

論文・報告

人間社会の実環境で機能し続ける 遠隔進呈システム

Remote Offering System for Sustained Operation in Real-World Social Environments

平井 一誠 ^{*1}

HIRAI Kazumasa

星野 由紀子 ^{*2}

HOSHINO Yukiko

立山 義祐 ^{*2}

TATEYAMA Yoshisuke

我々は、従来の遠隔対話システムでは得られにくい「対話の実感」や「存在感」を、ロボットによる物理的な作業とその成果物の授受を通じて強化することを目的として、「遠隔進呈システム」を開発中である。これまでに、遠隔操作ロボット「OriHime」とヒト型協働ロボット「NEXTAGE」を組み合わせこのシステムを実装し、営業中のカフェ店舗などで稼働実績を積んできた。本稿では、分身ロボットカフェでのコーヒーサーブ、展示会での名刺交換、じゃんけんによる接客や塗り絵の提供、サイン描画、カクテル作成の5つの取り組みについて紹介する。

キーワード：ロボット、遠隔操作、対話体験強化、物理作業、社会実装

1. はじめに

コロナ禍により、対面对話が忌避される状況が2020年初頭に起こり、Zoomに代表される遠隔対話システムが急速に普及した。パンデミックが終息し、対面对話が許容される状況に戻りつつあるが、テレビ会議だけでなく、遠隔からの接客や家族間のテレビ通話など、遠隔対話の需要は依然として高く、多様化している。このような背景の中で、従来の音声、映像、情報の共有だけでは「対話した」実感に乏しく、遠隔対話体験を質的に向上させる技術が求められている。その方法のひとつとして、遠隔で人間同士が対話している最中に「調理した」料理や「描いた」絵など、物理的な作業の成果物の授受が行われれば、対話体験の痕跡が物として残り、話者同士の対話の実感の増強につながると我々は考えた。

そこで、ロボットを用いた遠隔対話中に物理的な作業の成果物を授受する「遠隔進呈システム」を我々は提案し、社会実装を目指して開発してきた。この遠隔進呈システムによって、例えば、遠隔からの接客時に、音声や身振りによる対話に加えて、その結果が反映された物を提供することができる。これにより、ロボットのパイロットはその物を用いて気持ちを表現でき、対話相手はその物からもパイロットの気持ちを感じることができる。

これまで、営業中のカフェ店舗での接客、展示会場での受付などで稼働実績を積んできた。この中には4年以上の稼働実績を積んだタスクがある。本稿では、過去に取り組んだ4種類のタスクと、新たに実装したテレバーテンダーについて紹介する。

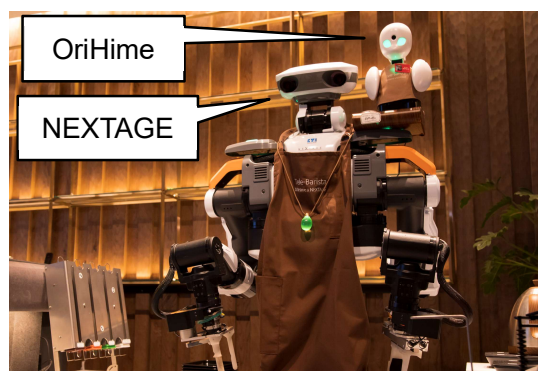


図1 NEXTAGE と OriHime の組み合わせ

2. 遠隔対話におけるロボット活用事例

遠隔対話において、PCやタブレット端末のような、一般的な液晶ディスプレイを持つ端末ではなく、ロボットを用いることで、対話者の存在感を増強する研究が行われてきた。

坂本らは、遠隔対話において、メディアとしてロボットを使用し、対話者がアンドロイド・ロボットを遠隔操作することで、操作する人間の存在感の伝達は可能であるかを検証した¹⁾。坂本らが構築した遠隔操作型アンドロイド・ロボット「Geminoid HI-1」、一般的なビデオ会議システム、音声通信のみ、の3条件で比較を行い、Geminoid HI-1を用いた条件において、被験者は他のメディアを用いた条件よりも有意に強い存在感を感じたと報告した。

