

OS1-1

日常生活支援のための軽量な着用型肘機構の設計

Design of a Wearable Elbow Lightweight Joint Mechanism for Assist of Daily Life

森園哲也 (福岡工業大学)

Tetsuya MORIZONO, Fukuoka Institute of Technology

Abstract: This report proposes a wearable mechanism for assist of a human elbow joint. For easy attachment and detachment, the mechanism is designed so that it can be worn around an elbow joint (not a whole-body type mechanism), and adopts breaks instead of actuators for lightness. The mechanism cannot perform power-assist because no actuator is installed, however, it can assist fixation of a human elbow joint by activating the breaks. Design of the mechanism and manufacturing of its prototype are described in this report.

Key Words: Wearable, Lightweight, Elbow Joint, Mechanism, Design

1. はじめに

着用可能なロボット (ウェアラブルロボット) では, ロボットスーツなどと呼ばれる全身装着型のロボット, 上半身や下半身に装着するロボットが提案されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. 全身装着型や下半身に装着するロボットでは, ロボットの自重や支持荷重が着用者の負担とならないため, パワーアシスト機能を付加して, 重量物の搬送支援が可能である. しかし, 人間の複数の関節に同時に装着するロボットでは, 一般に着脱に手間を要する.

一方, リハビリテーション支援など, 対象とする部位 (関節) の周りに部分的にロボットを装着できればよい場合もある⁽⁴⁾⁽⁵⁾. 部分的に装着するロボットは一般に着脱の手間が少なく, 日常生活の支援でも有用であると考えられる. ただし, ロボットの自重が着用者の負担となるため, ロボットが軽量であることが求められ, 加えて, 駆動源や制御機器も含めて可搬であることが望ましいと考えられる.

本報告では, 特に肘関節の支援を目的とした機構 (Wearable Elbow Lightweight Joint; WELL-joint) を提案する. 軽量化のためにアクチュエータを使用せず, 代わりにブレーキを備えている. パワーアシストはできないが, ブレーキによって機構の動きを拘束することで, 着用者の肘関節を固定するような支援が可能である. 日用品の持ち運びなどを考えた場合, パワーアシストでなく, 運動拘束であっても支援としては有用であると考えられる.

本報告では, WELL-joint の設計と試作について報告する.

2. モデルおよび運動学

図1に示す運動学モデルを考える. 点Jは人間の肘関節, 直線AJは人間の前腕, 直線JBは人間の上腕を表わす. 直線CR, 点R, 直線RDは提案するWELL-jointを表し, 直線CRとRDは1自由度の直動関節を有する2リンク機構, 点Rは1自由度の回転関節である. ただし, 関節はすべて受動であるとする.

WELL-jointは, 角JAC, ACR, JBD, BDRが直角になるよう装着されるものとする. なお, 直線ACおよびBDは, WELL-jointを装着するための固定具を表している. このとき, 人間の前腕 (直線AJ) とWELL-jointの前腕部 (直線CR), ならびに人間の上腕 (直線JB) とWELL-jointの上腕部 (直線RD) はそれぞれ平行となるので, 人間の肘の屈曲角 (伸展位をゼロとする) を q とすると, WELL-jointの回転関節 (点R) の角度も q となる.

l_{h1} と l_{h2} は, 人間の前腕上および上腕上の, WELL-jointの装着点から肘関節までの長さで, 着用中は変化しないも

のとする. l_1 および l_2 はWELL-jointの前腕部および上腕部の長さであり, これらは変数となる.

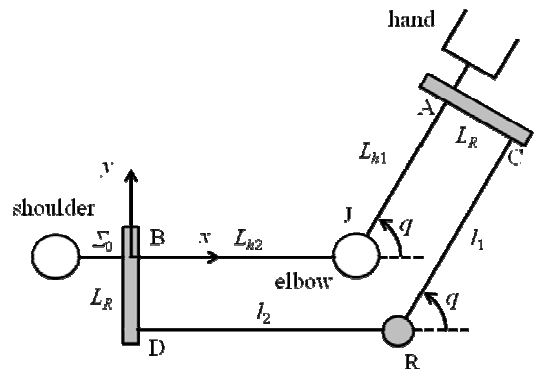


Fig. 1 Kinematic model of the joint

導出過程の詳細は省略するが, l_1 および l_2 は以下の式により計算される. ただし, L_R はWELL-jointと人間の腕 (腕の骨格) との間の距離である.

