Cooky: 調理順序指示インタフェースと料理ロボットの開発

Cooky: Cooking procedure instruction interface with small robots

杉浦 裕太　坂本 大介　**Anusha Indrajith Withana**　稲見 昌彦　五十嵐 健夫*

Summary. 家庭用電化製品はそのインタフェースを用いて柔軟に人と協調作業を行うことができる点において多くの人が使える家庭用機械として発展してきた．我々は家庭用ロボットにおいてもインタフェースを用いて人と柔軟な協調作業を実現することができると考えている．特に，実世界を動き回ることができる家庭用ロボットにおいては動作指示，特に作業順序の指示を行うことが重要であり，これを実現することができるインタフェースを開発することで家庭用ロボットの新たな側面を発見できると考えている．そこで，本稿では家庭におけるロボットへの柔軟な動作指示，および作業順序（プロシージャ）の指示インタフェースと，これを実行するロボットを含めたシステム（Cooky）の提案を行う．本システムでは「料理」の作業に注目し，この作業順序を指示するためのインタフェースを提案する．本インタフェースではユーザは火力や食材を入れるタイミング，さらに鍋をかき混ぜるタイミング，調味料を入れるタイミングを指示することができる．また，実際の料理作業を行うために，それぞれが役割を持った複数台のロボットを用意し，ユーザからの指示をもとにして実際に料理作業を行う．本稿ではこのインタフェースの実装と，動作指示の結果としてロボットによる調理を行い，実際にシステムが動作することを確認したため，これを報告する．

1　はじめに

ロボティクスやメカトロニクス技術の発展により，産業分野だけではなく家庭においてもロボットと呼ばれる自動機械が普及し始めている．この中にはiRobot 社の Roomba[1]に代表される掃除ロボットだけではなく，ホビー用途としての二足歩行ロボットなどもある．しかし，残念ながら実際の家庭において役に立つものは少ない．一方で，現在一般家庭に広く普及している電化製品に注目してみると，それぞれがある程度自動的に作業を遂行することはできても，本質的な部分ではユーザの指示に頼っていることがわかる．例えば，炊飯器の場合にはどのようにご飯を炊くのか，お粥なのか，炊き込みご飯なのか，などはユーザが炊飯器のインタフェースを通して指示をしている．また，電子レンジにおいては，何をどのように調理するのかについてはユーザが多くの部分を電子レンジのインタフェースを通して指示する必要がある．この点において現在の電化製品はユーザの指示を忠実に実行する機械であるという点において重要であると捉えることができる．また，家電製品が普及した大きな理由の一つに「家事を非同期で行ってくれる」ことがある．この結果として，

図 **1. Cooky:** 調理順序指示インタフェースと料理ロボット

ユーザにとっては家事にかける時間を短縮することができ，このため我々の生活に必要不可欠な存在になり得たと考えることができる．

我々はロボット（本稿では空間を自由に動き回ることができる機械をロボットと呼ぶ）においても，その動作指示インタフェースと，これによる柔軟なインタラクションを実現することで，実際の家庭において役に立つ存在になり得ると考えている．特に，ロボットにおいては作業順序（プロシージャ）の指示が重要となると考えている．例えば，コーヒーメーカーで珈琲を入れる作業を考えた場合に「まず，豆を用意しペーパーフィルターに入れ，セットする．水をタンクに入れて，スイッチを押す．できあがったらコップに移して，砂糖やミルクを入れる，または入れない.」といった順序の指示をどのように行う

Copyright is held by the author(s).

* Yuta Sugiura, Anusha Indrajith Withana and Masahiko Inami，慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 / JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト，Daisuke Sakamoto and Takeo Igarashi，東京大学大学院情報理工学系研究科 / JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト

[1] http://www.irobot.com/

かが重要となり，またこのインタフェースが必要となる．さらに，家庭におけるインタフェースは柔軟で，分かりやすく，シンプルであることが求められる．さらに，これを実現することがロボットを家庭に普及させるために最も重要であると考えている．

