

安価な近赤外線装置を使用した 廃棄物測定技術の開発

直富商事株式会社 技術研究室 室長 鈴木 陽

廃棄物の性状を把握することはその後の再資源化を効率的に行うために必要である。しかし性状把握のための測定にたくさんの手間やコストをかけてしまえば、受注を逸し結果として再資源化がなされない処理方法が選択されてしまいかねない。他方で農作物成分把握に端を発している近赤外分光装置は、測定可能成分については非常に短時間で把握できる。更にこの数年の間に低価格タイプが出現してきている。この状況を好機と捉え安価な近赤外分光装置を用いて、生ごみ乾燥飼料の含水率把握や塩素を多く含む廃プラスチックの判定にかかわる技術開発を行い一定の成果を上げることができた。

1. 直富商事技術研究室

直富商事は長野県長野市に本社を置く地域に密着した会社で、廃棄物の収集運搬・中間処理、金属スクラップや古紙の回収・加工・輸出や建築物解体、ビルメンテナンスなどの、一度役目を終えた発生物を再び資源に戻したり再使用できるように整備する総合的なりサイクラーである。

私が所属する技術研究室(写真1)は1998年に発足し、蛍光X線装置、X線回折装置、GC-MSなどの各種分析機器(写真2)を備え、廃棄物の再資源化にかかわる技術開発や環境試料の計量証明やその他廃棄物関連試料の分析を担当している。

直近の技術開発テーマとしては、生ごみのメタン発酵リサイクル事業化を目指した研究や、焼却施設排熱を活用したバイオマス燃料製造技術の研究などがある。

2. 廃棄物測定の必要性和近赤外分光法との親和性の高まり

私どもは安全安心を前提として、できる限り効率的に廃棄物を収集・処理し排出事業者から「安心して任せられる」と認識され受注し、結果的に廃棄物再資源化に貢献することを目指している。

その実現に必要な事項の一つとして、廃棄物の性状を素早く低コストで把握して



写真1 直富商事技術研究室



写真2 分析機器類

次の処理工程を最適化することがある。例えば、生ごみを回収して家畜飼料へ再資源化する場合に、生ごみ中のたんぱく質などの成分はその後の飼料配合計算において使用する数値であるため把握する必要がある。

ここで、たんぱく質を正確に測定するために公定分析法に従い電子天秤での正確な秤量や酸分解や水蒸気蒸留といった手間や薬品を多く要してしまうと、測定時間とコスト上昇により受注はままならなくなってしまう。

他方で、この25年の間に急速に進展してきた成分把握技術として「近赤外分光法」がある。近赤外分光法では、把握できる成分とできない成分があるものの、把握可能成分については把握に要する時間が非常に短い。更に近赤外分光装置メーカーなどによる技術開発によって、この数年の間に低価格の近赤外分光測定装置が出現してきている。

このように、廃棄物成分測定は素早く低コストの把握が求められ、短時間把握ができる近赤外分光装置の低価格化が進んでいるため、これら2者の親和性が高まりつつあると言える。

そのため、廃棄物中の把握したい成分について、近赤外分光装置による把握が可能か否かを探求し、把握ができる成分については近赤外線装置による測定技術を導入すべき好機であると考えている。

3. 近赤外分光法とケモメトリックスとの組み合わせによる成分把握の事例

近赤外分光法を用いた実際の測定では、測定対象物に近赤外光を含む光を照射し、透過もしくは反射してきた近赤外光を分光して得られた波長ごとの強度データに基づいて測定結果を得る。

近赤外光は通常、波長800～2500nmの領域の光を指し、可視域(波長380～800nm)と赤外(中赤外)域(2500～25000nm)との中間の領域にあたる目には見えない光である。

太陽光の中に近赤外光があるという発見がされたのは1800年であるが、近赤外光が実用されはじめたのは1955年ごろのアメリカ農業研究センターにおける穀物中の水分量定量からであるとされる。

