

RoboCup シミュレーション エージェントの能力とワールドモデル

鈴木隆志 栗田英明 竹内郁雄

電気通信大学電気通信学部情報工学科

E-mail: {suu, kurita}@takopen.cs.uec.ac.jp, nue@nue.org

概要

現状のRoboCupサッカー・シミュレータ部門は、公式シミュレータであるサッカーサーバの頻繁な仕様変更に従従するための経験を積んだ歴史のあるチームに有利となっている。新規参入のチームがこれら強豪チームに追い付くためには、短期間でサッカーサーバの仕様に対応しなければならない。そこでこれまでの多くの研究プロセスと異なり、本題の複数エージェント間の協調ではなく、サッカーサーバ依存部分の開発に重点をおいたエージェントの基本能力の向上により、マルチエージェントシステムの性能向上を図った。その結果僅か1年余りで世界チャンピオンに勝利するまでに至った。

Ability and World Model of Soccer Agents in RoboCup

Takashi SUZUKI Hideaki KURITA Ikuo TAKEUCHI

Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

E-mail: {suu, kurita}@takopen.cs.uec.ac.jp, nue@nue.org

Abstract

In the current RoboCup Soccer Simulation League, experienced teams can take advantage for following frequent specification changes of the Soccer Server; novice participants, however, have to struggle to catch up the specification changes in a very short time, thereby they cannot yield a good result on agent cooperation or distributed AI, which is the most important objective of the RoboCup. Our approach is, in contrast to others, to improve individual agent's ability (and thereby improve the team's power) by developing a methodology which enables us to tune our agents to the updated Soccer Server as soon as possible, but which does not involve at present explicit cooperative actions among agents. This simple minded approach made our team within a year or so to be able to win the current world champion CMUnited.

1 はじめに

RoboCup[1] (Robot World Cup Initiative) はグランドチャレンジ[2]の1つのテーマとして、AI (シミュレータ部門) とロボティクス (実機部門) の両面から自律的なロボットの実現を目指して国際的な研究を推進するためのプロジェクトであり、現在サッカー (RoboCup サッカー) とレスキューの2つの問題がある。本論文はRoboCup サッカー・シミュレータ部門に関する研究について述べる。以降、シミュレータ部門と実機部門という用語をRoboCup サッカーに対して用いる。

シミュレータ部門はサッカーをシミュレーションすることで、実機部門のロボットのAI部分の研究を独立しておこなうことと、マルチエージェントシステム[3]の標準問題たるべきことの2つの目的がある。シミュレータ部門のサッカーシミュレーションは、サッカーサーバとサッカークライアントの2種類のシミュレータを使用する。環境のシミュレータであるサッカーサーバに、エージェントのシミュレータであるサッカークライアント2チーム分22個をUDP/IPでネットワーク接続し、サッカーサーバとサッカークライアントの間で、視覚情報や聴覚情報などのセンサ情報と、前進、方向転回、キックなどの動作コマンドをやりとりすることでサッカーサーバ内に用意された仮想競技場でサッカーをおこなう。

サッカーサーバはRoboCupの公式シミュレータであり、実機部門のロボットの進化の反映と、マルチエージェントシステムの標準問題としての洗練のために、メーリングリストでの議論を経て仕様の変更がおこなわれている。シミュレータ部門では、サッカーサーバに対応したサッカークライアントを開発し、実機部門のロボットのAI部分の研究、またはマルチエージェントシステムの研究をおこなう。本論文ではサッカーサーバと環境、サッカークライアントとエージェントという用語を同じ意味で用いる。1995年に開始されたRoboCup サッカープロジェクトは、1997年より毎年一度、研究評価のための国際的な競技会を開催しており、

1つの競技会の終了後、次の競技会までの1年間で1つの研究サイクル (年度) となる。

2 シミュレータ部門が抱える問題

サッカーサーバの頻繁な仕様変更は研究の一般的な評価や、毎年生み出される成果物の利用を困難にしている。

年度初期にメーリングリストで年度末におこなわれる国際的な競技会で使用するためのサッカーサーバの仕様が議論され、仕様が決まる。年度中期にこの仕様に基づいた最初のプロトタイプが開発され、公開される。シミュレータ部門のサッカークライアント開発者はクライアントプログラムの開発の中でプロトタイプの問題点を検出する。サッカーサーバ開発者はこれらの指摘に対処して、サッカーサーバを改善する。このように、サッカーサーバ開発者とサッカークライアント開発者がやりとりすることで徐々にサッカーサーバの完成度が上がっていく。現状ではこのやりとりは国際的な競技会の直前まで続き、問題点が残ったままになることもある。このようなプロトタイピングサイクルを繰り返していくため、サッカークライアント開発者が新しい仕様を満たした最終的なサッカーサーバを入手してその上でサッカークライアントの動作を調整・確認できる期間が短く、新しい仕様に対応することが困難になっている。

