

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：53401
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K02123
研究課題名（和文）非接触型のオンライン糸形態検査システムを駆使した糸加工用ディスクユニットの開発

研究課題名（英文）Development of the disc unit for yarn processing using non-contact type yarn form inspection system in online

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・准教授

研究者番号：10507148
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、仮撚加工機の高速生産時に発生するサージングの抑制方法を検討した。ここでは非接触型のオンライン糸形態検査システムを駆使し、サージングを抑制可能なディスクユニットを開発することを目的とした。方法として、延伸・加熱・加撚・冷却・解撚の高次加工を施す仮撚加工を単純化することでサージング発生要因を確認した。その結果、従来のヒータ有りの熱間加工とヒータ無しの冷間加工を比較することで、冷間加工でもサージングを検証できることを見出した。そして、撚りのみである冷間加工でディスク構成やガイドを検討し、サージングの抑制にはディスクユニット内での糸とディスクの接触状態が重要であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義
糸に撚りを付加する根幹となる「ディスクユニット」において、開発してきたオンライン糸形態検査システムを駆使して糸形態および糸品質に与える影響を調査し、サージングを抑制したディスクユニットを検討した。これは従来ある生産条件の細分化と最適化に関する設計資料を得ることができ、クールビズ・ウォームビズ等の「衣」分野での新ライフスタイルを確立するための糸加工技術の提案となる。また、これまで高速域において抑制することが出来ていなかったサージング問題を解消すれば生産速度は格段に向上し、経験的かつ限定化されていた生産条件は、理論的で最適な条件を獲得可能となり、より高精度な糸品質を加工糸に付加することができ

研究成果の概要（英文）：In this research, a method to suppress surging during high-speed production on a temporary twist machine was investigated. The aim was to develop a disc unit capable of mitigating surging by utilizing a non-contact online yarn form inspection system. The method involved simplifying the temporary twisting process, which includes drawing, heating, applying twist, cooling, and untwisting, to identify the factors causing surging. It was found that surging could be verified even in the cold process by comparing the conventional hot process, which uses a heater, with the cold process, which does not use a heater. The disc configuration and guides were examined under cold working conditions with twisting only. The findings revealed that the contact state between the yarn and the disc within the disc unit is crucial for suppressing surging.

研究分野：繊維機械

キーワード：繊維機械 仮撚加工 サージング 合成繊維 糸張力 糸速度

1. 研究開始当初の背景

(1) 加工糸を生産す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、糸と称す）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。この仮撚加工機（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化が市場より求められている。現在主流となっている仮撚加工機は、1000 m/min を超える高速生産に特化して開発が進められている。しかしながら、加工速度の高速化に伴い糸の不安定挙動である「サージング」が誘発され、糸切れや未解撚等の糸品質の低下が大きな問題となっている。サージングは糸品質の低下に直結する問題であるものの、明確な発生メカニズムが解明されておらず、生産現場での抑制方法も経験的なものとなっており、多くの場合、加工速度を遅くすることで同問題を回避しているのが現状である。そのため、サージング発生の理論的なメカニズムの解明ならびに抑制方法の確立が急務となっている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、衣服等の繊維製品に用いられる仮撚加工糸を対象とし、非接触型のオンライン糸形態検査システムを駆使した汎用仮撚加工機でサージングを抑制した高品質加工糸が生産可能でかつ容易に取付け可能なディスクユニットを開発することを目的とする。研究代表者は加工中の糸形態を把握して糸品質の向上を目的とした仮撚加工機の糸形態検査システムに関する研究に従事してきた。そこで、熱間加工におけるサージングが発生する場合での糸形態および糸品質について調査し、サージングにはディスクユニットが付与する加撚張力が最重要であることまで突き止めるなど一定の成果を挙げた。しかしながら、サージングの抑制方法までの提案には至っておらず、常に問題となるサージング問題を解決しない限りさらなる技術発展が困難な状況のままであった。そこで、「延伸・加熱・加撚・冷却・解撚の高次加工を施す仮撚加工を単純化して観察してはどうか？」という着想に至り、サージング現象の抑制を検討した。

