

音波のよもやま話 (その7)

振動子、探触子からの音の発生

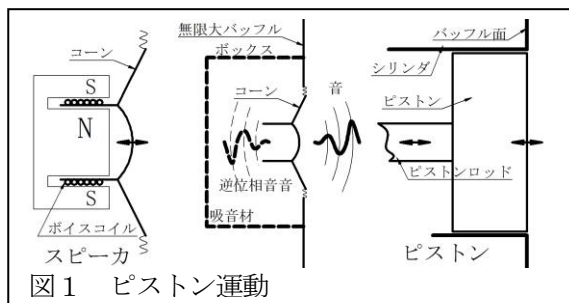
(補)アイ・エス・エル 宇田川義夫

◆はじめに

連載の前々回は色々な音の発生に付いて、前回には圧電振動子がどのような材料かについて述べた。今回は圧電振動子からの音の発生について述べる。

◆圧電振動子とピストン運動との違い

テレビなどに組み込まれているスピーカは薄いコーンが振動して音を出す。同様に圧電振動子はピストンが運動してその振動が音を発生するように考えられている (図1)。



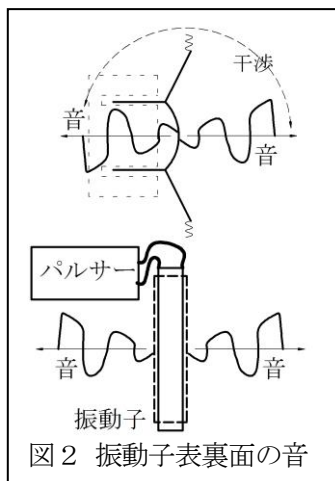
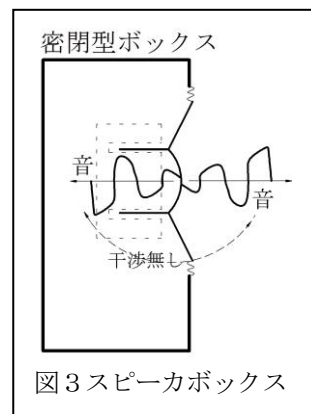
ただし、この考えには欠点がある。スピーカやピストンは前後非対称、振動子は前後対称と構造が根本的に異なることである。

スピーカの場合、音が前後に出るが、音圧波形の位相は前後で逆相である。表に正の音圧が出ると、裏には負の音圧が出る。その為、空間に

スピーカだけを置いて鳴らすと、前後面からの音が干渉しあって、正面以外では特に低周波成分の音が弱くなる。ノイズ・キャンセル・ヘッドホン同様に正負の音が打ち消しあうためである。この後ろに出る音の影響を避ける為に、無限大のバツフル板を配置し、前後に出る音を分離する必要があるが、無限大は無理なので、スピーカボックスに入れ後ろに出る音を表側に来ない様になる。

一方、単体振動子を励振する場合は、前々回説明した津波が前後に伝搬するのと同様、同じ形状の音波波形が裏表面で観測される。圧電振動子は片面だけが運動するのではなく、全体が伸び縮みしている。前後対象と言う事は、慣性力が音を出す前も、後も合計ゼロと言う事で外部に力を及ばさない。一方スピーカは外部からシッカリ押さえないとスピーカ自身が移動する。その為音量が大きなスピーカは重いスピーカ・ボックス入っている。

余談だが、現在ではスピーカをピストン運動しているとして設計する技術者はいない。音は機械振動なので、電磁力がボイスコイルで発生し、コイル・ボビンが音が伝搬し、コーンに音が伝わり、コーンが振動する。ボイスコイルからコーンまでの音の伝搬時間が長いとコーンが同時均一で振動しないので、高周波特性が悪くなる。そこで、音速の早いアルミ、チタンなど金属を使うスピーカが増えてきた。最たるものは物質中音速が最大のダイヤモンド



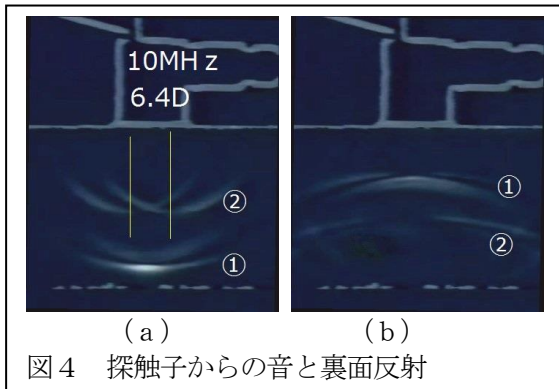
(18,000m/s) をコーンにコーティングに用いた高級スピーカもある。

◆探触子からの送信音

1990 年頃東北大学伊達教授は探触子から発生する音波を観察していて、あることに気が付いた。探触子からガラスに出る音の可視化画像と、音が底面で反射直後の音の可視化像が似ていた。具体的に何が似ているかと言うと、探触子から媒質、媒質から他の媒質、裏面での反射など、何れも境界を透過または反射のとき、同じ様に縦波ビームの端に横波が発生する。

