

RoboCup を通じた学びと世界一位までの取り組み^{*}

Learning through the RoboCup and Process to be the Winner

前川大輝^{*1}
(Daiki Maekawa)

Key Words : RoboCup, Learning, Real Experience

1. はじめに

本稿では、RoboCup¹⁾ を通じた学びと、本チーム CIT Brains が世界一位になるまでの取り組みに関して解説する。チーム CIT Brains は、千葉工業大学工学部未来ロボティクス学科の発足の年に生まれ、現在までに出場した大会の全てにおいて、3位以内の入賞を果たしている。ブラジルで開催された RoboCup2014 においては、ヒューマノイドリーグキッドサイズ部門(90cm 以下)で優勝を果たし、最も優れたヒューマノイドに授与されるルイヴィトンベストヒューマノイド賞にも選出された。(Fig. 1)

このようなチームがどのように生まれて、どのような活動を行ってきたかを、学生の視点でまとめたので報告する。



Fig.1 Team CIT Brains in 2014

2. チーム CIT Brains の歴史

2.1 設立当初の歴史 (2006年～2007年)

チーム CIT Brains は、メンバの多くが所属する未来ロボティクス学科の創立の年である 2006 年に生まれた。実際に大会に参加したのは 2007 年からである。未来ロボティクス学科は新設学科であったため、学科創立当時は 1 年生しかいない状況であったが、その 1 年生の中でロボカップヒューマノイドリーグに挑戦したいという希望があり、それに答える形でチームが生まれた。サッカー小型機リーグに参加していた林原靖男准教授(現在教授)と歩行を専門としている南方英明准教授に指導を仰ぎながら、様々な外部のメンバの協力の下、まずはサッカーができるヒューマノイドロボットを開発するという課題を達成するための試行錯誤が始まった。

創立メンバとしては、千葉工業大学以外に、株式会社ブレインズ、はじめロボット研究所および西淀川経営改善クラブ、個人として参加されていた入江清氏と多くの企業、個人が参加していた。(Fig. 2)このように、プロフェッショナルから直接学ぶ環境が整っていたことが初期のチームの特徴であった。これを成し得たのは、株式会社ブレインズの協力であり、本チーム名である CIT Brains の Brains はこれに由来している。

活動当初、千葉工業大学のメンバは過去にサッカーを行うヒューマノイドを開発した経験がなかったため、その経験のある、はじめロボット研究所の坂本元氏に指導を仰ぐことになった。まずは、学生のリーダーと林原准教授が坂本氏のところに伺い、ロボットを組み立てながら、その要諦を学ぶという作業を行った。この作業により、必要最低限の知識を得ることができた。また、株式会社ブレインズは、画像処理を名刺サイズで行う CPU ボードを開発しており、それをを用いることで、技術的なアドバンテージを得ることができた。さらに、複雑なアルゴリズムを有する自己位置推定な

* 原稿受付： 2014 年 9 月 22 日

*1 非会員、千葉工業大学工学部(〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

どは、個人で参加していた入江氏が開発を担当して、学生だけでは開発が難しい部分をうまく補いながら、完成度の高いシステムを開発していった²⁾。これらの要素がうまく融合することで、初年度から入賞を重ねるロボットシステムの基盤ができたと考えられる。



Fig.2 Team CIT Brains in 2007

2.2 第1世代から第2世代への歴史

(2008年～2009年)

このように設立したチーム CIT Brains は、全てがうまく運営できていたわけではない。初年度の学生メンバは4名であったが、1名引退して3名となり、しばらくは新メンバも参加することなく、活動の危機にさらされた。ロボカップは先端的な技術に触れられる半面、大学1、2年次のメンバが理解するには難しいことが多く、必然的に社会人の開発をサポートするという位置づけになりがちであった。チーム内の合意で全てが進められていたため、自分の意見に沿って開発するためには、他のメンバを説得するという作業から入らねばならず、それがまどろっこしく感じるメンバも多かった。

