

夏季の室内環境の違いが睡眠に与える影響について

熊埜御堂 令
Rei Kumanomido

概 要

近年、健康の観点から睡眠に対する関心が高まっている。睡眠に対しては、環境だけでなく生活スタイルや体調など様々な要因が影響を及ぼすが、特に夏季の睡眠については、居室の室内環境により阻害される場合が多い。そのため、睡眠の質を高めるためには、就寝中の人の状態に合わせた空調コントロールが重要だと考えられる。本報では、弊社のダクト式全館空調システムに搭載した「睡眠中の深部体温の変化に合わせた室温コントロール」が睡眠に与える影響について報告する。本システムは、入眠・起床時間に合わせて1時間単位で空調の温度設定を変化させる。本システムを導入することで、一般的なタイマー切運転と比較して中途覚醒の抑制や深睡眠時間の増加が期待できる。その効果を確認するため、被験者実験を実施し、一般的な空調制御であるタイマー切運転と本制御のそれぞれの環境下で睡眠状態を評価した。

実験の結果、生理量は、タイマー切運転と本制御の間で有意差は見られなかったが、睡眠効率と中途覚醒時間については相対湿度および睡眠後半の不快指数、深睡眠時間については睡眠後半の絶対湿度との間に相関関係が見られた。心理量は、タイマー切運転と比較して、本制御の方が起床時眠気と疲労回復において有意に高い得点を示した。

The Effect of Different Indoor Environments in Summer on Sleep

Abstract

In recent years, interest in sleep has increased from the viewpoint of health. Sleep is affected not only by the environment but also by various factors such as lifestyle and physical condition. Especially in the summer, sleep is often disturbed by the indoor environment of the room. Therefore, in order to improve the quality of sleep, it is considered important to control the air-conditioning system according to the state of the sleeping person. In this report, we examine the effect on sleep of "room temperature control according to changes in core body temperature during sleep" installed in our company's ducted central air-conditioning system. This system changes the temperature setting of the air conditioner every hour according to the time of falling asleep and waking up. By introducing this system, it can be expected to suppress awakening and increase deep sleep time compared to general timer operation. We conducted an experiment on subjects and evaluated the sleeping state under each environment of this control and timer operation, which is a general air-conditioning control.

As a result of the experiment, there was no significant difference in the physiological quantity between the timer-off operation and this control. There was a correlation between relative humidity and the discomfort index in the latter half of sleep for sleep efficiency and awakening time, and between absolute humidity in the latter half of sleep for deep sleep time. As for the psychological quantity, compared to the timer-off operation, this control showed significantly higher scores with regard to drowsiness upon awakening and recovery from fatigue.

キーワード：睡眠、温熱環境、実測調査、全館空調

1. はじめに

近年、健康の観点から睡眠に対する関心が高まっている。特に夏季の睡眠については、居室の室内環境により阻害される場合が多く、夜間の蒸暑さなどが問題となっている¹⁾。そこで、睡眠の質の見える化や睡眠状態に合わせて空調機器を制御する提案が増加している²⁾。しかし、建物の断熱性能などの影響により、空調の設定値と実際の室内環境との間に乖離がある場合が多く、空調制御による睡眠に与える影響を十分に評価はできていない。

本報では、睡眠状態に合わせた空調制御が睡眠に与える影響を明らかにするために、被験者実験を実施し、一般的な空調制御であるタイマー切運転と連続運転のそれぞれの環境下で睡眠状態を評価した。

2. 評価方法

2.1 空調制御方法の概要

夏季就寝時のルームエアコンの使い方として、入床してから3時間後に運転を停止するタイマー切運転が一般的だとされている³⁾⁴⁾。タイマー切運転の場合、運転停止後の室温上昇に伴い中途覚醒の増加など睡眠に支障をきたす場合がある。

本報で検証する睡眠状態に合わせた空調制御方法の概要を図1に示す。人の深部体温は睡眠初期段階に大きく低下し、起床に合わせて徐々に上昇する⁵⁾。その変化に合わせて、空調の設定温度を入眠時刻から徐々に下げることを入眠を促進し、起床時刻に合わせて徐々に上げていくことで覚醒を促進させる⁶⁾。

