



Title	歩行するテンセグリティロボットの開発
Author(s)	松本, 旺二郎
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/60319
rights	
Note	

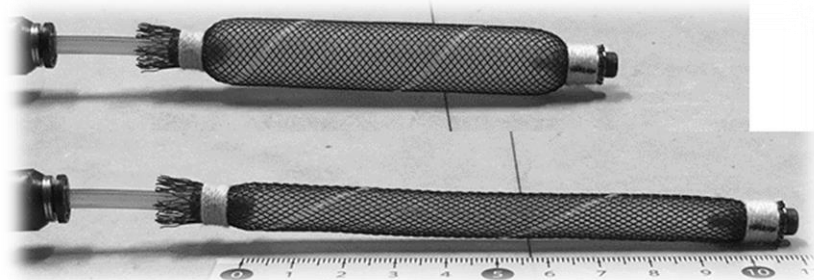
The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	まつもとおうじろう 松本旺二郎	学部 学科	基礎工学部 システム科	学年	2 年
ふりがな 共 同 研究者名		学部 学科		学年	年
					年
アドバイザー教員 氏名	いけもとしゅうへい 池本周平	所属	大阪大学大学院基礎工学研究科 システム創生専攻		
研究課題名	歩行するテンセグリティロボットの開発				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。				
1. 初めに 本研究では、胴体が柔軟に変形することで歩行を実現するロボットの開発を行った。より生物らしく歩行させるため、次の二つのポイントを取り入れた。 1. 柔軟に変形できるテンセグリティ構造を胴体を用いる。 2. テンセグリティ構造を変形させるため、マッキベン型空気圧人工筋肉を用いる。 テンセグリティ (Tensegrity) とは、一般的に紐の張力と棒の圧縮力（応力）によって成り立つ立体構造であり、Tension(張力)と Integrity(統合)からなる造語である。弾力性のある紐を用いることで変形可能な立体構造を形成できる。 マッキベン型人工筋肉とは、圧縮空気によって圧縮・伸長するアクチュエータである（画像1）。この空気圧人工筋は柔軟かつ軽量で高出力、安価に自作できるという利点を持つ。また、生物の筋のように張力のみを受け持つアクチュエータであることから、テンセグリティ構造の変形に適したアクチュエータといえる。 生物の筋骨格は、筋肉が張力を受け持ち、骨格が圧縮力を受け持つ一種のテンセグリティ構造とみなせることから、上記の二点を用いたロボットは生物の身体の単純なモデルに成り得る。そのため、このロボットによる歩行の実現は、生物の運動の理解と応用につながる。また、柔軟性と変形性を利用した転がりロボットや、宇宙船の狭いスペースに収納でき衝撃に強い宇宙開発ロボットに応用する研究もなされおり、幅広い応用が期待できる（参考文献に記載）。					



画像 1：圧縮、伸長した空気圧人工筋

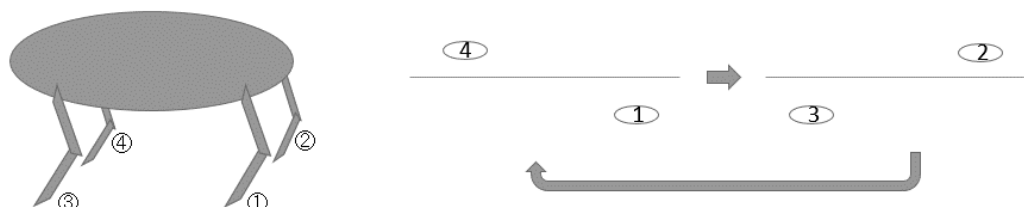
2. 目的・目標

本研究の目的は、テンセグリティ構造を空気圧人工筋で変形させ歩行する小型歩行ロボットの開発である。目的のロボットは、テンセグリティ構造を胴体とし、それに脚を取り付け、空気圧人工筋によって胴体を変形させることで脚を動かすものとした。計画遂行にあたり、以下のように具体的な目標を設定した。

