

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	上肢障害者用食事支援ロボットに関する研究
氏 名	富本 悠公

我国において、介護を必要とする障害者の人口は年々増加しており、厚生労働省が実施している身体障害者の実態調査によると、平成 23 年における重度の障害を抱える上肢不自由者（障害者等級 2 級以上）数は 42 万人である。彼らは自力での食事摂取が困難であり、家族や介護ヘルパーなどから食事の介助を受ける必要がある。この場合、被介助者の摂食ペースに合わせることも重要である。適切なペースで行わなければ誤嚥の危険や摂取量の低下にもつながるため、自分のペースで食事を摂取できることが必要である。また食事介助は一つ一つで行うが、特に施設では一人で複数人の介助を行うため介助者の時間的負担が大きい。

これらのことから、介助者に代わって上肢障害者の食事介助を行い、自分のペースで摂食できる食事支援ロボットの研究開発が国内外で行われてきた。現在までに販売されている食事支援が可能なロボットとしては、Handy1 (Rehab Robotics 社)、iARM (Exact Dynamics 社)、マイスプーン (セコム社) がある。なかでもマイスプーンは食事専用のロボットであり、水平多関節構造のロボットで構築されている。そして、エンドエフェクタとしてスプーンとフォークを備えており食物を掴んで供給する。このロボットの欠点として次の点が挙げられる。

- 多関節型構造かつ食物の供給方法がスプーンとフォークによる把持であるため振動により供給中に食物がこぼれ落ちることがある
- 把持では、やわらかい食物や滑りやすい食物の供給が難しい
- アームの可動域が広いと人体に当たりやすく、安全装置が作動しなかった際には喉を突く恐れもある
- ジョイスティックを重度の上肢障害者が顎で操作するには訓練を必要とする

第 1 章では、上記背景から直交座標構造で構築し、食物を押し出す方式で供給することで次の特徴を持つ食事支援ロボットを説明する。

- 振動が発生しにくい構造にすることで食物の落下を防止する
- より多くの種類の食物を供給可能とする
- 暴走したとしても構造的に安全である
- 重度の上肢不自由者が操作しやすい操作インターフェースを搭載する

第 2 章で示している開発した食事支援ロボットは、はじめに食物を Plate の指定された位置に配置しておく。Plate は 5 つの区画に分かれており、1 つの区画には 3 つの食物を配置できる。そして、以下の手順で動作し、食事の支援を行う。

- (i) 電源を投入すると各軸が初期位置に移動する。
- (ii) 操作インターフェースにより食物を選択する。食物の選択は Plate の区画番号で行い、選択された区画が Pusher の正面に来るように Plate が移動する。
- (iii) 選択した食物の後方まで Pusher が伸長する。
- (iv) shutter を下ろし、Pusher がさらに伸長し、食物を押し出して Spoon に載せる。
- (v) Spoon が伸長して使用者の口元まで食物を運ぶ。

本ロボットのアクチュエータには直流モータおよびサーボモータを用いており、ラック・アンド・ピニオン方式によりアクチュエータの動力を各軸に伝達し駆動している。これらのアクチュエータは電磁ノイズを発生させることから、これに対応するためアクチュエータに超音波モータを用いた食事支援ロボットも開発した。

提案ロボットの操作には、約1秒間の意識的な瞬きにより食物選択を行う瞬きインターフェース、および約3秒間の注視により食物選択を行う視線インターフェースがある。

第3章では瞬きインターフェースについて示しており、本インターフェースはWebカメラを接続したRaspberry Piにより構成される。はじめに、Webカメラから利用者の顔画像を取得する。次に、眼部探索および瞬き検出を行う。眼部探索では、取得画像よりHaar-like特徴を用いて顔領域の認識を行い、次いで目が存在すると想定される領域に限定して目の探索を行う。目の位置を認識した後、顔に対する目の相対位置およびそのスケールを記憶する。この後からは顔探索を行い、相対位置とスケールから眼部領域を抽出する。そして得られた目の領域から瞬きを検出する。瞬きは黒目を検出することで判断する。黒目の検出にはp-タイル法を用いて、画像全体の面積に対して5%の面積分の黒色画素を残す。開眼時には黒目が写るため、抽出領域は円形に近くなる。対して、閉眼時にはまつ毛が写り抽出領域が細長くなるため、抽出した領域の円形度を求めることで目の開閉判断を行う。1秒継続した閉眼を意識的な瞬きと定義し、このとき食物の選択を行ったとした。

