様式６

申請先学部　　基礎工学部　採択番号　No.8

# 平成３０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<br>氏　　名 | きぬがわ　たくま<br>衣川　琢磨 | 学部<br>学科 | 基礎工学部<br>システム科学科 | 学年 | 3 年 |
| ふりがな<br>共　同<br>研究者氏名 | | 学部<br>学科 | | 学年 | 年 |
| | | | | | 年 |
| | | | | | 年 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| アドバイザー教員<br>氏名 | いけもと　しゅうへい<br>池本　周平 | 所属 | 大阪大学基礎工学研究科<br>システム創成専攻 |
| 研究課題名 | 転倒状態を停止状態として利用可能な 1 脚ロボットの開発 | | |
| 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。（先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。） | | |

1. 初めに

1 脚ロボットの跳躍・走行は、最も単純な脚移動として扱いが簡単な反面、常に動き続けなけ ればバランスをとることができない。もし、止まった状態でもうまくバランスをとる方法、さら に、動いている状態からバランスのとれた止まった状態になる方法があるなら、1 脚ロボットの 単純さを活かした応用が見つかる可能性がある。しかし、1 脚ロボットを転倒しないように跳躍・ 走行させることはもちろん、減速・停止することも技術的に難しい問題である。そこで、転倒を 許容するように 1 脚ロボットを設計し、あえて転倒させることで安定に停止した状態にするとい うアイデアを発想した。転倒したロボットは、それ以上こけることができない、すなわちそれ以 上バランスを崩すことがないので、転倒しても壊れないようにし、転倒しても跳躍・走行が再開 できるようにすれば、転倒した状態を一番バランスのとれた状態として静止するときに利用でき るのではないか、と考えた。また、1 脚ロボットは外部から押されるなどをされるとバランスを 崩しやすく、転倒しないようにすることは技術的に難しい。しかし、バランスを崩して転倒して しまった時を一番バランスのとれている時とすると、予測不能な外乱に対して強い 1 脚ロボット になるのではないか、と考えた。このような技術的に難しい問題を可能な限り減らした 1 脚ロボ ットは、実用性にも期待できる。

2. 目的・目標

本研究の目的は転倒することを前提とした 1 脚ロボットの作成である。目的のロボットは参考文献にあるデルタリンクロボットの機構を用いたものとした。目的を達成するために以下の目標を設定した。

i.　パラレルリンクロボットの脚機構の作成

下記項目 3. において機構を外装で覆う必要があるため、機構自体をコンパクトにする必要が

ある。そこで、今回はデルタリンク機構を採用する

ii.　デルタリンクロボットの足の位置制御

脚機構に跳躍をさせるためには、足先を所望の位置に持っていくことができなくてはならない。

iii.　機構を柔軟な外装で覆い、跳躍制御

転倒した際、内部の脚機構が壊れないような外装を作成。また、転倒しても再び跳躍することが可能な外形にすること。

3. 装置

デルタリンクロボットを以下の図 1 に示す。

図 1：デルタリンクロボット

次に転倒して、停止状態になっているデルタリンクロボットを図 2 に示す。転倒した後再び、跳躍が可能になるように、そして脚機構が壊れないようにするために停止状態では足先をフレームよりも上にくるようにしている。

