

社員寮における寝室内環境制御システムの睡眠への効果検証 Effectiveness of a Bedroom Environment Control System on sleep quality in an Employee Dormitory

○小川 裕子 (竹中工務店) 越村 翔 (竹中工務店) 君塚 尚也 (竹中工務店)
堀 翔太 (ダイキン工業) 安本 千晶 (ダイキン工業) 加藤 隆史 (大阪大学)
Yuko OGAWA*1 Sho KOSHIMURA*1 Naoya KIMIZUKA*1
Shouta HORI*2 Chiaki YASUMOTO*2 Takafumi KATO*3

*1 Takenaka Corporation *2 Daikin Industries Ltd. *3 Osaka University

We investigated the effectiveness of the "sleep environment control system" on sleep quality. Sleep quality was compared when subjects slept in a specialized sleep room or their own room at the employee dormitory. OSA-MA, questionnaires and actigraph were used for assessing sleep quality. The OSA-MA score was significantly improved in the specialized sleep room compared to the own room while other sleep variables were improved in some subjects.

はじめに

睡眠は、日中の生産性向上や健康状態に与える影響が大きいと、睡眠の質を向上させることに対する社会的ニーズは高くなっている。良い睡眠を得るためには睡眠環境を整えることが重要である。

そこで、某社員寮において、睡眠状態に合わせて各種設備を制御し、最適な睡眠環境を提供する睡眠特化室：ウェルネスルーム(以下、WR)を導入した。その有効性を検証するために、被験者10名を対象とした夏季実測を行い、自室での睡眠と比較した。本報ではその結果を報告する。

1. 概要

1.1 建物概要

Fig.1.1.1 に外観、Table.1.1.1 に建築概要を示す。本施設は、新入社員約200名が1年間の共同生活を行う研修寮である。寮内は共用リビング、大浴場、食堂に加え、集団研修等に利用する大研修室を備えており、寮生同士の活発な交流を促進するために、各寮室はコンパクトな作りとなっており、ロフト上の空間が寝床となっている。

1.2 ウェルネスルーム(WR)概要

ウェルネスルーム(WR)の概要を Fig.1.2.1 に示す。空間の基本コンセプトは「天蓋膜(ベッドキャノピー^{注1})」に包まれた最高の睡眠空間である。天蓋膜により空調によるドラフトや照明のグレアを緩和しつつ、膜に「包まれている」という心理的効果も同時に期待した。天蓋膜の形状については、実大モックアップを製作し、開口率の異なる3種類の膜と、膜の傾斜角として「足側に傾斜」「頭側に傾斜」「水平」の3条件で場合分けをし、最適



Fig.1.1.1 Building photo

Table.1.1.1 Building outline

所在地	兵庫県神戸市
用途	寄宿舎(独身寮)、研修所
構造	RC造、S造、SRC造、免震
規模	地上3階、建築面積：3,463.92 m ² 、 延床面積：6,189.97 m ² 、寮室：275室

