

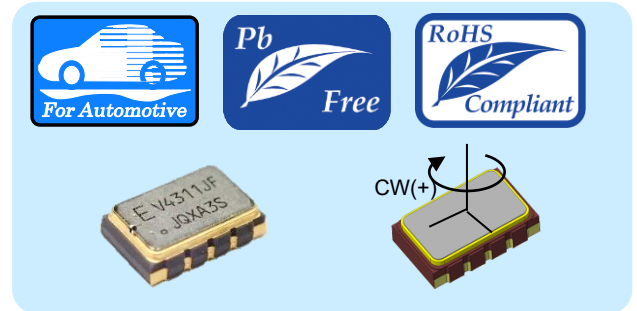
高精度ジャイロセンサー : XV4311BD

【特長】

- SafeSPI シリアルインターフェース
- 角速度出力 (16-bit / 24-bit)
- 優れた静止時出力温度安定性
- 動作温度範囲 -40 °C ~ +105 °C
- 温度センサー内蔵
- バイアス安定性 0.9 °/h (Typ.)
- AEC-Q100 / ISO26262 におけるハードウェアエレメント評価のサポート

【アプリケーション】

- 産業機器等の制振制御
- ADAS/自動運転車アプリケーション向け位置推定システム (Yaw 軸高精度化)



【代表特性】

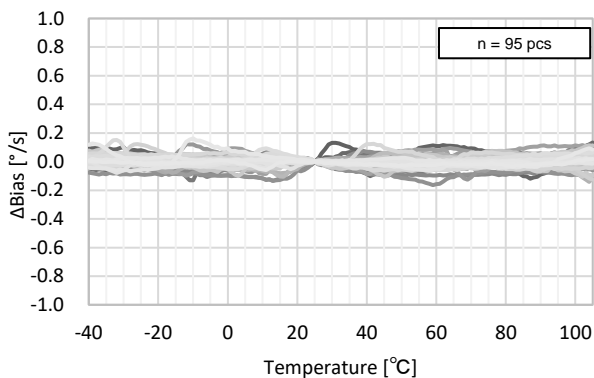


図 静止時出力温度特性 (Ta = +25 °C 基準)

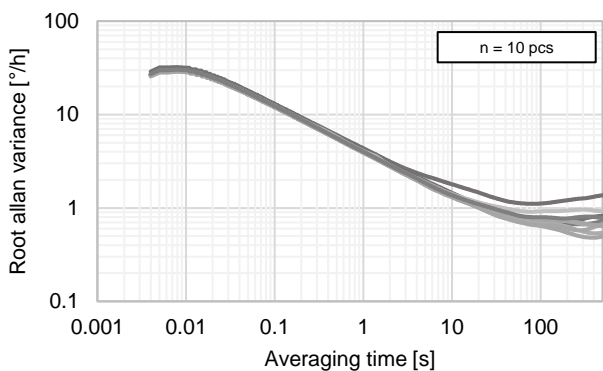


図 アラン分散

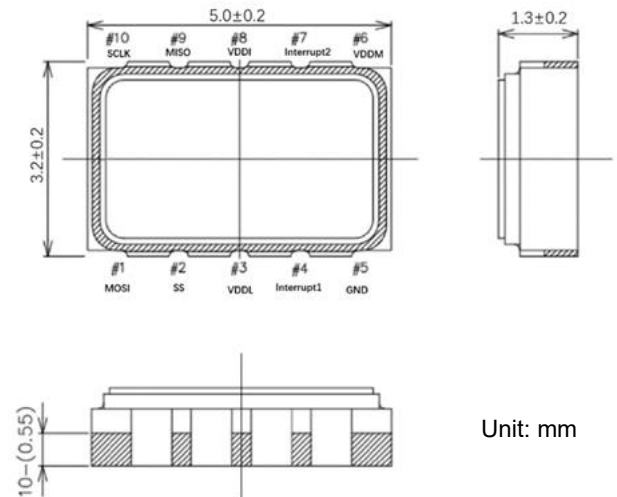
説明

XV4311BD は、当社独自の水晶素子を採用することにより、優れた静止時出力温度安定性、低ノイズ特性を実現しています

本製品は SafeSPI シリアルインターフェースに対応しています。

さらに、レジスター設定により角速度出力のローパスフィルター設定を切り替えることが可能です。低消費電流化により、車載機器から産業機器まで幅広い用途でご使用いただけます。

