

研究報告

色を制御可能な有機EL照明を用いた空間に関する主観評価実験

田中 元志^{**}, 齊藤 勝俊^{***}

Subjective Evaluation Tests on Comfortableness of Living Space by Color Controllable OLED Lighting System

Motoshi Tanaka^{**} and Katsutoshi Saito^{***}

Abstract

In order to create a novel comfortable space with a lighting system, a system with color tunable OLED (Organic Light-Emitting Diode) modules was produced, and the effect of color light in a living space was discussed by subjective evaluation tests. A smart lighting system consisted of the lighting, audio device of forest sound, and aroma diffuser was prepared for experiments at an institution for the aged people. The effect of addition of sound and aroma, color of the lighting, and circadian rhythm light was subjectively evaluated. Results indicated that subjects would feel better by the addition of sound and aroma to the color lighting, and warm colors and green (intermediate) colors were preferred.

1. はじめに

ヒト（人間）がより快適に過ごせる空間の創造が求められている。これまでは、温度・湿度を調整することで空間の快適性が実現されてきた⁽¹⁾。また、建築技術やインテリアにより空間の質感を向上させている。照明の照度と色温度については、オフィスや店舗内の快適性から検討されている^{(2),(3)}。また、住宅照明の快適性の検討についても、構築する照度、色温度、壁面の色彩、光源面積といった要因から検討が行われている^{(4),(5)}。色の効果などについての検討も報告されている⁽⁶⁾。しかし、省エネルギーで天井に配置する照明器具が多く、快適性を実現するための照明機器は少ない。近年、有機 EL (OLED) が着目されており、それを用いた照明の開発も望まれている。

筆者らは、ヒトが快適に暮らすための新しい照明器具および環境構築の検討として、色を制御可能な有機ELパネル1枚からなるポータブル照明を試作し、色温度と配置について主観評価実験を行った^{(7),(8)}。夜就寝前などの「部屋を暗くして過ごす」場合を対象とした場合では、暖色系の照明が好まれ、高い位置で、床照明から奥に1m程度に配置したときに、「居心地良さ」の評価値が高かった⁽⁷⁾。

空間のデザインにおいて、これから注目される要素として光（照明）、音、香りが挙げられる。これらを組み合わせることで、快適性をさらに向上させることが期待できる。音や香りの単独の効果については、それぞれ検討されている⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。しかし、照明の色や、それに音、香りを組み合わせた場合については、リラックス効果や快適性に関する検討は見当たらない。

本研究では、照明による新しい快適空間の構築を目的に、有機ELパネル複数枚を用いたカラー照明装置を試作し、それを用いた空間の快適性について検討した。本稿では、照明に音と香りを加えた場合、照明の色を変えた場合、色を時間で変化させた場合について行った主観評価実験（それぞれを Exp. I, II, III）の結果について述べる。なお、全ての実験において、被験者に実験内容を説明し、同意を得て実験を行った。

2. 有機ELパネルを用いた照明システム

調光・調色型の有機EL照明モジュール（パイオニア OLE-D1414G）を複数個用いて、下記のカラー照明を試作した。モジュールの発光部（有機ELパネル）の大きさは12.3×12.3 cm²である。Fig.1 に点灯時の写真を示す。

(1) カラー照明 A : パネル 24 枚 (Exp. I, III で使用)

(2) カラー照明 B : パネル 6 枚 (Exp. II で使用)

無線 LAN を利用し、Web ページ経由で色をコント

2018 年 7 月 20 日受理

^{**} 秋田大学大学院理工学研究科数理・電気電子情報学専攻, Department of Mathematical Science and Electrical-Electronic-Computer Engineering, Graduate School of Engineering Science, Akita University

^{***} サイカツ建設, Saikatu Inc.



(a) OLED lighting A (b) OLED lighting B
Fig.1 Color lightings for the experiments.