本稿では家庭において最も重要な仕事の一つである「料理」作業に注目し，これを半自動的に行うための作業順序指示インタフェースの提案と，実際の料理作業を行うための料理ロボットを含めたシステム（Cooky）の開発を行う．具体的には，ユーザは料理レシピから作りたいものを選択し，必要な手順を踏むことで長時間キッチンに立つことなく，ロボットが料理を作ってくれるシステムを開発する．本システムにおいては鍋の火力や，食材を投下するタイミング，鍋をかき混ぜるタイミングなどを動作指示インタフェースを通して柔軟に指示することができる．さらに，実際の調理を行うために専用の料理ロボットを開発する．本稿では開発するシステムを使用して実際に料理を行い，本システムが十分に料理を作ることができたことを確認したため，これについて報告する．

2 関連研究

これまでに人の生活環境におけるロボットの自律的なタスク実行に関する研究は様々に行われてきている．特にヒューマノイドロボットは，人の代わりに自律的に作業を行う存在として，大きな期待が寄せられてきた．岡田らは等身大ヒューマノイドロボット HRP2[3] を開発し，ハードウェアとソフトウェアの統合プラットフォームを構築して，野菜を切る，お茶を入れる，物を拾う等の複雑な動作のプランニングを実現している [4]．ヒューマノイドロボットは人間の体格との類似性から既存の道具を用いやすかったり，学習のゴールが見えているという利点はある．しかし，現在のヒューマノイドロボットでは完全に自律的にタスクを実行することは難しい．人の介在を許した状況においてもヒューマノイドロボット自体の操作が難しく，安定して動作させることは難しい．このため日常生活でユーザを満足させるだけのサービスを提供する段階には至っていない．さらに，家庭において家事を行うロボットが人型である必要性があるかどうかについて大きな疑問も残る．作業を行うロボットにはそれに最適な形態を持つほうが合理的であると考えられるためである．

一方で，自律的で知的な行動を学習や制御系によって実現するよりも，より実践的に操作性を向上させる仕組みとして，人間とのインタラクションを積極的に取り入れた研究もある．村上らは人型ロボットの遠隔操作のインタフェースとして，コンピュータの GUI 操作を模したユーザフレンドリな操作システムを提案している [6]．坂本らは俯瞰カメラにおいてペンストロークによるロボット操作を実現した [2]．また，Zhao らはカードを利用して非同期的な作業指示を行うことができるシステムを開発した．さらに，Kemp らはレーザーポインターをコンピュータのマウスのように使用することで，実世界における物体選択とロボットによる作業実行システムを開発した [7]．

料理のためのインタフェースの提案に関して，加藤らは現実の料理で見えない調理状態の推測を支援する料理シミュレータを提案している [5]．現実での調理支援の研究として，山肩ら [8] や椎尾ら [9] はカメラやマイクなどセンシング機器を埋め込み，ディスプレイを設置するなど情報化したキッチン環境を用意し，調理者の行動を認識することで，調理の記録コンテンツの作成や既存の固定化されたレシピ情報から調理者に対して次の操作を指示する調理支援を研究している．また，中内ら [10] は，キッチンで，次に必要とされる作業を推測して，移動ロボットの指示による支援を行うシステムを開発している．

我々が提案するシステムではこれらの先行研究と比較し，次のような特徴がある．1. 料理支援ロボットを利用することで調理時の物理的な負担を軽減できる．2. ユーザはシステムに対して，自身の料理手順を指示をすることで，自身に適した料理を作ることができる．3. 複数台のロボットと IH クッキングヒータが同時に動作することによって，ユーザからの複雑な指示に対して，柔軟に対応することができる．4. システムが作動中でも，ユーザとシステムが協調して作業を遂行可能な開かれた環境を構築できる．

3 本システムの利用シナリオ

本システムでは利用シナリオとして，専用レシピを利用したシナリオと，ユーザが自由に指示を与えるシナリオの二通りのシナリオを提案する．以下に詳細を示す．

3.1 専用レシピを利用したシナリオ

本シナリオでは，現在の高機能電子レンジのように「ユーザがレシピから作りたい料理を選び，下ごしらえをした後，電子レンジが調理をしてくれるように，小型料理ロボットが調理をする.」というシナリオを設定する．本シナリオの特徴としては，自身が調理過程を知らなくとも，システム上で調理のタイミングをダウンロードすることで，最適なタイミングで自動的に調理を行うことができる．以下に簡単に具体例を示す．また，これに対応した図を図 2 に示す．

