

LEDを用いた異物検出手法の開発

飯屋一昭*, 永吉弘己*

Development of Foreign Matter Detection Method with LED

Kazuaki KARIYA and Hiromi NAGAYOSHI

ガラス容器の中で最も多く利用されてる茶色びんに付着した醤油等を, CCDカメラを用いた検出方法で検討した結果, 可視光(白色光)を用いた場合は, びんと醤油等が同系色であるため識別は困難であったが, 紫外線を用いた場合は, 醤油等から微弱な蛍光を発することが確認され, CCDカメラで観察・検出が可能であった。また, 可視光領域においても特定波長で蛍光を発することが分かった。特定波長の光源としてLEDを用いて実験した結果, 醤油等から発する蛍光を確認でき, LEDを励起光源として利用可能であることが分かった。この結果から, びんを洗浄した液から醤油等を検出する方法を検討し, LEDとCCDアレイを用いて検出する方法を開発した。

Keyword : 醤油, CCD, LED, 蛍光

1. 緒言

びん等は資源の有効利用の観点から, 回収され再利用されている。再利用に当たり, 回収前の使用状態が把握しにくいいため, 厳密な洗浄と検査を行っている。ところが, 近年びんづめする商品の品質管理において, 従来ではそれほど問題とならなかった異物(醤油, ソース等)においても高精度に検出する必要が生じている。最近では, 最も多く利用されてるびんは茶色びんであり, 醤油等と同系色のためCCDカメラを用いた検査や目視検査で検出が困難になっている。そこで本研究では, 従来の検査方法で検出されにくい醤油等の異物を検出するために, 光を用いた簡易な検出手法の検討を行った。

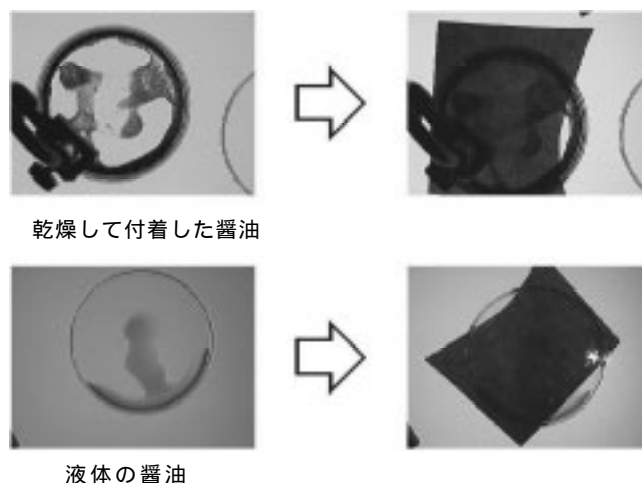


図1 可視光(透過光)での観察結果

2. CCDカメラによるびんに付着した醤油等の検出

茶色びんに付着した醤油等を, 可視光及び紫外線を用いて, CCDカメラ等で画像として検出可能か検討を行った。

2.1 可視光(白色光)を光源とした場合

図1は, シャーレに醤油を入れ, 乾燥して付着した状態(上段)と醤油を薄めた液体の状態(下段)を透過光を用いてCCDカメラで撮像したものである。透明なシャーレでは, 醤油の観察が可能であるが, 茶色びんと同系色ガラス板を乗せれば, 観察が困難になった。

さらに, 茶色びんに付着した醤油・ソースに可視光(白色光)を照射して, 透過光および反射光で検出が可能か検討したが醤油等は茶色系のため, びんとの識別は困難であった。

