

# Relay Attenuator (MOS) / フォトリレー使用の抵抗ネットワーク減衰器 製作マニュアル

## <注意>

本キットをつかって生じた感電、火災等の一切のトラブルについては、当方は責任を負いませんのでご了承ください。また、基板、回路図、マニュアル等の著作権は放棄していませんので、その一部あるいは全体を無断で第3者に対して使用することはできません。

## 1. はじめに

本基板は抵抗ネットワークをリレーで ON/OFF することで減衰量を調整できるパッシブ型のボリュームになります。いわゆる電子ボリュームの類になりますが、一般的な電子ボリュームとは異なりアンプ回路を持ちません。パッシブなボリュームとしては、ロータリー式のスイッチを用いた減衰器もありますが、多接点のものは少なく、またスイッチのコストも相当に高くなりますが、自作用途では26接点程度が限界で、十分な分解能での音量調整が難しいでしょう。本基板では抵抗ネットワークと14組(ステレオで28個)のフォトリレーを用いることで-79.5dB~0dBを0.5dB毎で調整を行うことができます。この音量ステップを実現するための複雑なリレーの組み合わせ動作にマイコンを用いています。マイコンを用いるため、あわせてボリューム変更は可変抵抗やロータリーエンコーダの使用を可能にしています。さらに赤外線リモコンや、外付けの入力切替基板との連動も可能です。

電子式のボリュームとは一味ちがった音量調整に適しているでしょう。

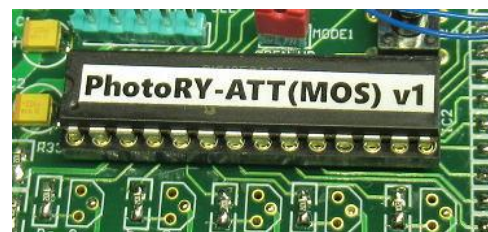
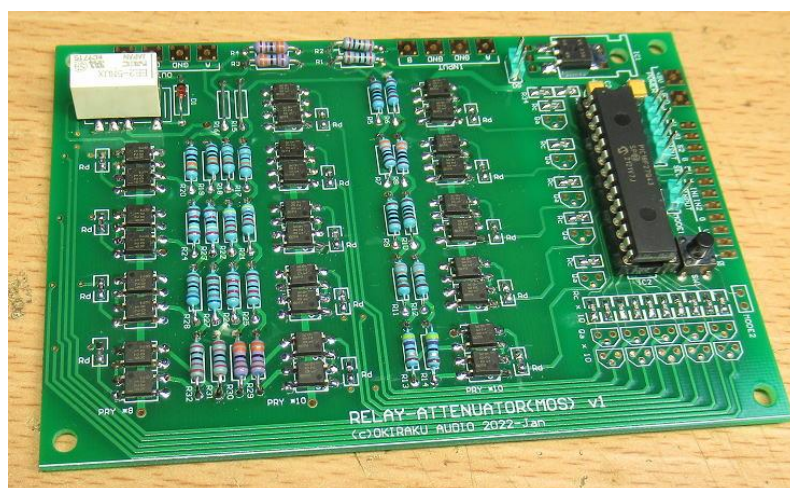


図 完成例

## 2. 機能&仕様

表 主な仕様

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 機能   | 抵抗ネットワーク式減衰器                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 電源電圧 | 5V 単一 (約 300mA)<br>※Small-LED4 との組み合わせ時で実測で 180~250mA 程度。                                                                                                                                                                                                                     |
| 特徴   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ -79.5~0.0dB の範囲で 0.5dB 毎で調整可能 (-79.5dB 以下は MUTE)</li> <li>・ 減衰量調整は可変抵抗/ロータリーエンコーダが使用可能</li> <li>・ 減衰量表示器 (small-LED4) へのシリアル出力あり</li> <li>・ 外付け入力切り替え機 (mini-RELAY6) との連動可能</li> <li>・ 赤外線リモコン対応 (減衰量調整、MUTE-ON/OFF、入力切替)</li> </ul> |
| 基板   | FR-4、1.6mm 基板厚、70um 銅箔厚、<br>表面処理 : 金フラッシュ<br>基板サイズは巻末参照                                                                                                                                                                                                                       |

