

大学図書館の室内環境調査

図書館
在室者

室内環境
ニオイ

高知工科大学 システム工学群
実測
換気

建築・都市デザイン専攻

建築環境工学研究室
1180111 中島瑠偉
指導教員：田島昌樹

1. はじめに

図書館は不特定多数の人が様々な目的で長時間滞在するという性質を持っている。特に大学図書館では試験期間等に在室者が大幅に増加する特徴があり、このような建物において在室者の大多数が快適に過ごせる室内環境の形成をするためには、一定の技術とともに、室内環境の現状を把握し課題に対して適切な対策を講じる必要がある。

本研究で対象とする大学図書館では試験期間を中心に職員や学生から室内環境に関する様々な課題点が挙げられた。そうした背景から、夏期（試験期間中および通常期間）における室内環境の測定^{[1][2]}（以下、先行調査）が行われ、具体的な課題として日射熱による空気温度の上昇、在室密度が高い場所におけるCO₂濃度の上昇などが明らかとなった。しかし冬期の測定は未実施であり、冬期の室内環境の課題が明確となっていないことや、ニオイに関する課題点も挙げられていたことから、本研究では先行調査が行われた大学図書館を対象に室内環境の追加的な実態調査を行った。

2. 研究概要

本研究では室内環境の現状把握を目的とし、先行調査と同じ項目の測定およびニオイに関する実態調査を行った。図書館の見取図および測点の位置を図1に示す。温度、相対湿度およびCO₂濃度は建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準^[3]に基づき評価を行い、ニオイについては様々な既往研究^{[4][5][6][7]}を参考にし評価を行った。

2.1 測定概要

室内環境の測定は温度、相対湿度、グローブ温度、CO₂濃度、ニオイの5項目について行った。測定項目、測定箇所および測定間隔を表1に、図書館の開館時間を表2に示す。ニオイを除いた4項目の測定期間を表3に示す。またニオイについては梅雨時期に、1秒間隔で5分間の連続測定を計2回実施した。

2.2 ニオイに関するアンケート調査概要

ニオイの実態調査では、実測に加えてアンケート調査を行い、調査項目として臭気強度^[8]（0～5の6段階評価）および不快感^[9]（不快、不快ではないの2段階評価）を設定した。調査箇所は測点C、Eおよびエントランス（他測点との比較対象として設定）とし、それぞれ調査箇所へ入った直後にアンケートを実施し、60人から180件の回答を得た。またアンケート調査時には調査箇所においてCO₂濃度（測定間隔10秒）を同時に測定した。

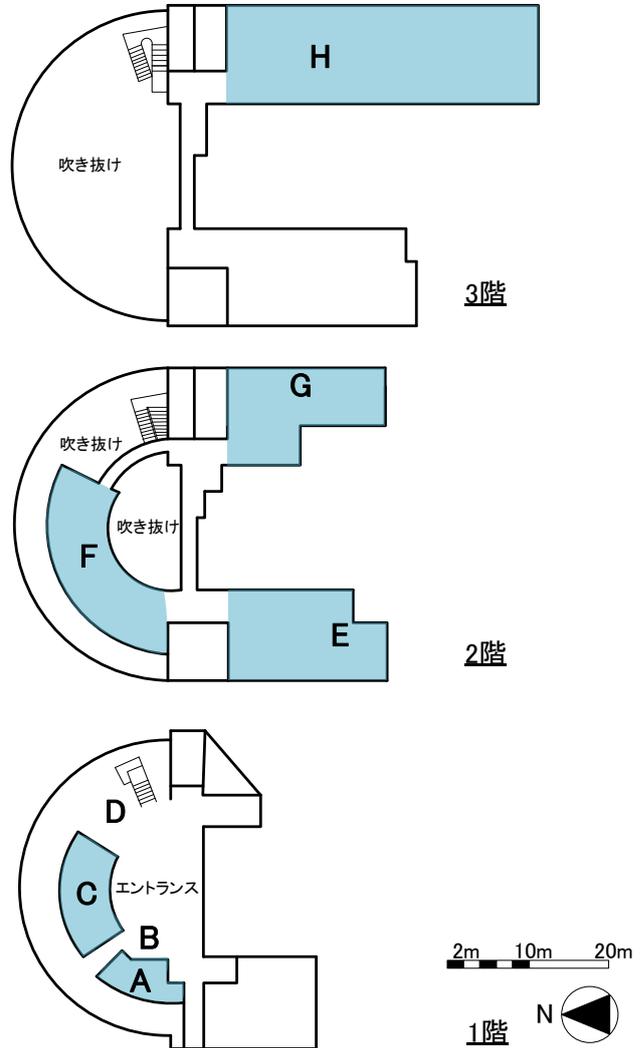


図1 対象図書館見取図(A～Hは測点を表す)

