

# トランジスタ技術 SPECIAL

I<sup>2</sup>Cセンサから! これからのコモンセンス

## 測る 量る 計る 回路&テクニック集



実務  
教科書  
「学ぶ」を応援!

CQ出版社

# 「測る」回路 超入門

島田 義人 Yoshihito Shimada

従来、センサ素子が出力するアナログ信号レベルは微小であり、高精度かつ低雑音に増幅するテクニックが必要です。ピギナにとって高度なアナログ技術が要求されるところです。アナログ回路は用途によってカスタマイズすることができます。

一方で、センサと電子回路が小さなシリコン上に集積化したワンチップ・センサICが普及しています。マイコンにセンサICを直結し、I<sup>2</sup>Cなどの汎用シリアル・インターフェースで制御することで、簡単に測定データが得られるメリットがあります。

ここでは気圧を測る方法を例に、センサ素子を使ったアナログ計測回路と、ワンチップ・センサICを使った計測回路を紹介します。

## 自然現象を電気信号に変える… センサ素子とセンサ回路

### ● その昔…水銀を使った気圧測定のごく

気圧とは大気の高さによって、地表にかかっている圧力のことで、地上付近の気圧の大きさを1気圧といいます。気圧の単位は、hPa(ヘクト・パスカル)で表します。

地球上の気圧を平均すると、1013.25 hPaであるといわれています。ヘクトとは、100倍を意味する接頭語で、1 hPaは100 Paにあたります。1 Paとは1 m<sup>2</sup>の板の上に約100 gのおもりを乗せたとき、その板が地面を押す力に相当します。1気圧を約1000 hPaと考えると、地表面1 m<sup>2</sup>あたり、なんと約10000 kgの空気が乗っているという計算になります。

イタリアの数学者であり物理学者のトリチェリが、1643年に水銀を使って初めて気圧を観測しました。図1は水銀気圧計の原理図です。一端を閉じたガラス管に水銀を満たして倒立させると、水銀の重さと大気圧がつり合う位置まで下がって止まります。このときガラス管内の液面の高さから気圧を測定します。その高さは1気圧で約760 mmになります。

### ● 気圧を測定する半導体圧力センサ素子のしくみ

写真1に示すのは、半導体圧力センサ素子FPM-15PAR(フジクラ)です。穴のあいた上部の突起が大気圧の導入口で、パッケージ内にある圧力センサ・チップへ通じています。

図2に圧力センサ・チップ部の構造を示します。単結晶シリコン基板の裏面は、大気圧を受けて変形しやすいようにくりぬかれ、その内部は真空になっています。この薄膜部分はダイアフラムと呼ばれています。ダイアフラム面(点線内部)の4カ所には、ひずみを受けると電気抵抗値が変化するピエゾ抵抗体と呼ばれるストレイン・ゲージが形成されています。大気圧を受けると、中央部にあるゲージR<sub>b2</sub>、R<sub>b4</sub>は圧縮方向のひずみを生じ、周辺部にあるR<sub>b1</sub>、R<sub>b3</sub>は引っ張り方向のひずみを生じます。ストレイン・ゲージは圧縮側

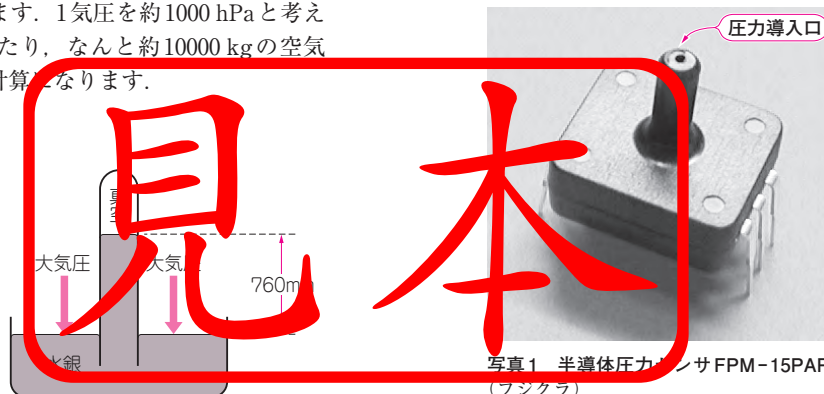
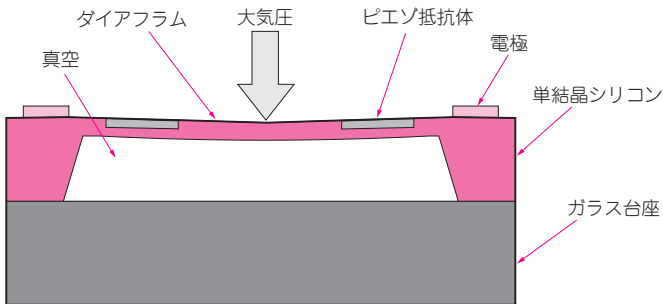
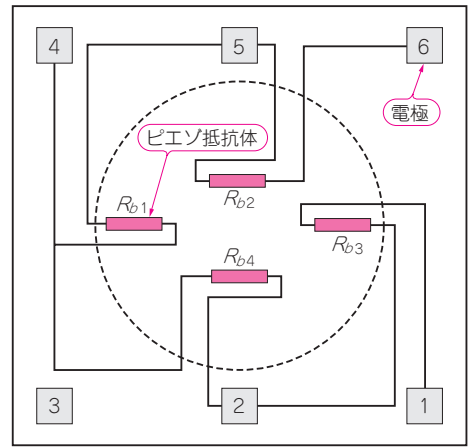


図1 水銀気圧計の原理

写真1 半導体圧力センサFPM-15PAR (フジクラ)



(a) 断面図



(b) 上から見た構造

図2 半導体圧力センサ・チップ部の構造

では抵抗が減少し、引っ張り側では抵抗が増加します。図3に示すように、これら4つの抵抗体をホイートストン・ブリッジ回路として結線し、圧力による抵抗値変化を電圧信号として出力します。

