

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04464

研究課題名(和文)空調導入オフィスにおける温熱環境適応を考慮した熱的快適域に関する研究

研究課題名(英文)Adaptive Thermal Comfort Zone in Air-Conditioned Office Buildings

研究代表者

中野 淳太(Nakano, Junta)

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：30350482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：国内のタスク空調は、対流式の割合が圧倒的に高く、近年は天井吹き出し口タイプに集中していた。冷房時のアンビエント設定温度は、26～27℃が一般的であった。海外では、PCS(personal control system)がキーワードとなっており、緩やかな環境調節能力を持たせたタスクユニットが国内外で共通するトレンドであった。

被験者実験により、局所気流の暑熱環境改善効果を調査した。ランダムに提示した吹き出し条件の順にかかわらず、申告による気流強度と快適性の組み合わせから被験者を4群に分類できた。各群には皮膚温分布に共通する特徴が見られ、生理的な特徴から好まれる気流が予測できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

事務所建築のエネルギー使用量の約1/3を空調が占めているが、コロナ禍の影響により、想定されるよりも少ない人員での運用を余儀なくされている。室全体を均一な環境に保つ空調計画では、人員の増減に対応した省エネ運転が困難なため、時間的・空間的なムラを許容する空調計画が必要とされている。温熱環境適応の概念に基づき、利用者が適応しやすい状況を用意することで、アンビエント環境の緩和が可能になる。現在主流となっている対流式のタスクユニットを用い、個々の利用者が好む気流性状を提供することで、快適を獲得しやすい状況が実現可能と考えられる。皮膚温分布の特性から、好まれる気流性状のパターンを導ける可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The majority of task air conditioning systems in Japan are based on convective cooling, and ceiling diffuser type has become the recent mainstream. The ambient setpoint temperature for cooling was generally 26 to 27 degrees. Local environment control devices such as personal fans and heaters are referred to as PCS (personal control system) in other countries. Task units with moderate environmental control capability were a common trend in Japan and overseas. The effect of local airflow on the mitigation of warm environment was investigated by subject experiments. Regardless of the order of the randomly presented airflow patterns, the subjects could be categorized into four groups based on the intensity of the airflow they experienced and their comfort. A common feature of skin temperature distribution was observed in each group, indicating the possibility of predicting preferred airflow patterns based on physiological characteristics.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：熱的快適性 温熱環境適応 行動的適応 タスク・アンビエント空調 局所気流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

事務所ビルにおける運用エネルギーの約 3 割を占める空調分野の省エネルギーは、世界各国に共通する課題である。自然換気オフィスについては、ASHRAE 55 基準でも執務者の温熱環境適応の考慮による熱的快適域の拡大が認められるようになった。一方、空調分野でも執務者の環境適応の自由度を高める手法として、タスク空調が提案されている。しかし、温熱環境基準に採用されている adaptive model は冷房設備のある建物には適用できない。ISO 16596 において personalized environment に関する規格が作られようとしており、空調導入オフィスにおける環境適応の定量的評価に対するニーズは高い。

### 2. 研究の目的

日本のオフィスでは自然換気のみで運用できる期間は限定されている。省エネルギー性と快適性の両立には、個人にとっての「熱的快適域」をタスク領域で実現できるようにし、アンビエント領域では大多数の執務者にとって受け入れられる「熱的受容域」に維持することが有効と考えられる。アンビエント領域については、建築物衛生法から決まる限界がある。一方で、タスク領域は設備の手法、または非設備の手法により調節の自由度が設定可能である。オフィスにおいて、行動的適応と心理的適応を調査し、環境適応を考慮した熱的快適域を導くことを当初の目的としていた。しかし、コロナ禍によりオフィスでの実測調査が困難となったため、現在主流となっている対流式タスクユニットに着目し、利用者が快適と感じやすい気流性状を被験者実験により明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 文献およびヒアリング調査

過去 10 年分のタスク・アンビエント空調の国内および海外の研究動向について文献調査を行ない、システムの分類、設定温度、利用状況等の整理を行なった。また、タスク空調を導入している国内のオフィスを見学し、運用の実態に関するヒアリングを行った。

#### (2) 環境適応の実態調査

当初は、実際のオフィスにおける行動的適応および心理的適応の実態調査を行う予定であった。しかし、執務者が環境を自由に選択できるフリーアドレスオフィスの調査協力依頼が難航し、2020 年度のコロナ禍もあり、調査が実施できなかった。そのため、暑熱環境改善効果を高める局所気流の条件について被験者実験を行った。

