
IoT eラーニング

各種センサーの種類と仕組み①

(センサーの概要、温度センサー、湿度センサー、
圧力センサー)

国立大学法人 琉球大学

目次

● センサーの概要

- センサーとは
- センサーの種類
- センサーを利用するプロセス
- （参考）デジタル変換

● 温度センサー

- 温度センサーの種類
- 金属測温抵抗体
- サーミスタ
- サーミスタの種類
- IC化温度センサー

● 湿度センサー

- 湿度センサー
- 湿度検出法の種類
- 湿度センサーの主な用途
- インピーダンス変化型
- 容量変化型

● 圧力センサー

- 圧力センサーとは
- 圧力センサーの種類
- 圧力センサーの主な用途
- 半導体圧力センサー
- 半導体圧力センサーの仕組み
- （参考）ピエゾ抵抗効果

センサーの概要

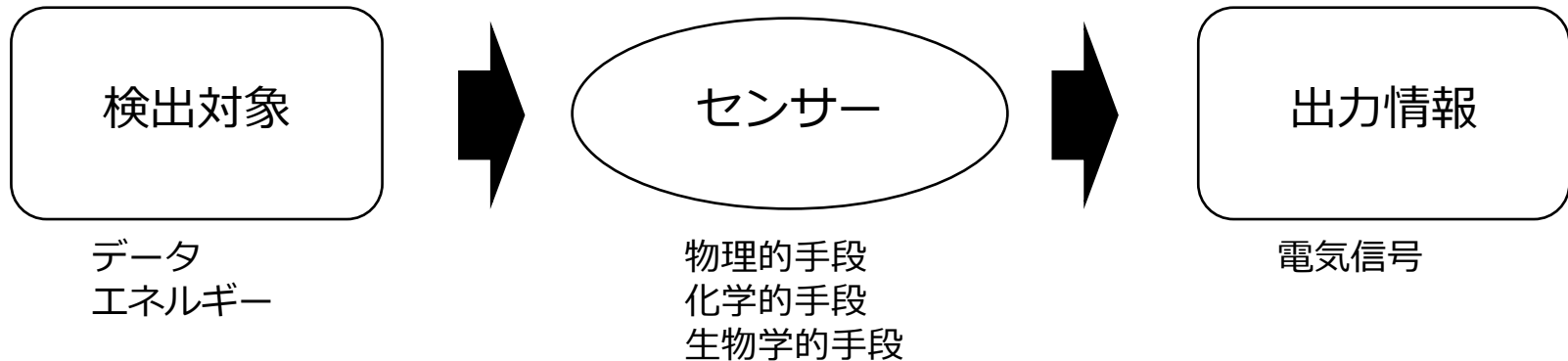
● センサーとは

検出対象からデータやエネルギーを検出し、それを外部に出力するモノ

検出対象 : 光、温度、湿度、磁気等、様々なもの

検出手段 : 物理的、化学的、生物学的

出力情報 : 一般的には電気信号で出力



センサーの概要

● センサーの種類

検出対象によって、様々なセンサーがある。以下はセンサーの種類の例。

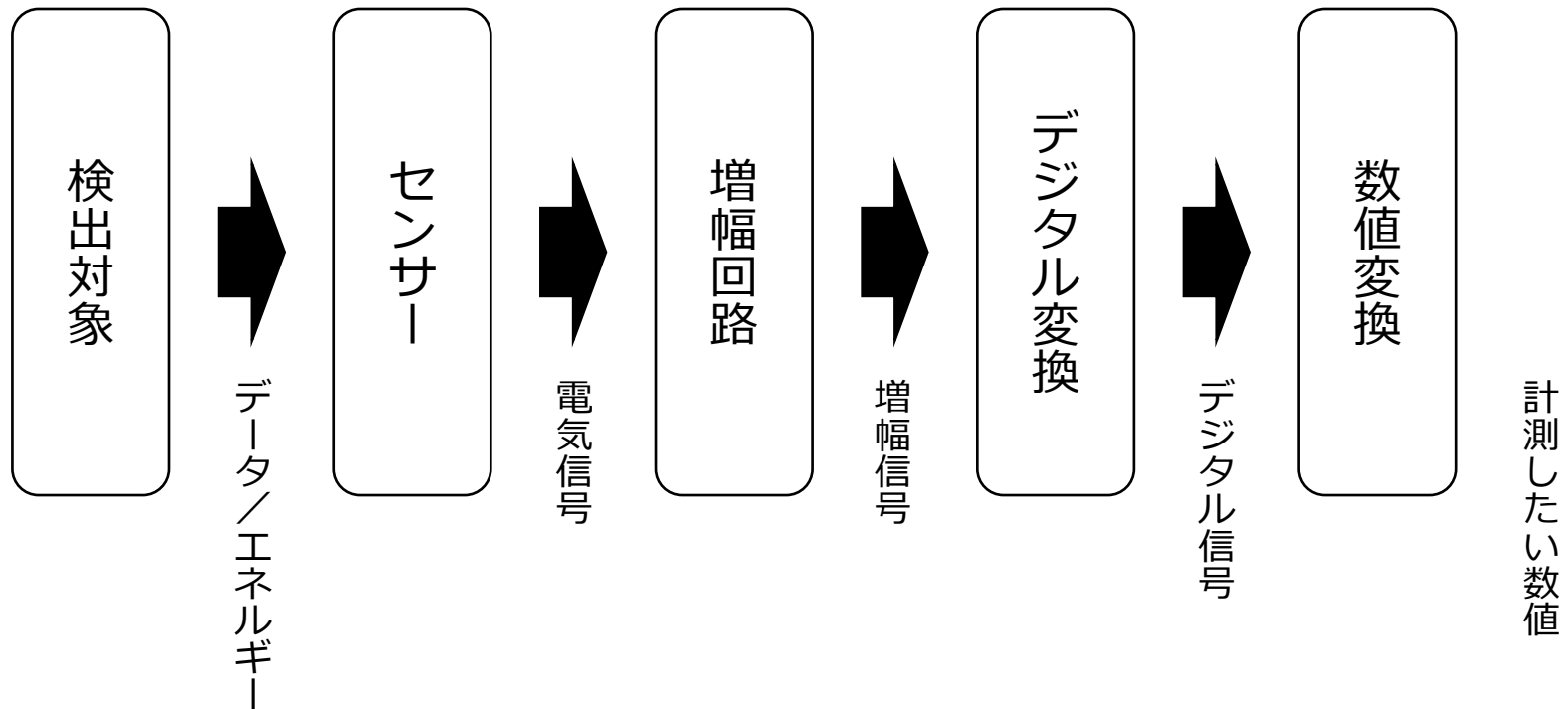
