

目 次

1.はじめに	2
2.ノイズについて	3
2.1 ノイズ源の種類と性質	3
① 商用電源	3
② サイリスタ(SCR)	3
③ インバータ	4
④ リレー	5
⑤ トランシーバ	5
⑥ ノイズシュミレーター	5
2.2 ノイズの伝播経路について	6
3.ノイズ対策:基本編	8
3.1 ノイズ解析の基本(その1) —コモンモードノイズとノーマルモードノイズ—	8
3.2 ノイズ対策の基本(その2) —低インピーダンス化と高インピーダンス化—	9
3.3 記録計自身におけるノイズ対策	10
① パルス幅変調方式A/D変換器	10
② ノイズフィルタ	12
③ ガード	13
4.ノイズ対策:応用編	14
4.1 応用対策の手法	14
① ノイズそのものを減少させる	14
② 接地(アース):低インピーダンス化	16
③ シールド(電磁結合対策):高インピーダンス化	17
④ フィルタ,ノイズキラーの挿入	18
⑤ その他(ノイズ源との絶縁:活線測定の場合)	20
4.2 応用対策の実例	21
① 電子レンジのマグネットロンの温度測定	21
② 電気炉の温度測定(その1)	21
③ 電気炉の温度測定(その2)	22
④ パルスノイズシュミレーター	22
⑤ インバータエアコンの温度測定	23
⑥ 発電機の温度測定	23

1. はじめに

温度の測定は、省エネルギーをはじめとして、幅広い産業分野において、最も重要な測定項目の1つとなっています。

記録計の応用は、この温度計測を中心として、さまざまな分野に拡がっていますが、サイリスタチョップアーやトランジスタインバータなどの普及に伴って、

「商用周波数ノイズ」+「新ノイズ源」

という形でノイズが追加され、対策も難しくなってきています。

「測定」とは「ノイズ」の中から「信号」(必要な情報)を取り出すことと言われています。

この原点に立って、このテクニカルインフォメーションでは、ノイズ対策の基本と新しいノイズ源に対応した対策を紹介しています。

すぐに対策を行いたい場合は、「4. ノイズ対策:応用編」をお読みになるだけで問題解決できます。

また、基本に帰って理解したい場合は、「2. ノイズについて」、「3. ノイズ対策:基本編」を参考にしていただけます。

ノイズトラブル解決のハンドブックとして、ご活用ください。

2. ノイズについて

2.1 ノイズ源の種類と性質

① 商用電源

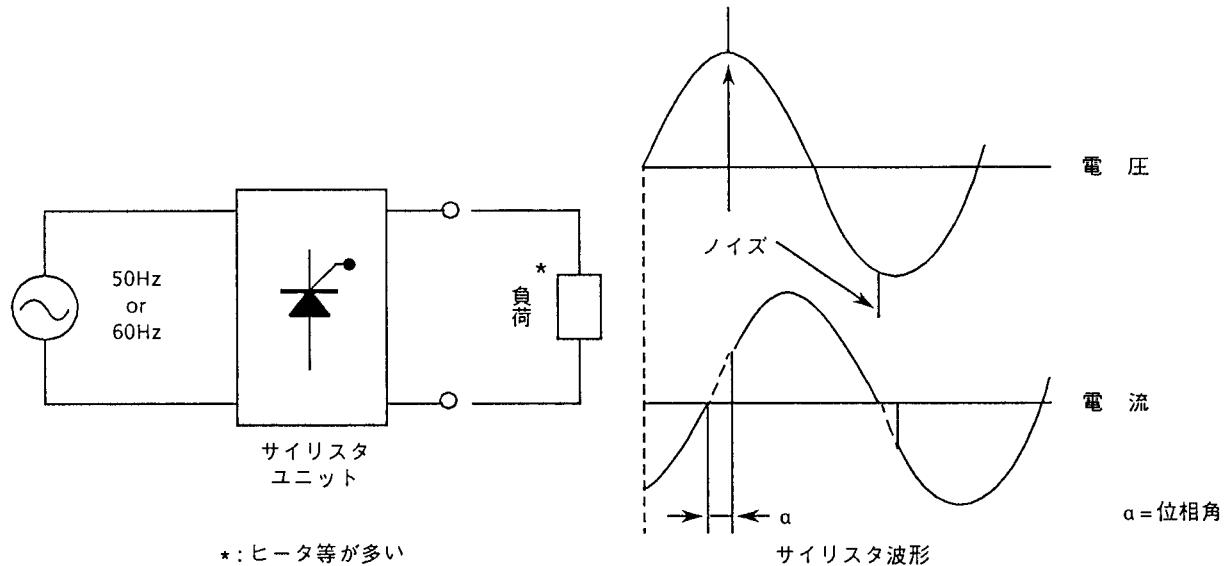
商用電源は、地域によって、50Hz または 60Hz の固定された周波数で供給されています。最近では家庭環境においても、100V 系のみならず、200V 系の電力用の給電が普及しつつあります。

また、家電メーカーなどでは、各地域向けの製品を検査するため、50Hz と 60Hz の電源が両方供給されており、ノイズ成分として 50Hz と 60Hz 両方を考慮する必要があります。

なお、電源ラインは、サイリスタやインバータの使用環境下では、「エネルギー供給」という本来の機能以外に、「各種ノイズの供給ライン」としても機能していることに注意する必要があります。

② サイリスタ (SCR)

