

音波のよもやま話 (その 39&40)

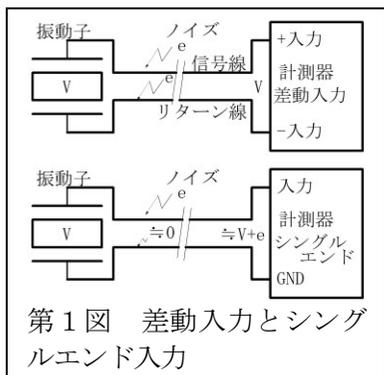
外来電気、機械ノイズ、電氣的歪等 Countermeasure of Ealectric and Mechanical Noise and Distortion

(有)アイ・エス・エル 宇田川義夫

◆はじめに

手動探傷器を溶接機の近くで作動させると、溶接機のスウィッチング・ノイズが入り、エコー観測に邪魔になる。自動探傷器では、ノイズが誤判定の元になる。自動探傷器の設置ではノイズ対策の為に工期が遅れる事もしばしばである。適切な耐ノイズ設計をすれば苦労しないで済む。今回はこう言った主に電氣的ノイズと関連する話である。

◆一般的センサーの信号受信方式



圧電素子に限らず多くのセンサーは二端子を有し、そこに電荷を発生する。この二端子間に発生した電荷を計測容易な電圧又は電流として

計測する。片側を基準にして測定するシングルエンド法と両方の差を測定する差動入力法がある。熱電対などマイクロボルトと言った微弱な電圧を測定する計測アンプは主に差動法である。センサーからの配線にノイズが混入した時、信号とそのリターン線に似たような振幅のノイズ e が入るので、差動法では、その差分の信号のみ増幅される。一方シングルエンドはリターン線が GND に繋がれているので、GND 側に入ったノイズはレベルが落ち、信号線に乗ったノ

イズの大部分が増幅される。第1図にこの様子のイメージを示す。信号線とリターン線は計測器に対して同じインピーダンスで繋がっているとは限らない。実用上は差動型でもシングルエンドに近い状態になる事もあるので、事例ごとに検討が必要だ。低周波で動作させる熱電対等 μV 単位の計測には必ず差動法が採用されるが、高周波では差動法の計測器の設計が困難になるので、シングルエンド法を使う事が多い。後で延べるが、平衡から不平衡に変換する回路をシングルエンドの機器の前に配置する方法もある。また、非破壊の圧電素子の場合、比較的高周波であると同時に微細欠陥の検出では微弱信号になるが、同じセンサーで音波発振する為の励振回路を考慮すると、歴史的に差動方式が困難だったことから、シングルエンドになっている。一部の微弱信号を計測するハイドロホンや AE センサーなどでは差動法が用いられている。

USB、LAN など最近のデジタル信号は振幅が 1V 以下と小さく、そのままでは外来ノイズに弱いので、誤動作しない様に差動法を使っている。

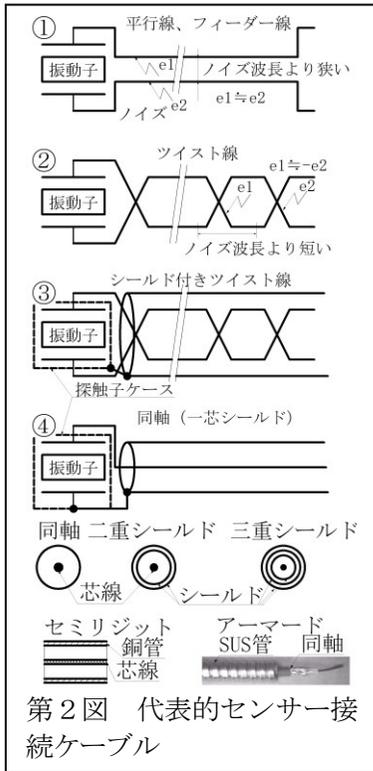
◆一般的センサーの配線

配線方法は平衡 (バランス) 型と不平衡 (アンバランス) 型があり、前述の信号の受信方式に従い、配線ケーブルの種類も制限される。差動方式では平衡型ケーブルが使われ、シングルエンドの場合不平衡型ケーブルが使われる。差動方式に不平衡ケーブルも使えるが、差動のノイズを受けにくいメリットが落ちる。

平衡型のケーブルの代表は、スピーカに繋ぐ二芯線、FM などアンテナに使われる単に 2 本の平行のフィーダ線である。邪魔な電 (磁) 波

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

の波長が平行線間隔より十分広ければ、両方の線に同じノイズが入るので、差動増幅すれば、ノイズはごく少ない。(第2図①)



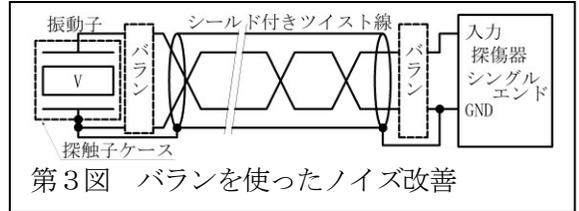
もっとノイズを受けにくくする為、ツイスト線がある。撚り(ツイスト)のピッチをノイズ波長より短くすると、各ピッチ間隔に入ったノイズは打ち消しあう。二本の線の間隔が狭いので、前述の平行線の効果と相乗する。(第2図②)

更にツイストの全体を銅製網で遮蔽(シールド)

し、銅製網の両側(探傷器と探触子ケース)をGNDに繋ぐとノイズにより強くなる。USB、LANケーブルはこの構造を取っている。(第2図③) 遮蔽があれば全てシールド線と呼ぶ。

不平衡用にはシールド線が使われる。同軸は中心信号線とシールドが同心円状になったもので、探触子ケーブルに使う場合、短ければシールド線として売られているものでも支障ない。例えば水晶やセラミックの振動子は概略容量であり、周波数に依存してインピーダンスが変る。同軸の特性インピーダンスと同じ等価インピーダンスになる事はほとんどなく、結局同軸ケーブルを単にシールド(遮蔽)用として使っている。この事を知らず、同軸の特性インピーダンスにパルサー・レーザバや探傷器の入出力特性、或いは探触子のインピーダンスを合わせようと努力するが余りその効果はない。

同軸のシールドを厚くすると外来ノイズにより強くなり、二重シールドや三重シールドが手に入るが、曲げにくくなり、手動探傷には余り適さない。同軸の外にスパイラル管を配置した



アーマード(鎧)・ケーブルがあり、超音波スキャナーなどケーブルが繰り返し屈曲する可動部で電気ノイズを嫌う場合に使われる。固定配線の場合は、シールド材を銅パイプとしたセミリジッド同軸が使われる。50 μ 厚さの銅箔は超音波探傷に使う領域で50~100dBの遮蔽効果があるとされている。

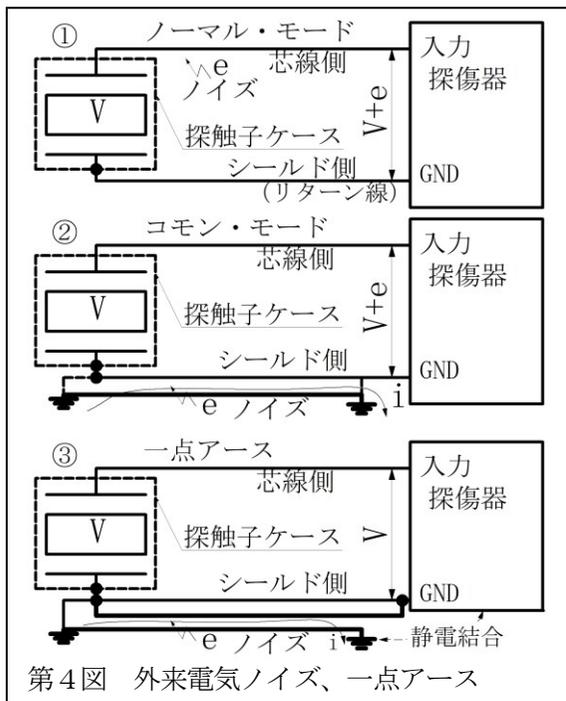
なお、市販の二重、三重シールド(同軸)は各シールド間に絶縁体が入っていて、それぞれ独立に配線する。シールド用端子が複数の二重三重専用のコネクタもある。低周波の場合効果はあるが、高周波では余り効果が無い。探傷器の場合、そもそもコネクタは決まっているので、市販のこういった同軸は太く、曲がり難いだけで、使い勝手が悪い。

