

I 博物館収蔵物の劣化状況調査と収蔵展示環境の最適設計制御に関する研究

第1章 研究目的

第2章 展示室・収蔵庫の空調・換気システムの運転とエネルギー消費の調査

- 2.1. 本調査の目的
- 2.2. 対象美術館の概要と空調システム
- 2.3. 調査概要
- 2.4. 調査結果
 - 2.4.1. AHP 消費電力と供給熱量
 - 2.4.2. 展示室とロビー・エントランスの室内温湿度
 - 2.4.3. 収蔵庫の温湿度
- 2.5. 第2章のまとめ
 - 2.5.1. 対象美術館での調査のまとめ
 - 2.5.2. 今後の展開

第3章 収蔵庫の空気質環境の実態調査

- 3.1. 調査・測定内容
- 3.2. 地下収蔵庫の概要
- 3.3. 収蔵庫の温湿度
 - 3.3.1. 測定概要と設置機器
 - 3.3.2. 収蔵庫内の温湿度の測定結果と考察
- 3.4. 収蔵庫でのカビサンプリング
 - 3.4.1. カビサンプリングの概要
 - 3.4.2. 収蔵庫でのカビサンプリングの結果と考察
- 3.5. 第3章のまとめ

第4章 収蔵室および収蔵ケース内の温湿度環境の実態調査

- 4.1. 測定目的と測定概要
- 4.2. 測定位置・測定日時・測定方法
- 4.3. 3階特別収蔵室における昨年度の測定結果
 - 4.3.1. 温度 (図 3-1～3-3)
 - 4.3.2. 相対湿度 (図 3-4～3-6)
 - 4.3.3. 絶対湿度 (図 3-7, 3-8)
 - 4.3.4. 解析結果 (図 3-9, 3-10)
- 4.4. 収蔵ケース近傍の温湿度分布の測定

- 4.4.1. 温湿度センサーの位置
- 4.4.2. 湿度の測定結果
- 4.4.3. 収蔵室内の水平および垂直方向湿度分布の測定
- 4.4.4. CFDによる室内空気温度分布の検討
- 4.5. 第4章のまとめと今後の課題

第5章 文化財資料の劣化保存状態の調査

- 5.1. 目的
- 5.2. 研究の方針：環境基準作成の考え方と手順
 - 5.2.1. 手順
 - 5.2.2. 考え方
- 5.3. 検討事項
 - 5.3.1. シミュレーションモデル
 - 5.3.2. 劣化と収蔵物湿度履歴との対応：評価指標の選択
 - 5.3.3. 収蔵物における多様性
 - 5.3.4. 文化財修理報告書の利用
- 5.4. 資料情報用テンプレート（検索カード）
 - 5.4.1. 検索カード作成の目的
 - 5.4.2. 検索カード作成の方針
 - 5.4.3. 検索カードの例
 - 5.3.4. 文化財修理報告書の利用
- 5.5. 検索カード（データベース）作成のための基礎情報の調査
 - 5.5.1. 当博物館での調査・概要
- 5.6.4. 今後すべきこと
- 5.8.4. 今後の検討事項
- 5.9. 第5章のまとめ

第6章 今年度のまとめ

I 博物館収蔵物の劣化状況調査と収蔵展示環境の最適設計制御に関する研究

第1章 研究目的

本調査研究では、温湿度制御の不具合やカビ・結露の発生、展示物や来館者の健康への影響、エネルギーの過大な消費が懸念される博物館および収蔵室を対象として、これらの課題の解決に向けて、(1)展示、収蔵スペースの空調・換気システムの運転とエネルギー消費の調査、(2)収蔵スペースの空気質環境の実態調査、(3)収蔵室および収蔵ケース内の温湿度環境の実態調査、(4)文化財資料の劣化保存状態の調査を行った。

第2章 展示室・収蔵庫の空調・換気システムの運転とエネルギー消費の調査

2.1. 本調査の目的

2022年度まで、関西地方の博物館の展示室におけるAHU（Air Handling Unit;空調機）の運転状況の把握、消費エネルギー削減の検討を行ってきた。2023年度は、博物館同様温湿度の管理条件が厳しい美術館（関東地方）において、空調機の運転状況調査および展示室・収蔵庫の温湿度測定を行い、適切な資料保存環境形成されているかどうか、また、空調機の運用が与える影響について調査を行った。なお、対象美術館ではBEMS（Building Energy Management System）が導入されており、空調機周りの様々なデータが蓄積されているが、これまであまり活用されていない。

対象美術館では管理上の問題から空調機の間欠運転を行っており、特にこの運転方法が室内温湿度変動に与える影響と、設定温度の見直しによる改善効果に着目した。

2.2. 対象美術館の概要と空調システム

対象施設は、RCを主体構造とする、地下1階、地上2階建ての美術館である。収蔵庫は図2-1に示すように1階に1室、地下1階に2室存在し、収蔵庫1は2面が屋外に面する。展示室は図2-2に示すように2階に存在し、面積の広い南側と狭い北側に分かれているが、両空間は仕切りなく繋がっている。対象とする館では企画展示のみ実施しており、主に来館者が滞在するエントランスや展示室の空調機の運用は、展覧会の会期や内容によって変化する。休館日の月曜日を除いた火曜日から日曜日の9時30分から17時まで開館している。

