

ATP ふき取り検査による北海道博物館収蔵庫内の清浄度調査

高橋佳久

Key Words

ATPふき取り検査 (ATP Swab Test)、保存環境 (Preservation environment)
清浄度 (Cleanliness)、総合的有害生物管理 (Integrated pest management)

1 はじめに

北海道博物館では、これまで館内における微生物汚染の程度を評価するため、環境中の微生物測定法の一つである落下法により、主にカビなどの真菌類を対象とした定期的な環境清浄度の調査を文化財保存科学担当学芸員が実施してきた (杉山 2011)。しかし、後任である筆者に菌類の培養経験がないこと、また菌類の培養に必要な温度を一定に保つ装置を館内で保有していないことなどから、筆者が着任して以来、定期的な環境清浄度の調査を実施できていない状況が続いていた。

文化財保存環境が適切な状態であるかどうかを評価する手段としては、落下法によって培養し発育したカビ集落数を計測する以外に、調査環境に暴露したカビの発育を利用して、その環境中でのカビ発育可能性を定量的に把握する「カビ指数」(阿部 2011)を用いた方法が知られている。しかし、この方法も事前に供試カビを用意する必要があり、当館での実施のハードルが高い。

また、2025年3月末に、文化財の殺菌に多大な貢献をしてきた燻蒸薬剤であるエキヒュームS (日本炭炭株式会社)の販売停止が決まったことから、今後殺菌処理に使える燻蒸薬剤の使用が難しくなる地域が増え、薬剤に過度に頼りすぎない文化財IPMによる予防的保存環境の構築がより一層重要となってくる (佐藤 2024)。

このような現状を踏まえ、昨今文化財保存公開施設でカビの調査に用いられるようになっており (佐藤 2019)、費用と労力の両面で比較的導入のハードルが低く、簡便・迅速・数値管理可能という大きな強みを持つATPふき取り検査 (A3法)による清浄度調査を試みることにした。

ATPふき取り検査 (以下、A3法)とは、生物を含む多くの有機物に含まれるATP (アデノシン三リン酸)を汚れの指標とした清浄度の検査方法である。ATPはあらゆる生物に必須のエネルギー物質であり、生物由来する汚れ (博物館の場合、微生物や生体成分及びその

分解物など)に含まれる。ATPを汚れの指標とした清浄度検査は、食品衛生分野を始めとする幅広い分野で活用されているほか、繊維製品の抗菌・抗カビ試験法としてはJIS規格 (日本産業規格)にも収載されている (本間 2023)。A3法は、ホタルルシフェラーゼの発光反応とピルベートオルトホスフェートジキナーゼ (PPDK)、ピルビン酸キナーゼ (PK)を組み合わせた酵素サイクリング法によって、短時間に非常に高感度でのATP測定を可能にしている (図1)。この方法により、ATPとADP (アデノシン二リン酸)、AMP (アデノシン一リン酸)の総量に比例した発光量 (ATP + ADP + AMPと試薬が反応して生じた相対的な光の量)が得られる。この発光量は検査機器を通じてRLU (Relative Light Unit)という単位で数値化される。これによって目には見えない検査ポイントの清浄度の比較検討が可能となる。ATP測定の歴史や原理については、(山崎 2001, 本間 2014, 本間 2016, ATP・迅速検査研究会編 2016)等に詳しい。

文化財分野においても、既にATP測定による基礎的な研究や現場での活用事例があり (間瀬ら 2010, 内田ら 2017, 間瀬ら 2021a, 2021b)、当館でも研究の一環で活用実績がある (杉山 2018)。また、最近では東京文化財研究所によってA3法による清浄度の指標が検討されており (岡部ら 2022a, 2022b)、今後は博物館や美術館等での普及・活用が期待されている。

A3法による清浄度の程度の判定には、各現場で運用

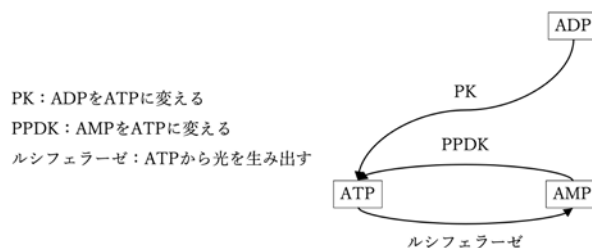


図1 酵素サイクリング法の発光原理
(清浄度検査キット取扱説明書に記載の図を元に筆者作成)