2.2 紫外線を光源とした場合

紫外線光源に図2のような360nmを中心波長としたブラ

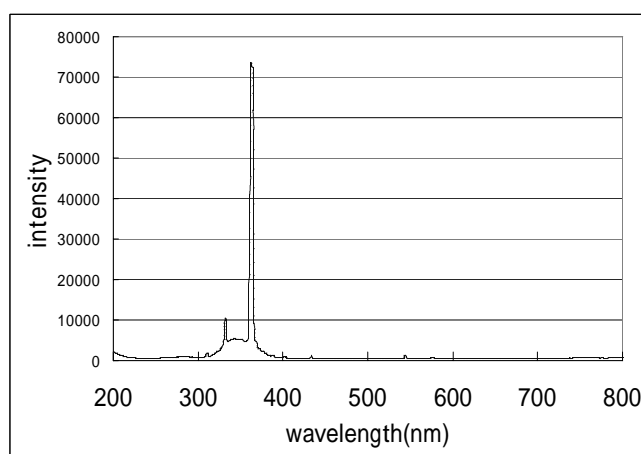


図2 紫外線光源の波長特性

ックライトを用い, 図3の光電子増倍管とCCDカメラを用いた実験装置を試作した。カメラおよび紫外線光源と計測対象(醤油等)との間に光学フィルタを設置した構造とし

* 電子部

た。

図4は、試作した実験装置を用いた実験結果である。図の上段左はシャーレのみに紫外線を照射して撮像したものである。図の下段左は、醤油が乾燥して付着した状態、下段右は、醤油を薄めた液体の状態に紫外線を照射し撮像したものである。この結果、醤油等から微弱な蛍光を発することが確認され、試作した実験装置で観察が可能であった。醤油には複数の着色物質^{1)~3)}があり、これらの着色物質が蛍光を発していると考えられている。なお、図の上段右は可視光を照射して撮像したもので醤油が観察できなかった。

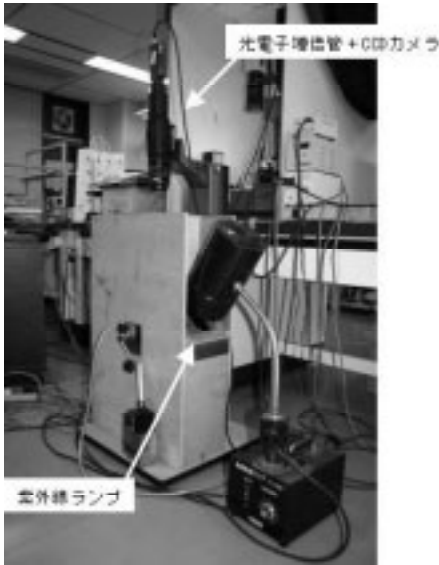


図3 試作した実験装置

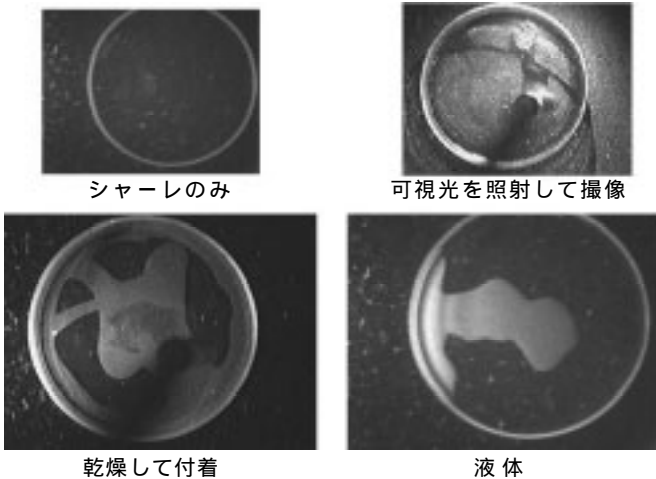


図4 紫外線での観察結果

3. 紫外線と蛍光の関係

醤油に紫外線を照射することで発する蛍光の励起波長と蛍光波長の関係を調べたところ、紫外線照射による蛍光だけではなく、可視光領域においても特定波長で蛍光を発することが分かった。

図5は、励起波長360nmの紫外線と417nmの可視光と蛍光の強さを示したものである。醤油等を含んだ液体に波長360nm(紫外線)を照射して発光する蛍光より、波長417nm(可