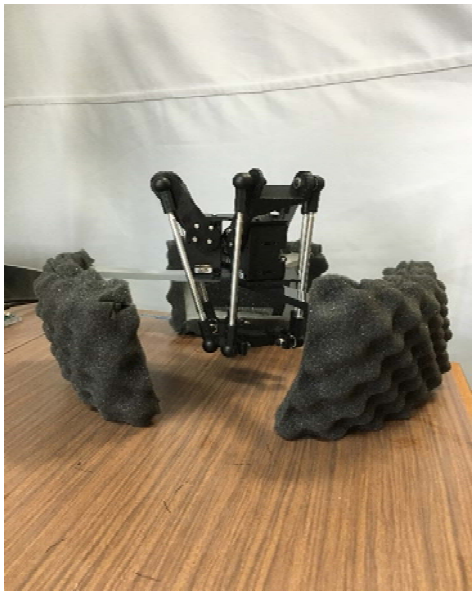

図２：停止状態のデルタリンクロボット

4.　実験

4.1　足先の位置制御

デルタリンクロボットの関節を以下の図３のように区別するとする。この図３は参考文献を参考にして作成したものである。デルタリンクロボットの足先を動かすために、逆運動学を足先の位置を指定したときそれぞれのモータを何度回転させればよいかを求めた。求める方針としては、三つの E の z 座標を求めて、そこから逆三角関数をもちいて角度 $\theta$ を求めた。

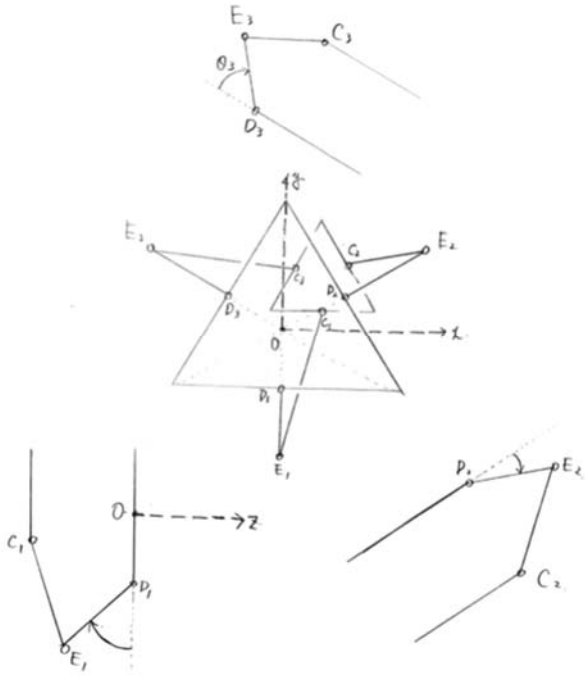


図３：デルタリンクロボットの関節と座標系

以下のように座標と文字をおく。ただし、1，2，3 の添え字は省略している

$$\mathrm{C}(\mathrm{x_c},\mathrm{y_c},\mathrm{z_c}),\mathrm{D}(\mathrm{x_d},\mathrm{y_d},\mathrm{z_d}),\mathrm{E}(\mathrm{x_e},\mathrm{y_e},\mathrm{z_e}),\overline{DE}=r_f,\overline{EC}=\mathrm{r_e}$$

今回のジョイントから D は円運動を行い、C は球面上を運動するような機構になっている。そこで、[①中心 D、半径$r_f$の球の方程式]、[②関節 D が円運動する平面の方程式]、[③中心 E、半径$r_e$の方程式]、の三つの方程式から z を特定できると考えた。①③については上で与えた文字を使えば表すことができる。②について平面の方程式をそれぞれのモータについて表す。

$$\mathrm{motor1}:\mathrm{x}=0$$
$$\mathrm{motor2}:\mathrm{y}=\sqrt{3}x$$
$$\mathrm{motor3}:\mathrm{y}=-\sqrt{3}x$$

得られた結果を以下に示す。ただし、モータ 1 から接続されているリンクの E の z 座標を$\mathrm{z_e^1}$、モータ 2 から接続されているリンクの E の z 座標を$\mathrm{z_e^2}$、モータ 3 から接続されているリンクの E の z 座標を$\mathrm{z_e^3}$ とする。

$$\mathrm{z_e^1}=\frac{-(-2A\bar{z}-m\bar{y}\bar{z}+n\bar{y})\pm\sqrt{(-2A\bar{z}-m\bar{y}\bar{z}+n\bar{y})^2-4(\bar{z}^2+\bar{y}^2)(A^2+Am\bar{y}+\bar{y}C)}}{2\left(\bar{z}^2+\overline{y^2}\right)}\quad \ldots.(1)$$

