

# 低ノイズオペアンプ TC75S67TU

## 脈拍センサー向け応用回路

# デザインガイド

## RD159-DGUIDE-01

---

### 概要

本デザインガイドでは、低ノイズオペアンプTC75S67TUを使った脈拍センサーの設計について説明します。

健康状態を知るうえで脈拍数は重要なパラメーターのひとつです。本ガイドではTC75S67TUを応用して、生体に照射された光の反射光を測定することにより血管内血流量の増減を検知するタイプの脈拍センサー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. 脈拍センサーについて.....	4
2.2. 脈拍センサー回路の仕様.....	4
2.3. 脈拍センサーの回路設計.....	5
2.3.1. センサー回路部 (フレキシブル基板).....	5
2.3.2. アンプ回路部 (リジッド基板).....	7
<b>3. 基板設計</b> .....	<b>9</b>
3.1. センサー部基板パターン例 (フレキシブル基板).....	9
3.2. アンプ部基板パターン例 (リジッド基板).....	10
3.3. 基板設計上の注意点.....	11
<b>4. 製品概要</b> .....	<b>13</b>
4.1. TC75S67TU 製品概要.....	13
4.2. 端子説明.....	14

## 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ので、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恐れがあります。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 $6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  ( $f=1 \text{ kHz}$ ,  $\text{GV}=40 \text{ dB}$ , 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を使った脈拍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参照してください。

TC75S67TUのデータシートはこちらから →

[Click Here](#)

## 2. 回路設計

本デザインガイドで述べる脈拍センサーの回路設計のポイントを記載します。

### 2.1. 脈拍センサーについて

脈拍は、心臓の拍動によって送り出される血流の増加と減少の繰り返しによって起こります。血液中の酸化ヘモグロビンには光を吸収する性質があり、生体に光を照射したとき、血流の増加と減少に伴って光の吸収量が増減し、それに伴って反射光量も変化します。この反射光量の変化を時系列でグラフ化したものを脈波といいます。本ガイドでは反射光量をフォトダイオードで検知して脈波を計測する反射型脈拍センサーの応用回路例について説明します。

本ガイドで説明する脈拍センサーは2枚の基板で構成されており、そのうちの1枚は人体へのウェアラブルな応用を考えてフレキシブル基板としています。フレキシブル基板には、LEDとフォトダイオードを1パッケージに内蔵したOSRAM社製光センサーSFH7051 (図2.1、図2.2) とTC75S67TUを搭載し、SFH7051のフォトダイオードの出力電流をTC75S67TUで電圧に変換してもう一枚の基板に出力します。もう一枚の基板は通常のリジッド基板で、フレキシブル基板の出力信号をTC75S67TUで構成した100倍 (40 dB) の非反転アンプで増幅し、マイコンに出力します。



図 2.1 光センサー (OSRAM 社製 SFH7051)

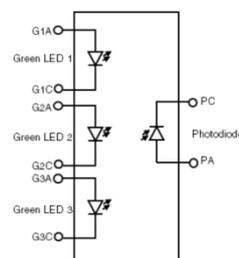


図 2.2 光センサー内部構造 (同左)

SFH7051内蔵のLEDは、波長530 nm (標準) の緑色光を発光します。緑色光は、酸化ヘモグロビンによる吸収率が高いため反射光量の増減を測定しやすいことと、晴天下での屋外や室内の蛍光灯などの環境で使用する際に周辺の外乱光の影響を受けにくいという特徴があります。また、測定に際しては血管の個人差、体調などの影響にも、注意を払う必要があります。

本ガイドでは、マイコンにPC上で脈拍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してもかまいませんが、十分動作確認してください。

### 2.2. 脈拍センサー回路の仕様

表2.1に本脈拍センサー回路の仕様を示します。

表 2.1 脈拍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
搭載光センサー	OSRAM 社製 SFH7051
発光波長	530 nm
搭載オペアンプ	東芝デバイス&ストレージ (株) 製 TC75S67TU

### 2.3. 脈拍センサーの回路設計

図 2.3 に脈拍センサーの全体図を示します。本センサーは、下図左側のセンサー回路部（フレキシブル基板）と右側のアンプ回路部（リジッド基板）から構成されています。それぞれの基板の各部分ごとに回路動作、設定について説明します。

