

多様な学習状況をフィードバックするペン型デバイスの提案

山本悠太^{1,a)} 沖真帆¹ 塚田浩二¹

概要: 近年、初等教育をはじめとする教育現場では自律的な学習の重要性が高まっており、その支援手段として、多様な IoT 文具が提案されている。本研究では、学習状況を複数の LED アレイで可視化することで、学習を開始する動機付けや意欲の継続を促すペン型デバイスを提案する。学習状況はペン内蔵の LED アレイでフィードバックされ、クラウド上のデータベースに保存される。さらに、このデータを活用することで、多様な学習状況（例：友人や過去の自分）をペン内蔵の別の LED アレイで提示し、学習者の特性に応じた学習意欲の向上を図る。

1. 背景

近年、初等教育をはじめとする教育現場では自律的な学習の重要性が高まっている。例えば、2020 年度に実施された新しい学習指導要領 [9] では、「何を学ぶか」だけでなく「どのように学ぶか」も重視しており、主体的・対話的で深い学び、すなわちアクティブラーニングの視点を取り入れた。このような変化の中で、ドリルなどの一律の宿題を廃止し、子供が自ら課題を考えて取り組む家庭学習を採用する学校が増えている。生徒は課せられた学びだけでなく、自身の興味や関心に基づいた学びを追求されるように促され、より自律的な学習が重視されるようになった。

自律的な学習習慣の習得を支援する手段として、多様な IoT 文具が開発されている。コクヨ株式会社は、学習量をやる気パワーとして光で見える化することで、家庭学習の習慣化を支援する「しゅくだいやる気ペン」を開発した [5]。また、株式会社ストーリーアは、ペンの動きのデータを取得しスマホアプリで見える化する「Penbe」を開発中である [6]。どちらも、スマホアプリと連携することで、学習記録に応じてアプリ内で報酬を得ることができる。また、親子間でのコミュニケーションにも着目しており、アプリ内で子どもの学習記録を確認することや、親からアプリ内アイテムを報酬として渡すことができる。

本研究では、多様な学習状況（例：友人や過去の自分）を複数の LED アレイを用いて提示・比較することで、学習を開始する動機付けや意欲の継続を促すペン型デバイスを提案する。

2. 関連研究

これまで、ペンの動きを解析することで特定の状態や特性を分析する研究が行われてきた。

Schrapel ら [4] は、ペンの動きと筆記音から手書きの数字を認識する Pentelligence を開発した。ペンの動きと筆記音が相補的な関係を示すことから、両方のデータを組み合わせることで認識率を大幅に向上させた。別途タブレットなどの追跡用デバイスを必要とせず、ペン自体の動きから手書きの数字を識別できる。

Júnior ら [2] は、機械学習を使用したパーキンソン病の検出を支援する生体センサの研究に基づいた動的手書きテストから、パーキンソン病の特徴を検出できるペンデバイスを提案した。機械学習を活用し、ペンの振動や速度などの特徴からパーキンソン病の有無を判断した。

また、光を用いて遠隔地の相手へ情報を提示する研究も行われてきた。

Bachour ら [1] は、演習講義中に自身の学習状況を周囲へ発信するための、ランプ状のポータブルデバイス Lantern を開発した。Lantern のカバーを回転させることで、LED の色が演習課題それぞれに割り振られた色へと変化する。他の学習者は自分と同じ演習課題を学習している人を見つけられることができ、学生同士のコミュニケーションへと繋げた。さらには、Lantern を押すと LED が点滅する仕組みになっており、TA の呼び出しサインとして活用しスムーズな対応へと繋げた。

鶴岡ら [8] は、クッションを用いて遠隔地にいる他者とのつながり感を利用した学習支援システムを提案した。クッションに内蔵されたセンサから学習集中度を推定し、LED の光でアンビエントに提示することで、自分と遠隔地にい

¹ 公立はこだて未来大学

^{a)} b1020125@fun.ac.jp

る学習者の学習状況を共有することを可能とした。また、親しい友人関係ほどつながり感を感じ、相手の学習状況に影響を受けやすいことが示された。

吉原ら [7] は、自律学習の継続を支援するための Enlight-Pen を提案した。ペンは LED がゲージ上に連装されており、e-learning の課題を達成するごとにゲージ状の灯りを 1 つ増やして進捗を表現した。また、ペン立てに自分と他の学習者のペンを複数本さし、自分の進捗状況と他者の学習状況をリアルタイムに共有させることで、ライバル意識を喚起させ学習の再開が促される機会を増やした。

