

映像フィルム保存活動 —書庫内空気環境改善活動の試み—

新城 邦朝[†]

はじめに

- 1 空気環境改善活動について
 - 1-1 目的
 - 1-2 改善活動の内容
- 2 二つの調査から見たフィルム・テープ保管庫の状況について
 - 2-1 映像フィルムの酢酸ガス濃度レベル分類とその数量（2020年度調査結果から）
 - 2-2 酢酸ガス濃度の状況（2019年度末調査結果から）
- 3 空気環境改善策の実施
 - 3-1 フィルムの酢酸濃度レベル別分類と書架エリアの酢酸ガス濃度レベル別ゾーニング
 - 3-2 据え置き型空気清浄機内蔵の化学フィルター交換
 - 3-3 空気調和機内蔵の化学フィルター交換
 - 3-4 映像フィルム劣化予防処置

おわりに

はじめに

映像フィルム（以下、「フィルム」という。）の半永久的な保存と利活用を実現するためには、総合的な保存管理活動が不可欠だと考える。総合的な保存管理活動とは、フィルムの劣化を防止する「物理的劣化防止処置」、フィルムの保存に適した環境を維持するための「保存環境の整備・維持」、そしてデジタルデータへの情報変換の「代替化」の3つの活動である。それら3つの活動が噛み合った時に半永久的な保存と利活用が実現すると考える。

沖縄県公文書館（以下、「当館」という。）では、1995年（平成7）の開館以来、多くのフィルムを収集し、温度18℃、湿度40%を保つように設計された中期保存が可能な専用のフィルム・テープ保存庫（以下、「7号書庫」という。）で保存してきた。その保存してきたフィルムの多くが受入れた時点で既にビネガーシンドロームを発症したものであったと聞いている。

そして、歴代の保存担当者は、それらのフィルムを受入れ時よりも劣化が進行しないように、ドライクリーニングや巻き直しといった「物理的劣化防止処置」やテレシネ化やデジタル化といった「代替化」を継続的に行ってきた。現在、筆者自身もフィルムのドライクリーニングや巻き直し作業とデジタル化事業を引き継ぎ行っている。

これらの2つの保存管理活動を行いながらふと思うことは、フィルムの劣化特性ともいえるビネガーシンドロームを発症したトリアセチルセルロース支持体フィルム（以下、「TACベースフィルム」という。）の発する酢酸ガスが他のフィルムと空気調和設備（以下、「空調機」という。）等の保存庫設備へ及ぼす悪影響を考えるにつけ「物理的劣化防止処置」と「代替化」といった、ある程度の作業周期や方法論が確立している活動の上にもう一段上乗せできる活動がないかと考えるようになった。

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

1 豊見山和美、吉嶺昭「沖縄県公文書館所蔵映像資料の保存と活用を考える」『沖縄県公文書館研究紀要 第20号』（沖縄県文化振興会 2018）p.55

筆者は、7号書庫の保存環境、特に空気質環境の改善、つまりフィルムが発散する酢酸ガス濃度を低減させることもフィルムの保存性向上と保存庫設備の健全維持につながられるのではないかと考え7号書庫の空気質環境の改善に取り組むようになった。

この取り組みは、2019年度（令和元）末に実施した「沖縄県公文書館7号書庫および展示室展示ケース等空気環境調査結果報告書」（以下、「2019年度末調査」という。）²と「沖縄県公文書館所蔵映像フィルムの劣化度およびデジタル化優先順位付けに関する調査」（以下、「2020年度調査」という。）³を基礎調査として空気質環境改善策を立案したものである。その後、2021、2022年度（令和3、4）に亘って改善策を実施してきた。改善策の中には、結果が出ないものや、新たな問題の出現など改善策全体としては道半ばではあるが業務の足跡として、そしてこれからの取り組みの方向性を示す意味も含め本稿をまとめた。

1 空気環境改善活動について

1-1 目的

7号書庫の空気環境改善活動（以下、「改善活動」という。）は、①劣化映像フィルム（TACベースフィルム）が発する酢酸ガスの書庫内全域への拡散を防ぎ書庫内の空気環境の改善を目指す、②健全なフィルムや書庫設備（空調機設備等）に対する酢酸ガスからの悪影響を防ぐ、③フィルムの長期保存と書庫設備の長期安定運用を目指す目的で実施する。

