

＜研究課題＞ 筋力維持・回復機能を持つ食事支援システムの開発

代表研究者 関西学院大学理工学部 教授 嵯峨 宣彦

【まとめ】

筋力が低下し自分自身で上肢を動かすことが困難な人を対象とし、残存する筋力を維持・向上しながら、食事動作の支援を行うシステムの開発した。本システムの特徴は筋力維持条件として対象動作の主動筋の最大等尺性収縮時の30%の筋電位を閾値として動作するシステムとなっており、筋電位と筋力の線形性を利用している。開発したシステムは、健常な若者および高齢者を対象として動作を確認した。

1. 研究の目的

現在、日本は超高齢化社会に突入しており、若年労働者の減少や身体能力の衰えによる身体が不自由な人が増加しているといった問題がある。そのため日々の生活動作の支援を行う装置や、リハビリテーションを行う療法士の代行動作が可能な装置の開発が行われている。そこで我々はシンプルなリンク機構を利用し、コンパクトで大きな可動範囲を持つ、上肢支援システムを開発した。そのアクチュエータには空気の圧縮性により衝撃が吸収でき、出力対重量比が高いといった特徴がある空気圧シリンダを使用した。また、このシステムは生活支援モードとリハビリテーションモードの2種類のモードが実現されている。本研究では新たに使用者の筋力や意思を低下・阻害させないことを目的として、筋電信号を用いた食事支援モードの開発を目指す。

2. 食事支援システムの機構

2-1 食事動作

本機器は食事時に使用者の上肢の屈曲伸展動作を支援するものである。そこで、支援動作範囲を調べるために、食事時における上肢の動作範囲の計測をモーションキャプチャシステムを用いて行った。実験内容は、被験者にスプーンを用いて食べ物を掬い、口元まで運び、前腕を元の位置に戻すまでの動作の撮影を2人の被験者（健常若年成人男性）で行った。

実験結果を図1に示す。二重線が肘の動作軌跡、実線が手首の動作軌跡、破線が口元の動作軌跡を表す。赤は被験者(A)、緑は被験者(B)を表す。

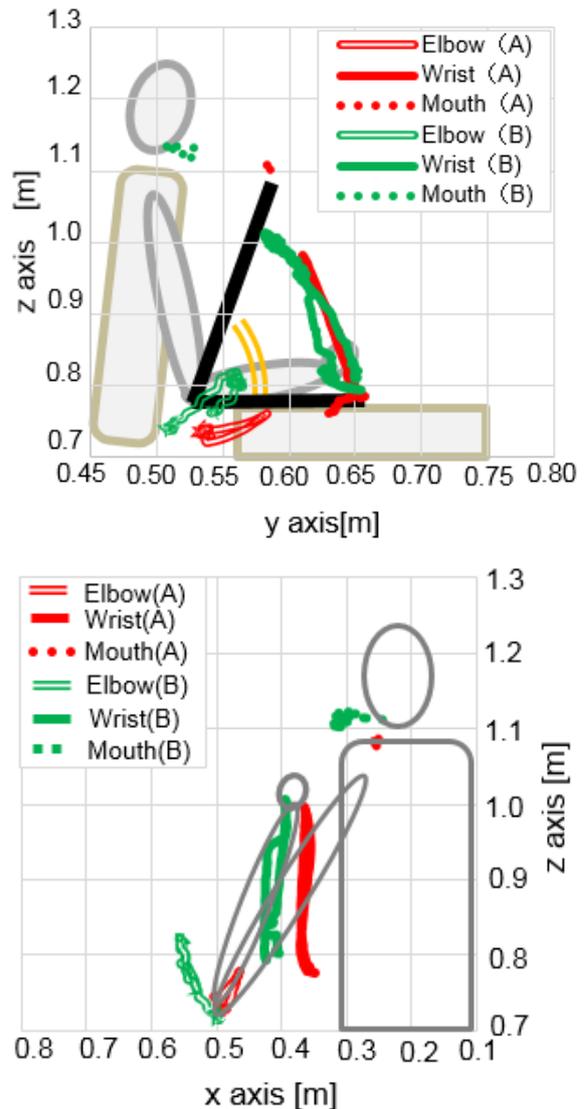


図1. 食事動作の計測結果

2-2 支援機構

食事での手先を口元へ運ぶ肘関節屈曲動作をアクティブにサポートするために、空気圧シリンダの直線運動を、回転運動に変換することができるラックアンドピニオンを用いることとした。ラックアンドピニオンのモデルを図2

