

低ノイズオペアンプ[®] TC75S67TU 焦電型赤外線人感センサー向け応用回路

デザインガイド

RD160-DGUIDE-01

概要

本デザインガイドでは、TC75S67TUを使った焦電型赤外線人感センサーの設計について説明します。

人感センサーは、防犯灯やトイレ、玄関などの照明、自動水栓などで広く使用されています。人間の所在を検知するために赤外線や超音波、可視光などが用いられますが、ここでは焦電素子を用いて赤外線を検知するタイプの人感センサーを使った低ノイズオペアンプTC75S67TUの応用例を解説します。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1.	はじめに.....	3
2.	回路設計.....	4
2.1.	低ノイズオペアンプ TC75S67TU について.....	4
2.2.	焦電型赤外線センサーについて.....	4
2.3.	焦電型赤外線人感センサーの仕様.....	6
2.4.	焦電型赤外線人感センサーの回路設計.....	6
3.	基板設計.....	10
3.1.	基板パターン例.....	10
3.2.	基板設計上の注意点.....	11
4.	製品概要.....	12
4.1.	TC75S67TU 製品概要.....	12
4.2.	端子説明.....	13

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。このため、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/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ($f=1 \text{ kHz}$ 、 $G_V=40 \text{ dB}$ 、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。

本デザインガイドでは、TC75S67TUを使った焦電型赤外線人感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焦電型赤外線人感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 と当社従来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。

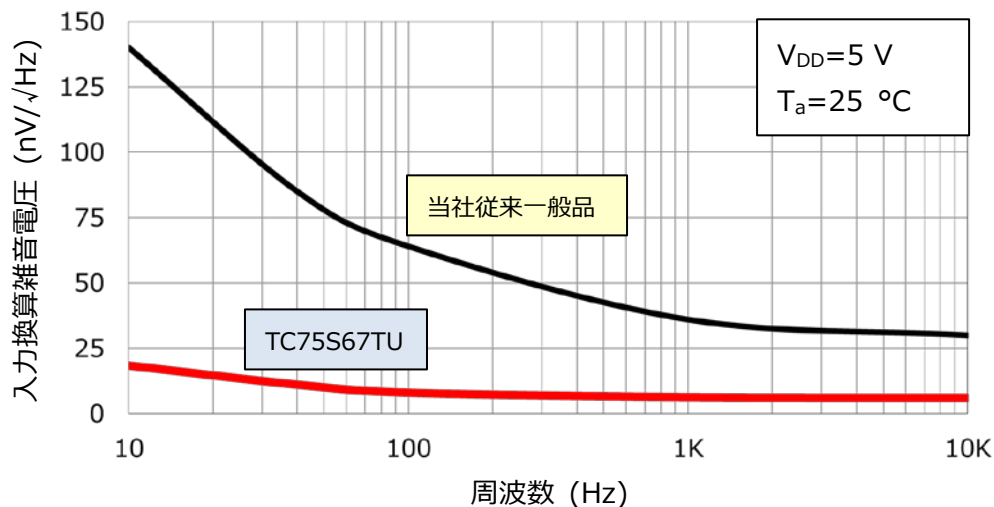


図 2.1 TC75S67TU 入力換算雑音電圧-周波数特性

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 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. 焦電型赤外線センサーについて

赤外線センサーは光起電力など光エネルギーによる電気現象を利用したもの（量子型）と、赤外線による温度上昇を利用したもの（熱型）に分けられますが、本ガイドの応用回路では後者に属する焦電素子を使用しました。焦電素子は、温度変化によって誘電体表面に電荷が励起される現象（焦電効果）を利用して赤外線を検知する素子で、応答時間は長いものの安価であるという特長があります。

