

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03263

研究課題名(和文) 完全自律実演ロボットシステムの開発と発展・継続的創造性教育の実践

研究課題名(英文) Development of fully autonomous robot system for demonstration and continuous creativity education

研究代表者

杉浦 藤虎 (Sugiura, Toko)

豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授

研究者番号：70206407

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)： ロボカップサッカー小型リーグのシステムを応用して出張授業に特化した完全自律実演サッカーミニゲームシステムの開発を行った。従来、サッカーロボットの操縦体験を通して、AIの有用性の理解を普及する活動を実施していたが、ロボットがフィールドの隅や端にある場合は人間の補助操作を必要としていた。これをフィールドを囲う壁を弾力性のある素材に変更した上で、ロボットのキックとドリブル機構を併用することで、人の補助をほぼ必要としないシステムを実現した。加えてAIによる自動得点処理、大型ディスプレイによる得点表示、得点シーンでの歓声音の追加などでイベントを盛り上げたほか、体験者からの意見を集め、改良に活かした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではロボットを用いて、AI対人のミニゲームを行う従来システムを改良し、AIの有用性をより楽しく理解・体験してもらう目的でシステム開発を行った。研究期間中、COVID-19禍で2020～22年度は対面形式での実演活動はほとんどできなかったが、2022年度後期に開発システムを実施する機会を得た。久しぶりの実演では歓声音も加わり会場は大いに盛り上がった。本研究の実績として、RoboCupアジアパシフィック大会2021SSLでの3位入賞とロボット学会賞受賞、2021～22年の世界大会各5位、国内大会3位、準優勝などが挙げられる。これらはロボット開発を通じた学生の創造力が発揮された結果と言える。

研究成果の概要(英文)： We developed a fully autonomous demonstration soccer robot system specialized for off-campus classes by improving the system of the RoboCup Soccer Small League. In the past, activities to promote understanding of the usefulness of AI through the experience of operating a soccer robot were conducted, but when the robot was in a corner or at the edge of the field, human assistance was required. However, by changing the walls surrounding the field to an elastic material and using the robot's kicking and dribbling mechanism both, we have realized a system that requires almost no human assistance. In addition, the event was enlivened by automatic scoring processing by AI, score display on a large display, and the addition of cheering sounds at scoring scenes, and this system was evaluated in a questionnaire by the participants.

研究分野：工学教育, 半導体工学

キーワード：ロボカップ 自律移動 ロボット 創造性教育 出張授業 高等専門学校

1. 研究開始当初の背景

従来、ロボカップサッカーロボット実機に付随した制御問題の解決に向けて、理論の適用や解決手法の提案と実現の過程を経て、運動性能向上を図ってきた。また、出張授業に特化したロボットの实演システムの開発と構築を通して、学生の「創造性、問題解決能力等の向上」に顕著な教育効果を上げてきた。加えて、ロボット技術や科学技術の重要性を世間一般の人にわかりやすく解説することで、ロボカップ競技の紹介や普及活動に努めてきた。その結果、2012年のロボカップ世界大会において3位の成績を収めるまでのロボット性能を有することができた。そして、ロボカップ世界大会に継続参加する学生の、英語に対する苦手意識低減やTOEIC点数の向上を確認するとともに、出場資格を得るために提出する英語論文の執筆や査読作業は学生の責任感とチームワークの意識付けに極めて高い効果があることを報告した[文献 豊田高专におけるロボカップ世界大会および出前授業を利用したコミュニケーション教育, 杉浦他(1名), 工学教育 62-1 (2014) pp.66-71., 文献 豊田高专におけるロボットを利用した課外活動と実験実習の実践例, 杉浦他(5名), 工学教育 65-3(2017)pp.64-69.]。2019年時点で、ロボカップサッカー小型リーグに参加するチームは25チーム程度で、3年前と比べほぼ倍増した。

これまでに開発した、AIを応用したサッカーロボットシステムの実演において、多くの観客に自律ロボットに興味と関心を持ってもらえた。図1に2018年度とよた科学体験館出張授業アンケートを示す。