実用化に150年余りを要した理由として、測定対象物から得られる近赤外域の波長ごとの強度のグラフ(スペクトル)が、測定対象物の厚さや密度などの物理的な特性によってベースラインの変動が起きたり、成分や量による特徴的なピークが出難いといった、視覚的・直感的なスペクトル解釈が難しいことがある。

そこで、取得したスペクトルデータを「ケモメトリックス」と呼ばれる統計的計算処理をコンピューターで行い、測定対象物中の成分種類やその量を算出することが多い。

今回私どもが行った近赤外分光法とケモメトリックスとの組み合わせによる廃棄物測定の手順は次のとおりである。

- ① サンプルの測定(近赤外線測定と測定対象成分精密測定)によって得たサンプルデータセットからのモデル式の作成
- ② 測定対象物のスペクトルデータのベースライン補正や平滑化などの前処理
- ③ 測定対象物のスペクトルデータ(前処理済)をモデル式へあてはめ結果を得る

モデル式作成(上記①)に不可欠なサンプルデータセットとは、測定対象物と同種の物の近赤外スペクトルデータと測定対象成分の正確な成分データとのセットである。このデータセットについて統計処理ソフトウェアを用いて解析し、モデル式の作成を行う。モデル式作成に用いるデータセットの量が多ければ多いほど得られる測定結果の正確さが向上するとされるが、データセット中の外れ値を正しく排除することが正確さ向上につながることもされるため、モデル式作成のノウハウが測定結果の正確さに影響すると考えられ、ここに技術開発の核心があると考えている。

4. 安価な近赤外線装置を用いた生ごみ乾燥飼料含水率測定の試み¹⁾

弊社では地域で発生した動植物系残渣や生ごみを回収・乾燥処理して養豚用飼料を生産している。

乾燥工程の進捗状況を判断するために、正確な含水率を公定分析法によって把握するためには、電子天秤と恒温乾燥器を用いて2時間以上所要してしまう。そこで安価な近赤外線装置を用いて生ごみ乾燥飼料の含水率を短時間でできるだけ正確に把握することを目的として技術開発を行った。

小型近赤外線装置[株]スペクトラ・コープ 小型NIR分光センサー NIRmeter(波長領域900～1700nm)](写真3)をノートパソコンにUSBケーブルで接続し、付属ソフトウェアを操作して乾燥途中の生ごみを測定し近赤外スペクトルを得る操作を30試料に対して行った。これと並行して公定分析法(電子天秤と恒温乾燥器による加熱前後の重量差から含水率を測定する方法)を用いて正確な含水率測定を行った。

次にスペクトルデータと含水率データを、ノートパソコンにインストールした統計解析ソフトウェア(TheUnscramblerX)で解析し、含水率推定モデル式を作成した。公定分析法による含水率が15.3～25.6%の範囲内にある10試料について、作成したモデル式を用いて含水率推定を試みた結果、公定分析法結果との誤差の平均値は1.0%、最大誤差は2.6%であった。誤差を低減するために、より多くのサンプルデータセットを収集しモデル式を改良する課題が残された。

しかしそれよりも大きな課題があった。それは測定開始から結果を得るまでに3分間ほど要してしまうことである。この原因は、NIRmeterで採取したスペクトルデータを専用ソフトウェアから取出して拡張子を変更してから統計解析ソフトウェアに取り込み、平滑化などの前処理を行った後に



写真3 小型NIR分光センサーによる乾燥飼料含水率測定

モデル式へあてはめるパソコン上での煩雑な操作が必要であるためである。

測定時間短縮や誰でも簡単に測定を行うためには、近赤外線装置の制御から測定結果出力までを自動的に行うソフトウェアが非常に重要であることが分かった。

5. 塩素含有廃プラスチックの小型判定装置の開発²⁾

廃プラスチック再資源化の最後の砦は、熱回収である。熱回収の代表格としては廃プラスチックをRPFの原料にすることである。RPFにはカーボンニュートラルに貢献する紙くずや木くずなどのバイオマスが含まれているため、今後も安定的に需要があると考えている。

