

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：53401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21587

研究課題名(和文)非接触型糸形態検査システムを用いたマルチフィラメント系の品質管理

研究課題名(英文)Quality control of multifilament yarn using inspection system of non-contact type yarn form

研究代表者

金田 直人(Kaneda, Naoto)

福井工業高等専門学校・機械工学科・講師

研究者番号：10507148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では原糸から加工糸になるまでの全加工工程での非接触型糸形態検査システムを開発した。加熱・加撚部ではヒータ熱の影響により、ガラス転移温度付近から糸形態が急激に変化した。施撚部では各ディスクで加撚作用および解撚作用が働くが、同部全体で見ると加撚領域・過渡領域・解撚領域が存在していた。これらの領域を任意に変更出来れば、施撚部における適切なディスク枚数やディスク形状、ディスク材料を検討することができるといえ、全加工工程の設計コスト削減が望める。また、サージングは施撚部等からの加振力に対する糸の抵抗力の不足が発生要因の一つとして考えられ、最適な糸張力設定が糸品質の向上につながるという。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed an inspection system of non-contact type yarn form during all the processing steps from the original to false-twisted yarn. In the heating and twisting parts, due to the influence of a heater, the yarn form drastically changed firstly regarding the glass transition temperature. In the twisted part, twisting and untwisting actions worked by the respective discs, but when viewed overall, twisted, transient, and untwisted areas existed. If these areas can be arbitrarily changed, it becomes possible to study the optimal number of discs, shapes and materials in the twisted part. As a result, it can reduce the design cost of all the processing steps. Furthermore, we concluded that the shortage of twisting tension to the vibrations of twisting part would be one of the causes of the surging. Because the optimal yarn tension can be set under the surging suppresses, it can lead to the improvement of the yarn quality.

研究分野：繊維機械

キーワード：仮撚加工法 加撚 解撚 見かけ糸太さ 撚角度 糸傾角 サージング

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、繊維分野において日本の国家戦略に則り革新的エネルギー・環境戦略が推進されている。そのため中期的に続く節電によって国内繊維大手メーカーは、加工コスト・人件費が極めて低い中国等の新興市場国に拠点を移転している。また、海外市場の開拓(グローバル化)が促進されていることもあり、日本の技術力の流出も顕著となっている。これらの理由から、大手・中小企業に関わらず強い競争力を保持するために、国内における繊維分野の新技术の向上は急務といえ、高価値を有する加工糸を生産する「繊維機械の開発」が必要となっている。繊維機械において、複数のフィラメント糸から形成される合成繊維(以下、糸)に羊毛のような捲縮を持たせ、保温性の向上・高弾力といった高付加価値を付与する手法の一つに仮撚加工法がある。中でも回転させたディスク外周表面に糸を接触させ、その摩擦力を利用して糸に撚りを与えるディスクフリクションタイプが工業的主流となっている(図1参照)。ここで上記の理由から、仮撚加工機(以下、加工機)は糸品質を維持・向上しながら多品種・高品質・大量生産・高速生産に対応できる高機能が市場より求められている。しかしながら、加工機の高速化に伴いサージング(糸の不安定挙動)による糸切れや未解撚等による糸品質の低下が大きな問題となっている。

