

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

和泉電気(株) 田門 立身、藤井 祥二、稲田 宏治、本村 幸一、西原 一寛、藤田 俊弘

A Proposal of Plastic Sensing by Infrared Absorption Using Laser Diode

Tatsumi Tamon, Shoji Fujii, Koji Inada, Koichi Motomura, Ikkan Nishihara, and Toshihiro Fujita

IDEC IZUMI Corporation

Abstract : In industrial system, there are many sensors to setup highly automated production process. In recycling process, however, it can be said that there is almost no sensor to discriminate one substance, from another in comparison with production process. For example, in plastic recycling system, there is no compact sensor to discriminate plastic from other substance and it is common today to employ large and expensive near infrared spectrophotometers. Therefore, to realize a society establishing zero emission, there is a keen need for the development of compact and inexpensive sensors applicable for recycling process.

From this viewpoint, we have developed for the first time, a technology to detect the existence of plastics utilizing laser diode and we will report this technology in this paper.

1. はじめに

近年、世界的に地球環境問題がクローズアップされ、ヨーロッパをはじめ各地で様々な規制や対策がなされており、我が国でも自動車および家電製品の部品などのリサイクル、リユースなどの流れが現れてきている。また、容器包装リサイクル法が施行されるなど、世界的な流れに同調した動きを示しており、今後その動きは更に加速されるものと考えられる^{[1]-[4]}。この流れは、経済ならびに産業分野にも大きな影響を与えており、近い将来生産システムの抜本的な改革を求められる可能性もある。

産業システムを人体にたとえれば、モノの生産から流通、消費までの動脈産業と、消費後の廃棄物等の収集、処理、再生、そして再資源化を担い再生産につないでいく静脈産業の両面から成り立つものである。すなわち、図1に示すような循環が成り立って初めて、有限な地球環境のもとでの持続可能な経

済社会システムとなり得る^{[5][6]}。動脈産業と静脈産業におけるプロセスの違いについては、図1に示すように、動脈産業は各種部品を組み立てる生産プロセスの流れであり、静脈産業はその製品から各種部品に分解するリサイクルプロセスの流れである。

ここで、これらのプロセスにおける物の識別、すなわちセンシングという観点で考察する。従来、部品組立工程では、対象とする部品の有無をセンシングするなどの簡単な測定に加えて、それら部品の寸法、色、電気的特性などの物理量を測定することにより、ロボットなどで各種部品を組み合わせる生産が行われている^{[7]-[10]}。

翻って、静脈産業のリサイクルプロセスを考えると、まずその製品を再利用するため各種部品に分解し、それら部品の物質が何であるのかを識別する必要がある。従来より高度な自動化生産システムの確立のため、動脈産業に用いられるセンサは数多く存在するが、静脈産業のリサイクルプロセスに対

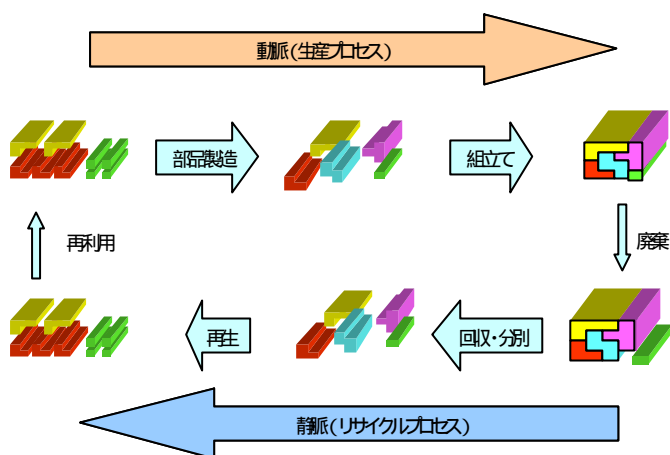


図1 産業システムにおける動脈と静脈

しては、その材料を識別するセンサ自体があまり存在していないと思われる。例えば、現在リサイクルにおいて問題となっているプラスチックを見てみると、色々な材質からプラスチックだけを簡単に識別するセンサは未だ存在せず、どちらかと言えば、大型の近赤外分光分析装置を用いて計測しているのが一般的である。

今後、図1に示した循環型社会を構築していくには、静脈産業に適したセンサの開発が必要不可欠であると考えられ、われわれは以上の観点から世界で初めて InGaAsP 系半導体レーザ（以下LD とする）を用いてプラスチックの有無を簡単に識別する技術を開発したので報告する。