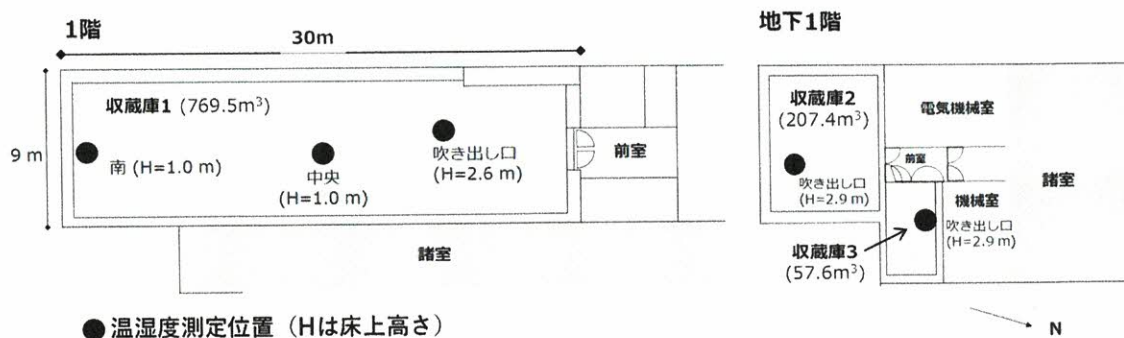


図 2-1 収蔵庫周辺の平面図と温湿度ロガーの設置位置（地上1階・地下1階）

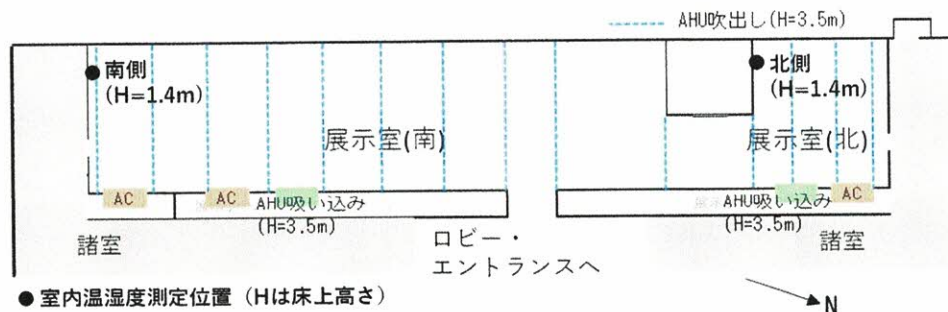


図 2-2 展示室周辺の平面図と温湿度ロガーの設置位置（地上2階）

対象館の空調方式は、冷温水槽を有する中央集中方式を採用している。図 2-3 に空調システム全体の概要と空気調和機：エアハンドリングユニット（以下、AHU）の概要図を示す。熱源装置には冷温水同時供給可能型の熱回収式空冷ヒートポンプチラー（以下、AHP）2 台が設置されている。AHU は全部で 5 系統あり、展示室で 2 系統（北・南）、ロビー・エントランスで 1 系統、収蔵庫 1 で 1 系統、収蔵庫 2・3 で 1 系統となっている。5 つの系統全て、フィルタ、冷却コイル、加熱コイル、電気蒸気加湿器、給気・還気ファンで構成されている。冷房運転時は、冷却コイルで空気の冷却・除湿を行い、その後加熱コイルで再熱する。暖房運転時は、加熱コイルで空気を加熱し、加湿器で相対湿度の調整が行われる。各 AHP と AHU の仕様を表 2-1 と表 2-2 にそれぞれに示す。

展示室には、天井吊型の大型パッケージエアコン（冷房能力：14 kW，暖房能力：16 kW）が 3 台備え付けられており、両者を併用して環境調整が行われている。時期や室によって AHP・AHU とパッケージエアコンの運用時間や設定温度は異なっており、詳細は後述する。

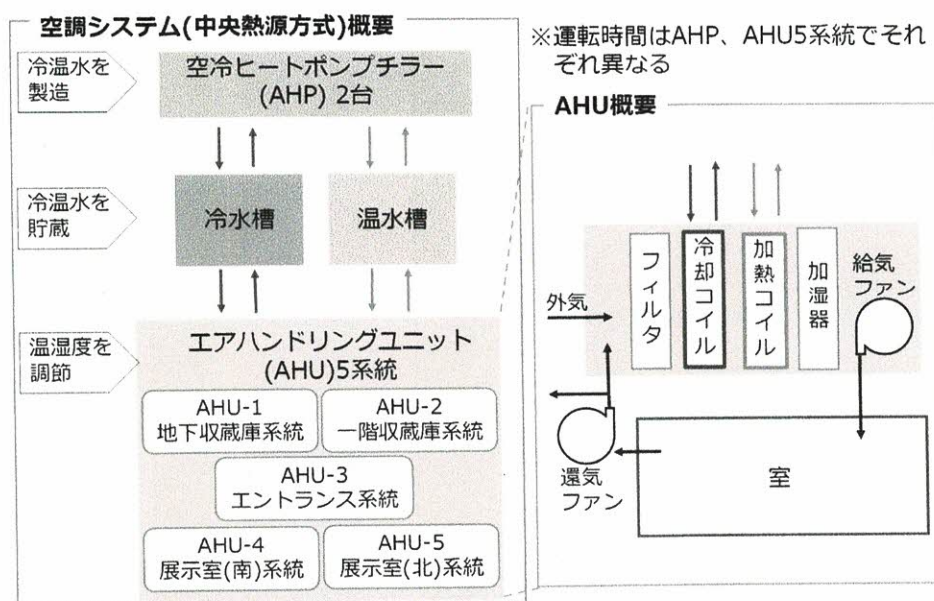


図 2-3 空調システム全体と AHU の概要

表 2-1 AHP の仕様

形式	熱回収式空冷ヒートポンプチラー（冷温水同時供給可能形）
冷却能力・定格消費電力	99 kW（冷水温度 7 °C）・ 37.9 kW
加熱能力・定格消費電力	118 kW（温水温度 40 °C）・ 39.7 kW
冷媒	R-407C
容量制御	100~12-0%

表 2-2 AHU の仕様

	台数	冷房能力	暖房能力	給気ファン	電気型 蒸気加湿器	還気ファン
展示室 (2階)		31.2 kW	22.3 kW	送風量 7500 m ³ /h	8.1 kg/h	還気量 6780 m ³ /h 2.2kW(定格電力)
	2台	冷水 7°C	温水 40°C	外気 720 m ³ /h	8.8kW	
		90 L/min	64 L/min	3.7 kW(定格電力)	(定格電力)	
収蔵庫 1 (1階)		15.8 kW	18.9 kW	送風量 4200 m ³ /h	3.1 kg/h	還気量 200 m ³ /h 1.5kW(定格電力)
	1台	冷水 7°C	温水 40°C	外気 200 m ³ /h	3.8kW	
		45 L/min	54 L/min	3.7 kW(定格電力)	(定格電力)	
収蔵庫 2 (地下1階)		15.1 kW	13.9 kW	送風量 3000 m ³ /h	4.0 kg/h	還気量 2800 m ³ /h 0.75kW(定格電力)
	1台	冷水 7°C	温水 40°C	外気 200 m ³ /h	3.8kW	
		43 L/min	40 L/min	2.2 kW(定格電力)	(定格電力)	
ロビー・ エントランス (1・2階)		44.5 kW	29.8 kW	送風量 8600 m ³ /h	9.3 kg/h	還気量 7650 m ³ /h 2.2kW(定格電力)
	1台	冷水 7°C	温水 40°C	外気 950 m ³ /h	8.8kW	
		128 L/min	85 L/min	5.5 kW(定格電力)	(定格電力)	

2.3. 調査概要

対象館に設置されているビルエネルギー管理システム（以下、BEMS）を用いて、水槽温度、AHP 出入口温度、各 AHU 給気温湿度、室内制御点の温湿度、外気温湿度を 10 分間隔で測定した。また、水槽温度から冷水・温水蓄熱量が BEMS 内で算出されている。AHP においてはクランプオンパワーロガー（HIOKI, PW3360）を用いて、消費電力を 1 分間隔で測定した。

その他、各収蔵庫においては、図 2-1 に示す各室代表点と空調吹出し口付近に温湿度ロガー（T&D, RTR507BL）を設置した。室内の温湿度に加え、外気の温度、相対湿度も敷地内の日射が当たらない場所で計測を行った（Onset, U23-001A）。収蔵庫内の測定の様子を図 2-4 に示す。



