Relationship between Surging Phenomenon and Processing Conditions in False Twisting

KANEDA Naoto^{a,*}, HAYASHIDA Kouichi^a, KINARI Toshiyasu^b

^a National Institute of Technology, Fukui College, Geshi-Cho, Sabae, Fukui 916-8507, Japan

^b Kanazawa University, Kakuma-Machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

Received 3 September 2020; accepted for publication 18 March 2021

Abstract

Surging in the false-twisting machine degrades yarn quality. Surging is a yarn vibration phenomenon, and its cause has not been clarified. It is an important issue to clarify the causes of surging from the viewpoint of the textile industry. Investigating the causes of surging contributes to not only higher processing speed but also higher processing efficiency. This investigation also contributes to stabilizing the yarn quality at the false-twisting production site. In this study, a disc-friction type model machine was used to evaluate the yarn conditions of false twisting with and without surging. It was observed that surging tends to occur at low drawing ratios and high-speed processing. In the add-on twisting area, the number of twists, drawing quantity, yarn tension, yarn temperature, and heating time decreased because of the occurrence of surging. These results show the actual condition of the yarns with surging and confirm the interrelationship between surging and processing conditions of false twisting.

Key Words : Surging, False twist, Disc friction, Yarn shape

仮撚加工におけるサージング現象と加工条件の関係

金田直人^{a,*}, 林田剛一^a, 喜成年泰^b

^a 福井工業高等専門学校, ^b 金沢大学

1. 緒 言

仮撚加工法は、糸に加撚と解撚を付与する施撚体としてピントタイプ・ベルトニップタイプ・ディスクフリクションタイプ等が確立されており、これらを設置した仮撚加工機の加工条件を変更することで様々な加工糸を生産している。生産現場においては、多品種小ロットから大量生産までと市場のあらゆるニーズに対応可能な仮撚加工機が求められている。そのため、仮撚加工機は市場からのニーズに応えるべく高性能化が進められており、近年ではヒータ・冷却装置・施撚体の開発およびコンピュータの発展によって、高生産性、品質安定化、省人化が実現している [1-2]。このように設備仕様上における高性能化は進められているが、実際の仮撚加工機の加工速度の高速化に関しては頭打ちとなっているのが現状である。これは加工の高速化に伴い、加工中の糸が不安定に張

力変動する振動現象（以下、サージングと称す）の発生が原因となっている [3]。そのため、サージングは糸切れや未解撚等を誘発し加工糸の糸品質を著しく低下させる。仮撚加工法に関しては、加熱部・冷却部・施撚部の加工メカニズムについて数多く報告 [4-9] されており、また、著者らもディスクフリクションタイプの施撚部における糸径路および糸張力の数学モデルの構築ならびに同部の糸形状を実験的に検証し、ディスクが糸に付与する加撚と解撚について研究 [10-12] しているものの、いずれもサージング未発生の場合に留まっている。サージングは糸に撚りを与える施撚体の表面やヒータ内の発熱面の状態にも影響を受ける [3] といわれているが、サージング発生時の糸の実態についてはほとんど公表がなく、仮撚加工法が糸に延伸・加熱・加撚・冷却・解撚を連続的に付与する複雑な高次加工であることから発生要因も断定できていないため、具体的な抑制方法については未だ報告

* 連絡先：福井工業高等専門学校機械工学科 916-8507 福井県鯖江市下司町
E-mail : kaneda@fukui-nct.ac.jp, Tel : +81-778-62-8251, Fax : +81-778-62-8251

されていない。したがって、サージング発生有無による糸の状態と加工条件との関係を把握することは、サージングの発生要因ならびに抑制方法を検討するための基礎資料となり、今後の仮撚加工機の開発において加工速度の高速化のみならず加工効率の向上、さらには生産現場における品質安定化にも寄与するといえるため産業的にも有用といえる。

そこで本報では、仮撚加工機におけるサージングと加工条件との相互関係を明確にすることを目的とし、ディスクフリクションタイプのモデル機を用いて、加工糸を生産する上で重要とされている加工条件の4T（張力・撚り・加熱温度・加熱時間）の観点[13]から、サージングの未発生時と発生時での実態を把握した。ここでは、糸張力および糸形状、糸温度、糸速度を測定対象に、主に加熱領域での相互関係について比較・検証した。