3. 研究の方法

(1) 実験で使用したディスクフリクション仮撚加工機のモデル機を Fig. 1 に示す。機械構成として糸送り・延伸用のフィードローラ（周速度 V_f ）およびデリベリローラ（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、また施撚部は複数枚のディスク（周速度 D ）から成る三軸型ディスクユニットとして施撚部に設置している。2色の原糸は、フィードローラとデリベリローラによって把持され、延伸（延伸比 V_d/V_f ）しながらデリベリローラ側に送糸している。走行中の糸はディスクとの摩擦により加撚され、ヒータと冷却装置によって熱固定される。そして、加撚・熱固定後の糸が施撚部を通過すると解撚され加工糸が生産される。上記構成では熱間加工となるが、サージングの発生要因を検証するためヒータと冷却装置を取り除いた冷間加工も実施した。これより仮撚加工の重要な要素とされる 4T（加熱時間・加熱温度・糸張力・撚り）から加熱を省くことで、最小限の作用因子（糸張力・撚り）でサージングを観察可能とした。さらに施撚部のディスク構成は Table 1 とし、ディスク材質と形状がサージングに及ぼす影響についても確認した。なお、糸張力はサージング発生直前（以下、サージング限界と称す）の施撚部前後の加撚張力 T_1 および解撚張力 T_2 を測定した。加工中の糸形状（見かけ糸太さ d 、撚角度 θ : Fig. 2 参照）は、高速度カメラにて撮影を行い動画解析ソフトにて計測した。

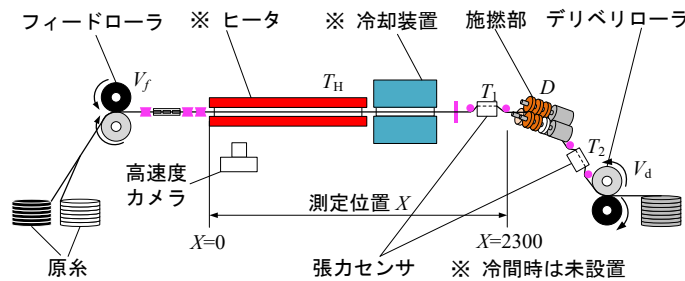


Fig. 1 仮撚加工用のモデル機

Table 1 ディスク構成

	構成および材質, 外径 [mm]			
	A	B	C	D
I	D _c 58.0	D _c 56.0	D _c 58.0	D _c 60.0
II				
III	D _u 58.0	D _c 56.0	D _c 58.0	D _c 60.0
IV				
V				
VI				
VII	D _k 55.5	D _k 55.5	D _k 55.5	D _k 55.5
VIII				

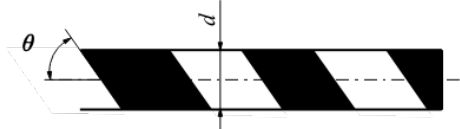


Fig. 2 糸形状（見かけ糸太さ d 、撚角度 θ ） DU: ウレタン, DC: セラミック, DK: ナイフ

(4) 2021年度では、まず加熱有りの熱間加工において、サージング発生と未発生となる糸張力、糸速度、糸形状、糸温度を観察した。次に加熱無しの冷間加工におけるサージングの発生条件を把握した。両加工を比較後、次に冷間加工にてディスクユニットを有する施撚部における性能評価を実施する準備段階として、糸張力の観点からサージングの発生要因を検証できる加工条件の選定を行った。ここで原糸には、延伸糸FDYと半延伸糸POYを用いてサージングの発生状況を比較した。

(5) 2022年度では、原糸POYを用いて冷間加工でサージングの発生状況を詳細に把握した。ここではサージングの発生要因として、糸に加撚を付与する「ディスクユニットの把持性能に限界がある」と予想し、ディスク構成の同限界について「撚り」とサージング発生状況の相互関係を糸張力と加撚長さの観点から検証した。なお、撚り止めローラから施撚部までの加撚長さは撚り効率に関係してくるため、同長さを任意に変更してサージングの発生状況を観察した。さらに、ディスクユニットのディスク材質や形状による加工中の糸の撚形態および糸張力への影響を検証し、ディスク構成の観点からサージングの抑制方法について検討した。

