

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22615023

研究課題名（和文） 知的「ひらめき」活性度の向上に寄与する光環境デザインの生理・心理的実証研究

研究課題名（英文） A psychophysiological study of light environment design to promote activity levels for intellectual inspirations

研究代表者

小山 恵美 (KOYAMA EMI)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：80346121

研究成果の概要（和文）：執務空間の光環境を非定期的に時間変化させるようにデザインすることで、知的「ひらめき」につながる覚醒度、自律神経活動、心理状態などを含む生理的・心理的活性度が向上する傾向がみとめられた。また、心拍変動をモニターし、ワーカーク個人の生理的・心理的活性度変動を反映した光環境の制御タイミングを盛り込むことで、光環境の非定期的時間変化が知的「ひらめき」につながる活性度に及ぼす影響が増大する可能性がみとめられた。

研究成果の概要（英文）：It was supposed that fluctuated light environment in the office promoted the activity levels for intellectual inspirations including alertness, autonomic nerve activities, and psychological states. And the light control which reflects the temporal characteristics of each worker's psychophysiological activity by monitoring the heart rate variability may increase the influence of fluctuated light environment on the activity levels for intellectual inspirations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：環境生理学・時間生物学・生体計測工学

科研費の分科・細目：デザイン学

 キーワード：(1) 知的活性度 (2) 光環境 (3) 分光分布 (4) 執務空間 (5) 生体計測
(6) デザイン

1. 研究開始当初の背景

(1) 知的生産性の指標としての心理的・生理的活性度：知的生産性の向上が重要な経営課題といわれる一方で、定義や評価方法は未だ模索段階である。本研究では、知的生産活動が活発であるためには、心身の状態も活動的であることが必要だと考え、行動として特性を発揮する土台となる心身の状態に着目

した。生理学的研究では、心身の状態および外部環境と行動様態との関係を示した概念モデルの知見が得られている（図1）[1]。本研究における用語を図1右側のように位置づけると、知的生産（Productivity）を上げるためには、「Performance（知的活性度）」を高めることが重要であると考えられる。しかし、高次脳機能の所産である知的活性度を

直接厳密に計測評価することは困難なので、その土台となっている「心理的・生理的活性度」を計測評価できれば、知的活性度の潜在力を評価できると想定される(図1)。さらに、心理的・生理的活性度を高めるように空間的要因を整備すれば、いわゆる精神力に頼ることなく知的活性度が向上するはずである。以下に用語の定義を記述する。

◆「知的活性度」= 心理的活性度 + 個人の適性 + 教育履歴 + 仕事の教育訓練 + 執務環境(設備) + 執務様態

◆「心理的活性度」= 「生理的活性度 < 覚醒度・自律神経系の活動・概日リズム >」 + 外的刺激情報(集中方向→気が散る方向) + やる気・意欲(心理的土方向)

(注) 執務環境における光などの物理的環境要素は、生理的活性度への直接的作用の他、心理的活性度への外的刺激情報の一部として作用すると考えられる。

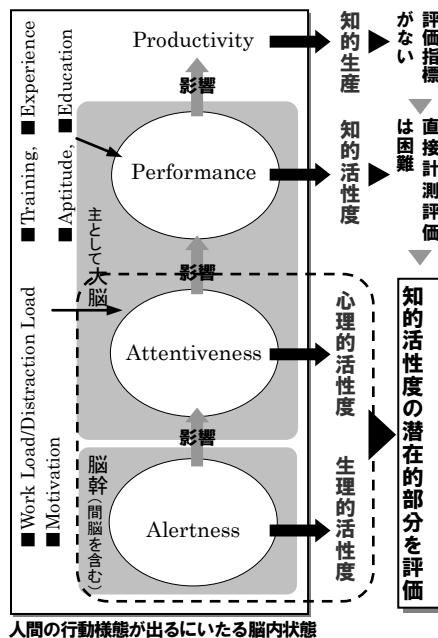


図1 知的活性度の土台となる
生理的・心理的活性度の概念図

(2) 知的生産活動における光環境の重要性：錐体と桿体以外の第3の受光素子が哺乳類でも見出され[2]、非視覚的生理的作用(生物時計調節、覚醒度上昇、交感神経系亢進、夜間メラトニン抑制など)を生じる。その作用は、光の波長特異性があり[3]、眼球での受光量に応じて増大するという知見が得られている[4]。生理的活性度を向上させるためには、光環境を制御して概日リズムを整え、日中の受光量を増やして覚醒度を上昇させることが基本[5]であるが、高照度光環境を長時間連続させるだけでは、交感神経系亢進による疲労感の増大という好ましくない影響が懸念される。したがって、人間の知的活

