

探触子キット 説明書

目次：

1. [組み立てをはじめる前に](#)
2. [仕様](#)
3. [部品一覧表](#)
4. [組み立て要領](#)

ご質問等に関して：

キットに関するご質問は電話及び FAX ではお受けしていません。

Email：isl@kcn.ne.jp にてお願いします。

質問には必ずキット名称、種類、仕様を明記ください。

キットの動作保証に関して：

技術系の平均的^①大学程度の知識、技量がある方が、このマニュアルを注意深く読み、製作されれば、このキットは確実に動作します。

接着作業や模型等の製作の経験が一切無い方には多少の無理があります。有料ですが、指導など致します。上記にその旨 Email し、ご相談ください。ご心配な方はウェブ会議で指導も可能です。

随時仕様は偏向するので、ご購入後 1 年程度の間は、最新の**キット説明書**は弊社ウェブからダウンロードできます。

本キットは

- キット A 5MHz10x10mm 45 度 70 度
- キット B 2MHz10x10mm 45 度 70 度
- キット C 5MHz10x10mm 45 度 70 度フォーカス
- キット D 2MHz10x10mm 45 度 70 度フォーカス
- サービス品 _____
- その他 _____

屈折角は対象を鋼^②としており、屈折角はスネルの法則からの計算値です。鋼以外の基地の音速の材料で作った材料での角度はスネルの法則で逆算した入射角から計算できます。遅延材縦波音速は 2325m/S です。

角度の大きな 70 度用の場合、A1 試験片での屈折角測定では小さめと成ります。特に広帯域程小さめになります。EMAT (電磁超音波) 法などで測った屈折角と A1 等試験片での測定結果は異なります。実際の検査対象材で作った対象相当形状の反射体を持った試験片で測定するのが最良です。

1. 組み立てをはじめる前に

このたびは、弊社の探触子組み立てキットをお買い上げいただき、誠に有難うございました。

弊社では、探触子以外にも各種キット販売又は計画しています。例えばパルサーレ・シーバです。これらのキットを販売する目的は、顧客に超音波非破壊で重要な要素をより理解して頂き、より良い検査手法の開発研究をしていただきたいと思います。また、非破壊に関与し始めた、初心者の方には、探触子やパルサーレ・シーバを使うだけでなく、自ら改良したり、メーカーと対等に議論したり、指示したりする力を身に付けて頂きたいと思っています。

本説明書では、探触子キットA, B, C, Dの4種のキットに対する説明をします。これ以外のキットの場合は、それぞれの説明書を参照ください。

説明の内容はキットAを中心にしてあります。他のキットの違いなどは、文章中に追記されています。キットの違いは

- 1) キットA 5MHzの振動子を使用 振動子面が平面
- 2) キットB 2MHzの振動子を使用 振動子面が平面
- 3) キットC 5MHzの振動子を使用 振動子面が曲面
- 4) キットD 2MHzの振動子を使用 振動子面が曲面です。

曲面振動子は平面に比べ焦点付近のSN及び感度が格段に異なる事が確認できるでしょう。何れも、鋼材で約45度又は70度の屈折角の探触子です。他の屈折角も特注として受け付けます。

梱包を開いたら、まず部品の員数をご確認ください。

組み立て方法が以下に記されています。組み立てを始める前に、一度、通読され、全体の作業の流れを理解してから、実際の組み立てに入ってください。

ご質問がありましたら、以下にEmailください。

isl@kcn.ne.jp

説明の中に参考として枠内にコラムを掲載しています。

組み立てに当たって、以下の工具等が必要です。前もって準備ください。

- 1) ヤスリ (小型の模型用が良い)
- 2) ティッシュペーパー
- 3) 洗剤 (エポキシが手に付いたら洗剤で流し落とせます。)
- 4) ハサミ、カッターナイフ
- 5) はんだ小手 (30~50W程度のもの) と はんだ
- 6) ラジオペンチ
- 7) 楊枝
- 8) 洗濯バサミ 又は バイス 又は 重石 (500g~1kg)
- 9) ピンセット
- 10) 探傷器と探傷ケーブル (LEMO 小用)

振動子は強く曲げると振動子の表面が割れ、電極の切断や、耐圧の低下が発生します。取り扱い時には、曲げない様細心の注意をしてください。

油脂やゴミが付いていると、接着は強度が落ちます。接着する面は、素手などでやたら触らないでください。触ってしまって、指

紋などが付いた場合は、**極**僅かなアルコールで湿らせた綿棒で、軽くふき取ってください。強く綿棒で拭くと、金電極が剥離する事があります。

ハンダ付けに使う半田は、無洗淨型ヤニ入りの0.8mmφ程度の糸ハンダ（通常の弱電用糸ハンダ）が良いでしょう。フラックスを使う場合はその残留物が、導電性だったりします。注意が必要です。

[目次](#)

2. 仕様

探触子ケース： アルミダイキャスト 約 28 x 19 x 15 mm

楔： 高密度ポリスチレン (PS の重合体)

振動子： 1 - 3 コンポジット、

単体共振周波数：キット A, C = 5 MHz

キット B, D = 2 MHz

(振動子の固有振動周波数は、反共振周波数です。特注反共振周波数での指定も可能です)

屈折角：普通鋼で約 45 度又は 70 度

探触子の耐圧： 約 500 V (組み立て方で変わる)

キット C, D の場合曲率：左右 50 R 上下 120 R

[目次](#)