(6) 2023年度では、ディスクユニットの以外の機械構成として、加撚領域での送糸を安定化させディスクユニット内における糸把持力を維持・向上することを目的に、走行中の糸を支持するガイドを設置した。ここでは2022年度と同様にガイド長さによる加撚長さも変更し、サージング限界の加工速度(フィードローラ周速度)や加撚張力からガイドの有効性を検証した。そして、ガイドの有無さらには糸質量である糸織度の観点から撚り抵抗の違いについて把握し、ディスクユニットにおける加撚作用とサージングの相互関係を確認した。

4. 研究成果

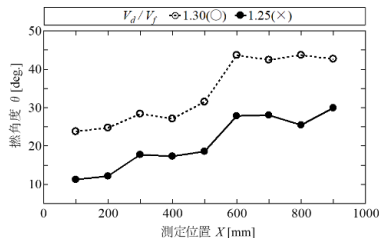
(1) 2021年度 熱間加工と冷間加工におけるサージング発生時の比較

①熱間加工でのサージング現象の把握

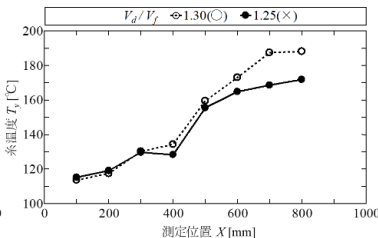
Fig. 3-5に V_d/V_f および D/V_d 毎のサージング未発生時(○)とサージング発生時(x)の撚角度 θ 、糸温度 T_y 、糸速度 V_y を示す。以下サージング未発生を○、発生をxで表す。Fig. 3より、加工条件 D/V_d のディスク周速度 D が増加すると、サージング発生から未発生になることが明らかとなった。これは走行中の糸とディスクの単位時間あたりの接触量も増加するため、ディスクから糸へ付与される摩擦力と撚りトルクが増加し加撚作用が改善され、サージング発生での両者が不安定な接触状態から安定状態となったことが要因といえる。Fig. 4より、サージング発生に伴いディスクユニットから糸に付与される撚りトルクが減少することで糸への延伸作用も低下し、織度が高い状態で糸が加熱されるため糸温度が減少していた。しかし、 D/V_d の増加で加撚作用による延伸が付与されることで、サージングの抑制効果があることが明らかとなった。Fig. 5より、 D/V_d の増加によって糸が加熱されやすくなることから、ヒータ前方においてガラス転移温度に達することで糸の加撚による延伸量が増加し糸速度 V_y も減少していた。

②冷間加工でのサージング現象の把握

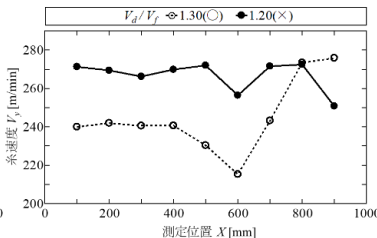
Table 2, Table 3に糸送り速度 $V_d = 500$ m/minでの冷間と熱間のサージング発生状態を示す。両表から、熱間では冷間よりサージングが発生しやすことが確認できた。ここでは冷間加工でもサージングが発生することが明らかとなった。Fig. 6に、糸速度 $V_d = 500$ m/min, $D/V_d = 1.6$ での延伸比 V_d/V_f 毎における冷間と熱間の加撚張力 T_1 、解撚張力 T_2 を示す。同図より、冷間での加撚張力 T_1 は熱間よりも約40 cN大きくなっていった。これは熱間において糸温度がガラス転移温度に達し可塑性が付与されたことが要因といえる。また熱間での解撚張力 T_2 は、サージング発生時の $V_d/V_f = 1.4$ まで増加するが、サージング未発生時の $V_d/V_f = 1.5$ 以上では減少した。これは V_d/V_f が小さいと加撚張力 T_1 の低下によりディスク上で糸滑りが発生し、撚数の低下により加撚作用による糸延伸量が減少するため解撚張力 T_2 が増加したと推定できる。



