中赤外ハイパースペクトルイメージングを利用して黒色プラスチック汚染に対処する

ミンナ・トルマラ

現在、黒いプラスチックのリサイクル率は非常に低い。リサイクル施設でプラスチックの選別に利用されている従来の選別技術では、黒色を「視認」できないためである。

プラスチックは日常生活に欠かせないものであり、世界全体の生産量は、年間3億8000万トンを超える。さまざまな種類のプラスチックの中でも黒いプラスチックは、機能的で見た目が良いために、この生産量のかなりの割合を占めており、民生品において普及している。黒色プラスチックはその耐久性と耐摩耗性から、自動車製造のような高需要業界で広く利用されている。エレクトロニクス業界では、筐体や部品などの繊細なコンポーネントを保護し、食品包装業界では、光と酸素を遮断して鮮度を保つために使用されている。

各種調査によると、黒色プラスチックはプラスチック廃棄物の約15%を占めるという。しかし、黒色プラスチックの現在のリサイクル率は低い。なぜか。その理由は、リサイクル施設でプラスチックの選別に利用されている従来の技術では黒色が判別できないために、黒色プラスチックは誤認される場合が多いことにある。それが低いリサイクル率につながり、深刻な環境問題となっている。

図1　MWIRハイパースペクトルイメージングは、黒色プラスチックの選別というこれまで困難だった課題を克服し、効果的なリサイクルを可能にする

さまざまな地域で規制が強化されており、製造業者は新製品に一定の割合の再生プラスチックを使用することが求められている。例えば、欧州連合(EU)のELV指令(End-of-Life Vehicle Directive)では、使用済み車両(廃車)の重量の85%以上を再利用またはリサイクルすることが義務付けられている。これは、材料を新製品用に再加工したり、部品を再利用したりできることを意味する。また、車両の95%以上を再利用または回収しなければならない。これには、リサイクルできない材料からエネルギーを生成するなどの処理が含まれる。さらに、EUの包装材及び包装廃棄物指令(Packaging and Packaging Waste Directive)では、2025年までにプラスチック包装材の50%、2030年までに55%をリサイクルすることが求められている。これらの目標を満たすには、黒色プラスチックを選別するための効果的な方法が必要である。

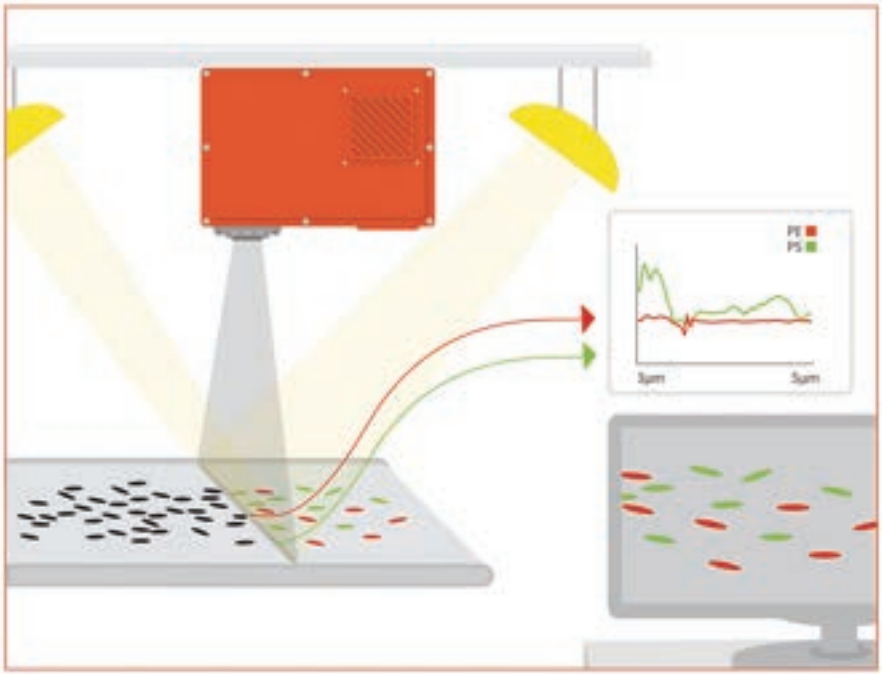

図2　産業用途を特に対象として開発された、中赤外(MWIR)域で動作するハイパースペクトルカメラは、プラスチックやゴムを高速に検出することができる(提供:スペキム社)