テレビのアンテナの様にアンテナ付近は300 Ω の平衡として、途中で不平衡に変換して75 Ω の同軸に繋ぐ方法も使われている。バランと呼ばれる平衡不平衡変換器(トランス)が販売されていて、これを使うと不平衡入力の探傷器側の接診に、シールド付きツイストなど、より耐ノイズ性の良い配線を用いる事が出来る。探触子側も同様にて平衡として、耐ノイズ性を改善できる(第3図)。

多くの機器のUSB端子付近にはバラン又はバランを電子化した様な絶縁用ICが組み込まれているが、それでもUSBケーブルからノイズが入る場合がある。この場合、更にバランを挿入すると良い。絶縁専用のUSBケーブルも売られている。

◆ノイズの経路と一点アース

第1図でノイズが信号線に入ってくる様に書いたが、同軸ケーブルの場合、信号線に直接入る事は少ない。信号線に直接入る場合のノイズをノーマル・モード・ノイズと言う。第4図①に探傷器、探触子と探触子ケーブルの場合のノイズ混入のブロック図を示す。探触子を長時間



走査すると、何度も同軸が屈曲を受け、段々網線のできたシールドにすき間が開いてくる。特に横巻のシールドは網巻きに比べ柔軟であるのと引き換えに、隙間が開きやすい。開くとそこから外来ノイズが信号線に侵入する。探触子からの信号と同じと言う意味でノーマル（普通）モード・ノイズと呼ぶ。

一方同図②の様に、探触子や探傷器は空間や地面などと静電的に或いは漏電抵抗で繋がっている。例えば鉄板の上で検査している事を考えると、溶接器の溶接電流 i が鉄板を流れ、同軸のシールド側インピーダンスにより電圧 e が発生し、探触子からの電圧 V に e が加わる事に成る。これをコモン（共通）モード・ノイズと呼ぶ。

ノイズの原因がノーマル・モードの場合シールドを強化すればよい。二重シールドやアーマ

ード・ケーブルを使えば各段にノイズが下がる事が多い。原因がコモン・モードの場合、シールドを強化し、シールド側インピーダンスを減らして同様に改善できることもあるが、二重シールドにしても半分程度にしかならず、簡単には解決できない。

◆一点アースとフローティング

コモン・モード・ノイズが発生するのを避ける為に、オーディオ周波数帯域では一点アースを用いられる。電子基板の設計でもパターンを一点アースに成る様に配慮する事も多い。

探傷器の場合、第4図③の様に太い線で、探傷器の GND と探触子を繋ぐ。探触子側の一点でアースに落とすと、溶接電流などのノイズ源電流 i がシールドを流れず、ノイズ電圧 e が V に加算されるのを w 抑えられる。図では探触子側で一点アースしているが、探傷器側で一点アースでも良い。前例の溶接の鉄板では、鉄板の等価抵抗は低く、よっぽど太い銅板で繋げないと、探傷器の GND と探触子は同じ電位に成らない。幅数cmの銅板で繋げるのは実用的でない。探傷器端子をアース等から浮かす方法がとられる。浮かすと言っても高周波の場合、静電結合で実質繋がっていて、かなり厚い誘電率の低い絶縁体を使わないと、静電結合が減らない。そこで絶縁体の代わりに、後述の通常コモン・モード・チョーク・コイルを使って、電子部品で浮かす。絶縁体としては探触子の遅延材に使う架橋ポリスチレンが良い。元々誘電率が低い絶縁材として開発され、偶々音の減衰が小さい事から高周波探触子の遅延材に使われる事になった。元々の低誘電率用途は後から開発された新素材が置き換わった。シールド側に電流を流さない特性はバランと同じで、バランでも代用できる。第3図の様なバランの接続で、探触子側と、探傷器側を浮かせるので比較的良好な結果をもたらす。

PC 等の USB のコネクタ直近にはコモン・モード・チョーク・コイルが配置されていてノイズ混入を防いでいる。非破壊超音波周波数帯域の製品もあるが、送信パルスの高い電圧に耐え

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

る製品は量産されていないので、使うのであれば耐圧の高い特注品を選択する必要がある。

◆シールドの高周波での等価抵抗

極一般的 2m長さの探触子ケーブルのシールド側両端を直流テスターで測定しても 0.1Ω にもならない。しかし使用する周波数、例えば 5MHz での等価抵抗は数十 Ω となる。シールド部分の線がインダクタンス成分を持つため、シールド材を厚くしても、表皮効果により電流が表面付近のみ流れるので、表面抵抗と相まって、なかなか等価抵抗が下がらない。2mより長い探触子ケーブルを使うと長さに比例して等価抵抗はどんどん大きくなる。長い探触子ケーブルではノイズが入りやすいと同時に、シールドの強化した同軸でコモン・モード・ノイズ対策ができない。長い同軸ケーブルを使うとノイズが入り易くなるのはこのインダクタンスによる。

シールド側のインダクタンス成分は特性インピーダンス 50Ω の同軸状としとしては約 $0.3\mu\text{H/m}$ だが、シールド部を単に導線として使う場合のインダクタンスは $1.3\mu\text{H/m}$ 程度で 2m 探触子ケーブルの周波数 5MHz では 40Ω 相当と高く、1mA と僅かのノイズ電流が流れれば 40mV と欠陥と変わらないエコー信号となる。

インダクタンス L の等価抵抗 R_L は以下の式で計算される。

$$R_L = 2\pi fL \quad \text{式(1)}$$

ノイズを下げる為に機器のケースなどを GND に繋げる場合 2mm 程度の導線を使うが、これもインダクタンスを持つ。電子技術者は線のインダクタンスの概算として、20nH/インチ (又は 10nH/cm) として計算する。インダクタンスは磁界の自己相互誘導が強くインダクタンス値に影響するので、太さや、まっすぐ伸ばすか、曲げるか、巻局を巻くかで、激しく変化するが、経験上 20nH/インチで十分実用的となる。1mの場合約 $0.8\mu\text{H}$ で 5MHz では前述同軸の外皮同様可成り大きな等価抵抗となる。より正確な銅線のインダクタンスを以下に示すが、銅線断面積 (カッパ内) によりインダクタンス成分は殆ど変化しない。

AWG1 (42mm²) $1.05\mu\text{H/m}$

AWG7 (10.5mm²) $1.2\mu\text{H/m}$ (RG58AU 相当)
AWG13 (2.6mm²) $1.3\mu\text{H/m}$ (RG174U 相当)
AWG17 (1.0mm²) $1.4\mu\text{H/m}$
AWG20 (0.5mm²) $1.5\mu\text{H/m}$
AWG24 (0.2mm²) $1.6\mu\text{H/m}$
AWG28 (0.08mm²) $1.7\mu\text{H/m}$

複数導線を離して並列接続すると本数に反比例して等価抵抗が下がるので、太い線一本より、細い線を離して複数並べた方が良い。市販されている平編銅線、シールド網組チューブや銅箔チューブなどを使うと簡便であるが、平編は幅を狭めて使うと効果が下がる。

リッツ線と呼ばれる高周波のトランスなどに使われる導線は、絹など絶縁体と導線を何本か撚ってインダクタンスと線間浮遊容量を小さくしている。

同軸のシールドは細い銅線を網状 (又は横巻) にしたもので、RG58AU など太くなるとインダクタンス成分は少し減る。一方曲げにくくなるので、手動走査に向かなくなる。RG58AU 同軸のシールドの外径は 3.6Φ で断面積が上記 AWG7 と同じ程度で、 $1.2\mu\text{H}$ と細い RG174U とほとんど変わらない。

細線の並列接続同様、幅が広ければインピーダンスが低くなり、溶接の鉄板等の等価抵抗は非常に低くなる。第4図③の様に太い線で線繋いでも効果があまり出ない事が判る。鉄板以上の幅の配線が必要になる。事実上不可能な為、他の手法、 balan やコモン・モード・チョーク・フィルターが必要になる。