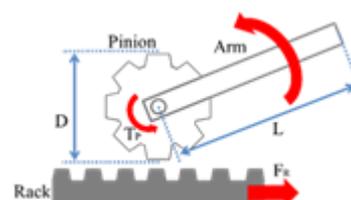


図2. ラックアンドピニオンのモデル

に示す. ピニオン周りのトルク T_p [Nm] は次のようになる.

$$T_p = \frac{1}{2} D F_R \quad (1)$$

ここで D [m] はピニオンの直径, F_R [N] はラックを動かす力, つまり空気圧シリンダからの力とする. また前腕部の重さと長さを推定し, 前腕部を支えるアーム部の重量と前腕部の重量による必要トルクを T_w [Nm] とすると, 次式で与えられる.

$$T_w = \frac{1}{2} L M_A g + L M_w g \quad (2)$$

ここで, L はアームの長さ, M_A はアーム部の重量, M_w は手首部の重量, g は重力加速度とする. 設計の際の要求仕様としては, 60 歳以上の男性の前腕の重さを支え, 持ち上げることが可能であることと, 食事時のモーションキャプチャから求めた机平面を $0[\text{deg}]$ としたときの前腕部の最大移動範囲である $64[\text{deg}]$ の回転が可能であることの 2 点である. これらを考慮し設計した結果, ピニオンの直径 D [m] を $0.03[\text{m}]$ とした.

2-3 支援システム

本機器の構成はエアシリンダを用いたリンク機構となっており, 上腕部と前腕部の軸周りの回転により前腕の屈曲伸張動作支援を行う支援システムである. 食事支援システムの実験装置を図 3 に示す.

電空レギュレータ 1, 2 (ETR200-1, コガネイ製) にはエアコンプレッサ (YC-4, 八江崎空圧製) から圧縮空気が送られる. PC からの信号が I/O ボード (MF634, HUMUSOFT 製) を介して電空レギュレータに送られ, 信号に応じた量の空気圧が各レギュレータからエアシリンダ (DA25×100, コガネイ製) とガイド式エアシリンダ (MGA16×30L, コガネイ製) に送られる.

上腕部と前腕部の回転角度をポジションセンサ (RDC503013A, アルプス電気製) により計測し, I/O ボードを介して, 各部のエアシリンダの伸縮により位置制御を行い, 上腕部は肘高さ, 前腕部は手先が口元に来るよう位置制御を行う. 同時に, 上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋電位をそれぞれ筋電センサ (ID2PAD, 追坂電子機器製) により計測し, I/O ボードを介して PC に取り込み, 前腕の上下動を検出する.

3. 食事支援動作

動作フローを図 2 に示す. 初期姿勢はアッパーアームおよびフォアアームの角度が 90° (各部のアームが地面と平行の状態) とし, アッパ

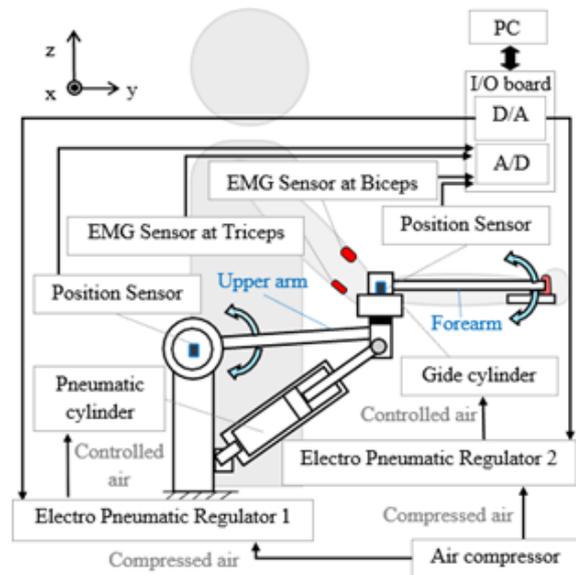


図 3. 食事支援システムの実験装置

ーアームはそのまま 90° で維持され, フォアアームは図 4 のフローに従い, 上腕二頭筋の筋電位 (EMG) が $\%MVC$ において 30% を越えたとき 10° ずつ上昇し, アーム角度が 140° に到達した時, 静止し食事をする. 次に前腕部を振り降ろそうとして上腕三頭筋の筋電位 (EMG) が $\%MVC$ で 30% を越えたとき, 元の位置の 90° へ自重を利用して戻る.