動の時間的特性を把握し、光の非視覚的生理作用(覚醒作用 vs. 疲労感誘発)のバランスをとることで生理的活性度を適正に上昇させ、執務空間という環境がもたらす心理的作用による心理的活性度向上も考慮し、総合的な知的活性度向上に寄与する環境要因の明確化に寄与すると考えられる。

—参考文献—

[1] Moore-Ede MC, Addison-Wesley Publishing Company, The twenty-four-hour society, 1993, p. 48

[2] Berson DM, et al. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, Science, Vol. 295, 2002, pp. 1070-1073

[3] Brainard GC, et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor, J. Neurosci, Vol. 21(16), 2001, pp. 6405-6412

[4] 鳥居鎮夫 編、小山恵美 他、朝倉書店、睡眠環境学 9.1 光、1999, pp. 127-146

[5] Noguchi H, et al. Effects of bright light exposure in the office, Proceedings of the CIE Symposium 04' Light and Health: non-visual effects, Sept. 30-Oct. 2 2004, pp. 153-156

2. 研究の目的

本研究では、知的生産活動を定量的に捉える一つの指標として「生理的・心理的活性度」(図1)に着目した。そして、光の非視覚的生理作用を考慮し、執務空間の光環境を非定常的に時間変化させるようにデザインすることが、知的「ひらめき」につながる活性度の向上に寄与することを生理・心理的評価によって実証することを目的とした。そして、以下二つの視点から研究を行った。

- (1) ワーカーの生理的・心理的活性度変動を反映した光環境の制御タイミングを決定する。
- (2) 生理的・心理的活性度の観点から、執務に適した光環境の照度制御条件と光源特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ワーカーの生理的・心理的活性度変動を反映した光環境の制御タイミングを決定するため、執務中に活性度が変動していると考えられるリフレッシュ(RF)行動(気分転換)に着目し、二つの実験を行った。

① RF行動に伴う生理的・心理的活性度変動の定量的評価方法の検討：自発的に行うRF行動に関し、行動前は活性度が執務に適さないレベル(低下または過度な上昇)であり、行動後は活性度が回復方向に変化すると推測される。そこで、RF行動前後の生理・心理的

評価指標を時系列で計測することで、活性度変動の定量的評価方法を検討した。

実験方法：健常若年成人男女8名を対象とし、2010年12月～2011年3月、13時30分～17時に実験を行った。普段行っている作業を実施中の生体信号（心電図など）計測と主観評価を実施した。実験中は、雑談、飲食、立席などのRF行動を自由に実施してよいとし、RF行動前後の各指標について解析した。

②自発的または強制的RF行動に伴う生理的・心理的活性度変動の検証：光環境の非定常的時間変化において、制御タイミングをワーカーの活性度変動の平均値に固定するよりも、各ワーカーの活性度変動に合わせる方が、活性度回復効果が大きいと推測される。そこで、3.（1）①で活性度を計測可能であったRF行動に関し（結果は4.（1）①参照）、自発的RF行動と強制的RF行動における活性度変動の差異を検証した。

実験方法：健常若年成人男女7名を対象とし、2012年8月～10月、13時30分～17時に実験を行った。課題実施中の生体信号（心電図など）計測と主観評価を実施した。実験条件は、自由なタイミングでRF行動を行うことができる自由条件と指定されたタイミングでRF行動を行う強制条件である。RF行動前後の各指標について解析した。

（2）生理的・心理的活性度の観点から、執務に適した光環境の照度制御条件と光源特性を明らかにするため、三つの実験を行った。

①「ひらめき」につながる活性度評価手法の検討と非定常的照度制御の有効性確認：生理・心理的評価指標を用い、「ひらめき」につながる活性度を評価することができる手法について検討した。また、光環境の照度を非定常的に変動させた場合と定常状態との比較により、ゆらぎを持つ非定常的な光環境による知的活性度への影響を評価した。