表1 測定項目と測定箇所

測定項目	測定機器	測定箇所	測定間隔
温度[°C]	RTR-53A	A～H	10分
相対湿度[%RH]		A～H	10分
グローブ温度[°C]	HI-2000SD	D～G	10分
CO ₂ 濃度[ppm]	SWA-03	A～H	10分
ニオイ[-]	XP-329III	B～E、G、H	1秒

表2 開館時間

	月～金	土	日
通常期間	8:30～19:00	8:30～17:00	—
試験期間	8:30～21:30	8:30～17:00	8:30～17:00

表3 測定期間（平成28年度～平成29年度）

冬期(平成28年度)	2月17日～3月3日
梅雨時期(平成29年度)	6月26日～7月12日
夏期(平成29年度)*	7月24日～8月4日

*夏期の7月25日以降は試験期間

3. 測定結果

ニオイを除く各測定項目について夏期、梅雨時期および冬期の実測結果から特に課題の見られたものを抽出し、図2~6に示す。なお各測定結果は開館時間のデータを抽出して整理した。箱ひげ図上部に平均値、括弧内に衛生管理基準値への適合割合を、また基準値の範囲をグレーで示す。

3.1 温度

空気温度の測定結果（夏期）を図2に示す。夏期は測点A、C、E、G、Hの適合割合は100%となったが測点B、D、Fの適合割合は5%未満であり、測点による温度の差が見られた。また最も高い温度が観測された測点Dは朝方の日射の影響を大きく受ける場所であった。

冬期には全ての測点の適合割合が90%以上であることから概ね良好な温熱環境であった。

梅雨時期は測点A、C、E、G、Hは適合割合が100%であったが、測点B、D、Fは適合割合が約80%となり平均値は基準値上限の28℃に近い値となった。

3.2 相対湿度

相対湿度の測定結果（冬期）を図3に示す。冬期は測点E、Gの適合割合は90%以上であったが、測点A、C、D、Fの適合割合は50%以下であり、特に測点Aでは18%、測点Cでは2%となり適合割合が低くなった。

夏期と梅雨時期はほとんどの測点の適合割合が100%であったが、測点H（夏期）、測点E（梅雨時期）の適合割合は約70%であった。

3.3 WBGT

WBGTについては図書館において想定される活動量として最も大きいと考えられる代謝率区分を「2:中程度の代謝率」とし、熱に順化していない人における基準値26℃を用いて評価を行った。

夏期および冬期のWBGTの測定結果を図4に示す。冬期の全測点および夏期の測点A、E、Gでは適合割合が100%であったが、夏期の測点D、Fについては適合割合が約80%となり、平均値は基準値上限の26℃に近い値となった。梅雨時期は全測点での適合割合が100%であった。

3.4 CO₂濃度

CO₂濃度の測定結果を夏期は図5、冬期は図6に示す。両期間ともCを除く全ての測点で適合割合が100%となった。測点CについてCO₂濃度が比較的高くなっており、特に夏期には平均値が基準値上限を超えた。その一因として試験期間中に学習を目的とした在室者数の増加が考えられる。

梅雨時期は夏期および冬期と同様に測点CについてCO₂濃度が高くなったが、全測点において適合割合は高い結果となった。

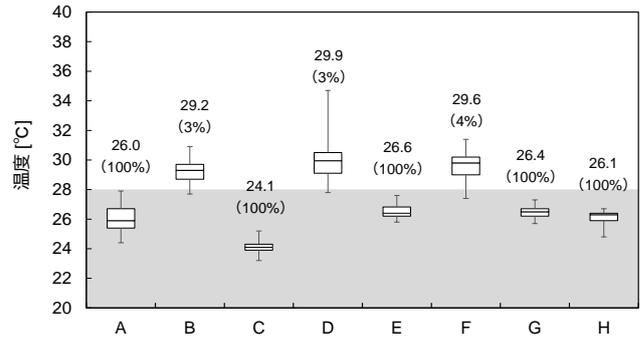


図2 空気温度 (夏期)

