

「黒色プラスチックにおける光学選別技術の転換点：Cool Black Recycling の挑戦」

株式会社 山本製作所

当社環境事業の紹介 https://www.yamamoto-ss.co.jp/sp_recycle/

私たちは1980年代より、ポリスチレンを原料とする使用済み発泡スチロール(以下 EPS) を減容固化する装置(EPS減容機)を開発・販売してきました。かさ密度が高く輸送効率の悪いEPSを減容することで、マテリアルリサイクルの次工程へ引き渡すための中間処理を担う装置です。2023年現在、国内のEPSリサイクル率は92%(JEPSA調べ)と、世界的に見ても高水準を維持しており、その一翼を担っています。

その間、ユーザー様はもちろんのこと、多くの静脈産業に関わる方々との対話の中から生まれたニーズをかたちにすることを念頭に事業展開を継続してきました。当初は「目の前にある廃棄物を処理する」ニーズが主流でしたが、市場の成熟とともに「資源を生まれ変わらせる」ニーズへ変化し、昨今は「より安全に、高付加価値化」が追加されました。時代はより不確実、複雑であり、将来を予測することが困難になっていますが、良質なリサイクル原料を安全で快適な作業でつくることは静脈産業を持続性あるものにするためには必須であると私たちは考えています。

排出する側の責任（選別の必要性）

EPS減容機を販売していく中でEPS以外のプラスチックリサイクル現場を目にすることになります。EPSは比較的単一素材で発生場所が限定されますので、良質な原料（インゴット）が得られやすいと言えます。そのため、有価物として国内外で高い信頼性を誇ります。

しかし、2011年当時、世界から廃プラスチックが集まる中国の現地を視察することで私たちの意識は変わりました。材質はもちろん、異物や汚れのある廃プラスチックが有価物として世界中から取引されている現状を見たのです。市況の影響で取引が成立していたとはいえ、その品質の低さには疑問を感じざるを得ませんでした。少なくとも日本から輸出される廃プラスチックは自信を持って「製品」と呼べるものになければ、国内の静脈産業の持続性などあり得ないと感じました。

私たちの社内には「前者責任」という言葉があります。メーカーとして素材から部品を製作し、それらから1つの製品にする流れの中で次工程はお客様という認識のもと、ものづくりに携わるという思想です。これは静脈産業にも言えることで、廃棄された資源を責任を持って次工程へ繋ぐことが業界の持続的な発展を支えることになると考えました。

私たちが定義する「製品」とは、市況変動にも左右されず、安定した取引と高い品質・経済合理性を兼ね揃えた有価物を指します。そのための材質選別の必要性を訴える製品開発に着手しました。



2011年当時の中国

NIR 分光技術について

私たちは「非破壊」かつ「安全に」そして「簡単に」プラスチックを特定できる近赤外線（Near-infrared NIR）分光法に着目しました。あらかじめ設定した波長を持つ光を測定対象物に照射すると、特定の波長域の光を吸収する特性がプラスチックにはあります。その吸収する波長はプラスチックの材質により異なることが知られています。その違いの特徴をサンプルデータと比較することで、材質を特定する技術になります。

この技術は上記のような特性から一般的には農作物の糖度選果や食肉の等級判別、血中酸素濃度測定等で実用化されています。私たちはこの特性をプラスチックリサイクルの現場で使うことで、より品質の高い原料を低コストで作り出せると考えました。もちろんですが、欧米のソーティングセンターや国内の大規模リサイクル工場で活躍する大型の NIR 光学選別機も同じ方式です。しかし、私たちは国内で大多数を占める中小規模の処理現場にこそ、この技術がマッチし、日本のプラスチックリサイクルの下支えになると信じています。

