

電子計測の
基礎から
応用テクニックまで、
ノウハウを大公開!

- 1章 温度計測
- 2章 電流計測
- 3章 加速度計測
- 4章 波形観測
- 5章 プロービングテクニック
- 6章 トラブルシューティング

電子計測 ハンドブック



1章 温度計測

● 「温度計測」ホントの基礎知識	6
・ ベーハレス計測器への流れ	
・ 精度を決定する要因	
・ より高い精度を実現するための技術1	7
・ チャンネル間絶縁	
・ チャンネル間絶縁のメリット	
・ 非絶縁のメリット	
・ デルタシグマ方式の特長	8
・ より高い精度を実現するための技術2	8
・ デジタルシグマ型 A/D 変換方式	
・ オーバーサンプリング	
・ A/D 積分	9
● 失敗しないための基礎知識	10
・ 熱電対の原理1	
・ 熱電対の原理2	
・ 熱電対の種類	11
表1: 材質による分類 表2: 形状での分類	
・ 設置上の注意	12
・ 測温抵抗体の原理	
・ 温抵抗体の種類	
・ 設置上の注意	13
・ 熱電対と測温抵抗体の選び方	
● 失敗しないテクニック&ポイント	14
・ 「温度」とは ~分子の動きが「温度」を決める~	
・ ノイズ対策 ~高精度測定はノイズ遮断が決め手~	

2章 電流計測

● 4-20mAの概要	
・ 4-20 mAとは?	16
・ 計測方法の分類	
● 【単独接続】他の入力機器に接続していないときの計測方法	
・ 4-20 mA入力を持つ計測器を使用する計測方法	17
・ シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法	
・ 信号変換器を使用する計測方法	18

●【複数接続】他の入力機器に接続しているときの計測方法	
・電圧入力を使用する計測方法	19
・4-20 mA入力を持つ計測器を使用する計測方法	20
・シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法	21
● 2線式センサの4-20mA出力の計測方法	22
● シャント抵抗の選定方法	
・抵抗値と定格の選定	22
・250 Ωの抵抗について	23
・シャント抵抗の配線位置	
● 電流計測の概要	24
・計測方法の概要	
・計測方法早見表	25
● 直流・交流兼用電流センサを使用する計測方法	
・直流・交流兼用電流センサの概要	26
・直流・交流兼用電流センサの選定と計測器の設定方法	28
● 交流用電源センサ (CT) を使用する計測方法	
・交流用電流センサの概要	29
・交流用電流センサの選定と計測器の設定方法	30
・実効値への変換方法	32
● 電流センサの計測を安定させるテクニック	
・微小電流の感度をアップさせるテクニック	33
・計測の分解能を向上させるテクニック	34
● シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法	35
・配線方法の概要	
・電流値への変換方法	
・シャント抵抗の選定条件	36
・シャント抵抗を配線する時の注意	37
配線図例 1	
配線図例 2	38
・計測器選定時の注意	39

3章 加速度計測

● 「加速度計測」ホントの基礎知識	40
・加速度とは	
・加速度の単位	
・加速度と速度、変位の関係	
・加速度センサの種類	41
・圧電効果	
・加速度センサの原理	
● 失敗しないための基礎知識	42
・サンプリング周期とエイリアシング	
・アンチエイリアシングフィルタ	43
● 失敗しないテクニック&ポイント	44
・加速度センサの固定方法	
・ケーブルの固定方法	

4章 波形観測

● 「波形観測」ホントの基礎知識	45
・計測器の種類	
■ オシロスコープ	
■ 高速波形記録計	46
■ 記録計	
● 失敗しないための基礎知識	47
・精度と確度	
● 失敗しないテクニック&ポイント	48
・入力方式と配線	

1章 温度計測

「温度計測」ホントの基礎知識

■ ペーパーレス計測器への流れ

従来の計測器は次のような問題点を抱えています。

1. 紙に印刷して記録するため、データがかさばるうレポート作成時にはデータを人が読み取るという作業が必要
2. 大きくて、持ち運びに不便

これに対し、入力信号をデジタル処理し、表示・記録まですべてデジタル化するという新しいスタイルの計測器が登場しました。デジタル化により問題点が解決されています。

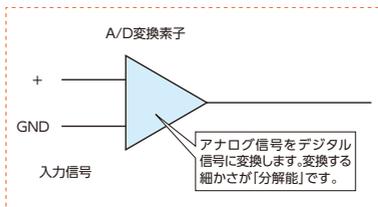
■ 精度を決定する要因

計測器の精度を決める用語として、分解能と直線性があります。2つを合計して「精度」または「確度」と呼びます。まずこの2つを説明します。

◆ 分解能

入力信号を分解できる細かさのことです。計測器のA/D変換素子で決まっています。例えば、分解能が14bit、入力レンジが±5Vの場合、0.6mVが理論上の最小読み取り値になります。

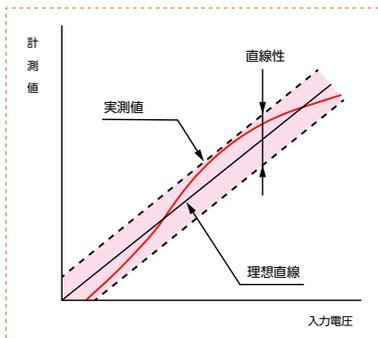
$$\pm 5V \div 2^{14} (16384) \approx 0.6mV$$



◆ 直線性

右下図のグラフを見てください。横軸に入力電圧・縦軸に計測値をとります。理想直線に対して、実測値がどれだけ正確であるかを示すのが直線性です（理想値マイナス実測値）の中で、最大ズレ量を入力レンジ範囲で割ったものを%表示します。実際の計測では環境（ノイズ、電位差など）による影響で、分解能と直線性から計算される精度を求められないことがあります。これらの影響を低減し、高精度計測するための技術に、次の2つがあります。

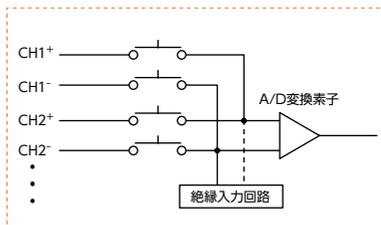
- ・チャンネル間グラウンドの絶縁
- ・ $\Delta\Sigma$ （シグマ）型 A/D 変換方式



■より高い精度を実現するための技術1

◆チャンネル間絶縁

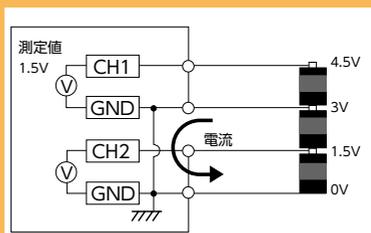
チャンネル間絶縁は、下図のような入力回路により実現されます。入力信号をA/D変換素子により読み取ります。A/D変換素子はチャンネルの信号をスキャンして順繰りに見に行きます。絶縁するために入力チャンネルとA/D変換素子の間に“フォトMOSリレー”と呼ばれる無接点リレーを挟みます。A/D変換素子が入力値を読み取るときはフォトMOSリレーをONにします。読み取らないときはOFFにします。すると電氣的に各チャンネルが絶縁されます。無接点リレーなので寿命はありません。



◆チャンネル間絶縁のメリット

入力ラインからノイズが伝わり、内部に侵入することを防げます。非絶縁の場合は内部グラウンドを伝わって回路が形成され、ノイズが内部に侵入することがあります。複数チャンネルで計測するときに各信号グラウンド間に電位差があっても、計測が可能です。

下図のように直列の電池の各電圧を計測するとき、各々のマイナス電位に差があります。非絶縁であるとその電位差に対して内部グラウンドでショートしてしまい、最悪の場合破損につながる可能性があります。



◆非絶縁のメリット

部品点数が少ないため、小型化が可能コストダウンにより、安い商品を提供できるという点です。

実際には、机上などノイズの影響が少なかったり、電気回路上の電圧チェックのように、測定対象物間に電位差が生じないような場合には、非絶縁入力タイプでも問題なく計測できます。各々メリット/デメリットを考えて選定すると良いでしょう。

◆デルタシグマ変換方式の特長

1.デルタシグマ方式

デルタシグマ方式は、より高精度にA/D変換を行なうために開発された、最新のA/D変換方式です。特長として従来のA/D変換方式（逐次変換方式やフラッシュ変換方式など）に比べ、ラインノイズの影響が少なく、高精度な測定ができます。次項で詳しく解説します。

2.逐次変換方式

比較的スピードが速く精度も出るためよく用いられるA/D変換方式です。比較する電圧を1LSB相当の電圧ずつ加算（16bitなら65536回）しどの電圧に該当するかを判定し変換する方法です。一般にローコストタイプに使用されます。

3.フラッシュ方式

変換速度を要求される場合に用いられるA/D変換方式です。比較する電圧を分解能分（8bitなら256通り）内部に持ち、入力された電圧が内部比較電圧のどの電圧に該当するかを判定し変換する方法です。参照電圧をたくさん持つ必要があるので8bitを超える分解能のものは余り存在しません。一般にオシロスコープに用いられます。

■ より高い精度を実現するための技術2

◆デルタシグマ型 A/D 変換方式

デルタシグマ方式は、より高精度にA/D変換を行なうために開発された、時間軸方向に高次演算を行なうサンプリング方式です。1bitDACとも呼ばれます。

従来のA/D変換方式（逐次変換方式やフラッシュ変換方式など）に比べラインノイズの影響が少なく高精度な測定ができます。デルタシグマ方式の特長付けるポイントは、大きく分けて二つあります。

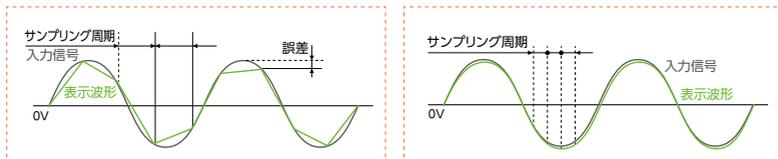
- ・オーバーサンプリング
- ・A/D 積分

◆オーバーサンプリング

オーバーサンプリングは、入力信号の周波数に比べて、高い周波数でサンプリング(A/D変換)を行ないます。すると、次のふたつの効果があります。

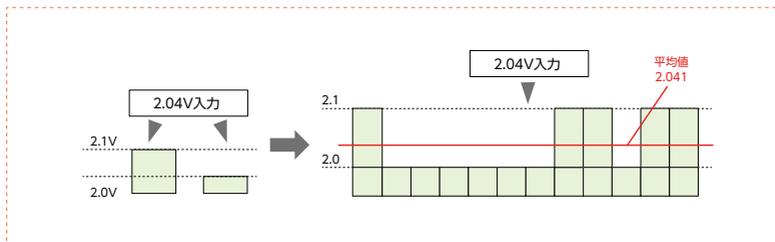
1.入力信号の再現性を上げられます

下図のように、入力信号の周期に比べ5倍程度の遅いサンプリング周期だと、波形はぎざぎざになりますが入力信号周期より十分速いサンプリング周期（10倍以上）であれば、ほぼ入力信号と同じ波形を再現できます。



2. また、速い周期で計測すると、回路の分解能をあげる事ができます。

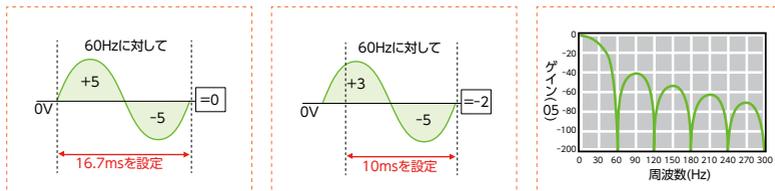
下図を見てください。分解能が0.1Vの回路で1回だけサンプリングをすると、2.04Vを入れても2.0Vまたは2.1Vと認識します。同じ2.04Vに対して、12回の平均を取ると、2.0Vと2.1Vの間で細かく値を認識できます。通常、真の値に近づきます。このように速い周期でサンプリングを行ない、精度を上げることをオーバーサンプリングといいます。



◆A/D積分

A/D積分は、指定した時間の単純平均を行ない、ノイズの影響をキャンセルします。

商用周波数と同じA/D積分時間（60Hzなら16.7ms）を設定すると影響をキャンセルすることが可能です。A/D積分時間を16.7msにしたときには下図のように60Hz×n倍のノイズに対しフィルターが最も利いています。したがって商用周波数が60Hzの地域（西日本）で最も効果のある設定です。東日本の場合はA/D積分時間を 20msとすれば50Hz、100Hz・・・に効果がある設定になります。ノイズの周波数は商用電源と同じ場合が多いため、A/D積分機能によりノイズをカットすることができます。



失敗しないための基礎知識

■ 熱電対の原理1

電気と熱の間には2つの大きな関係があります。

◆ゼーベック効果

1821年、ドイツ人科学者ゼーベック (T.J. Seebeck) が、ふたつの異なる金属をつなげて、両方の接点に温度差を与えると金属の間に電圧が発生し、電流が流れることを発見しました。この現象を発見者の名前をとって「ゼーベック効果」と言います。この回路に電流を起こさせる電力を熱起電力 (Thermoelectromotive force) と呼ばれ、その極性と大きさは2種類の導体の材質と両端の温度差のみによって定まることが確認されています。従って導体の太さや長さ、両端部分以外の温度には無関係です。



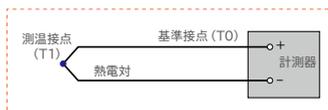
◆ペルチェ効果

1834年、フランス人科学者ペルチェ (J.C.A. Peltier) が、ふたつの異なる金属に電流を流すと吸熱 (または発熱) が起こり、電流を逆転させると、その関係が反転することを発見しました。発見者の名前をとって「ペルチェ効果」と言います。

■ 熱電対の原理2

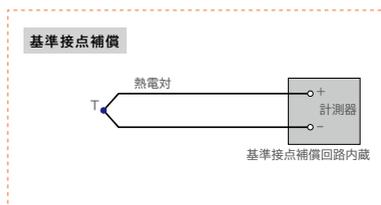
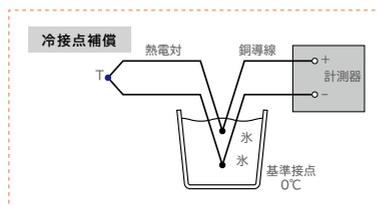
◆熱電対の原理

熱電対は前述のゼーベック効果により、2種類の金属の接合部 (測温接点) T1 の温度と計測器側接点 (基準接点) T0 の温度差 T による電圧を発生します。計測器はこの電圧を測定します。



計測器の測定方法としては次の2種類があります。

- ・基準接点を 0°C (冷接点補償) にして温度を直読する方法
- ・基準接点の気温を測り (基準接点補償)、温度差 ΔT に加算する方法



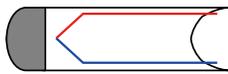
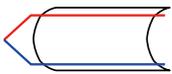
冷接点を測定中 0°C に維持するのは大変です。端子付近の温度を測定し、 0°C を基準とする熱起電力を加算することにより、測温接点の温度を求めることができます。これを基準接点補償と言います。

■ 熱電対の種類

◆ 材質による分類

記号	旧記号 (参考)	構成材料		測定範囲 (°C)	特長
		+脚	-脚		
B		ロジウム30%を含む 白金ロジウム合金	ロジウム6%を含む 白金ロジウム合金	600~1700	高温域の精密測定と 耐久性に優れて います。
R	-	ロジウム13%を含む 白金ロジウム合金	白金	0~1100	真空中/還元性雰囲気/ 金属蒸気中では使用 できません。
S		ロジウム10%を含む 白金ロジウム合金	白金	600~1600	欧米で多く使われて います。
K	CA	ニッケル及びクロム を主とした合金	ニッケルを主とした 合金	-200~1200	使用温度範囲が広く 多く使われています。
E	CRC	ニッケル及びクロム を主とした合金	銅及びニッケルを 主とした合金	-200~900	起電力が高い熱電対で す。原子力発電などで 使用されています。
J	IC	鉄	銅及びニッケルを 主とした合金	-40~750	還元雰囲気での使用に 適した熱電対です。
T	CC	銅	銅及びニッケルを 主とした合金	-200~350	比較的低温域で使用 されます。熱伝導度 が高いので挿入深さに 注意が必要です。
N	-	ニッケル、クロム及び シリコンを主とした合金	ニッケル及びシリコ ンを主とした合金	-200~1200	K熱電対に比べ高温域で 使用できます。
W	-	レニウム5%を含む タングステン合金	レニウム26%を含む タングステン	0~2300	高温測定用の 熱電対です。

◆ 形状での分類

非設置型 (シース型)	設置型 (シース型)	露出型
		
シースと絶縁し測温接点を作った熱電対。応答性は劣りますがノイズに強く安定した測温が可能です。	シースの先端部に直接溶接し測温接点を作った熱電対。応答が早いのが特徴です。接地されているためノイズ、電圧が印加されるところでは使用できません。	熱電対をシースから露出して測温接点を作った熱電対、応答が早くわずかな温度変化にも追従します。シースが露出しているためノイズ、電圧が印加されるところでは使用できません。また、雰囲気などにより熱電対が劣化します。

◆設置上の注意

挿入深さ

測温接点部が測温対象と同じ温度になるように設置しなければ正確な測温はできません。シースタイプ保護管をつけた場合おおよそその径の15倍程度は挿入する必要があります。

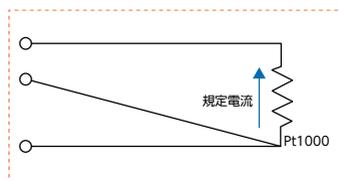
延長

本来は熱電対線そのままで延長するのが理想ですが、貴金属熱電対の場合非常に高価になるため補償導線を使用します。通常の銅線を用いて延長すると接続部で熱起電力が生じ正確に測定できないため、使用する熱電対とほぼ同じ熱起電力特性を持つ補償導線を使用します。