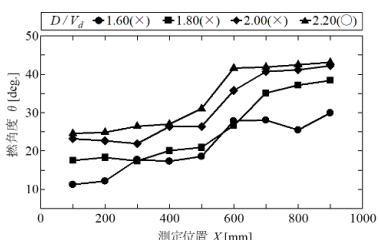
(a) サージング発生の影響



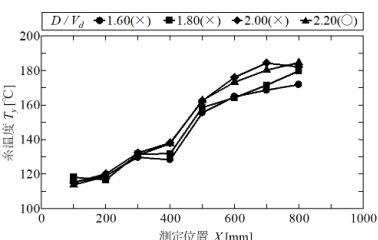
(a) サージング発生の影響



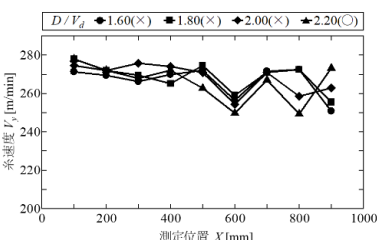
(a) サージング発生の影響



(b) 速度比増加の影響



(b) 速度比増加の影響



(b) 速度比増加の影響

Fig. 3 撚角度 θ の測定結果

Fig. 4 糸温度 T_H の測定結果

Fig. 5 糸速度 V_y の測定結果

Table 2 冷間サージング発生条件 Table 3 熱間サージング発生条件

冷間		D/V_d						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
V_d/V_f	1.1	×	×	×	×	○	○	○
	1.2	×	×	×	×	○	○	○
	1.3	×	○	○	○	○	○	○
	1.4	○	○	○	○	○	○	○
	1.5	○	○	○	○	○	○	○
	1.6	○	○	○	○	△	△	△
	1.7	○	○	○	△	△	△	△

熱間		D/V_d						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
V_d/V_f	1.1	-	×	×	×	×	×	×
	1.2	×	×	×	×	×	×	×
	1.3	×	×	×	×	×	×	×
	1.4	×	×	×	×	×	×	×
	1.5	×	×	×	○	○	○	○
	1.6	×	○	○	○	○	○	○
	1.7	○	○	○	○	○	○	○

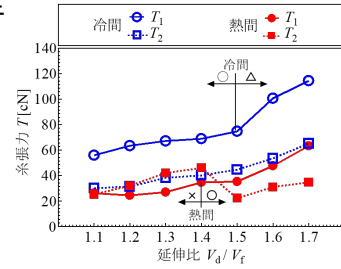


Fig. 6 T_1 と張力 T_2 の比較

(3) 2021 年度 冷間加工の実験条件の選定

Table 4 に FDY, Table 5 に POY のディスク周速度 $D=800 \text{ m/min}$ におけるサージング発生状況を示す。ここで、(○) はサージング未発生、(×) はサージング発生、(-) は糸切れ等による測定不可、(△) は糸把持が出来ていない状態を指す。両表を比較すると FDY に比べて POY は、より多くの加工条件でサージングの発生が観察できた。Fig. 7 にディスク周速度 $D=800 \text{ m/min}$, 速度比 $D/V_d=1.50$, 延伸比 $V_d/V_f=1.00\sim 1.10$ における FDY, POY の加燃張力 T_1 および解燃張力 T_2 を示す。同図より、 $V_d/V_f=1.10$ 以下での FDY の T_1, T_2 は、POY と比較して大きくなっていった。また、 V_d/V_f が増加すると FDY の T_1 および T_2 は共に増加傾向にあり、 $T_2 > T_1$ の関係にあることがわかった。また、FDY ではサージングが確認できず糸切れ (-) が多く発生していた。これより POY では糸張力が低くディスク上で糸が把持されにくい状態すなわちディスク上で糸が滑ることでサージングが発生しているといえる。なお、POY は延伸により低張力で糸切れが発生しにくかった。この結果から、POY は FDY に比べ糸切れが少なくサージングの発生状況を容易に確認でき、幅広い加工条件で検証が可能であることが明らかとなった。したがって、今後のディスクユニットの性能評価を調査するためには、サージングが発生しやすい POY を原糸として使用することが妥当といえることが明らかとなった。

