技術報告

オープン エンド精紡用 ロータ内における線状体 の運動

(第2報) 線状体の運動に影響を及ぼす
要因について

会 員 矢井田 修*
河 部 佳 樹**
会 員 堀 川 明***

1. まえがき

オープン エンド精紡用ロータ内における線状体の運動に影響を及ぼす要因としては種々のものが考えられる。例えば、ロータ内の気流状態、ロータの内部形状、線状体自身の物性および幾何学的形状などである。しかし、ロータの内部形状を一定と考えれば、ロータ内の気流状態に影響する要因は、繊維供給管挿入位置、挿入角度、挿入長さ、また空気排出口の位置、個数などであり、線状体については、その長さ、径、重さ、曲がりの程度などが考えられる。さらに、ロータ内へ線状体が進入するときの状態値として、線状体の初期傾き角、初期回転角速度なども考えられる。

前報¹⁾において、塩見らの回転流れ場における線状体の運動に関する理論を基礎にした運動方程式を用いて線状体の運動を数値計算した結果は、実験による結果と良く一致することが確かめられた。したがって、ここではロータ内における線状体の運動に影響を及ぼすと考えられる要因のうちで、線状体の直径、繊維供給管挿入位置を変化させて実験するとともに、線状体の直径、長さ、密度、繊維供給管挿入位置、および線状体のロータ内進入時の初期傾き

Motion of a Slender Body in an Open-End Spinning Rotor.

Part 2: Factors Affecting the Motion of a Slender Body.

By Osamu Yaida*, Yoshiki Kawabe**

and akira Horikawa**.

*Faculty of the Science of Living,

Osaka City University, Osaka.

**Department of Mechanical Engineering,

Osaka University, Suita.

The effects of factors such as diameter, length, density, initial inclination angle and initial angular velocity of a slender body, feed tube's position, rotating speed of the rotor on the motion of a slender body were studied analytically and experimentally.

The results obtained were as follows:

- (1) The diameter, density of a slender body, feed tube's position have an important effect upon the radial position of a slender body, but little effects on the inclination angle and angular velocity of a slender body.
- (2) The initial inclination angle and angular velocity at which a slender body enters into the rotor, have an important effect upon the inclination angle and angular velocity of a slender body, respectively.
- (3) The length of a slender body has no effect upon the motion of a slender body.
- (4) The rotating speed of the rotor has more effect than anything else on the motion of a slender body.

(Received July 21, 1983)

角、初期回転角速度とロータ回転数を変化させて数値計算を行い、各要因の線状体の運動に及ぼす影響について検討する。

2. 記 号

A: 回転流れの θ 方向速度に関する比例定数

C_d : 線状体の抗力係数

D: 線状体に垂直に働く全抗力

d : 線状体の直径

dl : 線状体軸上の微小長さ

F: 線状体に平行に作用する全摩擦抵抗力

L: 線状体の全長

l: 線状体重心から線状体軸に沿ってとった長さ

*O. Yaida, Member. 大阪市立大学 生活科学部

**Y. Kawabe 大阪大学 工学部

***A. Horikawa, Member. 大阪大学 工学部

m : 線状体の質量 N_u : ヌッセルト数 P : 線状体がロータ壁面から受ける反力 R : ロータの最大半径 r : 線状体重心 G の半径座標 r_c : 線状体軸上の任意の点 C の半径座標 $\dot{r}$, $\ddot{r}$: 線状体重心の半径方向の速度および加速度 T : 運動開始からの時間 V_G : 線状体重心の並進速度 V_v , V_p : dl の部分において, 線状体軸に垂直な方向および平行な方向の流れの相対速度成分 α : ロータ中心と線状体重心および線状体の壁面接触端とを結ぶ直線間の角度 θ : 線状体の重心の回転角 $\dot{\theta}_i$: 投入時における線状体重心の回転角速度 $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$: 線状体重心の回転角速度および角加速度 μ : 線状体と壁面との動摩擦係数 ν : 流体の動粘性係数 ξ : V_G と線状体軸との成す角 ρ : 流体の密度 ρ_a : 線状体の密度 ϕ : 線状体の傾き角 ϕ_i : 投入時における線状体重心の傾き角 $\dot{\phi}$, $\ddot{\phi}$: 線状体の重心を通り線状体軸に垂直な軸のまわりの線状体の自転角速度および角加速度 φ : 線状体軸上の任意の点 C を通る半径と線状体軸との成す角

3. 実験装置および実験方法

実験装置および実験方法は前報¹⁾と同様であるが, 今回の実験では繊維供給管挿入長さを一定とし, 線状体として鉛筆の芯 (長さ40 mm) を用い, その直径を3種類変化させた. なお, 鉛筆の芯の比重は1.64である. 実験条件を表1に示す. また, この報告の主目的は数値計算によってロータ中の線状体に影響を及ぼす要因について調べることであり, 実験は数値計算との一致の程度を調べるために行ったものである.