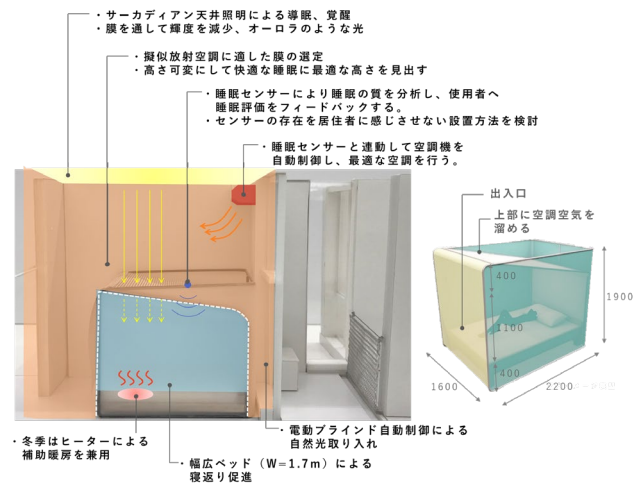


Fig.1.2.1 Wellness room outline drawing

Table.1.3.1 Equipment in the wellness room

ルームエアコン	入眠～起床までの深部体温の変化を考慮し、設定温度から±1°Cの範囲で膜内温度を調整
光天井照明	太陽光に近似したスペクトルを持つ超高演色 (Ra99) の白色 LED 素子を敷き詰めた光天井を睡眠状況に応じ照度(0.3lx~2000lx)、色温度(2700K~5000K)を変化
電動ブラインド	起床予定時に開放し、外光を寝室に取り入れる
換気扇	常時換気とするが、室内 CO2 濃度より強または弱運転
サーキュレーター(暖房)	入室までの余剰時間に運転し、室温を安定化させる
加湿器(暖房)	WR 利用時に運転し、冬季の湿度を安定化させる
遮音扉	リビングに面する入口扉を二重扉とし、通常の寮室より静音性を向上

Table.2.1.1 Experiment case

Case1	自室での睡眠
Case2	WR での睡眠 (天蓋膜有り)
Case3	WR での睡眠 (天蓋膜無し)

形状の検証を行った。検証概要を Fig.1.2.2 に、結果を Fig.1.2.3 に示す。結果として、「開口率 26%の膜×頭側に傾斜」のケースで最も評価の高い結果となった。特に温冷感への影響が高い気流感を抑えることができた。このケースに対する更なる改善案として、吹出角度を変更し、頭部の膜をダブルスキンにすることで、顔～脚の温度差を小さくし、気流速度を抑えることができた。この条件に基づき WR へ設置した。加えて、文献²⁾に基づき、Fig.1.2.4 の睡眠環境制御アルゴリズムを構築し、WR に導入した。予め利用者が設定した就寝・起床スケジュールと、非接触センサによる入床・入眠・覚醒の検知により、Table.1.3.1 の設備を制御した。

2. 実測概要

2022年7月～9月中旬に、成人10人(男性6人、女性4人、平均年齢24.7±1.2歳)を対象とし実施した。

2.1 実測ケース

実測ケースを Table.2.1.1 に示す。Case1 では自室での睡眠、Case2 は天蓋膜有りの WR での睡眠、Case3 は天蓋膜無しとした場合の WR での睡眠とした。この3ケースの実測について WR での順応夜を含む4日間を実施した。尚、自室の実測環境については、通常的生活通りに自身の好みで照明や空調を操作してもらった。

2.2 測定項目

(1) 環境測定

枕元に設置した環境センサ(オムロン社製 2JCIE-BL)により室温、照度、騒音を測定した。

(2) 睡眠評価

客観指標としてアクチグラフ(AMI社製 マイクロモーションロガー時計型)により、睡眠効率、入眠潜時、中途覚醒を測定した。また、実測日の就寝前と起床後にアンケートを実施した。就寝前アンケートを用いて、温冷感と快適感を評価した。また、当日の生活(疲労、ストレス、食事など)や、寝具・着衣状況について確認した。起床後

