

[プログラミング教育の最前線]

# 4 楽しいロボットプログラミングを目指して

—ロボット「toio」の企画開発事例—



田中章愛 | (株) ソニー・インタラクティブエンタテインメント  
プラットフォームプランニング&マネジメント部門 T 事業企画室

## ロボットを通じて 「楽しい」プログラミングの原体験を

私はエンタテインメント製品を手がける企業のロボット研究者・エンジニアとして、プログラミングをあそびとして取り入れた「toio」(以降 toio)<sup>1)</sup> というロボット(図-1)を研究～製品化してきた。この製品には私たち開発者自身が感じてきた「プログラミングの楽しさ」を、手軽かつ奥深く感じていただきたいというこだわりが組み込まれている。toio は子ども・家族で楽しめるあそびとして生まれた製品であるが、小学校の授業でも「プログラミングの最初の一步はまず楽しむところから」と活用が始まっており、プログラミング学習に「楽しさ」を導入するためにエンタテインメント製品が貢献できると実感している。

本稿では toio の企画・設計や活用事例を共有しながら、2020 年度小学校を皮切りに必修化が進むプログラミングを苦手意識なく自発的に取り組むようになる「楽しい原体験」にするために重視すべき点は何か、議論・考察できればと考えている。

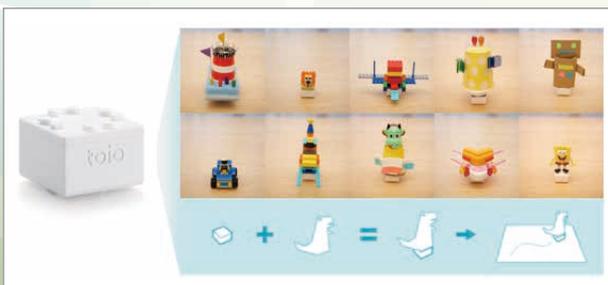


図-1 ブロックや工作を載せてさまざまなあそびやプログラミングを楽しめるロボット toio

このようなロボットを活用したプログラミングの原体験から、プログラミングが単に必修課題ではなく楽しく身近なものとなり、ひいては不確実な現代を楽しく前向きに生き抜く力となれば、プログラミングを楽しむ者として望外の喜びである。

## 「低い床、広い壁、高い天井」

実世界で動くロボットのプログラムを作る楽しさや夢中になれるポイントは何だろうか。私は学生時代のロボットコンテスト、業務でのロボット開発等から、下記のようなものを感じている。

- 敷居の低さ・共感しやすさ：見慣れた空間で動くロボットは自分を投影し直感的に思考や原理を理解しやすく、経験や知識を活かせる
- 幅の広さ・多様性：ハード・ソフト・デザインなど横断・総合的に技術・技能を使いこなす楽しさ、多彩な表現力、適用分野の広さ
- 奥の深さ・発展性：リアルな課題を試行錯誤を通じ深く理解し、技術を使いこなして楽しんでもらえるもの・役立つものを作る楽しさ

本稿ではこれらを、LOGO 言語開発者の Seymour Papert、および Scratch<sup>☆1</sup> 開発者の Mitchel Resnick 両名の教育学者の言葉を借りて「低い床、広い壁、高い天井」<sup>2)</sup> と言い換えたい。この3つは学びや教育を支援するテクノロジーに重要な要素と説かれているが、Papert は早くも 1960 年代からロボットプログラミングを教育に取り入れており、現

☆1 Scratch: <https://scratch.mit.edu/>

代の STEM<sup>☆2</sup>・STEAM<sup>☆3</sup> 教育へと繋がっている。

私たちも同様、特にロボットの「低い床」、つまり「敷居の低さ」「身近さ」は子どもがプログラミングにはじめて触れる上で特に重要と考えており、人が生まれ持った身体感覚・身体性を活用することで少ない説明で新しい概念を伝えることができるため、苦手意識を抱かず「まず触ってみる」ことに繋がると考えている。触る行為＝直接操作は自分の体の延長として自己帰属感<sup>3)</sup>を生む上で重要であり、ユーザインタフェース (UI) としても「自分が使いこなしている」と感じるハードルが下がる。ロボットを自分の分身とみなしてプログラミングするうちに、ロボットが置かれた制約や思考回路を自己投影によって理解できる。このように、自己投影や自己帰属感・ロボットへの共感<sup>3)</sup>はコンピュータやデジタル技術の動作原理の理解を加速し、「プログラミング的思考」や「Computational Thinking<sup>4)</sup>」の感覚が身につくようになるのではないかと考えている。

