

熔融紡糸過程におけるナイロン-6 紡出走行糸の 冷却・細化挙動計算

— EXCEL による計算の試み —

石 橋 徹

Calculation of Cooling and Thinning Behavior of Nylon-6 Threadline in Melt Spinning Process

— An Experiment of Calculation by EXCEL —

1. 緒 言

既報¹⁾ において、表題の計算を FORTRAN 言語によりプログラミングを行い、経友コンピュータセンターという企業の協力を得て大型計算機による計算を行った結果、熔融紡出走行糸の冷却および細化挙動が実験結果と符合し、その計算方法の妥当性を確認した。当時、パソコンは世に出ていたが、メモリーサイズ等の記憶容量不足により、FORTRAN プログラムによる十分な科学技術計算ができる機能を備えていなかった。

今日、パソコンの機能性向上や記憶容量の増大は日進月歩で、メモリーも数百 MB、ハードディスク容量も数十 GB の時代を迎えている。一方、各種のソフトウェアが普及しそのグレードアップも著しく、現在ではそれを使いこなす時代になってきた。

そこで本報では、一般にも普及して種々の計算機能を持つ EXCEL を用いて、FORTRAN プログラムや大型計算機を用いなくても上記の計算が可能ではないかと考え、それを検討し、確かめることを第 1 の目的とした。

次に、この研究では、初期諸データを入力して一連の計算により標題の冷却・細化挙動を算出するのであるが、初期データに含まれる冷却・細化データが最初不確かな初期データであっても得られた計算結果を初期データに再入力更新して繰り返し計算することにより真の結果に漸近するという考え方に基づいている。従って、もし EXCEL により簡単に計算可能なことがわかれば、既報において、把握しきれなかったどの程度の計算回数でどのように漸近していくのかを知りたく、これを把握することを第 2 の目的とした。

2. 計算に用いた記号

2.1. サフィックス

- ① n; 紡糸口金 (熔融ポリマー吐出孔) から捲取点に向けた紡出走行方向の分割区間番号
- ② 0 (ゼロ); 吐出孔出口における値

- ③ max; 最大の
- ④ tu; 捲取点 (take up point) の
- ⑤ f; 流体 (空気) の
- ⑥ p; ポリマーの
- ⑦ m; 繰り返し計算回数
- ⑧ \parallel ; 紡出走行に平行方向の
- ⑨ \perp ; 紡出走行に垂直方向の
- ⑩ ' ; 計算途中の値

2.2. 固定紡糸条件; [] 内は EXCEL で設定したセル記号

- ① θ_0 = 初期ポリマー温度 (紡糸温度) °C; [G 2]
- ② θ_w = 捲取点の温度 °C; [G 3]
- ③ Q = 熔融ポリマー吐出量 g/km²; [I 2]
- ④ $d_0 = d_{max}$ = 初期走行糸直径; cm [K 2]
- ⑤ d_w = 捲取点の直径 cm; [K 3]
- ⑥ A_0 = 初期走行糸断面積 cm²; [I 3]
- ⑦ v_0 = 初期走行糸速度 cm/km²; [M 2]
- ⑧ v_w = 捲取点の走行糸速度 cm/km²; [M 3]
- ⑨ x_n = 紡糸口金下走行方向距離 cm; [B 6 ~ B55]
- ⑩ $\Delta x_n = x_n - x_{n-1}$ = 紡糸口金から捲取点に向けた紡出走行方向の分割区間距離; [C 6 ~ C55]
- ⑪ $\theta_r(x_n)$ = 雰囲気温度 °C; [D 6 ~ D55]
- ⑫ v_{\perp} = 紡出走行方向に対し垂直方向の風速 cm/sec; [E 6 ~ E55]

2.3. 定 数

- ① g = 重力の加速度 = 980 cm/sec²

2.4. 計算により求める変数

- ① $\lambda_r(\theta_r(x_n))$ = 空気の熱伝導率 cal/cm sec °C; [J 6 ~ J55]
- ② $\nu_r(\theta_r(x_n))$ = 空気の動粘性係数 cm²/sec; [K 6 ~ K55]
- ③ $\rho_r(\theta_r(x_n))$ = 空気の密度 g/cm³; [L 6 ~ L55]
- ④ $\rho_{p,m}(x_n)$ = ポリマー密度 g/cm³; [M 6 ~ M55]
- ⑤ $C_{p,m}(x_n)$ = ポリマー比熱 cal/g °C; [N 6 ~ N55]
- ⑥ $h_m(x_n)$ = 熱伝達率 cal/cm² sec °C; [P 6 ~ P55]

- ⑦ $\theta_{n,m}(x_n)$ = 走行糸温度℃ ; [R 6 ~ R55]
- ⑧ F_w = 捲取点の張力 g ; [S 6 ~ S55]
- ⑨ $F_{i,m}(x_n)$ = 慣性力 g ; [T 6 ~ T55]
- ⑩ $F_{g,m}(x_n)$ = 重力 g ; [W 6 ~ W55]
- ⑪ $F_{A,m}(x_n)$ = 空気抵抗力 g ; [Z 6 ~ Z55]
- ⑫ $F_m(x_n)$ = 走行糸張力 g ; [AA 6 ~ AA55]
- ⑬ $\beta_m(x_n)$ = トラウトン粘度 g / sec cm² ; [AB 6 ~ AB55]
- ⑭ $(dv/dx)_m$ = 速度勾配 ; [AC 6 ~ AC55]
- ⑮ $v_m(x_n)$ = 走行糸速度 cm / sec ; [AF 6 ~ AF55]
- ⑯ $A_m(x_n)$ = 走行糸断面積 cm² ; [AG 6 ~ AG55]
- ⑰ $d_m(x_n)$ = 走行糸直径 cm ; [AH 6 ~ AH55]

3. 計算方法と順序

計算に用いたパソコンは東芝(株)製 ; Pentium® III processor, 256MB の RAM, Hard Disc 15GB で、システムは Windows Me、表計算ソフトは EXCEL2000を用いた。計算の対象とする固定紡糸条件²⁾は Table 1. に示した2つの溶融紡糸条件を採用した。

また、計算の流れ図を作成し、Fig. 1. に示した。この図の順序に従って、計算を遂行した。

Table 1. Melt spinning conditions

Condition No.	No. 1	No. 2
Temperature of thread line at $x_n = 0$; θ_0 (°C)	300°C	300°C
Temperature of thread line at take up ; θ_w (°C)	25	25
Extruding rate ; Q (g/sec)	0.01525	0.03050
Diameter of thread line at $x_n = 0$; d_0 (cm)	0.028	0.031
Diameter of thread line at take up ; d_w (cm)	0.006	0.006
Velocity of thread line at take up ; v_w (cm/sec)	500	1000

4. 計算式の組立と実行

EXCEL テーブルのセル記号を用いた諸物性が順次計算できるように、後記したようなセルの記号を用いた計算式を組み立てた。これらの計算式やデータは、先ず、EXCEL テーブルの6行目のA~Z, AA~AJ (余白としたO列を除く) までの35個の列に計算すべき順序で順次 (列を更新する方向の横右方向に) インプットした。

4.1. 空気特性³⁾の計算

- ① 空気の熱伝導率 ; [J 6 ~ J55]

