

良質睡眠を実現する環境介入に関する研究

Research of Environmental Control for Achieving Good Sleep Quality

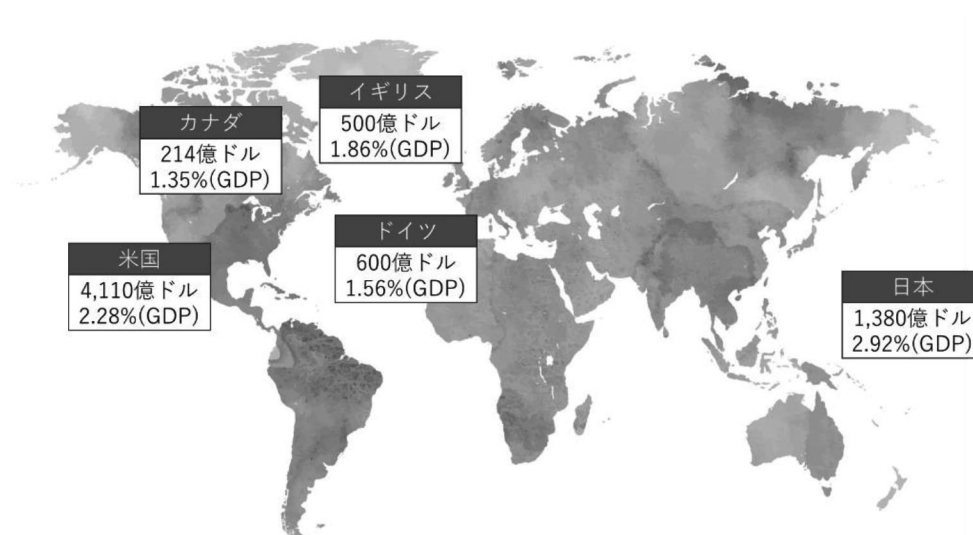
青木 泰造¹⁾ 岡田 志麻^{2,3)} 増田 葉月⁴⁾

¹⁾ パナソニックホールディングス株式会社、²⁾ 立命館大学理工学部

³⁾ 立命館大学スポーツ健康科学総合研究所、⁴⁾ 立命館大学大学院理工学研究科

1. 背景・目的

睡眠に関わる社会の状況として、我が国の5人に1人は睡眠不満に悩んでいると報告されており、現代人は良質な睡眠をとれないことが社会問題となっている。図1に示すように、世界で見ても、睡眠不足による経済損失が大きいことが報告されている¹⁾。特に日本はOECD加盟国の中では最も睡眠時間の短い国であり、その経済損失は大きいことが知られている²⁾。このような社会背景の中で、Sleep-Tech（睡眠関連技術）が学术界や産業界でも発展が目覚ましい。とくに睡眠に関わるセンシングデバイスは発展してきている^{3,4)}。一方で、このような機器は睡眠状態を知ることにとどまり、積極的に良質睡眠につながる介入を行う技術は積極的に開発されてこなかった。以上のことから、社会問題となっている睡眠不足や睡眠不満を解消することを狙い、社会にソリューションを提供するために、2022年度にパナソニックホールディングスと立命館大学での睡眠改善技術についての共同研究をスタートさせた。



「Why Sleep Matters—The Economic Costs of Insufficient Sleep」から作成

図1 睡眠不足による各国の経済損失

2. 環境改善による良質睡眠へのアプローチ

人の睡眠に影響する環境要素として、光、音、温度が重要と言われている⁵⁾。昨今の大きな気候変動からみても、特に睡眠に対する温熱環境は厳しくなる状況である。そこで、睡眠時の環境介入の要素として温熱環境に着目し、生体機能への刺激により最適な睡眠を実現する寢床内の環境制御機器の開発を行うこととした。また、本研究においては、最適な睡眠につながる人の睡眠の生体機能メカニズムを明確にした上で、人と環境を一体としたシステムと捉え、生体機能に働きかけることで人間の状態をよい方向へ向かわせ、本来個人が持っている生体機能を最大限に活かす環境制御機器の実現を目指す。

