

# テンダーX線を用いた繊維形状試料内のフィブリル状構造物の観察 Tender X-ray observation of fibril-like structures in fiber-shaped samples

谷本悠紀<sup>1,\*</sup>, 富澤錬<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>信州大学、繊維学部

〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1

Yuki TANIMOTO<sup>1,\*</sup> and Ren TOMISAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University,  
3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

## 1 はじめに

ナイロンやポリエステルに代表される合成繊維は最小単位である分子鎖から階層構造をとると考えられている。この構造が、繊維の強度発現においてどのような影響をもたらしているのか調査することは、用途に合わせた繊維物性制御の観点から重要である。これまでの研究で、PET 繊維においてマイクロフィブリルは分子鎖に匹敵する強度を持ちうること、またマクロフィブリルの強度は繊維と同程度まで低下していることが確認されている[1]。このことは繊維の引張強度の低下がフィブリル構造に起因していることを示唆している。そこで本研究では、繊維内のサブミクロンスケールの構造について非破壊で調査する方法として、テンダーX線を用いた撮像を試みたため、その結果を報告する。

## 2 実験

固有粘度(IV)1.32 dL/g の Poly(ethylene terephthalate, 以下 PET)を 310 °C、5 g/min で L/D=3 のノズルから押し出し、300 m/min で巻き取った。ホットローラー式延伸機を用い、この繊維を応力約 100 MPa で延伸し、直径約 60 μm の繊維を作製した。得られた繊維を X 線波長 0.41(A)、0.48(B)、0.56(C) nm、ビームサイズ H100 μm × V40 μm、カメラ距離約 6600 mm で USAXS 像を取得した。

## 3 結果および考察

図 1 に、直径約 60 μm の PET 繊維に波長 A – C の X 線を照射した場合の透過率を示す。波長 0.41 nm では 35%程度透過するのに対し、波長 0.56 nm では 7%程度にまで減少する。

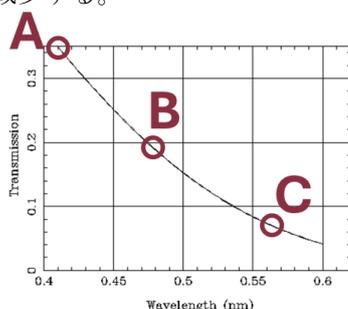


図 1 : 直径 60 μm の PET 繊維に対する X 線透過率  
[https://henke.lbl.gov/optical\\_constants/filter2.html](https://henke.lbl.gov/optical_constants/filter2.html)

図 2 に、同様の繊維について X 線波長を変化させて撮像した結果を示す。図内赤線円および数値は対応する  $q$  値を示している。X 線の波長が長くなるほど、得られる散乱強度が小さくなるとともに、検出可能な最小  $q$  値も小さくなっていき、最小で  $q=0.004 \text{ nm}^{-1}$  まで検出可能であった。また全ての像において、 $q=0.03 \text{ nm}^{-1}$  付近にピークをもつ層線状散乱が観察された。ただし、波長の最も長い条件 C では、その散乱は不明瞭だった。この層線状散乱は、実空間スケール約 200 nm 程度の棒状構造の密度揺らぎに対応するピークが観察されたと考えられる[2]。また散乱強度の減衰は、図 1 の通り、X 線の透過率の減少に起因する。上記の通り条件 C では層線散乱が不明瞭であることから、直径 60 nm の PET 繊維をテンダーX線によって USAXS 撮像および解析するためには、X 線の波長を 0.48 nm 以下にする必要があると考えられる。

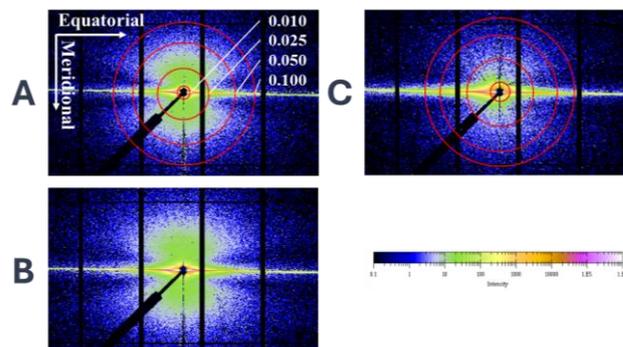


図 2 : 各波長の X 線を用いて撮像した USAXS 像

## 4 まとめ

テンダーX線を用いることで、PET 繊維の 200 nm 程度の周期構造由来の密度揺らぎを確認した。この測定により、合成繊維のサブミクロンスケールの構造解析の可能性が示唆された。

## 参考文献

- [1] R. Tomisawa et al, scientific reports, 13:11759, 2023.  
[2] Y. Tanimoto et al, 1<sup>st</sup> Indo-Japan Textile Research Conference 2023 Proceedings, PO-08

\* rtomisawa@shinshu-u.ac.jp