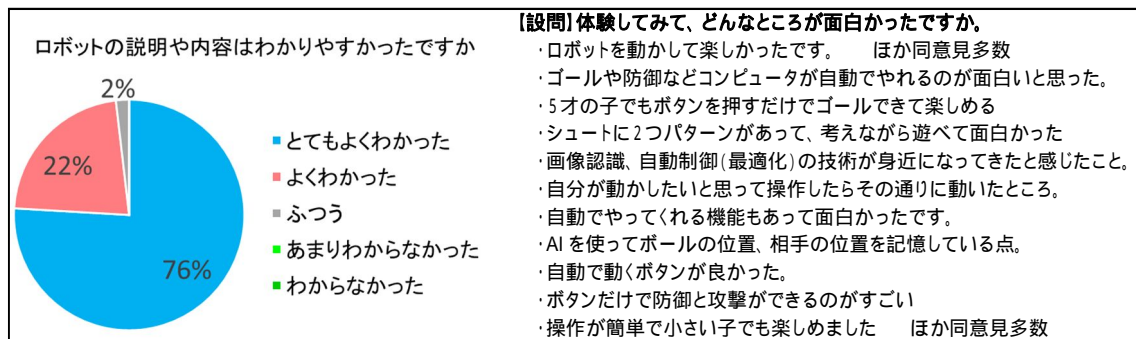


図1 ロボット実演アンケート結果

一方、これまでの実演システム(図2参照)は、木材で囲った長方形フィールドの隅や端で止まったボールには人間が対応せざるをえなかった。なぜなら、ルール上ロボットが円筒形であるため、隅にあるボールには物理的に触ることができなかったこと、また対応可能な位置にあるボールでさえ素早く正確に捕球できなかったからである。そのため、出張授業時には人間が忙しく動き回る必要があった。さらに、出張授業やイベント展示などでロボ



図2 対AIミニサッカーゲーム

カップや自律移動ロボットの紹介・要素技術の解説に力を注いできた一方で、競技会来場者に向けた、ゲームの醍醐味や実際のルールなどを踏まえた見どころの解説はほとんどできていなかった。従来、大会では各チームのロボット性能や戦術の確認が優先され、来場者目線で試合を解説する余裕はなく、自己満足となっていたことは事実である。例えば、サッカー小型リーグでは試合中、ボールがロボットの高さを超えて上がり、ゴールに入ってもノーゴールとなる。技術的価値は理解されても、試合状況を飲み込めない観客の興味は半減していたと思われる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、実機のハードウェアおよび制御性能を高めた上で、人間の補助を必要としない完全自律ロボットによるサッカー実演システムの開発およびロボカップ競技会や出張授業時における音声実況解説(ゲームレポーター)システムの開発を主目的とする。上記システムの開発には、ロボットの独自機構の創造や試作、音声合成やAIによる戦略分析、オートレフェリー(自動判定)機能などの新しい知識や知見が求められるため、学生の問題解決能力を向上させる課題(負荷)として適切であり、学術的な教育効果は高いといえる。

上記目的を達成する過程は、すなわち、学生の創造性能力の継続的な開発機会でもある。ロボットを利用した創造性教育や外国語教育、プログラミング教育は少なくない[松浦執代表、基盤(C)15K00912、坂本洋子代表、基盤(C)16K02888 ほか]が、その多くは市販のロボットを用いたもので、どちらかというソフトウェアに片寄った教材といえる。

本研究はロボットのハードウェアとソフトウェアの両作製過程を通して実践する点に、独自性と創造性がある。実機を扱うことは三次元的な見方(空間認識)や、コンピュータ上で動作する単純なシミュレーション用ロボットとは異なる外乱(摩擦やバックラッシュ、電波障害、ノイズなど)の考慮が必要であり、理想的あるいは仮想的な世界とは異なる点を扱うことに意義や面白さがある。2002年以來、この取り組みを実施し、ロボカップ国内外の大会に出場した卒業生は100名以上いるが、そのうち2割程度が社会でロボットやAIに関わる職種に就いて活躍している。また、本研究は世界大会に参加し、現地で英語を話さなければならない環境に身を置くことで学生の英語コミュニケーション力を高め、そして同世代の技術者と交流を深められる点にも独自性がある。世界大会は欧米先進国のみならず、アジアや南米諸国から多くの参加者があり、日本人としての立ち位置を知る貴重な場でもあり、積極的・継続的に参加することが重要と考えている。

