

ロボカップシミュレーションリーグ

野田五十樹

産業技術総合研究所

サイバーアシスト研究センター

I.Noda@aist.go.jp

概要

1997年に開始されたロボカップも早や6年となり、さまざまな技術的發展があった反面、いろいろな問題点も浮かび上がり、ルールなどの改正やテーマのシフトが行われてきた。本稿では、技術上、あるいはテストベッドとしての機能の点からこのロボカップの6年を振り返り、今後の発展について概観したい。

1 はじめに:ロボカップの目指すもの

By the year 2050, develop a team of fully autonomous humanoid robots that can win against the human world soccer champion team.

これがロボカップの目標である。今やいくつものメーカーが2足歩行をはじめロボットの製品を出し、ロボカップ以外にもロボワンなど一般人参加のロボット大会が催されるなど、サッカーをやるロボットの作成自体は、それほど荒唐無稽ではなくなってきたようにも思える。そしてそのなかから、人間のチャンピオンチームを破るロボットチームがでてきてもおかしくはない。さて、事はそう簡単なのだろうか？

強いサッカーチームを作るためには、(ブラジルチームのように、)個人的身体能力がずば抜けた人材を集めるのが手っ取り早い¹。人間の身体能力を上回るロボット、たとえば高速移動が可能なロボットや、正確無比なボールコントロールを誇るロボットを作ること

¹とはいっても、決してブラジルが身体能力だけで優勝したわけではもちろんない。ブラジルにしても、得点能力抜群のロマーリオを、組織的守備に参加しないという理由で切っている。あくまで、人材よりも組織が目立つドイツなどと比べた場合、というつもりである。

は将来的にはそんなに難しくないであろうから、「人間に勝つ」だけなら簡単である。しかし、上で掲げている目標には、

- 人間とプレーしても安全 (ぶつかっても怪我させない、壊れない)
- 人間と同じレベルでのコミュニケーション (人間に理解可能な通信手段)

という条件が暗黙の内に入っている。そして、これらの条件こそがロボカップの目標の中心といってもよいだろう。

1.1 シミュレーションリーグの目指すもの

シミュレーションリーグは、計算機ネットワーク上に構成された仮想的なサッカーフィールドで、2チーム各11個のプレーヤープログラムが対戦する。この際、重要なのは、各プレーヤーは独立して動作することと、ゲーム自体はプレーヤーの判断を待たずに実時間で進行することである。つまり、単純な対戦型ではなく、いかに相互にコミュニケーションを行い、チームとしての戦術を実現していくかが勝負の分かれ目となる。実機リーグと異なり、実世界でロボットを動かす苦労がない分、このチーム戦術を含む頭脳部分に集中できるのがシミュレーションリーグの特徴である。その結果、上にあげた2つの暗黙の条件のうち、コミュニケーションに関わる部分に関する研究課題がすぐに取り上げられるようになっている。

本稿では、このシミュレーションリーグについて、ロボカップが始まってからこれまでのルールの変遷や使われる技術の変化、そしてコミュニケーションにからむコーチトーナメントの現状について解説する。

1998 年:	<ul style="list-style-type: none"> ● ゴールキーパ ● オフサイドルール ● 長期スタミナメカニズム
1999 年:	<ul style="list-style-type: none"> ● turn_neck コマンド ● オンラインコーチ
2000 年:	<ul style="list-style-type: none"> ● (こまかいパラメータ調整のみ)
2001 年:	<ul style="list-style-type: none"> ● ヘテロプレーヤー ● プレーヤー交代 ● 共通コーチ言語
2002 年:	<ul style="list-style-type: none"> ● メッセージ長の短縮と指さし ● ペナルティキック (引き分け時) ● タックル