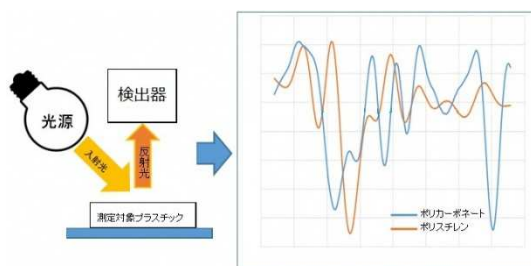
「ぶらしる」の紹介 https://www.yamamoto-ss.co.jp/sp_recycle/products/placil/

プラスチックの分別はより上流側で行うことが効率的とされています。リサイクル工場と言えば処理ラインに投入される前の荷受後やさらにその前段階である排出元がそれにあたります。その現場で手軽に判別することをコンセプトにハンディタイプのプラスチック判別装置である「ぶらしる」を開発しました。この製品はハロゲンランプを使用した光源と検出器が一体となった NIR センサを内蔵した「センサ部」と検出されたスペクトルを演算するタブレットの「表示部」から構成されています（特許第 7015579 号）。NIR センサの低価格化を実現するために測定対象をリサイクル現場で取扱いの多い、12種類（PS・LDPE・HDPE・PP・PET・PVC・PMMA・ABS・PA・PC・POM・PBT）に絞り、敢えて波長範囲を限定しました。再生材の特性や使用用途から、特に複合材の混入比率や添加物の検出等の精度重視の考え方ではなく、単一素材としての判別にポイントを絞ったことが大きな特徴でもあります。また、現場での安定性から「センサ部」と「表示部」を有線接続方式を採用していることや、「表示部」へ電源であるバッテリーを集約しつつ、交換も可能な構成としていることもリサイクル現場に寄り添った選択でもあります。

販売から数年が経ち、当初想定していたリサイクル現場はもちろんですが、環境教育やボランティア活動など社会的課題を考える場においても活用頂いております。私たちの事業ミッションでもある「持続可能な社会を実現するため、静脈産業で挑戦する人たちとともに業界の明るい未来をつくる。」を実現するため、世の中に対してプラスチックへの正しい理解を浸透させることも重要と考えています。その一翼を担うツールとして効果を発揮していることを実感しているところです。



「ぶらしる」



判別原理

Cool Black Recycling の可能性

私たちは「国内での資源循環の輪と国際的な資源循環の輪の適切な住み分けと共存、そして双方の安定で持続的な発展」という資源プラ協会の掲げる理念に賛同しています。その中でも特に国内循環の輪を考えた場合、再生プラスチックを持続的にバランスよく使用していくには黒色プラスチックの需要も考慮しなければなりません。この想いは私たちも同じであり、この度の資源プラ協会でのプロジェクト **Cool Black Recycling** で長期に渡って有識者の方々と議論させていただきました。

現在市場で流通している黒色プラスチックは顔料としてカーボンブラックが使用されています。この顔料は NIR を吸収する特性を持っており、私たちが採用している NIR 分光法では判別ができません。方式の異なる手法を採用する装置も散見されるようになってきましたが、安全性（粉塵の多い環境）や安定性（水分付着の際の精度）、また装置自体のインシヤルコスト面で考えるとそれらの手法は NIR 分光法には及んでいないのではと思われます。

そこで黒色着色するためのカーボンブラックに代わる次世代顔料として、私たちが注目しているのが NIR 反射顔料「R-BLACK」です。この顔料はソーティングセンターでの光学選別が主流の欧州において、黒色プラスチックの選別効率を向上させるために開発された顔料であり、日用品のグローバルブランドを中心に世界各国での採用が広がっています。「R-BLACK」の特徴は、黒色でありながら NIR を反射する特性を持つため、この顔料で着色したプラスチック製品は NIR 分光法を用いた材質選別が容易になることです。