図2.2に示す焦電素子構造の略図で動作を説明します。

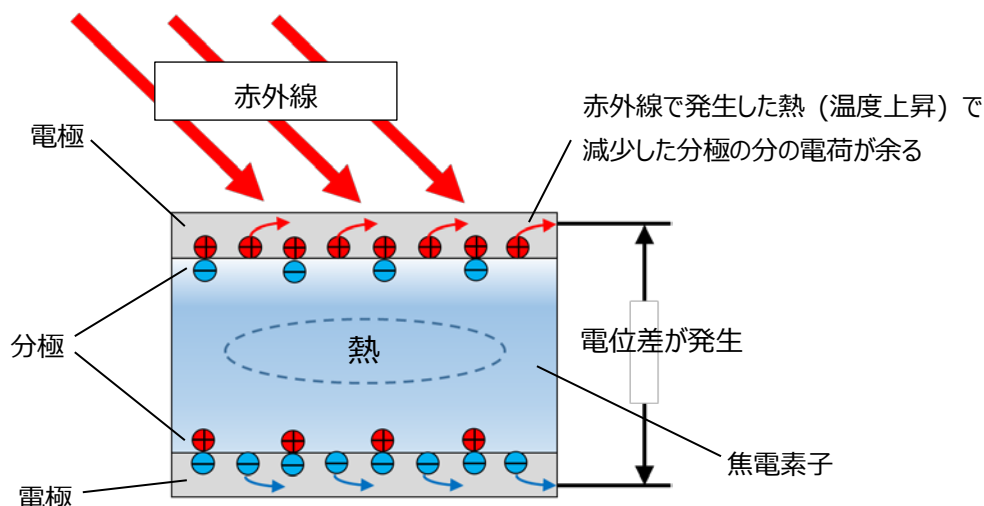


図 2.2 焦電素子構造図

焦電効果を示す物質には強誘電体セラミックスなどがあります。これらの物質は平常時はプラス側とマイナス側に分極しており、普段は電極中の自由電荷と結びついて電荷を打ち消しあっています。ここに赤外線を照射されると、誘電体内部で発生した熱によって分極している電荷が減少しますが、自由電荷はこの分極の減少ほど早く反応できず、タイムラグが発生します。この期間は電極中に余分な電荷が存在することになり、電極間の電位差として観測されます。この一連の働きを焦電効果といい、焦電素子はこの電位差を測定して赤外線を検知しています。照射されている赤外線が遮断されたときにも、逆の動きが起きて電極間に逆向きの電位差が発生します。

焦電型赤外線センサーは、このようにして人間など赤外線を発する物体の存在を検知しますが、上述の通り電荷は赤外線の変動に反応して移動するため、動きがない状態では検知できません。

今回は、センサー素子として村田製作所製の焦電型赤外線センサーIRA-S410ST01にフレネルレンズ（集光レンズ）を装着して使用します。フレネルレンズは同じ村田製作所製IML-0687などがご利用いただけます。センサーとフレネルレンズの外形を図2.3、および図2.4に示します。

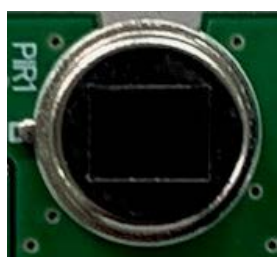


図 2.3 焦電型赤外線センサー
(村田製作所製 IRA-S410ST01)



図 2.4 フレネルレンズ
(村田製作所製 IML-0687)

本センサーでは、IRA-S410ST01の微弱な出力信号に含まれる、人間や動物などの動きを想定した0.34～23.4 Hzの低周波成分を、TC75S67TUを用いた40 dB (101倍) 非反転増幅器と26.6 dB (21.3倍) 反転増幅器によって2段増幅を行ってマイコンに出力します

本ガイドではマイコンにPC上で人感センサー全体の動作制御や測定結果の表示が行えるArduino (アルドウィーノ) 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. 焦電型赤外線人感センサーの仕様

表2.1に本焦電型赤外線人感センサーの仕様を示します。

表 2.1 焦電型赤外線人感センサー 仕様

項目	仕様
インタフェース	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
検知範囲	約 7 m
搭載焦電センサー	村田製作所製 IRA-S410ST01
フレネルレンズ	村田製作所製 IML-0687
搭載オペアンプ	東芝デバイス&ストレージ製 TC75S67TU

2.4. 焦電型赤外線人感センサーの回路設計

図 2.5 に焦電型赤外線人感センサー回路基板写真を示します。本センサーは全体が 1 枚の基板上に構成されています。点線で囲った各部ごとに電圧増幅度やフィルターなどの設定と動作について説明します。

