

スポーツをするロボット：体操ロボット

高島, 俊 / Takashima, Suguru

(出版者 / Publisher)

社団法人日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会誌 / 日本機械学会誌

(号 / Number)

888

(開始ページ / Start Page)

1010

(終了ページ / End Page)

1012

(発行年 / Year)

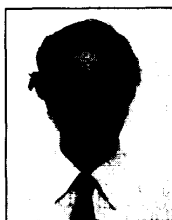
1992-11-05

スポーツをするロボット ー体操ロボットー

Robots Playing Sports ーGymnast Robotsー

高島 俊

Suguru TAKASHIMA



- 1947年2月生まれ
- 1972年大阪大学大学院修士課程修了，同学助手，熊本大学教育学部を経て，1991年法政大学工学部教授，現在に至る
- 正員，法政大学工学部（〒184 小金井市梶野町3-7-2）

1. はじめに

スポーツ工学は，工学的な手法を用いて，用具の開発や利用方法を研究したり，最適なトレーニング方法などを研究する分野であると考えられ，ロボット工学は，人間や動物が持つ多くの機能を自動機械として実現する工学であるといえるであろう。スポーツ工学とロボット工学とではその目的とするところは異なるが，解析手段や人間の運動機能の解明などの点で共通する部分が多い⁽¹⁾。ここでは，スポーツ（体操）をするロボットを開発することの意味と，現在まで，筆者が行ってきた体操をするロボットの研究について述べる。

2. 運動するロボットを作ろうとする意味

ロボット工学の分野では，20年以上前から脚式歩行ロボットが研究されてきたが，最近になってやっと，人間と同じような動歩行をすることができるようになってきた。一般に運動をするロボットについて未解決の問題として，人間をモデル化した多リンク系の制御対象を，人間のように滑らかにかつ緩急自在に動かすために必要な体全体の動きを表現する物理量を見いだすことと，それを制御するための方法を見いだすことがある（動

的な動作には角運動量が非常に重要な意味を持つことが分かってきた）。

さらに未解決の問題として，未来の状態を予知するための方法と，学習や熟練のメカニズムの解明とそれを応用する方法の開発がある。また，視覚を含めた多くのセンサからの情報の統合（センサフュージョン）と制御との関係も未知の部分が多い。

運動する機械を作ろうとすることは，埋もれている多くの未解決の問題を掘り起こすという意味があり，それらを徐々に解決して行くことにより，人間の持つ運動機能を工学に利用することが可能となるのであり，また，逆に人間がどのようにして制御をしているのかも次第に分かってくるということになる。

3. 鉄棒ロボット⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

器械体操は，高度な熟練を要する運動であるが，連続動作でなく個々の動作について見ると，逆立ち，宙返り，跳躍，回転などロボットでも実現可能と考えられる動作が多い。特に鉄棒運動は，脚を使って移動する必要がなく，一端が鉄棒に固定される懸垂振動が主であるため，比較的容易に人間と同じような動作をさせることができる。さて，筆者は，これまで鉄棒運動のシミュレーションから始めて⁽²⁾，鉄棒運動ロボットを製作し⁽³⁾，種々の励振方法からの大車輪，振り出し，蹴上がり，さか上がりをさせることができた。さらに，着地技のシミュレーションを行い，目的とする姿勢で着地するための空中姿勢の制御方法と，着地時の衝撃の吸収方法について示した⁽⁴⁾。

3・1 懸垂振動の励振方法⁽⁵⁾と蹴上りの制御

鉄棒をする人間を3または4リンク系でモデル化する。各関節にはアクチュエータがあるが、鉄棒回りには自由に回転できるとする。人間のモデルを図1に示し、製作した3リンク系の鉄棒運動ロボットを図2に示す。懸垂振動の励振方法としては、種々の方法があるが、現在までのところ、エネルギーの増加率や関節駆動トルクの滑らかさなどから、最も効率の良い励振方法は、振り子としての固有振動数に等しい振動数の正弦波状の関節角度変化を与える方法であることが分かっている。振り子の固有振動数は振幅に依存して変わる。そこで振動数を可変とする一定の振幅の正弦波の発生が必要となるが、正弦関数の周波数を変えた時点で不連続となることを避けるため、正弦関数の初期位相を周波数の変化に合わせて変える方法を提案した⁽⁵⁾。この方法は、実験においても効率的な励振であることが確認された。