1-2 改善活動の内容

改善活動は、「2019年度末調査」と「2020年度調査」で実施した二つの調査結果を基礎として組み立てた。

改善活動の内容としては、①7号書庫所在のフィルムを、そのフィルムが発散する酢酸ガス濃度レベル別に分類する。②7号書庫を酢酸ガス濃度レベル別の4区画にゾーニングし、酢酸ガス濃度レベル別に分類されたフィルムを濃度別エリアに再配架する。その際、書庫の構造や空気の流れを考慮しながら円滑な空気循環を促進する書架配置を行う。③据え置き型空気清浄機内蔵の化学フィルターを酢酸ガス除去に特化したフィルターへ交換する。④空調機内蔵の化学フィルターを酢酸ガス除去に特化したフィルターへ交換する。⑤フィルム劣化予防処置作業を行う。

2 二つの調査から見たフィルム・テープ保管庫の状況について

2-1 映像フィルムの酢酸ガス濃度レベル別分類とその数量（2020年度調査結果から）

「2020年度調査」では、7号書庫で保管している調査対象となる1,338個のケース・缶においてA-D Strips⁴を用い個々のフィルムの持つ酢酸ガス濃度レベルを調査した。

酢酸ガス濃度検査にあたっては、A-D Stripsの一片をケース・缶の中に挿入し、24時間後に回収し、その変色状態を確認する方法を採った。酢酸ガス濃度レベルは、A-D Stripsが示す色を基準として4段階のレベルで濃度を設定した。A-D Stripsの変色は、酸の量に対応しており青色の0をスタートして、緑色の1、黄緑色の1.5、黄色の2と3へと変色する。黄色に近づくにつれて酸の量が多いことを示している。

2 光明理化学工業株式会社に7号書庫と展示室の酢酸ガス濃度測定を実施、その調査報告書。

3 新城邦朝「沖縄県公文書館所蔵映像フィルムの劣化度およびデジタル化優先順位付けに関する調査」『沖縄県公文書館研究紀要 第23号』（沖縄県文化振興会 2021）

4 劣化したTACベースフィルムが発する酸の検出を行う試験紙。

本調査では、青色の0を「無濃度フィルム」、緑色の1を「低濃度フィルム」、黄緑色の1.5を「中濃度フィルム」、そして、黄色の2から3を「高濃度フィルム」として個々のフィルムが発する酢酸ガス濃度レベルの目安とした。

調査の結果は、表1のとおりとなった。また、図1にはその割合を示した。

表1 酢酸ガス濃度レベル別のケース・缶の数量と割合

濃度レベル	数量	割合 (%)
① 無濃度フィルム	687	51
② 低濃度フィルム	106	8
③ 中濃度フィルム	14	1
④ 高濃度フィルム	531	40

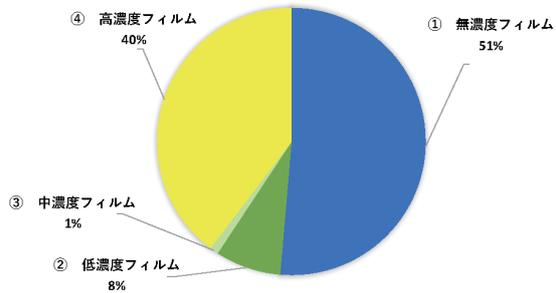


図1 濃度別の割合

全1,338ケース・缶のうち、ほぼ半数の651ケース・缶(48.65%)から酢酸ガスが放出されていることが分かった。発生量の多少はあるものの②から④までのフィルムは酢酸ガスを放出していると考えられる。

2-2 酢酸ガス濃度の状況 (2019年度末調査結果から)

「2019年度末調査」として空気環境測定専門会社に委託し7号書庫の6ポイントで酢酸ガス濃度測定を行った。結果は全ポイントにおいて“空気質の望ましい基準値”⁶の170ppbを超過した217ppbから365ppb(1.27倍から2.14倍)が計測された。「鼻は優れた検出器の一つ」⁷と言われるように、筆者や多くの職員の鼻感覚でも強烈な酢酸臭を感じてきたことから、客観的な測定数値からも基準値を超えていることが証明された。

