

光ファイバー分光器を用いたマイクロレンズアレイを通過した可視光線のスペクトル測定

高木 秀明

Spectroscopic measurements in visible region light through micro-lens array using a spectrometer with fiber optics

Hideaki TAKAGI

Abstract

A preliminary study in fluorescence spectroscopy at a solid surface was conducted to increase collection efficiency of radiation of light using a micro-lens array (MLA). The light source was a light-emitting diode (LED) with orange color and the LED irradiated behind papers for the purpose of making a diffused light as a model of an emitting light surface. The diffused light through the MLA was introduced into a spectrometer using fiber optics. The luminous intensity of these obtained spectra through the MLA were lower than without using the MLA. These results were considered that the chrome masks in the MLA shielded the light and decreased the amount of the light introduced into the spectrometer.

Key words : micro lens array, visible spectroscopy, fiber optics, light-emitting diode

キーワード : マイクロレンズアレイ, 可視分光スペクトル測定, 光ファイバー, 発光ダイオード

1. はじめに

本著者は、固体表面での可視光領域の蛍光現象を測定する場面において、集光率を向上させるために、マイクロレンズアレイ (MLA) を用いることを提案し、基礎的な研究を行った^[1]。用いた MLA は、直径が 150 μm のマイクロレンズが縦横に正方配列したものであり、この直径は、可視光領域の波長と比較すると、

数百倍大きいためにレンズを通過した光の性質は、直径がミリメートルオーダーのレンズと同様に考えて良いと判断している。

固体表面の可視光領域の反射光や蛍光を分光測定するために光ファイバーを用いた方法が採用される。光ファイバーの片方の端が分光器に接続され、もう片方が試料表面から数 mm 離れた場所に固定され、測定がおこなわれる。試料側の末端は反射プローブと呼ばれ

る。

平坦な試料表面とは異なり、凹凸のある試料表面上での光の反射もしくは蛍光が発生した場合、様々な方向に向かってそれらの光が進んでいくことになる。反射プローブへの入射光が減少することも考えられる。

MLAを試料表面と反射プローブの間に置いた場合、可視光領域の光がMLAを通過した後の光量の変化やスペクトルの形状変化を分光器を用いて、測定し、MLAの影響について考察することとした。

光をMLAを通過させて照射し、反射光や蛍光を得るのが最終到達目標ではあるが、MLAに入射光を照射すると光が反射し、プローブでの検出が困難であった。そこで、モデル光源として発光ダイオード(LED)を紙の裏側に置き、表側に反射プローブやMLAを置いて測定するモデル試料を製作した。拡散したLEDの光の紙面が試料表面となる。

2. 研究方法

(1) 機器

モデル光源用の黄色発光ダイオード(LED)、Arduino UNO R3、USBケーブル、ブレッドボード、330Ω抵抗は、Arduinoエントリキット(テックシェア社)に含まれる機材を用いた。抵抗は直接ブレッドボードに差し込み、Arduino UNOのPIN5、GND端子ブレッドボード間の配線は、オス-オスジャンパーワイヤー(14cm)2本を用いた。ブレッドボードとLEDの間は、オス-メスジャンパーワイヤー(14cm)2本を用いて接続した^[注1]。紫外-可視光領域のスペクトル測定は、小型マルチチャンネル分光器FLAME-S-UV-VIS-ES(オーシャンオプティクス社)にコア径400μmの光ファイバーを用いた反射プローブR400-7-SR(同社)を接続し、測定部分を暗室にするために反射プローブホルダーRPH-1(同社)を使用し、おこなった。Arduino UNOへの電源供給と制御プログラムの転送、分光器の制御には、Mac book

Air 11インチを用い、USB端子を介してそれぞれを同時におこなった。

マイクロレンズアレイ(MLA)は、直径が150μmのマイクロレンズが縦横10mm×10mmに配列した矩形型レンズをマウントしたMLA150-5C-M(ソーラボ社)を用いた。マウント後のレンズの窓サイズは、9mm×9mmである。MLAのマイクロレンズの凸側が、LED方向を向くように使用した。

スペーサーは、1インチ径の光学素子を固定するためのケージプレートCP06F/M(ソーラボ社)、白色の厚紙を重ね合わせた後、テープで固定し、10mm角の窓を切り取って作成した厚さ2.1mmの自作スペーサー、CP06F/Mに付属の厚さ2mmの光学素子固定用リングを必要に応じて使用した。