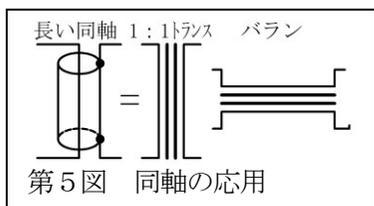
なお、探触子ケーブルに 50Ω の同軸が使われるが、 50Ω 同軸としての果しておらず、単にシールドとして働いている。

◆コモン・モード・チョークによる対策

探触子ケーブルの様な同軸は元々物理原理上、その長さが伝播信号波長より十分長いと、コモン・モード・チョーク・フィルターと全く同じ電子部品として使え、伝送線路トランスと呼ばれる。第5図の様に同軸は 1:1 巻線トランスと等価になる。高周波では同軸をトランスの代用としてよく使う。それにフェライト・コアを被せると低周波にも使える。入出力の端子配線を

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

第5図右の様にすると、バランやコモン・モード・チョーク・



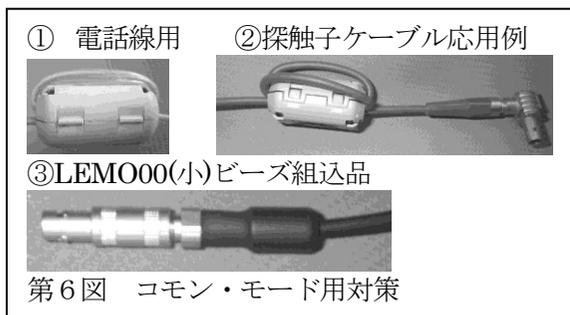
第5図 同軸の応用

ド・チョーク・フィルターとして使える。市販部品も似た構造である。逆に低周波用のトランスを

低周波用コモン・モード・チョーク・フィルターとして使っていたが、今は小さな専用部品が販売されている。

光ケーブル以前のFAXに繋がる電話線(2本平行線)を見ると、フェライト・コアがケーブルに被せてある(第6図①)。このコアは電話線の周りに磁気ショートリングを作り、コモン・モード・チョーク・フィルターと全く同じ電気的構造となる。

5MHzの場合約40mが大気中電磁波波長相当で、2mの探傷ケーブルでは長いとは言えない。このチョークの効果を上げる為に探触子ケーブルの探傷器や探触子の付近に電話線ケーブル用のフェライトを被せるとコモン・モード・ノイズが減る(第6図②)。フェライトを被せる



第6図 コモン・モード用対策

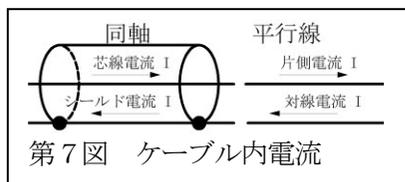
事により線の実効電気的長を長くする手法で、ローディングと呼ばれる。例えば本来長いアンテナが必要だが、長くて邪魔な場合、フェライトを短いアンテナに被せて実電気長を長くする。以前の800MHz携帯帯電波では半波長相当の19cm長ダイポールアンテナの感度が高いが、ハウジングに納める為同様の手法で小型化した。2GHz帯など今のスマホの場合は振動子の材料にもなる誘電体を用い、その中で光速度が $1/\sqrt{\epsilon_r}$ (比誘電率)と遅くなるのを利用して小型化し

ている。そうしないとスマホケースに収まらない。

単に通すのではなく、何回か巻き付けると、巻き付け回数に二乗に比例してインダクタンス成分が増えるので、よりチョーク効果が上がる。電話線ケーブル用のフェライトは電話帯域の低周波用(可聴周波数)で、探傷周波数付近の様子が明確ではないが、効果が有る事は確かである。

両側にフェライトを組み込んだ探触子ケーブルも市販されている(第6図③)。

空間は変化を嫌がる=物理の原則。第7図の様に同軸の芯線に電流を流れると、シールドの内面に反対向きに



第7図 ケーブル内電流

表対向きに表皮電流が流れる。その電流は同じ値

に成ろうとする。平行線の場合も同じで、片側に電流が流れると、もう一方の線に逆の電流が流れ、空間全体では電流はゼロになろうとする。片方の線に流れた電流が発生した磁界が、他方に逆方向の電流を発生したとの言い方もあるが、前者の方が物理的にはより正確である。全体で電流がゼロに成ろうとすると言う事は、外部からのノイズの混入を避ける様に動作すると言う事でもある。平行線やツイストの線間隔が狭いのでノイズを受けにくいと書いたが、狭くなると線間の磁気結合が強くなり、この現象の効果が大きくなる。

銅箔や網線が磁界の遮蔽効果があるのは、そこに磁界が入って来ようとするので、表面で磁界の変化がゼロに成る様に反応するため、その結果渦電流が発生する。渦流探傷はこの原理w使っている。

◆リモート(・パルサー)・レシーバ

探触子ケーブルを試しに10cmと短くするとノイズが劇的に入らなくなる。ただし、短すぎて探触子の走査が出来ない。そこで、探触子の直近にアンプを配置し、探触子信号を増幅した信号を送る事が考えられる。第8図①の通常探

外来ノイズ、ローディング、フェライト、ツイスト線、遮蔽、アーマード、リモート、長い同軸と減衰

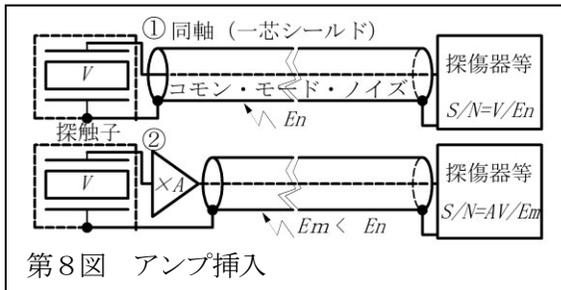
触子ケーブルを使った時の S/N は探触子からの信号電圧 V 、混入ノイズが E_n の場合以下である。

$$\frac{S}{N} = \frac{V}{E_n} \quad \text{式(2)}$$

探触子直後増幅度 A のアンプを入れ、増幅すると

$$\frac{S}{N} = \frac{AV}{E_n} \quad \text{式(3)}$$

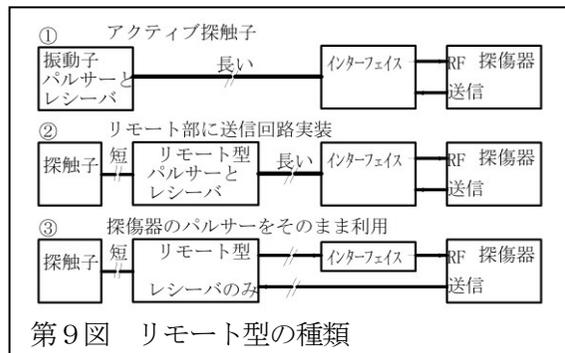
と S/N は A 倍改善される。10 倍のアンプを入れれば S/N は 10 倍に、100 倍のアンプを入



れば S/N は 100 倍に改善される。実際にはアンプや探触子に入る外来ノイズもあるので、1000 倍のアンプを入れて S/N が 1000 倍に改善される事はめったになく、実用的には 100 倍である。また、増幅すると信号が飽和し、又追い込み現象により不感帯や感度の低い時間が発生するので、注意が必要である。

探触子と探触子ケーブルは不整合であるが、整合されたアンプを使うと、多くの場合、混入ノイズは E_n より小さくなる。その為前記式より更に S/N は更に良くなる。

図は探触子からの信号増幅に関してのみ表示したが、実際は探傷器から探触子の振動子を励振する必要があり、第 9 図は二探触子法にしか



使えない。第 9 図に一般的主な接続方法を記載する。①は探触子内に、パルサーとレシーバ（アンプ）の両方を組み込んだもので、アクティブ探触子と呼ばれる。探触子とパルサー・レシーバを最適化でき、 S/N の面だけでなく、超音波性能も最適化できるが、高価となる。

②は探触子とパルサー・レシーバを組み込んだリモート部を成るべく短い探触子ケーブルで繋ぐ方法で一般的である。使う探触子の特性中央値に合わせて設計するが、特定の性能を向上させた設計のものもある。