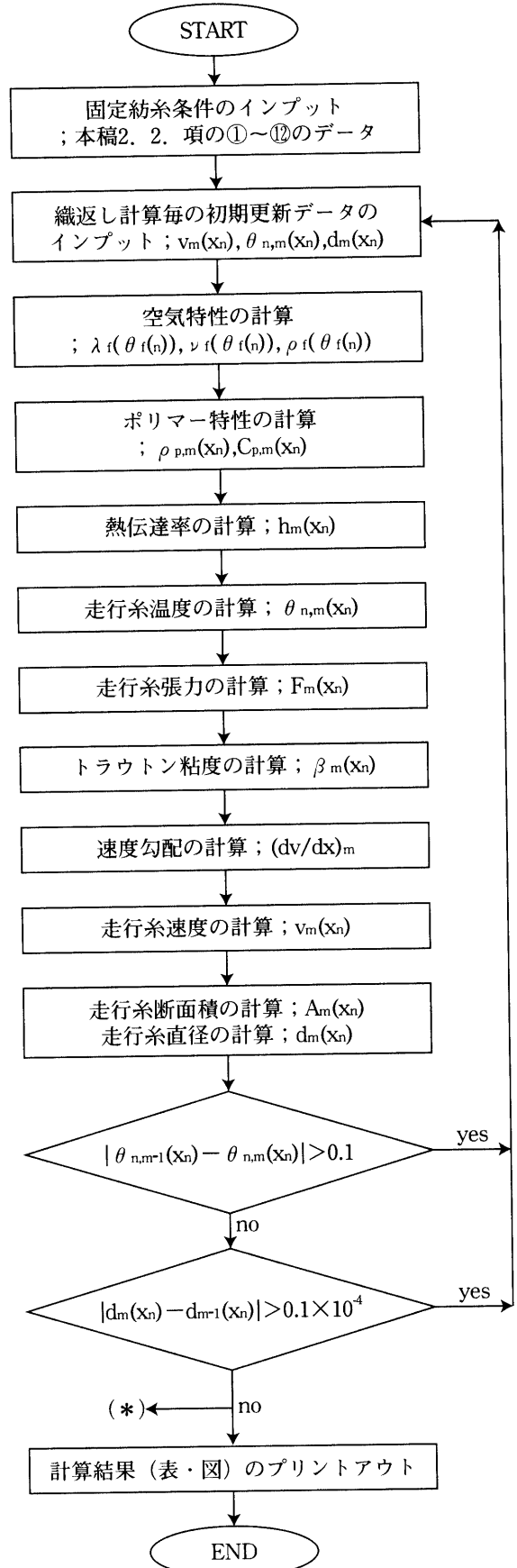
$$J6 = 5.9 * (10^{-5}) + 1.66 * (10^{-7}) * D6$$

- ② 空気の動粘性係数 ; [K 6 ~ K55]

$$K6 = \text{IF}(D6 < 100, 1.01 * (10^{-3}) * D6 + 0.138, \text{IF}(D6 < 200, 1.19 * (10^{-3}) * D6 + 0.12, 1.37 * (10^{-3}) * D6 + 0.084))$$

- ③ 空気の密度 ; [L 6 ~ L55]

$$L6 = \text{IF}(D6 > 200, 0.916 * (10^{-3}) - 4.371 * (10^{-5}) * (\text{SQRT}(D6) - 10), 1.19 * (10^{-3}) - 4.472 * (10^{-5}) * (\text{SQRT}(D6) - 10))$$



(*) 微細構造諸特性計算への応用 (今回省略)

Fig. 1. 計算の流れ図

$$(10^{-5}) * (\text{SQRT}(D6) - \text{SQRT}(15)))$$

4.2. ポリマー特性の計算

- ④ ポリマー密度⁴⁾; [M6 ~ M55]

$$M6 = 1.2474 - 5.66 * (10^{-4}) * (273 + G6)$$

- ⑤ ポリマー比熱; [N6 ~ N55]

$$N6 = \text{IF}(G6 < 20, 1.36 * (10^{-3}) * G6 + 0.3328, \text{IF}(G6 < 100, 2.38 * (10^{-3}) * G6 + 0.312, \text{IF}(G6 < 160, 8.3 * (10^{-4}) * G6 + 0.467, \text{IF}(G6 < 216, 5.4 * (10^{-4}) * G6 + 0.5136, 2.4 * (10^{-4}) * G6 + 0.548)))$$

4.3. 冷却曲線の計算⁵⁾

- ① 熱伝達率; [P6 ~ P55]

$$P6 = 0.42 * J6 * (K6^{-0.333}) * (H6^{-0.666}) * (F6^2 - (8 * E6)^2)^{0.167}$$

- ② 走行糸温度; [R6 ~ R55]

$$R6 = D6 + Q6 * \text{EXP}((-4 * P6 / (M6 * N6 * F6 * H6)) * C6)$$

4.4. 走行糸張力の計算

- ① 捲取点の張力; [S6 ~ S55]

$$S6 = 3 * (1/10^4) * \$M\$3$$

- ② 慣性力; [T6 ~ T55]

$$T6 = \$I\$2 * (\$M\$3 - F6) / 980$$

- ③ 重力; [U6 ~ U55]

$$U6 = M6 * I6 * C6$$

$$V6 = \text{SUM}(U6:\$U\$55)$$

$$W6 = V6 - \$V\$55$$

- ④ 空気抵抗力; [Z6 ~ Z55]

$$X6 = \text{PI}() * H6 * (((L6 * (F6^2) / (2 * 980))) * (0.34 * ((H6 * F6 / K6)^{-0.8}))) * C6$$

$$Y6 = \text{SUM}(\$X\$6:X6)$$

$$Z6 = Y6 - \$Y\$55$$

- ⑤ 走行糸張力; [AA6 ~ AA55]

$$AA6 = S6 - T6 + W6 + Z6$$

4.5. 走行糸速度の計算

- ① トラウトン粘度; [AB6 ~ AB55]

$$AB6 = 0.34 * \text{EXP}(3250 / (R6 + 273))$$

- ② 速度勾配; [AC6 ~ AC55]

$$AC6 = \text{IF}(AB6 < 10000, AA6 / (AB6 * I6), 0)$$

- ③ 走行糸速度; [AF6 ~ AF55]

$$AD6 = AC6 * C6$$

$$AE6 = \$M\$2 + \text{SUM}(\$AD\$6:AD6)$$

$$AF6 = \$M\$2 + (\$M\$3 - \$M\$2) * ((AE6 - \$M\$2) / (\$AE\$55 - \$M\$2))$$

4.6. 走行糸直径の計算

- ① 走行糸断面積; [AG6 ~ AG55]

$$AG6 = \$I\$2 / (M6 * AF6)$$

- ② 走行糸直径; [AH6 ~ AH55]

$$AH6 = \text{SQRT}(4 * \$I\$2 / (\text{PI}() * M6 * AF6))$$

4.7. 繰り返し計算終了可否判定

走行糸温度および直径の繰り返し計算毎に、計算終了可否の判定を行った。即ち、繰り返し計算回数 m 回目と m-1 回目との差の最大絶対値を n=1~50の全区間の中から求め、下記(1)および(2)式を満足する場合は、ループ計算を繰り返し、両式共に満足しなくなったときに計算を終了することにした。

$$(|\theta_{n,m-1}(x_n) - \theta_{n,m}(x_n)|)_{\max} > 0.1 \quad \text{-----}(1)$$

$$(|d_{n,m-1}(x_n) - d_{n,m}(x_n)|)_{\max} > 0.1 \times 10^{-4} \quad \text{-----}(2)$$

ここで、判定数値として、走行糸温度の場合に0.1℃、走行糸直径の場合に $0.1 \times 10^{-4} \text{cm} = 0.1 \mu\text{m}$ を選んだ理由は、それぞれの測定誤差に比べて十分に小さな値だからである。即ち計算結果が真の値に十分漸近したと見なせるからである。

本報の主目的は FORTRAN と ECXCEL の両計算結果の対比にあるので、紡糸の諸条件等は同一に設定した。したがって、紡糸口金のポリマー吐出孔から捲取り点までの距離680cmの区分方法も既報と同じく、区分数 n=50とした。この n 数の ECXCEL テーブルへの指定は、n=1を6行目に指定したので、順次(行を更新する方向の縦下方向に)1つつ紡出糸の走行方向に n 数が増加して捲取り点の n=50は55行目となる。上記した36個の数式やデータを6行目の各列にインプットした後に、オートフィルと呼ばれる方法*1により、各列の6行目から55行目までマウスでドラッグして、6行目にインプットした数式の行数を更新した。結果的に、計算に必要な全行全列に数式あるいはデータをインプットしたことになる。但し、これらのインプットの中で、第1回目(m=1)の計算時のみ、繰返し計算毎の更新値入力欄のF列($v_m(x_n)$), G列($\theta_m(x_n)$), H列($d_m(x_n)$)にそれぞれ初期データとして仮の値をインプットした。即ち、F列には全て一定の捲取り速度 $v_w = 500 \text{m/sce}$ の数値をインプットした。G列にはD列の雰囲気温度の値をそのままコピーしてインプットした。H列には全て一定の捲取り点における走行糸直径 $d_w = 0.0060 \text{cm} = 60 \mu\text{m}$ をインプットした。この様に初期値は極端に任意の値でも、計算回数(m)を重ねる毎に、真の値に漸近していく。