実験方法：健常若年成人男性12名を対象とし、2010年11月～2011年6月、13時～16時30分に実験を行った。普段行っている作業を実施中の生体信号（脳波、心電図など）計測と主観評価を実施した。実験条件は昼白色3波長形蛍光ランプを用い、照度が繰り返し変化する条件（変化条件、机上面500～1500lxの範囲で変化、平均照度1000lx、図2）、500lx一定（500lx条件）、1500lx一定（1500lx条件）を設定した。

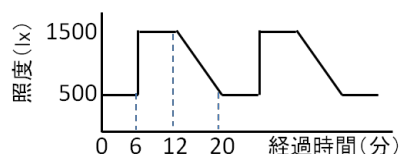


図2 照度制御の繰り返しパターン

②生理的・心理的活性度の観点から執務に適した照度と光源分光分布の明確化：受光量が多くなると覚醒度が上昇するが、同時に疲労感の増大が懸念される。そこで、実務に適した照度範囲および光源分光分布を生理・心理的評価指標により検討した。

実験方法：健常若年成人男性8名を対象とし、2011年10月～2012年3月、13時～17時に実験を行った。課題実施中の生体信号（脳波、心電図など）計測と主観・印象評価を実施した。照度範囲の検討では、昼白色3波長形蛍光ランプを用い、実用範囲内の照度である机上面250、500、1000、2000lxを比較した。光源分光分布の検討では、机上面500lxにおいて、昼白色相当の3波長形蛍光ランプ、2峰性LED2種類（昼白色LED：青色励起光＋黄色蛍光体、混色LED：昼白色LED＋RGB LED＋電球色LED）を比較した。

③生理的・心理的活性度の観点から執務に適した光源分光分布の明確化と照度制御の有効性確認：3.（2）②の実験結果を踏まえ（結果は4.（2）②参照）、分光分布の帯域がブロードな高演色性LEDを追加し、さらに執務に適した光源分光分布を検討した。また、追加したLEDに3.（2）②の実験結果を踏まえた照度制御を盛り込み（結果は4.（2）②参照）、効果を確認した。

実験方法：健常若年成人男女10名を対象とし、2012年11月～2013年3月、13時～17時に実験を行った。課題実施中の生体信号（脳波、心電図など）計測と主観・印象評価を実施した。実験条件は、机上面700lxにおいて、昼白色相当の3波長形蛍光ランプ、2峰性LED（青色励起光＋黄色蛍光体）、分光分布の帯域がブロードな高演色性LED（紫色励起光＋RGB蛍光体）である。

上記のヒトを対象とする実験的研究では倫理的配慮がなされ、全ての被験者に実験の目的方法を説明して同意を得、適切な報酬を支払って実施した（倫理委員会での承認を含む）。

4. 研究成果

（1）ワーカーの生理的・心理的活性度変動を反映した光環境の制御タイミング

①RF行動に伴う生理的・心理的活性度変動の定量的評価方法の検討：座位および歩行に伴うRF行動において、行動の直前直後に一時的な心拍数上昇、行動後に一時的な低下がみとめられた（図3）。よって、心拍変動をモニターすることにより、ワーカーの活性度変動を時系列で把握し、それらの変動タイミングを光環境制御（照度時間変化）に反映できると考えられる。

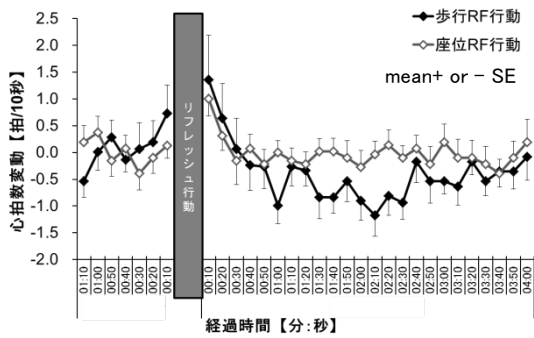


図3 RF行動時の心拍数変動

②自発的または強制的 RF 行動に伴う生理的・心理的活性度変動の検証：座位での RF 行動において、自発/強制的比較では、自発的な方が特徴的な心拍変動波形がより明確に出現した。つまり、自発的な方が RF 行動による一時的な作用負荷の軽減効果がより増大した可能性がある。よって、ワーカー個人の活性度変動に合わせた活性度改善策を行うことで、その効果が増大すると推測される。

