

音声入力機能を有する上肢機能障害者のための食事支援システムの開発

Development of Meal Support System with Speech Input Interface for Upper Limb Disabilities

鈴木亮一 (金沢工大) ○荻野浩二 (金沢工大) 小林伸明 (金沢工大)
小暮潔 (金沢工大) 田中幹也 (山口大)

Ryoichi SUZUKI, Kanazawa Institute of Technology
Koji OGINO, Kanazawa Institute of Technology
Nobuaki KOBAYASHI, Kanazawa Institute of Technology
Kiyoshi KOGURE, Kanazawa Institute of Technology
Kanya TANAKA, Yamaguchi University

Abstract: Meal support systems for people with upper limb disabilities have been proposed on a commercial basis, but their systems are required more improving for usability, costly, and mobility. The purpose of this research is to propose robotic meal support systems with a speech input interface for people with upper limb disabilities. The proposed system has also several functions such as a tongue movement detection and an obstacle detection. A prototype is developed for experimental validation and performance evaluations of the proposed system.

Key Words: Meal support system, Speech input interface, Upper limb disabilities

1. はじめに

事故や病気, 加齢により日常の動作を十分に行えない身体障害者の人口は, 年々増加傾向にある⁽¹⁾. 厚生労働省が実施している身体障害児・障害者実態調査によると, 日本における平成 18 年度の身体障害者の総数は約 350 万人存在するといわれている. その中で, 手足が完全麻痺もしくは欠損している上肢機能障害者の数は 44 万人以上いる. このような人々を対象とした食事支援システムは既に存在するが大変高価であり, 使用者の利便性を向上するための更なる改善が求められている.

本研究では上肢機能障害者を対象とし, 両腕を使用できずこれまで介護者の助けを必要としていた人々が, 自らの意思で食事を可能とする食事支援システム (Fig.1) の開発を目的とする. 言葉による指令は比較的容易であるため, 音声入力により数種の食べ物を摂取可能な食事支援システムを提案する. 本稿では, 音声入力インターフェースを用いた食事支援システムの一連動作, 及びシステムに付加された内部モデル制御を応用した安全停止機能及び摂取が終了したことを検知する機能の有効性について実験により確認する.

2. 食事支援システムの概要

2-1 システム構成

提案する食事支援システムの構成を Fig.2 に示す. 本システムは, 回転台とロボットアームで構成されている. 回転台は Fig.2 のように 4 つの皿が取り付けられるようになっており, それぞれ「赤」, 「青」, 「黒」, 「緑」に色分けされている. この 4 色の皿が取り付けられた回転台とアームを音声入力により操作し, 複数の食べ物を利用者の意思に応じて食べることができる. また, アームは「食べ物を扱う動作」, 「食べ物を口元に運ぶ動作」を実現する. 食べ物を扱う動作には PID 制御を用い, 食べ物を口元へ運ぶ動作には内部モデル制御と最適レギュレータの併用系を用いて制御をする⁽²⁾. 食べ物の摂取後, 内部モデル制御の外乱推定特性により口内のスプーンの動きを検知し, アームを初期位置に戻す.

本システムは, Mathworks 社の MATLAB/Simulink 及

び xPC Target により, リアルタイム制御を行う. 制御システムの構成図を Fig.3 に示す. まずはじめに, マイクから音声を入力する. この音声信号を音声認識ソフト AmiVoice を用いて信号処理を行い, 音声認識結果に応じた電圧を DA ボードより出力する. この電圧信号をアンプを介して回転台及び 2 自由度ロボットアームの各制御系に送り, ロボットを制御する.