図 2-4 収蔵庫内の温湿度測定の様子（収蔵庫 2）

2.4. 調査結果

2.4.1 AHP 消費電力と供給熱量

AHP は 9～18 時の最大 9 時間、月曜日～土曜日に二台同時に運転しており、日曜日は停止する。図 2-5 に、2023 年 6 月 19 日(月)～2024 年 1 月 7 日(日)の AHP における日積算消費電力量を示す。夏季(7～8 月)の日積算消費電力量は二台合わせて 360～580 kWh 前後、冬季(12～1 月)の日積算消費電力量は二台合わせて 40～430 kWh であることが確認された。

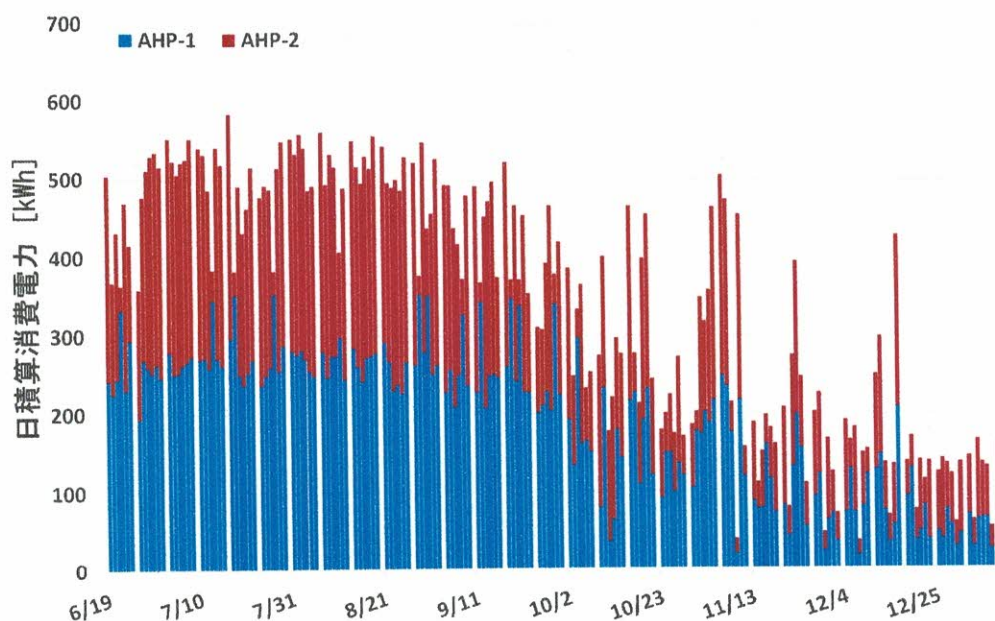


図 2-5 AHP 日積算消費電力 (2023 年 6 月 19 日～2024 年 1 月 7 日)

次に、二台の AHP が実際に供給した熱量を各 AHP の出入口温度の測定結果から式(2.1)を用いて算出した。

$$Q_s = C_w G_w (T_{out} - T_{in}) \quad (2.1)$$

ここで、 Q_s [W] は AHP 供給熱量、 C_w [J/kgK] は水の比熱、 G_w [kg/s] は水の流量(=4.167)、 T_{out} [°C] は AHP 出口温度、 T_{in} [°C] は AHP 入口温度である。

図 2-6 に、夏季・冬季の代表的な一週間のデータとして、2023 年 7 月 31 日(月)～8 月 6 日(日)と 2023 年 12 月 18 日(月)～12 月 24 日(日)の AHP 供給熱量の日積算値を示す。夏季では温水が 630～820 MJ、冷水が 1,860～2,680 MJ の熱を、冬季では温水が 320～780 MJ、冷水が 130～810 MJ の熱を供給していた。同期間の冷温水供給熱量の合計値と消費電力の日積算値を図 2-7 に示す。夏季の供給熱量は消費電力の 1.4～1.8 倍、冬季では 2.0～2.7 倍となっていた。

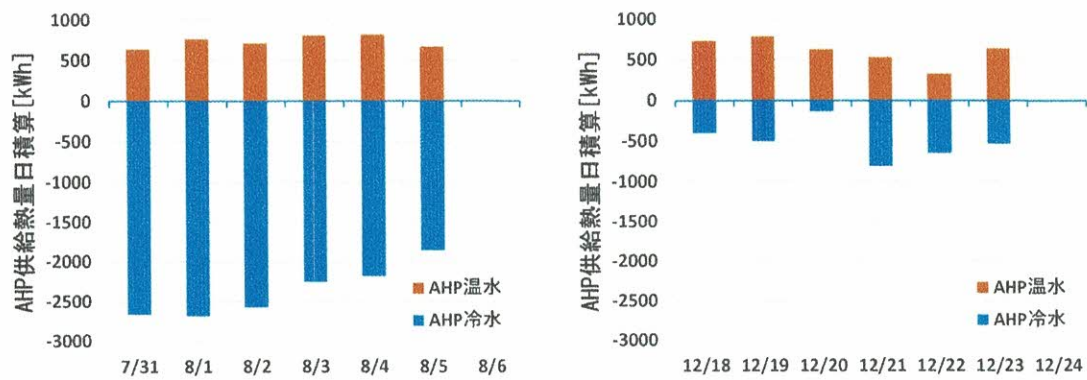


図 2-6 AHP 供給熱量 (左：夏季，右：冬季)

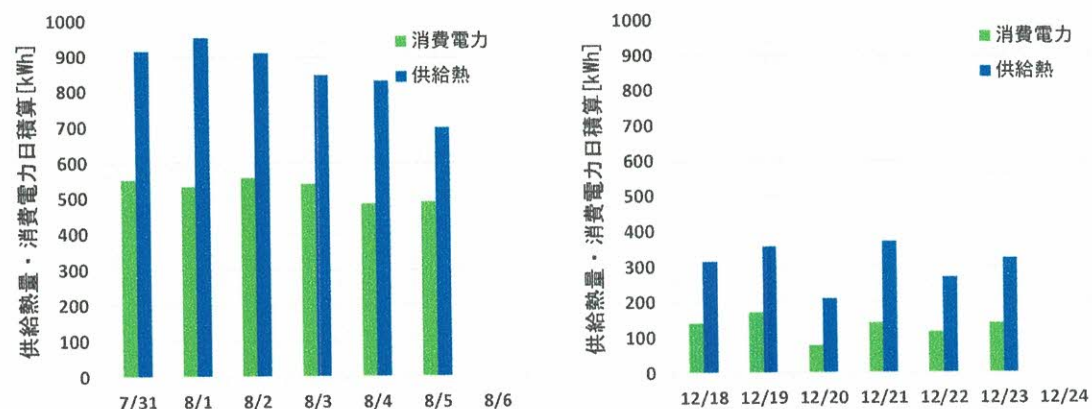


図 2-7 AHP 積算供給熱量と日積算消費電力 (左：夏季，右：冬季)