3. 研究の状況

睡眠の質に影響を与える生体の要素として、深部体温が挙げられる。睡眠時の深部体温の低下がスムーズな入眠と徐派睡眠の促進に効果があることが先行研究から明らかとなっている⁶⁾。また、深部体温が高い状態であることが中途覚醒を誘発することも知られている⁷⁾。これらのことから、睡眠時における深部体温低下の実現により、睡眠の質を高める可能性が示唆されている。以上より、深部体温を適切に下げる環境制御機器として、図2のように、寢床内の足元付近へ風を送り込



図2 寢床内環境制御機器

む装置を開発した。外観呈示のため図では寝具を用いていないが、掛布団と敷布団の間に送風されるよう設置する。この装置の概要としては、寢床内に気流を生み出すファンが装備されている。ファンに関しては、使用者の足の動き（寝相）に対応できるように広範囲に風を送り出す吹き出し口で構成されており、ファンと吹き出し口は向きを変更できるように蛇腹のダクトで接続されている。ファンで生み出された風が吹き出し口を通して、約2[m/s]程度の風速、約2[m³/min]程度の風量の風として足元付近に送り込まれる。足元付近に風を送り込む装置にしている理由は、四肢末端が熱を最も放散させる場所であり、その付近に気流を生み出すことで蒸散性、非蒸散性の熱放散が促進される⁸⁾からである。つまり、血管を通して運ばれてきた深部の熱を放散する出口としての足

裏に着目したということである。深部体温を下げるという人間が本来持っている機能に対して、熱放散出口付近の環境を制御することでその機能を効率的に発揮させることができるという装置として開発した。

このような装置を用いて、送風なし（Control）・最大風量の50%の送風を終夜実施（Weak airflow）・最大風量の80%の送風を3時間、50%の送風を残りの時間実施（Strong airflow）の3つの条件で4名の対象者で実験を実施し、送風により深部体温が低下するかを確認した。図3に示す通り、送風を実施したケースで深部体温の低下が観測され、その結果を共同研究の成果として増田らとともに2023年シドニーで開催されたIEEE EMBC（International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society）にてポスター発表を行った。4名の対象者は全てStrong airflowのケースではControlに対して早く深く深部体温が下がることが分かり、足元付近への送風による深部体温コントロールへの可能性が示唆された。一方で、主観アンケートからは送風による寒さを感じたことが確認された。

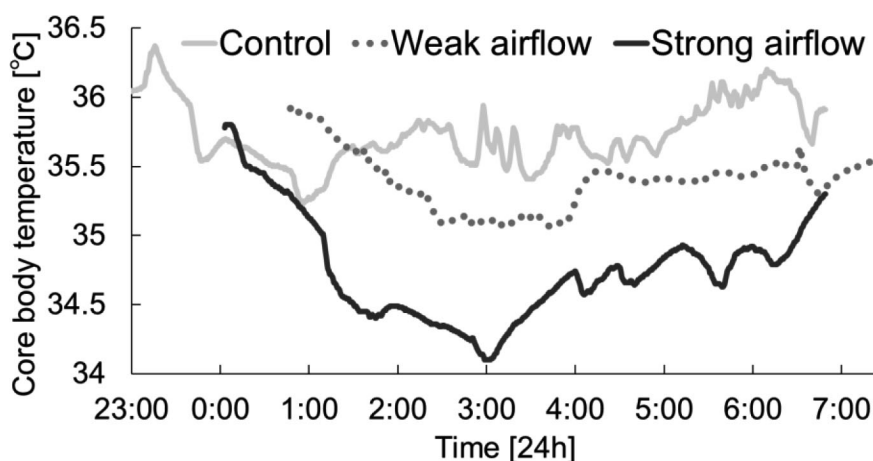


図3 深部体温計測結果の1例（睡眠中）

4. 今後の展望

足元付近への送風が深部体温の低下を実現することは確認できたが、寒さを感じるなど快適感を損なう可能性があることも明らかになった。そのことから、気流を生み出すだけでなく、快適感を維持するための寝床内の温度制御も重要であることが確認された。快適感と温度の関係としては、27℃～31℃の間の環境温度が温度中性域として知られており、暑くもなく寒くもなく体温調節反応として最も不快感が低いとされている⁹⁾。また、29℃の環境温度が睡眠の質にとって最良の環境¹⁰⁾ともされており、足元付近に送り込む温度をそのような温度帯に制御することが深部体温低下と快適感を両立する制御であることが期待される。このために装置として送風温度を制御できる構成に改造していくとともに、どのような温度帯や気流の強さ、送風する時間が快適感を損なわず睡眠にとって最適かを明らかにしていく。