(a). 本システム専用のレシピ本を取り出し，好みの料理を選択する．

(b). レシピに書いてある食材を準備する．食材を専用の皿に配置し，レシピ上で食材と対応づ

けられたマーカーを皿の上部に取り付ける．

(c). システムを起動すると，先ほど対応づけた食材に合ったイラストが付加される．メニューにあったおすすめのタイミングをダウンロードする．また，必要に応じて調味料の量を増やすなどの指示を行うことができる．

(d). ロボットは指示にしたがって食材や調味料を鍋に投下していく．

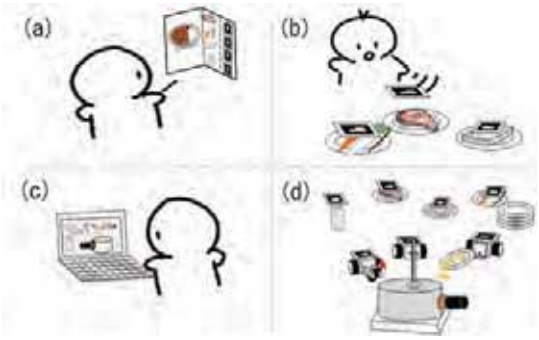

図 **2.** シナリオ:専用レシピを利用した例

試作した専用レシピを図 3 に示す．本レシピには，食品のイメージ，その食品に最適なタイミングの指示，準備する食材リスト，それに対応したタグが記載されている．タグの裏には食品の名前が記載されており，使用後は再びレシピに戻すことができる．

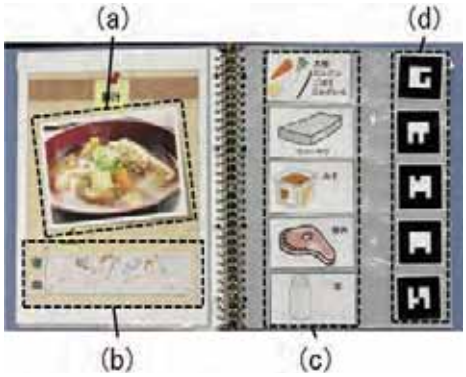

図 **3.** 専用のレシピ：食品 **(a)**；料理に適したおすすめのタイミング **(b)**；食材 **(c)**；マーカー **(d)**

3.2 オリジナルの料理を作成するシナリオ

本シナリオでは，専用レシピを利用せず，我々が提供するインタフェースによりユーザがオリジナルの料理を作る作業手順を示す．本シナリオでは予め食材に対応したカードがユーザに提供される．本シナリオで利用する専用のカードを図 4 に示す．本カードの表面には，食材の名前とイラストが記載されている．まずユーザは，下ごしらえした食材を箱に入っているカードと対応づけて，皿に配置する．また，同じタイミングで複数の食材を鍋に投下したい場合，カードを皿の上に重ならないように配置することで，システムは一つの皿の上に複数の食材が配置されていることを認識することができる．次にインタフェースを起動し，ドラッグアンドドロップなどの作業で食材をタイムライン上に配置しオリジナルの調理手順を指示する．その後，ロボットは指示に従って調理を行う．ユーザがカードに登録されていない食材を用意した場合には，食材名とイラストが無記入のカードを Web カメラにかざし，登録画面上で食材名を入力する．次回以降は，カードリストの一つとして扱うことができる．本シナリオで作成された調理手順は将来的にはウェブ経由でユーザ同士が共有することができる枠組みとして実装することができ，このため cookpad[2]のようなウェブサービスとして実装することも可能であると考えている．

