

居住空間における快適嗜好性データを用いた 照明制御による快適性維持システムの提案と実装

崔 漢鐘^{†1} 松井 加奈絵^{†1,2}

概要: ネットワークを利用した制御可能なフルカラーLED照明の普及に伴い、照明制御によって室内において快適な色温度、色相、色調の演出をシステム上で行うことが可能となった。本研究では、本技術を利用し、かつ収集したデータから個人の快適嗜好性に適している色温度の制御を行うことを目指す。今回は、快適性が著しく下がる夏の住居において、各住民の快適嗜好性データを Web アンケートで収集する。この収集されたデータをもとに、フィードバック制御をすることによって、夏期に涼しさを感じるとされている寒色系電球色のなかから各住人の嗜好性に最も適した色相、色調を一つだけ抽出し、これを提示する。このように住人の嗜好性に合わせた色温度、色相、色調を提案することによって、個人にもっとも適している空間の涼しさを演出することが可能になり、体感温度を変化させることで夏期における室内の快適性を担保するシステムを提案する。本システムの有用性をはかるために、大学の一室を住居に見立て、実証実験を行った。次に、被験者8名に参加してもらい、システムの利用があった場合、なかった場合を比較し、どちらが快適な空間であったのかをアンケートを用いて評価した。その結果、体感温度に若干の変化が見られたことによって、約15.8%本システムの導入により快適性の向上が見込まれた。

キーワード: 自動照明制御, 室内快適性, 室内嗜好性

Automatic lighting control system using data of the indoor comfort preference in living space

Hanjong CHOI^{†1} Kanae MATSUI^{†1,2}

Abstract: Along with the spread of controllable full-color LED lighting using the network, it has become possible to perform comfortable color temperature, hue, color tone in the room by lighting control on the system. In this research, we aim to control the lighting color which is suitable for individual comfortable preference from this collected data using this technology. In this time, we will gather comfortable preference data of each resident in a web questionnaire in the summer residence where comfort decreases markedly. Based on this collected data, by feedback control, we extract only one hue and color tone most suitable for the preference of each inhabitant from the cold-colors bulb color which is said to feel cool in the summer, and present it. By suggesting the color temperature, hue, color tone according to the taste of the residents like this, it is possible to personally produce the coolness of the better space, by changing the sensible temperature, it is possible to indoor we propose a system that guarantees comfort. Further to test applicability in this system, one room of the university was considered inside the residence, AB test was conducted. Finally, in order to evaluate whether comfort has improved, we compared system control with and without system control. As a result, slight changes in the sensed temperature resulted in about 15.8% improvement in comfort due to the introduction of this system.

Keywords: Automatic lighting control, Indoor comfort, Preference of the indoor comfort, Experiment

1. はじめに

スマートホームや Home Energy Management System (HEMS) など Internet of things (IoT) を用いた技術によって住居のあり方が多様化したことにより [1], 居住空間は収集されたデータをもとに、システムを制御することでより暮らしやすい快適空間の提供がなされるようになった [2]. そのため、空調など制御するシステム heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) システムといった [3], 住居内の快適な要素とされている室内温度、室内湿度、風速を大きく変化させることができるシステムによって快適性の担保を図るシステムが提案されてきている [4]. 本研究では、このようなセンサネットワークによって収集されたデータ

に基づいてフィードバックシステムを、ネットワークによって制御可能な LED 照明を用いて低コストで実現するシステムを構築した。また、本システムでは、快適性が著しく低下する夏期に快適性の向上を目指しているため、心理的に涼しい色を提案することによって体感温度を変動させることが可能であるならば、快適性の向上が見込まれると仮定し、夏期体感温度が涼しく感じる色相 4 色(青、水色、緑、紫)を準備した [5]. 加えて、各住人の好みの色を考慮することで各個人にとって最適な制御を行うことを目指し、アンケートによってこれら 4 色から嗜好性を収集した後、好みの色調を 8 色の中から最も好みの色相と色調を抽出した。これらのふたつの嗜好性データに基づいて LED 照明