種類	検出対象	説明
温度センサー	温度	温度を検出する。接触式と非接触式とがある。
湿度センサー	湿度	湿度を検出する。
圧力センサー	圧力	圧力を検出する他、トルクや重量、その他の力の検出にも使われる。
光センサー	光	光を検出する。可視光線だけでなく、赤外線や紫外線等も対象となる。
画像センサー	光	光センサーの一種で、デジタルカメラ等に使われる。
赤外線センサー	赤外線	赤外線を検出する。暗い場所での撮影や、離れた所にある物体の温度を計測する等に使われる。
ジャイロセンサー	角速度	角速度を検出することで、回転していることや向きの変化を検知できる。
加速度センサー	加速度	加速度を検出する。傾きや振動を検出するのに使われる。
地磁気センサー	地磁気	地磁気を検出し、方位を算出するために使われる。
GPS	位置情報	人工衛星からの信号を受け取り、現在地を検出する。

※ここに挙げたもの以外にも多数ある。また、複数の種類にまたがるようなセンサーもある。

センサーの概要

● センサーを利用するプロセス

検出対象からセンサーを通して出力された電気信号を増幅し、デジタル変換して利用する



- **(参考) デジタル変換**

アナログ信号をPCやマイコン等で使えるデジタル信号に変換する。デジタル変換は、以下の3つのステップで行われる。

1. 標本化 (サンプリング)

