

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	夏季の非定常温熱環境制御が睡眠に与える影響に関する被験者実験
Title(English)	Experimental study on sleep quality affected by non-stationary thermal environmental control in summer
著者(和文)	本多 英里, 伊香賀 俊治, 岡島 慶治, 海塩 渉
Authors(English)	Eri Honda, Toshiharu Ikaga, Keiji Okajima, Wataru Umishio
出典(和文)	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第6巻, pp. 257-260
Citation(English)	Technical papers of annual meeting, the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, 第6巻, pp. 257-260
発行日 / Pub. date	2015, 9

夏季の非定常温熱環境制御が睡眠に与える影響に関する被験者実験 Experimental study on sleep quality affected by non-stationary thermal environmental control in summer

学生会員 ○本多 英里（慶應義塾大学） 技術フェロー 伊香賀 俊治（慶應義塾大学）

非会員 岡島 慶治（東京ガス） 正会員 海塩 渉（鹿島建設：当時慶應義塾大学）

Eri HONDA*¹ Toshiharu IKAGA*¹ Keiji OKAJIMA*² Wataru UMISHIO*³

*¹ Keio University *² Tokyo Gas Co. Ltd. *³ Kajima Corporation

Decline in the quality of sleep increases the morbidity risk of lifestyle-related diseases. In previous studies, it has been reported that thermal environment affects sleep. However, the effect of non-stationary thermal environment control such as intermittent operation of air conditioner on sleep is unclear. In this study, it was verified that the non-stationary thermal environment control in summer affects sleep state from the subject experiment conducted in August 2014. It was revealed that sleep efficiency is the highest in air conditioner set at 26.0 °C (3 hours of intermittent operation).

1. 背景・目的

睡眠の質の低下は生活習慣病の罹患リスクを高め、更に睡眠障害による日中の眠気が作業効率の低下や交通事故を引き起こすことが明らかにされている^{文1)}。睡眠の質低下を引き起こす要因の一つとしては、夏季の蒸し暑さが挙げられ、冷房を使用した適切な暑さ緩和対策が求められている^{文2)}。既報^{文3)}においては、冷房の連続運転が睡眠に与える影響を検証し、入眠時および睡眠中の後半に適切な温熱環境が異なる可能性及びタイマー運転の検証の必要性を示唆した。そこで本研究では、夏季の非定常温熱環境制御が睡眠の質に与える影響を明確にするため、被験者実験を実施し、冷房の連続運転とタイマー運転下での睡眠状態を測定した。

2. 被験者実験

2.1 被験者実験の概要

実験は、神奈川県に所在する、断熱水準が次世代省エネルギー基準を満たす集合住宅のモデルルームにて実施した。期間は、2014年8月4～8日（A日程）、8月11～15日（B日程）の2回に分けて行った。被験者は非喫煙者、かつ標準的な体型^{注1)}の20～23歳の男子学生8名とした。また、飲酒習慣は睡眠に大きく影響を及ぼすため、飲酒回数が週に1回未満である者を選定した。被験者はA、Bいずれかの日程に参加し、各日程4名ずつとした。実験ケースは、冷房の設定温度を26℃と28℃、運転方式を連続運転とタイマー使用3時間^{文4)}とする計4ケースとした（図1）。順序効果を極力除外するため、A日程とB日程ではケースの順番を変えて実験を行った。各日程のケース設定と外気条件を表1, 2に示す。



図1 実験ケース

表1 実験ケースと外気条件（A日程）（平均値±標準偏差）

実施日	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8
Case	I	II	III	IV	
天気	曇後晴	快晴	快晴	快晴	
気温[℃]	27.3±0.4	27.3±0.7	26.4±0.6	26.0±0.6	
湿度[%]	78.7±2.1	76.5±2.8	77.3±2.5	79.5±2.9	

