

## 【HUE-HEAT 空調・照明連動制御の実証研究成果が国際科学誌“PLOS ONE”に掲載】

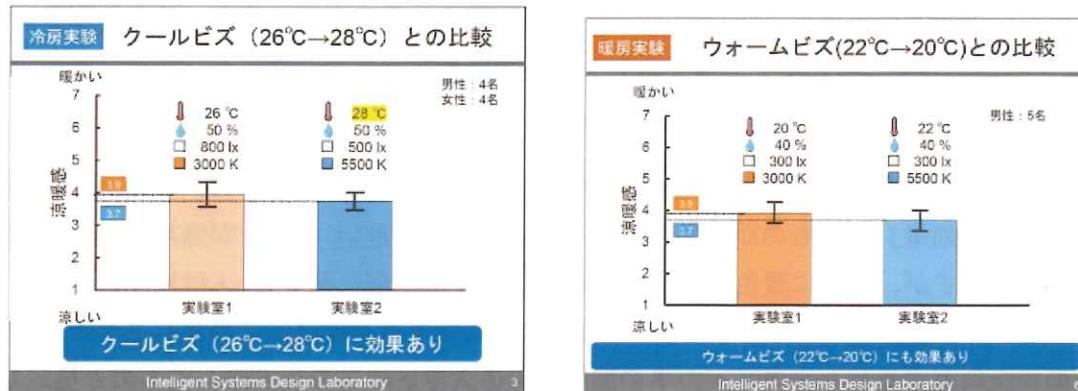
- 2016年9月末より3年半の間、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）リサーチコンプレックス事業『iBrain x ICT「超快適」スマート社会の創出』の一環として、けいはんな学研都市メタコンフォート・ラボにて行われていた《空調温度と照明色温度のシナジー効果を最大限に発揮させた空調・照明連動制御》の実証実験が完了し、その成果が、2020年8月、著名な国際科学誌“PLOS ONE”に掲載されました。
- 室温と照明の色との相互作用は「HUE-HEAT 効果」として多くの研究成果がありますが、「快適性と省エネ性を両立させた空調・照明連動制御」の事業化はあまり見ません。木村工機は、空調の重要なファクターである「室内温度と相対湿度」の制御のみならず、「照明の色温度」を連動させることで、オフィスの執務者に心理的影響を与え、「照明と空調のシナジー効果」で省エネと人の快適性を両立させる新たな「空調・照明連動制御」方法を確立しました。
- 実は50年前の1972年、米国 Human Factors 誌でベネット、レイ両教授より「What's so hot about Red?」が発表され、「HUE-HEAT 効果」なるものが着目されました。これは色合い（Hue）が温冷感（Heat）に影響を与えるという理論なのですが、実際に暖色の電球色から寒色 LED の部屋に移すと、人は冷涼感を感じ、逆では温暖感を感じることが、各研究機関で確認されましたが、これまでそれを本格的に商品化させた企業はありません。それはその検証に対するヒト・モノ・カネの開発投資の大きさに二の足を踏んだものと推定しますが、3年前、ここに文科省の決断が大きな舞台を作りました。
- 「世界に誇る地域研究開発・実証拠点（リサーチコンプレックス。以下 RC）推進プログラム」は文科省所管の科学技術振興機構（JST）が仏国グルノーブル地域における研究開発を参考に、地域内の研究機関・企業・大学が連携して最先端の研究開発を行う拠点形成のために起ち上げたプログラムであり、毎年10億円以上の特別予算を組み、全国の地域に対して公募を行いました。けいはんな地域の頭記プロジェクトも幸いにして2016年9月末に採択され、この2020年3月末までの3年半の間、超快適社会の創出を目指した多種な研究開発を続け、今回の HUE-HEAT 効果に関する研究成果が、国際的に著名な科学誌“PLOS ONE”に掲載されました。
- この研究論文は同志社大学、情報通信研究機構（NICT）、木村工機（株）が共同で実施した被験者実験のデータの一部を取り纏めたもので、本論文の主要な結果は以下の通りです。
  - (1) 同じ温度の部屋でも暖色照明と寒色照明では約2段階の体感温度の差が生じる。
  - (2) 2°C差、或いは3°C差のある部屋であっても照明条件により体感温度の差はなくなる。
  - (3) 1°C差であれば、照明条件により体感温度は逆転する。
- 添付資料1：“Effect of Illumination on Perceived Temperature”  
(<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236321>)  
執筆代表者：對馬淑亮（NICT：国立研究開発法人情報通信研究機構）
- 添付資料2：上記抄訳「体感温度に対する照明の影響」  
同志社大学 名誉教授 三木光範
- このHue-Heat効果については、例えば千葉大、東北電力など、全国の各研究機関が取り組んできましたが、何れの研究でも色温度が交感神経活動を活性化することが判り、それも少なくとも20～30分間の持続を確認