アナログ入力がある周期で区切り、値を取得する。

2. 量子化

サンプリングされた値を離散値で近似的に表現する。

3. 符号化 (コーディング)

量子化された数値を2進数化する。

● 温度センサーの種類

温度センサーは、接触式と非接触式とに大別される。

➤ 接触式

被測温体に温度センサーを直接接触させて測温する方式。被測温体の熱エネルギーが温度センサーに移動するため、被測温体に温度変化が生じる。そのため、温度センサーを接触させると温度が変化するような微弱な被測温体を測温することには向かない。

- (例) 熱膨張式センサー (バイメタル、水銀、アルコール)
- 熱電式 (ゼーベック効果を応用した熱電対)
- 金属測温抵抗体 (白金、ニッケル、銅)
- サーミスタ (NTC、PTC、CTR)
- IC化温度センサー (シリコン・トランジスタの温度特性を利用)
- 水晶温度計 (水晶のYカット・アングルを利用したもの)

➤ 非接触式

被測温体から放射される熱線を計測する方式。被測温体に温度変化が生じないため、接触式で測温が難しい場合でも使える。また、離れた物体の計測も可能。但し、放射エネルギーを集めるレンズやその他の補助部材を必要とするので、一般的には高価。

- (例) 焦電型温度センサー (PZT系、 LiTaO_3 系)
- 量子型温度センサー (起電力型、導電型)

● 金属測温抵抗体

一般に、金属のような導体は温度が上昇すると抵抗値が増加する。この作用を応用したものが金属測温抵抗体。その素材は白金、ニッケル、銅などがある。特に白金は、高温でも、空气中にさらしても酸化されにくいいため、温度センサーとして古くから使われてきた。

➤ 白金測温抵抗体の原理

白金測温抵抗体は、0℃のときに100Ωとなるように調整した抵抗素子をセラミック保護管に入れ、これを温度センサーとして利用したもの。

白金の温度係数（1℃温度が上昇すると何Ω抵抗が変化するかの割合）は+0.392Ω/℃である。この抵抗に定電流 I_C [A]を流すと、1℃当たり0.392 I_C [V]の電圧変化となる。よって、電流 I_C [A]を流したときの電圧変化 ΔV [V]を測定すれば、0℃からの温度変化 Δt は

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{0.392 I_C} [^{\circ}\text{C}]$$

で計算できる。こうして求めた Δt の値が、温度の測定値となる。

出力電圧はバイアス（測定）電流 I_C に比例するので、 I_C を大きくすると ΔV も大きくなり、より精度の高い測定が可能になる。但し、電流が大きくなるとそれによるジュール熱も大きくなって自己発熱による誤差も大きくなってしまう。一般的には、バイアス電流は2mAが使われる。

● サーミスタ

サーミスタは、温度変化を検知すると内部抵抗が変化するセンサー。金属測温抵抗体と異なり、素材に半導体が使われる。

➤ サーミスタの原理

半導体には、自由電子とそれが移動することで生じる正孔（ホール）がある。こうした自由電子や正孔の数が温度によって変化し、半導体の電気伝導度が変化する。これによって、サーミスタの内部抵抗が変化するので、この変化量から温度変化を検知することができる。

➤ サーミスタの長所と短所

- ・ 長所
 - 温度変化に対する抵抗値の変化が大きい（出力感度が高い）
 - 大量生産ができるので安価
 - 小型で堅牢
 - 高感度のため電氣的処理が容易
- ・ 短所
 - 非直線素子である（温度変化と抵抗値の変化が比例しない）
 - 温度範囲が狭い
 - 互換性が悪い

● サーミスタの種類

➤ NTCサーミスタ

- 負の温度係数を持つ（温度変化と抵抗値変化の方向が逆）
- PTCサーミスタやCTRよりも温度変化に対する抵抗値変化が緩やか
- 温度測定、温度補償、電流制限等に使用される
- NTC = Negative Temperature Coefficient（負の温度係数）