表 1: 主なルールの変遷

2 ルールの変遷

2.1 過去の経緯

1997 年の第 1 回大会以来、シミュレーションリーグのルールにはさまざまな形で変更が加えられてきた。そのほとんどは、試合の研究要素やゲーム的要素を増すためのパラメータ調整であるが、それ以外にも、ゲームの性格に関わる大きな変更が加えられてきた。その変遷の様子を表 1 に示す。この表のように、初期のころはゴールキーパやオフサイドルールの導入のように、サッカーとしての体裁を整えるルール変更が主となっている。また、プレーヤーの身体的能力に関わるスタミナモデルや首 (turn_neck)²も初期に導入されている。しかし 1999 年頃、試合としての形が整ってきた時点から、チームワークの研究課題に関するルールの変更が提案・採用されるようになってきている。たとえば、オンラインコーチ (4 節参照) やヘテロプレーヤーとプレーヤーの交代がこれにあたる。ヘテロプレーヤーとは、各選手の能力が少しずつ異なるというもので、ゲーム開始時にその能力が乱数により決定される。よって、チームとしてはこれら能力の違いプレーヤーをうまく組み合わせるフォーメーションや役割分担を行う必要があり、チームを構成する要素が新たに加わるようになった。そして、このチーム構成を取り計らうのがオンラインコーチの役割となる。

2002 年に導入された「指さし」は、言語コミュニケーションに変わるコミュニケーション手段として導

² 首導入以前は、横や後ろを見るためには、体ごと向く必要があったため、走りながら横を見るということができなかった。

入された。シミュレーションリーグでは、say コマンドと聴覚 (hear) 入力により言語コミュニケーションが可能となっており、各プレーヤーは各サイクルで 1 つのメッセージを聞くことができるようになっている。このような通信手段はチームワークを成立させるためには必須であるが、言語コミュニケーションでは細かい指示や情報伝達が可能となるため、分散制御というマルチエージェントの特徴がなくなってしまう危険性がある。実際、昨年までは 256 byte の文字列をメッセージとして送ることができたが、256byte あれば、各プレーヤーのワールドモデルを圧縮して表現できてしまうという問題があった。そこで 2002 年ではメッセージ長を 10byte に圧縮する代わりに、フィールドの任意の位置を指差して、視覚によりコミュニケーションを行う方法を提供することになった。人間でもそうであるように、言語コミュニケーションでは同時に 1 つのメッセージしか処理できないが、視覚によるコミュニケーションでは、視野に入っているプレーヤーからすべて情報をもらうことが可能である。その一方、聴覚 (言語) コミュニケーションでは情報の受手がどちらを向いていても受信可能であるが、視覚コミュニケーションでは、受手の向いている方向、すなわち視野に縛られるという性格を持っている。各参加者はこの異なる性質を持つコミュニケーション手段をうまく使い分ける必要がある。

2.2 今後のルール改正

以上のようなルールの変更は、毎年、メイリングリスト上の議論で決定される。このルール改正の議論で毎年問題となるのが、シミュレーションリーグの方向性である。ロボカップの参加者には、ロボット研究から参加してきたグループと、人工知能、マルチエージェント研究から参加してきたグループとがいるが、その各々の研究分野によって、

- ハード指向、実世界指向派
- ソフト指向、高度戦術派

に別れて議論が行われることが多い。ハード指向派は、シミュレーションはできるだけ現実にあるもののシミュレーションであるべきという方向で、より精密な物理的シミュレーションや、現実のサッカーに近くなるようなルール改正を提案している。一方ソフト指向派は、

高度な戦術に関わるチームワークの制御や学習の研究に焦点を絞るやすくなるため、世界モデルを単純化しやすい問題設定になるよう、ルール改正を提案することが多い。その端的な例が3次元シミュレーションに関する議論である。

現在、シミュレーションリーグでは2次元のシミュレーションしかしておらず、高さ方向の物理現象(ボールが空中を飛ぶなど)は無視している。ハード指向派は当然のことながら、物理現象は3次元であるべきで、シミュレーションにもそれを反映するよう提案を行ってくる。しかし、3次元にすると、物理モデルが複雑になり、これまで蓄積してきた基本的プレーの技巧が無駄になる可能性が高い。そのため、ソフト指向派はモデルを無意味に複雑化することを好まず、結果、3次元シミュレーションに反対してきた。

この議論は毎年繰り返されてきたが、来年から3次元化シミュレータの開発が始まる予定になっている。このシミュレータが完成すれば、シミュレーションリーグもいよいよ3次元に移行することになる。これはソフト指向派が議論に負けたというよりは、3次元の導入によるプレーのバリエーションの増加がチームワーク研究に有効な段階に来たという側面が強い。

