

Chef * mo: 動画が調理器具を制御して調理を支援するシステムの提案

湯村 翼^{1,a)} 古舘 佑子¹ 松本 華歩² 竹澤 ひさみ¹ 栗原 一貴²

概要: 本研究では、動画が調理器具を制御して調理を支援するシステム Chef * mo (シェフモ) を提案する。Chef * mo では、料理動画に調理スクリプトを埋め込み、動画の内容に合わせて調理器具を制御して調理支援を行う。調理支援にも様々な形態があるが、Chef * mo が行う調理支援は、人と機械の協調となる領域である。コンセプト実装では、映像コンテンツを外部 Web サービスや IoT 機器と連携するためのフレームワーク srt.js を用いて調理スクリプトの記述と実行を行った。API 制御可能な調理器具を自作し、「かける」「混ぜる」「切る」の 3 種類の調理行動を実装した。これらを用いて「ドレッシングをかける」「卵を溶く」「豆腐を切る」という 3 つのユースケースを実施した。コンセプト実装の結果をふまえて Chef * mo の活用方法や可能性について議論と課題をまとめた。

キーワード: 料理, 動画, Internet of Things

1. はじめに

料理動画は、長年親しまれているコンテンツである。テレビ番組として料理を取り扱う番組は多く、代表的な料理番組であるキューピー 3 分クッキング [1] は、1962 年より始まり現在まで続く長寿番組である。最近では、スマートフォンの普及とあいまって、ちょっとした空き時間に視聴することができる 1 分料理動画 [2] が流行している。これらの料理動画を視聴することは、自分で料理をつくる際のレシピとして参考にするのが主たる目的であるが、動画視聴そのものを楽しむという目的もある。料理動画には、視聴者に限らず、公開者の楽しみもある。動画投稿サイトの普及や、SNS での動画投稿機能の実装により、動画を撮影して公開することは一般的な行動になった。そして、レシピ検索サイトのクックパッド [3] では、多くのユーザーがレシピを公開している。自分が開発したオリジナルレシピの情報を共有することにより、他の人の役にも立つという満足感を得ることができるためであろう。

現在の料理動画には、料理に関する情報を得るといった実益の側面と、動画の公開や視聴を楽しむという娯楽の側面がある。前者の実益を求めて料理動画を視聴する際には、

情報を得た後に実際に調理を行うのが最終的な行動である。調理の自動化や調理支援を行う技術 [4][5][6] は数多く存在するが、これらを料理動画と組み合わせ、動画に合わせて実際に調理支援を行うことで、料理動画の実益は大きく増すと考えられる。この動画と調理支援の融合は、調理に臨場感や楽しさが加わり調理体験が拡張されるなど、娯楽の側面への効果も期待できる

そこで、本研究では動画が調理を支援するシステム Chef * mo (シェフモ) を提案する。Chef * mo では、料理動画に調理スクリプトを埋め込み、動画の内容に合わせて、キッチンにある調理器具を制御して物理的な調理支援を行う。これにより、料理動画に調理支援を融合させ、利便性の向上と調理体験の拡張の効果を付与する。

2. 関連研究

2.1 機械による調理支援

機械による調理支援は、長年研究されている。機械と調理の関わりは深く、調理器具の発展が家庭用電化製品の発展の歴史と言っても過言ではない。現在私達が活用している調理器具の多くにはコンピュータが組み込まれ、電子レンジや炊飯器では材料やレシピに合わせて調理のパラメータを自動的に変更するような高機能なものも日常的に使用される。