$$l_1 = L_{h1} + L_R \tan(q/2) \quad (1)$$

$$l_2 = L_{h2} + \frac{L_R}{\sin q} (1 - \cos q) \quad (2)$$

式(1)および(2)はいずれも, 角度 q をただ一つの変数とする関数である. つまり, q を固定すると l_1 および l_2 も一意に決まり, WELL-jointはただ一つの姿勢に決まる. なお, 数学的には $q=0$ で l_2 が不定となるが, q が0近傍にあるときには, $\sin q \approx q$, $\cos q \approx 1$ を式(2)に代入すると $l_2 = L_{h2}$ となる. $q=0$ の状態には q が0近傍の状態を経て到達するため, 実際には $q=0$ でも $l_2 = L_{h2}$ が保たれると考えてよい.

3. ブレーキによる肘関節の拘束

実用上の運動範囲として, q を0から $\pi/2$ [rad]までの範囲と仮定すると, 式(1)および(2)は, l_1 または l_2 の片方を固定すれば q が一意に決まることも意味する. そこで, もし l_1 をブレーキで固定したならば, 人間の肘関節は式(1)の逆関数から計算される角度 q に固定される. このとき, l_2 は固定された q により一意に決まるため, l_2 をブレーキで固定する必要はない. l_1 の代わりに l_2 をブレーキで固定した場合も同様である.

前腕部あるいは上腕部に取り付けたブレーキの発生力を f とし, これにより人間の肘関節周りに生ずるブレーキト

ルクを τ とする. τ と f の間に仮想仕事の原理を適用すると, ブレーキが前腕部と上腕部のどちらにある場合でも, 以下の式が導出される.

$$\tau = f \frac{L_R}{2\cos(q/2)} \quad (3)$$

4. 機構の試作

運動学モデル (図 1) では, 角 JAC, ACR, JBD, BDR が直角であることを仮定している, この仮定ができる限り維持されるように予備検討した後, 機構を試作した.

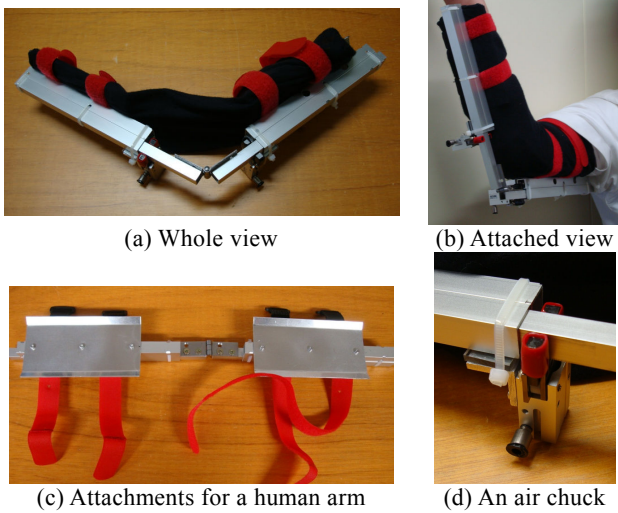


Fig. 2 A prototype of WELL-joint

図 2(a)に試作機の全景を示す. 前腕部と上腕部は同一の構造で, 15×15[mm]のアルミ角パイプの中に 12×12[mm]のアルミ角パイプを挿入して直動関節を構成している. 黒色のものは, 装着を容易にするために取り付けた日除け用アームカバーである. 人間の腕に装着すると(b)ようになる. 機構重量は 0.485[kg]であり, 数名に装着してもらったところ, いずれも重量による負担感はないという感想であった. (c)は人間の腕への装着部を示しており (わかるようにアームカバーは除いてある), 前腕部, 上腕部それぞれに設けた受け皿状の平板に人間の前腕と上腕を固定する. (d)はブレーキ用エアチャックで, 15×15[mm]のアルミ角パイプに固定され, 動作時にツメが 12×12[mm]のアルミ角パイプを挟んでブレーキ力を生ずる. なお, 前述のように, 理論的には前腕部か上腕部のいずれかにブレーキがあればよいが, 後述する理由により, 上腕部と前腕部の両方にエアチャックを設けている. エアチャックは市販のエアブラシ塗装用の缶と小型の 3 ポートバルブで駆動でき, 駆動源や制御機器を含めて可搬とすることが可能である.