Table 4 FDY のサージング

FDY		$D=800[\text{m/min}]$			
		D/V_d			
		1.50	1.60	1.65	1.70
V_d/V_f	1.01	-	○	△	○
	1.02	○	○	○	○
	1.03	○	○	○	○
	1.04	○	-	○	-
	1.05	○	-	-	-
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1.10	-	-	-	-	

Table 5 POY のサージング

POY		$D=800[\text{m/min}]$			
		D/V_d			
		1.10	1.30	1.50	1.70
V_d/V_f	1.01	-	△	×	×
	1.02	-	△	×	×
	1.03	-	△	×	×
	1.04	-	○	×	×
	1.05	△	○	×	×
	1.06	△	○	×	○
	1.07	△	○	×	○
	1.08	△	○	×	○
	1.09	△	○	○	○
	1.10	△	○	○	○
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1.65	○	○	○	-	
1.70	○	○	○	-	

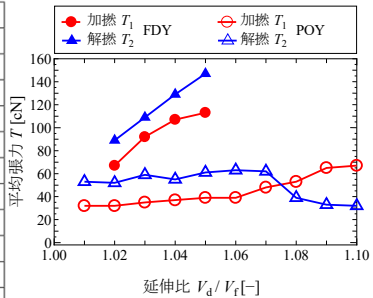


Fig. 7 FDY と POY の糸張力の延伸比変化

(4) 2022 年度 ディスクユニットの性能評価

Fig. 8 にディスク周速度 $D=800 \text{ m/min}$, 加燃長さ $L=2300 \text{ mm}$ におけるサージング境界の糸張力 T を示す。同図より、糸速度 V_d の増加に伴い加燃張力 T_1 は約 70 cN と一定値にあるのに対して解燃張力 T_2 は増加傾向にあった。 $T_1 > T_2$ の条件では両張力 T が 70 cN 以下であることから、ディスク上の糸送り作用によって糸への負荷が小さいといえる。一方、 $T_1 < T_2$ では糸張力が 70 cN 以上かつ糸送り作用が小さいため糸への負荷が大きいといえる。これは使用しているウレタンディスク上で生じる摩擦力が影響している。Fig. 9 に各ディスク周速度 D および加燃長さ L におけるサージング境界のフィードローラ周速度 V_f を示す。同図より、どのディスク周速度 D においても V_d の増加に伴い、 V_f は線形的な増加の後、 D 毎に一定値に収束していた。これは加燃長さ L が短くなることで加燃領域の糸質量が小さくなり、ディスク上の施擦力に対する撚り抵抗が減少したことが要因といえる。以上より、ディスクユニットではウレタンディスクによる摩擦力が「撚り」に大きく寄与し、把持限界は加燃張力 T_1 とフィードローラ周速度 V_f に依存しており、ディスク周速度 D によって限界値が決定されることが明らかとなった。Fig. 10 にディスク周速度 $D=600 \text{ m/min}$ における各ディスク構成のフィードローラ周速度 V_f を示す。同図よりフィードローラ周速度 V_f は、デリベリローラ周速度 V_d が増加しても構成 $A > D > C > B$ となっていた。これは構成 A が摩擦力の大きいウレタンディスク D_u を使用しているため、糸への施擦力も大きく加燃状態を維持できていることが要因といえる。Fig. 11 にディスク周速度 $D=600 \text{ m/min}$ における構成 A, B, D の糸張力 T を示す。同図より、構成 A, D にはそれぞれの張力に差異が見られなかった。しかし、構成 B は A, D と比較して加燃張力 T_1 が低かった。これは構成 B の外径が $\phi 56$ と最も小さいことからの加燃効率が低下、そして糸がディスクに押し付けられにくくなるため糸把持力も小さく加燃張力 T_1 が低くなっていた。以上より、今後もディスク構成を検討する上でディスク材質と形状の最適化がサージングの抑制にも効果的であるといえる。

