

書庫内空気環境維持活動 ーホルムアルデヒドの検出と対策についてー

新城 邦朝†

はじめに

- 1 書庫内空気環境モニタリング
 - 1-1 目的
 - 1-2 対象書庫と測定対象気体
 - 1-3 気体測定手法と測定ポイント
 - 1-4 測定結果と書庫空気環境状況
- 2 測定結果から判明した異常ーホルムアルデヒドの検出ー
 - 2-1 発生源の推測と特定
 - 2-2 拡散の実態と拡散経路の推測
- 3 対策のためのトライアル
 - 3-1 ホルムアルデヒド濃度低減策の検討
 - 3-2 トライアルの手法と実施
 - 3-3 トライアルの結果
- 4 対策実施ートライアルの結果を根拠としたー
 - 4-1 ホルムアルデヒド吸着材の設置
 - 4-2 書庫内の濃度変化

おわりに

はじめに

我々が取り扱う公文書を主とした歴史資料（以下、「資料」という。）の経年劣化は止めることはできない。これらの資料は「生物」と違い劣化や傷みを自ら治す治癒力はなく、保存修復担当者がすることは、保存環境や修復・処置を適切にすることで劣化を遅らせ一日でも永く歴史資料の寿命を延ばすことだと考える。¹

沖縄県公文書館では、資料の寿命を延ばすために日々の業務として劣化した資料の修復を行っているが、その資料数が膨大なこと、修復作業を担当できる技術を持つ職員や劣化資料を外部の修復工房に委託する予算にも限りがあることから修復優先順位をつけたとしても実施までに長い年月を要してしまう。このように迅速に劣化資料の修復に取り掛かれない制約があるなか、資料を劣化から守るには、保存環境を整え劣化の速度を遅らせる環境の構築が有効だと考える。

これまででも予防的保存（Preventive Conservation）という考えのなか、資料保存空間である書庫内環境の維持に努めてきた。例えば、温度・湿度の維持管理活動や虫菌に起因する生物被害予防活動を行ってきた。また、空気環境改善活動として劣化した映像フィルムから放出される酢酸が充満していたフィルムテープ保管庫（以下、「7号書庫」という。）の酢酸濃度低減活動も行ってきた。² それらの

† しんじょう くにとも 公益財団法人沖縄県文化芸術振興会公文書管理課 公文書専門員

1 大林賢太郎『写真保存の実務』（有限会社岩田書院 2012年7月）p.45

2 新城邦朝「映像フィルム保存活動ー書庫内空気環境改善活動の試みー」『沖縄県公文書館研究紀要 第26号』（沖縄県文化振興会 2024）

活動がある程度軌道に乗ってきたことから、空気環境改善活動を一段すすめる酢酸以外にも資料や人の健康に害を及ぼす気体（主にアンモニア、ホルムアルデヒド）の保存空間での適切な濃度管理と維持の必要性を感じるようになった。

本稿では、2023年（令和5）から2025年（令和7）上半期の約2年半にかけて行ってきた書庫内空気環境モニタリングで収集したデータから判明した「空気質の望ましい基準値」（以下、「基準値」という。）を超えるホルムアルデヒドの存在、そして、その蓄積したデータを根拠としたホルムアルデヒドの発生源の推測と特定、濃度低減策の立案と試行、試行結果を基礎とした対策の実施、そして結果にたどり着くまでの活動をまとめる³。

1 書庫内空気環境モニタリング

1-1 目的

書庫内空気環境モニタリング（以下、モニタリングという。）の目的は、書庫内空気環境の実態を調査し、資料を劣化に導く有害な気体を把握するとともに、採取したデータを分析することにより発生源の特定や有害とされる気体の制御等の対策立案の基礎データとすることだと考える⁴。そして、モニタリングを定期的かつ長期間、定点で行うことにより変化の有無を把握し資料保存に適した空気環境の維持・管理につなげることである⁵。

1-2 対象書庫と測定対象気体

沖縄県公文書館には、1号書庫から11号書庫までの11書庫で資料の保存を行っている。モニタリング対象書庫は、5号書庫を除く1号書庫から11号書庫までの10書庫とした。前出の7号書庫（室温18℃、湿度40%）を除いた10書庫は年間をとおして室温20℃、湿度60%で空調管理が行われている⁶。

歴史資料保存機関におけるモニタリングでの測定対象気体は、発生源が収蔵庫・書庫内にある室内汚染物質が対象となることからアンモニア、酢酸、ホルムアルデヒドとした。

また発生源として、アンモニアは建物の躯体コンクリートから、酢酸やホルムアルデヒドは、書庫の内装に使われている合板、木製収納棚、木製収納箱や収蔵資料から発生すると言われる。特に、当館においては7号書庫で保存されている劣化した映像フィルムなどの収蔵資料から酢酸が発生している。

これら3種類の気体のなかでも、アンモニアと酢酸は歴史資料の損壊や変色等の劣化に導く可能性が大きいと言われている。一方、ホルムアルデヒドはアンモニアや酢酸と比較すると歴史資料への影響度は低いと言われているが、シックハウス症候群の原因物質ともいわれ、人体への影響があることから健康被害が懸念されており濃度管理が求められている。

1-3 気体測定手法と測定ポイント

2023年（令和5）にモニタリング活動を開始する上で目指したことは、科学的な測定方法かつ測定条件や手順を統一し客観的なデータを継続的かつ長期にわたって採取すること、また、筆者以外の保存修復担当者が測定を行ったとしても再現できる手順になるように「沖縄県公文書館書庫環境調査要

