

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13726

研究課題名（和文）受動要素を用いた安全な動作補助を実現する3自由度食事支援装置の開発

研究課題名（英文）3-DOF Meal Support Robot using Passive Elements for safety

研究代表者

小塚 裕明（Kozuka, Hiroaki）

金沢大学・フロンティア工学系・助教

研究者番号：80707589

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人が自由に前腕の変位を与えて操作し、空間内で人の前腕の位置を補助する5自由度の動作補助装置を開発した。同補助装置では、受動関節を機構内に設置している。人が前腕に変位を与えると受動関節が回転し、機構が変位することで、前腕の変位を検知する。同変位に応じて駆動関節で位置を補正することで、空間上の軌跡や面に沿う動作を可能にした。同装置の動作原理を応用し、食事支援装置の基礎装置として、前腕の軌跡補助を行う2自由度の装着形パラレルワイヤ式動作補助装置を開発した。同装置を用いて、手の振えである振戦を抑制した動作補助を実現し、食事支援の基礎手法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した動作補助装置では、人が自由に前腕の変位を与えて操作し、軌跡や面上へ人の前腕の位置を補助する。そのため、事故の後遺症などで前腕の動作に麻痺が残ってしまった場合やパーキンソン病によって手の震えが生じる場合、療法士や介護士が患者の前腕を把持して行われる食事支援において、介護士等に代わって動作補助を行うことが可能になり、人手不足を解消しながら、患者の自宅での食事や日常生活動作の補助を可能にする。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a motion-assist arm that can assist a 3-DOF spatial motion of human forearm cooperating with human own will by controlling forearm's position according to an forearm's inputting displacement. The arm has passive joints in its mechanism. By a rotation of the passive joints when the human inputs the displacement of the forearm, its mechanism moves and measures the displacement of the forearm. The arm can correct the forearm position to a path or a plate in 3D space cooperating with the human motion by controlling the forearm position using actuated joints according to the measuring displacement. Applying this method, a wearable 2-DOF parallel wire driven mechanism to assist a forearm motion was developed. Using the device, we conformed that an assistance of forearm motion with inhabiting a tremulousness. From this result, a basic method assisting a meal motion was established.

研究分野：ロボティクス

キーワード：動作補助 受動関節 位置制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

事故や病気などで損傷した神経や脳機能は、近年の高い医療技術によっても完全には回復しない場合があり、その結果後遺症として麻痺などが残ることがある。このような状況でも、療法士や家族の支援のもと、患者が自力で食事を取ることは、QOL 向上に有効である。しかし、現在、患者数に対し療法士の数は慢性的に不足しているとともに、近年一人暮らし世帯も多く、十分な支援を受けることは難しい状況にある。

このような背景から、特に力制御を用いて直接腕の動作を補助し、療法士等に代わり食事やリハビリの支援を行うロボットが注目されており、商業向けにもこれらの装置が開発されている。同力制御は出力点で剛性制御を行い理想軌跡上へ案内することが多いが、位置制御を行うわけではないため、高精度な軌跡案内は難しかった。

2. 研究の目的

以上の背景より本課題では、アクチュエータ数が駆動に必要な自由度よりも少ない劣駆動形の、受動関節を利用したロボットアーム開発を開発し、位置制御を基にした高精度な動作補助を実現する。

さらに、上記装置を平行ワイヤに応用した身体装着式の前腕動作補助装置を製作し、食事動作補助の基礎的手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 図 1 に示す本課題で開発した劣駆動形の受動関節を利用したロボットアームでは、受動関節が回転することで人が機構の出力点に直接位置入力をし、同入力をもとに位置制御を行うアクチュエータを用いて動作軌跡への位置決めを行う。同アームは 3 つのアクチュエータを備えており、これらで手先空間位置を補正する。アクチュエータの励磁を切ることで、受動関節とする。動作中は目標軌跡方向およびアーム姿勢に合わせアクチュエータの励磁を切り、駆動関節と受動関節を切り替えながら動作する。以上の原理により人と協調動作しながら、軌跡の補助動作を可能にする。