2. 実験装置の基本構成

実験に用いたディスクフリクションタイプのモデル機をFig. 1に示す。本機は糸送り・延伸用のフィードローラ（周速度 V_f ）およびデリバリローラ（周速度 V_d ）、熱固定用のヒータ（ヒータ温度 T_H ）、冷却用の冷却装置、また施撚体は複数枚のディスク（周速度 D ）から成る三軸型のディスクユニットとして施撚部に設置している。原糸は、フィードローラとデリバリローラによって把持され、各ローラ速度差によって延伸（延伸比 V_d/V_f ）されながらデリバリローラ側に向かって走行している。また、下流に設置している施撚体と糸との摩擦により糸が加熱され、走行中にヒータと冷却装置によって熱固定される。そして、加熱・熱固定後の糸が施撚部を通過後に解撚し、原糸には加熱・延伸・加熱・冷却・解撚の順で連続的に加工が付与され加工糸が生産される。実験装置にはサージング未発生時と発生時での加工中の糸の様子を把握するために、糸形状および糸温度を測定するヒータ入口から施撚部まで糸進行方向に移動可能な高速度カメラ（FASTCAM Mini AX100: (株) Photron）と熱画像カメラ（CPA-T540S: (株) チノソー）を設置した。さらに、ヒータ入口前・ヒータ出口後・冷却装置後・施撚部前・施撚部後の5箇所（同図◎: 1～5）には、張力計（ETPX-500: SCHMIDT）を設置した。ここで

Fig. 1 Outline of model disc friction false twister.

測定した糸張力については、以下、ヒータ入口前から順に $T_1, T_2, \dots, T_5$ と称す。また、サージングの発生有無によって加工中の糸速度も変化すると予想されるため、糸張力と同じ5箇所、Fig. 2に示すような走行中の糸と接触する回転ローラを設置した。なお、糸張力と糸速度は、1～5の順に測定機器を糸軸方向に移動して測定を行った。

Fig. 2 Measurement of yarn velocity with contact-type rotating disc.

3. 実験方法

本研究ではフィードローラから施撚部までを加熱領域と定義し、同領域における糸張力、糸形状、糸温度、糸速度を測定対象にサージング未発生時と発生時での比較・検証を行った。また、糸形状を表現するパラメータとして、Fig. 3に示す見かけ糸太さ d と撚角度 θ を採用した[11]。この糸形状 d, θ は加熱領域での加工中の糸を高速度カメラで撮影した後、動画解析ソフト（Photron FASTCAM Viewer: (株) Photron）を用いて測定した。糸温度 T_y も同様に、同領域での糸を熱画像カメラで撮影した後、熱解析ソフト（FLIR Tools: FLIR® Systems, Inc.）を用いて測定した。糸形状 d, θ および糸温度 T_y の測定は、Fig. 1に示すように加熱領域内でのヒータ入口を原点（ $X = 0 \text{ mm}$ ）として、前者はヒータ入口前からヒータ出口の $X = -50 \sim 1000 \text{ mm}$ までを、後者はヒータ入口前から冷却装置後の $X = -50 \sim 1650 \text{ mm}$ で行った。また、糸張力 T は張力計より施撚部前後の加熱張力（ $T_1 \sim T_4$ ）および解撚張力（ T_5 ）[13]を電圧信号としてメモリハイコダ（MR8880: 日置電機(株)）にて測定し、糸速度 V_y はFig. 2に示す回転ローラに反射シールを添付することで、回転速度を検出するハンディタコメータ（HT-4200: 小野測器(株)）の測定値を基に算出した。なお、実験での原糸は加工中の糸形状を観察し易くするために、黒色と白色の2種類のPOY（ポリエステルマルチフィラメント）を用いて、フィードローラで取り込む時に双糸状態となるよう糸送りした。

Fig. 3 Apparent yarn thickness d and angle of twist θ .

Table 1 Experimental conditions.