サイリスタは、商用電源を位相角制御によって ON-OFF 変調して電力を制御するのに使用されています。



サイリスタの ON-OFF 時に、商用電源に $1\mu\text{s}$ 程度のパルスノイズが重畳されます。したがって、

$$\text{サイリスタノイズ} = \text{商用電源} + \text{パルスノイズ}$$

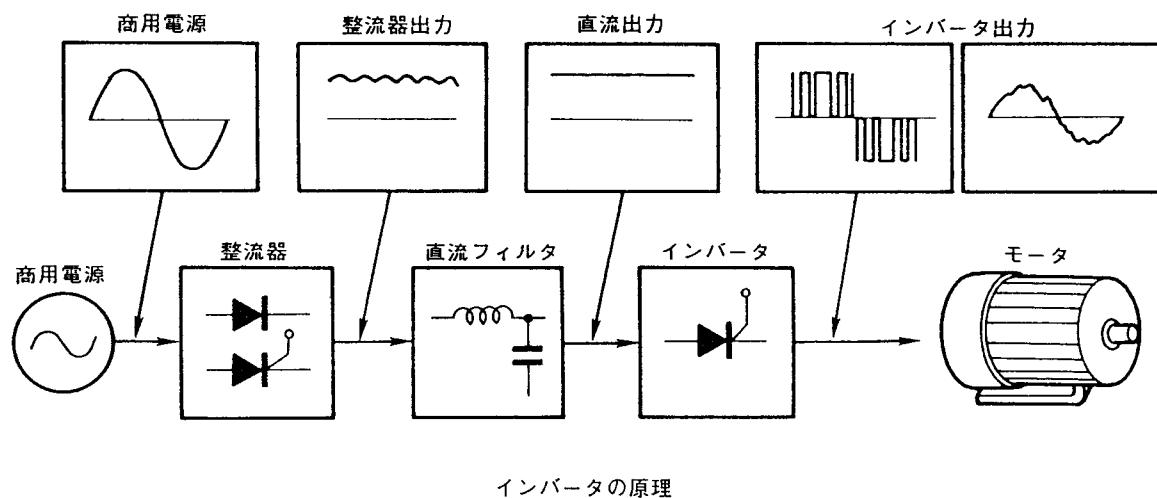
となります。

③ インバータ

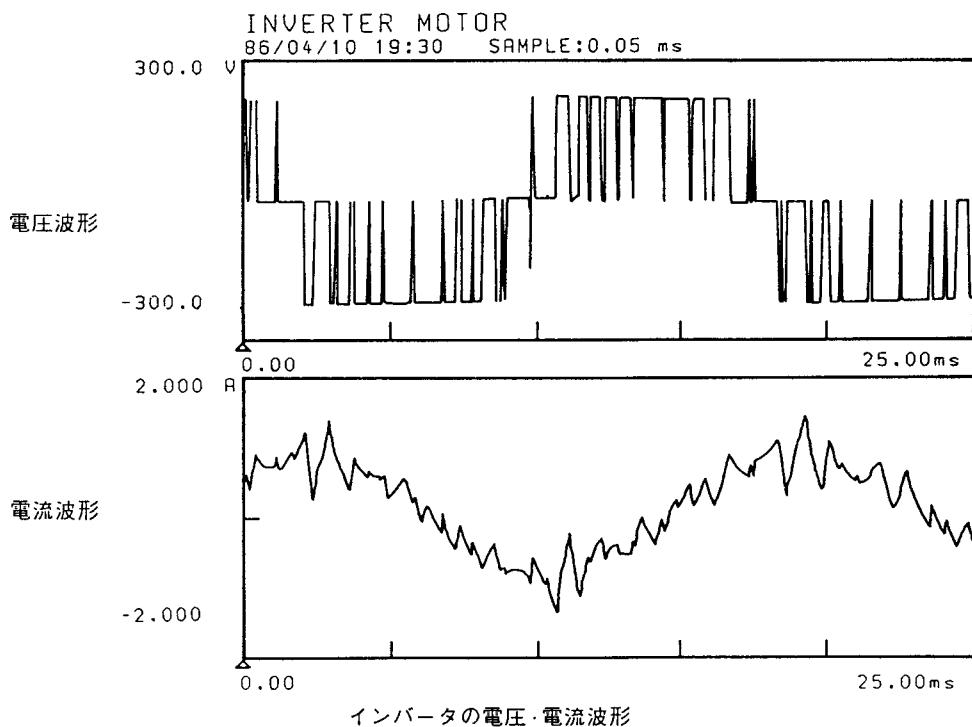
商用電源を整流器で直流に変換(この時、整流器としてサイリスタを用いて、直流を安定化する場合もあります。)し、その後、スイッチングトランジスタによって変調され、任意の周波数(数10Hz~数100Hz)の交流に変換して、モータなどを駆動します。駆動する負荷が蛍光灯などの場合は、周波数が数10kHzとなります。したがって、

$$\text{インバータノイズ} = \text{商用電源ノイズ} + \text{パルスノイズ(高密度)} + \text{低周波可変周波数ノイズ}$$

となります。サイリスタに比較して、パルスノイズの密度が高く、それに加えて可変周波数ノイズが存在するために対策が困難です。



インバータの原理



④ リレー

リレーは、警報出力や温度調節計出力を增幅する場合などに良く利用されますが、コイルのインダクタンスによって OFF 時に逆起電力が発生し、この逆起電力がノイズとなるので、注意が必要です。また、リレーを駆動する接点のチャッタリングなどにより、ノイズ成分としては数 10k~ 数 100kHz 程度であり、バースト的に発生する場合が多く、エネルギー的に高くなる点に特に注意が必要です。

⑤ トランシーバ

大型のプラントなどでは、現場と計器室の間の連絡のためにトランシーバが良く使われます。日本電気計測器工業会の W/G の推奨は、27MHz 帯のトランシーバですが、より小型の 140MHz 帯、470MHz 帯のトランシーバがしばしば利用されます。

⑥ ノイズシュミレータ

パルスノイズ(サイリスタノイズが主)に対する耐力をテストするために、しばしばノイズシュミレータが利用されます。試験用ノイズとしては、 $0.8\mu\text{s}$, 1kV 程度が電源同期で使われます。記録計は、測定器としての性格上から、パルスノイズ試験中の機器の測定に用いられることが多く、注意が必要です。

2.2 ノイズの伝播経路について

ノイズの伝播の経路としては、次の3種が挙げられます。

- ① 伝導： 電源ライン、入力配線などから伝わる。
- ② 静電誘導： 配線間、機器間の静電容量から漏れる。
- ③ 電磁誘導： 入力配線などのループが交流磁界を検出する。

実際には、この3種は独立ではなく、組み合わされて記録計にノイズを伝播し、トラブルを発生させます。

伝播経路ごとのノイズの例を、次に示します。

- ① 伝導： インバータノイズ、リレーノイズ、サイリスタノイズ、パワートランジスタの表面温度測定に起因するノイズ。
- ② 静電誘導： オーディオ機器のハムノイズなどの商用電源ノイズ、リレーノイズ
- ③ 電磁誘導： 電源トランス、モータからの漏洩磁束、高周波加熱炉の加熱用磁界、発電機の回転磁界 ($Cu10\Omega$)

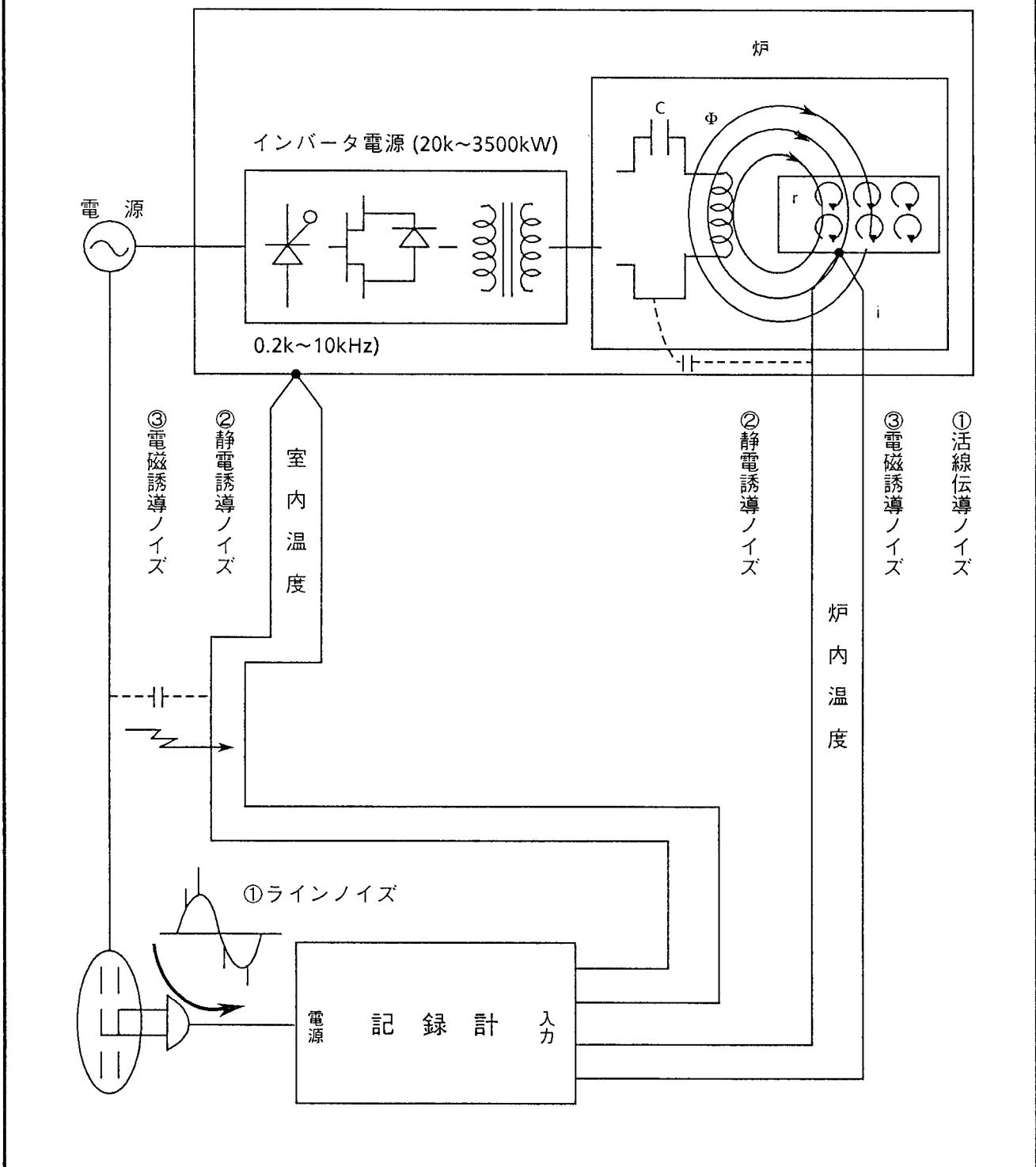
また、実際例に対応した伝播経路の例を次ページに示します。

ノイズの伝播経路

<高周波誘導炉の例>

- * 電磁誘導により導体にうず電流 i が流れ、ジュール熱が発生・加熱する。

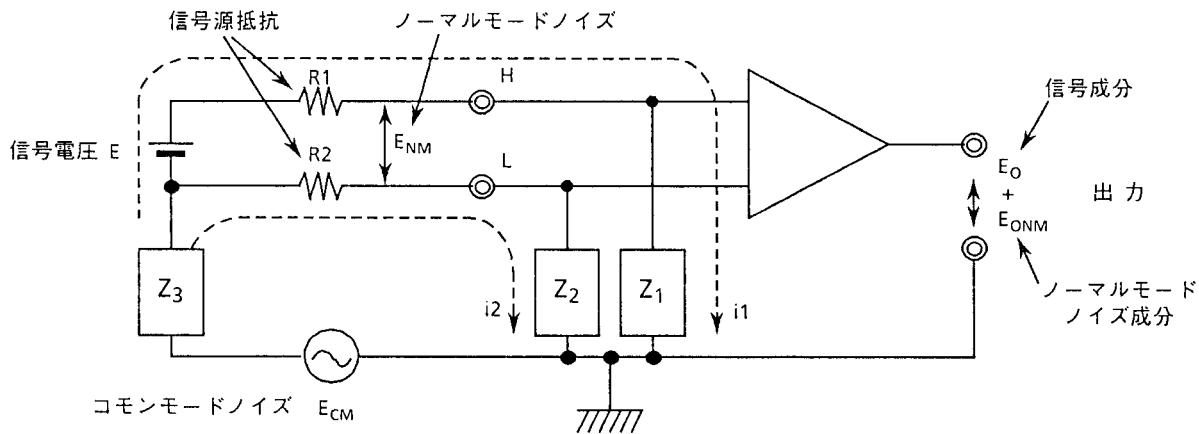
$$J = i^2 r$$



3. ノイズ対策：基本偏

3.1 ノイズ解析の基本(その1)

