

新しい柔軟マニピュレータの構成と設計

A New Structure and Design of flexible manipulator

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1180153 松本 明浩

1. 緒言

日本の生産年齢人口は、少子高齢化の進行によって 1995 年をピークに減少しており、総人口も 2008 年をピークに減少に転じている⁽¹⁾。また、将来推計によると、総人口は 2030 年には 1 億 1,913 万人、2053 年に 1 億人を割り、2060 年には 9,284 万人にまで減少すると見込まれている。同様に、生産年齢人口は 2030 年には 6,875 万人、2060 年には 4,793 万人にまで減少するとされている⁽²⁾。現在、製造業における工場の自動化など、様々な分野で自動化・省人化が進んでいるが、今後の生産年齢人口の減少に伴いさらなる自動化・省人化が進むと考えられ、ロボットが人間と協力して作業する機会が増加すると考えられる。

産業用ロボットに多く使用される多関節マニピュレータは剛性が高く、高精度で高速な動作が可能であるが、剛性の高さ故に人間と接触したときの衝撃など、人間に及ぼす危険性が高いことから人間との共同作業は困難である。それに対してあえて剛性を低くし、弾性変形するリンクやジョイントを用いた柔軟マニピュレータと呼ばれるものが存在する。剛性が低いことにより、柔軟・軽量であり、人間と接触しても及ぼす危険性が低くなり、人間との共同作業が可能となると考えられる。

本研究では新たな柔軟マニピュレータの構成としてソフトテニスボールを用いた柔軟マニピュレータを考案し、設計することを目的とする。

本論文では考案した柔軟マニピュレータを製作し、その動作について検証した。

2. 考案した柔軟マニピュレータの構成と実験機

新たに考案した柔軟マニピュレータはソフトテニスボールと円形の ABS 樹脂パーツを交互に接着することで構成している。

製作した実験機を図 1 に示す。柔軟マニピュレータの動作は、ABS 樹脂パーツの穴に 120° 間隔になるよう通した 3 本のワイヤーをステッピングモータで巻き取ることで行う。

柔軟マニピュレータを動作させる任意の角度 β , γ とワイヤー操作量 q_1 , q_2 , q_3 の配置を図 2 に示す。任意の角度に動作させるために必要な各ワイヤーの操作量は、柔軟マニピュレータの曲率を一定とし、中心軸からワイヤーの距離を r とすると、以下の式(1)~(3)で求まる。