#### (3) 暑熱環境改善効果の高い局所気流性状に関する被験者実験

##### 実験概要

2019 年 8 月 20 ~ 22 日、30 日の計 4 日間の午前と午後に分け、東京工芸大学風工学研究センター内のオフィス環境を模した人工気候室 2) にて被験者実験を行った。平面図を図 1 に示す。室内環境は温度 20 ~ 35 ( ± 0.5 )、湿度 40 ~ 70% ( ± 2% ) で制御可能であり、45cm 角のブラグファン 8 × 6 台により構成される気流生成装置が壁一面に設置されている。DC モータ駆動のブラグファンは、インバータで個々に回転数制御ができるようになっている。

##### 気流条件

気流生成装置から 1.8m 離れた位置にて、横方向から気流が当たるように被験者を 2 名配置した。0A チェアに座った人体を基準に、各々 12 台のファンを運転させて室温と等温になる 3 つの気流条件を設定した。各気流条件におけるファン稼働設定を図 2 に示す。

「全面風」は、全身に等速の気流があたる条件とした。椅座位頭部の位置に相当する、端から 2 列目、下から 3 段目のファン 1 台を除き、11 台のファンを同じ回転数で運転して等速の気流を発生させた。「タスク風」は、タスク空調ユニットを想定した気流条件とした。椅座位頭部の位置に相当する、端から 2 列目、下から 3 段目のファンに 14cm の丸穴のあいた板を設置し、このファン 1 台のみを運転した。穴から吹き出す気流が頭部から上半身にかけて当たるようにした。「ノズル風」は、側壁上部のノズル吹き出し口から室上部への噴流により給気を行う、ダクトレス空調を想定した条件とした。椅座位の頭上に相当する端から 2 列目、下から 4 段目のファンのみを稼働させた。ファンからの気流は直接人体には当たらず、頭上の攪拌流が間接的に当たるようにした。なお、ノズル風についてのみ、気流速度一定条件と変動風条件を設定した。

各条件の気流速度は、以下の方法にて決定した。まず、空気温度 = 平均放射温度 = 27、相対湿度 50%、着衣量 0.5 clo、代謝量 1.0 met の条件にて熱的快適域に収まるように、「全面風」の吹き出し風速条件を 0.15m/s とした。次にサーマルマネキンを用い、各気流条件の全身放熱量が等価となるように気流速度を決定した。サーマルマネキンの測定結果と各条件の気流速度については後述する。

##### 被験者

被験者は、大学生年齢の男性 8 名、女性 6 名とした。表 1 に男女の基本情報を示す。服装につ

いて、男子は半袖ワイシャツ、スラックス、靴下、女子は半袖ワイシャツ、スカート、ストッキングとし、男女共通でスリッパを着用した。各実験には2名ずつが参加した。

測定項目

各被験者について、Hardy-DuBois の7点法を用いて皮膚温および熱流を10秒間隔で測定した。また、実験前後の体重と実験中に摂取した水分量を測定し、発汗量を記録した。

各条件の気流速度や気流分布の詳細は、後述のサーマルマネキン実験で測定した。人工気候室における環境の再現性は高いと考えられるため、被験者実験中は2名の被験者の中央に設置したPMV計(京都電子AM-01)にて1分間隔でモニタリングした。

実験前に、日頃のエアコンや扇風機の使用状況について尋ねた。また、実験中は温冷感(-3~+3) 適温感(-1~+1) 快適感(-3~+3) 満足度(-3~+3) 環境の受容度(-1~0)に加え、発汗の有無(0~+3) 気流感(0~+3) 気流快適感(-3~+3) 気流変更の要望(-1~+1)ついて回答を依頼した。実験終了時には、快適と感じた順に4つの気流にランク付けを依頼した。

実験手順

実験手順を図3に示す。2名の被験者が準備を終え、人工気候室実験で30分間安静にした後に実験を開始した。被験者を気流条件に曝露し、気流開始前の0分から5分間隔で15分間、計4回の申告を1セットとした。1セット終了後は15分間気流のない状態で安静とし、これを計4セット繰り返した。気流条件の提示順は、各実験でランダムとした。

