

RoboCup 2007

サッカーシミュレーションリーグ参加報告

中島智晴 大阪府立大学



本報告では、2007年7月に開催された、RoboCup 世界大会サッカーシミュレーションリーグの参加報告を行う。まず、RoboCup 世界大会の概要を紹介する。特に、サッカーシミュレーションについて詳しく紹介する。その中で、筆者が参加した2DリーグとPVリーグについて報告する。最後に、参加報告のまとめを行う。

RoboCup 世界大会

RoboCup は、「2050年までに人間のサッカー世界チャンピオンに勝つことのできる完全自律型ヒューマノイドロボットを開発する」という大目標を掲げた、人工知能やロボット工学などの広範囲な学術分野にまたがるランドマーク型プロジェクトである。この大目標を達成するべく、毎年世界中のサッカーロボットが一堂に会して技を競い合うのが、RoboCup 世界大会である。ちなみに、日本国内でも、毎年のようにJapan Openが開催されており、日本中のサッカーロボットが技を競い合っている（最近は海外からの参加者も増えてきているようである）。

RoboCup 世界大会は、1997年に第1回大会が名古屋で行われ、2007年の大会は11回目となる。表-1に、過去に開催された世界大会の開催地と、2008年、2009年の開催予定地を示す。人間のサッカーワールドカップ開催年（1998年、2002年、2006年）には、RoboCup 世界大会も同じ開催地になっていることが分かる。

年	開催地
1997	名古屋（日本）
1998	パリ（フランス）
1999	ストックホルム（スウェーデン）
2000	メルボルン（オーストラリア）
2001	シアトル（米国）
2002	福岡（日本）／釜山（韓国）
2003	パドバ（イタリア）
2004	リスボン（ポルトガル）
2005	大阪（日本）
2006	ブレーメン（ドイツ）
2007	アトランタ（米国）
2008	蘇州（中国）
2009	グラーツ（オーストリア）

表-1 RoboCup 世界大会開催地

2007年は、米国ジョージア州アトランタ市にあるジョージア工科大学で開催された（図-1、図-2）。アトランタといえば、コカ・コーラやCNN、1996年のオリンピックなどがまず思い浮かぶが、キング牧師の記念館や米国最大規模のドライブイン Versity といった見所もある大都市である（Versity は、懇親会の会場でもあった）。

RoboCup には、サッカー、レスキュー、ジュニア、@home といったカテゴリが存在し、それぞれのカテゴリ内でもロボットのサイズや種類に応じて、いくつかのリーグに分かれて競技が行われている。サッカーカテゴリには、ヒューマノイド、中型、小型、四足、シミュレー



図-1 アトランタ名物の前で（OPU_hana 開発メンバ社司君）。左：コカ・コーラ博物館，右：CNN



図-2 競技会場。左：四足リーグ会場の FOX theater, 右：サッカーシミュレーション会場



図-3 サッカーシミュレーション 2D



図-4 サッカーシミュレーション 3D

ションリーグがある。筆者は、サッカーシミュレーションリーグに参加した。

【サッカーシミュレーションリーグ

サッカーシミュレーションリーグは、実ロボットを用いず、すべてがコンピュータ内部のシミュレーションである。それ故、サッカーロボットの知能に関しては、どのリーグよりも最先端の技術が用いられている。このリーグは、シミュレーション形式の違いにより、2D、3D、Physical Visualization (PV) の3つの部門に細分化されている。それぞれのスナップショットを図-3、図-4、図-5に示す。

2D (図-3) は、サッカーシミュレーションリーグの中で最も歴史が古く、1996年のPre-RoboCupから続いているエージェントの知能に関する実装に特化したリーグであるといえる。サッカー競技は、2次元のサッカーフィールド上で行われる。したがって、すべての物体の位置・速度情報は、2次元ベクトルで表される。筆者は、このリーグにチーム OPU_hana_2D として参加