武内らは、カフェにおける接客業務を通して、株式会社オリイ研究所製の遠隔操作可能なアバターロボット「OriHime」を用いた遠隔対話の効果について検証した²⁾。

*1 川田テクノロジー株式会社技術開発本部技術研究所

*2 川田テクノロジー株式会社技術開発本部技術研究所 主幹

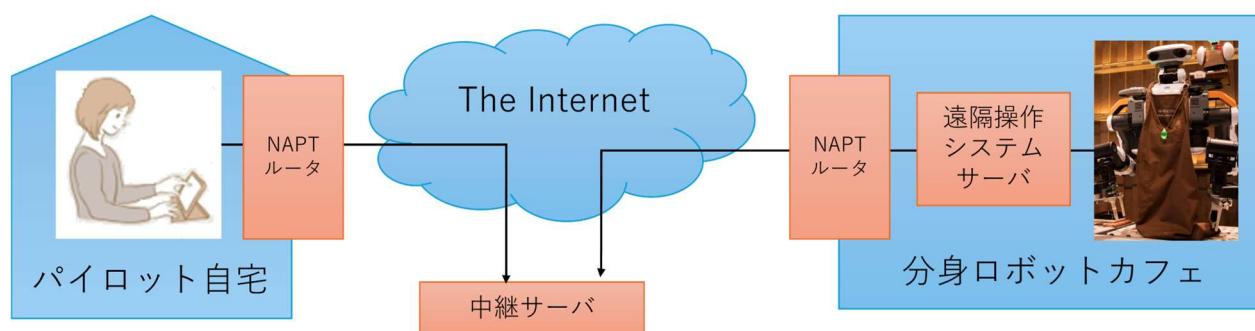


図2 遠隔操作システム概略図

武内らは、「物理的な存在感やリアルタイムの相互作用は、OriHime ユーザに現地の人との一体感を与えるのみならず、現地の人にも OriHime に対して強い存在感・一体感を与えていたと考えられる。」と報告している。

これらの研究は対話に特化しており、物理作業と組み合わせていない。我々が提案する遠隔進呈システムは、対話と物理作業を統合し、その作業の成果物の授受を通じて、対話体験をより豊かにすることを目的としている。

3. NEXTAGE と OriHime を組み合わせた遠隔進呈システム

我々は、遠隔進呈システムを社会に広く普及させるため、その社会実装を目指して開発を進めている。また、遠隔進呈システム開発において、オリイ研究所と共同研究開発を行っている。オリイ研究所は、様々な理由により外出が困難な人の社会参加の支援を継続的に実施しており、その一つとして、外出困難者が OriHime を用いて接客を行う、分身ロボットカフェ DAWN ver. β 常設実験店（以下分身ロボットカフェ）を、2021年6月より運営している³⁾。我々は、OriHime とカワダロボティクス株式会社製の NEXTAGE を組み合わせ、遠隔でのカフェ顧客との対話中にロボットがコーヒー抽出作業を行い、提供する「テレバリスタ」を実現してきた⁴⁾。NEXTAGE と OriHime を組み合わせた遠隔進呈システムの外観を図1に示す。本システムでは、一人の操作者（以下パイロット）が OriHime と NEXTAGE を同時に操作し、前者で対話、後者で物理作業を行う。OriHime はオリイ研究所が提供するシステムによって遠隔操作され、NEXTAGE からは完全に独立している。NEXTAGE は、15自由度を持ち、片腕 2.5kg のペイロードを持つヒト型協働ロボットである⁵⁾。主に工場内での組立作業を行うロボットであるため、遠隔進呈システムの物理作業を実施可能である。このヒト型ロボットが、遠隔地の対話相手の目の前で物理作業を行うことにより、あたかもパイロットが目の前で作業をしているかのような存在感を与えること、それにより提供された物品に付加価値を付与することを狙っている。

