

Python による幾何学図形生成を題材とした高校向け STEAM 教育

梅村 祥之*・赤羽 克仁*・直川 耕祐*

(令和 6 年11月 8 日受付)

STEAM education for high school students using Python programs generating geometric shapes

Yoshiyuki UMEMURA, Katsuhito AKAHANE and Kosuke NAOKAWA

(Received November 8, 2024)

概要

STEAM 教育の教材として、Python プログラムを用いたコンピュータグラフィックスにより美しい幾何学図形を生成する電子教材を開発し、高等学校の2023年度の授業で実施した。その結果を踏まえ、電子教材に生成図形の表現力を向上させるプログラムを追加し2024年度の授業で実施した。生徒は16名であった。授業最終回に行ったアンケート結果から STEAM の構成要素である STE (Science, Technology, Engineering), A (Art), M (Mathematics) に関する教育効果を評価した。以下の点から全項目について教育効果があったと考える。A を「好きなものに夢中になるためのあそび心」と捉えると、全員が楽しさを感じたと回答した。STE に関して、CG プログラミング技術の面を評価すると、教材として提供していないプログラムを生徒が独自に作成して作品の表現の幅を広げた。M に関して、数学への理解が深まったとの問いに、ほぼ全員が深まったと回答し、また、テーマの魅力に関する問いに、美しい図形の生成原理に数学が関係することを知って魅力を感じたとの 4 件の回答があった。

キーワード：STEAM 教育、幾何学図形、コンピュータグラフィックス、スピログラフ、Python

1 はじめに

STEAM 教育^{[1][2][3][4]}を実施する高校から大学の各学科に、高校での勉強が進学先学科の勉強に繋がることがわかる題材で、生徒が夢中になれる教材を開発して授業を実施してほしいとの要請があった。大学の情報工学科がこの要請を受けて、前年度にあたる2023年度に、テーマを企画して教材を開発し、授業を実施した^[5]。テーマは、Python 言語を用いたコンピュータグラフィックスにより、スピログラフ^{[7][8]}という描画方法で美しい幾何学図形を生成するテーマである。このテーマは STEAM 教育における S から M までの要素をバランスよく包含することの特徴とする。前年度の取り組みにおいて、テーマの企画と電子教材の開発に重点があった。しかも、初回のため、生徒の能力

や関心について未知な面が多く、授業の進め方と教育効果の評価方法を確立できていなかった。また、本テーマの受講者数が10名と少数であった。そのため、教育効果を評価するに十分な人数とは言い難かった。本年度にあたる2024年度に、2回目として、同テーマを実施することになり、受講者数は16名となった。そこで、前年度の生徒の取り組みで見られた傾向が、本年度も見られるかを検証する。

また、前年度の授業実施において、教材に含まれていない描画機能を、生徒が自らプログラミングして追加したり、手修正して作品に仕上げる例が見られた。そこで、それらを電子教材の中に最初から盛り込むことによって、出発点のレベルを上げて、より高度な創作活動に集中できるようにする。

以下、第2章で前年度開発した教材の概要と前年度の授

* 広島工業大学情報学部情報工学科

業実施結果を受けて補充した内容を述べる。第3章で授業実施に関わる実施形態、発表会に提示されたポスタの特徴を述べ、授業の最後に行ったアンケートの結果を示し、教育効果に関する考察を述べる。第4章でまとめる。

2 教材開発

2.1 前年度版の概略

教材の提供形式は、Python プログラムの統合開発環境として普及している jupyter lab の Notebook 形式^[6]である。開発した教材の一部を図1に示す。章立ての構造をサポートしている。図に示す例では、「■綺麗な図形の生成」が章にあたり、その中に「●原理」という節がある。それぞれの単位で内容を折りたたんだり、開いたりできる。プログラムが網かけ部分に示される。この部分を実行でき、実行結果が表示される。生成された図形はスピログラフの典型的な図形である。

