

# パターン発生機構と反射系が六脚歩行制御のロバスト性に与える影響

永堀 雅之<sup>†</sup> 西井 淳<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 山口大学理学部 <sup>††</sup> 山口大学大学院創成科学研究科

## 1 はじめに

多足歩行動物の制御モデルとして、CPG (Central Pattern Generator) によるモデルと反射によるモデルが提案されている。この両者の歩行制御能力にはどのような違いがあるのだろうか。本研究の目的は、六脚ロボットによるシミュレーション実験により、CPG と反射による制御が六脚歩行のロバスト性にそれぞれどのような影響を与えるのか、さらに両者を組み合わせることで六脚歩行のロバスト性が向上するのかを明らかにすることである。

## 2 運動体モデルと制御モデル

ゴキブリの身体構造を参考に六脚ロボットを構成した (図 1(a))。ロボットの各脚は 1 自由度の関節を 4 個有す。第 3,4 関節には弾性要素があり、着地時の衝撃を吸収する。歩行制御は、歩行動作を Stance, Lift off, Swing, Touch down の 4 状態に分け、順に遷移することで実現する [1]。反射による制御は、tripod gait を実現できるように状態遷移条件となる足圧や関節角度の閾値を決定した。CPG による制御では、反射で実現した平地歩行における各状態の時間により状態遷移時刻を決定した。複合型では、反射の遷移条件を満たすか、CPG による遷移時間を経過することで状態遷移する。この遷移時間は、CPG のみ用いる場合の設定値より長い場合と短い場合も検討した。

## 3 シミュレーション結果

平地歩行において、CPG 制御による歩容は定常的で身体上下動も小さかったが、右に曲がり続けた。初期姿勢の左右非対称性を修正できないためと考えられる。反射による歩容は不規則で身体の上下動が大きく、直進性も低かった。身体が後傾することで前脚の Touch down 期間が長くなり、前後の脚の運動周期が異なったためと考えられる。複合型では、遷移時間が CPG と同じ場合に直進性が向上した。CPG の周期性に加え、反射によって左右のズレが調整されたためと考えられる。

斜面では、CPG による歩容は規則的だが、反射では勾配が増すほど歩容が不規則になる。その結果 10 秒間の歩行距離は CPG が最長、反射が最短となった (図 1(b))。複合型では、遷移時間が短いほど移動距離は長くなった。遷移時間が短いと CPG による遷移が、長いと反射による遷移が生じやすくなり、それぞれの特徴が強くなるためと考えられる。低い段差では CPG の、高い段差では複合型の踏破率が高かった (図 1(c))。CPG による脚運動は停止することはないが、その周期軌道で踏破できる高さが決まる。

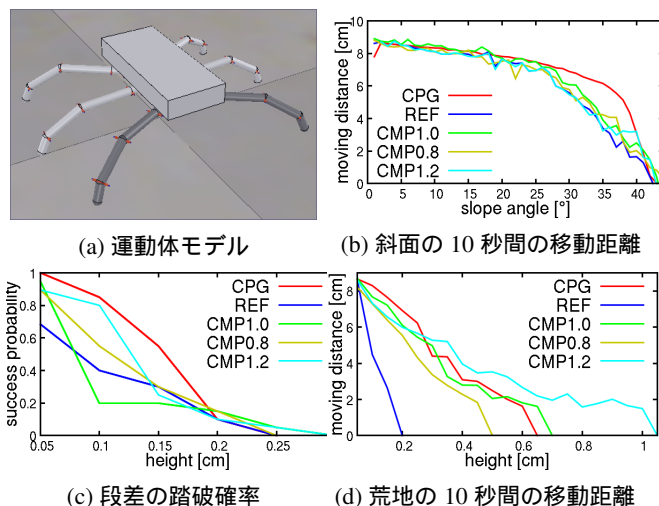


図 1. 運動体モデルおよびシミュレーション結果。シミュレーションそれぞれ、REF は反射、CMP0.8, 1.0, 1.2 はそれぞれ CPG 要素の遷移時間を 0.8, 1.0, 1.2 倍にした複合型を表す。

反射の場合は段差との接触状況により脚の持ち上げが高くなったり、状態遷移が停止したりする。複合型では、両者の利点が組み合わせることでより高い段差を踏破できたと考えられる。起伏のある荒地における 10 秒間の移動距離は反射が最も短かった (図 1(d))。接地期間が不規則となり、脚が浮いて状態遷移できない脚が発生するためである。CPG による移動距離は反射より長く、CPG 要素の遷移時間が短い複合型ではさらに長かった。CPG の状態遷移能力に加えて複合型では地面の凹凸への適応能力をもつためと考えられる。

## 4 まとめ

CPG は周期軌道を生成するが一定動作しかできない。反射は適応性を持つが状態遷移が停止する場合がある。一方で、複合型は周期性と適応性を生かして外乱に対応するため、ロバスト性が向上する。複合型では、状態遷移時間を短くすると CPG の特徴が、長くすると反射の特徴が強まる。つまり遷移時間を変更することで、状況に応じた状態遷移条件を容易に調節できると考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25282183 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] O.Ekeberg and K. Pearson. J.Neurophysiol., **94**(6), 4256-4268, 2005