

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500482
 研究課題名（和文） 箸による多様な食物ハンドリング機能を持つ食事介助ロボットに関する研究
 研究課題名（英文） Research on meal assistance robot having various foods handling function by chopsticks
 研究代表者
 増田 良介（MASUDA RYOSUKE）
 東海大学・情報理工学部・教授
 研究者番号：30016688

研究成果の概要（和文）：本研究では、手の不自由な障害者がいつでもどこでも好きなものを、なじみ深い箸を使って食べることができる食事介助ロボットを開発した。このロボットは、水平多関節型で先端部に箸操作機構をもち、コンピュータ画面に表示された食べ物を指定すると、箸で自動的に口元まで持っていくシステム構成となっている。箸の閉じ位置と把持力を計測し制御することにより、多様な食べ物をハンドリングすることができるようになった。

研究成果の概要（英文）：We have developed a meal assistance robot having chopsticks function for handicapped persons who cannot take a meal by themselves. This robot holds the designated food automatically with chopsticks and carries to the mouth by using visual and tactile information. The holding force of the chopsticks is controlled to adapt to the variety of physical characteristics of foods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：介護支援技術、

ロボット、福祉工学、食事支援、介護ロボット

箸制御機構、食べ物ハンドリング、把持力制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、先進国では高齢化が進んでおり、特に日本では少子化も作用して社会問題となっている。少子高齢化は要介護者の増加だ

けでなく、体力のある若年介護者の人員不足も示しており、これによる介護の質の低下が懸念されている。また、病気や事故による障害者の生活の質の向上が課題となっている。

(2) こうした背景の中で、現在著しい発展を遂げているロボット技術を応用した介護・介助ロボットの必要性が認識され、各方面で研究・開発が進められている。例えば、ベッド間移送作業などにおける介護者の肉体的負担を軽減し二次障害を防ぐためのものや、排泄処理、入浴補助、身繕い、食事など、ロボットに支援してもらいながら自らの力で成し遂げられるようにするものがある。

(3) 食事介助は1日3回、それも毎日行なうことであり、食事中は介護者を拘束する上、介護者のペースで行われることが多く、介護者・被介護者双方にとって大きな負担となっている。更に、被介護者の中には食事の時間を楽しみにしている人も多く、自ら操作し、自分のペースで食事を行える食事介助ロボットを介護現場へと導入することは有効であると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、手の不自由な障害者の食事動作を支援する箸をもつロボットに関するものである。研究の目的は、障害者がいつでもどこでも好きなものを、一般に最も広く食事に用いられている箸を使って食べることができる、安全で操作性の良い食事介助ロボットを開発することである。

(2) 特に食事ツールに箸の機能を採用することを提案し、箸の多機能性、器用性を実現することを目的とする。すなわち、多様な力学的性質を持つ食べ物を、適切にハンドリングできるような、センシングシステムおよび認識制御機能を実現する。

3. 研究の方法

(1) 食事用ツールの比較

食事介助ロボットの食事ツールとしては、現在、スプーンとフォークが主に使われている。本研究では、まず、食事介助ロボットに適用する食事ツールの比較検討を行い、箸の有効性について検証する。

(2) 食事介助ロボットの設計製作

① ロボット本体

食事介助ロボットに有効な自由度構成および、その大きさ、駆動方法等について各種産業用ロボットを例として検討する。ここでは、ロボットの条件として、

- a. 水平多関節で自由度を4以上とする
- b. 電動式で安全のため剛性を低くする
- c. テーブル上に置けるサイズとする。

その結果から食事介助ロボットを設計し、製作する。

② 箸操作機構

食べ物を把持するための把持機構と、箸を操作するための手首機構を設計製作する。箸を開閉する機構は、回転による方法と平行挟みの方法を検討する。

③ 操作システム

皿の上の食べたい物を、ハンズフリーポインティングデバイスを用いて指示し、自動的に口元にもってくるような制御システムを設計する。被介護者が容易にロボットを操作できるようなシステムとする。

