慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

| | |
|---|---|
| Title | 家庭用ロボットのための直感的な指示手法に関する研究 |
| Sub Title | A study on intuitive instruction methods for home robots |
| Author | 杉浦, 裕太(Sugiura, Yuta)<br>稲見, 昌彦(Inami, Masahiko) |
| Publisher | 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 |
| Publication year | 2009 |
| Jtitle | |
| JaLC DOI | |
| Abstract | |
| Notes | 修士学位論文. 2009年度メディアデザイン学 第23号 |
| Genre | Thesis or Dissertation |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002009-0023 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

KMD-80835391

修士論文

# 家庭用ロボットのための直感的な指示手法に関する研究

杉浦　裕太

指導教員：

稲見 昌彦 教授 (主指導教員)
奥出 直人 教授 (副指教員)

審査委員：

稲見 昌彦 教授 (主査)
奥出 直人 教授 (副査)
加藤 朗 教授 (副査)

2009 年度(平成 21 年度)

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

修士論文 2009 年度(平成 21 年度)

# 家庭用ロボットのための直感的な指示手法に関する研究


**概要**

本論文は，家庭用ロボットにたいして，素人のユーザでも，個々の必要に応じて，作業手順を組み替えることができるグラフィカル・ユーザ・インタフェース(Graphical User Interface: GUI)を提案するものである．GUI には，ロボットが対象とする作業の本質的な部分が抽象され，操作できるようになっている．ユーザは，その GUI 上で，ドラッグ＆ドロップなどの操作で作業手順を決定する．システムはこの結果に従い，ロボットの作業手順を生成し，ロボットは指示通りに実行する．本論文では，その具体例として，家庭における家事の中でも「服たたみ」「料理」に注目し，その作業を代行するロボットにたいして，指示インタフェースを開発した．

まずは，服たたみロボットにたいして，たたみ方を指示する GUI を開発した．この GUI には，服のモデルが視覚的に表示されており，ユーザは，マウスなどの操作で自分に合ったたたみ方を決定する．システムは，指示手順の結果にロボットの行動手順を生成する．ロボットはその手順に従い，実世界で作業を行う．開発した GUI を，他の指示手法，具体的には，ゲームパッドを使った直接的な操作，ユーザが直接服を折りたたむことで指示を伝える手法，との比較を行った．その結果，本手法が，手で直接たたむ手法と同程の直感性を実現していることを確認した．

続いて，料理支援ロボットシステムにたいして，料理作業手順を指示する GUI の開発した．ユーザは GUI 上で，火力，食材を鍋に投下する作業，かき混ぜる作業，などをタイムラインに配置を行う．ロボットシステムは，その指示に従い，作業を行う．第 4 章では，試作したシステムの動作検証を行い，指示通りに作業を再現することを確認した．

従来からロボットへの指示手法の研究はいくつもの試みがあるが，本手法は，ユーザがロボットの複雑な動作内容を操作することなく，直感的にロボットの作業内容を組み替えることができる点において，主な貢献がある．



**キーワード**

ユーザインタフェース，家庭用ロボット，人―ロボット相互作用，グラフィカル・ユーザ・インタフェース



慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

杉浦　裕太

## Abstract of Master's Thesis Academic Year 2009

## A Study on Intuitive Instruction Methods for Home Robots

**Summary**

This paper propose novel instruction methods that end-user can instruct home robots which can perform real world task. Commercial robots are pre programmed by vendor to perform certain tasks. Therefore, user does not have the flexibility to use these for customized applications. It is inevitable that future human society has to rapidly collaborate and coexist with wide range of robots. To empower this mutual relationship, sophisticated and flexible control mechanisms are compulsory.

However, as far as current situation is concerned, there are no common controlling mechanisms or standards define for robot controlling. This is partly because of the difficulty to find common instructing scenarios between different robot applications. Despite the complexity of the problem, common user interface and interaction scenarios for customized applications of robots are compulsory to enable seamless collaboration between human and robots.

Firstly, we present an interactive graphical editing interface for giving instructions to a garment-folding robot. The interface allows a user to teach a robot to fold a garment by performing simple editing operations (clicking and dragging). The interface consists of a simple garment folding simulation mechanism for detecting actions that would be impossible for the robot to perform, and it returns visual feedback to the user.

Secondly, we develop a cooking system that operates in an open environment. The system cooks a meal by pouring various ingredients into a boiling pot on an induction heating cooker and adjusts the heating strength according to the user's instructions. We then describe how it successfully functions in a shared space with the user. First, we use small mobile robots instead of built-in arms to save space, improve flexibility and increase safety. Second, we use detachable visual markers to allow the user to easily configure the real-world environment. Third, we provide a graphical user interface to display detailed cooking instructions to the user.

**Keyword**

User Interface, Home Robots, Human Robot Interaction, Graphical User Interface

Keio University, Graduate School of Media Design

Yuta Sugiura

内容

**第 1 章　序論 ..... 5**

1.1　背景 ..... 5
1.2　GUI を用いたロボットへの作業順序指示 ..... 6
1.3　本論文の構成 ..... 7
1.4　言葉の定義 ..... 8

**第 2 章　従来研究 ..... 9**

2.1　従来の指示方法 ..... 9
2.2　本研究の位置付け ..... 11
2.3　ロボットへの実時間指示インタフェース ..... 11

**第 3 章　服たたみロボットのための作業順序指示 GUI ..... 14**

3.1　概要 ..... 14
3.2　先行研究 ..... 14
3.3　服たたみロボットへの柔軟な指示システム ..... 15
3.4　評価実験 ..... 21
3.5　実演展示 ..... 29
3.6　考察 ..... 30
3.7　本章のまとめ ..... 32

**第 4 章　料理支援ロボットシステムのための作業指示 GUI ..... 33**

4.1　概要 ..... 33
4.2　先行研究 ..... 33
4.3　本システムの利用シナリオ ..... 34
4.4　システム ..... 36
4.5　調理手順指示インタフェース ..... 39
4.6　動作検証 ..... 41
4.7　考察 ..... 42
4.8　本章のまとめ ..... 45

**第 5 章　総合的な考察 ..... 46**

5.2　家庭用ロボットのためのインタフェースの重要性 ..... 47

**第 6 章　結論 ..... 49**

# 第1章 序論

## 1.1 背景

我々は，家電のおかげで，快適な生活を送ることができている．これらは，家事に対する労力や作業時間を削減し，ユーザに自由な時間を提供する．一方で，これら家電では，未だに代行が難しい家事も多く存在する．今後，これらの家事を代行するものとして，空間を自由に移動することが可能なロボットが実生活に入ってくる．これらのロボットは移動できる特徴を活かして，箱形タイプの家電では不可能だった家事を行うようになる．その先駆例として，iRobot社のRoombaは，床掃除の代行を実現している[2]．Roombaは世界中で250万台以上の販売を誇り，販売国の米国においては，一般的な家電量販店で見かけるまでに大衆化している．また，研究段階ではあるが，食器の片付けや，アイロンがけなどの複雑な作業を必要とする家事を遂行可能なロボットも実現しつつある[1]．近い将来，これらのロボットが家庭内の重要な作業を任される時代は間近に迫っている．

本論文は，このようなロボットと人間との関係性に注目している．家庭用ロボットを購入したユーザは，当然のようにロボットにたいして自身が望んでいる作業結果を期待するだろう．しかし，これまでのロボットは開発者によって事前に作業手順が組み込まれていることが多く，ユーザはその決められた動作の選択しかできなかった．その結果，自分が望んでいる些細な欲求や，必要になる些細な条件をロボットに伝えることは困難であった．

一方，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良い関係を築くことが可能となっている．

この家電と同様に，ロボットにたいしても，ユーザの期待通りに指示可能なインタフェースは重要となる．特にロボットに関しては知識を持たないユーザは，複雑な操作を行うことは困難である．本研究は，このようなユーザでも直感的にロボットの作業手順を組み替えることができるインタフェースの開発を目標とする．

## 1.2 GUI を用いたロボットへの作業順序指示

本研究は，家事ロボットにたいして，直感的に作業手順を指示することが可能な GUI を開発することを目的とする．GUI には，ロボットが行う作業の本質的な部分の抽象化されている．ユーザは，マウスのドラック＆ドロップなどの操作で作業手順を決定する．システムは，指示結果に従い，自動的にロボットの行動順序を生成し，ロボットは指示通りに作業を行なう．この手法により，ユーザはロボット自体の複雑な動作に注意することなく，自分に合った作業手順に組み替えることができる．本論文では，その具体例として，家庭における家事の中でも「服たたみ」「料理」に注目し，その作業を代行するロボットにたいして，指示インタフェースを開発する．

### 1.2.1 服たたみロボットへの作業順序指示 GUI

服たたみロボットへ作業順序を指示することが可能な GUI を提案する (図 1)．まず，ユーザは，展開状態で置かれた服の形状を web カメラで取り込む．次に，コンピュータで再構築された服を，マウス操作で自分に合ったたたみ方を決定する．システムは，指示手順の結果に従い，ロボットの行動手順を生成する．ロボットは，その手順通りに実世界で作業を行う．開発した GUI を，他の指示手法，具体的には，ゲームパッドを使った直接的な操作，ユーザが直接服を折りたたむことで指示を伝える手法，との比較を行った．その結果，本手法が，手で直接たたむ手法と同程の直感性を実現していることを確認した．

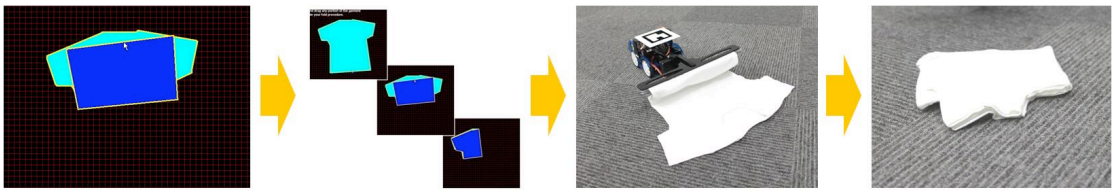


**図 1 服たたみロボットのための作業順序指示インタフェース**

### 1.2.2 料理支援ロボットへの作業順序指示 GUI

料理支援ロボットシステムにたいして作業順序を指示する GUI を開発する(図 2)．GUI は，火加減，食材や調味料を鍋に投下するタイミング，鍋をかき混ぜるタイミングの指示を可能とする．ユーザは，これらのコマンドが抽象化されたアイコンをタイムラインに配置し，独自のレシピを作成する．その指示結果に従い，ロボットシステムは実世界で作業を行う．本論文では，システムを試作し，動作試験を行ったところ，指示通りに作業を実行することを確認した．

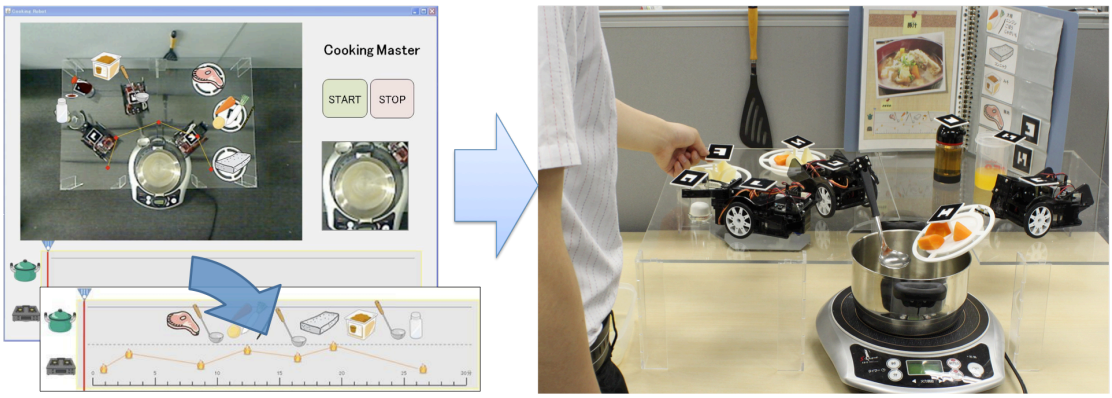



図 2 料理支援ロボットシステムのための作業順序指示インタフェース

## 1.3 本論文の構成

本論文は研究背景や目的を示す本章を含め，全 6 章で構成される．

**第 2 章 従来研究**

第 2 章では，本稿で行う研究に関連して，これまでに行われてきた既存の研究を概観し，それらの特徴と問題点を明らかにした上で，本研究の立場を明確にする．

**第 3 章 服たたみロボットへの作業順序指示 GUI**

第 3 章では，服たたみロボットにたいして，ユーザが個々の折りたたみ方を指示可能なインタフェースを開発する．ロボットの作業が行うさらに，他の指示方法と比較を行う．

**第 4 章 料理支援ロボットシステムのための作業順序指示 GUI**

第 4 章では，料理支援ロボットシステムに対して，ユーザに合ったレシピを作成し，指示することができるインタフェースを開発する．ユーザはインタフェースで，火力，食材を鍋に投下するタイミング，かき混ぜるタイミング，などをタイムラインに配置し，個々に適したレシピを作成する．指示した結果，ロボットがその通りに作業を行う．

**第 5 章 総合的な考察**

第 5 章では，本論文で行ってきた研究についての考察を行う．

**第 6 章 結論**

第 6 章では，本論文のまとめを行なう．

## 1.4 言葉の定義

本論文中で用いる「ロボット」「ユーザ」「指示」「直感」という言葉に関して定義を行う．ここでの語法は，必ずしも一般的に統一されたものではないが，議論を明確にする上で，必要であると考える．

### ロボット

本論文で用いる「ロボット」は，“入力機能を持ち，さらに物理的に空間を移動することができる出力機能をもつ機械”を指す．

### ユーザ

「ユーザ」という言葉は，“一般的な家庭においてロボットを利用する人々”を指す．ロボットに関しては知識が無く，素人である．

### 指示

「指示」とは，“ロボットにたいして指図・命令する事”を指す．

### 直感

「直感」という言葉は，“判断や思考が必要なときに，瞬間的に結論を出すような事”を示す．

# 第2章 従来研究

本章では本稿で行う研究に関連して，これまでに行われてきた既存の研究を概観し，それらの特徴と問題点を明らかにした上で，本研究の立場を明確にする．

## 2.1 従来の指示方法

ロボットの作業内容を自由に組み替える手法として主に，「プログラミング言語」「自然言語」「直接的な動作入力」「人間の動作模倣による指示」の 4 つに分類することができる．

### 2.1.1 プログラミング言語を用いた指示

ロボットのプログラミングの内容を変更することは，直接的にロボットの行動を変更することができる有力な手法である．一方で，知識をもたないユーザにとって，プログラミング言語を習得するには多くの時間を必要とする．

### 2.1.2 自然言語による指示

自然言語を用いることは一つの手法として考えられる[39]．これはユーザが学習なしで指示を行うことができる反面，システム側がそれらの指示を性格に汲み取ることは難しいと言った問題点がある[40]．

### 2.1.3 直接的な動作入力

本手法は，ロボットにたいして直接的に動作を入力することによって，作業内容を指示することができる．指示時に，実際に作業を行うので，ロボットの身体性を考慮した指示を行うことができる．

Frei らは，小型車両ロボットを直接手で前後左右に動かすことで，動作入力する手法の提案を行っている[17]．また，その発展として，Raffle らは，ユーザが直接動作を指示可能なアクチュエータをモジュール化することで，自由な形状を形成でき，さらに動作指示ができる”Topobo”というシステムの提案を行っている[18]．これらは，形成しものを瞬時に動かすことができる特徴を活かし，教育の分野での応用が行われている．

図 3 Topobo

また，James らは，ロボットの外観に触ることで，ロボットの移動動作を直感的にカスタマイズする提案を行っている[16]．ロボットの外側には，静電容量センサが組み込まれている．例えば，ロボットの前方を触る間は，ロボットに前移動の動作を記録させ，側面を触るとロボットに旋回の動作を記録させる．動作を記録後，それを一連の動作として再現する事ができる．

このように直接的な動作入力は汎用性に富んでいる一方で，ユーザがロボットの動作自体を直接操作しなければいけないため，時に，作業が膨大になってしまうという問題があげられる．

### 2.1.4 人間の動作模倣による指示

ユーザが，手本を示すことで，ロボットに動作を教える手法が提案されている[41]．これは，ユーザが普段行っている経験をそのまま指示に利用点で，直感的である．一方で，ユーザの動作を認識するための大掛かりなモーションキャプチャシステムが必要であり，操作ししているものを実時間で認識するための高い認識技術が要求される．このためシステムが複雑になるという問題点がある．

