原著論文

手紡ぎスキルの理解とロボットによる糸の作製

河村 隆*, CHIMEDDORJ Purev-Ulzii**, 吉田 順一郎***

* 信州大学大学院, ** 株式会社西澤電機計器製作所, *** ファナック株式会社

Understanding of the Hand Spinning Skill and Yarn Making using Robot Manipulator

Takashi KAWAMURA*, Purev-Ulzii CHIMEDDORJ** and Junichiro YOSHIDA***

* Shinshu University, Tokida 3-15-1, Ueda-shi, Nagano 386-8567, Japan

** Nishizawa Electric Meters Manufacturing Co., Ltd., Sakaki 6249, Sakaki-machi, Nagano 389-0601, Japan

*** FANUC Corporation, Oshino-mura, Yamanashi 401-0597, Japan

Abstract : This paper describes the understanding of the hand spinning skill and the spinning method which is attempted using a robot manipulator based on observation. A hand part for sensing and measurement was developed. The intervals of the most suitable values of necessary parameters are determined by the preliminary experiments. Experimental results confirmed relation between the stabilization of yarn tension and noticeable movements of human hand during hand spinning. We performed robotic hand spinning by successfully and offered an assumption of the hand spinning skill using experimental results.

Keywords : *Tactile sensibility, Task skill, Robot hand*

1. はじめに

最近、ヒトの作業スキルをロボットに伝達することが注目され、作業スキルの理解方法や習熟過程についてさまざまな研究がおこなわれている [1-4]。主として、ヒトの行動の観察と測定を通して熟練を理解する方法が多用されている。この方法を用いて、ヒトが習熟することにより感覚がどのように変化するか、また動作に現れる変化に応じて作業パフォーマンスにどのような変化が現れているかを知ることができる。スキルの習得は、脳、神経系、感覚などの働きを含めた複雑な技術習得の過程とその定着であると考えられ、感覚の活用の変化や動作の変化などがスキル習得の結果を示していると考えられる。複雑な作業の場合、動作が複雑な上、操作可能なパラメータが多く、対象物の状態や環境の影響も受けやすい。作業の結果の評価も複雑である場合が多い。このような作業ではスキルの習得に長い時間を要する。スキルを習得したり、あるいは習得したことを確認したりするためには、作業者がどのように感覚を活用し、それがどのように変化するかを確認する必要があるが、感覚の活用状況の変化を直接測定することは困難である。

本研究では、このような作業の一つの例として手紡ぎを取り上げる。手紡ぎの場合、ヒトが繊維の密度、紡績速度、熱数などの多くのパラメータを適切にコントロールしなければならない。そのため学習に要する期間が長く、熟練しても、均一な糸を、早く、大量に紡ぐことは難しい。さらに紡績に影響する要因が多数に上るため、それぞれを詳しく観察する

ことは困難であり、熟練者がどのような状態に応じて、どのような判断するのかを理解することは容易ではない。一方で、ヒトの行動を模倣した実験システムを作り、実験を通して熟練者のスキルの特性を把握することによって、ロボット制御ができると考えられる。

本研究の目的は、このような実験システムを用いて、手紡ぎスキルを理解し、それに基づいたロボットによる紡績を行うことである。このため、手紡ぎ動作の長時間にわたる観察に基づき、紡績の状態、紡績張力と手・指の動きの関係を見極めて手紡ぎ動作に必要なロボットの制御方法を明らかにし、また、手紡ぎ用ハンドを製作して、実装した。この実験システムを用いて熟練者によって紡績された糸に、より近い状態の糸を作ることを試みた。手紡ぎ方式としてスピンドル式紡績機を選んだ。産業革命までは、主にスピンドル式とフライヤ式の2種類の紡績機が使用されていた。これらの方式は、ジェニー紡績やミュール紡績方式と比べると、生産性が低く、大量生産には向いていない。また、手紡ぎと同様に紡績の際にヒトの触覚が直接使用されるため、手紡ぎや他の紡績方式の中でもっとも高いレベルの熟練が必要である。しかしながら紡績機を用いた手紡ぎでは多品種少量生産が可能である。この考えを生かすためにも熟練者の手紡ぎスキルを明らかにすることが重要であると考えられる。