私たちは教材開発ではなくエンタテインメントの一環としてこのロボットプログラミングの楽しさを製品に活用してきたが、同様の楽しさは特にロボットコンテストなどを通じ教育現場にも活用されている。教育関係者の方々からはロボットプログラミングの楽しさを取り入れたいと声がけいただくことも増え、遅れながらロボットプログラミングがプログラミング学習の導入として効果的であることに確信を深めている。

## ロボットプログラミングにおける「位置情報」の重要性

車輪などで自由に動き回るロボットのプログラミングにおいて共通する課題として「自分の位置情報をどう知るか (自己位置同定)」というものがある。これは自動運転やドローンにも共通するもので、一

般に GPS や LiDAR<sup>☆4</sup> を使った SLAM<sup>☆5</sup> など、高度なセンサやシステムが使用されている。家庭や教室など生活空間で使われるロボットにおいては、これまで技術的な課題やコスト等から位置情報は一部の掃除ロボット等を除いてほとんど活用されず、ロボットプログラミングの入門としても取り入れられていなかった。

私たちは生活空間でゲームのようなあそびや手軽で自由なプログラミングを楽しめるロボットを提供するため、独自の研究開発を通じて専用プレイマットと光学センサの組合せにより誤差蓄積がない位置情報 (= 絶対位置) の取得や位置制御を実現してきた。ロボットの正確な位置情報を手軽にロボットプログラミングで扱えるようになったことは、次のような「低い床・広い壁・高い天井」の拡充に繋がると考えている。

- 再現性高く正確な動きが実現でき、同じ動きを試しながら少しずつ改善できる
- 複雑な軌道や動きを再生でき表現力が高まる、人のプログラムを改造・流用しやすい
- 位置を使った複数台ロボットの協調制御・群制御、実世界 UI などへの発展が可能

また、絶対位置を実世界の座標として扱えるため、たとえば前述の Scratch で人気の高いゲームやアニメーションなど座標指定型のプログラムにも相性がよく、画面の中で培われたアルゴリズムやルール・シナリオ作りが簡単に流用可能となる。子どもたちにとって身近なゲーム等の動きをロボットで手軽に実現できることで、「迷路をクリアする、ボールを蹴る、ダンスする」など目的指向のプログラミングが取り入れやすくなる。当然ながら、小学校の算数の「多角形」の描画にも応用できる。

小学生にも人気の Scratch などのプログラミングにおいては、座標や位置情報は楽しいプログラム作りに不可欠となっている。これまでロボットプログラミングではあまり注目されてこなかったロボット

☆2 STEM : Science, Technology, Engineering, Math の頭文字からなる造語。

☆3 STEAM : STEM に Arts を加え、統合的に扱うもの。

☆4 Light Detection and Ranging

☆5 Simultaneous Localization and Mapping

の位置情報は、楽しみと可能性を広げるため今後益々重要性が認識されると考えている。

## ロボットプログラミングを楽しくする toio

私たちは「低い床，広い壁，高い天井」の具体的な形として，次の要件を製品に盛り込んできた。

- 6歳の子どもから使いこなせる手軽さ
- 工学，ゲーム，アートまでの広がりと深さ
- 形・動きの表現力とオープンエンドな発展性

以下，具体的に toio の製品像，企画・設計についての考え方や方針を共有したい。

### toio の製品像

toio はロボットやゲームの技術を活用したエンタテインメント製品として企画された。キューブ型ロボット「toio コア キューブ」(以降キューブ) 2台を含む「toio 本体セット」と「専用タイトル」を組み合わせて，カートリッジから提供されるあそびのプログラムを楽しむことができる(図-2)。キューブはブロックや工作を自由に取り付けて好きなキャラクターやテーマに合わせた形に変えられるほか，PCとBluetoothで通信し自由にプログラミングが可能である。これらを通じ，創意工夫を楽しむ・夢中になる体験を提供している。

toio が提供するあそびにはプログラミングそのものをパズルゲーム形式で取り入れた「GoGo ロボットプログラミング ～ロジャーのひみつ～」や，自由自在にプログラムを作ることができる「ビジュア

