

恐竜型アミューズメントロボットの動作シミュレーション

澤田 知之

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

田中 豊

法政大学工学部機械工学科

動物型ロボットに求められる生き物らしい動作の生成方法として、従来のモーションキャプチャー方式に変わる、新たな方法を提案する。本稿では、恐竜型アミューズメントロボットを対象とし、人が動作から感じる印象や、実際の動物から得られる動作のパラメータを元にロボットの動作を生成し、機構解析ソフトを用いたシミュレーション結果から動物的動作の検証を行う。

1. はじめに

近年、テーマパーク等に設置されるアミューズメント用マシンや、エンターテインメントロボットの分野において、動物を模した形体の機械システムが増えている。今日ではペット型ロボットと称して、犬や猫を模した機械システムが登場している事は広く知られている[1]。これらの機械システムは産業用機械とは異なり、単調な動作や高性能さよりも、むしろ人間を楽しませるための機能、つまり動物としての複雑な振る舞いや、リアルな動作をすることに焦点が置かれている。しかし、アミューズメント用マシンも産業用マシンも、用いられている要素はほぼ同じで、いかにそれらしく動作をさせるかは機構の構成や制御手法だけでなく、人間の感覚や印象によるところが大きい。

機械システムに、動物らしい動作の振付けを行うためには、現状では、モーションキャプチャー方式により動作の取得を行う方法が主流である。モーションキャプチャー方式は、動作対象にマーカーを取り付け、その位置を計測する方法である。しかし、動作対象による個体差等で、得られる値が一定では無く、また、実際に存在しない動物に対しては、そもそも計測する事が出来ない等の問題がある。そこで本研究では、動物らしい基本動作の定量的な生成法を新たに提案し、その手法を用いて生成した動作シミュレーションの結果を通して、手法の妥当性の評価を行う。

2. 動作の生成法の提案

本研究では、実際の動物から得られた動作のパラメータ（これを数値要素とする）と、人が動作から感じる印象（これを心理要素とする）とを考慮し、基本となる動作（これを基本動作とする）に付加していくことで、動物的な動作の生成法を提案する。

2.1 数値要素

すでに絶滅している動物の場合、実際の動作がどのようなものであるかを知ることはできない。しかし生物である以上、現存する動物の動作や、発掘された化石の骨格等からある程度推測することは可能である[2]。そこで、動物らしい動作を得るために現存する動物の動作を調べ、共通する動作のパラメータを算出し、解析対象となる恐

竜のサイズに相当する動作速度を見積もった[3]。その際、本研究では特に、動物の平均歩行速度に着目し、そこから見積もられる恐竜の歩行速度を概算し、脚関節部の角速度を求め、対象となるロボットの各部分の関節の動きのパラメータに拡張した。

2.2 心理要素

対象の動作が生成する印象は、動作の特徴を表わす実態的な量により説明される。例えば、動作の速度が全般的に速ければ、観察者はまず“機敏な動きである”などと動作の全般的な物理状態に着目し、それに応じて動作体の印象を感じる。そこで、本研究では舞踏学における身体姿勢と運動との関係を定量的に関係付ける Laban Movement Analysis を元に研究を進めた[4]。これによると、身体動作の特徴(量)は活発な動き(Fighting Form)と弱々しい動き(Indulging Form)の2種類に分別され、それぞれの動作を特徴付ける6つの要素から構成される。さらに、これらの要素は時間に関する動的な要素(Effort)と、形状に関する静的な要素(Shape)の2種類に大別される。Table 1はこれらの6つの要素を示したものであり、上から順に力加減(Weight)、方向的偏り(Space)、時間的慌しさ(Time)、正面形状(Door Plane)、側面形状(Wheel Plane)、水平面形状(Table Plane)を規定するための要素である。今回はこの6つのLaban特徴量により定められる2種類の動作を、解析対象に導入した。

Table 1 Six Elements for Laban Movement Analysis

		Indulging Form	Fighting Form
Effort	Weight	Light	Strong
	Space	Indirect	Direct
	Time	Sustained	Sudden
Shape	Door Plane	Descending	Ascending
	Wheel Plane	Advancing	Retreating
	Table Plane	Spreading	Enclosing