このような現状によりシミュレータ部門の国際的な競技会は、新しい仕様にかに短期間で対応できるかという、プログラム開発能力の勝負になっている。

3 目的

本研究はシミュレータ部門において、短期間でチームを強化することと、その後の個々のエージェントの自律や複数エージェント間の協調の研究のための準備を目的とする。そのため、これまでの多くの研究プロセスと異なり、複数エージェント間の協調以前に達成しなければならない、個々の

エージェントの能力向上に重点をおいたチーム開発をおこなった。またエージェントの能力向上のために、個々のエージェントの自律の研究以前に達成しなければならない、サッカーサーバ依存部分の開発に重点をおいたエージェント開発をおこなった。

前述したように、現状のシミュレータ部門は、サッカーサーバの仕様にいかに短期間で対応できるかの勝負であり、この対応に成功することが本題である個々のエージェントの自律や複数エージェント間の協調のために必須である。しかし多くの場合、間違った研究プロセスが採られている。すなわち、エージェント開発において、まず優先されるべきサッカーサーバ依存部分の開発ではなく、挙動が不安定なエージェントの上で自律の研究をおこなっている。またチーム開発において、まず優先されるべき個々のエージェントの基本能力の向上ではなく、複数エージェントによる協調行動の研究を優先している。このような研究プロセスでは短期間でチームを強化することができないばかりか、個々のエージェントの自律や複数エージェント間の協調も期待できない、と我々は考える。

4 エージェント開発

エージェントは大きく、ワールドモデリング、プランニング、スキルの3つの処理と、ワールドモデルと呼ぶデータ構造を持つ。ワールドモデルはエージェントが持つ環境の認識であり、ボールやプレーヤの位置・速度などの情報の総体である。ワールドモデリングは、サッカーサーバから与えられる(誤差を含んだ)センサ情報からワールドモデルを構築する処理と、環境の変化にあわせてワールドモデルを更新する処理からなる。プランニングはワールドモデルから現在の戦術的状態(戦況)を把握し、その戦況で採るべき行動のためのスキルを選択する。スキルはある行動目的を達成するために最適な動作コマンドまたは動作コマンド列を決定する。

シミュレータ部門におけるこれまでのエージェ

ント開発では、ワールドモデリングの開発が重視されなかったり、困難さゆえに敬遠されたりしてきた。また、不完全知覚の影響を多く受けた困難な状況のままでプランニングやスキルの開発がおこなわれてきた。ワールドモデリングの開発が困難な理由はワールドモデリングがサッカーサーバに依存した処理だからである。サッカーサーバの頻繁な仕様変更によりワールドモデリングの処理もその都度大幅な変更を余儀なくされる。だがワールドモデリングによって構築されるワールドモデルの品質が悪ければ、これを参照するプランニングもスキルも本来の効果を発揮できない。ワールドモデルの品質とは情報の精度と情報の量のことを言う。またワールドモデリングによって不完全知覚の影響を減らすことは、プランニングやスキルの開発の困難さを軽減し、結果としてエージェントの生産性を向上させる。

ワールドモデルの品質向上のために、新しいワールドモデリングと、それをおこなう上で特に重要となる視覚情報を能動的に制御するための動作コマンドの利用法を開拓した。

スキルはある目的を達成するために状況に応じた動作コマンド(列)を発行する。スキルは、エージェントの移動のための移動スキル、ボールの移動のためのキックスkill、エージェントとボールの移動のためのドリブルスキルの3つのスキルに分けられる。現状のシミュレータ部門では、移動スキルとキックスkillの開発が不十分なチームが多い。どんなに優れたプランニングをしても、移動スキルとキックスkillの機能が低ければチームの勝利には結び付かない。そこで本研究では、移動スキルとキックスkillの機能強化をおこない、それが本来の効果を発揮するようワールドモデルの品質向上をおこなった。ドリブルスキルは、移動スキルとキックスkillの次の段階で重要となるスキルであると考え、移動スキルとキックスkillの組合せにより実現した。

