解 説

World Robot Summit サービスカテゴリーは何を競ったのか

What is the Purpose of the World Robot Summit Service Category

岡田 浩之^{*1} 稲 邑 哲 也^{*2} 和 田 一 義^{*3} ^{*1}玉川大学 ^{*2}国立情報学研究所 ^{*3}首都大学東京

Hiroyuki Okada^{*1}, Tetsunari Inamura^{*2} and Kazuyoshi Wada^{*3}

^{*1}Tamagawa University ^{*2}National Institute of Informatics ^{*3}Tokyo Metropolitan University

1. は じ め に

World Robot Summit (以下, WRS) は, 人とロボットが共生し協働する世界の実現を目指した競演会である[1]. サービスカテゴリーの競技でも「人とロボットの協働」が重要なテーマになっており, 家庭や店舗などの生活空間で必要とされる人とロボットが助け合い, 補い合うロボット技術を競うことが大きな目的である. ここで, 「協働」とは「人とロボットが作業を助け合って行う」ことであり, 人とロボットがそれぞれ役割を分担し, それぞれの得意な作業を行うことによってトータルとしてのサービスを向上させるという思いが込められている. 2018 年 10 月に開催された WRS2018 大会のサービスカテゴリーでは以下の三種目が実施された.

家庭でのサービスを実機ロボットで競う Partner Robot Challenge (Real Space) では高齢者などの生活をロボットが助けることを想定し, 「指定したオブジェクトをロボットが取ってくる」, 「散らかった部屋をロボットが片付ける」, 「ロボットと暮らす未来を見せるオープンデモンストレーション」の三つのタスクを実施した. すべての参加チームは同一のロボット(トヨタ自動車の「HSR」)を使用するため, 主にソフトウェア技術を競うことになる.

同じく家庭でのサービスを仮想空間において競う Partner Robot Challenge (Virtual Space) ではすべてのタスクを社会的知能発生学シミュレータ (SIGVerse [2]) 上の仮想空間内で競う. ヘッドマウントディスプレイやモーションキャプチャーなどの仮想空間ツールを装着した人間のAvatarとロボットが仮想空間内でコミュニケーションすることで, 従来には無かったロボット技術の革新を目指す競技である.

店舗におけるサービスを競う Future Convenience Store Challenge はロボット技術によって従業員の負担を軽減し, 顧客に対して新たなサービスを提供する未来のコンビニエ

ンスストア(コンビニ)を実現することを目的とした世界初の競技である. コンビニ店舗には様々な業務があるが, その中にある自動化のニーズを解決するためにアイデア, ロボットやソフトウェアの開発までの全般を競う.

以下, 2018 年 10 月に実施された WRS2018 東京大会においてサービスカテゴリーで実施された三つの競技について紹介する.

2. Partner Robot Challenge (Real Space)

Partner Robot Challenge (Real Space) は生活支援ロボットの实用化を念頭にして, 具体的なタスクとして, 物の運搬, 部屋の片づけ, 簡単な料理などを人とロボットが協働して行ったり, 対話をしたり, ユーザとのコミュニケーションを通して情報の検索・提示を行ったりすることなどを競う. こうしたロボットとのコラボレーション(協働)は, 超高齢化や少子化に伴う独居老人, 核家族, 家族難民に対する直接的な支援として重要なだけでなく, ロボットとの相互信念形成といった心的つながりを経験することによって, 社会とのつながりを取り戻すきっかけとなる可能性があると考えている.

2.1 競技概要

2.1.1 競技設計

競技課題の設定に当たっては, ハウスメーカや介護施設などのヒアリングやRoboCup@HomeやRoCKIn@Homeなどの既存の競技会を参考に以下の三つのタスクを設定した.

- あれ, 取ってきて (Bring Me)
- お願い, 部屋を片付けて (Tidy Up Here)
- ロボットと暮らす未来を見せて (Show Me the Future)

各タスクの詳細なルールや競技の配点などは Web 上に公開されているルールブックを参照されたい[3].

