



惑星地球か、それともプラスチック惑星か？ Planet Earth or Planet Plastic?

プラスチックのリサイクルにおける問題と重要性 *The Problems and Importance of Plastics Recycling*

BY Xing-Fei He April 19, 2018

2018 年のアースディ(注：地球環境を守る活動を推奨する米国の記念日)を迎えるにあたり、当社の属する産業が、我々の住む惑星が直面する問題にどのように取り組み、解決を図っているのか考えてみたい。この 60 年間ほどでプラスチックは我々の生活に欠かせない技術となった。一方で、地球環境に重大な問題を与えている。

2017 年 7 月に産業エコロジストであるロナルド・ゲイヤー博士とそのスタッフが、サイエンス・アドバンス誌に **calculating the total volume of all plastic ever produced at 8.3 billion tons** (プラスチックの生産量累計は 83 兆トンに達した) と題する論文を発表した。それによれば、生産量のうちの 63 兆トンものプラスチック廃棄物が生産されているとのことである。この約半分は過去 13 年間で作られたものである。しかも、30 年のうちに地球上の廃棄物の量は倍

になるそうである。

他の廃棄物と異なり、プラスチック廃棄物は他の用途に用いることがとても困難である。硝子や紙、缶の場合、リサイクルすれば同じ製品となり、繰り返し使うことができる。これに対し、プラスチックのリサイクルは一回限りである。ボトルや箱の類は、再び飲料や食品の容器として使われることはまずない。ソーダの瓶の場合は、カーペット、断熱材や枕の詰め物になる。ミルクカップは、プラスチック製板材、リサイクル容器、おもちゃなどになる。そのあとは、ごみ処理場へと投げ込まれる。プラスチックのリサイクル率は過去最大でも9%に過ぎない。最近ではわずか4%に落ち込んでおり、紙が34%、ガラスが22%、金属が30%であるのに比べると少ない。ここに画像処理を用いれば、問題解決につながる。

適切な種類のプラスチックを探そう

Let's look for the right kind of plastic

リサイクルが画像処理システムによりどのように向上し、LIDARのような画像技術が海の中のプラスチックを掃除するのにどのように役に立つことを本誌にて以前論じた。(注：[2016年9月27日](#) および [2016年9月30日](#)に掲載) 「プラスチック」という用語だけでは、なかなか分かりづらいところがある。樹脂からポリマー繊維まで幅広い素材を指し、特性や使用方法もそれぞれ異なる。「ポリマー」とは分子が長く連なった鎖であり、他の種類の分子と同じように見える。生物や無機物もポリマーの一種である。プラスチックはすべてポリマーであり、ポリマーの中にはプラスチックでないものもある。

ポリマーは、そのままの形では使われる場合はあまり多くない。通常は着色料などの添加物が加わり、使い易い素材になる。この化合物が一般に「プラスチック」と呼ばれる。ポリマーは、製造法や役割に応じて様々に分類される。いわゆる「プラスチック」に関しては、プラスチック選別に関係するものが2種類ある。

サーモセットポリマーは、熱が加わると化学変化を起す。この結果、接着や架橋の三次元ネットワークとなる。過熱または成形をしたあとでは、分子を再加熱あるいは再成形することはできない。たいていはそのまま炭化し、強度と形状は維持される。これにより、サーモセットポリマー・プラスチックは、断熱材や車部品など熱耐性を持つ製品に最適となる。フェノール樹脂、アミノ樹脂、ポリエステル樹脂、シリコン樹脂、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂などが製品の例である。

サーモプラスチック・ポリマーは、加熱と成形を繰り返し行うことができる。ポリマー分子の形状は一般に線形であり、場所によっては少し枝分かれしている。サーモプラスチックの例としては、以下のようなものがある。

ポリ塩化ビニール (PVC)、スチロール樹脂、ナイロン樹脂。これらの分子は融点より高温で熱した上、加圧すると流れ出す。このため、サーモプラスチックは100%リサイクル可能となる。すなわち、繰り返し溶かして形取りし、新しい製品となる。

識別：混乱と効率性の間にある境界線

Identification: the fine line between disaster and efficiency

サーモプラスチックが全てリサイクル可能だからと言って、その工程が他のリサイクルと同一とは限らない。例えば、ポリ塩化ビニール (PVC) ボトルをテレフタル酸ポリエチレン (PET) ボトルと区別するのは容易ではない。どちらも一般的なプラスチックだが、PET ボトルは、プラスチック製ボトルの97%を占める。10,000個のPET ボトルの中に1つPVC ボトルが混じっただけで、そのリサイクルは失敗し、すべては屑になる。適切な選別作業が不可欠と言える。様々な種類のプラスチックを選別する機械は現在開発中であり、高価な割に十分に精度が出ないため、リサイクル業者は未だに人間が手でプラスチックの選別を行っている。それもまた高価かつ複雑な方法であり、しかも作業者の離職率が高く、危険な労働環境であり、国民的な問題となっている。