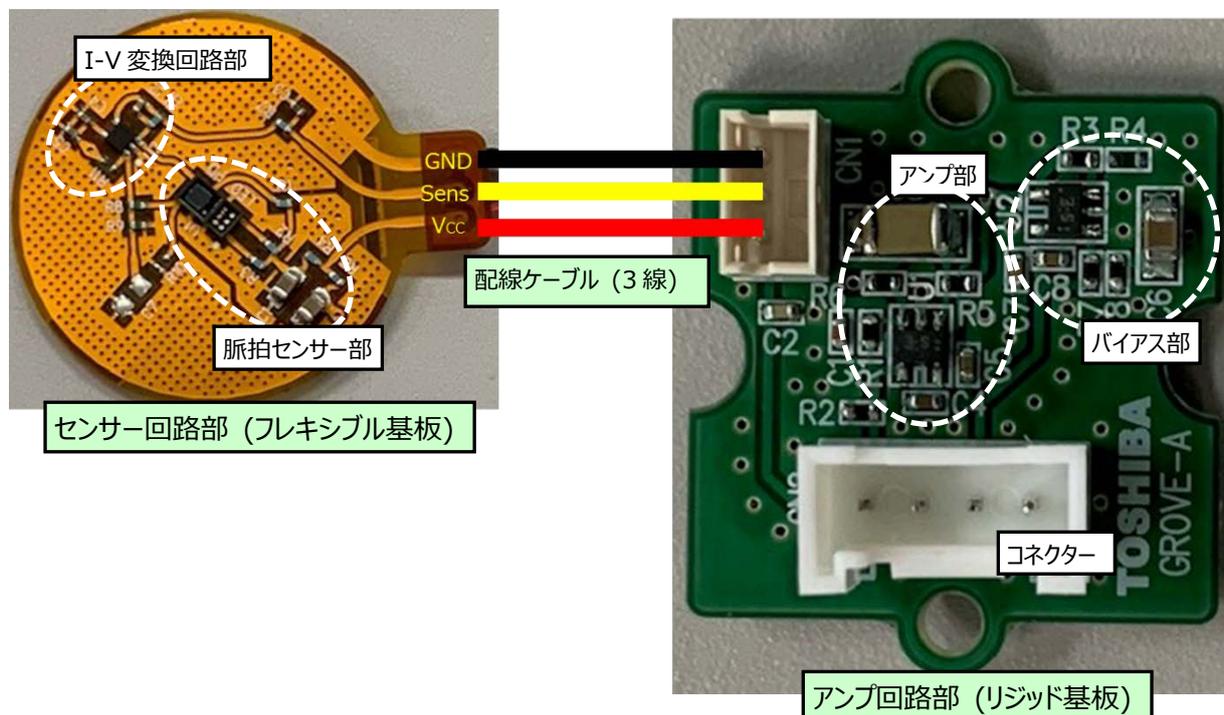


図 2.3 脈拍センサー全体

#### 2.3.1. センサー回路部（フレキシブル基板）

脈拍センサー部の回路を図 2.4 に示します。

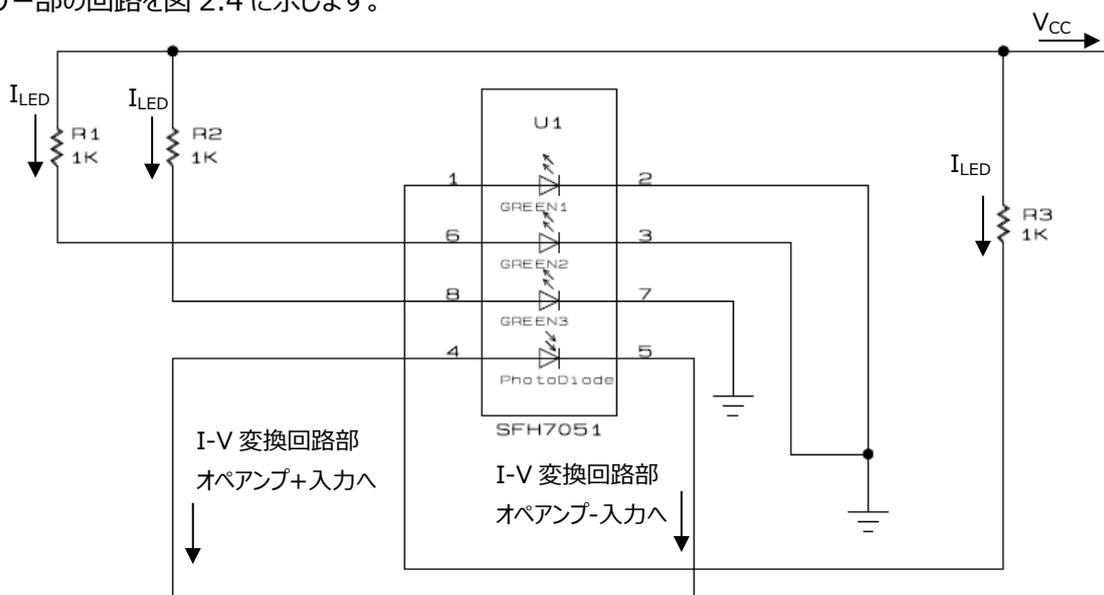


図 2.4 脈拍センサー部

本センサーでは、SFH7051 内蔵の緑色 LED3 素子を、電流制限抵抗を介して 5 V 電源に接続して点灯させています。LED に流す電流  $I_{LED}$  は次式 (2.1) で計算されます。

$$I_{LED} = \frac{V_{CC} - V_F(LED)}{R_1} \quad \dots (2.1)$$

$V_{CC}$ : 電源電圧,  $V_F(LED)$ : LED の順方向電圧,  $R_1$ : 1 k $\Omega$  (電流制限抵抗)

