

## E2. センサアイテム体験

---

# E2 センサアイテム体験

## E2.1 はじめに

センサとは種々の物理量の変化を検出し、信号として出力するための素子を指す。センサ単体で使用されることは少なく、制御対象の状態情報を獲得することなどには大いに利用され、その必要性は非常に高い。E コースの第 2 回目では、センサアイテム体験として既存のセンサアイテムの計測原理・構成について理解するとともに、代表的なセンサアイテムに関しては実験的にその出力特性を確認しながら理解を深めていこう。

本日の目標

1. 基本的なセンサアイテムについて、その原理や構成を理解する
2. 代表的なセンサアイテムについて、実験的にその出力特性を確認する

## E2.2 光電センサ

### E2.2.1 光電センサとは

#### 知識 E2.1 光電センサ

光電センサ(フォトセンサ)は、可視光線・赤外線などの光源素子から照射され透過・反射によって伝播する光信号がもたらす光エネルギーを、受光素子によって電気的なエネルギーに変換し出力信号を得るセンサである。

具体的には、光によって物の有無・大きさ・長さなどの物理量を検知する素子や装置として利用されており、前述のように光エネルギーを発する光源素子とそのエネルギーを捕らえるための受光素子とを組み合わせた構成が基本となる。検出物体に接触することなく検出を行なえることは、光電センサの特徴のひとつといえる。

#### 知識 E2.2 光電センサの形態

光電センサの構成形態には、主として以下に挙げる 3 つの形態があり、使用環境などによって最適な形態が選択される。

**透過型光電センサ** 対向した光源・受光素子間の光軸を、検出物体が遮ることによって物体の有無を検出する方式の光電センサである。その特徴は以下の通り。

- 検出距離を比較的長く設定することが可能
- 不透明物体であれば形状・色・材質に関係なく検出可能

**拡散反射型光電センサ** 検出物体に対して光源素子から光線を照射し、検出物体からの反射光を受光して物体の有無を検出する方式の光電センサである。その特徴は以下の通り。

- 反射体であれば透明体であっても検出できる
- センサ本体だけの取り付けで済み、省スペース化が可能

**回帰反射型光電センサ** 光源素子から照射された光線が反射板によって反射してくる光を、検出物体が遮ることで物体の有無を検出する方式の光電センサである。その特徴は以下の通り。

- 不透明体であれば、形状・色・材質に関係なく検出可能
- 拡散反射型に比べ長距離検出が可能
- 片側が反射板なので狭いスペースにも設置可能

### E2.2.2 光電センサアイテム

光電センサに使用される光源素子および受光素子について、代表的なアイテムを以下に挙げる。

#### 知識 E2.3 光源素子

**発光ダイオード (LED)** LED(Light Emitting Diode) は、電流を流すことによってダイオードのPN接合面で発生するエレクトロルミネセンス効果を利用して発光する光半導体である。その発光波長(発光色)は材質によって異なり、紫外光から赤外光までである。

光電センサの光源としては赤外光のものが多く利用されるが、可視光のLEDに比べ発光出力が大きいことや、受光素子(フォトダイオードやフォトトランジスタ)の感度波長に近いこと、などがその理由である。

#### 知識 E2.4 受光素子

**フォトダイオード** フォトダイオード(Photo Diode)は、PN接合ダイオードの空乏層近辺に光を当てると起電力が発生し、ダイオードの両極を結線すると電流(光電流)が流れる光起電力効果を利用した受光素子である。発生する電流量は受光量および受光面積に比例し、光量と発生する電流量の比が安定しているという特徴もある。

受光素子の最も基本となる素子で、増幅回路と組み合わされてフォトトランジスタに、集積回路と組み合わされてフォトICになる。

**フォトトランジスタ (Photo Transister)** フォトトランジスタ(Photo Transister)は、フォトダイオードとトランジスタを組み合わせた受光素子である。フォトダイオードが光を受けて発生する電流は小さいので、その増幅回路をフォトダイオードと同じチップ上に載せたものと考えればよい。