さらには、快適感に対しては季節や睡眠の状態に応じて感じ方が異なることが想定される上、個人差が存在することも想定される。そのため季節による温湿度-個人の睡眠状態、これらによる感じ方の個人差について観測しながら、最適に制御することが必要になってくる。その際に、睡眠時の深部から末梢、環境へと熱が移動していく機能に関して、図4に示すような概念で人間の状態と環境の状態を1つのシステムとして捉えることを想定している。環境を制御することで人間の状態、

機能を最適化するシステムに対し、観測すべき要因と制御すべき要因を明らかにしていくことで、想定される変動要因を吸収した睡眠の質を高める最適な環境制御が可能となる。そうすることで、世界中の様々な方に対して睡眠の質が高まるシステムへの発展も期待される。本研究にて、それらを明らかにして快適で良質睡眠を実現する寢床内環境制御技術を社会に実装していきたい。

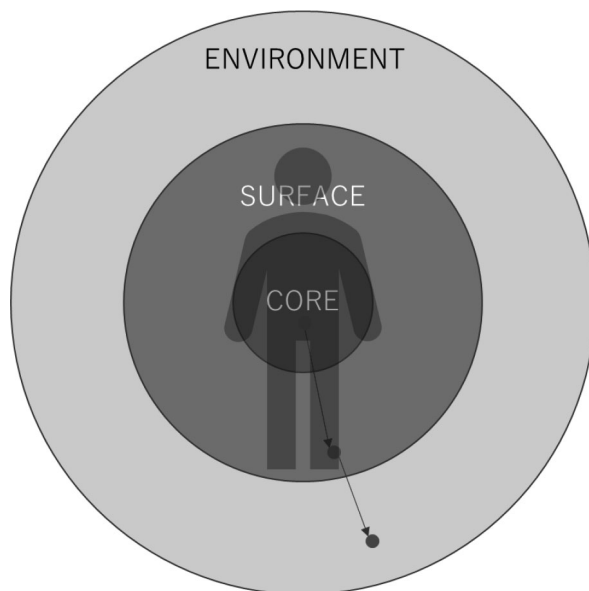


図4 人間と環境を一体としたシステム概念図

5. 引用・参考文献

- 1) Marco Hafner et al., Why Sleep Matters—The Economic Costs of Insufficient Sleep
Rand Health Q. 6(4): 11.(2017)
- 2) 田中秀樹他：快眠研究と製品開発、社会実装、NTS：15-16（2022）
- 3) 日経新聞：スリープテックで健康管理 ウェアラブル端末が進化（2021/10/4）
- 4) 日経クロステック：Apple Watchで睡眠状態の状態を把握し、iPhoneで健康情報を一元管理しよう（2023/5/26）
- 5) 岡田志麻他：快適な寢床内気候を目指した寢床内温度コントロールの基礎検討
感性工学研究論文集Vol.5No.4pp.39-44(2005)
- 6) Murphy et al.,: Nighttime Drop in Body Temperature A Physiological Trigger for Sleep Onset?
Sleep,20(7):505-511 American Sleep Disorders Association and Sleep Research Society (1997)
- 7) Mats et al.,: Hody Temperature and Sleep at Different Times of Day Sleep, 5(4)378-388 Raven Press,
New York (1982)
- 8) 平田耕三：動静脈吻合（AVA）血流と四肢からの熱放散調節、日生氣誌 53(1):3-12 (2016)
- 9) Pallubinsky et al.,: Exploring the human thermoneutral zone – A dynamic approach
Journal of Thermal Biology 79 199-208 (2019)
- 10) Haskell et al.,: The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages
Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 51 494-501 (1981)