

〔報告〕 閉架書庫内の吹き抜け構造の解消による 温湿度環境改善の試み

佐野 千絵・橘川 英規

1. はじめに

東京文化財研究所は、その前身となる帝国美術院附属美術研究所が設立された昭和5年(1930)から、文化財に関する図書資料を収集してきた。これらを整理し公開している施設が文化財情報資料部文化財アーカイブズ研究室の管轄の下にある資料閲覧室であり、所蔵している図書約18万冊、雑誌約12万冊を提供する窓口の役割を果たしている。所蔵資料は、江戸期以前の版本・写本類、明治以降の図書や雑誌、展覧会目録・図録、18世紀以降西洋で刊行された革装本まで多岐にわたる。平成12年(2000)新庁舎開設に伴い黒田記念館から現在地に移転し、これらの資料の大半は庁舎2階および3階に設置された閉架書庫に収蔵されている。

この閉架書庫では、夏から秋にかけてカビの発生が繰り返し起こっていた。カビ処置法の検討¹⁾、書架の定期的散開動作による書架内空気のパラメータの試行と評価²⁾など、保管環境の改善を目指して、著者らは比較的少ない予算で対応できる方法を探してきた。これまでの検討で、閉架書庫内の集密棚は紙資料の集積密度が高く、温度が上昇すると相対湿度が上昇する「蒸れ」やすい状況にあり、外周とは異なる環境となっており、カビ被害の低減を図るうえで注意深い監視が必要であることがわかった。その問題の解消を目指して、集密棚内部の環境を外周の環境に近づけるよう、利用者がいない時間帯に棚を1台ずつ動かす散開モードを新たに作り、外周および集密棚内部で温度湿度測定を実施した結果、9～18時の空調稼働で夜間停止している条件であっても、毎日1回、集密棚を一分に一台ずつ散開させ通風を促すことで、集密棚内部の環境を空調の設定条件に近づけることができたことがわかった²⁾。2018年度からは職員に周知を十分に行ったうえで、空調稼働開始の9時に電動棚の自動散開を行い管理している。

一方で2017年の計測を通して、定期的に散開動作を実施して外周と固定棚内の環境のパラメータを図っても、3階書庫の南寄りに位置する67列の露点温度は他の場所に比べて夏は高めに推移し、夏のカビ被害のおそれに対して注意深い監視が必要な状況であった。この不安の解消のためには、より一層の手当てが必要と考えた。当所の閉架書庫は2層構造で南西隅の階段でつながっており、3階書庫は周囲の書棚に加え、中央に電動集密書架(スタックランナー)を配している。当所の閉架書庫内の階段と3階書架設置スペースはガラス壁でほぼ区画化されていたが、3階踊り場の入り口は開放状態であった。建築設計にあたり、空調は各区画に対して吹き出し・吸込みのバランスを考えて設計するもので、3階を全面的に区画化すること、すなわち踊り場に横引き扉を設置することで吹き抜け構造の影響を小さくできる可能性があると考え、平成29(2018)年3月20日に扉を設置した。