ルプログラミング」など多彩なプログラミングが用意されている。ほかにも，ロボットによる相撲のようなロボットコンテストや，紙との組合せによる「工作生物」などインタラクティブなアート，自動運転を取り入れたものなど，絶対位置と複数台ロボットの協調制御を活用した多彩なあそびがパッケージとして提供されている。PCなどで自由にプログラミングを楽しむ上でも，まずは専用タイトルのさまざまなあそびを試すことで，アイデアの種となるサンプルを手軽に体験できるような体験のデザイン・動線設計を心掛けた。

### toio の企画・設計思想

toio には，ロボットを使った多彩なあそびやプログラムを実行可能とするため，ビデオゲームのルールや判定ロジックを実世界のあそびに適用する初期の研究<sup>5)</sup>から「複数台ロボットの絶対位置・姿勢をリアルタイム取得し同期制御する」といった動作原理(図-3)とシステム構成を企画・設計に盛り込んだ。また「競争や協力などさまざまなゲームやあそびを実現するためロボット2台を標準とする」「ユーザがいつでも介入できるよう外部カメラなしでロボット底面のセンサと特殊印刷マットを使って絶対位置を検出する」といったUX要件を策定し，センサの開発とモジュール型ロボットであるキューブを設計した。さらにユーザの創意工夫を引き出すため，あえて外形はシンプルなキューブ型ロボットにしてさまざまなキャラクターや世界観を付加的に投影できるようにした。ここには「表層デザインと



図-2 toio の製品構成



図-3 toio の絶対位置を使った動作の原理

内部モデルや制御構造を分離する」などソフトウェア的な発想や手法・ノウハウを根底に取り入れている<sup>6)</sup>。toio がソフトウェア起点で企画・設計されている点も、プログラミングのしやすさに大きな影響を与えている。

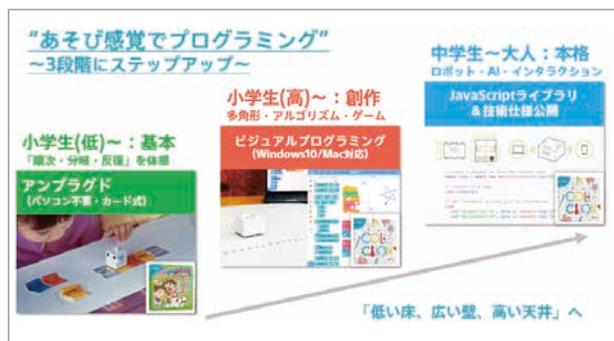
## toio のロボットプログラミング事例

toio のプログラミング方法はあそびとして楽しめる入門から開発者向けの本格的なものまで、次に示す大きく3段階が準備されている(図-4)。

「プログラミングは目的実現のための手段であり、多様な経験で多角的に身につけるもの」という考えで、toio ではさまざまな「低い床、広い壁、高い天井」につながる方法や楽しみ方を提供している。

### 紙カード式：GoGo ロボットプログラミング～ロジボのひみつ～

toio のプログラミングの入門編、「低い床」を代表するのが、PC 不要で紙のカードと絵本だけでプ



■ 図-4 toio の3段階のプログラミング方法



■ 図-5 toio の紙カード式プログラミングの例

ログラミングをパズルゲーム形式で楽しめる「GoGo ロボットプログラミング～ロジボのひみつ～」(図-5)である。絵本の中には迷路タイプの問題が48問あり、かわいらしいキャラクターを載せたキューブをスタートからゴールまでプログラムで誘導するうちに「順次・分岐・反復」を体験できる。プログラミングは紙のカードを並べキューブがその上を走行して覚えさせるという直感的な操作となっているため、はじめてでも慣れ親しんだ本やカードを使って敷居が低く取り組める。

また各問のゴールは決まっているものの、行き方・手段は問わない作りになっており、1つの問題にも最短経路だけでなく途中でダンスや寄り道をするなど個性を発揮できるため、「プログラムが目的を達成するための手段は1つではない」といった、枠にとらわれない姿勢も体感できる。絵本の上では絶対位置を使ってロボットの位置が補正されるため、設置位置のずれや外乱に惑わされず論理的な概念の習得に集中することができる。