Original yarn (PET - POY)	dtex / f	Black yarn 133 / 36	
		White yarn 133 / 36	
Heater temperature	T_H	°C	250, 300, 350
Delivery velocity	V_d	m/min	300, 500, 800
Draw ratio	V_d/V_f		1.10–2.00 in 0.05 increments
Speed ratio	D/V_d		1.60

Table 1 に実験条件を示す。本実験では加工糸の糸品質に影響を及ぼす条件であるヒータ温度 T_H 、糸送り速度 V_d 、延伸比 V_d/V_f 、速度比 D/V_d をパラメータに加工を行った。ここで、まず速度比 D/V_d を一定とした場合におけるヒータ温度 T_H および糸送り速度 V_d 、延伸比 V_d/V_f を変化させていき、サージングが発生しやすい加工条件を把握した。

4. 実験結果および考察

Fig. 4 にヒータ温度 $T_H = 250^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ でのヒータ内および施捻体（ディスク）上における加工中の糸の様子を示す。同図は高速度カメラの撮影速度 $1/20000\text{ s}$ による画像で、(a) は延伸比 $V_d/V_f = 1.70$ でのサージング未発生を、(b) は延伸比 $V_d/V_f = 1.40$ でのサージング発生を示している。これよりサージング発生時では、糸の振動が加工機全体で生じていることが確認できる。特に同図 (b) での施

捻体上における糸の振動は、糸とディスクの接触状態が悪化しているといえ、加熱・解捻・糸送り作用といった加工効率を著しく低下させていると想定できる。ここで Fig. 5 に示す通り、糸送り作用は糸とディスクが接触することで発生する糸進行と同じ方向の $D\sin\phi$ のことであり、ディスク回転速度 D と糸とディスクのなす角である糸傾角 ϕ に依存する [4-12]。

Fig. 5 Yarn sending effect on the friction disc [5].

Table 2 - Table 3 に速度比 $D/V_d = 1.60$ におけるヒータ温度 T_H が 250°C 、 350°C の場合での、サージングの発生状況を目視と張力変動で確認した結果を示す。同表は延伸比 V_d/V_f および糸送り速度 V_d をパラメータとしており、○はサージングが未発生状態、×はサージングが発生状態である（以下、サージング未発生を○、サージング発生を×で示す）。これらの結果より、サージングは糸送り速度 V_d が速く、延伸比

(a) Yarn without surging

(b) Yarn with surging

Fig. 4 Differences by surging.

Table 2 Occurrence status of surging at $T_H = 250^\circ\text{C}$. (○ : without surging, × : with surging)

$T_H = 250^\circ\text{C}$		Draw ratio V_d/V_f									
		1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
V_d m/min	300	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○
	500	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
	800	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○

Table 3 Occurrence status of surging at $T_H = 350^\circ\text{C}$. (○ : without surging, × : with surging)

$T_H = 350^\circ\text{C}$		Draw ratio V_d/V_f									
		1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
V_d m/min	300	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○
	500	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○
	800	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○

V_d/V_f が低いほど発生しやすくなることが確認できる。ここでヒータ温度 T_H に着目すると、同温度が 100°C 増加した場合、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ および延伸比 $V_d/V_f = 1.50$ において、サージングの発生が未発生となり一部抑制がみられるが、全体的な発生状況には大きな差異がなかった。したがって、ヒータ温度 T_H はサージングの抑制にあまり影響を及ぼさないといえる。上記をふまえて、測定結果に対する考察を以下に示す。

4.1 糸張力への影響

Fig. 6 にヒータ温度 $T_H = 300^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ における延伸比 $V_d/V_f = 1.40$ のサージング発生、同 $V_d/V_f = 1.60$ のサージング未発生での加工機全体の時間的的平均張力 T を示す。同図より、サージング発生と未発生とを比較すると、糸張力 T は T_1 から T_4 までサージング未発生の方が約 20 cN 程大きかった。これは延伸比 V_d/V_f の違いが一因といえる。また、サージング発生の有無に関わらず、両者とも T_1 から T_4 まで増加傾向にあるが、施熱部通過後ではサージング発生の解熱張力 T_5 がサージング未発生よりも大きくなっていた。これよりサージングの発生は、特に施熱部前後の糸張力 T に大きく影響を及ぼすことが確認できる。ここで同部前後の加熱張力 T_4 と解熱張力 T_5 に着目する。Fig. 7 に同 $T_H = 300^\circ\text{C}$ 、 $V_d = 500\text{ m/min}$ での延伸比 V_d/V_f ごとの (a) 加熱張力 T_4 および解熱張力 T_5 と (b) 変動係数 CV を示す。同図 (a) より、 $1.50 \leq V_d/V_f \leq 1.80$ でのサージング未発生時では、施熱部の糸とディスク間の接触状態が良好のため Fig. 5 の糸送り作用が発揮されていることから $T_4 > T_5$ の関係となっており、糸切れが生じ難い加工状態であるといえる。一方、 $V_d/V_f = 1.50$ 未満ではサージングの発生によって接触状態が悪化するため、糸送り作用が発揮されにくく $T_4 < T_5$ の関係になっていることが確認できる。これより、サージング発生時には施熱部での糸送り作用が糸張力に大きく影響を及ぼすといえる。また、サージングが発生している $T_4 < T_5$ の関係は、延伸比 V_d/V_f の低下に伴い差異が小さくなっていった。この原因としては、ディスクが糸に付与していた摩擦力による加熱作用およ