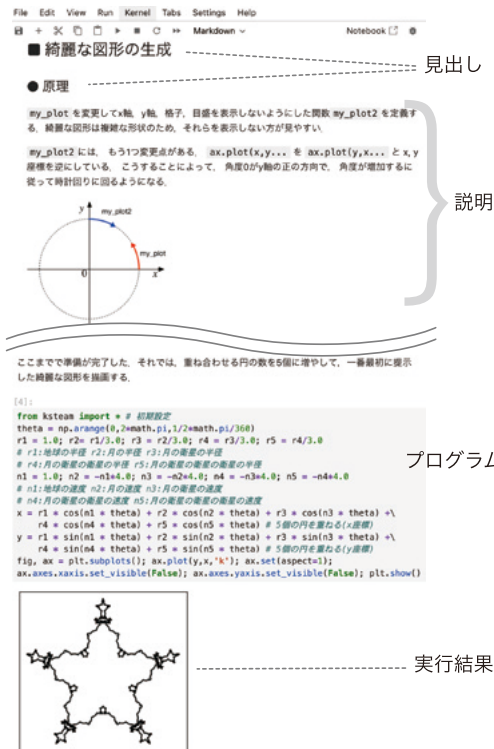


図1 Python 統合環境 jupyter lab を用いた教材の画面表示を示す。プログラムを実行して典型的なスピログラフ図形を生成している。

2.2 追加機能1—複数の図形の重ね合わせ—

前年度の創作活動の中で、パラメータを変えて複数生成したスピログラフを手作業でコピー、ペーストして重ね合わせた図形を制作するケースがあった。複数図形の重ね合わせは表現力向上の有力手段である。そこで、その機能を教材の中に組み込むことにする。

図形の重ね合わせ方法として、図2に示す2種類の方法

がある。(a)は、図形の中心からの距離が近い領域に描画する図形と、距離が主に遠い領域に描画する図形の2図形を重ねるものである。(b)は回転角度別に2図形を重ねるものである。

これらの機能を使うには、これまでのようにパラメータの値を変更する操作ではなく、重ね合わせたい図形を生成するプログラムの一部を必要な箇所に追加する操作が必要となり、Python 言語の知識が必要となる。図2(a)を作成する際、各々の描画プログラムをどのように編集して1本のプログラムに組み合わせるのかについて、図3に示す。