これらの結果より，夏季は冬季と比較して消費電力が大きく，最大値は約 1.36 倍，一日あたりの平均値は約 3.46 倍になった．夏季では温度調節のために冷水を使用するほか，再熱除湿を行う際に冷温水を共に使用するため，冬季と比較して必要な熱量が大きくなっていると考えられる．ただし，冬季は AHP での消費電力は少ないものの，AHU において別途蒸気加湿を行っているため，今後，その分も考慮して温湿度調整に係るエネルギー消費を検討する必要がある．

2.4.2 展示室とロビー・エントランスの室内温湿度

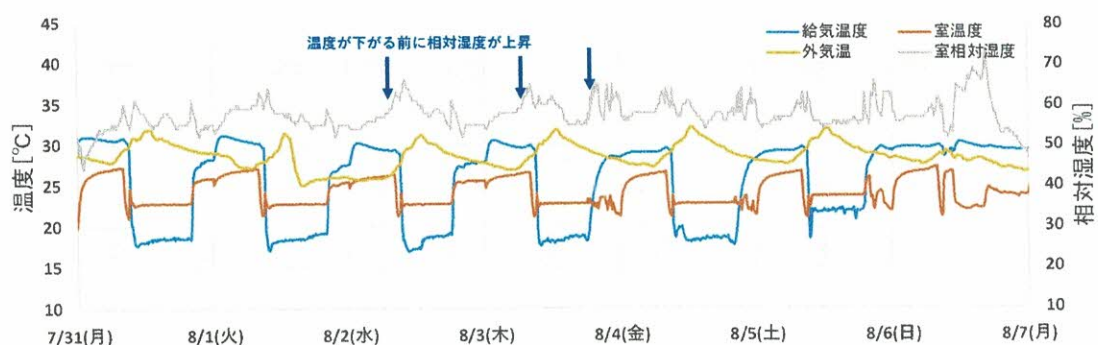
次に熱源装置で多くのエネルギーを消費する夏季において現状把握を行うこととし，夏季の展示室とエントランスにおける温湿度に注目して分析を行った．

(1) 展示室の温湿度

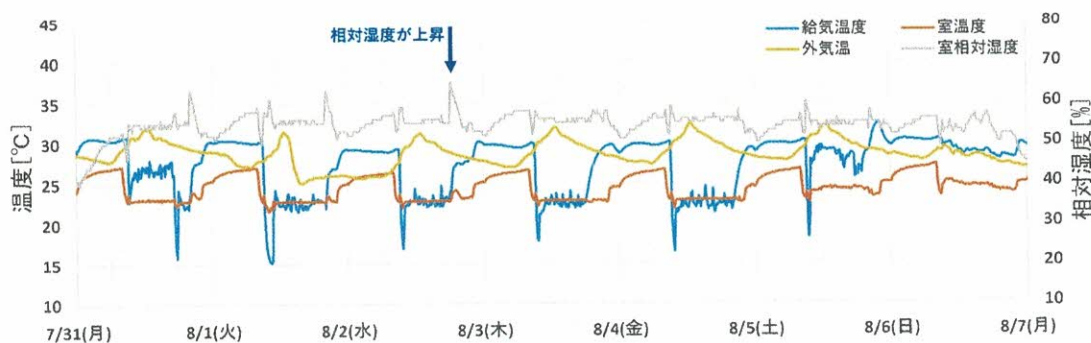
図 2-8 に，2023 年 7 月 31 日(月)～8 月 6 日(日)の期間の展示室南側(AHU-4)と北側(AHU-5)の各空調システムの制御に用いる温湿度と給気温度の測定結果を示す．この期間の展示室の目標温度は， $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，目標湿度は $55\% \pm 5\%$ である．この期間の展示室系統の AHU-4, 5 は毎日 9～22 時に運転し，20～22 時は送風のみ運転となっていた．また，AC は，

南側の2台がそれぞれ冷房運転と暖房運転を、北側の一台は冷房運転をする運用となっていた。基本的には8～22時の運転となっているが、停止時刻は日によって前後する。

図より、展示室の温度は、AHPが停止する日曜日を除いて、エアコンが運転し始める8時に26～27℃から23℃ほどまで急激に低下し、空調機が停止する時刻まで設定温度の範囲内を保っている。エアコンのみが稼働している8～9時に温度が低下することに伴い、相対湿度は上昇する。その後AHUが稼働する9～20時の間は、湿度は設定範囲内におおよそ収まっているものの、その後AHUが停止し、エアコンのみの稼働となると、再び上昇する。エアコン停止後は室温の上昇により相対湿度が低下したのち、早朝にかけて再び上昇する。



(a) 展示室南側



(b) 展示室北側

図2-8 2023年7月31日(月)～8月6日(日)の展示室の温湿度・給気温度

2023年8月2日(火)～8月3日(水)の室内と外気の温度と絶対湿度を図2-9に示す。図2-8中の矢印で示すように、南側展示室では8/2, 3の7時頃と8/3の19時頃、北側展示室では8/2の18時頃に相対湿度が上昇する傾向が見られたが、図2-9(b)より絶対湿度も上昇している。閉館時間中で、ACやAHUが稼働する前に室内の絶対湿度が上昇する理由はまだわかっていないが、外気の方が常時絶対湿度が高いため、清掃時のドアの開放などの影響も考えられる。今後さらに調査を行う。

AHU 給気温度は、南側 (AHU-4) では室温より 5°Cほど低くなっているが、北側 (AHU-5) ではほとんどの時間、室温に近い温度で給気していた。図 2-8(b)より、月曜日と土曜日には室温よりも高い温度で給気を行っていた。北側では AC のみで室温が調節されており、AHU が低温の給気を行う必要がなかったと考えられる。月曜日と土曜日は AC が過剰な冷却を行ってしまったため、調整として AHU が室温よりも高い温度で給気を行っていた可能性がある。これにより再熱負荷が増えるため、運用の見直しが必要である。

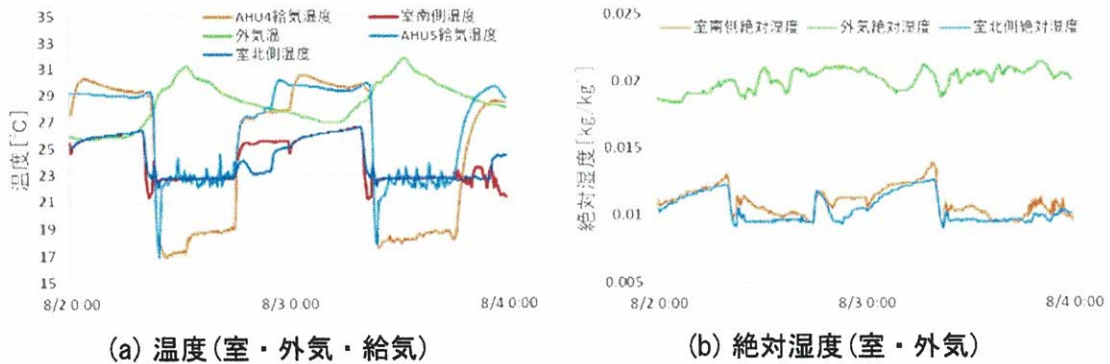


図 2-9 2023 年 8 月 2 日(水)～8 月 3 日(木)の展示室温度・外気温・絶対湿度

また、図 2-8(a)より、AHP が停止する日曜日においては、南側で午前 10 時頃に一時的に 27°Cほどまで温度が上昇しているほか、11～18 時に相対湿度が 60%を超えた。同時期の冷水蓄熱量と冷水槽平均温度を図 2-10 に示す。日曜日は水槽温度が約 12°Cまで上昇し、蓄熱量が 0 となっていた。温度については AC を用いて制御することができるが、湿度は AHU によって制御されている。蓄熱切れを起こしていた日曜日に AHU で除湿運転することができなかつたため、展示室南側の相対湿度が高くなってしまったと考えられる。

