

実験の流れ

8月1日（金）10:30~17:30

I. 光の三原色を作ろう！

最初の実験では発光ダイオードを使って光の三原色を作ってもらいます。ここでは、拡張キット光実験 60 を使います。

◆ 発光ダイオードを光らせよう

拡張キット光実験 60 の回路例、No. 1 LED ランプの基本回路 1 に従って回路を組んでください。電流が数ミリ A から数十ミリ A 流れると発光します。流せる電流には制限があるので、目的の電流になるように直列抵抗を入れて使用します。

◆ 明るさを変えてみよう

回路例 No. 2 LED ランプの基本回路 2 に従って回路を組んでください。可変抵抗を使って電流値を調整する回路になっています。流す電流量はメーターで確認できます。電流値によって明るさが増える事が確認できます。

◆ 赤、緑、青を光らせよう

拡張キット光実験 60 にはフルカラーLED ランプが付いています。1つの素子に赤・青・緑の3色の発光ダイオードを内蔵したものです。ここでは2人一組となって実験してください。上手く回路を組みればそれぞれの発光ダイオードに電流を流す回路が作れます。3原色を光らせてみましょう。また、各々のダイオードの電流値を調整して3色を混ぜ合わせ、色々な色を出してみましょう。

II. 明るさセンサーを作ろう！

ここでは明るさセンサーを作ります。どうやったら明るさセンサーを実現できるでしょうか。まずは光を電流もしくは電圧に変換する素子が必要です。次に、その素子の応答をセンサーとして機能させる回路が必要です。悩み、手を動かし、自分で動くものを作り上げる「物づくり」の楽しさを味わってもらいます。

◆ 光導電セル CdS

CdS とは光センサーで、正式には硫化カドミウム (CdS) 光導電セルといいます。2つの電極間の波型の溝に、硫化カドミウムが塗られています。電子ブロックには CdS 光導電セルが組み込まれています。CdS は光導電の名のとおり、光があたると電気が通り、抵抗値が変化します。では実際に確認してみましょう。CdS 部に光が入っている時と、CdS 部をふさいだ時で抵抗値が変化します。テスタで確認してください。

◆ 明るさセンサーの原理

CdS に入る光の量で抵抗が変化する事はわかりました。これを利用したスイッチを作るにはトランジスタが便利で、トランジスタのスイッチ機能を利用して明るさセンサーを作りましょう。明るさセンサーの回路は次のようになります。トランジスタはベース・エミッタ間の電圧が、ある値より高くなるとベース電流が流れ始めるという性質があります。この電圧はベース電流の大小に、わずかに影響されるだけでほぼ一定です。明るいときは CdS の抵抗が小さいのでベースには電流が流れません。暗くなると CdS の抵抗が大きくなりベースに電流が流れます。ベースに電流が流れるとコレクタにも電流が流れるので発光ダイオードが光ります。

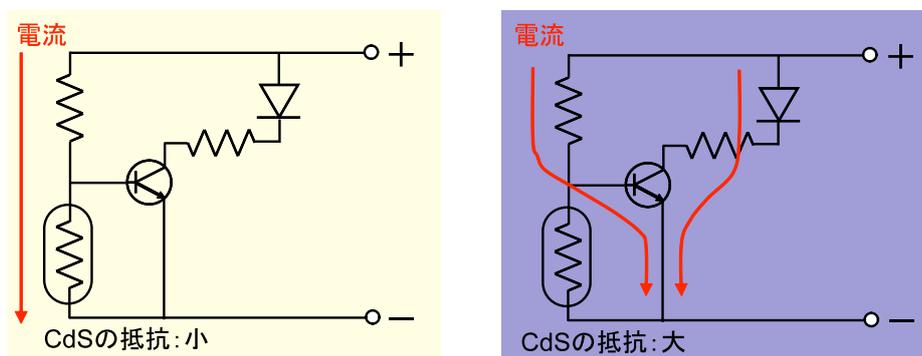


図 8 明るさセンサーの原理

◆ 回路を設計しよう

では回路を設計しましょう。発光ダイオードは赤色発光ダイオードを使用します。トランジスタには STR-E を使用して下さい。他に抵抗が二つ必要ですが、それぞれ何Ωの抵抗が必要かを計算してもらいます。発光ダイオードの直後の抵抗をエミッタ抵抗、ベースの直前にある抵抗をベース抵抗としてそれぞれの値を求めます。

