限界表面速度比付近におけるカーディング ローラ間繊維移動模型とその応用

名古屋工業大学 原 川 和 久 (会員)
木 下 周 一* (")
田 中 賢 治 (")

Simulation of Fiber Transfer between Carding Rollers around the Critical Rate of Surface Velocity, and it's Application.

Kazuhisa Harakawa, Shuichi Kinoshita and Kenji Tanaka.

Nagoya Institute of Technology, Nagoya.

Abstract

A new fiber transfer model which modifies the previous paper, is presented. In the previous paper, the phenomenon of fiber transfer was assumed as the product of two phenomena, i.e. one of fiber gripping and one of fiber distribution to each roller. The new model in this paper supports this assumption, and moreover includes the geometrical definition of the gripping phenomenon. This definition enables us to predict K_V - P/P_S relation.

This paper describes two subjects. First, the new model is explained theoretically and experimentally. Secondly, for one example of this theory, the fact that P is decreased by setting up of a small plain roller between the carding rollers is evaluated quantitatively.

(Received August 8, 1975)

摘 要

先に提案した繊維移動模型¹⁾を修正した新しい模型を提出する。従来の模型は繊維移動現象を両ローラによる繊維把持現象と繊維ふり分け現象の従属的な結合と考えるものであり、新しい模型もこの立場をとるのであるが、繊維把持現象を幾何学的により明確に定義した。このため従来の模型では予測できなかった広い範囲にわたる表面速度比 K_V の変化に対する繊維移動率 P の変化パターンが明らかとなり、 $K_V \sim P/P_S$ 関係が計算できるようになった。ここで P_S は K_V が変化しても P の値がほとんど変化しない領域の P の値を意味する。

本論文は2つの部分から成っている。まず模型の説明と、 $K_V \sim P/P_S$ 関係の計算について述べ、次に本理論の応用例として、2つのカーディングローラ間に設置した回転小径ローラの繊維移行阻止作用の評価を示している。

(昭和50年8月8日受理)

1. ま え が き

近接して回転する2つのカーディングローラ(以下C. R. と略記する)間の繊維移動現象は、1本の繊維に注目した繊維移動模型を用いて説明できることを先に報告した¹⁾。この模型は、AローラからBローラへの繊維の移動を次に述べる2つの現象の従属的な結合からな

ると考える立場をとるものである。

①把持現象 1本の繊維がAローラからBローラに移るためには、Aローラの針に把持されて運ばれてきた繊維がBローラの針にも把持されることが必要であると考ええる。

②ふり分け現象 把持現象の発生後、A, B両ローラの繊維を把持した針間の距離はA, Bローラの回転

* 現在、東レ株式会社

につれて変化するから、いずれかの時刻には A, B ローラのどちらかの針の把持は開放されなければならない。すなわち把持繊維はある時刻にはどちらかのローラにふり分けられると考える。

前報¹⁾では、ふり分け条件として限界角度差 ϕ_c を考え、この値と実験的に観測される限界表面速度比 $[K_V]$ の関係について論じ、 ϕ_c の値が繊維条件や機械諸元によらずほぼ一定値となることを示した。このことから限界表面速度比 $[K_V]$ の値を予測することが可能となったのであるが²⁾、表面速度比～移動率線図を予測するまでには至っていない。この原因は把持点における繊維姿態を極端に単純化した模型を考えたためであり、本報では修正した繊維移動模型を提案する。これによれば表面速度比～移動率線図の予測ができることがいくつかの実験によって確かめられた。

図1 考察の対象。 A は B ローラより早く回転しているものとする。 A ローラで運ばれてくる繊維はその姿態によって f_a, f_b 2 種類に分類できると考える。

2. 修正した繊維移動模型

図1において、 A ローラおよび B ローラは互いに近接して回転する2つの C.R. である。修正した繊維移動模型も基本的には前報と同じ立場をとり、両ローラの近接点付近まで A ローラで順次運ばれてくる繊維はそれぞれの姿態や、その他の理由で次のように振舞う繊維に分類できるとする。