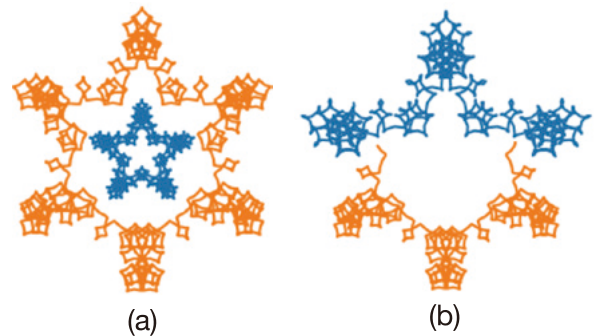


図2 複数の図形を重ねる方法。(a) 中心からの距離ごと、(b) 回転角度ごと

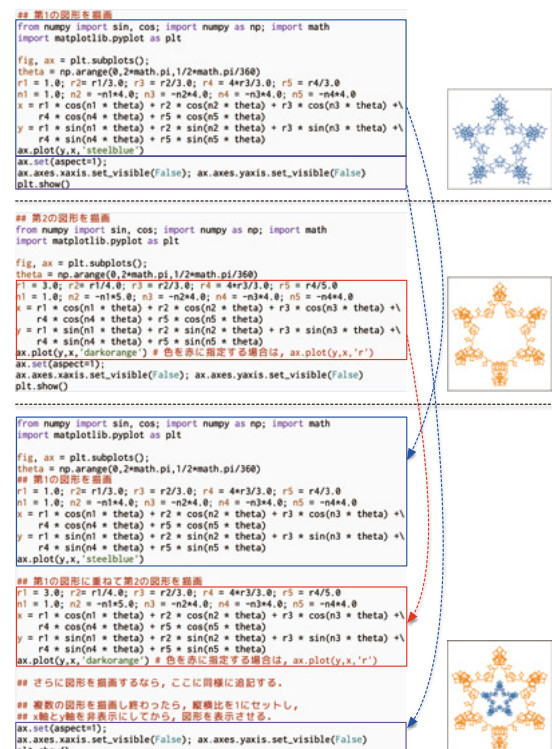


図3 2図形を重ねるためのプログラムの編集方法

2.3 追加機能2—色付け—

前年度の創作活動の中で、プログラムを修正して図形の内部に色を塗るケースが見られた。図形内部の色付けと辺

の色付けも表現力向上の有力手段である。この機能も教材の中に組み込むことにする。

図 4 に教材で提供する色付けの例を示す。(a) は図形の内部を指定した色で塗りつぶす方法である。(b) は辺ごとに異なる色を用いる方法である。色の指定を行わず、自動で配色される。(c) は辺ごとの色を指定する方法である。

指定において、この場合、グラデーションパターンを使っている。(c) の方法によって所望のグラデーションをつけようとする、プログラムの何箇所も変更する必要がある、Python 言語の知識が必要である。

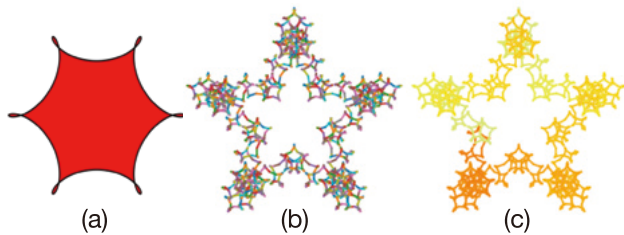


図 4 色付け方法。(a) 図形内部の塗りつぶし、(b) 辺ごと自動配色、(c) 辺ごとグラデーションをつけた配色

3. 授業実施

3.1 授業形態

本教材を利用する教育は、普通科高等学校 K-STEAM 類型 CL コース 2 年生の授業科目「STEAM 探究 I」の中の 1 テーマである。前年度の授業形態と本年度の授業形態を対比して示す。授業回の構成を図 5 に示す。前年度、創作活動の時間が不足したことを受けて、本年度、発表会を除く授業時間が 1.8 倍に拡大された。

講義の聴講者は前年度、本年度とも 74 名で、本テーマに参加した生徒は前年度が 10 名、本年度が 16 名であった。

前年度、2023 年 6 月 6 日から 9 月 19 日の期間

1. 講義（概要説明）50 分
2. 講義（原理説明と演習）100 分
3. 課題（課題に関する説明と演習）100 分
4. 創作活動 100 分
5. ポスタ作成 100 分、以上合計 350 分
6. 発表会

本年度、2024 年 9 月 24 日から 10 月 22 日の期間

1. 講義（概要説明）25 分
2. 講義（原理説明と演習）100 分
3. 講義（追加機能と課題）、テーマ企画 100 分
4. 創作活動 1 100 分
5. 創作活動 2 100 分
6. ポスタ作成 100 分
7. リハーサルとポスタ修正 100 分、以上合計 625 分
8. 発表会

図 5 授業の構成

講義の後、グループごとにテーマを決めて創作活動を行う。本年度は、生徒 16 名が 2 名からなる 5 グループと、3 名からなる 2 グループの合計 7 グループに分かれて創作活動を行った。

図形作成は Python プログラムによって行う。教材にソースプログラムが掲載されている。図形の形を変更するには、様々なパラメータを変更する必要がある。さらに、大幅な変更には、数値を変更するにとどまらず、ソース行の何行かをコピー、ペーストしてから、コードを修正することも必要となる。Python 言語の教育に関し、先行する授業の中で行っている。前年度と本年度の授業形態を比較して示す。前年度に比べて本年度は充実していることがわかる。