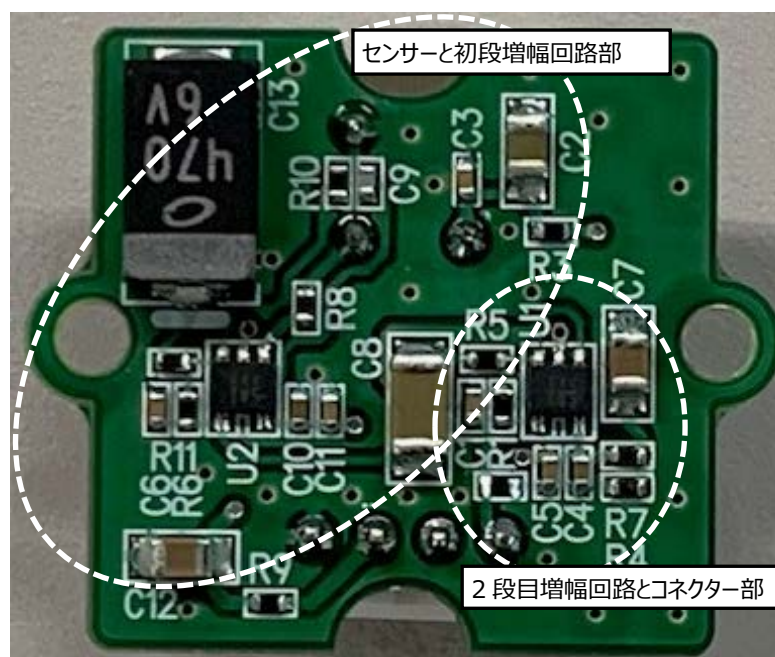


図 2.5 焦電型赤外線人感センサー基板

図 2.6 にこの基板の全体回路図を示します。

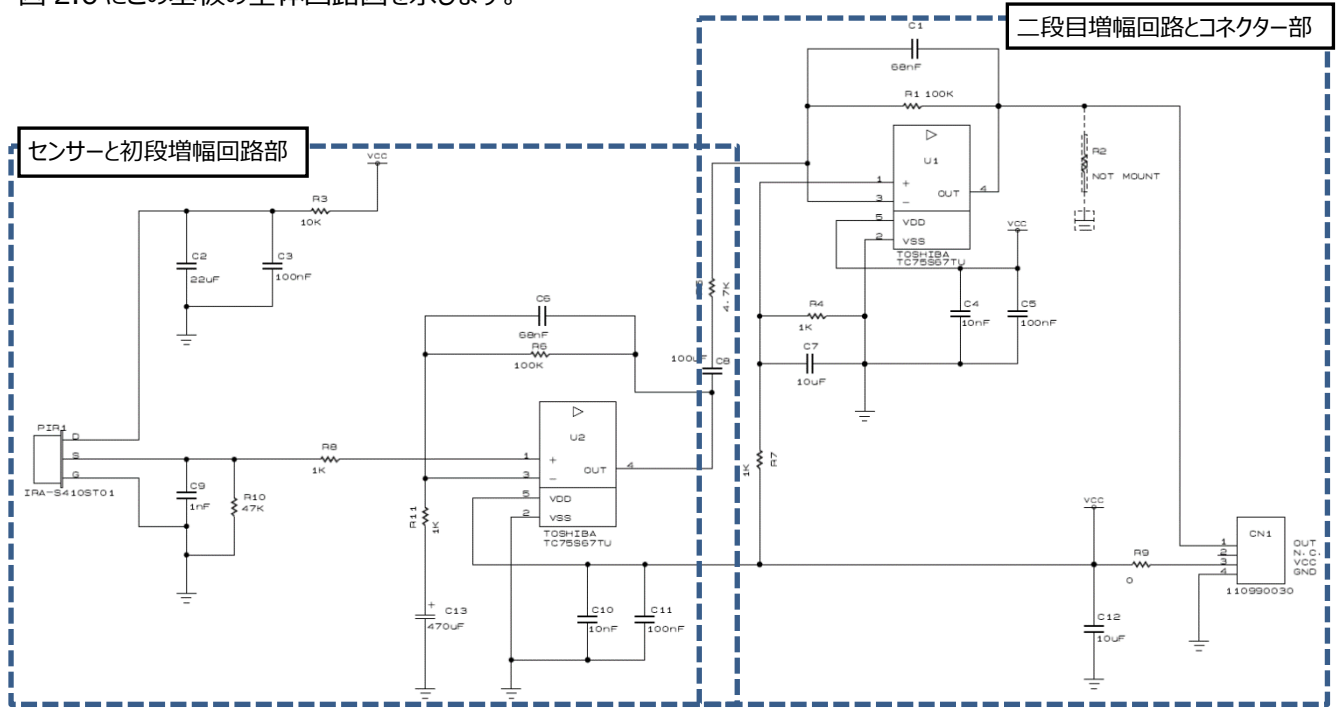


図 2.6 焦電型赤外線人感センサー回路図

この応用回路では、オペアンプを 2 個用いた二段構成としてそれぞれにフィルターを入れて不要な周波数成分の除去効果を高めています。