視光青色)を照射した場合に発する蛍光が強いことが分かった。

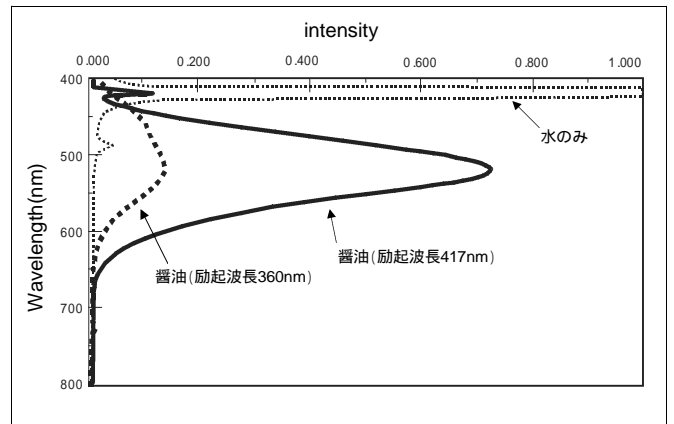


図5 励起波長360nm及び417nmと蛍光の関係

3.1 醤油の濃度と蛍光の強度

図6は蛍光分光光度計を用いて、励起波長417nmでの醤油の濃度と蛍光の強さを調べた結果である。

水400ml:醤油0.1mlの比率の濃度において検出が可能であった。さらに、濃度を薄めても計測器の感度を上げれば検出が可能と思われる。また、計測された蛍光の強度と醤油の濃度間には、相関あることが分かった。

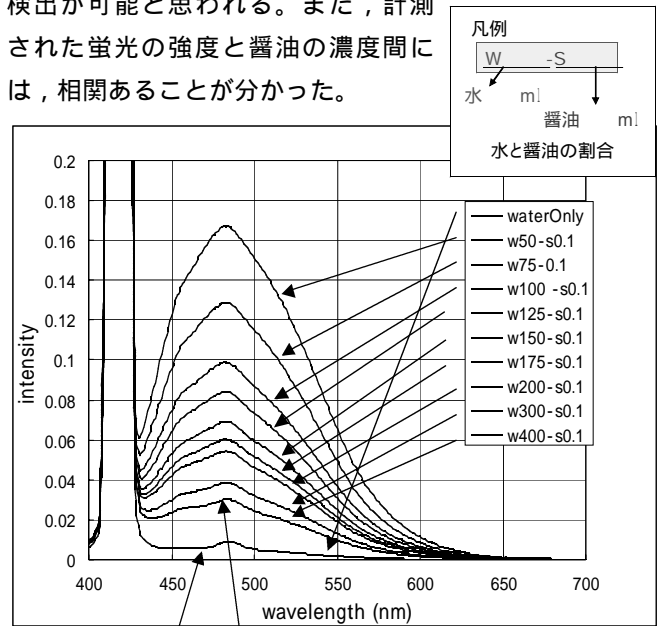


図6 醤油の濃度と蛍光の強度

4. びんの透過率

再利用されるびんの種類は数多く存在するため、一般に”一升びん”や”五合びん”と言われるびんで、図7のような日常よく使用されていると思われる3種類の色(茶色、緑色、白色)のびんを選んだ。