(2) 測定方法

養生テープの円筒(内径76mm)内にLEDを固定し、円筒の縁にろ紙(アドバンテック東洋NO.2・直径90mm)2枚を置いて、LED光をろ紙内に拡散させた状態をつくった。このろ紙越しに観察されるLED光の真上にスペーサーを置き、そしてMLA、その上にプローブホルダーを置いて測定した。ろ紙面とMLAの間のスペーサーは、ろ紙面からの高さを変えるために種々使用した。なお、プローブホルダーに反射プローブを入れない状態で、LEDの発光面積を肉眼で観察したところ、プローブホルダーの内径(6.3mm)よりも小さく、プローブホルダーにはLED以外の外光は入射していないことを確認した。

LEDは、ブレッドボードからLEDの発光時間(10000ms)と消灯時間(1000ms)は、Arduino UNOにて制御した^[注2]。

プローブホルダー内における反射プローブの先端の位置は、2mm内側に固定した。この位置にすることで、分光器の露光時間50msで、CCDセンサーへの光入力が飽和にならない最大光量値が得られた。

ろ紙面からの高さ、MLAの有無などの条件につい

ては、2-(2)-1) から2-(2)-7) においてそれぞれ説明する。スペクトル測定は、暗室にした状態で、暗電流をゼロにした。また、各条件下で、発光間隔ごとに5回測定し、その結果を検討することとした。

1) スペーサーとMLA無し (条件1)

プローブホルダーを直接ろ紙上に置き、LEDの発光した光をろ紙に拡散した状態で測定した。

2) リング+自作紙スペーサー (4.1mm) とMLA有り (条件2)

リングの上に自作紙スペーサーを載せ、その上にMLAを置き、LEDの拡散光が中心になるように調整し、プローブホルダーをそれらの上に置き測定した。マスク内のMLAから、ろ紙面までの距離が5mmとなり、MLAのカタログ上の焦点距離となる。ろ紙からプローブホルダーの接触位置までの高さは、7.6mmとなる。

3) リング+自作紙スペーサー+MLAマスク(7.6mm) とMLA無し (条件3)

MLAが無い状態を再現するため、リング+自作紙スペーサーの上にMLAマスク(厚さ3.5mm)を載せてプローブホルダーを載せた。具体的には、自作紙スペーサーの窓をふさがないようにMLAマスク2枚を並べて使用した。ろ紙面からプローブホルダーとMLAマスクとの接触位置までの高さは、条件2と同じになり、7.6mmとなる。

4) リング (2mm) とMLA有り (条件4)

紙とMLAのマイクロレンズ間が、焦点距離よりも短い位置にした場合の測定をおこなった。高さが2mmのレンズ固定リングをスペーサーとして用いた。ろ紙面からケージプレートとプローブホルダーの接触位置までの高さは、6.5mmとなる。

5) リング+MLAマスク(6.5mm)とMLA無し(条件5)
ろ紙面からMLAマスクとプローブホルダーの接触位置までの高さは、条件4と同じ6.5mmとなる。

6) ケージプレートCP06F/MにMLAを固定して測定 (条件6)

MLAをケージプレートに固定し、ろ紙面からレンズまでの距離が5.7mmになるように調整した。ろ紙の上にケージプレートを置き、その上にプローブホルダーを載せた。ろ紙面からケージプレートとプローブホルダーの接触位置までの高さは9mmとなる。

7) ケージプレートCP06F/Mをスペーサーとして使用し、MLA無し (条件7)

ケージプレートからMLAを外し、スペーサーとして使用した。ろ紙面からケージプレートとプローブホルダーの接触面までの高さは、条件6の時と同じになり、9mmとなる。

3. 結果と考察

スペーサーを用いて、ろ紙面から反射プローブまでの距離を同じにして、その間にMLAを置いて測定し、MLAの有無によるスペクトルの形状変化を比較した。2-(2)-1) 節(条件1)から2-(2)-7) 節(条件7)で説明した条件で測定を行なった結果を述べる。なお、スペクトルは、横軸が波長(単位:nm)で、LEDの中心波長付近の550から650nmの範囲のみを図として報告する。縦軸には強度(カウント数)とした。積算やスムージングなどの処理をしていないため、ノイズを含んだ形状である。スペクトルの形状比較で注目する点は、スペクトル幅、反射プローブ先端からろ紙面までの同一距離のものとMLAの有無での測定でのスペクトルの強度変化の比較とした。

