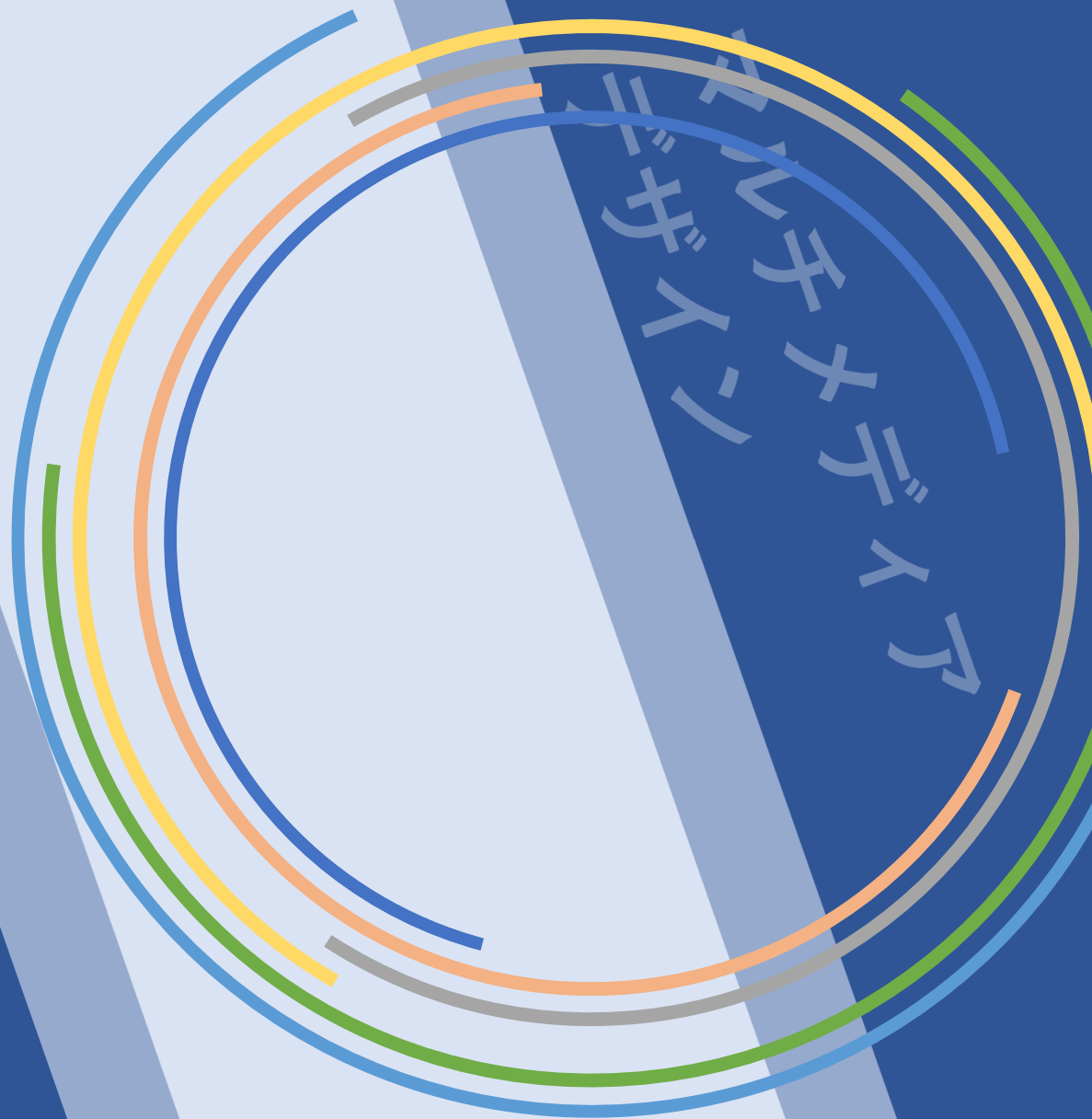


この授業のスライドはLMSで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ
<https://keio-st-multimedia.slack.com>



#5-6 センサ技術

担当： 西 宏章



- いまや計測においてアナログを扱うことはほとんどなくなった
- センサを用いて直接デジタル、もしくは電圧や電流などのアナログ情報をサンプリングし、デジタル情報に変換することが広く行われている
- センサとは、測定対象を電気的信号に置き換えるデバイス
- 沢山の種類がある