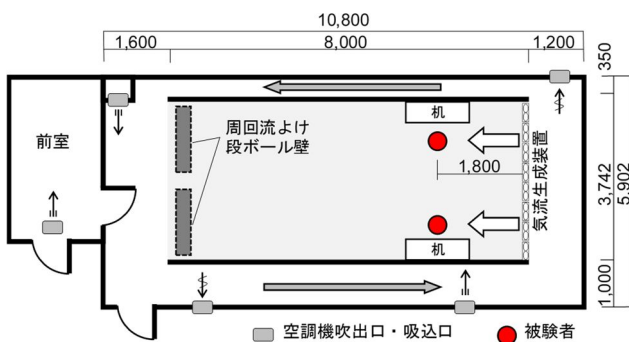


図1 人工気候室

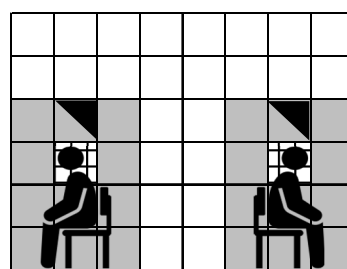


図2 各気流条件におけるファン稼働設定

表1 被験者基本情報

	平均年齢	平均身長 (cm)	平均体重 (kg)
男性	21.3 (0.4)	171.4 (3.7)	69.6 (5.7)
女性	22.0 (0.6)	156.5 (4.8)	54.5 (11.5)

( )内は標準偏差

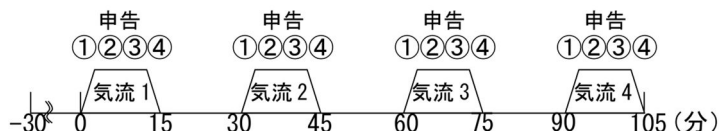


図3 実験手順

サーマルマネキン実験と吹き出し気流速度の決定

気流性状の吹き出し気流速度を決定するため、男性被験者用着衣を着させた米国MTNW社製発汗サーマルマネキン3)を被験者と同じOAチェアに座らせ、測定を行った。Dryモードで使用し、皮膚温35一定制御とした。全面風の吹き出し気流速度0.15 m/sを基準とし、全身からの放熱量が一致するように吹き出し条件を調整した。タスク風は0.35 m/s、ノズル風は0.90 m/sとなった。

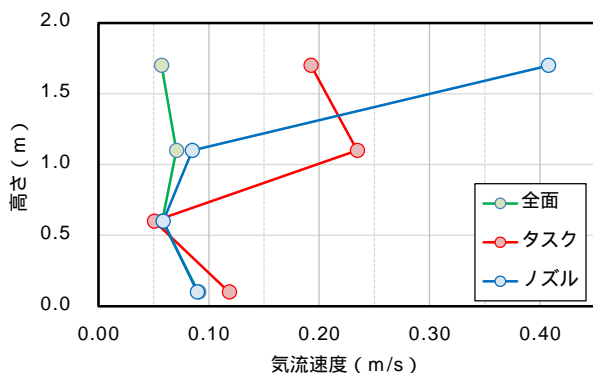


図4 各条件の高さ別気流速度分布

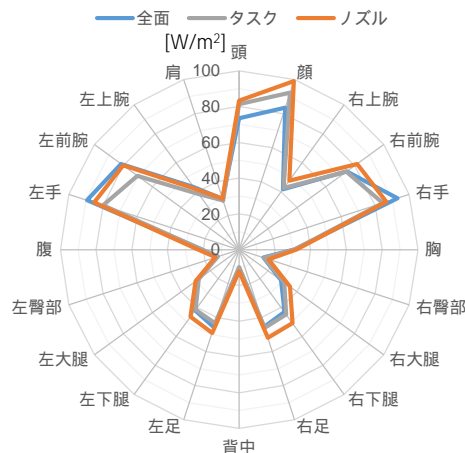


図5 各気流条件のサーマルマネキン部位別放熱量別放熱量

居住域における気流速度分布を図4に示す。いずれの高さも0.1 m/s未満であった全面風に対し、ノズル風は椅座位頭上の1.7mの気流速度が0.4m/sと高く、タスク風は1.1mより上の高さで約0.2m/sと高くなっていた。吹き出し条件設定後のサーマルマネキンの部位別放熱量を図5に示す。全身の放熱量は全面、タスク、ノズルの順に70.4、69.7、76.1 W/m<sup>2</sup>となり、概ね一致していたが、部位別に見ると特に上半身で気流条件による差が見られた。以上の結果を踏まえて決定した各気流の吹き出し条件を表2に示す。ノズル変動風は、周期40秒で0.5~1.3m/sをsin波で変動させた。また、空気温度は27℃、相対湿度は50%設定とした。被験者実験中の人工気候室内温湿度の平均値を表3に示す。

表2 吹き出し気流条件

	全面風	タスク風	ノズル風(一定)	ノズル風(変動)
吹出風速(m/s)	0.15	0.35	0.9	0.5~1.3(sin波)