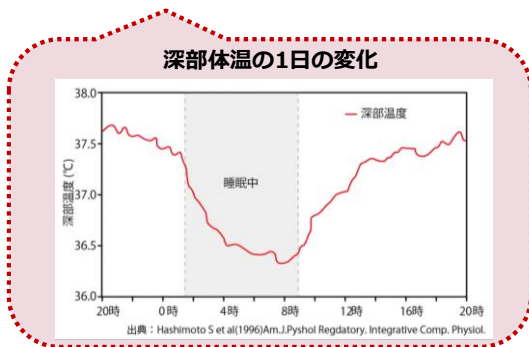
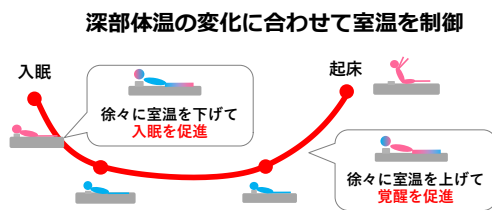


図1 空調制御方法の概要

2.2 睡眠の評価方法

睡眠の質の評価ポイントを表1に示す。睡眠の質は、実際の睡眠時間の割合である睡眠効率(寢床時間から実際に眠っていた時間の割合)だけでなく、深睡眠時間(深い眠りの時間)なども重要である⁷⁾。

睡眠状態の測定器を写真1に示す。測定器はSilmee Bar type Lite (TDK製)⁸⁾を用いた。解析アルゴリズムの概要を図2に示す。心電位、脈波、皮膚温、加速度を測定し、心拍間隔、脈波感覚、体動量、呼吸間隔、姿勢、自律神経バランス、睡眠ステージ(4段階)、睡眠時間、睡眠効率、寝つき、深睡眠時間、中途覚醒回数、中途覚醒時間、体動頻度を出力する。また、このアルゴリズムは、一般的な医療機器での判定結果と74%一致する。

表1 睡眠の質の評価ポイント

項目	説明
睡眠時間	眠ってから起きるまでの時間
睡眠効率	実際に眠っている時間の割合
寝つき	布団に入ってから眠るまでの時間
深睡眠時間	深い睡眠と判定された時間
中途覚醒時間	睡眠時間中に覚醒した時間
体動頻度	睡眠時間中の体動量の平均

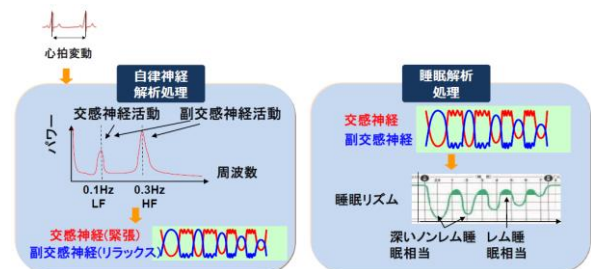


図2 解析アルゴリズムの概要

2.3 測定条件

実験場所は、奈良県に所在する大和ハウス工業総合技術研究所内宿泊施設とした。宿泊施設の各居室は、前室と寝室の2部屋構成であり、前室は就寝前の滞在部屋として、寝室は就寝のみ行う部屋として使用した。測定は、2020年7月下旬から8月上旬に行った。被験者は、睡眠に異常がない健康な30代男女8名(男性6名、女性2名)とした。

空調および照明の試験条件を表2に示す。前室の空調の設定温度は各被験者が快適と感じる温度を基に設定し、照明は低照度低色温度(150 lx, 3500 K)と高照度高色温度(700 lx, 6000 K)の2パターンとした。寝室の空調は入床してから3時間後に運転を停止するタイマー切運転^{3),4)}(Case1)と表3に示す通り就寝後1時間毎に設定温度を変更する連続運転(Case2)の2パターンとし、照明は就寝中常時消灯とした。

