

Trails of RoboCup -Chart toward 2050- "Middle Size League"

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-11-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松元, 明弘, 高橋, 泰岳, 武村, 泰範 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/4507



「中型リーグ」

第7回

- 松元明弘 (東洋大学)
- 高橋泰岳 (福井大学)
- 武村泰範 (日本文理大学)

中型リーグとは?

概要

中型リーグはロボカップ世界大会を始めた1997年当初から始まり、現在まで続いているリーグである¹⁾。実機を使うリーグとして、小型リーグがグローバルビジョンシステムを前提にしておりフィールド全体の状況を逐次把握できるのに対し²⁾、中型リーグはグローバルビジョンシステムを禁止しており、ロボットは自分が内蔵するセンサを利用して自己位置同定や味方、相手、ボールの位置や速度を把握する³⁾、⁴⁾。共に車輪機構を採用することからスタートし、小型リーグではそのサブリーグとして人間型ロボットを使う試みが始まっている²⁾。中型リーグでは車輪型に限定しているわけではないが、現在のところ、スピードと構造安定性の観点から車輪型機構が主流である。一方、ヒューマノイドリーグはその名の通り人間型をしているので観客を魅了するものの、人間型であるがゆえに自分自身の安定化制御に多くの労力が払われていて、ロボットの歩行速度は遅い(まだ走れない)。また、今のところチーム戦術を想定する状況にないようである。なお、大型リーグというリーグは今のところ存在していない。

中型リーグでは、車輪型機構であることと全方位視覚の使用を許していることを除いて、なるべく人間のサッカーの設定に近づけることを目指している。実際、国際大会の中型リーグでは、エキシビションとして人間チームとロボットチームの対戦試合を行うのが恒例になっていて、これは観客のみならずロボカップ関係者の楽しみとなっている。2050年の目標に向かって、ロボカップのすべてのリーグ(シミュレーションも含む)の技術の成果はヒューマノイドリーグに統合されていくという方向にあるのだろうが、現状では、各リーグはそれぞれの設定(制約条件)のもとに固有の技術課題に取り組んでいるのが現状である。

さて、中型リーグでは、いわゆる試合、すなわち勝ち負けをつける対戦形式とともに“Technical Challenge”と称して、試合のルールとは別途定めた

技術的なプレゼンテーションも行って
おり、学術的な内容や今後ルールに取り
入れるべき内容の実証の場を作っ
ている。Technical Challenge でも参加
者相互に評価をつけ、上位を表彰して
いる。本稿では過去の関連報告^{1)~4)}
を踏まえ、特に試合の対戦の部分の主
に概説する。

図-1 は 2010 年ロボカップ世界大
会(シンガポール)の中型リーグ決勝戦
の 1 シーンである。広いフィールドで
高速で動き回る黒い物体、その迫力こ
そが中型リーグの魅力である。

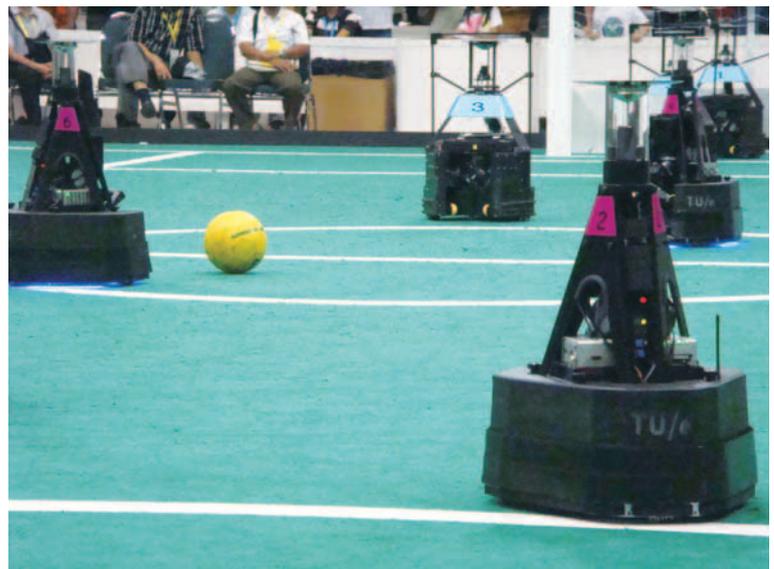


図-1 RoboCup 2010 Singapore の中型リーグ決勝戦

中型リーグの諸規定は文献5)に示す

Web サイトに置かれている。ルールは FIFA (国際
サッカー連盟) の国際ルールを参照しながらロボカ
ップ特有の変更点を特記するという形式になってい
るのは興味深い。ルールは毎年少しずつ改訂されて
いるので、正確には最新のルールを参照すること
をお勧めする。

ルールによると、ロボットは縦横それぞれ 52cm
以内、高さが 80cm 以下でなくてはならない(ゴール
キーパーのサイズは別途定められている)。1 チ
ームのロボット台数は最大 5 台で、18m × 12m (最
大) という広いフィールドを使う。2007 年頃までは
ボール(5号球)の色はオレンジとし、ゴールは片方
が青、もう片方は黄に色分けし、コーナーには青と
黄色で色分けされたポールを立てていた。人為的に
色分けすることで画像処理・画像認識の計算負荷を
軽くしたいというのが当初の考えであったが、計算
機能力が飛躍的に向上したので、今では、ゴールの
色付けはなくなり、コーナーのポール自体もなくな
った。ボールの色も次第に特に指定しないようにな
ってきている(ただし Japan Open では過渡期のロー
カルルールとして、色ありゴールを使うこともある)。