本研究の独自性としては、ペンと一体型のデバイスに取り付けたセンサで学習状況を推測し、内蔵の LED アレイ上に提示する。また、自分の学習状況だけではなく、多様な学習状況（例：友人や過去の自分）を他の LED アレイ上に提示・比較することで、学習者の特性に応じた学習意欲の向上を図る。

3. 提案

自己決定理論 [3] によると、動機付けは報酬や罰等の外的圧力による外的調整、義務感や自尊心等の内的圧力による取り入れ的調整などが挙げられる。なかでも、学習の動機付けとして、取り入れ的調整は「友達がやっているからやろう」や「昨日の自分よりも多い量の勉強をしよう」といったように、学習者によって感じ方が異なると考えられる。

本研究では、多様な学習状況（例：友人や過去の自分）を複数の LED アレイを用いて提示・比較することで、学習を開始する動機付けや意欲の継続を促すペン型デバイスを提案する。本システムの使用イメージ図を図 1 に示す。本システムは、複数人の学習者 (A, B) が別の場所で、漢字や文章の書き取り、筆算のような計算問題などの学習を行っている状況を想定している。図 1 において、A は自身の学習状況と B の学習状況がデバイス上に可視化されている。B は自身の現在の学習状況と過去の学習状況が提示されている。学習者自身が比較対とする学習状況を選択することで、学習者の特性に応じた学習意欲の向上を図る。

4. 実装

ここではデバイスの実装として、「デバイスの構成」、「センサを用いた学習状況の推定」、「クラウドへの学習状況の保存」、「LED を用いた学習状況の提示」について説明する。

4.1 デバイスの構成

本デバイスは、マイコン・慣性センサ部分の M5StickC、情報提示部分の LED テープとそれらを保持しペンと一体化させるための筐体から成る (図 2)。外装は、持ちやすさと最大 3 種類の学習状況 (例：自分、友人、過去の自分)

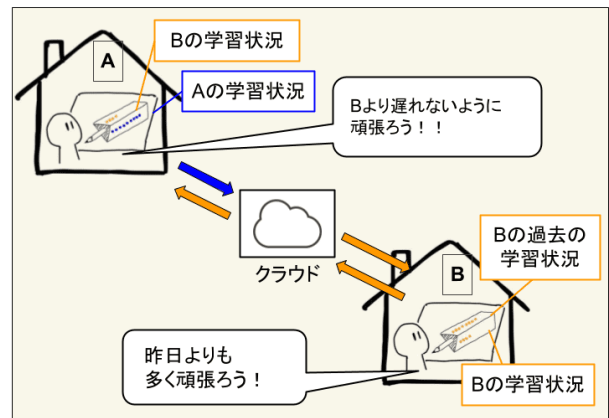


図 1 本システムの使用イメージ図



図 2 デバイスの全体像 (左)、ペンの頭部方向から見たデバイス (右上)、ペン先方向から見たデバイス (右下)

を同時に提示できる点に配慮して丸みをつけた三角の筒状とした (一辺 4cm × 長さ 10cm)。M5StickC は筐体の上部に配置しており、USB 等で給電がしやすいように配慮した。なお、短時間であれば内蔵バッテリーでも動作する。LED テープは 1 列 10 個のフルカラー LED を備えたものを 1 つの LED アレイとして、3 列用意した。専用ライブラリ (Adafruit NeoPixel) を用いることで、1 本の信号線のみで全ての LED を制御できる。LED アレイは、筐体内側の側面にあるスリットに差し込む形で固定する。

4.2 センサを用いた学習状況の推定

学習状況の推定の実装を行うために、M5StickC を取り付けたペンを使用して簡単な計算問題や漢字の書き取りを行い、6 軸慣性センサから得られる 3 軸加速度データと 3 軸角速度データを記録した。得られたセンサデータの一例をグラフ化して図 3 に示す。グラフの縦軸は加速度値 (G)、角速度値 (deg/s)、横軸は経過時間 (s) を表している。また、加速度値は角速度値にスケールを合わせるために 100 倍している。

センサデータを分析し、ペンの状態を大きく次の 4 つに

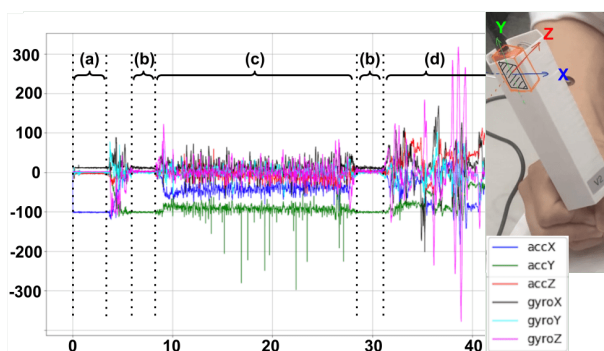


図3 6軸センサから得た3軸加速度と3軸角速度の推移図(左)と3軸加速度の方向(右)

