

圧縮材 12 本を使用したテンセグリティ型柔軟移動ロボットの 転倒移動

Rolling of tensegrity robot composed of 12 compressive elements.

○川井 郁弥 (立命館大学) 平井 慎一 (立命館大学)

Fumiya KAWAI, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

Abstract: In this paper, we presented the experimental validation of rolling motion of a tensegrity robot, which consists of 12 compressible elements and 48 tensional elements formed as a tensegrity structure. The robot is able to accomplish a rolling motion by deforming its overall shape. Firstly, the design and manufacture process of the tensegrity robot was introduced. Secondly, the feasibility of rolling motion was experimentally validated by deforming the robot's overall shape. Finally, based on the experimental results, the robot design was improved and validation experiments were performed again. The presented robot has 38 facets and 3 patterns for contacting with floor. In the current situation, the robot can only accomplish rolling motion with few particular contacting facets. More possibilities of contact facets for rolling motion will be investigated based on experimental results in our future work.

Key Words: Mobile robot, Tensegrity

1. 緒言

現在、ロボットの移動手段の代表的な方法として車輪での移動や、脚機構での歩行などがあるが、これらの方法は転倒した場合姿勢の回復が困難、不整地での活動の制御が困難であるなどの問題点がある。そのため、転倒をしない、もしくは転倒の有無に関わらず活動を行える機構が必要である。これらの問題点はテンセグリティ型柔軟ロボットにより解決できる[1][2]。この提案したロボットはアクチュエータを用いて、外殻を変形させることで転倒を行い移動する。このロボットは転倒移動をするため、姿勢の回復や不整地などでの制御の困難さに関わらず活動を行うことができる。また、圧縮材 6 本を使用したテンセグリティ型柔軟移動ロボットの転倒移動は当研究室で行われた研究により既に行われている[3][4][5]。圧縮材を 12 本使用したテンセグリティ構造は圧縮材を 6 本使用したテンセグリティ構造に比べ、より球体に近づくので転倒しやすくなる。実機の圧縮材の長さが同じであれば、より構造体が大きくなり、実機の内部に電池や駆動回路を搭載しやすく自立移動を行いやすくなるなどのことが考えられる。これらの利点を考え、本報告では、圧縮材を 12 本使用し、張力材を 48 本使用した 38 面体の構造でのテンセグリティ型柔軟ロボットを製作し実験を通して転倒を実現する。

2. テンセグリティ構造

本機構では、張力構造体としてテンセグリティ構造を参考にする。テンセグリティ構造は、不連続な剛体と連続な弾性体から構成されている。そのため、剛体のみで構成された構造物よりも軽く柔軟性の高い構造体を形成している。なお、テンセグリティ構造においては剛体を圧縮材、弾性材を張力材と呼称されているため以下の説明においてはこれを用いる。図 1 にテンセグリティ構造の例を示す。図 1 に示すテンセグリティ構造は本実験で採用した構造であり、圧縮材 12 本張力材 48 本を使用した 38 面体の構造である。本構造では安定状態として、圧縮材の端点を頂点、張力材を辺と考えると接地面に 4 つの端点が接地し張力材が正方形を構成する接地状態(図 2-(a) Pattern 1)、3 つの端点が接地し、張力材が正三角形