—コモンモードノイズとノーマルモードノイズ—



- コモンモードノイズ (E_{CM}) :

信号源と測定器の接地間に発生するノイズで、入力端子 H , L の双方に同相で印加されるので、同相電圧とも呼ばれます。

- ノーマルモードノイズ (E_{NM}) :

信号電圧に重畠されている望ましくないノイズで、入力端子 H , L の間の電圧のため線間電圧、または信号電圧と直列のためシリーズモード電圧とも呼ばれます。

上の図の例では、コモンモード電圧 E_{CM} のために、対地インピーダンス Z_1 , Z_2 と結合インピーダンス Z_3 を通して、ノイズ電流 i_1 , i_2 が流れ、入力端子 H , L 間にノーマルモードノイズ E_{NM} が発生しています。このように、コモンモードノイズがノーマルモードノイズに変換されるため、ノーマルモードノイズへの変換率が測定器の耐ノイズ特性を示す特性値として重要視され、この変換率がコモンモード除去比と呼ばれ、次式で示されます。

$$\bullet \text{コモンモード除去比 (CMRR)} = 20 \log \frac{E_{NM}}{E_{CM}} (\text{dB})$$

コモンモード除去比 (CMRR) は、実際には、出力のコモンモードノイズによる誤差とコモンモードノイズとの比で表されるので、次式に示すノーマルモード除去比 (NMRR) を含んだ値となります。

$$\bullet \text{ノーマルモード除去比 (NMRR)} = 20 \log \frac{E_{ONM}}{E_{NM}} (\text{dB})$$

ノーマルモード除去比とは、ノーマルモードノイズによって出力にあらわれる影響 (ノーマルモードノイズ成分 : E_{ONM}) をどの程度除去できるかを示す値で、これも測定器の耐ノイズ特性を示すものとしてたいへん重要な値です。

3.2 ノイズ対策の基本(その2)

—低インピーダンス化と高インピーダンス化—

前節で説明したように、コモンモードノイズがノーマルモードノイズに変換され、測定出力に誤差を与えるので、ノイズ対策の基本は、さまざまな形で与えられるコモンモードノイズがノーマルモードノイズへ変換されるのをいかに防ぐかということにあります。

前節の図から、ノーマルモードノイズ(E_{NM})は、

$$E_{NM} = E_{CM} \times \left(\frac{Z_1}{R_1+Z_1} - \frac{Z_2}{R_2+Z_2} \right) \frac{R'}{Z_3+R'}$$

$$\text{ここで } R' = \frac{(R_1+Z_1)(R_2+Z_2)}{(R_1+Z_1)+(R_2+Z_2)}$$

ただし $E=0V$

で与えられることが解ります。

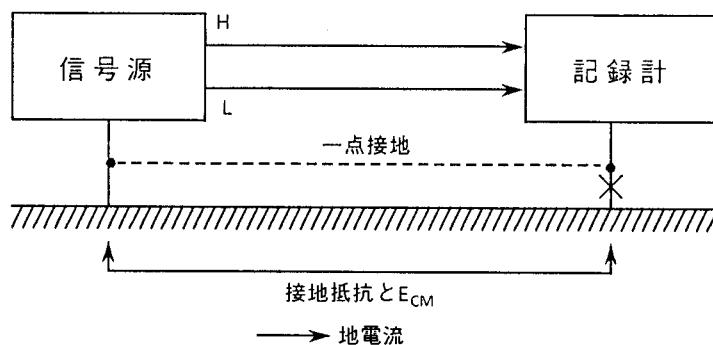
この式から、コモンモードノイズがすでに与えられていることを前提とした場合、ノーマルモードノイズを小さくするためには、

- ① 対地インピーダンス Z_1, Z_2 を極力、小さな値にする。
- ② 結合インピーダンス Z_3 を極力、大きくする。

ということが重要です。

これを、ノイズ対策の基本としての低インピーダンス化と高インピーダンス化といいます。

ところで、これまで、コモンモードノイズはすでに与えられているものとして話を進めてきましたが、コモンモードノイズは、実際には下図のように接地抵抗のために発生している場合が多くあります。



このような場合には、低インピーダンス化の極端な例として、破線で示すように一点接地を行い、信号源と記録計の等電位化を図り、コモンモードノイズを除去することがノイズ対策の基本となります。

「4. ノイズ対策：応用編」では、低インピーダンス化と高インピーダンス化そして等電位化の実現方法と実例を紹介しています。

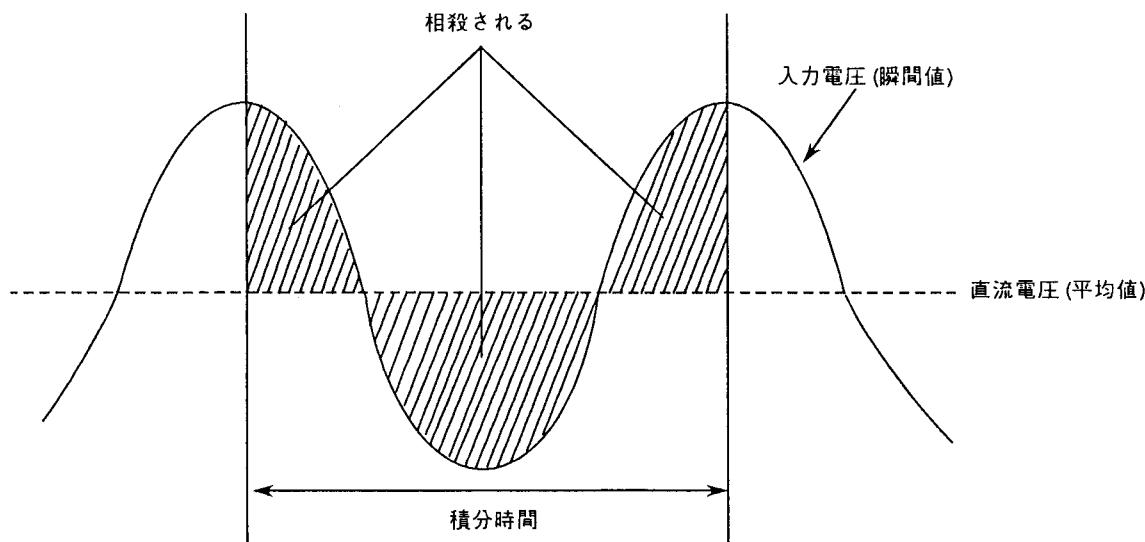
3.3 記録計自身におけるノイズ対策

① パルス幅変調方式 A/D 変換器 (PWM 方式 A/D)

YOKOGAWA の記録計の中で, μR1000 / 1800, 旧 μR シリーズ, μR-T シリーズ, μR-F, HR1300 / 2300 / 2400, そして HR2500E では, A/D 変換器として YOKOGAWA 独自の帰還形パルス幅変調方式 A/D 変換器を使用しています。2大特長として,

- フィードバック効果によって、直線性、安定性が良い。
- 積分形 A/D 変換器なので、ノイズ除去効果が非常に優れている。

積分時間とノイズの周期が等しければ、斜線部分の + 側と - 側は打ち消しあって平均値がゼロとなります。



通常は、積分時間を商用電源にあわせて 20ms (50Hz) または、16.7ms (60Hz) のいずれかに選択するようになっていますが、μR1000 / 1800 (打点モデルのみ), HR1300 / 2300 / 2400 では、さらに優れたノイズ除去効果を実現するために、100ms 積分モードを追加しています。

PWM 方式 A/D では、積分効果によって

- ① 積分時間の逆数で決まる周波数とその整数倍の周波数成分を除去する機能
 - ② 積分時間の逆数に比例したカットオフ周波数を持つ 1 次遅れフィルタとしての機能
- の 2 つの機能を持ちます。16.7ms, 20ms, 100ms の各場合について比較すると