図3に実験スケジュールを示す。被験者には、通常通りの生活を送らせ、測定当日は就寝1時間前に前室に入室させた。

図4に宿泊施設居室の平面図と物理環境測定点、写真2に宿泊施設内観、表4に物理環境、生理量、心理量の測定項目を示す。環境測定点は、前室は1点、寝室は室中央とベッド付近の2点とした。寝室の温湿度は床面から1.1mの高さ、風速は枕元と空調機吹出付近で1分間隔の連続測定を行った。前室の照度と色温度は机上面を測定した。生理量は、前述のSilme Bar type Lite (TDK製)により測定した。心理量は、OSA睡眠調査票MA版⁹⁾を用いて主観評価を行った。

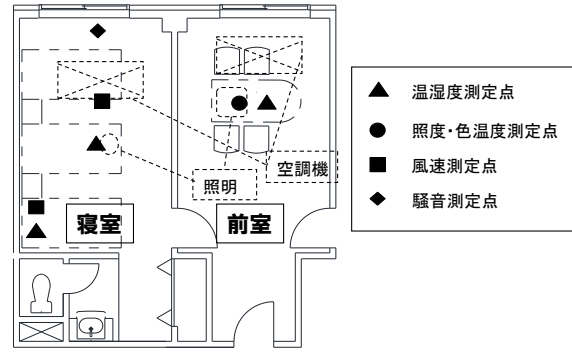


図4 宿泊施設居室の平面図と物理環境測定点



写真2 宿泊施設内観

表2 試験条件

試験条件		Case1	Case2
前室	空調 設定温度	被験者の申告温度(24~28°C)	
	照明	任意	
寝室	空調 制御	タイマー切運転 就寝後3時間で運転停止	連続運転 (表3参照)
	照明	消灯	

表3 連続運転時の設定温度

状態	入眠		就寝							起床	
	時刻	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00		7:00
設定温度からの変化(°C)	0	0	-1	-2	-2	-2	-1	0	+1	0	

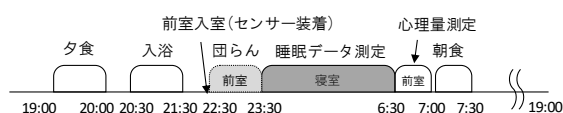


図3 実験スケジュール

表4 測定項目

	測定項目	測定機器
物理環境	温度/相対湿度	おんどり (TR-72S : T&D製)
	風速	クリモマスター風速計 (Model6543 : カノマックス製)
	照度・色温度	色彩照度計 (CL-200 : コニカミノルタ製)
	騒音	騒音計 (NA-28 : リオン製)
生理量	睡眠効率	Silme Bar Type Lite (TK010HM00 : TDK製)
	入眠潜時	
	中途覚醒時間・回数	
	体動強度	
心理量	深睡眠時間	OSA睡眠調査票MA版
	起床時眠気	
	入眠と睡眠維持	
	夢み	
	疲労回復	
	睡眠時間	

3. 測定結果

3.1 物理環境

風速, 騒音, 光環境については睡眠への影響が微小であったため, 温熱環境に着目し検証結果を分析する。

表5に寝室内物理環境の測定結果, 図5にCase1の代表日の寝室の温湿度推移, 図6にCase2代表日の寝室の温湿度推移を示す。Case1とCase2を比較して睡眠前半(就寝から3時間後まで)は同等の環境となっているが, 睡眠後半(就寝3時間後から起床まで)は平均室温が2.2℃, 平均絶対湿度が1.7g/kg, 平均不快指数が2.9それぞれCase1が高くなっている。寝室の温湿度推移については, Case1では, 就寝から3時間後に運転停止し, 徐々に室温が上昇した後, 起床時には29℃まで上昇している。Case2の連続運転時には, 就寝後3時間で25℃まで低下した後, 起床までに就寝開始時同等の室温まで上昇している。

