

## ボール型ロボットを用いた遊びによる

### 発達障害を持つ学生への社会性発達支援: パイロットスタディ

#### Social Development Support for Students with Developmental Disabilities through Play Using a Ball-Shaped Robot: A Pilot Study

西川 碧<sup>1</sup> イ ジェリョン<sup>1</sup> 金 宣経<sup>2</sup> 岩井 祐一<sup>3</sup>

Aoi Nishikawa<sup>1</sup>, Jaeryoung Lee<sup>1</sup>, Sunkyoung Kim<sup>2</sup>, Yuichi Iwai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 中部大学大学院工学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Chubu University

<sup>2</sup> 筑波大学図書館情報メディア系

<sup>2</sup> Institute of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

<sup>3</sup> 東京学芸大学附属特別支援学校

<sup>3</sup> School for Children with Disabilities, Tokyo Gakugei University

**Abstract:** Recently, there has been a surge in research exploring the use of robots as social support tools for individuals with developmental disabilities. This trend is driven by the potential of robots to capture children's attention through consistent responses and predictability, which are believed to facilitate natural social development. The present study investigates the use of a ball-shaped robot to assist in the social learning of children with developmental disabilities. An Arduino-based ball-shaped robot was designed and developed, and an experiment was conducted with nine students from a special needs school. The experiment involved one-on-one play sessions with the robot, during which the children's play behaviors and responses were evaluated using Electrodermal Activity (EDA) as a biometric measure. The results indicated that the majority of participants showed interest in the robot, and engagement levels were positively influenced by the robot's movements, leading to increased interaction with the robot.

## 1. 序論

### 1.1 ロボットを用いた社会性支援

発達障害児に対する社会性支援にロボットを用いる研究が近年盛んに行われている[1]。これらの子供たちは、社会的コミュニケーションの困難や物事に対する集中が続かない、限定的・反復的な行動パターンを示すなどの症状を持ち[2][3]、通常の社会的相互作用に困難を抱えているため、特別な支援が必要とされている[4]。そのような支援を提供するツールとしてロボットは非常に有望であり、現在多くの研究がその有効性を示している[1]。

ロボットは子供たちの注意を引きやすく、特定の課題に集中させるための有効なツールとなることが報告されており[5]、ロボットとの遊びを通じて、自然な形での学習が促進されることが示されている[6]。また、ロボットは一貫した反応を示すことで、社会的な刺激に対する予測可能性を提供し、子供た

ちに安心感を与えた事例が多く報告されている[7]。また、ロボットによる社会性支援では、アプローチの違いから、ヒューマノイドロボット、非ヒューマノイドロボットを用いた支援が行われており、どのようなアプローチで支援を行うかを踏まえ、適切な形態を選択することは非常に重要である[8]。

### 1.2 ヒューマノイドロボット

発達障害児のための代表的なヒューマノイドロボットとして、ハートフォードシャー大学の Kaspar が挙げられる。Kaspar は、自閉症児が他者との視線合わせや表情の理解を学習するために用いられ、その有効性が確認されている[7]。

最近では、Milo というロボットが注目されている。Milo は、自閉症スペクトラム障害(ASD)を持つ子供たちの社会的スキルの向上を支援するために使用されている。Kroiss の実験では、Milo を使用することで子供たちの目を合わせる頻度や友好的度が向上す

ることが確認されている[9]。ヒューマノイドロボットは人間に似た外見と動作を持つため、その表情やジェスチャーを通じて、発達障害児の社会性成長を促進させることが確認されている[10]。

### 1.3 非ヒューマノイドロボット

非ヒューマノイドロボットとしては、Keepon や Roball が挙げられる。Keepon (ゆきだるま型ロボット) や Roball (ボール型ロボット) は、その親しみやすさとシンプルさから子供たちに安心感を与え、効果的な学習支援ツールとして用いられている[10]。

