

焦電センサアレイを用いた照明調光用インテリジェントスイッチ —照明の点灯や調光が可能なジェスチャインタフェース—

Intelligent Switch for Illumination Light Control Using Pyroelectric Sensor Array -Gesture Interface for Turning On/Off and Dimming of Lighting-

○学 冀 翼 (日工大) 学 知久 直樹 (日工大) 学 芝田 裕登 (日工大)
正 増本 憲泰 (日工大), 正 加藤 史仁 (日工大)

Yi Ji, Naoki CHIKU, Hiroto SHIBATA, Noriyasu MASUMOTO and Fumihito KATO
Nippon Institute of Technology, kato.fumihito@nit.ac.jp

In recent years, the demand for LED lighting has been expanding from the viewpoint of energy saving and long life. Concurrently, dimming of lighting suitable for various life styles has been required to improve the quality of living space, taking advantage of the characteristics of LED lighting with fast response. In this study, we developed the gesture interface which enables turning on/off and dimming of lighting. The infrared ray emitted from the palm of the hand is focused with the germanium lens and detected by the pyroelectric sensor array, therefore the intention of the human can be judged from the gesture. This device is a new interface that allows intuitive operation of lighting as if operating the smartphone and can realize a comfortable living space.

Key Words: Gesture Sensor, Infrared Sensor, Pyroelectric Sensor.

1. 緒 言

近年,ビルやオフィス,住宅などにおいて,省エネ・長寿命の観点からLED照明が急速に普及しはじめた。LED照明は,応答速度が速く瞬時に点灯が可能であり,また,フルカラーLEDを用いることで色彩豊かなライトアップが可能なことから,日常の様々な場面や空間に適した明かりの灯し方を提供できる。そのため,居住空間の快適な明かりを実現する調光照明としての用途が増加しており,LED照明を自在に調光可能なインタフェースが求められている。

現在,調光用インタフェースの一つとして,壁埋め込み型スイッチが広く使用されている。埋め込み型スイッチには,リモコンが付属するものもあるが,リモコンを常に携帯することは難しく,また,操作ボタン数が多く扱いが煩雑である。そのため,スイッチが設置された場所にまで移動し,スイッチの切り替えによる照明の点灯や,つまみを回転させることによる調光を行うことが多い。こうした起居動作や移動をともしなうインタフェースは,高齢者にとって大きな負担を強いっている。

そこで,本研究では,照明の点灯や調光の際,人が,壁埋め込み型スイッチの設置された場所へ移動することなく,ジェスチャで簡単に操作可能なインタフェースを開発する。これにより,起居動作や移動をともしなわず,スマートフォンのように,感覚的に照明の点灯や調光が可能となるため,より快適な居住空間を実現できる。

2. 焦電素子を用いたインテリジェントスイッチ

ジェスチャを検出するインタフェースには,主に,二つの方式が有る。一つは,複数のセンサや信号処理回路,無線回路,バッテリーを搭載したモジュールを身に付け,モジュールを通じてジェスチャを検出する方式である[1,2]。この方式は,常時,モジュールを人が身につけている必要があるため,使用者への負担が大きい。もう一つの方式は,人が発する熱(赤外線)に着目し,その熱源の動きをコマンドとして受信し,人の意思を判断する方法である。この赤外線を検出する方法は,モジュールなどを人が身につけておく必要が無いため,使用者への負担がない。したがって,本研究では,赤外線を検出する方式のジェスチャインタフェースを開発する。

赤外線を検出可能なデバイスには,主に量子型と熱型がある。量子型は,高感度で応答性に優れているが,一般的に,冷却が必要であり,また,高価である。熱型は,低感度で応答速度が低いものの,安価であり民生機器などに広く使用されている。照明は,居住空間の大部分で使用されていることから,安価な熱型の焦電素子着目し,ジェスチャインタフェースを開発することとした。

焦電素子は,内部に自発分極が存在しており,赤外線が入射すると,素子の温度変化(温度勾配)に起因した焦電電流を生ずる(式(1))[3]。

$$I_p = p_s A_d (dT/dt) \quad (1)$$

ここで, I_p は,焦電電流(A), P_s は,焦電係数($C \cdot cm^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$), A_d は,焦電素子の電極面積(cm^2), T は,素子温度($^\circ C$)である。焦電素子の温度が定常状態となり,温度勾配が無くなると,焦電電流はゼロとなる。また,赤外線の入射が無くなると,再び素子の温度勾配を生ずるため,入射時と逆方向の焦電電流を生ずる。このような,特性を有する焦電素子の代表的な材料として,チタン酸ジルコン酸鉛などがある[4,5]。