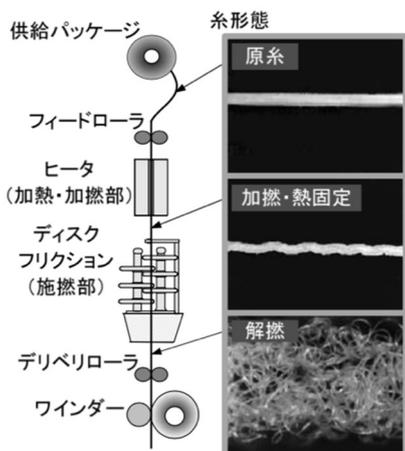


図1 ディスクフリクション仮撚加工機

(2) 仮撚加工法で加工糸を生産する際、4T と呼ばれる撚り (Twist), 張力 (Tension), 加熱温度 (Temperature), 加熱時間 (Time) が重要な加工条件として知られており、加工糸の糸品質は、施撚部における糸と施撚体との接触状態に大きな影響を受ける。また、施撚部で付与される撚りは施撚部前の加熱部における加工中の糸に伝播しており、同部の糸形態を把握することは糸品質を検討する上で必要不可欠となる。仮撚加工法においては、数多くの研究者によって加熱部や施撚部のメカニズムについて研究されており、研究代表者らもディスクフリクションタイプの施撚部での糸径路および糸張力についてのモデルを構築し

た(図2参照)。さらに、加工糸を3次元的に把握することができる測定方法および評価方法を開発してきた(図3参照)。しかしながら、ディスクフリクションタイプにおいて、ディスク枚数やディスク形状、ディスク材料等は経験的に設定されているのが現状で、糸品質へ特に影響を及ぼす加工中の糸形態の形成メカニズムについては未だ理論的に解明されていない。したがって、加工中の糸の加熱・解撚のメカニズムを明確にすることは、糸形態と糸品質の関係性の把握、さらには同部の最適設計を図ることができる。さらに加工機を開発する上で、コストや加工効率についての改善が見込めるため非常に重要な課題といえ、同メカニズムの解明は急務となっている。

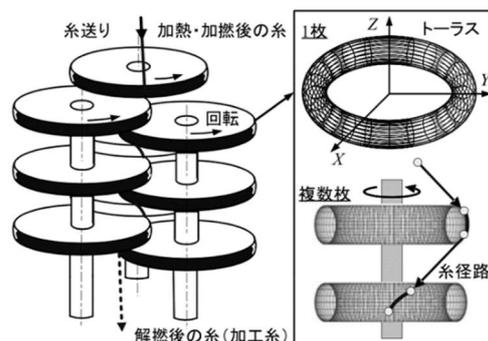


図2 トーラスモデル

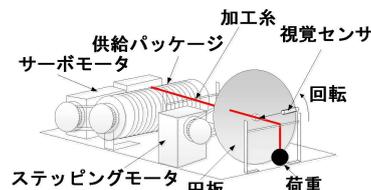


図3 加工糸の形態評価装置

2. 研究の目的

(1) 現在主流となっている加工機は、高速生産(送り速度 1000m/min)に特化して開発されている。ここで高速生産における加工中の糸形態は測定が困難で、糸品質に関する糸形態の把握は加工後のみに留まっている。そのため、ヒータ温度・送り速度・延伸比等の加工条件が糸形態に与える影響については、理論的なメカニズムが解明されていないのが現状である。したがって、加工糸の糸品質を正確に管理するためには、延伸による引張応力・ヒータによる熱応力・加撚によるねじり応力の影響を考慮した「加工機全体での糸形態の把握」が必要不可欠といえる。

(2) 本研究では、これまでの知見を活かし、高速度カメラを用いて原糸から加工糸になるまでの全加工工程(加熱・加撚部および施撚部)での非接触型糸形態検査システムの開発を目的とした。また、加工中の糸形態の把握に留まらず、糸品質に影響を及ぼすサージングの発生要因の解明および抑制方法の検討にも取り組んだ。これより延伸・加熱・施撚部での糸形態の形成メカニズムを検証することが

でき、経験的に構成されていた糸品質を理論的に操作することが可能になる。したがって、より高精度な糸品質で加工糸が生産可能となり、高付加価値を有する加工糸の最適生産条件を獲得することができる。

