

6. 地下収蔵庫の温湿度と室内空気中のカビの実態調査

6.1 目的と概要

RC造建物の地下に位置する文化財収蔵庫にて、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。改善対策としてデシカント式除湿機を導入し、空間内の温湿度計測を行っている。

デシカント式除湿機導入後の室内湿度は、比較的高くなりやすい床付近でも年間を通じて最高でも7月に約67%であり、秋季から冬季は50%程度に低く保たれている。

ただし、現在のカビの生育状態や、収蔵庫内の空気質としてカビの空間的な分布は不明であるため、空中浮遊菌サンプラーを用いてカビサンプリングを行い、それらを調べた。

6.2 地下収蔵庫の概要

地下収蔵庫は、竣工してからおおよそ19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6-1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6-2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。

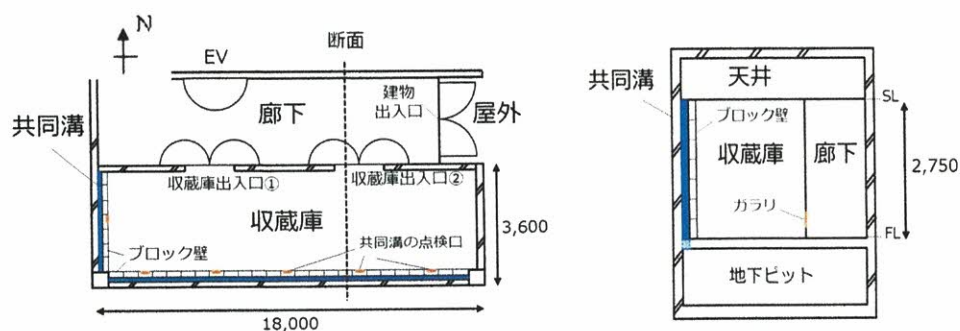


図 6-1 収蔵庫平面図（左）と断面図（右）



図 6-2 デシカント除湿機外観と除湿の仕組み

6.3 収蔵庫の温湿度

6.3.1 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 6-3 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。

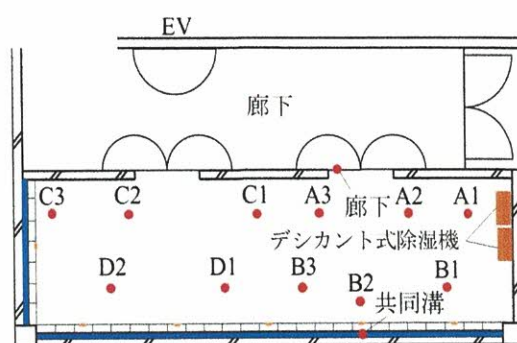


図 6-3 温湿度センサー設置状況

6.3.2 収蔵庫内の温湿度の測定結果と考察

図 6-4, 6-5, 6-6 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 6-4 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 6-5 より、収蔵庫の相対湿度は夏期にやや高くなるが、通年を通じて 70% 以下である。収蔵庫内では、C3 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、通年を通じて 90% 以上と高い値である。

図 6-6 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年間を通じて高い。

絶対湿度の分布が小さいことから、C3 の相対湿度が高い理由は、温度が低いとと考えられる。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。次節で説明するカビサンプリングを行った 3 月 14 日は、室温は約 16℃、室相対湿度は約 50% であった。

