

# 低ノイズオペアンプ<sup>®</sup> TC75S67TU 超音波距離センサー向け応用回路

## デザインガイド

### RD162-DGUIDE-01

---

#### **概要**

本デザインガイド（以下、本ガイド）では、低ノイズオペアンプTC75S67TUを使った超音波距離センサーの設計について説明します。超音波距離センサーは、送信した超音波が対象物で反射して戻ってくるまでの往復時間を測定して距離を算出しますが、本ガイドでは送受信一体型の超音波距離センサーを例に、TC75S67TUの応用回路設計について解説します。

**東芝デバイス&ストレージ株式会社**

## 目次

<b>1. はじめに</b> .....	<b>3</b>
<b>2. 回路設計</b> .....	<b>4</b>
2.1. 低ノイズオペアンプ TC75S67TU について.....	4
2.2. 超音波距離センサーについて .....	5
2.3. 超音波距離センサー回路の仕様.....	7
2.4. 超音波距離センサーの回路設計.....	8
<b>3. 基板設計</b> .....	<b>13</b>
3.1. 基板パターン例.....	13
3.2. 基板設計上の注意点 .....	14
<b>4. 製品概要</b> .....	<b>15</b>
4.1. TC75S67TU 製品概要 .....	15
4.2. 端子説明 .....	16

## 1. はじめに

デジタル時代の今日でもオペアンプはさまざまな場面で利用されていますが、特に重要なアプリケーションとして各種のセンサーでの利用が挙げられます。

音や光など自然界から得られる情報はいろいろあり、それに応じてセンサー素子にもさまざまな種類があります。一般的にセンサー素子からの出力信号は非常に微弱なものが多く、そのままでは扱いにくいため、ほとんどの場合は増幅して処理されます。

この増幅のために用いられるのがオペアンプです。増幅以外にも、各種センサーにおいてオペアンプはフィルターやI-V変換などに用いられており、オペアンプがなければ現代のほとんどの電子機器は成り立たないと言っても過言ではありません。

これらセンサーでの応用で重要なのがノイズ特性です。オペアンプ自身のノイズが大きいと、肝心のセンサー信号がノイズにマスクされて検出感度の低下や誤検知を招き、所望のセンシング性能を得られなくなるおそれがあります。そのため、このような応用で使用されるオペアンプには低いノイズレベルが求められます。

当社はこのような要求に対応するため、入力換算雑音電圧6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  (@f=1 kHz、 $G_V=40$  dB、標準) という低ノイズレベルを実現したオペアンプTC75S67TUをラインアップしています。

本ガイドでは、TC75S67TUを使った超音波距離センサーの設計について説明します。TC75S67TUの詳細については下記リンク先のデータシートをご参照ください。

TC75S67TUのデータシートはこちらから →

[Click Here](#)

## 2. 回路設計

### 2.1. 低ノイズオペアンプ TC75S67TU について

本ガイドで説明する超音波距離センサーに使用した低ノイズオペアンプ TC75S67TU は、回路と製造プロセスの両面から対策を行い、当社の従来一般品よりも大きくノイズレベルを低減することに成功しました。

一般に、ノイズは含まれる周波数成分により低周波領域に分布する  $1/f$  ノイズと、低周波から高周波まで広い領域に分布するホワイトノイズ（白色雑音）に分けられますが、TC75S67TU では入力換算雑音電圧として、 $1/f$  ノイズが主となる低周波領域で  $16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (@ $f=10 \text{ Hz}$ )、ホワイトノイズが主となる領域で  $6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (@ $f=1 \text{ kHz}$ , typ.) という低ノイズレベルを実現しております。図 2.1 に TC75S67TU と当社一般品のノイズレベル-周波数特性を比較したグラフを示します。

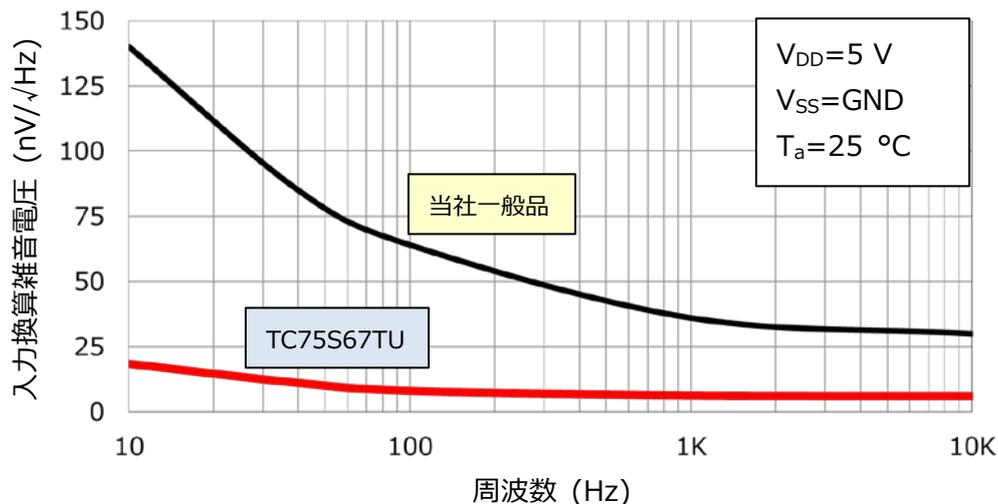


図 2.1 TC75S67TU 入力換算雑音電圧-周波数特性

図 2.1 に示すように TC75S67TU は一般品に比べて、ノイズが大幅に改善されておりますので、微弱信号を扱うセンサーの信号増幅に最適なオペアンプです。

このノイズ特性に加えて、TC75S67TU は  $1 \text{ pA}$  と入力バイアス電流が非常に小さく、これによって発生するオフセット電圧も小さいという特長もあります。

微弱信号を扱うセンサーではオフセット電圧の影響も大きく、センサー性能の悪化原因になりますので、入力端子にオフセット補正用の抵抗が必要になる場合があります。抵抗は熱雑音を発生させるので、この場合ノイズが悪化する恐れがありますが、TC75S67TU はオフセット電圧が小さいので、オフセット補正用抵抗をつける必要がありません。

以上のような特長をもつ TC75S67TU を使用することで、高感度、高性能なセンサーを設計することが可能です。

TC75S67TU の雑音の詳細については、下記リンク先のアプリケーションノートもご参照ください。

TC75S67TU の雑音についてのアプリケーションノートはこちら → [Click Here](#)

## 2.2. 超音波距離センサーについて

超音波距離測定に用いる送受信一体型センサーは、超音波トランスデューサーと呼ばれることもあり、振動子と共振子から構成されています。図2.2に、送受信一体型超音波距離センサーの構造略図を示します。

