

情報系高校における3Dプリンタを活用した フィジカルコンピューティング教育の実践

大見 嘉弘¹ 滑川 敬章² 永井 保夫¹

概要：情報系高校の生徒と共同でフィジカルコンピューティングによる作品を製作した。これは、従来から行ってきたセンサを用いたプログラミング教育を発展させたものである。生徒は長時間をかけてアイデアを出した。そして、特徴的なものとして、戦車型のゲームコントローラを3Dプリンタを用いて製作し、対応するゲームを開発した。開発では、まず、段ボールなどを材料に使いプロトタイピングを行い、実現性や寸法を確認した。電子回路やパーツの接合部の設計と実装は著者が行い、生徒は戦車の外観の3Dモデリングとゲームのプログラミングを行った。アンケートの結果から、大変であったが、多くのことを経験できたとの肯定的な感想が得られた。

A Practice of Physical Computing utilized 3D printer on High School of Informations

YOSHIHIRO OHMI¹ TAKAFUMI NAMEKAWA² YASUO NAGAI¹

Abstract: We implemented works of physical computing which cooperate with students of high school of informations. This practice is derived from ordinary programming education using sensors. In this practice, first, the students came up ideas during a long time. Then interestingly they produced a tank-typed game controller made by 3D printer, and developed a corresponded game. In implementation process, for a start, they made a prototype using corrugated cardboards, thus they found out feasibility and sizes. One of authors designed and implemented electronic circuits and connectors, and students made 3D modelling of exterior of the tank and wrote program of the game. By questionnaire survey, it is confirmed that students felt a hard task but experienced richly.

1. はじめに

近年、コンピュータの利用が初中等教育においても進んでいる。しかし、プログラミング教育については各所で取り組みがなされているが [1] [2]、高等教育と比較するとまだまだ取り組みは多いとはいえない。また、ここ数年、フィジカルコンピューティング [3] やデジタルファブリケーション [4] といった技術の普及により、ハードウェアの製作が容易になり、これらをプログラミングと組み合わせることにより、PCに留まらない幅広いモノづくりが初中等教育でも行える状況になりつつある。このような教

育活動は、バパートが提唱した構築主義 [5] を効果的に実践するものとして期待されている [6]。

我々は、プログラミングと簡単なハードウェア製作を組み合わせたフィジカルコンピューティングの教育活動を情報系高校の一年生に対して行ってきた [7]。情報系高校で学ぶべき内容は多岐にわたるが、我々はコンピュータ教育としてソフトウェアに関する学習のみならず、ハードウェアも合わせて学ぶべきであると考え。なぜなら、身近な家電製品などのコンピュータ内蔵機器は、ソフトウェアとハードウェアが密接に関係しているものが多いからである。また、ハードウェアについて電子回路などの内部だけでなく、ヒトが接するヒューマンインタフェースについても学ぶべきだと考える。それは、世の中の製品は機能だけでなく、使い勝手も大切な要素である場合が多いからであ

¹ 東京情報大学
Tokyo University of Information Sciences

² 千葉県総合教育センター
Chiba General Education Center

る。今回の実践では前回の実践 [7] を発展させ、より本格的なハードウェア製作を行い、3D プリンタを用いたデジタルファブリケーションによって作品を製作した。この実践により、ソフトウェアとハードウェアの製作に加え、3D モデリングによるモデル化能力を養うことができた。さらに、3D プリンタで造形した立体物に触れ、改良を進めることでヒューマンインタフェースについても充実した学習経験を生徒に与えることができた。

2. 本実践の特徴

本実践では、前回 [7] に引き続き、多くの高校生が興味を持つと予想するゲームなどの娯楽作品を製作することで、生徒のプログラミング能力の向上や、一つの作品を作り上げる経験をし、コンピュータの可能性を体験することを狙った。前回は、ハードウェアといっても設計済みの電子回路を組み立てる経験しかできなかったが、本実践では操作デバイスの電子回路と筐体を一から設計、製作することで、本格的なハードウェア開発の経験を積むことができた。特に筐体の 3D モデリング作業により、モデル化の経験を積むことができたことが特徴である。

操作デバイスは直接体に触れる物理的インタフェースであるため、形状や大きさの些細な違いが操作性に大きく影響した。本実践の製作過程では、特にゲームコントローラ大きさが問題となり、改良を何度も繰り返した。つまり、ヒューマンインタフェースを開発するという実践的な学習経験を生徒に与えることができた。