2.1.2 Bring Me タスクの概要

オペレータがロボットに音声で取ってくるオブジェクトを指示する. ロボットが取ってくるように指示される日用品は, テーブル, 棚, チェスト, 冷蔵庫のいずれかの中に置かれる. 競技の制限時間は 25 分間で, 早くタスクが完了するとその分が加点される. オブジェクトはあらかじめ主催者によって呈示されている物体(既知物体)とその場で初めて見る物体(未知物体)に区別され, 既知物体は競技会のセットアップ日(2日間)に, 未知物体は競技直前に学習することが許されている(図1).

原稿受付 2019 年 1 月 18 日

キーワード: World Robot Summit, Service Category, Partner Robot Challenge, Future Convenience Store Challenge

^{*1}〒194-8610 町田市玉川学園 6-1-1

^{*2}〒101-8430 千代田区一ツ橋 2-1-2

^{*3}〒192-0397 八王子市南大沢 1-1

^{*1}Machida-shi, Tokyo

^{*2}Chiyoda-ku, Tokyo

^{*3}Hachioji-shi, Tokyo

図1 Bring Me タスクの様子

図2 Tidy Up Here タスクの様子

2.1.3 Tidy Up Here タスクの概要

散らかった部屋にある様々なオブジェクトを指定の場所に片付けるタスクである。物体を正しく認識し、正確に把持することが要求される。本タスクで使用するオブジェクトも既知物体と未知物体が存在し、未知の日用品を正しく見分け、正しい位置に片付けることが要求される（図2）。

2.1.4 Show Me the Future タスクの概要

人々の安心と幸せを支援してくれるパートナーロボットと暮らす未来。発想とアイデア、そしてロボティクス技術で、未来の生活をプレゼンテーションする。使用するロボットは標準機である HSR に加え自由に使うことが許される。競技の舞台はリビング、ダイニング、キッチン、またはベッドルームである。家に一人である何らかの不自由を持った人を、ロボットがどのように支援することができるかを競う。この競技は初めにプレゼンテーションを2分とデモンストレーションを10分を行い、審査員からのインタビューを5分間行う。審査員はロボット技術の専門家だけでなく、報道関係者、出版関係者、ユーザなどが様々な視点から採点する（図3）。

2.2 競技結果

全 14 チームが参加し、うち海外からは 9 チームが参加した。以下競技の結果を記す。

● 総合順位（ファイナル進出の上位 7 チーム）

- 1 位：Hibikino-Musashi@Home（九州工業大学）418 点
- 2 位：OIT Challenger and Duckers（大阪工業大学、立命館大学）294 点

図3 Show Me the Future タスクの様子

3 位：AISL-TUT（豊橋技術科学大学）255 点

4 位：Tidyboy（Pusan National University, Seoul National University, Korea University, Hanyang University）249 点

5 位：EPANer（University of Technology of Belfort-Montbéliard, University of Lincoln）186 点

6 位：PUMAS（Autonomus National University of Mexico）172 点

7 位：eR@sers（玉川大学）90 点

ロボカップの@ホームリーグにおいてもここ数年、日本チームが上位に入賞しておりサービスロボットに関する研究レベルが高いことを示している。

2.3 2020 年本大会に向けて

ロボカップレスキューリーグや WRS インフラ・災害カテゴリーの競技ではアメリカの NIST（National Institute of Standards and Technology：国立標準技術研究所）と共同でロボットの形状や性能などの国際標準化を進め STM（Standard Test Method）競技を行っている。Partner Robot Challenge 競技のルール策定においても NIST と連携しながら標準のテストメソッドの可能性を探っており 2020 年本大会に向けて試行している。

3. Partner Robot Challenge (Virtual Space)

Partner Robot Challenge (Virtual Space) の目的は、基本的には Partner Robot Challenge (Real Space) と同様に生活支援ロボットの実現にある。生活支援ロボットに求められる機能は環境認識に基づくナビゲーションやグラスピングのみならず、その環境・状況に応じて人間からの指示やリクエストに含まれる曖昧性や矛盾性を会話を通じて解決することも含まれる。このような評価を行うには少なくとも数分間にわたる試行時間で人間とロボットが会話をしながら課題を達成するというスタイルのシナリオが求められる。そのようなシナリオに沿って競技を運営するうえでの問題点は、現実的な競技運営時間からどうしても「一発勝負」での競技となる傾向になってしまう点である。理想的には、長時間のインタラクション試行を複数回繰り返し、統計的有意性を確認することが望ましい。しかしながら、RoboCup におけるサッカーやレスキューシミュレーションと異なり、ロボットと対話する人間の存在がシミュレー