## 2.2 本研究の位置付け

本研究では，一般的な家庭においてロボットを購入するようなユーザを対象にしている．そのための重要な要素としては，素人でも操作できる直感性，細かい指示が可能かといったことが上げられる．また，システムの簡便さも家庭内において重要な要素となる．表 1 は，本章で取り上げた従来の手法と本研究で用いる手法を比較したものである．

**表 1 本手法と従来の手法との比較**

| | 指示の直感性 | 指示の細かさ | システムの簡単さ | 総合評価 |
|---|---|---|---|---|
| プログラミング言語 | × | ◎ | ○ | × |
| 自然言語 | ○ | △ | ◎ | △ |
| 直接的な動作入力 | △ | ○ | ◎ | ○ |
| 人間の動作模倣による指示 | ◎ | ○ | △ | ○ |
| 本手法 | ◎ | ○ | ○ | ◎ |

## 2.3 ロボットへの実時間指示インタフェース

本節では，近年提案されているロボットへの指示インタフェースに関する研究を取り上げ，概観する．これらの研究は，基本的にロボットに対して，リアルタイムに指示を行うために設計されており，本提案のように，指示手順をロボットに教えるというものではない．

### 2.3.1 テレイグジスタンス

舘らは，操作者があたかもロボットに乗り移ったような感覚を持って操作することができるテレイグジスタンスシステムを提案している[7]．本システムを用いることで，ロボットに対して，操作者が行った作業をそのままロボットにたいして指示ができると同時に，ロボットが得た経験を操作者が同時に体験することが可能となる．このためユーザが持っている高度なスキルや認識・判断力を有効に使うことができる．応用先としては，遠隔での医療操作や，人間が立ち入ることができない環境での作業などが考えられている．

### 2.3.2 ロボティック・ユーザ・インタフェース

関口らはロボット型のインタフェースを用いた指示方法としてロボティック・ユーザ・インタフェース(Robotic User Interface: RUI)という概念を提案している[8]．これはロボットを用いるので「動き」や「力」の動作が遠隔地に離れたロボットや，ゲーム内のアバタなどに入力することが可能となる．

この中でも清水らは，ロボットを用いてバーチャルな環境に相互的に働きかける RUI を開発している[9]．具体的には，ロボットを操作するとバーチャル環境のキャラクタが作用し，またバーチャルキャラクタを作用するとそれに同期して実世界のロボットにも作用する．このように両世界の感覚(RUI では主に力覚)の相互に提供することで，両者が一対のものとなった感覚をもって操作することが可能となる．応用先としてはコミュニケーションや，エンタテインメントとしての利用が考えられている．

**図 4 RobotPHONE**

### 2.3.3 GUI を用いたロボットへの指示

村上らは，人型ロボットの遠隔操作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[15]. 具体的には GUI でファイル操作するように操作者が俯瞰カメラの映像内や人や物の上に表示されたアイコンを操作することで，遠隔地から案内ロボットを操作できるようなインタフェースである．

### 2.3.4 ペン操作を用いたロボットへの指示インタフェース

ペン操作は HCI 分野で盛んに研究が行われているが，近頃ではロボットの操作インタフ

ェースとしても頻繁に研究の対象とされている．

坂本らは，掃除ロボットに対して俯瞰画面上でペン操作を用いた操作方法を提案している[10]．これは，ペンを用いて掃除ロボットの軌跡の制御や，掃除を行うエリアの指定，停止動作といったことを入力できる．また森下らは，実世界の車両型ロボットに搭載したカメラ画像上に対して移動経路を描くことで，指示を行うシステムを開発した．これら坂本らとは違い，事前にロボットが行く環境が予測できないレスキューなどの分野での応用を考えている[11]．さらに清水らは，これらの指示方法を二足歩行ロボットへの操作へと応用し，エンタテインメントの構築を行っている[12]．このようにペンジェスチャを用いたロボット操作方法は様々な環境や用途での応用が考えられている．

これらの研究は特にロボットの移動に関する指示手法に注目している．我々はさらに具体的な家庭内の家事を代行するロボットにたいしてのインタフェースを開発する．

### 2.3.5 複数台のロボット制御インタフェース

Skubic らは, 複数台のロボット操作手法として, タブレット PC を用いたスケッチ操作で, 複数操作したいロボットをグルーピングし，目的地とその間の経路を指示する手法を提案している[20].

また，加藤らは，テーブルトップ型マルチタッチディスプレイを用いた複数台のロボットに対しての指示方法を提案している[21]．これは指だけでなく腕全体を使った操作が可能となっている．ユーザは，ディスプレイ上にベクトル場を形成することで，複数台のロボットを川の流れにのったように操作することができる．

### 2.3.6 レーザポインタを用いたロボットへの指示方法

レーザポインタは，正確に実世界の位置を指し示すことができるため，ロボット操作のユーザインタフェースとなりうる．

Kemp らは，レーザポインタ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[13]．また石井らは，これらの機能の拡張としてレーザポインタの動作を用いることで，対象物体の選択のみではなく，仕事の種類・対象位置もロボットに指示するユーザインタフェースを提案している[14].

# 第3章 服たたみロボットのための作業順序指示GUI

## 3.1 概要

本章では，自分好みの服のたたみ方を指示できるインタフェースとそれを実行する服たたみロボットについて述べる．

まず，一般的な web カメラを用いて服の形状を認識する．認識した形状をインタフェース上に表示し，ユーザは単純なマウス操作で好みのたたみ方を決定する．システムは自動的に，ユーザからの指示結果を，実世界のロボットが折りたたむため手順に変換しロボットが指示通りに作業を行なう．

本手法の有効性を確認するため，従来の指示手法，具体的にはゲームコントローラで直接ロボットを操作する手法，手で直接服をたたみ指示する手法との比較を行った．実験の結果，本指示手法が，手で直接服をたたみ指示する手法とほぼ同等の操作性を示した．

以降の節では，本結果ついて詳しく述べる．

## 3.2 先行研究

本システムは，服の折りたたみ形状を作る対話的なインタフェースとそれを実行するロボットである．

### 3.2.1 インタラクティブなユーザインタフェース

五十嵐らは，コンピュータの平面上に手書き自由曲線を描いていくことにより 3 次元モデルを対話的に構成する研究を行っている[37]．これによって，これまでコンピュータグラフィックスなどの知識がなかった素人でも，自由にモデリングが可能となっている．また，森らは，五十嵐らの手法で作成した形状からぬいぐるみの型紙を自動生成する研究を行っている[35]．それによって，デザインしたものを実世界においてぬいぐるみとして簡単に再現できるようになる．さらに，古田らは，コンピュータ上に表示された紙をドラッグアンドドロップなどの操作で折り曲げることによって，バーチャルに折り紙を作成することができる提案を行っている[22]．これも折り曲げ形状をプリントし，それに沿って折り曲げることで，ユーザはデザインしたものを実世界でも再現できるようになる．

これらは，最終的に人間が作業をおこない，デザインしたものを完成させなければいけない．我々は，対話的にインタフェースで洗濯物をおりたたみ形状を形成し，自動的にロボットが折りたたみを実現することが可能である．

### 3.2.2 折りたたみロボット

ロボットを用いて服を折りたたむ研究が盛んに行われている．柴田らは，乱雑におかれた衣類に対して，ロボットを用いた展開作業を実現している[24]．大澤らは，2 本のロボットアームを用いて，服を展開されている状態で専用のプレートに置き，プレート自体が自ら折り曲がることによって，服の折りたたみ作業を実現している[25]．またこれらの服たたみロボットと似たメタファーを利用した折り紙を行う研究もある．Balkcom らは，11 枚の紙から侍の兜を作成することができる折り紙ロボットの研究を行っている[26]．

これらのロボットは作成者の決められた通りに動作するため，ユーザが自分で折りたたみ方を決定することはできない．本インタフェースは，ユーザ自身が自由に折りたたみ形状を構築することができる．

## 3.3 服たたみロボットへの柔軟な指示システム

### 3.3.1 システム構成

提案する，GUI を用いた服たたみロボットへ柔軟な指示インタフェースの設計と実装に関して述べる．本システムは，カメラを用いた衣類の認識，およびロボットの位置認識，服をたたむロボット，ユーザが操作するインタフェース，およびこれらの情報を処理するためのコンピュータから構成される．本システムの構成図を図 5 に，ブロック図を図 6 に示す．

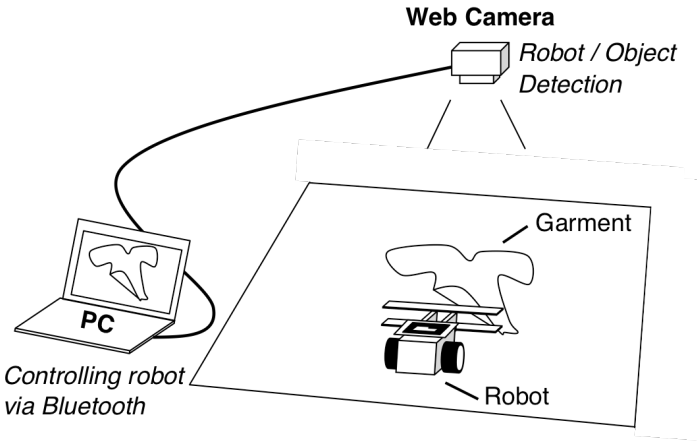



**図 5 システム概要図**

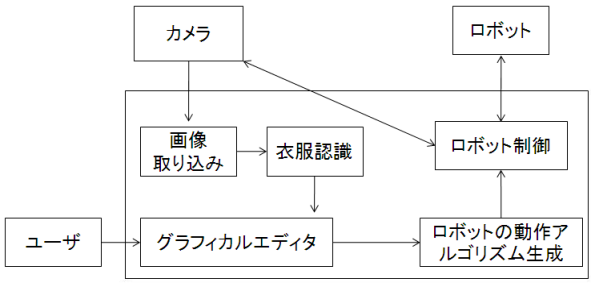



図 6 システムブロック図

### 3.3.2 ユーザインタフェース

本インタフェースにおいて，ユーザは，ドラックアンドドロップの単純な操作だけで，画面に表示されている，モデル化された衣服を折りたたむことができる．マウスで，モデル化された衣服内の任意の点をクリックすると，クリックした点にもっとも近い輪郭上の点を選択したものとされる．そして，選択点が現在のカーソルポジションである点に重なるように衣服が折り返される．折り曲げ線は，選択点と現在のマウスポジションを結ぶ線分の垂直二等線である．服の表と裏を明確にするために，表と裏とを異なる色やテクスチャで表示を行っている．続いて，服をつかんだ状態でポジションを移動すると，それに伴ってリアルタイムに衣服の画像が更新される．任意の位置でマウスを放すと一段階の折りたたみ操作が完了し，その状態の画像がパネルの右に表示される．ユーザが任意の状態に折りたたむまで，以上の作業を繰り返す．

また，ロボットのハードウェア的な制約をインタフェースにも組み込み，ロボットが不可能なたたみ方を指示した場合に，図 9 のように服の色をオレンジに変化させることでエラーとするようにした．

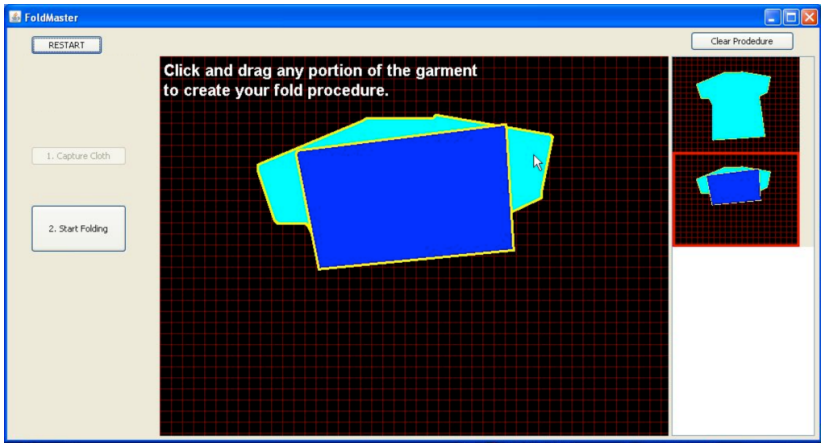



図 7 GUI の概観

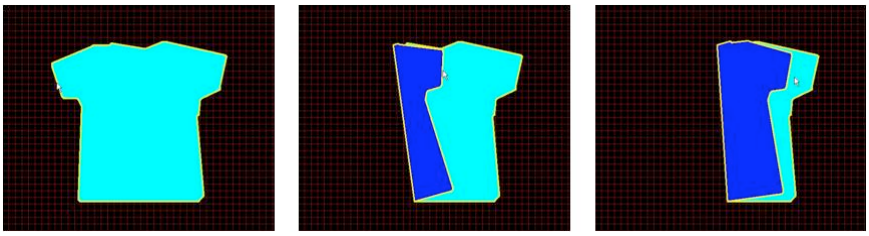


図 8 指示の方法

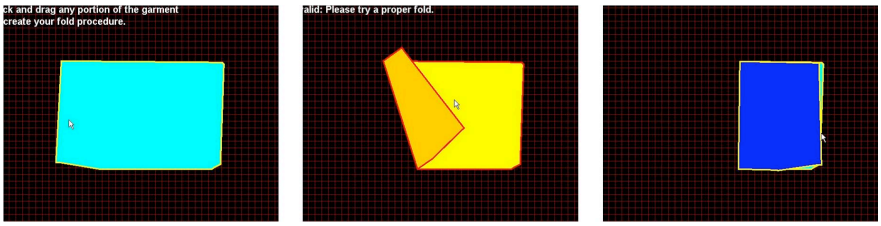



図 9 エラー表示方法

### 3.3.3 服たたみロボット

服たたみロボットは，4 つの車輪，およびそれを駆動するモーター，服をつかむためのハンド，システムと無線通信するための Bluetooth，それらを制御するマイクロコントローラという構成となっている．ロボットにはあらかじめ，車輪の「前進」「後進」「右旋回」「左旋回」やハンドの「つかみ」「放し」などの動作がマイクロコントローラ内に組み込まれており，コンピュータから各動作に対応す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可能である．ロボット上部には，システムが Web カメラでロボットの位置を同定するためのマーカーが取り付けられている[27]．ロボットのアームの先端にはハンガー型ハンドが取り付けてられているため，ズボンや長袖など比較的辺が長い衣服をたたむことがきる．

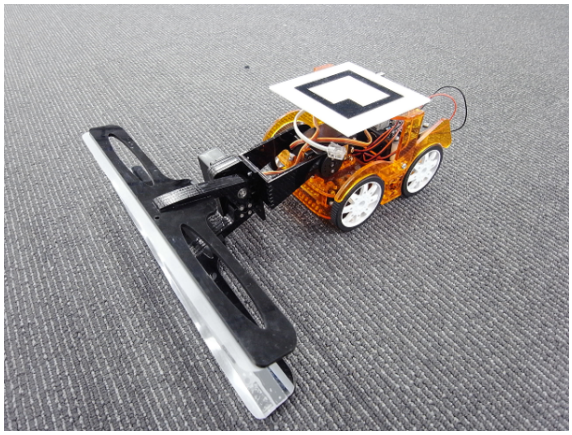


図 10 服たたみロボット

【仕様】
寸法:縦40cm×横20cm×高さ10mm
重量: 1kg
通信: Bluetooth
稼働時間: 約3時間
【動作】
・前進，後進，
・右回転，左回転
・衣服をつかむ，放す

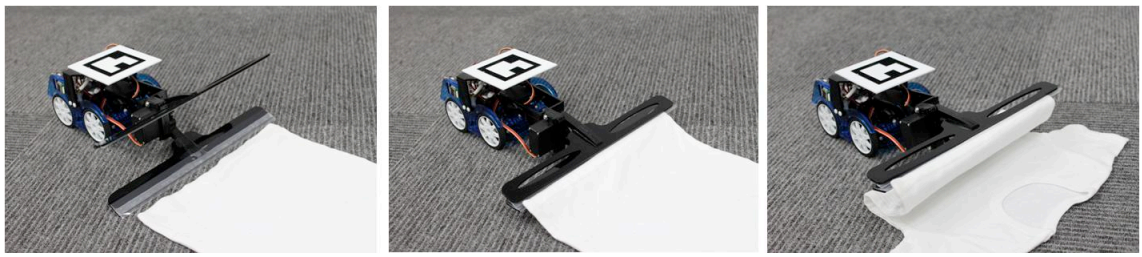


図 11 衣類の把握動作

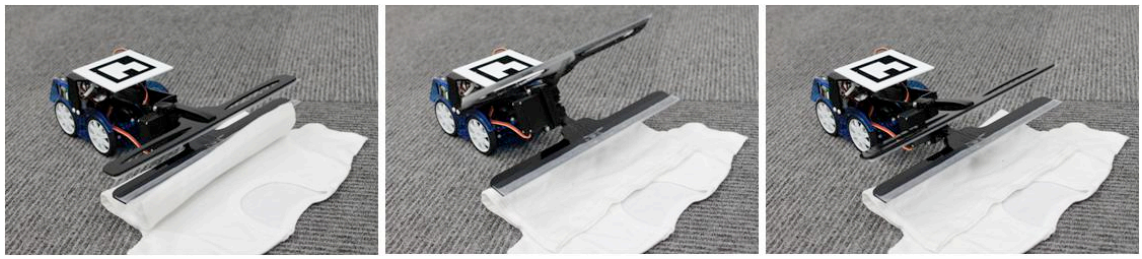


図 12 衣類の分離動作

### 3.3.4 認識

本稿では一般的な web カメラ(Logicool 社製の Qcam Pro for Notebooks)を用いて, 服の形状を認識し，その形状データを作成する．Web カメラはステージから 1.8m の部分に設置し，PC とは USB で接続されている. 衣服形状認識はこれまでに輪郭抽出アルゴリズムを用いている．画像を背景と衣服を二分化して，衣服部分の境界を抽出することで，輪郭形状を抽出するというアルゴリズムを用いている．照明やステージの色または明るさを変化させることで背景と衣服の分離性を高めることも可能である．現状では，背景にベロアを貼っている．これらのデータが得られると，エディタは形状データに基づきモデル化された衣服を生成し，メイン画面に表示する．背景部分と服を区別するために異なる色で表示している．