また、本実践は STEM 教育 [6] の一環であると言える。STEM は Science, Technology, Engineering and Math の略であり、科学技術教育が今後の国家を発展させる鍵となるとしてアメリカで広まり始め、現在、世界に広まりつつある。本実践は、この理工系 4 科目を複合的に学ぶ活動であると言える。ゲームを開発する際に、必然的に力学 (STEM の S) や幾何学 (同 M) を学ばざるを得なくなる。また、3D プリンタで製作するにあたり、各部の形状や厚みにより操作デバイスとして正常に機能し、強度が満たされるかどうかについて試行錯誤を行うことになる (同 E)。さらに適切なセンサを選択することになる (同 T)。もちろんプログラミングによってソフトウェア技術 (同 T) を深く学ぶことになる。

3. プログラミング講座の経緯

ここでは本実践の特徴である戦車型ゲームコントローラの開発に至るまでの教育実践について述べる。

3.1 Makey Makey の利用

2013 年度は、前実践 [7] に引き続き、千葉県立柏の葉高校情報理科の 1 年生を対象として行った。ここでは従来行ってきた加速度センサを用いたプログラム製作に加え、

Makey Makey を用いたプログラム製作も行った。

Makey Makey は、手軽な材料で PC を操作するデバイスを自作できる仕組みである [8]。微弱でも電流が流れるものであれば、通電するとキーボードの特定のキーを押したりマウスを操作することができる。例えば、電線を持った 2 名が触れ合ったり、電線を持ったヒトが通電性粘土に触れると PC のスペースキーを押すことができる。

まず、Makey Makey の紹介ビデオを全員に見せて、利用を促した。結果として、Makey Makey を使ったのは 1 チームで、他の 5 チームは従来の加速度センサを使って作品を製作した。Makey Makey を使ったチームは卓球ゲームを製作した。卓球台の前に立つ位置を 4 箇所とし、そのうち一か所を足で踏むことで移動し、Wii リモコンを振ることでラケットで球を打つ操作を行う。足で踏む場所は、外側がアース、内側が Makey Makey の端子に繋がっており、足で踏むと導通する仕組みとした。これは、生徒の発案であり、手で電線を持つ必要がなくなった。

3.2 より本格的な作品制作

2014 年度は、前年度に本講座を受けた 2 年生を対象に、3D プリンタなどを用いてより本格的なフィジカルコンピューティング作品を作ることにした。参加した生徒は 6 名で、3 つのチームに分かれた。

それぞれのチームは、Leap Motion を用いた音楽ゲーム (2 名)、前年度に作成した卓球ゲームの改良 (1 名)、戦車型コントローラとゲーム (3 名) を開発した。講座は計 16 回行った。1 回の講座は 3 時間程度であった。次章で本実践の特徴である戦車型コントローラと対応ゲームの開発に絞って説明する。

4. 戦車型コントローラと対応ゲームの開発

以下では、全 16 回 *1 の講座において、戦車型ゲームコントローラ (以下戦車コンと呼ぶ) と対応するゲームを開発した経緯を説明する。この講座の流れを図 1 に示す。

この講座は、前回の加速度センサを用いたプログラミン

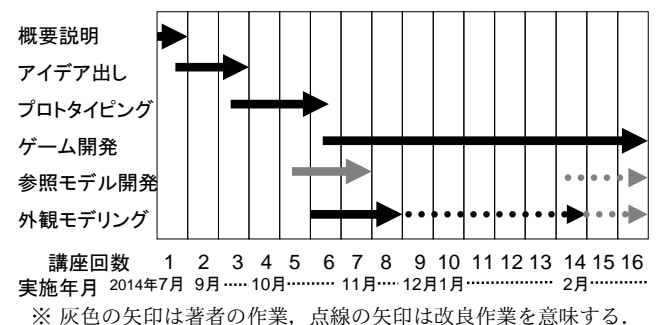


図 1 講座の流れ

*1 当初は、全 12 回 (6 ヶ月) を予定していたが、特に 3D モデリングとゲーム開発に時間がかかり、期間を延長して回数を増やし全 16 回 (7 ヶ月) という結果になった。

グ製作のような先に手段ありきではなく、アイデアを出してからその実現手段を考えるという方針を取った。このため、計画通りに進めることが困難であることが予想されたため、大まかな計画だけを立てて、実践しながら臨機応変に計画を修正することにした。

4.1 アイデア出し

まず、生徒にフィジカルコンピューティングの概念を説明し、ソフトウェアに加えハードウェアも自ら作成し、それらを有機的に組み合わせたいという著者の目論見を説明した。そして、1か月半後の次回の講座までにアイデアを考えておくように指示した。しかし、次の講座では、著者が期待したようなアイデアが出なかったため、再度意図を説明し、もう一度アイデアを出すように指示した。その次の講座では、当初出たアイデアが技術的に実現が難しく、再度考えさせた。そして、戦車コンのアイデアが出た。

