2024/3/25)

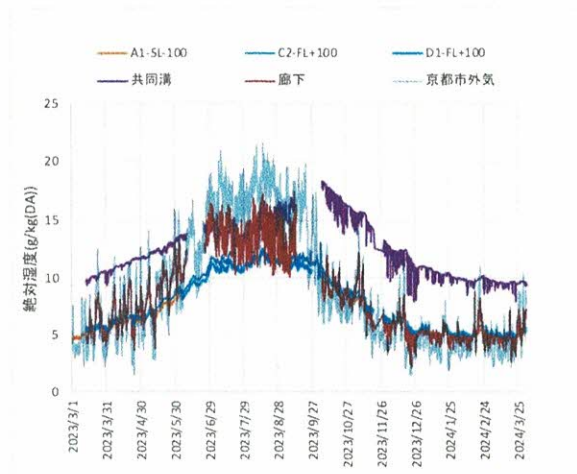


図 3-6 収蔵庫内の絶対湿度変動 (2023/3/31-2024/3/25)

3.4 収蔵庫でのカビサンプリング

3.4.1 カビサンプリングの概要

2023年3月14日の午後と同年8月17日の午前に地下収蔵庫内でカビサンプリングを実施した。収蔵庫内のサンプリング箇所とサンプリング条件を図3-7、表3-1に示す。

培地はDG18培地を使用し、エアースAMPLERの流量は、表3-1に示す通りとした。

3月の調査時の外気の温度は約16℃、相対湿度は約40%、収蔵庫内の室温は約16℃、室相対湿度は約50%、共同溝の温度は約14℃、相対湿度は約93%であり、8月の調査時の外気の温度は約32℃、相対湿度は約60%、収蔵庫内の室温は約27℃、室相対湿度は約50%、共同溝の温度は約24℃、相対湿度は約80%であった。

サンプリング後のDG18培地を温度23℃一定のインキュベータ内に設置し、目視での観察を行った。約1週間後、培地表面にコロニーが形成された後、写真を撮影しコロニー数を計数した(写真3-1)。

コロニー数の計数後、それぞれの培地から一部のコロニーを採取しDNAシーケンスを依頼し実施した。採取したコロニーはそれぞれの培地に発生したコロニーの中で、目視で最も多い種類を中心に採取した。サンプル採取の際は、安全キャビネットの中で、滅菌されたピンセットを用いてコロニーの一部を取り、DNAシーケンス用のチューブに入れ、冷凍状態にて依頼先へ送付した。DNAシーケンスは、イルミナ社のMiseqを用いITS1領域の塩基配列を対象としたアンプリコンシーケンス解析を実施し、種までの同定を行った。

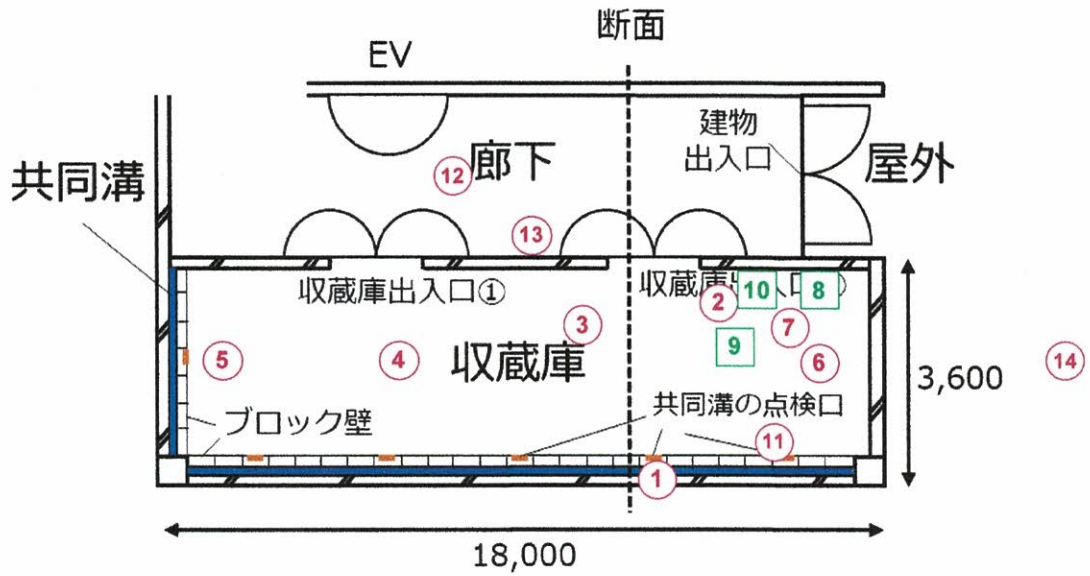


図 3-7 サンプルング箇所

表 3-1 エアースンプラーでの採取場所とサンプリング条件

採取箇所	総流量(3月)	総流量(8月)
1：収蔵庫の共同溝	50L,100L	50L
2：収蔵庫の天井裏	50L,100L	100L, 200L
3：収蔵庫内 b	100L	100L
4：収蔵庫内 c	100L	100L
5：収蔵庫内 d	100L	100L
6：収蔵庫内 e (棚の上)	100L	100L
7：収蔵庫内 木枠の上 (中間くらいの高さ)	100L	100L
8：棚の中 A (一番下の段) 収蔵物：木の板	100L	100L
9：棚の中 B (一番上の段) 収蔵物：耐火煉瓦	100L	100L
10：棚の中 C (下から 2 段目) 収蔵物：写真の原盤 (ガラス)	100L	100L
11：収蔵庫内	100L	100L
12：廊下の天井裏	100L	100L,200L
13：廊下	100L	100L,200L
14：屋外 (地下 1 階)	100L	100L

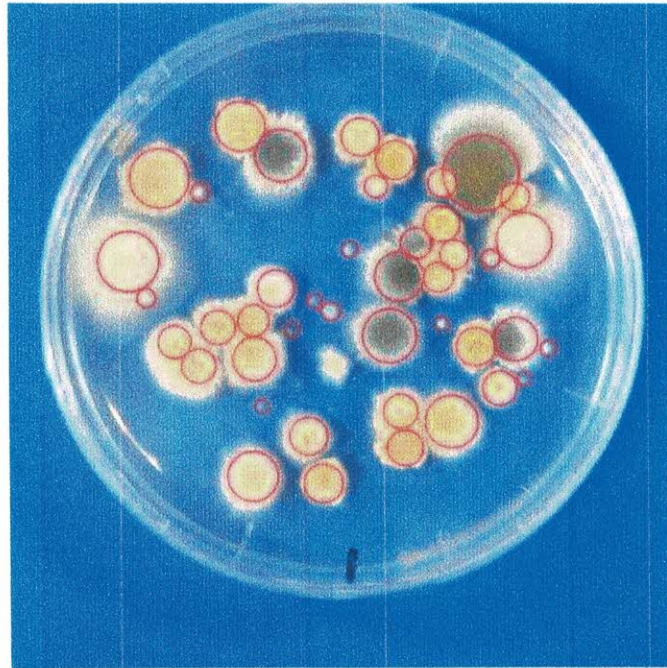


写真 3-1 DG18 培地でのコロニー数の計数

3.2 収蔵庫でのカビサンプリングの結果と考察

図 3-8 に 3 月と 8 月にエアーサンプラーで採取したカビの菌数の比較を示す。3 月では収蔵庫の共同溝の菌数が最も大きく、収蔵庫内の分布は小さくは棚内を含めてそれより小さかった。また 3 月は収蔵庫の天井裏、廊下、屋外の菌数は小さかった。一方 8 月では廊下の菌数が最も多く、次に収蔵庫の共同溝、収蔵庫内となった。収蔵庫内では菌数に分布があった。出入口に近い収蔵庫 c で菌数がやや多いが、他の場所では同定されなかった。図よりカビの菌数は、収蔵庫室内については 3 月より 8 月の方が概ね少ない。ただし壁裏の共同溝に接する空間では 3 月と 8 月では殆ど差がなくカビの菌数は多かった。収蔵庫内の温度は、3 月は 16°C、8 月は 27°C、相対湿度は、3 月と 8 月どちらの時期も約 50% 程度であり、カビの生育はしにくい環境である。収蔵庫内では除湿機を常時運転しており、除湿機から吹き出される空気は、部屋の空気を吸い込んで出していることからカビの菌量への影響は小さいと考えられる。一方、収蔵庫で稼働している除湿機は、室内が負圧になるため、隣接空間から空気を持ち込むことが考えられる。また、共同溝の相対湿度は 3 月より 8 月の方が低く、共同溝の手前の空間の壁面の低湿化にも繋がり、このことが 8 月の部屋の菌量が減少する可能性の一つとして考えられる。従って、壁面の含水率を調べたり、この菌量の傾向が複数年度に亘って繰り返されるか否かを確認しておく必要があると考えられる。