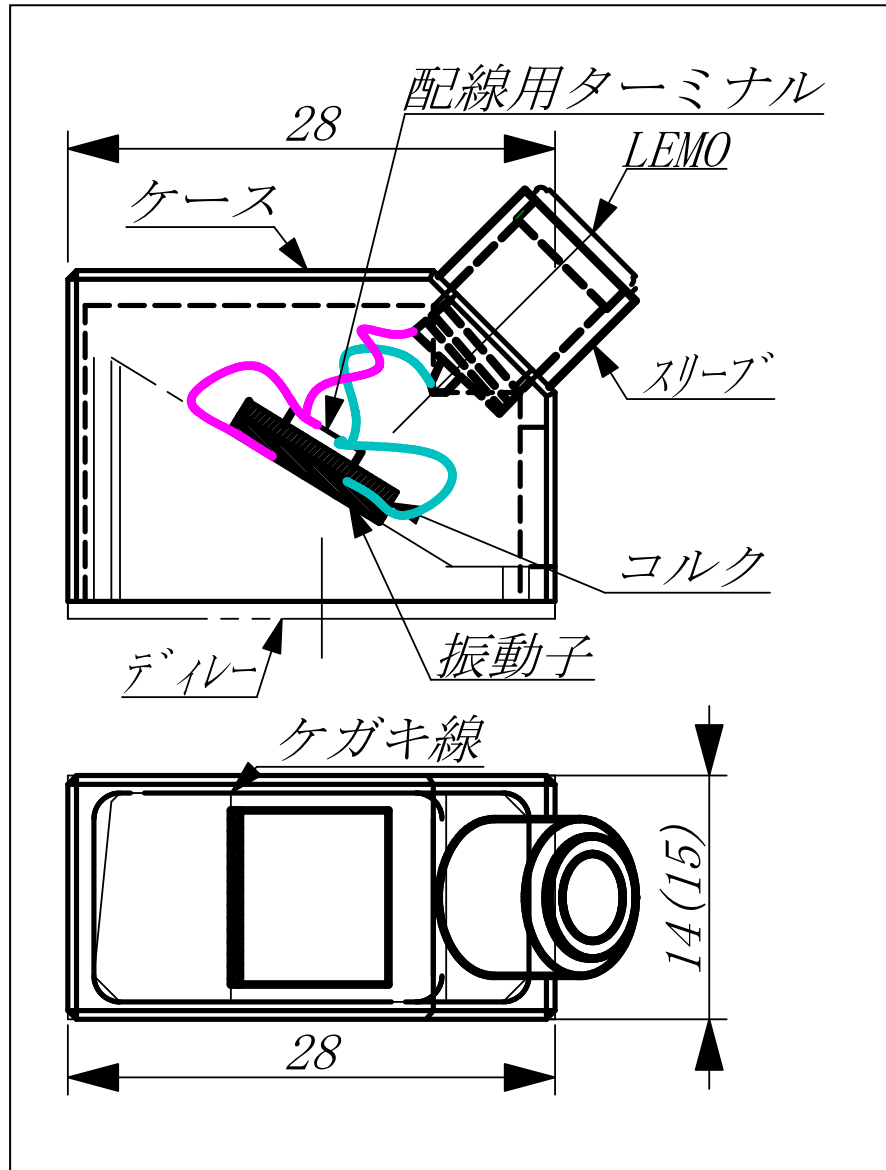
3. 部品一覧表

以下の部品が同梱されています。

1-1	アルミダイシャスト弊社標準ケース	x 1
1-2	コネクター・スリーブ	x 1
1-3	LEMO コネクター	x 1
2-1	振動子	x 1
2-2	ツイスト配線材	x 5 c m
2-3	シリコン・ゴム	x 1
2-4	銅箔（又は銀箔）	x 1
2-5	小プリント板	x 1
2-6	コルク	x 1
2-7	吸音材用粉（白色又は黒W）	x 1
2-8	爪楊枝	x 少々
3-1	高密度ポリスチレン製楔	x 1
3-2	高密度ポリスチレン製傾斜治具（キット A, B のみ）	
	1 ユーザ	x 1
4	1～30分硬化エポキシ	x 1
5	紙ヤスリ	x 1

[目次](#)

4. 組み立て要領



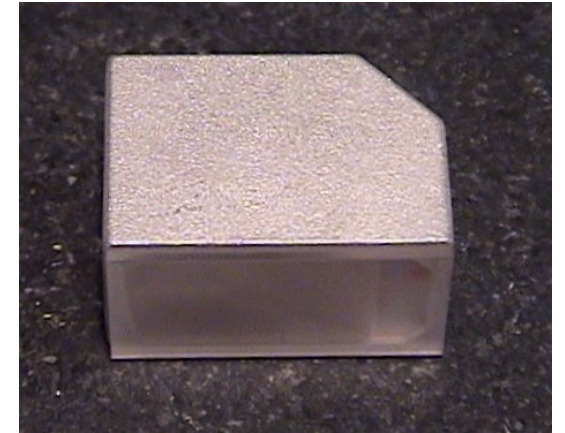
左図が探触子の内部構造です。

楔の上に、振動子は接着されており、その後ろにコルクが接着されています。コルクの上には配線用ターミナルがあります。振動子の前後面の電極とターミナルの間は引き出し電極線で配線されます。振動子側は接触で電氣的に結合しています。ターミナル側はハンダ付けです。ターミナルと LEMO コネクター間はツイストケーブルで接続されています。何れの端もハンダ付けです。

① ケースと楔の嵌め合いの確認

探触子ケースに楔が抵抗無く挿入されるかどうか確認します。硬ければ、ヤスリで少しケース内面を削ります。

挿入する際に、硬いと思ったら、直ぐに挿入するのを止めてください。無理に挿入すると、外れなくなります。外れなくなったら、アルミのケースの斜面の穴から、ドライバーなど差し込んで、振動子接着面以外を押すと良いでしょう。



②LEMO のコネクターツイスト線を半田付けします。一般に LEMO の芯の信号線端子には黒、青と言った負の電圧を想像させるカラーの線をつなぎます。ケース＝GND 側には、赤、黄と言った正の電圧を想像させる色の線を用います。なお、GND 端子なしの LEMO の場合は、GND 面に予備ハンダされています。ここを用いて下さい。