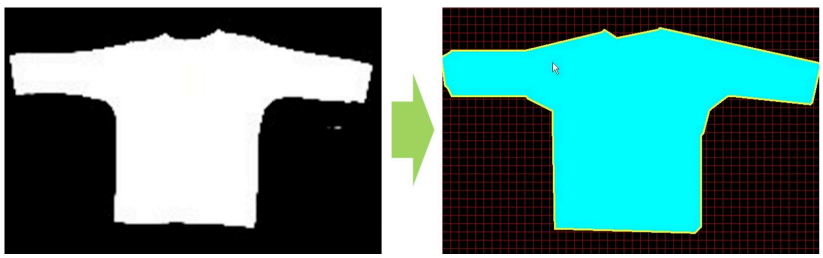


図 13 衣類を認識，インタフェースに付与

### 3.3.5 ロボット制御

図 14 はロボットの一連の動作を表している．GUI の指示を受け，まずロボットはロボットが経由点を順に通過して，つかみ位置に到着するように移動する．具体的には，ロボットはマーカーによってリアルタイムに認識し，この認識結果に基づいて，ロボットに適宜コマンドを送ることでロボットを制御している．ロボットがつかみ位置に到着したら，ロボットに「つかみ」命令を送信して，ロボットに衣服をつかませる．ロボットはつかんだ状態で，ロボットを放し位置まで，移動させた後，「放し」コマンドを送信する．その後，ロボットは所定の場所まで移動する．以上によって折りたたみ動作をくりかえすことで，ユーザが指示したたたみ方を再現することができる．

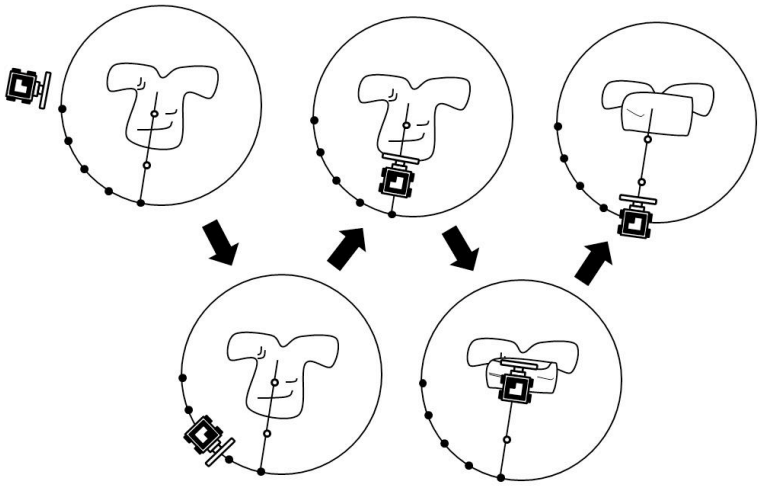


**図 14 ロボットの行動順序**

### 3.3.6 動作確認

ロボットがたたむことが可能な衣服として，図 15 にあるように 7 種類の衣服に関してたたむことが可能なことを確認した．図 16 図 17 は，実際にインタフェースで指示を行い，実際にロボットがたたみ作業を行っている様子を撮影したものである．

図 15 ロボットが折りたたみ可能な衣服

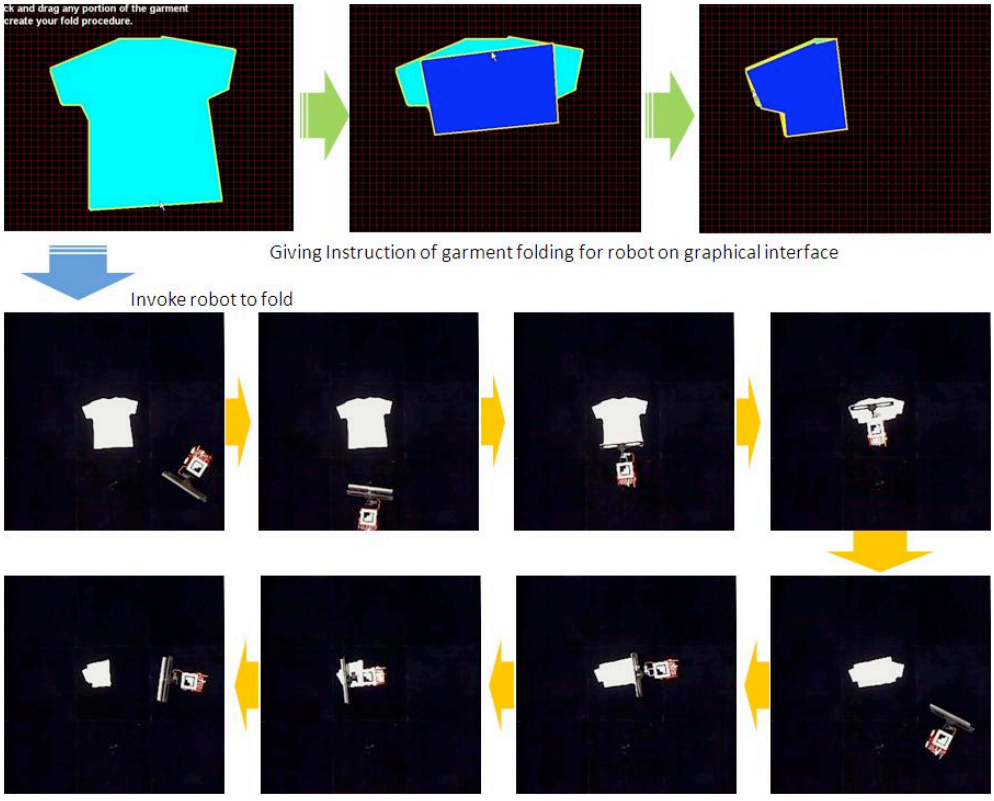



図 16 T シャツの折りたたみを指示し，実際にロボットが作業している様子

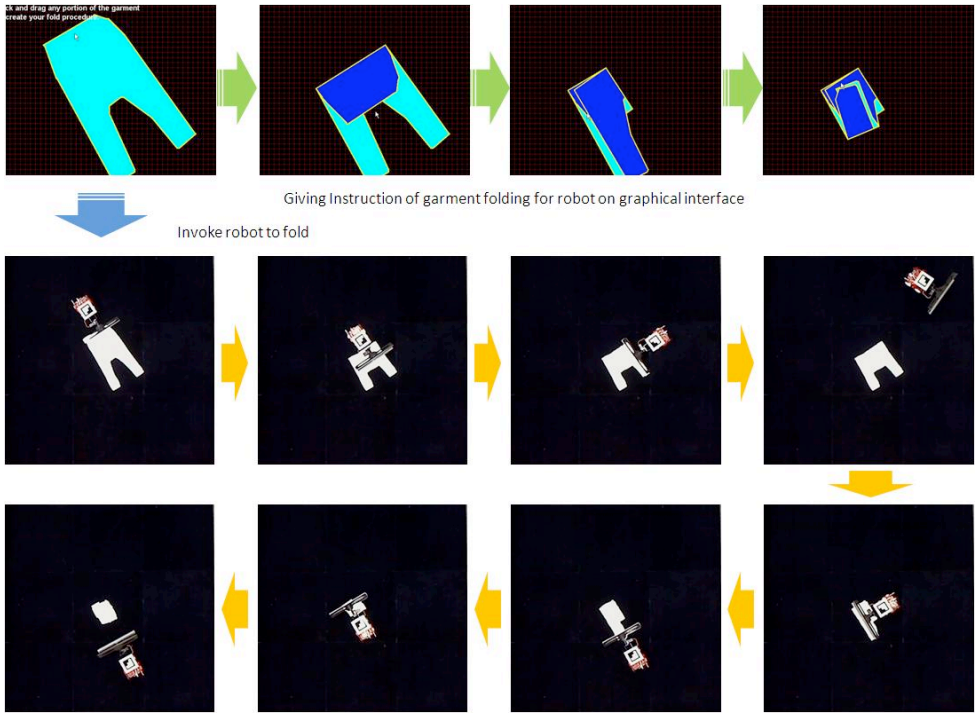



**図 17 ズボンの折りたたみを指示し，実際にロボットが作業している様子**

## 3.4 評価実験

本研究で開発した衣服たたみロボットへの動作指示インタフェースの有効性を確認する実験を行う．

### 3.4.1 実験手法

#### 3.4.1.1被験者

本実験では 9 名の学生(男性 7 名，女性 2 名，平均 23.8 歳)が被験者として参加した．本実験の評価は被験者内比較で行うため，すべての被験者の組が次項に示す 3 つの条件のすべてを経験する．このため，実験条件の順序が偏ることのないようカウンターバランスを取った．また，被験者はランダムに振り分けられた実験前には，被験者がこれまでに本実験で使用するロボットの操作をしたことがないことを確認した．

#### 3.4.1.2実験条件

本システムの有効性を確認するために 3 つの条件を用意した．本研究で開発したシステムを用いる条件と，比較条件として現在一般的に使用されているゲームコントローラを用いた指示手法，さらに実世界の衣服を用いた指示手法を条件として用意した．以下に各条件の詳細を示す．

**条件 A: コントローラを用いた，ロボットへの指示を行なう手法**

一般的なゲームコントローラを使って衣服たたみの指示を行う．一般的なコントローラとしては，株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント社製，プレイステーション 2 のゲームコントローラを用いる．実験に使用するコントローラではロボットに対して直接，前進/後退，左右回転，服をつかむ/はなすという指示ができる．

**条件 B: 本指示手法**

今回開発したインタフェースを使って衣服のたたみ方の指示(たたむ形，順番について)を行う．ユーザはインタフェースに表示された仮想的な衣服をドラッグ＆ドロップの作業でたたむことができる．

**条件 C: 実際の服を直接手でたたむことで，ロボットへの指示を行なう手法**

実際の衣服を直接手でたたむことで，ロボットへ指示を行う．ロボットが指示通りに折りたたむことが可能かそうでないかは，実験者が条件 B の GUI で被験者の操作通りにおりたたむことで確認を行なう．被験者は，毎おりたたみ後，5 秒間服から手を離す．ロボットが不可能な場合，5 秒以内に，ブザーを鳴らされる．ブザーが鳴らなかったら，被験者は次の指示を行なう．

**図 18 各条件の指示方法 (コントローラを用いた条件(a), 実際の服を手でたたみ指示を行なう条件(b))**

3.4.1.3**実験課題**

それぞれの条件における衣服の指示方法を実行する．具体的には各条件において，T シャツ，靴下，ズボン，ハンカチ，タンクトップ，帽子のたたみ方の指示をそれぞれの実験条件における方法を用いて行う．

#### 3.4.1.4実験手順

1. 被験者は事前質問紙に答える．
2. 被験者が実験に関する指示を実験者から受ける．
3. ロボットが衣服のおりたたみを実際に実行し，被験者はそれを見る．
4. 条件における指示を実験者から受ける．
5. 条件におけるロボットへの指示方法の練習を行う．それぞれについて 1-3 分程度とする．
6. 条件におけるロボットへの動作指示を行う．
7. 条件終了後，質問紙に答える．
8. 3 条件が終わるまで，3-6 を繰り返す．
9. 3 条件終了後，いくつかの質問項目に関して各条件の順位付けを行う．
10. ロボットの印象に関する質問紙に答える．
11. その後，簡単なインタビューを行う．

#### 3.4.1.5実験環境

図 19 は本実験で構築した環境である．

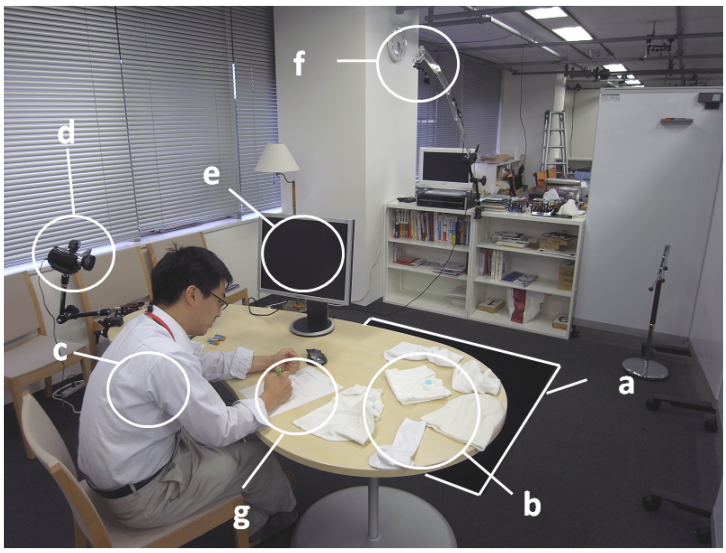



**図 19 実験環境**

a. 条件 1 でロボットを操作，条件 2 で被験者が実際衣服をたたむフロア
b. 使用する衣服
c. 被験者
d. 手順 9 でのインタビュー用のカメラ
e. 条件 2 で使用するモニター

f. 手順 3 でロボットを動作させるときに使用するカメラ，条件 2 で被験者が服をたたむところを記録するカメラ

g. 質問紙用紙

#### 3.4.1.6指示内容

指示項目に関しては付録 A に添付した.

### 3.4.2 評価手法

実際に本実験で使用した質問紙と記述質問に関して付録 B に添付した.

評価は，被験者の「質問票」への回答の結果により行う.「質問票」での質問項目を表 2 に示す．これらの質問項目は被験者の各対象に対する好悪の印象に関するものである．被験者は各条件の印象について同じ質問項目で評価する．その後，各条件の順位付けを行い，ロボットの印象についての質問項目を評価する．質問項目は表 3 のように設定した．被験者はこれらの質問に 7 段階尺度で回答する. 最も低い評価を 1, 最も高い評価を 7 とする.