測定した6ポイントは、書庫全域をカバーするように配置され(図2)、全ポイントで基準値以上の結果が出ていることから(表2)、書庫全域に酢酸ガスが拡散していることが分った。

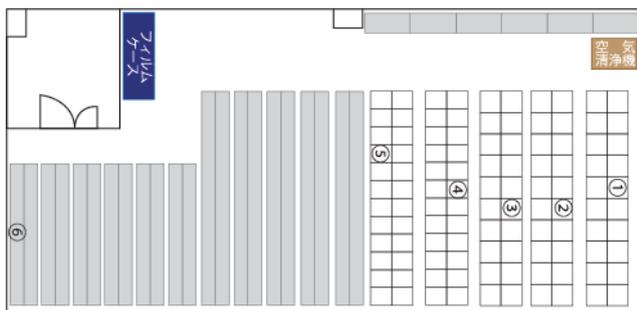


図2 7号書庫見取り図と測定ポイント

表2 測定ポイントごとの酢酸濃度

ポイント	棚の場所	酢酸濃度 (ppb)
①	A01-06 最下段	332
②	A03-05 最下段	217
③	A05-05 最下段	238
④	A07-06 最下段	217
⑤	A10-04 最下段	260
⑥	B22-20 棚上段内部	260

5 前掲 新城 (2021)

6 佐野千絵、呂俊民ら「空気質の望ましい基準値」『博物館資料保存論－文化財と空気汚染』(みみずく舎 2014) p.67 表 3.6

7 三浦定俊、佐野千絵、木川りか『文化財保存環境学 第2版』(朝倉書店 2022年) p.77

3 空気環境改善策の実施

3-1 フィルムの酢酸濃度レベル別分類と書架エリアの酢酸ガス濃度レベル別ゾーニング

「2020年度調査」では、A-D Strips 値に基づくフィルムの持つ酢酸ガス濃度レベル調査（前項2-1）を行い、それぞれのフィルムが持つ酢酸ガス濃度を4レベルに（高濃度、中濃度、低濃度、無濃度）に分類することができた。これら4つの濃度レベルごとに7号書庫も高濃度ゾーン、中濃度ゾーン、低濃度ゾーン、無濃度ゾーンの4ゾーンに区画化した（図3）。

