

半導体レーザーを用いた赤外吸収による H₂O センシング技術の開発 ()

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

Development of H₂O sensing technology by infrared absorption using laser diode ()

Takehiro Shimomura, Tatsumi Tamon, Koji Inada, Kouichi Motomura,
Ikkan Nishihara, and Toshihiro Fujita,
IDEC IZUMI Corporation

Abstract : In manufacturing systems such as factory automation fields, there are a lot of demands to detect objects containing water with cheap, simple and accurate manners. Conventionally, either photoelectric sensor, image processor, or other spectroscopic analyzing system has been utilized for water detection, even though it does not provide a perfect solution. We have already reported, for the first time, a new sensing technology for water detection by utilizing laser whose oscillation wavelength matches to infrared absorption peak of water molecules.

In this paper, configuration, performance, and several examples of applications of the new water detection sensor are reported.

1. はじめに

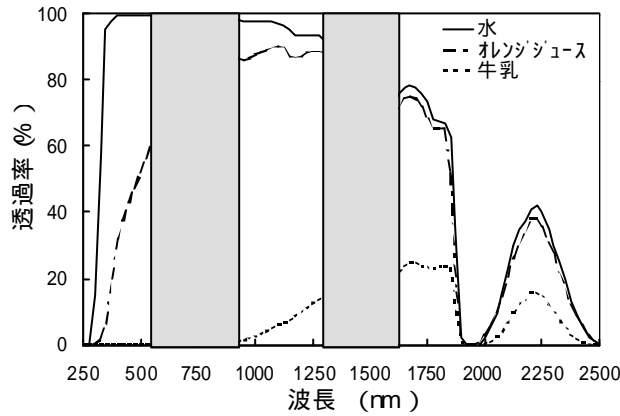
われわれの身のまわりには、飲料、調味料、医薬品、食品など水を含有する製品が数多く存在しており、これらの生産プロセスにおいては水および水分の検出に対する要求が非常に多くある。表 1 に水を含有する製品例の一覧を示す。

水および水分を含んだ製品における検出内容を分析すると、「水の含有率の詳細な値を検出するのではなく、水分を含有する物質の有無のみを簡単に検出する手段」に対する要求が非常に多い^{[1]・[3]}。例えば、透明な容器中の水もしくは水溶液の有無を非接触で検出するには、従来発光ダイオード(以下、LED)を光源とする光電センサや画像処理装置、または水分計などが用いられてきた。しかし、光電センサでは光の散乱や屈折を利用して検出を行っているため、製品の色や容器の形状により光量や光路が変化するため、安定して検出するのは困難であった。また画像処理装置では、高価で応答速度が遅く低速なラインにしか適用できず、水分計においても高価であり、耐環境性に乏しく取り扱いが複雑である^{[1],[4]}。

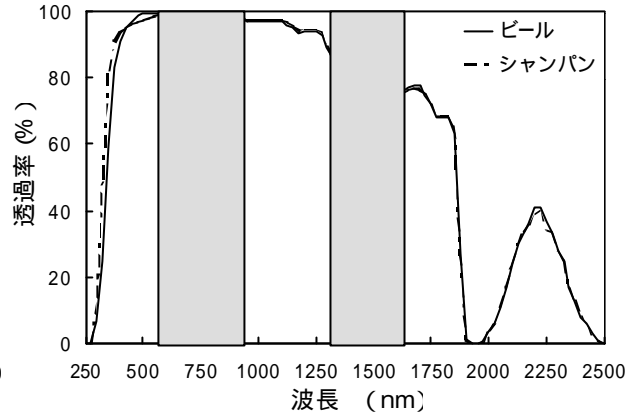
このため生産ラインへの検出装置の導入に際して障害となり、止むを得ず人間が目視により検査しているケースが今でも多く見受けられる。

