

KINECT を用いた箸型食事支援ロボットシステムの開発

中川 秀夫¹, 北山 一郎¹

要旨

自力で食事できない人々のための食事支援ロボットはすでに開発されているが、まだ十分に普及しているとは言えない。それは、従来の装置では、ロボットアーム先端のスプーンを食べ物の方へ動かすために操作者が顎でジョイスティックを操作しなくてはならず、さらに食べ物を口元に運ぶ際に食事を動作させるための複雑で大きな駆動装置が圧迫感を生じさせているからである。そこで本研究では、ジョイスティックに代えて非接触計測装置である KINECT センサで計測した体幹傾斜角度を用いることで操作性を向上させた。また、食べ物を取る道具をスプーンから箸に取り換え、その駆動装置をロボットの横に移動し、ワイヤによって遠隔で操作できるようにした。この食事支援ロボットシステムを新規に製作し、KINECT センサの認識機能を実験的に検証し、さらにその出力を用いたロボットの動作確認を行った。そして箸の開閉用ワイヤ引き込み装置は、把持力を一定に保ち、食べ物を落下させないように制御することができた。その結果、このロボットシステムは食事支援のための基本的動作ができることを確認した。

キーワード: KINECT、箸、食事支援、ロボット

1. 緒論

内閣府の統計⁽¹⁾では全国で 50 万人を超えている上肢の切断・機能障がい者が生活を営む上で必要不可欠である食事行為は、自力で食事を行うことができないため介護従事者に頼らざるを得ない。さらに、介護従事者の不足が拍車をかけ問題となっている。このような社会背景からさまざまな食事支援ロボットが研究・開発され、上肢障がい者や介護の必要な高齢者の食事支援、介護者の負担軽減に役立っている。Rehab Robotics 社の「HANDY1」⁽²⁾ やセコム社の「マイスプーン」⁽³⁾ のような市販製品では、ロボットアームの先端にスプーンが取り付けられていて、使用者が顎でジョイスティックを操作してロボットアームを動かし、専用トレイに盛りつけた食べ物をアーム先端のスプーンですくうことで食事を可能にしている。しかし、こうしたアームの動作指示の入力方法は操作性が悪いため、入力方法の改善として音声入力⁽⁴⁾や EMG 信号⁽⁵⁾を利用したシステムも開発されているが、いずれも信号処理が複雑で広く普及していない。

そこで本研究では、体感型ゲームの入力装置として普及している非接触センサである KINECT センサを用いることを提案する。操作者が顎を使ってジョイスティックレバーを倒していた代わりに、操作者の体幹（腰から上の部分）を前後・左右に傾ける方法で、その傾斜角を KINECT センサにより非接触で計測する。身体に何も測定器具を取り付ける必要がないので操作性の向上が期待できる。この非接触入力センサがジョイスティックの代用とすることが可能か機能検証を行う。

また、従来市販ロボットはスプーンという食事具を用いることが出発点となっているが、スプーンはすくい上げるための動作の制御が複雑で、スプーンに載せるために「壁」に向かってすくわなければならないなどの制約事項があるため、食べ物を載せている食器の方も姿勢制御するという研究もされてきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。さらに食文化の異なる日本では、洋食のイメージのあるスプーンは和食にはなじまず⁽⁸⁾、木製・プラスチック製で温かみや柔らかさのある箸が注目された。食べ物を掴むための動作制御が開閉のみで単純である

原稿受付 2016 年 10 月 22 日

本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311045) の助成を受けた。

1. 近畿大学生物理工学部 人間工学科, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

ため、スプーンに代えて箸を用いた食事支援ロボットについての研究がスタートしている⁽⁹⁾。さらに、竹内ら⁽¹⁰⁾はその中でスプーンと箸の動作を比較して、構造・制御上で単純化できるメリットを上げている。すなわち、どのような角度からでもアプローチして把持することが可能なこと、そして食べ物を使用者の口元まで運ぶ動作において、任意の姿勢をとれることなどの特徴が優れているとしている。

