



# 高安定性、低ノイズ、高振動耐性 ヨーレート・ジャイロセンサー

## データシート

## ADXRS646

### 特長

- バイアス安定性：12°/hr
- Z軸（ヨーレート）応答
- 角度ランダム・ウォーク：0.01°/√秒
- 広い周波数範囲にわたる高い振動除去率
- 測定範囲は最大で±450°/秒まで拡張可能
- 通電状態で10,000 gの衝撃耐性
- リファレンス電源に対してレシオメトリックな動作
- 6 Vの単電源動作
- 動作温度範囲：-40°C~+105°C
- デジタル・コマンドによるセルフテスト
- 小型で軽量（0.15 cc 未満、0.5 g 未満）
- 温度センサー出力
- 完結型のシングル・チップ・レート・ジャイロセンサー
- RoHS 準拠製品

### アプリケーション

- 工業用アプリケーション
- 過酷な振動環境でのモーション検知
- プラットフォームの安定化

### 概要

ADXRS646 は、優れた振動耐性を提供する高性能な角速度センサー（ジャイロセンサー）です。高性能ジャイロセンサーの優秀性を示す性能指数としては、一般にバイアス安定性が注目されますが、実際のアプリケーションでは、振動感度がより重要な性能上の制約となることが多く、ジャイロセンサー選択にあたり考慮する必要があります。ADXRS646 は、12°/hr (typ) という低バイアス・ドリフトに加えて、優れた振動耐性と加速度除去機能も提供することで、衝撃と振動が存在する苛酷な環境でのレート・センシングを可能にします。

ADXRS646 は、アナログ・デバイセズ社が特許取得済みの量産向け BiMOS 表面マイクロマシニング・プロセスを使用して製造されます。高度な差動型クワッド・センサー設計によって、優れた加速度および振動除去機能を提供します。出力信号 RATEOUT は、パッケージの上面の垂直軸に対する角速度に比例した電圧となっています。測定範囲は、最小±250°/秒です。出力は、供給されるリファレンス電源に対して、レシオメトリックとなっています。動作には外付けコンデンサが必要となります。

システムでの温特補正のための、温度センサー出力を提供します。2つのデジタル・セルフテスト入力は、センサーおよびその信号処理回路の両方の適切な動作をテストするために、電気機械的にセンサーを励起します。

ADXRS646 は、7 mm × 7 mm × 3 mm の CBGA チップスケール・パッケージを採用しています。

### 機能ブロック図

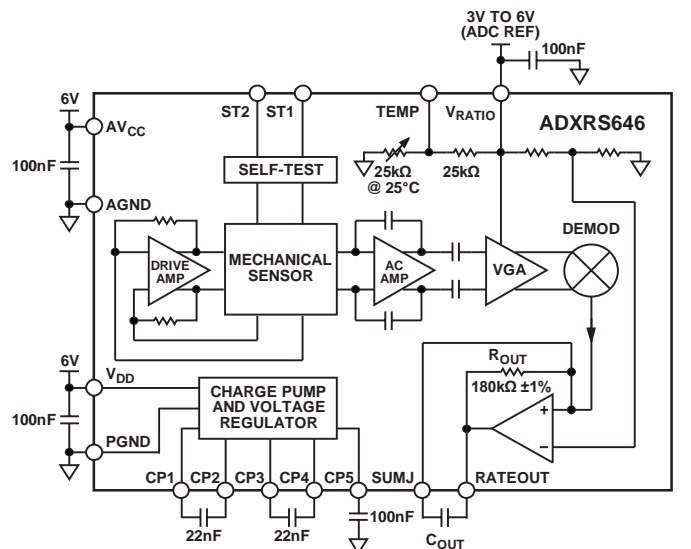


図 1.

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。  
©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル  
電話 03 (5402) 8200  
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー  
電話 06 (6350) 6868

## 目次

特長 .....	1	動作原理 .....	9
アプリケーション .....	1	帯域幅の設定 .....	9
概要 .....	1	温度出力と補正 .....	9
機能ブロック図 .....	1	電源のレシオメトリック性 .....	10
改訂履歴 .....	2	ヌル調整 .....	10
仕様 .....	3	セルフテスト機能 .....	10
絶対最大定格 .....	4	連続セルフテスト .....	10
レート検出軸 .....	4	測定範囲の変更 .....	10
ESD に関する注意 .....	4	振動への耐性 .....	11
ピン配置およびピン機能説明 .....	5	外形寸法 .....	12
代表的な性能特性 .....	6	オーダー・ガイド .....	12

## 改訂履歴

9/11—Revision 0: Initial Version

## 仕様

Min仕様とMax仕様は保証値です。typ仕様は保証しません。

特に指定がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = AV_{CC} = V_{DD} = 6\text{ V}$ 、 $V_{RATIO} = AV_{CC}$ 、角速度 =  $0^\circ/\text{sec}$ 、帯域幅 =  $80\text{ Hz}$  ( $C_{OUT} = 0.01\ \mu\text{F}$ )、 $I_{OUT} = 100\ \mu\text{A}$ 、 $\pm 1\ g$ 。