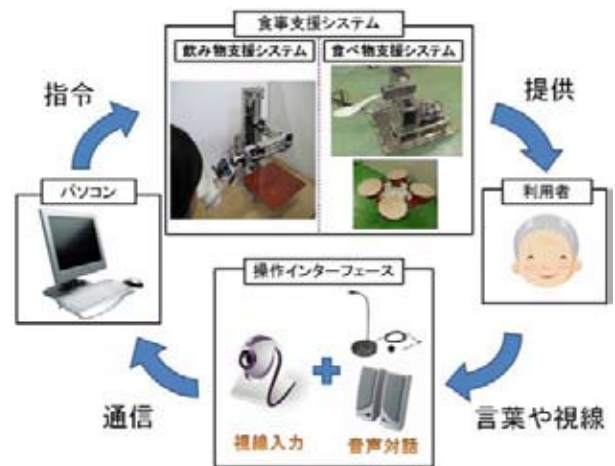


Fig. 1 Meal support system

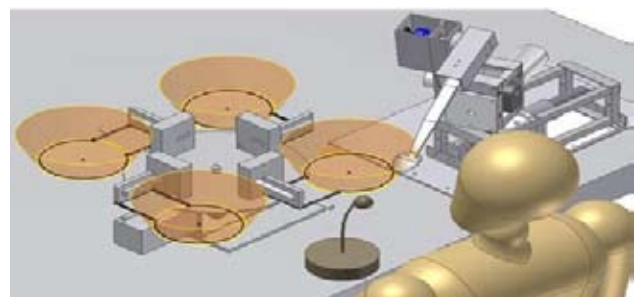


Fig. 2 Assistive device for eating

2-2 音声対話

利用者が食事支援システムを利用する際に、誤った指示でロボットを誤作動させないように音声対話機能を付加する。構築したシステムの音声対話フローチャートを Fig.4 に示す。Fig.4 の黒文字で記されたブロックが利用者の発する言葉で、赤文字で記されたブロックがシステム側の返答として発される言葉である。システムは利用者が「いただきます」と発することでスタートし、「ごちそうさまでした」と発することで終了する。システムの起動後、利用者の音声が入り認識されなかった場合、システムは「もう一度言ってください」と発声する。このため、各返答が順序どおりに認識されているかを確認しながら対話を行う。また、音声対話フローチャートにおいて想定していない音声入力があったときの対処として、「正しい返答をしてください」と返答されるように設定する。

食事支援動作中に回転台及びアームが誤作動を起こした場合、「止まれ！（とまれ）」と入力すると、緊急停止する。緊急停止後も「いただきます」を入力すれば、食事支援を再開する。以上は、使用者の要望にあわせて自由に設定の変更が可能である。

2-3 動作手順

本システムの動作手順を以下に示す。

- (1) システム開始
Fig.2 のように初期位置から食事支援を開始する。システムに対し「いただきます」と発する。
- (2) 食事の選択
利用者は、音声入力により意図する食べ物が配膳された皿の色を指示する。システムに対し「赤（あか）」、「青（あお）」、「黒（くろ）」、「緑（みどり）」の中から選択し発声する。
- (3) 回転台駆動
音声入力により、指示された色の皿がアームの動作位置まで移動する。
- (4) 食事支援動作
回転台が指定された位置へ回転した後、利用者が「食べます（たべます）」と発することで、アームが皿の食べ物を掴み、利用者の口元まで運ぶ。
- (5) アームの初期位置移動
利用者が食べ物を摂取し、その際の口内におけるスプーンの振動を感知するとアームは初期位置に移動する。



Fig. 3 System configuration

- (6) 回転台の初期位置移動
食事の感想「美味しい（おいしい）」等つぎの指令の発声すると、回転台が初期位置に戻る。
- (7) 食事の継続
(2)~(6) の操作を繰り返すことで食事支援動作を継続することができる。
- (8) 終了
「ごちそうさま」と発声することで、食事支援システムのプログラムは終了する。
- (9) 緊急停止動作
予期せぬ動作や、利用者の意図で緊急停止する際は、「止まれ！（とまれ）」と発声することで、食事支援システムのプログラムは終了し、回転台及びアームは停止する。

3. 食事支援システムの特徴

3-1 アームの上下方向の制御

食べ物を掴む動作の制御系を Fig.5 に示す。Fig.5 において、 $P(s)$ は制御対象、 $C(s)$ は PID コントローラ、 r_s は目標移動角度、 u_s は操作量、 ξ_s は入力端に加わる外乱、 y_s は出力角度、 e_s は目標値との誤差を表す。

3-2 アームの運搬制御

安全停止機能を有するアームの制御系の構成を Fig.6 に示す。Fig.6 において、 Σ_{af} はフィードバックを施した制御対象、 $\bar{\Sigma}_{af}$ は Σ_{af} のモデル、 $\bar{\Sigma}_{af}^{-1}$ は $\bar{\Sigma}_{af}$ の近似逆システム、 ξ_a は外乱（唇や顔からの反力）、 $\hat{\xi}_a$ は外乱推定値、 r_a は目標角度、 u_a は制御入力、 θ_a はアームの出力角度である。

