ロボカップ@ホーム

人と共存するロボットのベンチマークテスト

RoboCup@Home

A Benchmark Test for Human Support Robots

杉浦 孔明

国立研究開発法人 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology komei.sugiura@nict.go.jp, http://komeisugiura.jp/

keywords: benchmarking test, robocup@home, intelligent robotics, home robots

1. は じ め に

人口構造の変化とともに,日常環境で人間と共存し,生活を支援するロボットへの期待が高まっている.このような生活支援ロボットを構築するためには,自己位置推定・移動,日用品の物体認識・把持,音声認識・対話など様々な分野において技術革新が必要である.

ロボカップ@ホームは,サッカー [Nardi 14] やレスキューと並ぶロボカップ [Kitano 97] のリーグのひとつであり,生活支援ロボットのコンペティションである [Jocchi 15].各チームのロボットは,日用品の探索,棚からユーザに言われたものを取ってくる,人を追従するなど,日常生活に役立つ機能を制限時間内にどれだけ達成できるかを競う.各タスクはベンチマークテストとして明文化されると同時に,複数の技術的課題を含んだストーリーになっており,観客を飽きさせないよう努力されている.ロボカップ@ホームはロボカップのリーグの一つとして2006年に発足し,現在,生活支援ロボットのコンペティションとしては世界最大規模である.

ロボカップ@ホームにおいてタスクを遂行するロボットの例を図1に示す.ロボカップ@ホームでは,家庭・オフィス・スーパーマーケットなどにおけるロボットの応用を想定したタスクが設定されている.中心課題は,移動マニピュレーションとヒューマンロボットインタラクション(HRI)である.後述するように,未知環境における地図作成・移動,日用品の物体認識・把持,高騒音環境における音声認識などを含む.タスク中は基本的に人間がキーボード,コントローラなどを使ってロボットを遠隔操作することはできず,人間と対話する場合は主に音声で行う.そのため,移動・物体認識・把持などの基本機能から,音声指示の意味理解にいたるまで,高度な機能統合が求められる.

セットアップ期間にフィールドやオブジェクトが発表されるので,事前に環境地図の構築やオブジェクトの登録を行うことは可能である.一方,一部のタスクでは未

知環境(実際の店舗など)や未知オブジェクトが使用される.一般環境にはガラスの仕切りや金属製の椅子などが存在するため,測距センサのレーザが透過あるいは反射してしまい,環境地図構築や移動が非常に難しい.また,非定常な照明条件下での未知オブジェクトの把持,人混みの中における特定の人物の追跡,高騒音環境における音声対話などは現状の人工知能およびロボティクス技術にとって挑戦的な課題である.

本稿では,生活支援ロボットのための代表的なコンペティションであるロボカップ@ホームについて紹介する.第2節では,関連するベンチマークテストおよびコンペティションについて概説する.次に,第3節においてロボカップ@ホームのタスク,第4節においてロボカップ@ホームから研究コミュニティへの貢献の例について述べる.第5節ではロボカップ@ホームの運営と進展について概説し,第6節において今後の方向性を議論する.最後に,第7節においてまとめと展望を述べる.

2. ロボティクスにおけるベンチマークテスト・ コンペティション

2.1 関連コンペティション

本節では,ロボティクスにおけるコンペティションおよびベンチマークテストについて概説する.

2015年に行われた DARPA Robotics Challenge (DRC)





図1 ロボカップ@ホームにおける日用品把持(左)およびヒューマンロボットインタラクション(右)

*1は災害対応ロボットのコンペティションであり,メディ アで取り上げられ大きく注目された.DRCのタスクは, 自動車を運転する,屋外にあるドアを開ける,バルブを 発見し回す,などである.ロボットは完全に自律である必 要はないが,災害時の劣悪な通信環境が模擬されている ため,遠隔操縦のみに頼らない自律性をバランスよく取 リ入れて遂行する必要がある.2014年から行われている RoCKIn@Home および RoCKIn@Work は,生活支援タ スクおよび工場での支援タスクとしたヨーロッパ中心の コンペティションである [Amigoni 13] . RoCKIn@Home のタスクはロボカップ@ホームタスクを参考にして作成 され,ロボカップ@ホームの出場チームのうち,ヨーロッ パを中心としたチームが出場している. Amazon Picking Challenge*2は, 倉庫における応用を想定し, 固定された 棚から商品を取り出す正確性を競うコンペティションで ある、2016年のロボカップ世界大会と共催されることが 予定されている.

