

## AIを活用したヒューマン・インタラクションによる取り組み

# 認知的インタラクション支援技術によるリアルタイム支援システムの研究開発

株式会社コトバデザイン

- 接客中の状況を理解し、状況に応じて適切な認知負荷、伝達手段で顧客の接客体験を向上させるアドバイスをを行うことで、接客サービスの生産性向上を狙う研究開発を実施した。
- コロナ禍、ニューノーマルという社会情勢を鑑み、非接触な接客のニーズが加速すると考え、接客支援機能を有するリモート接客システムに応用した。
- 実証実験では、資料を使った説明に慣れておくことで、支援機能により生産性が向上することを示唆する結果が得られた。

## 1 研究の目的

本研究開発では、サービス産業の生産性向上に向け、接客の現場をリアルタイムに支援することで、効率化および接客業務者と顧客の双方の接客体験の向上を可能にする基盤を構築した。サービスを提供する企業にとって、サービス自体の価値が大事であるが、そのサービスを提供するときの顧客の接客体験は、リピート率の向上、ひいては顧客生涯価値の向上につながることから、接客体験の向上のための支援が重要と考えられるためである。

接客は、「①顧客の要望を理解し」、「②解決策を提示し」、「③適切な接客態度でサービスを提供する」プロセスであり、顧客側から見るとこれが接客体験となる。例えば飲食店であれば、接客業務者は、顧客に指定されたメニューの中の料理を要求として理解し（①）、調理された料理を提供する（②）。その際に、清潔で迅速で適切な言葉遣いであれば、顧客側は気持ちよく食事ができるだろう（③）。

一方、接客体験の向上のために接客業務者の負荷を上げてしまうと、離職率の増加につながり、結果的に接客体験の低下を引き起こしてしまう可能性がある。例えば、膨大なマニュアルの暗記や過度なルールに基づく振る舞いを要求してしまうと、それがキャリアアップやそれに

見合った報酬であると感じていられれば良いが、そうでない場合は離職の理由になると考えられる。

したがって、本研究開発は「顧客の接客体験の向上のために、いかに現場の接客業務者の負荷を下げようリアルタイムな支援ができるか」をテーマとし、現場がシステムによるリアルタイム支援を自然に受け入れられ、かつ、その結果として自然と顧客の接客体験が向上するような仕組みの確立を目指した。

## 2 実施期間と方法

### (1) 実施期間

2020年度～2022年度

### (2) 実施方法

本研究開発は、「接客現場の状況をセンシングするためのリアルタイムセンシングシステムの研究開発（実施項目①）」、「センシング情報に基づきリアルタイムにアドバイスや情報提供を行うリアルタイム支援システムの研究開発（実施項目②）」、「システムを普及させていくための接客支援のソリューションおよびビジネスモデルの開発（実施項目③）」の3項目で実施した。産業ニーズと研究開発の内容を整合させるために、③の成果を①、

②に取り込み、また①、②の成果のデモを③の活動に用いるといったアジャイルな進め方で実施した。また、研究開発の推進のために、「人工知能と融合する認知的インタラクション支援技術による業務訓練・支援システムの研究開発」との連携や、「ヒューマン・インタラクション基盤技術コンソーシアム」に参加した。

### 1) リアルタイムセンシングシステムの研究開発

文献調査や実施項目③の活動などを通し、どのような接客支援が求められているのか、どのような状況でどういった情報をセンシングする必要があるのかについて検討し、それらのセンシングを可能にする手法、システムの研究開発を行った。

センシング手法に関しては、2020年度にセンシング情報の候補を選定し、2021年度に実施項目③の活動を通してさらに検討を重ねつつ、具体的な応用に必要なセンシング手法の開発を行い、2022年度に実証実験の実施にあたって改善が必要な残課題の明確化および、センシング手法の開発、改善、調整を行った。

リアルタイムセンシングシステムに関しては、接客のみならず、教育や介護など、ほかの分野への応用も念頭に置いて設計、開発を進めることとした。本研究開発では「リアルタイム」が一つの特徴であるが、ここでいう「リアルタイム」は、アドバイスが有効な時間までにセンシングを終える必要があるという意味で、ファームリアルタイムシステム（デッドラインまでに処理が完了しなかった場合も即座にダメージを与えることはないが、処理自体の価値が無になるシステム）に類すると考え、レイテンシなどの目標は進めながら具体化することとした。そのため、2020年度に、応用先に依存しないように基本設計を行った上で、2021年にセンシング手法が動作するシステムをつくり上げ、デモなどを行いながら実施項目③で定めた応用先に対して、必要なレイテンシで動作するように改善を進めた。2022年度は、実証実験に合わせて残課題を明確化しつつ、さらに改善を進めた。

### 2) リアルタイム支援システムの研究開発

リアルタイム支援システムの実現に向けては、支援方法の研究開発と、接客に限らずに応用可能な基本部分、および定めた応用先に適した形で支援することを特徴とする応用システムの研究開発を実施した。

支援方法の研究開発については、接客を「a) 要望の理解」、「b) 解決策の提示」、「c) 接客態度」に分解し、

それぞれの支援方法を実施項目③のフィードバックも取り込みつつ具体化した。例えば、接客業務者へのアドバイスは、その目的や内容によって重要性や緊急性が異なると考えられ、普段は接客業務の邪魔になるような通知（支援事項を音声で常に読み上げるなど）は行ってはならない一方、ヒヤリハットといった状況では邪魔になったとしても通知する必要がある。

このように、内容に応じた適切な方法の検討が重要と考え、2020年度は実施項目③と連携して、支援方法の改善の観点で、どのような支援を行うべきかの整理と、それぞれの具体的なユースケースを明らかにし、2021年度は実際に試作してデモなどを通して、接客支援方法の改善を行った。2022年度は、具体的な実証実験に合わせて残課題を整理し、改良や修正を行った。

リアルタイム支援システムについては、実施項目①のリアルタイムセンシングシステムと連携して接客の状況を把握し、必要なアドバイスを行うことや接客を支援するシステムを研究開発した。また、接客に限定せずに利用可能な構成にしつつ、実施項目③の活動を通して具体的な応用先を定め、ユーザーインターフェースなども含めて実際に現場で利用可能な接客支援機能付きの応用システムを開発した。このため、2020年度は接客のみに依存せずに利用可能な全体の基本設計を行い、2021年度には実施項目①の成果であるリアルタイムセンシングシステムを組み込んだリアルタイム支援システムを試作し、デモや試行を通してユーザーからの意見を参考にしながら改善可能な状態にした。2022年度は、実証実験に向けて残課題を整理し、改善や修正を進めた。

### 3) ソリューションおよびビジネスモデルの開発

生産性を向上させるには、接客の課題を把握し、どのような支援が有効であるかを明らかにする必要がある。そこで、2020年度に「顧客ヒアリング」、「業界レポート調査」、「Web 公開情報調査」を行った。

「顧客ヒアリング」では、接客業の現場で実際に生じている課題を把握するため、さまざまな業界や業種の企業にヒアリングを行った。「業界レポート調査」では、百貨店やスーパーマーケットなどの業界動向レポートを参照し、業界概要・市場環境・競争環境を整理した。「Web 公開情報調査」では、「顧客ヒアリング」を実施した業界の Web 公開情報から、直近の接客にまつわる類似ソリューション最新情報を把握した。

2021年度は、アンケートやユーザー候補先へのイン

レビューやデモを通して、具体的なユースケースを検討し、実施項目①、②以外にも必要な機能を検討した。2022年度は、検討した機能の開発を実施した。

また、研究開発成果の展開に重要となる、ビジネスモデルの検討も行った。研究開発成果の展開の加速には、例えば、可能な支援を拡張するためのプラグインの開発・販売、業務ごとに適した支援コンテンツの作成・販売、カスタマイズサービス、システムインテグレーションなど、さまざまな領域の関係者が参加できることが重要と考えられる。そこで、2020年度にソリューション提供候補となる百貨店やスーパーマーケットなどの業界のビジネス構造の把握と分析を行い、2021年度にビジネスモデルを検討した。2022年度は、ビジネスパートナーや有望な顧客の発掘を進めた。

### 3 本研究の成果

本研究開発の成果として、リアルタイムセンシングシステムおよびリアルタイム支援システムをリモート接客に応用したシステムと、その実証実験について述べる。リモート接客システムを応用先に設定したことは、「接

客支援ソリューションおよびビジネスモデルの開発」の結果である。具体的には、マーケティングやユーザーとの議論を行った結果、コロナ禍で非接触サービス、ニューノーマル対応というビジネスニーズの発生と、リモート接客では顧客の状態が分かりにくい等は対面とは異なる課題が顕在化しており、センシングに基づく支援が有効と考えられたため、応用先に設定した。また、図1に示す通り、リモート接客は現地接客と比べ、接客稼働率を向上させる効果が見込める。具体的には、現地接客では店員は現地に来たお客様にしか対応できないが、リモート接客は一人で複数箇所を担当することで、お客様を待つ時間が短縮でき、結果として一人当たりの平均接客時間の向上が可能になると考えられる。

#### (1) 接客支援機能を有するリモート接客システム

図2に開発したシステムの概要を示す。

本システムは、Web 会議システム等で広く用いられている WebRTC (Web Real-Time Communication) と呼ばれる仕組みを用いて、顧客側、接客側のカメラ映像、音声をセンシングシステムに送り、センシングシステムが低い遅延でさまざまな処理を行うことを可能にしている。センシングシステムでは、音声認識、発話速度、顔

