

梱包を開いたら、以下をまず以下の作業をお願いします。  
す。

- 1) 部品の欠品のチェック。
- 2) ユーザ登録をする。
- 3) 基板上の黄色いテープがある場合、剥がしてください。開梱時に外れやすい部品を押さえています。外れていた場合は半田付けください。
- 4) 組立説明を読んで、組立作業にかかる。

組立説明書、制御説明書は “KitPRADxx取説.pdf” としてCD内にあります。

## KitPRAD2db/eのオプション関連とジャンパー設定等の説明

送信素子の組込の違いにより機能が異なります。それに伴って工場出荷時の実装部品も異なります。

Q13,15の何れかのみ標準FET実装 → 標準パルサー

Q13,15の何れかのみ高圧FETを実装 → 高圧パルサー

Q13,15の両方に標準FET実装 → 低インピーダンス標準パルサー

Q16,17の何れかのみ実装 → 高速パルサー

Q16,17の両方に実装 → 低インピーダンス高速パルサー

### カップリング・コンデンサー

本コンデンサーは1 PRF毎の送信エネルギーを決めます。一部の市販機器ではJ(ジュール)の単位で既定されています。この値は $1/2 * C * V^2$ です (C:コンデンサーの容量F,V:コンデンサーの両端の送信前電圧Volt)。

パルス・エネルギー低にリレーを切り替えた場合 → C48 が繋がる。

パルスエネルギー高にリレーで切り替えた場合 → C48とC47、C42 が繋がる。

HD7の1-2間ショートの場合は上記に加え C27、C34 が追加されます。

HD7の3-4間ショートの場合 → ステップ関数励振や直結バースト・バージョンの場合。他のバージョンでは危険なので使用しないでください。

なお、C27、C32とC42は標準では標準では実装されていません。

### ジャンパー

SH1 → 標準アンプ使用時に初段アンプの帯域低限が約150kHzから約300Hzとなります。

SH2 → 第2段アンプの帯域低限が約100kHzから約50Hzとなります。

(第2段アンプ以降の低域カットオフ周波数は約5kHzです。低域カット周波数は市販探傷器では0.1~0.5MHz付近です。本器は高めなので、その分追込み現象が多く発生します。研究目的でなく、通常の探傷目的で追い込みを嫌う場合はC9,21,30など各アンプICの入出力結合コンデンサーの容量を小さくすると良いでしょう。)

SH13 → SH14をオープンとし、SH13をジャンパーすると高圧電圧を300~550V程度の範囲で制御できます。SH13はパターンで接続されているので、

ジャンパーしない場合はカッタナイフで切断ください。

### RF出力フィルター

USBは48MHz成分ノイズを発生します。これを抑える為にRF出力にはL37,C100のフィルターが入っています。20MHz以上の帯域で使用の場合は取り外す（L37を短絡、C100取り外し）と性能が上がる事があります。この場合にノイズが入る場合は、設定後USBのケーブルを外せばノイズが下がります。

USBは連続的に繋がっている相手と情報のやり取りをしています。Windowsが認識以降は常にデジタル・ノイズが発生しています。

### 低周波のジッターやザグに関して

本装置はオプションで非常に低い周波数からのアプリケーションに対応する為、低域の設計周波数範囲を100Hzとしています。その為、低周波成分が入力されると信号がフラつく事があります。これは故障ではありません。低周波成分の入力は単に探触子接続端のみでなく、電磁界により直接基板の各部品に入る事もありますし、音が基板に伝わって、コンデンサーやインダクタンスなどで信号に変換される事に依っても起きます。



## キット・ユーザー登録カード

このカードに必要な事項記載の上、FAXにて弊社にお送りください。キット・ユーザー登録カードは各キット商品に入っています。複数の商品ご購入の際は、1つの封筒に纏めて、ご投函ください。複数の場合は“お客様”の欄はどれか1枚のみのご記入で結構です。既にキット・ユーザー登録番号を持たれている場合で変更無き場合は、登録番号のみで結構です。

キット・ユーザー登録をされると、キットに関する新製品、技術情報のサービスが受けられます。

キット型式		_KitPRAD2e_____キット
お買い上げ（納入）日		西暦_____年__月__日
お客様	登録番号 <sup>1)</sup>	
	会社名	
	部署名	
	フリカナ 役職氏名	
	住所	〒_____
	電話番号	
	FAX番号	
	E-mail	
	キット使用目的☆	

☆ キットの目的を具体的に記載ください。

原点から考え、NDMに貢献する。

**(有) アイ・エス・エル**

Non-Destructive Measurement

〒631-0063 奈良市帝塚山中町 1 2 - 7

*Imaging Supersonic Laboratories Co.,Ltd.*

+81-742-40-2345 FAX:+81-742-40-2346

Home-page:<http://www1.kcn.ne.jp/~isl/> or <http://www.i-sl.co.jp>

Email:[isl@kcn.ne.jp](mailto:isl@kcn.ne.jp)

2008/12/27 1

## KitPRAD2db/e 組立 & 制御 説明書

### 仕様

同期：内部及び外部 TTL

繰返周波数：最大 10kHz 高出力バージョンでは 1kHz、バースト型は 5kHz

サイクル数：1 サイクル

チャンネル数：送信 1、受信 1

送信回路：通常の FET ドライブ 又はオプションにて 高速アバランシェ型、高圧型、スクウェア型、バースト型等

送信電源電圧：最大 450V 又は 高速アバランシェ型は 250V、高圧型は 900V、スクエア型とバースト型は 450V

増幅度可変：ATT は 0.5 dB ステップ 15.5 dB  
、アンプ 1 dB ステップ 31 dB 及び  
約 20 dB 粗調 合計 65 dB

増幅度 約 70dB

AD クロック：12bit 80MHz (ADC オプション)

A スコープ・メモリ・サイズ：2048word

ディレー 取り込み開始位置を指定。

外部トリガの幅：設定する PRF 用クロックによる。この 2 倍以上。

同期出力：1 $\mu$  秒単位指定可能

内挿の機能切り替え用リレーのタイプ ラッチング・リレー

PC との接続：USB2.0 フルスピード

転送速度：FULLSPEED 互換(12Mbps)

瞬間最大 1MByte です。平均では 0.2MByte 程度です。転送速度は OS とアプリケーション速度によります。

ケースサイズ：70Hx155Wx265Dmm 足含まず (ケースはオプション)

電源：DC 6~14V 0.5A 消費電力は 10W (12V 0.4A)

ソフト：サンプル・ソフトが添付されています。仮想 COM ドライ

バーで動作します。高速な転送のアプリケーションには使えません。  
オプション（バージョン毎に仕様性能が異なります。）

受信オプション：

- 1) 受信低周波オプション 主に 1kHz~1MHz の用途の為です。  
アンプの帯域低限は約 1kHz となります。
- 2) 受信高周波オプション アンプ初段に通信用素子を使って  
100MHz 付近までの特性を改善します。ただし、弊社の基本方針に従って、帯域フラット性より位相特性が良いアンプに設計されています。

送信オプション：

- 1) 低周波バースト送信・オプション 主に 1MHz 以下
- 2) バースト&スクエア送信・オプション 主に 1~10MHz
- 3) 送信出力インピーダンス半分のパルサー 450V（探触子のインピーダンスが低い場合は高電圧出力型より送信音圧は高くなります）
- 4) 高速送信オプション 立下り約 1.5nS と高速なパルサー
- 5) 高速送信オプションの出力且低インピーダンス・タイプ
- 6) 高電圧送信オプション 標準の約 2 倍の~1kV のパルサー
- 7)

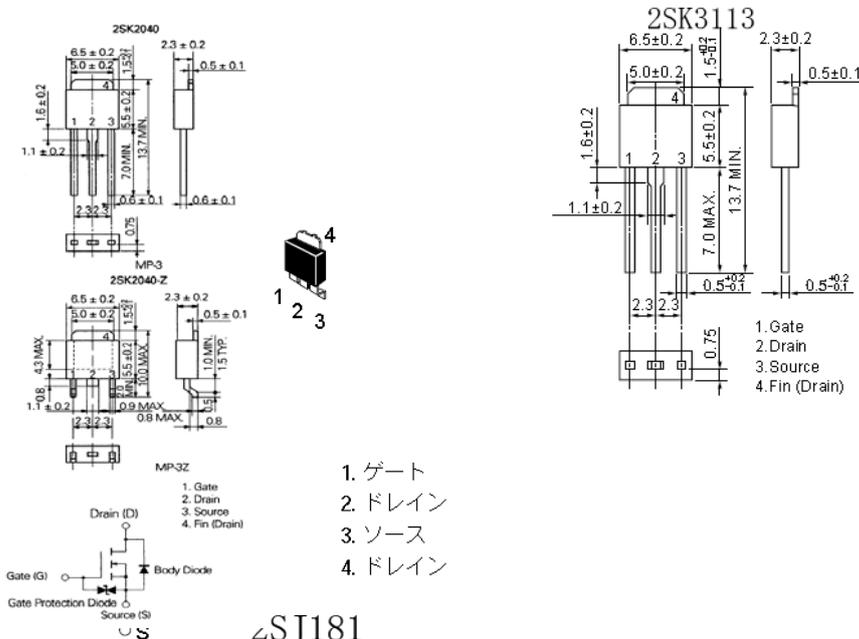
実装部品リスト (オプションによって含むものが異なります)

番号	ローケーション	品名	備考
1	CN1,2	LEMO 大メス基板用	標準とリモート型では中心ピン計異なります。
2	CON3,4	LEMO 小メス基板用	裏面コネクタ
3	CN7R	CN7に接続する電源 SW	茶、赤、橙の線とスイッチ、コネクタ
4	CN7	電源 SW コネクタ	
5	CN8	ACアダプター用コネクタ	クラス 4
6	USB1	USB コネクタ	
7	LED4	緑 LED	
8	LED5	赤 LED	点灯前は透明のものもあり
9	PR3,4	ノイズ除去用フェライト と	
10		導線 AWG28 以上相当	
11	ZNR1	高圧印加保護素子 V330	φ5 黒色ディスク状
12	D9	逆極性保護素子 (ダイオード)	φ2.5 x 5L
13	HD2,10	2ピンヘッダ	ヘッダピン用ジャンパー付属
14	HD1,4	4ピンヘッダ	ヘッダピン用ジャンパー付属
15	PS3	12(15)VDC 電源	OHS12SC1224 又は OHS15SC1224
16	FS1	メインフューズ	黄土色円板状
17	PS4	5VDC 電源	OHS05SC1224
18	RL1,3,4	双投リレー	ATQ219
19	RL2	単投リレー	ATK119
20	Q12	送信用 FET	
21	PR1	放電抵抗 100k~10MΩ	
22	HV1	高圧電源	
23	R23,26	高圧抵抗 4.7/10MΩ	
24		ACアダプター	AC100V 入力 12V0.5A 以上
25		メガネ AC ケーブル	ACアダプターが一体型の場合は無し
26		USB ケーブル	
30			
31	Uv2	ケース・オプション	
32		ケース	
33		前面パネル	
34		後面パネル	
35		LED	AWG32 ケーブル含む
40		ADC オプション	
50		低インピーダンス・パルサー・オプション	標準の FET 型
51	Q13(Q15)	FET	1 個
52	C48,C47	500V500、1000pF	各 1
55		高速・パルサー・オプション	高速&低出力インピーダンスの場合は () 内
56	Q16(Q17)	トランジスタ	1 個 (又は 2 個)
57	C48,C47	500V50、100pF	各 1
58	(C48,C47)	500V500、1000pF	各 1
		高周波アンプ・オプション	工場十か時点で実装する部品あります
59	HD5	2P ジャンパーポストとジャンパー	実装されている場合もあり。
60		高電圧・パルサー・オプション	工場十か時点で実装する部品あります