表 1.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
SENSITIVITY <sup>1</sup>	Clockwise rotation is positive output				
Measurement Range <sup>2</sup>	Full-scale range over specifications range	$\pm 250$	$\pm 300$		$^\circ/\text{sec}$
Initial		8.5	9	9.5	$\text{mV}/^\circ/\text{sec}$
Temperature Drift <sup>3</sup>			$\pm 3$		%
Nonlinearity	Best fit straight line		0.01		% of FS
NULL1					
Null	$-40^\circ\text{C}$ to $+105^\circ\text{C}$	2.7	3.0	3.3	V
Calibrated Null <sup>4</sup>	$-40^\circ\text{C}$ to $+105^\circ\text{C}$		$\pm 0.1$		$^\circ/\text{sec}$
Temperature Drift <sup>3</sup>			$\pm 3$		$^\circ/\text{sec}$
Linear Acceleration Effect	Any axis		0.015		$^\circ/\text{sec}/g$
Vibration Rectification	25 g rms, 50 Hz to 5 kHz		0.0001		$^\circ/\text{sec}/g^2$
NOISE PERFORMANCE					
Rate Noise Density	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$		0.01		$^\circ/\text{sec}/\sqrt{\text{Hz}}$
Rate Noise Density	$T_A \leq 105^\circ\text{C}$		0.015		$^\circ/\text{sec}/\sqrt{\text{Hz}}$
Resolution Floor	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , 1 minute to 1 hour in-run		12		$^\circ/\text{hr}$
FREQUENCY RESPONSE					
Bandwidth <sup>5</sup>	$\pm 3\text{ dB}$ user adjustable up to specification		1000		Hz
Sensor Resonant Frequency		15.5	17.5	20	kHz
SELF-TEST1					
ST1 RATEOUT Response	ST1 pin from Logic 0 to Logic 1		-50		$^\circ/\text{sec}$
ST2 RATEOUT Response	ST2 pin from Logic 0 to Logic 1		50		$^\circ/\text{sec}$
ST1 to ST2 Mismatch <sup>6</sup>		-5	$\pm 0.5$	+5	%
Logic 1 Input Voltage	ST1 pin or ST2 pin	4			V
Logic 0 Input Voltage				2	V
Input Impedance	ST1 pin or ST2 pin to common	40	50	100	k $\Omega$
TEMPERATURE SENSOR1					
$V_{OUT}$ at $25^\circ\text{C}$	Load = 10 M $\Omega$	2.8	2.9	3.0	V
Scale Factor <sup>4</sup>	$25^\circ\text{C}$ , $V_{RATIO} = 6\text{ V}$		10		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Load to $V_S$			25		k $\Omega$
Load to Common			25		k $\Omega$
TURN-ON TIME <sup>4</sup>	Power on to $\pm 0.5^\circ/\text{sec}$ of final with $CP5 = 100\text{ nF}$			50	ms
OUTPUT DRIVE CAPABILITY					
Current Drive	For rated specifications			200	$\mu\text{A}$
Capacitive Load Drive				1000	pF
POWER SUPPLY					
Operating Voltage ( $V_S$ )		5.75	6.00	6.25	V
Quiescent Supply Current			4		mA
TEMPERATURE RANGE					
Specified Performance		-40		+105	$^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> パラメータは  $V_{RATIO}$  に比例します。

<sup>2</sup> 測定範囲は、5 V 電源での出力振幅範囲、初期オフセット、感度、オフセット・ドリフト、感度ドリフトを加味した可能な最大出力範囲です。

<sup>3</sup>  $+25^\circ\text{C}$  ~  $-40^\circ\text{C}$  または  $+25^\circ\text{C}$  ~  $+105^\circ\text{C}$ 。

<sup>4</sup> 特性評価に基づく。

<sup>5</sup> 外付けコンデンサ  $C_{OUT}$  で調整します。帯域幅を 0.01 Hz 未満に下げても、ノイズは改善されません。

<sup>6</sup> セルフテスト・ミスマッチは、 $(ST2 + ST1)/(ST2 - ST1)/2$  で表されます。

## 絶対最大定格

表 2.

Parameter	Rating
Acceleration (Any Axis, 0.5 ms)	
Unpowered	10,000 g
Powered	10,000 g
$V_{DD}$ , $AV_{CC}$	-0.3 V to +6.6 V
$V_{RATIO}$	$AV_{CC}$
ST1, ST2	$AV_{CC}$
Output Short-Circuit Duration (Any Pin to Common)	Indefinite
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えると、デバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格のみを指定するものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性に影響を与えることがあります。

硬い表面への落下により 10,000 g を超える衝撃が加わり、デバイスの絶対最大定格を超えることがあります。損傷を与えないように取り扱いには十分注意してください。

## レート検出軸

これは Z 軸レート検出デバイスです(ヨーレート検出デバイスとも呼ばれます)。このデバイスは、パッケージ上面に対して垂直な軸を中心とする時計廻り、すなわちパッケージの上から見下ろして時計廻りの回転に対して正方向きの出力電圧を発生します。

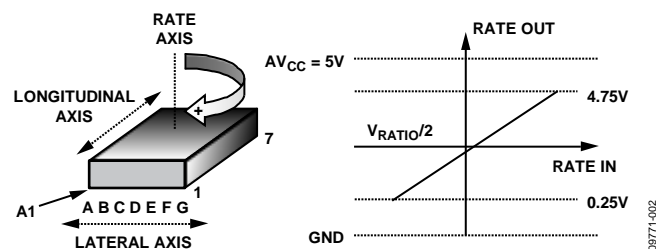


図 2. 時計廻りの回転に対して増加する RATEOUT 信号

## ESD に関する注意



ESD (静電放電) の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないうまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

