

認知検出クリッカーの開発とその教育的利用

福島高専 西浦孝治¹, 木更津高専 栗本育三郎²

1 はじめに

授業において、教科書以外の教材を用いることがある。プリント教材や図のアニメーションなどである。また、授業時間外で自学自習するためのコンピュータによるさまざまなツールもある。学生の理解度を上げるために、それらの教材やコンピュータによる学習ツールに含まれる解説や問題の質を高めることは重要である。本研究では、高専、大学初年度の数学教育において、教育効果の大きい教授方法と教材を開発することを目的とする。その開発過程で認知検出クリッカーを利用する。

教授方法と教材の教育効果について、実験授業を行うことによって検証する。被験者である学生は、作成した教材を使って学習した後に、理解度を確認するための問題を解く。解答するための機器として、著者の一人(栗本)らが認知検出クリッカーを開発した。そして、さらに操作性などについて改良した。この認知検出クリッカーの特徴は、主に次の通りである。

- 学生の解答の推移を時系列で記録することができる。すなわち、教材による理解の効果を測定し、分析することが可能である。
- コンピュータを用いないため、普段、授業を行っている一般の教室で実験授業を実施することができる。
- 廉価である。したがって、複数の学校で所有し、実験授業を同時期に実施することができる。

これまでに三角関数、領域と不等式、重積分などの教材を開発してきた([1], [2], [3])。今回は、高専の2年生の微分積分で学習する媒介変数で表された関数の教授方法と教材について考察した。媒介変数表示の関数は理解度が低いと考えられる分野の1つである。実験授業によって、図のアニメーションとインタラクティブ教材の教育効果を検証する。実験授業は、その分野を初めて学習するクラスとすでに学習しているクラスに対して実施した。2つのクラスに共通なことは、スライド教材で学習し、最後に確認問題を解くことである。大きく異なることは、初めて学習するクラスでは、スライド教材で学習した後にインタラクティブ教材を各自のスマートフォンで使い、すでに学習しているクラスでは、同じ時間に教科書を読んで学習することである。

本論文では、はじめに認知検出クリッカーの開発について述べる。次に、そのクリッカーを用いて行った媒介変数で表された関数の実験授業の内容について述べ、その検証結果について考察する。

¹E-mail: nishiura@fukushima-nct.ac.jp

²E-mail: kurimoto@j.kisarazu.ac.jp

2 認知検出クリッカーの開発

認知検出クリッカー Cognitive Detection Clicker（以下、CDC）は、木更津高専栗本・白井によって開発され、Wi-Fi 機能を持つ組み込みコンピュータを搭載した学習者のタスク選択、解答情報をリアルタイムに収集することのできる IoT デバイスである。図 1 は CDC の外観写真である。



図 1: CDC の外観

CDC は、タスク選択ボタンと解答ボタンをそれぞれ 4 つ搭載し、主に選択問題やアンケートの回答に適している。ボタン押下時のタイミング時間、機体番号、選択しているタスク、選択している解答、複数台の CDC 本体の稼働時間（ミリ秒単位）を Wi-Fi を介して、サーバーに CSV ファイル形式で保存することができ、アプリケーションによって、解答者ごとの時系列解答情報（正解・不正解）をグラフで可視化することができる。図 2 は動作のブロック図である。

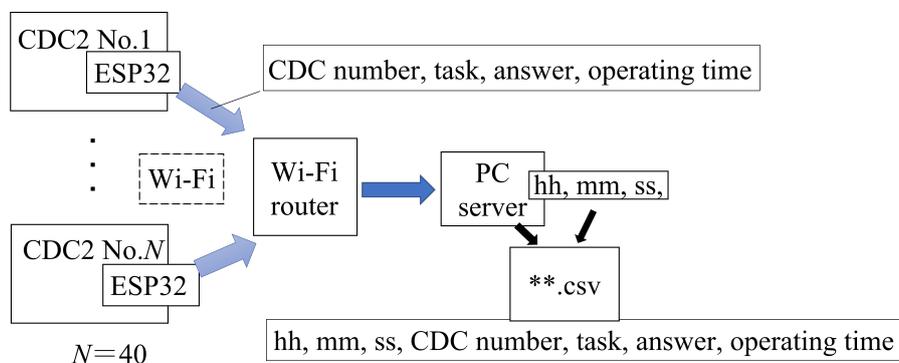


図 2: CDC のブロック図

分散配置した CDC が Wi-Fi を通してルーターに接続され、ネットワーク上の PC サーバに複数台の CDC の時系列データがアップロードされる仕組みである。本システムによって、授業時に「どの学生が、どの問題に、どれだけ時間をかけて、正解したかどうか」を一目で確認できるようになった。

