

吹抜け空間をもつ環境共生型オフィス内部の温熱環境

その1 垂直温度分布とアンケート結果

○準会員 増成 あかね¹ 正会員 辻原 万規彦² 正会員 平川 真由美³
正会員 平山 禎久⁴ 正会員 清水 淑子⁴

1. はじめに

大空間のある建物内では、上下温度差が生じるため快適な温熱環境をつくることは難しい。また、地球環境の保全や人間の自然に対する適応能力などの側面から機械設備だけではなくパッシブ手法を取り入れることより快適な空間をつくる考えが提案されている¹⁾。

このような背景のもとに本研究では、放射冷暖房システムに川沿いの冷えた自然風の導入を併用することで、大空間の温熱環境を調節しようとするオフィスを対象に、外部の温度変化に対する建物内の温熱環境の実態を明らかにし、快適性を評価することを目的とする。本報では、残暑から秋にかけての気温の変化が著しい期間における温熱環境の実測結果と、執務者に対して行った温冷感などに関するアンケート調査結果について報告する。

測定対象とした建物は、2000年4月から2001年7月に改修工事が行われたが、改修前の1998年の冬と1999年の夏に熊本大学の石原研究室により測定が行われ、建物内部の吹抜け空間を中心に温熱環境の実態について報告された²⁾。冬期には放射冷暖房だけでは快適性向上には問題があり、夏期では居住域へ十分な冷却作用が確認されたが、室温としては若干低い結果となり、放射冷暖房システムの分散配置が提案されている。

2. 調査方法

2.1 調査対象建物

調査対象とした建物(図1~図5)は、熊本市の中心部に建つ築80年の鉄筋コンクリート造で、地下床からトップライト部までの高さが15mの地下1階、地上2階建てである。戦前に銀行として建てられたために壁厚が厚く、熱容量が大きな建物である。