他のリーグとの違い、特に小型リーグとの違いは、
ロボットの大きさの違いだけでなく、そもそものシ
ステム構成の違いにある。小型リーグでは、フィー
ルドの上部にカメラを置き、フィールド全体の情報

を把握した上でチーム内のロボットに指令を出すとい
う、いわば中央集権型のシステムを採用している。
一方で中型リーグでは、各ロボットは、カメラを代
表とする各種のセンサを内蔵し、自分のセンサで獲
得した情報をもとに、内蔵したコンピュータ(多く
はノート PC)で自分の行動選択の判断をする。同
一チーム内のロボット同士は無線 LAN 経由で通信
できる。各ロボットは自身で測定した自己位置(誤
差を含む)や各種内部状態変数を、無線 LAN 経由
で、“コーチボックス(coach box)” (各チームで 1
台用意する)に報告する。コーチボックスはフィー
ルド全体のロボットの動きや状態を監視するモニタ
としての機能を有するだけで、プレイヤーであるロ
ボットに動作指示することはない。このように、中
型リーグでは、人間のサッカーの試合中の状況に近
づけるよう努力しており、結果として自律分散型の
システムを目指している。

中央集権型の意味決定ではないことから、人間の
サッカーでも起こるように、チーム内の各ロボットの
行動は必ずしも合目的にもしくは効率的に機能す
るかどうかは保証されない。もちろん、無線 LAN
を経由して他のロボットからの情報を共有すること
も可能であるが、情報伝達の遅れや不確かさを考慮
する必要があるので、いかに合目的性を出すか(す
なわち、いかにチームプレーを実現するか)、ある



図-2 RoboCup 98 パリ大会におけるフィールド(約8m×5m)

いはチームとしていかに効率的に動くかなどは研究課題の1つとなっている。

フィールドの変遷

一般に、ロボットの作業する環境設定によって、ロボットに搭載するセンサは異なる。センサの測定範囲や分解能、あるいはその重量、体積、消費電力などに対する要求仕様が変わるからである。センサが変わればその処理ソフトも変わる。ということで、ロボットのシステム設計に大きな影響を与える。ロボカップでも同じことが起こる。以下に、フィールドの設定がロボットのシステム設計にどのような影響を与えたかを説明しよう。

まず当初のフィールドは図-2のようなものであった。1998年パリ大会での写真であるが、まずサイズは、国際的にサイズが規定されている卓球台のサイズを基準とし、卓球台9面分(縦横それぞれ3面)、約8m×5mを採用した。またロボカップ特有の設定として、タッチライン沿いに白い壁が立っていた。ロボットのサイズの制限は今とほとんど変わらないので、フィールドはロボットで埋め尽くされているような印象であった。ロボットはゆっくりと確実に動き、また壁沿いにボールをドリブルするという戦法が確実であった。照明条件によってはオレンジ色のボールが壁に映ってしまい、それをボールと誤認識して壁に突進するロボットもあった。つまり、画像処理による物体認識の技術の重要性が共通



図-3 RoboCup 2002 福岡・釜山大会におけるフィールド(壁が除去された)

理解となった。

次に図-3は、2002年福岡・釜山大会から採用されたフィールドである。フィールドサイズはそのままであったが壁が取り払われ、タッチラインやゴールラインから1m離れたところにポールが立てられた。当時はそのポールもなぎ倒して縦横無尽に走り回るロボットもあった。ポールは安全柵として立てていたのであったが、翌年からそれも除去された。結果として各ロボットには安全対策も要求されることになった。

この環境では壁沿いドリブルという戦術がとれなくなり、代わりにホールディングの反則^{☆1}にならない程度にボールをうまく操作する技術が必要となった。またロボット自体をナビゲートするために、白線認識の技術が要求された。すなわちロボット自身がフィールドの中にいるのか外なのか、またペナルティエリアの中にいるのか外にいるのかといった判定が必要となった。また、ロボット自身がフィールド上のどこにいるかを認識する技術(日本語では自己位置認識あるいは自己位置同定、英語ではlocalizationと呼ばれる)の重要性が共通認識となり、各チームで技術開発が始まった。これらはもちろんロボット自身が内蔵しているコンピュータでそれを判別するのである。搭載可能なコンピュータの能力

☆1 人間のサッカーでは相手選手を抱え込むという反則であるが、RoboCupではボールを抱え込む反則を指す。ロボットがボールを操作することで、指定された時間以上にボールの転がりがない場合にはこの反則とみなされる。



図-4 RoboCup 2005 大阪大会におけるフィールド
(12m×8m に拡大された)



図-5 RoboCup 2007 アトランタ大会におけるフィールド
(さらに拡大され 18m×12m となった)

は限度があるので、認識のために計算時間がかかり、その間にも状況は変化するので、その難しさが想像できるだろう。

図-4 は 2005 年大阪大会におけるフィールドで、12m × 8m に拡大された。以前の 2 倍以上である。約 100m² であるので、各チームはこのスペースを自分たちの実験室エリアに日常的に確保することは難しくなり、大会前に体育館を借りて実験するなどの対応が必要となった。

この頃には自己位置認識さえきちんと実装されていれば、個人戦術だけでもある程度の結果が出せることも確認された。とはいえ、決勝トーナメントに進むチームは、自己位置認識をベースとしたチーム戦術を作り上げてきていた。つまり、ある程度の学術的なレベルの高さがないと上位進出は難しいというところまできている。ということは、新規参入を目指すチームにとっては、経験が少ないこととともに、技術レベル・学術レベルの高さが参加への障害となってきているというのも事実である。