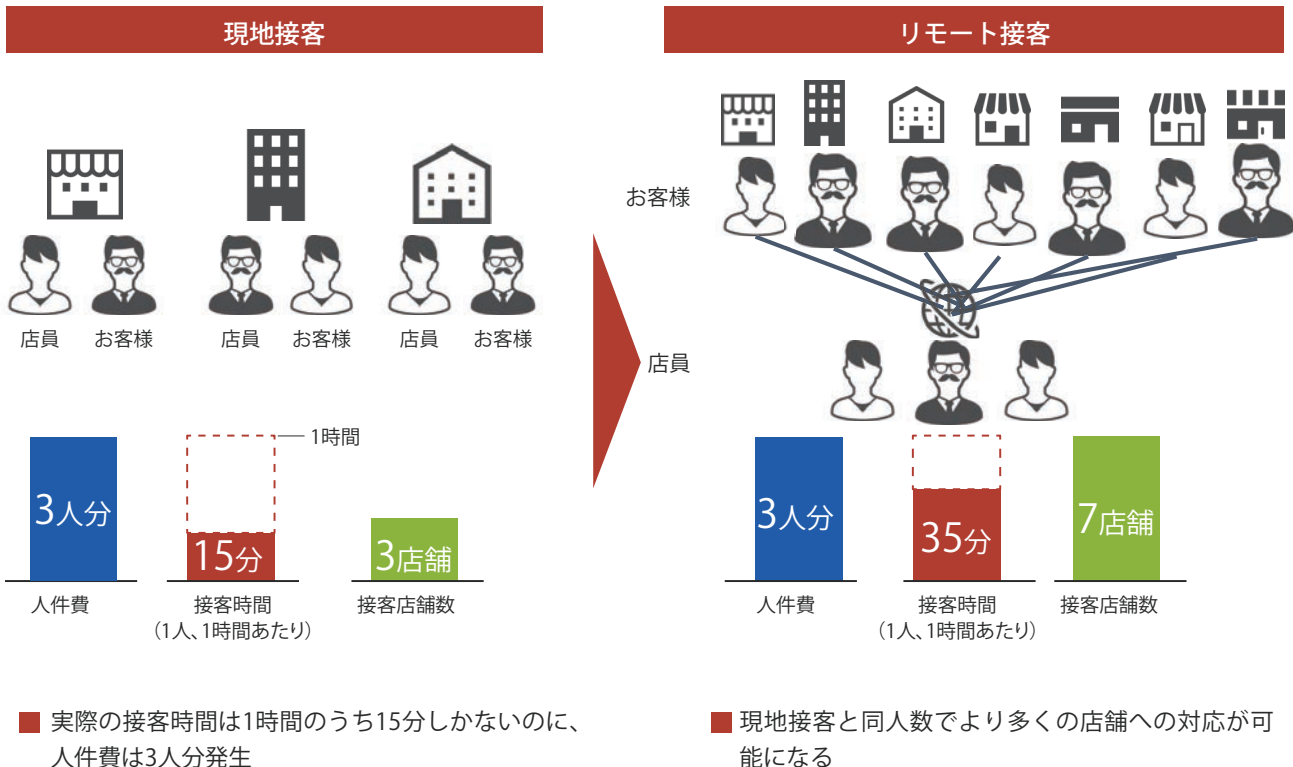


図1 リモート接客による稼働率向上効果

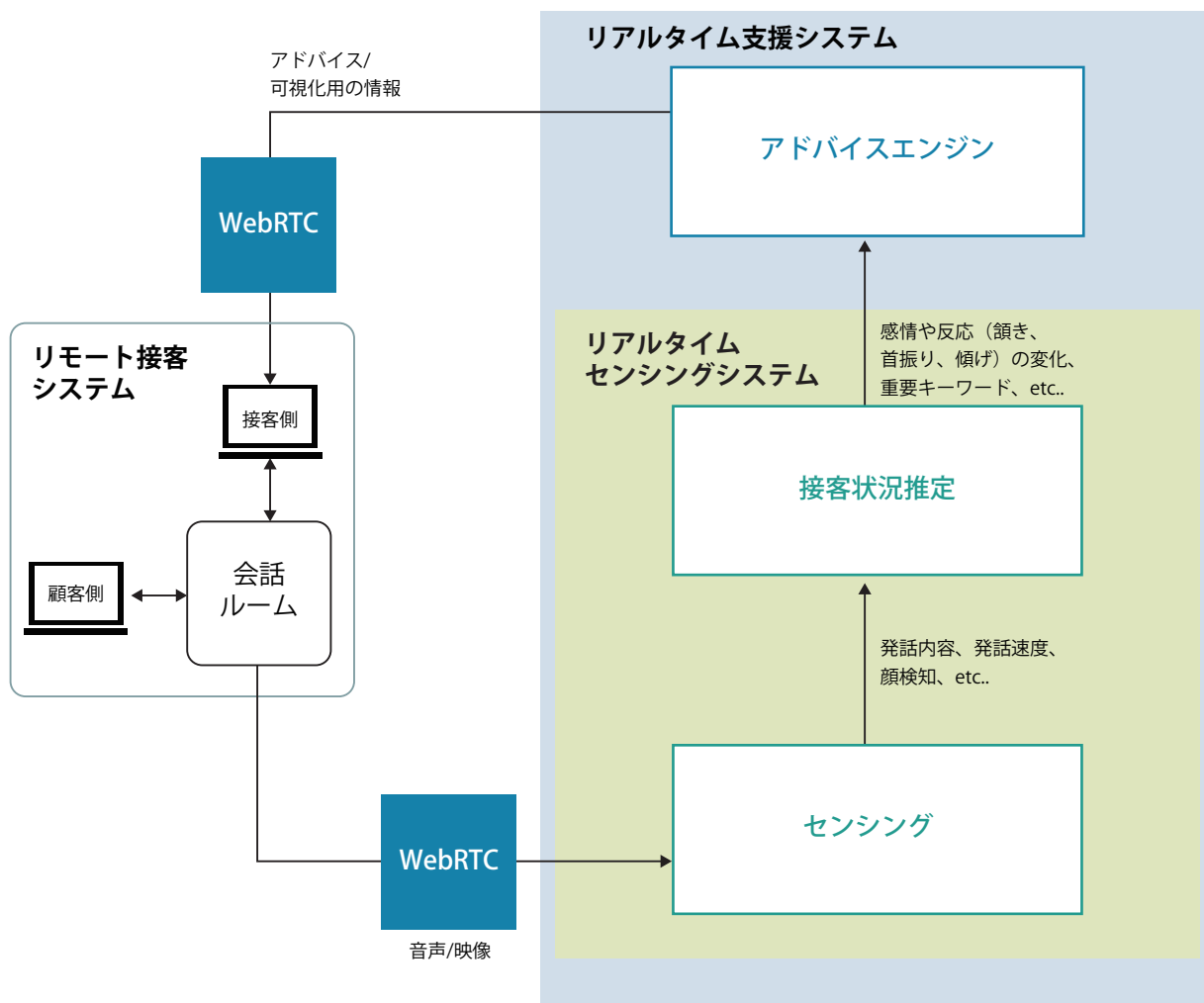


図2 開発システムの概要



図3 会話内容に応じて説明に有効な資料を推薦



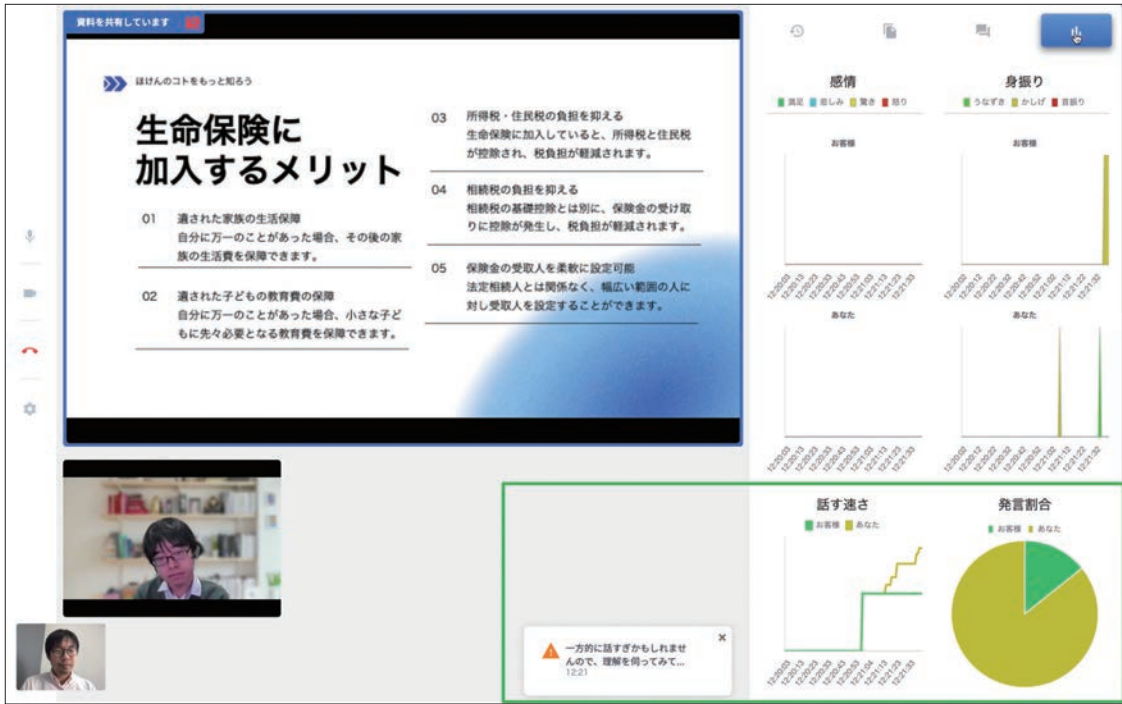


図4 発話割合から「一方的に話している」と判断し「理解の確認」を促す助言

検出、反応（頷き、傾げ、首振り）、表情や感情の認識等を行い、アドバイスエンジンに送る。アドバイスエンジンはリアルタイムセンシングシステムからの情報に基づき条件判定を行い、条件に対応する情報を接客側に通知する。例えば、特定のキーワードを含む場合に、そのキーワードに関連する参考情報を提示したり、顧客が首を傾げていたり、一定期間頷きがない場合に「理解していない可能性がある」といった通知が可能である。

リアルタイムセンシングシステムは、ROS (Robot Operating System) 2 と呼ばれるミドルウェアを用いているため、センシングの機能はROSのNodeとして実装すれば柔軟に追加可能である。また、現状、ネットワークが安定していれば現実世界でのデータの発生からアドバイスエンジンによる情報の通知までが1秒程度であるため、接客支援という用途でのリアルタイム性は確保できていると考えている。

リモート接客システムにおける接客支援の例を図3、図4に示す。図3では会話内容に応じて説明用の資料を推薦している。推薦された資料はワンクリックで顧客側との画面共有が可能であるため、資料を探したり、画面共有する資料が表示されたアプリケーションを選択したりする手間がない点も特徴である。図4では、会話量の偏りから、接客側が一方的に説明を続けていて、顧客側への理解の確認が不足していると判断し、アドバイ