本センサーでは  $V_{CC}=5$  V、 $V_F(LED)=3.2$  V、 $R_1=1$  k $\Omega$ なので、電流は 1.8 mA となります。 $R_1=R_2=R_3$  なので、いずれの LED も同じ電流が流れます。

人体との接触時に生体内で反射して戻ってくる LED の光は、同じパッケージに内蔵されたフォトダイオードで検出されます。

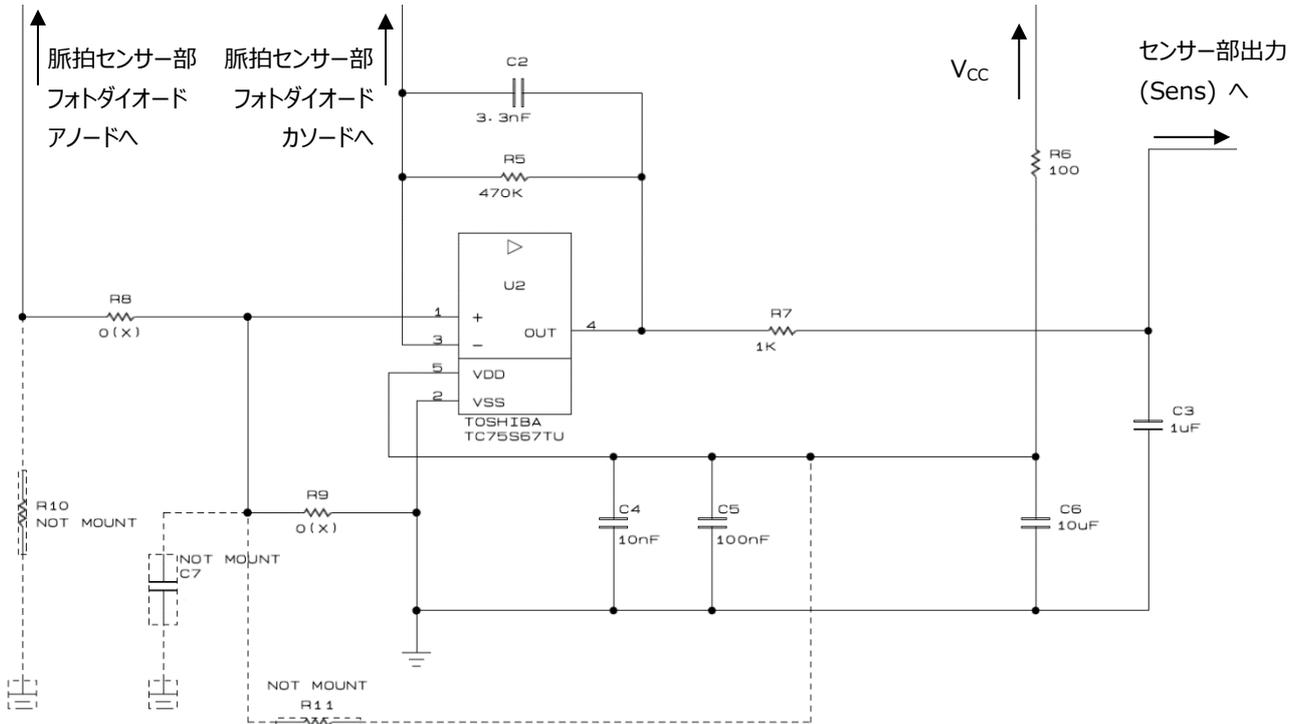


図 2.5 I-V 変換回路部

図 2.5 は、オペアンプを用いて、フォトダイオードの出力電流を I-V 変換する回路です。フォトダイオードの出力電流は  $R_5$  で電圧に変換されます。 $R_5$  は  $C_2$  とローパスフィルター (LPF) を構成しているほか、出力にも  $R_7$  と  $C_3$  で構成される LPF が入っています。これらの LPF は、測定時の外乱光などのノイズの影響を低減します。

通常の人間の脈拍数は 1 分間に約 60 回 (約 1 Hz) 程度なので、カットオフ周波数 50Hz 以下程度まで LPF の帯域を狭く取ることもできますが、脈波の波形を正確に得るために、高調波成分まで取れるよう帯域を広くする場合があります。本センサーではカットオフ周波数  $f_{C1}=103$  Hz ( $R_5$  と  $C_2$ )、 $f_{C2}=159$  Hz ( $R_7$  と  $C_3$ ) にそれぞれ設定しています。

なお、帯域を広めに取り場合は、外乱光の影響が少なくなるよう筐体などで対策してください。

それぞれのカットオフ周波数の計算式は以下のとおりです。

$$f_{C1} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_5 \times C_2} = \frac{1}{2 \times \pi \times 470 \times 10^3 \times 3.3 \times 10^{-9}} \cong 103 \text{ Hz} \quad \dots (2.2)$$

$R_5$ : 470 k $\Omega$ ,  $C_2$ : 3.3 nF

$$f_{C2} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_7 \times C_3} = \frac{1}{2 \times \pi \times 1 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} \cong 159 \text{ Hz} \quad \dots (2.3)$$