手順を定め、あらかじめ現状に則した一定の基準値を明らかにする必要があるが、今回初めて導入を試みるため当館ではいずれも定まってない。したがって今回の調査では、当館における運用手順を定め、当面の暫定基準値を明らかにすることを目的とした。

2 方法

A3法は、キッコーマンバイオケミファ社がホームページ上で公開しているマニュアル⁽¹⁾に則って行った。

(1) 測定器材

検査機器（ルミノメーター）はキッコーマンバイオケミファ社製ルミテスター Smart、測定試薬は同社製ルシパック A3 Surface（乾燥綿棒）を用いた。

(2) ふき取り検査箇所

当館では、10年以上前から隔月で定期的に収蔵庫内の除塵清掃を実施している（杉山 2011）。その効果を定期的にモニタリングできるよう、収蔵庫内の床計 95 箇所を検査ポイントとした。検査グループ及び検査ポイントの概要を表 1 に示す。調査は 2024 年 11 月 12 日と 11 月 13 日の二日間で行った。前回清掃日からの経過日数は、各収蔵庫が 25 日間、収蔵庫前室が 3 日間である。毎年夏季に相対湿度が高くなりがちな第 1 収蔵庫と第 3 収蔵庫は、カビ生育のリスクが高い可能性がある想定されたため、検査ポイントを他の収蔵庫よりも多めに設定した。

(3) ふき取り方法のルール

測定誤差を少なくし常に安定した結果を得るため、以下に示すようにふき取り方法のルールを定めた。ふき取り時の様子を図 2 に示す。今回の測定では、ふき取り綿棒を湿らせるために水道水またはペットボトル入りの市販の飲料水（収蔵庫内という条件で水道水を効率的に得られない状況下で使用）を用いた。

ふき取り方法のルール

- ① 試薬は冷蔵庫から取り出してから、常温下で 20 分以上なじませた状態で使用する
- ② 測定前に必ず手洗いをし、ニトリル手袋を着用する
- ③ 基本のふき取り方（図 3）に従い、ふき取り綿棒は 10 cm × 10 cm 四方（100 cm²）の範囲を縦横 10 往復回転させながらふき取る。力の入れ具合は、綿

棒の先がしっかりとしなる程度の強さとする

- ④ ふき取り後、綿棒ホルダーに綿棒を入れてから 10 秒以上よく振って試薬を完全に溶かし、その後速やかにルミテスターに綿棒ホルダーを入れて発光量を測定する

(4) 測定値の事前確認

検査機器に異常がないか、あらかじめ次の 5 つのパターンで測定値の確認を行った。何もふき取っていないブランク（水道水を使用）で 6 RLU、同じく何もふき取っていないブランク（ペットボトル入りの市販の飲料水を使用）で 6 RLU、手洗いをしていない手のひらで