$$q_1 = r\beta \cos \gamma \tag{1}$$

$$q_2 = r\beta \cos \left(-\gamma + \frac{2}{3}\pi \right) \tag{2}$$

$$q_3 = r\beta \cos \left(\gamma + \frac{2}{3}\pi \right) \tag{3}$$

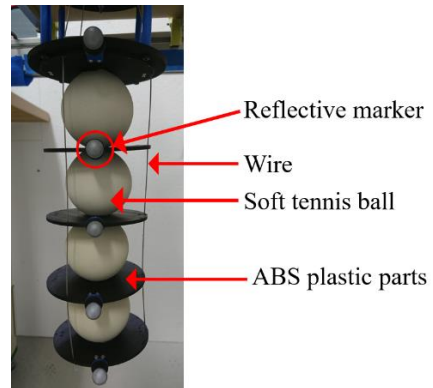


Fig.1 Experiment machine

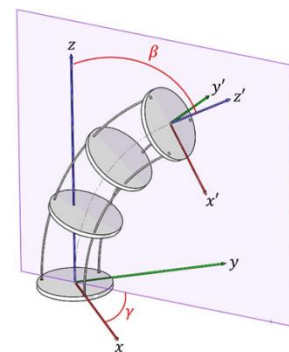


Fig.2(a) Angle β , γ

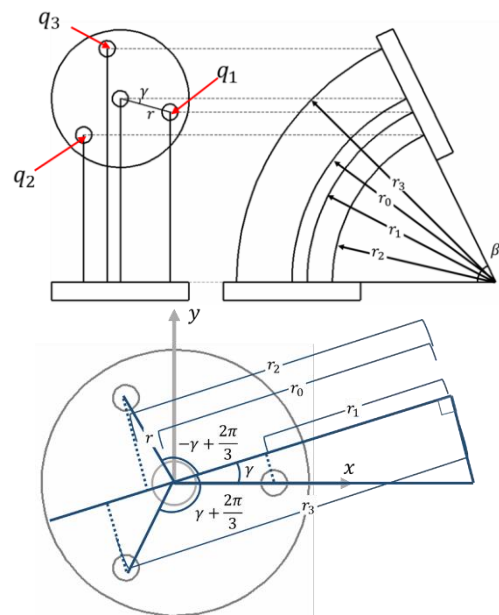


Fig.2(b) Wire manipulated variable

3. 動作実験

3.1 実験方法

柔軟マニピュレータを動作させる任意の角度 γ は $0[\text{deg}]$ で固定して角度 $\beta = 60, 90, 120, 150, 180[\text{deg}]$ について動作実験を行った. ソフトテニスボールの空気圧を 100hPa , 200hPa , 300hPa に調節し, マニピュレータの先端に約 164g のおもりを取り付けた負荷がある場合とおもりを取り付けない負荷がない場合について実験した. 図1に示すように反射マーカーを ABS 樹脂パーツ上に設置し, モーションキャプチャーによってマーカーの位置を測定することで柔軟マニピュレータの動作後の形状をキャプチャーした. 各実験条件で5回ずつ動作を行い, その平均値を柔軟マニピュレータの動作後の形状とした.

3.2 実験結果・考察

柔軟マニピュレータの根元を原点として, 図3~図12に各空気圧でのおもりによる負荷のない場合とおもりによる負荷のある場合の柔軟マニピュレータの形状を示す. また, 図13~図26に実験機の実際の動作を示す.

おもりによる負荷のない場合の空気圧 300hPa , $\beta = 180[\text{deg}]$ と負荷のある場合の空気圧 200hPa , $\beta = 180[\text{deg}]$ および空気圧 300hPa , $\beta = 150, 180[\text{deg}]$ のときは $\beta = 120[\text{deg}]$ までは問題なく動作したが, $\beta = 120[\text{deg}]$ を越えるとステッピングモータが脱調を起こし目標の位置まで動作しない. ソフトテニスボールの復元力とおもりにかかる重力によってステッピングモータに過負荷がかかり脱調したと考えられる.

図3, 図5, 図7, 図9, 図11より負荷のない場合ではどの空気圧でも目標の角度 β をほぼ満たしており, 柔軟マニピュレータの形状もほぼ曲率一定となっている. よって, 任意の動作を行うことができていることがわかる. 目標の角度 β をほぼ満たすことはできているが, 空気圧によって先端の位置が変化していることがわかる. 柔軟であるために自重による伸びが影響していると考えられる. また, 各空気圧での柔軟マニピュレータの形状に大きな差がないこともわかる. これより, 負荷がない場合では形状は柔軟マニピュレータの硬さの影響を受けないと考えられる.

図4, 図6, 図8, 図10, 図12より負荷がある場合ではどの空気圧でも目標の角度 β を満たすことができていないことがわかる. 負荷の影響で柔軟マニピュレータが伸び, 曲率が一定でないことやステッピングモータへの負荷が大きくなりワイヤーの巻き取りが不足していることが原因と考えられる. また, 目標の角度 β によって目標値と近い形状となる空気圧が異なっており, 負荷のある場合は目標の角度によって空気圧を変化させ, 柔軟マニピュレータの硬さを調節することで任意の動作を行うことができると考えられる. しかし, 空気圧や負荷によってステッピングモータが脱調を起こすことがあるため, 考案した構成の柔軟マニピュレータではかかる負荷に対して適切なマニピュレータの硬さが存在することが考えられる.

実験結果より新たに考案した構成の柔軟マニピュレータの負荷のある場合, ない場合について柔軟マニピュレータの硬さを変化させることで動作可能であることが示すことができた.

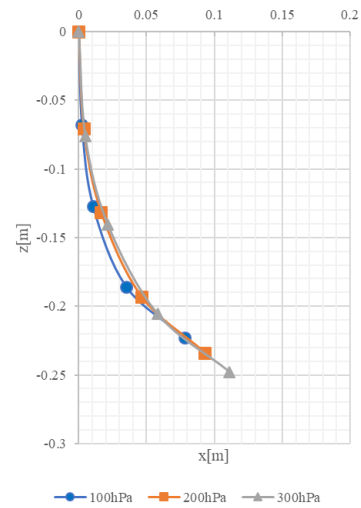


Fig.3 Shape of flexible manipulator without weight ($\beta = 60[\text{deg}]$)

