

高臨場感リモート Co-Cooking を実現する IoT まな板の設計と空間提示方法の検討

三崎 慎也^{1,a)} 松井 智一^{1,b)} 中村 優吾^{2,3,c)} 安本 慶一^{1,d)}

概要: 近年の 3D-LiDAR や HMD の進歩により、複数のユーザが、自身および周辺物理空間のセンシングし空間データを仮想空間に持ち寄ることで臨場感が高い交流を行うことを可能にするサイバーフィジカル空間共有システムが提案されている。このシステムは、没入感のある空間共有を実現できる一方で、点群データの粗さや、HMD 装着による動きの制約により、現実空間の物理オブジェクトとの精緻なインタラクションを前提とするアプリケーションに適用するには課題がある。本研究では、HMD を使用せずに物理オブジェクトへの精緻なインタラクションを遠隔ユーザの間で高い臨場感を伴って共有するための新たな提示デバイスと空間提示法の開発を目的とする。ユースケースとして料理教室を想定し、講師の動作を見ながら調理することを可能にする IoT まな板を開発した。IoT まな板はアーム付きカメラ、ディスプレイ、ロードセルセンサを搭載し、まな板上の調理動作の撮影と共有、講師および他の参加者の調理動作のまな板上への表示、食材の重さや力の入り具合の計測・表示と共有を可能にする。さらに、追加のまな板を近くに置くことにより、他の調理者の調理状況をまな板上の映像や情報を通して高臨場感に再現可能である。また、本デバイスを用いた新しい空間提示方法として、利用可能なデバイス数を増やした場合や他デバイスと併用する場合における様々な高臨場感空間共有手法を提案する。

1. はじめに

近年の 3D-LiDAR や HMD の進歩により、複数のユーザが、自身および周辺物理空間のセンシングを行い、空間データを仮想空間に持ち寄ることで臨場感が高い交流を行えるサイバーフィジカル空間共有システムが提案されている [1]。最近になって、HMD を使った空間共有システムに関する研究や製品は数多く登場しており、現実世界の仕事を仮想空間内で再現して体験すること [2] や映画を仮想空間内で再現して非現実的な体験をすることが可能となっている^{*1}。コロナ禍での感染リスクを低減するための行動制限のもとでは、様々な社会経済活動において、現実空間に集まらなくても、遠隔から行動の指示やサポートを行ったり、仮想空間内で実際に会って話しているような体験を

提供可能な、高い臨場感を持った空間共有システムが必要となる。しかし、現実世界と仮想空間を共有するために 3D-LiDAR を用いる場合、点群データの粗さが高い臨場感を実現する上で問題となる。また HMD は、装着すると自身の周辺の物理空間における視野が制限される、または、装着による動きの制約がかかるなどの問題のため、現実空間の物理オブジェクトとの精緻なインタラクションを共有することを前提とする活動には適していない。そのため、HMD を使用しなくても、高い臨場感を得ることが可能な空間共有システムが求められる。

様々なデバイスを使用して高い臨場感を実現する空間提示方法が幾つか提案されている。例えば、首の動きだけではなく視線の方向を認識し、アイコンタクトができるようにすることで高い臨場感を実現する研究がある [3]。しかし、これら既存研究では、HMD を使用する必要がある点で物理オブジェクトとのインタラクションを前提とする活動への適用が難しい。一方、HMD を使用せず、ピアノにディスプレイとプロジェクタを設置し、鍵盤にプロジェクタによって映像を投影することにより、ディスプレイの中の人が鍵盤をたたいて演奏しているような臨場感のある体験を提供する研究も行われている [4]。しかし、プロジェクタ等を環境に固定する必要があるという点で、活動できるエリアや活動の種類が限定されるなどの問題がある。

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

² 国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ
JST PRESTO

³ 九州大学

Kyushu University

^{a)} misaki.shinya.mq9@is.naist.jp

^{b)} matsui.tomokazu.mo4@is.naist.jp

^{c)} y-nakamura@ait.kyushu-u.ac.jp

^{d)} yasumoto@is.naist.jp

^{*1} <https://www.playstation.com/ja-jp/games/marvels-iron-man-vr/>

本研究では、HMD を使用せずに物理オブジェクトへの精緻なインタラクションを遠隔ユーザ感で高い臨場感で共有するための新たな提示デバイスと空間提示法の開発を目的とする。本稿では、ユースケースとして料理教室を想定し、調理の必須アイテムである「まな板」をIoT化し（「IoTまな板」と呼ぶ）、空間提示デバイスとして使用するアプローチを提案する。

