(昭和 56 年 1 月 29 日受理)

ローラドラフトプロセスの力学的解析

岐阜大学工学部 岡村政明・近田富士雄・黒崎新也

DYNAMIC ANALYSIS OF THE ROLLER DRAFTING PROCESS

By Masaaki Okamura, Fujio Konda and Shinya Kurosaki

(Faculty of Engineering, Gifu University,
Kakamigahara City, Gifu Prefecture, Japan)

The roller drafting process is analysed by taking into account the following five factors: the feed sliver thickness, the delivery sliver thickness, the velocity-change-point, the drafting force and the sliver density in the drafting zone. The interactions of these factors are discussed on the basis of the preceding paper. The velocity-change-point is decided from the tuft diagrams and the sliver density in the zone with the concept of frictional force balance. The tuft diagram is calculated here from the feed sliver thickness and the delivery sliver thickness. The drafting force is deduced from the tuft diagrams, the sliver density in the zone and the velocity-change-point. On the next stage, the delivery sliver thickness is inferred from the velocity-change-point and then the sliver density in the zone from the drafting force. The roller drafting process is considered as the repetition of these four processes. The relations among the factors for the four processes are respectively derived as a function of time. The delivery sliver thickness is calculated when sliver with periodic variation is fed to the back roller. The calculated results show close agreements with experimental ones.

(Received January 29, 1981)

1. 緒 言

表速が異なる二対のローラからなるローラドラフトはそれ自体単純な作用であるが、対象が一定の長さをもった細い繊維が集めたスライバであるため、そのプロセスは非常に複雑な変動過程となる。ドラフトプロセスについては、従来から多くの研究がみられ、繊維の配列、繊維の運動に基づいて¹⁾、あるいはプロセス解析の手法を用いて²⁾、主に、ドラフトによって生じるむらを検討している。しかし、それらは変速点の移動に適当な仮定を設けて、それとむらとの関係を明らかにしているに過ぎない。変速点はむらを左右するドラフトにおいて最も重要なファクタであり、なぜ変速点が動くのかという問題を解決し、それを含めた解析でなければドラフトプロセスを解明したとは言難い。

ところで、前報³⁾において、変速点を浮遊繊維とローラに把持された繊維の摩擦力から求め、それと G.A.R. Foster の理論¹⁾とから紡出スライバむらを検討した。これはむらの発生、むらの抑制に対して、有効な知見を

与えるものであるが、時間項を含まないため、紡出スライバ太さの時間的变化まで言及することはできない。しかし、その過程で用いた変速点および G.A.R. Foster の理論は時間の関数として表わされており、これをさらに発展させれば、変速点の移動に関する因果関係を含めたドラフトプロセスの解析が可能になるものと考えられる。

本研究は前報³⁾を基礎として、ローラドラフトプロセスを力学的に解析することを目的とした。現実のドラフトプロセスは多くの要素が複雑に関連した変動過程であるが、それを単純化して、要素間の相互関係を求めた。そして、それらの関係をまとめて、供給スライバの太さ変化に対する紡出スライバ太さの時間的变化を計算し、実測値と比較して、その妥当性を検討した。

2. ローラドラフトプロセスを構成する要素

ローラドラフトプロセスを構成する要素として、供給スライバの断面繊維本数、紡出スライバの断面繊維本数および変速点が、まず、考えられる。一方、前報³⁾で示

されたように、変速点はドラフト域のスライバ密度によって強く影響されることから、これも要素に加える。しかし、この四つの要素だけではドラフト域のスライバ密度は時間的に変化せず、変速点は供給スライバと紡出スライバの断面繊維本数だけによって決定されることになる。

ところで、スライバを軸方向に引張ると、スライバはその軸と直角方向に収縮する。これはスライバ密度が軸方向の張力によって変化することを意味している。この現象をローラドラフトについて考えてみると、スライバ軸方向の張力はドラフト力であり、それによってドラフト域のスライバ密度が変化することになる。そこで、ドラフト域のスライバ密度を支配する要素としてドラフト力を考える。前報³⁾と同様、繊維間の接触圧力をドラフト域のスライバ密度で置換えると、ドラフト力は基本的にはフロント、バック両ローラの把持繊維量とドラフト域のスライバ密度によって表現される。したがって、ドラフト力とスライバ密度の間でループが形成され、スライバ密度が時間的に変化することになる。