表 1 水を含有する製品例の一覧

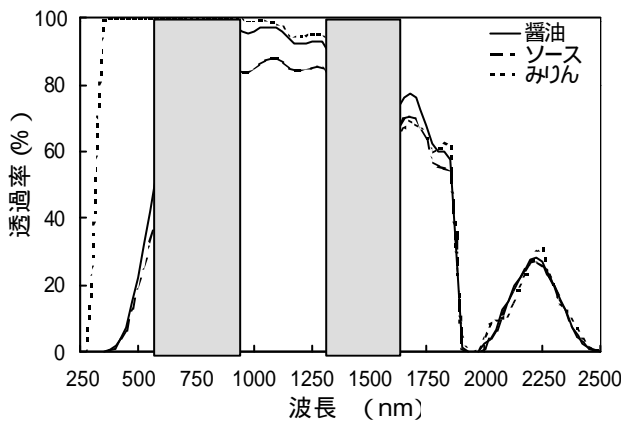
清涼飲料	アルコール飲料
ミネラルウォーター ジュース コーヒー 紅茶 お茶 炭酸飲料	ビール シャンパン ワイン ウイスキー ブランデー 日本酒 焼酎
食品・乳製品	調味料
牛乳 ヨーグルト アイスクリーム 練乳 生クリーム プリン ゼリー	醤油 ソース みりん 酢 ねりからし ねりわさび ポン酢
医薬品	化粧品
目薬 うがい薬 生理食塩水 座薬 育毛剤 強壯剤 消毒剤	化粧水 香水 ヘアートニック ヘアーリキッド 洗顔液 洗顔クリーム
日用品	事務用品・雑貨品
シャンプー 液体洗剤 ねり歯磨き 紙おしぼり	水溶性糊 水溶性インク 水溶性ペンキ



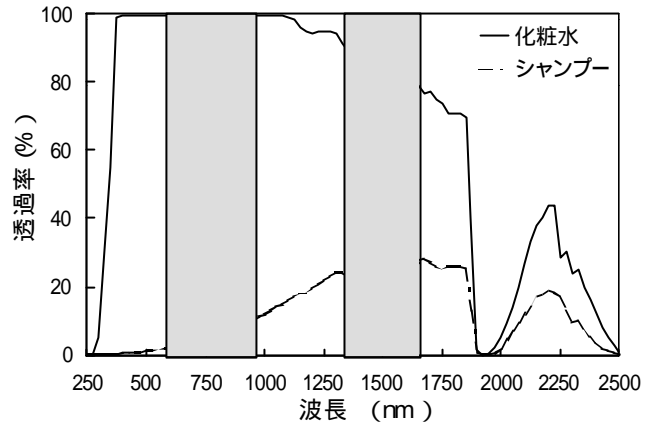
(a) 清涼飲料、乳製品



(b) アルコール飲料



(c) 調味料



(d) 化粧品、日用品

図 1 各種の水溶液の光吸収スペクトル測定例

われわれはこれらの課題を解決すべく、水分子の赤外吸収スペクトルに着目し、赤外領域の半導体レーザー（以下、LD）を光源として用いることにより、水および水溶液の有無を安価で高速に検出可能とした水検出センサを開発した^{[1]~[4]}。本稿では、水検出センサの検出原理、構成、検出性能およびアプリケーションについて報告する。

2. 水検出センサの原理

物質には、それぞれ特定波長の光を吸収する固有の吸収スペクトルが存在する^{[5]~[8]}。図 1 (a)~(d)は水を含有する物質として清涼飲料、乳製品、アルコール飲料、調味料、化粧品、日用品をサンプルとし、これらサンプルの光吸収スペクトルを近赤外分光分析装置で測定した結果である。これらは、光路長 0.5 mm の透明なガラスセルにサンプルを満たし、波長 250~2500nm の範囲で測定したものである。

これらサンプルには全て水が含有されているため、いずれにおいても波長 1450nm、1940nm、2500nm 近傍に水による赤外吸収スペクトルのピークが共通に存在する。特に 1450nm における吸収は光通信で用いられる InGaAs 系 LD の発振波長と同様の波長帯域に存在している。

一方、その他の波長帯域においては、水以外の様々な成分による光の散乱や屈折のため、光の透過率はサンプルにより大きく異なっている。特に、従来から光電センサの光源として用いられている LED の波長帯域である 540nm~900nm の範囲においては、水、ビール、シャンパン、みりん、化粧水などの透明な水溶液の透過率はほぼ 100%であり、オレンジジュース、醤油、ソースは 40~90%、牛乳、シャンプーはほぼ 0%とそれぞれのサンプルによって大きく異なっている。

水検出センサは、投光素子として水の吸収ピークの一つに一致する波長 1450nm の LD を光源として用いており、いずれのサンプルにおいても光は確実に吸収

されるため安定した検出を行うことが可能である^[4]。

3. 水検出センサの構成

一般的に用いられる光電センサの構成には、投光部と受光部を一つの筐体に内蔵した反射形方式、それぞれを分離した透過形方式、および検出部に光ファイバを用いて、投・受光回路などの電子回路部から切り離して設置可能な光ファイバ形方式などがある。また、光ファイバ形方式には、投光用ファイバと受光用ファイバを一体化した反射形方式と、それぞれを分離した透過形方式がある。これらは使用目的や設置条件から選択し使用される^[9]。