ション化を困難な物としていた。そこで、実際に人間が没入型 Virtual Reality 上のアバターにログインし、そのアバターとロボットが対話をする環境を構築することで、従来まで困難であった Human-Robot Interaction のシミュレーション化を行った[5]。

3.1 競技概要

2018 年大会では以下の四つのタスクで競技を行った。詳細はルールは WRS のページ[†]を参照されたい。

3.1.1 Handyman タスク

アバターは自然言語（テキストメッセージ）で、あるオブジェクトを取って来てもらう／移動してもらう／捨ててもらうというリクエストをロボットにリクエストする。オブジェクトは既知・未知双方の場合があり、未知の場合にはオブジェクトのラベル名が事前公開されるものの、画像サンプルが示されることはなく、ロボットは「常識」を用いて物体を検索する必要がある。また、しばしばアバターは存在しないオブジェクトを指定する事もあるため、そのような矛盾を検出した場合「指示が間違っている」という事を指摘することも求められる（図 4）。

3.1.2 Interactive Cleanup タスク

アバターは指さしジェスチャーで対象オブジェクトを指示し、片付けたり捨てるべき目的の場所をさらに 2 回めの指さしジェスチャーで指定する。アバターは歩き回りながら指さしすることもあり、また、指さしの方向には複数の対象物が混在して置いてあることもあるため、ロボットは「これの事ですか？」とオブジェクトを把持しながら質問することが許されている。このように人間の動作と環境の観察を同時に行い、対話で確認を行いながら精度の高い指示理解を目指す必要がある（図 5）。

3.1.3 Human Navigation タスク

このタスクは言わば「Handyman における人間とロボットの立場を逆にしたタスク」である。ロボットに与えられる課題は「三次元座標で示された場所にあるオブジェクトを、別の三次元座標で示された場所に移動させる行動をユーザに行ってもらうように、自然言語で説明する」ことである。これはロボットの説明能力を評価するタスクとも言え、カーナビの機能の日常生活版という表現もできる。環境には似たような家具やオブジェクトが多数配置されているため、ロボットは相対的な場所の表現や、「右からいくつめ」という表現など、状況に応じて様々な表現を組み合わせながら、ユーザに分かりやすい表現を生成する。このタスクの特徴はその説明を一般のユーザが聞き、没入型 VR 上のアバターを操作することでタスクを実施する事である。表現の適切さは、ユーザがタスクを達成するまでの時間を主に評価対象として計算され、いかに親切で分かりやすい説明をすることができるかを競う（図 6）。

3.1.4 Final (自由デモンストレーション) タスク

日常生活支援ロボットが、VR 技術やサイバーフィジカル

図 4 Handyman タスクの実行画面

図 5 Interactive Cleanup の実行画面

図 6 Human Navigation タスクの様子

システムを活用することでどのように発展することが可能かという将来像を構想し、実演とともにプレゼンテーションを行う。Real Space と同様に様々なフィールドの審査委員がその提案を採点する。

3.2 競技結果

全 7 チームが参加し（8 チームが参加予定のうち、1 チームが辞退）、うち海外から 3 チームが参加した。以下、競技の結果を示す。

- 1 位：NICT（情報通信研究機構）100 点
- 2 位：SOBITS（創価大学）67.3 点
- 3 位：eR@sers（玉川大学、立命館大学、岡山県立大、大阪工業大）63.0 点
- 4 位：Virtual-Puma（メキシコ国立自治大学）、53.3 点
- 5 位：KameRider（Nankai Univ, 中国）26.8 点
- 6 位：GuilMaz（University of Science and Technology of Mazandaran, イラン）、0.6 点
- 7 位：HappyMini（個人、日本）、0 点