図-5 サッカーシミュレーション PV

した。

3D (図-4) では、ロボットの3次元シミュレーション技術を駆使してサッカー競技が行われる。2007年の世界大会から、初めて二足歩行型ヒューマノイドロボットによるサッカーとなった。初めての形式とあって、まずロボットを歩行させるための実装にすべてのチームが苦勞をしていた。ロボットが倒れた後の立ち上がり動作を実装していないチームは、倒れたら最後、競技終了までそのままになっていた。筆者も当初は3Dにも出場予定であったが、準備不足のために結局は出場を見送った。

PV もまた、2007年が第1回の開催であった。PVのコンセプトは、2D、3Dで実装したサッカーエージェントの実装(プログラム)をできるだけそのまま実ロボットに使用することである。そのため、プレーヤロボット以外のフィールドやボールは2Dや3Dと同様にコンピュータによるシミュレーションで実現されている。筆者は、PV部門に、大阪大学、愛知工業大学、名古屋工業大学との合同チームで出場した。

【シミュレーション 2D】

2007年の世界大会は、7月1日～10日に開催されたが、これはいわば本選であり、本選で競技を行うためには、3月の予選を通過しなければならなかった。本節では、予選と本選の状況を報告する。

● OPU_hana

筆者は、2002年よりRoboCup世界大会に出場している。チーム名は、とあるチーム開発者が口癖としているフレーズから名づけられている^{☆1}。研究室でこれまでに行われた、計算知能に関する研究成果を応用し、評価することを主たる目的としてチームが結成された。これまで、ファジィシステムやオンライン学習、ニューラルネットワーク、進化型計算といったエージェントの学習手法がOPU_hanaに実装されてきた。2007年の国

☆1 flowerのハナではなく、noseのハナらしい。

チーム	国	所属
KickOffTUG	Austria	Graz University of Technology
Brasil-2D	Brazil	Bahia Robotics Team
AmoiensisNQ	China	Xiamen University
CZU2007	China	Changzhou Institute of Technology
WrightEagle2007	China	University of Science and Technology of China
AT Humboldt	Germany	Humboldt University Berlin
Brainstormers07	Germany	University of Osnabrueck
Dainamite	Germany	DAI-Labor, TU-Berlin
Nemesis	Iran	Hannan High School
HELIOS2007	Japan	Advanced Industrial Science and Technology
NCL07	Japan	Toyo University
OPU_hana_2D	Japan	Osaka Prefecture University
Ri-one2007	Japan	Ritsumeikan University
YowAI	Japan	University of Tokyo
FC Portugal2007	Portugal	University of Porto / University of Aveiro
Oxsy	Romania	COMPA-IT

表-2 予選を突破した16チーム

内大会 Japan Open では、準優勝している¹⁾。

2007年体制の開発チームは、リーダーを務める筆者と研究室に所属する博士前期課程1年生の荘司悠希男君の2人で構成されている。筆者はオフェンス、荘司君はディフェンスのプログラミングを担当した。また、人手が足りないときには、同じく博士前期課程1年生の藤井聖也君にもお手伝いしてもらった。藤井君には、他チームが公開しているプログラムの解説という役割を担当してもらった。2007年のOPU_hanaは、オフェンスではドリブルのプログラムを、ディフェンスでは、ポジショニングを中心に開発が進められた。ドリブルでは、過去に世界一になったことのあるチームのドリブルを模倣学習させたニューラルネットワークをベースに、マークしている敵ディフェンスとゴールキーパの位置を考慮して最適な移動方向と移動距離を計算するアルゴリズムを搭載した、名付けてニューロ・ドリブルを実装した。また、ドリブルだけでは必ず敵ディフェンスに止められてしまうので、ドリブルから味方へパスする行動も実装した。こちらは学習の枠組みはできていたが、時間切れで残念ながらハンドコーディングによる実装となった。ディフェンスでは、ボールの位置に応じたゾーンディフェンスのポジションを、過去の強豪チームと対戦させながらハンドコーディングで微調整した。チームによって中央突破やサイド、スルーパスを仕掛けてくるので、多種多様な攻撃に対してバランスよく守り切るディフェンスポジションを見つける地道な仕事には、かなり手間がかかった。

