

低立体規則性ポリプロピレンを用いたスパンボンド不織布成形における 紡糸挙動解析

Analyses on Spinning Behavior of Spunbond Nonwoven Fabrics using Low-isotacticity Polypropylene

(出光興産(株)) ○ (正) 郡洋平、(正) 武部智明、(KT Polymer) (正) 金井俊孝

ABSTRACT: Effect of blending low-isotacticity polypropylene (LMPP) with general isotactic PP on the spinnability of meltspinning and spunbond process was investigated. A small amount of LMPP was found to stabilize the high speed spinning and very fine fibers were obtained. In this research, numerical analysis of the spin-line behavior was conducted by modeling spunbond process. As the calculated results, it was speculated that the improvement of spinnability was originated from the suppression of crystallization and strain rate in the spinning process.

Keywords: Polypropylene, Isotacticity, Nonwoven, Spunbond, Spinnability

1. 諸言

過去の報告で、ポリプロピレンの熔融紡糸において、立体規則性を低く制御した PP (LMPP) を汎用の高立体規則性 PP (IPP) に少量添加することで、高速での安定紡糸と繊維の細繊維化が可能になることを明らかにした¹⁾。更に、PP スパンボンド不織布の紡糸工程においても、LMPP の少量添加により、高速紡糸性が大幅に向上することが分かっている。これらの結果には、低立体規則性成分の添加による紡糸線での結晶化の抑制と、これに伴うネック状変形の抑制効果が起因していると推測してきた²⁾。

本報告では、モデル化したスパンボンドプロセスの紡糸工程についての理論解析を行い、低立体規則性成分が、紡糸線での結晶化抑制因子として寄与していることの検証を行った。

2. スパンボンドプロセスの理論解析

スパンボンド不織布製造プロセスの理論解析を行うに当たり、まず後述①～⑥の仮定を元に紡糸工程のモデル化を行った。①糸の断面は円形とし、繊維軸について軸対称とする。②糸の長さ方向の熱伝導は糸速が熱伝導に比して速いので無視する。③定常状態について取り扱

う。④スウェルは一律と仮定して計算する。⑤ポリマーの性質は、温度依存性と結晶化による粘度変化を取り扱い、PP の粘度依存性はアレニウス型に従い、結晶化領域では結晶化が開始してから終了するまでは結晶化潜熱と冷却の熱量がバランスしながら結晶化する。⑥糸の半径方向の温度分布を無視し、熱移動については放射、自己発熱は無視し、表面からの熱伝達のみを考える。ノズル中心を繊維軸方向に x 軸をとり、紡糸線の半径 R 、高さ Δx の円柱に分割して近似する。

このようにモデル化したスパンボンド不織布製造プロセスの紡糸工程について、運動方程式(1)、連続の式(2)、エネルギー方程式(3)、レオロジー方程式(4)を組合せ、式(5)に示した境界条件を利用し、4元連立微分方程式を Runge-Kutta Verner 法により、繊維の変形挙動を解いた。境界条件は、ノズル出口での繊維の温度、速度、断面積、絞り板(キャビン)入口での張力(5)である。スパンボンドプロセスは熔融紡糸と異なり、繊維を巻取る機構がないため、紡糸線で到達する紡糸速度や、絞り板部での単糸にかかる張力が不明である。このため、初期の紡糸張力は任意の値を入れ、絞り板入口部で繊維軸に沿って解いてきた紡糸張力と絞り板での空気抵抗力により生じる抵抗力が一致するように、Newton Raphson 法により収束計算を行い、紡糸張力と抵抗力が一致した時点で計算終了とした。この計算手法により、紡糸線での直径変化、紡糸速度変化、歪み速度変化、紡糸張力変化などを解析した。

Youhei Kohri^{1*}, Tomoaki Takebe¹, Toshitaka Kanai²

¹ Performance Materials Laboratories, Idemitsu Kosan Co., Ltd.

² KT Polymer

*1-1 Anesaki-Kiagan, Ichihara, Chiba, JAPAN
299-0193 Tel:0436-60-1867, FAX:0436-60-1033

E-mail: yohei.koori@idemitsu.com

$$\frac{dF}{dx} = W \left(\frac{dV}{dx} - \frac{g}{V} \right) + 0.00023(AV^2)^{0.195}V \quad (1)$$

$$\frac{dA}{dx} = -\frac{A}{V} \frac{dV}{dx} \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{2\pi A}{C_p W} h(T - T_s) \quad (3)$$

$$h = 0.473 \times 10^{-4} A^{-0.344} V^{0.344} \left\{ 1 + \left(\frac{8V_a}{V} \right)^2 \right\}^{0.167}$$

$$\frac{dV}{dx} = \frac{F}{3\eta_0 A} \text{EXP} \left[-\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + GX \right] \quad (4)$$