センサの種類

153

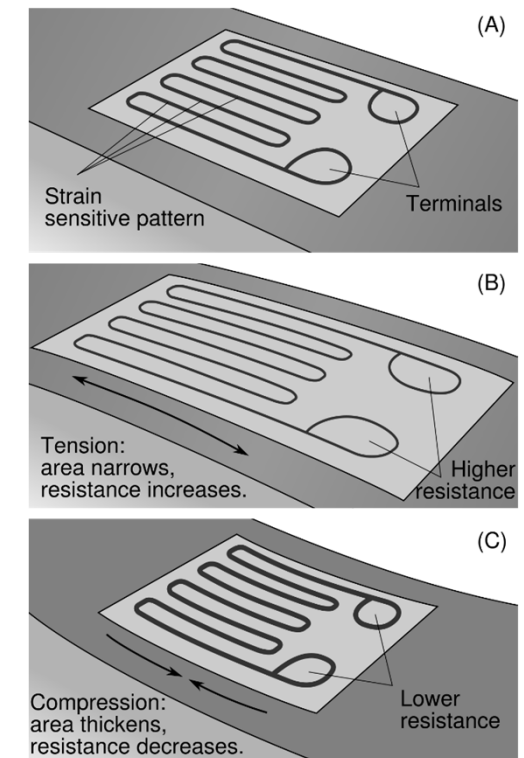
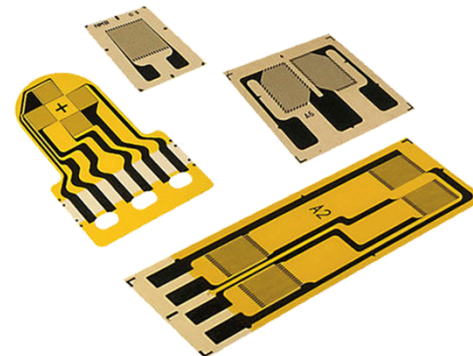
- 力 ストレインゲージ、ロードセル、半導体圧力センサ
- 変位 ポテンショメータ、差動トランス、回転角センサ、リニアエンコーダ、ロータリエンコーダ
- 位置 光位置センサ (PSD)
- 速度 タコジェネレータ、レーザードップラー振動速度計
- 加速度 加速度センサ、地震センサ
- 角速度 ジャイロセンサ
- 回転数 タコジェネレータ、ロータリーエンコーダ
- 距離 超音波距離計、静電容量変位計
- 光 光電素子、フォトダイオード
- 磁気 磁気センサ
- 温度 サーミスタ、熱電対、放射温度計
- 化学 イオン濃度、ガス濃度
- 音声 マイクロフォン
- その他 時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾斜、振動、におい、赤外線、粘性、画像処理は応用範囲が広い、変わったところではニュートリノ等



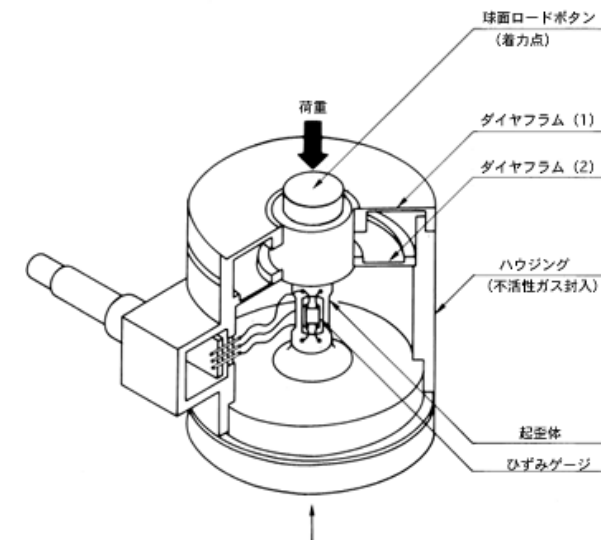
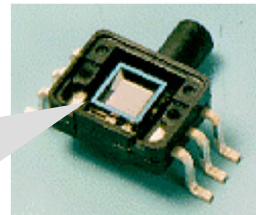
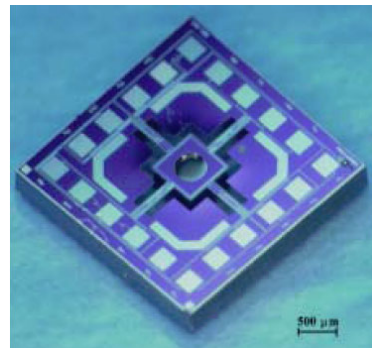
• ストレインゲージ

- 薄い絶縁体上にジグザグ形状にレイアウトされた金属抵抗体(金属箔)が配置されており、変形による電気抵抗の変化を測定することによりひずみ量に換算
- 動作原理

- 被測定物が変形すると、ひずみゲージも同率で変形
- 金属抵抗体は、伸びにより断面積が減るとともに長さが長くなり、その結果抵抗値が増えることを測定に利用
- この抵抗変化は微小であるため、検出にはブリッジ回路を使用
- ストレンアンプ（ストレインアンプ）と呼ばれるブリッジ回路と電流増幅器を備えた機器と組み合わせて測定