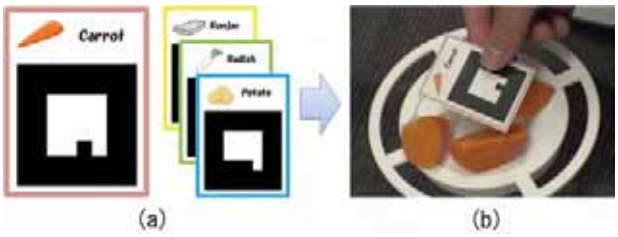

図 **4.** 専用カード **(a)**，専用の皿にカードを配置する様子 **(b)**

4 システム構築

本システムは調理手順を指示するためのインタフェースと，その指示を実行するためのロボットで構成される．本システムではユーザからの調理に関する指示である，1. 火力の調節，2. 食材を投入するタイミング，3. 鍋をかき混ぜるタイミング，4. 調味料を投入するタイミングの 4 つの指示を受け付けることができる．本システムではこれらを実現するための，それぞれの作業に対応した小型ロボットが含まれる．また，ロボットを動作させるためにその位置を計測するためのカメラや，システムが動作するコンピュータが含まれる．以下にシステムの各機能の詳細を示す．また，本稿で開発するシステムの構成図を図 5 に示す．

4.1 調理手順指示インタフェース

本システムにおいてユーザはタイムラインに沿って，火力，食材を鍋に投下するタイミング，鍋をかきまぜるタイミング，調味料を投入するタイミングをドラッグアンドドロップなどの操作で指示するこ

[2] http://cookpad.com/

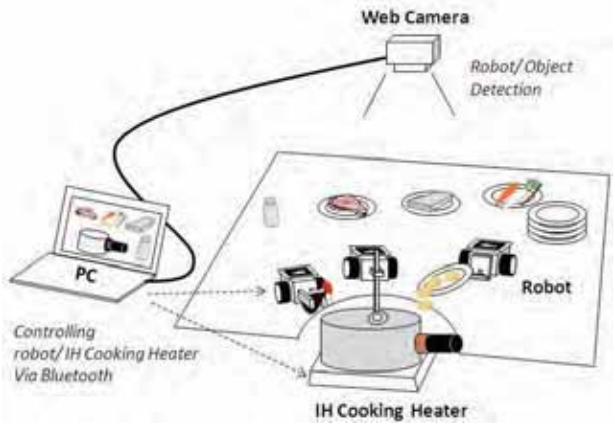

図 **5.** システム概要図.

とができる．以下に試作したインタフェースが有する機能の詳細を示す.

4.1.1 火力の指示

ユーザは火力入力画面上で，クリックをすることにより，そのタイミングに合わせた火力を指示することができる.

4.1.2 食材を投下するタイミング，鍋をかきまぜる作業の指示

ユーザがタグ付けした食材はシステムによって認識され，あらかじめデータベース化されている食材のイラストが GUI 上に付加される．ユーザはそれをドラッグアンドドロップし，タイムラインに並べることで，食材を鍋に投下するタイミングをロボットに指示することができる．また鍋をかきまぜるロボットにもあらかじめイラストが用意されていて，食材と同様にドラッグアンドドロップでかきまぜるタイミングをタイムラインに並べることで，鍋をかき混ぜるタイミングを指示することができる.

4.1.3 インタフェースの機能説明

以下に，開発したインタフェースの機能を示す.

(a). 俯瞰画面：料理ロボットシステムの全体を俯瞰視点で確認することができる.

(b). 食材のイメージ：マーカに対応した食材のイメージが表示される.

(c). 調理のタイムライン：食材をタイムラインにドラッグアンドドロップすることで調理のタイミングを指示することができる.

(d). 火力を入力するタイムライン：火力画面をクリックすることで，タイミングに合った火力を入力することができる.

(e). 鍋の様子が拡大された画面：調理状況を確認できる.

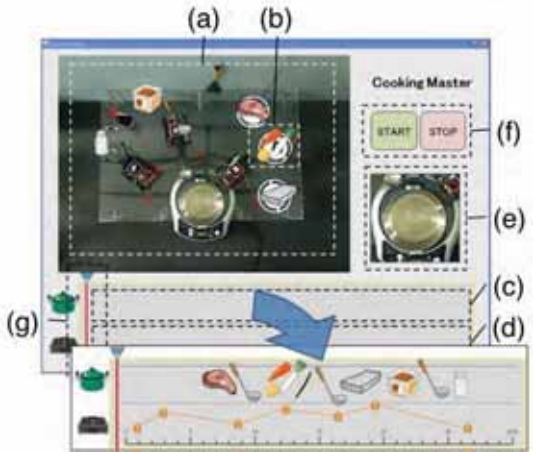

図 **6.** 操作画面：俯瞰画面 **(a)**；食材のイラスト **(b)**；食材を投下するタイミングと鍋をかきまぜるタイミングを指示するタイムライン **(c)**；火力を入力するタイムライン **(d)**；鍋の様子が拡大された画面 **(e)**；調理開始，停止ボタン **(f)**；タイムバー **(g)**.