ロールできるように構築した。そのサーバとして、Raspberry Pi3 を用いた。Web ページ上で所望の色（RGB の各値）を指定する仕様である。また、これらの照明では、パネルからの光を和らげるため、前面に障子風のワーロンシート（厚さ 0.2 mm）を配置した。被験者らの感想から、見る照明の色の印象は設定色の印象と若干異なるようである。なお、本照明システムは、あきた快適空間創造コンソーシアムと共同で開発・試作したものである。

3. 照明・音・香りによる空間に関する実験

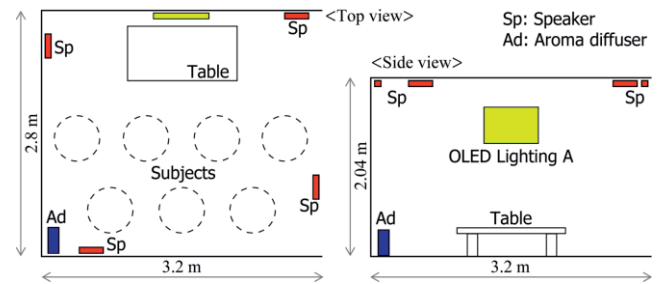
3.1 スマート照明システム

カラー照明装置 A、森の音を発生する音響機器、アロマ発生器（ディフューザー）からなるスマート照明システムを構成した。音響機器には、4 個のスピーカで音空間を演出するハイレゾ音源システム KooNe (JVC ケンウッド)⁽⁹⁾を用いた。香りには、アプトリップ製のアロマを用いた。このアロマは、被験者 32 名による主観評価結果を基に、リラックス効果と空気清浄化を意識して、ひば、レモン、ベルガモット、真正ラベンダー、ユーカリ・ラディアータの植物性精油が配合されたものである。

このスマート照明システムを、老人福祉施設のコミュニティケア大内（由利本荘市）のオープンスペースに設置した⁽¹²⁾。照明、スピーカ、アロマ発生器、および被験者の配置を Fig.2(a)に示す。(b)は実験時の様子（写真）である。

3.2 実験方法

2016 年 8 月, 10 月, 2017 年 1 月に各 1 回, 計 3 回の主観評価実験を行った（それぞれ Exp. Ia, Ib, Ic）。カラー照明の色温度を、これまでの実験条件⁽⁷⁾に合わせて 2000 K（暖色）と 6000 K（寒色）とした。被験者には、Table 1 に示すように、何も提示しない状態を基準として、カラー照明を提示した場合（L）、そ



(a) Placement of experimental apparatus and subjects



(b) Picture

Fig.2 Experimental conditions.

Table 1 Questionnaire in Exp. Ia-Ic.

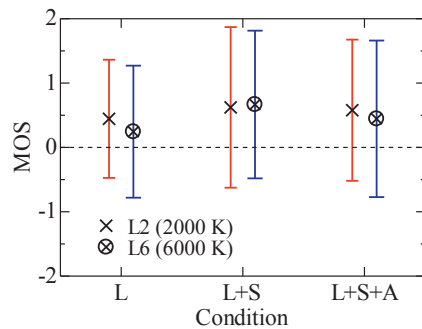
条件	評価課題（質問）
L	照明があると気分はどちらに変化しますか？
L+S	森の音があると気分はどちらに変化しますか？
L+S+A	香りがあると気分はどちらに変化しますか？

Table 2 Five-grade scale.