表2 実験ケースと外気条件（B日程）（平均値±標準偏差）

実施日	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15
Case	IV	II	III	I	
天気	曇時々晴	曇一時雨	曇一時雨	曇後晴	
気温[℃]	25.7±0.3	22.3±0.4	25.5±0.6	26.3±0.6	
湿度[%]	85.4±4.8	90.2±1.4	91.7±3.1	85.3±5.5	

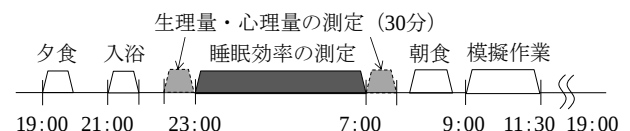


図2 実験スケジュール

2.2 実験スケジュール

1日の実験スケジュールを図2に示す。被験者は夜19時までにモデルルームに帰宅し、統一した夕食を済ませた後、21時より上限を15分として入浴した。入浴から入眠までの時間を統一するため、被験者は4日間同じ順番で入浴した。その後、23時から7時まで睡眠状態の測定を行った。睡眠時間は統計局より報告された20～24

歳男性の平均睡眠時間である 8 時間とした。寝具は綿シーツをかけた敷布団とタオルケットとし、着衣は半袖と半ズボンに統一した。就寝前後には生理量・心理量、物理環境の測定を実施した。また、実験期間中の日中は激しい運動、飲酒、昼寝等の規制を行った。

2.3 測定項目

2.3.1 物理環境

物理環境測定点を図 3 に示す。環境測定点は被験者が睡眠をとった各部屋に 2 点ずつとした。測定項目を表 3 に示す。室内の温湿度は 0.1m と 1.1m、グローブ温度、風速は 0.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。照度、騒音、CO₂濃度は 0.1m の高さで就寝前と起床後に測定した。就寝前の測定後に消灯した。また屋外の温湿度についても、1.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。

2.3.2 生理量

生理量の測定項目を表 4 に示す。睡眠状態の測定には枕元に設置し、測定を行う非接触型の睡眠計を採用した。本実験で使用した睡眠計は、電波センサを用いて被験者の体動を感知し、体動の有無によって睡眠・覚醒の状態を判定する。これにより、睡眠効率、入眠潜時、中途覚醒回数・時間の測定を行った。睡眠効率は総就床時間中の総睡眠時間の割合を示し、入眠潜時は寝付くまでに要する時間を表す。就寝前後にはストレスの度合いを示す唾液アミラーゼ活性を測定した。

2.3.3 心理量

心理量の測定項目を表 5 に示す。室内環境満足度、体調、疲労感、主観的な睡眠感に関するアンケート調査を実施した。室内環境満足度は、就寝前と起床後に温熱、光、音、空気質環境について 4 段階の評価を行った。

3. 実験結果

3.1 物理環境の測定結果

温熱環境以外の環境要素の中で睡眠へ影響を及ぼすとされる光、音環境^{文6)}についてケース間に有意な差がなく、ケース間比較の上で、光、音環境の影響が小さいことを確認した(表 6)。従って以降の分析では、温熱環境に着目し、検証を行う。温熱環境の指標には温湿度、風速、放射の影響を考慮した体感温度である標準新有効温度(SET*)を用いて評価を行った。温湿度、風速、放射温度は実測値を採用し、着衣量及び代謝量は標準状態における 0.6clo、58.2W/m²^{文7)}とした。就寝中の SET*の推移をケース別に示す(図 4^{注3)})。就寝中(23 時~7 時)の平均 SET*は、Case I では 26.0℃、Case II では 28.4℃、Case III では 27.8℃、Case IV では 29.4℃であった。また、就寝時の SET*は Case I と Case III において約 26℃、Case II と Case IV において約 28℃となった。一方で、起床時の SET*は Case III と Case IV で 30℃まで上昇していることが確認された。