3 佐野千絵、呂俊民ら「空気質の望ましい基準値」『博物館保存論－文化財と空気汚染－』（みみずく舎 2014年）p.66 表3.6

4 山崎正彦「博物館・美術館におけるガス検知管の利用」『文化財の虫菌害 第77号』（公益財団法人文化財虫菌害研究所 2019年6月）

5 前掲 佐野千絵、呂俊民ら（2014年）p.110

6 5号書庫は、沖縄県公文書館内の別組織が管理していることからモニタリングの対象外とした。

領」を作成しモニタリングを実施することであった。

上記の目指すことを達成するために、気体測定手法を選択するにあたり念頭に置いた要件は、①個別の気体の空气中濃度が測定でき、②その濃度が数値化できること。③専門的教育を受けていない職員でも使用可能な機材で、④モニタリングを長期間継続的实施するための機材・資材の安定供給があること。⑤歴史資料保存機関での使用実績があり、⑥安全な測定手法であることであった。これに合致する手法がガス検知管法であり、この手法を採用し 2023 年（令和 5）からモニタリングを行っている。⁷（表 1、図 1、2、3）

表 1 測定手法（機材、採取条件、測定高など）

対象気体	検知管（北川式検知管）	採取ポンプ	気体採取量・採取時間	適応書庫	測定高（床面から）
アンモニア	アンモニア 900 型	ASP-1200	24L 0.4L/min × 60min	全書庫	120 cm
酢酸	有機酸 910 型		12L 0.2L/min × 60min	1～4 6、8～11	
			4L 0.2L/min × 20min	7号書庫	40 cm
ホルムアルデヒド	ホルムアルデヒド 710 型		9L 0.3L/min × 30min	全書庫	120 cm
	ホルムアルデヒド 710 型 A				

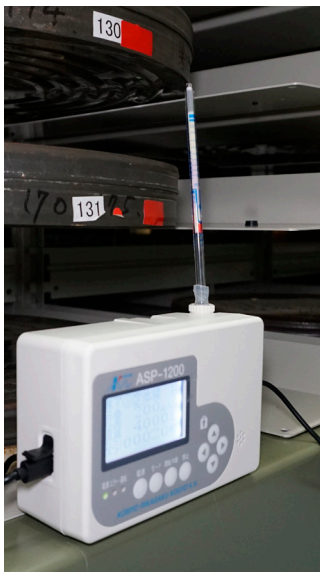


図 1 測定機器

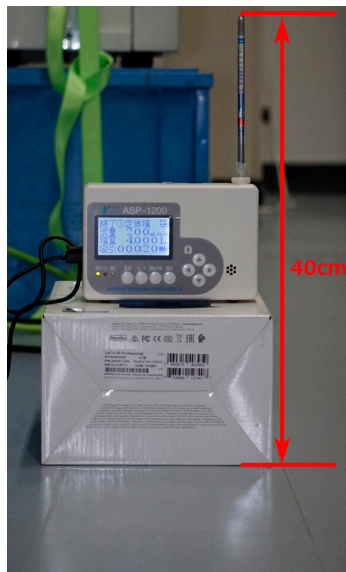


図 2 酢酸の測定



図 3 アンモニアおよびホルムアルデヒドの測定

次に測定ポイントの選定にあたり考慮したことと、モニタリングを続けていくうちに測定ポイントや測定数に変化があったことを記す。

まず、測定ポイントとポイント数の設定にあたっては、①書庫のサイズ（床面積）、②収蔵されている資料や保存箱等の材質、③②の性質から重点的に測定を要するポイントを検討しながら定点化した。

上記の 3 要件をもとに測定ポイントを設定し、モニタリングを開始した。開始初年（2023 年度）は

7 当館で使用しているガス検知管法機材として、光明理化学工業株式会社製の北川式ガス検知管（アンモニア 900 型、有機酸 900 型、ホルムアルデヒド 710 型・710A 型）とエアサンプリングポンプ（ASP-1200）。

75 測定ポイントで測定を開始した。

モニタリングの基本は、過去と現在の正確な比較を行い将来への適切な方向性を示すデータの採取を目指すことから測定ポイントは固定し継続的に測定することであるが、開始当初は経験不足や空調設備による空気環境の変化など想像がつかないことがあり、やや多めに測定ポイントを設定していた。2年目（2024年度）は66ポイント、3年目（2025年度）には（63ポイント）となり減少した。

測定ポイントの変化はモニタリングの基本から反れてしまうが、経験値があがるごとに新たな気づきも出てきたことから測定ポイントを絞っていくこととした。これは、筆者の発展途上の段階でのポイント数の適正化だと考えたい。（表2）

表2 測定ポイントの変化

	2023年	2024年	2025年
アンモニア	22	21	19
酢酸	30	23	23
ホルムアルデヒド	23	22	21
全10書庫での3気体合計	75	66	63

1-4 測定結果と書庫空気環境状況

2025年（令和7）8月に3年目の測定が終了し測定結果がでたことから、各書庫での各気体の動向や傾向が見えてきた。測定結果と書庫空気環境状況を収蔵環境の“のぞましい空気質”（表3）とともに見ていきたい。