建物の内部の地階北西角、1階ならびに2階のオフィ

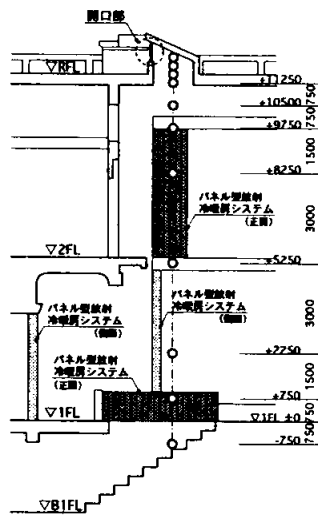


図5 垂直温度分布の測定点

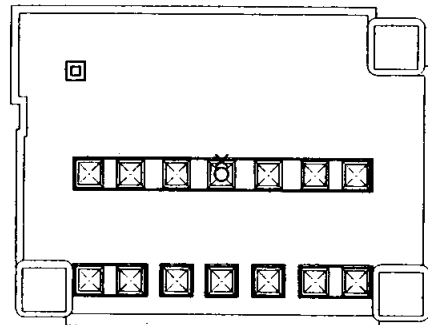


図1 屋上平面図

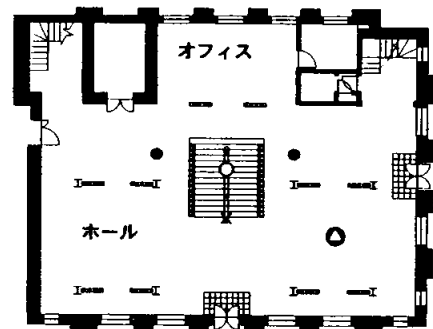


図2 2階平面図

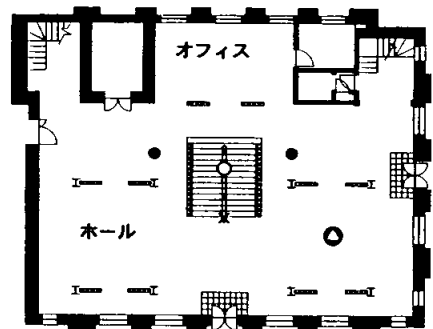


図3 1階平面図

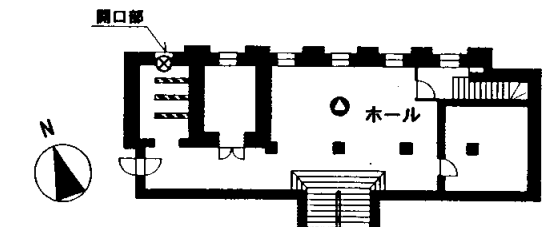


図4 地下平面図

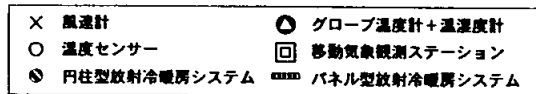


表1 測定項目

記号	測定項目	地下	1階ホール	2階オフィス	2階ホール	トップライト	
●	グローブ温度	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)		
△	温湿度センサー	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)	1点 (1.1m)		
×	風速計	1点 (1.3m)	1点 (0.95m)			1点 (窓開口部下より0.15m)	
○	温度センサー	1点 (1.6m)				3点 (トップライト開口部より0m, 0.5m, 1.0m)	
○	温度センサー (垂直温度分布)	9点 (1F.L.より-0.75m, 0m, 0.75m, 2.25m, 8.25m, 9.75m, 10.5m, 11.25m)					

表2 気象観測ステーション測定項目

1分おき記録		10分おき記録	
気温[℃]	風向平均値[°]		
相対湿度[%]	風向最大値[°]		
全天日射量 [w/m ²]	風速最小値[m/s]		
	風速平均値[m/s]		
雨量[mm]	風速最大値[m/s]		
	風速最小値[m/s]		

ス内には、循環水により熱交換する放射冷暖房システムを2種類設置し、常時運転を行っている。

トップライトには開口部が設けられ、地階の北西角にも開口部が設けられている。建物の北側には坪井川が流れており、当初の計画では夏季には川からの風を地階の開口部より導入することにより涼房の効果が期待されていた。

2.2 実測調査方法と期間

建物全体の温度分布と空気の流れを中心に把握するため、表1に示した測定項目を、図1～図3に示す測定点において、1分間隔で連続記録した。外部気象状況は、建物の屋上(図4参照)に移動気象観測ステーションを設置し、表2に示す項目を測定した。また、垂直温度分布の温度センサーには、放射の影響を避けるために、線径0.08mmの極細熱電対を用いて測定した(図5)。

測定は、2001年9月2日(日)～11月1日(木)に行った。

2.3 アンケート調査方法と期間

春季や秋季では外部は快適な環境であることが多いが、放射冷暖房は、一般の空調のようにきめ細やかな温度調節が難しく、熱容量が大きい対象建物においては、運転が難しい時期である。そこで、今後の運転方針を探るために、初秋から中秋の間の10月9日(火)～10月19日(金)に、建物内部の執務者を対象として、業務時間内の朝(9～10時)、昼(12～13時)、夕方(16～17時)の1日3回アンケートを行った。質問は、温冷感、快適感、適温感についての選択肢を示し、自由記述欄も設けた。

3. 結果

3.1 垂直温度分布

本報では、実測調査の期間中を残暑、初秋、中秋と分け、9月10日(月)、10月2日(火)、10月25日(木)の晴天日を代表日として取りあげ、さらに、建物内への風の影響を見るために9月9日(日)についても検討を行う。図6に、これら