③は探傷器のパルサーを利用するものである。第 8 図の二探触子法の場合は、これの変形である。

リモート部やアクティブ探触子は通常は防水ではないが、超音波スキャナーなどの水槽内で使う為の防水型もある。

探傷器直近にインターフェイスがあるが、これは探傷器とリモート部の電気的仕様を合わせる為である。リモート部には電源が無く、外部電源をリモート部に直接供給する方法もあるが、殆どはインターフェイスに DC12V などの電源を供給して、それをリモート部へ伝播させる。

◆リモート部と接続線

リモート部とインターフェイス間の接続は主に第 10 図に示す 3 種の方法がとられる。まず①の様に一探触子用探触子ケーブル同様に一本の同軸で繋ぐ方法で、配管の中などに挿入する多チャンネルの探触子と接続する場合など、配



外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

線スペースが狭い場合に使われる。同軸の径は 0.5Φ 程度からあるので、24 チェンネルで 5 mm 程度のジャケットに収まる。同軸ケーブル一本に電源と信号を重畳する制限から、超音波送・受信特性も制限を受ける。

この信号や電源を重畳する方法は昔から行われており、例えば有線電話線では、48V の直流電源、マイクからの音、スピーカへの音の3つが重畳されている。電源が無くても、電話機に電話線を繋ぐと電源が供給される。最近の光回線は光でエネルギーを送るのが大変なので、別途電源が必要である。一般に重畳する場合、周波数、振幅、パルス幅、振幅、信号のエネルギーの伝播方向などの違いで、それぞれの成分に分離される。パルサー用の高圧電源は、リモート部で低圧電源から昇圧される。その分リモート部の回路が複雑となり、スペースも必要になる。腐食肉厚計など波数の多い波でも良い場合は、FET とインダクタンスを用いたシンプルなキックバック型昇圧回路で済むので、そういう場合のスペースは不要だ。最近は小型高圧発生 IC も発売し始めたので、今はそれらが使える。

第 10 図②の二本平行同軸の繋ぐ方法は、送信用の高圧電源とアンプなどの為の低電圧電源を別ルートで送る方式で、ある。二振動子法探触子に使われる平行探触子ケーブルをそのまま使えるので便利であり、探触子走査する場合も負担は少ない。柔軟平行同軸を使えば同軸 1 本と変わらない走査性である。

図③は必要本数の多芯ケーブルを使う方法で、初期 1990 年代のリモート型は全てこれであったが、ケーブルが太く専用コネクタや専用ケーブルとなり融通性が無い。

第 11 図に市販されている各種リモート部の写真を示す。大きさ比較の為、主に溶接部探傷に使う $10 \times 10 \text{ mm } 5 \text{ MHz}$ 斜角探触子を配置した。

アレイ探触子は素子の電氣的等価インピーダンスが高く、特性インピーダンス 50Ω の同軸を繋ぐと、送信音圧が下がり、受信振幅が減る。主原因は同軸容量約 100 pF/m に依る。原子力関連検査などでは 40m 程度延線する必要があり、 4 nF となる。振動子素子自体は 100 pF 前後であるので、繋ぐだけで受信信号は $1/40$ となり、送信も多くは 1 nF 程度までの容量負荷を対象に設計され、 $1/4$ 、総合で $1/160$ になる。探傷感度余裕が無い状態になる。その為 1990 年代にアレイ探触子の中に送信受信電子回路を組込んだ原子力用アレイ探触子がオランダ TNO 研などで試作はされたが、コスト高の為に今だ一般的とはなっていない。アレイ用探触子ケーブルを延長する場合、簡易的にはインピーダンス・マッチング回路を使い、少し損失を小さくする。

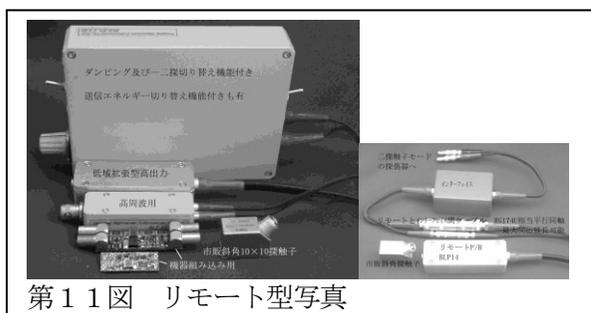
1990 年代に日本で開発された溶接作業と同時に超音波検査する半自動探傷器では探触子直近 50 cm 以内にパルサー・レシーバを組み込んだ小型リモート・ボックスを配置する方法が多くとられた。溶接のノイズの影響は皆無であった。

オンライン・システムでは、探傷装置の近くに大きな電力を扱う装置が多く、そこから発生した電気ノイズが入る。自動、半自動探傷器では、検査結果は機械が処理する為、電気ノイズが入った場合、人の様に区別するのが困難である。平均化やイベント数や順序回路など設けるなどいくつかの改善手法はあるが、PRF が下がったり、欠点もある。その為、設計時からリモート・パルサー・レシーバの組み込みをしておく、完成してからノイズで悩まされることが無い。一部の自動探傷器用のシステムでは初めから全てがリモートになっている。

市販汎用探傷器等にリモート部を繋げるインターフェイスと延長ケーブルの一例を同図右に示す。

◆直結型リモート部

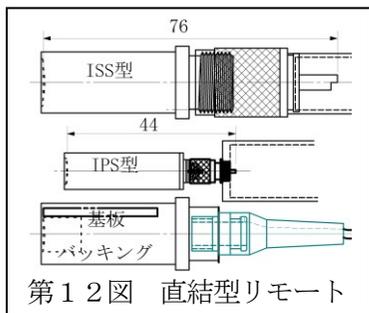
探触子とリモート部などの接続は探触子交換が可能な様にコネクタを用いる。業界標準水



第 11 図 リモート型写真

外来ノイズ、ローディング、フェライト、ツイスト線、遮蔽、アーマード、リモート、長い同軸と減衰

浸用形状には IPS と ISS 型と呼ばれる 2 種類がある。IPS は 9.6Φ、ISS は 15.8Φ の SUS パイプをケースにしている。IPS は 50Ω マイクロドット、ISS は UHF コネクタを用いるのが標準である。探触子ケーブルを使わないリモート部直結の場合の一般的配線経路を第 1 2 図に示す。外部からノイズ混入の恐れはない。



後述するが、ノイズが入らなくても波形が歪と問題になる。主原因は配線等のインダクタンスによる。振動子（探触子先端）からコネクタ端子後部まで 50~80 mm あり、パルサー・レーザ基板への配線経路で 100 mm 程度となる。

基板のパターンなど入れると、回路に依るが 4~6 インチ長と見積もる必要がある。インダクタンスは 80~120nH 程度となる。送信回路の高圧駆動用の FET は内部インダクタンスが 10nH 程度で配線経路を短くすると、各段に小さくなる。

波形歪を除去したい例えばハイドロホンの場合、振動子の横にアンプなど組み込む製品がある（同図下）。この場合振動子と電子回路間のインダクタンスは 20nH 以下にすることが出来る。厳密な実験をする場合に採用される。

波形状を除去したい例えばハイドロホンの場合、振動子の横にアンプなど組み込む製品がある（同図下）。この場合振動子と電子回路間のインダクタンスは 20nH 以下にすることが出来る。厳密な実験をする場合に採用される。

◆電氣的ノイズの測定と環境変化

探傷器に入っている電氣的ノイズを電磁界測定器やオシロスコープなどで定量的に測定する良い方法がない。測定しようとする機器が電磁界ノイズを受けるし、その機器を配置しただけで、ノイズ環境が変わる為である。空間電波ノイズが原因の場合、どこが大きなノイズ源かは、探傷周波数付近の電磁界測定器の指示が所であり、大まかには超音波探傷と同じ程度の周波数を使用する AM や FM ラジオでのノイズの入り方で判る。

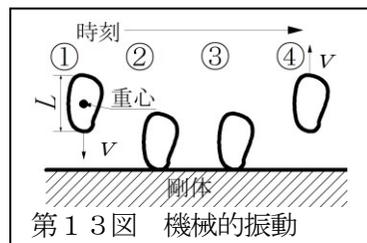
コモン・モード・ノイズの場合測定はさらに難しく、近くにある大電力を扱うスイッチング回路当たりから、その電源を ON/OFF して様子を見るしかない。

