

# RoboCup@home : 生活支援ベンチマークとしてのロボット競技

大森隆司, 岡田浩之(玉川大学), 中村友昭, 長井隆行(電気通信大学),  
杉浦孔明, 岩橋直人((独)情報通信研究機構)

## Robocup@home : Robot competition as a benchmark for human life support

\*Takashi Omori, Hiroyuki OKADA(Tamagawa Univ.), Tomoaki NAKAMURA, Takayuki  
NAGAI(Electro-Communication Univ.), Komei SUGIURA, Naoto IWAHASHI(NICT)

**Abstract** - The RoboCup@Home league is a robot competition for autonomous service and assistive robots that aims to develop service and assistive robot with high relevance for future applications, and is a part of RoboCup competition. Several benchmark tasks are used to evaluate the robots' abilities in a realistic home environment setting, kitchen, living room and dining room. In RoboCup@Home, the focus is applied to the following things : Human-Robot- Interaction, navigation and mapping in dynamic environments, computer vision and face recognition in realistic environment.

**Key Words:** Human-Robot-Interaction, Computer Vision, Navigation and Mapping, Object Manipulation

## 1. ロボカップ@ホームリーグとは？

### 1.1 目的と意義

ロボカップ@ホームリーグは,人と共に作業を行う自律移動ロボットが,キッチンやリビングルームなどの家庭環境で様々な課題に取り組み,その達成度により勝敗を競う競技会である.家庭で人間を支援する競技を通じ,人とコミュニケーションしつつ働く実用的なロボットの実現を目指している[1][2].

@ホームリーグはいくつかの共通の課題とそれぞれのチームが独自に設定するチャレンジ競技,ファイナル競技からなる.共通課題は,テクニカルコミッティー(TC)主導で協議を重ね,それまでの進展に合わせた難度のものに毎年更新している.

競技での勝敗は課題の成功・失敗だけでなく,以下の様々視点から,家庭という現実性・実用性を重視した採点をおこなっている.また,動作の信頼性・確実性の評価のため,競技は新規環境でも基本的に一発勝負であり,再試行は減点となる.

- ・ロボットと人が自然なコミュニケーションを行っているか？
- ・現実的な応用志向であるか？
- ・技術的に新しいことに挑戦しているか？
- ・セットアップに時間をかけていないか？
- ・観客が見ていて楽しいか？
- ・実用的な時間で動作するか？

これらの評価基準を満たしつつ,以下に述べる課題を一発勝負で確実に実行できるロボットは,家庭用ロボットとしてはレベルが高いと言える.

### 1.2 共通課題のいくつか

2010年版のルールでは,競技は9つの共通課題,2つのチャレンジ種目.決勝のファイナル競技からなる.ここでは,代表的な共通課題を紹介する.

#### 1.2.1 Robot Inspection and Poster Session

最初の課題であり,ロボットがTCメンバーのところまで登録用紙を持っていき,安全性や会話などの基本性能を確認され,最後に緊急停止スイッチを押されて停止する.ロボットは課題の開始から終了まですべて自律動作を要求される.部屋への入場の指示は基本的に音声で行う.その間,各チームは大型スクリーンでロボットを参加者に紹介する.

#### 1.2.2 Follow Me

会場内の一般通路で,TCメンバーを視覚で学習してあとをついて行く,ジェスチャーを認識して停止,他の人と区別,等の動作をおこなう.途中,ロボットと対象人物の間に別の人が横から入ってすれ違いますが,ロボットは対象について行かねばならない.また対象人物が停止指示の後にいなくなり,続いて未知の人物と一緒に二人がロボットの前に立つ.ロボットは対象人物を識別して付いていかねばならない.