以上の様に、計算テーブルを構成する全セルのインプットが完了すると、直ちに第1回目(m=1)の走行糸速度、走行糸温度、走行糸直径が、それぞれAF列、R列、AH列に即刻算出表示される。

次に、m=2回目以降の繰返しループ計算実行の検討を行った。ループ計算を実行するには、第m回目得られたAF列、R列、AH列のデータを順次、繰返し計算毎の更新値入力欄のF、G、H列に範囲を指定してコピーすればよいと考えられるが、これを実行しようとす

ると、EXCELの循環参照に抵触し計算不可能になる。FORTRANの場合、この件は“GO TO文”により簡単に処理できるが、EXCELでこれを可能にするためには、“マクロ方式”の採用検討が必要になる。しかし、マクロ方式でこの問題が克服出来たととしても、最終結果のみが得られることになる。最終結果のみでも意義のあることであり、この問題の検討は別の機会に譲ることにする。そこで、EXCELの循環参照を回避するために、次のような操作を行った。コピー元（AF列、R列、AH列について順次行う）のセル範囲を指定して、編集をクリックすると選択画面が顕れる。この中のコピーを選択し、次に、コピー先（F列、G列、H列について順次行う）の列範囲を指定してから再度編集をクリックすると別の選択画面が顕れる。この中の形式を選択して貼り付けをクリックすると更に別の選択画面が顕れる。この中の値を選択する。すると、コピー元の数式が数値としてコピー先に貼り付けインプットされる。これにより循環参照が回避される。ただし、繰返し計算の都度、上記の操作をマウス使用により手動で行う必要がある。更に蛇足であるが、最初sheet 1上に一連の数式やデータをインプットして計算テーブルを作成後、繰返し計算を行うのであるが、計算回数毎のデータを保存しておくために繰返し回数アップ操作の都度、次のsheetに更新コピーし、sheet名も $m=1, m=2, \dots$ と変更保存した。緒言で述べたように、第2の目的を達成するためには特にこの方法の方が都合よいと考えた。

* 1；この方法はEXCEL利用者には公知の便利な方法であるが、念のために註釈を加えておく。即ち、セルの右下の角にマウスで白十字の印を合わせると、黒十字の印+が顕れる。この状態でセルの左側をクリックしたまま横方向にドラッグすると、同一行数のままで列記号が更新インプットされる。また、同じ状態で縦方向にドラッグすると、同一列記号のままで行数が更新され、数値であればコピーされる。

5. 計算結果と考察

まず、Table 1. に記載したNo. 1の溶融紡糸条件の場合について繰返し計算を実行した結果、十分真の値に漸近したと判断される4.7. 項の(1)式および(2)式の条件式を共に否定する繰返し計算回数 m は10回であった。即ち、No. 1の条件下ではこの $m=10$ の結果が最終結果となる。この時のディスプレイの状態を参考までにPicture 1. および2. に示した。このままでは、数値が読みにくいので、これをプリントアウトした詳細計算結果表をTable 2. に示した。

Table 2. 中のR列の走行糸温度 $\theta_{n,m}(x_n)$ と、AH列の走行糸直径 $d_m(x_n)$ の計算データを、紡糸口金から紡糸走行方向への距離 x に対してグラフ化して、それぞれFig. 2. 及びFig. 3. に示した。両図は紡糸条件No. 1. の場合のそれぞれ冷却曲線および細化曲線である。

EXCELによる計算点はFORTRANによる結果と対比しやすいうように同じ x_n 点で計算した。それぞれの点における両者の最終計算結果を縦軸と横軸にして走行糸温度をプロットした図をFig. 4. に、走行糸直径をプロットした図をFig. 5. に示した。Fig. 4. およびFig. 5. 共に、完全と言えるほどに良好な一致が見られ、EXCELによる今回の計算の妥当性と、EXCELによっても表題の計算の可能なことが実証された。

次に、繰返し計算必要回数については、紡糸条件No. 1の場合、 $m=10$ であった。この値は紡糸条件にも依存するが、意外に少ない回数であることがわかった。

Table 3. に走行糸冷却挙動データ ($\theta_{n,m}(x_n)$) を、Table 4. に走行糸細化挙動データ ($d_m(x_n)$) を、 $m=1 \sim m=10$ の各繰返し計算段階のデータ一覧表にして示した。両Table共に下部欄外に、繰返し計算判定のための Δm_{\max} 値 ($m-1$ 回目と m 回目の計算結果の最大差の絶対値) を表記した。この Δm_{\max} 値の m 増大に伴う減少傾向から、冷却および細化曲線が真の曲線に漸近していく様子が伺える。このことのグラフによる変化の様子を以降に示す。上記したFig. 2. 及びFig. 3. は、 $x_n=0 \sim 680$ の全走行領域に亘ってグラフ化したものであるが、両グラフの見るべき変化は x_n の比較的短い範囲に限られている。従って、繰返し計算回数 m による真の冷却および細化曲線への漸近の様子を拡大して見るために、Table 3. とTable 4. のデータの内、前者では $x_n=0 \sim 100$ 、後者では $x_n=0 \sim 50$ の範囲のデータに限定することにより x 軸方向にグラフを拡大してそれぞれFig. 6. およびFig. 7. に示した。これらのグラフからNo. 1の紡糸条件の場合、冷却曲線は繰返し計算4回程度で、細化曲線は6回程度で、いずれにしても数回の計算で大きく漸近する事がわかった。

最後に、Table 1. に示したNo. 2の紡糸条件についてもNo. 1と同じ一連の計算を行ったところ、詳細データは省略するが、No. 1と同様な結果が得られた。No. 2の紡糸条件下における $m=11$ の場合の冷却曲線をFig. 8. に、細化曲線をFig. 9. に示した。捲取り繊維直径、紡糸温度は同一であるが、捲取り速度と吐出量をNo. 1より倍に増大させた分、冷却曲線は徐冷になり、細化曲線は緩慢になった。また、両グラフから見る繰返し計算による漸近の様子はNo. 1の場合と類似していてグラフからは判別困難であるが、前記した(1)式と(2)式の両式共に満足しなくなるまでの必要繰返し計算回数は $m=11$ となり、No. 1より1回増加した。このことから、高速紡糸領域の紡糸条件になると更に必要繰返し計算回数の増加することが推測される。

Picture 1. Picture of calculation data table using EXCEL (Con. No.1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Picture 2. Continuation of Picture 1.

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1; m=10)

Table 2. Calculation data table using EXCEL (Condition No. 1 ; m=10)

