

操作方向と進行方向の一致を考慮した 移動ロボット操作手法の開発

渋沢良太

鹿児島県霧島市国分中央1-10-2 第一工業大学工学部情報電子システム工学科

E-Mail: r-shibusawa@daiichi-koudai.ac.jp

Development of Mobile Robot Operation Method Considering Coincidence between Operation Direction and Heading Direction

Ryota SHIBUSAWA

Department of Informatics and Electronics ,1-10-2, KokubuChuo, Kirishima, Kagoshima, 899-4395, Japan

E-Mail: r-shibusawa@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: The purpose of this study is to increase the opportunities for communication between elderly people and children by playing together. Basic development and experiments of the robot's movement control method to develop a robot soccer game We have done the following. We developed a method that the direction of operation of the controller is the same as the direction of the robot's movement from the operator's point of view. And then, we prepared a comparative method where the direction of operation and the direction of the robot's movement do not match, just like a general radio-controlled car. We conducted running experiments on subjects and compared these two methods. Based on the time taken to complete the driving experiment task and the results of the questionnaire, it was found that the proposed method is easier for the operator to use and more convenient to operate than the comparative method.

Key words: Mobile Robot Operation, Spatial Orientation, Mixed-Age Play, Playware, Virtual Reality

1. はじめに

1.1 背景

日本を含む世界の多くの国では少子高齢化が進展しており、それを起因とした様々な社会問題が生じている。その中でも認知症患者の増加、虐待を受けている子供の増加の問題は深刻である。

介護師を含む医療従事者の不足が進んでいる中、内閣府の推計によると日本国内の全人口に対する65歳以上の人口の比率は、2060年に約40%になるとされている[1]。また厚生労働省の推計では、国内の65歳以上の人口に対する認知症患者の人口の比率は、2060年に約34%になると予想されている[2]。両方の推計を合わせると、国内の全人口に対する認知症患者の人口の比率は、2060年に約12%まで増加することになる。

また、国内の児童相談所での児童虐待の相談件数は1990年度から28年連続で増加を続けており、2018年度には159,850件の相談があった

[3]。直近15年間では、虐待による死者数が毎年約60人から150人存在している[4]。

本研究では、高齢者と子供が一緒に遊べるPlaywareを開発し、両者がコミュニケーションをとる機会を増やすことで上記の問題の低減に貢献することを最終目標としている。Playwareとは、Jessenらによって提唱された概念で、使用するユーザに対して遊びと楽しみの経験を与えるソフトウェア、ハードウェアの総称であり[5]、ゲーム等がこれに含まれる。高齢者と子供のコミュニケーションを促進するPlaywareを考える時、テレビゲームのようにプレイヤーが画面に向かって遊ぶ形式であると、遊ぶ相手の表情や身体を見てコミュニケーションをとらない。そのため、スポーツの様に向かい合ってお互いの表情が見えやすい形式で遊べるもののが望ましいと考えられる。しかしスポーツそのものであると、高齢者は身体的に障害を抱えていることも多いため、子供と同じように自分の身体を使って遊ぶことはできない。そこで、筆者は自己を



図1 操作方向と進行方向の不一致

投影したロボットを操作することで高齢者と子供が対等に遊べるロボットサッカーゲーム等が適切であると考えている。

1.2 目的

高齢者と子供が一緒に遊べるロボットサッカーゲームの開発にあたり、プレイヤーには機器の操作が苦手な人も多いため、直感的で分かりやすい操作方法の実現が不可欠になる。サッカーロボットの操作でまず必要になるのが、ロボットの移動である。ジョイスティックやゲームコントローラを利用してロボットを移動させるのが一般的であるが、ロボットがサッカーコート上を動き回る際、ロボットが回転してロボットの向きとプレイヤーの向きが一致しなくなることがある。この時一般的な操作方法ではプレイヤーから見たコントローラの操作方向とロボットの進行方向が図1のように一致しなくなるが、これがユーザにとってロボットを思い通りに移動させづらい原因になると予想される。

そこで本研究では、ロボットが回転してもコントローラの操作方向とロボットの進行方向が一致する操作手法を開発し、それらが一致しなくなる一般的な操作手法との比較実験を行った。

2. 関連研究

2.1 高齢者向けPlayware

ゲームは高齢者の余暇を楽しく過ごすため、ソーシャルインテラクションの機会を増やすため、身体および認知機能の維持向上のために良い役割を果たすと考えられている[6]。高齢者は、視聴覚、身体運動、認知機能が若い時より低下しているため、高齢者向けのPlaywareの設計ではこれらを十分に考慮する必要がある[6]。