戦車コンの当初のアイデアは、戦車の砲塔、装甲、走行部分の3つの主要部分を好きなものに取り換えられ、ゲームの場面に応じてプレイヤーが好きなパーツに取り換えてゲームを楽しむというものであった。戦車のパーツは3Dプリンタで作ることにした。

以上のアイデア出しは、当初の予定より2週間長かった。しかし、辛抱強く時間をかけて考えさせたことで、結果として良い成果が出たと考えている。

4.2 詳細な機能の検討

次に、戦車コンの形状をデザインするためにモックアップを作成し、その後最低限機能するプロトタイプを作成し、最終的に3Dプリンタで作成するという開発の流れを説明した。しかし、開発時間が足りないことが予想されたため、モックアップ作成は省略し、プロトタイプ作成から始めることにした。

プロトタイプ作成に際して、戦車コンの詳細な機能を決めることにした。この決定作業では、どのような機能にするかは著者と生徒の話し合いで決め、その実現方法(センサの選定など)については著者が定めた。

まず、取り換えられるパーツは、砲塔、装甲、走行部分の3つで、それらを戦車コンの本体部に取り付けて戦車として完成させることにした。どのパーツを付けたかは、本体部と各パーツに電氣的接点を2つ設けて、パーツにつけた抵抗の抵抗値でパーツを判別することにした。

砲塔は本物の戦車のように回転できるようにした。生徒は砲塔が無制限に回転できるようにこだわったため、それに適したロータリエンコーダを本体部に設けて回転角を検出することにした。さらに、押しボタン付きのロータリエンコーダが入手できることから、それを用いて、砲塔を下に押し込むことで砲弾が発射できるようにした。

戦車コンは、当然ながら戦車の移動操作も行えるべきで

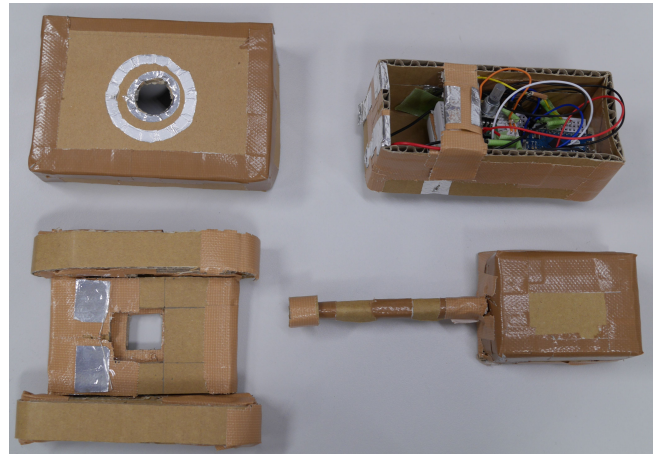


図2 プロトタイプの写真(パーツ群)



図3 プロトタイプの写真(組立て後)

ある。しかし、どのように操作すべきか良いアイデアが当初は浮かばなかった。このため、著者は従来のゲームコントローラのように戦車上部に十字キーを設置して操作することを提案したが、生徒は納得しなかった。そして、次の講座で生徒は新しい方式を提案した。その方式は、戦車より下に台座を設け、台座からジョイスティックを立て、その先端に戦車が付くというものであった。つまり、戦車全体を前後左右に動かすことで操作するというもので、十字キーよりも直感的な操作であった。しかし、台座と戦車がつながっており、戦車下部の走行部分を取り換える場合の困難さや配線の取り回しの困難さが予想された。そのため、著者が小型ジョイスティックを戦車下部に反対に(スティックが下を向くように)取り付けて、戦車全体を平らな場所に押し付けて操作する方式を提案し、決定した。

この方式により、小さな子供が乗り物のおもちゃを手で掴んで動かすのと同じような動作で戦車の操作が行えるので、多くの人にとって自然で直感的な操作を実現することができた。

4.3 プロトタイプピンゲ

プロトタイプは、段ボールで作ることにした。段ボール

は生徒にとっても馴染み深く、工作が容易なためである。本体部とパーツの端子はアルミ箔を貼ることで実現した。フィジカルコントローラは、従来の加速度センサを用いたプログラミングで使っていた Arduino を用いることにした。ただし、標準的な Arduino は大きいため、小型の Arduino Micro を採用した。生徒は、3 回の講座の期間をかけてプロトタイプを完成させた。図 2 および図 3 にプロトタイプを示す。