以下、 B ローラの針にも把持されるという条件を満足する繊維 f_a にのみ注目し、その挙動を模型化する。

①繊維を把持して運んできた A ローラの針 a が $\overline{O_A O_B}$ 上にきた時刻 $t = t=0$ とする。ここで O_A, O_B はそれぞれ A, B ローラの中心である。このとき針 a が把持している繊維を B ローラの針も把持しているが、 B ローラの把持針 b の位置を針 b の針頭と O_B を結ぶ線分が $\overline{O_A O_B}$ となす角 δ で表わすことにする。 δ の方向は B ローラの回転方向を正とする (図2)。

② δ はある区間で分布し、その確率密度関数を $n(\delta)$ とする。 δ の区間は繊維長 L および A ローラの針に把持された繊維が後方にたなびいていることを考慮して

図2 繊維移動模型 ($t=0$)

$$-L/R_B \leq \delta \leq 0 \quad (\text{rad}) \dots\dots\dots (1)$$

ただし R_B は B ローラの半径。

とする (図2)。したがって

$$\int_{-L/R_B}^0 n(\delta) d\delta = 1$$

である。

③ふり分け現象の起る位置は①で述べた針 a, b 間の距離が繊維長 L になる時刻 $t=T$ で与えられるものとし、 $0 \leq t \leq T$ においては針 a, b の繊維把持は保たれるものとする (図3)。

A, B ローラ間隙を無視すれば、 T が(2)式を満足する t の値であることは図3から明らかである。

$$L^2 = \{R_A(1 - \cos \omega_A t) + R_B[1 - \cos(\omega_B t + \delta)]\}^2 + \{R_A \sin \omega_A t - R_B \sin(\omega_B t + \delta)\}^2 \dots\dots\dots (2)$$

添字 A, B は各ローラを意味し R は半径、 ω は回転角速度。

また、 $t=T$ において、針 a, b の針頭をむすぶ線分 $\overline{ab}$ と針 a, b の側面とのなす角をそれぞれ ϕ_A, ϕ_B とすると、 $\phi_A - \phi_B$ は図3から明らかなように

$$\phi_A - \phi_B = \theta_A - \theta_B - (\omega_A T + \omega_B T + \delta) \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。ここで θ は針の側角である。 $\phi_A - \phi_B$

図3 繊維移動模型 ($t \geq T$)

は δ の関数となるから

$$\phi_A - \phi_B = \phi(\delta) \dots \dots \dots (3)'$$

で表わすことにする。

④ $t > T$ において、③に述べた繊維は A, B ローラのどちらかに ふり分けられると考え、そのふり分け条件は(4)式で与えられると考える。

$$P_M\{\phi(\delta)\} = \begin{cases} 1 & \phi(\delta) \geq \phi_c \text{ Bローラに移行} \\ 0 & \phi(\delta) < \phi_c \text{ Aローラに滞留} \end{cases} \dots (4)$$

以上の定義において①および②は把持現象を幾何学的に明確化したものであり、これによって広い範囲で変化する表面速度比 K_V に対する繊維移動の予測計算が可能となった。

3. $K_V \sim P/P_S$ 線図の数値計算

いま A ローラで A, B ローラの近接点に運ばれてきた繊維が B ローラの針に把持される確率を p_S と仮定すると、前述の①~④から1本の繊維が A ローラから B ローラに移る確率 p は

$$p = \frac{p_S \int_{-L/R_B}^0 n(\delta) P_M\{\phi(\delta)\} d\delta}{\int_{-B/R_B}^0 n(\delta) d\delta} \dots \dots \dots (5)$$