以前、黄らは、手紡ぎ動作を測定し、試作ロボット装置による紡績実験を行った。様々な制御方法を検討し、その結果を比較している [5]。小林らはフライヤ式手紡ぎ機における技能の獲得について研究を行い [6]、竹村らがその方式のロボット化を行い [7]、さらに、これらの方式の仕組みを組

み合わせたガラ紡紡績機が開発された[8-10]。これらの研究は、主に紡績状態に注目した研究であり、ヒトの手紡ぎスキルについては詳しく調べられていなかった。このとき開発された装置では、このような紡績ロボットは性能が高いモータなどを使用するためドラフトとツイスト速度を大きく変化させることができる。しかし、ヒトの手動作では、そのような高速な速度変化は困難である。例えば、スピンドル式手紡ぎの場合、はずみ車は十分大きい慣性モーメントをもち、また、回転軸部分での摩擦が存在するため、通常ヒトが出している力の範囲ではスピンドルの回転速度の変化は限られている。このようなヒトの手紡ぎ動作の特徴を明らかにしてヒトの手紡ぎスキルの理解と、それに基づくロボット化を実現することができれば、どちらかといえばこれまではオーバースペックが常識であったロボット開発において、必要なスペックに近いロボットを開発でき、なおかつそれは低コスト化につなげることができると考える。

2. スピンドル式手紡ぎ機構および動作

2.1 スピンドル式手紡ぎ機の機構と紡績

図1にスピンドル式手紡ぎ機の外観と各部の名称を示す。スピンドル式手紡ぎ機を用いた実際の手紡ぎ動作の観察および、黄らの研究[5]によれば、その機構および動作は以下の通りである。はずみ車にはハンドルが取り付けられており、右手で回転させる。はずみ車は伝動ワイヤを経由してスピンドル軸と結ばれており、その回転がワイヤを介してスピンドル軸へ伝達される。スピンドル軸にはボビンが取り付けられており、スピンドル軸と一体で回転する。ボビンに巻きついている糸と連続している原料を左手で持ち、スピンドル軸に回転を与えると同時に、左手で把持した原料をボビンから遠ざけることで、繊維同士が撚り合わされながら引き出され、左手で把持した原料とスピンドル軸の間に糸が紡ぎ出されていく。両手を使うことが前提となっている複雑な作業である。図中の矢印はヒトの手と手紡ぎ機の移動部の動作方向を示す。

図1 スピンドル式手紡ぎ機の外観

2.2 スピンドル式手紡ぎ機の紡績動作

熟練者の手紡ぎスキルの特徴を理解するために、作業に使用されている手の各動作を力学的に理解する必要がある。熟練者による手紡ぎの観察に基づき、以下の動作に注目する。まず、ドラフトと加撚については、

- 右手によるスピンドルの「回転動作」。スピンドルの回転に応じて糸の加撚をおこない、回転数を変えることで糸の張力の調節がおこなわれる。このためスピンドル回転数は手紡ぎ動作の操作量の一つであると考えられる。
- 左手によって原料を供給しながら引いていく「ドラフト動作」。左手の移動速度によって繊維の延伸量の調節をおこなう。単位時間当たりの延伸量が糸の張力の変化に関係していると考えられる。

また、図2に示したように原料の把持については、

- 左手の拇指と示指による繊維の「紡績点直近部分への加圧動作」。主にドラフト時に拇指と示指で原料塊に加圧することにより、紡績張力の制御および原料のドラフト量の制御をおこなっていることが観察された。その加圧によって紡績状態に変化があると考えられる。
- 左手の中指、薬指、小指（以下、小指等と呼ぶ）による「材料塊全体の把持動作」。手紡ぎの時、ヒトが繊維を把持している左手の小指等を握ったり、ゆるめたりしていると見られる。その把持力によって紡績状態に変化があると考えられる。