スとして通知している。このように、センシングされた情報に応じてさまざまなアドバイスが可能になっている。

## (2) 実証実験

本研究開発の目的は「接客の生産性の向上」であるため、実験実施に先立ち、生産性、向上効果を定義し、生産性が向上する仮説を設定した。

$$\text{生産性} = \frac{\text{提案プランの適切さ} + \text{説明の分かりやすさ}}{\text{接客時間(分)}}$$

$$\text{向上効果} = \frac{\text{支援ありの生産性} - \text{支援なしの生産性}}{\text{支援なしの生産性}}$$

仮説: 要望に合わせて視覚的な資料をスムーズに提示して説明すれば、分かりやすい説明が効率的にできるため、接客時間短縮や顧客満足度の向上が可能。

以降、接客支援機能を有するリモート接客システムの有効性を評価するための実証実験について説明する。接客シーンは旅行代理店であり、実証実験向けにさまざまな準備が必要であるため、愛媛（道後温泉）と長崎の旅行に限定し、年内にその地区への旅行を検討している被験者を募集した。今回の実験では販売行為は行わず、旅行プランの提案とそれに対する見積もりまでとした。

本実験は、接客役2名（旅行代理店の現役スタッフ）、顧客役17名（支援機能あり9名、支援機能なし8名）

	支援あり	支援なし	向上効果
接客役 A	0.51	0.34	+50%
接客役 B	0.25	0.31	-19%

表1 接客役ごとの生産性と向上効果

	資料を使った説明はスムーズでしたか？	資料提示タイミングは適切でしたか？
接客役 A	4	4.4
接客役 B	1.9	2.5

表2 資料を使った説明に関するアンケートの結果

で実施した。生産性の測定のために、顧客役に対し、接客終了後に「提案プランの適切さ」、「説明の分かりやすさ」を含む5段階評価のアンケートを行い、その値の平均を用いることとした。すなわち、短い時間で顧客の要求にあった適切なプランを提示でき、接客中の説明が分かりやすい場合に高い生産性となる。

実験結果を表1に示す。接客役Aでは効果がみられたが、接客役Bでは効果がみられなかった。接客役AとBで効果が異なる理由を考察するためアンケートを分析したところ、資料を使った説明への慣れに差があると考えられる結果が得られた。具体的には、表2に示す通り、「資料を使った説明はスムーズでしたか？」と「資料提示タイミングは適切でしたか？」に対しAは高評価であったが、Bは低評価であった。このことから、効果を発揮するためには、リモート接客の研修を本システムで行うことで、推薦された資料を使った説明に慣れておくなどが有効と考えられる。また、資料を使った説明を円滑にするための支援機能として、接客側の画面に資料説明用のトークスクリプトを同時に提示する機能などが有効と考えられる。

## 4 まとめと今後の展望

本研究開発では、接客サービスの生産性向上を目的に、接客中の状況を理解し、状況に応じて適切な認知負荷、伝達手段で顧客の接客体験を向上させるアドバイスをを行う仕組みを構築した。また、コロナ禍、ニューノーマルという社会情勢を鑑み、非接触な接客のニーズが加速すると考え、接客支援機能を有するリモート接客システムに応用した。旅行代理店の接客で実証実験を行った結果、資料を使った説明に一定の習熟があれば生産性が向上することを示唆する結果が得られた。

今後は、リモート接客以外への展開も視野に、本成果を汎用のビデオ通話サービスに統合しつつ、改善、強化を進めて、2023年度中の製品化を目指す。

AIを活用したヒューマン・インタラクションによる取り組み

# AIとロボティクスの融合による 状況認知型サービス具現化オープンシステムの 研究開発

国立大学法人東京大学

- 本研究開発では、接客などのサービス支援で必要となる従業員や顧客の行動、判断の依存関係および因果関係を予測・推論する技術を研究した。
- 研究は、「①インタラクションサービス状況の観測取得技術の研究開発」、「②インタラクションサービス具現化技術の研究開発」、「③インタラクションサービスのタスクプランニング技術の研究開発」、「④状況認知対応ロボットによるサービス支援の実証実験」という四つのサブテーマに分けて行った。
- 開発した、予測されるステータスの変化で記述されるプランニング技術はサービスの種類に依存しない一般的な記述であり、他業種への展開を目指す。

## 1 研究の目的

本研究開発では、接客などのサービス支援で必要となる従業員または顧客の行動や、判断の依存関係および因果関係を予測・推論する目的で、ロボットにおける知能行動制御技術の一つであるタスクプランニング技術の応用研究を行った。人工知能・ロボティクス分野におけるタスクプランニングとは、目標の状態・状況を達成するのに必要となる行動手順を計画するアルゴリズムであり、本研究課題ではこれを状況認知型サービス分野への展開を目指す。

具体的には、タスクプランニングに必要な状況観測取得技術（センシング）、タスクプランニングに基づき適切なサービスを提案するサービス具現化技術（情報提示）とあわせて研究開発し、現場ごとに明文化されたルールに加え、常識や不文律などに応じたきめの細かいインタラクションを経験的に獲得、誘導するシステム（ロジック設計）も視野に入れた開発を行った。

開発したシステムは各種タスク環境に加え、プロジェクトにおける企業フィールドでの実地検証を行った。特に、取得したデータならびに開発するロボットソフトウェアをオープンソースで実現することで、オープンな研

究開発を促進し産業界の技術基盤として活用可能にした。

## 2 実施期間と方法

### (1) 実施期間

2020年度～2022年度

### (2) 実施方法

研究は、①インタラクションサービス状況の観測取得技術の研究開発、②インタラクションサービス具現化技術の研究開発、③インタラクションサービスのタスクプランニング技術の研究開発、④従業員の代替となる状況認知対応ロボットの導入、あるいは状況認知対応 AI による従業員への指示によるサービス支援の実証実験という四つのサブテーマに分けて実施した。

## 3 本研究の成果

### (1) インタラクションサービス状況の 観測取得技術の研究開発

従来のロボット用状態時系列データの取得システムで



はロボットの体内にセンサデータを保存する場合は体内ストレージの容量に限界があり、また、インターネットを介して外部のストレージに保管する場合もネットワークの帯域の制限があり、特に画像情報などを扱うことが困難であった。そこで、実際の現場で移動可能なロボットを含めた多種システムでの展開を進め、従来の Key-Value 型のデータベースから時系列データ操作に最適化したデータベースに更新することで、研究室の複数種類の移動ロボットについて建物の屋内地図上位置や移動経路、ロボット手先の位置や力を時系列データとしてインターネット越しに最大 100Hz で記録するように拡張した。さらにロボットの主なセンサデータである三次元情報を含む視聴覚データはデータ容量が大きいためデータベース形式ではなく圧縮動画ファイル形式として 30Hz で記録し、20 分毎に大容量クラウドにアップロードする常時視聴覚システムを構築した。これにより、例えば画像情報から得られるお客様の表情や属性情報とロボットの体内センサ情報を同期して記録することで、お客様情報が取得された時間と場所だけでなく、その際の周囲の環境情報を再構築することも可能になり、後日状況を

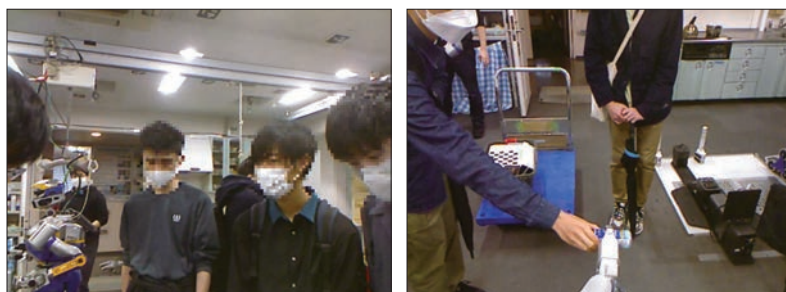
再現することも可能な構成とした（図 1 参照）。

## (2) インタラクションサービス具現化技術の研究開発

ファミリーレストランのマニュアルを解析し、UML の状態遷移図として定式化を行い、図 2、図 3 に示す、お迎え、ご案内、会計の接客モデルを構築した。

さらに、論理プランナ記述言語である PDDL の出力となるロボットの行動管理用状態遷移モデル (SMACH) を用いてこれを記述し、状況に応じて必要な店員の行動を音声で指示するプロトタイプシステムを構築した。システムの入力の様子が図 2 1) であり、状況をシステムに指示している。また、図 2 2) はシステムの出力であり、知能エージェントの音声出力システムに接続されている。また、図 2 3) は SMACH を用いて記述した、連携するファミリーレストランのマニュアルから抽出した行動管理用状態遷移モデル記述となっている。