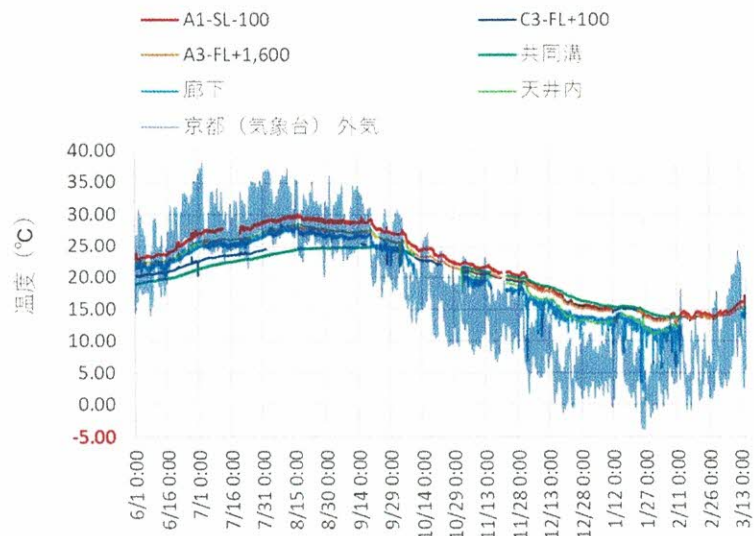


図 6-4 収蔵庫内の温度変動

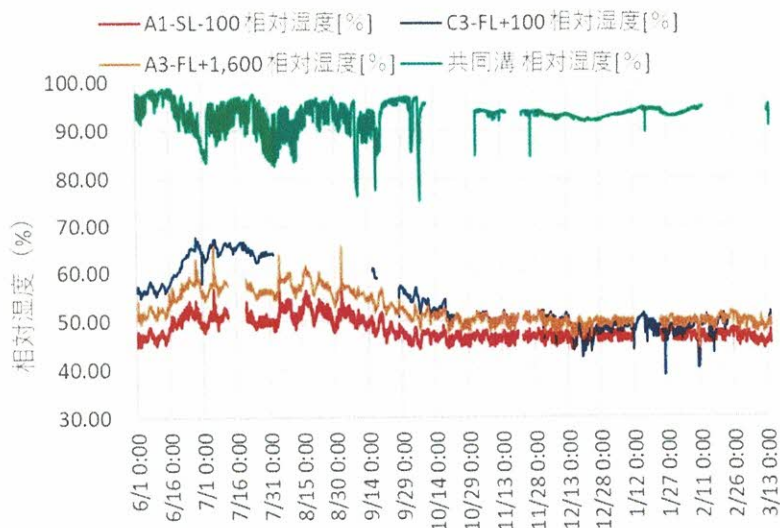


図 6-5 収蔵庫内の相对湿度変動

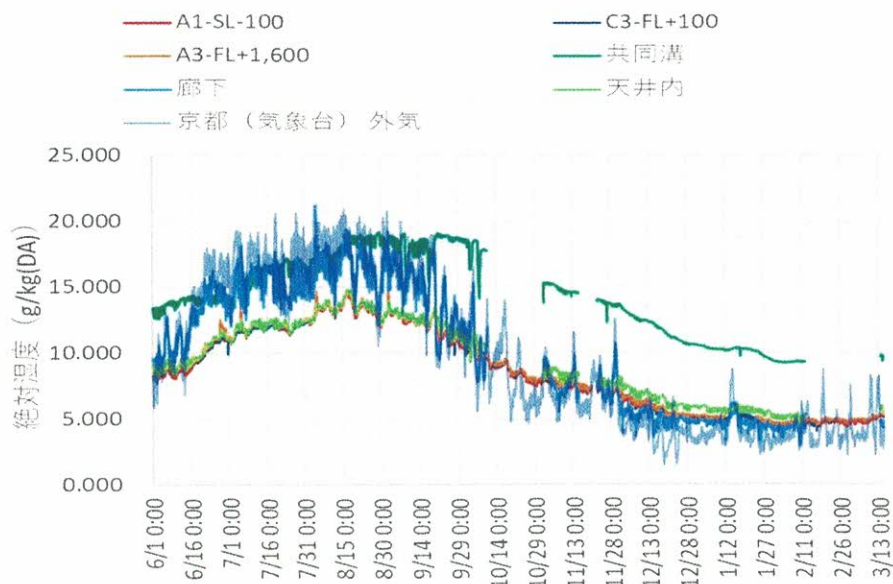


図 6-6 収蔵庫内の相対湿度変動

6.4 収蔵庫でのカビサンプリング

6.4.1 カビサンプリングの概要

2023年3月14日の午後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6-7、表6-1に示す。調査日の収蔵庫内の室温は約16℃、室相対湿度は約50%であった。

