

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 年度 ～ 2011 年度

課題番号：21560854

研究課題名（和文） 人工知能の応用による近赤外スペクトルを用いた普及型プラスチック種類判別機の開発

研究課題名（英文） Development of the prevalent type plastic kind distinction machine using the near-infrared spectrum by application of artificial intelligence

研究代表者 貝原 巳樹雄（KAIHARA MIKIO）

一関工業高等専門学校・物質化学工学科・教授

研究者番号：20290687

研究成果の概要（和文）：ハロゲン光源（近赤外光源）、光チョッパー、モノクロメーター、光センサー、プリアンプ、ロックインアンプ（高い信号対ノイズ比を実現するための特殊なアンプ）、モノクロメーターの波長送りモーター、制御およびデータ処理用 PC を USB で接続するタイプの原価 20 万円程度のプラスチック種類判別機を開発した。判別できるプラスチックの種類は 13 種類程度であるが、国内のプラスチック総生産量の約 90% 程度の種類判別をカバーできる。

研究成果の概要（英文）：

The distinction machine for the plastic species, composed by a halogen light source (near-infrared light source), an optical chopper, a monochrome meter, an optical sensor, a preamplifier and the lock in amplifier (special amplifier for realizing higher signal to noise ratio) was developed with the cost price, about 200,000 yen.

This equipment is composed by the least parts for the distinction of plastic species.

Although the number of the plastic species, which are identified by this machine is about 13, about 90% of the domestic total production of plastics is identified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学、分光分析、情報化学

科研費の分科・細目：総合工学、リサイクル工学

キーワード：再資源化、プラスチック、種類、判別

1. 研究開始当初の背景

プラスチックの分別回収には、大規模なゴミ回収の後の、混合した様々なゴミから集中的にプラスチックを分別する方法（以下、集中方式）と PET ボトルのように最終消費者により近い段階で分別した後回収する方法（以下、

分散方式）が考えられる。

集中方式では、消費者にとって手間がかからないが、様々なゴミが混じった状態から人が手選別したりロボットを導入して選別するとなると、コストがかさむ。ロボットになると、導入の初期費用は高額となろう（千万円

単位)。

一方、分散方式では、品質の揃ったプラスチックを回収できるが、消費者にとっては手間がかかる点が短所となる。スーパーや病院、学校等の施設に設置された判別器により分別回収したり、廃品回収等で回収分別するには人手がかかる。よって、分散処理の場合、分別にかけた手間が目に見える形で報われる社会システムが望ましい。現状では、分散方式がマテリアルリサイクルの更なる推進には現実的であろう。自治体やスーパー等で判別装置を購入してもらい、「品種別の比較的純粋なプラスチックが大量に回収されるようになれば、廃プラスチックのマーケットが拡大し、一定の価格で買取してもらえるようになり、さらに、分別へのモチベーションが高まる」という流れを本装置の普及が加速することが重要と考えられる。

2. 研究の目的

2007年の国内廃棄プラスチック量は995万トン、そのうちマテリアルリサイクル量は、約213万トンである。PE, PP, PS合計の廃プラスチック回収量が704万トンと、全体の70%程度を占め、仮に、このPE, PP, PSが全て焼却されたとするとCO2排出量は1897万トンにものぼると試算されている。従って、プラスチックのマテリアルリサイクル促進は「低炭素社会」に向けた貢献の側面を持っている。プラスチックの種類別では、例えば、近赤外スペクトルを用いた田辺和俊、天野敏男らによる研究やラマン分光を利用した古屋仲茂樹らの報告、申請者らの解説記事(森林学習法、遺伝的アルゴリズムによるプラスチック判別の最適化”化学工業, 58, 141-147. (2007))などが知られている。商品化された装置として、赤外又はラマン分光を利用した松下電器産業製のプラセクター、近赤外スペクトルを利用したPlaScan((株)システムズエンジニアリング)などが知られている。しかし、比較的安価なPlaScanでも約300万円程度である。一方、非分光方式として注目されるのは、IDEC株式会社ほかによる「ロボットを活用した多種類プラスチック分別回収リサイクル装置」である。しかし、この装置も、この種のプラスチック種類判別に、どれだけの費用をかけるのかという課題がある。現行のプラスチック判別器は過剰仕様の可能性があり、もっと安価な専用装置を普及できるのではないかと、また、大量に使用されている10数種類程度の判別で、マテリアルリサイクルの促進を十分に果たせるのではないかと考え、専用判別器を開発したことが、本申請のきっかけとなっている