### 3. 回路図

全体の回路図は下記の通りです。リレーの動作組み合わせで、減衰量を調整しています。

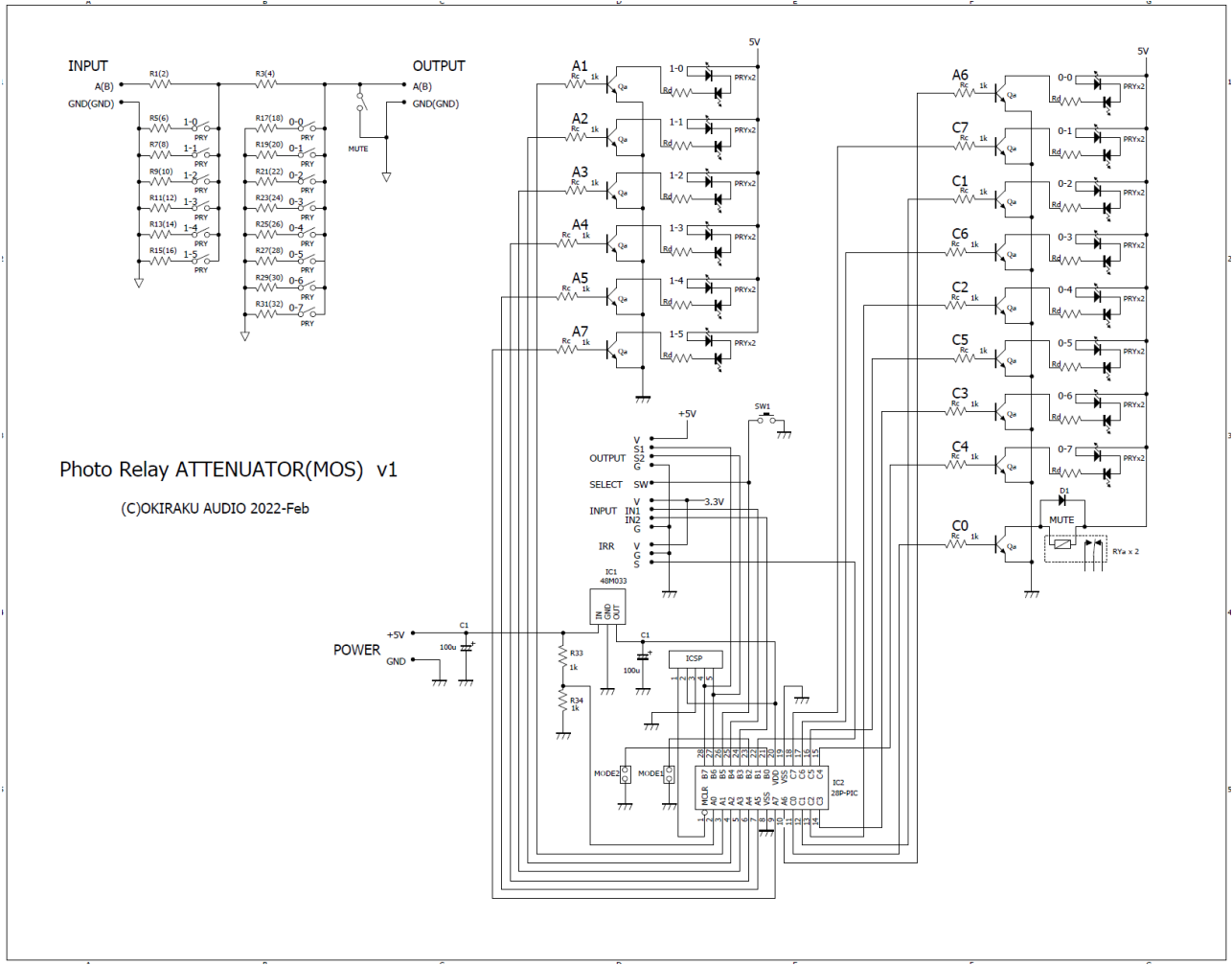


図 全体の回路図

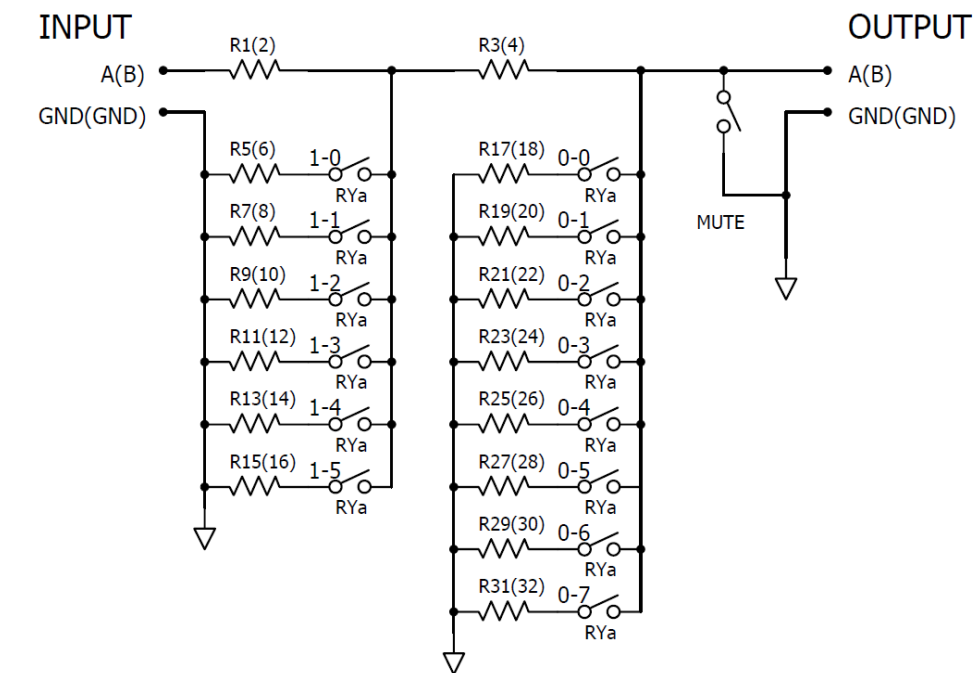


図 抵抗ネットワーク部分の回路図（拡大）

#### 4. 部品表例

表 部品表

| 品名     | 番号      | 規格                     | 仕様                 | 個数 | 備考                                                            |
|--------|---------|------------------------|--------------------|----|---------------------------------------------------------------|
| 抵抗     | R1, 2   | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 2k $\Omega$        | 2  | 抵抗ネットワークになりますので、必ず指定の値を用いてください。指定値以外では大きなゲインエラーが発生する可能性があります。 |
|        | R3, 4   | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 3.3k $\Omega$      | 2  |                                                               |
|        | R5, 6   | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 1k $\Omega$        | 2  |                                                               |
|        | R7, 8   | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 330 $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R9, 10  | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 100 $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R11, 12 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 33 $\Omega$        | 2  |                                                               |
|        | R13, 14 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 4.7 $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R15, 16 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 0 $\Omega$ (ジャンパー) | 2  |                                                               |
|        | R17, 18 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 180k $\Omega$      | 2  |                                                               |
|        | R19, 20 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 100k $\Omega$      | 2  |                                                               |
|        | R21, 22 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 47k $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R23, 24 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 24k $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R25, 26 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 12k $\Omega$       | 2  |                                                               |
|        | R27, 28 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 6.8k $\Omega$      | 2  |                                                               |
|        | R29, 30 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 3.3k $\Omega$      | 2  |                                                               |
|        | R31, 32 | 金属皮膜 1/4W(1%)          | 2k $\Omega$        | 2  |                                                               |
|        | R33, 34 | チップ抵抗                  | 1k $\Omega$        | 2  | 1608, 2012 サイズ                                                |
|        | Rc      | チップ抵抗                  | 1k $\Omega$        | 15 | 1608, 2012 サイズ                                                |
|        | Rd      | チップ抵抗                  | 220 $\Omega$       | 14 | 1608, 2012 サイズ                                                |
| コンデンサ  | C1, 2   | 電解コンデンサ                | 100 $\mu$ F/10V    | 2  | 容量は適当でよい。                                                     |
|        | Cp      | チップセラミック               | 0.1 $\mu$ F        | 3  |                                                               |
| ダイオード  | D1      | 小信号用                   | 1N4148 など          | 1  | 汎用品で可。半田面に SMD 用パッドもあり                                        |
| トランジスタ | Qa      | 小信号用 NPN               | 2SC1815 など (*1)    | 15 | 半田面に SOT23 のチップトランジスタの実装パターン有り                                |
| スイッチ   | SW1     | タクトスイッチ                |                    | 1  | 外付けする場合は基板上 SW1 は不要。また赤外線レコン不使用の場合も不要                         |
| IC     | IC1     | 3.3Vレギュレータ             | 48M033 など (*2)     | 1  | 78N と同じピン配置                                                   |
|        | IC2     | PIC マイコン               | 28Pin タイプ          | 1  | “PhotoRY-ATT (MOS) v1 “                                       |
| リレー    | PRY     | フォトリレー                 | PS7200K-1A         | 28 | 秋月電子 P-08268                                                  |
|        | RYb     | SMD リレー                | 5V タイプ (*4)        | 1  | 秋月電子 P-14033                                                  |
| 基板     |         | RELAY-ATTENUATOR (MOS) |                    | 1  |                                                               |
|        |         |                        |                    |    |                                                               |