## ピン配置およびピン機能説明

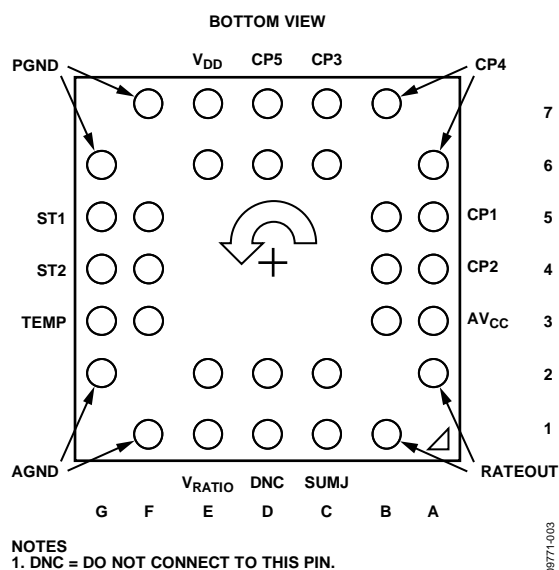


図 3. ピン配置

表 3. ピン機能の説明

ピン番号	記号	説明
6D, 7D	CP5	HV フィルタ・コンデンサ、100nF (±5%)
6A, 7B	CP4	チャージ・ポンプ・コンデンサ、22 nF (±5%)
6C, 7C	CP3	チャージ・ポンプ・コンデンサ、22 nF (±5%)
5A, 5B	CP1	チャージ・ポンプ・コンデンサ、22 nF (±5%)
4A, 4B	CP2	チャージ・ポンプ・コンデンサ、22 nF (±5%)
3A, 3B	AV <sub>CC</sub>	正アナログ電源
1B, 2A	RATEOUT	レート信号出力
1C, 2C	SUMJ	出力アンプ加算ジャンクション
1D, 2D	DNC	このピンは接続しないでください。
1E, 2E	V <sub>RATIO</sub>	比例測定出力用のリファレンス電源
1F, 2G	AGND	アナログ電源リターン
3F, 3G	TEMP	温度電圧出力
4F, 4G	ST2	センサー 2 のセルフテスト
5F, 5G	ST1	センサー 1 のセルフテスト
6G, 7F	PGND	チャージ・ポンプ電源リターン
6E, 7E	V <sub>DD</sub>	正のチャージ・ポンプ電源

## 代表的な性能特性

特に指定がない限り、すべての代表的性能プロットに対して N > 1000。

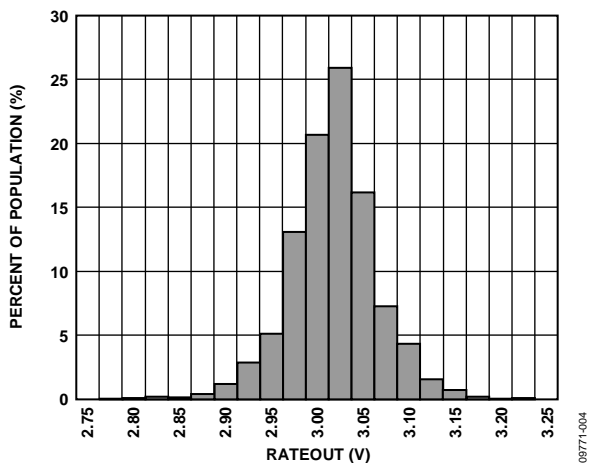


図 4. 25°C でのヌル・バイアス

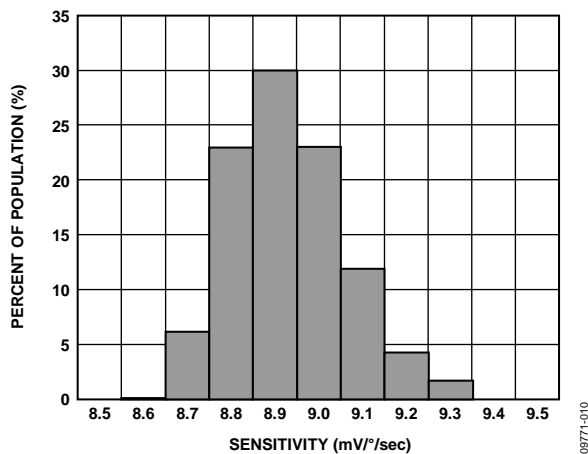


図 7. 25°C での感度

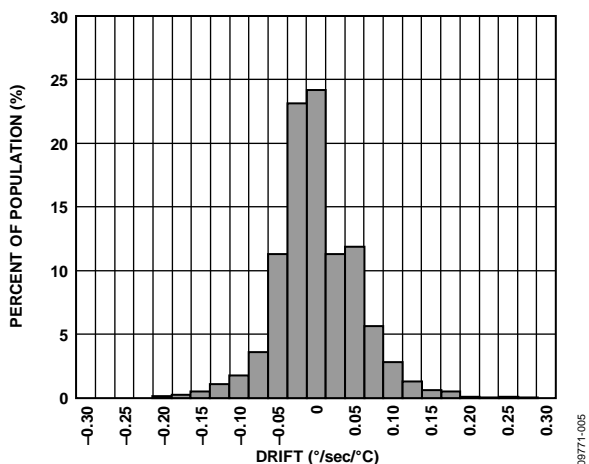


図 5. ヌル・ドリフトの温度特性 (V<sub>RATIO</sub> = 5 V)