インプットデータ					繰返し計算毎の更新初期値入力欄			(計算補助)	
n	x_n	Δx_n	$\theta_f(x_n)$	$v_{\perp}(x_n)$	$v_m(x_n)$	$\theta_{n,m}(x_n)$	$d_m(x_n)$	$A_m(x_n)$	$\lambda f(\theta_f(x_n))$
1	0	0	300	0	26.830	300.000	0.028000	0.0006158	0.00010880
2	2	2	80	0	35.644	293.080	0.024240	0.0004615	0.00007228
3	4	2	74	0	46.218	285.903	0.021240	0.0003543	0.00007128
4	6	2	63	0	58.562	278.355	0.018825	0.0002783	0.00006946
5	8	2	54	0	72.605	270.516	0.016867	0.0002234	0.00006796
6	10	2	50	0	88.212	262.563	0.015265	0.0001830	0.00006730
7	12	2	46	0	105.185	254.525	0.013946	0.0001527	0.00006664
8	14	2	43	0	123.275	246.464	0.012851	0.0001297	0.00006614
9	16	2	40	0	142.200	238.405	0.011936	0.0001119	0.00006564
10	18	2	37	0	161.663	230.372	0.011168	0.0000980	0.00006514
11	20	2	35	0	181.372	222.423	0.010519	0.0000869	0.00006481
12	22	2	34	0	201.170	214.978	0.009967	0.0000780	0.00006464
13	24	2	33	0	220.823	207.641	0.009493	0.0000708	0.00006448
14	26	2	32	0	240.124	200.428	0.009084	0.0000648	0.00006431
15	28	2	31	0	258.896	193.351	0.008731	0.0000599	0.00006415
16	30	2	30	0	277.000	186.419	0.008424	0.0000557	0.00006398
17	32	2	29	0	294.325	179.642	0.008157	0.0000523	0.00006381
18	34	2	28	0	310.795	173.025	0.007923	0.0000493	0.00006365
19	36	2	27	0	326.360	166.575	0.007718	0.0000468	0.00006348
20	38	2	26	0	340.994	160.294	0.007537	0.0000446	0.00006332
21	40	2	26	0	354.696	154.206	0.007377	0.0000427	0.00006332
22	42	2	26	0	367.483	148.317	0.007236	0.0000411	0.00006332
23	44	2	25	0	379.374	142.585	0.007110	0.0000397	0.00006315
24	46	2	25	0	390.407	137.055	0.006998	0.0000385	0.00006315
25	48	2	25	0	400.627	131.725	0.006898	0.0000374	0.00006315
26	50	2	25	0	410.084	126.596	0.006809	0.0000364	0.00006315
27	55	5	25	0	429.437	114.555	0.006632	0.0000345	0.00006315
28	60	5	25	0	445.295	103.730	0.006493	0.0000331	0.00006315
29	70	10	25	0	466.487	84.534	0.006311	0.0000313	0.00006315
30	80	10	25	0	481.114	69.003	0.006188	0.0000301	0.00006315
31	90	10	25	0	491.762	56.871	0.006101	0.0000292	0.00006315
32	100	10	25	0	500.000	47.690	0.006036	0.0000286	0.00006315
33	120	20	25	0	500.000	35.976	0.006017	0.0000284	0.00006315
34	140	20	25	0	500.000	30.175	0.006008	0.0000284	0.00006315
35	160	20	25	0	500.000	27.409	0.006004	0.0000283	0.00006315
36	180	20	25	0	500.000	26.114	0.006002	0.0000283	0.00006315
37	200	20	25	0	500.000	25.514	0.006001	0.0000283	0.00006315
38	225	25	25	0	500.000	25.195	0.006000	0.0000283	0.00006315
39	250	25	25	0	500.000	25.074	0.006000	0.0000283	0.00006315
40	275	25	25	0	500.000	25.028	0.006000	0.0000283	0.00006315
41	300	25	25	0	500.000	25.011	0.006000	0.0000283	0.00006315
42	340	40	25	0	500.000	25.002	0.006000	0.0000283	0.00006315
43	380	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
44	420	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
45	460	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
46	500	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
47	540	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
48	580	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
49	620	40	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315
50	680	60	25	0	500.000	25.000	0.006000	0.0000283	0.00006315

A B C D E F G H I J

Table 2-1. Continuation of Table 2

0.0280		$v_0 =$	26.8302				
0.006		$v_{tu} =$	500				
空気特性計算		ポリマー特性計算		熱伝達率	走行糸温度計算		
$\nu_f(\theta_f(x_n))$	$\rho_f(\theta_f(x_n))$	$\rho_{p,m}(x_n)$	$C_{p,m}(x_n)$	$h_m(x_n)$	$\theta_{n-1,m}(x_n) - \theta_f(x_n)$	$\theta_{n,m}(x_n)$	
0.495000	0.00059602	0.9231	0.6200	0.00187468	0.0	300.0	
0.218800	0.00096321	0.9270	0.6183	0.00197830	220.0	293.1	
0.212740	0.00097850	0.9311	0.6166	0.00234545	219.1	285.9	
0.201630	0.00100825	0.9353	0.6148	0.00272872	222.9	278.4	
0.192540	0.00103458	0.9398	0.6129	0.00313431	224.4	270.5	
0.188500	0.00104698	0.9443	0.6110	0.00356490	220.5	262.6	
0.184460	0.00105989	0.9488	0.6091	0.00400451	216.6	254.5	
0.181430	0.00106995	0.9534	0.6072	0.00444996	211.5	246.5	
0.178400	0.00108037	0.9579	0.6052	0.00489299	206.5	238.4	
0.175370	0.00109118	0.9625	0.6033	0.00532830	201.4	230.4	
0.173350	0.00109863	0.9670	0.6014	0.00575498	195.4	222.5	
0.172340	0.00110244	0.9712	0.6297	0.00617184	188.5	215.0	
0.171330	0.00110630	0.9754	0.6257	0.00657301	182.0	207.7	
0.170320	0.00111023	0.9794	0.6218	0.00695622	175.7	200.5	
0.169310	0.00111421	0.9834	0.6180	0.00731986	169.5	193.4	
0.168300	0.00111826	0.9874	0.6143	0.00766291	163.4	186.5	
0.167290	0.00112238	0.9912	0.6106	0.00798486	157.5	179.7	
0.166280	0.00112656	0.9949	0.6070	0.00828564	151.7	173.1	
0.165270	0.00113083	0.9986	0.6036	0.00856553	146.1	166.7	
0.164260	0.00113517	1.0022	0.6002	0.00882510	140.7	160.4	
0.164260	0.00113517	1.0056	0.5950	0.00907035	134.4	154.3	
0.164260	0.00113517	1.0089	0.5901	0.00929733	128.3	148.4	
0.163250	0.00113960	1.0122	0.5853	0.00950157	123.4	142.7	
0.163250	0.00113960	1.0153	0.5808	0.00969489	117.7	137.1	
0.163250	0.00113960	1.0183	0.5763	0.00987312	112.1	131.8	
0.163250	0.00113960	1.0212	0.5721	0.01003740	106.8	126.7	
0.163250	0.00113960	1.0280	0.5621	0.01037374	101.7	114.6	
0.163250	0.00113960	1.0342	0.5531	0.01064865	89.6	103.8	
0.163250	0.00113960	1.0450	0.5132	0.01102222	78.8	84.6	
0.163250	0.00113960	1.0538	0.4762	0.01128292	59.6	69.1	
0.163250	0.00113960	1.0607	0.4474	0.01147363	44.1	56.9	
0.163250	0.00113960	1.0659	0.4255	0.01162036	31.9	47.7	
0.163250	0.00113960	1.0725	0.3976	0.01164439	22.7	36.0	
0.163250	0.00113960	1.0758	0.3838	0.01165624	11.0	30.2	
0.163250	0.00113960	1.0774	0.3772	0.01166189	5.2	27.4	
0.163250	0.00113960	1.0781	0.3742	0.01166453	2.4	26.1	
0.163250	0.00113960	1.0784	0.3727	0.01166575	1.1	25.5	
0.163250	0.00113960	1.0786	0.3720	0.01166640	0.5	25.2	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3717	0.01166665	0.2	25.1	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3716	0.01166674	0.1	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166678	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	
0.163250	0.00113960	1.0787	0.3715	0.01166680	0.0	25.0	