● 予選

2007年の世界大会では、アトランタで競技のできるシミュレーション2Dのチーム枠は16と決められている。16チームの決定法は以下のように定められている。

- (1) 3チーム：2006年世界大会の上位3チーム以内から
- (2) 8チーム：3月12日から行われる総当たり予選上位から
- (3) 5チーム：Team Description Paper (TDP) の評価上位から

まず、2006年の成績上位3チームを含めたすべてのエントリーチームは、TDPを提出しなければならない。TDPは査読にかけられ、TDPに大きな不備があると認められたチームには再提出を求め、再審査する。数チームが再提出を求められていたようである。

2006年世界大会で上位3チーム以内であったチームは、すべてTDPを提出し、受理されたので、残りの13チーム枠を基準(2)と(3)で選出することとなった。

総当たり戦に参加するには、2007年3月10日までにサッカーチームのバイナリファイルを提出しなければならない。総当たり戦が自動実行により行われるための設定を各チームが対応しなければならないため、チームを作るプログラミング能力だけでなく、スクリプトを理解する能力も問われる。結局、18チームがバイナリファイルを提出し、残りのチーム枠を争うこととなった。

筆者のチームOPU_hana_2Dは、総当たり戦の結果、9位となり²⁾、惜しくも基準(2)での選出とはならなかった。しかし、TDPの評価により何とかアトランタ行きが決定した。アトランタ行きが確定したチームのリストはWebページ³⁾上で確認することができる。

ところで、16チーム選出には2つの制約がある。1つは、「1つの所属機関からは2つ以上のチームは参加できない」という制約であり、もう1つは、「1つの国からのチーム数が1/3以上を占めることはできない」というものである。基準(1)～(3)を満たしていても、上記の制限により出場が制限される場合もある。2D本選出場の権利を得た16チームを表-2に示す。

● 本選

上記の予選をくぐって、チームOPU_hana_2Dは、ようやくアトランタで競技ができることになった。本選では、以下の要領で競技が進められる。

- (1) 4チームからなるグループ (Group A～D) による総当たり

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	WrightEagle2007	2	1	0	7
2	AT Humboldt	2	1	0	7
3	Oxxy	1	0	2	3
4	Brasil-2D	0	0	3	0

表-3 Group A 対戦結果

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	Dainamite	3	0	0	9
2	CZU2007	1	1	1	4
3	Ri-one2007	1	1	1	4
4	KickOffTUG	0	0	3	0

表-5 Group C 対戦結果

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	HELIOS2007	2	1	0	7
2	OPU_hana_2D	2	1	0	7
3	FC Portugal2007	1	0	2	3
4	Nemesis	0	0	3	0

表-4 Group B 対戦結果

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	Brainstormers07	2	0	0	6
2	NCL07	1	0	1	3
3	YowAI	0	0	2	0

表-6 Group D 対戦結果

(2) 8チームからなるグループ (Group E, F) による総当たり

(3) (2) の各グループ上位4チームによる Double elimination

(1) での成績にかかわらず、すべてのチームが(2)に進むことができる。また、(2)では、各グループの上位半数のみが最終ステップ(3)に進むことができる。(3)の Double elimination は、日本ではあまりなじみがないが、2回の敗戦で脱落するという、トーナメント戦の変則系である。通常のトーナメント戦では、一度負けるとそのチームはトーナメント表から外されるが、Double elimination では、一度負けたチームは敗者復活トーナメントに移り、引き続き試合を行う。決勝戦は、通常トーナメントの勝者と敗者復活トーナメントの勝者の組合せとなる。ここで、通常トーナメントの勝者が勝利した場合には優勝が決まるが、敗者復活トーナメントの勝者が勝利した場合は、再度試合を行い、再試合の勝者が優勝となる。Double elimination の特徴の1つは、トーナメント終了後に4位までの順位付けが確定すること、組合せの不公平性が通常のトーナメントよりも少なくなることである。