Keepon は、小型でシンプルなゆきだるま型のロボットで、サイズは直径約 10 cm 高さ約 20 cm である。カメラとマイクを搭載しており、子供たちの動きや声に反応して動作し、感情的な表現をシンプルな動きで行うことができる。Kozima の研究では、Keepon が自閉症児との相互作用において有効であることが示されており、実験では、子供たちが Keepon と遊ぶことで、社会的な関与や注意の共有が向上することが観察された[11]。

Roball は、ボール型の非ヒューマノイドロボットであり、直径は約 15 cm である。内部にはモーターやセンサーが搭載され、自律的に移動しながら周囲の環境に反応する機能を持つ。Roball のシンプルなデザインは、特に幼い子供や自閉症児に親しみやすい特徴を備えている。

Michaud の研究では、Roball が自閉症児との相互作用を促進する可能性があることが示されている[12]。実験では、Roball の動きが子供たちの注意を引き、ロボットを追いかけたり触れたりする行動を通じて、社会的関与の増加が観察された。また、Roball は頑丈な構造を持ち、乱暴な扱いにも耐えられるため、子供たちは安心して自由に遊ぶことができる設計となっている。Roball は広い空間での使用にも適しており、子供たちが自由に動き回りながらロボットと関わることで、心理的安定感や社会的スキルの向上が期待される。

これら非ヒューマノイドロボットは、動物や物体を模した形状を持っており、手足の関節のうごきや表情筋の状態などの複雑な情報をなくし、ヒューマノイドに比べ少量の情報をもつデザインとなっている。このようなシンプルなデザインを持つことで、発達障害児から自然な形でのコミュニケーションを引き出すことができると示唆されている[1]。しかし、非ヒューマノイドロボットはヒューマノイドに比べ感情表現やジェスチャーの再現能力が低いことから、感情認識や模倣訓練といった特定の課題には限界が

ある。そのため、ヒューマノイドロボットと非ヒューマノイドロボットそれぞれの利点不利点を理解し、支援形態に合わせて適切に使い分けことが重要であり [13]、将来的な研究では、これらのロボットの特性を検討し、最適な支援方法を探る必要がある。本研究では、非ヒューマノイドロボットであるボール型ロボットを用いて、発達障害児に対する支援の可能性を探ることを目的とする。ボール型ロボットが発達障害児の社会性の成長にどのように寄与するかを評価し、その効果を検証する。これにより、発達障害児に対するより効果的な支援方法の設計に必要な基礎データを提供することを目指す。

## 2. ロボット作成

本研究では、発達障害児の社会学習を支援するために、非ヒューマノイドロボットとしてボール型ロボットを設計・製作した。このロボットは、広い空間での遊びを通じて社会的スキルを向上させることを目指している。本研究で開発したボール型ロボットは以下を重視して設計している。

- ・親しみやすさ：  
シンプルな形状と動作により、ロボットへの恐怖や緊張感が低減されるよう設計する。
- ・直感的な理解の誘発：  
子供たちがロボットの動きや反応を容易に理解し、予測できるような動作パターンを組み込む。
- ・頑丈性と安心感：  
乱暴な扱いにも耐えられる構造を採用し、長時間使用でも安心して遊べるよう設計する。
- ・広い空間での適応性：  
自由に動き回れる広い環境での操作が可能な仕様により、社会的相互作用や心理的安定感を促進させる。
- ・社会的スキルの向上：  
ロボットとの一対一の遊びを通じて、他者とのコミュニケーション能力や協力意識、問題解決能力を育むことを目的とする。

### 2.1 構成

本研究で使用するボール型ロボット(図 2.1 参照)は、Arduino を基盤とし、モーター駆動および Bluetooth 通信を用いて遠隔操作が可能な設計となっている。本ロボットは、球体直径 17mm 厚み 5mm の半球カプセルを、2 つ接着したものを外装としている。