現在、旧型の CDC40 台、それを改良した新型の CDC40 台を所有し、複数のクラスで各 40 人分の解答データを同時に収集可能となった。また、スイッチを押したときの筋電などの影響が小さく、CDC と脳波計とを併用することが可能であり、CDC を用いた脳波解析実験も実施している ([4], [5], [6])。

3 認知検出クリッカーの教育的利用

3.1 教材

高専，大学では，数学教材を作成するために TeX が広く用いられている．TeX 文書に挿入する図を作成するための数学ソフトウェアとして KETpic が開発された．KETpic には描画機能，表作成機能およびレイアウト機能が備わっている．その後，KETpic は動的幾何ソフト Cinderella と連携し，数学ソフトウェア KeTCindy が開発された ([7])．KeTCindy によって，インタラクティブに図を作成することが可能になった．また，スライドも作成することができる．さらに HTML を作成する KeTCindyJS も開発された．

実験授業で使用する教材として，スライド教材，インタラクティブ教材，および確認問題を KeTCindy と KeTCindyJS で作成した．KeTCindy にはデータ処理機能もあり，実験結果を解析するときにも KeTCindy を用いた．

3.1.1 スライド教材

スライド教材は，媒介変数で表された関数についての解説で，次のように構成されている．

1. 導入 (例. $x = t^3 - 2t^2 + 1$, $y = t^2 - t$)
2. 曲線の媒介変表示の定義
3. 円の媒介変表示
4. サイクロイドの媒介変表示とその式を導く証明

図 3 は，スライド教材の導入部分である．

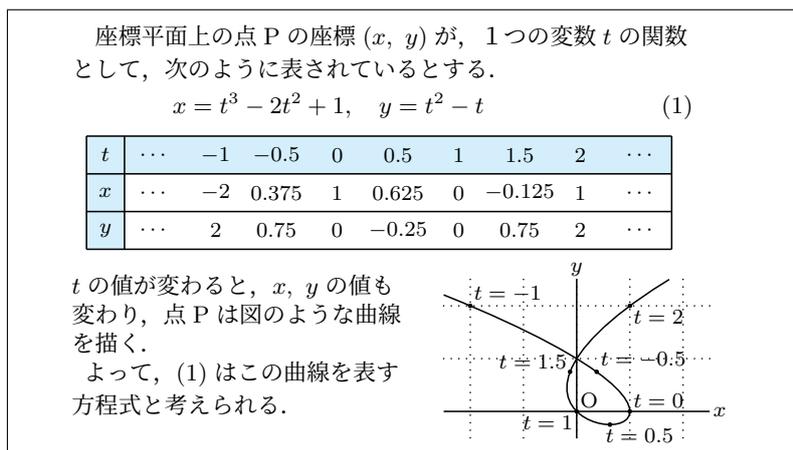


図 3: スライド教材

このスライド教材は，2つの種類を作成した．曲線 $x = t^3 - 2t^2 + 1$, $y = t^2 - t$ ，円，サイクロイドについて，媒介変数の変化につれて曲線が描かれていくアニメーションを含んでいる教材と含んでいない教材である．

3.1.2 インタラクティブ教材

HTML のインタラクティブ教材は、曲線 $x = t^3 - 2t^2 + 1$, $y = t^2 - t$, 円, 楕円, サイクロイドの4つのグラフについて作成した. 図4は楕円のインタラクティブ教材である. Play ボタンを押すと, 媒介変数 t が変化し, 楕円 $x = 3 \cos t$, $y = 2 \sin t$ を描く. 図の右側に, t の値とそのときの点の座標が表示される. Pause ボタンで一時停止し, Rev ボタンで逆に動き, Stop ボタンで初期状態 $t = 0$ のときに戻る.