$$\mathrm{z_e^2}=\frac{-(-8A\bar{z}-\alpha_2\bar{z}+n\alpha_1)\pm\sqrt{(-8A\bar{z}-\alpha_2\bar{z}+n\alpha_1)^2-4(4\bar{z}^2+\alpha_1)(4A^2+\alpha_2A+\alpha_1C)}}{2(4\bar{z}^2+\alpha_1)}\quad \ldots.(2)$$

$$\mathrm{z_e^3}=\frac{-(-8A\bar{z}-\beta_2\bar{z}+n\beta_1)\pm\sqrt{(-8A\bar{z}-\beta_2\bar{z}+n\beta_1)^2-4(4\bar{z}^2+\beta_1)(4A^2+\beta_2A+\beta_1C)}}{2(4\bar{z}^2+\beta_1)}\quad \ldots.(3)$$

$$\mathrm{A}=\frac{1}{2}(r_e^2-r_f^2+x_d^2-x_c^2+y_d^2-y_c^2+z_d^2-z_c^2)$$
$$\mathrm{C}=\mathrm{x_d^2}+y_d^2+z_d^2-r_f^2$$
$$\bar{x}=x_d-x_c,\bar{y}=y_d-y_c,\bar{z}=z_d-z_c,\mathrm{l}=-2\mathrm{x_d},m=-2y_d,n=-2z_d$$
$$\alpha_1=\left(\sqrt{3}\bar{x}+\bar{y}\right)^2,\alpha_2=\left(\sqrt{3}l+m\right)\left(\sqrt{3}\bar{x}+\bar{y}\right),\beta_1=\left(-\sqrt{3}\bar{x}+\bar{y}\right)^2,\beta_2=\left(-\sqrt{3}l+m\right)\left(-\sqrt{3}\bar{x}+\bar{y}\right)$$

$\mathrm{z_e^1},z_e^2,z_e^3$は 2 つの値をとることができるが、脚機構が内側に折れないように 1 つに決定した。
上で求めた$\mathrm{z_e}$ からモータの水平方向からの角度$\theta$を求めるには

$$\theta=\sin^{-1}\left(\frac{z_e}{r_f}\right)\quad \ldots.(4)$$

とすればよい。ただし 1，2，3 の添え字は省略してある。

上記の式を用いてデルタリンクロボットを動かすことはできた。しかし、ゆっくり動かす、あるいは単純な運動しか行うことができなかった。
作成したプログラムでは常に現在どれくらい回転しているのかをモータから読み取りそれが上記の式で求めた目標角度に近づけば、次の目標角度を与えるということをしていた。そのフローチャートを以下に示す。