3. 研究の方法

(1) 加熱・加撚部の糸形態に関する実験

加工糸の生産には、工業的に主流で、かつ高速生産性に優れている「3軸型ディスクフリクション仮撚加工機」のモデル機を用いた(図4参照)。同機はフィードローラおよびデリベリローラの糸送り・延伸機構、ヒータによる熱固定機構、ブローによる冷却機構、複数枚のディスクによる施撚機構によって構成されている。原糸はフィードローラからデリベリローラへ送られ、その間に加熱・加撚・延伸・解撚が施され加工糸として生産される。ここで加熱・加撚工程(フィードローラ-施撚部間)に、糸進行方向に移動可能な高速度カメラ(株Photron:UX-50)を設置し、加工中の糸を撮影した。糸形態の測定には撮影した画像データに動画解析ソフト(株Photron:Photron FASTCAM Viewer)を用いた。本研究では、糸形態として見かけ糸太さ d および撚角度 θ を測定した。また、原糸に黒糸と白糸の2種を用いることで糸形態の測定を容易にした(図5参照)。糸形態は加熱時間に大きく影響を受けるため、送り速度 V_a をパラメータにヒータ入口から冷却装置出口 ($x = 0 \sim 2300$ [mm]) までの範囲で実験を行った。さらに、加工中の糸に熱を加えることは延伸および撚りを付加させる際に重要な要素となる。そこで糸形態とヒータ内での糸温度 t の相互関係を確認するために、同温度 t を次式によって理論的に算出した。なお、糸温度 t の算出範囲はヒータ内全域 ($x = 0 \sim 1000$ [mm]) とした。表1に実験条件を示す。

$$t = T_1 - (T_1 - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{4\alpha}{c\rho d} \tau\right)$$

T_1 : ヒータ温度 250 [°C]

T_0 : 室内温度 22 [°C]

α : 熱伝達率 0.15 [W/m²K]

τ : 加熱時間 [s]

c : 比熱 0.243 [J/kg·K]

ρ : 密度 1400 [kg/m³]

d : 見かけ糸太さ 1.30×10^{-4} [m]

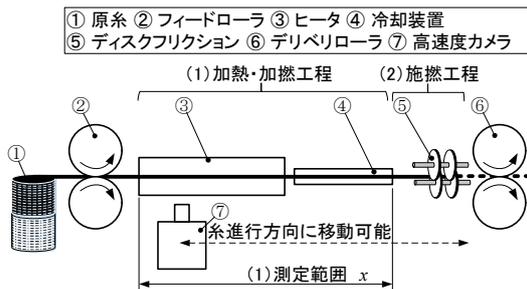


図4 モデル機の構成

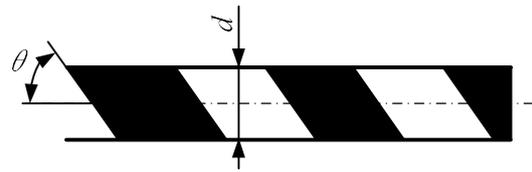


図5 見かけ糸太さ d および撚角度 θ

表1 加熱・加撚部の実験条件

原糸(黒・白) [dtex/f]	ポリエステル POY 133/36	
送り速度 V_a [m/min]	100, 300, 500	
速度比 D/V_a [-]	1.6	
延伸比 V_a/V_f [-]	1.64	
ヒータ温度 T_H [°C]	250	
測定位置 x [mm]	ヒータ	50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 900
	冷却装置	1200, 1700, 2200

(2) 施撚部の糸形態に関する実験

本実験では図4に示すモデル機を使用した。ここで施撚部内での加撚および解撚を確認するため、施撚部付近に(1)と同様、高速度カメラを設置し、各ディスクの糸とディスクの接触状態を撮影することで糸形態を測定した。ただし、糸とディスクの接触状態を把握しやすくするために、ディスクは実機に設置されているものに比べ約3.5倍(ディスク直径200[mm], ディスク厚さ24[mm], 円環半径14[mm])の大きさのものを使用した。また施撚部における加撚・解撚は、ディスク枚数 N_D 、速度比 D/V_a 、延伸比 V_a/V_f に依存することから、本実験ではディスク枚数 N_D および速度比 D/V_a をパラメータとし、施撚部中心を原点に各ディスク上の糸形態を糸進行方向(Z軸)に1[mm]間隔で測定した(図6参照)。表2に実験条件を示す。