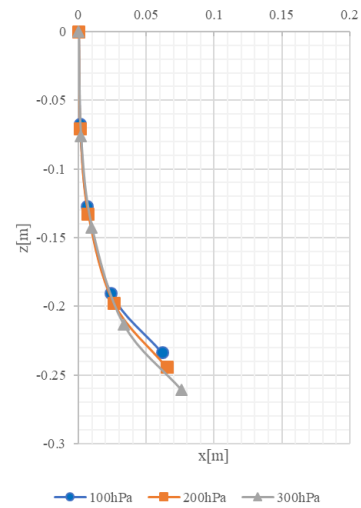


Fig.4 Shape of flexible manipulator with weight ($\beta = 60[\text{deg}]$)

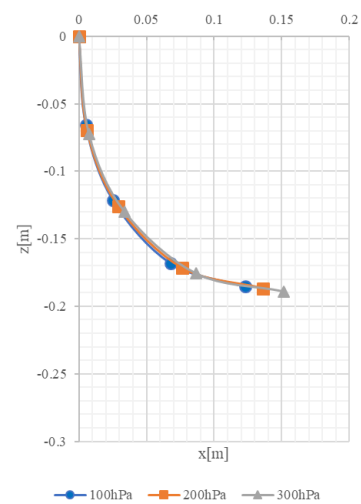


Fig.5 Shape of flexible manipulator without weight ($\beta = 90[\text{deg}]$)

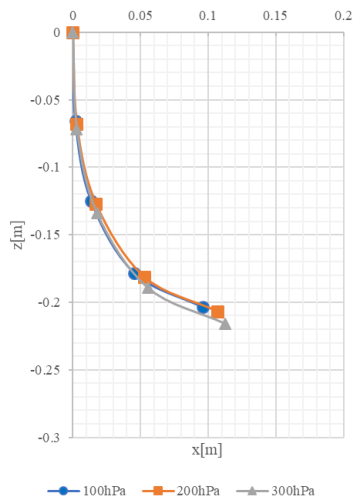


Fig.6 Shape of flexible manipulator with weight ($\beta = 90[\text{deg}]$)

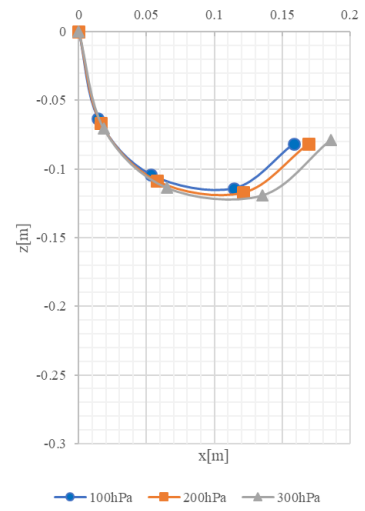


Fig.9 Shape of flexible manipulator without weight ($\beta = 150[\text{deg}]$)

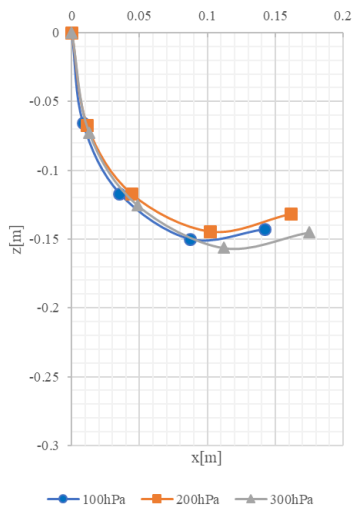


Fig.7 Shape of flexible manipulator without weight ($\beta = 120[\text{deg}]$)

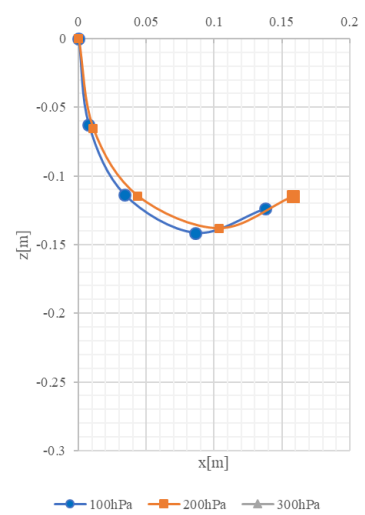


Fig.10 Shape of flexible manipulator with weight ($\beta = 150[\text{deg}]$)

