

卒業論文要旨

伸縮機構を持つ柔軟マニピュレータの開発

Development of flexible manipulator with shrink mechanism

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1200107 仲西 正紀

1 研究背景

昨今、少子高齢化によってさまざまな分野で労働力が不足しており、今後、特に農業・医療・介護の分野において自動化が必要となると考えられる。そのため、ロボットと人間が同じ空間で協力して作業することが増加し、人間に危害を加えずに同時に作業できる柔軟なマニピュレータの需要が高まっている。

今回の発表ではマニピュレータの自由度を上げるために伸縮機構に着目し、人と同時に作業できる伸縮機構を持たせた柔軟なマニピュレータを開発するために、伸縮機構の提案と伸縮機構の基礎実験を行った。

2 柔軟マニピュレータの構造

今回の研究では基本構造として連続体マニピュレータを使用する。図 1 は連続体マニピュレータの概略図である。

Primary backbone は柔軟に曲げることができ、これ全体が関節になる。連続体マニピュレータの特徴としては明確な関節がないこと、軽量かつ柔軟で高速動作が不得意であることが挙げられる。また、曲率が一定の部分をセグメントと呼ぶ。

今回製作するマニピュレータの概形と動作を図 2 に示す。このマニピュレータは伸縮と屈曲の動作をさせることが可能である。屈曲動作は見やすいようにワイヤーを 1 本だけ表示している。

3 設計したマニピュレータの詳細

このマニピュレータの最大の特徴として概略図の primary backbone に相当する部分にコイルバネを使用している点が挙げられる。コイルバネを使用することで屈曲だけでなく、後述する伸縮機構にも使用できる。動力としてモーターを使用し、マニピュレータの一端に集中して配置する。1 セグメント分には 3 つのばねを使用し、それぞれのコイルバネの間にディスクを配置する。ディスク上に 120° ごとにワイヤーを配置し、それぞれをモーターに取り付ける。3 本のワイヤーをそれぞれのモーターで巻き取ることでマニピュレータを曲げることができるが、ワイヤーの巻き取り量を制御することでマニピュレータに先端角度等の制御が可能である。

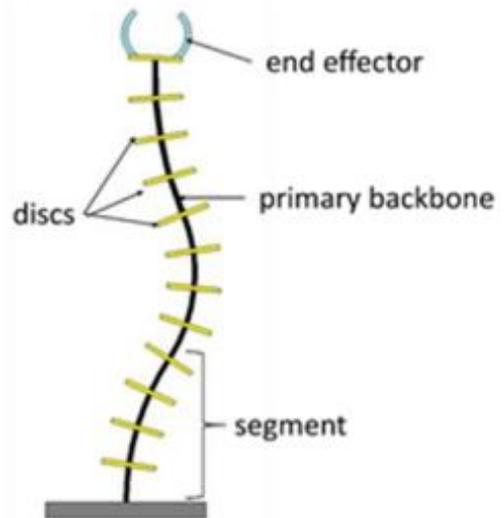


Fig.1 Schematic diagram of the continuum manipulator⁽¹⁾

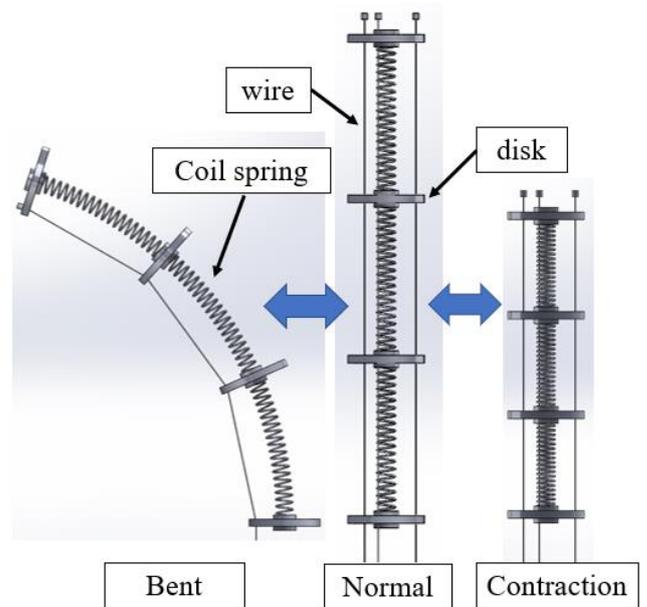


Fig.2 Manipulator in bent state

マニピュレータの伸縮機構については、配置した 3 本のワイヤーを同じ長さ分モーターで巻き取りコイルバネを伸縮

させることで、図2に示したような伸縮の動作を行う。任意の巻き取り量を指定することで、マニピュレータの長さの制御が可能である。伸縮機構を持たせる長所として先端到達範囲が広いこと、マニピュレータの占有範囲を小さくできることが挙げられ、短所としては部品点数が増加し構造が複雑化すること、制御が困難になること、マニピュレータ全体の重量が増加することが挙げられる。従来のものに比べて先端到達範囲が広く占有範囲が小さいので、人間と同じ空間でより効率的に作業しやすくなると考えている。