- ① 圧縮でき、衝撃に強いテンセグリティ構造の胴体を作成すること。
- ② 作成したテンセグリティ構造に簡易な足を取り付け、歩行させること。
- ③ 歩行を実現したのち、最適な足の構造を作成すること。

また、以下の二点を満たすかどうかで歩行の評価を行った。

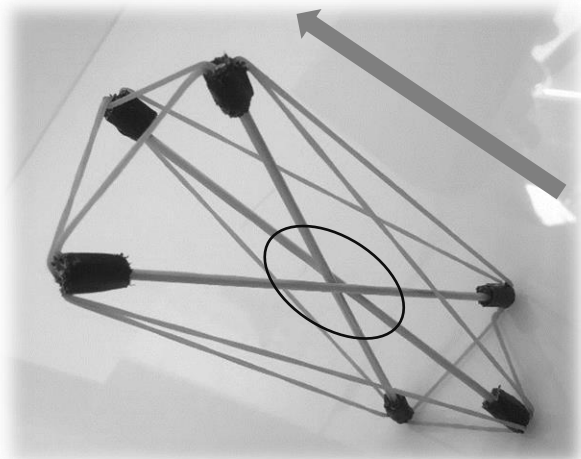
1. 斜対歩（画像 2）の歩容が実現可能である。
2. 前進する。



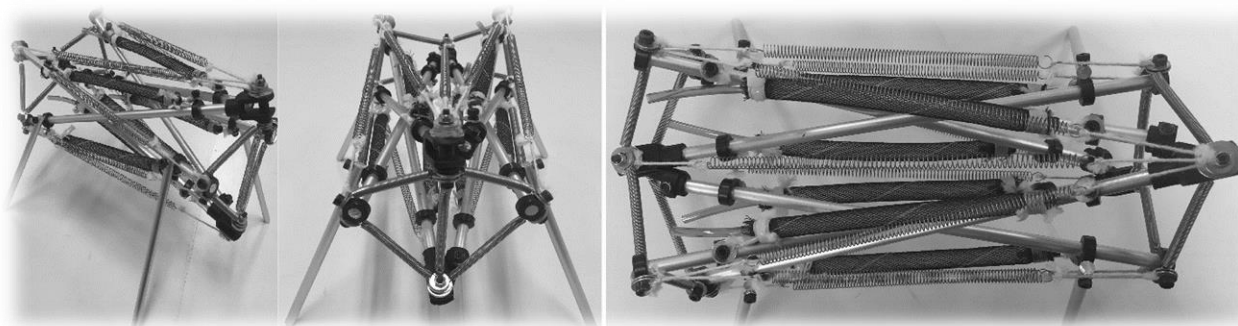
画像 2：斜対歩の歩容。左を四足ロボットとすると、右のように各足を設置させながら前進する。
歩容パターンが二通りだけかつ重心が常に中心にあるという単純さが特徴である。

3. 装置

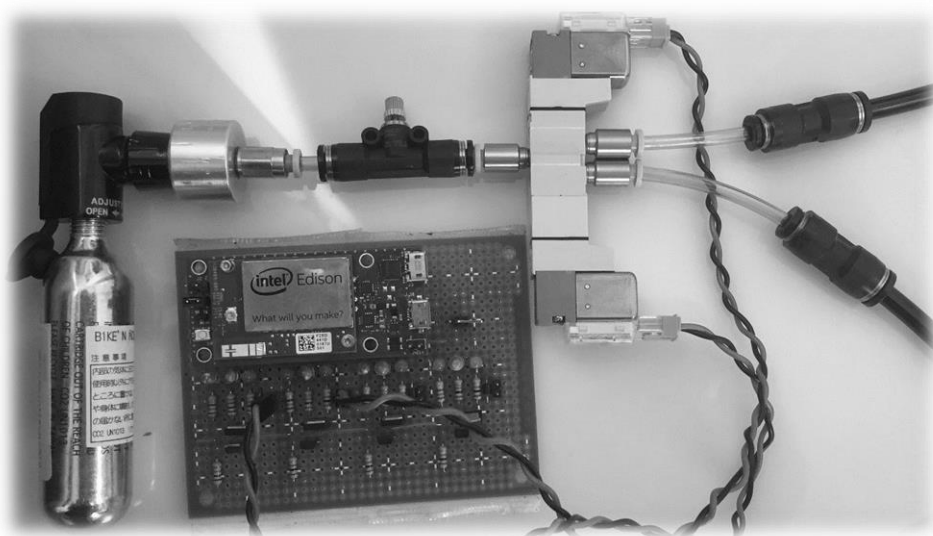
テンセグリティ構造は画像 3 のように単純なものを利用した。ただし、このテンセグリティ構造は画像矢印方向を軸とした回転方向が存在するので、回転を打ち消すために二つ組み合わせて、画像 4 のテンセグリティロボットを作成した。空気圧人工筋を電磁弁で操作し、空気圧源は小型の CO₂ ボンベとした（画像 5）。パソコンと SSH 通信する小型コンピューター Edison と自作基盤からなる回路で電磁弁を制御した（画像 5）。