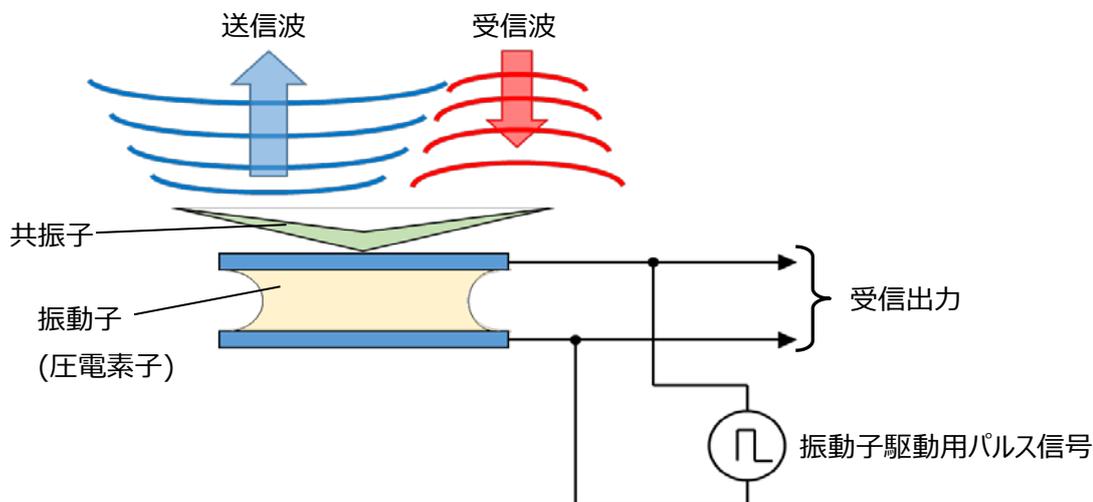


図 2.2 超音波センサーの構造略図

一体型なのでセンサーの入力端子と出力端子は共通となっており、実際の回路では送信側（駆動用パルスが入力されてくる方）と受信側（受信信号を出力として取り出す方）を分離するためのダイオードなどが挿入されますが、この図では省略しています。

振動子には、印加された電圧の大きさによって機械的変位を発生したり、逆に機械的な力によって電圧を発生したりする圧電セラミックなどの圧電素子を使用しています。

送信時には、振動子に交流パルス電圧を印加して発生した振動を共振子で共振させて超音波を発生、送信します。受信時には、逆に外部からの超音波によって共振子で振動が励起され、それが振動子で電気信号に変換されて出力されます。

センシングに使用する超音波の周波数は、共振子の共振周波数によって決まります。本ガイドで使用する超音波センサー-日本セラミック製C4016A1の共振周波数は40 kHzです。

図2.3に超音波センサーC4016A1の外形写真を示します。



図 2.3 超音波センサー (トランスデューサー)  
(日本セラミック製 C4016A1)

図2.4は、C4016A1の動作波形です。Arduinoから出力された駆動用パルス波形と超音波センサーC4016A1の入出力端子の波形を観測したものです。送受信一体型のため、C4016A1の入出力端子では送信された超音波信号とその残響を受信しています。

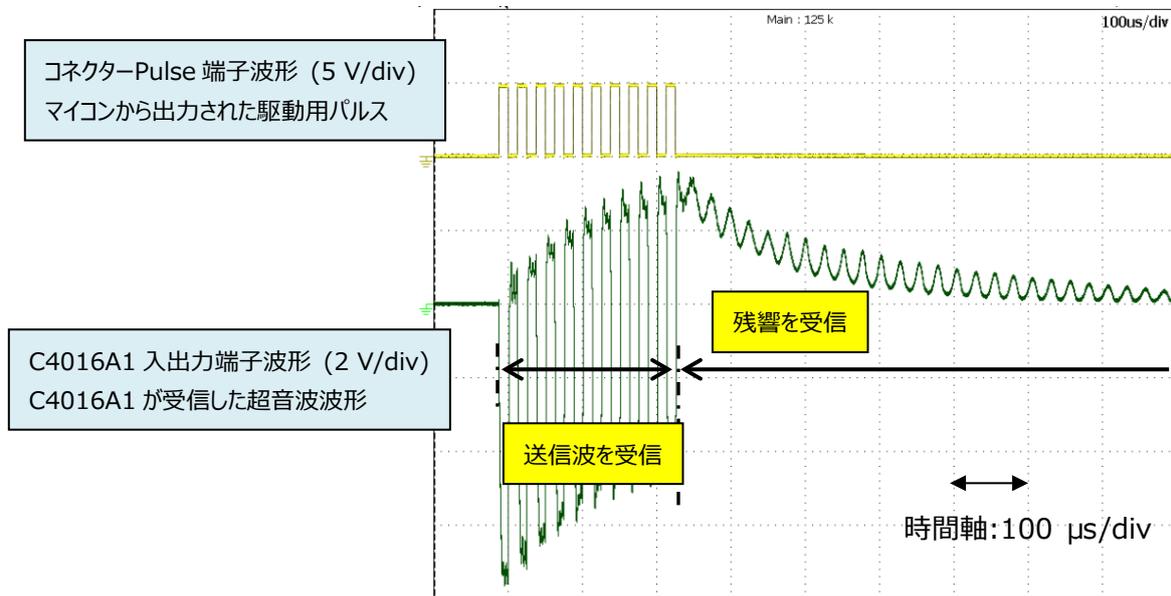


図 2.4 超音波センサーの送信動作

この例では駆動パルスが入力された後、すぐに安定動作を開始していますが、上述したように超音波センサーは共振することにより動作しますので、超音波を送信するには40 kHzパルスを複数波印加する必要がある場合もあります。パルスの印加波数は実機で確認して決定してください。

超音波を用いた距離センサーでは、センサーから送信された超音波が対象物まで行って反射して戻ってくるまでの時間（伝搬時間）を測定し、下式により距離を算出します。

$$D = \frac{v \times t}{2} \quad \dots (2.1)$$

D: 距離 (m) , v: 音速 (m/s) , t: 伝搬時間 (s)

超音波の速度（音速）は温度によって変化しますが、気温15℃で約340 m/sです。伝搬時間は、超音波が測定対象物との間を往復する時間なので、2で割っています。

なお、送受信一体型の超音波センサーは、送信側と受信側が同一の筐体に収められているため、上図2.4にもあるとおり、送信終了後も筐体内での送信波の残響を受信してしまいます。このため検知できる距離に下限があり、本ガイドで使用したものは約40 cmが最短検知距離となります。これ以下の距離を測定したい場合は送信と受信が別になっているものをご使用ください。

本ガイドでは、マイコンにPC上で超音波距離センサー全体の動作制御や測定結果の表示が行えるArduino（アルドゥイーノ）を使用しています。ソフトウェアを準備いただければほかのお好きなマイコンを使用することもできますが、十分動作確認してください。

