

多段テンセグリックロボットアームに対する最適軌道の応力緩和効果について

Stress relaxation effect of the optimal trajectory for a Multistage Tensegric Robot Arm

○劉永琦¹, 山中佑介², 大場裕真², 渡辺亨³* Eiki Ryuu¹, Yuusuke Yamanaka², Yuma Oba², Toru Watanabe³

Due to the development of robot technology, practical use of the robot also has a great progress in the past 20 years. There are still several problems to build a gigantic robot with ordinary structure because of the Square-cube law; we found that Tensegric structure could be a suitable solution of building a robot which is over 10m height. Tensegrity is formed by a set of disconnected rigid elements connected by continuous network of tensile elements. It possesses so light weight that the larger size structure can be constructed. In the previous researches we already study about the stress dispersion effects of multistage Tensegric structure arm and a Trajectory Shaping Taking Account of Stress Dispersion is presented that is not smooth. This paper discusses a new idea of stress relaxation effect of the optimal trajectory for a Multistage Tensegric Robot Arm.

1. 緒言

大型ロボットにおいてはその自重による問題が生じるため、剛性の高い構造を求められる。その実現には、軽量かつ剛性の高い構造を取り入れる必要がある。本研究の最終目的は大型ロボットの實現である。

解決法としてテンセグリック・トラス構造を取り入れた大型ロボットを提案した¹⁾。この構造より、軽量化かつ剛性の確保が期待され、テンセグリック構造体²⁾を多段連結することで大型ロボットを實現する試みである。多段テンセグリック構造はワイヤ長さによって姿勢を変化させる。それに伴い必要とされたのは多段アームの姿勢変化アルゴリズムであった。先行研究において、アーム先端を目的位置に移動させるアルゴリズムが提案された³⁾。本研究においては先行研究の結果を踏まえそのアルゴリズムから発想を得て、より合理的な軌道を生成するアルゴリズムを提案した。生成されるアーム軌道と、生じるモーメントの値を比較し、本研究のアルゴリズムの有用性を検討した。

2. 最適軌道の導出と応力計算⁴⁾

本章では最適軌道の導出アルゴリズムの提案と、その軌道を評価する基準となるモーメントの算出方法について説明する。

2.1 提案する最適軌道導出アルゴリズムの姿勢決定方法

本研究では先行研究に準じ、4段アームを対象とする。まずアームの姿勢決定し、その形状を円弧と仮定する。これは先行研究²⁾で得たアーム軌道において、その最終姿勢がほぼ円弧状であることを確認したためである。

本研究のアルゴリズムではまずアーム先端を任意の目標位置に合わせる。次にアームからなる五角形が、左右対称かつ円弧に内接する(Fig.1)ものとし、関節間角度の幾何学的拘束条件によって4段アームの姿勢を決定する。最後に、初期姿勢と導出した目標姿勢との角度を等分割し、軌道を生成する。

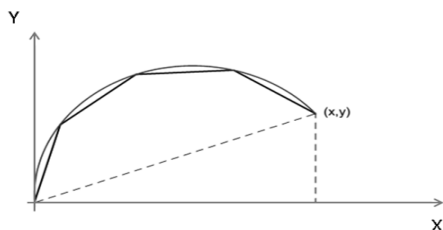


Fig.1 Schematic view to derive configuration to reach target endpoint

このアルゴリズムは先行研究と比較して計算量が少なく、計算にかかる時間も短い利点を持つ。この条件を与えるプログラムによって、得られるアーム軌道及びモーメント値を算出し、その有用性を検討する。

2.2 目標姿勢の導出過程

以下に前節で述べた目標姿勢導出アルゴリズムを示す。

- ①目標位置(エンドポイント)の設定。
- ②目標位置とアーム根元位置との直線距離の算出。
- ③目標位置とアーム根元位置を通る直線と、水平軸とのなす角の算出。
- ④アームからなる五角形を、②の距離を用いて定義し、各頂点の関節角度の算出。
- ⑤なす角を考慮した根元角度の算出、各関節角度への変形。

2.3 アームに生じるモーメント

各関節に生じるモーメントを以下の式により算出する。関節座標をアーム根元側から $X_0(x_0, y_0) = (0, 0)$, $X_1(x_1, y_1)$, $X_2(x_2, y_2)$, $X_3(x_3, y_3)$, $X_4(x_4, y_4)$ とする。また各関節間に生じるモーメントをアーム根元側から M_0, M_1, M_2, M_3 [N・m]とする。各リンクの質量はそれぞれ m_1, m_2, m_3, m_4 [kg]とする。各パラメータの位置関係をfig.2に示す。

4段目関節 :

$$M_3 = m_4 g \left(\frac{x_4 - x_3}{2} \right) \quad (1)$$

3段目関節 :

$$M_2 = m_3 g \left(\frac{x_3 - x_2}{2} \right) + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + (x_3 - x_2) \right\} \quad (2)$$

2段目関節 :

$$M_1 = m_2 g \left(\frac{x_2 - x_1}{2} \right) + m_3 g \left\{ \frac{x_3 - x_2}{2} + (x_2 - x_1) \right\} + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + (x_3 - x_1) \right\} \quad (3)$$

1段目関節 :

$$M_0 = m_1 g \left(\frac{x_1}{2} \right) + m_2 g \left\{ \frac{x_2 - x_1}{2} + x_1 \right\} + m_3 g \left\{ \frac{x_3 - x_2}{2} + x_2 \right\} + m_4 g \left\{ \frac{x_4 - x_3}{2} + x_3 \right\} \quad (4)$$

