

作業可能脚機構の構成

Design of a Limb Mechanism for Both Use of Manipulation and Locomotion

○上野澄人*, 大久保宏樹*, 中野栄二*

○Ueno Sumito*, Okubo Hiroki*, Nakano Eiji*

* 東北大学 大学院 情報科学研究科 中野研究室

* Advanced Robotics Lab
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

キーワード: 移動(locomotion), 脚腕統合(integration of leg and arm), 多関節腕(articulated arm), 脚車輪ロボット(leg and wheel robot), コンプライアンス (compliance)

連絡先: 〒981 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学大学院 情報科学研究科 中野研究室
上野澄人, Tel.: (022)217-7025, Fax.: (022)217-7023, E-mail: ueno@robotics.is.tohoku.ac.jp

1. 緒言

ことによる協調作業の研究を行っている。

1.1 本研究の背景

ロボットの導入が待たれている分野に林業、建設業などがある。このような産業でロボットが活躍するためには、不整地環境で移動と作業が行えなくてはならない。

不整地環境の移動を考慮すると脚式移動のロボットが適していると考えられる¹⁾。さらに作業を行う点を考慮するとロボットは腕を持つ必要がある。したがって、経済性の面から脚と腕に区別のない機構を持つロボットが望ましいと考えられる。これに関連した研究として、小谷内²⁾は6節リンク機構を用いた足を6本装備した”MEL-MANTIS”と呼ばれるロボットを用いて、腕転用を考慮した脚機構を提案している。また、木村³⁾は3自由度の足を6本備えた作業歩行ロボットを複数台用意して、そのうち1台を人間が操縦する

1.2 本研究の目的

本研究では、不整地で作業を行うロボットを取り扱う。

不整地環境では、脚式移動がすぐれていると考えられること、作業を行うには腕が必ず必要になること、さらに経済的なロボットの構成を目指すことから、脚が腕としても使用できるリムを設計する。不整地での移動を容易に行うために各関節はコンプライアンスを備え、かつ脚としての使用に耐え得る高トルクを発生する。また、腕として使用するためにコンプライアンスを調整することができる。

2. 作業可能不整地移動ロボット

2.1 ロボットの構成

ロボットは、2本の腕で作業しながら静的に移動ができることが望ましいと考えられる。機構の複雑さや、重量の増加を考慮すると実用的なリムの数は最大で6本程度と考えられる。ロボットの構成の代表的な例として、

- 2リムで作業・4リムで移動（合計6リム）
- 2リムで作業・2リム+2車輪で移動（合計4リム2車輪）

などが考えられるが、機構、制御が複雑になるのを避けるのと、6本のリムのすべてが腕として使える必要はないと考えられるので、4リム+2車輪の脚車輪型とした。また、脚車輪型にすることで、本体の荷重と推進の大部分を車輪で支えることができ、その結果、脚の負担が軽くなり、大きなアクチュエータを必要としない。

2.2 リムの設計

脚と腕の役割を比較し、その両方を満足する機構を検討する(Table 1)。

Table 1 腕と脚の比較

	腕	脚
自由度	5~7+グリップ	3以上
ワークスペース	広い(上にも下にも)	狭い(下のみ)
ロード	比較的小さい	大きい(本体支持, 推進力)
スピード	早い方がよい	早い方がよい
動作	複雑	単純
器用さ	器用な方がよい	不器用でもよい

リムの構造や制御が複雑になるのを避けるため、自由度は脚として機能するために最低限必要な3自由度とし、それに対応し切れない作業には複数のロボットで対応することにする。