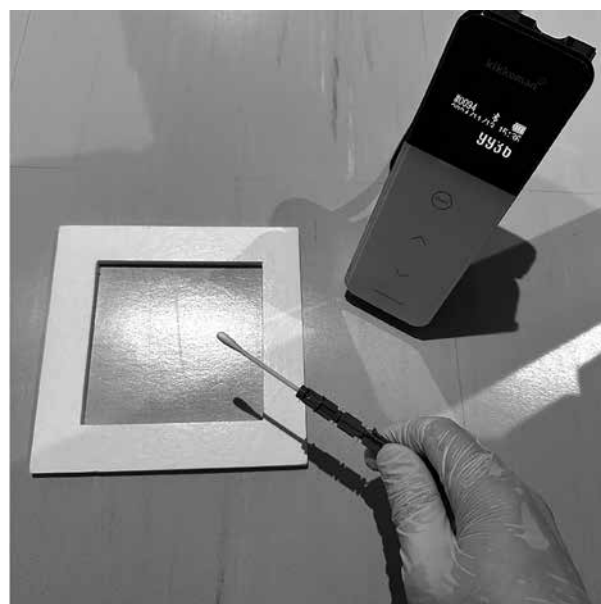


図2 ふき取り時の様子

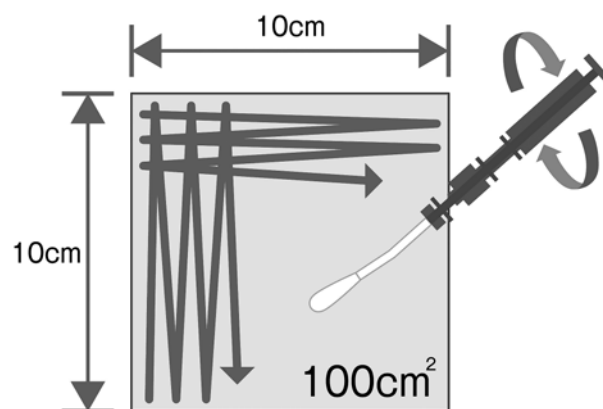


図3 基本のふき取り方

(<https://biochemifa.kikkoman.co.jp/kit/atp/method/guide/>より転載)

(1) https://biochemifa.kikkoman.co.jp/kit/atp/article/article_detail_108/（最終閲覧日：2024年11月23日）

表1 検査グループ及び検査ポイント概要

検査グループ	解説	検査ポイント	解説
収蔵庫前室	地下に所在、AHUによる外気導入あり 主に収蔵資料の閲覧、経過観察空間として利用	第1収蔵庫手前緩衝空間：床5箇所 収蔵庫前室：床5箇所	定期的に除塵清掃可能な範囲で、検査ポイント同士の距離が等間隔になるように設定
第1収蔵庫	地下に所在、AHUによる外気導入あり 恒温恒湿収蔵庫として設備されたもの 温湿度の変化に敏感な資料を収蔵	1層：床10箇所 2層：床5箇所 3層：床10箇所	1層：5つの通路の壁から約1m離れた2箇所ずつ 2層：5つの通路中央から1箇所ずつ 3層：5つの通路の壁から約1m離れた2箇所ずつ
第2収蔵庫	地下に所在、AHUによる外気導入あり 農機具等の大型資料収蔵庫として設備されたもの	床15箇所	定期的に除塵清掃可能な範囲で、検査ポイント同士の距離が等間隔になるように設定
第3収蔵庫	地下に所在、AHUによる外気導入あり 積層収蔵庫として設備されたもの 生活資料、産業資料、地学資料、考古資料等を収蔵	1層：床10箇所 2層：床5箇所 3層：床10箇所	1層：10の通路中央から1箇所ずつ 2層：10の通路のうち、5つの通路中央から1箇所ずつ 3層：10の通路中央から1箇所ずつ
第4収蔵庫	半地下に所在、AHUによる外気導入あり 生物標本、文献資料等を収蔵	床10箇所	定期的に除塵清掃可能な範囲で、検査ポイント同士の距離が等間隔になるように設定
第5収蔵庫	半地下に所在、AHUによる外気導入あり 文献資料収蔵庫として設備されたもの	床10箇所	定期的に除塵清掃可能な範囲で、検査ポイント同士の距離が等間隔になるように設定

51,763 RLU/50 cm²、事務室の床で 11,635 RLU/100 cm²、事務室の作業台上で 5,704 RLU/100 cm²であった。また、それぞれ時間の経過とともに化学反応の収束に伴って発光量（ATP 量）が低下することも確認した。

3 結果と考察

前述のルールに則った方法で得られた測定値の基本統計量と暫定基準値を表2に、各収蔵庫床面測定値のヒストグラムを図4に示す。

第1収蔵庫は1箇所を除き全て 6,000 RLU/100 cm²以下の範囲に収まった。75% タイル値は 4,338 RLU/100 cm²であり、先行研究（岡部ら 2022a）における全国14の博物館・美術館等収蔵庫内における実測値の75% タイル値 2,000 RLU/50 cm²と比較すると、同等かやや高めと考えられる。第一収蔵庫は収蔵庫入口から遠い場所にあり、また入室までの扉の数が最も多いため、空調による空気の供給を除けば、外部からの微生物侵入の機会は少ないと推測される。そのため、定期的な除塵清掃を継続することで、この清浄度を維持できる可能性が高いと考えられる。

第2収蔵庫は最小値と中央値が収蔵庫の中で最も大きく、他の収蔵庫に比べて清浄度が低いと考えられる。またばらつきが非常に大きく、除塵清掃方法の改善が必要など多いようである。第2収蔵庫は容易に移動できない大型の資料が多く保管されており、もともと清掃の効果を得づらい場所である。まず短期的には、定期的に除塵清掃を行っている範囲で特に RLU 値の高い場所での数値改善を目指しつつ、長期的にはそれ以外の範囲での清掃強化によって、収蔵庫全体の清浄度を向上させていく必要がある。