これにより、従来ロボットの認識行動に利用されていたタスクプランニング技術を、人と人のサービスインタラクションにも利用可能なことを示した。



対人応答時における視聴覚データの常時記録

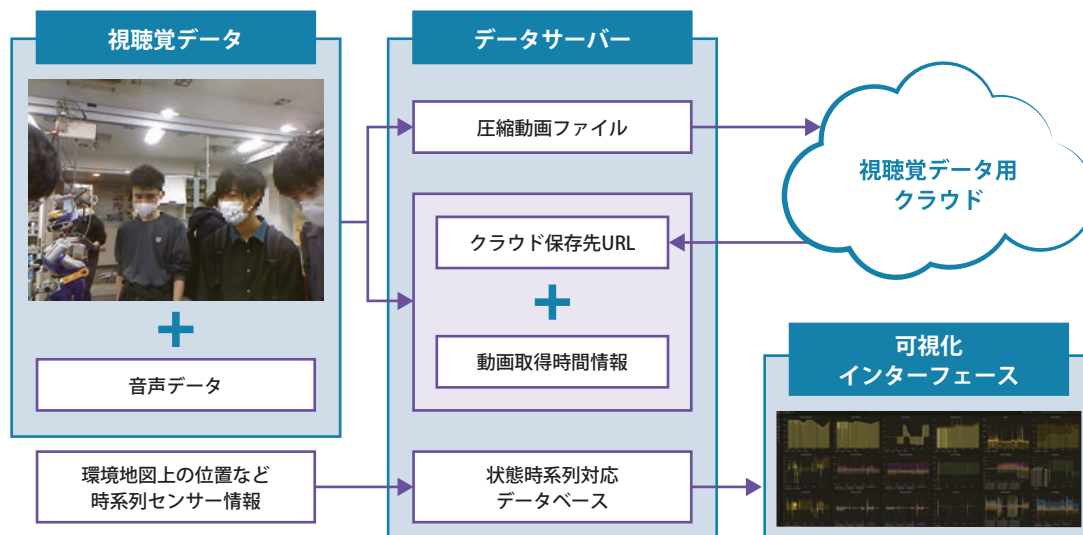


図 1 状態時系列データと同期した視聴覚データ取得システム



```

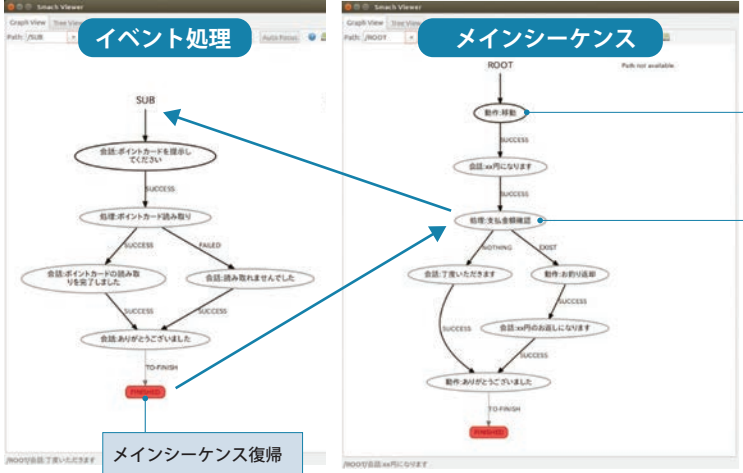
1) 手を挙げているお客様がいっしょやる
2) カードが提示された
3) 会計の金額が確定した
4) 代金を受け取った
5) 代金を受け取った
; please input number? 5
publish customer_call
  
```

1) システムに入力される状況の例

```

INFO [1623047400.321457059]: カードが提示されました。カードの処理を行ってください
WARN [1623047400.321694435]: topic /robotsound_ip/goal already advertised
WARN [1623047400.32174535]: topic /robotsound_ip/cancel already advertised
WARN [1623047401.438029857]: (robotsound_ip) action server is not found
WARN [1623047401.438075259]: goalId, cancelId, feedback, resultId
WARN [1623047401.438075263]: action server /robotsound_ip not found.
INFO [1623047403.651134425]: お会計は円になります
WARN [1623047403.651354298]: topic /robotsound_ip/goal already advertised
WARN [1623047403.651372349]: topic /robotsound_ip/cancel already advertised
WARN [1623047404.762136788]: (robotsound_ip) action server is not found
WARN [1623047404.762329794]: goalId, cancelId, feedback, resultId
WARN [1623047404.762329794]: action server /robotsound_ip not found.
INFO [1623047406.495539473]: 代金 円お預かりしました
INFO [1623047406.495772974]: topic /robotsound_ip/goal already advertised
WARN [1623047407.694978757]: (robotsound_ip) action server is not found
  
```

2) システムの出力となる音声指示例



手を挙げている  
お客さんの方へ行って  
会計処理

お客さん  
ポイントカードを  
使えますか?  
⇒イベント処理へ移行

3) SMACH による「お会計」処理記述

図2 「お迎え」「ご案内」「会計」の接客モデル

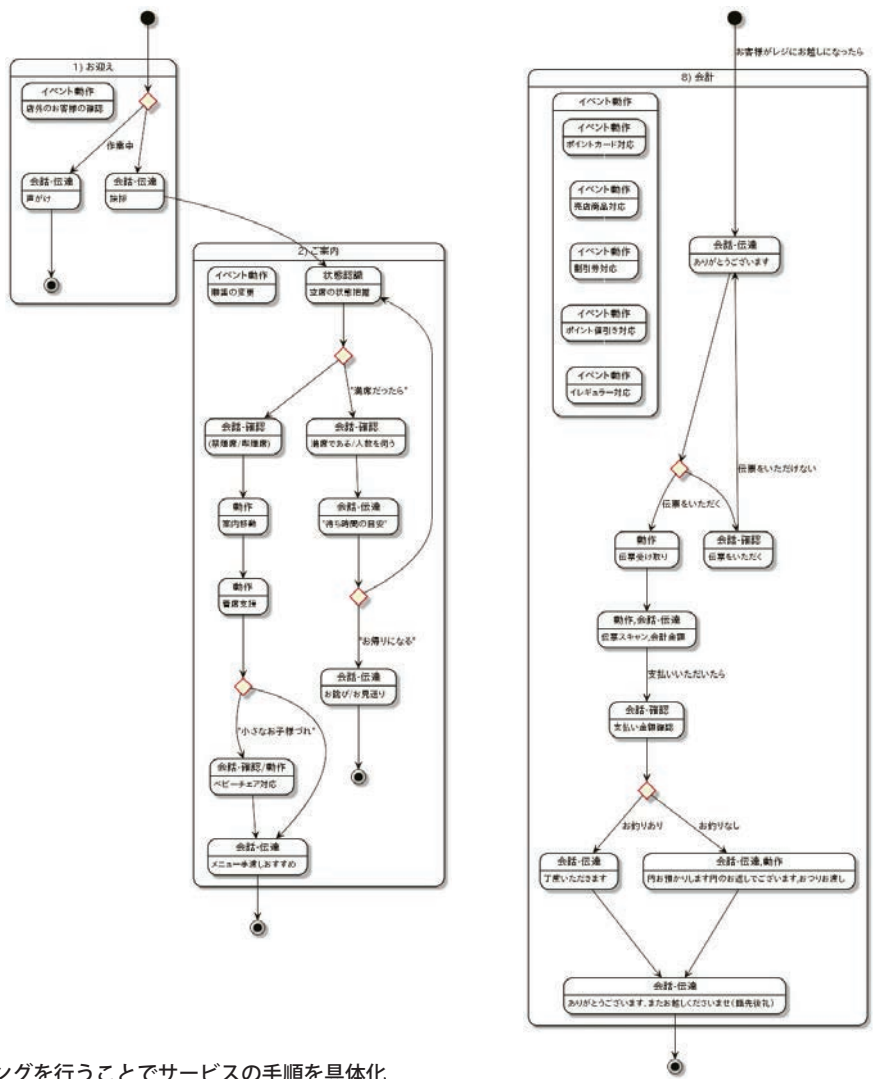


図3 タスクプランニングを行うことでサービスの手順を具体化

### (3) インタラクションサービスの タスクプランニング技術の研究開発

SMACH に対しマニュアルより抽出した大まかな接客の状況シーケンスを示す上位の接客状態層と、実際の接客時の詳細かつ具体的な行動実施計画を管理する下位対応層から構成される構造を提案した (図4)。

これによって、従来の階層構造を持たない方法に比べて下位層により状況が限定され、想定外の事態やお客様状態の推定ミスを評価できるようになった。

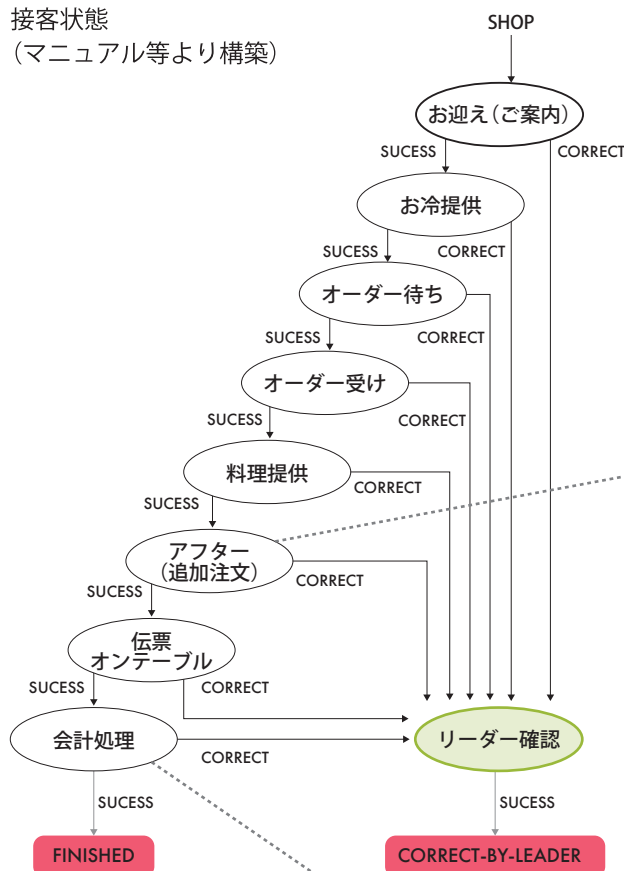
また、お客様の2値内部状態として、感情(普通、楽

しんでいる)、目的1(食事、お茶)、目的2(普通、急いでいる)、慣れ(ノービス、経験あり)の4種類の要素を規定値としてあらかじめ定義し、これとお客様状態に応じた店員の動作シーケンス例のプランニングを行い、それぞれ異なるサービスインタラクションが出力されることを確認した(図5)。

また、インタラクションについて実ロボットによる実験以外に、シミュレーションが可能なシステムとして、ロボットシミュレータを用いた環境に加えて、産総研で開発を進めている日常生活行動の知識表現生成シミュレ