屋外でのロボットの自律走行を評価するイベントとしては、つくばチャレンジ [油田 10] が挙げられる.ただし、つくばチャレンジは公開実験として位置付けられ、厳密にはコンペティションではない.シミュレータ上のロボットを扱うコンペティションとして、Japan Virtual Robotics Challenge (JVRC)*3が挙げられる.JVRCでは、災害現場での作業を想定したタスクの達成度を競う.

2.2 ロボカップ@ホームに関する文献

ロボカップ@ホームに関する包括的なまとめとして, [Iocchi 15] に他のコンペティションとの比較,移動・物体操作・音声対話等各技術の傾向,これまでのリーグとしての進展などがまとめられている。各チームの獲得スコア情報は大会ウェブサイト上で公開されている。他のロボカップ@ホームに関するサーベイ論文としては,タスクの解説 [岡田 10,杉浦 13],移動 [大橋 13],物体操作 [Stückler 12],音声対話 [杉浦 12],などを扱ったものがある。

また,インターネット上にアップロードされた過去の大会の動画は,イメージをつかむ手段として効果的である.最新版の公式ルールは公式サイト*4からダウンロードできる.

3. ロボカップ@ホームとは

3.1 環 境

タスク環境として 2LDK 程度のモデルルームが用意され,部屋構成や家具・食器等は毎年変更される.代表的なタスク環境を図2左図に示す.図に示す環境は,多くのタスクを行うメイン環境(以下「フィールド」と呼ぶ)





図2 左: ロボカップ@ホームにおけるタスク環境の例.右: 代表的 なオブジェクト例.

である.実際の使用シーンを想定した環境で性能評価を 行う意図から,一部のタスクは実際の店舗やレストラン などフィールド外で行われる.フィールド外で行われる タスクでは観客が「ノイズ」となり,音声認識,顔認識, 人追従を難しくしている.

把持対象であるオブジェクトは,ペットボトルや菓子などの日用品である(図2右図参照).各オブジェクトには,名称(「コーンフレーク」など)とカテゴリ名(「食べ物」など)が定義されている.

3.2 ハードウェア

ロボカップ@ホームにおけるハードウェアについては [杉浦 13] に概説されている.後述するようにロボカップ @ホームでは標準プラットフォームを選定中であり,望ましいハードウェア仕様が公開されている *5.この仕様 はタスクを想定して設定されたものであるため,独自の ハードウェアで出場する場合は参考とされたい.望ましいとされている主な項目は以下である.

- ●幅 80cm 高さ 200cm 以下かつ重量 120kg 以下
- 非常停止スイッチ
- 0.75m/s 以上で移動可能な台車
- 可搬重量 500g のアームおよび 2 指グリッパ
- RGB-D カメラ
- ▼マイクおよびスピーカ(出力音圧レベル 75dB 以上)
- ●1時間以上動作可能なバッテリー容量

3.3 タ ス ク

ロボカップ@ホームのタスクは,第1ステージ・第2ステージ・決勝(Final)にわかれている.第2ステージは第1ステージタスクを組み合わせたものが多い.第1ステージの総合得点により上位半数のチームが第2ステージに進み,第2ステージの上位5チームが決勝に進む.決勝では,各チームが自由デモを行う.デモに対する審査員の評価点と,それまでの得点を合計して最終順位が決定する.2015年のタスクの名称・概略を以下に示す.

 Manipulation and Object Recognition 棚に置いてある物体について Pick & Place タスクを 複数回行う.