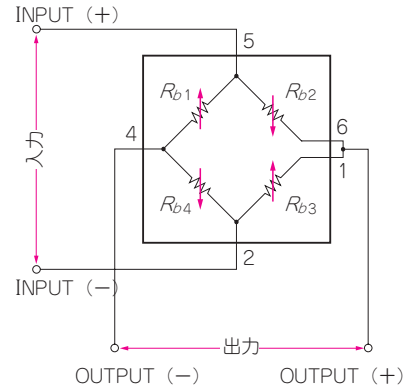
## センサ回路の実際

### ● 半導体圧力センサ素子を使ったアナログ気圧測定回路

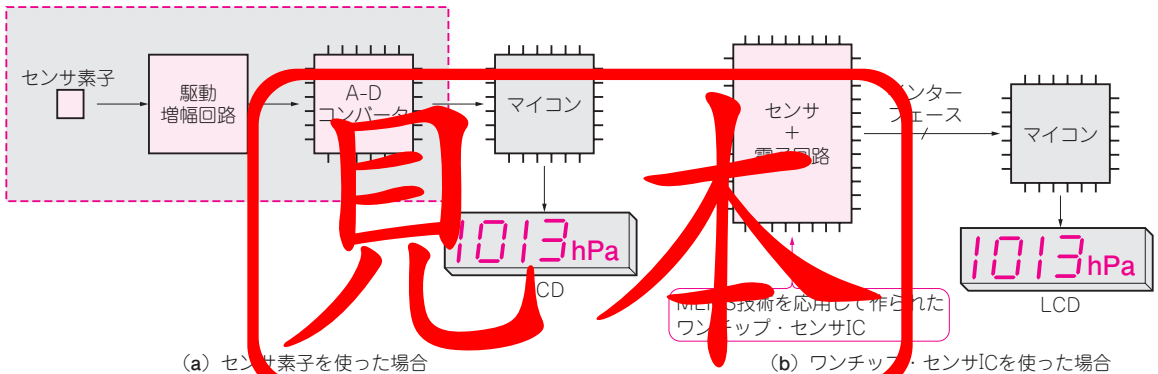
図4(a)に、半導体圧力センサ素子を使った気圧測定の実現例を示します。センサ素子を駆動する回路とセンサ素子の出力信号を増幅するアナログ回路を、センサ素子の後段に接続します。気圧の情報を電圧(アナログ信号)として取り込み、さらにA-Dコンバータでデジタル値に変換します。デジタル信号をマイコンで処理し、液晶ディスプレイ(LCD)に表示したり、パソコンに転送して記録したりします。

### 図3 ホイートストン・ブリッジ回路

図中の矢印は、気圧が上昇した場合に、上向きが抵抗の増加を、下向きが減少する傾向を表す



アナログ回路なら、マイコンなどを使わずに簡易的に機能を実現することもできます。写真2に示すのは、半導体圧力センサ素子FPM-15PARを使って製作した簡易電子気圧計です。



(a) センサ素子を使った場合

(b) ワンチップ・センサICを使った場合

図4 センサ素子とワンチップ・センサICを使ったときの測定計の構成



# 自然環境を測る I<sup>2</sup>C センサ回路

## 1 湿度センサと温度センサが集積化されたワンチップ・センサIC SHT20

渡辺 明禎

### ● こんなワンチップ・センサIC

SHT20(写真1, センシリオン)は, 湿度センサと温度センサが集積化されたワンチップ・センサICです。

3×3mmの小型パッケージに, 湿度センサ, 温度センサ, アンプ, A-Dコンバータ, メモリ, デジタル処理回路が集積化されています。I<sup>2</sup>Cでマイコンなどに直結できます。

湿度センサは容量型湿度センサ, 温度センサはバンド・ギャップ型温度センサで, 個々にテストと校正が行われて出荷されています。

次のような特徴があります。

- テスト/校正済み
- I<sup>2</sup>C インターフェース
- 低電圧検出
- 消費電流: 300 μA (動作時), 0.15 μA (待機時)
- 長期安定性: 0.5%RH/年, 0.04°C/年
- パッケージ: DFN, 3×3mm

ヒータを内蔵しており, 内部の温度センサと湿度センサが正常に機能するかどうかを診断できます。ヒータは機能診断に使用する目的として実装されています。

ユーザ・レジスタのビット2に '1' を書き込むとヒータがONとなり, 温度が0.5~1.5°C上昇することと, 相対湿度が少し低くなることをチェックします。ヒータは約5.5mWの電力を消費します。

### ● 仕様

図1にブロック図を示します。

湿度センサはくし形電極で形成されたコンデンサで, 誘電体にポリマを使用しています。ポリマは湿度に比例して水分子を吸湿したり放出したりするので, 湿度で容量が変化します。この変化をアンプで増幅し, A-D変換します。変換デジタル・データはI<sup>2</sup>Cイン



写真1 湿度センサと温度センサが集積化されたワンチップ・センサIC(センシリオン)

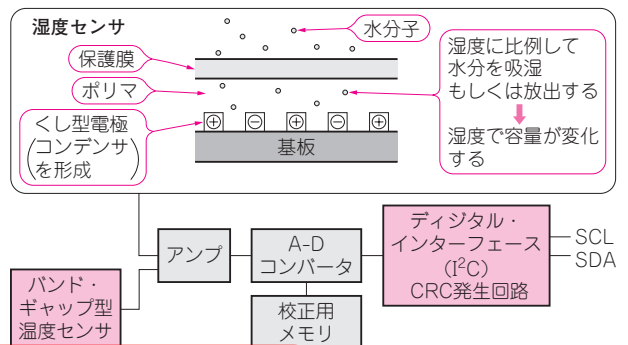
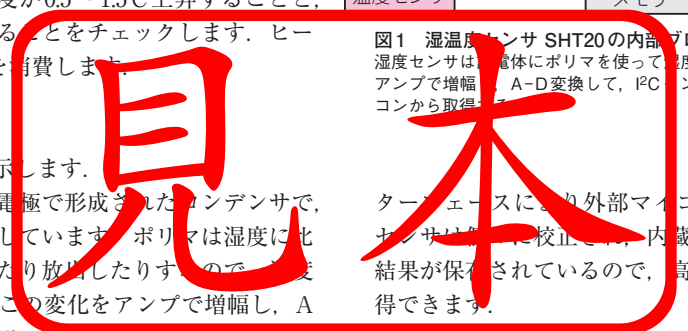


図1 湿度センサ SHT20の内部ブロック  
湿度センサは誘電体にポリマを使って湿度による容量の変化を検出する。アンプで増幅し、A-D変換して、I<sup>2</sup>C インターフェースにより外部マイコンから取得できます。

ターフェースにより外部マイコンから取得できます。センサはあらかじめ校正済み, 内蔵の校正用メモリに校正結果が保存されているので, 高精度な湿度データを取得できます。



# 力学的な動きを測る I<sup>2</sup>Cセンサ回路

## 1 5 kHzの高速データ・レート、±2～±16 gの 3軸加速度センサIC LIS3DH

渡辺 明禎

### ● 説明

LIS3DH(写真1, STマイクロエレクトロニクス)は、3軸加速度センサICです。表1に示すように測定範囲は±2～±16 g、データ・レートが1 Hz～5 kHzと広範囲なので、低速な移動から高速な移動までさまざまな物体の加速度を検知できます。

自由落下の検出も可能です。センサの合成加速度が1 gよりかなり小さい状態(無重力に近い)が検知された場合は、ノート・パソコンやスマートフォンなどが落下している可能性があります。そんなときはハード・ディスクのヘッドを退避するなどして、致命的な故障を回避します。

大きな動きを検知し、割り込みをかけることにより、スマートフォンなどを自動起動することもできます。

写真1 5 kHzの高速データ・レート、±2～±16 gの3軸加速度センサIC LIS3DH(STマイクロエレクトロニクス)



### ● 回路

図1に、LIS3DHのブロック図を示します。加速度検出素子は静電容量方式で、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)で作られており、コンデンサ素子がハーフ・ブリッジ回路を形成しています。各軸32レベルのFIFOを内蔵しています。