図4が10MHz6.4φ広帯域探触子で当時の観測された画像である。図(a)の様探触子から出た音はその振動子幅相当の縦波①が徐々に広がり、振動子幅を中心に横波②が①の約半分の音速で伝搬している。底面で反射した時、図(b)の様縦波①は単純に反射しているように見える。縦波①ビームの端から横波③が新たに発生している。

有限ビーム幅の縦波の媒質境界の通過も観測したが同様であった。すなわち境界を縦波が反



射または通過すると常にそのビーム端に横波が

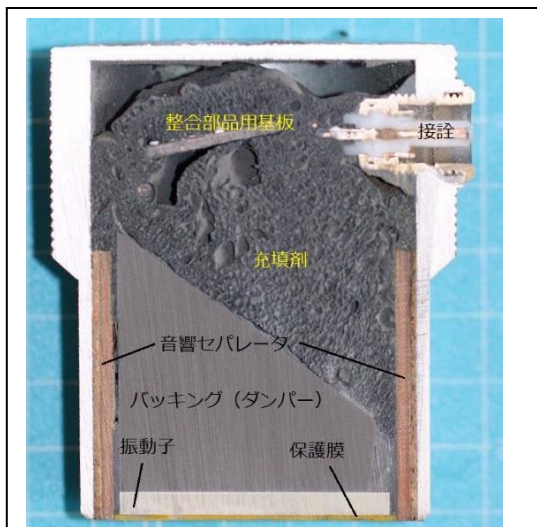


写真1 広帯域探触子のカットモデル

発生する。(数回先の連載で説明するが、ビームの端は特殊である。多くの理論は無限大平面波など、現実にはあり得ない条件下での理論の為、ビームの端の挙動に関しての説明が不足している)

探触子と媒質境界も同様なので、探触子はピストン運動するのではなく、探触子内部の振動子と言う媒質から音が境界に伝わってくると言える。圧電体振動子内部で発生した音が媒質に音が伝搬すると考えるのが妥当である。

参考までに広帯域探触子のカットモデルを写真1に示す。広帯域探触子の内部を見ると裏面にバックギン材が組み込まれ、後方に出た音を吸収散乱減衰するように設計されている。音は後ろにも出るが、表側に戻って来ないようにしている。この探触子では、低周波成分をバックギン材で十分吸収できないので、裏面を傾けて振動子へは傾いた波面が戻ってくる様にしている。

◆探触子から媒質に入った直後の音の荒れ

色々な探触子で光弾性可視化像を観測すると、探触子からガラスへの入射直後に音場の荒れが観測される。1/4λの整合層(主にエポキシ、音響インピーダンスが低い)を持った水没用探触子などが典型だ。これらの探触子は保護膜を削除すると荒れがほとんど無くなる。保護膜が薄く1/10λ程度で設計されている広帯域探触子、遅延材が付いた探触子、また保護膜の音響インピーダンスがガラスに近い探触子では、探触子表面近傍の荒れはほとんど観測されない。また振動子素材を横振動少ない振動子にするか、インダクタンスを振動子に並列に繋いで横振動を抑えると、保護膜があっても荒れは弱まる。探触子から媒質に入射した時に音場の荒れは、保護膜の多重、その多重反射で発生する横波、保護膜の径振動による縦波横波音が干渉しあっていると考えられる。光弾性可視化に使うガラスは、残留応力の歪みが表面近くに集中し、この干渉を明確に観察するのに適さない。後で示すように適切な計測をすると以上は誰でも確認できる。色々な目的の音波実験をする時、音の発生源の超音波探触子、観測用のセンサーは目的に適合したものを使わないと、とんでもない間違いをする。市販探触子はそれぞれの目的市場に合わせて最適化されている。特に研究者にとってはブラックボックスである。ブラックボックスでない、中身の分かった超音波探触子、セ

ンサーで実験する必要がある。例えばレーザー変位計などで、音による表面振動を観測しても、その観測点に正負の音が同時に伝わってきていると、音はあるが、振動はゼロと観測されることもある。目的の現象を計測できる手法をとる必要がある。

◆低周波広帯域探触子の光弾性可視化像

写真1の市販 0.5MHz ϕ 40 の広帯域探触子からガラスへ超音波を送信し、光弾性可視化で観測すると図5となる。探触子から前面に出る音のみが観測できる。ノギスで20mm程度伝播した時点の超高速ストロボ写真である。円形振動子の為、左右の端が弱く、左右中央が強く観測されるが、時間軸方向(画像縦方向)はほぼ均一な輝度で正の半波矩形形状の音圧が観測される。なお、可視化は本来音の無い部分を真っ黒にして観測するが、この場合は技と偏光板をずらして、探触子やノギスが写る様に調整した。