延長時は、補償導線(熱電対線)の径と長さには注意が必要です。一般に径の細いものほど抵抗値が高くなるため、延長すると測定機器によっては計測できなくなる場合があります。延長に使われる線総抵抗値が測定器の入力信号源抵抗の仕様より小さくなる長さ、径のものを使用してください。端子台/コネクタによる延長は接続部で熱起電力が生じないように補償導線と同材質で接続ピン、プレートが作られているものを使用してください。

◆測温抵抗体の原理

温度の変化により金属の抵抗は一定の割合で変化します。この原理を利用したものが測温抵抗体です。原理的にはどの金属でもいいのですが温度に対する抵抗変化が一定で変化率が大きいことから一般的には白金(Pt)が用いられます。それ以外に使用される金属としてはニッケル銅などがあります。測定方法は金属抵抗に一定の電流(一般には1mA)を流し測定器で電圧を測定し、オームの法則 $E=I \cdot R$ から抵抗値に換算し温度を導き出します。よく使用されるのは配線抵抗の影響を受けない3線式です。



◆測温抵抗体の種類

規格による種類

測温抵抗体で標準的に使用されるのは Pt100Ω、JPt100Ωの2種類です。Pt100Ωは現行のJIS規格(JIS-C1604-1997、IEC規格と統一されたもの)、JPt100Ωは統一前のJIS規格で作られたものです。

規定電流による種類

測温抵抗体に流す電流のことを規定電流といいます。0.5mA/1mA/2mAの3種があり、1mAのものがよく使われています。規定電流は測定器の仕様に合わせて選択してください。異なる規定電流のものを使用すると、電流を流しているために発生する抵抗の発熱量が変わり測温抵抗体の精度を満たさなくなります。

◆設置上の注意

挿入深さ

測温接点部が測温対象と同じ温度になるように設置しなければ正確な測温はできません。
 シースタイプ、保護管をつけた場合おおよそ、その径の15倍程度は挿入する必要があります。

延長

延長は3線とも同じ径、材質、長さの銅線（熱電対と異なり通常の配線材で可）を用いてください。
 長さが異なると配線抵抗の補正がうまく行かず値に誤差を生じることがありますのでご注意ください。配線長は測定器の入力信号源抵抗値以下となる長さで使用してください。

◆熱電対と測温抵抗体の選び方

熱電対と測温抵抗体の特長を表にまとめます。

特長	熱電対	測温抵抗体	解説
コスト	○	×	測温抵抗体は熱電対に比べ、数倍～数十倍高価になります
精度	×	○	測温抵抗体は感度が熱電対に比べ大きく、原理上基準接点が必要のため、特に常温付近では精度が良くなります
応答性	○	×	熱電対の方が構造上細く製作できるため、応答性を速くすることが可能です
測定温度範囲	○	×	熱電対は種類によっては 2000℃以上まで測れます（左頁参照）測温抵抗体は 600℃まで（工業用、JIS）です
体振動・衝撃	○	×	熱電対は単純な構造であるのに比べ、測温抵抗体は素子内部の抵抗線に細い線が使用されるため、振動や衝撃に弱くなっています

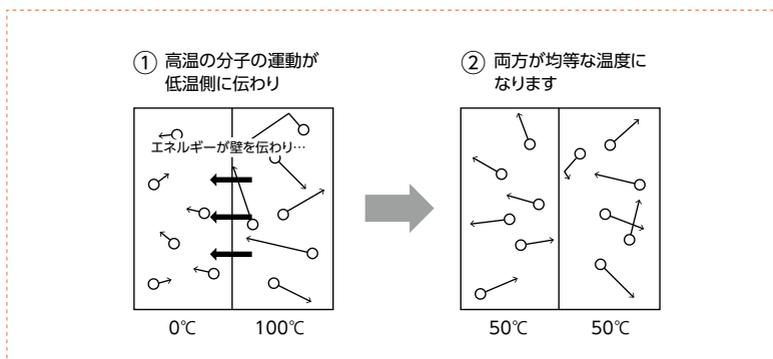
一般的に、工業用で広く使われているのは、比較的安価で使いやすい熱電対になります。
 研究用途などで、高精度計測を行なう場合に測温抵抗体を選択されることが多くなります。

失敗しないテクニック&ポイント

■ 「温度」とは ~分子の動きが「温度」を決める~

まずは、「温度」の正体から押さえていきましょう。温度は、ご存知の通り「熱」の量のことで、では、「熱」とはどのようなものなのでしょうか。実は「熱」の実体は「分子の運動」なのです。例えば、ある気体を考えたときに、0度の気体と100度の気体は、分子の動きの激しさが違います。高温部と低温部を接触させておくと等温になる、というのは、「速い分子が壁に衝突して壁を揺らす、揺れた壁にぶつかった遅い分子は加速される」と考えられることが分かります。つまり、熱の移動というのは、物質（分子）の持っているエネルギーの移動を意味します。

熱は分子の運動



■ ノイズ対策 ~高精度測定はノイズ遮断が決め手~

入力回路のGNDが絶縁されていないレコーダの場合、接地型の使用は注意が必要です。測定対象物と熱電対、GNDが回路を形成したノイズ成分が侵入してくる可能性があり、伝導ノイズと呼ばれます。また、熱電対のような導体は、一般的に「アンテナ効果」で周囲からのノイズを拾うことがあります。これを放射ノイズと呼び、接地型熱電対を貼り付けた先が大きな導体であれば同様の影響を及ぼします。放射ノイズと一口に言っても、その原因と大きさ・周波数はさまざま、その都度原因追及と対策が必要ですが、一番多いのは商用電源ノイズです。

熱電対から伝導ノイズを防ぐには

1. 熱電対の先端をテープなどで絶縁する応答性は犠牲となりますが手軽な方法です。
2. チャンネル間絶縁のレコーダを使用する。

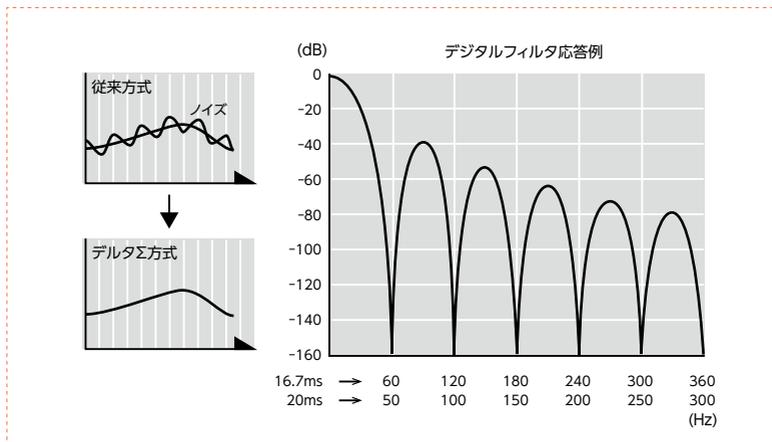
電源からの放射ノイズを防ぐには

1. 電源ラインと計測ラインを並行に配線しない。特に動力線からは必ず離して配線する。
2. 影響を受けている信号線を電磁的にシールドする。

◆ノイズの影響は意外に大きい！？

例えばK熱電対の場合、1000℃相当の熱起電力で41.276mVしかないため1mVのノイズの影響は、温度換算で30℃のばらつきに相当します。電源がノイズ源の場合、電源周波数ノイズをカットする機能を持った「デルタシグマA/D変換方式」を採用しているレコーダが登場しています。従来のA/D変換方式（逐次変換方式やフラッシュ変換方式など）を採用したレコーダに比べノイズの影響が少なく、高精度な計測が可能です。

■デジタルシグマ A/D 変換イメージ



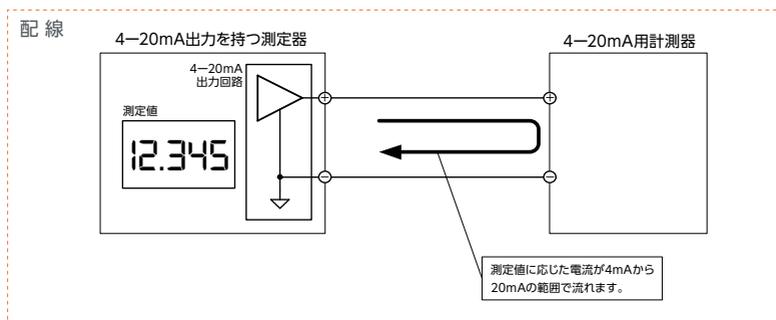
積分時間を商用電源の周波数（50Hzまたは60Hz）に合わせることで強力にノイズを減衰させることが可能です。

2章 電流計測

4-20mAの概要

4-20mAとは?

4-20mAとは、アナログ出力の1種です。計装用機器の標準アナログ出力を中心にセンサの出力や制御信号として幅広く使用されています。4-20の意味は、電流出力の範囲が4mAから20mAの範囲で出力されるという意味です。電圧変換することで制御機器やレコーダ等の計測器への取り込みも容易です。ノイズに強いいため長距離伝送に向いています。また、断線時には0mAになるのでフェイルセーフ性に優れています。



計測方法の分類

4-20mAの計測方法にはさまざまな方法があります。仕様する計測器や、他の機器との配線状況に合わせて計測方法を選択します。

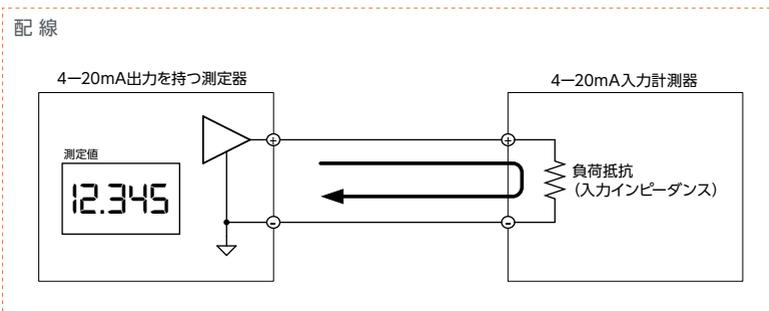


※ご注意・・・上記計測方法は、回路電流や電源電流を計測する方法ではありません。

【単独接続】他の入力機器に接続していないときの計測方法

■ 4-20mA入力を持つ計測器を使用する計測方法

4-20mA入力レンジを持つ計測器を使用する場合は、直接接続して計測できます。

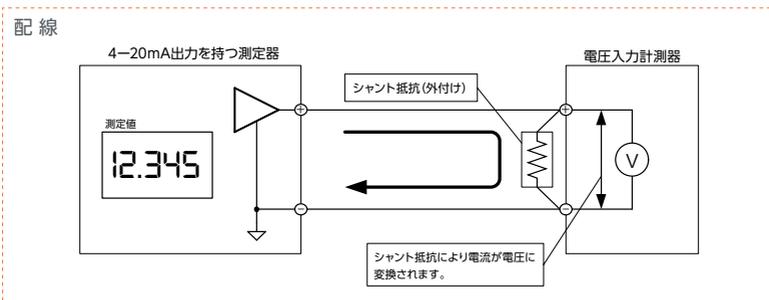


◆測定のポイント

「4-20mA出力の最大負荷抵抗 > 4-20mA入力の負荷抵抗」を満たしてください。
満たせない場合は4-20mA出力回路が正しく動作できないため、計測誤差が生じます。

■ シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法

電圧入力レンジを持つ計測器を使用する場合は、シャント抵抗を外付けで接続して電流→電圧変換することで計測できます。電流→電圧変換はオームの法則 ($E = I \cdot R$) によりシャント抵抗に流れる電流が電圧に変換されます。

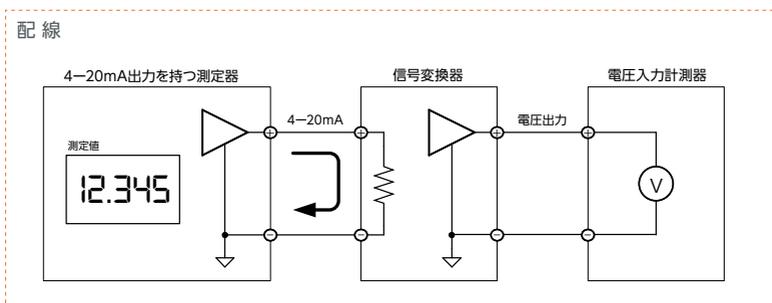


◆測定のポイント

「4-20mA出力の最大負荷抵抗 > シャント抵抗の抵抗値」を満たしてください。
満たせない場合は4-20mA出力回路が正しく動作できないため、計測誤差が生じます。
シャント抵抗選定の詳細は、「シャント抵抗の選定方法(22ページ)」を参照してください。

■ 信号変換器を使用する計測方法

信号変換器を使用することで4-20mA出力を、電圧入力レンジを持つ計測器で計測できます。信号変換器のラインアップから最適な電圧出力レンジを選定できます。また、絶縁タイプの信号変換器を使用すれば、計測器を絶縁できます。



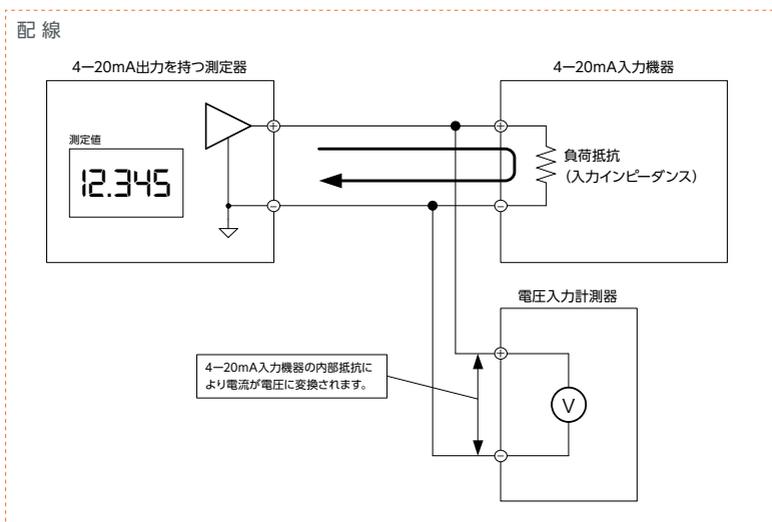
◆ 測定のポイント

- [4-20mA出力の最大負荷抵抗 > 信号変換器の負荷抵抗] を満たしてください。満たせない場合は4-20mA出力回路が正しく動作できないため、計測誤差が生じます。
- 複数の計測対象を計測する時に、各CHのGND間に電位差が生じる時は、内部GND共通の計測器は使用できません。その場合は絶縁タイプの信号変換器を使用します。

■【複数接続】 他の入力機器に接続しているときの計測方法

■ 電圧入力を使用する計測方法

計測対象の4-20mA出力機器が、他の4-20mA入力機器の接続されている場合は、電圧入力レンジを持つ計測器で直接計測できます。ポイントは、他の機器の4-20mA入力回路の負荷抵抗によって電流→電圧変換された電圧を計測することです。

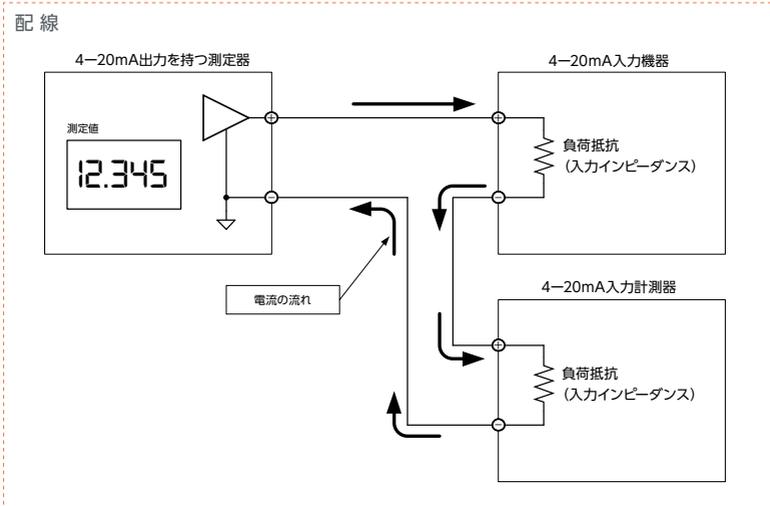


◆ 測定のポイント

- 接続されている4-20mA入力機器の負荷抵抗を確認してください。負荷抵抗が250Ωの場合は、4-20mAが1-5Vで計測できます。
- 負荷抵抗が1Ωなど微小な場合は、変換された電圧も微小になりますので計測精度や分解能が低下する可能性があります。その場合は、次項の4-20mA入力機器やシャント抵抗を使用してください。

■ 4-20mA入力を持つ計測器を使用する計測方法

2台の4-20mA入力機器を直列に配線することで同時に計測できます。
他の4-20mA入力機器の負荷抵抗が1Ωなど微小な場合でも、精度良く計測できます。



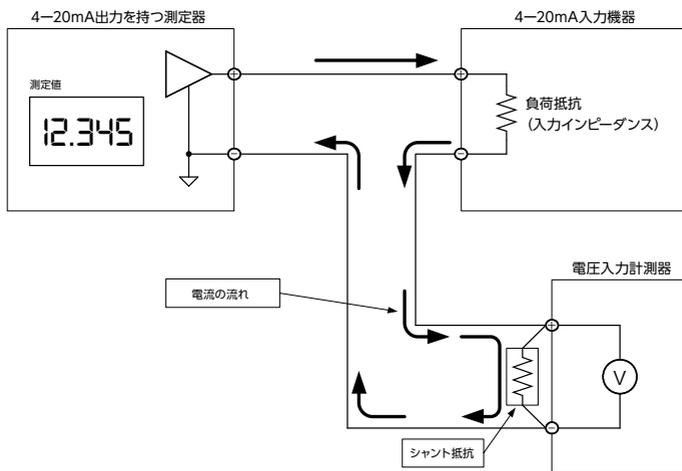
◆測定のポイント

- 「4-20mA出力の最大負荷抵抗 > 2台の4-20mA入力の負荷抵抗の合計」を満たしてください。例えば、4-20mA出力機器の最大負荷抵抗が260Ωの時は負荷抵抗が10Ωと250Ωの4-20mA入力機器を2台直列に接続できます。
- 負荷抵抗を直列に接続するため、各入力の一端子 (GND端子) 間に電位差が生じます。電位差が生じても全体の回路に問題がないことを確認してください。例えば、それぞれの入力機器の一端子 (GND端子) が電源の一端子 (GND端子) と共通になっている場合は、別電源を用意して絶縁する必要があります。

■ シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法

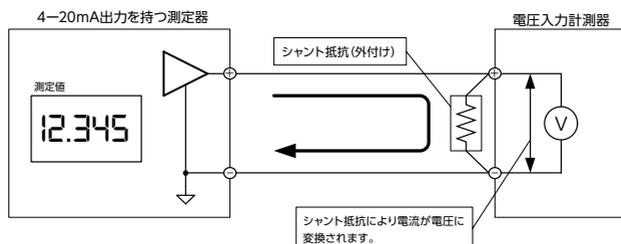
他の4-20mA入力機器の負荷抵抗と直列にシャント抵抗を配線することで電圧入力レンジの計測器で計測ができます。他の4-20mA入力機器の負荷抵抗が 1Ω など微小な場合でも、精度良く計測できます。

配線



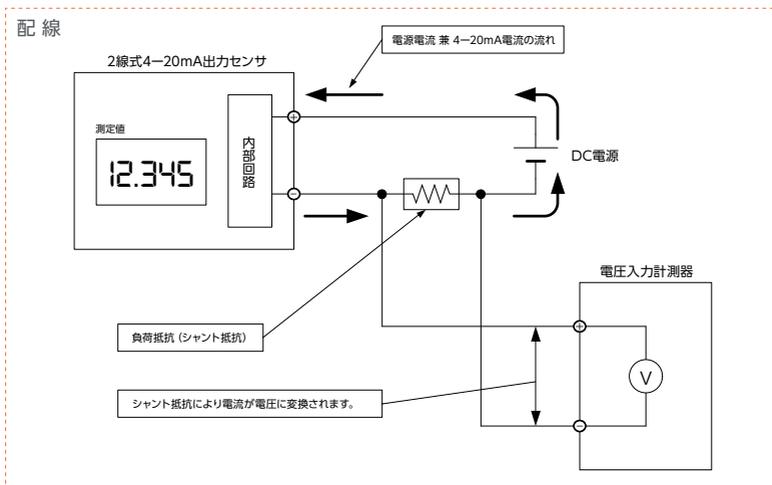
◆ 測定のポイント

- 「4-20mA出力の最大負荷抵抗 > (4-20mA入力の負荷抵抗+シャント抵抗)」を満たしてください。例えば、4-20mA出力機器の最大負荷抵抗が 260Ω の時は、負荷抵抗が 10Ω の4-20mA入力機器と 250Ω のシャント抵抗を直列に接続できます。
- 負荷抵抗を直列に接続するため、各入力の一端子 (GND端子) 間に電位差が生じます。電位差が生じても全体の回路に問題がないことを確認してください。
- シャント抵抗選定の詳細は、「シャント抵抗の選定方法 (22ページ)」を参照してください。



2線式センサの4-20mA出力の計測方法

4-20mA出力を持つ2線式センサは、電源ラインの消費電流を4-20mAの範囲で変動させる回路構成にすることで電源ラインと4-20mA出力を兼用した機器です。配線数が少ないため配線工数を削減することができます。4-20mAの計測は、電源ラインに負荷抵抗を入れて電圧変換して計測します。



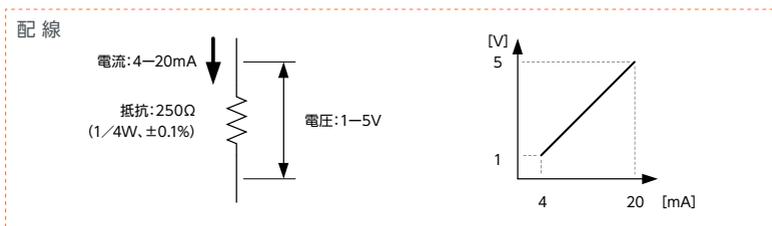
◆測定のポイント

「4-20mA出力の最大負荷抵抗 > 負荷抵抗 (シャント抵抗)」を満たしてください。

シャント抵抗の選定方法

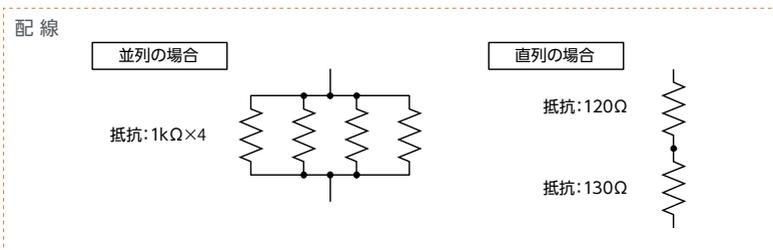
■抵抗値と定格の選定

4-20mAを電圧に変換するときの抵抗値は、一般的に250Ωが使用されます。1-5Vに変換されるので扱いやすいからです。消費電力は最大で0.1W (=5V×20mA) ですから定格は1/4W以上を使用します。許容差は要求される変換精度にもよりますが、通常は±0.1%を選定します。



■ 250Ωの抵抗について

250Ωの抵抗は、抵抗の標準数に該当しないため汎用的な抵抗では入手できませんが、合成抵抗で作ることができます。例えば、1kΩの抵抗4本を並列に接続するか、120Ωと130Ωの抵抗を直列に接続することで250Ωにすることができます。



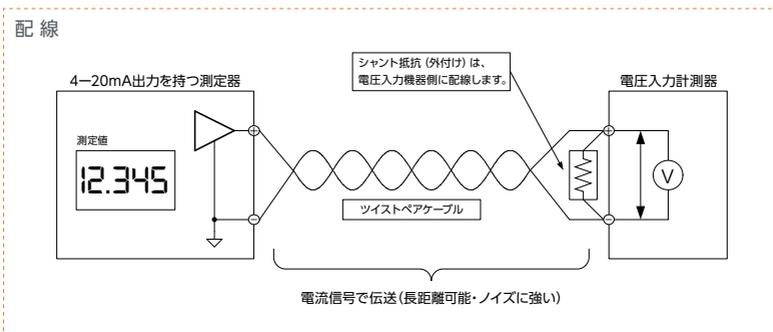
◆ワンポイントQ&A

Q: 抵抗値は必ず250Ωを使う必要がありますか?

A: 出力機器の最大負荷抵抗以下であれば250Ωである必要はありません。例えば100Ωを使用すれば4-20mAの電流出力が、0.4-2Vの電圧に変換されますので0.4-2Vをスケールリングすれば実測値に変換できます。

■ シャント抵抗の配線位置

シャント抵抗は電圧入力機器側に配線します。機器間を電流信号で伝送するためです。電流信号(4-20mA)で伝送したほうが特長(長距離可能・ノイズに強い)を生かすことができます。(4-20mA出力機器側にシャント抵抗を配線すると電圧伝送になってしまいます。)なお、機器間の配線ケーブルはツイストペアケーブルを使用します。

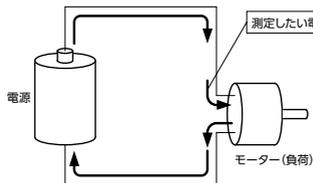


電流計測の概要

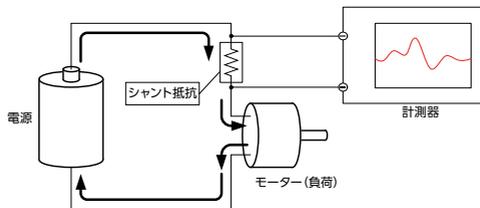
計測方法の分類

電流は、電気の流れる量を表します。記号はI、単位はA(アンペア)を使用します。電圧と並んで電気回路の基本的な構成要素です。電流は電圧の押し出す力で押し出されて流れます。電流の計測は、電圧の計測と比較して手間がかかります。電圧は計測器を回路と並列に接続すれば計測できるのに対して、電流計測は被測定回路の切断や外部機器(電流センサ)が必要になるためです。

電流を計測したい回路例

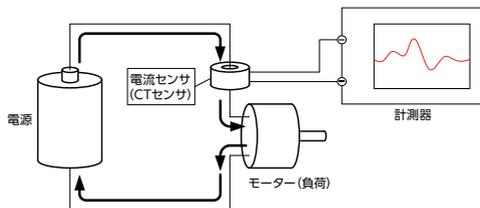


計測方法1 ショント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法



既知の抵抗値(ショント抵抗)に計測したい電流を流し、両端に生じる電圧を計測します。オームの法則($I = E/R$)を使用して演算することで電流値を計測します。

計測方法2 電流センサ(CTセンサ)を使用する計測方法 (本編をご覧ください。)



測定したい電流を電流センサ(CTセンサ)内に貫通させて流します。電流センサからの出力を計測します。電流センサには、交流用の電流トランス式と直流・交流兼用のホール素子式があります。

■ 電流計測早見表

	計測方法		
	シャント抵抗	直流・交流兼用 電流センサ	交流用 電源センサ
計測原理	オームの法則	ホール素子	電流トランス
交流正弦波	○	○	○
直流/非交流正弦波	○	○	×:計測不可
大電流	△:抵抗選定の 難易度が高くなる	○	○
微小電流	○	△:ターン数を増やせば 感度向上	△:ターン数を増やせば 感度向上
計測精度	○	△	△
応答性	○	△	△
実測値への変換 (スケーリング)	△:割り算が必要 (抵抗値の逆数の掛算)	○:変換機能付き	△:特性図から読み取り または変換器使用
センサの絶縁性 (安全性)	×:CH間絶縁の 計測器が必要	○:非接触	○:非接触
コスト	○:抵抗のみ	×:変換器必要	△:電流トランスと負荷 抵抗
外部電源有無	○:不要	×:必要	○:不要
センサ取り付けの 簡便さ	×:回路の切断が必要	○:クランプ式 △:貫通式	○:クランプ式 △:貫通式
回路知識必要性	×:被測定回路に 対する影響や抵抗の 選定知識が必要	○:不要	○:不要

※シャント抵抗を使用した計測方法の詳細は「電流計測(シャント抵抗) 35~39ページ」をご覧ください。

■ 直流・交流兼用電源センサを使用する計測方法

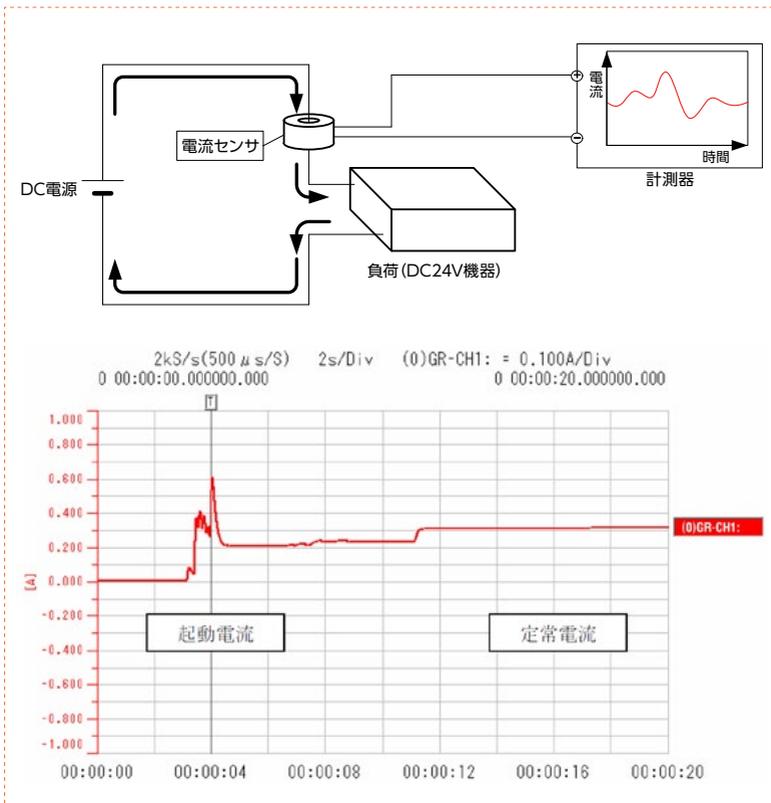
■ 直流・交流兼用電流センサの概要

直流・交流兼用電流センサはリング形状の中に電線を貫通させるだけで電線に流れている電流を計測できます。直流から交流まで計測対象を選びませんので手軽に計測できます。リング部分に組み込まれたホール素子(磁界センサ)で電流量を検出します。電池で駆動できるハンディタイプ(電流プローブ)や別電源で駆動できる据置タイプがあります。



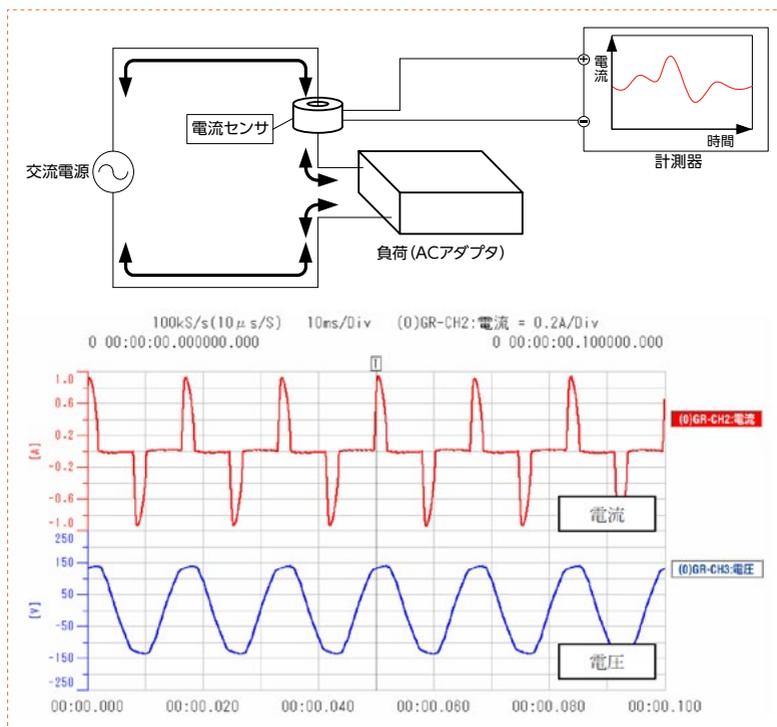
計測例1

DC 24V機器の消費電流の測定例です。
電源ON時に起動電流が流れた後定常状態に移行しています。



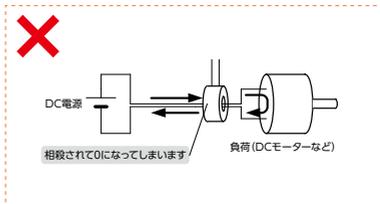
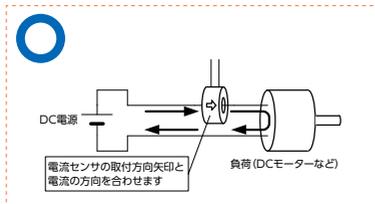
計測例2

ACアダプタの消費電流と電圧の測定例です。交流電源のため電流値は電圧と共に符号が反転します。



電流センサを配線する時の注意点

電流センサに貫通させる電線は、1本のみにします。例えば電源線の+線と-線の2本を一緒に貫通させると、同じ電流量が反対方向に流れるために、発生する磁束が相殺されて正しく計測できなくなります。また、電流センサの取付方向と電流の流れる方向を一致させて取り付けます。間違えると電流値の符号が反転してしまいます。



■ 直流・交流兼用電流センサの選定と計測器の設定方法

直流・交流兼用電流センサの仕様

型式	972042 (E3N ショパンアルノ社製)	
測定レンジ	DC+AC peak $\pm 10\text{A}$ (7Arms) DC+AC peak $\pm 100\text{A}$ (70Arms)	
出力電圧	$\pm 1\text{V}$ ($\pm 10\text{A}$ レンジ: 100mV/A) ($\pm 100\text{A}$ レンジ: 10mV/A)	
確度 (25°C)	振幅	$\pm 3\%\text{rdg}$ $\pm 50\text{mA}$ ($\pm 10\text{A}$ レンジ) $\pm 4\%\text{rdg}$ $\pm 50\text{mA}$ ($\pm 100\text{A}$ レンジ)
周波数特性	DC~100kHz(-3dB)	
測定可能導体径	$\Phi 11.8\text{mm}$ 以下	
電源	アルカリ乾電池 (9V形) $\times 1$ 個	



実測値への変換方法

計測器に接続して使用する場合は、電圧レンジで計測した後、スケーリング機能で変換します。スケーリング機能の設定は任意の2点を用いた2点補正で行ないます。972042の出力電圧は $\pm 10\text{A}$ レンジの時 $[\pm 1\text{V}(100\text{mV/A})]$ ですから、下記のスケーリングで実測値に変換できます。

スケーリングの設定

スケーリング設定画面

スケーリング(A)

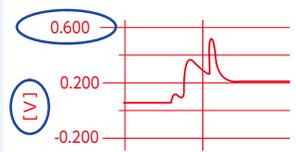
	計測値	表示値
1	1	10
2	-1	-10

単位

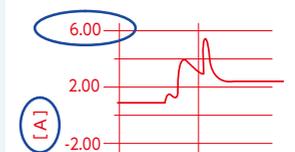
1V (計測値1) \rightarrow 10A (表示値1)
-1V (計測値2) \rightarrow -10A (表示値2)
にスケーリングします。

スケーリングの結果

スケーリング前の計測値と単位



スケーリング後の計測値と単位



実効値への変換方法

交流の消費電流を計測する時は、実効値への変換が必要です。
実効値への変換方法の詳細は、「[32ページ 実効値への変換方法]」をご覧ください。

交流兼用電源センサ (CTセンサ) を使用する計測方法

交流用電源センサの概要

計測対象が、正弦波の交流電流の場合は、交流用電流センサを使用して計測することができます。電流センサは、リング形状の中に電線を貫通させるだけで電線に流れている電流を計測できます。直流・交流兼用の電流センサと比較して低コストかつ手軽に計測できます。

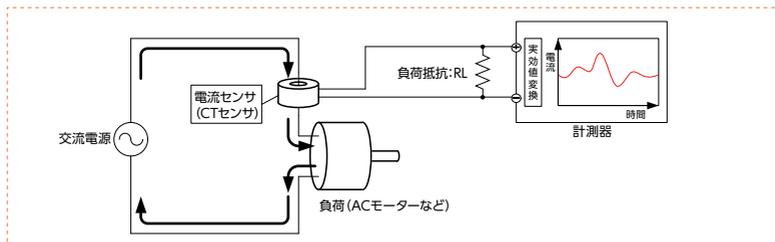


◆ワンポイントQ&A

Q1: CTはどのような意味ですか?

