

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330300

研究課題名(和文) 原発用メカナム・脚ハイブリッドロボットの開発

研究課題名(英文) Development of mecanum-leg hybrid robot for nuclear power plant

研究代表者

米田 完 (YONEDA, KAN)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：70221679

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：原発内部探査などに有効な、高段差を乗り越えられる4足歩行ロボット設計のコンセプトとして、リンク長を長くして可動範囲を大きくした脚をコンパクトな本体に付けるための前後クロス脚構造、リンク長が長くても軽量で高剛性な脚とするために通常は1脚3関節の構造を2関節に減じて足先に全方向移動用メカナムホイールを装備する構造を提案した。実機実験によりコンセプトの有効性を示し、高性能な4足歩行ロボットの設計指針を示した。

研究成果の概要(英文)：Two concepts of designing a high step climbable quadruped, effective for the use in a nuclear power plant, are proposed. Front-rear cross-leg configuration that can equip longer leg limb with wide movable range on a compact body. Hybrid configuration of 2-joint limb, reduced from normal 3-joint, with omnidirectional mecanum-wheel on its foot can make long high stiffness leg in lighter weight. Effectiveness of these concepts are verified by experimental machine, and these can be new designing principles of high performance quadruped robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット 歩行 全方向移動 原子力発電所

1. 研究開発当初の背景

歩行ロボットは、車輪やクローラでは踏破がむずかしい地形を移動することが期待される。たとえば、大きな凹凸を乗り越える、障害物を非接触で越える、軟弱地や滑りやすい面上を移動する、などである。しかし、従来のロボットで越えられる段差は、階段程度のものである。階段であれば、若干の工夫をしたクローラロボットでも走破できる。歩行ロボットの価値は、クローラで走破がむずかしい大きな段差を越えられるようになれば、大きく向上するものと思われる。

人間や多くの動物は、通常の楽な地上歩行とは別に、手足の可動範囲を限界近くまで使って体長の半分以上の高さの段差に登ることができる。4足歩行ロボットも体長（あるいは全高）に近い高さの段に登れることが4足歩行ロボットの活動範囲を広げるのに有効であると思われる。

また、従来の4足歩行ロボットは、脚が体重を支える強い力を出せることとともに、安定した胴体支持をするため、脚の剛性を高くすることが重要な設計指針であった。しかし、通常の設計では脚機構の重量が増大するため、軽量高剛性な脚構造が望まれていた。

脚と車輪を併用する構造のロボットは従来から作られているが、通常車輪を装備したものであった。全方向移動ができる車輪を併用して、脚の自由度を補う試みはされていない。

2. 研究の目的

本研究では、従来よりも飛躍的に大きな可動範囲の脚を小さな本体におさめ、高い段差の踏破を可能にすることを目的としている。具体的には、屋内空間を移動できる幅700mm以下のロボットで、机の高さ程度の700mmの段を登ることをめざす。

また、純粋な4足歩行形態にこだわらず、足先に図1のように全方向移動用のメカナムホイールを付け、脚の機能を補助することを試みる。そして、通常は1脚3自由度を要するところを2自由度の構成とする。メカナムホイールにより、足先部の横方向の移動をおこない、前後方向と鉛直方向を脚によって動かす。これによって、3自由度の場合よりも軽量で高剛性の脚を実現する。

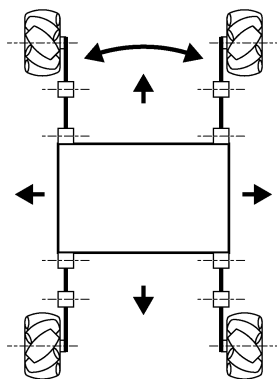


図1 メカナムホイールによる移動

3. 研究の方法

(1) 小さなロボットで大きな可動範囲を得る構造

脚の節長を大きくすると、脚を振り上げる動作をすると足先が胴体から遠くなってしまふ。そこで、図2のように、前脚（前方に接地する脚）の付け根を胴体の後部とし、後脚の付け根を胴体の前部とした。腿部が交差しているように見えるクロス脚構造とする。