フォトトランジスタ単体で光電センサとしては使用することはあまりないが、LEDなどの光源素子と組み合わせた光電センサにおける受光素子としては最もポピュラーである。

### 例 E2.1 フォト IC

フォト IC は、発光ダイオードをパルス点灯させるための駆動回路、光を捕らえるフォトダイオード、信号増幅回路、信号処理回路をひとつの IC に組み込んだ素子であり、LED を接続するだけでフォトインタラプタあるいはフォトリフレクタを構成することができる。高感度で外乱光に強く、またデジタル出力で扱いやすいという特徴がある。

また、接続する LED 色を変えることで、特定の色のみに反応するカラーセンサを構成することも可能である。

## E2.2.3 センサの出力信号を確認してみよう

### 実験 E2.1 フォトダイオードの出力信号の確認

#### 1. 手順

- (a) データシートと Fig.E2.1 を参考にして、ブレッドボード上にフォトダイオード出力信号測定回路を構成する
- (b) 様々な光線をフォトダイオードに当て、その出力信号をオシロスコープで確認する

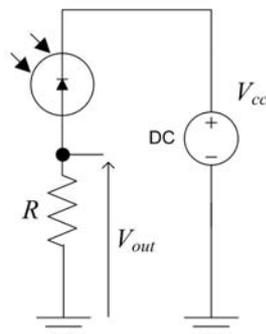


Fig.E2.1: フォトダイオード出力信号測定回路

#### 2. 考察項目

- 周囲の照明の影響がどのような形で出力信号に表れているか検証しなさい
- 光源の種類による感度の違いを検証しなさい

## E2.3 変位センサ

### E2.3.1 変位センサとは

#### 知識 E2.5 変位センサ

変位センサとは、その名のとおり対象物体までの距離を計測するためのセンサであり、光（レーザー光、赤外線、可視光）や超音波、電波など、さまざまな媒体を利用したセンサの構成が存在する。また使用方法によっては、物体検知センサとして利用することも可能である。

### E2.3.2 変位センサアイテム

変位センサとして使用されている代表的なアイテムを以下にいくつか挙げる。

#### 例 E2.2 PSD

PSD(Position Sensitive Device)の素子自体は、帯状受光面を持ち、受光面に入射するスポット光の重心位置に応じた電流値を出力する素子である。

変位センサとしては Fig.E2.2 に示すような構成で使用し、光源から照射された光線が対象表面で反射する光を捉え、三角測量の原理にしたがって距離を測る。その主な特徴として以下の項目が挙げられる。

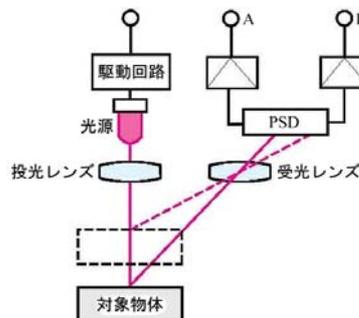


Fig.E2.2: PSD による変位センサの構成

1. PSD 素子の分解能が高く（理論上は無微小）、精密測距にも使用可能
2. 外乱光による影響を受けやすい

安価でありながら比較的高精度な測距が可能であることから、身近なところではカメラのオートフォーカス機構などにも使用されている。

#### 例 E2.3 超音波センサ

マイクロフォンとスピーカを組み合わせた変位センサであり、Fig.E2.3 に示すように可聴領域より高い周波数の音波（超音波）を送信し、対象物に当たって反射してくる波を受信する構成で、送信部と受信部は基本的に同じものである。反射して戻ってくるまでの時間を計測すれば、 $T-V$  変換によって対象までの距離が計算できる簡単な計測原理であり、その主な特徴として以下の項目が挙げられる。

## E2. センサアイテム体験

## E2.3. 変位センサ

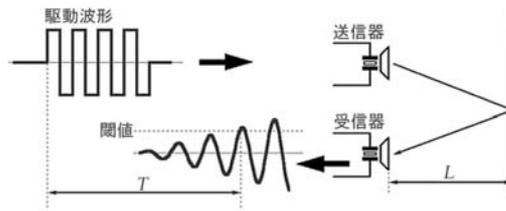


Fig.E2.3: 超音波センサの計測原理

1. 指向性が比較的低い
2. 温度や湿度による音速の変化に影響される

ドップラ・シフトを測定すれば対象との相対速度も計測することが可能であり、速度計測にも応用されている。

## 例 E2.4 レーザ変位センサ

三角測量を応用した変位センサであり、Fig.E2.4 に示すように発光素子である半導体レーザと PSD から構成されている。半導体レーザより光線が測定対象物に照射され、対象物表面で拡散反射した光線により PSD 受光面上にスポットが構成される。対象物の移動によってこのスポットの位置も移動するので、スポット位置を検出することによって変位量を計測することができる。その主な