プロトタイプの本体部(図 2 の右上)には Arduino Micro に加え、ロータリエンコーダ、ジョイスティック、小型のブレッドボードを入れて配線を行い、戦車コンのすべての機能が動作するようにした。生徒はこれらが収まる寸法で本体部を作成した。これを採寸し、最終的な本体部の寸法を算出した。砲塔、装甲、走行部分は本体部分にぴったりと合うように作成した。

Arduino 上で動作するプログラムは、生徒のプログラミング経験がなく、学習時間が取れないために著者が作成した。プログラムは接続しているセンサの値を USB シリアルで PC に送信する単純なもので、シリアルモニタで生徒が簡単に動作確認できるようにした。

プロトタイプの動作確認を行ったところ、基本的には正しく機能することを確認した。ただし、本体部と各パーツの端子はアルミ箔を貼っただけであるため、パーツを手で押し付けないと接触しない場合があった。また、段ボールで作ったせいで各部の寸法精度が悪く、パーツのがたつきなどの未成熟さが感じられた。生徒はこの未成熟さを強く感じ、段ボールで製作することの良し悪しを実感した。

4.4 3D モデリングソフトの選定と参照モデルの開発

プロトタイピングにより、実現性や寸法が確認できたため、3D モデリングとその改良に取りかかった。

まず、3D モデリングソフトの選定を行った。3D モデリングソフトは数多くの種類があるが、3D プリントに向いているものは限られる。3D モデリングソフトは、3D CG を製作する目的で開発されたものが多く、モデリングする物体を面の集合で構成するサーフェスマデリングが主流である。3D プリントできるモデルは、体積がある、つまり閉じた面集合である必要があり、サーフェスマodelでは、ちょっとした不注意でプリント不能になる傾向にある。ソリッドモデリングであれば、モデルが常に体積のある立体であることが保障されるため、プリント不能になる可能性が少なく、初心者向けと判断した。著者は、ソリッドモデリングが原則で、3D プリントの初心者向けとされる Autodesk 123D Design を選定し、生徒に使用させた。123D Design は、生物のような滑らかな曲線を持つモデルの製作は不向きだが、今回の戦車のモデリングでは必要な要件ではないため支障はなかった。

次に、3D プリントによる戦車の参照モデルを著者が製

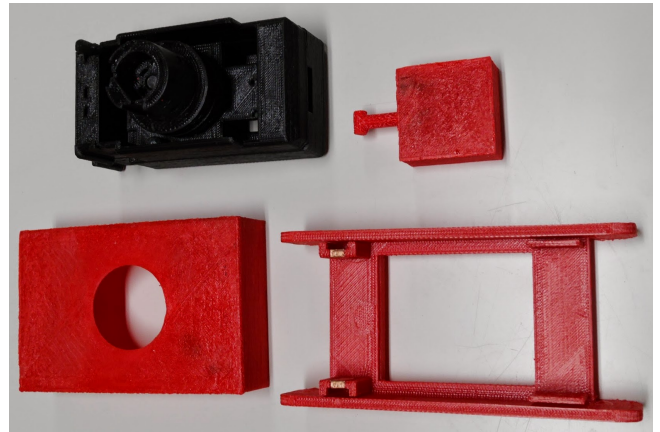


図 4 参照モデルの写真(パーツ別)



図 5 参照モデルの写真(全体)

作した。まず、戦車の本体部と各パーツの大きかな形状を作成し、特に端子の設計に注力した。プロトタイプで端子の接触不良があったため、端子は板バネ状の市販品と銅板を採用し、本体部と各パーツにネオジム磁石を付けて接触不良を防いだ。砲塔は無制限に回転するため、砲塔までの回路には、回転部の円周上に 2 つの端子を設けた。参照モデルの各パーツは、極力小さく作った。これは、これ以上はパーツを小さく作れないことを生徒に示す、最小寸法を示す意味合いがあるためである。

製作した参照モデルを図 4 および図 5 に示す。なお、本実践では 3D プリンタとして、XYZ Printing の Da Vinci 2.0 を用いた。

4.5 生徒による 3D モデリング

参照モデルの 3D データと造形した実物を生徒に渡し、生徒は戦車の 3D モデリングに着手した。

生徒は、戦車の外観パーツである、砲塔、装甲、走行部分の 3D モデルをそれぞれ 3 種類作った。3 種類はそれぞれ、通常型、強力型、高速型とし、それぞれの色を緑、赤、青に統一して分かりやすくした。3D プリンタの材料を取