(1)の結果に基づいて、(2)のグループ分けが行われた。

筆者のチーム OPU_hana_2D は、(1)では、くじ引きの結果 Group B となった。この組には、日本の最強チームである HELIOS2007 がいた。チーム開発中には何度やっても HELIOS2007 に勝てなかったが、競技当日の朝に HELIOS2007 対策に特化した最終調整をしたおかげで、なんとかお互いに無得点のまま引き分けとなった。総当たりの結果は2位であった(各グループの対戦表を表-3～6に示す)。グループ内の上位チームになったことで、(2)では Group A～D の3位4位と組み合わせることになり、Double elimination へ進む可能性が少し上がった。

(2)では Group F となり、2004年の初出場以来すべて2位以内であるドイツの強豪 Brainstormers07 と対戦することとなった。こちらも事前調査ではまったく勝てない相手であり、対戦を避けたかったが、他グループになったとしても HELIOS2007 や2006年優勝の WrightEagle2007 との対戦が必要で、このあたりになると、さすがにどの組に入っても厳しい。対戦の結果、案の定 Brainstormers07 には負けてしまったが、その他のチームには負けることがなく、5勝1敗1分のグループ2位で、見事に Double elimination 進出が決まった(表-8参照)。Group E の対戦結果は表-7に示されて

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	WE2007	6	0	0	18
2	Oxxy	4	0	2	12
3	HELIOS2007	3	2	1	11
4	NCL07	2	1	3	7
5	CZU2007	2	1	3	7
6	FC Portugal2007	2	0	4	6
7	KickOffTUG	0	0	6	0

表-7 Group E 対戦結果

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	Brainstormers07	6	1	0	19
2	OPU_hana_2D	5	1	1	16
3	AT-Humboldt	4	3	0	15
4	Nemesis	4	0	3	12
5	Dainamite	3	0	4	9
6	Ri-one2007	2	1	4	7
7	YowAI	1	0	6	3
8	Brasil-2D	0	0	7	0

表-8 Group F 対戦結果

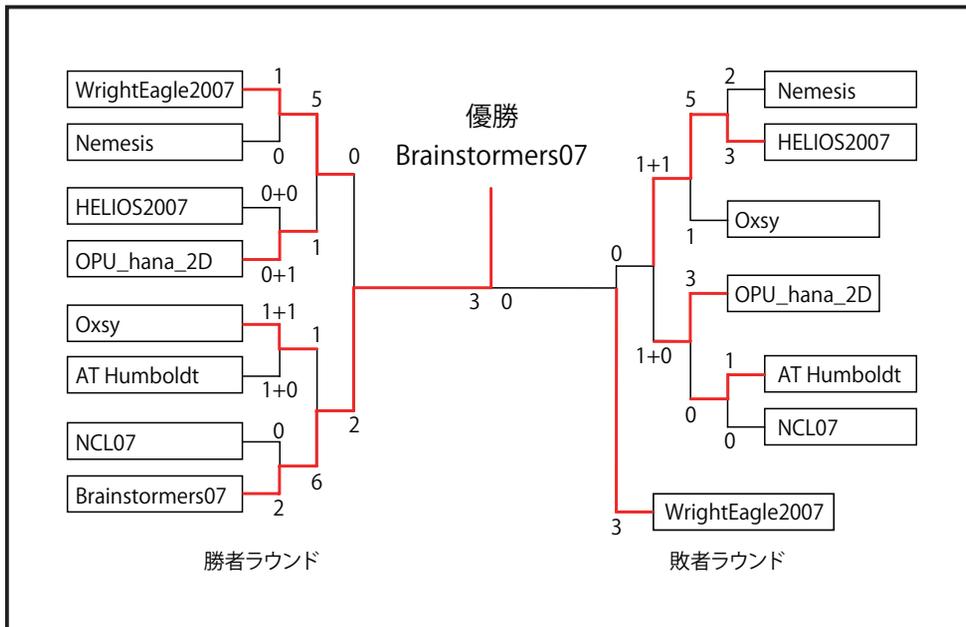


図-6 Double elimination

ランク	チーム
1	Brainstormers07
2	WrightEagle2007
3	HELIOS2007
4	OPU_hana_2D
5	Oxsy
6	AT Humboldt
7	NCL07
8	Nemesis
9	Dainamite
10	CZU2007
11	FC Portugal2007
12	Ri-one2007
13	YowAI
14	KickOffTUG
15	Brasil-2D