現行のプラスチック判別器(価格300万円程度)は過剰仕様の可能性があり、もっと安価な専用装置を普及できるのではないかと、また、大量に使用されている10数種類程度の判別で、マテリアルリサイクルの促進を十分に果たせるのではないかと考えられることから、簡易で低コストの普及型プラスチックの種類判別機を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1)分光器専用の部品(光源、チョッパー、モノクロメーター、検出器、ロックインアンプ、オペアンプ)を持ち寄って、簡易型分光計を製作する。
- (2)次に、チョッパー、ツェルニーターナー光学系(軸外し放物面鏡2枚と回折格子、ロックインアンプ、オペアンプ等を部品から試作し、簡易型分光計と試作機との性能比較と改良を行う。
- (3)改良した試作機を用い、各種プラスチックの近赤外スペクトル測定を実施する。
- (4)試作装置に対応した、判別モデルを構築し、判別に用いる波長領域を特定する。
- (5)特定された波長領域を選択的に計測する回折格子の制御プログラムを構築し、サンプル測定と種類判別の実機試験を行う。
- (6)試作機の性能限界、コストダウンの限界の明確化と、判別戦略の具体化を進める。

平成21年度

- (1)分散型、簡易分光器の製作。
高価な干渉計、AOTF、アレイ型検出器等を使用しない、分散型分光器を想定した。既製品の部品を持ち寄った最初の簡易分光器は、既存のモノクロメーター(相馬光学：(SSM100、298千円))、チョッパー、ロックインアンプ等、分光器専用の部品や装置を用いて製作する。
この簡易分光器の性能を標準とする。
- (2)分散型、試作機の製作。
次に、チョッパーは、ファンを代用し、モノクロメーターは、回折格子と軸外し放物面鏡2枚を用いて組立て、ロックインアンプは、位相検波器を部品とし、電源等も試作する。
ほかの主な部品として、光源、スリット、回折格子の微小角度コントロール用ステッピングモーター(オリエンタルモーター、CRK523HPMAPB24V)、スリット、近赤外線検出器(浜松フォトニクス)、チョッパー回転モニター用LED、オペアンプ(図4参照)等である(計150万円程度)。
光学部品の選定と組立てには、専用の光線追跡ソフト(OPTAS-PLUS)を用いて設計し、ブレッドボード付サイエンスディスクを使用して光学部品を組立てる。

- (3) 各種プラスチックの近赤外スペクトル測定実施。

ステッピングモーターのマイクロステップ駆動を用いて、回折格子を回転する方式をとる。

1250nm から 2250nm までの領域を $6.0 \times 10^{-2}^\circ$ を最小角度として 1000 点の測定を実施する。

仮に、10msec にて一点を測定し、5msec で回転し、5msec を待機時間とすると 10 秒程度の測定となる。既存の 30 種類、587 点のプラスチック試料は、顔料や着色料をも含む多様なプラスチックであり、特に、分散の大きなスペクトルを含め、判別モデル構築のための基礎データを収集する。また、必要に応じて、スペクトルの前処理(特定波長の吸光度で割算する規格化など)に工夫を加える。

平成 22 年度以降

- (4) 判別モデルを構築する。同時に、判別に必要な変数を特定する。

取得した基礎データから、CART を用いて、重要な変数を選択の後、MART、あるいは SVM(Support Vector Machine)を用いて、誤分類率 0 の判別モデルを構築する。これらの分類法は、スペクトル空間を各グループに分割する際、各グループ間の距離を最大とするような区分線を引く。この点で、マハラノビスの距離や、相関を用いた判別とは異なる。すなわち、違いを明確化することを基本とした分類方法である。従って、顔料や着色料などを含むバラツキのあるスペクトルが混在していても、柔軟な判別を実現できる。

- (5) プラスチックの種類判別モデル構築と同時に、選択された判別のための重要変数のみを計測する目的で、ステッピングモーターの駆動を制御するプログラムを作成する。従来、スペクトルの測定において、選択的な波長領域のみを計測する方法は一般的ではない。

しかし、従来型の回折格子を用いて、特定の領域を全て測定する方法では、スペクトル計測に、数十秒の時間を要する。そこで、選択的な波長領域の測定にとどめて、スペクトルの計測時間を短時間化する方法を着想するに至った。仮に、1000 点の測定領域のうち、その 5% に相当する 50 点の測定が必要となれば、測定時間、約 0.5 秒と見積もることができる。判定も含めて、3 秒以内程度であれば、現行の AOTF 方式による判別と同程度の判別時間となる。さらに、高速測定は、積算による SN 比の向上にもつながる。作成したプログラムにより駆動する分光器(試作器)を用いて、多種類のプラスチックを測定し、判別テストを