さて図-5 は、2006 年プレーメン大会でエキシビジョンとして試験的に導入され、2007 年アトランタ大会から正式採用されたフィールドである。サイズは 18m × 12m となり、その前と比べるとさらに 2 倍以上に広がった。2011 年現在もこのサイズのフィールドを使っている。なお、写真ではコーナーポールが写っているが、翌年からなくなった。また筆者のチームが使っていた全方位カメラの場合、

このサイズになるとフィールド全体が見えないという事態に陥ったことを付加しておく。

さて今後さらに広がるかということに関してはまだ決定されていないが、そろそろ屋外で試合をすることが議論され始めている。近い将来に、まず Technical Challenge においてフットサルのコート(フットサルではコートと呼ばれている)で行うことになるだろう。フットサルの屋外コートのサイズの標準的なサイズは 40m × 20m であるので⁶⁾、その場合、さらにフィールドサイズが現在よりも面積が 4 倍近くになり、ロボットの使用する車輪機構・計測技術やチーム戦術にも大きな影響を与えるであろう。

ロボットの概要

中型リーグでは市販のロボットを使うケースは少なく、ほとんどの場合、各チームそれぞれが独自の開発を行っている。ただし、先行して参加しているチームを参考にすることが多いので、結果として、形状がよく似ていることが多い。これはロボカップが始まった当初から参加していた UTTORI United チーム(宇都宮大・東洋大・理研の合同チーム、筆者の松元が所属)の影響が多いと思われる。特徴としては、全方向移動可能な車輪機構と全方位視覚(カメラ)を採用するケースが多い。図-2～図-5でもその傾向が確認できる。

走行機構については、現状では車輪型による全方

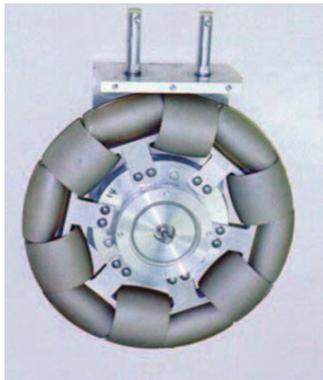


図-6 全方向移動を可能とする特殊車輪(初期型;直径200mm)



図-7 UTTORI United チームのロボット(1998年パリ大会当時. 左から宇都宮大学(UT), 東洋大学(TO), 理研(RI)のロボット. 左2つは黒いカバーを外して撮影)



図-8 UTTORI United チームのロボット(2001年当時)

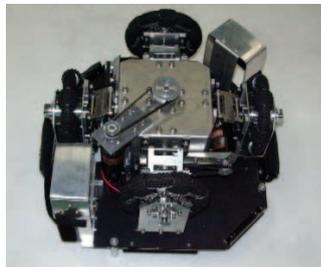


図-9 4車輪3モータの例(3自由度独立駆動型全方向移動機構)



図-10 4車輪4モータの例(スペースができたのでキック用のエアシリンダを配置している)

向移動機構がほとんどである。ルール上は、車輪移動機構に限定されておらず脚型やクローラ型が登場しても構わないのであるが、中型リーグは今やスピードが要求されるので、平面走行の速度と安定性の面から車輪型が使われているというのが現状である。

ここでは筆者の1人(松元)は初回の1997年から参加しているので、この場をお借りして、歴史順に紹介させていただく。

全方向移動を実現するには、独特の車輪を使う必要がある。図-6はUTTORI Unitedが当初使っていた特殊車輪である。大きさは異なるが曲率が同一の2種類の「樽」を並べており、車輪が回転すると駆動力を発生するが、車軸方向に力がかかったときには「樽」が「ころ」のように回転して走行抵抗が少なくなるように考案されている。この「樽」の回転軸を支える部分は、チームメンバの嘉悦早人技師(当時理研)の芸術的な機械工作によって実現された。

当初はこの車輪を4つ使用し、それを3つのモ

ータで駆動する方法を採用した。その際には、平面移動の3自由度を各モータで独立に制御できるように、特殊な伝達機構を採用した。図-7に1998年の初期型のロボット、図-8に2001年のその小型版を示す。初期型では1台約40kg、小型版でも1台約25kgという重さであった。

図-9は図-8のロボットの1台を裏返した写真である。なおここでは特殊車輪も小型版(直径120mm)を使用している。車体の真ん中部分が差動歯車を組み込んだ特殊な伝達機構である。平面移動のX軸、Y軸、回転軸を別々のモータで独立に制御できるというありがたさはあったが、車体下部のスペースを占有し重量も大きかったので、後には図-10に示すような4車輪4モータ型、すなわち各車輪を独立したモータで駆動する方法も設計製作し比較した。これは制御がやや複雑になるものの機構は単純で、かつ車体下部にスペースが生まれるので、ここではキック機構用のエアシリンダを配置し

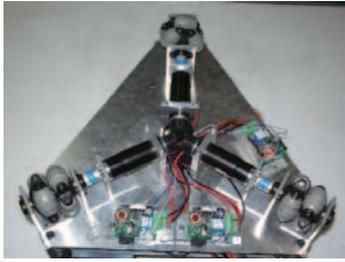


図-11 3輪版(車輪には市販のオムニホイールを使用。図-9, 10と比べると車輪 Ω 分が異なる。ウレタンの「樽」が2列になっていることに注目してほしい)



図-12 ノート PC の採用により低重心化した4輪バージョン(黒いカバーを外して撮影。2005年大阪大会から使用)