ブリッジ回路には短パルスの電圧が加えられていて、加速度が加わると電圧バランスがくずれて信号が出てきます。その出力をチャージ・アンプで積分してA-

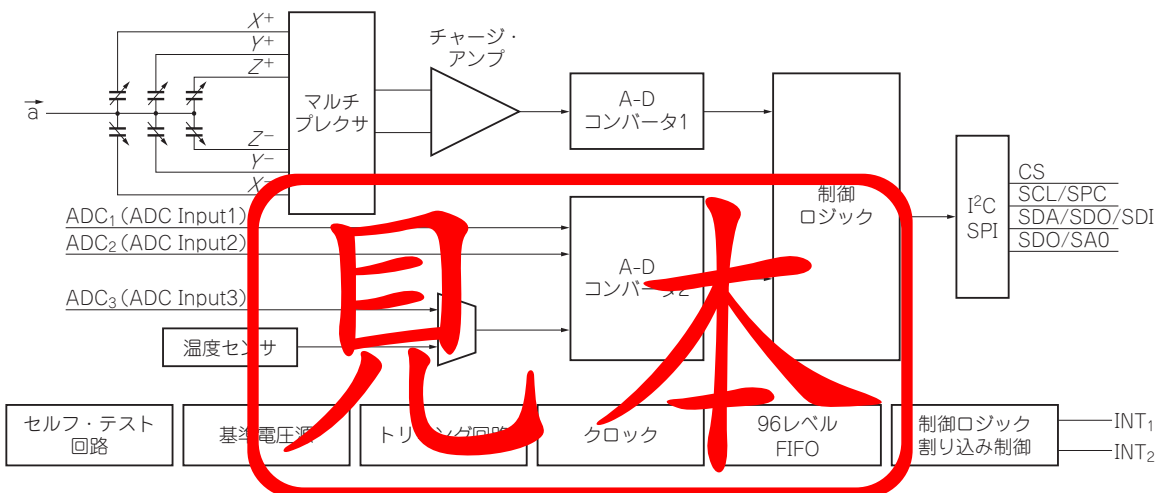


図1 LIS3DHのブロック図

# 安価で高感度な温度センサ 「サーミスタ」回路

### サーミスタの基礎知識

松井 邦彦

● **サーミスタは温度センサの中で最も安く性能が高い**  
温度センサには、サーミスタのほかに白金測温抵抗体や熱電対があります。サーミスタは白金測温抵抗体や熱電対と比較して次に示す特徴があります。

①とにかく安価

白金測温抵抗体の1/10、熱電対の1/100以下の価格で購入できます。

②感度が高い

サーミスタの感度は、白金測温抵抗体の10倍、熱電対の1000倍以上と高いです。

③回路が安価に作れる

感度が高いので高精度で高価なOPアンプが不要です。安価なOPアンプで十分です。

熱電対は白金測温抵抗体よりも出力電圧が小さく、冷接点補償など複雑な回路も必要なので、さらにコスト・パフォーマンスで劣ります。

● **サーミスタの用途**

サーミスタは、次に示す製品や装置に応用されています。

- 電子体温計(人間用、動物用など)
- 温度コントローラ
- レーザ・ダイオードの温度調整装置
- 火災警報器
- 高分解能の温度測定器
- 冷蔵庫や電子ポットなどの家電製品

サーミスタは安価なため民生のような低価格製品にしか使用されないと思われがちですが、0.001℃と非常に高分解能の工業用製品にも使われています。

● **温度に対して抵抗値が変化する**

サーミスタは抵抗変化型の温度センサです。しかし、温度に対して電気抵抗がリニアに変化しません。その代わり感度が非常に高いという特徴があります。

サーミスタの電気抵抗 $R_T$ は次の式で表されます。

$$R_T = R_0 \exp \left\{ B \left( \frac{1}{T_{abs}} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $R_0$ ：基準温度のときのサーミスタの電気抵抗(公称抵抗値と呼ぶ) [Ω]、 $B$ ：2温度間の抵抗変化を表す定数 [K]、 $T_{abs}$ ：絶対温度 [K]、 $T_0$ ：基準温度(通常は0℃または室温) [K]

式(1)からサーミスタの電気抵抗 $R_T$ は図1に示すよ

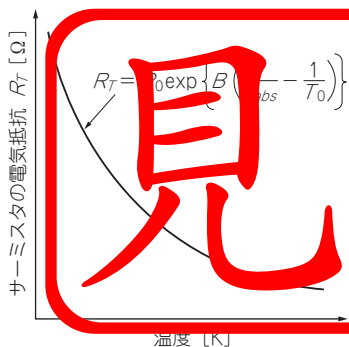


図1 サーミスタの温度-抵抗特性は直線ではないのでリニアライズ(直線化)して使いたい

表1 サーミスタはJISで規格化され使用温度範囲、公称抵抗値、B定数などが決められている

使用温度範囲 [℃]	公称抵抗値 [Ω]	公称B定数 [K]
-50 ~ +100	6 k(0℃)	3390(0→100℃)
~ +100	20 k(0℃)	3450(0→100℃)
+50 ~ +100	5 k(100℃)	3894(100→200℃)
+100 ~ +250	0.55 k(200℃)	4300(100→200℃)
+150 ~ +300	4 k(200℃)	5133(100→200℃)
+200 ~ +350	8 k(200℃)	5559(100→200℃)

第6章 基礎知識から回路テクニックまで

# 極低温～超高温を測れる「熱電対」回路

## 熱電対の基礎知識 松井 邦彦

● 極低温から超高温まで測定できる  
 熱電対はゼーベック効果を応用した温度センサです。ゼーベック効果とは、異なった2種類の金属線を図1のように結合して、接合点と基準点の間に温度差を与えると電圧(熱起電力)が発生する現象です。ゼーベック

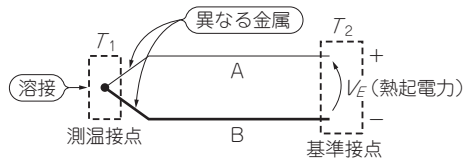
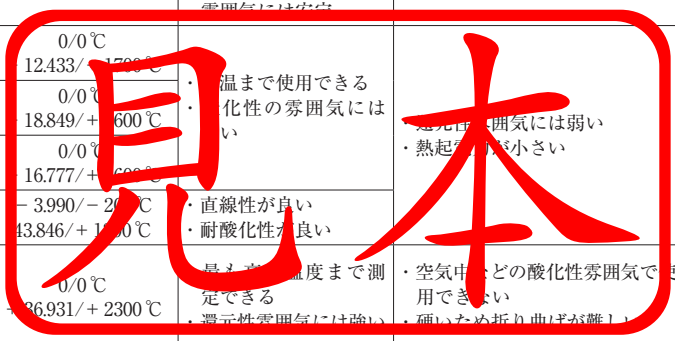


図1 熱電対は温度差で起電力を発生させる

表1 熱電対の種類(JIS C 1602:2015)