移動スキルは、目標地点へ最短路で素早く移動するためのスキルで、エージェントを目標地点の方向に向かせる計算、目標地点との間にある他の

プレーヤなどの障害物回避のための計算、目標地点がボールなどの速度をもったオブジェクトの場合の到達地点の予測計算などが重要となる。

キックスキルは、ボールを目標方向へ必要な速度で蹴るためのスキルである。また複数のキックコマンドを連続することでボールを加速させる多段キックの実現は、現在のシミュレータ部門で得点を入れるために、キックスキルには必須の機能となっている。

本研究ではプランニングは単純なものに限定し、エージェント開発において最初に重視されるべきは、プランニングではなく、ワールドモデリングとスキルであるという主張点を明確にすることを試みた。

4.1 新しいワールドモデリング

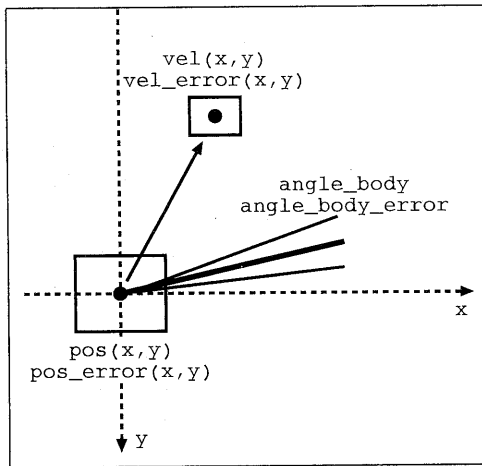


図 1: 情報の拡張

我々の新しいワールドモデリングでは、センサ情報の拡張とワールドモデルの拡張をおこなった(図1)。我々の従来のワールドモデリングでは、誤差の影響を受けた値をそのまま使用していたのでワールドモデルの誤差を減らすことができなかった。これに対して新しいワールドモデリングでは、

誤差の影響を受けた値で表現されていたセンサ情報とワールドモデルを誤差の範囲で表現するように拡張し、ワールドモデルにおけるプレーヤとボールの位置・速度などの誤差を減らした。

すなわち、従来のワールドモデリングでは、偏った誤差が付加されたセンサ情報をそのまま使用していたので誤差の影響が大きかった。新しいワールドモデリングではサッカーサーバ解析によりセンサ情報を誤差の範囲へと拡張でき、その中心点で情報を近似するので誤差の影響の最大値を減らすことができる。

また、従来のワールドモデリングでは、環境は変化していないのにセンサ情報に付加される誤差が変化するので、エージェントは環境が変化したものと認識してしまっていた。例えば、エージェントが移動していないのに、誤差の影響によってワールドモデル上のエージェントの位置が揺らいでしまい、あたかも移動したかのように認識する。新しいワールドモデリングではセンサ情報が誤差の範囲で表現されるので、環境が変化しなければ誤差の範囲も変化せず、エージェントに間違った認識はおこらない。

従来のワールドモデリングでは、同じ情報を示す複数の値が存在すると、どの値を使用すればよいか判断できず、誤差を減らすことができなかった。新しいワールドモデリングでは、同じ情報を示す複数の誤差範囲から重複した部分を新たな情報とすることで誤差の範囲を縮小することができる。

4.2 視覚情報の能動的制御

ワールドモデルの品質を向上するためには、視覚情報を能動的に制御する必要がある。すなわち、必要な情報を自分から最適の方法で取りにいかねばならない。視覚情報の能動的制御のための動作コマンドとして、change_view コマンドと、turn_neck コマンドがあるが、これらを効果的に利用することでプランニングやスキルが必要とするワールドモデル内の特定の情報に関する品質を向上することができる。

change_view コマンド

表 1: change_view コマンド

		narrow	normal	wide
範囲	[度]	45	90	180
間隔	[msec]	80	160	320

エージェントは100msec毎の環境の変化に対して、初期状態で90度の範囲について160msec間隔で視覚情報を得ることができる。change_view コマンドは、視覚情報を得られる範囲と間隔をnarrow、normal、wideの3タイプから選択するためのコマンドである(表1)。正確なボールコントロールを必要とする場合、常にボールの状態の変化を知る必要があり、narrowを選択して視覚情報を得られる間隔を80msecにするのがよい。しかし、相手のオフサイドトラップにかからないようにするには、一度に広範囲の情報を知る必要があり、wideを選択して視覚情報を得られる範囲を180度にするのがよい。このような戦術的な判断に基づいて、change_view コマンドを使い分ける必要がある。