併せて、個々の濃度レベル別に分類されたフィルムを該当する濃度レベル別のゾーンに再配架した。

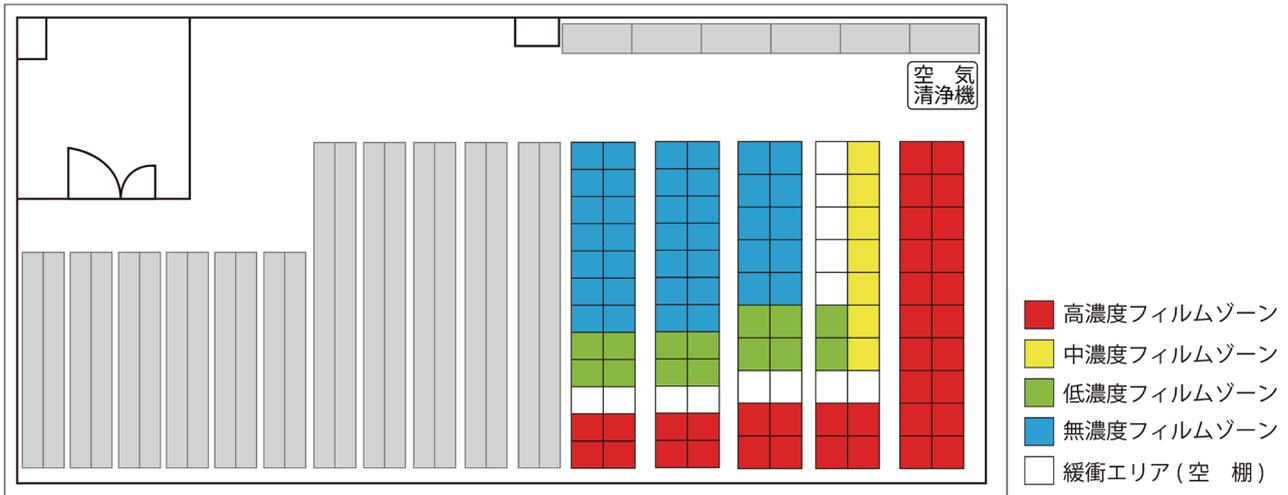


図3 7号書庫—酢酸ガス濃度レベル別ゾーニング図

ゾーニングに当たっては、7号書庫と空調機間の空気循環構造と7号書庫内の空気の流れを考慮に入れて行う必要がある。7号書庫には、側壁下の床面に空気吸い込み口がある。そこから吸い込まれた空気は空調機に達し、空調機に設置されている化学フィルターを通過することにより有害物質（今回は酢酸）が除去され、温湿度が調整され、そして、送風ダクトを通り書庫天井に取り付けられている吹き出し口から再び7号書庫に戻る循環構造となっている（図4）。

天井に7か所設置されている吹き出し口から書庫全域に空気が送り込まれることになるが、天井から送り込まれた空気は、床面へ落下しながら徐々に側壁面床に設置されている空気吸い込み口へ緩やかに流れていく（図5）。

酢酸濃度レベル別分類と空気循環構造の特性を利用したゾーニングでは、書庫環境に大きな影響を及ぼす高濃度フィルム群（主な酢酸ガス発生源）を空気吸い込み

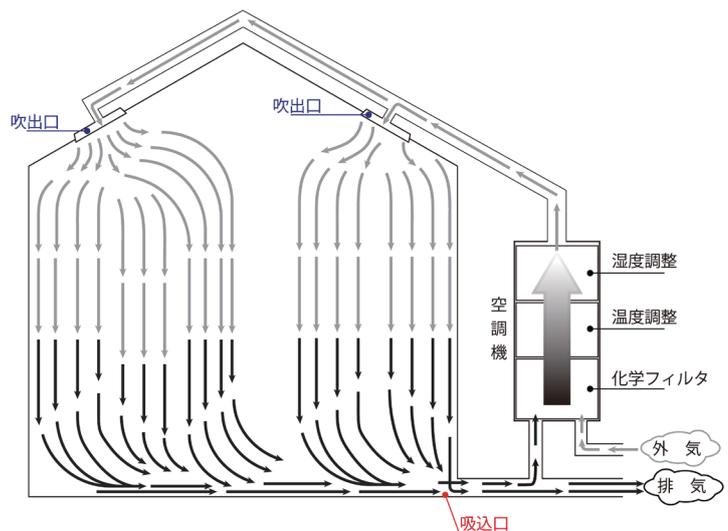


図4 7号書庫と空調機間の空気循環図

空調機内の化学フィルターで有害物質が除去され、温度・湿度が調整された後、配管を経由し書庫内天井に取り付けられた吹出口から書庫へ空気が送り込まれる。送り込まれた空気は天井から落下しながら、徐々に吸込口へ方向を変え吸込口から再び空調機へ到達する。

口のある側壁面際に集中・集約的に配架する。そして、中濃度、低濃度、無濃度フィルム群の順で配架していく。この配架順では、高濃度フィルムから無濃度フィルムまで距離が保てることから、高濃度フィルムが発散する酢酸ガスから無濃度フィルムを守ることが可能である。また、この配架順は風上に酢酸ガスを放出しない無濃度フィルム群を配架し、風下にあたる吸い込み口に高濃度フィルム群を配架するので風下から風上への酢酸ガスの逆流を防ぐことができるとともに、書庫全域への酢酸ガスの拡散も防ぐことができる（図6）。