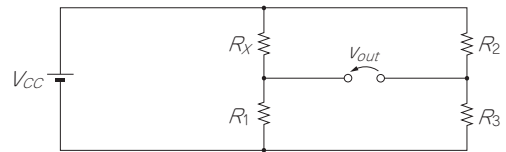
熱電材の記号	測定温度範囲 [°C]	熱起電力 [mV]	長所	短所	構成材料										
					+	-									
高温用	K -200 ~ +1200	-5.891/-200°C +48.838/+1200°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業的にもっとも多く利用される</li> <li>酸化性雰囲気強い</li> <li>直線性が良い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温の還元性雰囲気では劣化する</li> <li>一酸化炭素や亜硫酸ガスなどには不適</li> <li>+200 ~ +600°Cではショート・レンジ・オーダリング誤差がある</li> </ul>	クロム10% ニッケル90% (クロメル)	アルミ, マンガン系など 残ニッケル (アルメル)									
						中温用	E -200 ~ +800	-8.825/-200°C +61.017/+800°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>もっとも大きな熱起電力をもつ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>還元性雰囲気に弱い</li> <li>電気抵抗が大きい</li> <li>ショート・レンジ・オーダリング誤差がある</li> </ul>	クロム10% ニッケル90% (クロメル)	ニッケル45% 銅55% (コンスタンタン)			
中温用	J -200 ~ +750	-7.890/-200°C +45.494/+800°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱起電力が大きい</li> <li>還元性雰囲気が強い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸化性雰囲気および水蒸気中では弱い</li> <li>さびを生じやすい</li> </ul>	鉄	ニッケル45% 銅55% (コンスタンタン)									
						低温用	T -200 ~ +350	-5.603/-200°C +20.872/+400°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>-200°C ~ +100°Cの低温域でよく利用される</li> <li>弱い酸化性, 還元性雰囲気には安定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+300°C以上では銅が酸化する</li> </ul>	銅	ニッケル45% 銅55% (コンスタンタン)			
超高温用	B 0 ~ +1700	0/0°C 12.433/+1700°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温まで使用できる</li> <li>酸化性の雰囲気には強い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>還元性雰囲気には弱い</li> <li>熱起電力が小さい</li> </ul>	ロジウム30% 白金70%							ロジウム6% 白金94%			
						R 0 ~ +1600	0/0°C 18.849/+1600°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>直線性が良い</li> <li>耐酸化性が良い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気中などの酸化性雰囲気でも使用できる</li> <li>種類のため折れ曲りが難しい</li> </ul>	ロジウム13% 白金87%	白金				
											S 0 ~ +1600	0/0°C 16.777/+1600°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>最も広い温度まで測定できる</li> <li>還元性雰囲気には強い</li> </ul>	ロジウム10% 白金90%	白金
															N -200 ~ +1250
											C 0 ~ +2300	0/0°C +36.931/+2300°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>最も広い温度まで測定できる</li> <li>還元性雰囲気には強い</li> </ul>	レニウム5%を含むタンゲステン・レニウム合金	



# 温度センサの抵抗値を高精度に測定する回路

センサには抵抗可変型といって、抵抗値の変化から温度などの物理状態を読み取るものがあります。抵抗値は、図1に示すブリッジ回路で測定するのが基本です。

本稿では、このようなブリッジ回路を使わないで、サーミスタや白金測温抵抗体の抵抗値を高精度に測定する実例を2種類紹介します。前半は先輩から受け継いだ標準的な方法です。後半は筆者が考えた方法です。いずれも無調整で、0.1%程度以上の高精度測定に活用できます。



ブリッジは抵抗値測定の基本回路。 $V_{out}$  がゼロのとき、 $R_x$  は、 $R_x = R_1 R_2 / R_3$  から求まる。 $R_1$ の絶対値と $R_2/R_3$ の比だけに依存し、電源 $V_{cc}$ は値に関係しない

図1 抵抗値測定のための基本回路「ブリッジ回路」

## 1 被測定抵抗に電流を流し電圧に変換して測定するテクニック

太田 健一郎

ここで紹介する、抵抗値測定の方式には下記の利点があります。

- ① 無調整で組み立てられる。
- ② 経時変化の恐れが少ない。
- ③ 誤差要因が除かれているので高精度に測定できる。精度が基準抵抗( $R_A$ ,  $R_B$ )の絶対精度とA-D変換のレシオ・メトリック精度だけで決まる。
- ④ OPアンプのオフセット、ドリフト、電源電圧や基準以外の抵抗誤差は測定精度に関係しない。
- ⑤ ポテンショ・メータに当たるA-D変換精度は用途に合わせて選べばよい。

### 技① 一定の電流を抵抗に流し電圧に変換して測定する

テスタのように定電圧を抵抗に加えて電流を検出する方法は、抵抗値と電流値が反比例するので、後の処理が面倒です。そこで、一定の電流を被測定抵抗に加えて電圧を検出するのが普通です。

最も簡単な回路例を図2に示します。OPアンプの両入力端子電圧は等しいので、 $R_1$ に流れる電流 $I_S$ は、次式で求められます。

$$I_S = V_{ref} / R_1 \dots\dots\dots (1)$$

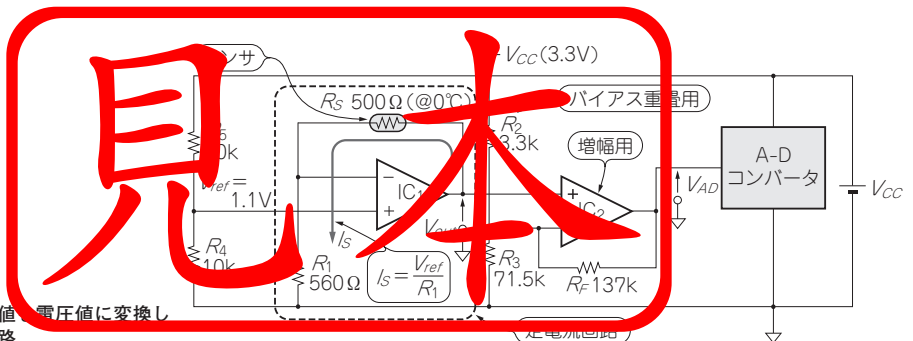


図2 被測定抵抗(サーミスタ)の値を電圧値に変換しA-D変換回路に入力する回路



# 定番光センサ 「フォトダイオード」と回路

## フォトダイオードの基礎知識

松井 邦彦

### ● 血液の分析や放射線の検出に

フォトダイオードは、次に示す製品や装置に応用されています。

- TVなどのリモコン
- 照度計
- 画像やデジタル・データを伝送する光伝送装置
- 血液などの分析装置
- 放射線の検出装置

放射線は、シンチレータと呼ばれる材料で光に変えるとフォトダイオードで検出できます。シンチレータの変換効率がS/Nに影響するという欠点はありますが、光センサの量産技術が応用できるため、安価で入手性もよく、使いやすいという利点があります。

### ● 安価なわりに高性能なのが最大の魅力

入手しやすいフォトダイオードを表1に示します。

フォトダイオードは、安価で高性能なうえに、幅広く応用できます。ぜひ使ってほしいセンサの1つです。次に示す5つの特徴があります。

#### ① 入射光量と出力電流の直線性が良い

安価な汎用フォトダイオードでも0.1%程度のリニアリティが得られます。

#### ② ダイナミック・レンジが広い

フォトダイオードのダイナミック・レンジは6～8桁にも及びます。そのため、ログ・アンプを使うこともあります。フォトダイオード用のログ・アンプも市販されています。

#### ③ 温度特性が良い

安価なフォトダイオードでも100 ppm/°C程度の感度ドリフトが得られます。暗電流は通常2倍/10°Cなので、低電流まで測定したいときは、暗電流の小さなものを使います。