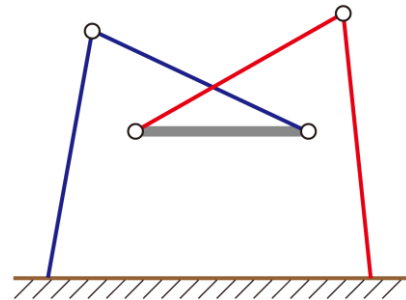


図2 前脚を胴体後部から
後脚を胴体前部から出した構造

(2) 小さなモータと駆動系で必要な力を得る構造

脚の節が長い場合、関節部の回転で駆動しようとすると、大きなトルクが必要となり、減速機構の最終段にかかる力が大きく、大型になりがちである。そのため、モータでねじを回転させる直動アクチュエータを節間に接続した機構とした。モータは小型のもので、φ22、20Wで、400Nまでの推力が出せる。足先部で出せる力は姿勢によるが概略として80N程度である。

(3) 可動範囲の設計

図3、図4のように前後非対称の可動範囲となる脚節長および可動角範囲を設定した。700mmの段を超える際の動作は代表例として図3および図4のようになる。腿部の節長は前後脚とも650mmとした。一方、脛部長は前脚680mm、後脚770mmとした。これは後脚が段に差しかかる際には、図4のように膝関節が段上に出ない脚の途中が段に当たるためである。図3、図4のように、可動範囲内に高さ800mm、前後200mmの矩形、その上方前方に高さ100mm、前後200mmの矩形を確保している。

なお、階段にも図5のように対応できる。

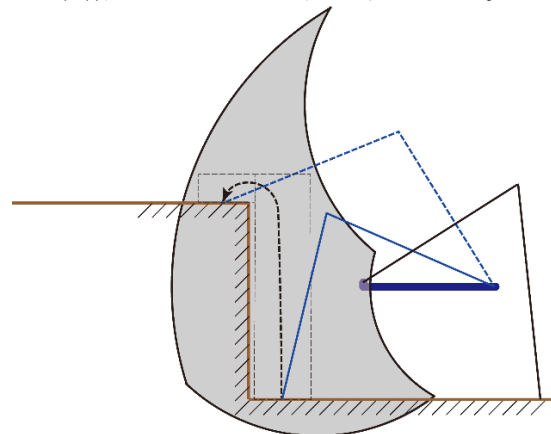


図3 前脚の可動範囲と段を超える動作

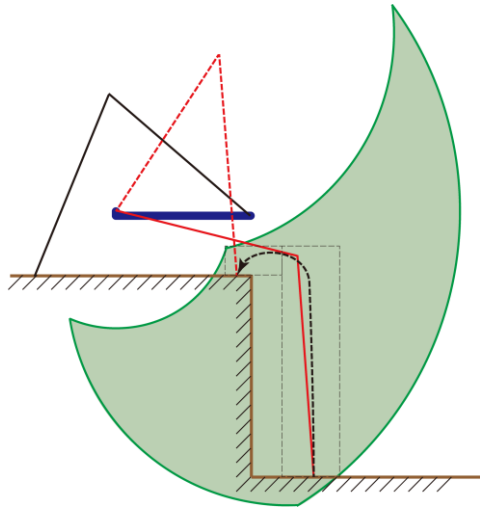


図4 後脚の可動範囲と段を超える動作

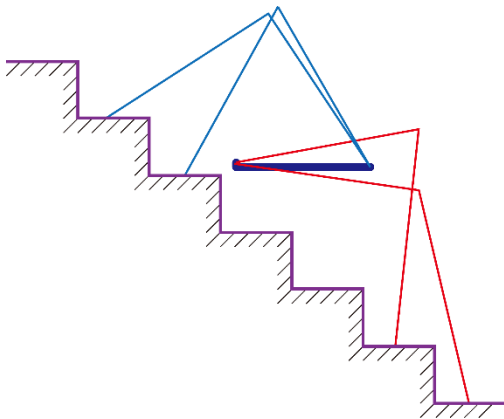
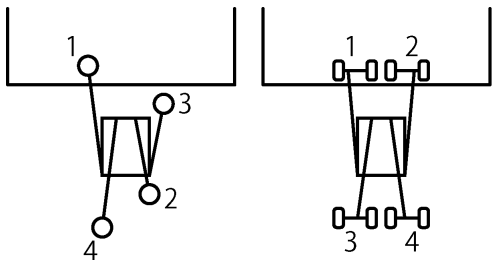