箸の制御には、力覚センサ情報を用いて、食べ物に応じた把持力を実現できるようなセンサ制御系にする。

(3) 多様な食べ物のハンドリングについて

① 食物特性測定

取り扱う食べ物の力学的特性を測定し、把持力制御のデータベースとする。食べ物としては、通常の食事によく食べる典型的なものを多数用意し、把持するときの箸位置（閉じ量）と反力を測定し、弾性係数を求める。また、食べ物が切れる場合の反力最大値すなわち、把持力限界値を求める。

② 把持力制御

各食べ物の特性データベースに基づいた把持力制御方式を確立する。ここでは、食べ物をつぶさず、かつ、落とさずに把持して移動する制御とする。

③ 食事実験

ハンズフリーポインティングデバイスを用いて、食べ物を指示し、ロボットを動作させ、食べるという動作を実現する。食事の多様性を付与するために、切ったり、混ぜたり、2つの食べ物を一緒に掴むなどの動作を実現する。

4. 研究成果

(1) 食事ツールの比較と箸の特長

はじめに、食事介助ロボットに適切な食事ツールの比較を行った。フォークとスプーンは1つの機能には特化しているが汎用性は少なく、箸は扱い方によって単体で行える動作が豊富であることがわかった。また、箸でつかむ場合はツールの角度を固定したまま腕を上下するのに、スプーンですくう場合は腕の軌道とツールの角度が重要になり、アームの制御は箸でつかむ場合の方が簡単である。箸は対象物との接触が他のツールに比べて少なく、一度の食事を1組の箸でこなすことができる。

箸の利点として以下の点が挙げられる。

- ・軽い・かさばらない・安価・口に馴染みやすい・細かい作業に適している

箸には、つかむ・はさむ・支える・運ぶという“基本機能”と、切る・裂く・ほぐす・刺す・はがす・すくうなどの“特殊機能”がある。このように、箸は“単一食器”であ

りながら、多彩な機能を持つ一器多様の“万能食器”である。

さらに介護現場での調査を行なった結果から、以下の事項が明らかとなった。

- ・ 普段の食事には箸を用いることが多い
- ・ 使い慣れた箸で食事を行いたい
- ・ 口を大きく開かず、小口で食べられる

以上の結果より、本ロボットにおいて用いる食事ツールとしては、日本人に最も馴染みが深く、汎用性の高い箸を用いることとした。

(2) 小型ロボットの設計製作

① システム概念

箸を用いた食事介助ロボットのシステム概念図を図1に示す。

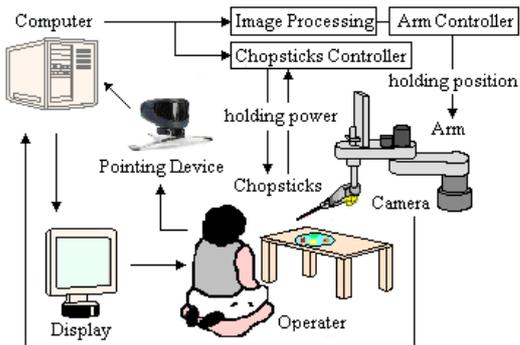


図1 食事介助ロボットの概念

このシステムでは、まず被介護者がハンズフリーポインティングデバイスを用いて、ディスプレイ画面上のカメラ画像の中の食べたいものを指示する。コンピュータ画像処理によってその位置が求められ、ロボットの箸が移動して食べ物を掴む。箸の把持力が検出されフィードバック制御によって適切に食べ物を把持し、口元に持って行き、これを食べる。この動作が繰り返される。

② ロボット本体

ロボット本体は、電動式4自由度水平多関節機構であり、先端部に箸駆動機構が取り付けられている。上下軸と箸回転軸以外はベルト駆動として、剛性を低くし、安全性を高めている。各自由度は、ロータリエンコーダフィードバックによる位置決め制御がなされる。図2はその外観である。図の上が本体、下が箸機構である。