リムの長さは、腕として機能させるためにワークスペースを広くとれるよう胴体のあらゆる部位に手先が届くような長さにする。

また、前腕の長さ：上腕の長さ=L：1-L，肘関節角を θ として肩から手先までを2自由度のマニピュレータとみなすと、その可操作度⁴⁾は

$$\omega = L(1-L) |\sin \theta|$$

となるので、これを極大にするように前腕の長さ：上腕の長さ=1：1とする。

2.3 移動方法

未知の不整地での移動はかなり困難である。不整地を移動する場合には、多くの外界センサと長い計算時間が必要になる。これでは移動に関する処理ばかりで不整地での作業まで及ばない恐れがある。よって、不整地で作業をするためには、ロボットが容易に不整地を移動できるような移動法が必要になる。そこで、本研究では各関節と車輪に適当な大きさのコンプライアンスを設けた移動法「脚車輪パッシブ混合クロール歩容」⁵⁾を用いる。この制御法は、一定の大きめのコンプライアンスを脚と車輪に設け、その際移動時に発生する胴体の小さな周期的揺動を許容するというものである。この方法を用いると、ロボットが機械的に路面の外乱を吸収するため脚の計画軌跡を変えることなく路面の変化に対応でき、その結果、不整地を移動する際に多数の外界センサを用いた精密な環境認識、軌道計画のための複雑な計算が不要になる。

しかし、あまりに大きすぎるコンプライアンスはリムの先の正確な位置決めを困難にし、腕として作業を行うのには向かない。そこで、リムを腕として使用するためにはコンプライアンスを小さくする必要がある。そこで、各関節に調整可能なパッシブコンプライアンスを組み込むことにする。

2.4 コンプライアンス付き関節機構

脚として機能するには高トルクが必要であり、一般に各関節に高減速比のギアを設けなければならない。しかし、このタイプの関節ではバックド

ライバビリティが小さくなり、ソフトウェアでコンプライアンスを実現するのは困難である。そこで、このことを避けるために、各関節に機械的に調整可能なパッシブコンプライアンスを組み込み、高減速比かつ高コンプライアンスをもつ関節機構を実現する。この関節機構には、Pieroら⁶⁾が提案した方法を用いる。出力軸は直接リムの本体には固定されておらず、出力軸に固定されたカーボンロッドとロッドに差し込まれたスライダを介してリムにトルクを伝達する。その際、ロッドに生じるたわみがコンプライアンスとして作用する。スライダの位置を変化させることによってたわみ量が変わり、コンプライアンスを調整することができる(Fig. 1, Fig. 2)。

