

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01000

研究課題名（和文）人工知能を応用したサッカーロボットの操縦およびパフォーマンス体験システムの構築

研究課題名（英文）Development of the soccer robot using AI system and its demonstration

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） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、人工知能を応用したコンピュータ対人間の対戦サッカーシステムの開発およびデモンストレーションシステムの構築を目的として行った。

まず、ノートPC1台で実施できるシステムを構築し、出張授業に利用した。特に子供でも楽しめる工夫や機能を取り入れた。すなわち、対戦相手を人間とAIから選び、AIのシュート精度や防御精度を対象年齢に合わせて設定できる仕様にした。次に、AIを用いたロボットの意思決定アルゴリズムの導入のため、ニューラルネットワークとモンテカルロ木探索を組み合わせたシステムを構築した。さらに、ロボット複数台による、ボールのスムーズなパスプレイを実現させ、連携（協調）動作も実現させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではロボカップサッカー小型ロボットを用いて、人工知能（AI）対人でミニゲームを行うシステムの開発を行い、小中学校への出張授業や県内外でのイベントに使用した。子供を含む一般市民にAIの有用性を理解・体験してもらう機会の提供は、科学に対する興味を引き出し、より快適・安全な生活をおくる上でのきっかけを与えた。

研究期間中、年10回程度実施し、体験者からは「画像認識、自動制御の技術が身近になってきたと感じた」「操作が簡単で小さい子供でも楽しめた」など高い評価を得た。また、ロボカップ世界大会に出場した研究補助学生の英語運用能力（TOEIC点数）を追跡調査し、本研究の教育効果を確認した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was to develop a computer-to-human soccer system using artificial intelligence and to construct a demonstration system.

First, we built a system that are able to be demonstrated with a single notebook PC and used it for out-side events. In particular, it incorporates functions that can be enjoyed even by children. That is, the opponent is selected from humans and AI, and the accuracy of shooting and defense ability for AI can be set according to the target age. Next, in order to introduce a decision-making algorithm for robots using AI, we constructed a system that combines neural networks and Monte Carlo tree search. Furthermore, the smooth pass-play of a ball was successfully realized by multiple robots, and a cooperative action was also realized.

研究分野：工学教育

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

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ロボカップへの参加は、1) 機械設計(3DCAD と物理シミュレータによる強度計算, 3D プリントや 3D 切削機の使用), 2) 人工知能の高性能化(高速な経路探索手法, 細かいパスをつないだ敵陣への攻め・協調した堅い守りの判断手法, 双方向無線通信・周波数変換手法等の確立), 3) ロボット制御の高性能化(ロボット同士の協調動作や切り替え制御理論等を導入した滑らかで高精度な位置決め)をテーマとした学術的效果や, 4) 1~3)を実現・試行する過程を通じた学生の創造性開発, 5) 世界大会での英語運用能力(同世代の海外学生との議論, 英語習得の重要性の認識を含む)の向上等の高い教育効果, が広く知られている(杉浦・渡辺, 工学教育 vol.62 No.1 (2014) pp.66-71, 渡辺・杉浦, 日本高専学会誌 18 (2013) pp.49-55)。

一方,申請者らは, H15年から出場するロボカップサッカー小型リーグにおいて, 国内大会での複数回の優勝(H23, 24, 28年), 世界大会での第3位入賞(H24年)などの実績を残してきた。それ以来, ロボットに関する技術を紹介するための出前授業やイベントに, 積極的に参加するよう心がけてきた。そしてH26年度, 科研費(補助金課題番号26350210)の補助を受け, コンピュータ対一人,