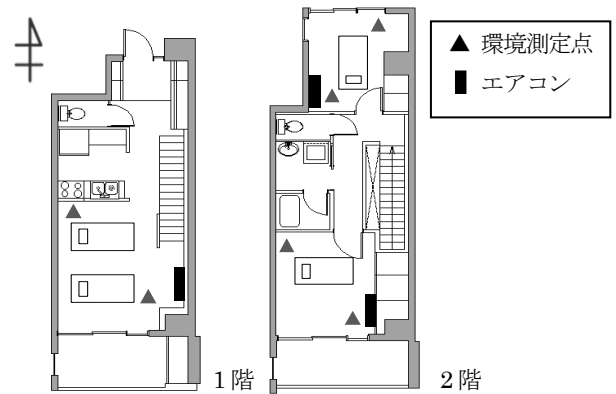


図 3 モデルルームの平面図と物理環境測定点

表 3 物理環境の測定項目

	測定項目	測定機器
屋外	温度/湿度	ワイヤレスデータロガー (RTR-503)
室内	温度/湿度	ワイヤレスデータロガー (RTR-503)
	グローブ温度	グローブ球 (080340-150)
	風速	クリモマスター風速計 (Model6533)
	照度	照度計 (T-10)
	騒音	普通騒音計 (NL-21)
	CO ₂ 濃度	IAQ モニター (Model2211)

表 4 生理量の測定項目

測定項目	測定機器
睡眠効率/入眠潜時 中途覚醒回数・時間	睡眠計 (HSL-102-M)
鼓膜温	耳式体温計けんおんくん (MC-510)
脳波	脳波測定機 (alphatec-IV)
唾液アミラーゼ活性	唾液アミラーゼモニター
自律神経	多機能ワイヤレスホルタ記録器 (CarPod)

表 5 心理量の測定項目

調査のタイミング		評価項目	指標や質問形式
就寝前	起床後		
○	○	室内環境満足度	温熱・光・音・空気質に対して 4 段階評価
○	×	体調	4 段階評価
○	×	疲労感	自覚症状調べ ^{文5)}
×	○	睡眠感	OSA 睡眠調査票 MA 版 ^{注2)}

表 6 光・音環境の測定結果 (平均値±標準偏差)

		Case. I	Case. II	Case. III	Case. IV
照度[lx]	就寝前	148±47	153±30	145±42	154±41
	起床後	236±51	231±41	227±27	223±52
騒音[dB]	就寝前	37.2±2.1	40.2±2.0	40.4±1.0	38.9±1.2
	起床後	35.3±0.6	35.5±1.0	34.6±0.7	34.0±1.2

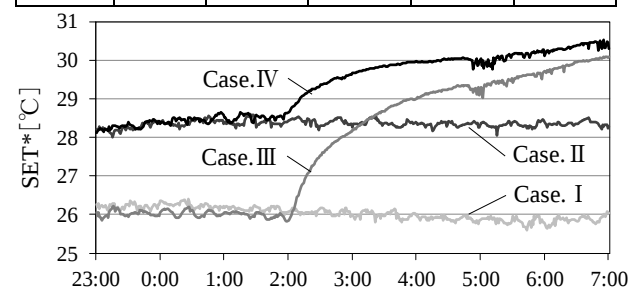


図 4 就寝中の SET*の推移 (ケース別)

3.2 温熱環境制御が温熱環境満足度とストレス に与える影響

就寝前と起床後に実施した温熱環境満足度に関するアンケート調査結果を図5に示す。就寝前の回答では、就寝時のSET*が約26℃であるCase. IとCase. IIIにおいて評価が高く、満足側の割合（やや満足・非常に満足）が大半を占めた。起床後の結果に着目すると、Case. IVにおける評価が最も低く、不満側の割合（やや不満・非常に不満）が75%を占めていることが確認された。Case. IIIとCase. IVでは図4に示す起床時のSET*の差は0.2℃とほぼ同等であったにも拘わらず、温熱環境満足度はCase. IIIの方が高い結果となった。以上より、就寝前の満足度が起床後の満足度に影響を与える可能性が示唆された。