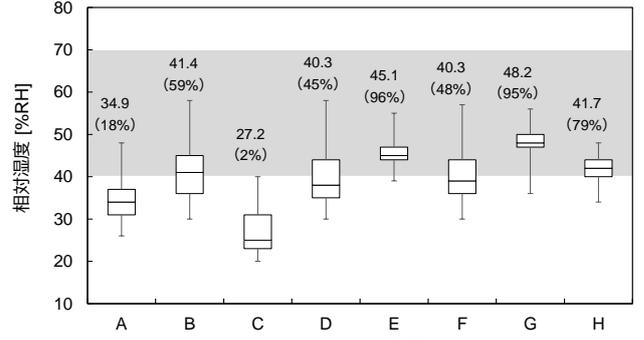


図3 相対湿度 (冬期)

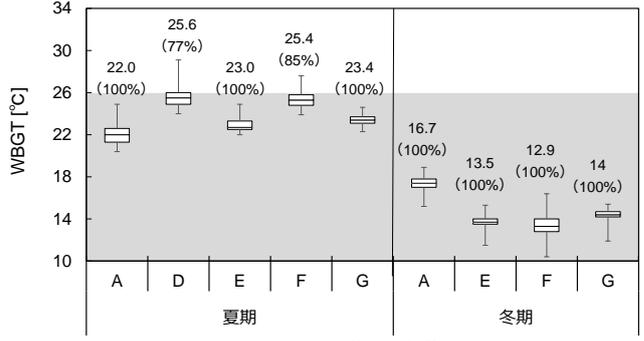


図4 WBGT (夏期, 冬期)

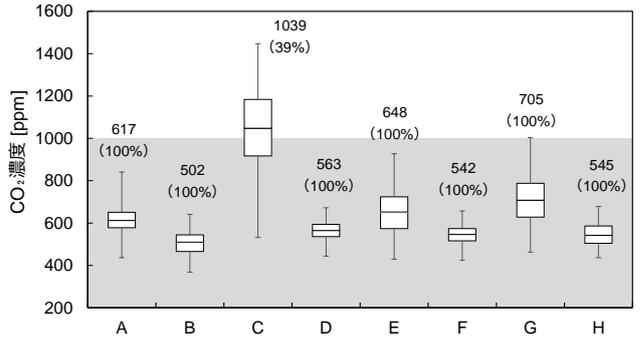


図5 CO₂濃度 (夏期)

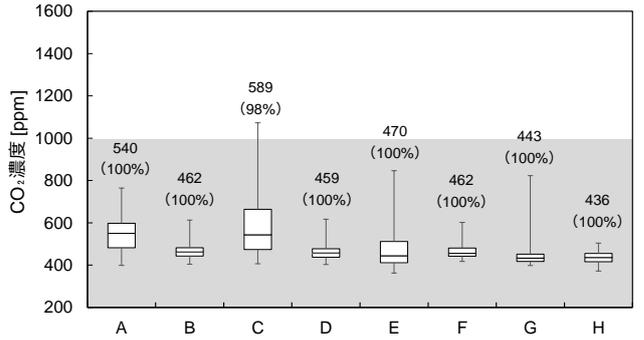


図6 CO₂濃度 (冬期)

4. 換気環境に関する検討

全測定期間において在室人数や CO₂濃度が比較的高い測点 C、E と比較的低い測点 H を対象に換気環境に関する検討を行った。

4.1. 在室者と CO₂濃度

CO₂濃度と在室者数の関係を図 7~9 に示す。図中に衛生管理基準値の範囲をグレーで示す。なお在室者数は図書館職員が各測点において 1 時間毎に目視で確認した値であり、CO₂濃度は該当時間帯の平均値をプロットしている。

全ての測点において CO₂濃度と在室者数に正の相関が見られ、特に測点 C は強い正の相関(決定係数 0.7861)がみられた。

また各対象室の CO₂濃度と在室者の回帰式を用いて基準値 1000ppm を満たす 在室者数 (以下許容在室者数) を算定した。算定許容在室者数と各測点にある実際の座席数を表 4 に示す。測点 C、H では実際の座席数が許容在室者数を上回る結果となり、現在の換気量では満席条件において換気不足が示唆される。