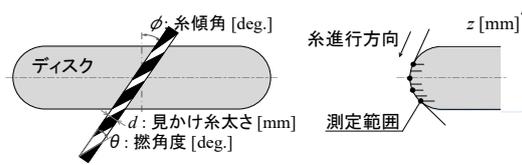


図6 施撚部内での糸形態の測定

表2 施撚部の実験条件

原糸(黒・白) [dtex/f]	ポリエステル POY 133/36	
送り速度 V_a [m/min]	30	
速度比 D/V_a [-]	1.6, 1.8, 2.0, 2.2	
延伸比 V_a/V_f [-]	1.64	
ヒータ温度 T_H [°C]	200	
ディスク枚数 N_D	4, 6, 8	

(3) サージングに関する実験

実験(1),(2)によって、非接触型糸形態検査システムを構築することができた。しかし

ながら、新たな技術課題として加工中の糸の不安定挙動であるサージングの抑制が必要不可欠であることが明らかとなったため、サージングの発生要因を把握するための実験を行った。ここでサージングは実験 (1), (2) の様に動画解析での把握が困難であったため、「加工中の張力変動が糸の振動」と仮定し、サージング発生有無を加工中の張力変動から観察した。糸張力は施撚部と冷却装置間、施撚部とデリベリローラ間に張力センサを設置し、それぞれ加撚・解撚張力を測定した。また、施撚部に加速度センサを設置し、糸張力と機械振動の FFT 解析 (0-500Hz) も行うことで、機械振動の影響についても検証した。表 3 に実験条件を示す。なお、本実験では糸品質に影響を及ぼす加工条件 (T_H , V_d , V_d/V_f , D/V_d) をパラメータに加工糸を生産した。

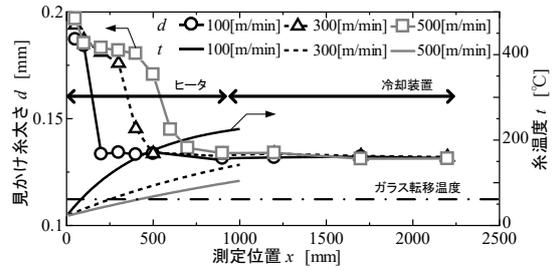
表 3 サージングの実験条件

原糸 (黒・白) [dtex/f]	ポリエステル POY 133/36	
送り速度 V_d [m/min]	300, 500, 800	
速度比 D/V_d [-]	1.64 - 2.40	
延伸比 V_d/V_f [-]	2.00 - 1.10	
ヒータ温度 T_H [°C]	250, 300, 350	
測定時間 [s]	10	
FFT 解析	窓関数	Hanning
	分解能 [Hz]	0.49