Siio らは、センサやディスプレイなどのユビキタスコンピューティング技術を用いたキッチンの姿 Kitchen of the

¹ Chef * mo プロジェクト

Chef*mo Project

² 津田塾大学

Tsuda University

a) yumu.stp@gmail.com

Future[5]を提案した。この研究では、調理を単なる作業として捉えるだけではなく、学びとコミュニケーションが生まれる場としてキッチンに位置付けている。

Sugiuraらは、人がロボットと協調して調理するためのシステムCooky[6]を開発した。ここでいうロボットとは、調理に特化したロボットではなく、移動可能な汎用的なロボットである。Cookyでは、GUIによる作業順序を指示するインタフェースを構築した。このインタフェースを用いて食材の種類や加工のタイミングなどを入力し、人がロボットに指示する。ロボットによる食材の識別は、食材にARマーカを付与することで実現した。

調理を完全に自動で行う自動調理ロボットも、研究開発が進められる。食品加工や外食産業などを対象とした産業用のものが主流であるが、人の腕を模した形状のロボットアームによる調理支援を行うMoley[4]などのように、自動調理の技術はいずれ家庭に持ち込まれると考えられる。

Digital Gastronomy[7]では、切削機などのデジタルアプリケーションツールを活用して食材の加工を行う手法についてまとめられた。また、フード3Dプリンタなどの、料理を「出力」する研究も進められる[8]。これらは単に調理の手間をなくすにとどまらず、新しい料理の姿を実現する可能性を秘めている。

2.2 レシピとWeb

レシピは、料理をつくるために必要な材料や調理方法などの情報を書き記した手順書である。現在は書き手も読み手も人であるため、そのほとんどが自然言語で記述されるが、手順書という特性から、構造化された記述に向いている。Webでのレシピ共有を目的としたフォーマットとして、レシピをXMLで記述するRecipeML[9]がある。レシピに記述される調理手順はおおむね時系列順に記述されるため、srt.jsのような時系列スクリプトとの相性も良い。吉川と宮下[10]やYamakataら[11]は、調理手順をデータフローグラフとして記述する手法を提案している。

レシピ情報は、旧来より人が調理するために人が読むために記述されてきた。Webの登場以降も、情報の保管場所がWebに変わっただけで、人が読むという目的は変わっていない。渡邊らが提案したsmoon[12]は、Web上のレシピに記述された量の材料を自動的に計ることができる計量スプーンである。smoonでは、Web上のデータを人を介さずに直接道具が利用する、「Webの実体化」を提唱した。この考え方は、レシピと調理器具に限らず、様々な情報と道具に適用できる。

2.3 動画によるスクリプト実行

Chef * moでは、動画に合わせて調理スクリプト実行を行う。動画とスクリプト実行の融合のコンセプトは、映像コンテンツを外部WebサービスやIoT機器と連携する

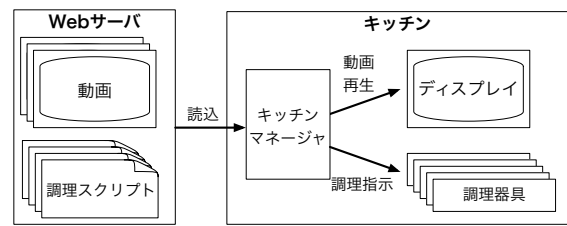


図1 Chef * moのシステム全体像。

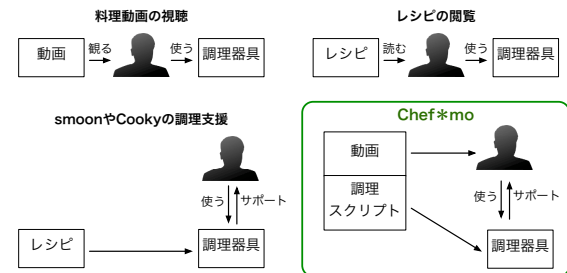


図2 従来の調理とChef * moのコンセプトの比較

ためのフレームワークsrt.js[13]に基づく。srt.jsは、字幕ファイルであるsrt形式にJavaScriptのプログラムを埋め込んだものを時系列スクリプトとして利用し、YouTubeの動画と連携する。Chef * moは、srt.jsのコンセプトを調理支援というユースケースにおいて深掘りし進展させたという位置付けでもある。Chef * moのコンセプト実装にもsrt.jsを利用している。

