

1. 担当 PM

稲見 昌彦（東京大学 総長特任補佐 先端科学技術研究センター 副所長・教授）

2. クリエータ氏名

横井 総太郎（東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻）

四反田 直樹（東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻）

松尾 健登（東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻）

3. 委託金支払額

2,880,000 円

4. テーマ名

自己表現のためのモジュール型ソーシャルロボットの開発基盤の構築

5. 関連 Web サイト

GitHub : <https://github.com/katakko-robots>

6. テーマ概要

本プロジェクトは、横井総太郎氏・四反田直樹氏・松尾健登氏の 3 名によるモジュール型ロボット「Katakko」の開発プラットフォーム構築である。ユーザがブロック型のモジュールを自由に組み合わせてロボットを作り、それを自分の身体動作で直感的に操作できるシステムを目指した。

デジタル空間では VRChat のアバターに見られるように、自分の好きな姿で他者とコミュニケーションをとる文化が広がっている。しかし物理的なロボットの領域では、OriHime のように全員が同一デザインを使うか、ClicBot のように教育・コンパニオン用途に限られており、ユーザが自分だけの形態を設計し、自分の身体で操作する手段は確立されていなかった。本プロジェクトはこのギャップを埋めるべく、ハードウェア・動作マッピング・ユーザインタフェースの三層を一体的に開発した。

7. 採択理由

トレイグジスタンス技術は宇宙や建設現場など、特殊環境下での社会実装が

着実に進んでいる。しかし、日常的なコミュニケーション支援という身近な用途への展開は、いまだ十分ではない。

本提案は、モジュール型ロボットを自在に組み替えることで多様なコミュニケーション形態に対応させるとともに、独自のアルゴリズムによってユーザの意図や動作を精緻にロボットに反映させようとする、極めて意欲的な試みである。

ハードウェアとソフトウェアの融合を通じ、個人ごとに最適化された新たなソーシャルロボットの誕生に繋がることを期待し、採択とした。

8. 開発目標

開発目標は 3 点ある。すべてのモジュールが市販部品と 3D プリンタで製作可能でオープンソースとして公開できる設計であること、カメラによる身体動作認識と関節対応の自動マッピングによりプログラミングなしにロボットを身体で操作できること、そして組み立てから動作マッピング・操作までを一貫して行えるインタフェースを提供することである。これら 3 つを通じて、ユーザが「なりたい自分」をロボットとして物理的に表現し、身体で操作することで行為主体感を得られる体験の実現を目指した。

9. 進捗概要

ハードウェアでは、モジュール間の接合に「つけやすく、取れにくい」独自のツメ型接続機構を開発した。3D プリンタ (ABS 樹脂) での造形を前提とし、押し付けるだけでツメがたわんでロックされ、折るように力をかけると外れる構造である。ガード構造によりロボットを振っても外れない保持力と、意図的な取り外しの容易さを両立した。本機構は特許出願を予定しているとのことなので、詳述は避ける。

アクチュエータモジュールはマイコン (XIAO ESP32S3)、サーボモーター (SG90)、リチウムポリマー電池を内蔵し、専用基板を使わず市販部品のみで無線単独動作を実現した。チルトスイッチによるウェイクアップ機構で、ロボットを振るだけで全モジュールが一斉起動する。ハンドモジュール、車輪モジュール、バネモジュールなどの拡張モジュールや、最大 15 個を収納・充電できるケース (Katakko House) も開発した (図 1)。

動作マッピングでは、ロボットと人間の身体をそれぞれ「関節をノードとするグラフ」として表現し、親子構造の一致度と空間的順序の一致度を評価関数として遺伝的アルゴリズムで最適な関節対応を自動探索する手法を開発した。さらに、SAM3 によるセグメンテーションと VGGT による三次元再構成を組み合わせて、ユーザが撮影した写真からロボット構造を自動推定するシステムも実装した。

ユーザインタフェースとしては、Node.js ベースの Web 操作インタフェース

(MediaPipe によるリアルタイム姿勢推定+UDP による実機制御)、展示向けの 2 種の Web アプリケーション (組み立て記録用・身体操作体験用)、および Unity によるシミュレーション環境 (ビルダー機能+MuJoCo エクスポート+ゲームモード) を開発した (図 2)。当初はノードベースの手動マッピング UI を設計したが、ユーザテストで非人間型ロボットでの設定の難しさが判明し、自動マッピング連携方式へ転換している。

展示実績として、Maker Faire Tokyo 2025 ではオープンソース設計思想が評価され SLB 賞を受賞、The Lab. (グランフロント大阪) では常設展示を行い 400 名超がロボット制作・操作を体験した (図 3)。