提案するアプローチでは、高臨場感の空間共有をシンプルな構成で実現するため、4つの要件：(1) 講師の精緻な調理動作を見ながら調理動作ができる、(2) 自分の調理動作を講師や他の生徒に見せることができる、(3) 他の生徒の調理動作が見れる、(4) 1種類のデバイスを導入するだけで上記(1)–(3)が実現できる、を設定した。

これらの要件を満たすため、IoTまな板にはアーム付きカメラ、ディスプレイ、ロードセルセンサを搭載し、まな板上の調理動作の撮影と共有（要件2）、講師および他の参加者の調理動作のまな板上への表示（要件1）、食材の重さや力の入り具合の計測・表示と共有を可能にした。また、追加のまな板を近くに置くことにより、他の調理者の調理状況をまな板上の映像や情報を通して高臨場感に再現可能にした（要件3）。さらに、本デバイスを用いた新しい空間提示方法として、利用可能なデバイス数を増やした場合やワイドモニターやプロジェクタなど他デバイスと併用する場合における様々な高臨場感空間共有手法を検討する。

以下、2章で関連研究を述べ、3章で本稿で想定する料理教室のシナリオと空間提示デバイス・提示法の要件を述べる。4章では、提案するIoTまな板とそれを用いた空間提示方法を提案し、5章でまとめと今後の展望を述べる。

2. 関連研究

本研究は、料理教室を題材に、高い臨場感で精緻な物理オブジェクトとのインタラクションを遠隔ユーザと共有可能にする提示デバイスおよび提示法の開発を目指している。本章では、これらに関連した既存研究を紹介する。

2.1 料理サポートデバイス

料理経験の浅い人をサポートするデバイスや、映像や音声によって支援するシステムに関する研究が行われている [5], [6], [7], [8]。

Hashimotoら [9] は、まな板にロードセルと振動センサを装着し、その情報から現在まな板で調理を行っている食材の認識を行うデバイスを提案し、開発している。Tuanaら [10] は、ロードセルセンサをまな板の四隅に設置し、食材の重さを計測するとともに、指でかけた圧力によりまな板に設置されたディスプレイの画面を操作する機能を搭載している。これらの機能によってディスプレイに表示されたレシピを、食材を調理しながら確認することができる料理サポートシステムを提案している。Cuongら [11] は、光

ファイバーケーブルをまな板全体に張り巡らせ、まな板に置かれた食材の色をそのファイバーを通してカメラで読み取ることによってまな板に置かれた食材の種類を認識する研究を行い、12種類の食材を80%の精度で認識することに成功している。

このように調理を行う上で必ず使用するまな板にデバイスを加えて、食材の認識を行い、調理サポートを行うシステムは複数提案されている。しかし、これらの既存研究はデバイスの使用者のみを支援の対象としており、本研究が対象とする調理動作の遠隔ユーザ間での共有はできない。

2.2 VR・ARを使用した空間提示方法

VRやARなどを用いた空間提示により、臨場感の高い体験の提供や学習のサポートを行う研究が行われている [12], [13], [14]。

小宮山ら [3] は、HMD装着者の視線検出を行うことにより、顔の向きだけでなく視線からアイコンタクトで相手に情報を伝えることを可能とする空間提示手法を提案している。蓮ら [15] は、タブレット端末を使用し、空に向かってかざすことで現在見えている星座を仮想空間上に投影し、手書きで感想や気づきを残して他の使用者と共有する提示方法を提案することで、双方向の空間共有によるコミュニケーションを可能にした。Xiaoら [4] は、ピアノの上に設置されたディスプレイと鍵盤に投影可能なプロジェクターを用いて、無人の自動演奏であるにもかかわらず、あたかもその場でピアニストが演奏しているように感じさせる臨場感のある空間提示方法を提案している。この手法では、予め録画したピアニストの演奏映像と予め記録した演奏中の打鍵情報を使って、ピアノのディスプレイに演奏の様子、鍵盤上に手の様子を表示しながら、自動的に打鍵する。これにより、無人状態で動かすのはもちろん、それに合わせてピアノの鍵盤をたたくことにより、実際のピアニストの手の動きを知ることができ、映像で流れている主旋律に合わせて副旋律を演奏することによってデュエットしているような感覚を体験できるようにしている。