次に、温熱環境制御がストレスに与える影響を検証するため、就寝前後の唾液アミラーゼ活性の測定結果を図6^{注4)}に示す。その結果、就寝前はCase. IIと比較してCase. IIIにおいてストレス値が有意に低い結果が得られた。起床後に着目してみると、就寝前と同様にCase. IIIにおいて最もストレス値が低い結果となった。また、Case. IとCase. IVにおいては起床後にストレス値が上昇する傾向が確認された。

3.3 温熱環境制御が入眠潜時に与える影響

睡眠の質を評価する指標として「寝付きの良さ」「中途覚醒時間の短さ」「目覚めの良さ」が挙げられる^{文8)}。そのため、温熱環境制御が睡眠状態に与える影響の検証の1つ目として、寝付きの良さを表す入眠潜時のケース別の結果を図7に示す。その結果、就寝時に冷房の設定温度が26℃であったCase. I、Case. IIIと比較して、28℃であったCase. IIとCase. IVは入眠潜時が長かった（Case. IIとCase. IIIは5%水準の有意差を確認）。これより、就寝時の冷房設定温度を28℃から26℃に変更することで、寝付きが良くなることが示された。

3.4 非定常温熱環境制御が中途覚醒時間に与える影響

続いて、非定常温熱環境制御が中途覚醒時間に与える影響の検証を就寝中のSET*を用いて実施する。就寝時からの経過時間を2時間ごとに区切り、2時間中の平均SET*および中途覚醒時間の結果を図8, 9に示す。就寝後0～2時間に着目すると、Case. IIIにおいて有意に中途覚醒時間が短い傾向が示された。Case. IIとCase. IIIを比較すると、就寝後0～2時間の平均SET*はCase. IIIの方がCase. IIより約2℃低い、タイマーが切れたことによってCase. IIIのSET*が上昇し、就寝後6～8時間には30℃付近まで上昇している。しかし、就寝後6～8時間における中途覚醒時間には両ケース間に差が認められなかった。更に、Case. IIIとCase. IVに着目すると、就寝後6～8時間の平均SET*は約30℃と同等であるが、中途覚醒時間はCase. IIIの方が有意に短く、就寝後0～2時間に深い眠りにつくことが質の高い睡眠に寄与する可能性が示された。

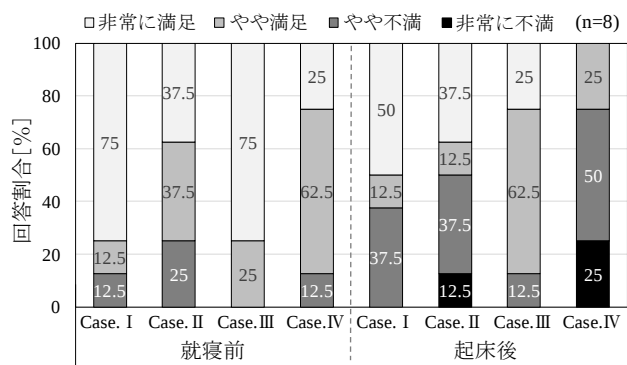


図5 就寝前後の温熱環境満足度

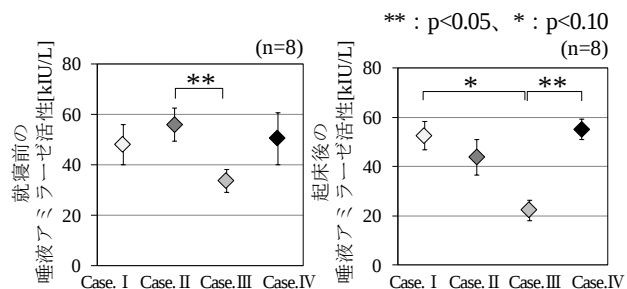


図6 ケース別のストレス値 就寝前(左図) 起床後(右図)