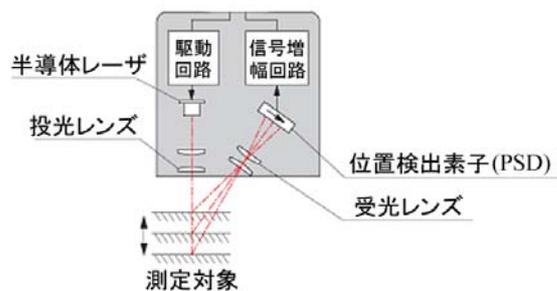


Fig.E2.4: レーザ変位センサの構成

特徴として以下の項目が挙げられる。

1. レーザ光線のスポットサイズが小さいので、距離を離しても小さな面積に対する測距が可能
2. 広範な材質に対する測距が可能

## E2.3.3 センサの出力信号を確認してみよう

## 実験 E2.2 PSD 変位センサの出力特性の確認

PSD 変位センサについて、その距離-出力特性および測距精度を実験的に評価してみよう。

1. 手順

- (a) データシートを参考にして、電源端子にユニバーサル電源、出力端子にオシロスコープを接続する
- (b) 対象物を移動させて縦変位-出力電圧特性を調べグラフ化し、データシートの特性と比較する
- (c) 対象物を移動させて横変位-出力電圧特性を調べグラフ化し、データシートの特性と比較する
- (d) 対象物の対面角度変化や、対象物自体の違いによる出力変化についても検証してみる

### 2. 考察項目

- 変位-出力電圧特性、指向特性はデータシート値と一致しているか？
- 測距精度・測距範囲はどの程度か？
- 測距不可能な物体は、どのような性質をもったものか？

### 3. 注意事項

- 検出範囲内に測定対象物以外の物体を置かないこと
- 実験時には PSD をしっかりと固定すること

## 実験 E2.3 超音波変位センサの出力特性の確認

超音波変位センサについて、その距離-出力特性および測距精度を実験的に評価してみよう。

### 1. 手順

- (a) データシートを参考にして、電源端子にユニバーサル電源、出力端子にオシロスコープを接続する
- (b) 対象物を移動させて変位-出力電圧特性を調べグラフ化し、データシートの特性と比較する
- (c) 対象物の大きさや対象物の自身の違いによる出力変化について検証してみる

### 2. 考察項目

- 変位-出力電圧特性、指向特性はデータシート値と一致したか？
- 測距精度・測距範囲はどの程度か？

### 3. 注意事項

- 検出範囲内に測定対象物以外の物体を置かないこと

## E2.4 接触センサ

### E2.4.1 接触センサとは

#### 知識 E2.6 接触センサ

接触センサは、センサ素子に物体が接触した際に生じる物理的变化に起因した出力変化を利用して物体の有無を検知するセンサである。単純な ON-OFF 型出力のセンサから、物体の表面状態まで推測可能な高精度センサも存在する。

### E2.4.2 接触センサアイテム

接触センサとして使用される代表的なアイテムを以下に挙げる。

#### 例 E2.5 マイクロスイッチ

Fig.E2.5 に示すように、構造は単純なスイッチである。スイッチとして利用できることは勿論だが、センサとして利用する場合には昆虫の触角のような使い方、すなわちタッチセンサとしての使用が一般的である。センサとして使用

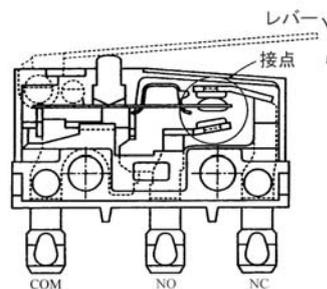


Fig.E2.5: マイクロスイッチの構成

するためには、スイッチの ON/OFF 情報を電圧信号で出力しなければならないので、電源と抵抗を接続する。なお、マイコンなどで使用する場合にはチャタリングに対する注意が必要である。

