

建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究
個別空調の温熱環境特性

研究分担者 中野 淳太 法政大学 デザイン工学部 教授

研究要旨

日本全国の個別空調を行っている事務所建築物 26 件を対象に夏季と冬季の実測調査を行い、温熱環境特性を分析した。測定方法は、建築物衛生法および ASHRAE55-2020 基準に準拠した。空気温度は、夏季の 1 つの建物を除き、18~28℃の衛生管理基準を満たしていたが、高さ 0.1m と 1.1m の空気温度差が冬季に 3℃を超える値が見られ、外気温が低いほどその傾向は顕著になった。夏季の平均放射温度は高い方に、冬季は低い方に広く分布しており、平均値はそれぞれ 27.3℃、23.5℃であった。夏季は平均放射温度が空気温度よりも平均で 1.4℃高く、冬季は 0.8℃低くなっていた。夏季の相対湿度は概ね衛生管理基準値を満たしていたが、外気温が 15℃未満になると管理基準値を下回る割合が急激に増加することがわかった。気流速度については、概ね基準値を満たしていた。

インテリアとペリメータの環境を比較したとき、夏季はペリメータでインテリアよりも空気温度が高く、冬季はインテリアより高い方にも低い方にも分布していた。冬季はインテリアもペリメータも上下温度分布が大きかった。また、ペリメータの平均放射温度は、冬季がインテリアより低め、夏季にインテリアより高めになる傾向にあった。

個別空調の運用上の課題は、まず冬季の湿度管理である。特に外気が 15℃を下回ると不適率が急増する傾向にあり、十分な加湿が不可欠である。全体的な傾向として、個別空調では中央式空調に比べて水平方向および垂直方向の分布を生じやすく、特に冬季にその傾向が顕著になる。衛生管理基準を満たしていても、潜在的な不快の要因となりうる点に配慮する必要がある。

A. 研究目的

日本全国の事務所建築物における個別空調の室内温熱環境を調査し、運用上の課題を明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

調査は 2017~2022 年の夏季と冬季に行い、北海道、東京、埼玉、横浜、名古屋、大阪、福岡にある事務所建築物 26 件を対象とした。測定対象建物の詳細を表 1 に示す。規模は特定建築物と 3,000 m²以下の建築物に分けてあるが、空調方式はすべて個別方式（PAC）とした。測定方法は、建築物衛生管理基準を満たしつつ、より高い快適性の評価を目的とした ASHRAE55-2020 基準¹⁾に準拠した。建物に

よっては、複数階の事務所を測定し、測定点は以下の基準で各フロアについて最低 2 点以上の測定点を設けた。

- ・部屋または空間の中央かつ座席近傍となる点（インテリア）
- ・最も大きな窓の中央から 1m 以内かつ座席近傍となる点（ペリメータ）

空気温度と相対湿度は、居住域の代表となる以下の 4 点で 15 分間記録し、最後の 30 秒間の平均値を代表値とした。

- ・0.1m くるぶし
- ・0.6m 座位体中心
- ・1.1m 座位頭部・立位体中心
- ・1.7m 立位頭部

各空間の最も大きな窓のある方向を正面とし、高さ1.1mにて上下左右前後の6方向について微小面放射温度を計測した。5分間計測し、最後の30秒の平均を代表値とした。微小面放射温度は、微小平面に入射する放射束が実環境と同等になる均一な黒体閉空間の内表面温度である。逆となる2方向を測定することで、非対称放射温度による不均一環境の局所不快を評価できる。6方向を測定し、重み付け平均をすることで人体の形状を考慮した平均放射温度を求めることができる。座位の執務者が主であるため、以下の式を用いて平均放射温度を求めた。

$$\bar{t}_{pr} = \frac{0.18(上+下)+0.22(右+左)+0.30(前+後)}{2(0.18+0.22+0.30)}$$

また、高さ1.1mにて気流速度を3分間計測し、その最大値、平均値、最小値を記録した。

C. 研究結果

C1. 季節ごとの温熱環境特性

C1.1. 空気温度

図1に高さ1.1mの空気温度の度数分布を示す。夏季の1つの建物を除き、18~28℃の衛生管理基準を満たしており、夏季平均値が25.9℃、冬季平均が24.2℃であった。

