解 説

掃除ロボットが持つ課題と将来

Issues and Prospects of Robotic Vacuum Cleaner

妹 尾 敏 弘* 三 木 一 浩* 阪 本 実 雄* *シャープ株式会社

Toshihiro Senoo*, Kazuhiro Miki* and Jitsuo Sakamoto* *SHARP CORPORATION

1. は じ め に

掃除ロボットは、掃除機が自ら動いて部屋の掃除をする家電で、スイッチを ON にさえすれば掃除が完了する。代表格はアイロボット社・ルンバ[1]で、2002年に初代モデルが発売され、共働きで忙しく、家事省力化を望むお客様を中心に受け入れられている。その後、東芝社・Smarbo (スマーボ)[2]や、韓国メーカーを中心に新製品が続々と発売されている。製品が新しくなるに伴い、側面のセンサで家具や壁面を衝突または避けるように床面を自律走行する機能や、終了するとホームベースへ戻る機能、指定した時間に運転開始するタイマー機能などが付加され、使いやすさが向上してきた。現在ではゴミを吸い取るメカニズムや掃除機の動き方、大きさや形状の差が、これらロボットを購入する際のポイントとなってきている。

日本市場では、掃除ロボットの販売は堅調に推移し、2013年度では前年比 1.5 倍の約 45 万台に達していると考えられる。

シャープでは、掃除をすることで「お客様の負担となる家事を低減・代行してくれる」、単なる掃除ロボットではなく、日本の床に最適な掃除性能と、お客様に寄り添い、安心感のある暮らしをアシストするロボット家電の一環として、2012年6月に「COCOROBO (ココロボ)」の第1弾を発売した[3]。

一方、日本の社会は高齢者世帯が約 4 割を占めるようになり、さらに単身世帯が日本で最も多い家族形態になっている。また、共働き世帯も半数以上になるなど、大きく世帯構成が変化している。

2012年の夏は記録的な猛暑により、高齢者や単身者の熱中症による被害が増大し、安心・安全へのニーズや、「見守り」の必要性が高まっている。

更に、情報通信分野では、東日本大震災以降、家族や社会とのつながりを求める中、スマートフォンの保有率が3

割を占め、家庭内無線 LAN の導入率も 4 割に達し、導入予定者を加えると 5 割以上になっている。インターネット利用者の約 5 割が SNS を利用するなど、今後、スマートフォンと家電が連携すれば、もっと便利で快適な暮らしが広がると考えられる。

このような背景の中で開発が進む掃除ロボットの技術要素と課題、将来の方向性について、COCOROBO の開発事例を交えながら説明をしていく。

2. 室内移動と掃除

現在市販されている掃除ロボットの移動手段は、「対向 2 輪 + 補助輪」の構成で、フローリングのような整地ではこの構成が低コストで効率が良い。どのモデルにおいても 1 秒あたり 30 [cm] 角の正方形程度の範囲を走行・掃除することができる。他方、掃除ロボットは、「床面全体を隙間なく隅々まで」移動することも求められるため、フローリングに敷かれた絨毯やマットのような、いわゆる不整地を走りこなす必要がある。これらは予想以上に様々な形状のものが続々と発売されており (図 1)、掃除ロボットにとっては大きな課題となっている。

不整地の走破手段としてはいろいろなアプローチが研究されている。例えば月面探査ロボットのような大型サスペンション付きの多輪機構等があるが、本体の高さが増すという課題がある。また、クローラも考えられるが、ベルトとホイールの間に絨毯が噛み込んでしまうという課題がある。掃除ロボットの走行では、「床を傷つけては NG」ということである。この点、脚型は有利となるが、走行速度が車輪に比べてまだ遅いこと、移動騒音が欠点となろう。

また、「掃除」についての課題としては、「部屋の隅の掃除」である。現在普及している掃除ロボットは、対向 2 輪の移動特性を生かすために、多くが円盤型になっており、部