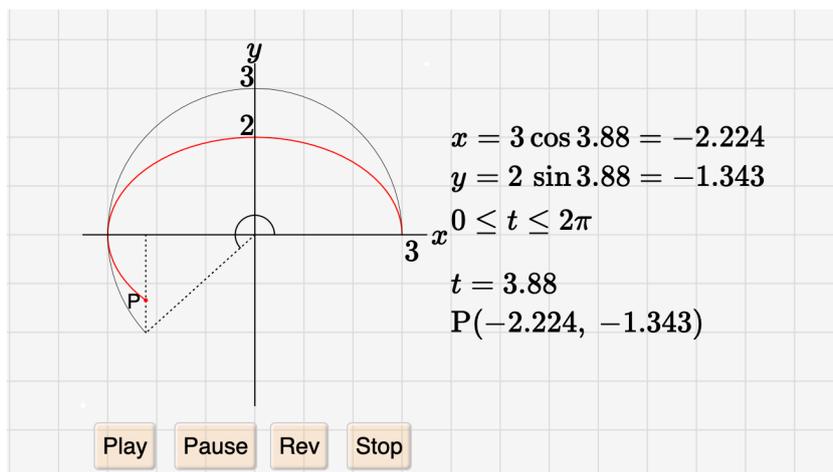


図 4: 楕円のインタラクティブ教材

図5はサイクロイドのインタラクティブ教材である. 楕円と同じように4つのボタンで, 図を動かすことができる.

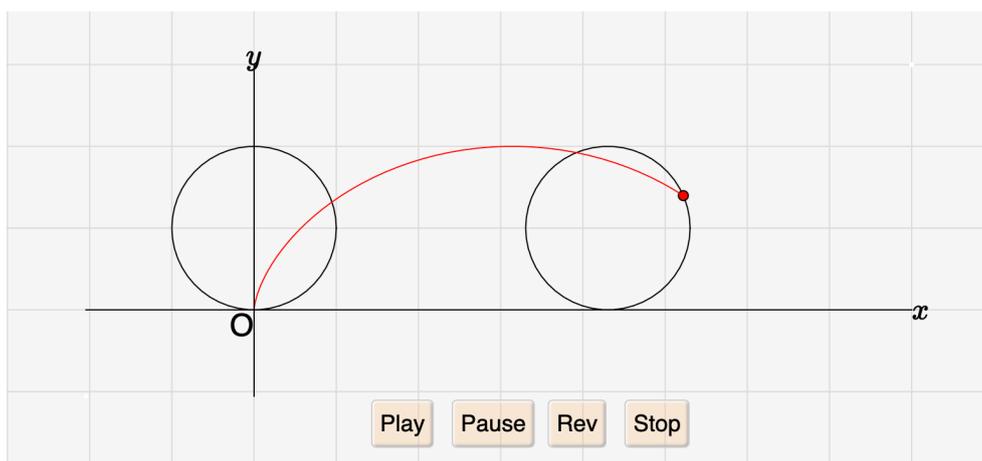


図 5: サイクロイドのインタラクティブ教材

学生にとって, サイクロイドが描かれていくようすをイメージすることは容易ではないが, その理解を助けるための教材である.

3.1.3 確認問題

確認問題は、媒介変数で表された関数について、スライド教材とインタラクティブ教材で学習した後の理解度を確認するための問題である。これは次の P1 から P4 の 4 題からなる。

P1：曲線の媒介変数表示からグラフを求める問題

P2：半円のグラフからその媒介変数表示を求める問題

P3：楕円の媒介変数表示からグラフを求める問題

P4：サイクロイドの媒介変数表示を求める問題

確認問題は紙媒体の教材であり、図 6 は P1 と P2、図 7 は P3 と P4 である。実際は 1 題につき、A4 サイズ 1 枚で作成している。

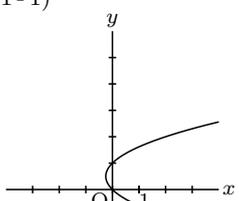
P1

問題 1 次の式で表される曲線の概形を (1-1) ~ (1-4) の中から選びなさい。

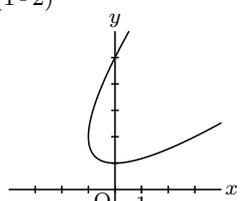
$$x = t^2 - 2t, y = t^2 + 1$$

(t にいろいろな値を代入して (x, y) を求めることにより調べよ.)