先行研究として高齢者の身体運動を促進するPlaywareの研究がされている。逃げ回るロボットからボールを奪い取って、ロボットにボールを返して受け取らせるもの[7]や、自宅で遠隔地の友人とヨガの練習状況を共有できるもの[8]が開発されている。他に上肢のリハビリテーションを目的として、2人の患者が得点を競えるモグラ叩きをモチーフにしたLEDボードを使ったものも開発されている[9]。Hansenらの研究[7]では、ロボットが杖や車椅子を使用している人も含む運動機能の異なるそれぞれの高齢者の動きを分析し、各プレーヤーに合わせて適応的に難易度を変える機能を実装している。高齢者は身体能力や認知機能のばらつきが子供と比べて大きいため、本研究で今後ロボットサッカーゲームを開発するにあたって、このような機能が重要になると予想される。

2.2 複数の年齢層が一緒に遊べるPlayware

Khooらは、子供と高齢者が体を動かして一緒に遊べ、他の家族も遠隔から仮想プレイヤーとして参加できるインベーダーをモチーフにしたPlaywareを開発している[10]。このシステムでは、インベーダーとディフェンダーの2つの役割にプレイヤーを分け、床型のタイル状に並べられたLEDディスプレイの上で各プレイヤーが動作する。ディフェンダーはインベーダーに向かってビームを放つことができ、インベーダーにヒットすると効果音の出力や得点の更新がされるようになっている。このシステムにおいては、高齢者や子供の身体機能や認知機能の違いを考慮して、高齢者の放つビームの速度を子供のものより速くするなど、調整可能なパラメタをいくつか用意している。これらの研究のように、本研究で今後開発するロボットサッカーゲームでは、高齢者間、高齢者と子供の間の身体機能、認知機能の差を埋めて、幅広いユーザが楽しめる機能の実装が重要である。

2.3 ロボットサッカーゲーム

ロボットサッカーゲームとして、株式会社タカラトミーがSoccerBorg[11]を、株式会社ヴィストンが赤外線リモコン式サッカーロボット[12]を開発、販売している。両製品ではコントローラを使ってロボットを左右に旋回、前進、後進させることができる。また、SoccerBorgではキックしてシュートする機能を有している。しかしこれらは本研究の手法と異なり、ロボットの移動の操作方法では、図1のようにコントローラの操作方向とロボットの移動方向が一致しなくなる

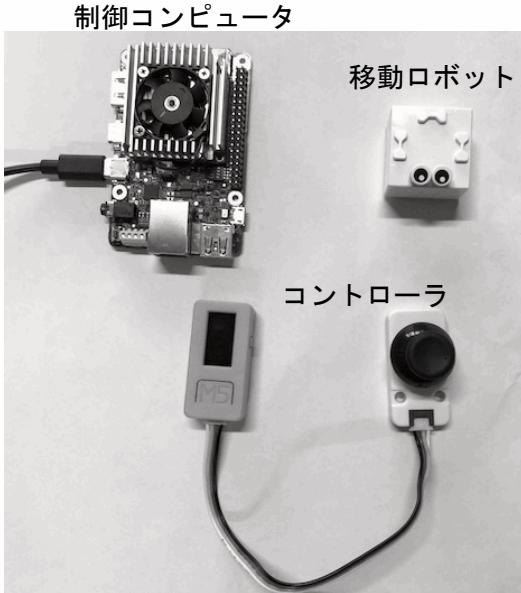


図2 システムの構成

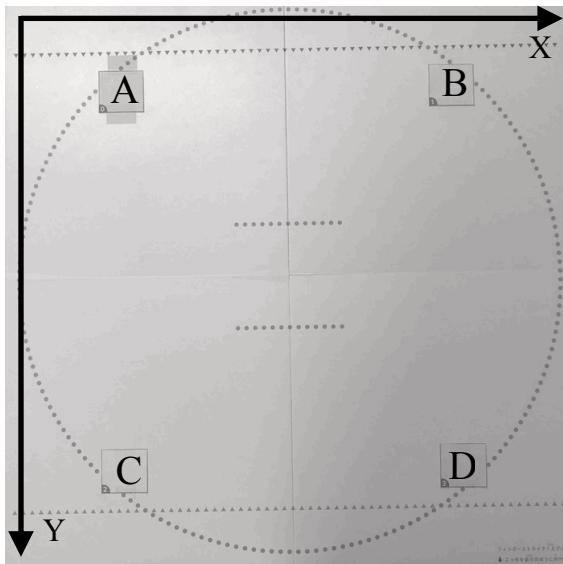


図3 ロボットの走行グラウンド

場合があり、移動の操作性の難易度に課題が残されていると言える。

3. システムの概要

3.1 システムの構成

本システムの構成を図2に示す。本システムでは、移動ロボットとしてソニー株式会社のtoioを使用した[13]。ロボットには向きが分かるようにするためにLEGOの目を取り付け、図3の走行グラウンド上を移動するものとした。コントローラには、ESP32を搭載したM5Stack社製のRISC-VベースのマイコンであるM5StickC[14]に、同社製のI2C Joystick Unit[15]を接続して実装した。