NEXTAGE は自動動作を前提としたロボットであり、

標準仕様では遠隔操作には対応していない。そこで我々は、パイロットの自宅から、一般的なインターネット経由で、遠隔地にある NEXTAGE を遠隔操作するためのシステム（以下、遠隔操作システム）を開発し、本遠隔進呈システムに導入した⁴⁾。遠隔操作システムの概略図を図2に示す。NEXTAGE を遠隔操作して作業を行う時、動作を細かくリアルタイムで指示することは難しく、パイロットへの負担が大きくなる。そこで、GUI 上のボタンで動作を指示し、それを受けて NEXTAGE が半自動で動作する方法を採用した。これにより、安定した動作を保証しつつ、簡単な操作で誰でも NEXTAGE を遠隔操作できる。本システムの UI は、web ブラウザからの操作を前提とし、一般的な PC やスマートフォン等から操作できる。よって、ブラウザの GUI ボタンを押すための入力デバイスは、マウスやタッチパネル、視線入力ツール等、パイロットに合わせて選択できる。

遠隔操作システムのネットワーク構成は、遠隔操作システムサーバと NEXTAGE との通信が途切れる可能性を極力下げるために、遠隔操作システムサーバと NEXTAGE を同一 LAN 内に設置することとした。よって、分身ロボットカフェに設置する遠隔進呈システムの遠隔操作システムサーバは、分身ロボットカフェに設置されているオリイ研究所管理のルータ下に設置されることになった。ルータの LAN 内に設置された端末に外部ネットワークからアクセスするためには、ルータの設定を変更する必要があるが、分身ロボットカフェのルータはオリイ研究所の管理下であるため、我々の任意で設定を変更することができない。このような環境下でも、パイロットの自宅のネットワーク等の外部ネットワークから遠隔操作システムサーバにアクセスできるようにするために、分身ロボットカフェのネットワークからも、パイロットの自宅のネットワークからもアクセス可能なネットワーク上に中継サーバを設置した。合わせて、遠隔操作システムサーバから中継サーバに対して ssh tunnel を設置し、中継サーバに対するアクセスを遠隔操作システムサーバに転送する経路を確保した。これにより、パイロットは中継サーバにアクセスすることで、遠隔操作システムサーバにアクセスできるようになる。

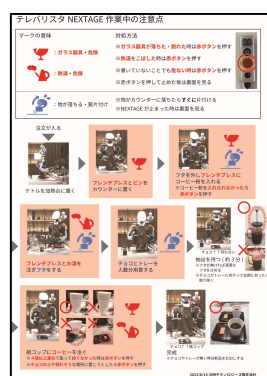


図3 テレバリスタのスタッフ用マニュアル



図4 テレバリスタがコーヒーを淹れる様子

遠隔進呈システムを分身ロボットカフェで継続的に運用するためには、分身ロボットカフェのスタッフの手で運用できる必要がある。そのために、NEXTAGE や周辺環境の準備方法や、稼働中の注意点などをまとめたマニュアル（図3）を作成した他、スタッフの研修を行った⁴⁾。また、運用中にトラブルがあった場合、後から原因を分析できるように、NEXTAGE やその周辺の様子を記録するカメラを設置している。

4. 遠隔進呈システムの具体例

我々は、遠隔進呈システムをいくつかのタスクで実装してきた⁶⁾。以下にその具体例を紹介する。全ての例に共通する機能として、うなずく、手を振るといった身振りを遠隔操作で繰り出す機能を実装している。

(1) テレバリスタ NEXTAGE

テレバリスタとは、分身ロボットカフェにおいて、会話と身振りによる接客に加えてコーヒーを淹れる手作業をロボットで行う遠隔進呈システムである⁷⁾。分身ロボットカフェで OriHime を遠隔操作して接客を行っているパイロットの中に、以前はバリスタとしてカフェ店舗で働いていたが持病によりバリスタを続けられなくなった方がおり、その方の「もう一度お客様にコーヒーをお淹れしたい」という願いを叶えることをきっかけに開発を行った。