したようです。そこで更に壁面照明など空間意匠に工夫を加えれば、60分以上の持続も有るのではないかと考え、そうすればこの空調温度と色温度のシナジー効果は夏期・冬期の朝の空調機器の立ち上がりの事前運転、また昼下がりの非定常ピーク対応運転に振り向けると、かなりの省エネが期待できるのではと考えました。

■そこで、けいはんなメタコンフォート・ラボ(5400x5500xH2800mmの2実験室)ではPLOS ONE誌に掲載された実験条件以外でも多様な条件を設定して実証実験を行った結果、次の5点が確認できました。

…例えば、実験室A:26°C、RH50%、低色温度3000K、実験室B:28°C、RH50%、高色温度5500Kと、異なる空調温度下で色温度を変え、この3年間、被験者延べ836名で実験を実施。

- ① 同じ室温の場合、高色温度5500Kは「涼」、低色温度3000Kは「暖」を体感する。
- ② クールビズ(28°C)、ウォームビズ(20°C)とも色温度での対応で設計基準(冷房26°C、暖房22°C)の快適性を維持することを確認。



- ③ 一般ビルでは4000K以上が採用されており、「色温度」に更に「水色壁面照明」を施すと、25°Cを27°Cに上げても「涼」維持が確認できた。快適性の面からは湿度制御を加えるのが、更に効果的なことも確認。
- ④ 冷房25°C→27°C上昇、暖房24°C→22°C下降の2°C差は90分近く色温度で「涼暖感」を維持できること確認。
- ⑤ 湿度制御では暖房時、低照度において低色温度は湿度40%より50%の方が暖かく感じること確認。

■次に「省エネ性」の面から、その効果を《年間消費電力量》で見ますと、環境省『温暖化対策における削減量の根拠』ではクールビズ削減率▲6.8%、ウォームビズ▲13.8%、これにより年間省エネルギー率は▲10%と推定されます。そこで今回の実証実験結果で総合評価(木村工機試算)しますと、

- ①国交省「建築設備設計基準」に対し、「クールビズ・ウォームビズ」は年間▲10%の省エネになり、省エネに寄与することはできるが、国民には些か不快感を強いている。
- ②そこで色温度3000K/6000K切替と連動させる照明制御を工夫すれば、「HUE-HEAT効果」が得られ、《快適性を維持》しながら▲7%の省エネが可能である。
- ③加えて、更なる快適性を追求するために湿度制御を取り入れた「HUE-HEAT空調システム」では省エネ率は▲5%と若干、低くはなるが、《理想的な快適性》を実現する。

■「建築物省エネ法」は従来の杜撰な届出制を廃し、省エネ事前判定を義務付け、2019年4月には対象建築物が現在の2000m<sup>2</sup>以上から、一挙に300m<sup>2</sup>以上にまで拡大しました。

一方、「ZEB」も2020年からは新築公共建築物、2030年には全ての新築ビルの平均値でZEB実現を目指すことになり、この変革は世界レベルの動きとして地球温暖化防止にも繋がる不可避のテーマであることを、先ずは認識せねばなりません。

■顧みてこの100年、空調は依然、フロン冷媒に頼っており、50年前、既に今日の地球環境問題を見ていたかの如き《HUE-HEAT理論》が発表されているにも拘らず、我が国はもとより、どの国のメーカーも商品化していない現状からも、今こそ《省エネ性・快適性追求》にこの技術を活用すべき時だと思います。以上。

2020/07/28

三木光範

論文誌名：国際科学ジャーナル PLOS ONE (米国 Public Library of Science 出版社)