Symbol	Description	
 PETE	透明で丈夫なプラスチック。ソフトドリンク、ジュース、水に使われる。	
 HDPE	白または着色されたプラスチック。牛乳やシャンプーの容器に使われる。	
 V	堅くて丈夫なプラスチック。コーディアルボトルに使われる。	
 LDPE	柔らかくて柔軟性があるプラスチック。ソースの容器など絞り出す容器に使われる。	
 PP	堅く柔軟なプラスチック。電子レンジ用、持帰品、ヨーグルト、アイスクリーム、ジャムに使われる。	
 PS	硬くもろいプラスチック。タブ型マーガリンバターなどの容器に使われる。	
 OTHER	その他のプラスチック。アクリルやナイロン製。スポーツ飲料、サングラス、冷却水用ボトル	

解決法が一つある。広く使われているプラスチックは、プラスチック産業協会が1988年に作った数字による識別コードで分類されている。家庭向けのパッケージ製品に使われているプラスチック樹脂は、主に6種類に分かれる。

7番目のカテゴリーに属するプラスチック製のコンシューマ製品は、これまであまり収集されてこなかった。プラスチックの防水シート、パイプ、玩具、コンピュータ用キーボードなどのプラスチックは、上記表の容器向けプラスチックとは異なる。この7番目のグループには、実際には数千種類のプラスチック樹脂や混合樹脂で、特定の応用製品に向けて作られたものが含まれる。

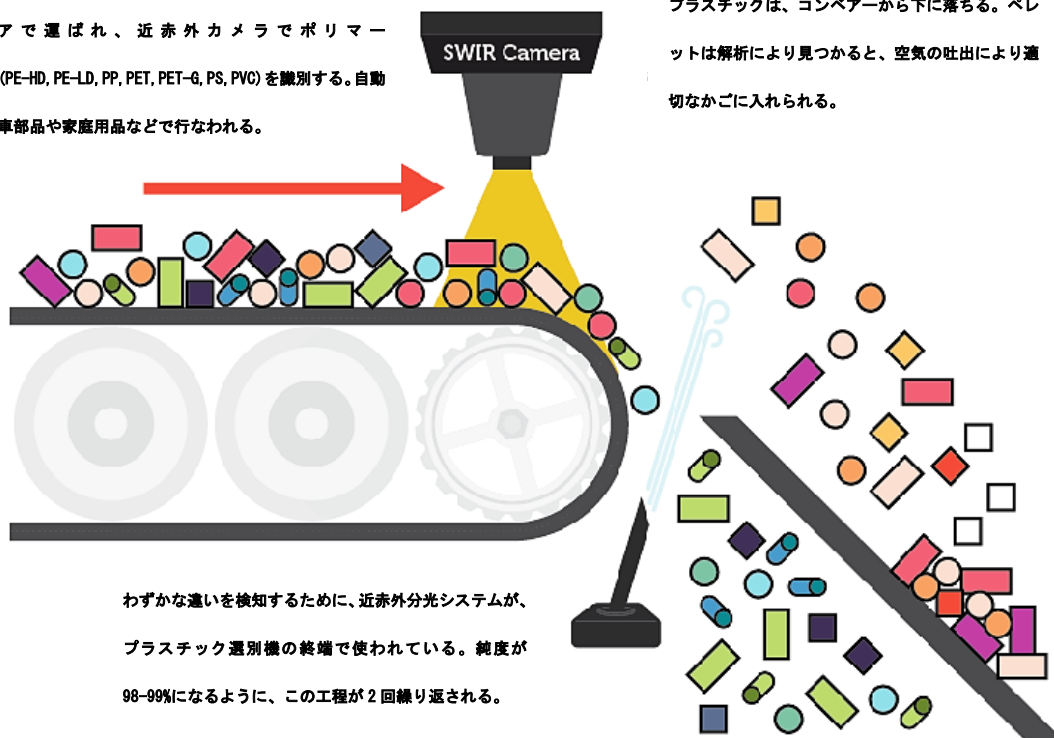
最近までプラスチックを回収する事業に参入する会社はほとんどなかった。プラスチックを識別する体系的な方法がなかったためである。もし機械による識