一方、焦電センサーの出力信号レベルから、全体で 60~70 dB 程度増幅する必要がありますので、初段のゲインを 40 dB として、残りを二段目で補うという形にゲインを振り分けています。

図 2.7 に焦電型赤外線センサーと初段の増幅回路を示します。

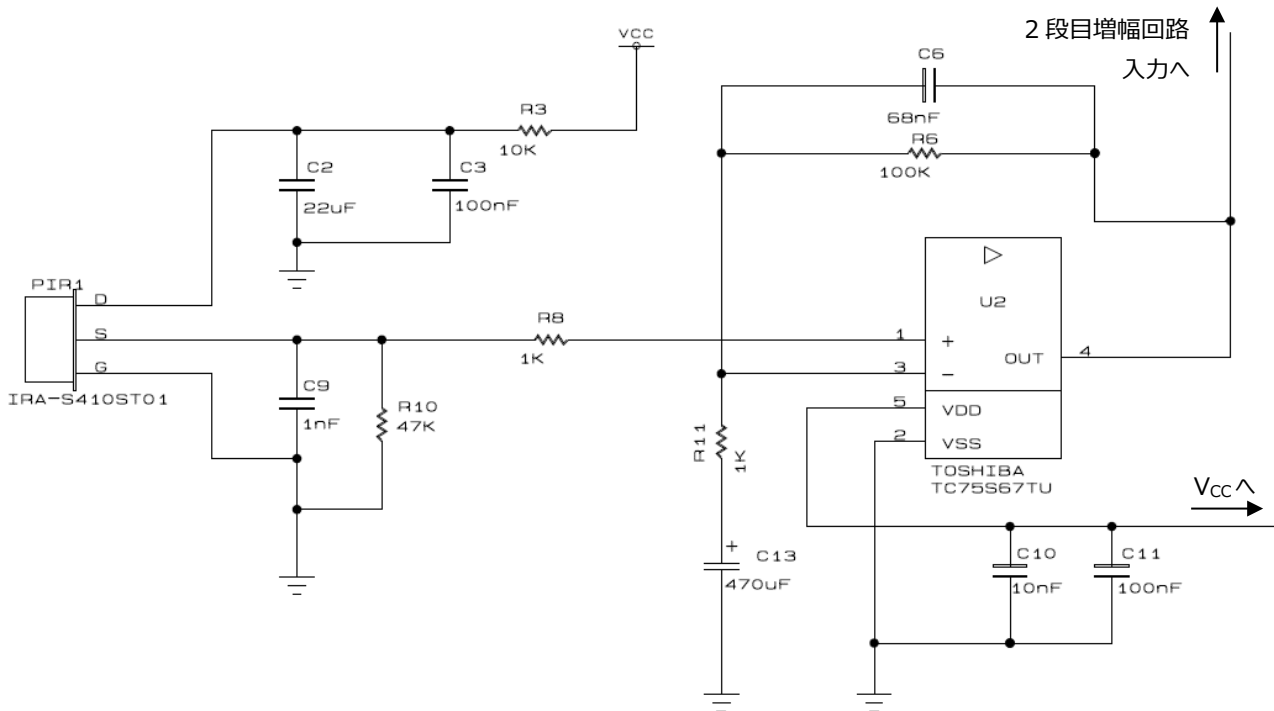


図 2.7 センサーと初段増幅回路部

センサーに接続する電源ラインには R3 を挿入して C2、C3 と合わせてローパスフィルター (LPF、カットオフ周波数 0.72 Hz) を構成し、電源に重畳するノイズの除去効果を高めています。