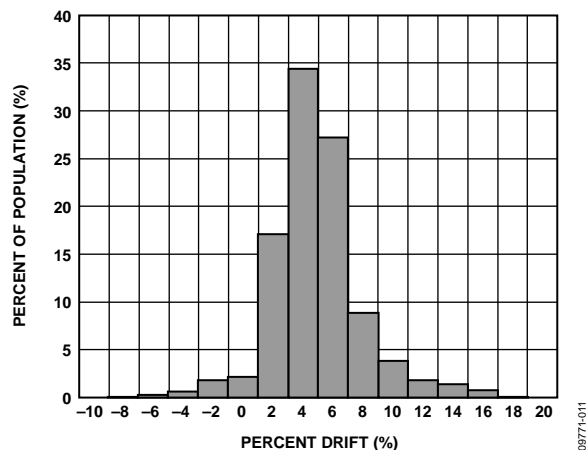


図 8. 感度ドリフトの温度特性

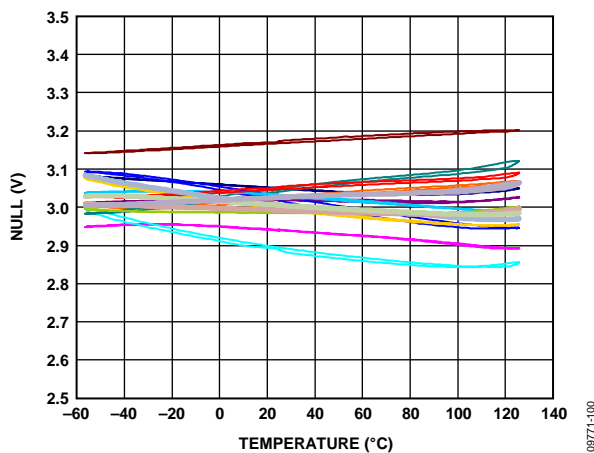


図 6. ヌル出力の温度特性、ソケットで 16 個のデバイスを測定 (V<sub>RATIO</sub> = 5 V)

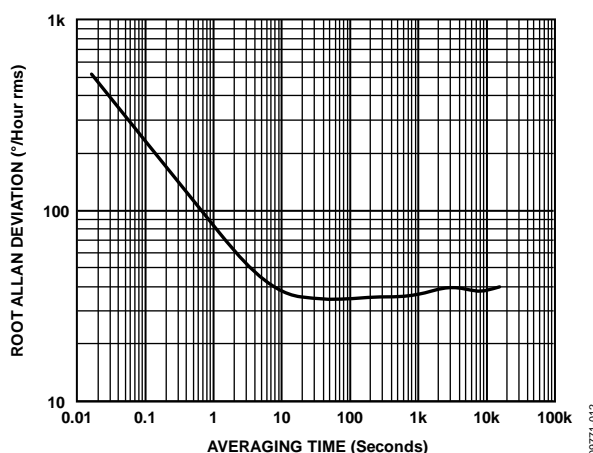


図 9. 平均時間対 25°C でのルート・アラン・バリエーション

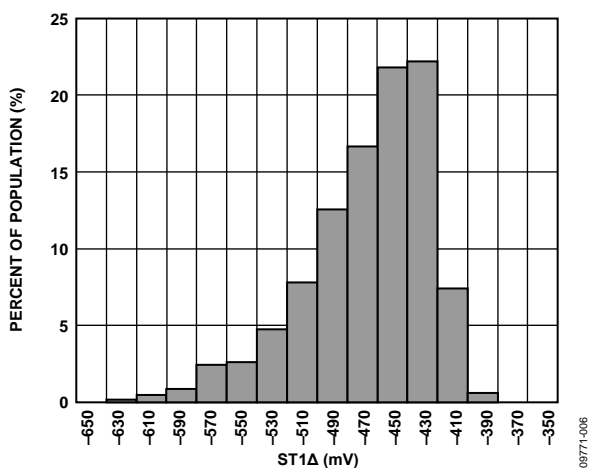


図 10. 25°C での ST1 出力変化 ( $V_{RATIO} = 5 V$ )

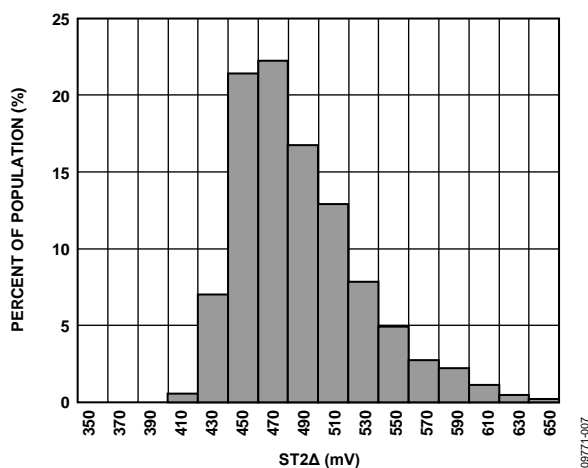


図 13. 25°C での ST2 出力変化 ( $V_{RATIO} = 5 V$ )