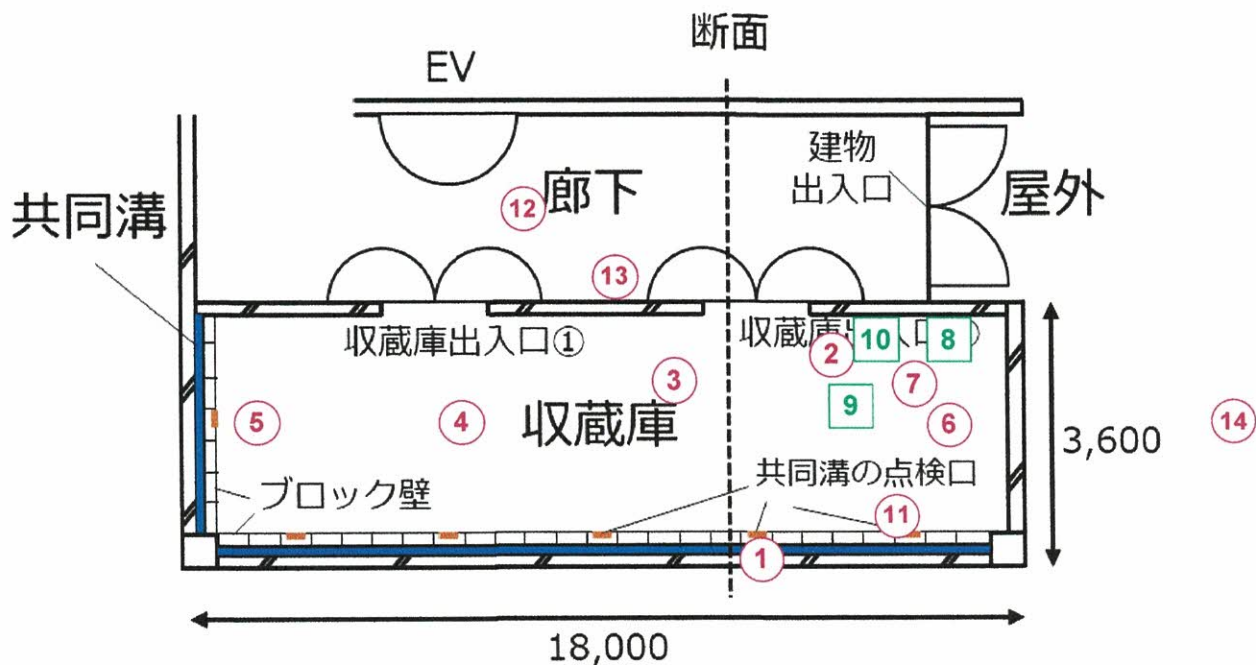


図 6-7 サンプルング箇所

表 6-1 カビサンプラーでの採取場所とサンプリング条件			
サンプル No.	培地の種類	採取箇所	総流量
1	DG18	1: 収蔵庫の共同溝	50L
2			100L
3			50L
4	PDA		100L
5			50L
6	DG18	2: 収蔵庫の天井裏	100L
7			50L
8			100L
9	DG18	3: 収蔵庫内	100L
10			
11			
12	DG18	4: 収蔵庫内	100L
13			
14			
15	DG18	5: 収蔵庫内	100L
16			
17			
18	DG18	6: 収蔵庫内 (棚の上)	100L
19			
20			
21	DG18	7: 収蔵庫内 木枠の上 (中間くらいの高さ)	100L
22			
23			
24	DG18		100L





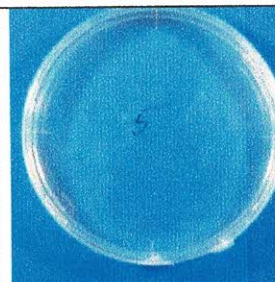
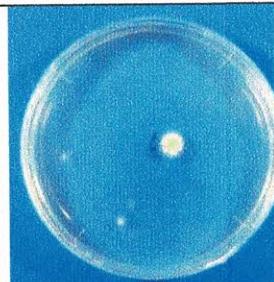

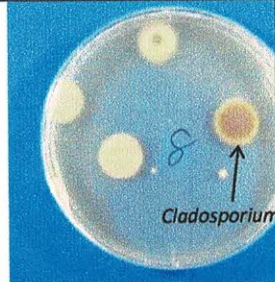
25	PDA	8：棚の中 A（一番下の段） 収蔵物：木の板	
26	DG18	9：棚の中 B（一番上の段） 収蔵物：耐火煉瓦	100L
27	PDA		
28	DG18	10：棚の中 C（下から 2 段目） 収蔵物：写真の原盤（ガラス）	100L
29	PDA		
30	DG18	11：収蔵庫内	100L
31			
32			
33	PDA	12：廊下の天井裏	100L
34			
35			
36			
37	DG18		
38			
39	PDA	13：廊下	100L
40	DG18		
41			
42	PDA	14：屋外（地下 1 階）	100L
43	DG18		
44			

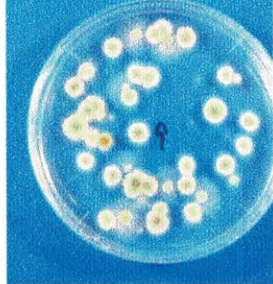
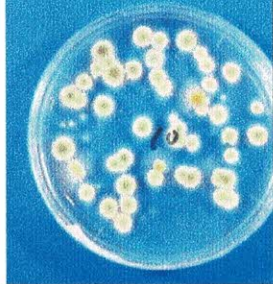
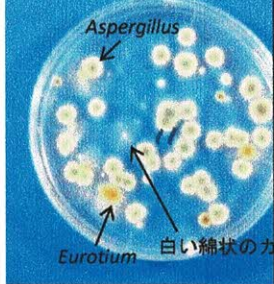
6.4.2 収蔵庫でのカビサンプリングの結果と考察