第3収蔵庫は1箇所を除き全て 6,000 RLU/100 cm²以下の範囲に収まり、ばらつきも小さかった。75% タイル値は 2,337 RLU/100 cm²であり、全国14の博物館・

美術館等収蔵庫内における実測値の75% タイル値 2,000 RLU/50 cm²よりも清浄度が高いと考えられる。ただし、局所的に RLU 値が高い場所が存在しているため、該当部分の清掃を強化しつつ、今後も定期的な除塵清掃を行うことで清浄度を維持できる可能性が高いと考えられる。

第4収蔵庫は第2収蔵庫に次いでばらつきが大きかった。最頻階級は 9,001 RLU/100 cm² ～ 10,000 RLU/ cm²と、他の収蔵庫よりも高かった。第4収蔵庫には生物標本が収蔵されており、局所的に資料由来の ATP 量が多いところが存在している可能性が考えられる。今後検査ポイントをずらして清浄度の詳細な分布を調べるとともに、清浄度の低い箇所の除塵清掃を強化することで、環境を改善できると考えられる。

第5収蔵庫は最大値が最も小さかった。75% タイル値は 4,695 RLU/100 cm²であり、全国14の博物館・美術館等収蔵庫内における実測値の75% タイル値 2,000 RLU/50 cm²と同程度の清浄度であると考えられる。引き続き定期的な除塵清掃を行いつつ清掃の頻度や方法の見直しで清浄度を高められる可能性があると考えられる。

収蔵庫前室は前回清掃日からの日数が浅いにも関わらず、他の収蔵庫に比べて中央値が低い結果とはならなかった。また1箇所（第一収蔵庫手前緩衝空間）で 20,001 RLU/100 cm²以上と最も高い RLU 値を記録しており、極めて清浄度が低いところが局所的かつ日常的に存在している可能性がある。今後は該当部分の除塵清掃を強化するとともに、原因究明を進める必要がある。

北海道博物館では、筆者が着任して以来収蔵資料の目立ったカビ被害は発生していないことから、現状では少なくとも短時間で急激にカビが発育しない程度の清浄度を保てていると考えられる。そこで、今回得られた各収蔵庫床面測定値の75% タイル値を目安に、1,000 RLU 単位で四捨五入した値を暫定基準値とすることとした。

暫定基準値が最も低いのは第3収蔵庫の 2,000

RLU/100 cm²である。次点は第1収蔵庫と収蔵庫前室の4,000 RLU/100 cm²である。続いて、第5収蔵庫の5,000 RLU/100 cm²、第2収蔵庫の9,000 RLU/100 cm²、そして暫定基準値が最も高いのは第4収蔵庫の10,000 RLU/100 cm²である。これらの基準値は絶対的な清浄度

の指標ではなく、あくまで当館の現状に基づいて算出したものであるが、当館収蔵庫は全国的な調査の水準に照らし合わせると、現状では課題が残ることが明らかとなった。

表2 各収蔵庫内測定値の基本統計量と暫定基準値

検査グループ	第1収蔵庫	第2収蔵庫	第3収蔵庫	第4収蔵庫	第5収蔵庫	収蔵庫前室
有効データ数	25	15	25	10	10	10
平均値 (RLU/100 cm ²)	2,902	7,068	2,334	5,998	3,729	5,426
中央値 (RLU/100 cm ²)	2,197	5,935	1,765	5,779	3,885	3,184
最大値 (RLU/100 cm ²)	7,815	14,185	15,091	9,936	5,612	25,889
最小値 (RLU/100 cm ²)	789	2,297	676	946	1,368	1,033
75%タイル値 (RLU/100 cm ²)	4,338	9,131	2,337	9,706	4,695	4,057
暫定基準値 (RLU/100 cm ²)	4,000	9,000	2,000	10,000	5,000	4,000

