

Study on Statistical Analysis and Evaluation of Task Air-Conditioning System Controlled by Occupant's Thermal Sensation.

[illegible]

続いて図-2 に事例件数の動向、図-3 に具体的な制御入力値、制御デバイス等の活用件数を示す。2010 年頃からの情報技術の発展に伴い事例件数も増加していることが確認できる。物理量の制御入力値としては、室内環境センサによる空気温度、相対湿度がやはり活用件数として多く、そのうち半数はPMV 制御としても活用されていることが分かる。また、赤外線やCO2 など制御入力値として活用されており、これらは人検知として利用され、対象エリアの給気や換気の制御基準となっていると考えられる。生理量の制御入力値としては、ウェアラブルセンサやバイタルセンサ等による皮膚温度や活動量の活用件数が多いことが確認できる。また、最近では心拍数、脳波、脈拍などを活用した事例も見受けられた。心理量の制御入力値としては、直接手動操作によるパーソナル空調以外にスマートフォンやPC による温冷感、要求風量等の活用件数が多いことが分かる。活用件数の多い温度と気流に関しては執務者自身の感覚(温冷感・気流感)を制御入力値とする事例と実際に設定したい具体的な温度や風量・風向を制御入力値とする事例のどちらかに分けられた。

1.4 制御デバイス・技術とアクセシビリティ

本調査では各事例のアクセシビリティについても主観判断ではあるが評価した(図-4)。制御デバイス・技術に関しては温度、湿度等の室内環境センサの活用件数が多いことがわかる。これらは全て執務者が関与せず制御されておりアクセシビリティとしては自動と判断できる。アクセシビリティが高いものとしてはパーソナル空調の中でも制御が容易な直接手動制御によるものが殆どである。対してアクセシビリティが低いものとしてはPC 操作やスマートフォンなどによる制御である。制御するためには専用のブラウザ等へアクセスしなければならず、瞬時に直接操作ができるパーソナル空調と比べアクセシビリティは低いと考えられる。

2. 心理量を制御入力値とするタスク空調システムの統計的分析評価

2.1 複数人の心理量により制御するタスク空調

本分析は東京都中央区の事務所ビルにおいて 2021 年~2022 年のそれぞれ夏期数週間で 432 名の執務者を対象に行われた(表-2)。本分析対象で導入している温冷感を制御入力値とする空調システム(図-5)は、室内における執務者個々の「暑い」「寒い」といった温冷感を申告用デバイスによりタスク空調の制御入力値へと反映させるものである。このようなタスク空調システムはこれまでも検証事例^{2,3)}が見られるが実在オフィスにおける大規模な検証事例は殆ど見受けられない。なお、空調機の稼働や物理環境のデータは中央監視装置(BAS)より取得している。