輝度は目の錯覚も含まれるので、中央の画像に加えた縦線に従って、バックグラウンドが真っ黒の状態、輝度の二乗根音圧(音圧相当)を

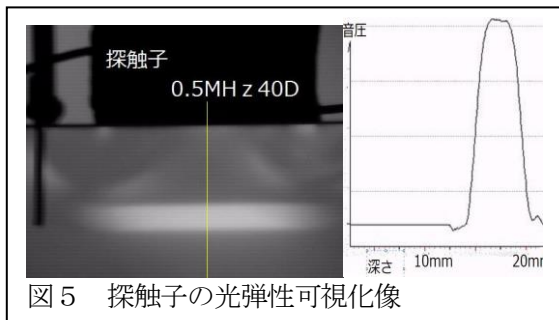


図5 探触子の光弾性可視化像

調べると図右のカーブとなる。曲率のある立ち上がり、立ち下り部分を持った台形と成っている。頭部はほぼ水平である。ストロボの発光半値幅時間が100ns、10%幅は500nsと長くその為画像が時間的に少し訛っていて、実際の音波はより矩形に近いと考えられる。

探触子から発生される音圧波形が矩形と言われると、それを実感する人は少ない。通常の探傷器やパルサー・レーザーの出力波形は1波や1.5波と呼ばれる波形になる。この理由の大半は探触子の受信特性やアンプの周波数特性で、

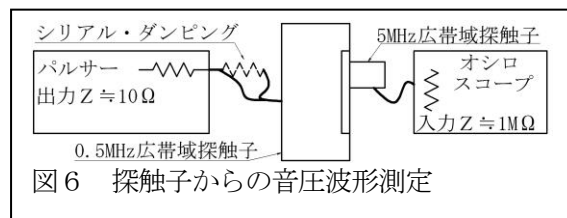


図6 探触子からの音圧波形測定

振動子の電気的性質を知らないと全ては理解できなく、今後の連載で説明する。

◆低周波探触子の高周波探触子による観測

図6の構成で、探傷器、パルサー・レーザー、オシロスコープと5MHzの広帯域探触子を使って、0.5MHz振動子からの音波波形を、減衰の少ないHDPS(高密度ポリスチレン)の25mmを通して観測すると図7の様になる。HDPS(高密度ポリスチレン)はプラモデルに使っているポリスチレンと同じ材料だが、より硬い電気部品に使われたグレードである。なお、後で述べる様に振動子の中央を測定すると、円形振動子の径振動の影響が大きいので、半径の1/2程度の位置で測定した。

図7の波形を見ると受信探触子の感度の良い

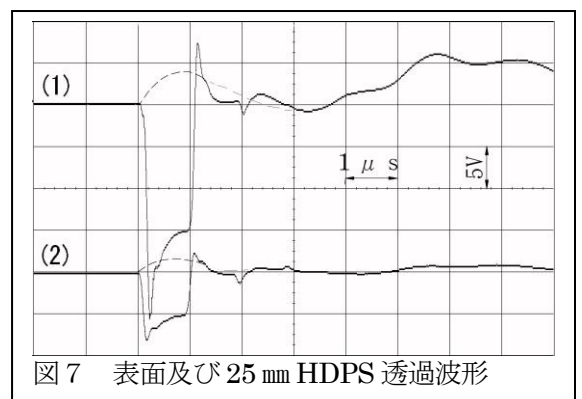


図7 表面及び25mm HDPS透過波形

5MHz付近の成分が少しリングしながら現れるが、これを除くと矩形波と低周波のウネリの重ね合わせである事がわかる。ウネリ成分だけを点線で示す。このウネリは主に圧電振動子の横振動である。横振動と言っても単なる丸棒の径振動とは異なる。振動子の厚さが径に比べ相対的に薄く、電界の方向が厚さ方向で内部応力も厚さ方向である。横に伝わりながら後ろのバックリングで吸収されたりする。

まだ水晶振動子で探触子を作っていた時代の最後で、半導体制のパルサーが増えた時代には矩形波の受信波波形は容易に確認できた。水晶振動子の電気低インピーダンスが高く、通常のパルサーで容易に矩形音圧が発生できたからだ。しかし、チタバリなど感度良い振動子に追われた水晶振動子は市場から無くなった。チタバリなどは水晶に比べ誘電率が10倍以上大きく、電気的インピーダンスがパルサーに対して小さくなり、矩形波形は観測されなくなった。また、水晶振動子は高い周波数の振動子を作るのが大

変な事から、1MHz と低い振動子で矩形波を共振させ、低周波成分をカットし 100MHz 相当の肉厚計の試作は英国で行われていたようである。

因みに図 8 に、図 6 の点線のようにシリアル・ダンピング抵抗アダプターを挿入した場合の変化を観測した例を示す。パルサーの出力インピーダンスを直結で実質 10Ω 程度の場合の図中(1)、と 100Ω のシリアルダンピング設定の場合の図中(2)である。送・受信の探触子は前と同じ組み合わせだが、探触子の位置が僅かに異なるので、多少異なる波形になっている。0.5MHz 探触子の低周波での容量 2.5nF を 0.5MHz での等価インピーダンス Z_{eq} として計

