

繊維強化プラスチックの耐衝撃性を凌ぐゴム材料を開発 ～移動体の軽量化、脱炭素社会の実現にも貢献～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科有機・高分子化学専攻(未来社会創造機構マテリアルイノベーション研究所兼務)の野呂 篤史 講師らの研究グループは、日本ゼオン株式会社と共同開発したイオン^{注1)}性のゴム材料(熱可塑性^{注2)}エラストマー^{注3)}が、自動車のバンパーや小型船舶の船体などにも使用されている高強度複合樹脂材料、いわゆる繊維強化プラスチック^{注4)}(FRP)よりも耐衝撃性^{注5)}に優れることを新たに明らかにしました。

熱可塑性エラストマーは、金属やセラミックスなどの硬い材料よりも軽量かつ柔軟性・伸縮性・加工性も兼ね備えたゴム材料です。自動車の内装・外装部材用途を中心に利用されており、全世界で年間2兆円の市場規模を有するとも言われています。最近では、強度^{注6)}と靱性^{注7)}を兼ね備えた材料への市場ニーズの高まりに合わせてさらなる研究・開発が進められており、野呂講師らのグループも日本ゼオン株式会社と共同で、世界トップクラスの高靱性を示すイオン性の熱可塑性エラストマー(i-SIS^{注8)})を開発していました。

今回の研究では、日本ゼオン株式会社と共同開発したi-SISの耐衝撃性を直接的に評価しました。従来型の非イオン性の熱可塑性エラストマー(SIS)の耐衝撃性と比較したところ、3.1~4.4倍高いことが分かりました。また、軽量でありながらも高強度を示すガラス繊維強化プラスチック^{注9)}(GFRP)に対しては0.86~1.22倍の耐衝撃性を示しました。i-SISは軽量のゴム材料であるにも関わらず、高強度複合樹脂材料と同定度、もしくはそれを凌ぐ耐衝撃性を示すことが明らかになりました。耐衝撃性が要求される移動体のボディや関連部材等での利用により、移動体の軽量化や、軽量化を通じて低燃費化にも寄与し、脱炭素社会実現への貢献も期待されます。

本研究成果は、2021年12月20日付でアメリカ化学会出版が発行するオープンアクセス誌「ACS Omega」に掲載されました。また、雑誌の表紙でも研究内容が取り上げられる予定です。

【ポイント】

- 日本ゼオン株式会社と共同開発したイオン性の熱可塑性エラストマー (i-SIS) の耐衝撃性を直接的に評価。
- i-SIS の耐衝撃性は、従来型の非イオン性熱可塑性エラストマー (SIS) の耐衝撃性と比べて 3.1~4.4 倍。
- i-SIS の耐衝撃性は、高強度複合樹脂材料であるガラス繊維強化プラスチック (GFRP) の耐衝撃性を凌ぐ。
- 耐衝撃性が要求される移動体のボディや関連部材等で i-SIS が利用されることで、移動体の軽量化、軽量化を通じて低燃費化にも寄与し、脱炭素社会の実現にも貢献。

【研究背景と内容】

熱可塑性エラストマーは、プラスチック成分とゴム成分とを化学的に繋いで得られる高分子材料^{注10)}で、室温においてはゴムとして利用することができる一方で、プラスチックのような加工性も有しています。全世界での市場規模は年間 2 兆円とも言われており、自動車の内装・外装部材、例えば内装表皮、エアバッグカバー、ウェザーストリップ、ワイヤハーネス等として用いられていて、様々な用途で利用されています。

最近では強度、靱性を兼ね備えた材料を求める市場ニーズに合わせて、さらに優れた性能を有する熱可塑性エラストマーを開発すべく、世界中で活発に研究が進められています。野呂講師らのグループでも日本ゼオン株式会社と共同で、工業的に製造工程が確立されている熱可塑性エラストマーの1つである「ポリスチレン-b-ポリイソプレン-b-ポリスチレン^{注11)} (SIS) ブロックポリマー^{注12)}」のポリイソプレン部に対して部分的にイオン性官能基^{注13)}を導入することで、新規なイオン性の熱可塑性エラストマー (i-SIS) を開発していました (図 1)。引張試験^{注14)}により i-SIS の機械特性に関して簡易的な評価を行ったところ、引張強度は 43.1 MPa、靱性は 480 MJ/m³と、従来型の SIS の 4 倍以上の値を示し、世界トップクラスの高靱性を示すことを報告していました。