Fig. 6 Tension T from feed roller to front of disc.
(○ : without surging, × : with surging)

(a) Tension T of twisting and untwisting tension

(b) Coefficient of variation CV of twisting and untwisting tension

Fig. 7 Measurement results of yarn tension at $T_H = 300^\circ\text{C}$.

び糸送り作用が発揮されなくなったことが考えられる。この摩擦力は、加工中の糸がディスクに接触することで生じる糸張力のディスク中心方向への分力（以下、把持力と称す）に起因するといえる。Fig. 8 に同 $T_H = 300^\circ\text{C}$ 、 $V_d = 500\text{ m/min}$ での延伸比 $V_d/V_f = 1.35, 1.45, 1.60$ における加工中の解熱張力 T_5 の結果を示す。同図より、サージング未発生から発生に切り替わる延伸比 $V_d/V_f = 1.45$ において張力変動が最も大きくなっており、延伸比 V_d/V_f が低下すると張力変動も小さ

Fig. 8 Untwisting tension at $T_H = 300^\circ\text{C}$.
(○ : without surging, × : with surging)

くなっていった。これは Fig. 7(b)からも確認することができ、サージングが発生する $V_d/V_f=1.45$ で変動係数 CV が約 6% を示しており、 $V_d/V_f=1.45$ 未満では 1～3% 程度に収まっていた。両図より、サージングについて低周期で大きな張力変動 ($V_d/V_f=1.45$) するものと、高周期で小さな張力変動 ($V_d/V_f=1.35$) するものと 2 種類あることを確認することができた。なお、 $V_d/V_f=1.45$ での張力変動が急激に大きくなるのは、糸をディスク上に留めようとする把持力とディスクが回転力によって糸を弾き出そうとする力のつりあいがとれなくなった作用反作用が最も強く発生している状況と考えられる。ここで、Fig. 7 (b) の $1.50 \leq V_d/V_f \leq 1.80$ と 1.45 未満では変動係数 CV が一見すると同程度を示しているが、サージングが生じている Fig. 8 の 1.45 未満では解熱張力 T_s が未発生時と比べて 20 cN 程大きくなっていることから、施熱部での糸送り作用が発揮されていないといえる。したがって、変動係数 CV のみではサージングの発生有無の判断が困難といえ、施熱部前後での糸張力の関係も含めていく必要があると考えられる。前述した通り、延伸比 V_d/V_f の低下は加工中の糸の把持力の低下にもつながることから、サージングの発生には糸張力の低下が起因していると考えられるが、現段階ではサージングの発生要因として断定に至っていない。

4.2 糸形状への影響

Fig. 9 に加熱温度 $T_H = 300^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ の場合でのヒータ内における糸形状 d , θ を示す。ここでサー

ジング発生の延伸比 $V_d/V_f=1.40$ が■・□で、未発生の $V_d/V_f=1.60$ が●・○である。同図より、ヒータ長 1000 mm のヒータ内において、サージング未発生時では $X = 300 \sim 500\text{ mm}$ 付近で見かけ糸太さ d が減少し、撚角度 θ が増加しており、発生時では $X = 700 \sim 800\text{ mm}$ 付近で同現象が確認できた。これよりサージング未発生時と発生時とでは、ヒータ内での糸形状が変化するまでの時間が異なることが明らかとなった。つまり、サージングが発生するとヒータ内で加熱されにくくなるといえる。また、サージング発生時は糸がヒータ内を進行するにつれ撚角度 θ が増加しているものの未発生時に比べ約 10～20 deg. 程全体的に低下していた。この結果からも明らかのように、サージング発生時は施熱部からの加熱作用が低下しているといえる。前述した通り、サージングは加工中の糸の不安定に挙動する振動現象であり、この振動現象はフィードローラからデリバリーローラまでの全領域で生じている。したがって、糸とディスクの接触も不安定となり摩擦力の低下、すなわち加熱が十分に付与されないためサージング発生時には撚角度 θ が低くなったと考えられる。ここで一般的に加熱状態の糸を糸軸方向へ延伸すると、見かけ糸太さ d と撚角度 θ が減少するが、本結果では延伸比 V_d/V_f によって延伸を糸に付与しているにも関わらず、見かけ糸太さ d は 0.14 mm に低下したまま、撚角度 θ は 45 deg. に増加した後一定の値を維持していた。つまり、加工中の糸に加熱作用が働けば、撚りトルクによってフィラメントが Fig. 10 に示すように螺旋方向に延伸 [14] され、撚角度 θ が減少せずに総合的に見かけ糸太さ d のみが減少したと考えられる。また、