**表 2 各条件での質問項目**

| | | |
|---|---|---|
| **Question.1**<br>私はこの操作方法が簡単だと感じた. | **Question.2**<br>私はこの方法が洗濯物をたたむ手順を指示するために適切であると感じた. | **Question.3**<br>私は自信をもって操作することができた. |
| **Question.4**<br>私はこの操作を行うとき技術的なサポートが必要であると感じた. | **Question.5**<br>私はこの操作方法で事前に多くのことを学ぶ必要があった. | **Question.6**<br>私は集中して操作をする必要があった. |

**表 3 ロボットの印象評価の質問項目**

| | |
|---|---|
| **Question.1**<br>私は日々洗濯物をたたむことを面倒だと感じている. | **Question.2**<br>私は洗濯物をたたんでくれるロボットは役に立つと思う. |
| **Question.3**<br>私はロボットが洗濯物をたたんでくれることが面白いと思う. | **Question.4**<br>私はロボットに洗濯物のたたみ方を教えたいと思う. |

### 3.4.3 実験結果

#### 3.4.3.1比較実験結果

**選択式質問項目結果**

3 条件比較実験での被験者に対する質問紙では以下の項目について 7 段階で回答を求めた．図 20 に質問票の質問項目ごとの条件ごとの平均，標準偏差を含むグラフを示す．多重比較の結果について有意誤差 5%以下で有意差が確認された項目同士について項目ごとに棒グラフ上の括弧で示す．

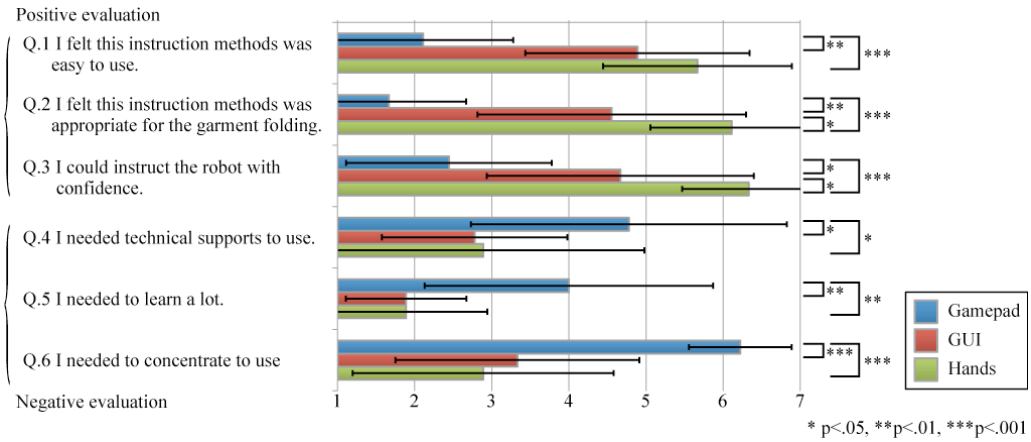



**図 20 各条件による被験者の印象：ゲームコントローラ，GUI，手で直接たたむ方法**

**表 4 分散分析結果**

| | Q.1 | Q.2 | Q.3 |
|---|---|---|---|
| Gamepad | 2.1111(1.1667) | 1.6667(1) | 2.4444(1.3333) |
| GUI | 4.8889(1.453) | 4.5556(1.7401) | 4.6667(1.7321) |
| Hands | 5.6667(1.2247) | 6.1111(1.0541) | 6.3333(0.866) |
| F(2,16) | F = 31.887 | F = 38.325 | F = 23.343 |
| | p < .001 | p < .001 | p < .001 |

| | Q.4 | Q.5 | Q.6 |
|---|---|---|---|
| Gamepad | 4.7778(2.048) | 4(1.8708) | 6.2222(0.6667) |
| GUI | 2.7778(1.2019) | 1.8889(0.7817) | 3.3333(1.5811) |
| Hands | 2.8889(2.0883) | 1.8889(1.0541) | 2.8889(1.6915) |
| F(2,16) | F = 7.603 | F = 13.432 | F = 19.355 |
| | p < .01 | p < .001 | p < .001 |

**Q1: 指示のしやすさ**

質問票の分散分析の結果から指示のしやすさの項目において有意な差が確認された($F(2, 16) = 311.887$, $p < .001$)．また多重比較の結果，条件 B(GUI)は条件 A(コントローラ)よりも，条件 C(実世界)は条件 A(コントローラ)よりも指示しやすいと感じた($A < B$, $p < .01$| $A < C$, $p < .001$| $B = C$ n.s.)．したがって本手法は，手で直接服をたたむ指示方法と同程度の指示のしやすさを与えることができたと考える．

**Q2: 指示の適切さ**

質問票の分散分析の結果から指示の適切さの項目において有意な差が確認された($F(2,16) = 38.325$，$p < .001$)．また多重比較の結果，条件 C(実世界)は条件 A(コントローラ)よりも，指示が適切だと感じた($A < B$, $p < .01$| $A < C$, $p < .001$| $B < C$, $p < .05$). この結果から，条件 C(実世界)は，他の指示条件よりも衣服たたみロボットへの指示インタフェースとして適しているということが考えられる．

**Q3: 指示の確信度**

質問票の分散分析の結果から確信度の項目において有意な差が確認された($F(2,16) = 23.343$，$p < .001$)．また多重比較の結果，条件 C(実世界)は，条件 A(コントローラ)，条件 B(GUI)よりも，確信して指示を行うことができた($A < B$, $p < .05$ | $A < C$, $p < .001$| $B < C$, $p < .05$)．これは，日頃から被験者が条件 C の手法を経験しているからだと考える．

**Q4: 指示の技術的なサポートの必要性**

質問票の分散分析の結果から技術的なサポートの必要性の項目において有意な差が確認された($F(2,16) = 711.603$，$p < .01$)．また多重比較の結果，条件 A(コントローラ)は条件 C(実世界)よりも，条件 B(GUI)は条件 C(実世界)よりも技術的なサポートが必要だと感じた($A > B$, $p < .05$| $A > C$, $p < .05$| $B = C$ n.s.)．この結果から，条件 A(コントローラ)と条件 B(GUI)は条件 C(実世界)と比較し技術的なサポートが必要だということが考えられる．

**Q5: 事前学習の必要性**

質問票の分散分析の結果から事前学習の必要性の項目において有意な差が確認された($F(2,16) = 13.12$, $p < .001$)．また多重比較の結果，条件 A(コントローラ)は条件 C(実世界)よりも事前学習が必要と感じた($A > B$, $p < .01$| $A > C$, $p < .01$| $B = C$ n.s.). これはコントローラの場合，服をつかむ，はなす，ロボットを移動させるなどロボットを動作させるのに学習の必要があるからであると考えられる．

**Q6: 指示の集中度**

質問票の分散分析の結果から指示の集中度の項目において有意な差が確認された($F(2,16)$

= 19.355, p < .001). また多重比較の結果，条件 A(コントローラ)は，条件 B(GUI)，条件 C(実世界)よりも，集中が必要であった(A > B, p < .01| A > C, p < .01| B = C n.s.). これは，条件 A(コントローラ)は指示とロボットの動作が同期しているために，被験者がロボットを常に意識して指示をする必要があるからだと考える．

### おりたたみ回数の比較

図 21 は各条件における折りたたみ回数の平均を示したものである．各条件において有意差は確認されなかった．

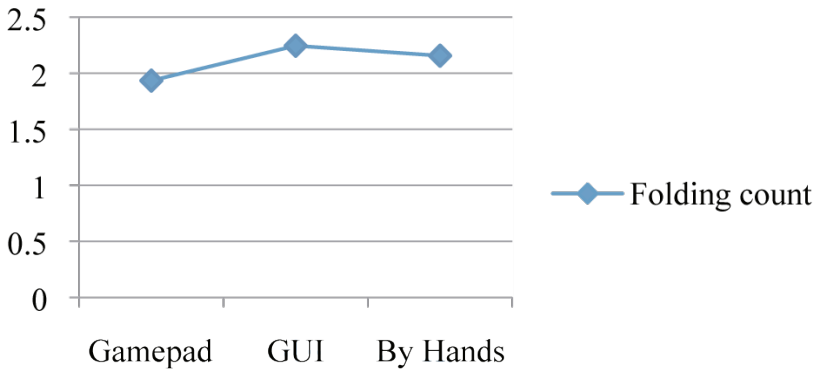



**図 21 各条件における折りたたみ回数の平均値**

### 記述式質問結果

各々の条件に関して，どのような点が指示し易いか，また指示し難いか記述で回答をもとめた．

### 条件 A ゲームコントローラ

条件 A(コントローラ)に関して，指示し易い点としては，被験者 2，3，4 は「使いなれたコントローラだった」,「使用するボタンの数が少ない点」,「洗濯物に対して好きな方向から近づける点」と答えた．これらの被験者は事前質問紙から，幼少のころからゲームに親しかったこと答えている．

指示し難かった点としては，被験者 1 は「コントローラに慣れていないので難しいと感じた」と回答した．また被験者 2，3，4，5 は「ロボットに細かい指示をすることができない」と回答した．このことからも，条件 A(コントローラ)は操作方法の取得が困難ということが示唆される．

### 条件 B GUI

条件 B(GUI)に関して，指示し易い点としては，被験者 1，4 は「ドラッグ＆ドロップで指示できるところ」と回答した．これはクリックして服をつかみドラッグして折りたたみ場

所を指示するというインタラクションが有効だということが確認できる．また被験者 B，E は「折る過程を目で見ながら操作できる点，イメージしやすい」と答えた．

指示し難い点に関しては，被験者 2，3，4，5 は「エラーがでてしまいたたむことができない」と回答した．ここでのエラーとは，被験者が，ロボットが洗濯物をたためない指示をしたときに生じる提示(洗濯物の色の変化する)をエラーと誤認識したことによるものだった．今後は他の提示手法を考える必要がある．

**条件 C 手による指示**

条件 C(実世界)に関して，指示し易い点としては，被験者 1，2，3，4，5 は，「日ごろのたたみ方で指示するだけなので簡単」，「自分が実際に行うことができるので指示し易い」と答えた．このことから，日頃の経験を利用して指示することは有効だということが示唆される．

指示し難い点としては，すべての被験者は，「難しい点は特に無かった」と答えた．

### 3.4.3.2ロボットの印象評価の結果

**選択式質問項目の結果**

ロボットの印象に対する質問紙では以下の項目について 7 段階で回答を求めた．図 22 に質問票の質問項目ごとの条件ごとの平均，標準偏差を含むグラフを示す．また以下に各々の結果を示す．

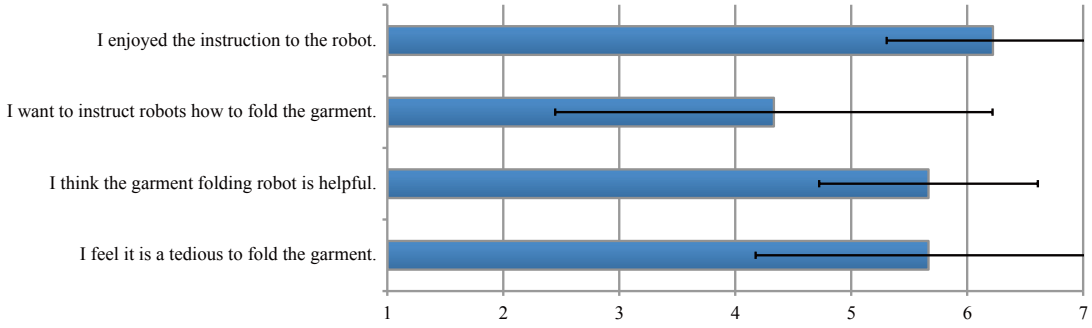



**図 22 ロボット印象評価**

質問項目 Q1，Q2，Q5 の項目に関して高い値を示した．具体的には被験者が衣服をたたむことを面倒だと感じていて，これらを代行するロボットが有効だということである．一方で質問項目 Q3，Q4 に関しては，中立の値を示した．具体的にはロボットに対して洗濯物のたたみ方を教えるかどうかはどちらでも良いという結果が得られた．

**記述質問項目の結果**

その他，記述式質問紙を用いて，回答をもとめた．被験者は「家庭内の仕事(家事)で他にどのような仕事をロボットにさせたいですか？また，してもらえれば嬉しいですか？」という質問に対しては，「風呂そうじ，庭掃除，草むしり，皿洗い，料理，食器洗い，布団を干し」と答えた．また「家庭内におけるロボットの指示方法はどのようなものが適切であると思いますか？」という質問に対しては，「使う人の動作が指示できれば便利」，「基本的には支持者が実際にやってみて，それを真似る方法が良い．さらに似たような状況を自分で判断し，指示をより一般化した形にできればさらに良い」，「ふだんの人の生活から学習して通常は指示なしで動いてくれ，特にふだんと違うことをやる場合だけ指示する方法」，「今までの行動を基にロボットに読み取ってほしい，特別なことはしたくない」と答えた．このことから，被験者はふだんの自分の行動をくみ取ってロボットに指示を与える方法という意見を多くもっていることがわかった．さらに「ロボットが家事を行うことに不安はありますか？また，それはどのような不安ですか？」という質問に対しては，「水を使うような家事は不安」，「ロボットが自分の指示通り動いてくれないことが不安」，「が問題だと思うところを発見できない」，「制御しきれなくなったとき，火をつかうとき」と答えた．このことから，ロボットが家庭に入ることに対してある程度の不安があることが確認できた．

## 3.5 実演展示

実装したシステムを用いて，一般の体験者に対して実演展示を行った．コンピュータとインタラクションに関する国際会議 SIGGRAPH 2009 の技術展示部門にて 5 日間で約 3000 名近くにシステムを披露し，約 1100 名の体験者を得た．すべての体験者は本インタフェースの使い方を理解し，ロボットに指示をだすことができた．ロボットは 69.25%の成功率で実際の服を最後まで折りたたむことを確認した．失敗の原因としては，展示会場の環境光の影響で，カメラの認識精度が落ちたこと，ロボットが動作する床に凹凸があったため，ロボットが安定して動作しなかったこと，動作中に電池が切れてしまったということが考えられる．

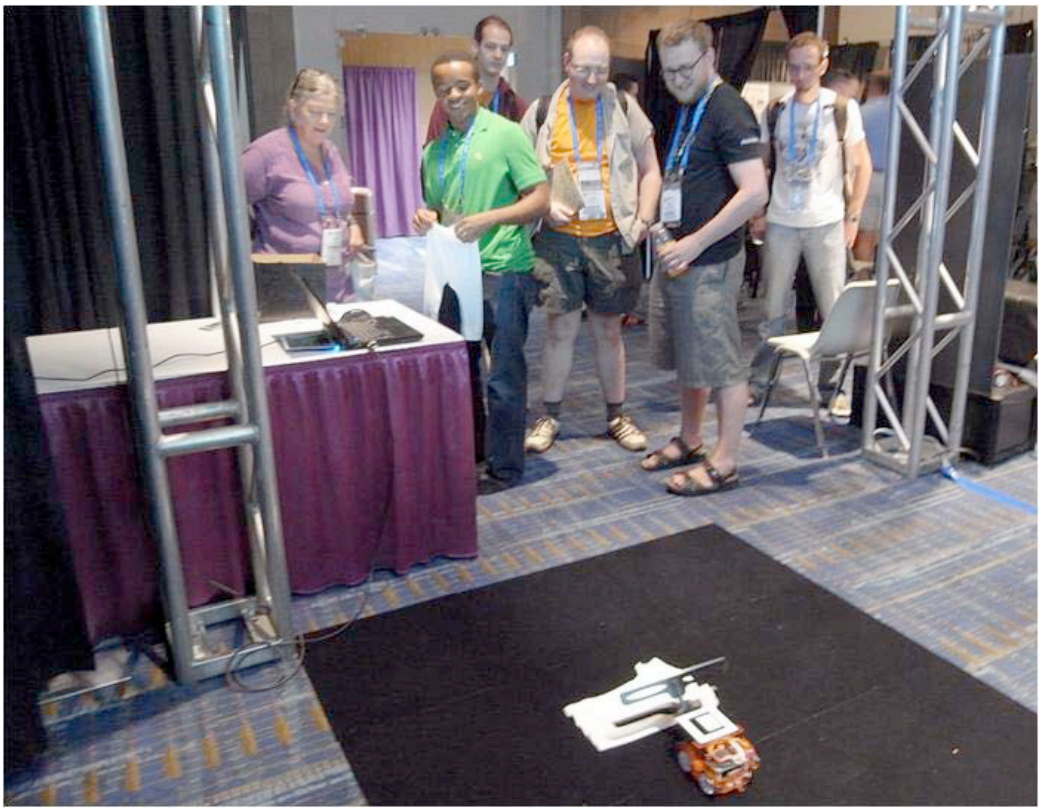


**図 23 SIGGRAPH 2009 における技術展示の様子**

## 3.6 考察

本章では服たたみロボットへの柔軟な指示インタフェースを開発した．さらに，他の手法，具体的には，ゲームコントローラで指示する手法，手で服を直接たたむことで指示する手法との比較を行った．その結果，本手法が，手で服を直接たたむことで指示する手法と同等の結果を示した．これを受けて議論を行う．

### 3.6.1 システムの拡張性

今回のシステムでは，ユーザは服のたたみ方そのものをインタフェースで指示することができ，ユーザはロボットの行動自体に注意する必要がない．したがって，専用のロボットに特化したインタフェースではないので，将来ヒューマノイド型ロボットのようなものが服をたたむような社会が訪れた場合にも，本インタフェースが利用することができる．また，折りたたみデータを蓄積すれば，服のたたみ方を他のユーザにも教えることができる．さらに，その蓄積したデータを共有すれば，プロフェッショナルなたたみ方をダウンロードして家庭で再現することが可能となる．

さらに，本手法の特徴として，ユーザが実際に手でたたむことが難しい衣類も指示する

ことが可能である．例えば，テントや，旗，カーテンなどの大きな布状のものは，直接手でたたむことは難しいが，本手法の場合，物理的な労力を少なく，指示を行うことができる．また，同様に人の手ではつかむことが難しい，小さいものに対しての指示も行うことができる．実際にそれらを折りたたむには，特別なハードウェアが必要となるが，ハードウェアに拘らず，本インタフェースを利用することができる．