表5 寝室内物理環境の測定結果

		Case1	Case2	差分
睡眠前半	平均室温(℃)	26.3±1.2	25.6±1.4	0.7
	平均湿度(%)	64.1±3.4	61.5±3.1	2.6
	平均絶対湿度(g/kg)	13.9±1.3	12.7±1.4	1.2
	平均不快指数(-)	74.9±1.8	73.8±2.1	1.1
睡眠後半	平均室温(℃)	28.3±1.0	26.1±1.4	2.2
	平均湿度(%)	67.0±4.5	70.2±2.1	-3.2
	平均絶対湿度(g/kg)	16.4±0.9	14.7±1.2	1.7
	平均不快指数(-)	78.4±1.4	75.5±2.0	2.9

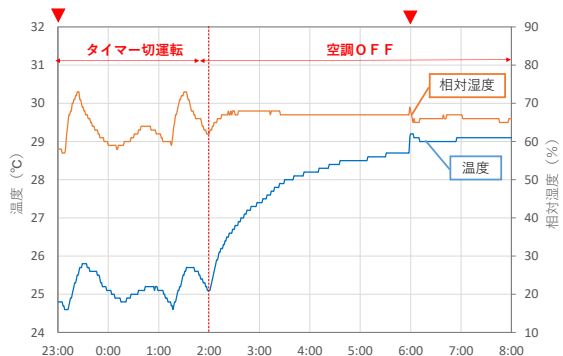


図5 代表日の寝室の温度推移の例 (Case1)

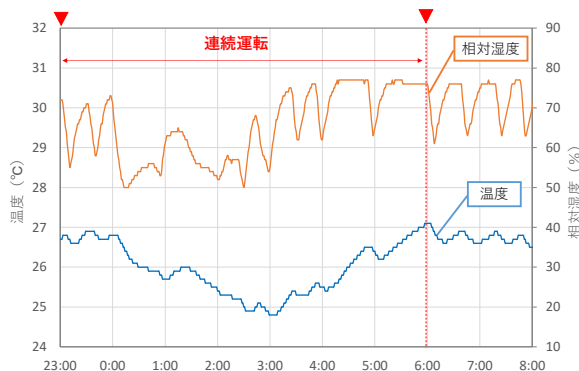


図6 代表日の寝室の温度推移の例 (Case2)

3.2 生理量

図7に生理量の平均値の測定結果, 図8~13に各項目の個人別の測定結果を示す。

生理量の平均値については, 生理量は個人差が大きいため, 各被験者の平均値との差で評価した。各生理量ともに条件間で有意差は見られなかったが, Case2において, 中途覚醒時間が減り, 睡眠効率および深睡眠時間が向上する傾向が見られた。個人別の測定結果については, 各項目において, 個人間で傾向の違いや測定値のばらつきがみられたが, 性別の違いによる傾向の差などは見られなかった。なお, 被験者No.5 (sub5) のCase2の条件において, 計測器の故障によりデータが欠損している。

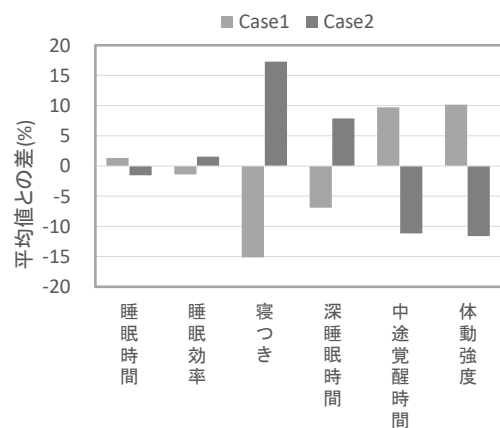


図7 生理量の測定結果 (平均値)

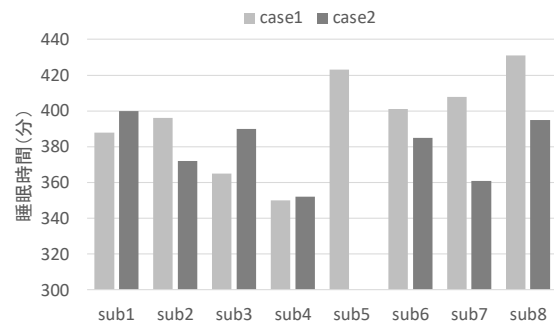


図8 睡眠時間の測定結果 (個人別)