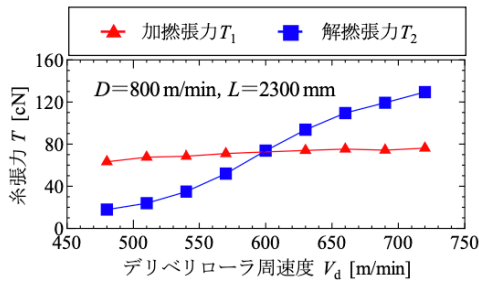


Fig. 8 サージング限界の糸張力 T

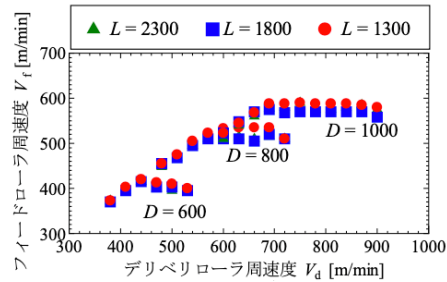


Fig. 9 サージング限界の周速度 V_f

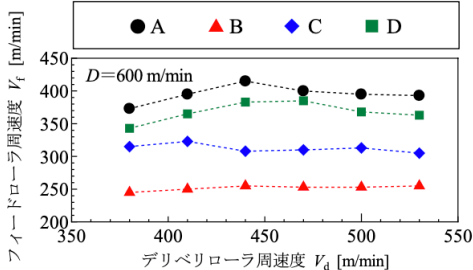


Fig. 10 サージング限界の周速度 V_f

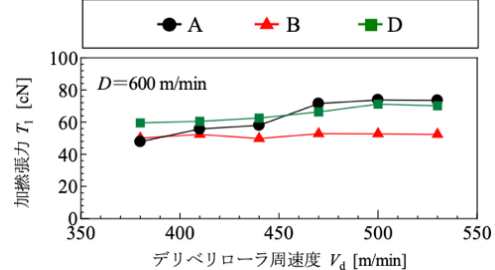


Fig. 11 サージング限界の加燃張力 T_1

(5) 2023 年度 加燃領域におけるガイドの有効性

Fig. 12 に加燃長さ $L=2300$ mm, ディスク周速度 $D=800$ m/min でのガイド有無でのフィードローラー周速度 V_f を, Fig. 13 に加燃張力 T_1 を示す. まず Fig. 12 より, フィードローラー周速度 V_f は, デリベリローラー周速度 V_d の増加に伴い, $V_d/V_f=1.0$ に沿って線形的に増加した後, 約 $V_d=600$ m/min で上限値があるとわかる. 同値はガイド有りがガイド無しより速くなっている. よってガイド有りの方が $V_d/V_f=1.0$ に近似しており, 高速加工での厳しい加工条件でもサージングが発生しにくくなっていた. これはガイド設置によって加燃領域内の糸振動が抑制され, ディスクユニット内で糸に付与される加燃力の改善と撚り抵抗の減少が要因といえる. これよりサージング限界が向上したと考えられるが, 両者を定量的に把握するには至っておらず, 今後の課題とする. 次に Fig. 13 より, 加燃張力 T_1 はガイド有りがガイド無しよりも低かった. これも前述したディスクユニットでの糸把持状態が良好となり, 低い加燃張力という厳しい加工条件でも加燃できるようになったためサージングが発生しにくくなっていた.