F : 紡糸張力, W : 吐出量, g : 重力加速度, A : 繊維の断面積, V : 紡糸速度, T_s : 雰囲気温度, D : 繊維直径, h : 熱伝達係数, ρ : 密度, C_p : 比熱, V_a : 冷却エア速度, E : 樹脂の結晶化エネルギー, η_0 : ゼロ剪断粘度, T : 樹脂温度, T_0 : ノズル出口の樹脂温度, G : 結晶化による粘度上昇指数

$$F_{x=L} = \alpha \left\{ \frac{(V_{air} - V)}{v^*} \right\}^{\gamma} (V_{air} - V)^2 \frac{\rho^*}{2} \pi dL \quad (5)$$

α : 空気抵抗係数, V_{air} : 絞り板部冷却エア速度, d : 絞り板部最終繊維直径, ρ^* : 空気の密度, v^* : 空気の動粘度, l : 絞り板部長さ

3. 結果と考察

3.1 PP スパンボンド不織布の紡糸性における低立体規則性成分の添加効果

不織布成形には、高立体規則性PP (PP Exxon3155: ExxonMobil社製、MFR=36g/10min, $T_m=160^\circ\text{C}$) のみから成るIPP-100%と、低立体規則性PP (LMPP: 出光興産(株)製、繊維・不織布用、MFR=50g/10min, $T_m=75^\circ\text{C}$) を高立体規則性PPに10wt%添加したブレンド物 (LMPP-10%) を用いた。

各吐出量条件, キャビン圧力条件において、3分間ノズル直下での繊維破断の有無を観察し、繊維破断が発生しなかった場合を紡糸性が安定しているとした。Table 1は、IPP-100%, LMPP-10%の安定的に紡糸可能な限界の単孔吐出量, キャビン圧力条件と、その繊維直径, 紡糸速度である。

IPP-100%の安定紡糸可能な条件は、単孔吐出量0.6g/min/hole, キャビン圧力4,500Paであり、得られた不織布の繊維直径は1.7denierであった。これに対し、低立体規則性成分を添加することで、安定紡糸が可能な成形条件領域が広がり、繊維直径を1.0denier程度まで極細化することが可能となった。また、IPP-100%の紡糸速度が約3,200m/minであったのに対し、LMPP-10%では最大で約4,200m/minと、高速

での安定紡糸が可能となったことが分かる。

3.2 不織布成形における紡糸挙動解析

低立体規則性成分添加が、不織布成形における紡糸性改良効果にどのような影響を及ぼしているのか考察するため、紡糸挙動の数値解析を行った。

Figure 1に、数値解析により得られた、同一条件 (単孔吐出量0.6g/min/hole, キャビン圧力4,500Pa) におけるIPP-100%とLMPP-10%の紡糸線上でのひずみ速度変化を示した。LMPPの添加により、最大ひずみ速度が15%程度低下し、下流域におけるひずみ速度の低下率が緩やかになったことが分かる。このことから、低立体規則性成分の添加により紡糸線での急激な変形が抑制されたことが示唆される。このことから、Table 1で示したように、LMPPの添加により紡糸性が向上したのは、低立体規則性成分の添加により、紡糸線での結晶化が抑制され、最大ひずみ速度が低下することにより、紡糸性が安定化したことに起因すると考察した。

Table 1 Fiber diameter and spinning velocity of various PP blends under the limit condition of stable spinning.

Sample Code	Throughput (g/min/hole)	Cabin Pressure (Pa)	Fiber Diameter (denier)	Spinning Velocity (m/min)
IPP-100%	0.60	4,500	1.7	3,200
	0.60	6,500	1.4	3,900
LMPP-10%	0.50	6,500	1.1	4,200
	0.40	5,500	1.1	3,300

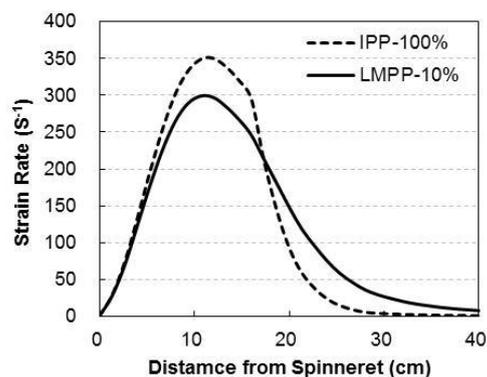


Figure 1 Strain rate profiles of IPP-100% and LMPP-10% on the spin-line.

- 1) 郡洋平, 宝田亘, 伊藤浩志, 武部智明, 南裕, 金井俊孝, 鞠谷雄士, 成形加工'08, 20, (11), 831 (2008)
- 2) 郡洋平, 武部智明, 金井俊孝, 鞠谷雄士, 成形加工'14, 年会予稿集, 281 (2014)