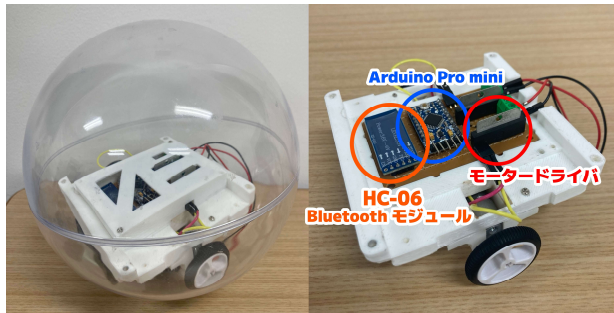


図 2.1 ロボットの外観(左図)と駆動部の詳細(右図)

本ロボットは、Arduino Pro Mini(以降 Arduino と呼称)を使用している。2つのDCモーターによるトルクをロボットの駆動力として直接外殻に伝達する、ダイレクトドライブ方式を採用している。これらのモーターはTOSHIBAのTA7291モータードライバで制御され、前進、後退、左右回転といった動作を可能にしている。モータードライバは Arduino と直結しており、PWM 信号を用いた速度制御も実現している。

今回は安全性および HRI でよく使用している Wizard of Oz (WoZ)[14]でロボットを制御した。そのため、HC-06 Bluetooth モジュールを採用している。このモジュールを使用することで、スマートフォンや PC からロボットを無線制御できるようにしている。

このロボットは、広い空間での使用や子供との相互作用に適した性能を備えている。また、Arduino の柔軟性を活用することで、将来的な機能拡張も容易である。

### 3. 実験説明

本実験では、実験室中央に設置した縦横 1.8m のカーペットを遊び空間として、遊び空間内でボール型ロボットを用いた一対一の遊びを 15 分間行ってもらった。実験の様子は図 3.2 に示す。実験参加者として東京学芸大学附属特別支援学校に通う学生 9 名(平均年齢 18 歳(SD=0.32)、男性 5 名、女性 4 名)が参加した。実験参加者はそれぞれ個別の症状があると診断されており、その内訳は知的障害 1 名、ダウン症 3 名、エーラス・ダンロス症候群 1 名、自閉スペクトラム症軽度知的障害 4 名となっている。ロボットとのインタラクションはカーペットの上で行い、その様子を 2 台のカメラで撮影した。また、Empatica E4 リストバンド[15]を用いて、被験者の皮膚電気反応 (EDA) を取得した。EDA は感情の生理的指標として広く研究されており、特にストレスや驚きなどの高覚醒状態で上昇するなど、交感神経系の活動を

反映することができる[16]。記録した動画からロボットとのインタラクション中で引き出されたアクションの種類、頻度、回数を記録し、EDA データ解析と照らし合わせることで、子供の集中度や興奮度の変化を考察する。



図 3.2 実験風景

## 4. 結果と考察

### 4.1 結果

今回、参加した 9 人分の EDA、実験中の動画を取得した。実際の結果が(図 4.1)である。横軸は時間、縦軸は EDA の値である。9 名中 2 名については、ロボットの不具合が発生したため、1 名は途中で記録を終了し、もう 1 名は不具合の調整により途中で操縦者が介入する形となり、他 1 名が実験スケジュールの関係から 10 分のみの記録となってしまったため、6 人分のデータを表示した。

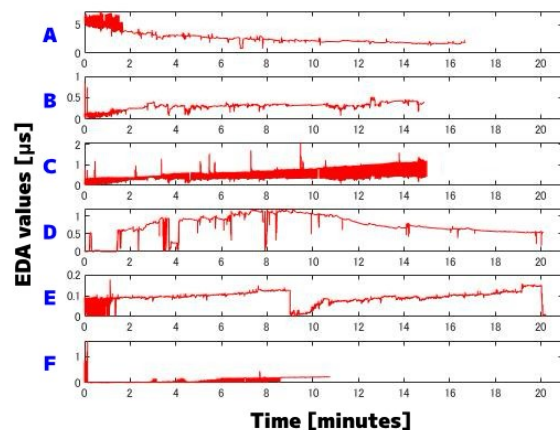


図 4.1 記録された EDA

記録した動画と EDA データを基に、参加者の行動的および生理的反応を推定した。参加者はロボットに対してさまざまな反応を示し、各自異なる EDA パターンを呈した。一部の参加者はロボットに対して

