箸を用いた食事介助ロボットの試作と食べ物の把持制御

山 崎 明* 福 嶋 政 徳* 増 田 良 介*

Trial Manufacture of the Meal Assistance Robot using Chopsticks and Control of Grasp Force for Foods

Akira Yamazaki*, Masanori Fukushima* and Ryosuke Masuda*

Recently, the development of the support robot for daily life has been required under the impact of falling birthrate and the aging population. We have developed a meal assistance robot for disabled or elderly person who cannot take a meal by themselves. In this paper, a system of chopsticks-equipped meal assistance robot trial made is introduced. Chopsticks have a variety of movements for foods handling and are familiar to people in Japan and other Asian countries. The grasp force control of chopsticks for the variety of foods by using the elasticity and maximum force information, is also described.

Key Words: Meal Assistance Robot, Chopsticks, Grasp Force Control

1. は じ め に

近年、先進諸国では医療水準の向上により高齢化が加速的に進み、また特に日本では出産数の低下等による少子化も進行している。さらに、介護福祉士や訪問介護員などの介護職は過酷な労働であるにもかかわらず賃金が低いため離職率が高く、これらの影響により高齢者や障害者への介護は慢性的な人材不足である[1]。そこで介護者に代わる新しい担い手としての介助ロボットや生活支援ロボットへの期待が大きく高まってきており[2]、研究・開発が盛んに進められている。そのなかでも、手の不自由な人のための食事介助ロボットは、介護者の負担が軽減でき、かつ被介護者が自身で食事を楽しむことができるので有用であり[3]、製品化・実用化もされている。

本論文は、筆者らが提案した箸を用いた食事介助ロボットシステムの試作結果および、多様な特性をもつ食べ物を箸で適切に把持する力制御法とその実験結果について報告する。

2. 食事介助ロボットの研究・開発状況

生活支援ロボットや介助ロボットは、盛んに研究・開発が行われているが実用化されているものはまだ少ない。そのなかで、手の不自由な人のための食事介助および食事支援ロボットは製品として実用化されているものが比較的多い。これは日常生活の中で食事は毎日3回必要なので介護の中でも重要な要素であり、

また介護される側が介護者に気兼ねなく好きなタイミングで自由に食べ物を選んで食事ができる点で特に要望されているからだと思われる。海外では、200人以上の重度肢体不自由者が日常生活で使用しているイギリス製の食事介助ロボット「Handy-1」(Rehab Robotics 社)[4]や、車いす搭載型マニピュレータで食事以外にもドアの開閉や絵の描画など汎用性が高いオランダ製の「MANUS」(現在「iARM」, Exact Dynamics 社)[5]、食べ物を取得しやすくするため食器を回転させる機構が備わっているアメリカ製の「Winsford Feeder」(Winsford Product 社)[6]などがある。国内では、研究段階のものでは山口大学[7]や日本福祉大学[8]、東京理科大学[9]など数多くあり、実用化されているものでは、あご等でジョイスティックを操作しスプーンとフォークで食べ物を挟んで操作者の口元に運ぶ「マイスプーン」((株)セコム)[10]や、スプーンを握る手先のふるえを抑えることで被介護者の食事を支援する「MARo (マーロ)」((株)リバスト)などがある。

これら食事介助/支援ロボットの共通項として、食事に用いるツールにスプーンやフォークを用いていることと、「MARo (マーロ)」を除くと操作方法が手以外の部位で操作するジョイスティック系を用いていることが挙げられる。

3. 食事介助ロボットのための食事ツール

3.1 各種食事形態

世界には大きく分けて3種類の食事形態がある。東南アジアや中近東、アフリカ等では「手食」を、中国や朝鮮半島、日本、台湾、ベトナム等では「箸食」を、ヨーロッパや南北アメリカ、ロシアなどでは「ナイフ・フォーク・スプーン食」を用いてい