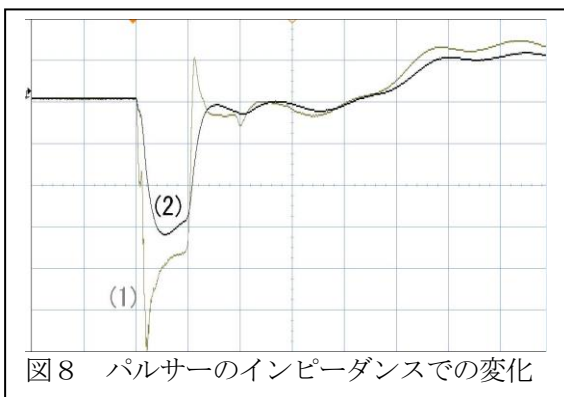


図 8 パルサーのインピーダンスでの変化

算すると 150Ω である。

$$Z_{eq} = \frac{1}{2\pi fC} \quad \text{式 (1)}$$

実際のインピーダンス・アナライザで 0.5MHz 付近のインピーダンスは低周波での測定結果と異なるが、倍半分の範囲である。

図中(2)の状態は出力インピーダンス 110Ω のパルサーと、そこそこ整合していて、感度低下が少なく、且つ高周波成分が少なくなっている。

通常の探触子の等価インピーダンスは 50Ω より低いことが多く、振動子の容量で高周波成分が失われ、送信音圧で矩形には観測しがたい。受信波形は更に振動子の積分効果などによりサイン波形に近くなる。

高周波成分の減衰は媒質内で高周波の散乱ノイズを減らし探傷では SN 比が向上するので、探触子によってはこのシリアル・ダンピング抵抗が内蔵されている。最近のパルサーは半導体 FET の進歩で低インピーダンス化と高速化で高周波成分の発生が多くなった為、自動探傷器ではパルサーに直列ダンピングを組み込んで SN 比を上げることがある。

なお、高周波成分の減少は、薄い保護膜、接着層などでも発生する。

5MHz 探触子の観測電圧は負である。前回の探触子内の圧電振動子への配線の項で述べた様に負電圧は正の音圧を発生していることを示す。

◆パルサーからの励振電流

パルサーの出力駆動インピーダンスが探触子の等価インピーダンスと比べ低いと、振動子から矩形音波が出ている事が分かった。

出力インピーダンスが低場合、高い場合で、振動子に加わる電圧波形と電流波形を観測してみよう。図 9 は市販の電流電圧測定アダプターを取り付け前項と同じ状態で観測した結果である。

図上のシリアル・ダンピングが無い場合は負の 100V のステップ状電圧と負のスパイク状電流が観測される。電流値は-10A 近く流れている。これは一般的パルサーに使われている FET の飽和電流相当で、飽和電流が高い FET を使えばもっと強い電流が流れると考えられる。事実アバランシェトランジスタを使った高周波用のパルサーでは

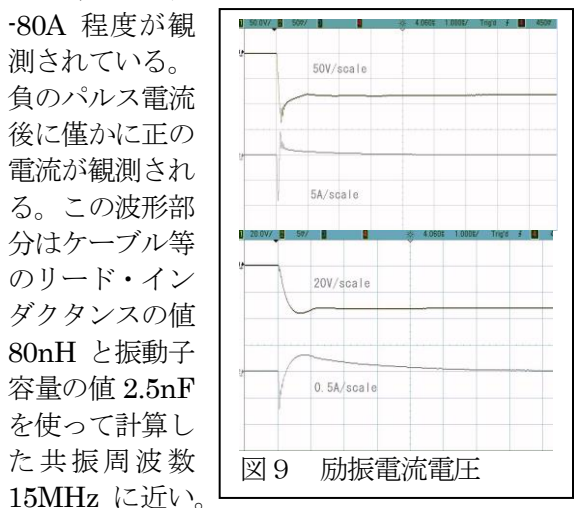


図 9 励振電流電圧

-80A 程度が観測されている。負のパルス電流後に僅かに正の電流が観測される。この波形部分はケーブル等のリード・インダクタンスの値 80nH と振動子容量の値 2.5nF を使って計算した共振周波数 15MHz に近い。

従って、電氣的共振で今回の矩形音圧の議論では無視する事にする。が、振動子の加わった電圧相当の周波数の音も必ず発生しているので、注意が必要である。

100Ω のシリアル・ダンピングが入ると、ピーク電圧振幅は下がる。振動子の 1/4 周期程度の時間でユックリ変化する。電流は 0.5A と上図の 1/10 である。が、幅があるので、流れた合計電荷（電流図の面積相当）はシリアル・ダンピング無の-10A 近くのパルスと大差ない。また、正の電流がその後続き、振動子からの逆電流

が流れている事がわかる。この件詳しくは後述するが、圧電振動子は電荷を与えると歪み、歪を与えると電荷が発生する。電荷で音が発生するが、その音が振動子内で移動すると電荷が発生し、逆電流が流れていると考えられる。