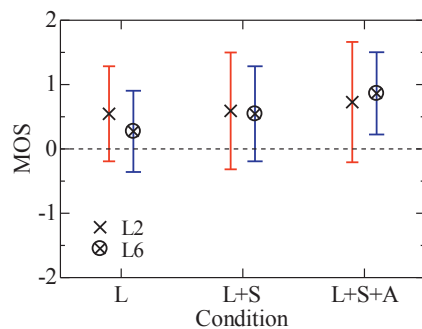
評価値	評価語
2	とてもよい
1	よい
0	変わらない
-1	わるい
-2	とてもわるい

れに森の音を流した場合（L+S）、さらにアロマを焚いた場合（L+S+A）と条件を追加していき、それぞれについて Table 2 に示す 5 段階の評価語から選択させた。

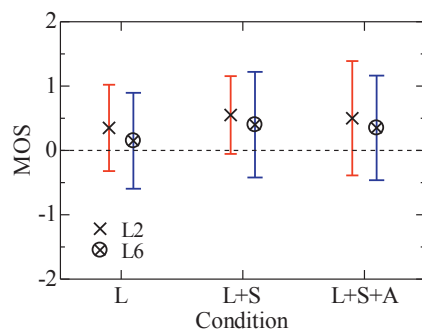
また、1 月の実験では、照明の色に対する好みも調査した。森の音と香りがある状態で、水色、曙色など計 7 色を提示して（カラー照明の色を変えて）、好みの程度を 7 段階（評価値 3：とても好き, 0：ふつう, -3：とても嫌い）で評価させた。なお、このアン



(a) Exp. Ia in August (45 subjects)



(b) Exp. Ib in October (22 subjects)



(c) Exp. Ic in January (20 subjects)

Fig.3 MOS (Mean Opinion Score) when adding forest sound (S) and aroma (A) to color lighting (L) in order.

ケート時のみ、市販のアロマ(エアアロマ arobalance)を用いた。

被験者は10～80代の健康な学生、職員、施設利用者などであり、第1回が45名(女性14名、男性31名)、第2回が23名(女性2名、男性21名)、第3回が23名(女性5名、男性18名)であった。

3.3 評価結果と検討

平均評価値(MOS: Mean Opinion Score)と標準偏差をFig.3に示す。(a)が第1回⁽¹²⁾、(b)が第2回⁽¹²⁾、(c)が第3回の結果であり、L2は照明の色温度が2000 K、L6は6000 Kの場合である。第2、3回の被験者数が第1回の約半数(約2/3は同じ被験者)であるが、

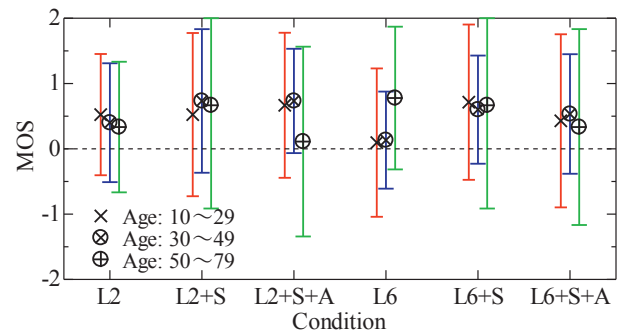


Fig.4 Comparison by age in Exp. Ia.

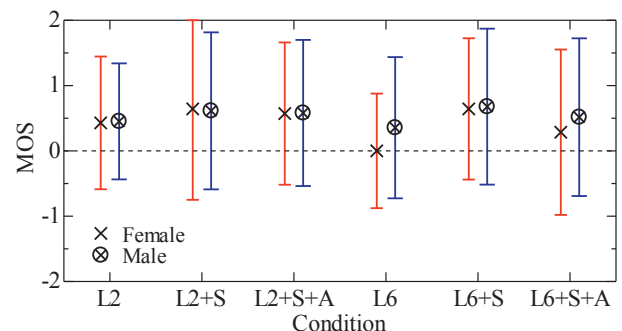


Fig.5 Comparison by gender in Exp. Ia.