図-13 全方位カメラの例(未影産業製。左がアナログ式、右がデジタル式)

ている。こういった経験により、全方向移動という同一目的のために、機構(ハード)で実現するか、制御(ソフト)で実現するかという、異なる実現方法があり、その目的によって使い分けるべきことが確認できた。

2002年福岡・釜山大会を最後に UTTORI United は活動を停止し、筆者(松元)は2003年からは東洋大学単独で The Orient というチームで参加した。その際には、これまでよりさらに単純化した3輪版も試し(図-11)、車輪も市販のオムニホイールを採用することで低価格化を図った。なお市販のオムニホイールを用いると、車輪列が2列あるために厳密には旋回半径が変動することになるのだが、フィールド床面との適当な「すべり」により、この影響を事実上考慮しなくても構わないことを実験的に確認している。また2005年からは、それまでのデスクトップ PC のマザーボードに増設ボードを使用する方式から、ノート PC の採用と USB2.0 を利用した入出力の採用によりさらに小型軽量化し(約 15kg)、結果として低重心化を実現した(図-12)。

以上が車輪機構を中心とした車体のハードウェアの歴史である。いい機会なので記録として残しておいた。次第に小型軽量化してきているのが理解できるだろう。2004年頃から高速化が競われているので、小型軽量化は必須である。他のチームでも先駆者の開発例を参考にして独自開発の全方向車輪を

開発しており、車輪数は3輪か4輪かは別にして、今のところこういった全方向移動型が主流である。

さてもう1つの特徴である全方向視覚についても簡単に示す。

車輪移動機構が全方向なので、視覚機能も全方位を採用するのは自然な考え方である。カメラをパンチルトすることなく広い視野の情報を一度に得られるのは、データ取得時間の節約のために都合がよい。当然ながら分解能は下がるので、チームによっては通常のカメラ(全方位カメラとの区別のために、しばしば単眼カメラと称される)を併用するケースもある。

図-13 は我々が使用した未影産業製の全方位視覚であり、左側がアナログ式(当初採用)、右側が IEEE1394 (2005年から採用)を採用したデジタル式である^{☆2}。カメラ自体は上向きに配置され、上部にある双曲面ミラーにより全方位の画像情報を獲得できる。図-14 は我々の実験室内で撮影した生画像の例である。図-15 はその生画像の極座標情報において角度方向を横軸、半径方向を縦軸としてパノラマ変換した画像である。生画像では何が映っているか分かりにくいですが、変換画像では机や椅子が映っていることが分かるだろう。これらを比較すると、実世界の鉛直方向が生画像では放射方向になっていることが分かる。人間にとってはパノラマ画像の方

^{☆2} 当時は手頃な USB カメラがあまり存在しなかったし、低速な USB1.1 のカメラしかなかったためそれより高速な IEEE1394 のカメラを採用した。

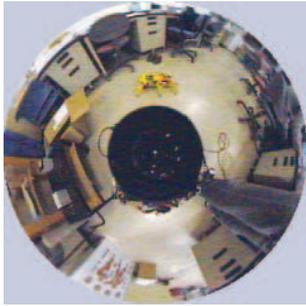


図-14 全方位カメラの生画像の例



図-15 図-14の全方位カメラの生画像をパノラマ変換した画像

が分かりやすいが、ロボットはこの変換にかかる時間を節約するために、生画像を直接処理する。

同様なミラーを使って全方位視覚を多くのチームが採用している。必ずしも双曲面である必然性はない。球面や放物面でも構わない。また単純な局面ではなく、ロボカップのフィールドに合わせて独特な局面を採用することで、よりよい距離計測精度や自己位置同定を実現しているチームもある。またボールが空中を飛ぶようになったため、それまでは地面にボールがあることを前提とした幾何計算になっていたが、他のカメラと併用することでボールの高さも認識できるようにしているチームが増えてきている。

学術的観点から

画像処理と物体認識

ロボカップ中型リーグでの試合中の照明条件はロボカップ立ち上げ当初 800 ~ 1200lux の範囲内と定められてあったため、会場の窓にはカーテンなどをして会場に日光が入らないようにし、ピッチ上にトラスを立て照明を点けることで、1日中照明条件が一定であることを保証していた。この条件を満たすためにフィールドの上いくつかの照明を追加で取り付ける必要がありフィールド設営の負担が大きかった。近年ではカメラパラメータや画像処理アルゴリズムのパラメータを動的に調整する手法が複数提案され、照明状況の変化にある程度ロバストに対応できるようになったため、また将来日光が差し込

む状況でも十分に活動できるような認識技術を育むため、現在では照明条件はより広く規定されている。

また、ロボカップの多くのリーグでは物体認識をより単純に行うため、ボールやゴール、ロボットのマーカなど色でコーディングしてきた。当初は、ボールはオレンジ色で図柄のないものを使用し、ゴールは青と黄色に塗られ、この色情報をもとに相手・味方ゴールを検出し自己位置同定等に利用してきた。照明の変化に対してロバストな色認識を行うために、オンラインでカメラパラメータを制御する手法や色判別パラメータを半自動やオンラインで同定する手法が提案されてきた。

しかし、色情報は照明条件の変化に大きな影響を受けるため、よりロバストな特徴量としてフィールド上の白線に注目し、白線検出に基づく自己位置同定手法が多くของทีมによって開発された。フィールド上の白線は比較的単純な方法で照明条件の変化に対してロバストに検出できるため、近年ではロボカップ中型ロボットリーグの試合に出るための必須技術になっている。