画像 3：単純なテンセグリティ構造。丸で囲んだところに回転の方向が確認できる。



画像 4：完成したテンセグリティロボット。画像 3 の構造を二つ並べたものを一つにまとめている。主にアルミ棒と引っ張りバネで構成されている。足の先端には一方向に進みやすい構造を持つゴムが取り付けられている。空気圧人工筋は合計六本使用、組み付けは後述する。



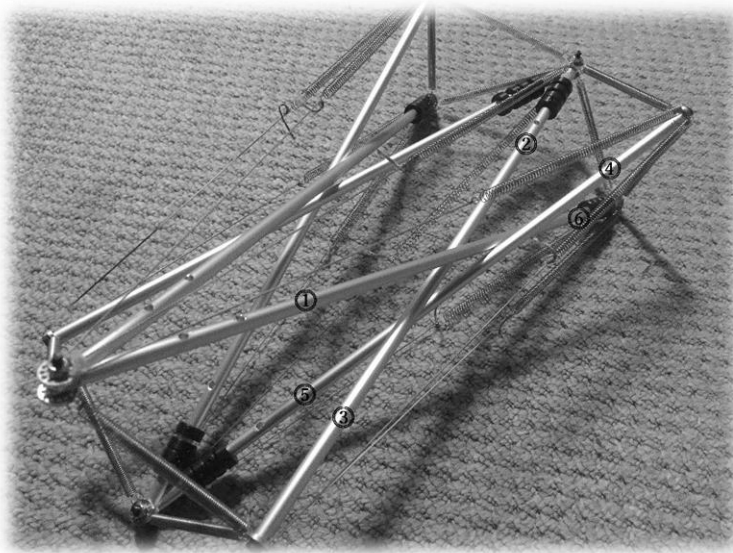
画像 5：中央の回路が右上の電磁弁を制御し、左の炭酸ボンベから送られる圧縮空気を空気圧人工筋内に出し入れする。Edison の出力電圧が小さいので MOSFET で二段階の昇圧を行っている

4. 実験内容

作動させる空気圧人工筋の組み合わせ、電磁弁の開け閉めの周期を変更し板の上を歩行させる。歩行が目的の歩容になっているかどうかを確認したのち、一定時間以内にどの位置まで移動するかを計測する。

5. 実験

空気圧人工筋は以下（画像 6 説明）のように取付けた。



画像 6 : ①-②、③-④、⑤-⑥をそれぞれ結びつけるように空気圧人工筋を取り付けた。反対側も対称に取り付けられている。前者の組をそれぞれ A、B、C、反対側も順番を対象にとって D、E、F とおき、空気圧人工筋の名称とする。

完成したロボットを一メートル上からかたい床に落下させたところ、取り付けられた足の根本のボルトが緩む程度で破損は確認できなかった。

また、テンセグリティ構造の断面は無負荷時に 60mm×100mm であったが、手で圧縮すると 40mm×100mm、または 60mm×50mm まで変形させることができた。