条件1では、図1のスペクトルが得られた。594.4nmで47500から47600カウントにピークが出現し

た。5回の測定ともほぼ重なる結果が得られた。

条件2は、スペーサーを置き、その上にMLAを置いての測定となる。スペーサーを置くことで、MLAの焦点距離である5mmでの測定を行なった。図2で示すように、594.4nmで23000から24000カウントにピークが出現した。5回の測定ともほぼ重なる結果が得られた。

条件3は、条件2からMLAを外した状態で測定をおこなった。MLAのマスキの厚さ分の距離をとって測定したため、反射プローブからろ紙面までの距離は、条件2と同じである。図3で示すように594.4nmで26300から28800カウントにピークが出現した。5回の測定ともほぼスペクトルが重なる結果が得られた。

条件4は、MLAとろ紙面の距離が2mmであり、MLAの焦点距離よりも短い距離で測定した。図4で示すように594.4nmで26000から27000カウントにピークが出現した。5回の測定ともほぼスペクトルが重なる結果が得られた。

条件5は、条件4からMLAを外した状態で測定をおこなった。MLAマスキの厚さ分をとって測定をしたため、反射プローブからろ紙面までの距離は、条件4と同じである。図5で示すように594.4nmで35500から38600カウントにピークが出現した。5回の測定ともほぼスペクトルが重なる結果が得られた。

条件6は、MLAとろ紙面までの距離は、MLAの焦点距離よりも長い5.7mmの位置にし、測定をおこなった。図6で示すように594.4nmで23800から26300カウントにピークが出現した。5回の測定ともほぼスペクトルが重なる結果が得られた。

条件7は、条件6からMLAを外した状態で測定をおこなった。MLAを固定したケージプレートをスペーサーとしたため、反射プローブからろ紙面までの距離は、条件6と同じである。図7で示すように594.4nmで37100から38000カウントにピークが出現した。5回

の測定ともほぼスペクトルが重なる結果が得られた。

条件7の測定終了後、再度条件1で測定し、再現性を確認した。図8で示すように、図1とほぼ同じスペクトルが得られ、再現性を確認できた。

条件1から7の間で比較すると、MLAの有無やろ紙面から反射プローブまでの距離に関わらず、スペクトルの強度に差があるもののピーク波長は同一で形状は同じであった。MLAの無い、条件1, 3, 5, 7を比較すると、ろ紙面から反射プローブまでの距離が2mmで一番短い条件1のカウント数が多く、7.6mmの条件3のカウント数が一番少なく残りの6.5mm, 9mmの条件5, 7ではほぼ同じカウント数であった。ろ紙面から反射プローブまでの距離と観測されるカウント数の間関係については、検討する必要がある。MLAを用いた条件2, 4, 6では、ほぼ同じカウント数で、MLAを用いた集光率の増大効果は確認できなかった。これは、MLAのマイクロレンズは、正方形の区画の中に円形のレンズが置かれている。つまり、平面的に表すと正方形に内接する円のようにになっている。円周の外側でかつ正方形内の部分は、レンズとは関係のない部分なので、マスクされている。この部分が遮光するため、MLAを通すと光量が減少すると考えている。

4. まとめ

ろ紙とLEDを用いて、ろ紙内に拡散させた光を反射プローブを用いてスペクトル測定し、MLAの有無が、スペクトルにどのように影響を与えるかを検討した。MLAを通過した光のスペクトルは、MLAが無い時と比べ、ピーク波長やスペクトル形状には変化は無かった。強度については、MLAが有るとカウント数が減少した。