しかし、これらの箸型支援ロボットは箸把持部の構造が複雑で、箸を駆動させるための駆動装置（モータ、ギヤ減速機、カム機構、さらに開閉角度や把持力の検出用のポテンショメータあるいは3軸力センサ）が大きく、食べ物を操作者の口元に運ぶ際の圧迫感があった。本研究ではこれらの駆動装置を別置装置として、ワイヤを用いて遠隔操作をする構造に改め、箸部の周辺を簡素化し快適な食事となるような新システムを構築し、箸の開閉ワイヤ引き込み装置が食べ物を落下せず一定圧で把持するように制御することができるかの確認実験を行った。

2. 実験装置

2. 1 食事支援システムの構成

システム構成を図1に示す。体感型のゲームシステムの入力装置である KINECT センサは、RGB カメラや深度センサを用いて操作者を検知し、操作者身体の各部位（頭部、左右の肩や肘・手首など）の3次元位置情報をパソコン（PC）に送る。また、フットスイッチにより、操作者の食物の選択決定や次工程への意志などを入力する。パソコンは KINECT 画像やスイッチ信号を処理してロボットアームの移動方向や工程順をマイコン（Arduino UNO）にシリアル転送する。マイコンでは、その工程に応じて5自由度垂直多関節ロボット（三菱電機製ムーブマスターRV-M1）に対して指令コマンド文字列をロボットドライブユニットに送り、ロボットを動作させる。ロボットのアーム先端には Web カメラが取り付けられていて、ロボットの動作に連動した食事トレイの画像をパソコンに送信している。

また、ロボット先端に取り付けた箸を開閉するワイヤ引張機構において、マイコンはサーボモータを駆動してワイヤを引張り、ワイヤ張力を検出する圧力センサからのアナログ信号を取得している。

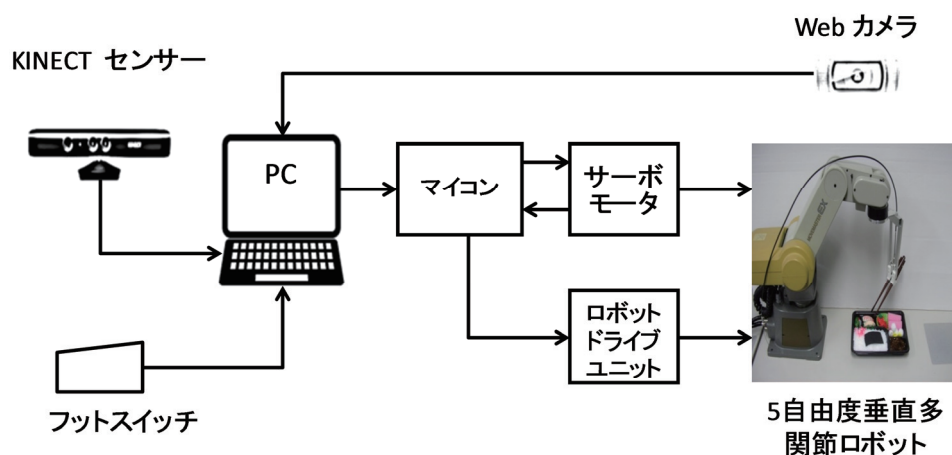


図1 実験装置全体の概要

2. 2 食物選択操作部

上肢が使えない操作者がトレイ上の食べたい食べ物を選択する方法として、図2のようにロボットと食事トレイを配置し、パソコンのモニタに表示された食物のウィンドウ画像を見ながら、椅子に座った状態で体幹を前後、左右に傾斜させることにより、ロボットアーム先端の箸をその方向へ水平移動させるようにした。操作者正面に設置した KINECT センサによりセンサ位置を原点とする操作者各部位の3次元座標