DecoMixer[14]とDecoby[15]は、動画の視聴者が、自分の好みに合わせてWebにアップロードされた動画にアレンジを加えるために開発された。動画の音量、再生速度などのパラメータ変更や映像装飾の重畳表示などを設定したシナリオに従って実行することが出来る。

3. Chef * mo

3.1 Chef * mo 概要

Chef * moは「動画が調理を支援する」システムである。動画の内容が調理の参考になるだけではなく、動画が物理世界のキッチンにある調理器具を制御して、物理的な調理支援を行う。

調理支援は、動画に付随する「調理スクリプト」の実行によって行う。調理スクリプトには、調理工程とその実行時間が記述される。調理スクリプトはレシピと似ているが、人間ではなくキッチンにある調理器具への指示のために記述されるという点が異なる。実行時間は、動画開始からの相対時刻で記述され、動画との同期のために用いられる。

Chef * moを実現するためのシステム構成を図1に示す。動画と調理スクリプトはセットになってWebサーバに置かれる。これは、YouTubeやクックパッドのようなWebサイトでUGC(User Generate Contents)として生成されることを想定する。

また、各家庭のキッチンには、調理器具全体を統括する

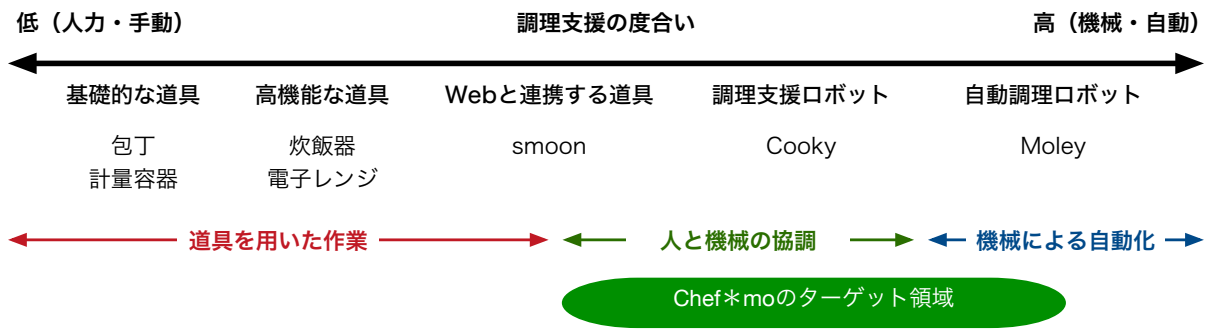


図 3 既存の調理支援手法の調理支援の度合いの比較.

キッチンマネージャ、動画を表示するためのディスプレイ、キッチンマネージャから制御可能な調理器具が設置される。キッチンマネージャは、ディスプレイへの動画表示を行うとともに、調理スクリプトを読み込んで動画の再生時間に応じて調理器具に調理指示を送る。

3.2 Chef * mo の調理支援の形態

動画や調理器具による調理支援は、これまでも存在する。これらと Chef * mo での調理支援の形態の違いを図 2 にまとめる。

従来、動画やレシピの情報を用いて調理を行う際、まず動画やレシピを見た人がその情報の内容を理解する。情報の内容を理解した人は、その情報に沿って道具を使い、調理を行う。

smoon や Cooky などの調理支援では、レシピは人ではなく道具やロボットが直接読み込み、道具やロボットが調理支援行動を行う。完全自動ではないが、人が介在せずに道具が調理を支援する。

Chef * mo では、動画に調理スクリプトが付随する状態で情報が存在する。この調理スクリプトは、人ではなく道具への指示のために用いられる。道具の使い方や、調理のコツなど、調理を補足するような人へ向けた情報は、動画によって伝えられる。