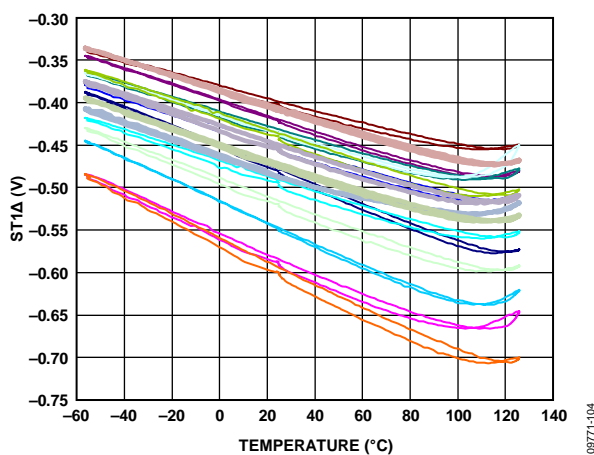


図 11. ST1 出力変化の温度特性、ソケットで 16 個のデバイスを測定

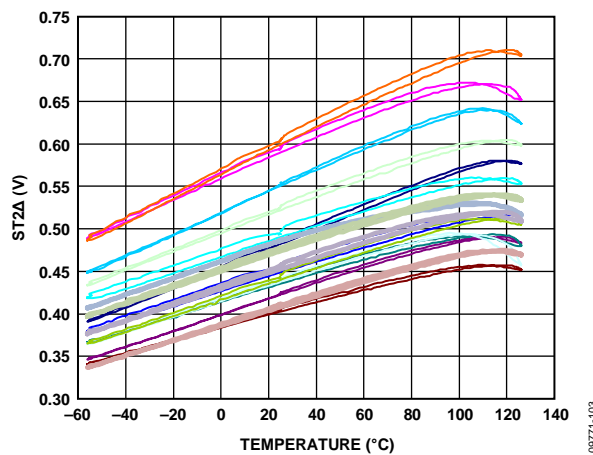


図 14. ST2 出力変化の温度特性、ソケットで 16 個のデバイスを測定

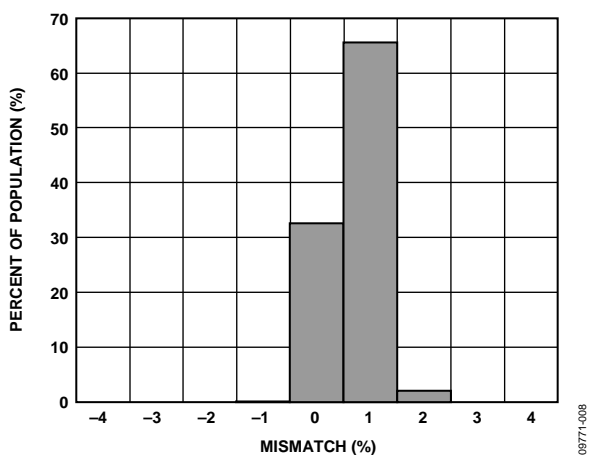


図 12. 25°C でのセルフテスト・ミスマッチ ( $V_{RATIO} = 5 V$ )

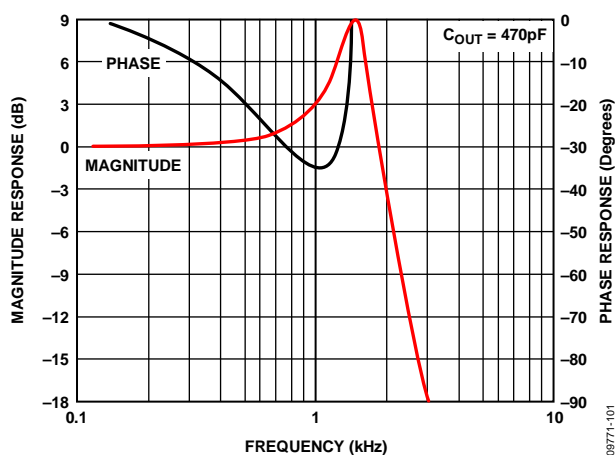


図 15. ADXRS646 の周波数応答、2.2 kHz の出力フィルタ付き

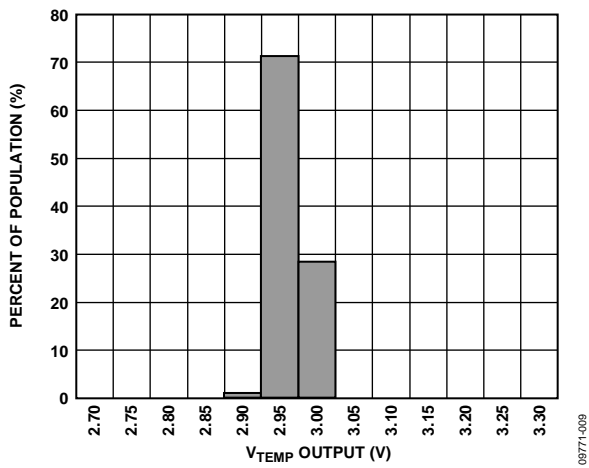


図 16. 25°C での V<sub>TEMP</sub> 出力 (V<sub>RATIO</sub> = 5 V)

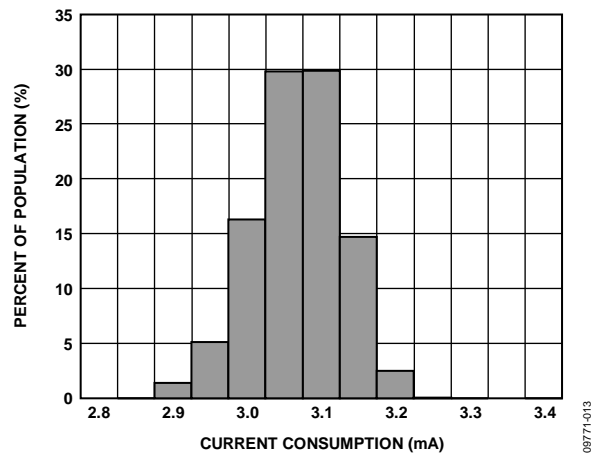


図 18. 25°C での消費電流 (V<sub>RATIO</sub> = 5 V)