表3 のぞましい空気質

対象ガス名	アンモニア	酢酸	ホルムアルデヒド
基準値	30ppb	170ppb	80ppb

アンモニア（図4）

アンモニアは、3年間を通して全10書庫、全測定ポイントで検知管の変色反応は無く、検出されることはなかった。

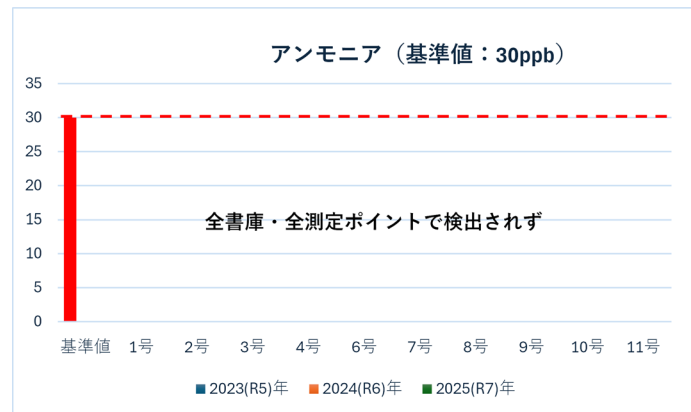


図4 アンモニアの濃度変遷

酢酸（図5）

酢酸は、3年間にわたり全書庫、全測定ポイントで検知されており、7号書庫の2023年（令和5）と2024（令和6）年を除き若干の増減はあるが基準値の170ppb以内の濃度となっている。また、各書庫での濃度も3年間、同程度で推移している。

7号書庫を除き発生源は特定できていないが収蔵資料や内装材等から微量に放出されていると推測する。

7号書庫には酢酸の発生源となる多くの映像フィルムが保管されており、これらの映像フィルムが発生源となっている。⁹2023（令和5）、2024年（令和6）は突出した結果（最高平均値713.9ppb）が出ているが、2025年（令和7）は基準値を下回り他の書庫と同程度（42.5ppb）の濃度となっている。¹⁰7号書庫では、空気環境改善活動を継続していることから、その効果の表れだと考える。

8 グラフの測定値は、一つの書庫で複数の測定ポイントがあることからその平均値を書庫での濃度の数値としてグラフに反映した。

9 トリアセテートセルロース支持体素材（TAC ベースフィルム）

10 空気環境改善活動については、新城邦朝「映像フィルム保存活動—書庫内空気環境改善活動の試み—」『沖縄県公文書館研究紀要 第26号』（沖縄県文化振興会 2024年3月）を参照されたい。

ホルムアルデヒド（図6）

ホルムアルデヒドは3年間、全書庫および全測定ポイントで測定されている。

1号、4号、7号、9号、10号、11号書庫では3年間、基準値80ppb以下を保っている。一方、2号、3号、6号、8号書庫では、2023年（令和5）と2024年（令和6）の2年間、基準値を超えた濃度（最高平均値105.7ppb）を測定した。2025年（令和7）の測定時には6号書庫のみ基準値を超えた。

2023年（令和5）の第一回目のモニタリングで1号書庫から11号書庫の全書庫および全測定ポイントでホルムアルデヒドが検出されている（図6中の青色の棒）。そのなか基準値を超えている書庫が4書庫あった。筆者自身は、ホルムアルデヒドの検出は予想していたが、予想と反した書庫群での基準値超えがあったことは驚きであった。¹¹

ホルムアルデヒドは資料への悪影響（劣化や変色等）はあるものの、労働安全衛生や公衆衛生の観点から監視をしておけば資料保存上問題は生じないと言われている。¹²問題はホルムアルデヒドが、シックハウス症候群の発症関連因子として指摘されおり、人体への悪影響があるということである。書庫内でのホルムアルデヒドののぞましい値（80ppb）は、厚生労働省の「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」（通称：建築物衛生法）の建築物衛生管理基準からきているものであり、そこで働く人々の健康を守るための数値である。

当館で働く多くの職員は、入室回数や滞在時間の違いはあるものの、書庫への出入りやそこで作業を行うことから、基準値以上の濃度に晒されることは好ましいことではない。このホルムアルデヒドの発見を機に適切な資料保存環境と人体へ悪影響が及ばない清浄な環境づくりの必要性を感じた。

2 測定結果から判明した異常－ホルムアルデヒドの検出－

2-1 発生源の推測と特定

当初（2023年モニタリング前）、ホルムアルデヒドの存在を予想していた書庫は9号、10号書庫であった。なぜならば、両書庫での資料保存は中性紙箱での収納保存が中心であり、その箱数は数万箱を数える。仮に脚注11で示した「文化財保存修復学会第45回大会研究発表集」で報告されている「中性紙保存箱からホルムアルデヒドが検出される」という内容が当館にも該当するのであれば、両書庫で中性紙保存箱を発生源とする基準値を超えるホルムアルデヒドが検出されるのではないかと予想していたからである。しかし、両書庫では基準値以下の濃度であった。発生源として中性紙保存箱から