ハッチング部はキットの主要部品として添付。

(\*1) 下記などの汎用の SMD のトランジスタを半田面に実装してもいいでしょう。

AAA



チップトランジスタ 低雑音 2SC2712-GR 50V150mA (40個入)

[2SC2712-GR]

通販コード I-00761

発売日 2004/11/22

メーカーカテゴリ 株式会社東芝セミコンダクター社(TOSHIBA)

東芝のSC-59(0.95mmピッチ)、汎用チップトランジスタです。2SC1815とほぼ同じ特性でhFEのリニアリティ(直線性)がすぐれています。オーディオ用のみならず、AF、HF、VHF(<80MHz)の小信号処理のトランジスタとして最適です。

■主な仕様

・接合構造: NPN

(\*2) SMD の 3.3V レギュレータが安価で使いやすいと思います。

A



RoHS2

三端子レギュレーター 3.3V1A NJM2391DL1-33

[NJM2391DL1-33]

通販コード I-02252

発売日 2008/02/06

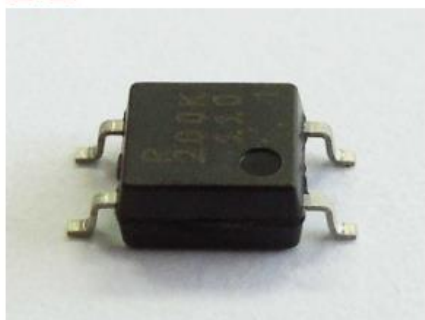
メーカーカテゴリ [新日本無線株式会社\(New JRC\)](#)

出力電流を1Aまで流せる低飽和型シリーズレギュレータ(LDO)です。入出力間電位差が低いため、高精度を要求される負荷にも対応できます。

- 主な仕様
- ・出力方式：シリーズ
- ・出力正負：正電源

(\*3) この基板では下記のフォトリレーの使用を推奨します。その他、ON 抵抗が  $1\Omega$  程度のもの (TLP222AF、TLP222AF-2) も使用可能です (少し高価)。

AA



光MOSFET フォトリレー 40V0.2A PS7200K-1A (4個入)

[PS7200K-1A]

通販コード I-08268

発売日 2014/08/25

メーカーカテゴリ [ルネサスエレクトロニクス株式会社\(Renesas\)](#)

- 主な仕様
- ・回路数：1回路
- ・絶縁耐圧： $\sim 1500V$
- ・入力方式：片方向
- ・出力方式：フォトMOSFET
- ・2次耐圧： $\sim 40V$
- ・出力電流： $\sim 200mA$
- ・オン抵抗： $1.1\Omega$
- ・伝搬遅延H/L： $0.1ms$
- ・伝搬遅延L/H： $0.1ms$
- ・1次順電圧： $1.2V$

(\*4) この基板では下記のリレーの使用を推奨します。

22 AAA



RoHS2不明

5Vリレー 表面実装用 2回路2接点 EE2-5NUX-L

[EE2-5NUX-L]

通販コード P-14033

発売日 2019/08/28

メーカーカテゴリ [日本電気株式会社\(NEC\)](#)

NEC/TOKINの小型リレーです。スリム形状で軽量を特長とします。

- 主な仕様
- ・コイル電圧：5V
- ・コイル電流：28mA
- ・コイル抵抗： $178\Omega$
- ・感動電圧：3.75V
- ・開放電圧：0.5V

## 5. 端子機能

### (1) 基板端子機能

本基板における基板端子機能は下表の通りです。「6. 接続例」とあわせて参照ください。

基板端子の機能

| グループ   | 端子<br>シルク | 機能                                            | 備考                                                        |
|--------|-----------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| INPUT  | A         | オーディオ信号入力 A                                   |                                                           |
|        | GND       | 信号 GND                                        |                                                           |
|        | GND       | 信号 GND                                        |                                                           |
|        | B         | オーディオ信号入力 B                                   |                                                           |
| OUTPUT | A         | オーディオ信号出力 A                                   |                                                           |
|        | GND       | 信号 GND                                        |                                                           |
|        | GND       | 信号 GND                                        |                                                           |
|        | B         | オーディオ信号出力 B                                   |                                                           |
| POWER  | +5V       | 電源入力 (5V)                                     | 必要な電流容量は 300mA 以上です。<br>(LED 接続なしの場合)                     |
|        | GND       | 電源 GND                                        |                                                           |
| OUTPUT | V         | 5V 出力                                         | small-LED4 や mini-RELAY6 の電源出力としても利用可。                    |
|        | S1        | Small-LED4 用シリアル出力                            | 減衰量表示を行う場合に接続します (VR 使用時は必須ではありません)                       |
|        | S2        | mini-RELAY6 用シリアル出力                           | 外付けの入力切替 SW を使用する場合に接続します。                                |
|        | G         | 電源 GND                                        |                                                           |
| SEL    | SW        | 入力切替 SW/初期化スイッチ                               | Active” L” で動作。電源投入時に L であった場合初期化 (赤外線リモコンの学習内容消去等)を行います。 |
| INPUT  | V         | 3.3V 出力                                       | VR/エンコーダの使用の選択は MODE1 ジャンパーで設定 (開放: VR、短絡: エンコーダ)         |
|        | IN1       | ・ VR 使用時は VR センタを接続。<br>・ エンコーダの場合は A (B) 相入力 |                                                           |
|        | IN2       | ・ VR 使用時は開放<br>・ エンコーダの場合は B (A) 相入力          |                                                           |
|        | G         | GND                                           |                                                           |
| IRR    | V         | 赤外線受光モジュール電源 (3.3V)                           | 赤外線リモコンを使用する場合場合に使用します。                                   |
|        | G         | 赤外線受光モジュール GND                                |                                                           |
|        | S         | 赤外線受光モジュール信号                                  |                                                           |