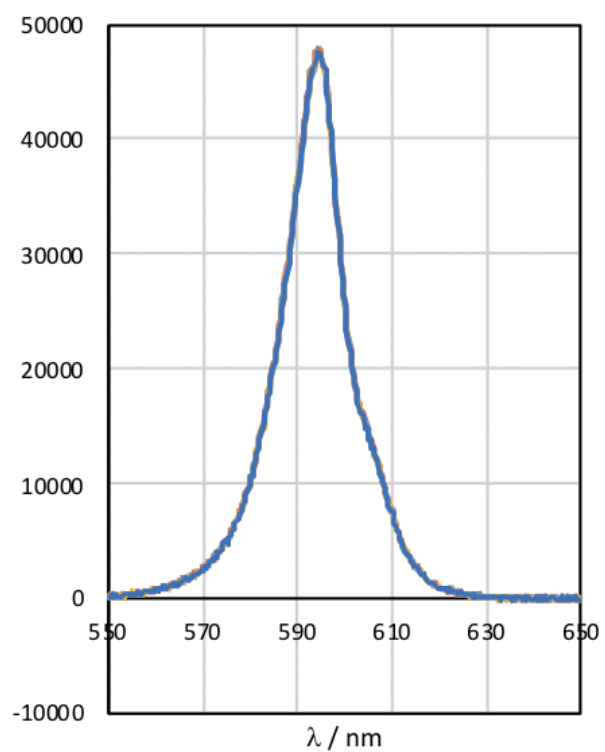


図1 条件1 (MLA無し) でのスペクトル

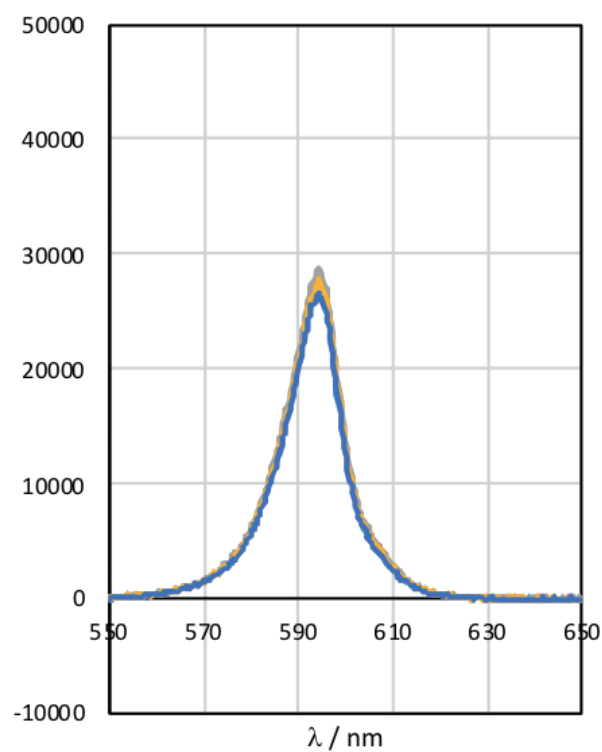


図3 条件3 (MLA無し) でのスペクトル

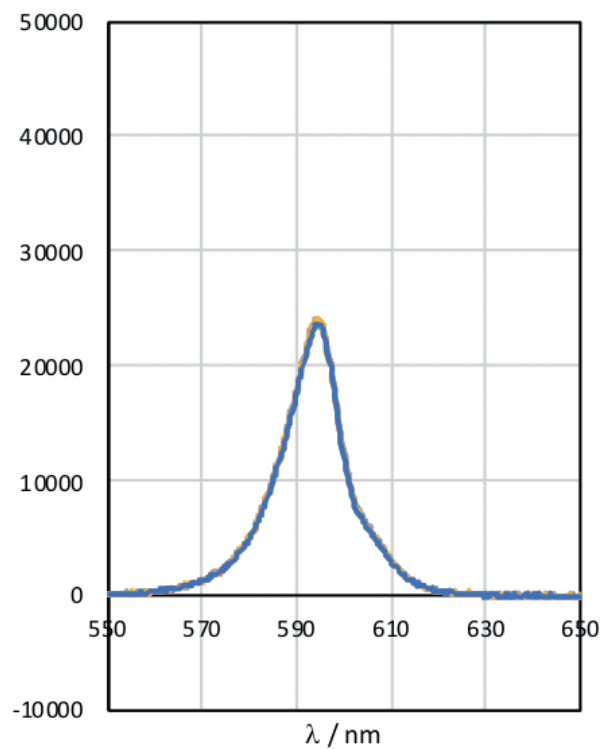


図2 条件2 (MLA有り) でのスペクトル

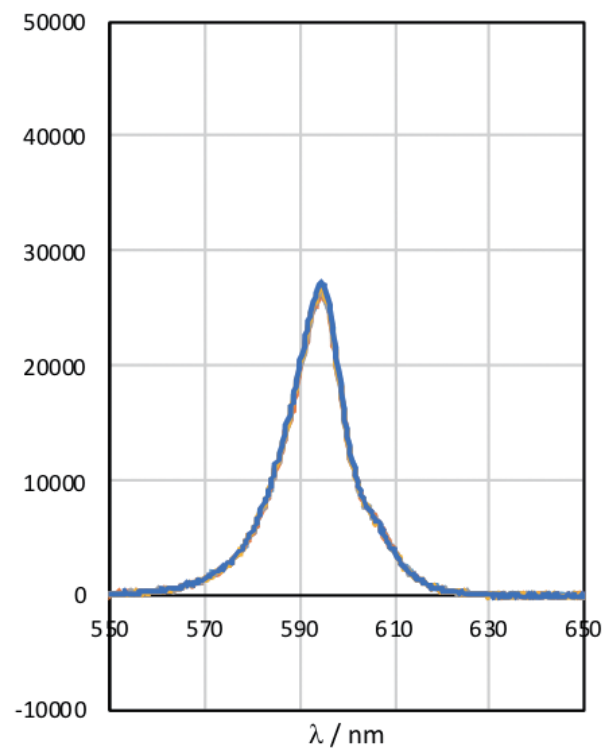


図4 条件4 (MLA有り) でのスペクトル

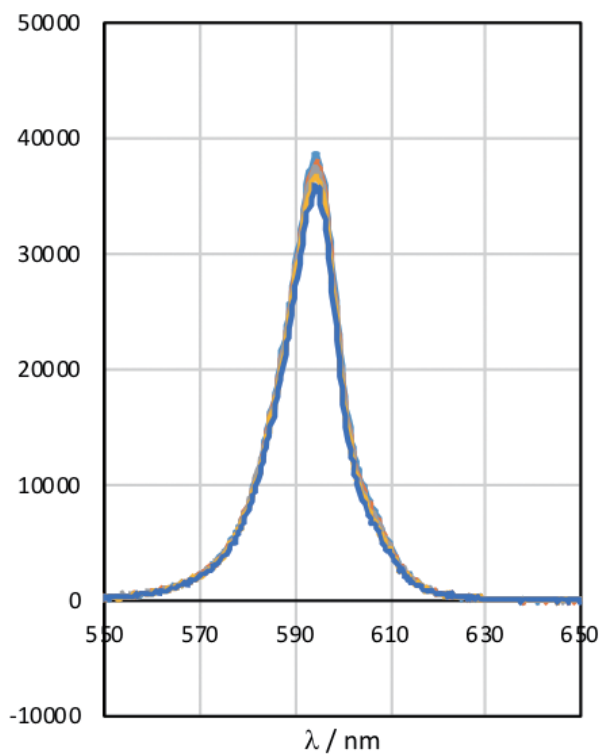