積極的に反応した一方で、他の参加者はより慎重で回避的な態度を示した。

参加者 A の EDA データからは、全体的に緩やかな減少が見られた。行動分析では初めの 15 分ほどはロボットとの一定の距離を保ちながら観察し、接触を試みるも回避行動を取り、ロボットをまたぐ動作や後退する動きが見られた。15 分を過ぎたころにロボットを持ち上げて深く観察し、その後地面に置いた。再び接近を試みた際には接触を許し、ロボットを撫でる行動が見られた。

参加者 B は、初めの 9 分ほどロボットの動きを注意深く観察し、3.1 分間急激な上昇が見られたが、その後追いかけてこを始めて EDA の上昇が非常に緩やかになった。7 分が経過したころ、ロボットと接触した状態を保つ姿が観察され、その間 EDA 値の上昇に伴う傾きが急になった。その後、再び追いかけてこを再開し、EDA の上昇が再び非常に緩やかになった。

参加者 C は、初めにロボットに接触を試み撫でる様子が確認され、その後ロボットが走行を始めると常に手の先にロボットがある状態を終了まで保っていた。途中でロボットを指で押さえつけ動きを止める動きが見られ、その際 EDA 値の断続的な上昇が見られたが、手を放すとその上昇は緩やかな横ばいに近いものに変化し、終了まで緩やかに上昇していた。

参加者 D は、初めロボットと一定の距離を保ちながら移動し、よける動きが観察され、その際 EDA 値は急激な上昇を示していた。7 分が経過したとき、E がロボットに対し接触を試み、その後再び接触を試みた後、ロボットとの距離が短くなり、常に手元にロボットがあるように動くようになった。初めの 2 度の接触を行った際、EDA 値は上昇していたものの、初めと比べその傾きは緩やかになっており、二度の接触のあと、これまで上昇を続けていた値は減少に転じ、終了まで減少と横ばいを続けた。17 分ごろ、これまで撫でている際は一定の距離を保つようにしていたロボットの動きを、被験者から遠くに移動するよう操作したところ、これまで減少を続けていた EDA 値が上昇した。その後、懐にロボットが戻ると再び EDA 値が減少と横ばいになった。

参加者 E は、初めの 7 分間ロボットとの一定の距離を保ちながら観察し、6 分ごろにロボットが懐に潜り込んだが持ち上げて遠くに置き直し、その際 EDA 値の上昇の傾きが急になっていた。9 から 10 分ごろ、EDA 値の急激な低下が見られたが、E の行動との相互性は見られなかった。その後、ロボット

を持ち上げて遠くに置き直す動きが見られたが、4 度目の接触でこれをやめて体操座りをし、その間股下をくぐったり足に接触してきたロボットに目配せしつつ、その場で静止していた。E は全体を通してほぼ同じ場所に同じ向きで座っており、大幅な運動は見られなかった。終了まで EDA 値は緩やかに上昇していた。

参加者 F は、手での接触を一度しか行わず、常にロボットを注視しながら体の向きを変えつつ同じ姿勢で座っていた。5 分ごろからロボットが周囲を巡回するように操作し、ロボットが前方や左横を通過中は EDA 値は横ばいであったが、9 分ごろ後ろを通過する際に上昇を示し、10 分ごろまでその上昇は続いたが、以降再び横ばいの変化に戻った。

## 4.2 考察

本研究の結果から、ロボットとのインタラクションが被験者に一定の興味や関心を引き起こしている可能性が示唆される。特に EDA データにおいて微細な上昇が観察された点は興味深いものであった。ロボットが被験者に急接近した場面、または被験者がロボットに急接近した場面で EDA 値の変化が見られたことは、ロボットの動きが被験者の生理的反応に何らかの影響を与えている可能性、またボール型という単純な形状でありながら、ソーシャルロボットとしての役割を果たす可能性が示唆している。ただし、これらの変化が単なる偶然なのか、または因果関係に基づくものなのかを特定するためには、さらなる統計的解析や追加の実験データが必要である。また、被験者がロボットに積極的に接近したり、ロボットの移動に合わせてカーペット上で移動する行動を見せたことから、被験者がロボットに対して一定の興味を持っていた可能性が考えられる。ただし、これらの行動がロボットとのインタラクションに固有のものなのか、環境要因やその他の要因によるものなのかを特定するには、さらなる調査が必要である。