図 1 家庭内の絨毯やマット

原稿受付 2013 年 12 月 27 日

キーワード: Cleaner, Home Network, User Interface

*〒 581-8585 八尾市北亀井町 3-1-72

*Yao-shi, Osaka

図2 COCOROBOV200 とカメラ画像

屋の隅の掃除は本体より飛び出たブラシで補助しているが、必ず掃除残しができる。この課題については、まず、掃除機構を従来の掃除機と同じ四角い形状にし、全方位移動車輪を用いて、本体の方向転換をせずに移動することで解決できる可能性がある。ただし、全方位移動車輪は、構造が複雑であること、走行時の騒音が大きいこと、不整地走行性に劣ることが課題になると予想される。いずれの移動手段で技術改良を行うにせよ、現行のモデル程度の掃除能力が維持できるかどうかが一つの目安になる。

3. センシング

掃除ロボットが判断している情報は、「周りに障害物があるのか」「自分が安全な状態かどうか」「ゴミを吸っているか」である。障害物の検知は、赤外線や超音波、あるいはレーザに代表される距離センサで行う。これらは周囲に何かがあるかどうかは検知可能だが、それが「モノ」なのか「ヒト」なのか等は不明である。掃除を行う限りはこれでも足りるが、「ロボット」としての付加機能を実現するためには、検知したものが「何」なのか識別することが必要となる。入力手段として有効なのはやはりマイクやカメラで、市販のロボット掃除機でも一部の機種ではカメラを搭載したモデルがある。COCOROBO の上位機種では、マイクとカメラを搭載しており（図2）、これらを用いて周囲にあるものが「何」なのかをある程度識別することができれば、より発展的な役目を果たすことができる。

また、今後は「宅内が安全かどうか」をセンシングする機能も有効となりうる。家庭内ネットワークが発展して、宅外からの遠隔制御技術が進むにつれ、ユーザの方が実際に部屋の様子が気になる場合も増えてくると予想される。赤外線サーモセンサ等が搭載可能になれば、ロボットが実際に宅内を移動し、カメラ画像と組み合わせて周囲の状況を転送することで、家電製品と独立したフィードバックとしてユーザの方に安心していただくことができる。

4. ユーザインターフェイス

現状のほとんどの掃除ロボットは、入力としてはボタン、応答としてはLEDと音によるものとなっており、掃除を目的にする限りは足りる。しかし「ロボット」という名前がつく以上は、例えばNEC社・Papero [4] が持つインター

図3 将来のコミュニケーションインターフェイス

フェイスのように、人間が意思疎通を図るときに用いる手段をインターフェイスとして持つことが期待される。COCOROBO においても、コミュニケーションインターフェイスを搭載しているため簡単に紹介する。COCOROBO の高機能モデルでは、音声認識を含む、「ココロエンジン」と名付けたインターフェイスを搭載し、掃除だけでなく、ユーザとのコミュニケーションの役目を果たす。これにより、ユーザの方から今までのロボット掃除機以上の好印象を持っていただいている。COCOROBO で採用している音声認識技術では、シングルマイクに入力される音声に対して、約3秒で返答を行うことを目標に設計している。社内評価の結果では、3秒以上の処理遅れは「遅くて会話にならない、使えない」と却下されたのである。このため、時間内に処理できる音声認識には、高度な音声認識技術 [5] に比べて課題が山積している。特に人間の言語と同じように聞こえるメディアからの声は現在採用している音声認識技術では見分けることができず、ユーザのご家庭でテレビやラジオに返事する、あるいは人間同士の会話に割り込む、ということもしばしばである。現モデルにおいては、「ロボットがどういう声でどんな言葉を返事すると、意図しない返事を許容していただけるのか？」という設計思想を加えることで、この欠点を許容いただいているに過ぎない。今後は、人間が意思疎通で利用している音声以外の判断要素を取り入れていく必要がある。人間は、「言語」以外にも「表情」「動作」「人物」など、様々な状況を考慮しつつ意思疎通を行っている。ロボットとユーザのコミュニケーションでも、「音声認識」自体の技術向上以外に、Microsoft 社・Kinect [6] のような技術を導入して、「動作」や「表情」を分析する、あるいは、入力した音声の「声紋」を分析し、なおかつカメラの画像から「顔認識」で話者を特定するなど、複合的に情報を判断してコミュニケーションを行える技術展開が望まれる（図3）。