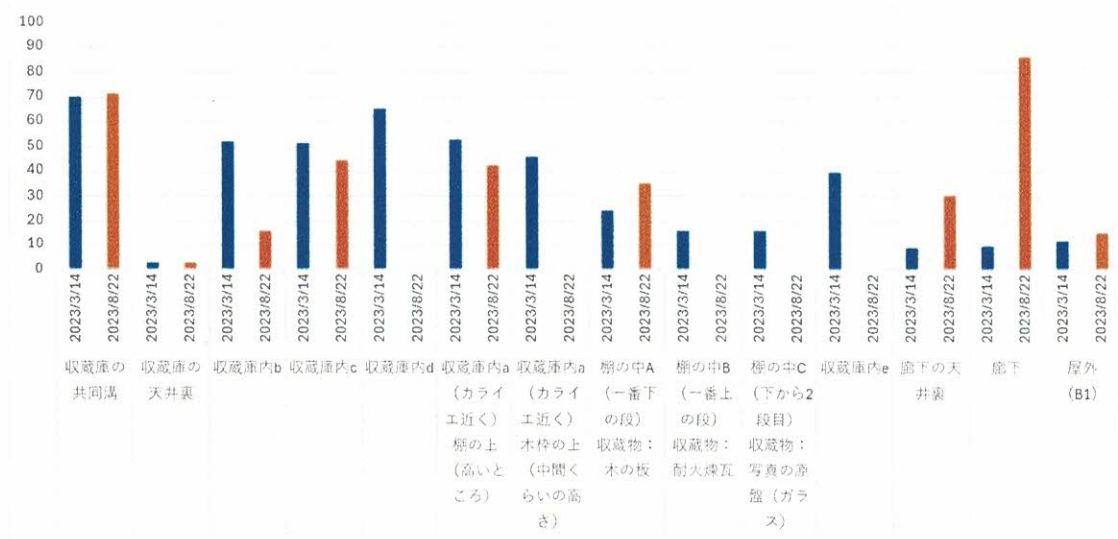


図 3-8 3月と8月の収蔵庫のカビの菌数の比較

表 3-2, 表 3-3 にそれぞれ収蔵庫内, 廊下と外気のカビの同定結果を示す. 表中で界, 科, 属, 種に記載しているものは記載しているものまで同定されたものを表している.

表より, DNA 解析によって *Aspergillus* 属, *Cladosporium* 属, *Penicillium* 属のカビが多く同定された. これらのカビは自然環境中に一般的に存在するカビである. それぞれの特徴を以下に示す¹⁾.

Aspergillus 属; 自然界に普遍的に分布するカビであり, やや乾燥している環境でも長時間生育できる.

Cladosporium 属; 空中に多く, 湿度の高い場所を好む.

Penicillium 属; *Aspergillus* 属と同様に自然界に普遍的に分布するカビであり, 中程度の湿度を好む.

表 3-2, 表 3-3 より, 収蔵庫内は棚内を含めて *Aspergillus* 属, *Cladosporium* 属, *Penicillium* 属が同定されており, 廊下では *Aspergillus* 属, *Cladosporium* 属, *Penicillium* 属が同定されている. 収蔵庫内の共同溝でも, 同様に *Aspergillus* 属, *Cladosporium* 属, *Penicillium* 属が同定されている. 共同溝では, *Sistotrema brinkmannii*, *Trametes versicolor* という腐朽菌が2種類も同定されている.

表 3-2 収蔵庫内のカビの同定結果（3月調査）

	収蔵庫の共同溝	収蔵庫の天井裏	収蔵庫内	棚の中
界		Fungi		
科		Didymosphaeriaceae		
属	Penicillium	Cladosporium Penicillium	Cladosporium Penicillium	Cladosporium Penicillium
種	Apiospora hydei Aspergillus penicillioides Aspergillus protuberus Aspergillus sclerotiorum Aspergillus tamarii Aspergillus westerdijkiae Cladosporium sp Cladosporium sphaerospermum Sistotrema brinkmannii Trametes versicolor	Aspergillus protuberus Aspergillus tamarii Dasyscyphella nivea	Aspergillus penicillioides Aspergillus piperis Aspergillus protuberus Aspergillus ruber Aspergillus tamarii Penicillium citrinum	Aspergillus alabamensis Aspergillus ochraceus Aspergillus protuberus Aspergillus tamarii Penicillium sp Trametes versicolor Trichoderma pseudokoningii

表 3-3 廊下と屋外のカビの同定結果（3月調査）

	廊下の天井裏	廊下	屋外（地下1階）
界			
科			
属	Cladosporium Penicillium	Alternaria Penicillium	Alternaria Cladosporium Curvularia Didymella Penicillium
種	Schizophyllum sp Aspergillus welwitschiae Cladosporium sphaerospermum Aspergillus protuberus Aspergillus ochraceus Aspergillus alabamensis Aspergillus tamarii	Aspergillus protuberus Aspergillus tamarii Cladosporium sp Cladosporium sphaerospermum Penicillium citrinum	Aspergillus ochraceus Aspergillus piperis Aspergillus protuberus Bjerkandera adusta Curvularia tsudae Neostagonospora elegiae

表 3-2、表 3-3 より、収蔵庫内は、やや乾燥にも強い Aspergillus 属、中程度の湿度湿度を好む Penicillium 属、高湿を好む Cladosporium 属の全てが同定されており、また廊下では Aspergillus 属、Cladosporium 属、Penicillium 属が同定されている。

廊下と収蔵庫で共通のカビの種は、Aspergillus protuberus、Aspergillus tamarii、Penicillium citrinum である。収蔵庫内の相対湿度は高くても 60 数%程度であることを踏まえると、収蔵庫内のカビは、収蔵庫内で活動できる高湿な場所があるか、別な場所から持ち込まれた空気に含まれている可能性が考えられる。収蔵庫で稼働している除湿機は、室内が負圧になるため、隙間の多い扉のガラリから廊下から空気を持ち込むことが考えられ、廊下と収蔵庫で共通のカビが同定されていることから、その関係が示唆される。

Aspergillus penicillioides は収蔵庫室内と共同溝の空気層に共通してみられるが、廊下と屋外からは同定されていない。共同溝の空気層と室内空気の間で空気の交換がなされていることが示唆される。

また、共同溝の空気層では *Sistotrema brinkmannii*, *Trametes versicolor* という腐朽菌が2種類同定された。このことから、土壌と接している箇所があるのではないかと考えられる。

今回は、3月のみカビのDNAシーケンス分析を行っているが、季節による違いもみること、各室の関係がより明らかになると考えられる。なお2023年8月のエアースンプラー調査した結果について外部に依頼しており、今後その結果を含めた議論を行う予定である。

3.5 第3章のまとめ

除湿機稼働により、収蔵室の相対湿度は一部を除き60%以下で維持できていること、また除湿機設置から距離が離れ、床に近いほど温度が低く相対湿度が高い傾向が確認された。なお、収蔵室の壁裏の共同溝に接する空間の相対湿度は2023年6月から9月まで一時的に80程度まで湿度が下がるもののそれ以外は90%以上を維持し年間を通じて高湿であった。