いずれにしても、ゲーム性を失わず、研究要素を維持することは難しい。特にロボカップでは各参加者は様々なバックグラウンドを持っており、各々の意見のバランスをとることは、ルール変更の最終決定を下す技術委員会の最大の仕事になっている。

3 ゲームの進化と技術

3.1 研究テーマと総合性

ロボカップの初期にはだんごサッカーも良く見受けられたが、ここ数年ではほぼすべての参加チームがそこそこ高度な組織プレーを行うようになってきており、決勝トーナメントに残るようなチームの対戦は、次節に述べるようになりに高度なものになってきている。そこではオフサイドトラップやワンツーパスやスルーパスは当然のものとなってきており、どのようにそれら基本的プレーを切り替えていくのが現在の問題となってきている。

では、これらのプレーを実現するために、どのような技術が使われているのだろうか。1997年当時、シ

ミュレーションリーグに関係する研究テーマとして、以下のようなものを取り上げていた [3]。

- 機械学習：オンラインおよびオフラインで戦術や技巧を獲得・適応
- チーム戦術の記述：分散で同期してチーム戦術をプランニングするための枠組み
- エージェントモデリング：観察により敵・味方のプレイヤーの意図や行動を予測

そして、各参加者は各々のテーマに関して様々なアプローチをとってチャレンジしている。たとえば機械学習では、Peter Stone ら [5] は神経回路網、決定木の学習、およびアプリアリナ知識を階層的に組み合わせた学習方式、layered learning を提案している。また、Jan Murray ら [4] や Milind Tambe ら [6] はチーム戦術の記述方式について提案を行っている。さらに、[2] からは観察によるエージェントモデリングを用いて、チームワークを維持するのに必要なコミュニケーションに関する定理を導いている。

また、これらのテーマをすべて手がけているチームが多いこともロボカップの特徴となっている。最近の強豪チームの多くは、研究室単位など開発体制もチームを組んでいる場合が多い。このような場合、神経回路網の学習や BDI モデルのようなエージェントモデルの手法を自在に組み合わせてチームを作っている。すなわち、使える技術をうまく組み合わせてシステムとして完成させる、いわゆるシステム化技術が強いチームを作っていく上で重要になってきている。最近の日本チームの成績が振るわないのは、日本からの参加者は学生の個人ベースが多く、そのようなシステム化という側面が弱いためと考えられる。

3.2 一般/プロの目から見たシミュレーションリーグ

実機に比べ、研究者がチーム戦術など比較的高度なプレーの開発に集中しやすいシミュレーションリーグであるが、一般、あるいはプロの目からみてどのようなであろうか？

一般の目から見て、やはり実際にロボットが動く実機リーグには人気の点ではかなわない。またテレビ的にも、画面の中で粛々と行われるシミュレーションリー

グは画面写りとしても迫力がない。しかし、ワールドカップのおかげか、サッカーを戦術的な目で見ることができる人が増えてきたこともあり、福岡での大会ではそこそこ注目を浴びていたように思える。³実際、子供たちは試合を見ながら盛り上がり、「あそこではあっち蹴らなきゃ」という解説をするなど、感情移入して観戦していたようである。

また、最近ではプロの目にも耐えるくらいのレベルに達していると感じることもある。ここ数年、筑波大学におけるプロ(S級)コーチ養成講座で、ロボカップを紹介する機会を持ったが、その際に決勝戦の試合などを見せると、パス回しやオフサイドにおける組織プレーなどは感心されることが多い。

このように戦術レベルの組織プレーの精度においては、人間とほぼ対等に近いレベルに来ていると考えることができるだろう。これは、

- チーム内ではほぼ同じプログラムが動いているので、通信さえ成立すれば、相互理解が容易である。
- 一部のプレーヤーが動けなくなるなどのアクシデントが上位クラスのチームではほとんどない。