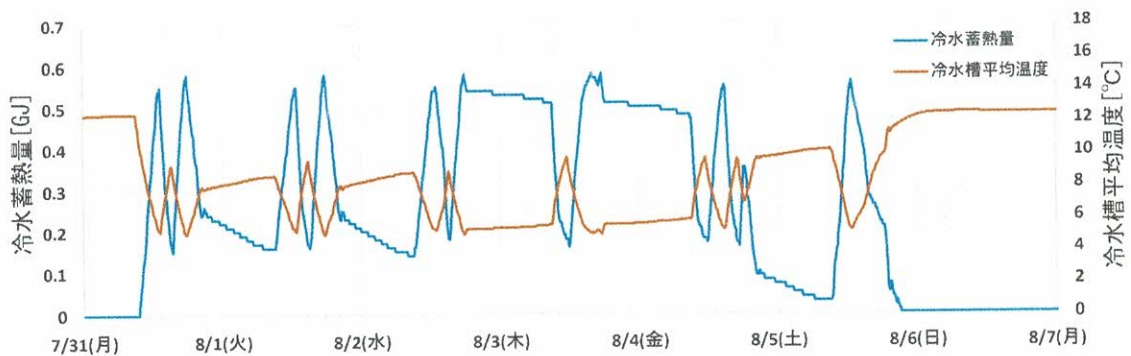


図 2-10 2023 年 7 月 31 日(月)～8 月 6 日(日)の冷水蓄熱量と冷水槽温度

(2) ロビー・エントランスの温湿度

図 2-11 に 2023 年 7 月 31 日(月)～8 月 6 日(日)のエントランスにおける平均温湿度と給気温度の測定結果を示す。エントランス系統の AHU-3 は毎日 9～17 時に運転している。展示室とは異なり美術品保護のための緻密な温度管理は必要ないため、来館者が快適に過ごすことができる範囲での運用が行われている。

AHP が停止する日曜日を除いて、この期間では 17℃前後で給気を行い、室温を 26℃ほどに保つ運用が行われていた。エントランスでは、ガラス窓からの日射の流入や、人の出入りに伴う外気侵入による外気温湿度の影響により、顕熱・潜熱負荷がともに大きく、温度調節のために室温よりもかなり低い温度で給気する必要性が生じていると考えられる。快適性を損なわない範囲で設定温度を上げることができれば、省エネに寄与できる可能性がある。

2023 年 8 月 5 日(土)～8 月 6 日(日)のエントランスと外気の温度と絶対湿度を図 2-12 に示す。土曜日では、AHU が稼働する時間に冷房と除湿が行われていることが確認できる。AHP が停止する日曜日においては、AHU の運転が開始する 9 時頃に給気温度が外気温に近い 29℃ほどまで上昇している。一方で AHU 運転時間中の絶対湿度が低くなっており、除湿は行われていると考えられる。冷水槽の水温が上昇したため蓄熱切れが生じていたものの、水温は 12.5℃程度で外気温よりは低かったため、外気の導入後、ある程度の除湿は行われたが顕熱処理は行われていなかったと考えられる。

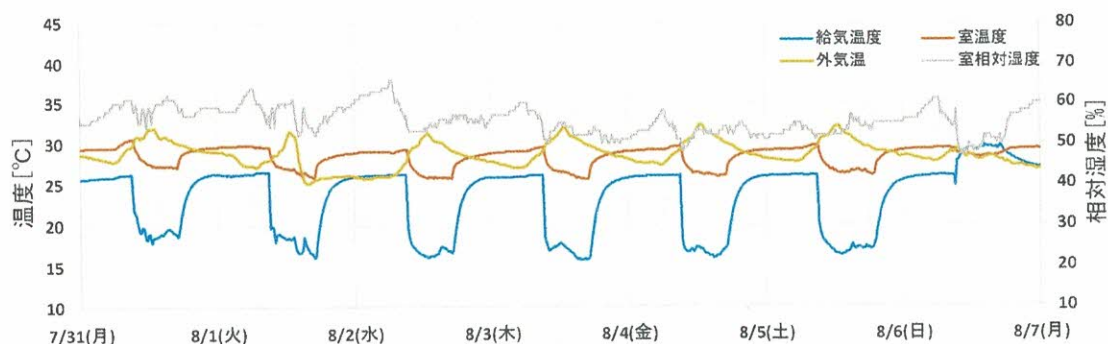


図 2-11 2023 年 7 月 31 日(月)～8 月 6 日(日)のエントランスの温湿度・給気温度

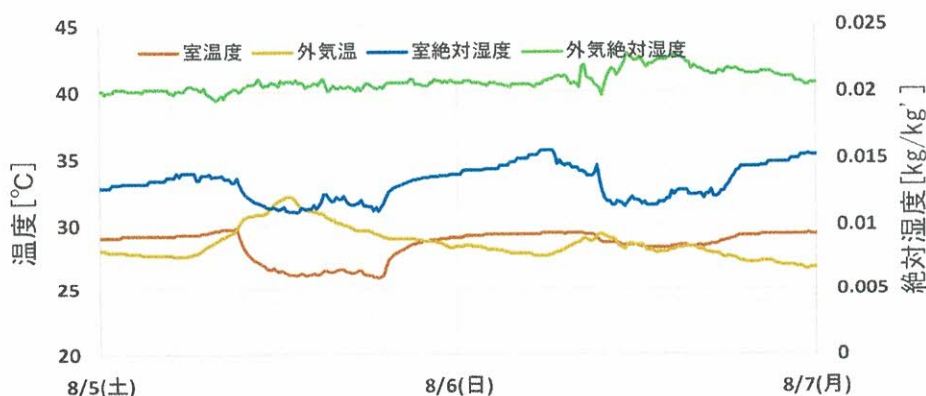


図 2-12 2023 年 8 月 5 日(土)～8 月 6 日(日)のエントランス温度・外気温・絶対湿度

2.4.3 収蔵庫の温湿度

対象美術館では、収蔵庫の温湿度の測定を先行して2021年度から開始していた。最初に夏季の温湿度の状況を述べた後、2022年度の冬季に設定温度を変更する運用を試行したため、2021年度と2022年度の冬季の温湿度測定結果について検討する。