蹴上がりには反り型蹴上がりと振り上げ型蹴上がりがある。反り型蹴上がりは振り戻りの際に腰を反らし気味に伸ばし、その反動によって蹴上がりをするものであり、これを行うにはまず、懸垂振動によって重心の振幅角の最大値がある値を越えたとき、反り動作のフラッグを立て、最下点を通過したら反り姿勢を取り、最上点に達したら脚を鉄棒に引き付ける蹴上がり動作を始める。各関節の目標角度(姿勢)は人間の蹴上がり動作を参考にして、重心位置の鉛直線からの角度の関数とし

て与えている。振り上げ型蹴上がりも同様である。

3・2 空中姿勢の制御と着地⁽⁴⁾

体操選手の着地技を以下のように三つに分けて考える。

(1) 空中姿勢制御の問題：空中で慣性モーメントを操作し着地時の姿勢を制御する方法として、重心回りの慣性モーメントの逆数と角運動量の積の時間積分値が、全体の回転角(宙返り角)に等しいということを用いて、慣性モーメントの逆数が満たすべき時間関数を決定する方法を用いている。したがって、空中においては、この目標関数に追従するように各関節角を制御する、非線形補償を用いた制御系を構成している。

(2) 着地時の衝撃吸収の問題：着地時の衝撃吸収方法としては、まず、床反力によって各関節に加わるトルクに対抗するトルクと、垂直方向の床反力の先取りを行う意味で、床反力の時間微分値に比例したトルクを引算するというフィードバックを用いている。これにより、床反力のピーク値を自由に抑えることができる。この方法を用いたときの床反力の変化を図3に示す。

(3) 着地後の姿勢安定化の問題：次に、着地後の姿勢安定化のため、着地後の着地点回りの角運動量が小となる着地点の学習を行い、その後足首回りのトルクにより安定姿勢を保つ制御を行っている。

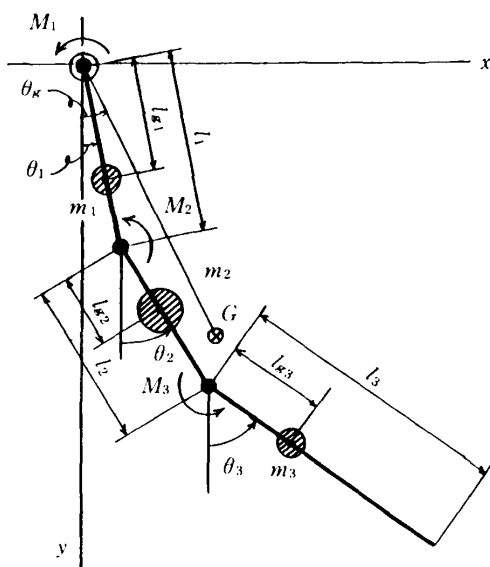
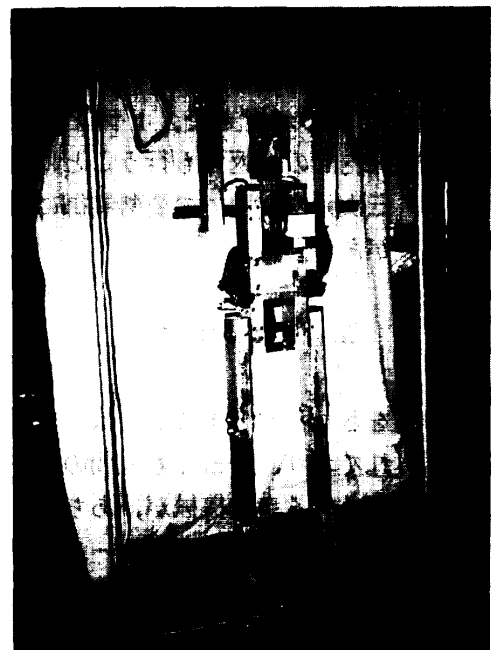