3.3 Chef * mo の調理支援の度合い

調理支援と一言で言っても、人の調理行動の効率が少し良くなる程度のものから、調理を機械にまかせて完全に自動化するものまで、様々なレベルのものがある。Chef * mo がターゲットとする調理支援の種類を整理するために、調理支援の度合いを軸として既存の調理支援手法をまとめた。調理支援手法の比較と Chef * mo が行う調理支援のターゲットを図 3 に示す。

調理支援を行う道具や機械として 5 つの種類を挙げ、それぞれ例を示す。「基礎的な道具」は、包丁や計量容器といった人力での調理を支援する道具を指す。「高機能な道具」は、炊飯器や電子レンジといった、人の軽微な操作によって調理を実行する道具を指す。「Web と連携する道具」

は、smoon のように人を介在せずに Web 上の情報を取得し動作する道具を指す。「調理支援ロボット」は、Cooky のように、完全に自動ではなく人と協調することを想定した機械を指す。「自動調理ロボット」は、Moley のように、完全に自動で調理を行う機械を指す。このように、調理支援の度合いによって、様相は異なる。これらを整理するため、人と機械の関係によって人が主で道具が従となり人が道具を使う「道具を用いた作業」人と機械が対等で一緒に作業を行う「人と機械の協調」機械が人から独立して独自に作業を行う「機械による自動化」の 3 段階に分けた。

Chef * mo では、人が動画を見ながら調理を行うことを想定するため、機械が単独で作業を行う必要はない。一方、Web から機械への指示には人は介在せずレシピが直接行う。そのため、Chef * mo がターゲットとするのは、人と機械の協調となる領域である。ただし、映画視聴時に調理シーンにあわせて自動調理するなど、ユースケースによっては機械が単独で作業を行う場合もありうる。

4. コンセプト実装

Chef * mo のコンセプトを体現するため、srt.js のフレームワークを利用してシステム実装を行った。動画は、YouTube にアップロードされていた既存の調理動画 (表 1) を使用した。調理スクリプトは、srt.js の形式に従い、JavaScript の実行コードが埋め込まれた字幕ファイルとして記述した。キッチンでは、ラップトップで動作する Web ブラウザがキッチンマネージャを担う。Web ブラウザが srt.js ファイルの内容を解析し、動画の再生時刻に応じて調理指示を送る。動画は、YouTube の動画を Web ブラウザで再生し、ラップトップ本体のディスプレイに表示した。調理器具は、WebAPI で制御できるサーボモーター Webmo[16] を利用して自作した。サーボモーターの回転運動を調理行動に変換することで、簡易的に調理器具として利用する。代表的な調理行動のうち、「かける」「混ぜる」「切る」の 3 種類の調理行動を実装し、

- ドレッシングをかける
- 卵を溶く
- 豆腐を切る

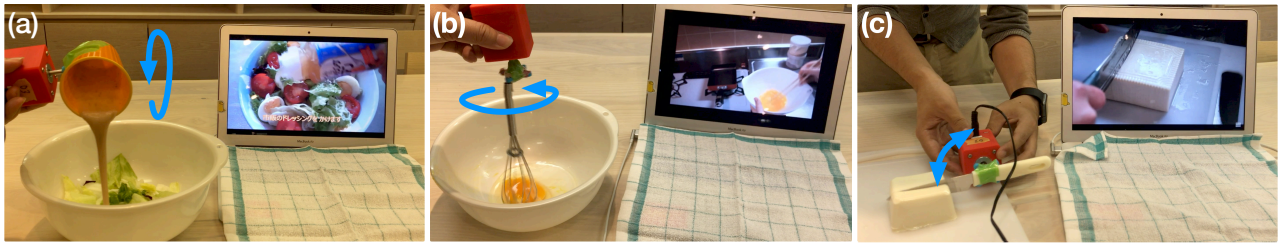


図 4 Chef * mo のコンセプト実装. (a) ドレッシングをかける, (b) 卵を溶く, (c) 豆腐を切る

表 1 コンセプト実装に用いた動画.