- ・前年度：授業の 1 年前の 1 年生の段階で 50 分間の Python の文法に関する授業を 3 回実施した
- ・本年度：授業の半年前に 50 分間の Python の文法に関する授業を 8 回実施した

3.2 発表ポスタ

授業の第 8 回発表会におけるポスタセッションにおいて、7 グループからの発表が行われた。作品の一部を図 6 に示す。教材で提供する図形の枠に収まらない創造性豊かな作品が多く見られた。(a) は美しさに特徴のある 3 作品である。(b) はドーナツに似せた形状をスピログラフで表現するもので面白さに特徴がある。(c) は通常のパラメータを使ってスピログラフを描画しても生成が難しい図形を生成した作品である。ポスタセッションにて、発表者から生成できるまで 1 時間の制作時間を要したとの発言があった。(d) はスピログラフの範囲では対数螺旋を描くことができないため、生徒の独自プログラムで対数螺旋を描画したものである。

3.3 アンケート結果

授業の第 7 回「7. リハーサルとポスタ修正」の最後に、無記名式のアンケート調査を行った。無記名式であっても、グループ番号を記入してもらったため、匿名性は低い。全 16 名より回答を得た。アンケート項目は、楽しさに関する質問 2 問と、情報工学分野の学びにつながったかを問う質問 3 問からなる。全問自由記述式であり、以下の構成である。

- ・楽しさ
 - Q1. 本テーマのどういうところに魅力を感じたか？
 - Q2. モノづくりの楽しさを感じたか？
- ・学習面
 - Q3. 本テーマをきっかけに調べたことは？
 - Q4. 数学的な内容への理解はつめたか？