A1: カレントトランス (Current Transformer) の略です。変流器とも言います。電流トランスの原理を利用して一次側に流れる電流を規定の変流比で変換した電流にして二次側に流します。

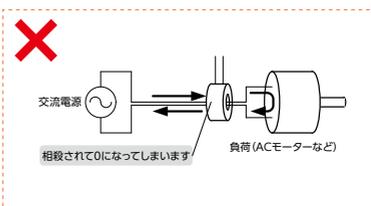
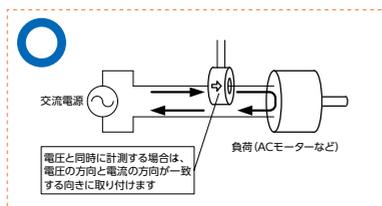
計測例



計測に必要な機器は、電流センサ、負荷抵抗(RL)、および実効値変換ができる計測器です。電流センサの出力特性は、電流センサの特性および使用する負荷抵抗の抵抗値で異なります。詳細は「電流センサの選定方法」を参照してください。

電流センサを配線する時の注意点

電流センサに貫通させる電線は、1本のみにします。例えば電源線の+線と-線の2本を一緒に貫通させると、同じ電流量が反対方向に流れるために、発生する磁束が相殺されて正しく計測できなくなります。また、基本的には電流センサの取り付け方向に指定はありませんが、電圧と同時に計測する場合は、電圧の方向と電流の方向が一致する向きに取り付けます。



■ 交流用電源センサの選定と計測器の設定方法

交流用電流センサの仕様

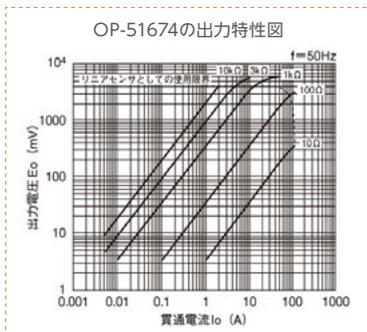
交流用電流センサの仕様例を下表に示します。これらのセンサは、コアを分割したクランプ式なので既存の電線への取り付けが簡単です。

型式	OP-51674	OP-51675	OP-66851
外観			
適用電流	0.1~80Arms (50Hz/60Hz) $RL \leq 10\Omega$	0.01~120Arms (50Hz/60Hz) $RL \leq 10\Omega$	0.1~300Arms (50Hz/60Hz)
最大許容電流	120Arms連続	300Arms連続	360Arms連続
適用周波数	50Hz~200kHz	50Hz~150kHz	50Hz~20kHz

※ご注意 上記仕様は汎用電流センサとして使用したときの仕様です。当社KLシリーズ用電力時計ユニットKL-WH1の電流センサとして使用する場合は異なる仕様となりますのでご注意ください。

負荷抵抗の選定と実測値への変換方法

1. 負荷抵抗を選定します。選定は「出力電圧特性図」を参照します。



出力電圧特性図は、横軸が貫通電流（計測する電流）の実測値、縦軸が出力電圧の換算値になっています。

代表的な負荷抵抗を使用したときの、貫通電流と出力電圧の関係が記入されていますので計測に最適な負荷抵抗を選定します。

基本的に出力電圧は微小なので計測器の電圧レンジと計測したい電流範囲との兼ね合いで負荷抵抗を選定します。また負荷抵抗が小さいほうが直線性は良好になります。

2. 負荷抵抗が選定できたら、実測値への変換(スケールリング)をします。

OP-51674を負荷抵抗10Ωで使用した場合は、出力特性図から、1A→3.3mV、30A→100mVを読み取ります。電圧レンジで計測した後、計測器のスケールリング機能を使用して実測値に変換します。スケールリング機能の設定は任意の2点を用いた2点補正で行ないます。

スケールリングの設定

スケールリング設定画面

スケールリング(A)

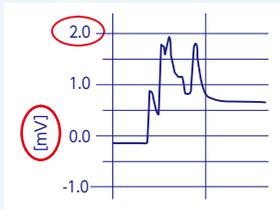
	計測値	表示値
1	3.3	1
2	100	30

単位

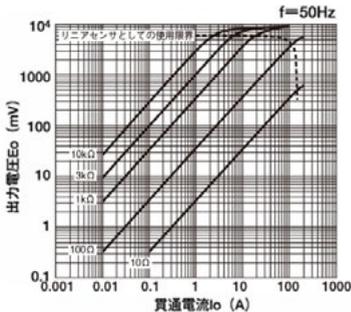
3. 3 mV (計測値1) → 1 A (表示値1)
100 mV (計測値2) → 30 A (表示値2) に
スケールリングします。

スケールリングの結果

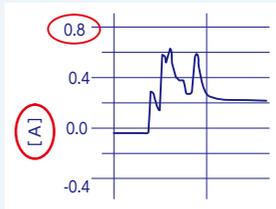
スケールリング前の計測値と単位



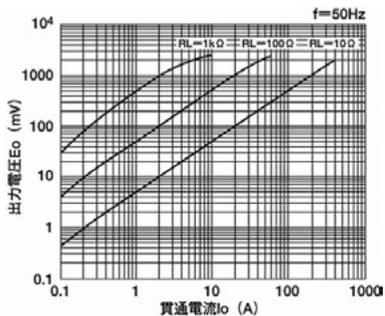
OP-51675の出力特性図



スケールリング後の計測値と単位

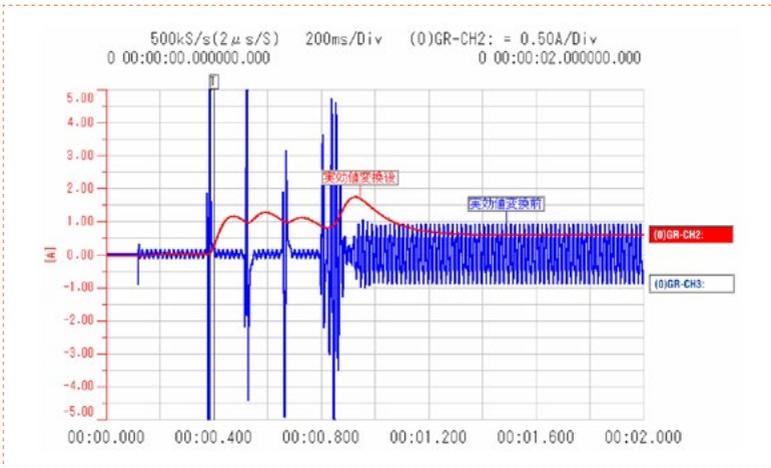


OP-66851の出力特性図



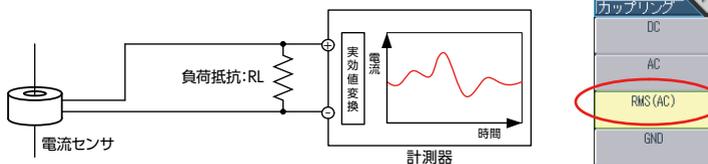
■ 実効値への変換方法

交流用電流センサで消費電流を計測する場合は、実効値への変換が必要です。下図は、AC電源機器の消費電流の計測結果です。実効値への変換前後の計測波形を表示しています。実効値に変換することによって消費電流値を計測できることが分かります。実効値へ変換する方法は下記の2通りがあります。



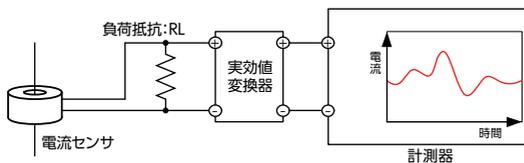
計測器の実効値変換機能を使用する方法

計測器に実効値 (RMS) 変換機能があれば、簡単に実効値で計測ができます。



実効値変換機能を使用する方法

計測器に実効値変換機能がない場合は、実効値変換器 (市販品) を使用します。

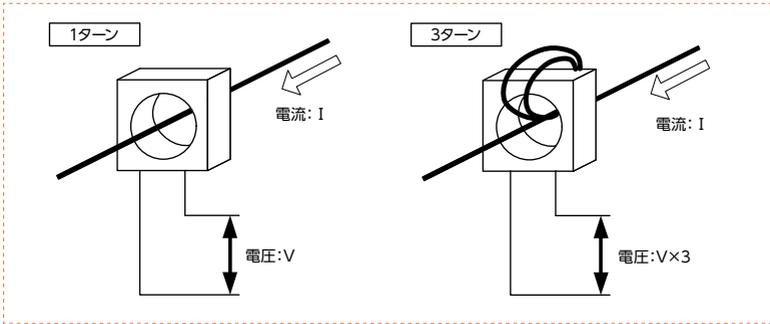


■ 電流センサの計測を安定させるテクニック

■ 微小電源の感度をアップさせるテクニック

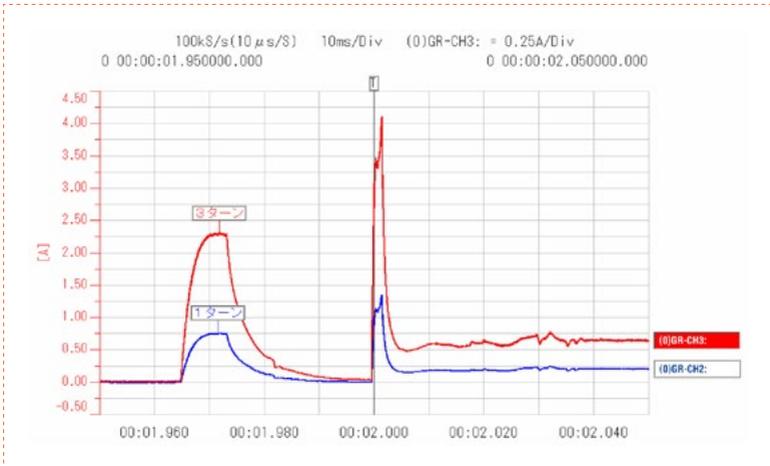
電流が微小なために計測値が安定しない時は、電流センサに巻きつける電線のターン数を増やしてください。電流センサは、ターン数に比例した出力を得ることができますので、電流センサの感度をアップさせて計測を安定させることができます。実測の電流値に変換するときはスケーリング機能で(1/ターン数)倍します。

配線方法



1ターンと3ターンの比較データ

下図は、同じ電流値を1ターンと3ターンで測定して比較したデータです。3ターンは1ターンの3倍の出力が得られています。実測の電流値に変換するときはスケーリング機能で1/3倍します。



計測の分解能を向上させるテクニック

ノイズ成分をカットしたい時は、計測器のフィルタ機能を使用します。
計測の分解能を向上することができます。

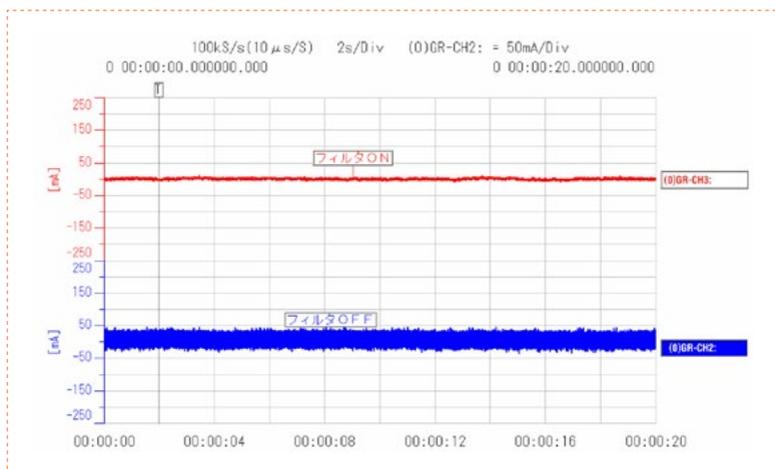
フィルタ機能の例

右図は、アナログフィルタとデジタルフィルタを装備した計測器の例です。アナログフィルタは、アナログ回路で構成したローパスフィルタです。カットオフ周波数を選択します。デジタルフィルタは、算術平均処理を使用したフィルタです。



フィルタの効果比較データ

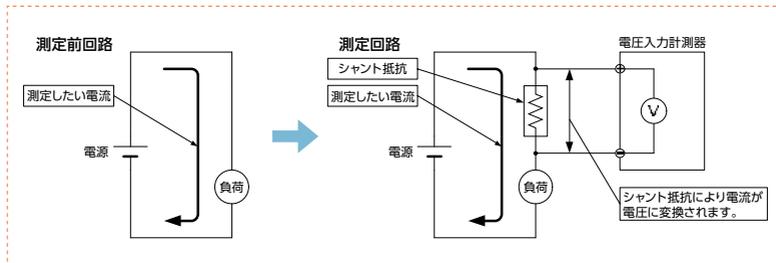
一定の電流値を計測した例です。フィルタをONに設定することで計測の分解能が向上しています。



■ シャント抵抗を使用して電流→電圧変換する計測方法

■ 配線方法の概要

シャント抵抗を測定したい回路と直列に配線します。電流が流れることによってシャント抵抗の両端に生じる電圧を電圧入力計測器で計測します。オームの法則 [I (電流) = E (電圧) / R (抵抗)] を使用して演算することで電流値を計測できます。



■ 電流値への変換方法

計測された電圧値から電流値への変換は計測器のスケール機能を使用します。スケール機能の設定は任意の2点を用いた2点補正で行ないます。

スケール設定

スケール設定画面

スケール(A)

	計測値	表示値
1	0	0
2	1	0.455

単位

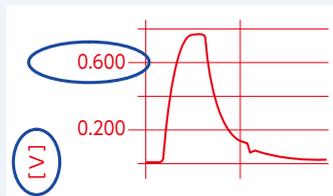
シャント抵抗に 2.2Ω を使用した変換例です。

$$\begin{aligned} I &= E \div R \\ &= E \times (1 \div R) \\ &= E \times (1 \div 2.2) \\ &= E \times 0.455 \end{aligned}$$

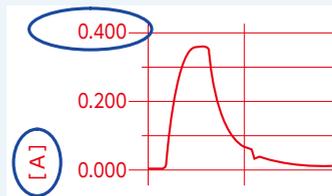
より、計測した電圧値を0.455倍します。

スケール結果

スケール前の計測値と単位



スケール後の計測値と単位

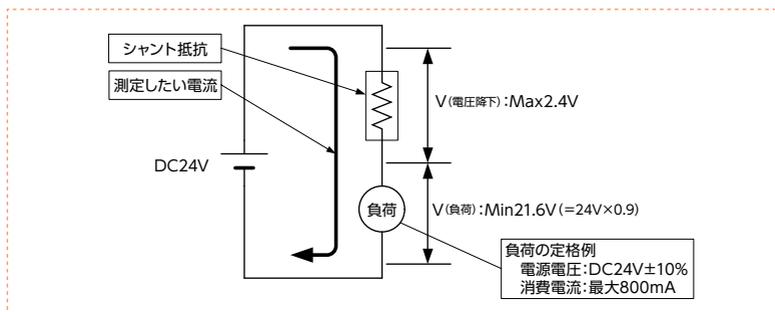


■ シャント抵抗の選定条件

シャント抵抗を選定する条件には次の①～③があります。

① シャント抵抗による電圧低下が、被測定回路に影響を与えないこと

下図は、抵抗値選定の回路例です。負荷(DC24V機器)の消費電流を計測します。



この回路が許容できるシャント抵抗の電圧降下の条件は、

$$V(\text{電圧降下}) < (24\text{V} - \text{負荷が動作できる最低電圧})$$

負荷が動作できる最低電圧は、21.6V (=24V×90%) ですから

$$V(\text{電圧降下}) < 24\text{V} - 21.6\text{V} = 2.4\text{V} \quad \text{となります。}$$

この条件を満たすための抵抗値は、負荷の消費電流が800mAであることから

$$\text{抵抗値} = 2.4\text{V} \div 800\text{mA} = 3\Omega \quad \text{となります。}$$

したがって抵抗値は3Ωよりも小さい値を選定します。3Ω以上の抵抗を選定すると負荷の定格を満たさなくなるため正常に動作できなくなり、正確な電流計測ができなくなります。

※ご注意・・・上記は測定回路の一例です。測定する回路構成によって選定の条件は異なります。

② 消費電力がシャント抵抗の定格電力に対して十分小さいこと

定格電力のスペックだけでなく、安全率や使用周囲温度、放熱板の有無等を考慮して選定します。

③ シャント抵抗の精度が要求される測定精度をみtusこと

一般的には、コストや入手性を考慮して±0.1%～±1%を選定します。

※ご注意・・・選定の判断は、シャント抵抗のデータシートや注意事項を参照して実施してください。

◆ワンポイントQ&A

Q1: 一般的に市販されているシャント抵抗の抵抗値の大きさはどれくらいですか?