水検出センサの方式の検討にあたり、その使命である水を扱うと言う条件から、検出部と電子回路部を切り離れた光ファイバ方式が実使用に於いて安全に使い、検出物である水溶液を浴びた場合などのメンテナンスも簡便になると判断した。

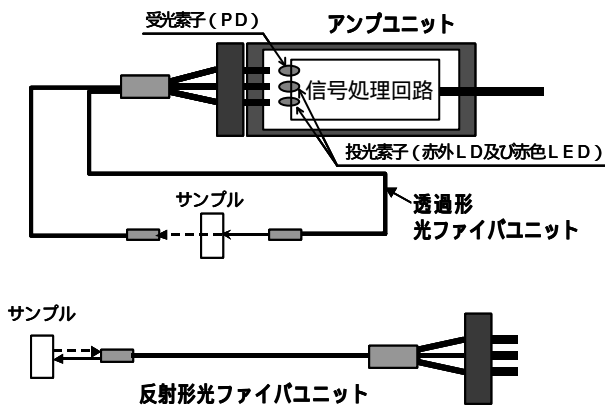


図2 水検出センサの基本構成

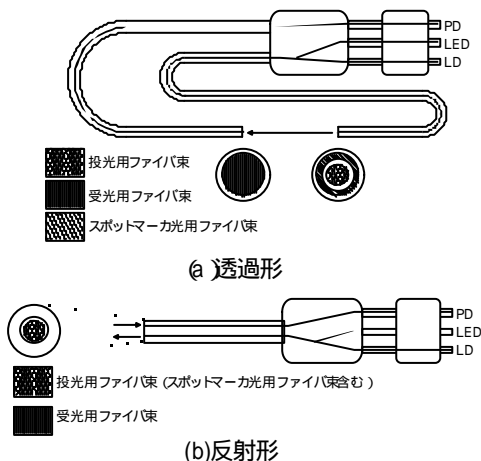


図3 光ファイバユニットの構造

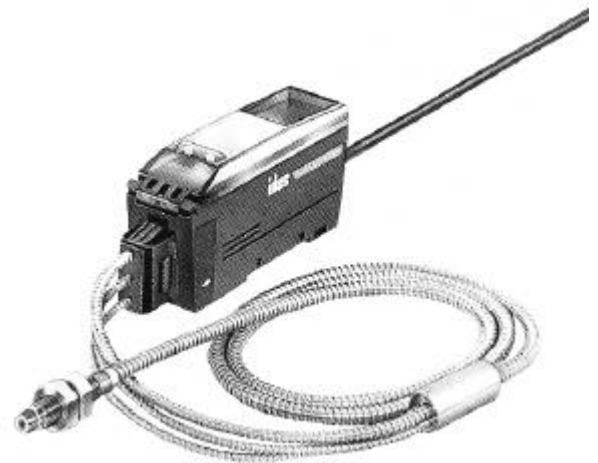


図4 水検出センサの外観写真

水検出センサの基本構成を図2に示す。水検出センサは、検出部である光ファイバユニットと投・受光回路および信号処理回路を搭載したアンプユニットとから構成されている。

光ファイバユニットには透過形と反射形の二種類があり、1450nm帯での透過率の高い多成分ガラスファイバを用いている。それぞれの光ファイバユニットは図3に示すように投光用、受光用、スポットマーカ光用と3つのファイバ束から構成される。ここでスポットマーカ光とは、可視光である赤色LEDを用いることにより検出対象の検出位置を確認するためのガイド光である。図3(a)に示す透過形では、投光用ファイバ束をスポットマーカ光用ファイバ束が同心円状に取り巻くように配置されている。一方、図3(b)に示す反射形では、投光用ファイバ束とスポットマーカ光用ファイバ束がランダムに構成され、受光用ファイバ束はその周囲に同心円状に配置されている。

反射形光ファイバユニットを装着した水検出センサの外観写真を図4に示す。使用環境を考慮して防水対策を施すことにより、アンプユニットは国際規格であるIEC規格のIP66仕様を満足している^[10]。

4. 水検出センサの検出性能

水検出センサは、光源として赤外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、従来検出が非常に困難であった透明な容器に入った透明な水の有無であっても、極めて簡単にかつ確実に検出す