という条件のもとでは、「チームプレー」の実現は技術的にもそれほど難しくなかったということもできる。しかし一方、試合途中における戦術の変更や、アクシデント比率の増加による適応など、より大きな戦略レベルに関しては、まだ効果的にに行っているチームは少なく、みていて歯痒い試合が多いのも事実である。

4 コーチトーナメント

シミュレーションリーグにおいて、最近変化が激しいのが、オンラインコーチに関するものである。

ロボカップの初期においては、プレーヤーは完全に自律して動くものとしてきたが、1999年からは試合中にアドバイスなどを喋ることのできるオンラインコーチ⁴が導入された。その後、ヘテロジニアスプレーヤーの導入に伴い選手交替などが認められるようになり、コーチの重要性が徐々に大きくなってきている。

³単に会場に休憩所がないので、椅子のあるシミュレーションリーグが憩いの場になっていたという説もあるが。

⁴「オンラインコーチ」に対し、練習用モードでのみ使うことのできる「オフラインコーチ」機能がある。オフラインコーチは、アドバイス以外にも、ボールや選手の移動、試合進行の制御などほとんどすべての操作が可能となっており、機械学習などに用いられる。

これに伴って、通常のトーナメントでの成績とは別にコーチの能力を測ろうということで、2001年からコーチトーナメントが導入された。このトーナメントは以下の要領で行う。

1. コーチトーナメント参加者は、コーチおよびプレーヤー用のプログラムを作成する。この際、コーチおよびプレーヤーは、あらかじめ設定されたコーチ用標準言語 (Coach Language) を発話 / 理解できるものとする。ただし、各参加者は通常のトーナメントにもこれら自前のプログラムで参加しているものとする。
2. 中程度の実力を持つチームを1つ選定し、それを共通の対戦チームとする。
3. 各コーチプログラムは自分以外のプレーヤープログラムと組み、共通対戦チームとゲームを行う。
4. すべてのコーチとプレーヤーの組み合わせについて上記の対戦を行い、コーチおよびプレーヤーの総合成績を算出する。この総合成績の最優秀コーチを優勝とする。

ここでキーとなるのがコーチ用標準言語である。サッカーは十分に複雑なゲームであるので、そこで起きそうな現象やそのためのアドバイス(プレーの指針)をあらかじめ決めておくことはほぼ不可能である。よって、言語自身が拡張可能である必要がある。一方、プログラム、特にプレーヤープログラムの側に立つと、あまりに自由度の大きな言語仕様を処理することは、それ自身かなりの重荷になってしまう。そこで現在では、図1に示すような言語を設定し、拡張性と処理の負荷のバランスをとっている。共通言語の実際の用いられ方を図2、図3に示す。この例のように、各チームはプレーの状況に応じて、試合中にさまざまな指示をルールの形で選手に送っていることがわかる。この言語の決定には、毎年メイリングリスト上でかなりの議論が行われる。

このように、相互に理解できる言語を制定したコーチトーナメントであるが、現在のところ、まだおもしろい結果には至っていない。現状ではできるだけコーチが喋らない方が成績が良いという結果になっており、単純に言語の syntax を共通化しただけでは機能せず、やはり semantics を何らかの形で決めてやる必要があることがわかる。ただコーチトーナメントは始まって

まだ2年であり、参加チームも少ない。今後は、公開されたコーチプログラムやプレイヤープログラムが増えるに従い、semanticsの共有が可能になってくると考えられる。

5 おわりに

RoboCupをはじめ、大規模、あるいは現実的な問題を取り上げ、それを計算機シミュレーション上で比較しあう試みが増えてきている。特に、人間を含んだ系をシミュレーションしてしまおうという社会シミュレーションは、今後、計算機技術の応用の一つの大きな分野になる可能性がある。Casti[1]も述べているように、人間など知的な行動主体が多数関わる社会現象は複雑系をなし、計算機シミュレーションは必要不可欠な手法となる。しかし、社会を構成する人間などの要素自身が十分にわかっていない現在、さらに現象を複雑化するコミュニケーションなどのインタラクションを取り扱うことは注意を要する。一方、ゲームの世界は構成要素が単純化されているため、インタラクションにフォーカスした研究を進めることが可能になる。ただ、世界をあまりに単純化することは、蓄積される技術がトイプロブレムに特化してしまう危険性もあり、好ましくない。その意味で上で述べた、シミュレーションリーグのルールをめぐる論争は、研究対象としての健全性を保つよい仕組みになっていると考えられる。

