

# 「歩行の数理」研究会

## プログラム

7月25日（水）

1:00-1:10 オープニング

1:15-2:15 玄 相昊（JST-ICORP /ATR 脳情報研究所）

対称性と受動性に基づく歩容生成と安定化制御

概要：歩行制御において重要な問題は、1) 転倒安定性、2) 移動目標の達成、3) 高効率性の三つであると言える。ハミルトン系の特徴である周期性、エネルギー保存、エネルギー量の増減による解軌道の変形は、これら三つの問題を同時に解決する潜在力を有しており、我々はこの特徴を利用した脚移動制御戦略を提案している。これは上記三つの問題を次の三つのステップで階層的に達成しようというものである：1) 系の消散項を無視して無損失なハミルトン系を抽出する。次いで、ハミルトニアン系に「不変化制御」を施し、解軌道を不変集合に閉じ込める、2) 消散項と外乱を考慮しつつ、周期制御やエネルギー制御等の軌道安定化制御を施し、所望の移動目標を達成する漸近安定な周期軌道を得る、3) 適応・学習制御によって制御入力を最小化する。

講演では以上の制御戦略を紹介したうえで、とくに上記1) においてハミルトン系の時間可逆対称性を利用した不変化制御を、2つの簡単なロボットモデルを用いて具体的に示す。一つはコンパスモデルと呼ばれる原始的な2足歩行モデルであり、他は準受動走行モデルと呼ばれる原始的な走行モデルである。いずれの例も上記1) によって解の時間発展が保証され、ロボットは転倒せずに何らかの不変集合上の周期的な挙動を示す。一旦不変集合が得られれば、上記2) を達成することは比較的容易となる。このような階層制御構造が歩行という多目的運動を達成するために有効であると考えられる。

2:30-3:30 浅野文彦（理化学研究所）

力学的エネルギーの観点から見た動的歩容の生成メカニズムと安定性について

概要：近年、高速かつ高効率な2脚動歩行が受動歩行を規範としたアプローチにより実現可能であることが示されてきた。そして、その根底には力学的エネルギーの効果的な利用があることも理論的に明らかにされた。本講演では、動的歩容の生成メカニズムと安定性を中心に、歩行運動における力学的エネルギーの重要性について概説する。前半はパラメータ励振による動的歩容生成と足部形状が与える影響などについて解説し、後半は歩容の安定性について得られた最新の結果を報告する。本講演を通して、安定な動歩行運動を形成する本質は力学的エネルギーの回復と消散、およびその平衡にあることを伝えたい。

3:45-4:45 野村泰伸（大阪大学大学院基礎工学研究科）

歩行運動制御の神経生理と数理モデル—エンジニアの立場からのレビュー

概要：四肢動物をはじめとする脊椎動物の歩行運動制御を司る脳神経系メカニズムに関する神経生理学的研究および数理システムモデルをレビューする。主に、歩行リズム生成と制御、および歩行運動の安定性に関する研究を紹介する。

5:00-6:00 上田肇一（京都大学数理解析研究所）

大金邦成（国立長寿医療センター）

中立状態近傍における歩行パターンの制御 --階層間相互作用モデルの導出--

概要：ヒトの歩行の特徴として、外界からの摂動（例えば風や衝突など）に対する即時的な適応性が挙げられる。本研究では様々な摂動に適応可能な歩行モデルの導出を試みた。我々は大金らによって導出された方程式(1)を用いて、安定歩行と転倒状態を分ける中立状態近傍における数値実験を行い次の結果を得た。

1.歩行システム全体の状態を特徴付ける変数が存在する。

2.その変数によって脚の関節角を制御することにより様々なタイプの摂動への適応能力が向上する。また、関節角の制御に関する関数の決定においても中立状態における数値解析が有効であることを示す。

[1] K.Ohgane et al., Bio. Cybern. 90 (2), 125-132 (2004).

6:30- 懇親会

7月26日（木）

9:30-10:30 野原勉・有本彰雄（武蔵工業大学知識情報学部）  
結合型 van der Pol 方程式の同相解・逆相解の軌道安定性と  
多脚歩行ロボットにおける歩容生成への応用

概要：一般にムカデなどの多足動物の歩容を人工的に生成することは極めて困難である。筆者等は結合型 van der Pol 方程式を利用して多脚歩行ロボットの歩容の自律生成を目指している。本発表では、van der Pol 方程式の結合システムにおいて、まず、多重スケール法により同相解・逆相解の存在性を示す。その後、同相解・逆相解の軌道安定性を証明する。さらに、多脚歩行ロボットへ実装した実験結果についても報告する。

10:45-11:45 青井伸也（京都大学工学研究科）  
多脚歩行ロボットの動特性と運動機能

概要：動物は、複雑な筋骨格系を巧みに且つ協調的に動かすことで、多様な環境の下、適応的な歩行運動を実現する。従来、このような動物の優れた運動生成能力は、神経回路網の優れた制御機構に帰着して考察されてきた。しかしながら歩行運動は、身体系と脳神経系、そして環境との相互作用を通して実現される複雑な力学現象であり、神経制御系のみならず、身体筋骨格系に内在する力学特性や、感覚情報や反射機構に基づく運動生成メカニズムを解明することが重要である。本研究では、シンプルなロボットを研究対象として、制御系の拘束条件の下、身体としての機構系の力学特性が歩行運動生成に与える影響について検証する。特に、胴体と左右の脚を一つの単位とするモジュールが回転バネ・ダンパーを介した直列結合により構成されたムカデ型の多脚ロボットを対象とし、バネ・ダンパーなどの機構特性や、歩行速度に応じて歩行パターンが直線歩行から蛇行へと自然と変化することを示す。そして、簡単な数理モデルに基づいて解析することで、このパターンの遷移現象がホップ分岐によるものであることを示す。更に、このような力学特性の変化が、旋回歩行のような運動機能に大きく影響を与えることを示す。

12:00-1:00 大須賀公一（神戸大学工学研究科）  
受動的動歩行の安定論について

概要：受動的動歩行という歩行現象の存在は古くから知られている。しかし、その歩行原理についてはまだ解き明かされていない。筆者らは、この問題の部分的な解として、受動的動歩行を離散力学系としてとらえ捉えた際のポアンカレマップの中に安定化のためのフィードバック構造が内在していることを見いだした。我々はこれを Implicit Feedback Structure と呼んでいる。また受動的動歩行という現象には受動的な適応機能も内在している可能性を示唆する結果もでてきた。さらに将来的な展開として、受動的動歩行と進化論的な議論との関連性について論じてみる。