以上から矩形の音波波形が観測される状態は、駆動力の高いパルサーで瞬間強い電流が流れ、瞬時電荷が振動子に蓄えられる場合と判った。

実はこれらの実験は探触子ケーブル等の接続同軸の長さを 30cm 以下で行っている。この周波数でも 1m を超えるとなかなか矩形波形が観測できない。5MHz の市販探触子では大半 10cm 以下でない矩形らしくもない。もともとパルサー内部の配線があり、そのインダクタンスがある、さらに探触子ケーブルのインダクタンス加わり影響する。電子技術者は概算として、配線は 1nH/1cm、50Ω 同軸は 0.2uH/m 程度とみなす。配線は長くなると相互誘導するので、単純長さ比例ではない。技術者は感?で補正している。パルサーの中が仮に 20cm の配線で、信号側と GND 側の合計長は 40cm となり、概算として 40nH である。探触子の中にも配線があるので、直ぐに合計インダクタンスは 50nH を超える。振動子は 1nF 前後の場合が多く、50nH とでは 22MHz の共振周波数での発生が起きる。高周波の実験は甚だ難しい。

◆圧電振動子からの音の発生

インパルス状の電流で瞬時電荷が溜まった場合の、振動子から出る音が矩形の音が出ることを図 10 で考えよう。振動子単体で宙に浮かして音は振動子内の厚さ方向往復するものとする。振動子は理想の誘電体で均質とする。実際には空気や保持機器に音は伝わるし、振動子の側面でモード変換など起きる。あくまで理想状態で考える。一定の厚さの振動子に瞬時電荷を貯めると、電界は光の速度で振動子内を伝わるので、瞬時に振動子内は均一電界となり、瞬時に内部圧が発生する①が変位(歪、原子の移動)は起きていない。電界で圧力と言うポテンシャル・エネルギーが与えられた状態である。ピアノや津波同様に初期値としてポテンシャル・エネルギーが与えられると、前後にその 1/4 相当のポテンシャル・エネルギーと 1/4 相当の運動エネルギーを持った音が伝搬する。ポテンシャル・エネルギー即ち音圧のエネルギーは音圧の二乗に比例するので、音圧では半分ずつが振動子の前後に伝搬する。分かりやすいように半分に斜

線を引いた。上の斜線部分は右に、下の部分は左に伝搬するとした。圧電振動子の固有振動の周期の 1/8 の時刻ごとに伝搬の様子を描いた。②は 1/8λ 相当の時刻、③は 2/8λ 相当の時刻である。振動子端面で反射するが、反射の時は弦巻ばね同様位相反転して反射する。弦巻ばね同様位相反転して反射すると端面は移動するが、圧電振動子の弾性率が高く極僅かで図中央にグラフで示している。⑤まではどんどん位相反転しながら伸びていく。⑤では全ての音は負音圧になっている。音圧の総量は①と同じだが、逆音圧である。ここからは負の音圧が振動子端面に反射し、位相反転し正の音圧が増えていく。これ以降、振動子は縮む。厚さの変化は、端面を通過した音圧の合計に比例すると考えられるので、変化を図の右に示した。また、圧電素子の端子電圧は、前回までの話で内部音圧積分に比例するのでその電圧も図に加えたが、厚さ変化同様三角波形となる。

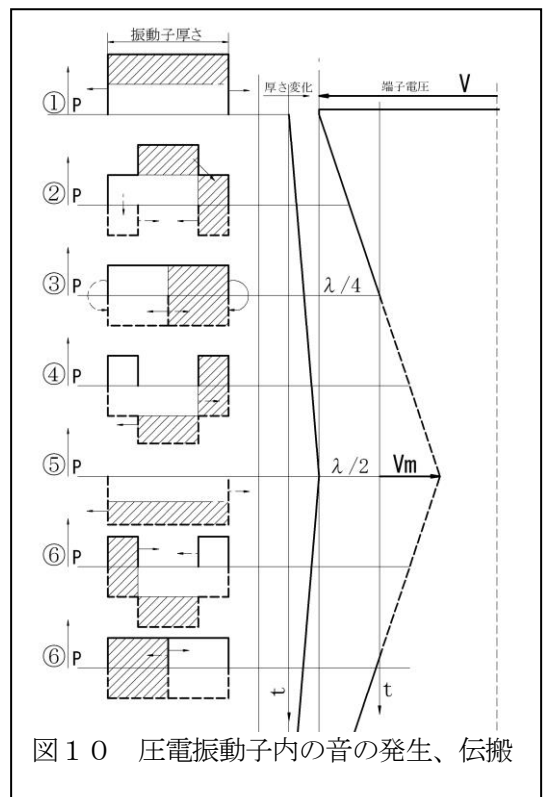


図 10 圧電振動子内の音の発生、伝搬

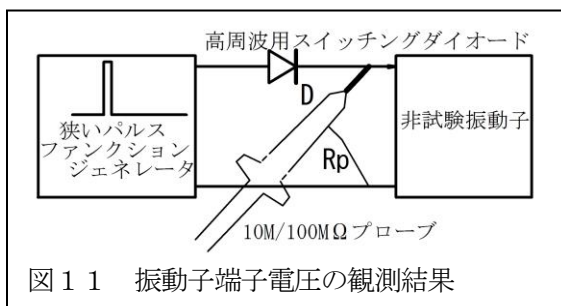
均質な圧電振動子にインパルス状電流を加えると、そこから三角波の電圧が観測されるはずである。図 9 の波形では観測されない。これは広帯域探触子用の振動子は、振動子内部の減衰が大きく、また電気機械変換効率が悪い。またバッキングで音を吸収している。その為一般に