原稿受付 2011 年 12 月 24 日

* 東海大学

* Tokai University

■ 本論文は提案性で評価されました。

る。これら3種類の世界人口に対する使用割合はどれも同程度である[11]。これらの違いは各国によって宗教や文化、食べ物が異なるため生まれたものである。

各食事形態によって得手・不得手はある。そのなかで「ナイフ・フォーク・スプーン食」はあらゆる食べ物に対応できる反面、3種類を使い分けなければいけない。これに対して「箸食」は単体で融通無碍な万能性を持っており液体以外のほとんどすべての食べ物に対応できる。また、スプーン・フォーク・ナイフは冷たい金気を感じ[12]、嚥んでしまった場合は電流が流れ嫌悪感を覚えることもある。そのほか、食べやすさを考えた場合も「スプーン」は口を大きく開ける必要があるのに対し、「箸」は比較的口を大きく開けなくても食事ができる。さらに、箸は手・指のマニピレーション技術を応用することで器用な動作ができ、かつ日本人やアジアの人々に馴染み深い。

3.2 スプーンと箸における腕動作の比較

食べ物を持ち上げるところから口元に運ぶまでの腕の動作を「スプーン」と「箸」の場合で見比べてみた。まず食べ物を持ち上げる動作の場合、「箸」は先端を直接食べ物に向かわせ、後は閉じるだけで持ち上げられるのに対し、「スプーン」はすくい上げという特殊な動作が必要になる。そのため食事介助ロボットが「スプーン」で食べ物を持ち上げるには、「スプーン」に食べ物を乗せる別のツールや、仕切り壁が必要となってくる。また、「箸」の場合は食べ物の把持力を制御する必要があるが、いったん把持してしまえばどんな角度になろうとも食べ物を落としてしまう心配がない。しかし、「スプーン」の場合は常に水平に保ち続けなければならず繊細な動作が必要とされる。このことから道具を操る手先の動作や力加減の制御は「スプーン」よりも「箸」のほうが難しいが、腕や肩の動作は「箸」のほうが単純であり、また肩関節と肘関節の稼働関節範囲も小さくてすむ[13]。「箸」および「スプーン」を用いたときの食べ物を持ち上げる際の軌道および角度を比較した図をFig. 1, 2に示す。

さらに、食事介助ロボットに用いる食事ツールにおいて、スプーンは通常フォーク等の別のツールとペアで用いられる。この場合、フォークはスプーン上の食べ物を把持するために用いられるので、フォークとしての機能を發揮しているわけではない。なお、箸で可能な多様な食べ物操作の動作をフォークとス

プーンで実現するためには、それらを個々に持つ2本のロボットアームを独立に操作する手先の動作や力加減の制御は「スプーン」「フォーク」系よりも「箸」のほうが単純なロボットアームで実現可能であると考えられる。

これらの点から筆者らは食事ロボットに「箸」を用いることにした[14][15]。

4. 箸を用いた食事介助ロボット

4.1 ロボット本体および箸機構部

本研究では、食事介助ロボットに水平多関節機構を採用した。関節数は5軸で、大きさは机の上に乗るように土台部のサイズは240[mm]×380[mm]である。本ロボットの外観図および関節構成図をFig. 3に示す。

また、箸開閉機構図をFig. 4に、写真図をFig. 5に示す。

箸部においては片方を固定側箸とし、もう一方を開閉側箸としている。開閉側箸の動作は、モータで偏心カムを回転させて行う。このとき、モータ軸に直結されたロータリエンコーダで偏心カムの回転角度を検出し、箸の閉じ幅に変換して箸の閉じ制御に用いている。また、固定側箸の根元部に取り付けられた3軸

Fig. 3 Overview and joint structure of the robot

Fig. 4 Structural drawing of the chopsticks mechanism

Fig. 1 Orbit when scoop foods (Spoon)

Fig. 2 Orbit when catch foods (Chopsticks)