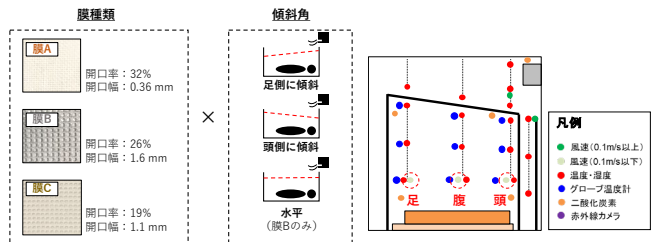


Fig.1.2.2 Outline of mockup experiments

	ケース① 膜種類: A 傾斜: 足側傾斜	ケース② 膜種類: B 傾斜: 足側傾斜	ケース③ 膜種類: C 傾斜: 足側傾斜	ケース④ 膜種類: A 傾斜: 頭側傾斜	ケース⑤ 膜種類: B 傾斜: 頭側傾斜	ケース⑥ 膜種類: C 傾斜: 頭側傾斜	ケース⑦ 膜種類: 膜なし 傾斜: -	ケース⑧ 膜種類: B 傾斜: 水平
空気温度	○	△	○	○	△	△	△	△
平均温度 (10~30分)	膜内: 20.0°C 足: 20.3°C	膜内: 22.5°C 足: 21.6°C	膜内: 22.1°C 足: 21.8°C	膜内: 20.7°C 足: 20.5°C	膜内: 21.6°C 足: 20.3°C	膜内: 20.9°C 足: 19.7°C	膜内: 22.4°C 足: 20.9°C	膜内: 22.4°C 足: 21.6°C
膜内足温度差	-0.3°C	0.9°C	0.2°C	0.1°C	1.3°C	1.2°C	1.5°C	0.8°C
放射温度	△	△	△	△	○	○	△	○
膜付近平均温度 (10~30分)	放射: 20.9°C 空室: 20.9°C	放射: 22.3°C 空室: 22.3°C	放射: 21.8°C 空室: 22.2°C	放射: 21.2°C 空室: 21.3°C	放射: 21.2°C 空室: 22.1°C	放射: 20.6°C 空室: 21.4°C	放射: 22.3°C 空室: 22.2°C	放射: 22.2°C 空室: 22.2°C
空気温度との差	0.0°C	0.4°C	0.4°C	0.1°C	0.9°C	0.8°C	0.3°C	0.7°C
CO ₂ 濃度	△	○	○	×	○	○	○	○
平均濃度 (10~30分)	膜内: 947ppm 膜外: 807ppm	膜内: 852ppm 膜外: 807ppm	膜内: 894ppm 膜外: 831ppm	膜内: 1165ppm 膜外: 902ppm	膜内: 921ppm 膜外: 872ppm	膜内: 913ppm 膜外: 855ppm	膜内: 954ppm 膜外: 918ppm	膜内: 833ppm 膜外: 803ppm
膜内外濃度差	140ppm	45ppm	63ppm	263ppm	59ppm	59ppm	35ppm	29ppm
気流速度	×	△	×	○	○	△	×	○
膜付近平均風速	0.28 m/s	0.15 m/s	0.26 m/s	0.10 m/s	0.12 m/s	0.17 m/s	0.24 m/s	0.13 m/s
膜付近最大風速	0.77 m/s	0.44 m/s	0.46 m/s	0.35 m/s	0.31 m/s	0.37 m/s	0.63 m/s	0.33 m/s

Fig.1.2.3 Results of mockup experiments

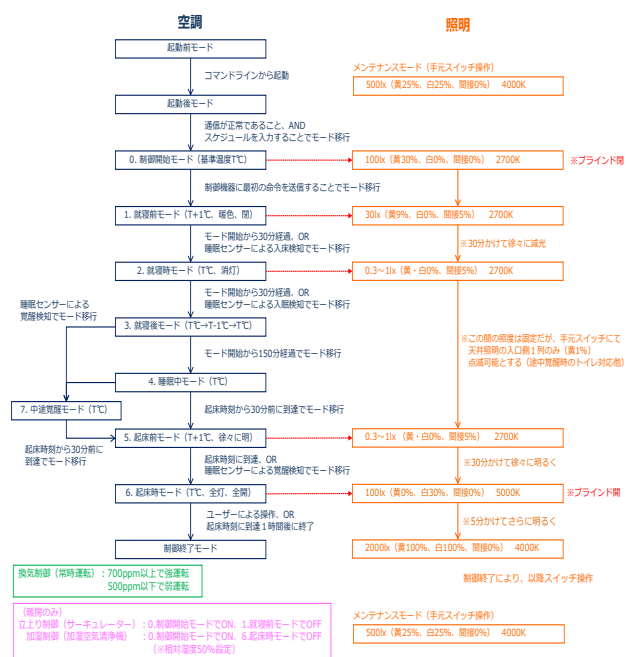


Fig.1.2.4 Algorithm of sleep control

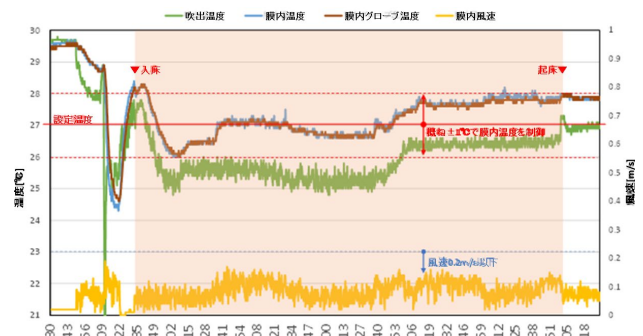


Fig.3.1.1 Results of indoor environment measurement

アンケートを用いて、就寝時・起床時の就寝環境についての主観評価を行った。OSA-MA²⁾を用いて睡眠の主観評価を行った。また、実測最終日には、これらの評価内容をWRと自室とで比較した。