図5 7号書庫内の空気の流れ（俯瞰）
天井の吹出口から送り込まれた空気は、壁面下の吸込口（赤枠）へ流れる（矢印の方向）。吸込口から空調機へと送り込まれる。

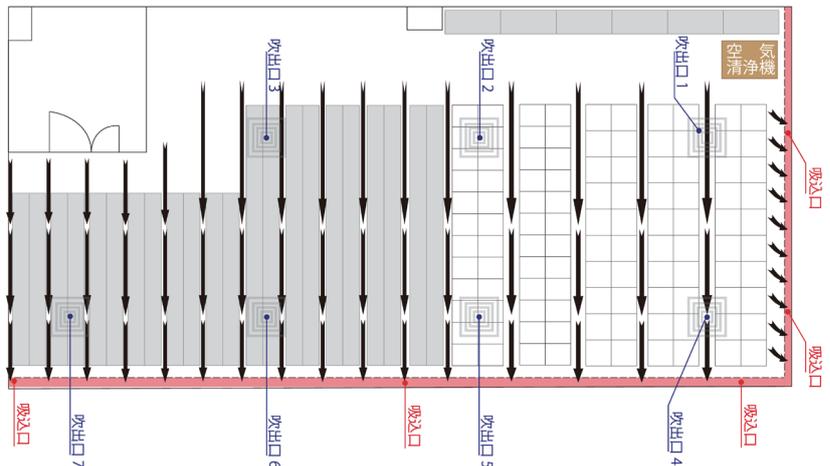
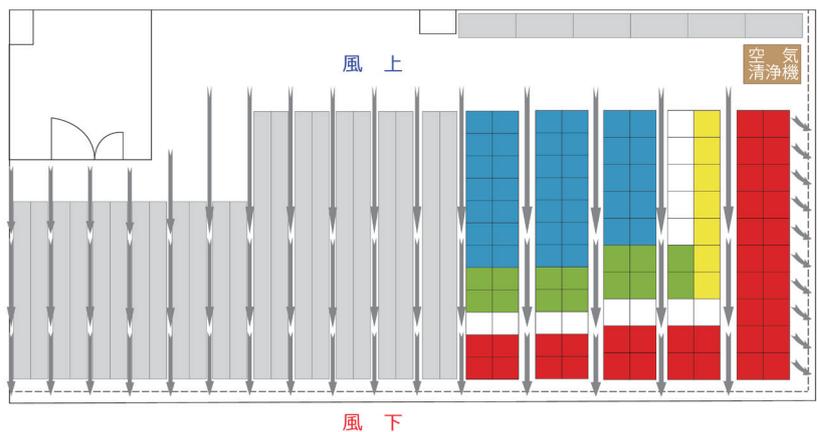


図6 書庫内の空気の流れ（風上・風下）
書庫内の空気の流れ（風上・風下）を意識してゾーニングすることで酢酸ガスを効率的に空調機へ送り込むことができる。



3-2 据え置き型空気清浄機内蔵の化学フィルター交換

7号書庫には1機の据え置き型空気清浄機（以下、「TU-1」という：写真1）が設置されており、空調機の空気清浄機能の補助的な役割を担っている。「TU-1」には、エアフィルター1枚、化学フィルター2枚の3層構造で1セットのフィルター群が2セット内蔵されており24時間365日稼働している（写真2）。設置場所は、7号書庫内で最も酢酸ガス濃度の高いエリアである。

「2019年度末調査」時に実験的に「TU-1」の吸気口（書庫環境の汚染された空気を吸気）



写真2 フィルター群



写真1 空気清浄機

と排気口 (TU-1 内蔵のフィルターを通過した清浄な空気を排出) に酢酸ガス濃度測定装置を設置し、両口での酢酸ガス濃度差を調べてみた (写真3、4)。

この調査で分かることは、吸気口と排気口での濃度差で空気清浄機内の化学フィルターの酢酸ガス除去効果や劣化度を推測できることである。例えば、吸気口での測定濃度値が排気口での測定濃度値より低ければ化学フィルターが機能し酢酸を除去していることを示している。一方、吸気口の測定濃度値と排気口の測定濃度値が同程度なら化学フィルターは機能しておらず、除去しきれなかった酢酸が再び書庫に送り込まれることになる。両口の酢酸ガス濃度差を見ることで化学フィルターの交換時期を判断することもできる。

「2019年度末調査」では、吸気口での酢酸ガス濃度値は322ppbを示し、排気口での酢酸ガス濃度値は260ppbを示した。排気口の酢酸ガス濃度値が吸気口の濃度値より20%程度低い結果が出たことから「TU-1」での酢酸ガス濃度低減の効果があつたと考える (図7)。実は、この時点で「TU-1」内に設置されている化学フィルターの吸着材の種類と交換年月は不明であったが、20%程度の減少効果から、化学フィルターを酢酸ガス除去に特化したものに交換すれば更なる効果が期待できると考えた。

