# 10. 力仕事のパートナーとしてのコンパクト油圧式ロボット台車の提案

立命館大学理工学部 〇玄相昊 立命館大学理工学部 鈴木裕太 立命館大学理工学部 末若大輔

#### 1. はじめに

本研究では、土木建設や荷役等のあらゆる力仕事の 現場において、自らバランスをとって大きな力を発生 しながら人と協調して働くことで、作業員の肉体的負 担を軽減し、作業効率を大幅に向上する、コンパクト な油圧式ロボット台車を提案する。最も重要なポイン トは、専門事業者でなくても、一般の人々が必要とす るときにすぐに倉庫から引っ張り出して使える便利な 道具とすべき、という点である。

提案する機械は外部の油圧源によって駆動されるため、小型軽量でありながら、大きな力を発生できる。また、俊敏な自律バランス能力と不整地移動能力を備える。ショベルやクレーンなどの大型建設機械の子機として作業現場にスピーディに展開され、作業員の直観的な操作インターフェースのもとで運用される。様々な機器やアタッチメントを搭載することで、災害対応等の特殊な用途にも利用できる汎用的なプラットフォームとなる可能性がある。

## 2. ロボット台車

上記の目的のもと、ロボットの最も重要な「足回り」 を試作することである。足回りとは具体的に、車輪と 油圧で駆動する能動的な脚を4本有するロボット台車 (以下、ロボットと呼ぶ)であり、次のような運用形 態を想定している。

- 1)油圧源を搭載した建設機械やトレーラーで複数台 のロボットを現地に一度に輸送
- 2) 油圧ホースを複数台のロボットに分岐し、不整地 や狭い現場にすばやく展開
- 3) 直観的なインターフェースで作業員が複数台のロボットを操作しながら協調作業。

本ロボットの特徴と新規性は次の3点に集約される。

- (1) 安定性: 不整地や屋内の複雑な床面で縦横無 尽に動作する作業用台車は脚式以外に考えられない。 本ロボットは車輪の他に能動的な脚を4本備え、ロボットの上に作業員が乗って高所作業を行ったり、様々 な作業用アタッチメントを搭載して遠隔操作を行った りする場合でも、バランスをダイナミックに維持する ことが可能である。
- (2) 軽量・コンパクト・ハイパワー: 油圧源を外に置くことで、屈強な人夫と同程度のサイズと重量を実現できるため、木造家屋の上階においてもハイパワー・ハイスピードな重作業が可能である。排気ガスに悩まされることもない。危険な現場での力作業を想定した移動ロボットとしては、極限作業ロボットプロジェクトにおける脚車輪型ロボット[1]や、東工大の広瀬らの様々な4脚ロボットシリーズ、軍用では米国Boston Dynamics 社のBigDog があるが、上記のようなコンパクトな油圧式作業移動ロボットは存在しない。
- (3) 安全性: 力制御アルゴリズムを実装することで、外から加わる力に対して柔軟に対応することができるため、衝突に対して安全である[2]。また、ロボット本体の自重は100kg 未満人夫と同程度であるため、仮に事故が起きたとしても、重機の場合ように深刻な重大事故を引き起こす可能性は極めて低い。

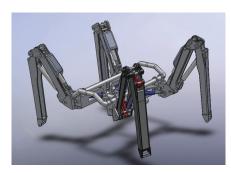


図1 4脚ロボットの CAD モデル

## 3. 仕 様

ロボット全体の大きさは学習机程度である。前後左右対称の構造を有し、最小で800mm 角または円内に収まるものとする。中央に車輪を有し、前後左右に同一構造の脚部を有する。

自重は80kg以下とし、油圧部品を含めた機構部分の質量は脚部を40kg(1本10kg)、ベースは30kg、残り10kgに電子回路やその他付帯部品重量とする。パワー0FF時でも台車と同様に2名で簡単に運べるが、車輪がついているため、平地では一人でも楽に移動が可能である。なお、当初は図1のような自重200kgの試作機を検討していたが、実験の扱いやすさや安全性を考慮し、上記の仕様に変更した。

可搬重量はアタッチメント分も含めて 200kg と設定した。

駆動力は外部設置の油圧ポンプから得るが、コストと効率をアップするために、サーボ弁を用いない油圧システムを構築することも重要である。油圧システムについては別報で報告する。

## 4. 動力学シミュレーション

2で挙げた特徴を調査するために、動力学シミュレータを構築し、出力解析を行っている。シミュレータ 兼コントロールパネルの外観を図2に示す。ここに著者らが過去に行ってきたように[5]、実際に用いる油圧系のダイナミクスを統合すれば、精密なシミュレータが完成する。シミュレーションタスクとしては、基本的に、重心をある目標軌道に追従するようなタスクである。目標重心位置を支持多角形の中心におけば、バランス制御となる。

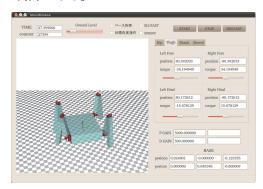


図2 動力学シミュレータ

アルゴリズムとしては、等身大の油圧駆動ヒューマノイドロボット研究で実績がある、シンプルで実用的なアルゴリズムをそのまま応用するだけである[2]。よって、路面形状を測定することなく、いかなる不整地であってもしなやかに倣うことができる。さらに、力制御の特徴を活かし、作業員の操作力に従いながら高度な運動を学習することが可能である[3]。

難易度の高い2足歩行から4脚歩行にダウンサイズ することは極めて容易であり、既にシミュレーション 自体は問題なく成功している。シミュレーション結果 のグラフ等は省略するが、2足歩行ロボットを用いた シミュレーション結果は文献[4]を参照されたい。

なお、最も基本的な動的姿勢制御に成功しているため、車輪を併用した場合の歩行制御は極めて容易であり、拡張はほとんど自明である。

### 5. 実験

2軸の簡単なテストモデルを製作し、サーボ弁を用いたオーソドックスな油圧駆動システムを用いた基本的な力制御実験に成功した。紙面の都合上、グラフ等は省略する。

#### 参考文献

- [1] 大道武生, 穂坂重孝, 井辺智吉, 沖野晃久, 中山淳二, 脚車輪型移動装置の制御方法, 第2回日本ロボット学会学術講演会, pp. 235-236, 1984.
- [2] 玄相昊, 複数の接地部分と冗長関節を有するヒューマノイドロボットの受動性に基づく最適接触力制御, 日本ロボット学会誌, vol. 27, no. 2, pp. 178-187, 2009.
- [3] S. Hyon, J. Morimoto, G. Cheng, Hierarchical motor learning and synthesis with passivity-based controller and phase oscillator, IEEE ICRA, pp. 2705-2710, 2008.
- [4] S. Hyon, G. Cheng, Passivity-based full-Body force control for humanoids and application to dynamic balancing and locomotion, IEEE/RSJ IROS, pp. 4915-4922, 2006.
- [5] S. Hyon, T. Emura, T. Mita, Dynamics-based control of one-legged hopping robot, Journal of Systems and Control Engineering, vol. 217, no. 2, pp. 83-98, 2003.