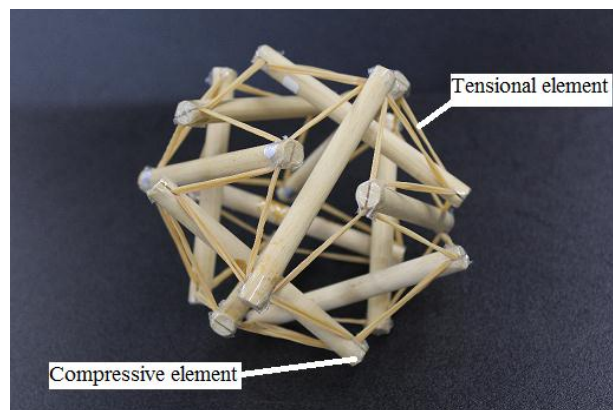


Fig.1 12-compressive elements tensegrity

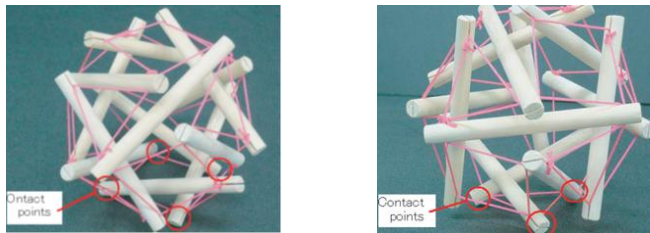
を構成する接地状態(図 2-(b) Pattern 2)、3 つの端点が接地し、張力材が二等辺三角形を構成する接地状態(図 2-(c) Pattern 3)の 3 つに分類される。図 2 では赤丸で示した部分が接地点である。また、本構造において Pattern 1 は 6 通り、Pattern 2 は 8 通り、Pattern 3 は 24 通りの計 38 通りの接地状態の組み合わせが存在する。

3. 外殻変形による転倒移動

本章では、本研究におけるテンセグリティ型柔軟ロボットの外殻変形方法およびテンセグリティ型柔軟ロボットにおける外殻変形による転倒原理を述べる。

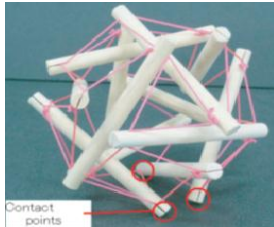
3.1 転倒移動原理

本報告においては移動手段として、外殻変形による転倒移動を用いている。多面体の形状を制御することにより静止状態と運動状態を制御し移動手段として利用している。多面体の形状を制御する方法として、アクチュエータの収縮により、外殻を変形させ、バランスを失うことで転倒移動を行う。ま



(a) Pattern 1

(b) Pattern 2



(c) Pattern 3

Fig.2 Contact conditions between floor and tensegrity robot

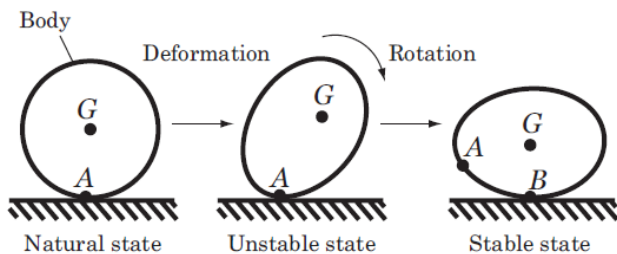


Fig.3 Principle of rolling by outer shell deformation

た、外殻変形による移動原理を図3に示す。図中の点Gを本体の重心位置とする。図では簡単にするため、外殻を一樣な材料とし、その形状が円形であり点Aで接地しているとする。アクチュエータにより外殻を変形させると、重心位置Gが移動する。これによりポテンシャルエネルギーに勾配が発生し、ロボットと地面との接触点の周りに、重力によるモーメントが生じる。このモーメントの作用により、ロボットは地面の上を転がり、移動する。たとえば、図の場合は右回りにモーメントが発生し右方向に移動する。その結果、点Aとは異なる点Bにて外殻は安定形状となる。このように外殻変形によって、転倒を行うことができる[6]。

3.2 外殻変形方法

本機構の外殻変形方法としては、本機構においてアクチュエータで構造上接続可能である2つの頂点を接続し、アクチュエータを収縮させることで接続点である2点間に収縮力を与え、外殻を変形させる方法を用いた。本報告で用いるテンセグリティ構造を変形立方体であると考え各頂点に図4に示すように頂点番号をつける。図4の標記にしたがうと本報告では(0,7), (0,8), (0,9), (0,10), (0,12), (0,13), (0,14), (0,15), (0,16), (0,17), (0,18), (0,19), (0,20), (0,21), (0,22), (0,23)の16通りの組み合わせにおいてアクチュエータを接続し、外殻変形による転倒実験を行った。