テレバリスタでは、まず、パイロットが OriHime を通じてお客様に接客を行い、淹れるコーヒーの豆の種類を



図5 テレコンシェルでの名刺交換の様子

決める。次に、NEXTAGE がフレンチプレス容器や電気ケトルといった、人が使う道具をそのまま用いて、人と同じ淹れ方で、コーヒーを淹れ、カップに注ぎ、お客様に提供する。これにより、提供されたコーヒーに「パイロットと一緒に選び、目の前で淹れてくれたコーヒー」という付加価値が付与されると考えた。テレバリスタ NEXTAGE がコーヒーを淹れる様子を図4に示す。

テレバリスタは、2020年 LIVES LIVE イベントにてプロトタイプが初お披露目された後、2021年6月に分身ロボットカフェがオープンしてから4年以上にわたって稼働し続けている。本稿執筆時点では、週に3日、1日3回、決まった曜日と時間にサービスを提供している。

(2) テレコンシェル

テレコンシェルとは、2022国際ロボット展のカワダロボティクス(株)ブースにおいて、来場者に対して名刺交換やノベルティの提供などをロボットで行う遠隔進呈システムである。テレバリスタの取り組みを来場者にアピールすることを目的として、展示会での受付業務を実施できるように開発した。

テレコンシェルでは、来場者の名刺を NEXTAGE の手で受け取る、来場者に名刺を模したカードを手渡す、ノベルティをビニールの手提げ袋に入れて提供する、といったタスクを行うことができる。これらのタスクはパイロットの判断で任意の順番で行うことができ、OriHime を用いた受付接客の中で、柔軟に対応することができる。展示会場におけるテレコンシェルを用いた接客の様子を図5に示す。また、当該展示会はファミリーデーがあったため、子供の来場者向けの接客として、専用のハンドに交換してじゃんけんを行えるようにした。

特に名刺の授受については、来場者が差し出した名刺を NEXTAGE の手で受け取り、NEXTAGE の手でカードを差し出して来場者に受け取っていただく形にしたことで、直接名刺交換をしている体験を、来場者とパイロットの双方に提供した。

