

プラスチックリサイクルにおける分光分析



河 済 博 文

1 はじめに

紫外-可視吸収スペクトルなどの分光測定は分析化学の基本技術の一つであるが、「ぶんせき」の読者には、その測定は研究室に据え付けられた測定装置で正しい分子情報を得るために丁寧に測るものとして認識されていると思う。一方で、近年はプラスチックリサイクルといった産業レベルでも廃プラスチック片一つ一つに対して分光測定が行われるようになってきている。分光分析によりプラスチック片一つ一つの種類を同定し、単一成分を高純度で選別回収するためである。従来法の比重選別では多くの場合、金属の回収や塩化ビニル樹脂の除去にとどまり、廃プラスチックは、単純焼却処理あるいは熱源や炭素源として利用するサーマルリサイクルとして焼却されてしまう。高純度で回収し、マテリアルリサイクルすれば再生樹脂に生まれ変わり、質の高い、すなわち二酸化炭素排出量削減効果の大きなサイクルが可能になる。本稿では、これまでの企業との共同研究の経験¹⁾を元にプラスチックリサイクル現場で分光分析技術がどのように使われているか紹介したい。

2 リサイクル現場でのプラスチック識別

プラスチックのマテリアルリサイクルではペットボトルのポリエチレンテレフタレート（PET）樹脂の再生利用が思い浮かぶが、他に大量生産・大量消費されているポリエチレン（PE）・ポリプロピレン（PP）・ポリスチレン（PS）・アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体（ABS）樹脂も対象となる。それらは、家電、自動車、容器リサイクル法でリサイクル目標値が定められており、消費者が直接、あるいは税金を通してリサイクル料金を負担しており、大規模な質の高いリサイクルの実施が強く求められている。マテリアルリサイクルの中には、低品質のプラスチック製品、典型的には擬木やパレットに再生されるカスケードリサイクル（オープンリサイクル）といわれるものと、廃棄物発生元と同

Spectroscopic analysis for plastic recycling.

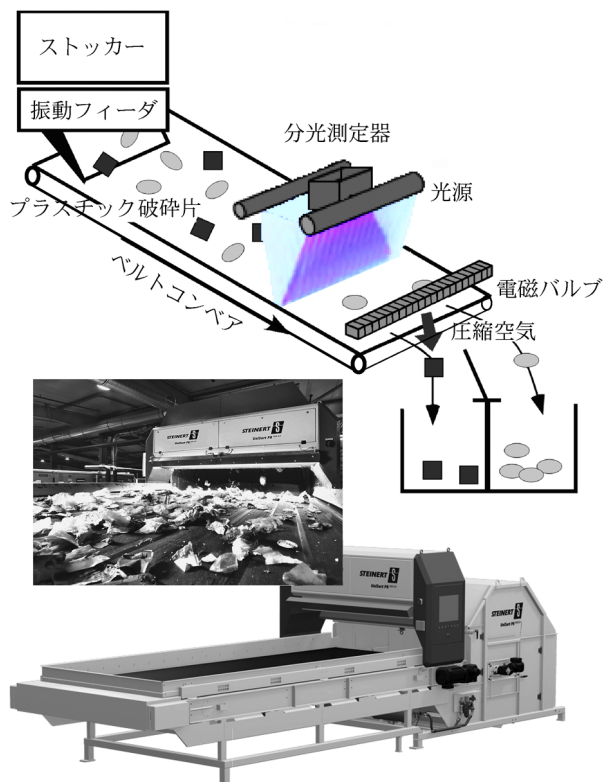


図1 光学式プラスチックソータの概念図と装置写真 (STEINERT Unisort)

じ製品の部材に使われることを意図し、品質を落とさずに再生する水平リサイクル（クローズドリサイクル）といわれるものがある。家電メーカーは後者に力を入れており、製品に表示されていたり、テレビCMで時折目にしたりするものである。

マテリアルリサイクルのためには、廃棄物を手で一つずつ解体し目的物を回収する他に、ベルトコンベア上を大量に流し、自動的に処理する仕組みが必要になる。これはソータと呼ばれ、図1にその概要を示す。プラスチックの破片は小さい場合には5 mm程度のフレークで供給され、頭上から光を当て、その反射光を分光測定してプラスチックの種類を判定する。その結果に基づき必要な破片をエアガンで吹き落として回収する²⁾。ヨーロッパではこのような装置を中心としてソーティングセンターといわれる施設で廃棄物処理が大がかりに実施されている³⁾。さらに、水平リサイクルには、選別回収したプラスチックの成分（種類）の純度が95%以上が必要といわれ、国内メーカーでは99%といった純度で実施されている⁴⁾。そのような高純度を得るためには、分光分析による確実で精度の高い識別が必要となる。ただし、毎時1トン前後の量を100 m/分以上の速度で動くベルトコンベア上で選別する必要があるため、その判定速度には1 ms以下が要求される。