この他にも空間共有システムとして製品化されているものとしてVRChat^{*2}やVirbela^{*3}がある。これらのアプリケーションは、ディスプレイまたはHMDを使用して、サーバ内に作られた仮想空間に入り、様々な人と仮想空間内の雰囲気やチャットを楽しむことができる。この仮想空間は現実の空間をシェアするものでなく、仮想空間にユーザがダイブするものとなっている。仮想空間の一部はユーザも作成が可能であり、自由度が高く様々な体験を得ることができる。

上記で述べたように、空間提示方法・システムに関して、様々な体験を共有できるよう様々な研究が進められている。

^{*2} <https://hello.vrchat.com/>

^{*3} <https://www.virbela.com/>

しかし、星座の学習支援アプリ [15] や製品化されているアプリ (VRChat や Virbela) は仮想空間内のみでの共有である。さらに、ピアノの自動演奏では物理オブジェクトとの共有であっても双方向で共有できるシステムではない。そのため、物理オブジェクトとの精緻なインタラクションを双方向で共有できるような研究はほとんど行われていない。また、HMD を使用した視線検出 [3] では、HMD の装着により、調理において重要な、手元の食材の確認・取り出しや、包丁による食材のカットなどの、自信の周辺空間との精緻なインタラクションをナチュラルかつスムーズに行うことが難しくなると考えられる。

3. 想定するシナリオと要件

本章では、ペルソナシナリオを通して、本稿で提案する空間共有デバイス、空間提示法の要件を明らかにする。

3.1 ペルソナシナリオ

20 歳の大学生、料理初心者太郎はコロナ禍の中、インドアでできる趣味を増やすため、Zoom を使用した遠隔料理教室に毎週参加している。Zoom を使用した料理教室では、講師がキッチンにカメラを複数台設置し、調理風景を太郎を含めた生徒に見せている。しかし、設置しているカメラの位置を状況に合わせて調整し続けることは難しく、講師が伝えたい包丁の細かい動きを伝えきれていない。また、講師が用意しているような配信設備はキッチンにカメラ用のケーブルを張り巡らせ、スマートフォンを固定するためのスタンドが必要であり、一般の家庭では再現することは難しい。太郎は複数のカメラやスマホを固定するスタンドを用意できず、太郎は自分の包丁さばきを講師に見せることができている。そのため、太郎は自分の食材の切り方がどう悪いのかを講師から教わるができなかった。さらに、調理中にスマホのような小さい画面を見ることは難しく、講師の調理を見るフェーズと自分が調理を行うフェーズが分かれてしまい、講師が伝えたい調理方法を見逃してしまっていた。

料理教室運営会社は、上記のような参加者の不満を解消するため、新しいデバイス「IoT まな板」を導入することを決めた。ほどなく太郎のもとにも IoT まな板が届けられ、今週の教室から使っていくことになった。IoT まな板は、まな板の内部にディスプレイを内蔵し、側面から伸ばして自由に曲げることができるアーム付きカメラが搭載されている。まな板として使用する厚手の透明板は取り外せるようになっており、使用前後に簡単に洗えるようになっていた。また、透明板が接地する四隅には重量センサが搭載されていて、まな板の上に食材を置くとすぐに計測した重量が表示されるようになっていた。IoT まな板のアーム付きカメラは、アームを曲げることで、まな板上での調理の様子を上から見下ろすように映すことができる。これに