カビサンプラーによるカビの菌数は、収蔵庫室内については2023年3月より8月の方が概ね少なくなっていた。ただし壁裏の共同溝に接する空間では3月と8月では殆ど差がなくカビの菌数は多かった。

DNAシーケンサーにより、各部のカビの種の同定を行った結果、以下が明らかとなった。

収蔵庫内は、やや乾燥にも強い *Aspergillus* 属、中程度の湿度湿度を好む *Penicillium* 属が同定された。

収蔵庫室内と共同溝の空気層に共通してみられるが、廊下と屋外からは同定されていないカビ (*Aspergillus penicillioides*) が同定された。共同溝の空気層と室内空気の間で空気の交換がなされていることが示唆される。

廊下と収蔵庫で共通のカビ (*Aspergillus protuberus*, *Aspergillus tamarisii*, *Penicillium citrinum*) が同定された。収蔵庫で稼働している除湿機は、室内が負圧になるため、隙間の多い扉のガラリから廊下から空気を持ち込まれた可能性が示唆される。

また、共同溝の空気層では *Sistotrema brinkmannii*, *Trametes versicolor* という腐朽菌が2種類同定された。このことから、土壌と接している箇所があるのではないかと考えられる。

この収蔵庫では、除湿機運転により空間が低湿に保たれており現時点で目視のカビ発生等は確認されていないがカビの胞子が俵っていることが分かった。

胞子の発生源が十分分かっていないため、収蔵庫内の壁、床など高湿となる部位の把握、差圧計測等による隣室空間からの空気の流動の影響の把握を実施する。また複数年度に亘って季節ごとのカビ菌量や種の違いを確認し通年の挙動の特性を把握しておき、サーキュレーターの配置場所や、隣室空間からの空気の流動を考慮した対策の検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 高鳥浩介：住環境にみるカビと健康被害，公衆衛生研究，47(1)，1998。

第4章 収蔵室および収蔵ケース内の温湿度環境の実態調査

4.1. 測定目的と測定概要

収蔵ケース内の温湿度は、収蔵物を良好な状態に保つための最終段階として適切に制御される必要がある。収蔵室の温湿度は外界条件や室の使用に伴う変化を受けて変化するため、一定の値に維持することは一般的に容易ではない。収蔵ケースはそのような変化が収蔵物に及ぼす影響を緩和し、保存にとって重要な役割を果たすと考えられる。

ただ、収蔵ケースが収蔵室の温湿度変動をどの程度緩和するのか、収蔵ケースの材料による違いなどの実態について調査した例は極めて限られているため、昨年度は博物館収蔵庫に設置された収蔵ケースに対して実態調査を行い、ケース内と周辺環境の温湿度の関係を調べた。収蔵室6室において、木箱、紙ケース、プラスチックケースなど11箱の内部温湿度を計測するとともに、熱水分移動解析を行いケースの温湿度変動緩和効果を調べた。

その結果、(1)収納ケースの温度変化幅は収蔵室のそれとほぼ等しい（温度変動緩和能力は小さい）が、湿度変動緩和能力は長周期については小さいが短周期についてはかなり大きいことなどを明らかにした。(2)熱水分移動解析により測定結果の再現を行い、木製収納箱の湿度変動緩和能力は大きいプラスチックケースでは小さいこと、従って、プラスチックケースではケース内収納物の吸放湿性が収納箱内の湿度変動に大きく影響すること、などを明らかにした。(3)収蔵室内の非一様な温湿度分布が収納ケース内の温湿度に与える影響が大きい可能性を明らかにした。

本年度は、昨年度の研究において課題として残されていた(3)に注目し、特別収蔵室Aを対象として、異なる種類の収納ケース内の温度と収蔵室の温度との関係をより詳細に調べることにより、収蔵室の温度分布が収納ケース内温度に与える影響を明らかにした。

4.2. 測定位置・測定日時・測定方法

測定した収蔵ケースは、2023年7月までは表4-1に示すように全部で12ケースであるが、2023年8月10日からは表4-2に示すように収蔵ケース近傍の温湿度も追加測定した。

表4-1 温湿度を測定した収蔵室と収蔵ケース

	収蔵室	収蔵容器	収蔵物
hokoi1	特別収蔵室A	桐箱(室中央席)	紙で包装された巻物
hokoi2	特別収蔵室A	中性紙箱	巻物・古文書集
hokoi3	特別収蔵室A	文書筆筒・抽斗	巻物
hokoi4	特別収蔵室B	木箱	鉄器・古墳
hokoi5	特別収蔵室B	コンテナ	銅器
hokoi6	一般収蔵室A	キャビネット	写真乾板
hokoi7	一般収蔵室A	コンテナ	紙
hokoi8	金属資料室	コンテナ	鉄器
hokoi9	資料室A	木箱	瓦経
hokoi10	資料室A	コンテナ	人骨
hokoi11	研究展示室A	室内	
hokoi12	研究展示室A	覗き込みケース	青銅器

表 4-2 温湿度を測定した収蔵室・収蔵ケースと収蔵ケース近傍（黄色）

	設置場所	子機名	メーカー	機種
一般収蔵室A	室内代表点	hoko15	T&D	RTR-507L
	コンテナ	hoko7	T&D	RTR-507L
	コンテナ近傍空気	HOKO2023-5	Onset HOBO	MX1101-01
	キャビネット	hoko13	T&D	RTR-507L
金属資料室	室内代表点	2021-11	T&D	RTR-507L
	コンテナ	hoko8	T&D	RTR-507L
	木箱（空箱）	hoko14	T&D	RTR-507L
資料室	室内代表点	2021-9	T&D	RTR-507L
	中2階・木箱	hoko9	T&D	RTR-507L
	中2階・コンテナ	hoko10	T&D	RTR-507L
特別収蔵室A	室内	2021-5	T&D	RTR-507L
	床下	2021-6	T&D	RTR-507L
	北側二重壁内	tr-13	T&D	RTR-507L
	天井裏吹出し	tr-12	T&D	RTR-507L
	前室	2021-10	T&D	RTR-507L
	桐箱	hoko1	T&D	RTR-507L
	桐箱近傍空気	HOKO2023-2	Onset HOBO	MX1101-01
	中性紙箱	hoko2	T&D	RTR-507L
	中性紙箱近傍空気	HOKO2023-3	Onset HOBO	MX1101-01
	文書箆筒・抽斗	hoko3	T&D	RTR-507L
文書箆筒近傍空気	HOKO2023-1	Onset HOBO	MX1101-01	
研究展示室A	室内代表点	hoko18	T&D	RTR-507L
	貝飾りの近く	hoko19	T&D	RTR-507L
	天井裏	tr-14	T&D	RTR-507L
特別収蔵室B	室内	2021-2	T&D	RTR-507L
	木箱	hoko4	T&D	RTR-507L
	コンテナ	hoko5	T&D	RTR-507L
研究展示室B	室内	hoko11	T&D	RTR-507L
	覗き込みケース	hoko12	T&D	RTR-507L
	覗き込みケース近傍空気	HOKO2023-4	Onset HOBO	MX1101-01

測定は2022年7月27日から開始し、2024年6月30日現在も継続中である。2023年8月に、特別収蔵室Aに設置された3種の収納ケースの近傍に温湿度計を追加設置し、測定を開始した。温湿度の測定には表4-2に示すT&DおよびOnset社の温湿度計を用いた。

4.3. 特別収蔵室Aにおける昨年度の測定結果

まず、昨年度（2022年7月27日～2023年3月2日）の測定結果と検討結果を示し、本年度解決すべき課題を示す。

4.3.1. 温度（図4-1～4-3）

・収蔵室（図4-1）

平均的には、8月上旬21.3℃→10月20.5℃に減少→1月24.5℃に上昇→2月から減少。

夏季と冬期の冷暖房が大きい時期に変動が大きく、8月17日～19日に25.3℃まで急上昇→21日21℃に低下、9月5日と9月19日にも1.5℃程度の短時間の温度上昇。

