

インフレーションフィルム製造工程の理論解析

Theoretical Analysis for Tubular Film Blowing

(金沢大工)(正)山田敏郎*、(出光石油化学)(正)金井俊孝、
(金沢大工) 定梶充、(大倉工業)(正)上原英幹、(大倉工業)(正)阪内邦夫

Tubular film blowing is widely used to produce plastic films. In this study, crystalline polymer, such as linear low density polyethylene (LLDPE), is used. The authors assume that film is Newtonian fluid and predicted values of film radius and temperature and compared the experimental values with predicted ones. The predicted results showed both same tendency and not same one compared with experimental result. It is necessary to take account of orientation effect and viscoelastic.

Key Words : Tubular film/Crystallization/LLDPE

1. 緒言

プラスチックフィルムは用途の多様さ、機能の高さから近年めざましく普及し、工業、産業用、家庭に密着した場面で数多く使用されている。また、インフレーションフィルムにおいては、装置が比較的安価であるためなどから、レジ袋、農業用フィルム等に広く利用されている。このような需要の拡大に伴い、機械的特性、光学的特性、生産性の向上の要求が年々高くなっており、生産拠点がアジアなどでの低コスト生産へシフトする中、国際競争力をつけることが急務とされている。しかし、フィルムの製造技術に関する研究は非常に少なく、その製造は経験や試行錯誤によるものが多い。また、特にフィルムの特性を最大限に発現させるために重要な延伸技術に関する研究は、非常に多くの研究費用を必要とし、さらに、その対象が複雑で取り扱いが困難であるためほとんど行われていない。そこで本研究では、結晶性樹脂(直鎖状低密度ポリエチレン、以下 LLDPE)を対象としたインフレーションフィルム製造工程における、フィルムの変形挙動を予測するため、数学モデルを確立し解析を行った。

Toshiro Yamada: Faculty of Engineering, Kanazawa University
Toshitaka Kanai: Idemitsu Petrochemical Co.,Ltd
Mitsuru Joukaji: Faculty of Engineering, Kanazawa University
Hideki Uehara and Kunio Sakauchi: Okura Industrial Co.,Ltd.
2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa, 920-8667, Japan
Tel. 076-234-4802, Fax. 076-234-4829,
*E-mail: tyamada@t.kanazawa-u.ac.jp

2. 解析モデル

Fig.1にインフレーションフィルム製造工程図を示す。溶融した樹脂 Extruder からチューブ状に押し出される。この中に圧縮空気を送り込み、また樹脂を押し出す



Fig.1 Schematic Diagram of Tubular Process

速度と Nip Roll の速度を変えることによって図のように進行方向と円周方向に延伸され、その形状はバブル状となる。本研究では、樹脂が Die をでて以降の変形挙動の解析を行う。また結晶性ポリマーとして、LLDPE を用いた。

3. 状態方程式の導出

熱収支式、内圧の式、幾何学の式、張力の式を導出するにあたり、金井ら¹⁾が提案したモデルを引用した。

熱収支式:

$$\rho c Q dT = -2\pi R dz \frac{1}{\cos\theta} \left[U(T - T_{air}) + \lambda \varepsilon (T^4 - T_{room}^4) \right] + \rho Q \Delta H dX$$

内圧の式:

$$\Delta P = \frac{H\sigma_{11}}{R_1} + \frac{H\sigma_{22}}{R_2}$$

幾何学の式:

$$\frac{dR}{dz} = \tan\theta$$

バブル張力の式:

$$F_L = 2\pi RH\sigma_{11} \cos\theta + \Delta P\pi(R^2_L - R^2)$$

ρ : 密度 c : 比熱 Q : 吐出量 T : フィルム温度
 R : フィルム半径 z : ダイからの距離
 θ : 角度 U : 熱伝達係数 T_{air} : 冷却風温度
 λ : ステファン・ボルツマン定数
 ε : 放射係数 T_{room} : 雰囲気温度 ΔH : 結晶化潜熱
 X : 結晶化度 ΔP : 内圧
 H : フィルム厚み σ_{ij} : 応力 R_i : 曲率半径
 F_L : バブル張力
 R_L : フロストラインでの半径

結晶化度に関しては、中村²⁾が提案した式を引用した。

結晶化度式:

$$X = 1 - \exp\left[-\int_0^t K(T)dt\right]^n$$

$$K(T) = ko \exp\left\{\frac{-U^*}{R_g(T - T_o)}\right\} \exp\left\{\frac{-C_3}{T(T_o^m - T)}\right\}$$

t : 時間 $K(T)$: 結晶化速度 n : アブラミ指数
 ko, C_3 : ポリマーによって決まる定数
 U^* : 活性化エネルギー R_g : ガス定数
 T_o : $T_g - 30$ T_g : ガラス転移温度
 T_o^m : 平衡融点

4. 解析方法

熱収支式・内圧の式・幾何学の式・張力の式・結晶化度式中に、測定値以外の変数が全部で9つある。このうち、4つの変数 ($U, \Delta P, F_z, \theta_o$) をニュートン・ラプソン法により最適化し、その値を用いてルンゲクッタ法によりフィルム進行方向 z で解くことにより、フィルムの変形挙動を予測する。

5. 解析結果

Table1. Resin Data

Density [g/cm ³]	0.917
Equilibrium melting temperature [K]	401.97
Glass transition temperature [K]	195

温度、半径の解析結果を Fig.2,3 に示す。

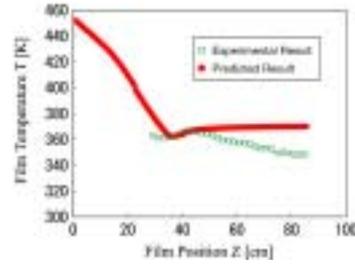


Fig.2 Predicted Film Temperature vs Film Position.

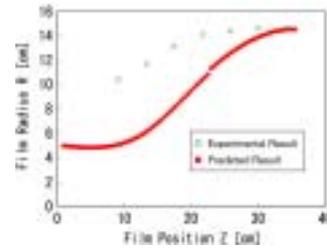


Fig.3 Predicted Film Radius vs Film Position.

6. 考察

温度の結果において、フィルム位置 40cm 付近で結晶化発熱によってわずかに温度が上昇し、実験結果と同じ挙動を示すことが確認できた。しかし、実験結果ではそれ以降温度が減少するが、解析結果ではプラトーとなる。これは、実際の結晶化は短い距離の間で終了するが、解析では結晶化が進み、その間結晶化による発熱によってフィルム温度がプラトーに保たれていると考えられる。フィルム半径の結果においては、実験結果と差があった。本実験では、成形中のフィルムを粘性と仮定して行っているが、実際は粘弾性に近いため、粘弾性と仮定して解析を行うことによって、実験結果に近づくことが期待できる。

7. 結言

結晶化を考慮したインフレーションフィルム製造工程の解析モデルを導出し、モデルの妥当性を比較検討した。実験結果と同じ傾向を示す所もあるが、まだ解析結果と実験結果の間に差がある。成形中のフィルムを粘弾性と仮定し、応力による結晶も考慮に入れることにより、実験結果と近い結果が得られると考えられる。

参考文献

- 1) 金井ら: “インフレーション成形における動力学的研究[1]結晶性ポリマーの解析”, SEN-I GAKKAISHI Vol.40, No12, P27-41 (1984)
- 2) K.Nakamura, T.Watanabe, K.Katayama, T.Amano