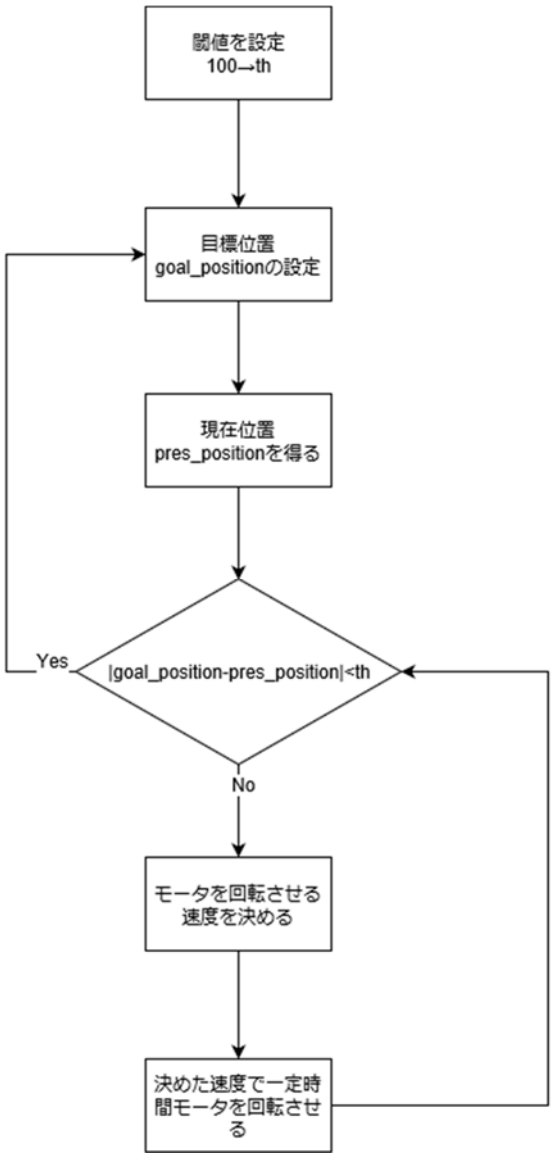


図 4：現在の回転角から目標角を更新するプログラムのフローチャート

しかし、データを読み取り、一致しているかどうか確認している間、上記の式を解いている間にモータは回転してしまい上手く制御できなかった。
そこで、今回は解決策が見つけられなかったので、次の 4.2 跳躍制御ではループが回った回数に応じて回転速度を決めるという手段をとった。

4.2　跳躍制御

実際にロボットを動かしたときのモータの回転角度を以下に示す。ただし、スタートを 0 として、そこから$\overline{DE}$を z 軸の正の方向にあげる方向を正とした。また、縦軸の単位は[度]である。