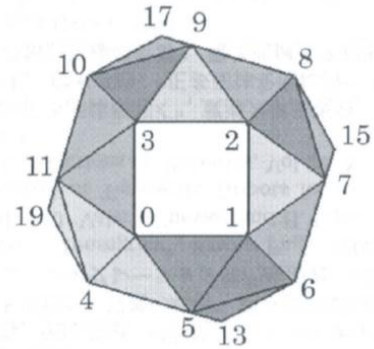


Fig.4 Vertices of a 12-compressive elements tensegrity

4. 実験

本章ではPattern 1における6通りの接地状態およびPattern 2における8通りの接地状態においてアクチュエータの外殻変形による転倒が可能であるかを検証する。また、アクチュエータの接続組み合わせは3.2節で示したように16通りの組み合わせを検証した。本実機ではPattern 3における24通りの接地状態において実機が安定を保てなかったため外殻変形による転倒の確認は行わなかった。

4.1 実機

図5に製作した実機を示す。本機構は図5の姿勢で全高約600mm、全幅約750mmである。ただし、柔軟な構造のため大きさはその都度様々な要因により微小変化する。また、重量は約2.5kgである。本機構では圧縮材に長さ580mm、φ10mm、113.5gの鉄パイプを、張力材に長さ220mm、ばね定数375N/m、12gのゴム紐を使用した。アクチュエータとして空気圧アクチュエータFESTO製MXAM-20-AAを用いた[7]。アクチュエータ全体の長さは約500~550mmに可変、重さは約420gである。実験時には0.5MPaで使用し、収縮率約17%であった。

4.2 実験結果

実験結果としてPattern 1においては転倒を確認することができなかった。Pattern 2においての実験結果は表1のような一部の組み合わせの場合においてのみ転倒を確認できた。また本構造は対称性を持っているため、同じ形状の組み合わせは複数個存在するので、その組み合わせにおいても転倒可能であるといえる。この結果から一部の面のみでしか転倒を行えなかった原因として、アクチュエータの収縮による変形量が少ないことが主として想定される。また、Pattern 2では一部の面のみで転倒を確認できたが、Pattern 1においては全ての面において転倒を確認できなかったことから、Pattern 1はPattern 2に比べ、接地点が多いこと、接地面積が大きいことで安定性がより高いことが転倒をできなかった主な原因として想定される。

これらの原因を解消するために、アクチュエータを2本に増やし、実機の変形量を大きくすること。本機構において正方形を構成している張力材のみを短くすることで、Pattern 1においての接地面の面積を減少させ安定度を下げるという2つの改善を行った。改善後の実機は図6のようになっており、正方形を構成する部分の張力材の長さは110mmに短くした。