より、今回の教室では、講師は、場面に合わせてカメラのアングルを調整し、包丁の細かい動きといった精緻な動作を受講者側に伝えることができるようになった。受講生の太郎も同様に IoT まな板のアーム付きカメラの位置を調整し、講師に自分の包丁の動きを見てもらい (A)、適切なアドバイスを受けることができた。さらに、太郎は IoT まな板の透明板の下に内蔵されているディスプレイに表示された講師の食材を切っている映像を見ながら調理ができた (B)。そのおかげで、太郎は講師が伝えたい調理方法を見逃すことなく、講師と同じタイミングで調理ができ、結果的に上手く調理することができた。IoT まな板のディスプレイには、講師による調理動作の実演時以外には、他の参加者の調理状況も切り替えて表示された。これにより、太郎は他の参加者の調理状況も把握することができた。

教室の終了後、太郎は今日の教室の内容に満足していたが、より他の参加者との一体感を高めたいと思い、IoT まな板を追加でもう 1 台購入することにした。次の教室で、太郎は追加の IoT まな板を自身が使用する IoT まな板の隣に少し離して置き、アーム付きカメラを自身の調理作業の全景が映るよう調整した。隣の IoT まな板は他の参加者の精緻な調理動作を代わる代わる映し出した (C)。太郎はその映像を見て、実際に隣で他の参加者が一緒に調理をしているような感覚を得ることができた。数ヶ月後、太郎は他の参加者との料理行動を楽しみながら、自身も上手に調理できるようになり、ますます料理が好きになった。

3.2 システム要件

前節のペルソナシナリオにおける太字部分 (A), (B), (C) は、ユーザが自身の周辺の物理オブジェクトと精緻なインタラクションを行いながらその様子を遠隔の他のユーザと共有する上で重要な部分である。また、(C) は必須ではないものの、他の参加者との一体感や連帯感といった臨場感を高めるために重要である。そのため、これら 3 つを以下のシステム要件 1, 2, 3 とする。さらに、これら 3 つの要件をできるだけシンプルなシステムとして構成するために、要件 4 を設定する。

- 要件 1 講師の精緻な調理動作を見ながら調理動作ができる
- 要件 2 自分の調理動作を講師や他の生徒に見せることができる
- 要件 3 他の生徒の調理動作が見れる
- 要件 4 要件 1 から要件 3 が 1 種類のデバイスを導入するだけで実現できる

4. IoT まな板の設計と空間提示方法

本章では、3 章で述べたペルソナシナリオから得られた

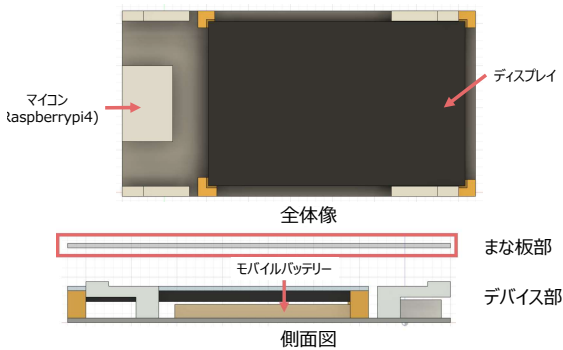


図 1 IoT まな板の設計図

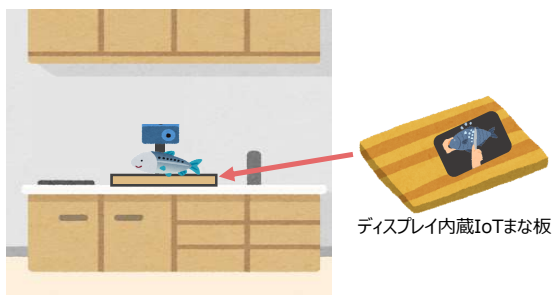


図 2 IoT まな板の使用例

ユーザの要件から、高い臨場感で共有する提示デバイスである IoT まな板を設計する。次節以降、IoT まな板の基礎設計と使用するセンサとカメラの設置位置の検討、空間提示方法について述べる。

