

動作同期型調理ナビゲーションのための ユーザ適応型調理タスクモデル

宮脇 健三郎^{†1} 佐野 睦 夫^{†1}
西口 敏 司^{†1} 池田 克 夫^{†1}

本稿ではユビキタス環境における調理ナビゲーション実現のための調理のモデル化手法について述べる。調理ナビゲーションシステムとはユーザの調理の進行状況を認識し、それに応じた適切なレシピを提示して調理を支援するシステムである。システム実現にあたり、ユーザが複数品目を同時に調理する際の状態認識が課題となっている。このような状況下ではユーザが自分の都合で調理手順を頻繁に変更することがありうるため、現在どの料理のどの調理手順が実行されているかの認識が困難である。加えて複数の調理手順が並列に実行され、異なる調理手順に起因するイベントが混在して観測されるという問題がある。これらの問題に対処するため、フローグラフとUMLステートマシン図を組み合わせたユーザ適応型調理タスクモデルを提案する。提案モデルを用いた調理支援システムを実装し実際に調理実験をしたところ、提案モデルが調理の状態認識に有効であることが確認できた。

A User Adaptive Task Model of Cooking for A Cooking Navigation System Synchronizing with Action

KENZABURO MIYAWAKI,^{†1} MUTSUO SANO,^{†1}
SATOSHI NISHIGUCHI^{†1} and KATSUO IKEDA^{†1}

We describe a model of cooking for a cooking navigation system using a ubiquitous sensing environment. Our cooking navigation system recognizes the state of user's cooking and shows a recipe suitable to the situation. We have essential issues to recognize the state of cooking. People usually cook multi menu simultaneously. In this situation, the order of operations is rearranged according to user's convenience. Therefore, it is hard to recognize the cooking operation that is currently processed by a user. Moreover, some operations are processed concurrently, and events caused by different operations are interleaved. We developed a user adaptive cooking task model with flow graphs

and state machine diagrams to resolve these problems, and we implemented a cooking navigation system using our model. Then we experimented with the system, and confirmed the effectiveness of recognition of user's cooking state using the model.

1. はじめに

複数のセンサが設置されたユビキタス環境においてユーザの行動を観測し状況に応じて支援するコンテキストウェアなサービスの研究がさかんである。このような支援を実現するには支援対象の行動をモデル化し、機械可読な情報として記述することが必要である。我々も調理というタスクに注目し、そのモデル化について研究を進め、センサによって調理の進行を認識し、状況に応じた適切な映像レシピを提示することで、調理熟練者でなくても容易に調理を行える動作同期型の調理ナビゲーションシステムを実現してきた¹⁾。開発したシステムは約85%の精度で調理の進行を認識できたが、1度に1品目しかナビゲーションできず、調理手順も固定でユーザの自由度が低かった。しかし、実際は複数の料理が同時並行して作られることも多い。また、ユーザが手順を並べ替えて要領良く調理することもありうる。これらのニーズに対応できなければ実用的なシステムとはいえない。そこで本稿では複数の料理を並列に行う調理に対応し、手順並べ替えも許容できるユーザ適応型並列調理ナビゲーションシステムと、システム実現のための調理タスクのモデル化手法について述べる。複数の料理を同時に仕上げるタスクは、工場等で行われる順序が決まった作業工程と比較すると、ユーザがレシピに記述された手順をその場の状況で臨機応変に並べ替えるという点で大きく異なっている。具体的には次のような2つの特徴がある。

- (1) 各料理の手順が並べ替えられる
各料理の下ごしらえだけをしてから加熱調理に入るというケースや、煮物で時間がかかる間に別の料理を作るというケースが考えられる。
- (2) 各手順が並列に実行される
たとえば、以下ようなレシピがあった場合、
料理 a 手順_i: フライパンで油を熱する。
料理 b 手順_j: 塩昆布を粗く刻む。

^{†1} 大阪工業大学情報科学部

Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

フライパンを温めはじめたが、時間がかかりそうだったので、料理 b の塩昆布の下ごしらえを始め、フライパンが温まったのを見計らって料理 a の手順 i に戻り、油を投入するというように、各手順を交互に少しずつ進める状況が考えられる。

このような状況下で、ユーザが現在どの料理のどの手順を実行しているかを認識し、調理しやすいように情報を提示するには、次のような機能が必要である。

- (1) 順序制約に基づく調理手順の絞り込み機能
料理には手順の交換が可能・不可能な部分が混在する。このような順序制約を利用することで手順の並べ替えが発生しても、ユーザが実行可能な手順をある程度絞り込める。
- (2) 調理手順の明確な終了判定機能
順序制約を利用しても、どの手順まで進んだのかが明確でなければユーザが現在行っている手順を正しく絞り込めない。よって調理手順の終了を明確に判定する機能が必要である。
- (3) 調理手順ごとの状態保持機構
調理手順が並列に実行されうらば、すべての調理手順が各々の状態遷移モデルを持ち、ユーザの動作に応じて独立に遷移する仕組みが必要である。
- (4) 調理手順間の同期機構
具体的には、ある手順を進めるために他の手順の進行を待ち合わせなければならない、といった制約の記述である。この機構がなければ、進められるはずのない手順の状態がノイズで遷移する可能性があり、調理の状態を正確に認識できない。よって、上記(3)のように、各手順が独立して状態遷移するならあわせて実現する必要がある。
- (5) 調理の進行状況の可視化機能
様々な料理の手順が並列に実行される場合、たとえば味付けの手順でどの調味料をすでに入れたかといったように手順内部の状態を提示しなければ、ユーザが何をすべきか分からなくなり、調理に失敗する可能性がある。よって、料理がどの手順まで進んだかという情報と、各手順ごとの詳細な進行状況の両方の可視化機能が必要である。

本研究では以上 5 つの機能を実現するために、調理手順全体の流れを記述するフローグラフと、UML (Unified Modeling Language) のステートマシン図 (State machine diagram)^{2),3)} を組み合わせた調理のモデル化手法を提案する。フローグラフは調理手順の順序制約の表現に適しており、これまでも調理手順の記述方式の 1 つとして用いられてきた^{4),5)}。しかし、センサで調理の進行状況を認識するには、手順の順序関係だけを表したモデルでは