3. 研究の方法

すでに述べたように、出張授業に特化した人対AI(あるいはAI対AI)によるロボットサッカー実演システムは、アンケート結果から高い評価を頂戴している。近年、将棋や囲碁の大会でも、プロの高段位者がAIのソフトに負けることが多くなったが、同様に、実機ロボットの試合でも、ヒトの操作ではもはやAIには勝てない状況にある。本研究では囲碁のAIソフトで知られるAlpha-Goと同じアルゴリズムを用いた意思決定手法による状況判断を行っており、その事実を理解しやすいよう、より適切なシステムへと発展させる。そして、AIの有用性を広く普及させる活動を進めるとともに、AIの現状や問題点、今後の課題についても情報共有し、制御や通信に関する技術の重要性に照らして紹介したいと考えている。また、学生のコミュニケーション力向上を図る機会として、イベント展示等には積極的に参加する。研究に熱心に取り組む学生を、学外に連れ出し、発表する機会を与えることは必要であり、学生に自信と責任感を持たせる活動として継続する。



図3 完全自律ロボットの動作と環境

○2020年度(完全自律ロボットシステムの開発)

初年度はまず、図3に示すように、イベント用フィールドの四隅を円弧で埋め、ロボットがボールを物理的に触れる状態にした上で、ロボットのドリブル機構の改良と制御方法を検討する。ボール保持性能が向上すれば、実際の試合にも極めて有効であり、戦略の幅を広げる大きなメリ

ットとなり得る。そのため、いろいろな機構を3Dプリンタ等で試作し、実験・評価を進め、ドリブル機構の形状、サイズやパワー等の最適条件を見出す。

○2021年度（ゲームレポーターシステムの開発）

一方、実際のロボカップの試合では、どのチームもほぼ同じ外観のロボットを使用しており、どちらが応援すべきチームなのかをすぐに理解することが難しい。また、リーグ固有のルール（1m以上ドリブルしてはならない、ボールのスピードは6.5m/sを越えてはならないなど）がたくさんあり、来場者が試合状況を把握することは極めて難しい。ロボカップ競技ひいては科学技術への関心と興味を惹く上で試合の解説は重要と考える。そこで、各チームに送信されるレフェリー信号に基づき試合状況を認識・判断し、状況解説、ルール説明やチーム紹介を行う、自動ゲームレポーターシステムの開発を目指す。

○2022年度（ゲーム性能および自律パフォーマンス性能の向上）

サッカーロボットの運動性能を高め、ゲーム性能を向上させるとともに、自律パフォーマンスシステムを発展させる。現在、2台以上のロボット同士が数メートル離れた距離でボール回し（パスアンドキャッチ）を連続して数十回以上ミスなくできる（図4参照）。その内容と精度の充実を図る。また、世界大会に参加した学生のTOEICスコアの時系列的な評価・検証を行う。以上の結果を踏まえ、開発成果および教育効果を適宜発表する。



図4 複数台ロボットによるパス回し

4. 研究成果

本研究は、従来実施してきたサッカーロボットによる出張授業で得られた、体験者の意見や要望を踏まえて、完全自律実演ロボットシステムの開発を主目的として実施した。以下、具体的に得られた成果を年度ごとに述べる。

(1) 2020年度は、COVID-19の影響で、対面での活動が困難となり、残念ながら一度も校外での実演活動（RoboCup世界・国内大会を含む）を行えなかった。一方、AIの開発やロボットの新規作製に充てる時間を十分に取れたことで、研究成果を着実に挙げてきた。

