

光の強度を計測する実験で、しばしば微弱な光を安定に計測したいことがあります。これまでもさまざまな計測技術が提案され実用化されています。中でも、最もシンプルな方法のひとつに変調光源とロックインアンプを用いた計測方法があります。この技術は工学部の学生には広く知られていますが、最近、さまざまな分野への応用が提案されています。中でもホットな話題は生体計測です。本工房では、変調光源とロックインアンプをベースにした生体計測にスポットを当てて微弱光計測の面白さについて紹介します。

1. 微弱な光の計測方法

吸収係数が大きい結晶や伝搬損失の大きな光導波路の光学特性を評価するとき、光源のパワーに限りがあるため、検出できる光の強度が少なくなり、その結果ノイズが大きくなる場合があります。このような計測では、図1(a)に示す変調光源とロックインアンプを用いた計測システムを用いることになります。この計測システムでは、出力を変調した光源を使用します。例えば、注入電流を変調した半導体レーザーや、出力をチョッパーで変調したHe-Ne

レーザーを利用することができます。ここで、媒質を通過した光の強度は大きく低下します。通過光の強度はフォトダイオードや光電子増倍管を用いて電気的な信号に変化します。この電気的な信号光の強度変化を、変調周波数を参照するロックインアンプを用いてフィルター処理することで、ノイズに対して安定性の高い信号を検出できます。

この検出方法は、高い安定性に加えて、1つの検出器で複数の変調光源からの通過光強度を無損失で同時に検出できるため、分光計測などへも応用できます(図1(b))。分光計測法には、図1(c)に示すようなプリズムや回折格子などの分光素子を用いた計測方法もあります。しかし、これらの分光素子を用いると、透過する光量が減少するため、微弱な光の検出には必ずしも相応しくありません。

2. 光を用いた生体計測技術

20世紀のはじめに、脳波の計測方法が発見されて以来、さまざまな計測方法が提案されています。病院の検査などで、X線断層撮影法(computed tomography: CT)、超音波診断装置、磁気共鳴描画装置(MRI)などのお世話になった方もいるかと

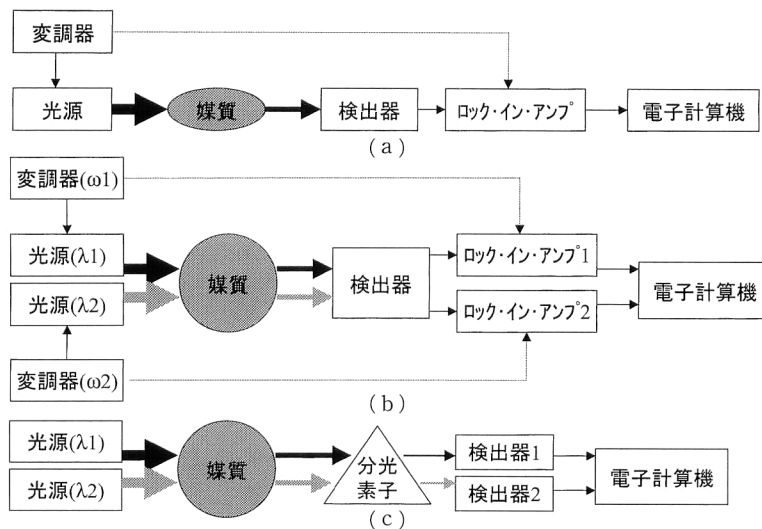


図1 酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビンの吸光特性。(a) 計測システム、(b) 複数光源の同時計測システム、(c) 分光素子を使用した計測システム(光損失が多い)。

思います。これに対して、近年、半導体レーザーや検出器の技術が大きく発展したため、光を用いてヒトを計測する技術も発達してきました。

手のひらを電球や太陽にかざしてみると、赤くほやけてみえます。これは、生体組織が赤い光をよく通し、さらに、光が強く散乱することを示しています。生体組織は、たんぱく質、水、血液を構成するヘモグロビンなどからなります。このうち、たんぱく質は紫外光を、水は赤外光より長い波長の光を強く吸収することが知られています。一方、波長700～900 nm付近の近赤外光は、これらたんぱく質や水には吸収されずに透過するため、ヒトの光計測に適した光であるといえます。

この透過しやすい近赤外光であっても、血液中のヘモグロビンによって吸収されます。例えば、脳が働くと、その活動した脳細胞へ酸素やグルコースを供給するため、血液中の酸素が二次的に増加します。その結果ヘモグロビンの濃度が変化するため、透過率の変化は脳の働きを反映していると考えられます。ヘモグロビンには、細胞組織まで酸素を運ぶ「酸化ヘモグロビン」とこの酸素が外れた「脱酸素化ヘモグロビン」の2種類があり、これらの吸収スペクトルは波長800 nmを境に異なることが知られています(図2)。ですから、分光計測技術を応用し、多波長で計測すれば、これらのヘモグロビンの濃度変化を推定することができます。

ヒトの脳の働きを計測するためには、光源に接続した光ファイバーを頭髪を掻き分け頭皮上に軽く接触させます(図3)。光ファイバーから照射された光は、生体組織により強く散乱されますが、その一部は、光をもっとも強く散乱する頭蓋骨を通過し、大脳の表面を経由し、再び大脳の表面へ反射光として到達します。この到達位置は、照射位置から30 mm程度離れることが、実験や計算機シミュレーションの結果から明らかになっています。この大脳の表面には、言葉を話す機能や手や足を動かす運動

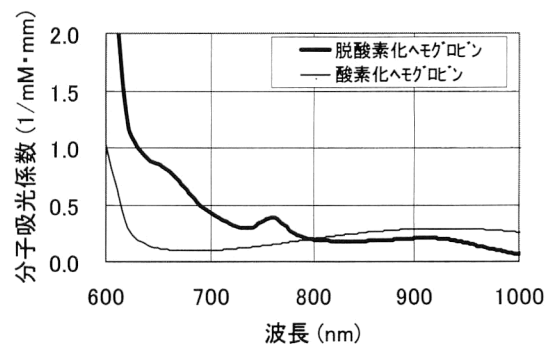


図2 酸化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビンの吸光特性。

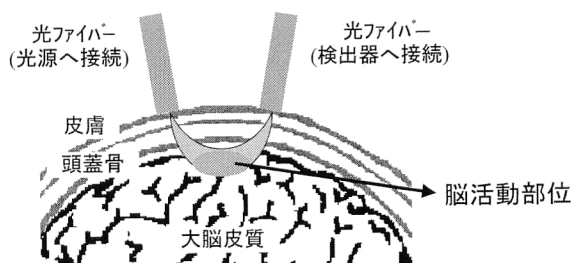


図3 生体内の光の伝搬特性。

機能など、ヒトにしかない「高次脳機能」があり、これらの脳機能が働くとヘモグロビンの濃度が変化します。このため、脳の活動に伴い反射光の強度が変化するので、照射強度に対する反射光の強度は 10^{-6} 以下であり、反射光の強度変化は数%ですが、図1に示した計測方法で検出できることがわかってきました。

3. おわりに

このような光の生体計測技術は、高い安全性を有することが明らかになっています¹⁾。そして、世界の中でもわが国が一步リードしている技術のひとつです。この技術は、手軽に「ヒトの脳」を知ることができるため、さまざまな応用が考えられ、その結果、従来考えられなかった新たな産業の創生も可能ではないかと思われます。

文 献

- 1) Y. Ito, *et al.*: J. Biomed. Opt., 5 (2000) 383-390.