(1) 夏季の空調吹出し温湿度と冷房・暖房運転の状況

図2-13に2022年6月1日～11月30日までの期間における収蔵庫1～3の空調吹出し口の温度、絶対湿度の測定値を示す。地上1階にある収蔵庫1と地下1階にある収蔵庫2・3では空調機の運転状況が大きく異なる。

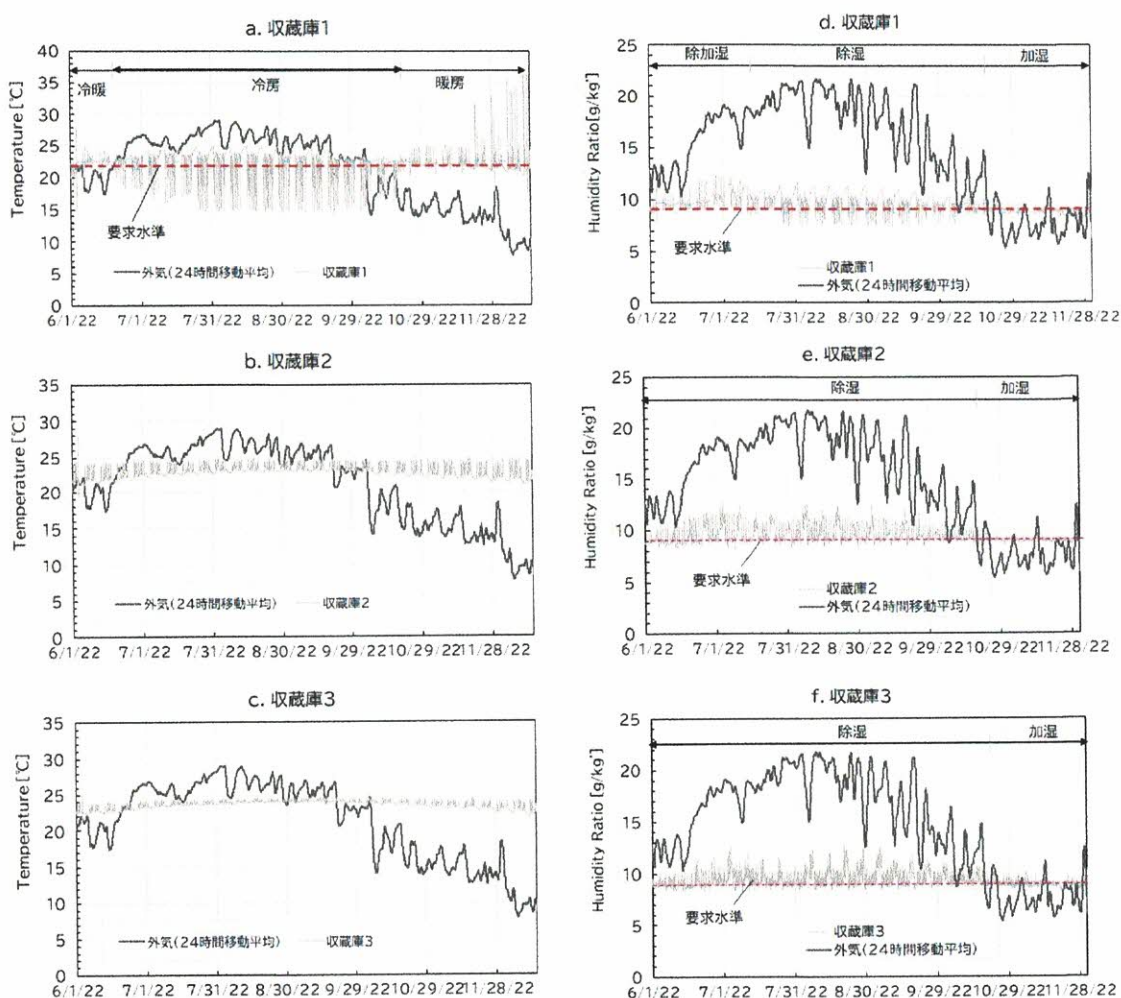


図2-13 収蔵庫の吹出し口の温度・絶対湿度 (2022/6/1-11/30)

収蔵庫1は6月中旬までは暖房と冷房運転が交互に行われる様子が確認できるが、それ以降は完全に冷房運転に移行した。8月の空調機の立ち上がり時の吹出し温度は約15℃であったが、この時の相対湿度は70～80%RHの間で推移していた(図省略)。また10月20日

頃から暖房運転に切り替わるが、この時期は6月に確認されたような暖冷房交互運転が行われるような期間を挟まず、暖房のみの運転に切り替わった。湿度制御に関しては、7月前半までは、除湿と加湿が両方発生する状況、その後完全に除湿運転に移行した。暖房運転に切り替わる10月20日ごろから加湿運転に切り替わるが、空調の稼働に関わらず除加湿の閾値である9.06 g/kg'の付近で推移しており加湿量は小さいと考えられる。

収蔵庫2と3は、地盤の熱容量の影響で外気温変化の影響が時間遅れて伝わるため、夏季でも暖房運転が続いていた。しかし吹出し温度はそれほど高くなく、顕熱負荷は小さいものと考えられる。湿度に関しては、10月20日頃まで除湿運転しており、その後加湿運転に切り替わるが収蔵庫1と同様に加湿量は少ない。

(2) 冬季の空調設定温度が収蔵庫内の環境に及ぼす影響

次に、収蔵庫の設定温度を変更した冬季の温湿度測定結果について検討する。図2-14に温度設定を22℃一定で運用した2021年度の冬(2021/12/1-2022/3/31)と外気の変化に応じて22℃から21℃に段階的に変更した2022年度の冬(2022/12/1-2023/3/31)の吹出し口の温度を示す。

