

ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子


大項目	3. 高分子の機能
中項目	3-6. 高強度・高弾性率
小項目	3-6-2. 高弾性率

概要（200字以内）

高強度・高弾性率高分子は、分子鎖が一軸方向に極限まで配向した、引張弾性率 100 GPa 以上を有する高分子である。低比重・高性能な材料として宇宙・軍需・スポーツなどの最先端素材として使われている。極限環境で用いる素材の要求性能も多様化しているため、新規高強度・高弾性率高分子作製が強く望まれている。最新の構造制御技術によって、低環境負荷法による高弾性率高分子作製、あるいは新規高弾性率高分子作製に成功しつつあるため、これらを積極的に利活用して実用化へ繋げる必要がある。

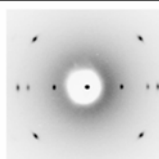
高分子

- ・小さい分子鎖断面積
- ・高次構造制御
- ・絡み合い制御
- ・極限配向



最新技術

- ・熔融構造制御
- ・新規延伸手法
- ・無溶媒プロセス



現状と最前線

高強度・高弾性率高分子とは、鋼に匹敵する引張弾性率 100 GPa 以上、引張破断強度 2.0 GPa 以上の物性を有する高分子と定義される。高弾性率化にあたって、高分子の内包する素質が重要であるため、分子鎖断面積、結合間距離、結合角等から結晶弾性率が高いと推定される高分子を用いなければならない。与えられた高分子における弾性率の極限は、その高分子の結晶物性として理解される。その極限值としての結晶弾性率は、高分子の化学構造と結晶構造が分かればかなりの精度で理論計算できるため、高弾性率高分子設計において重要な役割を担う。また、結晶性高分子の高次構造は複雑で、かつ、処理条件や履歴によって大幅に変化するので、それに対応して力学特性も大きく変化し、構造制御によって引張弾性率や引張破断強度は 2 桁程度大きくなる。それ故、高弾性率を有する高分子は、化学構造を設計し、合成し、次いで高次構造制御によって分子鎖が極めて高度に一軸方向に並べ、内包する特性を巨視的材料にまで引き出すことによって作製される。

表 1. 市販高強度・高弾性率高分子ラインナップと物性

	PE 繊維	PVA 繊維	パラ型アラミド繊維	PBO 繊維	炭素繊維 (参考)
引張弾性率 (GPa)	90-120	70-90	70-200	180-280	300-600
引張破断強度 (GPa)	2.8-4.0	1.8	2.5-3.5	5.8	3.5-6.5
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.97	1.25	1.45	1.54-1.56	1.77-1.94

しかし、分子鎖を一軸方向に極限配向させ、高弾性率高分子となった例は極めて少ない（表1）。また、化学構造的に高弾性率材料とはならないが極限配向が達成できた高分子も、ポリプロピレン、ポリ4-メチル-1-ペンテン、ポリアクリロニトリルなど限られている。

最近では、従来の絡み合いの少ない状態から延伸し、極限配向、高弾性率を達成する試みに加えて、絡み合いの多い溶融状態を経由して極限配向、高弾性率高分子を作製しようとする試みが行われている。そのような方法でポリブテン-1、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)で極限配向が達成された。特に、PTFEは最高引張弾性率120 GPa以上に達し、新規高弾性率高分子となった。

一方、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリアミド(Nylon)などの結晶構造としては高弾性率高分子となる可能性を有し、かつ工業的には高強度・高弾性率化が望まれている半剛直性高分子を高弾性率化するためには、既存技術・概念からの脱却が必要であろう。最近注目されている、溶融構造制御による絡み合いの動的制御法、高分子の急速局所加熱法などは、PET、Nylon等ではしばしば問題となる分子量低下抑制にも有効であろうと考えられるので、これらの手法を用いた高強度・高弾性率高分子開発が期待される。

また、全ての高強度・高弾性率高分子は現在、多量の有機溶媒あるいは強酸を用いて作製されるため、これらを用いない省エネルギー・低環境負荷手法も提案されている（図1）

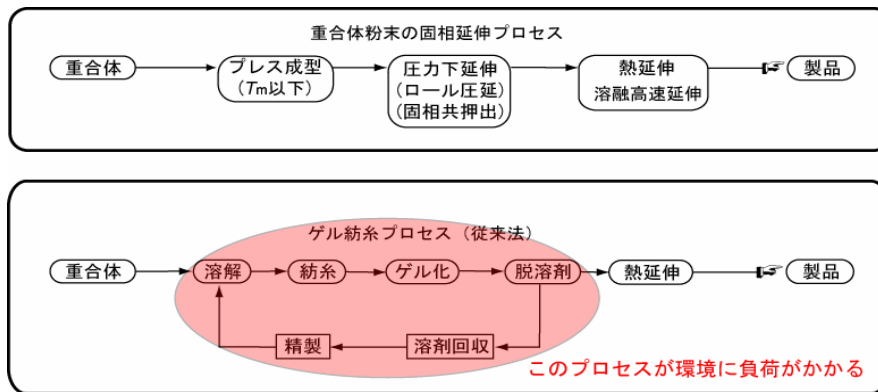


図1. 省エネルギー・環境低負荷高弾性率作製プロセス（上部）と従来プロセス（下部）

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

新規極限配向高分子・高強度高弾性率高分子作製

新規延伸手法の開発による溶融状態からの高強度高弾性率高分子作製

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

省エネ・低環境負荷プロセスを用いた高強度高弾性率高分子作製

生分解性を有する高分子を用いた高強度高弾性率高分子作製

キーワード

高弾性率、分子鎖断面積、極限配向、絡み合い、環境低負荷

(執筆者：澤井 大輔)