

解説

研究活動とロボットコンテスト (RoboCup)

Research Activity and Robot Contest (RoboCup)

浅田 稔^{*1} 國吉 康夫^{*2} 野田五十樹^{*2} 北野 宏明^{*3*}^{*1}大阪大学工学部 ^{*2}電子技術総合研究所 ^{*3}ソニー CSL
 Minoru Asada^{*1}, Yasuo Kuniyoshi^{*2}, Itsuki Noda^{*2} and Hiroaki Kitano^{*3*}^{*1}Faculty of Engineering, Osaka University ^{*2}ETL ^{*3}Sony CSL

1. はじめに

昨今、ロボットコンテストが花盛りである。筆者の一人が東北大の中野先生とご一緒させて頂いているNHKのロボコンシリーズ(本特集号の解説の一つ)に代表されるように、これらのイベントの目的は、娯楽性を保ちつつも、ロボットを始めとするメカトロニクス教育の一環としての位置づけの要素が強い。ロボット研究者から見た時、研究活動の一環としてのロボットコンテストの形態がありえないかと考え、ロボットのよるサッカー競技「RoboCup」のアイデアに基づき活動を筆者らが開始したのが、1993年の秋ごろである。

本稿では、第1回ロボティクスシンポジウム(1996年5月早稲田大学で開催)の特別セッション「ロボット研究者にとってのRoboCup」[1]での議論をベースとして、まず、「RoboCup」に代表される研究者のためのロボット競技コンテストの意義を研究プロジェクトとしての側面、人工知能やロボティクスの研究テーマとしての側面、そして競技としての側面から検証する。次に、RoboCupの概要を述べ、他のこの種のコンテストと比較する。最後に、今後の活動予定などをのべてまとめる。

2. RoboCupの意義

(a) ロボットの研究プロジェクトとしての意義

ロボティクスの究極の目標は、動的に変化する実世界で知的に行動するシステムの構築法を確立することである。しかしながら、具体的なタスクを想定せずに方法論を議論することは困難である。従って、「実世界で知的に行動」の重要な側面を捉えた(と人々が信じる)標準問題を設定し、それに(様々な変形問題を含めて)多くの研究者

が様々なアプローチで取り組み、より良い手法を編み出したり、相互評価したり、問題を定式化したりすることも必要である。

これまで、ペグ挿入、クランク回し、倒立振り子、混んだ空間内の剛体移動、マニピュレータの運動計画、機械の分解組立、複数把持点による物体操作、その他多くの標準問題が研究され、それぞれに技術の蓄積を見たし、限定された問題に関してはほぼ完全に解かれたものもある。これらの問題は、ロボットの作業に関する我々の理解を豊かにしたし、それぞれに深く、まだまだ研究の余地はある。

しかし、近年のロボット研究では、実時間制御、行動ベース、センサフュージョン、マルチロボット、人間との協調やコミュニケーション、行動学習などがクローズアップされるようになり、「従来型」問題では捉えられない側面が増えてきた。RoboCupの、特に実機部門は、次世代のロボット研究に向けた、新しい標準問題の一つとなることを目指している。

(b) ロボット研究標準問題としてのサッカー

標準問題を設定するという事は、それに関わる研究の焦点を絞り、方向性を与えることで、研究分野を設定することに等しい。良い問題とは、適度に難しく、解の優劣の評価がしやすく、有用な技術要素が生まれるような明確な方向性を有しつつ、手法に過度の制約を課さないものである。

RoboCupが想定する研究課題は、動的・複雑・不確実な実世界での機敏で臨機応変な行動、複数ロボットの柔軟かつ多様な協調行動、最適なコミュニケーション戦略、などである。シミュレーション部門では、純粋にソフトウェアのみでこれらにアプローチすることを想定しているが、実機部門では、ハード、ソフト、通信など多様な手段を総合して接近することを想定している。

サッカーという問題は、1)現状の技術で手をつけられるが最適解は見当もつかないという意味で適度に難しい(ボールを発見してゴールに押し込むロボットは作れるが、うまいチームプレーをして効果的に闘うロボットというのは遠いゴールである。)、2)解の優劣には獲得点数という極め

原稿受付 1996年9月30日

キーワード: Research Activity, Robot Contest, RoboCup

*1 〒565 吹田市山田丘2-1

*2 〒305 茨城県つくば市梅園1-1-4

*3 〒141 品川区東五反田3-14-13

*1 2-1 Yamadaoka, Suitashi, Osaka 565

*2 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki

*3 3-14-13 Higashigotanda, Shinagawaku, Tokyo 141

て明解な評価基準がある, などの良い性質を持っているが, それらに加え以下の明確な研究指針がある.

