



東北大学

東北大学

担当部署連絡先 研究推進課基盤研究係

E-mail : kenjyo@grp.tohoku.ac.jp

作成日 : 2024年11月27日

更新日 : —

科研費
KAKENHI

高分子結晶における分子配向の可視化に世界で初めて成功

高分子、有機材料およびその関連分野

研究者所属・職名 : 多元物質科学研究所・教授

ふりがな じんない ひろし

氏名 : 陣内 浩司

主な採択課題 :

- [基盤研究\(A\)「試料延伸3次元電子顕微鏡法と計算科学の連携によるナノ複合材料力学物性の解明」\(2016-2018\)](#)
- [基盤研究\(A\)「環状混合ソフトマテリアルの絡み合い制御による超ゴム弾性発現の分子論的解明」\(2019-2021\)](#)
- [基盤研究\(A\)「先端電子顕微鏡と高分子化学の融合による高分子一本鎖の直接観察と解析」\(2022-2024\)](#)

分野 : 高分子物理、高分子構造

キーワード : 半結晶性高分子、ラメラ晶、分子鎖、電子回折、走査透過型電子顕微鏡法

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

産業的に最も多く使用されている汎用高分子であるポリエチレンは、内部にナノ結晶(ラメラ晶)を含み、ラメラ晶の量や形態、その内部の分子鎖の傾斜(分子配向)が、ポリエチレンの強度や耐熱性に大きな影響を与えることがわかっている。ラメラ晶内の分子配向は、1960年代から物議を醸してきた未解決問題であり、実験・理論・計算機実験など様々な手法による検討が行われてきたが、分子を直接観察する手段が無かったことから、決定打となる研究は現在に至るまでなされていなかった。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

本研究では、走査透過型電子顕微鏡(STEM)を用いて、ナノメートルサイズに収束した電子線をポリエチレン結晶に照射・走査し、各照射点からの電子回折図形を計測する「ナノ回折イメージング(NDI)」という新しい観察手法の開発を行った。ポリエチレンなどの高分子は電子線照射によるダメージを受けやすく、ラメラ晶は容易に破壊されてしまう。そこで、本研究では、電子1つを計測可能な超高感度検出器(カメラ)を導入し、ラメラ晶に対するダメージを定量化しながら、ダメージ低減に最適な電子線照射条件を探ることで、世界に先駆けて汎用高分子結晶の観察に成功した。

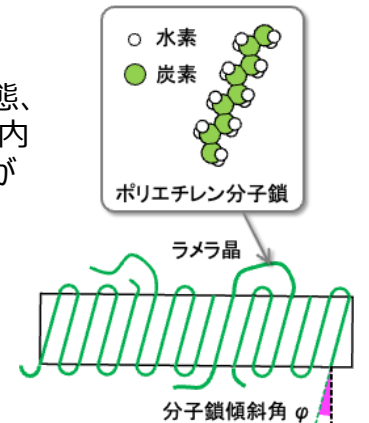


図1 ポリエチレン分子鎖とラメラ晶の模式図



東北大学

東北大学

担当部署連絡先 研究推進課基盤研究係
E-mail : kenjyo@grp.tohoku.ac.jp

作成日 : 2024年11月27日
更新日 : —

科研費
KAKENHI

高分子結晶における分子配向の可視化に世界で初めて成功

高分子、有機材料およびその関連分野

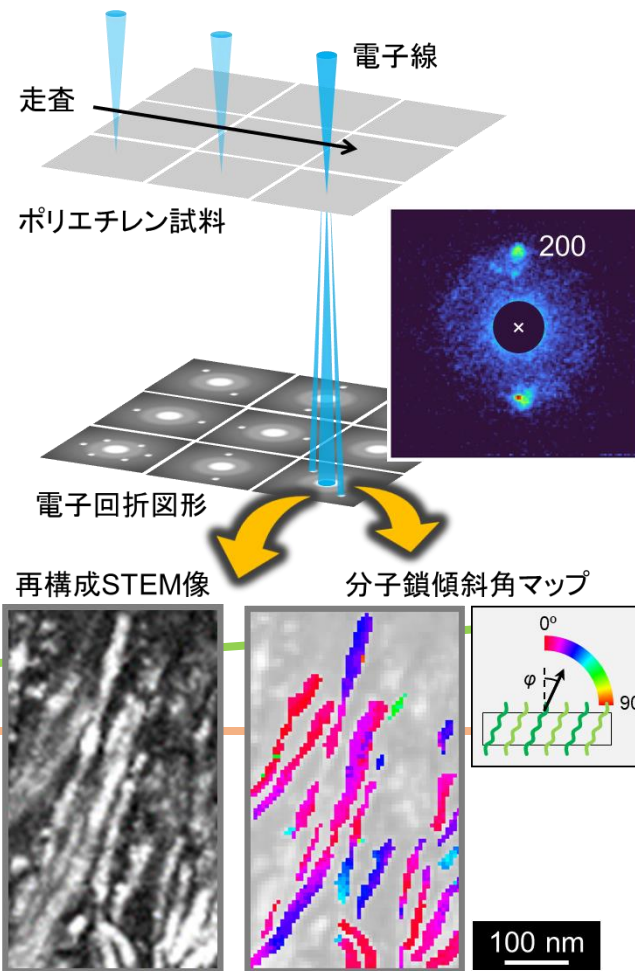
研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

最新の電子顕微鏡法（ナノ回折イメージング法、NDI）による構造解析手法をポリエチレンナノ結晶の構造解析に用い、ラメラ晶の本来の“姿”（形態）の可視化に成功した。さらに、電子線照射各点において得られた電子回折図形を解析することで、ラメラ晶内部の分子鎖配向を決定することに世界で初めて成功した。

具体的には、NDIにより取得した36万枚の電子回折図形に対し回折スポットの強度と角度を抽出することで、ラメラ晶の形態およびその内部の分子鎖の配向を決定した。これにより、ポリエチレン試料の内部に形態や分子鎖配向が異なる様々なラメラ晶が存在すること、また、平行に並んだラメラ晶（積層ラメラ晶）と単独のラメラ晶では分子鎖の配向様式が異なること、などを明らかにした。なお、本研究で得られた分子鎖配向は、これまでの間接的な手法で得られていた値とは異なっており、直接計測の重要性の証明と言える。

本研究により、ラメラ晶内での分子鎖配向という60年に渡り未解明だった高分子の基礎的問題に明確な回答を与えることに成功した。



今後の展望

●今後の展望・期待される効果

本研究で開発した新規手法（NDI）により、結晶内部の分子鎖配向といった分子レベルの構造情報、さらに、ラメラ晶の形態やそれらの空間分布といったより高次の構造を直接観察することが可能となった。これらの知見は、高分子結晶の形成メカニズムの解明、高分子結晶の劣化・分解過程の解明、ひいては、高分子結晶を含む多様な機能性材料の開発、などに道を拓くことになる。

図2 ナノ回折イメージング（NDI）の概念図と得られた結果