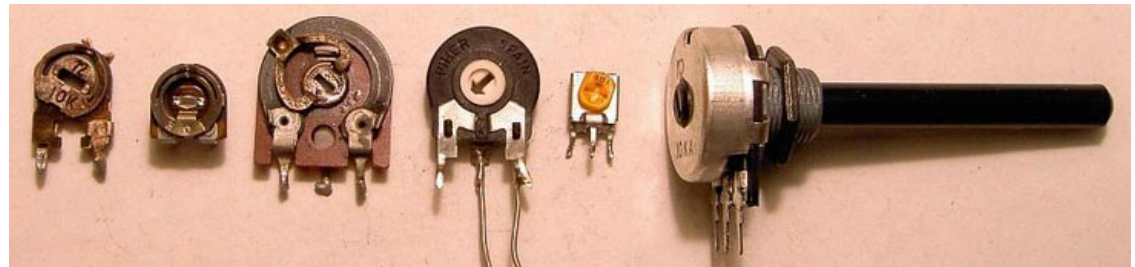
- ロードセル
 - 加重で変位量が既知である物質にひずみゲージをつけて圧力を測定
- 半導体圧力センサ
 - ピエゾ抵抗効果を利用
 - 単結晶シリコン結晶に応力・ひずみが作用したとき、その比抵抗が変化する効果
 - 一般に高精度、低価格、高信頼（ヒステリシス特性がない）



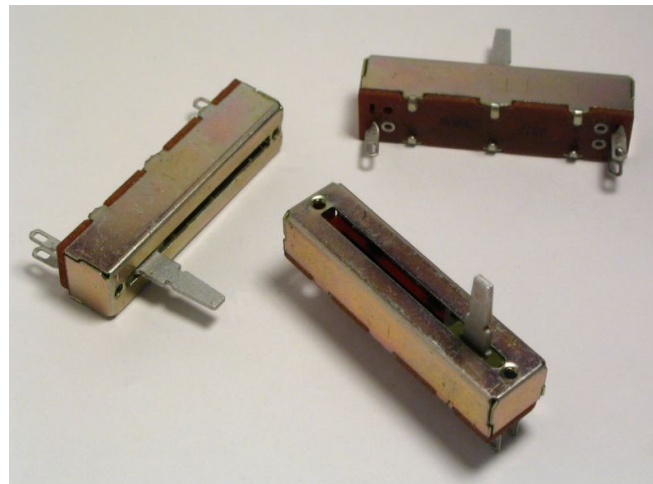
変位センサ

156

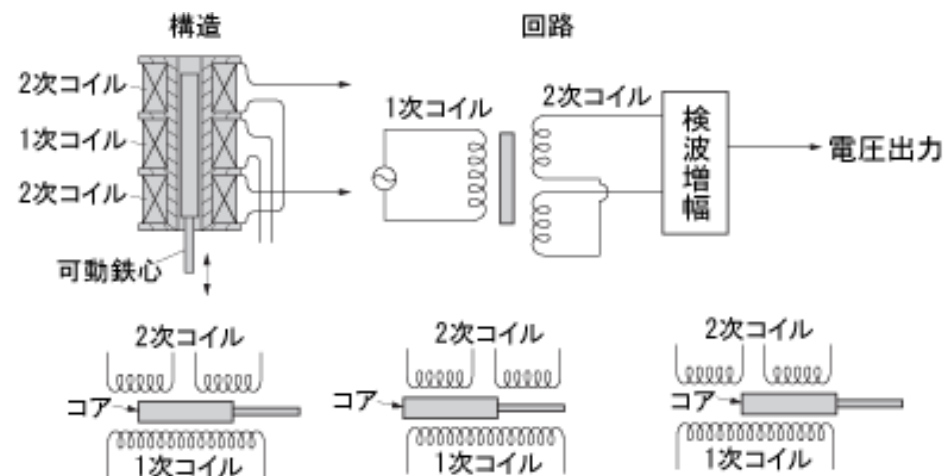
- ポテンショメータ (potentiometer)
 - 本来は回転角や移動量を電圧に変換する機器・素子
 - 半固定抵抗器を表す言葉としても広く使われている
 - ロータリーポテンショメータ



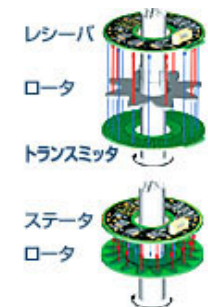
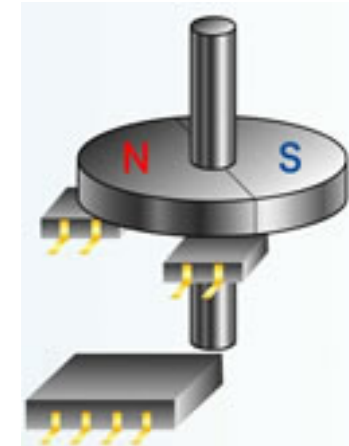
- リニアポテンショメータ