外気温に対する室温を図2に示す。夏季に比べ、冬季の方が室温のばらつきが大きくなっていることがわかった。

表1 個別空調の調査建物概要

地域	都道府県	Code	規模	空調方式	階数	測定日	
						夏季	冬季
北海道	北海道	H02	中規模	PAC+換気	6	2017/8/25	
	北海道	H03	中規模	PAC	2	2022/9/2	2023/1/18
	北海道	H06	中規模	PAC+換気(HEX)	2	2022/2/10	
	北海道	H07	中規模	PAC	2	2022/9/2	2023/1/18
東北	福島	T01	中規模	PAC+換気	1		2022/2/8
	秋田	T02	特定建築物	PAC+換気(HEX)	4,8	2022/9/29	2023/2/14
	秋田	T03	特定建築物	PAC+換気(HEX)	2,5	2022/9/29	2023/2/14
関東	東京	E01	特定建築物	PAC+換気	6	2018/9/18	2018/1/10
	埼玉	E02	中規模	PAC+換気	1,2,3	2018/8/23	2018/1/10
	東京	E03	中規模	PAC+換気	3,7	2018/8/23	
	東京	E05	特定建築物	PAC	1	2018/9/18	
	東京	E07	中規模	PAC+換気		2019/8/1	2020/1/15
	東京	E09	中規模	PAC+換気		2019/8/1	2020/2/14
	東京	E10	中規模	PAC+換気		2019/8/27	2020/2/21
	東京	E12	中規模	PAC+換気		2019/8/27	2020/1/15
	群馬	E13	中規模	PAC+換気	2	2022/8/30	2020/2/21
	東京	E15	特定建築物	PAC+換気	8	2022/8/31	2021/12/15
	埼玉	E16	中規模	PAC+換気(HEX)	2	2022/8/31	2021/12/16
東海	名古屋	A02	中規模	PAC+換気	4	2019/8/30	2020/2/13
	名古屋	A03	特定建築物	PAC+換気		2019/8/30	2020/2/13
近畿	大阪	W01	中規模	PAC+換気	2	2018/8/28	2018/3/5
	大阪	W02	中規模	PAC	2	2018/8/29	2018/3/5
九州	福岡	F01	中規模	PAC+換気	6	2018/8/27	2019/1/11
	福岡	F02	中規模	PAC+換気	2	2018/8/27	2019/1/10
	福岡	F03	中規模	PAC+換気	2	2018/8/27	2019/1/11
	福岡	F04	特定建築物	PAC+換気	4	2018/8/28	2019/1/11

高さ 0.1m と 1.1m の空気温度差と外気温の関係を図 3 に示す。ASHRAE 55 基準では、くるぶし (0.1m) と座位頭部 (1.1m) の温度差が 3°C を越えないことを推奨している。夏季は推奨範囲内にあるが、冬季は 3°C を超える値が見られ、外気温が低いほどその傾向は顕著になった。