## 2.3. 超音波距離センサー回路の仕様

表2.1に本超音波距離センサー回路の仕様を示します。

表 2.1 超音波距離センサー回路の仕様

項目	仕様
I/F	Arduino 接続
制御方式	Arduino および Shield 接続 PC からの制御
電源電圧	Arduino および Shield 基板供給 5 V
測定距離	40 cm～6 m
搭載超音波センサー	日本セラミック製 C4016A1、送受信一体型
測定超音波周波数	40 kHz
搭載オペアンプ	東芝デバイス&ストレージ製 TC75S67TU

### 2.4. 超音波距離センサーの回路設計

図 2.5 に超音波距離センサーの全体写真を、図 2.6 に全体回路図をそれぞれ示します。

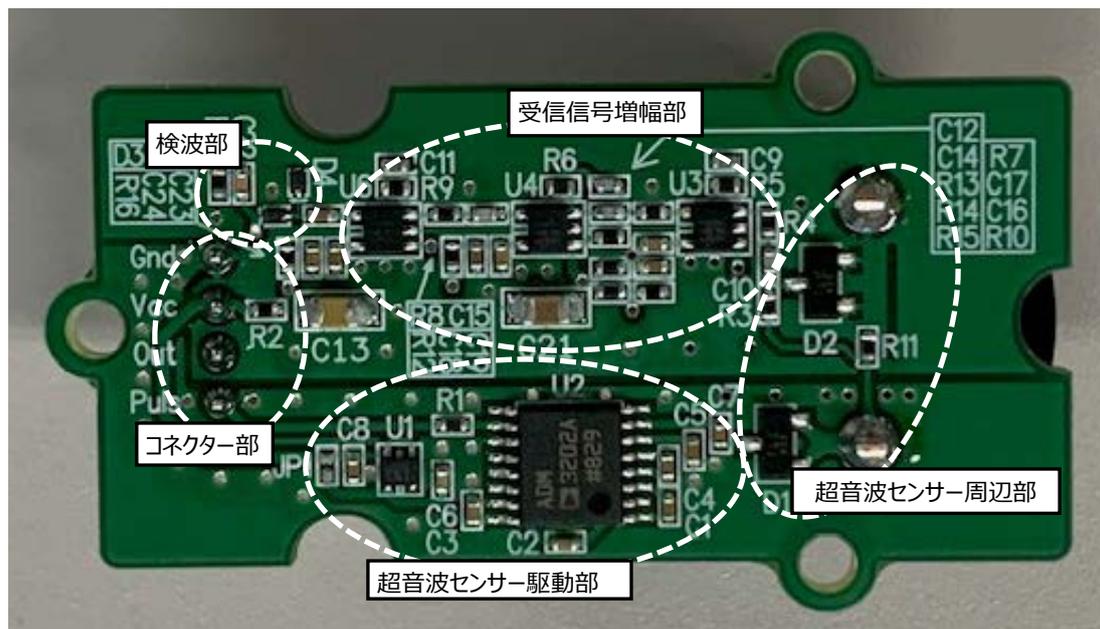


図 2.5 超音波距離センサー全体写真

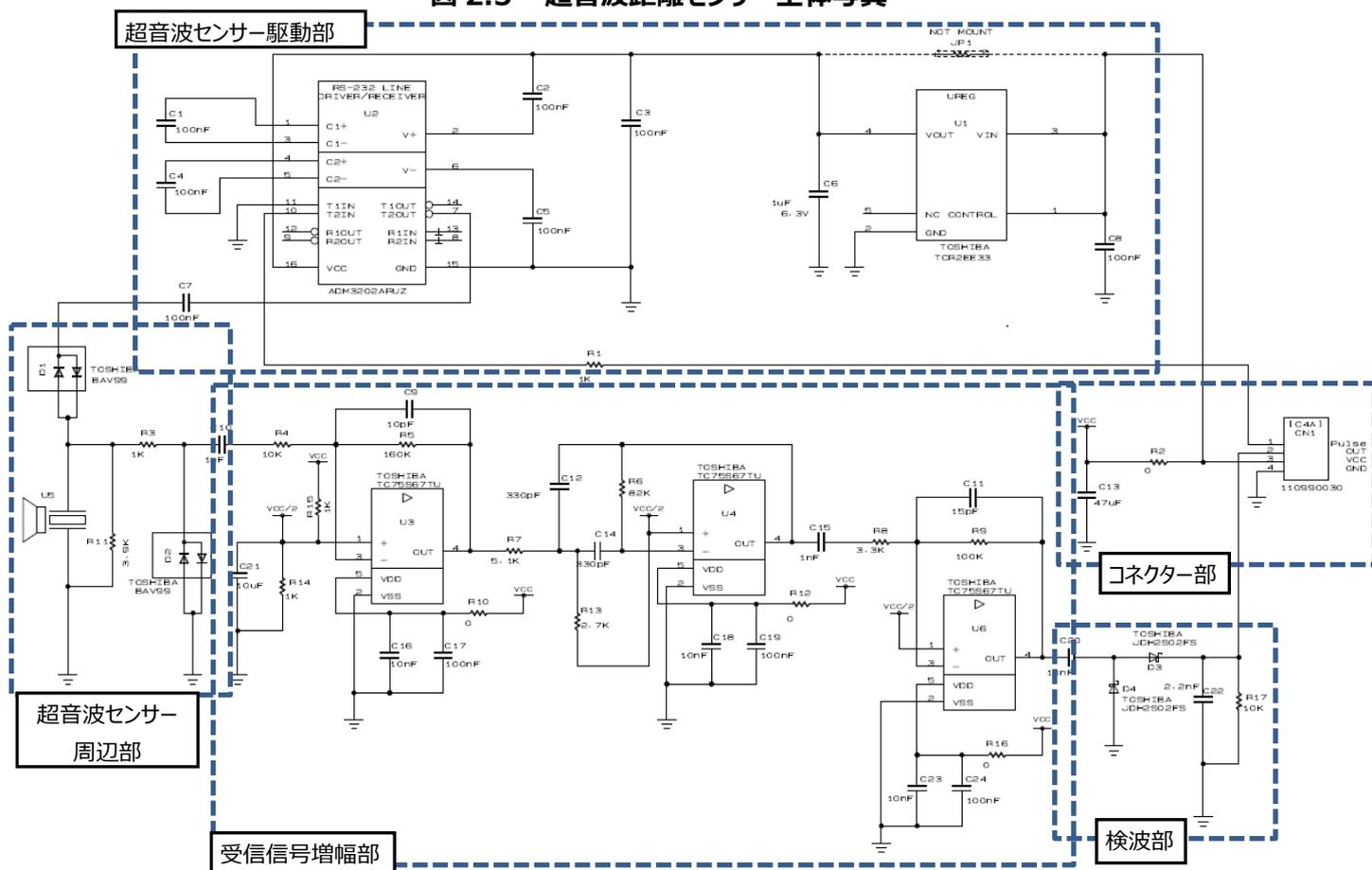


図 2.6 超音波距離センサー全体回路

本センサーは全体が 1 枚の基板上に構成されています。点線で囲った部分ごとに回路動作、設定について説明します。

図 2.7 にコネクタ部を示します。コネクタには Arduino Shield 基板インターフェース (I/F) が接続されます。

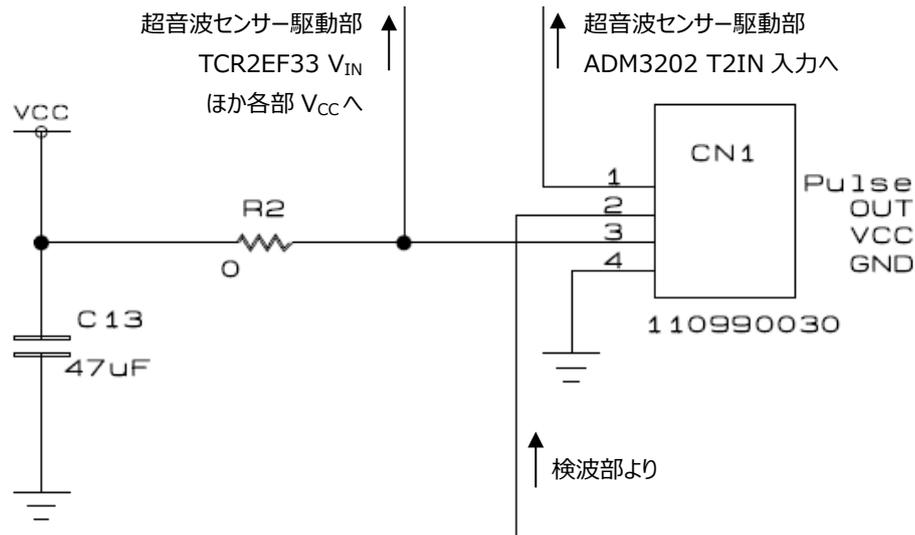


図 2.7 コネクタ部