不十分であり、手順そのものをセンサで観測可能な情報でモデル化する必要がある。本研究では、このフローグラフに、ステートマシン図によって記述した調理の各手順の状態遷移モデルを組み合わせ、センサによる状態認識が可能な調理タスクモデルを構築する。ステートマシン図は、オートマトンと比較して状態遷移のガード条件や、状態入場・退出時に実行するアクティビティが記述できるという特徴がある。これらの特徴を利用して調理手順間の同期機構を実現する。そして、ステートマシンによって認識された個々の調理手順内部の状態と、フローグラフに記述された手順相互の順序関係から手順の終了を判定する。以上のようにして認識された調理の状態を可視化し、ユーザ適応型の並列調理支援を行う。以下、2 章で関連研究について述べ、3 章で調理のモデル化の基本手法を示す。4 章で本稿で提案するユーザ適応型調理タスクモデルについて説明し、5 章で提案モデルを用いた調理の状態認識方法を示す。そして、6 章でユーザ適応型調理タスクモデルを利用した調理ナビゲーションシステムの実装について述べ、7 章で調理ナビゲーションシステムによる実験の結果を提示し、最後に考察とまとめを述べる。

2. 関連研究

計算機による調理支援については現在まで様々な提案がなされており、携帯型ゲーム機 NINTENDO DS の調理支援ソフトのようにすでに実用化されているものもある⁶⁾。ユビキタス環境での調理支援に関してはジョージア工科大学の Aware Home における Cook's Collage がある⁷⁾。この研究ではユーザが調理している様子を記録し、調理中に割込みがあった場合に映像を見直して調理がどこまで進んだのかを見直せるシステムを実現している。しかし、これらの研究ではセンサによる状況認識という点について触れてはいない。また、浜田らは自然言語の調理レシピからフローグラフ構造への自動変換を実現し⁴⁾、壁面ディスプレイにレシピを提示する調理支援システムに適用している⁸⁾。これらの研究では、最適化されたフローグラフを使用して「食材をたれにつける」等の時間がかかる作業を他の作業と並列化している。しかしながら、各調理手順そのものはレシピを記述している自然言語に基づいてフローグラフ化されているため、本研究で目的としている実際の調理をリアルタイムに支援するために必要なセンサによる調理状態の認識に用いるモデルとしては不十分である。Yamakata らは画像処理による食材および食材加工動作の認識結果をレシピに動的に対応付ける研究を行ったが⁵⁾、複数料理を同時に行う場合への対応について十分述べていない。福田らは RFID によってオブジェクトの位置を認識し、ロボットからユーザに指示を与えて調理を支援するシステムを実現している⁹⁾。この研究では 2 名の被験者により交互に別々の

タスクを実行するという手法で、複数料理の同時並列調理に近い実験が行われているものの、「風邪薬を服用する」「傷の手当てをする」「コーヒーを飲む」「紅茶を飲む」といった調理とは関係ない4種類のタスクに限定しており、切碎、混合、加熱といった多様な動作を含む調理の支援に対して有効か、調理手順の並べ替えに対応できるか、といった点について検証されてはいない。

3. 基本調理タスクモデル

調理のモデル化に関する基本的な手法を説明する¹⁾。まずモデル化に必要な用語を次のように定義する。

- (1) 料理 (*Cook*)
食材を加工して生成するもの。
(例) 豚のしょうが焼き、玉子焼き。
- (2) レシピ
ユーザが参照する料理作成手順の記述。本研究では料理1品につきテキストレシピと映像レシピを1点ずつ使用する。すべてのレシピはあらかじめ調理ステップ(後述)の単位で分割しておく。
- (3) 調理 (*Task*)
1品以上の料理を同時に作る作業。
- (4) 動作 (*A*)
 - 調理操作 (A_c)
ユーザが食材を加工するために行う種々の操作¹⁰⁾(例) 切る、混ぜる。
 - 準備動作 (A_p)
調理操作の準備として行う動作。
(例) 塩を棚から作業台に移動する、食材を容器に入れる。
 以上を動作と定義する。レシピには料理を完成させるまでに行う調理操作とその対象が記述されている。準備動作はほとんどレシピに記述されないため、必要なものを手動で生成する。
- (5) 調理ステップ (*S*)
調理を分割する単位として、ある調理操作とその実行に必要な準備動作をまとめたものを調理ステップとする。1調理ステップに含まれる準備動作の順序は交換可能な場合もあるが、調理操作はすべての準備動作が終了してから行われる。

- (6) 調理オブジェクト
食材・調味料、調理器具、調理機器。
(例) 卵、塩、ポウル、包丁、まな板、コンロ。
- (7) 調理オブジェクトの状態
調理オブジェクトの位置を状態と呼ぶ。位置は一般家庭用のキッチン空間を参考文献10)に基づき、作業台、コンロ、棚、収納庫、冷蔵庫のように分割し、これらの値を用いて記述する。また、位置以外にも、調理オブジェクトの種類に応じて次のような属性を加える。
 - 調理器具のうち、ポウル、皿のような器。
内容物の有無。
 - 調理機器
機器ごとにその機能や構造に応じて独自に定義される状態。
(例) コンロのON/OFF、冷蔵庫の扉の開閉。
- (8) 調理イベント
調理オブジェクトの状態を変化させるイベントである。調理イベントはセンサで検出する。
(例) 塩が棚から離れた、砂糖が作業台に置かれた、ポウルに食材が入った、包丁が収納から出された。
上記で定義した調理、料理、調理ステップ、動作の関係は一般化すると次式のようなになる。

$$Task = \{Cook_1, Cook_2, \dots, Cook_n\} \quad (1)$$

$$Cook_i = \{S_1, S_2, \dots, S_m\} \quad (2)$$

$$S_j = \{A_{p(j,1)}, A_{p(j,2)}, \dots, A_{p(j,l)}, A_{ci}\} \quad (3)$$
 このように、調理は最終的に動作の列に分解される。したがって、調理の進行状況をセンサで認識するには、調理で行われる動作を認識しなくてはならない。動作の認識は、図1のように調理オブジェクトの状態と調理イベントによる状態遷移モデルを構築することで実現できる。図1の例では「卵をポウルに割り入れ、ほぐす」という調理ステップを調理イベントと調理オブジェクトの状態によりモデル化している。以上のように、料理で行われる動作をすべてモデル化し連結すると、最終的に料理を調理イベントで状態が遷移するモデルとして記述できる。この状態遷移モデルが調理タスクモデルである。調理ナビゲーションシステムは調理イベントを調理タスクモデルに入力して、調理の状態を認識し、ユーザが現在どの調理ステップを実行しているかを把握する。そして調理ステップの進行にあわせて、