A1: 1mΩ～100Ωの範囲で販売されています。

Q2: シャント抵抗のメーカーを教えてください。

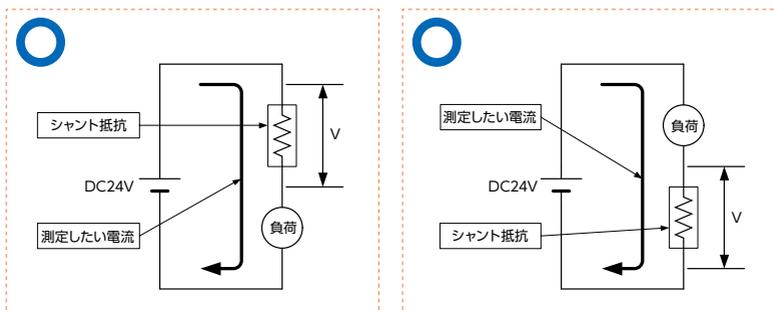
A2: アルファ・エレクトロニクス株式会社(<http://www.alpha-elec.co.jp>)

株式会社ピーシーエヌ(<http://www.pcn.co.jp>) などを取り扱っています。

■ シャント抵抗を配線するときの注意

負荷が外部機器に接続されていない場合

負荷とシャント抵抗の配線位置によって計測に影響は生じません。(ただし、計測器の選定に注意が必要です。「計測器選定時の注意」を参照してください。)

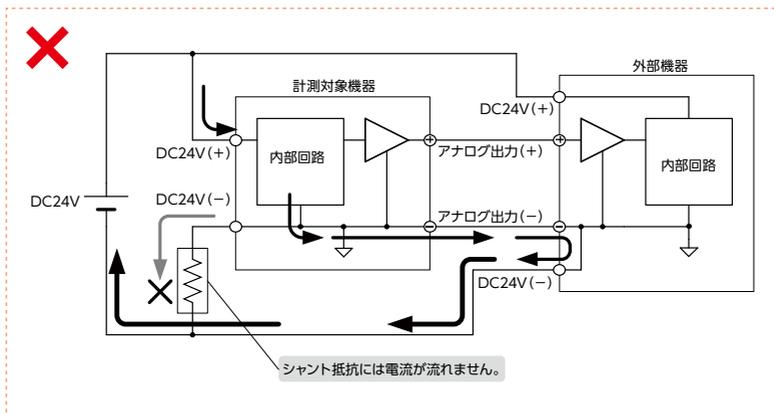


負荷が外部機器に接続されている場合

計測対象機器に外部機器が接続されている場合は、それぞれの機器の各入出力端子と内部GNDの絶縁状態により計測に影響を与えます。

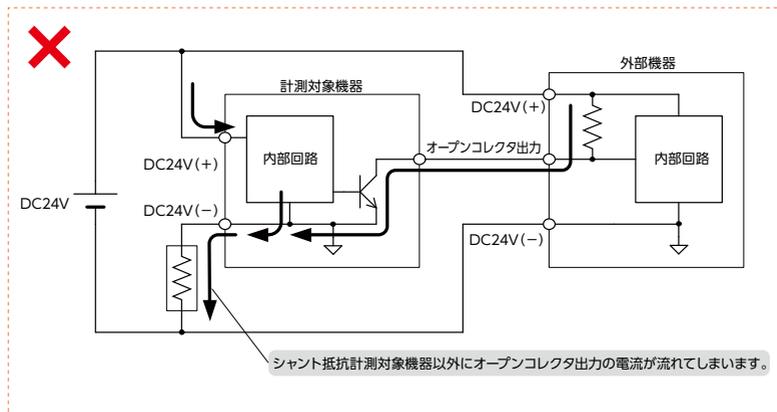
配線例1

「アナログ出力(-)」端子が「DC 24V (-)」端子と内部共通のためシャント抵抗に消費電流が流れなくなり計測できない例です。この場合は、シャント抵抗をDC 24V (+) 側に接続する必要があります。



配線例2

計測対象機器の消費電流以外にオープンコレクタ出力の吸い込み電流が、シャント抵抗に流れることで計測誤差を生じる例です。この場合は、シャント抵抗をDC 24V (+) 側に接続する必要があります。



3章 加速度計測

「加速度計測」ホントの基礎知識

■ 加速度とは

「加速度」とは単位時間あたりの速度の変化率のことです。



従って、上図のように速度の変化がない状況では加速度は“0”となります。速度が遅くても速度に変化があれば加速度が発生します。SI単位系では加速度は m/s^2 で表されます。これは1秒間に速度 m/s がどれだけ変化するかを表しています。



上図の場合、1秒後に100m/s変化していますので加速度は $100m/s^2$ になります。

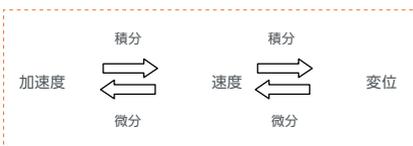
■ 加速度の単位

一般的に3つの単位が使用されています。

単位の名称	記号	定義
メートル毎秒毎秒	m/s^2	SI単位系
重力加速度	G	地球の重力によって物体が自然落下する時の加速度
ガル	Gal	1 Galは1秒間に1cm/s速度が増加する事を示す

■ 加速度と速度、変位の関係

加速度と速度、変位には以下の相関関係があります。



- 加速度を積分すると速度になります。
- 速度を積分すると変位になります。
- 変位を微分すると速度になります。
- 速度を微分すると加速度になります。

■ 加速度センサの種類

加速度センサとは物体の加速度（速度の変化率）を測定する装置です。加速度センサを大別すると以下の4種類に分類されます。

- ① 圧電型加速度センサ
- ② サーボ型加速度センサ
- ③ ひずみゲージ式加速度センサ
- ④ 半導体式加速度センサ



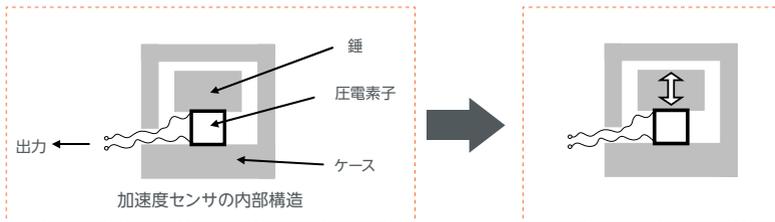
これらの中でも圧電型の加速度センサは小型、広帯域、高感度などが優れていますので最も一般的にとされています。

■ 圧電効果

圧電性のある物体（圧電体）に力を加えたとき、分極が発生し、電圧が生じる現象のことを圧電効果と呼びます（逆に、電圧を圧電体に加えたときに力が生じる現象のことを逆圧電効果と呼びます）。圧電型加速度センサは圧電効果を利用して加速度を計測しています。代表的な圧電体としては水晶（ SiO_2 ）やロッシェル塩（ $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ）があります。

■ 加速度センサの原理

加速度センサは、内部の圧電素子を使用して物体の動きを測定します。



圧電素子は素材が伸びたとき（または縮んだとき）に電荷を出力します。この素材の伸び縮みによる電荷の出力を利用して加速度を測定します。

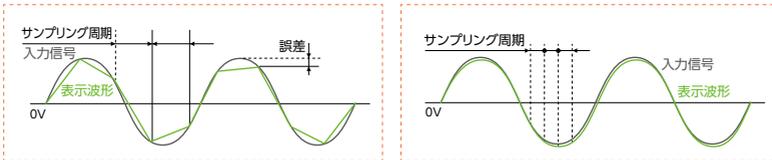
この錘が上下に移動することで圧電素子が伸び縮みしその変化に応じて電荷を出力します。

失敗しないための基礎知識

■ サンプルング周期とエイリアシング

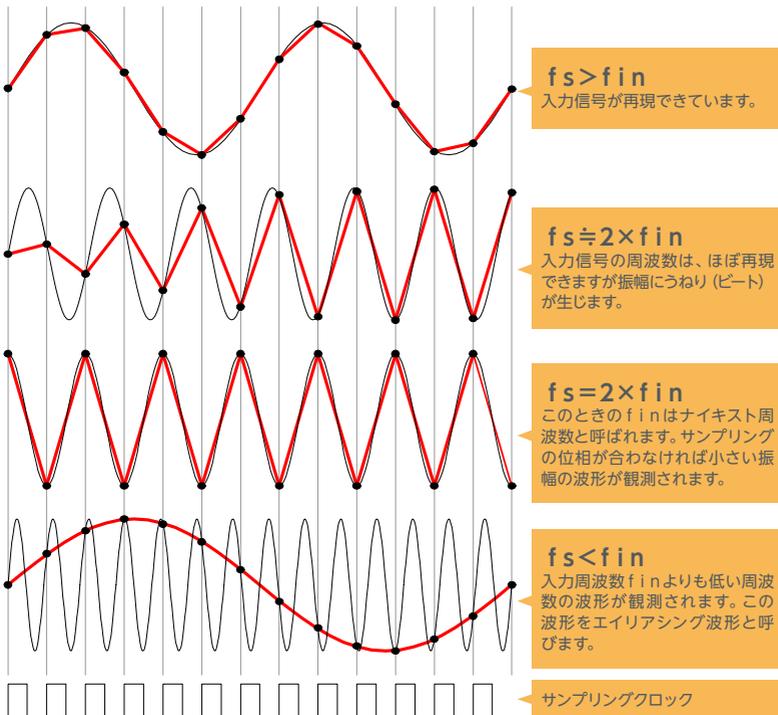
◆ サンプルング周期

下図のように、入力信号の周期に比べ5倍程度の遅いサンプルング周期だと、波形はぎざぎざになりますが入力信号周期より十分速いサンプルング周期（10倍以上）であれば、ほぼ入力信号と同じ波形を再現できます。



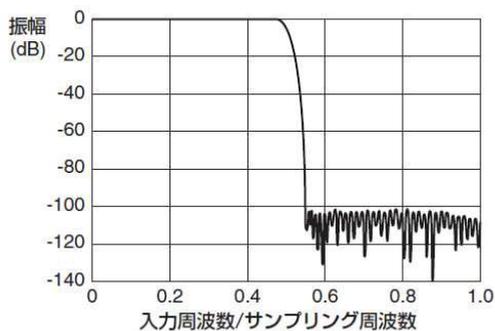
◆ エイリアシング

サンプルング定理では周波数 f_{in} の交流信号をA/D変換したのちにD/A変換して戻したとき、原信号が忠実に再生できるためには、少なくとも $2 \times f_{in}$ 以上のサンプルング周波数 f_s が必要とされています。 f_s が f_{in} よりも小さくなった時はエイリアシングと呼ばれる存在しない波形が観測されてしまうので注意が必要です。



■ アンチエイリアシングフィルタ

サンプリング周波数の1/2を超える周波数を含む信号をサンプリングしてFFT演算表示すると、本来存在しないスペクトラムが観測される場合があります。このスペクトラムを折り返し雑音またはエイリアシングと呼びます。アンチエイリアシングフィルタは、サンプリングレートの1/2を超える周波数を高い減衰特性で減衰させるローパスフィルタです。アンチエイリアシングフィルタを通した信号をサンプリングすることでエイリアシングの発生を防止します。

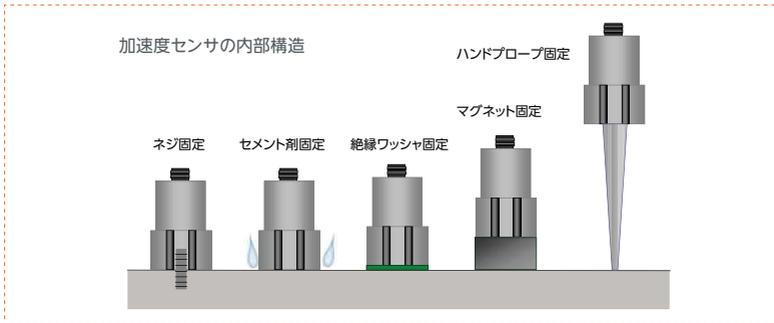


上図の縦軸は入力信号の減衰率、横軸は入力周波数とサンプリング周波数の比率を示します。入力周波数/サンプリング周波数が0.5以上、すなわちサンプリング周波数の2倍以上の入力信号は大きく減衰できています。

失敗しないテクニック&ポイント

■ 加速度センサの固定方法

加速度センサの固定方法としては大きく分けて以下の5通りがあります。



1.ネジ固定

加速度センサの最も理想的な固定方法です。剛性を高めるために、通常は計測対象にグリスを薄く塗ってから、規定のトルクで締め付けて固定します。

2.セメント剤固定

測定対象にセメント剤を塗布し加速度センサを固定します。接着条件次第ではネジ固定に近い性能を得ることが可能です。特に測定対象にネジ穴を開けたくない場合に使用します。軟性のセメント剤は加速度センサの有効周波数範囲をかなり減らしますので、通常はエポキシ系を使用します。

3.絶縁ワッシャ固定

加速度センサと計測対象を電氣的に絶縁したい場合に使用します。固定条件次第でネジ固定に近い性能を得ることが可能です。

4.マグネット固定

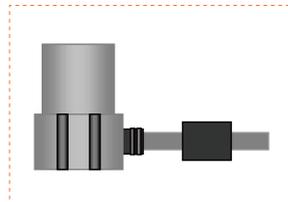
計測対象の表面が磁性体の場合、簡単な固定方法として使用されます。

5. ハンドプローブ固定

ネジ固定ができないような狭い場所や、すばやく検査業務を行いたいときに使用される固定方法です。非常に便利な方法ですが、測定誤差は大きくなります。

■ ケーブルの固定方法

ケーブルに関しては、加速度センサ接続部に無理な力が加わらないようにします。また、大きく振動しないようにもします。十分な計測結果が得られないばかりか、最悪の場合、ケーブルの断線やコネクタの破損につながる恐れがあります。無理な力がかからないように、ケーブルは必ず固定します。



4章 波形観測

『波形観測』ホントの基礎知識

■ 計測器の種類

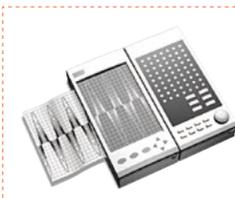
計測器は入力された大小さまざまな電気信号を増幅、演算を行ない表示をします。また、必要に応じて計測値を記録します。電気信号の処理は、アナログ式とデジタル式がありますが、現在はデジタル処理を行ない、表示だけでなく記録できるものが主流となっています。

計測器は、その捉える信号の種類に応じて、大まかに次の3タイプに分けることができます。それぞれのタイプに特長があり、使えるシーンが異なります。

オシロスコープ



高速波形記録計



記録計



オシロスコープ

電気回路の信号確認や電子部品の動作チェックなど非常に高速な電気信号の観測に用います。

オシロスコープの特長と用途

1. サンプル周期が数10M (メガ) ～数G (ギガ) Hzと超高速。周波数帯域も同様に高い。
2. チャンネル数は1～4chと少ない。
3. 分解能は一般的に8bit、サンプリング速度を重視し、精度はあまり高くない。
4. 中・長期データの計測には、不向き。

計測対象はアナログ電圧です。

電気回路内のON/OFF信号やIC・CPU周りの信号確認ノイズ信号のチェックなどに用いられます。オシロスコープは、測定値を求めるのではなく、波形形状をつかむための装置です。

基本性能はサンプリング周波数と周波数帯域になります。この2点の数値が高いほど良いオシロスコープです。波形形状を観察することが主な目的なので、精度はあまり高くありません。また、通常チャンネル間GNDは共通になります。

回路特性の評価



電気機器のメモリ、CPU周りの信号確認を行います。設計どおりにON/OFFしているのを確認します。

高速波形記録計

PLCのON/OFF 信号やノイズ波形など比較的高速な現象の計測を行ないます。

高速波形記録計の特長と用途

1. サンプリング周期が数10k~数MHz程度で大抵の物理現象が捉えられる。
2. 多チャンネル、高分解能。
3. チャンネル間GNDが絶縁されているので電位差のある対象物や直列電圧回路も計測可能。
4. 記録紙、各種メモリーカード等の記録媒体があり、中・長期の計測データを保存可能。

計測対象は、アナログ電圧や電流です。振動や高速な変位、装置の入出力回路のON/OFF装置診断などに使われます。オシロスコープに比べると、サンプリング周期は遅いですが分解能が高く中・長期のデータを保存できるようになっています。高分解能なため電圧値を正確に読み取ることができます。振動の変化を確認する場合や製品毎の形状測定を大量に保存したい場合などに便利です。

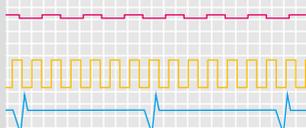
また、チャンネル間GND絶縁のタイプもあり、その場合対象物AとBのGND電位に差があっても問題なく測定することができます。

エンジンの特性評価



エンジン特性の評価を行います。油圧点火タイミング・回転数・ブースト圧などの波形を確認します。

PLCの制御確認



PLCへの入力とPLCからの出力、それによるインバータ制御の動作などを波形で確認。タイミングの最適値を求めます。

記録計

温度のような比較的ゆっくりとした測定を行ないます。

記録計の特長と用途

1. アナログ電圧と熱電対を混在して入力できる
2. 高分解能
3. サンプリング周期が低速
4. 多チャンネル

計測対象は、変位・圧力・流量・ひずみ・電源電圧や温度など様々。高精度な計測に用いられます。サンプリング周期は10Hz以下で、分・秒単位の低速、長期的な変化を捉えることに使われます。データの保存は、記録紙への印刷が主流です。

温度分布の測定



電気炉内の温度と分布の確認を行ないます。

失敗しないための基礎知識

精度と確度

ゼロ点安定度とDC振幅確度

高速信号を扱うデジタルレコーダに一般的に用いられる確度表記です。
総合精度はふたつの合算になります。

ゼロ点確度：入力短絡時の誤差

DC振幅確度：ゼロ点確度が「0」としたときの、入力値に対する表示値の誤差

例) [ゼロ点確度±0.03% of F.S.] [DC 振幅確度：±0.1% of F.S.] [表示分解能 1mV] の計測器を [±10V レンジ] で使用した場合の確度