#### 事前課題 E2.1 チャタリングについて考えてみよう

マイクロスイッチの項で説明したチャタリングについて、どのような現象で、どのような時に問題となるのかを調べなさい。

#### 例 E2.6 感圧導電ゴム

感圧導電ゴムは、絶縁体であるゴムに導電性材料の粉末や短繊維等を混合した素子である。Fig.E2.6 に示すように、外力を加えるとゴムが変形して導電性粒子同士が近づくことで電流が流れやすくなり、抵抗値が下がる。導電性粉末として金属を用いたものとカーボンを用いたものがあり、前者は押し付け力以上で導電性をもつデジタル動作型、後者は押し付け力の大きさによって連続的に抵抗値が変化するアナログ動作型として使用される。

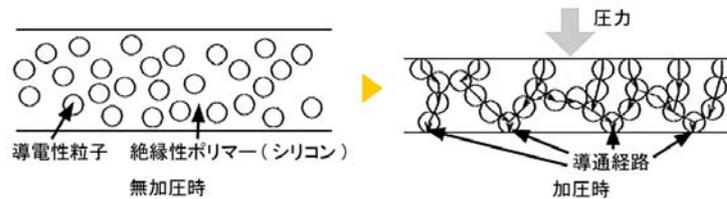


Fig.E2.6: 感圧導電ゴムの原理

### E2.4.3 センサの出力信号を確認してみよう

#### 実験 E2.4 マイクロスイッチの出力信号の確認

##### 1. 手順

- (a) Fig.E2.7 を参考にして、ブレッドボードを使用してマイクロスイッチ、電源および出力端子を配置し、出力端子はオシロスコープを接続する
- (b) 波形が観測できるようにオシロスコープの表示を調整し、スイッチを ON-OFF して波形の変化を確認する
- (c) ON-OFF 信号を拡大してチャタリング現象をオシロスコープで捕らえ、その波形とチャタリングの様子を観察する

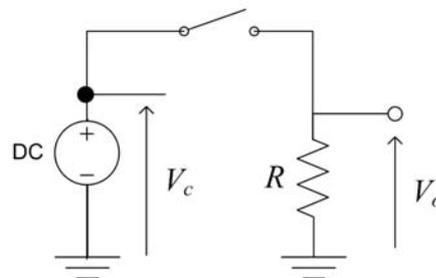


Fig.E2.7: マイクロスイッチ出力信号評価回路

##### 2. 考察項目

- チャタリングの時間を明らかにしなさい

##### 3. 注意事項

- チャタリングの時間は非常に短いので、オシロスコープの表示調整を適切切り替えて確認を行うこと

#### 実験 E2.5 感圧導電ゴムの静特性の確認

##### 1. 手順

- (a) Fig.E2.8 を参考にして、ブレッドボード上に感圧導電ゴムと電源および電流計を配置する

(b) ゴムに圧力を加え，その圧力-抵抗値の変化特性について確認する

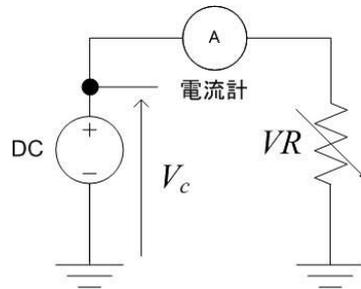


Fig.E2.8: 感圧導電ゴム特性評価回路

## 2. 考察項目

- 抵抗値が変化する範囲を評価しなさい

## E2.5 回転センサ

### E2.5.1 回転センサとは

#### 知識 E2.7 回転センサ

回転センサは，対象物体の回転角度あるいは回転速度を計測するためのセンサであり，直接回転軸に取り付けて計測を行うセンサや，非接触で計測を行えるセンサがある．

回転軸に取り付けるタイプのセンサは比較的構造が簡単で手軽に計測が行えるものの，センサの内部抵抗が回転運動に影響を及ぼすために，正確な計測が行えないこともある．一方，非接触計測タイプは回転運動に影響を及ぼすことはないが，周囲の影響を受けやすい点が逆に問題となることもあり，それぞれ用途に応じて使い分けられている．

