

FabWalker: “歩き方”をデザインする学習用ロボットキット

山岡潤一^{†1} 渡辺ゆうか^{†2}

概要: FabWalker は、オープンデザインを取り入れた”歩き方”について考える学習用ロボットキットである。体験者は木の枝やペンなどの身の回りにある素材をロボットの脚とすることで、付け方や素材に応じて歩き方を変えることができる。またペンなどを付けドローイングロボットとしたり、センサを取り付けプログラミングすることで、呼びかけに応じて近づくなどの機能を追加できる。さらに本キットはオープンデザインを取り入れ、作り方の公開や改変や通して、新しいロボットを制作しシェアできる。内省的に解決策を思考する **Tinkering** に加えて、オープンデザインを組み合わせることで、従来のロボットキットと比べ、相乗的に発想が促されることが考えられる。本研究ではワークショップ参加者のキット制作プロセス及び改変例の公開など試行錯誤の様子を通して、STEM 教育における本キットの有用性について考察する。

キーワード: オープンデザイン, ロボット, STEM 教育, Tinkering, デジタルファブリケーション

FabWalker: A Educational Robotic Kit Capable of Designing Walking

JUNICHI YAMAOKA^{†1} YUKA WATANABE^{†2}

Abstract: FabWalker is an educational robotic kit that is capable of designing walking espousing an open design. Users can change walking patterns by attaching various daily things such as wooden sticks and pens. Users add functions such as drawing function by attaching pens, coming function by programming with sensors. Moreover, this kit is made using an open design, and users can share recipes and alterations. Because this tool combining the method of an open design and Tinkering, It is consider enhancing user's imagination in comparison to another robotic kits. This paper is described usefulness in STEM education through experiences of user's try and error such as making and sharing process.

Keywords: Open Design, Robot, STEM Education, Tinkering, Digital Fabrication

1. はじめに

これまで機構や電子回路、プログラミング等の学習を促すロボットキットが提案され、学校教材として現場で使用されている。それらは実装力であるエンジニアリングスキルの習得を促す一方で、予め組み立てる手順が決められていることが多い。体験者の創作時の発想をより促すためには、思考する要素を取り入れる必要がある。その一つとして、STEM 教育では様々な素材や機械を使って試行錯誤する方法論 **Tinkering** [1]が注目されている。またオープンデザインという方法論では、ネット上に公開された作り方を参照し、自らのアイデアに取り入れることで、自分一人では思いつかなかった機構を思い付くなどのきっかけに繋がることが期待される。

内省的に解決策を思考する **Tinkering** に加えて、第三者の発想を取り入れるオープンデザインを組み合わせること

で、従来のロボットキットと比べ、相乗的に創作時の発想が促されることが考えられる。

そこで、オープンデザインを取り入れた”歩き方”について考える学習用ロボットキット **FabWalker** (図 1) を提案する。これは対象者のスキルに応じた学習環境を提供できるロボットキットである。初学者は、木の枝などの自然物やペンなどの身の回りにある素材をロボットの脚とすることで、付け方や素材に応じて歩き方を変え、適した歩き方を考えながら創作する。またペンなどを付けることでドローイングロボットとしたり、センサを取り付けプログラミングすることで呼びかけに応じて近づくなど、歩き方を活かした機能を考え実装したり、電子工作やプログラミングスキルを習得できる。さらに本キットはオープンデザインの考え方を取り入れているため、上級者は、作り方の公開や改変や通して、新しいロボットを制作しシェアできる。

本稿では、キットの設計や実装および、ワークショップ参加者のキット制作プロセス及び改変例の公開など試行錯誤の様子を通して、STEM 教育における本キットの有用性や今後の展望について述べる。

^{†1} 慶応義塾大学 SFC 研究所 / 日本学術振興会
Keio Research Institute at SFC / the Japan Society for the Promotion of Science

^{†2} FabLabKamakura / 一般社団法人 国際 STEM 学習協会
FabLabKamakura / GLOBAL STEM LEARNING ASSOCIATION, JAPAN



図 1 FabWalker

Figure 1 FabWalker.