③ケースとコネクタの間にスリーブを入れ、ケースにコネクタ

電極と分極 一般に探触子メーカーは振動子メーカーから振動子を購入します。しかし、振動子メーカーからの振動子が目的に合っているとは限りません。米国大手の探触子メーカーは振動子素材セラミックの塊を購入して、切断し、電極を付け、分極しています。電極の厚さや分極の方法で性能が変わります。国内では電極付けと分極を社内設備しているのは弊社も含め極僅かです。また、電極とリード線部分をスパッタリング装置で作る方法もあります。高周波の探触子では、弊社も、この方法を多用しています。銅銀箔などは扱える厚さは5ミクロン程度までです。高い周波数では箔の厚さが波形に影響します。スパッタリングで作った1ミクロン程度の金のパターンを引き出し線とします。1ミクロン以下だと電気抵抗が増え、長い電極引出しは困難です。スパッタリングで透明電極を付けることもできます。

一を取り付けます。スリーブの内径は、方端は7φ、他端は7.4φです。7φ側をケース側とします。反対にすると、完全にネ

ジ込めません。前項のハンダ付けの時に、ハンダを盛りすぎると

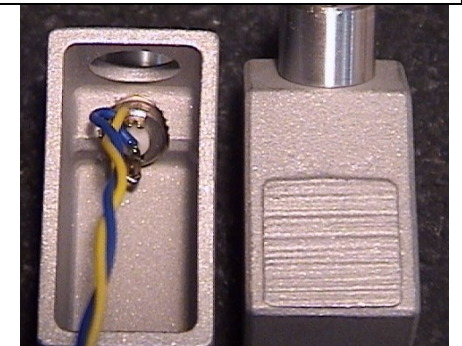
分極と色 通常振動子メーカーから出荷される振動子には分極の方向を示す印が付いています。赤色の点や+の印は、分極の時に正電圧を加えた電極である事示します。(一部で異なるルールもあるので注意) -の印は、分極の時に負電圧を加えた電極である事示します。

市販探傷器の送信パルスの極性は負ですので、+電極を探触子ケーブルのGND、シールド側と繋ぎ、-電極が信号側中心線となります。耐外来ノイズ性を良くする為に探触子の外側に+電極側(=GND)を配置しますので、ケースは+電極側と繋がります。

大昔の真空管時代には、負のパルスしか出来なかったもので、この様になりました。現在は半導体がP型とN型があって、両方のパルスが可能ですが、互換性が無くなるので変更できません。N型半導体の方が性能が良いので、特殊用途では+/-電極を逆に使う事もあります。

挿入出来ません。ハンダは最小必要量としましょう。

ラジオペンチなどでシッカリ締めてください。シッカリ締めないと、接着作業の時に、表面張力によってエポキシがネジとナット間に入って、更に水分で膨潤しケ



ースとコネクタが絶縁される事があります。金属結合でケースとコネクタが電氣的に繋がる様にする必要があります。

エポキシの主材と硬化剤を少量混ぜ、ケースの内側の LEMO ネジ部分に塗布し、外れない様に固定します。

振動子の電極リード線： 振動子メーカーから出荷される振動子にはリード線付のものがあります。主に斜角探触子に使われるP Z T振動子の場合、既にリード線が接続されています。

直接接触探触子や水浸法用の探触子に使う振動子は、リード線が付いていないものが多用されます。リード線取り付け部の強度が弱かったり、出っ張りが邪魔のためです。リード線の材料も色々です、銅箔、金と銅のクラッド、銀箔など電極材料との相性など考えて使われます。

接着剤の浸透性

接着剤をコネクタなどのネジ部に塗布すると、表面張力（分子間力）に依って、隙間に浸透していきます。隙間が狭ければ狭いほど、浸透力は強いです。表面が汚れていると、浸透しにくく成る事が多いです。ハンダ付け後は、ハンダ・フラックスなどで汚れています。この場合、ベンゼンやシンナー等の溶媒で洗浄しておきましょう。歯磨粉で磨くのも良い方法です。**濡れ性が悪い面**は接着し難いのだと覚えておいてください。

④引き出し電極線の切断

銅箔（又は銀箔）を2mm程度の幅で、2枚切ります。長さは30mmあれば十分です。

作業の過程で、引き出し電極線を切ってしまうと思われる方は、4枚又は6枚切り出して、複数の電極をつけても結構です。

5MHzではこの5～10ミクロン程度の厚さの箔は超音波的に殆ど影響を与えません。

⑤振動子等の貼り付け

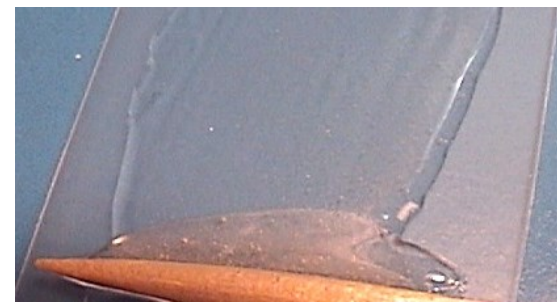
治具の上に、楔を載せて作業します。

楔と同じ角度の傾斜面に楔を乗せ、接着面を水平とします。

接着剤を混ぜますが、この接着剤に気泡が入っていると楔と振動

楔（楔）の材質： 一般に低目の周波数ではアクリル、ULTEM等エンジニアリング・プラスチック、高めの周波数では高密度ポリスチレンが使われます。楔内の在留ノイズ・エコー、対象材料との音響インピーダンス、磨耗など考慮し選択されます。自動探傷に良く使われる水ギャップ法の場合は、水に音響インピーダンスに近い高密度ポリスチレン有利です。キットの高密度ポリスチレンは中が見えると言う機能と、追加工のし易さから選定しています。低い周波数の探触子では、減衰が大きなアクリルの方が、楔内の残存（ゴースト）エコーを少なくできます。