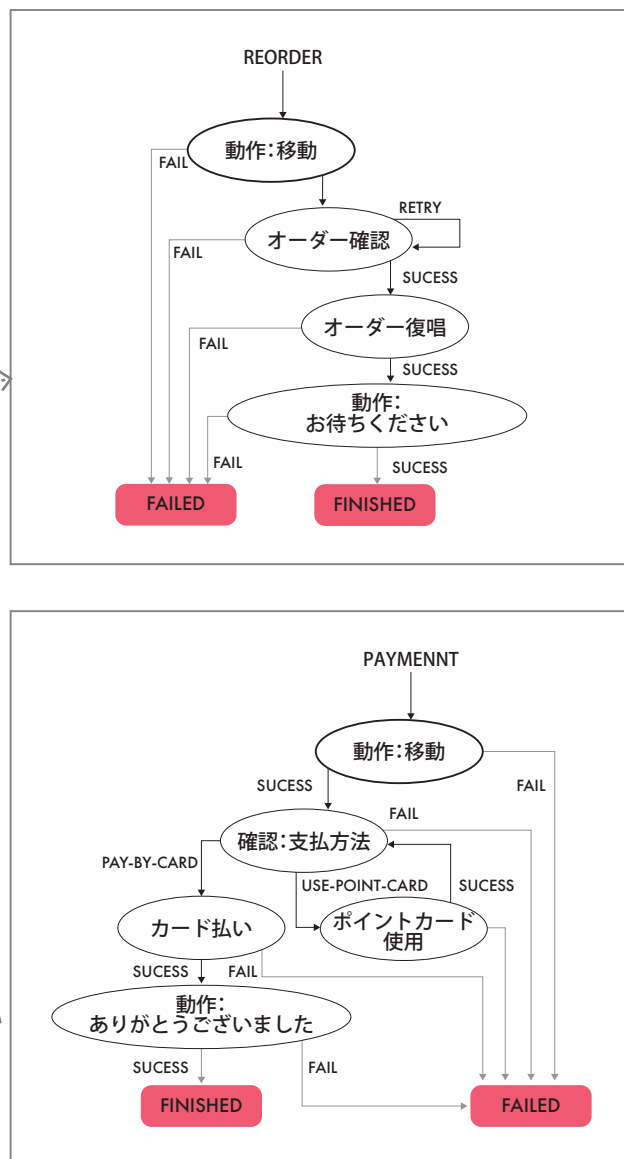
#### < 上位層 >

接客状態  
(マニュアル等より構築)



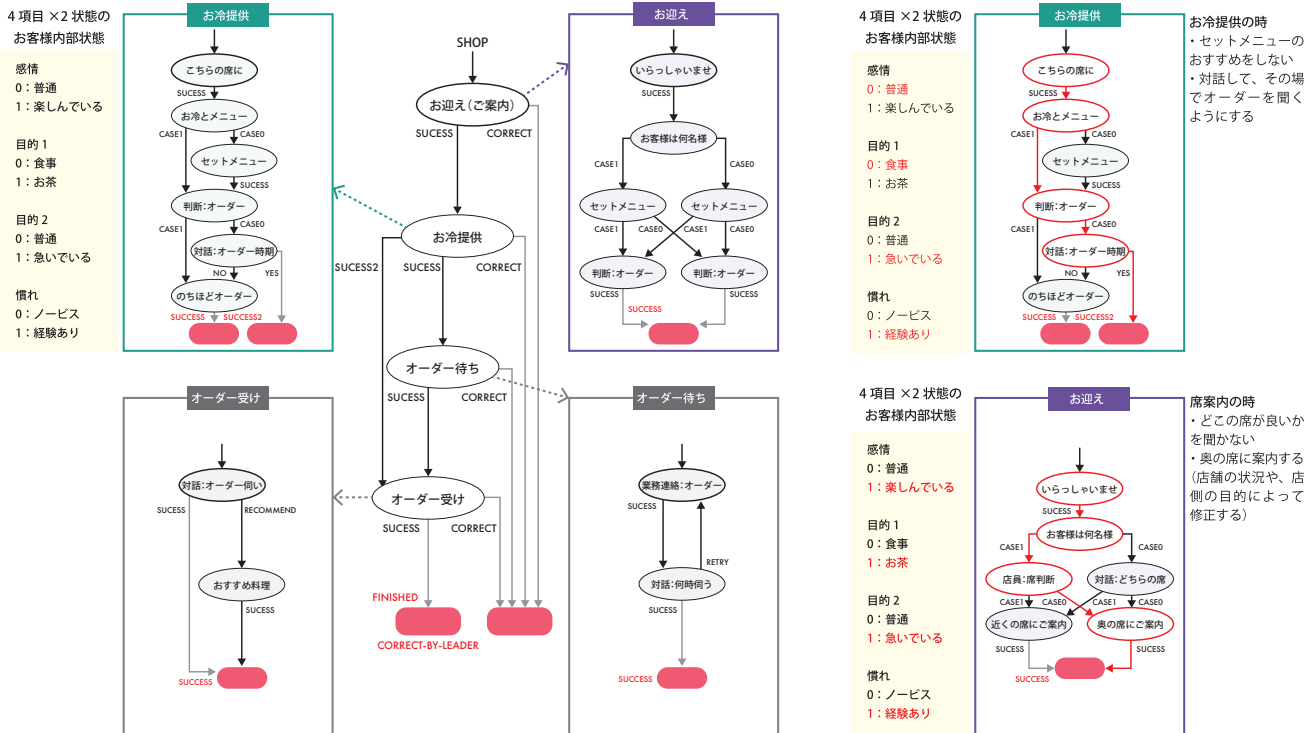
#### < 下位層 >

詳細対応計画  
(接客状態にて行う詳細動作計画)



- 上位層は接客の状況を示す大まかな動作シーケンス
- 下位層は上位の状態内での具体的な行動計画
- 下位層の状況が限定され、計画外の事態を評価する

図4 接客の状況シーケンスの構造



感情（普通、楽しんでいる）、目的1（食事、お茶）、目的2（普通、急いでいる）、慣れ（ノーマル、経験あり）の内部状態とお客様状態に応じた店員の動作シーケンス例（左：全体構造、中：食事/急いでいる、右：お茶/普通のお迎え）

図5 店員の動作シーケンスとサービスインタラクションの出力

ータを用いた開発を進めている。

#### (4) 状況認知対応ロボットによるサービス支援の実証実験

リアルタイムのサービスインタラクションの実証実験ができるように、既存ロボットプラットフォームに対して、インタラクション観察・サービス提供対応可能な視聴覚の拡張を実施した。具体的にはインタラクション動作・コミュニケーションの認識をロボットの組み込み計算機に組み込み、研究室ネットワークのないユーザー環境での実行が可能な構成を実現し、学内レストラン前の中庭飲食スペースでの席案内タスク実験を行った。

また、既存のサービスロボットを用いて、研究室内のコンビニ模擬環境での簡易シナリオに基づく接客サービスのタスクプランニングを実施した（図6）。

## 4 まとめと今後の展望

本研究開発はレストランでのサービス提供を対象とし、お客様と店側のそれぞれの状況に応じて、異なるサービスを提供するための技術の基礎を開発している。これまでの研究成果により従来ロボットと対象物体の関係

を記述・計画するタスクプランニング技術を用いて、人とのサービスインタラクションの記述と計画が可能になることを示した。また、サービスインタラクションでは環境認識・物体認識を超えて人やインタラクションの状況の認識・判断が必要になり、エージェント単体の認識性能に加えて環境側へのセンシングなども重要になるだろう。また、本研究ではシミュレータを活用した開発や検証も進めている。ここではパラメータは規定値としてあらかじめ定義しているが、ある程度実環境でのインタラクションデータを集積することで、仮想環境でのインタラクションのシミュレーションも可能になる。

本研究開発の目的は状況に応じてリアルタイムに必要なサービス手順を提供するシステムとする予定であり、そのためには、現在は固定的にあらかじめ指示しているお客様や店の状況を、実世界センシング情報からの入力ができるように、ロボットシステムと環境センシングシステムの統合を行う必要がある。さらに、社会実装として現在企業や研究機関に広く利用されているロボットの標準ソフトウェアプラットフォーム上で提供し、状況認知型サービスのプロトタイプを容易に開発できるようにするとともに、サービスロボット開発企業との連携も進めていく必要がある。





学内中庭飲食スペースを用いた席案内実験



サービスロボットを用いた対話実験

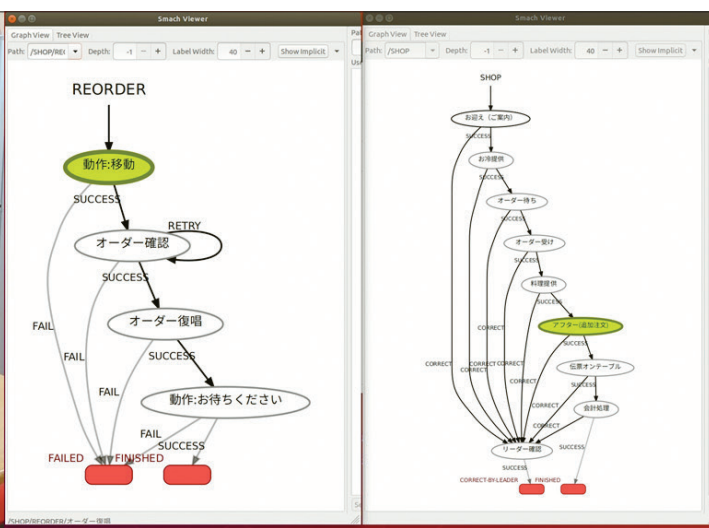


図6 接客サービスのタスクプランニング

# 検査手法を自動的に学習し、初心者の検査を支援するAIシステム (AI検査支援システム)

国立大学法人筑波大学、茨城県産業技術イノベーションセンター、株式会社クリアタクト

- 製造業における作業の中で、特に人の知覚認知や熟練動作を必要とする「外観検査作業」の支援として、補助率を上げる自動化手法や新人の作業支援方式、およびそれらのもととなる検査データ収集方法を研究開発した。
- 基礎的な予備実験の結果をもとに、AIの学習データとして熟練者の技術のデータ化および初心者の検査支援を行う自動アノテーションシステムを構築した。
- 将来的に製品の検査を自動化する、自動検査システムのプロトタイプ版を作成した。サンプルを用いた検証では、AIによる欠陥検出の正解率\*1は98%となり目標を達成した。

## 1 研究の目的

製造工程で重要な検査作業を、機械が自動的に学習することで熟練者なみの支援を可能にする、検査支援システムの開発を目標とした。さまざまな検査対象に対して機械が学習する自動検査機能を実装し、初心者が検査作業を行う場合には、熟練者データによって実装された検査機能が適宜支援するシステムを目指した。

製造業の離職率は約15%といわれており、常に作業者の10%程度は新人や初心者となっている。その分作業効率が下がるが、熟練者にとっては教育のための時間も必要になることから、さらに生産性が下がってしまう。本技術によって、初心者が熟練者からの最低限の指導で技術を習得できるようになるため、生産性が10%程度向上すると考えた。