表 モードジャンパー (MODE1) 設定

| MODE1 | 機能  | 説明                                   |
|-------|-----|--------------------------------------|
| 開放    | VR  | 減衰量調整に VR (10~50k $\Omega$ (B)) を使用。 |
| 短絡    | ENC | 減衰量調整にロータリーエンコーダを使用                  |

MODE2 は予約用です (未使用)



## 6. 接続例

### (1) 電源と入出力の接続

下図を参照して接続してください。電源は定電圧電源 (5V) を使用します。非安定電源では、稼働中にマイコンが電圧低下を検知してシャットダウンする可能性があります。なお、シャットダウン電圧は定常電圧から-10%の電圧 (約 4.5V) になります。

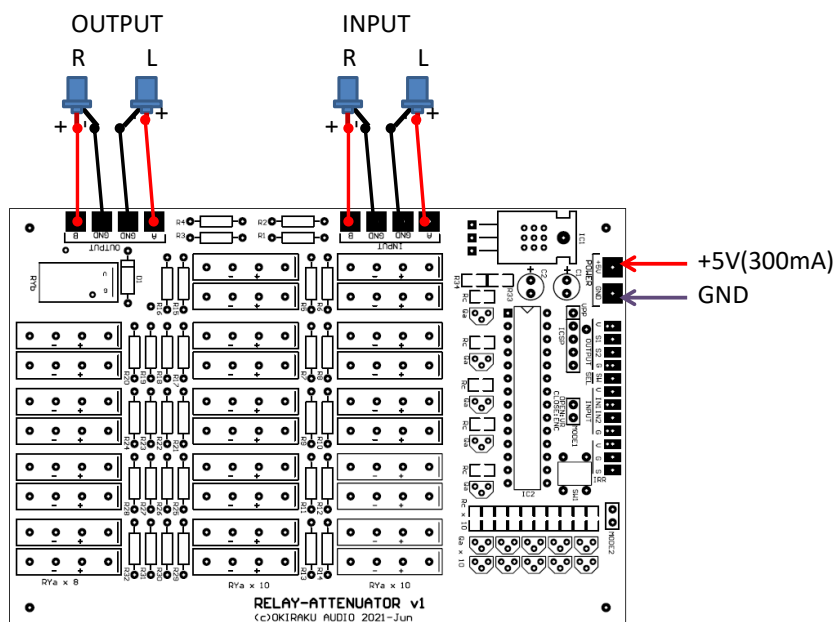


図 電源と入出力の接続例

### (2) 可変抵抗を用いる場合の接続

下図を参照して接続ください。MODE1 ジャンパーは開放ままとします。可変抵抗は 10~50k $\Omega$  の B カーブのものを使用します。VR と基板との配線長が長い場合にはフィルター用に 0.1 $\mu$ F のコンデンサを挿入するといいでしょう。LED 表示器や赤外線受光器、リレー切替基板はすべてオプションであり、必要な場合に接続します。可変抵抗接続の場合は赤外線リモコンでのボリューム (減衰量) 調整はできません。

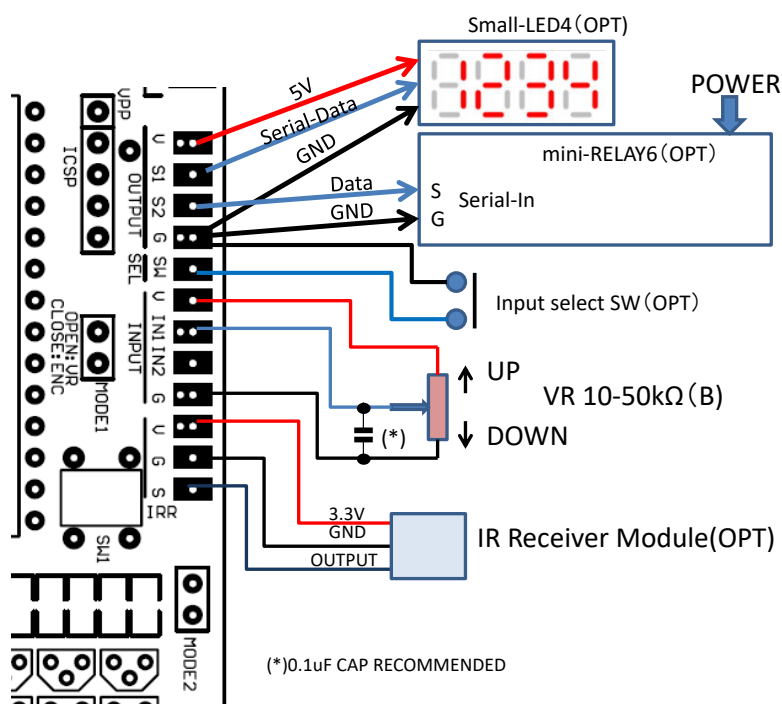


図 可変抵抗を接続する場合の接続例

### (3) ロータリーエンコーダを接続するときの接続

下図を参照して接続ください。MODE1 ジャンパーは短絡とします。赤外線受光器、リレー切替基板はすべてオプションであり、必要な場合に接続します。LED表示器は減衰量表示のためにあったほうがいいでしょう（必須ではありませんが、ないと減衰量がわかりません）。