本報告では、扉の設置により3階の保管環境に改善が見られたかどうか、温度湿度計測データから検討した結果を報告する。

2. 工事の範囲と計測方法

閉架書庫の図面と横引き扉の設置場所、温度湿度計測位置を図1に示す。横引き扉は書物を

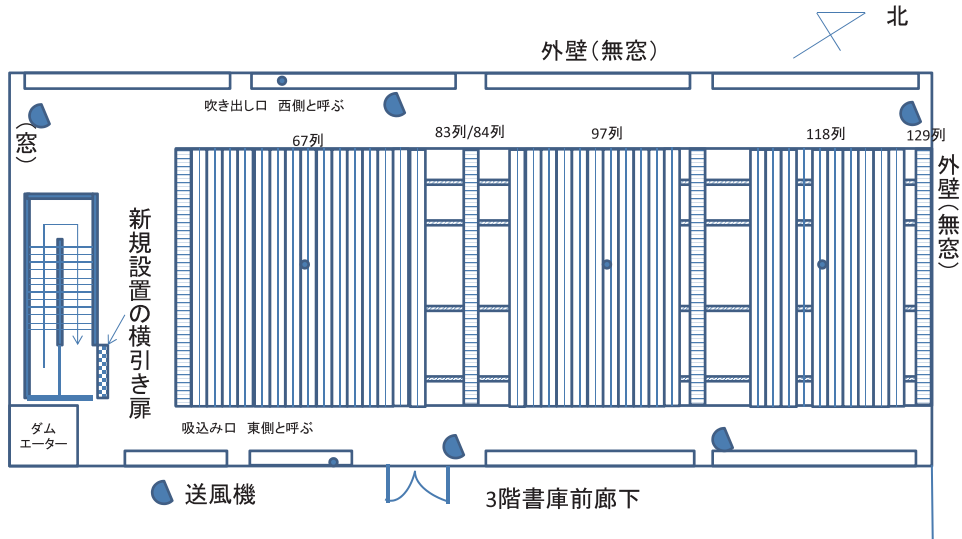


図1 3階閉架書庫内の計測器設置位置一覧
● HOBO UX100-003

持つての出入りに負担が少ないよう、しかしある程度の空気の出入りは防ぐように手を離せば自然に閉まるタイプのドアを採用し、戸当たりにはシリコンゴムをつけた。消防法との整合で防火扉がしまるようになるため、突起のある引き手はつけられなかった。

計測には温度湿度データロガー HOBO UX100-003 (オンセツ社, 精度 $\pm 0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 3.5\%$ rh, 分解能 $0.024\text{ }^{\circ}\text{C}$ 0.07% rh ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), 応答速度は温度で4分, 相対湿度で43秒(空気流動 1 m/s))を使用した。設置場所は、書架のブロックが3つに分かれているので、各ブロックの中央付近である67列, 97列, 118列をモニター場所を選択した。設置する前に校正し、同位置には同じ機器を設置し、機器による誤差を小さくするように注意した。2017年は書架内の変動を詳細に検討するために計測間隔を主に5分としていたが、外周に設置したロガーのデータ回収忘れなどでデータの欠損が生じた。2018年は年間通して計測できるよう、15分間隔で計測記録した。

本報告では、2017年および2018年の温度湿度推移について概括する。扉の効果を比較検討する目的で、両年のデータがそろっている初夏から梅雨(5月28日～6月28日頃)、盛夏から秋(8月28日～9月27日頃)の期間を対象に、空調制御されている時間帯をデータから抽出し、温度湿度や絶対湿度の変動について検討した。

この時期の閉架書庫の空調稼働時間は平日の9時～18時で、3階書庫では冬季の温湿度設定値は $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 40% rh (絶対湿度 7.8 g/m^3), 夏季の設定値は $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 45% rh (絶対湿度 10.4 g/m^3)である。土日、祝休日には庁舎全体の冷却塔が停止するため書庫内温度がなりゆきで変動する。また吹き出し口は書庫西側にスリット状に配置され、書庫東側のスリット状吸込み口から戻る。加えて、外周の空気流動を促す目的で外周通路に送風機を5台設置している。空調設備の更新、書庫内換気の制御、空調設定や送風機の設置場所、稼働状況について、2017年、2018年に変化はなかった。

評価に用いた時期の電動書架の定期散開は前報²⁾のモード3で、以下のような動きをしていた。

- ・端部(固定棚)に一度、棚が収束したのち、逆の端部に近い棚が1台移動し、1分間待機

する。その後、次の棚が1台移動し、以下同様に待機時間を持って順次移動し、端部にすべての棚が収束した後に、往復移動なしに均等割り付けする。

- ・平日は9時（金曜のみ9時と23時）、土日は11時と23時に、上記の散開動作を行う。

3. 結果と考察

3-1. 書架の状況

2017年および2018年の書架内の温度、湿度の推移を図2、3に示す。2017年のデータは、計測間隔が異なるデータ間の比較となり、2区間移動平均をとって推移をグラフにした。そのためマーカでのグラフ表現より、若干、変動幅が小さい表現となっている。2017年には計測欠損期間がある。