ユースケース	URL
ドレッシングをかける	https://youtu.be/0-vqQpmBoDg
卵を溶く	https://youtu.be/qKiIrZlqwq0
豆腐を切る	https://youtu.be/W448hVxpjiw

という 3 つのユースケースを実施した. 実施の様子を図 4 に示す. 加えて, 撮影した動画は YouTube で公開している [17].

ドレッシングをかける

Webmo にコップ取り付け, コップにドレッシングを入れてサラダの上に配置し, Webmo の回転によりコップを回転させてドレッシングをかける. サラダをつくる動画で, ドレッシングをかけるシーンに合わせて実行した. コップにドレッシングを入れる事前準備は手動で行った.

卵を溶く

Webmo に泡立て器を取り付け, 泡立て器を卵の入ったボウルに入れ, Webmo の回転により泡立て器を回転させて卵を溶く. 卵焼きをつくる動画で, 卵を溶くシーンに合わせて実行した. 卵を割ってボウルに入れる事前準備は手動で行った.

豆腐を切る

Webmo にナイフを取り付け, Webmo を特定の角度内で往復回転させることでナイフを上下に動かして豆腐を切る. 調理動画で, 豆腐を切るシーンに合わせて実行した. 豆腐をまな板にのせる事前準備と, 切る位置の調整は手動で行った.

5. 議論

5.1 Chef * mo の活用

Chef * mo での調理支援は, 調理の練習や遠隔調理支援に活用できる. 料理学校のように少人数の講師が多数の生徒に調理を教えるような場面での活用も期待される.

さらに, 動画で調理体験を拡張することもさまざまな方

法が考えられる. 動画内で人が調理していれば, 擬似的にその人と一緒に調理する体験ができる. 家族や友人, 好きなタレントやキャラクターなどを登場させ, 一緒に調理を行うことで調理そのものが楽しくなる. 一流料理店で有名シェフが調理している映像を流せば, 自分もその一員になったような体験ができる.

連携する動画は, 調理そのものの映像以外にも様々な動画が考えられる. 食材の調達シーンなど, 料理の魅力が引き立つような動画を流せば, できあがった料理がより美味しく感じられるであろう. 安価な食材をつかいないながらも, 高級食材をつかった料理のように錯覚をもたらす効果も加えることができる.

映画やアニメのシーンで, 料理が登場するタイミングに合わせて調理を行うという活用法も考えられる. けものフレンズ CAFE[18] のように, 飲食店が映画やアニメにちなんだ料理を提供するコラボレーション企画は多いが, Chef * mo によってこのような体験を家庭でも実現できる.

5.2 調理器具

本論文のコンセプト実装では, 汎用アクチュエータとして Webmo を利用し, 回転運動を 3 つの調理動作に変換した. より複雑なリンク機構を駆使することで, 様々な調理動作を再現することが可能である. Mechanical Hijacking[19] のように, 既存機器のボタンやつまみを操作して制御する手法も考えられる.

さらに, 調理器具をつくる工程も調理スクリプトの一部として記述して実行することも考えられる. f3.js[20] はひとつのソースコードで筐体まで含めて IoT 機器を設計できるツールである. Cardboard Machine Kit[21] では, モーターを使って任意の動作を行うツールを作成する手法を提案した. このような手法を使えば, 必要な調理器具が家庭になくともオンデマンドで用意することができる.

また, 調理支援器具の自作も増えている. ふりかけにご飯でドット絵を描画するふりかけプロッタ [22] は, 3D プリンタの構造を活用して作られた. メーカー達の祭典 Maker Faire Tokyo 2017[23] では食品カテゴリが設けられ, 本格だしメーカー「BUSHI」[24], クレープロボット「クレープ」[25] といった機器が披露された.