2. プラスチックの近赤外光吸収スペクトル

現在、プラスチックの識別に使用されている方法としては近赤外分光分析法が一般的である^{[11]-[13]}。近赤外分光分析法は、近赤外領域約800～約2500nmにおける光吸収スペクトルのパターンから、その材質が何であることを識別する。

図2(a)～(g)に、われわれの入手した各種のプラスチックにおける光吸収スペクトルを波長範囲300～3000nmで測定した結果を示す。図2(h)に示すように、それぞれの被測定物における材質、厚さ（以下光路長とする）、および色は以下の通りである

(a) HDPE（高密度ポリエチレン）0.85mm、白色半透明

(b) LDPE（低密度ポリエチレン）1mm、無色半透明

(c) PC（ポリカーボネート）2.8mm、無色透明

(d) PET（ポリエチレンテレフタレート）1mm、無色透明

(e) PP（ポリプロピレン）1.4mm、無色半透明

(f) PS（ポリスチレン）2.8mm、無色透明

(g) PVC（ポリ塩化ビニル）1.5mm、無色透明

図2(a)～(g)に示したように、近赤外領域においてはプラスチックの種類に対して様々なスペクトルパターンが見られ、特に2000nm以上の波長領域においては材質固有のスペクトルパターンが現れている。ここで注目すべきことは、いずれのプラスチックにおいても、種類にかかわらず波長約1700nm近傍に必ず光吸収のピークが存在することである。

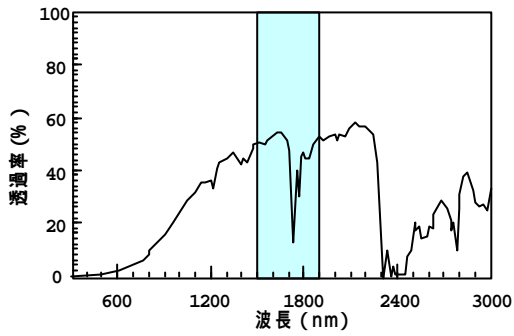
3. プラスチック識別技術の比較

図3に、プラスチックを識別する方法として、(a)従来の近赤外分光分析装置を用いる方法と、(b)今回われわれの提案するLDを用いる方法を対比して示す。また検出体としてのプラスチックを識別する測定光学系としては、検出体に対して透過形並びに反射形の2つの光学系があるが、ここでは透過形の光学系で説明する。

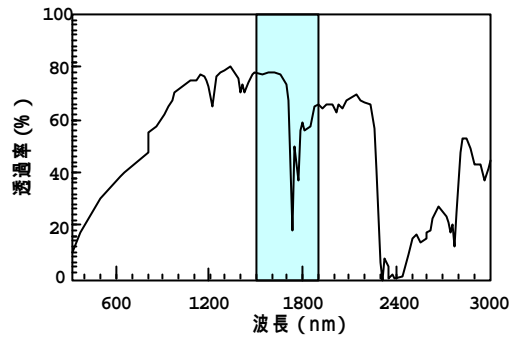
3.1 近赤外分光分析装置によるプラスチック識別技術

図3(a)の近赤外分光分析装置は、いわゆる分光器であるため、光源側にランプと集光用の反射鏡が必要であり、受光側に反射鏡、回折格子、スリットとしての空間フィルタ、また受光器が必要である。そのため、大型で複雑な光学系や制御系が必要となり、装置自体が50×50×30cm程度のサイズとなる。近赤外分光分析装置は、高分解能を有するためオフラインでの分析には非常に適しているが、オンラインでの使用を考えると、以下のような課題がある。

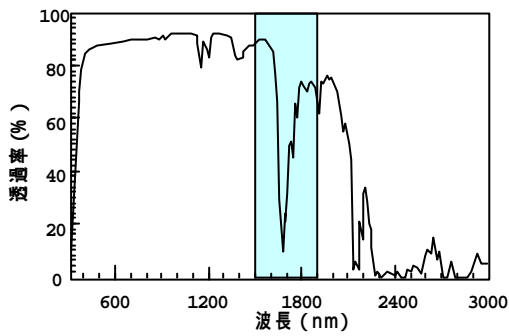
- 1) ランプを光源としているため寿命が短く、交換が必要である。
- 2) 取り扱いや調整が簡単ではないため、ある程度の専門のオペレータが必要となる。