人と NEXTAGE が名刺交換を行う時、NEXTAGE が

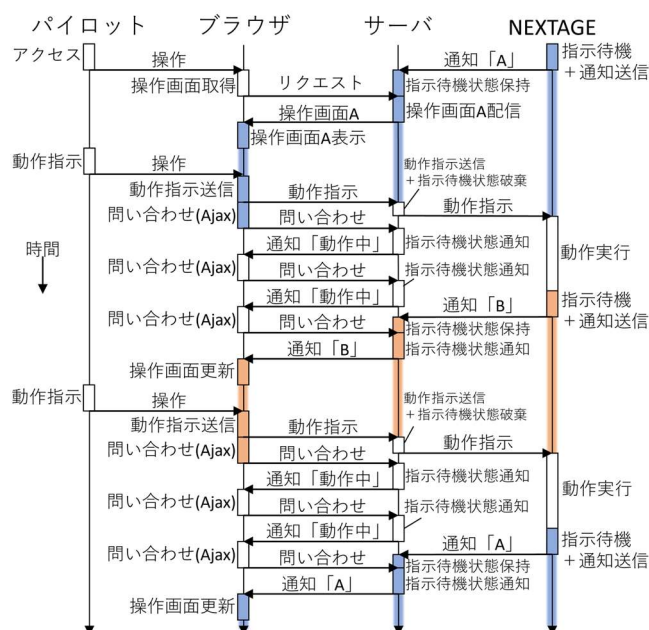


図 6 状態管理のシーケンス図

差し出した手で名刺を受け取ってから名刺をしまう、NEXTAGE が差し出したカードを来場者に受け取ってもらってから手を引く、という動作を行う。この時、名刺をしまう動作は名刺を受け取るために手を差し出す動作の後でのみ、手を引く動作はカードを差し出す動作の後でのみ操作できる必要がある。そこで、NEXTAGE がどの動作を終えた後の状態であるかを NEXTAGE から遠隔操作システムサーバに伝達し、遠隔操作システムサーバ上で、NEXTAGE が今どの状態であるか、その時に行える動作はどれであるか、といった管理を行えるように遠隔操作システムを改良した。この時、パイロットが操作する UI でも、その時可能な動作に合わせて UI 上の表示を制御する必要があるため、ブラウザを一定周期で再読み込みすることで UI の同期と制御を行った。この一連の仕組みは、名刺交換だけでなく、じゃんけんでも用いた。じゃんけんは、専用のハンドに交換した後、じゃんけんのために手を構えた姿勢になる動作（以下、手を構える動作）と、手を数回上下に振ってから手を出す動作（以下、手を出す動作）から構成され、手を構える動作の完了後は、手を出す動作のみ行えるため、名刺交換と同様に状態の管理を行った。この状態管理のシーケンス図を図 6 に示す。図 6 において、青色箇所はある状態 A であることを表し、赤色箇所は別のある状態 B であることを表す。

テレコンシェルは、2022 国際ロボット展の全期間 4 日間、合計で 300 名程度の来場者に対して接客を行った。

(3) テレプレゼント

テレプレゼントとは、分身ロボットカフェにおいて、ロボットによる塗り絵用紙の提供と、じゃんけんによる接客を行う遠隔進呈システムである⁸⁾。テレバリスタの



図7 テレプレゼントで、じゃんけんを行う様子

サービスを続ける中で、コーヒーが飲めない子供のお客様にもサービスを提供したいという要望があり開発した。

当初は紙バックジュースを NEXTAGE がピックアッププレイスすることで提供する形であったが、テレコンシェルでのじゃんけんが好評であったことを受け、じゃんけんによる接客と、ノベルティ提供の代わりに塗り絵を提供するように機能を変更した。塗り絵は、3 種類の中から 1 種類を選択して提供できるようになっている。テレコンシェルと同様に、じゃんけんと塗り絵用紙提供は、接客の中で、パイロットの任意のタイミングで指令できる。これにより、混み具合や客層に合わせた接客が可能である。また、じゃんけんにおいては、テレコンシェルのじゃんけん動作と同様の状態管理を行っている。テレコンシェル時点での UI の同期は前述したようにブラウザの再読み込みで行っていたが、UI 全体を再取得・再描画すると、通信と描画の処理に時間がかかってしまい、再読み込み中は操作画面がホワイトアウトし操作を受け付けなくなることから、5 秒周期程度での同期が限界であった。より高頻度の同期と操作不能な時間の低減を実現するために、JavaScript と Ajax (JavaScript 内で非同期通信を行う技術) を用いて、UI の同期と制御を行った。これにより、0.5 秒周期での同期を実現できた他、Ajax はバックグラウンドで通信を行うため、UI を操作できない時間を無くすことができた。テレプレゼントを用いてお客様とじゃんけんを行う様子を図 7 に示す。

前述の通り、テレプレゼントは子供のお客様を対象としたサービスであるため、夏休みなどの学校が長期休みになる時期に、期間限定のイベントとして実施されている。その中でも、テレバリスタを実施しない曜日に限定して実施しており、日単位で現地スタッフのオペレーションと **NEXTAGE** のハンドを切り替えることで、運用をシンプルにしている。また、周辺機器についても、テレバリスタの周辺機器と重複しない位置に設置するように設計した。これらの工夫により、テレバリスタとの共存を実現している。テレプレゼントは、2022 年度以降の夏休み・冬休み・春休みの期間に稼働している。



図8 サイン画像の画像処理の経過

(4) 遠隔サイン

遠隔サインとは、分身ロボットカフェにおいて、色紙に、パイロット自身の筆跡を再現したサインと、日付と、一言メッセージを、ロボットがペンで描いてお客様に提供する遠隔進呈システムである⁹⁾。テレバリスタやテレプレゼントによるサービスを分身ロボットカフェで提供し続ける中で、パイロットから、「お客様が分身ロボットカフェに来てパイロットの接客を体験した記念になる品を渡したい」という要望があった。サインは描いた人の個性が強く表れるものであり、その場で描いたサイン色紙は唯一無二かつ消費せずに残せるものであるため、パイロットの要望を満たすと考え、本システムを開発した。

