

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12183

研究課題名(和文) 風合い制御紡績システムの開発と評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of spinning system for texture control

研究代表者

河村 隆 (Kawamura, Takashi)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：70242675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、明治時代の日本で独自発明したガラ紡績機をベースに、メカトロガラ紡(自動紡績機械)を開発した。紡績原理は従来のガラ紡と同じで、紡糸張力の計測とフィードバックプログラムを追加し、レーザー寸法測定器で紡績中の糸の状態(太さ)の変化を観察することができるようになった。メカトロガラ紡機は、作成した張力制御プログラムを用いて、紡糸パラメータが糸の太さや風合いに与える影響を調査した。パラメータのうち目標張力と撚りかけ速度に周期的な変動を設定することで、糸の太さを周期的に制御できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ガラ紡機では、原料である綿を綿筒に詰めてから1つの工程で糸を紡ぐことができ、通常の紡績工程に比べ工程が簡便であり、必要な原材料の最小単位が小さく、多品種少量生産に適している。糸の風合いが手紡ぎに似ていることや、難紡性の原料でも糸を紡ぐことができるといった利点もある。今後特殊原料・繊維リサイクルなどに活路が見いだせる可能性がある。ただし、ガラ紡特有の風合いや糸の太さの変化の原因は明確に示されていない。また、ガラ紡機は紡糸速度が遅く生産性に課題がある。本研究では目標張力に周期性を与え、糸太さの周期的変化を観察できた。今後、風合い全般の制御につながればガラ紡の再評価が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, mechatronic Gara-bo spinning robot system based on the Gara-bo spinning machine that was invented in Japan in the Meiji era has developed. The spinning principle is the same as the conventional gara-bo spinning. Tension measurement equipment and feedback program are installed the system, which make the system equivalent to conventional gara-bo. Laser dimension sensor is added to the system and thickness of spinning is measured while spinning. The mechatronic Gara-bo spinning robot system was investigated the effect of spinning parameters on the thickness and texture of the thread using the tension control program. It was observed that the periodic change of the thickness of the thread can be controlled by the periodic input of the target tension.

研究分野：知能機械学

キーワード：ロボティクス メカトロニクス 紡績機 ガラ紡

1. 研究開始時の研究の概要

ガラ紡機では、原料である綿を綿筒に詰めてから1つの工程で糸を紡ぐことができ、通常の紡績工程に比べ工程が簡単であるため、紡績システムの変更が容易であり、多品種少量生産に適していると考えられる。また、糸の風合いが手紡ぎに似て良いことや、従来の紡績法では紡ぐことが難しい難紡性の原料でも糸を紡ぐことができるといった利点もある。ガラ紡機では、撚りを掛けながら原料を引き出すといった単純な紡績工程を経るために何年生の材料でも紡績が可能である。一方で、紡績速度が低速であり生産性が低いという欠点がある。本研究では、ガラ紡の長所である良い風合いを意図的に引き出し、あるいは、風合いをコントロールするために紡績ロボットシステムを制御することを目標とした。

2. 研究の目的

1) これまでの研究により、紡糸条件における撚掛け速度、巻取り速度、設定張力の影響を検討した。今回の研究は、これまでの実験的検証に加えて、機械的パラメータと実験条件を決定し、制御入力を最適化するために、原料の充填重量とリフト高さ(紡糸点と巻取りローラの距離)を調査する。

2) 実験では、従来の紡糸パラメータを変化させる方法に加えて、周期制御プログラムを用いて糸の特性を制御した。制御入力を周期的に変化させて撚糸速度と張力の目標値を変化させ、入力周期に伴う紡績糸の太さの変化を観察した。最終的には、これらのパラメータ調整方法をまとめ、ガラ紡の適応的な制御を実現することで、さらに高度な制御を目指す。

3. 研究の方法

メカトロガラ紡機の3D CAD図を図1、図2に示す。従来のガラ紡機と同じように綿筒に詰められた綿を機体上部に取り付けられたDCサーボモータを用いて巻き取ると同時に機体下部に取り付けられたDCサーボモータで撚り掛けを行うことで紡糸できる。従来のガラ紡機と異なる点は、綿筒固定され上下しないことである。従来のガラ紡機では、綿筒を上下させることでクラッチ操作を実現し、撚り掛けを調整していた。メカトロガラ紡機では、モータの回転速度を任意に調整できるため、機構は異なるが、ガラ紡の原理と同等な紡績が行われる。