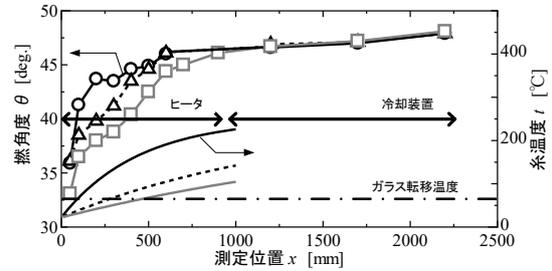
4. 研究成果

(1) 加熱・加撚部の糸形態について

図 7 (a) に縦軸を見かけ糸太さ d と糸温度 t , 同図 (b) に縦軸を撚角度 θ と糸温度 t の測定結果を示す。それぞれ横軸を測定位置 x とした。(a) より、糸がヒータ内で加熱され始めると見かけ糸太さ d は徐々に減少し、ヒータ内で一定の値に安定した。また、見かけ糸太さ d は送り速度 V_d が増加すると安定するまでに時間が多くかかることが明らかとなった。さらに糸温度 t が、ガラス転移温度 (ポリエステル: 約 69~80[°C]) に到達すると、見かけ糸太さ d は激減することがわかった。これより糸温度 t が同温度に到達することで加工中の糸の剛性と粘性が低下し、糸が変形しやすくなったと考えられる。次に (b) より、撚角度 θ はヒータ内で徐々に増加し、ヒータ内で一定の値に安定した。また、見かけ糸太さ d と同様、送り速度 V_d が増加すると安定するまでに時間が多くかかっていることが確認できる。さらに、糸温度 t がガラス転位温度に到達した際、撚角度 θ に見かけ糸太さ d の様な顕著な変化は見られなかったが、ヒータからの熱の影響を再確認することができた。以上の結果から、加工中の糸形態はヒータ内の熱で大きな変形を与えられているといえ、送り速度 V_d によって、その変形する時間が異なることが明らかとなった。



(a) 見かけ糸太さ d と糸温度 t の関係



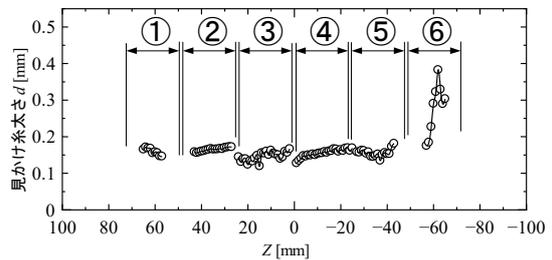
(b) 撚角度 θ と糸温度 t の関係

図 7 加熱・加撚部の糸形態

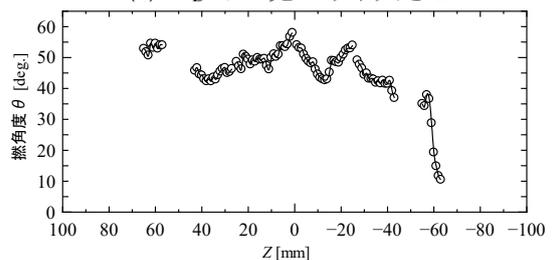
(2) 施撚部の糸形態について

図 8 にディスク枚数 $N_D=6$ の速度比 $D/V_d=2.0$ における糸形態および糸傾角 Φ の測定結果を、図 9 にディスク枚数 $N_D=8$ の測定結果を示す。各図 (a) では x 軸に糸進行方向 Z , y 軸に見かけ糸太さ d を、(b) では x 軸に糸進行方向 Z , y 軸に撚角度 θ を示す。

図 8 (a), (b) より $N_D=6$ の場合、施撚部内での糸はディスクと接触することで糸形態が増減していることから、加撚と解撚が付与されていることが確認できる。また、同部の原点 ($Z=0$) より上流ディスクでは加撚作用が、下流ディスクでは解撚作用が働いていることが明らかとなった。これは図 9 (a), (b) の $N_D=8$ の場合も同様に定性的に一致している。しかし、原点付近のディスク ($N_D=6$: ディスク 2-5, $N_D=8$ ディスク 2-7) では、撚角度 θ が増減しているにも関わらず、見かけ糸太さ d はほとんど変化しなかった。