- センシング: ボールや敵ロボットという, 予測や制御が完全にはできないものを相手に行動するため, これらの振舞いを常時, 実時間で観測しなければならない. 自分の周囲の広い範囲を知覚でき, 多数のロボットの区別や隠蔽に対処でき, 動きや位置関係などを素早く認識する機能が必要とされる. このような知覚機能は, ロボットの応用範囲を広げる上で重要な技術要素と考えられる.
- 機敏な運動性能: 急激な加減速や方向転換, 高速走行, 安定性, ボールのキックやトラップの器用さや強さ, など様々な運動性能が要求される. これらは相互に干渉する. 例えば, キック力を強くすれば器用さを出すのは難しくなり, 両方を達成しようと機構剛性をあげれば重量やエネルギー消費が増加して他の運動性能に響く. これに, ケーブル使用の禁止や重量制限などの制約も加わる. 従って, 個々の運動性能の高度さだけでなく, 全体としてのバランスが要求される.
- 多様な状況と行動: 問題設定自体は単純であるが, ボール, ゴール, プレーヤの位置関係や相対運動とゲームの文脈に応じて非常に多様な状況が生じ, 各々の状況に応じて, 適切な行動は異なる. ボールに群がる「団子サッカー」以上のレベルを目指すなら, 状況の分析と戦略の選択・修正, 仲間との最小限のコミュニケーション, 練習を通じたチームプレー獲得など, 単純な反応行動を越える能力が必要となる.
- 実時間性: ボールや他のロボットの動きに従ってゲーム状況は素早く変化するので, じっくり状況分析したり計画立案したり打ち合わせをしたりしている暇はない. 余裕がなければ瞬時の判断でボールを蹴ったり, ある程度フリーであればドリブルしながら状況好転をまったり, 仲間と予測的に同期して然るべき時に然るべき位置につくよう行動したり, 状況に応じて様々な実時間性に対処する必要がある.

更に, ロボットの構造, 運動, 制御などの方式についての制約は必要最小限にとどめているので, 同じ性能を達成するために, ハードからソフトまでを総合して自由に追求できる. 例えば, ボール操作の信頼性を上げるためには, 機構の工夫, センサの工夫, 制御の工夫, それらの融合方式, などいろいろな方法が有り得る. この点が, ロボティクスの本質であると考え (センシングについては, 視覚の比重が突出するが, これは実世界で動くロボット一般に共通する事情と考える.) さらに, 自律性の度合いについても, 一定の制約のもとで遠隔操作の混合を認めており, 様々なレベルが設定できる.

(c) 競技としての意義

先にも述べたように, 解の明確な評価基準として獲得点数を挙げたが, 実世界でのロボットの競技の面からみると, 必ずしも望ましい技術が競技に勝つ条件となるルールは作れない [2]. 即ち, 「勝つ」ための技術は, 「相手の裏をかく戦術」を身につけることであり, 以下はその例である.

相手に見つからないように背景と同じ色のロボットとする. 相手が視覚で相互の情報交換をしている時, それを強力な光等で邪魔する. 相手が電波で互いに通信している時, 妨害電波を出す. 相手の (自分を見つけるための) センサが超音波を使っていればこちらから超音波を出してそのセンサを妨害する. TVカメラを使っているとすればレーザービームを放射し相手のTVカメラのレンズを越えて相手の撮像面の動作を破壊する. 自分自身のモータを回すために大電流をスイッチングして, まわりのロボットのエレクトロニクスに誤動作を生じさせる.

実機部門のルールは, 故意と思われるものを想定できる範囲で除外しようとしているが, 故意か否かの判断は着きにくく, 紳士協定に依存するしかない. それでも, 盛り込む技術のアイデアが結果として相手の行為 (通信, 観測を含む) を阻んだ場合などが想定され, 慎重に協議してルールを定める必要がある. 現在のところ, 実機で研究を実施しているグループが, 互いに競技を実現できる環境設定をベースとしたルール作りをしているところである.

3. 競技の概要

3.1 実機部門のルール

RoboCupの実機部門は, スキルセッションとゲームセッションの2部門からなる.

スキルセッションでは, 対戦は行わず, 各チームごとに, 1台ないし数台のロボットを出場させ, ドリブル, シュート, ディフェンス, パスなどの技を披露する. 実技に先立ち, 各チームの代表者は, 披露する技のセールスポイントについて, 5分間の持ち時間でプレゼンテーションする. なお, 本セッションでは, ロボットの構造, 機能, コート, ボール等について特に制約はおかず, 出場チームが主催者の了解範囲内で自由にきめることができる. 本セッションの目的は, 新しいロボット要素技術や面白い振る舞いの開発を競うとともに, 広く一般に理解してもらうことにある. ゲームセッションでは, リーグ戦方式でチーム間の対戦を行う. RoboCupでは, 基本的には人間のサッカーのルールにのっとり試合が行なわれる. つまり, 最大11台のロボットからなる2チームがボールを蹴って相手ゴールに入れることを競う. しかし, 人間とロボットの違いや現在の技術レベルを考慮して, ルールに多少の単純化や修正をしている.