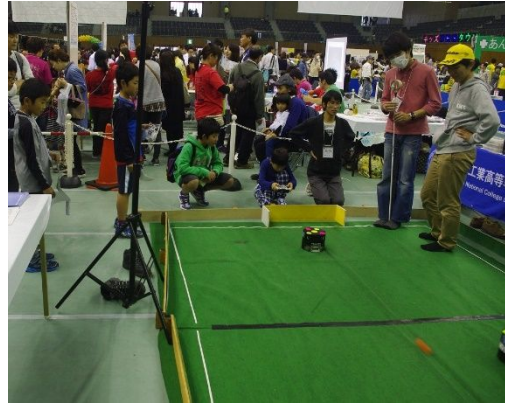


図1 コンピュータ対一人対戦型サッカーシステム

あるいは一人対一人による対戦型ロボットサッカーシステムを開発した(図1参照)。そのシステムは県内各所でのイベントに活用しており, 特に, 小中学生や保護者からはロボットへの興味を引き出す上で好意的な評価を得ている。しかしながら, 現在のシステムは既存の競技用システムを単純に流用しているため, 敵・味方で用意されたPCを介して各1台のコントローラによるロボット操作ができるのみである。そのため, 1回の体験(約5分)で最大2名しか操作できず, 複数台同士の対戦の要望や長い待ち時間の不満等に応えられていなかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では多くの体験希望者の待ち時間を減らし, また保護者とその子供などチームとしてプレイできるようにするため, (1)人工知能を応用した複数台ロボットに対応した対戦システムの開発と, (2)魅力的でわくわくさせるデモンストレーション・パフォーマンスロボットシステムの構築を主目的とする。特に対戦システムではロボットをチームワークで操作させる点に特長があり, フィールド内で互いにぶつからないよう, また攻めるロボット, 守るロボットなどの役割を人工知能で補助し, 楽しめるように工夫する。さらに従来, ロボカップ世界大会前はロボット開発・改良を行う過程を通して参加学生の創造力を, 大会中は英語によるプレゼンテーションや他チームとのディスカッションを通して学生のコミュニケーション力を養成してきた。そして大会後は開発したロボットや制御の仕組みなどを解説する(出前授業)活動を通して, 小中学生向け理科教育の一端を担ってきた。本研究においても, (3)ものづくりの実践教育を通して, 学生の多面的能力の向上・育成に向けた継続的取り組みを行うことを目的の一つとした。

### 3. 研究の方法

目的で述べた複数台ロボットを複数名が個別にコントロールするための管理システムを作成する。実際のロボカップ競技システムはチームに単一の周波数が割り当てられ, 全ロボットへの制御信号はチームの各PCから一斉に同時送信される。各ロボットは受信データの中から自分向

けの信号を取り出し、指示された動作を行う。本研究ではこれを敵・味方ロボットの混在した信号を1台のPCで処理し、複数台のコントローラに対応できるようにプログラムを大幅に書き換える。ロボットは全方向移動できるため、単純にラジコン操作ができるようにしてもその制御は極めて難しい。特に味方同士はチームで協力して競技しなくてはならないのに、各ロボットが衝突しては、操縦者は楽しくないし、観客側も面白くないと思われる。そこで、マニュアルモードに加えて、人工知能を応用したお助けモードを搭載し、例えば「攻める」、「守る」という単純なボタン操作のみで、ロボットが互いにぶつからず、スムーズに連携、協調して対戦ができるよう工夫する。片方が攻めている場合、他方はゴールを守るよう連携プレイができるようにする。以下に具体的手順を述べる。

#### 複数台ロボットによる半自動サッカー競技ロボットシステムの構築

(1) ロボカップサッカー小型リーグは全リーグで唯一グローバルビジョン（上空カメラからの情報共有システム）方式を導入している。つまり、ロボット本体にはカメラがなく、各ロボットは人工知能の戦略に基づいて無線で送られる命令に従って動作するのみである。チームには単一の周波数しか割り当てられないため、全ロボットへ制御信号は一斉同時に送信される。各ロボットは受信データの中から信号を選択し、指示通りの動作を行う。本研究ではまず、これを1台のPCで各チーム2台分（四つのコントローラ）個別に対応できるように、大幅にプログラムを書き換える。具体的には、四つの各コントローラからの信号を受信後、敵・味方の情報を含む、対応したロボット識別番号に応じた制御データ列を作成し、毎秒60フレームの速度で一斉同時に送信することで実現する（図2参照）。この実現のため、補助学生への協力を依頼する。

