

農作物の成長促進のための太陽光波長変換フィルムの開発

Development of Wavelength Conversion Film for Growth Promotion of Crops

武井 佑太¹⁾

指導教員 山下 俊^{2) 3)}, 研究協力者 入谷康平^{2) 3)}, 小林亜由美^{2) 3)}

1) 東京工科大学 大学院 工学研究科 サステイナブル工学専攻 高分子・光機能材料科学研究室

2) 東京工科大学 工学部 応用化学学科 3) 東京工科大学 先端リグニン材料研究センター

キーワード：凝集誘起発光，波長変換，テトラフェニルエチレン，生分解性ポリマー

1. 緒言

持続可能な社会の実現のために、自然エネルギーの有効利用が求められている。その中でも太陽光エネルギーは、人口増加に伴う食糧需要の増加やサステイナブル社会に向けたバイオマス材料の原料などを担う農作物の育成に欠かせないエネルギーである。しかし太陽光には、植物にとって有害な紫外光や光合成に不要な緑色光も含まれており、十分に効率的に農作物の育成に利用できていない課題がある。これらの不要な波長の光を、光合成に有用な青色や赤色の波長の光へ変換することで、太陽光を効率良く利用出来ると考えられ、特定の波長の光を吸収し、別の波長で発光する波長変換フィルムが開発されている。近年、波長変換剤として凝集誘起発光性（AIE）分子を用いた変換フィルムが報告されているが、母材中に AIE 分子を均一に分散させることが難しいことや、2 つの波長領域を同時に変換できないことなどの問題がある。そこで本研究では、主鎖に AIE 部位を含み、紫外光から青色光および緑色光から赤色光に変換できるフィルムの作製を目的とする。AIE 部位として、有機化学的に誘導体化が簡便なテトラフェニルエチレン（TPE）を骨格とする分子を用いた。また、TPE は青色発光体として知られているが、アクセプターであるシアジアゾールをもつ TPE 誘導体は、

赤色の蛍光を示すことが知られている。また、ポリマーの主鎖には生分解性をもつポリブチレンサクシネート（PBS）を用いることとした（Fig. 1a）。この骨格に導入するために、ヒドロキシ基をもつ二種類の TPE 誘導体（TPE-1，TPE-2）を設計した（Fig. 1b, c）

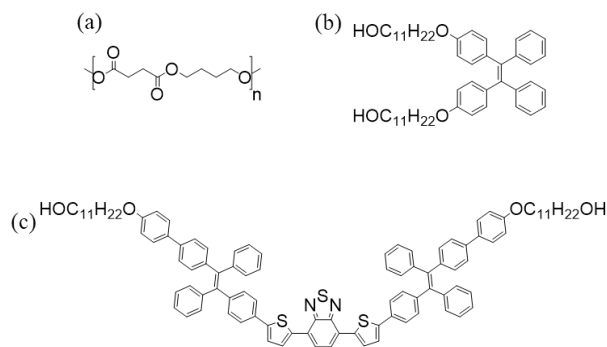


Fig.1 (a) PBS, (b) TPE-1, (c) TPE-2 の構造式

2. 実験

PBS-TPE-1 および 2 は、 $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ 存在下、1,4-ブタンジオール、コハク酸ジメチルおよび別途合成した TPE モノマーを無溶媒条件下での重合により得た（Fig. 2）。次にジクロロメタン溶液を用いた溶媒キャスト法によりフィルム状に成型した後、120 °C のホットプレート上で融解し室温まで急冷することによりそれぞれのフィルムを作製した。また、PBS-TPE-1 と 2 の複合フィルムも同様の手

法により作製した。

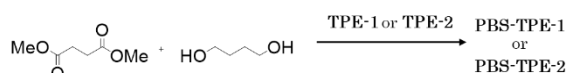


Fig. 2 ポリマーの合成経路

3. 結果・考察

引張試験によりフィルムの力学特性を評価した。

Fig. 3 に、各フィルムの引張弾性率と最大応力のデータを示す。いずれの場合も引張弾性率および最大応力は、PBS の値に匹敵しており、TPE モノマーを添加しても力学特性に影響は見られなかった。