2.3 基本動作

本研究では、モデルを動作させるために必要となる基本動作を、ファジ理論による考え方をを用いて決定した [5]。今回の解析対象である恐竜ロボットの様子 3 リンク（図中 A, B, C）の剛体から構成される構造体を考えたとき、構造体全体の動作は真中の剛体 B を基点として動作する。両端の剛体 A と C の動作は、真中の剛体 B の動作に関連する形で動作するので、逆に両端の剛体 A と C を定めることで、真中の剛体 B の動作を特定でき、最終的に構造体全体の動作が得られる。

Table 2 はこの考え方を元に提案したファジルールである。ルールは、両端の剛体 A と C から、構造体全体の動作に影響を与える真中の剛体 B を定めるように作られた。表中の Large, Middle, Small は剛体 A と剛体 C の振れる角度の大きさが、順に大きい、中くらい、小さいことを意味し、Negative Big, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Big は、剛体 B の振れる角度の大きさが、順に小さい、比較的小さい、ほぼ中くらい、比較的大きい、大きいことを意味している。ルール作りの際は、まず、剛体 A と剛体 C のなす角度が、共に大きく振れた場合 (Large) を考えた。この時、剛体 A や剛体 C のなす角度は大きく振れている事から、その動作は Laban 特徴量の Indulging Form の形態を満たしているので、結果として、剛体 B の動作は小さくなり Negative Big であると定められる。この逆の場合は、全てが逆となり、表中の対角線上の位置が Fighting Form となり、Positive Big であると定められる。対角上の 2 点が決定したら、その間にある値は、両者の影響力のある順に定まり、ファジルールは完成する。このように、これまで定めた Laban 特徴量により得られた動作が組み込まれるようにルール作りを行った。

3. 解析対象

本研究では、動物的動作の検証としてアミューズメント用途に用いられる恐竜型ロボットの動作を対象とした。恐竜はすでに絶滅しており実際に存在しないため、発見された骨格等から動作を想定する以外に方法は無く、モーションキャプチャー方式による動作の生成もできないため、今回の対象には適している。

Fig.2 は解析対象となる恐竜型ロボットの外觀図である。装置は首部 (Neck)、尻尾部 (Tail)、胴体部 (Body) から構成されている。ベース部 (Base) の高さは 1200mm あり、これによりロボットは定盤に固定されている。首部は長さ 1040mm、尻尾部は長さ 1165mm である。首部は胴体部に対して、横振り動作を行うように、尻尾部は胴体部に縦振り動作を行うようにリンク構造で接続されている。胴体部はシリンダによって縦方向に、首部は左右に取り付けられた 2 本のシリンダによって横方向に、尻尾部はシリンダによって縦方向にそれぞれ駆動される。各シリンダによる可動回転範囲は胴体部が 32°、首部が 33°、尻尾部が 26° である。

今回用いたロボットの原型となる恐竜は、その体格から、体長 4m 程、体重 80kg 程の小型な恐竜と想定される。先に述べた数値要素をこの値を元に概算すると、平均歩行速度は 1.67m/s、関節部の回転角速度は 1.2rad/s となる。

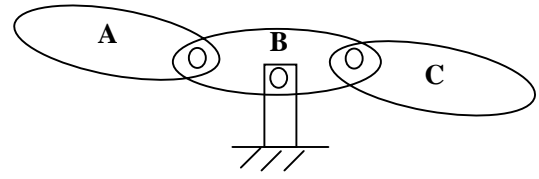


Fig.1 3-Links Model

Table 2 Fuzzy Rules for 3-Links Model

		Structure (A)		
		Large	Middle	Small
Structure (C)	Large	Negative Big*	Negative Small	Zero
	Middle	Negative Small	Zero	Positive Small
	Small	Zero	Positive Small	Positive Big**