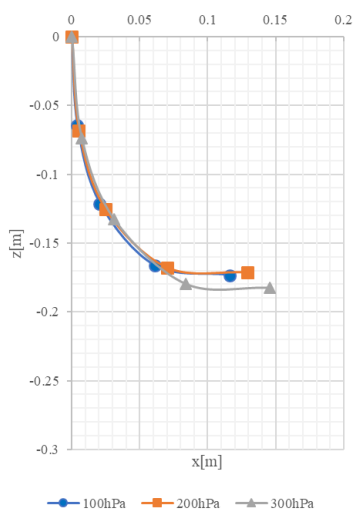


Fig.8 Shape of flexible manipulator with weight ($\beta = 120[\text{deg}]$)

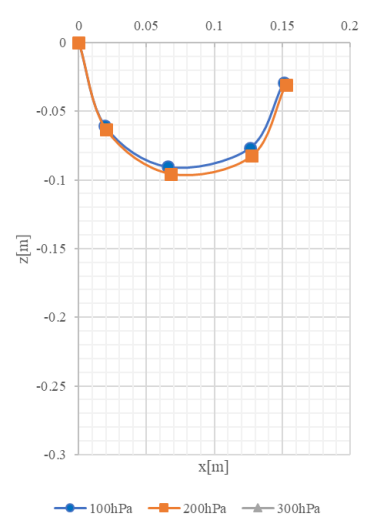


Fig.11 Shape of flexible manipulator without weight ($\beta = 180[\text{deg}]$)

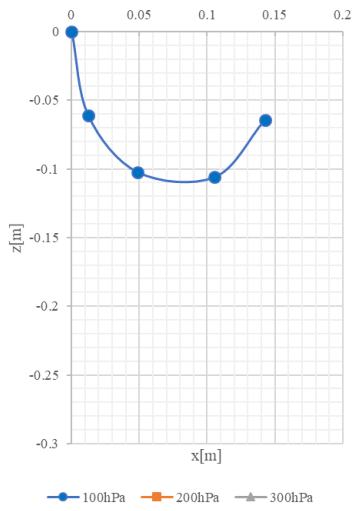
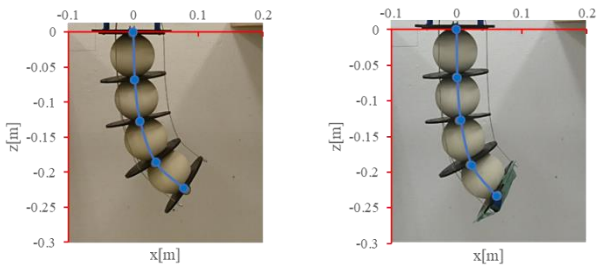
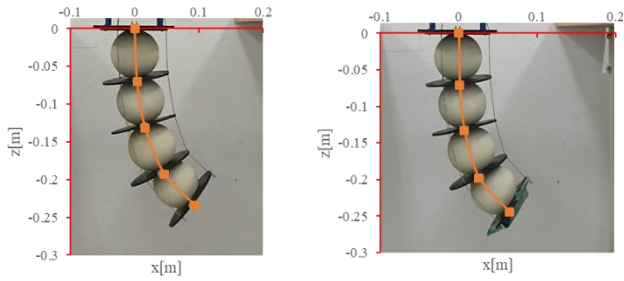


Fig.12 Shape of flexible manipulator with weight ($\beta = 180[\text{deg}]$)



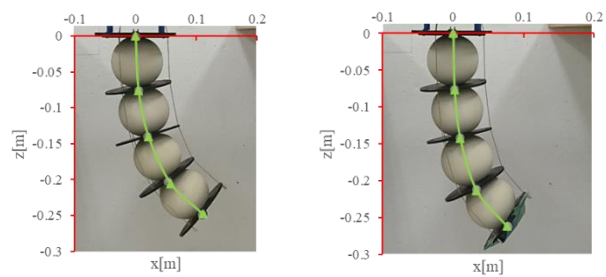
(a) Without weight (b) With weight

Fig.13 Motion of flexible manipulator ($\beta = 60[\text{deg}], 100\text{hPa}$)