最近では、CPUの高速化やGPUを利用した手法等で幾何モデルを用いた簡単な形状識別が実時間で行えるようになってきており、色情報だけでなく形状情報も考慮したボールやロボット識別手法も中型ロボットリーグに参加しているチームによって研究されている。

現在はレギュレーションでロボットは水色か紫色のチームマーカを着用することになっているが、参加者以外にはどのロボットがどのチームのロボット

なのか識別しづらい。チームオリジナルのユニフォームを着用できるようにすることで観戦者へ分かりやすい情報提供ができ、チームも自チームをよりアピールできると思われる。また任意のボール(色、柄)の認識については前述したが、2050年の目標に向けてできるだけ早い時期にFIFA公認の任意のサッカーボールで試合ができる認識技術が望まれる。

チーム戦術の設計

自律分散システムとしてチーム内の役割分担を動的に行う研究や分散センシングシステムとしての研究も多くなされてきた。試合中の協調や動的役割分担などはロボカップが始まった当初から多く研究され、実際の試合中にも、通信を用いた動的な役割分担を実現しているチームがある。

その一手法を紹介する。各ロボットそれぞれにいくつかの役割と任意の状況におけるその役割の価値関数をあらかじめ設計しておき、基本となる無線通信機能が装備されているので、これを用いて各自が置かれている状況におけるそれぞれの役割の価値を全チームメイトに送信する。一番大きな価値を持つ役割を対応するロボットに割り当て、その役割をリストから除き、次に大きな価値を持つ役割をそれに対応するロボットに割り当てるという作業を繰り返すことで、チームメイト全員に役割を割り当てる。ゴールキーパーとそれ以外のプレイヤーの間で密な通信を行い、ゴールキーパーの視覚システムが故障した場合でも、他のプレイヤーによる視覚情報を用いてタスクを遂行する例や、ゴールキーパーの異常が見つかった場合、他のプレイヤーが自動的にディフェンスにまわる例、ゴールキーパーから他のプレイヤーに指示を出し、相手のパスをカットする位置に移動、またはボールの進行方向を邪魔しないように移動させる例など、実機によって実現している。

協調や動的役割分担を人間が設計するのではなく、試行錯誤によって獲得する手法について取り組んでいる機関もある。ロボカップにおける強化学習の研究としてはシミュレーションリーグにおける研究が有名であるが、大阪大学を代表例として中型リーグ

でも活発に研究が行われている。マルチエージェント環境下において強化学習をロボットに適用する場合、学習を収束させるため、学習者以外のエージェントの行動/方策は固定と見なせると暗に仮定しているが、相手の行動/方策の切替えを状況の変化としてとらえ、それぞれの状況に対して学習器を割り当てる手法を提案している。また、階層的に学習し、下位層の行動の状態価値を上位層の状態変数として導入することで効率的に単独行動や協調・競合行動を獲得できることも示している。複数ロボットの同時学習として、進化的手法を用いて共進化による協調・競合行動の創発についての実験も行っており、ロボットに与えられるタスクの適切な複雑さによる効果的な共進化の誘導について議論している。

個々のロボットの行動設計

ルール改正によってゲーム開始時と再開時のキックオフは間接フリーキックとみなされるようになったため、試合を有利に進めるためにパスプレーは重要な要素の1つとなっている。しかし、ボール保持機構と強力なキックデバイスによりボールをある程度正確に蹴り出すことは可能であるが、ボールを受け取るスキルはまだ向上の余地が大きい。まず、飛来したボールの軌道を移動しているロボットが正確にリアルタイムに予測することが難しく、またボールの進行方向に位置取りぶつかるだけでは、ロボットの外装は通常堅く作られているため、ボールが跳ね返ってしまい、ボールを保持できず、悪くすれば相手にボールが渡ってしまう。したがって多くのチームではできるだけパスを出さずに、ルールに違反しない程度にロボット単体でドリブルしてシュートまで持っていく傾向がある。ボールの自分に対する速度を推定し、その速度に応じてボールが受ける瞬間に後退することでボールをうまく受け取るように工夫しているチームもある。この点については認識技術だけでなくロボットの機構や制御手法の一環として研究されるべきであり、この技術は将来人間と協調するロボットを実現する際にさまざまな状況で必要となる技術の1つとなるはずである。



無線通信

無線通信については、ロボカップ大会当初から大きな課題である。ロボット間通信のために無線通信は必須であるにもかかわらず、試合中に無線トラブルが頻発し、ロボットに指令が届かないため試合にならないことが多かった。1997年の初回大会には、昼休み時間帯にアマチュア無線がたくさん飛び交うことでその時間帯にはロボカップの小型リーグの試合を中断せざるを得なくなったことをよく記憶している。中型リーグでは当初から無線LANを使っていたが、電波法の規制からか日本のLANアダプタより外国製のLANアダプタの方が電波のパワーが強く、結果として日本のLANアダプタを使っていると通信ができないという現象も残念な記憶の1つである。

また、その後無線LANが一般化してきた頃から、無線LANで使用される2.4GHz帯は家庭用電化製品や携帯型ゲーム機でも多用されることから、参加者や観戦者が持っている電子機器が使用者の知らないうちに干渉する現象も毎回起こっている。最近は無線の技術向上と参加チームの無線に対する理解が高まったこともあり、以前ほどは深刻なトラブルになることは少ないが、目に見えずに音としても聞こえない通信のため、原因を特定しづらいやっかいな問題である。