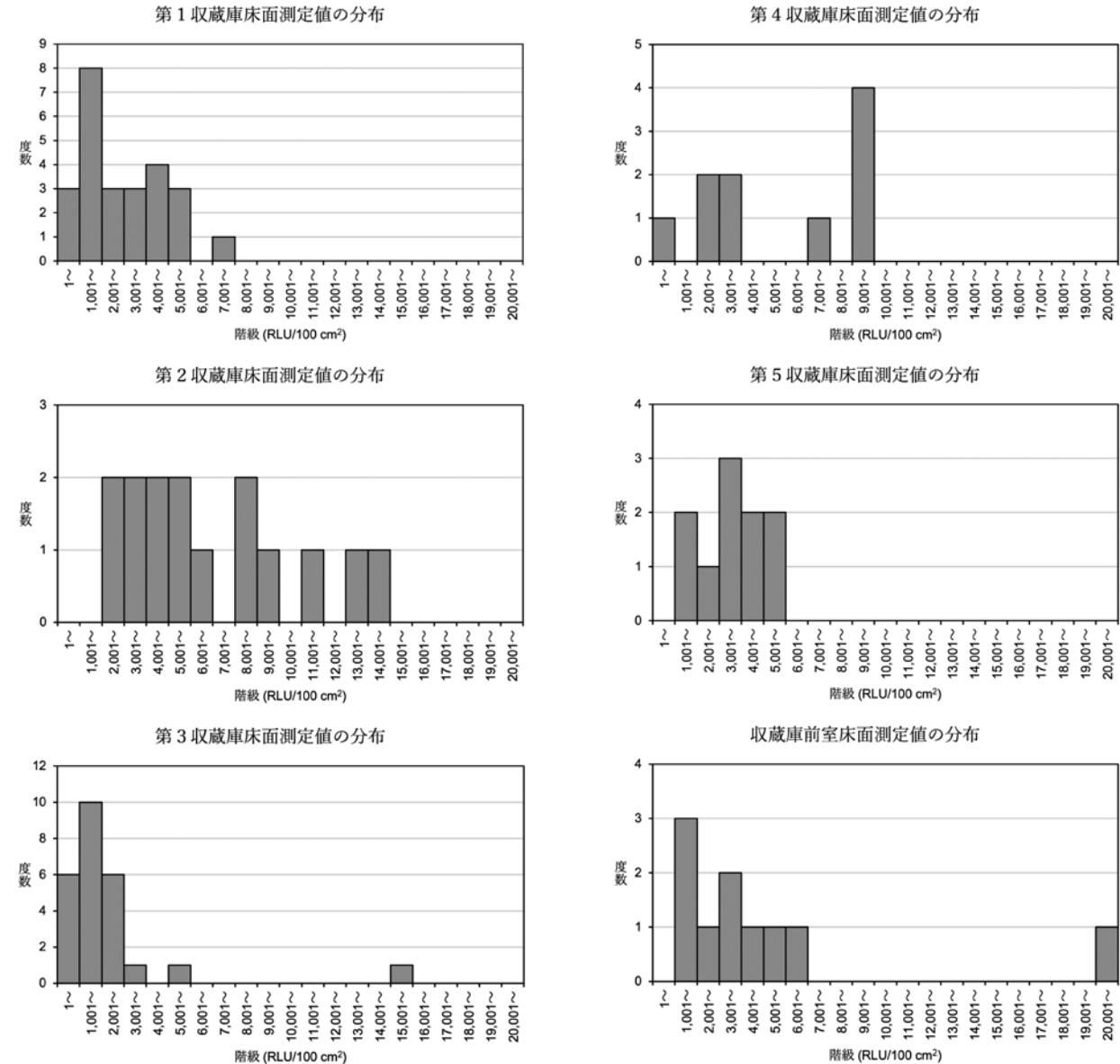


図4 各収蔵庫における測定値 (RLU/100 cm²) の分布 (ヒストグラム)

4 まとめ

A3法により、収蔵庫内の清浄度の現状を把握し、清浄度を維持・向上させていくための運用手順と暫定基準値を定めた。今後は検査箇所を絞りながら暫定基準値を目安とした定期的な除塵清掃に取り組み、その効果が高まるよう基準値の見直しを重ねていく予定である。具体的には、暫定基準値以上を不合格とし、それ以外に基準値1（合格）と基準値2（要注意）の二つの範囲を新たに設けて、除塵清掃の効果を一定に保てるように努める。

室内環境のカビ発育可能性を見極める指標である「カビ指数」を提唱した阿部は、美術館収蔵庫での室内環境調査経験から、「環境の管理を温湿度計のみに頼ることは危険である」（阿部 2011）と指摘している。温湿度計やデータロガーの示す値は重要だが、それを過信しすぎてはならない。A3法による継続した清浄度調査によって清浄度の低いエリアの特定と原因の分析を行い、微生物汚染の程度の定期的なモニタリングに努めたい。