#### 1.2.2 Enhanced Who Is Who (EWhWh)

ロボットが入口から入り,そこでTCメンバー二人と対話して名前と顔を覚える.その二人は移動した後,立っている未知の人も含む4人の中から見つけ出し,その人物から注文を聞いて,飲み物を持ってきて届け,部屋から退出する.リビングルームを限なく探すナビゲーション機能,視覚等による人物発見と顔認証,対話での名前の抽出・学習,物体の視覚的探索,その把持操作の能力が要求される.

#### 1.2.3 Shopping Mall (ShMl)

実際の店舗(RoboCup会場の近くのトイズラス)で,初めてそこに行った状況で店内と事物配置の地図を作り,指定された事物をとってくる課題である.最初に,ロボットは人について店内を移動して地図を作り,その間に音声でそこにある既知の事物を名前だけで指定される(正確な位置は指定されない).次

に、店の入り口で事物を2個指示され、ロボットは完全自律で取りに行く。その際、一般のお客さんに相当するマスコミの人々やチームメンバーが店内にあり、コース探索や移動自体もその場の状況に合わせる必要がある。指定された事物の周囲には多くのおもちゃがあり、そこから対象物を探す必要がある。

### 1.3 チャレンジおよびファイナル課題

オープンチャレンジ、デモチャレンジ、ファイナル課題は、いずれの課題でも各チームが制限時間内でプレゼン、デモと質疑応答に時間を割り振り、各々の技術をアピールし、審判団が採点する。

予選第一ラウンド最終種目のオープンチャレンジは研究的要素が重視され、機構の斬新さやアルゴリズムの新規性などが問われる。他チームのリーダーが採点に参加し、専門的な視点から課題遂行の優劣が判定される。予選第二ラウンド最後のデモチャレンジは、大会ごとに設定されるテーマに従ったデモンストレーションを行ない、観客が見て楽しい内容が評価される。2010年世界大会では "In the restaurant" というテーマが設定され、各チームが様々な趣向を凝らしたデモを行った。図1は我々のチーム様子である。レストランでの接客を想定し、1台のロボットがウェイトレス役で客役の審判と対話や質問への応答をしている間に、もう一台が実際に綿菓子を作って審判にふるまった。この課題で我々は、多様な会話場面の設定や綿菓子作りと手渡しのマニピュレーションに挑戦した。



図1 デモチャレンジタスク。

## 2. チーム eR@sers

チーム eR@sers は玉川大学、電気通信大学、(独)情報通信研究機構の合同チームで2008年大会から@ホームリーグに参加している。ジャパンオープンでは2008年沼津大会から2010年大阪大会まで3連覇を達成し、世界大会でも2008年中国大会で優勝、2009年オーストリア大会で準優勝、2010年シンガポール大会でまた優勝と、常に上位の成績を収めている。以下に、チーム eR@sers の技術を紹介する。

### 2.1 ハードウェア

@ホームリーグでは各チームは2台までロボットを登録できる。チーム eR@sers は、玉川大学が中心に開発したロボット eR@ser (図2) と、電気通信大学が開発したロボット DiGORO (図3) の2台で出場した。



図2 eR@ser の外見

eR@ser は、独自開発した全方位移動台車にレーザレンジファインダ(LRF)を二台搭載し、距離測定に基づく地図作成と障害物回避と経路探索を行う。台車は円形(外寸44cm)で、狭い住居での移動自由度が高い。地図構築・行動計画ソフトも開発したが、十分な精度・使い勝手に到達したとは言い難い。

ロボカップ会場は騒がしい環境であり、安定した音声認識は研究的にも難しい課題であるが、我々は超指向性マイクを使用して雑音

を排除した。視覚は、Time of Fly 方式による3次元画像センサ Swiss Ranger と SXVGA 解像度で30fpsのキャプチャーができるステレオカメラを使用し、3次元の物体検出や対象までの距離測定を可能とした。本体には5自由度のアームを搭載し、物体操作や身振りも可能とした。