^{*1} http://www.theroboticschallenge.org/

^{*2} http://amazonpickingchallenge.org/

^{*3} https://jvrc.org

^{*4} http://www.robocupathome.org/rules

^{*5} https://sites.google.com/a/dis.uniroma1.it/robocup-homesp/hardware

ロボカップ@ホーム 3

- (2) Navigation Test
 - フィールドの中を移動したのち,フィールド外で人を追従する.
- (3) Person Recognition 複数の人物がいる状況において,各人物を学習し画 像から性別推定を行う.
- (4) Speech Recognition and Audio Detection Test 音源方向推定および音声認識を計 10 回行う.
- (5) RoboZoo

並んだ展示ブースでロボットにパフォーマンスを行わせ,観客に投票させる.

- (6) General Purpose Service Robot (GPSR) ランダムで生成された指示を理解または対話により 明確化し,指示を実行する。
- (7) Open Challenge 自由に選んだテーマに関する研究要素のデモを行う.
- (8) Restaurant レストランにおいて場所を学習したのち,ロボット を呼んだ人物を発見して注文を聞き,注文されたオ ブジェクトを届ける.
- (9) Robo-Nurse ボトルに入った薬を把持するとともに,患者役の人 物の動作を認識して必要な支援を行う.
- (10) Wake Me Up ユーザに注文された朝食を運ぶとともに,スマート ホームデバイスの制御を行う.
- (11) Final

自由に選んだテーマに沿ったデモを行い,審査員が 採点する.

上記のタスクのうち,(1)~(6) および(7)~(10) がそれぞれ第 1 ステージおよび第 2 ステージに対応する.また,RoboZoo,Open Challenge,Final については,何を行うかをチームが決定できる.それ以外の 8 個のタスクについては,タスクシナリオと得点が定義されている.

図3に2006年から2015年まで行われた規定タスクをまとめる.タスクの内容および難易度は,技術委員会による議論を元に毎年調整される.基本的に2年に一度大きな変更を行う.図では多くのタスクが2年で終了しているように見えるが,把持や音声対話などの単位でタスクが消失するわけではなく,内容や難易度を変更した別のタスクとしてリニューアルされることが多い.この理由はタスクに過適応したロボットが高得点を取ることを避けるためである.2015年からはベンチマークテストとしての性格を強める目的から,各タスクにおける機能を分解し,できるだけ単機能の試験を複数回行うような仕組みに改定された.

3·4 タスク例: General Purpose Service Robot

General Purpose Service Robot (GPSR) タスクは,言語処理と画像処理による実世界情報処理と,移動マニピュ

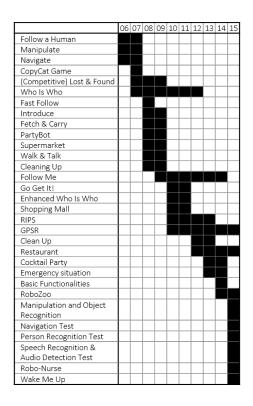


図3 2006~15年に行われたロボカップ@ホームの規定タスク.デ モタスクは省略した.

レーションを統合したタスクである.ロボットは,後述する GPSR 文生成器がランダムに生成した命令を実行する.チームがオブジェクト位置をあらかじめ登録できないように,オブジェクトはスタート直前にレフェリーが配置する.タスクの制限時間は6分である.

レフェリーがドアを開けることを合図にタスクがスタートする.ロボットはドアが開いたことを検知し,フィールドに入場して指定された待機場所へ移動する.GPSR文生成器を用いて命令が生成され,人がそれを読み上げることでロボットに伝える.タスクは難易度別に3種類のカテゴリに分けられ,チームが選択可能である.