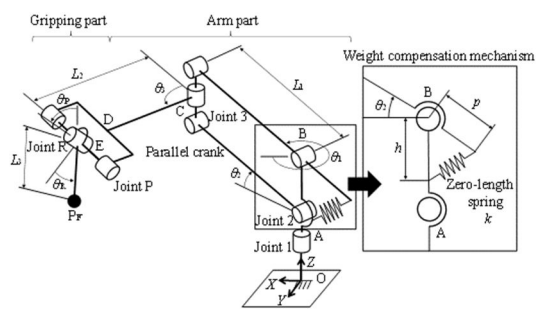


図 1 5自由度動作補助アーム

(2) 図 2 に示す本課題で開発した平行ワイヤ駆動機構では、駆動系がワイヤで構成されるため、軽量かつ柔軟な特徴を有し、人体への装着に適している。機構はベースに設置した 2 自由度の対偶を介して支柱で連結する出力部を、3 本のワイヤの伸縮で 2 軸周りに回転する。装置の動作時には、あらかじめ目標とする軌跡を与える。装置の出力部が、その軌跡上に位置している場合は、全てのモータが受動状態となり、ワイヤは低荷重ばねにより自動的に巻き取られる。しかし、出力部が目標となる軌跡から逸れた場合、3 個のモータの中の 1 個または 2 個が駆動状態となり、目標軌跡上に出力部を戻す制御が行われる。この状態を随時切り替えることによって、人を主体とした動作補助を可能とする。

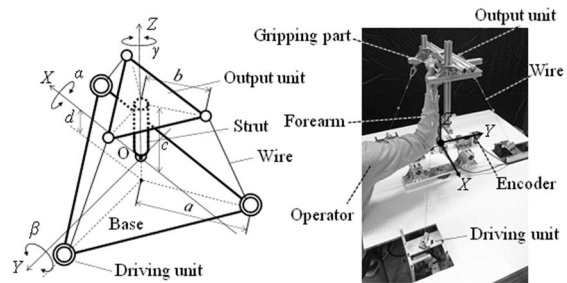


図 2 2自由度装着式平行ワイヤ

4. 研究成果

(1-1) 面動作補助

図 1 のアームの 3 つアクチュエータの内、2 つを受動、1 つを駆動関節として設定し、空間内に与えた目標の平面に沿うように動作補助する制御手法を考案し、その動作確認実験を行った。当実験において、目標とする面は、点 P0(400,0,0)[mm]を通り、XY 平面に垂直かつ Y 軸周りに 30°, 60°, 90°回転した平面とした。動作の開始点を点 P0 とし、人の出力点の操作速度は、50mm/s 程度を最大とした。この時の出力点と仮想面の最短距離を誤差として、描画した軌跡の平均誤差と標準偏差を評価した。実験結果として出力点

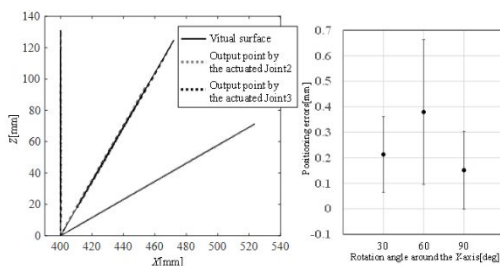


図 3 平面上への動作補助結果

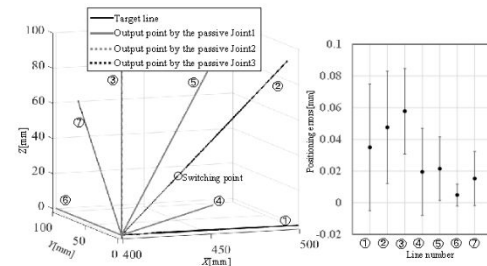


図 4 直線上への動作補助結果

の軌跡と、各仮想面に対する平均誤差および標準偏差を図3に示す。図3よりいずれの仮想面においても、出力点が面に沿って変位していることが確認できる。また、平均誤差は0.4mm以下であり、提案した制御手法によって出力点を正確に位置決めできていることが確認できる。

(1-2) 軌跡補助

図1のアームの3つアクチュエータの内、1つを受動、2つを駆動関節として設定し、空間内に与えた目標の直線に沿うように動作補助する制御手法を考案し、その動作確認実験を行った。目標軌跡は、点 $P_0(400,0,0)[mm]$ を通る直線とした。直線の方向はZ軸周りの角度 θ_E とXY平面に対する角度 ϕ_E で指定する。 θ_E 、 ϕ_E をそれぞれ 0° 、 45° 、 90° とする。出力点の初期位置を点 P_0 とし、人の出力点の操作速度は、最大で50mm/s程度とした。この時の出力点と目標軌跡の最短距離を誤差として描画した軌跡の平均誤差と標準偏差を調査する。実験結果として、出力点の軌跡と、各目標軌跡に対する平均誤差および標準偏差を図4に示す。同図より、どの目標軌跡に対しても、出力点が軌跡に沿って変位していることが確認できる。また、出力点の位置によって駆動状態と受動状態を切り替えて描画できていることから提案した制御手法によって安定した位置決めが行えていることが確認できる。平均誤差は0.06mm以下であり、出力点の位置決め精度も良好である。