③ 箸操作機構

箸操作機構は図3に示すような構造とした。片側の箸は把持用であり偏心カムを用いた回転把持機構である。箸を開くためのスプリングを付加している。もう片側の箸は固定とし、根本部分に小型3軸力覚センサを取り付けている。

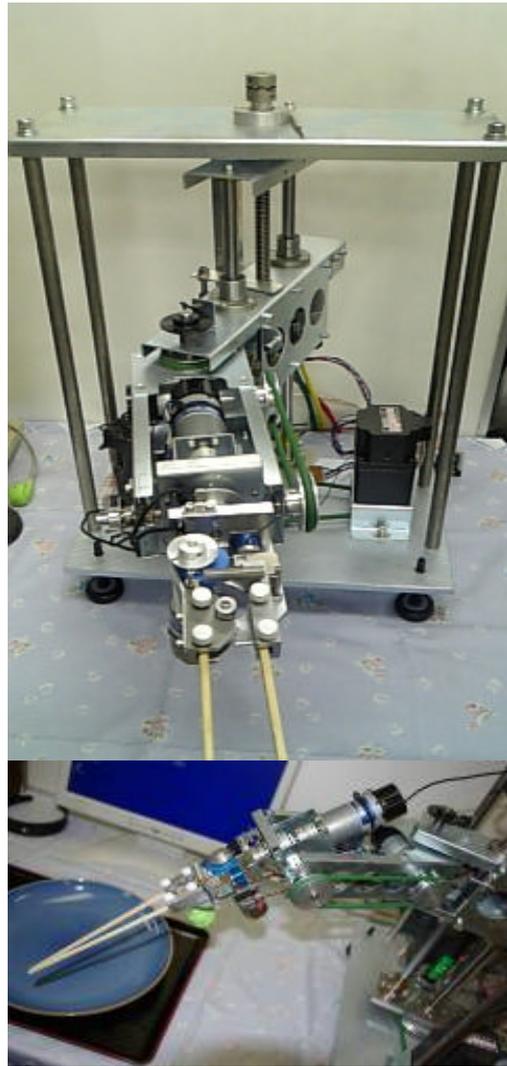


図2 食事介助ロボットの外観

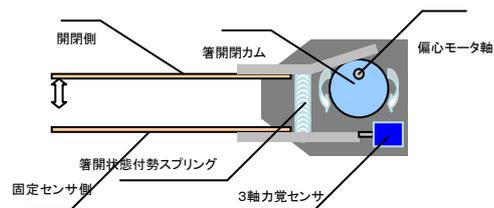


図3 箸操作機構

④ 操作システム

被介護者が操作しやすいように、光の反射によるハンズフリーポインティングデバイスを用いた。このポインティングデバイスを用いて、操作画面を操作し“食事を開始する”、“食べ物を指定する”などのそれぞれの動作の決定をする。

画面上には図4に示したように操作パネルが表示される。パネル左下部にカメラからの画像が映し出され、食事開始ボタン(いただきます)、手動用ボタン、緊急停止ボタン等が配置されている。



図4 操作画面

(3) 多様な食べ物のハンドリングについて

① 食べ物について

扱う食べ物には次のようなものがある。

- a. ハンバーグ・コロッケ・唐揚げ等
- b. 煮魚・焼き魚、刺身等
- c. サラダ・肉じゃが・きんぴら等
- d. トマト・きゅうり・アスパラ等
- e. 豆腐・卵焼き・煮豆等
- f. 餃子・シューマイ・肉まん等
- g. 巻寿司、にぎり寿司、稲荷寿司等
- h. ごはん・うどん・そば等 ほか