4. ロータ内における線状体の運動の数値計算

流体中における線状体の運動方程式は前報¹⁾に示

表1 実験条件

	d_i	r_f/R	l_f/R	θ	n
条件 1	0.3	0.55	0.30	20°	230
条件 2	0.5				
条件 3	0.7				
条件 4	0.3	0.71			
条件 5	0.5				
条件 6	0.7				

注) R : ロータ内部の最大半径 n : ロータ回転数 (rpm) d_i : 線状体の直径 (mm) r_f : 繊維供給管挿入位置 θ : 繊維供給管挿入角度 l_f : 繊維供給管挿入長さ

したものと同じである.

$$\ddot{\phi} = 6 \cdot \rho \cdot d_i \frac{1}{mL^2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} V_v^2 \cdot C_a \cdot l \cdot dl - \ddot{\theta} - p \cdot 12 \frac{1}{mL^2} \left(\frac{L}{2} \cos \left(\frac{\pi}{2} - (\phi - \alpha) \right) + u \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \left(\phi - \alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad (1)$$

$$\ddot{r} = -\frac{D}{m} \sin \phi + \frac{F}{m} \cos \phi + r \dot{\theta}^2 - \frac{P}{m} \cos \alpha - \frac{\mu P}{m} \sin \alpha \quad (2)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{D}{rm} \cos \phi + \frac{F}{rm} \sin \phi - \frac{2}{r} \dot{r} \dot{\theta} - P \frac{1}{rm} \sin \alpha + \frac{\mu p}{rm} \cos \alpha \quad (3)$$

$$R^2 = \left(\frac{L}{2} \right)^2 + r^2 - 2 \cdot \left(\frac{L}{2} \right) \cdot r \cdot \cos \phi \quad (4)$$

$$r(L \cdot \cos \phi - 2r) = \dot{\phi} \cdot L \cdot r \cdot \sin \phi \quad (5)$$

$$\ddot{r}(L \cdot \cos \phi - 2r) = \ddot{\phi} \cdot L \cdot r \cdot \sin \phi + 2\dot{r}^2 + 2\dot{r} \cdot \dot{\phi} \cdot L \cdot \sin \phi + \phi^2 \cdot L \cdot r \cdot \cos \phi \quad (6)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot d_i \cdot \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C_a \cdot V_v^2 \cdot dl \quad (7)$$

$$F = \pi \cdot \rho \cdot \nu \cdot \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} V_p \cdot N_u \cdot dl \quad (8)$$

以上の式の記号は前報¹⁾と同じ意味である.

図1にフローチャートを示す. 図中の S_1 , S_2 , S_3 はそれぞれ式(1), (7), (8)中の積分を示す. 線状体上の任意の点 C まで重心からの距離 l は, 流れの中心と線状体重心とを結んだ線よりも左側を正, 右側を負にとり, l の正負に応じて流速, 線状体の並進速度および自転速度の方向を考慮しながら C 点に対する流れの相対速度 V_v を求める. この場合 θ , ϕ , r の増加する方向を正にとった. 得られた V_v の正負によってその作用方向をチェックし, V_v によって生じる変化量 X , Y を算出してそれぞれ S_1 , S_2 に加算する. つぎに C 点での線状体軸に平行な流れの相対速度 V_p を求め, この V_p によって

表2 ロータ内の流速分布

条 件	適応範囲	流 速 分 布
1, 2, 3	$r_c < 0.015$	$1027.7 \times r_c$
	< 0.025	$96.342 \times r_c + 13.97$
	< 0.035	$48.170 \times r_c + 15.17$
	< 0.040	$-48.170 \times r_c + 18.55$
	< 0.045	$-24.091 \times r_c + 17.58$
	< 0.050	$-24.091 \times r_c + 17.58$
	≥ 0.050	$642.29 \times r_c - 15.74$
4, 5, 6	$r_c < 0.015$	$987.53 \times r_c$
	< 0.025	$96.342 \times r_c + 13.37$
	< 0.035	$84.342 \times r_c + 13.67$
	< 0.040	$-120.43 \times r_c + 20.87$
	< 0.045	$-96.342 \times r_c + 19.87$
	< 0.050	$-96.342 \times r_c + 19.87$
	≥ 0.050	$752.75 \times r_c - 22.58$

r_c : ロータの半径方向位置 (単位: m)