5. ブレーキトルクの大きさ

ブレーキトルクの大きさを見積もるため, エアチャックの動作圧力を 0.1, 0.2, 0.3, 0.4[MPa]の 4 通りとし, それぞれの圧力でブレーキ力を 30 回測定した. それらの平均値は 15.9, 34.9, 45.8, 50.9[N]であった. 各々のブレーキ力を式(3)の f として, q を 0 から $\pi/2$ [rad]まで変化させるときのブレーキトルク τ の計算結果を図 3 に示す. ただし L_R は, 装着状態における実測の結果を参考に 30[mm]とした.

$q=\pi/2$ [rad]でブレーキトルクが最大値となるが, その大きさは圧力が 0.4[MPa]の場合で 1.53[Nm]である. なお, 図 3 はブレーキ 1 個の場合であり, ブレーキを前腕部と上腕部

の両方に取り付ければブレーキトルクは 2 倍 (3.06[Nm])となる. しかしこのとき, 人間の前腕の長さが 0.3[m]程度と考えれば人間の手先位置でのブレーキ力は 10[N]程度であり, このブレーキ力で手先に保持できる物体の質量は, 前腕が水平の場合で 1[kg]程度である. 日用品の持ち運びを考えると, 例えば買い物袋でも数[kg]の質量があり, これを保持するにはより大きなブレーキトルクが必要である. この点は今後の課題の一つである.

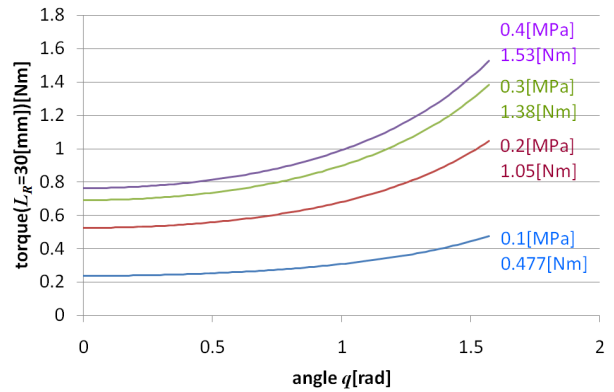


Fig. 3 Break torque (when $L_R=30$ [mm])

6. おわりに

本報告では, 人間の腕に装着して人間の肘関節の支援を行うことを目的とした機構 WELL-joint の設計と試作について述べた. WELL-joint は受動の直動関節と回転関節からなる 3 自由度機構であり, 軽量化のため, アクチュエータの代わりにブレーキを使用して人間の肘関節の運動を拘束することで支援を行う. 運動学を通じ, 直動関節の運動をブレーキで拘束することで, 人間の肘関節の運動を拘束できることを示した. また, 試作機について述べ, 試作機で実測したブレーキ力の値から計算した, 試作機が人間の肘関節周りに発生できるブレーキトルクを示した.

試作機のブレーキトルクは, 日用品の持ち運びなどの支援にはまだ十分な大きさではないと考えられる. また, 人間が支援を欲する時にブレーキが動作する仕組みも必要であり, これらが今後の主な課題である.

最後に, 在学中に試作機の設計と製作に意欲的に取り組んでくれた, 伊藤翔平君と塚真也君に謝意を表す.

参考文献

- (1) 佐藤帆紡, 川畑共良他, ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 76, No. 762, pp. 227-235, 2010
- (2) H. Kobayashi, T. Aida et al., Muscle Suit Development and Factory Application, International Journal of Automation Technology, Vol. 3, No. 6, pp. 709-715, 2009
- (3) A. B. Zoss, H. Kazerooni et al., Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX), IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol. 11, No. 2, pp. 128-138, 2006
- (4) 荒金正哉, 則次俊郎他, シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋の開発と肘部パワーアシストウェアへの応用, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 6, pp. 674-682, 2008
- (5) 満田隆, 久下幸子他, 粒子内蔵型機械拘束要素の開発と身体装着型力覚呈示装置への応用, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 37, No. 12, pp. 1134-1139, 2001