K

L

M

N

O

P

Q

R

Table 2-2. Continuation of Table 2-1

紡糸張力計算						
F_{tu}	$F_{lm}(x_n)$	$\Delta F_{Gm}(x_n)$	$F_{Gm'}(x_n)$	$F_{Gm}(x_n)$	$\Delta F_{Am}(x_n)$	$F_{Am'}(x_n)$
0.1500	0.0073631	0.0000000	0.02471451	0.02288451	0.0000000	0.0000000
0.1500	0.0072260	0.00085561	0.02471451	0.02288451	0.00001078	0.00001078
0.1500	0.0070614	0.00065980	0.02385890	0.02202890	0.00001424	0.00002501
0.1500	0.0068693	0.00052068	0.02319910	0.02136910	0.00001823	0.00004324
0.1500	0.0066508	0.00041996	0.02267841	0.02084841	0.00002282	0.00006606
0.1500	0.0064079	0.00034564	0.02225846	0.02042846	0.00002812	0.00009418
0.1500	0.0061438	0.00028985	0.02191282	0.02008282	0.00003393	0.00012811
0.1500	0.0058623	0.00024731	0.02162297	0.01979297	0.00004023	0.00016834
0.1500	0.0055678	0.00021439	0.02137566	0.01954566	0.00004688	0.00021522
0.1500	0.0052649	0.00018858	0.02116127	0.01933127	0.00005375	0.00026897
0.1500	0.0049582	0.00016809	0.02097269	0.01914269	0.00006082	0.00032979
0.1500	0.0046502	0.00015154	0.02080460	0.01897460	0.00006805	0.00039785
0.1500	0.0043443	0.00013806	0.02065306	0.01882306	0.00007528	0.00047313
0.1500	0.0040440	0.00012696	0.02051500	0.01868500	0.00008242	0.00055554
0.1500	0.0037519	0.00011776	0.02038804	0.01855804	0.00008939	0.00064493
0.1500	0.0034702	0.00011007	0.02027028	0.01844028	0.00009614	0.00074107
0.1500	0.0032006	0.00010359	0.02016021	0.01833021	0.00010262	0.00084368
0.1500	0.0029443	0.00009810	0.02005662	0.01822662	0.00010879	0.00095247
0.1500	0.0027020	0.00009343	0.01995852	0.01812852	0.00011463	0.00106710
0.1500	0.0024743	0.00008942	0.01986509	0.01803509	0.00012012	0.00118722
0.1500	0.0022611	0.00008597	0.01977567	0.01794567	0.00012540	0.00131262
0.1500	0.0020621	0.00008298	0.01968970	0.01785970	0.00013034	0.00144296
0.1500	0.0018771	0.00008038	0.01960672	0.01777672	0.00013480	0.00157776
0.1500	0.0017054	0.00007811	0.01952634	0.01769634	0.00013908	0.00171684
0.1500	0.0015464	0.00007612	0.01944823	0.01761823	0.00014305	0.00185988
0.1500	0.0013992	0.00007437	0.01937211	0.01754211	0.00014672	0.00200661
0.1500	0.0010980	0.00017754	0.01929775	0.01746775	0.00038564	0.00239224
0.1500	0.0008513	0.00017122	0.01912021	0.01729021	0.00040109	0.00279334
0.1500	0.0005215	0.00032690	0.01894898	0.01711898	0.00084340	0.00363674
0.1500	0.0002939	0.00031697	0.01862208	0.01679208	0.00087181	0.00450855
0.1500	0.0001282	0.00031011	0.01830511	0.01647511	0.00089248	0.00540103
0.1500	0.0000000	0.00030500	0.01799500	0.01616500	0.00090849	0.00630952
0.1500	0.0000000	0.00061000	0.01769000	0.01586000	0.00181586	0.00812538
0.1500	0.0000000	0.00061000	0.01708000	0.01525000	0.00181530	0.00994068
0.1500	0.0000000	0.00061000	0.01647000	0.01464000	0.00181504	0.01175572
0.1500	0.0000000	0.00061000	0.01586000	0.01403000	0.00181492	0.01357064
0.1500	0.0000000	0.00061000	0.01525000	0.01342000	0.00181486	0.01538550
0.1500	0.0000000	0.00076250	0.01464000	0.01281000	0.00226854	0.01765404
0.1500	0.0000000	0.00076250	0.01387750	0.01204750	0.00226852	0.01992256
0.1500	0.0000000	0.00076250	0.01311500	0.01128500	0.00226852	0.02219107
0.1500	0.0000000	0.00076250	0.01235250	0.01052250	0.00226851	0.02445959
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.01159000	0.00976000	0.00362962	0.02808921
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.01037000	0.00854000	0.00362962	0.03171883
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00915000	0.00732000	0.00362962	0.03534845
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00793000	0.00610000	0.00362962	0.03897807
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00671000	0.00488000	0.00362962	0.04260769
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00549000	0.00366000	0.00362962	0.04623731
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00427000	0.00244000	0.00362962	0.04986694
0.1500	0.0000000	0.00122000	0.00305000	0.00122000	0.00362962	0.05349656
0.1500	0.0000000	0.00183000	0.00183000	0.00000000	0.00544443	0.05894099

S

T

U

V

W

X

Y

Table 2-3. Continuation of Table 2-2

		トラウソン粘度	走行系速度計算			
$F_{Am}(x_n)$	$F_m(x_n)$	$\beta_m(x_n)$	$(dv/dx)_m$	$(dv/dx)_m \Delta x$	$v'_m(x_n)$	$v_m(x_n)$
-0.05894099	0.121307	98.80	1.99399	0.00000	26.8302	26.8302
-0.05893021	0.121180	105.89	2.47973	4.95945	31.7896	35.6487
-0.05891597	0.120174	113.99	2.97535	5.95070	37.7403	46.2298
-0.05889775	0.119341	123.43	3.47364	6.94728	44.6876	58.5830
-0.05887493	0.118624	134.38	3.95087	7.90175	52.5894	72.6333
-0.05884681	0.117990	146.85	4.39020	8.78041	61.3698	88.2459
-0.05881288	0.117414	161.06	4.77269	9.54538	70.9152	105.2189
-0.05877264	0.116883	177.21	5.08541	10.17082	81.0860	123.3039
-0.05872577	0.116388	195.55	5.31880	10.63760	91.7236	142.2189
-0.05867202	0.115924	216.40	5.46828	10.93657	102.6601	161.6655
-0.05861119	0.115490	240.00	5.53683	11.07365	113.7338	181.3558
-0.05854314	0.115082	265.23	5.56142	11.12283	124.8566	201.1336
-0.05846786	0.114700	293.58	5.52036	11.04072	135.8973	220.7654
-0.05838545	0.114344	325.40	5.42147	10.84294	146.7403	240.0455
-0.05829606	0.114014	361.10	5.27369	10.54738	157.2877	258.8001
-0.05819992	0.113711	401.10	5.08635	10.17270	167.4604	276.8885
-0.05809730	0.113433	445.87	4.86862	9.73724	177.1976	294.2025
-0.05798852	0.113182	495.94	4.62908	9.25816	186.4558	310.6647
-0.05787389	0.112957	551.87	4.37545	8.75090	195.2067	326.2249
-0.05775377	0.112756	614.27	4.11443	8.22886	203.4355	340.8568
-0.05762837	0.112578	683.51	3.85325	7.70650	211.1420	354.5600
-0.05749803	0.112424	760.15	3.59653	7.19306	218.3351	367.3502
-0.05736323	0.112291	845.45	3.34499	6.68998	225.0251	379.2458
-0.05722415	0.112178	939.46	3.10419	6.20839	231.2334	390.2851
-0.05708110	0.112083	1042.77	2.87590	5.75181	236.9853	400.5125
-0.05693438	0.112007	1155.97	2.66121	5.32242	242.3077	409.9765
-0.05654874	0.112017	1488.25	2.17916	10.89578	253.2035	429.3505
-0.05614765	0.111994	1893.80	1.78590	8.92949	262.1329	445.2283
-0.05530425	0.112336	3009.22	1.19338	11.93379	274.0667	466.4481
-0.05443244	0.112654	4547.24	0.82366	8.23660	282.3033	481.0938
-0.05353996	0.113063	6450.90	0.59948	5.99484	288.2982	491.7534
-0.05263147	0.113534	8555.10	0.46378	4.63779	292.9360	500.0000
-0.05081561	0.115044	12569.90	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.04900030	0.116250	15377.91	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.04718526	0.117455	16976.73	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.04537035	0.118660	17792.23	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.04355549	0.119865	18186.12	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.04128695	0.121523	18399.60	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.03901843	0.123029	18481.41	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.03674991	0.124535	18512.53	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.03448140	0.126041	18524.35	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.03085178	0.128908	18530.03	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.02722216	0.131318	18531.24	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.02359254	0.133727	18531.49	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.01996292	0.136137	18531.55	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.01633329	0.138547	18531.56	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.01270367	0.140956	18531.56	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.00907405	0.143366	18531.56	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
-0.00544443	0.145776	18531.56	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000
0.00000000	0.150000	18531.56	0.00000	0.00000	292.9360	500.0000