図5 階段への対応



(a) 通常のクロール歩容 (b) 前脚を先に乗せる歩容

図6 幅広足先によって可能になる歩容

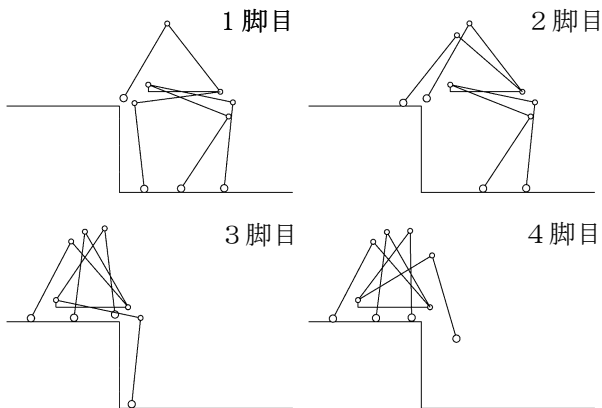


図7 段差越えの脚順

(4) 脚の動作順序の検討

通常の4足歩行ロボットが静的安定性を維持しながら歩行するときは、図6 (a)の順で脚を上げて前方に出すクロール歩容にする。これ以外の脚順では、重心が支持脚の範囲を出てしまう。一方、本研究では、4足の脚動作順をできるだけ自由にするため、図6 (b)のように足先を左右に広くとった形にメカナムホイールを付け、支持する領域を広くした。これにより図6 (b)の脚順で、後脚を動かさないままで前足2本を先に段に乗せることができる。側方から見ると、図7のように後脚を動かさずに前2脚を順に上げ、前進し、前脚を動かさずに後2脚を順に上げるといった単純な歩容で段に上ることができ

4. 研究成果

(1) 実機の試作と実験

試作機は軽量にするため、アルミフレームを多用した構造とし、足先のメカナムホイールを図8のように装着した。一脚2自由度のみとする構造によって、小さな関節と細い節で十分な剛性が得られた。全質量は15.3kgである。全体の外観を図9に示す。

メカナムホイールを併用したため、図10のように各脚を1回上げるだけの計4歩で段に登ることができる。前脚を1本ずつ段に上げ、胴体を段より高くまで上げ、メカナムホイールによって4脚接地のまま前進し、後脚を1本ずつ段に上げる。実験の結果、想定通りの動作で安定して上ることができた。