相対度数的に解釈すれば、 p は先に定義した C. R. 間の繊維移動率 P にはかならない。

$$p \equiv P \dots \dots \dots (6)$$

一方、限界表面速度比 $[K_V]$ の定義から¹⁾²⁾

$$K_V < [K_V] \dots \dots \dots (7)$$

を満足する K_V の範囲ではすべての把持繊維についてのふり分け条件 $P_M\{\phi(\delta)\}$ は

$$P_M\{\phi(\delta)\} = 1$$

である。したがって、このとき(5)式は

$$p = p_S$$

となる。

実験的には、 p_S は後述する図6の領域 R における P の値 P_S である。

$$p_S \equiv P_S \dots \dots \dots (8)$$

(6), (8)を用い(5)式を変形すると規準化された移動の特性式とも呼ぶべき(9)式を得る。

$$P/P_S = \int_{-L/R_B}^0 n(\delta) P_M\{\phi(\delta)\} d\delta \dots \dots \dots (9)$$

(9)式で定義される P/P の値は機械諸元 $R_A, R_B, \omega_A, \omega_B, \theta_B, \theta_B$ および繊維長 L が定まり、限界角度差 ϕ_c および密度関数 $n(\delta)$ が与えられれば(2), (3), (4)式を用いて求めることができる。

ここで、 ϕ_c をパラメータとして取扱ひ $\phi_c = -20^\circ, -15^\circ, -10^\circ$ および -5° のそれぞれについて、 $n(\delta)$ を一様分布、標準正規分布および自由度4の χ^2 分布として P/P_S の値を計算してみた。

計算はモンテカルロ法で $n(\delta)$ に上記の密度関数を与えた。乱数発生には合同法³⁾を用いた。正規分布ならびに χ^2 分布は確率変数が $(-\infty, \infty)$ および $(0, \infty)$ で定義されるが $n(\delta)$ は $(-L/R_B, 0)$ で定義した。したがって計算においては次のような近似を行なった。標準正規分布 $N(0, 1)$ においては、発生乱数のうち $(-3, 3)$ の区間内にあるものだけを採用することにして500個の乱数を作った。つまり $-3, 3$ をそれぞれ $-L/R_B, 0$ に対応させた。また χ^2 分布においても同様な近似を行ない、 $0, 10$ をそれぞれ $-L/R_B, 0$ に対応させた。捨てられる乱数割合は2.5~5%の間である。表1に発生乱数の統計量を参考までに示した。

表1 使用乱数の統計値

	発生個数	分散	標準偏差
一様分散	500	0.7936	0.8908
標準正規分布	500	1.1039	1.0507
χ^2 分布注)	500	9.1147	3.0191

注) 自由度4

計算手順を図4に示す。表面速度比 K_V は0.05刻みとした。計算機は名古屋工業大学 HITAC-8400 を使用した。機械諸元および繊維長の値は以後に述べる実験装置および用いた試料の公称繊維長と同じ値とした。

図4 $K_v \sim P/P_s$ 線図の計算手順

図5 実験装置

4. 計算結果と実験値との照合

4.1 実験

図5に実験装置の概要を示す。図中 A, Bは繊維移動を注目する2つの C. R. である。Aに滞留した繊維ならびに Bに移行した繊維はそれぞれに用意した吸引管で採集する。

C. R. を工業的に用いた機械としてカードと呼ぶ紡績機械がある。本実験装置を針の作用の類似性からカードに対応させると、Aはシリンドに、Bはドッファあるいはウォーカに対応できる。ただカードにおいてはシリンドに滞留した繊維はそのままシリンドで運ばれて再びドッファあるいはウォーカとの近接点に至るという点において本実験装置との違いがある。したがって(5)式の p_s の値はカードの場合(本実験装置のAに対する吸引管を用いないで繊維の移動を考える場合)とは当然異なったものとなるが、(9)式を実験的に確かめるためにはこのような単純な機構の装置が便利である。

さて、単位時間に吸引管で採集した繊維重量を W_A , W_B とすると等長繊維の場合にはそのときの移動率 P は

$$P = \frac{W_B}{M_A + W_B}$$

で計算できる。

BのAに対する表面速度比 K_v を種々に変更し、その都度 P の値を求め K_v に対してプロットすると、一般に図6に示すようなパターンを得る。そこで K_v によって P の値がほとんど変わらない領域 R における P の実測値平均 P_s で求めたあと、 P の全測定値を P_s で割り、 $K_v \sim P/P_s$ の関係図を得る。