3. 実験装置

手紡ぎロボットの実験装置の概略を図3に示す。破線がハンド部の移動軌道を示す。1～2はドラフト動作、3～4は巻き取り動作であり、1～4のすべての動作を手紡ぎの1サイクルと呼ぶ。また、ドラフト動作中の手の移動距離（1～2）

図2 左手の指の動作

図3 実験装置の概略

手紡ぎスキルの理解とロボットによる糸の作製

図4 ハンド部

をドラフト距離と呼ぶ。左手の1サイクルの動作を6軸マニピュレータによっておこなう。スピンドル軸を回転させる右手の動作をサーボモータによっておこなう。さらに左手の指の把持動作および紡績張力の測定のためハンド部（図4）を作製した。ハンド部はマニピュレータ手先に取り付けられる。

張力の測定のためにロードセルを使用して、三点式の張力計を構成した。右手の拇指と示指の加圧にエアシリンダーA、小指等による把持動作にエアシリンダーBを使用する。制御用プログラムにはグラフィカルプログラミングソフトウェア『LABVIEW』およびロボットのパソコンサポートソフトウェア『RT ToolBox』を使用する。

4. 実験方法

ヒトがスピンドル式紡績をおこなう場合、習熟することによって、腕および指の各紡績動作と紡績張力との関係がよりよい紡績状態となるように変化すると考えられる。この関係を理解するためには状態の計測が必要であるが、指および腕の各関節に与える糸の張力の影響をリアルタイムで測定することは困難であり、この関係の変化をとらえることができない。一方、ロボットによる手紡ぎ実験の場合、これらの状態の計測あるいは設定が可能で、紡いだ糸の品質（太さおよびその標準偏差）を一定に保つ紡績ができれば、ヒトの習熟後の状態を再現したことになると考えられる。この考えに基づき、ロボットでの連続紡績をおこなうために実験を以下の通りにおこなった。紡績材料として綿繊維を使用して予備実験をおこない、連続紡績をおこなうために必要なスピンドル回転数およびドラフト速度の最適値を確認した。ここでは、糸が破断せず、糸の張力、太さの変化が比較的安定した状態で推移するときのスピンドル回転数およびドラフト速度の値を最適値と考えている。綿繊維の平均的な太さは0.12~0.48 tex、長さは20~40 mmである。実験には、カード機によって繊維方向を引きそろえたあと、およそ9 gの綿繊維を繊維方向にまらめて直径およそ2 cm、長さ15 cmの綿繊維の塊を作り使用した。

先行研究[5]によれば、ツイストドラフトスピニングによる糸の平均張力と平均太さには一定の関係があることがわかっている。さらに、紡績を安定的に連続しておこなうためには、ドラフト中の張力を一定に保っていることが重要であると考えられる。これらにより、本研究では糸の張力のみをフィードバックすることとした。また、ロボットによる実験の場合、ドラフト距離を500 mmとした。熟練者の手紡ぎ

スキルを理解するために、2.2に述べた4つの動作の役割を調べ、それぞれの動作を分析する必要がある。そのため以下の実験をおこない、それぞれを30回繰り返した。

4.1 右手によるスピンドルの回転動作の影響

ドラフト速度を一定にして、張力値のフィードバックをおこない、スピンドルの回転数 ω_s を制御する。この制御では張力の目標値として設定張力値を定める。設定張力よりも測定張力が上昇した場合、スピンドル回転速度を下げる、逆の場合にはスピンドル回転速度を上げる。ドラフト速度を6.5 mm/sで一定とし、 ω_s の下限を60 rpm、上限を1200 rpmとした。さらに、1.で述べたようにはずみ車の慣性モーメントと回転軸部分での摩擦の影響を考察するため、 ω_s の単位時間あたりの最大変化量（以下、変化率と呼ぶ）を変えて実験をおこなった。