パイロットのサインを再現するために、デジタルツールで描画したサインの画像や、紙等に描いたサインを撮影した画像を画像処理し、ペン先を走らせる軌道を生成した。サイン画像から軌道を生成するために、画像処理ライブラリ OpenCV¹⁰⁾ (バージョン 4.7.0) を用いた。元の画像 (図8①) をモノクロ化した後 (図8②)、線の幅を1ドットまで細くする細線化を行い (図8③)、残った線の各ドットの座標を、各線で区切って保存することで、サイン本体の軌道を得ることができる。ただし、現在の実装では線を機械的にたどって端にたどり着くまでを一つの線として扱うため、例えば「さ」の線が交差している部分が、交差した直線ではなく、“>”と“<”を組み合わせたような形になる場合がある。また、線の描き順も文字本来の書き順ではなく、線の始点が画像の上方にある線から順に描くようになる。そこで、人と同じような描き方になるように、軌道データを人の手で編集した。一言メッセージは接客の中で決められるように、遠隔

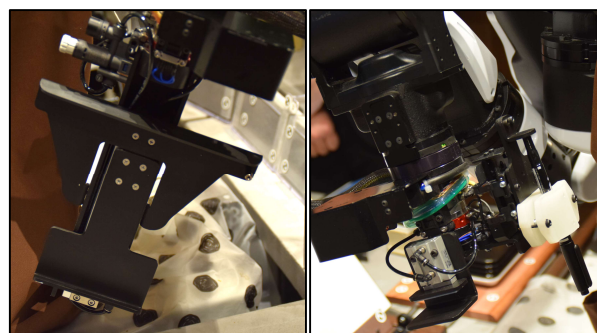


図9 左手用色紙ハンド (左) と右手用ペンハンド (右)



図10 遠隔サインでサイン色紙を書く様子

操作システムの中で、テキストを入力することで描画する内容を決められるようにした。日付及びメッセージは、ストロークフォントと呼ばれる「文字を線の軌道で表したフォント」を利用して、入力されたテキストから軌道を生成する。これらにより、パイロットオリジナルのサインとその場限りのメッセージを目の前で描き上げたサイン色紙となり、より付加価値が高まると考えた。

また、サインを受け取る人が、よりパイロットが目の前でサインを描いていると感じられることを狙って、人が色紙を持ってサインを描くのと同じように、専用のハンドを用いて、左手に色紙を持ち、右手のペンでサインを描くようにした。サイン用のハンドを図9に、NEXTAGEがサインを描く様子を図10に示す。

遠隔サインを用いた接客は、分身ロボットカフェの常連のお客様を対象としたイベントと、分身ロボットカフェのスポンサー各社を対象としたイベントで実施した。前者のイベントは2023年3月、後者のイベントは2023年5月に一度ずつ実施し、前者のイベントでは12名のお客様に、後者のイベントでは8社の代表者にサインを描いて進呈した。後者のイベントでは、一言メッセージにスポンサー各社の社名を書く、という運用がされ、描画内容をその場で決定できる機能が活用された。



図 11 テレバーテンダーのカクテルシェイク動作

(5) テレバーテンダー

テレバーテンダーとは、分身ロボットカフェにおいて、NEXTAGE がカクテルシェイクを行い、グラスにカクテルを注いで対象者に提供する遠隔進呈システムである。分身ロボットカフェにおいて、テレバリスタと同じようにカクテルを提供したいという要望があり、開発した。