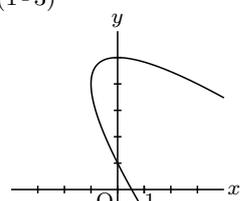
(1-1)



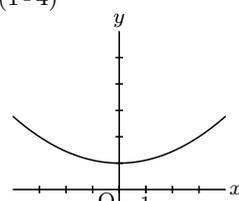
(1-2)



(1-3)

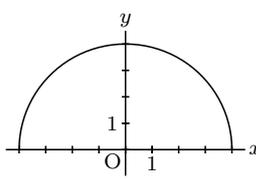


(1-4)



P2

問題 1 下図のグラフの媒介変数表示を (1-1) ~ (1-4) の中から選びなさい。ただし、 $0 \leq t \leq \pi$ である。



(1-1) $x = 2 \cos t, y = 2 \sin t$

(1-2) $x = 2 \sin t, y = 2 \cos t$

(1-3) $x = 4 \cos t, y = 4 \sin t$

(1-4) $x = 4 \sin t, y = 4 \cos t$

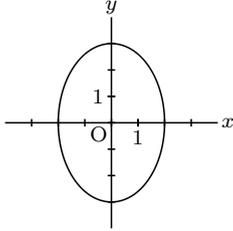
図 6: 確認問題 P1, P2

P3

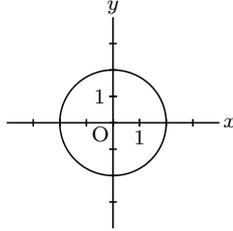
問題 1 次の式で表される曲線の概形を (1-1) ~ (1-4) の中から選びなさい。

$$x = 2 \cos t, y = 3 \sin t \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$$

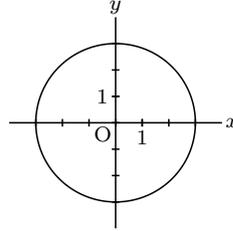
(1-1)



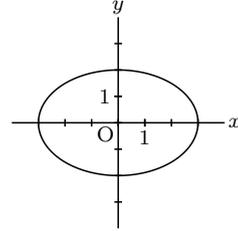
(1-2)



(1-3)

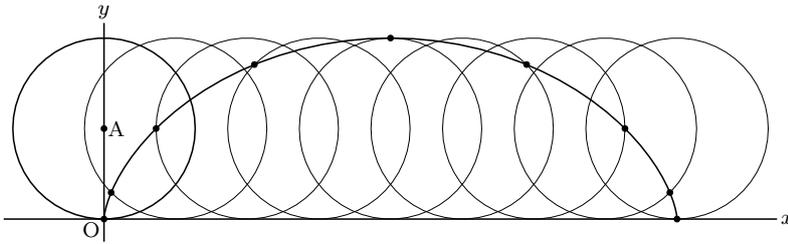


(1-4)



