

第7章 今年度のまとめと今後の課題

7.1 まとめ

本調査研究では、関西に建つ博物館を対象として、収蔵室の熱・湿気環境が資料保存に適切であるかを把握し、不適切な収蔵室については換気・空調設備、施設運用方法の改善策を提案することを第一の目的とし、展示スペースを中心として空調・換気設備におけるエネルギー消費を把握し、今後の省エネルギー方策について検討することを第二の目的とした。

第2章では研究の背景について記述し、第3章では研究対象建物と収蔵室・展示室について説明した。

第4章では収蔵室の温湿度環境の測定を行い、各収蔵室の温湿度変化性状を明確にし、その結果に基づき以下の結論を得た。

- (1) 建築仕様や空調設備及び運用が必ずしも収蔵物の保存に望ましい状況になっていないことがわかった。資料保存に関する温湿度基準のあいまいさや設備運用のわかりにくさが不適切な設備の選択や、不用意な運用につながっている可能性がある。二重壁の見直しや、設備システムの見える化、簡易なマニュアル作成が必要であると考えられる。
- (2) 本博物館で採用されている中央空調システムでは二重壁構造が用いられている。二重壁の外壁との間の熱交換が増加し非省エネルギーな運転となること、二重壁内空気の温湿度（分布）と空間内空気およびリターン空気の温湿度状態との関係が曖昧なことなどの問題があり、二重壁のメリットを明確にした上で採用を決めるべきである。
- (3) 適切な除湿機の導入と制御により金属資料など低湿度が必要な収蔵物に対する環境を形成することが可能であること、それには窓など開口部の気密性が非常に重要な役割を果たすことを明らかにした。
- (4) 金属資料など低湿度収蔵環境の実用的簡易システム的设计法として、断熱・気密化された二重壁を有しない熱湿気容量の大きな室に、（排水機能付き）除湿機と冷房用エアコンを設置する、という考え方を提案した。

第5章では、対象とする既存博物館施設の展示室における来館者と展示物の両方に適した空調制御方法を検討するため、室内の温湿度測定を行い展示環境の評価を行うとともに、竣工時の図面情報を基に空調システムの運転を模擬するシミュレーションモデルを作成し、シミュレーション結果と展示室における空調吹出し・吸込み温湿度の測定結果を比較することで、現状の空調システムの制御方法の推定を行った。その結果、

- (1) 竣工から40年近くが経過しており、図面情報が現状に合っているかも不明であったため、実測値を用いながら段階的に解析を行い、室の断熱性能と熱容量、空調機の冷却コイルの伝熱特性とバイパスファクターなど、各種のパラメータの推定を行った。
- (2) 温度、絶対湿度とともに、提案したモデルで概ね実測結果を再現できた。

(3) 空調停止後の変動や除湿量などをより精度よく再現するには、いくつかのパラメータが一定ではなく変化する制御モデルを組み込むことが必要と考えられる。今後は夏季の解析の精度を向上させるとともに、冬季についても解析を行う。

第6章では、収蔵室の温湿度を、空調を行わずに断熱・気密化などの壁体設計と換気により適切な値に保つことができるか、その可能性について検討した。

先ず、収蔵室内空気の温度、相対湿度を、温度許容値および相対湿度許容値以下に維持するような壁体設計法と換気制御法を、理想的な状況を想定して提案した。次に、熱湿気同時移動シミュレーションプログラムを用いた簡易モデルにより、種々の要因（断熱性、透湿性、熱湿気容量、室の気密性）が収蔵室温湿度に及ぼす影響を定量的に評価し、最適設計・最適換気制御法について検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 物性値や材料厚さの変化、換気回数の変化に対する温湿度の変化は、基本的な考え方を支持する結果となった。単純な壁体構成を出発点として、最適な換気制御の在り方と同時に最適な壁体設計解を追求する本手法は、工学的アプローチとして有効と考えられる。
- (2) 開口部閉鎖時の換気回数が小さい場合には、温度については断熱と熱容量により許容範囲に制御することは容易であり、湿度についても秋季～春は勿論、夏季についても相対湿度を55%程度（温度の許容上限値を上げれば50%以下）までは低下させることが可能であることを示した。
- (3) 重要な点は気密性の確保であり、閉鎖時の換気回数として0.01回/h程度が望ましい。
- (4) 通年除湿（と夏季冷房）を前提とするならば、希望する温湿度の制御は困難ではない。