撚り掛けモータは太さや張力を規範として速度調整を行うことができるように設計されてい

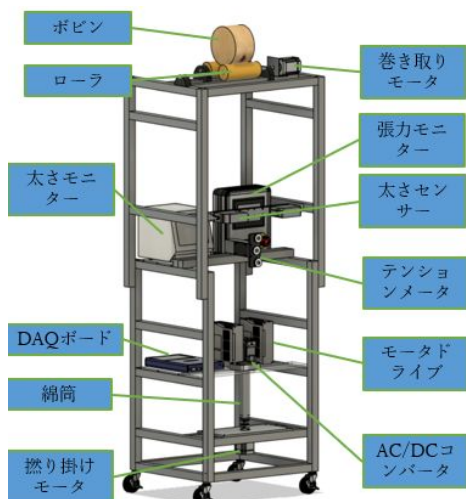


図1 3D image of Mechatronic Garabo



図2 Mechatronic Garabo

る．巻き取りモータにおいても，後述の制御用ソフトウェア（LabVIEW）で速度指令を与えることで自由に巻き取り速度を調整することができる．

また，図中のアルミフレームで構成された枠組みは，リフト長の長さを自由に調整できるようにするためのものである．リフト長とは，糸が紡がれる箇所からポピンまでの距離のことであり，650 mm から 850 mm まで調整することができる．

メカトロガラ紡のシステム概要図を 図 3 に示す．インターフェスボード（Data Acquisition board，以下 DAQ ボード）がモータドライバへの速度指令，太さセンサおよび，張力センサのデータ転送を行っている．センサで測定されたデータは DAQ ボードを介して，USB ケーブ経由で PC へ転送される．送られてきたデータは LabVIEW をもちいて取得し，張力の値から速度指令を計算し DAQ ボードへ指令値を転送する．送られてきた指令値を元に DAQ ボードからモータドライバ1，モータドライバ2へ信号が送られ，モータの回転が制御されるといった流れになっている．

ここで使用している LabVIEW とは NATIONAL INSTRUMENTS が開発したテスト，計測，制御アプリケーション向けのシステム開発ソフトウェアである．

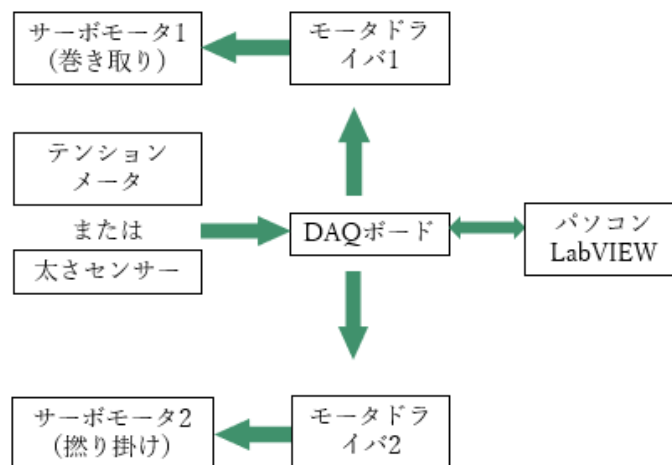


図 3 Mechatronic Garabo system

現在使用している LabVIEW のプログラムは，綿筒の回転を糸の張力によってオン・オフで制御するシステムである．ガラ紡のオン・オフ制御システムは，閾値に幅があるヒステリシス制御システムである．張力制御システムは，図 4 に示すように張力の閾値 T_L と T_H の 2 つを設定し，糸の張力が T_L 以下になると撚り掛けモータがオンになり，撚り掛けが開始し，張力が高くなる． T_H より大きくなると，撚り掛けモータがオフになり，撚り掛けが停止し，糸の張力が低く