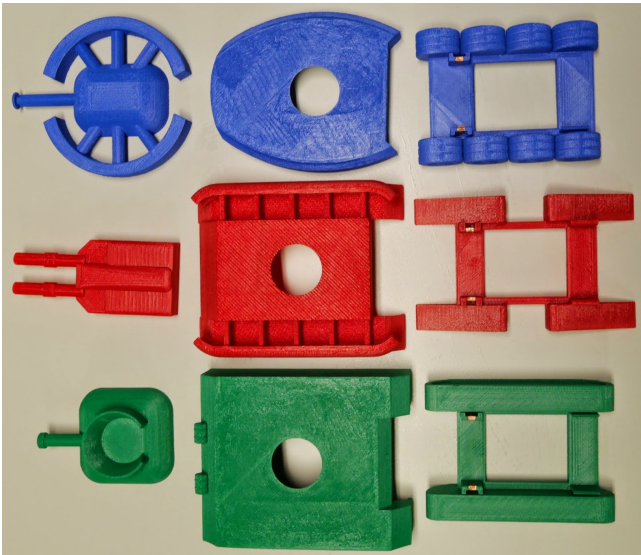


図 6 生徒が完成させた外観パーツ

りかえることで、それぞれの色のパーツを造形できる。

生徒の 3D モデリング作業は、講座の時間だけでなく、放課後や自宅等でも自主的に行い、3 回の講座で約一か月をかけて全 9 種の外観パーツを完成させた(図 6)。生徒は各パーツのモデリングが完成しだい、モデリングデータをメールで著者に送った。そのデータを元に著者は大学に設置された 3D プリンタで造形し、著者が講座で高校に出向いた時に造形した実物を持参する、という手順を繰り返した。生徒は実際の 3D プリンタで造形する様子を見ていないにも関わらず、生徒が作成した 3D データから造形できないという不具合は一切生じなかった。

4.6 3D モデルの改良

生徒が作成したデータはすべて造形できたが、他のパーツと合わないなどといった不具合があり、改良する必要が生じた。

まず、装甲の下部と走行部分が干渉して本体部に付かないという問題が起こった(図 7 の黒い部分)。これは生徒が走行部分の寸法を勘違いしたことが原因であった。さらに、生徒は装甲の端部の干渉ばかり注意し、内側に回り込んでいる部分に注意が向かわなかったことも原因であった。戦車コンの本体部と各パーツはわずかな隙間で合わさっているため、寸法がわずかに違うだけでこのような不具合が生じる。この不具合に対し、生徒は 3D データから装甲の干渉する部分のみを取り除くことで対処した。

他には、砲塔の 1 つ(図 6 の左上)が大きすぎて、装甲を手で掴めないという問題が生じた。生徒はこの砲塔を全く違う形にすることを決断し、他の砲塔と同程度の大きさに作り直した。

さらには、装甲が大きすぎて非常に掴みにくいという問題が生じた。装甲の 1 つが、走行部分を取り囲み、かつ、そ

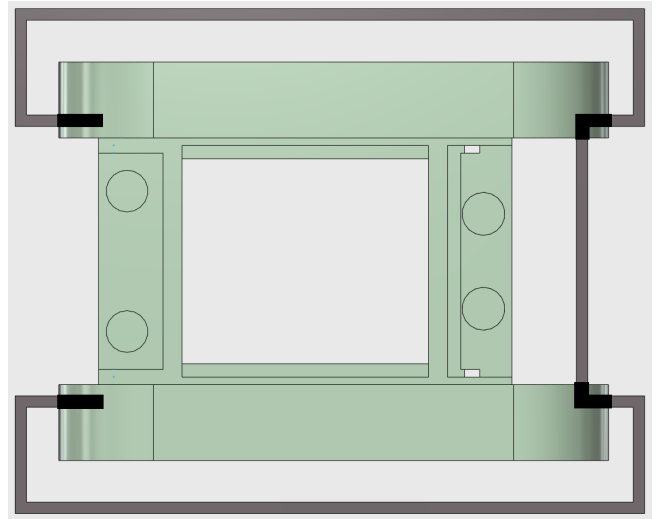


図 7 パーツの干渉 (黒色が干渉した箇所)

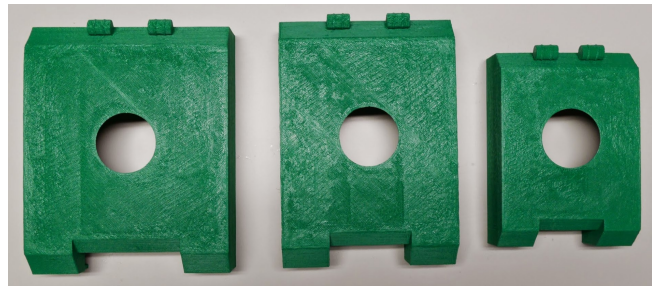


図 8 装甲パーツ改良の推移 (左:初期, 中央:幅を狭める, 右:80%に縮小)