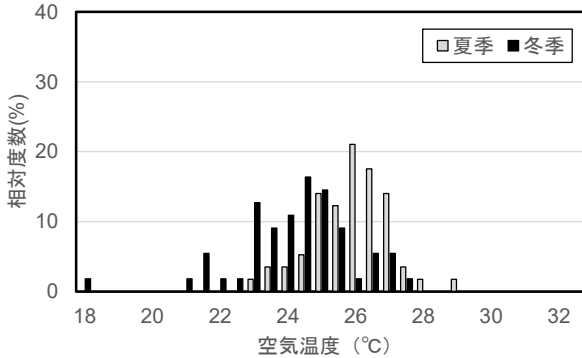


図 1 高さ 1.1m の空気温度度数分布

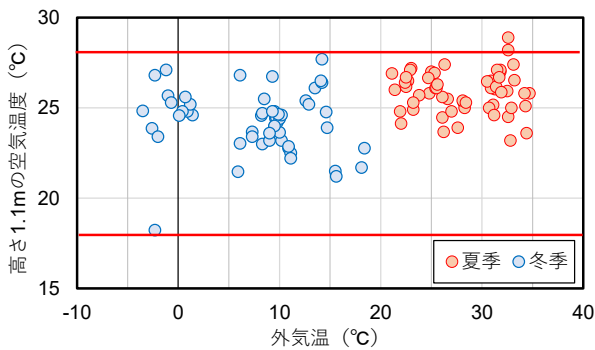


図 2 外気温に対する室内空気温度

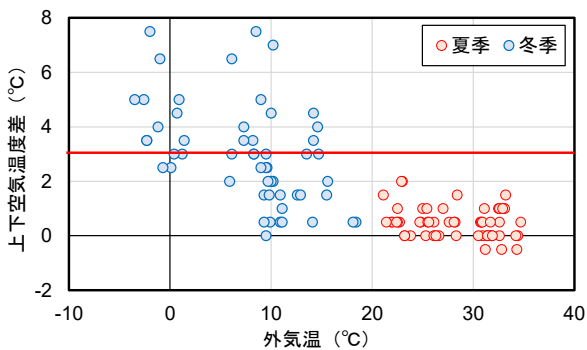


図 3 外気温に対する上下空気温度差

C1.2. 平均放射温度

高さ 1.1m の平均放射温度の度数分布を図 4 に示す。夏季は温度の高い方に、冬季は温度の低い方に広く分布しており、平均値はそれぞれ 27.3°C、23.5°C であった。

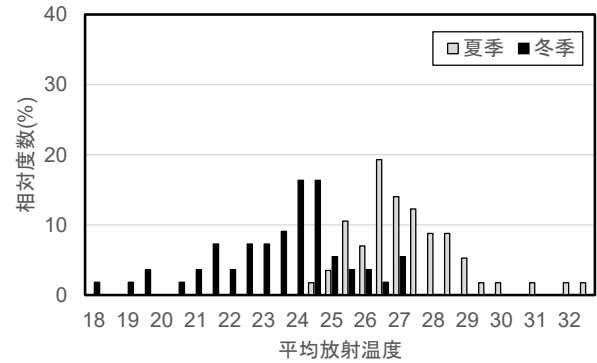


図 4 高さ 1.1m の平均放射温度度数分布

高さ 1.1m の空気温度に対する平均放射温度を図 5 に示す。夏季は平均放射温度が空気温度よりも平均で 1.4°C 高く、冬季は 0.8°C 低くなる傾向が見られた。

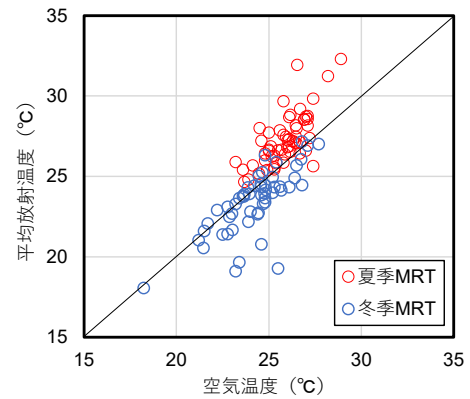


図 5 空気温度に対する平均放射温度

C1.3. 相対湿度

高さ 1.1m の相対湿度の度数分布を図 6 に示す。夏季は 1 点を除き、衛生管理基準を満たしており、平均値は 55.1% であった。冬季は測定点の 83% が下限の 40% を下回っており、平均値は 31.4% であった。