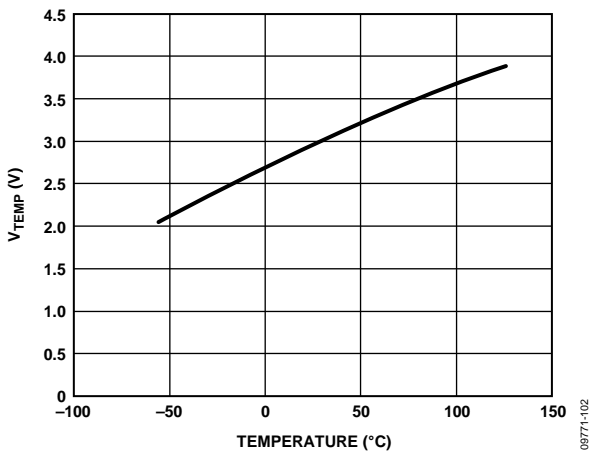


図 17. V<sub>TEMP</sub> 出力の温度特性



## 動作原理

ADXRS646は振動ジャイロセンサーの原理で動作します。図19には、4つのポリシリコン・センシング構造のうちの1つを簡略化して示します。各センシング構造には、静電駆動により共振するディザ・フレームが含まれています。これによって、角速度が生じたときにコリオリ力を生成するために必要な速度成分が得られます。ADXRS646は、Z軸（ヨー）角速度を検出するように設計されています。

センシング構造に角速度が加えられると、その結果として得られるコリオリ力が、外部のセンス・フレームに伝わります。センス・フレームには可動式のフィンガが固定のピックオフ・フィンガと交互に配置されており、コリオリ動作を検出する容量性ピックオフ構造を形成しています。ここから得られた信号は、電気的なレート信号出力を生成する一連のゲイン段と復調段に送られます。4つのセンシング構造を機械的に結合することにより、外部の重力加速度は、ADXRS646に実装された完全差動アーキテクチャによって除去できるコモンモード信号として現れます。このようなクワッド・センサー設計を採用することによって、外部の重力加速度、衝撃、振動などのリニア加速度と角加速度を除去することが可能になります。

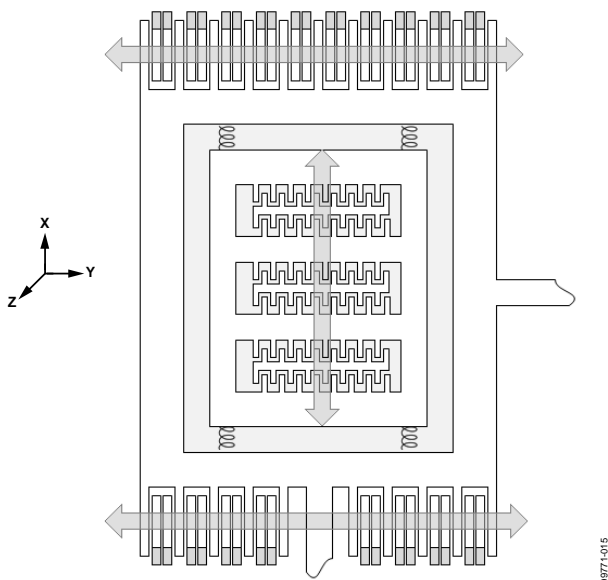


図19. 簡略化されたジャイロセンサー・センシング構造 - 1コーナー

素子の発振動作には21Vが必要です。大部分のアプリケーションでは6Vしか使用できないため、ADXRS646はチャージ・ポンプを内蔵しています。外部に21Vの電源がある場合、CP1～CP4の2つのコンデンサは不要となり、その外部電源をCP5（6Dピン、7Dピン）に接続できます。ADXRS646に電源を加えるときは、CP5をグラウンドに接続しないでください。ADXRS646の電源を切り離す前に先にグラウンドを切り離すと、損傷は生じずとも一定の条件下でチャージ・ポンプが起動できなくなることがあります。

## 帯域幅の設定

外部コンデンサ ( $C_{OUT}$ ) とオンチップ抵抗 ( $R_{OUT}$ ) を組み合わせると、ADXRS646 レート応答の帯域幅を制限するローパス・フィルタが形成されます。 $R_{OUT}$  と  $C_{OUT}$  により設定される-3 dB 周波数は、

$$f_{OUT} = 1/(2 \times \pi \times R_{OUT} \times C_{OUT})$$

$R_{OUT}$  は製造時に  $180 \text{ k}\Omega \pm 1\%$  に調整されているため、 $f_{OUT}$  は精度よく調整できます。RATEOUT ピン (1B, 2A) と SUMJ ピン (1C, 2C) の間に外付け抵抗を接続すると、

$$R_{OUT} = (180 \text{ k}\Omega \times R_{EXT}) / (180 \text{ k}\Omega + R_{EXT})$$