初段の増幅回路では、先述のとおり R6 と R11 で設定したゲイン 40 dB (101 倍) で入力信号を非反転増幅しており、オペアンプ U2 は焦電型赤外線センサー IRA-S410ST01 のソース電圧によりバイアスされています。この値については IRA-S410ST01 のデータシートなどをご参照ください。

また、帰還抵抗はフィルター回路も構成していて、C11 と C13 がハイパスフィルター (HPF) の、R6 と C6 が LPF のそれぞれ一部となっています。これらのフィルターは人感センサーとして人の動きを検知するために不要な低周波の雑音と高い周波数帯域の雑音を除去しています。

初段の HPF のカットオフ周波数 f_{CH1} 、LPF のカットオフ周波数 f_{CL1} 、ゲイン G_{V1} は以下計算式で求められます。

$$f_{CH1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R11 \times C13} = \frac{1}{2 \times \pi \times 1 \times 10^3 \times 470 \times 10^{-6}} \cong 0.34 \text{ Hz} \quad \dots (2.1)$$

R11: 1 kΩ, C13: 470 μF

$$f_{CL1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R6 \times C6} = \frac{1}{2 \times \pi \times 100 \times 10^3 \times 68 \times 10^{-9}} \cong 23.4 \text{ Hz} \quad \dots (2.2)$$

R6: 100 kΩ, C6: 68 nF

$$G_{V1} = \frac{R6 + R11}{R11} = \frac{100 \times 10^3 + 1 \times 10^3}{1 \times 10^3} = 101 \text{ 倍 (40 dB)} \quad \dots (2.3)$$