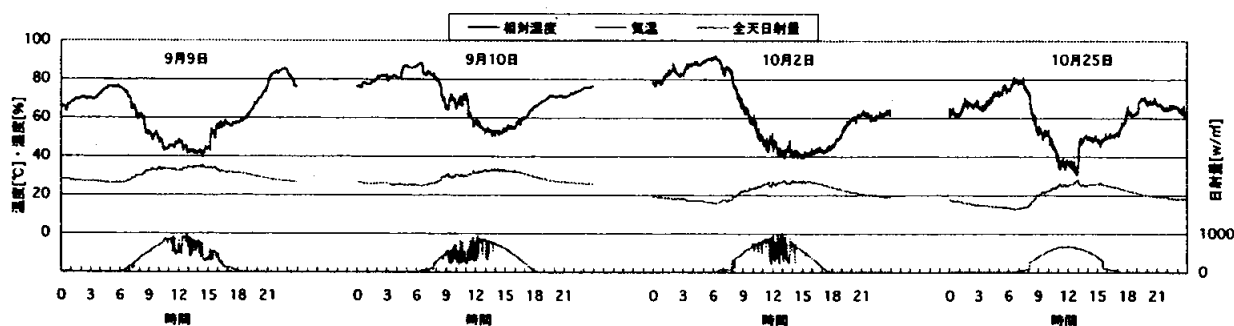


図6 代表日の外部気象

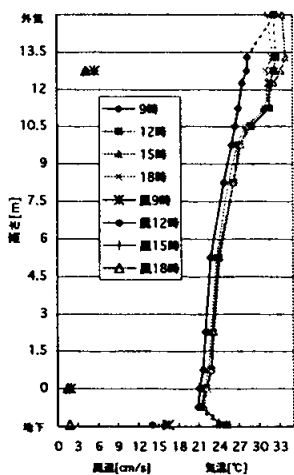


図7 9月9日の垂直温度分布・風速

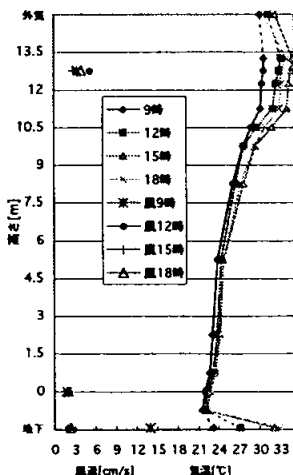


図8 9月10日の垂直温度分布・風速

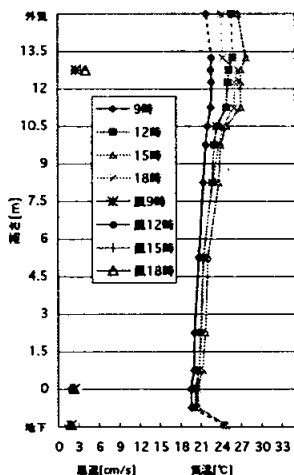


図9 10月2日の垂直温度分布・風速

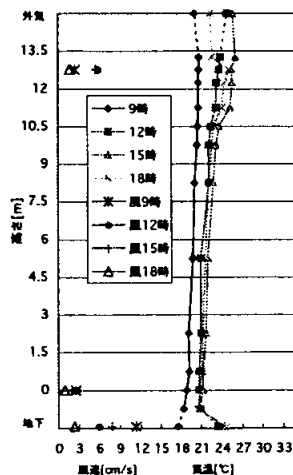


図10 10月25日の垂直温度分布・風速

表3 開口部の開閉状況

	9月9日	9月10日	10月2日	10月25日
地下	全日 開放	～11:30 開放	全日 閉鎖	全日 開放
1階玄関	出入時	出入時	出入時	出入時
トップライト窓	全日 2～3cm開放	全日 2～3cm開放	全日 2～3cm開放	8:30～18:30 2～3cm開放

の日の外部気象を示す。

図7から図11に代表日の9時、12時、15時、18時における垂直温度分布とトップライト、1階ならびに地階で測定された風速の変化を示す。これらの時刻は、オフィスの就業時間を考えて決定した。

グラフの各時刻の値は、前後5分間合計10分間の移動平均値を示している。グラフ中の高さは、0mを1階のFLにあわせ、-0.75mは階段上部、12.25mからはトップライト部分となる(図5参照)。なお、-0.75mの温度センサーは階段表層部に位置し、階段は大理石張りで熱容量が大きいため、そこからの放射の影響を受けている可能性がある。また、地階の開口部内側の温度を「地下」に、トップライトの開口部外側の温度を「外気」にあわせて示す。

また風速は、グラフの凡例の「風8時」などとしてあるもので示し、単位は[m/s]とした。「地下」の位置にあるものが、「地下の開口部」の、「0m」の位置にあるものが、「1階玄関」

表4 外部風向・風速

	9月9日	9月10日	10月2日	10月25日
9時	東北東、0.80[m/s]	北北西、0.68[m/s]	北東、1.02[m/s]	北東、0.48[m/s]
12時	東南東、3.04[m/s]	北西、1.88[m/s]	北北西、2.44[m/s]	北北西、1.96[m/s]
15時	南南東、1.60[m/s]	北西、3.76[m/s]	北北西、2.15[m/s]	南南東、1.48[m/s]
18時	西北西、0.90[m/s]	北北西、3.45[m/s]	北、1.63[m/s]	西北西、0.57[m/s]

の、「12.75m」の位置にあるものが「トップライトの開口部」の風速である。さらに、地階、トップライトと玄関における開口部の開閉状況について表3に示す。また、表4には、移動観測ステーションによる外部の風向・風速の測定結果を示す。

図7では、地下の開口部内側の温度と0mの温度は、一日を通して約3℃の差がある。1階部分から2階にかけては、緩やかに温度が上昇しているが、10.5m付近からは勾配が急になる。このため、天井から約2m下(トップライト部分を含めると約3m下)までに暖かい空気が溜まっていることが推測される。また、地下の開口部では、18時以外は、1.4m/s～1.6m/sの風速があった。