一般に、ジャイロセンサーの 18 kHz 共振周波数で復調スパイクから発生する高周波ノイズを減衰させるため、ハードウェア・フィルタまたはソフトウェア・フィルタが追加されます。ハードウェア・フィルタの場合、3.3 k $\Omega$  直列抵抗と 22 nF シャント・コンデンサ (2.2 kHz の極) で構成される RC 出力フィルタを推奨します。

## 温度出力と補正

温度特性補正は、ジャイロセンサーの精度向上をはかるための対策として一般的です。ADXRS646には温度に依存する電圧出力があり、補正手段に対する入力として使うことができます。温度センサーの構造を図20に示します。温度出力特性は非直線的であるため、TEMP出力に接続する負荷抵抗によりTEMP出力と温度係数が小さくなります。このため、出力にバッファを使用することを推奨します。

TEMP (3F, 3G) の電圧は 25°C、 $V_{RATIO} = 6 \text{ V}$  で公称 2.9 V です。温度係数は 25°C で 10 mV/°C (typ) です。全温度範囲での出力応答を図17に示します。TEMP出力の再現性はきわめて良好ですが、絶対精度はそれほど高くありません。

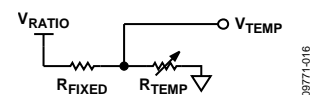


図20. 温度センサー構造

## 電源のレシオメトリック性

ADXRS646 のヌル出力電圧 (RATEOUT)、感度、セルフテスト応答 (ST1 と ST2)、温度出力 (TEMP) は、 $V_{RATIO}$  に対してレシオメトリックです。したがって、電源レシオメトリックな ADC 付きを ADXRS646 に接続すると、わずかな電源変動によって生じる誤差を自動的にキャンセルできます。非レシオメトリック性に起因する小さな (通常は無視できる) 誤差は残ります。なお、全測定範囲を保証するには、 $V_{RATIO}$  が  $AV_{CC}$  を上回ってはいけません。

## ヌル調整

公称 3.0 V のヌル出力電圧は、RATEOUT (1B、2A) での対称な振幅範囲の場合です。しかし、アプリケーションによっては、非対称の出力振幅が適している場合もあります。ヌル調整は、適切な電流を SUMJ (1C、2C) へ入力することにより可能です。なお、電源の乱れによって、ヌルの不安定性が生じることもあります。特にこの場合には、デジタル電源ノイズを避けてください。

## セルフテスト機能

ADXRS646 に内蔵されているセルフテスト機能では、擬似的にジャイロセンサーに角速度が加えられたかのように、各検出構造とそれに付随する電子回路を作動させます。

セルフテストを起動するには、標準のロジック・ハイ・レベルを ST1 ピン (5F、5G)、ST2 ピン (4F、4G)、またはその両方に入力します。ロジック・ハイをピン ST1 に入力すると、RATEOUT での電圧は -450 mV (typ) だけ変化します。そしてロジック・ハイをピン ST2 に入力すると、+450 mV (typ) という逆の変化が生じます。ST1 ピンと ST2 ピンに加える電圧は、 $AV_{CC}$  を超えてはいけません。セルフテスト応答は、パッケージ周囲の粘性温度依存性 (約 0.25%/°C) に従います。

ST1 と ST2 を同時にアクティブにしても損傷を与えません。ST1 と ST2 によって生成される出力応答は非常によく一致していますが ( $\pm 2\%$ )、両方を同時にアクティブにすると、セルフテスト・ミスマッチの度合に比例した小さなヌル・バイアス変化しか発生しません。

## 連続セルフテスト

成熟したプロセスで製造されるオンチップ集積構造をもつ ADXRS646 ジャイロセンサーは、実際の使用環境において高い信頼性を示しています。

故障検出対策として実装されているセルフテスト機能は、電源投入時に実行したり、動作中に臨時に実行したりすることができます。ただし、アプリケーションによっては、回転レートの検出中に連続セルフテストを必要とすることがあります。連続セルフテスト技術については、AN-768 アプリケーション・ノート『Using the ADXRS150/ADXRS300 in Continuous Self-Test Mode』をご覧ください。アプリケーション・ノートのタイトルにはアナログ・デバイスズの他のジャイロセンサー製品が使用されていますが、記載されている技術は ADXRS646 にも該当します。

## 測定範囲の変更

ADXRS646 のスケール係数を減らして測定範囲を  $\pm 450^\circ/\text{秒}$  まで拡張するには、RATEOUT と SUMJ の間に 1 本の 225 k $\Omega$  抵抗を追加します。その際に、帯域幅を維持するためには、 $C_{OUT}$  を比例して増やす必要があります。

## 振動への耐性

ジャイロセンサーは、設計上は回転にだけ応答するようになっていますが、どんなジャイロセンサーも、程度の差はあっても、直線運動にも応答します。バイアス安定性は高性能ジャイロセンサーの評価の主な性能指数としてよく使用されますが、実際のアプリケーションにおいては、このほかにも多くの誤差源が存在します。特に、モーション・センサーを必要とするアプリケーションでは、振動と加速度が存在し、結果として生じる誤差は一般にバイアス・ドリフトをはるかに上回ります。

差動型のクラウド・センサー設計を特長とする ADXRS646 は、振動耐性に優れた構造を備えており、振動による出力変動を補償する必要がありません。ADXRS646 の優れた振動耐性を図 21 と図 22 に示します。図 21 は、20 Hz～2 kHz で加えられる 15 g rms のランダムな振動がある場合とない場合の、ADXRS646 の出力応答を示します。この性能は入力振動の方向に対して概ね同等です。