表3 温湿度条件

		8/20	8/21	8/22		8/30	
		PM	AM	AM	PM	AM	PM
空気温度(℃)	Avg	26.8	26.8	26.9	26.9	26.8	26.8
	SD	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
相対湿度(%)	Avg	51	51	51	51	51	51
	SD	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3

#### 4. 研究成果

##### (1) 文献およびヒアリング調査

国内で開発されているタスク空調は、天井吹出しタイプ、床吹出しタイプ、什器タイプに分類できる。対流式の割合が圧倒的に高く、放射式は2例のみであった。冷房時のアンビエント域の設定温度は、被験者実験では28~30℃の条件が多く見られたものの、実建物では26~27℃が一般的であった。日本には建築物衛生法があり、空気温度を28℃以下に保つ必要がある。アンビエント域も含めて一定の水準に保つ必要がある、高い環境調節能力を持たせたタスクユニットが室内環境形成の主となっている事例は見られなかった。近年はアンビエント空調方式として、静穏な気流で均一な温熱環境が形成される放射空調を採用し、個人の補助的な環境調節手段として対流式のタスク空調が選択される事例が多く見られた。アンビエント域環境の大胆な緩和は、建築物衛生法管理基準の見直しがない限り難しい。一方で、タスクユニットを主とした空調計画のニーズや実現性については、別途調査が必要である。

天井吹出しタイプおよび什器タイプのタスク・アンビエント空調の実物件5件を視察し、設計者および管理者へのヒアリングを行なった。タスクユニットの開発にあたり、人工気候室における被験者実験では温冷感や満足感の向上が確認されたものが導入されている。しかし、実際の建物に導入された後の調査では想定された効果が得られないことがあるとの意見が聞かれた。タスクユニットの操作の煩雑さや期待したほどの効果が得られないことに対する不満があるとのことであった。

海外の研究動向としては、PCS(personal control system)がキーワードとなっている。大がかりなタスクユニットではなく、個人用のファンや電気ストーブと言った家電製品に近いものを用いた環境調節の研究事例が多く見られた。

##### (2) 暑熱環境改善効果の高い局所気流性状に関する被験者実験

###### 申告から見た気流の好みの傾向

皮膚温測定に欠測のあった2名を除く12名の被験者について、申告結果から気流の好みの分析を行った。実験中の全ての申告結果を対象とし、感じている気流の強さとその気流に対する快適感の相関をプロットした結果を図6に示す。円の大きさは、申告数を表している。

気流の好みは、体感した気流条件の順番に関係なく、大きく4群に分類が可能であった。強い気流を好む群の被験者6人は、強い気流を快適、弱い気流を不快と感じており、正比例の分布となっていた。強すぎず弱すぎない気流を好む群の女性3人は、気流がある場合もない場合も快適と感じており、縦長の分布になっていた。また、弱い気流を好む群の女性1人は、気流があると不快と感じる負比例となっていた。どの条件でも気流の感じ方がほぼ0であった2人は、不明群とした。男性の6人中4人が強い気流を好み、女性は被験者によって好みにばらつきが見られた。

###### 各群の平均皮膚温

気流の好みの4群について、実験開始時から終了時までの平均皮膚温を図7に示す。被験者により気流を体感した順は異なっていたが、各群で皮膚温に共通する傾向が見られた。強い気流群はほぼ34℃で一定であり、不明群と並んで他の2群よりも高かった。強すぎず弱すぎない気流を好む群は平均皮膚温が最も低く、時間が経つにつれ、減少傾向にあった。弱い気流を好む群は約33℃で一定であった。

###### 部位別皮膚温

気流の好み群の部位別皮膚温を図8に示す。強い気流群は下腿を除きほぼすべての部位が34℃を超えており、腹は常に上昇し続けていた。一方、弱い気流群は部位間の皮膚温差が最も大きく、最大約3℃であった。強すぎず弱すぎない気流群はその間に位置付けられ、一部の部位で33℃程

度となり、強い気流群よりは低かった。不明群は強い気流群と似た傾向にあったものの、下腿も含めて部位間の温度差が最も小さかった。

まとめ

体感した気流条件の順序に関係なく、気流の感じ方とその時の快適感によって、気流の好みを4群に分けることができた。各群の被験者の皮膚温には共通した特徴が見られた。被験者の部位別皮膚温の傾向が気流の好みに影響していたと考えられる。