まず、協調動作によるロボットの異常箇所診断手法について述べる。サッカーロボットは全方向かつ高速移動による車輪の破損や、バッテリー電圧の低下による運動能力の低減などが必ず発生する。そのため、試合やイベント時、ロボットを交代させなくてはならない事態に備え、常にロボットを注視している必要がある。しかし、特定のロボットの破損箇所をすぐに発見、判断することは難しい。そこで、バッテリーの低下に起因したロボットの動作の鈍化や、ある車輪に不具合が起ると特定の方向に移動できなくなる事象を利用して、トラブルの重症化を未然に防ぐ対策を検討した。車輪異常の判断には、360度全方向に移動できること、また、バッテリー低下の判断には、各ロボットを一定間隔に配置し、高速に協調動作できることを確認できればよい。そこで、複数台ロボットを自転とともに公転させ、全台シンクロナイズさせることで異常箇所診断を行うシステムを導入した。現状、6台までのロボットを一定間隔に保ちながら、円運動のダンスをさせることができる。ロボットに異常が無ければ、ダンス途中でロボットを追加したり、減らしたりしても衝突しないよう、滑らかに等間隔の隊列を組むことができるため、特定のロボットの異常を客観的に素早く判別できるようになった。ダンスは実演に利用できる。

また、SSLにおいて、試合状況を分析し、画面表示と音声案内を行うゲームレポーターシステムを開発した。試合状況はウェブアプリとしてスマホ画面上にリアルタイムで案内でき、状況の

変化は直ちに描画・音声に反映されるとともに、表示言語の選択機能も実装した。それらの成果は SEAJ Journal や国際会議で発表した。

(2) 2021 年度は、COVID-19 の影響によって世界的な半導体不足が生じ、現在に至るまで新規のロボット製作に支障が出ている状況ではあったが、AI やロボットの開発および研究は精力的・継続的に行ってきた。一方、2020 年度に引き続き、2021 年度も大勢の人が集まる対面形式でのロボット実演活動は困難であり、小学校への出張授業を一度行ったのみであった。

2021 年度の成果の一例として、オンラインで行われた RoboCup2021 世界大会サッカー小型ロボットリーグに出場して 16 チーム中 5 位(日本チーム最高位)、対面で実施された RoboCup Asia Pacific 2021 Aichi 大会同リーグに出場して 3 位入賞、同大会での優秀な成果を発揮したチームに与えられるロボット学会賞の受賞などが挙げられる。

2020 年度に設計したロボットの回路基板は机上での正常動作を確認できたため、2021 年度、ロボットに搭載し、その動作を通して十分に制御できることを示した。その上で、予期せぬ状況や劣悪な状況が想定される実際の試合に投入し、その性能を評価した。その結果、(ア) 観客の使用するスマホなどの Wifi 機器の電波が飛び交う中、ロボットと AI サーバ間の双方向通信が実現できていること、IMU (慣性計測装置) のデータをフィードバックすることで従来と比べ、格段に滑らかな直線移動ができること、また(イ) Vision-Blackout (フィールド上空カメラによる位置情報や通信の遮断) が生じた際、ロボット上に搭載したローカルカメラによってロボットが自ら位置を把握し、AI と連携した動作が可能であることを示し、それら(ア)、(イ)をそれぞれ国内学会で発表した。

(3) 2022 年度は、フィールド上空に設置されたグローバルカメラからの位置情報に加え、ローカルカメラの情報をもとにした、ロボットの位置制御の改良を試みた。また、ドリブルやキック機構の改良、キック用ソレノイド充電回路の改善を行い、サッカーロボットとしての運動性能を向上させた。その上で、出張授業用に特化したサッカーミニゲームシステムにおいて、ロボットがフィールドの隅や端にある場合の人間の補助操作を不要にするための完全自律化に向けて開発を進めた。フィールドを囲う壁を弾力性のある素材に変更した上で、ロボットのキック機構とドリブル機構を併用することで、人の補助をほとんど必要としないシステムを実現させた。加えて AI による自動得点処理、大型ディスプレイによる得点表示、得点シーンでの歓声音の追加などを行った。COVID-19 禍で 2020 ~ 22 年度は対面形式での実演活動はほとんどできなかったが、2022 年度後期に開発システムを実施する機会を得た(図 5)。久しぶりの体験イベントでは体験者や周囲の歓声音も加わり大いに盛り上がった。システムの評価はイベント体験者のアンケートから収集した。2022 年度の実績として、RoboCup 世界大会 2022 で 5 位、ジャパンオープン 2022 で準優勝などが挙げられる。これらの成績や成果は、学生と日々議論し、継続的な研究、実験、改良を繰り返すことによって醸成された創造性育成効果が発揮された結果と言える。



