

都市型エコキャンパスのエネルギー・環境性能の検証

(第3報) 暖房時における図書館階段部を介した空気流動と対策

Commissioning of Performance on Energy and Environment of Urban Style Eco-Campus Part3 An Analysis and Improvement of Air Movement through the Stairs in the Library during Heating Period

学生会員○森 健斗 (名古屋大学) 技術フェロー 齋藤 輝幸 (名古屋大学)

正会員 飯塚 悟 (名古屋大学) 技術フェロー 奥宮 正哉 (名古屋大学)

Kento MORI*¹ Teruyuki SAITO*¹ Satoru IIZUKA*¹ Masaya OKUMIYA*¹

*¹ Nagoya University

We investigated indoor thermal environment and air movement through the stairs in the library with all-air induction radiant air-conditioning system in winter. The results show that hanging partition wall, shielding plate and decrease of exhaust air at the 2nd floor restrain the rise of heated air from the 1st floor to the 2nd and improve the vertical temperature distribution. In addition, it is necessary to decrease the fall of cold air into the downstairs at the same time.

1. 研究目的・背景

近年、自然採光の有効な取り入れや、空間の広がりによる視覚的效果を期待して、吹き抜け空間を取り入れた建築が増加している。しかし、吹き抜けを有する空間では、冬期に下層階へ冷気が降りることによる室内温熱環境への悪化が懸念される。本報では第2報に続き良質な学修環境と省CO₂の両立という点から、全空気式誘引放射整流空調を導入した図書館において室内上下温度分布に着目した調査を行い、階段部を介した空気流動について、実運用下における改善に向けた分析結果を報告する。

2. 調査概要

2.1 対象室の概要

本研究の実測対象は大学施設の1階と2階に位置する図書館(以下、図書館)である。図-1、図-2 に図書館の1階、2階平面図、図3に図書館内階段部の平面図を示す。閲覧室中央付近の1階から2階に階段が設けられており、東南2面のガラス壁は外気に接している。

外調機および天井埋め込み型室内機(以下、室内機)から吹き出された供給空気は、ダクトを通して天井面に設置された誘引放射整流パネルに供給され室内に給気されている。図書館に導入されている室内機用熱源はすべてガスエンジンヒートポンプであり、室内機の吸い込み温度に基づいて制御されている。外気は中央熱源を持つ外調機を通して室内に供給されている。2階外調機は各日とも、空調開始後、およそ2時間で設定温度に達したため、送風運転に切り替わった。

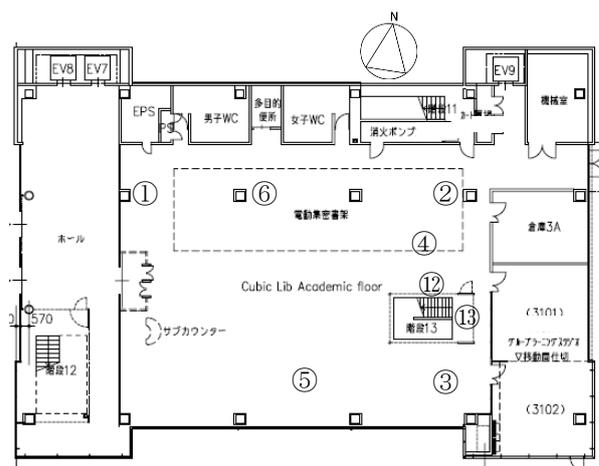


図-1 図書館平面図及び測定箇所(1階)

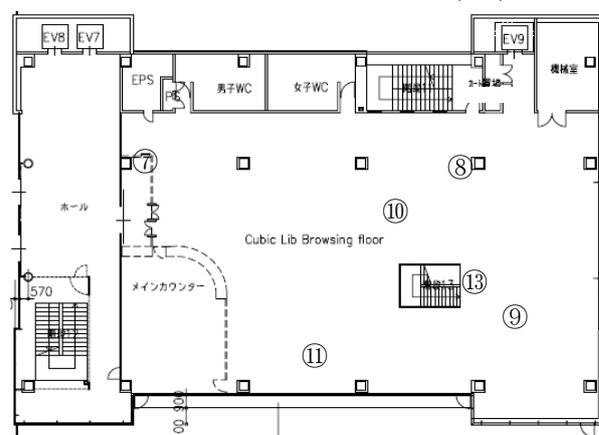


図-2 図書館平面図及び測定箇所(2階)