(f). 調理開始，停止ボタン：START ボタンをクリックすると調理が開始し，STOP ボタンを押すと調理作業が停止する.

(g). タイムバー：START ボタンをクリックすると，時間の経過とともにスライドバーが右方向に移動する．ユーザは，タイムバーを見ることで調理がどの段階にあるのか確認できる.

4.2 自動料理のためのハードウェア

4.2.1 料理作業ロボット

本稿で開発するシステムでは，料理作業ロボットとして 3 台のロボットを作成した．各々のロボットは，2 つの車輪および，駆動モータからなる移動機構と，物をつかむためのハンドとこれらを制御するマイクロコントローラを備える自走式のロボットである．ロボットにはあらかじめ，車輪の「前進」「後進」「右回転」「左回転」やハンドの「つかみ」「放し」などの動作はマイクロコントローラ内にプログラムされており，コンピュータから各動作に対応す

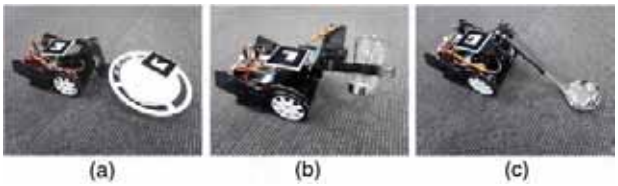

図 **7.** 料理作業ロボット：食材を運搬し，鍋に投下するロボット **(a)**；調味料を運搬し，鍋に投下するロボット **(b)**；調理具を運搬し，鍋を混ぜるロボット **(c)**.

る制御命令を送受信することで，ロボットの動作を制御することができる．調理中には「食材を投下しながらかき混ぜる」など，同時並行で仕事をする場面を想定し，複数台のロボットを協調させて調理することが可能な設計にした．

以下に各ロボットの詳細を示す．

(a). 食材を運搬し，鍋に投下するロボット：このロボットは，アーム部分がサーボモータによってピッチ方向に 1 自由度拡張されており，皿の縁を引っかけると同時に持ち上げることが可能な機構を取り付けることで，皿を運ぶと同時に，鍋に食材を落とすことができる．

(b). 調味料を運搬し，鍋に投下するロボット：このロボットは，アーム部分がロール方向とヨー方向に 1 自由度ずつ拡張されており，ヨー軸で調味料が入った瓶をつかみ，ロール軸で調味料を鍋に落とすことができる．

(c). 調理具を運搬し，鍋をかき混ぜるロボット：このロボットは，アーム部分がピッチ方向に 1 自由度拡張されており，おたまやフライ返しなどの器具を取り付けることで，実際に鍋の中を混ぜることができる．ユーザは用途に応じて，おたまからフライ返しなどの調理器具に交換することができる．

4.2.2 火力の制御

本システムでは鍋の火力の調整を行うために IH クッキングヒーターとマイコンを接続して，コンピュータから制御をする．本稿では，コイズミ社製の IH 調理器 KIH-S407-S S-Line を使用している．温度は保温モード，とろ火から強火までの 7 段階に変更が可能である．

4.2.3 食材とロボットの認識

本システムでは食材，およびロボットの認識のために ARToolkit[3]を使用する．このため，食材を載せる皿と，ロボットに専用のマーカを取り付ける．食材の上に直接マーカを取り付けることは困難なため，食材を載せる皿はシステム専用のものを準備する．この皿にはマーカを取り付けやすいように台が設けられている．この点において，本システムでは専用の皿を用意する必要があるが，これはロボットが皿を簡単に把持するためにも必要であり，本システムを使用する上では専用の皿を用意することは不自然ではないと考えている．また，マーカは料理作業が終了するまで取り外す必要はない．ARToolkit を使用するために，システム自体がカメラを持つ必要がある．カメラは作業場全体を見渡し易いよう天井に設置されている．カメラは市販されている標準的な Web カメラを用いている．本システムでは Logicool 社製の Qcam Pro for Notebooks を使用している．カメラの解像度は 640px × 480px に固定されている．