Pulse 端子には超音波距離センサーを共振させるための 40 kHz のバーストパルス電圧が、VCC 端子には 5 V の直流電圧が、それぞれ Arduino から供給されます。C13 はバイパスコンデンサーで、電源に重畳するノイズ・リップル成分を除去する役割があります。本ガイドの基板例では、電源の低周波ノイズが気になる場合に C13 とローパスフィルター (LPF) を構成するための抵抗を挿入できるよう、ジャンパー R2 を配置しています。

一方、OUT 端子からは、超音波センサーで受信した信号が増幅されて Arduino に出力されます。

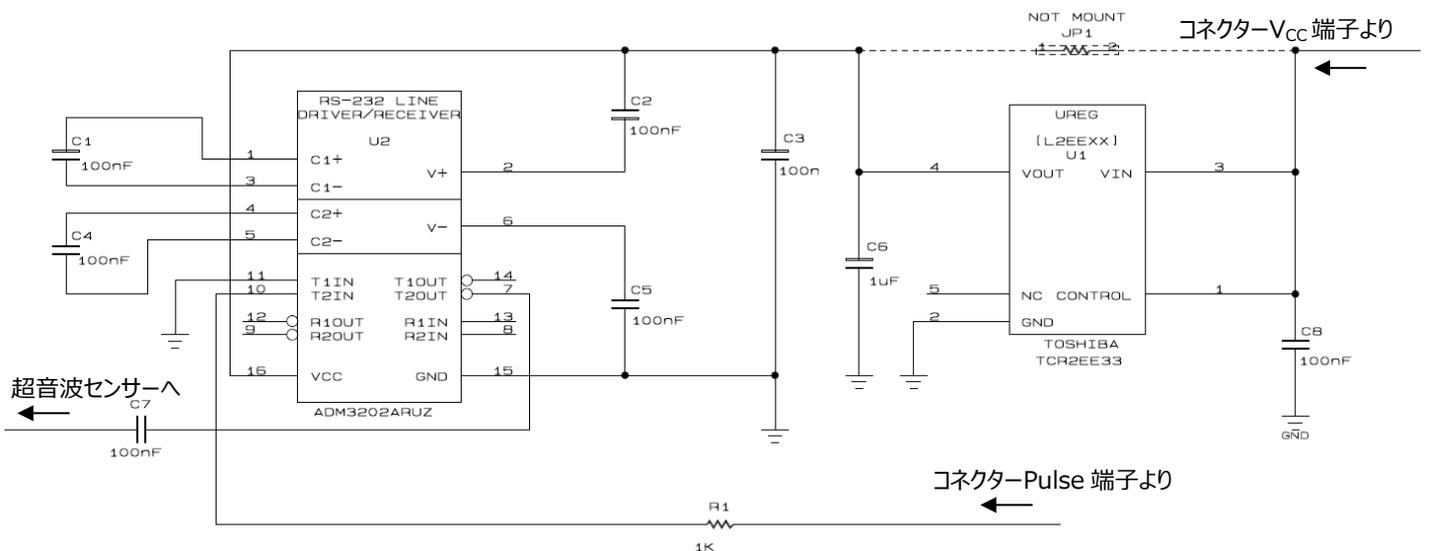


図 2.8 超音波センサー駆動部

図 2.8 は EIA-232 用インターフェイス IC に ANALOG DEVICES 社製 ADM3202 を用いた駆動回路です。

Arduino から供給される共振用パルスは電源 - GND 間で振幅するパルス信号ですが、超音波センサー C4016A1 で共振を起こすためには GND を中心に±で振幅させる必要があります。信号変換のため ADM3202 を使用しています。この IC はチャージポンプ型昇圧およびインバーター回路を内蔵しており、±電圧で振幅する 12 V<sub>p-p</sub> の交流パルス電圧を出力することができます。チャージポンプ回路の電流、電圧変動が V<sub>CC</sub> ラインを通して他の回路に影響することを防止するため、ADM3202 の電源には当社製 LDO レギュレーター TCR2EE33 から 3.3 V を供給しています。