Fig. 14 にディスク周速度 $D=800$ m/min, 加燃長さ $L=1300, 1800, 2300$ mm でのガイド有りのフィードローラー周速度 V_f を, Fig. 15 に加燃張力 T_1 を示す. まず Fig. 14 より, サージング限界は加燃長さ L が異なっても定性的に一致していることが明らかとなった. これは加燃長さ L を短くすることで, 加燃領域における糸質量やガイド個数も減少することが要因といえる. 次に Fig. 15 より, 加燃長さ L が短くなるほど加燃張力 T_1 が減少していた. この要因としても前述したように, 加燃長さ L による糸質量・ガイド個数の減少であるといえる. つまり, 撚り抵抗となるガイドによる摩擦抵抗も減少するため, 低張力という厳しい加工条件でもサージングが発生しにくくなっていたと考えられる. 以上のことから, 加燃領域にガイドを設置することはディスクユニットでの糸とディスクの接触状態の安定化に有効といえ, 加燃長さ L を短縮することは, サージング限界をわずかに向上させる補助的要因になることが明らかとなった.

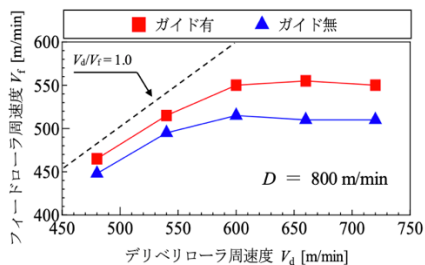


Fig. 12 ガイド有無の限界速度

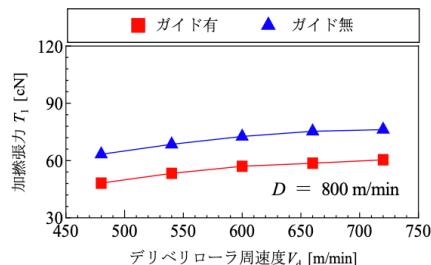


Fig. 13 ガイド有無の限界張力

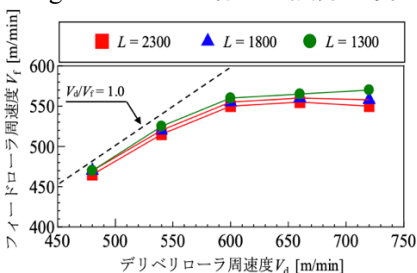


Fig. 14 加燃長さ変更時の限界速度

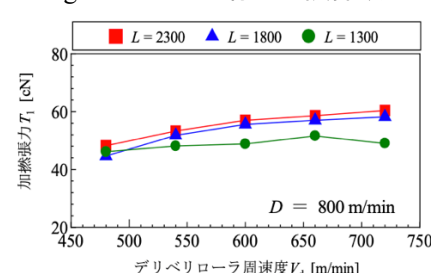


Fig. 15 加燃長さ変更時の限界加燃張力

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 林田剛一, 金田直人, 圓道瑛太, 喜成年泰	4. 巻 68
2. 論文標題 仮撚加工におけるサージング現象に及ぼす速度比の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Textile Engineering	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4188/jte.68.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 川越瑠々空, 中川太陽, 金田直人
2. 発表標題 仮撚加工機における撚り性能の評価に関する研究
3. 学会等名 一般社団法人日本繊維機械学会 第76回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川太陽, 川越瑠々空, 金田直人
2. 発表標題 ディスクフリクション仮撚加工機のディスク構成の検討
3. 学会等名 一般社団法人日本繊維機械学会 第76回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川太陽, 森川凱都, 金田直人
2. 発表標題 仮撚加工における加撚効率の評価に向けた試験条件の選定
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第75回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kaito Morikawa, Taiyo Nakagawa, Koichi Hayashida, Naoto Kaneda
2. 発表標題 Relationship between Yarn Tension and Surging in False-twisting without Heater
3. 学会等名 49th Textile Research Symposium Kyoto, Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林田 剛一, 金田 直人
2. 発表標題 仮撚加工機におけるサージングと速度比の関係について
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第74回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川 凱都, 金田 直人
2. 発表標題 仮撚における冷間加工での糸の様子
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第74回年次大会
4. 発表年 2021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
研究協力者	喜成 年泰 (Kinari Toshiyasu)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	村中 貴幸 (Mranaka Takayuki)		
研究協力者	岡田 将人 (Okada Masato)		

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