前腕部の動作の要求仕様と, 今回用いた位置制御の PID 制御の各パラメータは表 1 の通りである.

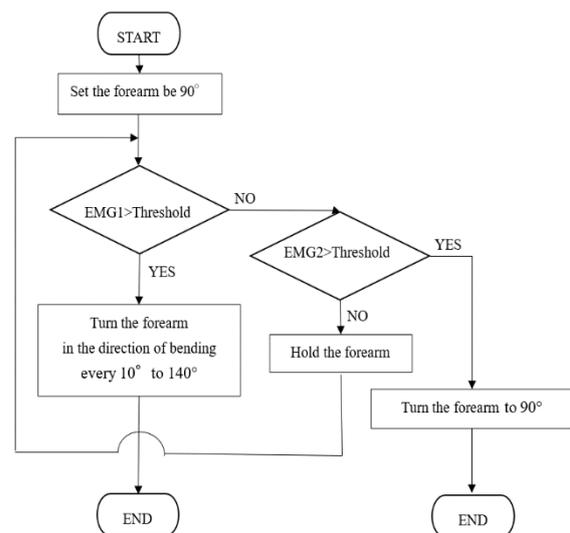


図 4. 食事支援のフローチャート

表 1. PID 制御のパラメータ

Requirement specification	Upper	Keep 90°	
	Forearm		Dead time
		Settling time	Within 1.0 s
Parameters	Upper	$K_P: 0.75, T_I: 1.2, T_D: 0.20$	
	Forearm	$K_P: 0.70, T_I: 0.34, T_D: 0.42$	

4. 実験結果

実験結果を図 5 に示す。横軸が時間、左縦軸が角度、右縦軸が筋電位を示す。黒線が目標角度、赤線が前腕部の動作角度、青線が上腕部の動作角度、緑線が上腕二頭筋の筋電位、紫線が上腕三頭筋の筋電位、灰色線が動作閾値を表す。この結果より、前腕部は筋電位に応じて要求仕様を満たして動作していることが確認された。上腕部は一定の角度で保持されることも確認できた。

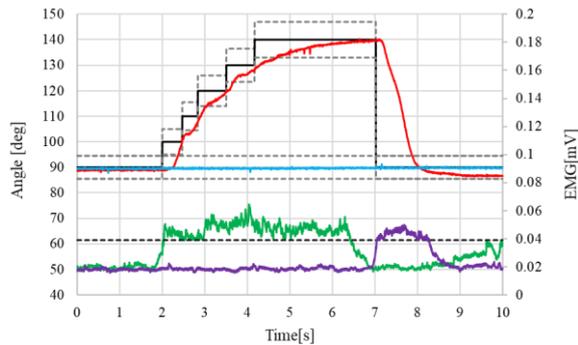


図 5. 食事支援システムの評価結果

5. まとめと今後の課題

筋電位を用いて筋力維持条件下で要求仕様を満たして動作することを確認した。

今後は、食事支援を必要とする高齢者による評価と更なる支援としてスプーンや箸を握る把持力線機構について検討を行う予定である

6. 研究成果の公表方法

研究成果は既に以下の 2 つの学会において講演発表し、現在 査読付き論文に投稿中である。

- ・ 嵯峨 宣彦, 梅木 怜奈, 佐藤 俊之, 永瀬 純也
“EMG を用いた機能回復効果のある食事支援システムの開発”, 第 36 回ロボット学会学術講演会, 1A1-06, 2018
- ・ Reina UMEKI, Norihiko SAGA, Koichi KIRIHARA, Jun-ya NAGASE, Toshiyuki SATOH, “Pneumatically Driven Support Equipment for Upper Limb”, International Conference on Robotics and Automation 2018 (ICRA2018) Workshop on Elderly Care Robotics – Technology and Ethics (WELCARO), WELCARO-2018_PAPER_2, May 21, 2018 (Brisbane, Australia)

以上