本研究では,焦電素子をセンサとして複数個使用し,アレイ状に配置することで,ジェスチャを検出する(図1)。類似する研究として,複数の焦電素子を使用し,屋内の人の位置や身長を判別する研究が報告されている[6,7]。

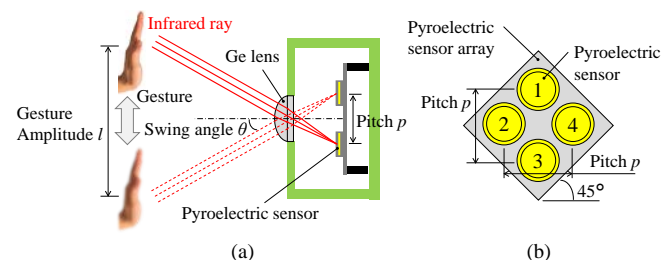


Fig. 1 Schematic illustration of gesture recognition by the pyroelectric sensor array; (a) cross-section of the device, (b) pyroelectric sensor array in layout (2x2).

3. デバイス設計

デバイス設計に際し、焦電センサには、IRA-S230ST01（株）村田製作所）を使用した。また、センサ信号増幅回路、赤外線集光レンズ、ジェスチャ検出アルゴリズムの3つの観点から設計検討を行った。以下に詳細を示す。

3.1 センサ信号増幅回路

焦電センサは、単体では、4.6 mV 程度（メーカー仕様）と低出力であるため、オペアンプを用いた2段階の信号増幅により、約6700倍のゲインを得る信号増幅回路を製作した（図2）。簡便に回路製作が可能なユニバーサル基板を用いて、焦電センサと信号増幅回路を4セット組み合わせ、焦電センサアレイを製作した（図3）。

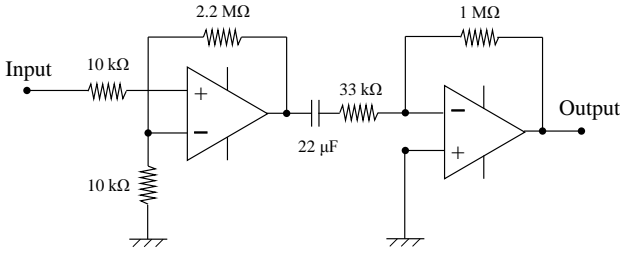


Fig. 2 Two-stage amplifier circuit using the noninverting amplifier and the inverting amplifier.

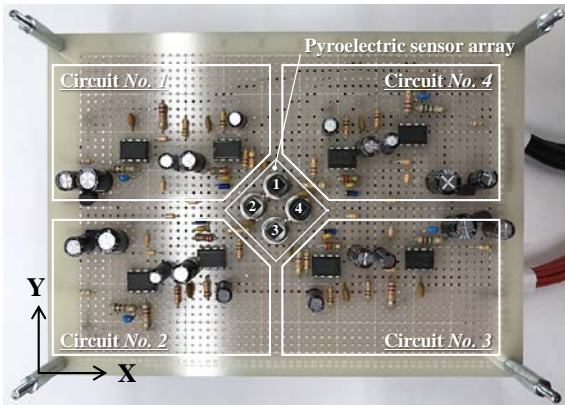


Fig. 3 Infrared sensor array and signal amplifier circuits mounted on the universal board.

3.2 赤外線集光レンズ

赤外線の集光には、外乱を受けぬよう可視項は透過せず、人の身体から放出される遠赤外線（波長 9-10 μm ）に対して光学的に透明なレンズが必要となる。そこで、今回、ゲルマニウム（Ge）とシリコン（Si）のレンズ（直径 16 mm、曲率 Si 50 mm, Ge 70 mm）について検討した。光学解析には、CODE V（サイバネットシステム（株））を用いた。Si レンズに比べ、屈折率の高い Ge レンズは[8]、ジェスチャによる焦点移動ピッチが広く、低背化が可能なことから、本研究では、Ge レンズを選定した（図4）。また、検出距離を 1 m に設定して、ジェスチャ振り角 θ (0-25 deg.) に対する、ジェスチャ振り幅 l と焦点ピッチ p の関係を算出した（表1）。焦電センサ単体の外形が、直径：9.2 mm であることから、焦電センサアレイを 45 deg.傾けて配置するには、13 mm 以上のピッチが必要となる。そのため、焦点ピッチ 17.4 mm となるジェスチャ振り角 20 deg.（ジェスチャ振り幅 684 mm）にて素子を実装した。このジェスチャ振り幅は、想定する振り幅として妥当な値であ