図5 2022年度再開された体験イベント

今後はまだ課題の多い通信・制御系の性能を向上させること、IMU のデータを有効利用することでロボットの滑らかな走行移動を実現させること、ロボットに搭載したローカルカメラによってロボットが自ら位置を把握し、AI と連携した動作を実現することなどの対策を予定しており、2023 年度中に学会発表の予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Daichi Miyajima, Kosei Naito, Hayato Mitsuda, Kazuaki Harada, Mizuki Nonoyama, Ryo Shirai, Futa Sato, Ryuto Tanaka, Yota Dori, and Toko Sugiura	4. 巻 -
2. 論文標題 KIKS Extended Team Description for RoboCup 2023	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2023/02/2023_ETDP_KIKS.pdf	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ryoma Mitsuoka, Yusei Naito, Yasutaka Tsuruta, Daichi Miyajima, Kosei Naito, Hironobu Suzuki, Ryuto Tanaka, Hayato Mitsuda, Yota Dori, Toko Sugiura	4. 巻 -
2. 論文標題 KIKS Extended Team Description for RoboCup 2022	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2022/02/2022_ETDP_KIKS.pdf	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 A. Odanaka, T. Sugiura, D. Oikawa, T. Tsukamoto, H. Andoh	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Artificial Voice to the Game Reporter System in RoboCup Soccer Small Size League	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Conference on Engineering and Industrial Technology (ICEIT2020)	6. 最初と最後の頁 P74-T4A
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Naito, T. Sugiura, M. Watanabe, D. Oikawa, T. Tsukamoto, H. Andoh	4. 巻 1
2. 論文標題 Study of Decision-Making Algorithm using Monte Carlo Tree Search for RoboCup Soccer Small Size Robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Conference on Engineering and Industrial Technology (ICEIT2020)	6. 最初と最後の頁 P71-T4A
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小田中秋人, 内藤優星, 鶴田泰隆, 光岡稜真, 杉浦藤虎	4. 巻 172
2. 論文標題 ロボカップサッカー小型ロボットの改良・開発に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SEAJ Journal	6. 最初と最後の頁 pp.27-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 内藤優星, 杉浦藤虎
2. 発表標題 RoboCupサッカー小型リーグにおけるモンテカルロ木探索を用いたロボットの意思決定アルゴリズムの構築
3. 学会等名 令和3年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会 4-15
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Naito, T. Sugiura, D. Oikawa, T. Tsukamoto, H. Andoh
2. 発表標題 Study of Decision-Making Algorithm using Monte Carlo Tree Search for RoboCup Soccer Small Size Robots
3. 学会等名 令和3年度国立高専機構第3ブロック専攻科研究フォーラム L-03
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴田泰隆, 杉浦藤虎, 及川大, 塚本武彦
2. 発表標題 豊田高専 RoboCupサッカー小型ロボットのシュート精度向上に関する研究
3. 学会等名 令和三年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会 E3-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 光岡稜真, 杉浦藤虎, 及川大, 塚本武彦
2. 発表標題 豊田高専 RoboCupサッカー小型ロボットの新型回路基板の開発
3. 学会等名 令和三年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会 E3-4
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Odanaka, T. Sugiura, D. Oikawa, T. Tsukamoto, H. Andoh
2. 発表標題 Development of Game Reporter System in RoboCup Soccer Small Size League
3. 学会等名 令和2年度第3ブロック専攻科研究フォーラム G2 (2021.03.02)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関