6 1	Q12	高耐圧 FET	2SK1119 等
6 2	(HV1)	高電圧電源	
7 0		バースト・パルサー・オプション	工場出荷時点で実装する部品あります
7 1	PS2	12VDC 電源	OHS12SC1224
7 2	Q14	FET	
7 3	PR2	抵抗 33M $\Omega$	
7 4	HD3,6	ヘッダーとそのジャンパー	
7 5	T1,SD1,3,4 等	T1,SD1,2,R67,76,U21,25,C58	弊社工場での実装です。
8 0		外部ダンピング	
8 1	VR2	500 $\Omega$ 1 W ボリウム	
9 0		アンプ低域拡張・オプション	
9 1		ハンダ吸取線	
9 2		インダクタンスセット	33,68,150,330,680uH
9 3		コンデンサセット	10,22,47nF 0.1,0.22uF
9 4		アンプ用インダクタンスセット	680uH,1mH
100		リモート・パルサー・オプション	工場での実装が必要です
101		変換コネクタ又はケーブル	LEMO 大を 75 $\Omega$ から 50 $\Omega$ に変換
102		ユーザ実装部品はありません	
110		疑似ステップ・パルサー・オプション	工場での実装が必要です
111	C30,34,46	1000pF 高耐圧コンデンサー	
112	PR1	1M $\Omega$	
113	抵抗ブロック	12,24,51,100,200 $\Omega$	5 種
114	HD1,7		ジャンパー付き
120		追い込み改善・オプション	
121	C10,21,50,55	10nF 数個	
122	C22,14	4.7nF と 2.2nF 数個	

## FET とトランジスタのピン配置

本キットに使われるピン無配置を以下に記します。



## 一般的実装、調整上の注意

- 1) 本内容をまず通読され、理解されてから、製作作業にかかってください。
- 2) 実装順序の原則は、背の低い部品から高い部品に
- 3) リードタイプの部品はハンダ付け後、リードをカットする
- 4) ハンダ付け時に温度の上がり難い金属部分が大きな部品のハンダ付けは、ハンダ小手の温度を上げるか、少し長めに。近くに小さな部品があるとその部品のハンダが溶かされ、紛失と成る事がありますので注意ください。
- 5) 各実装段階で通電してチェックしますが、その際、基板は絶縁材の上に置いてください。ダンボールやコルク板を敷いても結構です。
- 6) 本来は各種測定器を用いて調整すべきですが、キットとしての性格上、極力少ない計測器で調整する手順内容と成っています。
- 7) 完成品をご購入の方も、以下全てを読まれてください。完成品専用の取扱説明書はありません。
- 8) 添付のサンプル・ソフトは、機能確認の為のソフトです。汎用の探傷器やパルサーレーザの様にはソフィスケートには作られていません。例えば画面レンジはmm単位では無く、ビット単位です。目的に合わせて、自分なりにソフトを組み上げると良いでしょう。制御は通常 VB 又は Delphi で十分です。超音波スキャナーなど高速を要する場合に C++ と高速の USB ドライバ-を使います。サンプル・ソフトの使い方はソフトを立ち上げ後、HELP を参照ください。
- 9) 高感度で測定する場合、A スコープ表示に 10 マイクロ秒毎スパイク状のノイズ、或いは 6MHz の整数倍 (特に 48MHz) のノイズが多い事があります。これは USB でのノイズです。USB には常時制御信号が流れます。これがノイズになります。ケース・オプション付で無い場合に特に大きい。コンピュータ、USB ケーブル、GND の取り方で可也の差があります。コンピュータや USB ケーブルを変えて見たり、USB ケーブルにノイズ除去用のフェライトを付けたりして見てください。

## 必要工具

ハンダ小手と糸ハンダ、ニッパー、スパナ・セット (又はモンキーレンチ小)、鋏、カッター、透明球状接着剤、シリコン接着剤等

## 上手く組みあがらなかった場合

弊社にご連絡ください。状況に依って、対応をご相談いたします。

[isl@kcn.ne.jp](mailto:isl@kcn.ne.jp)

TEL:0742-40-2345

使用上の注意：

スパイクパルサーは負の電圧が加わる一般の方法です。が、その他の方式では正の電圧が加わるタイプがあります。本基板でスパイクパルサー機能を使う場合には問題は発生しませんが、日本国内で製造されている非破壊用一般的振動子の抗逆分極電圧は安全を見込んで5MHzで+100V、2MHzで+200Vです。この程度の電圧で使われる様にしてください。また、肉厚専用の探触子（特に受信側）、アレイ探触子などでは逆電圧かけなくても100Vでも壊れるものがあります。特殊な肉厚用探触子では、初めから振動子が逆に接続されているものもあります。探触子の仕様を十分確認ください。

ケースを使わない場合は、ショートなどにご注意ください。特に高圧関係は手で触れると可也の衝撃を受けます。

送信オプションに依っては送信繰り返し周波数PRFを上げると発熱でパルサーが壊れる可能性があります。

送信電圧をV(V)、結合コンデンサーをC(F)、繰り返し周波数をP(Hz)とした場合、送信エネルギーE(W)は

$$E = 1 / 2 * V^2 * C * P \text{ です。}$$

例えば、標準FETの場合は、Cは2000pF、Vは500V、PRFは2000として0.5Wです。

送信エネルギーは0.5Wを超えないでください。

高速オプションでCを100pFとする場合は10kHzでも問題ありません。

高電圧出力バージョンではCの値が小さくても1kHzを限度としてください。

市販超音波機器の仕様で送信エネルギーとして定義されているのは  $J = 1 / 2 * V^2 * C$  (Jule)

自作ソフトでリレーの切り替えをする場合に、高圧電源をONのまま切り替えるとリレーの寿命を短くします。必ずOFFで切り替えて電圧が下がるのを少しまってから切り替えてください。サンプル・ソフトはリレー切替時に高圧電源をOFFして電圧下がってから切り替えています。

## ハードの組み立て

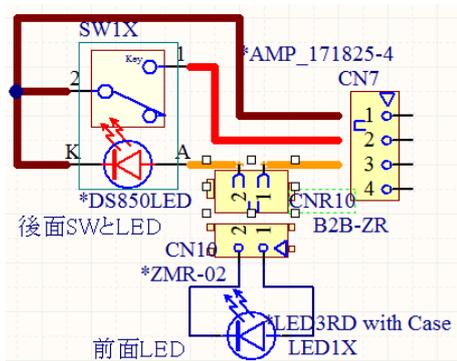
### 基板の実装

#### A) 低電圧電源関係の実装

写真は実装後です。参考にしてください。LED 5は付属していません。



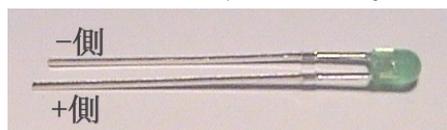
- 1) LEMO コネクタ前面の CN1,2 と後面の CON3,4 をハンダ付ください。前面のコネクタは標準型では LEMO1S275 型です。75Ω型で、市販 LEMO 探触子ケーブルで接続できます。リモート型の場合は 50Ωの LEMO1S250 型です。中心ピンが 75Ω型より太いです。コネクタは取り付け位置が悪いとパネルに入り難くなります。基板をケースに収納する場合は、コネクタを基板長手方向に押しつけながらハンダ付ください。コネクタは熱容量と伝熱が大きいので、容量の大きなハンダゴテで短時間で処理するのがコツです。
- 2) 右写真を参考に CN7 に繋げる電源 SW のアセンブリを作ります。CN7 をハンダ付けします。コネクタの方向を一番ピンで確認ください。プリント基板の 1 番ピンはランドが四角です。コネクタは、裏面に小さな字で AMP と書かれた側が 1 番ピンです。電源 SW アセンブリの



メス・コネクタを挿入した方が確認しやすいです。電源 SW のアセンブリのメス・コネクタは端でキーの横の穴が 1 番です。電源 SW のアセンブリを CN7 に挿入します。なお、パネル無の場合は前面 LED は無く CN7 の 3 ピンと SW の LED-A を接続ください。

3) CN8、USB1 を確り押し込んで、ハンダ付け実装します。

4) LED4,5 を取り付けます。LED は足の長い方が+です。四角いラウンド側が+となります。LED4 は緑色発光です。LED は 3φ、5φ 又は角型の 3 種の内一種類が同梱しています。前写真は 3φ の例です。



5) PR5,6 を撚線で、右の写真の様に実装します。フェライト・コアは導電性の物がありますので、撚線の導体や基板パターンがフェライトに接触しない様願います。



6) D9、ZNR1 をハンダ付けします。D9 は方向があります。D9 の白マークとパターンの太い線とを一致させてください。ZNR1 は方向ありません。D9 は AC アダプターの電源などが逆接続された場合の保護です。ZNR1 は電源に雷等の高圧ノイズが乗ってきた時に基板回路の破損を防ぎます。

7) HD2 をハンダ付けします。近くに HD5 があります。標準周波数帯域のバージョンでは HD2 側のみにジャンパーを取り付けます。高周波バージョンの場合、HD2 のジャンパーを外し HD5 側のみにジャンパーを取り付けます。

8) HD10 をハンダ付けし、ジャンパーします。マイクロプロセッサの電源供給部です。マイクロプロセッサのみリセットしたい場合にジャンパーを一度外し、1 番側 (シルクのカット側) を GND に落とし、再度取り付けると良い。ジャンパーは取り付けられた状態にします。