- 作動トランス接触式変位センサ
 - 3つのコイルと可動鉄心で構成
 - 1次コイルを交流で励磁すると被測定物体に連動して動く可動鉄心により2次コイルに誘起電圧が発生これを差動結合し電圧差として取り出し、変位を得る
 - 可動鉄心が中央にある時は、電圧差が0
 - 可動鉄心の中央からの変位に比した交流電圧が現れる
 - 可動鉄心が右にある場合と左にある場合とで位相が逆



- 回転角センサ
 - ホールセンサ
 - 単極着磁した磁石の回転角度を絶対角度で検出
- リニアエンコーダ
 - 光学式リニアエンコーダ
 - ゲージに刻まれた目盛りをレーザやLED等で検出
 - 静電式リニアエンコーダ
 - 電磁誘導リニアエンコーダ
- ロータリエンコーダ
 - 基本的にはリニアと同じで、円形状になっている



- 光位置センサ PSD (Position Sensitive Detector)
 - 用途先
 - レーザー・ポインタと組合せて、三角測量方式の変位センサなどに利用
 - 動作原理
 - 光のスポット光量の「重心」位置を求める
 - 光量に応じた電圧を発生する材料を一様に塗布した一定の面積をもったセンサに光のスポットがあたると、光量に応じた電圧が発生
 - スポットの位置から離れた点の電位は膜材質の抵抗により低下するため、センサの両端に発生する電圧の比から、光スポットのセンサ位置を求める
 - 特徴
 - アナログ電圧の演算から位置を求めるため、分解能は理論的には無限小
 - 光スポット以外の外乱光が誤差要因となる
 - 測定対象の色の違いで測定値が変動する



- タコジェネレータ
 - 発電機
 - 発電電圧で回転速度を計測
- レーザードップラー速度計
 - ドップラー効果により流速を測定するため光ヘテロダイン法や走査型干渉法を利用したレーザー機器
 - 流れる物体にレーザー光を当てると散乱光がドップラー効果によって流れの速度に比例した周波数を受け、この変化を入射光と散乱光の光ビート信号として測定し、流れの速度を求める
 - 超音波ドップラー速度計も存在
- 一般的には、
 - 速度を検出するよりも、位置を検出して微分することにより速度を得るほうが高精度となる場合が多い
 - 位置センサ、変位センサが速度センサとしても利用可能

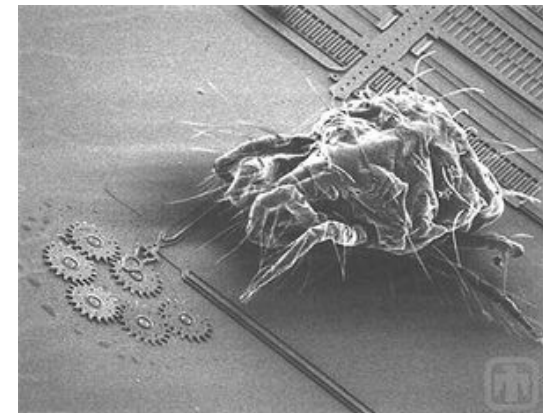




加速度センサ

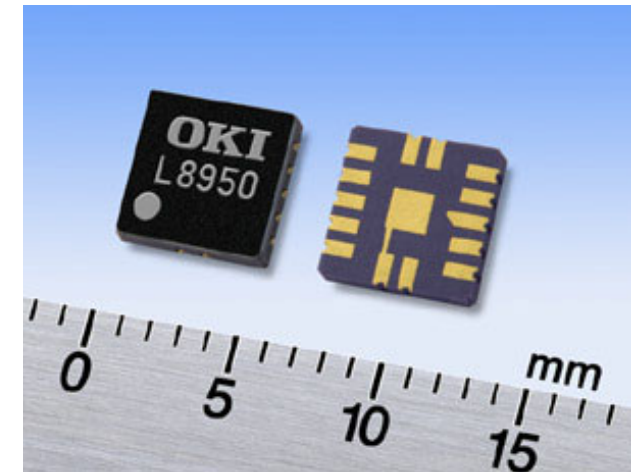
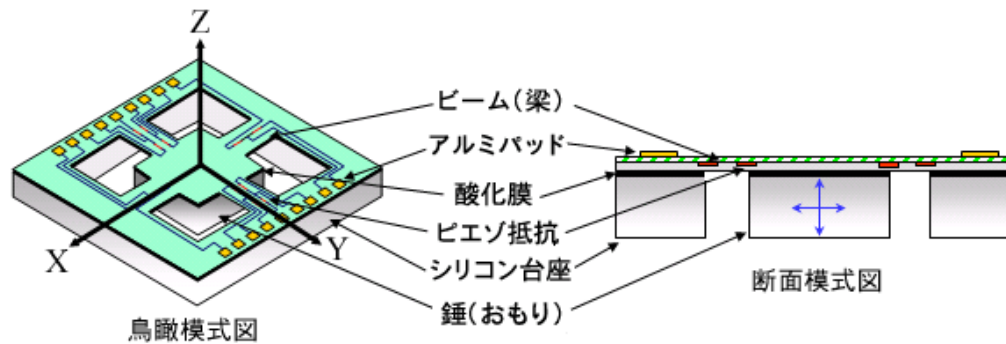
161