- (1) 難易度は3カテゴリの中で最も低い.ロボットには3個のサブタスクを含む命令(例:「ディナーテーブルに行って,クラッカーを掴んで,サイドテーブルに持って行って」)が与えられる.サブタスクは移動,把持,簡単な質問応答に限定される.各サブタスクを達成できれば,それぞれ10点,10点,30点が与えられる.
- (2) 中程度の難易度の命令が与えられる.例えば,ベッドルームに複数の人が存在する状況で,ベッドルームに行って,手を振っている人を見つけて,時間を伝えて」のような命令文が与えられる.サブタスクは,人の追従,混雑した環境での移動,似たオブジェクトの識別,人の発見,に限定される.各サブタスクを達成できれば,それぞれ20点,30点,50点が与えられる.
- (3) 難易度は3カテゴリの中で最も高い.まず,キッ

る、そのうえで「キッチンにあるオレンジを取って、持ってきて」などの2個のサブタスクから構成される命令が与えられる、このとき、命令文に部分的に実行可能でないサブタスクが必ず存在するように、GPSR文生成器が状況と命令文の対を生成する、ロボットが合理的な質問(キッチンを探したのち「オレンジはキッチンにありませんでした、どこにありますか?」と聞くなど)をすれば20点、各サブタスクを達成できれば、それぞれ40点、60点が与えられる、両サブタスクを達成したうえでフィールドから自律的に退出すれば、80点が与えられる.

チンにオレンジが存在しないが他の果物がある状況 や,キッチン以外の場所にオレンジがある状況を作

GPSR 文生成器は、動作・人物・場所・オブジェクト・簡易質問をランダムに選択する.このうち、動作以外はセットアップ期間に公表された名称の集合から選択される.動作は第1ステージのタスクで要求される動作のいずれかと定められている.過去の大会で用いられた GPSR 文生成器は公開されているので試験用に使用できるが、当該年度のコンペティションで用いられる GPSR 文生成器はコンペティションが終わるまで公開されない.

4. 研究コミュニティへの貢献

4·1 音声対話向けクラウドロボティクス基盤 rospeex

ロボカップ@ホームは研究コミュニティからの貢献で成り立っていると同時に,ロボカップ@ホームを通じた研究コミュニティへの論文やソフトウェアの貢献も多い[Jocchi 15].ロボカップ@ホーム用に作成したソフトウェアを,ROS(Robot Operating System)パッケージとして公開しているチームもある.ロボカップ@ホームタスクの多くは,公開されているROSパッケージを利用することで開発コストを大きく下げることができる.

本節では、そのようなソフトウェアの一例として我々がロボカップ@ホームにおいて開発し、無償で公開している音声対話向けクラウドロボティクス基盤 rospeex について述べる [Sugiura 15b] . 図 4 に rospeex を用いたロボットとの対話例を示す .

rospeex の想定タスクは、家庭やオフィス内で「テーブルの上のペットボトルを取って」などの音声対話を行うサービスロボット開発である.ロボカップ@ホームに出場するチームでは、高騒音環境下での音声認識、対話制御,低品質の合成音声、多言語対応、などの点で困難を抱えていることが多い.音声認識・対話・合成を扱うソフトウェアモジュールが提供されているものの、スタンドアロン型を前提とするものが多く、高性能な音声認識・合成 API を提供する企業もあるが、ロボット開発者を想定したものでない場合が多い.

そこで我々は,クラウドロボティクス基盤 rospeex を



図4 rospeex を用いたサービスロボットとの対話例.rospeex では, ロボットに取り付けられたマイク,スマートフォン等のマイクのどちらからも入力可能である.

構築し、学術研究目的に限り無償・登録不要で公開している。音声認識および音声合成機能をクラウド化することで、音響モデルや言語モデルなどの大規模な資源をロボット上に搭載する必要がなくなり、ハードウェアを簡略化することでコストを低減できる。rospeex のクラウドサービスは、2015 年 12 月までに 25,000 ユニークユーザに利用されている。

rospeex は,4か国語(日英中韓)の音声認識・合成に対応している.日本語の音声合成については,非モノローグ HMM 音声合成 [Sugiura 15a] に対応している.一般的な音声合成器は人-ロボット対話に最適化されている訳ではないが,非モノローグ音声合成を選択することでロボットとの対話に特化して開発されたボイスフォントを利用可能である.非モノローグ音声合成手法の性能評価については,[Sugiura 15a]を参照されたい.