一般的には前述の方法など試行錯誤して収まったら OK と言う事になる。工場の設備が変わるとノイズ環境も変わる。季節例えば梅雨時には電流の流れるルートが変わり、ノイズが増えたり減ったりするので、季節変動や海面水位など環境の変化にも注意が必要である。設置して 1 年程度様子を見るしかない。

◆電氣的ではない機械的音響ノイズ

電氣的なノイズではなく、音響的ノイズが入る場合がある。例えばショットブラストなど細かな粒子を打ち付ける処理装置では、粒子径を音波が往復する時間相当の音波が発生する。鋼管の溶接機の直後で溶接部の超音波探傷をして、その下工程にショットブラストが配置されていることがあり、この場合ショットブラスト音の周波数が MHz 帯で探触子からノイズとして入ってくる。これは電氣的でなく、音なので、音の経路を断つしか解決方法はない。

第 1 3 図①の様子に剛体に粒子（物体）が速度 v で衝突するとき、剛体に接触して②から一定時間後に離れる



③。図では重心と接点間ベクトルと速度ベクトルを一致させて描いたので、離れる時の速度は、方向が衝突時と 180 度異なるが速さは同じ v である。②~③の接触時間は以下の式となる。

$$t = \frac{2L}{vc} \quad \text{式(4)}$$

vc は粒子の材料の音速、 L は粒子の縦方向長さである。この時間幅のパルス音波が剛体内に伝播する事に成る。式は衝突速度 v には関係ない。 v が大きいと、発生音が大きくなる。剛体は仮想で、実際は鋼に砂粒子が当たるなど、完全に鋼を剛体と考えられないので上記式よりパルス幅は広がる。サンドブラストの砂（石

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

英)の音速は6000m/S程度で例えばLが1mmなら、剛体に当たると0.3μ秒のパルス音が発生する。これを半波長とすると、1.7MHzとなり、パルスの為高い周波数成分も多く含む。サンドブラスト装置との位置関係に依るが10MHzの探触子でも邪魔になるノイズ音を受ける事に成る。なお、ショットブラスト音は表面波を多く含む。表面波は、垂直探触子のビームの様に距離の二乗に反比例して音圧強度が下がり、地震S波同様、可なり離さないとノイズを無視できるレベルにできない。

工場にある大電力装置の半導体化に伴い、高周波電気ノイズが発生するが、同時に高周波音響ノイズが発生する。例えば平行線に大電流の高周波電流が流れると、両方の線が引っ張り合う。市街地で高压電線の下に来ると、50/60Hzの倍の周波数の唸りが聞こえる。これと同じ現象が当然発生し、高周波音が平行線から出る。単に1本の銅線に高周波電流が流れると、ピンチ効果と言って発生する磁界で締め付けられ、線径が変化し、音が発生する。大電力装置のスイッチング周波数は目的に依るが数百kHzが多い。その高調波音がノイズになる。CO₂溶接器などの高周波励振にはMHz帯が使われ、そこで発生した音は探触子の周波数に近く、探傷器のベースラインが太くなることもある。

◆接地(アース)とノイズ除去効果

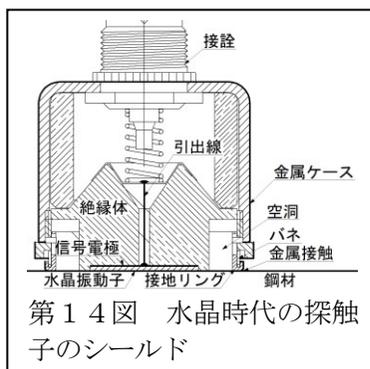
工場に溶接器など電子機器を据え付ける場合、接地をする。地面にアース棒と呼ばれる銅棒を地べたに打ち込む。一戸建てでもアース棒が打ち込まれ、分電盤まで配線されている。この目的は主に漏電などによる感電や火災防止で、接地インピーダンスはA種が10Ω以下、B主が100Ω程度で、季節により変動する。工場の場合これをノイズ対策に使っている場合を見かけるが、逆にノイズを増やす場合が多い。あくまで感電防止である。なお、日本の100Vラインの場合、変圧器の中点電位でなく、100V出力片側(配線色白)を接地する非平衡の規格の為、100Vコンセントにプラグを挿す場合、挿す方向でノイズが変化するので注意が必要である。季節により接地抵抗が変動する為、接地によりノ

イズが減った場合、一年を通じて安定するか調べる必要がある。付近の地べたをノイズ遮蔽(シールド)として使いたいなら、接地機器の直近で専用のA種接地をするのが良いだろう。更には、地べたに鉄板やSUS網などを貼り、接地点とする方がより良い。

◆探触子の電気ノイズ対策

探触子内の振動子からのエコー信号は、条件が良ければ数~数十Vであるが、小さな欠陥や減衰材では数mV或いは数十μVとなる。小さな欠陥等を見つけようとする、大昔の水晶時代から僅かな電気ノイズも邪魔になる。

探傷の対象は金属が多く、水晶時代の垂直探触子は探触子内振動子の前面電極と対象材を電氣的に接触させて検査対象の金属をシールドの一部として使っていた(第14図)。シールドを形成する部分を太線で強調する。水晶の片面が被検査材に直接接触するので、摩耗寿命が短く、その後保護膜を設ける様に成る。直接接触探触子では保護膜は耐摩耗性の良いセラミックが多い。水

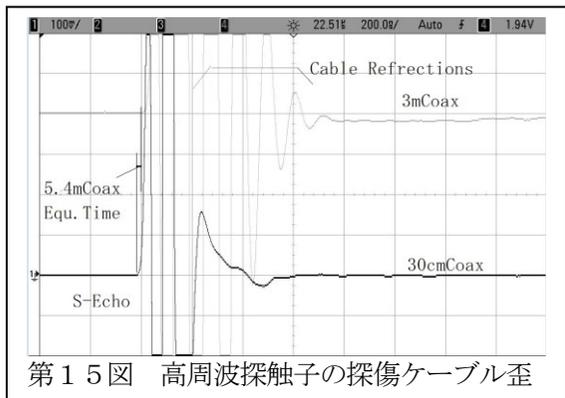


浸ではエポキシである。水晶時代は振動子とケース間の音響セパレータとして大気を使っていたが、コルクなどとなり、高感度探傷では、ここを通して僅かに外来ノイズ(電磁界)が入ってくるが、一般的探傷では問題とならない。高周波電気溶接の電流が探触子の下を通過する様な状況では、樹脂の保護膜を金属など導電性材料に替えて対処している。遅延材やレンズの樹脂に導電性の超音波的影響のないごく薄い膜を付加する方法も取られている。

◆高周波探触子とリモート型

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

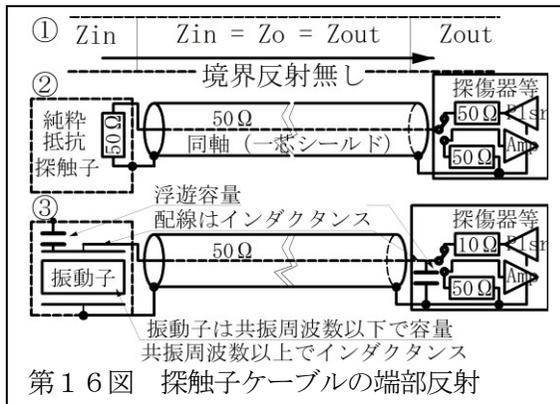
高周波探触子を使う場合、探触子ケーブルによる歪や妨害エコーが発生する。その一例を第15図に示す。同軸ケーブルは両端を特性イン