^{†1} 東京電機大学
Tokyo Denki University.
^{†2} 慶應義塾大学 メディアデザイン研究センター

によってフィードバック制御するシステムを提案した。

本提案システムでは、研究室を住居内と想定し、被験者 8 名に対してシステムの適用性をテストするため、午前と午後照明制御の方法を変更する AB テストを実施した [6]。対象者を 2 グループに分け、各 4 名ずつに対して期間 A、B をそれぞれ 15 分間体験してもらった。以下、各期間の詳細について述べる。期間 A (午前) では、提案照明システムを用いず通常の空間で過ごしてもらい、その後、夏期における照明の (1) 色温度 5300K 以上 [7]、(2) 夏期涼しく感じる色相 4 色、(3) 各色 9 色の色調を 1 色選び、これらをもとに嗜好性データを収集するためのアンケートをとった。これらのデータをもとに各被験者の (1) から (3) の嗜好性データを解析した。次に、期間 B (午後) では、これらの収集した (1) から (3) のデータをもとに最も各被験者にあった照明の色相、色調、色温度のフィードバック制御を行い各 1 名に対して 15 分間照明を照射したのち、5 分間のアンケートをとり、この期間 A と B の快適性と体感温度が提案照明によって変化することが可能であるかを定量的、定性的に調査した。また、快適な 6 つの要素である室内温度、室内湿度、風速、放射温度、着衣量、活動量をシステム上で変化させることなく、照明が与える心理的な効果を視覚的に刺激することにより快適性の担保が可能であるのか、温冷間申告指標である Predicted Mean Vote (PMV) [8]、また定性的な室内快適性と比較することで、本提案システムの有用性を評価した。

2. 関連論文

住居内に環境、電力消費データを計測するための様々なセンサを取り付け、収集したデータ活用することで、見える化や制御を行う住人のニーズに応える次世代の住まいであるスマートホーム、HEMS が注目されている。従来の HEMS では、電力消費量データの可視化を行うことでエネルギー削減を促すシステムが多かった。しかしながら、最近ではデータの可視化だけではなく、これらのデータをもとにエネルギー削減や快適性向上を促進するシステムの開発がネットワークを介したあらゆる家電によってなされており、特に、HVAC システムまたは加湿器の自動制御などによって快適性は担保されるようになった [6]。そのため、これらのシステムを制御するために室内のデータはより需要が増すようになった。また、快適性を数値化するために HEMS は環境データである室内温度、室内湿度、風速、照度と物理データの着衣量と活動量のデータを収集することが必要になり、これらのデータをもとに温冷感指数である Predicted Mean Vote (PMV) の計算によって人々の住居内の快適性を数値化することが可能になった。

しかし、これらの導入には初期投資としておおよそ 20 万円の費用が最低でも必要になるという金銭的な問題がある [9]。そのため、HEMS データを利活用することで、室内快

適性を向上するため機能を低コストで実装することで、HEMS の価値を高める施策が必要である。また、HEMS データを利用した住人の嗜好性に合わせた LED 照明の自動制御に関する研究は少ない。

センシングデータを利用した LED 照明の自動制御の研究は、オフィスや教育現場といった集中力を必要とし、かつ知的生産効率性を上げることを目的とした研究がなされている [11]。また、夏期、冬期といった不快指数が高くなる季節に色温度を調整できる LED 照明を照射することによる体感温度を変化させる研究が行われている [12]。他にも、一般的に涼しさを感じる色や温かみを感じる色を用いて室内の快適性を向上させる研究が関連事例としてあげられる [13, 14]。本研究では、スマートホーム、HEMS のひとつの目的である室内快適性向上を低コストで実現し、各住人の嗜好性データをセンサネットワークによって収集し、データから導かれる個人に適した色温度と色調を制御するシステムを構築する。そして、体感温度に影響を与えることで、快適性を担保するシステムを提案した。