RPF原料となる廃プラスチックの基準の一つとして塩素濃度があるため、RPF製造の前工程において廃プラスチックの中から塩素を含むプラスチックを見つけて取り除くことが必要になる。

既に欧州メーカーを中心に塩ビソーター(塩化ビニルなどの塩素を多く含むプラスチックを近赤外線装置で探知しエアー吹付で選別を行う装置)が販売され日本でも普及している。しかし高額であるため一定以上の処理量を保つ必要があることや、ベルトコンベア上を流れる廃棄物の片面のみの探知であることを踏まえ、導入に二の足を踏んでいる中間処理業者も多いのではない

1) 公益財団法人産業廃棄物処理事業振興財団平成29年度助成事業

2) 長野市新産業創出・販路開拓事業補助金2020年度採択



写真4 開発中の小型判定装置による測定の様子

かと考えた。

そこで、安価な近赤外線装置を使い塩素を多く含む廃プラスチックか否かを判定することに特化した小型判定装置の開発に挑戦中である(写真4)。

その小型判定装置は、土間における展開検収・選別時や、廃プラ等廃棄物が流れるベルトコンベア上におけるRPF原料選別時に、選別作業者が手軽に測定することを想定している。既に塩ビソーターを導入している業者では、塩ビソーターよりも前の工程でこの小型判定装置によってできる範囲で塩素を含む廃プラスチックを判定し除去することで、塩ビソーターの負荷が減りトータルの選別精度向上が期待できる。塩ビソーターを導入していない業者では、塩素を含む廃プラスチック判別の知識経験が無い作業でもこの小型判定装置で判別することで先輩作業者に教わらなくても自然と知識経験が増え、選別作業効率と選別精度が向上すると期待できる。

既述の4.の技術開発において、近赤外スペクトルデータを取得するソフトウェアとスペクトルデータのベースライン補正等の前処理およびモデル式へのあてはめを行うソフトウェアが別々であったため、測定開始から測定結果を得るまでを連続的に行うことができず、更に統計処理ソフトウェアの煩雑操作に習熟する必要もあった。

これでは廃棄物処理現場では使うことができなため、以下の処理を行うソフトウェアの開発を行った(以下のソフトウェア開発に先立ち、塩素を多く含むプラス

チックを判定するモデル式の作成を行った。モデル式作成手順は既述4.と同様のため割愛する)。

- ①近赤外分光センサーの制御
- ②近赤外分光センサーからスペクトルデータを取得
- ③スペクトルデータのベースライン補正等の前処理
- ④あらかじめ作成したモデル式の適用
- ⑤塩素を多く含む廃プラスチックか否かの判定結果出力

その結果、測定対象廃プラスチックにセンサーをかざしパソコンモニター上の測定開始ボタンを押すだけで、5秒程度でその廃プラが塩素を多く含むか否かを判定する測定装置を開発することができた。(測定判定動画公開中 <https://www.naotomi.co.jp/csrinfo/2014/08/technology.php>)

廃棄物処理現場で使用するためには、測定ボタンを押してから判定結果が出力されるまでの時間を1秒以内にすることや、近赤外分光センサー部や制御や統計処理計算を行うコンピューター部を含めた装置全体の小型化が課題として残されている。

6. 今後の技術開発推進の方向性

廃棄物処理テクノロジーを進化させる時に、私ども廃棄物中間処理業者の強みは廃棄物処理にかかわるビッグデータの収集場所を持っているということである。自らのみでこの強みを活用し技術開発を進めることは可能だが、技術開発すべき分野が多岐にわたるのが廃棄物処理テクノロジーの特徴であるため、テクノロジーのユーザーである廃棄物中間処理業者をハブとした複数の機械装置やソフトウェアのメーカーなどとの共同開発が最も効率の高い方法ではないかと考えている。

私ども直富商事技術研究室も、共に技術開発を行う仲間を探して技術開発のスピードを上げ、これからも地域や地球の環境改善に尽力していきたい。