

森川英明, 河村隆, 橋本稔, 剣持潔, 三浦幹彦

目的別テーマ： 自動化およびロボティクス

15年度研究テーマ

15-6-7 吐糸・営繭行動を模倣したロボットに関する研究

ABSTRACT

Locus pattern of Silkworm's spinning behavior based on "8" character and "S" character. We modeled this pattern to the Lemniscate Curvilinear function, and tried to make some locus design for plane surface structure. Furthermore, We extended the pattern of Lemniscate Curvilinear to tree-dimensional space, column model and sphere model. And we applied to make artificial structure by using of a composite material and robot.

研究目的

蚕の吐糸営繭行動を解析し、統計的モデルを作成するとともに、これを模倣した「一筆書き」方式による構造物構築法について検討を進め、ロボットへの応用、機能性構造物などの実用化を図ることを目的とする。

一年間の研究内容と成果

蚕は体の後半部を固定し前半部を巧みに動かしながら「8の字」型に吐糸・営繭する典型的なパターンを持つ。平成15年度はこの「8の字」型の吐糸軌跡に注目し、ロボットの吐糸成形ヘッドの軌道を設計する際の基礎となる吐糸パターンの研究を行った。

1. 吐糸軌跡の特性解析

蚕品種「日124×支142」の吐糸口、および各体節の境界部分にランドマークを付け、平面上での吐糸行動をビデオカメラで連続的に撮影した。得られた画像から各ランドマーク位置を抽出し、吐糸口の軌跡および各体節の動作特性を解析した。その結果、蚕の「8の字」吐糸行動には、「A. 蚕体前半部を大きく振る動作」と「B. 第4体節までを使って小さく振る動作」の2つのパターンに分類できた (Fig. 1)。「8の字」は非対称であり、軌跡から体節を伸縮させる特徴が見られた。

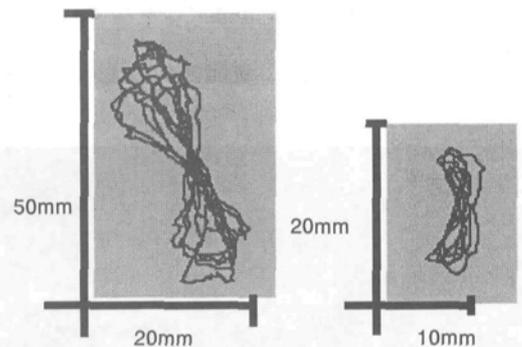


Fig. 1 蚕の吐糸軌跡 (平面への吐糸)

2. 吐糸軌跡パターンのモデル化

蚕の吐糸軌跡は完全な「8の字」ではなく、非対称の蚕のレムニスケート曲線を用いてモデル化を行った。さらにレムニスケート曲線を基本に、2次元平面や3次元空間上に自由に吐糸軌跡を描くための方法について検討を行った。レムニスケート曲線は、カッシニの卵形の特殊な形として以下のように記述できる。

$$\text{方程式} : (x^2 + y^2)^2 - 2a^2(x^2 - y^2) = 0$$

$$\text{極方程式} : r = a\sqrt{2\cos 2\theta}$$

$$\text{パラメータ} : \begin{cases} x = \frac{\cos t}{1 + \sin^2 t} \\ y = \frac{\sin t \cos t}{1 + \sin^2 t} \end{cases}$$

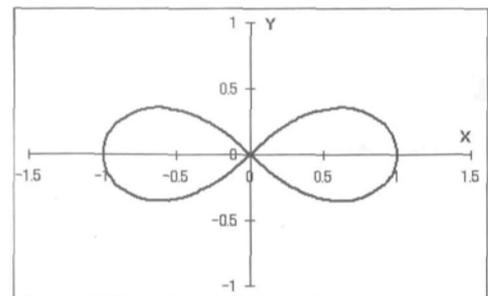


Fig. 2 レムニスケート (Lemniscate) 曲線

3. 平面上への吐糸軌跡パターンの作成

レムニスケート (Lemniscate) 曲線を用いて、蚕の営繭行動時における吐糸口の動きをシミュレートするプログラムを作成した。レムニスケート (Lemniscate) 曲線の原点座標を移動させる描画法を採ることによって、様々な軌跡の軌道を取ることが可能になる。また移動速度を変えることによって、「8の字」型だけでなく、「Sの字」型の吐糸軌跡をシミュレートすることが可能となった。

