Osaka University Knowledge Archive

Title	多自由度多脚歩行ロボットの開発
Author(s)	二階堂, 颯佳
Citation	令和元（2019）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2020
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/75995
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

様式６

申請先学部　　工　学部　採択番号　No.　9

２０１９年度大阪大学未来基金【住野勇財団】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	にかいどう　ふうか 二階堂　颯佳	学部 学科	工学部 電子情報工学科	学年	２年
ふりがな 共同 研究者氏名	かわもと　こうへい 川本　浩平	学部 学科	工学部 電子情報工学科	学年	２年
	かつせ　たちばな 勝瀬　橘		工学部 電子情報工学科		３年
					年
アドバイザー教員 氏名	いしかわ　まさと 石川　将人	所属	工学研究科 機械工学専攻		
研究課題名	多自由度多脚歩行ロボットの開発				
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.　研究背景・目的

ロボットを屋外で動作させる場合、様々な地形に柔軟に対応できる移動機構が求められる。大学内だけを見ても建物内の階段や側溝など単純な車輪のみによる移動が困難な場所が多く見られる。今回はそのような複雑な地形の踏破が可能な移動機構の一つである大型の多自由度歩行ロボットの開発を行うことにした。

開発当初は各脚の先端部分に車輪を取り付け車輪と歩行によるハイブリッド移動を目指す予定であったが、研究の遅れなどにより車輪の実装が間に合わなかったため、今回は車輪を搭載しない歩行機能のみを持ったロボットについての研究報告となる。

2.　設計・研究方法

2.1 機構

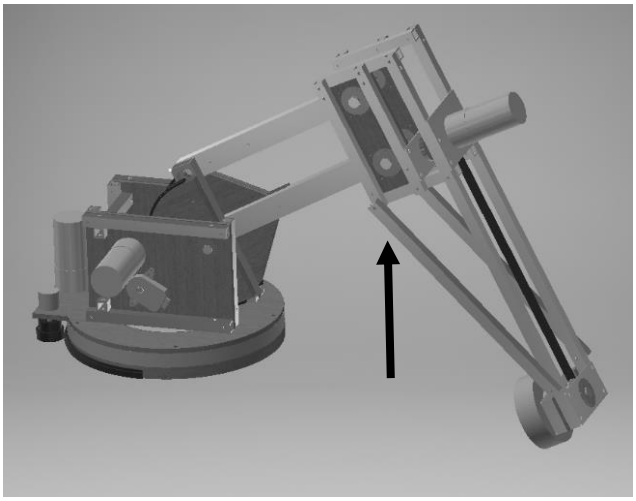


図 1. 機体に搭載されている脚の構造

今回は各脚３自由度をもつ四足歩行ロボットの開発を行った。

各脚の形状は図 1 のような昆虫の脚を模したような形状となっている。脚の移動にともなう重心移動を最低限にとどめるため、図中において図１中の矢印で示された関節については脚の付け根の部分から並行リンクを用いて動作させることで機体質量を脚の付け根に集中させた。

脚は付け根に取り付けられた回転台から上方向に伸ばすように取り付けることで機体重心を低く維持し、動力は樹脂ギアと MDF 製の自作の円盤に取り付けたフレキラックを用いて伝達した。

機体の諸元は以下のようになっている。

機体サイズ（停止状態）	700[mm]×1000[mm]×450[mm]
機体最大展開範囲	1450[mm]×1200[mm]×450[mm]
機体重量(バッテリー、回路を除く)	14.2kg
使用モーター	AO-8033 タミヤギヤードモーター 540K75 を各脚３つずつ使用。
使用エンコーダー	CUI Inc.製　AMT102-V
使用ポテンショメーター	BI テクノロジー（TT エレクトロニクス） 7284 1kΩ 精密ポテンショメータ
電源	Turnigy 5000mAh 3S 20C リポバッテリー を各脚に１つずつ使用。