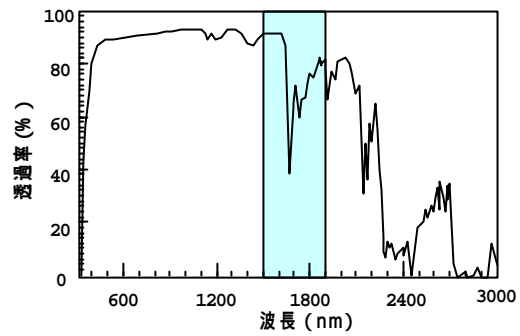
(a) HDPE (高密度ポリエチレン)



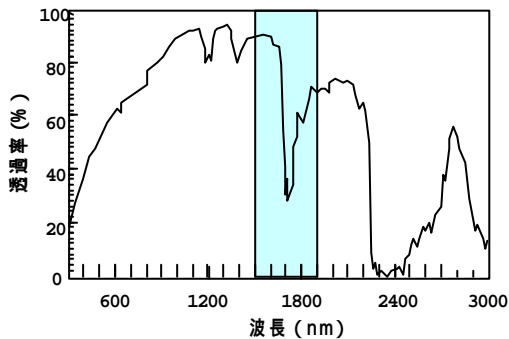
(b) LDPE (低密度ポリエチレン)



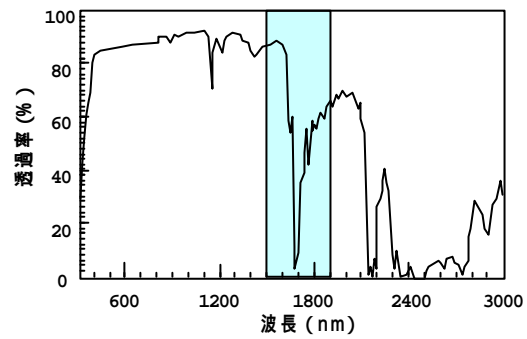
(c) PC (ポリカーボネート)



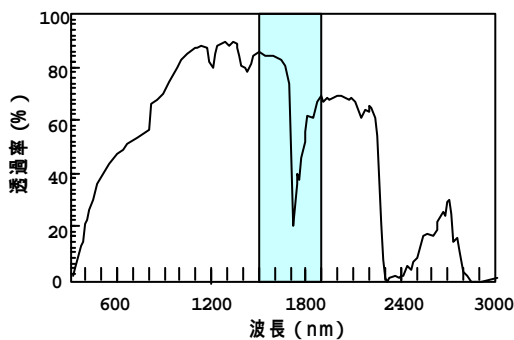
(d) PET (ポリエチレンテレフタレート)



(e) PP (ポリプロピレン)



(f) PS (ポリスチレン)

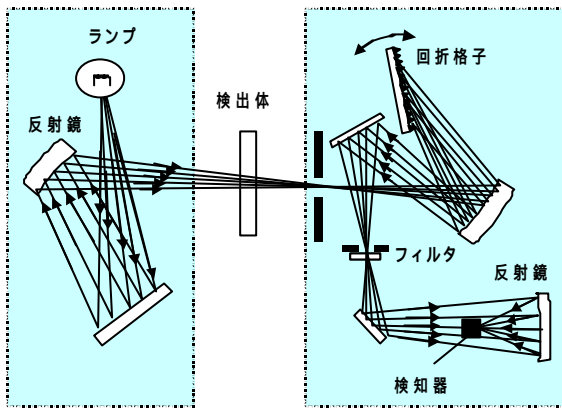


(g) PVC (ポリ塩化ビニル)

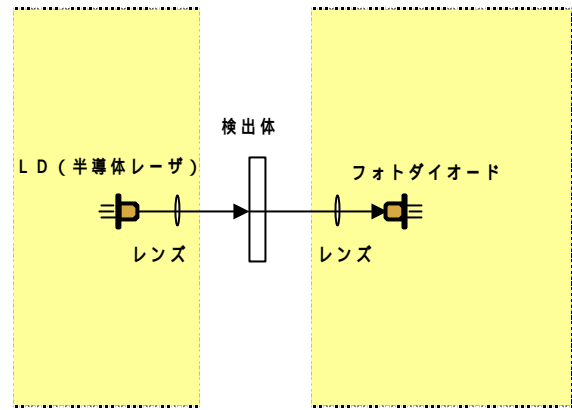
	材質	光路長 (厚み, mm)	色
(a)	HDPE	0.85	白色半透明
(b)	LDPE	1	無色半透明
(c)	PC	2.8	無色透明
(d)	PET	1	無色透明
(e)	PP	1.4	無色半透明
(f)	PS	2.8	無色透明
(g)	PVC	1.5	無色半透明