図5 条件5 (MLA無し) でのスペクトル

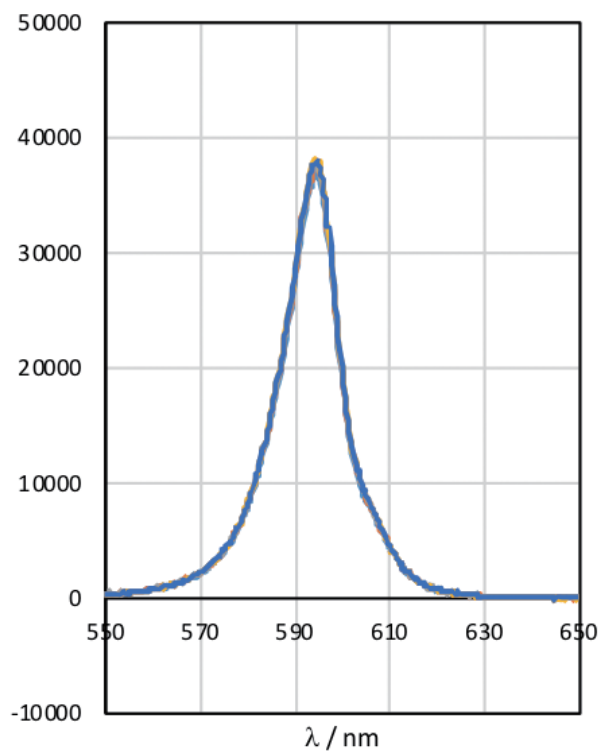


図7 条件7 (MLA無し) でのスペクトル

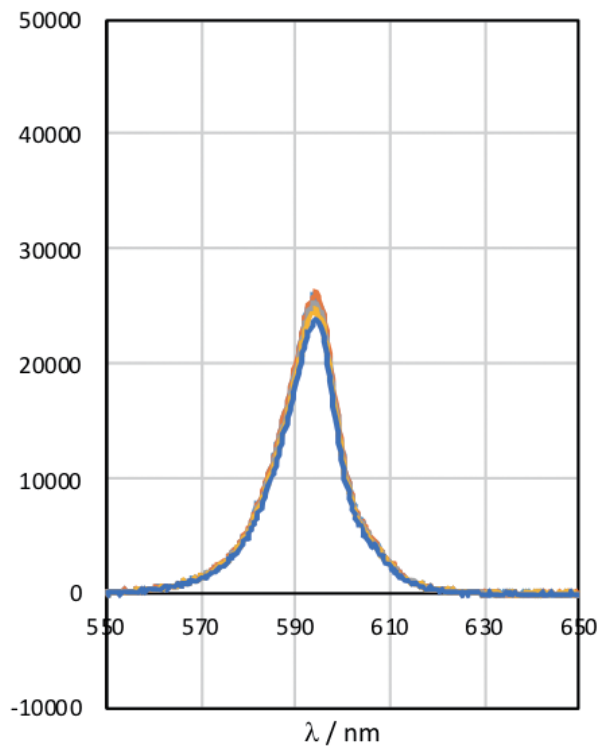


図6 条件6 (MLA有り) でのスペクトル

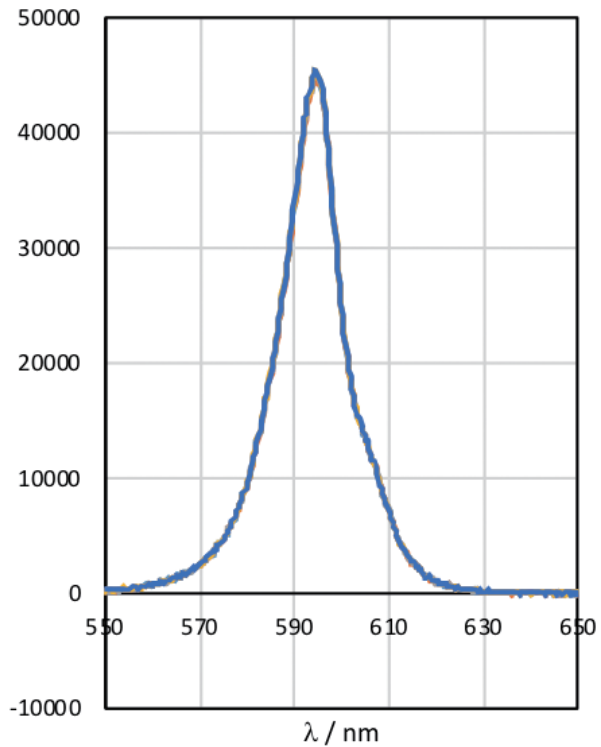


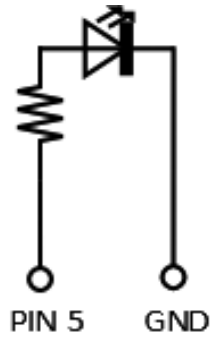
図8 条件1でのスペクトル (再測定)

謝辞

本研究の一部は、平成30年度吉備国際大学共同研究費の補助を受けた。ここに感謝申し上げます。

注

[注1] ブレッドボードへの配置は次の回路図のとおり行った^[2]。



[注2] Arduino UNOで発光ダイオードを点滅させるプログラムは、アプリケーション付属の入門プログラムBLINKにあるdigitalWrite()を用いた。

参考文献

- [1] 高木秀明著「マイクロレンズアレイを用いた文化財非破壊分析用プローブ開発のための先行調査」, 吉備国際大学研究紀要 (医療・自然科学系), 2019年, 第29号, 61-68.
- [2] 神崎康宏著『Arduinoで計る, 測る, 量る』, 2014年, CQ出版社.