② 食物特性測定

食べ物について、次の力学的特性を考慮する。

- ・弾性特性（柔らかさと固さ）
- ・壊れやすさ（弾性限界）
- ・重さ
- ・大きさと形状

食べ物を箸で把持する時に重要なのは、壊さず落とさずに掴むことである。先にあげた特性のうち、形状についてはだいたい基準の大きさにそろえる事とし、食べ物によって異なる「弾性特性」と、「弾性限界」および食べ物の「重さ」を測定し、食べ物の種類によって箸の把持力の基準値を決定する。

基礎実験として箸機構で食物を把持し、箸間隔を一定速度で閉じていき、その時の箸の反力を測定した。その結果を図5に示す。図において、縦軸方向が把持力を表し、横軸方向は箸の閉じ角度である。力が急激に変化しているところは、食べ物が切れた点である。

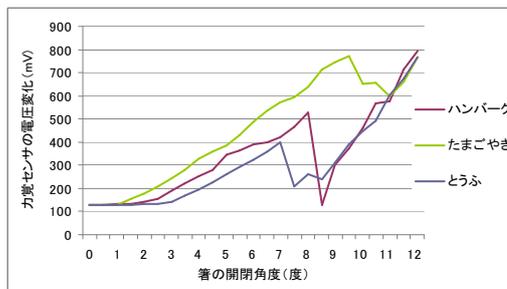


図5 食品の把持特性測定結果

③ 把持制御

食べ物を把持するときの制御方式としては、箸変位と把持力の変化から食べ物の弾性特性を推定して、自律的に把持力を決定する方法と、食べ物の種類を指定して、データベースから最適な把持力を決める方法とがある。現時点では後者の方法をとっている。

④ 食事实験1（食べ物を切る）

まず、大きい物を小さく切る動作について実験を行ってみた。食材は豆腐、たまご焼き、ハンバーグ3種類を使った。図6は豆腐を把持し、切った状況の流れを表している



図6 食べ物を切る動作

次に、シューマイとハムを使って2つの食べ物をあわせて把持する、合成の実験を行った。図7にその状況を示す。

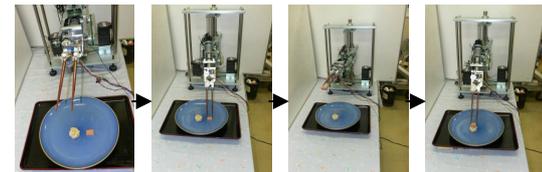


図7 食べ物を合成する実験

総合実験として、先に述べたシステムを用いて、通常の弁当を食べる介助を試みた。その様子を図8に示す。



図8 食事介助実験

弁当箱に詰められた食材を対象に、食事实験を行った。しかしながらまだ、全体的にスムーズに食事が出るまでに至っていない。その原因は次の各点であり、さらなる検討が必要となっている。

- a. ロボットの位置決め制御の精度の問題
- b. 箸部の姿勢制御および軌道制御の問題
- c. 食べ物の特性の実時間推定の問題
- d. ご飯の把持と掬いに関する問題

(4) 結論

①研究の結果

本研究では、手の不自由な人が自分で操作して食事ができる、操作性の良い小型の箸を用いた食事介助ロボットを開発した。このロボットの特長は、日常の食事と同様に箸を用いて食事できるところである。本ロボットでは、箸の根本部分に設置した力センサの情報と、あらかじめ測定しておいた食べ物データベースを用いた力制御により、各種の食物に対して対応する事ができた。

基本的な食事動作実験によって、箸を用いた食事介助ロボットが有効であることを確認した。

②今後の課題

今後は、食べ物のリアルタイムでの特性推定と把持力目標値の決定についてのさらなる研究が必要である。また、画像処理と触覚処理の融合により操作者の負担を軽減するための高度な自律化が望まれる。