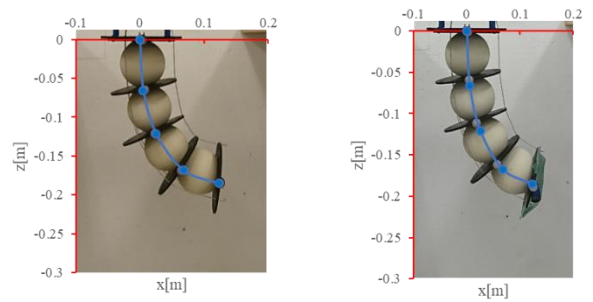
(c) Without weight (d) With weight

Fig.14 Motion of flexible manipulator ($\beta = 60[\text{deg}], 200\text{hPa}$)



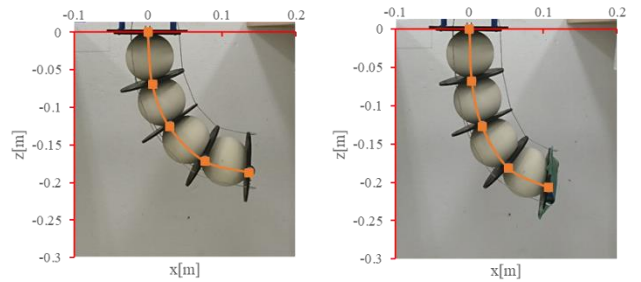
(e) Without weight (f) With weight

Fig.15 Motion of flexible manipulator ($\beta = 60[\text{deg}], 300\text{hPa}$)



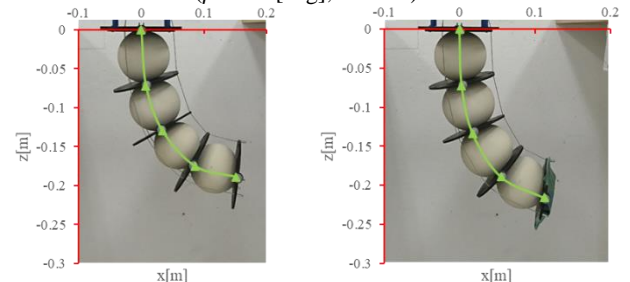
(g) Without weight (h) With weight

Fig.16 Motion of flexible manipulator ($\beta = 90[\text{deg}], 100\text{hPa}$)



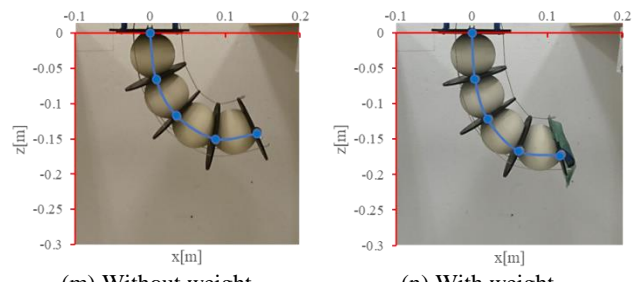
(i) Without weight (j) With weight

Fig.17 Motion of flexible manipulator ($\beta = 90[\text{deg}], 200\text{hPa}$)



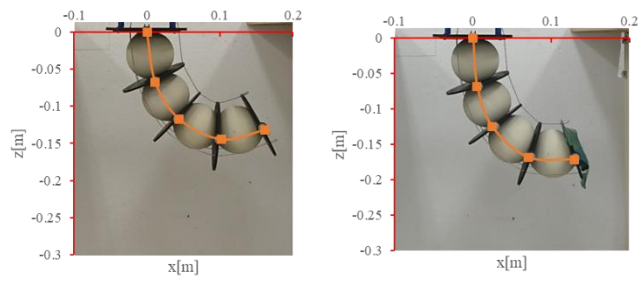
(k) Without weight (l) With weight

Fig.18 Motion of flexible manipulator ($\beta = 90[\text{deg}], 300\text{hPa}$)



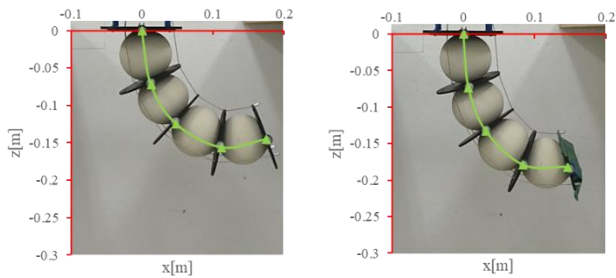
(m) Without weight (n) With weight

Fig.19 Motion of flexible manipulator ($\beta = 120[\text{deg}], 100\text{hPa}$)