5. ナビゲーション

掃除を行うためのナビゲーションとしては、アイロボット社・ルンバのように現状はランダムと一部のパターン走行を組み合わせているとみられるものが主流であり、CO-

COROBO もこの種の方法を用いている。一部の新しいモデルでは、Smarbo のように上方を向いたカメラを用いて自己位置同定を行うと見受けられるモデルや、ジグザグ走行を行って効率化を目指しているものがある。Neato 社・VX11 [7] では、レーザ距離センサを用いて地図作成と自己位置同定を同時に行い (SLAM)、ジグザグ走行パターンによって効率の良い動作を行っているから見受けられる。現在のレーザ距離センサは、安全上の制約から、家庭で使えるものとしては約 4~5 [m] 程度に限度があるため、ジグザグ走行ができる範囲にも限度があるが、今後センサ性能が高まり、より広範囲の SLAM が可能となれば実用性が向上する。上記に限らず、有効な地図作成技術と自己位置同定技術が確立できれば、掃除ロボットのナビゲーションシステムは劇的に発展することは疑いの余地がなく、この点については常に重視し、積極的に導入していきたい。

6. ネットワーク

掃除ロボットのように、屋内で頻繁に移動を行うロボットをネットワークに接続するためには家庭内無線 LAN を利用することが一般的である。ネットワークに接続されたロボットを操作するにはユーザの手元にコントローラが必要であるが、掃除ロボットなど、一般家庭での利用が想定される場合は、例えば、スマートフォンなどの、ユーザが使いやすく親しみやすいコントローラの提供が望ましい。

また、ネットワークを利用してロボットを操作する場合、その操作性に加えて、利用するネットワークの環境を考慮する必要がある。環境には、大きく、ロボットとコントローラが直接通信できる環境 (ローカルネットワーク) と、インターネットを利用して通信を行う環境 (グローバルネットワーク) が考えられるが、これらを利用する場合には、おのおのの特性を考慮した全体設計が不可欠である。一般的に、ローカルネットワークは、高速な通信速度を有し、素早い応答や大容量データの通信が可能であるし、グローバルネットワークを利用する場合は、屋外からの操作やインターネットの情報と連携した、掃除ロボット単体では実現が難しい高機能なサービスの実現も可能となる。COCOROBO では、スマートフォンのアプリケーションソフトを利用し、本体カメラから受信した動画を見ながらリモコン操作を行うなど、ローカルネットワークの特性を生かした「おうちモード」と、遠隔地からの掃除指示や、家の様子を静止画で確認する機能など、グローバルネットワークの特性を生かした「おそとモード」を明確に切り分けて実現している。また、COCOROBO 自身がクラウドサーバーと連携して、地域の天気予報を合成音声で話すなど、グローバルネットワークに接続されることで実現できる機能も有している。

このように、掃除ロボットがネットワークに接続することで実現可能な機能が格段に増える。しかしその反面、遠

隔操作できるということから、セキュリティやプライバシーについて、十分な配慮を行う必要がある。ネットワークを利用した一般的な Web サービスでは、セキュリティ対策としてパスワード認証や暗号化通信などが利用されており、HDD レコーダの遠隔テレビ番組録画など、遠隔操作を伴うような場合は、さらに操作対象機器とスマートフォンの紐付け登録 (ペアリング) を行うなど、不正な遠隔操作が行われない仕組みも利用されている。当然ながらネットワークを利用した掃除ロボット操作の場合も同様に、セキュリティ対策やプライバシー対策が必要となる。

COCOROBO の場合も、上記同様ペアリングによるセキュリティ対策の実施や、遠隔地からの静止画撮影などプライバシーにかかわる操作が行われた際には、COCOROBO 本体に情報を提示することで、付近のユーザにプライバシーにかかわる遠隔操作が為されたことを報知するなど、セキュリティやプライバシーに対する配慮を行っている。