表-9 2D最終ランキング

いる。

いよいよ Double elimination へ進むことになったが、最初の相手は、またもや HELIOS2007 であった。対戦前夜に徹夜でドリブルの調整をした甲斐あって、奇跡的に勝利することができ、勝者ラウンドの準決勝へコマを進めた。勝者ラウンド準決勝の相手は、2006年の世界チャンピオン WrightEagle2007。先制点を挙げることができたものの、最後は守備の不備をつかれて敗退してしまった。敗者ラウンドは2回戦からの試合となった。ドイツの古豪 AT Humboldt との対戦では快勝し、敗者ラウンド準決勝へ。この時点で4位以上が確定した。3位以上をかけたこの試合、相手はまたまた HELIOS2007 が勝ち上がっていた。本大会3度目の対戦では、敗退し、世界4位という結果になった。

決勝は、Brainstormers07 が WrightEagle2007 に対して攻守ともに圧倒し、2度目の世界チャンピオンとなった。Double elimination のトーナメント表を **図-6** に、出場チームの最終ランキングを **表-9** に示す。優勝した Brainstormers07 や WrightEagle2007 に共通する点として、強豪チームでは、複数プレーヤによる協調プレーがよくできていることが挙げられる。たとえば、Brainstormers07 のフォワード陣は、敵ゴールを取り囲むようなフォーメーションを組み、パス回しでゴールのタイミングを窺っている。WrightEagle2007 は、スルーパスによる最終ライン突破に優れており、いずれも複数プレーヤによる協調がうまく実装されていなければならない。プレーヤ間の直接的なメッセージ通信が1タイムステップに10バイトと非常に限られている中で、このような協調プレーを実装するのは容易ではない。3位の HELIOS2007 も、スルーパスを実装して

いた。その中で、OPU_hana_2D は、個人技術の実装で手一杯であり、協調プレーの実装がほとんどできていなかったにもかかわらず4位になることができた。これは、我々の実装した個人技術のレベルが高かったことを表し、また、協調プレーを実装することで、さらに OPU_hana_2D がレベルアップする可能性を示唆している。

【シミュレーションPV】

PV は、今年が第1回とあって、主催者は2006年後半に参加チームを募っていた。筆者も大阪大学、愛知工業大学、名古屋工業大学による合同チームで応募した。公募の結果、12チームが採択となり、筆者のチームもめでたく採択され、大会に出ることが決まった。合同チームの名前は SOCIO とした。SOCIO は、SOccer Computational Intelligence Organization の略であり、計算知能のロボット応用が念頭に置かれている。また、SOCIO はスペイン語でパートナーを意味し、サッカーのファンクラブのことを SOCIO と呼ぶチームがあるほどサッカーと縁のある単語でもある。本大会には10チームが出場した (**表-10** 参照)。

PV 出場チームは、ロボットの開発、ロボットの応用、サッカーの3つの観点から評価される。ロボットの開発では主にハードウェアに関する提案を発表する。ロボットの応用では、小型ロボットを用いた応用の実例をデモンストレーションする。最後に、サッカーは、1チーム2台のロボットによるサッカーの競技を行う。サッカーフィールドとサッカーボールは液晶ディスプレイ上にシミュレートされており、液晶ディスプレイ上を小型ロボットが疾走する (**図-5** 参照)。

チーム	国	所属
Brasil-PV1	Brazil	Federal University of Bahia
Brasil-PV2	Brazil	FURG / NAUTEC
Brasil-PV3	Brazil	UFRN / Robotics Laboratory (LAR)
UManitoba	Canada	University of Manitoba
WF Wolves	Germany	Univ.A.Sc. Wolfenbuettel Comp. Science
Team UI-AI	Iran	University of Isfahan, AI Labs
SOCIO	Japan	大阪府大, 大阪大, 愛知工大, 名古屋工大
HELENA	Japan	Osaka University / Asada Laboratory
FC Portugal2007	Portugal	University of Aveiro / University of Porto
City United	UK	AIS group / City University