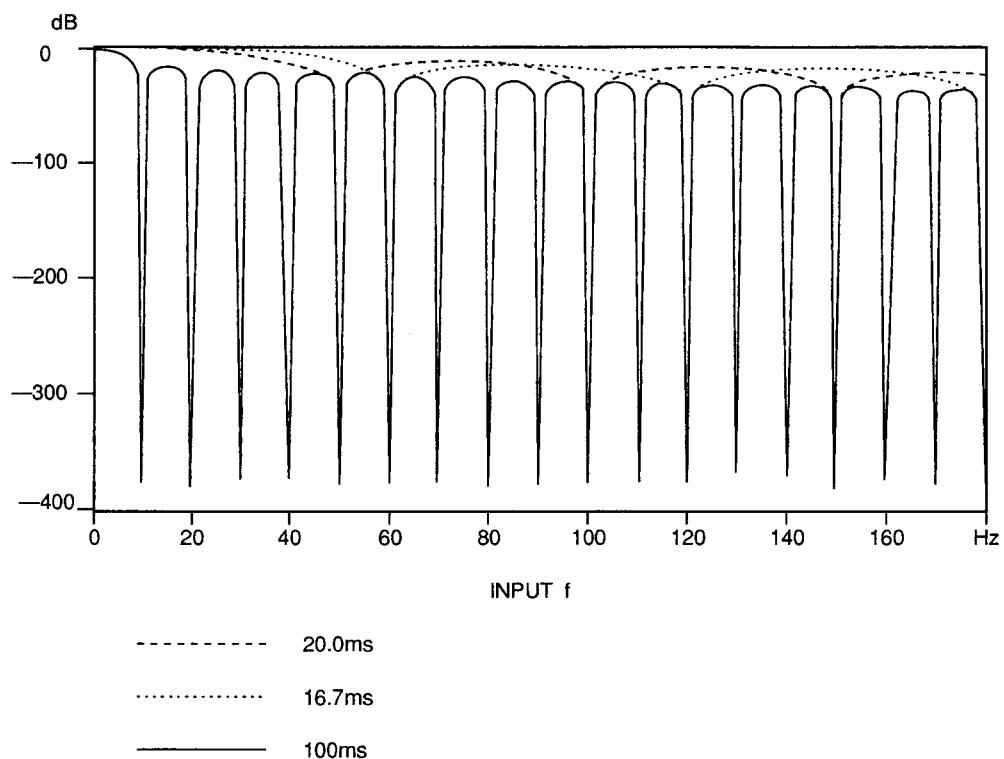
積分時間	除去周波数	カットオフ周波数	備考
16.7ms	$n \times 60\text{Hz}$	$\approx 19\text{Hz}$	60Hz 専用
20.0ms	$n \times 50\text{Hz}$	$\approx 16\text{Hz}$	50Hz 専用
100.0ms	$n \times 10\text{Hz}$	$\approx 3.2\text{Hz}$	50Hz / 60Hz 両用

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

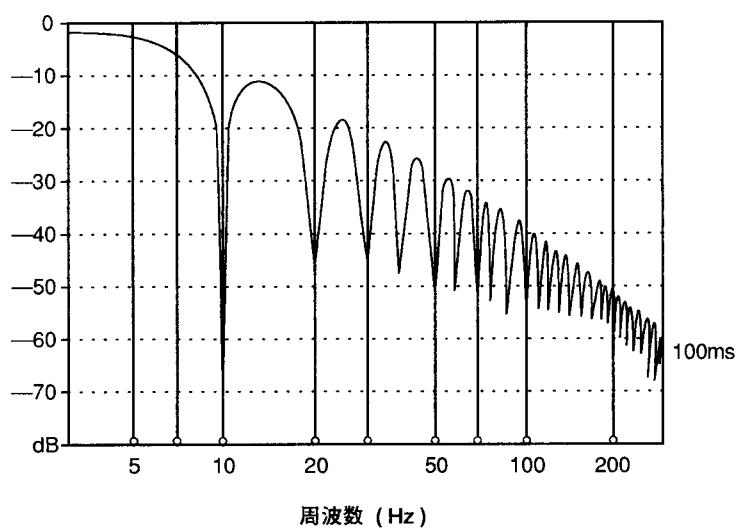
となり 100.0ms 積分の場合は、50Hz / 60Hz 両用となるばかりでなく 1 次遅れフィルタとしてのカットオフ周波数も低くなり、ノイズ除去能力が向上していることが解ります。

下図に、3種の積分時間の場合のノーマルモード除去比の計算値と、100msの積分時間の場合のノーマルモード除去比の測定例を示します。

- ノーマルモード除去比の計算値



- ノーマルモード除去比の実測例 (100ms)

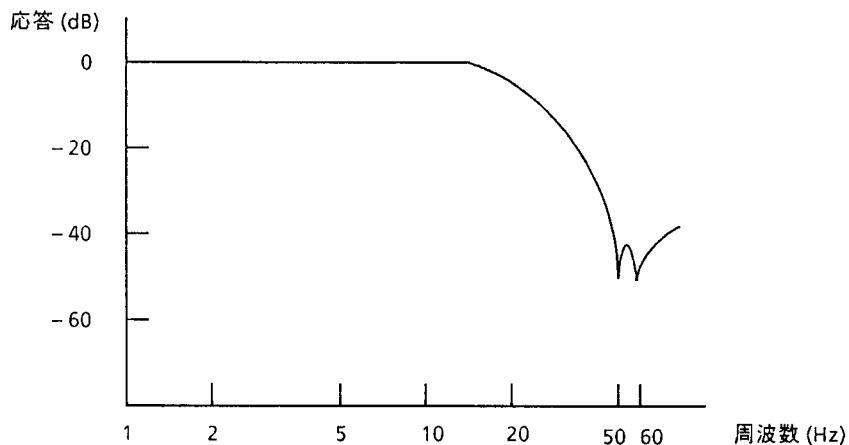


② ノイズフィルタ

ノーマルモードノイズを除去するためには、パルス幅変調(PWM)方式A/D変換器は、非常に優れたものですが、積分時間を商用周波数と整合させる必要があるため、変換速度が遅くなるという欠点があります。また、マイクロプロセッサを使用していない在来形の記録計では、A/D変換器は不要で、PWM方式A/D変換器を使用できません。このため、高速応答を要求されるLRシリーズ、そして、在来形のX-Yレコーダ(3023/3024/3025)では、ノーマルモードノイズ除去のために、ノイズフィルタを備えています。

機種	LRシリーズ	X-Yレコーダ
フィルタの形式	4次ディジタルフィルタ	タブルTwin-Tフィルタ
カットオフ周波数	OFF(10Hz), 1Hz, 0.1Hz	15Hz
NMRR*	50dB以上	50dB以上
フィルタ特性	-24dB/オクターブ	下図参照

*: 50/60Hzにて



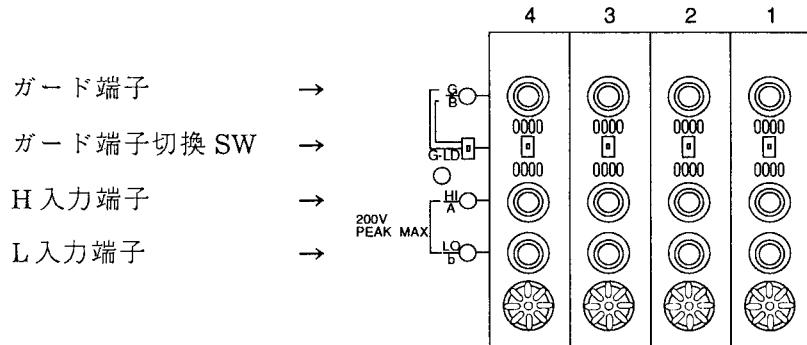
また、HR1300/2300/2400, μR1000/1800では、ディジタル演算によってノイズフィルタ機能を実現しています。詳細は、それぞれの取扱説明書をご覧ください。

	HRシリーズ	μR1000/1800
打点モデル	移動平均 (n=8)	移動平均 (n=2~16)
ペンモデル		時定数=2, 5, 10s

③ ガード

LRシリーズとX-Yレコーダ(3023/3024/3025)では、ノイズフィルタに加えて、応答を悪化させることなくコモンモード除去比を改善する手段としてガード(シールド)端子を備えています。

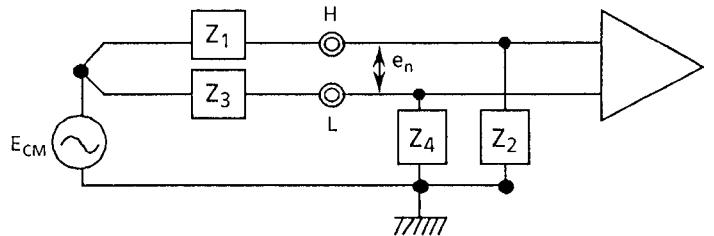
- LRの入力端子(例)



ガード端子は、通常L入力端子と接続した状態で使用します。コモンモードノイズによる誤差が大きい場合は、ガード端子を独立の端子としてシールド線を接続することで、コモンモードノイズを小さくすることができます。