### E2.5.2 回転センサアイテム

回転センサとして使用される代表的なアイテムを以下に挙げる．

#### 例 E2.7 ロータリエンコーダ

回転角をパルス列信号に変換して出力するセンサであり，パルス列信号のパルス数や周期から回転角度・速度等を計測する．

光学式，磁気式などのものがあり，光学式の場合は，Fig.E2.9 に示すように細いスリットを放射状に刻んだ回転円板をはさんで，発光素子(LED)と受光素子(フォトトランジスタ)が設置され，円板が回転すると受光素子の受光量がスリットの通過とともに周期的に変化することでパルス列が得られる．このパルスの数を計数することで回転角が計測でき，単位時間当たりのパルス数を計数すれば回転速度を計測することができる．その主な特徴として以下の項目が挙げられる．

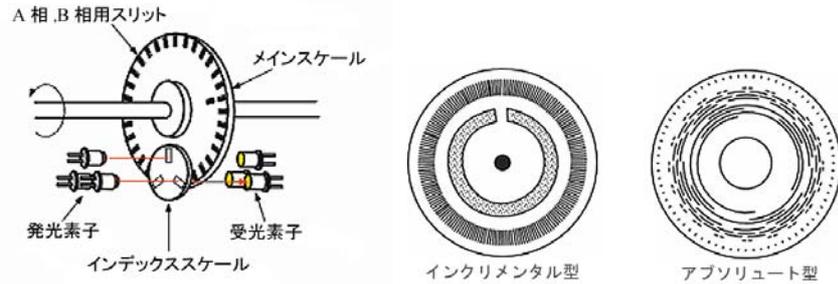


Fig.E2.9: 光学式ロータリエンコーダの構造

1. 絶対角を知るためのアブソリュート型と、相対角を知ることのできるインクリメント型がある
2. 分解能は回転円板上に刻まれたスリットの数で決まる

回転方向を知るために発光-受光素子がもう一組設置されており、お互い90度位相が異なるように配置されている。この2つの信号はそれぞれA相信号、B相信号と呼ばれ、これらの信号を利用して回転方向を判別する仕組みである。

#### 事前課題 E2.2 回転方向判別法について考えてみよう

ロータリエンコーダのA相、B相信号を利用して回転方向を判別する方法について、調べなさい。

#### 例 E2.8 ポテンショメータ

回転型ポテンショメータの構造は可変抵抗器と同一である。Fig.E2.10に示すように、ポテンショメータの両端に一定の電圧を掛けておき、軸を回転させると回転角に対応した電圧がブラシの端子から取り出せる構造となっている。そ

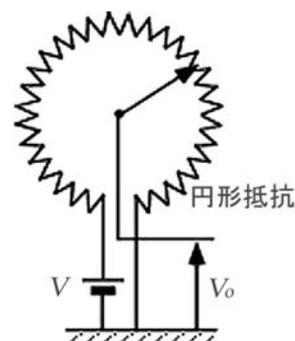


Fig.E2.10: ポテンショメータの原理

の主な特徴として以下の項目が挙げられる。

1. 制御に用いるために、回転角と抵抗値の関係の直線性が特に優れている

抵抗体としては抵抗線を巻き付けたもの、導電プラスチック膜などがあり、光学式、磁気式のポテンショメータも存在する。主にロボットアームなど回転角のフィードバック信号出力用として使用される。

## 例 E2.9 タコジェネレータ

タコジェネレータの構造は、フレミング右手の法則を原理とした直流発電機そのものである。発電機ではあるが大電力を発電する必要はないので、小型・軽量に作られている。その主な特徴として以下の項目が挙げられる。

1. 回転速度に比例した直流電圧を発生する
2. 高感度ではあるが、温度の影響を受けやすい

## E2.5.3 センサの出力信号を確認してみよう

## 実験 E2.6 ロータリエンコーダの出力信号の確認

実際にロータリエンコーダを回転させ、その出力信号を観測してみよう

## 1. 手順

- (a) データシートを参考にエンコーダ素子の端子配置を確認して電源を接続し、A相、B相信号にはオシロスコープを接続する
- (b) モータを回転させ、出力信号の周波数と同時にA相、B相の位相関係を確認する
- (c) 回転方向を逆転させて、同様の確認する