【外形寸法】



Unit: mm

目次

改訂履歴	6
使用しているマークについて	7
本マニュアルの注意事項	7
1. 機能ブロック	8
2. 機能説明	9
2.1. 角速度出力	9
2.3. インターフェース	9
2.4. 温度センサー出力	9
2.5. 故障診断診断出力	9
3. 電气的特性	10
3.1. 絶対最大定格	10
3.2. 推奨動作条件	10
3.3. DC 特性	10
3.4. 動作シーケンス	11
3.5. 諸特性	12
3.6. 温度センサー特性	12
4. 外形寸法および端子説明	13
4.1. 外形寸法	13
4.2. 端子配置及び機能	13
4.3. 表示説明	14
4.4. 端子等価回路	15
4.5. 推奨ランドパターン	16
5. 代表的特性	17
6. シリアルインターフェース	18
6.1. SafeSPI 通信	18
6.1.1. 通信フォーマット	18
6.1.2. レジスター書き込み	19
6.1.3. レジスター読み出し	19
6.1.4. センサーデータの読み取り	20
6.1.5. CRC 通信エラーチェック	21
6.1.6. 操作	22
6.1.7. 例	25
6.2. タイミング仕様	26
6.3. コマンド発行の時間制約	26
6.3.1. SafeSPI 通信	26
7. レジスターマップ	27
7.1. 飽和フラグ制御	28

7.2. Sleep-In/ Sleep-Out 制御	28
7.3. DSP 設定	29
7.4. ステータス読み出し	29
7.5. 通信チェック	30
7.6. データラッチ制御	31
7.6.1. トリガーデータラッチ機能	32
7.6.2. コマンドデータラッチ機能	33
7.7. ソフトウェアリセット制御 / ソフトウェアリセット	34
7.8. 出力データフォーマット	34
7.9. MISO 端子制御	35
7.10. INT1 と INT2 の設定	36
8. 故障診断機能	37
8.1. コマンド発行の時間的制約	37
8.2. 飽和フラグ	37
9. フィルター特性	38
9.1. デジタルフィルター	38
9.1.1. ローパスフィルター (LPF)	38
9.1.2. ノッチフィルター (NF)	39
10. 接続回路例	40
11. その他	41
11.1. Electro-Static discharge (ESD)	41
11.2. はんだ耐熱性	41
12. テーピング仕様	42
12.1. テーピング数量	42
12.2. テーピング材質	42
12.3. テーピング形状	42
12.4. リール寸法	42
13. 用語と定義	43
13.1. 他軸感度	43
13.2. 駆動周波数	43
13.3. 離調周波数	43
14. 使用上の注意事項	44

図のリスト

図 1-1 機能ブロック図	8
図 2-1 検出軸と極性	9
図 3-1 動作シーケンス	11
図 4-1 外形寸法	13
図 4-2 マーキング表示	14
図 4-3 等価回路: SS、SCLK、MISO、INT2	15
図 4-4 等価回路: V _{DDL} 、INT1	15
図 4-5 等価回路: V _{DDM} 、V _{DDI}	15
図 4-6 推奨 PCB ランドパターン	16
図 5-1 感度偏差 Ta = +25 °C	17
図 5-2 感度温度特性 Ta = +25 °C	17
図 5-3 静止時出力偏差 Ta = +25 °C	17
図 5-4 静止時温度特性 Ta = +25 °C	17
図 5-5 ノイズ密度	17
図 5-6 アラン分散	17
図 6-1 SafeSPI 通信フォーマット	18
図 6-2 レジスター書き込みシーケンス	19
図 6-3 レジスター読み取りシーケンス	19
図 6-4 16-bit モード角速度読み出しシーケンス	20
図 6-5 24-bit モード角速度 MSB 読み出しシーケンス	20
図 6-6 24-bit モード角速度 LSB 読み出しシーケンス	20
図 6-7 温度読み出しシーケンス	20
図 6-8 故障診断結果読み出しシーケンス	20
図 6-9 SafeSPI タイミング図	26
図 7-1 通常の角速度読み取りタイミングチャート	31
図 7-2 トリガーデータラッチタイミングチャート	32
図 7-3 データコマンドラッチタイミングチャート	33
図 9-1 セレクタブルフィルターボード線図(2次)	38
図 9-2 セレクタブルフィルターボード線図(3次)	38
図 9-3 セレクタブルフィルターボード線図(4次)	38
図 9-4 ノッチフィルターのフィルター特性	39
図 10-1 接続例 1 (Default: INT1、INT2 設定なし)	40
図 10-2 接続例 2 (DRY 出力、飽和フラグ出力)	40
図 10-3 接続例 3 (トリガーラッチ入力、飽和フラグ出力)	40
図 11-1 リフロー温度プロファイル	41
図 12-1 テープ寸法	42
図 12-2 リール形状	42
図 13-1 ジャイロセンサー検出軸方向	43