実施する。

- (6) 試作機の性能限界、コストダウンの限界の明確化と、判別戦略の具体化を進める。

4. 研究成果

波長分解能、10nm 程度、ロックインアンプの同期波長を 500Hz に固定したシンプルかつ必要最低限の構成部品からなる判別機を開発した。

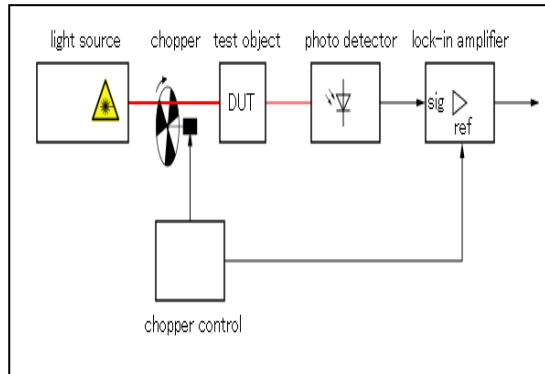


図 1 ロックインアンプの原理説明図
光源は、20W のハロゲン光源を用いた。集光光学系としてレンズを使用し、光チョッパーは、自作の羽を直流モーターで回転し、500Hz の on、off を繰り返すデューティ比 50% の断続的な変調とした。光センサーは PbS タイプで、電子冷却はしていない。プリアンプに続くロックインアンプは、ノイズに埋もれた微小信号であっても検出できるよう変調入射光と同期した信号のみを抽出・増幅する装置である(図 1 参照)。市販の装置では、変調周波数が数十から数メガヘルツまで、幅広い領域で利用できる。しかし、本装置では、これを固定周波数、500Hz とし、ロックインアンプの簡素化を実現した。図 2 は、この回路図である。

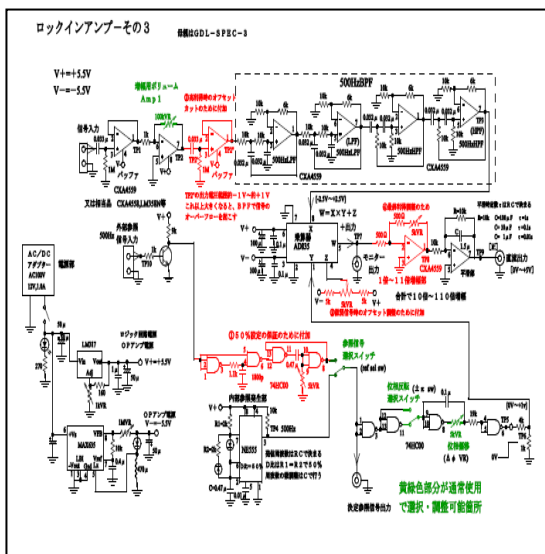


図 2 ロックインアンプの電子回路図

入力信号は、プリアンプで増幅され、ハイパスフィルターとローパスフィルターにより形成されるバンドパスフィルターを通過して 500Hz 近傍の周波数信号のみが通過する。次に、乗算器にて、バンドパスフィルターを通過した信号と、同期のための参照信号を掛け合わせる。この結果、得られた直流信号を AD コンバーターへと出力する。

図 3 は、ABS(アクリルブタジエンスチレン樹脂)の測定スペクトルである。ABSはその由来がアクリルとブタジエンとスチレンであることから、その混合比が変わると、スペクトルも変化するが、図中、丸で囲んである領域の特長的な吸収は共通していることが確認できる。

PC による測定開始、測定終了、また、回折格子の初期位置への復帰などの制御は Visual-Basic にてコントロールした。また、採取スペクトルによるプラスチックの種類判定は PC のデスクトップにスタンダードスペクトルと採取スペクトルを重描いて表示する方式とした。

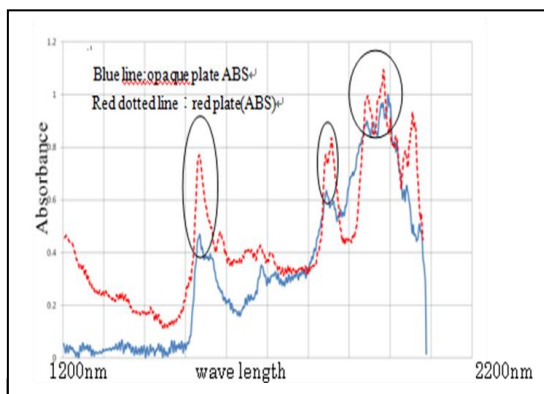


図 3 ABS のスペクトル比較

本装置は、原価、20 万円程度であり、分散型の品種別回収を推進するための判別機としての利用が期待される。本装置の外形サイズは、200×200×90mm のボックスに収まるサイズであり、携帯する際にも支障は無い。

今後、集光光学系の改良、および、電子回路の SN 比を改善することにより、使いやすさと判別精度の改善を推進する。品質工学の考え方を導入した検討を加えて製品化を目標とする。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

“The trial spectrometer kit of near infrared spectroscopy for researchers and students on chemistry”,

Mikio Kaihara, Etsuya Chiba and Shigeo

Kinno

2012 Asia-Pacific Conference on Analytical Science (APCAS) in Metro Manila, Philippines, 11 to 13 April 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

貝原 巳樹雄 (KAIHARA MIKIO)

一関工業高等専門学校・物質化学工学科・教授、研究者番号：20290687

(2) 研究分担者

千葉 悦弥 (ETSUYA CHIBA)

一関工業高等専門学校・電気情報工学科・教授、研究者番号：90163732

(3) 研究分担者

金野 茂男 (KINNO SHIGEO)

小山工業高等専門学校・電子制御工学科・教授、研究者番号：00186371