- 基本原理
 - 基本的には、ばね定数 k と質量 m が既知であれば、 $a = \frac{kx}{m}$ となり、変位 x を求めれば加速度が求まる
- 変位の測定手段は様々
 - 静電容量変化、ひずみゲージ、 piezo抵抗効果、周波数変化、干渉等
- 最近の注目はMEMS加速度センサ
 - 質量が小さいため感度は低下するが劇的な小型化が可能
 - 自動車のエアバッグやカーナビゲーションの傾斜計、ゲームのコントローラなどで利用



- ピエゾ抵抗加速度センサ

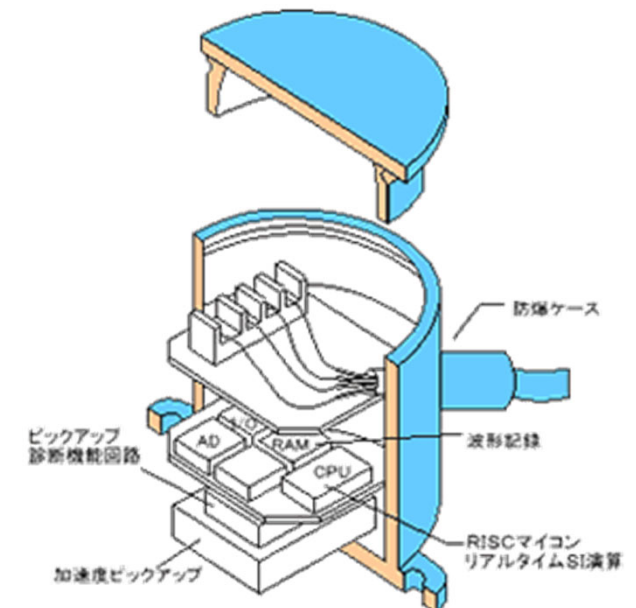
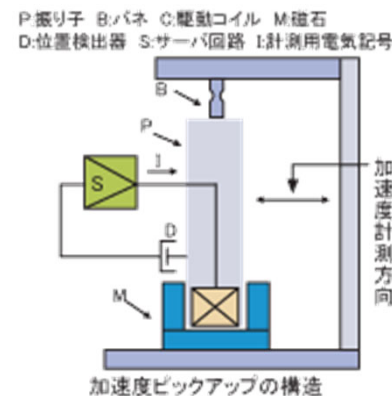
- 薄いシリコンの梁（ビーム）によっておもりを支え、加速度でおもりが動きで発生する梁の歪みを梁上に形成したピエゾ抵抗素子の抵抗変化で検出し、加速度を測定する



• 地震センサ

- 加速度による振り子の位置を高感度の位置検出器で検出し、変位に応じた電気信号をサーボ増幅器から駆動回路に加えて、振り子を基準位置に戻す制御を加える
- 振り子が常に基準位置にあるため、バネ部に加わる応力の影響が生じず、電気信号に比例している加速度を高精度に計測する