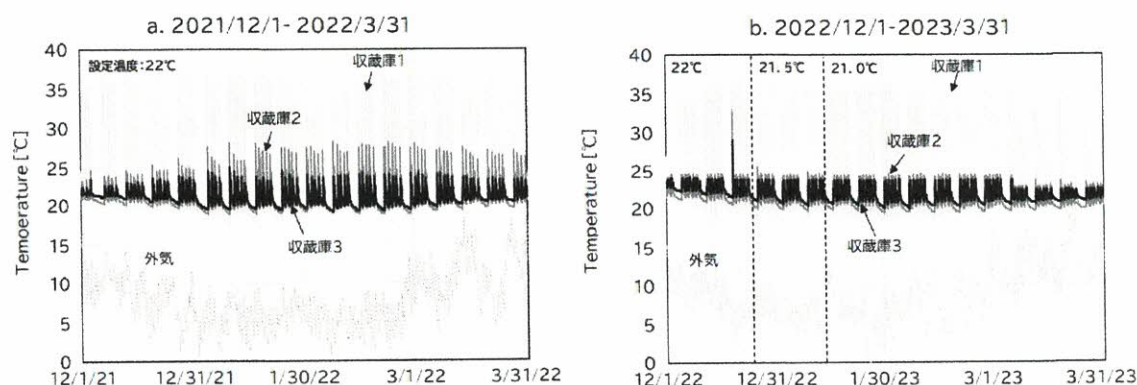


図 2-14 冬季の収蔵庫の空調吹出し口の温度

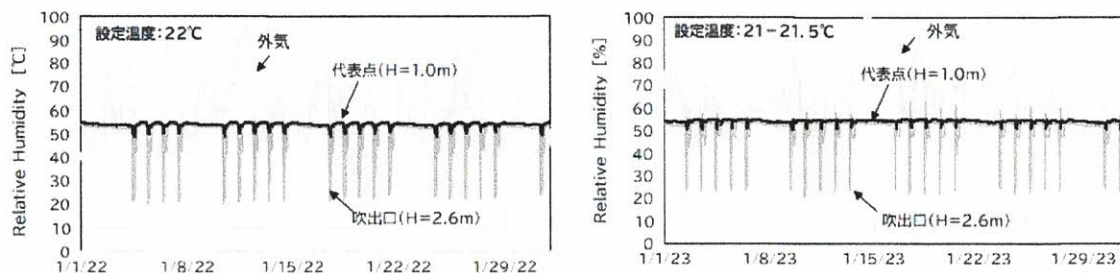
地下1階にある収蔵庫2と3では、2021年度と2022年度の測定結果の比較により、明らかに2022年度の空調稼働時の吹出し口の温度上昇が小さくなっていった。地上1階にある収蔵庫1に関しては、差は小さいものの2022年度の方が若干空調稼働時の吹出し口の温度上昇が小さくなっていることと、吹出し口の温度が低下し始める時期が早い(3月中旬)ことが分かる。

図2-15に2021年度と2022年度の冬季の代表的な1か月間について、収蔵庫1~3の室内代表点と吹出し口の冬の相対湿度変化を示す。

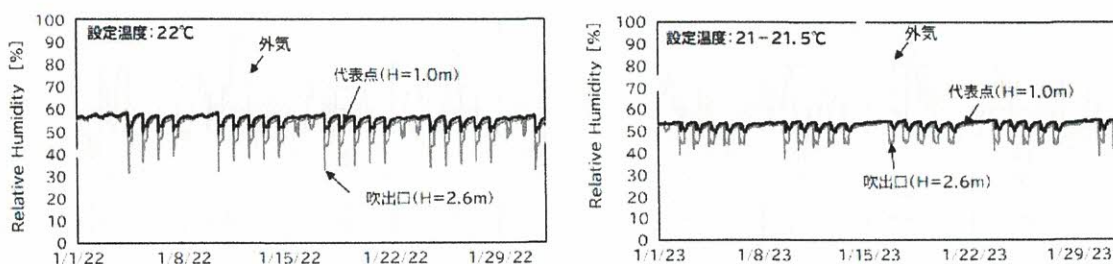
収蔵庫1は温度設定の変更に伴う相対湿度の変化は明確には見られないが、吹出し口の温度が低下したことにより、相対湿度25%RHを下回る低湿度の発生頻度は、12~3月の4か月間中で、91%から69%に低下した。収蔵庫2と3に関しては、空調稼働開始時の吹出

し口の相対湿度の急激な低下が緩和されたことで、吹出し口と室内代表点の相対湿度差が小さくなっており、室全体の相対湿度のムラが小さくなった。

a. 収蔵庫 1



b. 収蔵庫 2



c. 収蔵庫 3

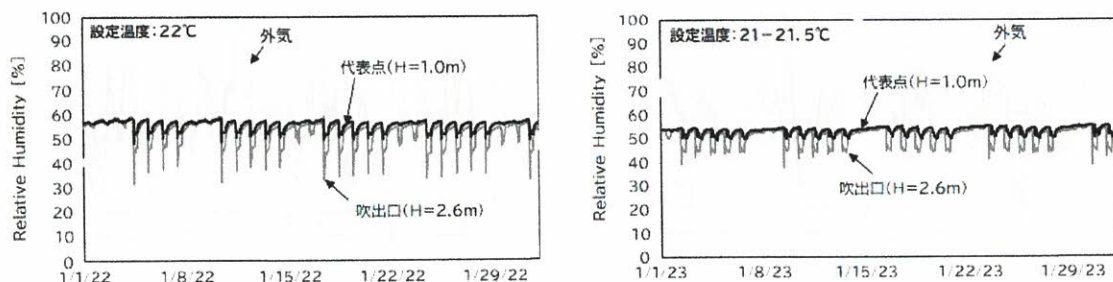


図 2-15 収蔵庫 3 室の 1 月の相対湿度 (左 : 2021 年度, 右 : 2022 年度)

以上の結果から、冬季の温度設定を低くすることは、空調機の立ち上がり時の急激な温湿度変化を抑制し、収蔵庫内の湿度環境を安定化させる効果があることが確認された。その効果は室内負荷の程度によって異なり、外気に接する外壁を有し熱損失が大きいと考えられる収蔵庫 1 は、地盤の熱容量によって温度変化が緩和される収蔵庫 2 と 3 と比較しその改善効果は非常に小さかった、室内負荷に応じた冬季の温度設定の検討がさらに必要である。

(3) 2021年度と2022年度の冬季の消費電力の比較

図 2-16 に 2021 年度 (2022 /1/15-3/31) と 2022 年度 (2023/1/15-3/31) の冬季の熱源装置の日積算消費電力の推移を示す。

図より、1月から2月にかけての消費電力が2021年度は150~250 kWhの範囲で推移しているのに対し、2022年度は100~175 kWhの範囲で推移しており消費電力が低くなっていることが分かる。理論上は冬季の設定温度を低くすることで空調負荷が小さくなるため熱源の消費電力が低くなると想定されるが、2021年度と2022年度の外気温を比較すると2022年度の方が暖冬であり外気温が高めに推移しており、2022年度に関しては設定温度と外気温の変化の両方が消費電力の低下に影響したものと考えられる。

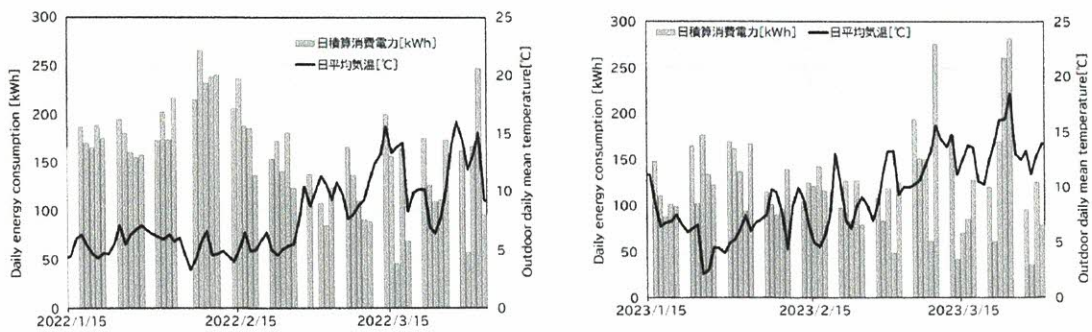


図 2-16 冬季の空冷 HP チラーの消費電力 (左: 2021 年度, 右: 2022 年度)