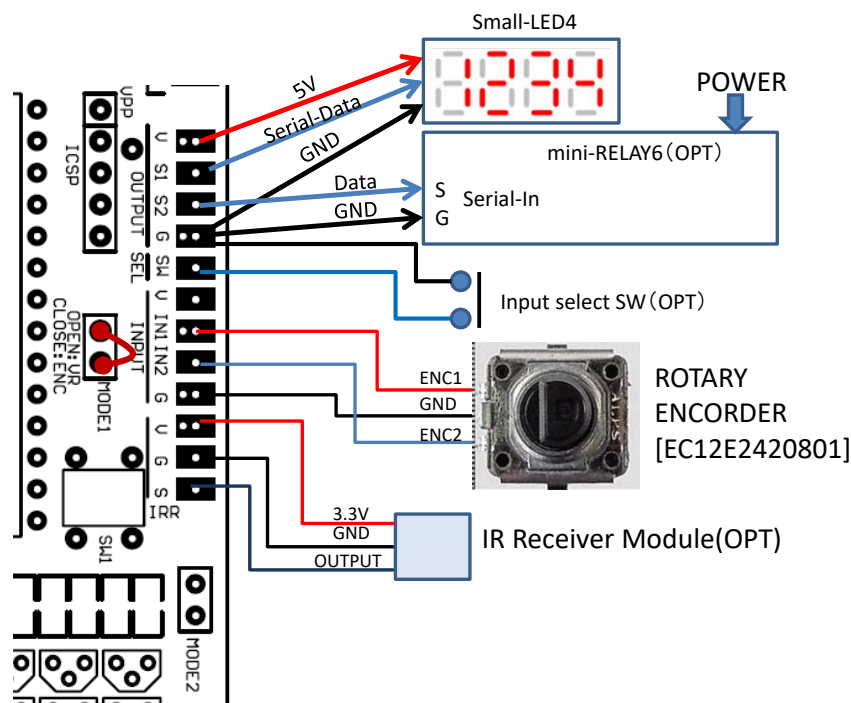


図 ロータリーエンコーダを接続する場合の接続例

ロータリーエンコーダは秋月電子で取り扱いの下記が安価で使いやすいでしょう。

AAA



#### ロータリーエンコーダ（24クリックタイプ）

[EC12E2420801]

通販コード P-06357

発売日 2012/12/25

メーカーカテゴリ [アルプス電気株式会社\(ALPS\)](#)

24クリックのメカニカルロータリーエンコーダです。

- ・12型絶縁軸タイプ EC12シリーズ
- ・操作部長さ：25mm
- ・クリック数：24
- ・パルス数：24
- ・定格：0.5mA 5VDC

図 おすすめのロータリーエンコーダ（秋月電子 P-06357）

## 7. 赤外線リモコンの活用

### (i) 機能

赤外線リモコンでは下記に割り当てたキーで操作が可能です。

- ・ VOL+、VOL-                      ボリュームを操作します  
                                            (注) ロータリーエンコーダ使用の場合のみ。
- ・ SEL1～SEL6                      リレー切替基板 (mini-RELAY6) のチャンネルを指定します。  
                                            (注) リレー切替基板を使用しない場合でも学習は必要です。
- ・ Mute-ON/OFF                      MUTE を行います。

なお、赤外線リモコンを利用するには Small-LED4 が必要になります。

### (ii) 学習方法

学習方法は初回電源投入後あるいは初期化 (スイッチ SW1 を押しながら電源投入) 後に、赤外線受光モジュールに刺激を与えます。すなわちリモコン受光モジュールに向けて任意のリモコンキーを押せば学習開始するようにしています。学習の開始時には LED に「IrrL (IRR LEARNING)」と約 1 秒表示されます。その後、学習 (黄緑表示) と確認 (赤色表示) が表示されたのち割り当てるキーを短く押します (1 つのキーを 2 回ずつ押すことになります)。学習が完了すれば「END」が 1 秒表示されて、その後にマスターボリューム値等を表示します。以降、赤外線リモコンが使用可能になります。

学習するキーは下記の順で合計 8 個 (押す回数は 16 回) になります。

#### <学習順>

VOL+ (VOLP) → VOL- → SUB+ (SUBP) → SUB- → SEL1 → SEL2 → SEL3 → SEL4  
→ SEL5 → SEL6 → M-ON → MoFF

(\*) フェードメントでは[+]表示ができないので「P」で代用しています。

### (3) SW1 の機能

基板上の (あるいは基板端子に接続) SW1 は下記の機能を持ちます。

#### (i) リレー動作遅延時間の設定 (クリックノイズの抑制)

リレー動作時にはゲインが過渡的に変化するため、わずかですがクリックノイズが発生します。できるだけクリックノイズを小さくするために、リレーの ON 時間と OFF 時間の差を吸収して、複数のリレー動作で最短のショータリング状態になるように設定します。SW1 を長押しすることでリレー動作遅延時間の設定を変更することができます。リレーのカタログ上では 100us 以上が必要ですが、実験結果ではあまり変化はあまりなかったことから 200us を既定値にしています。他のフォトリレーをつかう場合や、聴感で変化がでる場合は調整してもよいでしょう。

表 SW1 長押しでのゲイン設定

| 表示 (small-LED4) | リレー遅延時間     |
|-----------------|-------------|
| d003            | 30uS        |
| d006            | 60uS        |
| d010            | 100uS       |
| d020            | 200uS (既定値) |
| d040            | 400uS       |
| d080            | 800uS       |
| d150            | 1.5ms       |
| d300            | 3.0ms       |

#### (ii) リレー切替基板の入力切替

SW1 を短く押すとリレー切替基板にシリアルデータを転送しチャンネル切替をシーケンシャルに変更します。そして small-LED4 には選択チャンネルが表示されます。なお LED 表示がボリューム値になっている場合は、SW1 を一度押すと現在の設定チャンネルが表示され、次に押すとチャンネルが切り替わります。これは、現在のチャンネルを確認できるようにするためです。