(h) 測定条件

図2 プラスチックの近赤外光吸収スペクトル



(a) 近赤外分光分析装置による構成



(b) LD (半導体レーザ) を用いる構成

図3 プラスチック識別技術の比較

3) 応答速度についてはスペクトルパターンの解析時間が必要なため、数 10ms 以上と遅く、ある程度スピードが速いラインでの使用には不向きである。

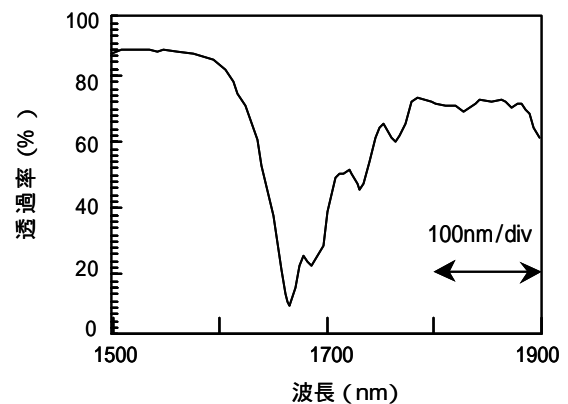
3.2 LD によるプラスチック識別技術

それに対して、今回われわれの提案する LD を用いる方法は、図 2 に示した光吸収スペクトルにおけるプラスチックの光吸収ピークが 1700nm 近傍に必ず存在することに着目したものである。プラスチックの有無についての識別であれば、この波長帯の InGaAsP 系 LD を用いることにより、図 3(b)に示すように、極めて簡単な光学系によるセンシングが可能となる。すなわち光源としての LD から放射されたレーザ光は、投光側のレンズ、検出体、また受光側のレンズを透過し、フォトダイオードで受光される。検出体としてのプラスチックが存在する場合、レーザ光は吸収され、後述するように検出体が存在しない場合との受光量比較により容易に検出することが可能となる。

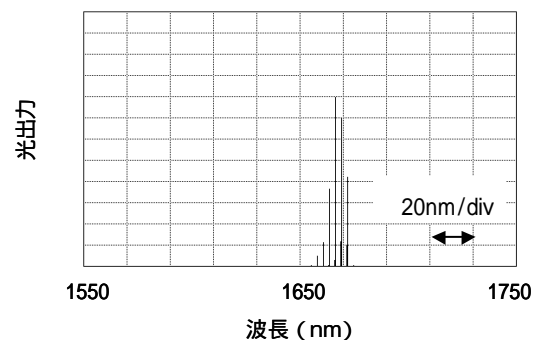
LD を用いる方法は、前述の近赤外分光分析方法と比較すると光学系は非常にシンプルであり、数 cm 角と小型化が可能となる。また、LD が光源であるため寿命が約 10 万時間と長く、実際の使用期間において光源を交換する必要がない。また、取り扱いが簡単で操作性が良いため専門のオペレータが必要ない。さらに、応答速度が 1ms 程度と速いため、ある程度スピードの速いラインでも使用可能となる。

4. 測定結果

上述したように光吸収スペクトルのピーク波長に合致した LD を用いることにより、極めて容易にプラスチックの有無をセンシングすることが可能である。ここでは実際に色々なプラスチックのサンプルに対して、プラスチックの有無の識別がどの程度可



(a) PC の光吸収スペクトル



(b) LD の発光スペクトル

図4 PC の光吸収スペクトルと LD の発光スペクトル

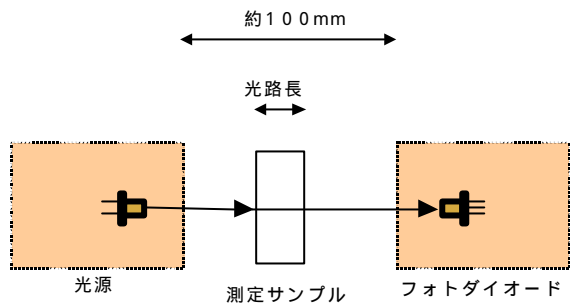


図5 プラスチックサンプルの透過率測定光学系

能であるのか各種の測定結果を示しながら検討する。特に光吸収の効果を明らかにするため、プラスチックサンプルは透明なものとし、光源には対比として可視光のLDとLEDも用いて測定を行った。