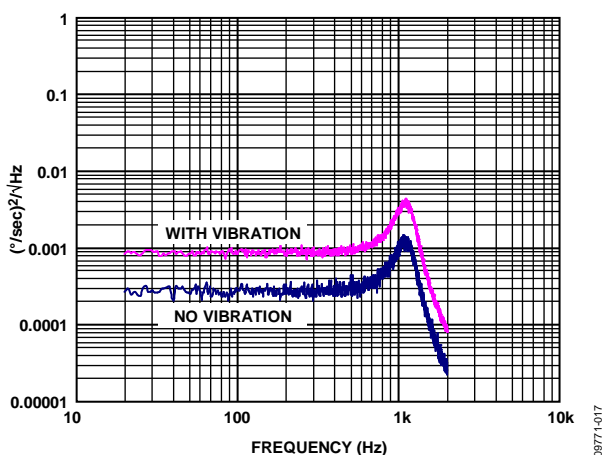


図 21. ADXRS646 の出力応答：ランダム振動 (15 g rms、20 Hz～2 kHz) を加えた場合と加えていない場合 (ジャイロセンサー帯域幅は 1600 Hz に設定)

振動や加速度に対する耐性をさらに改善するために、加速度センサーを使用して、ある程度の加速度感度補償を行うことができます。この技術が最も奏功するのは、振動への応答が振動周波数に関係なく一定のときです。図 22 は、20 Hz～5 kHz の範囲にわたって、5 g のサイン波振動に対する ADXRS646 の DC バイアス応答を示します。この図から、敏感な周波数が存在しないこと、および振動整流が無視できるくらい小さいことがわかります。したがって、加速度センサーを使用した加速度感度補償を必要に応じて実施することができます。ただし、大半のアプリケーションでは、本来のデバイス性能で十分です。

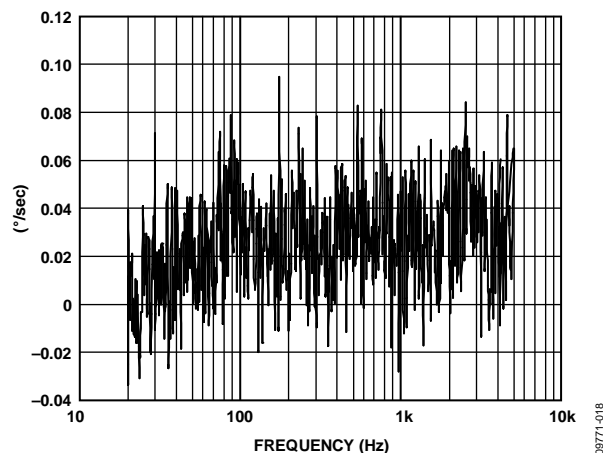
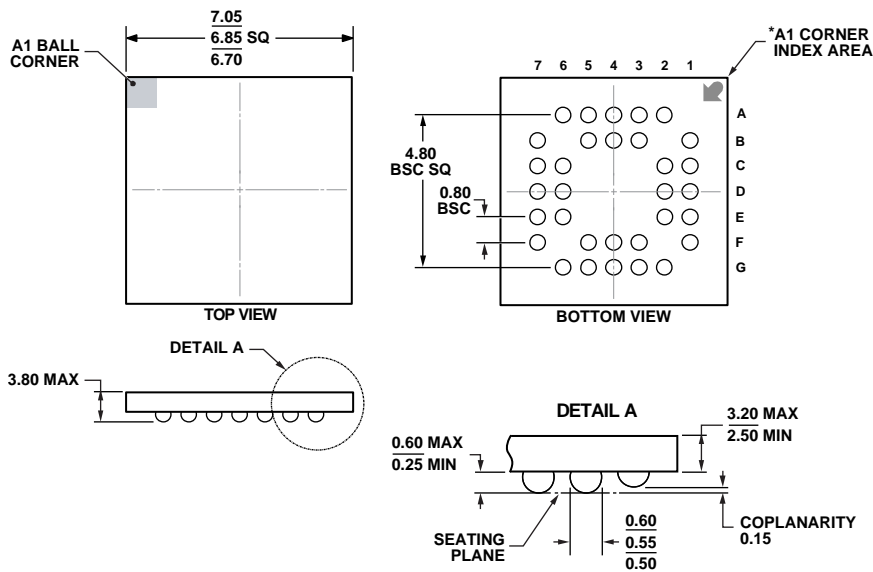


図 22. ADXRS646 のサイン振動出力応答 (5 g、20 Hz～5 kHz、ジャイロセンサー帯域幅は 1600 Hz に設定)

外形寸法



BALL DIAMETER  
 \*BALL A1 IDENTIFIER IS GOLD PLATED AND CONNECTED TO THE D/A PAD INTERNALLY VIA HOLES.

10-26-2009-B

図 23. 32ピン・セラミック・ボール・グリッド・アレイ [CBGA] (BG-32-3)  
 寸法単位：mm

オーダー・ガイド

Model <sup>1</sup>	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADXRS646BBGZ	-40°C to +105°C	32-Lead Ceramic Ball Grid Array [CBGA]	BG-32-3
ADXRS646BBGZ-RL	-40°C to +105°C	32-Lead Ceramic Ball Grid Array [CBGA]	BG-32-3
EVAL-ADXRS646Z		Evaluation Board	

<sup>1</sup> Z = RoHS 準拠製品。