➤ PTCサーミスタ

- 正の温度係数を持つ
- スイッチング特性があり、設定温度の近くで急激に抵抗値が変化する
- 温度スイッチ、恒温発熱、サージ防止等に使用される
- PTC = Positive Temperature Coefficient（正の温度係数）
- 「ポジスタ」とも呼ばれる

➤ CTR

- 負の温度係数を持つ
- スイッチング特性があり、設定温度の近くで急激に抵抗値が変化する
- 温度スイッチ、恒温発熱、サージ防止等に使用される
- CTR = Critical Temperature Resistor

● IC化温度センサー

IC化温度センサーは、シリコントランジスタの温度依存性を応用したもの。ベース・エミッタ間の電圧 (V_{BE}) が温度変化に対してほぼ直線的に変化する現象を応用している。

白金測温抵抗体やサーミスタは非直線素子であるため、外部にリニアライズ回路を必要とする。これに対してIC化温度センサーは、種々の内部回路と感温素子（センシングエレメント）が一体化されており、外部での回路補正をほとんど必要としない。

用途は様々であり、電子体温計、室温計、エアコンの温度コントローラ、各種電子回路の温度補償等、たくさんある。

IC化温度センサーには、電流出力型と電圧出力型とがある。特に、電流出力型のIC化温度センサーAD590（アナログデバイセズ社）は広い測温範囲に使われている。

IC化温度センサーの測温範囲はサーミスタよりも狭い。

● 湿度センサー

湿度センサーは、大気中の湿度を検出するセンサー

➤ (参考) 湿度とは

大気中の乾湿の程度を表したものの。より詳しくいうと、大気がその温度で含むことができる最大の水蒸気量（飽和水蒸気量）と、実際に含まれている水蒸気量との割合。

$$(\text{湿度}) = \frac{(\text{実際に含まれている水蒸気量})[\text{g}]}{(\text{飽和水蒸気量})[\text{g}]} \times 100[\%]$$

この式で求められる湿度を「相対湿度」と呼ぶことがある。一方、1m³中の空気に含まれる水蒸気量をグラムで表したものを「絶対湿度」という。

湿度の検出方法としては、古くから毛髪式や乾湿球式があるが、これらは比較的大型になる。一方、高分子系や金属酸化物系は電氣的に扱いやすく、小型で軽量なので、センサーとしてよく使われる。

● 湿度検出法の種類

湿度センサーは、大気中の湿度を検出するセンサー

- インピーダンス変化型、容量変化型
小型軽量、電氣的に扱いやすい。現在の湿度センサーの主流。
(例) 高分子系センサー、金属酸化物系センサー、電解質系センサー
- 電磁波吸収型
空気中の水分によってある特定の波長帯域の赤外線が吸収される現象を応用。瞬時に高精度な絶対湿度、相対湿度、露点を検出可能。
(例) 赤外線吸収、マイクロ波吸収
- 熱伝導応用型
空気中の絶対湿度差による熱伝導率の違いを利用。
- 乾湿球型
乾湿球の温度差から相対湿度を求める。
- 膨潤性応用型
物質の膨潤性を利用。
(例) 毛髪湿度計、ナイロンフィルムを利用した湿度スイッチ
- その他
(例) 水晶振動子式
水晶振動子に塗布した吸湿膜の重量変化を発振周波数の変化として取り出す。

● 湿度センサーの主な用途

湿度センサーの用途の中心は、エアー・コンディショナー（エアコン）の湿度コントロール用。その他、家庭用から化学プラント等、非常に多彩。以下は用途の例だが、今後さらに広がっていく可能性がある。