(2) 執務に適した光環境の照度制御条件と光源特性

①「ひらめき」につながる活性度評価手法の検討と非定常照度制御の有効性確認：「ひらめき」を要する課題実施時の生理・心理的評価指標を解析した結果、課題回答直前の脳波α波パワー値が減少する傾向がみられた。よって、脳波α波パワー値を評価することで、「ひらめき」につながる活性度を時系列で定量的に評価できる可能性がある。

非定常照度制御に関し、変化条件の照度上昇直後に交感神経活動（心拍変動 LF/HF 比、LF=Low Frequency 0.04-0.15Hz、HF=High Frequency 0.15-0.45Hz）が上昇し、副交感神経活動（心拍変動 HF パワー値）と脳波α波パワー値が低下する傾向がみられた。また、覚醒度が低下する時間帯において、変化条件では覚醒度を一時的に維持する傾向がみられた。よって、非定常光環境が自律神経活動や覚醒度に上昇方向の影響を与えると考えられる。

②生理的・心理的活性度の観点から執務に適した照度と光源分光分布の明確化：照度に関し、作業の印象評価では、実用範囲内の照度である蛍光ランプ 250、500、1000、2000 lx を比較すると、500 lx 条件で最も集中して作業が出来、必ずしも高照度条件を必要としないという結果であった。また、実験初盤において、250 lx 条件では他の条件よりも副交感神経活動が高まっており、覚醒度を維持する

には照度が低かったと考えられる。さらに、2000 lx 条件ではとてもまぶしいという印象評価結果であった。よって、一般的なオフィス照度同様に、500-1000 lx 程度の照度制御範囲が生理的・心理的活性度の観点から執務に適していると考えられる。

光源分光分布に関し、500 lx、相関色温度が同程度の条件下において、分光分布の異なる3波長形蛍光ランプと2峰性LEDを比較すると、LEDの方が一時的に副交感神経活動を抑制し（図4）、生理的覚醒度を上昇させる傾向がみられた。しかし光環境の印象評価では、LEDは蛍光ランプよりも印象が悪い傾向であった。これらの原因として、2峰性LEDでは蛍光ランプよりも青色波長成分が多かったことが原因した可能性がある。LEDは省電力化の観点から今後も普及が予測されるため、実務に適したLEDの光源分光分布を明確にすることが重要であると考えられる。4.(2)③で引き続き行ったLEDの分光分布検討結果を述べる。

また、課題成績において、実験中盤で課題の出来に対する評価が低下し、周期が3時間程度のリズムがみられた。実験中盤に照度制御を盛り込むことで活性度が改善される可能性がある。4.(2)③で引き続き行った照度制御の検証結果を述べる。

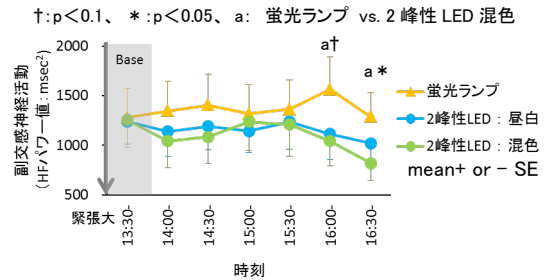


図4 心拍変動推移

③生理的・心理的活性度の観点から執務に適した光源分光分布の明確化と照度制御の有効性確認：光源分光分布に関し、同照度同色温度の3波長形蛍光ランプ、2峰性LED、分光分布の帯域がブロードな高演色性LEDの比較では、覚醒度（AAC=Alpha Attenuation Coefficient、閉眼時と開眼時の脳波α波パワー値比率）は、実験全体として2峰性LEDで蛍光ランプよりも有意に高く、覚醒度の序列は蛍光ランプ<ブロードLED<2峰性LEDとなった（図5）。緊張感は2峰性LEDで他の2条件よりも有意に高かった。光環境の印象では、有意ではないが、ブロードLEDは2峰性LEDよりも快適感や色の自然さで高い値を示した。よって、2峰性LEDでは、これまで普及してきた蛍光ランプよりも覚醒度や緊張感が高まり、長期的な使用による疲労増大やパフォーマンス低下が懸念されるため、更なる検証が必要である。また、同程度の色温

度でもわずかな青色波長成分量の差異により生理的・心理的活性度に影響が現れるため、様々な分光分布を持つ光源が普及している今日、分光分布特性の観点から日中の活性度への影響を予測する手法が必要であると考える。