Joystick Unitからスティックの操作方向を示す値として、x座標、y座標の値を取得することがで

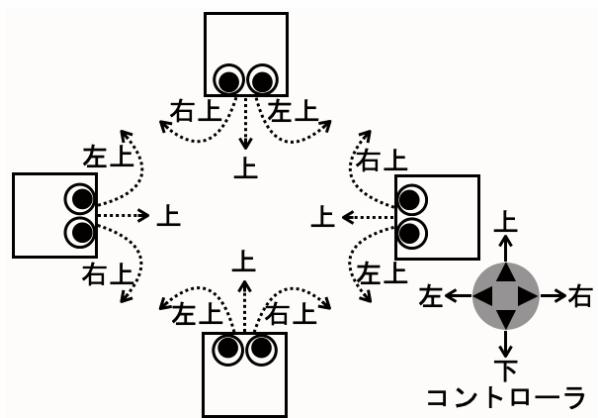


図4 比較手法の操作方向と進行方向の対応

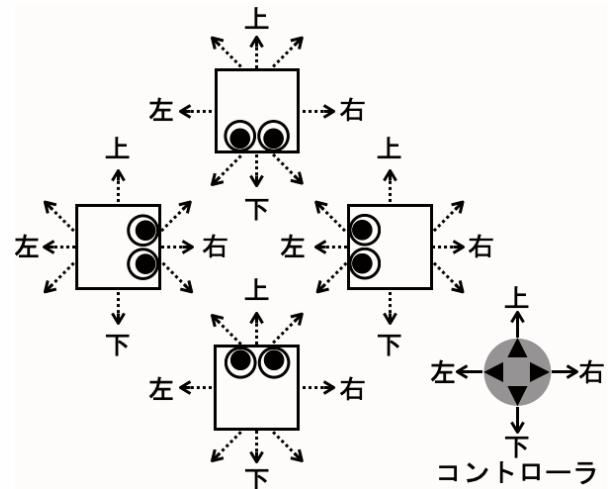


図5 提案手法の操作方向と進行方向の対応

きる。制御コンピュータには、Google社製のTPU(Tensor Processing Unit)を搭載したCoral社のCoral DevBoard[16]を使用した。

制御コンピュータと移動ロボット、コントローラの間の通信は、すべてBluetooth Low Energy(BLE)で行った。制御コンピュータをBLEのセントラル、移動ロボットとコントローラをペリフェラルとし、ペリフェラルからのNotifyでそれぞれのデータを制御コンピュータが読み取り、左右のモータの回転速度を計算し、移動ロボットに対してそれを指令値として送って制御した。移動ロボットの制御周期は約30m Sec.である。制御コンピュータのOSはMendel Linuxで動作させ、プログラムはPythonで、コントローラのプログラムはCによって実装した。toioには通信APIが定められており、Bluetoothでコマンドを送ることで制御が可能である。

3.2 比較手法と提案手法の実装

一般的に用いられている比較手法を図4に、本研究の提案手法を図5に示す。両手法においてコントローラの操作者は、図の下のロボットの手

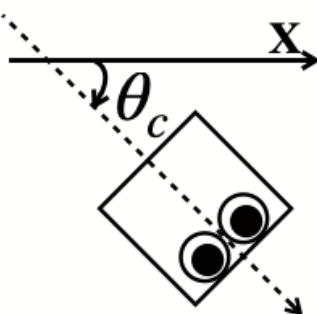


図6 走行グラウンド上でロボットの角度

前の正面に存在し、コントローラは図の下のロボットと上下左右の向きが一致した状態にして操作するものとする。また両手法において、ロボットの左右の車輪は前方向のみに回転させ、後方向には回転させない。すなわちロボットはロボットの目の方向に常に移動する。左右の車輪の回転速度を調整することで、直進以外の方向に移動できるようにした。