回路全体にかかる電圧は 6V です（電池が直列で 4 本）。ここで使用するトランジスタの電流量の倍率 h は約 100 倍です。また、赤色発光ダイオードの電圧降下は約 2V、ベースによる電圧降下は約 0.6V です。発光ダイオードに約 10mA の電流を流すとすると、エミッタ抵抗とベース抵抗の値が計算できます。実際にはここで設計した値と全く同じ抵抗値を持つブロックが存在しないので、近い値を持つ物を使用しましょう。また、そうすると計算値とのずれが起きますので、改めて回路の電流を計算してみましょう。

◆ 明るさセンサーを動かそう

適切に回路が設計できたら、それを電子ブロックで組み上げてみましょう。発光ダイオードは電流を流しすぎると壊れるので、電源を入れる前にスタッフの確認をもらってください。適切な回路設計が出来れば明るさセンサーが動作します。

III. 脈拍計を作ろう！

最後の実験では、最先端の研究につながる科学実験を体験してもらいます。これは、明るさセンサーの応用で、とても簡単な実験ではありますが、発見や発明につながるたくさんのヒントが詰まっています。光のセンサー部分に指を当てましょう。指先を流れる血液が光を遮ることにより、センサーに届く光の量が変わります。ただし、この変化はとても小さいので、トランジスタやコンデンサを使った工夫が必要です。

◆ 脈拍計の原理

明るい部屋で CdS 部分を指でふさぎます。このとき血液が指先の血管を流れるとどうなるでしょう。血液は赤い色をしています。これは血液がある決まった色の光を吸収するためです。つまり血液が流れているところを光が通ると、わずかではありますが光の通る量が変わります。指先の血管には心臓の鼓動と同じタイミングで血液が流れてきますので、このとき指先を通して CdS に届く光の量が変化します。このため、血液の流れを電気抵抗の変化という形で見るできるようになります。ただし、この変化はとても小さいので、単純に CdS の信号を見ることでは脈拍は計れません。そこで、トランジスタによってわずかな CdS の抵抗の変化を増幅し、脈拍を計ります。ここでは回路集の No. 150 脈拍計に従って作ります。