以上のことから、ローラドラフトプロセスを構成する要素は供給スライバの断面繊維本数 $N(t)$ 、紡出スライバの断面繊維本数 $n(t)$ 、変速点 $S(t)$ 、ドラフト域のスライバ密度 $\rho(X, t)$ およびドラフト力 $DF(t)$ の五つであるとした。

3. 要素間の関係

前述の五つの要素間の関係を検討した。ドラフトプロセスを構成する要素をたとえ限定したとしても、それらの要素がそれぞれ独立ではなく、互いに複雑に影響を及ぼし合っているものと考えられる。しかし、その詳細を明らかにすることは、問題をいたずらに複雑にするに過ぎず、結局は、解析を不可能にする。そこで、基本となる関係だけに注目し、要素間の関係を図1のように考えた。すなわち、 $N(t)$ と $n(t)$ とから求められるフロント、バック両ローラの把持繊維量と $\rho(X, t)$ から $S(t)$ が決定され、両ローラの把持繊維量、 $\rho(X, t)$ および $S(t)$ とから $DF(t)$ が決定される。ついで、 $S(t)$ から $n(t)$ が、 $DF(t)$ から $\rho(X, t)$ が決定される。そして、この四つの過程が単位となって繰返されるものとした。

つぎに、四つの過程における要素間の関係について検討した。任意の時刻 t におけるドラフト域の状態を図2に示す。ここで、 $f_1(X, t)$ 、 $f_2(X, t)$ は時刻 t 、位置 X におけるフロント、バック両ローラの把持繊維本数であり、 $f_3(X, t)$ は断面繊維本数である。ところで、 f_1 、 f_2 、 ρ は X と t の関数であるが、 X と t の項に分離できれば以後の処理が簡単になる。そこで、それぞれに

Fig. 1 Diagram showing the interactions of the following five factors.

- $N(t)$: feed sliver thickness
- $n(t)$: delivery sliver thickness
- $\rho(X, t)$: sliver density in the drafting zone
- $S(t)$: velocity-change-point
- $DF(t)$: drafting force

Fig. 2 Tuft diagram $f_1(X, t)$, $f_2(X, t)$, cross-sectional number of fibre $f_3(X, t)$ and sliver density in the drafting zone $\rho(X, t)$.

ついて、 X と t の項に分離することを考える。

(1) $f_1(X, t)$, $f_2(X, t)$

スライバの太さにむらがある場合、その把持分布は厳密には X と t の関数となる。しかし、一般には、むらの波長はローラゲージよりもかなり大きく、したがって、把持分布の時間的な変化は微小であると考えてもよい。そこで、把持分布の時間的な変化は考えず、それを $f_0(X)$ とすると、

$$\begin{aligned} f_1(X, t) &= N(t) \cdot f_0(X) \\ f_2(X, t) &= n(t) \cdot f_0(X) \end{aligned} \quad (1)$$

となる。

(2) $f_3(X, t)$

繊維長に対して、ローラゲージがわずかに長い場合に

はすでに示されたように⁴⁾, $f_s(X, t)$ を図2の破線のように近似してほとんど問題はない。そこで, $f_s(X, t)$ を3本の直線で近似し, バックローラ側で断面繊維本数が変化しない領域(図中の a)が時間的に一定であると仮定すると,

$$f_s(X, t) = \begin{cases} N(t) & 0 \leq X \leq a \\ \frac{(1-D)N(t)}{D\{S(t)-a\}} \left\{ X - \frac{D \cdot S(t) - a}{D-1} \right\} & a < X \leq S(t) \\ n(t) & S(t) < X \leq L \end{cases} \quad (2)$$

で表わされる。

(3) $\rho(X, t)$

前報³⁾と同様, $\rho(X, t)$ をバックローラの位置で一定値をもち, フロントローラから15mmの位置で最小値を示す2次曲線で近似し, 最小値が時間的に変化するものとする, 次式となる。

$$\rho(X, t) = \frac{\rho_1 - \rho_2(t)}{(L-15)^2} X^2 - 2 \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2(t)}{L-15} X + \rho_1 \quad (3)$$

ただし,

$$\rho_1 = \rho(0, t)$$

$$\rho_2(t) = \rho(L-15, t)$$

である。

つづいて, 図1に示された四つの過程について, 要素間の関係を検討した。

(1) $N(t)$, $n(t)$ および $\rho(X, t)$ と $S(t)$ の関係

前報³⁾の結果から, 長さが l である浮遊繊維に対して,

$$\int_{S(t)-l}^{l_0} \rho(X, t) \frac{f_1(X, t)}{f_s(X, t)} dX - \int_{L-l_0}^{S(t)} \rho(X, t) \frac{f_2(X, t)}{f_s(X, t)} dX = 0 \quad (4)$$