そこで、2021年(令和3)10月に酢酸ガス除去専用の化学フィルターの交換を行った。

その後、交換から10ヵ月後の2022年(令和4)8月に化学フィルター交換の効果測定を行った。吸気口での酢酸ガス濃度値は587ppbを示し、排気口では310ppbを示した(図8)。この時の減少率は47%となり、酢酸ガス除去専用化学フィルターの効果が上がっていることが分かった。この結果から、据え置き型空気清浄機で酢酸ガスを除去することが実感できた。新旧の化学フィルターで減少率は異なるものの一定の効果はあり、空調機内蔵の化学フィルター交換へ向けた新たなステップとなった。



写真3 吸気口での測定



写真4 排気口での測定

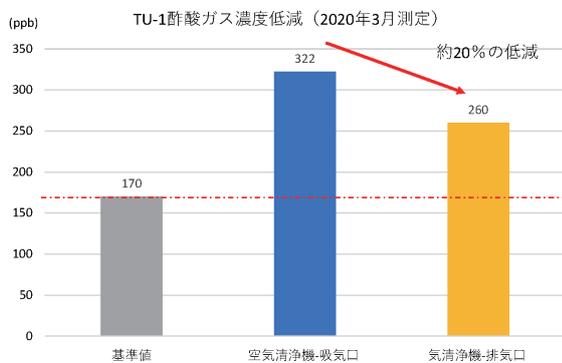


図7 TU-1 酢酸ガス濃度低減 (2020年3月測定)

2020年(令和2)3月での酢酸ガス濃度測定では約20%の低減率。この時点で化学フィルターの種類と稼働時間は不明だが、低減効果は出ている。

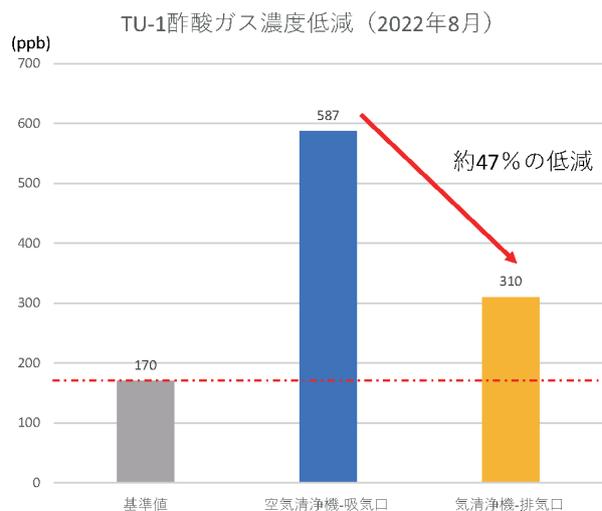


図8 TU-1 酢酸ガス濃度低減 (2022年8月測定)

2021年(令和3)10月に「酢酸ガス除去専用フィルター」に交換。交換後10ヵ月経過した2022年8月での酢酸ガス濃度測定での低減率は47%で専用フィルターへの交換は効果あり。

3-3 空気調和機内蔵の化学フィルター交換

7号書庫内の酢酸ガス濃度値が基準値を超えていることは、「2-2 酢酸ガス濃度の状況」で述べた通りである（詳しくは、図2と表2）。酢酸ガス濃度を基準値まで下げるには、図3、図4でも分かるが小型の据え置き型空気清浄機だけの酢酸ガス除去能力では十分ではない。

そこで、次のステップとして、7号書庫の空気環境（温度、湿度、空気質）を制御している空調機の化学フィルターの交換に取り組んだ。空調機内にも据え置き型空気清浄機と同様に化学フィルターが設置されていることから、化学フィルターを交換することで書庫全体の酢酸ガス濃度を下げる効果は期待できる。3-2の実証を空調機内蔵の化学フィルター交換へと応用し書庫内空気質改善につなげるため、化学フィルターの交換を2022年（令和4）12月12日に行った（写真5、6、7）。