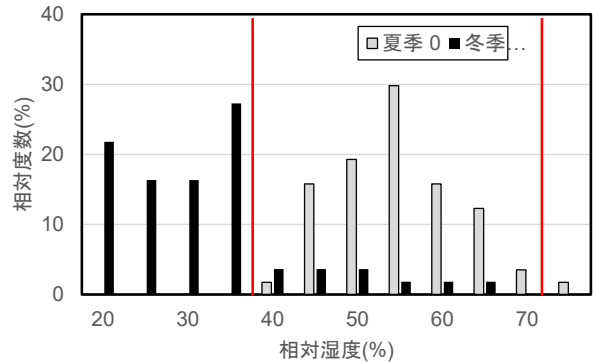


図 6 高さ 1.1m の相対湿度の度数分布

図7に外気温に対する相対湿度を示す。外気の湿度にかかわらず、外気温が15°C未満になると管理基準値を下回る割合が急激に増加することがわかった。

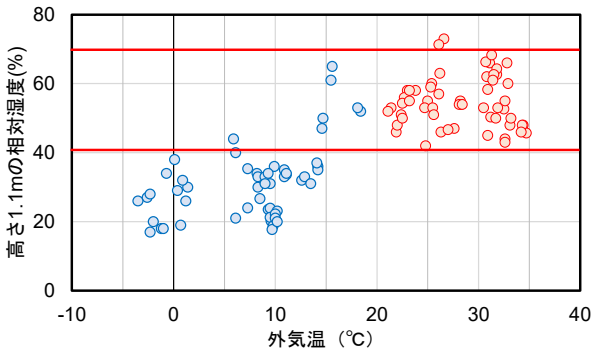


図7 外気温に対する相対湿度

C1.4. 気流速度

図8に高さ1.1mの気流速度の度数分布を示す。管理基準値の0.5 m/sを超えたのは1点のみで、その他は基準値を満たしていた。

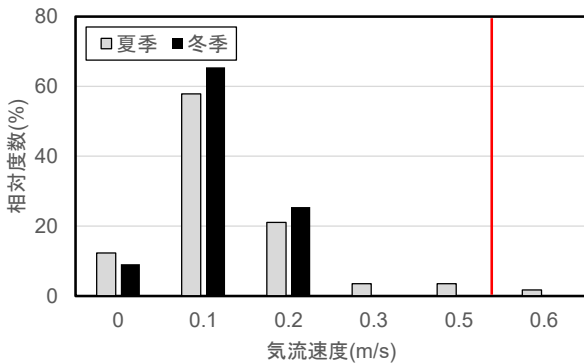


図8 気流速度の度数分布

C2. インテリアとペリメータの環境の差

インテリア(室中央)を基準とし、ペリメータ(窓から1m以内)の環境の違いを分析した。

C2.1. 空気温度

図9に高さ1.1mの空気温度の度数分布を示す。夏季はペリメータでの日射等の影響により、インテリアよりも空気温度が高くなる傾向が見られた。冬季はペリメータの冷えおよび暖房の影響で、インテリアより高い方にも低い方にも分布していた。