2.2 実測概要

実測期間は2015年3月10日～13日であり、図書館において各日とも1日を通して計測を行った。室内温度分

表-1 気温測定点

計測点	床上 200mm	床上 650mm	床上 1100mm	床上 1550mm	床上 2100mm	床上 2300mm	床上 2500mm	床上 2650mm	床上 2800mm	床上 2950mm
①			○							
②			○							
③			○							
④			○							
⑤	○		○	○	○					
⑥	○		○	○	○					
⑦			○							
⑧			○							
⑨			○							
⑩	○		○	○	○					
⑪	○		○	○	○					
階段⑫	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

布の把握のため、水平、鉛直方向の温度を複数点計測した。測定箇所を図-1、図-2の①～⑬に、各箇所の計測高さを表-1に示す。鉛直方向の測定点は、床面から200mm, 650mm, 1100mm, 1550mm, 2100mm, 2300mm, 2500mm, 2650mm, 2800mm, 2950mmの10点とした。⑬の測定点のみ床面から100mm(a), 975mm(b), 1620mm(c), 2400mm(d), 3180mm(e), 3825mm(f), 4700mm(g)の点で測定を行っている。

計測機器はKNラボラトリーズのサーモクロンSLタイプを使用し、5分間隔で温度を記録した。測定分解能は0.1℃である。表2に各ケースの計測条件を示す。ケース1では基礎データとして通常の運用状態での室内温度分布を計測している。ケース2では1階の暖気が2階に上昇するのを抑えるために1階の階段周りに天井から500mmの垂れ壁を設け、ケース3ではケース2の対策に加え、2階の冷気が1階に降りるのを抑制する目的で2階の階段入り口を塞ぐようにプラダンシートを設置した。またケース4では、2階の換気排気量を変更することで2階を正圧、1階を負圧にし、1階から2階への暖気の上昇傾向変化による上下温度分布への影響を検討した。このときの排気量は概算ではあるが通常時の88%であったと推定される。

3. 実験結果と考察

3.1 階段部における上下温度分布

各ケースにおいて室内機は8:10、外調機は1階7:00、2階8:00に運転を開始した。設定温度は外調機が1階26℃、2階20℃、室内機が1階25℃、2階22℃である。図4に測定点⑬における各ケースの上下温度分布を示す。空調開始後、およそ1時間後の9:00における計測結果を見ると、1階床部分(床上100mm)の温度はケース1で最も低く、2階床部分(床上4700mm)の温度は同じくケース1で最も高い値を示している。この結果より、基準ケースでは1階の温度が設定温度に対してかなり低くなり2階との温度差が大きくなっていることがわかる。

図5に測定点⑬における床上100mmと4700mmの間の温度差を示す。

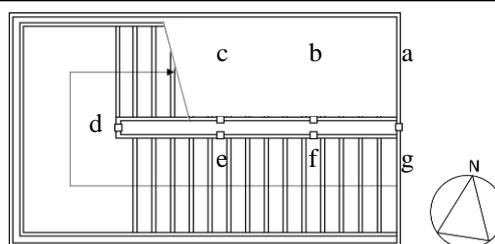


図-3 階段部での測定箇所 (測定点⑬)

表-2 ケースの条件

ケース	条件
1	基準ケース
2	1階天井から500mmの垂れ壁を階段の四方を囲むように付ける。
3	1階天井から500mmの垂れ壁を階段の四方を囲むように付ける。2階階段入り口を塞ぐようにプラダンシートを取り付ける。
4	1階と2階の風量バランスを変更し、1階を負圧、2階を正圧にする。

ケース1は11:00の時点で、ケース2~4と比較し温度差が4℃以上と大きくなっているが、その後送風運転に切り替わることにより温度差が小さくなっている。一方、ケース2~4はケース1に比べて上下温度差が小さくなっていることが分かる。

