

近赤外線分光光度計によるプラスチック判別における判別精度向上に関する研究

寺嶋有史・辰市祐久・長谷川明良・小泉裕靖

【要約】近赤外線分光光度計と判別ソフトを組み合わせた「プラスチック判別機」を用いて、種々の市場品プラスチックの判別測定を行った。その結果、本装置におけるプラスチック判別の特徴を把握するとともに、ユーザー登録データベースを作成することにより、今まで判別できなかった複合材質プラスチックにおいて、その材質と配合量を推定できることを明らかにした。

【目的】プラスチックリサイクルにおいて「プラスチック材質による選別」は重要な技術であり、光学識別法では主として近赤外線（NIR）が用いられている。そこで、市販の代表的な近赤外線プラスチック判別機を用いて、各プラスチック材質の判別精度を確認するとともに、複合材質プラスチック（主に積層フィルム）における判別精度向上の可能性について検討した。

【方法】

(1) 近赤外線分光光度計（NIRS）における測定と判別精度の検討

本研究で使用したプラスチック判別機¹⁾を図1に示す。測定サンプルは汎用されるプラスチック（6種）を中心として、同一材質においても形状違い（フィルム・シート・ボード等）、色調違い（無着色／自然色、不透明等）、成形法違い（延伸、無延伸等）などに着目して種々のサンプルを選出し、各プラスチックの判別の特徴を検討した。汎用プラスチックの登録スペクトル（メーカー仕様）を参考までに重ね合わせて図2に示す。なお、プラスチックの判別はサンプルのスペクトルと登録スペクトルとの照合結果をスコア化（類似値）して行う。

(2) プラスチック判別機におけるユーザー登録データベース（DB）の作成と応用

本装置（メーカー仕様）では基本的に単一材質およびPS系ポリマーアロイが測定・判別対象とされる。ただ、廃棄物となるプラスチック製容器包装・使用製品では、各種積層フィルムやポリマーアロイなど数多くの複合材質プラスチックが存在する^{2,3,4)}。本研究では種々の測定から「単一材質と複合材質のNIRスペクトルにおいて加成性が成立する」との仮説を得た。そこで、単一材質のNIRスペクトルを登録データとして実測し、複合材質のNIRスペクトルはそれらから計算上で作成することにした。代表例として、主材質PE・副材質PAの積層フィルムにおいて、相当する新たな「ユーザー登録DB」を作成して積層フィルムの判別を試みた。

【結果の概要】

(1) 近赤外線分光光度計における測定と判別精度

プラスチックの判別において、類似値は同一材質においても形状・色調・成形法・表面状態（擦れ）の違いにより変化することを確認した。PPについての結果をまとめて表1に示す。類似値が低下すると、判別の精度も下がって誤判定が増加する。これを防ぐためには、市場品の材質領域を見極めながら登録スペクトルを増やし、かつ単一材質の登録スペクトルにおける材質・色調・成形法などの特性を予めよく把握しておく必要がある。

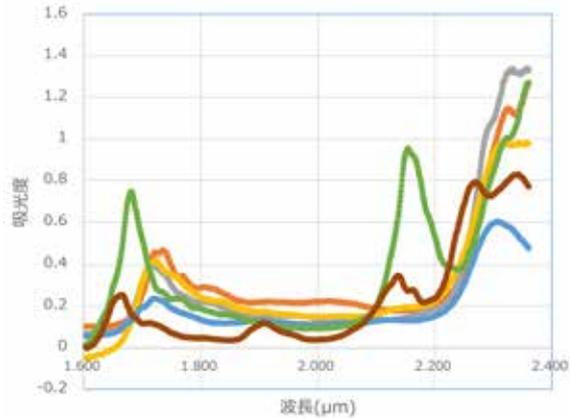
(2) 複合材質プラスチックにおける材質・配合量の推定

測定サンプルは材質表示（PE, PA）である和菓子Aの個包装フィルムである（配合量は不明）。測定結果と判別結果を図3と表2に示す。判別結果（表2）はPE-PA(70:30)を示しているが、類似値としては第2位のPE-PA(60:40)との差は0.066である。表1の類似値の変化と比較しても、この類似値だけで判断することは難しい。しかし、図3において測定サンプル、第1～3位のスペクトルパターンを比較すると、判別結果は妥当であると推察された。なお、他の積層フィルムの測定においても材質と配合量の結果は良好であった。したがって、上述した加成性に関する仮説は妥当であり、相当する「ユーザー登録DB」が準備されれば、積層フィルム以外の複合材質プラスチックにおいても、その材質と配合量の推定が可能であることが示唆された。