比較手法は、一般的なラジコンカー等で用いられている方法で、コントローラを真上に操作するとロボットはロボットから見て直進方向に進む。コントローラを左斜め上に操作するとロボットはロボットから見て左回りに旋回しながら進み、右斜め上に操作するとロボットから見て右回りに旋回しながら進む。この手法では、コントローラの操作者とロボットの方向が一致している時は、コントローラの操作とロボットの進行方向が一致する。しかしそうでない時は、操作者は頭の中でロボットを移動させたい方向と、コントローラの操作方向の対応づけを行う必要がある。この手法はゲームやラジコンカーの操作に慣れているユーザにとっては容易であるが、そうでないユーザ、特に高齢者の多くにとっては難しいことが予想される。

それに対して提案手法では、移動ロボットの姿勢がどのような場合であっても、コントローラの操作方向とロボットの進行方向が一致する。直進以外の方向に進む時には回転移動しながら前進し、コントローラで指示した目標の角度に到達したら回転移動をやめて直進を続けるようにした。

toioは走行グラウンドのマーカーを読み取る光学式センサ、前転、後転できる左右の車輪とそれらを個別に制御するモータ、6軸の慣性センサを搭載している。コントローラの操作方向とロボットの進行方向を一致させる場合、ロボットの車体の角度の計測が必要になる。図3の専用の走行グラウンド上には特殊なパターンが印刷さ

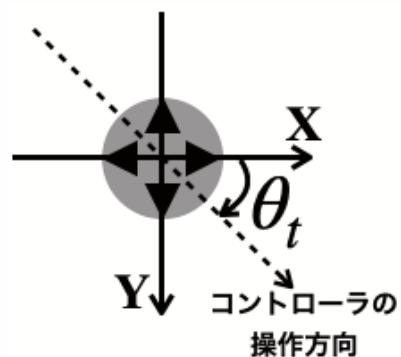


図7 コントローラが計算する角度

表1 比較手法の車輪回転速度の計算方法

Comparative method: Calculate M_r, M_l
if $\theta_t \leq \pi$ then
$M_r \leftarrow 0$
$M_l \leftarrow 0$
else if $toDeg(\theta_t) < 255$ then
$M_r \leftarrow 50$
$M_l \leftarrow toDeg(\theta_t - \pi) \div 90 \times 40 + 10$
else if $toDeg(\theta_t) > 285$ then
$M_r \leftarrow (toDeg(\theta_t) - 270) \div 90 \times 40 + 10$
$M_l \leftarrow 50$
else
$M_r \leftarrow 50$
$M_l \leftarrow 50$

れどおり、toioはそれを光学式センサで読み取ることで、走行グラウンド上のx座標、y座標、車体の角度を検出することができる。x座標、y座標の基底のベクトルの向きはそれぞれ図3のX、Yの通りである。また車体の角度は、図3のように時計回りに0から 2π まで計測される。一般的に、エンコーダによる車体の角度検出方法は誤差が蓄積される。そのため専用の走行グラウンドを用いる必要があるもののtoioの手法は有効である。また他の手法としてx, y, zとroll, pitch, yawの6軸の慣性センサと3軸の地磁気センサを用いて誤差の蓄積を無くす角度検出手法[17]も開発されているが、それらと比較してもtoioの手法はより簡単に車体の角度検出を実装できる。

比較手法の具体的な車輪の回転速度の決定方法は表1の通りである。ここで、 θ_t を図7のようにコントローラの操作方向とx座標の基底のベクトルとのなす角とする。また、 M_r をロボットの右の車輪の回転速度を示す値、 M_l を左の車輪の回転速を示す値とし、0は停止状態とする。

$toDeg(\theta)$ はラジアンの角 θ を度に変換する関数、

表2 提案手法の車輪回転速度の計算方法

```

Proposed method: Calculate  $M_r, M_l$ 
if isControlling then
    if toDeg( $|\theta_r - \theta_t|$ ) > 15 then
         $M_r \leftarrow 50$ 
         $M_l \leftarrow 50$ 
         $R_x \leftarrow \cos(\theta_r)$ 
         $R_y \leftarrow \sin(\theta_r)$ 
         $T_x \leftarrow \cos(\theta_t)$ 
         $T_y \leftarrow \sin(\theta_t)$ 
         $op \leftarrow R_x \times T_y - R_y \times T_x$ 
         $ip \leftarrow R_x \times T_x + R_y \times T_y$ 
         $\theta_{diff} \leftarrow \arccos(ip)$ 
         $diff \leftarrow \text{toDeg}(\theta_{diff})$ 
        if diff > 90 then
            diff <= 90
        if op >= 0 then
             $M_r \leftarrow (1 - diff / 90) \times 40 + 10$ 
        else
             $M_l \leftarrow (1 - diff / 90) \times 40 + 10$ 
        else
             $M_r \leftarrow 50$ 
             $M_l \leftarrow 50$ 
    else
         $M_r \leftarrow 0$ 
         $M_l \leftarrow 0$ 