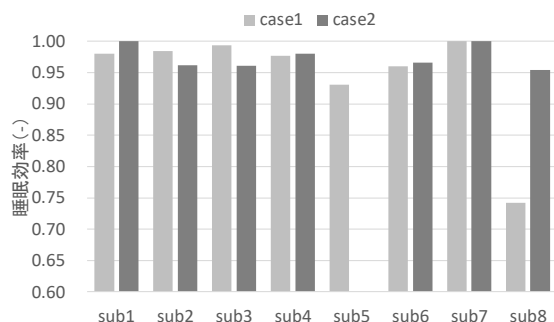


図9 睡眠効率の測定結果 (個人別)

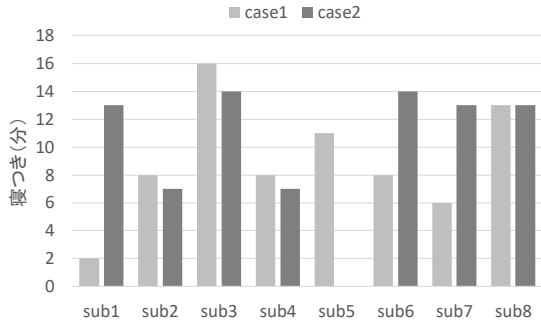


図 10 寝つきの測定結果 (個人別)

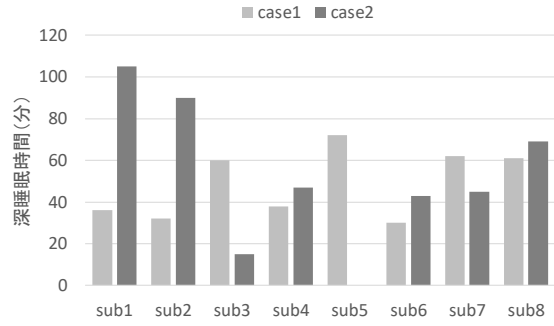


図 11 深睡眠時間の測定結果 (個人別)

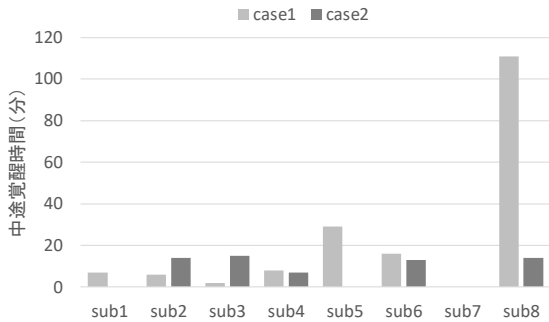


図 12 中途覚醒時間の測定結果 (個人別)

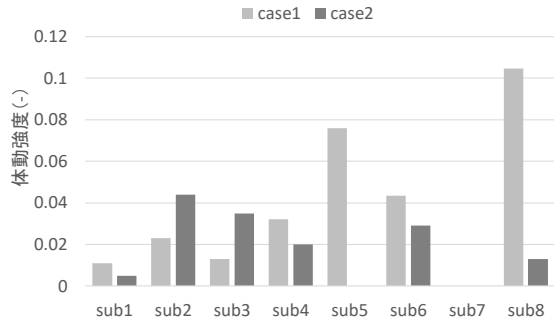


図 13 体動強度の測定結果 (個人別)

表 6 に物理環境と生理量の相関関係を示す。相関関係は、ピアソンの相関係数により評価した。

物理量と生理量の相関関係は、睡眠効率、睡眠後半の不快指数との間に正の相関関係がみられた。深睡眠時間については、睡眠後半の絶対湿度との間に負の相関関係が見られた。中途覚醒時間については、相対湿度との間に負の相関関係が見られ、特に睡眠後半の相対湿度との間に強い相関関係が見られた。