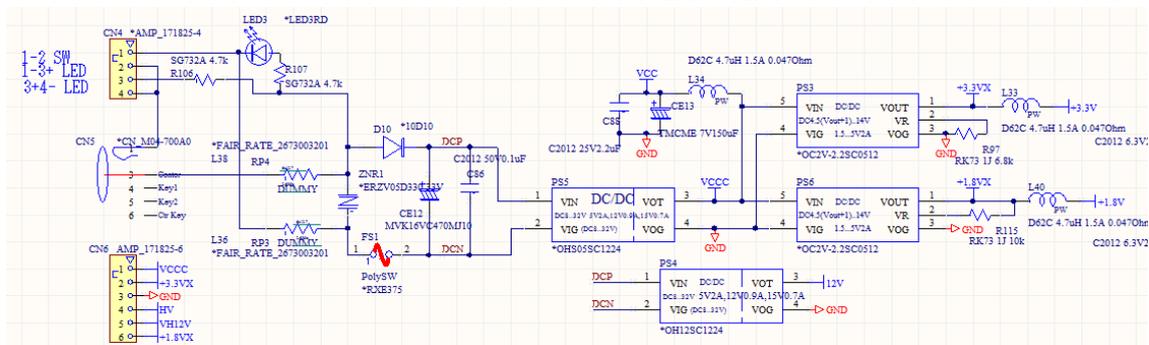


9) 序に 2 x 2 ピンの HD1 と HD4 をハンダ付けします。ジャンパーは写真を参考にして 1-2 ピンに設定してください。リモート・オプションの場合は写真の空きに設定します。(写真ではジャンパーは黄色を使っています。)

1 0) PS4 (OHS05SC1224)、PS3 (OHS12SC1224) と FS1 をハンダ付けします。FS1 は PS3 の上に寝かせてください。PS3 は高電圧電源の元電源です。一番温まる可能性が高いです。温まった場合に FS1 フェーズが効く様にします。シリコンゴム接着剤を FS1 の裏に塗って、PS3 からの熱が伝わりやすくすることが出来れば理想です。PS4 はアンプやデジタル回路の元電源です。3.3V と 1.8V はこの 5V から降圧して作っています。ハンダ付け後、ピンは 0.5~1mm 程度の高さに成る様ニッパーで切断ください。

### 1 1) 電源電圧のチェック

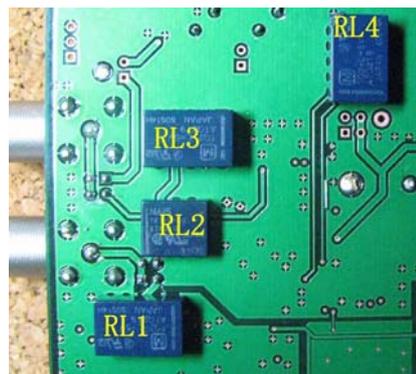
ここで、AC アダプターを繋いで、電源電圧をチェックします。



ACアダプターのコネクタは、カテゴリ4タイプと呼ばれる13.5Vまでの電圧用です。アダプターの出力電圧は12Vです。CN7に電源スイッチのアセンブリを繋いでください。

チェックの際に基板でのショートのを避ける為、裏に絶縁体を敷いてください。テスターのGND側を基板四隅のΦ3.2穴のラウンドに接続します。CN9の各ピン（コネクタがハンダ付けていないので穴を使用）で電圧チェックします。電源SWをONしてください。

電源SWのLEDが点灯します。同時に基板上のLED5も点灯します。このLEDはACアダプターから電源が供給されている場合に点灯します。LED4はマイクロプロセッサに電源が供給され、マイクロプロセッサが動作開始すると数回点滅します。USBが接続するとやりとりする度には点滅します。なお、マイクロプロセッサに電源が供給されなくても、USBにはUSBケーブルから電源供給されて、ウインドウがUSBを認識できます。さて、CN9の各端子は以下の筈です。



- CN9-1 +5V±0.25V
- CN9-2 +3.3V±0.25V
- CN9-3 0V±0.1V =GND
- CN9-4 0V±0.1V =HV (HV1 高压電源実装まえは0V です)
- CN9-5 +12V±0.5V
- CN9-6 +1.8V±0.25V

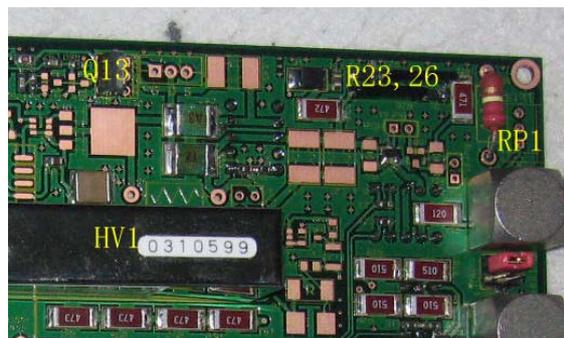
上記電圧が範囲内に入っていたら、次に進みます。入っていない場合は、ハンダ付け不良、半田忘れ などの原因です。原因を調べ、修正してください。

### B) リレーの実装

リレーRL1~4 は裏面に実装します。リレーには1 番ピンを示すラインがリレーの上面に印刷されています。方向を間違いない様、ハンダ付けください。

### C) 送信F E T / T r の実装

標準品は送信用F E T を Q13 又は Q15 にハンダ付けします。裏面へ出たリード線は切断ください。標準品は5 0 0 Vまでのスパイク型送信電圧と立下り時間が 20nS の送信回路です。放電用抵抗 PR1 とバランス抵抗 R23,26 もハンダ付けします。PR1 は1 mm程度基板から浮かしてハンダ付けします。



送信回路部品は 各種オプションが用意されています。詳しくは最後の方に説明があります。

**高速パルサー・オプション：2nS** と高速なパルス立下りです。

100MHz 探触子に対応できます。送信電圧は 270V です。

高速トランジスターを送信スイッチとして使う場合は Q13 (15) を外し、代わりに Q16 を実装します。

**低インピーダンスパルサー・オプション：**インピーダンスが低い探触子を使う場合感度が上がります。

**FET の場合**

FET を 2 個並列にするオプションです。Q13、Q15 を実装しま

す。

高速トランジスタの場合

FET を 2 個並列にするオプションです。Q16、Q17 を実装します。

#### D) アプリケーションとドライバー・ソフトのインストール

AC アダプターを繋ぎます。

Windows2000/XP/Vista (32 ビット) のインストールされている PC の電源を入れます。

添付の CD を PC の CD ドライブに入れます。

自動的にキットのサンプル・アプリケーション・ソフトがインストールされます。

されない場合は、CD をエクスプローラで開くと、SETUP(.EXE) がありますので、これをダブルクリックします。

次にドライバーをインストールします。PC の USB 端子と KitPRAD の裏面の USB コネクタ間を USB ケーブルで繋ぎます。

“新しいデバイスが見つかった”と表示されます。そのまま指示に従ってドライバーをインストールします。ドライバーのインストールは 2 種行われます。インストールの際に“認証を受けていない”とのメッセージが出る場合もありますが、そのまま進めてください。

自動でインストールされない場合は CD のドライブのメインディレクトリにある INF ファイルでインストールください。

ドライバーのインストール後、デバイスマネージャでインストールされたドライバの情報を確認します。“ポート (COM と LPT)”で表示される USB Serial Port(comXX)をクリックします。全般タブの場所が USB High Speed Serial Converter と表示されていれば OK です。COM ポートの番号 XX を記憶します。

スタートメニューに登録されている KitPRAD のソフトを起動します。登録されていない場合はアプリケーションディレクトリの

EXE ファイルをダブルクリックください。メニュー・ウインドウの COM番号を設定します。Rate (ボーレート) は適当で構いません。オプションの下 LargeWindow で開いた Pulser/Receiver の TYPE をご購入の製品に適合した設定としてください。

#### E) リレーの動作確認

Energy,SE/S+E,ATT30,DUMP のチェックボックスをクリックします。それぞれのチェックボックスをクリックする毎にリレー音がすれば、OK です。音は少し経ってからする場合もあります。これは高圧電源を切って電圧が下がってから、リレーを切り替えているからです。高圧状態で入り切りするとリレーの接点寿命が短くなります。

#### F) 高圧電源の実装。

電源を OFF し、高圧電源 HV1 をハンダ付けします。HV1 の裏面に出っ張ったピンは切り落とします。

高圧電源関係は感電などの恐れがあります。以降は感電に十分注意して作業ください。作業する場合は出来る限り電源を OFF します。

#### G) 高圧電源電圧確認&調整。

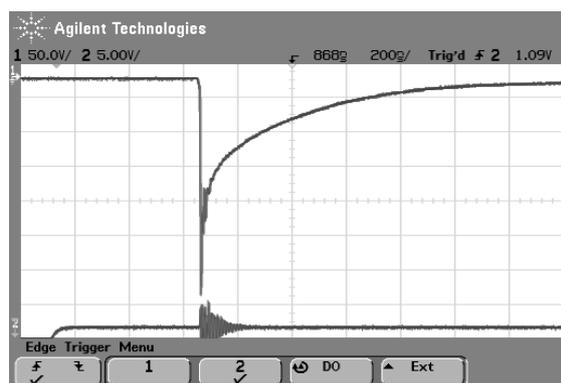
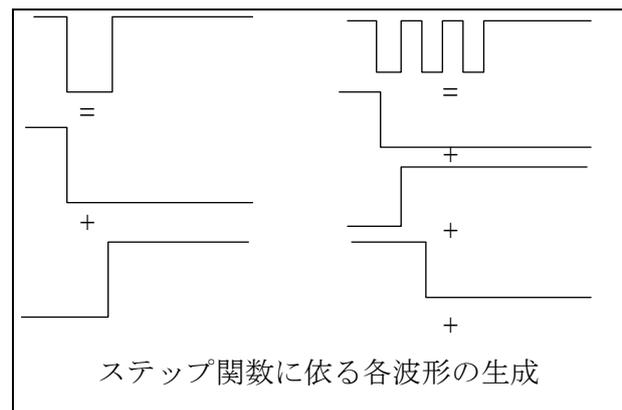
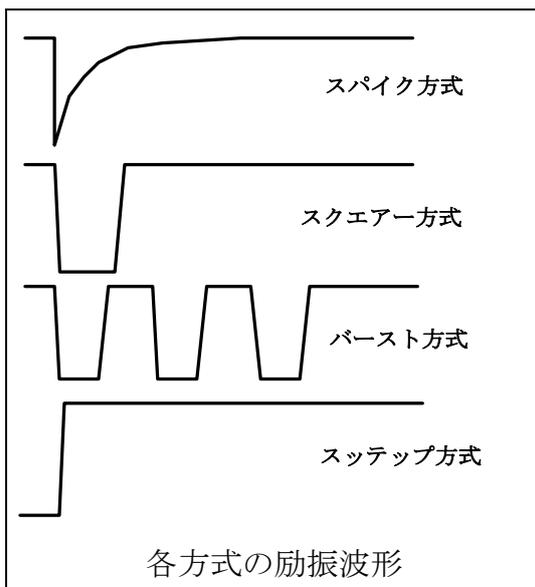
電源を ON し、高圧電源電圧を確認します。Pulser 設定フレーム内の HV OFF のチェックを外し、その右の電圧設定を操作します。送信回路が高速トランジスタの場合、R50 抵抗の片側 (HV のシルク印刷側) を測り、275V に成る値を確認します。FET 送信回路の場合、最大に上げて、440~500V の間に成る値も確認します。仮に 500V 以上に成る場合は、標準送信回路では 500V 以上には設定しないでください。部品の破損の危険があります。標準品は最大 450V 前後です。