子の間の接着に際し、部分剥離となります。簡単な気泡取りの方法です。まず、混ぜた接着剤を成るべく、薄く延ばします。薄く



すると、厚さ以上の大きな気泡は破裂します。残っているのは小さな気泡のみです。

楔（楔）の耐摩耗性 一般にプラスチック類の摩耗性はよくありません。高価なピュアーなポリイミドも ULTEM もアクリルも耐摩耗性は大きく変わりません。接触媒質との相性もあって、安いアクリルの方が高価なポリイミドより寿命が長い場合もあります。工業的には耐摩耗性を向上させたものが発売されています。主にカーボンを加えて潤滑性を良くしたり、ファイバーなどを入れて強度を上げたものです。低周波領域ではこれらの材用でも問題ありませんが、高周波では超音波の減衰が問題になります。ピュアーな材料で耐摩耗性があるのはベスペルです。高価なので常温では余り使われませんが、400℃程度までの高温用として海外では一般的材料です。

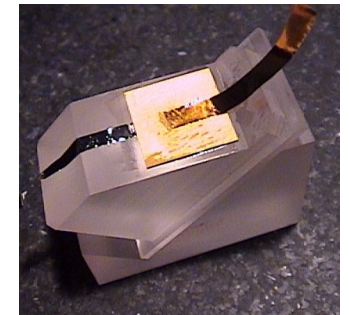
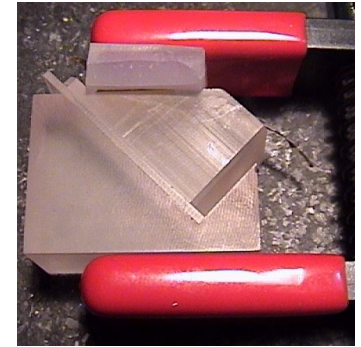
電気機械変換効率度：1-3 コンポジット振動子は感度が非常に高いものです。振動子の感度を表現するのに、送信時に入力された電気エネルギーに対する発生した音のエネルギーの比で表現します（電気機械エネルギー変換係数（効率））。1-3 では 80%のものもあります。セラミック圧電振動子は概略 30~60%、ポリマー圧電振動子は概略 20~30%です。音響インピーダンス・マッチングを考慮すると必ずしも変換効率が良いものが、感度が高い探触子にはなりません（次のコラム参照）。なお受信時は負荷との関係で変換効率が変わります。

楔の接着面に楊枝で泡の無い部分を少量塗ります。

この量は爪楊枝の先 1 mm 程度に付く程度です。接着面が濡れていけば良いです。

1-3 コンポジット振動子の点又は+印が着いた側（又は-印の反対面）に接着剤を僅かに塗ります。楔として接着しますが、間に一枚引き出し電極線を挟んで、気泡が入らないよう注意して、

振動子を端から静かに載せます。振動子の置く位置にはケガキ線があるものは、それに振動子端面を合わせます。振動子貼り付け部に凹がある場合はその中央に貼ります。振動子を貼り付ける時は、最初に傾けて一端を接触させ、泡が入らない様に注意しながら、反対端をゆっくり下げて貼り付けるのが、コツです（顕微鏡のプレパラートの要領と同じ）。静かに載せると、表面張力のお陰で空気が抜けてくれます。一枚の引き出し電極線の片面に接着剤を僅か濡らし、振動子の上に載せます。全体の上にシリコン・ゴムを載せます。大きさは振動子より 2 mm ほど大きい程度が作業しやすいです。全体をオマケの平行バイスなどで押さええます。平行バイスの代わりに洗濯バサミや、重石や精密バイスも使えます。重石の場合は移動しない様に何かで水平方向押さえが必要です。押さえる力はシリコン・ゴムが 10~2



拭き漆：銀閣寺など日本の古い建物は漆が塗ってあります。漆（ラッカー・ジャパン）を真似して作られたのが、ウレタンです。工業樹脂に比べアルカリにも強い材料です。漆を塗る時、薄くします。泡を取る意味もありますが、相手の材料の細かな凸凹に染み込ませる為です。探触子などを貼る際に、接着材を湿らせた綿棒で接着面を拭き、その後正式に接着すると、強い接着になります。接触媒質を塗る時も、一度ヘラなどで極薄く塗って、その後もう一度接触媒質を付けると感度が上がる事が有ります。目に見えない細かな隙間に入り込むためです。

0%へ込む圧力です。

重石の場合は重心を取るのが、難しいですが、慣れれば、一番容易です。500g程度が最適です。

振動子感度と探触子感度：振動子の感度が高いものを使ったら、必ず探触子の感度が高くなるものではありません。探傷では、振動子を電気励振し、超音波が発生し、その超音波が材料等を伝播し、戻って来た音波が電気信号に変換されます。振動子の電気インピーダンスと探傷器電気インピーダンスの整合や、振動子から材料への超音波の透過効率（音響インピーダンスの整合）が、影響します。電気機械変換効率の差は僅か数倍ですが、他の要素は数十倍である事もざらです。

1-3コンポジット≒高感度 は必ずしも成り立ちません。

一般には1-3コンポジットは5~10MHzで小面積でメリットが出ます。1MHz以下ではセラミックの方が断然有利です。10MHzで30x30mmと言った大面積は、ポリマーや0-3コンポジットが有利です。弊社のウェブから**メリット計算**(余り完成度高くないですが)のフリーソフトがダウンロードできます。また、1-3コンポジットは、本キットの様にプラスチックの楔を使う場合には音響マッチングが良く、感度良好、且つ帯域が広がります。市販の1-3コンポジット振動子は概略5MHzで10x10mm程度で電氣的インピーダンスが50Ω前後となり、音響インピーダンスが楔に近く成る様に設計してあります。他の周波数とサイズではベストの状態とはなりません。