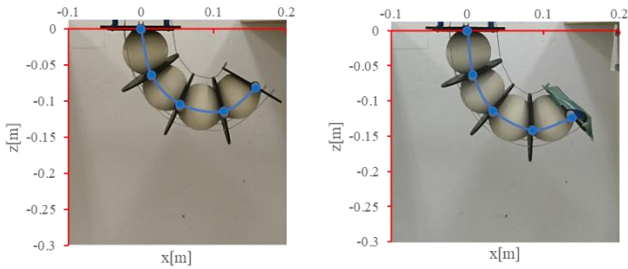


(o) Without weight (p) With weight

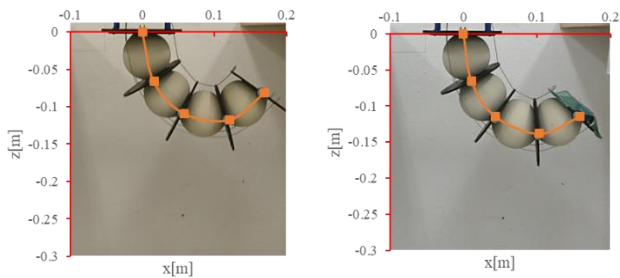
Fig.20 Motion of flexible manipulator ($\beta = 120[\text{deg}], 200\text{hPa}$)



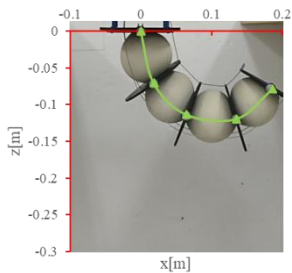
(q) Without weight
(r) With weight
Fig.21 Motion of flexible manipulator
($\beta = 120[\text{deg}], 300\text{hPa}$)



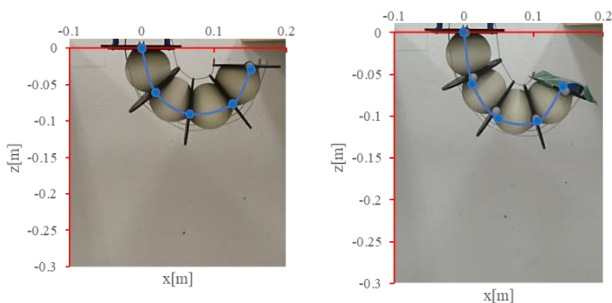
(s) Without weight
(t) With weight
Fig.22 Motion of flexible manipulator
($\beta = 150[\text{deg}], 100\text{hPa}$)



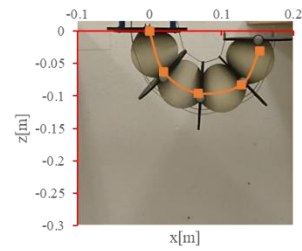
(u) Without weight
(v) With weight
Fig.23 Motion of flexible manipulator
($\beta = 150[\text{deg}], 200\text{hPa}$)



(w) Without weight
Fig.24 Motion of flexible manipulator
($\beta = 150[\text{deg}], 300\text{hPa}$)



(x) Without weight
(y) With weight
Fig.25 Motion of flexible manipulator
($\beta = 180[\text{deg}], 100\text{hPa}$)



(z) Without weight

Fig.26 Motion of flexible manipulator
($\beta = 180[\text{deg}], 200\text{hPa}$)

4. 結言

柔軟マニピュレータの新しい構成として、ソフトテニスボールを用いたものを考案し、製作した。ソフトテニスボールの空気圧を調節し、おもりによる負荷のある場合と負荷のない場合について動作実験を行った。どの空気圧でも負荷のない場合はマニピュレータの曲率は一定になることやおもりによる負荷の影響によってマニピュレータが伸び、曲率一定とならず、任意の角度まで動作しないことがわかった。今後の課題として考案した柔軟マニピュレータのモデル化が挙げられる。

文献

- (1) 総務省, “平成 29 年度版 情報通信白書 人口減少社会の課題と将来推計”, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc141110.html> (2018 年 1 月 17 日参照)
- (2) 国立社会保障・人口問題研究所, “日本の将来推計人口 (平成 29 年推計)”, http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp_zenkoku2017.asp (2018 年 1 月 17 日参照)
- (3) 内山勝, “ソフトロボティクス”, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.6(1999), pp.756-757
- (4) 徳永貴昭, “自動収穫ロボットのための連続体マニピュレータの開発～連続体マニピュレータにおける障害物回避～”, 高知工科大学 学士論文, (2016)