狭帯域用、或いは動力目的の振動子で観測しないと容易には見られない。計測回路もパルサーと繋ぎっぱなしなので、パルサーの状態によっては振動子で発生した電荷がパルサーに吸収されることもある。

振動子の厚さを見ると、正音圧が表面に伝わり、反射した結果、厚さが増す。振動子の前後に振動子と同じ音響インピーダンスの媒質が繋がった状態を考えると、正音圧が媒質との境界を通過した結果振動子の厚さが増す。厚さの変化即ち歪は音の伝搬の結果であって、原因ではない。これは重要な概念で、音が伝わると伝わったところに歪が伝わり、応力が発生するのである。機械などで力を伝える事は、音を伝える事と物理的には同じである。

◆実際の三角波の確認

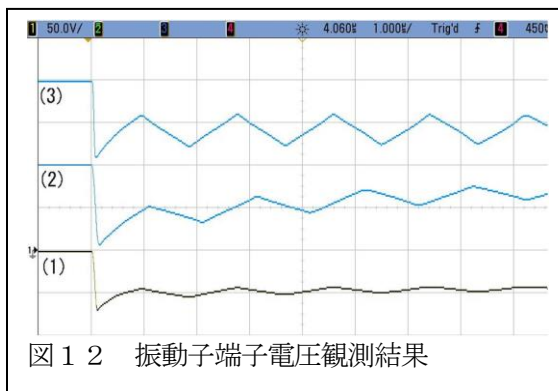
実際に三角の連続波形を観測することにしよう。振動子に瞬時に電氣的電荷エネルギーを与



え、以降電氣的に或いは音響的にも振動子外部にエネルギーが発散しないようにする。振動子は電極からの配線のわずかな面積で保持し、音が外部に出にくい様にした。電氣的にパルサーにエネルギーが戻っては困るので、図11の様にダイオードを使った。その結果を図12に示す。図中(1)は図5等と同じ振動子のみ、図中(2)はPZT、図中(3)は異方性の振動子である。図中(2)は大きく歪んでいるが(図の範囲ではウネリ波長の1/4程度が観測される)、PZTは径方向の振動が起きやすく、その影響である。図中(3)では異方性として径振動を抑えている。図中(1)は一般的広帯域に使う振動子でQ値が低い振動子で、構造的には結晶径が大きく、結晶間が柔らかい。振動子自身自身で音が散乱減衰していく。径方向寸法は厚さより大きいので、径に伝わる音は減衰が激しい。また、励振電圧に対する三角波の振幅は振動子の送・受信感度相当で、図中(1)が一番悪いことがわかる。

図10で以下の式は媒質が理想状態の探触子の一探触子法感度である。

$$Kr^2 = \frac{vm}{v} \quad \text{式(2)}$$



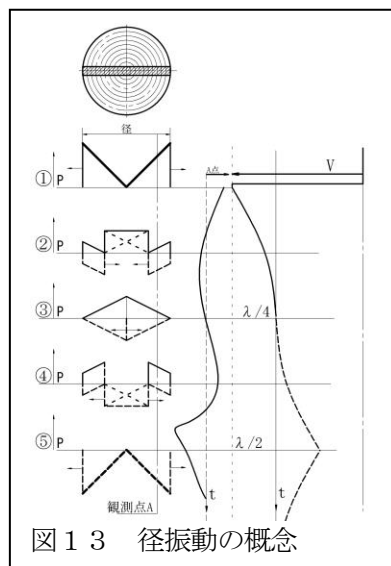
電気機械結合係数 Kr^2 を使う Kr^2 より、この比の方が実際に近い。元々の電気機械結合係数の物理的意味があいまいで、 Kr^2 は送・受信電圧感度と呼ぶことにする。この感度計測法を三角法と呼ぶ。なお、どの波形も最初の傾斜が直線的でなく、歪む。これは主に径振動の影響と考えられる。径方向の減衰の大きいQの低い広帯域用振動子の歪が大きい。

同心円の多数のリングを考えると斜線の直線にまとめると、中心で音圧ゼロ、左右端で最大の三角形状の音圧分布となる(図13)。

円形振動子①が初期音圧で、これが図10同様に②、③...と伝搬する。

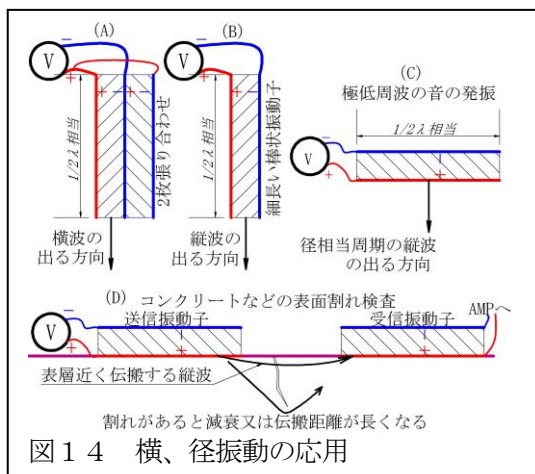
厚さ方向が正圧だと、径方向は負圧だが、図では前図10と同じ表示方式をとっている。径方向の負歪は、厚さ方向の正歪を生み、負電圧を発生する。