P4

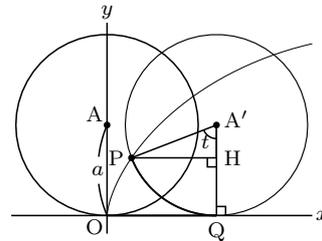
点 $A(0, a)$ を中心とする半径 a の円がある。



この円が x 軸上を正の方向にすべらずに 1 回転するとき、始めに原点にあった点 P の軌跡の媒介変数表示は、次のように表される。

$$x = OQ - PH = \boxed{\text{ア}} - \boxed{\text{イ}}$$

$$y = A'Q - A'H = \boxed{\text{ウ}} - \boxed{\text{エ}}$$



問題 1 に当てはまるものを (1-1) ~ (1-4) の中から選びなさい。

(1-1) a

(1-2) at

(1-3) $a \cos t$

(1-4) $a \sin t$

問題 2 に当てはまるものを (2-1) ~ (2-4) の中から選びなさい。

(2-1) a

(2-2) at

(2-3) $a \cos t$

(2-4) $a \sin t$

問題 3 に当てはまるものを (3-1) ~ (3-4) の中から選びなさい。

(3-1) a

(3-2) at

(3-3) $a \cos t$

(3-4) $a \sin t$

問題 4 に当てはまるものを (4-1) ~ (4-4) の中から選びなさい。

(4-1) a

(4-2) at

(4-3) $a \cos t$

(4-4) $a \sin t$

図 7: 確認問題 P3, P4

3.2 実験授業

実験授業を2つのクラス（クラスAとクラスB）に対して、各高専で下記のように実施した。

- 対象：クラスA 木更津高専2年生36名，クラスB 福島高専2年生40名
- 実施日：クラスA 2022年6月29日，クラスB 2022年8月4日
- 場所：教室
- 実験授業の進行
 1. 実験授業の目的と方法の説明
 2. スライド教材を使って授業（約5分）
 3. 学生それぞれが学習（5分）
使用教材：クラスA インタラクティブ教材，クラスB 教科書
 4. CDCによる回答の練習
 5. 確認問題（8分）

クラスAとクラスBで異なることは、次の3点である。

- 媒介変数で表された関数について，クラスAは実験授業で初めて学習し，クラスBはすでに学習している。
- スライド教材について，クラスAでは媒介変数の変化につれて曲線が描かれていくアニメーションを含んでいる教材を使用し，クラスBではアニメーションを含んでいない教材を使用した。
- スライド教材を使った授業の後に，クラスAは各自のスマートフォンでHTMLのインタラクティブ教材を使って学習し，クラスBは教科書を読んで学習した。

スライド教材を使った授業は著者の一人（西浦）が行った。図8は木更津高専での実験授業のようすである。



図 8: 実験授業

3.3 分析結果

確認問題について、P1からP4の配点は各1点である。ただし、P4は4問すべて正解で1点とした。グループAとグループBのP1からP4、合計点のそれぞれの平均の差について、ウェルチの t 検定を行った。有意水準5%の両側検定である。表1はその結果である。

表1: 平均の差についてのウェルチの t 検定

	A 平均	B 平均	t 値	p 値	有意差
P1	0.75	0.62	1.17	0.2448	なし
P2	0.56	0.30	2.29	0.0249	あり
P3	0.81	0.55	2.46	0.0164	あり
P4	0.53	0.35	1.56	0.1227	なし
合計	2.64	1.82	3.03	0.0034	あり

グループAとグループBで、P1とP4については有意差はなかったが、P2、P3、および合計点については有意差があった。

P1は媒介変数 t にいくつかの値を代入して、得られた点を結ぶことによってグラフの概形を求めるため、インタラクティブ教材の使用の有無と理解度の関係は小さかったと考えられる。P4は難易度が高かったために、同様にインタラクティブ教材との関係が大きく現れなかったと考えられる。しかし、どちらの問題もグループAの方が平均、すなわち正解率が高かった。

有意差があったP2とP3について、さらに答えの選択肢の回答率を調べた。表2はP2の答えの選択肢の回答率である。P2の正解は(1-3)である。

表2: P2の選択肢の回答率

グループ	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)	無回答
A	0.08	0.03	0.56	0.08	0.25
B	0.45	0.05	0.30	0.12	0.07

P2は円の媒介変数表示についての問題である。グループBは(1-1)の誤答の割合が高い。この円の方程式は $x^2 + y^2 = 4^2$ であり、図から分かる半径4を 2^2 として、2重の誤りで、(1-1)を選択していると考えられる。一方、グループAは(1-1)の誤答の割合は低い。円のインタラクティブ教材を自分で動かすことによって、円の媒介変数表示の $\cos t$ と $\sin t$ の係数が円の半径であることの実験が深まっていると考えられる。ただし、正解率は0.56で高くはない。