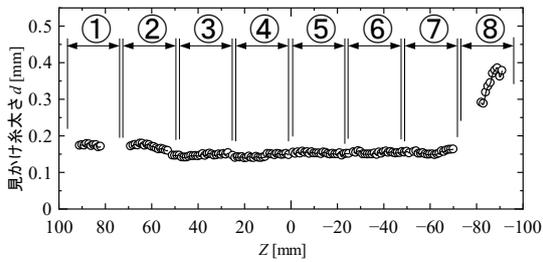


(a) $N_D=6$ の見かけ糸太さ d

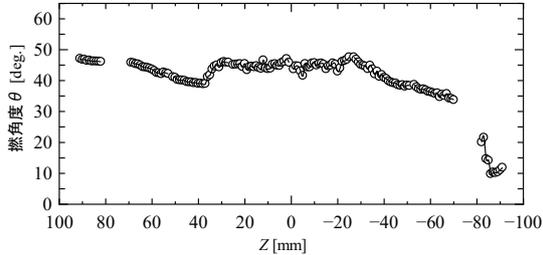


(b) $N_D=6$ の撚角度 θ

図 8 $N_D=6$ の糸形態



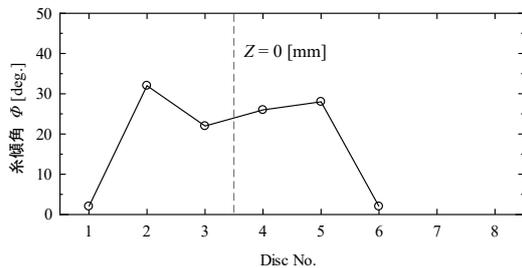
(a) $N_D=8$ の見かけ糸太さ d



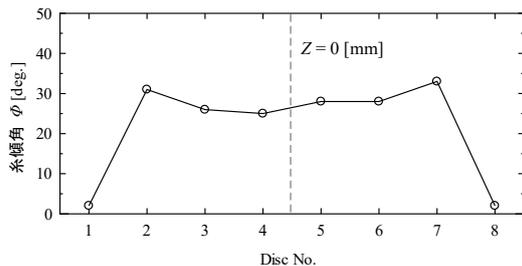
(b) $N_D=8$ の燃角度 θ

図9 $N_D=8$ の糸形態

ここで図10の各ディスクでの糸傾角 Φ に着目すると、原点付近のディスク上での糸傾角 Φ は、1枚目のディスクと最終ディスクの糸傾角 Φ よりも大きいことがわかった。つまり、前記以外の各ディスク上では糸送り効果が発生しており、同効果によって糸が延伸し易くなっていると考えられる。ここで施燃部の原点通過後のディスク上 ($N_D=6$: ディスク4, $N_D=8$: ディスク5) の糸形態は、加燃作用と解燃作用とは言い難い糸形態が確認できた。これらのディスク上での糸形態は、ディスクによる加燃作用と次に接触するディスク ($N_D=6$: ディスク5-6, $N_D=8$: ディスク6-8) から伝播している解燃作用が同時に働いていることが原因といえ、施燃部内での加燃から解燃に切り替わる過渡現象ではないかと考えられる。最終ディスク ($N_D=6$: ディスク6, $N_D=8$: ディスク8) では、見かけ糸太さ d が大幅に増加し、燃角度 θ が大幅に減少しており、糸は同ディスク上で完全解燃した。



(a) $N_D=6$ の糸傾角 Φ



(b) $N_D=8$ の糸傾角 Φ

図10 各ディスクの糸傾角

(3) サージング発生要因・抑制方法について
図11に $T_H=300$ [°C] で延伸比 V_d/V_f および糸送り速度 V_d をパラメータとしたサージングの発生有無の結果を示す。同図より、糸送り速度 V_d の増加または延伸比 V_d/V_f の低下に伴いサージングが発生しやすくなることが確認できた。また、サージングは突発的に発生するものではなく、未発生状態 (○) から大きい振幅を伴う低周波サージング (Δ) となり、最終的に小さい振幅を伴う高周波サージング (\times) へと段階的に変化することが分かった。

図12に延伸比 V_d/V_f を変化させた場合の解燃張力を示す。延伸比 $V_d/V_f=1.6$ はサージング未発生 (○), $V_d/V_f=1.45$ は低周波サージング (Δ), $V_d/V_f=1.30$ は高周波サージング (\times) の張力変動を示している。同図より、サージングが発生すると解燃張力は増加に伴い変動が激しくなった。一般的にサージング未発生 (○) 時では、施燃部内において糸とディスクの接触による糸送り効果が安定している状態であり、解燃張力が低下しやすいように設定されている。しかしながら、サージング発生 ($\Delta \cdot \times$) 時は同部での糸とディスクの接触状態が不安定となるため、糸送り効果が低下または変動している状態であるといえ、それに伴い解燃張力が増加したと考えられる。