図1 鉄棒運動をする人間の3リンクモデル



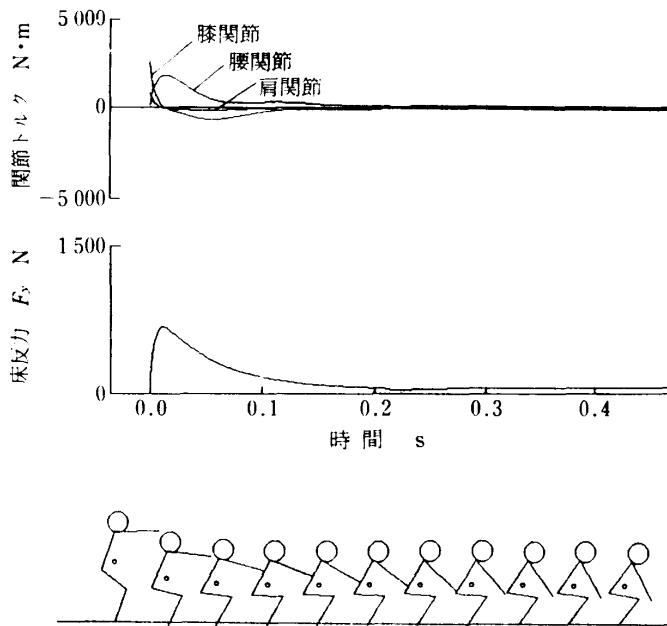


図 3 床反力微分フィードバックを用いた衝撃吸収動作のシミュレーション結果

これらの動作を総合してシミュレーションを行った例を図 4 に示す。

4. トランポリンをするロボット

着地と離陸時の角運動量の制御や宙返りの制御およびこれらの連続動作を行うスポーツとしてトランポリンを取り上げ、現在、シミュレーションを行っている⁽⁷⁾。直動アクチュエータを持つ 2 リンクモデルに対して、トランポリンのベッドを鉛直面内での非線形ばねとしてモデル化することにより、定位置での二次元宙返りを行うための制御方法を見いだすことができた。トランポリンでは、三次元空間内での宙返りも行うことになるため、今後は、三次元空間内での姿勢制御について研究する必要がある。

5. おわりに

機械に曲芸をさせようとすることは、非常に古くから試みられており、今日でも人間の形をしておもしろい動きをする自動機械が、あちこちで展示されているが、これらは、アミューズメントロボットの範疇に入るものである。一方、現在、スポーツをするロボットとなると、歩くことさえま

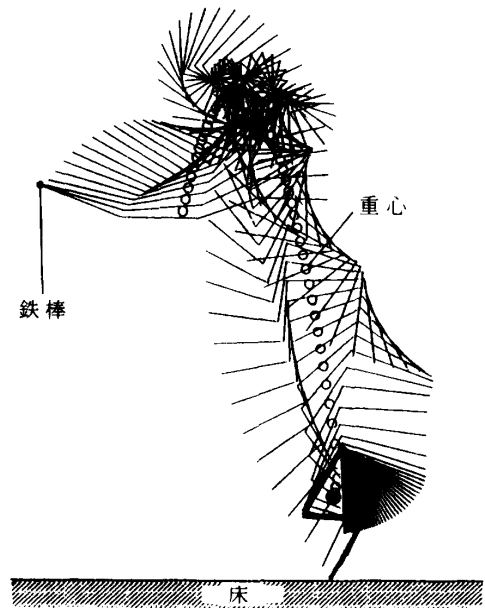


図 4 後方二回転宙返り下りのシミュレーション結果

まならないのであるから、走り回るスポーツはほとんど不可能である。しかし、運動するロボットを作ろうとするとときに現われる未解決の問題は、各分野でそれぞれ個々に研究が進められており、将来は、これらの研究成果が総合されて、人間に近い運動能力を持ったロボットが開発され、ロボットの行動可能範囲が拡大され、さまざまな環境で利用されることが期待される。

文 献

- (1) Van Gheluwe, B. and Ath, J., *Current Research in Sports Biomechanics*, (1987), KARGER.
- (2) 高島, 鉄棒運動の動力学的シミュレーション, 第 6 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (1988), 39.
- (3) Takashima, S., Dynamic modeling of a gymnast on a high bar, *Proceeding of IROS '90*, (1990), 955.
- (4) 遠藤・高島, 器械体操における空中姿勢の制御および着地のシミュレーション, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '92 予稿集, No. 920-33 Vol. A, (1992), 15.
- (5) 高島, 鉄棒運動ロボットの制御—励振とけがりの制御, 日本機械学会第 1 回ダイナミクスに関するオーディオ・ビジュアルシンポジウム講演論文集, No. 920-8 (1992), 25.
- (6) 高島, 鉄棒運動ロボット, 日本ロボット学会誌, 第 9 巻ビデオ特集号, (1991).
- (7) 伊原・高島, 跳躍機械の制御 (着地から跳躍へ), ロボティクス・メカトロニクス講演会 '92 予稿集, No. 920-33 Vol. A, (1992), 7.

(原稿受付 1992 年 7 月 8 日)