各時点の合計音圧に横振動成分の電圧が比例する。中心を伝搬するとき、中心面積はゼロで、音圧は無限になってしまう。実際にはそんな事はない。一方音がなくなることも考えられない



ので、中心を通ると急に拡散すると思われる。また、この図で振動子の場所により厚さ方向への影響は異なる事が判る。図の二点鎖線の観測点 A では半径相当の周期の振動成分が多い。円形振動子の径振動は、中心付近では、直径相当の共振ではなく、半径相当の共振が強く表れる。径振動に関しては観測する点で観測される振動の周波数が異なるので、注意が必要だ。

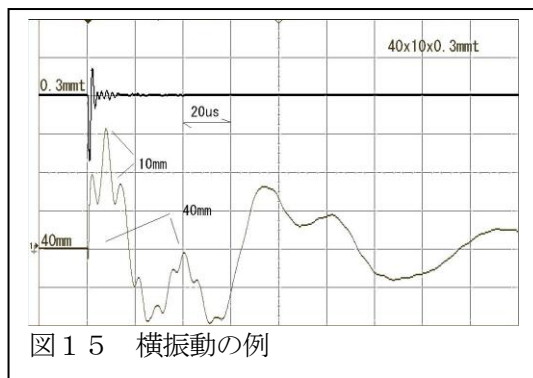
◆横、径振動の応用



ここで一般にはあまり知られていない径振動（角型振動子では横方向振動）の応用を述べよう。PZT など圧電素子は低周波の振動子は厚さが大きくなり、非常に高い分極電圧が必要になる。例えば 50kHz の振動子では厚さ 30 mm となり、分極電圧として数十 kV が必要になる。工業的には数 kV の分極電圧が一般的で、数十 kV の分極装置を持っている振動子メーカーは稀である。また分極できても高い電圧を加えないと十分な音圧が得られない。そこで考えられるのは、大きな径の高い周波数の振動子を作りその径振動が、厚さ方向の振動になる事を利用する。PZT の様な圧電素子は、電極間に電圧与えても、電極間と直角方向に多くの音が発生する。厚さ方向に正音圧が発生して膨らむと、径方向は負音圧が発生して縮む。動的ポアソン比と考えればよい。電極と直角方向への音の送受信素子として十分機能する。図 1 4 (A)(B) の様にコンクリートの検査では、50kHz 付近の低周波の縦波や横波の発生に厚さは数 MHz 相当と薄いながさが数十 mm ある直方体の振動子が使われる。図 1 5 (C) の様に空中超音波発生では例えば径 ϕ

100 で数 mm 厚さの振動子で 30kHz 程度の音が発生できる。また、図 1 5 (D) の様に表面縦波伝搬を用い表面割れの検出にも使われている。この場合、あらゆる方向に縦波が伝搬し、点音源の必要性は無い。小さな点音源に近い振動子より強い表面縦波を発生できる。これらは振動子が薄い為、分極電圧が低いと同時に、送信電圧が低くても高い音圧を出すことができる。電気的インピーダンスの厚い振動子より、低いのでパルサーやアンプとの電気的整合も良く、高感度な装置が従来の技術の流用で可能である。

なお、通常パルサーでの横、径振動の応用では、負音圧から音が発生するので、割れ欠陥の検出が正音圧より有利と考えられるが、実際には大気圧 = 正音圧からの僅かな正負の音圧変化なので、負音圧の有効性が観測されることは滅多に無い。なお、通常の厚さ振動でも、放電方



式のステップ又はスパイクパルサーで同様の負音圧からの音の発生が出来る。

図 1 5 に実測例を示す。40x10 mm 面積で厚さ 0.3 mm と通常良く使われる 5MHz 10x10 mm 探触子の面積を 4 倍にしたものである。厚さ方向から出てくる音を測定すると当然 5MHz 付近の周波数である (図上)。40 mm 方向の端部 10x0.3 mm の面から出てくる音を測定すると最初に 10 mm 幅と 40 mm 相当の音が観測され、その後に屈曲振動が観測される。厚さがもっと厚くなると屈曲振動は観測されない事が多い。なお、側面から出る音の先端は厚さ方向と同様の鋭い立ち上がりである。粒界の粗い振動子では、この鋭い立ち上がり以外が減衰し、半波に近い時間軸分解能の良い音が発生し、50kHz と低い周波数の広帯域に使われている。