第4章では視線インターフェースについて示しており、本インターフェースはWebカメラとPCで構成される。はじめに、瞼が開いた状態と瞼が閉じた状態の画像を取得し、これら二画像の差分をとる。眼部領域が顕著に表れるため、この領域の中心が眼部位置であると決定する。次いで、眼部(目全体)と黒目のそれぞれの重心点を算出し、眼部の重心を始点、黒目の重心を終点とする移動ベクトルを求める。移動ベクトルの大きさはピクセル数で取得し、視線方向を推定する。Plateの区画は水平方向に5区画に分かれているため、区画ごとに閾値を設けて、視線が1つの区画閾値内に3秒間あるとき食物を選択できる。すなわち、3秒間の注視で食物の選択を行う。

最後に、第5章では本研究のまとめを述べ、今後の課題を提示する。

学位論文題目	Research on Meal Assistance Robot for Upper limb disabilities
氏 名	TOMIMOTO Hiromasa

In Japan, the number of crippled people is growing in recent years. The growth is considered to continue in near future owing to the background of aging society. The crippled people are facing severe situation with many kinds of difficulties in their daily lives. Especially, for the upper-limb-crippled people, it is even difficult to have meals by themselves. They have to get assistance from their family or helpers in eating. It is a frustrated situation for the care receivers who cannot complete basic daily activities. Meanwhile, it is also a heavy work for their families or care centers. To help the care receivers in eating, it is important to match the pace and amount of help giver and receiver. It is such a careful work that the meal assistance requires at least one helper in a meal in home nursing or at care centers. Considering the aging society in Japan with shortage of labors, it is not an easy problem to solve. According to the situation stated above, some robots are introduced to help the upper-limb-crippled people in eating, relieving the severe situation.

Handy1, iARM and My-spoon are well known as robots which are able to assist in eating. It is named as My-spoon developed by Secom Co., Ltd. The system specializes in assistance in eating than the two robots introduced above. The meal assistance robot employs a fork and a spoon as manipulators. The manipulators help in eating by gripping food. The manipulation is considered effective in some cases. However, owing to the structure of the manipulators, the system has difficulty in gripping soft and slippery food. There is also a risk to make fragile food into pieces. Based on the robots introduced above, some researches related to meal assistance robots are carried out. It is not difficult to summary the meal assistance robot that the articulated robots introduced are not easy to avoid vibration owing to the structure. Since in taking and passing food procedures, vibration generated on one axis will be transferred to other axis. Another reason why conventional systems are not easy to be applied is that the robots are designed to be with operation interfaces such as joystick which is supposed to be operated with normal hands. In most cases, the operation interfaces are not suitable for upper-limb-crippled people.

Different from previous meal assistance robots our proposed one is structured in an orthogonal coordinates. The main components of the robot are including the pusher which applied to push food from food plate in y-axis direction. the shutter which can be adjusted in vertical direction of z-axis; the food plate with tracks, and the LEDs which are used for marking the tracks; a spoon which is suitable to carry most kinds of food to the user. Operation direction of each axis is defined as follows. Plate moves in only x-axis direction, shutter moves in only z-axis direction, pusher and spoon move in only y-axis direction. The forces from actuators are transmitted in axis with rack-and-pinion. The DC motors are employed to the plate, pusher and spoon as actuators. For the shutter a servo motor is used. Each axis at proposed robot moves the following procedure.

- (1) Foods are set up at the predetermined location on the plate tracks. the foods are set in five tracks.

- (2) The user can chose food using the operation interface with voluntary closing eye. The x-axis movement of plate will make the selected track moving to the pusher position.
- (3) The pusher moves to the position of the selected food.
- (4) The shutter comes down to the track.
- (5) The pusher pushes out the food to the spoon in standby status.
- (6) The spoon extends and passes the food to user's mouth.

The location shutter can be modified according to setting based on different food. The food is supposed to be offered following their locations on the tracks.

The user can operate the robot smoothly because food can been chosen by only closing eye. Raspberry Pi with web camera is used in the proposed operation interface with voluntary closing eye. Firstly, user's face image will be fetched by the web camera. Next, eye will be recognized and closing eye will be detected. Eye search is implemented by Haar-like feature on the acquired image. The interface detects closing eye according to the detected eye position. The closing eye is determined by detecting iris. Percentile method is applied to detect iris. Actually the method leaves Black pixels more than 5% of eye area. Extracted object get near circular form because iris comes out at opening eye. Extracted object get near narrow form because eyelashes come out at closing eye. Opening and closing of eyelid is determined by calculating Degree of Circularity of extracted region.

The interface operated by eye-direction consists of a webcam and a PC. It detects the eye from the face image acquired by webcam, identifies the eye movement, and then determines which plate does the user is gazing. Firstly, by using the background differencing method, the difference in RGB level for the opening or closing of the eyelids is detected. By this method, the eye position can be specified. Secondly, from the detected location of eye, the iris barycenter and the sclera barycenter are calculated. Then, the barycenter of sclera and iris are recalculated. Thirdly, when the user's gaze moved the iris position, letting the iris barycenter as the starting point and the sclera barycenter as the ending point, the barycenter vector is identified. The direction of the user's gaze is determines from the movement of the vector.