写真5 空気調和機



写真6

フィルターラックに酢酸ガス除去に特化した吸着材を詰めている様子



写真7

空調機内にフィルターラックを設置している様子

化学フィルター交換による効果測定として、

- ① 測定は、交換前、交換後1、交換後2の3回行った。交換前は、2022年（令和4）8月時点の酢酸ガス濃度。交換後1は、2022年（令和4）12月16日（交換から4日後）。交換後2は、2023年（令和5）1月中旬（交換から1ヵ月後）。3回の酢酸ガス濃度値の比較を行い新化学フィルターの効果を確認した。
- ② 測定にあたっての測定機材は、光明理化学工業株式会社製のエアサンプリングポンプ（ASP-1200）に北川式有機酸検知管910型（酢酸・ギ酸用）を使用した。
- ③ 測定時の書庫環境条件（7号書庫の温度19.2度 湿度37%、空調機は稼働）として、3回の調査ともにほぼ同一の条件下で測定を行うことができた。
- ④ 採取する空気の量は、毎分200mlを20分間吸引し総量4Lの空気を採取した。4Lの採取後、検知管の変色した目盛りをもとに測定値とした。
- ⑤ エアサンプリングポンプの設置位置は、天井に設置されている吹き出し口直下とした（写真8）。吹き出し口直下に測定機を設置した理由は、天井吹き出し口は空調機の化学フィルターで酢酸が除去され浄化された空気が最初に書庫に送り込まれる場所であり、書庫内の空気環境の影響を受けにくく、酢酸ガスの除去効果が測定できるポイントだと考えた。

効果測定結果は、図9のとおりとなった。

交換前の2022年（令和4）8月時点での429.8ppb（基準値170ppbの2.5倍）から交換後2回目の測定では、62.1ppbまで酢酸ガス濃度は低下した。この結果から酢酸ガス除去に照準を合わせた化学フィルターへの交換は、効果は大きいと考える。また、「鼻は優れた検出器の一つ」⁸のとおり、多くの職員からも7号書庫の酢酸臭の低減の感想があり、測定機器での測定値、そして人間の感覚の両方

8 前掲 佐野、呂（2014）

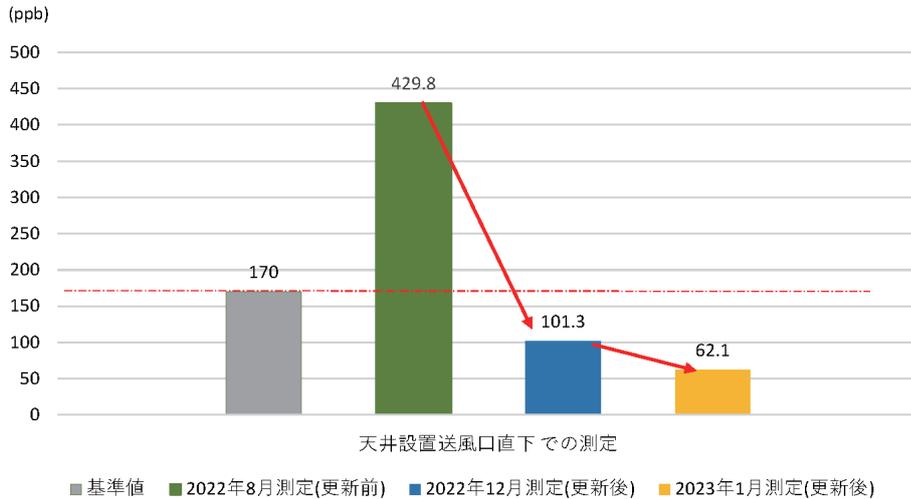


写真 8

三脚の先に測定機器を取り付け、天井の吹き出し口直下で空気採取

図 9 空気調和機内蔵化学フィルター交換効果測定

で酢酸ガス濃度の低減を実感できる効果測定結果となった。

大幅な酢酸ガス濃度低減という結果は出たものの、今後の課題も顕在化し手放しで喜べる程、楽観的になることはできない。課題として、次の交換時期を予測するデータを蓄積することがあげられる。化学フィルターにも一定の寿命がある。それは、化学フィルターが持っている酢酸吸着量の容量が決まっているからである。効果測定 2 回目の測定値 62.1ppb を仮に底値だとしても、この底値が永遠に続くことはなく、どこかのタイミングで吸着容量を満たし、酢酸ガスを除去しきれなくなる時が来る。現状としては、データ不足のため次期交換タイミングの予測がつかない。交換タイミングを逸してしまうとフィルム保存、書庫環境、空調設備等への悪影響が生じてくることから適切な交換タイミングを見極めるためにも、定期的な空気環境モニタリングを実施しデータの蓄積が必要である。また、交換にもかなり高額のコストがかかる。容易に、交換ができる資材ではないことから、予め交換タイミングを見極め、予算編成を円滑に行うためにも空気環境データの収集・蓄積は必要だと考える。