前もって、治具や楔の各面をバフ研磨し、透明としておくと、接着面に気泡が入ったりした事が容易に確認できます。位置のズレが大きいときはやり直します。ティユペーパーで、接着剤を必要に応じて丁寧に拭きます。

楔の形状

このキットでは探触子の作り易さを考えた、楔形状を用いています。市販探触子の場合は、送信波の後の不感帯を減らす為に、楔の先端側に色々な工夫が去れています。⑦の段階で、指で色々な所に触ると邪魔なノイズ・エコーが変化します。形状を少し工夫すると非常にノイズレベルが下がります。探触子は探傷器に繋ぐと、比較的帯域が狭く成る様に成っています。その為、傾いた面からの低周波信号は画面にエコーとしては大きく出ません。

なお、キットC、Dでは、曲面の全てが良好に張り付く様な圧力調整が必要です。予めコルクの中央部を薄くナイフで削って、シリコン・ゴムが平らな状態で均等に抑えられる様にしたらさらに良いでしょう。

接着剤が固まるまで、待ちます。念の為に半日は置いた方が良いでしょう。

バックング材と帯域

後ろに貼るコルクの様な物をバックングと呼びます。主目的は後ろに超音波が行かない様にしています。使用材料はメーカーによって色々ですが、ゴム、ゴム系複合材、コルクなどです。広帯域とした場合は、音響インピーダンスが振動子により近い材料が使われます。このキットの場合、バックング材を硬質ゴム程度にすると超広帯域と成ります。また振動子の電気機械結合係数が高い振動子では、抵抗等を振動子に並列直列に接続して電氣的にも制動をかける事ができます。

でしょう。

コルクを後で、振動子の裏面に接着しますが、コルクも同時に接着しても構いません。後で接着した方が、振動子の位置などのズレが少ないです。位置のズレは接着剤の量が多いと発生しやすいです。振動子の周囲にセロテープなど張って、その中に振動子を落とし込むとズレは防げますが、中の接着剤が外に出にくくなります。

混ぜて残っている、接着剤を確認し、十分固まっていたら、振動子の接着面も固まっている筈です。

完全に固まらない前に、圧力を下げたり、ずらしたりすると、接着が不完全に成ります。

完全に固まったら、平行バイスを緩めて、シリコン・ゴムを外します。ゴムは端から引ん剥く様に外します。

コルク板の片面に接着を濡らし、塗布面をしたにして、振動子の裏面に、前述の要領で貼り付けます。

接着剤の必要量

振動子と楔等を接着する場合どの程度の接着剤が必要なのでしょう？接着剤の厚さは薄すぎると接着力が落ちてしまいます。また、表面粗さ以下の厚さでは当然接着されません。

最適な接着層の厚さは、探触子に依りますが、ミクロンのオーダーの厚さです。仮に3ミクロンとすると、本キットの場合必要接着剤の量は

$$3 \text{ ミクロン} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 0.003 \text{ cc}$$

接着剤の比重は1に近いので、3mg程度の量で良いわけです。

これは爪楊枝の先に付いた一滴約10mgの1/3です。

一方本キットでは接着時に接着層に入った気泡を押し出す機

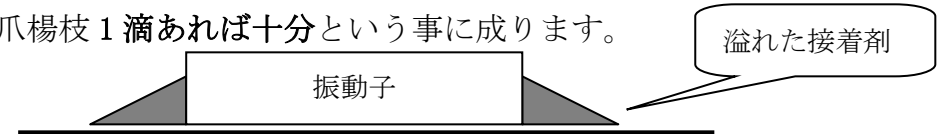
能が必要です。多少大目に接着剤が必要です。

振動子を押して、溢れ出した接着剤が振動子の周りに0.5mm程度の三角形状と成った場合

$$0.05 \times 0.05 / 2 \times 1 \times 4 = 0.005 \text{ cc}$$

と爪楊枝半滴分の接着剤が必要となります。

爪楊枝1滴あれば十分という事に成ります。



通常振動子表面は銀または金の電極が付いています。何れの場合も原則接着剤では着き難い材料です。(濡れ性が悪い) 振動子の表面にはミクロの凸凹があって、ここに接着剤が染み込んで、絡

接着剤とその混ぜ方

このキットでは、比較的短時間で固まる接着剤を用いています。接着強度が弱く製品としては好ましくないかも知れませんが、接着構造はケースの中で、接触面は楔で保護されているので、寿命は問題ありません。プロは24時間硬化型種々の粘度の接着剤を、温度コントロールして用います。混ぜ方も違います。単に空気中で混ぜる事もあります。真空中で混ぜると気泡が入らないので、良好な接着ができます。一般的には混ぜた後、真空引きを15分程度します。また、自公転遠心力を用いた空気中でもあまり気泡の入らない攪拌脱泡装置が市販されています。僅か数十秒で攪拌脱泡ができます。

み合って接着されます。これをアンカー効果と言います。接着の為には、光った電極より、黒ずんだ電極の方が接着力は増します。斜角楔では接着強度はほとんど必要ありませんが、垂直探触子や

曲げ応力がかかる様なきつい曲面の接着の場合は、接着強度を上げる為に、Cr 又は NiCr の薄い層を電極の上に付けてから接着します。あるいは、ヤスリ (1000番以上) で表面を荒らすのが、一番簡単で結果の良い方法です。