送信電源電圧は、電源 ON 後、制御前は 350V 程度に設定されています。設定できる電源電圧は送信回路のオプションで異なります。それぞれのオプションの指示に従ってください。例えば高速パルサーは 280V 以下、高電圧パルサーは 900V 以下です。

## H) パルサーの確認。(FET タイプ標準の場合)

繰り返し周波数 PRF を 1 kHz 程度にしてください。送信電圧を 500V に上げてください。基板上から 1 kHz の音がします。これはパルサー回路付近の部品特にコンデンサーから小さな約 1 kHz 周期の音が出ています。全てのコンデンサーは、振動子と同じ様に、変化する電圧を加えると音が出ます (コンデンサー泣きと言います)。逆にコンデンサーが音を受信すると端子電圧が変化します。インダクタンスも抵抗、半導体も皆同じ現象がありますが、振動子に比べて感度が低いだけです。

オプション無しの標準タイプでは Pulser フレーム内の N Width を 4 以上としてください。FET 駆動パルス幅を設定します。この幅は広いと送信駆動力が増します。が、一方一探触子法の場合は不感帯が広くなります。



市販の探傷器や肉厚計の大半は本装置同様のスパイク形状のパルスを発生する様に成っています。最近はスクエアー型が増えています。実際の送信パルスの波形は右の写真の様になります。オシロスコープを繋いで CN1 (送信側の大きな LEMO) を観測した波形です。CON2 で同期を取っています。同期信号に CN1 からの漏れが観測されますが、パルサーの瞬間電流が高い為に、オシロスコープの GND をしっかり取らないとこの様になります。仮にしっかり取っ

でも僅か残ります。空間を電波として伝わる分など完全には除去できません。

スパイク方式やステップ方式ではその立ち下がり（又は立ち上がり）で振動子に電力が供給されます。（広帯域探触子では振動子は一種のコンデンサー）

スクエア方式はその立下りと立ち上がりの両方で、振動子に電力を供給するために、送信エネルギーは約倍となります。送信エネルギーを大きくしたい場合は有利です。送信音圧は1波（バイポール）となります。

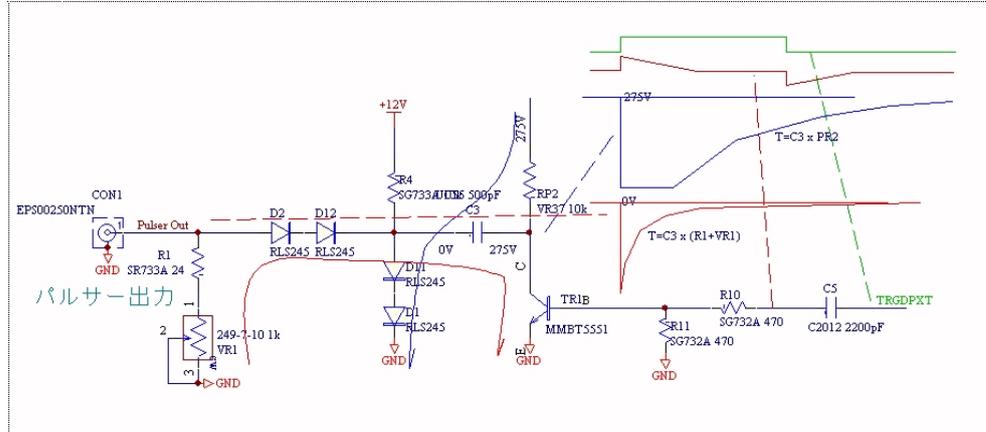
バースト型は更に送信エネルギーが増えますが、通常の広帯域探触子ではスパイクの倍程度しかできません。即ちスクエアと同等です。狭帯域の振動子の場合にのみ、有効です。狭帯域探触子でも市販品の場合は、そのダンピング特性で、2～4波以上の波数で飽和します。

スパイク方式では、ダンピングによって立ち上がりの時定数を変えられ、時定数を大きくする（ダンピングを切る）とステップ方式に近くなります。送信音圧は半波（ユニポール）となります。時定数を小さくするとスクエア方式の波形に近づきます。

実際の受信波形は、上記の様な送信超音波とは少し異なります。例えばユニポールの超音波を発生しても、材料中の伝播で低周波が拡散、高周波が減衰して、波形が変わります。更に受信回路特性で波形が変わります。この辺の事情は弊社資料『超音波の発生』などの資料を参照ください。

## パルサーの原理

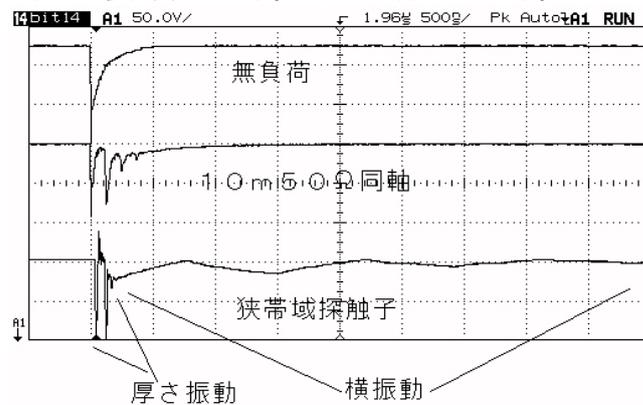
下図で説明します。トランジスタを使ったアバランシェ型の場合です。FETをトランジスタの代わりに使うのが最近の傾向です。



右側のC5に何も信号が無い時に、中央の高圧結合コンデンサーC3には、高圧電源275VからRP2とD1, 11を通して、充電されます。青の細線で示すルートで充電されます。結果、コンデンサーC3の右側電極は左側を基準として275Vが帯電しています。充電の時定数はC3とPR2の積です。

C5にトリガ信号が入ると、その立ち上がりが微分され、トランジスタTR1のベースに入力され、TR1が瞬時にONし、C3に溜まっていた電荷を赤の細線で示すルートで放電します。この信号がコネクタを通して探触子に印加されます。放電の時定数は  $C3 \times (R1 + VR1)$  です。VR1を可変すると前述の様に立ち上がりの時定数変化します。

実際はCON1に探触子ケーブルと探触子、一探触子法の場合はレーザーが接続されます。その為に波形は上記とは多少異なります。が大まか合っています。



狭帯域の探触子を繋ぐと振動子の共振も観測されます。

色々繋いで、観測すると、色々な事が判って面白いでしょう。

2例を示します。上図の上の波形ラインは、何もつけない場合の波形です。中央の波形は10mの50Ωの同軸ケーブルのみを接続した場合の波形です。電気信号は通常の50Ω同軸ケーブル内では1m当たり約4.7nSで伝播していきます。10m同軸の端部には何も付いていないので、全てのエネルギーは反射します。反射して戻ってくるのに  $4.7\text{nS/m} \times 10\text{m} \times 2$  (往復)  $\approx 100\text{nS}$  かかります。R1+VR1が丁度50Ωの場合は2回目以降の反射は観測されません。

同様の実験をされる方はVR1を調整してみてください。下は厚さ振動の他、横振動もする特殊な探触子の波形です。200ns周期で厚さ振動が発生しています。1.5μS周期で横振動が観測されます。この探触子では、厚さ振動は振動子裏面のダンパー（バッキング材）によって吸収されますが、横振動は吸収されない為長く続きます。

(探触子の構造などに関しては、弊社探触子キットを買われるとより理解が深まります。) TR1のベースにトリガ信号が無くなると、コンデンサーC3はRP2を通して再び+275V高圧電源から充電されます。

### アバランシェ動作

高速パルサー・オブションで、スイッチングに使っているトランジスタのスイッチング時間は資料に依ると 50nS です。が、実際に 1nS 程度で動作しています。如何言う事なのでしょう？

耐圧の項を見てください。160V です。275V をかけて使っています。仕様外で動作させています。トランジスタは耐圧以上の電圧をかけると、ある電圧で自己放電します。その放電は非常に高速です。アバランシェ（雪崩）現象と呼んでいます。多くのトランジスタの場合、アバランシェが起きると破損したり、寿命が短くなったりします。メーカーに依ってはアバランシェ耐量を規定したりしています。規定していなくても、壊れないものも沢山あります。そう言うものを探し出して、超音波用の高速送信回路に使っています。

アバランシェが起きる電圧より少し低い電圧を掛けて、ベースにトリガ信号を入れるとアバランシェ現象が起き、高速にスイッチングされます。良いトランジスタが無かった大昔はアバランシェ・ダイオードが使われました。

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Breakdown Voltage <sup>(3)</sup> ( $I_C = 1.0 \text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	MMBT5550 MMBT5551	$V_{(BR)CEO}$	140 160	— —	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100 \mu\text{A}$ , $I_E = 0$ )	MMBT5550 MMBT5551	$V_{(BR)CBO}$	160 180	— —	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10 \mu\text{A}$ , $I_C = 0$ )		$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 100 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 120 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 100 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 100^\circ\text{C}$ ) ( $V_{CB} = 120 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 100^\circ\text{C}$ )	MMBT5550 MMBT5551 MMBT5550 MMBT5551	$I_{CBO}$	— — — —	100 50 100 50	nA A $\mu\text{A}$

### 同軸ケーブルのインピーダンス

超音波非破壊用探触子に使われる同軸は一般に 50Ω です。パルサーレーザの探触子端は、インピーダンスが 50Ω とは限りません。例えばダンパーボリウムを調整すると変化します。特に 50Ω を使う理由はありません。インピーダンスが低い高周波の探触子の場合は 25Ω のケーブルの方が信号のロスが少なくなります。他方アレイ探触子の様にインピーダンスが高い振動子が接続される場合は低容量型と呼ばれるインピーダンスが高めのもの（93Ω が主）を使うと感度が高くなります。標準的面積より面積の大きな探触子はインピーダンスが場合によっては 25Ω 以下になる事多いです。この場合は 25Ω の同軸を使うと感度が上がったり、ケーブルを延ばすことに拠る感度変化を少なくできます。また、探触子専用のインピーダンス変換器（弊社 ITxx）を使うと 1 : 4 や 1 : 9 の比でインピーダンス変換できます。

#### 結合コンデンサーと配線長に関して

基板上の配線は一般にインダクタンス成分をしめします。長ければ大きなインダクタンスとなります。高速パルスを発生する際には配線長も問題が出ます。100MHzの振動子を励振する場合は5cm程度以内の配線長でないと、綺麗な波形ができません。