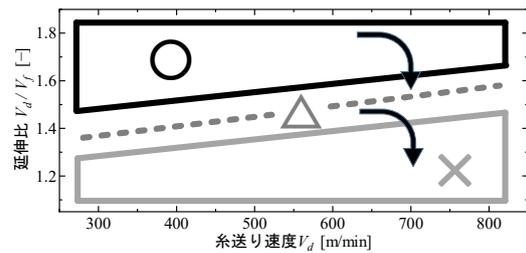


図11 サージングの発生条件

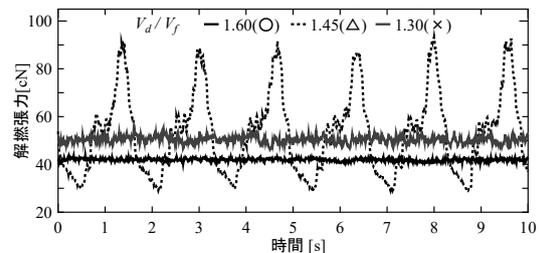


図12 延伸比 V_d/V_f の影響

図13に速度比 D/V_d を変化させた場合の未発生 (○) 時、低周波サージング発生 (Δ) 時における加燃および解燃の平均張力を示す。同図より、いずれの延伸比 V_d/V_f でも速度比 D/V_d が増加していくと、加燃張力は微増し、解燃張力は顕著に減少していた。また、低周波サージング (Δ) が発生する延伸比 $V_d/V_f=1.25$ では速度比 $D/V_d=2.20$ 以上で解燃張力がサージング未発生 (○) 時と同程度に安定した。これより、延伸比 V_d/V_f と速度比 D/V_d はサージング発生および抑制に大きく影響しており、両者の増加によって、施燃部前の加燃張力すなわちディスク表面への糸押付け力が増加し、ディスクの糸把持力さらには糸送り効果、施燃力が向上することでサージングが抑制されたと考えられる。

図 14 にサージング未発生 (○) 時, 高周波サージング発生 (×) 時における解撚張力と施撚部の機械振動を FFT 解析した結果を示す. 同図より 0-500[Hz]においてサージング有無に関係なく, 解撚張力のピークと施撚部のピークが一致する周波数帯(130Hz, 380Hz 付近)が確認できた. つまり, 糸の振動はサージングの有無に関係なく, 施撚部の機械振動に影響を受けていると考えられる. なお, 加撚張力に関しても同様な結果が得られた.