また、共通コーチ言語の設計など、マルチエージェントの新たな側面に関するテーマも持ち上がってきている。サッカーのような空間的で曖昧な情報を動的に定義していく必要のあるドメインはこれまであまり取り上げてきておらず、そのような場におけるエージェントコミュニケーション言語の設計は、今後の発展が期待できる。

参考文献

- [1] J. L. Casti. *Would-be Worlds: how simulation is changing the frontiers of science*. John Wiley and Sons, Inc., 1997.
- [2] Gal A. Kaminka and Michael Bowling. Towards robust teams with many agents. Technical Report CMU-CS-01-159, CMU, 2001.

```

<MESSAGE> : <ADVICE_MESS>
            | <INFO_MESS>
            | <RULE_MESS>
            | <META_MESS>
            | <DEFINE_MESS>
            | <FREEFORM_MESS>

<ADVICE_MESS> : (advice <RULE_LIST>)
                | (advice <TOKEN_LIST>)
<INFO_MESS> : (info <RULE_LIST>)
              | (info <TOKEN_LIST>)

<TOKEN_LIST> : <TOKEN_LIST> <TOKEN> | <TOKEN>

<TOKEN> : (<INT> <CONDITION> <DIRECTIVE_LIST>)
         | (clear)

<RULE_MESS> : (delete_rule <ID_LIST>)
              | (ruleset_on <NAME_LIST>)
              | (ruleset_off <NAME_LIST>)

<RULE> : (norm <ID> <CONDITION> <DIRECTIVE_LIST>)
         | (shared <ID> <CONDITION> <RULE_LIST>)
         | (ruleset <NAME>) # name of a ruleset
         | <NAME> # name of a rule

<CONDITION> : (true) | (false)
              | (ppos <TEAM> <UNUM_SET> <INT> <INT> <REGION>)
              | (bpos <REGION>)
              | ...

<ACTION> : (home <REGION>)
           | (pos <REGION>)
           | (pass <REGION>)
           | (pass <UNUM_SET>)
           | (dribble <REGION>)
           | ...

<DIRECTIVE> : (<MODE> <TEAM> <UNUM_SET> <ACTION_LIST>)
             | "STRING"
<MODE> : do | dont

#Meta messages
<META_MESS> : (meta <META_TOKEN_LIST>)!
<META_TOKEN_LIST> : <META_TOKEN_LIST>! <META_TOKEN>! | <META_TOKEN>!
<META_TOKEN> : (ver [int])!

#Define messages
<DEFINE_MESS> : (define <DEFINE_TOKEN_LIST>)

<DEFINE_TOKEN> : (definec <NAME> <CONDITION>)
                 | (defined <NAME> <DIRECTIVE>)
                 | (definer <NAME> <REGION>)
                 | (definea <NAME> <ACTION>)
                 | (definerset <NAME> <ID_LIST>)
                 | (definerule <NAME> <RULE>)

#Freeform messages
<FREEFORM_MESS> : (freeform "STRING")
...