図1 プラスチック判別機 (NIRS 本体と PC)

※ポータブル NIRS (NIRSCAN-MK II、AOTF 方式) と「AOTF Analyzer」と呼ばれる近赤外計測・分析専用ソフトから構成される装置



● PE (ポリエチレン) ● PP (ポリプロピレン)
 ● PVC (ポリ塩化ビニル) ● PVDC (ポリ塩化ビニリデン)
 ● PS (ポリスチレン) ● PET (ポリエチレンテレフタレート)

図2 汎用されるプラスチック (6 種) の NIR スペクトル

※プラスチックの判別結果は登録サンプルのスペクトルパターンに対する測定サンプルの類似値において、設定スコア以上で最も高い類似値を示す登録材質が表示される (完全一致: 1.000)。

表1 同一材質 (PP) での形状・色調・成形法・表面状態 (擦れ) の違いによる類似値の変化

特性 (サンプル/測定方法)	類似値の変化: 最小値~最大値	測定サンプル/備考
形状 (フィルムの重ね合わせ: 2~32 枚)	0.574 ~ 0.942	・PP 登録サンプル: D 社クリアホルダー (1 枚、厚さ: 0.2mm) F 社 C-PP ポリ袋 [C: Cast (無延伸), 厚さ: 0.03mm] ※PP ボード (1mm) の類似値: 0.560
色調 (不透明白/着色 3 種)	0.856 ~ 0.969	D 社カラークリアホルダー [半透明: 5 色入り、厚さ: 0.2mm、着色 (染料): 赤、青、黄]、不透明白: 市場配布品、
成形法 (PP ポリ袋: C-PP, O-PP, I-PP: 4 枚重ね合わせ)	0.877 ~ 0.954	F 社 [O: Oriented (延伸), 厚さ: 0.03mm], H 社 [I: Inflation (袋状フィルム成形)], 厚さ: 0.025mm
表面状態 (擦れ: 紙やすりで擦り処理)	0.852 ~ 0.922	D 社クリアホルダー-H (厚さ: 0.2mm)、紙やすり番手: #100, #400, #1000

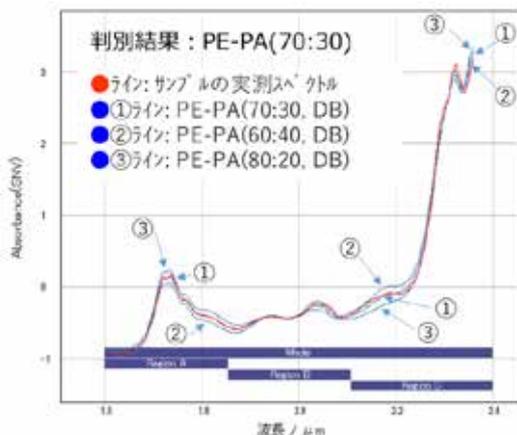


図3 和菓子 A (PE, PA) の測定結果

【参考文献】

- (株)システムズエンジニアリング h p (閲覧日: 2023-3-22)、https://www.systems-eng.co.jp/dcms_media/other/aotf_datasheet、
- 衣川佳輝ら: 家庭系プラスチック廃棄物調査における近赤外線分光光度計の素材判定精度検証, 環境衛生工学研究, 35(3), pp. 17-19 (2021)、
- 衣川佳輝ら: 小売りやサービス業を中心とした事業系並びに家庭系一般廃棄物中のプラスチック樹脂組成に関する研究, 第 32 回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2021, pp. 149-150 (2021)、
- 齋藤優子ら: 製品プラスチックリサイクルに関する課題検討-仙台市実証事業を事例とした考察-, 第 33 回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2022, pp. 157-158 (2022)

表2 和菓子 A (PE, PA) の判別結果

No.	判別結果	類似値	記号表現
①	PE-PA(70:30)	0.905	◎
②	PE-PA(60:40)	0.839	○
③	PE-PA(80:20)	0.827	○
	PE-PA(50:50)	0.726	○△
	PE-PET(70:30)	0.666	△
	PE-PET(60:40)	0.658	△

類似度 (score)	≥ 0.90	0.90>X ≥ 0.80	0.80>X ≥ 0.70	0.70>X ≥ 0.60	0.60>X > 0.40
記号表現	◎	○	○△	△	△×