3 分光分析によるプラスチック識別

先に述べたような性能を得るために適した分光分析法のひとつが近赤外吸収である。近赤外吸収スペクトル

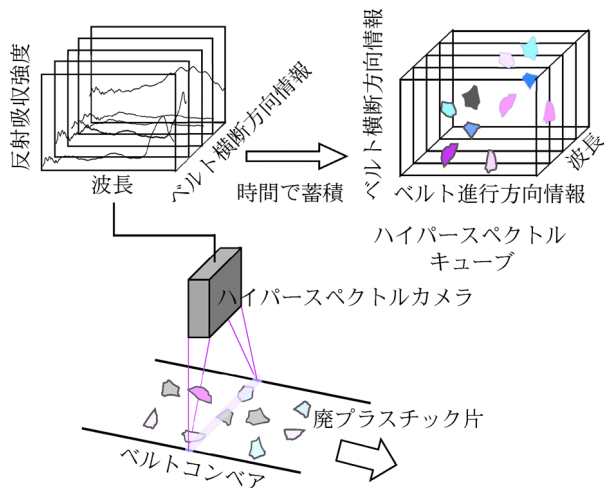


図2 プラスチックソータで使われるハイパースペクトルカメラ

(780~2500 nm) は倍音や結合音の吸収であるためブロードとはいえ、プラスチックそれぞれで特徴的なスペクトルを示し、微分処理、さらには主成分解析と組み合わせることで精度の高い識別が達成されている。また、赤外吸収は基本的に分析に時間を要するが、近赤外光は可視光にエネルギーが近いので、高速・高感度な検出が可能となる。特に InGaAs 半導体検出器の性能向上は著しく、ソータの開発当初は、フィルターや低分解能の分光素子による少ないポイント数のスペクトルを一次元検出器で測定し、その線状の測定領域をミラースキャナーで移動させ、ベルトコンベア幅をカバーするという仕組みであったが、最新の装置では分光機能を組み込んだハイパースペクトルカメラが使われている。二次元検出器であるカメラによりベルトコンベア横断方向の各位置での反射吸収強度のスペクトルを測定するが、ソータでは対象物は移動しているので進行方向のデータが蓄積され、平面すなわちカメラ画像の各点でスペクトル情報を持つハイパースペクトルキューブを取得することができる(図2)。その結果、高速で細かな破片まで高精度に識別できるようになってくる。

近赤外吸収でのプラスチック識別の最も大きな問題点は、黒・深色のプラスチックでは光が吸収されて適用できないことである。赤外吸収(2.5~25 μm)であれば識別可能だが、現在汎用されているフーリエ変換赤外分光光度計では測定速度や装置構造からリサイクル現場では使えない。最近、ドイツのSTEINERT社がUniSort BlackEyeという黒・深色プラスチックの識別ができるソータを発表した⁵⁾。InSb半導体検出器を使ったハイパースペクトルカメラを搭載しており、赤外吸収スペクトルとしては限定的ではあるが2.5~5.0 μmの波長領域が測定できる。この波長にはCH伸縮振動の吸収があり、PE・PP・PSの判定が可能になる。図3にBlackEyeの検出部と同様のハイパースペクトルカメラ(画素数320×256)で測定した結果を示す。ベルトコンベア上を移動(15m/分)するプラスチック片を横断方向の

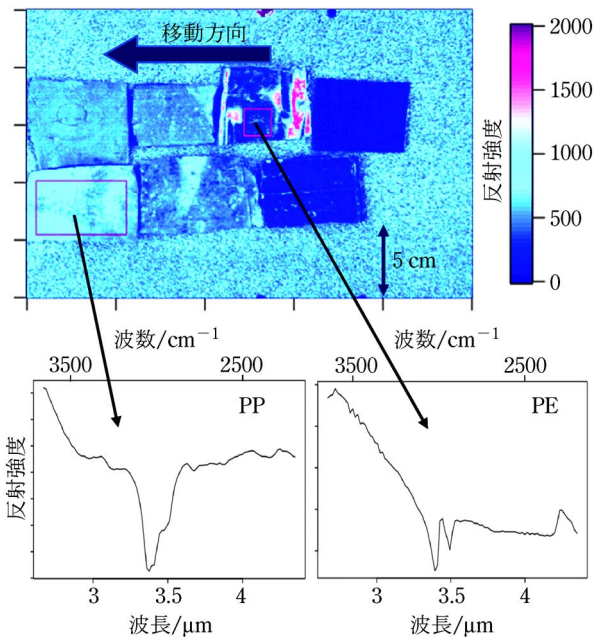


図3 中赤外ハイパースペクトルカメラによるプラスチックの識別

320画素の測定点それぞれにおいて積算時間0.75msでスペクトル(256画素)を測定したものである。下方の図は、四角で囲んだ領域の測定点において得られたスペクトルの平均を示しており、二つの領域に対応する異なったプラスチックのスペクトルを示している。右図は二つに割れるPEの特徴的なピークが現れており、PPと区別できる。

4 おわりに

リサイクルは他にも色々な分光分析が用いられている。規制化合物である臭素系難燃剤を検出するために臭素元素によるX線吸収が、金属片識別にはレーザー誘起ブレイクダウン分光(LIBS)が使われている。ヨーロッパに比べ低いと言われている国内のマテリアルリサイクル促進のために分光分析は必要とされている。

文献

- 1) 土田博雄, 河済博文, 河村 豊: 粉体技術, **10**, 507 (2018).
- 2) 小島環生, 宮坂将稔: パナソニック技法, **57**, 31 (2011).
- 3) 浅川 薫: 廃棄物資源循環学会誌, **26**, 275 (2015).
- 4) 松尾雄一, 井関康人, 小笠原忍: 廃棄物資源循環学会論文誌, **25**, 77 (2014).
- 5) STEINERT Elektromagnetbau GmbH: Waste + Water Management Australia, **43**, 18 (2016).



河済博文(Hirofumi KAWAZUMI)
 近畿大学産業理工学部(〒820-8555 福岡県飯塚市柏の森11-6)。九州大学大学院総合理工学研究科分子工学専攻修士課程。博士(工学)。《現在の研究テーマ》ラマン分光による化学物質計測法の開発。
 E-mail: kawazumi@fuk.kindai.ac.jp