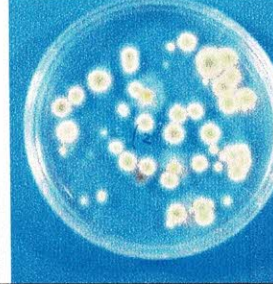
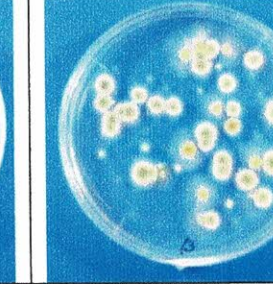
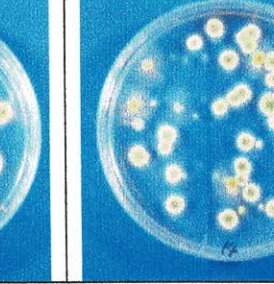
(a) サンプリング結果

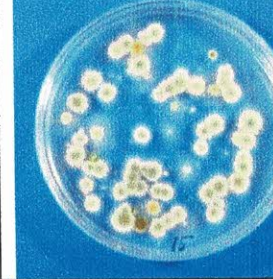
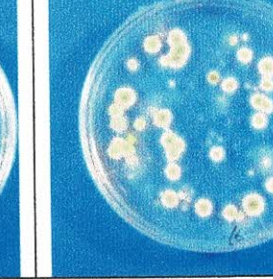
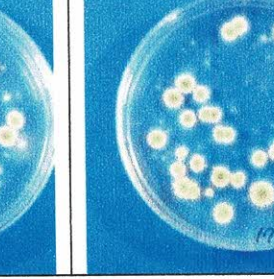
サンプリング後、6日間培養したシャーレの写真を表 6-2 に、10日間培養した写真を表 6-3 に示す。

- ・ 採取場所 4、5、6、7、11 は収蔵庫内の異なる場所、高さでサンプリングしたものである。*Aspergillus* が主体で、*Eurotium* がわずかに発生していた。また、白い綿状のカビもわずかに発生していた。今回の収蔵庫内でのサンプリングにおいて、カビの個数、種類についての場所による違いは、ほとんどなかった。
- ・ 収蔵物が納められている棚の内部でも同様に *Aspergillus* と *Eurotium* が発生していた。ただし、室内に比べてカビの個数はやや少ない。
- ・ 収蔵庫奥の壁の裏側でも *Aspergillus* が発生しているが数は少ない。3月20日の時点では白い小さなコロニーが多く発生していた。3月24日(表 3.3)にはこれらの一部が成長し、*Aspergillus* と思われるコロニーを形成している。
- ・ 収蔵庫の天井裏はカビの数が少なく、*Aspergillus*, *Cladosporium* が発生していた。
- ・ 収蔵庫の外の廊下でも、収蔵庫内部と同じく *Aspergillus*, *Eurotium* が発生していた。しかし、収蔵庫内部に比べてカビの数はやや少ない。

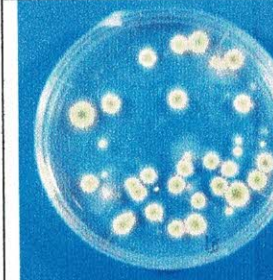
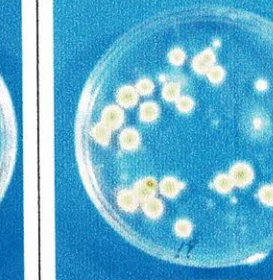
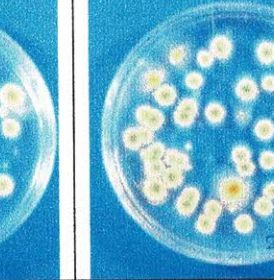
表 6-2 培養後 6 日目の様子 (2023 年 3 月 20 日)			
			