・**収蔵ケース（図4-2, 4-3）：**

収蔵室とほぼ同様の变化をし、温度変動は殆ど緩和されてはいない。

夏季は収蔵室より高く（hoko3(文書筆筒)は0.7℃、hoko1(桐箱)とhoko2(中性紙箱)は0.1～0.2℃）、10月にほぼ等しくなった後、冬季は逆転し収蔵室より低くなる（hoko1(桐箱)とhoko3(文書筆筒)は1.5℃、hoko2(中性紙箱)は1℃）。

夏季、冬季とも、hoko3=>hoko1>hoko2の順で（収蔵室室温より）外気温に近い。収蔵容器の熱容量による差ではないので、外壁からの距離による（吹出空気温度差？）ものと推定される。



図4-1 特別収蔵室Aの温度（2022年7月27日～2023年3月2日）

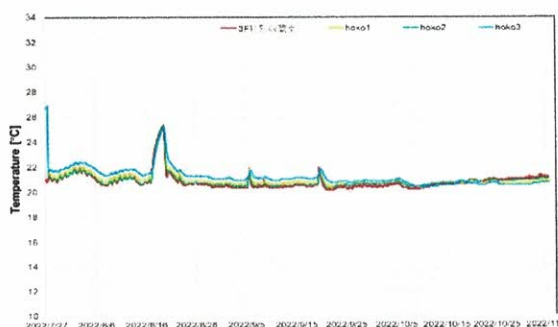


図4-2 特別収蔵室Aの温度（2022年7月27日～11月14日）

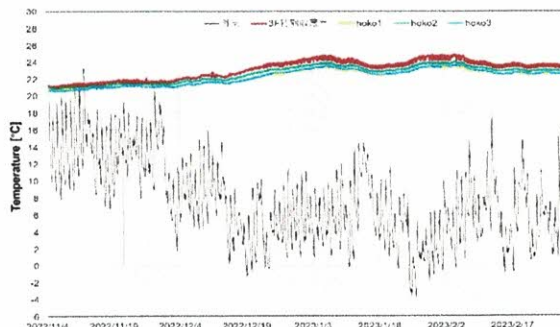


図4-3 特別収蔵室Aの温度（2022年11月14日～2023年3月2日）

4.3.2. 相対湿度（図4-4～4-6）

・収蔵室：10月後半まで55%前後で一定→1月中旬に40%まで低下→以降ほぼ一定。8月17日～19日に5%，9月5日に8%の湿度上昇が見られる（図4-4）。

・収蔵ケース：収蔵室の短期の相対湿度変動も殆ど緩和されていない（図4-5, 4-6）。夏季は収蔵室RHに近く（hoko3、hoko1はやや低く、hoko2はやや高い）、10月以降は収蔵室RHより高い（hoko3=>hoko1>hoko2）。温度とは逆の傾向となっている。

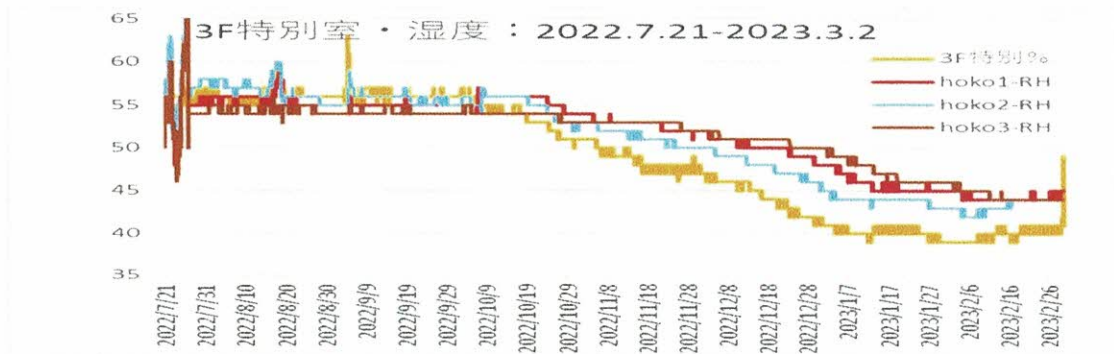


図 4-4 特別収蔵室 A の相対湿度 (2022 年 7 月 27 日～2023 年 3 月 2 日)

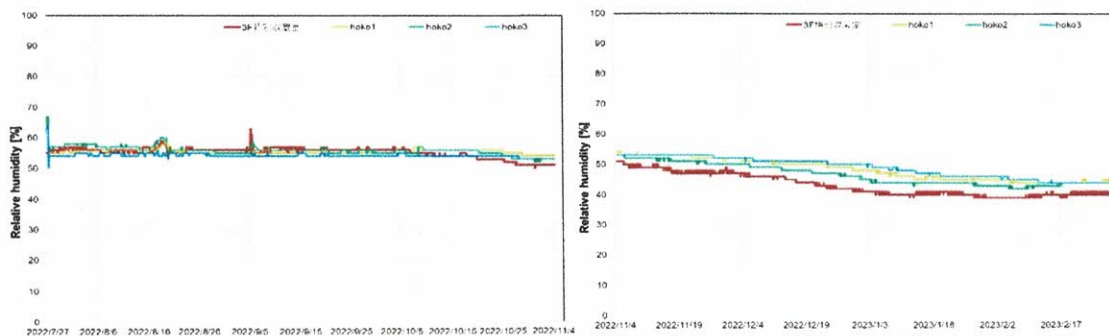


図 4-5 特別収蔵室 A の相対湿度 (2022 年 7 月 27 日～11 月 14 日)

図 4-6 特別収蔵室 A の相対湿度 (2022 年 11 月 14 日～2023 年 3 月 2 日)

4.3.3. 絶対湿度 (図 4-7, 4-8)

- ・ 収蔵室：8 月 8.3g/kg→3 月 7.4g/kg まで非常にゆっくりと低下 (ほぼ一定)。
8 月 17 日～19 日, 9 月 5 日, 9 月 19 日には, 3.5, 1.5, 1.0g/kg の短期間の増加
- ・ 収蔵ケース：
11 月までは収蔵室の絶対湿度とほぼ同じだが, 11 月以降は収蔵室より高い値となる (hoko3>hoko1>hoko2)。

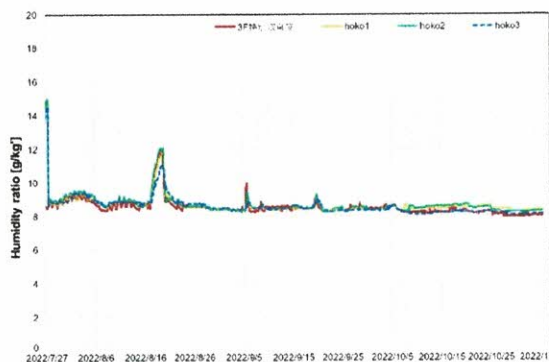


図 4-7 特別収蔵室 A の絶対湿度 (2022 年 7 月 27 日～11 月 14 日)

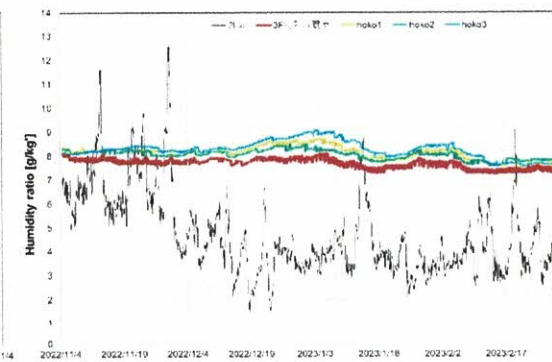


図 4-8 特別収蔵室 A の絶対湿度 (2022 年 11 月 14 日～2023 年 3 月 2 日)