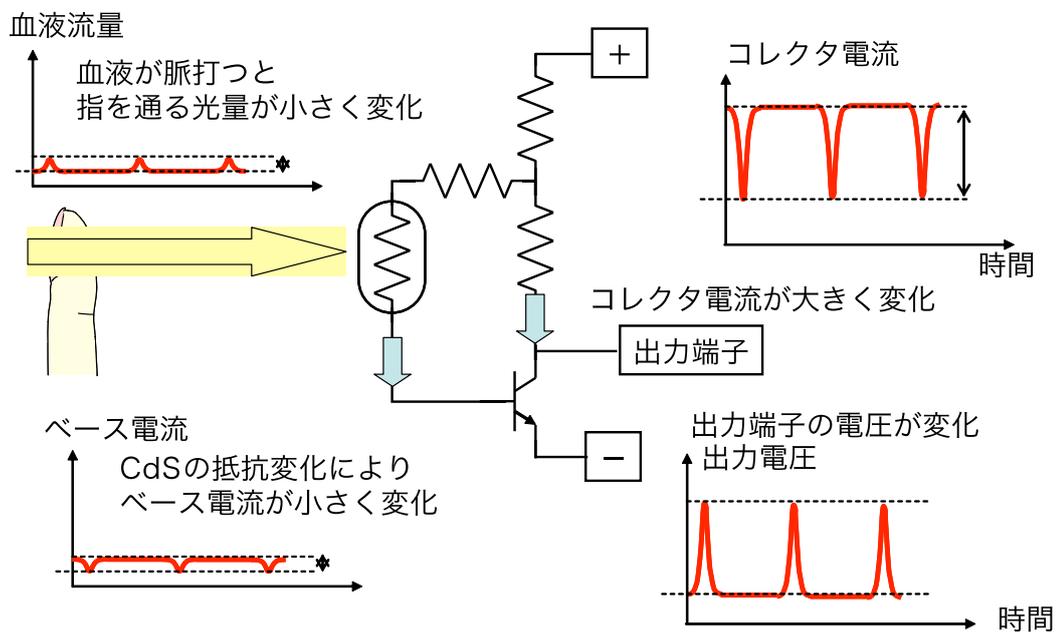


図 9 脈拍計の原理

◆ コンデンサの役割

回路図を見てみましょう。トランジスタの増幅の他に、コンデンサが入っています。コンデンサは電気を蓄えたり放出したりする蓄電池ですが、直流を通さないという性質も持っています。この性質を利用すると、微弱な電流の変化をみる事ができるよう

になります。脈拍を見るとき、血液が流れていない間も光はCdSに届いています。時々来る血流によって光がほんの少し弱くなります。コンデンサを使う事で、僅かな変化分（交流信号）だけを取り出してうまく増幅する事ができます。

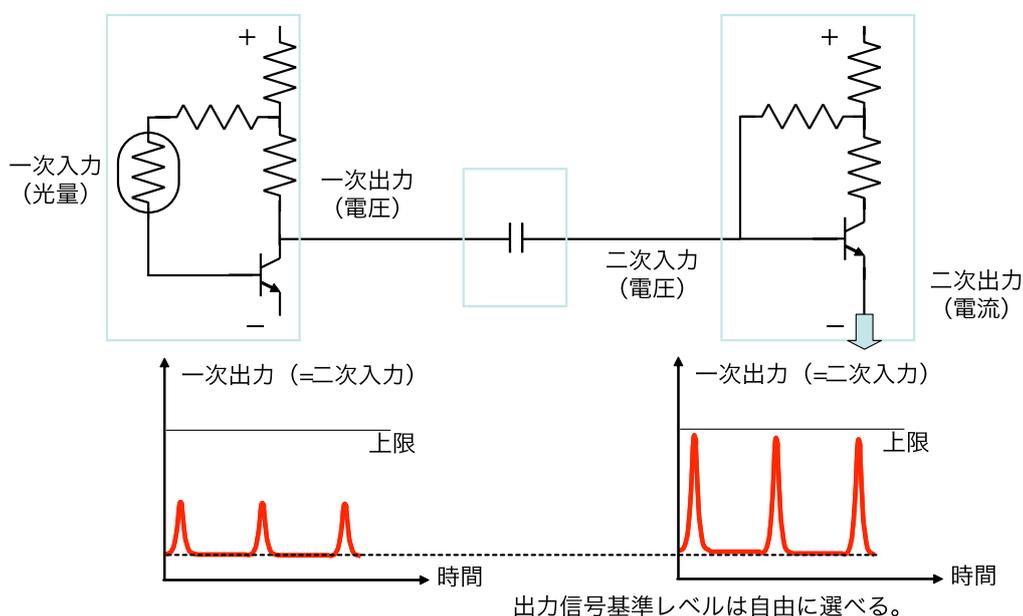


図 1 0 コンデンサによる出力信号基準レベルの調整

◆ 脈拍を計ってみよう

回路集の No. 150 脈拍計に従って回路を組みましょう。回路ができたら CdS 部分を指でふさぎ、電流メーターを見てみましょう。周りの照明や指の当て方にもよりますが、心臓の鼓動と同じタイミングで電流計の針がわずかに触れるのがわかると思います。