また、図11のようにメカナムホイールを利用して方向転換をすることもできた。



図8 足先のメカナムホイール



図9 試作したロボット

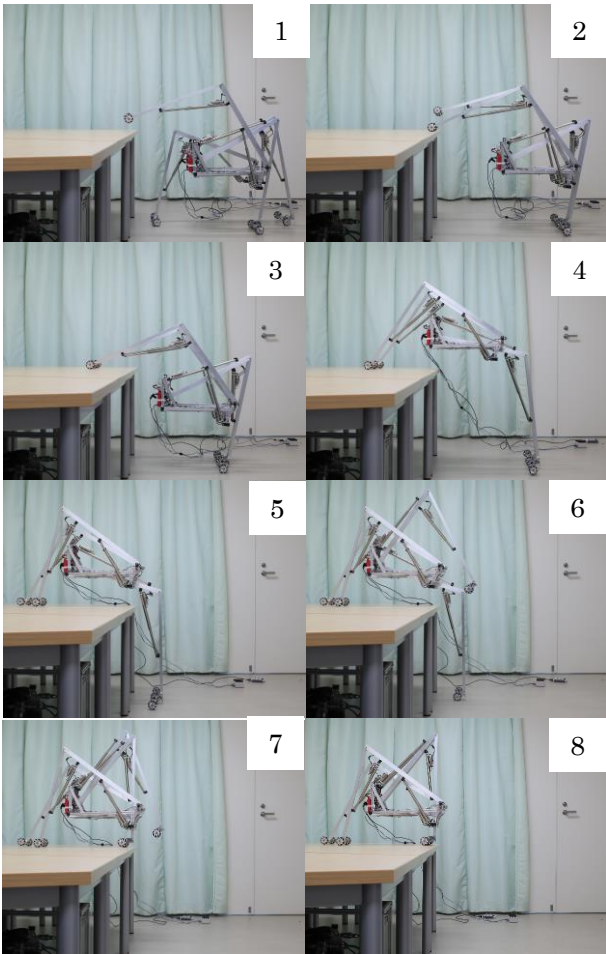


図10 段差乗り越え実験の様子

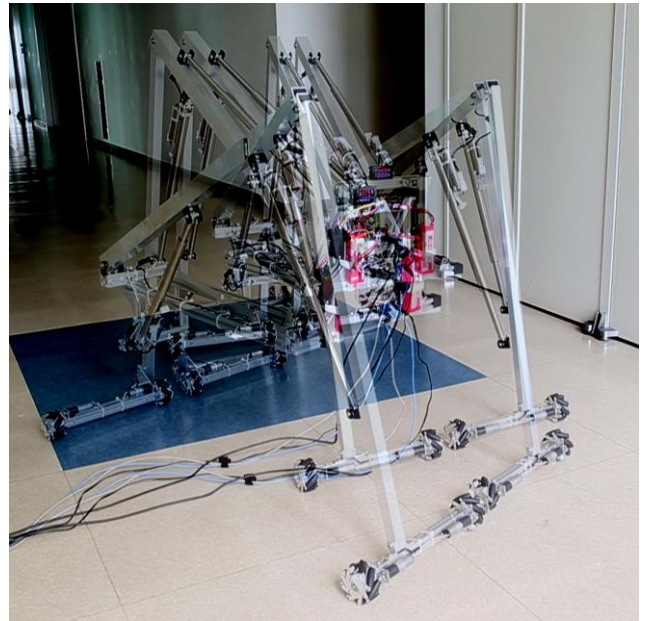


図11 メカナムホイールによる走行（重ね焼き）

(2)まとめ

高い段差を乗り越えられる4足歩行ロボットを設計するのに有効なコンセプトとして、節長を長くした可動範囲の大きい前後クロス脚構造、剛性が高く自在な歩容が可能になる2自由度脚とメカナムホイールのハイブリッド構造を提案した。実際の設計をおこない、試作機の実験により妥当性を検証した。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

- ① 米田 完、高段差乗り越えが可能な脚メカナムハイブリッドロボット、日本設計工学会 2017 年度春季研究発表講演会、2017 年 5 月 20 日、千葉工業大学 (千葉県習志野市)
- ② 松本友汰、佐々木優治、増田萌乃、米田 完、全方向移動型脚車輪ロボットの開発、日本設計工学会 2017 年度春季大会、2017 年 5 月 20 日、千葉工業大学 (千葉県習志野市)
- ③ 瀬戸悠介、米田 完、脚の可動範囲を重ねた4脚歩行ロボットの提案—MANJIMARU の設計と歩行実験—、第 22 回ロボティクスシンポジウム、2017 年 3 月 15 日、磯部ガーデン (群馬県安中市)
- ④ 瀬戸悠介、米田 完、追い越しクローラ歩容における全方向移動のための基本的考察、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016、2016 年 6 月 9 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
- ⑤ 上野吾雅人、米田 完、脚車輪型ハイブリッド移動ロボットにおける脚車輪荷重分担率の導出およびそれを利用した制御、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015、2015 年 5 月 19 日、みやこめっせ (京都府京都市)
- ⑥ 瀬戸悠介、若本純弥、米田 完、追い越しクローラ歩容が可能な4脚歩行ロボットの開発、第 32 回日本ロボット学会学術講演会、2014 年 9 月 5 日、九州産業大学 (福岡県福岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米田 完 (YONEDA, Kan)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：7022167