2. 関連研究

これまで創造性を促すために、コンピュータを取り入れたデジタル玩具が多く研究開発されている。MINDSTORMS [2]はモータ、センサ等とレゴブロックを組み合わせ、プログラムを組むことで、簡単にブロックによる自作ロボットを制御できるキットである。TinkerBots [3]は、ブロックを組み合わせて形を作り、コントローラなどで操作できるロボット玩具である。Yana/Bo [4]というロボットは、スピーカやセンサモジュールを繋げて、プログラミングすることで、音楽再生ロボットや掃除ロボットを作ることができる。これらは、画面上のビジュアルプログラミング環境を前提としているため、モジュールの組み立てとプログラミング作業が乖離している。

Topobo [5] は、複数のパーツからなる知育玩具で、各パーツに内蔵されたマイコンに関節の動きを記録することで歩行するキャラクタなどを自由につくることができる。歩行のためのバランスや重心など、物理原則の理解を促す。動きの設定は直感的だが、予め決められたモジュールで構成されているため、日常的な素材や物を使うことはできない。素材との対話による発想を促すため、日常的な素材を扱うことができるツールとして、HUMMINGBIRD [6]やPicoCricket [7]のデジタル知育玩具は紙や布で作った制作物に、プログラムしたセンサやモータ、LED、スピーカが内蔵された部品を組み込むことで、様々な動的な作品を制作できる。また LittleBits [8]も同様にセンサやアクチュエータ、LED が内蔵されたブロック同士を接続することで、直感的に回路を設計することができ、紙などの創作物の内部に配置して回路として使用することができるプロトタイピングツールである。さらにオープンソースハードウェアであるため、ユーザがブロックを改変することも可能である。

本研究も、これらと同様に日常的な素材を外装や脚として用いながらロボットを制作することができる。また初学者はプログラムの知識が無くても、機構を工夫することで歩き方を変えたり、プログラミングすることで複雑な動きを

設定できる構成とした。

3. FabWalker

FabWalker は、オープンデザインを取り入れた”歩き方”について考える学習用ロボットキットである。まず体験者は、ウェブサイト上の作り方の手順を見ながらキットを組み立てる。その後、木の枝やペンなどを脚として取り付け歩かせたり、センサ等を取り付けプログラミングすることで、複雑な歩き方を設定できる。

本キットは、オープンデザインの考え方に基づいて、ほぼ全てのパーツがファブリケーションマシン（3D プリンタ、レーザーカッター）で作成可能であり、作り方の手順や回路はウェブサイトに掲載している。さらに体験者は、自らの改変したロボットの作り方を同サイトに掲載することで、他のユーザと影響を受けあうなど、相乗的なアイデアの発想を促す。

3.1 システム

本システムは、マイコンボード、電池（2.4~3V, 単三乾電池 2 本）、ギヤードモータ、ファブリケーションマシンで作成された外部機構から構成される（図 2）。ロボットの大きさは、縦 88mm、横 115mm、高さ 55mm である。外部機構は、クランク機構、リンク機構により、ギヤードモータの回転運動を、4 本の脚の往復運動に変換する。各脚部分には、枝やペンなど棒状の物を補助脚として簡易に装着できる。補助脚の装着には結束バンドあるいはビニールタイを使用するものとし、繰り返し付け外しが可能になっている。構造上、取り付ける棒状の物は約 5cm 以下であることが望ましい。

ロボットの挙動をソフトウェア制御するために、マイコンボードを配置した。マイコンボードは、マイクロコントローラ（AVR ATTINY85-20SUR 8MHz・5V）、モーター駆動用ローサイドスイッチ（NchMOSFET RSS100N03）、DC/DC 昇圧コンバータ（HT7750A）などで構成される。制御プログラムの作成・アップロードには、ArduinoIDE 及びマイクロコントローラプログラム（AVRISPmk2）を用いる。

マイコンボード単体でプログラム可能なロボットの挙動は、前進／停止、歩行時のスピード（PWM256 段階・実効 200 段階程度）である。さらにセンサや LED などの外部部品を取り付けることで、明度によって歩き方が変わるなどのプログラミングが可能となる。ワークショップ等で使用が想定される外部部品は、光センサ（CDS）、距離センサ、ブザー、LED、IR センサ（リモコンセンサ）などである。

