

台車移動型双腕ロボットによるカレー調理行動実行システム

金沢 直晃 岡田 慧 稲葉 雅幸 (東京大学)

1. はじめに

生活支援を行うロボットに求められるタスクの1つとして調理があげられる．調理は多様な道具や調理設備等を利用し，個体差がある食材を対象物とする難しいタスクであり様々なアプローチで研究されてきた．個々の調理工程については，包丁で切る工程を学習型のアプローチで取り組む研究 [1, 2] や，皮剥きを実現する研究 [3, 4] など多くの研究がある．ほとんどの研究は1つの調理工程もしくは1種類の食材を対象にしているが，生活支援として求められる調理支援の実現には複数の調理工程を複数の食材に対して行う必要がある．そこで筆者らは [5] において，双腕ロボットにより調理道具を扱う認識行動実現システムを提案し，野菜の皮剥き・切断操作を実現した．本研究ではこれを拡張し，カレー調理シーケンス全体の実行に取り組んだので報告する．

2. カレー調理行動実行システム

本節ではカレー調理シーケンスを行うカレー調理行動実行システムを図2に沿って概観する．本研究のシステムは [5] において筆者らが提案した野菜皮剥き切断操作を行う調理認識行動実現システムをカレー調理シーケンスに拡張したものである．

カレー調理においては，食材・道具・環境の位置姿勢や対象物の状態について必要な情報を認識する必要がある．[5] において利用した点群処理及び力覚に加えて，レーザセンサを用いることで環境中のロボットの自己位置を推定しコンロや水道・棚などのキッチン環境を利用する行動を実現した．

調理タスクを行うには様々な道具を利用する必要がある．本研究のカレー調理においては，包丁・ピーラー・フライ返し・おたまなどの道具を利用した．道具の利用においても [5] で提案したアタッチメントを用いた道具把持安定化機構を用いることでロボットが道具を持ち替えながら安定的な把持で道具利用動作を行った．

カレー調理を行うためにはシーケンスに含まれる様々な調理工程を実行する必要があるが，本研究では一連のシーケンスを9つの調理手順に分けて実装を行った．さらにそれらの調理手順をロボットの動作レベルでプリミティブに分解して整理した．これらの調理工程実行については第3節に詳しく示す．

3. カレー調理シーケンスの調理工程実行とプリミティブ分解

本節ではカレー調理シーケンスに含まれる一連の調理工程実行と，それらの工程のプリミティブ動作への分解について説明する．

本研究では図3のようにカレー調理を，人参調理・じゃがいも調理・玉ねぎ調理・炒める調理の準備・玉ねぎを炒める調理・肉を炒める調理・煮込む調理の準備・



図1 カレー調理シーケンスの一部

煮込む調理・仕上げ調理の9つの調理手順に分けて実装を行った．9つの調理手順はそれぞれいくつかの調理工程からなっていて，例えば人参・じゃがいも・玉ねぎ調理の場合には野菜を掴む，洗う，皮を剥く，切る，移すの5つの工程から構成される．

野菜を洗う，皮を剥くなどの調理工程をロボットの動作を基準として分解するために，13個のプリミティブ動作を考え，基本動作・基本物体操作・道具利用動作の3種類に分類した．