R6: 100 kΩ, R11: 1 kΩ

図 2.8 に 2 段目の増幅回路とコネクタ部の回路を示します。

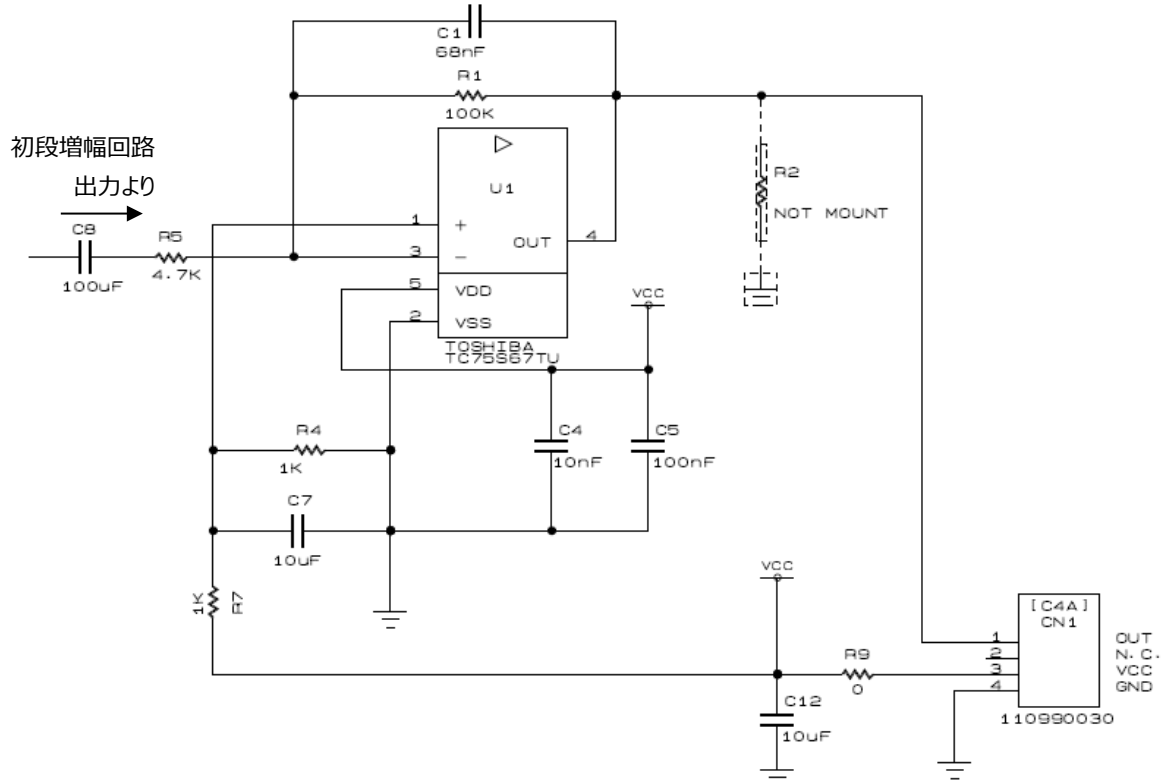


図 2.8 2 段目増幅回路とコネクタ部

2 段目の増幅回路では反転増幅を行っていて、初段の出力信号がオペアンプ U1 の反転入力端子 IN (-) に入力されます。ゲインは R5 と R1 で 21.3 倍 (26.6 dB) に設定しています。オペアンプ U1 は電源電圧 VCC を R4 と R7 で分割した $V_{CC}/2$ の電圧 (中点電圧) でバイアスされていますので、出力信号は中点電圧を中心に振幅します。C7 は、このバイアス電圧からノイズ成分を除去するバイパスコンデンサです。

2 段目も初段と同様に帰還経路でフィルターを構成しており、R5 と C8 が HPF の、R1 と C1 が LPF のそれぞれ一部になっています。HPF、LPF ともカットオフ周波数は初段と同じ値に設定して不要な成分の除去効果を高めています。C8 にはバイアス電圧が異なる初段出力と 2 段目入力のカップリング容量という意味もあります。

2 段目の HPF のカットオフ周波数 f_{CH2} 、LPF のカットオフ周波数 f_{CL2} 、ゲイン G_{V2} の計算式は以下のとおりです。

$$f_{CH2} = \frac{1}{2 \times \pi \times R5 \times C8} = \frac{1}{2 \times \pi \times 4.7 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6}} \cong 0.34 \text{ Hz} \quad \dots (2.4)$$

R5: 4.7 k Ω , C8: 100 μ F

$$f_{CL2} = \frac{1}{2 \times \pi \times R1 \times C1} = \frac{1}{2 \times \pi \times 100 \times 10^3 \times 68 \times 10^{-9}} \cong 23.4 \text{ Hz} \quad \dots (2.5)$$

R1: 100 k Ω , C1: 68 nF

$$G_{V2} = -\frac{R1}{R5} = -\frac{100 \times 10^3}{4.7 \times 10^3} \cong -21 \text{ 倍} \quad (27 \text{ dB}) \quad \dots (2.6)$$

R1: 100 k Ω , R5: 4.7 k Ω

初段と 2 段目を合わせた全体のゲイン G_{VT} は以下となります。

$$G_{VT} = G_{V1} \times G_{V2} = 101 \times 21 = 2121 \text{ 倍} \quad (67 \text{ dB}) \quad \dots (2.7)$$

なお、各オペアンプの電源バイパスコンデンサは容量の異なる 2 種類 10 nF と 100 nF を並列に接続しています。これは、10 nF のコンデンサで 1 MHz 以上程度の高い周波数領域の、100 nF のコンデンサでそれ以下の低い周波数領域の、インピーダンスをそれぞれ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。

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 におもて面（部品実装面）、図 3.2 にうら面のパターンを示します。