4.1 IoT まな板の基本設計

図 1 に IoT まな板の設計図を示す。IoT まな板の大きさは 420 mm × 220 mm × 50 mm であり、家庭用の標準的なサイズ (450 mm × 300 mm) に近くなるように設計した。また、水場近くでの作業を想定し、IoT まな板 (図 1 のデバイス部) の底面や上面にはアクリル板を使用し、筐体内部の電子デバイスに浸水しないようにしている。また、普段使用しているまな板に近づけるために、IoT まな板の側面には木材を使用する。まな板筐体の内部にはディスプレイを接続し、ビデオデータを処理しネットワークに接続するための Raspberry Pi 4 とモバイルバッテリーを内蔵する。これによって、IoT まな板は外部から電源を供給しなくても動作する。筐体内部にディスプレイを、筐体側面には伸ばせるアーム付きカメラを搭載する。ディスプレイを覆うように透明のアクリル板 (図 1 のまな板部) を筐体にはめ込むようにする。厚手の透明アクリル板を使用することで、ディスプレイに映し出された映像を確認しながら、まな板として機能するようにしている。水洗いする際は、まな板部のみを洗うだけでいいため、管理がしやすく、デバイス部への浸水も起こらないようにしている。

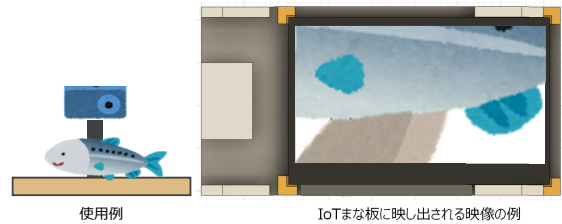


図 3 IoT まな板のアーム付きカメラの使用例

現在、IoT まな板は設計が完了し、部材の選定を行っている段階である。今後、製作を進め、動作確認や使い勝手の調査を行っていく予定である。

4.2 カメラの設置位置と使用するセンサの検討

3.2 節で述べた要件 1, 2 では講師、生徒とともに精緻な調理動作を共有できる必要がある。そのため、食材を調理する精緻な動作を映すことができるカメラの配置と使用するセンサの検討を行った。

IoT まな板を調理に使用する時の想定レイアウトを図 2 に示す。このレイアウトでは、参加者は講師の精緻な調理動作映像をまな板のディスプレイに表示しながら、アーム付きカメラで自身の精緻な調理動作映像を撮影・共有することができる。

アーム付きカメラと精緻調理動作の表示例を図 3 に示す。アーム付きカメラは食材の真上から撮影を行い、その映像が遠隔の受講生の IoT まな板上にリアルタイムで表示される。今講師がどこにどの角度で包丁を入れたかなどの精緻な調理動作を至近距離で確認でき、同時にまな板上で実践できる。

これに加え、IoT まな板にロードセルセンサを搭載することで、食材の重さの計測を行うことや、講師と比較してどれほどの力がかかっているかを比較し、共有できることが望ましい。精緻な調理動作の共有をカメラとロードセルセンサを組み合わせで行うことを検討中である。

要件 3 では、他の生徒の調理の様子が確認できることが求められる。基本的には、IoT まな板のディスプレイに表示される映像を適宜切り替えることによって、この要件を達成する。まな板上での調理が行われている場合には、その際の映像が共有される。まな板を使った調理工程が終わった後は、アーム付きカメラの向きを調整することで、フライパンを使用した調理や洗い物など調理状況を共有することが可能である。

4.3 空間提示方法

前節で述べたように、IoT まな板のカメラやセンサを使用して精緻な調理動作を共有できるようになった。しかし、高い臨場感を持った共有を行うためには、参加している生徒全員と空間がつながっているように共有する必要が