作製したそれぞれのフィルムに 365 nm の光を照射すると、PBS-TPE-1 では青色に、PBS-TPE-2 では赤色に発光する事が目視により認識できた (Fig. 4) 。 Fig. 5a にそれぞれのフィルムの蛍光スペクトルを示す。PBS フィルムは発光を示さないのに対して、PBS-TPE-1 と 2 はそれぞれ 400 nm (励起光: 270 nm) と 613 nm (励起光: 519 nm) に発光極大をもつことが分かった。また Fig. 5b に、加熱処理後に室温または液体窒素で冷却した各フィルムの透過率を示す。PBS-TPE-1 では紫外光領域に、PBS-TPE-2 では紫外光に加え緑色光領域に著しく低い透過率をもつことが明らかになった。加熱溶解後に室温まで冷却したフィルムではレイリー散乱によりフィルム透過率は短波長になるほど低下したのに対し、液体窒素で急冷したフィルムではレイリー散乱の影響を低減し比較的高い透過率を示した。これは、急冷によるアモルファスの形成によって、結晶化度が低下したためと考えられる。

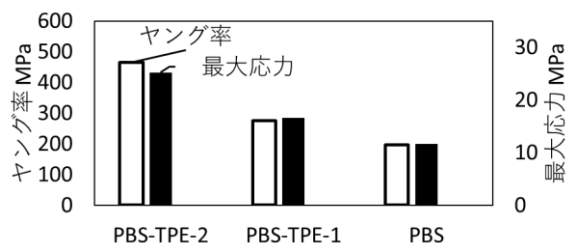


Fig. 3 引張試験から得られた各フィルムのデータ



Fig. 4 紫外光照射時 (365 nm) におけるそれぞれのフィルムの写真

次に、示差走査熱量計 (DSC) により結晶化度を求めた。結果を Table 2 に示す。モノマーによる違いは検出されなかったが、いずれも加熱処理し

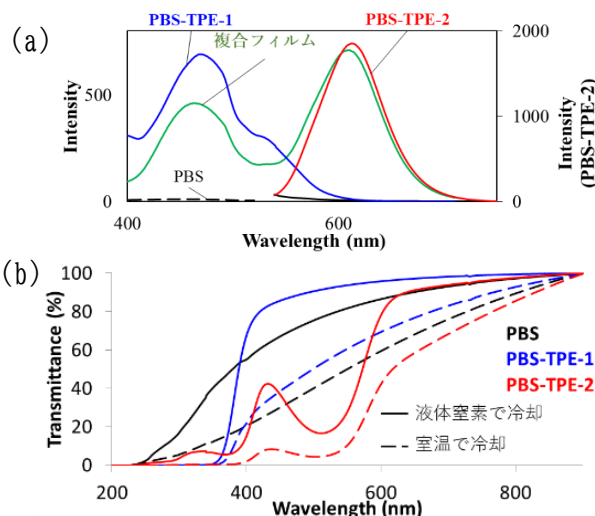


Fig. 5 (a) 各フィルムの蛍光スペクトル、(b) 各フィルムの波長に依存した透過率

ていないものでは 40%程度の結晶化度を示したが、加熱処理後のフィルムではわずかに値が低下したことから、加熱処理により透過率が向上し、結晶化度が低下する事が明らかとなった。

Table 2 DSC 測定から算出された結晶化度

	結晶化度 (%)		
	溶媒キャストフィルム	加熱処理フィルム (室温まで冷却)	加熱処理フィルム (液体窒素で冷却)
PBS	41 ± 5.5	35 ± 2.2	40 ± 0.5
PBS-TPE-1	41 ± 4.0	38 ± 5.3	38 ± 4
PBS-TPE-2	43 ± 4.1	31 ± 10.6	37 ± 1.5

4. 結言

主鎖に凝集誘起発光性の TPE 誘導体を導入した PBS フィルムを作製し、その力学および光学特性を評価した。その結果、発光性フィルムは PBS と同程度の力学特性を示すことを明らかにした。また、PBS-TPE-1 では新たに紫外線領域に、PBS-TPE-2 では紫外光領域と緑色光領域に吸収をもち、それぞれ青色および赤色の蛍光を示すことを明らかにした。さらに、ポリマーの結晶化度の低下に伴い、光の透過率が向上することも見出した。本研究では、有機物のみで構成され、発光成分を添加しない波長変換フィルムを開発することに成功した。これは農作物の育成促進に効果があると考えられる。