

神奈川工科大学

スマートハウス研究センター

研究報告

第 6 号

2021 年度

目次

- ・高齢者に対して環境温度変化の『気づき』と温熱感効果を与える

LED 照明光色の検討と空調連動システムの構築

ホームエレクトロニクス開発学科 三栖貴行

- ・IoT スマートハウスのニューノーマル適合化技術の基礎研究

ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博

一色正男、三栖貴行、山崎洋一、安部恵一

高齢者に対して環境温度変化の『気づき』と温熱感効果を与える LED 照明光色の検討と空調連動システムの構築

研究者名：ホームエレクトロニクス開発学科 三栖貴行

1. 研究の目的

本研究の目的は高齢者の熱中症予防対策に繋がる環境温度変化を知らせることが可能で温熱感効果が与えられる LED 照明光色の検討と IoT による照明とエアコンの連動制御による空調管理システムの開発を目的としている。実験方法は平成30年度より継続してきた「LED 有彩色光による心理的・生理的影響の検討」の実験方法を応用し、本学の学生に高齢者疑似体験教材（株式会社三和製作所）を着用させて実験を行う。令和3年度は学生被験者が高齢者疑似体験教材を着用し認識しやすいLED 照明光色とその温熱感効果の検討を行う。厚木市役所青少年課に訪問し「老人憩の家」での被験者実験方法について確認を行う。令和4年度は Covid-19 の蔓延状況を確認しながら移動式実験ブースを厚木市内「老人憩の家」で実験をキャラバン方式で行いながら実験結果に基づいた照明と連動した空調管理システムを構築する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

高齢者の熱中症は近年大きな問題となっている。高齢者は不快な高温多湿環境に早期に気づかない場合が多く、室温が徐々に上昇することや症状が非特異的なものが多く独居の高齢者は熱中症発症後も発見が遅れ重症化すると言われている{三宅康史, 有賀徹, 井上健一郎, 奥寺敬, 北原孝雄, 島崎修次, 鶴田良介, 横田裕行, “本邦における熱中症の実態—Heatstroke STUDY2008 最終報告—”, 日本救急医学会雑誌, 21 巻 5 号, pp. 230-244, (2010)}。熱中症問題解決の研究として「体感温度の見える化」による高齢者の「行動変容」が熱中症予防の効果を持つと推定し、高齢者住宅の夏季における温熱環境の実態調査と居住者の意識と行動変容について把握するためにアンケート調査を行った研究がある{柴田祥江, 北村恵理奈, 松原斎樹, “高齢者の夏期室内温熱環境実態と熱中症対策-体感温度の認知（見える化）による行動変容の可能性-”, 日本生気象学会雑誌, 55 巻, 1 号, pp. 33-50, (2018)}。この研究では居住者に温湿度計を示す前のエアコンの使用率が 42.7%、温湿度を示した場合は使用率が 60%と 17.3%の増加が確認されている。したがって、高齢者が生活の中で常時温湿度変化が確認できればエアコン使用をはじめとした熱中症回避の行動変容を引き起こすと考えられる。高齢化社会が進む日本において高齢者の生活の快適性を向上させることは非常に重要である。

本研究の目的は高齢者の熱中症予防につながる環境温度変化の「気づき」を与えることが可能な照明光色、また温熱感効果が得られる照明光色を見出すことである。さらに見出した

照明光色に設定可能な IoT 技術を使用した照明と連動した空調制御システムの構築である。本研究の学術的独自性は高齢者の熱中症予防として LED 照明の色を利用して『気づき』を促すという発想である。既往研究として全般照明を点滅させて警報の代替とする研究〔加藤未佳, 海野務, 関口克明, “全般照明の点滅を利用した緊急情報伝達手法に関する基礎的検討”, 日本建築学会環境系論文集, 78 巻, 684 号, pp.119-126, (2013)〕では全般照明の点滅が異変を伝えることは可能であるが『災害・状況』の情報伝達手段としては不向きと結論づけられている。他に照明光色を与える心理的・生理的な影響の検討は数多く行われているが、熱中症予防に応用する研究は他にないと考えられる。