表１．機体諸元

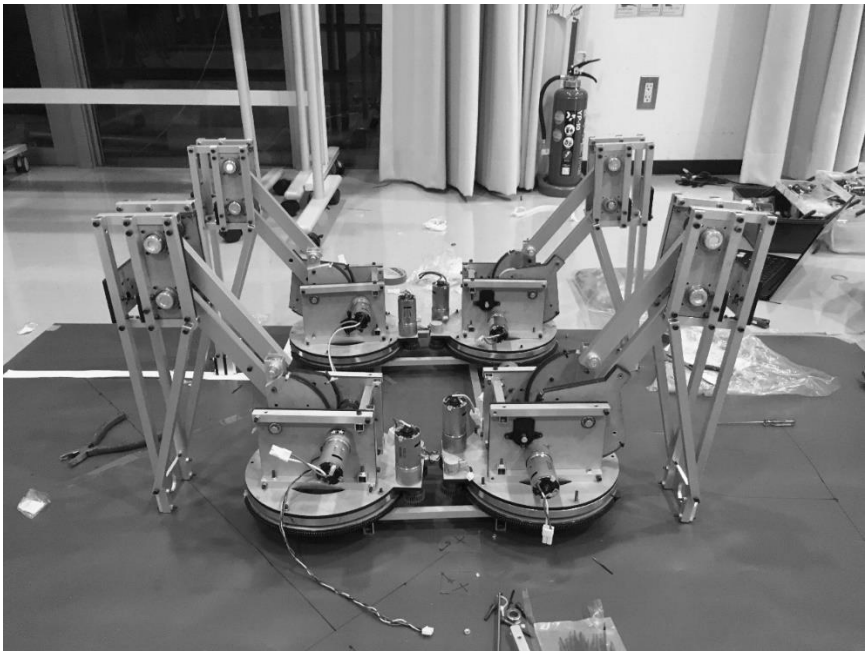


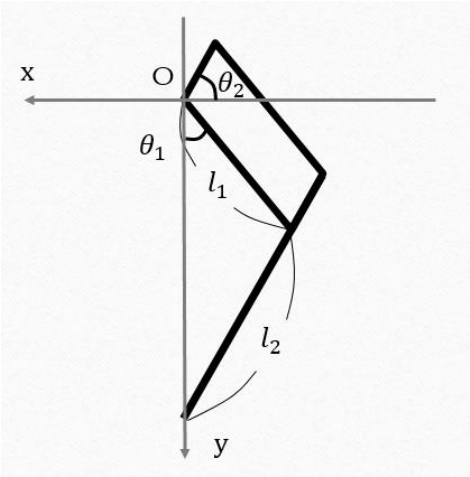
図 2．機体の外観（回路、バッテリーを搭載していない状態。）

2.2 回路

STM32F767ZI NUCLEO マイコンボード用いてメインの軌道演算を行うメイン基板を作成した。また、STM32F303K8T6 マイコンを用いてモーター1 機毎の制御およびロータリーエンコーダ,ポテンショメータの読み取りを行うモータードライバ基板を作成した。モータードライバ基板はメイン基板から CAN 通信を用いて PID 制御に用いる変数である目標値,PID 定数を受け取り、それに従ってエンコーダ,ポテンショメータをフィードバック値とした PID 制御を行う。

2.3 制御

今回の歩行ロボットの脚は付け根の部分に動力(モーターによる回転)があるので、図 3 のような単純なモデルと計算式から脚の先端の二次元デカルト座標系における位置を計算した。



$$x = l_1\cos\left(\theta_1 + \frac{\pi}{2}\right) + l_2\cos\theta_2$$
$$= -l_1\sin\theta_1 + l_2\cos\theta_2$$
$$y = l_1\cos\theta_1 + l_2\sin\theta_2$$

$$\left(0 \le \theta_1 \le \frac{\pi}{2}, 0 \le \theta_2 \le \frac{\pi}{2}\right)$$

上式をθ1、θ2について解くと、
$\sin^2\theta_2 + \cos^2\theta_2 = 1$より、

図３

$$\left(\frac{y - l_1\cos\theta_1}{l_2}\right)^2 + \left(\frac{x + l_1\sin\theta_1}{l_2}\right)^2 = 1$$
$$\leftrightarrow x^2 + y^2 + l_1^2 + 2l_1(x\sin\theta_1 - y\cos\theta_1) = l_2^2$$
$$\leftrightarrow \sqrt{x^2 + y^2}\sin\left(\theta_1 + \tan^{-1}\left(-\frac{x}{y}\right)\right) = \frac{-x^2 - y^2 - l_1^2 + l_2^2}{2l_1}$$