turn_neck コマンド

1999年度のサッカーサーバから、エージェントはturn_neck コマンドによって首を回し、視覚情報を得る向きを変えることができる。例えば、ボールの状態の変化を知りたい場合は、ボールの方向に首を回し、周囲の状況を知りたい場合は、首を適当な速度で左右に振ればよい。

4.3 スキル開発の方法論

我々は、まずサッカーサーバの改造によって完全知覚を可能にしたエージェントでスキルの改善をおこなった。

サッカーシミュレーションは環境の状態空間が広大であり、スキルの設計段階で全ての状況に対応することはほとんど不可能である。このため、開発したスキルを実装したエージェントを動かして問題点を検出するというプロトタイピング的な

方法論をとることになるが、デバッグを実際的なエージェントに実装しておこなった場合、実装したスキルに不具合があるのか、エージェントのワールドモデリングに不具合があるのか判別しなければならない。

本研究で、完全知覚エージェントにスキルを実装して改善をおこなったのは、この問題を回避するためである。またこのような方法で開発したスキルは、不完全知覚のもとでもワールドモデルの品質を向上することで、僅かな調整で十分な性能を発揮した。

4.4 エージェント開発支援ツール soccerscope

前述したように、現状のシミュレータ部門では、短期間でサッカーサーバの仕様を満たしたエージェントを開発することが要求されており、エージェントの生産性を向上することが重要な課題となっている。そこで本研究では視覚的なエージェント開発支援ツールsoccerscopeを開発し、エージェント開発に利用した。soccerscopeはJavaで開発した。Javaの豊富なグラフィック部品を活用することにより、開発支援ツール自身が3ヵ月ほどの短期間で完成したことは特筆に値する。

前述したようにエージェント開発はプロトタイピング的な方法論をとることになる。だがサッカーサーバ付属のシミュレーション表示ツールsoccer-monitorは、試合の経過を知ることができるだけである。これに対して我々の開発したsoccerscopeは、種々の数値情報の視覚化、ズーム機能など、サッカーエージェント開発やデバッグに必要な機能を備えている。これによりサッカーエージェントのプロトタイプの問題点の検出が容易になる。

ズーム機能

フィールドの一部を拡大して表示することで、多段キック等の動作を詳細に観察することができる。実際、多段キックの向上には細かいキック動

作の連繋が必要であるが、このズーム機能なくしては開発が困難であっただろう。

プレーヤの視野の表示機能

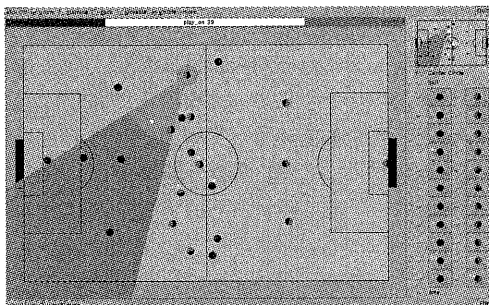


図 2: プレーヤの視野の表示機能

プレーヤの視野を表示することで、エージェントがサッカーサーバからフィールド上のどの範囲の視覚情報を得ているのかが分る (図2)。この機能はturn_neck コマンドとchange_view コマンドを組合せた視覚情報の能動的制御を考案するのに役立った。

プレーヤの世界モデルの表示機能

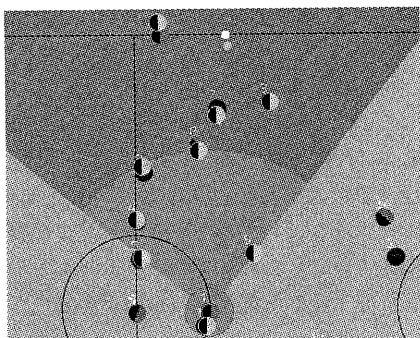


図 3: ワールドモデルの表示機能

個々のプレーヤのその時点でのワールドモデルを表示できる機能である。試合中に実際のゲーム

の状態とワールドモデルを重ねて表示することでワールドモデルがどのくらい正確か (ずれているか) を調べることができる (図3)。これによりエージェントの不具合がワールドモデルのどの情報の品質不足によって発生しているかを視覚的に検出でき、エージェントのデバッグが容易になった。