評価の傾向に大きな違いは見られなかった。分散分析を行った結果、有意な差は得られなかった。しかし、いずれの条件においても、MOSは0(変わらない)より大きい値となった。カラー照明のみの場合では、差は得られなかったが、これまでの結果⁽⁷⁾と同様に、暖色の方が好まれる傾向が確認された。また、カラー照明に音、香りが加わることで、被験者は気分がよくなる方向に向かうことが示唆される。

被験者数が多い第1回の結果について、年代(年齢)と性別による違いを比較した。年代を3つ分けて比較した結果をFig.4に示す。年代による大きな違いは見られないが、50代以上(9名)では香りの効果が小さい傾向が見られた。性別による比較をFig.5に示す。男女による大きな違いは見られなかった。

森の音と香りがある状態で、照明の色を変えて点灯したときの好みについて主観評価させた結果(第3回に実施)をFig.6に示す。ばらつきが大きく、多重比較検定では差は見られなかったが、いずれの色においてもMOSは0(ふつう)以上であり、よい評価となった。鮮緑のMOSが最も大きく、緑系(中間色)が好まれる傾向が示唆される。水色のMOSが小さかったが、寒い時期(1月)の実験であったことが要因の一つとして考えられる。

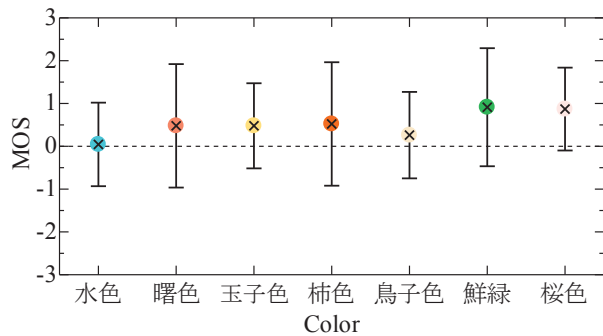


Fig.6 Preference of color lighting with forest sound and aroma in Exp. Ic.

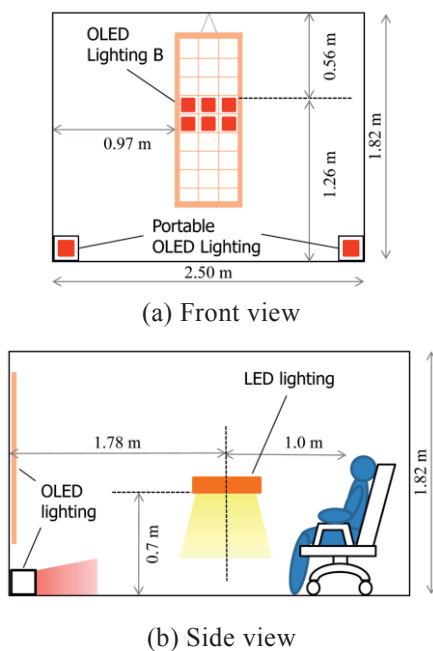


Fig.7 Placement of experimental apparatus and subjects in Exp. II.

4. 色が異なる照明を用いた空間に関する実験

4.1 実験方法

カラー照明の色を変えた場合について主観評価実験を行った (Exp. II). 秋田大学理工学部 1 号館 331 室 (シールドルーム) 内に, 6 畳間の空間を模して被験者の回りを高さ 1.82 m の衝立で囲った. Fig.7(a)に示すように, カラー照明 B を被験者の正面中央に, 同じ光源を持つポータブル照明⁽⁷⁾ 2 台をその両脇に配置した. また, Fig.7(b)に示すように, 被験者をリクライニングチェアに座らせ, 被験者から奥 1 m の両脇の壁に補助灯 (光源 LED, 進藤電気設計 jiwari moonlight) を配置した. 補助灯のみ点灯させたとき, 床中央での照度は約 3.5 lx であった. なお, 実験中, 補助灯を常時点灯させた.

Table 3 Color of OLED lighting in Exp. II.