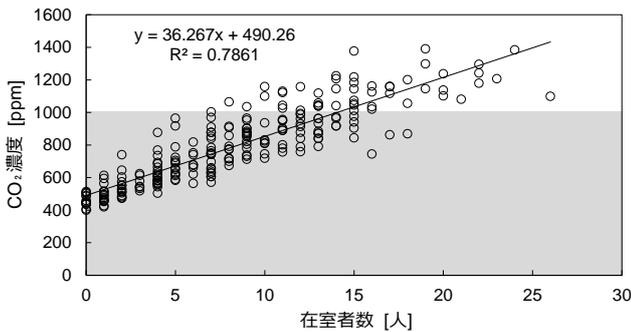


図 7 CO₂濃度と在室者の関係 (測点 C)

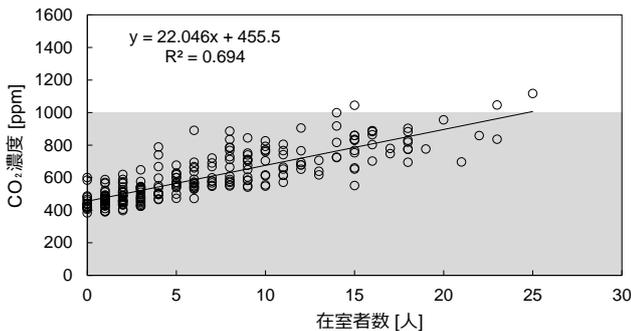


図 8 CO₂濃度と在室者の関係 (測点 E)

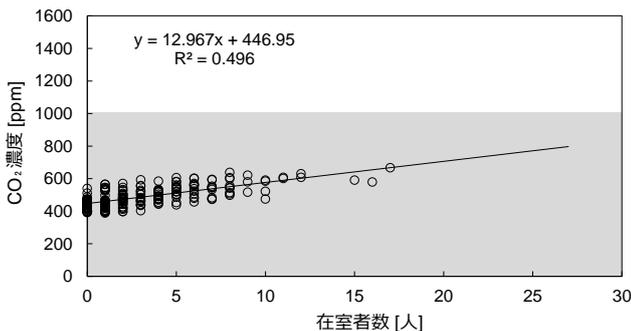


図 9 CO₂濃度と在室者の関係 (測点 H)

表 4 1000ppm を基準とした許容在室者数と実際の座席数

測点	許容在室者数 (人)	実際の座席数 (席)
C	13	35
E	23	40
H	41	40

4.2 換気量の推定

測点 C、E、H の換気性状を定常状態の、ザイデル式^[10]により、CO₂濃度と在室者数の回帰式および CO₂呼出量関係式^[11]を使用し、見かけの換気量算定を行った。

回帰式は式(1)、定常状態での換気のザイデル式は式(2)である。式(1)の y は室内の CO₂濃度、 b は外気の CO₂濃度であるので式(3)のように変形できる。式(4)は CO₂呼出量関係式であり CO₂呼出量 m の算定に用いた。式(4)に代入する Met 値^[12] はそれぞれの測点で主な活動を目視により設定し、測点 C はタイピング (Met 値 1.1)、測点 E は椅座静位 (Met 値 1.0)、測点 H は筆記 (Met 値 1.2) とした。また身長、体重は 20 歳男性の平均値^[13] である 171.8 cm、61.8 kg を使用した。式(2)、(3)を連立し、式(4)を代入すると式(6)となり、各測点の a 値を代入することで、見かけの換気量を算定した。