3. 提案システム

本研究では、提案システムとその評価方法についての 2 つの機能について説明する。

はじめに、本提案システムである住人の快適嗜好性をもとに照明を制御するために Web アンケートで照明に対する各被験者の好みのデータを収集し、照明にフィードバック制御させたシステムを構築した。このフィードバック制御させるシステムの全体像として、最初に Web アンケートによって各被験者の好みの照明色を演出する。そのために、夏期涼しく感じるため、色温度 5,300K 以上かつ色相 4 色 (青、スカイブルー、緑、紫) を照明で照射したのち好みの色相を選択する。その後、選択した好みの色相から色調 8 パターンの中から 1 パターンを選択する。なぜならば、色相のみをデータ収集する場合、色の濃淡の違いで不快になる結果が得られる場合があるからである。これらの収集したデータを csv ファイルに変換し、ファイルをデータベース上に送信する。この時、被験者情報や室内快適性など他のデータも csv ファイルとしてデータベースに蓄積する。そのため、データベース上から照明のフィードバック制御情報だけを抽出した。このデータを用いて、照明を制御するために既存の商品である Phillipse 社の LED ライト hue を用いてフィードバック制御させた。それゆえに、同一ネットワーク上にフィードバック制御するためのクライアント PC と照明のブリッジをネットワークにつなげる必要があるため同一 Wi-Fi 上に 2 つを設定した。その後、照明を制御する時にクライアント PC 上で照明の制御命令を出した時、コンポーネントである照明のブリッジを介して、ZigBee light link の通信規格によって、本研究で使用する照明 3 つに対して、住人好みの色を制御するシステムを提案した。

次に、各被験者の快適嗜好性をはかるため室内の快適性を数値化した温冷間指数である PMV を利用するが、この値を算出するために PMV の計算式を(1)に示す。

$$PMV = f(A) * H \quad (1)$$

また、A は活動量、f (A) は活動量を計算する関数である。

$$f(A) = 0.303e^{0.036M} + 0.028 \quad (2)$$

同様に、S は熱収支を示し、式(3)は熱収支の計算を示す。

$$H = A \cdot (C + R + E) \cdot (C' + E') \quad (3)$$

式(3)の項は表 1 に記載されている。

表 1 PMV 計算

$C = A_{cl}h_{cl}(t_{cl}-t_a)$
$R = 3.96 * 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4]$
$E = 3.05(5.730 - 0.007M - p_a) + 0.42(M - 58.15)$
$C' = 0.0014M(34 - t_a)$
$E' = 0.0173(5.87 - p_a)$

以上より、環境データを環境センサの 920MHz 帯通信のためのモジュールを通してデータベースに蓄積する。また、物理データは、各データの平均値を Linux サーバ上設定したのちこれらのデータをもとにデータベースで PMV の計算を実行し、タイムスタンプとともに保存される。これらのシステムの全体図について図 1 にて示し、本研究で用いた環境センサを図 2、また Linux サーバを図 3 に示す。これをもとに、収集した PMV とアンケートによってカテゴリデータを比べることによって、PMV の基本的な快適域である $-0.5 < PMV < 0.5$ でない場合でも本提案システムである嗜好性に合わせた好みの照明の色を提案する。

よって、本システムを通して涼しく感じる色を照射することによって心理的に快適であると感じることができるのかシステムの有用性を図った。これらの手法によって、より快適である空間を嗜好性データに基づいた照明の色相と色調をフィードバック制御するシステムを間接照明によって実現し、夏期における室内快適性を向上させることを目的とした。

3.1 データ収集

本システムは、環境データである(1)室内温度、(2)室内湿度、(3)照度、(4)風速と物理データである(5)着衣量、(6)活動量の 6 種類のデータを収集した。環境データである(1)から(3)は、無線環境センサを使った。このセンサで収集されたデータを 920MHz 帯のモジュールによって Linux サーバにデータを 1 分毎に送信し、データを蓄積した。本実験で用いた実験機器についてまた、(4)から(6)のデータはセンサ 0.2[m/s]設定した。着衣量に関しては、夏期の服装の平均値である 0.5[clo]を利用した[15]。活動量は、被験者に対し行