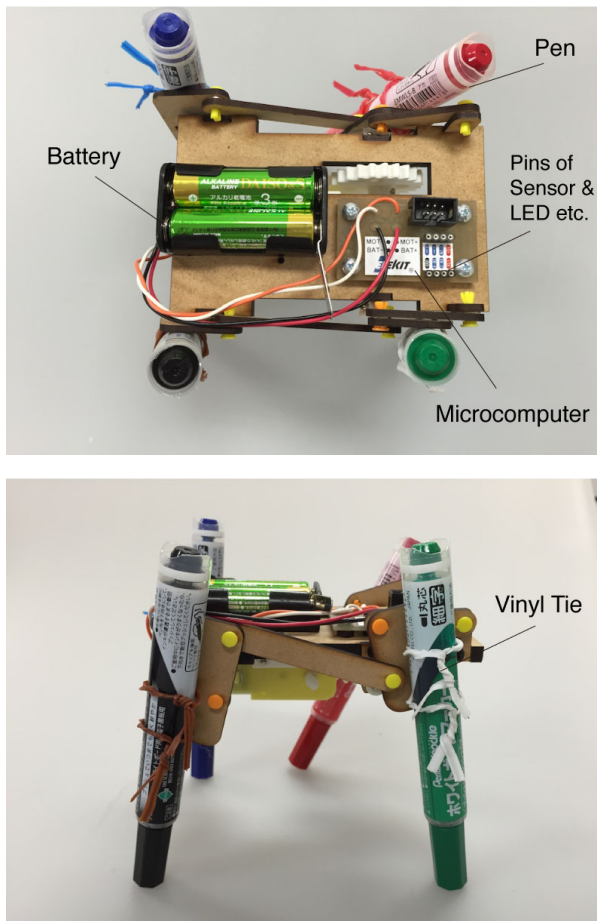


図 2 システム構成
Figure 2 System of FabWalker.

3.2 オープンデザイン

本ロボットキットの作り方の手順や、部品リスト、回路図、プログラムなどは全てウェブサイト Fabble [9]に公開している (図 3)。Fabble は、ハードウェアの作り方を公開したり、他のユーザの作り方を改変して投稿(Fork:分岐)できるサイトである。体験者には、本キットを用いて作成した作り方は、全て Fabble に公開することで、他のユーザの発想を促すことを推奨している。



図 3 FabWalker の作り方 (Fabble)
Figure 3 how to make FabWalker (Fabble).

4. 評価

4.1 展示やワークショップの様子

本キットを用いて、デモ展示やワークショップを行い、STEM 教育における本キットの有用性を調査した。FAB11で行われた Fab Fest (2015 年 8 月 8-9 日, Reggie Lewis Center Boston) ではデモ展示を行った (図 4)。主に小学生が多く体験し、試行錯誤を繰り返しながら脚を適切な長さで取り付け、きちんと歩かせることに成功していた。中には、木の実と棒を組み合わせて安定して歩くことができる脚を作るなど工夫する様子が見られた。

また高校生向けのワークショップ (2015 年 8 月 22 日, 慶應義塾大学 SFC) では、参加した高校生 1~3 年の男女 16 名を 4 人ずつのチームにわけ、2 時間の中でキットの作成と改変作業を行ってもらった。前述のデモ体験と異なり、脚一本を固定することで円状の絵を描画するドローイングボットを作成するなどの工夫を見ることができた (図 5)。



図 4 体験の様子
Figure 4 Experience of users.

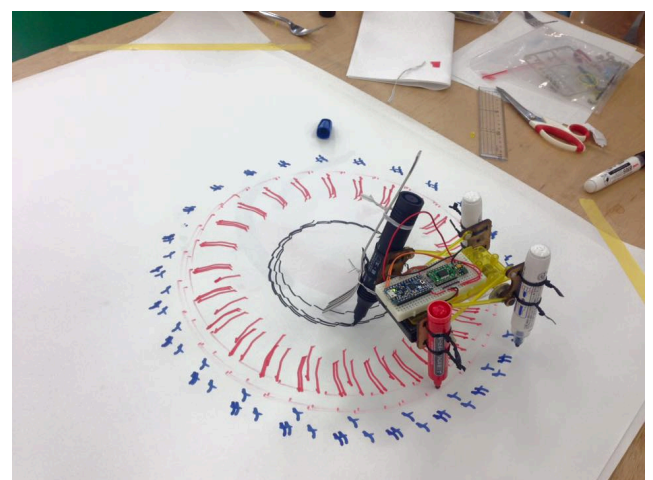


図 5 作品例
Figure 5 Example of works.