```

$toRad(\theta)$ は度の角 θ をラジアンに変換する関数とする。

提案手法の車輪の回転速度の決定方法は、表2の通りである。*isControlling*は、コントローラの操作ベクトルのノルムが一定以上であるか否か、すなわちコントローラが操作されている状態か否かを示す値とする。

4. 評価実験

4.1 実験の内容と手順

実験には20歳から25歳の大学生の被験者14名が参加した。うち男性が13名、女性が1名である。実験は1人ずつ実施した。

図3のように走行グラウンド上の4箇所にA, B, C, Dのマーカを付け、各被験者に比較手法と提案手法のそれぞれで、図8、図9に示す4種類の走行を、表3に示す(L1, CM)から(R2, PM)までの計8種類の条件で行ってもらった。図8、図9中のロボットの位置は初期値を示し、そこから1,2,3,4の矢印の順に移動して4つのマーカをたどる。条件L1では(B, A, C, D)の順に、条件R1では(A, B, D, C)の順に、条件L2では(A, B, C, D)の順に、条件R2では(B, A, D, C)の順に移動する。toioのサイズは縦31.8mm、横31.8mm、高さ24.3mmで、各マーカ

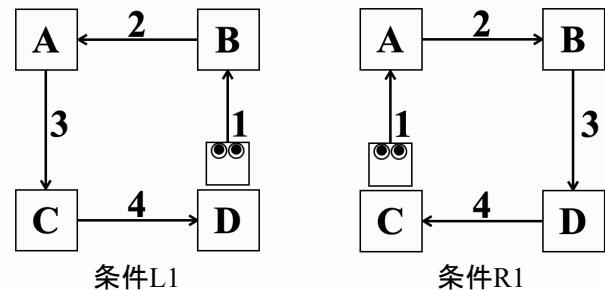


図8 四方に回って走行する実験の条件

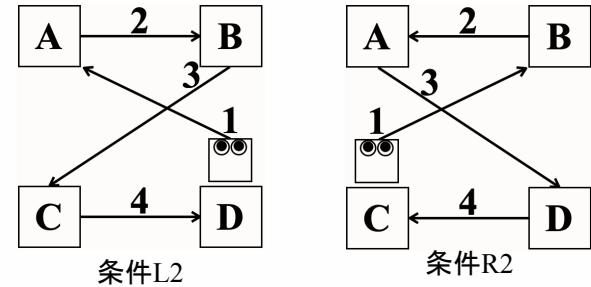


図9 斜めに走行する実験の条件

表3 実験条件の組み合わせ

		操作手法条件	
		比較手法 (CM)	提案手法 (PM)
走行経路 条件	L1	(L1, CM)	(L1, PM)
	R1	(R1, CM)	(R1, PM)
	L2	(L2, CM)	(L2, PM)
	R2	(R2, CM)	(R2, PM)

のサイズは縦横45mmの正方形で、toioのサイズより一回り大きいものを用いた。A-B, B-D, D-C, C-A間のマーカの中心と中心の距離は全て約3250mmに統一し、A-D, B-C間のそれは4900mmに統一した。また、ロボットが直進している時に左右のモータそれぞれに指令値50を指定した時の速度、すなわち走行時の最高速度は約70mm/sである。

各被験者はまず、マーカの付けられていない図3の走行グラウンドの裏面で比較手法(CM)または提案手法(PM)のいずれかの操作方法でロボットの走行の練習を約2分間実施した。その後、練習した操作手法でL1からR2の4つの走行経路条件を実施した。引き続き、最初に実施した操作手法とは異なる操作手法で、走行グラウンドの裏面で約2分間走行練習し、同様にL1からR2の走行経路条件を実施した。なお、比較手法、提案手