4.3.4. 解析結果 (図 4-9, 4-10)

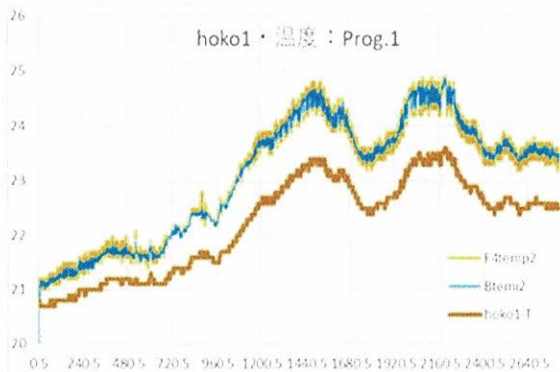


図 4-9 特別収蔵室 A の温度 (2022 年 7 月 27 日～2023 年 3 月 2 日)

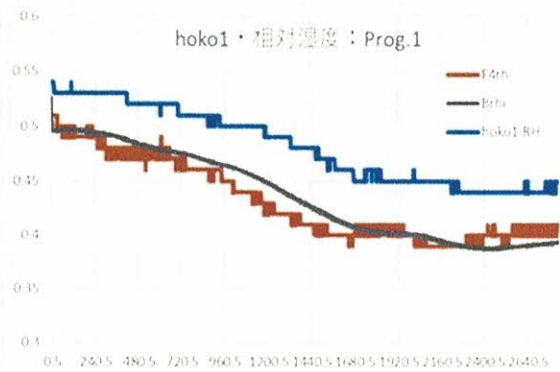
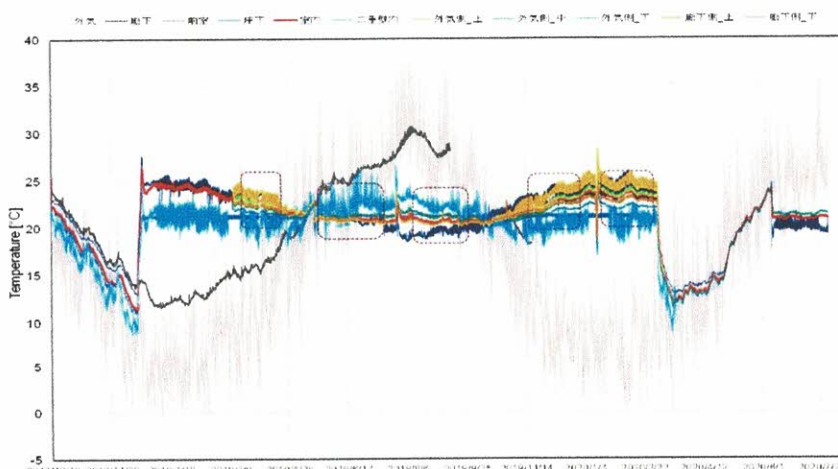


図 4-10 特別収蔵室 A の相対湿度 (2022 年 7 月 27 日～2023 年 3 月 2 日)

- ・収蔵ケース内の温度計算値 (Btemi2) は収蔵室温度 (F4temp2) とほぼ等しくなり、測定結果 (hoko1-T) を再現できない (図 4-9). 相対湿度についても、収蔵容器内 RH の計算値 (Brhi) は収蔵室 RH (F4rh) に近い値となり、測定結果 (hoko1-RH) とは大きく異なる (図 4-10).
- ・収蔵容器内の空気の熱容量を 10000 倍にして収蔵資料を模擬したり、換気 (漏気) 回数を 0.0001 まで小さくしても、これらの結果は大きくは変化しない.
- ・従って、計算値が測定値と異なるのは、収蔵ケースの熱物性値や収蔵物の有無、換気回数の不適切な設定によるものではなく、与えた収蔵室の温湿度が解析目的にそぐわなかった、すなわち収蔵ケース周りの温湿度は収蔵室温湿度測定値と異なっていたことによると推定される. この推定は過去に行った収蔵庫内の温度分布測定結果に基づく (注参照).

注) 特別収蔵室 A 内の温度

特別収蔵室 A まわりの温度 (2018 年秋～2020 年夏, 室内の分布は 2019 年 3 月～2020 年 2 月まで計測) を、測定点の平面位置とともに下図に示す. 冬季は外気側の温度が代表点よりも低くなり, 夏季は高くなる傾向がある.



A-1 特別収蔵室 A 内の温度 (2018 年秋～2020 年夏)



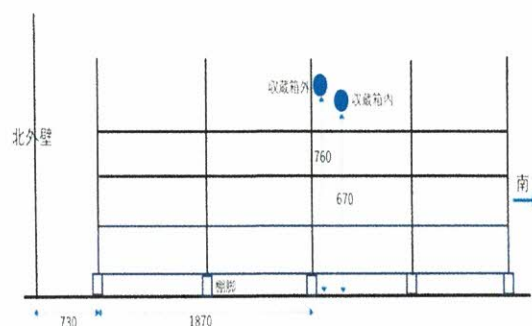
A-2 特別収蔵室 A 内の温度測定位置

4.4. 収蔵ケース近傍の温湿度分布の測定

4.3.4. における推定を確認するために、収蔵室（代表点）温湿度に加え、各収蔵ケース近傍の温湿度の測定を2023年8月10日から開始した。

4.4.1. 温湿度センサーの位置

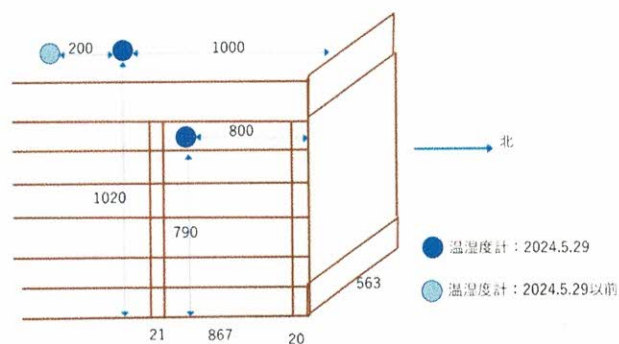
3個の収蔵ケースについて、収蔵ケース内と近傍のセンサーの位置を図4-11に示す。また、これらのセンサーの収蔵室内における平面位置を図4-12に示す。