さらに、実際に手の不自由な人や高齢者に利用してもらい、改良を加えていく段階を経て実用化を目指していくことが重要であると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ①福嶋政徳、増田良介、圧覚と衝撃センサを利用したロボットの皮膚センサによる刺激の判別への応用、電気学会論文誌C分冊、査読有、128 巻 3 号、電気学会、2008
- ②Caroline Schmitter, R.Masuda, Research on multiple facial expression of robots -A method to generate mixed expressions based on present and past emotions-, Proceedings of of the school of the information science and technology, Tokai University, Vol.33, 83-89, 査読有、東海大学情報理工学部, 2008
- ③福嶋政徳、増田良介、ロボットハンド操作のためのすべり提示デバイス、東海大学紀要情報理工学部、査読有、9 巻 2 号、2009、11-17
- ④M.Fukushima, R.Masuda, Stimulus Distinction in the Skin of Robot using Tactile and Shock Sensors, Electronics and Communications in JAPAN, Vol.93, 2010,

55- 57

- ⑤S.Oouchi, M. Mubin, N. Koda, Control of Vehicle Driving Model By Non-linear Controller, ISCIT 2008 IEEE, 394-397
- ⑥大内茂人ほか、セルフチューニング制御器を組込んだ回転型倒立振子の V S S ロバスト適応制御、電気学会論文誌 C、査読有、Vol.128, No.4、618-627, 2007
- ⑦稲葉毅、小原匡司、人間-機械協調作業系における手先到達動作時の人腕インピーダンス特性、東海大学紀要情報理工学部、査読有、Vol. 9, No. 2、1-6、2010

[学会発表] (計 11 件)

- ① Tomoki Koshizaki, Ryosuke Masuda, Control of Meal Assistance Robot Capable of Chopsticks Function, 41th ISIR, 2010, Germany
- ②越崎友貴、増田良介、箸による食物の分解と合成の機能をもつ食事介助ロボットに関する研究、ロボットメカトロニクス講演会、2009, 福岡
- ③王天昂、増田良介、箸機能を持つ小型食事介助ロボットの試作、ロボティクスメカトロニクス講演会、日本機械学会、2008
- ④浅野兼太朗、増田良介、ヒューマノイドロボットと人間の共存する生活空間における人間支援のための探索に関する研究、ロボティクス・メカトロニクス講演会、日本機械学会、2008
- ⑤T.ko Ou, R. Masuda, Development of Meal-Assistance Robot Capable of Using Chopsticks, MJISAT, 2007, Malaysia
- ⑥堀川晴信、増田良介、触覚ベクトル検出のための柔軟分布触覚センサ、日本ロボット学会学術講演会、2007、千葉
- ⑦高橋良輔、増田良介、人間のしごとをアシストするロボットアーム制御システム、計測自動制御学会 S I 部門講演会、2007、広島
- ⑧小谷齊之、畑中佑介、平田弘志、大内茂人、バックステッピング法によるジブクレーンの振れ止め制御、第 11 回「運動と振動の制御」シンポジウム、日本機械学会、2009
- ⑨山田佑樹、中山裕介、平田弘志、大内茂人、1 脚ロボットに対する屈伸動作の安定化制御に関する研究、日本機械学会年次大会、日本機械学会、2008
- ⑩稲葉毅、小原匡司、人腕インピーダンスに基づくパワーアシストシステムのパラメータ調整、計測自動制御学会 S I 部門講演会、2008
- ⑪小原匡司、稲葉毅、人腕インピーダンスに基づくパワーアシストシステムのパラメータ調整 -作業精度の違いによるインピーダンス特性の変化-、計測自動制御学会 S I 部門講演会、2009

〔図書〕（計1件）

増田良介、産業用ロボットの要素技術とシステム技術の展開、機械設計臨時増刊号、2-8
日刊工業新聞社、2009

〔その他〕

ホームページ等

東海大学情報理工学部コンピュータ応用工
学科 センサ・ロボティクス研究室

<http://sensor.ec.u-tokai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増田 良介 (MASUDA RYOSUKE)

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号：30016688

(2) 研究分担者

大内 茂人 (OUCHI SHIGETO)

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20287030

稲葉 毅 (INABA TAKESHI)

東海大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：90242271