ピーダンスと同じ純抵抗により終端すると反射が無くなる。しかし探触子側は容量性で周波数によりインピーダンスが変化する。パルサー側出力インピーダンスは送信出力を大きくする為、 50Ω より小さい。多くは $5\sim 20\Omega$ であり、浮遊容量とインダクタンス成分が加わる。更に一探触子法の場合、送信と受信に同じ端子が使われ、端子は電氣的に送信回路と受信回路に切り替える。送信回路と受信回路ではその電気インピーダンスが同じではない。その為、探触子自体単独での送・受信では幅の狭いパルスが観測されるが、探触子ケーブルを使うと、その同軸内電気信号の伝播遅延時間相当の反射或いは共振が観測される。図の上(灰色線)に3mの探触子ケーブルを、図下(黒色線)は30cmの探触子ケーブルを使った例で、表面直下を狙うため、表面エコーを $20\text{MHz}6.4\Phi$ 広帯域探触子で観測している。30cmに比べ3mケーブルでは明らかに表面エコーが広がり、探傷不感帯が増える。表面エコーの立上りはケーブル長さ差相当の遅延が確認される。共振的エコー波形の場合は、この遅延の倍の周期相当の周波数である。

探触子ケーブルはそのケーブルの電気長(ケーブル内電波の速度換算長さ)が波長の $1/20$ 程度以下なら歪は無視できると一般に言われる。 5MHz で2m、 10MHz で1m、 20MHz では50cm以下でケーブルの影響の無い波形が観測できる。前図では 20MHz の探触子なので、50cmより短い30cmを用いた。

第16図に同軸の端部反射のイメージを描く。電気に詳しくない人は、同軸の端部反射を媒質境界の音響反射で考えると良い。もともと同軸



等伝送線路と反射特性が同じなので、アナロジー(類推)から材料の特性を音響「インピーダンス」と名付けた。①の様に無限大媒質 Z_{in} 、 Z_o 、 Z_{out} に平面波音が伝播する場合、音響インピーダンスが共に同じであれば、境界では反射しない。同軸も同様に、中央が 50Ω の場合、前後に付いた回路(又は同軸)が②の様に 50Ω なら反射しない。しかし実際は、前述の様に配線はインダクタンス成分を持ち、配線とケース間には容量が存在する。パルサー・レシーバも 50Ω ではない。振動子は低周波では容量性で、共振周波数より高い周波数では誘導性(インダクタンス)となる。共振周波数付近でインピーダンスの絶対値(大きさ)は最小、反共振周波数付近でそれは最大になる。周波数で激しく変化する。一部の探触子はインダクタンスを組み込んであり、又バッキングなど張り付けにより電氣的インピーダンスも変化する。

同軸の特性インピーダンスは5%程度の誤差があり、純抵抗 50Ω を付けても実際には反射をゼロにすることは難しい。

◆低周波探触子とリモート型

一般に低周波探触子の電氣的インピーダンスは高い。圧電振動子を含む大半のコンデンサーは機械的共振があり、その共振周波数より十分低い場合はその容量 C は

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad \text{式(5)}$$

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

ここで平行板コンデンサーの面積 A 、距離 d 、材質の誘電率 ϵ

共振周波数は概ね d で決まり、この距離を音波が往復する時間が波長である。低い周波数の探触子は d が大きい。PZT やニオブ系振動子では 5MHz では 0.3 mm 前後、0.5MHz では 3 mm 前後となる。 d が大きい、即ち C が小さくなるので、同じ電氣的インピーダンスにする為、面積を増やす。5MHz で $10 \times 10 \text{ mm}^2$ が 50Ω 前後となる振動子材料で、2MHz なら $14 \times 14 \text{ mm}^2$ 程度が適当なサイズであり、1MHz なら $20 \times 20 \text{ mm}^2$ 程度が適当となり、市販探触子のサイズを決める要因である。その他、各メーカー指向角も考慮してサイズを決めている。

0.1MHz と低い周波数の探触子では 50Ω 系の電氣的設計では $140 \times 140 \text{ mm}^2$ 程度が適当となるが、大きすぎである。手で握ったりする事を前提にすると $40 \times 40 \text{ mm}^2$ 程度が限界となり、電氣的インピーダンスが 600Ω 程度となる。アレイ探触子と同様、長い探触子ケーブルを繋ぐと、振動子からの受信はケーブル容量負荷の為に振幅が落ちる。

振動子から出る可能な最大音圧 P は、

$$P = k \frac{V}{d} \quad \text{式(6)}$$

ここで平行板コンデンサーの端子電圧 V 、距離 d

従って、パルサーの駆動力が十分な場合、0.1MHz 探触子では、同じ振動子材質の 5MHz 探触子の、1/50 の音圧しか発生できない。他の言い方では 1/50 の電力しか送信しない状態で、パルサーは余裕がある。電流が少なければ、例えば 10kV のパルサーの製作は容易である。真空管時代は 5kV がパルサーの代表的電圧であった。一方高い送信電圧のパルサーを探傷器に積むと高い周波数の振動子が破壊する。20MHz まで使える探傷器は、20MHz の一般的振動子が破損しない程度の送信電圧しか出せない。電圧を切替えて高い送信電圧が設定できる様になると、顧客が間違っで設定して一瞬で探触子破損し、クレームとなる。従って通常の探傷器は仕様範囲内の標準的市販探触子が破損しない送信電圧に制限する。市販探触子の振動子材用の耐圧は下がる傾向で、その為探傷器の送信電圧も

下がって来て、微細欠陥が見つからない状態になってきている。

探傷器には追い込み現象が付き物で、これを改善する一番手っ取り早い且つ有効な手法は低域帯域をカットする事である。その為、昔の探傷器は、アンプの前で 0.5MHz 以下の周波数成分をカットしていた。最近では 0.1MHz 程度からの帯域がある探傷器もあるが、5MHz の探触子を使うなら、確実に 0.5MHz や 1MHz 以下をカットした方がよい。結果として低い周波数の探触子程、良い SN 比のエコーが得られなくなる。

その為、低周波探触子は通常の市販探傷器では振動は増幅されず SN 比が下がる事に成る。

更に以前の回でも述べた探傷器入力抵抗との間のカットオフ周波数が存在することである。探触子の容量を $C(F)$ 、探傷器の入力インピーダンスを $R(\Omega)$ とすると、カットオフ周波数 (遮断周波数) $F_c(Hz)$ は

$$F_c = \frac{1}{2\pi CR} \quad \text{式(7)}$$

となる。 F_c の周波数で、高い周波数より -3dB 下がり、それ以下は -6dB/Oct と周波数が半分となる事に半分となる。例えば 0.5MHz で $\Phi 40$ の探触子の代表的容量 C は 1000pF で、探傷器の入力インピーダンス R が 50Ω の場合、 F_c は 3.2MHz でそれより低い周波数では周波数が下がるとどんどん感度が下がる事に成る。

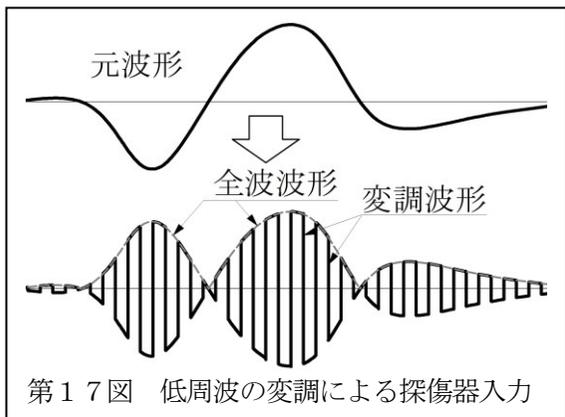
R の大半はダンピング抵抗で、ダンピング抵抗が昔に比べ下がってきているので、カタログに帯域が 0.1MHz からと書いてあっても、標準的 5MHz の探触子を繋ぐと実質 0.5MHz 程度からしか増幅しない。更に低い 1MHz の探触子を繋ぐと、1MHz 以下がカットされ、探触子の基本波での感度が下がる事にもなっている。

以上の様な理由で、低周波に特化した送信回路、受信回路としてリモート型を作ると格段に性能が上がる。

リモート・パルサーを使って折角低い周波数波形が得られても探傷器の帯域下限以下だと、エコーとして表示されない。これを解決する為、モジュレータ (変調器) をインターフェイスに組み込んだものが販売されている。入力波形と変調後の例を第 17 図に示す。変調波形は探傷器で検波 (全波整流) されると、探傷器が低域