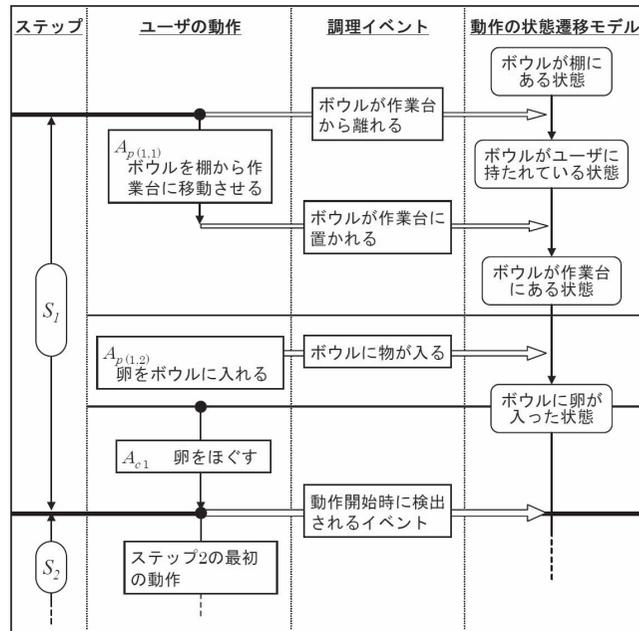


図1 動作のモデル化例
Fig.1 Modeling of actions.

適切な映像レシピを提示する。これが我々の基本的な手法である。この手法の妥当性は以下の点について検証し、確認済みである。

- (1) 調理におけるどのような動作をモデル化すれば支援に有効か。
- (2) 調理で行われる動作は調理イベントでどの程度記述可能か。

我々はこれまでの研究¹⁾で、調理支援に有効な動作のうち約8割が調理イベントで記述できることを確認し、実際に調理タスクモデルを用いたナビゲーションシステムでその有効性を検証した。しかし、このシステムでは料理1品だけを含む調理にしか対応できず、調理タスクモデルも単純なオートマトンで記述されており、調理ステップの順序も固定であった¹⁾。したがって、この基本手法を拡張し、ユーザ適応型の並列調理支援のための調理のモデル化手法を定義する。

4. ユーザ適応型調理タスクモデル

本稿で提案するユーザ適応型調理タスクモデルの例を図2、図3に示す。図2は料理1品目ごとの調理ステップの順序制約をフローグラフで記述した例である。調理のフローグラフは、各調理ステップにおける調理操作の対象(入力)とその結果(出力)に着目し、ステップどうしの入出力関係を有向グラフ化したものである。料理を構成する調理ステップの順序は、入れ替え可能・不可能な部分が混在しているが、フローグラフはそのような制約条件の記述に有効である⁴⁾。本研究では自然言語で書かれたレシピから手でフローグラフを生成し、使用する。調理に複数の料理が含まる場合は、図2のとおり各料理のフローグラフを並列に動作させて対応する。そして、各調理ステップの状態遷移モデルをUMLのステートマシン²⁾で図3のように記述する。ステートマシン図の基本的な表記法を図4に示す。ステートマシン図はオートマトンと同様に状態と状態間の遷移からなるグラフであるが、状態遷移にガード条件が付随しており、ガード条件を満足したうえで遷移のトリガとなるイベントが発生すると状態が遷移する。また、各状態の内部振舞いとして、入場時(entry)、退場時(exit)の振舞いを記述できる。図3は玉子焼きの調理ステップ $S_1 \sim S_8$ のうち $S_1 \sim S_4$ のステートマシン図である。センサで調理ステップの状態が認識できるように、遷移のガード条件を調理オブジェクトの状態で、トリガを調理イベントで記述している。また、各状態の入場時振舞い(entry)を利用して、食材・調味料が、調理器具に格納されていく様子をモデリングしている。以上のようにフローグラフとステートマシン図を組み合わせたものを調理タスクモデルとして用いる。

4.1 調理ステップ間の同期機構

センサで検出された調理イベントは、タスクモデルを構成する全ステートマシンに入力され、イベントの内容に応じて複数のステートマシンが状態遷移を起こす。このとき、序章で述べたように矛盾のない状態遷移を行うための同期機構が必要となる。本研究ではこの同期機構をステートマシン図のガード条件による状態遷移の制御とentry記述を用いて実現している。図3の玉子焼きのステートマシン図とそのレシピを例として、具体的に説明する。玉子焼きのレシピ($S_1 \sim S_4$)

- S_1 ボウルに卵を割り入れてほぐす。
- S_2 卵に砂糖、みりん、塩、酒、しょう油を加え混ぜ合わせる。
- S_3 卵焼き鍋をコンロにのせて油をなじませる。
- S_4 鍋に卵液の1/4を流し、かき混ぜて半熟にして箸で手前に巻き寄せる。

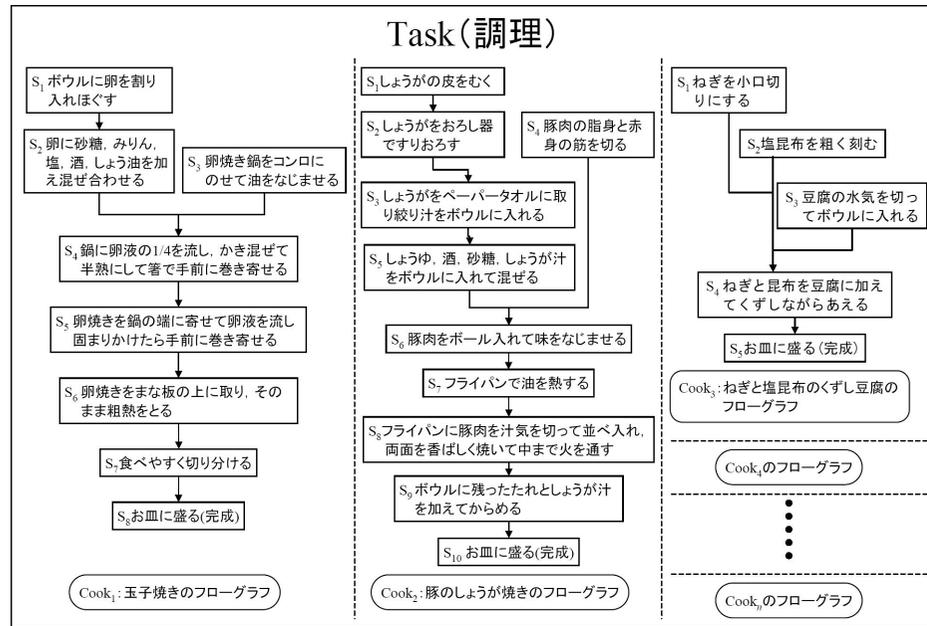


図2 フローグラフの例
Fig. 2 Examples of flow graphs.