自作し使用した六本の空気圧人工筋は長さ約 100 mm、6 気圧の空気を入れたとき約 75 mmまで収縮した。

六本の空気圧人工筋においては片方が圧縮されているとき伸長する、もう片方が伸長しているときに圧縮する、使用しないという 3 つの組に分けた。歩容の実現まで合計 5 パターンを試した。

A-B-C と D-E-F の圧縮・伸長…体を大きく左右に振り、斜対歩ではないが前進。

A と D の圧縮・伸長 …斜対歩の動きを再現、だが全体の変位が少なく前進しない。

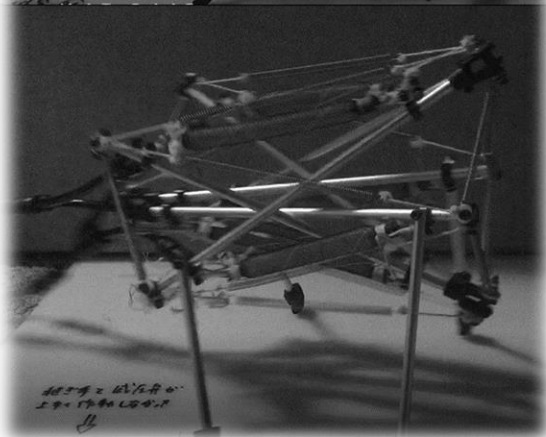
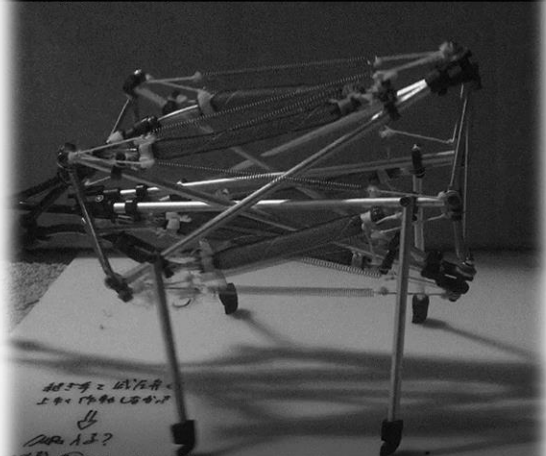
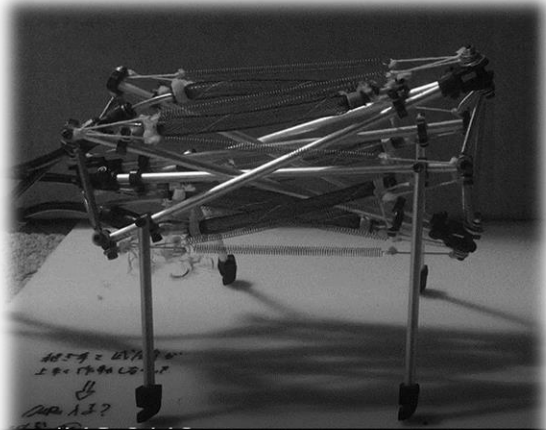
A-B と D-E の圧縮・伸長 …1 番目とほぼ同じ動き。

A-C と D-F の圧縮・伸長 …2 番目とほぼ同じ動き。

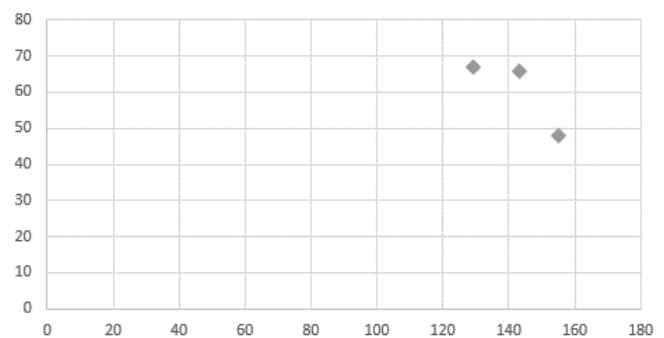
A-E と B-D の圧縮・伸長 …斜対歩の動きを再現かつ前進、左右の揺れが一番目より少ない。

