

K4-66

テンセグリック構造による大型ロボット実現のためのモジュールの提案

Modular tensegric structure for a large-scaled robot

○横田 雅人¹ , 白濱 聡² , 渡辺 亨³
Masato Yokota , Akira Shirahama , Toru Watanabe

Various robots have been researched and invented along with improvement of actuators. But 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. 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。

今回の発表ではこの大型ロボットの基礎となるテンセグリックを取り入れた1ユニットの概念を示す。

2. テンセグリティ構造とテンセグリック構造

テンセグリティ (tensegrity) とは、B.Fuller により提

唱された概念で、tension (張力) と integrity (統合) の造語であり、構造システムが破綻しない範囲で、部材を極限まで減らしていったときの最適形状の一種と考えられている。

テンセグリティ構造は Figure1.のように圧縮部材が互いに接続されておらず、張力部材とのバランスによって成立しているような構造システムで、まるで圧縮部材が空中に浮いているかのような視覚効果を得られる。そのような見た目と、構造システムとして用いる難易度の高さから、現代ではもっぱら芸術作品や玩具として用いられている。

これに、日本大学理工学部建築学科の斎藤は Fuller が発案したテンセグリティを意味する tension + integrity をより広く解釈することにより、建築構造体として応用しやすくしたものを Figure2.に示す“テンセグリック (tensegric) 構造”と提唱した。これは「不安定

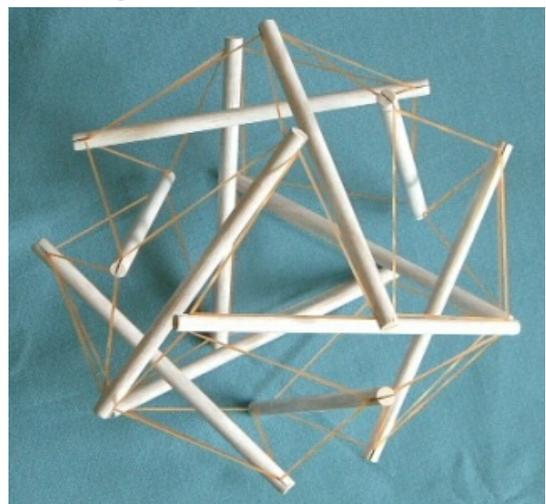


Figure 1. Tensegrity Structure

1: 日大理工・学部・機械 2: 日大理工・院 (前)・機械 3: 日大理工・教員・機械

な部材や架構をテンション材で統合し安定化するシステムで、反力に対する自旋式や部材の接触性も可とする。」と定義される。張力部材による構造挙動の制御や部材やジョイントの簡素化が生む組立て・解体の容易さ、明快かつ軽快な構造表現の魅力等が特徴といえる。



Figure 2. Tensegric Structure

3. 作成モデルの紹介

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。つまり構造物を単に大きくした場合、全長を 2 倍にすると質量は 8 倍、全長を 10 倍にすると質量は 1000 倍になるわけである。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ティ構造を採用し、Figure3.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、大幅な軽量化が期待できる。

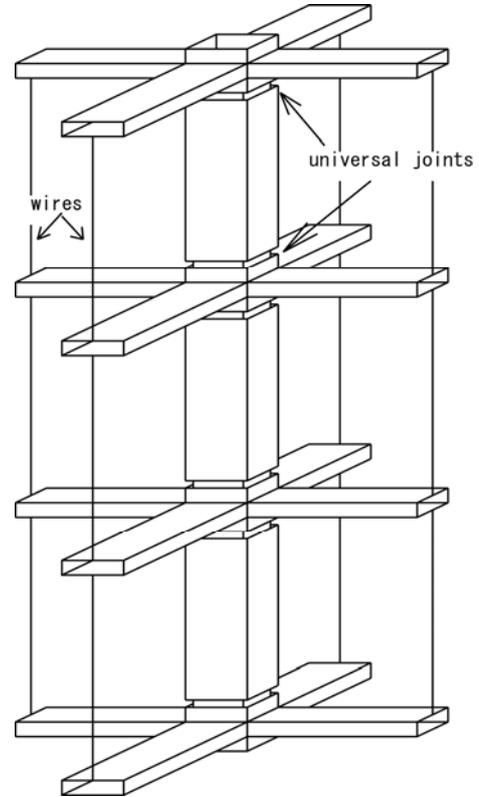


Figure 3. many-tiered Modular Tensegric structures

4. 今後の研究の指針

今年度はモジュールのプロトタイプを設計・製作し、その評価を行う。その結果を踏まえ、来年度以降モジュールを複数個製作し、これを繋げることにより、実際に十メートルを超える大型ロボットを実現することが本プロジェクトの最終目標である。

5. 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