3. 期待される効果

本研究は新たな価値として「LED 照明の活用方法」と「高齢者の熱中症患者の削減」を生み出す可能性を持っている。この創造性は SDGs の『3. すべての人に健康と福祉を』、また『11. 住み続けられるまちづくりを』も該当すると思われる。LED 照明は調色可能という大きな特徴がありながら具体的な使用方法がなく、使用色は限られるのが現状である。温暖化が進む現代において大きなリスクとなっている熱中症の解決につながるような効果を得たい。

4. 研究の経過及び結果・評価

① 実験概要

Fig. 1 に照度試験室を示す。実験で使用した白色 LED 光と青色 LED 光、赤色 LED 光の xy 色度座標を Fig. 2 に示す。実験室は 10.5 畳の一般的な家庭の一室に模した部屋にし、LED 照明（東芝ライテック社製 LEDH81718LC-LT3 天井に 2 つ設置した。実験の評価項目は心理的評価の VAS(Visual Analogue Scale)と生理的評価としてウェアラブル心電計(myBeat)によるや体表面温度のバイタルデータの測定、サーモグラフィカメラ(NECAvio 製 InfRec-R300S)による顔表面温度の測定を行った。照明光色は ECHONET Lite で制御し、すべての光色は照度を 73lx に統一した。

② 実験方法

実験時間は 30 分間に設定し、3 日に分けて行った。実験室のシーリングライトの色を 1 日目は白色 LED 光、2 日目は青色 LED 光、3 日目は赤色 LED 光として実験を行った。実験環境は、照度 73lx、室温 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ であり、実験は神奈川工科大学に通う 20 代男子学生 10 名で行った。

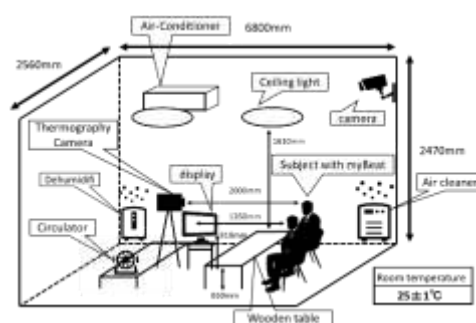


Fig. 1 照度試験室

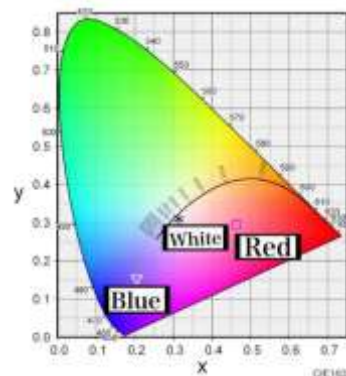


Fig. 2 実験で使用した白色 LED 光と青色 LED 光、赤色 LED 光の xy 色度座標

被験者には条件を統一するために、実験中は室温 24℃、照度 73lx の実験室で 10 分ごとに 3 種類の高齢者疑似体験ゴーグルを着け替えてもらい、30 分間ビデオを見せた。また、着衣量を統一するため服装はこちらで用意したジャージ上下に着替えさせた。顔表面温度を赤外線サーモグラフィカメラで測定し、体表面温度と心拍周期、を myBeat で計測した。myBeat は前室から測定を開始し、被験者のみぞおちに装着させた。サーモグラフィカメラの測定間隔は 10 秒間に設定し、被験者の眉間を測定データに使用した。

③ 実験結果と考察

白色、青色、赤色の 3 つの LED 光の条件で顔表面温度の変化を計測した。

Fig. 3 に赤色 LED 光における各高齢者疑似体験ゴーグル着用時の顔表面温度の変化を示す。赤色 LED 光で 3 種類のゴーグルを比べた時の被験者 10 名のゴーグル着用時間ごとの顔表面温度の平均値を求めた。平均顔表面温度はゴーグル 1 の着用時が 36.1℃、ゴーグル 2 で 35.8℃、ゴーグル 3 で 36.0℃となった。