テレバーテンダーでは、まず、パイロットが OriHime を通じて対象者に接客を行い、作成するカクテルの種類を決める。その後、NEXTAGE がカクテルシェイカー（人が使うものと同じもの）をシェイクした後、グラスにカクテルを注いで、対象者に提供する。これにより、提供されたカクテルに「パイロットと一緒に選び、目の前で自分のために作ってくれたカクテル」という付加価値が付与されると考えた。テレバーテンダーがカクテルシェイク動作をする様子を図 11 に、テレバーテンダーがカクテルをグラスに注ぐ様子を図 12 に示す。

テレバーテンダーを用いた接客は、2025 年 3 月に開催された、カフェの常連客向けのイベントで実施された。このイベントでは、合計で 15 名の対象者を接客し、対話の結果、各人用に選択したカクテルを提供した。

5. おわりに

我々は、ロボットを遠隔操作して、対話と、人と同じ所作による物理作業と、その成果物の授受を遠隔地の人に行うことを目的とした、遠隔進呈システムの開発を行ってきた。これまで、コーヒーを淹れるテレバリスタ、展示会で受付業務を行うテレコンシェル、塗り絵の提供やじゃんけんを行うテレプレゼント、パイロットのサインを描く遠隔サインの 4 種類のタスクと、カクテルを作って提供するテレバーテンダーの遠隔進呈システムを実装し稼働実績を重ねてきた。遠隔進呈システムの社会実装を目指す上では、多様な場面で稼働できる事が求められるため、分身ロボットカフェ以外の場所でも稼働できるように改良していく。並行して、この遠隔進呈システムを用いた対話と物の提供の双方において、パイロットが自分の気持ちを対話相手に伝えられているかについて調査していく。

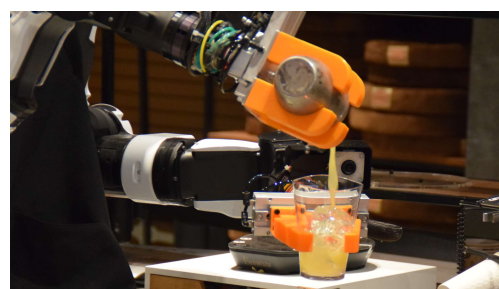


図 12 テレバーテンダーがカクテルを注ぐ様子

謝辞

株式会社オリィ研究所の本研究へのご協力に感謝いたします。

参考文献

- 1) 坂本, 神田, 小野, 石黒, 萩田: “遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性”, 情報処理学会論文誌, vol.48, no. 12, pp. 3729-3738, 2007.
- 2) 武内, 畑田, 山崎, 吉藤: “分身ロボット「OriHime」を用いた外出困難者の遠隔接客に関する実証実験”, 情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス, vol. 5, no. 2, pp. 10-19, 2024.
- 3) “【オリィ研究所】 外出困難者が分身ロボットで働く「分身ロボットカフェ DAWN ver. β」常設実験店のオープンが決定!”, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000036.000019066.html> (2025/8/26 閲覧).
- 4) 星野, 平井, 立山: “テレバリスタ NEXTAGE の概要紹介”, 日本ロボット工業会機関紙 ロボット, no. 279, pp. 27-30, 2024.
- 5) “新製品発売のご案内”, <https://www.kawadarobot.co.jp/cms/wp-content/uploads/2018/06/20180619.pdf> (2025/8/26 閲覧).
- 6) “テレバリスタプロジェクト”, <https://www.kawada.jp/csr/society/telebarista/> (2025/8/26 閲覧).
- 7) 平井, 星野, 立山: “分身ロボットカフェにおける NEXTAGE によるテレバリスタシステムの実現”, 川田技報, Vol. 42, 技術紹介 2, 2023.
- 8) 平井, 星野, 立山: “安全を考慮したテレバリスタ NEXTAGE 遠隔操作システムの実現”, 川田技報, Vol. 43, 技術紹介 2, 2024.
- 9) 平井, 星野, 立山: “テレバリスタ NEXTAGE による遠隔サインの実現”, 川田技報, Vol. 44, 技術紹介 20, 2025.
- 10) OpenCV – Open Computer Vision Library <https://opencv.org/> (2025/8/26 閲覧).