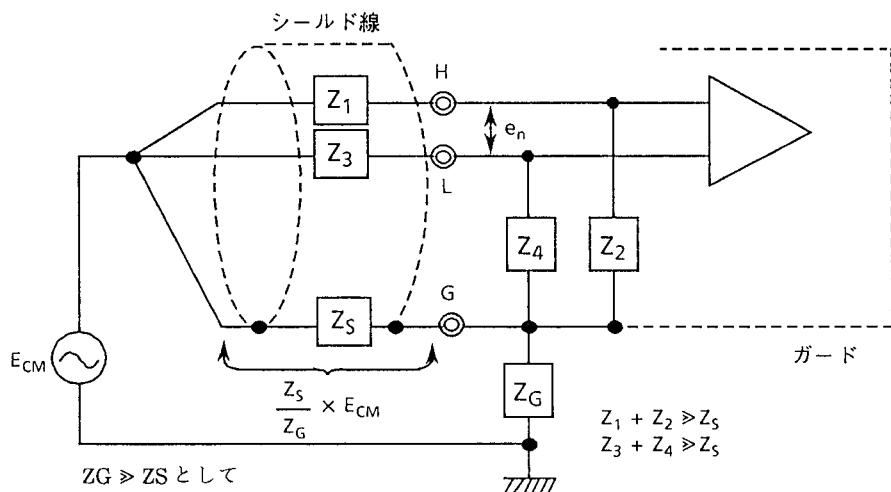
- ガード端子の無い場合

$$e_n \approx \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \times E_{CM}$$



- ガード端子にシールドを接続した場合

Z_S と Z_G とで、 E_{CM} が分圧された形になって、コモンモードノイズが見かけ上小さくなっています。



$$e_n \approx \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \times \frac{Z_S}{Z_G} \times E_{CM}$$

重要なポイントは、シールド線のインピーダンス Z_S が充分に低い値であることです。

4. ノイズ対策：応用編

4.1 応用対策の手法

① ノイズそのものを減少させる

応用対策の基本は、簡単なことですが、極力、ノイズの少ない状態で記録計を使用することです。

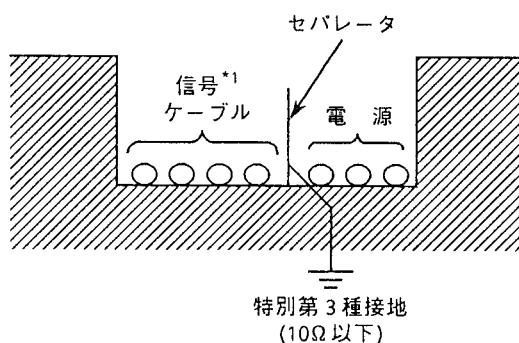
- 電源ラインの場合：高インピーダンス化

ノイズ源となる機器（インバータ、サイリスタなど）用の電源ラインと測定器用の電源ラインを分離します。

- 入力ラインの場合：高インピーダンス化

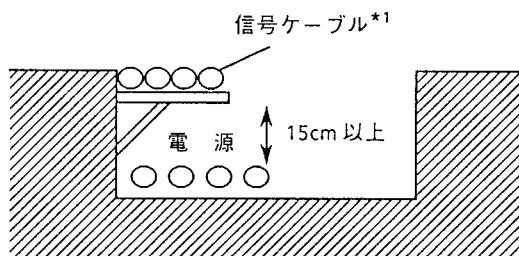
入力ラインとノイズ源となる配線（電源ライン、警報ラインなど）は、必ず分離して配線を行います。

(1) 隔壁（セパレータ）を設ける。



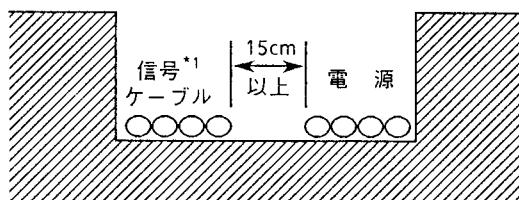
(2) ケーブルラックで 15cm 以上はなす。

電源ケーブルにシールド付を使用しない場合で、使用電圧が 220V 以下で使用電流が 10A 以上の場合には隔離距離を 60cm 以上としてください。



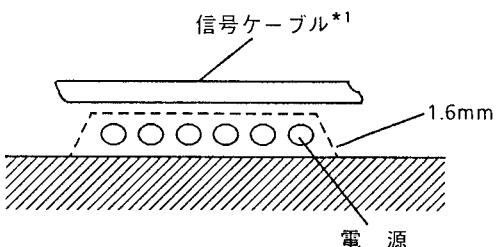
(3) ケーブル間を 15cm 以上はなす。

電源ケーブルにシールド付を使用しない場合で、使用電圧が 220V 以下で、使用電流が 10A 以上の場合には隔離距離を 60cm 以上としてください。



(4) 両信号ケーブルを直角交差とする。

電源ケーブルにシールド付を使用しない場合は、破線のように厚さ 1.6mm 以上の鉄板で交差部を覆うことが望ましい。

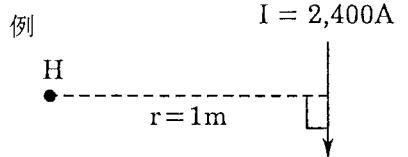


*1 アナログ信号ケーブルと通信ケーブルもできるだけ、電源ケーブルと同様に分離敷設してください。

- 磁界、電界の影響がある場合：高インピーダンス化

1. ノイズ源を可能な限り離す。

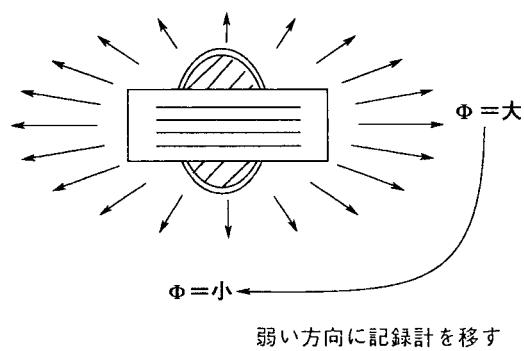
- 磁界の強さ $H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{2,400}{6} = 400[\text{A}/\text{m}]$