謝辞

ATPふき取り検査の導入にあたり、ATPふき取り検査相談センター理事長の本間茂氏より、ふき取り綿棒の選定方法や検査時の注意点について貴重な助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 阿部恵子 2011. カビセンサーとカビ指数 ―文化財環境での利用―. 都市有害生物管理 1(2): 163-174. 日本家屋害虫学会.
- 内田優花・佐野千絵・赤沼英男 2017. 津波被災紙資料におけるATP+AMP拭き取り検査の活用. 保存科学 56: 113-120. 東京文化財研究所.
- 岡部迪子・佐藤嘉則 2022a. ATP測定法による保存環境の清浄度評価に向けた試み. 文化財保存修復学会第44回大会発表要旨集. pp. 156-157. 文化財保存修復学会.
- 岡部迪子・高鳥浩介・佐藤嘉則 2022b. 国宝高松塚古墳壁画仮設修理施設における微生物環境管理指針の検討. 保存科学 62: 33-42. 東京文化財研究所.
- 佐藤嘉則 2019. 文化財IPMとカビの制御. 文化財の虫菌害 78: 16-24. 文化財虫菌害研究所.
- 佐藤嘉則 2024. ポスト・エキヒュームSを見据えた資料の生物被害対策. ネットワーク資料保存 136: 1-3. 日本図書館協会資料保存委員会.
- 杉山智昭 2011. 北海道開拓記念館における資料管理の現場. 博物館研究 46(7): 10-13. 日本博物館協会.
- 杉山智昭 2018. 津波による水損文化財の緊急避難措置としての低酸素濃度処理法の評価(Ⅱ)―紙製文化財に対する好気性糸状菌の活動抑制効果について―. 北海道博物館研究紀要 3: 1-7. 北海道博物館.
- 本間茂 2014. ATP測定を利用した迅速衛生検査―“ATPふき取り検査”と“ATP法による迅速微生物検査”―. 日本防菌防黴学会誌 42(6): 299-308. 日本防菌防黴学会.
- 本間茂 2016. SEMINAR ルシフェラーゼ応用の過去・現在・未来―ATPふき取り検査の20年―. HACCP 22(6): 55-61. 株式会社鶏卵肉情報センター.
- 本間茂 2023. ATP測定を応用した抗菌・抗カビ試験法. かびと生活 16(1): 20-23. NPO法人カビ相談センター.
- 間瀬 創・木川りか・佐野千絵 2010. 文化財公開施設等におけるATP拭き取り検査の活用について. 保存科学 49: 1-11. 東京文化財研究所.
- 間瀬創・佐藤嘉則 2021a. 博物館等におけるATP拭き取り検査―カビ集落の活性評価と機器の特徴について―. 文化財保存修復学会第43回大会発表要旨集. pp. 304-307. 文化財保存修復学会.
- 間瀬創・佐藤嘉則 2021b. 博物館等におけるATP拭き取り検査によるカビ集落の活性評価について. 保存科学 60: 41-49. 東京文化財研究所.
- 山崎省二 2001. 環境微生物の測定と評価. pp. 143-160. オーム社.
- ATP・迅速検査研究会編 2016. ATP・迅速検査研究会設立15周年記念誌 現場のためのATPふき取り検査マニュアル―基礎から応用まで―. ATP・迅速検査研究会.

RESEARCH REPORT

Cleanliness Assessment of Hokkaido Museum Collection Storage Rooms via ATP Swab Testing

TAKAHASHI Yoshihisa

This study presents a survey report aimed at assessing the current cleanliness status within collection storage rooms at Hokkaido Museum via ATP Swab Testing (the A3 Test, which measures the total amount of ATP + ADP + AMP on a surface) and establishing provisional benchmark values to maintain and improve cleanliness. These survey findings reveal that, when compared to nationwide survey standards, there remain areas for improvement at Hokkaido Museum's storage

facilities. In the future, regular dust removal cleaning protocols will be implemented based on provisional standard values, with periodic reviews of standard values aimed to improve effectiveness. While readings from thermohygrometers and data loggers are valuable, we must not excessively rely on such data. Ongoing cleanliness surveys utilizing the A3 Test will also be conducted to provide continuous monitoring of microbial contamination levels.

TAKAHASHI Yoshihisa: Museum Studies Group, Research Division, Hokkaido Museum