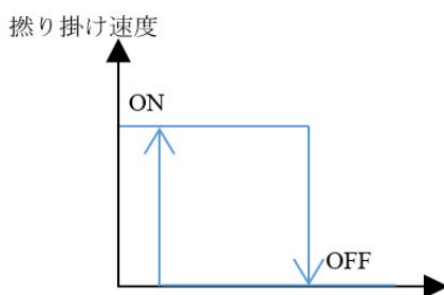


図 4 ON-OFF control method

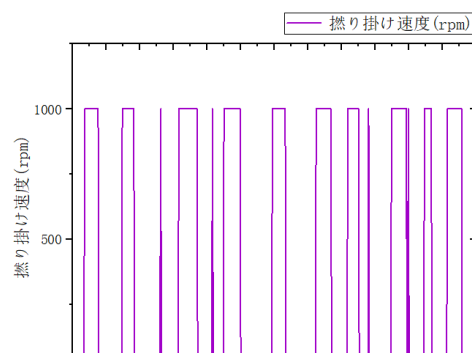


図 5 Change of twisting speed by ON-OFF control

なる．また，この制御手法による出力（撚り掛け速度）は図5のようになる．

4. 研究成果

紡績された糸を制御するためには，紡績にかかわるパラメータの影響を調べる必要がある．本研究では，メカトロガ紡機で制御可能な紡績に関するパラメータを広い範囲で変化させ実験を行うことができる．本研究の実験では，紡績パラメータとして撚り掛け速度 ω ，原料綿重さ m ，巻き取り速度 v ，設定張力 T_L と T_H ，ヒステリシス（張力の幅） T ，リフト高さ h （紡糸点と巻き取りローラの距離）を変化させ，そのときの糸の太さと張力変化を調査する．

(1) 設定張力の影響

設定張力を高く，糸が太くなり，糸張力が向上する，また，同時に張力の分散が大きくなる向がみられる．

(2) 綿充填重さの影響

重さが増加すると，糸が太くなり，また，同時に糸全体の張力分布が不均一になる傾向が見られた．

(3) 撚り掛け速度の影響

設定した撚りかけ速度の最大値を徐々に増加させていくとはじめ太さが減少する傾向がある．糸の平均張力も同じような傾向を示しているが，更に最大値を大きくすると太さが上昇する減少が観察された

(4) 巻き取り速度の影響

巻き取り速度が増加すると，平均張力が減少し，糸が細くなる傾向がみられる．

(5) 設定張力の幅（ヒステリシス）の影響

設定張力の幅が増加すると，平均張力が減少し，糸が細くなる傾向がみられる．

(6) リフト高さの影響

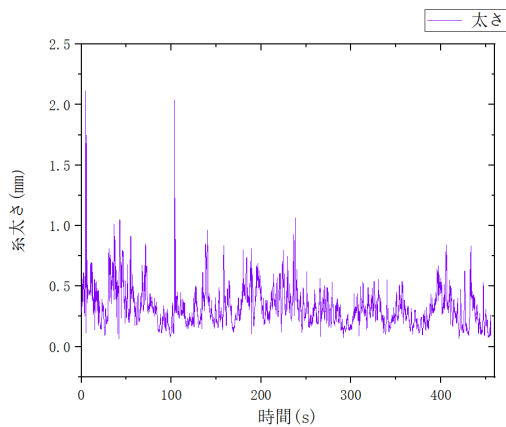
リフト高さが増加すると，平均張力が減少し，糸が細くなる傾向がみられる．また分散も小さくなる．

(7) 設定張力の周期性実験

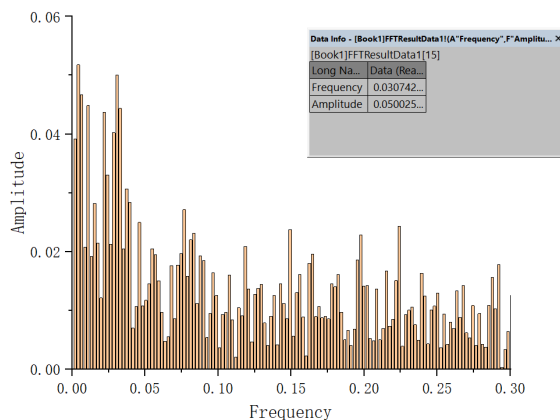
設定張力に周期的な変化を与えて防止した．その結果設定張力を与えた周期と糸太さの変化周期が一致することが確認された． v を 20 mm/s，撚り掛け速度を 1000rpm で設定する．設定張力 T を式 (1) として周期的に変化させた場合の糸の太さを計測する． T の周期は 32.5 秒とした．これは，紡糸点から巻き取りローラまでの距離 650mm を紡ぐ時間に対してちょうど 1 周期分の時間である．

$$\begin{cases} T_H = 0.7 + 0.3\sin\left(\frac{2\pi}{32.5}t\right) \\ T_L = 0.5 + 0.3\sin\left(\frac{2\pi}{32.5}t\right) \end{cases} \quad (1)$$