#### ④ 応答速度が速い

通信用のフォトダイオードでは、数十GHzの入射光に対応したものもあります。

#### ⑤ ばらつきが小さい

一般的な半導体型センサは、ばらつきが100%を超えるものもあります。フォトダイオードは通常10%以下です。選別品ではさらに良くなります。

表1 入手しやすいフォトダイオード

型名	メーカー名	短絡電流	暗電流	ピーク感度 波長 [nm]	端子間容量 [pF]	備考
NJL6502R-1	日清紡マイクロデバイス	500 nA (1000 lx)	0.5 nA (5 V)	580	35 (0 V)	フォトダイオード 照度計用、リニアリティ良好(0.1～10 <sup>5</sup> lx)
NJL7502L		40 μA (100 lx)	0.1 μA (20 V)	560		フォトトランジスタ Cdsセルの置換に便利
S4707-01	浜松ホトニクス	6.6 μA (100 lx)	5.0 nA (10 V)	960	14 (0 V)	PIN型フォトダイオード 光ファイバ用、遮断周波数は20 MHz
S8729-04		5 nA (100 lx)	2.0 nA (10 V)	960	16 (0 V)	PIN型フォトダイオード 汎用、受光面が2.0×3.3 mmと大面積
HPI307	コーデンシ	75 μA (1000 lx)	30 nA (10 V)	940	95 (0 V)	PIN型フォトダイオード 高出力

# 動き検知によく使う 赤外線センサ回路

## 1 フォトダイオードより高感度！ フォトトランジスタの基本回路

上田 智章

【用途】 光-電気変換装置，照度計，光ファイバ通信装置



写真1 フォトトランジスタ LTR-4206E(ライトオン)

フォトトランジスタはバイポーラ・トランジスタと同じ構造で、ベース-コレクタ間の接合部に光を照射することで光を検出するデバイスです。光により発生した起電力が増幅されるため、感度はフォトダイオードより高くなりますが、応答速度は劣ります。

写真1に、代表的なフォトトランジスタLTR-4206E(ライトオン)の形状とピン配置を示します。トランジスタのベース電流は、入射光に伴う光電流で供給しています。

### 技① 許容損失は80℃で設計する

図1に示すように周囲温度に対する許容損失の制約

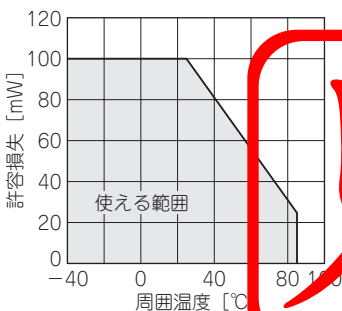


図1 LTR-4206Eの周囲温度と許容損失の制約

があります。許容損失は、コレクタ-エミッタ間電圧とコレクタ電流の積で求められます。図1を見ると、20℃なら100 mWまで、40℃では80 mWまで、80℃では20 mWまでしか使えません。この条件を超えるとデバイスが破壊することがあります。

直射日光があたる場所や車のダッシュボード上に置かれる機器は、60℃を超えることがあるので、許容損失は80℃で設計する必要があります。電源電圧が5Vならコレクタ電流は4 mAが上限になるので、設計は1 m~2 mAで使います。おおむね500 lx程度の赤外線の入射光で飽和して、コレクタ-エミッタ間電圧は最大0.4 Vになります。電源電圧が12 Vなら、コレクタ電流は0.5 m~1 mAまでに抑えるべきでしょう。図2にフォトトランジスタの基本的な使い方を示します。

LTR-4206Eは可視光を遮断するパッケージに封入されているので、赤外線を使った防犯装置や制御、通信などに適しています。ただし、ピーク感度波長がデータシートに記載されていません。

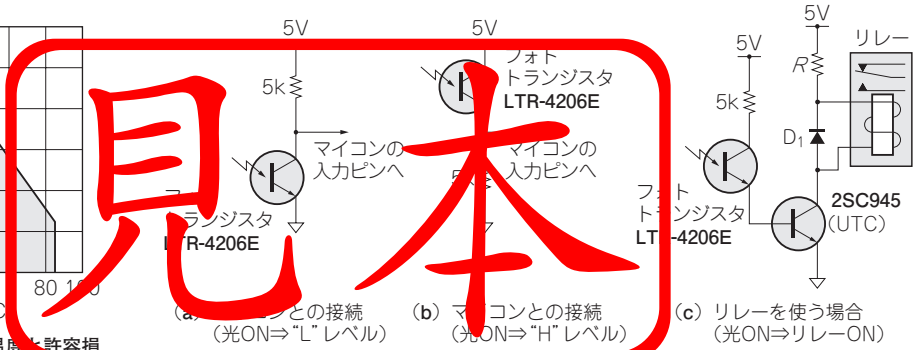


図2 フォトトランジスタLTR-4206Eを用いた基本的な使い方

# 超音波センサと圧電素子

## 圧電素子の基礎知識

松井 邦彦

圧電素子は、振動(衝撃)センサや超音波センサとして市販されています。それぞれの用途を次に示します。

### ● 振動(衝撃)センサ

振動(衝撃)センサは、次に示す製品や装置に応用されています。

- ゲーム機
- 携帯電話
- デジタル・カメラ
- パソコン(ハード・ディスクの衝撃検知)
- 窓ガラスの破壊検知(泥棒避け)

表面実装タイプも市販されています。

振動センサには圧電素子を使ったもの以外にも次に示すものがあります。

- 静電容量式
- 渦電流式
- レーザ・ドップラ式
- 動電式

いずれも非接触で測定できますが、センサ単体では販売されておらず大型で高価です。圧電素子を使った振動センサは、接触式ですが、非常に安価で、しかも小型です。そのため、民生機器に多く使われています。

### ● 超音波センサ

超音波センサは、次に示す製品や装置に応用されて

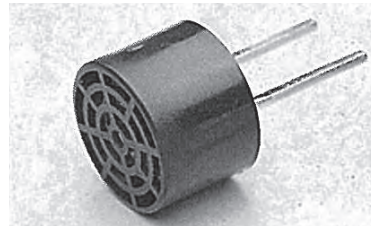


写真1 リード・タイプの超音波センサ  
MA40S4R/S(村田製作所)



写真2 表面実装タイプの超音波センサ  
MA40H1S-R(村田製作所)

います。

- 自動車のバック・ソナー
- 魚群探知機
- 医療器の超音波CT
- 超音波洗浄機
- 加湿器
- 超音波溶接機
- 軸力計
- 非破壊検査装置

写真1はリード・タイプの超音波センサです。表面実装タイプ(写真2)も市販されています。

見本

# 力 / ひずみセンサと回路

## 目に見えないほど微小な変形を測定する ひずみゲージの使い方

西田 恵一

### ひずみゲージの基礎知識

どんな物体でも引張力または圧縮力が加わると、単位断面積あたりの力(応力という)に比例して変形します。変形の量は加える力が強くなるほど大きくなり、物体の強度の限界を超えると壊れます。

物体がどのくらい破壊しにくいかを調べる方法の1つに、物体に加えられた力によって生じる表面の微小な変形、つまり伸びと縮みを測るひずみ測定があります。これには、写真1に示すひずみゲージという箔状のセンサを使います。