3. 実測結果(Case1, 2の比較)

3.1 環境測定

室内温度は、入眠前後の体温の変化に合わせて、入眠のタイミングで1.0℃上昇し、その後低下する温度制御とした。Fig.3.1.1に示すように、室内環境測定の結果、この温度制御ができていたことを確認した。また、照度と騒音の結果について Fig.3.1.2に示す。照度については、就寝前に明るく点灯させ、ある一定時間を過ぎると照度が落とすという照明制御が正しく稼働したことを確認した。騒音については、常に約37dBを保った環境とした。

3.2 睡眠評価(アンケート)

(1) 就寝前評価

就寝前アンケートにて、当日の生活や着衣等が各ケースで大きく差がないことを事前に確認した。温冷感・快適感申告の結果を Fig.3.2.1に示す。温冷感については、自室の方が「どちらでもない」と感じた人が多かった。WRで不快側の回答が見られた理由として「身体の一部が暑い」などがあつた。これは、入床前に室温を上昇させて末梢の血流を促進させることを狙った今回の制御によるものと考えられる。また快適感についてWRの方が「快適」側の回答が多くみられた。自室で不快とした理由に「気流を感じる」という回答があつた。

(2) 起床後評価

睡眠環境についての起床後評価の結果を Table.3.2.2に示す。起床時の光環境のみWRの方が有意に明るいという結果だった。これは光天井照明と電動ブラインドによる効果と考えられる。また、就寝中の気流感ではWRの方が気流を感じにくい傾向($P<0.1$)であった。これは天蓋膜によってルームエアコンからの気流を抑制できた効果と考えられる。OSA-MAでは(Fig.3.2.3)、「起床時眠気」、「疲労回復」、「睡眠時間」の3つの因子においてWRの方が有意に高かった。また、各室での覚醒要因について確認すると、自室では9人が「目覚まし時計」による覚醒だったのに対し、WRでは「自然と目が覚めた(2人)」や「光(3人)」によって起床した人が半数を占めた(Fig.3.2.4)。これはサーカディアンリズムに基づいた空調制御や照明制御の効果であると推察できる。

(3) 総合評価

実験最終日に自室とWRを総合的に比較したアンケートでは8割の被験者から「WRの方が良い」と回答があつた。その要因として、「気流感がない」「照明」「ベッド」「空間の広さ」が特に多く挙げられた。一方で、「音(騒音)」がWRの悪かった項目として多く挙げられた。音環境

については、自室とは異なり遮音性の優れたWRでは室外からの音を遮断したものの、かえって室内エアコンの音が気になったという回答が多かった。以上の主観評価より、WRの睡眠効果を確認できた。

3.3 睡眠評価(アクチグラフ)