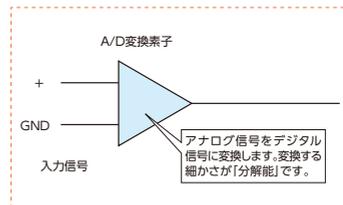
$$\pm (0.03\% \times 20V) \pm (0.1\% \times 20V) = \pm 0.006V \pm 0.02V = \pm 0.026V$$

したがって確度は $\pm 0.026V$ となります。

A/D分解能

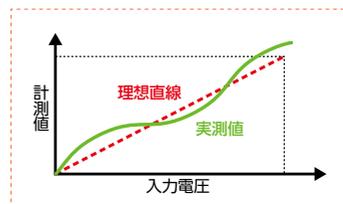
入力信号を分解できる細かさ。計測器のA/D変換素子で決まっています。例えば、分解能が14bit、入力レンジが±5Vの場合、0.6mVが理論上の最小読み取り値になります。

$$\pm 5V \div 2^{14} (16384) \approx 0.6mV$$



直線性

右図のグラフを見てください。横軸に入力電圧、縦軸に計測値をとります。理想直線に対して、実測値がどれだけ正確であるかを示すのが直線性です。(理想値マイナス実測値)の中で、最大ズレ量を入力レンジ範囲で割ったものを%表示します。



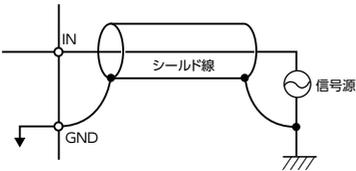
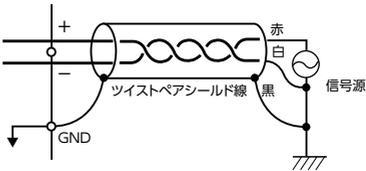
失敗しないテクニック&ポイント

■ 入力方式と配線

電子計測器を精度良くご利用いただくために、以下の点にご注意下さい。

正しい入力方式を選択する

電圧信号の入力には、シングルエンド入力と差動入力のふたつの方式があります。各方式はそれぞれ長所・短所がありますので状況により使い分けてください。

シングルエンド入力	差動入力
長所：差動入力に比べチャンネル数を多くしやすい	長所：信号源と計測器のグラウンド間の電位差や、ノイズの影響を受けにくい。
短所：信号源と計測器のグラウンド間の電位差や、ノイズの影響を比較的受けやすい。	短所：測定チャンネル数がシングルエンド時の半分になる
	

正しく配線する

アナログ電圧 / アナログ電流入力の場合

通常のアナログ電圧信号の配線はツイストペア線かシールド線を使用してください。配線長は10m以下を目安とし、配線抵抗は1線10Ω以下になるように調整してください。数MHz以上の高い周波数信号を計測される場合は、標準のプロープ長から延長はできません。

周囲温度の影響を考慮する

計測ユニットの周囲温度が急激に変化すると、本体ユニットの温度が安定するまで測定精度を満たせません。設置する場所は温度変化が発生しないように注意してください。計測器の保管場所と使用場所に温度差がある場合は、仕様表に規定される時間以上、使用場所の温度になじませるウォームアップを行なってください。またウォームアップを行なうと内部回路の発熱により内部回路が一定温度になり初期ドリフトが発生しません。

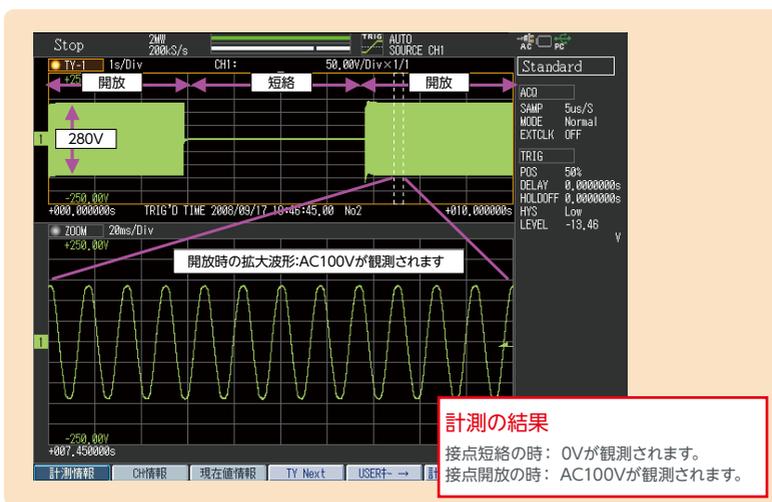
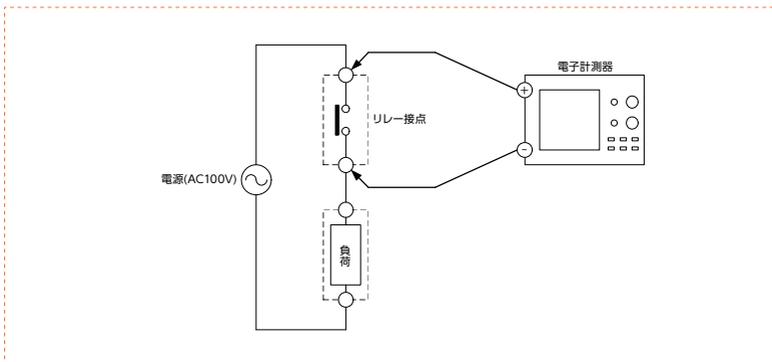
5章 プロロービングテクニック

I AC電源負荷時『リレー接点のON/OFFタイミングの計測』

■ リレー接点の両端にプローブを接続する場合

◆プローブの接続

リレー接点の両端に計測器のプローブを接続します。



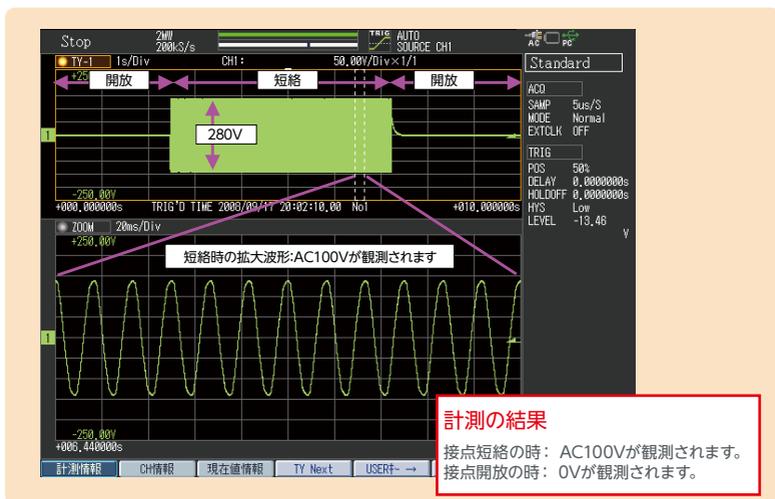
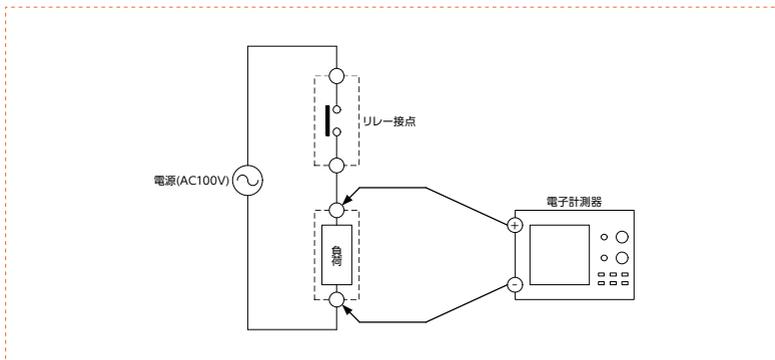
ワンポイント解説:

負荷の両端にプローブを接続する場合に対して、観測される波形が異なる(逆になる)点に注意が必要です。

■ 負荷の両端にプローブを接続する場合

◆ プローブの接続

負荷の両端に計測器のプローブを接続します。



計測の結果

接点短絡の時：AC100Vが観測されます。
接点開放の時：0Vが観測されます。

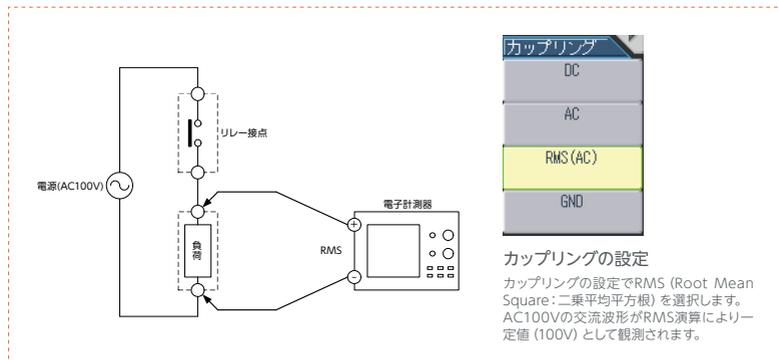
ワンポイント解説：

接点の両端をプローブする場合に対して、観測される波形が異なる（逆になる）点に注意が必要です。

■ ロジック的にON/OFFを観測したい場合

◆ プロープの接続

ここでは、負荷の両端に計測器のプロープを接続します。(接点の両端でも計測可能です)



電源(AC100V)

リレー接点

電子計測器

RMS

カップリング

DC

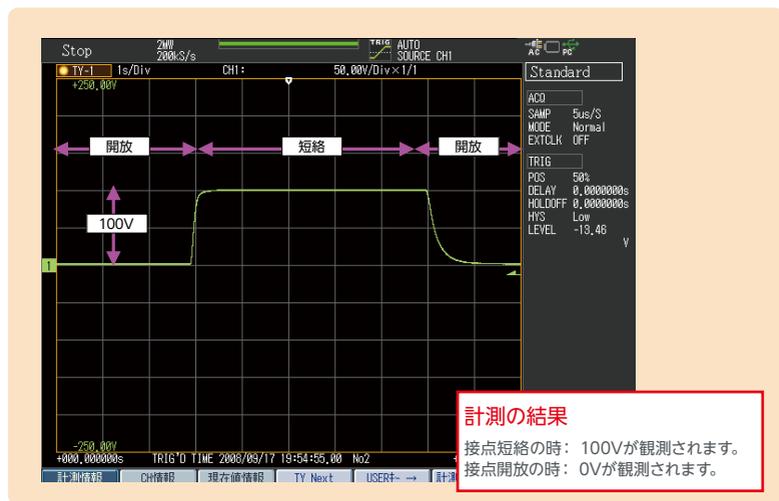
AC

RMS (AC)

GND

カップリングの設定

カップリングの設定でRMS (Root Mean Square: 二乗平均平方根) を選択します。AC100Vの交流波形がRMS演算により一定値 (100V) として観測されます。

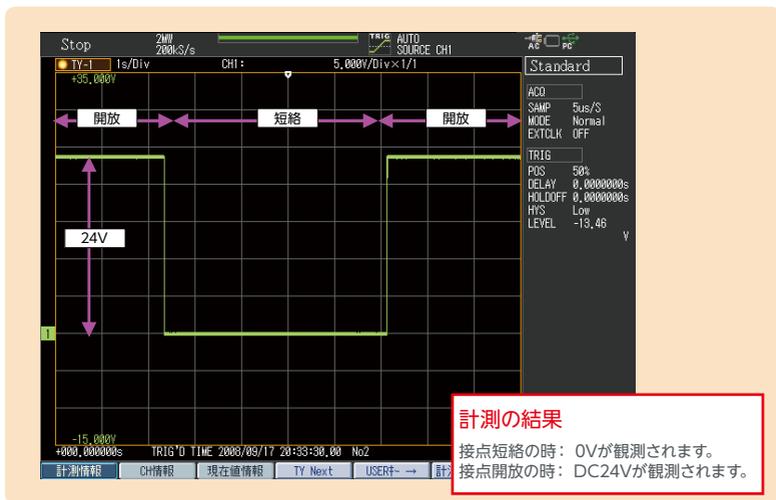
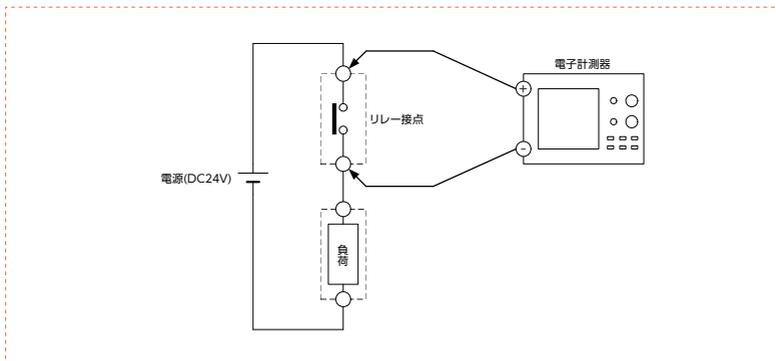


DC電源負荷時『リレー接点のON/OFFタイミングの計測』

■ リレー接点の両端にプローブを接続する場合

◆プローブの接続

リレー接点の両端に計測器のプローブを接続します。



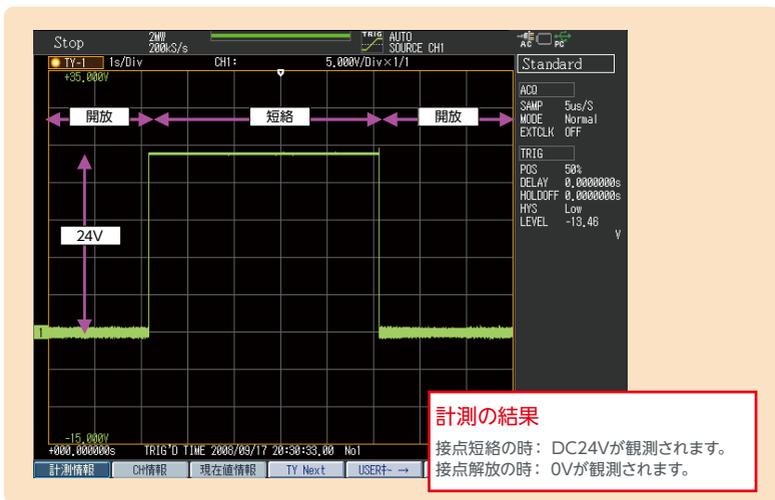
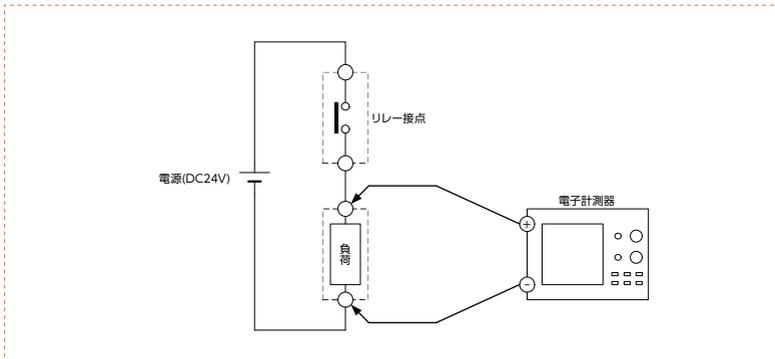
ワンポイント解説：

負荷の両端をプローブする場合に対して、観測される波形が異なる（逆になる）点に注意が必要です。

■ 負荷の両端にプローブを接続する場合

◆ プローブの接続

負荷の両端に計測器のプローブを接続します。



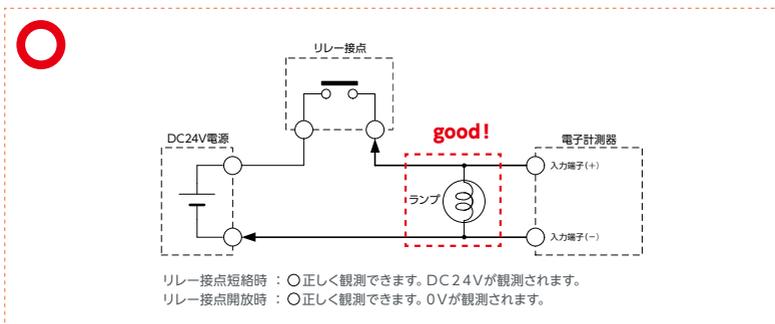
ワンポイント解説：

接点の両端をプローブする場合に対して、観測される波形が異なる（逆になる）点に注意が必要です。

■ リレー接点のON/OFFタイミングを計測する時のプロービング

リレー接点のON/OFFタイミングを計測する時は、通常はリレーで動作するように接続されている負荷（ランプやブザーなど）の両端をプロービングすれば計測できます。

■正しいプロービング例



◆ワンポイントQ&A

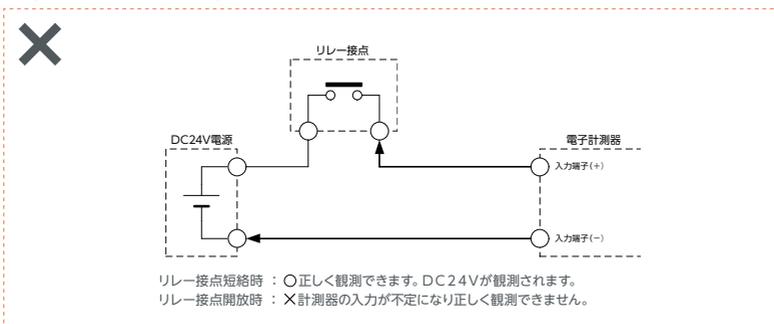
Q：負荷とはなんですか。負荷にはどのようなものがありますか。

A：負荷とは回路や装置の出力につながり、それらの供給する電流やエネルギーを消費することです。代表的なものはランプ、ブザー、電磁弁、PLCの入力端子などさまざまな種類があります。