5. コミュニティの広がり

5.1 運営および参加チーム

ロボカップの他のリーグと同様に,例年,春に日本大会(ジャパンオープンと呼ばれる),夏に世界大会が開催されている.世界大会へ参加するためには,申請書の他にチームのウェブサイトとロボットのビデオが必要であり,例年1-2月に申し込みが締め切られる.日本大会の参加申込締切は開催日の2ヶ月前程度に設定されている.

図 5 に参加チーム数の推移を示す.日本大会の参加チーム数には,ロボカップ@ホームのサブリーグ(シミュレーションなど)への参加も含む.世界大会は20チーム前後で推移しており,日本大会は近年増加傾向にある.2014年世界大会への参加チームが前年の半分程度に減少しているが,これは開催地ブラジルへの輸送に関する問題で参加を見送ったチームが多かったためである.日本大会では2010年まで参加チームが少なかったものの,その後増加傾向にある.

5.2 新規参入推進のための情報共有

家庭用ロボットや知能ロボティクスに関するトピックを中心とした先導的な学術的活動としては,日本ロボット学会インテリジェントホームロボティクス(iHR)研

ロボカップ@ホーム 5

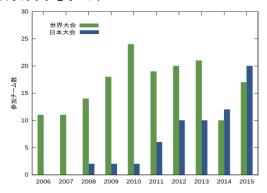


図5 参加チーム数の推移

究専門委員会がある.iHR 専門委員会は2014年8月に発足し,年2回程度,iHR 研究会を開催している.ロボカップ@ホームに限定せず,広くインテリジェントホームロボティクスに関するトピックについて講演を募集している.

コンペティションが継続的に開催されるためには,新規参入を容易とし,分野の裾野を広げることが重要である.多くのコンペティションでは,レベルが向上するとともに新規参入者が上位を獲得することは困難になる.よって,類似のコンペティションが存在するか開始された場合,新規参入者にとって上位を獲得しやすいコンペティションを選択することは合理的である.このため,新規参入が容易でないコンペティションは規模縮小することが多い.

そのような背景から,インテリジェントホームロボティクスチャレンジと呼ばれるコンペティションが iHR 研究専門委員会により2014年から開催されている.タスクはロボカップ@ホームの一部を簡単化したものであり,単一タスクのみ参加することが可能であるため,新規参入が容易になっている.2015年のインテリジェントホームロボティクスチャレンジには計6チームの参加があった.ロボカップ日本大会からおよそ半年後に開催されるため,技術力の維持のためにも活用されている.

また,広くロボカップ全体のアウトリーチ活動として,インターネットを通じて競技の様子が公開されている.2015年には大会全体をニコニコ生放送で放映する試みが行われた.1日あたりの視聴者は約4.5万人であり,コメント数は約1万件であった.番組アンケートも概ね好評であった.このようなアウトリーチ活動は新規参入者がイメージを掴むために重要であると考えられ,今後も継続する予定である.

6. ロボカップ@ホームの今後

6.1 ハードウェアの標準化

コンペティションにおいて頑健に動作するためには, ハードウェアおよびソフトウェアの面から高度にシステムを統合する必要がある.ただし実際には,自作のハードウェアの不具合に対処することで時間を浪費することも多い. このような背景から,ロボカップ@ホームタスクを対象として,標準プラットフォームによるコンペティションを創設する動きが始まっている.ハードウェアを共通化し,ミドルウェアとして ROS を用いることにより,コミュニティ全体としてソフトウェアの開発効率が高まると期待される.プラットフォームの要求仕様は 2015 年7月に公開され,2015 年 10 月までに 11 社から有力なプラットフォームの提案があった.2016 年7月の世界大会において最終審査が行われ,2017 年7月よりコンペティションが開始される予定である.ロボカップ@ホームは,標準プラットフォーム(RoboCup@Home Standard Platform)に限定されたサブリーグと,限定されないロボット(RoboCup@Home Open Platform)が出場可能なサブリーグの二つを持つことになる.