• 位置センサの計測値を2回微分してもよい

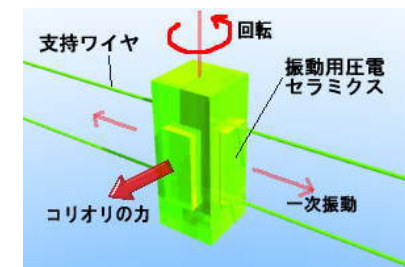




角速度センサ

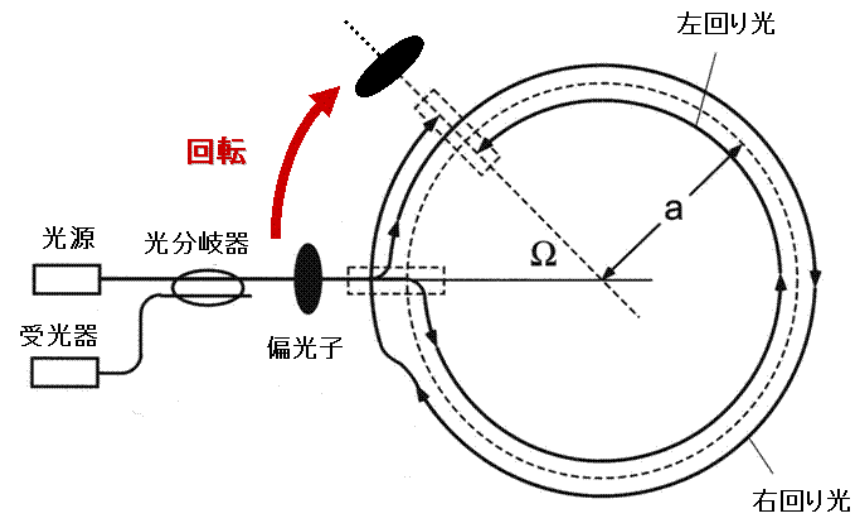
164

- ジャイロセンサ(ジャイロ스코ープ:gyroscope) = ジャイロ
 - ロケットや航空機の姿勢制御、カーナビや自動運転システム、ロボット、デジタルカメラ、無人偵察機などで利用
 - 力学的な慣性を利用する方法
 - 回転慣性とプリセッション（回転型）
 - ジャイロプリセッション:回転している物体の回転軸に横向きの力を加えたとき、その力の作用は回転方向に90度進んだ方向に現れる
 - 「こま」を時計方向に回して、軸を右から左に押すと「こま」は、左には傾かずに向こう側に倒れようとする(ヘリコプタも同様の原理を利用)
 - コリオリの力（振動型、ガス型）←セグウェイも一緒
 - 水晶振動を使って、フーコー振り子と同じ効果を得る
 - 光学的な干渉を利用する方法
 - サニャック効果（光学式）



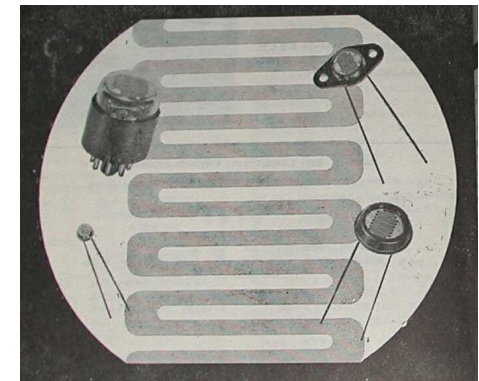
• サニャック効果

- 光ファイバで作った円形光路を光が一周するのに要する時間は、宇宙に対して光路が回転すると変化
- 光の伝わる速さは光ファイバの動く速さにはよらず一定であることを利用（相対性理論の基礎）
- この時間の変化を、円形の光路を左右逆回りに伝搬する2つの光の間の干渉によって計測
- ボーイング777や人工衛星で利用
- ヘリコプタカメラ安定台



- 超音波距離計
 - 音の速度は一定であるとして、音を発して音を受けるまでの時間を計測
- 静電容量変位計
 - コンデンサの蓄電量Cは、 $C = \epsilon \frac{S}{d}$
 - dのみが変量である場合、Cを測定すれば、dが得られる

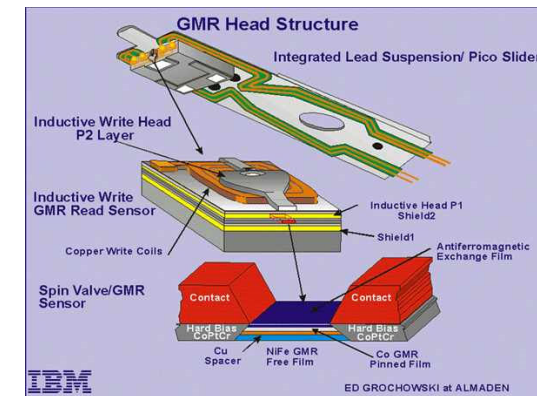
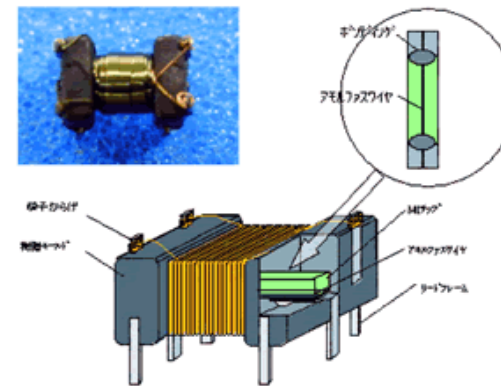
- 光電素子
 - 入射面に光が入ると光電効果により光電面から電子を放出、これをダイノードと呼ばれる電極に当てることで電子の数を増やすことを繰り返すことで増幅する
 - カミオカンデ
- 太陽電池式
 - フォトダイオードもここに分類
 - 受光量に比して電流を発生
- 光抵抗素子
 - CdS 硫化カドミウムセル
 - RoHS指令により流通量がかなり減った
 - 電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についての欧州連合による指令