Fig. 5 View of the chopsticks mechanism

Fig. 6 Each axis of 3-axes force sensor

Fig. 7 Schematic diagram of the system overall constitution

力覚センサの1軸で把持力を検出できるようにしている。

4.2 3軸力覚センサ

食べ物を箸で把持して持ち上げるには、各食べ物の特性に応じて箸の把持力を制御する必要があるため、Fig. 4のように3軸力覚センサを取り付けた。各軸を図解で表したものをFig. 6に、各軸の説明を以下に示す。

x軸方向（食べ物の硬さ検出用）

- 1) 食べ物からの反力（トルク）を測定する。
- 2) 食べ物の把持力制御に用いる。

y軸方向（荷重の検出用）

- 1) 食べ物が箸で持ち上げられているのかを確認する。
- 2) 口元に運ぶ途中で落としてしまったことを検出する。

z軸方向（異常な力の検出用）

- 1) 箸がテーブルや皿を押しつけている状態を検出する。
- 2) 人に接触していることを検出する（危険防止のため）。

本研究では、コンパクトであり外部アンプが不必要で比較的使いやすい静電容量型3軸力覚センサ PD3-32-10-015（ニッタ（株））を用いた。この力覚センサを用いた食べ物把持力制御の詳細については第5章“食べ物に対する自動把持力決定法”にて示す。なお本論文ではx軸方向の取り扱いについてのみ述べる。

4.3 システム構成

システム構成図をFig. 7に、操作者から見た外観をFig. 8に示す。

Fig. 7, 8にあるように、操作者の正面にはお皿に乗った食べ物が、左側にはその食べ物が映し出されたPC用外部ディスプレイが、右側にはロボット本体が設置してある。本ロボットの操作は実際の食べ物ではなく、外部ディスプレイを見ながらの操作になる。外部ディスプレイ上の操作画面をFig. 9に示す。

Fig. 8 General view from the operator

Fig. 9 Operation screen

4.4 ハンズフリー型ポインティングデバイス

従来の食事介助ロボットの操作方法は、第2章でもあげたように手や腕以外の部位で操作可能なジョイスティックを用いることが多い。しかし、ジョイスティックを用いた操作は練習が必要な場合や、人によっては操作が難しい場合がある。

そこで本研究では、ハンズフリー型の赤外線反射型ポインティングデバイス「smartNAV3」（NaturalPoint社）を用いた食べ物選択システムを作成した。このポインティングデバイスは少ない顔の動きだけでPCのマウスポインタを操作できるデバイスである。操作者には、事前に反射シールを貼り付けたヘアバンドやカチューシャ、メガネなどを装着してもらう。その後、顔を動かすとポインティングデバイスが、装着具に貼り付けた反射シールの動きを読み取り、それに合わせてPCのマウスポインタが動く。本研究では、このマウス操作により画面上の食べ物をクリックすることによって選ぶだけで、後はロボットが自動で食べ物を把持し口元まで運んでくれるようなシステムとした。従来の食事介助ロボットはアームの操作をジョイスティックで行い食事するのに対し、ディスプレイ上のマウスを顔で動かして食べたいものを選ぶだけで食事ができる。また、本研究で用いたポインティングデバイスはマウスポインタの移動速度やクリックに要する停止時間を、ポインティングデバイス用ソフトの設定で容易に変更が可能であり、操作者に合った設定ができる。さらに元々手が不自由な方でもPCを操作できるように設計されているため、練習等が少なくても操作ができるよう