4.2 左手によるドラフト動作の影響

張力値のフィードバックをおこない、ドラフト速度およびスピンドルの回転数を同時に制御し、糸の張力の状態を分析した。スピンドル回転数の制御は4.1と同じ方法でおこなう。

ドラフト動作の制御については、糸の破断を防ぐために、測定張力が安定値（綿繊維の場合0.5 N）を超えた場合、ドラフトを停止することとする。また、測定張力が下限張力値より下がった場合にもドラフトを停止する。これは予備実験の結果からスピンドル回転速度およびドラフト速度が比較的大きい値の場合、糸の張力が増大し、破断することがわかったためである。ドラフト速度の設定については、ドラフト速度が比較的低い値の場合には糸の張力が一定であることがわかっているが、この実験では回転速度およびドラフト速度を同時に変化させるため、ドラフト速度を4.1の実験よりも高い値（9 mm/sおよび13 mm/s）に設定した。

4.3 ヒトによる左手の拇指と示指および小指等による「原料塊の加圧動作」の影響

拇指と示指および小指との動作が原料に与えている動作が紡績にどのような役割を果たしているのかを調べるためにヒトの手紡ぎ時の把持圧力の変化を測定する。そのために、図4のハンド部をマニピュレータロボットから取り外し、張力測定装置として使用する。張力測定機能のみを残し、ハンド部に取り付けていた原料の固定具および把持機構は撤去した。実験装置概観を図5に示す。ハンド部をスピンド

図5 指の動作実験装置概観

ル軸から約 100 mm, 30°の位置に設置する。2個の感圧センサの感圧部をそれぞれ拇指と小指の腹に配置した。張力変化および紡績中の把持力の変化を同時に計測する。スピンドル回転速度が300 rpm, 600 rpm, 1200 rpmの場合について紡績実験をおこなった。

4.4 左手の拇指および小指等による「材料塊全体の把持動作」の影響

張力フィードバックを使用したロボットによる紡績において、指の把持動作と紡績張力の関係を調べた。ヒトの手紡ぎ動作の観察に基づき、張力が設定張力値以下のとき、拇指部機構によって原料塊の先端部把持を加える。逆に、張力が設定張力値以上の場合は、拇指部の把持を開放し、小指部で把持する。小指部の把持力は0.25 Nである。拇指部の設定把持力は0 N, 0.5 N, 1.0 N, 1.5 Nの場合について実験をおこなった。ドラフト速度は13 mm/sとし、スピンドル回転速度は300 rpm, 600 rpm, 1200 rpmとした。

5. 結果と考察

5.1 右手によるスピンドルの回転動作の影響

実験結果を図6に示す。制御用プログラムによる設定張力を0.15 Nにした。 ω_s の変化率を60 rpm/s, 90 rpm/s, 120 rpm/sの三段階に変えて実験をおこなった。図6によると張力の安定性に回転速度の変化率が関係していることがわかる。図6の(a)はスピンドル回転数の変化率が小さすぎ、必要な張力を維持できず、張力が減少して糸が切れた例である。破線が糸の破断を表している。(c)の場合、変化率が大きすぎ、張力が大きく変動している。糸は切れていないが、張力が激しく変化して、糸の太さも安定しない。(b)の場合、張力の最大値が0.5 Nを超えず、ドラフト終了まで安定している。

ヒトが手紡ぎをおこなう場合も同様に、スピンドルの回転動作によって紡績張力を変化させ、紡績をおこなっていると考えられる。実験結果より、この場合スピンドル回転速度およびその変化率には、最適値が存在していることが示される。