Z

AA

AB

AC

AD

AE

AF

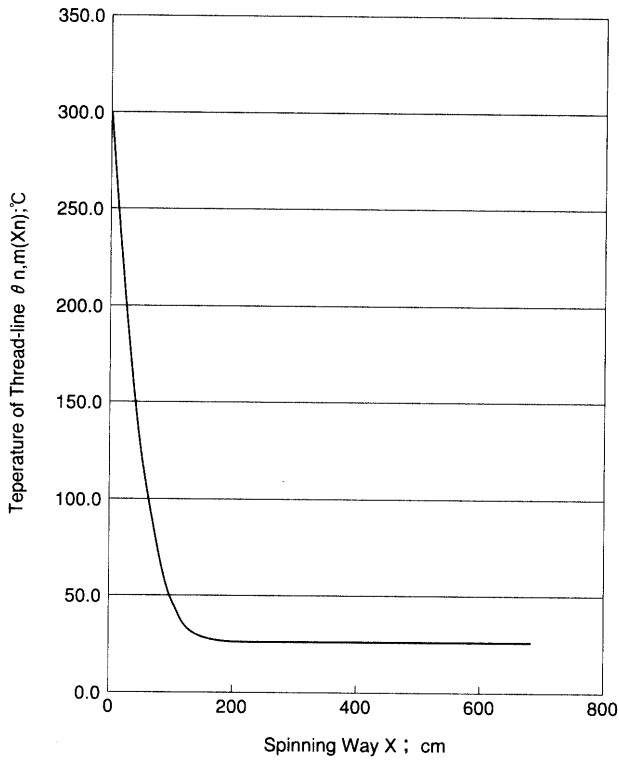


Fig. 2. Cooling Curve under the Condition No. 1

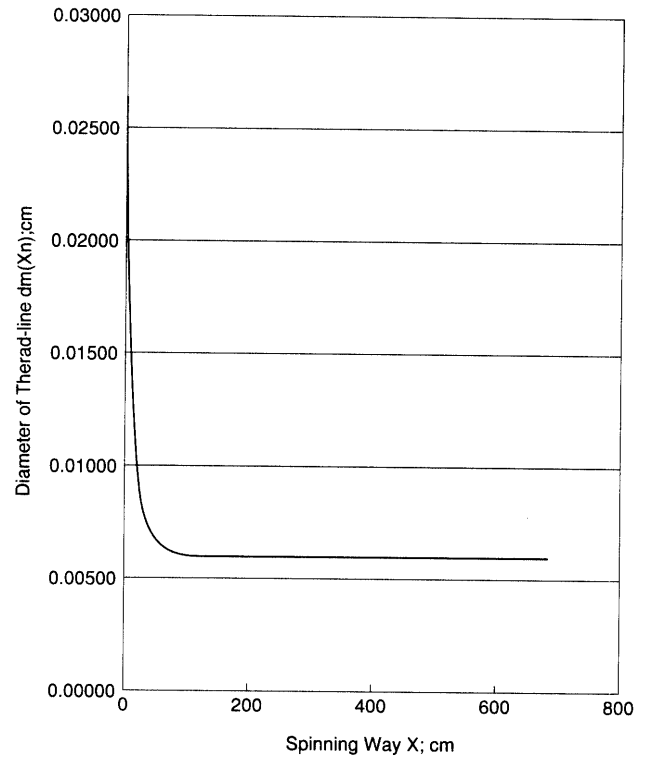


Fig. 3. Thinning Curve under the Condition No. 1

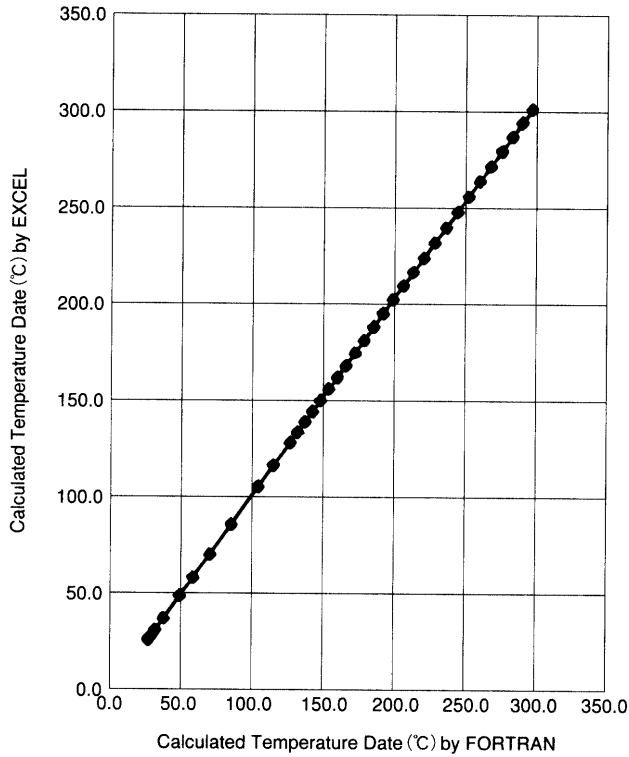


Fig. 4. Comparison of Calculated Temperature Date Between FORTRAN and EXCEL (Condition No. 1)

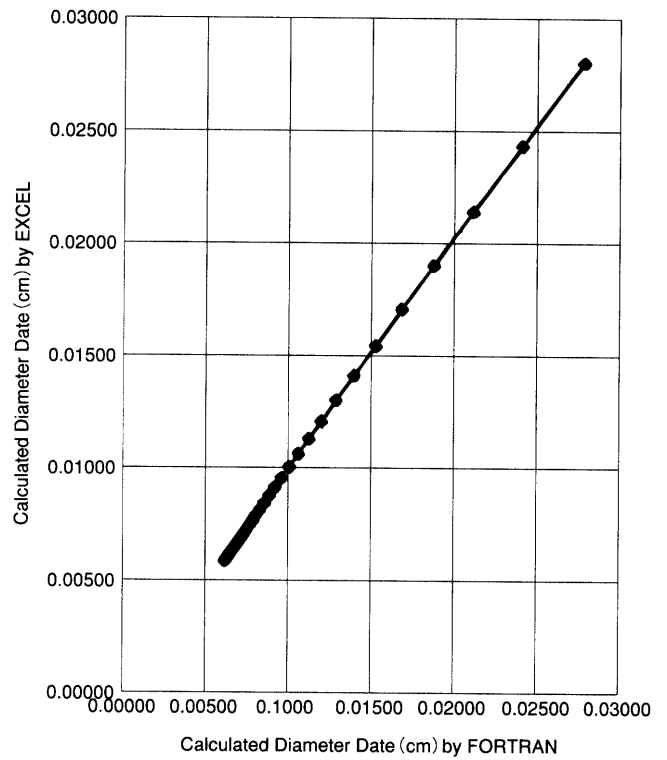


Fig. 5. Comparison of Calculated Date Between FORTRAN and EXCEL (Condition No. 1)

Table. 3. : Cooling data change according to repeating number of calculation m values (Con. No. 1)

x_n	m= 0	m= 1	m= 2	m= 3	m= 4	m= 5	m= 6	m= 7	m= 8	m= 9	m=10
0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
2	90.0	286.9	290.1	292.2	292.8	293.0	293.0	293.1	293.1	293.1	293.1
4	74.0	274.0	279.8	283.7	285.0	285.6	285.8	285.9	285.9	285.9	285.9
6	63.0	260.6	269.3	274.7	276.7	277.8	278.1	278.3	278.3	278.4	278.4
8	54.0	247.1	258.9	265.4	268.0	269.6	270.1	270.4	270.5	270.5	270.5
10	50.0	234.0	248.8	256.0	259.2	261.3	262.0	262.4	262.5	262.6	262.6
12	46.0	221.3	239.0	246.8	250.3	252.9	253.8	254.3	254.5	254.5	254.5
14	43.0	209.0	230.0	237.7	241.5	244.5	245.5	246.1	246.4	246.5	246.5
16	40.0	197.3	221.2	228.8	232.8	236.1	237.3	238.0	238.3	238.4	238.4
18	37.0	186.0	212.6	220.5	224.2	227.8	229.1	229.9	230.2	230.4	230.4
20	35.0	175.2	204.3	212.4	216.1	219.6	221.0	221.9	222.3	222.4	222.5
22	34.0	165.2	196.3	204.5	208.3	211.9	213.4	214.4	214.8	215.0	215.0
24	33.0	155.7	188.6	196.8	200.6	204.4	206.0	207.0	207.5	207.6	207.7
26	32.0	146.7	181.1	189.4	193.2	197.0	198.7	199.8	200.2	200.4	200.5
28	31.0	138.4	173.8	182.2	186.0	189.9	191.5	192.7	193.1	193.4	193.4
30	30.0	130.5	166.8	175.3	178.9	182.9	184.6	185.7	186.2	186.4	186.5
32	29.0	123.0	160.0	168.5	172.1	176.0	177.8	178.9	179.4	179.6	179.7
34	28.0	116.0	153.4	162.0	165.5	169.4	171.1	172.3	172.8	173.0	173.1
36	27.0	109.5	147.1	155.6	159.0	163.0	164.7	165.8	166.3	166.6	166.7
38	26.0	103.3	140.9	149.5	152.8	156.7	158.4	159.5	160.1	160.3	160.4
40	26.0	97.5	135.0	143.6	146.8	150.6	152.3	153.5	154.0	154.2	154.3
42	26.0	92.2	129.3	137.9	141.0	144.8	146.4	147.6	148.1	148.3	148.4
44	25.0	87.2	123.7	132.4	135.4	139.1	140.7	141.8	142.4	142.6	142.7
46	25.0	82.5	118.3	127.1	130.0	133.7	135.2	136.3	136.8	137.1	137.1
48	25.0	78.2	113.0	122.1	124.8	128.4	130.0	131.0	131.5	131.7	131.8
50	25.0	74.3	108.0	117.2	119.9	123.4	124.9	125.9	126.4	126.6	126.7
55	25.0	65.6	96.2	105.8	108.3	111.6	113.0	113.9	114.3	114.6	114.6
60	25.0	58.4	85.7	95.3	97.9	101.0	102.3	103.1	103.5	103.7	103.8
70	25.0	47.7	68.2	77.0	79.4	82.1	83.3	84.0	84.4	84.5	84.6
80	25.0	40.4	55.3	62.5	64.7	66.9	67.9	68.5	68.9	69.0	69.1
90	25.0	35.4	46.0	51.7	53.4	55.2	56.0	56.5	56.7	56.9	56.9
100	25.0	32.1	39.5	43.7	45.1	46.4	47.0	47.4	47.6	47.7	47.7
120	25.0	28.3	31.8	33.9	34.6	35.3	35.6	35.8	35.9	36.0	36.0
140	25.0	26.5	28.1	29.1	29.5	29.8	30.0	30.1	30.1	30.2	30.2
160	25.0	25.7	26.5	26.9	27.1	27.2	27.3	27.4	27.4	27.4	27.4
180	25.0	25.3	25.7	25.9	26.0	26.0	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
200	25.0	25.1	25.3	25.4	25.4	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
225	25.0	25.1	25.1	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
250	25.0	25.0	25.0	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
275	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
300	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
340	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
380	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
420	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
460	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
500	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
540	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
580	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
620	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
680	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Δm_{max}	206.90	37.68	9.66	3.98	3.96	1.71	1.17	0.517	0.235	0.086	