Fig. 9 Yarn shape in heater at $T_H = 300^\circ\text{C}$.
(○ : without surging, × : with surging)

Fig. 11 Yarn shape in heater at $T_H = 350^\circ\text{C}$.
(○ : without surging, × : with surging)

Fig. 10 Drawing direction with twisting.

加工中の糸は加熱によって糸軸方向に収縮作用も発生するため、ヒータ内の糸は糸軸方向に収縮しながら螺旋方向に延伸しているといえる。Fig. 11 にヒータ温度 $T_H = 350^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ の場合でのヒータ内における糸形状 d 、 θ を示す。ここでサージング発生時の延伸比 $V_d/V_f = 1.40$ が■・□で、未発生時の $V_d/V_f = 1.60$ が●・○である。同図におけるサージング未発生時に着目すると、糸は $X = 200 \sim 400\text{ mm}$ 付近で延伸されており、Fig. 9 の未発生時と比べて糸の延伸が早くなっていることがわかる。このように延伸されるのは原糸が有するガラス転移温度（ポリエステルの場合、約 80°C ）が影響しているといえ、Fig. 11 は Fig. 9 よりヒータ温度 T_H が 50°C 高いことから、加工中の糸がガラス転移温度に早く達し、延伸が早くなったと考えられる [15-16]。

4.3 糸温度および糸速度への影響

Fig. 12 にヒータ温度 $T_H = 300^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 500\text{ m/min}$ の場合における $V_d/V_f = 1.40$ 、 1.60 での糸温度 T_y の測定結果を示す。ここでサージング発生が■で、未発生が●である。同図より、糸温度 T_y はサージングの発生の有無に関わらず $X = 400\text{ mm}$ から上昇しはじめており、 $X = 800\text{ mm}$ において収束していることが確認できる。本結果を前述したガラス転移温度（約 80°C ）の観点で注目すると、糸の変形が生じる前から 100°C を超えていることが確認できる。これは今回用いた熱画像カメラの分解能の影響で、糸表面のみの温度だけではなくヒータ内の熱源を含めた平均温度の測定結果となっていることが原因といえる。そのため、糸温度 T_y の結果については定性的評価を行う。まずサージング未発生時に着目すると、糸の走行が安定しているためヒータ内に施熱部からの加熱が十分に伝播され、見かけ糸太さ d の減少と撚角度 θ の増加によって早い段階で糸に延伸が施される。すなわち、低い撚度の糸で加工されることから熱伝導の影響を受けやすくなり糸温度 T_y が早く上昇したといえる。これは Fig. 9 ($T_H = 300^\circ\text{C}$) でのサージング未発生時における、糸の延伸の生じている位置が $X = 400\text{ mm}$ であることと、Fig. 12 における糸

Fig. 12 Yarn temperature in heater at $T_H = 300^\circ\text{C}$.
(○ : without surging, × : with surging)

温度の差の生じる位置が $X = 400\text{ mm}$ であることが一致していることから明らかである。一方、サージング発生時は糸温度 T_y が未発生時と比べ上昇しにくく未発生時と同じく $X = 400\text{ mm}$ から糸温度 T_y の上昇が始まっているが、 $X = 800\text{ mm}$ まで温度差が生じており、未発生時と同程度の糸温度になるには時間を要していた。これはサージング発生によって施熱部からの加熱が不十分な状態であるため、時間と共に撚りが徐々に伝播されることで延伸されて、糸温度 T_y も上昇していると考えられる。したがって、サージング発生の有無による糸の延伸は、糸温度 T_y と密接に関係しているといえる。