### 3.6.2 ロボットの非同期性

家庭用ロボットに求められる機能の中でも重要なものの一つに動作の非同期性がある．電化製品は家事に関する指示を，それを行う機器に対して指示を行うことができ，かつ，それを非同期化させることが可能であったため，広く普及したと考えられる．本インタフェースはロボットに対する指示を非同期化することができるという点で，重要であろう．ロボット自身が完全に自律的に動作することは，現在の技術では不完全であり，このため，本稿ではこれを人が相互補完的にすることで新しい人とロボットの関係性を提案したが，評価実験から，本インタフェースがこれを実現することが可能なインタフェースであることが示されたと考えている．

### 3.6.3 他のロボットシステムの応用可能性

本インタフェースは家庭用ロボット，特に衣服たたみロボットに注目したものであった．我々は，もちろんこのロボットだけに注目している訳ではない．ロボットの作業の本質的な部分だけをユーザが指示することができる本手法は，他のロボットシステムに応用することができる．以下に具体例を示す．

- 運搬ロボット(ものをどこへ運ぶか指示する)
- ガーデニングロボット(花に与える水の量を指示する)

### 3.6.4 課題

今回試作したロボットはいくつかのハードウェア的な制限がある．まず，ロボット自体が服を展開できないので，ユーザがその作業を行なう必要がある．また，ロボットの大きさ，特に腕の長さに制限があり，現在は子供用の服をたたむことしか確認できていない．さらに，服の離脱動作時に，服が完璧に離脱できない場面が確認された．これらについては，今後改善を行っていく．

また，服の輪郭は背景色との差分から抽出を行っているため，この差分が小さいと認識が困難となる．したがって，現状では白色の衣類に限定し，システムが動作することを確認している．今後は，床の材料として再帰性反射材を用いることで，衣類の色に左右されない認識システムを開発する予定である．

さらにもう一つの重要な問題点として，ロボットが折りたたみに失敗した場合，現状ではシステムがそれを判断することができない．したがって，これらを検知することなく，失敗した場合でもロボットがそのまま作業を続けてしまう．今後は，GUI で指示した結果と現在の服の形状を比較し，折りたたみが十分でない場合は，再度ロボットがたたむようなシステムを開発していく．また，ロボットハンドにセンサを組み込むかどうかの検討を行う．

## 3.7 本章のまとめ

本章は，服たたみロボットへ指示を行うための，柔軟なインタフェースを開発した．ユーザは本インタフェースを通して，単純なマウス操作で，服のたたみ方をロボットに指示を行うことが可能となった．またインタフェースは，実際のロボットのモデルが考慮されているため，ユーザが，ロボットが不可能な指示を行おうとした場合に，視覚的なエラー表示を出すことが可能となった. 筆者は, 本システムを国際会議 SIGGRAPH 2009 において，デモンストレーションを行い，一般のユーザでもインタフェースを通じで，指示を出すことが可能であることを確認した.

また，有効性を確認するために，ゲームコントローラで直接ロボットに指示を行う手法と，実際に服を折りたたむことで指示を行う手法を用意し，我々の手法との比較を行った．この結果，本手法が，手で服を折りたたむ手法と同等に近い操作性を示した．本手法の特徴としては，ロボットが不可能な指示を行った場合に，視覚的にエラーを表示することができること，また，ユーザが実際に直接たたむことが難しい大きめの布地に対しても指示を行うことができるといったことがあげられた．今後は，本手法を他の実作業にたいしても利用可能か検討を行っていく．

# 第4章 料理支援ロボットシステムのための作業順序指示 GUI

## 4.1 概要

コーヒーメーカーで珈琲を入れる作業を考える．それは「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.」といった複数の工程が連続的に組み合わさっていることがわかる．このように家庭内において，複数の作業工程が連続的に積み重なることで実現できる家事が多く存在する．

本章では，このような家事を支援するロボットシステムの開発とその指示インタフェースに関する研究を行なう．具体的には，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の開発を行う．本システムにおいてユーザは，火力，食材を投下する作業，鍋をかき混ぜる作業，といった複数の作業工程を，インタフェースを通して連続的に指示を行なうことが可能となる．このような，複数の作業が存在する場合，中にはロボットでは不可能な作業も存在するため，人の介入が不可欠となる．そのため，人とロボットが共同で作業するための環境のデザインについても行なう．

## 4.2 先行研究

本節では，料理インタフェースや，支援を行っている事例に関して紹介し，本研究の位置づけを述べる．

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[Kato]．現実での調理支援の研究として，山肩ら[29]や椎尾ら[30]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，Bonanni らは調理空間で対象に対して情報を重畳させることで，シームレスにユーザに情報提示する手法を考案している[34]．さらに，中内ら

[33]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．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 クッキングヒーター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．

## 4.3 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，レシピを利用しない二通りのシナリオを提案する．以下に詳細を示す．

### 4.3.1 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 24 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．

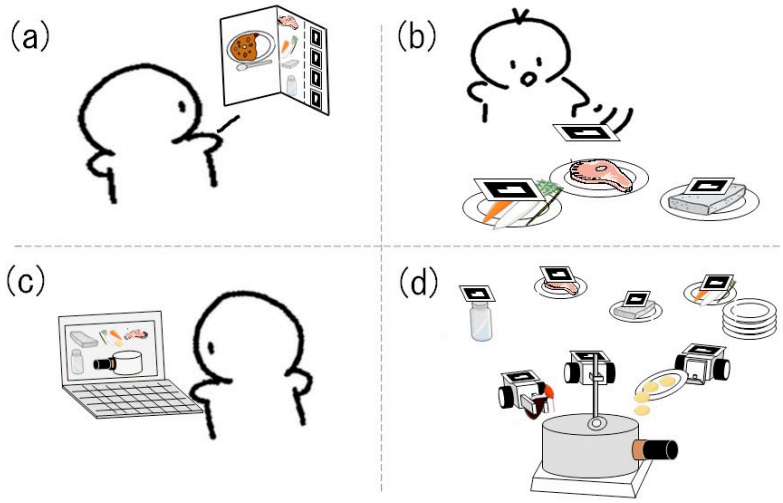



**図 24 シナリオ：専用レシピを利用した例**

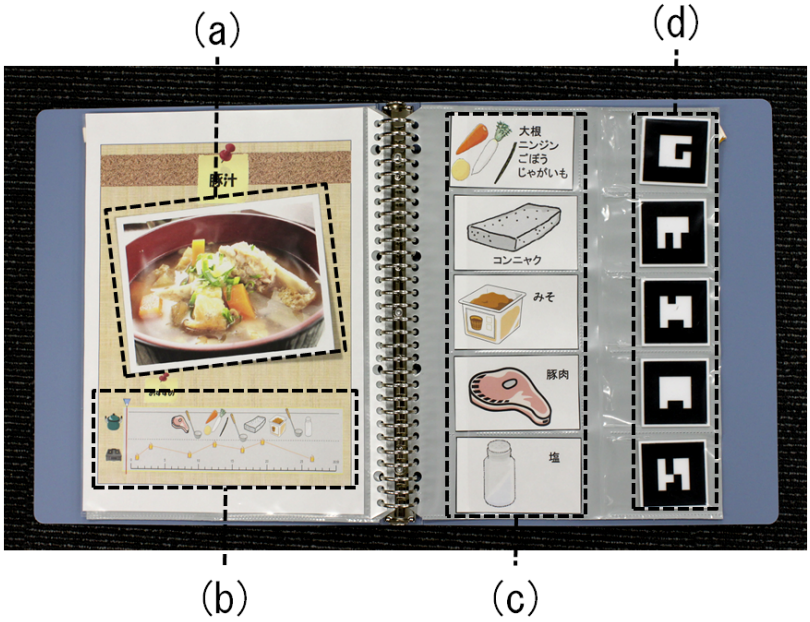


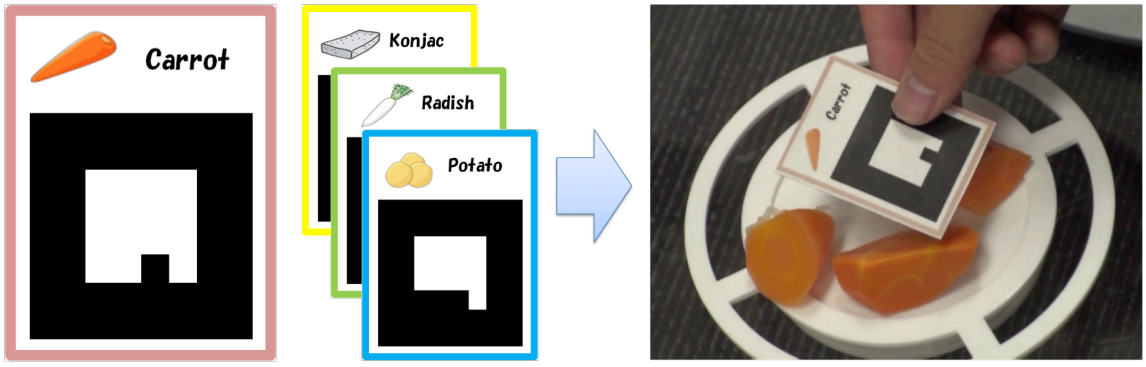

**図 25 専用のレシピ：食品(a)，料理にあったおすすめのタイミング(b)，食材(c)，マーカー(d)**

試作した専用レシピを図 25 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．

### 4.3.2 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 26 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[38] 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．




(a) (b)

**図 26 専用カード(a)，専用の皿にカードを配置する方法 (b)**

## 4.4 システム

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 27 に示す．

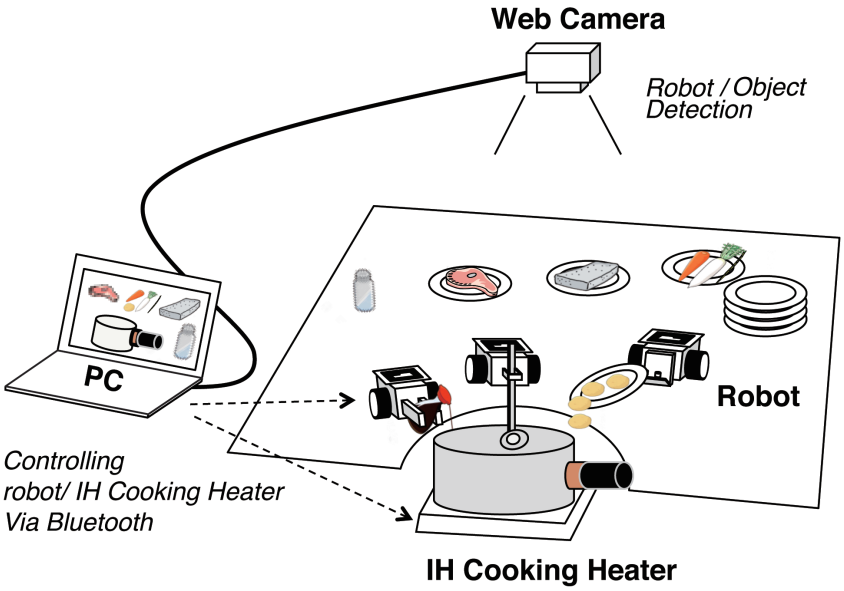



図 27 システム概要図

図 28 料理作業環境

### 4.4.1 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 台のロボットを開発した．各々のロボットには，2 つの車輪および，駆動モーターからなる移動機構と，物をつかむためのハンドとコンピュータからの制御命令に基づき車輪およびハンド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．以下に各ロボットの詳細を示す．

#### 4.4.1.1食材を運搬し，鍋に投下するロボット

本ロボットは，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．

#### 4.4.1.2調味料を運搬し，鍋に投下するロボット

本ロボットは，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．

#### 4.4.1.3調理具を運搬し，鍋をかき混ぜるロボット

本ロボットは，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．

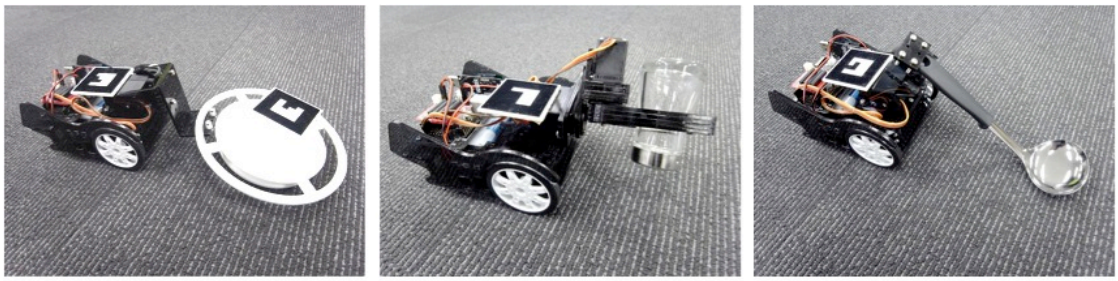



**図 29 食材を運搬し，鍋に投下するロボット，(b) 調味料を運搬し，鍋に投下するロボット，(c)調理具を運搬し，鍋をかき混ぜるロボット**

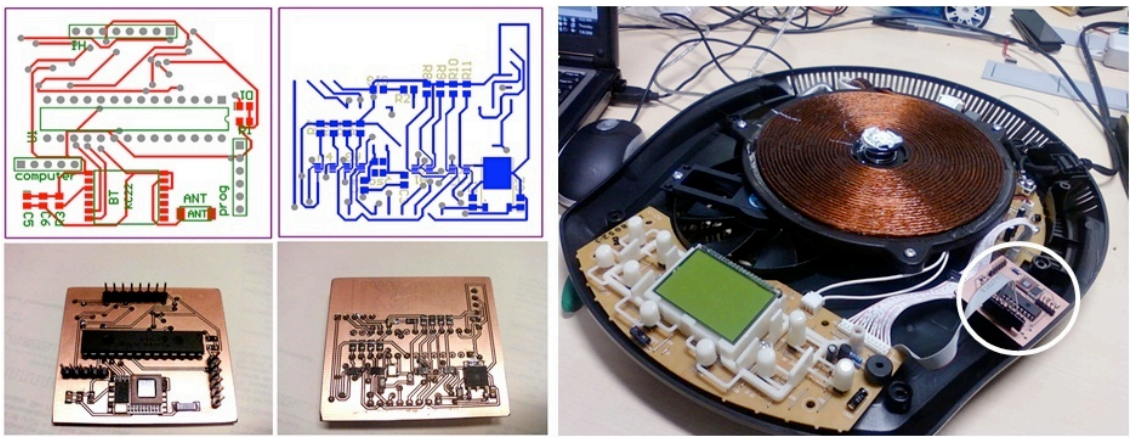



**図 30 自作回路の取り付け**

### 4.4.2 IH クッキングヒーターの制御

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(図 30)．今回は，コイズミ社製の IH 調理器 KIH-S407-S S-Line を使用している．温度はとろ火から強火までの 7 段階に変更が可能である．

### 4.4.3 認識部分の構築

本システムでは，カメラは市販されている標準的な Web カメラ(Logicool 社製の Qcam ProforNotebooks)を使用している．各カメラの解像度は 640px×480px に固定されている．また，本システムでのロボットや物体の位置認識については，ARToolKit[16]を使用している．

## 4.5 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をドラッグ＆ドロップなどの作業で指示することができる．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．