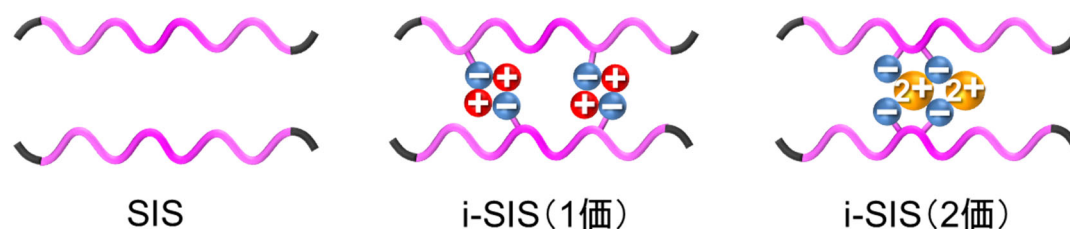


図 1. SIS と i-SIS の分子レベルでの描像

【成果の意義】

i-SIS を構造材料^{注15)} として利用していくのであれば、材料を伸長させることによって評価できる機械特性（引張強度や靱性）ではなく、材料に対して衝撃を加えた際に評価できる耐衝撃性を直接的に知ることが重要となります。本研究では、先端部が直径16mmの半球である棒状の重り（約3kg）を、同一厚みの試料に対して投下して衝突させ（図2）、試料下部の基材に不可逆^{注16)}的な亀裂や、くぼみが生じるのに必要なエネルギーを見積もることで、耐衝撃性を直接的に評価しました。イオン性官能基が未導入のもの、すなわち従来型の熱可塑性エラストマーSISの耐衝撃性を1とすると、i-SISは3.1倍の耐衝撃性を示しました（図3）。さらにイオンの種類・価数^{注17)}を変えたi-SISでは4.4倍もの耐衝撃性を示しました。自動車のバンパーや小型船舶の船体などにも使用され、比強度^{注18)}において鉄よりも強いとされる高強度複合樹脂材料、いわゆるガラス繊維強化プラスチック（GFRP）に対しても同様に耐衝撃性の評価を行ったところ、SISの3.6倍の値であり、i-SISは高強度複合樹脂材料と同定度、もしくはイオンの種類・価数を変えたi-SISでは、それを凌ぐ耐衝撃性を示すことが明らかになりました。

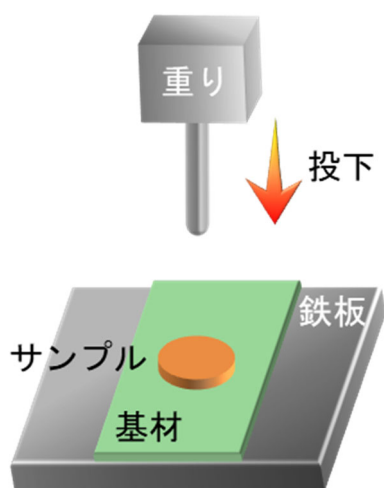


図2. 衝撃試験の様子

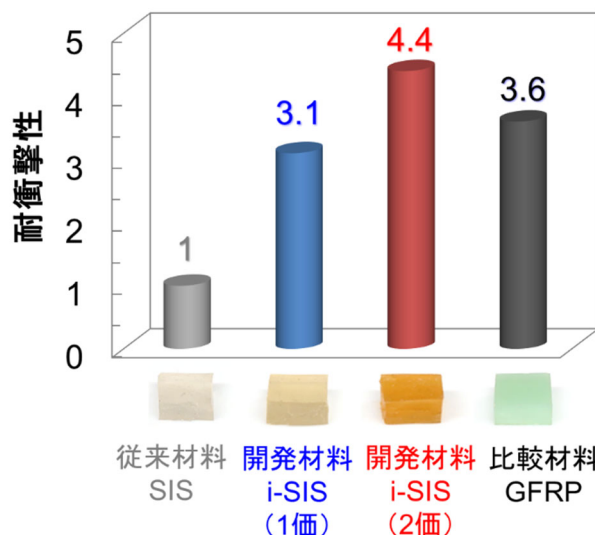


図3. SIS、i-SIS、GFRPの写真、及びSISを基準とした各サンプルの耐衝撃性

日本ゼオン株式会社と共同開発したi-SISは、軽量でありながらもゴムとしての機械特性、熱可塑性、さらに高い耐衝撃性も兼ね備え、工業的な生産も可能であることから、高い耐衝撃性が求められる移動体のボディや関連部材等で利用されることで、移動体の軽量化、さらには軽量化を通じて低燃費化にも寄与し、脱炭素社会の実現に向けた貢献が期待されます。