目標角度は $90[\text{deg}]$ とし、アームが目標角度に到達する

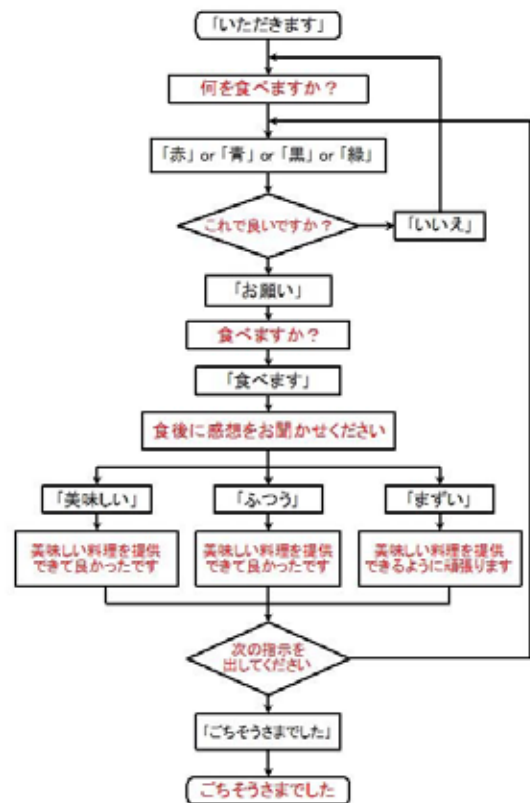


Fig. 4 Speech dialogue flow

以前に顔や口元に触れると安全機能が働きアームが停止する。この機能は、内部モデル制御の外乱推定特性⁽³⁾を応用したもので、あらかじめ設定した外乱設定値に対して外乱推定値がその値を超えたか否かを、圧力センサや力センサを用いることなく検知できる制御方法を実装している。

また、アームを初期位置に戻すために Fig.6 における ξ_a の外乱として、口内のスプーンを通して得られたアームの振動が検知される。この振動を検知した場合には、アームを初期位置に戻す。

4. 検証実験

4-1 音声認識による回転台の動作実験

本システムの有用性を検証するために、Fig.7 のように配置された回転台を音声入力により駆動させる動作実験を行った。成人男性 5 名を被験者とし、それぞれ 4 色すべての指令を 10 回行い実験した。この際、皿の選択の順序は特に指定せず、個人の判断に委ねた。被験者 A~E が選択した皿の色とそれらの成功率を表す実験結果を Table.1 に示す。また、回転台駆動時の動作確認のためエンコーダを用いて角度検出を行った。その結果を Fig.8 に示す。Table.1 及び Fig.8 の実験結果から、8 割以上の確率で被験者の指令通り音声は認識され、回転台が目標位置で停止していることが分かる。これにより、提案する音声認識を用いた回転台の制御システムの有効性が確認できる。

4-2 アーム運搬時の安全停止機能の評価

アームが食べ物を掬い、掬った食べ物を利用者の口元まで運搬したときの外乱推定値とアームの動作実験を行った。アームの目標角度を $90[\text{deg}](1.57[\text{rad}])$ とし、利用者が決まった位置に座っている場合 (Fig.9) と、利用者の顔が決められた位置より前方にあり、アームが目標位置より手前で停止する場合 (Fig.10) を想定し実験を行った。それぞれの実験結果を Fig.11 及び Fig.12 に示す。

Fig.11 において、アームの目標角度と出力角度が一致しており、指定された目標角度 $90[\text{deg}](1.57[\text{rad}])$ までアームを移動させ、食べ物を運搬できていることが確認できる。

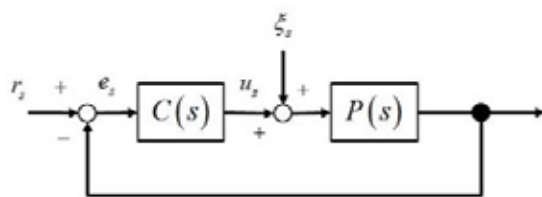


Fig. 5 Control system for spoon up

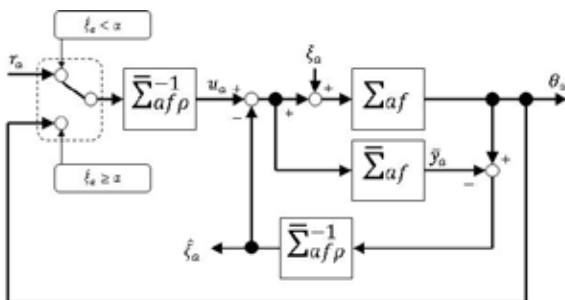


Fig. 6 Control system for providing meal

Table 1 Successful rate of speech recognition and control

対象人物	皿色			
	赤	青	黒	緑
A	10/10	9/10	10/10	10/10
B	8/10	7/10	6/10	10/10
C	7/10	6/10	8/10	8/10
D	10/10	10/10	9/10	8/10
E	7/10	10/10	8/10	10/10
成功率 [%]	84	84	82	92