表のリスト

表 3.1 絶対最大定格	10
表 3.2 推奨動作条件	10
表 3.3 DC 特性	10
表 3.4 動作シーケンス	11
表 3.5 諸特性	12
表 3.6 温度センサー特性	12
表 4.1 端子説明	13
表 6.1 センサーデータ読み取りコマンドレジスター	20
表 6.2 センサーデータの読み取り例	22
表 6.3 レジスターアクセスの例	22
表 6.4 DSP 設定例	23
表 6.5 トリガーラッチ機能、INT2 のトリガー端子設定、INT1 の飽和フラグのレジスターアクセスの例	24
表 6.6 コマンドラッチ機能のレジスターアクセス例	24
表 6.7 INT2 の DRY 設定と INT1 の飽和フラグのレジスターアクセスの例	24
表 6.8 SafeSPI AC 仕様	26
表 6.9 SPI 通信によるコマンド発行の時間制約	26
表 7.1 ユーザーコマンドレジスター	27
表 7.2 飽和フラグコントロール	28
表 7.3 Sleep-In/Sleep-Out 制御	28
表 7.4 DSP 設定	29
表 7.5 出力形式選択	29
表 7.6 SafeSPI 入力データ比較 CRC 結果	30
表 7.7 SafeSPI 通信クロックカウントと SafeSPICntRd ステータス	30
表 7.8 データラッチ設定	31
表 7.9 データラッチコマンド制御	33
表 7.10 ソフトウェアリセット制御	34
表 7.11 出力形式選択	34
表 7.12 MISO 端子制御	35
表 7.13 MISO 端子制御状態	35
表 7.14 SelONT	36
表 7.15 INT1 及び INT2 端子制御状態	36
表 8.1 エラーフラグ説明	37
表 12.1 テープおよびリールの材質	42

改訂履歴

改訂番号	改訂日	ページ	改訂内容
1.0	2025年7月28日	-	新規制定

使用しているマークについて

	●鉛フリー製品です。
	●EU RoHS 指令適合製品です。 *Pb-Free マークの無い製品について 端子部は鉛フリーですが、製品内部には鉛（高融点はんだ鉛、または、電子部品のガラスに含まれる鉛／共に EU RoHS 指令では適用除外項目）を含有しています。
	●車載製品（ボディ系、情報系など）にご使用いただくことを意図し、車載環境を想定した品質保証プログラムにより設計、製造する製品です。
	●車の安全走行（走る・止まる・曲がる）にご使用いただくことを意図し、車載安全を想定した品質保証プログラムにより設計、製造する製品です。

本マニュアルの注意事項

●本資料のご使用につきましては、次の点にご留意願います。

1. 本資料の内容については、予告無く変更することがあります。弊社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に弊社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、弊社ホームページなどを通じて公開される最新情報に常にご注意ください。
2. 本資料の一部または全部を、弊社に無断で転載または複製など他の目的に使用することは堅くお断りします。
3. 本資料に掲載されている応用回路、プログラム、使用方法などはあくまでも参考情報であり、これらに起因する第三者の知的財産権およびその他の権利侵害ならびに損害の発生に対し、弊社はいかなる保証を行うものではありません。また、本資料によって第三者または弊社の知的財産権およびその他の権利の実施権の許諾を行うものではありません。
4. 弊社は、正確さを期すために慎重に本資料を作成しておりますが、本資料に掲載されている情報に誤りが無いことを保証するものではありません。万一、本資料に掲載されている情報の誤りによってお客様に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いかねます。
5. 本資料に掲載されている弊社製品および弊社技術を国内外の法令および規制により製造・使用・販売が禁止されている機器・システムに使用することはできません。また、弊社製品および弊社技術を大量破壊兵器等の開発目的、および軍事利用の目的、その他軍事情途等に使用しないでください。弊社製品または弊社技術を輸出または海外に提供する場合は、「外国為替及び外国為替法」、「米国輸出管理規則（EAR）」、その他輸出関連法令を遵守し、係る法令の定めるところにより必要な手続きを行ってください。
6. 弊社は、お客様が本資料に掲載されている諸条件に反したことに起因して生じたいかなる損害（直接・間接を問わず）に関して、一切その責任を負いかねます。また、お客様が弊社製品を第三者に譲渡、貸与などをしたことにより、損害（直接・間接を問わず）が発生した場合、弊社は一切その責任を負いかねます。
7. 本資料についての詳細に関するお問合せ、その他お気付きの点などがありましたら、弊社営業窓口までご連絡ください。
8. 本資料に掲載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。