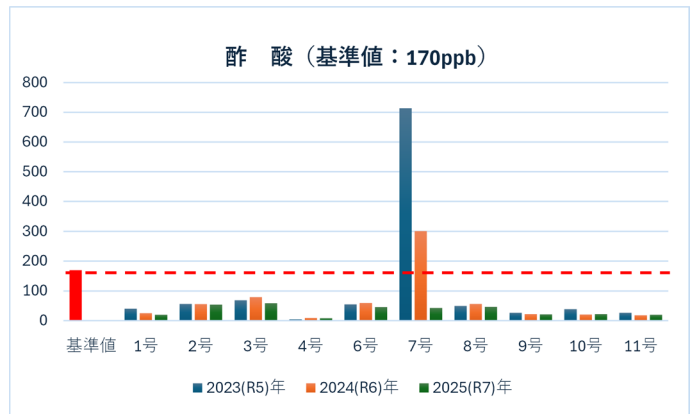


図5 酢酸の濃度変化

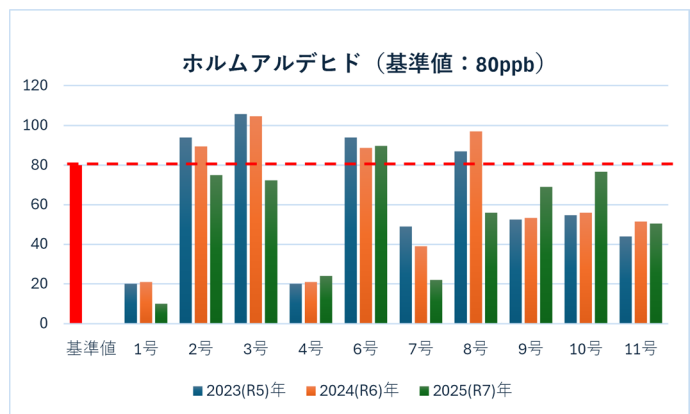


図6 ホルムアルデヒドの濃度変化

11 松井敏也、建石徹、和田浩「空気質特性を考慮した資料保管用中性紙箱の適切な使用に関する検証」（文化財保存修復学会第45回大会研究発表集 2023）pp.208-239

12 前掲 佐野、呂（2014）p.32

の微量な放出の可能性は完全に払拭できないものの、書庫内に発生源を持つ有害気体は発生源をコンクリート躯体、内装材、塗装、収納具、そして資料そのものなど多岐にわたっていることから発生源の特定には至っていない¹³。ホルムアルデヒドが検出されたが基準値以下の環境ということもあり、当面の間は、資料保存及び健康への害は少ないものとする¹⁴。

問題なのは、予想に反した書庫群（2号、3号、6号、8号書庫）に、中性紙保存箱等を由来としない基準値を超えるホルムアルデヒドを放出する発生源が存在することである。以下、基準値を超えた2号、3号、6号、8号書庫での発生源の推測と特定に至るまでの活動を記す。

発生源を推測するにあたり、発生源が何であるのか全く想像がつかなかったことから、基準値を超えた2号、3号、6号、8号書庫間の共通点と相違点を比較し相違点が発生源の可能性を持っていないかの検討とあわせて、歴史資料保存環境下でのホルムアルデヒド等の有害物質発生に関する先行研究にあたってみた。

まず、該当書庫における共通点・相違点による発生源の推測に関しては、比較する項目を「資料の種類（紙質等）」、「収納方法（保存箱収納等）」、「書庫内装構造」、「収納棚構造（材質等）」の4項目とし各書庫を比較してみた。表4 書庫における共通点・相違点

(表4)

	3号	2号	6号	8号
資料の種類	近現代洋紙および和紙による簿冊・冊子類			
収納方法	中性紙保存箱および直配架			
書庫内装構造	総木製(床/壁/天井)	床:タイル張り、壁:ボード、天井:石膏ボード		
収納棚構造	木製収納棚(箆笥)	スチール製ハンドル移動棚		

結論から言うと、3号書庫と他の書庫には大きな相違点があり、それは書庫内装構造と収納棚構造であった。3号書庫は、「沖縄県公文書館書庫管理基準」に

より特別保管庫として貴重書の保管を目的としていることから、内装構造は床面、壁面、天井が木製板張りの構造となっている。また、収納棚が木製収納棚（箆笥）となっている。他の書庫では、一切木製材料による収納棚はない。このことから、筆者は3号書庫の木製材料を発生源と推測した。

次に歴史資料保存環境下での有害物質発生に関する先行研究の中に、「酢酸、ギ酸、ホルムアルデヒドやヒノキチオール等の化学物質が、無垢の木材や木質材料、そして接着剤などから放散される」という報告があり推測理由の一つとしてあげられると考える¹⁵。

さらに、上記の2点以外の推測理由として、シックハウス症候群の関連因子と言われる「ホルムアルデヒド」という化学物質の視点から考えてみた。ホルムアルデヒドは、建築物に使用する建材や家具、それらに使用される接着剤、そして日用品などから発散すると考えられており、改正建築基準法（平成15年7月1日施行）によって規制の対象となっている化学物質のひとつである。当館は、平成6年1月に起工し、翌平成7年3月に竣工、そして同年8月に開館した。そのため、改正建築基準法が施行される前の建築物であり、現在では規制にかかる建材やそれらを使用した家具等（収納棚・箆笥）が3号書庫で使用されている可能性があると考ええる。

以上、3つの発生源推測の理由とし、3号書庫内のより具体的な発生源の特定に入る。

まず、3号書庫内空間と木製収納棚の2ポイントでホルムアルデヒド濃度を測定し状況把握に努めた。書庫空間での測定は、内装建材（床材、壁材、天井材）からの放出を確認できると考える。一方、木

13 前掲 佐野、呂 (2014) p.23

14 モニタリングを継続し、適宜、空調機器のケミカルフィルタの更新し基準値以下を維持する。

15 古田嶋智子、犬塚将英「[報告] 桐箱、キリ材から放散する有機酸と鉛金属への影響」『保存科学 第58号』(独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所 2019) p.41 (<https://www.tobunken.go.jp/ccr/pdf/58/5804.pdf> 2025.11.1)

製収納棚からの放出を確認するため書庫空間の影響を受けない棚内部で行った。これら2ポイントを測定する理由として、①どちらも木製資材でできているためどちらか一つの測定では発生源の特定が難しいこと、また②両方を測定することで測定結果を比較し、その差から発生源を見つけ出すことが出来るのではないかと考えたからである。