そこで中型リーグでは2004年前後からホイッスル音を認識してレフェリーの指示を聞き分けるシステムの導入が検討され、実際に複数のチームによってホイッスル音認識手法が提案され試されてきた。残念ながらまだ試合での導入には至っていないが、将来人間のレフェリーの指示を人間と同じように正確に理解させるために、ホイッスル音認識技術だけでなくレフェリーのジェスチャを理解する認識技術も必要となる。

ルール設定の観点から

技術の進化を促すルールの変更

ロボカップ中型リーグでは、2007年度の大会期

間中に Exec Committee から提案された今後のロードマップに従って毎年ルール変更が行われている。ルール変更は、毎年大会期間中に各チームの代表者が集まり、Exec Committee, Technical Committeeでの協議を行いその年のルールの変更点を決定する。その後、詳細を Technical Committee^{☆3}のメンバによって議論し、毎年12月頃に新ルールとして交付される。

2006年ブレイメン大会では試合会場のコート周辺には大きな窓が存在したため、結果として会場の照明条件が緩和されたことで画像処理技術の向上が大きな技術的課題となった。つまり空間的・時間的に一様でない照明環境下でロボットは色を推定して行動を決定しなければならないという問題が生じた。そこで、カメラパラメータを自動的に調節する手法や色判別パラメータを半自動やオンライン・学習で求める手法が提案された。

2007年は、前述のようにフィールドが12m×8mから18m×12m(バレーボールコートより横幅が広いサイズ)へと変更されたことで、自己位置同定技術の変更も余儀なくされた。そもそも全方位カメラでフィールド全体を一度に俯瞰することが可能になった。以前までの自己位置同定手法は、コートのコーナー付近に黄と青を交互に塗ったポストが立てられていたのでこれを利用して、色付きのゴール(青, 黄)およびポストを用いた三角計測による自己位置同定が主流であった。しかし、フィールドの拡大に伴い、三角計測を用いた自己位置同定は困難となり、コートを描く白線を用いた自己位置推定手法を用いるチームが増加した。2008年度以降は、コーナーポストの廃止およびゴールの色の撤廃に伴い、白線を用いた自己位置同定技術が必須の技術となった。

ボール操作に関してはルール変更の影響を受けている。2008年以前のロボットは、いかにうまくドリブルして、ゴールまでボールを運ぶことができるかという戦略が主流であった。すなわちドリブルに

^{☆3} Technical Committeeは、毎年3名を選挙によって選出する。任期は、1年で再任は可能である。

必要なボール操作機構に対してさまざまな工夫がされていた。もちろん強いキックができるような機構についても工夫がされていた。しかし2008年にセットプレー（フリーキック、コーナーキック、ゴールキック、キックオフ）はすべて間接フリーキックとみなされるようになったことから、ロボットがフリーキック後にボールをそのままドリブルしてゴールすることや直接ロングシュートをしてゴールを決めることが禁止された。結果として、パスを行う技術（キック力を変化させる必要がある）や正確にボールを転がす技術・受け取る技術の高度化が必須となった。つまりキック機構・ボール操作機構が影響を受けた。2008年以前はキック力を変化させるキック機構を持つチームは少数であり、一定の力でキックする機構が主流であったためパスをすることはほとんどできなかったが、ルール変更以降多くのチームが新しいキック機構の開発に取り組んでいる。現在では、オランダのTech UnitedやポルトガルのCAMBADAといったチームに代表されるようにソレノイド機構を用いたキック機構が主流となっており、コンデンサを用いて電氣的にエネルギーを調節してキックの強さを調節する。これらのロボットでは、最高10m以上の距離をキックによって放つことができる一方で近い味方にパスするときの弱いキックも可能で、これらを使い分けることができる。また、パスされたボールの受け取り方やドリブル時のボール保持の方法もルール変更の影響を受けている。ボール操作機構をうまく設計開発し、ボールを運ぶ際にも回転動作やスラローム走行をうまく実現する技術に工夫が必要となっている。

このように、過去では、ロボット単体がボールをルールに反しない程度にドリブルしていき、シュートを行う傾向が強かったが、パスプレーを促進するルールに変更されたことにより試合中にパス動作を多く見ることができるようになった。また、大会中に毎年行われているTechnical Challengeでは、9割以上のチームがパス行動を成功するようになってきている。

ルール関係で忘れてはならないのが、レフェリー

ボックス (ref-box)⁷⁾ の存在である。レフェリーボックスとは、小型ロボットリーグによって先行導入されていたシステム²⁾を中型リーグの設定に合わせて改訂して採用したもので、人間の審判と各チームのコーチボックスの間の情報伝達を受け持つ。すなわち、レフェリーボックスは、各チームのコーチボックスに対して、どちらのサイドのスローイン／ゴールキック／フリーキックなのか、何番のプレイヤーが反則をしたのかなどの状態を記録し、それを各チームに伝える、いわばコンピュータによる補助審判である。各チームはレフェリーボックスからの指令を受け取るためのサーバ（すなわちコーチボックス）を用意し、これによってレフェリーボックスからの信号を適切に解釈し、自チームのロボットへ適切な命令、たとえば、フリーキックにふさわしいフォーメーションを取るような動作命令を各ロボットに送る。

レフェリーボックス導入以前は、試合の開始・中断に際し、それぞれのチームのロボット・オペレータ（人間）がレフェリーの指示に従ってロボットにスタート・ストップの信号を送ったり、試合のリスタート時に人間がロボットを手動（遠隔操作あるいは手運び）でポジショニングしていたりしたため、試合を中断している時間が比較的長かった。中型リーグではレフェリーボックスは2004年から導入され、試合中はロボットの故障・交代時を除きチームの人間によるロボットの操作を一切禁止し、レフェリーボックスのみが試合を制御する信号を送ることができるようにすることで、試合の半自動化が可能になった。スローインやゴールキック、コーナーキックなどのセットプレーもチームの人間がロボットを操作することなく自動的に行えるようになった。この結果、試合運用が格段にスムーズになり、観客にとってもより自然な試合環境となった。