高さ0.1mと1.1mの空気温度差について、夏季の結果を図10に、冬季の結果を図11に示す。

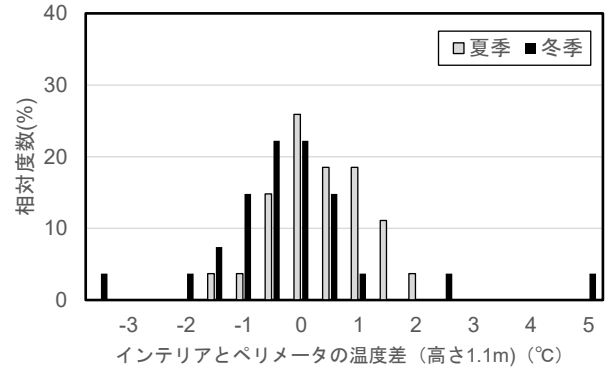


図9 インテリアとペリメータの空気温度差

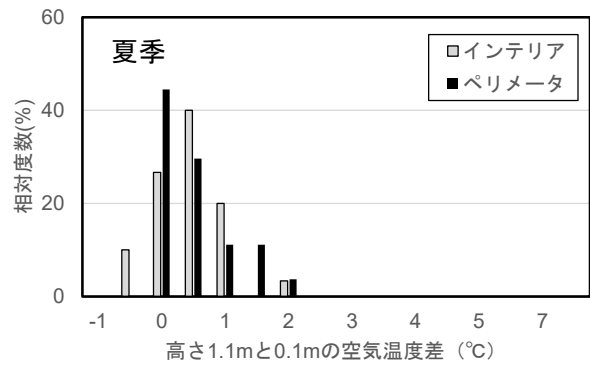


図10 夏季の高さ0.1mと1.1mの上下温度差

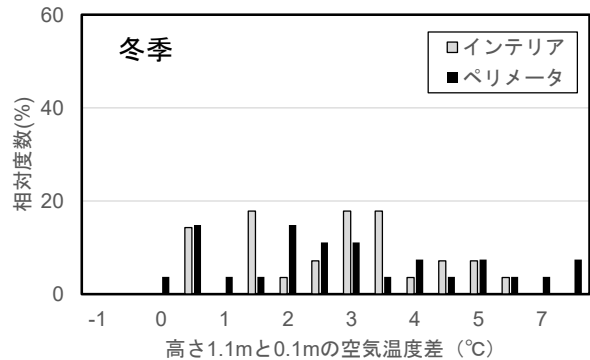


図11 冬季の高さ0.1mと1.1mの上下温度差

夏季はすべての測定点でASHRAE 55の基準である3°C以内であったが、ペリメータの上下温度差がやや大きくなる傾向にあった。冬季はどの測定点も足元の温度が低く、1.1mとの温度差は最大7.5°Cまで広く分布していた。インテリアもペリメータも同様に上下温度分布が大きかった。

C2.2. 平均放射温度

図12に高さ1.1mの平均放射温度差の比較を示す。夏季は、日射の影響によりペリメータで平均放

射温度が高くなる傾向にあり、冬季は窓面の冷却により低くなっていた。空気温度に比べると、夏季と冬季の差が顕著に分かれていた。

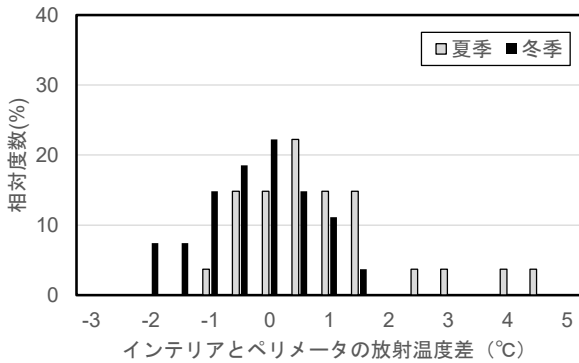


図 12 インテリアとペリメータの平均放射温度差

C.2.3. 湿度

相対湿度は空気温度の影響を受けるため、温度差のある環境の湿度を比較するのに相対湿度は適さない。そのため、高さ 1.1m の絶対湿度をインテリアとペリメータで比較した結果を図 13 に示す。冬季は 0 g/kg が 55% を占めており、インテリアとペリメータの差は小さかった。夏季は分布がやや大きい傾向が見られたものの、1.5 g/kg 以内であった。

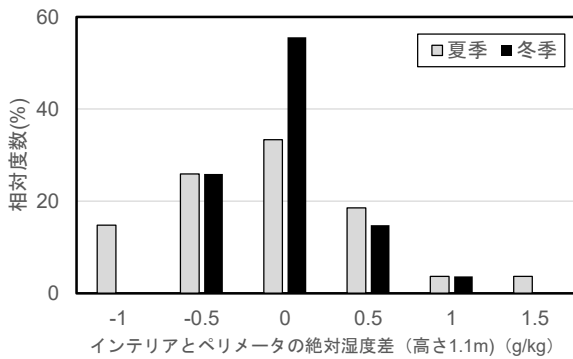


図 13 インテリアとペリメータの絶対湿度差

C2.3. 気流速度

図 14 に高さ 1.1m の気流速度の比較を示す。冬季はインテリアとペリメータの差が ±0.1 m/s の範囲内であった。夏季も 0.5m/s を超える気流はなかったものの、分布が大きくなる傾向が見られた。