このような時期が続いたが、危機感を持ったメンバの積極的な勧誘が功を奏して、未来ロボティクス学科の第2期生が参加して7名となった。その中には、現在、佐川電子株式会社でパワードスーツを開発・販売している町浩輔氏もいる。多彩な能力を有する学生が集まることで、ロボットの開発と改良が進んだ。2008年からは、1m程度の大型のロボットの開発も行い、ティーンサイズ部門への挑戦も始めている。2008年には Kugimiya, 2009年には xega (Fig. 3)と名づけた1mサイズのヒューマノイドを立て続けに開発している。また、他大学の院生も参加して、単にボールを見つけて

シュートするだけのロボットから、状況を判断して戦略的に動くような知能の改良も行われた。

この改良において、特筆すべきはチーム内での連携である。初期のヒューマノイドロボットは、調整が難しく歩行を継続するためには、熟練したメンバの調整が必要であった。プログラムのチェックをするためには、どうしてもロボットを動かすことが必要になるため、ハードウェア担当のメンバが常にサポートに入りながら、ソフトウェアの開発を助けた。今でも「10分動かすのに1時間」という言葉が語り継がれている。これは、10分歩行するためには、1時間の調整が必要だったことを表したものである。千葉工業大学以外のメンバがソフトウェアを開発するときには、ハードウェア担当がその現場に出向いて調整を行うということもあった。まさに、プログラムの要求に応じて、常に動くハードウェアを努力により実現していた。

また、第2、3期生が活躍しはじめた時期には、ティーンサイズだけでなく、Fig. 4に示す第2世代のキッドサイズヒューマノイドロボットを開発している^{3) 4)}。第2世代ロボットは、身長を高くして、歩行速度を上げることを一つの目的とした。それに関しては、達成できたが、モータの熱の問題や調整が難しくなり、結局より調整するメンバに負担を強いる結果となった。結果的に、ハードウェアの不具合や調整不足で、ソフトウェアの開発が遅々として進まない状況になった。そのため、その後開発されたロボットに関しては、ピークの性能より安定性やメンテナンス性を重視した設計に変更している。



Fig.3 Teen Size Humanoid Robot "xega"



Fig.4 Soccer Game in Humanoid Kid Size League

2.3 第2世代から第3世代へ (2010年~2011年)

キッドサイズの第2世代ロボットの反省を踏まえて、Dynamoと名づけた第3世代の開発が始まった^{5) 6)}。重視したのは、安定性とメンテナンス性で、サッカーで動き続けるという意味を持つDynamoという名前にその思いを込めた。具体的には、例えば脚部機構に平行リンクを採用したり、メインのコンピュータを一般的なPICO-ITX規格のものにしたり、OSをNetBSDからMicrosoft Windowsに変更するなど、それまでに開発した資産を一度破棄する覚悟の修正を行った。この時期になると、社会人の参加が減り、千葉工業大学のメンバのみで開発することが多くなっていた。そのため、システム開発においては、多くの失敗を繰り返し、特に電源周辺のトラブルが絶えず発生して、PCが破損するという現象に悩まされた。それを一つ一つ解決して、ようやく安定して動作するようになったのは、開発を始めてから2年後であった。ソフトウェア面でも、NetBSDからWindowsへの移行に関して、さまざまな問題に直面した。特にデバイスを駆動するプログラムが、相性などの問題もあり、安定して動作するまでに時間を要した。

この時期に特筆すべきは、ロボカップを立ち上げた第1期生が大学院に入り、ロボカップが研究対象となったことである。それまでのロボカップは、どちらかというと試行錯誤の繰り返しで、データを蓄積して解析するということはあまり行っていなかった。再現性のあるシステムではなかったということもあり、外部への情報発信は、システムの構成と大会における結果が主であった。それが、メンバが大学院生となったことで、ロボカップというプラットフォームを利用して、学習や歩行といった研究を進めるという形ができあがってきた。その研究の成果を実機に組み込むことで、ロボットがより安定かつ的確に動作するようになり、ロボカップでの成績も上昇していった。

また、この時期に、シミュレータの開発も行っている。ロボカップ用に開発したソースコードを改変することなく、シミュレーションできるシステムを、Coppelia Robotics社製v-repをベースとして構築した。ちなみに、動力学だけでなく、カメラによる画像取得などもシミュレートしており、システム全体の検証が行えるようになっている。本シミュレータの効果は絶大で、今まで実ロボットが無いと検証できなかったことが、コンピュータ上で容易に検証できるようになった。これにより、画像処理、歩行制御、行動決定プログラムなどのソフトウェアの開発速度が大きく上がり、システムの安定性も増していった。現在では、ソフトウェアの検証を、シミュレータ9割、実ロボット1割程度の割合で行っている。ちなみに、シミュレータの必要性はチーム発足当初から叫ばれてきたが、まずは実ロボットを安定して動作させることに注力していたため、後回しにされていた。