ひずみゲージを使えば、力が加えられた物体のひずみを検出することができます。そしてこのひずみの量から、物体の強度を知ることができます。

ひずみを利用すれば、重さ、圧力、加速度などを測定することができます。

ひずみゲージは、次のような製品に応用されています。

- デジタル式体重計
- 米の分量を自動的に量れる電気釜
- 自動的に洗剤の分量を指示してくれる洗濯機

### ● 構造はいたってシンプル…抵抗体と絶縁フィルムの組み合わせ

図1に示すように、ひずみゲージは、とてもシンプルな構造をしています。

樹脂などで形成された絶縁シートの上に、金属でできた抵抗体を格子状に折り返したエレメントが貼り付けられています。エレメントは、銅ニッケル合金など、抵抗値の温度特性がとても安定している金属材料が使われています。

以前は、細いワイヤ状に加工された抵抗線を何ターンか折り返して、樹脂のベース、つまり一番下層の絶縁シート上に固定していたものです。近年では、金属を箔状に圧延し、これをベースと接着して、高度な写真技術によってエッチングで形成するものが大半です。

こうして作られたひずみゲージを測定対象の物体の

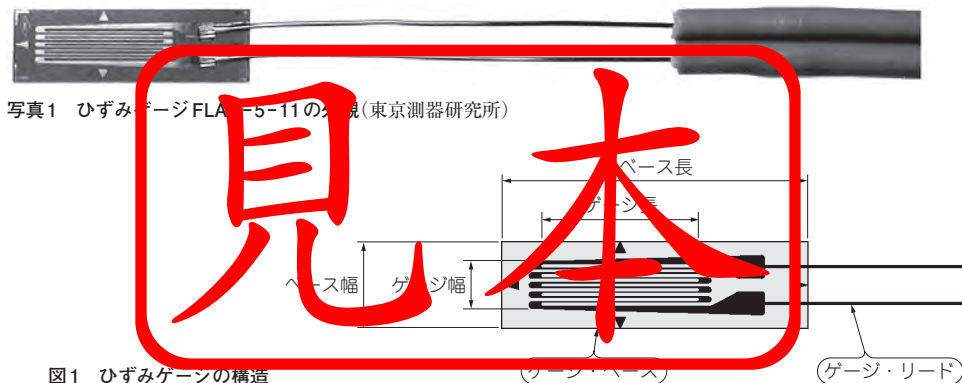


写真1 ひずみゲージFLA-5-11の構造(東京測器研究所)

図1 ひずみゲージの構造



# ありがたい 非接触電流測定入門

## カレント・トランスの基礎知識

山崎 健一

非接触で安全に交流の大電流を測る方法を紹介し  
ます。AC電流センサというと、古くは商用周波数(50Hz  
あるいは60Hz)の電流計測用がほとんどでした。最近  
は、インバータやスイッチング電源など周波数の高い  
電流を計測できるものが登場しています。

### 交流電流を検出する2つの方法

#### ■ 抵抗を使う方法

電流測定のもっとも簡単な方法として、図1(a)  
のような抵抗(基準抵抗)を用いる方法があります。テス  
タの電流測定もこの方法です。通常、この基準抵抗の  
ことをシャント抵抗と呼ぶことからシャント抵抗型電  
流センサという場合もあります。

図1(a)で被測定電流を $I_1$ 、基準抵抗の抵抗値を $R_L$   
とすると、

$$V_{out} = I_1 R_L \dots\dots\dots (1)$$

の電圧降下 $V_{out}$ が生じます。

この方法は基準抵抗に高精度な抵抗を使用するこ  
とで、良好な特性を得ることができます。しかも、DC(直

流)でもAC(交流)でも測定が可能です。

高周波用にL成分を小さくした無誘導巻きタイプが  
あります。数百A、数十MHzの電流検出用として  
BNC端子付きの同軸シャント抵抗もあります。

#### ● 非接触で測定できないし大電流の測定も困難

欠点は、電流の流れる経路を回路内に引き込む必要  
がある(非接触では測定できない)こと、大電流では耐  
電力(W数)の大きな抵抗が必要になることです。

シャント抵抗は抵抗値 $1m\Omega$ までなら比較的容易に  
入手でき、数百A程度まで測定が可能です。抵抗値  
が小さいものほどわずかな配線抵抗値でも誤差になる  
ので、高精度用では電圧出力の端子を別に設けた4端  
子構造(ケルビン接続)が使用されます。

#### ■ カレント・トランスを使う方法

##### ● 非接触で大電流を測定できる

カレント・トランス(Current Transformer)は古く  
からAC電流測定専用で使用されてきました。AC電  
流専用になる理由は、原理上DC電流の測定ができな  
いからです。

図1(b)にカレント・トランスを使った電流測定方  
法を示します。カレント・トランスでは強磁性体のコ  
アに巻き線が施されています。この構造は図2に示す

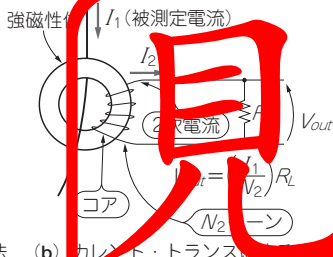
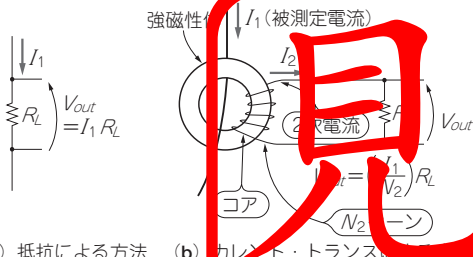


図1 簡単な電流検出方法  
カレント・トランスを使うと交流だけが簡単に非接触で測定できる

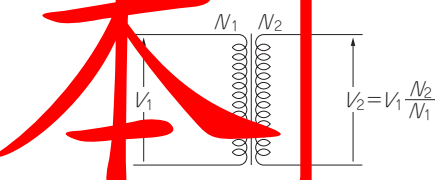


図2 カレント・トランスの構造は普通のトランスと同じ  
カレント・トランスは1次巻き線の巻き数 $N_1$ が小さく、1次側のイン  
ピーダンスが低い

# 名前をよく聞く ホール素子型電流センサ

## 直流磁界を検出できるホール素子を使った 電流センサの基礎知識

山崎 健一

ホール素子を使った電流センサならば、電流経路になんらかの素子を挿入することなく、非接触でDC電流を測定できます。

ただし、カレント・トランスを使ったAC電流センサに比べて回路は複雑になります。

ホール素子型電流センサは、図1のように強磁性体のコアにギャップ(隙間)を付けてその中にホール素子を配置したものです。ギャップ中の磁束密度は被測定電流に比例するので、それをホール素子で検出することで電流を測定できます。

ホール素子はDC磁界を測定できるので、この電流センサはDC電流を測定できます。もちろんAC電流も測定可能です。DC電流を検出できることが、ホール型電流センサの最大のメリットです。ホール素子型電流センサには大きく分けて、2つの方式があります。