(1)特別収蔵室 A・桐箱：hokoi1



(2)特別収蔵室 A・中性紙箱：hokoi2



(3)特別収蔵室 A・文書筆筒：hokoi3

図4-11 各収蔵ケースの内部および近傍（ケース外部）センサーの位置

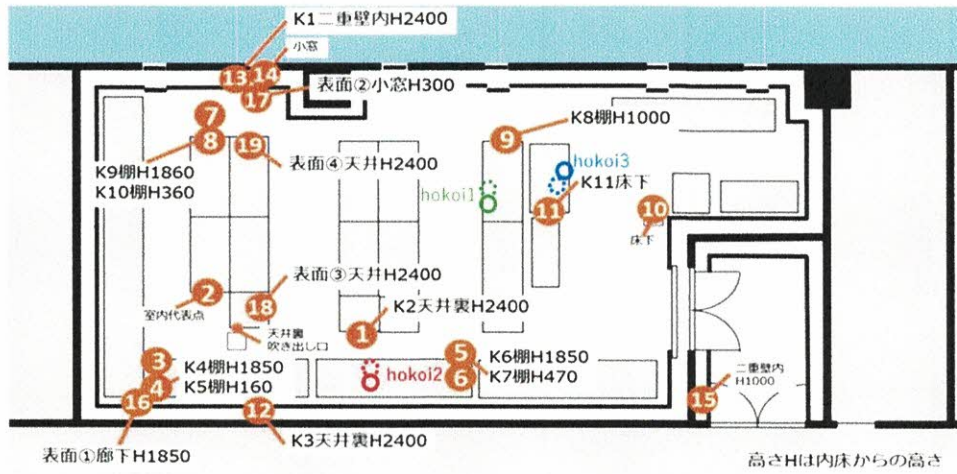
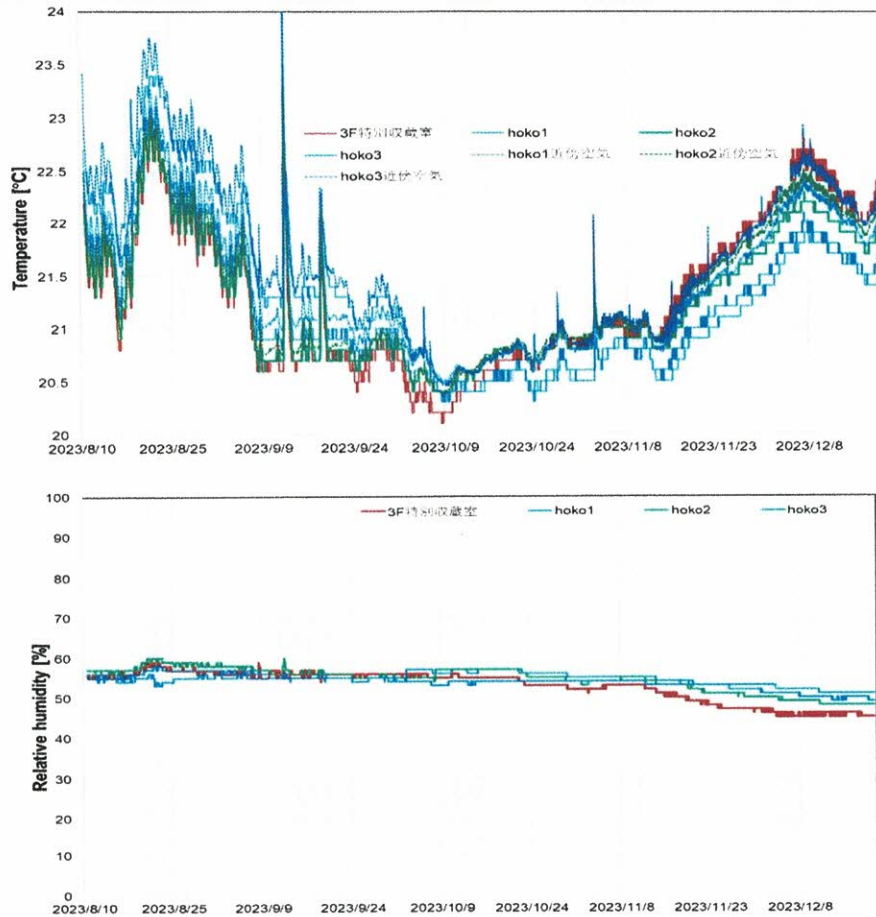