実機部門のルールの概略は以下のようになっている。基本的な立場は、ボールの保持、身体の寸法重量、破壊行動等に関する規定によって「つまらない」解を防ぎ、「フェアプレイ」を保証する以外は、できるだけ様々な手法を試みることができるように配慮している。基本ルールは、以下の各項目で明示的に定めない限り、FIFA 公式ルールに従うものとする。尚、ルールの詳細については、RoboCup のホームページを参照して頂きたい。

- (1) 参加ロボットの寸法、重量分布に応じて、フェザー級、ライト級、ヘビー級の3クラスのリーグを開催する。それらに応じて、フィールド等の大きさは FIFA が推奨している大きさの 1/10, 1/20, 1/100 とし、それぞれに応じてゴールの横幅、高さをそれぞれゴールフィールドラインの 1/2, 1/10 に設定している。またボールは、それぞれ直径 25cm, 5cm, 2cm の黄色ボールを使用する。
- (2) チームの構成 1 チームのロボットの総数は最大 11 台とする。また、対戦する両チームの合意により、より少ない数 (3対3 や 5対5) での対戦も許す。1 チームの各ロボットの最大径 (可動部の可動範囲を含む) の合計が (ゴールの幅 - ボール直径) 以下でなければならない。これは、ゴール前に並んで守備するという作戦をとらさないためのルールである。
- (3) RoboCup の主眼は自律ロボットによる対戦であるが、ロボットの集団と人間との間のインタラクションも興味深いテーマである。そこで、ロボットの自律度に応じてペナルティを課して (完全自律ロボットによるチーム:ペナルティなし, 外部の計算機による遠隔操作ロボットチーム:小ペナルティ, 人間により操作されるロボット N 台を含むチーム:大ペナルティ \times N, 人間の操作者が、ロボット搭載センサ以外の情報 (直接目視等) でフィールドの状況を知る場合, 大ペナルティ \times 操作者数。), 遠隔操作及び人間による操作を許す。この場合も、原則として操作者はフィールドから隔離された室内で、ロボット搭載センサ情報のみに頼って操作を行うものとする。

現状では RoboCup の主審は人間が務めることになる。というのは、サッカーにおける判定は主審の主観に負うところが多く、現在の技術では判定の自動化をすることが困難だからである。しかし、このような主観的判定を行なえる主審ロボットを作るといっても、興味深く重要なテーマである。これは将来への課題として残しておきたい。

3.2 シミュレータ部門

実ロボットを用いた競技は、資金、時間、労力のコストから、限られた研究グループしか参加できない可能性がある。特に、ロボットを手がけたことのない情報処理研究者にとっては実機を作り動かすというだけでかなりの労力が

要求され、本来の目的である協調プレーなどの技術開発まで手が回らないのが実状であろう。シミュレーション部門は、そういったコストを削減し、より多くの研究者、グループに門戸を広げること目的としている。

シミュレーション部門では、計算機上に仮想的なフィールドを用意し、参加者の作成したプログラムにより制御されたプレイヤーがそのフィールド上を走り回ること試合を行う。この際、参加者が利用できるプログラムシステムの自由度を大きくするために、仮想的なフィールドとプレイヤー制御プログラムをネットワークを介したクライアントサーバシステムで接続することにした。すなわち、仮想的なフィールド上で物理的なシミュレーションを行うサーバを用意し、各クライアントはサーバに接続して決められたプロトコルを用いてプレイヤーを制御する。このうち、サーバには Soccer Server を用いる。また、プロトコルは UNIX では標準になっている UDP/IP を使った ASCII 文字列をベースにしているので、参加者は UDP/IP のインターフェースを持つプログラミングシステムでクライアントを書くことができる。



図1 Soccer Server のウィンドウ

各クライアントはプレイヤーを 1 人ずつしか制御できない。よって、参加者はクライアントを人数分 (最大 11 人) 用意する必要がある。もちろん、同じプログラムを人数分起動するというのもかまわない。とにかく、各クライアントが論理的に独立して動いており、集中制御されていないことが参加条件になっている。また、各チーム一つずつ、人間が直接操作するクライアントを許している。