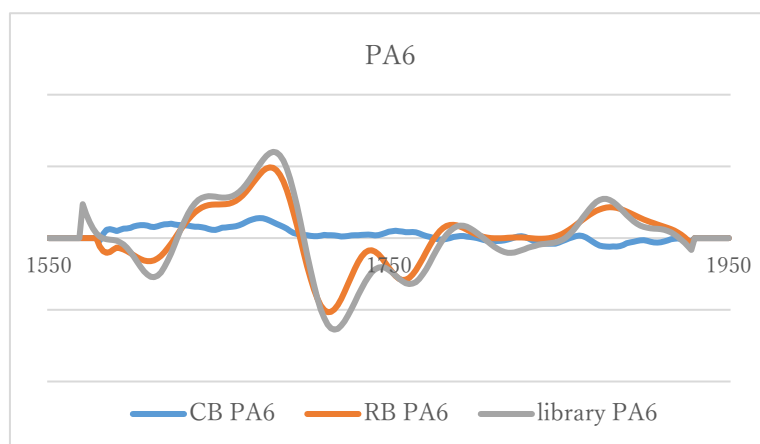
「R-BLACK」の性能確認と水分付着時の NIR 分光法の確実性確認のために、顔料製造元であるトレシッド・ジャパンにご協力いただき7種類のプラスチックサンプル（PE・PP・PS・ABS・PA6・PET・PC）を製作、「ぶらしる」を使用した実証テストを行いました。その結果をご説明いたします。



カーボンブラックと「R-BLACK」で着色したサンプル7種

①「R-BLACK」とカーボンブラックの NIR 反射性能比較

代表的な例として PA6 のデータを示します。カーボンブラックを使用したサンプル（CB PA6）は波形が得られず NIR が吸収されていますが、「R-BLACK」を使用したサンプル（RB PA6）の波形はぶらしる内のライブラリー波形（library PA6）とほぼ一致していることで、黒色であっても識別できることが分かります。この傾向は他のサンプル全て同じでした。

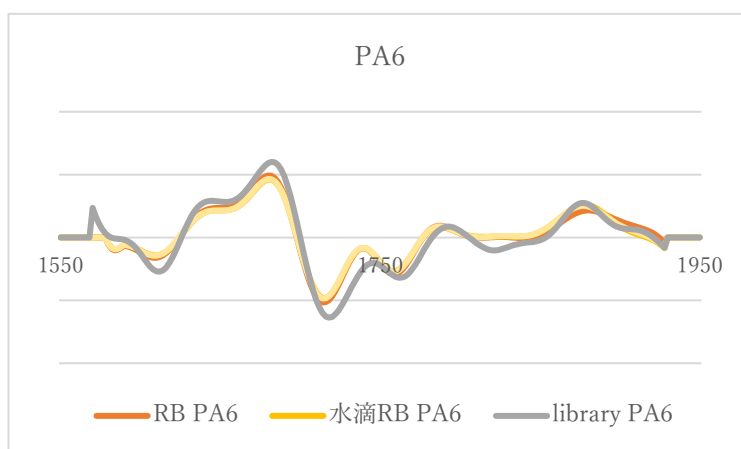


「R-BLACK」とカーボンブラックの NIR 反射性能比較

②NIR 分光法における水分付着の影響確認

次にリサイクル現場特有のプラスチックに付着する水分による影響が NIR 分光法では受けにくいことの実証です。

①と同じサンプル表面へ水分を塗布して（水滴 RB PA6）波形を測定しました。結果として水分を塗布していないサンプル（RB PA6）やライブラリー波形（library PA6）と同一な波形が得られており、NIR 分光法は水分の影響を受けにくいことがわかります。この傾向は他のサンプル全て同じでした。



NIR 分光法における水分付着の影響確認

今回の実証テストにより、「R-BLACK」により着色されたプラスチック成形品は黒色であっても、NIR 分光法による識別が可能なおことと、その NIR 分光法は多少の水分付着があっても判別精度に影響を受けないことがわかりました。国内外問わず、再生プラスチックの需要と供給のバランスを図るには黒色プラスチックを的確に使いこなさなければなりません。その黒色プラスチックが廃棄された後、さらにリサイクルの輪を崩さずには使い続けるためには安全かつ簡便な NIR 分光法とその技術に応えられる顔料「R-BLACK」が最適解であると私たちは考えています。