4.1 InGaAsP系LDの発光スペクトル

図4(a)に代表例としてPC(ポリカーボネート)の1500~1900nmにおける光吸収スペクトルの拡大図を、また図4(b)に今回光源として使用したInGaAsP系LDの発光スペクトルを示す。図4(a)のPCの光吸収スペクトルは、他のプラスチックと同様に1700nm近傍に吸収ピークを持ち、この吸収ピークの半値全幅は約80nmである。図4(b)に示すLDの発光スペクトルは、周囲温度20度、駆動電流90mA、光出力約10mWにおける特性を示しており、発光ピーク波長は約1670nmである。この図から明らかなように、このLDの包絡線スペクトルの半値全幅は約10nmであり、PCの吸収スペクトルの半値全幅約80nmに対して充分狭い。従ってLDからの放射光はPCにより吸収され、プラスチックの有無を識別することは容易に可能である。

4.2 透明プラスチックの透過率特性

上述したようにInGaAsP系LDの発光ピーク波長は約1670nmであり、各種のプラスチックの吸収ピークとほぼ合致している。また図2に示したプラスチックの近赤外光吸収スペクトルを見ると、図2(c)PC、(d)PET、(f)PSは可視光域においては殆ど吸収がない透明なプラスチックである。そこでこのような透明プラスチックに対して、今回提案する光吸収の効果を明確に測定するため、図5に示すよう

な光学系で各種の光源を用いて測定サンプルの透過率を測定した。ここで光源として波長1670nmのLDに加えて波長575nmのLED、680nmのLED、670nmのLDの4種類を用いた。また、透明プラスチックサンプルとして光路長3mmのPC、光路長2mmのPET、光路長2.8mmのPSの3種類を用いた。なおPETについては、光路長1mmのサンプルを2枚重ねて測定を行った。

図6に透明プラスチックの透過率測定結果を示す。図から明らかなように、PC、PET、PSの何れに対しても、可視光域の光源を用いた場合それぞれの透過率はそれぞれほぼ等しく80~90%程度はある。これは、図2に示したようにプラスチックには可視光域での吸収がないためである。透過率が100%とならないのは、測定サンプルのプラスチック両側表面でのフレネル反射による損失、並びに散乱損失によるものである。従ってサンプルを2枚重ねて測定したPETに対しては透過率が約80%であり、サンプル1枚で測定したPCおよびPSの透過率約90%に比較して低い値となっている。

一方、図6に示すように波長1670nmのLDは、サンプルに依存するが、大きく透過率が減少している。例えば光路長3mmのPCのサンプルでは可視光域で透過率が約90%であるのに対して、波長1670nmのLDでは約20%となっている。光路長2mmのPETのサンプルでも可視光域での透過率が約80%であるのに対して波長1670nmのLDでは約30%となっている。このように可視光域では透明プラスチックの有無に対してあまり透過率の差はないが、波長1670nm