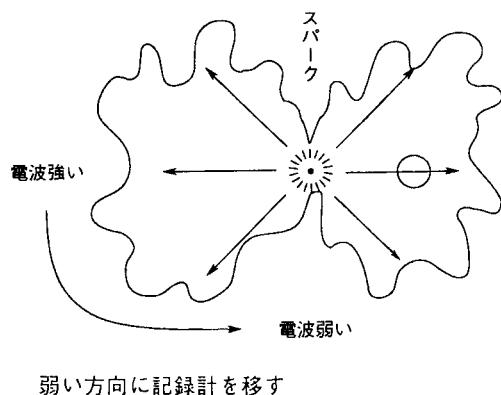
- 測定器の外部磁界の影響：400A/m 以下

2. ノイズ源の設置方向を変えてみる。

(A) トランスの漏洩磁束： Φ

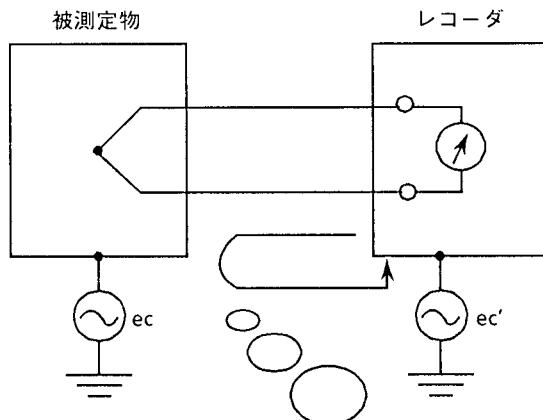


(B) スパーク



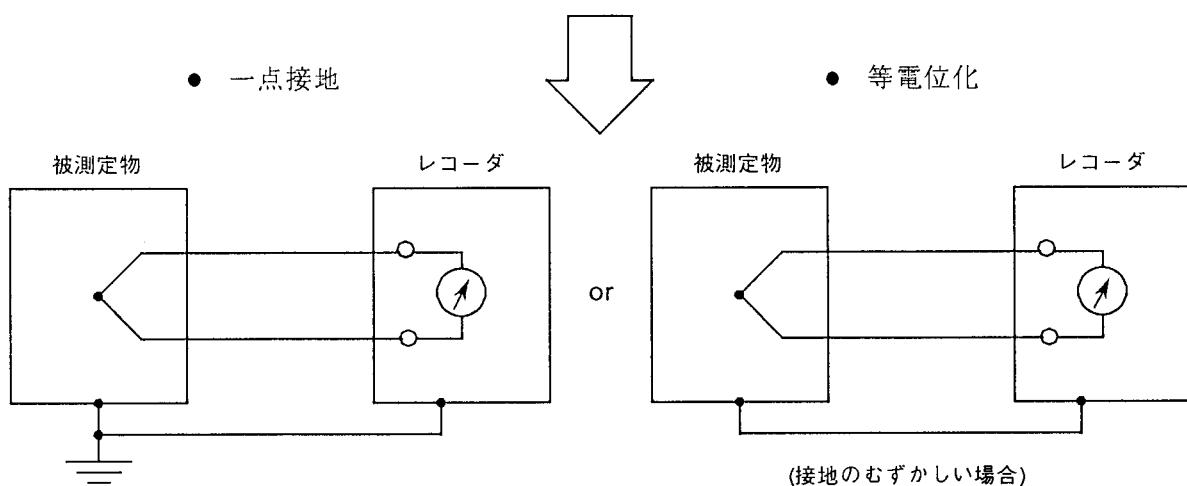
② 接地(アース): 低インピーダンス化

コモンモードノイズの発生を抑えるために接地の方法がポイントになります。



両者の接地電位が違うと地電流が生じてノイズが発生する

接地電位を等しくする: コモンモードノイズ=0とするために



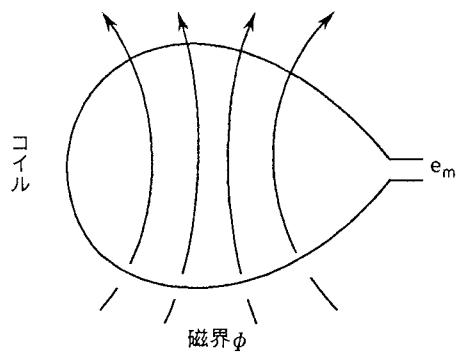
安定した結果を得るために、接地を確実に行って回路電位を定めるのが基本です。したがって、等電位化は、やむを得ない場合の手法です。

③ シールド(電磁結合対策): 高インピーダンス化

設置場所の制限から距離的な分離が困難な場合は、シールド付きより線(ツイストペア)が効果的です。

- 静電結合に対しては、シールドによって完全に結合を断つことができる。
- 磁界に対しては、磁性体(鉄、パーマロイなど)による磁気シールドが可能であるが、使用上の制約が多いうえに、完全にシールドすることは不可能。

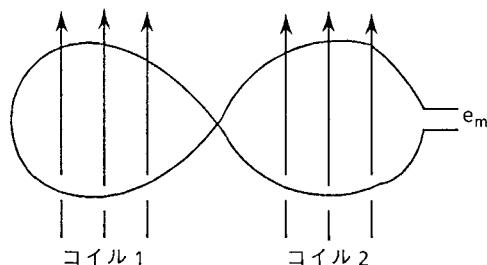
⇒より線(ツイストペア)の使用が効果的。



コイルに誘起される電圧 e_m は、コイル面積に比例する。



コイルの面積を小さくすればノイズも小さくなる

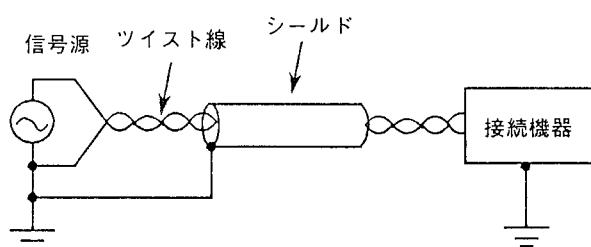


コイル 1 とコイル 2 をよることによって、逆向きとすれば、コイルの面積が等しい時に、誘起電圧 e_m はコイル 1 の成分とコイル 2 の成分が打消しあってゼロとなる。

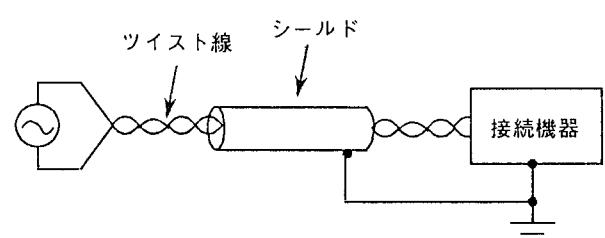
この 2つの方法を実現したのが、より線(ツイストペア)です。

シールド付きより線(ツイストペア)を使用する場合でも、接地の方法は重要です。

● 信号源が接地されている場合



● 信号源が接地されていない場合



なお、信号ケーブルのシールドの接地は、まとめたうえで、電源ラインの接地などとは分離して行います。分離できない時には、ガード端子を利用します(LRシリーズ、X-Yレコーダ)。

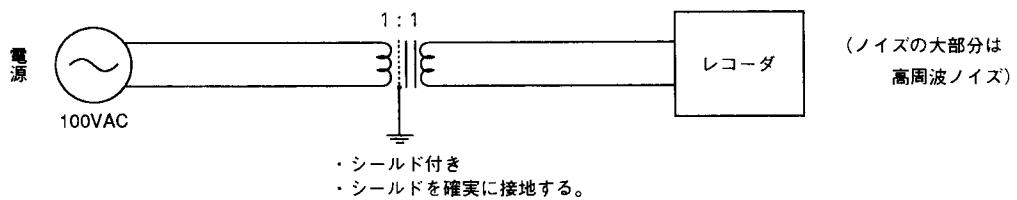
④ フィルタ、ノイズキラーの挿入

①から③に述べた方法でも、ノイズの影響を除去できない場合には、フィルタやノイズキラーを利用します。

- 電源ラインのノイズの除去

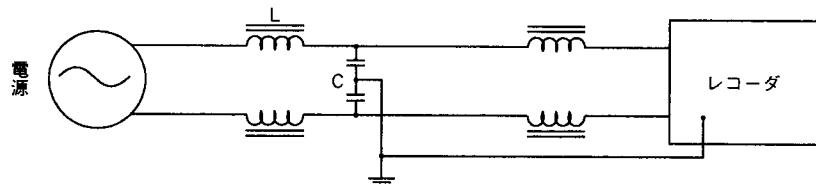
1. 電源に絶縁トランスを入れる。

- 高周波に対するインピーダンスを高くする。



2. 電源ノイズフィルタ(市販)を入れる。

- Cにより対地インピーダンスを低くし、Lにより高周波に対するインピーダンスを高くすることにより、ノイズを分圧します。

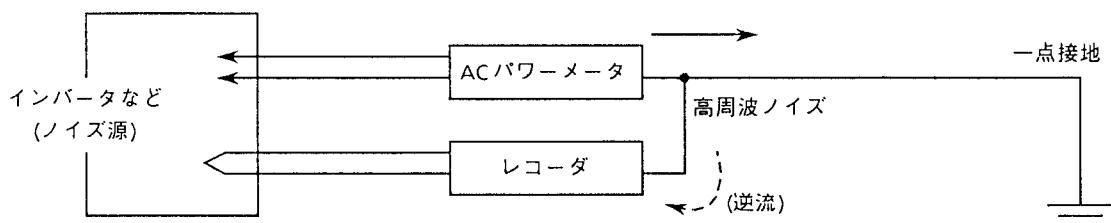


- 注意1：ノイズフィルタとレコーダを共通接地点する。
- 注意2：電源ノイズフィルタを入れるとバイパス電流(漏洩電流と見なされる)が増加するので、規格値内であることを確かめること。