図6に示すように，(a)は周期性実験における糸の太さを時間の関数としてプロットしたものであり，グラフの太さの変化のようすから，太さが一定ではなく，ガラ紡の特徴である糸の太さむらが発生していることがわかる．(b)はFFTにより得られたスペクトルをプロットしたものであり，スペクトログラムから，振幅成分は約 0.005Hz と 0.03Hz で最大振幅値約 0.05 に対応することが分かる．目標張力変化周波数は約 0.03Hz であり，2 つ目のピークと一致している．図6(a)の高周波成分をカットしたものを図7に示す．これと設定張力を同じグラフにプロットしたものが図8であり，制御入力である張力の指令値と風合いの一つの指標である太さの変化が同期していることがわかる．



(a) Yarn thickness



(b) Yarn thickness frequency spectrum

図6 Effect of periodic change in twisting speed on yarn thickness

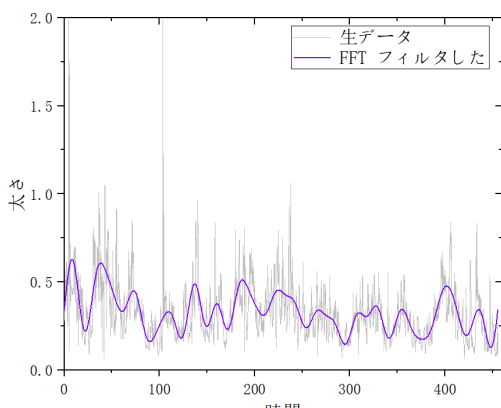


図7 Comparison of filtered data and original data

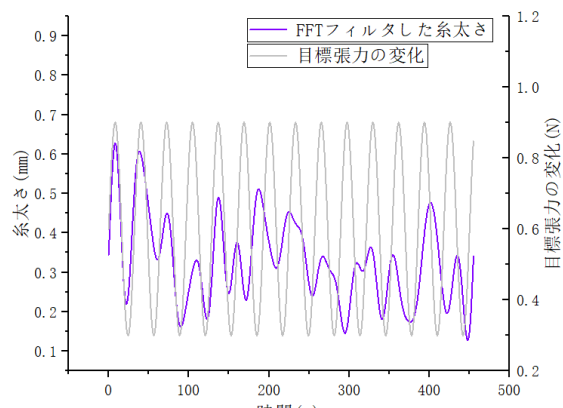


図8 Comparison of filtered data and target tension

(8) 撚り掛け速度の周期性実験

設定張力を固定して撚り掛け速度を周期的に変化させた．この場合も紡糸結果に入力と同様の周期性が確認された．

成果まとめ

本研究では，明治時代日本で発明されたガラ紡績機をベースに，メカトロガラ紡（自動紡績機械）を開発した．紡績機の原理は従来のガラ紡と同じである．テンションメータを装備し，紡糸張力フィードバックプログラムを実装することで従来のガラ紡と同等の紡績ロボットシステムを構築した．また，レーザ寸法測定器を追加することで，紡績中の糸の状態を観察することができるようになった．メカトロガラ紡機は，従来の機械式ガラ紡と同じ紡糸原理を実現するために，オン・オフ制御プログラムを搭載している．作成した制御プログラムを用いて，糸の太さや張力に影響を与える紡糸パラメータとして，綿充填重量、撚り掛け速度、巻取り速度、設定糸張力、糸張力の閾値設定のヒステリシス範囲、綿筒上部からボビンまでのリフト長さの合計 6 つを調査した．

基本パラメータの紡績実験から，各パラメータが糸に与える影響を明らかにすることができた．充填重量，設定張力値，リフト高さが高くなると，糸が太くなる傾向がある．撚りかけ速度，ヒステリシス（設定張力の幅），巻き取り速度を上げると，糸が細くなる傾向がある．次に，周期的変化を与えた目標張力と撚りかけ速度を設定する実験を通じて，設定パラメータを周期的に変化させることによって糸の太さを制御できることを示した．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 WANG JIAAN, 河村 隆
2. 発表標題 ガラ紡に基づいた紡績システムの開発と糸風合いの制御
3. 学会等名 日本ロボット学会第40回学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------