

目的別テーマ：自動化およびロボティクス

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

Spinning and cocooning behavior of silkworm is a interesting process not only as a process of generating silk which is superior natural fiber, but also as a process of building flexible structure like as a dome, flat web, etc. which made with single stroked fiber material. The aim of this research is to make a model for the silkworm spinning behavior to develop a robot which can mimic the behavior and build the artificial flexible structures. A silkworm has a typical behavioral pattern of making continuous "8" shape spinning and cocooning with fixing rear of the body and moving front of the body skillfully. We videoed and gave geometric analysis concerning for the position of spinneret, 6th part and 13th part of a larval body in spinning process. As a result of experiments, we confirmed some basic actions for searching basement of cocoon construction in the space. Therefore we noticed the "8" shape spinning locus and model it by Lemniscate's curvilinear function. Additionally, we studied the method of representing the spinning locus on two dimensional or in three dimensional spaces freely on the base of Lemniscate's Curvilinear Function. These results of this research are expected to develop a new method for building structure by fiber materials.

研究目的

蚕は、与えられた環境に応じて適当な足場を築き、さらに一本の繭糸を巧みに構成して楕円体の繭殻を構築する。本研究では、蚕の営繭行動および吐糸行動を解析し、モデル化・ロボット工学分野へ応用することにより、新たな繊維構造物構築のための機構を開発することを目的としている。

5年間の研究内容と成果

1. 営繭時における空間探索・足場作り行動のパターン分析

蚕の営繭行動の初期段階における空間探索行動、および繭の上面を形成する段階における身体動作の特性について定量的な解析を行った。蚕は平面上には楕円形の繭を構築できないことがこれまでの研究から知られている。極限的な営繭環境として平面上に1本の棒を立てた空間を与え、営繭行動データを採取した。空間探索時には、位置移動と任意の位置での固定、および身体前半部（吐糸口ー第6体節間）を円弧状（半球状）に振る行動を繰り返し（Fig. 1）、営繭時に必要となる壁面の探索を行っていることが確認できた。振り動作によって蚕体の一部が支持部材に触れるとこの部分に繭糸を接着し、床面との間で数回の吐糸を繰り返す。さらに同様の方法により3～4カ所に足場となる繭糸を吐糸し、放射状に配置された足場空間内に体を入れて、内部に繭殻を形成することが確認できた。繭殻形成の初期段階にあたる上面部分形成時には、蚕体の位置を頻繁に変えながら繭綿を形成しているがこの際、第6体節の位置はほとんど変わらず、ここを支点として吐糸行動を行っている。最終的に蚕は棒と床面の間に足場を構築し、内部に楕円形の繭を構築した。

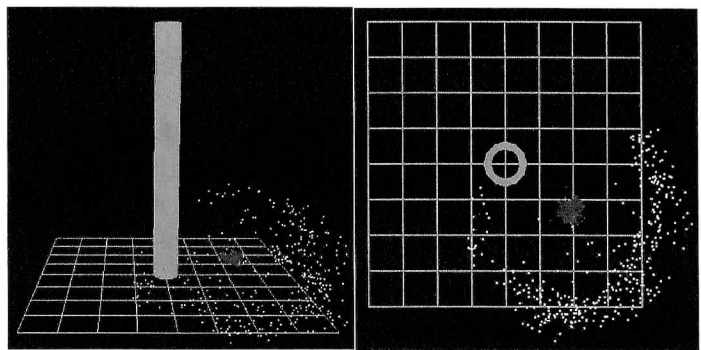


Fig.1 空間探索時の吐糸口軌跡（白点：吐糸口、赤点：第6体節）

2. 吐糸行動時における蚕体動作特性の解析

蚕は繭糸を「8」の字や「S」の字に連続吐糸することで、2次元平面や3次元曲面を構成して行く。この動作を生み出す身体部分の動きを解析した。実用品種である「春嶺×鐘月」の蚕体前半部の各体節間10点にランドマークを付け、アクリル平面上で吐糸させた。この行動を高速度カメラで撮影し、得られた画像が

らコンピュータを用いて各体節位置の経時データを採取した。その結果、蚕は足場等を作る営繭行動前段では大きな軌跡を描き、繭殻を形成する営繭行動後段では小さな「8」の字軌跡を描いており、営繭段階によ