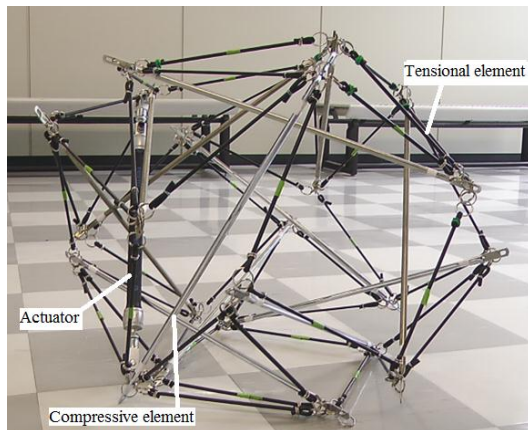


Fig.5 Deformable robot with tensegrity structure

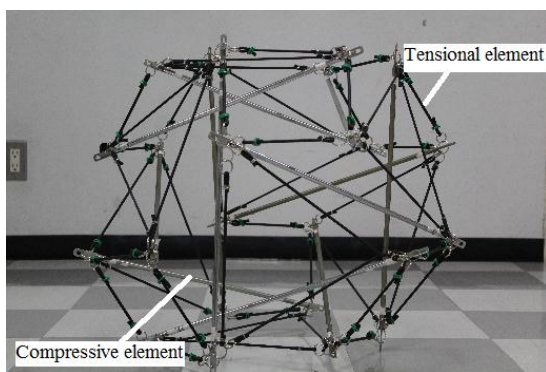


Fig.6 Deformable robot with tensegrity structure after improvement

また、アクチュエータを2本にしたことで、接続組み合わせの数が大幅に増加した。なので、本機構において転倒を行うのに適している変形量を得られそうな接続パターンを選定し、その組み合わせにおいてのみ再度実験を行った。改善後の実験結果を表2に示す。表2より Pattern 1 において転倒を確認できたが、一部の張力材を短くしたことで、圧縮材の配置形状が変化し Pattern 2 において転倒を確認することができなくなった。これらの結果から、提案する機構において Pattern 1 および Pattern 2 のどちらかにおいては転倒可能であることは確認できたが、Pattern 1 および Pattern 2 の両方において転倒が可能であることは確認できなかった。

5. 結言

本報告では、外殻に圧縮材12本を使用したテンセグリティ型柔軟移動ロボットを製作し、転倒の検証を行った。接地面形状により転倒可能性に関して大きな差があること。また、張力材の長さ、本機構の変形量を変化させることで異なった実験結果が得られたことから、転倒を実現するには本機構の変形量および安定性が大きく影響を与えることが確認できた。

今後の課題としては、Pattern 1 および Pattern 2 においての全ての面で転倒を実現することが主な課題として挙げられる。そのためには張力材およびアクチュエータを新たに選定する。張力材にはバネなどを用いて張力を強くすることで、アクチュエータの収縮に対する実機の変形量を大きくする。アクチュエータには本報告で使用したものより、収縮率が高いもの

Table 1 Rolling from Pattern 2

アクチュエータ 接続組み合わせ	転倒前接地面	転倒後接地面
(0,20)	(18,19,23)	(20,21,22,23)
(0,21)	(18,19,23)	(20,21,22,23)
(0,22)	(18,19,23)	(20,21,22,23)
(0,23)	(18,19,23)	(20,21,22,23)

Table 2 Rolling from Pattern 1

アクチュエータ 接続組み合わせ	転倒前接地面	転倒後接地面
(0,7)(0,12)	(5,6,13,14)	(1,6,7)
(0,7)(0,19)	(5,6,13,14)	(1,6,7)
(0,7)(0,23)	(5,6,13,14)	(1,6,7)
(0,13)(0,9)	(4,11,12,19)	(0,4,5)
(0,13)(0,17)	(4,11,12,19)	(0,4,5)
(0,13)(0,18)	(4,11,12,19)	(0,4,5)

を使用し変形量を大きくする。これらの方法により、Pattern 1 および Pattern 2 の全ての面において転倒を実現すること、Pattern 1 および Pattern 2 の両方において転倒可能である機構の実現を行うことを今後の検討課題とする。

参考文献

- [1] 杉山勇太 平井慎一著：“柔軟ロボットの変形を用いた移動と跳躍”，日本ロボット学会誌，2006.
- [2] 西條文雄 柴田瑞穂 平井慎一著：“テンセグリティ型柔軟移動ロボットの実験的検討”第26回日本ロボット学会講演集，2008.
- [3] 小泉佑介 柴田瑞穂 平井慎一著：“テンセグリティロボットの連続転がりの評価”第29回日本ロボット学会講演集，2011.
- [4] 小泉佑介，柴田瑞穂，平井慎一著：“Pre-pressure controlによるテンセグリティロボットの能動的変形制御”日本ロボット学会第30回学術講演会予稿集，2012.
- [5] 網干雄城，平井慎一著：“ストラット駆動型テンセグリティロボットの転がり移動”，日本ロボット学会第30回記念学術講演会予稿集，2012.
- [6] 柴田瑞穂，西條文雄，平井慎一著“テンセグリティ型柔軟移動ロボットの移動戦略”日本ロボット学会第27回学術講演会予稿集，2009.
- [7] “FESTO Japan Web site”(2013/2/7 現在)
<http://www.festo.com/net/jajp/SupportPortal/InternetSearch.aspx/>.