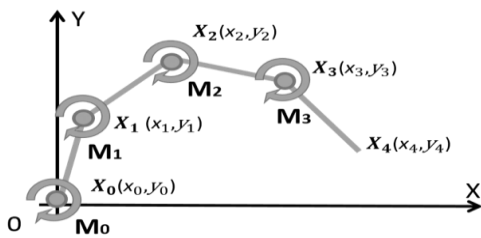


Fig.2 Moments and coordinates of arm joint

3. 解析結果

前章で示したアルゴリズムによる軌道の評価を行う。移動途中を含めたアームにかかる最大モーメントを求め、先行研究との比較の為、エンドポイントは以下の20点とした。
 (0.5, 3.0), (0.5, 3.5), (1.0, 3.0), (1.0, 3.5),
 (1.5, 2.5), (1.5, 3.0), (1.5, 3.5), (2.0, 2.5),
 (2.0, 3.0), (2.5, 1.5), (2.5, 2.0), (2.5, 2.5),
 (2.5, 3.0), (3.0, 0.5), (3.0, 1.0), (3.0, 1.5),
 (3.0, 2.0), (3.5, 0.5), (3.5, 1.0), (3.5, 1.5).

3.1 アーム軌道

本研究のプログラムにより得られたアーム軌道の一例を fig.3 に示す。

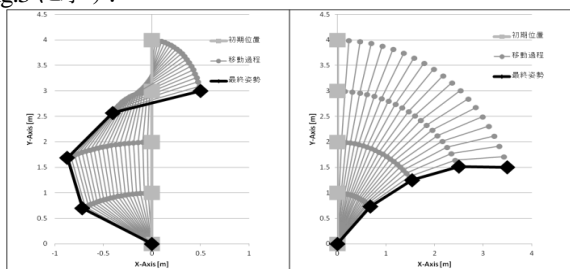


Fig.3 Sample of the derived trajectories

3.2 モーメント値

本研究のプログラムにより得られた各エンドポイントにおける最大モーメントを Table.1 に示す。

Table.1 The Moments according to endpoint

		Moment [N·m]							
		3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0
Y-Axis [m]	3.5	10.30	12.72	24.72					
	3	17.39	13.99	19.72	26.70	42.59			
	2.5			21.50	26.70	35.50			
	2					33.85	49.44		
	1.5					35.05	49.41	64.65	
	1						51.67	64.98	
	0.5							55.44	67.10
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	
		X-Axis [m]							

4. 考察

4.1 軌道生成

本研究で作成したプログラムによって、多段テンセグリックアームの円滑な軌道生成を確認した。先行研究のアルゴリズムにより得られる軌道は不連続なのに対して非常に滑らかである。fig.4 に先行研究と本研究の軌道の比較の一例を示す。

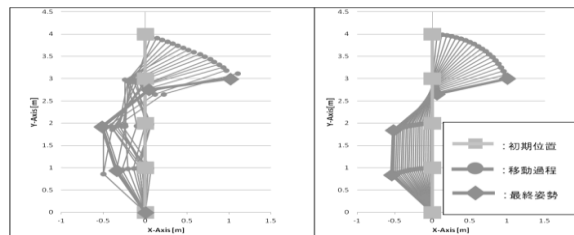


Fig.4 The comparison trajectory with previous method

4.2 モーメント値の比較

先行研究と比較した増加率を Table. 2 に示す。

Table.2 The variation of moment compared with previous research

		Rate [%]							
		3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0
Y-Axis [m]	3.5	43.60	66.74	32.91					
	3	2.23	-12.56	41.88	5.94	3.37			
	2.5			0.46	12.65	3.51			
	2					2.89	4.52		
	1.5					1.00	-1.57	0.95	
	1						-0.64	0.75	
	0.5							4.59	3.39
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	
		X-Axis [m]							

アームの変形過程に生じる最大モーメントは、ほぼ先行研究の0~5%程度の増加があった。また最大で60%の増加が見られた他、減少する点も見られた。

先行研究と比較増加率が0~5%程度の点がほとんどを占めていたのは、十分実用において許容範囲であると考えられる。計算速度や円滑な軌道を描く点において本研究のアルゴリズムの方が優位である。増加率が40~60%ほどある点があるが、これら増加率が高い点は、生じるモーメントの値そのものが低いため、大きな問題ではない。

5. 結論

多段テンセグリックロボットアームに対し、合理的な軌道生成するアルゴリズムを提案した。生成されるアーム軌道と、生じるモーメントの値を比較し、提案するアルゴリズムの有用性を確認した。

6. 今後の展望

本研究によって4段アームの有用なアルゴリズムの開発できた。しかしテンセグリックアームは本来ワイヤ長さによって制御される。本研究のアルゴリズムを基に、ワイヤに生じる応力をシミュレーションによって算出し、検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 白濱 聡, 大型ロボット実現のためのテンセグリック・トラス構造モジュールユニットの研究, 日本大学理工学研究科機械工学専攻修士論文(2012).
- 2) R.B.Fuller : “TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES”, United States Patent No.3063521 , 1962
- 3) 宮下 和裕, 多段テングリックモジュール型ロボットアームの応力分散を考慮した軌道生成, 日本大学理工学研究科機械工学専攻修士論文(2014).
- 4) 頼 奕鵬, 多段テンセグリックロボットアームの運動制御のための高速軌道生成アルゴリズム, 日本大学理工学研究科機械工学専攻修士論文(2015).