プログラムにより得られた吐糸軌跡データを用いて、平面素材を成形することも可能である。その場合に重要になるのが作成した素材の物性である。特に強度に関連した因子、つまり交点数や密度などが強度にどのような影響を与えているかを解析することは、素材の物性を知るうえで、非常に重要な役割を担う。またシミュレーションプログラムで作成した吐糸軌跡と、実際に成形した素材との誤差を評価する必要もある。以上のことを踏まえて、シミュレートした吐糸軌跡データを評価する機能を付与した。評価は、描かれた軌跡パターンの一部を矩形で選択することにより、この区間内における交点数、総糸長、被覆密度を計算し、表示することが可能である。

4. 3次元空間上への吐糸軌跡パターンの作成

平面での吐糸パターン設計を拡張し、円柱表面や球体表面上に展開するための検討を行った。円柱表面に対しては、レムニスケート曲線を円柱表面の曲率にあわせ、円柱の曲面に沿って y 軸方向にストレッチさせる変換を行った。

球体表面への展開についても同様に、レムニスケート (Lemniscate) 曲線を球体表面にあわせて y, z 軸両方向にストレッチさせる変換を行った。

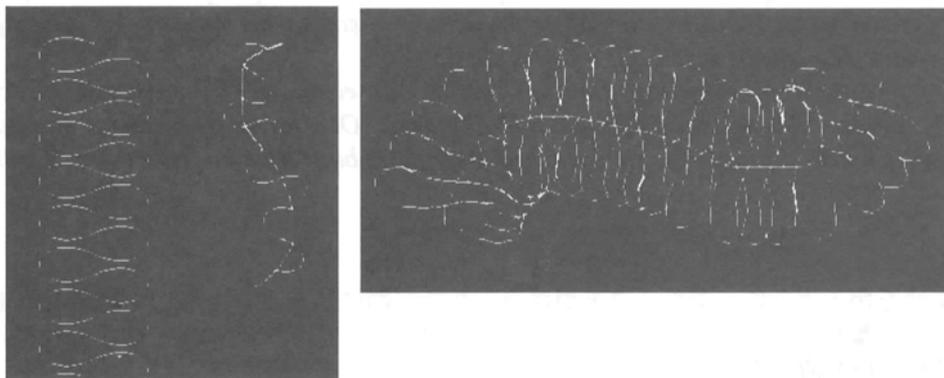


Fig.3 平面における連続パターンの構成

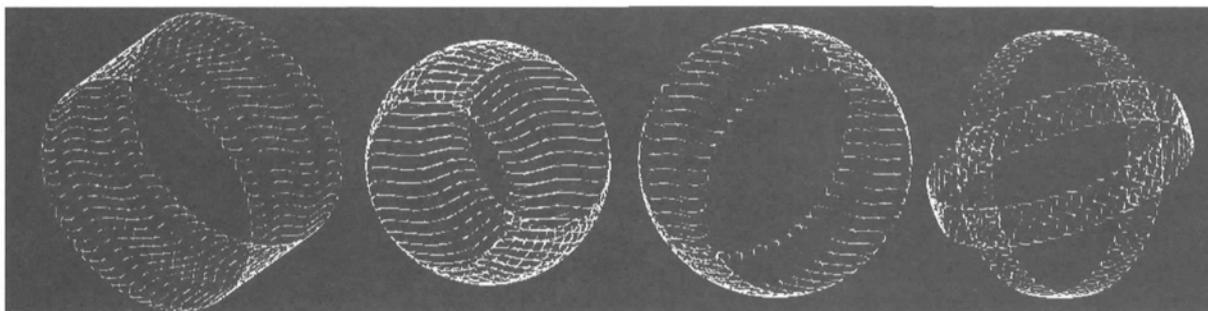


Fig.4 円柱および球体表面への展開

展望

蚕の吐糸行動を解析し、吐糸軌跡のモデルとしてレムニスケート関数を採用した。この関数を利用することによってロボットの吐糸成形ヘッドの基本的な軌道設計が可能になると考える。今後は、本プログラムを産業用ロボット(多関節マニピュレータ)と複合材料による試作実験に組み込むことにより、蚕の吐糸行動を模範とした素材成形システムの構築を進める予定である。