各びんの透過率は図8のとおりで下記の結果になった。
茶色びん：400nm～450nmの波長は透過しにくい。
緑色びん：500nm～600nmの透過率が高い。

白色びん：透過率はどの波長でも一定であるが、磨りガラスのため全体的に透過率が低い。



図 7 実験に使用したびん

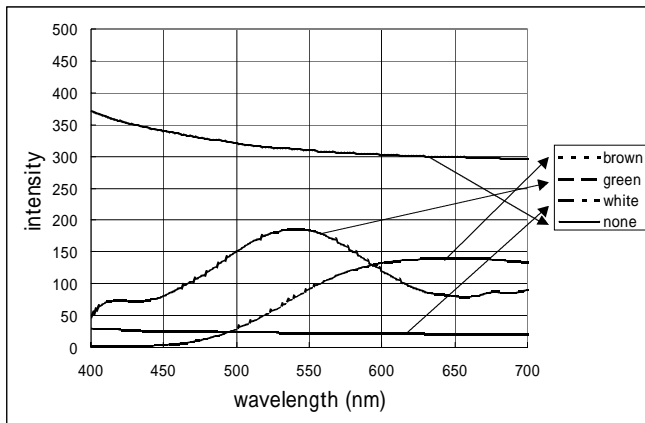


図 8 びんの透過率

5. びんを通した場合の蛍光の検出結果

3種類のびんを加工し作成した試験片を蛍光分光光度計内に設置して、希釈した醤油をセルに入れ、励起波長417nmで各びんを計測した。

5.1 白色びん

蛍光分光光度計内に図9に示す ~ の位置に白色びんの試験片をガラスフィルタとして置き、計測した結果が

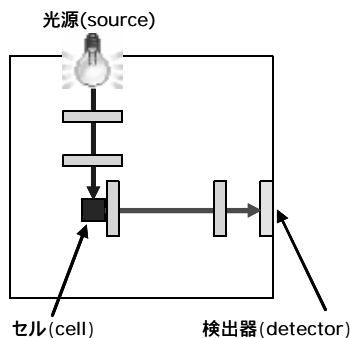


図 9 白色びん試験片の位置

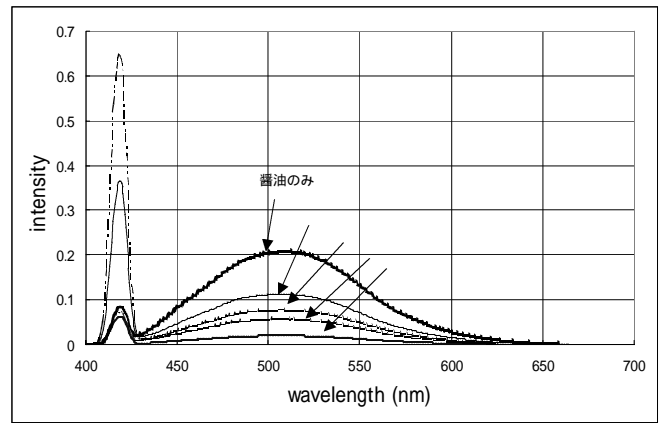


図10 白色びん試験片での蛍光

図10である。白色びんは、無色透明のガラスびんの表面を磨りガラス上に加工してあるため、透過率はどの波長でも一定と思われるが、試験片を光源に近づけた方が、蛍光が強く計測された。

5.2 緑色びん

蛍光分光光度計内に図9に示す白色びん試験片と同じ ~ の位置に緑色びんの試験片をガラスフィルタとして置き、計測した結果が図11である。

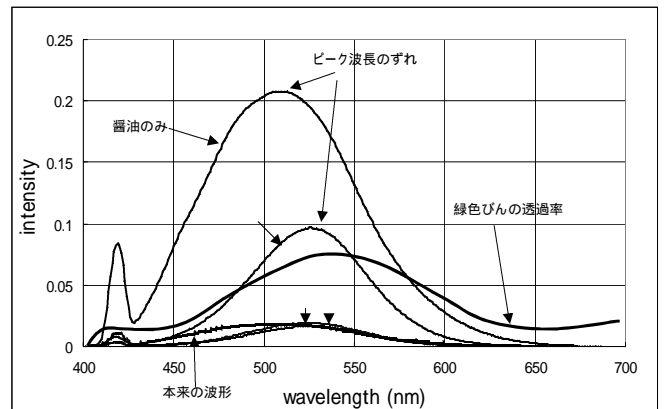


図11 緑色びん試験片での蛍光

図11の緑色びんの透過率は図8のびんの透過率を重ね合わせたグラフである。緑色びんは波長417nmを透過し難いため、フィルタの位置では、蛍光の計測は可能であったがかなり微弱であった。フィルタ位置では、蛍光の計測は可能であったがかなり微弱であった。フィルタ位置が最も蛍光強度が大きかった。緑色びんの透過波長特性から蛍光のピーク波長にずれが見られた。醤油のみの場合、蛍光のピーク波長は510nm付近にあるが、フィルタ位置の場合は、蛍光のピーク波長が530nm付近の見られる。これは、緑色びんの透過率のピークが540nm付近にあることから、本来の醤油のピーク波長である510nmの透過率より530nm付近の透過率が高いため、検出器で計測される蛍光は530nmが最も強くなるためであると考えられる。