図 2-17 に 2021 年度と 2022 年度の外気温と日積算消費電力の関係を示す。外気温が 10 °C 以下の厳冬期に関しては、外気温が低くなればなるほど設定温度を低くした 2022 年度の消費電力が低くなる傾向が見られる。ただし外気温が 15 °C 以上になると 2022 年度の消費電力の方が高い日も確認される。外気温が 15 °C 以上では、外気の絶対湿度が上がり、除湿運転が必要になった可能性が考えられる。

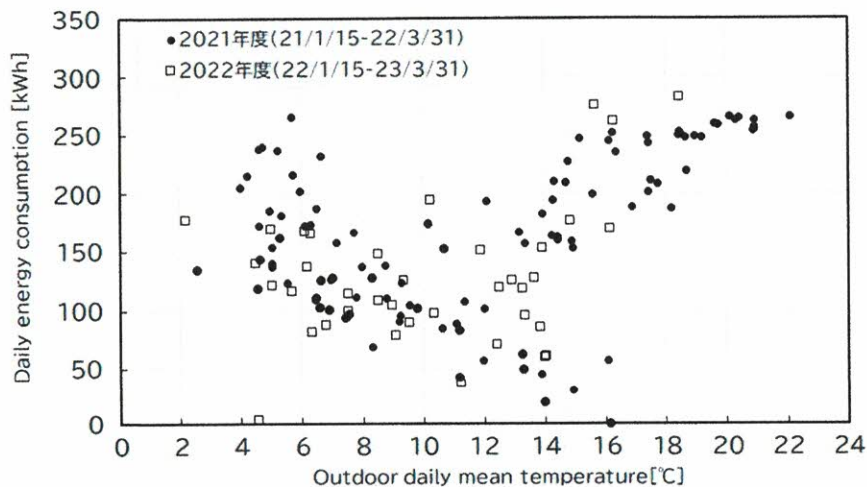


図 2-17 外気温と日積算時間の関係

以上の結果から対象館においては、冬季の設定温度の変更により庫内環境と消費電力の双方に対してプラスの効果が見込まれるものの、室ごとの空調負荷に応じた設定温度や設定値を変更する時期の最適化が課題と言える。

2.5. 第2章のまとめ

2.5.1. 対象美術館での調査のまとめ

本章では、空調機の間欠運転を行っている美術館の展示室を対象に、室の温湿度測定や空調機周りの各種データの分析により、室内環境と熱源のエネルギーの現状を把握した。さらに、冬季の収蔵庫設定温度の変更による室内温湿度の変化についても検討した。

ここで得られた結果を要約すると以下の通りとなる。

- (1) 熱源の消費エネルギーは夏季が多い。
- (2) 展示室のエアコン運転開始時刻に急激な温度変化が生じる。
- (3) 展示室のエアコンと AHU の運転時間のずれに伴う相対湿度の変化が生じる。
- (4) エアコンによる冷暖房と AHU による冷暖房のミスマッチが生じ、エネルギーの浪費につながっている可能性がある。
- (5) 夏季に冷水蓄熱槽の蓄熱切れが生じた際に展示室の相対湿度が上昇する。
- (6) 夏季は開放的かつ日射が入るエントランスで高い熱負荷が生じる。
- (7) 収蔵庫は空調運転開始時に吹出し口と室内代表点で温湿度差が生じる。
- (8) 地下の収蔵庫は、冬季の暖房設定温度を 1℃低下させたことにより、空調稼働時の吹出し口付近の極端な乾燥を緩和できることが確認された。
- (9) 冬季の収蔵庫の設定温度を 1℃下げたことによる省エネルギー効果は明確には見られなかった。

今後の持続的な保存環境管理の方策を考える上で、より少ないエネルギーで湿度制御を達成することは重要な課題であると考えられる。今後は、展示室のエアコンの消費電力の測定（開始済み、未分析）と、冬期の加湿器の消費電力の測定を行い、空調用の消費エネルギー全体を把握するとともに、さらなる設定温度の変更による影響を検討する予定である。

なお夏季の冷房運転時に関しては、対象館の空調の除湿方式は再熱除湿方式であるため、単純に設定温度を高くすることで消費電力の削減につながるとは一概には言えず加温・顕熱負荷と除湿に係る潜熱負荷のバランスを見て適切な設定条件を導く必要がある。

2.5.2. 今後の展開

(1) 空調の運用条件の見直しと設備の簡易化

空調の設定条件の見直しが消費電力だけでなく、保存環境の改善にもつながる点は重要な知見と言える。高温多湿な日本の気候条件下では、特に湿度を所定の範囲に保つことが難しい。設備機器の更新を伴わない空調運用設定の最適化は、より少ない消費電力で保存環境を構築するための方策のひとつといえる。

一方、別の文化財収蔵施設（関東地方）では、相対湿度制御のみに特化した除加湿器を用いた制御を採用している。当該施設では、温度制御は通常のパッケージエアコンで行っているため、従来の AHU と比較し大きな省エネルギー効果が期待されている。2023 年度の途中から当該施設でも温湿度環境と、エアコン・除加湿器にかかる消費電力の測定を開始したため、今後分析を行う予定である。

(2) 数値解析による様々な空調運用条件の分析

これまで、関西の博物館、関東の美術館、関東の収蔵施設などで温湿度や空調消費エネルギーの調査を行ってきたが、運用方法の変更や設備の簡易な更新などの定量的な効果を、測定のみで検討することは困難である。2022 年度に関西の博物館の展示室の空調モデルを作成し、数値解析で運用方法の改善策の検討を行った。今後は、この解析モデルに基づき、蓄熱水槽をもつ関東の美術館におけるモデルを作成し、運用方法の変更による省エネルギー効果を計算し、管理者への提案に繋げたい。

(3) 二重壁構造と空調方式に関する諸問題の把握

国内の博物館・美術館施設においては、一般的に収蔵室には二重壁構造が用いられている。収蔵庫の空調設備については、これまで測定を行ってきた関西の博物館のように①二重壁空間内に吹出し・吸込み口を持つ方式、今回測定を行った関東の美術館のように②室内に吹出し・吸込み口を持つ方式、③両方に吹出し・吸込み口がある方式など、様々な方法が採用されており、それぞれ長所・短所を持つ。

特に①の方式を採用した関西の博物館の収蔵庫では、室内温度の非一様性、設定温度と室温の乖離等の問題が実測から確認されている。今後は①～③の収蔵庫について、CFD 解析を用いて室内の温湿度分布の観点から問題点の把握、改善の検討を行う予定である。