ることを可能にした。ここでは、実際に様々な水を含むサンプルに対する有無検出性能について、受光信号強度の測定結果をもとに検討する。特に、光吸収の効果を明らかにするために、サンプルは透明なものとし、光源の違いによる検出性能の対比として、透過形ファイバ方式で水検出センサを用いた場合と、波長が660nm帯のLEDを光源とする光電センサを用いた場合で以下のような比較実験を行った。

図5に水検出性能比較のための実験光学系を示す。ファイバ間距離を100mmに設定し、光路長Lが0.5, 1, 2, 5, 10mmの5種類のガラスセルを用いて、受光信号強度を測定した。サンプルとしては水、化粧水、シャンパン、みりんを用い、光路長の変更はガラスセルを交換することで行った。

図6、図7に光電センサおよび水検出センサの受光信号強度の光路長依存性をそれぞれ示す。縦軸の相対信号強度は、ガラスセルにサンプルが入っていない状態における受光信号強度を基準値1として正規化したものであり、この状態を光路長0mmとする^[4]。

光電センサを用いた場合には、図6から明らかなように、水、化粧水、シャンパン、みりんの全てにおいて、ガラスセル内のサンプルの光路長が0.5mmから10mmまでほぼ一定値を保ち全く減少せず、信号強度の差はほとんど見られない。すなわち、光電センサではこれらのサンプルの有無を検出することは不可能である。セル内にサンプルが注入されている場合に相対信号強度が1を越えているのは、ガラスセルにサンプルが入っていない状態の信号強度を1としたため、ガラスセルにサンプルを入れることにより、セル内面での屈折率がほぼ等しくなり、界面における光の反射がほとんどなくなっているためである^[4]。

一方、水検出センサを用いた場合には、図7から明らかなように、水をはじめとする全てのサンプルにおいて光が吸収され、光路長が増加すると相対信号強度

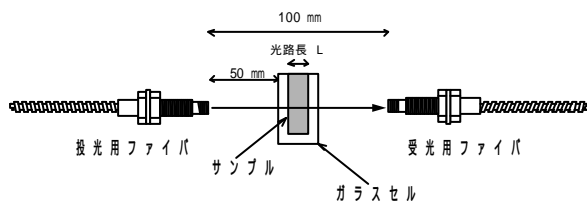


図5 水検出性能比較実験の光学系

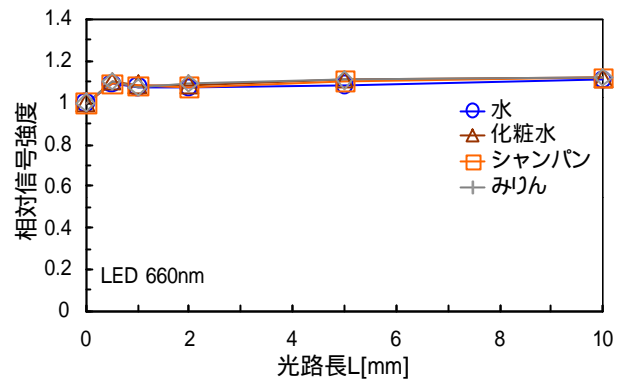


図6 光電センサの受光信号強度の光路長依存性

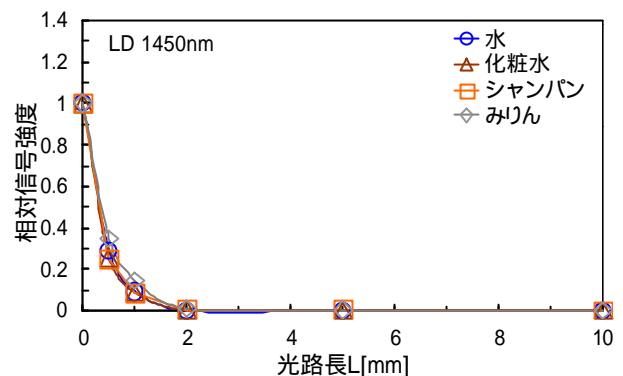


図7 水検出センサの受光信号強度の光路長依存性

が著しく減少する。従って、サンプルが入っている場合と入っていない場合で信号強度に大きな差が発生するので、それらの有無を確実に検出することができる。

ここで、水検出センサで検出できる光路長の限界について検討する。光路長が2mm以上の領域においては、相対信号強度が確実に0となっているためいくら長くても検出可能であり、光電センサでは検出できないサンプルに対してもこの水検出センサは適用できる。また、光路長の短い領域においては、光の一部がサンプルを透過するため、光路長の減少に応じて相対信号強度が増大する。光路長0.5mmにおける各サンプルの相対信号強度を見ると、約0.2~0.4といずれもサンプルがない場合の50%以下の値となっているので、光路長が僅か0.5mmであっても、十分検出可能と判断できる。