* Indulging Form, ** Fighting Form

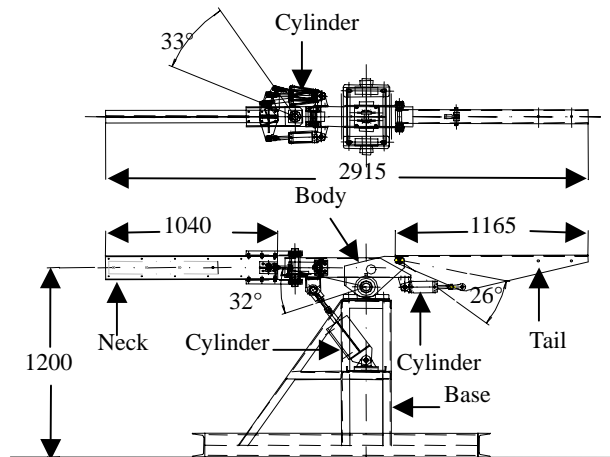


Fig.2 Detail Drawing of Dinosaur Type Robot

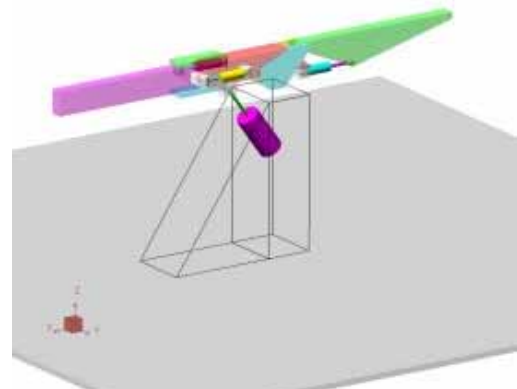


Fig.3 Mechanical Model of Dinosaur for Simulation

4. 動作シミュレーション

今回、動作シミュレーションを行う際に用いたソフトは、LMS International 社により開発された LMS DADS (Dynamic Analysis and Design System) と呼ばれる機構解析ソフトである。Fig.3 は、実際の恐竜型ロボットの寸法図を元に DADS により構築されたモデルである。ソフトウェア上において、モデルは実際のロボットと同じだけの駆動要素(シリンダ)を配置することが可能であり、また、実際と同じスケールにより構築ができるため、相似則を気にせず機構の動作を解析、シミュレーションすることが可能である。

動作のシミュレーションを行うにあたり、提案した Laban 特徴量における 2 種類の動作 (Indulging Form, Fighting Form) と、概算した関節部の角速度 (1.2rad/s) から、ファジィルールに従い動作の決定を行った。生成された動作の胴体部、首部、尻尾部に取り付けられた各シリンダストロークの時間変化を Fig.4,5,6 に実線で示す。シリンダは Fig.3 に示すように首部、胴部、尻尾部が水平になった場合の変位を基準とし、胴部と尻尾部のシリンダは上向きに動作する場合を正、下向きを負とした。また首部シリンダは、手前側に動作する場合を正、奥側に動作する場合を負とした。今回の動作シミュレーションは、20 秒間の間に、Laban 特徴量で定められた Fighting Form を 3 回、Indulging Form を 4 回行わせている (図中の矢印)。Fig.7 は動作シミュレーションの様子である。特に時間 $t=1.25[s]$ 、 $t=4.06[s]$ は Laban 特徴量により定められた Indulging Form と Fighting Form の動作の様子を示している。

次に、提案した動作の比較用として動物的動作を考慮しない場合の動作シミュレーションを行った。この比較用の動作には、提案した動作から得られた動作周期を元に単純な正弦波 ($\omega=1.12\text{rad/s}$) の波形を、同じ時間内に、同じ回数、繰り返し動作させるよう条件付を行った。計算された比較用動作の各シリンダストロークの時間変化を Fig.4,5,6 に破線で示す。

5. 動作の評価

提案した動作の有効性を検討するために、シミュレーションで得られた 2 種類の動作結果をアニメーション形式で、実際に被験者 (12 人) に見てもらい、どちらの動作が動物らしく動作しているかというアンケートをとった。Table 3 は今回行ったアンケートの質問項目である。被験者には、提案した動作を考慮した場合と、何も考慮していない場合の 2 種類を見てもらい、どちらの動作が、アンケートの各質問項目に最も当てはまるかを回答してもらった。先に見せた動作を A、次に見せた動作を B とし、回答項目は、A の方が当てはまる、どちらかと言えば A、どちらかと言えば B (A はあまり当てはまらない)、B の方が当てはまる (A は全く当てはまらない)、の 4 通りとし、各項目から得られたそれぞれの結果の平均が Fig.8 である。Fig.8 によると、今回の評価実験では被験者の 54% が提案した動作は、何も考慮しない場合に比べて動物らしいと回答している。さらに、どちらかと言えば動物らしいと言う回答と合計すると、約 90% の被験者は今回の提案により生成された動作は動物らしいと回答している。

