

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 27-125

補助事業名 平成27年度 ゴキブリを模倣した高速な自走方式の基礎研究 補助事業

補助事業者名 横浜国立大学 脳協研究室 脳協大海

1 研究の概要

現在の全方向移動型の車輪式自走ロボット、多脚式ロボットは、広範囲を自走可能であるが車軸や関節のバックラッシュの影響のために精密位置決めが不得意である。また電磁モータにより駆動しているため20~100kgまで重量化してしまい素早い動きが困難である。そこで最近では跳躍を含む動的かつ素早い動作が可能な軽量化ロボットの研究が盛んである。例えばEPFLのチーター型ロボットは重量1.1kg、全長20cmで、1.5m/sの最高速度を持ち、30kg未満の小型四足歩行ロボットの中では最速とされている。申請者らは尺取虫の原理で動作するホロミック精密自走機構を開発してきた。二つのY型電磁石を交互に着脱させ、6つの圧電アクチュエータの伸縮と同期させて尺取虫の原理で、任意方向への直進動作、任意軸回りの回転を実現できる。本研究提案のきっかけは、ホロミック精密自走機構にゴキブリの運動能力を与えることはできないか？という発想である。ゴキブリの運動能力の特徴は主に三つある。(1) 体長8cmの20倍の距離を1秒間で疾走する「高速度」。(2) 重量35gと軽量であり急な方向転換が可能な「高加速度」。(3) 常に三脚が床面に接地するため安定性のある「三脚歩行」。(3)の特性は申請者らの自走ロボットは既に有している。(1)、(2)の運動性能を付与する事が本申請の目的である。本研究によりゴキブリの「高速度・高加速度」に加えて「全方向移動」を併せ持つ独創的な自走ロボットを実現する。生物の運動性能を工学的に模倣し、実用的な機能を融合して発展させる課題であり、研究開発過程に未踏の知見を豊富に内在した課題である。

2 研究の目的と背景

現在の全方向移動型の車輪式自走ロボット、多脚式ロボットは、広範囲を自走可能であるが車軸・関節のバックラッシュの影響のために精密位置決めが不得意である。また電磁モータにより駆動しているため数10kgまで重量化してしまい素早い動きが困難である。本研究では全方向移動ロボットの脚先にカセンサとバネ要素を含む跳躍用のアクチュエータを付与しゴキブリの持つ「高速度・高加速度」、ハエトリクモの「跳躍」の能力を付与する。本研究により高速・高加速度かつ全方向移動能力を有する独創的な自走ロボットを実現する。

3 研究内容

(1) 「ゴキブリ型三脚歩行解析」

ゴキブリは重心の高さを維持しつつ、6脚を3脚ごとの二つの三点支持脚に分

けて、交互に三点接地しながら歩行動作する。本研究では実用性を考慮し、全方向移動、任意軸回転、 $0.1\ \mu\text{m}$ の位置決め分解能等の機能を付与し、最高速度 $10\ \text{cm/s}$ を目標としている。解析では $XY\theta$ 軸の調和振動モデルと、 Z 軸の3体問題（三点支持脚 $\times 2$ 、体）に切り分けて解析を行っている。現在は、三点支持脚の質量、摩擦係数、アクチュエータの発生力、変位量、歩行の周波数、歩幅などのパラメータ間の関係式を近似的に求め、アクチュエータや、 $XY\theta Z$ 軸のバネ定数、共振周波数の設計、三点支持脚の持ち上げ高さ、などを数個のパターンで機能を検討している。一次試作では跳躍を含まない歩行で $2\ \text{cm/s}$ の最高速度、3%の再現性を目標とする。跳躍を含む歩行では、周波数、入力波形、 $XY\theta$ 軸の調和振動と Z 軸の振動について実験的検証を行う。

(2) 「ロボットの設計」

有限要素解析により、脚の持ち上げ高さを10倍に拡大する変位拡大機構を設計している。またロボット全体のアセンブリを、三次元CADにて設計している。小型軽量化しつつも、 $XY\theta$ 軸の独立三自由度、 Z 軸の変位拡大率が大きくなるように設計する必要がある。跳躍型の歩行方式では、着地と跳躍のタイミングを検出できる圧力センサの配置を設計に盛り込む。しかし、実験結果によっては、圧力センサによる検出が必要にならない場合もある。その場合は、圧力センサを無くして、軽量化した方が高速化に寄与する。