スタミナの表示機能

スタミナが少なくなるとプレイヤーの動作が遅くなったり、必要なスキルが十分に発揮できなくなる。試合では、スタミナの管理が重要になる局面が多い。スタミナをプレーヤの傍に危険度に応じて色をつけた数値表示することで、クライアントのスタミナ管理が見えるようにした。我々のチームは昨年度からスタミナ管理において、ほかの多くのチームに対して優位性をもっていたが、この機能により、その優位性をさらに高めることができた。

その他の機能

soccerscopeはsoccermonitorの上位互換として一般的なsoccerserverのシミュレーション結果を表示することが可能である。soccermonitorが表示するプレーヤやボールの位置・サイズは正確ではない。これに対してsoccerscopeはプレーヤやボールの位置・サイズが正確に表示できる。これは特にズーム機能を使ったときに、プレーヤとボールの位置関係を正確に知りたいときに役立った。このようにsoccerscopeはsoccermonitorの代わりの表示ツールとしても、優れたものとなっている。

5 チーム開発

本研究では、複数エージェント間の協調以前に必要であると考え、個々のエージェントの能力向上による強化の方針でチーム開発をおこない、国内外の競技会へ参加することで評価した。従来のチームはDango、本研究で作成したチームはDangoEvolution1である。これらのチームは竹内研究

室代表チーム YowAI の名で競技会へ参加した。

5.1 チーム Dango

従来のチーム Dango のエージェントは移動スキルの高さを活かして、常にボールを追いかけるプレーをする。Dango は動的な役割・ポジショニングの変更と効果的なスタミナ管理システムを導入している。またエージェント間通信によってお互いのワールドモデルを通信することでワールドモデルの協調的構築をおこなっている。Dango はその名の通り、チーム全員がボールの周りに密集するスタイルの、いわゆる団子サッカーをおこなう。

5.2 チーム DangoEvolution1

チーム Dango で足りなかったパスの精度をエージェントのキックスキルを向上することで実現した。本研究の狙いに沿い、say や hear などの協調動作を陽におこなわず、動的な役割・ポジショニングの変更の代わりに固定ポジショニングを採用した。また、本来は協調のための高度な判断が要求されるパスも、デフォルト設定したパスコースによりピンチ時のパスを迷わずにおこなえるようにした。このほか、キーパーの作り込み、固定ポジショニングであることを利用した（つまり、そこに味方フォワードがいるはずというルールに基づく）早い前線へのフィード、オフサイドライン突破後のドリブルからの、個人スキルとスタミナ管理のうまさに依存した速攻シュートの3点に的を絞って強化をおこなった。

DangoEvolution1 においては、守備面でも攻撃面でも、動的な協調がおこなわれていないことに注意しておこう。固定ポジショニングとそれに適合した固定的な行動戦術の結果としてもたらされる静的な協調しかおこなわれていない。

5.3 競技会での評価

チーム Dango は春キャンプ 99 で Gemini（東工大）、Kasugabito-II（中部大）と並び国内 3 強となっ

た。12 チームが参加した日本大会 JapanOpen99 では決勝で 11monkeys（慶応大）に延長戦の末敗れ、準優勝となった。福井大学での練習試合を経て、スウェーデンで開催された第 3 回国際大会 RoboCup99（16ヶ国 37 チームが参加）で 7 位タイの成績を納めた。その後に開発されたチーム DangoEvolution1 は、RoboCup99 の上位 4 チームを含む 14 チームが参加した秋キャンプ 99 で、総当たり戦の結果世界チャンピオンの CMUnited99（カーネギメロン大）に 1 点差で敗れたものの 13 勝 1 敗の成績を上げ、事実上の世界 2 位となった。

5.4 現時点での評価

表 2 は DangoEvolution1 の現時点での評価である。RoboCup99 で使用した Dango、RoboCup99 で優勝した CMUnited99、サッカーサーバの改造により完全知覚を可能にした DangoEvolution1 と対戦させた。