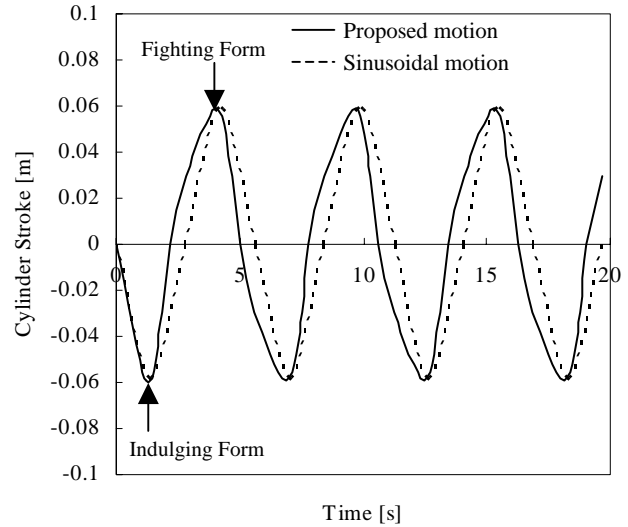


Fig.4 Cylinder Stroke of Body Part

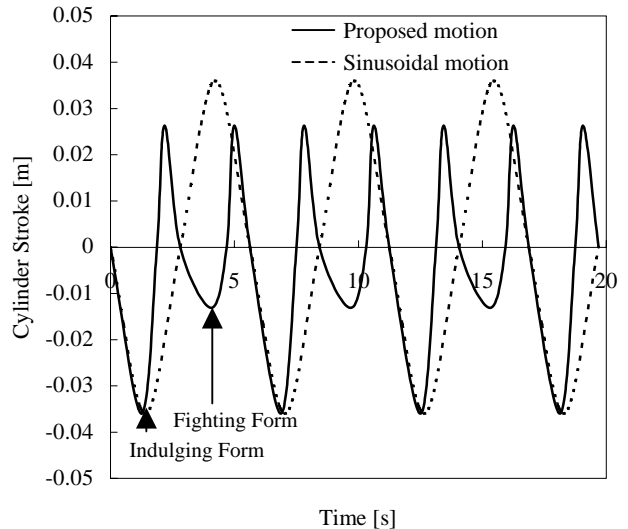


Fig.5 Cylinder Stroke of Neck Part

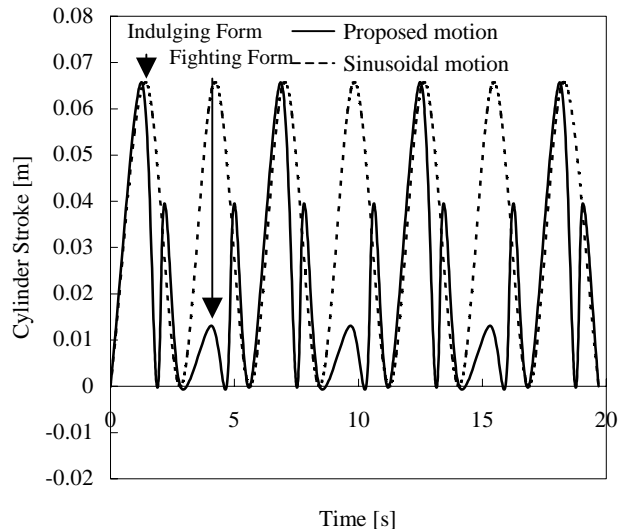


Fig.6 Cylinder Stroke of Tail Part

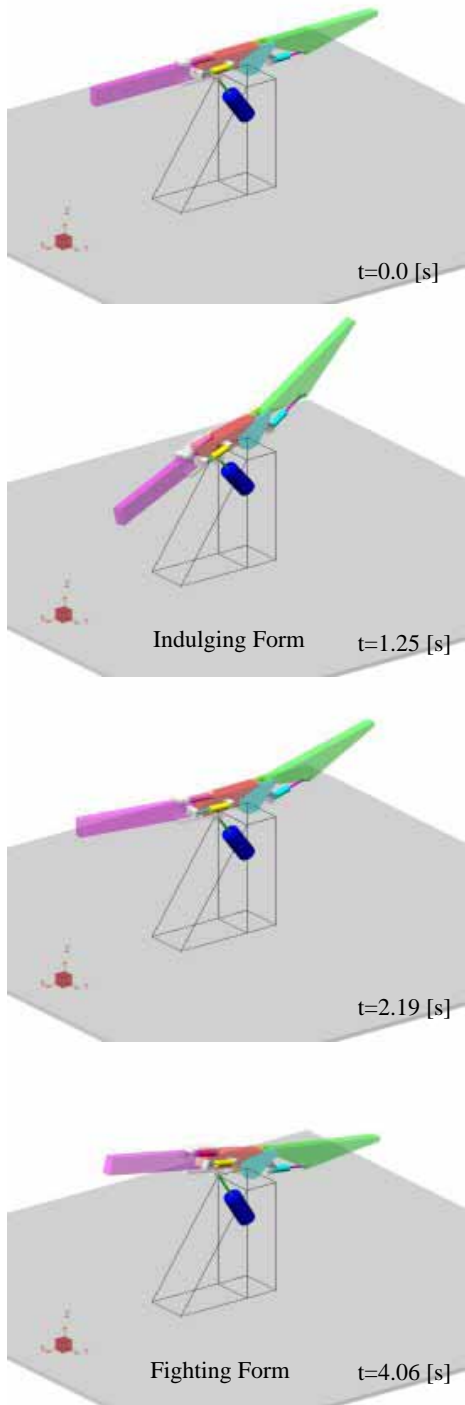


Fig.7 Computer Graphics of Simulated Motion

6. おわりに

動物のような動作の生成を定量的に行う手法を提案し、機構解析ソフト(DADS)を用いて動作シミュレーションを行った。動作シミュレーションを観察者に見てもらった結果、提案した動作の有効性が認められた。今後は動作の際に消費されるエネルギー等に着目し、実際の動物のそれと比較、検討を行っていく。

Table 3 Questionnaire Entries for Evaluation

Questions
Which motion is uniform?
Which motion is smooth?
Which motion is complicated?
Which motion is alive?
Which motion is active?
Which motion is not boring?
Which motion is awkward?
Which motion does a story have?
Which motion should be improved?
Which motion is mechanical?

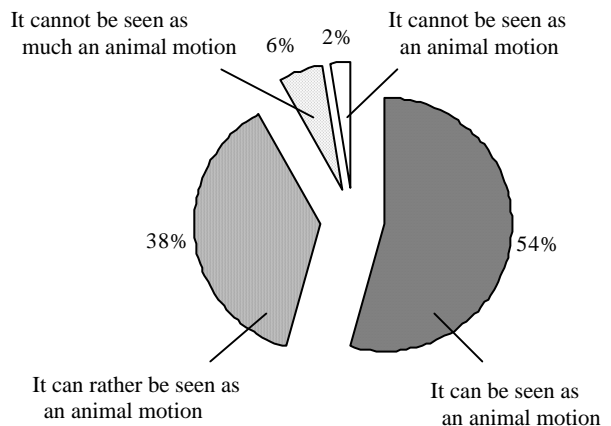


Fig.8 Aggregative Results for Evaluation

最後に、本研究で対象とした恐竜モデルは(株)ココロ様からの借用である。(株)ココロの伊藤氏をはじめ関係者の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。また、本研究のシミュレーションは法政大学計算科学研究センターに導入されたソフトウェア、DADSを用いて行われた。

参考文献

- [1] 猪岡, 山本, "アミューズメント・ロボット", 計測自動制御学会誌 第40巻 第9号 pp.657-663, 2001
- [2] R.M.アレクサンダー, "恐竜の力学", 地人書館, 1991
- [3] Thomas A. McMahon, John Tyler Bonner, "ON SIZE AND LIFE", SCIENTIFIC AMERICAN LIBRARY, 1983