様は小さく設計することです。本キットではジャンパーポストやモードを変える必要上配線長が長くなっています。

KitPRADの結合コンデンサーは1GHz程度まで十分特性の良いものを使っています。現実のコンデンサーは理想コンデンサーと小さなインダクタンスが直列になったものと同じです。(場合に依っては抵抗も直列に)このインダクタンス分が送信波形を崩します。

このインダクタンス分が少ない、コンデンサーを選択する必要があります。

一般的には **通信用** として記載されています。価格は一般用の数倍～数百倍しますが、リードのあるコンデンサーではリード線を短くする注意が必要です。

#### 特殊な同軸ケーブル

弊社では1.5Φの同軸を売っています。なにがと言うと、中心の信号線の中央にピアノ線が入っています。高周波電気信号は表面を流れるので、7本の中心導体線の中央がインピーダンスの高いピアノ線でも電気特性の変化は僅かです。ピアノ線が入ったお陰で、引っ張り強度が倍に成っています。

アレイ探触子は256CH程度までの振動子で構成されています。この場合1本の同軸は0.5Φ以下です。それを束ねて、10Φから15Φ程度の仕上がり外形にしてあります。導線が細いので、長い場合は信号の減衰が問題になります。通常10m止まりです。同軸の本数が多い場合には、カラーコードで線番を区別しています。

探触子のインピーダンスが低い場合で、同軸を伸ばした場合、通常の50Ωのケーブルではマッチングが悪く感度が十分でない場合があります。この場合は25Ωの同軸の方が有利です。これ以下は芯線が太くなりすぎますので、並列に同軸を繋いで使います。また前述の様にインピーダンス変換器を使う事も良いです。

#### I) アンプの確認。

垂直探触子、探触子ケーブル（LEMO大～探触子対応コネクタ）と板（金属又はプラスチック、10mm厚さ程度が適当）を準備しましょう。

LP HPのフィルターは0に設定します。ダンピングとATTはオフに。31dBと15.5dBのアッテネッターは中間程度にします。SE/S+E（一探、二探切り替え）はチェックをいれ、一探法にします。

ADC付きで無い場合は、後部LEMOコネクタのTRG出力をオシロスコープの同期入力に、RF出力をオシロスコープのCH1に入力ください。

探触子をケーブルで繋ぎます。前面の2個のLEMO大の何れに挿しても結構です。一探触子法の場合にこの2個のコネクタは基

板内で短絡します。

探触子を適当な接触媒質を介して板に接触します。

以下の様な板の多重エコーが、オシロ又はサンプルソフトの波形 Capture で等間隔のパルス列が観測されれば、OKです。



板の厚さや音速でエコーのピッチは変わります。

振幅は探触子や材料で変わります。

なお、探触子や設定によって、送信波直後から低周波のウネリが観測される場合があります。特に KitPRAD では大きくなっています。これは、アンプの各段の低域を伸ばした為、送信波の低域成分が観測されるのです。研究目的では本当の波形が重要です。通常探傷器では見やすさを重視した設計のため、振動子からの音圧波形を微分下様な波形にしています。本器の基本周波数帯域低限設計は 5kHz です。簡単なジャンパーで 5kHz までの低周波の実験に使える様になっています。ハンダによるジャンパー SH1 と SH2 を接続すると設計周波数帯域低限は約 5kHz となります。SH1、2 が接続されていない場合は約 100kHz となります。追込現象の継続時間は周波数帯域低限とのロレードオフです。必要以上に低域を広げない方が、追込が短く大きな信号の後や送信直後の直後から測定可能となります。数十 MHz を中心に使われて、追込を短くしたい場合は、C14、C21、C50、C54 等のアンプ間の結合コンデンサーを 1000pF 程度にして低域限界を 1MHz 程度にした方が良いです。

## ソフトの取り扱いと操作

(ケースオプション有りの場合。無しの場合は、パネルが無いものとして判断ください。)

- 1) 予め FTDI 社の COM ドライバーをインストールしてください。
- 2) COM の速度は適当で構いません。
- 3) Windows のデバイス・マネージャーで COM のアドレスを確認ください。
- 4) サンプルソフト CD でソフトをインストールください。
- 5) USB ケーブルを KitPRAD 後面から PC に接続ください。
- 6) KitPRAD 後面の DC10..16V に AC アダプターを接続ください。アダプターをコンセントに接続ください。  
なお、DC10..16V のコネクタは 12V(カテゴリ 4 の 13.5V まで用)です。

7) 前面の POWER のランプは電源 ON 後点灯します。

- 8) 前面の LEMO コネクタに  
適当な探触子を接続ください。

二探触子法の場合は R 側に  
受信探触子を、T の側に送信  
探触子を接続します。一探触  
子法の場合は何れでも結構です。



- 9) シンクロを接続する場合は  
裏面の TRG と RF に接続く  
ださい。TRG で同期を取り  
ます。TTL レベルです。同  
期を立ち上がりか、立下り  
にするかは、Output  
Phase の設定によります。



- 1 0) KitPRAD 裏面の電源 SW を ON してください。
- 1 1) OS が KitPRAD のインターフェイスを認知する筈です。
- 1 2) サンプルソフトを起動してください。
- 1 3) メニューのオプション以下のポートの設定等をしてください。
- 1 4) ウィンドウの各項目を全て順序良く設定ください。(通常インストール後一回目は弊社出荷時の設定条件になっていま

す。)

- 1 5) 次にサンプルソフトを起動した時は、前回の正常終了の状態に **KitPRAD** を自動設定します。
- 1 6) サンプル・ソフトの各機能はヘルプ・メニュー内の **HELP** を参照してください。

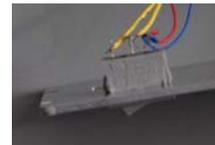
## ケース付のオプションの場合

ケース付のオプションでは以下の手順で作業ください。

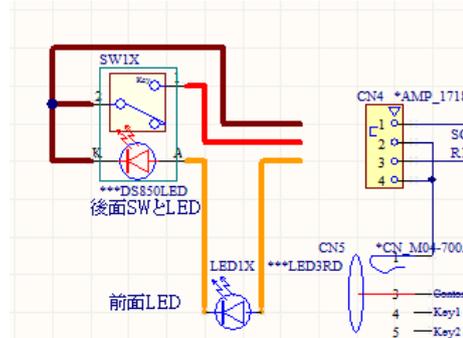
まず、パネルの穴が小さい場合があります。ヤスリで調整し、パネルが基板に当たるまでスムーズに入る様にしてください。また、コネクタの取り付け角度位置が悪く、パネルが上手く入らない場合があります。その場合はコネクタの半田を溶かして、位置調整ください



- 1) 電源 SW アセンブリは一度外しておきます。
- 2) ケースの全後面の 8 個の止ネジを外します。
- 3) ケースに足を付けたい場合は、下ケースに足を取り付けます。前後面のベゼルの入り込みを考慮して位置を決めてください。
- 4) ケースの下側溝に基板を差し込んでみます。部品が当たらないか確認します。ケースに接触し、ショートしそうな部品のリード線は、絶縁テープで処理します。
- 5) 基板の前面側の LEMO 大コネクタに、六角ナットをねじ込み、ワッシ差込みます。十分奥までねじ込みます。
- 6) 前後面パネルを挿入します。
- 7) 前後面パネルの下 4 箇所ネジを止めます。
- 8) LEMO のナットを手で回し、後面パネルに基板を押し付けます。(後面パネルと基板間に 0.2~0.5mm の隙間が有る状態の方が後で増し締めするとき、変な力が加わらず無難です。)
- 9) 前面から LEMO に飾りナットを手で締め込みます。
- 10) 具合を見ながら、ナットと飾りナットを工具でまわします。飾りナットは、細いラジオペンチか、強度のあるピンセットで回します。
- 11) 電源 SW アセンブリを後面パネルの穴に差込みます。右写真
- 12) CN7 に電源 SW アセンブリのメス・コネクタを差し込みます。
- 13) 前面の電源表示は基板後部の CN7 から、分岐して前面パネルに取り付けが LCD で表示します。付属 LED の径は各種あって、穴が小さい場合はリーマーなどで大きくしてください。配線は (A) 章を参照ください。
- 14) 上ケースを嵌め、4 箇所パネル上の止めネジを締めます。
- 15) 前後面のベゼルを取り付けます。取り付け時に無理をするとベゼルが緩みやすくなります。ベゼルを広げながら、ケース前後面に差し込みます。



2008 年以降出荷分： 表示をライトガイドから通常の LED に変更しました。前面穴に付属の LED をネジ止めください。接続は図の様に後面の LED と CN7 間に挿入してください。



## KitPRAD 制御ソフト仕様

PC から USB を通して制御します。USB のドライバーは等価的に COM と同じ取り扱いが出来る、COM ドライバーと高速性を重視した D2XX 仮想 COM ドライバがあります。COM ドライバーの場合は V B などから MSComm を使って制御できます。

本装置を使う前に PC には上記何れかのソフトをインストールする必要があります。

付属のサンプルソフトは COM ドライバーを使っています。

### PC からの命令形態

PC から PRAD に送られる文字は 1 文字又は 2 文字の命令 と データから成っています。命令は ASCII の大文字です。

USB にデータを送る場合はターミネータとして LF を最後に添付ください。

データは HEX 文字で、'0'~'9'及び小文字の'a'~'f' を使用します。データには大文字は使えません。

二文字 XX はデータ HEX×2=8 ビット、例えば 6 文字 xxyyzz の場合は 24 ビットのデータとなります。送受信データの先頭が上位のニブルです。下位は最後です。

KitPRAD からのデータも原則は HEX 文字を使いますターミネータとして LF です。高速データ転送モードのみバイト・データを使います。この場合は最後の LF は在りません。規定数のデータを送られてきたら、受信を停止ください。

### 送信文字列形式

命令文字 + データ + {LF}

例：G07a3{LF}

G 命令 (ゲイン) の後に、ヘキサ文字 '0' '7' 'a' '3' を送る。即ち &H07 と &Ha3 の 2 つのバイト 又は &H07a3 の 16 ビット を送ると同等。

以下 LF は省略します。

なお、以下 xx, yy... は HEX 文字、x5 はヘキサ xx をバイトに変換した時のビット 5 を示します。

なお、データ xx などの代わりに、Q 又は ? を送ると設定されているデータをエコーバックします。例えば CQ とすると Cxy と内部値 xy を確認できます。

**Cxy** メイン・クロック設定 x はモード、y は元クロックの周波数選択 (ADD0)

内部の水晶発信器のクロック、内部外部同期などを設定します。

7	6	5	4	3	2	1	0
OUTPH	INPH	EXTINT	HVOFF	OSC3	OSC2	OSC1	OSC0

X7: 外部へのトリガ信号の位相。LO で正パルス、HI で負パルス。パルスのほぼ後縁で超音波送信。

X6 : 外部トリガの場合、LO で立ち上がり、HI で立下りに同期

X5: INT/EXT 内部外部同期 LO で内部、HI で外部

外部同期の場合は次項 Enable 設定の TRGENA を Disable としてください。

なお、内部同期の場合は X6 で内部同期として 2 種選択できます。HI で幅の広いトリガ信号です。SW<sub>xx</sub> 命令で幅していきませんが、メイン・クロックの 2 クロック分より広く無いといけません。LO で幅の狭いトリガ信号で幅はクロック周波数の 64 クロック幅です。

X4: HVOFF HI で高圧電源が OFF します。H 命令で同時に設定ください。

(d)以前のバージョン X3 :X0: 0=100MHz, 1=33.3MHz, 2=30MHz, 3=120MHz, 4=25MHz, 5=20MHz, 6=70MHz, 7=80MHz, ....