Fig. 13 にヒータ温度 $T_H = 250^\circ\text{C}$ 、糸送り速度 $V_d = 300\text{ m/min}$ での糸速度 V_y と糸張力 T の測定結果を示す。ここでサージング発生時の延伸比 $V_d/V_f = 1.15$ が■・□で、未発生時の $V_d/V_f = 1.35$ が●・○である。同図のヒータ前後 ($X = -50, 1050\text{ mm}$) における加工中の糸速度 V_y に着目すると、未発生時では発生時より遅くなっていることがわかる。前述の通り、加工中の糸は螺旋方向への延伸しながら糸軸方向に収縮される。そのため、撚角度 θ が大きいほど糸の収縮量が増加し、この収縮によって糸の進行方向の糸速度 V_y は低下すると考えられる。つまり、サージング未発生時は延伸の開始が早く、撚角度 θ も大きいことから加工中の糸速度 V_y の減少が大きいといえる。その結果、糸はヒータ内に長く留まろうとするため加熱時間が増加し、糸温度 T_y が上昇しやすくなると考えられる。次にヒータ入口前から冷却装置後における糸張力 T に着目すると、サージング未発生時は発生時と比べて 10 cN 程高い。これは螺旋方向の延伸ならびに糸軸方向の収縮が糸張力の増加に大きく寄与していると考えられる。したがって、サージング未発生時はヒータ内での加工中の糸の延伸が発生時より早いため、糸の収縮による糸張力 T の増加によって、糸とディスクの接触による摩擦力も付与されやすくなる。これは加工効率の高い安定した加熱を糸に施すことになり、糸品質の安定化につながると考えられる。

Fig. 13 Yarn velocity and yarn tension from feed roller to disc at $T_H = 250^\circ\text{C}$. (○ : without surging, × : with surging)

Fig. 14 Schematic chart of yarn conditions with surging and without surging in twisting area.

4.4 サージング発生の有無による加熱領域の糸の状態

仮撚加工法において、加工糸の生産に重要とされる4Tの観点からサージングを観察した結果、加撚領域において加工中の糸張力および糸形状、糸温度、糸速度は、Fig. 14に示すような状態であると想定できる。サージング発生の有無によって施撚部の糸とディスクとの接触状態は異なるため、同領域での糸に大きく影響を及ぼしていた。なお、糸張力 T はヒータ内での測定が困難であるため、糸形状の見かけ糸太さ d と撚角度 θ が加撚状態となる位置まで増加傾向にあると予想している。

しかしながら、本論文ではサージングの抑制を目的とした検証までは至っていない。延伸・加熱・加撚といった加工条件の観点から、加工状態を幅広く観察し、サージング発生要因の解明ならびに抑制方法を検討していくことが今後の課題である。

5. 結 言

仮撚加工機におけるサージングと加工条件の4T（張力・撚り・加熱温度・加熱時間）の相互関係を明確にすることを目的に、サージングの未発生時と発生時とで糸張力および糸形状、糸温度、糸速度の実態を把握した。その結果、サージングの発生有無による加撚領域における加工中の糸のモデルを提案した。

(1) サージングが発生すると加工機全体で糸の振動が確認でき、施撚部での糸もディスクに把持されておらず接触状態は悪化していた。

- (2) サージングの発生条件について、糸送り速度 300 m/min では延伸比 1.3 未満、同 500 m/min では延伸比 1.5 未満、同 800 m/min では延伸比 1.8 未満と、糸送り速度が高速で、延伸比が低い時に発生しやすかった。
- (3) 糸張力については、加撚領域においてサージング発生より未発生の方が 20 cN 程大きかった。また、サージング未発生の場合、施撚部での糸送り作用が発揮されて加撚張力 $T_4 >$ 解撚張力 T_5 となるのに対し、サージングが発生すると糸送り作用が発揮しにくく加撚張力 $T_4 <$ 解撚張力 T_5 となっていた。
- (4) 糸形状については施撚部での接触状態が大きく起因していた。すなわち、サージング未発生時ではヒータ内 $X \leq 500$ mm において見かけ糸太さ 0.15 mm、撚角度 45 deg. と螺旋方向への延伸を伴った加撚状態になっていた。一方、サージング発生時では同 $X = 500$ mm において見かけ糸太さ 0.19 mm、撚角度 20 deg. と加撚が不足する状態となっていた。
- (5) ヒータ温度はサージングの発生状況にほとんど影響を及ぼさないが、糸のガラス転移温度への到達時間に関わっており、ヒータ温度 300 °C では糸がヒータ内で加撚状態となる $X = 500$ mm の位置に対して、350 °C では $X = 400$ mm と 100 mm 程早くなっており、加撚のしやすさに影響を及ぼしていた。
- (6) 糸温度および糸速度については、サージング未発生の場合、加撚によって糸軸方向の収縮が生じ、糸速度が低下することでヒータ内での加熱時間が増加するため糸温度も増加しやすくなっていた。一方、サージングが発生すると加撚されにくいことから糸速度は低下しにくく、加熱時間も短くなるため糸温度が増加しにくくなっていた。