●免責事項

1. 弊社製品は、極めて高い信頼性、安全性が要求されない一般的な電子機器用途での使用を想定して設計された製品です。
2. 弊社の責に帰すべき欠陥による場合を除き、本製品に一切の不具合が発生しないことを表明または保証しません。
また、本製品に起因する場合であっても、弊社起因の不具合品の返金あるいは交換以外の保証・賠償の責任を負いかねます。
3. 弊社製品を生命・身体や財産に影響を及ぼす機器（原子力、航空宇宙、社会基盤施設、医療機器など）に直接的・間接的にご使用される場合、お客様は、本製品と当該装置との適合性および装置への影響の確認および判断は、お客様単独の責任でおこなうものとします。
また、お客様は本製品や使用機器への影響を事前に確認し、必要な安全設計（冗長設計、誤動作防止設計などを含む）を行い、機器の信頼性・安全性を十分確保したうえで本製品を使用するものとします。
4. 弊社車載製品は、AEC-Q100又はAEC-Q200に準拠していますが、ISO26262に準拠した製品ではありません。
（弊社製品は ASIL A、B、C、D に対応していません。）
5. 弊社製品の分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製などは堅くお断りします
また、これに起因する不具合は保証範囲外とさせていただきます。

©セイコーエプソン株式会社 2025

1. 機能ブロック

本製品の機能ブロック図を図 1.1 に示します。

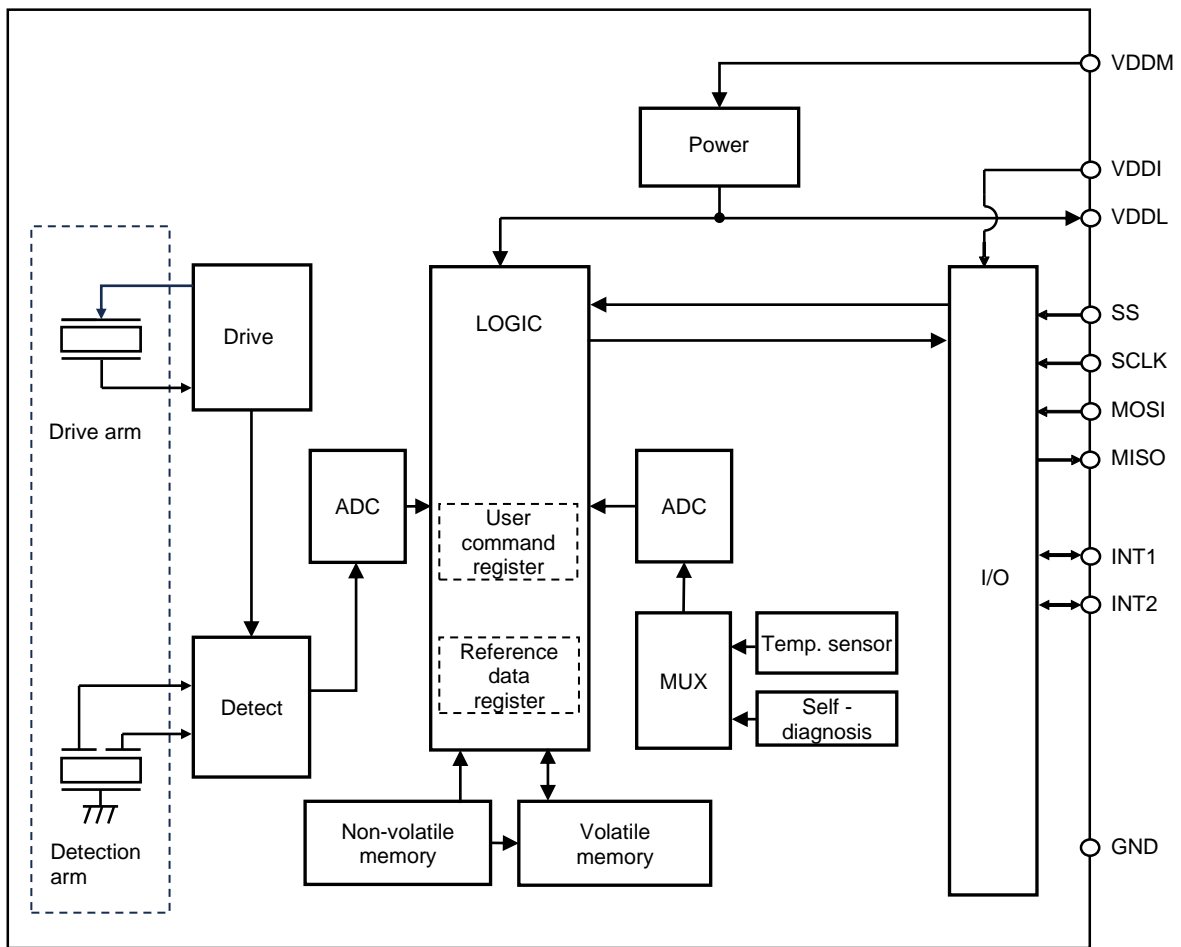


図 1-1 機能ブロック図

2. 機能説明

2.1. 角速度出力

2 の補数形式にて角速度データを出力します。16-bit/24-bit の選択が可能です。24-bit 出力モードを使う場合、レジスターアドレス「0x1C」にある 24 ビット切替レジスターを切り替える必要があります。6 章を参照してください。