表 6 物理環境と生理量の相関関係 (ピアソンの相関係数)

生理量	睡眠前半 (就寝から3時間後まで)				睡眠後半 (就寝3時間後から起床まで)			
	温度	相対湿度	絶対湿度	不快指数	温度	相対湿度	絶対湿度	不快指数
睡眠効率		.487*				.459*		.440*
入眠潜時								
深睡眠時間								-.474*
中途覚醒時間		-.465*				-.535**		

*P<0.1, **P<0.05

3.3 心理量

図 14 に心理量の平均値の測定結果、図 15~19 に各項目の個人別の測定結果を示す。

心理量の平均値については、起床時眠気において、Case1 と比較して Case2 のほうが有意に高い得点を示した(有意水準 P<0.1)。また、疲労回復において、Case1 と比較して Case2 のほうが有意に高い得点を示した(有意水準 P<0.05)。その他の項目において、有意差は見られなかったが、入眠と睡眠維持および夢みについては、Case1 のほうが得点が高く、睡眠時間については、Case2 のほうが得点が高くなった。個人別の測定結果については、各項目において、概ね平均値と同様の傾向を示しているが、個人間で傾向の違いや測定値のばらつきがみられた。生理量と同様に、性別の違いによる傾向の差などは見られなかった。

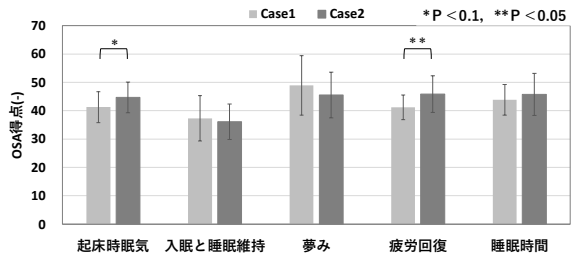


図 14 心理量の測定結果 (平均値)

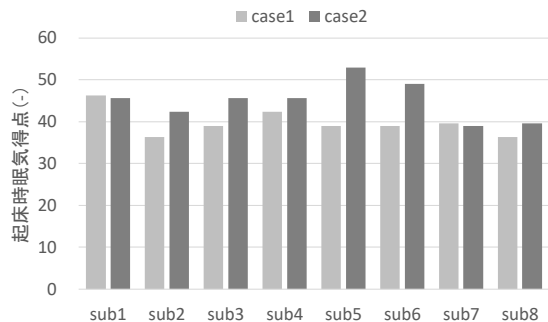


図 15 起床時眠気得点 (個人別)

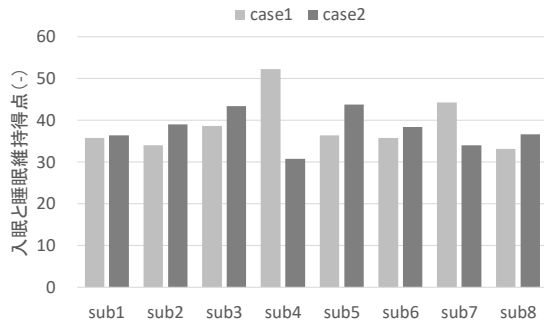


図 16 入眠と睡眠維持の得点 (個人別)

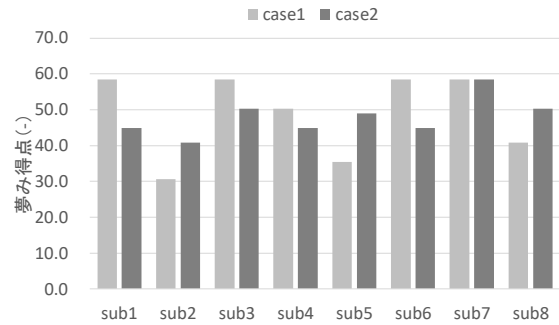


図 17 夢みの得点 (個人別)