(db)以降のバージョン X3 :X0: 0=120MHz, 1=60MHz, 2=30MHz, 3=15MHz, 4=7.5MHz, 5=3.75MHz, 6=1.875MHz, 7=0.9375MHz, ....

(e)以降のバージョン X3 :X0: 0=160MHz, 1=80MHz, 2=40MHz, 3=20MHz, 4=10MHz, 5=5MHz, 6=2.5MHz, 7=1.25MHz, ....15= 外部クロックを使う

#### Exx Enable 設定 (ADD1)

ゲートアレイ内の各種設定をします。

7	6	5	4	3	2	1	0
UD	XCS	SEL1	SEL0	TRGENA	RFOUTENA	DSDT	DSCK

X7:X6: 高圧電源電圧の設定をします。H<sub>xx</sub> 命令を使った方が制御は簡単です。POWER ON 時には XCS は必ず HI としておきます。XCS を LO にするタイミングで、UD が HI の場合、カウント・アップ・モード、UD が LO の場合カウント・ダウン・モードに設定されます。XCS が HI に戻る前の UD の立ち上がりでカウント動作がされます。カウンタは 3 2 ステップです。

最小とすると電圧は最小(約 5 0 0 V)、最大値にすると電圧は最小(約 5 0 V)です。

なお、このカウンタは電源 ON 時には中央にセットされます(約 1 0 0 V)。

電圧と値には直線性は無いので、補正曲線を求める必要があります。

#### X5:X4 : SEL1:SEL0

(d)以前のバージョン 同期用のクロックの選択をします。外部同期モードではこの選択された、クロック毎に外部同期信号を検出します。通常 0 としてください。

0 =メインクロックの 1/64 1 =メインクロックの 1/1024

2 or 3 =メインクロックの 1/4096

(e)以降のバージョン X5:外部直接同期/内部クロック同期 X4:リモートパルサー使用時の位相。1 : UCT など、0 : BLP<sub>xx</sub>R など

X3 : TRGENA トリガ出力を ON/OFF します。HI で ON です。

X2 : RFOUTENA RF 出力を ON/OFF します。LO で ON です。

X1:X0 : DSDT:DSCK 特別オプションです。使いません。必ず LO としてください。  
試験用です。X1:ADCLK ENA、X0:OPCLKEN

#### F xxxx フィルター(serial)

上位バイトが HP (ハイパス) 下位バイトが LP (ローパス)  
ビットとフィルターの対応を以下に示す。

15	14	13	12	11	10	9	8
—	—	5MHzBP	1MHzLP	2MHzLP	5MHzLP	10MHzLP	20MHzLP
7	6	5	4	3	2	1	0
—	—	—	20MHzHP	10MHzHP	5MHzHP	2MHzHP	1MHzHP

ビット 8 とビット 1 を HI とすると 2 ~ 20 MHz の帯域フィルターとなります。

複数同時に ON すると並列計算のカットオフ周波数になります。

例えば 4MHzHP と 2MHzHP を同時に ON すると  $1 / (1/4 + 1/2) = 1.33\text{MHz}$  のカットオフ周波数です。

全て OFF の場合は、広帯域となります。

なおビット 1 3 は特殊帯域フィルターです。標準では 5 MHz 狭帯域に設定されています。市販の古いタイプの探傷器では狭帯域共振タイプのフィルターが多いです。古くは探触子の帯域が狭く、アンプも同程度に狭い方が高い SN が得られる為です。

#### GAxx 後段アンプ ATT/感度(serial)

後段 ATT を制御します。 8 ビット配列は以下です。

7	6	5	4	3	2	1	0
8dbATT	*8dbATT	4dbATT	*4dbATT	2dbATT	*2dbATT	*1dbATT	*0.5dbATT

\*印の付いたものは反転をしめします。全てのビットを設定ください。

6dB に設定するには、4dB+2dB=6dB なので、&B01101011.

#### GBxx 中段アンプ ATT/感度(serial)

中段の ATT を制御します。 8 ビット配列は以下です。

7	6	5	4	3	2	1	0
16dbATT	*16dbATT	8dbATT	*8dbATT	4dbATT	*4dbATT	*2dbATT	*1dbATT

\*印の付いたものは反転をしめします。全てのビットを設定ください。

#### Hxx 高圧電源の設定)

高圧電源の設定をします。Exx 命令の上位 2 ビットのみを制御します。

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

ON/OFF	—	—	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
--------	---	---	------	------	------	------	------

高圧電源の電圧コントロールをします。最上位ビットは高圧電源の ON/OFF 制御です。HI で ON、LO で OFF です。下位 5 ビット (0 ~ 3 1) で電圧を制御します。0 で約 2 5 0 V、3 1 で約 5 0 0 V です。

#### Pxxxx : PRF 設定 (PIC)

xxxx は HEX 文字の場合、PRF 設定です。0~65535 の値で分周回路の周期を決めます。(c)バージョン以前は 1bit は 1.6 マイクロ秒相当です。100uS 以下に設定すると 100uS に設定されます。(d)バージョン以降は元クロック 0.625MHz の分周比を決めます。62 以下に設定すると 62 となります。

Px を PE とすると PRF が発生します。

Px を PD とすると PRF を停止します。

送信回路タイプによりますが、高い PRF では高圧充電回路が追いつかず、送信電圧が下がる場合があります。タイプに拠らず 1kHz 以下をお勧めします。

#### SD : Savew setting Data

KitPRAD に設定した項目を記憶します。

#### PLE と PLD : Power on Load 設定

KitPRAD に設定した項目を SD で記憶した場合、次の電源 ON 時に、その記憶情報に基づいて KitPRAD を動作させます。USB からの制御なしで、特定の設定条件で動作させる事ができます。

#### Rxx リレー制御 (ADD1)

7	6	5	4	3	2	1	0
ATT30dB_S	ATT30dB_R	DUMP_S	DUMP_R	SE_S	SE_R	HP_S	HP_R

2 ビットずつペアです。リレーの制御はリレーの種類で異なる方法で行います。

標準キットでのリレーのタイプは全て一卷線ラッチング・リレーです。制御方法は以下です。通常 \_\_S と \_\_R を共に LO とします。ON した場合は、\_\_S を HI, \_\_R を LO に約 0. 0 5 秒間します。その後、共に LO とします。

OFF した場合は、\_\_S を LO, \_\_R を HI に約 0. 0 5 秒間します。その後、共に LO とします。一卷線ラッチング・リレーは状態が保持されます。

上記命令の手順に拠らず、安全の為に、命令後、一定時間経つと自動的に全てのリレーの

電流は切断されます。

通常のリレーの場合は必ずこのビットを HI としてください。

DUMP は受信回路の入力を 50 オームとします。ラッチング型の場合 **DUMP\_S** を 1、**DUMP\_R** を 0 とすると 50 オームです。逆で 2 k オームです。なお、外部ダンピング・ボリウムを繋ぐ場合はその値で影響されます（パラレル接続）。

SE は一探触子モードの事で、ラッチング型の場合 **SE\_S** を 1、**SE\_R** を 0 とすると一探触子法、逆にすると二探触子法です。

ATT30dB は初段の ATT です。バージョンによっては基板上の VR で減衰量を約 15～40 dB で調整可能です。

ビット 6 は常に 0 としてください。（将来のオプション）

HP は送信回路の結合コンデンサの接続を変えます。0 で標準状態。1 で容量が大きくなります。

リレーの接点には高圧送信パルスが印加されているので、電圧が加わった状態で動作させると火花が発生し、接点が劣化したり焼きついたりします。また、大きな電気ノイズが発生します。リレーの切りかの前に必ず高圧電源を一定時間（最低 3 秒程度）切って、電圧が下がった状態で切り替えると安全です。

**BAnnnn** :メモリの読み出し (ADD7RD)

**nnnn** で 1 回で転送するデータ数を指定します。エコーバックは送った命令 **BA**+ {データ} です。データは ASCII 文字で 2 文字の HEX で 1 バイトを示します。

**BBnnnn** :メモリの読み出し (ADD7RD)

**nnnn** で 1 回で転送するデータ数を指定します。エコーバックは {データ} のみです。データはバイナリーです。文字の倍は LF にて受信文字列の最後を確認できますが、この命令ではバイト数で調べるしかありません。

後述の HILO の制御によって奇数番目のみ、偶数晩目のみ の指定ができます。

**Dyyyy** ADC 測定開始ディレー(ADD2)

16 ビットです。クロックは C 命令で設定した周波数です。超音波送信後、設定数カウントし、AD コンバータのデータの取り込み開始動作をさせます。メモリーがフルになると取り込みは自動停止します。

### Mxx モード(ADD5)

7	6	5	4	3	2	1	0
N4	N3	N2	N1	N0		MO1	MO0

KitPRAD2 のバージョンが(a),(b)の場合、**MO1&MO0 1 1** でパルサーの形式を指定します。N4:0 はバーストのパルス数の倍数（半波の数）を設定。

バージョンが(c)では

値が 0 で 送信 FET のゲートに正のパルスを与えます。

値が 1 で 送信 FET のゲートに負のパルスを与えます。

値が 2 で 送信 FET のゲートにスクエア用のパルスを与えます。（オプション）

値が 3 で 送信 FET のゲートに正負のパルスを与えます。（オプション）

バージョンが(d)以降では **MO1,MO0N** は無効。 N4:0 はバーストのパルス数の倍数（半波の数）を設定。この数でモード指定。

負正の制御パルス幅は 後述の **L Axx** と **L Bxx** で決まります。N が 0 の場合、実質スパイク、1 の場合スクエア、1 以上でバーストとなります。

スパイクの場合で、アバランシェ・トランジスタの場合 **LA** を短く設定します。

スパイクの場合で **FET** の場合 **LA** を探触子の半波長程度に設定します。

スクエアの場合は **LA** と **LB** 共に探触子の半波長程度に設定します。

バーストモードではメイン・クロックが 120MHz で 7.5MHz まで対応します。

### L Axx 送信パルスの幅 # 1 (ADD3)

**xx** で幅を指定します。+/-両振・モードの場合に正の電圧を加える時間に相当します。スクエア・モードの場合スクエアの幅です。 **FET** スパイクモードでは **FET** が ON 状態にする時間です。2 から 255 の値とします。