また、図4において空調時間内の計測結果は床上100mmの温度が最も低く、床上3180mm(e)の温度が最も高い。後者は、1階の天井高さが2980mmのため天井付近に溜まった暖気の上昇による影響と考えられる。ケース2,3では床上3180mmにおいても突出した温度上昇が見られず、ケース1と比較し、均一な上下温度分布となっていることがわかる。ケース4はケース1に比較して床上100mmの温度が上昇しており、上下温度差がケース1に比較して小さくなっている。この結果から、風量バランスの変化によって1階から2階への暖気の上昇が抑制されたと考えられる。

3.2 1階における上下温度分布

図6に測定点⑫における空調開始5時間後までの各ケースの上下温度分布、図7に床上200mmと2950mmの

間の温度差を示す。図6よりどのケースにおいてもおよそ同じペースで温度上昇していることがわかる。一方、1階天井付近(床上2950mm)の温度について各ケースの比較を行うと、ケース1と4で高く、ケース2と3で低い結果となった。この結果より、1階階段周りの天井部に設けた垂れ壁による効果が確認できる。

3.3 水平温度分布の計測結果

1階、2階の複数箇所において室温を計測した。床上1100mmにおける各階の室温の経時変化を図8、図9に示す。1階における各ケースを比較すると、基準ケースであるケース1と比べ、すべてのケースで各時刻における室温が1℃以上改善され、15時頃に25℃の設定温度を満足した。一方、2階は設定温度22℃であるが、1階よりも早く温度が上昇し、12時頃には1階と同程度の室温に達している。なお、2階の設定温度が22℃であるのは、1階の暖気上昇に伴う2階の温度上昇を抑えるためであると考えられるが、実際には設定温度を超えてしまうため、ほとんど送風運転であった。

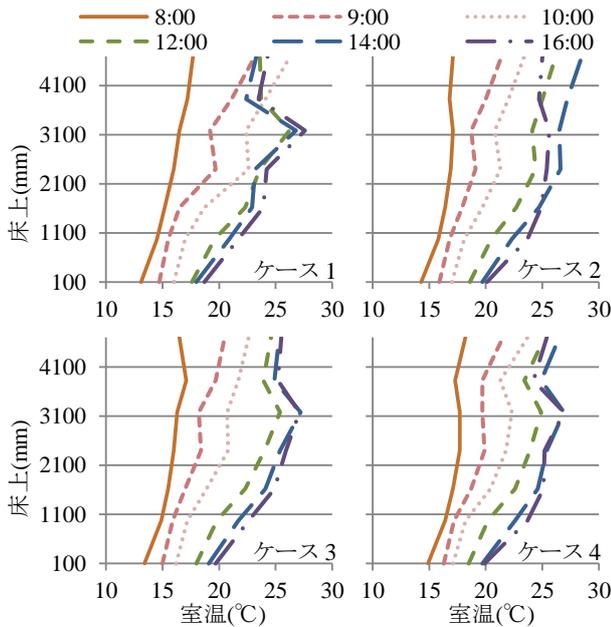


図4 階段部における上下温度分布 (測定点⑬)

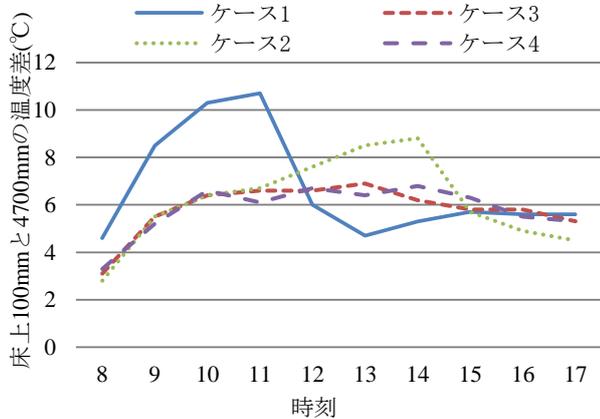


図5 床上100mmと4700mmの間の温度差 (測定点⑬)