7.2 今後の課題

収蔵室2（金属資料収蔵室）については、短時間の温湿度変動を抑制すること、および既存換気設備の利用を考慮して収蔵室の最適な環境制御方法を検討する必要がある。常時空調を行っている収蔵室では、負荷の小さい時期の空調機の頻繁な発停が効率の悪い運転となっていないか、空調停止の可能性がないか検討の価値がある。

エネルギー消費に関しては、展示室用の吸収式冷温水機のガス消費量測定、収蔵室用のヒータと加湿器の消費電力の測定を行い、博物館の空調エネルギー消費の現状を把握する必要がある。空調停止後の変動や除湿量などをより精度よく再現するには、いくつかのパラメータを一定ではなく変化するような制御モデルを組み込むことが必要と考えられる。今後は夏季の解析の精度を向上させるとともに、冬季についても解析を行う必要がある。

【参考文献】

- [1] G. Thomson, THE MUSEUM ENVIRONMENT (2nd ed), Butterworth-Heinemann, 1986.
- [2] 三浦定俊, 佐野千絵, 木川りか (2016) 『文化財保存環境学 第2版』, 朝倉書店.
- [3] 石崎武志 (2012) 『博物館資料保存論』, 講談社.
- [4] L. G. Harriman III, G. W. Brundrett, R. Kittle, Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE, 2001.
- [5] D. Erhardt and M. Mecklenburg, "Relative humidity re-examined," presented at the Preventive Conservation Practice, Theory and Research, Ottawa, 12-16 September 1994.
- [6] 石崎武志 (2001) : 東京国立文化財研究所新収蔵庫の環境調査, 保存科学, 40, 120-127.
- [7] J. Ferdyn-Grygierek, "Monitoring of indoor air parameters in large museum exhibition halls with and without air-conditioning systems," Building and Environment, vol. 107, pp. 113-126, 2016.
- [8] 神庭信幸(2011):東京国立博物館の保存環境の管理, 文化財の虫菌害 61号(2011.6), 3-9.
- [9] 吉川也志保, 小島浩之, 佐野千絵 (2007) : [報文] 大学における学術資料の保管状況とその問題点—東京大学経済学部図書館の事例—, 保存科学, 46, 117-130.
- [10] E. Neuhaus and H. L. Schellen, "Conservation heating for a museum environment in a monumental building," presented at the 10th Conference on the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings, Florida, USA, 2007.
- [11] 佐野千絵 (2007) : [報告]文化財公開施設の空気調和設備等の設置状況—保存環境調査から—, 保存科学, 46, 301-310.
- [12] M. Rota, S. p. Corgnati, and Luigi Di Corato, "The museum in historical buildings: Energy and systems. The project of the Fondazione Musei Senesi," Energy and Buildings, vol. 95, pp. 138-143, 2015.
- [13] M. Grabon, J. Anderson, P. Bushnell, A. Calvo, and W. Chadwick, "The Sistine Chapel: New HVAC System for Cultural Preservation," ASHRAE Journal, vol. 57, no. 6, pp. 20-34, 2015.
- [14] Z. Huijbregts, R. P. Kramer, M. H. J. Martens, A. W. M. van Schijndel, and H. L. Schellen, "A proposed method to assess the damage risk of future climate change to museum objects in historic buildings," Building and Environment, vol. 55, pp. 43-56, 2012.
- [15] M. Ryhl-Svendsen, T. Padfield, V. A. Smith, and F. D. Santis, "The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation systems," in proceedings of Healthy Buildings 2003 7th International Conference, National University of Singapore, 2003, vol. 2, pp. 278-283.