$R_7$ : 1 k $\Omega$ ,  $C_3$ : 1  $\mu$ F

### 2.3.2. アンプ回路部 (リジッド基板)

電圧に変換されたセンサー出力信号は、ケーブルとコネクタ-CN1 を通してリジッド基板上のアンプ回路部に送信されます。アンプ基板の入力部と増幅回路部を図 2.6 に示します。

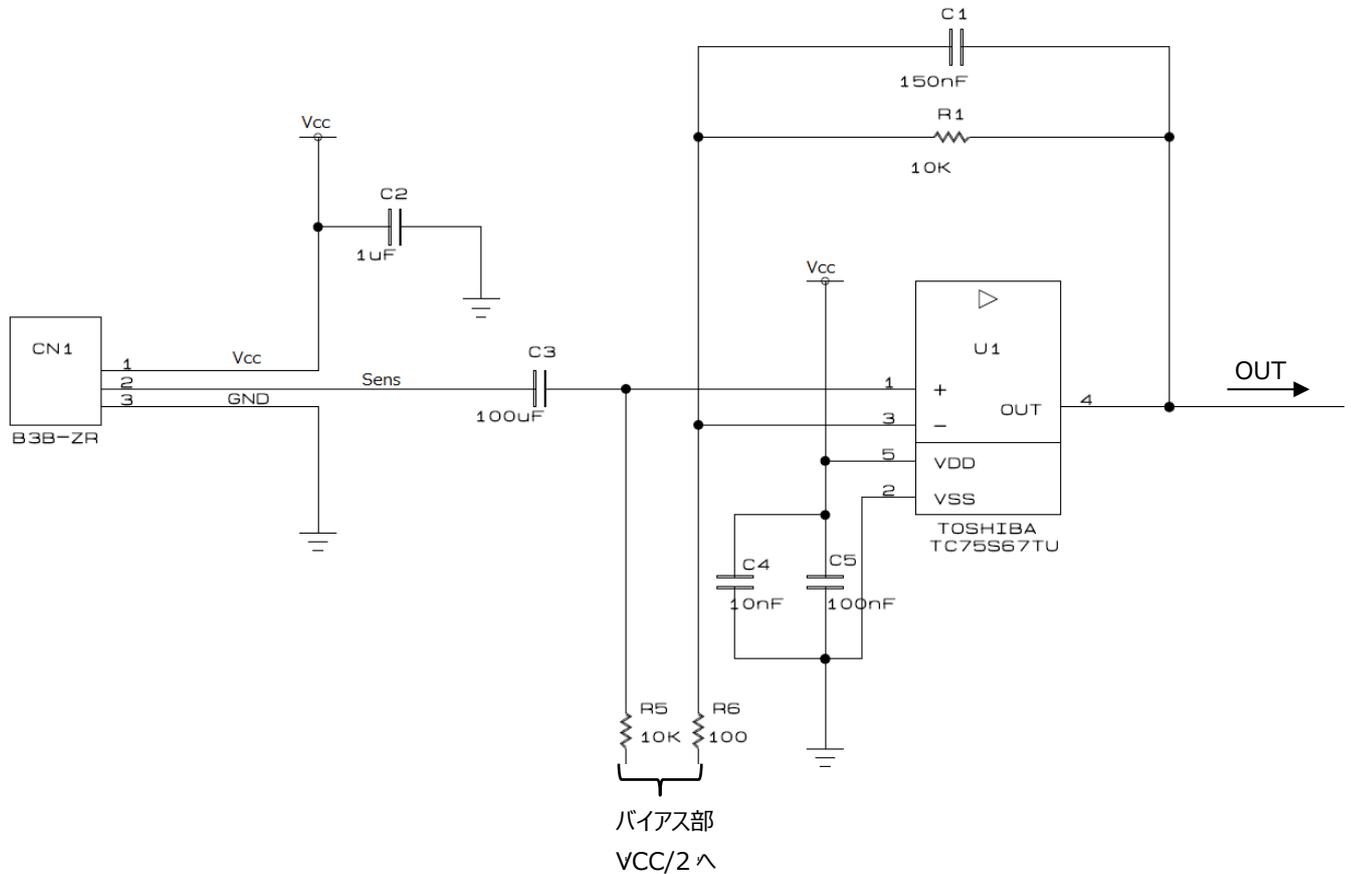


図 2.6 アンプ部

センサー信号は C3 と R5 で構成されるハイパスフィルター (HPF) によって DC 成分を除去されてオペアンプ U1 (TC75S67TU) に入力され、非反転増幅されます。ここでもまた帰還抵抗 R1 と並列接続された C1 によって構成される LPF で不要成分を除去しています。HPF のカットオフ周波数  $f_{c3}$ 、オペアンプの直流増幅率  $G_v$ 、LPF のカットオフ周波数  $f_{c4}$ 、それぞれの計算式と設定値は以下のとおりです。増幅率はセンサーの出力レベルから決定しています。

$$f_{c3} = \frac{1}{2 \times \pi \times R5 \times C3} = \frac{1}{2 \times \pi \times 10 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6}} \cong 0.16 \text{ Hz} \quad \dots (2.4)$$

