

高分子の“ナノ配向結晶体 (NOC)” 発見と金属並みの超高性能高分子材料創製 (討論会タイトル: 超臨界伸長成形による iPP のナノ配向結晶体 (NOC) 化と超高性能化)

(広大院総合科学研究科・JST 彦坂 PJ) ○彦坂正道、岡田聖香

[3G14]

(Tel:082-493-8818)

1. はじめに: 構造と物性発現における高分子鎖の絡み合いと滑りの役割の謎

プラスチックや生物は「長いひも状 (鎖状) の分子」である高分子でできており、融液 (液体) 状態では、高分子鎖が毛玉のように互いに絡み合ったり、蛇のように滑ったりします。プラスチックや生物が構造や物性・機能発現するためには、融液から固体に変化する結晶化や、DNA 二重らせんの染色体形成のように、高分子鎖をコンパクト化する必要があります。したがって、高分子鎖の絡み合いと滑る役割の解明と、それを応用した制御はたいへん重要ですが、長い間未解決で興味深い謎でした。

私たちは40年以上にわたってこの謎に挑戦し、世界で初めて高分子の結晶化における絡み合いと滑りの役割解明と制御に成功して、高分子の新形態である“ナノ配向結晶体 (NOC)”を発見し、金属並みの強度を持った超高性能プラスチックの創製に成功しました。

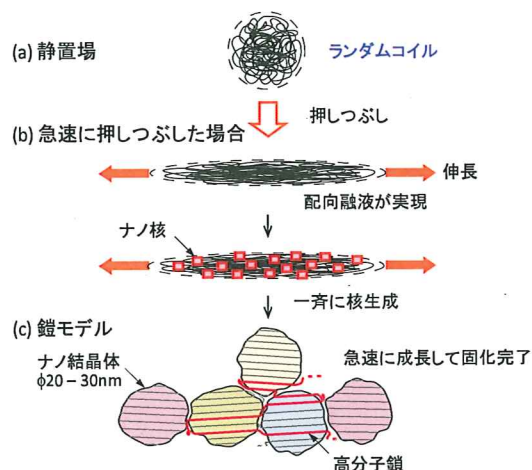


図1 NOC 生成メカニズムの模式図。過冷却融液を急速に伸長すると NOC が生成する。

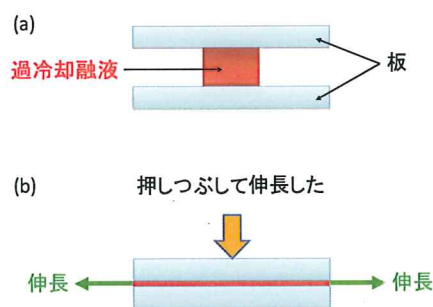


図2 過冷却融液の押しつぶしの原理。

2. 結晶化における絡み合いと滑りの役割解明と制御に成功

私たちは、もしも高分子の過冷却融液 (融点以下の温度に冷却した融液) を引っ張って“伸長”出来るならば、絡み合った網の目 (ネットワーク) がピンと張るために、高分子鎖が平行に並んだ「配向融液」が発生して、結晶化速度が著しく加速され、固体中の結晶の割合を示す「結晶化度」が 100%に近い超高性能高分子固体が得られるのではないかと夢想しました (図1)。しかし、融液を引っ張ることは「水を引き伸ばせない」のと同じように不可能でした。本研究で私たちは図2に示すように、過冷却融液を板に挟んで「押しつぶすことによって急速に伸長する」という方法を発案し、上記の夢を実現したのです。

本研究では汎用プラスチックであるポリプロピレン (PP) を用いました。図3に、PP の過冷却融液 (150℃) を押しつぶさずに結晶化させた場合と、一秒間に数百倍になるような大きな伸長速度で引き伸ばして結晶化させた場合の光学顕微鏡による直接観察結果を示しました。押しつぶ