この例では、ユーザは S_4 を開始するためにボウルをコンロ上に移動させなくてはならない。したがって、ボウルの位置が作業台からコンロに移動したことを検出すれば S_4 に着手したことは容易に検出できるが、実際は、

- (1) ボウルに調味された卵が入っている、
 - (2) フライパンに油が入っている、
- という条件を満たしていなければ S_4 を開始できないはずである。このようにある調理ステップの進行を待ち合わせてから状態を遷移させるという同期機構によって、ユーザが本当にその調理ステップを実行しているのか、ノイズによる状態遷移なのかを判定できる。同期機構は次のようにして実現する。まず、ボウルやフライパンといった調理器具に対し、その中に入った食材・調味料を記録するリストを設定しておく。そして、図3の $S_1 \sim S_3$ に示すように、卵の下ごしらえや油の準備をする調理ステップのステートマシン図で、準備完了状態の

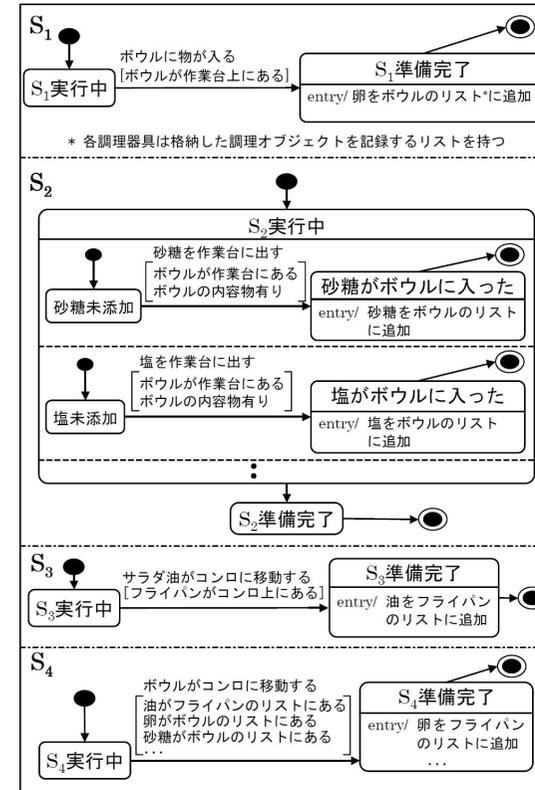


図3 玉子焼きのステートマシン図の例
Fig. 3 Examples of the state machine diagrams of “Japanese omelet”.

entry 部に食材・調味料をボウルやフライパンのリストに追加するように記述する。すると、卵の加熱を行う S_4 の状態遷移のガード条件でボウルやフライパンのリストをチェックするように記述しておけば、 S_4 のステートマシンを調理の進行に対応させて正しく状態遷移させられる。このようにステップ間同期機構は、従来では不十分であった調理器具や食材の状態相互の関係に基づく制約の記述を可能とし、ロバストな調理の状態認識を実現する。

4.2 調理ステップの終了判定

図3のステートマシンでは準備動作が完了し、調理操作が開始するという状態までしか

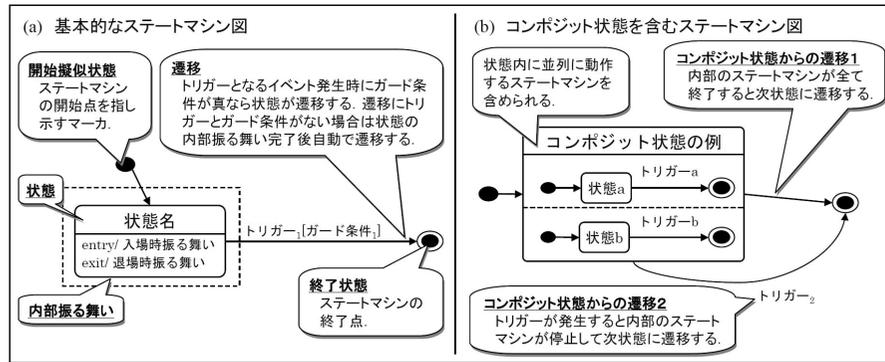


図 4 ステートマシン図の例
 Fig. 4 Examples of state machine diagrams.

認識しない。たとえば、 S_1 では、ポウルに玉子が入り、玉子をほぐし始めるという状態でステートマシンが終了し、ほぐす動作の終了までは認識されない「卵がほぐされた」といった調理イベントを検出できれば、調理操作の終了までを認識できるが、この例に限らず、調理操作は一般にその終了を検出するのが困難である。しかし、序章で述べたように、調理ステップが終了したかどうかを明確に判定しなければユーザが現在実行している調理ステップを絞り込めない。我々のこれまでの研究で、料理の手順が固定されている場合の終了判定はすでに実現している¹⁾。本稿ではこれをユーザ適応型の調理ナビゲーションに対応すべく、フローグラフを利用して拡張する。図 2 に示した豚のしょうが焼きのフローグラフとそのレシピを例にとって具体的に説明する。

豚のしょうが焼きのレシピ ($S_4 \sim S_6$)

S_4 豚肉の脂身と赤身の筋を切る。

S_5 しょうゆ、酒、砂糖、しょうが汁をポウルに入れて混ぜる。

S_6 豚肉をボールに入れて味をなじませる。

この例ではユーザが S_6 を実行するには、 S_4, S_5 の両方が終了してはならない。このような順序制約は図 2 のようにフローグラフで記述できる。しかし、豚肉の筋が切られた状態や調味料が完全に混ぜられた状態の認識は困難なため、 S_4, S_5 は両方ともその終了を検出することは難しい。ただし、 S_4, S_5 のステートマシンを使えば、ユーザが調理ステップの準備を終了し、調理操作を開始したこと、つまり、ユーザが豚肉を切り始めた、調味料を混ぜ始めた、という状態までは認識できる。ここで S_6 の開始を検出した時点で S_4, S_5

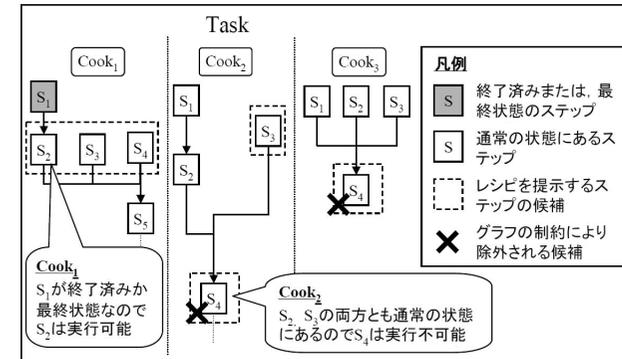


図 5 順序制約による調理ステップ候補の削除
 Fig. 5 Narrowing candidates by order constraint.