プラスチックリサイクル処理の流れ

プラスチックのリサイクルは、複数の工程からなる処理である。通常は、一般廃棄物からプラスチックを回収および分別するところから処理が始まる。分別されたプラスチックはシュレッダーにかけられ、加工しやすいように細かいフレーク状に粉砕される。続いて洗浄されて、汚れやラベルなどの汚染物質が除去される。その後、光学選別システムによってプラスチックフレークをポリマーの種類に応じて選別し、各バッチが均一なプラスチック樹脂で構成されるようにする。これは、高品質の再生材料を製造するために非常に重要なことである。

光学選別システムでは通常、近赤外(NIR)イメージング分光法を利用して、プラスチックごとに固有の分光シグネチャに基づいてその種類を識別する。ほとんどのプラスチックに対し、このシステムはシームレスに機能する。しかし、一般的にカーボンブラック顔料で着色されている黒色プラスチックは、可視域と赤外域のほぼすべての光を反射する代わりに吸収するため、NIRセンサに対しては実質的に不可視となる。その結果、黒色のプラスチックフレークは誤って分類されたり、廃棄物として捨てられたりする場合が多く、リサイクル率は低下し、貴重な材料がゴミ埋立地や焼却炉に送られることになる。

あるいは代替策として、水やその他の液体の中での密度に基づいて材料を分別する重力選別が用いられている。この方法は、黒色プラスチックの分別には役立つが、かなりの資源を消費する処理であり、大量の水と化学物質を必要とする。また、重力選別は精度が低く、再生プラスチックの純度は低くなる。

純度の低いプラスチックは、ダウンサイクルされて、石油などの代替製品に転換される場合が多く、純度の高い再生プラスチックのほうが、新しい高品質な材料の製造に適している。

中赤外(MWIR)ハイパースペクトルイメージング(HSI)は、黒色プラスチックの正確な識別と選別が可能で、NIRや重力に基づく従来のシステムの限界を解消するソリューションとなる。

プラスチック選別におけるHSIの利点と課題

HSIは、分光法にイメージング機能を融合した高度な技術である。ハイパースペクトルカメラは、さまざまな材料に固有の分光シグネチャを捉えて分析することにより、サイズ、形状、色などの視覚的な特性ではなくその化学組成に基づいて、正確な識別と分別を行うことができる。

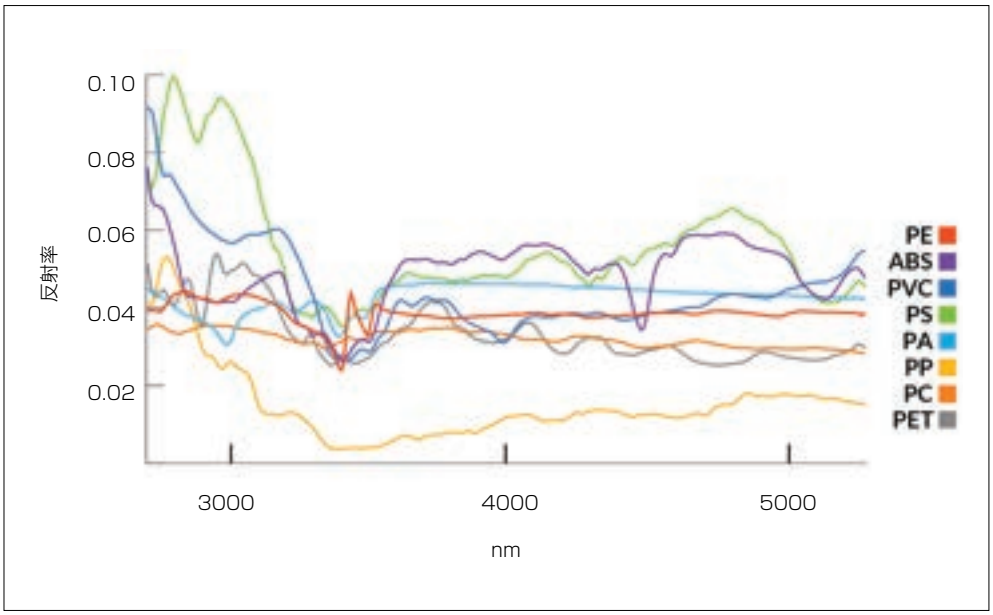

図3　MWIR HSIは、さまざまなプラスチックに固有の分光特性を、その色に関係なく識別することができる（提供：スペキム社）

HSIは、異なる種類のプラスチックなど、裸眼では同じように見えるかもしれない材料を正確に区別することができる。また、HSIはリアルタイム処理に対応し、迅速で正確な自動選別が可能である。そのため、産業廃棄物の管理、特にプラスチックの選別において、強力なソリューションとして広く利用されている。