2.2. 検出軸と検出極性

本製品は回転運動の角速度を検出します。角速度の検出軸と出力極性の関係を図 2-1 に示します。

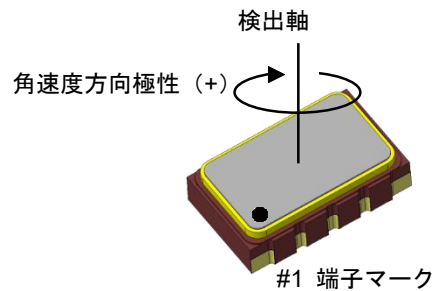


図 2-1 検出軸と極性

2.3. インターフェース

SafeSPI 方式に対応しています。通信周波数は Max.10MHz です。

2.4. 温度センサー出力

16-bit の 2 の補数形式にて温度データを出力します。温度センサー更新レートは 1kHz です。

2.5. 故障診断出力

16-bit の故障診断結果データが出力されます。8.1 節をご参照ください。

3. 電気的特性

3.1. 絶対最大定格

表 3.1 絶対最大定格

項目	記号	規格			単位	備考
		Min.	Typ.	Max.		
電源電圧 1	V _{DDM}	-0.3	-	+4.0	V	GND = 0 V
電源電圧 2	V _{DDI}	-0.3	-	+4.0	V	GND = 0 V
保存温度	T _{STG}	-40	-	+105	°C	
SS	SS	-0.3	-	+4.0	V	GND = 0 V
SCLK	SCLK	-0.3	-	+4.0	V	GND = 0 V
MOSI	MOSI	-0.3	-	+4.0	V	GND = 0 V
はんだ付け条件	-	+350°C 3秒			-	

3.2. 推奨動作条件

表 3.2 推奨動作条件

項目	記号	規格			単位	備考
		Min.	Typ.	Max.		
電源電圧 1	V _{DDM}	+2.7	-	+3.6	V	GND = 0 V
電源電圧 2	V _{DDI}	+1.65	-	+3.60	V	GND = 0 V
動作温度範囲	T _a	-40	-	+105	°C	
電源立上げ時間	t _{Pu}	0.01	-	100	ms	V _{DDM} 0 %→90 %
SafeSPI 通信クロック周波数 ^{*1}	f _{SCLK}	-	-	10	MHz	
角速度データ更新レート	ODR	-	11.6	-	kHz	周波数記号 J

(注) 通信クロック周波数を駆動周波数の整数倍で使用すると、角速度出力に変動が生じる場合があります。

(注) 駆動周波数を整数で割った周波数で角速度データを取得すると、角速度出力に変動が生じる可能性があります。サポートされている駆動周波数については表 3.5 を参照してください。

3.3. DC 特性

表 3.3 DC特性

(V_{DDM} = 2.7~3.6 V, V_{DDI} = 1.65~3.6 V, GND = 0 V, T_a = -40~+105 °C)

項目	記号	規格			単位	備考
		Min.	Typ.	Max.		
ロジック 入力電圧	V _{IH}	V _{DDI} × 0.7	-	-	V	
	V _{IL}	-	-	V _{DDI} × 0.3	V	
ロジック 出力電圧	V _{OH}	V _{DDI} - 0.4	-	-	V	V _{DDI} = Min., 負荷+1mA
	V _{OL}	-	-	+0.4	V	V _{DDI} = Min., 負荷-1mA

3.4. 動作シーケンス

表 3.4 動作シーケンス

($V_{DDM} = 2.7\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $V_{DDI} = 1.65\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $GND = 0\text{ V}$, $T_a = -40\text{ }^\circ\text{C} \sim +105\text{ }^\circ\text{C}$)

項目	記号	条件	規格			単位
			Min.	Typ.	Max.	
シリアル通信ウエイト時間	t_{IF}		1	-	-	ms
温度センサーデータ取り込み開始時間	t_{TSEN}		-	-	160	ms
起動時間	t_{STA}	出力コード $\pm 1^\circ/\text{s}$	-	-	250	ms

<注意>

1. シリアル通信は、 t_{IF} 後に行ってください。
2. 温度センサーのデータ取得は、 t_{TSEN} 後に行ってください。
3. 角速度のデータ取得は、 t_{STA} 後に行ってください。