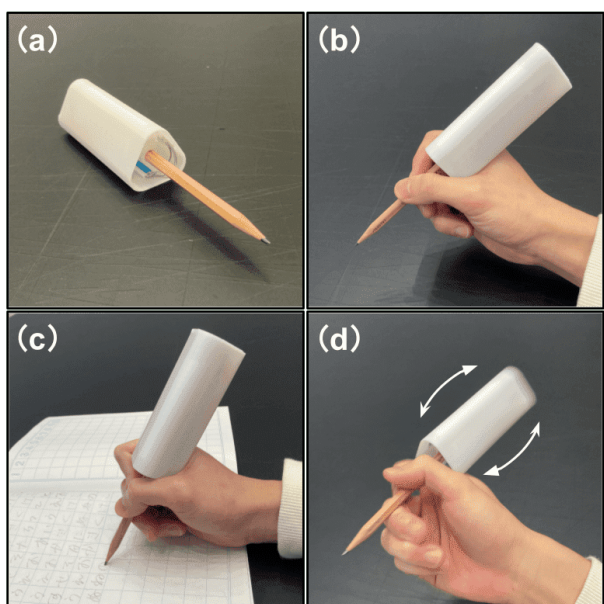


図4 ペンの4つの状態:(a) 置いている, (b) 持っている, (c) 筆記している, (d) 振っている

分けることにした:(a) 置いている, (b) 持っている, (c) 筆記している, (d) 振っている。(a)は、ペンが机に置かれており、学習者がペンに触れていない状態である。(b)は、学習者がペンを手に持ち、静止している状態である。(c)は、学習者がペンを持ち、実際に筆記行為を行っている状態である。現在の実装では、筆記状態の継続時間のみを学習中とみなしている。(d)は、学習者がペンを筆記行為以外で適当に振り回している状態である。適当にペンを動かしているだけで学習中とみなされないように区別して警告状態と認識している。図3のグラフ中の記号は、上記4つの状態を手動でラベル付けしたものである。

本研究では、3軸角速度の変化に着目し、4つの状態の判別を行う。具体的には、各軸の角速度を平滑化した上で、その絶対値の総和を角速度の変化量として扱う。この変化量を閾値と比較することで、前述した4つの状態を判別する。さらに、判別の安定性を向上させるために、平滑化したY軸加速度(重力加速度)をペン先の方向を示す指標として扱う。なお、機械学習を用いて判別を行う方法も検討



図5 自分の学習状況(橙)と遠隔の友人の学習状況(水色)の表現例

したが、要求精度と応答速度を考慮して、現時点では単純な判定方法を実装した。今後、性能評価を通して最適な手法を探っていく。

4.3 クラウドへの学習状況の保存

クラウド上へ学習状況を保存する機能を実装した。Google Apps Scriptを用いて、LEDの点灯数とペンの状態をタイムスタンプと共にGoogle Spreadsheet上に保存する。この機能により、遠隔者の学習状況や過去の自分の学習状況を参照することができる。

4.4 LEDを用いた学習状況の提示

筐体内側の側面に取り付けたLEDアレイを用いて、学習状況の提示を行う(図5)。LEDアレイは筐体内側の側面の3面にそれぞれ1列に配置し、ゲージ状に表現した。自分の学習状況に加えて、最大2種類の学習状況(例:友人、過去の自分等)を表示できる。学習状況の継続に応じて、LEDをゲージ状に点灯させる。そしてLEDが10個点灯すると、同系統の濃い色で上書きするように1つ目から点灯させる(図6)。また、自分や友人の学習状態を強調するために、学習状態の継続中はLEDを一段明るく点灯させる機能や警告状態(状態d)が一定時間続くことで全てのLEDアレイを赤く点滅させる機能を用意した(図7)。

5. まとめと今後の展望

本研究では、多様な学習状況(例:友人や過去の自分)を複数のLEDアレイを用いて提示・比較するペン型デバイスの提案と開発を行った。デバイスに取り付けたセンサを用いて学習状況を推定しクラウドへ保存することで、LEDの光を用いて自身と遠隔にいる友人、過去の自分の学習状況を提示した。