図 2.9 に超音波センサー周辺回路を示します。

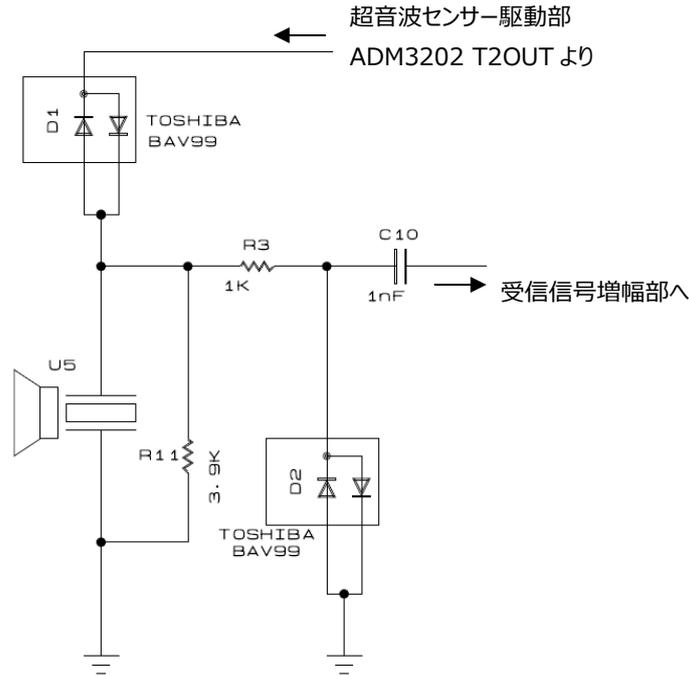


図 2.9 超音波センサー周辺部

D1、D2 は当社製スイッチングダイオード BAV99 です。ここで使用した超音波センサー C4016A1 は送受信一体型のため、超音波受信時にセンサー駆動部を分離する必要があります。D1 はその役割を担っています。D2 は逆に超音波送信時に受信信号増幅部側に回り込む信号の振幅をダイオードの順方向電圧 (約 0.6 V) 以下に制限しています。

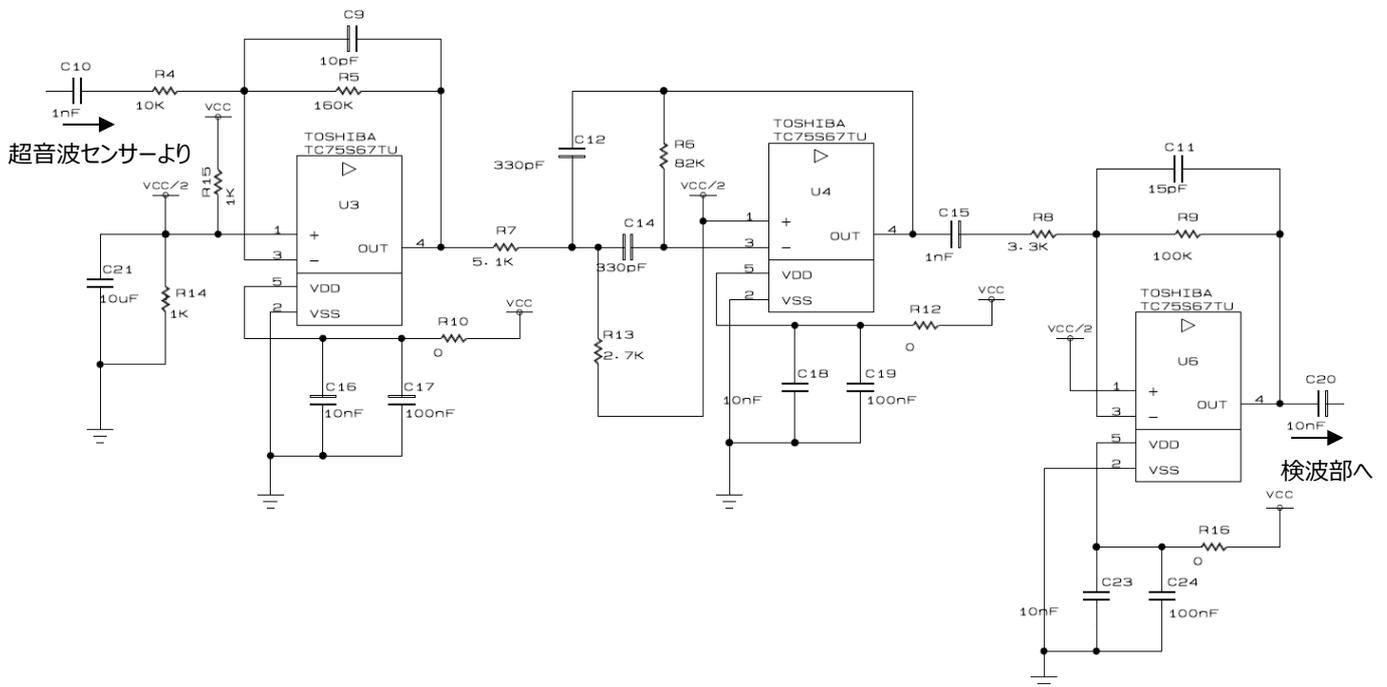


図 2.10 受信信号増幅部

図 2.10 は超音波センサーで受信した信号の増幅部です。

最大計測距離 (6 m) での反射信号のレベルから、この部分では 70 dB 程度の増幅を行う必要があります。また、40 kHz での TC75S67TU のオープンループゲインが約 40 dB であることから、余裕を見て各段のゲインは 30 dB 以下とするこ

とにして TC75S67TU を 3 個使用した三段構成としました。それぞれのオペアンプ U3・U4・U6 は、いずれも R14 と R15 で電源電圧を分圧した  $V_{CC}/2$  の電圧（中点電圧）に直流バイアスされており、信号は  $V_{CC}/2$  中心に振幅します。

各段の入力は高インピーダンスである必要がなく、中点バイアス電圧の供給がシンプルに構成できて部品点数を少なくできることから、いずれも反転増幅器としています。

また、各段のオペアンプは不要な周波数領域の信号を除去するフィルタも構成しています。

1 段目のオペアンプ U3 は、R5 と C9 で 1 次 LPF を構成して不要な高周波成分を除去します。また、帰還抵抗を大きくし過ぎると熱雑音の影響が大きくなるので、帰還抵抗 R5 は 160 k $\Omega$ として、ここでのゲインは 24.1 dB としました。

カットオフ周波数  $f_{c1}$  とゲイン  $G_{v1}$  の計算式と設定値は以下のとおりです。

$$f_{c1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R5 \times C9} = \frac{1}{2 \times \pi \times 160 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-12}} \cong 99.5 \text{ kHz} \quad \dots (2.2)$$

$$R5: 160 \text{ k}\Omega, C9: 10 \text{ pF}$$

$$G_{v1} = -\frac{R5}{R4} = -\frac{160 \times 10^3}{10 \times 10^3} = -16 \text{ 倍} \quad (24 \text{ dB}) \quad \dots (2.3)$$

$$R4: 10 \text{ k}\Omega, R5: 160 \text{ k}\Omega$$

2 段目のオペアンプ U4 は 40 kHz の 2 次多重帰還型バンドパスフィルタ（BPF）を構成しており、受信信号以外の不要な成分を除去しています。この BPF の選択度は 3.4 としており、ピーキングがあるためその分を考慮して BPF の中心周波数におけるゲインは 18 dB に抑えています。