色名	RGB値	照度 [lx]
Mg (marigold)	R: 243 G: 152 B: 20	9.8
Cy (cyan)	R: 0 G: 161 B: 233	6.8
Sm (spearmint)	R: 121 G: 192 B: 110	8.2
Vi (violet)	R: 70 G: 14 B: 68	3.7
Rd (red)	R: 255 G: 0 B: 0	7.4
Bl (blue)	R: 0 G: 0 B: 255	4.2
Ol (olive)	R: 114 G: 100 B: 12	5.0
Dp (deep pink)	R: 255 G: 20 B: 147	7.7



Fig.8 Scale for opinion test (questionnaire).

照明の色は, Fig.6 の結果を基に, 好きな色と嫌いな色を含むように, Table 3 に示す 8 色とした. 表には, 各色の RGB 値⁽¹³⁾と点灯時の床中央での照度を示している. 各色について, カラー照明消灯 (補助灯のみ点灯) 90 s 間の後に点灯 100 s 間とした. カラー照明消灯時を基準にして, 居心地, 安らぎ (リラックス), 好みについて, Fig.8 の 7 段階評価スケールを用いて比較評価させた. 被験者は健康な男性 15 名 (20~38 歳) とした.

4.2 評価結果と検討

平均評価値 (MOS) と標準偏差を Fig.9 に示す. (a) は居心地よさ, (b) は安らぎ, (c) は照明としての好みの結果である. すべての評価項目において, MOS は, スペアミントの場合に最も大きく, 赤が最も小さい結果となった. 2 元配置分散分析後に Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った. 図中の**および*印は, それぞれ有意確率 $p < 0.01$ および $p < 0.05$ を示している. 赤は情熱的, 興奮などの正の印象があるが, 明るく, この実験では負の印象を持たれた可能性が考えられる. スペアミントは緑系の色であり, 本結果からも中間色が好まれる傾向が得られた. ディープピンクについては, 安らぎにおいて MOS が小さい

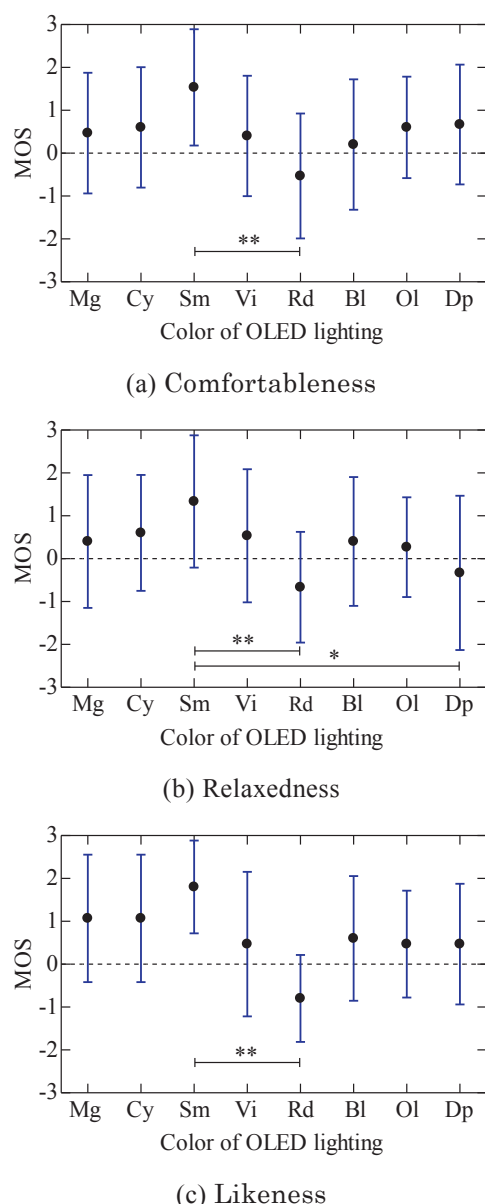


Fig.9 MOS of Exp. II.