Fig. 10 Wearing tool for hands free type pointing device

になっている。

4.5 操作手順とロボットの動作順序

本ロボットの被介護者である操作者の操作手順とロボットの動作順序を以下に示す。

- 1) 操作画面内にある「CAMERA」ボタンに顔を動かしながらマウスポインタを移動させ、クリックする。
- 2) 「CAMERA」ボタンをクリックすると皿の上部に取り付けた USB カメラが食べ物の画像を取得し、PC 用外部ディスプレイに映し出す。その際、起動時にそのまま画像取得を行うと箸が画像に映りこんでしまうため、「CAMERA」ボタンのクリック後はアームを動かし箸部が映りこまないようにした。また、このアームを動かし画像を取得する行為には、画像取得後に再び元の位置に戻る動作を行うことでゼロ点調整を行う意味も兼ねてある。
- 3) 画像取得後、操作者はディスプレイ上の食べ物の位置にマウスポインタを移動させクリックする。その後、操作者は次の食べ物を選ぶまで一切の操作が不要である。
- 4) 食べ物クリック後、箸先端が目標の食べ物に向かい、食べ物を把持し、操作者の口元に運ぶ。
- 5) 食べ物を食べたあと、ロボットの箸部は元の位置に戻る。なお、1) にて行った「CAMERA」ボタンをクリックして画像を取得する操作は最初の 1 回目のみ必要であり、2 回目以降は操作者の口元に食べ物を運んで、食べている間に自動で画像取得を行うので、箸が元の位置に戻った後操作者はすぐに次の食べ物を選ぶことができる。

4.6 箸部の起動と各関節の動作タイミング

箸が食べ物に向かう際に、各関節の角度を逆運動学により求めているが、すべての関節を同時に移動させると目標の食べ物の周囲にある食べ物やお皿の淵に当たってしまい目標の食べ物を上手く把持できない場合がある。これは、食べ物を把持した後に操作者の口元に食べ物を運ぶ場合も同様である。

そこで目標の食べ物に箸先端を向かわせる場合は、Fig. 3 の①部であるアーム全体の上下動作を最後に行うことにした。操作者が食べ物をクリックしたあとは、目標の xy 座標への移動を最初に終わらせ、その後に、目標の食べ物に向かって真っすぐ箸を下ろすことで、周囲の食べ物や皿の淵に当たることがなく食べ物を把持することができる。また、食べ物を把持後に操作者の口元に運ぶ際は、①部を最初に真っすぐ持ち上げてから、他の関節を動かし、操作者の口元に運べるようにした。

4.7 安全システム

本ロボットは、人との接触がある介助ロボットであるため、その安全性には十分な配慮が必要である。ここでは、提案・試作した食事介助ロボットの安全対策について述べる。

本研究における介助ロボットの安全は、ハード面とソフト面の両面から対策している。ハード面では、関節の伝達駆動にゴムチューブを使用することで、万一箸を含むロボットの機構部が使用者に接触した場合も強い力を与えることはなく、跳ね返るような機構となっている。また、使用者が本ロボットと接触するのは食べ物を食べる時だけであるが、本ロボットが食べ物を口元まで運び、停止した状態で使用者が口を近づけて食べることで安全性を高めている。

さらに、本ロボットの Fig. 3 内軸②のモータの関節軸の最高速度は、リンク先端部で約 8.8 [cm/s] であり、軸③のモータの関節軸の最高速度は、リンク先端部で約 12.2 [cm/s] であるため、この速度で質量の小さい箸が顔に当たったとしても危害を加える衝撃にはならない。また、箸を使用している場合に最も危険なのは操作者の顔が箸の移動範囲内にある状態で、箸先端部が顔に向かう「刺す」動作であるが、箸先端部が顔にまっすぐ進むような動作は、Fig. 3 内の軸②および③が特異な速度の組み合わせの場合のみ発生するので、もし各軸のサーボが暴走した場合でも、「刺す」動作にはならず、箸の側面から使用者に当たるようになっている。

次にソフト面での安全対策としては、箸部の 3 軸力覚センサの情報による安全対策を行っている。3 軸力覚センサの X 軸にマイナス方向の力（箸の食品把持時の力と反対方向の力）が発生したときは外部の物体に箸が接触したと判断し、ロボットの関節駆動を非常停止させている。また同様に、Y 軸のマイナス方向の力、および Z 軸の力（箸を先端から押す方向の力）が発生したときにも非常停止をさせている。

以上の力覚による安全方策は、使用者に接触して初めて危険を検知し停止させるものであるため、今後はより高い安全対策として近接覚センサの設置等による箸部が使用者に接触する前の安全システムを付加していく予定である。