### L Bxx 送信パルスの幅 # 2 (ADD4)

**xx** で幅を指定します。+/-両振・モードの場合に負の電圧を加える時間に相当します。スクエア・モードの場合スクエア波の後に **GND** に出力を引っ張る時間です。振動子は一種のコンデンサですので、この時間が短いと追い込み域が長くなります。2 から 255 の値とします。

### N :基板名(PIC)

**Nxxx...xx** バイト数はバージョンなどで異なります。リターンの最初の 5 文字は"KitPR1"です。

**Qx** : メモリ制御

AD コンバータされたデータは **FIFO** (ファースト・イン・ファースト・アウト) 型のメモリに蓄えられます。この **FIFO** の制御をします。

蓄えの開始を指示するのに、**QS** 命令を用います。蓄えられたデータは **B** 命令で取得できます。

**QA** FIFO のデータ読み出し時に偶数アドレスのみ読み出します。

**QB** FIFO のデータ読み出し時に奇数アドレスのみ読み出します。

**QC** FIFO の書き込みポインタをクリアします。メモリの先頭にポインタが来ます。

**QM** FIFO の書き込みを PC からのデータで書く**手動書込モード**の設定します。テスト用です。

**QN** FIFO の**手動書込モード**の解除をします。

**QP** FIFO の読み出しのポインタをリセットします。**QA** 後データを読んだ場合、その最後の位置にポインタがあります。そのまま **QB** 命令の後、データを読むと現状ポインタからデータを読む事になります。これを 0 番地に戻す場合に使います。

**QR** FIFO の読み出し許可のビットを立てます。

**QS** FIFO の読み出し許可のビットをクリアします。

**QT** FIFO の書き込みを開始します。ディレー設定点以降 **FIFO** メモリがフルになるまで取り込みます。なおこの命令の前に必ず **FIFO** メモリ

**QW** FIFO の書き込み許可のビットを立てます。この命令は**手動書込モード**でのみ有効。

**QX** FIFO の書き込み許可のビットをクリアします。この命令は**手動書込モード**でのみ有効。

**S** ステータスの読み込み(ADD6R)

ステータスを読み込めます。**S** を送った後のエコーバックは **Smm** です。

mm は

7	6	5	4	3	2	1	0
			ADC 動作中	FIFO2 Full	FIFO2 Empty	FIFO1 Full	FIFO1 Empty

**SD** SAP を止める。即ち **PRF** が無くなり、超音波の発信が無くなります。

**SE** SAP を開始する。

**SWxx** xx でパルス幅をマイクロ秒で指定。

**T** 強制トリガー(ADD0R)

内部モードに設定した状態で、CPU からこの命令を出したタイミングで超音波送信します。USB ドライバーなどソフトとファームウェアでの遅れがかなりあります。主にテストとして使います。

**UR** 直接制御 FIFO からデータを1バイト読みます。

**UW** 直接制御 FIFO にデータを1バイト書きます。

**VA** ノコギリ波状のデータを KitPRAD1 から送ります。ASCII の HEX データです。USB バスが安定しているか試験する場合などに使います。

**VB** ノコギリ波状のデータを KitPRAD1 から送ります。バイナリーデータです。

**XD** 直接制御 規定値を設定します。

**XE** 直接制御 EEPROM に保存してある設定データを全て0とします。

**XI** 直接制御 ステータスなどの情報を読みます。

**XInn** 直接制御 nn 番目のステータス情報を読みます。

**XL** 直接制御 EEPROM の設定データをハードに設定します。

**XS** 直接制御 設定データを EEPROM に保存します。

**XU** 直接制御 USB チップのリセット。

**ZRDaa** 直接読出

アドレス aa の値を読みます。エコーバックは **ZRaann** です。nn が読み取り結果

**ZWDaann** 直接書込

アドレス aa に nn の値を書きます。エコーバックは **Zaann** です。

**ZRH** ヘッダーの情報読出

**ZRV** シリアル又はバージョンの情報読出

**ZWHnnn...nnnn** ヘッダーの情報の書き込み nn...n は 16 バイト以下

**ZWVnnn...nnnn** シリアル又はバージョンの情報の書き込み nn...n は 16 バイト以下

電源 ON の状態

PRAD は電源 ON でまづ LED を数回点滅させ、点灯の状態になります。続

LED の点灯

緑の LED メインループを回る毎に点灯、消灯を繰り返します。

赤の LED USB でデータが受信された場合点灯します。LF を受信するかタイムアウトすると消灯します。

## FTDI 社の DXX ドライバの使用例

仮想 COM ドライバを使わず、より高速なアプリケーションの場合 DXX ドライバを使います。その場合の参考です。

```
// usb001s1.cpp : USB-001-FIFO で DXX ダイレクトドライバを用いて送信実験
//

#include "stdafx.h"

#include "Ftd2xx.h" //FTDI 社供給ヘッダファイル

/** USB-001 操作関数 **/
int USB_001_opn( void ); /* 使用開始 */
int USB_001_setRTS( int dt ); /* RTS 信号制御 1/0 */
int USB_001_setDTR( int dt ); /* DTR 信号制御 1/0 */
int USB_001_readCTS( void ); /* CTS 信号読み込み 1/0 */
int USB_001_readDSR( void ); /* DSR 信号読み込み 1/0 */

int USB_001_send( char * text ); /* 送信 */
int USB_001_recv( char * res, DWORD * byte ); /* 受信 */

int USB_001_close( void ); /* 使用終了 */

FT_HANDLE USB_001_han; /* D2XX 操作用ハンドル変数 */

int USB_001_opn( void ) /* 使用開始 */
{
    FT_STATUS st;

    st = FT_Open( 0, &USB_001_han );
    if( st == FT_OK ) {
        return 1;
    } else {
```

```

        return 0;
    }
}

int USB_001_setRTS( int dt ) /* RTS 信号制御 1/0 */
{
    FT_STATUS st;

    if( dt == 0 ){
        st = FT_SetRts( USB_001_han );

    }else{
        st = FT_ClrRts( USB_001_han );
    }
    if( st == FT_OK ){
        return 1;
    }else{
        return 0;
    }
}

int USB_001_setDTR( int dt ) /* DTR 信号制御 1/0 */
{
    FT_STATUS st;

    if( dt == 0 ){
        st = FT_SetDtr( USB_001_han );

    }else{
        st = FT_ClrDtr( USB_001_han );
    }
    if( st == FT_OK ){
        return 1;
    }else{
        return 0;
    }
}

```

```

}

int USB_001_readCTS( void ) /* CTS 信号読み込み 1/0 */
{
FT_STATUS st;
DWORD mstat;
    st = FT_GetModemStatus( USB_001_han, &mstat );
    if( mstat & 0x0000010 ){
        return 1;
    }else{
        return 0;
    }
}

int USB_001_readDSR( void ) /* DSR 信号読み込み 1/0 */
{
FT_STATUS st;
DWORD mstat;
    st = FT_GetModemStatus( USB_001_han, &mstat );
    if( mstat & 0x0000020 ){
        return 1;
    }else{
        return 0;
    }
}

int USB_001_send( char * text ) /* 送信 */
{
FT_STATUS st;
DWORD sendn; /* バッファサイズ */
DWORD donen; /* 送信バイト数 */
int len;
char *pt;
    len = strlen( text );
    if( (pt = (char*)malloc( (size_t)len ) ) == NULL ){
        return 0;
    }
}

```

```

    }
    memcpy( pt, text , len );
sendn = strlen( text );
donen = 0;
st = FT_ResetDevice( USB_001_han );
st = FT_Write( USB_001_han, pt, sendn, (LPDWORD)&donen );
free( pt );
if( st == FT_OK ){
    return 1;
}else{
    return 0;
}
}

int USB_001_close( void )    /* 使用終了 */
{

    return( FT_Close( USB_001_han ) );

}

void USB_test( void ) /* test */
{
char k;
int owari;
int dt;
int i;
int stat;
#define N600 4096
char sdata[N600] ;
    memset( sdata, 'a' , N600 );
    sdata[N600-1] = 0;

    owari = 0;
    while(owari == 0) {
        if (USB_001_opn() /* 使用開始 */ != 1 ) {

```

```

        printf( "open error! ¥n " );
        break;
    }

    dt = 1;
    for(i=0;i<1000;i++) {
        printf( "%05d ",i );
        if( USB_001_send( sdata ) /* 送信 */ != 1 ){
            printf( "!!! send error ¥n" );
            owari = 1;
            break;
        }
    }
    owari = 1;
    USB_001_close();      /* 使用終了 */
}
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    printf("--Start--¥n");

    USB_test();    /* test */

    printf("--End--¥n");
    return 0;
}

```

## オプションに関して

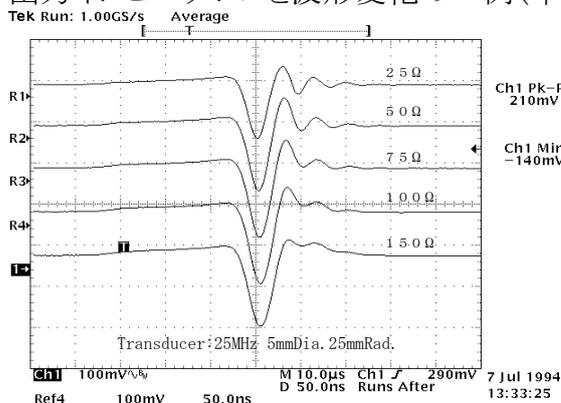
送信オプションをご購入された場合の説明をします。本文説明の代わりに以下の説明に従ってください。

**高速パルサー・オプション:**1.5nS と高速なパルス立下りです。100MHz 探触子に対応できます。送信電圧は270V です。

オプション内容: アバランシェ・トランジスタ Q15(又は Q16)と 50pF500V コンデンサー (捺印f1)、100pF500V コンデンサー (捺印 A2) 各 2 個 で構成されています。

高速トランジスタを送信スイッチとして使う場合は FET Q12 や 13 を使わず アバランシェ・トランジスタ Q16 を実装します。Q16 は小さいので、注意してハンダ付けください。Q12,13,15 が実装されている場合は外してください。一般に 25MHz 以上の高周波探触子の場合小さい結合コンデンサーの方が分解能の高い綺麗な波形を送信できます。が、小さすぎると感度が下がります。繋ぐ探触子の電極間容量より少し大きい方が良いでしょう。容量調整の場合は並列や直列にしてください。付属の小容量のコンデンサーに交換する場合は、半田小手を 2 本準備してコンデンサーの両側を同時に温めて取り外してください。取り外し後、半田吸い取り網(ソルダーウック)で半田面を綺麗にします。目的のコンデンサーを手早くハンダ付けします。なお、C48 は常に接続されています。C47 はソフトでパルスエネルギーを上げると接続されます。C47,48 共に 100pF とするとソフトで 100pF と 200pF に切り替えられます。電源電圧は必ず  $270 \pm 5V$  にしてください。高すぎると、制御しないのに、自己放電(アバランシェ)が起き、PRF と関係なく、超音波が発生します。低すぎると、立下り時間が長くなります。トランジスタには耐圧の誤差があるので、動作が可笑しい場合は、高電圧をソフトで  $270 \pm 25V$  内で調整し、安定し且立下りの早い電圧にしてください。上手く電圧設定すると 1nS の立下りも可能な場合があります。なお、正確な立下りの測定には、広帯域(1.5GHz 以上)で 250V 以上の耐圧のあるオシロのプロブとオシロを使用してください。(低速の測定系で逆算する方法もあります)