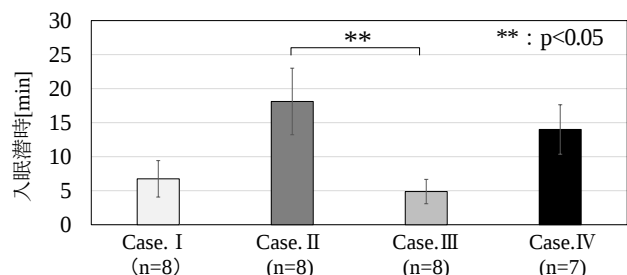


図7 入眠潜時 (ケース別)

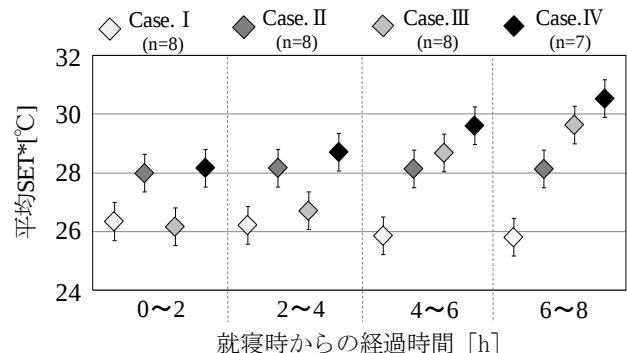


図8 就寝後2時間毎の平均SET*

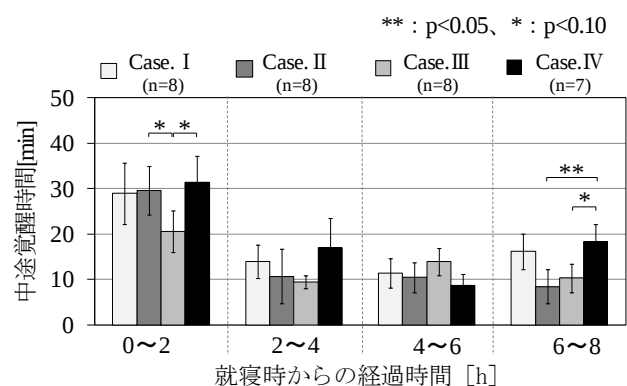


図9 就寝後2時間毎の中途覚醒時間

3.5 非定常温熱環境制御が深睡眠時間と睡眠効率に与える影響

非定常温熱環境制御が睡眠の質に与える影響を検証するため、ケース別の深睡眠時間の結果を図 10 に示す。深睡眠時間とは、10 分以上体動のない深い睡眠状態の総時間を示す。他のケースと比較して、Case.IIIにおいて有意に深睡眠時間が長い結果が得られた。次に、睡眠の総合的な評価指標として用いられる睡眠効率のケース別の結果を図 11 に示す。睡眠効率は個人差が非常に大きい指標であるため、個人差を極力小さくするため、偏差（＝日ごとの睡眠効率－個人の睡眠効率の平均値）を算出し、比較を行った。その結果、Case.IIIにおいて最も睡眠効率が高い傾向が確認された。これにより、非定常温熱環境制御が睡眠の質向上に寄与する可能性が示された。

4. まとめ

夏季の非定常温熱環境制御が睡眠効率及び入眠潜時や中途覚醒といった睡眠状態に与える影響を検証することを目的として、4つの温熱環境制御を設定し（Case. I : 26℃連続, Case. II : 28℃連続, Case. III : 26℃タイマー（3時間）, Case. IV : 28℃タイマー（3時間））、被験者実験を行った。本実験により得られた知見を以下に示す。

1) 室内温熱環境満足度に関する測定結果から、就寝前の回答では就寝時の設定温度が 26℃であった Case. I と Case. III の評価が高い結果となった。Case. III と Case. IV では起床時の SET* の差は 0.2℃とほぼ同等であったにも拘わらず、温熱環境満足度は Case. III の方が高い結果となった。また、ストレスの度合いを示す唾液アミラーゼ活性の測定結果では、就寝前、起床後ともに Case. III において最もストレス値が低い結果となった。