4 コイルバネの違いによる基礎実験

中心軸に使用するコイルバネは曲率が一定であれば制御が容易である。バネ定数が大きければ重いものを持ち上げる際も曲率が変わりにくいが、モーターにかかる負荷が大きくなることが予想できる。しかし、バネ定数が小さければ逆の結果になり制御が困難になると考え、使用するコイルバネの選定を行った。コイルバネの曲率を調べるために9種類のバネを用意し、目視によって比較した。材質は全て SUS304-WPBである。各コイルバネの諸元は以下の表1にまとめる。

Table 1 Specifications of each coil spring

Spring name	Wire diameter(mm)	Spring constant(N/mm)
UY 12-80	0.8	0.2
UY 16-80	1.0	0.2
UY 20-80	1.2	0.3
UR 12-80	1.0	0.29
UR 16-80	1.2	0.29
UR 20-80	1.5	0.5
UF 12-80	1.2	0.49
UF 16-80	1.4	0.49
UF 20-80	1.7	0.98

4.1 おもり無しの曲率

まず、おもりを載せずに実験した。中心軸から40mm離れた位置にワイヤーを通し、30mm引っ張った状態で固定して実験を行った。9種類それぞれ同じ状態で目視によって比較したが、ほとんどが一定の曲率であることがわかった。その後、中心軸からのワイヤーの位置を変えて比較したが同様な結果となった。図3に各コイルバネの実験結果をまとめた。このことから、負荷がないときはどのコイルバネを用いても制御が容易であるため、モーターへの負荷が小さい、バネ定数が小さいコイルバネを使用するほうが良いと考える。

4.2 おもりを載せた際の曲率

次に、下部に100.2gのおもりを取り付け、中心軸から40mm離れた位置にワイヤーを通し、30mm引っ張った状態で固定して実験を行った。外径が小さいものやバネ定数の小さいものはおもり無しに比べて曲率が一定ではなくなったように見える。一方、外径が大きいものや、バネ定数の大きい

いものは曲率が一定であるように見える。図4におもりを載せた各コイルバネの実験結果をまとめた。このことから、マニピュレータに負荷をかけた際には外径・バネ定数が大きいコイルバネを使用したほうが制御は容易であるが、モーターに大きい負荷がかかることが考えられる。

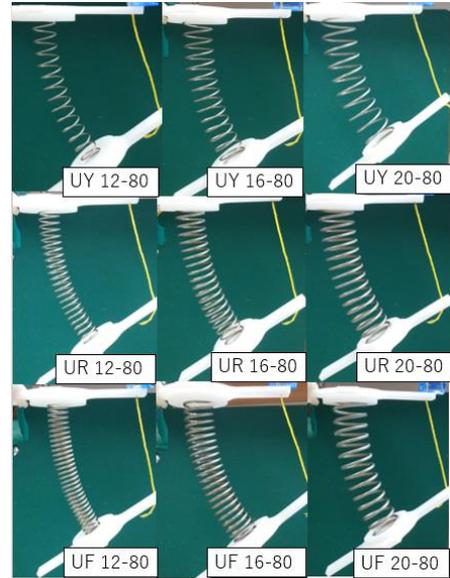


Fig.3 Experimental results of each coil spring

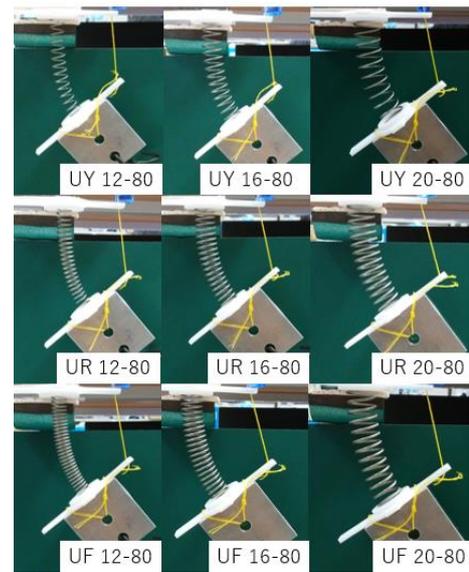


Fig.4 Experimental results of each coil spring with weight

4.3 ワイヤーの位置とおもりの有無による屈曲時の引っ張る力の違い

中心軸からのワイヤーの距離とおもりの有無によるワイヤーを引っ張る力の変化を比較する。前述の実験装置に加えて動ひずみ測定器と荷重変換機を用いて、中心軸からのワイヤーの位置を30mm, 40mm, 引張長さを30mm, 40mm, おもりの有無のそれぞれの条件で実験した。結果を以下の表2, 表3に示す。結果から、中心軸に近い位置にワイヤーを配置したほうがモーターにかかる力が大きくなることがわかった。