以上より導かれる手紡ぎスキルの習熟のポイントは、紡績張力およびその変化を敏感に感じとれるようになり、スピンドル回転速度とその変化率を最適な範囲内に制御することであると考えられる。しかし、最適な変化率範囲の場合でも、まれに(実験回数30回のうち4回)張力が減少し糸が細くなり、破断する場合があった。このことは、スピンドル回転速度の制御以外の操作が必要となるような原料塊の変化が、まれに生じることを示している。

5.2 左手によるドラフト動作の影響

ドラフト速度の最高値が13 mm/sの場合の結果を図7に、9 mm/sの場合の結果を図8に示す。どちらもスピンドル回転速度の変化率は150 rpm/s, 設定張力値は0.15 Nである。ドラフト速度の最高値が比較的低い値であるため、ドラフト速度制御はON/OFF制御を利用することで十分であった。

(a) : 変化率 60 rpm/s

(b) : 変化率 90 rpm/s

(c) : 変化率 120 rpm/s

図6 スピンドルの回転動作の影響

いずれの結果も張力がドラフト終了まで0.5 Nを超えず、ほぼ安定していることがわかる。

しかし図7の場合は途中で断線している。この原因として、ドラフト速度の最高値が高すぎた、スピンドル回転速度の変化率が高すぎた、原料塊の把持状態が適切でなかったなどが考えられることである。本実験を4.1の実験と比較すると、ドラフト速度を固定した4.1の実験の結果では、スピンドル回転速度の変化率の最適値は、およそ90 rpm/sであったが、本実験でドラフト速度も操作することにより、スピンドル回転数の変化率の最適な範囲がおよそ150 rpm/sまで広がった。この実験結果により、ヒトが紡績をおこなう場合には、糸の張力の変化に基づいて、ドラフト速度を変えていると

手紡ぎスキルの理解とロボットによる糸の作製

図7 ドRAFT動作の影響
ドRAFT速度の最高値13 mm/s

図8 ドRAFT動作の影響
ドRAFT速度の最高値9 mm/s

考えられる。つまり熟練者の場合、ドRAFT速度の最高値を最適値の範囲の上限まで変化させ、紡績をより高速でおこなっていると考えられる。

5.3 ヒトによる左手の拇指および小指等による原料塊の加圧動作の影響

実験結果を図9に示す。図9の(a)によると張力が0.1 Nから0.2 Nの間である場合、拇指および小指は、ほとんど把持力を加えていない。(a)の矢印付近から張力が減少しはじめ、同時に拇指の把持力が増加しはじめたことが観察された。

(b)によると、張力が0.2 Nを超えた場合、拇指はほとんど把持力を加えていないが、小指部の把持力が0.1 N付近から0.2 N付近まで増加した。これは、増加した張力に対して、原料塊を確実に保持するためのスキルであると考えられる。

(a) スピンドル回転数 300 rpm の場合

(b) スピンドル回転数 600 rpm の場合

図9 左手の拇指と小指の把持力実験結果

図10 把持動作の影響

5.4 左手の拇指および小指等による把持動作の影響

実験結果から拇指設定把持力には最適値が存在し、今回は0.5 N付近であることがわかった。ここでは、スピンドル回転速度1200 rpm、拇指設定把持力0.5 N時の張力変化および拇指部、小指部のON/OFF状態を図10に示す。拇指部と小指部が張力値の変化に伴って、張力が強くなりすぎると、拇指をOFFにし、小指をONにしている。逆に張力が弱くなると拇指をON、小指をOFFにしている様子が示されている。この拇指開放動作により張力値の増加が抑制されていると思われる。

拇指部の把持力によって、ある程度の張力フィードバック制御に成功したが、紡績中の張力値が安定していない。さらに、張力の変化が1~2 Nまで増加し、安定値を大きく超えた。このことから、拇指部における張力制御は補助的なものであると考えられる。ヒトが紡績をおこなう際も、拇指部で把持を加える場合はドRAFTを低速化ないしは停止させていることがわかっている。張力の低下を感じとり、拇指で把持を加えるためにドRAFTを低速化もしくは停止させることは、ヒトがもつスキルの一つであることを示唆している。