採取場所 1: 収蔵庫の共同溝			
DG18 培地・50L	DG18 培地・100L	PDA 培地・50L	PDA 培地・100L
			
採取場所 2: 収蔵庫の天井裏			
DG18 培地・50L	DG18 培地・100L	PDA 培地・50L	PDA 培地・100L

			
採取場所 3 : 収蔵庫内			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	

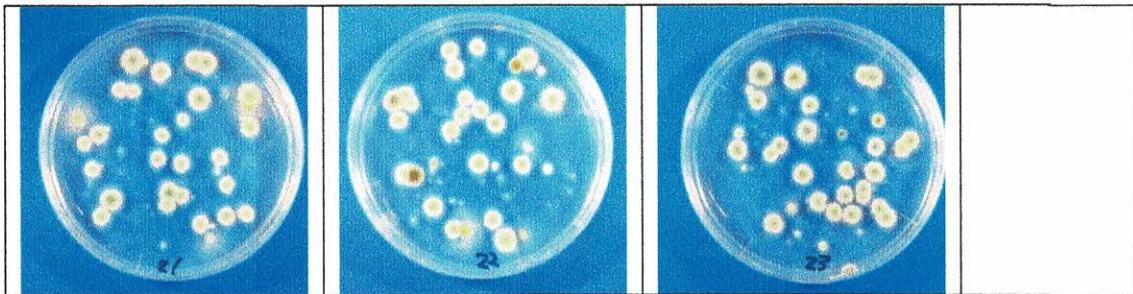
			
採取場所 4 : 収蔵庫内			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	

			
---	---	--	--

採取場所 5 : 収蔵庫内			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	

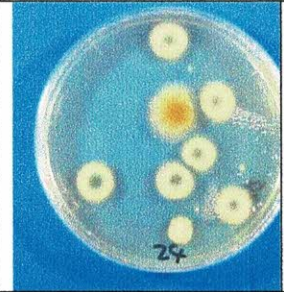
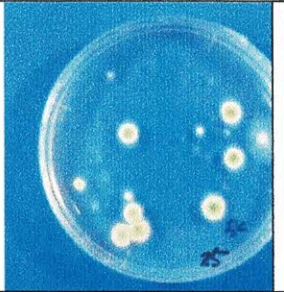
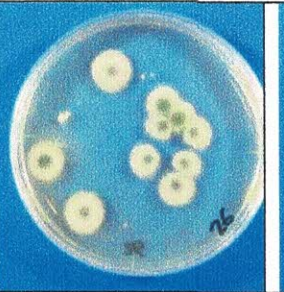
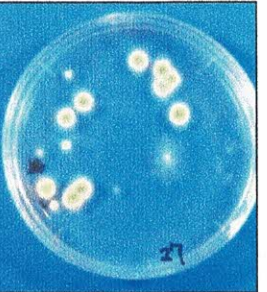

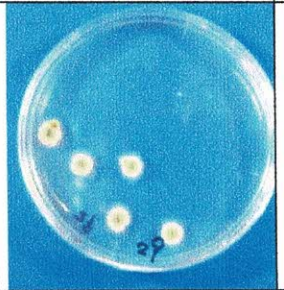
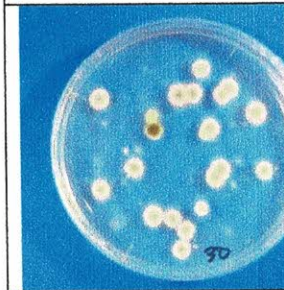
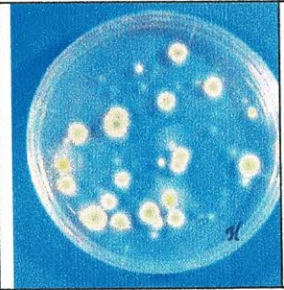

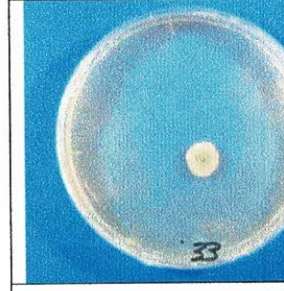

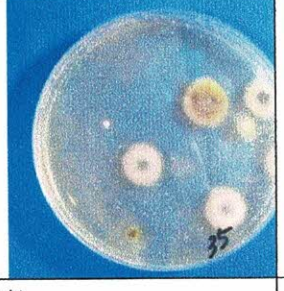
			
---	---	--	--

採取場所 6 : 収蔵庫内 (カライエ近くの棚の上)			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	



採取場所 7 : 収蔵庫内 除湿機近くの木枠の上 (中間くらいの高さ)

DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	
--------------	--------------	--------------	--

			
採取場所 8：棚の中 A（一番下の段） 収蔵物：木の板		採取場所 9：棚の中 B（一番上の段） 収蔵物：耐火煉瓦	
PDA 培地・100L	DG18 培地・100L	PDA 培地・100L	DG18 培地・100L
			
採取場所 10：棚の中 C（下から 2 段目） 収蔵物：写真の原盤（ガラス）			
PDA 培地・100L	DG18 培地・100L		
			
採取場所 11：収蔵庫内			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	
			
採取場所 12：廊下の天井裏			
PDA 培地・100L	PDA 培地・100L	PDA 培地・100L	

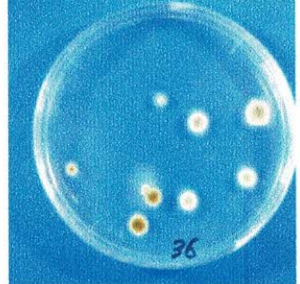
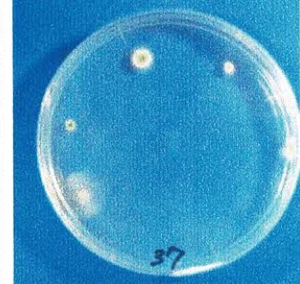
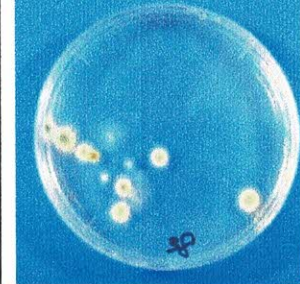
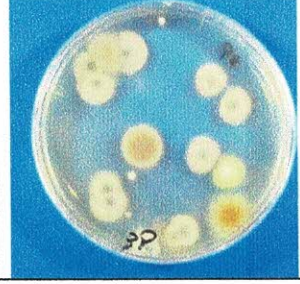
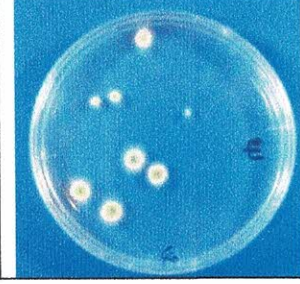
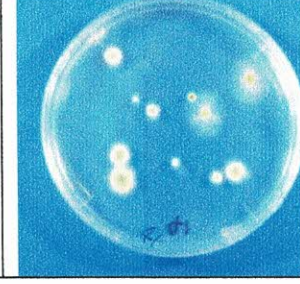