磁気センサ

168

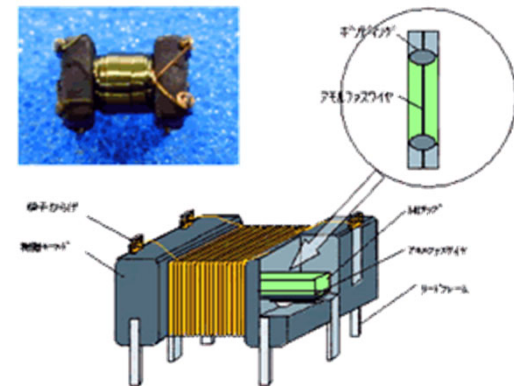
- コイル
 - テープデッキや磁気カード等
- ホール素子
 - 電流に垂直に磁場をかけると、電流と磁場の両方に直交する方向に起電力が現れる現象
- 磁気抵抗効果素子
 - 磁場をかけると電気抵抗率が増加する現象
 - 常温巨大磁気抵抗（Giant magnetic resistance: GMR）効果
 - ハードディスクの読み取りヘッド
- 磁気インピーダンス素子
 - アモルファスワイアを利用



磁気センサ

169

- 磁気インピーダンス素子
 - アモルファスワイアを利用
- ウィーガンド・ワイア
 - 合金ワイヤ内で2種類の磁気極性の反転に必要な磁場の強さが異なる部位を有する合金ワイアを用い、発生するウィーガンドパルスを検出
 - ウィーガンドワイアの製造は複雑な作業であり、その複製は実質上不可能であるため、セキュリティキーとして利用されている
- フラックスゲート磁気センサ
 - 2つのコイルを用い、片方のコイルで周期的に磁束を飽和
 - 外部磁場により変化する飽和タイミングから磁場強度を測定



• ファラデー素子

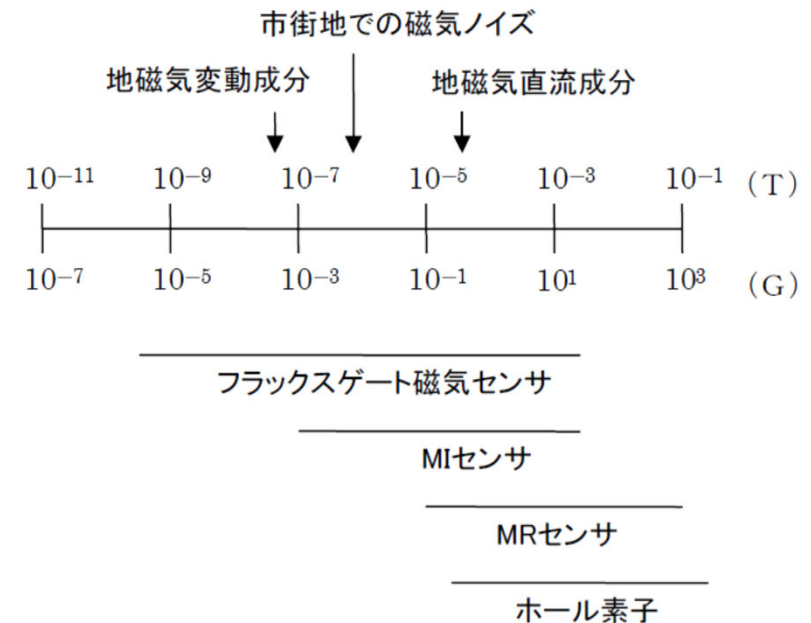
- 磁界が近づくと光の偏波面に回転を与える素子
- 光の通過量を制御できるため、光通信にも利用

• 電子スピン共鳴（磁気共鳴）

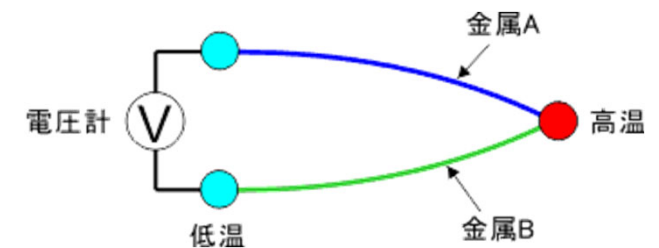
- 電子のスピンによりできた棒磁石に外から磁場をかけることで生まれたこまのような運動に、さらに別の磁場をかけて共鳴を起こす現象を利用
- 材質により共鳴のさせ方が異なる

• 超伝導量子干渉素子(SQUID)