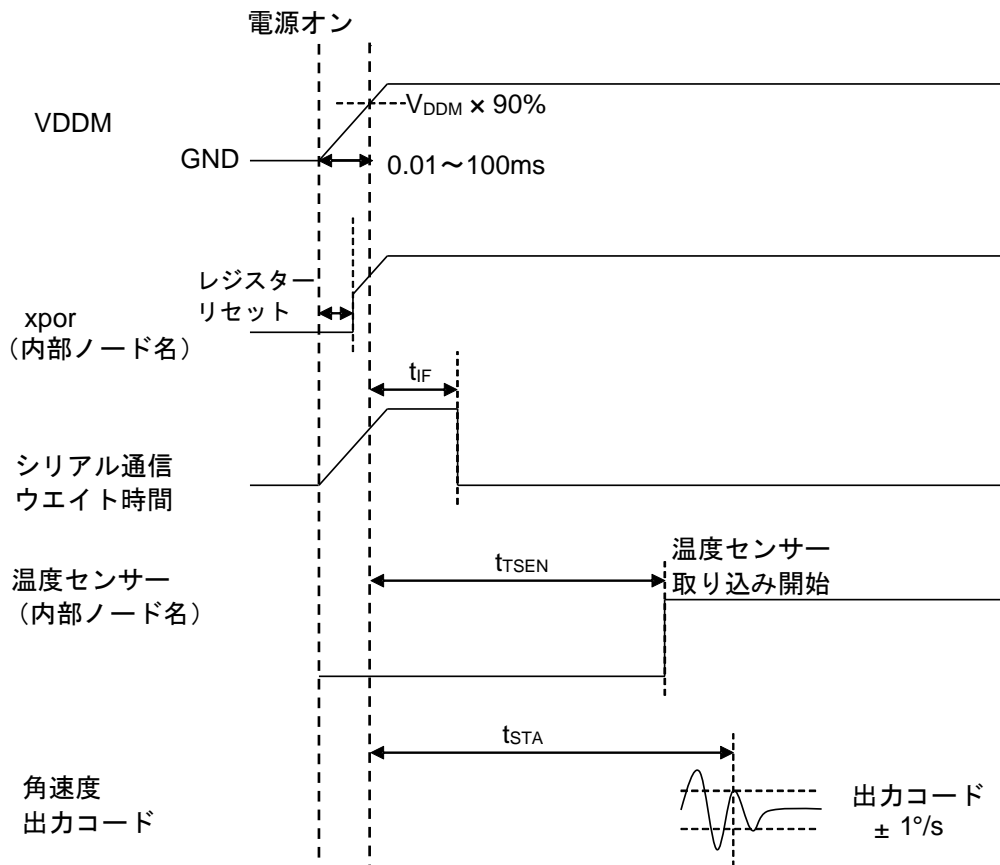


図 3-1 動作シーケンス

3.5. 諸特性

表 3.5 諸特性

(V_{DDM} = 2.7 V ~ 3.6 V, V_{DDI} = 1.65 V ~ 3.6 V, GND = 0 V, Ta = -40 °C ~ +105 °C, 以下は出荷時の特性値です)

項目	記号	条件	規格			単位
			Min.	Typ.	Max.	
駆動周波数	F _d	周波数記号 J	50.450	51.025	51.600	kHz
離調周波数	Df		0.6	0.9	1.2	kHz
公称感度	S _o	16-bit (±115°/s) FS = 1 設定	-	264	-	LSB/(°/s)
		16-bit (±460°/s) FS = 1/4 設定	-	66	-	
		24-bit (±115°/s) FS = 1 設定	-	67584	-	
		24-bit (±460°/s) FS = 1/4 設定	-	16896	-	
感度偏差	S _p	Ta = +25 °C	-2	-	+2	%
		出荷後の環境変動を含む	-4	-	+4	%
感度温度特性	S _{pt}	V _{DDM} = 3.3V, Ta = +25 °C 基準	-3	-	+3	%
静止時出力	ZRL	Ta = +25 °C	-	0	-	LSB
静止時出力偏差	ZRL	Ta = +25 °C	-1	-	+1	°/s
		出荷後の環境変動を含む	-2	-	+2	°/s
静止時出力 電源電圧-温度特性	ZRL _t	V _{DDM} = 3.3 V, Ta = +25 °C 基準	-0.25	-	+0.25	°/s
静止時出力温度係数	ZRL _s	V _{DDM} = 3.3 V, 絶対値平均, ΔT = 1 °C	-	0.0019	-	(°/s)/°C
静止時出力温度係数	ZRL _s	V _{DDM} = 3.3V, 信頼水準 95%, ΔT = 1 °C	-	±0.007	-	(°/s)/°C
検出範囲	I	FS = 1 設定	-115	-	+115	°/s
		FS = 1/4 設定	-460	-	+460	
直線性	NI		-0.05	-	+0.05	%FS
他軸感度	CS	Ta = +25 °C	-5	-	+5	%
消費電流	I _{op1}		-	-	2.5	mA
スリープ電流	I _{op3}		-	3	60	μA
ノイズ密度	N _d	Ta = +25 °C, 10~30Hz 平均値, (3 次 50HzLPF 設定, 離調周波数 900Hz)※6	-	0.0015	-	(°/s)/√Hz
角度ランダムウォーク	Arw	Ta = +25 °C, 離調周波数 900Hz	-	0.065	-	°/√h
バイアス安定性 ※1	Bs	Ta = +25 °C, アラン分散底値 1σ, 電源投入後 20 s 後	-	0.9	-	°/h
	Bs /0.664	アラン分散底値 Bs を 0.664 で割った値	-	1.4	-	°/h