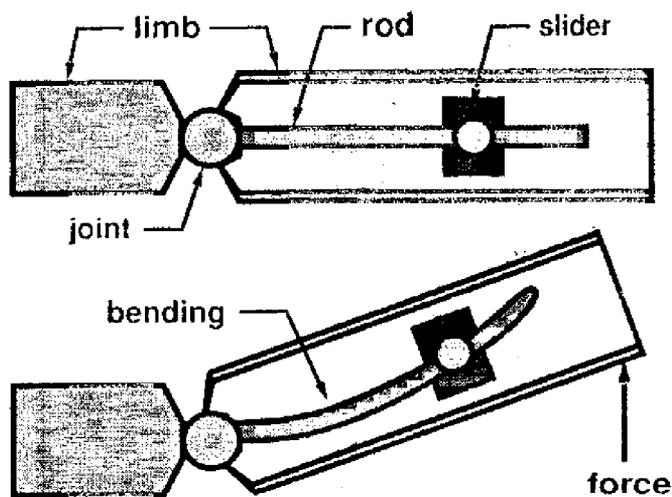


Fig. 1 コンプライアンス発生のおきみ

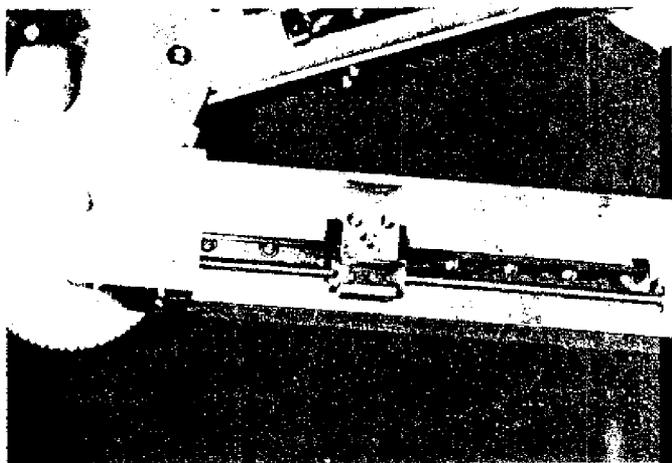


Fig. 2 コンプライアンス発生機構

以上のコンセプトで設計されたリムをTable2とFig. 3に示す。

Table 2 リムの構成

自由度	3 dof, 4リム2車輪
ワークスペース	広く(上にも下にも)
ロード	リムと車輪で本体を支え、推進できる
器用さ	コンプライアンスの調整である程度対応

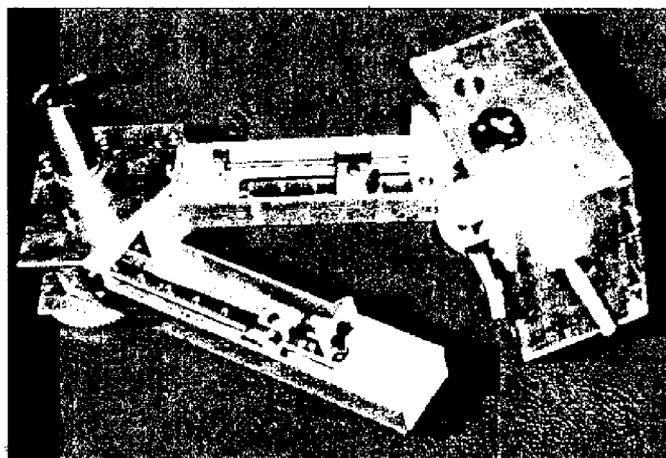


Fig. 3 リム

3. 実験機

Fig. 4に開発中のロボットを示す。このロボットは3自由度のリムを4本と、それぞれ独立に回転する車輪を2つ備えている。リムは長方形の胴体の四隅に配置され、車輪は胴体側面、リムとリムの間に取り付けられている。各関節および車輪はDCサーボモータで駆動される。電源は外部から供給され、トランスピュータを用いて制御される。

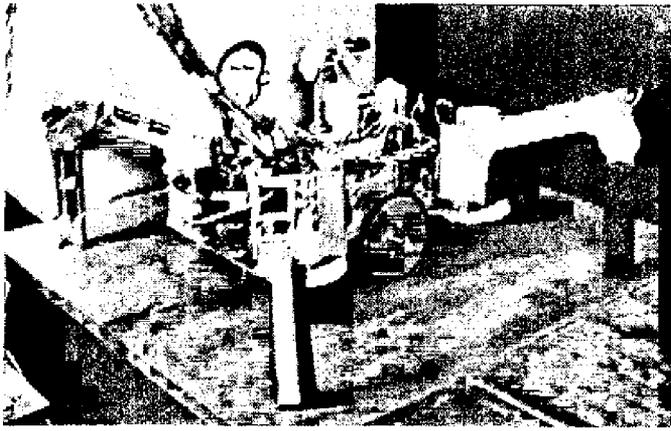


Fig. 4 実験機

全長	40cm	車高	18cm
幅	29cm	重量	5500g

4. 実験と考察

最初はあまり複雑でない環境, 単純な作業を対象として, 次のような実験を行った.

4.1 斜面の登り上がり

Fig. 5, Fig. 6に平地から連続した 20° の斜面を登り上がらせた結果を示す.

コンプライアンスは大きめに設定しており, その状態で, 視覚などによる環境認識をしなくとも, 登り上がることができた. また, 平地から斜面を登り上がるまでの脚先の計画軌跡に変更はなく, 単純な軌道計画で登り上がることができた.