■ プロービングの注意点

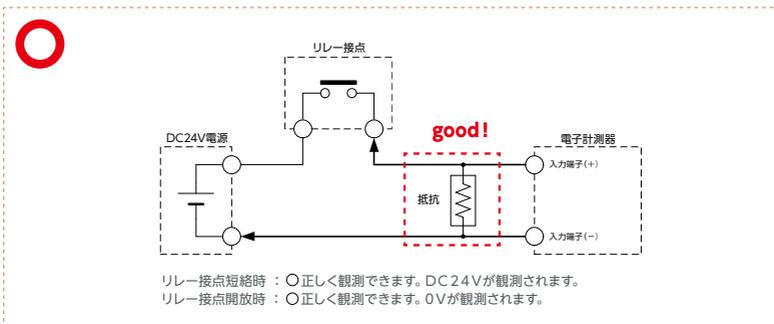
リレー接点のON/OFFタイミングを計測する時は、接点が開放した時に計測器の入力が不定にならないように注意が必要です。下の図のようにリレーに負荷が接続されておらず、リレーのみでON/OFFタイミングを計測すると入力不定となり正しく計測できません。入力不定になるのを防ぐために負荷抵抗を接続すると正しく計測できます。

■ 間違ったプロービング例



リレー接点のON/OFFタイミングを計測する時は接点が開放した時に計測器の入力が不定にならないように注意が必要です。入力不定の時は正しい計測波形が観測できません。

■ 正しいプロービング例



開放時に入力不定になるのを防止するために負荷抵抗 (例えば 10 kΩ) を接続します。

◆ ワンポイントQ&A

Q: 必ず抵抗を接続する必要があるのですか？

A: かならずしも接続する必要はありません。ポイントは、計測器の入力端子が未接続状態 (開放状態) になる場合に必要になるということです。例えば予め負荷になる機器 (ランプや電磁弁、PLC入力端子など) に接続されていれば不要です。

■ 【トラブル事例1】計測波形の応答が遅れる

下記のようにになってしまう

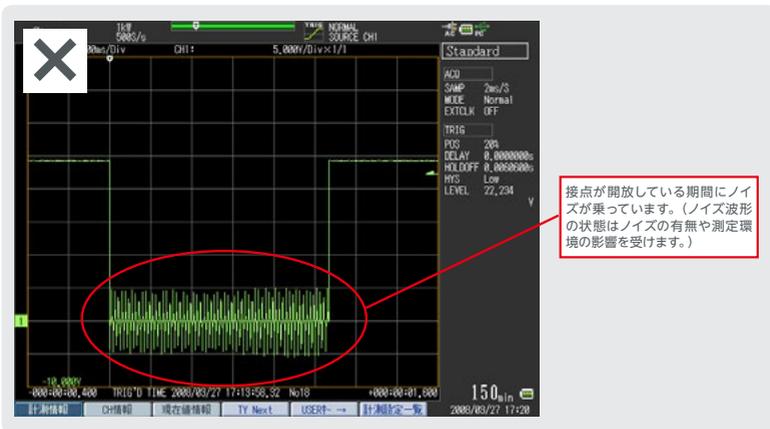


このようになるはずなのですが、なぜ？ **59ページで説明!**



■ 【トラブル事例2】波形が乱れる

下記のようにになってしまう



このようになるはずなのですが、なぜ？ 60ページで説明!

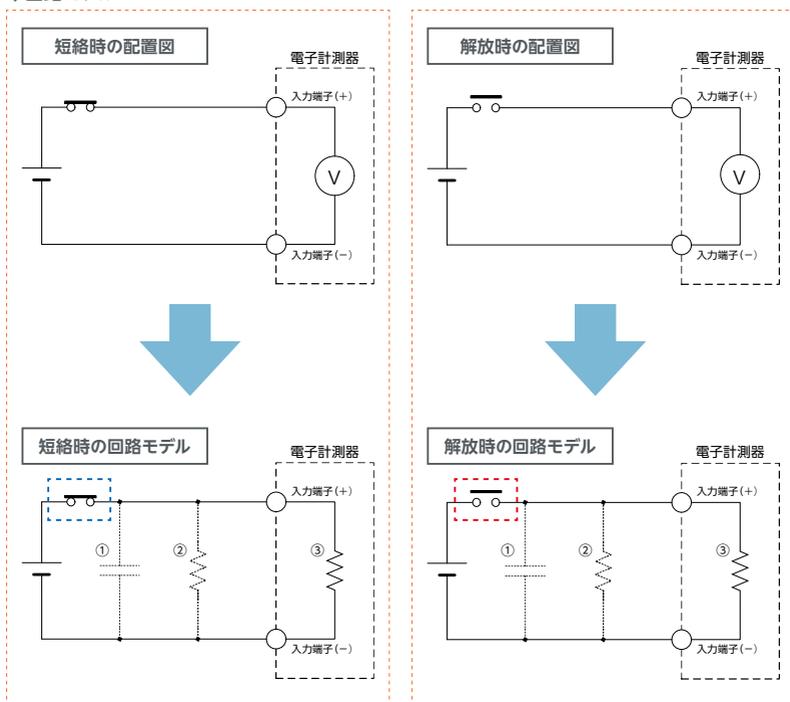


■ 問題点が生じる原因と対策について

これらの現象を理解して正しくプロービングするためには、もう少し詳細な回路モデルで考える必要があります。リレー接点が短絡した時(下図の短絡時)は計測器の入力端子にDC 24Vが印加された状態です。

それに対してリレー接点が開放した時(下図の開放時)は計測の入力端子に何も接続されていない(開放)状態です。一般的には計測器の入力端子が開放状態の時は「不定」と呼ばれます。安定した計測値が得られないためです。

◆ 回路モデル



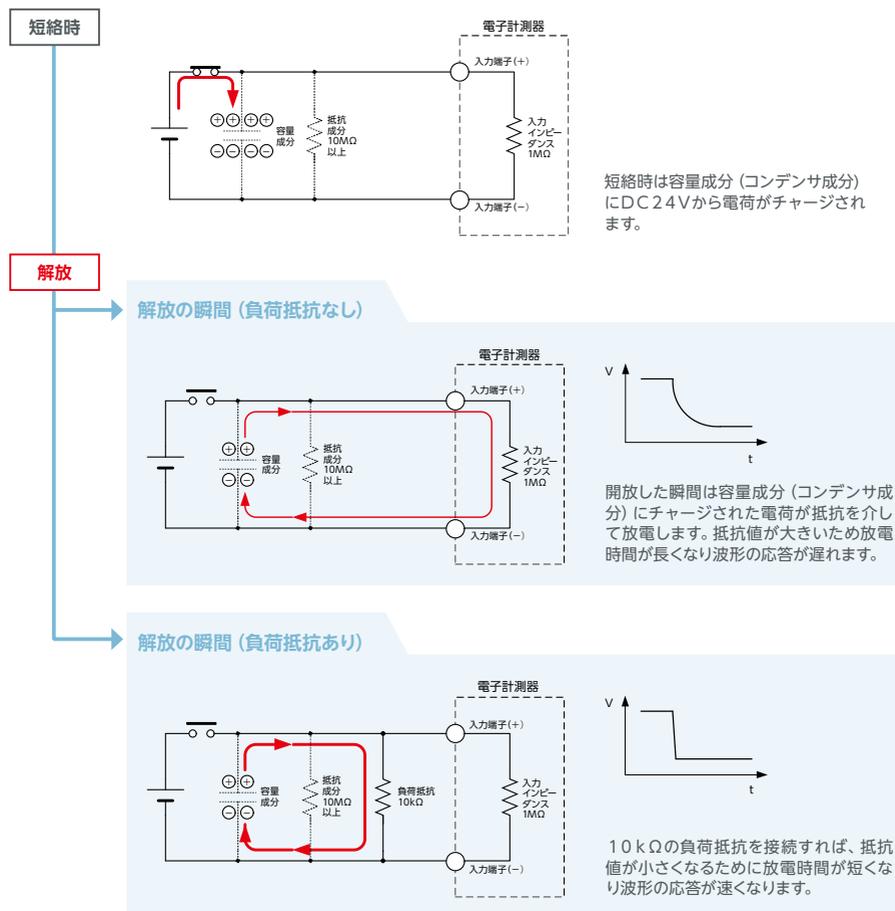
- ①: 静電容量による結合です。空気がコンデンサになり入力端子間を接続していると考えます。
- ②: 抵抗成分による結合です。空気が電気抵抗になり入力端子間を接続していると考えます。
- ③: 計測器の入力インピーダンス(入力抵抗)です。オシロスコープ等では1MΩが一般的です。

【トラブル事例1】の原因と対策

原因 短絡時は、計測器の入力端子間が静電容量で結合することによって生じる容量成分(コンデンサ成分)に電荷がチャージされます。開放された時は容量成分の電荷を放電する必要がありますが、低いインピーダンスの放電経路がないため放電時間が長くなり計測波形の応答が遅れます。

対策

負荷抵抗を接続して放電電流のインピーダンスを下げることで放電時間を短くします。その結果、計測波形の応答が速くなります。



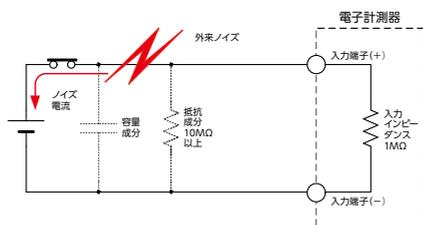
※開放から短絡した瞬間は容量成分をチャージする時間が必要ですが、DC 24V側の出力インピーダンスが低ければチャージ時間は短くなり波形の応答は遅れません。

【トラブル事例2】の原因と対策

原因 開放時は、外来ノイズに対する入力インピーダンスが高い状態になります。この時は高いノイズ電圧が発生し計測器にノイズ波形として観測されます。
(ノイズ波形の状態はノイズの有無や測定環境の影響を受けます。)

対策 負荷抵抗を接続することで外来ノイズに対する入力インピーダンスを下げます。
入力インピーダンスが下がればノイズを受けてもノイズ電圧が小さくなり計測波形への影響が少なくなります。

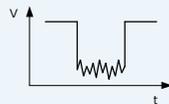
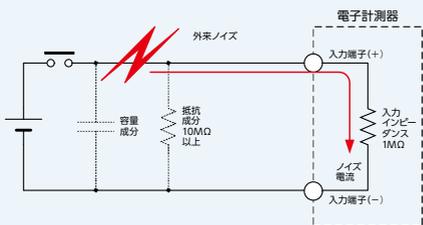
短絡時



短絡時は、DC 24V側のインピーダンスが低いいためノイズの影響が少なくなります。

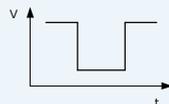
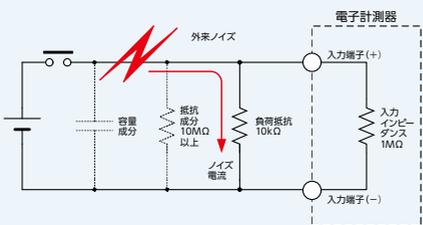
解放

負荷抵抗なし



開放時は、入力インピーダンスが大きいためノイズを受けると大きな電圧信号に変換されてノイズ波形が観測されます。ノイズがなければ0V近辺に収束します。

負荷抵抗あり

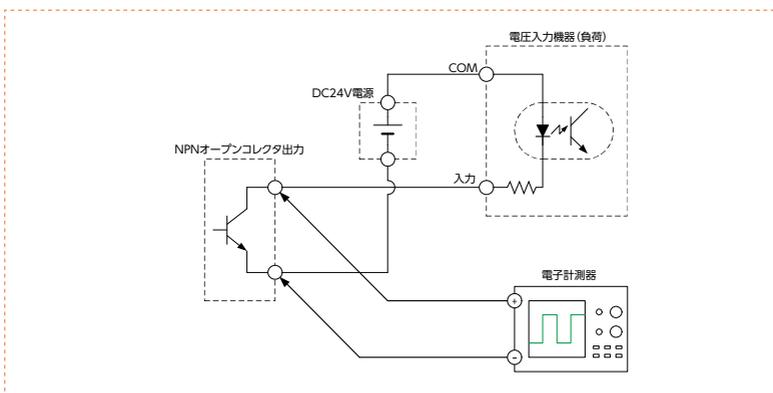


10 kΩの負荷抵抗を接続すれば、ノイズが逃げる経路ができるため影響が小さくなります。

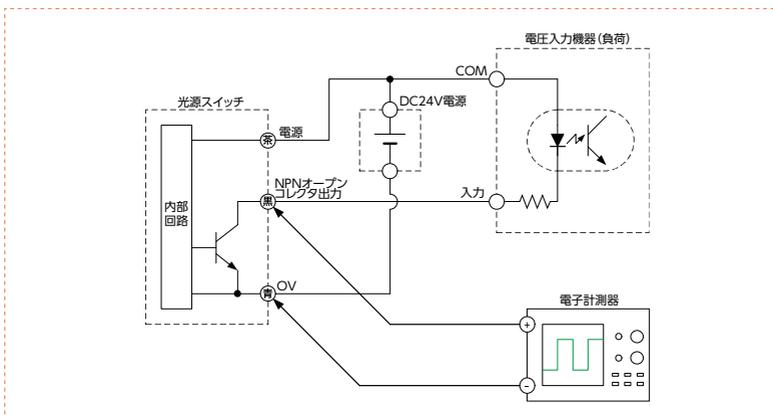
■ NPNオープンコレクタのON/OFFタイミングの計測

■ NPNオープンコレクタ出力が他の電圧入力機器に接続されている場合

NPNオープンコレクタ出力が、電圧入力機器 (PLCの入力端子など) に接続されている場合は、NPNオープンコレクタ出力の両端をプローブすることで、ON/OFFタイミングが観測できます。



■ 光電スイッチの例



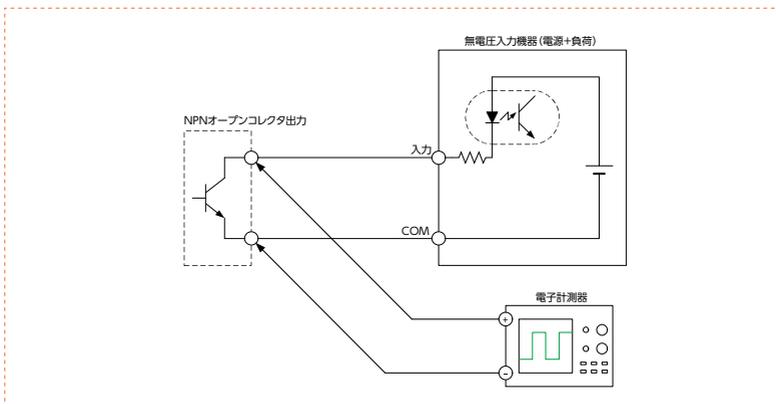
観測される電圧

トランジスタON (短絡) : 約0V (残留電圧)

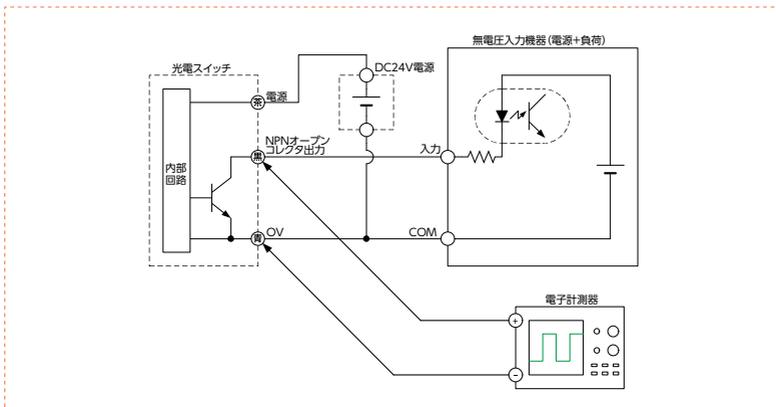
トランジスタOFF (開放) : DC24V (電源電圧)

■ NPNオープンコレクタ出力が他の無電圧入力機器に接続されている場合

NPNオープンコレクタ出力が、無電圧入力機器（変位センサの制御入力端子など）に接続されている場合は、NPNオープンコレクタ出力の両端をプローブすることで、ON/OFFタイミングが観測できます。