技術的課題としては、作業者の検査中も機械学習するシステムの開発と、機械学習した結果を作業者の様子をもとにAIが適宜判断し、作業者に熟練者データで学習した結果による判断を参考提示する装置の開発にあった。技術的課題を解決するために、「熟練者の見ている

画像や検査対象を動かす動作を取得する方法」、「機械学習に適した画像の切り出しなどの学習前処理方法」、「初心者が検査する際の迷いを動作から取得する方法」などを検討した。

## 2 実施期間と方法

### (1) 実施期間

2018年度～2020年度

### (2) 実施方法

本研究開発は、国立大学法人筑波大学、茨城県産業技術イノベーションセンター (ITIC 茨城)、株式会社クリアタクトによるコンソーシアム形式で実施した。コンソーシアムの中の役割としては、筑波大学が基本プログラムの研究開発、クリアタクトがパソコンシステムの研究開発、ITIC 茨城がロボットの研究開発をそれぞれ担当した (図1)。

\*1 良品と不良品を正しく判別できた数の全数に占める割合。



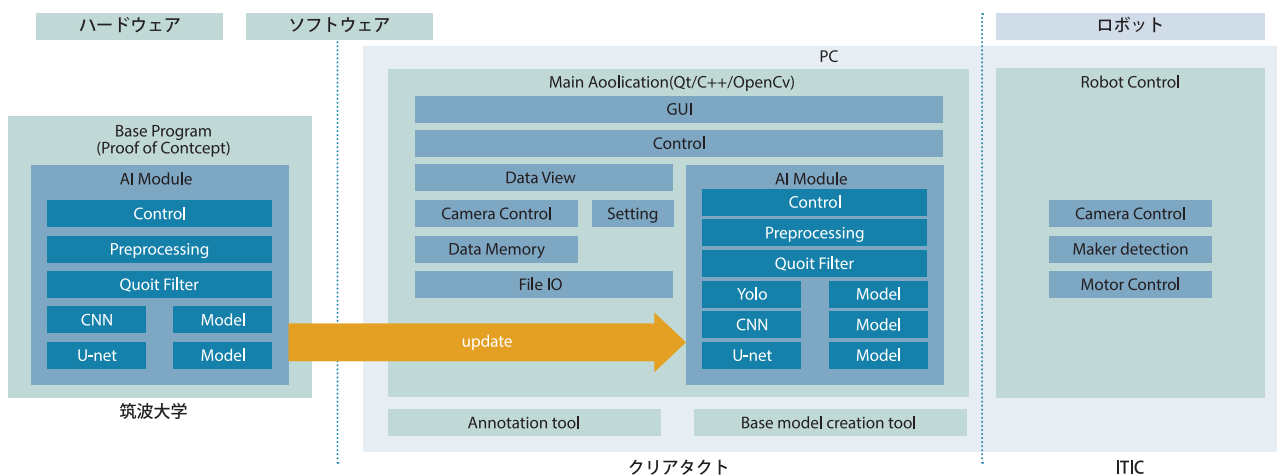


図1 AI検査支援システム開発担当役割

## 1) 筑波大学

### ①検査製品画像と熟練者判定結果の記録

熟練者の知覚認知に関するデータ収集を、可能な限り現場の検査作業と並行して自動収集する機構と、その機構上で簡単かつ短時間で熟練者判定結果が登録できる支援機構を研究開発した。その結果、少ない工数でAI検査支援システムを導入できるようになり、従来技術で懸念されてきた導入障壁が下げられた。

### ②自動化手法

多品種生産と少量変量生産に対応できる、自動検査機能を開発・検証した。不均衡な学習データに基づく場合でも、熟練者と同等以上の精度と効率で判別できることが要件となる。また、製造品種の切り替えが頻繁に起こる場合でも、大きなオーバーヘッドを伴わずに効率的に対応できる技術に対応した。

### ③作業支援方式

初心者の検査作業では、ガイドを提示して支援することを目指した。その際には、単独での検査よりも、過不足のない不良判別が可能になる高精度化、および検査スピードと熟練認知訓練に要する時間の効率化などが求められた。

## 2) クリアタクト

### ①熟練者技術のデータ収集

人間の目視による製品検査は、製品検査担当者がラインに流れる樹脂成型品を複数個手にとり、表面と裏面をそれぞれ検査しながら正常品と異常品を分類している。熟練者の技術を可視化するため、熟練者が検査中に樹脂

成型品のどの部分に着目しているかの視線データを収集した。

### ②予備検証 (ルールベースの画像処理)

AI検査支援システムの仕様を検討すべく、製品検査時の動画像を使い、傷検出についてのAIおよび画像処理アルゴリズムの予備検証を実施した。一般的なルールベースの画像処理を適用することで、傷の検出に関しての課題を抽出した。

### ③予備検証 (機械学習)

AI検査支援システムのシステム仕様を検討する予備検証として、機械学習を適用した場合の課題を抽出した。実際には、深層学習を適用できるほどデータが集められず、深層学習の適用が難しかったため、特徴量を人手で計算しながら学習モデルを生成する手法を選択した。

### ④撮像環境の検討

傷のあるところの輝度の明暗が出ない場合があることから、「樹脂成型品に照射する光源以外の光を遮断する」「カメラと樹脂成型品の距離を近づけ微小な傷の解像度を高める」の2点を考慮した撮像環境を構築した。その上で、光の照射方式について、直接照射と拡散照明の2種類の照明を用いて傷の見えやすさを検証した。

### ⑤自動アノテーションシステムの構築

AIの学習データとして、熟練者技術のデータ化および初心者の検査支援を行う自動アノテーションシステムを構築した(図2)。自動アノテーションシステムのユーザー操作として、モニターの表示およびタッチパネル操作をGUI\*2(グラフィカルユーザーインターフェース)仕様とした。

\*2 コンピューターへ出す命令や指示などを、ユーザーが画面上で視覚的に捉えて指定できるインターフェース。



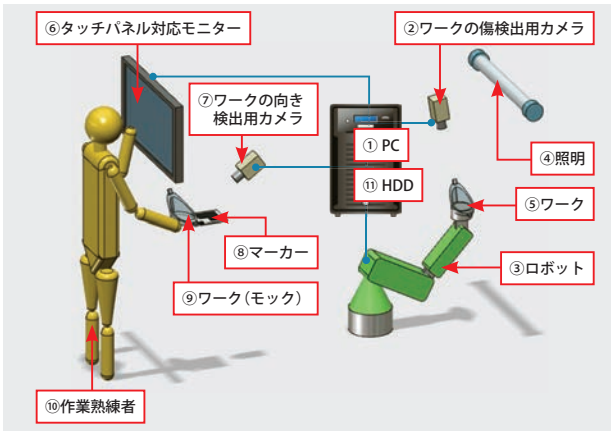


図2 自動アノテーションシステムの概要

### ⑥自動検査システムのプロトタイプを作成

将来的に製品検査を自動化する自動検査システムを構築する上で必要となる、自動検査システムのプロトタイプを作成した。今回のプロトタイプでは、傷の検査およびロボットの制御（樹脂成型品の移動）部分について、処理時間などの課題を抽出するシステムとした。

## 3)ITIC茨城

### ①システム構築

検査時画像の自動撮影と良否判定の自動記録を実施するには、検査者の視点に合わせた検査対象の記録が必要になる。また、企業現場への実装を想定すると、人材不足や省力化の観点からロボットを動作させ、自動検査するための動きと画像データを取得する必要がある。これらのことから、本研究開発では検査対象を模擬した2次元マーカーを検査者が操ることで、ロボットによってハンドリングされた検査対象に傾きを与え、それによって対象がどのように見えるかについて、モニターを通じて逐次検査者にフィードバックする学習用データ収集システムを開発した。

### ②自動記録ソフトウェアとの連携

①で構築したシステムを用いて、検査者がモニターに表示された画像から検査対象の良否を判断した結果を記録する自動記録ソフトウェアを開発し、①のシステムと連携させた。

## 3 本研究の成果

### (1)筑波大学

熟練者と初心者の相違を明らかにするため、独自に開

発した欠陥検査シミュレーター上に製品画像を表示して判定させる実験において、視線追跡と事後アンケートを実施した。その結果、検査の精度に関しては、「長い就業年数を経た熟練者では、認知項目の深さや広さが異なること」が分かった。就業年数が長くなるに連れ、現場状況のより広い認知や因果推論が思考され、ライン責任者では経営者ビューを用いることも分かった。

検査の効率については、見ただけですぐに欠陥を検出できる知覚能力（ポップアウト）に関して、熟練者と初心者で大きな差が見られた。ただし、実際の検査環境である2画像表示のユーザーインターフェースとは別で、1画像のみを表示する場合には、初心者でもポップアウトが発現し、欠陥候補画像のうち56%について、第3焦点以内で欠陥を見つけることができた。

以上により、参考情報をうまく使いこなせない初心者には、まず妨害刺激の少ない1画像のユーザーインターフェースで訓練する方が良いと考えられる。

本研究の対象では、製品面積の0.05%未満と微小な欠陥が不良品の60%以上を占め重要課題となる。このような欠陥は、製品全景画像の中で数画素角と情報量が少ないため、従来技術や盛んに応用されている深層学習の応用では判別精度が0~60%台と低く、実用的な精度が望めないことが分かった。欠陥寸法だけでなく、光の反射が大きい場合や、多様な品種や絵柄がある場合はさらに精度は劣化する。

以上から、微小欠陥をもれなく確実に検出できる手法と、各画像の欠陥の特徴を見つけやすくする前処理が必要と考え、技術的背景と課題認識に基づいて、微小欠陥の高精度検出を可能にする自動検査AIシステムを構築した(図3)。

### (2)クリアタクト

熟練者の技術データを取得して検証した結果、以下のことが分かった。

- 蛍光灯の光を検査品に当て、故意にハレーションを発生させることで傷を見やすくしている。
- 検査時には検査品を傾けて検査するが、傾け角度は微小であった。
- 検査品の中央より端に注目していることが多い。
- 微小な傷もしくは検査品の端の傷については、異常品としないこともある。