Table. 4. : Thinning data change according to repeating number of calculation m values (Con. No. 1)

x_n	m= 0	m= 1	m= 2	m= 3	m= 4	m= 5	m= 6	m= 7	m= 8	m= 9	m=10
0	0.006000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000	0.0280000
2	0.006000	0.0140064	0.0217152	0.0239444	0.0243337	0.0243499	0.0242891	0.0242601	0.0242457	0.0242412	0.0242398
4	0.006000	0.0109699	0.0173707	0.0202795	0.0211512	0.0213375	0.0212986	0.0212677	0.0212484	0.0212416	0.0212393
6	0.006000	0.0094772	0.0145893	0.0173664	0.0184851	0.0188454	0.0188668	0.0188513	0.0188342	0.0188270	0.0188244
8	0.006000	0.0085845	0.0127300	0.0151553	0.0163180	0.0167925	0.0168780	0.0168851	0.0168744	0.0168685	0.0168660
10	0.006000	0.0079982	0.0114214	0.0134842	0.0145821	0.0151071	0.0152435	0.0152732	0.0152707	0.0152670	0.0152649
12	0.006000	0.0075821	0.0104594	0.0122065	0.0131961	0.0137251	0.0138945	0.0139429	0.0139486	0.0139475	0.0139460
14	0.006000	0.0072758	0.0097238	0.0112150	0.0120851	0.0125904	0.0127767	0.0128384	0.0128511	0.0128525	0.0128519
16	0.006000	0.0070422	0.0091465	0.0104313	0.0111882	0.0116553	0.0118465	0.0119162	0.0119345	0.0119381	0.0119383
18	0.006000	0.0068602	0.0086838	0.0097989	0.0104590	0.0108811	0.0110689	0.0111424	0.0111645	0.0111699	0.0111708
20	0.006000	0.0067175	0.0083069	0.0092818	0.0098566	0.0102376	0.0104156	0.0104897	0.0105141	0.0105209	0.0105224
22	0.006000	0.0066044	0.0079956	0.0088539	0.0093546	0.0096956	0.0098624	0.0099347	0.0099603	0.0099681	0.0099699
24	0.006000	0.0065122	0.0077353	0.0084959	0.0089328	0.0092364	0.0093906	0.0094597	0.0094856	0.0094938	0.0094960
26	0.006000	0.0064364	0.0075156	0.0081936	0.0085757	0.0088452	0.0089864	0.0090513	0.0090768	0.0090853	0.0090877
28	0.006000	0.0063733	0.0073286	0.0079361	0.0082713	0.0085099	0.0086385	0.0086987	0.0087233	0.0087318	0.0087344
30	0.006000	0.0063204	0.0071682	0.0077151	0.0080101	0.0082213	0.0083377	0.0083931	0.0084165	0.0084249	0.0084275
32	0.006000	0.0062756	0.0070298	0.0075243	0.0077846	0.007914	0.0080766	0.0081273	0.0081493	0.0081573	0.0081599
34	0.006000	0.0062374	0.0069096	0.0073585	0.0075889	0.0077543	0.0078491	0.0078951	0.0079156	0.0079233	0.0079258
36	0.006000	0.0062046	0.0068048	0.0072138	0.0074183	0.0075646	0.0076500	0.0076917	0.0077106	0.0077179	0.0077203
38	0.006000	0.0061762	0.0067129	0.0070869	0.0072688	0.0073983	0.0074752	0.0075129	0.0075303	0.0075370	0.0075394
40	0.006000	0.0061530	0.0066323	0.0069751	0.0071374	0.0072521	0.0073212	0.0073551	0.0073711	0.0073774	0.0073796
42	0.006000	0.0061329	0.0065613	0.0068760	0.0070213	0.0071229	0.0071850	0.0072155	0.0072301	0.0072359	0.0072380
44	0.006000	0.0061136	0.0064984	0.0067878	0.0069184	0.0070084	0.0070642	0.0070916	0.0071048	0.0071102	0.0071122
46	0.006000	0.0060980	0.0064428	0.0067091	0.0068268	0.0069066	0.0069568	0.0069813	0.0069933	0.0069982	0.0070000
48	0.006000	0.0060841	0.0063934	0.0066385	0.0067450	0.0068157	0.0068608	0.0068828	0.0068937	0.0068981	0.0068998
50	0.006000	0.0060717	0.0063495	0.0065751	0.0066717	0.0067344	0.0067749	0.0067945	0.0068044	0.0068085	0.0068100
55	0.006000	0.0060475	0.0062647	0.0064492	0.0065267	0.0065739	0.0066054	0.0066204	0.0066280	0.0066312	0.0066325
60	0.006000	0.0060280	0.0061994	0.0063505	0.0064126	0.0064484	0.0064728	0.0064843	0.0064903	0.0064928	0.0064939
70	0.006000	0.0060000	0.0061151	0.0062203	0.0062612	0.0062829	0.0062982	0.0063053	0.0063090	0.0063107	0.0063114
80	0.006000	0.0060000	0.0060579	0.0061325	0.0061584	0.0061712	0.0061805	0.0061848	0.0061871	0.0061881	0.0061886
90	0.006000	0.0060000	0.0060164	0.0060699	0.0060847	0.0060915	0.0060967	0.0060991	0.0061004	0.0061010	0.0061013
100	0.006000	0.0060000	0.0060111	0.0060229	0.0060296	0.0060318	0.0060339	0.0060349	0.0060355	0.0060358	0.0060360
120	0.006000	0.0060000	0.0060051	0.0060107	0.0060140	0.0060151	0.0060162	0.0060168	0.0060171	0.0060172	0.0060173
140	0.006000	0.0060000	0.0060023	0.0060049	0.0060065	0.0060071	0.0060076	0.0060078	0.0060080	0.0060081	0.0060081
160	0.006000	0.0060000	0.0060010	0.0060022	0.0060030	0.0060033	0.0060035	0.0060036	0.0060037	0.0060037	0.0060038
180	0.006000	0.0060000	0.0060005	0.0060010	0.0060014	0.0060015	0.0060016	0.0060017	0.0060017	0.0060017	0.0060017
200	0.006000	0.0060000	0.0060002	0.0060004	0.0060006	0.0060007	0.0060007	0.0060007	0.0060008	0.0060008	0.0060008
225	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060001	0.0060002	0.0060002	0.0060002	0.0060003	0.0060003	0.0060003	0.0060003
250	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060001	0.0060001	0.0060001	0.0060001	0.0060001	0.0060001	0.0060001
275	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
300	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
340	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
380	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
420	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
460	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
500	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
540	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
580	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
620	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
680	0.006000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000	0.0060000
Δm_{max}		0.022000	0.0077370	0.0039250	0.0018620	0.0008260	0.0003280	0.0001230	0.0000410	0.0000130	0.0000030