が終了したこととする。 S_6 の開始はたとえばまな板の大幅な移動を認識することで検出できる。これで調理ステップの終了を判定できる。

5. 調理タスクモデルによる調理の状態認識

モデルを構成する全ステートマシンに調理イベントを入力すると、複数のステートマシンで状態遷移やガード条件の充足が起こることがあり、このようなステートマシンに対応する調理ステップのいずれかがユーザが現在実行している調理ステップと考えられる。よって、これらの調理ステップを映像レシピを提示する候補 ($S_{candidate}$) とし、そこから調理ステップの順序制約と連続性制約でレシピを提示する調理ステップを一意に決定する。このプロセスを次に説明する。

5.1 順序制約による調理ステップの絞り込み

まず、フローグラフの順序制約で $S_{candidate}$ を現在実行可能な調理ステップに絞る。図 5 に絞り込み処理の具体例を示す。現在実行可能な調理ステップとは次のいずれかの条件を満たすものである。

- (1) 事前実施すべき調理ステップを持たない。
- (2) 事前実施すべきすべての調理ステップが、終了判定済み、もしくはそのステートマシンが最終状態に到達している。

これらの条件にあてはまらない調理ステップが $S_{candidate}$ に含まれることもありうる。その原因は、ノイズか、あるいはユーザが前もって道具を準備したため状態遷移が起こったか

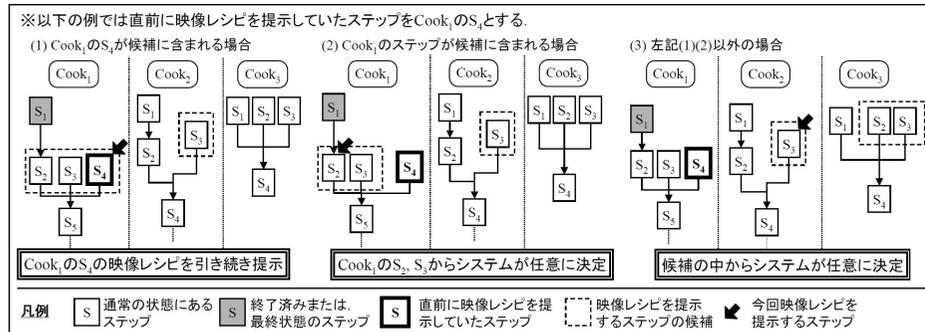


図 6 連続性制約による調理ステップの決定
 Fig. 6 Final determination of the current step by continuity constraint.

らだと推測されるが、現状ではこの両者の分離は困難である。しかし、ユーザの準備が原因であったとしても、道具の準備の時点で調理操作を詳細に解説した映像レシピが必須となる可能性は低い。6.3 節で説明するが、レシピ提示画面上には映像レシピに加えて全調理ステップのテキストレシピと、そこで必要とされる調理オブジェクトのリストを提示しており、ユーザが事前に器具類を準備できるように配慮している。したがって、実行不可能なすべての調理ステップを $S_{candidate}$ から除外しても実用上大きな問題とはならないと考えられる。

5.2 連続性制約による調理ステップの決定

上記の絞り込みを行っても映像レシピを提示する調理ステップが一意に絞りきれない場合、直前に提示していた調理ステップとの連続性を考慮し、次の3つの基準で $S_{candidate}$ に優先順位をつけて映像レシピを提示する調理ステップを決定する(図6)。

- (1) 直前に映像レシピを提示していた調理ステップが $S_{candidate}$ に含まれている場合、その調理ステップの映像レシピを継続して提示する。
- (2) 直前に映像レシピを提示していた調理ステップと同じ料理の調理ステップが $S_{candidate}$ に含まれている場合、その中からシステムが任意に決定する。
- (3) システムが任意に決定する。

このようにして最終的に提示する映像レシピを決定する。ただし、システムが提示した映像レシピが誤っている場合の対策も必要である。本研究ではこのようなケースに備え、マニュアル操作インタフェースを設置している。詳細は6.4節で説明する。



図 7 キッチン全景
 Fig. 7 Whole view of the kitchen.

6. 調理ナビゲーションシステムの実装

提案する調理タスクモデルによる調理ナビゲーションシステムをキッチンに実装した(図7)。センサによる調理オブジェクトの状態認識と調理イベント検出手法、ユーザへのレシピ提示方法を以下に説明する。

6.1 調理オブジェクトの位置検出

ユーザが調理オブジェクトを動かす動作を認識するために必須の機能である。本研究では、ARToolKit¹¹⁾ を利用し、調理オブジェクトに貼付した位置検出用マーク(図8)をカメラで検出する。また、包丁ホルダに図9のようにスイッチを設置し、包丁がホルダから離れた/置かれたというイベントを検出することでユーザが包丁を持つ/置く動作を認識している。

6.2 容器内の物の有無の認識

「混ぜる」「漬け込む」といった調理操作が調理ステップに含まれる場合、その前に食材を



図 8 ARToolkit マーカの例
Fig. 8 Examples of ARToolkit markers.

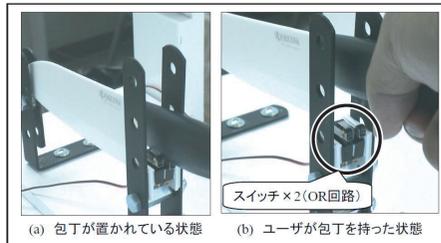


図 9 包丁ホルダ内のスイッチ
Fig. 9 Switches of the knife holder.