5.3 茶色びん

蛍光分光光度計内に図12に示す ~ の位置に茶色びんの試験片をガラスフィルタとして置き、計測した結果が図13である。茶色びんは波長417nmを透過しないため、フィルタ位置では蛍光を計測できなかった。フィルタ位置では、蛍光の計測は可能であったがかなり微弱であった。フィルタ位置は、醤油の入ったセルにフィルタを接して設置したもので蛍光の計測が可能であった。茶色びんの透過波長特性から蛍光のピーク波長にずれが見られた。緑色びんと同様に醤油のみの場合、蛍光のピーク波長は510nm付近にあるが、フィルタ位置の場合は、蛍光のピーク波長が540nm付近に見られる。これは、茶色びんの透過率が450nmから600nmにかけてなだらかに増加する特徴があり、本来の醤油のピーク波長である510nmの透過率より540nm付近の透過率が高いために、検出器で計測される蛍光は540nmが最も強くなるためであると考えられる。

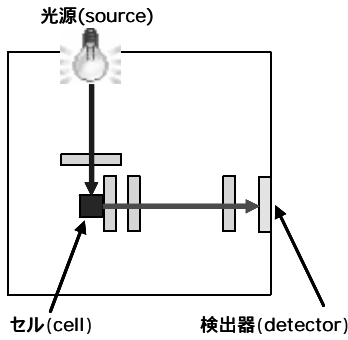


図12 茶色びん試験片の位置

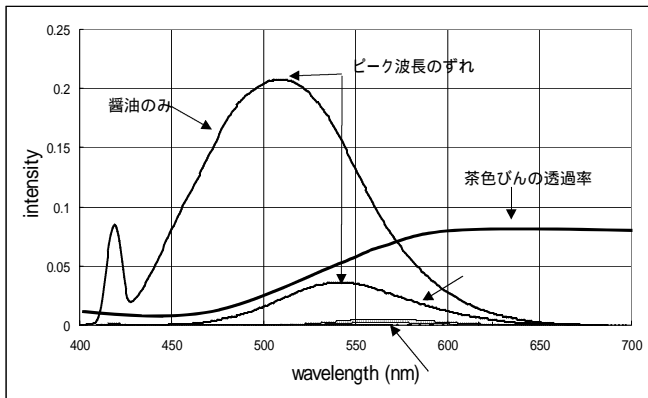


図13 茶色びん試験片での蛍光

5.4 カメラ類を用いるための考察

白色びん 緑色びん 茶色びんのいずれも 励起波長417nmを透過しにくい性質のびんである。このため、びん外部から励起波長417nmの波長をびん内部に照射するには、高輝度の光源が必要となる。また、それぞれのびんの透過率が低いために、びん越しに蛍光を計測するためには、高感度のカメラが必要になる。醤油等がびんのどの部位に残留または、付着しているかが問題になる場合は、高輝度の光源

と高感度カメラを用意し、照射方法、撮像方法等を工夫すれば計測や観察が可能であると考えられる。

一方、びんに醤油等の異物が存在しているかどうかの検査においては、場所の特定は必要がないため、びんを洗浄した液を蛍光分光光度計で計測すれば、醤油等の異物の検出が可能である。しかし、蛍光分光光度計を洗びん工程内に設置するには、装置が大きく高価である。このため、蛍光分光光度計に代わる安価で実時間計測が可能な検出装置を検討した。

6. LEDを用いた異物検出方法の検討

前項では分光蛍光光度計を用いて実験を行った。その構造は光源がキセノン球（白色光）で、励起部及び受光部に回折格子等の分光機構を有し、波長の検出を光電子増倍管で行っている。このような構造では、光学系が複雑になり装置の小型化が困難である。また、機械的な稼働部があるために計測時間が長い。このため、図14のように光源にLEDを用い、受光部にCCDアレイを用いて計測する方法を検討した。波長417nmの青色LEDを検討したが、入手できなかったため、規格値400nm（実測波長405nm：以下405nmLED）のLEDを用いて行った。