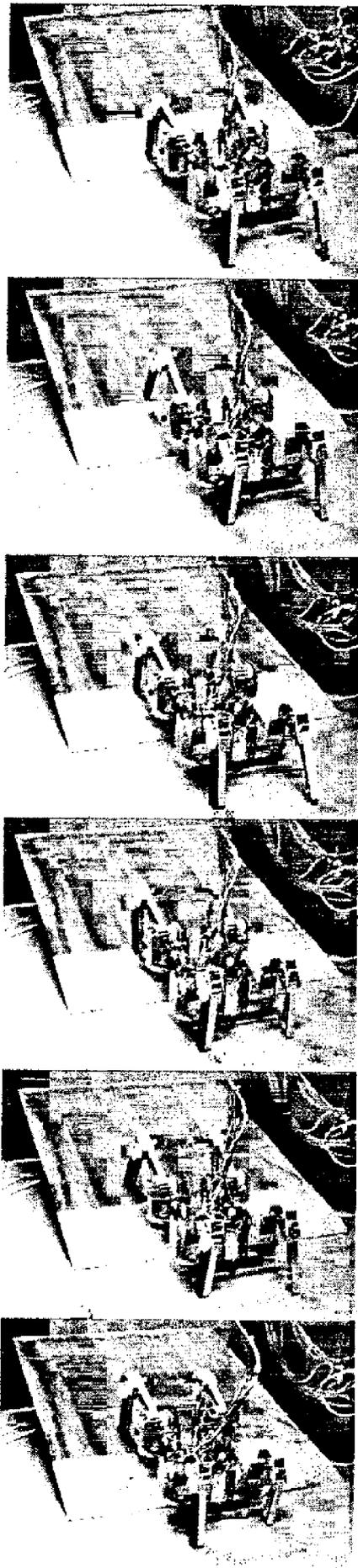


Fig. 5 斜面の登り上がり

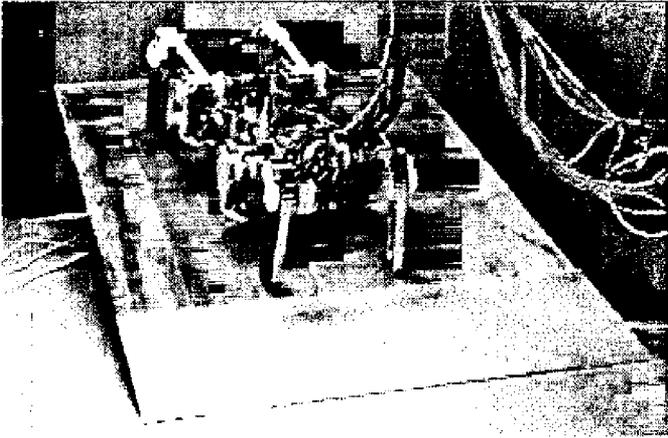


Fig. 6 登り上がり終了

4.2 対象物拾い上げ

Fig. 7に胴体側面の2本のリムで地面に落ちている対象物の拾い上げを行った結果を示す。

作業は人間が行うことを前提としているため、この実験はマニュアル操作で行われた。コンプライアンスを中くらいに設定することで、このリムを腕として使用することができた。