ボウルに入れる準備動作が行われる。これを認識するため、図 8 のようにボウル内に状態認識用マーカを貼付した。ボウルに食材が入ると、この状態認識用マーカが消失するので、ボウルに食材が入ったという調理イベントを検出し、ユーザがボウルに物を入れる動作を認識できる。

6.3 レシピ提示画面と調理の進行状況の可視化

レシピ提示画面を図 10 (a) に示す。今回の実装では画面の見やすさを考慮して最大同時ナビゲーション数を 3 品目とした。画面を 4 分割して、左上にユーザが現在実行している調理ステップに関する映像・テキストレシピを提示し、他の部分に各料理のテキストレシピをフローグラフ状にして提示する。映像レシピ提示部にはユーザが実行している調理ステップの映像を繰り返し再生し、ユーザはテキスト・映像の両方のメディアで調理ステップの内容を理解できる。終了した調理ステップは図 10 (a) に示すように背景色がグレーになり、調理がどこまで進んだのかが分かる。また、フローグラフの各ノードには、図 10 (b) のように調理ステップの内容と使用する調理オブジェクトのリストを提示している。この調理オブジェ

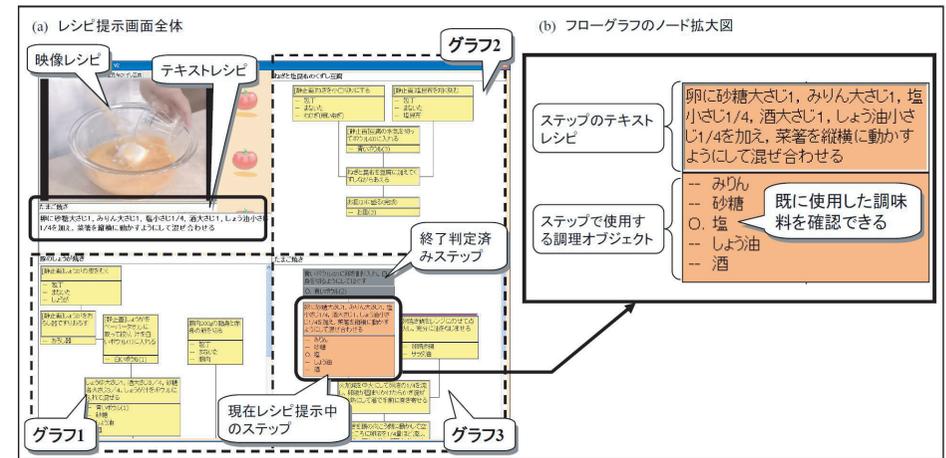


図 10 レシピ閲覧用ソフトウェア
Fig. 10 Viewer of recipes.

クトのリストはステートマシンの状態遷移に連動して変化させており、ユーザは、自分がどの調味料をすでに使用したのかという調理ステップごとの詳細な進行状況を確認できる。

6.4 マニュアル操作インタフェース

センサによるイベント検出の見逃しや誤認識で、万一実際の調理の進行とシステムが認識している調理の状態が同期せず、そのままではシステムによる調理支援が不行可能となった場合でも、最後まで調理を完了させられるように、本ナビゲーションシステムは 2 種類のマニュアル操作インタフェースを備えている。1 つは調理ステップの終了をシステムに明示的に通知するための作業台上のプッシュスイッチ、もう 1 つは調理ステップの誤認識を修正するためのフットスイッチである。これらのインタフェースにより、システムが状態認識に失敗してもユーザは手動で調理ステップを選択し、レシピの適切な箇所を閲覧できる。プッシュスイッチ (図 11 (a)) は、現在映像レシピを提示している調理ステップの強制終了に使う。イベントの見逃しでステートマシンが最終状態に遷移できなければ 4.2 節で説明したように調理ステップの終了判定ができない。よって、次に行うべき調理ステップは実行可能と見なされず、映像レシピが提示されない。このような場合にプッシュスイッチを使用し、ステートマシンを強制的に準備完了状態に遷移させようとしてその調理ステップを実施したものとす。プッシュスイッチを考慮したステートマシンの例を図 12 に示す。図 12 は図 3

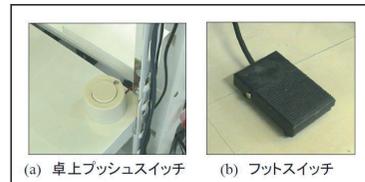


図 11 卓上プッシュスイッチ, フットスイッチ
Fig. 11 Push switch and foot switch.

表 1 調理品目リスト
Table 1 List of menu.

	料理名	ステップ数
A	豚のしょうが焼き	10
B	トマトと卵の炒めもの	12
C	コーンとレタスの炒めもの	9
D	牛肉とねぎのオイスターソース焼きそば	13
E	じゃが芋とタコのキムチ炒め	14
F	玉子焼き	8
G	ねぎと塩昆布のくずし豆腐	5
H	まぐろのカルパッチョ	4
I	たたききゅうり	6
J	しし唐のナムル	5

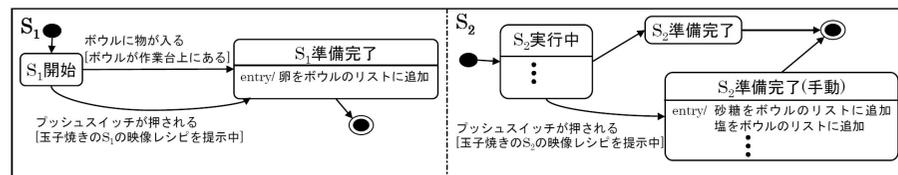


図 12 玉子焼きのステートマシン図 (スイッチによる状態遷移を含む)

Fig. 12 State machine diagrams of “Japanese omelet” include transition by switch.

の玉子焼きの S_1 , S_2 のステートマシン図にプッシュスイッチによる状態遷移を含めたものである。フットスイッチ (図 11 (b)) は、5.2 節で説明した方法に従って提示した映像レシピがユーザが実行している調理ステップと正しく対応していなかった場合に使用する。ユーザはフットスイッチで現在実行可能な調理ステップを 1 つずつ巡回しながらその映像レシピを表示できる。

7. 調理実験

実装した調理ナビゲーションシステムの各調理ステップの認識率を評価するために調理実験を行った。1 章で述べたように、本システムでは調理熟練者ではない利用者を想定しているため、実験の被験者として、週に数日程度簡単な調理をすることがある一般的な 5 名の大学生および大学院生を選び、本システムを用いて調理してもらった。本調理実験では、様々な調理ステップを持つ複数の料理を同時に調理した場合に、どの程度正確にナビゲーションできるかを評価するため、表 1 にあげたような 4~14 個の多様な調理ステップを持つ 10 種類の調理品目を調理してもらった。各被験者には調理を 2 回実施してもらい、1 回の実験では表 1 に示す 10 品目の料理の中から 3 品目の料理をランダムに選択し、同時に