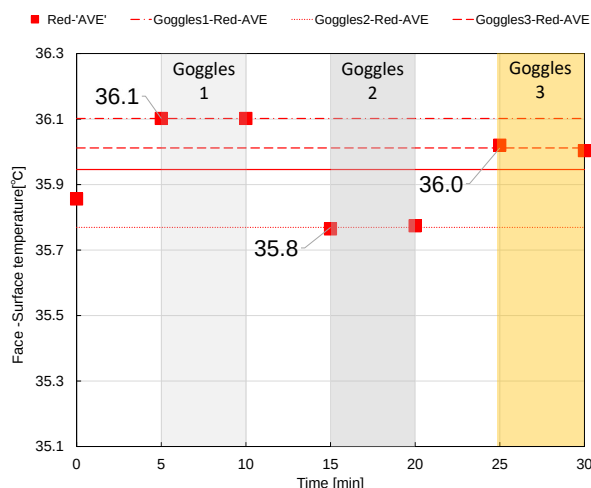


Fig. 3 赤色 LED 光における各高齢者疑似体験ゴーグル着用時の顔表面温度の変化

白色、青色、赤色の 3 つの LED 光の条件で心拍数の変化を計測した。Fig. 4 に赤色 LED 光における各高齢者疑似体験ゴーグル着用時の心拍数の変化を示す。Fig. 3 と同様に赤色 LED 光で 3 種類のゴーグルを比べた時の被験者 10 名のゴーグル着用時間ごとの心拍数の平均値を求めた。平均心拍数はゴーグル 1 の着用時が 82bpm、ゴーグル 2 で 81bpm、ゴーグル 3 で 80bpm となった。

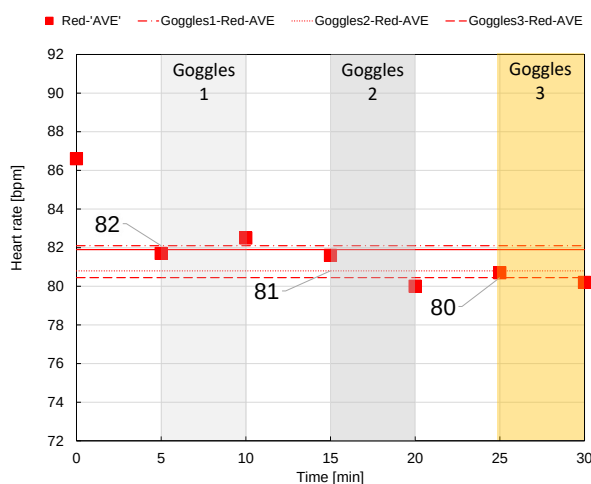


Fig. 4 赤色 LED 光における各高齢者疑似体験ゴーグル着用時の心拍数の変化

Table 1.に各照明光色における高齢者疑似体験ゴーグル装着時の生理的評価と VAS 評価のまとめを示す。ゴーグル 1 は白内障フィルタ 1 枚、ゴーグル 2 は白内障フィルタ 2 枚、ゴーグル 3 は黄視症フィルタ 1 枚とした。白内障フィルタは着用時に各照明光を薄くさせる効果が

あり、青色 LED 光は確認しづらくなったが赤色 LED 光は確認できた。黄視症フィルタは青色 LED 光が確認しづらくなったが、赤色 LED 光ではフィルタ色と混色されオレンジ色に見えた。

白色 LED 光暴露時の顔表面温度の高齢者疑似体験ゴーグルの影響は赤色 LED 光暴露時と逆の変化を示した。また、青色 LED 光暴露時の顔表面温度の

高齢者疑似体験ゴーグルの変化はゴーグル 1→ゴーグル 2 で-0.1℃、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で+0.1℃となり、他の LED 光暴露時に比べて変化量が小さくなった。赤色 LED 光暴露時の顔表面温度の変化はゴーグル 1→ゴーグル 2 で-0.3℃、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で+0.2℃となり、LED 光色の中で最も大きな変化が得られた。

高齢者疑似体験ゴーグルにより、青色 LED 光では色が薄くなったことが顔表面温度への影響を与えにくくしていると考えた。また赤色 LED 光は黄視症フィルタで暖かさを感じる効果が増したと思われる。体感温度の VAS 値はアンケート用紙上の平均値で+1.3mm、-1.8mm の変化であり、大きな変化はない。光は皮膚からも感じられると言われていること [伴野明, 山本修平, "心理的要因による体感温度への影響の数値評価法" 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), 133.6, pp190-198, (2013).], また黄視症フィルタのオレンジ色は代表的な暖色であることから無意識下で体表面温度に影響を及ぼしたと推測している。