対 Dango の大きな得点差からは、ワールドモデルの品質向上による基本能力の大幅な向上の効果がわかる。対 CMUnited99 の成績からは、基本能力の向上によって、優れた協調動作をおこなっている世界チャンピオンとはほぼ互角の性能を達成したことがわかる。対完全知覚 DangoEvolution1 の成績からは、ワールドモデルの品質の不足が平均 2.5 点の差を生んでいることがわかる。しかしワールドモデルのさらなる向上を目指しても、その効果は逓減することが予想されるので、今後は複数エージェント間の協調行動の研究によるマルチエー

表 2: DangoEvolution1 の現時点での評価

勝	敗	分	得点	失点
対 Dango				
10	0	0	20.3(12.0, 25.0)	0.0(0.0, 0.0)
対 CMUnited99				
3	1	6	0.6(0.0, 2.0)	0.5(0.0, 2.0)
対完全知覚 DangoEvolution1				
0	10	0	0.1(0.0, 1.0)	2.6(1.0, 5.0)

得失点は[平均(最小, 最大)]で記述

エージェントシステムの性能向上が課題となること
がこの評価結果から読み取ることができる。

6 結論

本研究ではチーム開発において、シミュレータ部門の本題である複数エージェント間の協調の研究以前に達成しなければならない、個々のエージェントの基本能力の向上をおこなった。またエージェント開発において、シミュレータ部門の本題であるプランニングなどの自律の研究以前に達成しなければならない、優れたワールドモデリングとスキルの開発をおこなった。特にワールドモデルの品質向上が重要であると考え、新しいワールドモデリングと、視覚情報の能動的制御によりこれを実現した。また短期間でエージェントの能力を向上するために、サッカーサーバの改造により完全知覚を可能にしたエージェントを使用したスキル開発、視覚的にエージェント開発・デバッグを支援する soccerscope の開発により効果を上げた。最終的には協調行動に優れた世界チャンピオン CMUnited99 を超える性能を実現し、個々のエージェントの能力向上が重要であることを実証した。

本研究は、現状のシミュレータ部門の競技条件において短期間でマルチエージェントシステムの性能向上を図るためには最も重要なことが何であるかを問い直すような結果を提示している。シミュレータ部門の研究の本題となるべき個々のエージェントの自律や複数エージェント間の協調というテーマにあまり触れずに世界最強レベルのチームの開発が実現できることを明らかにしたからである。これはシミュレータ部門が、エージェントの分散協調の研究以前の段階にあることを示していると言えよう。このような状況は、シミュレータ部門が実機部門のロボットの AI 部分の研究たるべきことと、マルチエージェントシステムの標準問題たるべきことという2つの目的を同時に満たすことが難しいという根本的な問題に起因している。実機部門の進展に応じて、そこからメカトロを除いた部分を忠実に表現した問題設定にしようという

姿勢と、マルチエージェントシステムのソフトウェアの標準問題として安定させようという姿勢は多くの点で相容れない。サッカーサーバが、実機部門のロボットの進化の反映をし続ける限り、マルチエージェントシステムの安定した標準問題になりにくいと我々は考える。

具体的に議論の対象となっている細かい仕様から問題とすべき例を挙げよう。現状では、say コマンドでは、人間同士では交信できないような細かい数値情報を「喋る」ことができる。これは2050年にロボットと人間と対戦させようという大目的には反している。人間に対してフェアではないからである。say コマンドを1回に数バイトの情報量に制限することこそが、本来の不完全情報下での分散協調問題であるはずである。また、多くのクライアント開発者が泥縄の開発を強いられることのないよう、サッカーサーバのバージョンアップが競技会で使われるようになるためには、バージョンが安定してから最低1年は準備期間をおくべきであろう。例えば我々が開発した soccerscope を公開しても、サッカーサーバがバージョンアップすると使えなくなる。これは RoboCup が謳っている研究理念に照らすと、残念なことである。

いずれにせよ、シミュレータ部門は少なくとも現状ではマルチエージェントシステムの安定した標準問題たりえていないと考えられる。シミュレータ部門のプロジェクトは上記のどちらかの目的を選択するか、あるいは両立させるにはどうすればよいかの策を考える必要があると思われる。

参考文献

- [1] <http://www.robocup.org/>, RoboCup Official Site, RoboCup Federation.
- [2] 北野 宏明編著: グランドチャレンジ—人工知能のたいなる挑戦—, 共立出版 (1993).
- [3] 沼岡 千里, 大沢 英一, 長尾 確: マルチエージェントシステム, 共立出版 (1998).