#### (iii) 初期化

SW1 を押しながら電源を起動すると各種パラメータが初期化されます。同時に学習した赤外線リモコンのコードも破棄されます。



## 8. 基板パターン

### (1) シルク

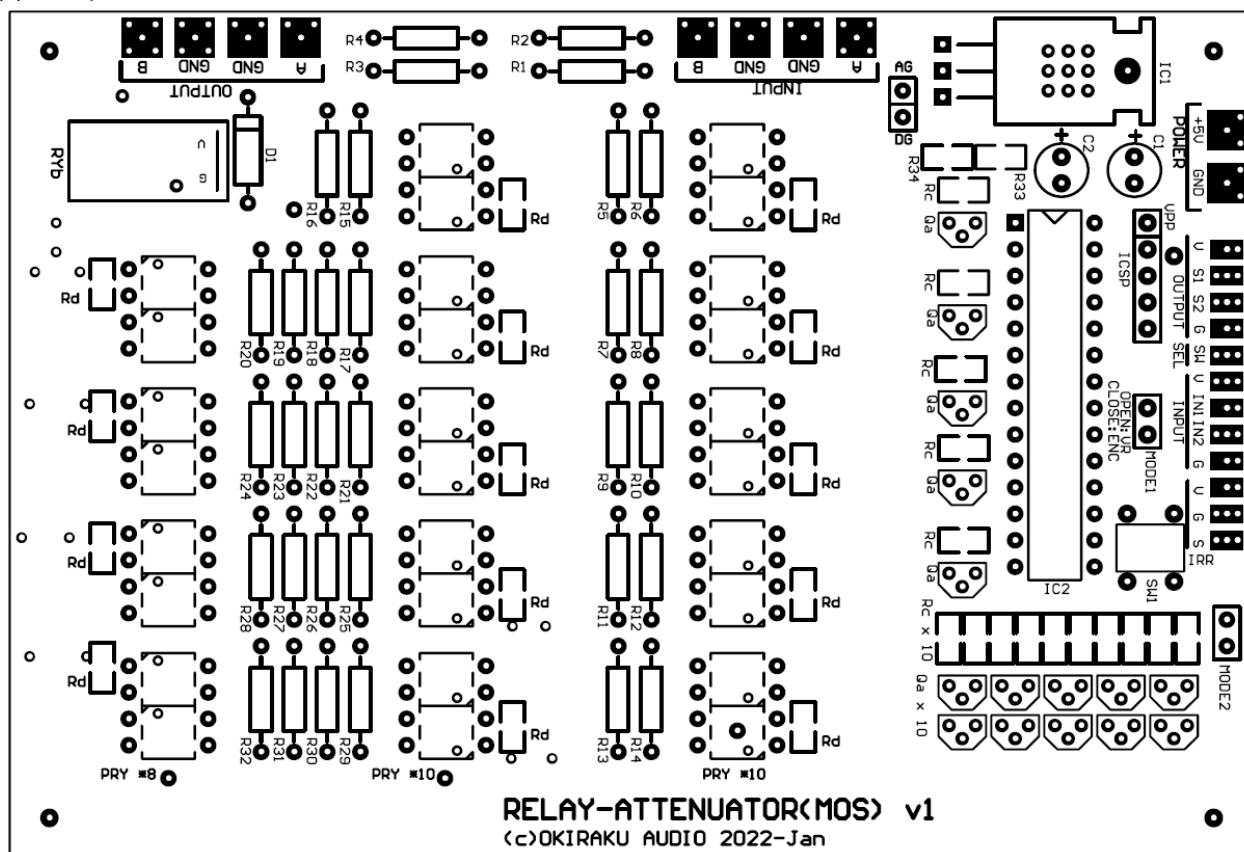


図 シルク

### (2) 配線パターン (部品面)

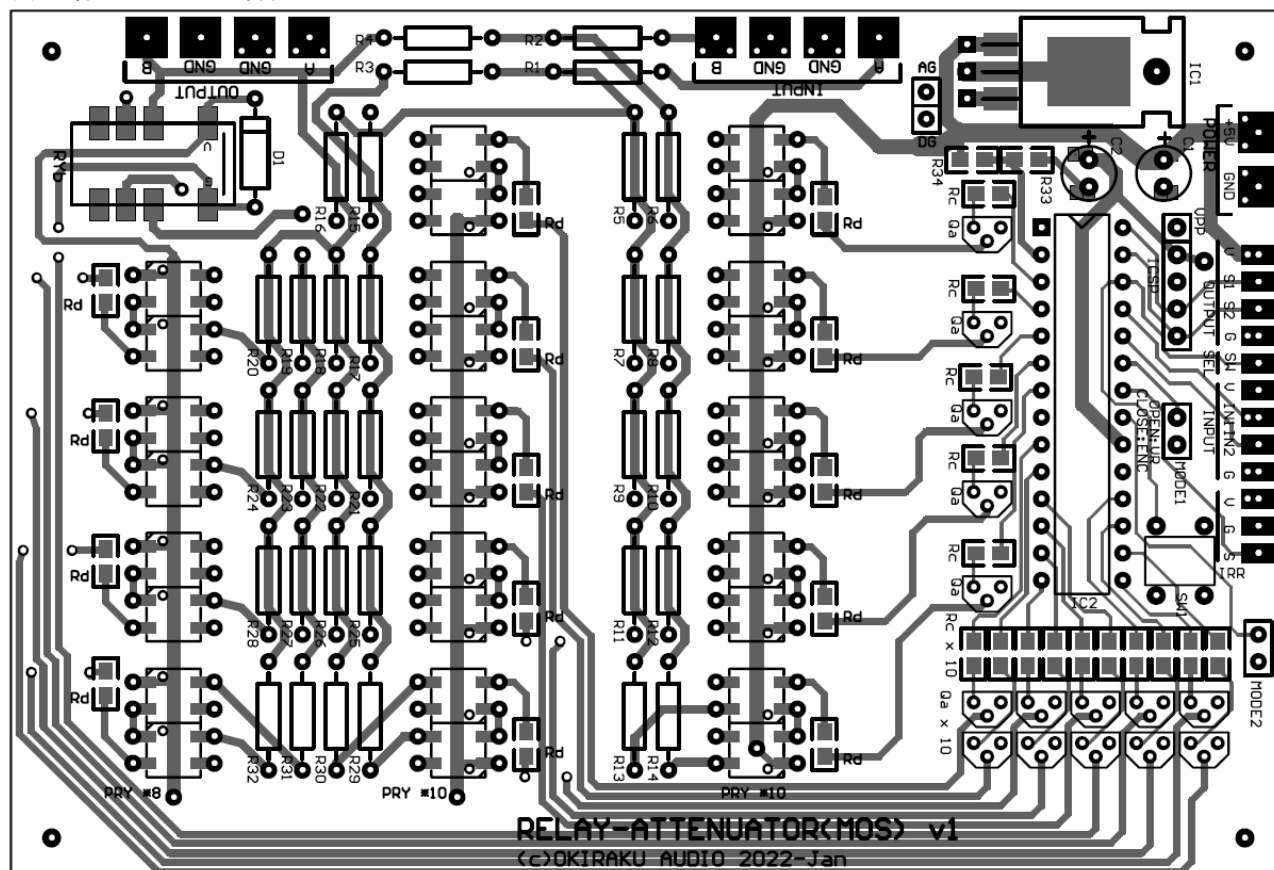


図 部品面パターン

(3) 配線パターン（半田面：部品面より透視）

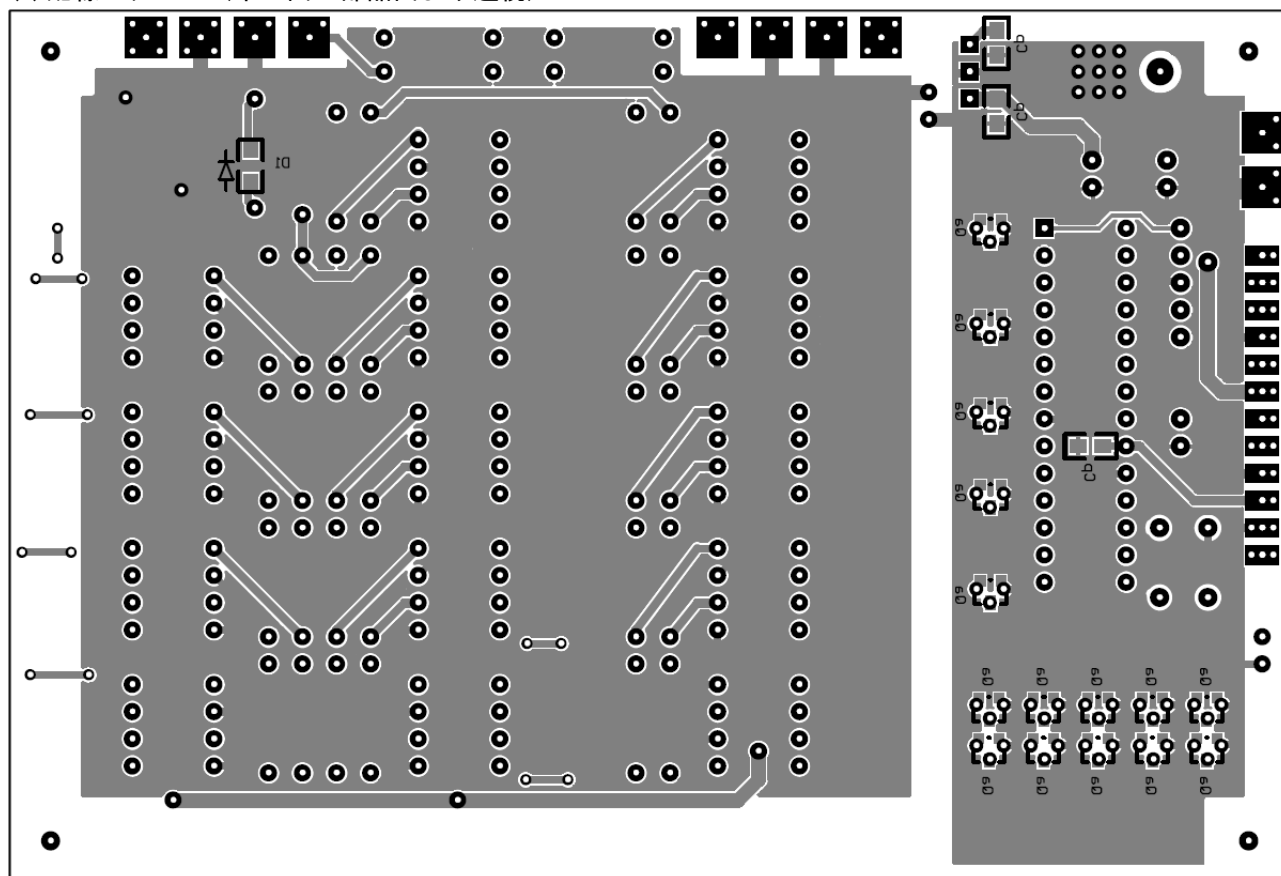


図 半田面パターン

## 9. 【重要】基板の修正

v 1 基板では一部パターンの修正（削除）が必要です。基本動作には影響ありませんが、減衰量の精度確保のため修正を推奨します。

1) 該当基板：RELAY-ATTENUATOR (MOS) v1

2) 修正箇所：R24 の左横のフォトリレーの Pin1 に繋がるパターン部分です。