④ まとめ

高齢者疑似体験ゴーグルを着用したときの照明光色による体感温度の変化を検討し、以下の結果が得られた。

1. 青色 LED 光は体感温度ではゴーグル 1→ゴーグル 2 で+8、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で+5 と上昇したが、顔表面温度はゴーグル 1→ゴーグル 2 で-0.1℃、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で+0.1℃と変化が少なくなった。
2. 赤色 LED 光は体感温度ではゴーグル 1→ゴーグル 2 で+2、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で-2 が得られ、顔表面温度はゴーグル 1→ゴーグル 2 で-0.3℃、ゴーグル 2→ゴーグル 3 で+0.2℃と変化が大きくなった。

高齢者疑似体験ゴーグルは青色 LED 光で影響を受けづらく、赤色 LED 光で影響が大きく

Table 1. 各照明光色における高齢者疑似体験ゴーグル装着時の生理的評価と VAS 評価のまとめ

白色LED光					
	ゴーグル 1		ゴーグル 2		ゴーグル 3
顔表面温度	35.6	+0.2	35.8	-0.3	35.5
心拍数	89	-2	87	-2	85
体感温度	45	-1	44	+8	52

青色LED光					
	ゴーグル 1		ゴーグル 2		ゴーグル 3
顔表面温度	35.4	-0.1	35.3	+0.1	35.4
心拍数	77	-1	76	+1	77
体感温度	34	+8	42	+5	47

赤色LED光					
	ゴーグル 1		ゴーグル 2		ゴーグル 3
顔表面温度	36.1	-0.3	35.8	+0.2	36.0
心拍数	82	-1	81	-1	80
体感温度	56	+2	58	-2	56

なることがわかった。

5. 今後の計画

被験者数を増やし、女性被験者で同様の実験を行いたい。またコロナ禍が収束した場合は被験者の年齢層を広げ、実際の高齢者に対して実験したいと考えている。

6. 研究成果の発表

日本色彩学会第 53 回全国大会で口頭発表を行う予定である。

<https://www.color-science.jp/zenkoku2022/program20220525.pdf>

IoT スマートハウスのニューノーマル適合化技術の基礎研究

研究者名：（代表）ホームエレクトロニクス開発学科 杉村 博
（分担）一色 正男、三栖 貴行、山崎 洋一、安部 恵一

1. 研究の目的

世界は Covid-19 蔓延による「社会と生活の大きな変化」を受け、住空間への要望が変化した。今後の社会の Covid-19 適合化は急務であり、様々な場所・業界・研究で「新しい生活様式＝ニューノーマル」と呼びながら適合化技術開発が模索されている。そこで本研究グループは、IoT スマートハウス技術ならではの適合化技術構築を目指し、新負荷価値を住空間に提供するべく「IoT スマートハウスのニューノーマル適合化技術の基礎研究」を開始する。そして KAIT ブランディング事業にて取り組んできた「高齢者高度見守りシステム」を推し進めるなかでこれらの技術を取り込み、クラウド AI プラットフォーム KSC-P との実連携及び応用サービスの開発を目指す。

KAIT ブランディング事業にて取り組んできた「高齢者高度見守りシステム」をさらに推し進め、IoT スマートハウス開発グループとして、クラウド AI プラットフォーム KSC-P との実連携及び応用を目指す。IoT 基盤技術研究としては、IoT 機器連携を国際規格準拠の環境として設計する技術を構築し、実証環境でのトライにより、実用的内容へと目指す。成果物は2種類あり、1)企画として整理すべき部分については国際規格 ECHONET Lite 規格になるように提案し、広く使われるように成果を出す。2)先進的アプリケーション開発の成果はソフトウェアを広く公開し、IoT 環境活用のノウハウとして蓄積させ、論文での公開発信による大学地位向上へと貢献するとともに、地域中小企業との連携・利用促進による地域企業への貢献を目指す。