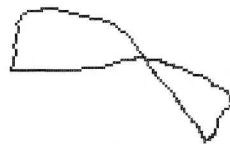


Fig. 2 吐糸軌跡の一例

て異なる動作をしていることが確認できた。また、大きな軌跡を描く際には、蚕体前半部(特に第1体節および第2体節)を伸縮させながら横に大きく振るのに対して、小さな軌跡を描く際には体節の伸縮はあまり行わず、蚕体前半部の横振り

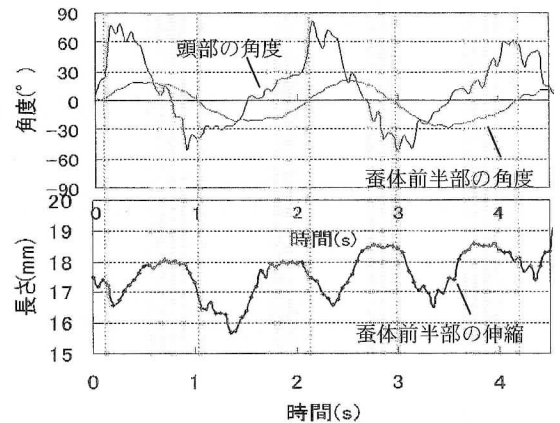


Fig. 3 吐糸軌跡と身体動作の経時変化

3. 吐糸軌跡のモデル化

「8の字」を基本とした吐糸軌跡に対して、レムニスケート曲線を用いたモデル化を行った。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。

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

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

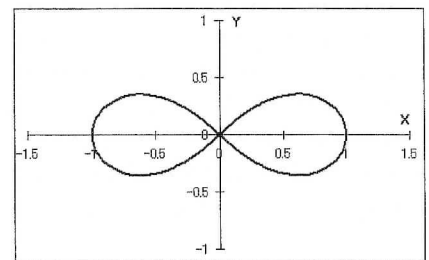


Fig. 4 レムニスケート (Lemniscate) 曲線

4. 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 (Fig. 5)。さらに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ウェブの交絡点数、総糸長、被覆密度を計算・表示することが可能である。これにより、設計したウェブの特性評価が可能となる。さらに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など、3次元空間上に展開するための検討を行った。その結果、Fig. 6に示すようなパターンの創出が可能となった。

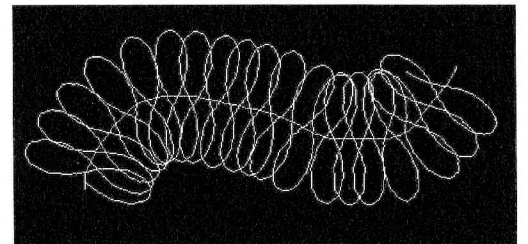


Fig. 5 平面上への吐糸軌跡パターン

5. 吐糸動作機構の開発

レムニスケートモデルに基づく動作機構の開発を進めた。「伸縮 (L)」と「円弧運動 (θ)」による単純化された動作機構をもちいて、2つの形状パラメータによって決定される任意のレムニスケート曲線の動作パターンを発生させるシミュレータを開発した。さらに直動型アクチュエータとステッピングモータを用いて、実際の動作機構を試作し、制御用アプリケーションの作製を行った。

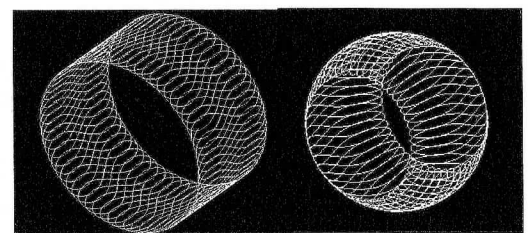


Fig. 6 曲面上への吐糸軌跡パターン

$$L = \sqrt{\frac{(a \cos(t))^2 + (b \sin(t) \cos(t) + D(1 + \sin^2(t)))^2}{(1 + \sin^2(t))^2}} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{a \cos(t)}{b \sin(t) \cos(t) + D(1 + \sin^2(t))}$$

今後はこれらの研究結果に加え、不織布製造技術、光硬化型樹脂などを用いた吐糸成型部材の検討や、ロボット工学に基づく吐糸機構の開発により、営繭行動を模倣したフレキシブル繊維構造物の生成機構の構築が期待できる。