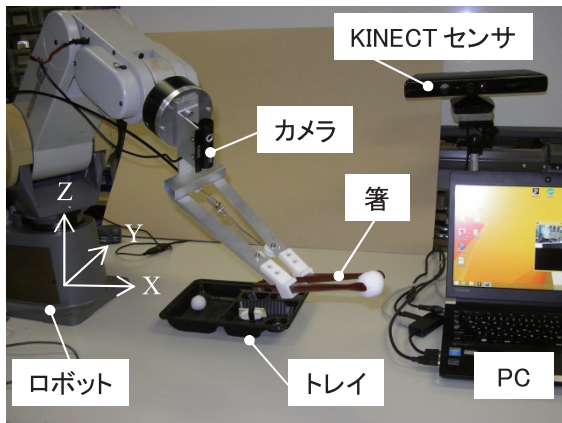


図2 操作者から見た食事トレイの配置と食事時のロボット姿勢

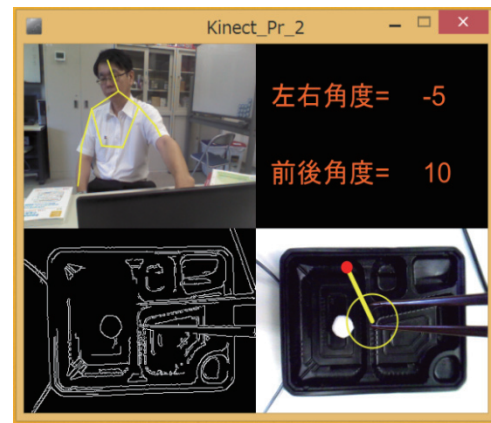


図3 パソコン画面上の KINECT 画像と食事トレイ画像

が取得できるので、その中から腰部中心と頭部先端の3次元位置を抽出し、その2点間を結んだベクトルを水平面へ投影すると、図2に示すロボットアーム座標系のXY方向成分を得る。この量に比例したXY移動量がパソコンからロボットに送られる。図3右下画像は、食事トレイの上方から撮影された画像にXY方向成分に比例したピクセル数の座標点(赤色)と画像中央を結ぶ直線(黄色)を重畳したもので、ジョイスティックの操作レバーと見立てている。操作者はこの画像を見て、食べたい食べ物の画像上に赤点があるように体幹を傾斜させると、ロボットはその方向へ水平移動し、食べ物画像も連動して画像中央に移動する。操作者が体幹傾斜を戻し、画像中央の黄色円内に赤点が存在するようにするとロボットは静止する。食べたい食べ物の画像が中央の円内に入るようにロボットアームを移動させ、フットスイッチを踏んで食べ物を決定する。

2. 3 動作コマンド指令部

マイコンからロボットへの動作コマンドは、下記の4シーケンスにおいて文字列でシリアル転送される。シーケンスは、使用者のフットスイッチによる入力によって順次切り替わり、これが繰り返される。

- (1) 箸をスタートポジション1(トレイ上方50mmの位置)に移動、箸を開く(MO 1, 0;)
- (2) パソコンから送られたx, y方向への移動量によって食べ物選択のための水平移動を繰り返す(DW x_, y_, 0;)
- (3) 食べ物の把持動作。現在位置を修正記憶し下降、箸を閉じて上昇(HE 1; MT 1, 50; MO 1, C;)
- (4) 食事する位置・姿勢(ポジション2:図2)に移動、停止(MS 2, 10;)

カッコ内の英数字はこの実験で用いたロボットのコマンドであり、1, 2の数字はポジション番号であらかじめティーチング操作により位置・姿勢が登録してある。また、“O”はハンド開、“C”はハンド閉のコマンドで、本来ロボット附属の電動ハンドへの開閉指令であるが、このハンドモータへの供給電圧を受けて、箸開閉制御部のRCサーボモータが起動するようにしている。

2. 4 箸開閉制御部

箸は、指が不自由で箸をうまく使えない高齢者などのために作られた食事用補助箸(株式会社創芸製「つかむくん」、図4)を採用した。この箸はトングのような末端が支点となった一体構造で、支点の板ばねの反力で緩く開く状態となるようになっており、1N程度の軽い把握力で挟むことができる。箸の先端部分はふくらみとくぼみが設けられていて、食べ物を掴んだ際滑りにくくなっている。この箸を水平面に対して45deg.の角度で保持し、開閉動作をさせる箸保持機構部を図5に示す。箸を差し込んで保持するABS樹脂製の箸ホルダを3Dプリンタによって作成し、リンクに固定している。この左右のリンクは上部の固定部にジョイントで結合され、その中部に設置されたプーリにかけられたワイヤを上方に引張ることにより