図 4-12 収蔵ケース内外センサーの収蔵室内における位置

4. 4. 2. 温湿度の測定結果

収蔵ケース近傍の温度（2023年8月10日～12月23日）の測定結果を、外気、収蔵室の温湿度と共に図 4-13 に示す。



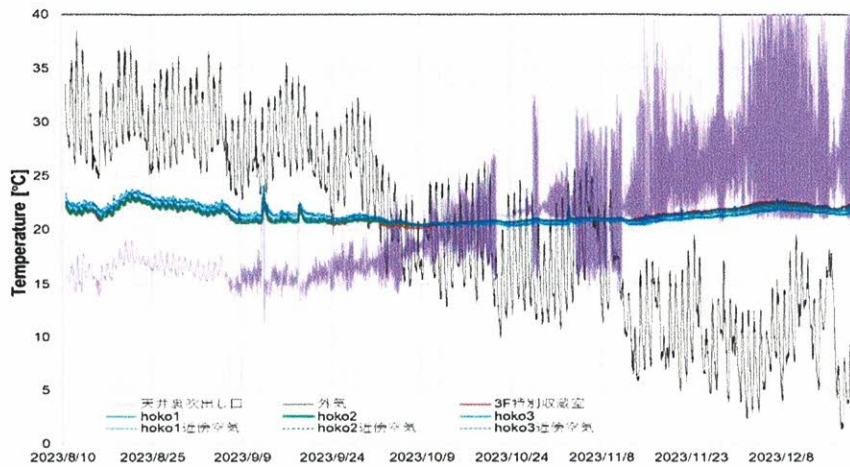


図 4-13 収蔵ケース内外温湿度と外気、収蔵室の温湿度（2023年8月10日～12月23日）

また、各収蔵ケースについて、ケース内外の温度（2023年8月10日～12月23日）を、収蔵室の温度と共に図 4-14(1)～(3)に示す。

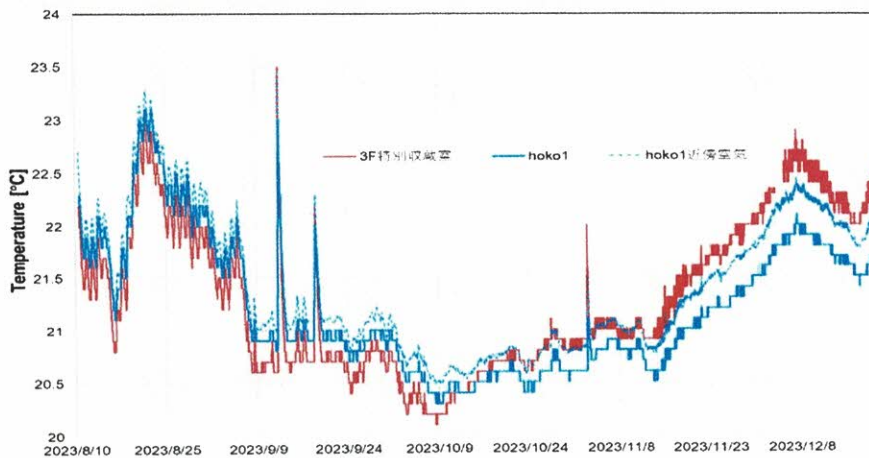


図 3-14(1) 収蔵ケース内外の温湿度：hoko1

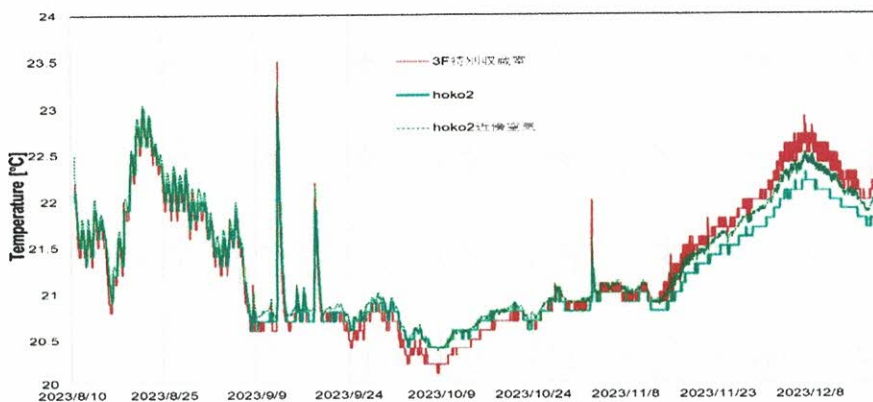


図 4-14(2) 収蔵ケース内外の温湿度：hoko2

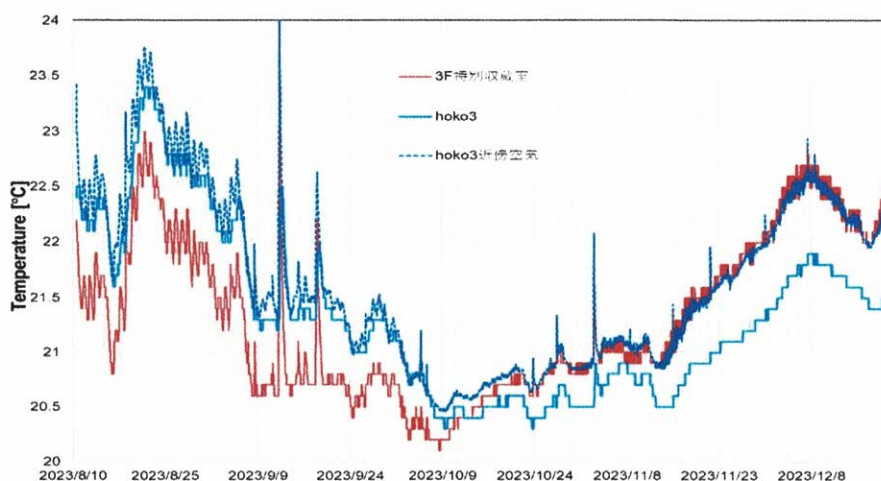


図 4-14(3) 収蔵ケース内外の温湿度 : hoko3

- ・測定値の前半（夏季）にはケースの内外の温度は非常に近い値となっている。従って、夏季については収蔵室代表温度とケース内温度との差は、室内空気の非一様温度分布に由来するものと考えられる。
- ・後半（冬季暖房時）の温度差は、大略、代表室温度 > 近傍空気温度 > 収蔵箱内温度となっており、後半（冬季暖房時）も近傍空気温度は代表室温に近く、収蔵室代表温度とケース内温度との差の一部は、外気の影響を中心とする室内空気の非一様温度分布で説明される。
- ・ただ、冬季についてはそれだけではまだ十分に説明できない。昨年度の解析により、収蔵ケースの熱容量、熱抵抗、漏気などによっては説明できないことが分かっているので、他の要因を探す必要がある。
- ・これについては、以下に示す収蔵室内の垂直方向の温度分布を測定した結果より判断して、温度成層が影響している可能性がある。従って、次にそれについて検討する。

4.4.3. 収蔵室内の水平および垂直方向温湿度分布の測定

収蔵室内の垂直方向の温湿度分布を、図 4-15 に示す外気側と廊下側で測定した。

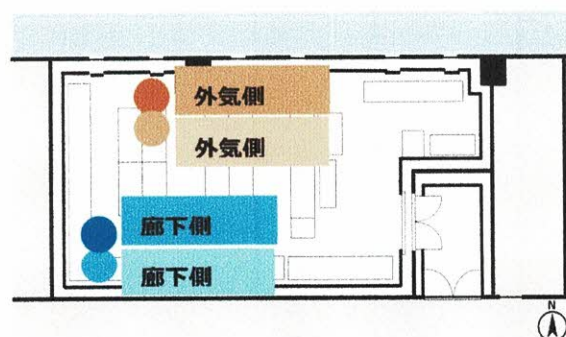


図 4-15 垂直方向温湿度分布測定のための温湿度計設置位置 : 外気側と廊下側

(1) 外気側と廊下側における垂直方向の温湿度分布を、**図 4-16** と **図 4-17** に示す。

- 温度：夏季 外気側は上部が 0.5℃高く，廊下側は上下がほぼ等しい。
冬季 外気側は上部が 0.5～1.0℃高く，廊下側は上部が 0.5～2.0℃高い。
すなわち，夏季には上下温度差は 0.5℃と小さく，廊下側では殆ど差が無いが，冬季には差が大きく 0.5～2℃程度上部の温度が高い。従って，夏季にケース内外の温度差が小さく冬季に大きいのは，成層化が関係している可能性が高い。
- 相対湿度：夏季 外気側は上部が 2%低く，廊下側は上部が 2%低い。
冬季 外気側は上部が 2%低く，廊下側は上部が 5%低い。

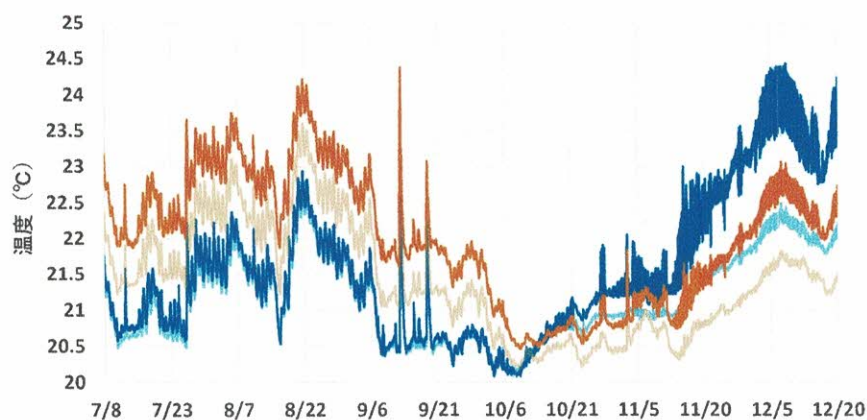


図 4-16 温度時間変化の高さによる違い：外気側と廊下側

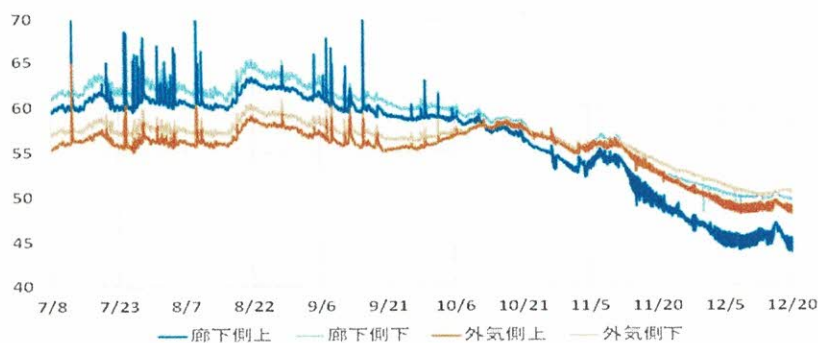


図 4-17 湿度時間変化の高さによる違い：外気側と廊下側

(2) 冬季の温度成層化の影響

- **図 4-16** の冬季温度の高さによる違いを考慮すると，
代表室温温度計の高さ > 収蔵ケース近傍温度計 > 収蔵ケース温度計
であれば，測定される温度もその順になり，**図 4-14** の測定結果を定性的には説明できる（この場合，ケースの熱容量などに依存しなくても良い）。
- **図 4-11** に示すように hokoi3 の近傍センサーの高さ（102cm）は他のセンサー（hokoi2：87cm，hokoi1：76cm）に比して高く，代表室温の高さに近い。
- さらに，収蔵ケースの位置は，hokoi3 が 79cm，hokoi2：82cm，hokoi1：67cm であ

り、hokoi3では外部センサーは内部センサーより23cm高い。また、内部センサーの位置79cmは、hokoi1:76cm、hokoi2:87cmと比較的近い。従って、hokoi3の内外部センサー間で上下方向に大きな温度成層があれば温度差の違いの説明が可能となる。つまり、図3-14の測定結果を半定量的に説明できる。

4.4.4. CFDによる室内空気温度分布の検討

(1)CFD解析の目的

- ・収蔵室内の水平、垂直方向の正確な温度分布が測定されていれば、4.4.3の検討は可能だが、そのような測定は実際上難しい。特に、冬季に温度成層が形成される場合には、条件によっては狭い上下方向の領域で大きな温度変化が生じる可能性があり、その検出は容易ではない。
- ・従って、ここでは収蔵室内にどのような、どの程度の温度分布が生じる可能性があるかを、CFD解析により検討することを目的とする。

(注) 現在、センサー位置をケース内外でできるだけ近づけた測定をしている。

(2)用いたCFDモデル

- ・ここでは高Re数 K_ϵ モデルを用いた。天井内に吹出ノズル、床下に吸込みノズルがある。壁体は二重壁とし、間の空気層を空気が流れるモデルとした。外壁には窓が設置されており、この隙間を通して外気との換気があるとされている。