ルールベースの画像処理の予備検証の結果、以下の課題があることが分かった。

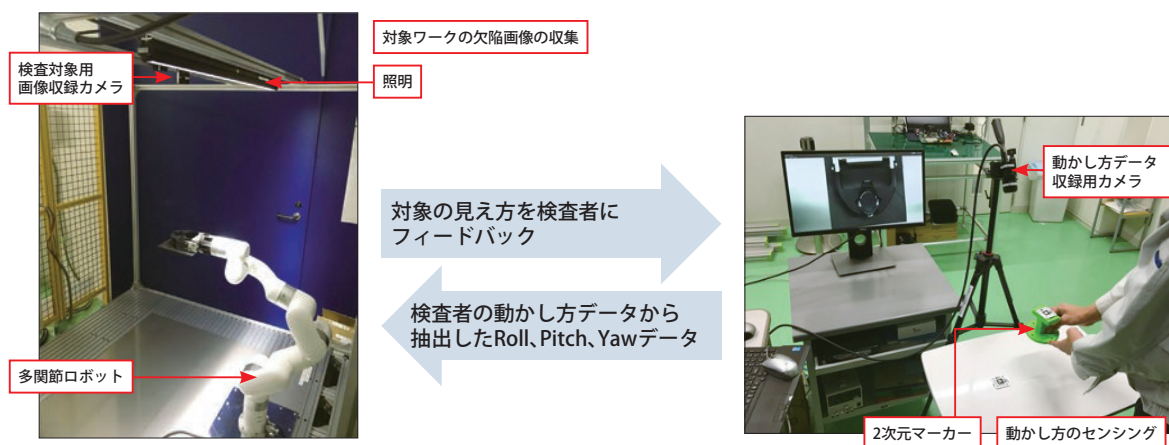


図3 微小欠陥の高精度検出を可能にする自動検査 AI システム

- 明るさや角度によって傷が見えない場合がある。
- 傷と楕円エリア端の区別が難しい。
- カメラの AE 制御が一定でない場合、輝度や色相を使うのが難しい。
- 人間が行う 4 個 /10 秒程度の処理性能を満たすには、高速な処理演算が必要である。

機械学習の予備検証の結果、以下の課題があることが分かった。

- 傷のあるところの輝度の明暗がはっきりしない場合があるため、撮影方法や光源位置、シャッター制御に工夫が必要。
- 樹脂成型品の検出は容易だが、傷の検出は傷が微小であり、傷以外の埃などが傷と酷似して検出難易度が高い。

自動検査システムのプロトタイプ版の処理時間については、一つのワークの検査に対して 2～4 秒程度かかっており、実運用という観点ではさらなる改善が必要であった。しかし、傷検知 AI のソフトウェアとロボット制御用ソフトウェアを一体化し、ソフトウェア構造をスマート化することにより、現在の処理時間の半分程度に改善できる可能性がある。

### (3) ITIC 茨城

学習用データ収集システムには、以下のような機能が実装された。

- 検査対象を模擬した 2 次元マーカをマーカ認識用カメラによって計測し、検査者による操り動作を記録する機能。
- 検査者による模擬検査対象の操り動作をロボットのワーク座標とリンクさせることにより、検査対象を把持したロボットが検査者の操り動作を再現する機能。

- 検査対象撮影用カメラがロボットに把持された検査対象を自動撮影し、データを記録すると同時に検査対象の見え方を逐次検査者が見ているモニターにフィードバックする機能。

今回開発したシステムを協力企業に官能評価してもらった結果、以下のようなコメントが得られた。

- 傷検知機能を強化してほしい。
- 光の当て方も標準化した方が良い。
- 擦り傷や表裏での不具合を検知したい。
- 手元で全ての操作ができることが理想。
- レンズ濃度と不具合程度の相関が気になる。

## 4 まとめと今後の展望

将来的に製品の検査を自動化する、自動検査システムのプロトタイプ版を作成した。さらに、アノテーション済みの約 5000 枚の画像で学習したワーク検出 AI と傷検出 AI を組み合わせ、プロトタイプ版を作成して検証実験を行った。実企業の実サンプルを用いた検証では、AI による製品画像の欠陥検出の正解率は 98% となり、目標の 90% を超える結果となり目標を達成した。

本コンソーシアムは 2020 年度で終了となったが、研究開発はまだ中途の段階であり、「計画遂行に向けたリソース（人的、資金的）の確保」、「ビジネスへ向けた PoC の実施と想定顧客へのプレゼンテーション」などの課題を解決できるようであれば、今後も継続して開発を進め、AI 検査支援システムの協力企業への試験導入を目指していきたい。

# 初心者がサイバー空間を通じて容易に制御可能なロボットシステムの開発 (VRテレワークシステム)

国立大学法人筑波大学、茨城県産業技術イノベーションセンター、エーテック株式会社

- サイバー空間を通じたロボット操作・教示手法として、簡易インターフェースを用いた操作者へのロボット・ワーク・周囲環境の情報提示手法と、操作者のロボット動作量入力手法を開発した。
- システムのプロトタイプ段階で、協力企業の熟練者および初心者に教示操作試験を行ってもらい官能調査を実施。その際に示された問題点を解決し、最終的にロボットシステムを構築した。

## 1 研究の目的

本研究では、家庭などから遠隔地にある仕事場の作業をロボット操作する（VRテレワーク）技術を開発した。製造業においては、これまで在宅勤務やテレワークという考え方が存在しなかったが、本技術によって導入可能となれば、数万人規模での労働力が得られる可能性がある。また、離職者も育児や介護に縛られずに働けるようになり、働きたい人のワークライフバランスへ大きな貢献をもたらす。技術的課題は、「①身近で低価格なティーチングに適するデバイスの選定」、「②ロボット操作とロボットの作業環境を容易に把握可能な手法の開発」、「③操作者が思い通りの操作を可能にする手動作とロボット動作の変換方法の開発」であった。①の課題は、低コストで容易に習熟が可能なティーチング用インターフェースと、仕事場で汎用的に使用可能なロボットハンドの開発で解決を図った。②の課題については、スマートフォンの機能をソフトウェアで変更し、保持方法を変えるなどした際に、のぞき窓から仕事場を見るようなシステムを開発して解決を図った。③の課題については、パペットのように手を動作させてロボット制御するシステムを開発して解決を図った。

## 2 実施期間と方法

### (1) 実施期間

2018年度～2020年度

### (2) 実施方法

本研究開発は、国立大学法人筑波大学、茨城県産業技術イノベーションセンター（ITIC 茨城）、エーテック株式会社によるコンソーシアム形式で実施した（図1）。

#### 1) エーテック

①サイバー空間を通じたロボット操作・教示手法の開発  
簡易インターフェース（スマートフォンやタブレット）を用いた操作者へのロボットやワーク、周囲環境の情報提示手法と、操作者のロボット動作量入力手法を開発した。操作者が提示された情報をもとに、直感的な操作でロボット動作量を入力できることや、ネットワーク経由での操作に極力遅延が生じないことを考慮した。

②操作・教示手法に適したロボット・計測システムの開発

ロボットの遠隔操作手法に基づき、VRテレワークシステムの設計・構築のために試作を行い、操作・教示手法の改良、センサーやカメラ構成の検討や追加などを実施した（図2）。各ロボットの手先にカメラを設置し、ロボットのハンドがワークを把持するなど接触に注意す



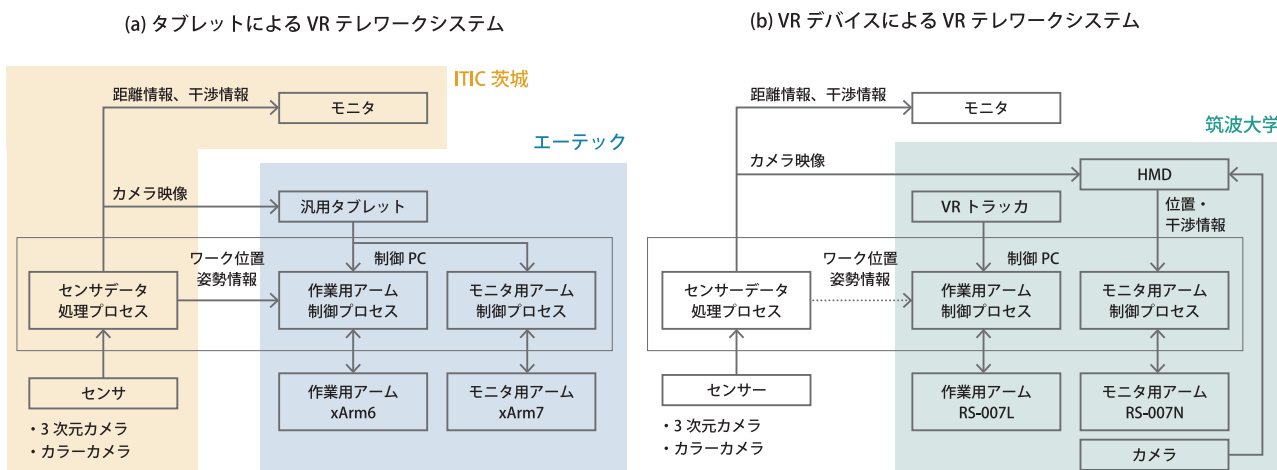


図1 VRテレワークシステム開発の役割分担

べき教示操作時に、監視用の近接映像をスマートフォンに表示するために使用された。これにより、従来のティーチングペンダント\*1を用いた教示の際にハンドとワークをのぞき込みながら行っていた操作を、離れた場所から安全に行えるようになった。

### ③ VRテレワークシステムの開発

双腕構成の試作システムを用いて、バフ研磨模擬作業の教示・再生実験を行った。実験内容は、作業用ロボットを用いてワーク把持位置に設置されたワークを把持し、グラインダーにワークを接触させるまでの教示と動作の再生までであり、協力企業の教示作業熟練者（技能者）と非熟練者がロボット設置場所とは別室でロボットの教示を行い、教示にかかる時間の計測と作業後に作業者の官能調査を行った。

## 2) 筑波大学

本研究開発では、サイバー空間を通じてロボットを操

作・教示する指示デバイスとして、スマートフォンやタブレットなど誰でも容易に利用できるデバイスを用いた。近年、パーソナルユースのVRデバイス（ヘッドマウントディスプレイなど）が市場に出てきており、これらも数年以内には一般的なデバイスになると考えられることから、本研究においてもVRデバイスを用いたロボットの遠隔操作・教示手法を構築した。