Fig.5 Teen Size Humanoid Robot "xega" and Kid Size Humanoid Robot "Dynamo"

2.4 第3世代から4世代へ (2012年~)

さまざまな苦勞を重ねながら、開発した第3世代は世界大会においてサッカー3on3で2位、テクニカルチャレンジで1位を獲得するなどの結果を残した。ただし、ここで大きな問題が待ち構えていた。それは主要メンバの引退である。本チームを創立して発展させてきたメンバが一斉に引退する時期を迎えようとしていた。残るのは当時2年次の2名だけであり、ここでチーム解散の危機となった。ロボカップはサークルでも研究室でもなく、学科のプロジェクトとして運営されている。特に勧誘を行わず、希望する人がいればメンバに追加するという形で組織してきた。未来ロボティクス学科は3年次に研究室配属があるため、そこ

でチームを離れる学生も多く、メンバは常に不足していた。

ただし、これは予め予想されていたことでもあり、その対策として **Accelite** と名付けた第4世代の開発に着手していた⁷⁾。熟練したメンバがいなくても運用できるシステムを目標として、第3世代で問題となっていた運用の難しさや、不安定さを取り除くことを重視したシステムの開発を目指した。具体的には、制御回路のユニット化、充電回路の内蔵化、歩行の安定化、軽量化、モータに必要とされるトルクの軽減など、多くの項目に渡った。特に、電子回路は運用が難しいところであるため、**Fig. 6**のようにスロットインシステムを新たに導入して、素早く部品を交換できるようにした。また、充電回路を内蔵することで、ノートパソコンのように、本体にACアダプタをつなぐだけで充電が開始されるようにした。また、もともと一般的なPCが搭載されているため、**Fig. 7**のようにキーボードとディスプレイを繋ぐだけで、スタンドアロンで開発できる環境が整えられており、手足のついたパソコンという位置づけも可能な構成になっている。これに合わせて、メインコンピュータのOSをWindowsからLinuxへと変更した。歩行制御で、より厳密なりアルタイム性を求めるためというのが、その理由である。ただし、その後のプログラムに関しては、機種依存性をできるだけ排除するようにしている。実際にシミュレータは現在でもWindows上で動かすことが多く、入り口を下げる努力をしている。

第3世代の **Dynamo** は、それ以前のロボットに比べれば長時間安定して動作するようになっていたが、それでも試合後半になるとモータの温度が高くなる。サーボモータには温度センサが取り付けられており、90度を超えると強制的に停止するが、しばしばそれが働くこともあった。これを回避するために、第4世代は1割以上の軽量化を行い、脚も短くすることで、モータの負担を減らした。さらに、大学院のメンバが、歩行時のモータ温度の研究を行い、温度上昇の要因とその対処法を明らかにしていった。その成果を実機に取り入れることで、従来より歩行速度を上げつつも、モータ温度の加熱を防ぐシステムを構築することができた。

このように第3世代の問題を解決することを目的として開発を始めた第4世代であるが、その完成にはやはり2年を要した。2013年のロボカップでは、転倒時にデバイスとの接続が切れるなどのシステムの不安さが目立ち、第3世代の

Dynamo を出してなんとか凌ぐということを繰り返した。あとで画像処理関連のバグが一つの要因であったことが分かったが、他のチームの意見を聞いても安定したシステムを得るためには、2年という歳月が必要なことをよく耳にする。以上のような、試行錯誤を繰り返しながら、その時のチームの事情やメンバの思いで方針を決定して、一丸となってサッカーヒューマノイドを開発してきたのが、本チームの歴史である。