今後は、システムの性能評価として、学習状況の推定の

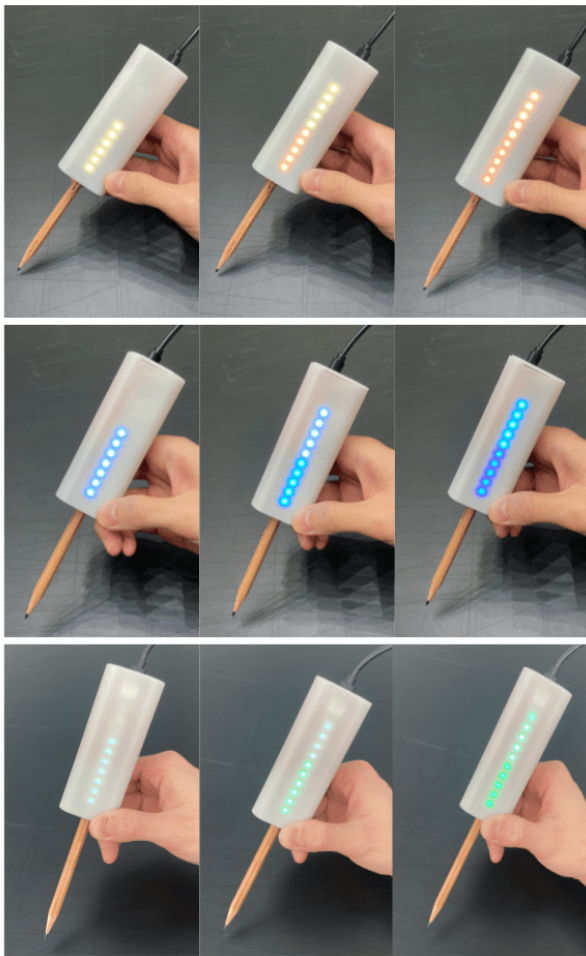


図 6 LED の点灯が変化の様子：橙色系統の変化（上），青色系統の変化（中），緑色系統の変化（下）

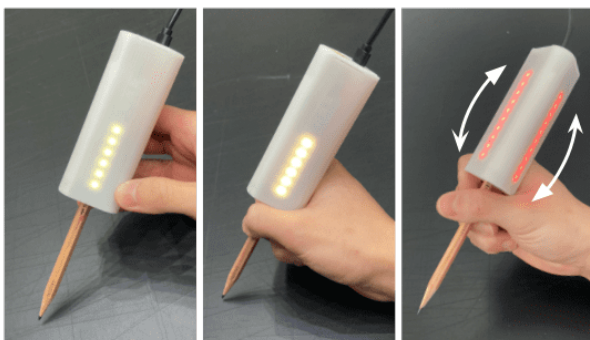


図 7 LED の明るさが変化の様子（左，中）とペンを振り回すことで赤く点滅する様子（右）

精度を検証する。また，被験者に本システムを用いた学習を体験してもらいユーザー評価を通して，本デバイスの有効性を検証する。

謝辞

本研究の一部は，JST 未来社会創造事業 JPMJMI21J6 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Khaled Bachour, Hamed Seied Alavi, Frédéric Kaplan, and Pierre Dillenbourg. Low-resolution ambient awareness tools for educational support. CHI 2010 Workshop: The Future of HCI And Education, Atlanta, Georgia, USA, April 11, 2010.
- [2] Eugênio Peixoto Júnior, Italo L. D. Delmiro, Naercio Magaia, Fernanda M. Maia, Mohammad Mehedi Hassan, Victor Hugo C. Albuquerque, and Giancarlo Fortino. Intelligent sensory pen for aiding in the diagnosis of parkinson's disease from dynamic handwriting analysis. *Sensors*, Vol. 20, No. 20, 2020.
- [3] Richard M. Ryan and Edward L. Deci. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*. 55(1), 68-78, 2000.
- [4] Maximilian Schrapel, Max-Ludwig Stadler, and Michael Rohs. Pentelligence: Combining pen tip motion and writing sounds for handwritten digit recognition. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, p. 1-11, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [5] コクヨ株式会社. しゅくだいやる気ペン. <https://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/yarukipen/>. コクヨ株式会社ホームページ (2023-12-22 参照).
- [6] 株式会社ストーリーア. Penbe ～勉強したくなる魔法のペン～. <https://www.penbe.jp/>. Penbe 公式ページ (2023-12-22 参照).
- [7] 吉原さくら, 塚田浩二, 安村通晃. Enlight-pen: 自律学習継続支援システムの提案. 情報処理学会インタラクショナル論文集 2003.
- [8] 鶴岡秀樹, 矢入郁子. クッション型デバイスを用いた自律学習促進システムの提案. 人工知能学会全国大会論文集, 2015. 1N5-1.
- [9] 文部科学省. 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示). https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_01.pdf. (2023-12-22 参照).