BPF の中心周波数  $f_0$  と、 $f_0$  におけるゲイン  $G_{v2}$ 、選択度  $Q$  の計算式と設定値を以下に示します。

$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{R7 + R13}{C12 \times C14 \times R7 \times R13 \times R6}}$$

$$= \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{5.1 \times 10^3 + 2.7 \times 10^3}{330 \times 10^{-12} \times 330 \times 10^{-12} \times 5.1 \times 10^3 \times 2.7 \times 10^3 \times 82 \times 10^3}} \cong 40.1 \text{ kHz} \quad \dots (2.4)$$

$$R7: 5.1 \text{ k}\Omega, R13: 2.7 \text{ k}\Omega, R6: 82 \text{ k}\Omega, C12: 330 \text{ pF}, C14: 330 \text{ pF}$$

$$G_{v2} = -\frac{C14 \times R6}{(C12 + C14) \times R7} = -\frac{330 \times 10^{-12} \times 82 \times 10^3}{(330 \times 10^{-12} + 330 \times 10^{-12}) \times 5.1 \times 10^3} \cong -8 \text{ 倍} \quad (18 \text{ dB}) \quad \dots (2.5)$$

$$R6: 82 \text{ k}\Omega, R7: 5.1 \text{ k}\Omega, C12: 330 \text{ pF}, C14: 330 \text{ pF}$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{R6 \times \left( \frac{1}{R7} + \frac{1}{R13} \right)} = \frac{1}{2} \times \sqrt{82 \times 10^3 \times \left( \frac{1}{5.1 \times 10^3} + \frac{1}{2.7 \times 10^3} \right)} \cong 3.4 \quad \dots (2.6)$$

$$R6: 82 \text{ k}\Omega, R7: 5.1 \text{ k}\Omega, R13: 2.7 \text{ k}\Omega$$

3 段目のオペアンプ U6 でも C11 と R9 で LPF を構成しています。ゲインは R8 と R9 で決めています。3 段全体でのゲインに対する不足分をここで補うため、この段でのゲインは 30 dB としました。

カットオフ周波数  $f_{c3}$  と増幅率  $G_{v3}$  の計算式と設定値は以下のとおりです。

$$f_{c3} = \frac{1}{2 \times \pi \times R9 \times C11} = \frac{1}{2 \times \pi \times 100 \times 10^3 \times 15 \times 10^{-12}} \cong 106.2 \text{ kHz} \quad \dots (2.7)$$

R9: 100 k $\Omega$ , C11: 15 pF

$$G_{v3} = -\frac{R9}{R8} = -\frac{100 \times 10^3}{3.3 \times 10^3} \cong -30 \text{ 倍} \quad (30 \text{ dB}) \quad \dots (2.8)$$

R8: 3.3 k $\Omega$ , R9: 100 k $\Omega$ ,

3 段全体のゲインは 16 倍 x 8 倍 x 30 倍 = 3840 倍 (約 72 dB) となります。

なお、各オペアンプの電源バイパスコンデンサーには 100 nF と 10 nF の 2 種類のコンデンサーを並列接続しています。これは、小さい 10 nF のコンデンサーで 1 MHz 以上の高い周波数領域の、大きい 100 nF のコンデンサーでそれ以下の低い周波数の、それぞれインピーダンスを下げて広い周波数範囲の電源ノイズを効果的に除去するためです。