Table 2 Force when pulled 30mm

Spring name	The force required to pull (N)			
	Distance from center 30mm		Distance from center 40mm	
	No weight	With weight	No weight	With weight
UY 12-80	0.07	0.30	0.04	0.21
UY 16-80	0.10	0.34	0.06	0.25
UY 20-80	0.20	0.40	0.14	0.31
UR 12-80	0.08	0.35	0.04	0.24
UR 16-80	0.14	0.42	0.09	0.28
UR 20-80	0.24	0.55	0.19	0.35
UF 12-80	0.14	0.40	0.09	0.25
UF 16-80	0.22	0.50	0.16	0.32
UF 20-80	0.55	0.80	0.32	0.50

Table 3 Force when pulled 40mm

Spring name	The force required to pull (N)			
	Distance from center 30mm		Distance from center 40mm	
	No weight	With weight	No weight	With weight
UY 12-80	0.12	0.38	0.06	0.28
UY 16-80	0.14	0.40	0.09	0.28
UY 20-80	0.25	0.54	0.19	0.37
UR 12-80	0.14	0.41	0.06	0.30
UR 16-80	0.18	0.50	0.11	0.34
UR 20-80	0.40	0.68	0.26	0.45
UF 12-80	0.21	0.49	0.12	0.34
UF 16-80	0.31	0.65	0.19	0.42
UF 20-80	0.70	1.05	0.48	0.60

5 伸縮機構に必要なトルク

マニピュレータを縮めるのに必要な力を求める。使用するコイルバネのバネ定数を k とすると、1 セグメントにおけるコイルバネのバネ定数 K は

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} + \frac{1}{k}$$

より、 $K=k/3$ となる。1 セグメントでの縮み量を h とするとコイルバネを縮める力 F は

$$F = K \times h$$

で求められる。

1 セグメントの最大縮み量を 60mm とすると、 $F=20k$ となり、前項の実験を元に、今回使用するコイルバネを UF 20-80 とすると、 $F=19.6(N)$ となる。ワイヤーの巻き付け半径を r とするとトルク T は

$$T = F \times r$$

で求められるので、 $r=10(mm)$ と設定すると必要なトルク T は $T=196(mNm)$ となった。

6 試作機

伸縮機構の検証を行うために、試作機を製作する。図 6.1 に試作機を示す。上部に DC モーターを 3 つ配置し、コイルバネを 1 つ用いて伸縮させる。各モーターはモータードライバーに接続しマイコンで制御する。

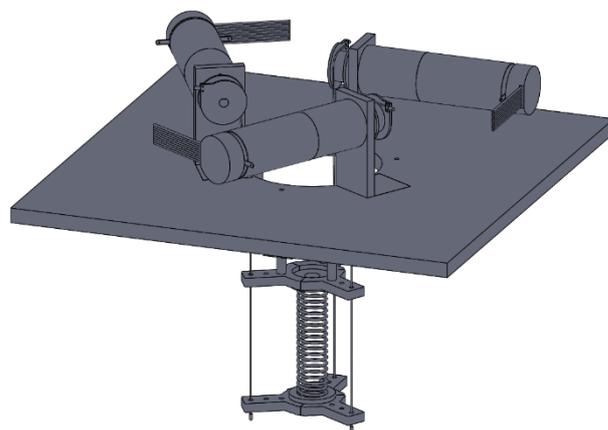


Fig.5 Prototype of extension mechanism

7 まとめ

コイルバネを用いた伸縮機構を考案し、それを搭載した連続体マニピュレータの概形を設計した。また、コイルバネの曲率の違いを比較する実験を行った。

今後の課題として制御機構の設計およびマニピュレータの細かい諸元の決定がある。また、このままでは重いものを持たせた場合にねじれが生じる可能性があるため、それを防止する機構の検討も行う予定である。

謝辞

本研究は、高知県プロジェクト[「IOP (Internet of Plant)」が導く「NEXT 次世代型施設園芸農業」への進化]の助成により行っています。

参考

- (1) 徳永貴昭, 岡宏一, 原田明德, ツイスト運動を回避する機構を用いた連続体マニピュレータの開発と曲げ剛性に着目したモデル化の検討, 日本機械学会論文集, Vol84, No860(2018), 17-00528