図14の上の写真のセル内は醤油の溶液で、下の写真のセル内は水のみである。405nmLEDを用いて醤油の溶液に照射したところ、蛍光が確認できた。

6.1 濃度と蛍光の関係

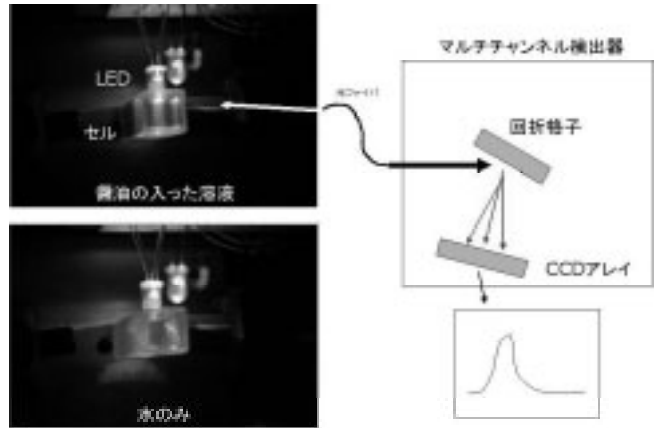


図14 LEDの実験概要

図14のセルに水のみ(water)、水200ml：醤油0.1mlの溶液(soy1)、水100ml：醤油0.1mlの溶液(soy2)の3種類の溶液を入れ、醤油の濃度と蛍光の強さについて調べた。

図15は405nmLEDで照射し、CCDアレイ（マルチチャンネル検出器）で計測した実測値である。波長405nm付近は405nmLEDの発光波長である。450nmから550nm間の膨らみが醤油からの蛍光波長である。図15からは、水のみ(water)と、soy1、soy2の醤油の含まれている溶液との判別は可能であ

るが、soy1とsoy2の濃度の関係は分かりにくい。これは、簡易的な実験装置のため、計測時のセル、LED、CCDアレイの位置が微妙にずれているためであると推測される。図16はLEDの発光波長である405nmのピークをwater, soy1, soy2のそれぞれを同じレベルに補正したグラフである。図16は蛍光分光光度計で計測してしたため、濃度と蛍光に強い相関が見られるが、補正を行うことで図16においても濃度と蛍光に相関が見られた。

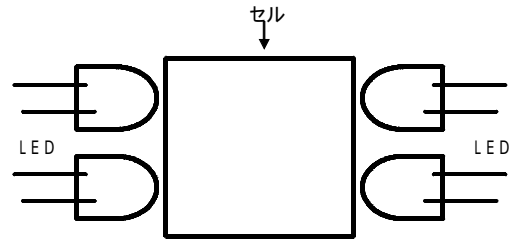


図17 LEDの配置

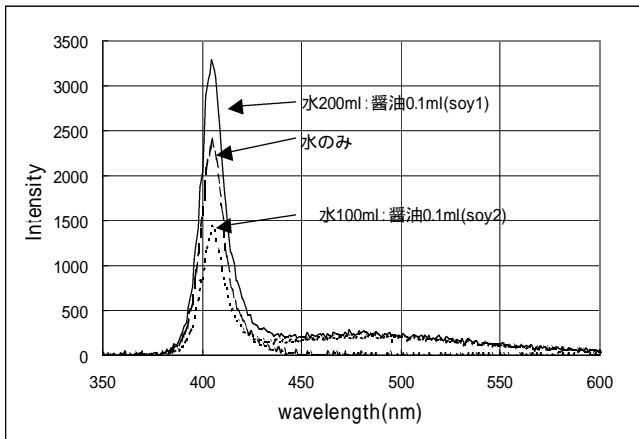


図15 405nmLEDの蛍光 (実測値)

