

【助成 40-01】

廃プラスチックのビッグデータ分析による識別モデルの構築と評価手法の確立

代表研究者 東北大学大学院国際文化研究科 准教授 大窪 和明
共同研究者 東北大学大学院国際文化研究科 教授 劉 庭秀
共同研究者 芝浦工業大学デザイン工学部 教授 田邊 匡生
共同研究者 東北大学大学院国際文化研究科 専門研究員 劉 曉玥

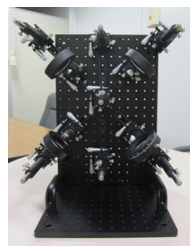
〔研究の概要〕

一般家庭から排出された廃プラ(廃プラスチック)のサンプルを収集し、異なる周波数の THz(テラヘルツ)波を各サンプルに照射し、透過率を計測した。機械学習アルゴリズムを用いて、計測したデータを基に透明なプラスチックを PET と PS に、黒色プラスチックを PET、PP、PS に高精度で識別するモデルを構築した。また、(1)各周波数の透過率が識別精度に与える影響度の評価、(2)再資源化のための素材識別モデルとしての精度評価といった二つの観点から評価方法を検討した。(1)では XAI(eXplainable AI)を用い、識別精度を高めるために重要な周波数を定量的に明らかにした。(2)では機械学習の分野で用いられる Precision 値は識別から得られる再生原料の品質、Recall 値は選別による環境負荷の低減を評価する指標として、それぞれ有用であることを示した。これらの成果は、廃プラの識別における THz 波や機械学習の有用性と将来性を示す意義のある成果といえる。

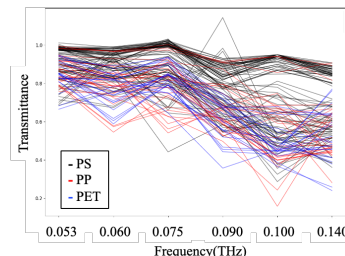
〔研究経過および成果〕

はじめに仙台市内の一般家庭からプラスチック製容器包装廃棄物を廃プラのサンプルとして収集し、各サンプルについて FTIR(フーリエ変換赤外線分光法)などを用いて素材を特定した。それらのサンプルについて、異なる複数の周波数の THz 波の光源と検出器を設置した装置(図(a))を用いて透過率を計測した。

次に透明なプラスチックでも異なる素材、同じ素材でも色の異なる廃プラの識別における THz 波の有効性を検証するため、透明な PET、PS および黒色の PS が混在する廃プラから、色と素材を識別する。周波数 0.075、0.090、0.140THz で透過率を計測した結果、素材ごとに傾向の違いは見られたが、サンプルに含まれる添加剤などの影響により、同じ素材と色であっても透過率にバラツキが見られた。そこで機械学習アルゴリズムの一つである XGBoost を用いて、識別対



(a) 計測装置



(b) 6 光源での計測結果

図 透過率の計測

象の透過率を入力データとして、透明な PET、PS または黒色 PS であるかを識別するモデルを構築した。構築した識別モデルの Precision 値は高く、透明な PET と PS、黒色 PS それぞれの値は 0.92、1.00、0.90 であった。これらの値は、例えば、識別モデルが透明な PET として識別したサンプルの中で、本当に透明な PET であったものの割合が 0.92 であることを示す。すなわち、Precision 値は識別された廃プラを再資源化したときの再生原料の品質を評価する上で重要な

指標であり、本識別モデルを用いることによって不純物の少ない再生原料が期待できる。また、透明な PET と PS、黒色 PS の Recall 値は、それぞれ 0.92, 1.00, 0.90 であった。これらの値は、例えば、識別対象の廃プラに含まれる透明な PET の内、0.92 の割合で透明な PET として正しく回収されたことを示す。正しく回収されなかった素材が残渣として焼却処理されることを考えると、Recall 値が高いほど再資源化される量が多く、環境負荷が低減されたと考えることができる。さらに XAI(eXplainable AI)の一種である SHAP 値を用いて識別精度への重要度を評価した結果、素材ごとに重要な周波数は異なることが明らかになった。

次に、近赤外線による識別が難しい黒色プラスチックを PET、PP、PS に識別することを考える。ここでは 6 種類の周波数での THz 波について透過率を計測し、SVM(Support Vector Machine)を用いて識別モデルを構築した(図(b))。入力データに用いる周波数を 1 種類から 6 種類まで一つずつ増やしていったときの精度の変化を検討した結果、より多くの周波数を用いるほど Precision 値, Recall 値は高くなることが確認された。また教師データ、テストデータの組み合わせを 500 通り与え、それぞれについて識別モデルを構築し、評価した。その結果、特に黒色 PS の Precision 値が高く、6 種類の周波数を用いた場合には 0.70 以上の Precision 値を達成した識別モデルが高い確率(0.78)で構築できた。一方、サンプルサイズが小さい黒色の PET と PP は、比較的、低い精度であった。

そこで黒色 PET、PP に SMOTE(Synthetic Minority Over Sampling Technique)によるオーバーサンプリング法を適用し、識別モデルの精度を検討した。また、生成 AI の発展に重要な役割を果たしている GAN(敵対的生成ネットワーク)の応用の一つである cGAN(条

件付き GAN)を応用したオーバーサンプリング法を試し、SMOTE または cGAN によって Precision 値や Recall 値が高まることが明らかになった。また、XAI を用いて周波数の影響度を評価し、黒色プラの識別には 0.060THz の重要度が高いことが明らかになった。

[発表論文]

1. 田邊匡生、大橋隆宏、蘆澤雄亮、劉庭秀、眞子岳、大窪和明、佐々木哲朗「特集：プラスチック資源循環（現状&取組み） テラヘルツ波を用いたプラスチックの素材識別・劣化診断装置」JETI Vol. 70 (2022) 29-30.
2. 田邊匡生、大橋隆宏、劉庭秀、眞子岳、大窪和明、佐々木哲朗「廃プラスチックの選別装置開発によるリサイクルの高度化」化学工業 第 73 巻 8 号 (2022) 481-486.
3. 佐々木哲朗、田邊匡生、劉庭秀、眞子岳、大窪和明「第2節 テラヘルツ波による廃プラスチック高度識別装置の開発」第2章 リサイクル材・バイオマス活用のための分析技術、リサイクル材・バイオマス複合プラスチックの技術と仕組(サイエンス&テクノロジー 2023) 7-13.
4. 劉庭秀、プラスチック製容器包装廃棄物の高度選別装置の開発、光学 52(11) (2023) 497-499.
5. Kazuaki Okubo, Tadao Tanabe, Jeongsoo Yu, Gaku Manago, Xiaoyue Liu, Tetsuo Sasaki, Identifying plastic materials in post-consumer food containers and packaging waste using terahertz spectroscopy and machine learning, 投稿中.
6. 大窪和明、眞子岳、劉庭秀、田邊匡生、テラヘルツ波を用いたプラスチック素材識別のための機械学習モデルの開発、第 15 回廃棄物資源循環学会東北支部研究発表会予稿集、(2024) 8-9.