```

図 1: コーチ標準言語

```
[0 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (define
  (definer "TheirREWing"
    (quad (pt 17 34) (pt 52.5 34) (pt 52.5 20) (pt 17 20))))
```

```
[0 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (define
  (definec "NoOppTRMC"
    (ppos opp 0 0 0 "TheirRMCenter")))
```

```
[222 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (define
  (definerule R1 direc
    ((and (playm play-on)
      (bpos "cy")
      (ppos our 8 1 1 "bw"))
    (do our 2 (pos "9p"))
    (do our 4 (dribble "dy"))
    (do our 5 (pos "9y"))
    (do our 7 (pos "bu"))
    (do our 8 (pos "ay"))
    (do our 10 (pos "cu"))
    (do our 11 (pos "cy"))))))
```

```
[408 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (rule (on ( R1))))
```

```
[408 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (define
  (definerule R2 direc
    ((bowner our 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 )
    (do our 9 (home (pt -20.0 15.0)))
    (do our 2 (home (pt -20.0 5.0)))
    (do our 3 (home (pt -20.0 -5.0)))
    (do our 5 (home (pt -20.0 -15.0)))
    (do our 7 (home (pt -10.0 18.0)))
    (do our 8 (home (pt -10.0 9.0)))
    (do our 11 (home (pt -10.0 0.0)))
    (do our 6 (home (pt -10.0 -9.0)))
    (do our 4 (home (pt -10.0 -18.0)))
    (do our 10 (home (pt 14.0 0.0))))))
```

```
[409 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (rule (on ( R2))))
```

```
[593 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (rule (off ( R1))))
```

```
[601 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (define
  (definerule R3 direc
    ((bowner our 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 )
    (do our 5 (home (pt -20.0 18.0)))
    (do our 3 (home (pt -20.0 9.0)))
    (do our 2 (home (pt -20.0 0.0)))
    (do our 11 (home (pt -20.0 -9.0)))
    (do our 4 (home (pt -20.0 -18.0)))
    (do our 7 (home (pt -10.0 11.0)))
    (do our 8 (home (pt -10.0 0.0)))
    (do our 9 (home (pt -10.0 -11.0)))
    (do our 10 (home (pt 16.0 7.0)))
    (do our 6 (home (pt 16.0 -7.0))))))
```

```
[602 Recv DirtyDozen_Coach:]
(say (rule (on ( R3))))
```

図 2: DirtyDozen のコーチの発話例

```
[2500 Recv FCPortugalCoach1_Coach:]
(say (define
  (definerule b400 direc
    ((bpos (rec (pt 47.716 27.0902) (pt 47.716 27.0902)))
    (dont our 0 (dribble (rec (pt -52.5 -34) (pt 52.5 34))))))
  (definerule b401 direc
    ((bpos (rec (pt 7.74736 -15.0062) (pt 7.74736 -15.0062)))
    (dont our 0 (dribble (rec (pt -52.5 -34) (pt 52.5 34))))))
  (definerule b402 direc
    ((bpos (rec (pt 32.5852 -17.3897) (pt 40.9342 -1.62406)))
    (dont our 0 (dribble (rec (pt -52.5 -34) (pt 52.5 34))))))
  (definerule b500 direc
    ((bpos (rec (pt 19.2465 -27.3077) (pt 41.4208 22.0391)))
    (dont our 0 (pass (rec (pt 8.52187 9.96406)
      (pt 12.0107 22.2534))))))
  (definerule b501 direc
    ((bpos (rec (pt 1.77862 -25.1611) (pt 11.449 6.87086)))
    (dont our 0 (pass (rec (pt 8.52187 9.96406)
      (pt 12.0107 22.2534))))))
```

```
[2500 Recv FCPortugalCoach1_Coach:]
(say (rule (on all)))
```

図 3: FCPortugal のコーチの発話例

- [3] Hiroaki Kitano, Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, Eiichi Osawa, and Hitoshi Matsubara. Robocup — a challenge problem for ai —. *AI Magazine*, 18(1):73–85, Spring 1997.
- [4] Jan Murray, Oliver Obst, and Frieder Stolzenburg. Towards a logical approach for soccer agents engineering. In Peter Stone, Tucker Balch, and Gerhard Kraetzschmar, editors, *RoboCup2000: Robot Soccer World Cup IV*, pages 199–208. Springer, 2001.
- [5] Peter Stone and Manuela Veloso. Layered learning and flexible teamwork in robocup simulation agents. In Manuela M. Veloso, editor, *Proc. of The Third International Workshop on RoboCup*, pages 211–216, Aug. 1999.
- [6] Milind Tambe, Jafar Adibi, Yaser AI-Onaizan, Ali Erdem, Gal A. Kaminka, Stacy C. Marsella, Ion Muslea, Behnam Salemi, and Marcello Tallis. Towards flexible teamwork and learning in robocup agent: A short description of isi synthetic. In Hiroaki Kitano, editor, *Proc. of The First International Workshop on RoboCup*, pages 111–114, Aug. 1997.