- [16] T. Padfield, P. K. Larsen, L. A. Jensen, and M. Ryhl_Svendsen, "The potential and limits for passive air conditioning of museums, stores and archives," presented at the Museum Microclimates, Copenhagen, Denmark, 2007.
- [17]石崎武志 (2016) : 空調のない文化財展示・収蔵施設内の温湿度環境解析および環境改善の試み, 日本建築学会学術講演梗概集 (九州) 2016 年 8 月
- [18]文化庁文化財保護部「文化財公開施設の計画に関する指針」平成 7 年 8 月,
<https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hokoku/shisetsu_shishin.html>,
2020 年 12 月 14 日閲覧.
- [19]文化庁文化財部美術学芸課「文化財 (美術工芸品) 保存施設、保存活用施設 設置・管理ハンドブック」平成 27 年 3 月,
<https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hokoku/pdf/setchi_kanri_handbook.pdf>,
2020 年 12 月 14 日閲覧.
- [20]半澤重信 (1991) 『美術館・博物館・資料館の設計計画のあり方』, 鹿島出版会.
- [21]見城敏子 (2002) : 博物館の展示室、収蔵庫における保存環境について, *Museum Data*, 59, 2-10, 丹青研究所.
- [22]権藤尚, 荒井良延, 寒河江昭夫, 和美広喜, 丸山則義 (1995) : 美術館の温湿度・空気質環境計画に関する研究 (その 2) 調湿建材を用いた収蔵空間の設計法に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道) 1995 年 8 月.
- [23]権藤尚, 荒井良延, 寒河江昭夫 (1996) : 美術館の温湿度・空気質環境計画に関する研究 (その 4) 調湿建材・断熱仕様等が収蔵庫の温湿度環境に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿) 1996 年 9 月.
- [24] R. P. Kramer, H. L. Schellen, and A. W. M. van Schijndel, "Impact of ASHRAE's museum climate classes on energy consumption and indoor climate fluctuations: Full-scale measurements in museum Hermitage Amsterdam," *Energy and Buildings*, vol. 130, pp. 286-294, 2016.
- [25]谷邦夫 (1984) : 収蔵庫の空調計画, 建築知識/特集 博物館・資料館設計ファイル, 26(313), 117-121.
- [26] H. Janssen and J. E. Christensen, "Hygrothermal optimisation of museum storage spaces," *Energy and Buildings*, vol. 56, pp. 169-178, 2013.
- [27] E. Jørgen, "Hygrothermal evaluation of a museum storage building based on actual measurements and simulations," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 651-656, 2015.
- [28]栗木孝輔, 高田暁, 中嶋麻起子 (2020) : 書庫の湿度制御に及ぼす換気の影響, 令和 2 年度日本建築学会近畿支部研究発表会.
- [29]和田拓也 (2019) : 法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存と公開のための温湿度調整, 京都大学学士課程卒業論文.
- [30] Ferdyn_Grygierek and K. Grygierek, "HVAC control methods for drastically

- improved hygrothermal museum microclimates in warm season," *Building and Environment* vol. 149, pp. 90-99, 2019.
- [31] P. K. Larsen and T. Broström, "Climate control in historic buildings in Denmark," presented at the World Renewable Energy Congress 2011 (WREC 2011), Linköping, Sweden, 2011.
- [32] M. Ryhl_Svendsen, L. A. Jensen, P. K. Larsen, and T. Padfield, "Does a standard temperature need to be constant?," presented at the Going Green: towards sustainability in conservation, The British Museum, 2009.
- [33] M. Napp and T. Kalamees, "Energy use and indoor climate of conservation heating, dehumidification and adaptive ventilation for the climate control of a mediaeval church in a cold climate," *Energy and Buildings*, vol. 108, pp. 61-71, 2015.
- [34] 松本衛(1984)『新建築学大系 10 環境物理 3.湿気』, 彰国社.
- [35] 松下敬幸(1994)「火災時における避難安全評価のための煙の伝搬予測に関する研究」京都大学博士論文.
- [36] 日本建築学会(2001)『建築材料の熱・空気・湿気物性値』, 丸善.
- [37] 日本建築学会(2006)『湿気物性に関する測定基準・同解説』.
- [38] G. de Guichen, *Climate in museums*, ICCROM, 1988.
- [39] 石川ら : 1980 年代に建設された博物館の収蔵環境形成要因の調査と改善策の検討, 日本建築学会大会 (北陸), No.41040, 金沢工業大学, 2019.9.
- [40] K. Ishikawa et al., Commissioning of air-conditioning and ventilation systems in a public museum storing historical cultural properties, proceedings of REHABEND 2020, 2477-85, Granada, Spain, 24-27, March 2020.
- [41] 石川ら : 空気の移動を考慮した熱水分移動解析による博物館収蔵室の温湿度・気流性状の分析, 日本建築学会大会 (関東), 千葉大学, 2020.9.
- [42] JIS A 4706, サッシ, 2021.
- [43] 西川雅弥, 熊谷雅彦, 野村太郎, 鳥居博恭, 大塚大輔. 博物館における ESCO 事業を活用した省エネルギー改修と性能検証の実証的検討. 空気調和・衛生工学会論文集. 2019 年 44 巻 264 号 p. 55-62. (参照 2021-03-08)
- [44] 建築設備コミッショニング協会. 協会概要. コミッショニングとは. NPO 法人建築設備コミッショニング協会.
<http://www.bsca.or.jp/outline/commissioning.html> (参照 2021-03-08)
- [45] 電力計と電力計測の基礎, 横川計測会社,
https://tmi.yokogawa.com/jp/library/resources/measurement-tips/fundamentals_of_power_meter_and_power_measurement/
(参照 2020-01-20)