Nomenclature

d	: Apparent yarn thickness
T	: Tension
T_1	: Twisting tension in front of heater
T_2	: Twisting tension in front of cooling equipment
T_3	: Twisting tension behind cooling equipment
T_4	: Twisting tension in front of disc
T_5	: Untwisting tension behind disc
T_H	: Heater temperature
T_y	: Yarn temperature
V_y	: Yarn velocity
X	: Position
θ	: Angle of twist

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K21587, JP18K02251 の助成を受けたものです。

References

- [1] Okuyama Y (1995) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of the Textile Machinery Society of Japan), **48**, P204–P210 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.48.6_P204
- [2] Naito T (1997) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of the Textile Machinery Society of Japan), **50**, P35–P39 (in Japanese). <https://doi.org/10.4188/transjtmj.50.P35>
- [3] Okumura M (1998) Sen'i Gakkaishi, **54**, P155–P159 (in Japanese). https://doi.org/10.2115/fiber.54.5_P155
- [4] Shintaku S, Endo T, Kinari T, Tamamura R (1999) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of the Textile Machinery Society of Japan) (predecessor journal of Journal of Textile Engineering), **52**, T217–T224 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.52.10_T217
- [5] Shintaku S, Endo T, Kinari T, Tamamura R (2000) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of Textile Machinery Society of Japan) (predecessor journal of Journal of Textile Engineering), **53**, T53–T61 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.53.3_T53
- [6] Shintaku S, Endo T, Kinari T, Kobayashi S (2000) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of Textile Machinery Society of Japan) (predecessor journal of Journal of Textile Engineering), **53**, T155–T164 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.53.7_T155
- [7] Endo T, Shintaku S, Kinari T, Sasaya T (2001) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of Textile Machinery Society of Japan) (predecessor journal of Journal of Textile Engineering), **54**, T119–T125 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.54.8_T119
- [8] Endo T, Shintaku S, Kinari T (2003) Textile Research Journal, **73**, 139–146. <https://doi.org/10.1177/004051750307300208>
- [9] Endo T, Shintaku S, Kinari T (2003) Textile Research Journal, **73**, 192–199. <https://doi.org/10.1177/004051750307300302>
- [10] Kaneda N, Kinari T, Shintaku S, Shimokawa T (2007) Journal of Textile Engineering, **53**, 203–210 (in Japanese). <https://doi.org/10.4188/jte.53.203>
- [11] Kaneda N, Kinari T, Shintaku S, Shimokawa T, Araki Y (2010) Journal of Textile Engineering, **56**, 15–20 (in Japanese). <https://doi.org/10.4188/jte.56.15>
- [12] Kaneda N, Tomohiro S, Fujita Y, Kinari T (2017) Journal of Textile Engineering, **63**, 205–209 (in Japanese). <https://doi.org/10.4188/jte.63.205>
- [13] The Textile Machinery Society of Japan (1987) "Sen-i Kogaku Part III", Chap 6, The Textile Machinery Society of Japan, Osaka
- [14] Yasuzuka K, Nara H (1976) "Filament Kakougizyutu Manual" Part I, The Textile Machinery Society of Japan, Osaka
- [15] Kitazawa T, Hashi E (1976) Sen'i Gakkaishi, **32**, P359–P372 (in Japanese). https://doi.org/10.2115/fiber.32.10_P359
- [16] Anahara M, Ikeuchi H, Fujita T, Kokubu T (1982) Sen'i Kikai Gakkaishi (Journal of Textile Machinery Society of Japan) (predecessor journal of Journal of Textile Engineering), **35**, T38–T49 (in Japanese). https://doi.org/10.4188/transjtmj.35.3_T38

文献（日本語表記）

- [13] 日本繊維機械学会（1987）繊維工学（III），第6章，日本繊維機械学会，大阪
- [14] 安塚勝三，奈良寛久（1976）フィラメント加工技術マニュアル（上），日本繊維機械学会，大阪