- 空調（エアコン）
加湿器（給湿器）、除湿器、クリーン・ヒータ（ファン・ヒータ）
- 各種化学プラント
- 自動車用（電装品）
- 各種食糧倉庫
- 台所用品
食器乾燥機、電子レンジ、オーブン、冷蔵庫、温蔵庫
- 居住環境用
エア・クリーナ、換気扇
- 各種セキュリティ・システム
- AV製品（家電製品）
VTRの結露センサー
- バイオ研究用（医療用）
- 湿度測定器（気象用）

● インピーダンス変化型

湿度変化に対応して内部抵抗が変化する湿度センサー。湿度センサーに交流を印加してその変化信号を取り出すことから、インピーダンス変化型湿度センサーと呼ばれる。

➤ インピーダンス変化型湿度センサーの種類

①使用方法による分類

- ・ 加熱リフレッシュ型

加熱リフレッシュを繰り返しながら使う。構造が複雑で定期的なメンテナンスが必要。

- ・ 非加熱型

リフレッシュを必要としない。

②構造による分類

- ・ 薄膜型

感湿材料を薄い膜状に形成した湿度センサー。

- ・ バルク型

感湿材料をバルク（固まり）状に形成した湿度センサー。

③感湿材料による分類

- ・ セラミック型

感湿材料としてセラミック系ペーストを印刷して焼結。

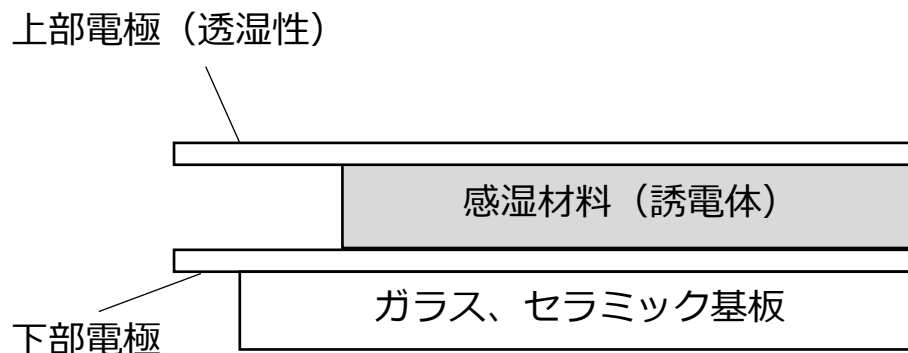
- ・ 高分子型

感湿材料として高分子溶液を利用。

● 容量変化型

2枚の電極間の静電容量が湿度変化に対応して変化する特性を応用したもの。

➤ 容量変化型湿度センサーの構造



誘電体である感湿材料を2枚の電極で挟み、これをガラスやセラミックの基板の上に形成している。感湿材料が周囲の湿度変化を受けると誘電率が変化し、静電容量が変化するので、この容量変化を電氣的に捉えて湿度を検知する。センシングエレメントの感湿性を保つために、上部の電極には透湿性のある材料が用いられる。

容量変化の検出方法には、L-C発振回路を用いて発振周波数の変化として取り出す方法や、周期変化を取り出す方法などがある。インピーダンス変化型と比較して容量変化が小さいため、何らかの増幅手段が必要。

湿度検出範囲は広く、直線性が優れているため、高級な湿度計に採用される。

● 圧力センサーとは

あらゆる物質感に作用する力学エネルギーを検出するセンサー。圧力その他、物体の重量、トルク、物体間に作用する力なども検出対象となる。

➤ (参考) 圧力とは

単位面積に働く力の大きさ。単位には、 $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 、 $[\text{N}/\text{m}^2]$ 、 $[\text{kPa}]$ 、 $[\text{bar}]$ 、 $[\text{atm}]$ などがあり、場合によって使われるものが異なる。

kgf/cm^2 1cm^2 あたりに働く力が 1kg 重である圧力が、 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$
 kg/cm^2 と書く場合もある。