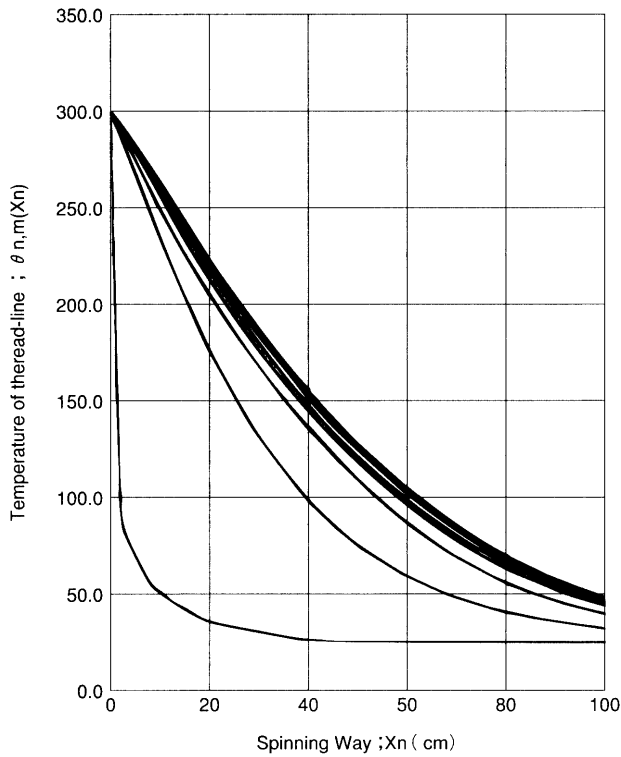


Fig. 6 . The Change of cooling curves under condition No. 1 (The most low side curve is $m=0$ and the most upper side curve is $m=10$)

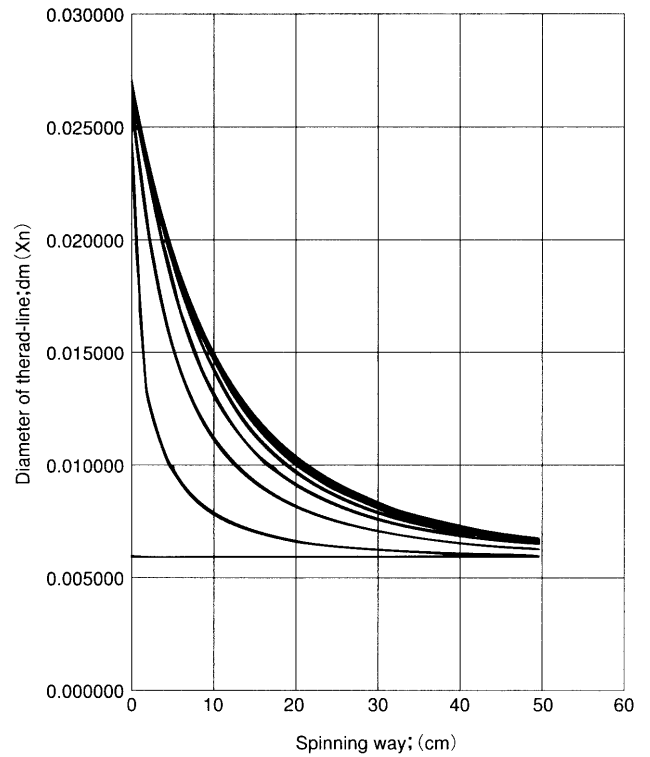


Fig. 7 . The Change of thinning curves under condition No. 1 (The most lower side curve is $m=0$ and the most upper side curve is $m=10$.).

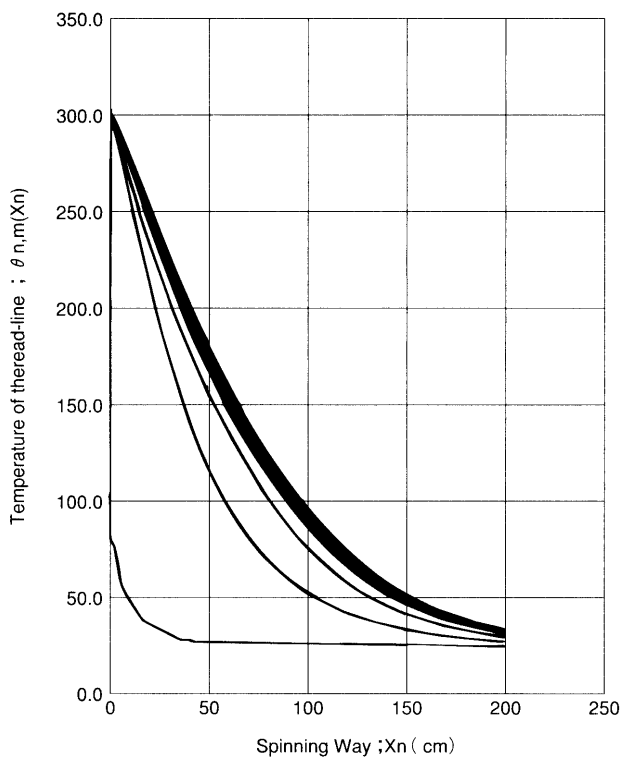


Fig. 8 . The Change of cooling curves under condition No. 2 (The most lower side curve is $m=0$ and the most upper side curve is $m=11$.)

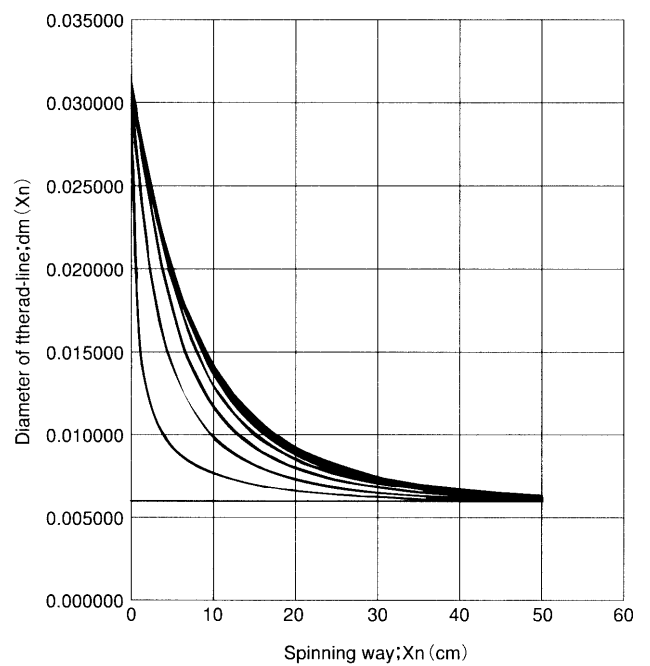


Fig. 9 . The Change of thinning curves under condition No. 2 (The most lower side curve is $m=0$ and the most upper side curve is $m=11$.)

6. 結 論

以前に、FORTRAN プログラミングを行い、かつ大型計算機を借用して行っていたナイロン-6 溶融紡出走行糸の冷却および細化挙動の計算を、現在普及しているパソコンで EXCEL ソフトを使って計算を試みた。その結果、両計算結果は極めてよく一致した。また、繰返しループ計算による真の値への漸近の様子も把握することができた。

7. おわりに

本報の結果から、今後、種々の特殊な紡糸条件下での冷却・細化挙動の他、溶融紡糸中の微細構造形成過程の計算等への応用も検討してみたい。

最後に、本研究を進める過程で、助言をいただいた澤村雅史先生（日本基督教団春日東教会牧師、本学非常勤講師）に感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 石橋 徹：福岡女学院短期大学紀要, 20, 111 (1984).
- 2) T. Ishibashi : J. Appl. Polymer Sci., 18, 2427 (1974).
- 3) 日本機械学会編：“伝熱工学資料”(1962).
- 4) 石橋 徹、谷 八紘、吉崎 修、長井栄一：高分子化学論文集, 23, 208 (1965).
- 5) T. Ishibashi, K. Aoki, T. Ishii : J. Appl. Polymer Sci., 14, 1597 (1970).