照度制御有無の比較では、照度制御により覚醒度が一時的に向上する傾向が前年度までの研究同様にみられたが、実験を通しての効果は明確にならなかった。本研究では照度制御タイミングを固定していたため、各個人の活性度変動に合わせた制御タイミングとすることで、効果の増大が期待される。

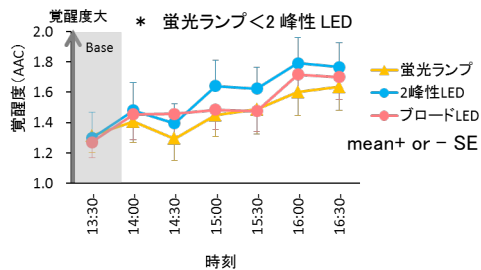


図5 覚醒度推移

(3) まとめ

上記の結果より、ワーカーの生理的・心理的活性度変動を反映した光環境の制御タイミングは、ワーカーの心拍変動をモニタリングすることで判定可能であることが示された。

光環境の照度制御範囲は、生理的・心理的活性度の観点から、500-1000 lx程度が執務に適していると考えられる。また、光環境の光源分光分布は、蛍光ランプ、2峰性LED、ブロードな分光分布を持つ高演色性LEDを比較すると、生理的・心理的活性度の観点から、蛍光ランプまたは分光分布の帯域がブロードな高演色性LEDが適していると考えられる。しかし、LEDは様々な分光分布特性のものを作ることが可能であるため、更に執務に適した分光分布特性を明確にする必要があると考える。

以上の結果から、光の非視覚的生理作用を考慮し、執務空間の光環境を非定常的に時間変化させるようにデザインすることで、知的「ひらめき」につながる生理的・心理的活性度が向上する傾向がみとめられた。今後、ワーカーの心拍変動をモニターし、ワーカー個人の活性度変動を反映した光環境制御を実施することで、光環境の非定常的時間変化による生理的・心理的活性度への影響が増大すると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① 上野敬介、リフレッシュ行動が作業時の心身の状態に及ぼす影響について；生体信号に基づく評価、京都工芸繊維大学工芸科学部デザイン経営工学過程・京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科デザイン経営工学専攻 平成24年度研究要旨集、査読無、2013、pp.84-87
- ② 澤井浩子、松田恵里、松原明央、渡守武和音、宮井早希、塩尻佳子、小山恵美、実務中の光環境制御が覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響—ステップ状の照度上昇変化が及ぼす影響の照度間および光源間比較—、日本建築学会第35回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読有、2012、pp.97-102
- ③ 村橋一平、河田耕之助、松本裕司、城戸崎和佐、仲隆介、オフィスにおけるワーカーの行動と統合的知的活性度の確率モデルに関する研究 その1 ペイジアンネットワークによるモデルの構築と検証、日本建築学会 2012年度大会学術講演梗概集 E-1分冊、査読無、2012、pp.327-328
- ④ 竹下智之、河田耕之助、松本裕司、城戸崎和佐、仲隆介、オフィスにおけるワーカーの行動と統合的知的活性度に関する研究 その2 ペイジアンネットワークによるモデルの構築と検証、日本建築学会 2012年度大会学術講演梗概集 E-1分冊、査読無、2012、pp.329-330
- ⑤ 松田恵里、昼間作業時の照度および分光分布特性がヒトに及ぼす生理的・主観的影響に関する研究—蛍光ランプとLEDによる比較検討—、京都工芸繊維大学工芸科学部デザイン経営工学課程・京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科デザイン経営工学専攻 平成23年度研究要旨集、査読無、2012、pp.66-67
- ⑥ 澤井浩子、塩尻佳子、八田和洋、渡守武和音、上野敬介、小山恵美、実務中の光環境制御が覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響の予備的研究、日本建築学会 第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読有、2011、pp.31-36
- ⑦ 上野敬介、松原明央、中野江里子、松本裕司、仲隆介、小山恵美、自発的歩行を伴った執務外行動が知的活性度に及ぼす影響について—生体信号計測に基づく評価、日本建築学会 第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読有、2011、pp.37-42
- ⑧ 松本直人、戸田久美子、加藤田歌、松本裕司、城戸崎和佐、仲隆介、ワーカーがオフィスに求める場所選択の多様性に