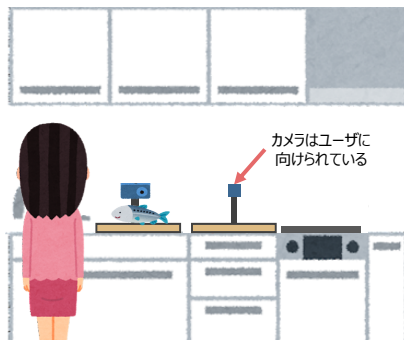


図 4 IoT まな板を複数台使用する場合の配置例

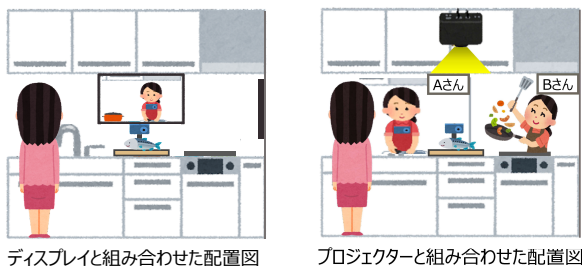


図 5 他デバイスを組み合わせた配置図

ある。そのため本節では、高い臨場感を持った空間共有を実現するため、IoT まな板や他のデバイスを使用した投影方法や投影した映像の UI、操作方法の検討を行う。

4.3.1 投影方法

4.1 節で述べた IoT まな板デバイスを複数使用し、周辺においておくことやモニターやプロジェクタを組み合わせることでより高い臨場感を持った空間提示を実現できるのではないかと考えた。複数 IoT まな板デバイス（自身が使用するものと追加の 1 台）の配置例を図 4、ディスプレイやプロジェクタを組み合わせた配置図を図 5 に示す。

IoT まな板デバイス 2 台を使用した場合（図 4）、まな板として使用するデバイスの他に、他の生徒の調理の様子を表示するためのデバイスが少し離れた場所に置かれている。このデバイスは、自身の調理動作を撮影・共有する用途でも使用する。

まな板で作業を行う際には、講師の手の動きをまな板内のディスプレイで見ながら、並べて置いているデバイスから他の生徒の調理の映像と音声とを共有する。これにより、精緻な調理動作を確認しながら、他の生徒が野菜などを切る映像・音声を共有できるため一緒に調理を行っているように感じることができる。複数のデバイスが用意できない場合でも、適宜、映像を切り替えることによって、別の参加者の映像を見ることができるようになる。さらに距離感から調理音のボリュームや指向性を調整することによって臨場感を高めることができるのではないかと考えられる。

このデバイスにこだわらず、他のデバイスを使用した配置図も検討した。図 5 は、通常のディスプレイとプロジェ



図 6 ディスプレイに表示される情報の例

クタを追加した場合を示している。通常ディスプレイは IoT まな板を使用した時と同じように設置して使える（ただし、自身の映像の共有はできない）。このとき、ディスプレイが大画面であれば、より臨場感を高められることが考えられる（図 5 左部）。また、ワイドモニターを使用した場合は複数の箇所から撮られた映像をつなぎ合わせて映し出すことで、より料理教室の雰囲気を楽しめるのではないかと考えられる。さらにプロジェクタを使用した場合（図 5 右部）は、キッチンの壁全体により大きく映像を投影でき、そこに複数の参加者の映像をつなぎ合わせて映し出すことで、他の受講生の空間と自分のキッチンをつなぎ合わせ、高い臨場感を得られることが期待される。

4.3.2 UI と操作方法の検討

IoT まな板のディスプレイに表示する情報の例を図 6 に示す。4.2 節で述べたように IoT まな板では、ロードセルセンサで得られた食材の重さ、講師と生徒の力の入れ具合を比較することができる。図 6 に示すように、その情報は使用中の IoT まな板の画面上に講師の調理動作映像に重畳して表示される。この映像を見ることで使用する食材の量を測定し、力の入れすぎが起こっていないかを自分自身で確認することができる。

IoT まな板は防水のためデバイスはすべてアクリル板の中にあり、ディスプレイに触れることができないためタッチパネルのような機能は使用できない。そのため、映像を他の参加者の調理映像に切り替える場合は、Tuana ら [10] が提案しているロードセルセンサにかけられる力によって行うことを検討している。しかし、ロードセルセンサによる操作では、複雑な指の動きをトレースすることは難しい。そこで、ロードセルセンサで識別が難しい UI 操作に関しては、あらかじめジェスチャーを定義し、IoT まな板に設置されたカメラから特定のジェスチャーを認識するアプローチを検討する。

これらの機能はまだ検討段階であり、今後仕様を確定し、IoT まな板デバイスと空間提示ソフトウェアを製作していく。

5. まとめと今後の展望

本研究では、HMD を使用せずに物理オブジェクトへの

精緻なインタラクションを遠隔ユーザ感で高い臨場感で共有するための新たな提示デバイスと空間提示法の開発に向けた提案を行った。ユースケースとして設定した料理教室を想定し、講師や他の参加者との間で調理の精緻な調理動作を臨場感高く共有するためのカメラとディスプレイ、ロードセルセンサを搭載したIoT まな板を設計した。また、そのデバイスを複数用いた場合や他のデバイスと組み合わせた場合の空間提示方法の検討を行った。