空調稼働時の統計値を表1にまとめる。空調が夜間停止していることで、室内空気が乱れていると推定される9時台のデータを外して、10～18時のデータを集計している。温度測定は小数点1桁まで、相対湿度測定は小数点1桁目を四捨五入するのがこの測定器の精度に合っている。

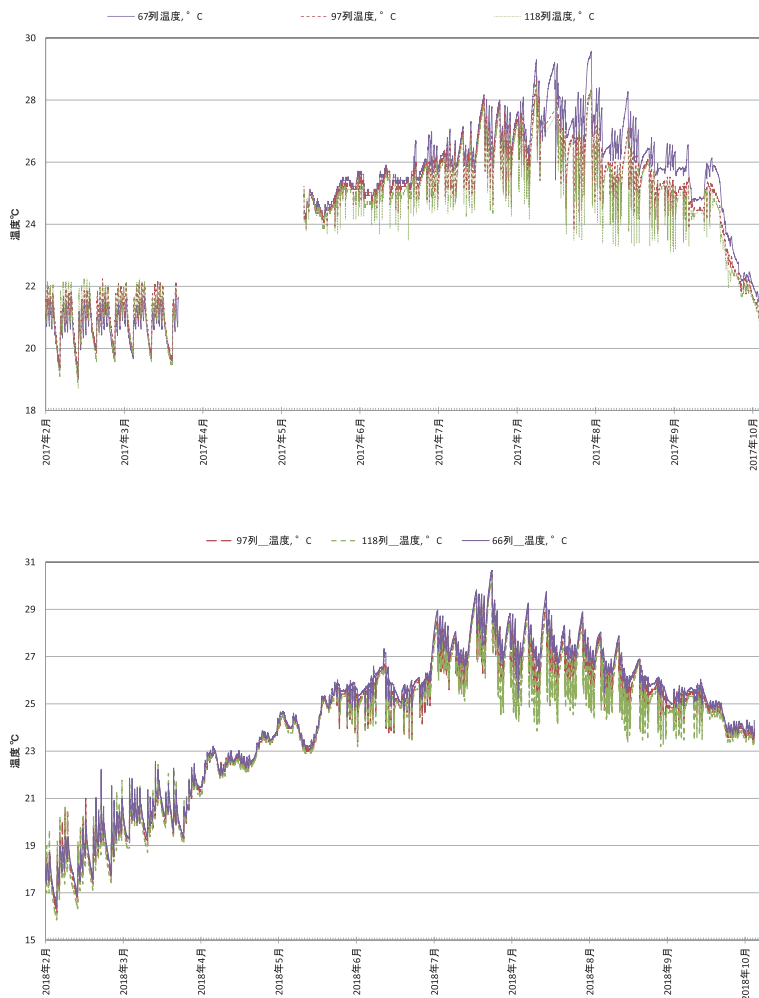


図2 書架内の温度推移 上：2017年 下：2018年

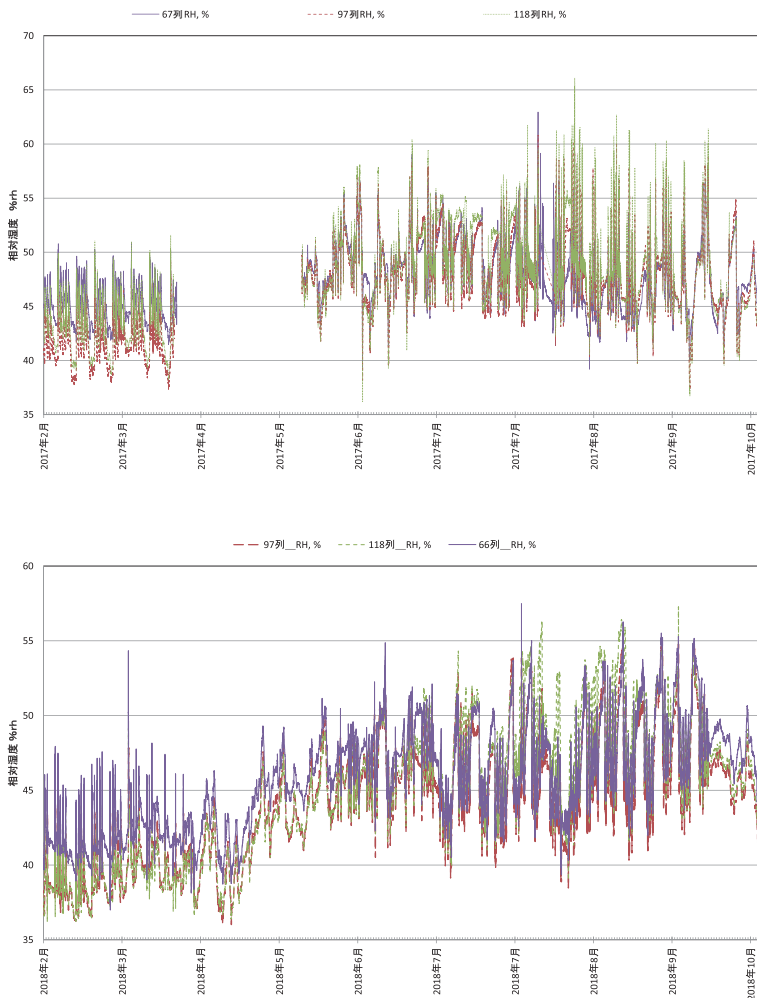


図3 書架内の相対湿度推移 上：2017年 下：2018年

るが、分解能は温度で小数点3桁、相対湿度で小数点2桁をメーカーが謳っていることから、統計値でもあり記載は小数点2桁とした。

温度推移をみると（図2上）、吹き抜けに近い位置の67列付近のデータは、2017年のデータでは盛夏から秋にかけて、他の測定点より温度がやや高く見えるが、統計値には表れていない（表1）。相対湿度推移については、2017年のデータの変動幅が大きいものに対して、2018年のデータでは、いずれの測定点も変動幅が小さくなっていることが、図3および統計値（表1）からわかる。

測定値の分布について、各測定点のヒストグラムを作成した（図4、5）。2017年に比べて、2018年のヒストグラムは左右の対称性が良くなり、正規分布に近づいたことがわかる。また相対湿度（図5）は、正規分布に近づくとともに、分布の幅が小さくなったことが明らかである。

以上の検討から、扉を設置し2階と3階を区画化したことにより、各測定点の変動幅に偏りがなくなり局所気候が生じない方向に改善できたこと、特に相対湿度については制御状況が改善されたと評価した。

表1 空調稼働時の書架内の温度・相対湿度の平均と標準偏差

	2017春から梅雨			2018春から梅雨		
	67列	97列	118列	67列	97列	118列
温度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	25.20	24.93	24.71	25.67	25.16	25.01
stdev	0.42	0.35	0.35	0.44	0.55	0.51
相対湿度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	49.33	48.97	49.79	47.63	46.18	46.56
stdev	4.03	4.42	5.02	1.76	1.58	1.51
絶対湿度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	11.65	11.36	11.36	11.41	10.75	10.74
stdev	1.08	1.10	1.22	0.55	0.56	0.56

	2017盛夏から秋			2018盛夏から秋		
	67列	97列	118列	67列	97列	118列
温度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	26.51	25.15	24.45	26.41	25.81	25.02
stdev	0.62	0.61	0.70	0.65	0.61	0.64
相対湿度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	46.18	47.88	49.65	45.98	44.67	46.76
stdev	3.54	4.44	4.84	1.55	1.60	1.82
絶対湿度	67列	97列	118列	67列	97列	118列
average	11.55	11.13	11.11	11.47	10.78	10.79
stdev	0.84	1.08	1.19	0.50	0.48	0.52