基本動作

物体と関係なくロボットが行うことができる動作．
move-base, reaching の2つのプリミティブ動作が含まれる．

基本物体操作



図2 カレー調理行動実行システム

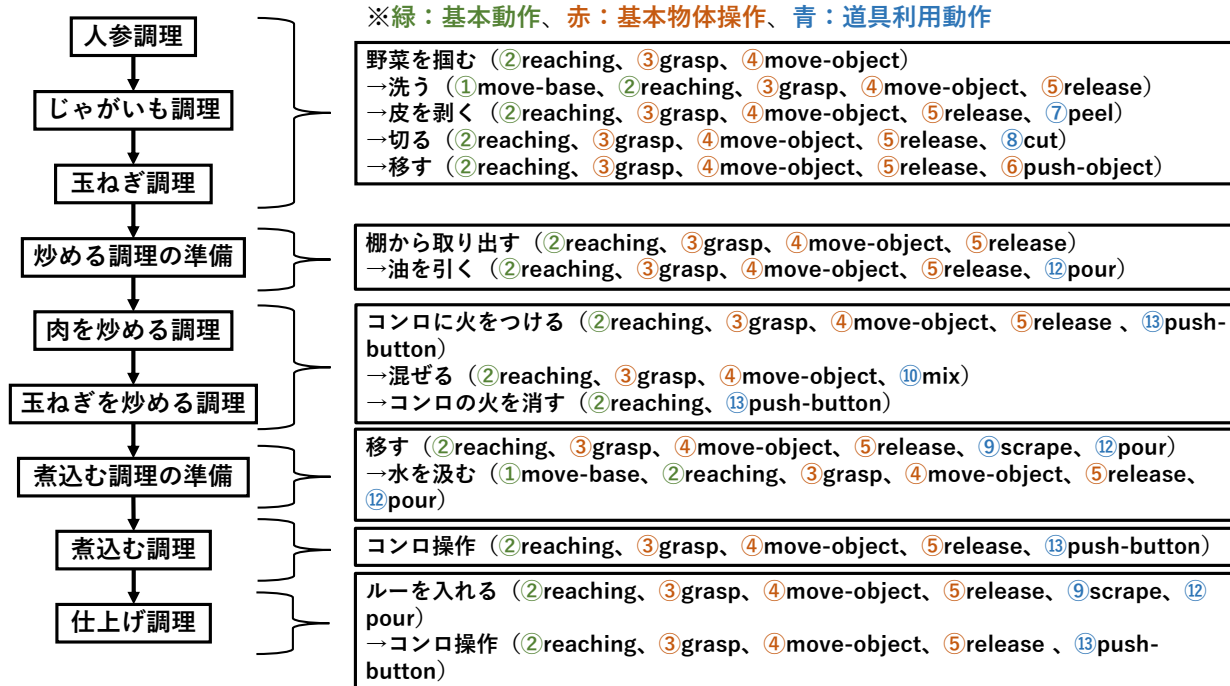


図3 カレー調理の各調理手順のプリミティブ動作分解

任意の物体に対し行うことができる動作、grasp, move-object, release, push-object の4つのプリミティブ動作が含まれる。

道具利用動作

特定の道具を利用することで行うことができる動作、peel, cut, scrape, mix, scoop, pour, push-button の7つのプリミティブ動作が含まれる。

ロボットのプリミティブ動作を考えることで、図3のように9つの調理手順のそれぞれを構成する調理工程についてロボットの動作レベルで分解して整理することができた。

4. 結論

本研究では[5]を拡張したカレー調理行動実行システムを提案し、実機を用いて実験を行うことで検証した。

それぞれの調理工程における動作プリミティブについてはまだ別々の関数として実装されている部分が多くあるので、各プリミティブ動作をパラメタライズした1つの関数で表現し、その関数の組み合わせで調理シーケンス全体を実現することが可能かを検討していく必要があると考えている。特に今回のカレー調理シーケンスのように多くの移動を行い、多数の対象物を扱う場合は、動作する場所や対象物の違いに対応できるようにプリミティブ動作の作り方に工夫が必要であることがわかった。

実機を用いて調理をする実験を行うと、カレー調理シーケンスのような長いタスクでは実行中に沢山の失敗が起こってしまうことがわかった。ロボットの動作誤差による失敗や環境認識の誤差による失敗など様々な失敗が起こってしまう。本研究では判定が用意な失敗については失敗検知を導入し、失敗を検知した時や調理手順の終了時に人に音声で助けを求めるようにし

たが、失敗には多様な種類があり対応できているのはごくわずかである。調理のような難しく手順のあるタスクを生活支援として求められるレベルでロボットが行うためには、人間のように種々の失敗を認識し、臨機応変に対応し、同じ失敗を繰り返さないように修正していく能力が必要であると考えられる。

調理を行う際には、対象物である食材の状態認識が非常に重要である。本研究では調理工程動作の実行について重点的に取り組み、水の沸騰の認識や食材の火加減の認識などについては人との音声対話により教えてもらうことでタイミングを判定したが、調理支援を行うロボットシステムとしては食材の様々な調理状態変化を認識して火加減の調節などの調理動作を行う必要がある。

参考文献

- [1] I. Lenz, R. Knepper, and A. Saxena. Deepmpc: Learning deep latent features for model predictive control. In *Robotics: Science and Systems*. Rome, Italy, 2015.
- [2] N. Ikegami, S. Arnold, K. Nagahama, and K. Yamazaki. Active learning of the cutting of cooking ingredients using simulation with object splitting. In *2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 1–8, 2020.
- [3] J. Hughes, L. Scimeca, I. Ifrim, P. Maiolino, and F. Iida. Achieving robotically peeled lettuce. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 3, No. 4, pp. 4337–4342, 2018.
- [4] F. Zhu, A. Yamaguchi, and K. Hashimoto. Case study of model-based reinforcement learning with skill library in peeling banana task. In *Proceedings of the 20th SICE System Integration Division Annual Conference (SI2019)*.
- [5] 金沢直晃, 北川晋吾, 室岡貴之, 岡田慧, 稲葉雅幸. 調理道具を扱う双腕ロボットによる野菜皮剥き切断操作の認識行動実現システム. 第21回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集, 2020, pp. 3E2–07, 2020.