表3 実験結果との比較のための計算条件

	$d_i(\text{mm})$	$r_i(\text{m})$	ρ	ν
条件 1	0.3	0.034	101.94	1.036×10^{-6}
条件 2	0.5			
条件 3	0.7			
条件 4	0.3	0.044		
条件 5	0.5			
条件 6	0.7			

注) ρ : 水の10℃における密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)

r_i : 投入時における線状体重心の r 座標

ν : 水の動粘性係数 (m^2/sec)

ロータ内における線状体の運動に影響を及ぼすと考えられる要因についての計算条件は表4に示されているが、この表中に示される変更値以外の条件は条件5にならうものとする。

ここで、 ϕ_i は投入時における線状体の傾き角で、 $\dot{\theta}_i$ は投入時における線状体重心の回転角速度、 L は線状体の全長、 ρ_a は線状体の密度、 n はロータの回転数である。

5. ロータ内における線状体の運動の観察および数値計算結果との比較

ロータ内における線状体の写真撮影結果の例を図2, 3に示す。図2はロータ上方から撮影したもので、図3は側面方向から撮影したものである。

写真撮影結果と数値計算結果を比較するために、各条件下での上方から撮影した写真について繊維供給管を出たあとの線状体の位置、傾き角、回転角を読み取り図示したのが図4~5である。横軸には線状体が繊維供給管を出てから壁面に至るまでの各時刻

図1 計算のフローチャート

Z を求め S_3 に加える。以上の計算を線状体の全長 L にわたって繰返すことにより得られた S_1 , S_2 , S_3 に基づいて式(1), (7), (8)を計算する。さらに式(7), (8)をそれぞれ式(2), (3)に代入して得られた運動方程式をルンゲ・クッタ・ギル法で解く。線状体が壁面に接触するまでは式(1), (2), (3)において $P=0$ とし、線状体が壁面に接触してからは、接触するまでと同様に得られた S_1 , S_2 , S_3 に基づいて式(1), (7), (8)を計算し、それから得られた式(1)~(6)を連立させて解いて反力 P を求め、それを代入した連立微分方程式を同じくルンゲ・クッタ・ギル法によって解く。線状体のもう一方の端がロータ壁に接触した時点で計算を終える。

a) ロータ内部流れの流速分布

ロータ内部流れの流速分布として表2に示す値を採用した¹⁾。

b) その他の計算条件

実験結果と比較するための計算における条件を表3に示す。線状体の全長(L)は40 mmとし、比重は1.64である。また線状体のロータ内投入時の初期条件として、それぞれの記号に添字 i を付し、つぎのように定めた。 $\dot{r}_i=0$, $\phi_i=\frac{\pi}{2}$, $\dot{\phi}_i=0$, $\theta_i=0$, $\dot{\theta}_i=10(\text{rad/sec})$, $\mu=0.3$ 。

表4 数値計算における要因の変更値

	変更条件	変 更 値
条 件 5	ϕ_i	90°
条 件 7		100°
条 件 8		80°
条 件 5	$\dot{\theta}_i$ (rad/s)	10
条 件 9		20
条 件 10		30
条 件 5	L (mm)	40
条 件 11		20
条 件 12		30
条 件 13		50
条 件 14		60
条 件 5	ρ_a (kg·s ² /m ⁴)	166.0
条 件 15		83.0
条 件 16		249.0
条 件 17		332.0
条 件 5	n (rpm)	230
条 件 18		115
条 件 19		345
条 件 20		460

(a)

(b)

図2 ロータ上方からの写真撮影結果
(a)条件2, (b)条件5

(a)

(b)

図3 ロータ側面方向からの写真撮影結果
(a)条件2, (b)条件4

(T ms) をとり、縦軸には線状体の各時刻での位置 (r/R), 傾き角 (ϕ), 回転角 (θ) をとった。図4～6はそれぞれ表3における条件1, 3, 4に対応している。図において、丸印は写真撮影結果より読取った値であり曲線は数値計算によるものであるが、多少の相違はあるもののかなり良く一致していると考えられる。