また、1階では全ケースにおいて常時暖房運転であったため水平温度分布に大きなケース間の違いは見られないが、2階ではケース1において午前中に暖気が上昇してしまい、11時頃に送風運転から冷房運転に切り替わっている。ケース2ではケース1と比較し、午前中は暖気の上昇が抑えられているが、14:30頃に2階室温が高くなりすぎてしまったため、送風運転から冷房運転に切り替わっている。その際、日射の影響を受けやすい測定点⑩とそれ以外の測定点の間で温度に差が生じており、水平温度分布が不均一になっている。ケース3・4ではそれぞれ垂れ壁、風量バランスの変化により、2階への暖気上昇、および1階への冷気下降を抑えることで必要以上に2階の室温が上昇することを防ぐことができています。すなわち、暖気の上昇を抑えることに加え、冷気の下降も同時に抑える必要があることが分かる。また、図は省略するものの、1階では測定点⑥・⑬の階段部に近い計測箇所温度が低く、測定点③・④で温度が高い傾向が見られた。2階では階段部から最も遠い測定点⑦の温度が

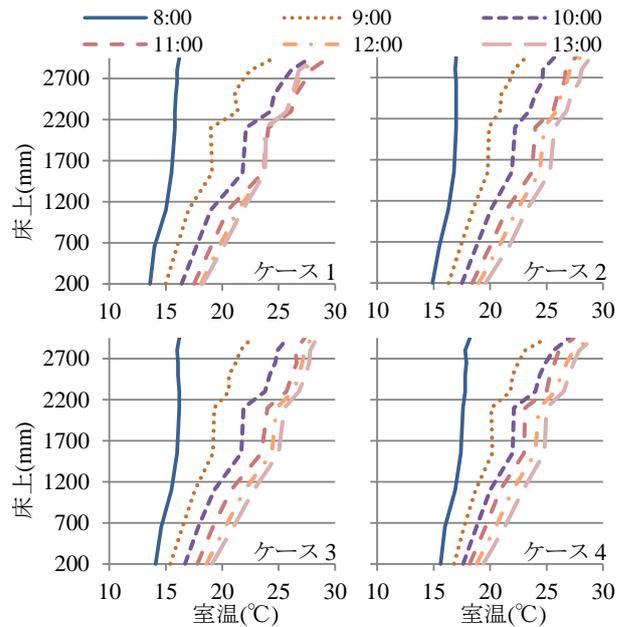


図6 1階における上下温度分布 (測定点⑫)

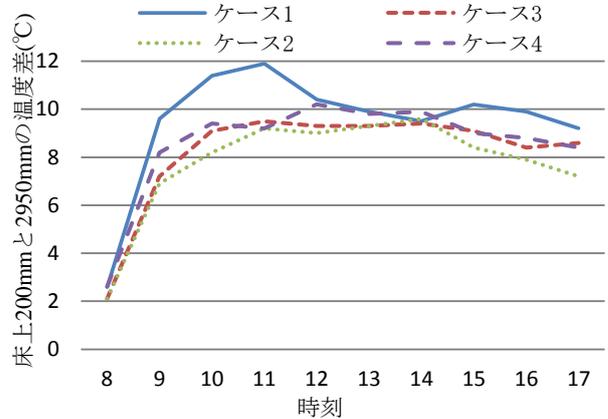


図7 床上200mmと2950mmの温度差 (測定点⑫)

最も低く、測定点⑧・⑩の階段部周辺の温度が高い結果が得られた。これらの結果より、階段部を通じて1階に冷気が降りることによって1階階段付近の温度が低下し、暖気が2階に上昇することで2階階段付近の温度が高く、また階段部から遠ざかるにつれ、温度が低くなっていると考えられる。

次に、暑さを感じやすい顔の高さの温度を比較するため、床上1550mmにおける各ケースの平均温度の経時変化を図10に示す。空調開始後およそ2時間の温度変化を比較すると、11:00の時点でケース1では2階の平均温度がケース2~4よりも3℃以上高い。ケース2~4は設定条件にかかわらず、ケース1のように急激な温度上昇を示していないことから、ケース2~4の対策により1階天井付近の暖気が2階へ上昇するのを抑えることができることがわかった。

4. まとめ

本報では室中央付近の吹き抜け内に階段を有する図書館を対象に実測調査を行い、次の結果を得た。

- 1) 階段部を通じて1階に冷気が降りることによって1階階段付近の温度が低下し、暖気が2階に上昇することで2階階段付近の温度が高く、また階段部から遠ざかるにつれ、温度が低くなっていることを確認した。
- 2) 1階の供給熱が階段部を通して2階に流れているため、1階のいずれの測定点においても設定温度の25℃に達していないことを確認した。
- 3) ケース2~4は、ケース1と異なり急激な温度上昇を示していないことから、1階から2階へ暖気が上昇するのを抑えることができることを確認した。また、暖気の上昇に加え、冷気の下降を抑える必要があることが分かった。
- 4) ケース2~4の工夫を行うことにより上下温度分布が改善され、室内の熱的快適性が向上するほか、1階における過度な暖房が改善され、省エネルギー効果が期待できる。