図6 $K_v \sim P$ の一般的パターン。 R は K_v によって P の値が変わらないと認められる領域

試料はシャーレ ミニチュア練条機2回通しのスライバのかたちで実験装置に供給した。

図7(a) 結果 ($L=38\text{mm}$). 実線は $n(\delta)$ を一様分布とした場合の計算値。黒点は実験結果。
 $P_s=0.17 \sim 0.20$

図7(b) 結果 ($L=29\text{mm}$). 実線は $n(\delta)$ を一様分布としたときの計算値, 黒点は実験結果, $P_s=0.19\sim 0.20$

図8 計算結果 ($L=38\text{mm}$, $n(\delta)$ を標準正規分布とした場合)

4.2 結 果

図7, 8, 9の実線は(9)式の数値計算で求めた線図である。図7のプロットは実験値である。実験値の K_V に対する変化様式は $n(\delta)$ を一様分布としたときの計算線図にもっとも似ている。また原料の違いで多少の相違があるが, ϕ_c の値を -20° 前後に設定すれば計算線図は実験値をよく予測できることがわかる。

図9 計算結果 ($L=38\text{mm}$, $n(\delta)$ を χ^2 分布: 自由度4とした場合)

5. 2つのC.R. 近接点付近(下流)に設けた小径ローラの効果

図10に示したように, 矢印方向に回転する小径ローラ Q を前述の実験装置(図5)に設置することによる移動率 P の変化について考える。 Q の中心が $\overline{OA}OB$ となす角度を q とする。 q の値を適当に小さくすると移動率 P が減少するのであるが, ここではこの現象の定量的説明にも繊維移動模型が適用できることを示したい。

Q の設置によって移動率 P が減少するのは, 本来 (Q がなければ) B ローラに移行する繊維が Q によって A ローラに引戻されるためだと考えることは合理的解釈であろう。いま, Q が繊維に作用を及ぼす領域 q^* を考え, その領域の作用を図11のように仮定すると q^* と P/P_s の関係は次のようになる。

図10 小径ローラ Q の設置

繊維移動模型においては, δ と $\phi(\delta)$ は1対1に対応するから, $\phi(\delta)=\phi_c$ となる δ を δ_c とすると, 把持区間 $(\delta_c, 0)$ の繊維は Q の有無に関係なく A ローラに滞留する。一方, (2)式により δ と $\omega_A T$ の対応関係も1対1であるから, $\omega_A T = q^*$ に対応する δ を δ_q^* とすると, 図11から Q が移動率 P に影響を及ぼす δ_q^* の範

図11 Q の作用域と作用の定義

- ① 時刻 $t=T$ において、 a が作用域外にあるとき、繊維の動きは下記に従うと考える。
 $\phi(\delta) \geq \phi_c$ なら B ロールへ移行
 $\phi(\delta) < \phi_c$ なら A ロールへ滞留
- ② 時刻 $t=T$ において、 a が作用域内にあるとき、 $\phi(\delta)$ の値にかかわらず、 A ロールへ滞留すると考える。
- ③ 時刻 $t=T$ において、すでに B ロールに移行している繊維は、その一端が作用域を通過しても A ロールに引戻されることはないと考え。

囲は $-L/R_B < \delta_{q^*} < \delta_c$ である。したがってこの範囲に Q を設置した場合の移動率を P_Q とするとき P_Q/P_S は次式で与えられる。

$$P_Q/P_S = \int_{-L/R_B}^{\delta_{q^*}} n(\delta) d\delta \quad (10)$$

Q を設置しない場合の P/P_S については(9)式で示したが、ふり分け条件 $P_M\{\phi(\delta)\}$ を積分区間に置き換えると

$$P/P_S = \int_{-L/R_B}^{\delta_c} n(\delta) d\delta \quad (9')$$

となる。(9')と(10)式を比較すると Q の設置は δ の区間の上限制限の意味を持つことがわかる。

さて、 Q の位置は把持区間より下流にあるから、 Q が把持現象に影響を及ぼすとは考えられない。そこで前節の $n(\delta)$ の検討で $K_V \sim P/P_S$ 線図の理論と実験の一致をみた区間 $(-L/R_B, 0)$ の一様分布を $n(\delta)$ に適用し、 q^* の値を変化させて $K_V \sim P_Q/P_S$ 線図を求めてみた。計算結果を図12, 13の実線で、また計算手順を図14に示した。