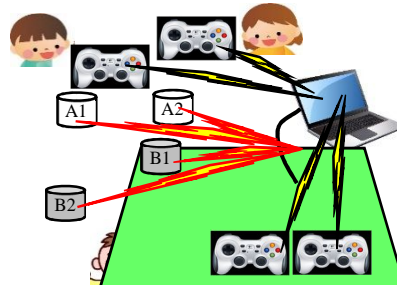


図2 二人対二人対戦型サッカーシステム

また、ロボットは全方向移動できるため、単純にラジコン操作ができるようにしてもその制御は極めて難しい。一方、上空からロボットやボールの位置を逐次把握できるため、人工知能を応用すれば、例えば、常に相手ゴールに向きながら、かつロボットが互いに衝突しないよう、スムーズな協調動作が可能となる。片方が攻めている場合、他方はゴールを守るよう連携プレイで対戦できるようにもなる。さらに幼児でも楽しめるよう単純な「攻める」、「守る」ボタン操作のみで対戦できる工夫も施す。

(2) 従来、出前授業におけるサッカーロボットの操作体験は、競技用ロボットを流用し、実施してきた。今回もロボット本体はそのまま使用する予定であるが、ハードウェアの性能改善や修理は適宜行う。申請者のチームは自前でロボットを設計、開発しており、競技ルールやロボットの仕様変更には柔軟かつ迅速に対応できる。



図3 英語によるコミュニケーションおよびディスカッション(ロボカップ2016ドイツ大会)

(3) 上記(1)、(2)の開発・改良後、プログラムの追加（人工知能に必要な情報取得）を試みる。従来、データ送信はPC側からロボット側への一方向通信しかできていない。ロボット側からPC側への送信が可能となれば、例えば、現在、動作時間数とテスターで把握している、バッテリー残電圧を随時確認できるため、電池交換のタイミングを図る上で非常に有益となる。そして、上記改善後の性能を世界大会に参加して評価する。世界大会では参加学生に英語での質問や議論をノルマとして与え、学生の英語運用能力の向上を図る（図3参照）。

(4) 車輪型ロボット2台対2台の対戦システムを、ヒト型ロボット(図4参照)での対戦が可能となるシステムに改良する。ヒト型ロボットは重心が高く転びやすい上に、モーションの繰り返しで移動するため速度も出ない。さらに歩幅という概念があるため、制御に工夫が必要である。幼児に人気の高いヒト型ロボットの操縦体験システムへの応用を目指す。



図4 二足歩行(ヒト型)ロボット

(5) 構築したシステムはイベントで積極的に活用する(近年は年10回ほど実施)。1回のロボット操縦体験で、希望者4名に1台ずつコントローラを渡し、2台対2台のチームによるサッカー競技をしてもらう。その際、マニュアル操縦とお助け(半自動)操縦の二つのモードを用意し、「人工知能を利用すれば容易に、ぶつからずに操縦できる」ことを理解させ、技術の重要性の認識を広める。ロボットの説明は児童と年齢に近い学生主体で行わせ、学生のコミュニケーション力の養成・向上も図る(図5参照)。多くのイベントに継続的に参加し、科学・技術の楽しさ、素晴らしさを体験者に紹介したい。



図5 学生によるロボットの説明

#### デモンストレーション・パフォーマンスロボットシステムの開発

(6) イベント用に複数台ロボットが衝突しないよう、ボールパスを行うパフォーマンスロボットシステムの開発を行う。例えば、図6に示すように、ロボットが陣形を保ちながら互いにぶつからず、ボールをパスしながら円を描いて移動する演技を披露する。これらの動作の実現には、ロボカップで培った予測制御と人工知能を応用する。知的動作のアピールは、大人にも深い興味と感動を与え得る教材と考えられ、音楽に合わせて踊るロボット等の開発も進めたい。

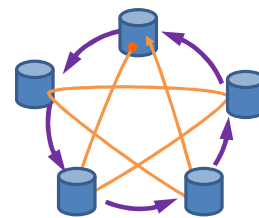


図6 デモンストレーションの例

(7) 上記システムはフィールドの上空にカメラを設置しなければならず、設営と調整に時間(最低2時間)と人手がかかることが難点である。そこでロボット本体に全方位センサを搭載することで、短時間少人数で準備・設営できる簡易実演システムの開発を試みる。