ハイパースペクトルカメラにより、コンベアベルト上の材料を高速にスキャンして、その分光データを分析し、高度なアルゴリズムを使用して分類を行う。続いて選別システムは、エアノズルなどの機構によって、識別されたプラスチックを自動的に分別する。

MWIR HSIによる黒色プラスチック選別の克服

MWIR HSIは、黒色プラスチックの選別という、NIRイメージングが長年にわたって苦戦してきた課題に対して、非常に効果的なソリューションであることが判明しつつある。NIR HSIは、約900～2500nmの波長範囲で動作するのに対し、MWIR HSIはその範囲を拡大し、3～5μmの範囲の非常に詳細な分光データを捉えることができる。

MWIR域では、異なる種類のプラスチックは、その分子組成に起因する全く異なる分光特性を示す（**図3**）。その結果、MWIR域でHSIを使用すれば、最も難しい黒色プラスチックを含めて、色に関係なく異なる種類のプラスチックを区別することができる。

実際のアプリケーションと業界におけるメリット

自動車、エレクトロニクス、包装など、黒色プラスチックポリマーに大きく依存する業界は、この高度な技術によって多大なメリットを享受する。例えば、黒色プラスチックは、自動車業界において、ダッシュボード、バンパー、トリム部品に広く用いられている。MWIR HSI技術は、これらの材料を効果的に選別することによって、自動車メーカーが、リサイクル目標を達成して、自動車製造が環境に与える影響を低減できるように、支援することができる。

エレクトロニクス業界では、スマートフォンから家電製品に至るまでのあらゆるものに黒色プラスチック筐体が一般的に採用されている。MWIR HSIを利用することにより、リサイクル業者は、黒色プラスチックを廃棄電子機器から効果的に選別して、ますます厳しくなる電子廃棄物規制を遵守できるように製造業者を支援することができる。

食品包装業界もメリットを享受する。黒色プラスチックトレイは、インスタント食品やその他の食料品に一般的に用いられている。MWIR HSIは、これらのトレイをより効果的に選別できるようにすることにより、ゴミ埋立地に送られる食品包装廃棄物の量を減らすために役立つ。

黒色プラスチックのリサイクルがもたらす環境的および経済的メリット

黒色プラスチックを選別してリサイクルする能力には、多大な環境的および経済的メリットがある。リサイクルすることで、黒色プラスチックがゴミ埋立地や焼却炉に送られるのを防ぎ、