$$R5: 10 \text{ k}\Omega, C3: 100 \text{ }\mu\text{F}$$

$$G_v = \frac{R1 + R6}{R6} = \frac{10 \times 10^3 + 100}{100} = 101 \cong 40 \text{ dB} \quad \dots (2.5)$$

$$R1: 10 \text{ k}\Omega, R6: 100 \text{ }\Omega$$

$$f_{c4} = \frac{1}{2 \times \pi \times R1 \times C1} = \frac{1}{2 \times \pi \times 10 \times 10^3 \times 0.15 \times 10^{-6}} \cong 106 \text{ Hz} \quad \dots (2.6)$$

$$R1: 10 \text{ k}\Omega, C1: 0.15 \text{ }\mu\text{F}$$

図 2.7 に、前ページ図 2.6 で説明したオペアンプ U1 (TC75S67TU) の直流バイアスとなる中点電圧 ( $V_{CC}/2$ ) を供給する回路を示します。

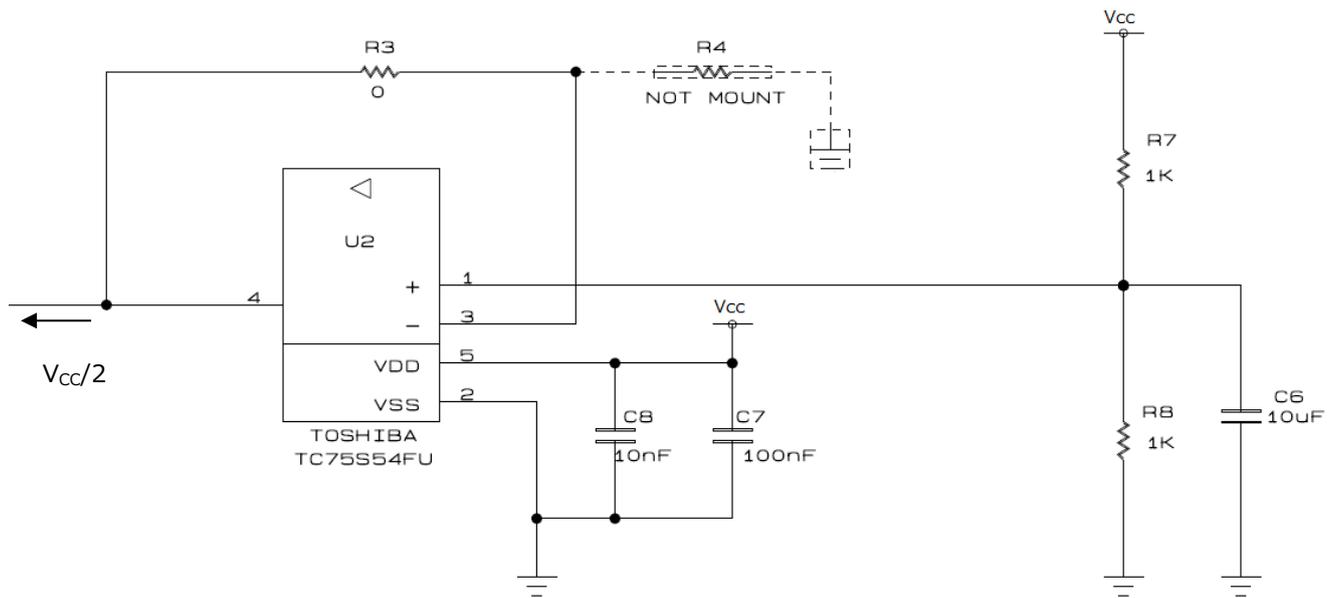


図 2.7 バイアス部

オペアンプ U2 (TC75S54FU) はボルテージフォロワーとして使用 (回路図上 R3: 0 Ω、R4: Not mount に設定) しますが、TC75S67TU はボルテージフォロワー動作を保証しておりませんので、TC75S54FU を使用しています。

U2 の非反転入力端子には、抵抗 R7: 1 kΩと R8: 1 kΩで電源電圧を分圧した中点電圧 ( $V_{CC}/2$ ) が接続され、ボルテージフォロワーで出力し、U1 の反転入力をバイアスしています。これにより U1 の出力信号は中点電圧を基準に振幅します。

なお、各オペアンプの電源に接続されるバイパスコンデンサーは 10 nF と 100 nF の 2 種類のコンデンサーを並列としています。これは、10 nF のコンデンサーで 1 MHz 以上程度の高周波領域の、100 nF のコンデンサーでそれ以下の低周波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。