※1 アラン分散 τ = 10 秒の検査値からの推定値に基づきます。

3.6. 温度センサー特性

表 3.6 温度センサー特性

(V_{DDM} = 2.7 V ~ 3.6 V, V_{DDI} = 1.65 V ~ 3.6 V, GND = 0 V, Ta = -40 °C ~ +105 °C, 以下は出荷時の特性値です)

項目	記号	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
出力コード	T _{out}	Ta = +25 °C, 16-bit 出力	2560	3200	3840	LSB
温度誤差	T _{acc}	Ta = +25 °C	-5	-	+5	°C
温度係数	T _{sen}	Ta = +25 °C	115.2	128.0	140.8	LSB/°C

4. 外形寸法および端子説明

4.1. 外形寸法

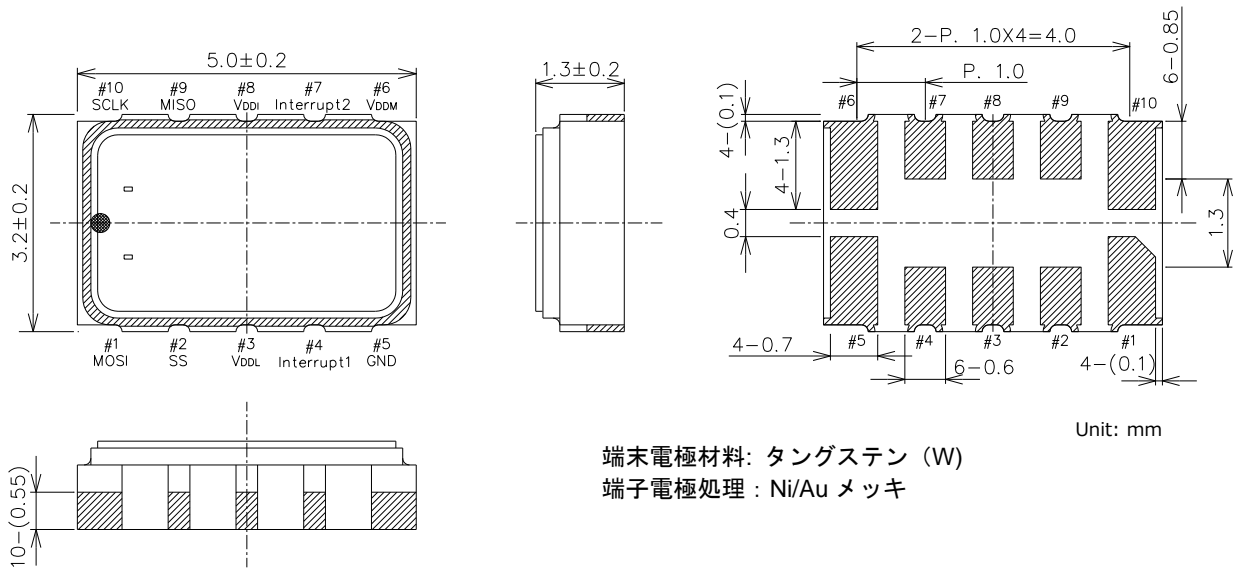


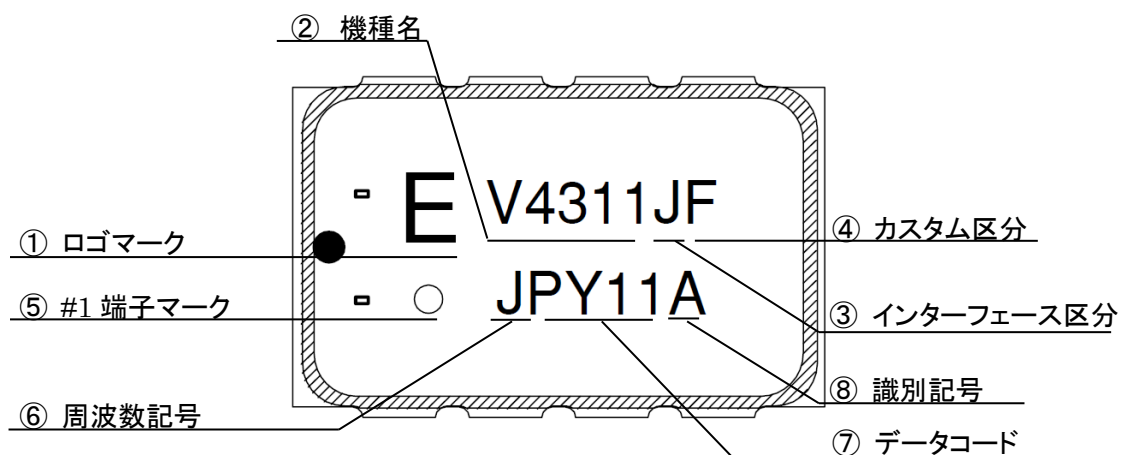
図 4-1 外形寸法

4.2. 端子配置及び機能

表 4.1 端子説明

ピン番号	ピン名	入力/出力	端子説明
#1	MOSI	I	SafeSPI : シリアルデータ入力
#2	SS	I	SafeSPI : スレーブセレクト
#3	V _{DDL}	O	内部レギュレータ電圧出力 (バイパスコンデンサ接続)
#4	Interrupt1 (INT1)	I/O	機能選択端子 ・トリガーラッチ入力 ・飽和フラグ出力 ・データレディ出力
#5	GND	-	GND 端子
#6	V _{DDM}	-	電源電圧印加端子