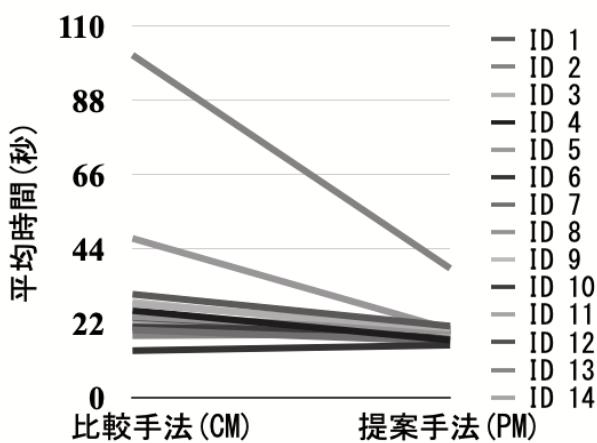


図10 CMとPMの各被験者の平均時間

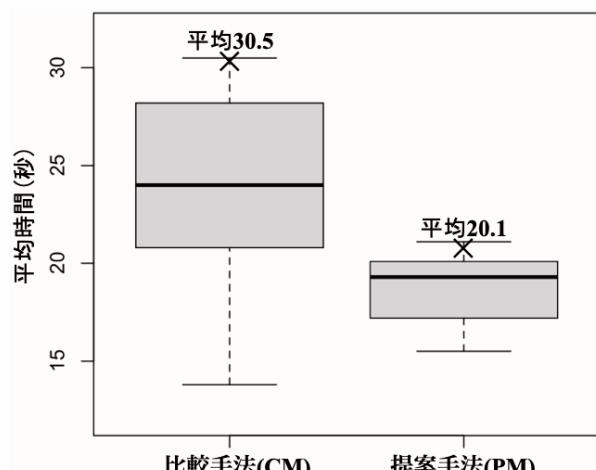


図11 CMの平均時間とPMの平均時間

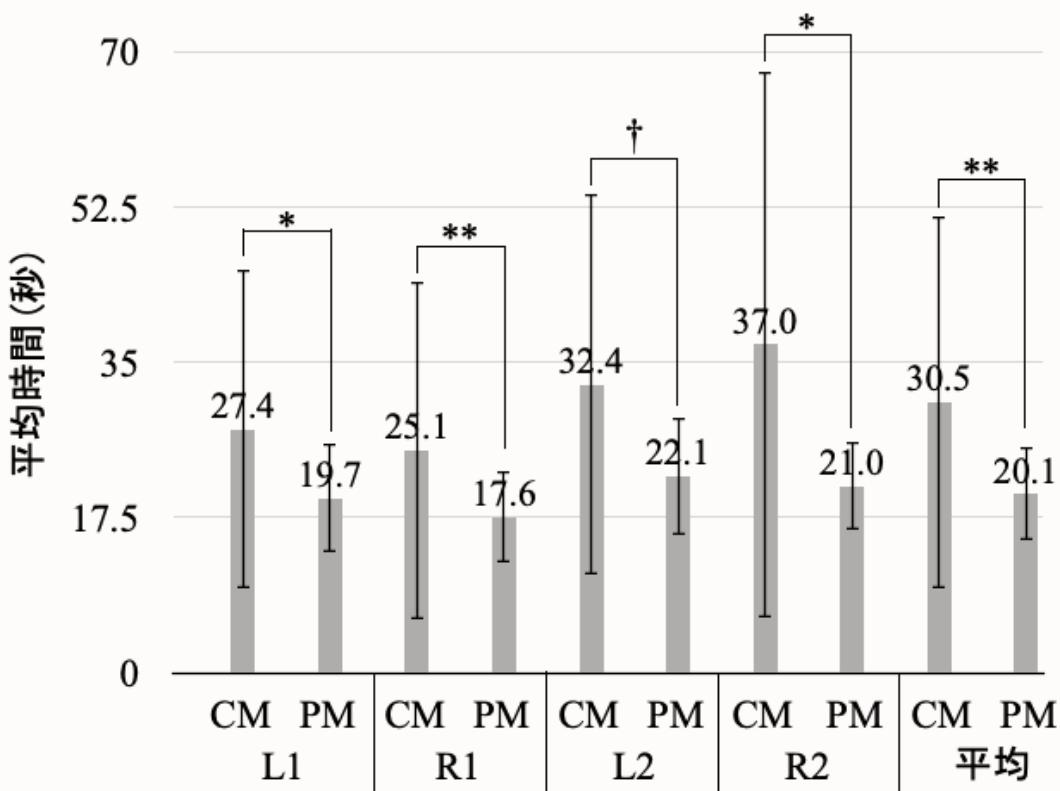


図12 各走行経路条件におけるCMとPMの平均時間

法の実施順序、走行経路条件の実施順序による結果への影響を排除するために、これらの実施順序は被験者全体でカウンターバランスを取った。

ロボットが各マーカーの上に到達するとロボットは電子音を出力するようにした。これによって被験者はそのマーカまで到達できたか否かを認識することができ、到達したことを確実に確認してから次のマーカへの移動を開始した。また被験者が移動経路を忘れてしまわないように、実験中に筆者は次に被験者がどのマー