図 2.8 にマイコンへの出力コネクタ CN2 の周辺部分の回路図を示します。

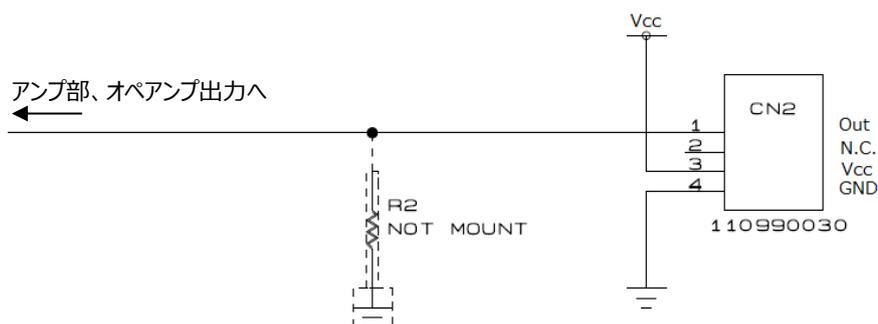


図 2.8 コネクタ

R2 は Not Mount で、本センサーでは実装されておりません。これはダミーの負荷抵抗で、出力へのノイズやオペアンプの発振などが気になる場合に 10 kΩ程度の抵抗を実装してください。

### 3. 基板設計

本デザインガイドで述べる脈拍センサーの基板設計のポイントを記載します。

#### 3.1. センサー部基板パターン例 (フレキシブル基板)

本基板は表と裏の両面基板で構成します。図 3.1 に基板表面パターン (部品実装面) を、図 3.2 に基板裏面パターンを示します。吹き出し記載内容の一部は 3.3 項にて詳細に説明していますので、あわせて参照してください。