(2-1) 既存軌跡の動作補助

図2に示すパラレルワイヤ駆動機構を利用した試作機を用いて実験を行った。目標軌跡として、直線、出力部とXY平面とがなす角が常に70degとなる円を設定した。また、人の動作を事前に記録し、それを目標軌跡として補助するため、自由曲線として人が動作させた星形を目標軌跡とした。ただし、それぞれXY平面上への投影した場合の形である。実験では、右利きの成人男性3人を対象とした。また、比較のため、すべてのワイヤ駆動装置を受動状態にして同様の動作をさせるアシストをとまなわない実験を行った。

図5に実験結果を示す。まず、アシストを行わない場合では、動作させるたびに、その動作軌跡はばらつき、かつ目標軌跡から離れている。それに対し、動作補助を行った場合では、目標軌跡によく追従しており、位置決め精度が6倍程度向上したことがわかった。また、いずれの評価においても動作方向によらず同等の精度を示しており、異方向性が小さいこともわかった。

以上より、提案機構および既存軌跡の動作補助制御手法を用いて高い追従および繰り返し位置決め精度を有するスキルアシストを行えることがわかり、その有用性を確認できた。

(2-2) 振戦抑制制御

加齢によりパーキンソン病によって、手に震え(振戦)が生じることがある。このとき、振戦を抑えつつ、人が動作したい方向に動作を補助することを提案する。その手法の概略を図6に示す。まず、人の動作したい方向を随意方向と呼ぶ。与えた目標軌跡上を出力部が移動する場合に、振戦の振幅は移動方向と垂直な方向に現れると仮定する。この震え方向に目標軌跡との誤差が生じた分だけ、パラレルワイヤにより補正量を与え、振戦を抑制する。

目標軌跡として設定したX軸上の直線を対象とし、実験を行った。X軸負方向では制御を行わず、X軸正方向のみ制御を行った。その結果を図7に示す。同図より $X=0$ を境界に振幅が減少しており、振戦の抑制が確認できる。また、X座標が増加すると共に振幅が減少しているが、これは制御が続く中で出力部にかかる外力が弱まっていくためである。以上より振戦抑制の効果が確認できた。

これらより、様々な理由により身体動作が不自由な人に対し、食事動作を補助するための基礎的制御手法を確立した。

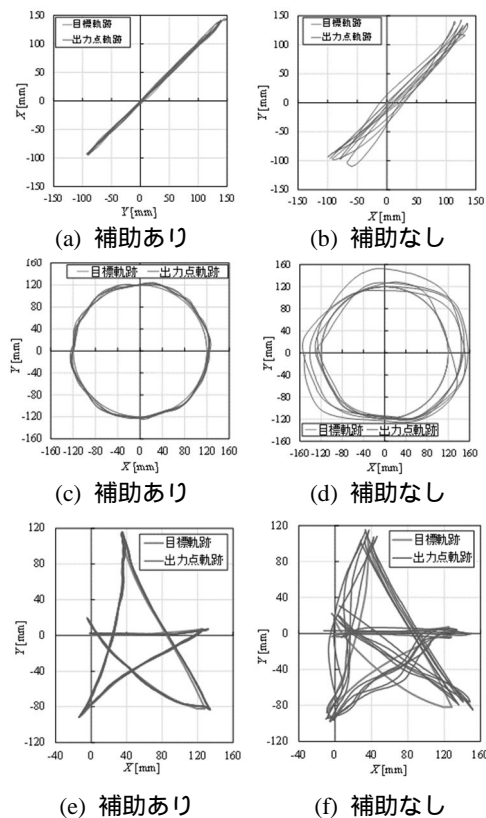


図5 既存軌跡への動作補助実験結果

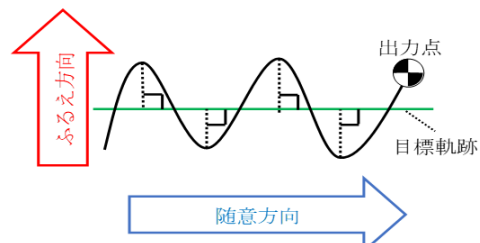


図6 振戦抑制制御手法

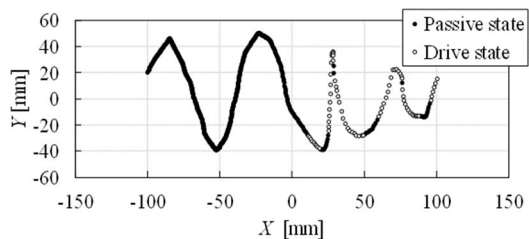


図7 振戦抑制実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kozuka Hiroaki, Uchijima Daisaku, Tachiya Hiroshi	4. 巻 32
2. 論文標題 Motion-Assist Arm with a Passive Joint for an Upper Limb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 183 ~ 198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2020.p0183	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----