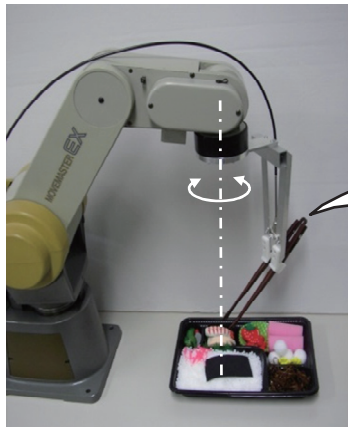


図4 箸の形状とロボット先端部への箸の取付状態

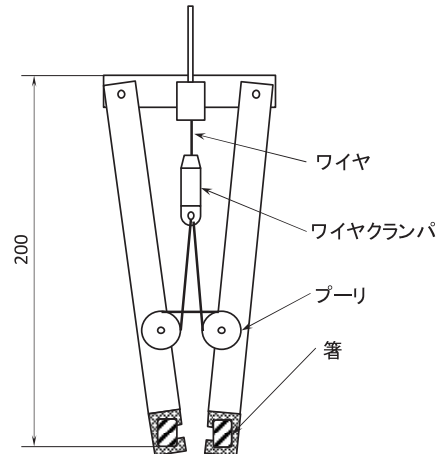


図5 箸の開閉機構とワイヤの取付状態

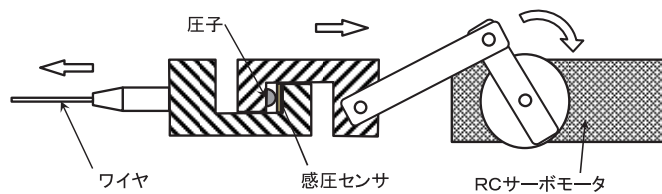
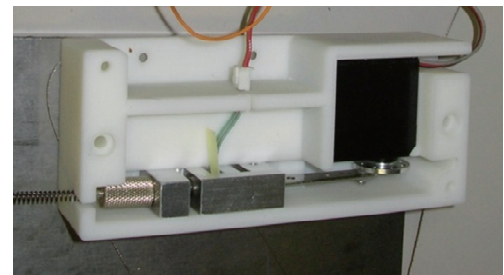


図6 ワイヤ牽引装置の構造図と組込状態 (写真)



リンク先端の箸が開閉される仕組みである。ワイヤは自転車のブレーキ動作で用いられているシフトライン（ワイヤケーブル径 1.2mm）を流用した。このワイヤの長さは 1m で、別置のワイヤ牽引部で引張、弛緩動作を行う。これは図 6 に示す RC サーボモータ（JR プロボ製 RBS581；トルク 0.90Nm）とスライダクランク機構を組み合わせた構造で、スライダをコの字型の 2 部品に分けてその間に、感圧センサ（インターリンク製 FSR400）と圧子を組み込んでいる。この RC サーボモータは、マイコンから指令回転角度に比例した PWM 出力を受けて回転し、また感圧センサからワイヤ張力に比例する電圧をマイコンのアナログ入力へフィードバックして、箸の開閉動作が制御される。

3. 測定方法

人間が体幹を傾けていると認識する実際の角度を実測し、静止と傾斜の境界角度を定める。また、KINECT センサの検出距離は 0.4~3.5m であるので、距離が離れると角度検出分解能が低下する懸念がある。そこで、被験者 3 人について、床上 700mm に設置したセンサからの距離を 1.0、1.7、2.3、3.0m の 4 位置で静止および左右傾斜した時の頭部位置データから傾斜角を算出する。それぞれの傾き測定は、10 回の平均をとった。こうして求めた境界角度を閾値として体幹傾斜によるロボット動作システムに組み入れ動作を確認する。

マイコン指令によるロボットの動作検証は、前述の 4 シーケンスにおける文字列を送信して確認する。また使用者のフットスイッチによる入力によって順次切り替わるのを確かめる。

また、箸を用いた食物の把持の検出装置についての確認実験では、まずワイヤ引張装置に組込んだ感圧センサのキャリブレーションを行う。装置のワイヤの先端に 50g ~ 1kg の分銅による静荷重をかけ、その時の感圧センサからの出力電圧を測定する。感圧センサの基準電圧 5V で、1kΩ の抵抗で分圧した。

実際に箸で食物を掴む模擬テストでは、食物の代用品としてφ25×40の玩具を用いた。箸で何も掴まない状態でサーボモータを回転させたときと、食物を掴んだ時の感圧センサからの出力電圧を測定し、上述の校正曲線でワイヤ張力に換算する。