表3はP3の答えの選択肢の回答率である。P3の正解は(1-1)である。

表3: P3の選択肢の回答率

グループ	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)	無回答
A	0.81	0	0	0.06	0.14
B	0.55	0.03	0	0.03	0.40

P3は楕円の媒介変数表示についての問題である。どちらのグループも不正解は、ほとんどが無回答によるものである。グループAの正解率が0.81と高い。スライド教材を使った授業では、楕円の媒介変数表示を扱わなかった。したがって、グループAの学生はそれぞれがインタラクティブ教材で、初めて楕円の媒介変数表示を学習し、理解することができたといえる。グループBの学生はすでに授業で学習しているが、理解が十分に定着していない。

P2とP3の解答時間は、それぞれ1分間であり、少し短かった可能性がある。CDCによって、解答時刻も得ることができるが、初めて学習するグループAの方は、解答終了時刻に解答する学生が数名いた。

4 まとめと今後の課題

我々の研究グループが独自に開発した認知検出クリッカーCDCは、さらに操作性などが改良されている。そして、CDCを用いて実験授業と脳波解析実験を行っている。CDCはコンパクトでありながら必要な情報を得ることができる。また使用する環境に大きな制限がない。

今回の媒介変数で表された関数の実験授業の結果から、HTMLのインタラクティブ教材は学生の理解度を高めるために効果的であると考えられる。教員が一方的に見せるのではなく、学生自身が使うことによって理解が深まる。能動的に学習に取り組むことは重要である。しかし、インタラクティブ教材だけでは不十分なところもある。あくまでもインタラクティブ教材は補助的に用いるためのものである。サイクロイドの媒介変数表示などの難易度が高いところでは、教授方法、教材などを改善しなければならない。そして、新たな教授方法や教材の教育効果を検証するために、さらにCDCを用いた実験授業を行う必要がある。このような繰り返しによって、より教育効果の大きい教授方法と教材を開発していく。

実験授業と脳波解析実験と並行して、視線計測実験を行っている。モニターに映された教材で学生が学習し、その視線の動きを専用の機器を用いて計測するものである。教材や授業における板書を教員が意図した通りに学生が見るとは限らない。また学生によって、視線の動きが異なる場所もあれば、共通する場所もある。したがって、視線の動きを分析し、特徴を把握することは教育改善のために有用である。この視線計測実験においてもCDCの活用を考えている。CDCには汎用性があり、さまざまな実験で教育的に利用したい。

5 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K03021 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Nishiura, S. Ouchi, K. Usui, Analysis of the Use of Teaching Materials Generated by KeTCindy as an Aid to the Understanding of Mathematics, Lecture Notes in Computer Science, 10407, Springer Verlag, 216-227 (2017)
- [2] K. Nishiura, Analysis of the Usefulness of Teaching Materials Including Sound Created by KeTCindy, The Electronic Journal of Mathematics and Technology, 13(2), 145-155(2019)
- [3] 西浦孝治, 高遠節夫, 臼井邦人, 鈴木正樹, 三角関数におけるアニメーション教材の開発と実験授業による検証, 京都大学数理解析研究所講究録, 2178, 11-20(2021)
- [4] 宮良大地, 栗本育三郎, メタ認知解答誘導タスクにおける多チャンネル脳波超短時間自己相似解析, 日本福祉工学会第 24 回学術講演会講演論文集, 29-30(2020)
- [5] 清水淑貴, 栗本育三郎, 西浦孝治, メタ認知の育成を目指した逆関数課題における脳波信号の超短時間自己相似性解析, 日本福祉工学会学術講演会講演論文集, 57-58(2018)
- [6] K.Kamata I.Kurimoto, Detection of Metacognitive Process by Using Spectrum and Self-Similarity Analysis of EEG Signal in Super Short Time Series, Proceedings of the SICE Annual Conference 2016, 1026-1029(2016)
- [7] M.Kaneko, S.Yamashita, H.Makishita, K.Nishiura, S.Takato, Collaborative use of KeTCindy with other mathematical tools, The Electric Journal of Mathematics and Technology, 11(2), 100-111 (2017)