ぶさない場合には約一日かかって結晶化し、0. 数 mm という粗大な結晶が生成しました。このような通常の結晶化では、高分子鎖の絡み合いが解けきれず結晶になれなかった乱れた固体（非晶という）の割合が半分以上も残ってしまいます。結晶化度が50%に満たないことが、プラスチックの弱さや低性能の原因でした。押しつぶした場合には千分の一秒で結晶化し、結晶化速度が百万倍も加速されました。結晶形態も通

常の粗大結晶から“ナノ配向結晶体（Nano oriented crystals, NOC と命名）”へと一変しました。NOC 検証は高輝度光科学研究施設（JASRI）の放射光施設（SPring-8）で X 線散乱法により行いました。実験事実を総合して、図 1 に示した NOC 生成メカニズムが検証できました。NOC が急速かつ緻密に発生した結果、高分子鎖の滑りによって、絡み合いが NOC 同士の境界に通常の十倍の密度で押し込められた新構造を形成していることがわかりました。すなわち、高分子鎖の滑りと絡み合いが高度に制御出来た結果、NOC が誕生したのです。

3. 金属並みの高強度とエンジニアリングプラスチック並みの高耐熱性

NOC シートは結晶化度がほぼ 100%で、引張強度は従来の PP やポリエチレン（PE）シートとの 7 倍以上の 230MPa（メガパスカル）、比強度は鉄鋼の 2～5 倍に達し、従来の結晶性高分子シート中では最大級の強度を示しました（図 4）。ここでシートとは厚さ 0. 数 mm 以上の厚手の成形品のことです。また、耐熱性も 176℃と PP 従来品よりも 50℃以上も高く、透明度はガラス並み等の超高性能を示しました。しかも、NOC は通常の汎用プラスチック並みに安価で成型し易く、水より軽くてリサイクル可能という利点があります。よって NOC は広範な分野で金属やエンジニアリングプラスチック（エンプラ）、繊維強化プラスチック（FRP）等を代替え出来、省エネルギー、省資源などにより持続型社会作りに貢献できることが期待されます。

本研究の一部は、（独）科学技術振興機構（JST）のプロジェクトとして行われ、実用化を目指しています。

<適用分野> 自動車、航空機、各種容器、建材、電気、機械、農水産、医療 etc.

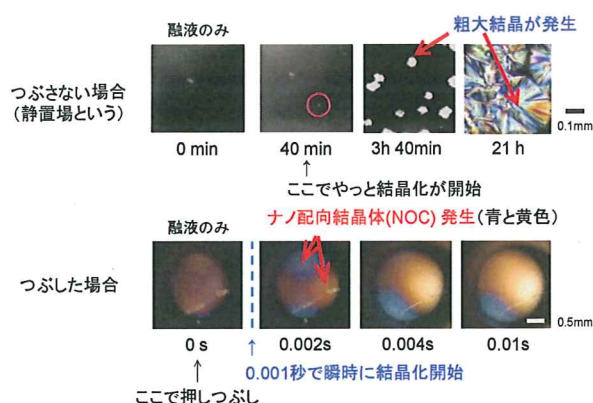


図 3 結晶化の光学顕微鏡写真。同じ温度の過冷却融液をつぶさない場合（上）とつぶした場合（下）。

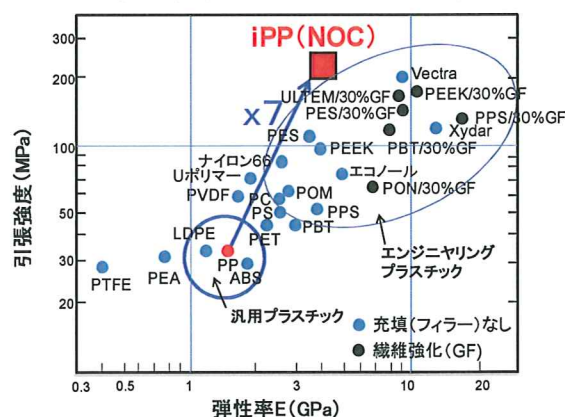


図 4 NOC と他のプラスチックシートの引張強度を比較した図。【出典】「プラスチック成形加工データブック（第 2 版）」（社）日本塑性加工学会編 日刊工業新聞社発行（初版発行：2002 年 1 月 28 日）P39 「弾性率」より編集。