図 9 飲料製品の製造ラインアプリケーション例

5. 水検出センサのアプリケーション

前述したように、世の中には水を含有する製品は非常に多いため、簡単に水の有無検出を行うニーズは広範囲に存在する。ここではわれわれの開発した水検出センサのアプリケーションについていくつか説明する。

図 9 は飲料水をビンに充填している製造ラインの一例であり、ビン内の液面レベルを管理することが重要なアプリケーションである。最近では自動化技術が高度化し、製造ラインスピードも高速化してきている。このアプリケーションでは従来画像処理装置を用いることにより液面レベルの検出が行われていることが多いが、応答スピードが 10msec 程度と遅いため、高速かつ安定に検出しにくかった。今回開発した水検出センサは、光吸収によりサンプルの有無を識別するだけであるため、応答スピードは 0.5msec と高速化に対応できる。そのため、高速にラインを流れてくるビンに飲料水が規定量まで充填されているかどうかを確実に検出できる。水検出センサはこの例以外にも表 1 に示したような水溶液の有無を検出でき、応答速度が速いため様々な用途に適用できる。

図 10 は液体洗剤の製造ラインでの水検出センサのアプリケーション例を示している。液体洗剤は、様々な形をした色々な材質の容器に入っており、しかも洗剤自体の種類も多様である。従来このようなラインでは重量計を用いるか、光電センサを用いることにより液体の有無検出が行われている。重量計は応答スピードが遅く高速化には適当でなく、光電センサでは対象サンプルに応じて検出感度調整をするなど非常に時間を必要とする。すなわち液体サンプルの色が薄い場合や濃い場合ではその都度感度設定が必要であり、また容器の僅かな傾き等にも検出の影響を受けてしまう。水検出センサでは容器に入った液体洗剤が光路に存在すれば、光が吸収されるため液体洗剤の有無を簡単に検出ができる。特に水検出センサは LD を用いているため高出力であり、透明でない容器であっても中身の液体の有無を検出でき、さらにレンズアタッチメントを用いることにより、検出距離を大きく取りたい場合や光が透過しにくい容器の場合に有効である。