る。今回、放射ノイズの影響を低減する目的で、アルミ製シールドボックスを用いた。そのため、Ge レンズは、シールドボックスの一部を開孔し、機械的に取り付けした。

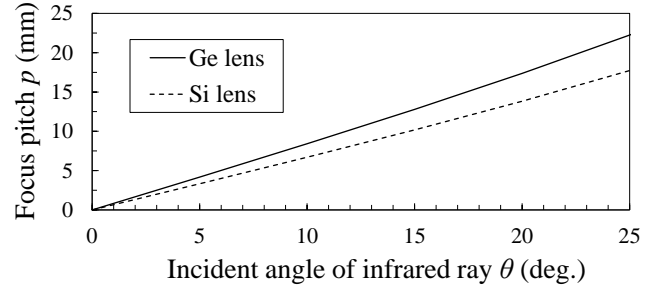


Fig. 4 Relationship between the incident angle of infrared ray and the displacement pitch of focus for Ge and Si lens.

Table 1 Focus pitch using Ge lens relative to swing angle (or gesture amplitude) at one meter away.

Swing angle θ (deg.)	Gesture amplitude l (mm)	Focus pitch p (mm)
0	0	0
5	174	4.2
10	347	8.4
15	518	12.8
20	684	17.4
25	845	22.3

3.3 ジェスチャ検出アルゴリズム

今回、製作したモジュール（焦電センサアレイ、信号増幅回路、および、レンズ）を図5に示す。モジュールからの信号処理には、PC との接続や機能の拡張が容易で、センサ制御やデータ集計が可能な Raspberry Pi を使用した。また、汎用性が高く、コードがシンプルな Python を使用してプログラミングを行った。

ジェスチャを通じて照明の点灯と調光を可能にするアルゴリズムを構築した。具体的には、左右（X 軸方向）のジェスチャによって点灯と消灯を行い、上下（Y 軸方向）のジェスチャによって調光を行う。その際、上下のジェスチャに対し、Y 軸方向に配置した焦電センサ（No. 1, No. 3）のみが赤外線を検出するとは限らず、ジェスチャを行う人の位置などによっては、X 軸方向に配置した焦電センサ（No. 2, No. 4）が、赤外線を検出してしまふ場合がある。そのため、例えば、下から上（No. 3 から No. 1）へのジェスチャを検出する際は、No. 2 から No. 1、および、No. 4 から No. 1 の焦電センサ信号についても、下から上へのジェスチャとして含めるよう設定した。左右のジェスチャについても同様の設定を行った。

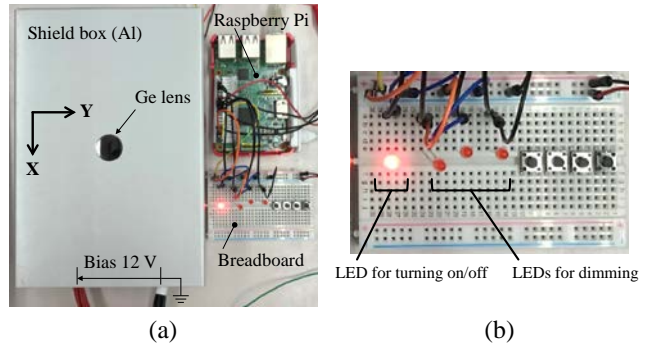


Fig. 5 Appearance of gesture detection module; (a) operation check using Raspberry Pi, (b) simple experiment on breadboard.

4. 実験結果・考察

製作したモジュールの特性評価として、焦電センサ単体の出力信号、および、焦電センサと信号増幅回路を組み合わせた出力信号、製作したモジュールの出力信号について比較した。その際、ジェスチャを実施する手の温度は、放射温度計を用いて測定し約 300 K であることを確認した。ジェスチャを行う手から測定対象までの距離を 1 m として出力信号を評価した (図 6)。焦電センサ単体では、約 1.6 mV であった。また、焦電センサと信号増幅回路の組み合わせでは、約 0.7 V であった。製作したモジュールでは、約 7.5 V であった。

したがって、焦電センサ単体の出力信号に比べ、信号増幅回路を組み合わせることで、約 440 倍の信号増幅を実現できた。また、Ge レンズを用いて赤外線を集光することで、さらに、約 11 倍の信号増幅を実現できた。焦電センサ単体の出力信号に比べ、製作したモジュールは、約 4700 倍の信号増幅を実現できることが分かった。