5. 食べ物に対する自動把持力決定法

5.1 食べ物把持実験

食べ物は種類によって様々な特性を持っているため、箸を用いて食べ物を壊さずに、かつ落とさずに把持するには、各食べ物の特性に応じて把持力を変化させる必要がある。そのなかで固形の食べ物を把持する場合は食物の破壊時点の応力（破壊強度）と弾性係数を知ることが重要である [16] [17]。

本研究では典型的な 28 種の食物を 5 回ずつ実験用の箸機構を用いて把持する実験を行い、閉じ幅変化と把持力から最大反力 F_{max} と弾性係数 E を求めた。最大反力は把持力を増加させていったときの食べ物が破壊する直前の応力、または、破壊しないときは箸の閉じ幅が変化しなくなった時点での応力とした。また、弾性係数は箸の閉じ幅変化量に対して把持力が比例関係で増加しているときの傾きとした。このようにして、測定した弾性係数を横軸に、最大反力を縦軸にした分布図を作成した (Fig. 11, 12)。Fig. 11 は把持実験での弾性係数の平均値

Fig. 11 Distribution map of food characteristics

Fig. 12 Distribution map of food characteristics

と最大反力の範囲を表したものであり、Fig. 12 は同じ把持実験での最大反力の平均値と弾性係数の範囲を表したものである。Fig. 11 および Fig. 12 の各数字と食物の対応表は Table 1 である。また、実験に関する詳細な条件を下記に示す。

- 1) 食べ物の大きさは箸が掴める一定の範囲内とする。ただし、食べ物の形状は箸で掴めるならば特に限定はしない。
- 2) 箸で掴める範囲の食べ物であれば、重さの影響はないと判断し、食べ物の重さに関しては特に考慮しない。
- 3) 摩擦係数・すべりに関しては、一般に箸で容易に掴める摩擦を有するものとし、すべりやすい食品は除外する、もしくは調理加工によって箸で掴める状態にする。

Fig. 11, 12 より、弾性係数 (Modulus of Elasticity; E) と最大反力 (Max Force; F_{max}) とがほぼ比例関係にあることが分かった。この分布図の平均値のデータ (Fig. 13) について最小二乗法による直線 (Line ①) を引いた。この直線の式を以下に示す。

$$F_{max} = c \cdot E + b$$

ただし、傾き係数 $c = 87.912 \text{ [N/N/mm]}$ であり、また切片 $b = 0$ とした。

ところで、食べ物を落とさずに、かつ確実に持ち上げるには

Table 1 Food list

1	Film Tofu	8	Japanese Omelette	15	Cone Sushi	22	Konjac (Oden)
2	Crab Cream Croquette	9	Deep-Fried Tofu	16	Sweet Fried Chicken	23	King Trumpet Mushroom
3	Dried Wheat Gluten (Fu)	10	Fried Burdock Root	17	Fried Prawn	24	Boiled Fish Paste
4	Boiled Tofu	11	White Radish (Oden)	18	Croquette	25	Sushi Roll
5	Pickle of the Chinese Cabbage	12	Cotton Tofu	19	Orange	26	Sausage
6	Gyoza	13	Boiled pumpkin	20	Fried Chicken	27	Sushi
7	Mackerel in Miso Source	14	Hamburger Steak	21	Boiled Potato	28	Steak

Fig. 13 Least squares method

最大反力付近まで把持力を与える必要がある。しかしながら、最大反力は食べ物の種類が知られていないと分からないので、把持力の目標値を定めることはできない。そこで、最大反力が弾性係数に比例するという食べ物の基本特性を利用して、食べ物の弾性係数 E から把持力目標値 F_{ref} を決定する方法を取ることにした。