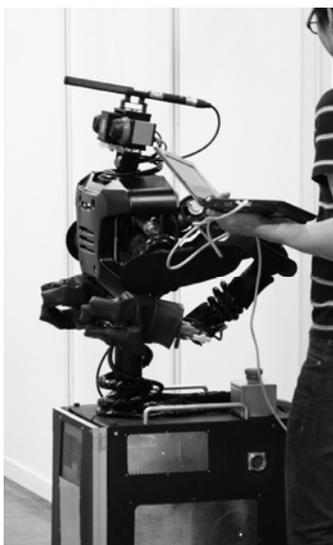


図3 DiGORO の外見

図3はDiGOROのハードウェアである。上半身は川田工業製のHIROをベースとし、頭部2、片腕6、腰1の計15自由度で、片腕のペイロードは2kgと一般的な物体の把持には十分な性能である。ハンドは6個のサーボモータによる3本指機構とし、クロロプレンゴム製のグローブで小さなトルクでの効率的な物体把持を実現した。頭部は2台のCCDカメラとSwiss Rangerを組み合わせてキャリブレーションすることで、3次元情報と色情報を組み合わせた高度な画像認識を実現した[3]。また、音声認識のための超指向性マイクを搭載している。

下半身には、電動車椅子用の台車を用い、ロボットの自重に加えて、大人が一人乗っても問題なく動き回ることができる。ただ、全方位移動機構ではなくモバイルマニピュレーションには不利であるが、腰の自由度を利用することで補っている。台車には LRF が搭載され、オンライン SLAM による地図生成と自己位置推定が可能である。また、オンボード PC を 5 台搭載し、PC 群は TCP/IP を介して通信しながら並列動作している。

## 2-2. 音声対話と名前の学習

@ホームリーグが想定する家庭環境でのロボットと人との自然な対話の実現には多くの課題がある。我々は ATR が開発した HMM に基づく音声認識システム ATRASR を用いた。

我々のロボットは、対象物を見せつつ名前を教えることで物と名前を学習する。我々は、未登録語学習機能を用意し、全く新しい単語の学習も可能とした[4]。我々は音声対話を「イレイサー、私の名前は」のような定型文で行なう。「イレイサー」は音声認識開始のキーワードであり、「私の名前は」は以下に続く音声を発話者の名前として登録するためのキーワードである。この場合、切り出された名前(未登録語)を登録するが、この時点では「」という音声はユーザの声であり、ロボットが確認のため「あなたの名前は さんですね?」と話す時に「」の部分だけがユーザの声になり不自然である。そこで我々は、切り出された未登録音声を声質変換によりロボットの合成音に変換した。

## 2-3. 画像認識技術

@ホームリーグの課題では、画像認識の技術が重要である。例えば、EWhWh 課題や ShMI 課題は、室内や店内の物体を探し出すために物体発見とハンドリングに高精度の画像認識が必要である。また課題によっては、人の顔を認識し、未知の人であれば名前を尋ねて顔を覚える必要がある。

未知物体の学習では、ロボットは物体を見て学習する際に、動きアテンションで画像中の物体対応領域の切り出しを解決した[5]。すなわち、画像中の動いている領域が物体であると想定し、人が物体を持って教示する際に動かした。物体領域の推定処理は、3次元情報の計算を含めても 10fps 程度で動作する。

物体認識では、シーン中の認識すべき物体領域の抽出に、色ヒストグラムと奥行き情報を併用したアクティブ探索手法を用いた。また、机の上の物体探索には、3次元ハフ変換を用いた高速な平面検出による物体抽出を併用した。最終的な認識は、色情報で候補を絞った上で、学習時に得た様々な方向からの PCA SIFT 特徴との局所マッチングで行なった。物体認識を含む課題は一般に難しく、世界大会でもすべての物体を時間内に発見できたロボットは非常に