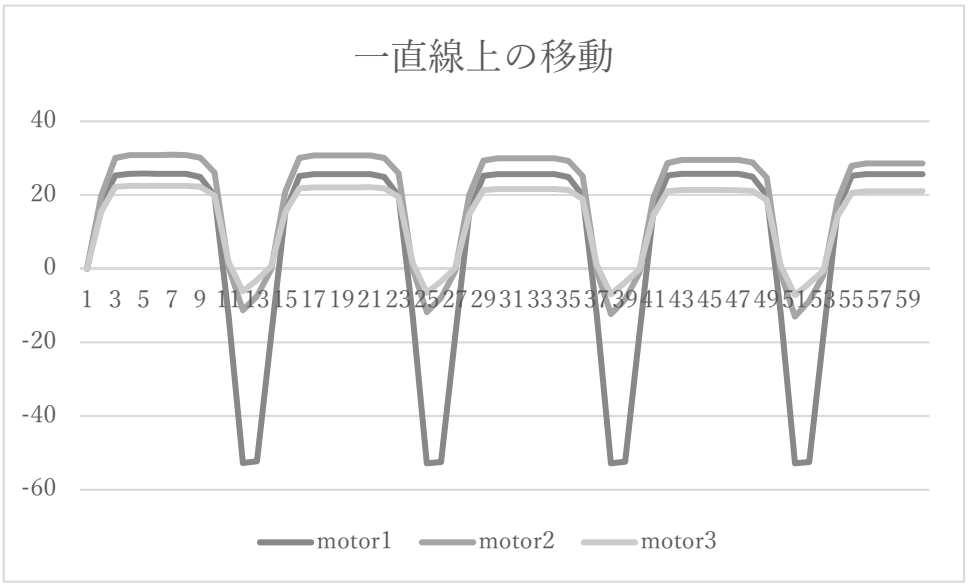


図 5：一直線上に移動させた際のモータの回転角

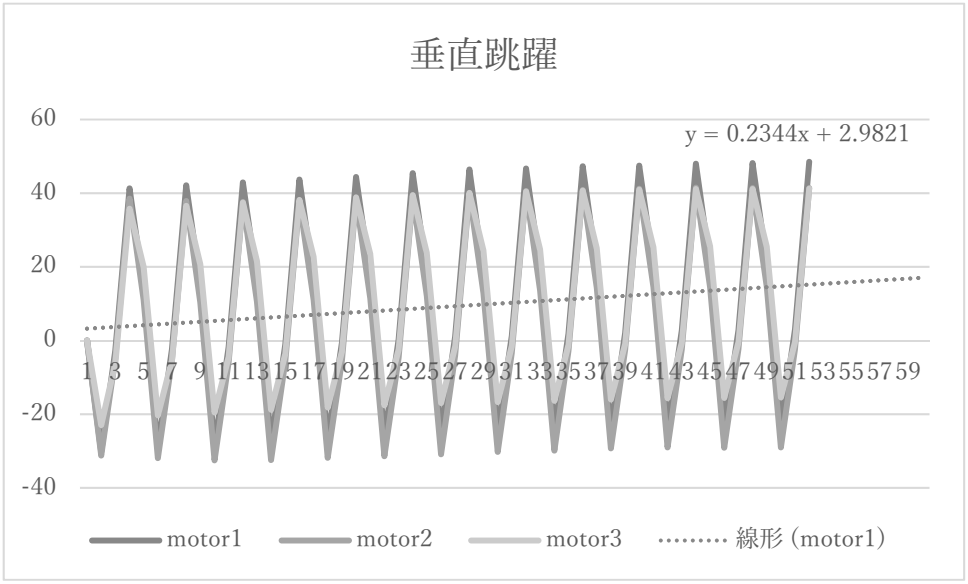


図 6：モータを垂直に跳躍させた際のモータの回転角

垂直の跳躍について、モータ 1 とモータ 3 の差の絶対和の平均を計算すると以下のようになった。

絶対和の平均=63.84615

これは角度にすると、約 5 度になる。つまり、モータ 1 とモータ 3 は平均して 5 度ずれて運動していることになり、これではデルタリンクロボットが傾いてしまい跳躍できずに転倒してしまう。

しかし、今回作成したロボットは転倒状態を停止状態とするため連続で跳躍を行うことができた。

5. 結果・結論

当初 2. でたてた目標は概ね全て達成できた。それぞれの目標について述べる

i. デルタリンクロボットの脚機構作成について

脚機構を作成する際、気を付けたのが大きさを以下に小さくするか、ということであった。これは$\overline{DE}, \overline{CE}$の長さを可動域が狭くなりすぎない範囲で短くすることで達成することができた

ii. デルタリンクロボットの足の位置制御について

これは上の式(1)(2)(3)(4)を用いることで達成できた。しかし、3 つのモータに対して順番に一つずつ入力を与えるので、どうしても最初に書きこんだモータと最後に書き込んだモータでは、ずれが生じてしまい実際に跳躍させる際には上の式(1)(2)(3)(4)を使用することができなかった。

iii. 柔軟な外装で覆い、跳躍させることについて

これは周りにスポンジで作成したシールドをつけることで達成できた。重心の位置を低くしたため、次の跳躍が始まる前に揺れをおさめることができた。また、実際に実験で跳躍をさせている間、デルタリンクロボットの機構そのものに破損等はなかった。

図 6 において、モータ 1 の回転角を直線近似すると右肩上がりになっているのが分かる。今回実験した回数では問題なかったのだが、垂直跳躍を長時間行い続けると、$\overline{DE}$が真上を向き特異姿勢になってしまう可能性があると考えられた。

今後は、作成したデルタリンクロボットを垂直跳躍と一直線上の移動を組み合わせ、よりスムーズに移動できるようにすることを計画している。これが達成することができれば、どうすれば式(1)(2)(3)(4)を使い跳躍をさせることができるかを検討し、試行していくつもりである。これら二つのことが達成されれば、どんな所望の位置にも移動することが可能なロボットの開発にかなり近づくと考えている。

参考文献

http://www.cim.mcgill.ca/~paul/clavdelt.pdf