- [4] 佐藤, 中田, "人と調和するペットロボットのための対人心理作用技術", 人工知能学会誌 Vol.16 No.3 pp.406-411, 2001
- [5] 酒井幸市, "物理・制御シミュレーション入門", CQ出版社, 2002

キーワード.

生き物, 印象, パラメータ, 機構解析, アミューズメントロボット, ラバン特徴量

.....

Summary.

Motion Simulation for Dinosaur Type of Amusement Robot

Tomoyuki Sawada
Graduate School of Engineering, Hosei University

Yutaka Tanaka
Department of Mechanical Engineering, Hosei University

In this research, new method as generation of motion like living things such as animal type robots is proposed and investigated instead of conventional motion capture. Motion parameters are supposed and defined by actual animals. The concept of designing a set of physical feature values is based on Laban Movement Analysis which is a famous theory in body movement psychology. Motion of a Multi-body Mechanism is also designed and calculated using the concept of the Fuzzy theory. According to the design concept and the feature values, motion of a dinosaur type robot is numerically calculated using the mechanical analysis software. Validity of the simulated motion for the dinosaur robot like real animals is experimentally evaluated through the computer graphics bodies by subjects.

Keywords.

living things, impression, parameter, mechanism analysis, amusement robot, Laban Movement Analysis