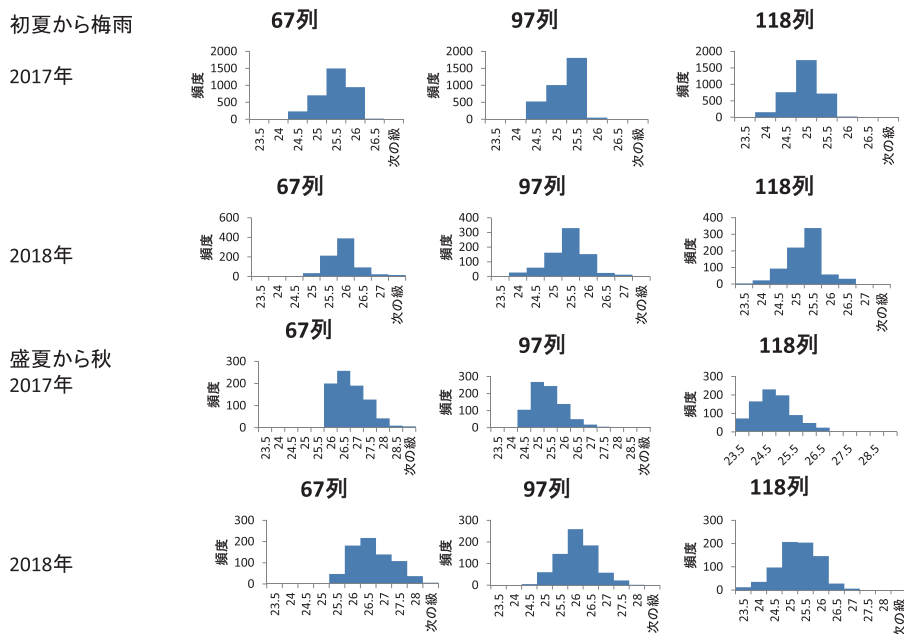


図4 2017年、2018年の各測定点の温度値のヒストグラム

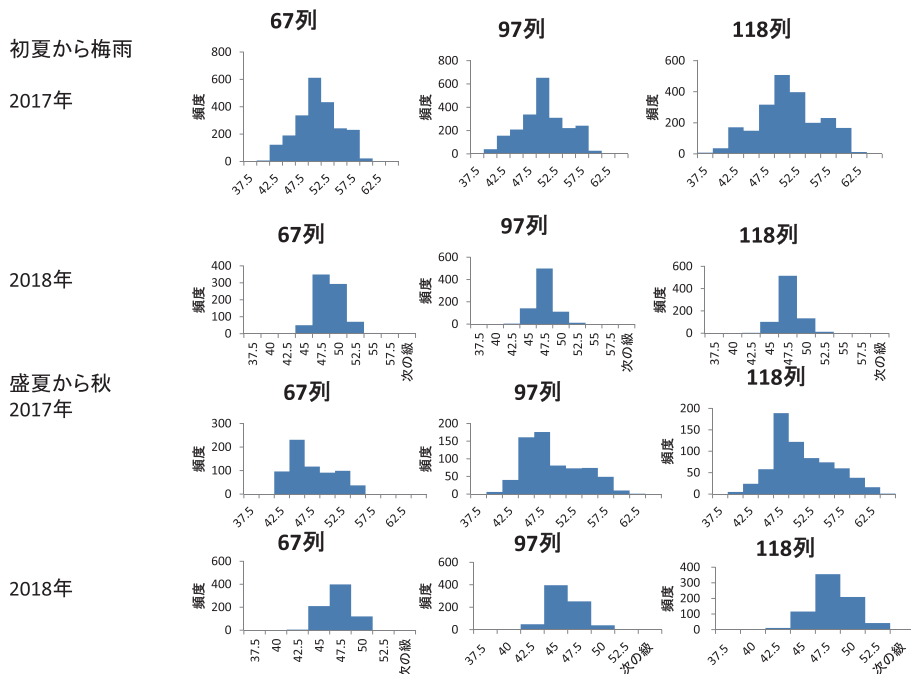


図5 2017年、2018年の各測定点の相対湿度値のヒストグラム

3-2. 外周の状況

2017年のデータは、計測の欠損期間があり、5月10日～6月28日、8月22日～11月1日のみ、2017年と2018年のデータが比較できる。図6に外周の温度、図7に相対湿度推移を示す。相対湿度変動が2017年（図7）には西側で大きく東側で小さかったのに対して、2018年（図7）では西側と東側で同程度の変動に変化したように見える。空調稼働時の温度・相対湿度の統計値を表2にまとめる。相対湿度については、書架内と同様に、2018年には変動幅が小さくなることがわかった。

当所の閉架書庫3階は西側から供給された空調空気が東側に流れており、外周の絶対湿度の差分（西側の絶対湿度-東側の絶対湿度）が小さくなれば、室内の絶対湿度分布が小さくなったことを示し、室内平準化の目安となると考えた。

そこで、2階と扉で3階が区画されたことにより、3階外周は空調空気により制御され東西の絶対湿度の差分が小さくなるかどうか検討することとした。扉の設置前後の、2017年、2018年それぞれの空調の稼働している時期、初夏から梅雨：5月28日頃～6月28日頃および盛夏から秋：8月22日頃～9月28日頃のデータを用いて絶対湿度を計算で求め、差分について統計処理した。