れを上部まで延ばしたため幅が 133mm にも上り、成人男性でも大変掴みづらいものになった。戦車コンは移動操作のために装甲を掴む必要があるため、致命的であった。生徒は、装甲の幅が重要であることを全く認識していなかった。これを解決するために、生徒は装甲と走行部分との間の隙間をギリギリまで詰めて、装甲の幅を 117mm に狭めた。元より、16mm 狭まっただけであるが、掴みやすさは大幅に改善された。著者と生徒は、幅の僅かな差で使い勝手が大きく変わることを実感した。

以上の改良によって、装甲をどうにか掴めるようになったが、依然として幅が広すぎてやや掴みにくく、子供であるとはほとんど掴めないことが予想された。このため、全てのパーツを原則として長さが 80% になるように縮小したものと作り直すことにした^{*2}。外観部分は 3D モデリングソフトで容易に縮小できるが、本体部分や端子は小さくすることが不可能であるため、余分な部分を可能な限り切り詰めた。この作業は著者のみで行った。結果として、手で触れる部分が小型化され、掴んだり、砲塔を回したり、パーツを取り換える操作が明らかにやり易くなった。例えば上記の装甲は幅が 94mm になった。この小型化の推移を図 8 に示す。

^{*2} 高さ方向は切り詰めることが非常に困難であったため、縮小していない

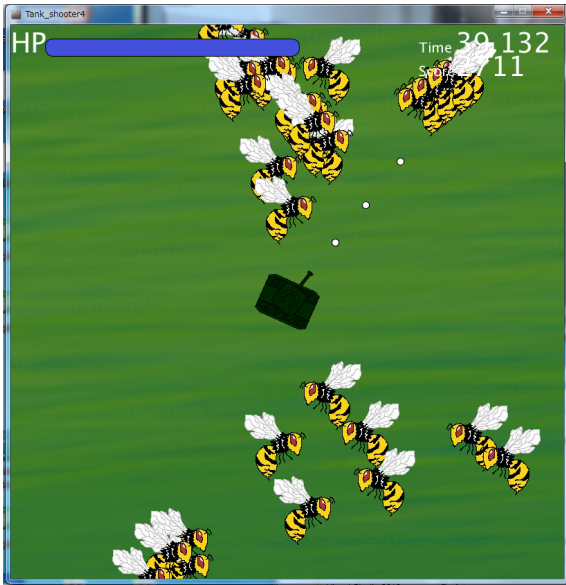


図 9 戦車ゲームの画面例

なお、最終的なコントローラの 3D プリンタによる造形時間は、約 64 時間（一式で 21 個のパーツからなる）となった。

4.7 戦車ゲームの開発

開発した戦車コンに対応する戦車ゲームを著者指導のもと、生徒が開発した。このゲームは、前年度に生徒が作成した加速度センサを使うゲームのプログラムを元に、それを改良、拡張することで作成した。PC 側のプログラムはすべて Processing [9] で作成した。

戦車コンに内蔵された Arduino からのセンサデータを PC で受信するプログラムは著者が作成し、生徒はゲーム本体のプログラミングに専念した。生徒は戦車コンの 3D モデリングを開始したところから並行してゲームのプログラミングを始め、10 回の講座を経てゲームを完成させた。その期間は約 3 ヶ月半であった。

開発したゲームの画面例を図 9 に示す。ゲームは、上から見た視点の 2D ゲームであり、操っている戦車が常に画面中央に表示され、移動すると画面がスクロールする。周囲から近づいてくる敵を、戦車の砲塔を回し、弾を発射するゲームである。戦車コンで装着した砲塔の種類により弾の速度が変わり、装甲の種類により敵が戦車に当たった時のダメージの大きさが変わり、走行部分の種類により、戦車の移動速度が変わるようになっている。

5. 関連研究

ここでは、フィジカルコンピューティングに関する研究と、本研究との関係について述べる。

アプリケーションや作品の制作を目的としたフィジカルコンピューティングの研究としては、以下があげられる。桜井らは、フィジカルコンピューティングの応用として、

GIS アプリケーション操作について研究をおこなっている [10]。加速度センサや距離センサを用いて Google Maps を制御することで、より直感的に制御できるような、GIS の新たなユーザインタフェースを模索している。その結果、センサデバイスと GIS を連動させ、ストレスなく利用できることを検討している。