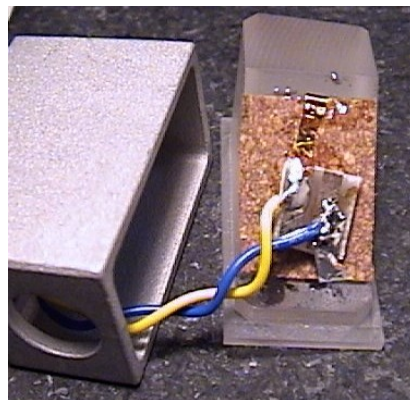
銅箔の黒化処理： 電子機器に使われているプリント基板やフレキシブル基板を見ると、銅箔の表面は銅色ですが、裏面は黒くなっています。接着側を黒くしています。これは銅と接着剤の接着力が弱く、直ぐに剥離するので、表面を凸凹にして接着力を増す為の処理をした結果です。黒化処理と呼んでいます。金属類は表面を凸凹させて、その凸凹に接着材が入り込んでアンカー効果を効かせないと、着きませんし、着いても大した強度はありません。プリント基板の銅箔の端をピンセットでつまむと簡単に銅箔を剥がせます。黒化処理してもこの程度です。

⑥プリント板の接着とリード線の接続
プリント基板をコルクの上に接着します。

2枚の引き出し電極線をプリント基板のそれぞれのターミナルに繋ぎます。

ハンダ付けですが、長時間暖めると振動子まで熱が伝わるので、温度が高めのハンダゴテで、瞬時にハンダ付けするのがコツです。

後の作業で間違っ、引き出し電極線を切断しないよう、引き出し電極線の周をエポキシ接着剤で固



めておいた方がよいでしょう。

マッチング・レイヤ： 市販の探触子の中にはマッチング・レイヤーを振動子と楔材の間に設けて感度を上げているものがあります。音響インピーダンスが振動子と楔材の中間で、半波長の厚さだと、その周波数成分が良く透過します。一般にはプリント基板の銅箔を保護する為に使われているグリーンレジスト (ガラス質) の膜が使われます。この方法ではセラミックでも1-3コンポジットと変わらない感度が得られます。が、帯域は少し狭くなります。また層のフィルター特性で周波数が少し変化します。

LEMO コネクターからの配線をプリント基板に配線します。線の長

振動子の曲面： キットC,Dはライン・フォーカス斜角探触子です。フォーカス点付近では左右のビーム幅が狭く、上下のビーム幅はフォーカス無しと同程度となっています。

セラミック振動子は、ほとんどの場合曲げる事ができないので、フォーカス探触子を作る時は、目的の形に焼いたり、旋盤加工したりします。

(ほとんどの振動子材料は超硬より柔らかい)

キットの1-3コンポジット振動子は円柱面に曲がります。また、緩い曲面であれば、球面状に曲がります。しかし、曲げ応力の為、電極や柱と接着剤の間割れたりします。水浸法の場合は寿命が極端に短くなったりします。1-3は原則あまり曲げない探触子に使用します。

ポリマーは比較的良く曲がりますが、低周波用の厚いものは曲げにくいです。曲率の小さなものはキャスト法で製造は可能ですが、コスト高です。

0-3コンポジットは一番曲げやすい材料です。割れが発生するほどきつい曲面では、温めで溶かしてその形にできます。

こう言った曲げやすさと、音響、電気的性質を考慮して、目的の探触子用の振動子が選定されます。ウェブに振動子選定のソフトを掲載しています。まだ、完成度が低いのですが、感覚はつかめます。

さは成るべく短くしてください。

⑦探触子が動作するか試験します。

探傷器の電源を入れ、探触子ケーブルを探傷器に繋がします。

作った探触子をつなぐと、送信波付近の波形が高くなれば、大半はOKです。

この段階で、配線に注意しながら、テストピース（A1試験片のR100）などで確認するのも良いでしょう。



⑧ケースへの組み込み

接着剤を、楔が接するケースの内側のみ塗布します。

楔を差込、バイスや洗濯バサミで固定します。

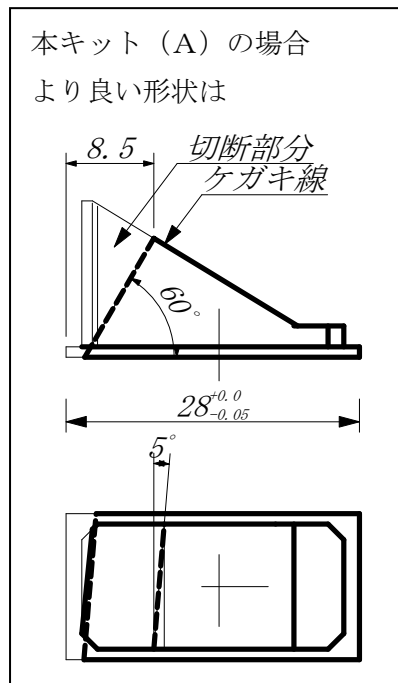
この段階でもう一度探傷器に繋いでみても良いでしょう。

差し込む時に線が外れたり、切ったりすることがあります。

接着剤が固化するまで待ちます。

⑨モールド

エポキシ接着剤を少量混ぜ、それと



体積で半分程度の吸音材用粉を混ぜます。LEMO コネクタの下
の穴を上にして、流し込みます。流れにくい場合は、木の上で、軽
く探触子を叩くと良いでしょう。奥まで流れたかどうか、楔面か
ら覗きながら作業します。

なかなか入り込まない場合は、重い鉄板などの上に、探触子を打
ち付け、衝撃を与えて、内部の隅々まで流し込みます。なお、流
し込みは2、3度に分けて行った方が無難です。接着剤の収縮で
振動子を剥離させる方向に硬化時、力が加わることがあるからで
す。

⑩刻印

ケースは柔らかいアルミダイキャストで出来ています。ケガキ棒
や小さなドライバーの先などで、文字を書けます。屈折角、周波

シールド・レイヤ： 斜角の探触子はケースの下面が比較的広い楔と成っており、ここが電氣的にシールドされていないので、電気ノイズが比較的入り易いです。自動探傷用の場合、この電気ノイズが問題になる場合があります。本キットの様に電氣的に感度の高い素子を使う等、超音波の感度を上げると外来電気ノイズを無視できます。それでもノイズ入ってしょうがない場合（例えば電気溶接直近での使用）は、楔全体を金属の薄い層で覆いシールドとする方法が取られます。楔にサブミクロンのNiCrと金を或いはITO（LCDなどの電極に使われている）スパッタリングします。低周波探触子であれば、導電性のプラスチックを使う事もできます。このシールドを持った斜角探触子は弊社で特注扱いで請け負います。シールドのみの加工も致します。