一方、Fig.12 では、利用者の顔がアームの目標角度より前方にあるため、約 4[s] 後にスプーンが口元に触れたことを検知し、その場でスプーンが停止していることが Fig.12 の出力角度情報よりわかる。これは、外乱推定値が設定した外乱設定値 ($-0.28[\text{Nm}]$) 以下になると、何らかの障害物に当たったと判断し、アームをそれ以上移動させないように制御できているからである。つまり、内部モデル制御の外乱推定特性を応用した停止機能が有効であることがわかる。

4-3 アームの運搬動作後の摂取終了の検知

利用者が食べ物を摂取した後、アームを初期位置に戻す動作実験を行った。その実験の様子を Fig.13 に実験結果を Fig.14 に示す。

Fig.14 のアーム停止後 (約 18[s] ~ 21[s]) の外乱推定値

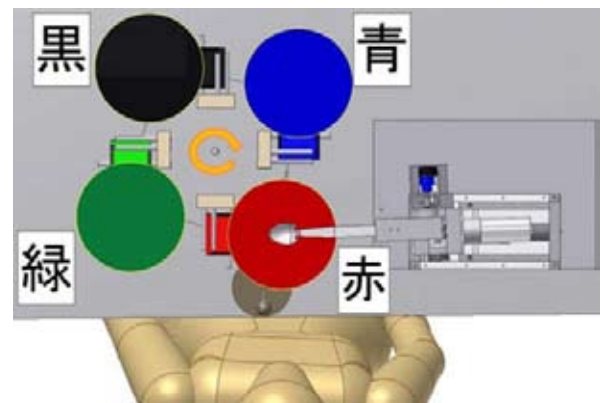


Fig. 7 Experimental setup

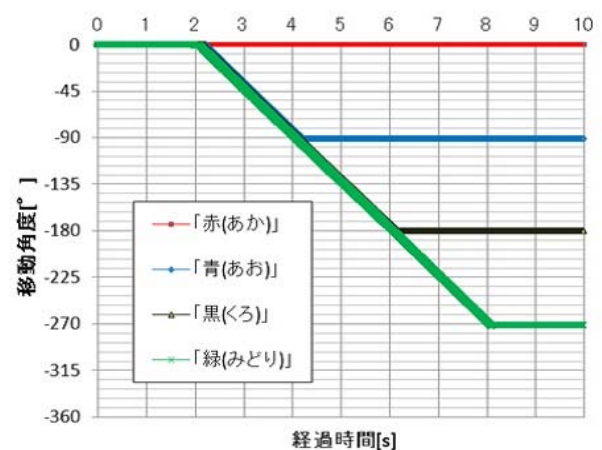


Fig. 8 Experimental results for rotary table control

が変動していることがわかる。この変動は、口内にスプーンがある状態で食べ物を摂取した際 (Fig.13 の③) に、スプーンを通してアームに振動が伝わり、その振動により外乱推定値が変動するためである。したがって、この変動値をアームの初期位置移動の制御入力として利用できる。Fig.14 より、実際に、アーム停止後 (つまり、口内のスプーンの動きを検知した後) の外乱推定値の変動を検知し、出力角度の値からアームが初期位置に戻っていることがわかる。以上の実験結果から、提案する制御方法を応用したアームの安全停止機能とアーム及び回転台を初期位置へ戻すためのスプーンの振動検知機能が、食事支援システムにとって有効であることを実験的に確認した。