【用語説明】

注1) イオン：

電荷を帯びた原子、または原子団。負に電荷を帯びたものは陰イオン、正に電荷を帯びたものは陽イオン。陰イオンと陽イオンの間では比較的強いイオン（間）相互作用を生じる。

注2) 熱可塑性：

加熱により可塑性を生じること。可塑性とは外力により物体を変形させ、その後外力を除いてももとの形に戻らない性質。

注3) 熱可塑性エラストマー：

thermoplastic elastomer（略称：TPE）。プラスチック成分とゴム成分（エラストマーとほぼ同義）の両方を化学結合で繋いだ複合ポリマーからなる熱可塑性の材料。スチレン系熱可塑性エラストマー、ウレタン系熱可塑性エラストマーなどがある。

注4) 繊維強化プラスチック：

fiber-reinforced plastic（略称 FRP）。繊維と樹脂とを複合化させることで得られる高強度材料。

注5) 耐衝撃性：

物体が外部から衝撃を受けるとき、どの程度の衝撃に耐えられるかに関する性質。

注6) 強度：

通常は引張強度を意味する。引張強度とは、材料を単純に引っ張ったときに発生する最大の応力（試料断面積当たりの力、単位は MPa）。

注7) 靱性：

破壊のされにくさの程度。外力に対する材料の粘り強さ。反意語は脆性（脆さ）。タフネスともいう。材料を単純に引っ張ったときは、材料が破断するまでに必要とされるエネルギーに相当。強度と靱性を合わせもつことで強靱さを発現。

注8) i-SIS：

ポリスチレン-*b*-ポリイソプレン-*b*-ポリスチレン（SIS）ブロックポリマーのポリイソプレン部にイオン性官能基を導入したもの。イオン性の熱可塑性エラストマー。Polymer 2021, 217, 123419. (DOI : 10.1016/j.polymer.2021.123419) 参照。

注9) ガラス繊維強化プラスチック：

glass fiber-reinforced plastic（略称 GFRP）。ガラス繊維と樹脂とを複合化させることで得られる高強度材料。

注 10) 高分子材料：

分子量の大きい分子（ポリマー）を構成要素とする材料。具体的にはプラスチック、ゴム、繊維など。

注 11) ポリスチレン-*b*-ポリイソプレン-*b*-ポリスチレン：

略称 SIS。プラスチック成分であるポリスチレンとゴム成分であるポリイソプレンを化学結合させて得られるトリブロックポリマー。

注 12) ブロックポリマー：

ブロック共重合体。異種ポリマーを共有結合で繋いで得られる複合ポリマー。

注 13) 官能基：

特定の化学構造を持つ基、原子団。例えばカルボキシル基-COOH、水酸基-OH など。

注 14) 引張試験：

材料の両端を固定し、材料が破断するまで材料を引き伸ばすことで張力を発生させ、張力を測定する試験。最も簡易的な機械特性評価試験の 1 つ。測定により引張強度や靱性を求めることができる。

注 15) 構造材料：

構造・形を保つために強度、その他機械特性が要求される材料。

注 16) 不可逆：

再びもとの状態に戻れないこと。

注 17) 価数：

イオンの電荷の数。イオン価。ナトリウムイオンなら 1 価。カルシウムイオンなら 2 価。

注 18) 比強度：

密度あたりの引張強度。物質の強度を表す物理量の一つ。一般的に GFRP はアルミや鉄などの金属よりも 2 倍以上高い比強度を示すとされている。

【論文情報】

雑誌名：ACS Omega

論文タイトル：Highly Impact-Resistant Block Polymer-Based Thermoplastic Elastomers with an Ionically Functionalized Rubber Phase

梶田貴都（名古屋大学研究員）、野呂篤史（名古屋大学講師）、小田亮二（日本ゼオン）、橋本貞治（日本ゼオン）

DOI: 10.1021/acsomega.1c05609