

氏 名	すぎもと やすひろ 杉 本 靖 博
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 163 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 シ ス テ ム 科 学 専 攻
学位論文題目	準受動的歩行の安定化制御に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 杉 江 俊 治	教 授 片 山 徹	教 授 酒 井 英 昭
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

現在、歩行ロボットに関する研究が活発になされているが、なかでもアクチュエータに頼らずに重力場を利用して歩行をおこなう「受動的歩行」が注目されている。これは、「より滑らかでヒトの歩行に近いロボットの歩行」あるいは「よりエネルギー的に効率の良いロボットの歩行」の実現に際し、大きな指針を示しうるためである。本論文は、その受動的歩行に関して、現象の運動解析や実際のロボットの歩容制御への応用に関する研究を行なったものであり、6章から構成されている。

1章は序論であり、対象となる受動的歩行に関する運動解析や実際の歩容制御への応用に関する研究の従来研究を概観し、その問題点を指摘した後、受動的歩行の性質を利用した歩容制御の必要性や、受動的歩行自身のより詳細な運動解析の必要性に言及している。最後に、本研究の目的について述べている。

2章では、本論文で対象とする歩行ロボットモデルの詳細および3、4章で提案する制御則の有効性を確認するために用いる実験機と実験システムに関して述べている。

3章においては、まず衝突点(遊脚が着地する直前のロボットの状態)に着目し、衝突点に関するポアンカレマップを用いることにより、受動的歩行の安定性が議論できることを示した。そして、カオス制御において用いられる遅延フィードバック制御(略称DFC)の考え方を導入することで、準受動的歩行を実現する制御則(離散型DFCに基づく制御則)を提案している。この手法の優位点は、前もって目標軌道を設定することなく、すなわち受動的歩行を行なっている際のロボットの脚の正確な情報を必要とせず、準受動的歩行を安定化できるという点にある。最後に、数値シミュレーションおよび実験検証によって提案した手法の有効性を示している。

4章では、以前に提案されている準受動的歩行安定化制御則の一つである弱誘導制御則と3章において提案している離散型DFCに基づく制御則の二つを適切に組み合わせることで、「連続型DFCに基づく制御則」とも呼ぶべき制御則を提案している。この制御則には二つの特徴があり、一つ目は第 k 歩目において追従制御する際の脚の目標軌道として、第 $k-1$ 歩目の脚の軌道を用いていることであり、二つ目は、衝突点のデータに応じて追従制御する際のゲインを自動調整していることである。この二つの特徴がうまく作用することにより、3章で提案した離散型DFCに基づく制御則同様に、受動的歩行を行なっている際のロボットの脚の正確な情報を必要とせず、さらに元になっている二つの制御則よりもよりロバストに安定化制御できることが期待できる制御則となっている。また、この制御則に関してもシミュレーションおよび実験機を用いた検証実験によって、提案した制御則の有効性を確認している。

5章では、受動的歩行の衝突点に関する解析的なポアンカレマップを求め、その構造に着目しながら受動的歩行の安定解析を行なっている。ポアンカレマップ内にフィードバック構造と見なせる構造が埋め込まれていることに着目し、そのフィードバック構造と受動的歩行との安定性の関係について、特に出力零化制御や最適制御との関連を中心として、考察を行なった。またその過程において、ポアンカレマップ内のフィードバック構造を利用した制御則を提案し、その有効性をシミュ

レーションにより確認している。一方、解析的なポアンカレマップが導出できることの一応用例として、離散 DFC 型に基づく制御則を用いた場合にも同様のポアンカレマップが求められることを示し、それを用いたゲインの一設計法を与えている。最後に、その有効性に関しても数値例によって検証を行なっている。

6 章では、結論として以上の各章の内容を要約している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、より合理的で高効率なロボットの歩行実現の観点からアクチュエータを用いない受動的歩行に着目し、その現象の運動解析や実際のロボットの歩容制御への応用を行おうとするものであり、以下の成果を得ている。

- (1) ロボットの遊脚が地面に接地する直前の状態に着目し、この状態に関するポアンカレマップを用いて、受動的歩行の安定性が議論できることを示した。その上で、カオス制御で用いられる遅延フィードバック制御を用いることにより、受動的歩行を行なっている際のロボットの脚の軌道の情報を全く用いることなく、ロボットの歩行を受動的歩行に推移させる制御則の構築を行なった。さらに、シミュレーション及び実機による歩行実験により、その有効性を確認した。
- (2) 上記で提案した制御則と既存の制御則を適切に組み合わせることにより、受動的歩行を行なっている際のロボットの脚の正確な情報を必要とせず、かつ元になっている二つの制御則よりも良好な制御が期待できる新たな制御則を提案した。さらに、この制御則に関しても、シミュレーションおよび実験により、その有効性を検証している。
- (3) 受動的歩行の動作原理解明を目的とした安定解析を行うことを目指し、ロボットの脚の地面との衝突点に関する解析的なポアンカレマップを求め、その構造に着目しながら受動的歩行の安定解析を行なった。さらに、その解析的なポアンカレマップ内にフィードバック構造と見なせる構造が埋め込まれていることを示し、そのフィードバック構造と受動的歩行との安定性の関係に関して考察を行なった。これらに基づき、ポアンカレマップ内のフィードバック構造を利用した制御則を提案し、その有効性をシミュレーションにより確認している。

以上要するに、本論文は自然な歩容と省エネルギー効果の期待されるロボットの受動的歩行に着目し、その制御手法と運動解析に関して、有益な知見を与えたものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月22日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。