測定にあたっては、1-3で示したガス検知管法を用い自前で測定した後、より精度を高めるために歴史資料保存空間での空気環境調査に精通している専門会社に委託し、ガス検知管法より精密なジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) - 誘導体固相吸着: 高速液体クロマトグラフ法で測定を行った¹⁶。以下、表5が測定結果である。

筆者および専門会社の測定結果ともに空間と棚内の濃度差が大きいことから書庫内装構造資材(床・壁・天井)からの放出は少ないと考えられる、一方、棚内は高濃度を示し木製収納棚に使われている木材、あるいは、それに使われている接着剤等からホルムアルデヒドが放出されているものと考えられる。よって、自前および専門会社の測定結果から3号書庫内の具体的発生源が木製収納棚という結論に達した。

表5 書庫空間・収納棚内濃度測定結果

測定者	測定日	測定手法	測定場所		
			空間	棚内 / 棚番号	
筆者	2024年10月1日	検知管法	110ppb	880ppb	C-07
専門会社	2025年2月14日	DNPH法	77ppb	645ppb	C-09

2-2 拡散の実態と拡散経路の推測

2-1では発生源の推測、その推測から発生源の特定を行い、3号書庫がホルムアルデヒドの発生書庫であること、そして発生源は3号書庫内の木製収納棚という結論に達した。この結論からすると、3号書庫とは別区画の2号、6号、8号書庫ではそれぞれに基準値を超える発生源があることになる。しかし、これらの書庫には、基準値を超えるような発生源は見当たらない。なぜならば、モニタリングを開始した2023年(令和5)に基準値超えを予想した9号、10号書庫と「資料の種類」、「収納方法」、「書庫内装構造」、「収納棚構造」が同じだからである。同じであれば、9号、10号書庫と同程度の濃度を示すと考えることが出来るのではないだろうか。

では、2号、6号、8号書庫の基準値を超えた量のホルムアルデヒド(図7内の赤丸参照)はどこから来たのだろうかという疑問が出てくる。この疑問の解決には、これまで7号書庫(フィルムテープ保管庫)での酢酸濃度を下げると行った空気環境改善活動で得た経験である空気改善活動と空調機器の仕組みの関係がヒントとなった。

沖縄県公文書館の書庫は、5機の空調機器により空気質(温度、湿度、清浄度)が制御されており、空調機器1機で1書庫、または1機で複数の書庫を担っている。(図7 空気循環経路参

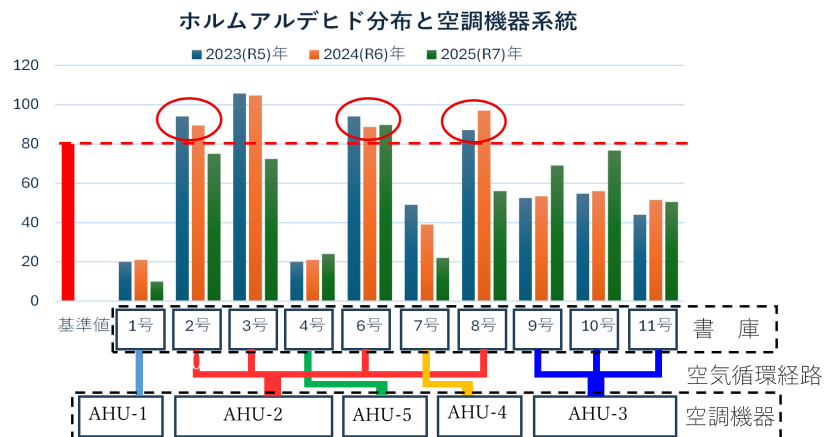


図7 ホルムアルデヒド分布と空調機器系統図

16 光明理化学工業株式会社に「沖縄県公文書館3号書庫空気環境調査」として委託調査を行った。

照) 例えば、7号書庫は空調機器 AHU-4 が1機で1書庫を、一方、AHU-2は4書庫(2号、3号、6号、8号書庫)を1機で制御しているという具合である。

7号や1号書庫のように1機1書庫制御なら空気循環は1機1書庫で完結することになることから、たとえ書庫内で有害物質が発生したとしても他書庫への拡散はない¹⁷。しかし、AHU-2のように1機で複数書庫を掛け持ちしている空調機器ではそれをハブとし、そこから複数の書庫への循環経路が伸びていることから、どこか一つの書庫で有害物質が発生すれば AHU-2 を経由して他の書庫へ循環・拡散してしまうことになる。このような理由から今回のホルムアルデヒドの拡散は、複数書庫を制御する1機の空調機器の空気循環システムに由来とする拡散だと考える。

3 対策のためのトライアル

3-1 ホルムアルデヒド濃度低減策の検討

ホルムアルデヒドの発生源が3号書庫内の木製収納棚であることが絞り込まれ、そして、そこで発生したホルムアルデヒドが空調機器を経由した空気循環経路より他の書庫へ拡散していることが分かった。具体的な発生源が分かったことは対策を立案するにあたっての近道になると考える。

今回は3号書庫の木製収納棚が発生源であることから、最も簡単な対策は発生源である木製収納棚の廃棄である。しかし、館内設備の廃棄には設備・備品担当部門と上部機関との協議など煩雑な手続きを要すると聞くことから、おいそれと廃棄することはできない。根本解決を目指すのであれば、保存担当者ばかりでなく他部門の協力も不可欠となる。