PCが不要で直感的な点やゲーム的な楽しさを取り入れた点は小学校の授業（総合的な学習の時間）での「プログラミング的思考に触れよう入門体験」としても注目・評価され、「アンプラグドプログラミング」教材として実際に活用されている(図-6)。

### ビジュアルプログラミング

toio の「広い壁」の代表として、自由なプログラミングや作品作りを小学生から手軽に試せるのが「ビジュアルプログラミング」(図-7)である。

PCと接続したキューブの動きをScratch 3.0と



■ 図-6 熊本県人吉市立人吉西小学校授業活用風景（撮影時期：2019年10月）

同じブロックや座標を使って画面上で直感的にプログラミングでき、お絵かきやゲーム、サッカーやダンス、ロボットコンテストなど、多様な創作を実現することができる。また位置を使ったフィードバック制御や軌道制御も容易になり、中学校の「計測と制御」で扱われるような掃除ロボットのプログラムを模擬することも可能である (図-8)。

このように toio の「ビジュアルプログラミング」は座標や位置情報を手軽かつ正確に扱え、ロボットの動きを通じプログラムやアルゴリズムを体感的に理解しやすいことから小学校の算数「多角形」の教材 (図-9) などへの活用が進んでいる。

また、キューブは天面にブロックや工作を載せて自由なデザインやメカニズムを構築でき、動きと組み合わせた表現や工夫の幅が多彩であることから、ロボットコンテストやさまざまなワークショップでも活用されている (図-10)。従来のワークショップはハードウェア作りや組み立て時間が長く必要だったが、モジュール化された toio とブロックなどを組み合わせるとハード・ソフトともに完成まで



図-7 toio の「ビジュアルプログラミング」



図-8 画面上の「バーチャル壁」と移動量による障害物検知を使った掃除ロボットのプログラム

の時間が短く、余った時間で工夫やオリジナリティを盛り込む余地を設けられる。また共通のロボットを使うためトラブルや組み立てスキルによる差を小さくでき、プログラムの工夫に集中することが可能になる。イベントでは子どもから大人まで工夫と真剣勝負で大いに盛り上がっている。

## JavaScript ライブラリ&技術仕様公開

toio の「高い天井」に繋がるプログラミング方法として、PC やスマートフォン等からキューブを制御できる「JavaScript ライブラリ」と「toio コア キューブ技術仕様」(図-11) が公開されている。既存のライブラリや GUI・ネットワークとの組み合わせが広がるため、ロボット工学の授業や学術研究、企業における技術デモや研究開発、クリエイターによるアート作品のほか、趣味としても楽しんでいた



図-9 算数向け教材 (販売元: (株) 内田洋行)

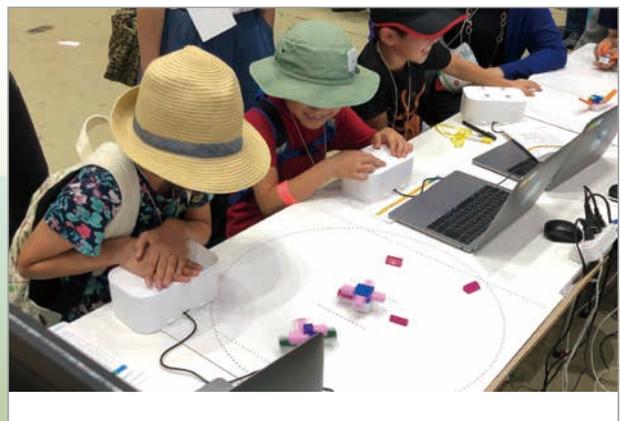


図-10 相撲の“オリジナル技”ワークショップ&ロボットコンテスト (Maker Faire Tokyo 2019)

だいている。個人の方々のオープンな活動により、Python 等のさまざまな言語・環境にも技術仕様を参照した対応・応用が進んでいる。

toio はこのような高度なプログラミングも可能であること、および開発に手間のかかるハードウェアが高度に集積・モジュール化されており手軽・小型・高性能であることから、ロボット開発のプラットフォームとしても活用が進んでいる。