(3) 「 $XY\theta$ 調和振動機構の変位拡大機構の設計」

有限要素解析により、ムーニー型圧電アクチュエータの $100\ \mu\text{m}$ の変位を、さらに $1\sim 2\ \text{mm}$ まで拡大するてこ式の変位拡大機構を設計した。 X 字にクロスした二つのフレームの前後左右にアクチュエータを配置するため、相互干渉して変位を相殺しないように、せん断方向のバネ定数を小さくするために平行バネを付与する設計とした。これによりFEM解析の結果では、 $XY\theta$ 調和振動部の変位を $100\ \mu\text{m}$ から、 $250\ \mu\text{m}$ 程の拡大できるという結果を得ている。

(4) 「ムーニー型圧電アクチュエータの設計」

現在 $0.1\ \text{mm}$ のムーニー型圧電素子の変位を、 $0.4\ \text{mm}$ までに拡大するために必要な積層型圧電素子の性能を概算した。その結果、断面積 $5\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}$ 、長さ $10\ \text{mm}$ の積層型圧電素子ならば、負荷が無い場合で $0.4\ \text{mm}$ までの変位拡大を実現できるとの結果を得た。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の発展例の一つとして、同ステージ上で多数のロボットを高速かつ精密に協調作

業させるロボットファクトリの構築が挙げられる。リニアステージの運動を拘束していた精密ガイドを取り払い、位置決め機能を全域に開放する事を意味するため、実施できる作業の種類が飛躍的に増大する可能性がある。つまり変量多品種生産への高い適合性がある。クリーンルーム内で使用すれば、専有空間の体積を1000分の1に低減出来るため、清浄コストを飛躍的に削減出来る。つまり半導体関連設備のミニファブ化へ有用性が高い。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

<研究室の活動>

本研究室では、昆虫、微生物など（cm～μmサイズ）の小型生物は、シンプルな構成でありながら、微小な世界の物理法則に適合した高い運動能力と、環境適合能力をもっています。本研究室では新コンセプトの小型デバイスの開発を通し、独創的な小型機構、操作技術の研究を展開し、軽量、省スペース、省エネルギー、低環境負荷など、小型サイズならではの優位な特性を積極的に利用した研究成果を、論文、講演、展示会を通して発表している。

<本研究の背景>

現在の精密生産設備は、固定型の多軸ステージにより構成されるため大型化・重量化が避けられない。そのため工場の高剛性化、除振設備、クリーンルームの大型化が必須となり、建築・維持コストが爆発的に増大する。この悪循環を断ち切るためには、100g以下の軽量部品に特化した、新コンセプトの超軽量自走ロボット技術が必要となる。一方、現在の全方向移動型の車輪式自走ロボット・多脚式ロボットは、広範囲を自走可能であるが車軸・関節のバックラッシュの影響のために精密位置決めが不得意である。また電磁モータにより駆動しているため数10kgまで重量化してしまい素早い動きが困難である。

<研究の最終目標>

本研究では全方向移動ロボットの脚先に力センサとバネ要素を含む跳躍用のアクチュエータを付与しゴキブリの持つ「高速度・高加速度」、ハエトリクモの「跳躍」の能力を付与する。本研究により高速・高加速度かつ全方向移動能力を有する独創的な自走ロボットを実現する。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

平成28年度中にロボット学会、機械学会などで成果発表を行う予定である。

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当無し（平成28年4月）

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当無し（平成28年4月）

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：横浜国立大学 大学院工学研究院 測脇研究室（ヨコハマコクリツダイ
ガク ダイガクインコウガクケンキュウイン フチワキケンキュウシツ）

住 所： 〒240-0067

横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1

申 請 者： 准教授 測脇大海（ジュンキョウジュ フチワキオオミ）

担 当 部 署： システムの創生部門 機械工学システムコース

（システムノソウセイブモン キカイコウガクシステムコース）

E-mail：fuchiwaki-ohmi-xk@ynu.ac.jp

URL：http://www.fuchilab.ynu.ac.jp/index.html