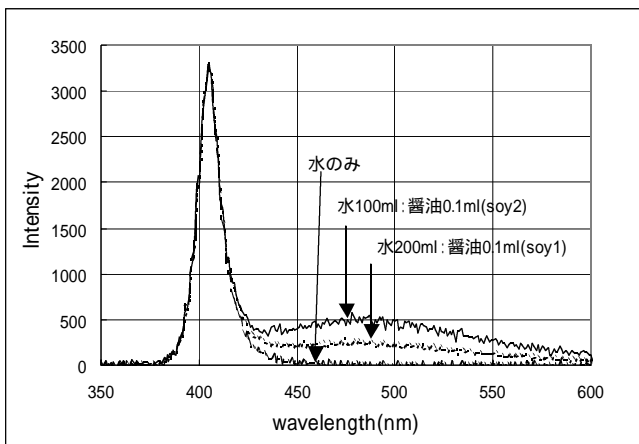


図16 405nmLEDの蛍光 (補正後)

6.2 LEDの個数と蛍光の関係

蛍光分光光度計等のような高感度で高精度なセンサを用いる場合は、微弱な励起光源で発する蛍光を高精度に計測可能であるが、CCD等の素子で計測するにはなるべく微弱な光よりは強い光が望ましい。LEDの発する光は単波長で考えると、キセノン球を光学系で分光するより、装置が単純であり、しかも、LEDの数を増やすことで光量を増やすことが容易である。このため、図17のようにLEDをセルの両端に4個配置し、LED から順にLEDを発光して光量を増やして蛍光を計測した。

図18は、前項で用いた溶液 (water, soy1, soy2) を用いてLED からLED まで順に点灯しながら計測した結果で、ノイズ除去しただけの実測値を示したものである。waterを除き、soy1, soy2で、LEDの数の増加につれて蛍光の強さも増している。溶液としてはsoy1よりsoy2が濃度が濃く、このため soy1よりsoy2が強く蛍光を発すると思われるが、計測値としては soy2よりsoy1が強い蛍光を計測している。これは、溶液の濃度差で透過率が異なり、濃度の高い溶液が透過率が低く、発した蛍光がセル外に届きにくいと推測される。

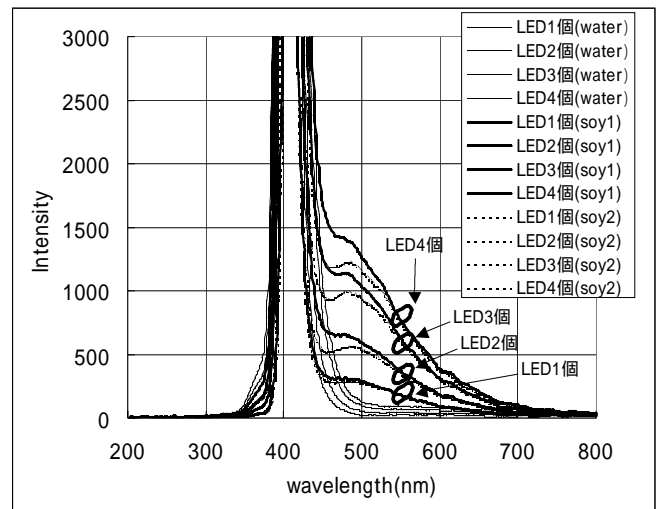


図18 LEDの個数と光量(補正なし)

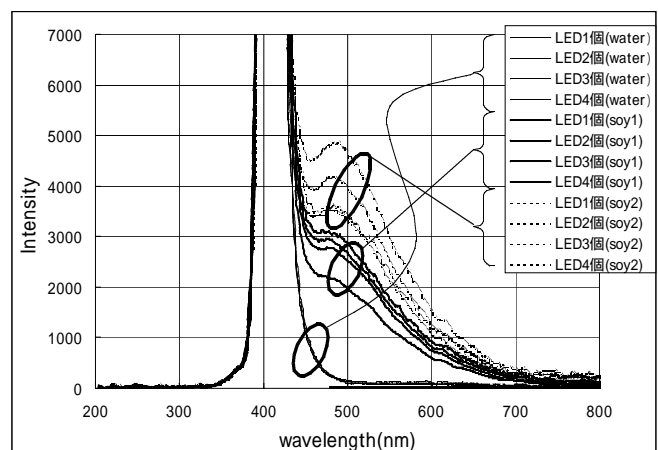


図19 LEDの個数と光量(補正後)