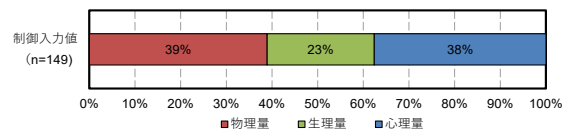


図-1 制御入力値別の事例件数割合

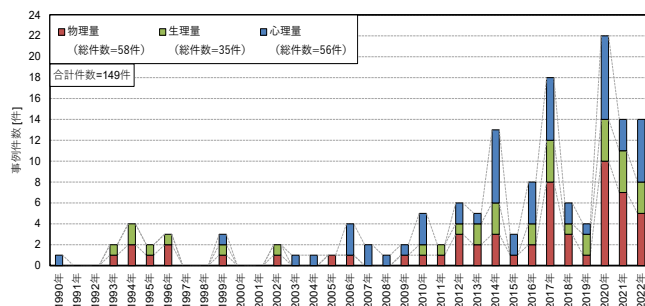


図-2 事例件数の動向

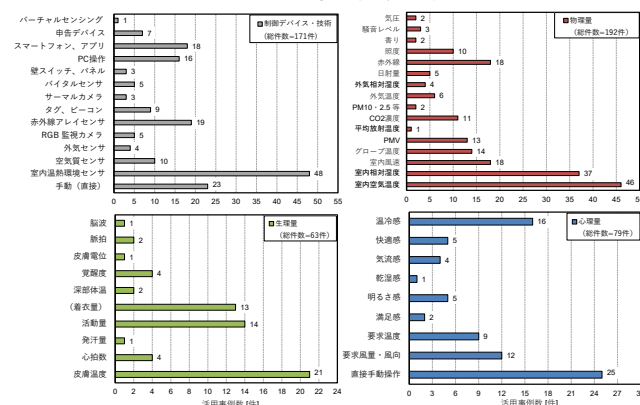


図-3 具体的な制御入力値、制御デバイス等の活用件数

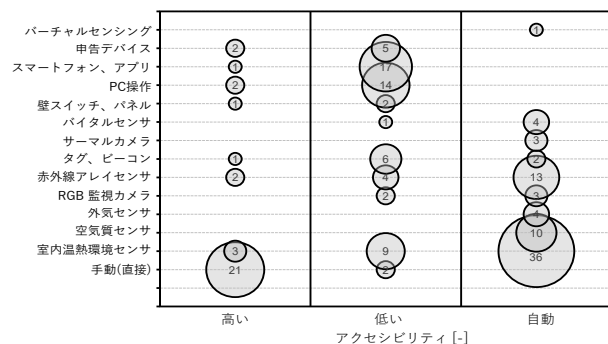


図-4 制御デバイス・技術とアクセシビリティ

図-4 制御デバイス・技術とアクセシビリティ

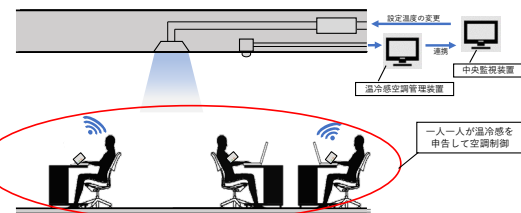


図-5 タスク空調システム(複数人対象)

表-2 分析対象の概要

調査期間		2021年~2022年の夏期数週間			
調査建物	所在地	東京都 中央区	20代	26	20
	竣工	2019年12月	30代	59	25
	建物用途	事務所	40代	46	18
	階数	地上9階, PH1階, 地下なし	50代	105	18
	空調方式	冷却HPパッケージビル用マルチ方式	60代	103	4
			70代	6	0
			合計	347	85
			合計		

2.2 個人の心理量により制御するタスク空調

本分析は香川県高松市の事務所ビルにおいて 2019 年～2021 年のそれぞれ夏期数週間で、パーソナル空調利用者のみ(計 19 名)を対象に行った(表-3)。本分析対象のタスク空調システム(図-6)はパーソナル空調の操作(心理量)内容がクラウドで管理され、アンビエント空調の制御にも活用されている。また、分析対象のパーソナル空調は送風および加熱モードを持ち、それぞれ 5 段階のレベルを自由に手で操作が可能である。なお、本分析ではアンビエント空調の運転状況は対象外としている。

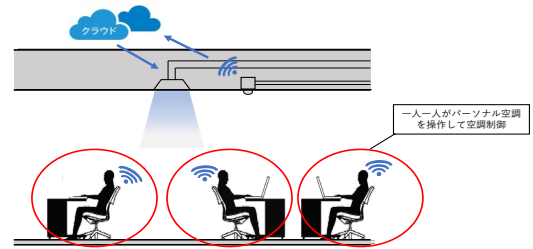


図-6 タスク空調システム(個人対象)

表-3 分析対象の概要

調査期間	2019年～2021年の夏期数週間	性別		
		男性	女性	合計
調査建物	所在地	香川県 高松市		
	竣工	2019年3月		
	建物用途	事務所		
	階数	地上3階		
	空調方式	空気熱源式パッケージ型空調システム(主)		
		20代	1	1
		30代	4	1
		40代	2	3
		50代	7	0
		60代	0	0
		70代	0	0
		合計	14	5
				19

3. 決定木分析による申告および操作の傾向把握

本研究では統計学的手法の一つである決定木分析を用いることで、申告に係る影響因子の探索⁴⁾を行った。決定木分析とは、目的変数に対する説明変数を何らかの基準をもとに分岐させ、判別・予測の樹木状モデルを構築する手法であり、閾値まで探索することが可能である。

3.1 申告デバイスの使用要因

申告デバイスによる非受容申告(暑い・寒い)の発生要因について決定木分析を行った(図-7)。暑がり体質の人は時間、温度にあまり影響されず暑い申告をしている割合が多いことが示唆される。寒がり、普通体質の執務者でも外気温が高く、昼休憩後の 13 時以降で暑い申告の割合が多いことが確認できる。室温 26℃以下の環境下では寒がり、普通体質の人の寒い申告が比較的多く見られるが、出勤時間帯の 9 時前では暑い申告も一定数存在することがわかる。