関する研究 - 業務内容及び空間特性の違いによる選択要因の把握、日本建築学会 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読有、2011、pp. 43-48

- ⑨ 塩尻佳子、実務中の光環境制御が覚醒度と知的活性度に及ぼす影響に関する研究、京都工芸繊維大学工芸科学部デザイン経営工学課程・京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科デザイン経営工学専攻 平成 22 年度研究要旨集、査読無、2011、pp. 44-45
- ⑩ 加藤彰子、野谷香織、小菅 健、松本裕司、城戸崎和佐、仲隆介、小山恵美、オフィスにおけるワーカーの行動と知的活性度に関する研究、日本建築学会 第 33 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読有、2010、pp. 85-90

[学会発表] (計 7 件)

- ① 小山恵美、長谷川敦士、岡本直之、松原明央、松田恵里、宮井早希、澤井浩子、人の生活リズム健全化に必要な光環境要件における光源分光分布の重要性について、第19回日本時間生物学会学術大会、2012年9月15日、北海道大学学術交流会館 (北海道)
- ② 澤井浩子、松田恵里、松原明央、渡守武和音、宮井早希、塩尻佳子、小山恵美、実務中の光環境制御が覚醒度に及ぼす影響 - 照度と分光分布の差異が及ぼす影響について -、平成24年度 (第45回) 照明学会全国大会、2012年09月06日 - 2012年9月7日、山口大学吉田キャンパス (山口県)
- ③ 澤井浩子、松田恵里、松原明央、渡守武和音、宮井早希、塩尻佳子、小山恵美、ステップ上の照度上昇変化が日中の覚醒度に及ぼす影響 - 心拍変動と脳波に注目した解析について -、第21回日本睡眠環境学会学術大会、2012年8月23日、奈良女子大学 (奈良県)
- ④ 小山恵美、室内光環境における分光分布特性と睡眠、日本睡眠学会第 37 回定期学術集会 (シンポジウム S-28) (招待講演)、2012 年 6 月 29 日、パシフィコ横浜会議センター (神奈川県)
- ⑤ 澤井浩子、塩尻佳子、八田和洋、渡守武和音、上野敬介、小山恵美、照度変化が日中の覚醒度に及ぼす影響 - 心拍変動に注目した解析について -、第 20 回日本睡眠環境学会学術大会、2011 年 11 月 25 日、アルカディア市ヶ谷 (東京都)
- ⑥ Emi Koyama, Eri Matsuda, Hiroko Sawai, A comparative study of the sleep-wake

schedule and the light environment before one thousand years with the modern society; for the next generation lighting, Worldsleee2011, 2011年10月19日、国立京都国際会館 (京都府)

- ⑦ 上野敬介、小菅健、加藤田歌、松本裕司、仲隆介、小山恵美、執務状態を想定した知的活性度・モチベーションの行動や環境による変化の客観的評価手法の検討、日本建築学会 2010 年度大会、2010 年 9 月 10 日、富山大学 (富山県)

[図書] (計 4 件)

- ① 日本睡眠改善協議会 編、小山恵美、ゆまに書房、応用講座睡眠改善学; 光の利用による睡眠改善法、2013、pp. 25-34
- ② 本多和樹 監修、小山恵美、他34名、シーエムシー出版、眠りの科学とその応用 II 第27章 良質睡眠に向けての光環境制御と光源選択について、2011、pp. 249-257
- ③ 京都工芸繊維大学 新世代オフィス研究センター 編、仲隆介、松本裕司、小山恵美、他 112 名、北斗書房、100 人の著者による「仕事をより面白くするオフィス」Neo Book 3、2011、仲 (pp. 12-14、p. 114、pp. 162-171)、松本 (pp. 184-185)、小山 (p. 113)
- ④ 小山恵美 監修、ひとりリズム研究会、(株)クロスメディア・パブリッシング、頭・心・体が冴える 仕事リズムのつくり方、2011、pp. 1-192

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山 恵美 (KOYAMA EMI)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授
研究者番号：80346121

(2) 研究分担者

仲 隆介 (NAKA RYUSUKE)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授
研究者番号：10198020

松本 裕司 (MATSUMOTO YUJI)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・助教
研究者番号：60379071

(3) 連携研究者

()
研究者番号：