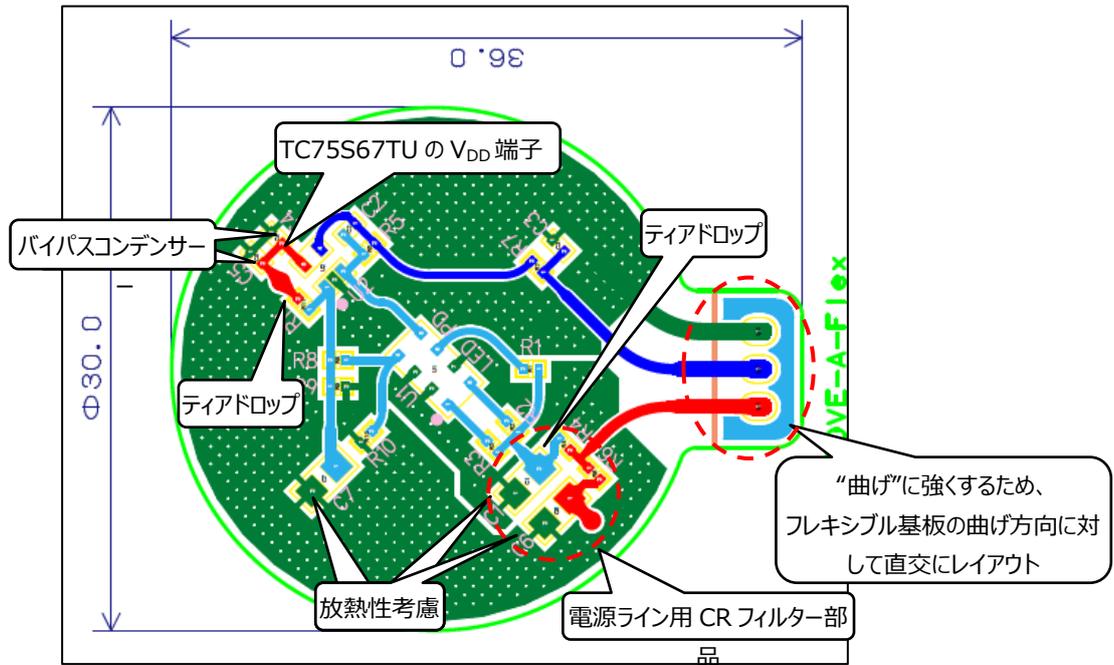


図 3.1 基板表面パターン

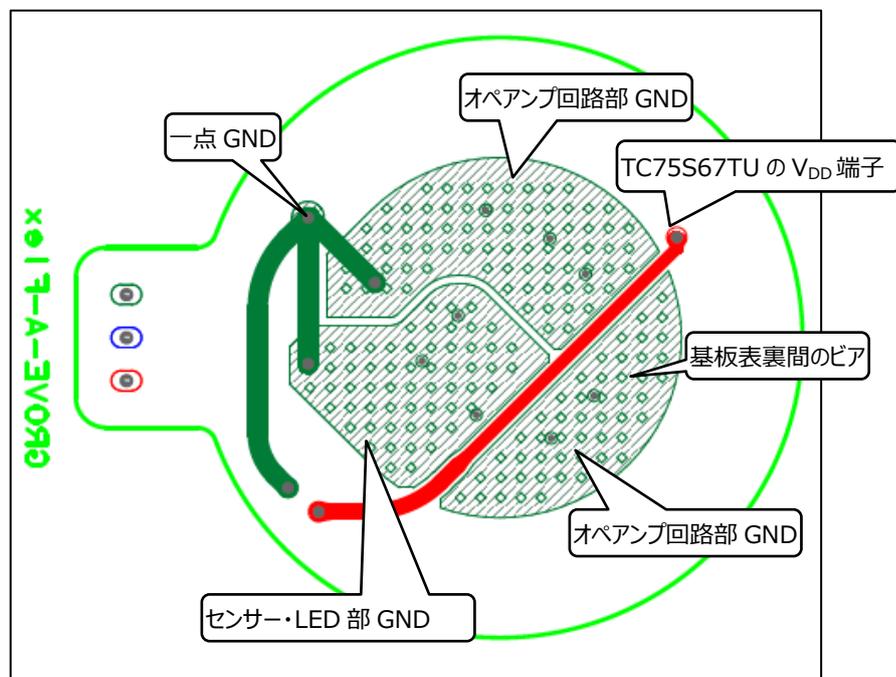


図 3.2 基板裏面パターン

### 3.2. アンプ部基板パターン例 (リジッド基板)

本基板も表と裏の両面基板で構成します。図 3.3 に基板表面パターン (部品実装面) を、図 3.4 に基板裏面パターンを示します。吹き出し記載内容の一部は 3.3 項にて詳細に説明していますので、あわせて参照してください。

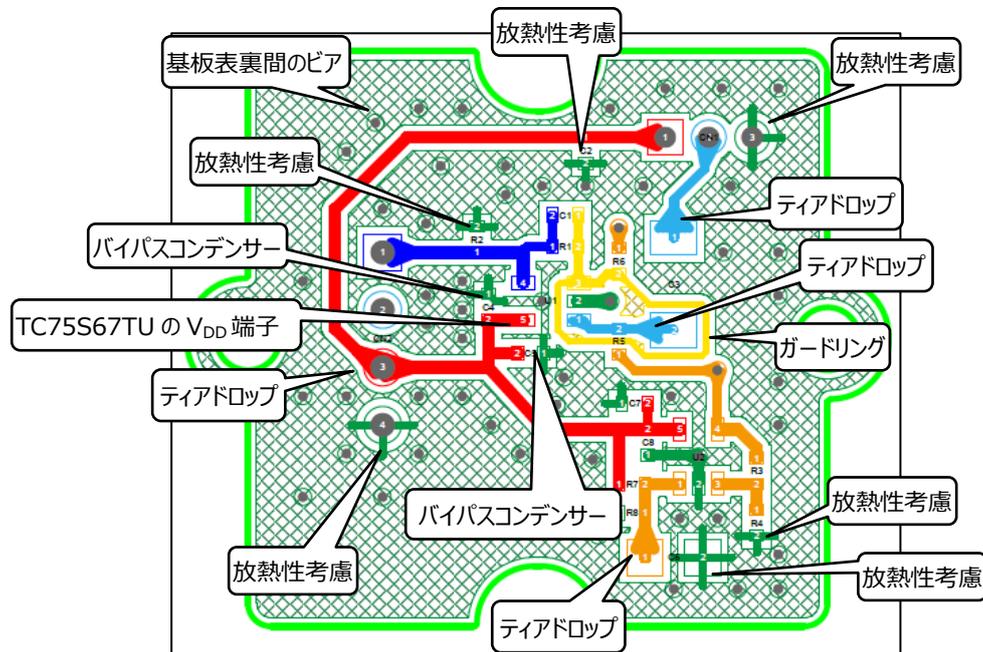


図 3.3 基板表面パターン

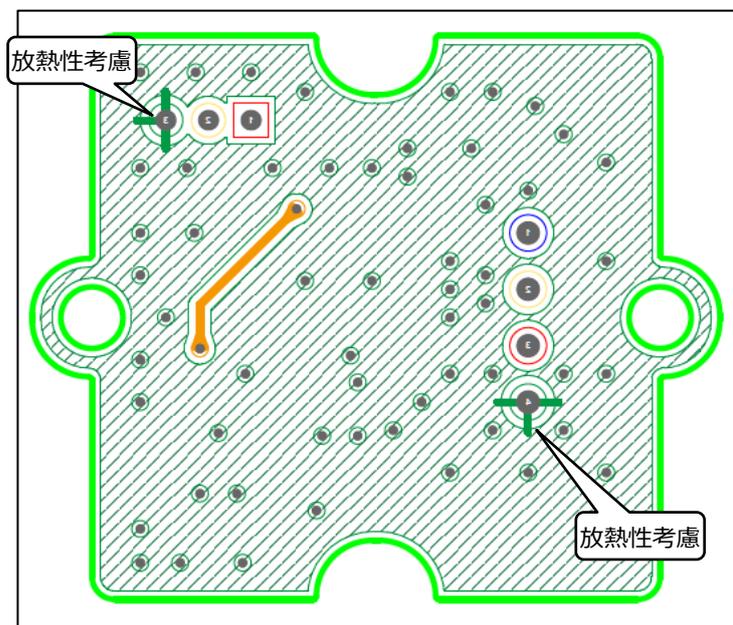


図 3.4 基板裏面パターン

### 3.3. 基板設計上の注意点

- フレキシブル基板固有の注意点 (図 3.1 参照)