<https://journals.plos.org/plosone/>

論文の世界的影響度：インパクトファクターは 2.87 (1 以上であれば良好な論文誌である。日本の多くの学術雑誌は 0.2~0.5)

<https://academic-accelerator.com/Impact-Factor-IF/jp/PLoS-ONE>

## 論文題目：体感温度に対する照明の影響

著者：対馬淑亮 (NICT:国立研究開発法人情報通信研究機構)、岡田 祥 (同志社大学)、川合由夏 (同志社大学)、住田章夫 (木村工機株式会社)、安藤広志 (NICT)、三木光範 (同志社大学)

### アブストラクト：

従来から良く知られている HUE-HEAT 効果（ヒュー・ヒート効果）とは、照明の色などの環境が体感温度に影響を与えるという仮説である。しかしながら、この効果は我々の日常の生活にあまり応用されてこなかった。そこで、我々は HUE-HEAT 効果を積極的に実生活に応用するために、制御された空調環境における照明と人の体感温度との関係を心理物理学的な側面から実験を行い、検証した。その結果、照明環境は人の体感温度に対して 3 つの効果があることを確認した。すなわち、涼暖感の創造、除去、および逆転作用である。さらに、3 つの効果のうち、涼暖感の創造はすぐに現れるが、涼暖感の除去に関しては一定の時間が必要であること明らかにした。これらの結果から、我々は HUE-HEAT 効果を定量的に理解することができるだけでなく、その効果を日常生活の中で応用することができる。

### 被験者実験内容：

被験者実験は同志社大学の学生 118 名（男性 66 名、女性 52 名、平均年齢 21.4 歳）に対して実施し、2017 年 8 月 6 日から 12 日まで、2018 年 7 月 21 日から 27 日までの実験データを得た。二つの実験室を用い、それらの部屋の温度差を 0°C (温度差無し)、1°C、2°C、および 3°C とした実験を行った。外気の温度は 2017 年では 22.7°C~32.6°C、2018 年は 24.5°C~35.4°C であり、湿度は 2017 年は平均 65.5%、2018 年は平均 62.6% であった。

実験設備は京都のけいはんなオープンイノベーションセンター内に新設したメタコンフォートラボ コンフォートラボ（約 30 平米の部屋が 3 つ並んでおり、中央が待機室、両側が温度および照明環境が異なる二つの部屋である）である。実験室の温度は実験室 1 の温度 27°C を基準とし、1°C 差の場合は実験室 2 の温度を 26°C、2°C 差の場合は 25°C、3°C 差の場合は 24°C とした。また、照明環境は照度 800 ルクス、色温度 3000 ケルビンの部屋（暖色系照明と称す）と照度 300 ルクス、色温度 5500 ケルビンの環境（寒色系照明と称す）とした。なお、待機室の照度と色温度はそれの中間的な値とした。

被験者実験の方法は、4~5名の被験者が温度と照明環境が異なる実験室1および実験室2に入り、20分間読書を行ってもらう。その間、部屋に入った時、および5分ごとに涼暖感を主観的評価する。その後、温度差と照明環境が異なる実験室に移動し、部屋に入った時、および5分ごとに涼暖感を主観的評価する。これを4回繰返し、室温と涼暖感の関係を求める。主観的評価の尺度は1(寒い)から7(暑い)までの7段階とした。

被験者実験の結果、0°C差の実験室を移動した場合、暖色照明と寒色照明では主観的評価尺度において約2段階の差となり、暖色照明は約5(やや暖かい)に、寒色照明は約3(やや涼しい)となり、HUE-HEAT効果の明確な差として現れた。また、1°C差、2°C差、および3°C差での被験者実験から、暖色照明と寒色照明が同じ体感温度となるのは2°C差および3°C差であった。すなわち、2~3°Cの室温差は照明の色温度の変化で除去(すなわち体感温度を同一に)することができる事が明らかとなった。

#### 照明制御による体感温度の制御：

これらの結果から、照明環境の変化によって体感温度を次の3つの種類に制御できる。

- (1) 体感温度に差をつける (creating) : 同一温度でありながら、照明環境によって涼暖感に差をつけることができる。
- (2) 体感温度を同一にする (eliminating) : 異なる温度でありながら、照明環境によって同一の体感温度にすることができる。
- (3) 体感温度を逆転させる (exchanging) : 照明環境によって温度が低い部屋を暖かくさせ、温度が高い部屋を涼しくさせることができる。