### ● オープン・ループ方式…汎用で一般的

図1(a)のように、ホール素子の1次電流が1Aに対するホール電圧を $V_H$ とすると、出力電圧 $V_{out}$ は

$$V_{out} = V_H G \dots\dots\dots (1)$$

で表されます。 $G$ はアンプのゲイン(一定)です。

オープン・ループ方式の電流センサはフィードバック・コイルが不要なので、安価で小形のものが製造可能です。

ホール素子の誤差以外にコアの特性も誤差に反映されてしまうため、精度の点では後述するクローズド・ループ方式に劣ってしまいます。

しかしながら、通常の用途では十分な性能をもっていますので、汎用型DC電流センサとして大量に使用されています。

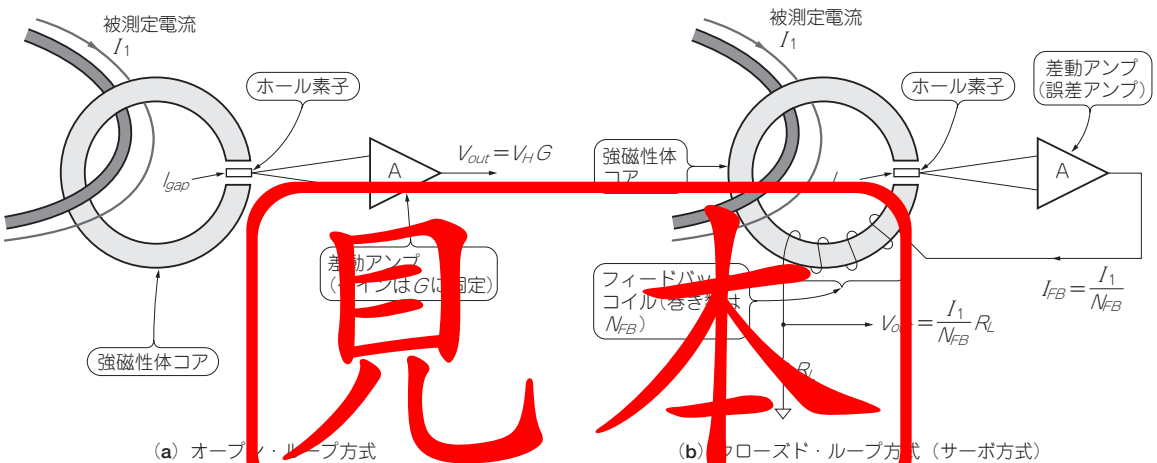
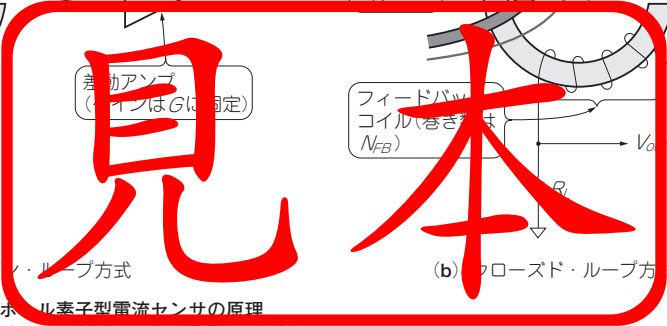


図1 直流電流も測定できるホール素子型電流センサの原理  
サーボ式とも呼ばれるクローズド・ループ方式のほうが原理的に高精度



# ミリオーム抵抗値を測る回路

山田 浩之 Hiroyuki Yamada

## ● ハンディ・テスタ感覚でmΩを測定したい

抵抗値を測るとなると、大抵はハンディ・テスタなどを思い浮かべます。しかし、微小抵抗を測ることは困難です。テスタの抵抗レンジは、高々0.1Ωくらいの分解能しかありません。そのうえ、プローブの接触抵抗やリード線抵抗、テスタそのもののオフセット電圧の影響などによって、プローブを短絡しても0.0Ωにならないことはしばしばです。

微小抵抗値は、図1に示すようにCVCC電源(定電圧・定電流電源)と電圧計を使えば測定することができます。しかし、重い電源をもってきてセットアップしなければいけないのは不便です。もちろん微小抵抗を計測するための専用測定器は存在しますが、どこの実験室にもあって手軽に使えるとまではいえません。3桁程度の分解能でいいので、ハンディ・テスタ感覚でmΩ単位の抵抗値がわかると何かと便利です。mΩが測定できるとなると、図2に示すように単なる抵抗値の測定だけでなく、基板上の短絡部品の判定や、MOSFETのオン抵抗、電池の内部抵抗測定や不良品、偽物判定などの応用が可能です。

## ● ミリオーム測定の実理

オームの法則より  $R = V/I$  なので、定電流電源と電圧計があれば抵抗値を求めることができます。図1に示したように、CVCC電源装置を1Aの定電流(CC)

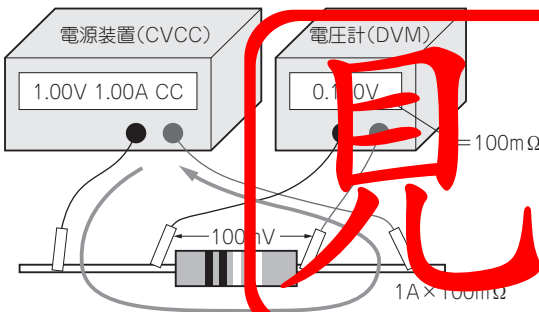


図1 CVCC電源と電圧計を使った抵抗測定

モードにして抵抗に接続し、抵抗両端に現れる電圧を測れば、その電圧計の読みは抵抗値に等しくなります。図3にシンプルな抵抗計の構成図を示します。

このようなDCによる抵抗測定をmΩオーダーに適用することは2つの問題が考えられます。まず抵抗値が低いことから、抵抗両端に発生する電圧が微小になるため、高精度な増幅系が必要といえます。抵抗に1Aの電流を流すと被測定素子に影響があるかもしれませんし、ポータブル・デバイスでは大電流を流すことはできないので、測定電流は小さいほうが望ましいといえます。

仮に測定電流を10mAに設定した場合、抵抗0.1mΩはわずか1μVの電圧レベルにしかありません。分解能0.1mΩを得るためには、電圧計やA-Dコンバータの入力レベルまで増幅するためには、入力オフセット電圧が100nV~1μVという増幅器が必要です。そのような増幅器は一般に高価であり、固体ごとに定期的な調整が必要かもしれません。

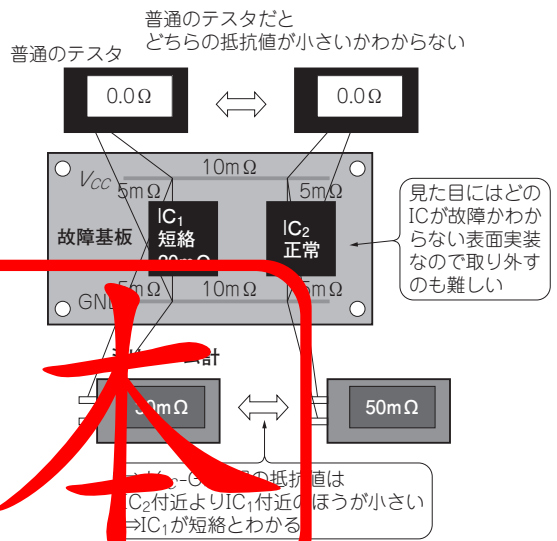


図2 微妙な抵抗値の違いがわかると、どの部品が短絡しているか簡単にわかる

# 測るための 汎用回路あれこれ

## 1 4端子の高感度センサが出力する微弱なアナログ信号を増幅する差動アンプ回路

松井 邦彦

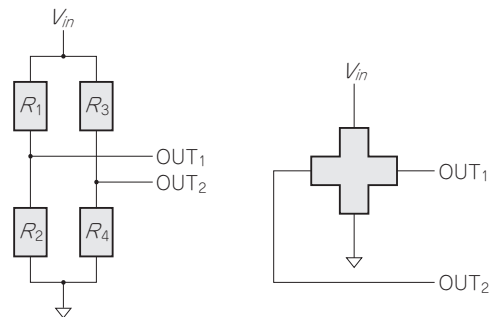
センサの内部回路は、用途に応じて構成が異なります。次に示すセンサは、図1のようにいずれもブリッジ構成で、4つの端子が付いています。