流量制御が可能なボトルキャップ Smart Bottle Cap[26] や、2種類の飲料の混合比を任意に決めることができる水筒 ChanJar[27] は、それぞれスマートフォンアプリから制御可能な器具である。これらは、容器としてのもとの役割を維持しつつ、追加で機能を付与する。

IoTの流れとともに、照明やエアコンなどのさまざまな家電製品がAPIを持ちコンピュータからの制御を受け付けるようになってきている。現在の調理器具は人が操作する前提でつくられているが、調理器具もAPIをもつようになれば、より自然に動画が調理を支援する環境が整う。

5.3 調理スクリプトの作成

本論文のコンセプト実装では、調理工程を srt.js ファイルに記述することによって調理スクリプトを作成した。srt.js では JavaScript の関数を記述するが、ライブラリを扱うこともできるため、代表的な調理工程を Chef * mo 標準仕様として定め、それらの調理指示に必要な処理をプラグインのような形でキッチンマネージャにインストールすることで、各家庭に置かれる調理器具の差異を吸収することができる。と考える。

調理スクリプト作成の手間も課題のひとつとなる。自然言語で記述されたレシピや、RecipeML[9]、データフローグラフ [10][11] を元データとして srt.js 形式のファイルを生成すれば、スクリプト記述の手間を省くことができる。調理映像の行動解析研究 [28] も進められる。カメラ等で撮影した映像から自動的に調理スクリプトを生成するような仕組みが導入できれば、調理スクリプト作成の敷居は下がる。

5.4 物理世界と動画の融合

Chef * mo の特徴の一つとして、ユーザが調理している物理世界と動画の中の世界が融合することがあげられる。Virtual Reality(VR) や Augmented Reality(AR), Mixed Reality(MR) の技術を活用した物理世界と動画をつなぐ研究が進められる。この技術の活用により、Chef * mo がもたらすエンタテインメント性を高められると考えられる。

WorldConnector[29] は、奥行き方向に棒が映った映像コンテンツを作成し、その動画をタブレット等のポータブル端末で再生する。映像内の棒とつながるように端末のディスプレイにも棒が付与されており、物理世界側の棒を持つと動画内の棒も持っているような帰属感を得る。VRMixer[30] は、物理世界にて RGB-D カメラを利用してユーザの映像を切り出し、ダンス動画の中に入り込むことができる研究である。ユーザがダンス動画の中に入り込んでいるように見え、擬似的に没入感を得ることができる。このような没入感を高める仕組みは、Chef * mo においても有用であろう。

また、動画は液晶ディスプレイ等で固定の場所に映し出

されるだけではない。プロジェクターや HoloLens[31] を使ってキッチンの任意の場所に投影すれば、調理中の食材に映像エフェクトを重畳するなど、調理支援における拡張の幅が広がる。Watanabe らは日常生活の待ち時間に合わせたコンテンツ提供システムを提案し、その一例として動画を閲覧する電子レンジ CastOven[32] が作られた。動画の表示ディスプレイとして家電機器を利用するアイデアは、Chef * mo にも活用できる。

6. 課題

Chef * mo のコンセプト実装によって、いくつかの課題が明らかになった。

まず、調理スクリプトに記述する調理行動の粒度である。既存のレシピは、自然言語処理で書かれ人が読むため、暗黙の前提を省略して書くことが多い。例えば、食材を切る時に「食材をまな板の上に移動させる」や調味料を混ぜるときに「調味料を器に注ぐ」などは省略される。コンセプト実装ではこのような準備工程の記述は省略し人力で行ったが、機械が自動で行うか、Drill Sergeant[33] や Smart Makerspace[34] のように人が作業しやすくなるよう作業補助することが望ましい。そのためには、準備工程をパターン化して、スクリプトのライブラリ等でまとめるなどの工夫が必要となる。レシピ解析研究の発展による知見を期待したい。