出力インピーダンスと波形変化の一例(単純に入出力インピーダンスを変えました)



Waveform change according to Discharge Resistor(1)

## 高速&低インピーダンス化・オプション

内容は前記オプションと同じです。送信トランジスタを Q16(又は Q17)に取り付けます。送信インピーダンスが前項の半分程度になります。このオプションで対象に成る探触子は高容量の為低インピーダンスと成っている事が多いです。この場合は結合コンデンサーC47、C48 を増やし、出力インピーダンスを下げた方が良い結果となります。

#### 高周波アンプ・オプション(工場出荷時組み込み必要です)

HD5 のヘッダーを取り付け、HD2 のジャンパーを外し、HD5 をジャンパーすると高周波アンプ側が動作します。必ず HD2 を外してください！！ なお、VR1 を時計回りに回すと増幅度が増します。VR1 を反時計まわり一杯から時計回りに回し、感増幅度の変化が飽和する寸前でとめてください。一般にこの状態が SN が一番良くなります。

#### 追い込み改善オプション

以下のコンデンサーを交換ください。交換には 2 本のハンダ小手又は表面実装部品専用ピンセット型ハンダ小手をお使いください。低温ハンダをコンデンサー部品全体に盛って取り外す事もできます。が、何れもプリントパターンの剥離しないよう、低温で作業される事をお勧めします。なお、全てを交換しなくても実用的追い込みに縮むこともあります。以下の順序で交換ください。また、C22,14 用は 2 種入っています。大きいものを最初に使い、それでも追いこみ大きい場合に小さい値をお使いください。

C10, C21, C50, C55  
C22, C14

#### リモート・パルサー・レシーバ・オプション(工場出荷時組み込み必要です)

このバージョンは外部リモート・パルサー・レシーバ BLP シリーズやアクティブ探触子 UCT シリーズを使う場合のオプションで、内部の送信回路は機能しません。HD1 と HD 4 のヘッダーを取り付け、共に 3-4 ピン間をジャンパーします。右図参照。なお、標準のリモート・パルサー・レシーバやアクティブ探触子のケーブル端のコネクターとコネクターの形式が異なりますので、コネクターの交換や変換コネクターが必要となります。また、外部増幅度分感度が上がるので、発振しやすくなりますので、注意必要です。



ソフトでパルサーの形式を RP とし、RemotePhase はチェックを入れてください。

なお、UCT タイプのリモート探触子を使う場合は、パルサーの形式を UR とし、クロックは 0.469MHz に設定し、パルス幅は 250 に設定ください。RemotePhase はチェックを外してください。PRF は最低としてください。伝播距離 500  $\mu$  秒以下の測定ができます。

リモートパルサーレシーバや UCT 用探触子のコネクターは通常の LEMO 大と異

なり、50Ω用で、芯が太いタイプです。通常のは75Ω用で、芯が細いタイプです。KitPRADのコネクタも細いタイプを使っているので、変換コネクタ/ケーブルが必要です。

**標準低インピーダンスパルサー・オプション:**インピーダンスが低い探触子を使う場合感度が上がります。

オプション内容: FET Q14 1 個、500pF(捺印 f2) /1000pF500V コンデンサー C42(捺印 A3) 計 2 個

市販の探触子は大体50Ω付近と成るように設計しています(大半 20~200Ωの間)。が、振動子の素材に限られる為、数~数千Ωの範囲に広がっています。低周波探触子は高め、高周波探触子は低めです。例えばセラミック系の振動子で 25MHz6Φのものを作ると 10Ω以上にする事は困難です。送信回路の部品はインピーダンスが高周波では特に高く、低いインピーダンスの振動子には電力を効率良く供給できません。FET を 2 個並列に駆動してインピーダンスを下げます。また、結合コンデンサーも1000pF で十分とは限りません。C42 に 1000pF を加え 2000pF として大きくします。1000PF を追加しても容量が少ない場合は2階建てにして更に容量を増やしてください。最大 3500pF と成って、4倍弱強力になります。コンデンサーは常時増やしたい時は C47 にも付けられます。

**高電圧・オプション:**インピーダンスが高い探触子を使う場合送信感度が上がります。  
オプション内容:高耐圧 FET Q13 1 個、(工場出荷段階で高圧電源は実装済みです)

市販の探触子は大体50Ω付近と成るように設計しています。が、振動子の素材に限られる為、数~数千Ωの範囲に広がっています。低周波探触子は高め、高周波探触子は低めです。例えばセラミック系の振動子で1MHz10Φのものを作ると500Ω以上となります。送信超音波音圧を高めるには送信電圧を上げるのが有効です。

高耐圧の FET を使用し、1000Vまで駆動できる様にしています。

**バースト&スクエア送信・オプション:**バーストとスクエア型のパルスを発生するオプションです。

トランス T1,SD1,2,R67,76,U21,25,C58 が実装されています。

標準スパイク・パルサーに従って作る他は以下です。

1) Q14 と12V電源の実装

2) HD3,6、PR2 を実装します。HD3,HD6 はジャンパーで短絡します。

3) 高圧電源は Q14 のドレインで確認します。

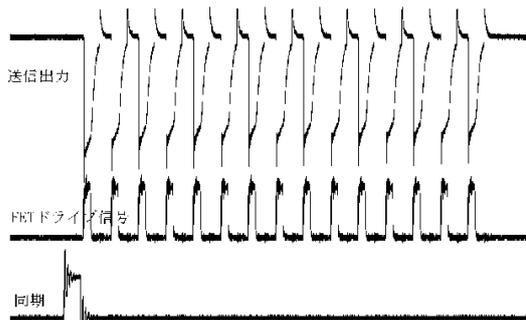
HD7 は低周波の長めのバースト・パルスを出す場合に 1-2 ピン間をジャンパーします。3-4 間はオープンです。

サンプルソフトのオプションで送信タイプを BU に設定ください。

二探触子法専用です。一探触子法は条件により可能です。お問い合わせください。

標準パルサーに戻すには、1)HD3,6をオープン2)RP2を外せば、大体標準に近い機能になります。送信タイプを ST に設定ください。

信号例 波形は無負荷です。負荷により異なります。



**疑似ステップ関数送信・オプション:**ステップに近いパルサーを発生するオプションです。アクティブ探触子と同等の波形を送信する事もできますが、二探触子法専用です。PRF は必ず 500Hz 以下に設定ください。送信パルス幅は長めにしてください。他の設定はスパイクと同じです。

PR1 に標準の 220kΩ の代わりに 1MΩ を取り付けます。これで時定数の抵抗は約 200kΩ となります。以下の容量との間でスパイクパルスの立ち上がり時定数を決めます。2500pF の場合、 $2500\text{p} \times 200\text{k} = 500 \mu\text{秒}$  と成り、0.5MHz (2μs) の探触子に対しても十分大きな時定数となって、疑似ステップ関数送信となります。

C30、34、46 に 1000pF を実装します。パルスエネルギーを LO とすると 2500pF となり、HI にすると 4500pF となります。HD7 を実装し、1-2 ピン間をジャンパーします。通常 5MHz 10Φ の探触子は 1000pF 前後です。これより十分大きな容量とします。

HD1、7 と取り付け、HD7 は 1-2 間をジャンパーでショート。HD1 の 1-2 ピン間に付属の抵抗ブロックの一つを取り付けます。どれが良いかは繋ぐ振動子によります。振動子面の振動をハイドロホンで検出し、波形が良い抵抗ブロックを選ぶと良いでしょう。最初は大きめを付けて、それから小さくしていくのが良いでしょう。交換時は必ず

高圧電源は OFF とするか電源を OFF ください。  
一採二採の切り替えは機能しますが、原則二採としてください。一採にする場合は PRF を100Hz とか低くするか、1 分以上の時間使用しないでください。入力のアッテネッタなど破損する恐れがあります。



**アンプ低域拡張・オプション:**アンプの帯域の低限周波数を約 20kHz まで下げます。  
0.2MHz 以下の低周波のアプリケーションの場合に有効です。

作業上の注意: チップ部品の取り外しには、ピンセット型ハンダゴテを使うか、2 本のハンダゴテをお使いください。ハンダゴテの先端温度は 300°C 程度が適当です。部品を外したら、付属のハンダ吸取線で綺麗にし、その後チップ部品をハンダ付けてください。ハンダ吸取線がハンダを吸い難い場合は、ハンダ吸取線にフラックスを浸み込ませると良い。

ジャンパー設定: アンプは高周波用は使えません。HD5 はオープン、HD3 はショートの状態にしてください。

ハンダ付けジャンパー: 以下のハンダ付けジャンパーは短絡ください。ハンダゴテにハンダを多量に付けて、手早くハンダ付けすると綺麗に盛れます。

SH2

フィルターの時定数変更: 各フィルターの周波数を変更します。以下は標準的変更方法です。目的に従って適当なものに変更ください。フィルターを使わない場合は変更は不要です。フィルターを変更した場合は、サンプル制御ソフトのバージョン設定を“CL”としてください。

	現状		標準変更値
L6	4.7uH(1MHzHP)	→	680uH(10kHz)
L7	2.2uH(2MHzHP)	→	330uH(15Hz)
L8	1uH(5MHzHP)	→	150uH(30kHz)
L9	0.47uH(10MHzHP)	→	68uH(70kHz)
L10	0.22uH(20MHzHP)	→	33uH(150kHz)
C26	100pF(20MHzLP)	→	10nF(200kHz)
C29	220pF(10MHzLP)	→	22nF(100kHz)
C32	470pF(5MHzLP)	→	47nF(50kHz)
C33	1nF(2MHzLP)	→	0.1uF(20kHz)
C35	2.2nF(1MHzLP)	→	0.22uF(10kHz)

中段、終段アンプの部品の変更: 元々の低域カットオフ周波数は 100kHz です。100kHz 以下の低域帯域を使いたい場合は以下を変更ください。

L12,20 100uH(100kHzHP) → 680uH(15kHzHP)

或いはもっと下げたい場合は、以下としますが、部品の大きさが大きいので、線など使って旨くハンダ付け配線ください。ハンダ付け後は部品をエポキシ接着剤などで固定ください。

L12,20 100uH(100kHzHP) → 1mH(10kHzHP)