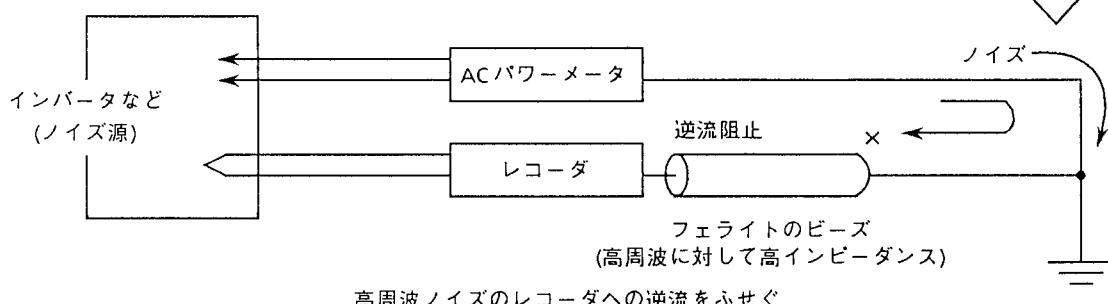
- 周波数によってノイズの性質が異なる場合

低周波に対しては一点接地が効果的であっても、高周波に対しては、逆にループを構成して逆効果の場合があります。

ex) インバータに電力計とレコーダを一点接地にて使用



電力計は、高周波ノイズ成分をアースにたれ流し、そのノイズがレコーダ側に逆流してくる。

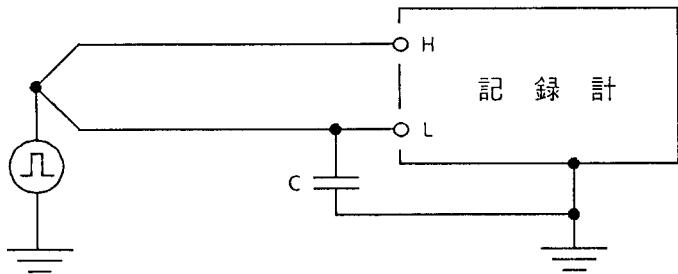


高周波ノイズのレコーダへの逆流をふせぐ

● 入力ノイズの除去

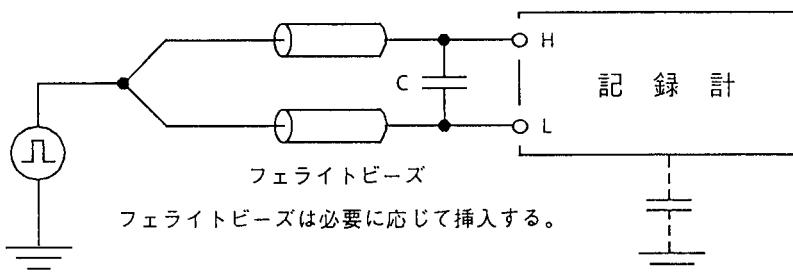
一点接地や 100ms 積分でも、入力ノイズを除去しきれない場合には、フィルタを挿入します。パルスノイズに有効です。

1. L入力と接地の間にコンデンサを付加する。



C(コンデンサ容量)の値としては、
100pF～数 1000pF を目安とする。
接地は、必ずつけること。
高耐圧コンデンサ使用。

2. 接地をとれない場合のパルスノイズ対策

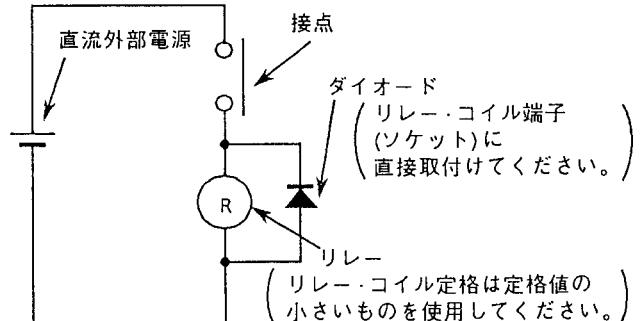


Cの値としては 100pF～数 1000pF
を目安とする。

● リレーノイズの除去

<DCリレーの場合>

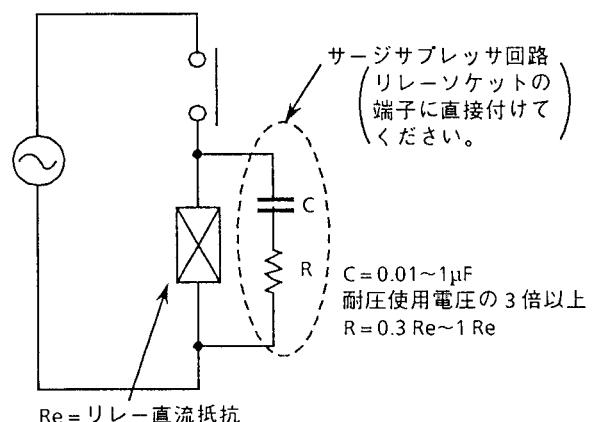
- ノイズ防止、接点保護のため、リレー・コイル端子に、ダイオードを直接取付けてください(DCの場合)。
- 上記対策と共に、さらに信頼性を上げるために、できるだけ定格電圧値の低いリレー回路としてください。
- ダイオードの値は、リレーに合ったものを決める必要があります。一般的には定格整流電流がリレーのコイルに流れている電流の3倍以上のダイオードを選びます。また、逆電圧は使用電圧の3倍以上のものとしてください。



(注) リレー やソレノイドは、誘導負荷のためコイルの両端に逆起電圧を生じます。この現象は接点の破損やノイズ源となって機器の誤動作をまねき、システム全体に悪影響を与えます。

<ACリレーの場合>

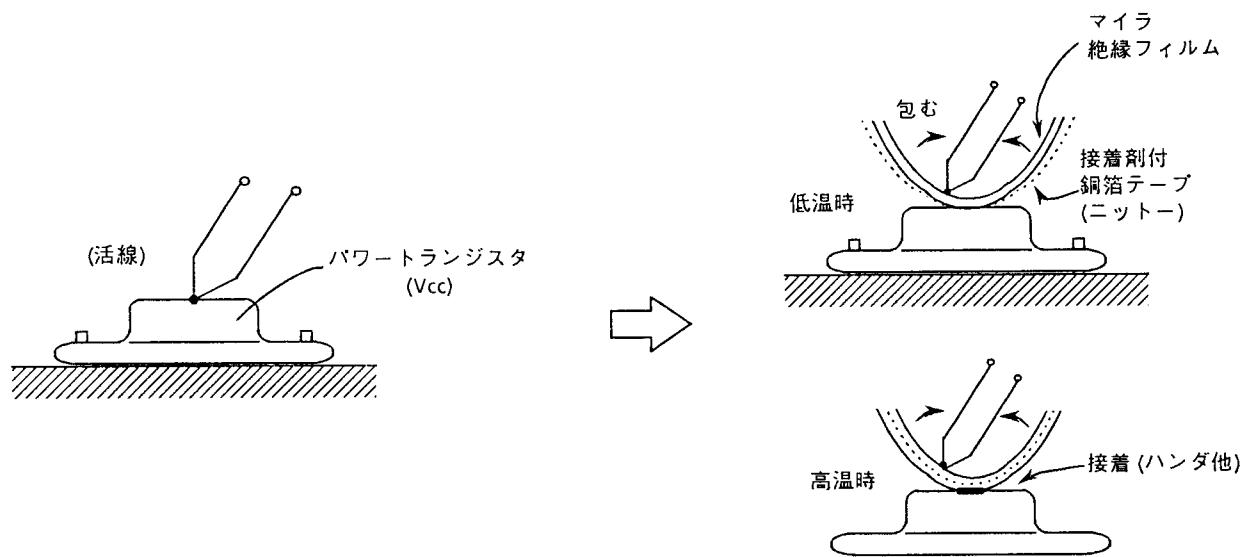
- システム機器への接点入力がリレーの接点である場合、そのリレーコイル側にも上記処置をしてください。コイルに発生した逆起電圧がリレー内もしくは配線上で接点側に誘導を受け誤動作を起こす危険があります。



$$Re = \text{リレー直流抵抗}$$

⑤ その他(ノイズ源との絶縁: 活線測定の場合)