別や分類を導入すれば、リサイクル工場のコストは減少し、品質は向上する。スペクトル情報を用いるならば、材料の識別をリアルタイムで行なうことができるようになる。例えばプラスチックの種類を様々な条件で分別したり、リサイクル可能な種類のプラスチック、ガラス、金属などを識別することができる。

可視光のスペクトラルによる選別

Visible spectrum sorting

プラスチックは砕かれてペレットとなり、選別コンベアで運ばれ、近赤外カメラでポリマー (PE-HD, PE-LD, PP, PET, PET-G, PS, PVC) を識別する。自動車部品や家庭用品などで行なわれる。

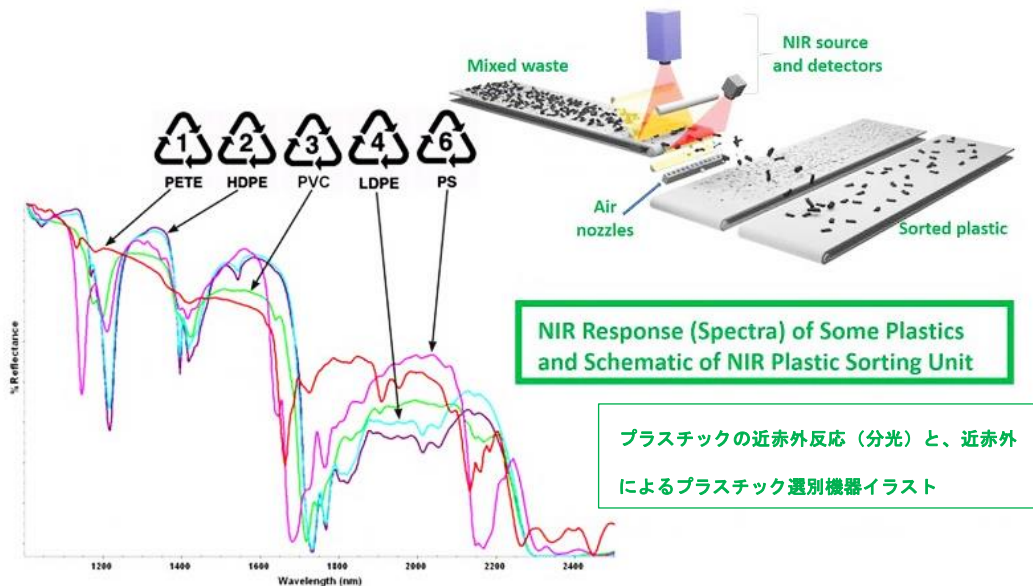


可視光スペクトラルによる選別は、原則として人間の眼と同じように、色がついたポリマーやラベルを分別する。再生可能な材料を色や形状で識別するには、エリアカメラやラインカメラが使われる。色が異なるプラスチックを選別し、リサイクル可能なプラスチックとセラミックを分ける。ただし、可視光スペクトラルは無色の樹脂の種類を選別することはできない。これには、着色するなど素材の見た目を変える必要がある。

近赤外 / 短波長赤外線による選別

Near-Infrared / Short-Wave Infrared sorting

短波長赤外線や近赤外線センサーは、被写体の奥深くまで入り込み、リサイクル可能な種類のプラスチックを識別する。近赤外の検知システムは、通常は画像処理システムを用い、コンベヤーベルトのプラスチックを特定できる。コンベヤー周辺の赤外線放射源が、コンベヤー上を動くプラスチックの物体を透過する。センサーは、そのさいの「痕跡」となる反応を測定する。近赤外イメージングは、1番から7番のプラスチックをすべて識別することができるが、現在では採算上の理由から希少価値がある素材の識別に、その使用は限定されている。実際のリサイクル作業の流れでは、汚染防止のため、他のイメージング素材が必要になる。近赤外はおおまかにHDPEとPETを見分けることができるが、ガラスや金属を「見る」ことはできない。これらの素材の分子構造の「振動」が少なく認識には至らないためである。



X線による選別

X-ray sorting

プラスチックを元素レベルで画像処理することで、重元素、毒物、ある特定の原子などをプラスチックと識別することができる。これらは他の方法では、リサイクル可能で安全な物質と全く同じに見える。また、X線画像を使うのも、PVC容器を識別する上では有効である。PVCは塩素を含んでおり、X線に対しては独特の蛍光反応を示す。X線は非常に精密な水準で作用するため、非常に汚れたボトルやラベルが沢山貼ってある容器を選別するうえでは有効である。なぜなら、こうした状況では、赤外線は「混乱し」正常な判定ができなくなるからである。しかし依然としてX線は高価かつ複雑であり、作業者をシールドで保護するなど安全対策も必要になる。近赤外は、安全性の点からも有効といえる。