以上により、以降は 5 番目の組み合わせを用いて歩行の実験を行った（5 番目の歩容は画像 7）。

上述した歩容を 10 秒間継続させたときの座標の変化を測定した。それぞれ圧縮伸長の入れ替わりが 0.1 秒と 0.5 秒の 2 つの場合を計測した。データは下グラフ 1, 2 で示す。



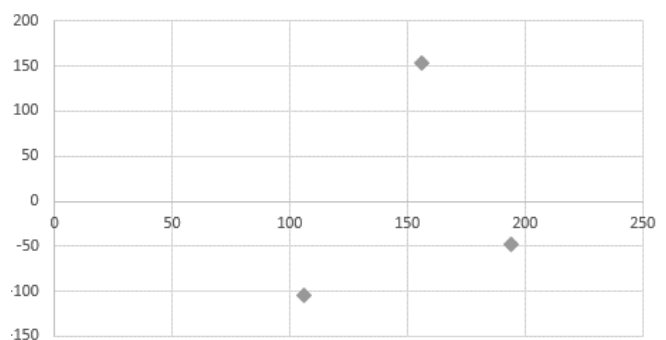
0.1秒周期



グラフ 1 : 0.1 秒周期の時の移動距離

三点の座標はそれぞれ(129, 67)、
(143, 66)、(155, 48)で移動距離は
約 145、157、162 (mm)

0.5秒周期



グラフ 2 : 0.5 秒周期の時の移動距離

三点の座標はそれぞれ(156,154)、
(106、-105)、(194、-48)で移動距離は
約 219、150、200 (mm)

画像 7 : 歩容の様子 (0.5 秒周期時)

6. 結果・結論

目標③についてはとりかかることができなかった。また、炭酸ボンベの圧力調整がうまくいかず、想定以上の圧力が空気圧人工筋にかかることが多く、その結果空気圧人工筋を何度も破裂させ十分なデータが取れなかった。この点を踏まえ、当初の目標について述べる。

目標①について

構造が大きく変化するほど圧縮でき、高い位置から落下させても破損しないテンセグリティ構造を作成することができた。

目標②について

作成した胴体に足、空気圧人工筋の取り付け、特定の動作の組み合わせによって斜対歩の再現ができた。グラフ 1, 2 から機体がまっすぐ前進できていないことがわかる。これは空気圧源の配線による外力や僅かな機体の非対称性に依るものだと考えられる。また、周期を短くすると直進性は上昇するが進む距離が少なくなるとも読み取れる。周期が短くなると構造が変形できる時間も短くなり構造が最大限まで変位できなくなる。足が大きく動かないことにより移動距離が短くなるが、代わりに対称性の崩れが少なくなりまっすぐ進みやすくなるからだと考えられる。

電源、空気圧源、回路、電磁弁はロボット本体に内蔵できるように作成したが、空気圧源にとりつけた自作の継手からの CO₂ の流出が大きく、膨張した空気による冷却が起す破損を防ぐために内蔵は断念した。また、前述の継手の不具合により空気圧の調整がうまくできなかったとも考えられる。

今後は本研究で作成したテンセグリティ構造に空気圧人工筋で伸長する足を取り付け歩行させることを検討している。また、基板や電源、空気圧源の内部に搭載し、圧縮空気を安全に取り扱うよう対策を施す。この 2 つを達成したのちに、ロボットを SSH 通信で無線操作し、斜対歩以外の歩容を試行し、また方向転換できる歩き方の模索をしていく予定だ。

参考文献

- [1] 川井郁弥、平井慎一 「ストラット駆動型テンセグリティロボットの 転がり移動の実験的評価」
<http://www.hirailab.com/pub-presents/15/RoboSymp2015.pdf> (2016/12/12 最終閲覧)
- [2] *Laura Hall* 「Super Ball Bot」 July 31, 2015
<https://www.nasa.gov/content/super-ball-bot9> (2016/12/12 最終閲覧)