### 4.5.1 火力の指示

ユーザは火力入力画面上(図 31，d)を，クリックをすることにより，そのタイミングに合わせた IH クッキングヒーターの火力を指示することができる．

### 4.5.2 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．

### 4.5.3 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**

マーカー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**

調理の状況を確認できる．

**(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．

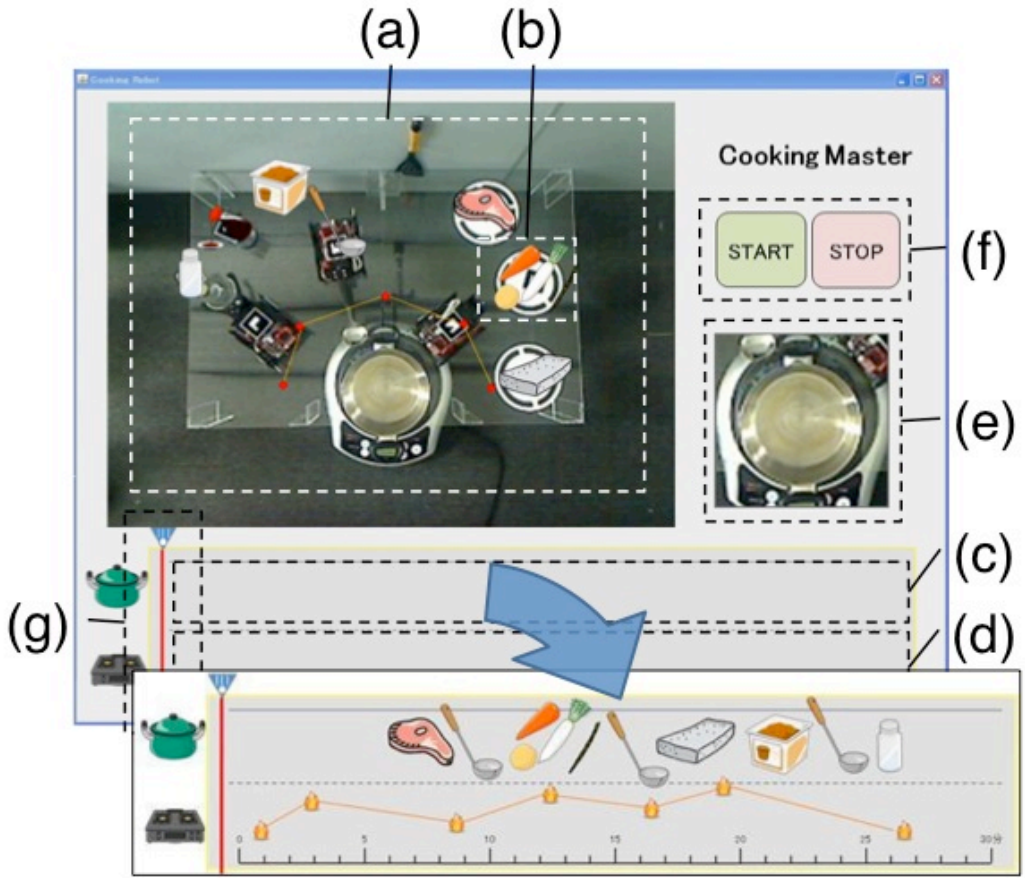



**図 31 操作画面：俯瞰画面(a)；食材のイラスト(b)；食材を投下するタイミングと鍋をかきまぜるタイミングを指示するタイムライン(c)；火力を入力するタイムライン(d)；鍋の様子が拡大された画面(e)；調理開始，停止ボタン(f)；タイムバー(g).**

## 4.6 動作検証

開発したシステムを用いて，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 500[ml]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．今回の動作検証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．

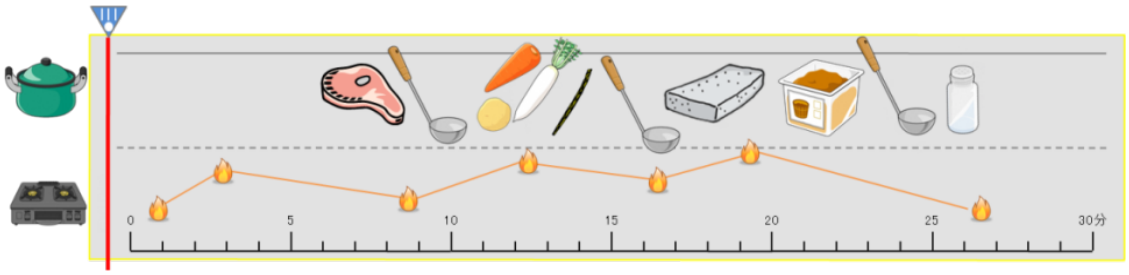



**図 32 タイムライン：豚汁の作り方を指示した例**

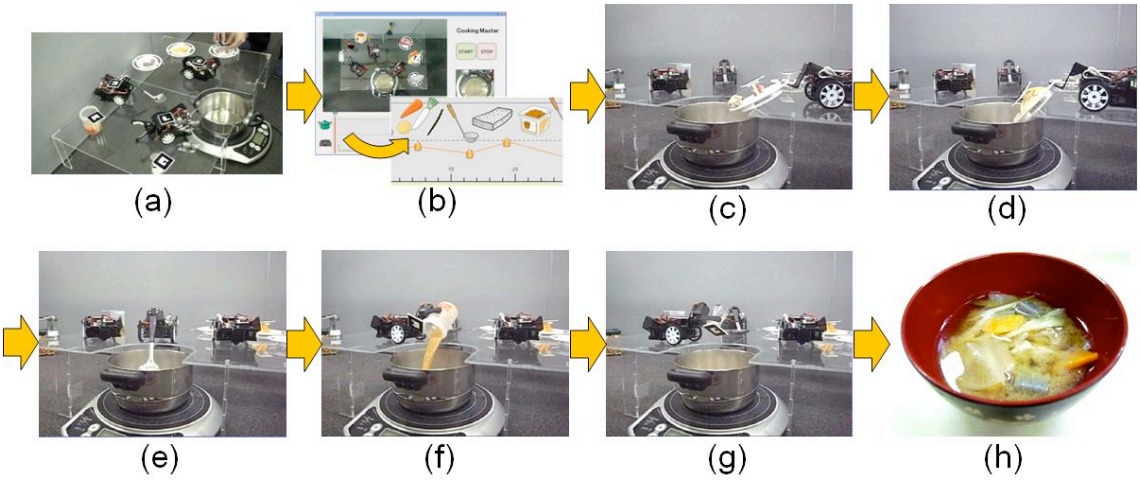



**図 33 動作検証：ユーザが食材にタグをつける(a)；ユーザが GUI でタイミングを指示する(b)；ロボットが肉を鍋に投下する(c)；ロボットが野菜を鍋に投下する(d)；ロボットが鍋をかき混ぜる(e)；ロボットが味噌汁を鍋に投下する(f)；ロボットが塩を鍋に投下する(g)，作成した豚汁(h)**

## 4.7 考察

本章では，複数の作業工程が一連に積み重なって実現するような家事において，それらを支援するロボットシステムの構築と，ユーザが作業順序を柔軟に指示できるインタフェースの開発を行った．今回は，その家事の中でも最も重要な一つである「料理」に注目し

た．本節では，システムの試作と動作検証の結果を受けて，議論を行う．

### 4.7.1 作業順序指示インタフェース

本研究で試作したシステムにおいて，ユーザは，複数台のロボットと，知能化された環境，具体的には火加減をコンピュータから制御できる IH クッキングヒーターを，一連に動作させる必要がある．そこで，ロボットへの間接的指示手法と，タイムラインベースの指示手法をインタフェースに取り入れることによって，ユーザがロボットに気にせず，時間に沿って複雑な作業を指示することができるインタフェースを開発した．具体的にユーザは単純なマウス操作で，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でタイムライン上にセットしていく． このように文字による情報や細かい操作を極力なくすことで，複雑なシステムに対しても，ユーザは視覚的で直感的に料理手順を指示することが可能となった．

### 4.7.2 人とロボットが共同作業を行なうための環境デザイン

本研究で取り上げた「料理」のように，いくつかの異なった作業工程が組み合わさって進行する家事の場合，現在の認識技術やハードウェアの性能では，ロボットと雖も困難な作業が生じる．したがって，現状では人とロボットが共同で作業可能な空間をデザインすることが不可欠となる．そこで，以下のことを考慮することで，共同に作業できる空間を構築した．

#### 4.7.2.1ユーザがアクセス可能な環境の構築

今回は，まずロボットとして車両型のものを採用し，各々に単一の機能を持たせた．この結果，ロボット一台のサイズを手のひらサイズと小型化することに成功した．このように従来の料理ロボットシステムのような大規模なロボットシステムを用いないことで，ユーザがアクセス可能な作業空間を構築することができた．他の特徴として，ロボットを用いず作業する場合でも，このような小型で分散したシステムの場合，簡単にその空間から取り除けるといった利点が考えられる．IH クッキングヒーターにおいても，コンピュータから操作が可能と同時に通常の操作でも使用ができるため，このような必要が生じた場合も，取り除く必要がなくなった．

#### 4.7.2.2人とロボットの道具の共有化

人とロボットが共有できる道具のデザインを行った．本研究では，ユーザが事前に，フィールドに食材を配置し，それをロボットが運搬し鍋に順に投下することで，共同作業を実現している．そこで，両者が利用できる専用の皿のデザインを行った．これは，一般的な皿のような形状をしているが，縁にロボットが把握するための特殊な溝をもうけること

で，ロボットも運搬可能なものを実現することができた．また，その他にも，ロボットが使用するおたまやフライ返し，調味料ケースもが普段使用するものを採用することで，道具の共有化を実現した．

#### 4.7.2.3認識部分のサポート

現在の画像認識では，特定の物体に関して，正しくそれが何であるかを判断することは可能となっている．しかし，本研究で利用する食材のように，同じ種類のものでも，季節や産地によって色が異なり，加工法によって形も異なってくるものに対しての認識はとても困難となる．そこで我々は，視覚的なマーカーと食材名が記載されたカードを用意した．ユーザは用意した食材と関連したマーカーを貼り付けることで，システムが簡単に物体を認識することが可能となった．

### 4.7.3 システムの拡張性

本提案で試作した調理手順指示インタフェースは，専用のロボットシステムに特化したものではない．今後，ヒューマノイド型ロボットの開発がすすみ，家庭の様々な家事を代行するような未来が訪れる場合でも，本手法を活用することが可能である．

もうひとつの拡張性として，ユーザの指示データを蓄積することができれば，共有することができる．その結果，プロのユーザが指示したレシピデータや，他国の名産料理などデータをダウンロード可能となり，それを家庭で再現ができるだろう．

### 4.7.4 他システムへの応用性

本章では，料理を取り上げたものだったが，この作業だけに注目しているわけではない．他の場面においても，本研究の知見を応用することができると考えている．具体的に考えられるシナリオは次の通りである．

- 洗濯作業の自動化 (どの服を選択するか，いつ洗濯機をスタートさせるか，いつクリーニングに出すか)
- ガーデニングの支援(いつ水を与えるか，肥料の量，どの花に水を与えるか)
- 掃除 (どの部屋を掃除するか，何時に掃除を終わらせるか，どこを重点的に掃除するか)
- 空調の制御(何時に暖房を消すか，どの部屋を暖かくするか，風量と温度の設定)

以上のような連続的な作業を積み重なることで実現する家事で，さらにユーザ個々の必要性が大きく現れる作業に対して，本手法は有効に機能すると考える．

### 4.7.5 課題

まず，ハードウェアの問題として，ロボットの動作の再現性の低さがあげられる．今回

の動作テスト時でも，食材の重量によっては，正しく目的地に移動できないような場面が確認された．また，調味料の重量によっても，投下時に鍋にそのままケースを落としてしまうなどの問題が生じた．これについては今後ロボットの検討を行う．また，動作検証時に確認された問題に関しても，ハードウェアの見直しを行なう予定である．

また，インタフェースの機能として不十分のところも多く存在する．例えば，調味料の量を細かく指示することはできない．

さらに重要な課題として，ロボットが何らかの失敗をしてしまった場合にシステムが感知できずにそのまま作業を続けてしまうことがあげられる．今後は，環境側にセンサを組み込むことで，自動的にシステムの停止，さらにリカバリ作業を行なうような実装を行っていく．

## 4.8 本章のまとめ

本章では，複数の工程が連続的に積み重なって実現する家事において，それを支援するロボットシステムと，それら複数の工程を一連に指示可能なインタフェースの開発を行った．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，火力，食材を鍋に投下する作業，鍋をかきまぜる作業，単純なマウス操作でタイムライン上に配置することで，時間に沿った複数の作業をロボットに指示することが可能となった．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作業，ユーザが行わないといけない作業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．

# 第5章 総合的な考察

本論文では，家事ロボットに対して，ユーザが，個々の必要に応じて直感的にロボットの作業手順を編集操作可能なインタフェースの開発を行った．また，3 章に関しては，従来の指示手法と比較を行い，有効性の検証を行った．本章では，これまでの研究成果から得られた知見により考察を行う．

### 5.1.1 家事ロボットのための指示インタフェース

家事などの作業においては，ユーザはロボットへの興味よりも，そのロボットが提供してくれるものやサービスを重要とする．例えば，ロボットが全く自分に合わない料理を提供したり，必要ない場所を永遠と掃除していたりする状況が続くことは，人とロボットが良い関係であるとは言い難い．そこで，これらの家事ロボットに対して，素人でも自分の些細な欲求を伝える手法を考えた．具体的に，本論文では，ロボットに注意することなく，仕事の本質的な部分だけを指示し，間接的にロボットに指示を出す手法を提案し，試作を行った．

#### 5.1.1.1GUI を用いたロボットへの間接的な指示手法

ロボットが行なう仕事において，本質的な部分の抽象化を行なう．ユーザはコンピュータ上のインタフェースを通して，その本質的な部分だけを操作することでロボットに間接的に指示を与えることができる．システムは，自動的に作業手順を生成し，ロボットが指示通りの内容を実行する．この手法を用いることで，素人でも自分の些細な欲求をロボットに対して伝えることが可能となった．

本論文の第 3 章では，具体的に服たたみロボットに対して，たたむという作業の抽象化を行うことで，ユーザが自由にたたみ方を決定し，ロボットに指示できるインタフェースを開発した．さらに，比較実験の結果，直接手で折りたたむ作業と同様の作業の簡単さを示した．第 4 章では，複数のロボットからなる料理作業システムに対して，ユーザが自分なりの料理の作業手順を自由に編集操作できるインタフェースを開発した．具体的にこのインタフェースは，食材を入れる作業，かき混ぜる作業，火力調整の抽象化されており，タイムラインに沿って自由に作業手順を指示する．その手順に従って，複数のロボットシステムが同時に作業を行い，指示通りに料理を作成することができるようになった．

#### 5.1.1.2非同期性

家電システムが広まった要因として，指示の非同期性が考えられる．ユーザは，事前にセットアップし指示を行なうことで，それ以降，作業が終了するまで席を外すことを許されるのである．これは，ユーザに他の作業を行なう時間や，指示を行なう時間を柔軟に提供する．

我々は，家事ロボットにおいても同様の機能が必要だと考える．そのため本論文の第 4 章と 5 章で扱う家事ロボットに対しては,指示と実際のロボット動作は非同期的に行なう．このように，家事ロボットに対しての非同期的な指示は，家庭において有効と考える．

#### 5.1.1.3拡張性

本研究では，小型ロボットを用いたが，この手法は専用のロボットシステムに特化したものではない．例えば，今後，ヒューマノイド型ロボットの開発がすすみ，家庭の様々な家事を代行するような未来が訪れる場合でも，本手法を活用することが可能である．作業の本質的な部分だけが抽象化され編集できるインタフェースは，ユーザにロボットの実際の行動を意識させず指示を出すことができる．作成したデータはインタフェース上で視覚化されているので，その情報を他のユーザに提示することができる．また，世界中のユーザが作成したデータを家庭で再現することが可能である．

また，コンピュータで指示を行なう場合，現実では困難とされる作業の指示も簡単に行なうことができる．例えば，屋根裏部屋を掃除するロボットに対して，掃除場所を指示する場面を想定する．実際にユーザは直接屋根裏に登り，ここを掃除してほしいと指示するのは困難である．また，テントやカーテンなどの大きな布状をたたむロボットに対して指示を行なう場面を想定する．これらを実際にユーザが直接手で折りたたみ，指示を行なうのは面倒である．さらに，同時に複数の作業を行なう料理ロボットに指示をする場面を考える．実際に料理を行ってその内容を記録しても，一人で効率良く作業するのは困難である．このような場面において，作業の本質的部分だけを抽象化しコンピュータ上で操作する手法は有効に機能すると考える．

## 5.2 家庭用ロボットのためのインタフェースの重要性

本論文では一貫して一般的なユーザが，家庭内のロボットにたいして柔軟に指示できるインタフェースに関する研究を行ってきた．その中でも，エンタテインメントを目的とするロボット，家事を代行するロボットへの新たな指示方法を提案し，評価を通して有効性を確認した．これ以外にも様々な目的を持ったロボットが家庭に進出することが予想される．きたるロボットの共同生活において人とロボットの関係性を深く議論しなければいけない．さらに知的になっているのはロボットだけではない．すでに空間全体のロボット化が進行している．IP アドレスが割り当てられネットワークでつながる家電，数百個の指示

の組み合わせを持った洗濯機，自分自身のフィルタを掃除するエアコン，帰ってくれば自動的に点灯する明かり，今まで手動で行ってきたことを，ブラックボックス化することで，ユーザは注意を払う必要がなくなった．

一方でこの環境の知的化は，時に人を征することも考えられる．特に実世界に大きな作用を及ぼすロボットは，自分の手足の延長のように命令を与える存在としての関係性を保つ必要があると考える．故に，インタフェースが重要となる．我々が行った研究領域は，このような知的なロボットに対して両者をストレスなくつなぐ任務を担っている．

本知見で，人とロボットのインタフェースに適用できる手法をデザインしたとは断言できない．それは，多種多様な目的を持っているが故に，様々なインタラクションの方法が存在するからである．