4.2 創作プロセスの調査

また創作プロセスにおける思考のきっかけを詳しく調査した。慶應義塾大学 SFC の学部生向け講義、「オープンデザイン実践」の中で3日間（2015年10月13, 20, 27日）に渡って本キットの制作・改変・シェアを、参加した大学生、男女10名に行ってもらった。初日は、4チームに別れ Fable のウェブサイト上の作り方を参考にしながらキットを制作した。2日目は、完成したキットを歩行させながら、その歩き方から新しい機能や外装を改変してもらった。その際、改変例として、センサを取り付け方やプログラムによる挙動の変化例、他のワークショップ時に作成された作例などを紹介した。3日目は、完成した作品を発表し、Fable のウェブサイト上に新しい改変例として作り方を公開してもらった。

実際に、図6のように、スプーンと距離センサ、ブザーを付けることで、お菓子を人の場所まで運ぶハロウィンロボットなどの作品が完成した。またレゴブロックを脚として、紐にペンを繋いでランダムな絵が書けるロボットを制作したチームは、汎用的なレゴブロックを使ったり、ペンをブラシなどに変えることで掃除ロボットに成るなど、次を作るユーザが改変しやすいような工夫を施していた。

また3回の授業後に、参加者を対象としたアンケートを集計した。「FabWalker の組み立てや改変することは難しかったですか？」という質問に対し5段階評価（1. とても難しい, 2. やや難しい, 3. どちらでもない, 4. やや簡単 5. とても簡単）で回答してもらった所、平均 3.1, 標準偏差 1.1 であった。難しかった理由として、色々な改変を行う場合多少の電子工作やプログラムの知識が必要であるという意見があった。

またどのような要素から影響を受けて改変したか調査した。調査した要素は FabWalker の歩き方、ネット上にある他の参加者の作品、用意した素材（紙やブロック）である。まず「今回の改変のアイデアは FabWalker の歩き方から影響を受けたか」という質問に対しは5段階評価（1. とても受けた, 2. 少し受けた, 3. どちらでもない, 4. あまり受けなかった 5. 全く受けなかった）で、平均 4, 標準偏差 1.1 と影響は受けていた。具体的には、プログラムを追加したり、竹串やフォークなどの素材を装着した際の生き物のような動きから発想したと述べていた。「初回で紹介したネット上にある子供たちの作った作品から影響を受けましたか？」という質問にして同様に5段階評価で回答してもらった所、平均 2.2, 標準偏差 0.8 とあまり影響は受けていなかった。「今回用意した素材（紙とかブロックとか）などから影響を受けましたか？」という質問に対して同様に5段階評価で回答してもらった所、平均 3.9, 標準偏差 1.0 とやや影響を受けていた。理由として、レゴブロックを使用することで他のユーザが改変できる拡張性が出せる

と思ったという意見や、ハロウィン用のカボチャの置物からストーリーを考えたという意見があった。今回のワークショップでは、他の人のサンプル数やバリエーションが少なかったため、他の作品からの影響が少なく、用意した素材や歩き方から機能や形を発想していた。オープンデザインを促すためには、より他の作品からの影響を受けるような工夫が必要である。

また作品制作を通して、作り方をシェアするオープンデザインについてどのように感じたか調査した。「自分たちの制作物の作り方をネット上に公開することで感じたこと、思ったこと」について質問した所、「公開することに抵抗は特に感じなかった.」、「作品に対して、評価やコメントをフィードバックしてもらいたいので、積極的に公開したい」という意見や、「制作の過程を記録し易くするツールや他者の制作物とのツリー関係が分かりたい」という意見が挙げられた。前述の発想に影響した要素の調査では、他の作品の影響をあまり受けていなかったため、このような他の作品を見られる仕組みや作り方の記録を簡単にする仕組みは必要であると考えられる。