図19は 図18を計測値の最大値が同じ値になるように(波長405nm付近での各データの最大値が同じ値を示すように)補正したものである。soy1とsoy2はそれぞればらつきがあり、waterのような重なりは見られないが、soy1とsoy2のグループが、交わることはなかった。soy1とsoy2の各グループ内で、LEDの数を増やせば蛍光の強さが小さくなる傾向が見られた。LEDの点灯個数が同じ場合は、water, soy1, soy2の間には図16と同じような相関が得られた。図20は、計測時のLEDの点灯状態を示したものである。写真のセル下にCCDアレイへの光の導入口のファイバがある。

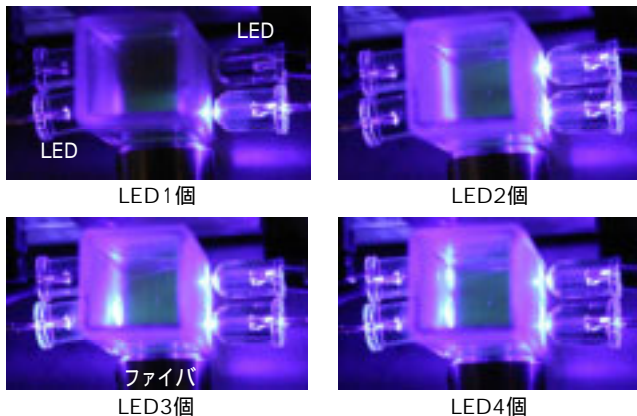


図20 LED点灯状態

6.3 LEDを用いた場合の考察

蛍光分光光度計等のような高感度で、高精度な計測機器を使用せずにLEDを用いて簡易な方法で計測でき、また、実時間計測が可能か検討した。実験から波長417nmのLEDを用いれば、図6のような計測結果が得られた可能性もあるが、現状では、波長417nmのLEDの入手は困難である。本実験で使用した405nm付近のLEDにおいても、醤油等の検出が可能であった。ただ、醤油の濃度によっては、計測できない場合があり、セルの大きさ、LEDの配置・個数等を工夫することにより、濃度の計測範囲を複数設定でき、計測範囲を広げることが可能と思われる。また、本実験ではCCD

アレイを用いることで、励起波長、蛍光波長のスペクトルを得て、醤油の検出を行っているが、励起波長のバンドパスフィルタと蛍光波長帯域で470nm～530nm付近のバンドパスフィルタを用いることで簡易型で実時間計測の検出装置が開発できると考えている。

7. 結 言

ガラス容器の中で、最も多く利用されている茶色びんに付着した醤油等の異物を、CCDカメラ等を利用して検出する方法として、可視光(白色光)と紫外線を用いて検討した。可視光(白色光)を用いた場合は、茶色びんと醤油等が同系色ため透過光と反射光のいずれに方法においても醤油等をびんと識別することは困難であったが、紫外線(中心波長360nm)を用いた場合は、醤油等から微弱な蛍光を発することが確認され、CCDカメラで観察が可能であった。可視光領域においても特定の波長(417nm)で蛍光を発することが分かった。この波長の光源を用いれば、360nmの紫外線を用いるより、CCDカメラ等での観察が容易になると思われる。

びんの洗浄液から異物を検出する方法としてLEDを用いた方法を検討した。波長417nmに近い405nmのLEDを励起光源とし、蛍光の検出にCCDアレイを用いた。この結果、蛍光分光光度計等のような高価な計測機器を利用しなくても蛍光の計測が可能であった。また、バンドパスフィルタを用いて簡易型異物検出装置が開発できると考える。今後、他への応用について検討を行いたい。

参 考 文 献

- 1)中台忠信：醸造物の成分 第VII章 着色物質，(財)日本醸造協会，502-504
- 2)中塚進一ら：醤油蛍光物質及び褐色色素に関する研究 醬研 24 No.1 35-36 (1998)
- 3)木原清：醤油の老化と蛍光パターンとの関連 醬研 17 No.2 58-61 (1991)