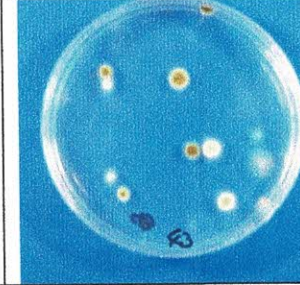
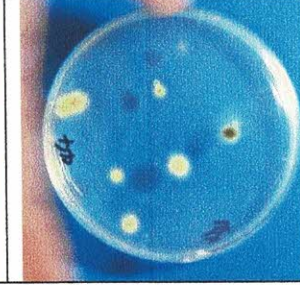
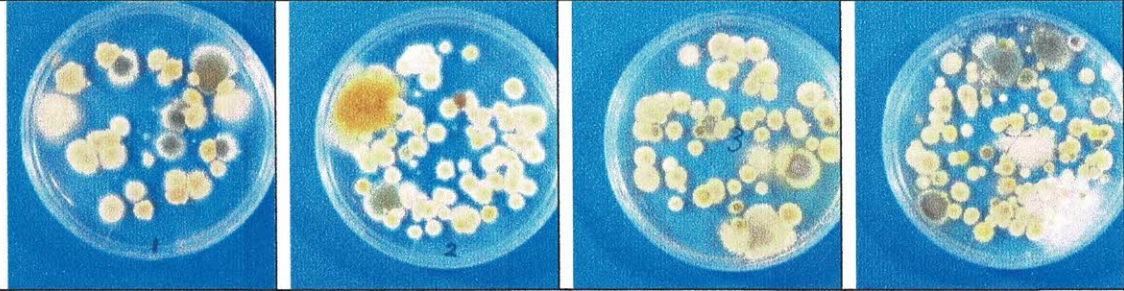
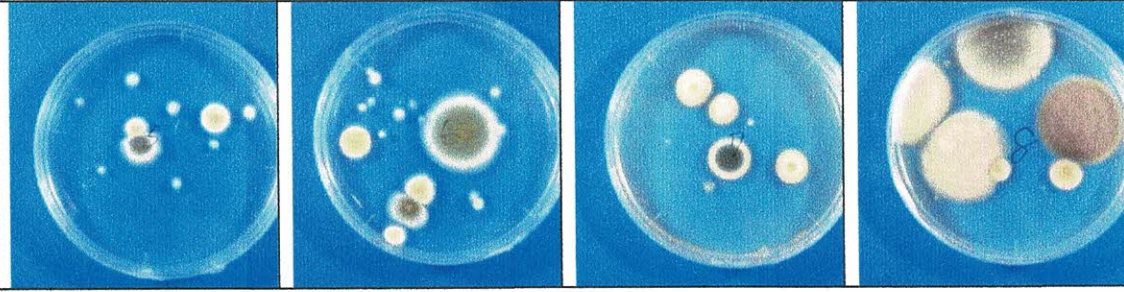
			
採取場所 12 : 廊下の天井裏			
DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	
			
採取場所 13 : 廊下			
PDA 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	
			
採取場所 14 : 屋外 (B1)			
PDA 培地・100L	DG18 培地・100L	DG18 培地・100L	

表 6-3 培養後 10 日目の様子 (2023 年 3 月 24 日)

			
採取場所 1 : 収蔵庫の共同溝			
DG18 培地・50L	DG18 培地・100L	PDA 培地・50L	PDA 培地・100L
			
採取場所 2 : 収蔵庫の天井裏			
DG18 培地・50L	DG18 培地・100L	PDA 培地・50L	PDA 培地・100L

上記結果を踏まえた、図 6-8 に収蔵庫内等の各部のカビ個数を示す。図より、DG18 と PDA の培地によるカビ個数の違いは、若干のバラツキはあるが、概ね同様であることが分かる。多くの部位での計測のある DG18 培地の結果についてみていくと収蔵庫内のカビ個数は、共同溝と収蔵庫内が多く、収蔵庫内では個数のバラツキが小さいことが分かる。また、屋外、廊下、天井裏の個数は、収蔵庫内よりも少ないことが分かる。