データが欠損した2人を除外し、8人を解析対象とし

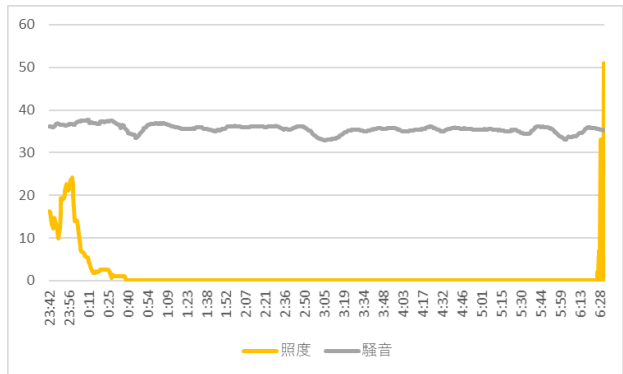


Fig.3.1.2 Trend of illumination and noise

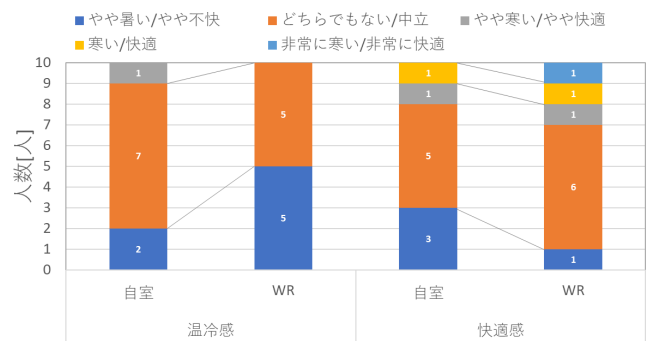


Fig.3.2.1 Questionnaire before sleep

Table.3.2.2 Questionnaire after waking up about environment

		自室		WR		Wilcoxon
		平均	SD	平均	SD	
就寝中	温冷感	3.10	0.57	3.00	0.47	0.564
	快適感	3.30	1.64	3.90	1.10	0.245
	気流感	0.80	0.79	0.20	0.42	0.084
起床時	光環境	1.20	1.14	1.90	0.88	0.141
	音環境	2.10	1.37	2.20	1.48	0.722
	温冷感	2.90	0.57	2.90	0.32	1.000
	快適感	3.50	1.35	4.20	1.14	0.288
	光環境	1.60	0.97	2.80	0.92	*0.031

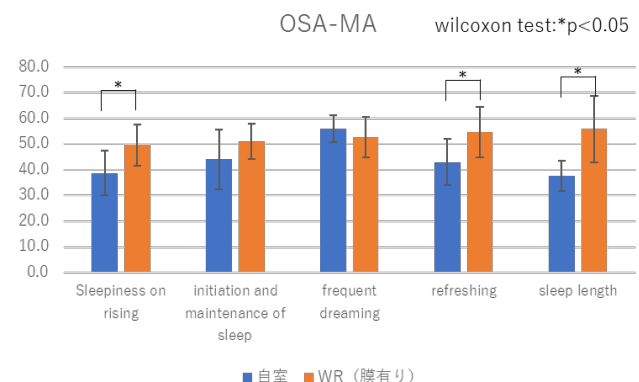


Fig.3.2.3 OSA-MA score

た睡眠効率の結果をFig3.3.1に示す。自室では平均92.4%、WRでは平均97.8%だった。20代は平均96.0%³⁾と言われており、自室においても睡眠効率が高かったため、改善の余地は少ないが、WRでは20代平均を下回る人がおらず、被験者は全員が高い睡眠効率であった。入眠潜時及び中途覚醒についての結果をFig3.3.2に示す。入眠潜時は、自室では平均13.0分、WRでは平均6.1分であった。「若年では20分以上」という臨床的な目安⁴⁾を参考に、自室で入眠潜時が20分以上の2人に着目すると、いずれも15分以内に入眠した。また、中途覚醒は自室では25.3分、WRでは8.6分であった。20代平均値が15分³⁾であることを参考に、自室で中途覚醒が15分以上の3人に着目すると、WRで大きく改善した。以上の客観的評価からも、WRでの睡眠効果を確認することができた。

4. 実測結果 (Case2, 3の比較)

天蓋膜の有無による比較実測では、風速に大きく差があった。天蓋膜が有るCase2では、人体周りの平均風速が0.1m/s程度で、不感気流とされている0.2m/s未満⁵⁾であった。天蓋膜が無いCase3では平均風速が0.4m/s程度であり、天蓋膜により寝具上への気流を緩和できた。また、膜無し条件で得られた7人を対象としたアクチグラフの結果をTable4.1に示す。入眠潜時、中途覚醒のいずれも平均値は天蓋膜有りの方が良好であり、5人の睡眠効率が向上した。以上の結果より、天蓋膜による気流感の低減や、空間としての安心感等の効果を確認した。

5. まとめ

良質な睡眠空間を創出するための「睡眠環境制御システム」を導入した睡眠特化室(WR)にて、被験者10名による夏季実測を実施し、その有効性を検証した。

自室とWRの比較実測結果より、主観アンケート評価(OSA-MA)では、WRの睡眠の質が自室よりも高かった。アクチグラフによる客観的評価では、元々の睡眠が良い被験者ではWRと自室で差を認めなかったが、睡眠の質が低い一部の被験者ではWRで睡眠の質が高く、一定の効果を示す可能性が示唆された。