上述のとおり、ロボット掃除機がネットワークに接続することで様々な機能が実現されつつある。その一方で、高齢者や単身者からなる世帯が増加している現状を考慮すると、単純に機能性だけでなく、ユーザに対して安心や安全、安らぎを与える機能の実現も必要となるであろう。インターネット上の様々な話題をユーザに音声で語りかけるような機能や、遠隔地の家族が登録したボイスメモを、ユーザに近づいて読み上げるなど、ちょっとした気遣いや労わりの機能を実現していくためにも、家の中を自由に移動できる掃除ロボットのネットワーク化の重要性は今後ますます増していくだろう。

シャープでは、これらの可能性の追求のため、COCOROBO を利用して、各種事業体と連携した実証実験の実施や、技術情報を一般に公開して利用方法を検討するようなイベントを行い、ネットワーク有効利用の検討を進めている。

7. おわりに

一般家庭でロボットを利用し続けていただくためには、家事の一助となることが必須であり、「掃除」というニーズがなくなることは当面ないと予想する。

また同時に、ユーザとの何らかのコミュニケーション機能もユーザがロボットを受け入れるための重要な要素と言える。その観点で考えるならば、「掃除ロボット」はこれからもホームユースとして普及していくと予想できる。ただし、ホームユースとしては、家電の価格帯の範疇で導入できる技術に限られており、先端の研究要素をいかにうまく取り込んでいくかがポイントとなる。

ただ、将来ユーザの生活スタイルと思想が変革すれば、掃除ロボットのソリューションが、現在の円盤状の走行ロボット以外にもあり得る。極端な例示をするならば、「コミュニ

ケーション」の需要が大きく拡大し、2足歩行の人型ロボットが普通の電気掃除機を使用して掃除を行うことが最終形態となるかも知れない。技術発展の過程では、単に新しい技術を積み上げるだけでなく、ユーザの生活スタイルとの接点を適正に見極めて進んでいくことが重要と考える。

参 考 文 献

- [1] iRobot, ルンバ, <http://www.irobot-jp.com/>
- [2] 東芝, Smarbo (スマーボ), <http://www.toshiba.co.jp/living/cleaners/pickup/smarbo.htm>
- [3] シャープ, COCOROBO (ココロボ), <http://www.sharp.co.jp/cocorobo/>
- [4] 杉山昭彦, 佐藤幹, 岩沢透, 西沢俊広, 高野陽介: “1 チップ音声対話モジュールと PaPeRo-mini による評価”, 日本ロボット学会誌, vol.28, no1, pp.37-38, 2010.
- [5] 河原達也: “ロボットのための音声認識”, 日本ロボット学会誌, vol.28, no.3, pp.261-263, 2010.
- [6] Microsoft, Kinect, <http://www.microsoft.com/en-us/kinect-forwindows/>
- [7] Neato, xv-11, <http://www.neatorobotics.com/product/robotic-vacuums/xv-11/>

妹尾敏弘 (Toshihiro Senoo)

1994 年大阪大学工学部電子制御機械工学科卒業。同年 4 月シャープ株式会社入社。家庭用電化製品の組込みソフト開発, LED 照明要素技術開発, ロボット要素技術開発を経て, 掃除ロボットの行動制御ソフトウェア開発に従事。

阪本実雄 (Jitsuo Sakamoto)

1978 年信州大学工学部電子工学科卒業。同年 4 月シャープ株式会社入社。2010 年健康・環境システム事業本部ランドリーシステム事業部事業部長, 2013 年健康・環境システム事業本部副本部長兼商品革新センター所長, 現在に至る。

三木一浩 (Kazuhiro Miki)

2000 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科卒業。同年 4 月シャープ株式会社入社。テキスト音声合成エンジン開発, 携帯電話/スマートフォン向け電子書籍ビューアソフト開発を経て, 掃除ロボットのスマートフォンアプリケーションソフト開発, 実用化に従事。