N/m^2 1m^2 あたりに働く力が 1N である圧力が、 $1\text{N}/\text{m}^2$

Pa $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$

bar $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$

かつては気圧の単位として mbar が使われていた。 $1\text{mbar} = 1\text{hPa}$

atm $1\text{atm} = 1013\text{hPa}$ (1気圧)

mmHg $1\text{atm} = 760\text{mmHg}$

水銀柱の高さで圧力を測るとき、高さが $H[\text{mm}]$ になる圧力を
 $H[\text{mmHg}]$ とする。

➤ 圧力の種類

- ・ ゲージ圧 : 大気圧を0として相対的な圧力を表す
- ・ 差圧 : 2つ以上の圧力差を表す
- ・ 絶対圧 : 真空を0として絶対的な圧力を表す

● 圧力センサーの種類

➤ 弾性体方式

印加圧力に対応して物体が変形することを応用したもの。

(例) ダイアフラム、ブルドン管、ベローズ、など

種類	圧力の検出範囲	特徴
ダイアフラム	数mmH ₂ O～数kg/cm ²	一般に微小圧力用 小型化が容易
ブルドン管	0.1～2,000kg/cm ²	構造が簡単 一般に高圧力 微小圧力のものが作りにくい
ベローズ	数mmHg～数kg/cm ²	変位量が大きく取れる 小型化が難しい

➤ その他

印加圧力を電気量に直接変換するもの。

(例) 半導体圧力センサー、など

● 圧力センサーの主な用途

圧力センサーは産業機器の小型化、高性能化とともに徐々にその数を増し、現在では様々な家電製品に使われている。以下は、半導体圧力センサーの主な用途。なお、圧力範囲の区分は必ずしも明確ではない。

圧力範囲	主な用途
微小圧力	フィルタ目詰まりセンサー、防犯センサー、風圧センサー、ガス圧制御、気圧計（気象予報計）
低圧力	電子血圧計、高度計、近接スイッチ、真空吸着圧の測定、掃除機が目詰まりセンサー、トルクコントロール、水深気圧計、各種ロボットの力覚センサー、テンションコントロール、タッチスイッチ、FA機器の圧力センサー、体重計、トルク計、接触圧センサー
中圧力	自動車のブレーキ、自動車のサスペンション、油圧機器の圧力センサー
高圧力	重量計、大トルク計、破壊力・爆発力の検出

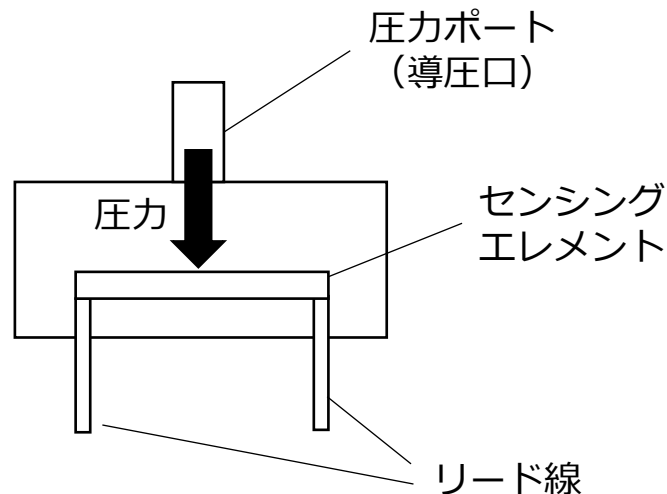
圧力センサー

● 半導体圧力センサー

圧力センサーは機械的な可動部を有するため、温度センサーや湿度センサーなどの他のセンサーに比べて大きさ、重量などの構造的な制約を強く受ける。半導体圧力センサーは比較的小型で、電氣的出力が取り出せる。

● 半導体圧力センサーの仕組み

半導体圧力センサーには、圧力を内部に伝える圧力ポートがあり、ここから圧力がセンシングエレメントに伝わって抵抗が変化する。この抵抗変化が電氣的出力の変化を生じさせるので、それを測定することで圧力変化が検知できる。



● (参考) ピエゾ抵抗効果

半導体や金属に圧力をかけてひずみを生じさせると、その電気抵抗が変化する効果。半導体圧力センサーはこのピエゾ抵抗効果を応用している。