となり, (1)式~(3)式を(4)式に代入すれば求める関係を得る。

(2) $N(t)$, $n(t)$, $\rho(X, t)$ および $S(t)$ と $DF(t)$ の関係

繊維間の接触圧力をドラフト域のスライバ密度で置換えると, M.Hannahの理論⁵⁾から次式が成立する。

$$DF(t) = k \int_{L-l_0}^{l_0} \rho(X, t) \frac{f_1(X, t) \cdot f_2(X, t)}{f_s(X, t)} dX \quad (5)$$

(5)式に(1)式~(3)式を代入すれば求める関係を得る。

(3) $DF(t)$ と $\rho(X, t)$ の関係

$\rho(X, t)$ が(3)式で表わされることから, $\rho_2(t)$ と $DF(t)$ の関係を求めればよい。そこで, $\rho_2(t)$ と $DF(t)$ を同時に測定して両者の関係を検討した。

Fig. 3 Sliver density at a point in the drafting zone and drafting force.

図3は測定された結果の一例である。 $\rho_2(t)$ の測定は二対の投受光器とコンデンサ型むら試験器による方法⁶⁾を用いておこなった。図から明らかなように, 両者には正の相関が認められる。

図3の結果を用いて, ドラフト力に対してスライバ密度をプロットして, 図4に示す。この場合, ドラフト力は平均ドラフト力に対する比で表現した。両者には直線的な比例関係がみられ, 相関係数を計算すると0.92であった。ドラフト比を変化させて両者の関係を検討した結果, ドラフト比が小さくなると相関係数が多少小さな値を示すが, いずれの場合にも直線的な比例関係を示した。したがって,

$$\rho_2(t) = K_1 \frac{DF(t)}{MDF} + K_2 \quad (6)$$

で表わされる。ここで, MDF はドラフト力の平均値であり, K_1 , K_2 は比例定数である。(3)式と(6)式とから $DF(t)$ と $\rho(X, t)$ の関係を導く。

(4) $S(t)$ と $n(t)$ の関係

G.A.R.Foster¹⁾によれば, 次式が成立する。

Fig. 4 Relation between drafting force/mean drafting force (DF/MDF) and sliver density at a point in the drafting zone.

$$n(t) = \frac{V_b - V(t)}{V_f - V(t)} N(t) \quad (7)$$

ここで、 V_f 、 V_b はフロント、バック両ローラの表速であり、 $V(t)$ は変速点の移動速度である。(7)式から、 $S(t)$ と $V(t)$ の関係を明らかにすれば、求める関係を得ることができる。

速度は、一般に、移動距離とそれに要した時間を知ればその間の平均速度として求めることができる。時刻 t_1 と t_2 ($t_2 > t_1$)で変速点が $S(t_1)$ から $S(t_2)$ へ移動したとすると、

$$V(t_2) = \frac{S(t_2) - S(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (8)$$

となる。したがって、(7)、(8)式から $S(t)$ と $n(t)$ の関係を得る。

4. ローラドラフトプロセス

ドラフトが定常に達した後のローラドラフトプロセスを前節で示された関係を用いて検討した。時刻 T_0 まで供給スライバ太さが一定であり、その後太さが変化する場合について、図1にしたがって各要素間の関係をまとめ、図5に示す。図の左半分は供給スライバ太さが一定の場合であり、ここで初期条件を決定する。右半分は供給スライバ太さが変化する場合を示し、 $t \leq T_0$ および $N_0(t)$ はバックローラから供給されたスライバがフロントローラに達するまでに生じる時間の遅れを考慮するためのものである。なお、供給スライバ太さ以外の要素の変化に対しても、一部を変更すれば計算が可能である。