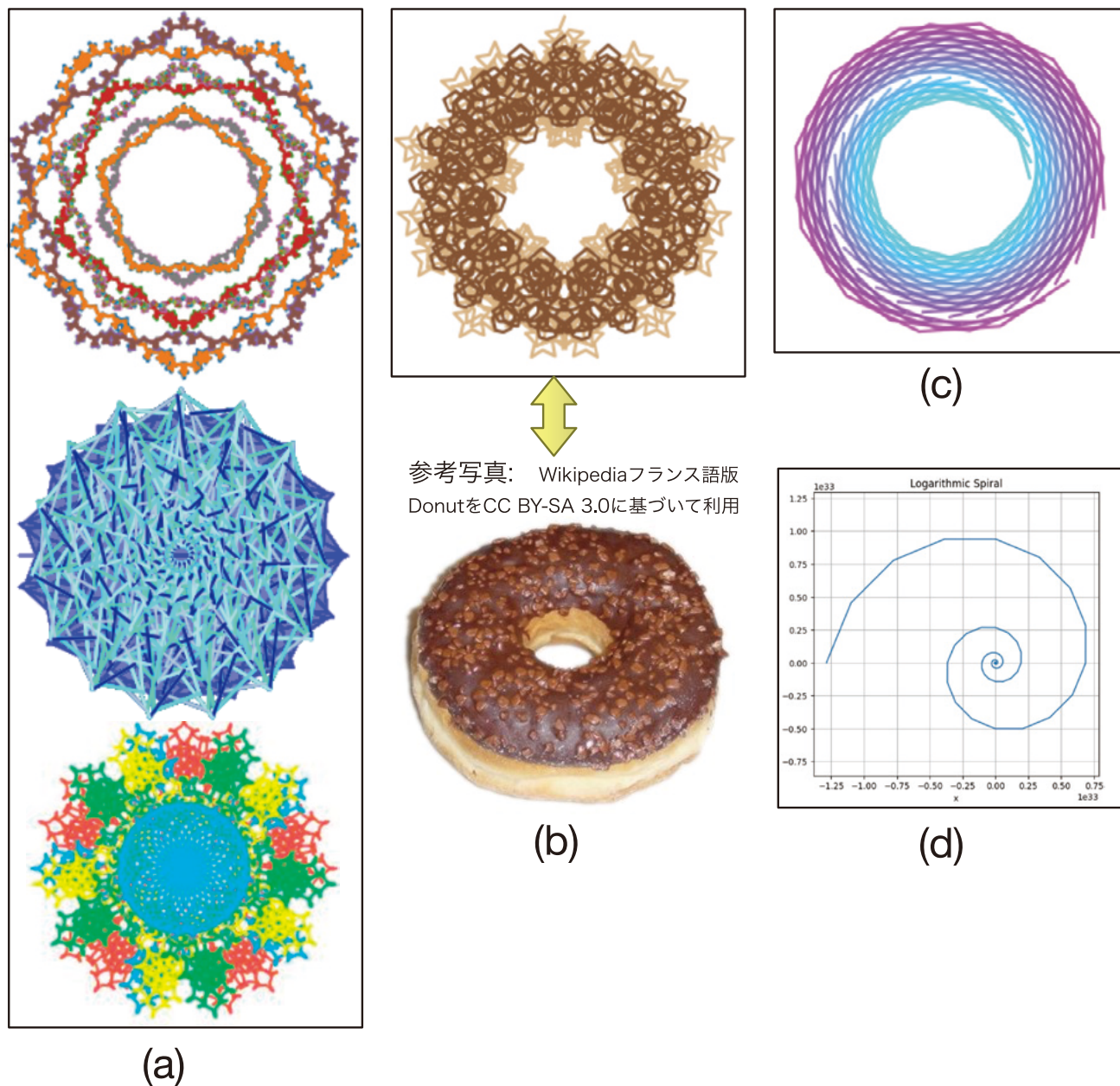


図6 ポスタ掲載の幾何学図形の例. (a) 美しさに特徴, (b) 面白さに特徴, (c) 特殊なパラメータで描画, (d) 独自プログラムで描画

- Q5. むづかしいところは？

• その他

- Q6. そのほか、感想など

結果の集計にあたり、Q2とQ4は結果をYes/Noの2カテゴリに分類する。その他の質問に対しては、16名からの回答を3項目ないし4項目に分類して、分類項目ごとの代表的な回答文を原文のまま掲載する。ただし、回答文だけでは理解しづらいと思われる箇所に、著者の解釈を括弧をつけて付記する。

<楽しさ> _____

Q1. 本テーマのどういうところに魅力を感じたか？：

A1-分類1 創造性：

- 自分が作りたいものを考えて作れること
- 作成した図形を合わせることで自分の作りたいものを作成できること
- 自分で独自の作品を作成したりする創造的な分野
- プログラミングを活用して模様を作ることができるというのに興味をひかれた

A1-分類2 美的表現、数式と関係なし：

- 色々な面白い図形を作ることができた所
- 地球上には、一つ一つ形が絶妙に違うので冬の結晶にもいろいろな形があるということが魅力を感じました
- きれいな図形を作ることができるから

A1-分類3 美的表現、数式と関係あり：

- てだために数値を入力したとき、たまに美しい図形が出力されることがあることに感じた
- (本テーマを担当した大学の学科が) 情報系であることと、数式を用いてきれいな図形を作るというその数学的な美しさに惹かれました
- 円の数を増やしていくごとに複雑な図形がたくさんできて数式を使い美しい図形が生成することができるから

A1-分類4 プログラミング技術：

- プログラムに興味があり、複雑なスピログラフをどのように表現するのが気になった
- プログラミングを活用して模様を作ることができるというのに興味をひかれた。
- プログラムを使う上でもっと深い内容(数学との関係)があったのでそこがいいと思った
- 情報(高校の科目「情報」)では学ばない分野のプログラミング(コンピュータグラフィックス)を学ぶことができるという点に惹かれました。