よって、

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{-x^2 - y^2 - l_1^2 + l_2^2}{2l_1\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

$$x^2 = l_1^2\sin^2\theta_1 + l_2^2\cos^2\theta_2 - 2l_1l_2\sin\theta_1\cos\theta_2$$
$$y^2 = l_1^2\cos^2\theta_1 + l_2^2\sin^2\theta_2 + 2l_1l_2\cos\theta_1\sin\theta_2$$

二式を足して整理すると、

$$x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2 = 2l_1l_2(\cos\theta_1\sin\theta_2 - \sin\theta_1\cos\theta_2) = 2l_1l_2\sin(\theta_2 - \theta_1)$$
$$\leftrightarrow \theta_2 = \theta_1 + \sin^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}\right)$$

よって、

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{-x^2 - y^2 - l_1^2 + l_2^2}{2l_1\sqrt{x^2 + y^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}\right)$$

これらの式を用いて、デカルト座標系においての脚の先端の移動経路(歩行サイクル)から各モーターの回転角を計算し、それを目標値として PID 制御をすることにより歩行実験を行った。

実際に使用した歩行サイクルについては

鉛直方向(地面からの高さ)$f(t) = \begin{cases} \cos t & (0 \le t < \pi) \\ 0 & (\pi \le t < 2\pi) \end{cases}$

水平方向　　$f(t) = \sin t$

このようなサイクルを隣り合う脚は半周期(π)ずらして動かすことで歩行を実現する。

また、今回は$\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2}$の状態を初期位置として実験を行った。

3.　実験内容

機体を台上で脚を浮かせた状態での動作実験と実際に床面に置いた状態での２通りの実験を行った。

3.1 台上での実験

実験の様子は図 4 のとおりである。ここには歩行における 1 サイクル分の動作を示した。

今回は回路における技術的問題により、計 12 個存在する駆動用モーターのうち、水平方向の回転を行うモーターを停止し、8 個のモーターのみで動作実験を行った。

図 4.台上での歩行実験（画像は動画を 0.5 秒ごとに切り取り、番号順にならべたもの）

3.2 床上での実験

床の上に合板を敷き、その上で歩行実験を行った。

図 5 中における画像 1 から画像 3 の実験者２名が機体を支えた状態から始動し、画像 4 から画像 10 までの間、機体は画像左方向に移動した。しかし、画像 11,12 において脚部が本体の下に折り込まれ動作を停止した。

　これは予算の都合上、各脚の駆動用モーターを設計当初予定していた RS775-GM からタミヤギヤードモーター 540K75 に変更したことで出力不足が発生し、脚部を目標位置に移動することができなかったからであると考えられる。

図 5.床上での歩行実験（画像は動画を 0.5 秒ごとに切り取り、番号順にならべたもの）

4.　結論

今回の実験で明らかになったことを以下にまとめる。

まず、今回作成したような小型の DC ギアードモーターのみにより駆動する大型の歩行ロボットにおいて移動を行うのは極めて困難であると言わざるを得ない。今回の実験において歩行動作が停止した理由として先述のモーターの出力不足が上げられるが、仮に出力が十分であっても動力伝達部分が高負荷により損傷していた可能性が否定できない。

また、今回作成したような各脚が独立して動作するような歩行ロボットの場合、少なくとも脚部の数だけアクチュエーター及び動力伝達機構が存在し、損傷箇所も多くなるため運用が車輪などを用いるその他の移動機構と比べて困難であると考えられる。

一方で今回作成した機構の特徴として、制御に地形の把握を組み込むことによってロボットの姿勢の安定が崩れない範囲であれば脚の可動域中の任意の点に脚を置くことができるので、ロボットが移動する際に任意の点のみを辿って移動することが可能であり、この機能は別の移動手段と組み合わせて使用することで多様な地形への対応が可能になると考えられ、今後、新たな不整地踏破機構を開発する際にこの機構を応用することが可能であると考えられる。