結果となり、居心地と好みの傾向と異なった．今回の実験では色によって明るさが異なったことから、今後、輝度あるいは照度を統一した検討も必要と考えられる．

5. サーカディアンリズム照明を用いた空間の検討

5.1 実験方法

試作したカラー照明の応用として、日の出から日の入りまでの時間で色温度を連続的に変化（点灯⇒朝日の色⇒晴天の色⇒夕日の色⇒消灯）させるサーカディアンリズムライトの利用を提案する．この機能を、コミュニティケア大内のオープンスペースに配置したスマート照明システムのカラー照明 A にインストールして、利用者に体験させた（Exp. III）．森の

音（KooNe）とアロマ（アプリトリップ製）も使用した．なお、アロマは、認知機能の向上を意識して⁽¹¹⁾、昼用はローズマリー・カンファーとレモン、夜用は真正ラベンダーとオレンジ・スイートの精油が配合された．実験期間を 2018 年 4 月～2018 年 5 月とし、使用前、使用後（3 週間後、および 5 週間後）に、下記の項目についてアンケート調査（Table 2 をベースとした 5 段階の主観評価）を行った．アンケートの対象（被験者）は、認知症自立度Ⅲレベル以上（主治医の意見書による）で、週 3 回以上の通い、かつ宿泊も利用している男女 5 名（74～88 歳）とした．

(1) 使用前のアンケート項目

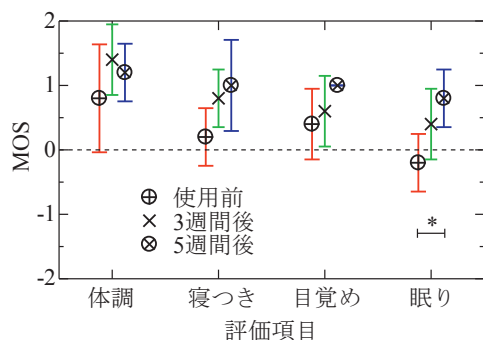
- ①現在の体調はどうですか？（悪い ⇄ 良い）
- ②普段の寝つきはどうですか？（悪い ⇄ 良い）
- ③普段の目覚めはどうですか？（悪い ⇄ 良い）
- ④普段はぐっすり眠れていますか？（眠れない ⇄ 眠れている）

(2) 使用後のアンケート項目

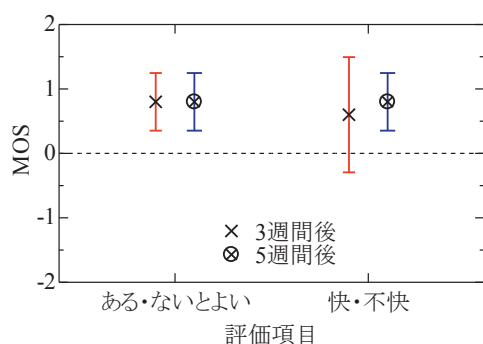
- ①現在の体調はどうですか？（悪い ⇄ 良い）
- ②寝つきはどうなりましたか？（悪くなった ⇄ 良くなった）
- ③目覚めはどうでしたか？（悪くなった ⇄ 良くなった）
- ④ぐっすり眠れるようになりましたか？（なっていない ⇄ そうなった）
- ⑤このライトは？（なくてよい ⇄ あるとよい）
- ⑥このライトがあると？（不快 ⇄ 快適）

5.2 評価結果と検討

使用効果（アンケート項目①～④）についての平均評価値（MOS）と標準偏差を Fig.10(a)に示す．図中の*印は 2 元配置分散分析後に Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った結果（ $p < 0.05$ ）である．項目②～④については、3 週間後、5 週間後と使用時間が長くなるほど MOS が大きくなっている．また、使用後のアンケートでは、全ての被験者においてマイナス評価は無かった（0 以上であった）．被験者数が少ないが、ぐっすり眠れるようになってきていると考えられる．使用感（アンケート項目⑤、⑥）についての結果を図 Fig.10(b)に示す．こちらも、全ての被験者でマイナスの評価は無く、不快には感じなかったようである．これらの結果から、サーカディアンリズムライトに特別な必要性を感じていないが、この機能を装備した本スマート照明システムは被験者にとってよい方向に作用していることが考えられる．今後、被験者を増やした長期的な調査および検討が必要である．



(a) Comparison before and after use



(b) Impression of use

Fig.10 MOS of Exp. III.