Fig. 13 より、最小二乗法での近似の場合、最大反力が近似線よりも下にある食べ物が多くあるため、Line ①のまま把持力目標値を決定し食べ物を把持しようとする、壊れてしまい持ち上げられない食べ物が出てくる。そこで Line ①の力に決定係数 k をかけた値を本研究の目標把持力 F_{ref} の線とした (Line ②)。

$$\text{把持力目標値 } F_{ref} = k \cdot (c \cdot E)$$

このとき、 $k = 0.7$ とした。これは $k = 0.7$ のときに約 90% の率で食べ物を把持して持ち上げることができ、それ以上だと壊してしまう食べ物が、それ未満だと持ち上げることができない食べ物があったからである。

5.2 食べ物把持力の決定

前節より、弾性係数から最大反力の範囲を推定し、把持力目標値を決定できることが分かった。そこで以下のフローチャートを用いて食べ物を把持して持ち上げることにした (Fig. 14)。また、箸の把持力制御系の構成図を Fig. 15 に示す。

まず、最大反力を推定するため弾性係数を求める。食べ物に触れるまで箸を閉じ、その後、 $\Delta x \text{ [mm]}$ 箸を閉じる。 $\Delta x \text{ [mm]}$ 閉じ

Fig. 14 Flow chart of estimate of the grasp power

Fig. 15 Constitution diagram of the grasp control system using chopsticks

たときの反力 (F_{now}) から、食べ物に触れたときの反力 (F_{cont}) を引き、その値を Δx [mm] で割り弾性係数 E を計算する。

$$\text{弾性係数 } E = \frac{(F_{now} - F_{cont})}{\Delta x} \quad (\Delta x: 5 [\text{mm}])$$

求めた弾性係数 E に 5.1 節で導いた近似線の傾き c と決定係数 k をかけて、把持力目標値 F_{ref} とする。

5.3 把持力決定方式を用いた食べ物把持実験結果

この把持力決定法を用いて各食べ物を 10 回ずつ把持実験した結果、実験に用いたほとんどの食べ物を把持して持ち上げることができた。上手く把持することができなかったのは、絹ごし豆腐（未調理）、湯豆腐、太巻きだけであった。絹ごし豆腐は壊してしまう率が 40%、持ち上げようとして滑ってしまう率が 50%で、把持して持ち上げられたのは約 10%だけであった。湯豆腐は、壊してしまう率が 20%、持ち上げようとして滑ってしまう率が 30%で、把持して持ち上げられたのは約 50%であった。太巻きは 30%の率でくずれてしまい把持できなかったが残りの 70%は把持して持ち上げられた。

以上のことから、最大反力が約 1.5 [N] 以下で弾性係数が約 0.02 [N/mm] 以下の食べ物は壊してしまうことがあるため本ロボットでの把持が難しく、また最大反力や弾性係数に関係なく元からくずれやすい食べ物も把持するのが難しいことが分かった。しかし、今回の実験で用いた 28 種類の食べ物のうち残りの 25 種類に関してはすべて 90%以上の率で把持して持ち上げることができたので十分に実用性があると考えられる。

6. ま と め

本論文では、箸を用いた食事介助ロボットの提案と食べ物把

持の制御について報告した。「箸」は単体での多様性が「スプーン」や「フォーク」等よりも高く、また口を大きく開ける必要もなく、日本人に馴染みがあるなどの利点があることから食事介助ロボットの食事ツールには「箸」を用いることにした。手の不自由な方でも自由に食事ができ、かつ比較的練習や慣れが不必要なハンズフリーの赤外線反射型ポインティングデバイスを用いた食べ物選択システムを開発した。

食べ物の把持制御を行うため、28 種の食べ物それぞれに対し把持実験を行い、力学的特性の分布図を作成した。分布図より、食べ物の弾性係数と最大反力は比例に近い関係があることが分かった。分布図に、28 種の分布から最小二乗法を用いて近似線を引き、この近似線の 70%を、食べ物を箸で把持して持ち上げるための目標把持力とした。食べ物を把持しながら弾性係数を測定し、本目標把持力決定法により求めた把持力になるまで食べ物を把持して持ち上げるところまでの、本ロボットの食物把持力の制御方法を確立した。