現在は1階、2階それぞれ、天井埋め込み型室内機の吸い込み温度の情報を元に室温が制御されている。温度センサーの位置により室内への供給熱量が変化するため、室内温度分布を考慮した制御がなされるべきである。

謝辞

本実験を行った大学キャンパスは国土交通省「平成24年度第1回住宅・建築物省CO₂先導事業」に採択されたものである。実運用下における検証を行うにあたり、愛知学院大学および株式会社大建設、木村工機株式会社、株式会社シーエナジー、日本管財株式会社より大きなご協力を頂いた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山口容平・永山紗弥子・下田吉之・西山満・西端康介・今井和哉・濱根潤也・三瀬農士：小規模ビルにおける冬期暖房負荷と室内温度分布、空気調和・衛生工学会論文集、No.197、1-9、2013

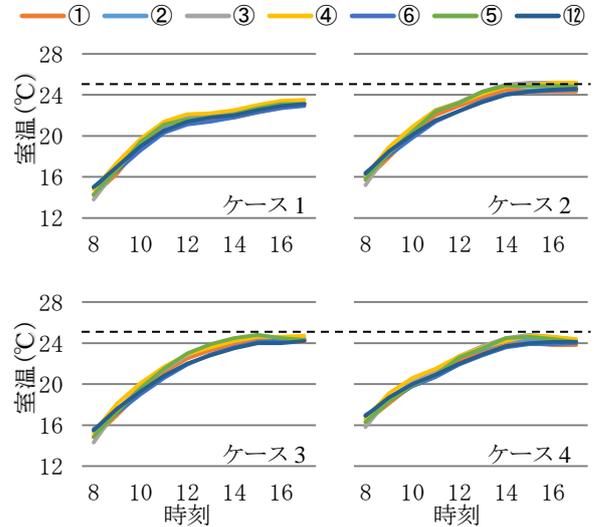


図-8 1階床上1100mmでの室温の経時変化

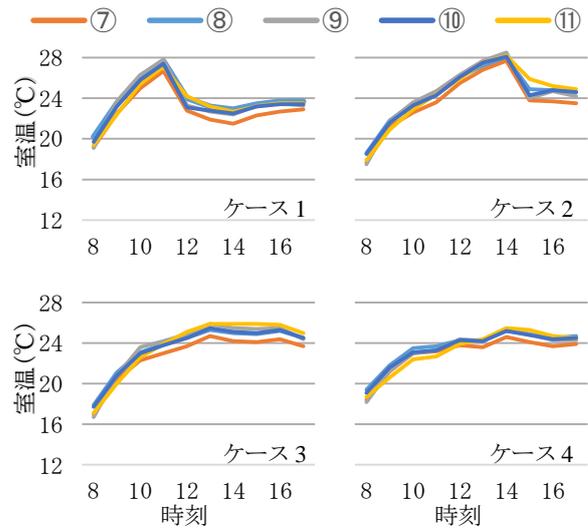


図-9 2階床上1100mmでの室温の経時変化

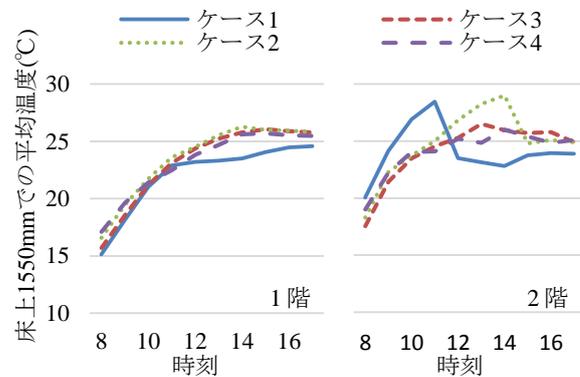


図-10 床上1550mmでの平均温度