Q2. モノづくりの楽しさを感じたか？：

全員が感じたと回答

<学習面>—————

Q3. 本テーマをきっかけに調べたことは？：

- カラーコード、ミスト(創作テーマであるミスタードーナツ)の種類
- 黄金比(創作テーマに関係)と、関連するいくつかの概念について複数の観点から調べた
- 雪の結晶(創作テーマに関係)の形が今まで一つしか形がないと思っていたけど、雪の結晶を調べていくと一つではなくて、いろいろな形があることがわかった。
- スピログラフで美しい模様を作るためにはどのようなテクニックが必要なのか

Q4. 数学的な内容への理解はつかめたか？：

元々理解できていた1名を除き、それ以外の全員がつかめたと回答した。

Q5. むづかしいところは？：

A5-分類1 パラメータの調整やプログラムの改変：

- 複数の図形を使い角度、大きさ、色を変え複雑な図形を作るとき
- どこの数字を変えたら思った通りの形になるのかわからず難しかった
- 自分が思った通りに動かないことが大半なので、それを調整するのが少し難しかった
- コードを改変したときにたまにエラーを吐くことがあって、その際の対象法(対処法)にとっても困りました。

- 関数を使ったこと。自分は関数苦手なので大変だった。

A5-分類2 数学の難しさ：

- いろんな形を作っていくときに、数学で習った $\sin$ $\cos$ などを使わないといけないときに難しかった
- 自分の理想の図形を作るために複雑な数式を自分で考えながら作成する必要があったこと。

A5-分類3 図形の複雑性：

- 図形を左右非対称にすること、不規則な形にすること
- 不規則な形を作る、証明(現象解明)をする

<その他>—————

Q6. そのほか、感想など：

A6-分類1 達成感・楽しさ：

- 難しかったができた時の達成感がすごかった
- 自分で動作を想像できないので自分が思ってたようなアイデアや発想が生まれてそれを使って作品を作るのが楽しかった。
- プログラムを利用して模様を作るというのはやってて難しかったけどそれ以上にとても楽しかったのでまたどこか(どこか)で個人的にやりたい。

A6-分類2 探求・学び：

- 今回発表するテーマ以外に、予備としてスピログラフの細かい性質について調べた
- そうして調べていく間に、知らない分野を手探りで探求する楽しさを思い出せた
- 知的好奇心が刺激され、最後まで楽しく学ぶことができた
- これからのものづくりへ活かせる内容を学ぶことができた

A6-分類3 その他：

- 今回は班員と協力してポスター制作まで行うことができたのでとても楽しかった
- 現物のスピログラフを買ってみたいと感じた。

3.4 教育効果に関する考察

STEAM 教育における、T(技術)、A(芸術)、M(数学)の各要素について、本授業実施を通じて達成されたかどうかについて考察する。ここで A に関して、芸術性を評価することが困難であるため、STEM に A が加わった理由の1つである楽しみながら能動的に学ぶという側面について評価する。STEAM 教育における A の捉え方に幅がある中で、本授業の実施校が A を「好きなものに夢中になるためのあそび心」としていることにも連動する。M に関して、図形生成を通じて三角関数などの数学に対する理解が深まったかを評価する。T に関して、プログラミングに対する理解が深まったかを評価する。

- 楽しみながら行えたか：アンケート「モノづくりの楽

しさを感じたか？」に対して、16名全員が感じたと答えた。アンケートの他の質問項目、例えば「そのほか、感想など」の中にも、楽しみながら行えたことを補強する表現がいくつも見られた。以上から、全員が楽しみながら行えたと考える。