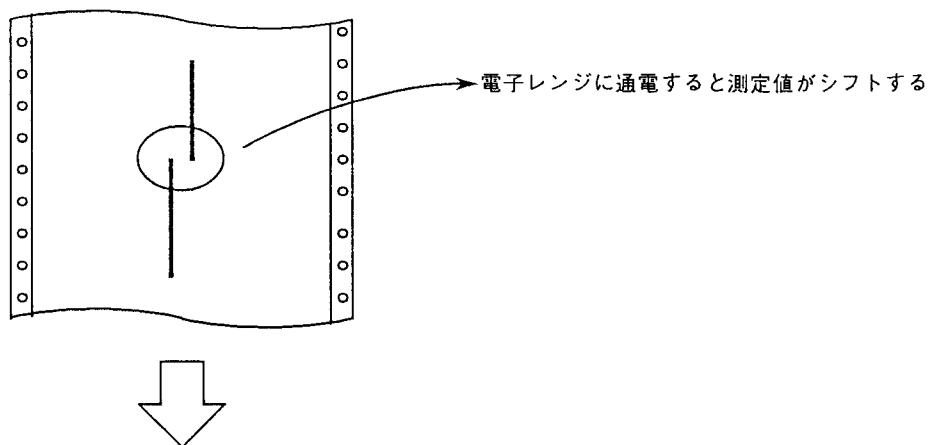
銅箔テープとマイラフィルムによる絶縁例



4.2 応用対策の実例

① 電子レンジのマグネットロンの温度測定

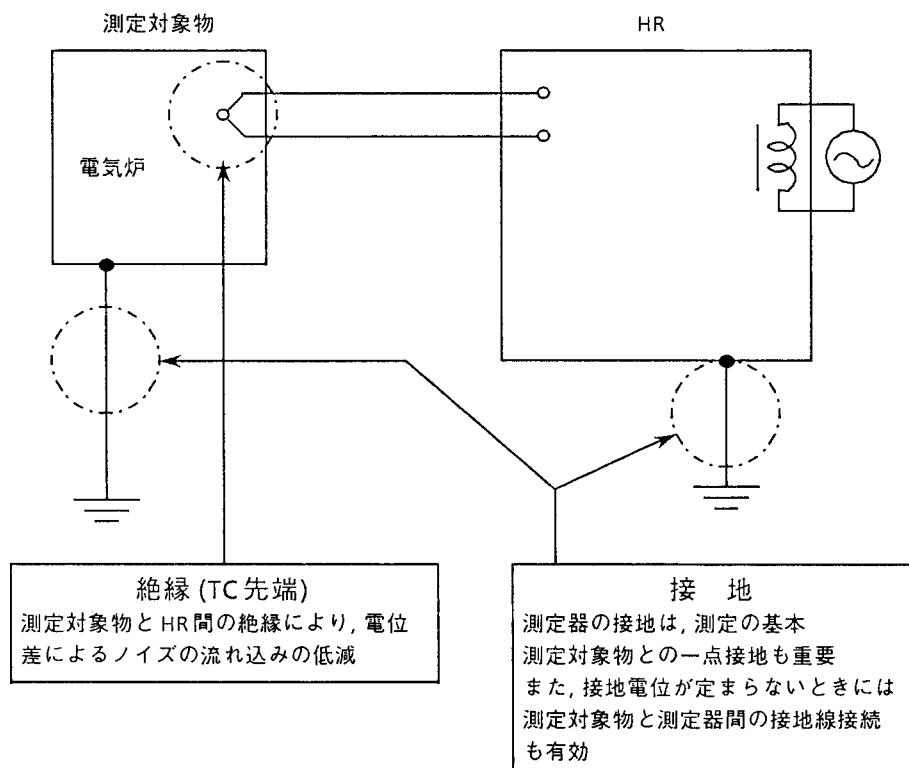
ノイズがのると測定データの乱点よりもむしろシフト(データが全体にずれる)という現象が生じます。



接地を正しく行うことにより解消!!

- 機器の電位を同一に保ち、安定化させる。
- 一点接地にする。

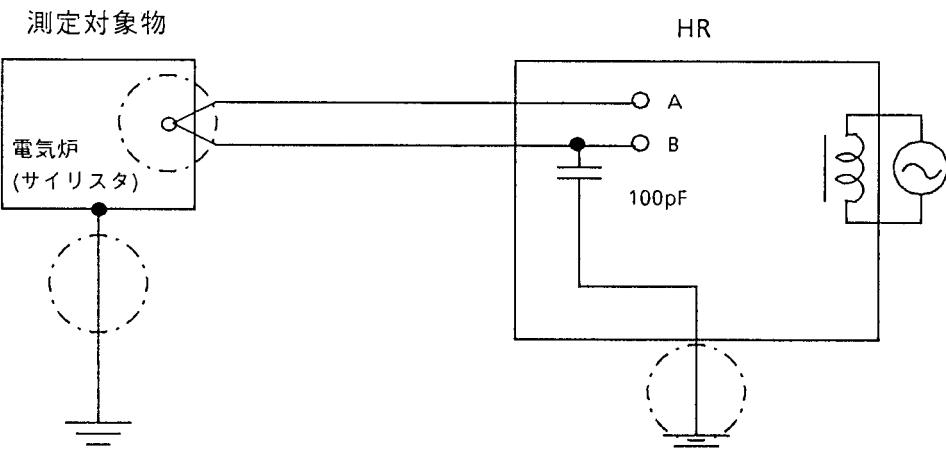
② 電気炉の温度測定(その1)



③ 電気炉の温度測定(その2)

100ms 積分・TC 絶縁・接地処置を施してもノイズによる影響が無視できる値にならないケースが電気炉などへのアプリケーションで発生しました。

対策として下記に示しているように、各入力チャンネルラインBに100pFのコンデンサを対アース間に搭載したスキャナーを使用することにより低減することができました。



* コンデンサ内蔵スキャナーを使用したHRを使用するときの留意点

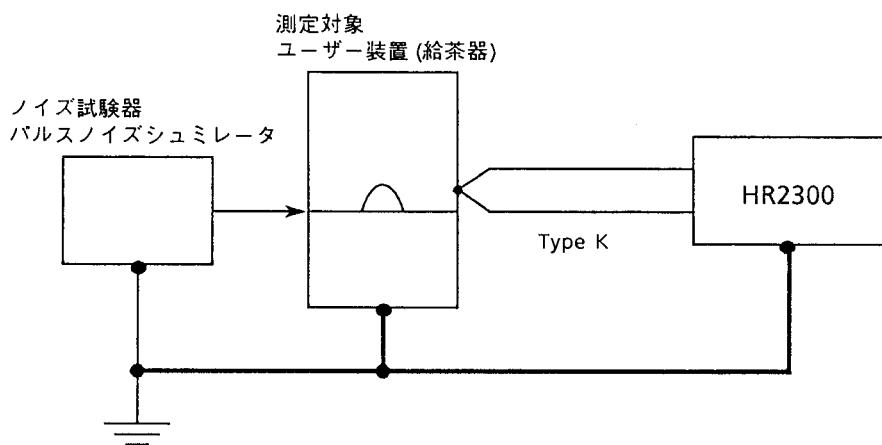
接地を必ず行う

(フィルタ用コンデンサを対HR間に挿入してあるため接地しないで使用するとコモンモードノイズの影響が起こる。)

④ パルスノイズシミュレータ

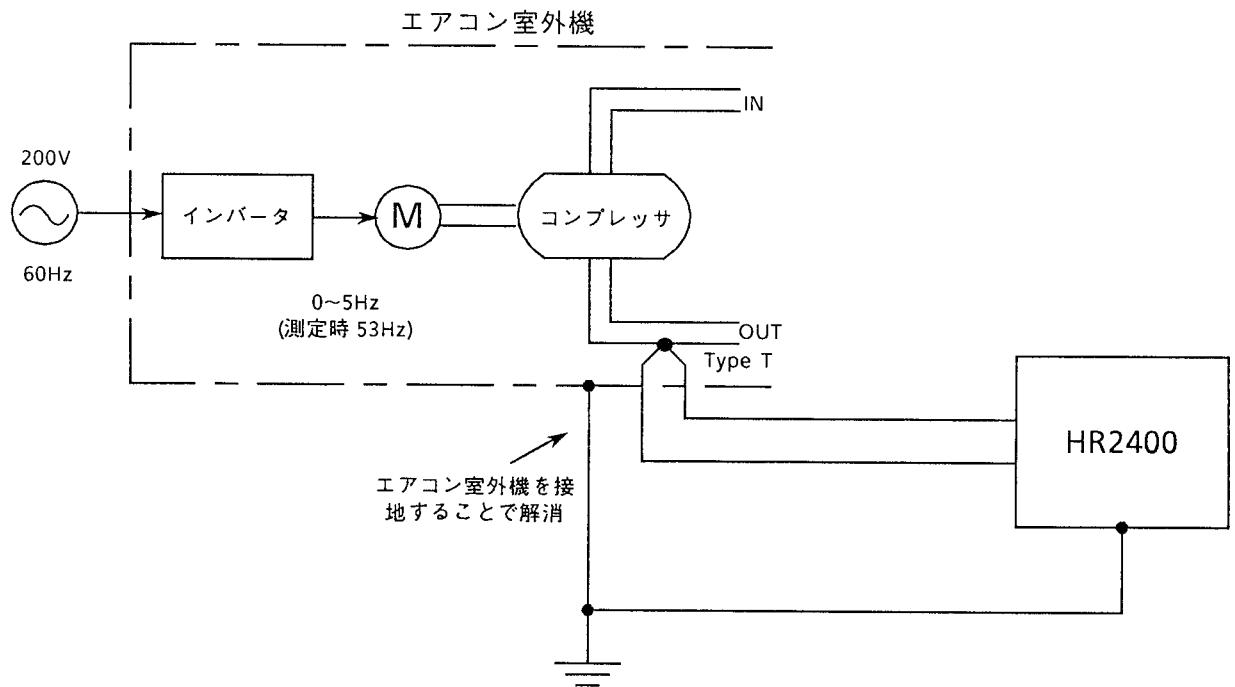
まれなケースとして、自身の装置のパルスノイズ試験を行う際、この装置のモニタにHRを使用する場合があります。HRにとっては、きわめて厳しい環境であり、パルスノイズシミュレータによるノイズ試験を直接行われているようなものです。

対策としては、測定対象とHRとノイズ試験器を同電位(接地)にすることですが、接地線を細い線や長い線で施してもあまり効果はありません。できるだけ近い距離で充分太い線を使用する必要があります。接地線として、金属板の使用なども効果的です。



⑤ インバータエアコンの温度測定

インバータの出力が 53Hz で、PWM 方式 A/D 変換器によるノイズ除去ができない状況がありました。一点接地で解決しました。



⑥ 発電機の温度測定

発電機のスタートアップ、シャットダウン時のようにタービンの回転数が低下している場合も影響を受けやすくなります。HR2500E の事例では HR の前段に JUXTA 変換器を置くことで対応しました。