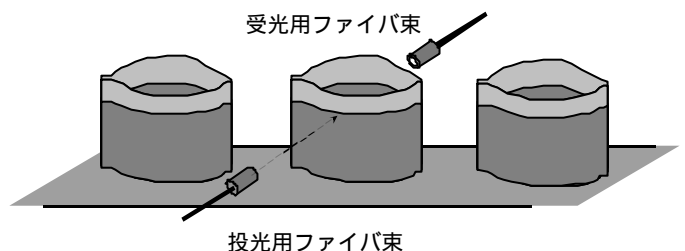


図 10 液体洗剤の有無検出アプリケーション例

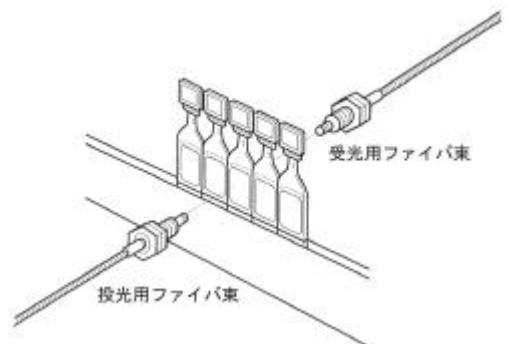


図 11 医薬品の有無検出アプリケーション例

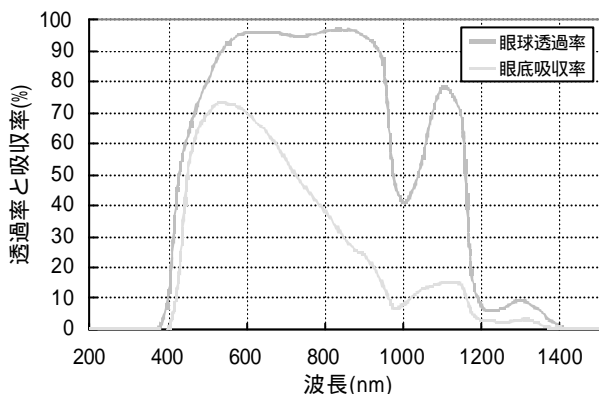


図 12 眼球透過率と眼底吸収率

図 11 は目薬などの医薬品を有無検出するアプリケーション例を示している。医薬品では重量計を用いるか、あるいは医薬品という性格上今でも目視による検査が多いようである。医薬品業界では、GMP^[11] (Good Manufacturing Practice) という医薬品の製造および品質管理に関する基準により、不良医薬品の発生を未然に防止することが要求されている。水検出センサでは、容器の形状や色によらず光は吸収され医薬品の有無を検出できるのため、不良品を確実に発見することができる。

6 . 水検出センサの安全性

近年、各種の生産プロセスにおいて作業者の安全を確保することが非常に重要となってきた。水検出センサは、投光素子に高出力の LD を使用してながら、本質的に目に安全な IEC 規格のクラス 1^[12]を達成している。これは、使用している波長帯がアイセーフ (eye safe) と呼ばれ、人間の目に安全な帯域であることに基づいている。

図 9 に眼球透過率及び眼底吸収率を示す^[13]。水検出センサで使用されている波長の 1450nm では、眼球の透過率はかなり小さく、エネルギーのほとんどが角膜上皮と呼ばれる角膜の表層で吸収され、眼内へは入らない。そのため再生力のない網膜などの障害がきわめて起きにくい。また、障害が起こる場合でも、ほとんどが角膜上皮で起こる。角膜上皮は再生力が高く、軽微な障害であれば容易に治癒する^[14]。これが、近赤外領域の光がアイセーフと呼ばれる所以であり、水検出センサが本質的に目に安全である理由にもなっている。なお、水検出センサの光出力は、障害が起こるレベル

に比べきわめて小さく、IEC 規格のクラス 1 の AEL (Accessible Emission Limit : 被ばく放出限界) に対し、さらに 1/10 以下となっている。

7 . おわりに

本稿では、半導体レーザを利用した水検出センサの検出性能について、アプリケーションを交えて報告した。この水検出センサは、水分子に吸収される波長の LD を利用しているため、従来困難であった透明な水や様々な水溶液を非接触で簡単に安定検出することが立証できた。

本稿で紹介したアプリケーションは、透過形方式の光ファイバユニットを用いたごく一部の例であるが、生産プロセスにおいてはこれら以外に反射形を用いる必要がある場合も数多く存在し、また用途はますます広がるものと考えている。今後の新しい生産プロセスの展開を視野に入れ、これからも新しいセンシング技術の検討を進める予定である。

参考文献

- [1] 田門立身、道古隆明、本村幸一、藤井祥二、西原一寛：半導体レーザを用いた SA1W 形水検出センサの開発、IDEC REVIEW、和泉電気株式会社、1997 年、p.71 ~ 79
- [2] 田門立身、西原一寛：各社が注力する光センサー 半導体レーザを用いた SA1W 形水検出センサ、オプトロニクス、1997 年 No.183、p.129 ~ 132
- [3] 本村幸一：、非接触液面レベル検出の最新動向、計測技術、日本工業出版社、1999 年、p.6 ~ 11
- [4] 本村幸一 他：半導体レーザを用いた赤外線吸収による H₂O センシング技術の開発()、第 16 回センシングフォーラム、1999 年
- [5] Robert M. Silverstein, G. Clayton Bassler: 有機化合物のスペクトルによる同定法、(株)東京化学同人、1975 年、p.65 ~ 66
- [6] 田中誠之、寺前紀夫：赤外分光法、共立出版(株) 1993 年、p.100 ~ 138
- [7] 大木道則：赤外線スペクトル、(財)東京大学出版会、1967 年、p.1 ~ 14
- [8] 尾崎幸洋、河田聡：近赤外分光法、学会出版センター、1998 年、p.16 ~ 21
- [9] 日本電気制御機器工業会編：検出用スイッチ、1989 年、p.116 ~ 138
- [10] IEC529 , Degrees of protection provided by enclosures(IP Code) , 1989 年
- [11] 薬業時報社：WHO GMP、薬業時報社、1998 年
- [12] IEC60825-1 , Safety of laser products , 1993 年
- [13] JIS C6802、日本標準調査会、日本規格協会、1997 年、p.16 付属書付図 B3
- [14] レーザ安全ガイドブック、通商産業省、工業技術院、1989 年、p.150 ~ 156