- 能動的取り組み：独自のプログラムを作成して、教材で与えていない機能を実現したグループがあった。このことから、能動的な取り組みができたと考える。また、教材に掲載された図形とは大きく異なる手の込んだ図形を作成したグループが3グループあった。集中して取り組んだことがうかがえ、能動的な取り組みの証拠と考える。
- 数学に対する理解：テーマ実施に伴い数学への理解が深まったかに関して、数学の理解を問うアンケート項目結果から、もともと数学を理解している1名を除き、残り全員が理解を深めたと回答している。また、テーマの魅力を問うアンケート項目の中に、美しい図形の生成原理に数学が関係することを知って魅力を感じた回答が4件あった。以上から数学への理解が深まったと考える。
- プログラミングに対する理解：前述のように、与えられた教材の範囲では実現できない新たな図形を生成するために独自プログラムを作成したグループが1グループあった。独自プログラムに至らないまでも、全てのグループで、定数を変更するだけでなく、ソースコードの編集までを行った。また、アンケートで、教材で与えたプログラムコードを理解するためにPython言語を勉強したとの回答があった。以上からプログラミングに関する理解が深まったと考える。

本年度の結果を前年度の結果と比較する。T（技術）、A（芸術）、M（数学）に対する教育効果の評価が、前年度と同様の結果となった。前年度の生徒数が10名だけでは信頼性に乏しいのに対し、今年16名が追加されて、信頼性を高めることができた。

4 まとめ

前年度において、Python言語を使ったコンピュータグラフィックスにより、美しい幾何学図形を生成することをテーマとした高校向けのSTEAM教育に関する電子教材を開発して授業を実施した。本年度、同じテーマを継続実施した。STEAMの構成要素であるSTE (Science, Technology, Engineering), A (Art), M (Mathematics) に関する教育効果を評価した。アンケートの結果、以下の

点から全項目について教育効果があったと考える。Aを「好きなものに夢中になるためのあそび心」と捉えようと、全員が楽しさを感じたと回答した。STEに関して、CGプログラミング技術の面を評価すると、教材として提供していないプログラムを生徒が独自に作成して作品の表現の幅を広げた。Mに関して、数学への理解が深まったとの問いに、ほぼ全員が深まったと回答し、また、テーマの魅力に関する問いに、美しい図形の生成原理に数学が関係することを知って魅力を感じたとの4件の回答があった。

謝辞

高大連携での大学側取りまとめ広島工業大学電子情報工学科升井義博教授、高校側取りまとめ広島工業大学高等学校平原豪人教諭、情報工学科テーマの授業運営を担当された森田将征教諭に感謝いたします。本テーマを選択して創作活動を積極的に行っていただいた広島工業大学高等学校CLコースの生徒の皆さんに感謝いたします。

参考文献

- [1] 文部科学省：STEAM教育等の各教科等横断的な学習の推進，入手先 <https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/mext_01592.html>（参照 2024-11-3）。
- [2] Home a better world through creativity, 入手先 <<https://www.designindaba.com/profiles/john-maeda>>（参照 2024-11-3）。
- [3] Yakman, G.(2008) STEAM Education: an overview of creating a model of integrative education, Pupils Attitude Toward Technology, Annual Proceedings, pp.1-28.
- [4] 中島さち子（2022）知識ゼロからのSTEAM教育，幻冬舎，東京。
- [5] 梅村祥之，直川耕祐（2024）STEAM教育に基づく高大連携 ―Pythonによる美しい幾何学図形の生成―，広島工業大学紀要，教育編，Vol.23, pp.1-8.
- [6] Project Jupyter: jupyter, 入手先 <<https://jupyter.org>>（参照 2023-10-14）。
- [7] Wikipedia: Spirograph, 入手先 <<https://en.wikipedia.org/wiki/Spirograph>>（参照 2024-11-3）。
- [8] Chen, C.J.: Fun math art (pictures) - benice equation, 入手先 <<http://benice-equation.blogspot.com/2012/01/fractal-spirograph.html>>（参照 2024-11-3）。