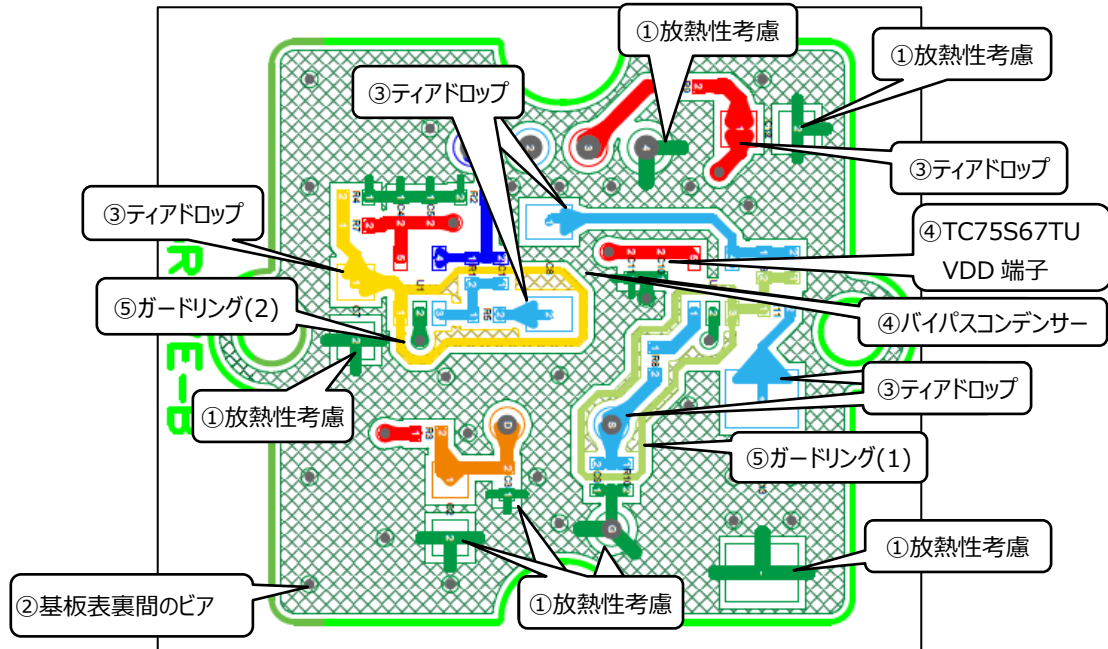


図 3.1 基板表面パターン

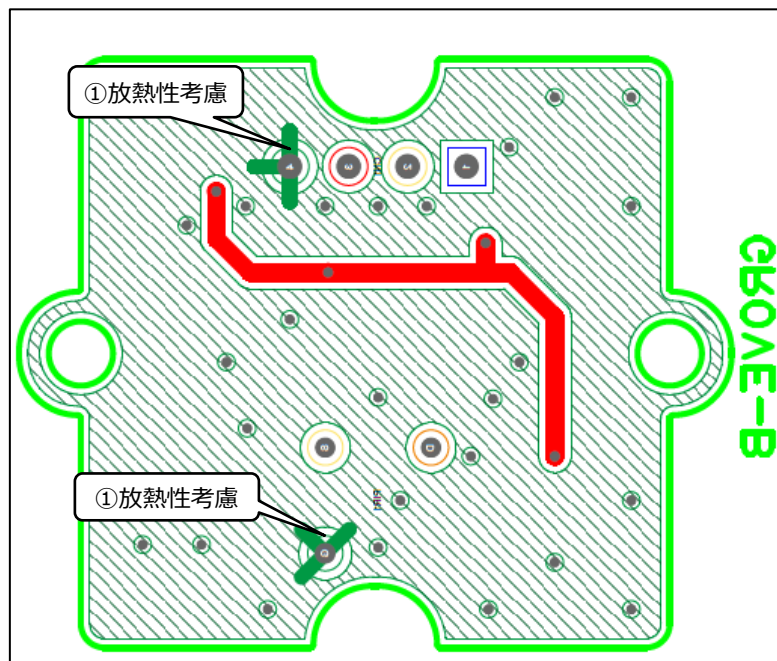


図 3.2 基板裏面パターン

3.2. 基板設計上の注意点

① サーマル処理

パターン例で“放熱性考慮”と書いた箇所は、はんだ付けの際に広いベタ GND に熱が逃げないよう、各 PAD 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、熱が逃げず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。

② 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 GND 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。

③ 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。

④ バイパスコンデンサの位置 (図 3.1 参照)

電源のノイズ除去のための CR フィルター (LPF) は、基板への電源入力近傍に配置してください。また、焦電型赤外線センサの D 端子は、電源ラインからのノイズの影響を最小限にするため、電源ラインのバイパスコンデンサ直近に配置するようにしてください。さらに、電源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、かつ電源電圧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。

⑤ ガードリング (図 3.1 参照)