図8では、地下の開口部内側の温度と0mの温度の差は9:00では1.17℃、12:00では4.93℃なのに対し、15:00では9.5℃、18:00では10.64℃と大きくなっている。これは、図7と比較しても大きな値であるが、11:30より地下の開口部を閉じたことによ

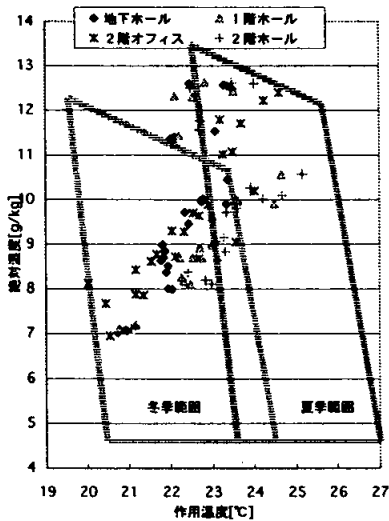


図11 朝の作用温度と絶対湿度

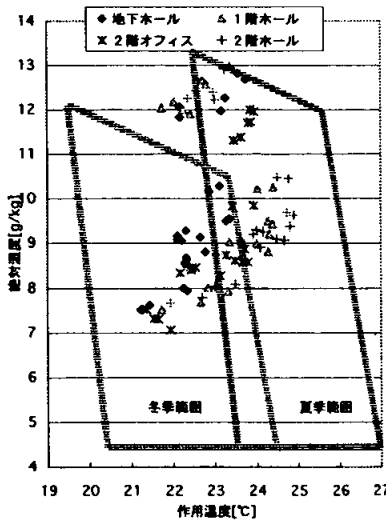


図12 昼の作用温度と絶対湿度

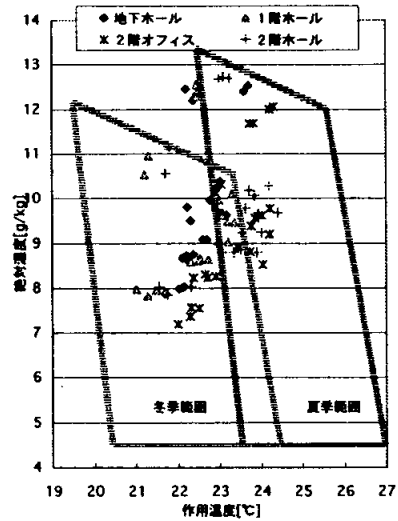


図13 夕方の作用温度と絶対湿度

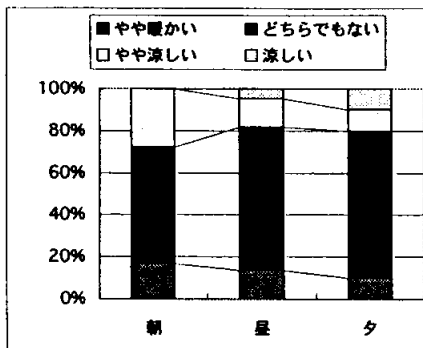


図14 温冷感の結果

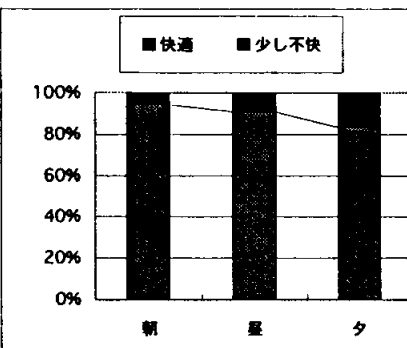


図15 快適感の結果

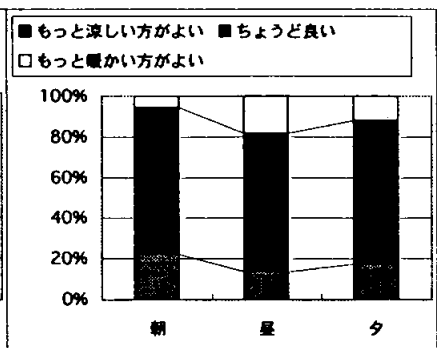


図16 過温感の結果

ると考えられる。また、1階部分から上の垂直温度分布は図7と同じような勾配を示していた。

図9では、地下の開口部内側の温度と0mの温度差は一日を通して約4℃であった。1階部分から上の垂直温度分布は、図8と比べて緩やかな勾配となっている。

図10では、9:00には地下の開口部側の温度よりも0mの温度の方が1.1℃高くなっているが、それ以降は逆に約3℃低くなっている。また、垂直温度分布は図7～図9と比べて、一段と緩やかな勾配であり、ほとんど勾配はなくなっている。しかし、トップライトの開口部では、図7～図9と同じように風速が見られたことから、1階部分から2階、さらにトップライトへの空気の流れはあったと考えられる。