レフェリーボックスはその後改良が続けられており、参加チームはレフェリーボックスの仕様を理解し、それに対応したコーチボックスを実装することと、それに伴ってロボットは自分自身や相手やボールの位置同定が短時間に十分な精度で推定できる



こと、およびそれを基本としたポジショニング技術・フォーメーション技術を実現していることを要求される。

ルールの変更と今後の課題

前節で述べたように、ルール変更によって多くの技術が要求され、結果として実際に技術が向上していることが分かる。その反面、この数年の頻繁なルール変更により参加チームの技術開発が追いつかず、結果として参加チームが減少するという問題点も生じた。そのため、Technical Committeeとしては、現在の技術の現状を考慮して、ルール変更の内容と頻度および技術課題を設定する必要があるという認識となった。本節では、これからのロードマップと今後の技術課題について現状を踏まえながら述べる。

現在、大きなルール変更のトピックとして取り扱われているのが、ボールの色の廃止である。現在までは、ボールはオレンジ色のボールを使用するという規定が存在しているので、ボールを推定するためには色を抽出してボールを特定するといった技術が主流である。しかし、2050年の最終目標を考えると、人間の大会で使っているようなボール、たとえば白黒を基調とした模様のボールにも対応することが望まれている。そのため、2010年度のルールでは、1カ月前までは色および模様が発表されず、1カ月間でボールを特定する技術を考案せよという課題が設定された。2010年の世界大会では、ほとんどのチームがボールを特定することに成功していた。しかし、9割以上のチームが色を用いた推定手法を用いていた。そのため、現在はボール色設定の排除は時期尚早と考えられている。今後は、Technical Challenge等において不特定色のボールの同定を課題として競技を行い、大半のチームが不特定色のボールを同定できるアルゴリズムを確立したときに、ボールの色柄に対しての新ルールに移行するといった措置がとられるであろう。現在では、色以外の推定手法として、ボールを球としてみなし（ただし通常のエッジ検出手法では球と判別することはできないことに注意）、形状による認識方法やフィールド

の色との色差を求めて大きく違ったものを物体として認識するといった手法が試みられている。ただし、これらの手法は色同定に比較して計算時間がかかることが課題として残っている。

次に、それ以外に挙げられる近い将来の課題を挙げる。

- ・屋外での試合
- ・整備されていない環境における自己位置同定
- ・レフェリーの自動化
- ・FIFAルールへの完全な準拠

特に、屋外での試合は近い将来に実現するようにさまざまなチームが開発を行っている。またレフェリーの自動化については、大きな課題である。ロボカップでは、プロの審判がいるわけではないので、各チームに審判を割り当てているが、経験の差から各ゲームの判定に差が出てくることが問題となっている。そこで、ルールをより現在人間が行っているサッカーのルールのように単純化し、自動的に審判を下すことができるシステムの確立が求められる。

そして、最も重要な課題は、ロボットが人間と同じようにサッカーをするために、より協調した行動計画をたてることである。この課題は、ロボカップが開始されて以来大きな課題であるが、現在までの状況は協調行動の活かされた動作は少ない。そこで、今後もルールを変更する上では、協調行動や役割分担の研究がうまく向上するような課題を設定していかなければならないのではないかと考えられる。

今後に向けて

本稿は中型リーグに参加するだけでなく大会運営側にも関与している3名の著者の合作である。松元が「概要」と「今後に向けて」を担当し、高橋が「学術的観点から」、武村が「ルール設定の観点から」を担当し、松元が全体を調整した。松元と高橋は1997年の第1回世界大会から参加し、中型リーグの歴史を体験してきた。松元は当初はUTTORI Unitedという宇都宮大・理研・東洋大合同チームの一員

として、また後には The Orient という東洋大学単独のチームの一員として参加した。高橋は当初は Trackies という大阪大学のチームの一員として参加し、実機を用いての行動学習の実証研究を行い、福井大学に異動後も活動を継続している。また武村は Hibikino-Musashi という九州工業大学・北九州市立大学・FAIS の合同チームの一員として活躍し、九州工業大学から日本文理大学に異動後も活動を継続し、大学単独参加の準備中である。現在は世界大会の technical committee や exec committee の一員である。

日本国内における中型リーグ参加チームは、ピーク時で 10 チーム程度であり、国内大会には参加しても世界大会に参加するのは、そのうち 3～4 チーム程度にとどまっている。しかも最近は減少傾向かつ栄枯盛衰の傾向にある。2010 年までの国内大会に一度でも参加したことのある機関は以下のとおりである(ほぼ、初参加の年代順)。

- ・大阪大学
- ・宇都宮大学・東洋大学・理研 合同チーム
- ・慶應義塾大学
- ・金沢工業大学
- ・三重大学
- ・九州大学・福岡大学 合同チーム
- ・九州工業大学・北九州市立大学・FAIS 合同チーム
- ・村田機械
- ・福井大学
- ・東洋大学
- ・大同大学(参加当初は大同工業大学)
- ・東京工芸大学
- ・東京電機大学

また表-1 はこれまでの世界大会中型リーグの優勝国(日本が優勝した場合は大学名も併記)の一覧である。国別で言うとドイツと日本が強豪国であったのだが、最近はアジアの国々の台頭はめざましく、2010 年のシンガポール大会では中国がついに初優勝を遂げ、2011 年も連覇した。