人が住むスマートハウス (HEMS) 環境に着目した IoT 基盤技術の整備から着手する。そのあと、HEMS 技術の高度化と普及により、人の生活環境の IoT 化が進むことに着目し、HEMS 等 IoT 基盤技術融合による、アンコンシャス（意識しない中での）な人の行動把握技術に代表される、人とクラウド（クラウド AI）環境の共同技術の整備や、人とロボットが協同する住環境整備、スマートホームや IoT 環境同士のコミュニケーションによる「人と人のきずな（見守り連携）支援」をオープンな環境として整備し、社会貢献する。この中では特に、神奈川工科大学での大学ブランディング事業「先進高齢者支援システムの開発」の社会実装を目指して貢献してゆく。

2. 研究の必要性及び従来の研究

IoT(Internet of Things)応用研究は始まったばかりであるが、世界中が新ビジネスプラットフォームと捉えて研究加速している。多種多彩な IoT 機器が一堂に会する基

盤技術として多くの要素がある。例えばメーカー別プロトコル、Bluetooth や WiFi によるローカル接続、クラウドを経由する API 接続、セキュリティ、プライバシー、AI、DB 設計等である。特定の大企業が独自システムによる囲い込みを始める中で、広く世界中で利用可能なオープンプラットフォームを研究開発して整備、普及させることは、スマートホームでの標準化で貢献している神奈川工科大学へ期待されているところである。

日本で普及開始した ECHONET Lite 対応の HEMS コントローラが世界中で活躍できるように国際社会での IoT 技術ベースの機器も取り込めるようにする研究であり、ワンストップ的にスマートライフ支援を実施可能になる。さらに本システムは大学ブランディング事業として構築されている KSC-P と連携可能となることで、地域貢献、産官学連携といった、コンソーシアム的な意味でのプラットフォームを構築して、神奈川工科大学としての貢献につながると考えている。

3. 期待される効果

ブランディング事業で取り組んでいる、IoT スマートハウスにおける独居高齢者へのサービスというはまだ新しい取り組みであり、開発から住宅実装による実証試験まで、まだこれからである。これまで本研究としては、理念として生活者へのフィードバックによる健康見守りを目標にしていたが、KSC-P としての要素提案止まりであった。従来の商業業者見守りでは[A]安全安心感の提供しかしてこなかった。

本研究では、生活者の生活情報を利用した3つの安心（[A]安全安心感、[B]健康安心感、[C]生活安心感）を提供することを目的とする。ニューノーマル時代では直接の人的接触が困難になり、地域住民や別居家族による日々の確認が減少し、健康悪化や微妙な生活変化がわからなくなってくる。従来の事故安全中心の見守りだけでは、生活の安心感は得られにくくなってきた。宅内生活の増加に伴って運動量の減少や社会的なつながりの希薄化も問題であり、身体・精神における健康安心感が減少している。この点において、ニューノーマル時代に重要な、日常の変化を見守る健康安心感と精神や社会的活動を含む生活安心感を合わせて得る試みは重要である。

新時代に適した IoT や HEMS システムを開発して、このようなシステムを厚木市や神奈川県などと連携し、またはネットワークサービス会社と提携して共同研究を実施できるようにすれば神奈川工科大学の知名度や発展へと貢献できると考えている。

4. 研究の経過及び結果・評価

HEMS の宅内アプリケーション（HEMS-Logger）と生活評価クラウドサービス（HAL クラウド）の連携を開発した。さらに KSC-P と生活評価クラウドサービスとのデータ連携方法も開発した。E1 号館及び C2 号館の HEMS 実験室の整備も実施して、開発・実験環境が整ってきている。KSC-P でも地域協力者にウェアラブルデバイスを配布し、実証実験の準備も整いつつある。HEMS-Logger は ECHONET Lite、Philips 社の IoT、IKEA 社の

IoT、Netatmo 社の IoT、電力スマートメーター (Wi-SUN)、OpenWeatherMap WebAPI との連携を実装している。HAL クラウドでは、HEMS-Logger と連携、KSC-P と連携、Garmin 社の IoT 機器と連携、LINE ID との連携を完了した。HEMS と IoT 機器のプラットフォーム及び生活データベースの機能を完了しつつある。このような多彩な通信方式を一括して制御できるアプリケーションを開発し、これらに関してシステム論文をいくつか発表している。