4. 測定結果および考察

4. 1 体幹傾斜による入力操作

3人の被験者が体幹を左右に傾けたときの測定結果を図7に示す。横軸はKINECTセンサからの距離で、左傾斜において被験者間に差があるが、各被験者の1～3mにおける測定値の標準偏差は1.02deg.でほぼ一定となり、センサからの距離に関係なく入力装置として利用できることがわかった。

静止状態を基準として右傾斜角および左傾斜角の平均値は、それぞれ12.5deg.、-13.8deg.であり、この差は有意水準5%のt検定で有意な差と認められ、この結果、6.0deg.を閾値として設定するべきとした。すなわち、6.0deg.未満は移動させない意志があるとしてロボット移動量をゼロとし、6.0deg.以上になったとき、その指令された方向に移動するようにした。

傾斜角度とロボットの移動量の比率は現システムでは1.0とし、例えば10deg.の傾斜で10.0mmの移動指令が出力される。実証テストにおいて体幹傾斜角が6.0deg.未満になるまでこれが繰り返されることを確認した。加減速を含む実質移動速度は20mm/sであった（ロボットの設定で、高加減速モードを選択すれば速度を上げることができるが、振動するようになる）。

この食べ物選択シーケンスを含む4つのシーケンスは、フットスイッチの切り替えで問題なく実行できた。食べ物を食べる位置までの移動過程で、ロボットアームの接近による圧迫感はない。

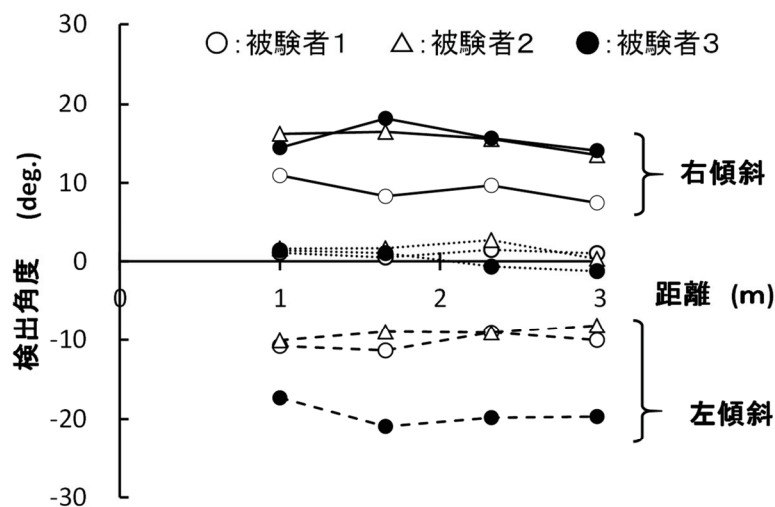


図7 KINECTによる体幹傾斜測定結果

4. 2 箸による食物把持操作

箸の開閉を制御するワイヤの引張り量 x は、図6のクランク半径を r 、リンク長を L とすると、(1)式のようなクランク回転角 θ の関数で表される。

$$x = r \cdot (1 - \cos \theta) + \frac{(r \sin \theta)^2}{2L} \quad (1)$$

これを計算すると引張り量は回転角に対しては図8のような関係になるので、比較的直線性の高い40～140deg.の範囲を掴み範囲として使用できるように設定した。ワイヤ引張り量15mmに対して、箸ホルダは27mm開閉し、箸の先端部は幾何学的に1.68倍に拡大され45mm開閉することになる。