小山らは、Arduino および Kinect を使用して、人間の動作や感覚を機械が記憶するインタラクティブで基礎的なメカニズムの制作やそれを使用した作品の制作を目指している [11]。具体的には、人間と機械との関係について、建築作品や音楽作品の制作、プロジェクト展覧会やロボットワークショップの開催をおこなっている。

早坂は、PIC マイコン電子回路によるフィジカルコンピューティング体験として、C プログラミング演習の事例について報告している [12]。アンケート結果から、情報工学科におけるハードウェアおよびソフトウェア教育を受ける際の「道具」として、この演習が役立っている感触が得られたことを報告している。

上村らは、スマートフォン上で動作する、より直感的で操作しやすいユーザインターフェイスを持つフィジカルコンピューティングのためのプログラミング開発環境について提案している [13]。Android 携帯端末、フィジカルコンピューティング用ツールキットとして Arduino を用いて実装した試作システムについて述べている。ここでは、スマートフォンで動作し、画面上でタイルを組み合わせることで簡単にフィジカルコンピューティング用のプログラミングが行える環境が実現できたことを報告している。

吉田らは、フィジカルコンピューティングを通して、小学生、中学生、高校生に情報教育の知識や技術を身に付けさせることを目的として、「小中高におけるコンピュータ教育」科目として開講された授業内容について報告している [14]。ここでは、Raspberry Pi やセンサ等に関する知識を身につけ、さらに、Scratch を用いたプログラミング教育を実践している。

本研究では、プログラミングとデジタルファブリケーションを用いたハードウェア製作を組み合わせたフィジカルコンピューティング教育を実践した。本実践は、ソフトウェアとハードウェアに加え、ヒューマンインタフェースについても充実した学習経験を生徒に与えることを目的としている。また、戦車型コントローラの開発によって、従来のフィジカルコンピューティングだけでなく、プロトタイピングと 3D モデリングの体験により、モデル化とモデリング手法を学習することを重視しているところに特徴があると考えられる。

6. 評価と考察

本実践を評価するために、開発を行った生徒 3 名にアンケートを実施した。その結果を説明する。まず、5 段階評

価の質問で「興味が持てた」、「プログラミングの興味が増した」、「数学との関係が感じられた」は、3名ともすべてが「5. そう思う」であった。また、「自分の能力が向上した」という質問では1名が「5. そう思う」、2名が「4. どちらかというと思う」であった。総じて、有意義でためになる実践であったと感じたようである。しかし、難易度の質問では、1名が「5. 難しい」、2名が「4. どちらかというと思う」との回答であり、特に困難が予想される箇所を著者が肩代わりしたにも関わらず、難しいと感じたようである。

また、アンケートの自由記述では、ハードウェア作成においては、「プロトタイプ作成で狭い部分の配線が大変だった」、「3D プリンタで作ったパーツの大きさと操作性が圧倒的に変わって大変だった」といった回答があった。ブレッドボードでは直面しないような問題や、ヒューマンインタフェースの特性を実感し、実物を作るモノづくりの大変さや勘所を実感したようであった。3D モデリング作業については、「最初は(3D モデリングソフトの)機能がどこにあるか分からなかったが、その後は作りやすかった」、「2D CAD は経験があったが、軸が1つ増えただけでイメージがしばらく大変だった」との回答があった。3D モデリングソフトの選定は適切であったが、3次元特有の操作の難しさを感じたようである。

半年強の実践では、実施内容に対して時間が大幅に不足していた。このため、当初は生徒が行う予定だった戦車コンの本体部の開発や Arduino と PC 間の通信プログラミングは、著者が行うことになった。実は、この部分に多数の試行錯誤があり、特に本体部の開発では数十回にわたる試作をした。結局は、この試行錯誤に、ティンカリングやイテレーティブデザインと呼ばれる手法 [6] による重要な教育効果が潜んでいたと考える。著者には良い経験となったが、生徒に経験させることができなかったことは反省点である。とはいえ、プロトタイプ製作や砲塔、装甲、走行部分の外観の 3D モデリングは全て生徒が自力で行い、数々の試行錯誤を経験したため、作品製作の過程の多くを生徒が学び、十分な教育効果があったものと考えられる。

3D モデルの改良については、装甲の幅が大きすぎて何度も改良することとなったが、これは生徒の未熟さだけが原因ではなく、3D モデリング作業特有の事情が一因であったと考える。3D モデリングソフトは、PC の画面で表示されたものを操作するが、容易にズームできることから物体のサイズ感が掴みづらいという問題がある。このため、3D プリンタで造形するまで大きさの問題に気づかない傾向がある。これに対し手作業で工作する場合は、もっと早く気付くと考えられる。しかし、3D プリンタで造形する場合は、細かな修正が容易であり、簡単に同じものを複数作成できるという利点がある。今回は特に、全体を 80% に縮小する際に利点が発揮された。