増幅された受信信号は、図 2.11 に示す倍電圧検波回路で包絡線検波され、Arduino に出力されます。

検波回路はショットキーバリアダイオード D3、D4 と C22、R17 で構成されており、ダイオードには当社製 JDH2S02FS を使用しています。

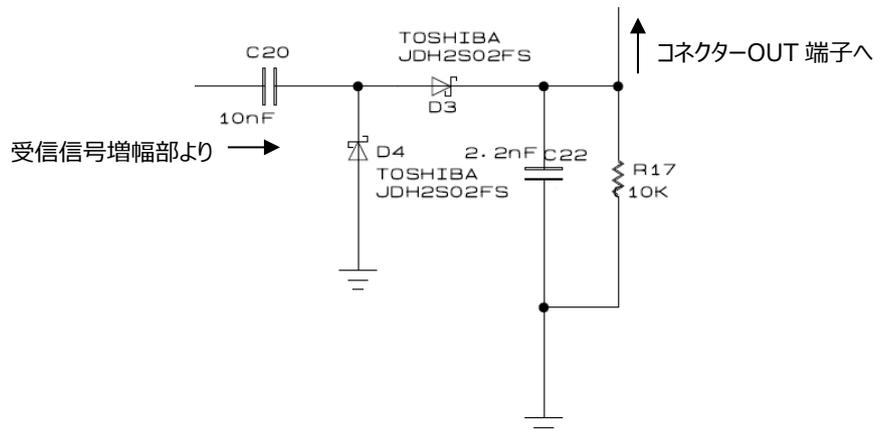


図 2.11 検波部

### 3. 基板設計

#### 3.1. 基板パターン例

本基板は表裏の両面 2 層基板を用いています。図 3.1 に表面（部品実装面）、図 3.2 に裏面の基板パターンを示します。

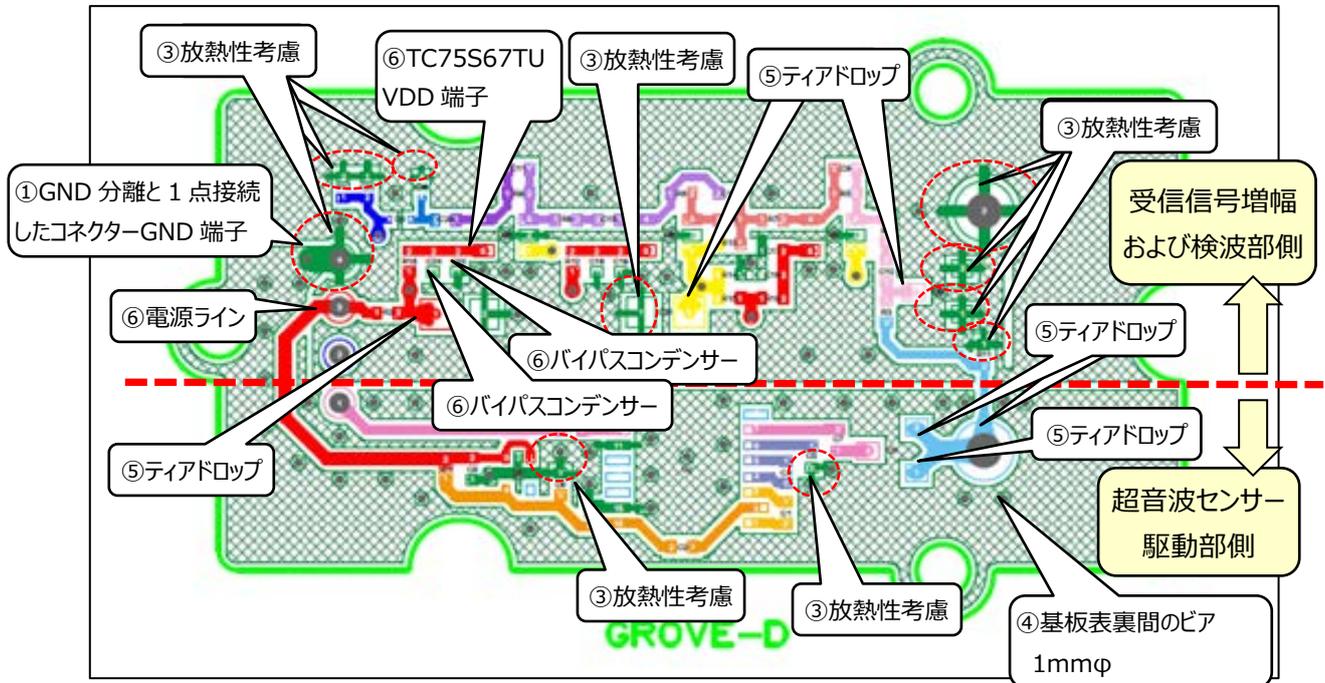


図 3.1 基板表面パターン

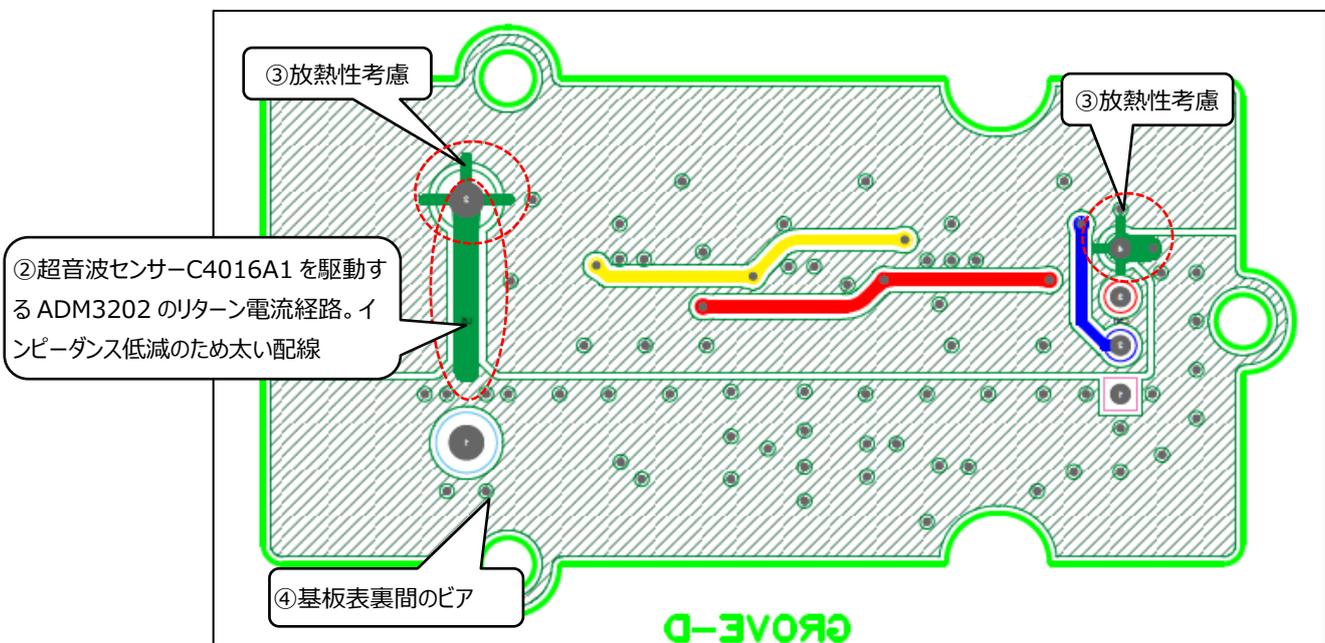


図 3.2 基板裏面パターン

### 3.2. 基板設計上の注意点

#### ① 各部 GND の分離と 1 点接続 (図 3.1 参照)

超音波センサー駆動部側と受信信号増幅および検波部側の GND は、分離して 1 点接続としてください。図 3.1 のパターン例ではそれぞれベタ GND として分離し、コネクタ 4 番端子の GND 端子のみの 1 点接続としています。これは、超音波センサー駆動部にある ADM3202 のチャージポンプ動作による電圧、電流変動が、微小な信号を増幅する受信信号増幅回路へ回り込むのを防ぐためです。

#### ② リターン電流 (図 3.2 参照)

超音波送信時に、超音波センサー C4016A1 から ADM3202 に戻る電流 (リターン電流) は低いインピーダンスの経路で駆動部側に直接戻し、受信信号増幅部の GND に流れないようにしてください。ADM3202 は昇圧された大振幅信号を出力しており、リターン電流にはそれによる電圧、電流変動成分が含まれますので、それが受信信号増幅部の GND に流れるとノイズなどの悪影響があることがあります。

本ガイドのパターン例では、幅を太くして配線インピーダンスを下げて超音波センサーの GND 端子から超音波センサー駆動部側へ直接戻しています。

電流は必ず閉ループを流れますので、駆動用 IC→超音波センサー→超音波センサー GND→駆動用 IC と電流が戻る経路を設けて、そこにリターン電流を流すようにして他の部分への影響が最小限になるようにしてください。

#### ③ サーマル処理

パターン例で“放熱性考慮”と記載した箇所は、はんだ付けの際に広いベタ GND に熱が逃げないように各パッドから GND への配線はベタパターンとせず、十字、あるいは T 字などで引いています。これは、熱が逃げてはんだ付け時間が長くなることにより、部品が過熱して劣化することや破損に至ることを防ぐためです。通常、十字・T 字のレイアウト部分は、はんだ付け後にははんだに埋もれて目視できなくなります。

#### ④ インピーダンス低減

2 層基板の場合は、表面と裏面のインピーダンスを下げるため、基板の表と裏の間にはできるだけ多くのビアを設けてください。これにより GND 全体のインピーダンスを下げて、基準となるベタ GND を強化して領域内に電位差が生じるのを防ぎ、かつ、ノイズが広がることを防ぎます。