年	開催国(都市)	優勝国
1997	日本(名古屋)	日本(大阪大) & アメリカ
1998	フランス(パリ)	ドイツ
1999	スウェーデン(ストックホルム)	イラン
2000	オーストラリア(メルボルン)	ドイツ
2001	アメリカ(シアトル)	ドイツ
2002	日本(福岡)+韓国(釜山) 共同開催	日本(慶應大)
2003	イタリア(パドバ)	日本(九州大・福岡大)
2004	ポルトガル(リスボン)	日本(慶應大)
2005	日本(大阪)	日本(慶應大)
2006	ドイツ(ブレーメン)	ドイツ
2007	アメリカ(アトランタ)	ドイツ
2008	中国(蘇州)	ポルトガル
2009	オーストリア(グラーツ)	ドイツ
2010	シンガポール	中国
2011	イスタンブール(トルコ)	中国

表-1 世界大会(中型リーグ)における歴代優勝国(日本の場合には大学名も記載)

中型リーグの場合、1 台のロボットにざっと 100 万円かかる。それを 5, 6 台そろえるのには数年かかる。それを維持や更新するのにも費用が必要である。またロボットのハード・ソフトを開発して大会に参加する人間の数もある程度必要(ロボット 1 台に学生・院生が 1 人は欲しいところ)なので、遠征費もかかる。大学では毎年世代交代するので、技術レベルを保ち、ノウハウを伝授するのも容易ではない。簡単にいうと、ヒト、モノ、カネがそろわないと活動を継続できないのである。

ロボカップは普通のロボットコンテストと同様に扱われることが多いが、要求する技術レベルの高さ、結果としての機材の値段の高さの面で、他のロボットコンテストとははるかにレベルが異なる。最高レ



ベルのロボットコンテストといえよう。工学教育としては最高レベルの技術や体験ができるという意味で格好の課題であるのだが、工学教育という御旗だけでは資金援助を獲得しづらいのが現状である。モノづくり・システムづくりが伴う以上技術的な完成度が要求され、それを追求しすぎると科学的な観点でのオリジナルの研究ができなくなり結果として研究論文が書けなくなり、研究論文が書けないと補助金の申請がしにくくなり、資金不足になってロボカップに参加し続けるのが難しくなるという負の連鎖があるのが実態である。そういった苦しい状況の中で、各チームがなんとかして活動を継続している原動力は、ロボカップ自体の面白さにほかならない。なんとか現状を打破して、日本全体としての活力をあげ、台頭するアジアの国々に負けないようにしたいものである。

最後に、ロボカップの国内大会や国際大会に対して、参加したチームの関係者、ならびに大会運営に協力いただいている多くの方々、またスポンサーとして財政的に支援していただいている企業関係者に感謝する。こういった多くの人々の協力、連携によってロボカップは世界的な活動となっている。

参考文献

- 1) 浅田 稔, 松原 仁: ロボカップ創世記(ロボカップ道しるべ第1回), 情報処理, Vol.51, No.9, pp.1195-1200 (Sep. 2010).
- 2) 長坂保典: 小型ロボットリーグ(ロボカップ道しるべ第3回), 情報処理, Vol.52, No.1, pp.95-110 (Jan. 2011).

- 3) 高橋泰岳, 松元明弘, 中村恭之: ロボカップ中型機リーグ: 2050年に向けてのロードマップ, 2003年計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.913-914, 東京 (Dec. 2003).
- 4) 高橋泰岳: 中型ロボットリーグ 2050年に向けてのロードマップ, 人工知能学会誌, Vol.25, No.2, pp.207-212 (2010).
- 5) RoboCup Federation: RoboCup Middle Size League Main Page, http://wiki.robocup.org/wiki/Middle_Size_League/
- 6) FIFA: Futsal Laws of the Game 2010/2011, http://www.fifa.com/mm/document/affederation/generic/51/44/50/spielregelnfutsal_2010_11_e.pdf
- 7) RoboCup MSL Refbox, Technical report, <http://sourceforge.net/projects/msl-refbox/>

(2011年6月29日受付)

■松元明弘 akihiro@toyo.jp

1983年東京大学大学院修士課程修了後5年間同大助手を務め、1988年東洋大学に異動し、講師、助教授を経て現在教授。工学博士。日本機械学会、日本ロボット学会、精密工学会、計測自動制御学会、IEEEなど各会員。NPO自動化推進協会会長。ロボカップ開設時から中型リーグに参加し、NPOロボカップ日本委員会理事(中型リーグ担当)を経て現在理事長。

■高橋泰岳 yasutake@ir.his.u-fukui.ac.jp

1994年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学博士後期課程中退、同年同大助手となり助教を経て、2009年から福井大学大学院講師となり現在に至る。博士(工学)。人工知能学会、日本ロボット学会、日本知能情報ファジィ学会など各会員。ロボカップ開設時から中型リーグにかかわり、知能ロボットの行動獲得に関する研究に従事。

■武村泰範 takemura@nbu.ac.jp

2010年九州工業大学大学院生命体工学研究科脳情報専攻博士後期課程修了、同年日本文理大学工学部機械電気工学科助教となり、現在に至る。博士(工学)。ロボカップ中型リーグや脳型情報処理を用いたロボットの知能獲得に関する研究に従事。日本ロボット学会、日本機械学会など各会員。現在、RoboCup世界大会中型リーグ Exec Committeeのメンバ。