◆圧電探触子に厚さ方向感度

大半の圧電素子は細かな結晶を焼いて作る。その焼き具合で厚さ方向や径方向で感度差が発生する。太いセラミック・ブロックから薄い振動子を切り出して使う場合は、周囲は使わず、またスライスした振動子を可視光で透過させ検査し、品質の悪い部分を除いて使う。一枚一枚焼く方法の振動子では稀に焼きむらの不良が生じる。大小の差はあるが厚さ中央の感度の低いのではと計測される振動子は多い。中央の感度が低いと厚さの半分相当の周波数成分がある事になる。厚さ中央が悪く、発振する音波が2倍の周波数でも、一探触子法で観測すると受信時に振動子のフィルター特性で、その情報が消えてしまう。振動子の出荷試験にインピーダンス・アナライザが使われるが、この計測でも厚さの2倍を含む偶数倍の周波数情報は消えて観測されるので、振動子メーカ出荷試験でこの種

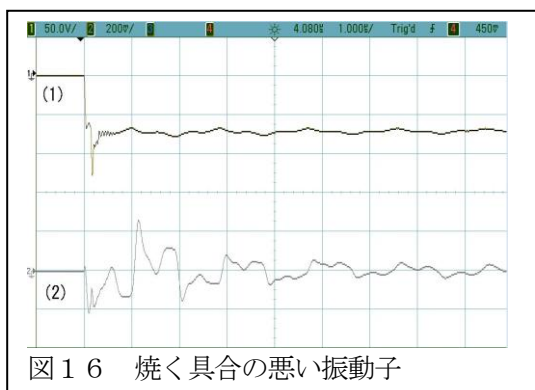


図16 焼く具合の悪い振動子

の不良品の発見が難しい。

厳密な実験をする場合は振動子の厚さ方向の圧電感度分布を確認してから使った方がよい。図16は図11の試験方法で測定した結果で、厚さの中央が全く感度のない振動子の電圧波形(1)と表面音圧波形(2)である。音圧(2)は厚さの中央ではほぼゼロになっている。電圧(1)は綺麗な三角形が観測されず、なまっただ三角形に2倍の周波数の波が乗っている。2倍の周波数で変調されているともいえる。こう言った振動子で実験すると、その実験結果は何の役にも立たない。このような振動子は通常の共振反共振から各種パラメータを求める方法では不良としては計測されない。

振動子の中には振動子の厚さの数分の1と大きな結晶粒のものがある。この場合結晶があちこち向いているので、前述同様厚さの数分の1で変調されていることになる。こう言う振動子は高周波成分を使うとSNが悪い。特に小さな

面積の場合、粒子サイズは振動子体積に対して相対的に大きくなるので、SN悪く観測される。振動子の端子電圧は、振動子全体の音圧積分に比例するので、振動子径が大きくなると、振動子自体のSNの悪さに気が付かなくなる。一部の振動子メーカは振動子の厚さと粒界サイズを関連させて製造している。

◆あとがき

インパルス状電流を印加した厚さ振動圧電振動子から矩形の音の発生を述べた。同時に厚さ振動圧電振動子は単純な厚さ振動だけでなく、横振動も発生する事を述べた。一般的パルサーでは、必ずしも今回の説明とは同じ音圧波形にはならない。次回は色々なパルサーの方式とそれらによる発生音に関して述べる。

◆今回知った事

- (1) 圧電振動子はスピーカなどと異なり前後に同じ音が伝搬する。
- (2) 音が振動子から媒質に入る時と、底面で反射する時にはほぼ同じ現象が起きるので振動子も一つの媒質と考えられる。
- (3) 境界を縦波音波ビームが通過すると、ビームの端で横波が発生する。
- (4) 探触子の保護膜を除くと、探触子近傍での音圧の荒れが非常に弱くなる。
- (5) 保護膜が薄く 1/10 程度で設計されている広帯域探触子、遅延材が付いた探触子は探触子近傍の音圧の荒れは少ない。
- (6) 音響減衰の少ないポリスチレンはプラモデルにも使われるが、超音波の楔などに使われるのは異なるグレード。
- (7) 円形振動子の径振動の影響が大きいので、中心軸上の波形観測は注意が必要。
- (8) 水晶振動子で探触子を作っていた時代の最後では矩形音波相当の波形は容易に観測されていた。
- (9) 1MHz に水晶振動子を用いて、矩形音圧波の 100MHz などの高調波成分の利用も研究されていた。
- (10) パルサーにシリアルダンピングを挿入すると高周波成分が減って、SN 値が上がる事がある。
- (11) 駆動力の弱い(出力インピーダンスが高い)パルサーで励振すると圧電振動子から訛った音波が発生する。

- (1 2) 駆動力の強い(出力インピーダンスが低い) パルサーで励振すると強力なインパルス電流が流れ、矩形音波が発生する。
- (1 3) 圧電振動子の縦振動と同時に横振動が発生しその歪が前面に現れる。
- (1 4) 円形振動子の径振動は、中心付近では、直径相当では無く、半径相当の共振が強く表れる。
- (1 5) 横振動の為、振動子面の位置で出る音の波形は異なる。
- (1 6) 三角法での送・受信電圧感度測定は実際の探触子の感度と相対的に合う。
- (1 7) 力を伝える事は、音を伝える事と物理的には同じである。
- (1 8) 振動子は均質な圧電体とは限らないので変調による歪に注意が必要。

<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)

- ・
- ・