[3] http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

5 デモンストレーション

開発したインタフェースを用いて，実際に料理手順を作成し，料理作業ロボットによる調理動作を試みた．具体的には専用のレシピから「豚汁」を選択し，調理を行った．ユーザは，肉，大根，人参，ごぼう，じゃがいも，蒟蒻，味噌，塩を準備し，皿の上に配置した．また，事前に鍋に約 500ml の水を投入した．大根，人参，ごぼう，じゃがいもについては，同じタイミングに鍋に投下することを考え，一つの皿の上に配置した．味噌は湯に溶いて，調味料投下ロボットがつかめるようにカップに入れた．次に，レシピ上で食材と対応づいているタグを，皿の上や調味料の上に貼りつけた．さらに，開発したインタフェースを起動し，食材に付加されたイメージをドラッグアンドドロップでタイムラインに順番に配置し，火力も同様にタイムライン上にプロットした．

インタフェース上での指示を行ったあと，ロボットによる調理を開始し，ロボットがタイムライン通りに動作することを確認した．今回の調理においては 3 台のロボットを使用した．ロボットはインタフェースで作成された指示にそってそれぞれに割り当てられた役割（食材を投入する，味噌を入れる，塩を入れる，鍋をかき混ぜる）を遂行した．同様に，インタフェース上で指示された火力についても正確に動作したことを確認した．またロボットに危険が迫ったときに，中断を指示してシステムを停止させることが可能なことを確認した．

今回のデモンストレーションではいくつかの問題が発見された．具体的には，1. いくつかの食材が皿に張り付いてしまって鍋に投下しきれなかった．2. 同様に味噌がカップに少量残ってしまった．3. ロボットがうまく鍋をかき混ぜられない場面があった．などである．これらについては今後改善を行っていく予定である．

6 まとめと今後の課題

本稿では，ロボットの動作指示インタフェースに注目し，GUI によるロボットへの柔軟な動作指示インタフェースの提案と試験的実装を行った．今回はその中でも具体的に料理という家事に注目し，その一部分の作業を支援するロボットを作成し，そのための動作指示インタフェースを作成した．ユーザは，本システムを利用することで，食材を鍋に投下するタイミング，鍋をかきまぜるタイミング，火力の指示をドラッグアンドドロップやクリックで簡単に指示できるなど，文字による情報や細かい動作を極力

