

# X線-近赤外同時測定システムの開発と プラスチックの劣化分析への応用

SATテクノロジー・ショーケース2024

## ■ はじめに

現在、限りある資源を効率的に利用し、リサイクルなどで循環させながら、将来にわたって持続して使い続けていく社会循環型社会の実現に向けた取り組みが活発に行われている。社会循環型社会の実現には、石油など化石燃料への依存を軽減するために、石油由来のプラスチック製品の劣化を防ぐことで製品の寿命を長くするとともに、徹底して再生利用することが不可欠である。プラスチックの製品や再生品の寿命を長くすることは、製造や焼却処理時の二酸化炭素の排出の抑制につながるからである。

プラスチックは光、熱、水などによって劣化する。劣化を抑制し長寿命化するためには、まず劣化がどのように起こっていくのかという仕組みを詳細に解明する必要がある。しかしながら、プラスチックの劣化はプラスチックを構成する高分子の鎖の構造や、さらには高分子の鎖が折り畳まれてできる結晶と呼ばれる構造の変化が複合的に関与するため、劣化現象の解明には、劣化部分を複数の分析装置で計測する、という複合的な分析方法が求められてきた。このような課題に対して我々の研究グループは異なる2種類の光を使ってプラスチックの劣化部分を測定することで、これまでにはわからなかったプラスチックの劣化の進行の仕組みを詳しく解明する分析装置を世界に先駆けて開発した。

## ■ X線と近赤外線を使った新しい分析装置

我々が開発した分析装置はX線と近赤外線と呼ばれる2種類の光を使ってプラスチックの劣化の状態を調べる。X線は常に短い波長の光であるためプラスチックを透過しやすいという性質を持つ。プラスチックの中には結晶と呼ばれる硬い部分と非晶と呼ばれる比較的柔らかい部分が周期的に繰り返された構造をもったものが存在する。劣化によってこれらの量が変化することで、プラスチックが脆くなる。このようなプラスチックにX線を当てると、光の一部はそのまま透過せずに僅かに散乱する。この散乱の度合いは結晶と非晶が形成する周期的な繰り返しのサイズに依存するため、X線がどれくらい散乱したかを測定することで結晶と非晶の量を知ることができる。

一方、近赤外線とは可視光線と赤外線との波長(800 nmから2500 nm)を持った光である。可視光や赤外線と比べると近赤外線はプラスチックを非常によく透過する。近赤外線をプラスチックに照射すると、プラスチックを構成す

る高分子の形にとって、特定の波長の光だけが吸収される。つまり、プラスチックがどの波長の光をどれくらい吸収したのかを測定すれば、プラスチックの中にどのような高分子が含まれており、さらには高分子がどのような形状になっているのかということを知ることができる。高分子の形状は劣化によって変化するので、近赤外線を使えばこれを測定することでプラスチックの劣化の進行の度合いを調べることができる。

NIR-SAXS概略図

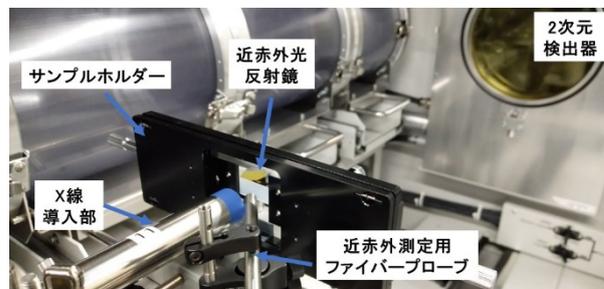
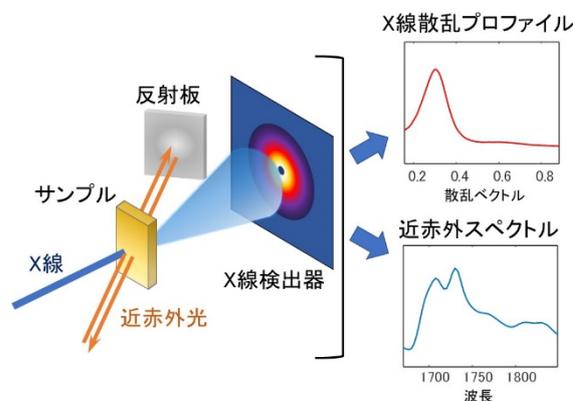


図1 X線-近赤外線同時測定装置の概要

図1に我々が開発したX線-近赤外線同時測定装置の概要を示す。X線をプラスチック試料に照射し、結晶と非晶が形成する周期的な繰り返し構造によって散乱したX線を試料の背面に設置したX線用の検出器と呼ばれるもので測定する。これに加えて、プラスチック試料の同一箇所にもどの波長の光がどれくらい吸収されたのかを測定する。X