歴史が深い，人とコンピュータとのインタラクションを扱う研究分野は，現在も衰退することなく世界規模で研究が行われている．初期はごく限られた目的のために存在したコンピュータも，テクノロジの進歩によりハードウェアの小型化と安価に生産できるようになる．当時は，CUI がシステムを操作する手段であったのに対し，アラン・ケイらは，パーソナルコンピュータという概念を提唱し，それに相応しいシステムがどうあるべきかを考え，一般ユーザを想定したインタフェースが注目されるようになる．GUI の登場により，この両者の関係は急激に親密となり，今や世界中の老若男女がコンピュータを所持し，様々な場面で活用できるようになっている．

ロボットも，はじめは工場などの限定された環境の中で作業の効率化を促進するものとして利用されてきたが，近年はその身体性を活かした，様々な利用用途が研究されている．すでに，家事ロボットとして iRobot 社の Roomba に代表されるように，一般ユーザでもロボットを購入し，利用することができる社会が訪れつつある．このように知的ロボットにたいして，それらを素人でも簡単に扱うためのインタフェースは今後必要不可欠となる．我々は，本知見により，きたる人とロボットの共生時代にむけて，両者を良い関係にするためのインタフェースの重要性を訴えていく．

# 第6章 結論

本論文は，家庭用ロボットにたいして，素人のユーザが，個々の必要に応じて，直感的に作業手順をカスタマイズできる GUI の提案を行った．GUI には，ロボットが対象とする作業の本質的な部分が抽象され，操作できるようになっている．ユーザは，その GUI 上で，ドラッグ＆ドロップなどの操作で作業手順を決定する．システムはこの結果に従い，ロボットの作業手順を生成し，ロボットは指示通りに実行する．その具体例として，本論文では，家庭における家事の中でも「服たたみ」「料理」に注目し，その作業を代行するロボットにたいして，指示インタフェースを開発した．

第 3 章では，服たたみロボットにたいして，たたみ方を指示する GUI を開発した．この GUI には，服のモデルが視覚的に表示されており，ユーザは，マウスなどの操作で自分に合ったたたみ方を決定する．ロボットはその指示結果に従い忠実に作業を行う．また，開発した GUI を，他の手法，具体的には，ゲームパッドを使った直接的な操作，ユーザが直接服を折りたたむことで指示を伝える手法，との比較を行った．その結果，本手法が，手で直接たたむ手法と同程の直感性を実現していることを確認した．

第 4 章では，料理支援ロボットシステムにたいして，料理作業手順を指示する GUI の開発した．ユーザは GUI 上で，火力，食材を鍋に投下する作業，かき混ぜる作業，などをタイムラインに配置を行う．ロボットシステムは，その指示に従い，作業を行う．第 4 章では，試作したシステムの動作検証を行い，指示通りに作業を再現することを確認した．

本手法は，家庭用ロボットのインタフェースを設計するための手法の一つとして，貢献すると考えている．今後は，これまで試作したインタフェースの改良を行うとともに，他の応用例を考えていく．

**謝辞**

本論文は私，杉浦裕太が慶応義塾大学大学院メディアデザイン研究科，修士課程中に行った研究をまとめたものです．本論文を執筆することができたのは様々な先生方，友人，仲間の協力の賜物です．ここで一部ではありますが，本論文をまとめるにあたって協力して下さった方々に感謝の意を述べたいと思います．

まず指導教官である稲見昌彦教授には，電気通信大学大学の学部 2 年次から特別に研究室に出入りさせていただき，常に幅広い見識からの適格な助言を頂き心より感謝しております．

研究指導や論文の執筆で多くの助言をいただきました，奥出直人教授，稲蔭正彦教授に心から感謝いたします．

本論文の第 3 章に関しては，JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースにおいて，研究を行いました．まず研究の機会を与えてくださった，五十嵐健夫博士に感謝いたします．さらに，ともに研究を行った Tabaré Gowon 君に感謝いたします．

本論文の第 4 章に関しては，2008 年度下期未踏人材育成事業において，援助をいただき研究を行いました．本事業において，助言をいただいたプロジェクトマネージャの安村通晃博士に感謝いたします．さらに，私の不手際な部分を常に支えてくださった，管理組織である創夢の皆様に感謝いたします．

研究の本質的な部分を的確に指導してくださった，常盤拓司研究員，坂本大介さんに深く感謝します．両氏には，研究のマネジメントの仕方，論述方法などの研究の根本的なことを指導いただきました．

本研究を進めるにあたり，慶應義塾大学メディアデザイン研究科の皆様には多くの方々にお世話になりました．

まず，本研究をまとめるにあたって，ご協力を頂いた，杉本麻樹講師に心よりお礼を申し上げます．

グループのスタッフとして研究生活を裏から支えていただいた佐藤裕子さん，島深雪さんには大変お世話になりました．

様々な場面で議論させていただいた，古川正紘さん，永谷直久さん，小泉直也さんに心より感謝しております．私の些細な悩みに対して，常に的確なアドバイスをしていただきました．

ともに Robotic Life プロジェクトをすすめた，Anusha Withana 君，Charith Fernando 君，筧豪太君，近藤誠君に深く感謝いたします．

さらに，多くの場面で苦楽をともにした，稲見グループのメンバーである，高橋征資さん，大越淳史さん，上間裕二君，安謙太郎君，朱景華さん，公文悠人君，竹田周平君，電

気通信大学時代の稲見研究室のメンバーに深く感謝致します．本当にありがとうございました．

最後になりましたが，私の健康面を常に気遣っていただき，時には研究面においても鋭い指摘をいただいた両親と，兄弟に感謝し，本論文の結びとさせていただきます．

## 参考文献


[1] Okada, K., Ogura, T., Haneda, A., Fujimoto, J., Gravot, and F., Inaba, M. Humanoid motion generation system on HRP2-JSK for daily life environment, In Proc. ICMA 2005, IEEE (2005), 4, 1772 -1777.

[2] iRobot Corporation, Roomba, http://www.irobot.com/.

[3] 株式会社近藤科学，http://www.kopropo.co.jp/index.php

[4] Zhao, S., Nakamura, K., Ishii, K. and Igarashi, T. Magic cards: a paper tag interface for implicit robot control. In Proc. CHI 2009, ACM (2009), 173-182.

[5] 河原崎徳之，宮下幸一郎，飛塚盛次，安永拓司，吉留忠史，西原主計， HMD とジョイスティックによる歩行ロボットの制御に関する研究(OS.17 と関わるロボット)，日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 Vol.2004, No.10(20040303) pp.417-418.

[6] 松本剛明，近野敦，内山勝，小型ヒューマノイドロボット HOAP－2 遠隔操縦”計測自動制御学会東北支部第 213 回研究集会(2003).

[7] 舘暲，荒井裕彦，テレイグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価，日本ロボット学会誌，Vol.7, No.4, pp.314-326 (1989.8).

[8] 関口大陸, 稲見昌彦, 舘暲, オブジェクト指向型テレイグジスタンスによるロボティックユーザインタフェース -形状共有システムの提案と試験的実装-，インタラクティブシステムとソフトウェア VIII: 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社， pp.51-56, 2000.

[9] 清水紀芳，小泉直也，杉本麻樹，新居英明，関口大陸，稲見昌彦，保持型ロボティックユーザインタフェースの研究，日本知能情報ファジィ学会誌，Vol.17, No.2, 2005.

[10] Daisuke Sakamoto, Koichiro Honda, Masahiko Inami and Takeo Igarashi, Sketch and Run: A Stroke-based Interface for Home Robots, Proceedings of the 27th international Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI2009, pp.197-200, Boston, USA, April 4-9, 2009.

[11] 森下圭介，呉世淑，清水紀芳，杉本麻樹，稲見昌彦，松野文俊，バーチャルライントレースによる遠隔ロボット操作に関する研究，第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集， pp. 60-64(2007).

[12] 清水紀芳，長谷川昌一，稲見昌彦，ペン入力を用いたヒューマノイドロボットの運動・動作制御の提案，インタラクション 2009.

[13] Kemp, C. C., Anderson, C. D., Nguyen, H., Trevor, A. J., and Xu, Z. A point-and-click interface for the real world: laser designation of objects for mobile manipulation. In Proc. HRI 2008, (2008), 241-248.

[14] Kentaro Ishii, Shengdong Zhao, Masahiko Inami, Takeo Igarashi and Michita Imai, Designing Laser Gesture Interface for Robot Control, Proceedings of the 12th IFIP Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT2009), pp.479-492, August 2009 in Uppsala,

Sweden.

[15] 村上友樹，中西英之，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.

[16] James Keng Soon Teh, Daishi Kato, Kazuo Kunieda, Keiji Yamada, Programming Robots by Haptic Means, New Tech Demos, The 35th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 08), 11-15 Aug. 2008.

[17] Frei, P., Su, V., Mikhak, B., and Ishii, H. curlybot: designing a new class of computational toys. In Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 129-136, 2000.

[18] Raffle, H. S., Parkes, A. J., and Ishii, H. Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. In Proc. CHI 2004, ACM Press (2004), 647-654.

[19] Rogalla, O., Ehrenmann, M., Zollner, R., Becher, R., and Dillmann, R. Using Gesture and Speech Control for Command a Robot Assistant. In Proc. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, IEEE Press (2002), 454-459.

[20] Skubic, M., Anderson, D., Blisard, S., Perzanowski, D., and Schultz, A. Using a hand-drawn sketch to control a team of robots. Autonomous Robots, 22(4), 399-410, May 2007.

[21] Jun Kato, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami and Takeo Igarashi, Multi-touch Interface for Controlling Multiple Mobile Robots, Proceedings of the 27th international Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA2009, pp.3443-3448, Boston, USA, April 4-9, 2009.

[22] FURUTA, Y., MITANI, J. and FUKUI, Y. 2007. Modeling and mouse interface for interactive virtual Origami operation, Symposium Series of Information Processing Society of Japan, 4, 137-144.

[23] IGARASHI, T. and HUGHES, J. F. 2002. Clothing Manipulation, In Proceedings of UIST 2002, ACM, 91-100.

[24] Shibata, M., Ota, T., Endo, Y. and T. Mechanical system that achieves Grasping, unfolding, and placing of fabric, In Proc. 2008 JSME Conference on Robotics and Mechatronics (2008).

[25] Osawa, F., Seki, H. and Kamiyama, Y. Clothes Folding Task by Tool-Using Robot, Journal of Robotics and Mechatronics, 18, 5 (2006), 618-625.

[26] Balkcom, D.J. Mason, M.T. Introducing robotic origami folding. In Proc. ICRA2004, IEEE (2004), 3245-3250.

[27] Hirokazu Kato. ARToolKit : Library for Vision-based Augmented Reality. Technical report of IEICE. PRMU Vol.101, 79-86, 2002.

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

[29] 山肩洋子，正司哲朗，角所考，美濃導彦，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.

[30] 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.

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

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

[33] Y.Nakauchi, T.Fukuda, K.Noguchi, T.Matsubara: Time Sequence Data Mining for Cooking Support Robot, Proc. of 2005 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA2005), No.We-B3-4, 2005

[34] Bonanni, L., Lee, C.H., and Selker, T. "Attention-Based Design of Augmented Reality Interfaces." Short paper in proceedings of Computer Human Interaction (CHI) 2005, Portland OR.

[35] Yuki Mori, Takeo Igarashi. Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2007), vol.26, No.3, Article No.45, San Diego, USA, August 2007.

[36] 舘暲：ロボット入門-つくる哲学・つかう哲学，ちくま新書，2002.

[37] Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka "Teddy: A Sketching Interface for 3D Freefrom Design", ACM SIGGRAPH 99, Los Angeles, August, 1999.

[38] Cookpad. http://cookpad.com/

[39] Kulyukin, V. A. On natural language dialogue with assistive robots. In Proc. HRI 2006, ACM Press (2006), 164-171.

[40] Harnad, S. The Symbol Grounding Problem. Physica D, 42 (1990), 335-346.

[41] Atkenson, C. G. and Schaal, S. Robot Learning From Demonstration. In Proc. Machine Learning. D. H. Fisher, Ed. Morgan Kaufmann Publishers (1997), 12-20.

## 研究業績リスト

国際会議

[1] Yuta Sugiura, Daisuke Sakamoto, Anusha Withana, Masahiko Inami and Takeo Igarashi, Cooking with Robots: Designing a Household System Working in Open Environments, Proceedings of the 28th international Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI2010, Atlanta, USA, April 10-15, 2010. (to appear)

[2] Yuta Sugiura, Charith Lasantha Fernando, Anusha Indrajith Withana, Gota Kakehi, Daisuke Sakamoto, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, Takeo Igarashi and Masa Inakage, An Operating Method for a Bipedal Walking Robot for Entertainment, ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Full-Conference DVD-ROM Emerging Technologies, Yokohama, December 2009.

[3] Masahiro Furukawa, Yuji Uema, Yuta Sugiura, Atsushi Okoshi, Naohisa Nagaya, Takuji Tokiwa, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, Fur Display, ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Full-Conference DVD-ROM Emerging Technologies, Yokohama, December 2009.

[4] Yuta Sugiura, Takeo Igarashi, Hiroki Takahashi, Tabare A. Gowon, Charith Lasantha Fernando, Maki Sugimoto and Masahiko Inami, Graphical Instruction for A Garment Folding Robot, ACM SIGGRAPH 2009 Full-Conference DVD-ROM Emerging Technologies, New Orleans, August 2009.

[5] Fumitaka Ozaki, Takuo Imbe, Shin Kiyasu, Yusuke Mizukami, Yuta Sugiura, Naohito Okude, Masahiko Inakage, Masahiko Inami, Maki Sugimoto, Adrian Cheok and Shuichi Ishibashi, "MYGLOBE: Cognitive Map as Communication Media", ACM SIGGRAPH 2009 Full-Conference DVD-ROM Posters, New Orleans, Aug 2009.

国内口頭発表

[1] 杉浦裕太，筧豪太，Anusha Indrajith Withana，坂本大介，Charith Lasantha Fernando，稲見昌彦, 五十嵐健夫, Walky: 指の擬人的な動作を利用した歩行ロボットへの操作手法，インタラクション 2010 インタラクティブ発表(プレミアム)，2010 年 3 月．(to appear)

[2] 代蔵巧，坂本大介，杉浦裕太，小野哲雄，稲見昌彦，五十嵐健夫，RoboJockey: 連続的なロボットパフォーマンスのためのインタフェース，インタラクション 2010 インタラクティブ発表(プレミアム), 2009 年 3 月．(to appear)

[3] 杉浦裕太，坂本大介，Anusha Indrajith Withana，稲見昌彦，五十嵐健夫，Cooky: 調理順序指示インタフェースと料理ロボットの開発，第 17 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 (WISS2009), 2009 年 12 月．(2009/12/2-4@静岡県熱海市 熱海温泉 ホテル大野屋)

[4] 杉浦裕太，坂本大介，高橋大樹，Tabare A. Gowon，Charith Lasantha Fernando，杉本麻樹，

稲見昌彦，五十嵐健夫，Foldy: 服たたみロボットへの柔軟な指示手法，インタラクティブ東京 2009，2009 年 10 月. (2009/10/24@産総研臨海副都心センター会議室)

[5] 杉浦裕太，五十嵐健夫，高橋大樹，Tabare A. Gowon，Charith Lasantha Fernando，杉本 麻樹，稲見昌彦，Graphical Instruction for a Garment Folding Robot，エンタテインメントコンピューティング 2009，2009 年 9 月．(2009/9/16-18@東京大学)

[6] 吉崎航，杉浦裕太, Albert C. Chiou，橋本直，稲見昌彦，五十嵐健夫，赤澤由章，川地克明，加賀美聡，持丸正明，キャラクタ姿勢入力のための双方向パペットインターフェイス，第 27 回日本ロボット学会学術講演会論文集，pp.RSJ2009AC3C3-06，2009 年 9 月.(2009/9/15-17@横浜国立大学)

[7] 古川正紘，上間裕二，永谷 直久，杉浦裕太，大越涼史，常盤拓司，杉本麻樹，稲見 昌彦，毛ディスプレイ，第 14 回バーチャルリアリティ学会大会，2009 年 9 月. (2009/9/9-11@早稲田大学)

[8] 水上祐輔，喜安伸，杉浦裕太，村井裕実子，常盤拓司，太田直久，素早い意思決定を促すオンラインコミュニケーションシステムの開発，第 134 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会，Vol.2009-HCI-134 No.9，2009 年 7 月. (2009/7/16/-7/17@フォレスタ鳥海)

[9] 杉浦裕太，稲見昌彦，エンタテインメントのための歩行ロボット操作法，エンタテインメントコンピューティング 2007 論文集，pp 85-88，2007 年 10 月. (2007/10/1-3@大阪大学)

国内実演展示

[1] 杉浦裕太，坂本大介，高橋大樹，Tabare A. Gowon，Charith L. Fernando，杉本麻樹，稲見昌彦，五十嵐健夫，Foldy，DIGITAL CONTENT EXPO 2009，2009 年 10 月. (2009/10/22-25@日本科学未来館)