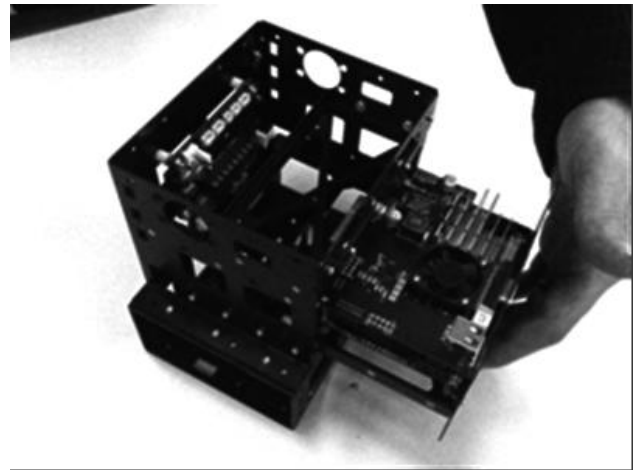


Fig.6 Slot in Mechanism for the Main Computer

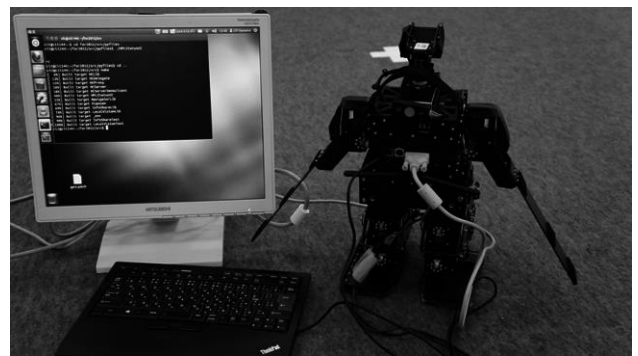


Fig.7 Standalone Development Environment

3. チーム CIT Brais の運営

ヒューマノイドが自律でサッカーを行うロボカップのシステムは複雑かつ巨大で、チームメンバ全員が情報共有をしっかりと行い、合意の下で開発を進めていくことが重要だと考える。本章では、チームの運営に関して述べる。

3.1 情報共有に関して

情報共有の仕組みとして、以下の4つを取り入れている。

- 1) チームミーティング
- 2) グループミーティング

3) facebook

4) GitHub

1) チームミーティング

チームミーティングに関しては週1回、報告及び審議を行う。設計を行っているときには、数時間かけて話し合うこともあるが、連絡事項を1時間程度にまとめて連絡しあう。個別の話に関しては、簡潔に行い複雑な内容に関しては、予めfacebookやGitHubを通じて伝えておくようにしている。

2) グループミーティング

グループミーティングは、機械、電気、情報の3つに分かれて行われる。より具体的な議論をしたり、勉強会などを行っている。例えば、情報チームでは、勉強会でソースコードの読み合わせなどを行っている。Fig. 8は、歩行制御に関して大学院生が講義を行っている様子である。このような勉強会を通じて、先輩から後輩へとロボットを開発するための知識を伝えるようにしている。

3) facebook

以前はメールリストを使用していたが、1年前からfacebookを使用するようになった。ミーティングの議事録や、イベントの連絡や、個人の提案などがここを通じて配信される。

4) GitHub

主にソースコードの管理とタスク管理に使用している。ロボカップはシステムが複雑で様々な問題を抱えているため、多くのタスクが発生する。そのタスクを列記して、期日と担当者を決めて抜けの無いようにしている。開発フローにはGitHub Flowを採用して、問題点の議論と開発を密に関連付けることで、ソフトウェアの品質を保証するようにした。



Fig.8 Lecture in the Team

3.2 チーム内での議論と決定

ロボットの開発において、他のメンバに影響がある内容に関しては、かならず提案して承認を得てから進めている。チームとして、どのような方針で、何を開発するのか、現在何が問題なのかということをもメンバ全員で共有して、各自の努力が、最終的に一つの形となるようにしている。例えば、ロボカップ世界大会が終了すると、各メンバが現状の問題と、来年に向けたシステムの提案を行う。数十に及ぶ問題や提案に対して、チーム内で議論を重ねて、チームとして、どのようなロボットを開発するかというイメージを共有する作業を行う。このような作業を通じて、いろいろなアイデアを取り込みつつ、新しい挑戦を多く含んだロボットの案を作成していく。