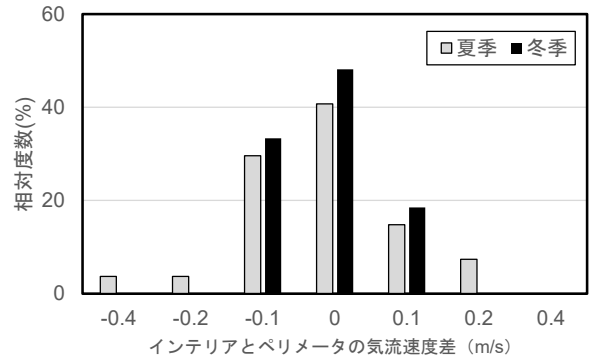


図 14 インテリアとペリメータの気流速度差

D. 結論

日本全国の個別空調を行っている事務所建築物 26 件と対象に夏季と冬季の実測調査を行い、温熱環境特性を分析した。測定方法は、建築物衛生法および ASHRAE55-2020 基準に準拠した。

空気温度は、夏季の 1 つの建物を除き、18~28°C の衛生管理基準を満たしており、夏季平均値が 25.9°C、冬季平均が 24.2°C であった。高さ 0.1m と 1.1m の空気温度差について、夏季は ASHRAE55-2020 基準の推奨範囲内であったが、冬季は 3°C を超える値が見られ、外気温が低いほどその傾向は顕著になった。夏季の平均放射温度は高い方に、冬季は低い方に広く分布しており、平均値はそれぞれ 27.3°C、23.5°C であった。夏季は平均放射温度が空気温度よりも平均で 1.4°C 高く、冬季は 0.8°C 低くなっていた。

夏季の相対湿度は概ね衛生管理基準値を満たしていたが、冬季は測定点の 83% が下限の 40% を下回っており、平均値は 31.4% であった。外気の湿度にかかわらず、外気温が 15°C 未満になると管理基準値を下回る割合が急激に増加することがわかった。気流速度については、管理基準値の 0.5 m/s を超えたのは 1 点のみで、その他は基準値を満たしていた。

インテリアとペリメータの環境を比較したとき、夏季はペリメータでの日射等の影響により、インテリアよりも空気温度が高くなる傾向が見られた。冬季はペリメータの冷えおよび暖房の影響で、インテリアより高い方にも低い方にも分布していた。冬季はどの測定点も高さ 0.1m の温度が低く、1.1m との温度差は最大 7.5°C まで広く分布していた。インテリアもペリメータも同様に上下温度分布が大きかった。平均放射温度は、冬季にペリメータが低く

て夏季にインテリアが高く、その傾向は空気温度よりも顕著であった。湿度と気流速度については、インテリアとペリメータの差は小さかった。

個別空調の運用上の課題は、まず冬季の湿度管理である。特に外気が 15℃を下回ると不適率が急増する傾向にあり、十分な加湿が不可欠である。空気温度については、高さ 1.1m の管理基準値は満たしているものの、吹き出し口が誘引式ではないために、室内空気との攪拌が不十分である。冬季に高さ 0.1m と 1.1m の上下温度差が大きくなりやすい点に注意が必要である。また、個別空調ではペリメータ負荷処理用の空調システムを備えていないことが多い。放射環境の差をペリメータ近傍のインテリア用個別空調でカバーしようとする、室内での空気温度の分布が大きくなる要因となる。

全体的な傾向として、個別空調では中央式空調に比べて水平方向および垂直方向の分布を生じやすく、特に冬季にその傾向が顕著になる。衛生管理基準を満たしていても、潜在的な不快の要因となりうる点に配慮する必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 2020