■ 光電スイッチの例



観測される電圧

トランジスタON（短絡）：約0V（残留電圧）

トランジスタOFF（開放）：DC24V（電源電圧）

◆ワンポイント 無電圧入力とは？

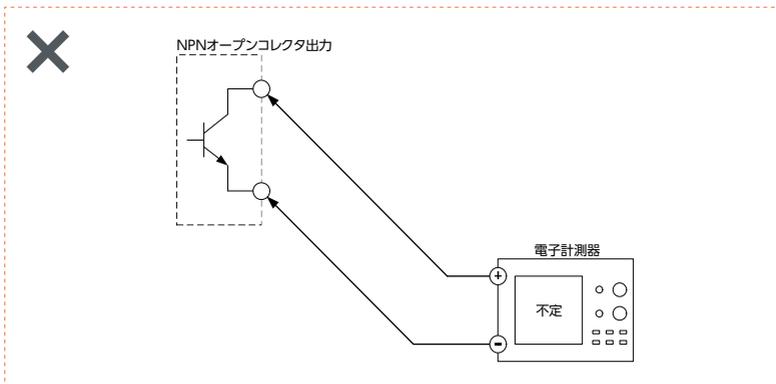
電源を内蔵した入力回路です。

外部電源は不要なので入力端子とCOM端子を有接点や無接点で短絡するだけで使用できます。

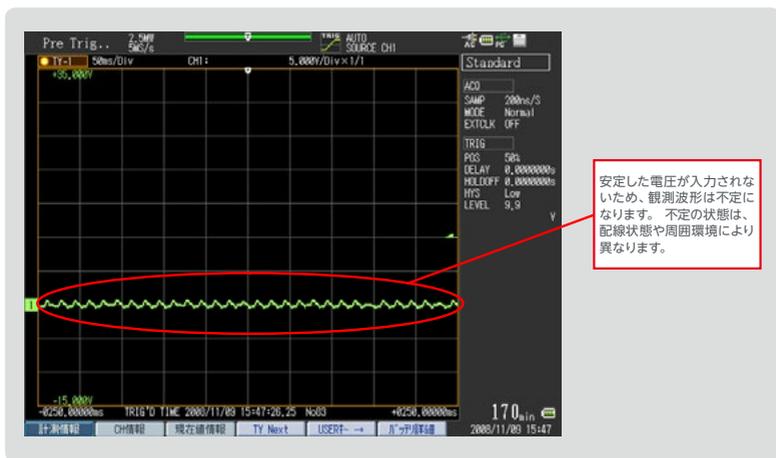
■ NPNオープンコレクタ出力が他の入力機器に接続されていない場合

NPNオープンコレクタ出力が他の入力機器に接続されていない場合は、負荷と負荷を駆動する外部電源を用意して波形を観測する必要があります。

■ 間違った配線

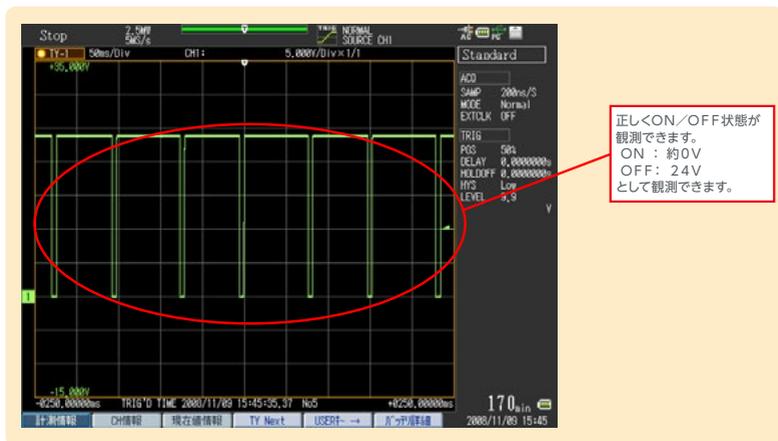
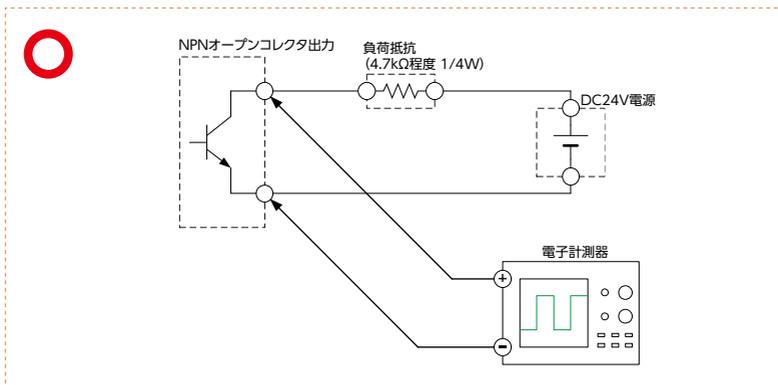


負荷なしでNPNオープンコレクタのみがON/OFFする場合はON/OFFに応じた電圧が発生しないため正しく波形観測できません。



■正しい配線

負荷に4.7kΩ (1/4W) の抵抗、電源にDC 24V電源を用意して観測する場合の配線例です。



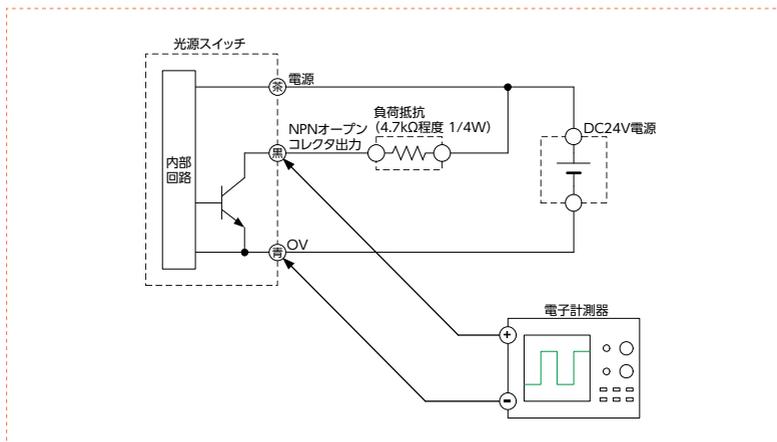
◆ワンポイント 4.7kΩ (1/4W) 以外の抵抗は使用できますか？

使用できます。正確に選定するためにはNPNオープンコレクタ出力の定格と使用する抵抗の定格から選定します。

- 条件①：抵抗に流れる電流は、NPNオープンコレクタの定格電流以下
条件②：消費電力が、抵抗の定格電力以下 (目安は定格の半分以下)

4.7kΩ (1/4W) の場合は、
電流： $24V \div 4700\Omega = 5.1mA$ (条件①)
電力： $24V \times 5.1mA = 0.12W$ (条件②) となるので、一般的なオープンコレクタ出力で使用できます。また、抵抗の入手性も良好です。

光電スイッチの例



◆ワンポイント 負荷は必ず抵抗を用意する必要がありますか？

抵抗以外の負荷でも使用できます。例えば、DCリレーの入力側(コイル側)やDCブザーなど、オープンコレクタ出力が接続できる負荷であれば使用できます。

6章 トラブルシューティング

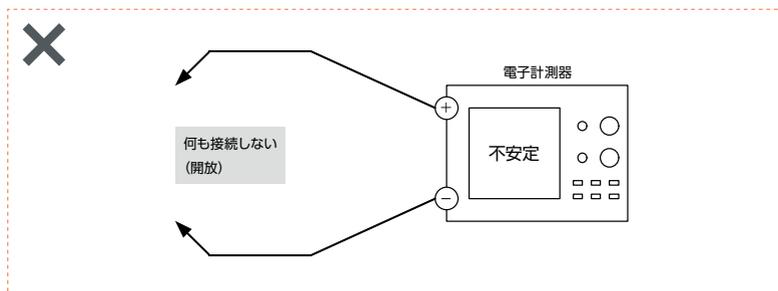
正しい波形が観測できない時の確認方法

計測器の不具合を確認する方法1

正しい波形が観測できない (予想した波形が観測できない) トラブルが発生した場合は、計測器に不具合が発生していないかを調査する必要があります。まずは、下記の方法で計測器に問題がないかを確認しました。

■間違った確認方法

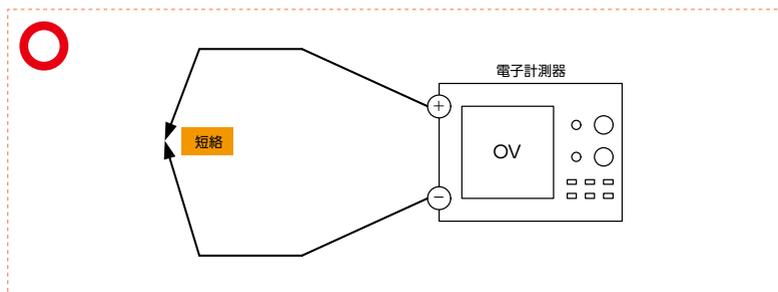
計測対象から計測器のプロープを取り外して何も接続しない状態で計測値を確認しました。計測値は0Vに安定することなく非常に不安定な状態でした。その結果、計測器の故障と判断しました。



プローブに何も接続しない状態 (開放状態) で計測すると測定値は「不安定な不定値」になります。計測器の状態を確認する方法としては不適切です。

■正しい確認方法

計測対象から計測器のプロープを取り外して+端子と-端子を短絡して計測値を確認しました。計測値は0Vに安定しました。その結果計測器には問題ないと判断しました。



短絡して0Vが観測できれば、計測器はとりあえず正常と判断できます。

■ 計測器の不具合を確認する方法2

その他の確認方法を紹介します。

✓ 計測器のCHを変更してみる

計測器の特定のCHが故障しているトラブルの場合があります。
使用するCHを変更することにより確認できます。

✓ 計測器のプローブを交換してみる

プローブの断線によるトラブルの場合があります。
プローブの交換により確認できます。

✓ 計測器の配線を再度確認してみる

あせている時などは、計測器の配線ミスを見落としている場合があります。
落ち着いて、再度、配線を確認しましょう。

- ・プローブを接続している位置の確認
- ・プローブの+端子と-端子の逆接の確認
- ・オシロスコープなどCH間共通機器による短絡の確認

✓ 計測器の設定を再度確認してみる

あせている時などは、計測器の設定ミスを見落としている場合があります。
落ち着いて、再度、設定を確認しましょう。

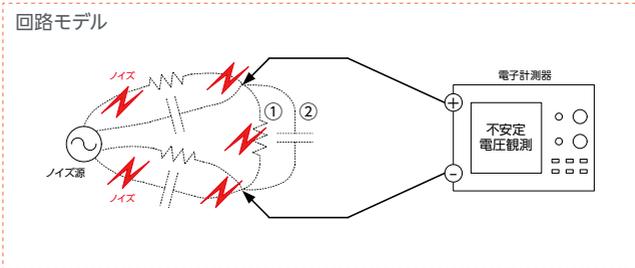
✓ テスターなど、別の計測器を用意して計測結果を確認してみる

計測器を交換してクロスチェックします。
交換した計測器が正常なら、交換前の計測器は故障の可能性が高いです。
ただし、高速波形や交流波形などの場合は、応答性の遅いテスターは使用できません。

FAQ ～よくあるご質問～

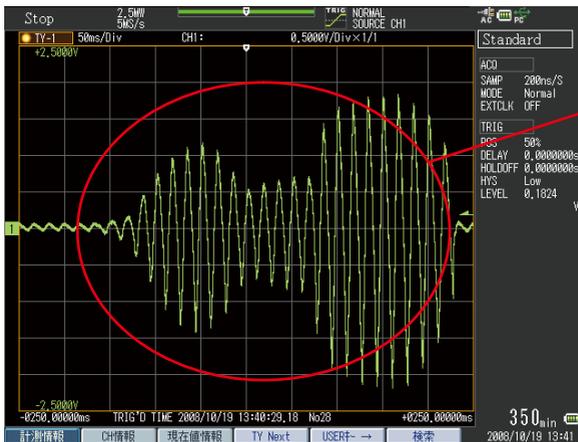
Q プローブに何も接続していないのに0Vにならない

A 0Vにならないのは、0Vを入力せずに空気の両端をプローブして計測しているためです



開放状態のプローブは、空気の抵抗成分 (①) や容量成分 (②) を介して周囲の環境と接続されています。接続先にはノイズ源も含まれますのでノイズによって発生した電圧を観測することになります。その結果、0Vにはなりません。一般的にこの状態を「不定」と言います。

観測波形例



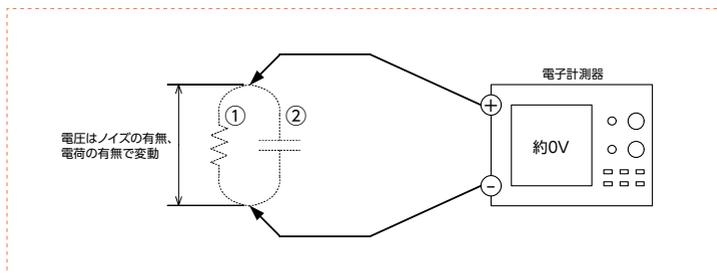
不安定な波形が観測されています。基本となっている周波数は60Hzです。

ワンポイント

「何も接続しない≠0Vを計測」と「接続して0Vを入力=0Vを計測」の違いを正しく理解しましょう。

Q 約0Vに収束する

A ノイズの印加がなく、空気の容量成分 (②) にチャージされた電荷が放電すると空気の抵抗成分 (①) によりプローブの+端子と-端子間の電位差が0Vになるためです。つまりノイズを受けた場合は0Vを中心に変動してノイズがなくなれば0Vに収束します。

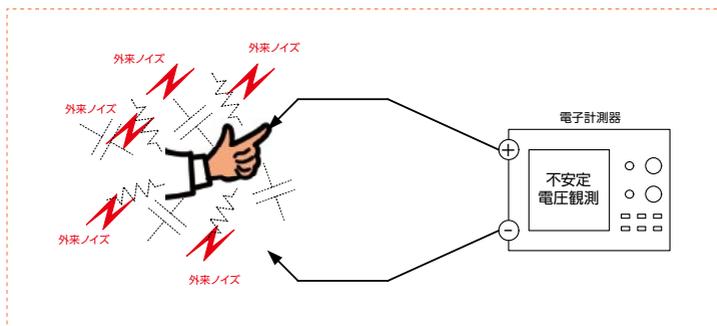


ワンポイント

プローブを接続していない場合 (プローブを計測器から取り外している状態) や、ノイズがない環境の場合は、ほぼ安定した0Vが観測されます。この現象が頭に残っていると、何も接続しない時は0Vになると思い込む原因になります。

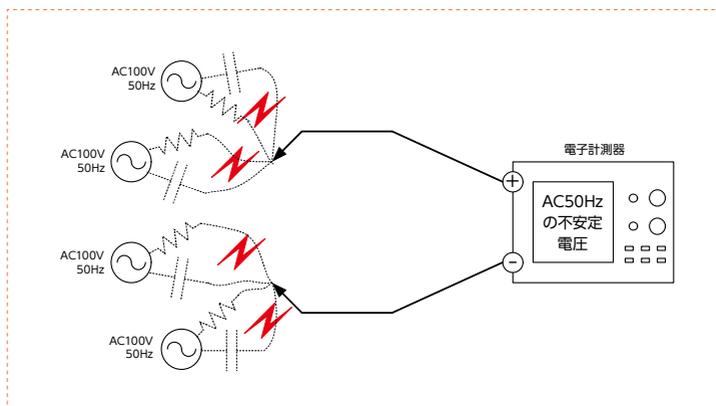
Q 指でプローブに触れるとノイズが大きくなる

A 人間の体がノイズのアンテナとなり、より多くのノイズ成分が入力されるためです。



Q 50Hz/60Hzのノイズが観測される

A 私たちの身の回りには50Hzまたは60Hzの商用電源が満ち溢れているためです。何も接続されていない（開放状態）のプロープが空気を介して結合する先は、50Hzまたは60Hzの商用電源機器や電線になります。そのため、多くの場合は50Hzまたは60Hzのノイズが観測されます。



Q テスターでは何も接続しないとほぼ0Vになる

A テスターはローパスフィルタや平均処理により応答速度が遅いためほぼ0Vが観測されます。ただし、よく確認するとピタッと0Vにはならず、数10mV～数100mV程度の範囲で計測値がパラパラと不安定になっています。つまり本来の波形を確認することはできません。

ワンポイント

この現象と計測器の波形を比較すると「テスターが正常で、計測器が異常」とミスジャッジの原因になります。テスターと波形観測用計測器との違いを理解しておきましょう。

NRシリーズラインナップのご紹介



自由自在
マルチ
計測

NR-600 (スタンドアロンタイプ)



かんたん
設定 &
解析

NR-500 (PCダイレクトタイプ)

NR 計測ユニット

温度を計測・収集したい場合には・・・

NR-TH08



入力信号	熱電対・測温抵抗体・ $\pm 50V$
入力 ch 数	8ch
分解能	16bit (デルタΣADコンバータ)
サンプリング周波数	10Hz
メモリ長	200k データ
消費電力	1.2W 以下

ひずみを計測・収集したい場合には・・・

NR-ST04



入力信号	歪ゲージ・ロードセル・ $\pm 50mV$
入力 ch 数	4ch
分解能	16bit
サンプリング周波数	50kHz
メモリ長	4M データ
消費電力	3.0W 以下

アナログデータを計測・収集したい場合には・・・

NR-HA08



入力信号	$\pm 10V \cdot \pm 20mA$
入力 ch 数	8ch
分解能	14bit
サンプリング周波数	1MHz
メモリ長	4M データ
消費電力	3.3W 以下

加速度・振動を計測・収集したい場合には・・・

NR-CA04



入力信号	電荷型・電圧型・ $\pm 10V$
入力 ch 数	4ch
分解能	16bit (デルタΣADコンバータ)
サンプリング周波数	100kHz
メモリ長	16M データ
消費電力	3.8W 以下

高電圧を計測・収集したい場合には・・・

NR-HV04



入力信号	$\pm 1000V$
入力 ch 数	4ch
分解能	14bit
サンプリング周波数	1MHz
メモリ長	16M データ
消費電力	3.0W 以下

パルス計測したい場合には・・・

NR-FV04



入力信号	パルス・ $\pm 100V$
入力 ch 数	4ch
分解能	14bit
サンプリング周波数	1MHz
メモリ長	16M データ
消費電力	4.0W 以下

WEB情報のご案内

データロガーの選定に困ったら

www.keyence.co.jp/ca17062801 もしくは

使い方 / 使用一覧から選ぶ



計測のノウハウを公開

www.keyence.co.jp/ca17062802 もしくは

温度・電圧・電流・ひずみ・加速度・CAN等の
各種計測の改善と効率化を学ぶ
計測器ラボ



株式会社 キーエンス 本社・研究所 / アプリセンサ事業部

〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14 Tel 06-6379-1711 Fax 06-6379-1710

この商品に関するお問い合わせは  **0120-663-000**

一部のIP電話からはご利用いただけません。

www.keyence.co.jp

記載内容は、発売時点での当社調べであり、予告なく変更する場合があります。記載されている会社名、製品名等は、それぞれ各社の商標または登録商標です。

アプリ7-1017