カへ移るべきかを発声して伝えた。実験終了後、各被験者にアンケート調査を実施した。

以上の手順で、実験開始の音を鳴らしてから、最後のマーカに到達するまでの移動経路、時間をプログラムによって計測し、ファイルに記録した。

4.2 実験の結果

各被験者の比較手法のL1, R1, L2, R2のスタートから終了までの平均時間、および提案手法のそれらの平均時間を図10に示す。14人中12人は

比較手法では、思い通りに操作できましたか？

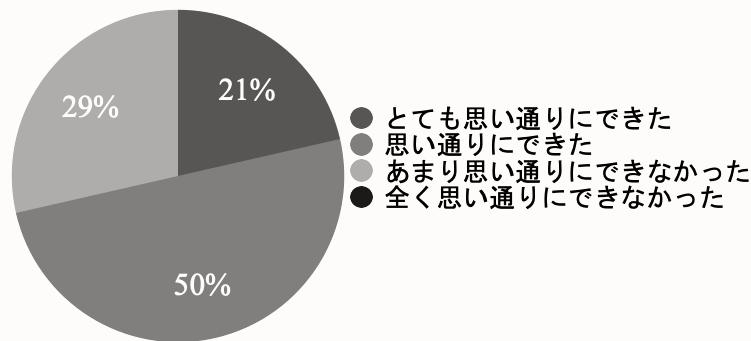


図13 比較手法の操作性についての回答結果

提案手法では、思い通りに操作できましたか？

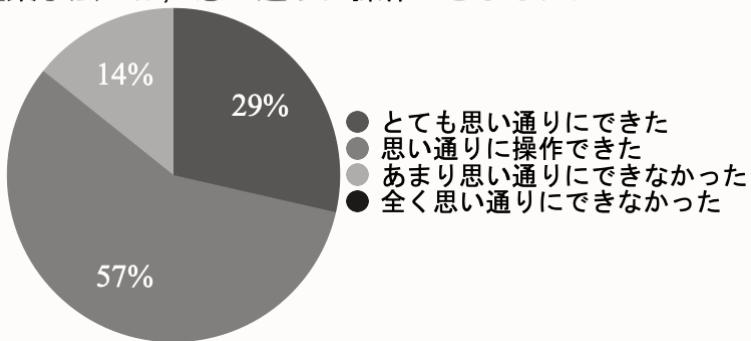


図14 提案手法の操作性についての回答結果

どちらの操作方法が使いやすかったですか？

● 提案手法 ● 比較手法

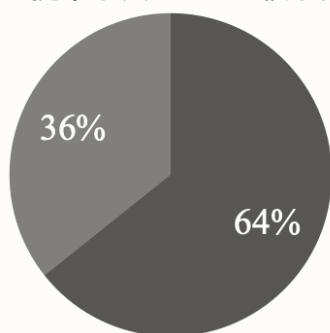


図15 操作性の比較についての回答結果

比較手法よりも提案手法の方が平均時間が短く、他の2人も比較手法と提案手法の平均時間はほぼ等しくなっていた。比較手法の全被験者のスタートから終了までの平均時間、および提案手法のそれを図11に示す。この図からも、比較手法より提案手法の方が全体的に平均時間が短いことが読み取れる。

各走行経路条件の比較手法、提案手法のスタートから終了までの平均時間を図12に示す。この図の一番右には、全被験者の平均時間も追

加している。比較手法と提案手法のデータに差があるか否かを検定するために、まず(L1,CM)から(R2,PM)まで、得られたデータの母集団が正規分布に従っているか否かを、Shapiro-Wilk検定で確かめた。検定の結果、全ての条件は $p < 0.01^{**}$ で正規分布に従わなかった。次にこの結果を踏まえ、ノンパラメトリック検定であるWilcoxonの順位和検定によって図12の各走行経路条件における比較手法と提案手法の中央値に差があるか検定を行った。図12中における ** , * , \dagger はこの検定結果の有意水準を示し、 ** は $p < 0.01$, * は $p < 0.05$, \dagger は $p < 0.1$ を示す。これらの結果から、提案手法は比較手法と比べて、被験者にロボットの移動をより上手く行わせることができる手法であると言える。

アンケート調査の結果を図13から図15に示す。図13、図14の比較からも提案手法の方が、多くの被験者がより思い通りに操作できていたことが分かった。また図15の結果から、提案手法のほうが比較手法より使いやすいと感じている被験者が多いことが分かった。