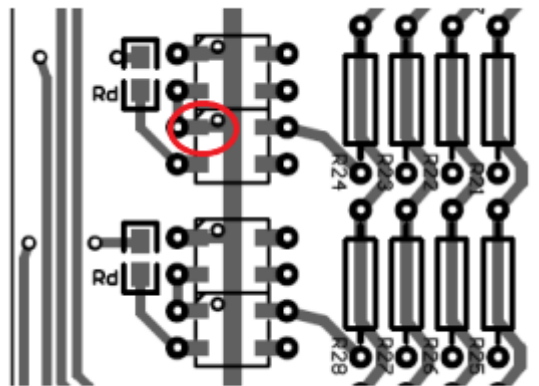


図 修正箇所 (R24 の左横のフォトリレーPin1 部分)

3) 修正方法：下図のフォトリレーの Pin1 に接続される Vcc ライン（中央の縦パターン）からの接続（青線部分）を切断してください。

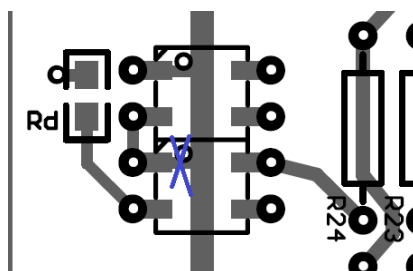


図 修正方法（青線のパターンを切断）

4) 修正しない場合の不具合：

常用域での単調増加性はほぼ保たれますので聴感上気づかないと思いますが、散発的に 1dB 程度の減衰量の誤差が発生します。

## 10. 技術情報

設定減衰量と実際の減衰量の関係ならびに誤差は計算上は下図になります。全領域で 0.1dB 以内になります。リレーの 0n 抵抗は 1  $\Omega$  を仮定しています。リレーの 0n 抵抗誤差の影響が現れるのは高減衰領域なので、実用域ではほとんど影響はないでしょう。