数と振動子サイズを記入しておきましょう。

市販探触子を持っておられたら、自作探触子の性能を比較確認しましょう。

この探触子の欠点利点はわかる筈です。

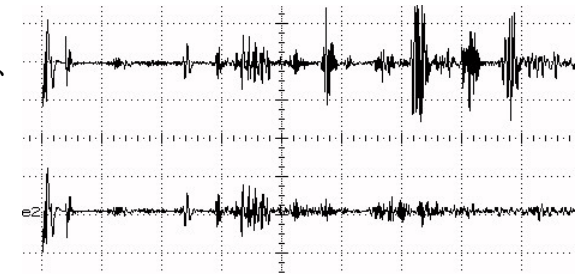
なお、この探触子の総合感度が高いので、古い探傷器など、入力飽和電圧が低い探傷器に繋いだ場合は、探触子近傍からの反射エコーなどは、探傷器の初段アンプで飽和してしまうことがあります。

共振周波数と固有振動周波数： スパイクパルサーにより励振した場合に探触子から出る音の周波数は共振周波数ではありません。機械的固有振動の周波数の音が出ます。この周波数は電気的な反共振周波数に近いです。電気的には振動子は共振周波数でインピーダンスが低くなり、反共振周波数でインピーダンスが高くなります。固有振動周波数で振動している状態で、振動子は発電しています。当然固有振動周波数の電圧が発生しています。その為これと同じ周波数で同じ振幅を加えても電流は流れません。従って、この電流が流れない=インピーダンスの高い状態が送信音の周波数です。1-3 コンポジット系は共振と反共振周波数の差が大きく、大半の反共振周波数は共振周波数の1.2~1.7の間です。5MHzの（電気的共振周波数の）振動子を使うと、このます。この1.5倍程度、即ち7.5MHz程度の固有振動の音が発信されます。受信時この周波数の感度が高いので、一般に1-3 コンポジット系は、公称周波数より高い周波数で試験している事になります。スクエア・パルサーでは周期があるパルスで強制駆動しますので、振動子の周波数に関係なく、パルサーの周波数が基本波になります。

探触子内部のノイズ

本キットで、楔をケースに納める前に、探傷器に繋いで、波形を観測すると、いろいろな、探触子内での反射ノイズが観

下図上：元の波形、下：カット後



測されます。手で楔の各部を触ってみると、そのノイズが減ります。この部位を斜めにカットすると、ノイズレベルが下がります。さらに、ダンパー材を楔の周囲に貼ると、市販の探触子並みの性能になります。

その他の情報：

毛細管現象と浮かす力

電極などの接着の際に、接着剤の量が多いと、毛細管現象によって、接着剤が接着されるものの中にどんどん入って、浮かす力が発生する。これを避ける為に、適度の圧力で抑える必要なので、接着時には押さえませます。

プロの接着方法

このキットでは、一般に試作や数量が少ない場合に使われている、接着剤を塗布する方法がとられています。量産探触子の場合には、性能安定性を考え、色々な方法が取られています。主に米国では、真空インジェクション法が用いられています。真空中での作業なので、泡の入る可能性がほぼ零で、安定した接着状況と成ります。一回のインジェクションで探触子を完成させてしまう方法もあります。この場合は1日で探触子が完成し、大幅

なコスト削減になります。

接着剤にはエポキシが多用されますが、接着面の片側に主材、反対面に硬化剤をシルク印刷、スプレー等で一定厚さに塗布し、そのまま押し付ける事で、一定の接着層を作る方法もあります。接着剤を混ぜる必要なく、簡便で安定した接着層厚と作業時間を確保できる方法です。 弊社の一部製品にもこれらの技術が使われています。

モールド材

一般的には、楔の近くは、より楔の材質と音響インピーダンスが近い、減衰量の多い材料が使われます。ゴム系やウレタン系材料が多いです。封止材として着色エポキシが使われます。キットでは無理やり接着用のエポキシにセラミック粉を混ぜて減衰量を確保しています。

超音波的に理想状態の接着層の厚さ と 押し圧

接着剤の厚さが有限だと、そこで超音波が跳ね返ってしまう。1 ミクロン程度の厚さでも、かなり、超音波が反射する。一方材料の面は凸凹しており、両面の凸同士が接触していると、超音波は良く通る。従って、接着層の厚さは接触面の凸同士が接触し、凹に接着剤が埋まる状態が理想と言えます。これは、接着剤を表面に濡らし、拭き取った状態での接着である。極微量の接着剤の量である。この厚さのコントロールができる場合は、接着に際し、前述の毛細管現象の浮かす力以上の力を加えれば良い。

しかし、接着剤の量がコントロール出来ない場合は、余分に塗って、不要な接着剤を押し出す事になる。この場合は数 k g/cm^2 の押し力が必要と成ります。

セラミック振動子などでは、有限の平面度の為に、接触面同士の隙間が数十ミクロンある事も多く、接触面同士がピッタリ接触する事は無い。これを無理やり、硬い振動子等を曲げて全面接触させる必要が出来ます。こ

