

K6-72

大型ロボットを目指すテンセグリック構造アームの提案

Proposal of tensegric structure arm aiming at large-scale robot

渡辺研究室 ○宮下和裕¹, 白濱聡², 渡辺亨³Watanabe Lab. *Kazuhiro Miyashita¹, Satoshi Shirahama², Toru Watanabe³

Various robots have been researched and invented along with improvement of actuators. However, gigantic robot is not possible to be built with ordinary robot structure which is based on a series of rigid links connected by actuated and passively compliant joints. Square-cube law confines the limitation of size. To make up more than 10m height humanoid robot, we apply Tensegric structure which is offspring of Tensegrity for the structure of the robot. In Tensegrity, form is achieved by using a disconnected set of rigid elements connected by a continuous network of tensile elements. Tensegrity structure is so light that the king size structure can be constructed neglecting the square-cube law. This paper introduces an idea of the structure of the modular tensegric parts which configure the massive size robot.

1. はじめに

近年ロボットの研究は進歩し複雑な構造や小型化が可能となった。しかし大型ロボットを作られた事例は未だ存在していない。その最大の原因は 2 乗 3 乗の法則である。これにより大型のロボットを作ろうとしてもその質量を耐えうるだけの材料強度が必要になり、構造上無理が生じてしまう。これに対し、Skelton はテンセグリティ構造を用いてロボットを作ることを提案している^[1]。この提案を受けてテンセグリティ構造ロボットの研究は多数なされているが、その多くはシミュレーションによる検討にとどまり、実際にロボットを作成した例はほとんどない。

テンセグリティ構造とは B. Fuller により提案された構造で^[2]、引張部材にワイヤを用いることで軽量化した一種のトラスとみなすことができる。しかし、テンセグリティ構造は圧縮部材が接触してはいけないという定義により、構造物の形は限定されたものになってしまう。この点を踏まえ、斎藤はテンセグリティの意味を拡大し、圧縮部材どうしが接触したテンセグリックという構造を提唱した^[3]。これにより、軽量かつ実用性の高い構造物の建造が可能となった。

以上の現状を踏まえ、本研究ではテンセグリック構造を用いたロボットを提案する。テンセグリック構造を取り入れたユニットが複数組み合わせることにより大型ロボットを構成する事を最終的な目的としている。

2. 提案するテンセグリック構造モジュール

ロボットの大型化を目指すにあたり、2 乗 3 乗の法則による質量の増加という問題点があげられる。

2 乗 3 乗の法則とは、「同形状のものがあるとき、面

積はその代表長さの 2 乗に比例し、体積はその代表長さの 3 乗に比例する。」というものである。よって大型化を可能にするためには、部材を極限にまで減らし質量を抑制することが必要不可欠なのである。

ここで、その可能性の一つとしてテンセグリティ構造に解決の糸口として求めたが、完全なテンセグリティ構造は外力により容易に変形してしまうということが起こり、制御が困難である。そのため、圧縮部材同士を結合させ、部材の簡素化・少量化を同時に実現したより安定的な構造としてテンセグリック構造を採用し、Fig1 に示すようなモジュールを提案する。このようにモジュール化したユニットを作成することにより Fig2 のようにユニット同士を繋ぐだけで大型のロボットが容易に製作可能となる。

モジュールの動きとしては、各モジュールごとの張力部材（ワイヤ）の長さがモータの動力により伸縮することで姿勢が変化し、バランスがとれるようになっている。特長として蛇のような柔軟で複雑な動きが再現できる。

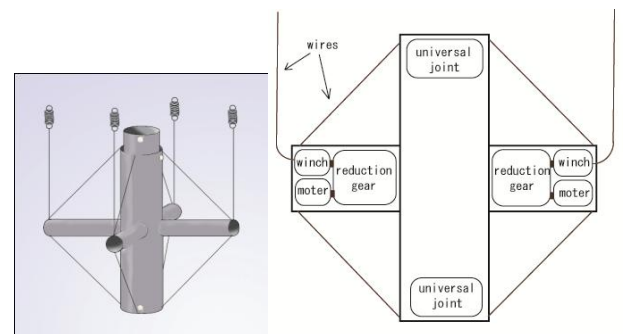


Fig1. Schematic view of the concept of tensegric robot module



Fig2. Outlook of stacked modules

3. 大型ロボットを想定したシミュレーション

1m 四方以内の 1 ユニットを一行にスタックすると最大何個まで繋げられるか計算する。これは一番問題となる横一行に繋げた時の曲げについて検討する。以下、ユニットの材質、寸法を示す。

Table1. Material for compression member

材質	STK490
降伏点[N/mm ²]	315
安全率	3
許容応力[N/mm ²]	105
比重[g/cm]	7.85
ヤング率[GPa]	206

Table2. Material for tension member

材質	ステンレスワイヤ (7×19 18mm)
破断荷重[N]	201000
安全率	6
許容荷重[N]	33500
単位質量[g/m]	1319

Table3. dimensions of tensegric module

	主軸	梁
外径[mm]	812.8	216.3
内径[mm]	796.8	204.7
長さ[mm]	1000	93.6
断面積[mm ²]	20226.9	5361
重量[kg]	158.8	2.8
断面二次モーメント[mm ⁴]	1637784236	21260514
断面係数[mm ³]	4029980	196583

これに、モータと減速機とウィンチをあわせて 1set40kg と仮定し、1 ユニットに 4set 格納とすると、1 ユニットの重量は 335.3kg である。

これらを用いて計算すると、水平状態で圧縮部材の強度は最大 15 段まで可能であるが、引張部材については 3 段までスタック可能であることが確認された。したがって、ここで示したスペックでは曲げモーメントが弱い、すなわち直立姿勢に近いコンフィギュレーションに限定される。しかしワイヤの本数を増加させればより広いコンフィギュレーションが可能となる。よってこのモデル案で 15m までのロボットアームが原理的に製作可能であるということが確認できた。

4. 結論

大型ロボットを目指したテンセグリティ構造によるロボットアームを提案した。十字形に組み合わされた圧縮部材と、圧縮部材同士を結合し同時に姿勢制御を行いうる可変長の引張部材(ワイヤ)を組み合わせたモジュールを提案し、これをスタックさせることでロボットアームとして動作させる事が可能であることを確認した。さらに実物大のモジュールを想定し、強度的に実現しうる最大寸法を求めた。

5. 今後の展望

目標軌道に沿うように多ユニットロボットの形状を変形させることを狙いとし、目標に沿った形状とワイヤの長さの関係を明らかにする。

6. 参考文献

- [1] J.B. Aldrich, R.E. Skelton K. Kreutz-Delgado : "Control Synthesis for a Class of Light and Agile Robotic Tensegrity Structures", Proceedings of American Control Conference 2003, vol.6, pp.5245-5251
- [2] R.B.Fuller : "TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES", United States Patent No.3063521 , 1962
- [3] 斎藤 公男 : 「BEYOND THE TENSEGRITY –A NEW CHALLENGE TOWARD THE TENSEGRIC WORLD-」, IASS Symposium 2001 Nagoya, Paper No.TP141,2001