6. まとめ

照明による新しい快適空間の構築を目的に、有機ELパネルを用いたカラー照明装置を試作した。そして、それを用いた空間の快適性について、カラー照明の色、音と香りの有無、などの条件を変えて主観評価実験を行った。その結果、カラー照明に音、香りが加わることで、被験者は気分がよくなる方向に向かうこと、暖色や緑系（中間色）の色が好まれる傾向が示唆された。また、日の出から日の入りまでの時間で色温度が変化するサーカディアンリズムライトを提案した。今後、脳波や心電図などの生体信号との関連についても検討していく予定である。

謝辞

被験者として協力頂いた方々、実験に協力頂いた本学修了生 室井一輝氏、コミュニティケア大内の小笠原孝理事長と職員の方々、ならびにあきた快適空間創造コンソーシアムの関係各位に感謝する。また、本研究の一部は平成27年度および29年度あきた企業応援ファンド事業の助成で行われた。

参考文献

- (1) 江見明彦, 米本洋幸 (2010): 快適性評価 PMV, 知的システム研究会 第113回月例発表会, 1-4頁.
- (2) 福田吉人, 柿崎昌子, 高見浩志, 平川貴大, 中島幸市, 清水亨, 山本剛, 錦明範 (2009): 世界初全館LED照明建屋の感性評価と色温度に対する快適性の考察, ヒューマンインターフェースシンポジウム2009, 2312.
- (3) 久保千穂, 山羽和夫, 阿山みよし (2013): 店舗照明を想定したLED照明の照度と色温度による快適性, 照明学会誌, 97巻, 2号, 77-81頁.
- (4) 國嶋道子, 梁瀬度子 (1984): 室内構成材の雰囲気への影響に関する研究(1) 一設計計画的要因について一, 人間工学, 20巻, 6号, 327-334頁.
- (5) 高橋啓介 (2006): 照明の色温度と照度とが室内環境評価に及ぼす効果, 医療福祉研究, 2号, 30-36頁.
- (6) Liu, T. C.-Y., Liao, C., and Liu, S. (1995): Theoretical Research on Color Indirect Effect, *Proceedings of SPIE* 2393, *Ophthalmic Technologies V*; doi: 10.1117/12.209852.
- (7) 田中元志, 室井一輝, 齊藤勝俊, 込山敦司 (2015): 屋内用ポータブル照明の色温度と配置に関する一検討, 電気学会a部門大会, 17C-a1-6.
- (8) 込山敦司, 田中元志, 齊藤勝俊 (2017): 屋内用ポータブル調色照明の光源色嗜好と配置に関する研究, 第80回日本建築学会東北支部研究報告会, B-25.
- (9) KooNe ホームページ (2018): <http://www.koone.jp/>.
- (10) Choy, P.T., Haddadan, G., Poyton, C.N., Einstein, R., and Lavidis, N.A. (2006): Effects of Praescent (plant derived odour) on chronic stress, *Proceedings of Australian Physiological Society* (Brisbane, Australia), pp.101-102.
- (11) 塩田清二 (2018): “【アロマで認知症が改善】 昼はローズマリー、夜はラベンダーの香りで脳を刺激したら...”, <http://www.karadane.jp/articles/entry/news/006840/>.
- (12) 齊藤勝俊, 室井一輝, 松井加奈絵, 田中元志 (2017): カラー照明に音と香を加えたときの快適性に関する一検討, 第50回日本生体医工学会東北支部大会, ME-3-4.
- (13) 原色大辞典 (2018): <https://www.colordic.org/>.