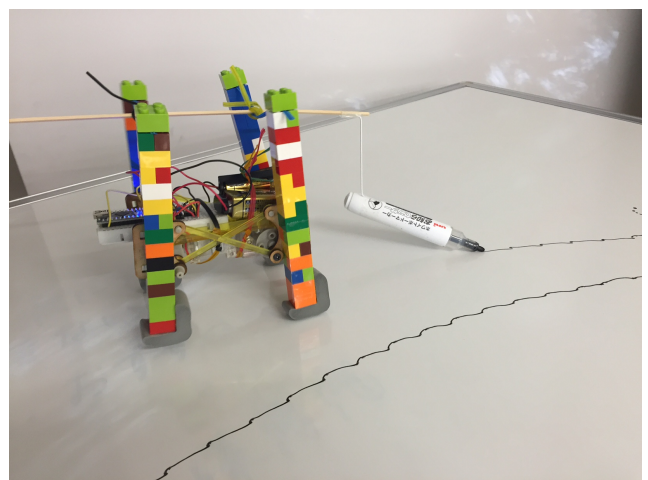
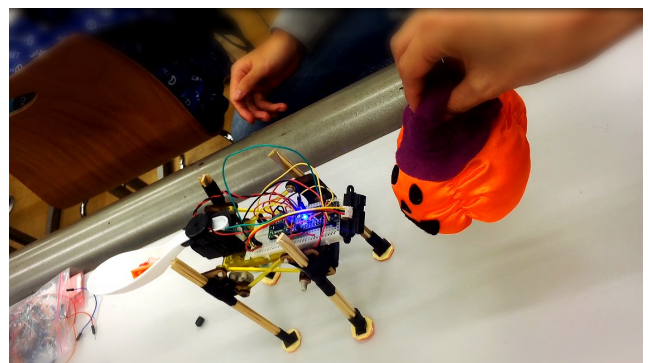


図 6 作品例

Figure 6 Example of works.

5. まとめと今後の展望

本稿では、オープンデザインを取り入れた”歩き方”について考える学習用ロボットキット FabWalker について提

案した．実装したキットを用いてワークショップやデモ展示を行った所，様々な物を脚として取り付けて，改変する様子が見られた．通常のロボットキットと異なり，安定した歩き方や，歩き方を活かした機能などを考えて試行錯誤する様子が見られた．またアンケート調査の結果，用意した素材や本体の歩き方が改変のアイデアに影響を与えていた．今後はネット上にある他の作品から発想する様な工夫も必要であると考え．具体的には作品例が簡単に閲覧できる仕組みや，他の人の作品を簡単に工作機械で造形できたり，即座に改良できる開発環境である．

また現在のハードウェアの問題として，センサの取り付け等多少の電子工作の知識が必要である点が挙げられる．これはセンサなどをモジュール化することで取り付けを簡単にしたい．また現在のプログラミング方法が，文字によるプログラミングである未就学児には難しく，より簡単に記述できるビジュアルプログラミング環境を採用したい．

また 6 足以上などの多足歩行ロボットや，水上を歩く様なロボットを制作できるように，機構側の拡張性を高める工夫を施していきたい．

謝辞 本キットの基板部分で協力頂いた株式会社イーケイジャパン様，機構部分で協力頂いた山本修氏に，謹んで感謝の意を表する．

参考文献

- 1) <http://www.tinkeringschool.com/>
- 2) MINDSTORMS,
<https://www.mindstorms.lego.com/>
- 3) TinkerBots,
<http://www.tinkerbots.com/de/>
- 4) Wonder Workshop, Inc.
<https://www.makewonder.com/>
- 5) H, Raffle., A, Parkes., H, Ishii.: "Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory", CHI '04 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 2004.
- 6) HUMMINGBIRD,
<http://www.hummingbirdkit.com/>
- 7) PicoCricket,
<http://www.picocricket.com/>
- 8) LittleBits, <http://littlebits.cc/>
- 9) Fable – FabWalker,
<http://fable.cc/jun1chi/fabwalker>