また、WRにおいて、客観的睡眠を天蓋膜の有無で比較すると、天蓋膜「有り」の条件では、睡眠指標が良好であったので、就寝時の気流感を抑制することが睡眠の質に重要である可能性が示唆された。

以上の結果から、「睡眠環境制御システム」を導入し、睡眠環境を整えたWRでは、睡眠の質を高める効果がある可能性が示唆された。

【謝辞】

本研究は独立行政法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム: グラント番号 JPMJCE1310」の支援によって行われた。

【注釈】

注1) 特許出願済:特開2022-83917

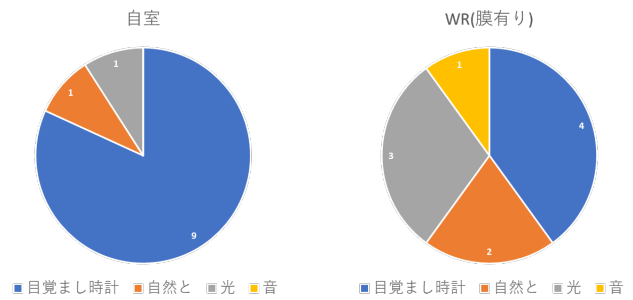


Fig.3.2.4 Awakening reason

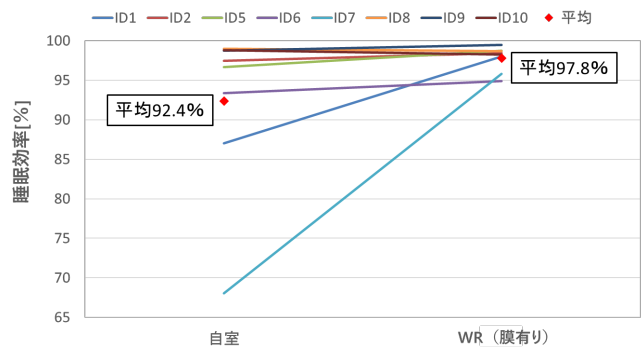


Fig.3.3.1 Sleep efficiency by actigraphy

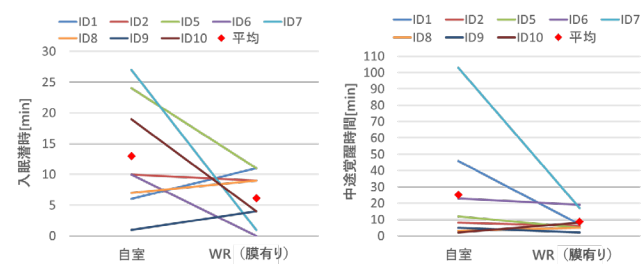


Fig.3.3.2 Sleep onset latency and wake time by actigraphy

Table.4.1 Sleep efficiency (comparison of Case2 and Case3)

	睡眠効率[%]		入眠潜時(min)		中途覚醒(min)	
	膜有り	膜無し	膜有り	膜無し	膜有り	膜無し
ID2	98.4	93.8	9	7	6	20
ID5	98.8	95.4	11	1	5	16
ID6	94.9	88.0	0	2	19	49
ID7	95.8	93.3	1	9	17	25
ID8	98.7	99.0	9	12	5	4
ID9	99.5	99.3	4	31	2	3
ID10	98.2	99.4	4	12	8	2
平均	97.7	95.4	5.4	10.6	8.9	17.0
SD	1.7	4.2	4.3	10.0	6.5	16.8

【参考文献】

- 1) 安本, 堀, 加藤: 「入床前からの室温制御が夜間睡眠に与える影響」, 第60回日本生気象学会大会, 2021
- 2) 小栗, 白川ら: 「OSA 睡眠調査票の開発—睡眠感評価のための統計的尺度構成と標準化」, 精神医学 27, pp791-799, 1985
- 3) 平沢, 渥美: 「睡眠の加齢変化 第一報: 各睡眠パラメータの変化について」, 日本老年医学会雑誌, 1997
- 4) 睡眠障害国際分類第3版, P4, 2018
- 5) Morito, Tsuzuki, Mori, Nishimiya: Effects of two kinds of air conditioner airflow on human sleep and thermoregulation, Energy Build, 2017