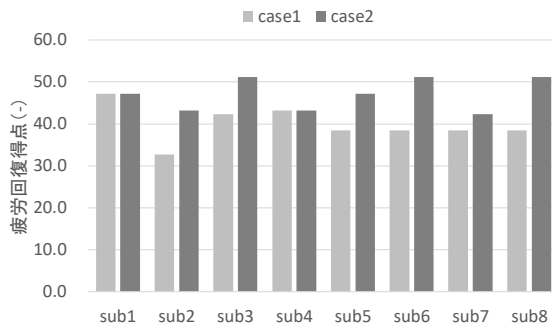


図 18 疲労回復の得点 (個人別)

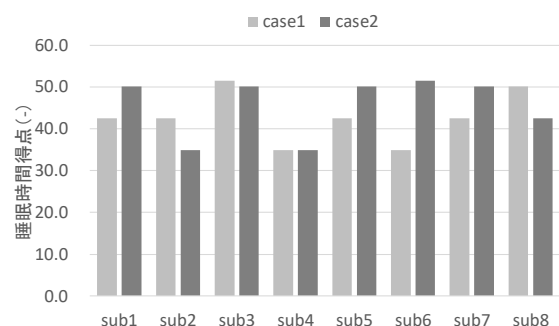


図 19 睡眠時間の得点 (個人別)

4. まとめ

本報で明らかになったことを以下に示す。

- ・生理量は、各条件間で有意差は見られなかったが、睡眠効率と中途覚醒時間については相対湿度および睡眠後半の不快指数、深睡眠時間については睡眠後半の絶対湿度との間に相関関係が見られた。
- ・心理量は、タイマー切運転と比較して、連続運転の方が、起床時眠気と疲労回復において有意に高い得点を示した。
- ・個人別の測定結果については、生理量、心理量共に各項目において、個人間で傾向の違いや測定値のばらつきがみられたが、性別の違いによる傾向の差などは見られなかった。

これらのことから、睡眠後半の温湿度環境の差が睡眠中の生理や心理に影響を与えるため、就寝から起床するまでの温湿度のコントロールの必要性が示唆された。

本報では、睡眠状態に合わせた空調制御とタイマー切運転との比較を行ったが、一定温度で連続運転するケースなどもルームエアコンの一般的な運転方法として考えられる。これらの運転方法が睡眠に与える影響の確認や本制御との比較検証は今後の課題となる。

謝 辞

本研究にあたり、奈良県立医科大学の梅田教授には多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 都築和代「温熱環境と睡眠」、日本生気象学会雑誌, Vol.50, pp.125-134, 2013
- 2) 坂本泉, 開本亮, 高石静代, 近成涼香: 先端技術トピックにおける技術動向および技術動向予測, 情報の科学と技術 71巻(2021)1号, pp.36-42
- 3) Panasonic HP, <https://panasonic.jp/aircon/sleep.html>(2022,3/30参照)
- 4) 久保博子ら: クーラー使用時の寝室温熱環境が睡眠に及ぼす影響について, 第 19 回睡眠環境シンポジウム, 日本睡眠学会 調査報告, 2004.7
- 5) 久保博子ら: 夏季における室温変化が終夜睡眠時の人体におよぼす影響, 28th Symposium on Human - environment Systeme, pp.173-176, 2004
- 6) 亀井雄一, 内山真: 快眠法. Modern Physician 25: 55-59, 2005.
- 7) 小林敏孝: 「眠りの質を高めるには」, 睡眠環境学(1999), 朝倉書店
- 8) TDK 株式会社 HP, https://product.tdk.com/ja/products/biosensor/biosensor/silmee_bt/index.html
- 9) 栗貫, 白川修一郎, 阿住一雄: OSA 睡眠調査票の開発—睡眠感評定のための統計的尺度構成と標準化, 精神医学 27(1985), pp.791-799

執筆者紹介



熊埜御堂 令
修士（人間環境工学）

ひとこと

現在、室内環境が人の健康や睡眠に与える影響について注目が集まってきている。AI やIoT 技術を積極的に活用し、健康的な住まい環境を推進していきたい。