- 超伝導体のリングにジョセフソン接合を持たせ、直流電流を流すと、ある臨界電流以下でジョセフソン効果により、直流抵抗が0の超伝導状態となる。
この状態で外部磁界を与えると臨界電流に達し電圧が発生し、これを計測する



- 接触式
 - サーミスタ
 - 異なる金属が異なる熱膨張特性を持つことを利用
 - 熱電対
 - 異なる材料の金属線を接続して1つの回路（熱電対）をつくり、接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生
 - 片端を開放すれば、電位差（熱起電力）の形で温度が検出可能
 - 熱起電力は、金属の種類と両接点の温度差に依存するが、金属の形状と大きさには関係しない
- 非接触式
 - 放射温度計
 - 放射赤外線強度を測定して、物体の温度を測定
 - 最近の耳で測る3秒体温計など



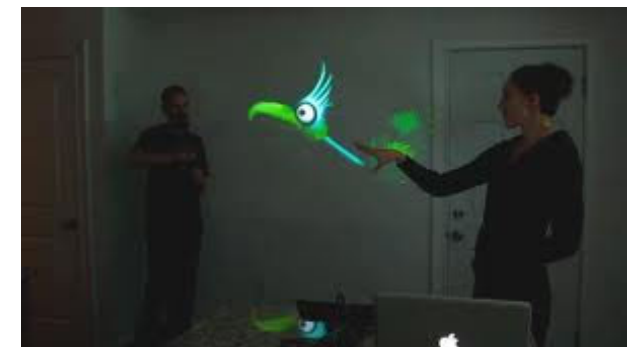
その他のセンサ

172

- PSD
- 人感
- イメージ
- モーションキャプチャ
- 放射能



- コントローラを用いずに操作ができる体感型のゲームシステム
- ジェスチャーや音声認識によって直観的で自然なインタフェースを提供
- RGBカメラ、深度センサー、マルチアレイマイクロフォン、プロセッサを内蔵
 - プレイヤーの位置、動き、声、顔を認識
 - 常にプレイヤーの位置、身長を測定し、上下角度の自動調整が行われる
- プレイヤーの動きを読み取って合成するモーションキャプチャ技術を使用
 - 特殊なマーカー付きスーツや、マーカー検出時に使用するトラッカーが不必要
 - プレイヤーの骨格のさまざまな動きを検出して、リアルタイムに反映させる





演習問題（４）

174

次の表を用いて、後続くセンサに関する問いに答えなさい

区分	センサの種類	検出対象例
(1)	(a)	光
	(b)	温度
	(c)	圧力
	(d)	加速度
	(e)	位置
	(f)	磁気
	(g)	音
化学センサ	化学・バイオセンサ	pH
その他	その他のセンサ	





演習問題（４）の続き

175

(4-1) 表の区分について、(1)に入る言葉を次の中から選びなさい。

物質センサ、物理センサ、IoT

(4-2) センサの種類(a)から(g)について、検出対象例を参考に、次の中からそれぞれ適切な言葉を選びなさい。

光度センサ、位置センサ、音センサ、磁界センサ、温度センサ、慣性力センサ、圧力センサ

(4-3) 次の検出対象例が、それぞれどのセンサの種類に該当するか、それぞれ答えなさい。表におけるセンサの種類毎に分類し、センサの種類に記載した順に並べること。

熱、振動、ひずみ、角速度、ガス、流量、湿度、電流、放射線、長さ、力、超音波、赤外線、衝撃、電位、重量、トルク、厚み、磁束、二酸化炭素





演習問題（４）の続き

176

(4-4) スマートフォンに備わっているセンサの名称を、10個以上書き出さない

- 名称は例えば計測対象を用いた名称でも構いません。何かをセンシング、つまり計測していれば、それをセンサとして扱っても構いません。なお、ある単一センサが結果的に2つ以上の対象を計測できる場合は、1個と数えます。例えば、イメージセンサは、顔センサ、明るさセンサなどにも使う場合がありますが、これらはまとめて1個のセンサとみなします。なお、結果的に同じ対象を計測するにもかかわらず、何らかの理由により異なるセンサが実装されている場合は、それらを2つと数えることができます。ただし、この場合は「なぜ同じ対象を計測するセンサが2つ以上実装されているか」の理由も付記しない
- 要するに実装されているセンサの種類を数えること、同じ性質のセンサがあれば、その違いを説明することが、この問題の本質となります。頑張れば、15個程度まで書き出すことができると思います





演習問題（４） 続き

177

注意事項

- これらの設問に対する回答を、Microsoft Wordファイルで作成
- LMSで提出すること
- A4 1枚で作成すること
- 最初にタイトルとして「演習問題（４）」と書き、名前と学籍番号を記載すること
このフォーマットに従っていないレポート答案は受け取らない
- 締め切りなど詳細はLMSを確認すること