見かけの換気量および満席状態での 1 人あたりの換気量を表 5 に示す。測点 C、E では見かけの換気量が建築基準法で示されている換気量である 20m³/h・人以下となり換気不足が示唆される。

$$y = ax + b \quad (1)$$

y : CO₂濃度 [ppm] x : 在室者数 [人]
 a : 傾き (変化の割合) b : 切片 (外気 CO₂濃度)

$$Q = \frac{m}{C - C_0} \quad (2)$$

Q : 換気量 [m³/h] m : CO₂呼出量 [m³/h]
 C : CO₂濃度 [ppm] C_0 : 外気の CO₂濃度 [ppm]

$$C = ax + C_0$$

$$C - C_0 = ax \quad (3)$$

$$P_{CO_2} = 1.601 \times 10^{-4} \times (60.63 \times A_D \times Met \times C_g \times C_a) \quad (4)$$

$$A_D = 0.007246 \times W^{0.425} \times H^{0.725} \quad (5)^{[14]}$$

P_{CO_2} : CO₂呼出量 [m³/h] C_g : 性別係数
 A_D : 日本人成人の体表面積 [m²] (女性 0.73 男性 1.00)
 Met : エネルギー代謝率 [-] C_a : 年齢係数^[15]
 W : 体重 [kg] H : 身長 [cm]

$$Q = \frac{m}{ax} = \frac{P_{CO_2} x}{ax} = \frac{P_{CO_2}}{a} \quad (6)$$

表 5 換気量推定値

測点	換気量推定値 (1 人あたりの値)
C	514 m ³ /h (15m ³ /h・人)
E	768 m ³ /h (19m ³ /h・人)
H	1567 m ³ /h (39m ³ /h・人)

5. ニオイに関する検討

ニオイセンサによるニオイの測定値とアンケート調査の結果を用いることで評価・検討を行った。

5.1 ニオイとCO₂濃度

測点 B~E、G、H におけるニオイと CO₂濃度の関係を図 10 に示す。図中に衛生管理基準値の範囲をグレーで示す。全測定データによる回帰線を破線で、書籍からのニオイの影響が強く出ると予想される測点 H の結果を除いた人由来のニオイが支配的と考えられるデータのみによる回帰線を実線で示す。回帰線の決定係数は破線より実線の方が高く、このことから対象図書館では人由来のニオイと CO₂濃度がより強い相関をもつ結果となった。

5.2 ニオイに関する不快感と CO₂濃度

測点 C、E およびエントランスでのアンケート調査より求めた不満足者率と調査時の CO₂濃度を図 11 に示す。図中に衛生管理基準値の範囲をグレーで示し、また縦軸は対数軸により示している。全測点の指数回帰線より、CO₂濃度が基準値 1000ppm を超える点での不満足者率は約 31% と高い結果であった。また回帰式より不満足者率が 10%^{註 1)} となる CO₂濃度は 724ppm であることから、対象図書館では CO₂濃度を 700ppm 以下に保つことがニオイに対する不満足者率を抑えるために望ましいと考えられる。CO₂濃度が 700ppm 時の在室者数と座席占有率を表 6 に示す。現状では座席占有率が 50% を超えると、いずれの測点でも不満足者率が 10% を超えることが予想され、ニオイに対する不快感が生じる可能性がある。

6. おわりに

本研究では大学図書館において夏期、梅雨時期、冬期の 3 期間で温度、相対湿度、グローブ温度、CO₂濃度、ニオイの 5 項目を実測し、測定結果を分析することで室内環境の現状を把握した。

夏期は温度、冬期は相対湿度がいくつかの測点で、基準値の適合割合が低くなったが、WBGT は全測定期間において問題のない状態が保たれていた。CO₂濃度については測点 C のみ適合割合が低くなった。また夏期において測点 C がある室では CO₂濃度が他の期間に比べ高い値をとり、試験期間において他の室より在室者数の増加が一因として考えられる。

換気環境に関する検討では、CO₂濃度と在室者数に強い相関がみられた。また CO₂濃度と在室者数の回帰式を用い換気量の算定を行い、現在の換気量では満席条件で換気不足となることが示唆された。

ニオイに関する検討では実測値と CO₂濃度の決定係数より、ニオイと在室者数の関係が確認された。またアンケート調査により算出した不満足者率と CO₂濃度との関係より、対象図書館では座席占有率が 50% を超えるとニオイに対する不快感が生じる可能性が予想される結果となった。