ハイパースペクトラルによる選別

Hyperspectral sorting

ハイパースペクトラル画像処理は、プラスチックと非プラスチックを分別するのに役立つ。オフィス用紙、新聞紙、段ボールに含まれる炭化水素のわずかな違いは、通常の近赤外(SWIR)画像処理より高度な技術でないと検出ができない。ハイパースペクトラル画像処理システムは、電子製品のゴミなどリサイクル可能な材料で選別が難しいものに対して用いられる。ハイパースペクトラル画像処理を用いたアプリケーションは増えてきており、この新しい技術により、マシンビジョンシステムの柔軟性が高まった。以前はメカ設計、照明、伝送インターフェース、画像処理とった要素が、エンジニアがハイパースペクトラルを敬遠する理由であった。今日では用途に応じて、使用されてきている。ハイパースペクトラル画像処理は比較的信頼性が高く、しかも低コストのソリューションとなったと言える。かつて難しかったこと、例えばプラスチック内の不純物でリサイクル不可となっているものを識別できるようになった。

人工知能: 将来の解決方法

Artificial intelligence: future solutions at scale

画像処理によりプラスチックの種別が分かる一方で、人手による選別や自動仕分けも、発生すると大きなコストとなるエラーを無くすために引き続き行われている。企業の中には複雑な仕分けが発生する作業に対して、マシンビジョンとAIを導入しようという動きがある。

世界のリサイクル品の種類は広範で、リサイクルは減少傾向である。一方、処理しきれない屑は増える一方である。数兆というサンプルサイズはデータサイエンティストやAI開発者が試しに作業をしてみようという量ではない。AIを用いて廃棄物の選別をしようとした会社に、ゼンロボティクス社がある。コンピュータ・ビジョン、機械学習、AIを融合して、ピッキングや選別を行なうロボットを運用している。複数のリサイクルステーションがニューラルネットワークの分野で協業し、サンプルサイズを増加させ、金属センサー、3Dレーザカメラ、分光カメラを組み合わせ、すばやくAIが学習できるようにしている。

最近では、[カールトン・カウンシル](#)と、デンバーにある2つの会社([AMP ロボティクス社](#)と[アルパイン・ウエスト&リサイクリング社](#))が協力し、食品や飲料の Karton を識別するのにAIを用いたロボット、クラークを開発した。クラークは、食品や飲料のKartonをそれ以外のリサイクル品の流れから分別する。リソースリサイクリング誌によると、クラークは商用ロボットとして20年ほど前から他の業界で使われていた。クラークは2016年に設置され、そこから継続的改善を経て、1分間に60箱を、ほぼ完全な精度で選別した。クラークのAIはロゴや印刷からKartonを認識するよう学習しており、選別の度に改善をし続ける。



グリーンプラスチックの将来

A green plastic future

約 50 種類のプラスチックがあり、それぞれに何百種類ものバリエーションがある。人類は、毎年数十億トンのプラスチックをこれからも作り続けるが、地球に与える影響は最小限に減らすか、完全になくすためには、新たな開発が必要である。現在、ボトルネックになっているのは選別である。選別自体は画像処理や機械学習で向上していくが、同時に各国の政府や企業はもっとリサイクル可能かつ均一な品質のプラスチックを作るべきである。リサイクルが効率的になればコストは減り、温室効果をもたらすガスや毒物も減るはずである。これまでと同じような生産を続けていけば、プラスチック自体が独自の生態系を作ってしまうかねない。

テレダインダルサは幅広いマシンビジョン・コンポーネントを持っており、産業用の非常に広範なアプリケーションに適している。世界じゅうの多くの企業が競争優位を見つけ、自社の産業内で成功できるように支援していきたいと考える。以下はそのアプリケーションの例である。

<http://www.teledynedalsa.com/en/learn/markets-and-applications/mv/>

以上

・本記事は、Teledyne Dalsa Inc.のオンライン機関紙「POSSIBILITY」を、株式会社エーディーエステックにて日本語化しました。

POSSIBILITY 誌の本稿「Planet Earth or Planet Plastic」の原文は、下記 URL にあります。

<https://possibility.teledynedalsa.com/planet-earth-or-planet-plastic/>

内容等にご質問がありましたら、下記までお問い合わせください。

(株)エーディーエステック イメージング部

[TEL:047-495-9070](tel:047-495-9070)

E-mail : sales@ads-tec.co.jp