皆で合意した案に従いロボットを開発していくが、大会が近づくと、ソフトウェアの完成度が問題となる。いくら良いメカニズムや電子回路を開発しても、ソフトウェアに問題があれば全てが台無しになる。特にロボカップは自律型ロボットであるため、ソフトウェアに問題が発生するおそれが高い。これに関しては、練習試合を多く行い、全てのメンバが納得したものを採用している。実行した時間が短い新しいソフトウェアは必然的にバグを含んでいるおそれが高い。そのため、新しく開発したプログラムの利得とリスクを提示しつつ、メンバ全員でそれを評価して最終的に納得のいくものを採用している。納得するために、データの取得と提出を求めることもあり、それがシステムの頑健さに寄与していると考えられる。

4. チームに参加したきっかけから現在まで

前章まで、チームの歴史や運営方法に関して述べてきた。本章では、私個人に焦点を当てて、参加したきっかけから今までに行ってきたことに関して、一人のメンバ及びチームリーダーとしての視点で述べる。

4.1 チームに参加したきっかけ

チーム CIT Brainsに参加したきっかけは、高校生の時に世界の舞台で戦うチームのことを知り、強い憧れを抱いたことが始まりである。チームと共に世界一になりたいという思いで千葉工業大学に入学し、すぐにチームの門を叩いた。その時点で技術も経験もなく、「ただやる気だけはあります」としか言えない状況であった。チーム CIT

Brains は希望者の全員がメンバになるシステムであるため、その日からチームメンバとなった。チームでは、上級生を中心とした実践的なレクチャを受けることができた。この時点で、チーム内では、上級生が下級生に対して、講義および実ロボットを使いながらの解説を行うことが慣例となっていた。

4.2 ロボカップ 2013 と 2014

大学 3 年次のときに、今までチームを支えてきたメンバがほぼ卒業し、残されたのは私とロボカップ経験 1 年未満のメンバの 2 人だけになった。世界大会を 1 度経験しているとはいえ、2 人だけで活動は成り立たずチームは消滅の危機に立った。勧誘を行い、世界大会でロボットを運用できるだけの人数が集まったが、複雑な自律型ヒューマノイドロボットを扱うためには、まず教育が必要であった。しかし、過去に蓄積してきたノウハウは資料という形では残されていなかった。ここが、学生を中心とするプロジェクトの難しいところで、メンバが頻繁に入れ替わるため、培った技術をどうやって次に繋げるのかが問われる。

ここで、学生リーダーという形で我々がチームに関する決定権の一部を引き継ぐことになった。新入気分が抜けない我々に大切なチームを託したということの意味を考えると、この苦難を「今いるチームメンバで乗り越えろ」と成長を促されているように感じた。また、それと同時に「お前たちならできる」と信頼されているのだと思い、その期待に応えなければならないと考えるようになった。

ゼロからのスタートを切らざるを得なかった我々がまず初めに取り組んだことは、残されたロボットが動いている仕組みの理解とそのドキュメント化であった。そして、問題が発生した際にはバグ管理システムを使用してその解決までのノウハウを刻銘に記録するようにした。メンバを広く募集して、後輩の教育にも力を入れた。

こうして迎えたロボカップ 2013 の成績は、試合で 4 位とチームが初めて世界大会に参加した年に次いで 2 番目に悪い結果となった。敗因はチームの士気と実力を十分に高めることができず、結果としてほとんど改良されていないロボットで大会に参加したことだと考える。ロボカップにおける技術の進化はとても早く、常に世界の頂点で凌ぎを削っていたチーム CITBrains でも、一年のブランクであつという間に時代遅れのチームになってしまうという現実を突きつけられた。他チーム

との実力差は、4 位に入ったのが偶然ではないかと思うほど歴然としていて、トーナメントの組み合わせによっては予選敗退していてもおかしくないと感じた。

このような不本意な結果になってしまい、我々にチームの行く末を任せた先輩方のことを考えると申し訳ない気持ちでいっぱいになったが、それをバネに来年度こそは期待に応じて世界一になると意気込みを新たにした。こうして 2014 年の世界大会に向けて我々は歩みだしたが、すぐに問題に突き当たった。研究とロボカップの活動の両立が難しいため、世界大会を経験した多くのメンバがチームを抜けることになった。残った同期のメンバも就職活動で参加することが難しくなり、中には、世界で見たあまりの実力差に開発意欲をなくしてしまうメンバも出る状況であった。