また、酢酸吸着容量が決まっている化学フィルターの寿命を延ばすために、化学フィルターに入ってくる酢酸量を減らし吸着容量限界に達するまでの時間稼ぎをしなければならない。フィルムから放出される酢酸量を減らすためには、空調機を介し新鮮な外気を取り入れる換気と汚染された書庫内の空気を排出する排気が必須となる。別の方法として、保存担当では、次項「3-4 映像フィルム劣化予防処置」も継続しているところである。

3-4 映像フィルム劣化予防処置

上記の 3-1、3-2、3-3 の改善活動は、7号書庫の空気環境改善を目指す活動とすることができる。これら三つの活動の歯車がうまく噛み合い書庫内の空気環境が改善したとしても、酢酸ガスの放出源であるフィルムの劣化予防処置を怠り劣化が進行し大量の酢酸ガスを放出すれば、近い将来には 3-1、3-2、3-3 の活動で改善した空気環境も破綻すると考える。

このため、保存担当は、2019年度（令和元）をスタートとして1,338個のケース及び缶に収納されている全2,571巻のフィルムのうち、2021年度（令和3）には1,529巻の強劣化フィルムを、2022年度（令和4）には801巻の低劣化から中劣化フィルムを対象として劣化予防処置を行ってきた。本稿執筆時の2023年度（令和5）は500巻の強劣化フィルム（強劣化でも特に劣化が進行しているもの）

を劣化予防処置対象としている。

この劣化予防処置は、2019年度（令和元）が初回だったため、フィルムの物理的劣化度の調査も兼ねて全数処置を行った。この調査をもとに、次の2021年度（令和3）からは、処置対象を強劣化フィルム、低から中劣化フィルム、そして強劣化フィルムへと周期化するように計画してきた。劣化予防処置作業の周期化と経験の積み重ねから資源配分（人員体制と作業時間、資材購入予算や量）の見通しを立てやすくなったのは収穫のひとつだと考える。

おわりに

空気環境改善活動に取り組むまでは、「物理的劣化防止処置」とデジタルデータ等への「代替化」を中心にフィルム保存活動を行ってきた。そして、この二つの活動でフィルムを保存することができると考えていたところもあった。しかし、TACベースフィルムの劣化特性である酢酸ガスの放出と、そのガスがフィルムや書庫設備に悪影響を及ぼすことを見聞きするにつれ、書庫内空気環境の改善の必要性を強く感じるようになった。

そこで、映像フィルムの総合的な保存管理活動の中で不十分だった「保存環境の整備・維持」、特に書庫内の空気環境改善に取り組んだ。改善する対象が空気とその空気の流れといった目に見えないものであったため「2019年度末調査」と「2020年度調査」では数値や数量を色に変換し、極力、可視化することを心がけた。可視化から導かれたのがフィルムの酢酸濃度レベル別分類や書架エリアのゾーニングへと結びついた。そして、2021年度（令和3）、2022年度（令和4）に亘って書庫内作業の酢酸濃度レベル別分類、書架エリアのゾーニングおよび再配架を行った。また、ガス濃度測定機で計測された濃度値は、書庫の現状を客観的に把握できるばかりではなく、据え置き型空気清浄機や空気調和機内の化学フィルターの効力や劣化度を推測するのに役立つ化学フィルターの交換に結び付いた。

これでようやく、総合的な保存活動の3つの要素である「物理的劣化処置」、「代替化」、「保存環境の整備・維持」が出揃った。ただし、これら三要素が出揃ったことは、フィルム保存活動の終点ではなく、出発点だということも強く意識している。「書庫内空気環境改善活動の試み」がフィルムの長期保存と書庫設備の長期安定維持に繋がることを切に願う。