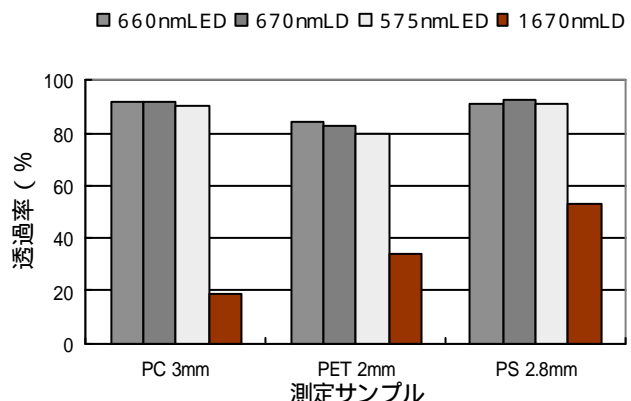


図6 透明プラスチックに対する透過率測定結果

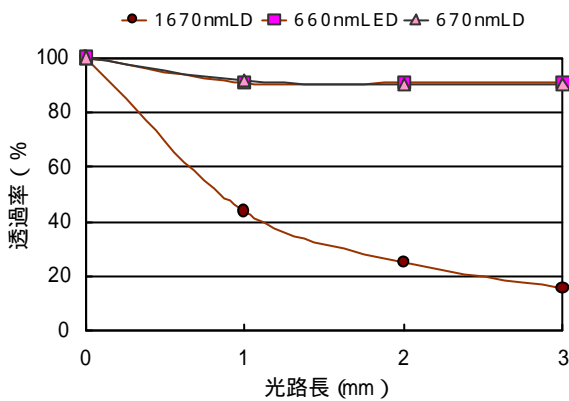


図7 PCの光路長に対する透過率

近傍のLDでは透過率の差が大きく、プラスチックの有無を容易に識別することが可能である。

図7にPCのサンプルに対して透過率の光路長依存性を測定した結果を示す。これは図5の測定光学系で、光路長を1, 2, 3mmと変化させた場合の透過率の測定結果である。また光源としても波長1670nmのLDに加えて可視光のLDとLEDを用いた。図6で示した結果と同様に、光路長を変化させても可視光の場合は、約90%と一定である。しかしながら1670nmLDの場合は、光路長が長いほど指数関数的に透過率が減少する。光路長が約1mm程度でも透過率は50%以下となりプラスチックの有無を容易に識別可能である。

以上測定結果に基づいて説明したように1700nm近傍のLDを用いれば、プラスチックの材質に依存せず、また光路長に対しても殆ど影響を受けず、プラスチックの有無の識別が可能であることが実証できた。

5. おわりに

今回われわれは、プラスチックの近赤外光吸収を利用したLDによるプラスチックの有無を識別する技術を開発し、ここではその方式と効果について報告した。実際に各種のプラスチックの吸収測定を可視光のLDやLEDと比較して測定を行い、近赤外光吸収スペクトルをうまく利用することによりプラスチックを確実に検出できることを示した。

なお、われわれは既に水の近赤外光吸収を利用し

た水検出センサを開発しており^{[14]-[18]}、今回のプラスチック検出についても同様に開発してゆく所存である。

前述したように、今後の循環型社会の構築に対して動脈産業としての生産プロセスのみならず、地球環境に配慮した静脈産業としてのリサイクルプロセスも今後ますます重要となる。今回報告したプラスチック識別技術も一手法として社会貢献できる技術であると考えており、われわれは今後も環境問題の一助となる技術を開発して行きたいと考えている。

参考文献

- [1] 中村茂弘：リサイクル設計の技術、日本能率協会マネジメントセンター、1996年、p.219～249
- [2] 通信機械工業会、他：電機業界における廃棄物等の排出量/再資源化量に関する調査 調査結果報告書(1996～1997年度実績)、1999年
- [3] (社)日本電機工業会 環境保全委員会：廃棄物削減・再資源化マニュアル、1999年
- [4] 通産省 環境立地局：産業構造審議会地球環境部会報告書 平成9年3月12日
- [5] 環境庁：平成10年版環境白書
- [6] 酒井伸一：循環・廃棄のインテグレーション、産業と環境、第28巻、第4号、1999年、p.36～39
- [7] 和泉電気(株)：<http://www.izumi.com/>
- [8] 檀上和正：1チップマイコンを搭載した超音波アナログ距離センサ、自動化技術、1992年、p.67～71
- [9] 野村光俊：3色(赤・緑・青)LEDを搭載したカラーセンサ、ファクトリ・オートメーション、日本工業出版、1996年、p.33～37
- [10] 藤井祥二、本村幸一：SA1W形レーザーマークセンサの開発、IDEC REVIEW、和泉電気(株)、1996年、p.54～61
- [11] 田中誠之、寺前紀夫：赤外分光法、共立出版、1993年、p.20～47
- [12] 尾崎幸洋、河田聡：近赤外分光法、日本分光学会、1998年、p.60～118
- [13] 谷川昇、立園邦人、武本敏夫、大木秀男：都市ごみ中のプラスチックの材質判別方法と性状、都市清掃、1996年、p.19～27
- [14] 田門立身、道古隆明、本村幸一、藤井祥二、西原一寛：半導体レーザーを用いたSA1W形水検出センサの開発、IDEC REVIEW、和泉電気(株)、1997年、p.71～79
- [15] 西原一寛、道古隆明、田門立身：SA1W形水検出センサの開発、電機 1997.8、p.10～13
- [16] 本村幸一：非接触液面レベル検出の最新動向、計測技術、日本工業出版、1999年
- [17] 本村幸一、田門立身、稲田宏治、西原一寛、藤田俊弘：半導体レーザーを用いた赤外吸収を用いた赤外吸収によるH2Oセンシング技術の開発()、第16回センシングフォーラム論文集、(社)計測自動制御学会、1999年
- [18] 下村剛弘、田門立身、稲田宏治、本村幸一、藤田俊弘：半導体レーザーを用いた赤外吸収を用いた赤外吸収によるH2Oセンシング技術の開発()、第16回センシングフォーラム論文集、(社)計測自動制御学会、1999年