2021 年度からは HEMS に関するアプリケーション開発を科研費の基盤 C としても開始した。このため、この部分に関しては本申請内容から切り離し、独立した研究として進めている。このように、本研究の大きな枠組みから派生した各要素技術はさらなる研究テーマとして独立して進めることが出来るように発展した。

5. 今後の計画

HAL システムにおける生活評価票の評価項目数は 54 もあり、この項目の中には現在販売されている IoT 機器では単純には評価不可能な項目も存在する。例えば、毎日のプラスチックリサイクル率等である。これら項目に関しては生活データベースの統計的な分析では得点化不可能であるので、人工知能的な手法を用いて推測した値を導き出す方法を検討している。もしこのような推測手法も難しい場合には、新たな専用の IoT 機器を開発することで、生活データの不足を補うことも今後検討する必要がある。

研究全体をプラットフォームとして順次要素開発達成していきながら、完成した要素は全体への組み込みも実施することで、当初目的の[B]健康安心感、[C]生活安心感の 2 つが追加融合された高度高齢者見守りサービスの発展に寄与する。データ収集・蓄積・評価システムの開発は 2022 年度で一段落することを目指し、2023 年度以降はこの評価をもとにしたフィードバックシステム（生活処方箋；HIM）の開発へと移行するように研究を進めている。また住宅とロボット連携での HIM を利用したフィードバック手法も開発開始する。これらの開発とともに実証実験も本格的に実施して、システムの問題改善や改良を行う。実証実験は KAIT ブランディング事業の一員として合同参画し、産官学協同、地域連携へと貢献する。さらに、2024 年度以降としては本学の知名度向上として本研究課題での要素技術の標準化、オープンソース化、およびパッケージ化を達成し、KSC-P がプラットフォームとして継続的運用可能となれば知識のプラットフォームとして AI 時代の発展に寄与できると考えている。

6. 研究成果の発表

論文誌 1 件

[1] Yoichi Yamazaki, Masayuki Ishii, Takahiro Ito, Takuya Hashimoto, Frailty Care Robot for Elderly and its Application for Physical and Psychological Support, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent

Informatics, Vol.25, No.6, pp.944--952 (2021)

国際会議査読有り 7 件

- [1] Sora Sato, Yui Mutou, Hiroshi Sugimura, Shigeru Owada, Extraction Rules for Optimal Bath Temperature Considering Contexts, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies, pp.102--103 (2022)
- [2] Momonosuke Ishida, Yurina Kurisu, Hiroshi Sugimura, Shigeru Owada, Prioritized Notifications for Multiple People, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies, pp.104--105 (2022)
- [3] Nagisa Kokubu, Takayo Namba, Keiichi Abe, Development of Remote Communication System for ALS Patients, 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (2022)
- [4] Takahiro Sakai, Hiroshi Sugimura, Masao Isshiki, Proposal of Home-life Assessment List (HAL) for Reviewing the Lifestyle of Residents, The 20th Annual Hawaii International Conference on Education, (2022)
- [5] Yusuke Uda, Yoichi Yamazaki, Hiroshi Sugimura, Masao Isshiki, Education based on STEAM'S through Development of Role-playing Robots, The 20th Annual Hawaii International Conference on Education, (2022)
- [6] Masato Fukushima, Masayuki Hasunuma, Daigo Sekido, Takumi Ishikawa, Hiroaki Honda, Youichi Yamazaki, Break Promotion by Desktop Agent to Reduce Fatigue in Remote Working from Smart House with Smart Robot, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 671--673 (2021)
- [7] Nagisa Kokubu, Tetsuto Mukai, Keiichi Abe, A Proposal of a Low-Cost Voice Dialogue System Using Live-Action Video Contents, 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 340--341 (2021)

口頭発表 1 件

- [1] 福沢 豊璽, 杉村 博, 一色 正男, ウェアラブルデバイスを利用した生活習慣病の予防システムの提案, 第 84 回情報処理学会全国大会論文集, No. 3, pp. 281-282 (2022)

科研費交付 1 件

- [1] 杉村博, 心身の未病改善を目的とした AI と IoT による生活行動評価の研究, 科研費 基盤 C (2021-2023)

イベント展示 1 件

- [1] ENEX/SEJ2022 東京ビッグサイト スマートハウス研究センター (2021)