戦車ゲームの開発においては、期間内にゲームとしては完成したが、ゲーム性が劣り、楽しめるものにはならなかった。また、開発に伴う生徒のプログラミング能力の向上も、さほど見受けられなかった。この原因として、ゲーム開発と並行して 3D モデリングを行い、ゲーム開発に集中できなかったことや、締切が迫り、ゲームを完成することばかりに意識が集中したことがあげられる。講座の合間に、ゲーム性の向上を生徒に何度も促したが、ほとんど向上できなかった。ゲーム開発の一番の目的である「プレイヤーが楽しむ」ことや、そのためにプレイヤー目線に立つ(客観的視点を養う)ことを生徒に意識させ、それを実現させることの難しさを痛感した。

7. おわりに

本実践では、時間不足が原因で、教育効果が大きい一部の作業を生徒が経験できなかったり、ゲーム開発が不十分であったという問題があったが、プロトタイプ製作や外観の 3D モデリングは生徒が自力で行い、試行錯誤を経験できた。そして、最終的にフィジカルコンピューティングとデジタルファブリケーション技術を組み合わせて1つの作品を完成させるという目標を果たすことができた。また、生徒は大変であったが、多くのことを経験し有意義であったという肯定的な感想を持った。

今後は、講座のスケジュールや実施内容を再検討し、試行錯誤を伴う大きな教育効果が期待される作業の一部を生徒が行えるようにしたい。また、実践の目標、例えば「何のためにゲームを作っているのか?」といった根本的な考えを生徒が強く意識できるように改善していきたい。

なお、本実践の成果物は Maker ムーブメントのイベントである Maker Faire Tokyo 2015 にて、一般の方に体験していただく予定である。

謝辞

本実践の一部は、2013 年度にサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト事業として科学技術振興機構より支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 辰巳 丈夫: 教育用プログラミング言語を利用した教科教育と情報教育, 情報処理 Vol.48, No.6, pp.612-615 (2007).
- [2] 兼宗 進, 阿部 和広, 原田 康徳: プログラミングが好きになる言語環境, 情報処理 Vol.50, No.10, pp.986-993 (2009).
- [3] 小林 茂: フィジカルコンピューティング概論, 情報処理 Vol.52, No.8, pp.914-917 (2011).
- [4] 田中 浩也: 《特集》デジタルファブリケーション: 8. パーソナルファブリケーション時代におけるものづくりのオープンソース化の動向と Fab Commons の提案, 情報処理 Vol.54, No.2, pp.127-134 (2013).
- [5] Papert, S.: Constructionism: A New Opportunity for Elementally Science Education. Massachusetts Institute of Technology, Media Laboratory, Epistemology and Learn-

- ing Group: National Science Foundation (1986).
- [6] Libow,S. and Stager, G.: Invent to Learn - Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom, Constructing Modern Knowledge Press (2013). (邦訳 作ること学ぶ, オライリー・ジャパン (2015)).
 - [7] 大見 嘉弘, 滑川 敬章, 永井 保夫: 情報系高校におけるセンサを利用したプログラミング教育の実践と評価, 情報教育シンポジウム SSS2012 論文集 Vol.2012 No.4, pp.105-112 (2012).
 - [8] Silver,J.: Makey Makey, <http://makeymakey.com/>
 - [9] Reas,C. and Fry,B.: Processing, <http://processing.org/>
 - [10] 桜井隼人, 久保田光一: フィジカルコンピューティングによるアプリケーション操作, 情報処理学会第 76 回全国大会 4ZA-9 (2014).
 - [11] 小山明, 橋本英治, 大内克哉, ユンジバク, 尾崎優実: Arduino および Kinect を使用したフィジカルコンピューティングに関する研究, 神戸芸術工科大学紀要「芸術工学 2013」 (2013).
 - [12] 早坂太一: 工学デザイン教育のための上級 C プログラミング演習 - PIC マイコン電子回路によるフィジカルコンピューティング体験 -, 豊田工業高等専門学校研究紀要 第 45 号 pp.31-36 (2012).
 - [13] 上村祐加, 高田喜朗: フィジカルコンピューティングのためのスマートフォンを用いた開発環境の提案, 信学技報 MSS2011-55 SS2011-40 (2012).
 - [14] 吉田葵, 来住伸子, 阿部和広: 大学における授業科目「小中高におけるコンピュータ教育」実践報告, 情報処理学会研究報告 Vol.2015-CE-129 No.26 (2015).