◆ 血液はなぜ赤い？

今度は血液の色について考えて見ましょう。血液の色は赤いですが、何故赤いのかを知るためには、血液の成分を知らなければなりません。血液には主に赤血球、白血球、血漿が含まれています。血漿は淡い黄色の液体で91%が水分です。赤血球と白血球は大きさが数 μm 程度（光の波長より少し大きい）の細胞です。その名の通り、赤血球は赤色、白血球は白色をしています。血液の色を決定しているのは赤血球である事がわかります。今度は赤血球の成分を考えて見ます。赤血球は65%は水、34%がヘモグロビンで構成されています。水は透明ですので、きっとヘモグロビンが赤い原因だと予想されます。

ヘモグロビン (hemoglobin) はヘム (heme) という鉄錯体とグロビン (globin) というタンパク質からできています。グロビンは透明で、ヘムが赤色をしています。では今度はヘムについて考えてみましょう。ヘムは、ポルフィリンという分子の輪の中に鉄の原子が取り込まれた（鉄錯体）ものです。図 1 1 はヘモグロビンの吸収スペクトルと呼ばれるものです。どの色をどれくらい吸収するかを表したものです。赤はほとんど

ど吸収しない事がわかります。一方、青や緑はたくさん吸収されます。みなさんの周りにあふれている光は「白」です。白色光には全ての色が含まれています。では白色光が赤血球に当たるとどうなるでしょう。赤血球（の中のヘモグロビン）は、青と緑を吸収します。一方、赤はほとんど吸収しません。このため赤血球に当たって反射（散乱）される白色光は青と緑の成分を失い、赤だけが残ってみなさんの目に入ってくるのです（図12）。

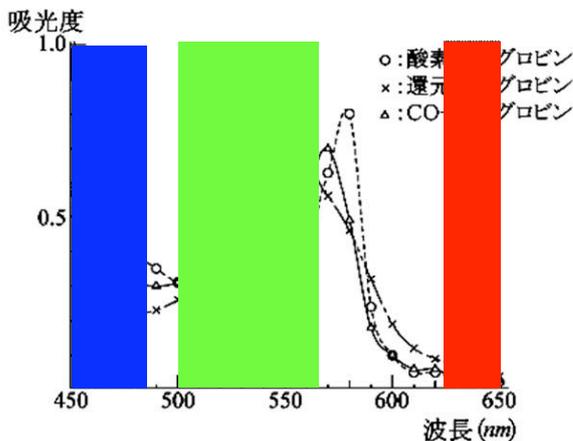


図1-1 ヘモグロビンの吸収スペクトル

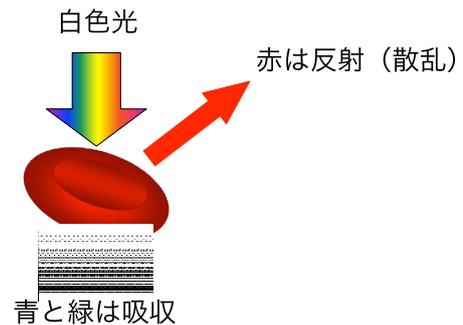


図1-2 赤血球による白色光の散乱

実は以上の説明でほんとうに大切な理由の説明をしていません。なぜヘムは青と緑を吸収し、赤は吸収しないのでしょうか。ヘムはポルフィリンの鉄錯体でしたが、ポルフィリンの錯体は他にも存在します。例えば、ポルフィリンに鉄の代わりに銅が付くと青くなります（タコやエビの血液です）。また、代わりにマグネシウムが付くと緑になります（クロロフィルです）。ポルフィリン金属錯体は中心の金属の種類によって色が変わります。なぜでしょう？不思議ですね。

この場ではみなさんの疑問にお答えできません。高校生で習う勉強の範囲を完全に逸脱してしまいます。ただし、理由はわかっていますので安心してください。みなさんが大学に入り、量子力学や量子化学と言った学問を学ぶ事ができるとすっきりするでしょう。ただし錯体の色に関しては割りと高度な知識が必要ですので心しておいて下さい。まずは、簡単な水素原子の色などから謎解きは始まるでしょう。