6. ロボットによる手紡ぎ

5.1より、スピンドル回転速度のみを操作量とした場合、変化率の最適値はおよそ90 rpm/sであることが分かる。しかし、ドラフト速度を同時に変化させることによって、その最適値が90~150 rpm/sになったのは5.2より分かる。この結果に基づき、原料に綿繊維を使用し、張力のフィードバック制御およびドラフト速度操作をスピンドル回転速度操作と同時に起こすことにより、ロボットによる安定的な連続紡績に成功した。ロボットによる手紡ぎの場合、上に述べたようなドラフト速度の最高値、スピンドル回転速度の最適値の範囲および最適変化率を実験結果によって決定されているため、小指による軽い把持をおこなえばよく、ヒトによる手紡ぎのように拇指と示指による把持動作の必要はほとんどないことがわかった。1.に述べたように、先行研究では、ドラフトとツイスト速度を大きく変化させており、例えば参考論文[5]の場合、開発された試作機ではスピンドル回転速度とドラフト速度は1秒あたりに4~5倍に変化するという結果が示されている。一方、ヒトの場合、紡績中にはこれほど大きな速度変化を起こすことなく紡績を実施しており、本研究のロボットによる紡績はヒトの手紡ぎに近いと考えられる。

7. 試作糸の比較

ロボットと手紡ぎのそれぞれ10本のサンプルの測定を平均温湿度32℃ -76% の環境下普通室内環境でおこなった。各サンプルの全長は2 mから3 mで、それらをそれぞれ2等分した。一方は50mmずつに切断し、切断秤量法によって糸番手および糸むらの変動率(CV%値)を求めた。もう一方は検燃器を用いた解熱方法によって撚数の測定に用いた。ロボット紡績のサンプルの測定結果の平均値は、番手は11.0±2.3 Tex, 糸むらのCV%値は15.0±2.4, 撚数は394±23 T/mである。これに対し、手紡ぎによって作られたサンプルの結果の平均値は、番手は12.0±3.2 Tex, 糸むらのCV%値は21.2±3.3, 撚数は308±33 T/mである。測定結果によると手紡ぎのサンプルの糸むら(CV%値)が比較的大きく、撚数が比較的低い値である。これに対し、ロボット紡績によって作られたサンプルのCV%値は比較的小さく、撚数が比較的高い値であることがわかる。これは、ロボット紡績における紡出張力制御の特徴であると考えられる。

また統計的な平均値差の検定をおこなった。t検定の結果、CV%値では、t統計量5.2(自由度27)で危険率0.009, 番手では、t統計量1.7(自由度12)で危険率0.003, 撚数では、t統計量4.7(自由度18)で危険率0.008であり、5%水準で有意差がみとめられたのは番手のみである。これらの結果より二つの紡績結果はある程度一致したと考えられる。以上の結果のようにロボットによる手紡ぎをおこなったところヒトと同様に、張力変化、番手、CV%値などが一定の範囲内に収まり連続して紡績することが実現できた。

本研究では紡ぎ終わった原料を取り替える動作を実現していない。原料の連続的供給は今後の課題である。

8. ま と め

手紡ぎスキルをロボットにより実現する研究をおこない、実験結果によって手紡ぎスキルについて次のように理解した。

- ヒトは右手によるツイスト動作を行うとき、回転速度の変化率を、安定的な連続紡績が可能のように選んでいる。このことが、糸の張力の安定化および手紡ぎ作業の効率に良い影響をあたえると考えられる。さらに、熟練者は紡績を高速で行うために、回転速度の変化率をより広い範囲に変化させていることが考えられる。
- 1.に述べた糸の張力に影響するさまざまな原因による紡績中のランダムな変動に対して拇指と示指および小指等の把持力を変化させることで糸の張力の安定化を実現している。
- 本実験では、視覚センサおよび視覚フィードバックを使用していないことから熟練者の手紡ぎには、視覚の活用は必要ないと考えられる。