(8) イベントにおける上記システムの評価と検討を行う。操作体験やシンクロナイズドダンスシステムを含む展示物に対して行う来場者アンケートに基づき、内容の修正・充実を図る。

(9) ロボットシステムの開発を通して得られる学生の技術力、創造力、英語力そしてコミュニケーション力を、アンケートやTOEICスコアにより定量的に評価する。

(10) 以上の結果を踏まえ、その研究成果および教育効果を適宜発表する。

#### 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を用いた出張授業で得られた、体験者の意見や要望を踏まえて、人工知能を応用したサッカーロボットの操縦およびパフォーマンス体験システムの改良・発展を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) H29年度は、従来のロボカップ競技で利用しているデスクトップPCの流用をやめ、新規にノートPCで対応できるように、ハードウェア的なシステムの刷新に着手した。これまで、カメラがIEEE1394規格であったため、マザーボードを有するデスクトップPCが必要であった。そこでカメラをUSB3.0規格に変更することでノートPCでも対応できるようにした。その結果、

従来必要であったデスクトップ1台、ノートPC2台の構成を、ノートPC1台で代替できるようになった。しかし、LinuxOS上で認識するカメラの種類が限られ、H29年度末時点でレンズ交換できるカメラが利用できなかった。そのため、カメラを上空3mの位置に設置する必要があり、次年度以降の課題として残された。一方、ソフトウェア的には、10年以上前に作成した、ベースとなるシステムを刷新した。そこでまず、従来の出張授業でできていた機能の再構築を行った。洗練されたベースシステムによる開発環境の向上のおかげで、短時間に移築ができた。出張授業時のサッカーの試合において幼児でも楽しめるよう、「守る」、「攻める」ボタンの導入、互いのロボットがぶつからないよう、制限エリアを設定するなど配慮した。ロボット本体の高性能化とも相まって、操作感のよい新しい操作体験システムを構築することができた。

(2) H30年度は、まず、H29年度中に残されたハードウェア的な課題への対応を試みた。これまでサッカーシステムに使用してきたカメラの映像ソフトは、Linux(Ubuntu)OS上で動作しているが、USB3.0カメラは対応していないことが多い。WindowsやArch、Fedoraなど、Ubuntuとは異なるOS上で機能する製品が少なくない。さまざまな対応を試みた結果、UbuntuOS上での動作確認に成功した。そして、レンズ交換できる高解像度工業用カメラを導入し、コンパクトなシステムへの移築がほぼ完了した。その上で、本研究の主目的である、人工知能と人間との対戦を実現させる機能の導入を目指した。従来、「守る」、「攻める」ボタンの導入、互いのロボットがぶつからないよう、制限エリアを設定するなど配慮してきたが、人間対人間のシステムに特化していたこともあり、拡張性に難があった。そこでH30年度は対戦相手を人間、AI、調整用の三つから選択できるようにし、AIのシュート精度や防御精度を変更、設定できるようにした。体験する対象の年齢層にレベルを合わせる仕様としたことで出前授業では好評を得た。

(3) H31年度は、ロボットの行動決定に関して、AIを用いた意思決定アルゴリズムの導入を試みた。本研究では、囲碁で世界チャンピオンに勝利した人工知能ソフトAlphaGo Zeroを参考に、ニューラルネットワーク(NN)とモンテカルロ木探索(MCTS)とを組み合わせたアルゴリズムを採用した。ボールを持ったロボット(根ノードに相当)からどのロボットへパスすべきか、直接シュートを狙うべきかの決定(子ノードの選択)を、拡張、評価の繰り返しにより行った。各ノードが表す状態への到達可能性の推論には、NNを用いた。例えば、味方へのボールパスやシュートが成功する確率を推定し、最も高い確率を示すパスのルートを選ぶことで、サッカーの戦略への応用が期待できる。H31年度中に、NNの結合層数と評価関数の種類を変えて計算時間や終了状態などを評価し、適切なシステム構成条件を見出した。R2年度中にロボカップのシステムに導入し、予備実験を行い、性能を確認した上で実装する予定である。