このようにプラットフォームを標準化する試みはロボカップ全体としては初の試みではなく,ロボカップサッカーにおいて成功を収めている.これまでに,ソニー製Aibo や Aldebaran 製 NAO が標準プラットフォームリーグとして選定されている.特に NAO は,ロボカップの標準プラットフォームに採択されたことが引き金となって研究コミュニティに普及した.その後,Aldebaran はソフトバンクから 1 億ドルの出資を受けるなど,大きく注目されている.

6.2 今後のコミュニティ拡大への試み

標準プラットフォーム以外の試みとしては、軽量・安価なプラットフォームを用いる提案や、シミュレーションを用いる提案がある。@Home Education は、安価なプラットフォームである Turtlebot2 を用い、簡単化されたロボカップ@ホームタスクを行うものである。図6左図に2015年の日本大会に出場したロボットを示す。図に示すように、簡易なマニピュレータとマイクが追加され、@ホームタスクの一部を遂行することが可能になっている、設計仕様はオープンソースハードウェアとして設計が公開されている。人追跡や音声認識機能として ROS パッケージとして提供されているものを用いることで開発コストを低く抑えることができる。

@Home Simulation はタスクをシミュレータ上(図6右図参照)で行うものであり、日本大会において2013年より開催されている[稲邑14].コンペティションにおいてシミュレーションを導入するメリットは主に2点存在する.第一に、実機を用いたコンペティションではバッテリー等の理由から長期間稼働が難しいが、シミュレーション環境ではこのような制限がないため、複数回の試行を行なって、統計的有意な結果を得ることができる.第二に、リグレッションテストが可能になることが挙げられる.コンペティション形式の大会では、毎年環境が変わるため、たとえ得点が年々上昇しても「環境が変わったため上昇した」という説明を排除できず、実際に性能が向上していることを示すことは困難である.一方、コンペティ





図 6 左:@Home Education に出場したロボット . 右:@Home Simulation におけるタスク環境 .

ションごとに異なるシミュレーション環境が用意されるのであれば、毎年環境が追加されていくことになる.こうして得られる環境でロボットを評価することで年毎の性能向上を客観的に評価することが可能になる.このような評価はリグレッションテストと呼ばれ、International Workshop on Spoken Language Translation [Cettolo 13]等のロボティクス以外のコンペティションで行われる場合はあるものの、ロボティクスにおけるコンペティションでの導入は珍しい.

7. お わ り に

1996年の創設から 20年が経過し, ロボカップ関連技術の社会展開が広がりつつある. ロボカップレスキューリーグに出場したロボット Quince は, 福島第一原発原子炉建屋において調査活動に使用された [Nagatani 11]. また, Raffaello D'Andrea はロボカップ小型リーグで培った技術を元に Kiva System を共同創業し, ロボットを用いた倉庫システムを構築した. その後 Kiva System は Amazonによって 7.75 億ドルで買収されている. Janney Capital Market によると, このシステムは年間 4.5~9億ドルのコスト削減効果があると試算されている. また, ヒューマノイドロボットである Aldebaran 社 NAO は, ロボカップにおいて標準プラットフォームとして選定されたことが契機になり研究コミュニティに普及した. ソフトバンク社は Aldebaran に 1億ドルを出資し, Pepperを構築している.

本稿では、日常環境において人間を支援するロボットのコンペティションであるロボカップ@ホームについて述べた・ロボカップ@ホームでは、未知環境における地図作成・移動、日用品の物体認識・把持、高騒音環境における音声認識などを含む総合的な評価を行う・生活支援ロボットの研究開発においては、独自の環境や評価尺度が用いられることが多く、一般的に手法同士の比較が難しい・一方、タスクを標準化することで比較評価のコストを低減すれば、コミュニティ全体の研究開発に貢献できるであろう・ロボカップ@ホームリーグとしては、客観的な評価による研究開発の加速と、応用を想定したストーリーの両立を目指していく・これまでの大会の動画はインターネット上に数多くアップロードされているので、「RoboCup@Home」などのキーワードで検索されたい・