At the end, this research is summarized and referred to the tasks ahead.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 721 号	氏名	富本悠公
------	---------------------	----	------

最終試験担当者	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">主査</td> <td style="width: 35%;">田中幹也</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>大林正直</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>江 鐘偉</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>南 和幸</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>中島翔太</td> </tr> </table>	主査	田中幹也	審査委員	大林正直	審査委員	江 鐘偉	審査委員	南 和幸	審査委員	中島翔太
主査	田中幹也										
審査委員	大林正直										
審査委員	江 鐘偉										
審査委員	南 和幸										
審査委員	中島翔太										

【論文題目】

上肢障害者用食事支援ロボットに関する研究

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

本学位論文は、自力での食事摂取が困難であり、食事の介助を受ける必要がある重度の上肢障害者用の食事支援ロボットに関する研究をまとめたものである。従来から上肢障害者用の食事支援ロボットとしてセコム社のマイスプーンが良く知られているが、このロボットはつぎのような特徴がある。

- ・ロボットの構造：多関節構造
- ・食物供給方式：エンドエフェクタであるフォークとスプーンで食物を挟んで口元に供給する方式
- ・操作インターフェース：ジョイスティック

しかし多関節構造は一箇所で発生した振動が各軸に拡大して伝達し、暴走した場合にリーチが長いためユーザーに接触するなど大変危険である。またフォークとスプーンで食物を挟んで口元に運ぶ方式では、運搬途中で食物がこぼれやすく、柔らかい食物は挟めないのが供給することができない。さらにジョイスティックは、本来は手で操作するものであり上肢障害者には操作自体が困難である。申請者はこれらの問題点を解決するために、次のような方式を提案している。

- ・ロボットの構造：直交座標構造
- ・食物供給方式：押し出し方式
- ・操作インターフェース：眼の機能を用いたアイインターフェース

提案している食事支援ロボットでは、ロボットの構造を4軸の直交座標構造にし、各軸は一定距離の直線運動のみに限定している。これによりロボットが暴走してもユーザーには届かないため安全性が確保されている。また、各軸が独立しているため振動はほとんど発生しない。つぎに食物供給として押し出し方式を採用しているが、これはシャッターとプッシャで食物を水平に押し出し、スプーンに載せて口元に運ぶ方式である。この方式では食物がこぼれることはなく、従来方式では供給が困難であった柔らかい食物でも供給可能である。さらに眼の機能を用いたアイインターフェースとして、瞬き方式と視線方式を提案している。瞬き方式では、WebカメラとRaspberry Piで構成し、眼部をHaar-like特徴量で検出し、瞬きを円形度で検出するシンプルな方式を提案している。本方式は、食物皿に連動したLEDを順に点灯させ、所望の食物皿で瞬きをすることにより食物が選択され、後はロボットが選択された食物を自動的に口元まで供給する。視線方式はWebカメラとPCで構成し、開眼時画像と閉眼時画像から眼部を検出し、眼と黒目の重心点から視線方向を検出している。この方式は、所望する食物を3秒間注視すれば食物が選択され、後はロボットが食物を自動的に口元に供給する。両インターフェースの有用性は検証実験により確認している。

本研究で提案している食事支援ロボットは、重度の上肢障害者が、独力で、安全に、快適に食事ができ

るツールを提供するもので、上肢障害者の QOL の向上に資するとともに介護現場の介護者不足の問題解決にも寄与しうる画期的な研究成果である。

公聴会における主な質問内容は、食事支援ロボット全体の構成・諸元、流動食への対応、瞬きインターフェースの黒目以外への有効性、ロボットの緊急時の安全機構、障害者に応じたカスタマイズの可能性などについてであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計4編、参考論文 計4編）

- 1) 富本悠公, 田中幹也, 桐原正敬, 中島翔太, 春山和男: 目で操作する上肢障害者用食事支援ロボット, ライフサポート, Vol.27, No.4, pp.132-137, 2015.
- 2) Hiromasa Tomimoto, Shenglin Mu, Kanya Tanaka, Shota Nakashima and Kazuo Haruyama: Meal Assistance Robot Operated by Detecting Voluntary Closing Eye, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.4, No.3, pp. 106-111, 2016.
- 3) Shenglin Mu, Kanya Tanaka, Shota Nakashima, Hiromasa Tomimoto and Shingo Aramaki, Intelligent Control of USM using a Modified NN with PSO, 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp.507-510, 2015.
- 4) Hiromasa Tomimoto, Masataka Kirihara, Shenglin Mu, Shota Nakashima, Kanya Tanaka and Kazuo Haruyama: Meal Assistance Robot with Blink Operation Interface, Proceedings of the 4th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2016, pp.297-302, 2016.