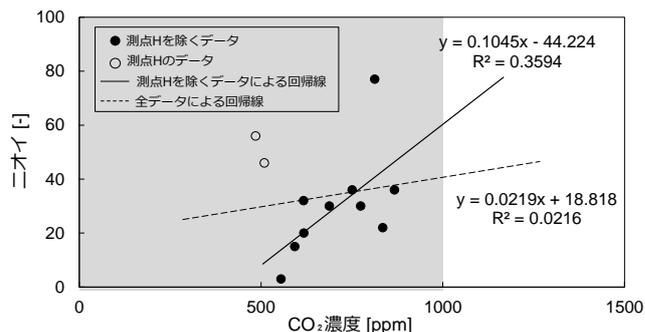


図 10 ニオイと CO₂濃度の関係

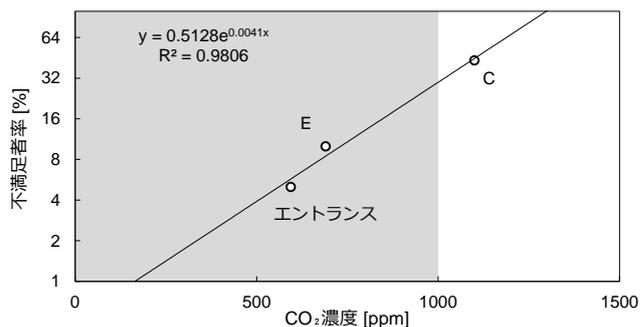


図 11 不満足者率と CO₂濃度の関係

表 6 700ppm を基準とした場合の許容在室者数と占有率

測点	許容在室者数 [人]	座席占有率 [%]
C	6	17
E	11	28
H	20	50

註 1) ISO - 7730^[16]快適推奨値とされている予測不満足者率が 10% 以下を参考に設定した。

参考文献

- [1]大西裕治 河田浩太郎 田島昌樹 中島瑠偉 大学図書館の室内環境評価-その 1 温熱環境の評価-, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第 17 号, pp63-64, 2017. 5 [2]中島瑠偉 大西裕治 河田浩太郎 田島昌樹 大学図書館の室内環境評価-その 2 空気環境の評価-, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第 17 号, pp65-66, 2017. 5 [3]厚生労働省:建築物環境衛生管理基準 <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 2018.1 取得 [4]山口一 岡田博 布施幸則 富岡一之 鈴木道哉, 臭いセンサーを活用した室内空気質 (Indoor Air Quality; IAQ) の簡易計測法, 室内環境学会, 第 1 号, pp27-34, 1998 [5]山口一 富岡一之 大塚俊裕 中山正樹 真継常義 竹林芳久, 実建物における室内化学物質モニタリングシステムの検証, 室内環境学会, 第 13 号, pp119-129, 2010 [6]對馬聖菜 Pawelwargocki 田辺新一, 皮膚および呼吸由来の生体発散物質に関する知覚空気室評価および化学分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 7 巻, pp9-12, 2017.9 [7]吉本梨紗 竹村明久 桃井良尚 山中俊夫 甲谷寿史 相良和伸, 在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究 (その 8) 在室者の体臭制御が臭気評価に及ぼす影響と非容認率の統計的推定モデル, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 7 巻, pp25-28, 2017.9 [8]環境省:臭気指数規制ガイドライン http://www.env.go.jp/air/akushu/guide_ind/index.html, 2018.1 取得 [9]2013ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS p12.6, 2.013 [10]最新建築環境工学 (改訂 3 版), pp41-42, 2006.3 [11]田島昌樹 井上貴之 大西裕治:換気測定のための在室者の二酸化炭素呼出量の推定, 日本建築学会環境系論文集, 第 81 巻 第 728 号, 日本建築学会, pp885-892, 2016.1 [12]依光剛志 大西裕治 嶋田祐典 田島昌樹:人間の呼吸に含まれる CO₂ を利用した居室の換気性能評価その 8 Met 値の推定手法と CO₂ 呼出量算定の精度向上, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp703-704, 2017.7 [13]厚生労働省:第 2 編保健衛生第 1 章保健 第 2-6 表 身長・体重の平均値, 性・年次×年齢別 http://www.mhlw.go.jp/toukei/youran/indexyk_2.1.html, 2018.1 取得 [14]社団法人 空気調和・衛生工学会:空気調和衛生工学便覧 (第 14 版) 1 基礎編, p330, 2010.2 [15]厚生労働省:「日本人の食事摂取基準 (2015 年版)」策定検討会報告書, pp65-66, 2014.3 [16]ISO 7730:1994 : Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort