

3種類の波長の近赤外半導体レーザーによる プラスチック種類識別技術の開発(Ⅲ)

和泉電気(株) 稲田 宏治、○伊藤 祥幸、鷹尾 健、藤田 俊弘

Development of a New Sensing Technology for Plastic Identification by Using Three Infrared Laser Diodes Oscillating Different Wavelength (Ⅲ)

Koji Inada, ○Yoshiyuki Ito, Takeshi Takao, and Toshihiro Fujita

IDEC IZUMI Corporation

Abstract : The rate of plastics being recycled in our country has become increasingly high. Especially the rate for PET (polyethylene terephthalate) bottle recycling is showing rapid increase. To further increase the recycling rate of plastics, not only the progress of the reproduction technology of plastics but the development of an identification technology will be indispensable. To date, we have reported a plastic identification technology using laser diodes. In order to put this technology into practice, we studied how the forms of the plastics will affect the identification results. As a result, it turns out that by using our technology it is possible to discern the composition of plastics without being influenced by their form. In this paper we report especially on identification of PET bottle.

1. はじめに

財団法人クリーン・ジャパン・センターによる「循環型社会実行元年～法制度と3Rの動向」(2001年)によると、平成10年度の使用済みプラスチックは一般廃棄物として499万ト、産業廃棄物として485万トとなっており、総排出量984万トに対する有効利用の割合は、マテリアルリサイクル率12%、サーマルリサイクル率32%であり、プラスチックとしての有効利用率は44%となっている。

また、平成12年4月に容器包装リサイクル法が完全施行されて以来、わが国のプラスチックのリサイクル率は年々高くなってきている。図1に示すように容器包装リサイクル法で再商品化の対象に指定されたPETボトルは自治体や民間による分別収集への積極的な取り組みもあり、ここ4年間で回収量と回収率が急激に増加している。今後、プラスチックのリサイクル率をさらに向上させるためには、再生技術の進歩のみならず、識別技術の向上が不可欠となる。

現在、行われているプラスチック識別方法は、近赤外吸収スペクトルを分光方式で測定し、分析する方法が一般的である。この方法は非常に高精度である一方で、装置が大型かつ高価でありメンテナンスに手間がかかり取り扱いも複雑であるなどの問題点がある^{[1]-[9]}。

そこで、われわれは近赤外領域におけるプラスチック固有の光吸収特性に着目し、世界では

じめて半導体レーザー(以下LD)を用いたプラスチック種類識別技術の基礎技術開発を行い実証実験を進めてきた^{[10]-[14]}。今回、さらに実用化に近づけるため、市販されている飲料水用PETボトルを用い、形状による影響を試験し検討を行ったので以下に報告する。

2. 半導体レーザーを用いたプラスチック識別の原理とプロトタイプ構成

現在生産されている代表的なプラスチック材

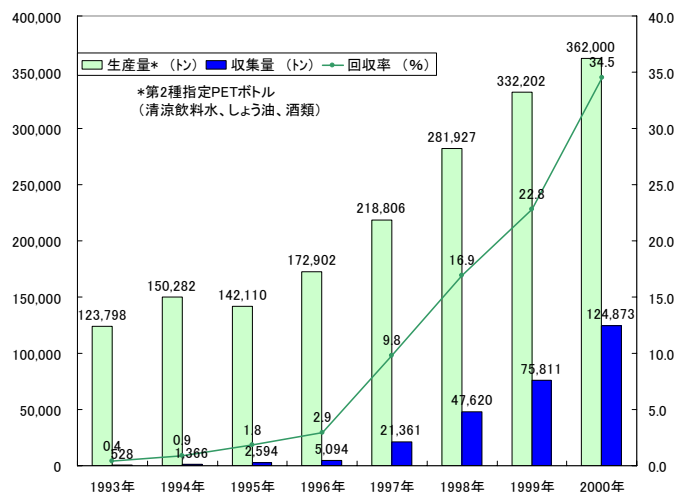


図1 PETボトルの回収量と回収率の推移

(出展:PETボトルリサイクル推進協議会)

料は、PET (ポリエチレンテレフタート)、PVC (ポリ塩化ビニル)、PS (ポリスチレン)、HDPE (高密度ポリエチレン)、LDPE (低密度ポリエチレン)、PP (ポリプロピレン) である。これらの材料を、分光光度計を用い測定波長範囲 1640~1740nm で透過率を測定した結果を図 2 に示す。図から、各々のプラスチックは固有の光吸収特性を持っていることがわかるが、これは C-H 結合の伸縮振動に起因するものである^[15]。従って、この光吸収スペクトルのピーク波長付近で発振する LD を用いて透過率を比較することにより、プラスチックの種類識別が可能となる。

次に、試作したプラスチック種類識別装置の

プロトタイプ構成について説明する。光源には、縦マルチモードで発振しピーク波長約 1657nm、1714nm、1729nm で包絡線スペクトルが半値全幅 10nm 程度の 3 種類の InGaAsP 系 LD を採用している。これらの LD の発振スペクトルを、周囲温度 25°C において測定した結果を LD1、LD2、LD3 として図 3 に示す。

また、光学系は図 4 に示すように、3 種類の LD からの光をハーフミラーにより同一光軸上に重ね合わせる構成とし、プラスチックに照射された LD からの光は、後方に配置した反射板で再度プラスチックを透過させたのち、ホトダイオード (以下 PD) に集光される。各々の LD からの光

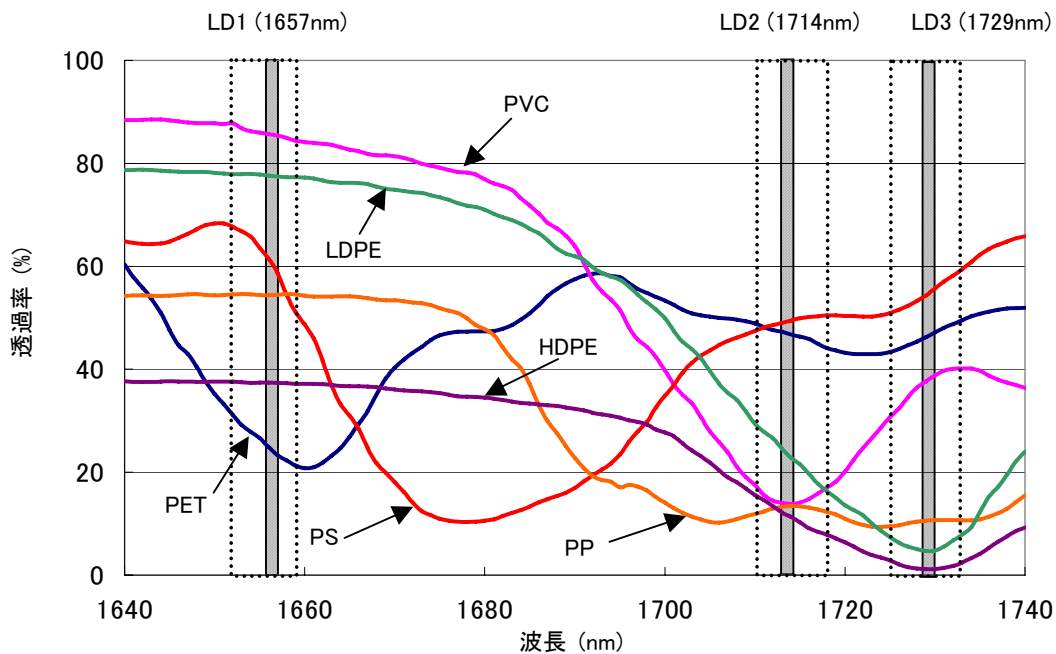


図 2 分光光度計で測定した波長範囲 1640~1740nm におけるプラスチックの光吸収スペクトルの拡大図

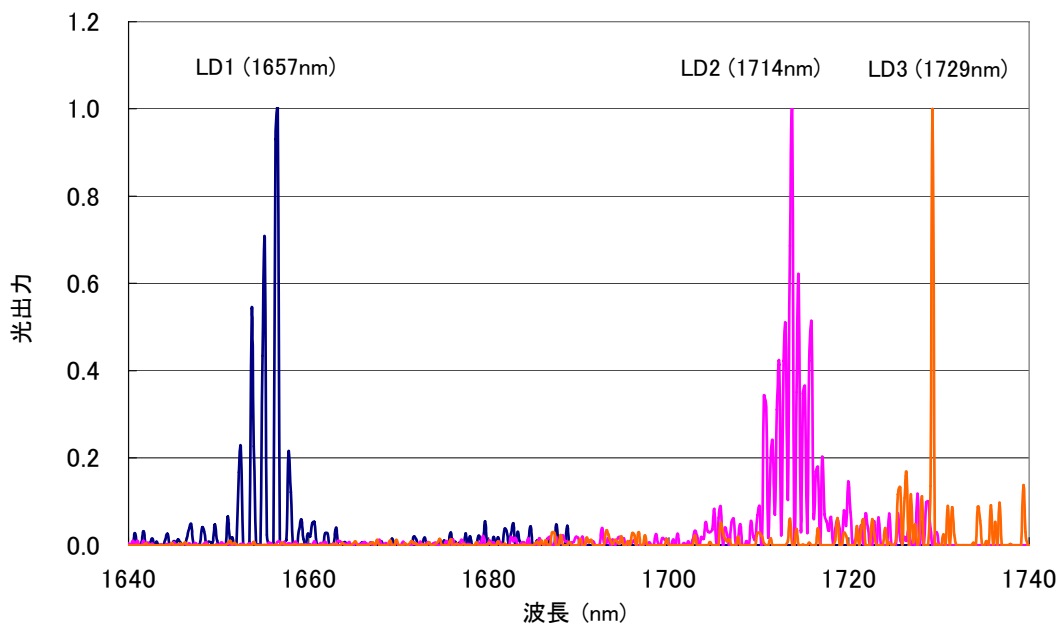


図 3 プラスチック種類判別装置に用いた LD1、LD2、LD3 の光スペクトルアナライザで測定した発振スペクトル

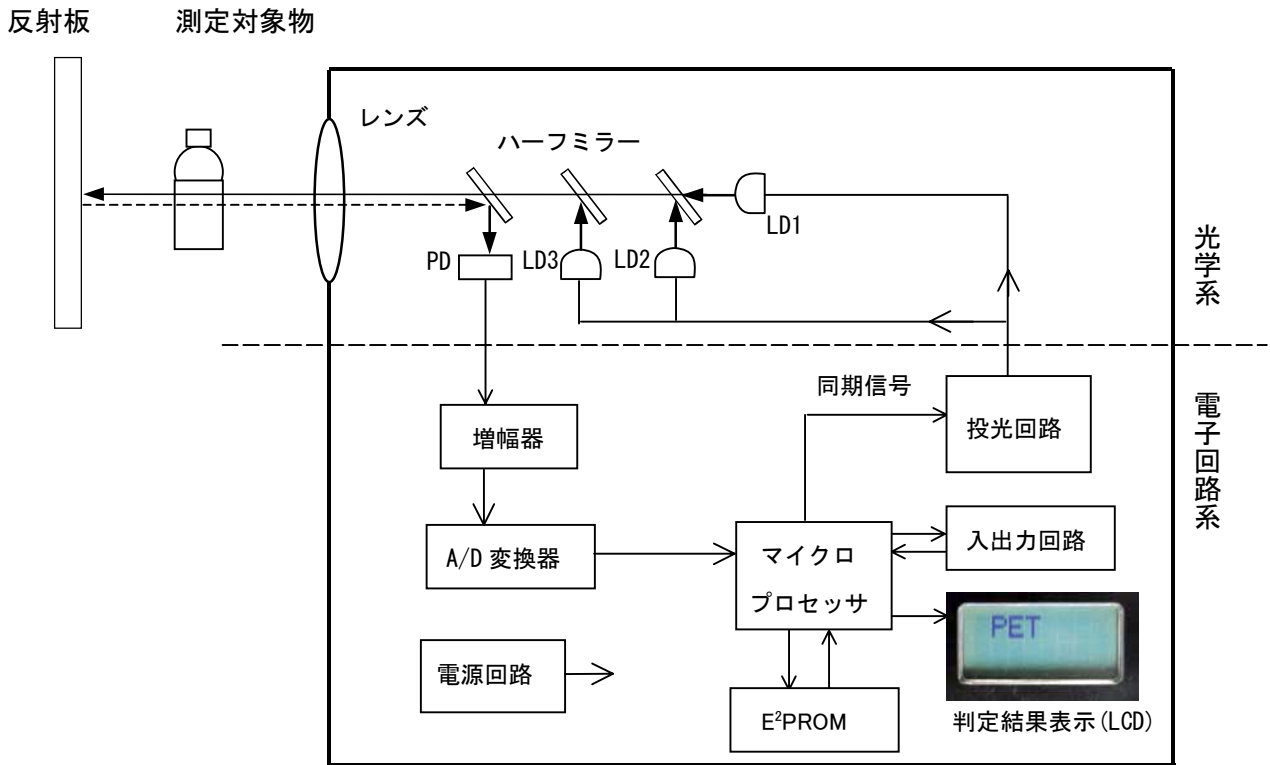


図4 プラスチック種類識別装置の構造



写真1 小型プラスチック種類識別装置のプロトタイプ概観図

は時系列的に順次点灯し、集光された光はPDで電気信号（受光信号）に変換される。

このプロトタイプを用いてPET、PVC、PSの3種類のプラスチックに対する受光信号強度の波長依存性をまとめたものを図5に示す。LD1、LD2、LD3の各波長で得られた受光信号の電圧ピーク値をV1、V2、V3で示すと、それぞれの関係は次のようになっていることはすでに報告済みである^[14]。

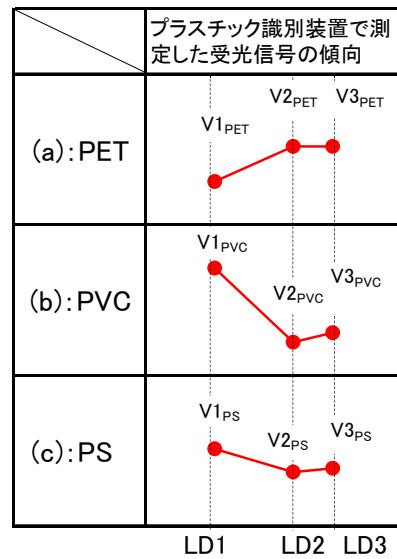


図5 各プラスチックにおいてプラスチック種類識別装置で測定した受光信号の波長依存性

$$V1_{PET} \ll V2_{PET} \cong V3_{PET} \text{ ----- (1)}$$

$$V1_{PVC} \gg V2_{PVC} < V3_{PVC} \text{ ----- (2)}$$

$$V1_{PS} > V2_{PS} < V3_{PS} \text{ ----- (3)}$$

今回のプロトタイプでは、この受光信号をA/D(Analog/Digital)変換器でデジタル変換させたのち、マイクロプロセッサに取り込み各波長の信号強度の比率を求める。そして、あらか

じめ E²PROM に記憶設定させている各プラスチックの信号強度の比率データと比較して、一定の範囲内で合致すると特定のプラスチックと判断し信号を出力するとともに、LCD にその結果を表示する処理回路系とソフトウェアを搭載している。このプロトタイプの構成ブロック図を図 4 に、外観を写真 1 に示す。

3. 実験の準備

現状の一般的なプラスチック種類識別の工程では、回収されたプラスチックはベルトコンベア上に搬送され、ライン上にランダムに投入される。また、これらのプラスチック製品は様々な形状や色のものが混在している。そこでわれわれはこれらの影響を調べるために、以下のような準備を行った。

(1) サンプルの選定

今回は、マテリアルリサイクルに多く活用されている PET ボトルをターゲットとした。このボトルは外観が複雑な凹凸で成形されているので形状の影響を見るのに最適である。

(2) 光学系の調整

プラスチック種類識別装置のプロトタイプは、LD のスポットサイズを調節するための光学レンズを備えており、微小スポットに絞り込むことも可能である。しかし、微小スポットに絞り込んだ場合、プラスチック製品の表面形状による屈折、散乱、正反射等の影響を受けやすいため、本実験では絞り込むことはせず、ほぼコリメートした状態の約 ϕ 30mm のスポットサイズに調整した。また、図 4 に示した反射板は表面が梨地状のアルミ板を用いた。これは反射した測定光を鏡面で反射させると厳密な光軸調整が必要になるため、光軸調整を簡素化し容易に PD に信号光を入光させるためである。

(3) プロトタイプの識別性能試験

今回は PET ボトルをターゲットとして測定したが、光学的に透明で十分な受光光量を得ることができる PET、PVC、PS の 3 種類のプラスチックがプロトタイプで問題なく識別できることを確認したのちに実験に取り掛かった。

(4) 着色材の影響

今回入手した PET ボトルは、緑色に着色されていたため、詳細は紙面の関係で割愛するが、事前に板状のサンプルで無色の物と着色された物との比較を行い、着色材による測定データへの影響が無いことを確認した。

(5) 測定の位置関係

実用化段階において、測定対象物はベルトコンベア上を寝かせた状態で搬送されるため、プロトタイプと反射板間の距離を 300mm とした。

4. 実験の結果

試験品の PET ボトルは、手動式の移動テーブルに寝かせ外径のほぼ中心位置を 10mm ずつ移動させて測定を行い図 6 (a)、(b) のような結果を得た。この図中のデータは、上段に PET ボトルの測定位置に対する受光信号レベルを、下段にプロトタイプによる判定結果を示している。

これらの測定結果において、受光信号レベルが一定でなく変化している理由は、PET ボトル表面に複雑な凹凸があり、測定光が屈折や散乱による影響を受けたために生じたと思われる。また、測定位置 5mm と 220mm 付近で大きな受光信号が出ているのは、測定光の一部が PET ボトルを透過せず、直接反射板で反射した光が PD に入光したためである。

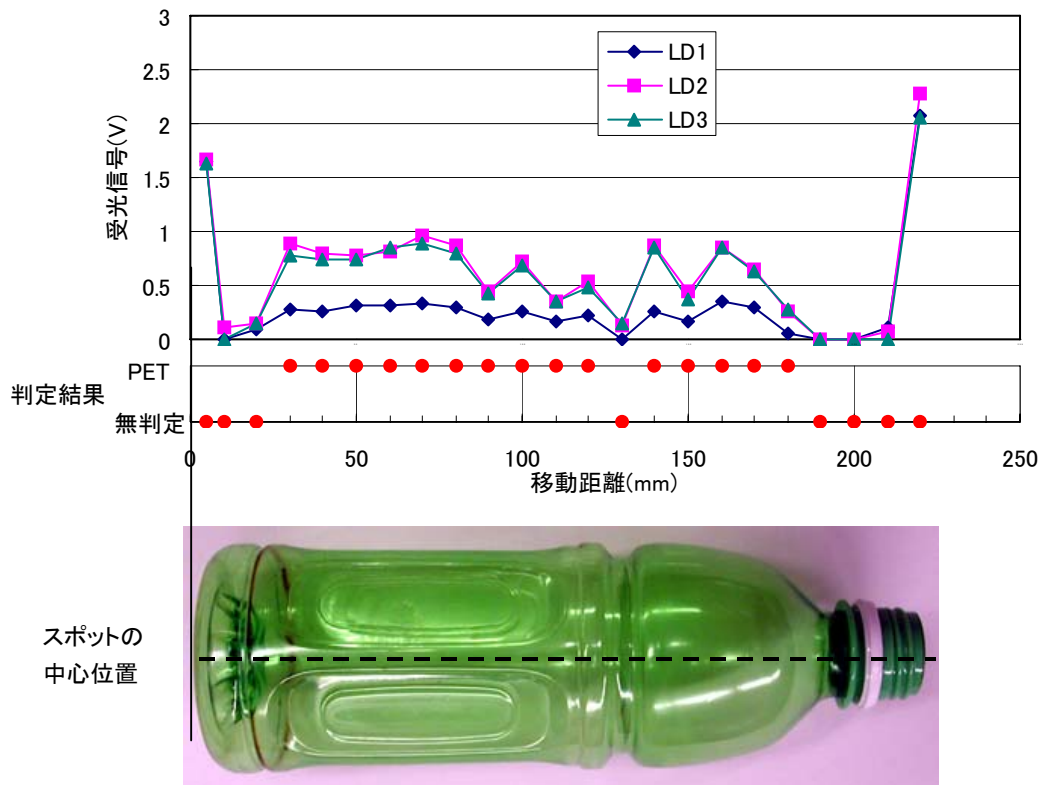
また、PET ボトルの両端から数 10mm の位置において受光信号が極端に小さくなっているのは、頭部ではキャップ用のネジ部があり樹脂厚が極端に厚くなっていることと、底部では内部方向に凸形状にへこみを作り複雑な形状となっているため、測定光が PD まで到達しなかったためと考えられる。

図 6 (a) において、底部から 110~140mm の位置では帯状の凹凸が形成されているため、測定光が屈折や散乱の影響を大きく受けたものと思われる。特に 130mm においては、LD1 の受光信号がほぼゼロとなっており、あらかじめ E²PROM に記憶設定されているデータとの比較ができず無判定となっている。(b) の測定結果においても底部から 130mm の測定点で、その傾向が現れているが LD1 の信号光が 0.2v 程度得られたため PET と判定されている。また、60~80mm の位置では表面がほぼ平坦となっているため、表面での正反射成分が関与して判定結果が無判定になっていると考えられる。140~160mm において受光信号レベルが他の測定ポイントの測定データより大きくなっているのも、各 LD の光軸がわずかにずれているため、LD1 に比べ LD2 及び LD3 の波長で正反射成分の影響を受けているためである。

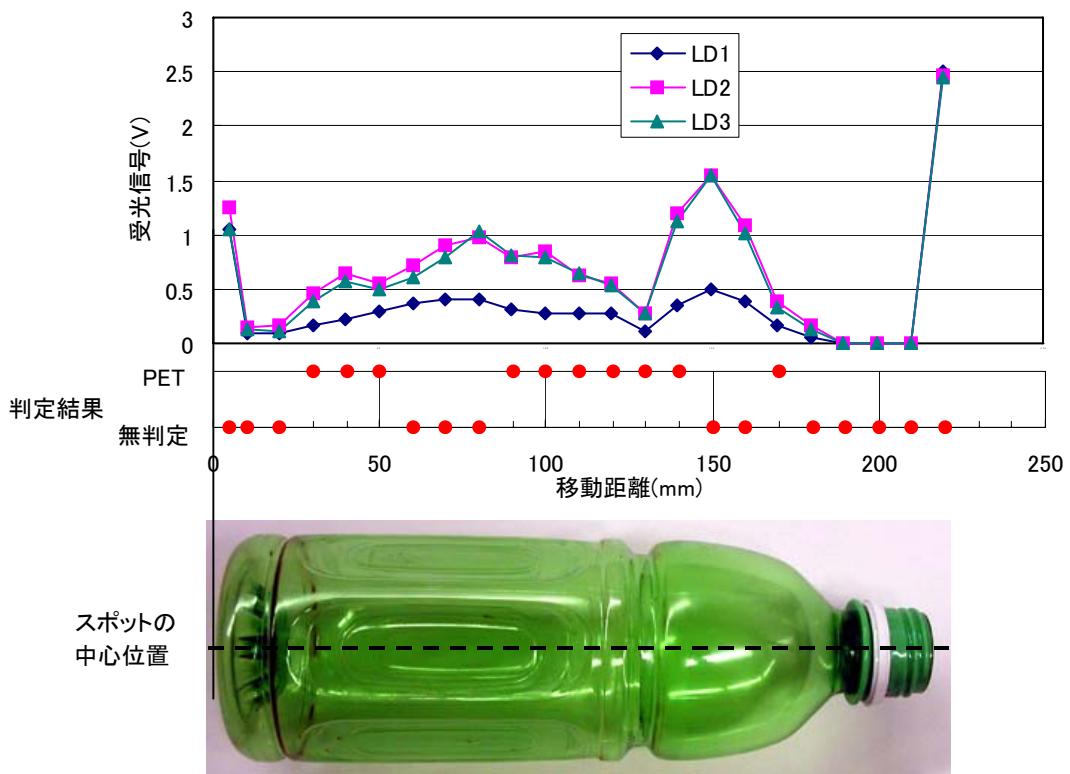
なお、測定した全領域での判定結果は PET もしくは無判定であり、他の樹脂と誤判定されることは皆無であった。

5. 考察

実験の結果から、今回のプロトタイプは当初



(a) 測定結果 1



(b) 測定結果 2

図 6 PET ボトルの位置による受光信号の変化と判定結果

予定していた性能を充分発揮できることがわかった。ここで、現在実用化されている大型の分光方式を用いたプラスチック種類識別ラインに、実際にプロトタイプを設置した場合の性能について検討してみる。

現状のプラスチック識別ラインの速度は、高速の場合で 300m/min 程度である。今回製作したプラスチック種類識別装置は、一回の判定結果を出すに要する処理時間は約100 μ secである。実験に用いた500mlのPETボトルがライン上を流れてくることを想定した場合、キャップ部を除いたボトルの高さが200mm程度であるので、両端から30mmずつを識別出来ないと仮定しても約280個のデータを収集することが可能である。また、今回の実測データでもPETと識別された回数は図6(a)の場合15回、(b)の場合は10回あり、無判定以外の誤判定は皆無であることから、プラスチック種類識別の判定に十分なデータ結果を得られたことが判る。

6. まとめ

今回われわれはプラスチック種類識別装置の実用化に向けて、市場に出回っているPETボトルをサンプルとして検出性能について実験を行い、その結果を分析し満足すべき結果が得られた。今後は、他のプラスチックについても更に検討を進め、より高速なCPUを用いると共に、より最適な処理ソフトを構築して実用化に向けて努力を続ける所存である。

謝辞

今回の技術開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の産業技術研究開発実用化技術開発事業として推進しているものであり、関係各位のご指導、ご支援に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 尾崎幸洋、河田聡：近赤外分光法、日本分光学会(1998)
- [2] 錦田晃一、岩本令吉：赤外法による材料分析、講談社(1986)
- [3] Miller, C.E., Near-Infrared Spectroscopy of Synthetic Polymers. Applied Spectroscopy Reviews., 26(4): pp.277-339; (1991)
- [4] Weyer, L.G., Near-Infrared Spectroscopy of Organic Substances. Applied Spectroscopy Reviews., 21(1&2): pp.1-43; (1985)
- [5] Bledzki, A.K., and Nowaczek, W., Identification of plastics in waste materials and methods for their recycling. International Polymer Science and Technology., 21: pp.73-80; (1994)
- [6] Eisenreich, N., Herz, J., Kull, H., Mayer, W., Rohe,

- T., Fast On-Line Identification Of Plastics By Near-Infrared Spectroscopy For Use In Recycling Processes. SPI ANTEC 96(Society Of Plastics Engineering Annual Technical Conference 96), : pp.3131-3135; (1996)
- [7] Eisenreich, N., and Rohe, T., Analysis:Identifying Plastics. Kunststoffe plast europe., 86(2): pp.31-32; (1996)
- [8] Florestan, J., Lachambre, A., Mermilliod, N., Boulou, J.C. and Marfisi, C., Recycling of plastics: Automatic identification of polymers by spectroscopic methods. Resources, Conservation and Recycling., 10: pp.67-74; (1994)
- [9] Huth-Fehre, Th., Feldhoff, R., Kantimm, Th., Quick, L., Winter, F., Cammann, K., van den Broke, W., Wienke, D., Melssen, W. and Buydens., NIR - Remote Sensing and Artificial Neural Networks for Rapid Identification of Post Consumer Plastics. Journal of Molecular Structure., 348.,: pp.143-146; (1995)
- [10] 田門立身、藤井祥二、稲田宏治、本村幸一、西原一寛、藤田俊弘：半導体レーザーを用いた赤外吸収によるプラスチック識別に関する検討、第16回センシングフォーラム、計測自動制御学会、pp.147-152 (1999)
- [11] 稲田宏治、松田里菜、藤原千鶴、田門立身、鷹尾健、藤田俊弘：3種類の波長の近赤外半導体レーザーによるプラスチック種類識別技術の開発、第17回センシングフォーラム、計測自動制御学会、pp.233-238 (2000)
- [12] Koji, Inada., Rina, Matsuda., Chizuru, Fujiwara., Mitsutoshi, Nomura., Tatsumi, Tamon., Ikkan, Nishihara., Takeshi, Takao., Toshihiro, Fujita., Identification of plastics by Infrared absorption using InGaAsP Laser Diode. Resources, Conservation & Recycling., 33/2: pp.131-146; (2001)
- [13] 稲田宏治、松田里菜、野村光俊、田門立身、鷹尾健、藤田俊弘：3種類の波長の近赤外半導体レーザーによるプラスチック種類識別技術の開発(II)、第18回センシングフォーラム、計測自動制御学会、pp.199-204 (2001)
- [14] Koji, Inada., Lanny, Schuberg., Takeshi, Takao., Toshihiro, Fujita., DEVELOPMENT OF A NEW SENSING TECHNOLOGY FOR PLASTIC IDENTIFICATION BY USING THREE INFRARED LASER DIODES., ISA ETCON 2002 Conference., 21-24 October, 2002, Chicago, Illinois (The abstract has been accepted)
- [15] Miller, R.G.J., Willis, H.A., Quantitative Analysis In The 2- μ Region Applied To Synthetic Polymers. J. Appl.Chem., 6: pp.385-391; (1956)