動の指定はしなかったものの全員が着座をしていたため、

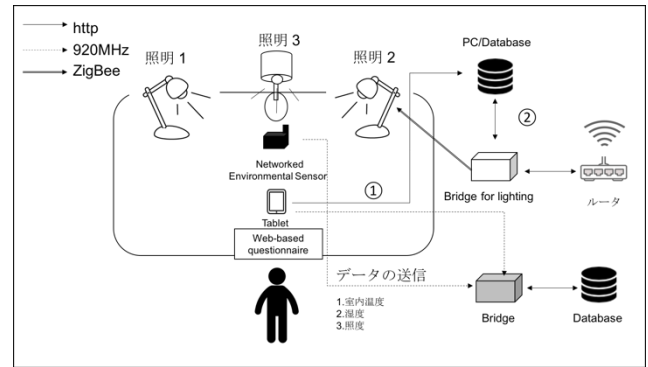


図 1 システム全体図



図 2 無線環境センサ



図 3 Linux サーバ

表 2 物理データと風速の設定値

	風速 [m/s]	着衣量 [clo]	活動量 [met]
設定値	0.2	0.5	1.2

着座時の活動量である 1.0[met]に値を設定した。設定した値は表 2 に示す。また、これらの収集されたデータを Linux サーバ上で PMV の計算を行う。

3.2 嗜好性に合わせた照明システムの制御

MS-Word 本システムでは、夏期における個々の嗜好性データによる照明の色温度、色相、色調を制御することによ

って室内快適性の向上を目的としたシステムを構築するため個々人の快適性嗜好データを Web アンケート上で収集した。照明の色相を制御するために、Web アンケートで収集するデータは、被験情報と夏期の快適性を向上させるため、夏期において体感温度が涼しく感じる色温度 5,300K 以上の色温度を色相 4 色（青、緑、紫、水色）の中から好みの色を 1 色選択する。次に、これらの 4 色は色調が高いため、長時間照明を照射した場合、不快になる可能性があることを考慮し、被験者の好みをより忠実に実現し快適性を高めるため、色調を各色 8 パターン用意した。これを最初に選んだ 4 色の色から色調と見比べてもらい好みの色の色調データを収集した。実際に利用したアンケートの Web ページを図 4 に示す。これらのデータをデータベースに送り、収集されたデータから必要な情報だけを抽出する。

本システムでは、AB テストを実施したが、提案照明コントロールなしの期間 A 中に被験者 ID と照明の色相と色調の情報を適合させた。その後、提案照明システムコントロールありの B 期間では、このデータをもとに各被験者に最も適した照明をクライアント PC 上でフィードバック制御するために、同一ネットワーク上にある照明のネットワーク化に必要な有線ルータにつながっているコンポーネントのひとつであるブリッジを介して、照明を ZigBee Light Link 規格によって本実験で用いる間接照明 3 個を制御し、各被験者の好みの照明色を提示する。この照明の制御について図 5 にて示す。



図 4 Web アンケート

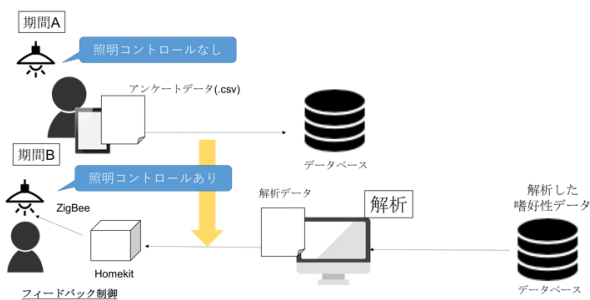


図 5 照明の制御



図 6 実験時の様子

表 4 各被験者の実験環境

被験者	実験時間	外気温 (°C)	室温 (°C)
ID001	13:00 - 13:20	28	28.1
ID002	13:25 - 13:45	28	28.2
ID003	13:50 - 14:10	28	28.3
ID004	14:15 - 14:35	29	28.3
ID005	14:40 - 15:00	26	28.1
ID006	15:05 - 15:25	30	27.7