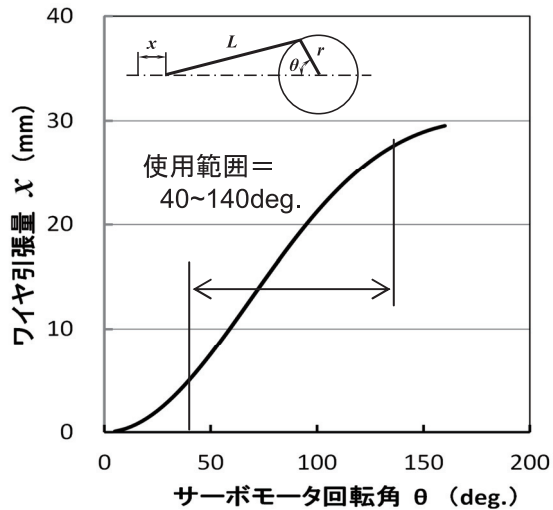


図 8 式(1)の計算によるサーボモータの回転角とワイヤの引張量の関係

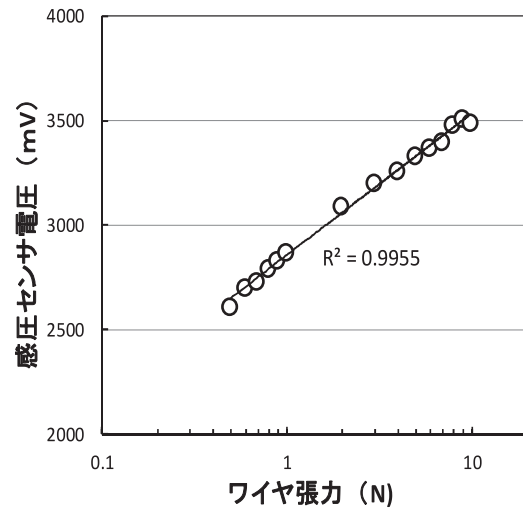


図 9 デッドウェイトによる感圧センサの校正線図

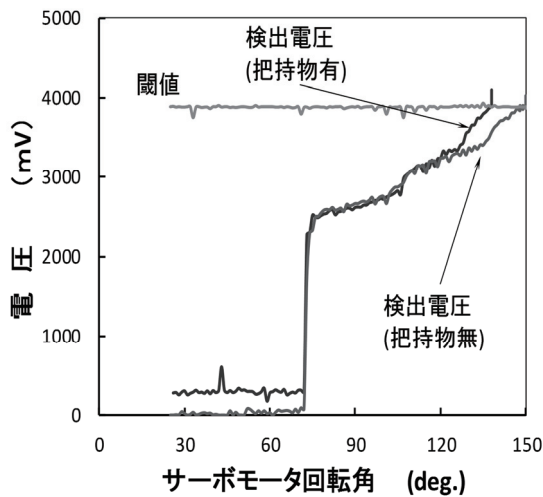


図 10 サーボモータの回転によってワイヤを引張った時の感圧センサ出力

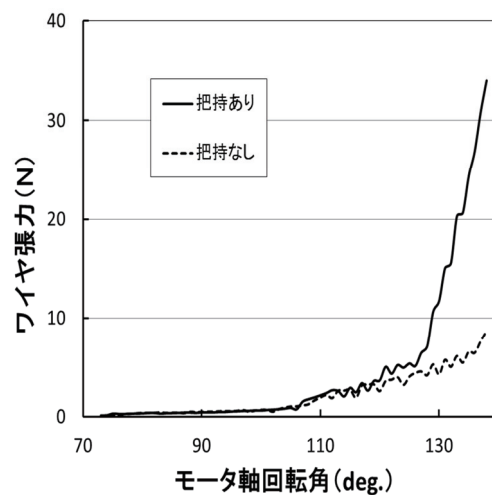


図 11 検出電圧からワイヤ張力への換算結果

感圧センサのキャリブレーションでは、感圧センサに対する負荷を変化させたときの出力電圧は、図 9 のように指数関数的に増加し、 $R^2=0.996$ の高い直線性を示した。偏差量としても最大 39mV (1.1%) と小さく、ワイヤ張力の検出器として十分な感度を有していることがわかった。

箸による把持実験の結果を図 10 に示す。サーボモータを回転させて 75deg.付近で急にセンサ出力電圧が上昇するが、これはワイヤのゆるみがなくなり、センサに圧子が接触した状態と考えられる。閾値電圧の値を保つように回転角が制御されている。センサの出力電圧を、図 9 の校正線図でワイヤ張力に換算し、グラフの縦軸としたのが図 11 である。箸が何も掴まない場合、ワイヤ張力は、サーボモータの回転角が 105deg.から上昇し始め徐々にほぼ直線的に増加して、回転角が 138deg.で 8N 程度まで上昇する(箸が密着するまでサーボモータは回転し、回転角が 150deg.となるとリセットして箸は開く)。モータ回転角が 105deg.以下では 1N 程度で非常に小さいことから、ワイヤケーブルとシフトラインチューブの接触摩擦は小さいことがわかる。