また、ロボット化については以下の結論を得た。

- ヒトの手紡ぎのスキルの特徴を抽出して、ロボットハンドの製作、ロボットアームの制御をおこない、ロボットによるヒトと同等の紡績を実現した。

以上、本研究で示したように、感覚の活用状況の変化を直接測定することが困難な、熟練を要する作業について、観察のみに基づいて構築した実験システムを用いて、実験をおこない、その作業に含まれるスキルを理解する方法は有効であると考えられる。また本手法は、他の同様な手作業についてのロボット化や自動化に有益であると考えられる。

謝 辞

本研究は文部科学省グローバルCOEプログラム(国際ファイバー工学研究拠点)の支援を受けた。

参 考 文 献

- [1] 高松淳, 小川原光一, 木村浩, 池内克史: ロボットによる実行を目的とした人の組み立て作業の理解, 日本ロボット学会誌, 22(6), pp.752-763, 2004.
- [2] Ogawara, K., Takamatsu, J., Kimura, H., Ikeuchi, K.: Extraction of fine motion through multiple observations of human demonstration by DP matching and combined template matching, 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.8-13, 2001.
- [3] Dillmann, R.: Teaching and learning of robot tasks via observation of human performance, Robotics and Autonomous Systems, 47, pp.109-116, 2004.
- [4] 飯田康博, 藤本英雄, 陳連怡: 人の部品供給作業に学ぶ自

手紡ぎスキルの理解とロボットによる糸の作製

動化技術：部品供給作業の習熟特性の解明，日本機械学会論文集，C編，69(685)，pp.2418-2423，2003.

- [5] 黄更生，中沢賢，河村隆：手紡ぎの考察に基づく手紡ぎロボットの試作と計画，繊維学会誌，54(4)，pp.225-234，1998.
- [6] 小林俊一，加藤信二，中沢賢，河村隆，竹村英孝：フライヤ式手紡ぎ機における技能の獲得，日本機械学会，02-6，ロボティクス・メカトロニクス講演会02講演論文集2PK04，pp.197-200，2002.
- [7] Takemura, H., Nakazawa, M., Kawamura, T.: Validity of Adjusting Density of Material Fiber Mass in Twist Draft Spinning Frame, Journal Textile Machinery Society of Japan, 55(9), pp.45-50, 2002.
- [8] 黄更生，中沢賢，河村隆：ガラ紡の力学的な解析と実験，繊維学会誌，54(1)，pp.65-72，1998.
- [9] 中沢賢，石川賢司，中村新吾，河村隆，森川裕久：ガラ紡の紡出状態に関する実験と制御工学的観察，繊維機械学会誌，47(8)，pp.181-188，1994.
- [10] 中沢賢，河村隆，湯川信義：手紡ぎの制御構造を規範とする特殊系製造用紡糸装置の開発と応用，日本機械学会，007-1，北陸信越支部 第37期総会，pp.233-234，2000.

河村 隆 (正会員)

信州大学大学院総合理工学研究科准教授。博士(工学)。1992年 信州大学繊維学部機能機械学科助手。1993年 同講師。1996年 イリノイ州立大学 Visiting Professor。2003年 信州大学繊維学部助教授。2007年より准教授。

メカトロニクス，知的制御，生物とロボットのスキル，感性ロボティクスに興味を持っている。

Purev-Ulzii CHIMEDDORJ (非会員)

2008年 信州大学大学院総合工学系研究科博士課程入学。人のスキルとロボットによるスキルの再現に関する研究に従事。2012年 単位取得満期退学。

吉田 順一郎 (非会員)

2005年 信州大学繊維学部機能機械学科入学。2009年 同学科卒業。ファナック株式会社入社。