廃棄処分はホルムアルデヒド濃度低減への一番の近道ではあるが、廃棄完了までの道のりは一番険しい方法かもしれないことから、現実的には今すぐには実現しないと考える。保存担当者としては、一日も早くホルムアルデヒド濃度を基準値まで下げたいという思いからホルムアルデヒド濃度低減策の検討に入った。

これまで、7号書庫での酢酸濃度低減のための空気環境改善活動をとおして分かったことは書庫内で発生した有害物質の除去は、その書庫の空気質を制御している空調機器による外気の取込みと汚染物質の外部への排出、そして空調機器に内蔵されているケミカルフィルタでの有害物質の吸着が基本的な方法であり、かつ書庫内保存環境(おもに温度・湿度)を壊さない方法であることを確認している。したがって、今後実施されるホルムアルデヒド濃度低減活動も空調機器による有害物質制御が軸になる。

一方、当館は建築から30年を経過したことにより空調設備の老朽化による性能低下もあり施設管理部門では日々、対策に追われていると聞くことから、空調機器の性能補完の観点から保存担当者でできるホルムアルデヒド濃度低減策を検討したいと考えた。

7号書庫空気環境改善活動で得た経験から保存担当者でできる濃度低減策は、活性炭などの吸着材を活用し有害物質を除去する方法である。この経験から3号書庫内になんらかの吸着材を設置しホルムアルデヒドを吸着させ濃度の低減を図りたいと考えた。また、吸着材の選定にあたっては、①安価で②入手しやすく、③取り扱いが簡単で、④吸着効果が高く、⑤長持ちし、⑥書庫内を汚さないという性能条件を持つ吸着材を検討した。

検討の結果、活性炭袋詰め(自前で不織布の袋に詰めたもの)とホルムアルデヒド吸着石膏ボード(市販の内装建材)の2種類を選択した。これら2種類の吸着材の効果を測定し、3号書庫に適した吸着剤をさらに絞り込みたいと考えた。¹⁸

17 7号書庫と他書庫への循環経路は存在しないため、7号発生の酢酸は他書庫へ拡散はない。

18 一般住宅でのホルムアルデヒド対策用の内装建材。

3-2 トライアルの手法と実施

3-1 で検討した活性炭袋詰め（以下、「活性炭」という。）とホルムアルデヒド吸着石膏ボード（以下、「ボード」という。）のトライアルの手法と実施について記す。

活性炭およびボードを木製収納棚、いずれも資料の入っていない棚内部に設置した。（図 8, 9）棚内部に設置する理由は、密閉空間になっており外部からの影響を受けないからである。設置前と設置後の節目ごとにホルムアルデヒド濃度を測定した。測定手法は、1-3 の検知管法で実施した。測定にあたっては、収納棚の扉が開くことによって空気の入れ替わりが起こらないように扉カバーで覆い機材の出し入れを行うとともに測定中は扉を閉めて行った。

活性炭とボードでは、トライアル開始時期は異なるが、両吸着材ともに長期間にわたり測定ができデータの蓄積が出来た。¹⁹



図 8 活性炭袋設置棚



図 9 吸着ボード（ピンク色）設置棚

3-3 トライアルの結果

活性炭は 2023 年（令和 5）10 月に 3 号 B-09 棚に（図 8）設置し 2025 年（令和 7）10 月までの 3 年間で効果を測定してきた。設置前の同棚内のホルムアルデヒド濃度は、検知管のメモリを振り切るほどの濃度があり数値は不明だった（ホルムアルデヒド検知管 710 型を使用）。設置 36 日後の 2023 年（令和 5）10 月 24 日は 80ppb、1 年後の 2024 年（令和 6）10 月 30 日には 90ppb、2 年後の 2025 年（令和 7）10 月 15 日には 70ppb の数値を示している。設置前の測定で検知管のメモリが振り切れたこともあり、棚内は高濃度の状態であったと考え、設置後 2 年間にわたり基準値付近の数値を保っていることから吸着効果やその持続性を持ち合わせている吸着材だと考えられる。

次に、ボードについて見ていきたい。ボードは、活性炭のトライアル開始 1 年後の 2024 年（令和 6）10 月 11 日に 3 号 C-07 棚内（図 9）に設置し、トライアルがスタートした。スタート前の 2024（令和 6）年 10 月 1 日に棚内の濃度を測定したところ、880ppb（基準値の 11 倍）の値を示した。²⁰ 設置 72 時間後の 2024 年（令和 6）10 月 15 日には 150ppb を示し、濃度低下が確認された。設置 18 日後の 2024 年（令和 6）10 月 29 日から 194 日後の 2025 年（令和 7）4 月 23 日までは 100ppb の濃度を維持続けた。4 月 23 日をもって当該ボードは 3 号 C-07 棚での効果測定は終了とした。終了した理由は、当該ボードを別の高濃度を示す棚に移設した時に吸着効果が残っているか否かを確認するためである。

2025 年（令和 7）11 月 4 日現在も、当該ボードを 3 号 C-09 棚に移設し使用を続けている。移設後の結果は、移設前の棚濃度 600ppb から移設後 23 日目（使用を開始して 217 日目）の 2025 年（令和 7）5 月 16 日には 100ppb、移設後 49 日目（243 日目）では 70ppb、移設後 150 日目（369 日目）では 150ppb という数値を示している。高濃度のホルムアルデヒドを吸着後、再び高濃度の別の棚へ移設するという条件下でトライアルを続けているが、測定値の増減はみられるものの低濃度を維持している。