4. 実証実験

本実験では、夏期における住居内の定性的な快適性向上を目的とした実証実験であるため、夏期である 2016 年 9 月 15 日に 1 日かけて AB テストを行い、被験者の嗜好性データをもとにフィードバック制御を行うシステムの有用性をはかった。また、本システムは、温度の変動によって、被験者の快適性が右左される可能性がある。そのため、期間 A と B の時間帯と 1 日の外気温・室内温度の温度変動を表 4 に示す。加えて、本実験では、大学の一角を住居内と仮定し、20 代から 50 代の男女の被験者 8 名に対して実験を実施した。実験の様子は、図 6 にて示す。

4.1 被験者属性

本提案システムである各個被験者情報は表 5 にて示す。

4.2 実験方法

システムの有用性の実験をするために、本実験ではシステムの検証を午前の期間 A(10:20 - 12:10)と午後の期間 B(13:00~16:37)を設けた。これを基に、AB テストによる本システムの目的、快適性の担保する各被験者に合わせた照明システムによって体感温度に変化が現れ、本システムによって快適性の向上が見込まれるのかシステムの有用性を図るため実験を実施した。期間 A では、普段の直接照明下において被験者に対して 15 分間過ごしたのち、嗜好性ア

表 1 被験者情報

	性別	年齢	好みの色
ID001	男性	20	青
ID002	男性	20	青
ID003	男性	20	青
ID004	女性	50	青
ID005	男性	20	青
ID006	男性	20	青
ID007	男性	20	水色
ID008	男性	20	水色

アンケートに回答してもらった。次に、午前中に収集されたデータを期間 A と B の間、12:10 - 13:00 に被験者ごとの好みの色相および色調データだけをアンケートから作成された csv ファイルからデータの抽出した。続いて、期間 B を実施した。抽出したデータをもとに各被験者に対し、最も適したフィードバックを反映した間接照明を 15 分間照射、後に 5 分間のアンケートを実施した。この時、期間 A と B の嗜好性データをもとに、照明の色相制御を行った。次に、体感温度に変動があったのか、また快適であるか否かをアンケートで確認した。

5. 結果

5-1 室内快適性の向上

普段の生活の直接照明と仮定した光を照射した期間 A と、各個人の嗜好性に合わせた照明の色制御を間接照明によって照射する提案のシステムを利用した期間 B のデータを比較した。具体的には、室内快適性をアンケートによって定性的評価を行った。期間 A と B の室内の快適性向上はカテゴリデータを比較した結果、平均約 15.8%室内快適性の向上が見込まれた。この時、カテゴリデータは 7 段階評価 (1.とても不快深い, 2.不快, 3.少し不快, 4.普通, 5.少し快適, 6.快適, 7.とても快適) を用いて評価した。また、表 6 にて期間 A と B の室内快適性の差を求め、その変化率を表した結果を表 6 に示す。

5-2 照明色を与える体感温度の変化

本研究では、夏期における室内快適性を比較的低コストである照明によって快適性を向上させるため、最も涼しさを感じる色相を用いれば体感温度が変化し、室内の快適性が向上すると仮定した。そのため、涼しさを感じる照明の色相、青、水色、紫、緑の 4 色を準備し、それぞれに適した色相を Web アンケートから収集した。その結果、5 名が青を、3 名が水色を選択し、紫や緑を選択する被験者はいなかった。また、選択した色から心理的体感温度の変化量をアンケートによって調査した結果、平均的に青色-1.2℃、