少なかった。

## 2-4. 顔の学習と認識のアルゴリズム

EWhWh 課題では、人の検出、顔と名前の学習が重要である。我々は、人の検出には LRF 情報を用いた。LRF 情報は、地図に基づく位置推定に用いるが、地図には人が含まれていないため、観測値から地図の情報を引き去って人の候補位置を推定した。ロボットはこれをもとに人に近づき、画像で顔検出を行う。顔認識では、奥行き情報で候補を絞り込み、オムロン株式会社製の顔認識システム (OKAO VISION) を併用して速度と精度を向上させた。

## 3. @ホームリーグにおけるロボットの課題

### 3-1. ビジョンシステム

@ホームリーグでは、人とロボットが共存する家庭環境を前提とするため、会場の照明が足りなくても、取材のためスポットライトが当たっても、特に対策は行わない。そのような環境でも安定して動作するビジョンシステムが特に必要とされる。

2008 年大会では、ほとんどのチームがステレオカメラで 3次元計測、対象の探索・識別を行っていた。しかし、照明が不安定で時には外光が射す環境では、高精度の認識は難しかった。一方で 2010 年大会では筆者らを始め多くのチームが TOF 方式 3次元距離カメラ SwissRanger を使用していた。SwissRanger は高速で照明の影響もほとんど無く、物体把持や人物追跡に有効なことが示された。ただ 176 ドット (水平 43.6 度) × 144 ドット (垂直 34.6 度) と画角が狭く、赤外発光方式のため他チームのカメラの影響で全く計測できなくなる状況も見られた。現実環境でも安定して動く画像認識は今後も課題であり続ける。

顔認識は各チームで様々なアルゴリズムを駆使して行っているが、人種の違いにより認識率の大きな変動が見られた。2009 年優勝のドイツチームは「黒髪のアジア人」の認識が苦手とのことであったし、我々の顔認識も学習データベースが日本人に偏っており、白人や黒人の識別性能は低かった。

### 3-2. 音声対話

課題の第一は騒音対策である。ロボカップ会場では、場内アナウンスやジュニアリーグのダンスチャレンジの曲など様々の雑音源がある。そのような環境での安定した音声認識と言語理解には、ハードとソフトの両面でさらなる工夫が必要である。

ハード面では、超高指向性ガンマイクが有効である。ロボットとの対話ではユーザはロボットの顔を見て話しかけてくれる場合が多いので、顔の部分にガンマイクを装着しておけば比較的容易に騒音を低減できる。しかし今後も高度化していくであろう課題に対しては、マイクロフォンアレイ等の利用も必要かもしれない。ソフト面では外国語への対応が課

題である。世界大会はロボットの対話も英語であるが、アメリカ人の標準的英語の他に、日本語やドイツ語、さらには中国語の英語などバラエティに富んだ不特定話者の英語認識が必要である。

### 3-3. マニピュレーション

他の課題に比べ、マニピュレーションを含む課題の成功率は低い。2010年大会では1チームのみが冷蔵庫のドアを開けることに成功した。難しさの一因に、@ホームリーグで使われるような小型移動ロボットに搭載可能なアームが少ないことがある。市販品では Neuronics AG 社の Katana が多く見られたが、最大把持重量が 450g と小さい。小型サーボモータを組み合わせた自作アームも多く見られるが、速度や把持可能重量などに多くの改良が必要である。

### 3-4. ロボットプラットフォーム

@ホームリーグでは家庭の比較的狭いリビングやキッチンでの走行を想定するため、出来るだけ小型で小回りが利く躯体が必要な一方、アームやステレオカメラ、LRF などかなりの重量の積載が必要である。小型かつ可搬重量の大きい台車が必要とされている。

ロボカップ@ホームへの新規参入は、ロボット製作の他、地図作成や経路探索、ビジョン、音声対話などすべてを実装する必要があり、敷居が高い。そのため、市販ロボットにフリーソフトを組み合わせた標準プラットフォームを用意して、参入障壁を低くする必要性が指摘されている。