以上、ホルムアルデヒド濃度数値の変化から活性炭とボードの有害物質吸着および持続効果を見て

19 2023 年（令和 5）10 月現在では、吸着材として活性炭しか思いつかなく取り急ぎ活性炭でトライアルを開始した。1 年後の 2024 年（令和 6）10 月からホルムアルデヒド吸着ボードを設置しトライアルを開始。

20 ホルムアルデヒド検知管を 710 型 A という高濃度対応に変更し測定。

きた。今回はトライアル条件が異なるため、一概に活性炭とボードの吸着性能についての優劣を比較することはできないと考えるが、いずれも高濃度を示す棚内に設置後も長期間にわたって吸着効果を発揮し、低濃度を持続することが確認できた。

次に、書庫の特性から見た適切な吸着材について考えてみたい。活性炭およびボードともに、安価で入手が簡単かつ、取り扱いが容易な資材である。また、いずれも有害物資の吸着性能や持続性に優れていることから有害物質除去には有効な資材だと考える。しかし、設置場所が歴史資料を保管する書庫となると吸着性能などの数値的な性能以外の要素も検討する必要があるのではないだろうか。資料保管書庫に適した吸着資材について、“吸着の仕組み”、“施工性”、そして“防災性”の視点から考えてみたい。

まず、吸着材の有害物質吸着の仕組みから適性を考えてみる。吸着材の吸着の仕組みには物理吸着と化学吸着がある。3号書庫での専門会社によるホルムアルデヒド発生源調査報告書の考察によると、「活性炭は物理吸着であり、吸着量が飽和状態に近い場合は気温上昇に伴い吸着した物質を放散する懸念がある²¹。ボードは化学吸着であり、温度変化に伴う吸着物の放散はほぼない」という指摘があった。この指摘を参考にし、ボードが書庫内設置に適していると考ええる。

次に、施工性について考えてみる。2年以上、棚内に活性炭袋を設置してあるが不織布の隙間から微粉末の漏出を確認している。書庫内には多くの資料が保存されていることから、資料を汚す物質を書庫内で使用することは避けなければならない。このことから自前で不織布袋を用いた活性炭袋は、微粉末漏出のもととなることから書庫での施工に適さないことが分かった。

最後に防災性の観点から活性炭とボードの適性を考えてみる。一般的に活性炭は、ヤシ殻や石炭などの炭素物質を原料としていることから可燃性の物質である。発火や燃焼には様々な条件があるとのことだが、極力、可燃性の物質を書庫内に持ち込むことは避けるべきだと考える。一方、ボードは、ボード背面に国土交通大臣認定防火材料不燃と記された承認印が押されていることから防災性を備えていることが覗える。

数値での性能や書庫環境への適合性の観点から、2種類の吸着資材について実験と観察を行い比較検討した結果、書庫内に設置する吸着材はホルムアルデヒド吸着石膏ボードが適していることが確認できた。(表6)

表6 性能比較表

	価格	入手	取り扱い	吸着効果	持続性	吸着の仕組み	施行性	設置性	防災性
活性炭袋	安価	簡単	簡単	高い	長い	物理吸着（温湿度の変化により吸着物を再放出することがある）	不織布から微粉末が漏れ出し、設置環境を汚す	不織布詰めのため設置場所が限られる	可燃性
ホルムアルデヒド吸着石膏ボード	安価	簡単	簡単	高い	長い	化学吸着（温湿度の変化があっても吸着物の再放出はない）	ボードのカットは業者委託	サイズはカットすることにより設置場所の幅が広がる	不燃

21 脚注16で行った委託調査の「沖縄県公文書館3号書庫空気環境調査報告書」の考察を引用。

4 対策実施—トライアルの結果を根拠とした—

4-1 ホルムアルデヒド吸着石膏ボードの設置

前項「3 対策のためのトライアル」の結果を踏まえ、ホルムアルデヒド吸着石膏ボードを 3 号書庫での吸着材として採用し、設置することでホルムアルデヒド濃度低減策とした。ボードの設置は 2 回に分けて行った。1 回目は 2025 年（令和 7）4 月 25 日に 11 枚、2 回目は 7 月 16 日に 9 枚を追加設置し合計 20 枚のボードを設置した。

ボードの設置方法は通常壁面等に貼り付ける工法のようなのだが、すでに完成した書庫内への貼り付け工事は不可能なことから木製収納棚の天板にボードを設置するという方法を採用した（図 10）。

ボードのサイズは、910 mm× 1820 mm の建材や合板に用いられる規格サイズ一枚板で、ボード面積は 1.65 平方メートルになる。ボードは規格サイズであることから、木製収納棚天板のサイズとも一致したことからカット処理などの加工を施すことなく設置することができた。20 枚のボード総面積は 33 平方メートルとなる。

4-2 書庫内の濃度変化

3 号書庫のサイズは、床面積にして約 175 平方メートル、容積は約 750 立方メートルである。その書庫に 33 平方メートルのホルムアルデヒド吸着石膏ボード（20 枚分）を設置したが、正直なところ 20 枚の設置枚数が書庫サイズに対して適しているかの否かは手探りのままの設置となった。

次に 2025 年（令和 7）4 月下旬のボード設置から 10 月中旬までの約半年間のホルムアルデヒド濃度の変化を見ていきたい。（図 11）

濃度低減策を施さない状態での 3 号書庫空間のホルムアルデヒド濃度は、定期モニタリングでは 110ppb から 116ppb を示している。2025 年（令和 7）4 月 25 日にボード 11 枚を設置し、22 日目には基準値の 80ppb まで低下した。その後、9 枚のボードを追加し、合計 20 枚編成になった後の 8 月 7 日にはさらに低下し、68ppb を測定した。設置半年後の 10 月 15 日には、78ppb に若干の上昇が確認されている。