表 6 期間 A と B の快適性比較

	A の期間	B の期間	A と B の期間の比較[%]
ID001	5	6	16.7
ID002	4	5	20
ID003	6	6	0
ID004	4	6	33.3
ID005	1	3	66.7
ID006	4	2	-50
ID007	4	5	20
ID008	4	5	20
平均			15.8

表 7 各被験者の選んだ色が被験者に与えた体感温度

照明色	各被験者の好みの照明色に対する体感温度				
	-2	-1	0	+1	+2
青	1	4	1	-	-
水色	-	2	-	-	-
紫	-	-	-	-	-
緑	-	-	-	-	-

水色-0.67℃体感温度の変化が見受けられた。加えて、本実験で提案した夏期に涼しさを感じられる色相 4 色から、各被験者が選択した照明色に対して、体感温度の違いを-2 度から+2 度までの間からどの程度体感温度が変化したのかアンケートによって収集した結果、表 7 の結果になった。

6. 考察

6-1 被験者の PMV 推移

環境データあるいは物理データの変化によって快適性は大きく左右される。しかしながら、本研究では、空調などによってこれらのデータを物理的に変化することなく、色の心理的要素を照明によって演出し、心理的な体感温度によって、涼しさを被験者に感じさせる必要がある。そのため、期間 B で実施した個人が涼しいと感じた照明色と色調をもとにフィードバック制御した照明システムが部屋の快適域を指す指標である PMV の推移と各被験者の室内快適性のカテゴリデータを比較した時、変化が見受けられるのか考察した。

はじめに、期間 A である PMV の値の平均は、約 0.67 となっており、PMV の快適域とされている $-0.5 < PMV < 0.5$ と少し不快であることがわかった。次に、期間 B の提案システムである個人が最も涼しい好みの色をフィードバック制御する照明を用いた PMV の環境下を考察した結果、PMV の快適域は、ほとんどの被験者が期間 A と PMV の変化はなかったが、快適性の向上が全体で約 15.8%本システムを使用することによって見込まれた。この期間 B における PMV の推移を図 7 にて示す。

つまり、本システムは快適性に強く影響する温度・湿度を変化させない場合でも外的な要因である照明の色相を制御することによって心理的に体感温度を変化させることが可能であることが推測できる。

6-2 被験者の自由回答による考察

本システムの目的である、アンケートによって収集された各被験者の嗜好性データをもとに照明の色相と色調をフィードバック制御することによって、夏期において室内快適性が変化した。なぜならば、被験者の自由回答より、青色など寒色を見た場合、冷たさを感じるまたは集中力が上昇するといった色が本来持っている心理的な影響により体感温度に対して若干の変化を与えたからであると考えられる。各被験者に実験についての自由回答の内容を以下に記す。

- 期間 B の間には接照明に近いほど体感的に涼しく感じられた
- 本提案システムが制御している間接照明がある空間とない空間の変化が大きい
- 電球の色相の変化が思ったより不快ではない
- 青色を見ていると涼しく感じる
- 集中できるように感じた

以上の自由回答の内容から、照明のフィードバックシステムにより、色の心理的効果が体感温度に対して影響を与えたことで快適性が向上したと推測した。また、電球の色相の変化が不快にならないとの意見が見受けられたが、これは被験者の好みの色調を用いたことで、通常の照明には使用されていない色に対しても心理的な抵抗がないことが推測された。

7. おわりに

スマートホームなどの目的のひとつである、快適性の担保する制御システムを快適性が著しく落ちる夏期と冬期において家庭内の快適性向上を低コストで実現するために、照明を用いた。本システムは、各住人の照明の好みのアンケートデータを収集することによって、各被験者に最も適した色相と色調に照明をフィードバック制御した快適性を担保するフィードバックシステムを提案した。本研究では、このシステムによって、住人の室内快適性向上を図るために夏期である 2016 年 9 月 15 日に AB テストを被験者計 8 名に対して実施した。その結果、快適性向上が提案システムを導入した場合、ほとんどの被験者が温冷間指標である PMV が快適域に推移しなかったもののアンケート結果より、約 15.8%の快適性向上が見込まれた。なぜならば、本研究で実施した季節、夏期に被験者が涼しく感じる好みの色相と不快を感じないために好みの色調をシステムでフィードバック制御することにより、体感温度を変化させることができたからである。