6. ロータ内における線状体の運動に及ぼす要因の影響

6.1 繊維供給管挿入位置の影響

繊維供給管挿入位置の影響は図4および6の曲線を比較することにより分かる。図4は直径0.3mm, 長さ40mmの線状体を繊維供給管挿入位置 $r_f/R = 0.55$ からロータ内へ導入した場合であり、図6は同じ線状体を $r_f/R = 0.71$ から導入した場合である。両図を比較すれば、壁面への到達時間は $r_f/R = 0.71$ の場合に短いという相違はあるものの、 θ 方向の運動や線状体の傾き角にはあまり大きな違いがないのが分かる。なお、図4～6 (以後の図でも同じ)

図4 写真撮影結果と数値計算結果との比較
(条件1)

図5 写真撮影結果と数値計算結果との比較
(条件3)

図6 写真撮影結果と数値計算結果との比較
(条件4)

において線状体の傾き角を表わす曲線が途中で折曲がっているのは、線状体の後端がロータ壁に接触するため、それまでの線状体の傾き角が増加する傾向の運動とは逆に傾き角の減少する運動となることを示しており、折れ曲がり点は線状体の後端がロータ壁面に接触した時刻を表わしていることになる。

6.2 線状体直径の影響

他の条件を同一にし、線状体の直径を $d=0.3$ (条件1), 0.5 (条件2), 0.7 (条件3) mm と変化させて計算した結果を図7に示す。線状体の密度(表3)および長さ(40 mm)が同じであるから、直径の大きいものほど質量、抗力が大きく、 r/R は早く増加し短時間でロータ壁面に到達する。線状体の傾き角も線状体の直径が大きいほど早く増加するが、線状体の回転角は逆の傾向を示す。これらのことは、Ripka の計算²⁾ によって示されているロータ

図7 線状体直径の影響

内を運動する繊維に働く力のオーダが、遠心力：流体抵抗力：コリオリの力：重力 $= 3.02 \times 10^4 : 2.37 \times 10^3 : 3.5 \times 10^2 : 1$ であることを考え合わせると理解できる。すなわち、ロータ内での線状体の運動を支配する力は遠心力と流体抵抗力が代表的なものであり、線状体の直径を大きくすれば両者の力も大きくなるが、遠心力の影響の増大分の方が大きいということになる。

6.3 線状体密度の影響

線状体の密度を変えて計算した結果を図8に示す。図8において各条件下での密度の値は、条件15

図8 線状体密度の影響

(83.0), 条件5 (166.0), 条件16 (249.0), 条件17 (332.0 $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$) である。線状体の密度が大きくなるほど r/R は早く増加しロータ壁面に短時間で接触するが、線状体の回転角はあまり影響を受けず、また線状体の傾き角もわずかに早く増加する程度である。これらのことも線状体の密度が主として慣性力(遠心力)の大きさを変化させ、流体の抗力・摩擦力には影響を与えないということから理解できる。

6.4 線状体長さの影響

線状体の長さの影響を調べるため、線状体の長さを5種類変化させ計算した結果を図9に示す。図9において、条件11が線状体長さ $L=20$ (mm) の場合であり、以下条件12, 5, 13, 14は $L=30, 40, 50, 60$ (mm) の場合である。図に示されているよ

図9 線状体長さの影響

うに線状体の長さを変化させてもほとんど影響はみられない。線状体の長さが大きいほど r/R , θ , ϕ ともわずかに早く大きくなる程度である。このように線状体の長さの影響が小さいというのはアスペクト比の大きい物体に特有の運動挙動であると考えられる³⁾。

6.5 線状体の初期傾き角の影響

線状体がロータへ入る時の初期傾き角の影響を調べるため、線状体がロータ円周方向すなわち接線方向 ($\phi_i=90^\circ$, 条件5) に供給された場合、そしてそれより内側 ($\phi_i=100^\circ$, 条件7) と外側 ($\phi_i=80^\circ$, 条件8) に向けて供給した計算結果を図10に示す。

図10 線状体の初期傾き角の影響

図から、初期傾き角が大きくなれば線状体の傾き角が早く増加し(線状体の自転運動が大きくなる)、それに伴って r/R も早く増加するが、線状体の回転角はあまり影響を受けないのが分かる。この計算の範囲では表われていないが、さらに初期傾き角を大きくすればロータ内流れ場において線状体が1回転し線状体の先端がロータ壁面に最初に接触するという事もロータ回転数が大きい場合に予測される。このように、線状体の初期傾き角の値によって線状体がロータ壁面に到達する位置が大きく変わるということから、線状体の初期傾き角をうまく制御することもオープン エンド精紡方式では必要である。