外来ノイズ、ローディング、フェライト、ツイスト線、遮蔽、アーマード、リモート、長い同軸と減衰

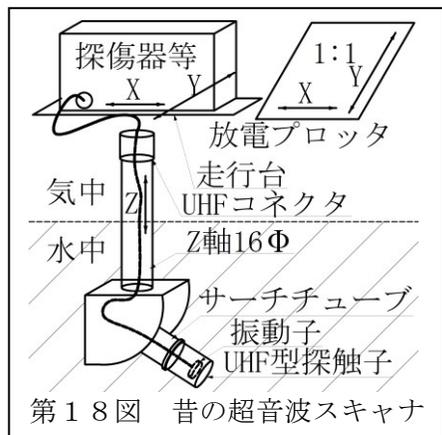
側に帯域が伸びた場合と同じ様な波形となる。変調は低周波の 20 倍程度、5MHz 付近が使われる。



第 17 図 低周波の変調による探傷器入力

◆昔のスカナー

研究室などで水浸法の超音波試験する場合、電気ノイズを受ける事が多い。1970 年代までの超音波スカナーは XY 移動する機構にテーブル付け、その上に探傷器を載せ、探触子ケーブルを最短にしていた。今でも海外製はこの構想



第 18 図 昔の超音波スカナー

ブと言われる同軸を組み込んだ端部にコネクタが付いているパイプに外径 15.8Φ (又は 16Φ) の UHF 型と呼ばれる探触子を取りつけ、探触子は角度をネジで可変でき、垂直軸 Z も同じ径のパイプで、同軸が中に組み込まれ、上端は UHF コネクタに成っている。探触子から水上の UHF コネクタまで厚い SUS 金属に覆われ、潔癖のノイズ対策としていた。探傷器は最短で金

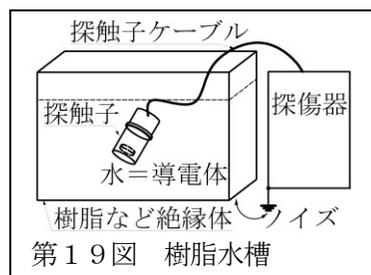
属垂直軸と電氣的に結合され、探傷器から探触子まで、探触子ケーブルが厚い金属に覆われる状態でアーマード・ケーブルより耐ノイズ性は遥かに良い。模式図を第 18 図に示す。

なお米国でスカナーと言うと複数の探触子を電子切替する装置を呼ぶ。

当時の C スコープ出力は機械的に XY 軸の動きを同期させた放電ペンによる 1 : 1 縮尺であった。日本で電氣的制御のインク使用 XY プロッターが発売されると世界で初めて電氣的に同期させた製品が発売され (筆者が開発)、PC など一般的になるとモニター表示とプリンター出力が一般的になった。

◆水槽はアンテナ

最近のスカナーはコスト面からも昔の様な電気ノイズを考えた設計には成っていない場合が多い。外来



第 19 図 樹脂水槽

ノイズ対策しては余り好ましくない。第 19 図の様にアクリルで出来た水槽と探傷器を考えよう。純水でない限り、水はイオンを含み導電性である。その

為探触子のケースが水に浸かると、探触子ケースと水が同じ電位となる。探触子ケーブルの先に大きな水槽サイズのアンテナが付いている形になり、外来ノイズを受けやすくなる。水槽の中を見やすくする為アクリルなど透明な樹脂で作る際は、樹脂内面に透明導電性材料を塗布するか、多くは SUS メッシュなどを貼る。なお、純水はイオンが少ないが、水分子はそれ自体分極しており、液体の中では比誘電率 80 と高く、高周波は容易に伝播する。f 水の代わりに誘電率の低いシリコンオイルを使うと高周波は伝播しにくくなる。

◆水槽にリモート・パルサー・レーザ使用のメリット

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

ノイズの入り易い状態の水槽などでは防水型のリモート・パルサー・レーザを使うと良い。ノイズ低減は当然メリットの第一であるが、他に超音波性能の向上である。一般的に探傷器は50Ω系で設計されるが、市販探触子に使う振動子はその共振周波数で等価インピーダンスが10~2kΩ程度と50Ωからかけ離れインピーダンス整合できていない。その為、超音波性能で損をする。また、小さな水槽なら良いが、飛行機の羽の探傷では25mとプールサイズの水槽が使われる。探触子ケーブルも50mを超える事が少なくない。

なお、GFRPなど飛行機の羽の探傷は透過法の場合、バブラーと呼ばれる水ジェットを使い水槽はトレイとして使っている。透過法は一般に感度に余裕があり、ノイズ対策は殆ど必要ない。

◆グラウンディング設計

工場などに設置する探傷システムを設計する場合、初めにGNDの繋ぎ方の設計をするのが原則である。これをグラウンディング設計と呼ぶが、ノイズの混入の理屈は一般電子技術者も慣れて無く、GNDの繋ぎ方の設計をせずにシステムを作る事が多い。その為、設置後ノイズが入ったり、梅雨の時期にノイズが増えたりして、超音波機器が上手く使えなくなることが多い。

前述の樹脂水槽の様な問題を気にせず設計されたものが流通している。システム設計段階で考慮されるべきだ。

◆電気ノイズの探傷器側での対処法

シールドなど強化してもノイズが入る場合がある。これに対処するため自動探傷器用の回路にはいくつかの工夫がされている。以下の代表的な手法を述べる。

- 1) 帯域フィルター
- 2) イベント・カウント
- 3) MAパターン判別
- 4) 送信符号化

◆帯域フィルター

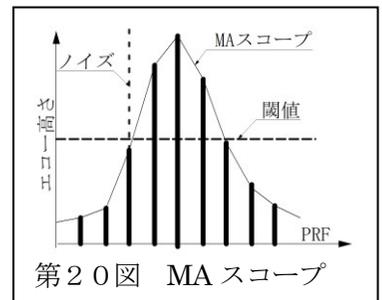
外来ノイズは探傷周波数と異なる場合に、探傷周波数以外をカットする方法である。前述の

式(7)の様に探触子を探傷器に繋ぐと、Fc以下の周波数はカットされる。低周波の電気ノイズは元々受信しにくい。振動子はその基本波と奇数倍の高調波感度が比較的高く、高周波外来ノイズが邪魔な場合に使う。

昔の探傷器は切り替え式狭帯域フィルターが付いていて、2MHzの探触子を使う時、4MHz帯域フィルターを選択して受信し、高調波探傷もできた。低い周波数の探触子程振動子径が大きいので、大きなビーム径で高周波探傷をする場合に使われた。一方指向角が狭くなり、傾いた欠陥の探傷には向かない。

◆イベント・カウンター、MAパターン判別

探触子を走査すると、同じ欠陥がビーム幅内で何回か検出され、MAスコープとして観測される。第20図にPRF毎のエコー高さを示す。欠陥評価の閾値を設け、それを越えるイベントは図では連続3回ある。この3回連続する状況を判断するのがイベント・カウンタで1970年頃のTTLデジタル化時代から使われた。図では連続3回だが、回数はデジタル・スイッチ(サムホイール・スイッチ)等で設定された。現在でも同じ機能が多く使われている。

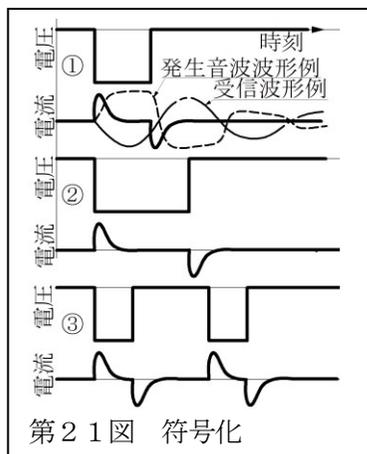


走査に従い、欠陥エコー高さは徐々に大きくなり、徐々に小さくなる。図の点線の様に急に大きくなることは滅多にない。この変化率が一定の大きさ以上でノイズと判断できる。コンピュータ化した自動探傷器では使われる。MAパターンから逸脱を検知するのがMAパターン判別である。手法には各種ある。

◆送信符号化

スクエア・パルサーなど振動子に正負の電圧を加える技術が進歩し、励振を符号化して、受信波形が符号化パターンとの相関で判別する手法である。ノイズは符号化と関係なくランダム