筆者らのチームが昨年まで使用した Pioneer 3-DX を始めとする Mobile Robotics 社の小型移動ロボットは、超音波センサや LRF をサポートする開発環境があり、オンラインでの地図作成や経路探索などが比較的容易に実現できる。また、セグウェイ RMP シリーズは積載量が大きく、小さい回転半径や倒立振りによる自律走行で機動性の高い移動ができる。また、Willow Garage 社の PR2 は移動、双腕、ステレオ視などを備え、さらに ROS と呼ぶオープンソースのライブラリがあり、統合的プラットフォームとしての可能性が高いが、サイズが大きいのが難点である。

### 3-5. ソフトウェア

ロボットシステムの開発の効率化の手段として、要素機能のハード・ソフト要素をモジュール化し、通信を介して組み合わせる方法がある。eRSers のロボットはそのような構成であり、世界大会の多様な課題に柔軟に対応できた。産業技術総合研究所が開発する OpenRTM-aist、ROS などは、様々な機能部品を結合してより上位の課題を実行するという、同様な考え方を持っている。

その他、移動ロボットの開発環境として歴史があるのが Player/Stage/ Gazebo プロジェクトであり、実機とシミュレーションのロボット抽象化を行い、センサ処理から障害物回避、経路探索など幅広い機

能を提供している。本稿で挙げた他の項目と合わせ、その詳細は参考文献[6]を参照されたい。

## 4. おわりに

本稿では@ホームリーグの背景と現状、そして今後の展開について述べた。ロボカップ世界大会での@ホームリーグへの参加チームは2008年15チーム、2009年20チーム、2010年23チームと年々増加している。国別ではイラン、ドイツ、中国など所謂ロボット新興国が目立つ。彼らがロボットの総合的な応用技術が試される@ホームリーグに積極的に参加し始めていることは興味深い。

一方で、今のところ日本からの参加は2チームで、ジャパンオープンもこの2チームのみである。日本では企業を中心にホームロボットやサービスロボットが開発され、音声対話や対人認識などのできるコミュニケーションロボットも市販されている。@ホームリーグの技術課題はそのままロボットや人工知能の課題とも言え、ロボット研究の実践の場として適切である。多くの方の積極的な参加を望む。

なお、顔認識システムに関してオムロン株式会社 労世竝氏に多大な協力を頂いた。ここにお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- [1] 岡田浩之, 大森隆司, 岩橋直人, 長井隆行, 杉浦孔明: ロボカップ@home における音声対話技術, 第22回人工知能学会全国大会講演論文集, 3E3-02(2008).
- [2] 大部恵子, 柴一樹, 岡田浩之, 長井隆行: 自律移動ロボットによるロボカップ@ホームへの参加, 第26回日本ロボット学会学術講演会論文集, 3A1-07(2008).
- [3] M.Attamimi, A.Mizutani, T.Nakamura, T.Nagai, K.Funakosi, and M.Nakano: Real Time 3D Sensor for Robust Object Recognition, to appear IROS2010, 2010
- [4] 杉浦孔明, 水谷了, 中村友昭, 長井隆行, 岩橋直人, 岡田浩之, 大森隆司: 音声からの未登録語切り出しと画像からの物体抽出の統合による新規物体の学習, 第26回日本ロボット学会学術講演会論文集, 1N1-05 (2008).
- [5] M.Attamimi, A.Mizutani, T.Nakamura, K.Sugiura, T.Nagai, N.Iwahashi, H.Okada, and T.Omori: Learning Novel Objects Using Out-of-Vocabulary Word Segmentation and Object Extraction for Home Assistant Robots, Proceedings of ICRA2010, pp. 745-750, 2010
- [6] 岡田浩之, 大森隆司: ロボカップ@ホーム - 人とロボットの共存を目指して -, 人工知能学会誌, Vol.25, No.2, pp.229-236, 2010