6.6 初期回転角速度の影響

線状体がロータへ入る時の初期回転角速度 (θ 方向速度) の影響を調べるため計算した結果を図11に示す。図11において条件5は初期回転角速度 $\dot{\theta}_i=10$ (rad/s) の場合であり、以下条件9, 10はそれぞれ $\dot{\theta}_i=20, 30$ (rad/s) の場合である。線状体が繊維供給管からロータ内へ入る時の θ 方向の速度が大きければ線状体の回転角は当然早く増加するが、 r/R および ϕ はあまり影響を受けず壁面に到達する位置もわずかに変化するだけである。これは線状

図11 線状体の初期角速度の影響

体がロータ内部回転流れの影響を大きく受けていることを示している。

6.7 ロータ回転数の影響

図12はロータ回転数がロータ内部での線状体の運動に及ぼす影響を示している。図12において条件18

図12 ロータ回転数の影響

がロータ回転数 $n=115$ (rpm) の場合であり、以下条件5, 19, 20はそれぞれ $n=230, 345, 460$ (rpm) の場合である。図から、ロータ回転数の大きさによって線状体の位置、傾き角、回転角のいずれもが大きく異なることが見られる。他の条件を変えた場合と比べて、ロータ回転数の影響は非常に大きいといえる。すなわち、ロータ回転数を大きくすればするほどロータ内部流れ中での線状体の滞在時間が短くなり、線状体の運動を制御することが困難となるように思われる。

7. 結 論

オープン エンド精紡用ロータ内における線状体の運動に影響を及ぼすと考えられる要因の中で、線状体の直径、繊維供給管挿入位置を変化させて実験するとともに、線状体の直径、長さ、密度、繊維供給管挿入位置、および線状体のロータ内進入時の初期傾き角、初期回転角速度とロータ回転数を変化させて第1報の式を基にして数値計算を行い、各要因の線状体の運動に及ぼす影響の程度について検討した。得られた結果はつぎのとおりである。

- 1) 線状体の直径, 密度および繊維供給管挿入位置は線状体のロータ内におけるロータ半径方向位置に大きな影響を及ぼすが, 線状体の傾き角や回転角にはわずかしかな影響を及ぼさない.
- 2) 線状体の初期傾き角および初期回転角速度といった線状体がロータ内へ進入する時の初期条件は, それぞれ, 線状体の傾き角および回転角に大きな影響を及ぼす.
- 3) 線状体の長さはロータ内の線状体の運動にあま

り影響を及ぼさない.

- 4) ロータ回転数はロータ内の線状体の半径方向位置, 傾き角, 回転角のすべてに大きな影響を及ぼし, ロータ内の線状体の運動を支配する.

参考文献

- 1) 矢井田, 堀井, 堀川; 繊維工学, **36**, P.571 (1983)
- 2) J. Ripka; Conference on OE spinning, Prague (1967)
- 3) 塩見, 松本, 宇野; 繊維論文集, **35**, T135 (1982)

海外行事案内

米国国際繊維機械展 ATME-I 85

(AMERICAN TEXTILE MACHINERY EXHIBITION INTERNATIONAL)

- <会 期> (春季) 1985年4月25日(木)~5月3日(金)
 (秋季) 1985年10月17日(木)~10月25日(金)
 <会 場> 米国 サウスカロライナ州 グリーンビル
 <共 催> 米国繊維機械協会・テキスタイル ホール社

来年は恒例の米国繊維機械展の年にあたります。来年は初めての試みとして、春と秋の2回にわけて行われます。春季は、主として、織・編機械、染色・捺染・仕上加工機械が中心です。一方、秋季は繊維製造機械、紡績機械、不織布製造機械、プラント エンジニアリングが対象になると予告されています。春の展示会には、すでに世界各国から250社以上の出品が予定され、準備は着々と進行中です。詳細は判明次第、改めてご案内する予定です。

お問合せは、下記の展示会事務局まで直接お願いいたします。

Ms. Bety Kenig
 Vice President
 Information Service
 AMERICAN TEXTILE MACHINERY EXHIBITION INTERNATIONAL
 Textile Hall
 Exposition Avenue
 P. O. Box 5823
 Greenville, South Carolina 29606
 U. S. A.