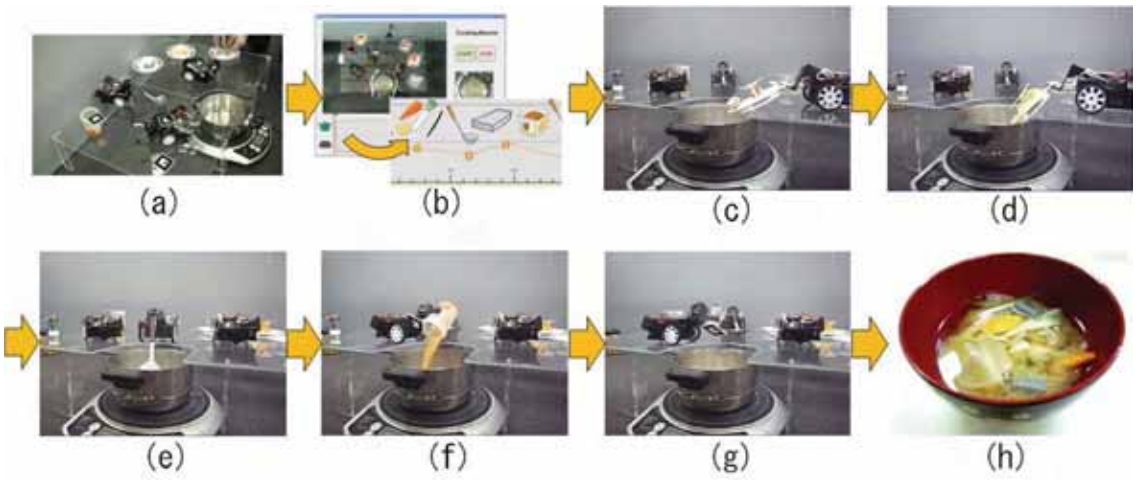

図 **8.** デモンストレーション：ユーザが食材にタグをつける **(a)**；ユーザが **GUI** でタイミングを指示する **(b)**；ロボットが肉を鍋に投下する **(c);** ロボットが野菜を鍋に投下する **(d)**；ロボットが鍋をかき混ぜる **(e)**；ロボットが味噌汁を鍋に投下する **(f)**；ロボットが塩を鍋に投下する **(g)**，作成した豚汁 **(h)**.

なくし，学習の必要なしに，感覚的にロボットを指示することが可能になった．今後の課題として，現状のロボットでは大量の水を鍋に投下できないなどのハードウェア的な制限がある．また，現在のシステムでは，水が沸騰していることや，食材の火の通り具合などは認識することはできていない．

今後はこれらを解決するために，ロボットに任せられるタスク，人間が行わないといけないタスクをシステムが明確に提示することで，人とロボットが協調して作業を遂行可能なシステムを開発していく．

謝辞

本研究の一部は，独立行政法人情報処理推進機構 (IPA)，2008 年度未踏ＩＴ人材発掘・育成事業の支援を受けて実施されたものである．開発の支援，指導をいただいている情報処理推進機構並びに安村通晃氏に深く感謝いたします．

参考文献

[1] S. Zhao, K. Nakamura, K. Ishii and T. Igarashi, Magic Cards : A Paper Tag Interface for Implicit Robot Control, In *Proc. of CHI2009*, ACM, pp. 173-182, 2009.

[2] D. Sakamoto, K. Honda, M. Inami and T. Igarashi, Sketch and Run: A Stroke-based Interface for Home Robots, In *Proc. of CHI2009*, ACM, pp. 197-200, pp. 2009.

[3] K. Okada, T. Ogura, A. Haneda, D. Kousaka,H. Nakai, M. Inaba, and H. Inoue. Integrated System Software for HRP2 Humanoid, In *Proc. ICRA'04. 2004*, pp. 3207-3212, 2004.

[4] K. Okada, T. Ogura, A. Haneda, J. Fujimoto, F. Gravot and M. Inaba. Humanoid MotionGeneration System on HRP2-JSK for Daily Life Environment. In *Mechatronics and Automation 2005*, pp.1772-1777, 2005.

[5] F. Kato, M. Shiina, T. Tokizaki, H. Mitake, T. Aoki, S. Hasegawa : 'Culinary Art Designer', *ACE2008*, ACM, pp.398, 2008.

[6] 中西 英之，村上 友樹．案内ロボットの遠隔操作のための GUI の提案. 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, pp. 79-86,2008.

[7] C. Kemp, C. Anderson, H. Nguyen, A. Trevor, and Z. Xu. A Point-and-Click Interface for the Real World: Laser Designation of Objects for Mobile Manipulation. In *Proc. HRI2008*, pp. 241-248, 2008.

[8] 角所 考，美濃 導彦，山肩 洋子. アシスタントエージェントとの音声対話による調理コンテンツの自動生成. 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 105, No. 433, pp. 55-60, 2005.

[9] I. Siio, N. Mima, I. Frank, T. Ono, H. Weintraub, Making Recipes in the Kitchen of the Future, Extended Abstracts, In *Proc. CHI2004*, page 1554, pp. 24-29 2004.

[10] Y. Nakauchi, T. Fukuda, K. Noguchi, T. Matsubara: Time Sequence Data Mining for Cooking Support Robot, In *Proc. CIRA2005*, No.We-B3-4, 2005.

[11] OFFICE, CREATE, and published by TAITO Wii Licensed by NINTENDO. Cooking mamma:cook off - simulation game - wii - 01487. RVL-P-RCCJ(JPN), 2006.