### ① VRデバイスを用いた遠隔操作システム

ロボット遠隔操作システムに、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いた自由視点映像提示機能を付加し、直感的にカメラの位置・姿勢が制御できるシステムを開発した（図3）。遠隔操作の対象を、6自由度のマニピュレーターとしている。本システムは、遠隔操作の対象となるマニピュレーターの作業環境と、操作者の作業環境の2か所に存在する。マニピュレーター作業環境には、操作対象となるマニピュレーターを2台配置し、1台はカメラ用で手先にステレオカメラを取り付けるこ

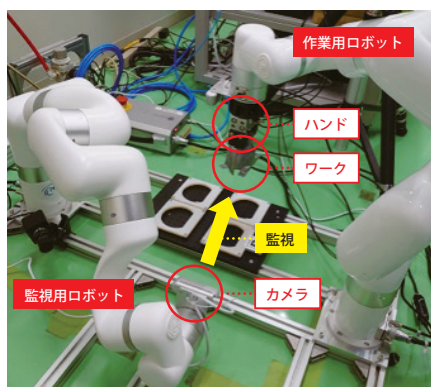
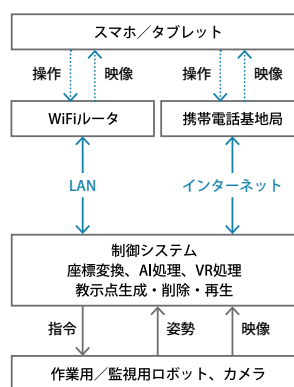


図2 VRテレワークシステム双腕構成の試作



\*1 プログラムの作成やティーチング作業のための入力・操作装置。

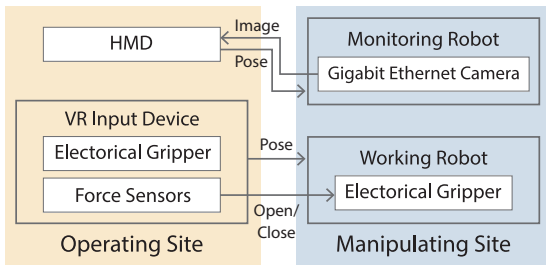


図3 VRデバイスを用いた遠隔操作システムの構成

とでHMDに映し出す映像を撮影する。もう1台は作業場で、手先には作業を行うグリッパを取り付けた。操作者側では、操作者がHMDとVR入力デバイス（VRトラッカー）を身につける。VR入力デバイスは実際のエンドエフェクタと同形状とするため、同様のグリッパにVRトラッカーを固定したものとし、グリッパのツメ部分には力センサーを取り付け、開閉の入力を実現した。

#### ② VRトラッカーによるロボットの遠隔操作

作業用ロボットの制御には、ロボットの各関節角度の制御と電動グリッパの開閉制御が必要となる。作業用ロボットの制御に関しては、一般的なマスタースレーブ型操作のようにマスターアームを操作者側に設置する必要はなく、エンドエフェクター部分の位置・姿勢のみを使って手軽なシステムを実現した。

#### ③自由視点映像による視覚情報提示

HMDから位置・姿勢を取得し、それらの情報をもとにマニピュレーターを動作させた。HMDの位置・姿勢は、装着している操作者の頭の位置・姿勢を示していることから、マニピュレーターは操作者の視点の動きをなぞるように動作する。これにより、操作者がのぞき込む動きをすると、その通りにマニピュレーターが動作する。

#### ④自由視点映像を用いた軸挿入作業実験

自由視点映像を用いたVR遠隔操作システムの操作性を評価するため、軸挿入作業実験を行った。マニピュレーター作業環境には、作業用ロボットとカメラ用ロボットを向かい合わせに配置し、操作者はHMDを装着した状態で入力デバイスを手に持って操作した。

### 3) ITIC茨城

#### ①サイバー空間を通じたロボット操作・教示手法の開発

遠隔地からロボットアームを操作・教示するには、現場の状況を違和感なく操作者・教示者へ提示するシステムが求められる。本研究開発では、複数台の固定RGBDカメラから取得した色付き点群データを統合すること

で、現場の状況を任意の視点から確認できる機能、およびロボットアームとワークや周辺環境との距離を操作者・教示者へ提示する機能などを有する情報提示システムを開発した。

#### ②操作・教示手法に適したロボット・計測システムの開発

遠隔操作システムに計測データをもとにした、精密な位置決めによる操作補助機能を組み込むことを目的に、作業ワークの位置姿勢を推定するため、「高精度マーカーおよびカラーカメラによる位置決め」、「点群データとモデルデータのマッチングによる位置決め」の二つの手法を開発した。

#### ③VRテレワークシステムの開発

研磨作業を対象に、ロボットシステムおよび遠隔教示に必要な環境を構築した(図4)。本システムでは、作業用ロボットおよび作業をモニターするロボット、各ロボットの手先、グラインダー上部およびワークプレート付近、架台上部にセンサーやUSBカメラを配置した。

## 3 本研究の成果

### (1)「サイバー空間を通じたロボット操作・教示手法の開発」の達成度評価

「AIによる操作意図に対する指令の学習・補正を用いたロボット操作手法の決定」に関しては、補正手法などは定めたが、その実装は完了していない。特に目標とした、座標系に対する拘束・補正については実装できていない。また、「スマートフォンを用いた直感的な手指の動作によるロボット操作手法の検討」に関しては、スマートフォンの一般的な操作である傾けや画面タッチによって入力された操作量を、ロボット座標系に変換するこ

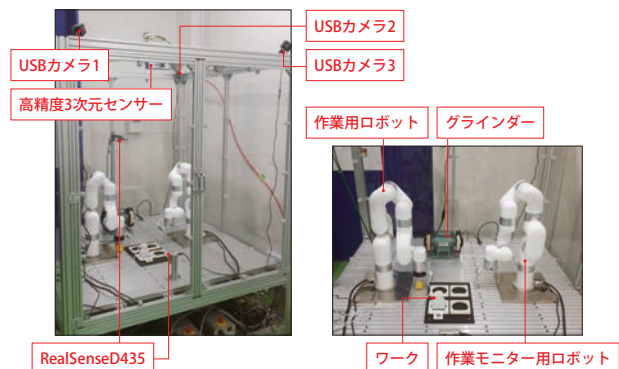


図4 VRテレワークシステムの外観

とで直感的なロボット操作を可能とする手法を開発し、目標を達成した。

一方で、操作者への情報提示機能として、複数デプスセンサーの出力を統合することで、ロボット周辺環境を3次元的に可視化する機能や、指定した2点間の距離を測定して提示する機能、ロボットと周辺環境の最近接距離を提示する機能、点群中の隠れ領域を提示する機能などを開発した。パーソナルVRデバイスであるHMDやVRトラッカーを用いたインターフェースを構築し、HMDの動きに合わせてロボットの手先にあるステレオカメラを動かすことで臨場感ある観察が可能になったが、VRトラッカーの動きでロボット手を動かす仕組みについては、改良の余地がある。

以上から、スマートフォンによるインターフェースは予定通りに開発を達成したが、VRデバイスを使ったインターフェースやAI補助の導入については、部分的な達成にとどまっており、不足した点があると考えられる。

## (2)「操作・教示手法に適したロボット・計測システムの開発」の達成度評価

「直感的な操作によるラフな位置決めと、計測データをもとにした精密な位置決めを組み合わせた教示手法の開発」に関しては、簡易インターフェースの直感的な操作によるラフな位置決めと、計測データをもとにしたロボット手先とワークの距離を提示することで精密に位置決めする手法を開発し、目標を達成した。また、作業ワークの位置姿勢を推定するため、マーカーおよびカラーカメラによる位置決め、点群データとモデルデータのマッチングによる位置決めについて開発した。これらについては、計測データに基づく情報提示が実装され、操作者の補助として有効に働いているが、それを利用した拘束・補正については実装されていない。

「HMDなどのVRデバイスを用い、サイバー空間を通じて作業補正を行う操作・教示AIシステムの開発」に関しては、目標とするワークを認識し、当該ワークをロボット手先カメラの映像の中央に捉え続けるようにロボットの動作を補正するAIを開発することで目標を達成した。ロボットや位置姿勢計測を行ったワークなどのモデルをサイバー空間に構築し、手を動かす方向の拘束・補正をかけることで、ロボットの操作を容易にする操作手法も検討したが、実装には至っていない。

以上から、およそその目標を達成し、スマートフォンなどの操作・教示手法に対し、適切にロボットを動かし

て周辺環境を計測するシステムは構築できたが、AIによる作業補助などについては完全な導入には至っていない。

## (3)「VRテレワークシステムの開発」の達成度評価

「具体的な作業を設定し、その作業を模したロボットシステムおよび遠隔教示に必要なカメラなどセンサーシステムのプロトタイプ設計、開発」に関しては、対象作業を研磨作業に設定し、作業を模したロボットシステムおよび遠隔教示に必要な環境を構築した。また、バフ研磨の遠隔教示を対象作業とし、ロボットシステムおよびセンサーシステムのプロトタイプを設計、開発することで目標を達成した。VRデバイスを用いた丸棒丸穴挿入の操作・教示実験システムを構築し、センサーシステムとして、複数の固定カメラを配置した場合とHMD連動のステレオカメラを利用する場合の2種類を用意した。さらに、研磨を業とする企業の技術者2人を対象に、VRテレワークシステムプロトタイプによる検証実験を実施し、改良点を抽出した。スマートフォンによるVRテレワークプロトタイプシステムについては目標を達成したが、別途行っているVRデバイスによる実験システムについては、現場技術者による官能調査に至っておらず、不足した点は残っている。

## 4 まとめと今後の展望

VRを用いることで、直感的かつ手軽に操作が可能なロボット遠隔操作システムを提案した。実装したシステムを用い、固定カメラ映像および自由視点映像の2種類の視覚情報提示による実験結果を比較すると、固定カメラ映像よりも自由視点映像を用いた場合の方が成功率に大きな個人差がみられた。今後はより多くの条件で実験を行い、さらに操作性の良いシステムへと改良したい。

VR入力デバイスにおいては、現在のシステムでは操作精度が人間の入力精度に依存してしまうため、操作者の入力を適切に補正する機能を開発していく。HMDの自由視点映像においては、カメラ用ロボットの動作空間を増やす工夫を行うことや、基線長の調整を行い眼精疲労を防ぐことなどにより、操作性を向上させたい。