コンセプト実装では、既存の調理動画から Chef * mo に使えるものを選び、調理スクリプトのみを追加で作成した。既存の調理動画は、人が視聴するために作られているので、実際の調理工程を全て再生されるのではなく、要点を絞った調理工程のみが動画に含まれる。このため、動画に合わせて調理を行うと、時間スケールが合わない。調理工程の進捗に合わせて動画の再生や一時停止を行い、動画と調理の同期を取るような仕組みの導入が必要である。これには、QR コードやジェスチャ入力を用いて人間が明示的に動画の再生を制御する方法や、調理の様子を撮影して画像解析を行い調理の進捗を自動的に判別する方法などが考えられる。

また、既存の調理動画を利用したため、Chef * mo 用の調理動画の作成は行っていない。今後は調理動画作成も含めて、よりコンセプトに近いシステム実装を行う必要がある。

本論文で行った実装はコンセプト実装のため、調理行動のうち「かける」「混ぜる」「切る」という3つの工程を、それぞれ単独の工程として行った。実際の調理は、これらの工程の連続となる。調理工程単体での実験ではなく、実際の調理場面に合わせて使ってみる必要がある。

7. まとめ

本論文では、動画が調理を支援するシステム Chef * mo

のコンセプトを提唱し、srt.js と Webmo を用いたコンセプト実装を行った。Chef * mo の活用方法や課題、可能性について議論をまとめた。

食事は、栄養を摂取するための人間の根源的な活動である。しかし現代における食事はそれだけにとどまらず、日常生活における楽しみという役割を担う。将来的に Moley のような自動調理システムが各家庭のキッチンに導入されれば、毎日の食事のために調理を行う必要はなくなるかもしれないが、料理が備えるエンタテインメント性については、調理の手間とは別の側面として考慮する必要がある。今後、API 制御可能な調理器具や調理支援技術の普及が進めば、また、動画がより生活に溶けこむよう技術が進歩し生活スタイルが変化すれば、Chef * mo のコンセプトが活用される場面は広がる。

謝辞

本研究は、str.js ハッカソンで生まれた成果です。ハッカソン運営に協力頂いた Mashup Awards 事務局と、Webmo の機材提供と技術支援で協力頂いた Cidre Interaction Design に感謝します。

参考文献

- [1] キューピー 3 分 クッキング : <http://www.ntv.co.jp/3min/>.
- [2] kurashiru: <https://www.kurashiru.com/>.
- [3] クックパッド: <https://cookpad.com/>.
- [4] Moley: <http://www.moley.com/>.
- [5] Siio, I., Hamada, R. and Mima, N.: Kitchen of the future and applications, *Human-Computer Interaction. Interaction Platforms and Techniques*, pp. 946–955 (2007).
- [6] Sugiura, Y., Sakamoto, D., Withana, A., Inami, M. and Igarashi, T.: Cooking with robots: designing a household system working in open environments, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 2427–2430 (2010).
- [7] Mizrahi, M., Golan, A., Mizrahi, A. B., Gruber, R., Lachmish, A. Z. and Zoran, A.: Digital Gastronomy: Methods & Recipes for Hybrid Cooking, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, ACM, pp. 541–552 (2016).
- [8] Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J. Y. and Hong, G. S.: An overview of 3D printing technologies for food fabrication, *Food and bioprocess technology*, Vol. 8, No. 8, pp. 1605–1615 (2015).
- [9] RecipeML - Format for Online Recipes: <http://www.formatdata.com/recipe/ml/>.
- [10] 吉川祐輔, 宮下芳明: グラフィカルデータフローによる調理レシピプログラミング言語の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2010, No. 4, pp. 1–7 (2010).
- [11] Yamakata, Y., Imahori, S., Sugiyama, Y., Mori, S. and Tanaka, K.: Feature extraction and summarization of recipes using flow graph, *International Conference on Social Informatics*, Springer, pp. 241–254 (2013).
- [12] 渡邊恵太, 佐藤彩夏, 松田聖大, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: smoon: Web の実体化による行動支援とその試作, 第 19 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関する