の場合は数百 k g/cm^2 の押し力が必要と成る。この力は振動子に罅を入れるに近い。

1-3 コンポジット、0-3 コンポジット、ポリマーなどの振動子は曲面になじむので、それほど力を必要としない。

目次

振動子の横振動

通常の斜角探触子は PZT 振動子を用いています。PZT は厚さ方向の振動以外にそれと直角方向（横方向）の振動が強く発生します。固体のポアソン現象と同じと思ってください。送信直後に大きなうねりがある場合は、この振動によります。これを抑える方法は一般に振動子にインダクタンス（通常数 μH ）を並列に接続します。1-3 コンポジットもベースのセラミックが PZT であるので、この振動が現れます。が、横方向への伝播時にはバインダーとセラミックを何度も透過反射するので、一般の単一セラミック振動子の様には強くは現れません。1-3 構造で横振動を少なくするにはバインダーを音速の拡散が大きい材料にする事です。TFT 社の 1-3 はその構造ですが、硬く曲げにくい素材です。医療用アレイに良く使われています。たま、弊社では細かな軽い球体を混ぜた軟質なバブルド 1-3 振動子を製造しています。これも横振動が抑えられます。

横振動が少ない振動子素材にはニオブ酸系と異方性振動子があります。これは電圧を振動子に加えると電界の方向には良く伸び縮するが、それと直角方向には余り変化しない材料です。これらで 1-3 構造にすると良いのではと考えられますが、多くは粒界が大きいので細かなピッチの 1-3 構造をとれません。

キットB、Cの場合の傾斜治具

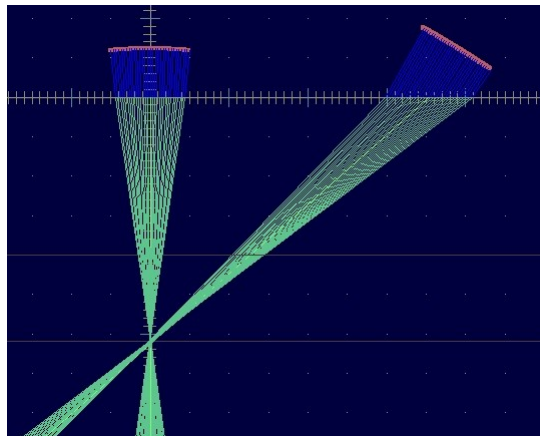
キットA、Bに付属の治具を使用ください。

キットC、Dの場合の楔の予備加工

楔はNCで振動子貼り付け面のみ加工してあります。振動子貼り付け部の周囲に出っ張りが残っています。シリコン・ゴムで抑える際に、邪魔になる部分は、ヤスリで落としてください。なお、振動子貼り付け面はキズを着けない様にしてください。

キットC、Dの探触子のフォーカス設計形状

キット付属の楔は右の様にレイ法では通常鋼の深さ30mmでフォーカスする形の振動子面です。



特注楔加工に関して、

C、Dキットに付属のフォーカス用楔は、45度は左右方向に約50R、上下方向約90R、70度は左右方向に約50R、上下方向約500Rの曲率を持ったものです。これ以外の曲率、非球面形状などの楔の加工も承っています。方法は2つです。

- 1) 仕様を指定され、弊社が形状設計する。少し高価
 - 2) 弊社ウェブの《フォーカスの設計》のソフトで設計し、形状ファイルを弊社に送って、加工する。安価。
- 価格は形状によりますが、1万円～3万円です。

振動子

自作したい方の為に振動子をお分け致します。振動子の価格は振動子の種類、大きさ、周波数などで変わります。ご相談ください。国内外の広帯域探触子に広く使われている Keramos 製振動子は弊社が国内輸入元です。

米国製、ドイツ製の1-3コンポジットは弊社で輸入できます。

0-3コンポジットは弊社自身で製造しています。世界で弊社のみが製造設備を持っています。商売目的でないのなら、これもお分けできます。国内3社製の1-3コンポジットも在庫品はお分けできます。

ポリマー系はPVDF系(コポリマー含)とP(VDCN/VAc)があります。一般にPVDFの方が手に入り易いし、価格的にも安いです。高分解能や高周波域での特性、寿命が問題になる場合はP(VDCN/VAc)が有利です。共に弊社で扱っています。

市販斜角探触子の角度： 屈折角はA1試験片と呼ばれる試験片で測定するのが一般的です。市販品はA1試験片で45～70度と測定されるものが大半です。実際にA1試験片で測定した方向の送信ビーム中心があるかと言うと、否です。送・受信の結果そう言った言う事です。海外では送信のビームはEMAT(電磁超音波)を使って測定されることがありますが、これはあくまでEMATでの結果です。実際の検査する材料で、目的の欠陥形状に近い人工欠陥を加工して角度を確認するのが良いでしょう。

スネルの法則： スネルの法則は光に関する実験式で、音の場合も 5MHz で 10 mm程度の振動子サイズでは A1 試験片で 0~60 度程度までは近似式手押しして使えます。60 度を超えると合わなくなるので、補正が必要です。国内メーカーは A1 試験片での測定結果が探触子の公称屈折角に成る様にしてはいますが、鋼材以外の場合、何度で屈折するか計算できません。海外のメーカーの一部はスネルの法則で計算して楔を作っていて、A1 試験片で誤差が生じるのですが、楔の角度が計算できるので、他の材料でのスネルの法則の屈折角を計算できます。どちらが良いか目的によります。

スネルの法則では臨界角を超えると光同様、全反射すると思いがちです。境界の片側に音が伝わり振動するので、当然反対側も振動します。従って全反射しません。平面波を臨界角以上で入射しても、屈折後平面波には成りません。その為、平面振動子で反対側で観測すると、音が弱く成った（ほぼ消えた様に）観測されます。小さな振動子で計測すると波面が円弧に成っている事が判ります。全ての実験は計測器の出力での観測です。光の干渉は干渉していないのに、干渉しているかのように観測されるなど(光子は電荷にしか作用しない)、物理現象を直接見ているわけではありませので、何事も観測には十分な注意が必要です。臨界角での現象は以下の二次元 FDTD 模擬結果を参照。

<http://www.i-sl.co.jp/anime/4MHz10x10Shear90degPMMA57r5degToSteel.gif>

<http://www.i-sl.co.jp/anime/4MHz10x10ShearOver90degPMMA60degToSteel.gif>