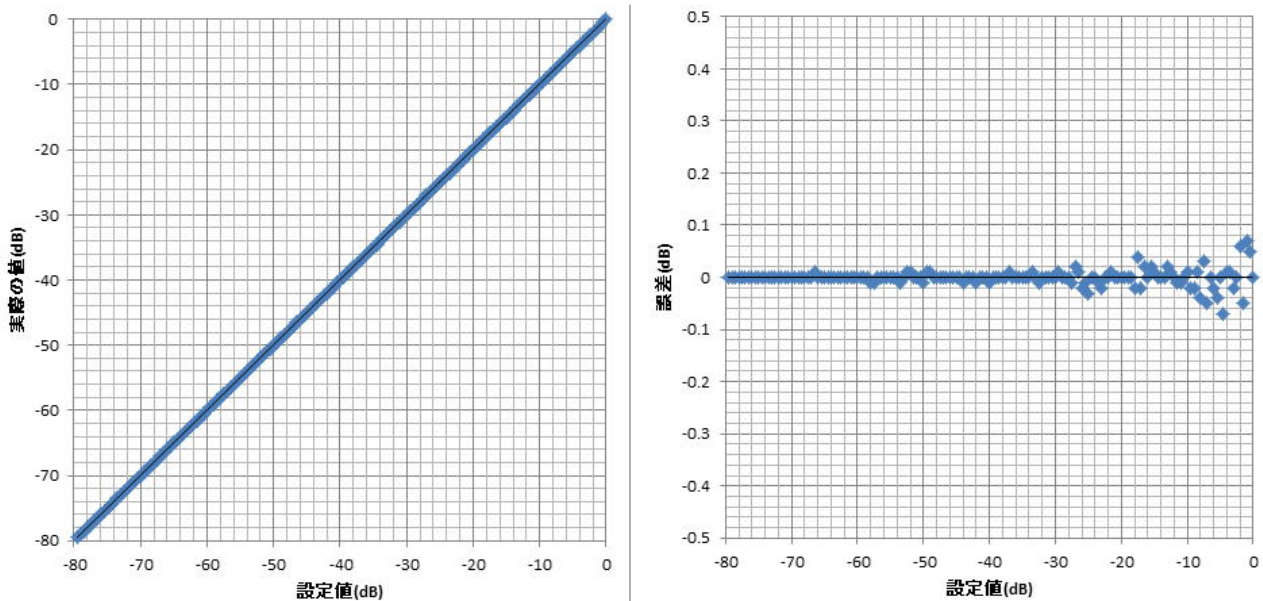


図 設定減衰量と実際の減衰量の差

## 11. ヒント

本基板ではデジタル部とアナログ部の GND は分離しています。しかし、実装時にノイズが混入する場合などは、GND を共通化することで改善する場合があります。基板上にはデジタル GND とアナログ GND を短絡しやすいようにパッドを設けているので、それを活用するといいいでしょう。

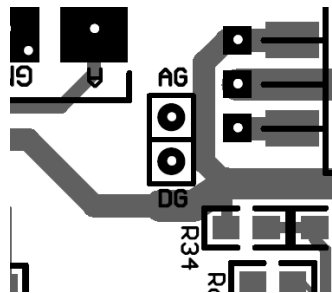


図 GND 引き出し PAD

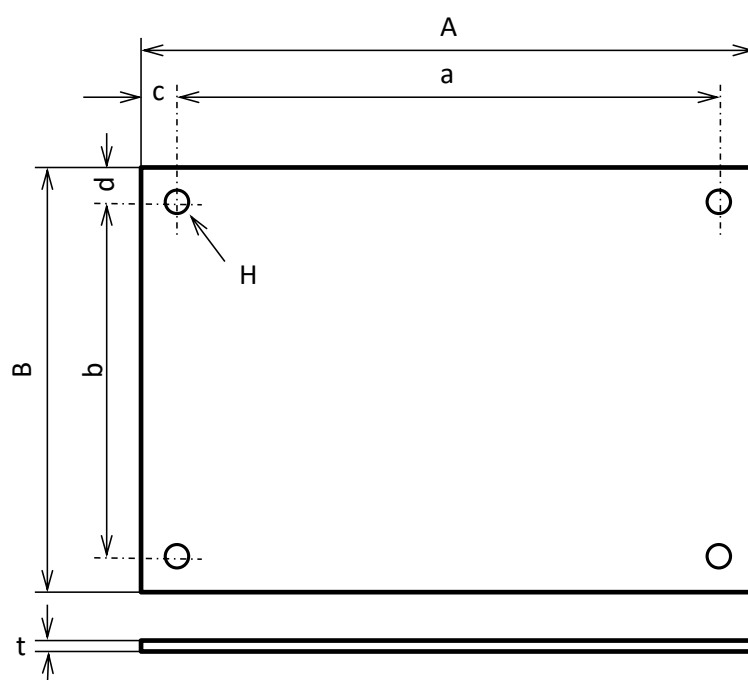
AG はアナログ GND、DG はデジタル GND

## 1 2. 基板寸法

本基板サイズは” STD “になります。

表 寸法 単位 mm/(mil) ※1mil=25.4/1000mm

|   | name  | A               | B               | t   | H            | a               | b              | c, d         |
|---|-------|-----------------|-----------------|-----|--------------|-----------------|----------------|--------------|
|   | STD-S | 119.4<br>(4700) | 43.2<br>(1700)  | 1.6 | 3.5<br>(138) | 111.8<br>(4400) | 35.6<br>(1400) | 3.8<br>(150) |
| ✓ | STD   | 119.4<br>(4700) | 81.3<br>(3200)  | 1.6 | 3.5<br>(138) | 111.8<br>(4400) | 73.7<br>(2900) | 3.8<br>(150) |
|   | STD-H | 81.3<br>(3200)  | 59.7<br>(2350)  | 1.6 | 3.5<br>(138) | 73.7<br>(2900)  | 52.1<br>(2050) | 3.8<br>(150) |
|   | WIDE  | 144.8<br>(5700) | 101.6<br>(4000) | 1.6 | 3.5<br>(138) | 137.2<br>(5400) | 94.0<br>(3700) | 3.8<br>(150) |
|   | None  |                 |                 |     |              |                 |                |              |



## 1 3. 編集履歴

| Revision | DATE        | CONTENT          |
|----------|-------------|------------------|
| R1       | 2022. 2. 5  | 初版               |
| R2       | 2022. 2. 20 | 部品表修正            |
| R3       | 2022. 2. 27 | 基板の修正箇所を追加 (9 章) |
|          |             |                  |
|          |             |                  |