代表発表者 新澤 英之(しんざわ ひでゆき)  
所 属 産業技術総合研究所 機能化学研究部門  
問合せ先 〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1  
TEL:052-736-7563  
h-shinzawa@aist.go.jp

■キーワード: (1)X線  
(2)近赤外線  
(3)プラスチック

■共同研究者: 都甲 梓 産業技術総合研究所  
萩原 英明 産業技術総合研究所

線と近赤外線はプラスチックの劣化によって変化する高分子の構造に関する情報を与える。例えば、X線は結晶と非晶が形成する周期的な繰り返し構造、近赤外線は高分子の種類や高分子を形成する長い分子がどのような形状になっているかを示す。これらの情報を組み合わせることで、1種類の分析だけでは解明できないような複雑な劣化の減少を捉えることができるようになる。

■ 劣化したポリプロピレンを使った分析の例

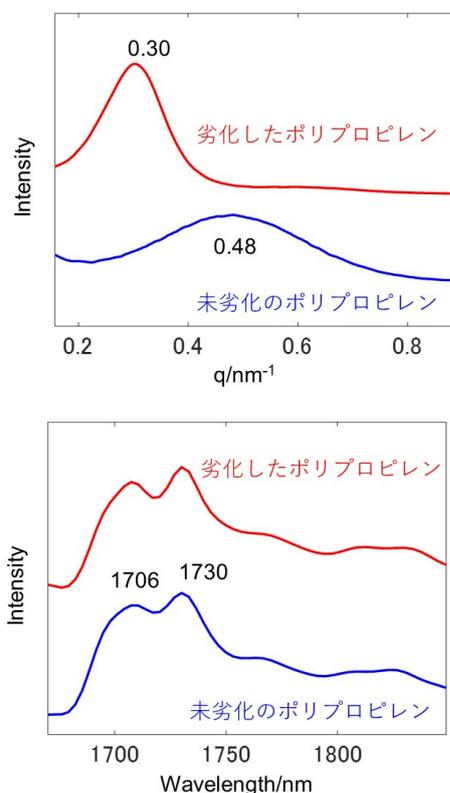


図2 ポリプロピレンのX線散乱プロファイル及び近赤外スペクトル

この計測技術をプラスチック製品の主要成分の1つであるポリプロピレンの構造解析に適用しました。ポリプロピレンは「らせん」状に巻かれた高分子鎖が規則的に集まって結

晶を作るという性質を持った高分子の一種である。図2に示すように、劣化して脆くなったポリプロピレンのX線散乱のデータからは、ポリプロピレンの結晶の厚みが劣化によって長くなっている、即ち結晶構造の量が増加していることが示された。一方、近赤外光の吸収データからは、劣化に伴って、結晶部において高分子鎖が形成する「らせん」の数が増えていることが示された。2つの測定データを合わせると、図3のように、ポリプロピレンは劣化によって結晶構造内部の高分子鎖がより多くの「らせん」を形成することで結晶の厚みが増えること、これに伴い、柔軟で変形に強い非晶構造が減ってしまうために脆く壊れやすくなるという仕組みが解明された。劣化の仕組みが分かると、今度は結晶構造の変化を抑制するような対策をとることでより長寿命なプラスチック製品を設計にもつながる。このような分析技術はポリプロピレンだけでなく、ポリエチレン、ナイロンといった生産量の多い他のプラスチックにも適用可能であり、新しい劣化診断技術として有望である。

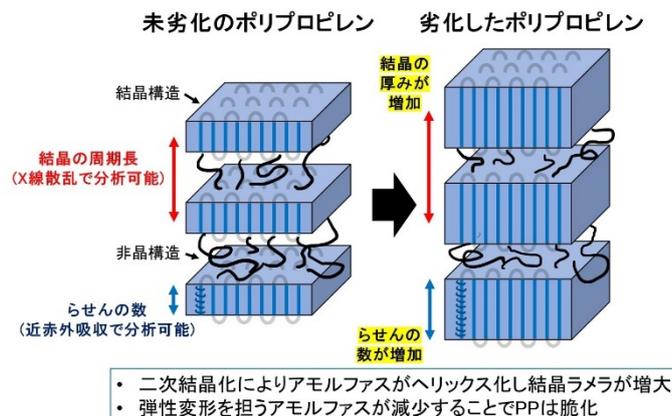


図3 劣化に伴うポリプロピレンの構造変化