に発生するので符号化で SN は向上する。第 2 1 図の①の通常のスケア・パルサー励振では送信電圧が変化する、立下りと立上りのタイミングは振動子の厚さ相当、即ち公称周波数の周期の半分である。立ち下がりて正圧の音が振動



子から発生し、立上りで負圧の音が振動子から発生する。探触子の構造により、振動子や保護膜厚さの共振がそれに続く。そのイメージを点線で示す。一点鎖線の例の様にも音波受信時にも保護

膜などの歪により波形が変化するが、受信波形は電流パターンと相関が有る。振動子から発生する音圧波形は電荷に比例するから、電流の積分値を用いる方法もあるが、受信時に振動子等で可成りの歪を発生するので、汎用性がない。一般に励振波形の立下りと立上がりとの相関が有るかどうかでノイズと区別が出来る。①の通常のスケア・パルサーでも相関器のソフトを組み込めばある程度のノイズ除去が出来る。

②では、間隔を標準から広げて、ノイズ除去を強化した。③ではよりパターンを複雑にしてより高いノイズ除去とした。パターンが複雑な方が、よりノイズ除去能力が上がるが、時間軸分解能が悪くなるので、特殊な場合に限られる。

◆水槽と探触子のイオン化傾向度

探触子には保護膜が付けられている。主に電極を保護するものであるが、これを付けると波形が歪む。非破壊検査では、エコーの高さと立上時間を観測し欠陥判断とするので波形の歪は余り影響ない。しかし、精密な研究や時間軸分解能を上げるなどの場合、保護膜の歪を無視できない。特に高い周波数では、保護膜を薄くするのが困難で、保護膜無の探触子が作られる。

この保護膜無の探触子では電氣的ノイズではないが、SN 比が急に悪くなる事が有るのでここに記載しておく。これは電極が融け、実効振動子面積が減り、欠陥等からのエコーが小さくなる為、探傷器感度を上げる為、一見ノイズが増えたと勘違いする。電気メッキの逆の現象が起きている。

水槽に探触子を浸けて使用すると、主に水槽の金属と電極のイオン化傾向度（水中でイオンになりやすい目安）の違いで、電極が水中に溶け、数週間、或いは数日後に電極が部分的に無くなる事がある。特にアルミなどイオン化傾向度が小さな材料で作られた水槽を使用すると短時間で振動子の電極が無くなる。

探触子の金属ケースも同様に水に溶けるが、厚さがあるので、気が付くことはまず無いし、SUS 系では透明な酸化膜で保護される。電極に銀を使うと、銀は比較的酸化しやすく一種の保護膜ができ金より溶けにくい。

以下に各種金属のイオン化傾向度を示す。

Li(リチウム)	-3.045
Na(ナトリウム)	-2.71
Mg(マグネシウム)	-2.35
Al(アルミ)	-1.68
Ti(チタン)	-1.63
Cr(クロム)	-0.74
Fe(リチウム)	-0.44
Cu(銅)	0.34
Ag(銀)	0.8
Pt(白金)	1.898
Au(金)	1.52

電池電極はイオン化傾向の差の大きな材料で作られる。スマホに使われる Li は上記表で一番上に位置していて、Li は比重も軽いので、電池用材料として良い事が判る。金は元々水中で一番溶けにくい金属だが、水槽と探触子ケース間でイオン傾向度差分の電位が発生し、結果溶けやすくなる。

例えば SUS ケースの探触子とアルミの水槽の場合、金電極は融けやすく、SUS 系探触子ケースと SUS 材の水槽では、金電極は融けにくい。探触子ケース材に SUS 系が広く使われてい

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

るので、非破壊用水槽の材料としては SUS が無難である。

電極が溶ける対策としては、エコー波形が多少変化しても良い場合は、電極の上に μ 単位のごく薄い塗膜をスプレーやスピナーで作る。樹脂は絶縁性があれば何でもよく市販ラッカーでも OK である。他の方法は金電極の上に Ni や Cr の薄い膜をスパッタリングして寿命を延ばす方法である。

また、イオン化傾向度の差による探触子ケースと水槽の間に発生する電位を下げる事である。SUS ケース探触子とアルミの水槽の場合、探触子ケースに乾電池 1.5V 1 本程度の負電位を与えると解決する。

鋼に亜鉛メッキをするが、メッキ層の層自体が錆びを防いでいるわけではなく、亜鉛と鋼の電位差が錆びを防いでいる。メッキパイプを切断した断面は、鋼が剥き出しで、メッキが無くても錆びにくい。大きな鉄板を地中に埋める場合、亜鉛板を接触させておくと、鉄板がさびにくく、地下鉄のコンクリート製トンネル鉄皮などに用いられている。ボートや漁船のスクリューが錆びない様に、シャフトに亜鉛リングを嵌めるも同じ理由である。

◆あとかき

今回は超音波探傷器等に入ってくる電気ノイズを中心に延べた。非破壊超音波理論とは関係ないが、超音波検査をするうえで常に問題になる事なので、全体を網羅するように書いた。

◆今回知った事

- (1) 一般計測は外来電気ノイズに強い差動型が多いが、超音波探傷器は歴史的にシングルエンドとなっている。
- (2) 探触子などセンサーと計測器の間の配線は、平行線、ツイスト、シールドなどの方法がある。同軸はシールド線の種類。
- (3) 探傷ケーブルは同軸を使うが、単にシールドとして使っており、特性インピーダンスに格段の意味はない。

- (4) 探触子や探傷器を同軸の特性インピーダンスに合わせる意味はない。
- (5) ノイズに強いのは二重シールドやアーマード・ケーブル。
- (6) シングルエンド型の探傷器でも、バランスを使って差動の様になると、耐外来ノイズ性が良くなる。
- (7) 一点アースやフローティングは MHz 帯の超音波非破壊では余り効果が無い。
- (8) 同軸や配線のインダクタンス成分は 20nH/インチ程度で電気屋は計算する
- (9) 極一般的 2m の探触子ケーブルは、テスターでの直流抵抗は 0.1Ω にもならないが、インダクタンスは 5MHz で 40Ω 相当と大きく、ノイズの影響を受けやすい。
- (10) 電話線用のフェライトを探触子ケーブルに使うとノイズが減る。
- (11) 探触子ケーブルにはフェライトを組み込んだものもある。
- (12) 同軸は 1:1 のトランスでもある (伝送線路トランス)。
- (13) リモート・パルサー・レーザを使うと近くで溶接作業していてもノイズに邪魔されない。
- (14) リモート・パルサー・レーザ部と本体の結線には 1 線式、二線式、多線式がある。
- (15) 電気ノイズ状況は、設置機器、季節など環境変化で変化するので、良い測定法がない。
- (16) 接地はノイズを少なくする目的ではなく感電防止策。
- (17) ショットブラストなど小さなものを叩きつけると非破壊検査に使う周波数帯の音が発生する。
- (18) 日本の 100V のコンセントは、片側接地の為、挿す方向でノイズが変わる。
- (19) 高周波探触子にリモート・パルサー・レーザを使うと探触子ケーブルの歪が回避される。

外来ノイズ,ローディング,フェライト,ツイスト線,遮蔽,アーマード,リモート,長い同軸と減衰

- (20) 低周波探触子にリモート・パルサー・レシーバを使うと低域が伸びる。探傷器の低域帯域が足りない場合、変調器を使うと良い。
- (21) サーチチューブを使った探傷システムは耐ノイズ性が良い。
- (22) 水槽は探触子ケースを通して大きなアンテナの役割をし、ノイズの侵入口となる。
- (23) システムを計画する際はグラウンディング設計を忘れない様に。
- (24) 超音波性能が良い電極剥き出しの探触子では、水槽材質のイオン化傾向度の違いなどから、電極が融ける事が有る。

<参考文献>

超音波技術入門—発信から受信まで(2015/04初版2刷、日刊工業新聞社)

Y.Udagawa and A.Yamada, "Simulation and Verification Experiment of Radiation Sound Pressure Waveform from Finite Aperture Piezoelectric Transducer", The 34th Symp. Ultrason. Elect. (2013).

USE2013 Analysis and Observation of Sound Wave Field from Finite Aperture Piezoelectric Transducer - Fact-finding of Misfit between Conventional Analysis and Experiment Observation -