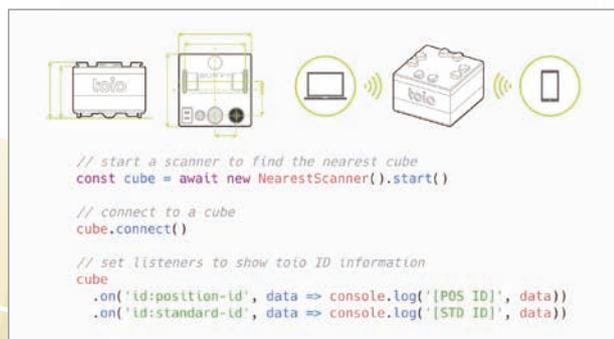
特に、通常ロボットの位置情報を取得するのに必要なカメラ、モーショントラッカー、測距センサなどの大規模で扱いが大変なデバイスが不要で簡単に絶対位置を取得できることから、多台数のロボットを同時に扱う群ロボット制御や自動運転、AI の研究や応用<sup>☆6</sup>にも活用されている。

また、このような情報交換を行うコミュニティ<sup>☆7</sup>も生まれており、「高い天井」を目指す開発者同志での熱いディスカッションが行われている。現代のプログラミングやソフトウェア開発においてはこのようなコミュニティでの活発な応用や情報共有、相互刺激は不可欠だが、小・中学生から大人まで幅広い参加が見られるなど当初の想像を超える活用や楽しさが広がっている。

はじめてプログラミングに触れあう子どもも大人の専門家も楽しんで相互に刺激し合う、それが toio の目指すプログラミングの楽しみ方である。

<sup>☆6</sup> toio であそぼう！ウロチョロス（モリカトロン（株）），<https://morikatron.com/urochoros/>

<sup>☆7</sup> toio で作ってみた！友の会（非公式），<https://toiotomo.connpass.com/>



■ 図-11 JavaScript ライブラリの実装例と技術仕様

## ロボットプログラミングの楽しみを通じ「楽しさを作る」輪の広がりを

2020 年は小学校でのプログラミング必修化の年だが、同時に新型コロナウイルスが蔓延しこれまでの常識が覆った年でもある。不確実性が高まり社会の分断が危惧される時代、これからは多様な立場の理解・尊重、多彩なスキルとバランス感を身につけ生き抜く力がより重要となるのではないだろうか。ロボットプログラミングは1つのスキルや楽しみにすぎないが、ロボットを通じて試行錯誤し性質や思考モデルを理解することはプログラミング的思考を含む多様な考え方や概念の獲得につながる。私は、これは多様性や他者の立場・考え方を内側から理解することへの一助となり、そこで得られた多様な技術・技能・感性は、人の役立つもの・楽しんでもらえるものを多角的かつ総合的に考える、作る力となると確信している。

楽しく明るい社会を作るには、まず自ら楽しんで、その楽しみを広げていくことが重要である。小さな存在だが、toio のようなロボットが一端を担えれば、開発者としてこれ以上の喜びはない。

### 参考文献

- 1) 「toio」公式サイト：<https://toio.io>
- 2) ミッチェル・レズニック他：ライフロング・キンダーガーテン 創造的思考力を育む4つの原則，日経BP（2018）。
- 3) 渡邊恵太：融けるデザイン ハード×ソフト×ネット時代の新たな設計論，ピー・エヌ・エヌ新社（2015）。
- 4) Wing, J. M., 翻訳：中島秀之：Computational Thinking 計算論的思考，情報処理，p.584, Vol.56, No.6 (June 2015)
- 5) The Prototype 040：AXIS 2013 年 8 月号
- 6) 田中章愛：フレッシュマンに向けたプログラミングのススメ：10. ソフトウェア的発想でハードウェアを作る ～プログラミング経験をハードウェアの企画・開発に活かす～，情報処理，Vol.60, No.6, pp.521-524 (June 2019)。

(2020 年 5 月 22 日受付)

■ 田中章愛（正会員） Akichika.Tanaka@sony.com

2006 年筑波大学大学院修了，ソニー（株）入社。2013 年スタンフォード大学訪問研究員。ロボットの研究開発や新規事業創出プログラムの企画運営を経てロボット玩具「toio」を提案，2018 年よりソニー・インタラクティブエンタテインメント T 事業企画室課長。商品企画と事業開発を担当。