センサー部はフレキシブル基板上に多数のデバイスを実装しているため、強度を増すために基板の表と裏間に補強板を設けること、および曲げた際の割れ防止のため、通常のレジストの代わりにオーバーレイシートを張り付けることを推奨します。また、フレキシブル基板の端子電極側は曲げに強くするため、想定される曲げ方向に直交するように配線してください。
- ベタ GND の分離と一点 GND (図 3.2 参照)

センサー回路部のオペアンプ出力部分とセンサー部分の GND は分離して、一点 GND とするようにしてください。パターン例では裏面側でそれぞれベタ GND として分離、1 点 GND レイアウトとしています。これは、オペアンプの出力信号やセンサー・オペアンプ回路部分への電源ノイズの重畳を防ぐためです。
- サーマル処理 (図 3.1、図 3.3、図 3.4 参照)

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。
- 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、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。
- ティアドロップ形状 (図 3.1、図 3.3 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。
- バイパスコンデンサーの位置 (図 3.1、図 3.3 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、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ー 2 個 (0.1  $\mu$ F および 0.01  $\mu$ F) はオペアンプの電源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、コンデンサーは ESR ができるだけ小さいものを選択してください。ESR=1  $\Omega$  以下のものを推奨します。
- アンプ部基板のガードリング (図 3.3 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、センサー部基板で I-V 変換された信号を受けるアンプ部基板のオペアンプ U1 の IN (+) 端子の周りを、VCC/2 に直流バイアスされている IN (-) 端子電圧でガードリングしています (図 3.3 参照)。これにより、線間容量や浮遊容量によって他の配線から IN (+) 端子に雑音・外乱が入ることや、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での実験などで判断してください。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 :  $V_{DD}$ ,  $V_{SS}=2.2 \sim 5.5 \text{ V}$

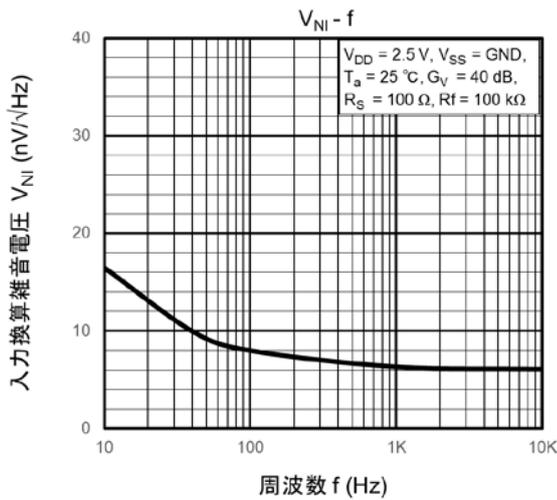


図 4.1 入力換算雑音電圧特性

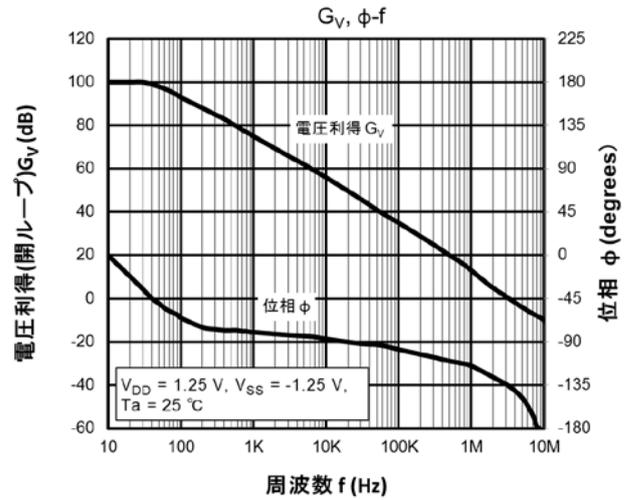


図 4.2 位相余裕 vs ゲイン特性

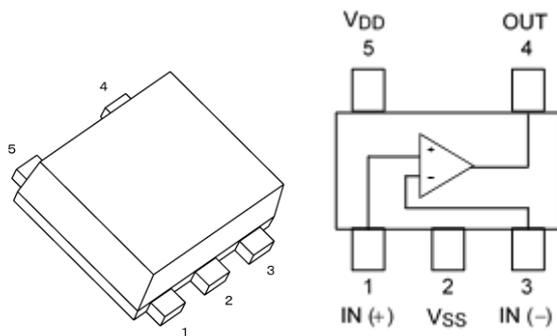


図 4.3 外観と端子配置

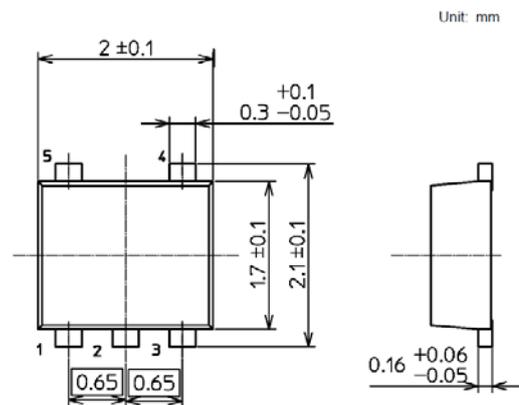


図 4.4 外形寸法

各特性詳細については、データシートを参照してください

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。