## 2. 考察項目

- モータの回転速度と発生するパルス信号の周波数は線形関係にあるか？その場合の比例計数はいくつになったか？
- A相、B相信号の位相差は何度であったか？

## 実験 E2.7 ポテンシオメータの出力信号の確認

## 1. 手順

- (a) データシートを参考にポテンシオメータの端子配置を確認し、Fig.E2.11を参考に電源端子および出力端子にはオシロスコープを接続する
- (b) モータを回転させ、出力信号を確認する

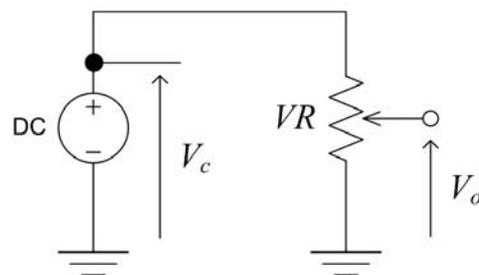


Fig.E2.11: ポテンシオメータ出力信号評価回路

## 2. 考察項目

- 出力電圧の線形性を観測しなさい
- 何 deg 程度の不感帯があるのか確認しなさい

## E2.6 その他のセンサ

## E2.6.1 力(歪み)センサアイテム

## 知識 E2.8 ストレインゲージ

物体の電気抵抗値はその長さに比例し断面積に反比例する．すなわち物体がひずむとその圧縮または伸長によって電気抵抗が変化する．ストレインゲージはこのような電気抵抗値変化を利用して、ひずみを計測するための素子である．

薄い絶縁体に銅・ニッケル合金などの金属の抵抗体が貼り付けられたような構造であり、僅かなゲージの歪みによっても抵抗値変化が大きく出るように抵抗体が配置されている．測定は被測定物にゲージを貼り付けて行うが、その抵抗の変化が微小で直接計測することは難しいので、通常はブリッジ回路で電圧変化量として取り出す．高感度であるが、温度の影響を受けやすいという性質をもち、構造物のモニタ、振動や圧力、重量測定などにも利用されている．

## 知識 E2.9 ブリッジ回路

ブリッジ回路は、ストレインゲージの歪みを検出する際に良く用いられる Fig.E2.12 に示すような回路である． $R_1:R_2 = R_3:R_4$  のバランス状態であれ

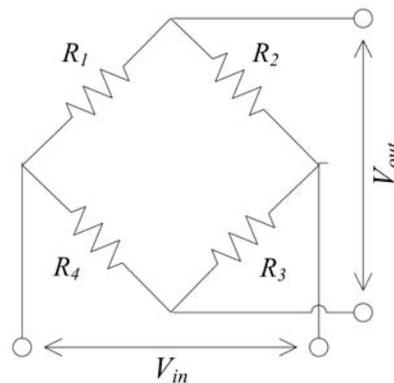


Fig.E2.12: ブリッジ回路の構成

ば出力に電圧が現れることは無いが、バランスが崩れると抵抗値の関数として電圧出力が得られるという構成になっている． $R_1$  にストレインゲージを入れて使用するのが一般的であり、 $R_2$  にも同じゲージを入れ温度変化の影響をキャンセルしたり、物体の表裏にゲージを貼って伸びと縮みを同時に検出して感度を2倍にする方法などもある．

## E2.6.2 温度センサアイテム

### 知識 E2.10 温度センサ IC

トランジスタのベース-エミッタ間電圧の温度計数変化を利用したセンサ素子である。電源電圧を印加するだけで、温度に比例した出力電圧を得ることができ、安価で扱いやすいセンサである。ただし応答速度は遅く、精密な温度計測や早い応答が必要とされる用途には適していないため、機器内の温度上昇監視などに使用される。

## E2.6.3 センサの特性を確認

### 実験 E2.8 温度センサ IC の出力信号の確認

温度センサ IC の出力信号を確認し、その測定精度や応答性能などを検証してみよう。

#### 1. 手順

- (a) データシートを参考に温度センサ IC の端子配置を確認し、電源端子へユニバーサル電源を、出力端子へマルチメータを接続する
- (b) 温度の変化を IC に与え、その出力信号を確認する

#### 2. 考察項目

- 温度変化に対する感度は十分であるか調べなさい
- 温度変化に対する応答性が遅い理由を考察しなさい

#### 3. 注意事項

- 温度センサ IC の端子配置を間違えないように注意する

