

SAXS を用いた PLA 繊維引張変形中の構造変化観察 SAXS observation of structural changes in PLA fibers during tensile deformation

岡本凌, 佐野緑, 谷本悠紀, 富澤錬*

信州大学、繊維学部

〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1

Ryo OKAMOTO, Midori SANO, Yuki TANIMOTO, and Ren TOMISAWA*

Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University,

3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

1 はじめに

近年、環境問題が取り沙汰される中、プラスチックのリサイクル利用と持続可能な資源の活用が求められている。化石資源由来のプラスチックの代替としてバイオプラスチックが挙げられる。中でも、ポリ乳酸(PLA)は、生分解性でありながら熱可塑性も有するため、環境負荷の低い材料として、医療、農業、衣料、衛生用品などにおける繊維の利用拡大に大きな期待が寄せられている。しかし、PLA は脆いことが産業用繊維としての用途拡大を制限する最大の要因となっている。そこで本研究では、延伸倍率の異なる PLA 繊維を対象とし、引張変形過程における小角 X 線散乱(SAXS)像を連続的に撮像することで、初期の高次構造の違いが、引張変形中の構造変化に及ぼす影響について調査を行った。これにより、PLA 繊維の脆性破壊を抑制し高靱化を実現するための繊維設計指針を提示することを目的としている。

2 実験

MFR 10 g/10min の Poly(lactic acid) (PLA) を 200 °C、7.0 g/min で 8 hole のノズルから押し出し、100 m/min で巻き取った。ホットローラー式延伸機を用い、倍率 3.0、3.6、4.0 倍で延伸し、直径 50 μm 程度の繊維を作製した。得られた延伸繊維を引張変形させながら、X 線波長 0.15 nm、カメラ距離 3000 mm、検出器サイズ 1475×1679 pixels の条件で SAXS 像を in-situ 撮像した。

3 結果および考察

図 1 に、延伸倍率(DR)3.0、3.6、4.0 倍の PLA 繊維における、それぞれの引張変形中の SAXS 像ならびに応力-歪曲線を示す。なお横軸には、延伸倍率と引張変形中の歪の和である総延伸倍率(TDR)を示している。TDR3.0 倍では、赤道方向のストリーク状散乱のみが確認されたのに対し、TDR3.6 倍以降では全ての延伸倍率試料において、赤道方向に加え、子午線方向にもストリーク状散乱が確認された。どの延伸倍率試料においても、TDR 増加とともに、引張変形初期に見られた赤道方向のストリーク状散乱は広角度側に伸びていく様子が観察された。特に、DR3.6、4.0 試料では、変形初期に見られた 4 点散乱が

消失したのちに、赤道方向のストリーク状散乱が広角度側に伸びた。

赤道および子午線方向に見られたストリーク状の散乱は、それぞれフィブリル間ボイドおよびクラックに由来すると考えられている[1]。特に、引張変形によって赤道方向でこの散乱が高角度側に広がることは、フィブリルの細分化を示している。すなわち、PLA 繊維は延伸によってフィブリルが形成されており、引張変形によって、クラックの形成およびフィブリルの細分化が進行していくと考えられる。また、延伸倍率 3.6、4.0 倍試料でみられた引張変形初期の 4 点散乱は、ラメラ構造に由来すると考えられており、この散乱が消失してから赤道方向のストリーク状散乱が広角度側に伸びることから、インターロック機構の破壊によってフィブリル化の進行が開始されると考えられる。

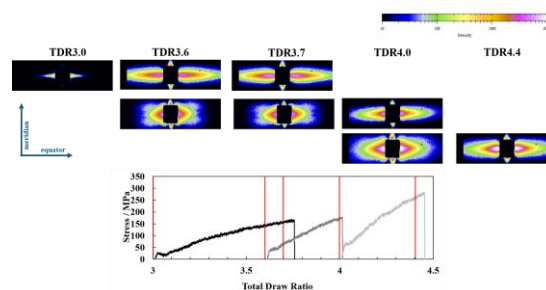


図 1：各延伸倍率の PLA 繊維における引張変形中の SAXS 像および応力-歪曲線

4 まとめ

In-situ SAXS 測定により、PLA 繊維は引張変形とともに、クラック形成やフィブリルの細分化が進行することが示唆された。特に高倍率延伸繊維では、延伸時に形成されたラメラ結晶が破壊され、フィブリル化が開始される。したがって、高靱化には延伸倍率だけでなく、初期のラメラ構造形成やサイズを精密に制御することが重要だと考える。

参考文献

- [1] R.Fuse et al. , Polymer, 332 (2025) 128558
* rtomisawa@shinshu-u.ac.jp