

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13164 号
------	---------------

氏 名 竹内 秀年

### 論 文 題 目

マルチボディダイナミクスに基づく柔軟な糸の数値シミュレーション  
に関する研究

(Study on a numerical simulation of flexible yarn based on  
multibody dynamics)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	井上 剛志
委員	名古屋大学	准教授	高木 賢太郎
委員	名古屋大学	教授	福澤 健二
委員	弘前大学	教授	今西 悦二郎

## 論文審査の結果の要旨

竹内秀年君提出の論文「マルチボディダイナミクスに基づく柔軟な糸の数値シミュレーションに関する研究」は、綿糸の加工工程における動的挙動をマルチボディダイナミクスの手法に基づいてモデル化する各種の方法を提案し、数値シミュレーションによって糸の運動の詳細な力学特性を明らかにしたものである。本研究で対象とする糸の運動は、ポビンに巻かれた糸がほどかれる解舒と呼ばれる運動や、糸をねじると急激に糸が絡まるスナールと呼ばれる運動である。各章の概要は以下の通りである。

第1章は本研究の背景、目的、糸やワイヤの数値シミュレーションに関する過去の研究事例ならびに本論文の構成を述べている。

第2章では、3自由度要素の質点を連結した糸モデルを構築しており、隣接する2つの質点間の距離は変化しないという拘束条件を与えている。外力として重力と空気の抗力、ポビン上の糸または金属で作られた糸道ガイドとの接触力を設定している。また計算負荷が必要以上に大きくなることを防ぐために、質点の生成と削除を行う仕組みを実装している。この糸モデルを用いて解舒運動の数値シミュレーションを行い、糸の運動は実験映像とよく一致していることを確認した。そして、実験では計測が困難な糸の各場所における張力や移動速度の特徴を数値的に明らかにした。

第3章では、第2章の糸モデルにおける拘束条件を用いた質点の連結方式で問題となった計算コストを大幅に縮小すべく、解析中の逆行列演算を取り除くためにばねダンパを用いた連結方式に変更した拡張モデルを構築している。更に糸モデルの持つ特性に着目して行列演算に関するいくつかの高速化の手法を適用して工夫を重ねた結果、最終的に第2章の糸モデルと同精度で約70倍の計算の高速化を達成した。

第4章では、ねじり運動を考慮できるように姿勢を表す自由度を持つ6自由度要素で構成される糸モデルを構築している。6自由度要素としては質量を持つ球と質量を持たない仮想的な円柱を結合したものを考案した。この糸モデルを用いた解舒運動の数値シミュレーションにより、糸が金属ガイドの壁面に擦れて転がることで仮撚りと呼ばれる現象が発生していることを初めて数値的に明らかにした。

第5章では、糸が絡みあう運動を考慮できるように第4章の6自由度要素で構成される糸モデルに糸要素同士との接触を考慮できる機能を追加した。この糸モデルを用いて糸の端点を等速回転させてねじりを加える数値シミュレーションにより、糸が急激に絡まるスナール運動の特性を数値的に明らかにした。特に、スナール運動発生時に糸に蓄えられたねじり角度が急激に減少する様子を数値的に捉え、スナール運動は糸のねじりが糸自身の撚りに変換される現象であることを明らかにした。

第6章は結言であり、前章までの研究成果をまとめている。本論文で構築した3自由度要素からなる糸モデルと6自由度要素からなる糸モデルは糸の運動軌跡や力学特性を明らかにするうえでそれぞれに長所を有しており、両者を適切に併用して繊維機械の設計に活用することにより綿糸の加工工程の高速化や高品質化に寄与していることを示した。

以上のように本論文では、綿糸のマルチボディダイナミクスモデルを構築し、その高速化と高精度化を達成し、その数値シミュレーションにより糸の動的挙動に関する新たな知見を明らかにするとともに実験により確認している。よって本論文は、繊維機械のモデルベース開発手法の確立に貢献しており、工学分野の発展に大きく寄与するものである。よって、本論文の提出者である竹内秀年君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。