#### ⑤ ランドのティアドロップ形状 (図 3.1 参照)

パターン例では、ランドやパッドと配線の接続部分の配線パターンを広げて、ティアドロップ (tear drop) 形状としています。これには、パッド部分での電流の特異点の発生を防ぐ、パッドと配線の接続強度を上げるといった目的があります。

#### ⑥ バイパスコンデンサの位置 (図 3.1 参照)

電源電圧ラインに重畳しているノイズの除去のため、オペアンプのバイパスコンデンサ 2 個 (100 nF 及び 10 nF) は該当デバイスの電源電圧端子のできるだけ近くで、かつ電源ライン側に接続してください。

なお、コンデンサは ESR ができるだけ小さいものを選択してください。ESR=1 Ω 以下のものを推奨します。

#### ⑦ ガードリング

本ガイドのパターン例には入れておりませんが、オペアンプの入力へのノイズの飛び込みが気になる場合は、微小信号を扱う領域の周囲にガードリングを設けることを推奨します。ガードリングにより、線間容量や浮遊容量によって他の配線から入力端子に雑音などが入ることや、電位が発生してリーク電流が流れ込むことを防ぐことができます。

なお、ガードリングに関しては、ループアンテナとなってノイズが飛び込むことを防ぐため、途中で切れ目を入れる場合もありますが、切れ目の有無は実際の基板での実験などで判断してください。切れ目を入れない場合は、囲む面積をできるだけ小さくしてループを通過する磁束を減らすようにしてください。

### 4. 製品概要

#### 4.1. TC75S67TU 製品概要

- 低入力換算雑音電圧:  
 $V_{NI}=16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (typ.) @ $f=10 \text{ Hz}$ ,  $R_S=100 \ \Omega$ ,  $R_f=10 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{DD}=2.5 \text{ V}$ ,  $V_{SS}=\text{GND}$ ,  $G_V=40 \text{ dB}$   
 $V_{NI}=6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (typ.) @ $f=1 \text{ kHz}$ ,  $R_S=100 \ \Omega$ ,  $R_f=10 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{DD}=2.5 \text{ V}$ ,  $V_{SS}=\text{GND}$ ,  $G_V=40 \text{ dB}$
- 低入力バイアス電流 :  $I_I=1 \text{ pA}$  (typ.)
- 低電源電流: $I_{DD}=430 \ \mu\text{A}$  (typ.) @ $V_{DD}=2.5 \text{ V}$ ,  $V_{SS}=\text{GND}$
- 低電源電圧駆動: $V_{DD}$ ,  $V_{SS}=2.2 \sim 5.5 \text{ V}$

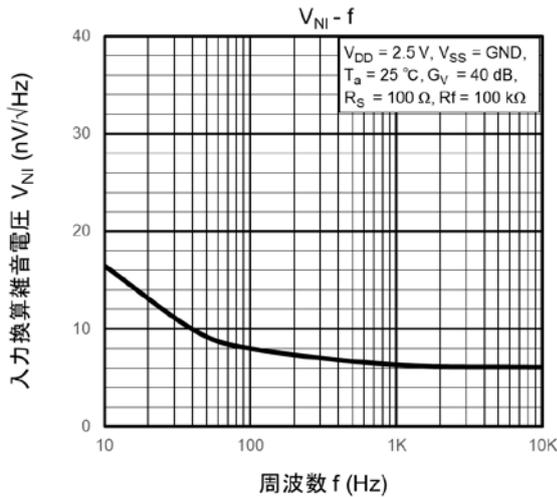


図 4.1 入力換算雑音電圧特性

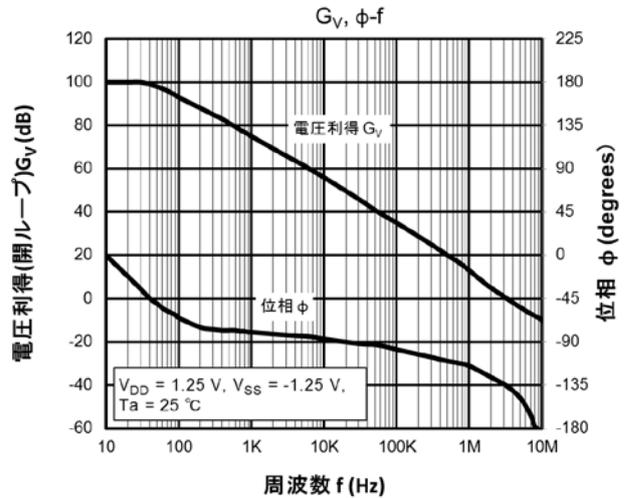


図 4.2 位相余裕 vs ゲイン特性

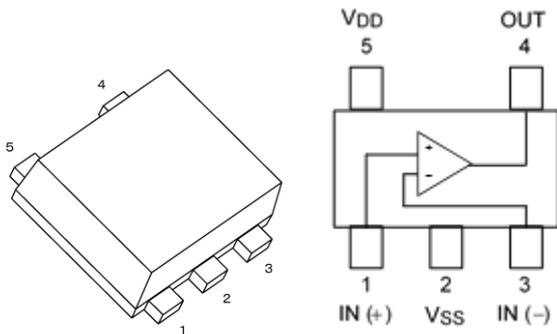


図 4.3 外観と端子配置

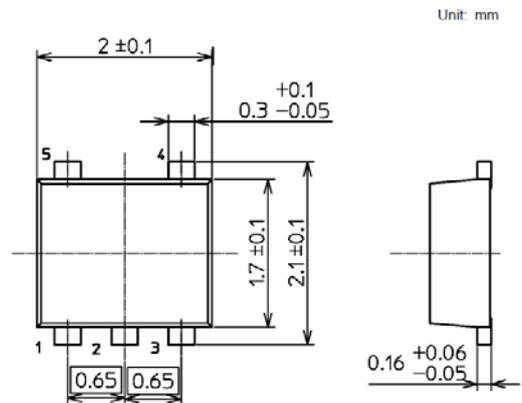


図 4.4 外形寸法

各特性詳細につきましては、データシートをご参照ください

TC75S67TU のデータシートダウンロードはこちらから →

[Click Here](#)

## 4.2. 端子説明

表 4.1 TC75S67TU の端子説明

ピン番号	ピン名称	機能
1	IN (+)	非反転入力端子
2	V <sub>SS</sub>	負電源端子 単電源で使用する場合は GND に接続してください
3	IN (-)	反転入力端子
4	OUT	出力端子
5	V <sub>DD</sub>	正電源端子 単電源で使用する場合の最大定格は 6 V です。安定動作のためバイパスコンデンサーとして 0.1 $\mu$ F、および 0.01 $\mu$ F 以上 (ESR=1 $\Omega$ 以下) のコンデンサーの使用を推奨します。

## ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

### 第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

### 第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

### 第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

### 第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。