オペアンプの入力部など微小信号を扱う領域の周囲には、ガードリングを設けることを推奨します。本ガイドのパターン例では、初段のオペアンプ U2 のセンサー信号の入力となる IN (+) 端子の周りを IN (-) の電位でガードリングしています。また、2 段目のオペアンプ U1 は初段の信号を受ける IN (-) 端子の周りを IN (+) 端子の電位でガードリングしています。これにより入力端子に、他配線からの線間容量や浮遊容量による雑音・外乱が飛び込んだり、電位が発生してリーク電流が流れ込んだりすることを防いでいます。

なお、ガードリングが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を使って実験などを行って判断してください。このパターン例では配線間の容量結合による飛び込みを考慮して切れ目は入れておりませんが、この場合は、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} , $V_{SS}=2.2 \sim 5.5 \text{ V}$

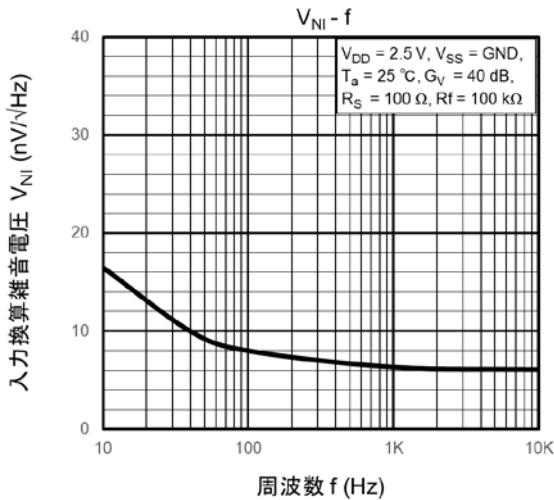


図 4.1 入力換算雑音電圧特性

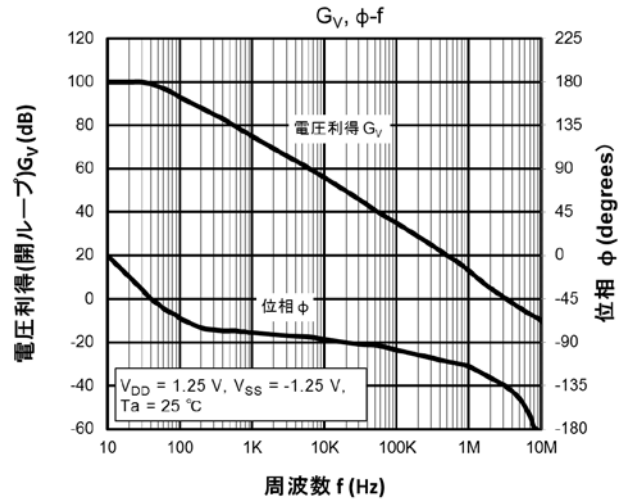


図 4.2 位相余裕 vs ゲイン特性

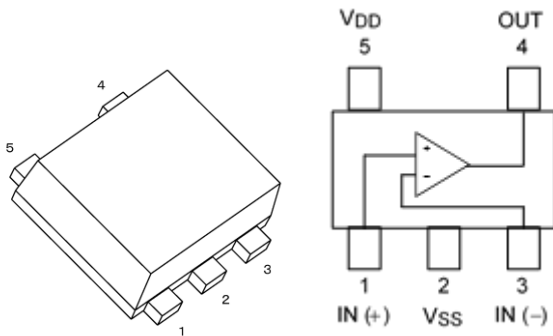


図 4.3 外観と端子配置

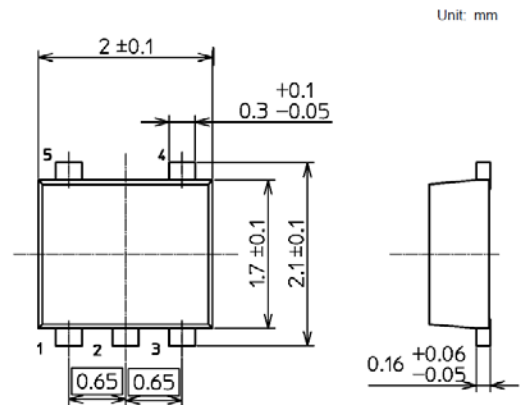


図 4.4 外形寸法

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 _{SS}	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 _{DD}	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 μ F、および 0.01 μ F 以上 (ESR=1 Ω 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。