一方、食べ物を掴んだ場合では、回転角が 120deg.までは把持しない時と全く同じ値であるが、把持物に接触するとワイヤ張力は 30N 以上に急上昇した。箸で食物を掴んだ時の食物の弾性によるバネ反力が加わるため、ワイヤ張力が上昇したと考えられる。上昇時に少し脈打っているのは、掴んだものの弾力やワ

イヤの引き込み速度が原因と考えられるが、ハンチングなど検出上大きな悪影響は与えていない。したがって、ワイヤ張力が 20N 程度を維持するようにサーボモータの回転角度を増減することにより食物を把持でき、またその出力が閾値以下に下がれば人が食物を啜え取ったと判断できる。

5. 結論

上肢の疾病や障がいのため、食事行為を自らできない人の支援システムを構築した。検証測定実験を実施して次のような有益な知見を得た。

- (1) 入力装置として身体の動作を検出する KINECT センサを導入することにより非接触で食べたい食物を選択でき、ロボットの操作性が向上した。
- (2) 箸を開閉するためにワイヤを用いた機構を取り入れ、中間に設けた感圧センサにより食物の把持力を検出して、食べ物の把持状態を確認できることが分かった。
- (3) マイコンからロボットへ一連の動作コマンドを送り、食事支援動作の検証ができた。

今後は、食べ物の画像処理による掴みやすい方向の検出や種々の柔らかさの食物についての自動判別などの機能も必要と考えられ、実用的システムへ向けて改良を加えていく。

謝辞

本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311045) の研究費によって支援された。また、測定実験等は生物理工学部人間工学科の八幡 春樹君、隣 拓哉君など人間支援ロボット研究室の諸君の協力により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 内閣府 (2014) 平成 25 年度版 障害者白書(全体版) 8.障害児・者数の状況、
http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h25hakusho/zenbun/furoku_08.html
- (2) M.Whittaker (1992) Handy1 Robotic Aid to Eating :A Study in Social Impact, Proc.RESNA Int. '92, pp.589-594.
- (3) 石井純夫 (2003) 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.
- (4) 山本正幸、酒井義郎、石松隆和、笠上文男 (200) 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、山口大学工学部研究報告、Vol.50, No.2, pp.107-111.
- (5) 福田修、辻村好司、辻敏夫、大塚彰 (2004) EMG 信号を利用した食事支援マニピュレータの制御、医科器械学、Vol.74, No.5, pp.229-237.
- (6) 清水弘幸 (2001) 上肢障害者のための食事支援システムの試作、日本機械学会福祉工学シンポジウム CD-ROM 論文集、W207.
- (7) 小林宏、椎葉太一、小西健太郎 (2004) 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 (699), pp.3252-3259.
- (8) 手嶋教之 (1996) 食事支援マニピュレータとその要素技術、日本ロボット学会誌、Vol.5, No.2, pp.233-235.
- (9) 山崎明、福嶋政徳、増田良介 (2012) 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、日本ロボット学会誌、Vol.30, No.9, pp.917-923.
- (10) 竹内岳、中村尚彦 (2012) 食食用箸型自助器具の使いやすさ向上に関する研究、函館工業高等専門学校紀要、No.47, pp.31-36.

英文抄録

Development of chopsticks type robot system for meal assistance using KINECT sensor

Hideo Nakagawa¹, and Ichiro Kitayama¹

While some kind of meal assistance robots for the people who can't have a meal without support have been already developed, those robots don't become widely used for nursing care. One reason why is that the user has to operate a joystick by his jaw in order to manipulate a spoon mounted on the robot arm to the specific target (foods). In addition, it is another reason why large and complicated drive equipment to operate tools for a meal provide a feeling of pressure to users. For these problems, we invent a robot control device by using inclination angle of user's trunk measured by the KINECT sensor with no contact to the control device. And chopsticks which is remotely operated by the wire driving system to hold foods are adopted in our robot instead of a spoon to have various kinds of foods. Verification test of recognizing function of the KINECT sensors and operation check about this newly developed robot are performed in our project. As the result, it is confirmed that it is possible to control clamping force to hold foods without dropping them and this robot system is able to assist meal activities.

Key words : KINECT sensor, Chopsticks, Meal support, Robot

1. Department of Biomechanical and Human factors Engineering, Kindai University, Wakayama 649-6493, Japan