表-10 PV 出場チーム

事前にある程度のルールや試合形式などが連絡されていたが、特にサッカーに関しては、赤外線通信やシミュレータの開発に時間を要し、直前になんとか競技が行えるという様子であった。

筆者のチーム SOCIO は、ロボットの開発とロボットの応用に関しては何もできていないということで棄権し、サッカーにのみ絞った(といっても、筆者をはじめチームメンバのほとんどがチームのソースコードを初めて見たのは、競技の前夜であった)。本報告も、サッカーのみについて行う。

まず、予選として、2グループ(各グループ5チーム)に分かれての総当たり戦を行った。チーム SOCIO は、Group B に割り当てられた。チームの戦略は、オーソドックスに2台のロボットをそれぞれ、ゴールキーパとフォワードに役割分担させ、それぞれの役割をプログラムにより実装した。特に、キーパが前に出るかどうかの判断と、ロボットが目標に向かって移動する低レベル行動に重点を当てて行動を実装した。総当たり戦の結果、幸いにもグループ1位となり、決勝ラウンドに進むこととなった。予選の試合結果を表-11と表-12に示す。

決勝トーナメントは、各グループの上位2チーム、合計4チームによるトーナメントである。準決勝では、Team UI-AI と対戦した。結果は惜しくも敗退したが、3位という結果を残すことができた。決勝戦は、時間内に決着がつかず、PK戦にもつれ込んだ。互いに譲らず、10回目のPKでようやくFC Portugal2007がゴールを決めて優勝した。

2007年のPVリーグサッカーは、ほぼすべてのチームが現地で初めてプログラミングをしていたこともあり、優勝したチームとその他のチームとに大きな差はなかったように思う。さらに、ロボットの仕様が変更されるという話もあり、競技が安定するにはもう少し時間が必要かもしれない。

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	FC Portugal2007	3	0	1	10
2	UI-AI	2	0	2	8
3	Helena	1	1	2	5
4	UManitoba	0	2	2	2
5	WF Wolves	0	3	1	1

表-11 PV 予選 Group A 対戦結果

ランク	チーム	勝	負	分	勝点
1	SOCIO	2	0	2	8
2	Brasil PV-1	2	1	1	7
3	City United	1	1	2	5
4	Brasil PV-2	1	0	3	3
5	Brasil PV-3	0	2	2	2

表-12 PV 予選 Group B 対戦結果

【おわりに

サッカーシミュレーション2Dのチームを開発するためには、ネットワークや構文解析、実時間処理等にかかわる高度なプログラミング知識、スクリプト処理やUnixに関してもある程度の知識が必要であり、広範囲で深い知識と経験が必要である。近年は、プログラムのソースコードをインターネット上で公開している強豪チームもあり、それを基にすれば、2、3カ月の集中プログラミングでチームを何とか形にすることは可能かもしれない。しかし、世界の舞台で上位入賞を果たすには、さらに数年単位の継続的な努力が必要だ。2007年の大会では、たまたま良い成績であったが、それに甘んじていると、すぐに他のチームに置き去りにされてしまう。

気軽に参加し、単純に楽しんでいた2002年に比べて、現在は勝つことに懸命になっている。RoboCupにどっぷりハマってしまった証拠であろう。学生が主に活動することが多いシミュレーションリーグの中で、いかに研究とリンクさせるかを考えながらチーム開発を続けるのは難しいことではあるが、やりがいのある仕事でもある。2008年中国の世界大会にも無事出場できるよう、これからも努力していく。

参考文献

- 1) http://www.robocup-japanopen.org/result/soccer_2d.html
- 2) <http://ssil.uni-koblenz.de/preRC07/>
- 3) http://www.uni-koblenz.de/~murray/robocup/rc07/qualification/qualified_teams_rc07.html

(平成19年11月15日受付)

中島智晴

nakashi@cs.osakafu-u.ac.jp

大阪府立大学大学院工学研究科准教授。専門は計算知能手法全般の基礎的研究および学習エージェントへの応用。IEEE 関西支部 Gold 賞, 日本知能情報フアジイ学会著述賞, AROB07 Young Author Award 等を受賞。