また、今後の発展として冬期での実証実験の実施、被験者デ

ータの機械学習によるパターン抽出が考えられる。

謝辞 本研究の一部は、平成 28 年度総務省委託研究開発「スマートコミュニティサービス向け情報通信プラットフォームの研究開発」の一環として実施した。

参考文献

- [1] 竹中大史, et al. "建築・窓システムの協調制御 HEMS および温度・電力量の見せる化による省エネルギー運用システムの開発 (ポスターセッション, 知的環境, センサネットワーク, スマート建築, スマートシティ, 構造モニタリング, ゼロエネルギービルディング, 社会基盤センシング, BIM/CIM, 国土基盤モデル, 一般)." *電子情報通信学会技術研究報告. ASN, 知的環境とセンサネットワーク* 114.65 (2014): 35-36.
- [2] 野中俊宏, et al. "41558 HEMS を導入した住宅における快適性と省エネルギーの両立に関する研究 (スマートグリッド, 環境工学 II, 2012 年度大会 (東海) 学術講演会・建築デザイン発表会)." *学術講演梗概集* 2012 (2012): 1123-1124.
- [3] M. Ito, H. Nishi, "A practical case study of HVAC control with MET measuring in HEMS environment," *Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE*, pp.8136-8141, 2013.
- [4] 岩船由美子. "これからの HEMS." *電気学会誌* 133.12 (2013): 809-812.
- [5] 宵憲治, et al. "リモコン操作ログと照明演出装置を用いた室内快適化補助システム." *研究報告コンピュータセキュリティ (CSEC) 2016.16* (2016): 1-8.
- [6] Matsui, Kanae. "HVAC System for Maintaining Pleasant Sleep During Warm Nights in Japan." *2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*. IEEE, 2016.
- [7] 久保千穂, 山羽和夫, and 阿山みよし. "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* 97.2 (2013): 77-81.
- [8] 李鈞, 賀新剛, and 峰野博史. "快適性と省エネルギーを両立する空調出力制御アルゴリズムの提案." *情報処理学会第 74 回全国大会 1* (2012): 6.
- [9] B. Raffaele, B. Roberto, D. Franco et al., "Energy efficiency in the future internet: a survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.13, no.2, pp.223-244, IEEE, 2011.
- [10] Matsui Kanae, Choi Hanjong, "Utilization of Comfortability Data Collected by HEMS for Product Recommendation" (GCCE). IEEE, 2016
- [11] 鈴木真理子, et al. "オフィス内フレームを用いた知的照明システムの構築." *電子情報通信学会論文誌 D 95.3* (2012): 549-558.
- [12] 三木光範, et al. "J-023 照度・光色可変型知的照明システムを用いた実業務空間における最適な光環境について (ヒューマンコミュニケーション & インタラクション, 一般論文)." *情報科学技術フォーラム講演論文集* 8.3 (2009): 435-436.
- [13] 横究, and 澤知江. "室内雰囲気評価に及ぼす色彩・照明・素材の複合効果." *日本建築学会計画系論文集* 516 (1999): 15-22.
- [14] 高橋啓介. 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*, 2006, 2: 30-36.
- [15] 渡部幸樹; リジャー HB. 41225 着衣量に関する研究: その 7 関東の住宅における夏と秋の着衣量の検討 (温冷感, 環境工学 II, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演会・建築デザイン発表会). *学術講演梗概集*, 2014, 2014: 473-474.
- [16] Gogole フォーム
URL: https://www.google.com/intl/ja_jp/forms/about/, (2016/12/19 閲覧).