Virtual Space の特徴はシミュレーション環境を用いた Human-Robot Interaction 試行の複数回検証にある。各チーム当たりの試行回数は、Handyman タスクでは 4 種類

[†]http://worldrobotsummit.org/download/rulebook-en/rulebook-simulation_league_partner_robot_challenge.pdf

の部屋レイアウトにおける 14 種類のシナリオ, Interactive Cleanup タスクでは 1 種類の部屋レイアウトでの 20 種類のシナリオ, Human Navigation タスクでは 28 種類のシナリオであり, 合計で延べ約 2,400 分 (40 時間) にわたる 434 回のインタラクションが行われたことになる. これを 3 日間で実施可能であり, かつ, すべてのインタラクションの履歴がサーバ上に記録できる点が本競技の強みでもある.

3.3 2020 年本大会に向けて

本競技システムの利点は長時間試行の実現可能性のみならず, インタラクションの記録と再現機能である. GitHub にて VR 上でインタラクションをプレイバックするソフトウェアも配布しており, 自身や強豪チームの戦略・ロボット行動を振り返りながら分析することが比較的容易である, また, それを元に機械学習でインタラクション行動の最適化を図るなどの応用可能性にも期待したい. 2018 年大会では競技者が参加しやすいように, 従来までの RoboCup@Home で見られたタスクからあまり距離を取らないようにタスク設計を行ったが, 対話制御, 曖昧性や矛盾の解消, 過去の文脈の参照など, より, 高次の経験に基づく認知機能を評価するようなタスク設計を行い, ロボット研究者のみならず, 自然言語処理研究や音声対話研究の分野からも参加を募り, 学際的な学術的問題を議論・評価可能な競技会へと発展させていく予定である.

4. Future Convenience Store Challenge

Future Convenience Store Challenge とは, 近年人手不足が深刻化しているコンビニエンスストア店舗における各種業務 (品出し・入替え, 接客など) の自動化を対象としたロボット技術コンテストである. 身近でかつ実用的な課題に即したコンテストを設定することにより, 実用化が遅れているサービスロボット関連技術の革新を促すことを狙っている. 2016 年に計測自動制御学会システムインテグレーション部門主催で始まった Future Convenience Store Contest の技術部門がその前身である [6].

4.1 競技概要

4.1.1 競技設計

競技課題の設定に当たっては, (株)セブン&アイ・ホールディングスのご協力をいただき実地調査やヒアリングを行い, 自動化ニーズが高い課題を中心に以下三つのタスクを競技として設定した.

- 陳列廃棄タスク
- トイレ清掃タスク
- 接客タスク

参加者はいずれか 1 タスクまたは複数のタスクに参加可能であり, タスクごとに異なるロボットを複数台用いても良い. なお各タスクの詳細はルールブック [7]~[9] のほか, その設計思想は参考文献 [10] をご覧いただき, ここでは概要のみを述べる. 競技フィールドである模擬店舗は 8×7 [m] の大きさで, 「バックヤード」「通路」「カウンター」「陳列棚」「トイレ」など一般的なコンビニ店舗が有する要素で構成されている (図 7). 多くのロボット競技会では与えられ

図 7 模擬店舗レイアウト

た作業対象物や競技フィールドに手を加えることはできないが, 本競技ではロボットが導入された未来のコンビニエンスストアを想定し, 参加者は開発したロボットのための独自のインフラを導入することができる. 各タスクの競技時間は 20 分間であり, 以下の順で進行する.

(1) リフォームタイム:

模擬店舗内に各種センサやマーカーなど独自のインフラを設置したり, 独自開発した陳列棚や便器などに入れ替える時間. セッティングタイム: ロボットに対して設定を行う時間. 陳列廃棄タスクでは廃棄品をこの段階で決定するため, その情報をセットする.

(2) プレゼンテーションタイム (接客タスクのみ):

デモンストレーションするシステムの説明を行う時間.

(3) デモンストレーション:

実際にロボットを動作させて作業を行う時間. これらの時間配分は, 参加者が自由に決めて良いこととし, 次の時間に移行する際や競技を終了する場合は, その都度, 審判に申告する.