国内特許

[1] 杉浦裕太，坂本大介，稲見昌彦，五十嵐健夫，料理プロセス指示装置及び料理プロセス指示方法，特願 2009-264954

[2] アルバート　チョー，杉浦裕太，橋本直，稲見昌彦，五十嵐健夫，川地克明，加賀美聡，持丸正明，姿勢データ入力装置，特願 2009-108270

[3] 五十嵐健夫，タバレ　アキム　ゴーン，稲見昌彦，高橋大樹，杉浦裕太，衣料折り畳みシステム，衣料折り畳み指示装置，特願 2009-167727

## 付録 A　3.4 で用いた指示文章

### 1.　実験開始前の指示

今回，私たちの研究グループでは洗濯物をたたむことができるロボットを開発しました．このロボットはあなたの指示に従って洗濯物をたたむことができます．まずは，実際にロボットが洗濯物をたたんでいるところをご覧ください．

--

ロボットが動いているところを見せる．

--

このようにロボットは自動的に洗濯物をたたむことができます．洗濯物をたたむ仕事は私達がついて見ている必要はありません．たとえば，私達が外出しているときにも洗濯物をたたんでおいてくれます．「あとでやっておいて．」のような指示をすることも可能です．

ただ，実際には洗濯物を自動的にたたんでくれることは便利かもしれませんが，洗濯物のたたみ方は人それぞれ違うこともあります．このため，このロボットは洗濯物のたたみ方を私達が指示をすることができます．今回の実験では 3 種類の指示方法でロボットに洗濯物のたたみ方の指示を行ってもらいます．あなたが指示した結果はすべてロボットが覚えていて，先ほど見ていただいたように，今後自動的にあなたのたたみ方を忠実に再現してくれます．洗濯物のたたみ方の指示については，あなたがふだんたたんでいるようなたたみ方を指示してください．

今回は全部で 3 回の実験を行いますが，それぞれの実験について 6 枚の洗濯物をたたんでもらいます．この作業を行った後，配布される質問紙に答えていただきます．また最後に全体の質問紙に答えていただき，簡単なインタビューをさせていただきます．

### 2.　ロボットによる洗濯物のたたみ方の直接指示条件

コントローラを使ってロボットを直接操作して指示する方法を行ってもらいます．この操作はすべて記録されていて，ロボットはその指示をすべて覚えてくれます．今後あなたが必要だと思ったときにロボットはこの洗濯物を指示した方法でたたんでくれます．

この操作方法は，あなたが直接ロボットと洗濯物を見ながら，指示をだすことができます．しかしあなたはコントローラに慣れなければいけなく，さらに指示をしている間，あなたは常にロボットを操作する必要があります．

これからロボットの操作方法に関して説明します．まず，コントローラ上の十字キーを押してください．押している間はロボットが前進，後進，左右回転ができます．またコントローラの R1, L1 ボタンを押してください．これはロボットが洗濯物をつかむ，はなすことができます．これから 3 分間の間，操作の練習を行ってください．

それでは本実験に入ります．私が服を展開された状態で置きますので私からの「はじめます」という合図に従って指示をしてください．あなたからの「終わりました」という合図を聞いて，次の洗濯物を置きます．もし，たたみ方が気に入らなかったときや，ロボットが服にひっかかってとれなかったときには，私に「失敗しました」ということを告げてください．それではお願いします．

### 3. GUI を用いたロボットへの洗濯物のたたみ方の間接的な動作指示条件

コンピュータを使っての指示方法を行ってもらいます．この指示方法ではこのインタフェースを使ってロボットへの洗濯物のたたみ方の指示ができます．ロボットはこのインタフェースでの指示に従って洗濯物をたたむことができます．また，この操作は記録されていて，今後あなたが必要だと思ったときにロボットはこの洗濯物を指示した方法でたたんでくれます．

この指示方法では実際の洗濯物は必要ではありません．このため，あなたが洗濯物のたたみ方を指示したいと思ったときは，(画面があれば)いつでも，どこにいても指示をすることができます．また「少しこのたたみ方を変えたいな.」と思ったときにも，洗濯物の画面を見ながらたたみ方を編集することもできます．しかし，あなたはこの指示方法を新たに習得する必要があります．

これから操作方法に関して説明をします．マウスを使って服の上をクリックして，たたみたいところまで，ドラッグしてください．もしやり直したい場合は，右上のクリアボタンを押してください．洗濯物が展開された状態に戻ります．それではこれから 3 分間，操作練習を行ってください．

それでは本実験を行います．私が「はじめてください」という合図に従い操作開始してください．指示を終了する場合には「終わりました」と言ってください．やり指示を直したい場合は，右上のクリアボタンを押してください．洗濯物が展開された状態に戻ります．それではお願いします．

### 4. 実世界の洗濯物を用いた，ロボットへの洗濯物のたたみ方の間接指示条件

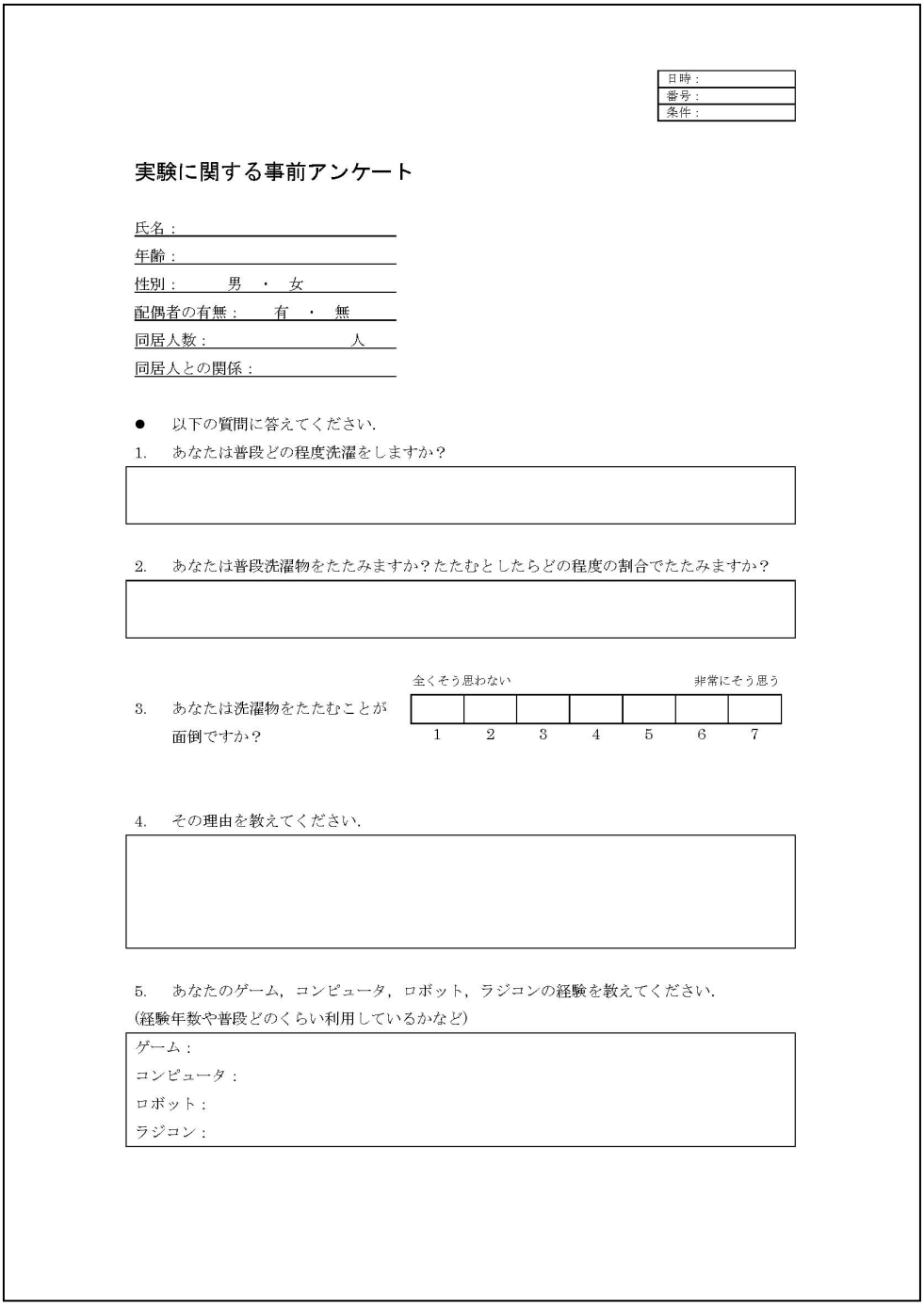
この指示方法ではこの洗濯物を直接たたむことでロボットへの指示を行ってもらいます．たたみ方はすべて記録されていて，今後あなたが必要だと思ったときにロボットはこの洗濯物を指示した方法でたたんでくれます．

この指示方法では，実際に本当の洗濯物を使うため，ふだん通りしているたたみ方を再現するだけでロボットに指示を伝えることができます．しかし，たたみ方を教えたり変更したりする場合には，再度，洗濯物を自分の前にもってくる必要があります．

それでは実験を行います．私が洗濯物を展開された状態で置きますので，「はじめてください」という合図に従って指示を開始してください．指示を終了する場合には「終わりました」と言ってください．洗濯物の交換は私が行います．もし，たたみ方が気に入らなか

ったときや，失敗したと思った場合は，それぞれその旨をお知らせください．あまり大きな失敗ではなければ気になさらなくて結構です．それではお願いします．

## 付録 B　3.4 の比較実験で用いた質問紙



日時：
番号：
条件：

実験に関する事前アンケート

氏名：
年齢：
性別：　　男　・　女
配偶者の有無：　　有　・　無
同居人数：　　人
同居人との関係：

● 以下の質問に答えてください．

1. あなたは普段どの程度洗濯をしますか？

2. あなたは普段洗濯物をたたみますか？たたむとしたらどの程度の割合でたたみますか？

3. あなたは洗濯物をたたむことが面倒ですか？

全くそう思わない　　非常にそう思う

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

4. その理由を教えてください．

5. あなたのゲーム，コンピュータ，ロボット，ラジコンの経験を教えてください．
(経験年数や普段どのくらい利用しているかなど)

ゲーム：
コンピュータ：
ロボット：
ラジコン：

**図 34 実験前の事前質問紙**

| 日時： |
| --- |
| 番号： |
| 条件： |

実験に関するアンケート

- 以下の項目について、当てはまるものにチェック（レ）を付けて下さい.

| | 全く同意できない | | | | | | 非常に同意できる |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 例）アンケートは簡単である | | | | レ | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| | | 全く同意できない | | | | | | 非常に同意できる |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. | 私はこの方法が指示しやすいと感じた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2. | 私はこの方法が洗濯物をたたむ手順を指示するために適切であると感じた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3. | 私は自信を持ってこの方法で指示を行うことができた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4. | 私は多くの人がこの方法で簡単に指示を行うことができると感じた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5. | 私はこの方法で指示を行うために技術的なサポートが必要だと感じた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6. | 私は正確に指示を行うために事前に沢山学ぶ必要があると感じた. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 7. | 私はこの方法で指示を行うために、集中する必要があった. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

- 以下の質問に答えてください.

どのような点が指示し易いと感じましたか？

どのような点が指示し難いと感じましたか？

**図 35 各条件において使用した質問紙**

| 日時： |
| --- |
| 番号： |
| 条件： |

## 実験に関するアンケート

● 実験で体験した指示方法について以下の指針で順位をつけてください.

A) プレイステーションのコントローラでの指示方法

B) パソコンでの指示方法

C) 洗濯物を実際にたたむ指示方法

1. 指示の簡単さ

1)＿＿＿＿＿＿ 2)＿＿＿＿＿＿ 3)＿＿＿＿＿＿

2. 集中をした度合

1)＿＿＿＿＿＿ 2)＿＿＿＿＿＿ 3)＿＿＿＿＿＿

3. 指示をし終わったあとの自信度・確信度

1)＿＿＿＿＿＿ 2)＿＿＿＿＿＿ 3)＿＿＿＿＿＿

● 以下の項目について、当てはまるものにチェック（レ）を付けて下さい.

| | 全く同意できない | | | | | | 非常に同意できる |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 例）アンケートは簡単である | | | | レ | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| | | 全く同意できない | | | | | | 非常に同意できる |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. | 私は日々洗濯物をたたむことを面倒だと感じている. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2. | 私は洗濯物をたたんでくれるロボットは役に立つと思う. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3. | 私はロボットに洗濯物のたたみ方を教えたいと思う. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4. | 私はロボットに対して洗濯物のたたみ方を指示することが必要ないと思う. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5. | 私はロボットが洗濯物をたたんでくれることが面白いと思う. | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

**図 36 各条件に関する順位付けとロボットの印象に関する質問紙(1 枚目)**

| |
|---|
| 日時： |
| 番号： |
| 条件： |

- 以下の質問に答えてください．全部で 4 問あります．

家庭内の仕事（家事）で他にどのような仕事をロボットにさせたいですか？また、してもらえれば嬉しいですか？

家庭内におけるロボットの指示方法はどのようなものが適切であると思いますか？

ロボットが家事を行うことに不安はありますか？また、それはどのような不安ですか？

その他、お気づきの点を記述してください．

アンケートは以上です．有り難うございました．

**図 37 各条件に関する順位付けとロボットの印象に関する質問紙(2 枚目)**

付録 C　4.4.2 で利用した IH クッキングヒーターの制御回路図

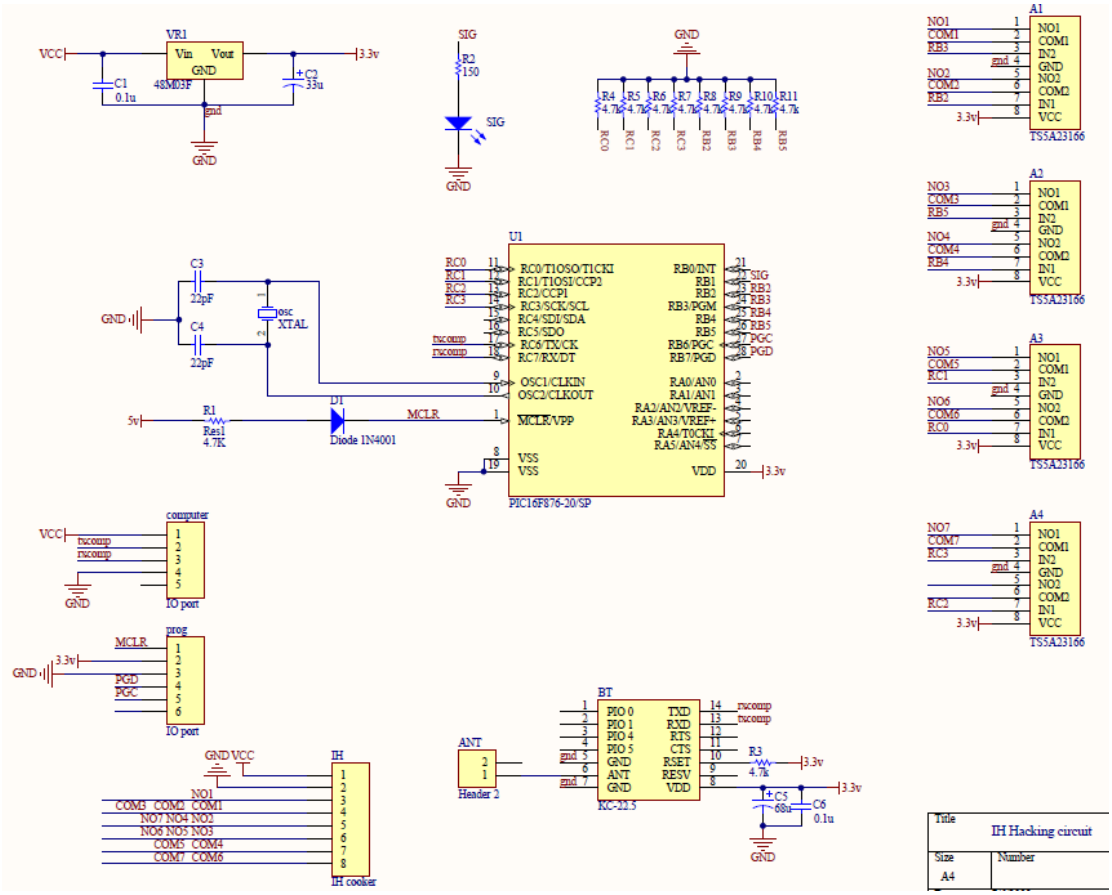



図 38 IH クッキングヒーターの制御回路図