- ワークショップ (WISS2011) 論文集 (2011).
- [13] 栗原一貴, 橋本美香: srt.js: 映像コンテンツへの IoT 指向拡張プログラム埋め込みフレームワーク, 第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2016) 論文集 (2016).
- [14] 中村聡史, 石川直樹, 渡邊恵太: 個人的な小さな幸せを実現するブラウザ上での動画編集・共有手法, 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2013) 論文集 (2013).
- [15] 松田混平, 中村聡史: 動画に対する音響的装飾の分析と視覚的装飾を可能とする手法の提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, pp. 458–464 (2015).
- [16] 原 健太, 渡邊恵太: Webmo: Wifi と WebAPI をパッケージングしたステッピングモーター, 第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2015) 論文集 (2015).
- [17] Chef*mo - Movie Supports Cooking - YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=rTQyHSDoDj8>.
- [18] けものフレンズ CAFE: <http://japaricafe.jp/>.
- [19] Davidoff, S., Villar, N., Taylor, A. S. and Izadi, S.: Mechanical hijacking: how robots can accelerate UbiComp deployments, *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, ACM, pp. 267–270 (2011).
- [20] Kato, J. and Goto, M.: f3.js: A Parametric Design Tool for Physical Computing Devices for Both Interaction Designers and End-users, *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, ACM, pp. 1099–1110 (2017).
- [21] Peek, N., Coleman, J., Moyer, I. and Gershenfeld, N.: Cardboard Machine Kit: Modules for the Rapid Prototyping of Rapid Prototyping Machines, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*, pp. 3657–3668 (2017).
- [22] 浅野 義 弘: ふりかけプロッタ: LunchBot, <http://ah3dprintshop.com/2142>.
- [23] Maker Faire Tokyo 2017: <http://makezine.jp/event/mft2017/>.
- [24] 野本かもめ, 西岡勇人: 本格だしメーカー「BUSHI」, <http://makezine.jp/event/makers2017/m0299/>.
- [25] モリロボ: クレープロボット「クレー」, <http://makezine.jp/event/makers2017/m0348/>.
- [26] Nijjima, A., Kusabuka, T., Uchida, S., Watanabe, T. and Yamada, T.: Smart Bottle Cap, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, Vol. 100, No. 10, pp. 2462–2464 (2017).
- [27] 松本華歩, 村上真菜, 栗原一貴: ChanJar: 自由に 2 つの液体の混合比を変更できる水筒の開発, 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2017, No. 8, pp. 1–8 (2017).
- [28] Hashimoto, A., Sasada, T., Yamakata, Y., Mori, S. and Minoh, M.: Kusk dataset: Toward a direct understanding of recipe text and human cooking activity, *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, ACM, pp. 583–588 (2014).
- [29] 渡邊恵太, 中村聡史: WorldConnector: カメラへの身体性付与による映像世界へ入り込むインタフェース, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2014).
- [30] Hirai, T., Nakamura, S., Yumura, T. and Morishima, S.: VRMixer: Mixing Video and Real World with Video Segmentation, *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 1–7 (2014).

- [31] Microsoft: HoloLens, <https://www.microsoft.com/hololens> (2016).
- [32] Watanabe, K., Matsuda, S., Yasumura, M., Inami, M. and Igarashi, T.: CastOven: A Microwave Oven with Just-in-time Video Clips, *Proceedings of the 12th ACM International Conference Adjunct Papers on Ubiquitous Computing - Adjunct*, UbiComp '10 Adjunct, ACM, pp. 385–386 (2010).
- [33] Schoop, E., Nguyen, M., Lim, D., Savage, V., Follmer, S. and Hartmann, B.: Drill Sergeant: Supporting physical construction projects through an ecosystem of augmented tools, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 1607–1614 (2016).
- [34] Knibbe, J., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: Smart Makerspace: An immersive instructional space for physical tasks, *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, ACM, pp. 83–92 (2015).