3. 2 快適温度範囲とアンケート結果

図10から図13にアンケートを実施した時刻にあわせ、朝9:00、昼12:00、夕方17:00の地下ホール、1階ホール、2階オフィスならびに2階ホールにおける作用温度と絶対湿度を計算し、ASHRAE55-92による快適温度範囲³⁾にあてはめた。ここで快適温度範囲は通常のオフィス事務作業の夏、冬に適した服装、静穏気流が仮定されている⁴⁾。また、表5にアンケート実施期間中の外部の天気を示す⁴⁾。

図11～図13では、いずれも、ほとんどの場合で、快適範囲の中におさまっている。作用温度24℃、絶対湿度12.5g/kg付近に分布が見られるのは10月16日と17日の雨天であった日のものである。また、図11では、図12と図13とは異なり、作用温度の低い側にも分布が見られ、朝には低い作用温度を示すが、日中には高くなっていると言える。図12と図13の分布はほぼ同じであり、昼と夕方の作用温度はほぼ同じであると考えられる。

アンケートの結果を実施期間中をまとめて図15から図17に示す。

温冷感では朝は、「やや涼しい」が多いが、夕方になるにつれて減少し、「涼しい」が増えてくる。また、「やや暖かい」も時間とともに減っている。

快適感、夕方になるにつれて「少し不快」が増える。温冷感とあわせてみると、涼しくなったため「少し不快」になったように考えられるが、回答の中に、暑い「少し不快」という回答もあった。

適温感についてみると、外の気温が上昇している昼に「もっと暖かい方がよい」が多かった。

4. 考察

測定結果から、以下のようなことが言える。

(1) 天井付近に暖気、1階付近に冷気、地階の開口部付近に暖気の空気の層が形成されている。

中秋(10月25日)の9:00を除いて、地下の開口部内側の温度の方が0mの温度よりも高く、また、1階から2階へ向けて温度勾配が形成されている。そのため、放射冷房システムによる冷気が1階付近に滞留し、地階の開口部から川の冷気を導入し、重力換気を利用してトップライトから排気しようとする当初の試みはうまく機能していないと考えられる。このことは、さらに、9月9日と10日のうち、地下の開口部が開けられていた際に、約15m/sの風速が見られたことから推測される。すなわち、地下の開口部を開けると1階から2階、さらにトップライトへの空気の流れと、1階から地下の開口部への空気の流れが見られたと考えられる。なお、10月25日では、地下の開口部が開けられていても、1階付近に冷気の滞留がないことから、地下の開口部から1階、2階、トップライトへの空気の流れが見られたと考えられる。

(2) 執務空間の温熱環境は、概ね良好であったが、個人差も見られた。

オフィス内部の照明による局所的な影響や「もっと暖かい方がいい」と答えたものの薄着をしている例が見られた。また、滞在時間が長くなるにつれ「不快」を感じる人が増えていた。これは、熱容量が大きい建物であることに加えて、放射冷房システムは、細かく調整しての運転が難しいことによる影響と考えられる。放射冷房システムのみには頼るのではなく、執務者個人が衣服などで調整することが必要であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、放射冷房システムに自然風の導入を併用することで大空間の温熱環境を調節しようとするオフィスを対象に、建物内部の温熱環境の実態を明らかにし、快適性を評価した。

その結果、吹抜け空間の重力換気がうまく行われていなかったこと、建物内で快適に過ごすためには個人で衣類などを調節することが大切であること、がわかった。

(引用・参考文献)

- 1) 環境工学教科書研究会、環境工学教科書、朝倉社、1996年 p.161p.75
- 2) 大童秀成、酒井孝司、石原修：冷房を適用した吹抜け空間内の温熱環境実測、空調調和・衛生工学会九州支部研究報告集、第7号、pp.27～32、2000.5
- 3) ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-92: Thermal environmental conditions for human occupancy
- 4) 熊本地方気象台：熊本県地上気象観測原簿、2001.10

*1: 熊本県立大学 生活科学部
*2: 熊本県立大学 環境共生学部 講師・博士(工学)
*3: 熊本県立大学 環境共生学部 助手・修士(工学)
*4: ビーエス熊本センター

Faculty of Human Life Science, Prefectural University of Kumamoto
Senior lecturer, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.
Assistant, Prefectural University of Kumamoto, M. Eng.
PS Co., Ltd. Kumamoto