結論：照明環境を暖色照明から寒色照明に変化させることで体感温度を2~3°C変化させることができることがわかった。

結論の意義：この結果、夏の冷房時には寒色照明を用いることで涼しく、冬は暖色照明を用いることで暖かくすることができ、冷房温度を2°C上げ、暖房温度を2°C下げることができ、省エネルギーに大きな交換をすることができる。また、同一の部屋で温度を変えることは容易で無いが、照明環境を変えることで、そのエリアでの体感温度を変えることができるため、個人の好みに応じてエリアを移動することで、自分にとって最適な体感温度環境を選択することができる。

(抄訳：同志社大学名誉教授 三木光範)

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED

RESEARCH ARTICLE

## Effect of illumination on perceived temperature

Yoshiaki Tsushima Sho Okada, Yuka Kawai, Akio Sumita, Hiroshi Ando, Mitsunori Miki

Published: August 10, 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236321>

0 Save	0 Citation
761 View	1 Share

Article	Authors	Metrics	Comments	Media Coverage

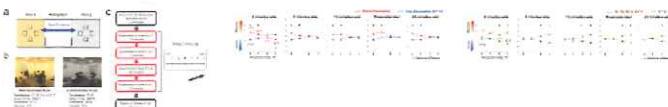
<a href="#">Download PDF</a>	
<a href="#">Print</a>	<a href="#">Share</a>
	<a href="#">Check for updates</a>

Reader Comments (0)

### Figures

Media Coverage

Figures



ADVERTISEMENT

### Abstract

The widely known hue-heat effect, a multisensory phenomenon between vision and thermal sensing, is a hypothesis based on the idea that light and colors affect perceived temperature. However, the application of this effect has not been prevalent in our daily lives. To work

#### Effect of illumination on perceived temperature

Yoshiaki Tsushima, Sho Okada, Yuka Kawai, Akio Sumita, Hiroshi Ando, Mitsunori Miki



Citation: Tsushima Y, Okada S, Kawai Y, Sumita A, Ando H, Miki M (2020) Effect of illumination on perceived temperature. PLOS ONE 15(8): e0236321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236321>

Editor: Adrian G. Dyer, RMIT University, AUSTRALIA

Received: March 3, 2020; Accepted: July 2, 2020; Published: August 10, 2020

Copyright: © 2020 Tsushima et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Funding: This work was partially supported by a JST (Japan Science and Technology Agency) project "Keihanna Research Complex". This work was also supported by Kimura Kohki Co. Ltd. Kimura Kohki Co. Ltd. The funder provided support in the form of salaries for an author [A.S.], but did not have any additional role in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. The specific roles of the author are articulated in the 'author contributions' section.

Competing interests: The authors have read the journal's policy and have the following competing interests: AS is a paid employee of Kimura Kohki Co. Ltd. There are no patents, products in development or marketed products associated with this research to declare. This does not alter our adherence to PLOS ONE policies on sharing data and materials.

#### Subject Areas

- [Sensory perception](#)
- [Humidity](#)
- [Psychophysics](#)
- [Color vision](#)
- [Experimental design](#)
- [Conservation of energy](#)
- [Experimental psychology](#)
- [Light](#)

#### Archived Tweets



11 Aug 2020

Neuroscience Papers

@neuropapersbot

Effect of illumination on perceived temperature

<https://t.co/oARxPtvbwP>

### Introduction

Our sensory system often combines information from two or more sensory modalities, a process called multisensory integration. There are a large number of investigations on multisensory integration between audition-vision [1–3], vision-touch [4–6], auditory-touch [7–8], and others. Most academic research papers on multisensory integration have demonstrated multisensory phenomena by showing the influence of one sensory modality on the other. For instance, Shams et al. reported a multisensory phenomenon between sight and sound: a single visual flash is falsely perceived as multiple flashes when a single flash is accompanied by multiple auditory beep sounds [3]. However, applications that use such a multisensory illusion