作ってもらった。次に、実験の評価指標について説明する。まず、システムがユーザの動作に同期して映像レシピを提示できたかどうかの評価基準を次のとおり定義する。

- (1) 認識成功
被験者が調理ステップに着手したときに正しい映像レシピを提示できた場合、認識成功とする。
 - (2) 誤認識
被験者が行っていない調理ステップの映像レシピを提示してしまった場合、誤認識とする。
 - (3) 未検出
被験者が調理ステップに着手したにもかかわらず映像レシピが提示されない場合、未検出とする。
(誤認識・未検出発生時は各スイッチで適切な調理ステップに遷移させる)
- そして、本システム全体の評価指標として認識成功率を以下のように定義し、各調理実験における認識成功率を算出した。

$$\text{認識成功率} = \frac{\text{認識成功数}}{\text{認識成功数} + \text{誤認識数} + \text{未検出数}} \times 100 (\%) \quad (4)$$

なお、センサの制約上、各被験者に対して実験開始前に次のような指示を与えた。

- (1) 調味料については位置変化の検出処理を簡便なものとするため、使用するときだけ作業台に出してもらうようにした。包丁も同様に使用するときだけホルダから出してもらった。

表 2 実験結果
Table 2 Result of experiments.

	料理	ステップ数	認識成功 (%)	誤認識 (%)	未検出 (%)
1	C, F, G	22	81.8	13.6	4.6
2	B, F, G	25	85.2	11.1	3.7
3	A, F, G	23	85.2	14.8	0.0
4	C, I, H	19	95.0	5.0	0.0
5	A, F, H	22	87.0	8.7	4.3
6	D, F, H	25	86.2	10.3	3.5
7	D, F, G	26	82.8	13.8	3.4
8	E, I, H	24	78.5	17.9	3.6
9	A, J, G	20	90.9	9.1	0.0
10	E, F, H	26	80.8	3.8	15.4
	平均	23.2	85.3	10.8	3.9

- (2) 各調理ステップで使用するボウル等の容器類はあらかじめ指定した。
- (3) 被験者には調理オブジェクトの状態をマーカで認識していることを前もって説明し、故意にマーカを隠したり、カメラの撮影範囲外に出したりすることを避けるように指示した。

これらの制約の解消は今後の課題としたい。

実験結果を表 2 に示す。認識成功率は平均で 85.3%となった。

次に、提案した調理タスクモデルがユーザの手順の並べ替えに対応できたかを検証するため、異なる料理をまたいだレシピの遷移についてカウントした。具体的には、ユーザがある料理の作成途中で他の料理の調理ステップに着手した場合に、システムがそれを認識して正しい映像レシピを提示できた事例の回数である。このような事例は、認識成功数 215 回のうち 17 回観測できた。典型的な内容は次のようなものであった。

- (1) 「コーンとレタスの炒めもの」でフライパンを熱するのに時間がかかるため、途中で「ねぎと塩昆布のくずし豆腐」のねぎを小口切りにする調理ステップに切り替えた。
- (2) 「しょうが焼き」でフライパンを熱している間に「玉子焼き」の卵をほぐす調理ステップを行った。その後フライパンが温まったので肉をフライパンに入れ、肉が焼けている間に卵の調味を行った。
- (3) 「玉子焼き」が焼き上がり、粗熱をとっている間に「ねぎと昆布のくずし豆腐」のねぎを小口切りにする調理ステップを実施した。

17 回という数値については、料理の種類や、ユーザの腕前に大きく影響を受けると考え

られ、一概にその多少を論じることはできないが、これらの事例の内容から、並列型の調理におけるユーザ適応型の調理ナビゲーションが期待どおり動作したことが確認できる。

最後に、被験者の本システムに対する感想をまとめたものを次に示す。

- 物を動かすだけで映像レシピが表示されたので便利だった。
- 表示されているとおりに作業すれば良かったので簡単に調理ができた。

以上のように良好な評価が得られた。なかでも調理の進行状況を詳細に可視化したインタフェースについては、ある被験者から

- 必要な調味料がリストでチェックできるので、次に何を入れればよいのかが分かりやすかった。

と、好意的な評価を得られた。また、

- “きゅうりの板ずり（きゅうりに塩をまぶし、まな板上で転がして臭みをとること）”のような分かりにくい指示も映像でスムーズに理解できた。

このように、映像・テキストでレシピを提示するインタフェースの有効性も再確認できた。

8. 考 察

8.1 調理ステップの認識精度について

実装したシステムの認識成功率は平均 85.3%と良好な値を得ることができた。誤認識率、未検出率を比較してみると誤認識率の方がやや高くなっているが、実験中に誤認識が発生し、実際には終了していない調理ステップが終了済みと判定されてしまった場合でも、ユーザはフローグラフのテキストを頼りに調理を行い、途中で調理の継続が不可能になるといった深刻な事態にはならなかった。終了判定がされなかった場合はフットスイッチで正しい調理ステップに復旧可能なので、映像を表示して調理を継続していた。以上の点から、現状の認識精度でも十分実用的と考える。また、実験の様子を観察したところ誤認識発生時の主な状況は、食材の入ったボウルが作業台にあるときに、他の調理オブジェクトを移動させようとしてボウルの位置検出マーカを遮ってしまい、ボウルを持ったと認識されたケースや、まな板上の食材を包丁で切断しているときに、まな板隅に貼付されたマーカに注意を払えず、マーカの出現と消失が繰り返されるといったケースであった。これらは、マーカの配置や個数の調整や、RFID 等他のセンサを併用する等のセンサの最適化で対応可能なものであり、センサ環境を改善することで適合率の向上が見込めると考えている。これらのセンサに関する諸問題については今後の課題としたい。

8.2 提案手法の汎用性について

前節で述べた結果より、本稿で提案した調理タスクモデルと、そのモデルを利用した状態認識は実験で使用した 10 品目の調理レシピの 3 品目同時調理という状況の範囲では十分実用的であることが示された。しかしながら、実際には無数の調理レシピが存在するため、本研究における提案方式があらゆる調理レシピに適応可能であるとは限らない。そこで本節では、提案方式がどのような調理レシピに対して適応可能かについて考察する。