つぎに、図5と実際のローラドラフトプロセスとを比較、検討した。ポリエステル65%、レーヨン35%、2d、51mmの等長にカットされた繊維からなるスライバを用い、フロントローラの回転を周期的に変化できるドラフト装置によって、途中から周期むらをもつスライバを作成した。これを供給スライバとし、図5にしたがって変速点 $S(t)$ 、紡出スライバの断面繊維本数 $n(t)$ 、ドラフト力 $DF(t)/MDF$ およびスライバ密度 $\rho_2(t)$ を計算した。計算に必要な定数は実験結果を参考にして、 $L = 80 \text{ mm}$ 、 $l = 51 \text{ mm}$ 、 $\rho_1 = 0.03 \text{ mg/mm}^3$ 、 $V_f = 26 \text{ mm/sec}$ 、 $K_1 = 0.008$ 、 $K_2 = 0.002$ 、 $a = 5 \text{ mm}$ とした。なお、計算の時間間隔は5秒(スライバの約23mmに相当)とした。結果を図6に示す。図の最上が与えられた供給スライバの断面繊維本数 $N(t)$ の変化であり、これを用いて計算された他の要素の変化を以下に示した。なお、これは $N(t)$ が変化を示し始めた時刻 T_0 を0秒として、それ以後の変化の様子を図示した。 $n(t)$ 、 $DF(t)/MDF$ 、 $\rho_2(t)$ は $N(t)$ に対して位相の遅れを示すが、変化の様子は同じである。一方、 $S(t)$ は $n(t)$ 等と逆の変化を示して

Fig. 5 Flow chart for the roller drafting process.

いるが、これは $S(t)$ がバックローラからの距離で示されているためであり、値の増加はフロントローラに近づくことを意味している。また、80mmでフロントローラuppとなり、これ以上の増加がないために一定値が続くことになる。

紡出スライバの断面繊維本数 $n(t)$ について、実際にドラフトして得られた結果と比較した。図6の $N(t)$ で示された周期むらをもつスライバをドラフト比6、ローラゲージ80mmでドラフトした。ドラフトして得られたスライバの太さを断面繊維本数で表わし、図7に示す。図中の破線は図6に示された計算によって求められたものである。両者を比較すると、実測値は細かな変化を示しながら、全体として、周期的に変化しているのに対し、計算値では細かな変化は見られず周期変化だけである。しかし、細かな変化を除けば両者はよい一致を示し、与えられた供給スライバの太さ変化から紡出スライバ太さの時間的变化をこの程度まで予測できることが明らかになった。また、図中の細かな破線は変速点が時間的に動かないと仮定して計算した結果である。この場合、紡出

Fig. 6 Calculated results of $S(t)$, $n(t)$, $DF(t)/MDF$ and $\rho_2(t)$ for the feed sliver thickness variation. ($D=6$, $RG=80$ mm)

Fig. 7 Delivery sliver thickness.

— experimented
 --- calculated
 - · - calculated ($S(t)=\text{const.}$)

スライバ太さは供給スライバ太さが単にドラフト比分の1になったものであり、前二者と比較すると、太い部分はそれらよりも細く、細い部分は逆に太くなっている。したがって、変速点が動かない場合には、紡出スライバのむらは少なく表現され、従来から言われているように、変速点の変動がむらに大きく影響していることがわかる。

図8は図7と同じ波長をもち、振幅が異なる試料につ

Fig. 8 Delivery sliver thickness.

— experimented
 --- calculated
 - · - calculated ($S(t)=\text{const.}$)

いての結果である。この場合にも、実測値に現われる細かな変化を除けば、両者はよく一致している。

以上のように、本研究で示された結果は現実を十分に説明でき、ローラドラフトプロセスの検討に対して極めて有効であると考えられる。

5. 結 言

前報で得られた知見をもとにして、ローラドラフトプロセスを力学的に解析した。結果をまとめると、つぎのようになる。

(1) ローラドラフトプロセスを構成する要素は供給スライバの断面繊維本数、紡出スライバの断面繊維本数、変速点、ドラフト力およびドラフト域のスライバ密度の五つであるとした。

(2) ローラドラフトプロセスは図1に示された四つの過程の繰返しであると考え、それぞれの過程について、要素間の関係を明らかにした。

(3) 周期むらをもつスライバをドラフトした場合、計算によって求めた紡出スライバ太さの時間的変化は実際にドラフトして得られたそれとよく一致し、本研究で示されたローラドラフトプロセスの解析の妥当性が確かめられた。

文 献

- 1) たとえば, G.A.R. Foster; J. Text. Inst., **42**, T336 (1951)
- 2) たとえば, 藤野, 川端; 織機誌, **14**, 630 (1961)
- 3) 岡村, 近田, 黒崎; 織学誌, **36**, T240 (1980)
- 4) 岡村, 近田, 黒崎, 脇田, 丹羽; 岐阜大工研報, **27**, 30 (1977)
- 5) M. Hannah; J. Text. Inst., **41**, T57 (1950)
- 6) S. Kurosaki, F. Konda, M. Okamura; Int. Wool Text. Res. Conf., IV-16 (1975)