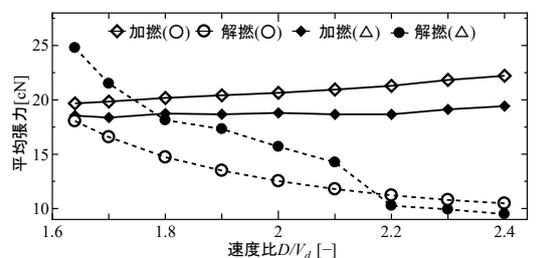


図 13 速度比 D/V_d の影響

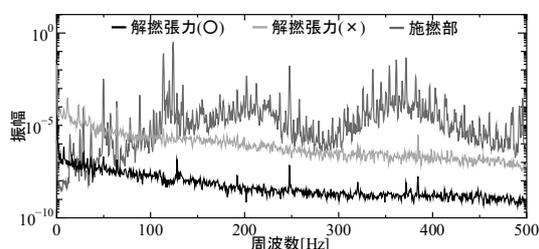


図 14 糸張力と機械振動との FFT 解析

(4) 本研究の成果

本研究では原糸から加工糸になるまでの全加工工程での非接触型糸形態検査システムを開発した. 加熱・加撚部ではヒータ熱の影響により, ガラス転移温度付近から糸形態が急激に変化した. 施撚部では各ディスクで加撚作用および解撚作用が働くが, 同部全体で見ると加撚領域・過渡領域・解撚領域が存在していた. これらの領域を任意に変更出来れば, 施撚部における適切なディスク枚数やディスク形状, ディスク材料を検討することができる. 全加工工程の設計コスト削減が望める. また, サージングは施撚部等からの加撚力に対する糸の抵抗力の不足が発生要因の一つとして考えられ, 最適な糸張力設定が糸品質の向上につながるという.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 金田, 藤田 「仮撚加工糸における糸形態の評価方法」, 福井工業高等専門学校研究紀要第 49 号, pp. 15-21 (2016)
- ② 金田, 友広, 藤田, 喜成 「ディスクフリクション仮撚加工機の施撚部における糸形態」, JText Eng, Vol.63, No.6, pp. 205-209 (2017)

[学会発表] (計 1 2 件)

- ① 明頓, 金田, 喜成 「仮撚加工機における加撚工程中の撚りに関する研究」, 日本繊維機械学会, 第 68 回年次大会研究発表

論文集, pp. 84-85 (2015)

- ② 友広, 金田, 喜成 「ディスクフリクション仮撚における加撚・解撚に関する研究」, 日本繊維機械学会, 第 69 回年次大会研究発表論文集, pp. 168-169 (2016)
- ③ 金田, 明頓, 喜成 「仮撚加工機の加熱・加撚工程中における糸形態」, 日本繊維機械学会, 第 69 回年次大会研究発表論文集, pp. 170-171 (2016)
- ④ 友広, 金田, 喜成 「ディスクフリクション仮撚における施撚部の加撚・解撚に関する研究」, 日本繊維機械学会, 第 70 回年次大会研究発表論文集, pp. 122-123 (2017)
- ⑤ 林田, 金田, 喜成 「仮撚加工機におけるサージングに関する研究」, 日本繊維機械学会, 第 70 回年次大会研究発表論文集, pp. 124-125 (2017)
- ⑥ S. Tomohiro, N. Kaneda, T. Kinari "Twisting form in Twisting part of Disc Friction False-twisting Machine", The 45th Textile Research Symposium in Kyoto, 14-16 September 2017, Kyoto, Japan, pp. 54 (2017)
- ⑦ K. Hayashida, N. Kaneda, T. Kinari "Basic Research in the Surging in False-twisting Machine", The 45th Textile Research Symposium in Kyoto, 14-16 September 2017, Kyoto, Japan, pp. 56 (2017)
- ⑧ 林田, 金田 「仮撚加工機におけるサージングの発生要因について」, 日本繊維機械学会北陸支部特別講演会・繊維学会北陸支部先端技術研究会特別講演会, 研究発表会講演要旨集, pp. 28-29 (2017)
- ⑨ 林田, 金田 「仮撚加工機におけるサージングと糸張力の関係について」, 日本繊維機械学会, 第 71 回年次大会研究発表論文集, pp. 210-211 (2018)
- ⑩ 佐々, 金田 「ディスクフリクション仮撚加工機におけるディスク枚数と撚形態の関係」, 日本繊維機械学会, 第 71 回年次大会研究発表論文集, pp. 212-213 (2018)
- ⑪ K. Hayashida, N. Kaneda "Relationship between surging and yarn tension in false twisting machine", The 46th Textile Research Symposium At Mt. FUJI, 3-5 September 2018, Shizuoka, Japan (2018)
- ⑫ N. Kaneda, R. Sasa "Relationship between the number of discs and the twist form in disc friction false twisting machines", The 46th Textile Research Symposium At Mt. FUJI, 3-5 September 2018, Shizuoka, Japan (2018)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

[その他] H.P. <https://www.fukui-nct.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 金田 直人 (KANEDA, Naoto)
福井工業高等専門学校・機械工学科・講師
研究者番号: 1 0 5 0 7 1 4 8