4.1.2 陳列廃棄タスク概要

コンテナ内の商品 (おにぎり, ドリンク, 弁当: 各 2 種 4 個ずつ) を陳列棚の所定の位置姿勢に並べる. また, 陳列棚に乱雑に置かれたサンドイッチ (2 種, 各 4 個) を整頓するとともに, その中から廃棄品 (4 個) を探し出し回収する. なお, 廃棄品はその場でランダムに決定される. 商品はいずれも本物を使用した. 陳列作業, 廃棄作業それぞれ 50 点満点とした.

4.1.3 トイレ清掃タスク概要

便器 (縁 (便器上面), 便座 (開いた状態)) および便器周囲の床に付着した模擬尿を清掃する. また, 床に散乱したゴミを清掃する. 模擬尿は放水装置 (小便小僧) により便器内に放水し飛散させる. 清掃による模擬尿の除去率を画像処理で計測し, 除去率 80% 以上を 50 点満点とした. ゴミはトイレトーパーの芯 1 個とトイレトーパーの切れ端 4 個であり, これらを参加者が決めたごみ箱に回収

図 8 接客デモンストレーション (NAIST-RITS-Panasonic)

すると加点される (50 点満点)。

4.1.4 接客タスク概要

接客業務に関連する課題を自由に設定し、制限時間内にシステムのデモンストレーションを行う。人 (店員・顧客) とのインタラクションを含み、将来の新たなサービスを予感させるような提案・デモンストレーションを期待した。審査委員が提案性、有用性、実現可能性の観点から審査し採点する。

4.2 競技結果

全 23 チームが参加し、うち海外からは 3 チーム (台湾, 中国, ドイツ) が参加した。以下、各タスクの結果を記す。

●接客タスク (10 月 18 日: 12 チーム参加)

1 位: NAIST-RITS-Panasonic (奈良先端大, 立命館大, Panasonic) (図 8)

2 位: TCR (Connected Robotics, 東京農工大)

3 位: homer@UniKoblenz (University of Koblenz)

●トイレ清掃タスク (10 月 19 日: 14 チーム参加)

1 位: TCR (Connected Robotics, 東京農工大) 91 点 (図 9)

2 位: TAK (首都大, 産総研, 工学院大) 67 点

3 位: H3 (Human Robot Analysis) 43 点

●陳列廃棄タスク (10 月 20 日: 14 チーム参加)

1 位: U.T.T. (TOSHIBA, 名城大) 74 点 (図 10)

2 位: ROC2 (OMRON, 中部大, 中京大) 74 点

3 位: Hi-KCCT (HITACHI, 神戸高専) 59 点

ROC2 はリトライ回数の差で惜しくも 2 位となった。また、10 月 21 日はエキシビションとして各タスクの 1 位がデモンストレーションを行い、U.T.T. を特別賞として選定した。なお、各競技の様子や結果の詳細は FCSC の Website にて公開している [11]。

4.3 得られた成果・知見

陳列廃棄タスクでは、電機大手 (オムロン, 東芝, Panasonic, 日立), ベンチャー企業など企業の参加が多く、実用化やビジネスへ向けた関心の高さがうかがえた。特に、オムロンは 2017 年のトライアル大会 1 位の結果を受けて、社内で研究開発から事業化へ向けて開発を進めており、事業化一歩手前の状況である。早くも WRS の目的の一つである産業育成が現実味を帯びている。トイレ清掃タスクは過去に類似のロボット競技がなく、トイレ空間全体をロボット化す

図 9 トイレ清掃デモンストレーション (TCR)

図 10 陳列廃棄デモンストレーション (U.T.T.)