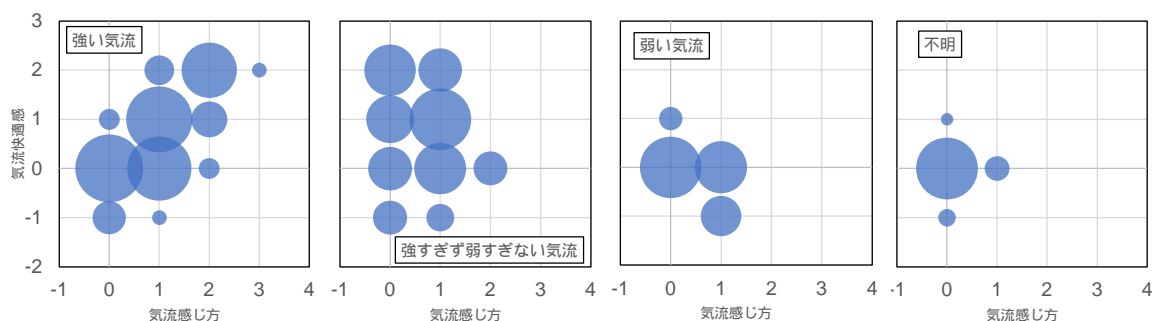


図6 申告から分類した好みの気流群

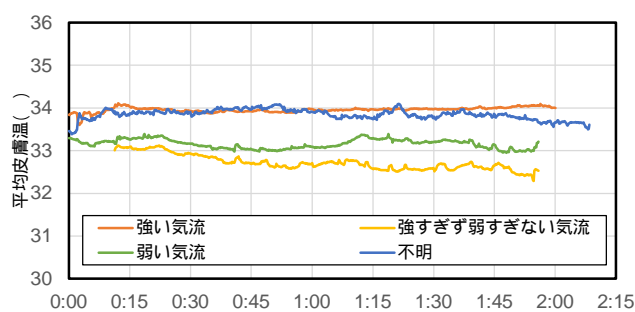


図7 気流の好み群の平均皮膚温

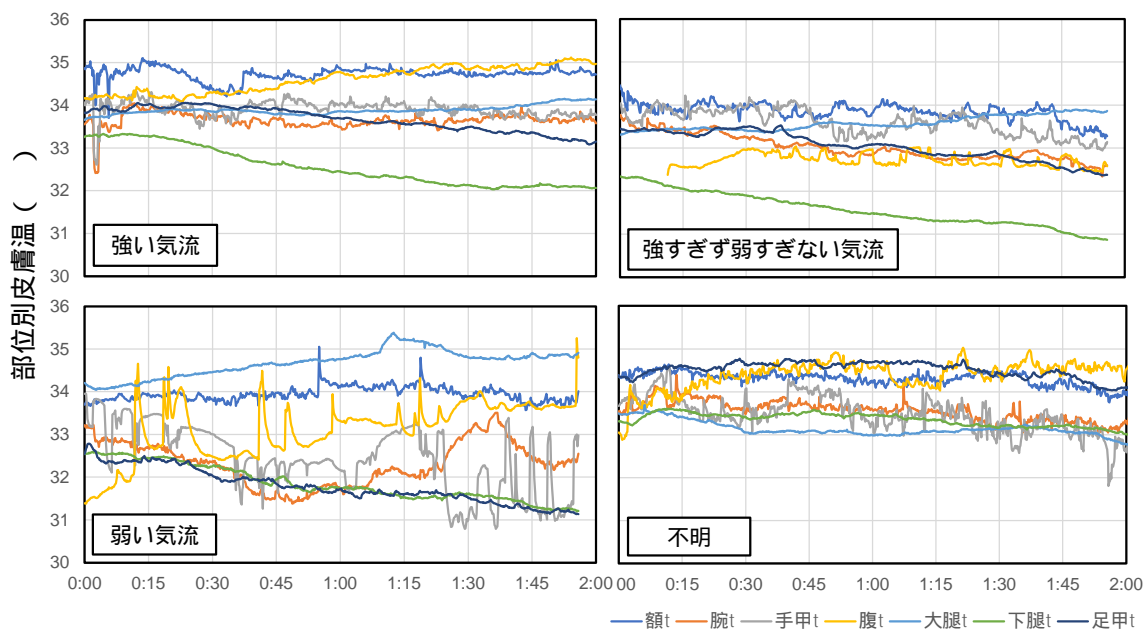


図8 気流の好み群の部位別皮膚温

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野淳太、山本 佳嗣
2. 発表標題 吹き出し性状の異なる局所気流が熱的快適性に与える影響に関する研究（第1報）熱的快適域における気流
3. 学会等名 空調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------