- ひずみゲージ ● 磁気抵抗素子 ● 白金測温抵抗体
- 圧力センサ ● ホール・センサ

4端子センサでは通常、2つの端子が入力端子(ドライブ電圧を加える端子)で、残り2つの端子が出力端子(信号電圧が発生)です。ここでは、ブリッジ(4端子)構成のセンサを用いた測定回路の信号増幅に使うアンプを紹介します。

### ● 4端子センサに発生する電圧

4端子センサを使用すると、図2のように同相電圧が発生します。例えばセンサにドライブ電圧  $V_{in} =$



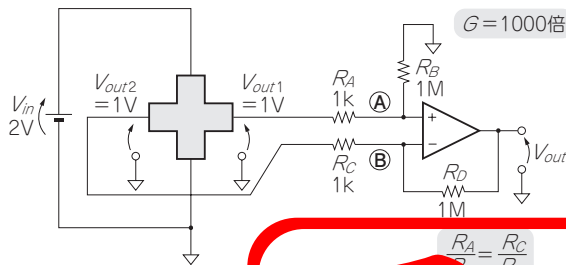
(a) ストレイン・ゲージひずみセンサ (b) ホール・センサ

図1 ブリッジ構成のセンサ内部回路  
4つの端子が付いている

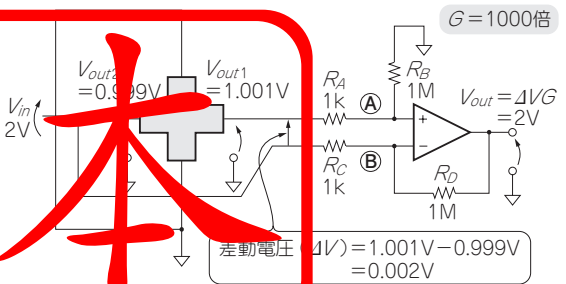
2Vを加えると、出力端子  $OUT_1$ 、 $OUT_2$  の電圧はそれぞれ次のようになります。

- $V_{out1} = 1V$  (磁界  $B = 0T$  のとき)
- $V_{out2} = 1V$  (磁界  $B = 0T$  のとき)

この電圧を同相電圧と呼びます。信号電圧とは関係ありません。信号電圧は  $V_{out1} - V_{out2}$  です。これを同相電圧に対して差動電圧と呼びます。



(a) 同相電圧の出力



(b) 差動電圧(信号)の出力

①点電位  $V_A = V_{out1} \times \frac{R_C}{R_A + R_C} = 0.999001V$   
 $V_A = \text{②点電位 } V_B \text{ だから、}$   
 $V_{out} = V_B - \frac{V_{out2} - V_B}{R_C} \times R_C$   
 $= 0.999001V - \frac{1V - 0.999001V}{1k\Omega} \times 1M\Omega$   
 $= 0.999001V - 0.999001V$   
 $\approx 0V$

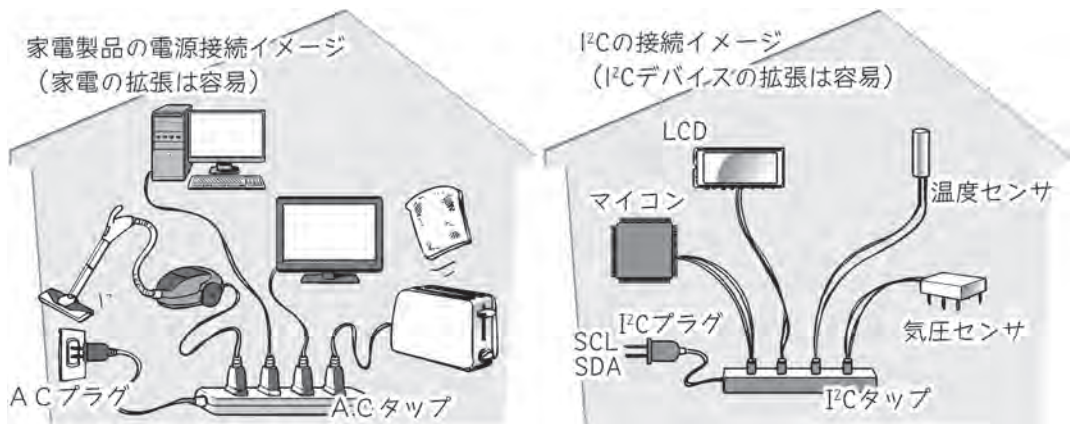
図2 差動アンプを使えば同相電圧の影響を受けなくなる

見本



# 2線シリアル・インターフェース I<sup>2</sup>C 詳解

岡野 彰文 Akifumi Okano



## 基礎知識

（クロックとデータだけの2本線でお互いに通信できる）

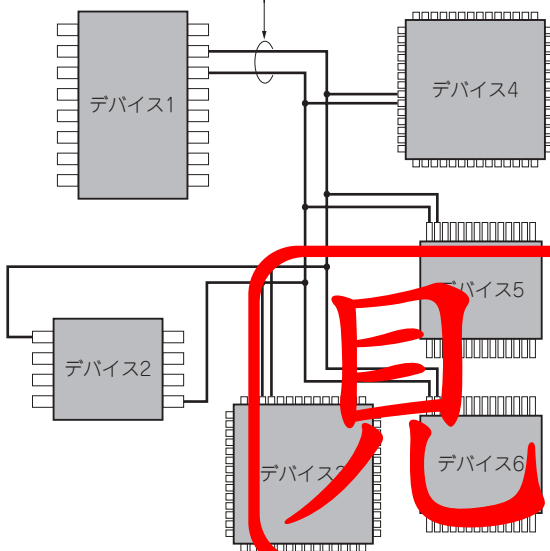


図1 I<sup>2</sup>Cなら2本線でたくさんのデバイスを追加接続している

### ● クロック周波数や接続可能数

I<sup>2</sup>Cバスは、とてもポピュラな、IC間のシリアル通信バスの1つです。マイコンどうしの通信や、I/Oポート・エキスパンダ、温度や加速度などの各種センサ、各種専用ICやモジュール、機器の制御信号などのデータのやりとりに使われています。

データのやりとりのための信号線は、2本だけです（図1）。また、1つのバスに多くのデバイスを接続できます。

I<sup>2</sup>Cで、よく使われる通信クロック周波数は、100 k～400 kHzの比較的低速ですが、IC内部の通信回路が拡張仕様を備えていれば、1 MHz、3.4 MHz、5 MHzの転送速度に対応できます（図2）。

I<sup>2</sup>Cに対応したマイコンなら、とてもスムーズに通信できます。たとえ対応していないマイコンでも、空いている2ピンを使って、I<sup>2</sup>Cに対応したファームウェアを用意することで、データのやり取りが可能になります。

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.161」の一部見本です。  
内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP202301.html>

購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>

CQ出版社