まず、調理のレシピがどの程度フローグラフで表現可能かについては、先行研究でも一般的に扱われており^{4),5)}、また一般のレシピ紹介サイト¹²⁾でも 1,000 件を超えるレシピをフローグラフ化して表現しているため、たいていの調理はフローグラフ化することが可能であるといえる。次に、本研究ではステートマシンを導入して調理手順をモデル化し、調理中に発生するイベントをセンサで検出することによって調理の各ステップを認識しているが、本稿で述べた方式が、一般的なレシピにおける調理ステップをどの程度認識できるかについて考察する。我々はこれまで、インターネットのレシピ紹介サイトで収集したレシピ文から調理中に行われる動作を抽出し、それらがどの程度認識可能かを調査しており¹⁾、調理器具・食材・調味料の位置検出と調理機器の状態認識といった、本研究でも採用した比較的単純なセンサ処理でも約 80%の動作が認識可能であることを確認している。また、たとえセンサによるイベントの検出が難しく、モデルとして記述困難な動作がレシピに含まれていたとしても、本システムに導入したマニュアル操作インタフェースのような仕組みを利用すれば、実用的なシステムを構築できる。よって、フローグラフとステートマシンを適切に設計することで、本手法はたいていの調理に対し適応できると考えられる。

9. まとめ

ユーザの手順並べ替えに対応可能なユーザ適応型調理タスクモデルの構成法と、提案モデルを用いた並列調理対応型の調理ナビゲーションシステムについて述べた。そして、提案モデルを用いた並列調理ナビゲーションシステムをキッチンに実装し、様々な料理品目の組合せに適用した。結果として認識成功率 85.3%という良好な数値を得て、提案手法の有効性を確認した。今後の展開として、ユーザの自由度のさらなる向上を検討している。今回の実験では、事前にこちらが指定した器具を使用してもらうという制約があったが、ユーザが自由に器具を選択できればより実用的なシステムになる。そのためには、調理オブジェクトの状態だけでなく、ユーザの状態認識機構も必要だと考えている。たとえば、ユーザの手の動きを検出し、混ぜている、切っているといった状態を認識する、手領域と調理オブジェクト

の動きからユーザが物を持っている状態を認識する、といった機能である。これらの情報を使えば、調理器具と調理ステップの動的な対応付けができ、加えて、物の状態とユーザの状態の両方を利用して、認識精度の向上も期待できる。以上のように、よりユーザに適応し、かつ精度良く調理の進行を認識できるよう、調理タスクモデルと調理ナビゲーションシステムの改善を進める予定である。

参考文献

- 1) 宮脇健三郎, 佐野睦夫, 近間正樹, 上田博唯: 動作同期型調理ナビゲーションのための実世界対応型調理タスクモデル, 画像電子学会誌, Vol.36, No.3, pp.252-263 (2007).
- 2) Object Management Group: OMG Unified Modeling Language Superstructure V2.1.2, Object Management Group (online). available from <http://www.omg.org/spec/UML/2.1.2/Superstructure/PDF/> (accessed 2008-10-06)
- 3) Russ, M. and Kim, H.: *Learning UML 2.0*, O'Reilly Media, Inc. (2006). 原 隆文 (訳): 入門 UML 2.0, オライリー・ジャパン (2007).
- 4) 浜田玲子, 井手一郎, 坂井修一, 田中英彦: 料理テキスト教材における調理手順の構造化, 信学論誌 D-II, Vol.85, No.1, pp.79-89 (2002).
- 5) Yamakata, Y.: Image Recognition of an Object Designated by User's Wording, Ph.D. Thesis, Kyoto University, Kyoto, Japan (2006).
- 6) 任天堂: 健康応援レシピ 1000—DS 献立全集, 任天堂. <http://www.nintendo.co.jp/ds/aoij/index.html> (参照 2008-10-06).
- 7) Tran, Q.T. and Mynatt, E.D.: What Was I Cooking? Towards Déjà Vu Displays of Everyday Memory, Gvu technical report, Georgia Institute of Technology (2003).
- 8) 浜田玲子, 宮澤 寛, 鈴木幸敏, 岡部 淳, 佐藤真一, 坂井修一, 椎尾一郎: コンピュータ強化キッチンによるインタラクティブ調理支援, 第 13 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 (WISS2005), pp.49-52 (2005).
- 9) 福田 司, 中内 靖, 野口勝則, 松原 隆: 自律移動ロボットとタッチパネルを利用した調理作業支援システム, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.72, No.716, pp.201-208 (2006).
- 10) 和田淑子, 大越ひろ: 健康・調理の科学—おいしさから健康へ, 建帛社 (2004).
- 11) Kato, H. and Billingham, M.: Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System, *The 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR 99)*, San Francisco, USA (1999).
- 12) ネスレ: マギー Feel Good Cooking, ネスレ (オンライン). 入手先 <http://www.recipe.nestle.co.jp/> (参照 2008-10-06).

(平成 20 年 7 月 7 日受付)

(平成 21 年 1 月 7 日採録)



宮脇健三郎（正会員）

昭和 50 年生。平成 20 年大阪工業大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士（情報学）。現在、同大学情報科学部助手。ユビキタス調理支援などコンテキストウェアサービスの研究に従事。電子情報通信学会会員。



佐野 睦夫（正会員）

昭和 56 年京都工芸繊維大学工芸学部機械工学科卒業。昭和 58 年京都大学大学院修士課程修了。同年電電公社（現 NTT）電気通信研究所入所。平成 14 年大阪工業大学情報科学部教授、現在に至る。ロボットビジョン、ロボットコミュニケーションの研究等に従事。平成 16～17 年独立行政法人情報通信研究機構専攻研究員（非常勤）兼職。ATR 知識科学研究所客員研究員。博士（工学）。電子情報通信学会、画像電子学会、人工知能学会、IEEE 各会員。



西口 敏司

平成 8 年京都大学工学部情報工学科卒業。平成 13 年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程研究指導認定退学。同年同大学法学部助手。平成 17 年大阪工業大学情報科学部講師。平成 20 年同准教授。複数のセンサ情報を利用した人間活動空間の状況把握、講義の自動撮影およびアーカイブ化に関する研究に従事。博士（情報学）。電子情報通信学会、電気学会、人工知能学会各会員。



池田 克夫（フェロー）

昭和 35 年京都大学工学部電子工学科卒業。昭和 40 年同大学大学院博士課程修了。同年同大学工学部助手。昭和 46 年同大学助教授。昭和 53 年筑波大学教授。昭和 63 年京都大学教授。平成 13 年京都大学名誉教授、なげに筑波大学名誉教授。同年大阪工業大学教授、平成 14～17 年京都高度技術研究所所長。平成 20 年大阪工業大名誉教授。高度情報処理システムの構成に興味を持ち、コンピュータネットワーク、分散処理システム、マン・マシンインタフェース、画像理解の分野で研究を行っている。工学博士。情報処理学会（フェロー、名誉会員）、電子情報通信学会（フェロー）、人工知能学会、IEEE（フェロー）各会員。