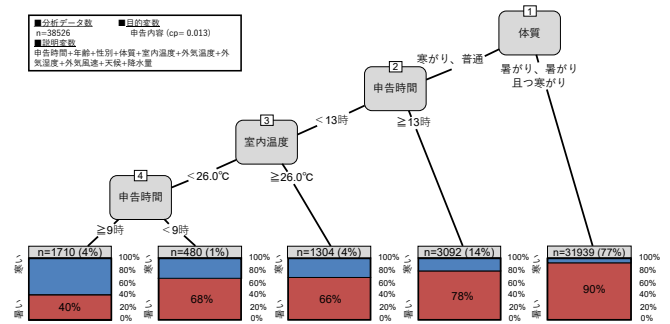


図-7 非受容申告に対する決定木分析結果

3.2 空調操作の操作要因

着席時における空調操作の要因について決定木分析を行った(図-8)。着席時の操作内容については体質によって使用レベルが異なり、個人の嗜好に合わせた使い方がされている。また、暑がり、汗かき体質の執務者では 27.4℃以上でレベル 5 の送風モードを使用する割合が多いことが確認できる。

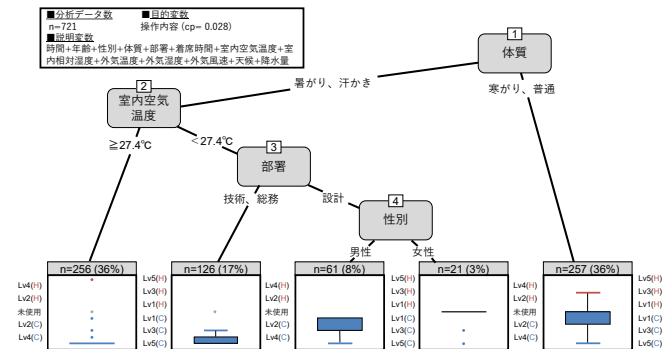


図-8 空調操作に対する決定木分析結果

4. 検証的因子分析による温熱感度に関する評価

前述の決定木分析より体質が制御入力値となる心理量に影響を与えていることが示唆された。しかし体質にも個々人の感度により感じ方が異なるという考えから、「温熱感度」に関する評価を検証的因子分析により行った。検証的因子分析(図-9)とは実験や観測によって得られた「観測変数」の背後に存在する、ある程度確実性のある「共通因子」の影響度合いを検証する因子分析のことであり、観測変数 u_i に対しては式(1)に表される。なお分析は複数人の制御事例(2.1)で実施したアンケート結果(計 726 件)を対象とした。

$$u_i = a_{11}f_1 + a_{12}f_2 \dots a_{1n}f_n + e_i \quad \dots (1)$$

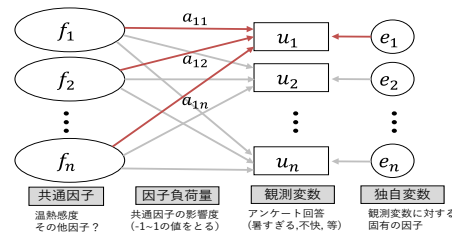


図-9 検証的因子分析の概要

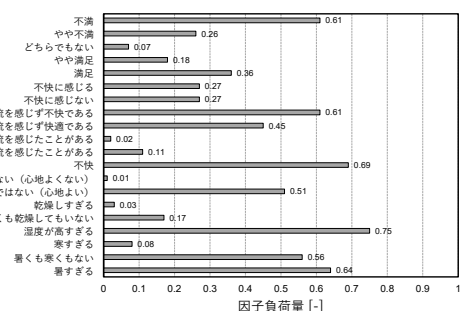


図-10 抽出した各項目の因子負荷量

4.1 温熱感度と体質の対応関係

検証的因子分析により抽出した各回答項目の因子負荷量(温熱感度の度合い)を示す(図-10)。なお、因子負荷量は一般的に0.60以上で高く、0.30未満で低いとされる。抽出結果から湿度が高すぎるや不快、不満などで因子負荷量が多いことが窺える。この分析結果から各アンケート回答項目の因子負荷量を執務者が回答した結果と対応させ、平均値化した値を各執務者の温熱感度と捉えた。温熱感度の発生頻度および温熱感度と体質の関係を図-11、図-12に示す。本調査対象における温熱感度としては平均で0.35程と因子負荷量の一般基準で考えるとやや低い傾向にあると推測されるが、一定数は温熱感度の高い(0.6以上)執務者も存在することが確認できる。また体質との関係より、本研究でこれまで扱ってきた体質は温熱感度が1.0のみの状態(暑がりなら暑い人、寒がりなら寒い人など)を評価対象として捉えてきたが、実際は暑がり、寒がりでも温熱感度により個々人で捉え方が異なることがわかる。全体的に温熱感度がやや低い傾向にあり、体質申告の曖昧さも窺える。しかし、温熱感度が比較的高い0.6付近に暑がりの人数が多いことが確認できる。この理由には発汗による不快感が温熱感度へ大きく影響していると推測している。