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Amigoni 13] Amigoni, F., Bonarini, A., Fontana, G., Matteucci, M., and Schiaffonati, V.: Benchmarking through competitions, in Workshop on Robot Competitions: Benchmarking, Technology Transfer, and Education (2013)
- [Cettolo 13] Cettolo, M., Niehues, J., Stüker, S., Bentivogli, L., and Federico, M.: Report on the 10th IWSLT Evaluation Campaign, in *Proceedings of the International Workshop on Spoken Language Translation* (2013)
- [Iocchi 15] Iocchi, L., Holz, D., Solar, Ruiz-del J., Sugiura, K., and Zant, van der T.: RoboCup@Home: Analysis and results of evolving competitions for domestic and service robots, *Artificial Intelligence*, Vol. 229, pp. 258–281 (2015)
- [Kitano 97] Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., and Osawa, E.: RoboCup: The Robot World Cup Initiative, in *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, pp. 340–347ACM (1997)
- [Nagatani 11] Nagatani, K., Kiribayashi, S., Okada, Y., Tadokoro, S., Nishimura, T., Yoshida, T., Koyanagi, E., and Hada, Y.: Redesign of rescue mobile robot Quince, in *Proc. of 2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, pp. 13–18 (2011)
- [Nardi 14] Nardi, D., Noda, I., Ribeiro, F., Stone, P., Stryk, von O., and Veloso, M.: RoboCup Soccer Leagues, AI Magazine, Vol. 35, No. 3, pp. 77–85 (2014)
- [Stückler 12] Stückler, J., Holz, D., and Behnke, S.: RoboCup@Home: Demonstrating Everyday Manipulation Skills in RoboCup@Home, *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, Vol. 19, No. 2, pp. 34–42 (2012)
- [Sugiura 15a] Sugiura, K., Shiga, Y., Kawai, H., Misu, T., and Hori, C.: A Cloud Robotics Approach towards Dialogue-Oriented Robot Speech, *Advanced Robotics*, Vol. 29, No. 7, pp. 449–456 (2015)
- [Sugiura 15b] Sugiura, K. and Zettsu, K.: Rospeex: A Cloud Robotics Platform for Human-Robot Spoken Dialogues, in *Proc.* IEEE/RSJ IROS, pp. 6155–6160 (2015)
- [岡田 10] 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)
- [杉浦 12] 杉浦 孔明: ロボカップ@ホームリーグ, 情報処理, Vol. 53, No. 3, pp. 250–261 (2012)
- [杉浦 13] 杉浦 孔明, 長井 隆行: ロボカップ@ ホームにおける日 用品マニピュレーション, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 4, pp. 370–375 (2013)
- [稲邑 14] 稲邑 哲也, タンジェフリートゥ チュアン, 萩原 良信, 杉浦 孔明, 長井 隆行, 岡田 浩之: 大規模長時間のインタラクションを可能にするロボカップ@ ホームシミュレーションの構想とその基盤技術, 知能と情報, Vol. 26, No. 3, pp. 698–709 (2014)
- [大橋 13] 大橋 健:RoboCup@Home における課題設定と技術開発, 計測と制御, Vol. 52, No. 6, pp. 481–486 (2013)
- [油田 10] 油田 信一, 水川 真, 橋本 秀紀: つくばチャレンジのねらいと成果, 計測と制御, Vol. 49, No. 9, pp. 572-578 (2010)

〔担当委員: x x

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

──著者紹介

杉浦 孔明(正会員)

2002 年京都大学工学部電気電子工学科卒業 . 2004 年同情報学研究科修士課程修了 . 2007 年同博士後期課程修了 . 1博士(情報学) . 日本学術振興会特別研究員 , ATR 音声言語コミュニケーション研究所研究員を経て , 現在 , 情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所主任研究 員 . 知能ロボティクス , ロボット対話 , 機械学習 , 推薦システムの研究に従事 . 情報処理学会 , 日本ロボット学会 , 計測自動制御学会 , IEEE などの会員 .