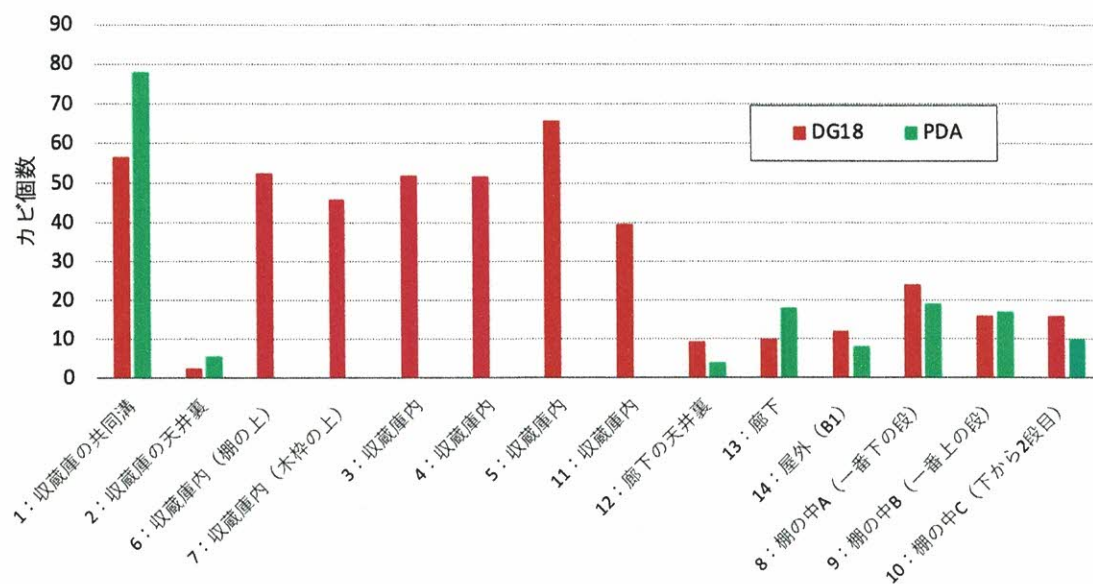


図 6-8 収蔵庫内のカビ個数

(b) カビサンプリング結果の考察

収蔵庫内の異なる場所、高さでサンプリングした結果、カビの個数、種類についての場所による違いは、ほとんどなかった。共同溝内と収蔵庫内で、カビの個数が多く、収蔵庫の外の廊下、収蔵庫内部に比べてカビの数はやや少なかった。

空間内の湿度分布はあるが、カビの空間分布はほとんどない。また、空間の相対湿度は計測時期には 50%程度と低く保たれているが、収蔵庫内空気中ではカビは多かった。

空間内の相対湿度が低いカビの生育は抑制されていると考えられるが、共同溝のカビの個数と、収蔵庫のカビの個数が近いことと、共同溝の湿度が年間を通じて高いことから、共同溝に接する壁体が高湿となっている可能性が考えられ、この壁体等の部位がカビの生育に影響を与えている可能性が考えられる。

6.5 第 6 章のまとめ

RC 造建物の地下に位置する文化財収蔵庫にて、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。改善対策としてデシカント式除湿機を導入し、空間内の温湿度計測を行っており、デシカント式除湿機導入後の室内湿度は、比較的高くなりやすい床付近でも年間を通じて最高でも 7 月に約 67%であり、秋季から冬季は 50%程度に低く保たれている。ただし、現在のカビの生育状態や、収蔵庫内の空気質としてカビの空間的な分布を空中浮遊菌サンプラーを用いてカビサンプリングを 2023 年 3 月 14 日に行い、それらを調べた。

1) 収蔵庫内の異なる場所、高さでサンプリングした結果、カビの個数、種類についての場所による違いは、ほとんどなかった。

- 2) 共同溝内と収蔵庫内で、カビの個数が多く、収蔵庫の外の廊下、収蔵庫内部に比べてカビの数はやや少なかった。
- 3) 空間内の湿度分布はあるが、カビの空間分布はほとんどない。また、空間の相対湿度は計測時期には50%程度と低く保たれているが、収蔵庫内空気中ではカビは多かった。
- 4) 空間内の相対湿度が低いためカビの生育は抑制されていると考えられるが、共同溝のカビの個数と、収蔵庫のカビの個数が近いことと、共同溝の湿度が年間を通じて高いことから、共同溝に接する壁体が高湿となっている可能性が考えられ、この壁体等の部位がカビの生育に影響を与えている可能性が考えられる。

今後、高湿となりやすい夏季を含めてカビの個数の季節変化について検討する必要があると考えられる。カビの種類の特異性結果の検討も行う予定である。

またカビ発生リスクを考えると、カビの胞子が付着している収蔵庫内の掃除や表面のクリーニングが必要と考えられ、クリーニング実施と、その前後の調査の実施も検討する必要があると考えられる。