## 4.3 今後の展望

本研究の課題を解決するためには、いくつかの方向性が重要であると考えられる。まず、子供たちの特性に応じた個別化が必要である。対象となる子供の特性や興味に応じて、ロボットの機能を柔軟にカスタマイズ可能な設計を行うことで、より効果的な学習支援が期待される。次に子供たちの多様な遊びの仕方及び遊びの環境により適応できる設計を行う

ことが必要である。子供の遊びは環境や個人差によって大きく変化することが考えられ、さらに幅広い遊びに対応できるよう設計する必要があると考えられる。

本研究を通じて、ボール型ロボットは自閉症児や発達障害児の社会学習支援において一定の可能性を示したものの、技術的改良やデザインの工夫が求められることが明らかとなった。これらの改善を行うことで、より多くの子供たちに適した学習支援ツールとしての可能性が広がると期待される。今後は、技術的問題の解消とともに、実験プロトコルの洗練化を図り、より包括的で実用的なアプローチを目指していきたい。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K19327, JP23K12810 の助成による

## 参考文献

- [1] 超教育協会: ロボットの目だから見える、自閉症児の社会性と内面の発達 第108回オンラインシンポジウム, <https://lot.or.jp/project/10349/>, (2023)
- [2] 内閣府大臣官房政府広報室, 発達障害って、なんだろう?, 政府広報オンライン, <https://www.gov-online.go.jp/featured/201104/>, (2025)
- [3] 神尾 洋子: 自閉スペクトラム症(ASD), Child Research Net, <https://www.blog.crn.or.jp/lab/dev-disorder/asd.html>
- [4] 池谷 和, 白井 紀好, 大島 郁葉: 発達障がい 病態から支援まで, 朝倉書店, (2022)
- [5] Scassellati B, Admoni H, Mataric' M: Robots for Use in Autism Research, Annual Review of Biomedical Engineering, Vol 14, pp 275-294, (2012)
- [6] Wolfberg P J: Peer play and the autism spectrum: The art of guiding children's socialization and imagination. Shawnee Mission, KS: Autism Asperger Publishing Company, (2003)
- [7] Wood J L, Zarak A, Waliers M L, Novanda O, Robins B, Dautenhahn K: The Iterative Development of the Humanoid Robot Kaspar: An Assistive Robot for Children with Autism, Lecture Notes in Computer Science, (2017)
- [8] Baraka K, Alves-Oriveira P, ribeiro T: An Extended Framework for Characterizing Social Robots, SSBN, vol 12, pp21\_64(2022)
- [9] Kroiss A, Sonogo D, Rollins P: Using a Humanoid Robot as a Co-therapist with Children with ASD, UT DALLAS, (2014)
- [10] Goodrich M A, Schultz A C.: Human-Robot Interaction: A Survey, Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, Vol 1, No 3, pp 203-275, (2007)
- [11] Kozima H , Michalowski M P, Nakagawa C: Keepon. International Journal of Social Robotics, Vol 1, pp 3-18, (2009)
- [12] Michaud F, Salter T, Duquette A: Roball: Interacting with children,(2007)
- [13] Huijnen C, Lexis M, Jansens R, De Witte L: Mapping Robots to Therapy and Educational Objectives for Children with Autism Spectrum Disorder, Journal of Autism and Developmental Disorders, Vol 46, No 6, pp 2100-2114, (2016)
- [14] Okamoto M, Yang Y, Ishida T, Wizard of Oz Method for Learning Dialog Agents, First Online: 16 October 2001,pp 20-25, (2001)
- [15] Empatica: Empatica Health Monitoring Platform, <https://www.empatica.com/>
- [16] Boucsein W: Electrodermal activity. Springer Science & Business Media, (2012)