(3)測定値と解析値の比較：夏季と冬季の温度成層

- ・解析結果の水平方向温度分布を、測定点(図4-18)における測定結果と比較したものを図4-19に示す。

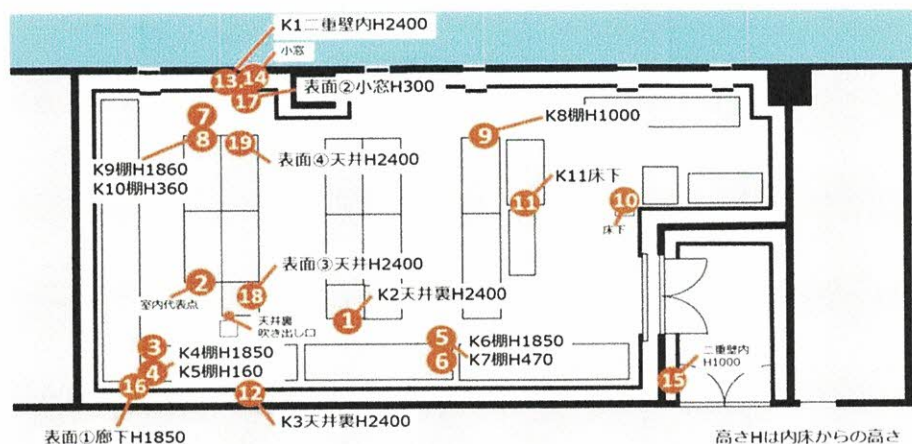


図4-18 収蔵室内における温度測定位置

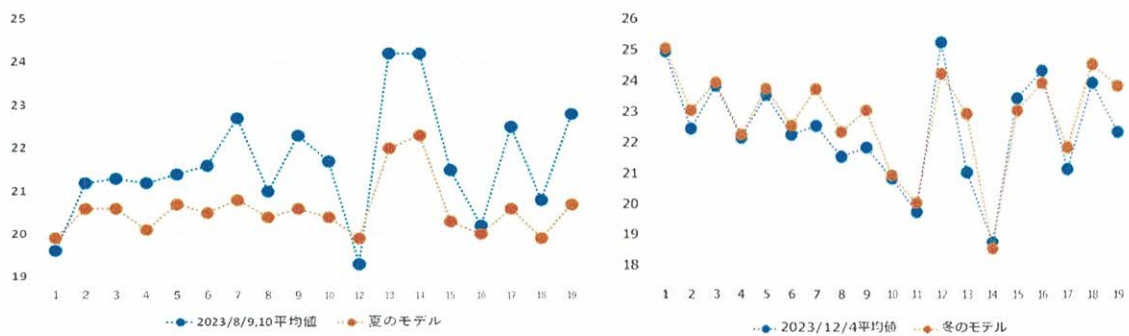


図 4-19 収蔵室内の各位置における空気温度：測定値と解析値の比較

- ・ 図 4-19 右図を見ると（冬季）、計算値は測定値と非常に良く一致している。
 注）夏には外気側が測定値と差が大きく、測定値より 1～2℃低い。差の原因の一つに放射があり、天空日射および北側の隣接建物からの長波放射と短波放射の反射の可能性が考えられる（夏は隣接建物の南壁面は直達日射により高温になるが、冬は太陽高度が低いので隣接建物の南面には直達日射は殆ど当たらない。）それ以外に、⑱⑲は天井ダクトからの吹出口に近い？窓周りの漏気などが考えられる。
- ・ 図 4-20 に、収蔵室内の垂直断面の空気温度分布を示す。Y=2.7 における温度分布である。これを見ると、高さが 70cm から 120cm では大きな温度勾配が生じており、その領域で高さに 20cm の違いがあると、1℃程度の大きな温度差が生じる可能性があることが分かる。
- ・ なお、この成層化の程度は、水平方向であまり違いが無く、測定結果を十分な精度で再現できていない。

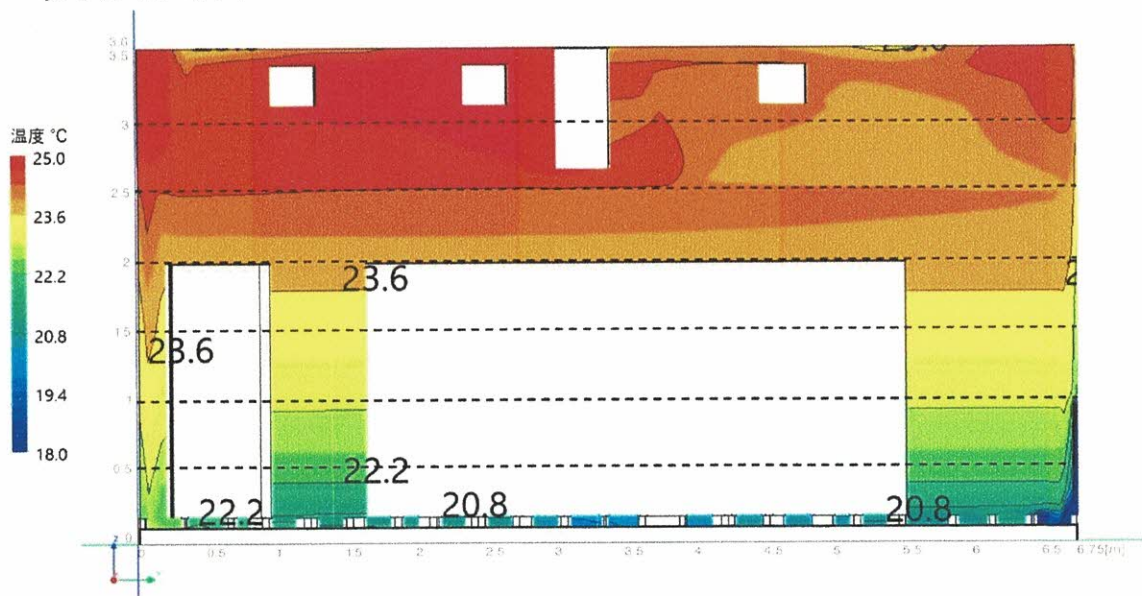


図 4-20 収蔵室内の垂直断面の空気温度分布：Y=2.7 における温度分布

4.5. 第4章のまとめと今後の課題

収蔵室内の非一様な温湿度分布が、収納ケース内の温湿度に与える影響を明らかにすることを目的とした。関西に建つ博物館の収蔵室を対象として、3種類の収納ケースについてその内部とケース近傍の温度、収蔵室内の温度分布を詳細に測定した。その結果、

- (1) 収納ケース内の温度は、外壁との距離と床面からの高さにより異なる。
- (2) 収蔵室内空気の温度も外壁との距離と床面からの高さにより異なり、その分布は季節により異なる。従って、1個の代表室温を用いて収納ケース内温度を計算する際には注意が必要である。
- (3) 収納ケース近傍の温度はケース内温度に近く、従って、近傍温度を収蔵室内温度と見なすことによりケース内温度を推定することができる。(この収蔵室で用いられているケースの温度調整能力は低く、収納ケースによる温度変動の緩和は期待できない。)
- (4) 二重壁内部の空気流動も考慮した CFD 解析を行い、収蔵室内空気の温度分布を計算した。水平方向および垂直方向の温度分布をほぼ再現する結果を得たが、水平方向分布についてはまだ改善の余地がある。
- (5) 収蔵室内温度分布の測定と CFD 解析により、二重壁が室内温度の非一様性に及ぼす影響の大きいことを明らかにした。空調を前提とした二重壁構造の設計には十分な配慮が必要であり、断熱・吸放湿性利用の改善について十分検討すべきである。
- (6) 収納ケース内外の温度の関係をより詳細な測定により確認すること、その結果に基づいてケース内湿度の予測精度を検討すること、二重壁構造の壁体を考慮した CFD モデルの改善による収蔵室内温度分布の再現が今後の課題である。