◆ 脈拍計の高感度化

血液の色を考えた場合、どの色の光で指を照らせば脈拍計の感度があがるのでしょうか。ここで作った脈拍計は、血流がある時と無い時とでCdSに届く光の量が変化する事を利用してあります。これを考えると、血流の有無による光の量に差が大きいほど感度が良くなるはずですが、赤色はヘモグロビンで吸収されませんので、血流がある場合と無い場合にCdSに届く光の量の変化は少なくなるはずですが、一方、青や緑はヘモグロビンに強く吸収されますので、血流がある場合には赤血球に吸収されてしまい、CdSに届く光の量が減るはずですが、実際にはミー散乱（大学で習います）などの影響もあり

ますが、大まかには赤より緑・青の方が感度が良くなります。

フルカラーLEDを使って赤、青、緑の光を作り、CdSの上に当てた指にそれぞれの光を当てて感度の違いを試して見ましょう。フルカラーLEDは拡張キット光実験60に付属の小さな回路ボックスを使って作ってください。赤、青、緑と違った色を点灯させて実際に脈拍を計ってみましょう。

IV. 最後に

本日みなさんに体験してもらった脈拍計の原理は、実は身近なところでも色々と利用されています。また、最先端の研究にも当てはめる事ができます。光もX線も電波もみな同じ電磁波の仲間です。本日は目に可視光を使って脈拍を計ってもらいましたが、他の電磁波を使うといったいどんな事ができるでしょう。レントゲン写真は良く知っていると思います。これはX線の通りやすさが骨と肉とで違う事を利用したものです。原理は今日の実験とほとんど同じです。

糖度計

近赤外域の特定波長の光は、糖に関連する物質に吸収される性質があります。そこで、近赤外光を果実に照射し、光が吸収される度合いを調べるにより糖度が推定できます。りんごやみかんの甘さを非破壊で検査できるため、農家の方々などに重宝されている技術です。

静脈認証

人間の静脈の形は、指紋や手相と同じように人それぞれで形が違い、しかも一生の間にほとんど変化がありません。これを利用すればとても安全性の高い個人認証が可能となります。このような静脈の形状をチェックするために赤外線が使われています。

レーザードップラー血流計

レーザ光を体に当て散乱光を見ることで、血流を非接触で観察できます。血液の流れがレーザ光に変化を与える事（ドップラー効果）を利用した技術です。最近はこの技術を使って脳の状態なども調べられるようになって来ました。

テラヘルツ波

テラヘルツ波と呼ばれる電磁波は人類が残してきた最後の波長領域です。赤外線と電波の間に位置する電磁波です。ほんの十数年前までは発生させる事も検出する事も効率良く出来なかったため、電磁波の暗黒領域と呼ばれていました。テラヘルツ波のエネルギーは大きな分子の動きや、分子同士のやわらかい繋がりに相当し生命体の成り立ちなどと深く関わりがあります。名古屋大学ではテラヘルツ波光源の開発や、それを使った最先端の計測を行っています。