今後の予定としては、今回設計したIoT まな板の実装を進め、動作確認し、遠隔ユーザ間での共同調理実験を通じた使い勝手の評価を行っていく予定である。

謝辞 本研究の成果はNICT 課題222「ウイルス等感染症対策に資する情報通信技術の研究開発」の支援によるものです。

参考文献

- [1] 天野辰哉, 水本旭洋, 山口弘純, 松田裕貴, 藤本まなと, 諏訪博彦, 安本慶一, 中村優吾, 田上敦士: 新生活様式におけるコミュニティ形成のためのサイバーフィジカル空間共有基盤の設計開発, 第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集(DPSWS'21), pp. 129-138 (2021).
- [2] 西出恭平, 駒木建明, 原田史子, 島川博光: 仮想空間内を用いた職業体験の操作履歴に着目した職業適性抽出, *IEICE Conferences Archives*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (2011).
- [3] 小宮山撰, 亀川真吾, 柿沼育, 盛川浩志ほか: VR空間内におけるアバタとの視線コミュニケーション, 研究報告エンタテインメントコンピューティング(EC), Vol. 2018, No. 4, pp. 1-6 (2018).
- [4] Xiao, X. and Ishii, H.: MirrorFugue: communicating hand gesture in remote piano collaboration, *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pp. 13-20 (2010).
- [5] Nakauchi, Y., Fukuda, T., Noguchi, K. and Matsubara, T.: Intelligent kitchen: cooking support by LCD and mobile robot with IC-labeled objects, *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IEEE, pp. 1911-1916 (2005).
- [6] Urabe, S., Inoue, K. and Yoshioka, M.: Cooking activities recognition in egocentric videos using combining 2DCNN and 3DCNN, *Proceedings of the Joint Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities and Multimedia Assisted Dietary Management*, pp. 1-8 (2018).
- [7] Uriu, D., Namai, M., Tokuhisa, S., Kashiwagi, R., Inami, M. and Okude, N.: Panavi: recipe medium with a sensors-embedded pan for domestic users to master professional culinary arts, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 129-138 (2012).
- [8] Xu, D., Nair, S., Zhu, Y., Gao, J., Garg, A., Fei-Fei, L. and Savarese, S.: Neural task programming: Learning to generalize across hierarchical tasks, *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, IEEE, pp. 3795-3802 (2018).
- [9] Hashimoto, A., Inoue, J., Nakamura, K., Funatomi, T., Ueda, M., Yamakata, Y. and Minoh, M.: Recognizing ingredients at cutting process by integrating multimodal features, *Proceedings of the ACM multimedia 2012 workshop on Multimedia for cooking and eating activities*, pp. 13-18 (2012).
- [10] Celik, T., Lukács-Kisbandi, O., Partridge, S., Gardiner, R., Parker, G. and Bennett, P.: Choptop: An Interactive Chopping Board, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-6 (2018).
- [11] Pham, C., Jackson, D., Schoening, J., Bartindale, T., Ploetz, T. and Olivier, P.: FoodBoard: surface contact imaging for food recognition, *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pp. 749-752 (2013).
- [12] 田中一晶, 大城健太郎, 山下直美, 中西英之ほか: 遠隔窓口システム: 手書きの紙書類共有によるソーシャルテレプレゼンスの強化, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 2, pp. 411-418 (2019).
- [13] Onishi, Y., Tanaka, K. and Nakanishi, H.: PopArm: A robot arm for embodying video-mediated pointing behaviors, *2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, IEEE, pp. 137-141 (2014).
- [14] Nakanishi, H., Tanaka, K., Kato, R., Geng, X. and Yamashita, N.: Robotic Table and Bench Enhance Mirror Type Social Telepresence, *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, pp. 779-790 (2017).
- [15] 蓮雄一, 加藤直樹ほか: 星空ビジョン: 仮想空間での星空を介したコミュニケーションを支援するツールの開発, 研究報告コンピュータと教育(CE), Vol. 2021, No. 18, pp. 1-6 (2021).