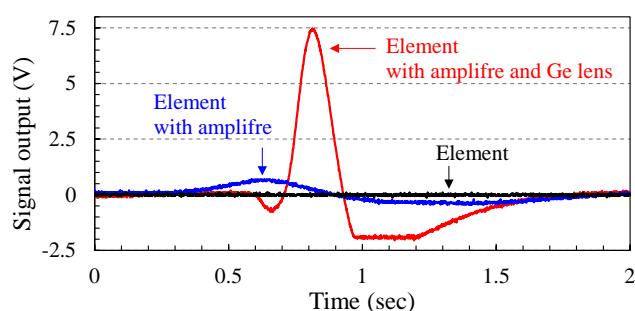


Fig. 6 Comparison of pyroelectric sensor outputs; element itself, element with amplifier circuit, and element with amplifier circuit and Ge lens.

今回製作したモジュールと LED を用いて、ジェスチャによる照明の点灯と調光の基礎的実験を行った。その結果、左右のジェスチャにより、LED の点灯と消灯が行えることが確認できた。また、上下のジェスチャにより、調光を示す LED の数を自在に調節できることが確認できた。

本研究結果は、居住空間を快適にする調光技術をより一層身近なものとするとともに、照明操作における高齢者の身体的負担を低減できる。したがって、既存の壁埋め込み型スイッチに取って代わる“人に優しい新しいインタフェース”になりうると思われる。

5. まとめ

本研究において、焦電センサアレイを用いた照明調光用インテリジェントスイッチを提案した。オペアンプを用いた 2 段階の増幅回路を製作した。また、光学設計を通じて、赤外線に対して光学的に透明で、高屈折率を有する Ge レンズを選定し、ジェスチャの振り幅と焦点ピッチとの関係を算出した。また、この結果から、焦電センサの基板実装における設置位置の妥当性を確認した。製作したモジュールからの出力信号の処理には Raspberry Pi を適用し、Python によるプログラミングを通じて、ジェスチャ検出アルゴリズムを構築した。製作したモジュールを用いて、上下左右のジェスチャによる動作の基礎的な実験を通じて、LED の点灯と消灯、また、調光が行えることを確認した。

本研究結果は、照明の点灯や調光の際、人がスイッチの設置された場所へ移動することなく、スマートフォンを操作するように、直感的に、ジェスチャで簡単にスイッチの操作が

可能であることを示しており、快適な居住空間の実現に大きく貢献する有用な技術である。

参考文献

- [1] 板生清, 吉田隆, "ひと見守りテクノロジー 遠隔地の高齢者を中心とした、異常察知の機器開発から各種事例、次世代展望まで ウェアラブル・IoT 時代の人間モニタリング", pp.1-12, 2017.
- [2] Nishiyama, M., Sasaki, H. and , Watanabe, K., "Performance Characteristics of Wearable Embedded Hetero-core Fiber Sensors for Unconstrained Motion Analyses", Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, vol.43, Issue No.12, pp.1075-1081, 2007.
- [3] 平尾洋左, "焦電形赤外線センサとその応用", 照明学会誌, vol.73, Issue No.1, pp.11-16, 1989.
- [4] Zhao, H., Ren, W. and Liu, X., "Design and fabrication of micromachined pyroelectric infrared detector array using lead titanate zirconate (PZT) thin film", Ceram. Int., vo.43, pp.S464-S469, 2017.
- [5] Maiwa, H. and Kim, SH., "Electrocaloric and pyroelectric properties of PZT and PMN-PNN-PZT thin films", Ceram. Int., vol.39, pp.S497-S500, 2013.
- [6] 下坂正倫, 石野嵩人, 福井類, 佐藤知正, "複数焦電センサを利用した室内人位置推定装置の提案", 日本機械学会, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会講演論文集, vol.2011, pp.OS1-3-1-OS1-3-4, 2011.
- [7] 奥田晋也, 金田重郎, 芳賀博英, "アナログ型焦電センサによる人間の室内位置・身長判別法の提案", 情報処理学会研究報告, vol.2004, Issue No.112, pp.1-8, 2004.
- [8] Mishra, C.S. and Palai, G., "Optical nonlinearity in germanium and silicon semiconductor vis-a-vis temperature and wavelengths for sensing application", Optik, vol.137, pp.37-44, 2017.