図12 小径ローラ Q を設置した場合の結果、
試料：ビスコース スフ 1.5 d, 38mm 図13 小径ローラ Q を設置した場合の結果、
試料：ポリエステル スフ 1.4 d, 29mm

実験に用いた小径ローラ Q は一般構造用棒鋼10φとしこれを図5に示した装置に図10のように取り付けた。 Q の回転速度が多少異なっても P_Q/P_S の値に影響を及ぼさないことを予備実験で認め、約 1 000 (rpm) とした。試料はビスコース スフ 1.5 d, 38mm およびポリエステル スフ 1.4 d, 29 mmを用いた。 Q の中心位置 q を変化させ、それぞれの位置において $K_V \sim P_Q/P_S$ の

図14 $K_V \sim Pq/P_S$ 線図の計算手順

関係を実測した。その結果を図12, 13にプロットした。

q の値を小さくすると $K_V \sim Pq/P_S$ 線がほぼ平行に左側にシフトすることは理論計算結果に一致している。ただビスコース スフを用い q を30°としたときに K_V が0.3~0.4の間で Pq/P_S の K_V に対する減少がややゆるやかになっていること、およびポリエステル スフを用い q を24°としたとき Pq/P_S の K_V に対する減少が理論線よりやや急激に減少していることが例外的に認められる。これらの原因が本質的なものか、単なるデータのばらつきであるかは不明である。

いまこれを後者だと考えることにすると、小径ローラの繊維移動に及ぼす効果も移動模型を適用して定量的に評価できることになる。

すなわち、まず実験値の平均的傾向として各 q の値に対する点線(図12, 13)を考える。ついでこの点線と一致する理論線の q^* の値を比例配分によって求め、 q に対して $(q - q^*)$ をプロットすると図15を得る。同図のたて軸 $(q - q^*)$ は先に想定した Q の作用域の半径が O_A に対して張る角にほぼ等しい。図中プロット上下の実線は実験データのばらつきの幅を示している。

$(q - q^*)$ の値は Q の設置位置 q の値を大きくするにつれて一定値(ほぼ5°)に漸近する。このとき Q の作用域半径はほぼ7.4 mmと計算できるが、この値は Q の半径5 mmよりやや大きめである。

2つのC.R. AおよびB間にはさまれた空間の繊維密度が両ローラの近接点に近いほど密になることを考慮し、

図15 小径ローラ Q の設置位置による作用域変化の推定

q の値が小さいほど Q の作用域が拡大すると考えれば、 Q の設置による移動率の変化は移動模型で説明できることがわかった。

6. まとめ

繊維移動現象を把持現象とふり分け現象の従属的結合と考え、移動率 P を解析的に考察した。すなわち、把持点の密度関数を公称繊維長とC.R.の半径のみで定義される区間をもつ一様分布とし、前報¹⁾で述べた限界角度差を用いて計算した移動率比 P/P_S の値は実験とはほぼ一致することを示した。

ついで、この理論の応用性を示そうとして、ふり分け域に設けた小径ローラ Q の繊維移動阻止作用を検討した。その結果この問題は Q の作用域(繊維に影響を及ぼす範囲)を定義することによって解析できることがわかった。ここで定義した作用域はC.R.間にはさまれた空間の繊維密度と密接に関係するものと考えられ、 Q の設置位置の関数となる。

文 献

- 1) 原川, 田中; 繊維誌, **24**, T95 (1971)
- 2) 原川, 田中; 繊維誌, **26**, T114 (1973)
- 3) 宮武修, 中山隆; モンテカルロ法, 日刊工業新聞社, p.71 (1962)