今後は、刺す、切る、混ぜる等、箸特有の多様な動作の実現や、把持に失敗した場合の対処システム作成、全体のスピード向上等を目指す。また、本ロボットを様々な人に試してもらい、意見等を参考にしつつ十分な検証を行い、実用化を目指す。

謝 辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (c) (19500482) の支援を受けたものである。

参 考 文 献

- [1] 土田耕司: “福祉現場における介護人材不足の背景”, 川崎医療短期大学紀要 30, pp.41–45, 2010.
- [2] 厚生省: 重度障害者用簡易食事ロボット, 1990.
- [3] ロボット政策研究会: ロボット政策研究会中間報告書～ロボットで拓くビジネスフロンティア～, 2003.
- [4] M. Topping et al.: “Handy-1 A robotic aid to independence for severely disabled people,” ICORR’01, 2001.
- [5] B. Drissen et al.: “Manus control architecture,” ICORR 2001.
- [6] R.P. Hermann et al.: “Powered Feeding Devices: An Evaluation of Three Models,” Arch. Phys. Med. Rehabil., vol.80, pp.1237–1242, 1999.
- [7] 山本正幸ほか: “対話式ヒューマンインターフェイスを備えた食事支援用ロボットハンドの開発”, 山口大研究報告, vol.50, no.2, pp.199–203, 2000.
- [8] 山羽和夫ほか: “食事支援福祉ロボットの開発”, 東海支部地区講演会講演論文集 2002, pp.267–268, 2002.
- [9] 小林宏ほか: “食事支援ロボットシステムの開発と定量的評価”, 日本機械学会論文集 C 編, vol.70, no.699, pp.3252–3259, 2004.
- [10] 石井純夫: “食事支援ロボット「マイスプーン」”, 日本ロボット学会誌, vol.21, no.4, pp.378–381, 2003.
- [11] 一色八郎: 日本人はなぜ箸を使うか, 大月書店, 1987.
- [12] 山内祝: 「食」の歴史人類学—比較文化論の地平, 人文書院, 1994.
- [13] 長尾徹ほか: “箸またはスプーンを使用した食事動作における肩関節外転・肘関節屈曲・前腕回旋運動と動作時間の比較検討”, 神戸大学医学部保健学科紀要, vol.17, pp.1–7, 2001.
- [14] 増田: “箸を持つ食事介助ロボットにおける食物のハンドリング”, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 1118, 2006.
- [15] T. Koshizaki, R. Masuda: “Control of Meal-assistance Robot capable of Using Chopsticks,” ISR2010, 2010.
- [16] 農林省食糧研究所: “食品の物理的性質概説”, 食糧—その科学と技術, no.7, pp.1–13, 1964.
- [17] 西成勝好: “食・健康とレオロジー”, 日本レオロジー学会誌, vol.35, no.1, pp.35–47, 2007.

山崎 明 (Akira Yamazaki)

2008 年 3 月東海大学大学院工学研究科情報通信制御システム工学専攻修士課程修了。2008 年 4 月東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻入学。現在に至る。人とロボットの協調による清掃を目指したエコ・コミュニケーションロボットおよび箸を用いた食事介助ロボットの研究を行っている。
(日本ロボット学会学生会員)

る。

福島政徳 (Masanori Fukushima)

2008 年東海大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程後期修了。博士 (工学)。2009 年より東海大学情報理工学部非常勤講師。現在に至る。この間ロボットのセンサとセンサ制御に関する研究に従事。
(日本ロボット学会正会員)

増田良介 (Ryosuke Masuda)

1971 年東京工業大学大学院工学研究科工学専攻修了。1974 年東京工業大学工学部助手。1982 年東海大学工学部電気工学科講師。助教授を経て現在情報理工学部教授。工学博士。この間ロボットのセンサとセンサ制御に関する研究に従事。現在触覚センサ情報処理および介護ロボット、教育ロボットなどの開発を手掛けている。IEEE、計測自動制御学会、バイオメカニズム学会などの会員。
(日本ロボット学会正会員)