4.2 SET*と熱的感覚量、生理的状态の関係による考察

前述では発汗が温熱感度へ影響していることを推測した。ここではD.A.McIntyreにより提唱されたSET*と熱的感覚量、生理学的状態の関係⁵⁾(表-4)から考察した内容(図-12)を述べる。提示したグラフから寒い側、暑い側の双方に対して、生理学的特徴が見られる。寒い側に関しては着衣量により温冷感・快適感・生理的状态は中立側への調節が可能であるが、暑い側に関しては着衣量にも限度があり、尚且つ発汗による湿りや臭いなどにより不快感は増すと考えられる。このような考えから、多少の発汗量でも不快感には大きく影響するため、暑がりの一部に温熱感度の高い人が見られたと考える。また、これは先述した湿度が高いという項目に対して因子負荷量が一番大きいこと(図-10)からも理由付けられる。

5. まとめ

本報では制御入力値を活用したタスク空調システム的事例調査および心理量を制御入力値とするタスク空調システムに関しての統計的分析結果を報告した。以下に得られた知見・考察を述べる。

- 1) タスク空調システム的事例調査では、合計102件が確認され、それらの制御入力値は物理量(39%)、生理量(23%)、心理量(38%)に大別された。
- 2) 決定木分析では執務者の属性やその場の温熱環境などにより様々な申告・操作傾向が見られ、その中でも体質による影響が最上位の因子として挙げられた。

- 3) 検証的因子分析では温熱的な感度における体質の捉え方の違いや、湿度に対する因子負荷量が最大値(0.75)を取っていることから発汗による暑がり体質の感度が高いことが推測された。

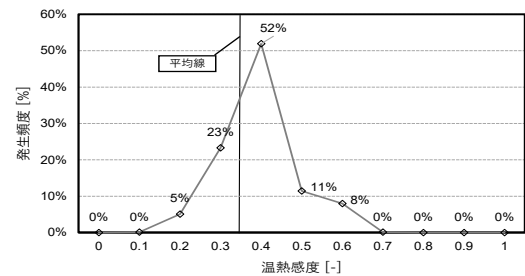


図-11 温熱感度の発生頻度

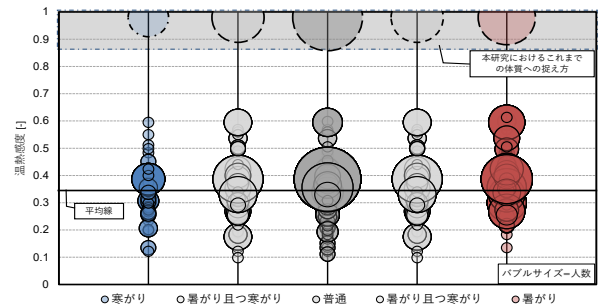


図-11 温熱感度と体質の関係

表-4 SET*と熱的感覚量、生理的状态の関係

順序尺度	SET* [°C]	温冷感	快適感	生理的状态
4	37.5<	非常に暑い	非常に不快	体温調節ができない
3	34.5~37.5	暑い	許容できない	おびただしい発汗
2	30.0~34.5	暖かい	不快	発汗
1	25.6~30.0	やや暖かい	やや不快	軽い発汗、皮膚血管拡張
0	22.2~25.6	快適	許容できる	中立
-1	17.5~22.2	やや涼しい	やや不快	皮膚血管収縮
-2	14.5~17.5	涼しい	不快	軽い体冷却
-3	10.0~14.5	寒い	非常に不快	ふるえ

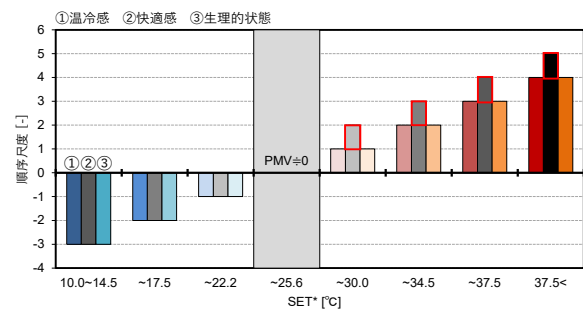


図-12 SET*と熱的感覚量、生理的状态の関係における考察

参考文献

- 1) 青木ら: 温熱環境に起因する生体情報の変化を用いた感情推定手法の開発 -簡易脳波計による執務者の感情推定の試行-, 安藤ハザマ研究年報 Vol.9 2021
- 2) 立岩ら: 次世代空調システム実現に向けた「8つのトライ」 -クラウドを利用した温冷感申告型空調システムの検討-, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2016.9
- 3) 伊香賀ら: 人を中心とした空調制御の研究 実オフィスにおける温冷感申告型空調の導入効果検証, azbil Technical Review 2021 年
- 4) 金明哲 (2017) 『Rによるデータサイエンス (第2版)』 森北出版株式会社
- 5) D. A. McIntyre: Indoor Climate, London, Applied Science Publishers, 1980