Soccer Server では各プレイヤーの潜在能力は均質に設定されている。つまり、プレイヤーの身体的能力に優劣は

ない。よって、シミュレーション部門ではプレイヤーの制御技術の優劣が純粋に競われることになる。また、この制御においても、プレイヤー1人に関する制御のバリエーションは少なく(3種類の制御コマンドしかない)、どちらかという、複数のプレイヤーによるチームプレーの善し悪しがチームの強弱の最大のポイントになるだろう。図1に Soccer Server のウィンドウイメージを示す。

3.3 他のロボコンとの比較及びこれまでのアプローチ

AAAIなどが主催するロボットコンテストや「知能ロボットコンテスト」、「先端口ロボットコンテスト」(本号の解説参照)では、一台の大きなロボットがゆっくりと動きながら、コーヒークップをとってくるといったタスクを想定しているのに対し、RoboCupでは、複数のロボットが迅速に動き、ダイナミックな環境下で協調作業を行うタスクを目指している。この種のコンテストとしては、我々のあとから、韓国のKAISTが、企業の全面サポートを受けて、マイクロロボットによるサッカートーナメント(MIROSOT: Micro-RObot world cup Soccer Tournament)を開催している。MIROSOTでは、提供される共通プラットフォームを用いて、0.9[m] × 1.5[m]のフィールド上で、0.075[m] × 0.075[m] × 0.075[m]の大きさ以内のマイクロロボットが、フィールド上部のTVカメラからの映像を基に制御される。このようなグローバルセンシングは、中央制御的になるので、分散制御を目指す当初RoboCupでは当初禁止していたが、参加を奨励するために、ペナルティをつけて許可している。この点で、RoboCupの方が、より広く、困難なテーマを対象にしており、長期的な視野にたっていると考えられる。

現在までの成果については、シュート等の個々の行動の強化学習、シュート行動とゴールキーパーの回避行動の協調、各行動の状態空間の構成など[3]が、実機の競技部門に向けて、また、スキルセッションでは、人間型のプレイヤーによる競技デモンストレーション[4]、シミュレーション部門では、パスとシュート行動の選択学習[5]などが我々の研究グループで実施されている。また、海外でも実機、シミュレーションリーグへ参加意志表明している大学、研究所が多くある。

4. おわりに

次世代ロボット研究の標準問題として、ロボットによるサッカーゲームロボカップを基に、ロボティクスの研究活動とロボットコンテストの意義を探った。この問題設定は、将来、ロボットが日常世界で広く使われるようになるための重要な技術要素を含むと同時に、ハードから高次ソフト、通信まで含む幅広いアプローチを共通の土俵の上で比較できる。また、様々な達成レベルが有り得て、息の長い研究

テーマになり得ると同時に、ロボット研究者だけでなく、広く一般の人々の関心もひきつけて、ロボット分野に活気が吹き込むことも期待したい。更に、参加者の層を厚くするために、基本機能を有したオープンアーキテクチャの標準ロボットを安価で提供することも必要と考えられ、今後の検討課題である。

本号が読者に届くころには、IROS96でのWSやデモ、ICMASでのWSを得て、ルールがより詳細に決定されているであろう。今年の夏名古屋で開催される第15回人工知能国際会議で併催される第1回RoboCup(8月23-29日)には、今からでも間に合うので、ロボット研究者のみならず、多くの研究者の参加を促したい。尚、問い合わせ先は以下のホームページへ。

<http://www.robocup.or.jp/RoboCup/RoboCup.html>

参 考 文 献

- [1] 浅田他. 特別セッション「ロボット研究者にとってのRoboCup. 第1回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 135-150, 1996.
- [2] 松原, 太田, 浅間, 油田. パネル「ロボット研究者にとってのロボカップ」ポジションペーパー. 第1回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 151-152, 1996.
- [3] 浅田. 特集 ロボカップ 3. ロボットプレーヤの感覚と学習. *bit*, Vol. 28, No. 5, pp. 37-43, 1996.
- [4] 稲葉. 特集 ロボカップ 4. 人間型ロボットプレーヤのシステム環境. *bit*, Vol. 28, No. 5.
- [5] 野田, 國吉. 特集 ロボカップ 2. シミュレーション部門とSoccer Server. *bit*, Vol. 28, No. 5.

浅田 稔

本号??ページ参照

(日本ロボット学会正会員)

國吉 康夫

本号??ページ参照

(日本ロボット学会正会員)

野田 五十樹

1987年京都大学工学部卒業。1992年同大学院博士後期課程修了。現在、通産省電子技術総合研究所主任研究官。博士(工学)。神経回路網、マルチエージェントシステムの研究に従事。

北野 宏明

1984年国際基督教大学理学科物理専攻卒業。京都大学博士(工学)。1988年より、Carnegie Mellon Universityにて、Visiting Researcher。現在、ソニーコンピュータサイエンス研究所シニア・リサーチャー。