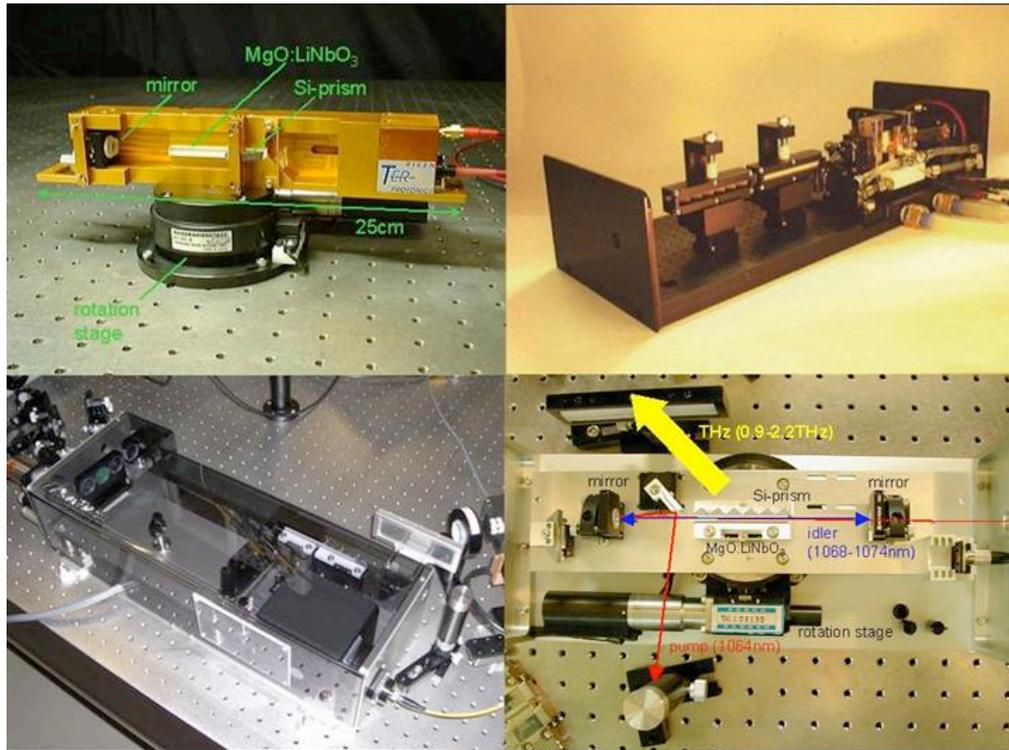
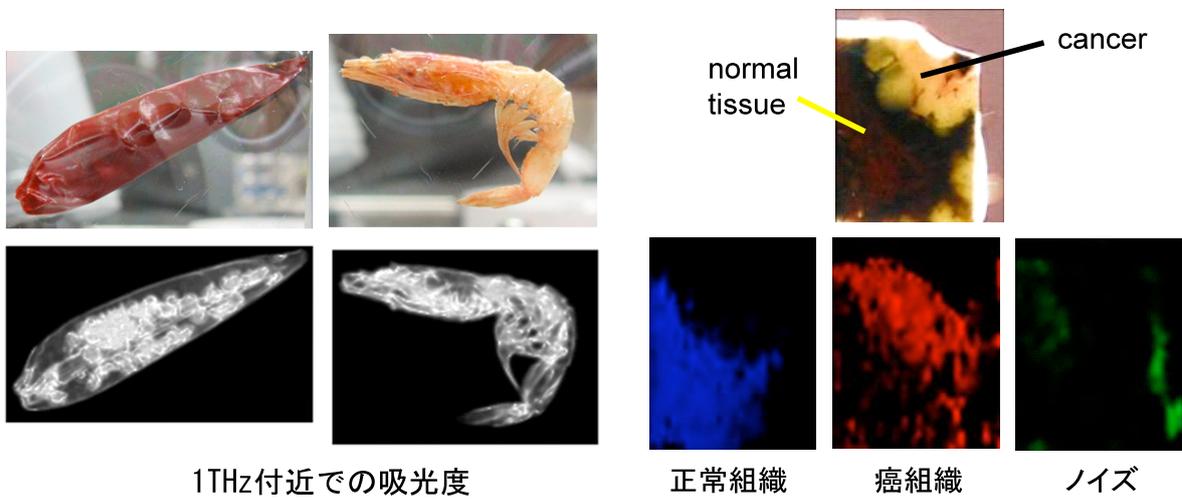


図 1 3 川瀬教授らの開発した小型テラヘルツ波光源



1THz付近での吸光度

正常組織

癌組織

ノイズ

図 1 4 テラヘルツ波によるイメージング例