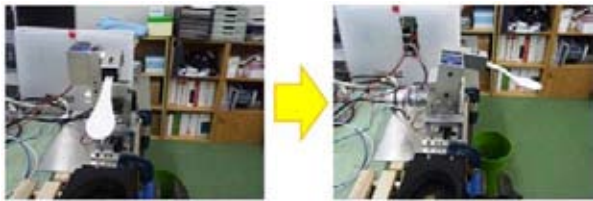


Fig. 9 Experimental setup to home position

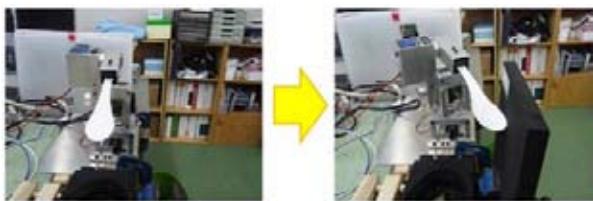


Fig. 10 Experimental setup to obstacle

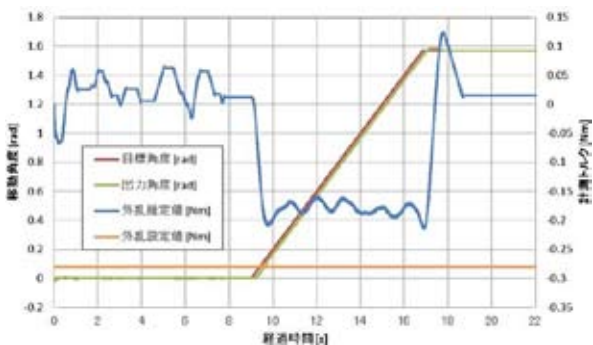


Fig. 11 Experimental results for standard movement

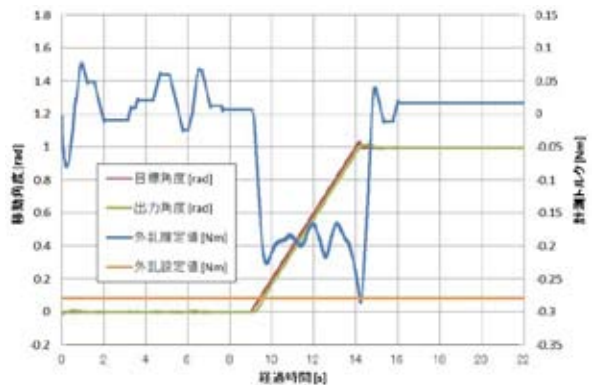


Fig. 12 Experimental results in case of hitting an obstacle

5. 結言

本稿では、事故や病気などにより上肢の運動機能を失った人々や、加齢に伴い上肢機能に障害を抱える人々が自らの意思で食事を可能とする食事支援システムを開発・試作し、それらの動作確認及び実験評価を行った。加えて、操作インターフェースとして音声入力を用いることで、利用者が自らの意思で数種の食べ物を摂取可能であることを実験により示した。また、食事支援システムにおいて内部モデル制御の外乱推定特性を応用した制御方法が、安全停止機能及び食事摂取後のスプーンを初期位置へ戻す指令値として有効であることを実験により確かめた。

今後は、提案した食事支援システムに飲み物支援システム⁽²⁾を統合し、食べ物と飲み物を同時に摂取可能な食事支援システムの開発を目指す。

参考文献

- (1) 平成 18 年度身体障害児・者実態調査結果, http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/dl/01_0001.pdf.
- (2) 鈴木, 西田, 大庭, 小澤, 小林, 田中, 上肢機能障害者のための食事支援システムの開発研究, 第 11 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, p. 53, 2011.
- (3) 小林, 鈴木, 長谷川, 土肥, 内部モデル制御と最適レギュレータの極限的性質を用いた外乱推定とその実験検証, 日本機械学会論文集 (C 編), vol. 70, no. 695, pp. 96-103, 2004.

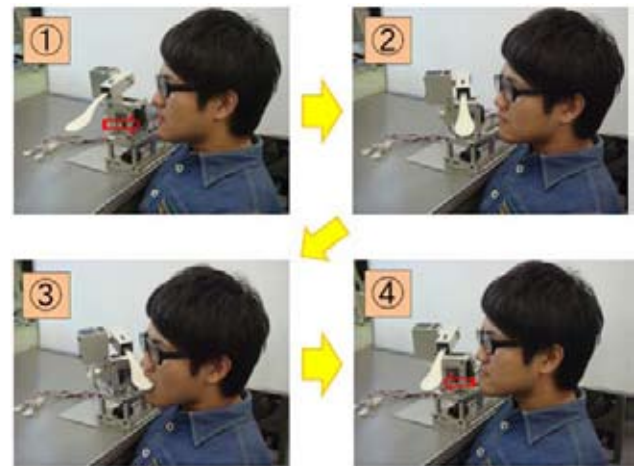


Fig. 13 Behavior of robotic arm

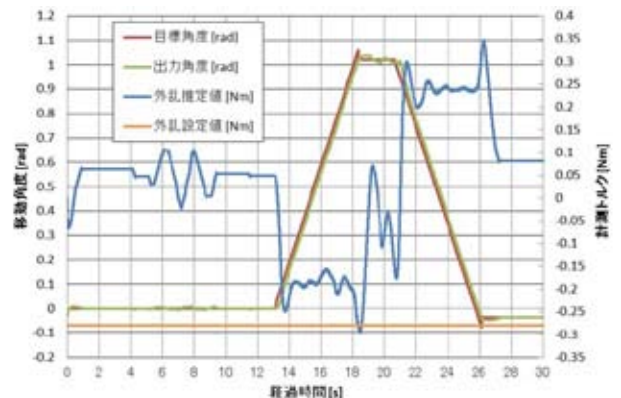


Fig. 14 Experimental results of disturbance detection