5. 結論と今後の課題

本研究では、高齢者と子供が一緒に遊んで双方のコミュニケーションの機会を増やすための

ロボットサッカーゲームを開発するために、そのロボットの移動操作手法の基礎的な開発と実験を行った。本研究では、操作者から見た時に、コントローラの操作方向がロボットの進行方向と一致する手法を提案し、実装を行った。そして、一般的なラジコンカーのようにロボットの操作方向と進行方向が一致しなくなる手法を比較手法として実装し、両手法での走行実験を被験者に対して行った。走行実験のタスクを遂行するまでの時間、アンケート結果から、提案手法は比較手法よりも操作者にとって使いやすく、思い通りに操作できることが分かった。

本研究の実験の被験者の年齢は全員20代であった。本研究の被験者とは別の様々な年代のユーザ、特に高齢者、幼児、児童に対して実験を行い、年齢層による実験結果の比較を今後行う。

また、現在筆者は体の動きによるロボットの移動操作手法の研究開発を進めており、この操作手法と本研究で実施した指先のコントローラを使った操作手法の比較実験も今後行う予定である。

謝辞

本研究は、公益財団法人日本ゲーム文化振興財団の令和2年度ゲームクリエイター助成制度（採択課題名：「高齢者と子供を繋ぐロボットサッカーゲーム」）の支援を受けた。

また、本研究の実験に協力して頂いた被験者に深く感謝する。

参考文献

- [1] 内閣府，“平成24年版高齢社会白書(全体版)”，https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/s1_1_02.html
- [2] 厚生労働省，“認知症の人の将来推計について”，<https://www.mhlw.go.jp/content/000524702.pdf>
- [3] 厚生労働省，“平成30年度児童相談所での児童虐待相談対応件数<速報値>”，<https://www.mhlw.go.jp/content/11901000/000533886.pdf>
- [4] 厚生労働省，“児童虐待による死亡事例の推移(児童数)”，<https://www.mhlw.go.jp/content/11901000/000533885.pdf>
- [5] Lund, Henrik & Klitbo, Thomas & Jessen, Carsten. (2005). Playware technology for physically activating play. *Artificial Life and Robotics*. 9. 165-174. 10.1007/s10015-005-0350-z.
- [6] Wijnand Ijsselsteijn, Henk Herman Nap, Yvonne de Kort, and Karolien Poels. 2007. Digital game design for elderly users. In Proceedings of the 2007 conference on Future Play (Future Play '07).
- Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 17–22. DOI:<https://doi.org/10.1145/1328202.1328206>
- [7] Søren Tranberg Hansen. 2011. Robot games for elderly. In Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction (HRI '11). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 413–414. DOI:<https://doi.org/10.1145/1957656.1957808>
- [8] Arun Nagargoje, Karl Maybach, and Tomas Sokoler. 2012. Social yoga mats: designing for exercising/socializing synergy. In Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI '12). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 87–90. DOI:<https://doi.org/10.1145/2148131.2148151>
- [9] Pan Wang, Gerald Choon-Huat Koh, Christian Gilles Boucharenc, and Ching-Chiuan Yen. 2017. Designing Two-player Competitive Games for the Rehabilitation of Upper-Limb Motor Function after Stroke. In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2201–2209. DOI:<https://doi.org/10.1145/3027063.3053069>
- [10] Tat, Khoo & Cheok, Adrian & Ta, Duy-Nguyen & Pan, Zhigeng. (2008). Age invaders: Social and physical inter-generational mixed reality family entertainment. *Virtual Reality*. 12. 3-16. 10.1007/s10055-008-0083-0.
- [11] 株式会社タカラトミー, SoccerBorg, <https://www.takaratomy.co.jp/products/omnibot/soccerborg/>
- [12] 株式会社ヴィストン, 赤外線リモコン式サッカーロボット, <https://item.rakuten.co.jp/robotshop/4562179399652/>
- [13] ソニー株式会社, toio, <https://toio.io/>
- [14] M5Stack, M5StickC, <https://m5stack.com/collections/m5-core/products/stick-c>
- [15] M5Stack, I2C Joystick Unit, <https://m5stack.com/collections/m5-unit/products/joystick-unit>
- [16] Coral, Coral Devboard, <https://coral.ai/products/dev-board/>
- [17] Wang, Yan, and Rajamani, Rajesh. "Attitude Estimation With a 9-Axis MEMS Based Motion Tracking Sensor." Proceedings of the ASME 2016 Dynamic Systems and Control Conference. Volume 2: Minneapolis, Minnesota, USA. October 12–14, 2016. V002T26A002. ASME. <https://doi.org/10.1115/DSCC2016-9700>