さらに、ロボット複数台によるパスプレイを、数十回ほぼミス無くできる性能に仕上げ、デモンストレーションできるようにした。また、敵ロボットをかわしてパスを受け、シュートにいたる連携(協調)動作を実現させ、実際の大会中でその有効性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shin Ohno, Yusei Naito, Toshiki Mimura, Koh Ohno, Yasutaka Tsuruta, Ryoma Mitsuoka, Ryo Sako, Masato Watanabe, and Toko Sugiura	4. 巻 1
2. 論文標題 KIKS Extended Team Description for RoboCup 2019	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <a href="https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/03/2019_ETDP_KIKS.pdf">https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/03/2019_ETDP_KIKS.pdf</a>	6. 最初と最後の頁 1-16
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 内藤優星, 鶴田泰隆, 光岡稜真, 杉浦藤虎	4. 巻 168
2. 論文標題 AIによるロボカップサッカー小型ロボットのミニゲームの実演	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SEAJ Journal	6. 最初と最後の頁 48-50
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 -

1. 著者名 T. Mimura, K. Ohno, H. Yokota, S. Nakayama, M. Watanabe, and T. Sugiura	4. 巻 1
2. 論文標題 KIKS Team Description for RoboCup 2018	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 <a href="https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/01/2018_TDP_KIKS.pdf">https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/01/2018_TDP_KIKS.pdf</a>	6. 最初と最後の頁 1-12
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 K. Ohno, T. Mimura, H. Yokota, T. Ohmura, T. Sano, M. Watanabe and T. Sugiura	4. 巻 1
2. 論文標題 KIKS 2017 Team Description	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 <a href="http://wiki.robocup.org/File:Robocupss12017-final26.pdf">http://wiki.robocup.org/File:Robocupss12017-final26.pdf</a>	6. 最初と最後の頁 1-18
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 野田五十樹, 南方英明, 小林邦和, 杉浦藤虎, 武村泰範, 秋山英久, 岡田浩之	4. 巻 29
2. 論文標題 ロボカップ西暦 2050年を目指して(その1)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌)	6. 最初と最後の頁 2-13
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6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 小田中 秋人, 杉浦 藤虎, 渡辺 正人
2. 発表標題 ロボカップサッカー小型リーグにおけるゲームレポーターシステムの開発
3. 学会等名 令和元年度第3ブロック専攻科研究フォーラムプログラム0B-2 (2020.03)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内藤 優星, 杉浦 藤虎
2. 発表標題 ロボカップ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 令和元年度高専卒業研究発表会講演論文集 pp.33-34 (2020.03.07)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野航, 伊藤和晃, 杉浦藤虎, 山田貴孝, 佐藤惇哉, 城山吉隆, 濱嶋竜也
2. 発表標題 推力定数変動を考慮した反力推定オブザーバによる力覚センシングと力覚制御
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会I4-3
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koh Ohno, Kazuaki Ito, Toko Sugiura, Takayoshi Yamada, Junya Sato, Yoshitaka Shiroyama, Tatsuya Hamajima
2. 発表標題 Force Sensorless Force Control Based on Reaction Force Observer Considering Thrust Constant Fluctuation
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization V1-12 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三村俊貴, 伊藤和晃, 杉浦藤虎, 渡辺正人
2. 発表標題 四輪オムニホイールロボットの運動性能向上
3. 学会等名 平成29年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会F4-1
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横田隼人, 杉浦藤虎
2. 発表標題 2慣性系における負荷加速度情報に基づく負荷変位と負荷外乱の同時推定
3. 学会等名 平成29年度第3ブロック専攻科研究フォーラム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

RoboCup <a href="http://www.ee.toyota-ct.ac.jp/~sugi/RoboCup.html">http://www.ee.toyota-ct.ac.jp/~sugi/RoboCup.html</a>
--



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
--	---------------------------	-----------------------	----