そんな中、メンバの一部ではチームの終焉が近づいているのではないかとする意見まで出始めていた。このような状況の中で、チームを支えたのは、新しく参加した 2 年生を中心とするメンバであった。特に就職活動が忙しい時期には、活動日に集まるのが私と彼らだけという状況がしばらく続いた。その間、黙々と与えられた役割を全うして、成果を出していった。その前向きな姿勢に触発された上級生のメンバが、真摯な気持ちでロボット開発に向かい合うようになり、開発が進んだ。フィジカルと歩行速度を向上させるため、機体の運動制御を根本から見直した。知能に関してもゼロから作り直し、ゲーム AI の技術を応用した高度な行動計画、4 機体での強調プレーを実現させた。その他、数十にも及ぶ問題を解決し、第 4 世代の Accelite のシステムを十分に安定化した。この時、システムの信頼性を上げるために新しい開発フローを確立し、変更には必ずレビューの工程を入れるようにした。

このようなロボット開発へのひたむきな情熱が身を結んだのがロボカップ 2014 で、サッカー 4on4 とテクニカルチャレンジ共に世界一となり、さらにチームリーダーの投票で選ばれるルイヴィトンベストヒューマノイド賞にも輝いた。この結果を得た一つの要因として挙げられるのが、細かな改良を丹念に行うことで、ロボットの安定性が格段に上がり、結果としてすべての機体をフィールドに出し続けることができたことである。これは、第 4 世代の Accelite で目指したものであり、長い時間をかけて開発してきた結果が実を結んだと考える。

5 今までの活動を振り返った感想

振り返ってみるに、先輩からチームを託された私ともう一人のメンバが、徹底した新人教育を行い、さらにチームを一つの方向にまとめるために様々な取り組みを行ってきたことが、間違いではなかったと今では確信できるようになった。このチームを創り育ててきたOBの方々を初めとするロボット開発に携わったすべての人たちの力により、世界大会という最高の舞台上で優勝するという素晴らしい経験をさせていただくことに感謝したい。今回の結果で、チームに入ってから続けた4年間の努力が報われたと感じる。学生がこのようなプロジェクトに参加する意義、それは知識や技術の向上だけではなく、世界の広さを感じることやチームとして何かを成し遂げることの難しさを学び、社会に貢献できる技術者へと成長することこそ本質があると思う。

6 まとめ

本稿では、ロボカップヒューマノイドリーグで2014年にルイヴィトンベストヒューマノイド賞を受賞したチーム CIT Brains の歴史と運営方法、さらに私自身から見た活動の様子やその意義に関して述べた。

7 謝辞

最後に、チーム CIT Brains の歴代のメンバの皆様、千葉工業大学の皆様、はじめ研究所の坂本元氏、西淀川経営改善クラブ、(株)ブレインズ、双葉電子工業、アナログ・デバイセズ、さらにロボカップ実行委員会およびボランティアの皆様へ深く感謝いたします。また、本稿をまとめるにあたり、チームの歴史に関して多くの資料をいただいた千葉工業大学の林原靖男教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) ロボカップウェブページ
<http://www.robocup.org/>
- 2) 林原靖男, 他7名: ロボカップヒューマノイド用自律サッカーロボットシステム「CIT Brains and Hajime Robot」の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 予稿集(2008), 2P1-J18.
- 3) 林原靖男, 他11名: サッカーロボットシステ

ム「CIT Brains」の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 予稿集(2009), 1P1-C07.

- 4) 林原靖男, 南方英明, 坂本元: 自律型サッカーヒューマノイドシステム CIT Brains, 設計工学, 44, 6(2009), 334.
- 5) 林原靖男, 南方英明, 入江清, ロボカップ用ヒューマノイドDynamoの開発, 第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集(2010), 1A3-5.
- 6) 林原靖男, 他6名: ロボカップ用ヒューマノイドDynamo2011の開発, SI2011(2011), 1C1-3.
- 7) 林原靖男, 南方英明, 入江清, 坂本元, ロボカップ用ヒューマノイドDynamo2012の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 予稿集(2013), 1P1-A12.