2) 温熱環境制御の入眠潜時の関係から、就寝時の設定温度が 26℃の Case. I と Case. III において入眠潜時が短い傾向が得られた。

3) 温熱環境制御と中途覚醒時間及び室内温熱環境の関係から、就寝後 0～2 時間では Case. III において有意に中途覚醒時間が短い傾向が示唆された。また、Case. III と Case. IV に着目すると、就寝後 6～8 時間の平均 SET* は約 30℃と同等であるにも拘わらず、就寝後 6～8 時間の中途覚醒時間は Case. III において有意に短い結果が得られており、就寝後 0～2 時間に深い眠りにつくことが質の高い睡眠に寄与する可能性が示唆された。

4) ケース別の深睡眠時間と睡眠効率の結果からは、Case. III において深睡眠時間が長く、睡眠効率が高い傾向が示された。

以上の結果より、非定常温熱環境制御が睡眠の質向上に寄与する可能性が示された。本研究においては 3 時間のタイマー運転のみを非定常な制御手法としており、今後、更に多様な実験ケースでの検証が求められる。

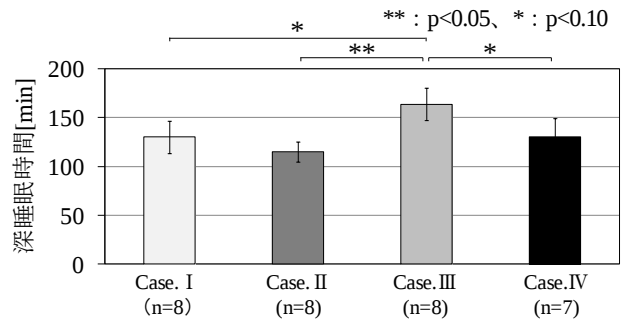


図 10 深睡眠時間（ケース別）

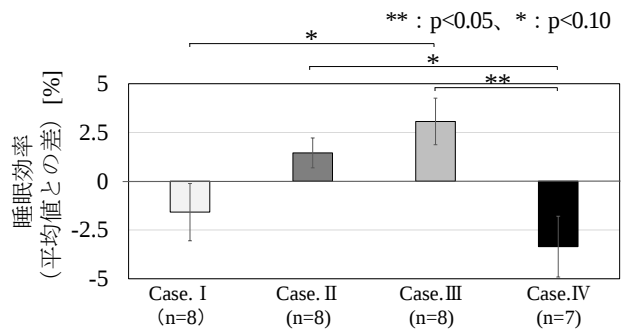


図 11 睡眠効率（ケース別）

謝 辞

本研究は、東京ガス株式会社の委託研究「居住者の意識・生活行動がエネルギー消費量と健康へ与える影響の評価指標の導出に関する調査研究（研究代表者：伊香賀俊治）」として実施したものである。本研究の遂行にあたり多大な御協力、御助言を頂きました鈴木真貴子様、大平昇様（東京ガス株式会社）、松岡由紀子様（当時東京ガス株式会社）、浦田麻衣様（当時慶應義塾大学大学院）、被験者の皆さまに感謝の意を表す。

尚、本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（A）（研究代表者：伊香賀俊治、課題番号：26249083）を受け実施した。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省「健康づくりのための睡眠指針 2014」, pp.4, 2014
- 2) 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
- 3) 本多英里ら「住宅の夏季温熱環境制御が入眠潜時・中途覚醒に与える影響」, 空気調和・衛生工学会大会学術講演集, 2014.9
- 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) 吉竹博「改訂産業疲労-自覚症状からのアプローチ-」, 1993
- 6) 環境省, 「ヒートアイランド対策の環境影響に関する調査業務報告書」, 2009.2
- 7) 空気調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」, pp.113-119, 2006
- 8) 日本睡眠学会「初心者のための睡眠の基礎と臨床」 pp.1-8

注 釈

- 1) BMI=(体重[kg])÷(身長[m]×身長[m])が 18.5 以上 25.0 未満
- 2) 睡眠感を評価する心理尺度
- 3) A 日程と B 日程の平均値を示す
- 4) 本論文ではエラーバーは標準誤差を示す