差分を図8に示す。2017年に比較して、2018年は絶対湿度差が小さくなっており、変動幅が小さくなったことが明らかになった。

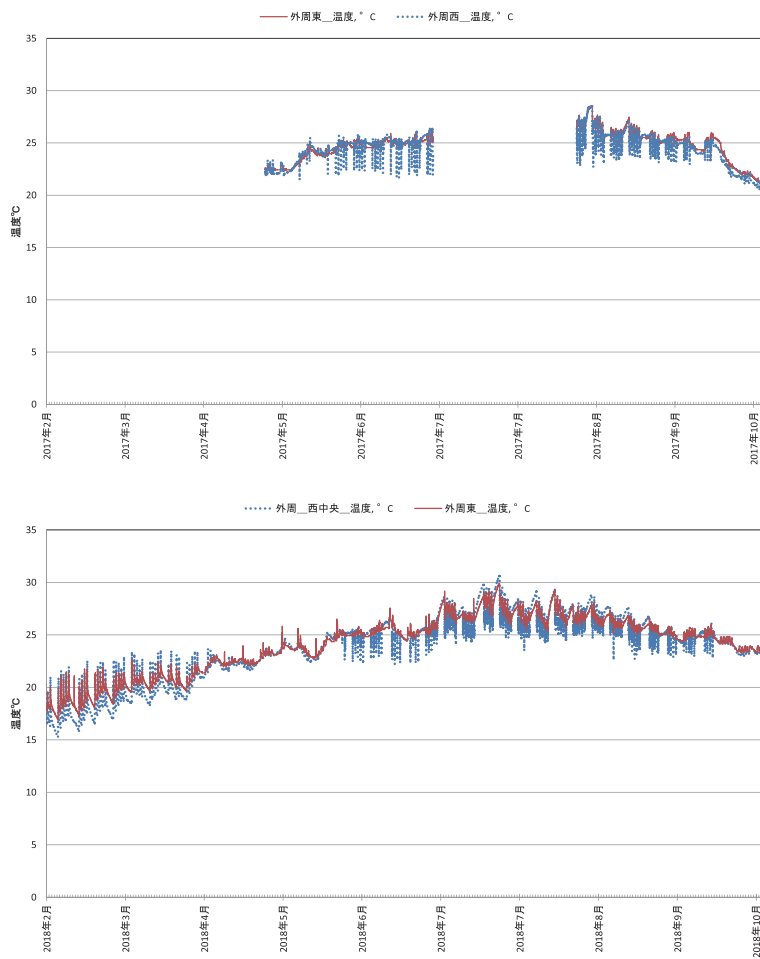


図6 外周の温度推移 上：2017年 下：2018年

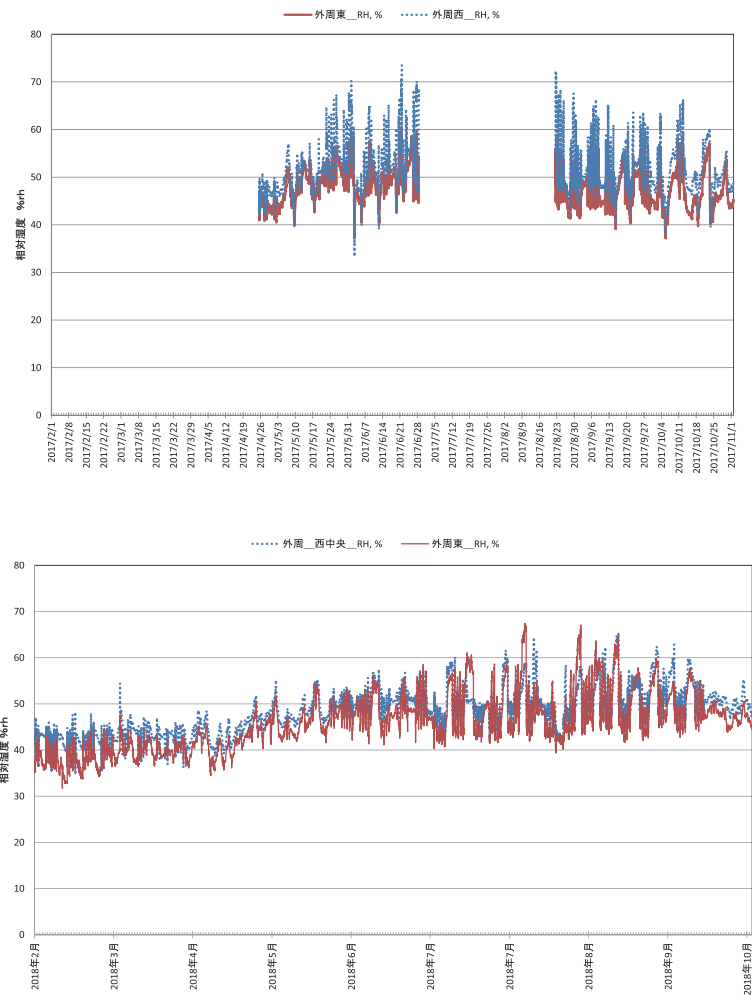


図7 外周の相対湿度推移 上：2017年 下：2018年

表2 空調稼働時の外周の温度・相対湿度の平均と標準偏差

	2017春から梅雨		2018春から梅雨	
温度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	24.24	25.09	24.92	25.48
stdev	0.94	0.22	0.83	0.42
相対湿度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	55.54	49.67	50.15	46.53
stdev	7.58	4.76	1.80	2.14
絶対湿度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	12.25	11.51	11.52	11.02
stdev	1.56	1.15	0.62	0.55

	2017盛夏から秋		2018盛夏から秋	
温度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	24.53	25.59	24.94	25.66
stdev	0.75	0.59	0.81	0.43
相対湿度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	53.12	46.89	49.32	45.34
stdev	5.17	4.13	2.55	1.85
絶対湿度	外周西	外周東	外周西	外周東
average	11.94	11.17	11.33	10.85
stdev	1.34	1.01	0.54	0.47