本収蔵庫の湿度は空間として概ね湿度を低く保たれているが、年中高い湿度となっている共同溝の高湿化の抑制方法や、夏季高湿となる低温部位の抑制方法の検討が必要であると考えられる。

また、同様のカビ調査を博物館収蔵環境においても実施する予定である。

7. 今年度のまとめ

第1章では研究目的を述べた。

第2章では、収蔵室内の温湿度測定を行い、収蔵スペースの実態を把握した。

特に、窓の気密化を行った収蔵室の温湿度性状の変化を取り上げ、窓気密化の影響について検討した。窓を気密化することにより、エアコンおよび除湿機の熱湿気制御効率は高くなり、また室の湿気容量を有効に生かすことができるようになった。ただ、エアコン使用時の温湿度変化幅は大きく、短周期の温度・湿度変化が収蔵物に与える影響を考慮する必要がある。

第3章では、対象とする既存博物館施設の展示室における来館者と展示物の両方に適した空調制御方法を検討するため、室内の温湿度測定と空調機周りの温湿度、消費電力測定に基づいて、空調機の運転を再現するシミュレーションモデルを作成した。提案したモデルでは、空調時の各展示室の温度はよく実測結果を再現できたが、空調停止後の温度変動や、絶対湿度の再現性については課題が残った。湿度に関して、対象の展示室においては冬季に展示室内の相対湿度が空調時低くなることで、施設利用者が乾燥による不快を感じる可能性があり、また急激な湿度変化により展示物が劣化するリスクがある。この問題については現在稼働していない空調機本体に付属している加湿機を稼働させることも今後考慮する必要がある。一方、加湿器を作動させることによる室内温湿度および省エネルギー効果を確認す

るためには、室内の湿度を正確に予測するモデルが必要である。

最後に、提案したモデルを用いて、外気導入率の適正化と冷温水ポンプの on/off 制御による過剰暖房・冷房の抑制を行ったときの省エネルギー効果について検討した。結果として夏季・冬季の両方においてコイルの冷却・加熱に要する熱量はおおむね減少することが確認できた。

第4章では、空間内の温湿度、空気質が最適になるような吹出・吸込口位置と吹出空気条件の最適化について検討した。床面近くでの発熱による温度成層の形成を利用すると簡易な対応が可能となる可能性を、吹出・吸込口位置、吹出空気温湿度を変化させた CFD 解析により検討した。

第5章では、収納箱内部の温湿度の温湿度を測定した。収納箱の温度変化幅は収蔵室のそれとほぼ等しいこと、収蔵ケースの湿度変動緩和能力は長周期については小さいが、短周期変動についてはかなり大きいこと、エアコンや除湿機からの冷温風が収納箱に直接当たる場合には、その影響が無視できない場合があることなどが明らかにされた。熱水分移動解析を行い、これらの測定結果の再現を行うことにより収納ケースの調湿・調温効果を明らかにした。木製の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、収納物としての金属遺物も収納箱内湿度にそれなりに影響すること、などを明らかにした。

第6章では、高湿による文化財へのカビ付着が生じた RC 造建物地下の文化財収蔵庫の除湿対策について検討した。デシカント式除湿機の導入により、比較的高湿な床付近でも最高約 67% (7月)、秋季から冬季は 50% 程度に保たれていた。現在のカビの生育状態や収蔵庫内のカビの空間分布を、空中浮遊菌サンプラーを用いて調べた。その結果、

- 1) 収蔵庫内の場所によるカビの個数、種類に違いはほとんどなかった。
- 2) 共同溝内と収蔵庫内でカビの個数が多く、廊下ではカビの数はやや少なかった。
- 3) 空間内の湿度分布はあるが、カビの空間分布はほとんどない。相対湿度は 50% 程度と低く保たれていたが、収蔵庫内空気中のカビは多かった。
- 4) 空間内の相対湿度が低いためカビの生育は抑制されていたと考えられるが、共同溝と収蔵庫のカビの個数が近いこと、共同溝の湿度が年間を通じて高いことから、共同溝に接する壁体が高湿となりカビの生育に影響を与えている可能性が考えられる。

今後、高湿となりやすい夏季を含めてカビの個数の季節変化について検討する必要がある。またカビ発生リスクを考えると、カビの胞子が付着している収蔵庫内の掃除や表面のクリーニングが必要と考えられ、クリーニング実施とその前後の調査の実施も検討する必要があると考えられる。本収蔵庫の湿度は概ね低く保たれているが、年中高い湿度となっている共同溝の低湿化や、夏季高湿となる低温部位の抑制方法の検討が必要である。同様のカビ調査を博物館収蔵環境においても実施する予定である。