図 1 : 開発した Katakko のモジュール群

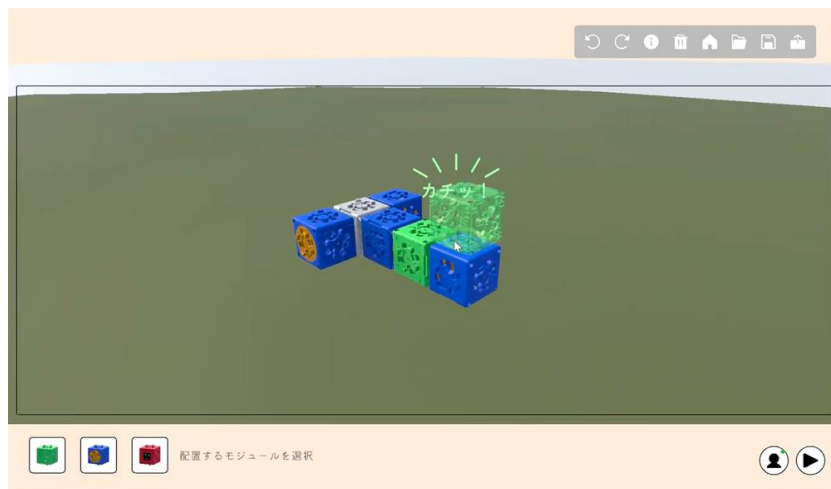


図 2 : Unity シミュレーション環境 (ビルダー画面)



図 3：展示の様子（左：Maker Faire Tokyo 2025、右：The Lab.）

10. プロジェクト評価

本プロジェクトの成果は、ハードウェア・ソフトウェア・インタフェースの各層を高い水準で統合し、「組み立てる・設定する・動かす」を一貫して体験できるプラットフォームとして仕上げた点にある。3名のクリエイターがそれぞれ異なる専門性を持ち寄り、単なる分業ではなく相互に補完し合いながら一つのプロダクトに統合できたことは、チーム開発として模範的である。

ハードウェア面では、ツメ型接続機構の設計が出色である。接続と分離の両方が簡単でなければならないという相反する要求を、ガード構造という工夫で解決しており、3Dプリンタの精度でも十分機能する実用的な設計に仕上がっている。特許出願に値する成果であり、オープンソース公開と知的財産保護を両立させるライセンス戦略まで検討されている点も評価できる。

ソフトウェア面では、任意構造のロボットと人間の身体をグラフとして表現し、遺伝的アルゴリズムで関節対応を自動探索するアプローチが独創的である。加えて、画像からのロボット構造推定システムにより、組み立て→自動設定→操作→修正という試行錯誤のループを途切れさせない設計を実現した。

ユーザインタフェース面では、Web・Unity・展示用と3種のインタフェースを用途別に開発し、実機を持たないユーザにもゲームモードで体験を届ける導線を設けた工夫が光る。展示環境の制約（来場者の入れ替わり、子供対応、スタッフ最小化）を考慮したふりがな対応やアイドルタイマーといった実装上の配慮も、プロダクトとしての成熟度を感じさせる。

Maker Faire Tokyo 2025でのSLB賞受賞と、The Lab.での400名超の来場者による常設展示は、本プロジェクトが技術的な完成度だけでなく、実際に人が触って楽しめるプロダクトとして成立していることの証左である。子供が15分以上遊び続ける姿や、アクチュエータモジュールが組み込まれてロボットに生命感が生まれた瞬間に歓声が上がるといった反応は、PMとしても印象に残っている。

当初はOriHimeのような遠隔コミュニケーション用途を主眼としていたが、開発過程でハードウェアの汎用性が高いことが判明し、より広いロボット制作基盤へと方針を拡張した判断も適切であった。

課題を挙げるとすれば、プロジェクトの初期にメンバー間で完成形のイメージが揃わず見えにくい時期があった点だが、展示でユーザに触れてもらうことで突破口を開いており、結果的にはこの経験がプロダクトの質を高めた。

11. 今後の課題

最も重要な次のステップは、オープンソース公開後のコミュニティ形成である。特許出願完了後に GitHub で公開し、Discord を中心に新規モジュールやロボット作例を共有できる環境の整備が計画されている。公開後にどれだけ外部の開発者を巻き込めるかが、プラットフォームとしての発展を左右するだろう。

ハードウェアの耐久性も気がかりである。The Lab.での常設展示では、アクチュエータモジュールを毎日 12 時間程度稼働させると動きが悪くなる問題が報告されている。長期運用に耐える設計の見直しが必要となる。画像からの構造認識システムについては、SAM3 や VGGT が GPU を前提としているため、軽量モデルへの蒸留やクラウド API 化により一般ユーザの手元でも使える環境を整えたい。

さらに、ワークショップの開催を通じた教育活用の検証と、国際学会での発表による研究面での発信も視野に入っている。