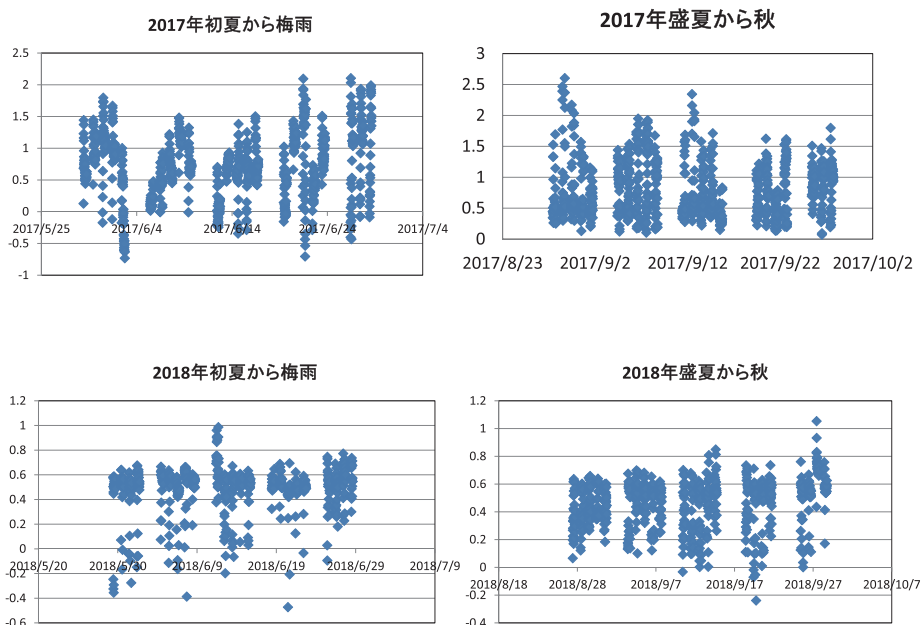


図8 絶対湿度の東西差（西側の絶対湿度－東側の絶対湿度）の分布

4. まとめ

本報告では、2017年度末の3階踊り場への扉の設置により2階と3階の空間を分けたことで、3階の保管環境が2017年より2018年に改善されたか温度湿度計測データから検討した。

3つに分かれた書架のブロックの中央付近である67列、97列、118列について、扉の設置後に温度湿度変動が小さくなったことがわかった。また外周については、絶対湿度差が小さくなり、空調による制御が改善されたことがわかった。2018年は猛暑にも関わらず、当所の閉架書庫3階の空調は能力を示し、カビ等の被害はなかった。

吹き抜けのある図書室や閉架書庫は全国的に多く、温湿度がうまく制御できないというところも多く見受けられる。各階の空調は設計時点で区画化された部分で制御できるように設計・設置されており、扉が開いたままでの運用や、吹き抜けのように空気の往來を制御できない場合、想定外に高湿度環境になる場所が生じて、カビ等の被害を受けるおそれもある。区画化して管理することも保管環境改善の一助になることを指摘し、まとめとする。

参考文献

- 1) 橘川英規、安永拓世、皿井舞、津田徹英、佐野千絵：閉架書庫に発生したカビ対策事例、保存科学、56、99-112 (2017)
- 2) 佐野千絵、橘川英規：電動集密書架の定期的散開による環境制御効果の検討、保存科学、57、145-157 (2018)

キーワード：書庫 (storage)；吹き抜け構造 (stairwell structure)；温度湿度変動 (temperature humidity variation)；区画化 (compartmentalization)

Environmental Improvement in a Closed Library with a Stairwell Structure

Chie SANO and Hideki KIKKAWA

In addition to the open library in the Institute, there is a closed library where around three hundred thousand books and magazines are stored. There is a concern that books in the closed library often suffer from mold growth, although the measured temperature and humidity is within an acceptable range due to air conditioning operating from 9 o'clock to 18 o'clock. To stabilize the environment in the closed library, a stairwell structure, which connects the 2nd and 3rd floors, was separated by installing a door in March 2018.

Temperature and humidity were measured by data loggers (HOBO UX100-003, Onset Corp.) which were settled in and around a stack. Obtained data of 2018 were compared to that of 2017.

It was found that variation of relative humidity became smaller in the stack. The difference in absolute humidity between the east side and the west side around the stack disappeared. It was made clear that a stairwell structure is not suitable for environmental management and that each compartment should be sectioned architecturally.