るインフラ型、掃除ロボットなどの移動ロボット型、人のように掃除を行うモバイル・マニピュレータ型、と多様なアプローチが見られた。海外の関心も高く IEEE SPECTRUM Web 版にも取り上げられた [12]。今後の発展が楽しみな競技である。接客タスクは現状の店舗形態の固定観念に縛られた提案が主であったため、新たなコンビニのイメージを共有した上で提案いただく方が色々なアイデアが出やすいと考えられる。

4.4 2020 本大会へ向けて

より多くの商品を陳列廃棄したり、便器の側面も清掃対象とするなど、より実際の環境に近い状態へと課題の難易度を上げてゆく予定である。一方、接客では固定観念に縛られない新たなアイデアを刺激すべく、模擬店舗を未来型の店舗に大胆に変更することを検討している。

参 考 文 献

- [1] <http://worldrobotsummit.org/>
- [2] <http://www.sigverse.org/wiki/jp/index.php>
- [3] http://worldrobotsummit.org/download/rulebook-en/rulebook-Partner_Robot_Challenge.pdf
- [4] 岡田: “World Robot Summit パートナーロボットチャレンジで何を競うのか?”, 第 36 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 3D3-05, 2018.
- [5] Y. Mizuchi and T. Inamura: “Cloud-based multimodal human-robot interaction simulator utilizing ROS and unity frame-

- works,” Proc. of the International Symposium on System Integration, pp.948–955, 2017.
- [6] K. Wada: “New Robot Technology Challenge for Convenience Store,” Proc. of 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, ThB.3, 2017.
- [7] WRS Future Convenience Store Challenge Preliminary Competition 2018 “Stocking and Disposing” Tasks Rulebook, http://worldrobotsummit.org/en/wrc2018/service/pdf/Rulebook_task1.pdf
- [8] WRS Future Convenience Store Challenge Preliminary Competition 2018 “Customer Interaction” Task Rulebook, http://worldrobotsummit.org/en/wrc2018/service/pdf/Rulebook_task2.pdf
- [9] WRS Future Convenience Store Challenge Preliminary Competition 2018 “Toilet Cleaning” Task Rulebook, http://worldrobotsummit.org/en/wrc2018/service/pdf/Rulebook_task3.pdf
- [10] 安藤: “FCSC (Future Convenience Store Challenge) における技術チャレンジと競技ルール”, 計測と制御, vol.57, no.12, pp.857–850, 2018.
- [11] https://f-csc.org/wrs-fcsc-2018_results/
- [12] E. Ackerman: “Robots Finally Learning to Clean the Bathroom,” IEEE SPECTRUM, 15 Nov. 2018, <https://spectrum.ieee.org/automan/robotics/home-robots/robots-finally-learning-to-clean-the-bathroom?fbclid=IwAR0QOvbAPSGOYT31c1w0Y8-OxVBwg1i1bcFj9kaPdiumLrwColmvm7-Untkc>

岡田浩之 (Hiroyuki Okada)

1986年(株)富士通研究所入社。東京農工大学大学院生物システム応用科学研究科博士後期課程修了。2002年東海大学理部情報数理学科助教授を経て、2006年玉川大学工学部知能情報システム学科教授。現在同大学工学部情報通信工学科教授。赤ちゃんの発達とロボットを融合させた件空に興味を持つ。ロボットを通じて人間を知ることが目標。2008年、2010年RoboCup@homeリーグ世界大会優勝。日本認知科学会、日本赤ちゃん学会、人工知能学会などの会員、WRS サービスカテゴリー競技委員長。

(日本ロボット学会正会員)

和田一義 (Kazuyoshi Wada)

2004年筑波大学大学院工学研究科構造工学専攻博士課程修了。博士(工学)。2004年産業技術総合研究所知能システム研究部門特別研究員。2007年首都大学東京システムデザイン学部准教授。現在に至る。ロボット・セラピー、福祉ロボット、空間型ロボットの研究等に従事。計測自動制御学会、IEEEなどの会員。

(日本ロボット学会正会員)

稲邑哲也 (Tetsunari Inamura)

2000年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。JST CREST研究員、東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻講師を経て、2007年より国立情報学研究所および総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻准教授。Human-Robot Interaction 研究のためのシミュレータ SIGVerse の開発と応用研究等に従事。2013年船井学術賞、ロボカップジャパン人工知能学会賞等受賞。人工知能学会、日本機械学会、電子情報通信学会、IEEE 各会員。(日本ロボット学会正会員)