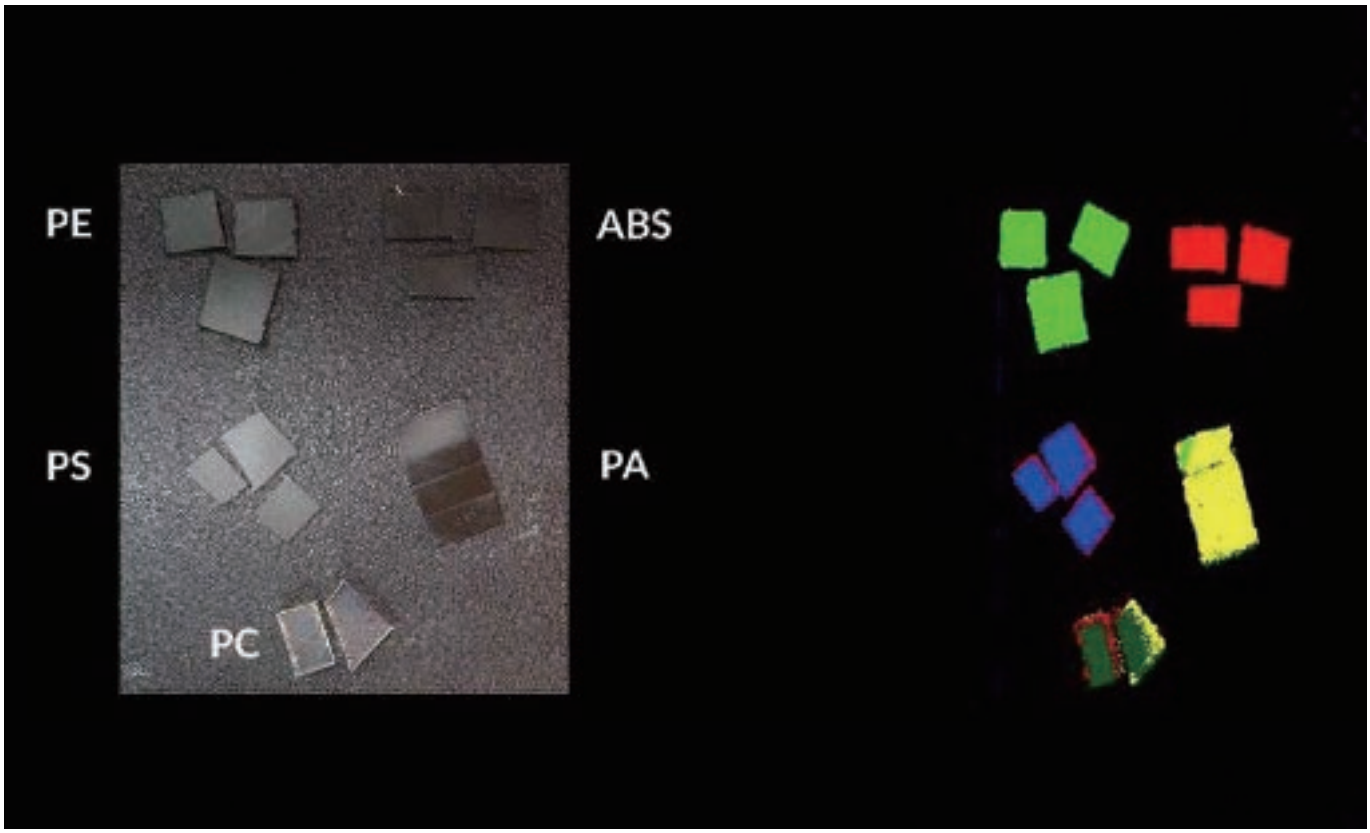

図4　MWIR HSIを用いた、黒色のプラスチックおよびゴムと黒色以外のプラスチックおよびゴムの画像選別処理の例（提供：スペキム社）

環境汚染を低減して貴重な資源を保護することができる。また、プラスチック廃棄物の循環を可能にして、材料を廃棄するのではなく再利用する循環型経済への移行を支援する。

経済的には、黒色プラスチックをリサイクルすることにより、製造業者のコストが削減される。黒色プラスチックを新製品に再利用することができれば、バージン材の必要性が減り、生産コストが低下する。加えて企業は、リサイクル規制を遵守しなかった場合の罰則を回避できるため、MWIR HSIは、環境意識が高まる市場における競争力の維持を目指す企業にとって、経済的に実行可能な選択肢である。

世界的なサステナビリティ目標との整合性

MWIR HSIをリサイクル処理に組み込むことは、各種業界にメリットをもたらし、より広義の世界的なサステナビリティ目標に整合する動きである。国際連合（United Nations）の持続可能な開発目標（SDGs）は、廃棄物の削減と資源効率の向上を重要視している。MWIR HSIは、黒色プラスチックの効率的なリサイクルを可能にすることにより、各種業界がこうした目標や規制を遵守できるように支援する。

廃棄やリサイクルを含む製品のライフサイクル全体を管理することを製造業者に求める、拡大生産者責任（Extended Producer Responsibility：EPR）規制を導入する国が増加するにつれて、MWIR HSI技術は、規制要件を満たすために不可欠な手段となるだろう。企業はこの技術を採用することで、そうした規制が既に確立されている欧州などの地域における競争優位性を獲得することができる。

MWIR HSIを用いた新時代の黒色プラスチックリサイクル

MWIR HSI技術の導入により、黒色プラスチックのリサイクルは大きく前進することになる。この革新的な技術は、従来のNIRシステムや、非光学的な選別方法の限界を克服する。黒色プラスチックの、効率的な選別を可能にするこの技術は、廃棄物の埋立量を削減し、循環型経済イニシアチブを支援し、世界的なサステナビリティ目標に整合する。

著者紹介
ミンナ・トルマラ（Minna Törmälä）は、コニカミノルタの傘下のフィンランドのスペキム社（Specim）のグローバルマーケティングマネージャー。URL: www.specim.com

VSDJ