設置後の半年間では、基準値超えの数値から基準値以下まで低下し持続していることから 20 枚の設置は、必要最低限の数量なのかもしれない。引き続き測定を行い変化への早期対応に努めるとともに、データを基に運用改善を継続していかなければならないと考える。

おわりに

資料保存空間内での保存環境構築および維持活動を行って強く感じることは、資料保存活動の



図 10 木製収納棚天板に設置されたホルムアルデヒド吸着石膏ボード

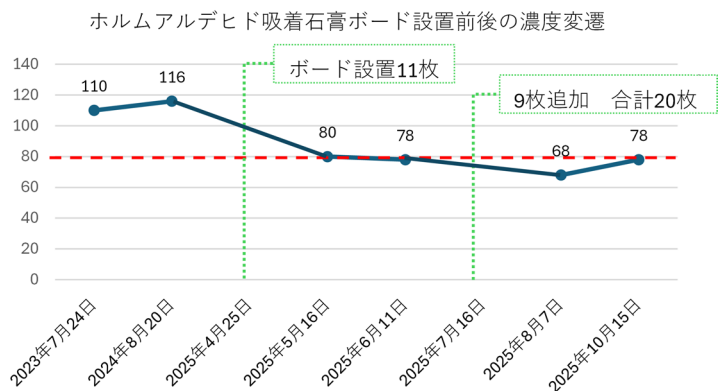


図 11 対策結果

原点は保存環境内の各種モニタリング活動である。モニタリング活動なしには現状すら把握することは出来ず、現状が正常なのか異常なのかもわかり得ない。モニタリング活動で得たデータは、過去と現在の正確な比較を行い将来への適切な方向性を示してくれると考える。

2023年（令和5）の空気環境測定機材導入を契機に「科学的な測定方法で測定条件や手順を統一し客観的なデータを継続的かつ長期にわたって採取し蓄積していくこと。そして、蓄積したデータを根拠とした予防策や対策を立案し実施していくこと。さらに実施した施策に対する結果検証を行い、軌道修正や見直しを行い常に最善解を求め改善し、次につなげること」を筆者自身の目標として書庫内空気環境維持活動を行ってきた。筆者が掲げた目標のモデルはビジネスの世界でよく提唱されるPDCAサイクルを参考とした。PDCAサイクルは、Planで計画を立て、Doで計画を実行し、Checkで行動を評価し、Actで改善し次回に繋ぎ、再びPDCAのサイクルを回し物事をより良い方向に進めて行くサイクルだそうである。このサイクルの活用は効果的だが、最初のPを始動させるための原動力こそが、日々のモニタリング活動でありデータの蓄積ではないだろうか。

筆者自身、モニタリング活動からこのPDCAサイクルを回し、書庫内空気環境維持活動を行ってきた。そして、3号書庫にホルムアルデヒド吸着石膏ボードを設置し書庫内の空気質が「のぞましい基準値」まで低下したことは蓄積データが導いてくれた結果だと考えるとともに、一定の結果が出たことでサイクルが一巡したのではないかと考えている。しかし、回転は一巡したが新たな課題も見えてきた。

新たに見えてきた課題の一つは、3号書庫のホルムアルデヒド濃度の低下に追従するように2号書庫、8号書庫の濃度は低下しているが、6号書庫のホルムアルデヒド濃度が低下しない現状から、その要因を見つけ出す必要があることである。6号書庫での発生源を特定する活動として、2025年（令和7）年度の年間事業計画に『「保存箱収納資料の劣化予防処置」方法確立のための事前調査』で資料そのものが有害ガスの発生源か否かの調査を計画している。

二つ目の新たな課題は、ホルムアルデヒド問題の根本的解決を目指すうえでは更なる調査項目の洗い出しとその実施、そしてより精度の高い調査結果を得ることである。例えば、本稿で述べてきた調査では、ホルムアルデヒドの発生源は木製収納棚であることは概ね突き止められたが、具体的な発生源が木製収納棚に使用されている木材そのものからなのか、それとも木材を貼り合わせている接着剤からの発生なのかまでは調査されていない。また、同一空調機器系統下でも書庫によっては濃度の挙動に差がある現象はどこに問題があるのかまでは踏み込めていない。

ホルムアルデヒド問題を根本解決するには、踏み込めていない上記の課題をクリアする必要あると考える。なぜならば、根本解決には発生源となる木製収納棚の更新か有害物質除去の軸となる空調機器の更新、または機能強化が考えられ、これらの設備の更新や機能強化は予算規模の大きいプロジェクトになることは必至である。プロジェクトを立上げ予算請求をするにしても、関係機関を説得するにしても蓄積してきたデータや調査結果が求められることから、予算請求や説得に耐えられるデータの蓄積が重要になってくると考える。

最後にこの2年半の書庫内空気環境改善活動から新たな課題が見えてきたこと、そして、試行錯誤の連続の中にあってもモニタリングから得た蓄積データを注意深く観察していけば、なにか解決の糸口が見えてくることを実感できたのは大きな収穫である。まだ、2年半分のデータ蓄積しかないが、これからもモニタリング活動継続し、さらにデータを蓄積し、多くの判断材料や選択肢の基礎を作り保存修復担当者がすべき、資料の寿命を一日でも延ばす資料保存環境づくりに繋げたい。