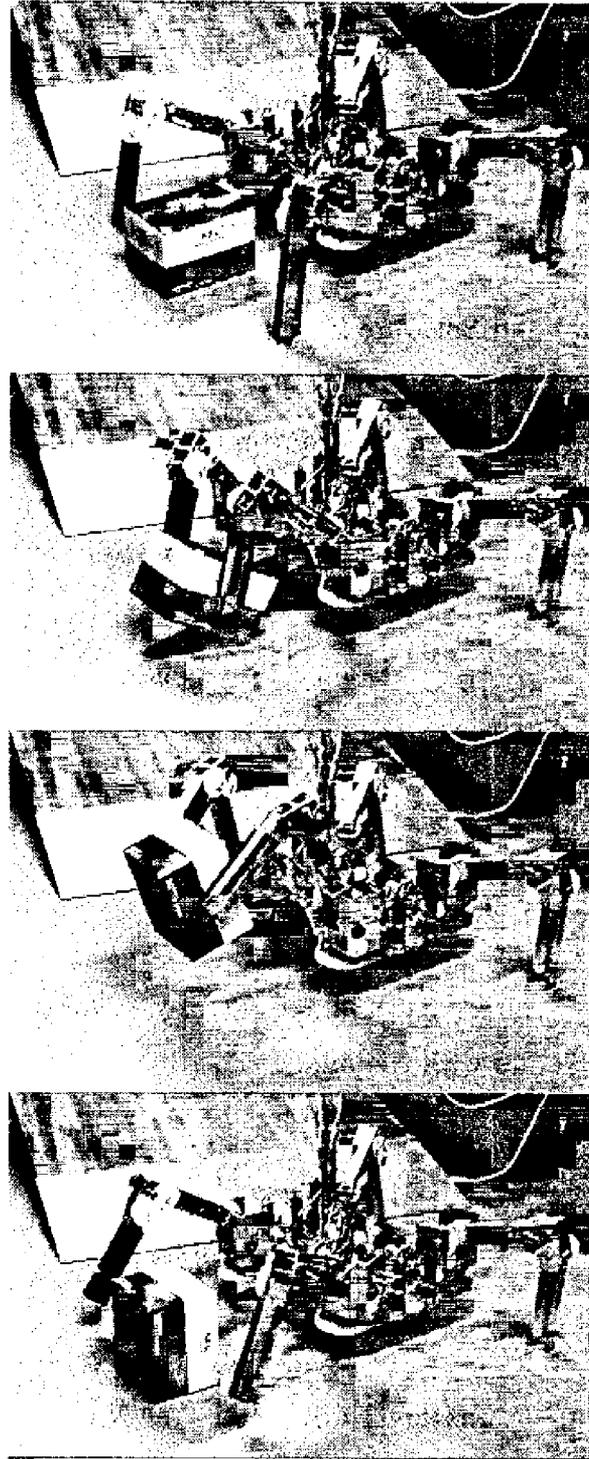


Fig. 7 対象物拾い上げ

5. 結言

作業可能な脚機構の指針を示した。これにより、不整地での移動、作業のできるロボットを設計、製作した。さらにそのロボットを用いて簡単な作業が行えることを実証した。今後、このロボットを用いてさらに複雑な不整地での移動とより複雑な作業を行わせる予定である。

参考文献

- 1) K. K. Hartikainen, A. J. Halme, H. Lehtinen, K. O. Koskinen,
“Control and Software Structures of a Hydraulic six-Legged Machine Designed for Locomotion in Natural Environment”, Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, July 7-10, 590/596, 1992
- 2) 小谷内 範穂, “リム・メカニズムの研究”,
日本ロボット学会誌, Vol. 13, No. 7, 900/903, 1995
- 3) 木村 浩, “作業移動型ロボットの協調制御”,
日本ロボット学会誌, Vol. 13, No. 7, 912/915,
1995
- 4) T. Yoshikawa, “Analysis and Control of Robot Manipulators with Redundancy”,
Robotics Research, MIT Press, 1984
- 5) Dai Y.-J. , Nakano E. , Takahashi T. and
Ookubo H. : “MOTION CONTROL OF
LEG-WHEEL ROBOT FOR AN UNEX-
PLORED ROUGH TERRAIN ENVIRON-
MENT”, International Conference on Ad-
vanced Robotics, 911/916, 1995.
- 6) Piero Velletri, 中野栄二, “The Benefits of
Passive Compliance on the Performance of
Interactive Tasks using Robot Manipulators”,
SICE東北支部 第158回 研究集会予稿集, 7,
1995