#7	Interrupt2 (INT2)	I/O	機能選択端子 ・トリガーラッチ入力 ・飽和フラグ出力 ・データレディ出力
#8	V _{DDI}	-	電源電圧印加端子 (インターフェース用)
#9	MISO	O	SafeSPI : シリアルデータ出力
#10	SCLK	I	SafeSPI : シリアル通信クロック (SCLK)

4.3. 表示説明



周波数記号	駆動周波数
J	51.0 kHz

図 4-2 マーキング表示

4.4. 端子等価回路

SS、SCLK、MOSI、MISO、INT2 の等価回路を図 4.3 に示します。

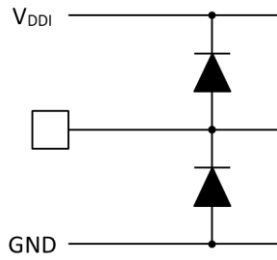


図 4-3 等価回路: SS、SCLK、MISO、INT2

VDDL、INT1 の等価回路 VDDL、INT1 を図 4.4 に示します。

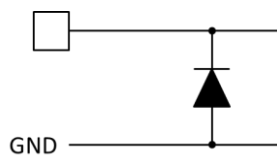


図 4-4 等価回路: VDDL、INT1

VDDM、VDDI の等価回路を図 4.5 に示します。

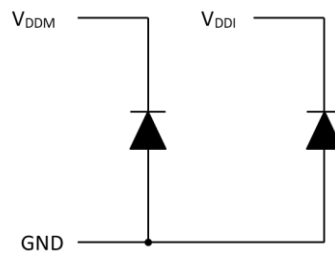


図 4-5 等価回路: VDDM、VDDI

4.5. 推奨ランドパターン

図 4-6 に推奨ランドパターン例を示します。実際の基板設計に当たっては、実装密度、はんだ付けの実装信頼性などを考慮して最適化を図って下さい。

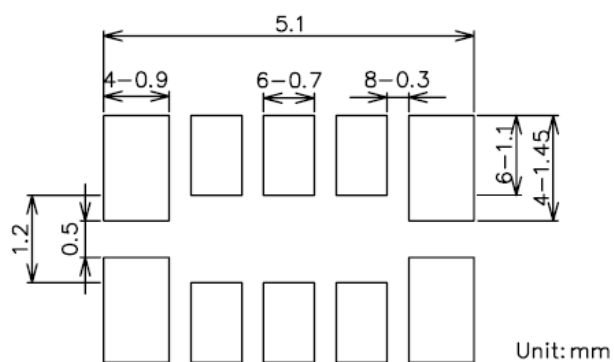


図 4-6 推奨 PCB ランドパターン

5. 代表的特性

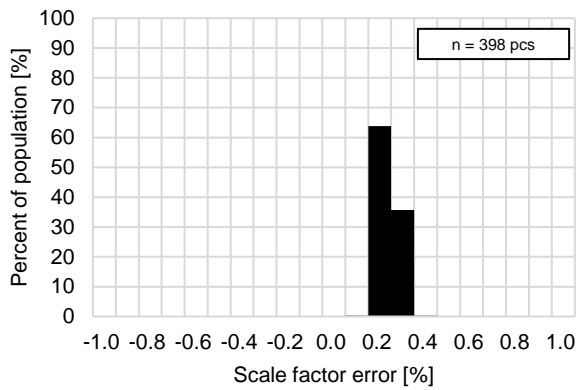


図 5-1 感度偏差 Ta = +25 °C

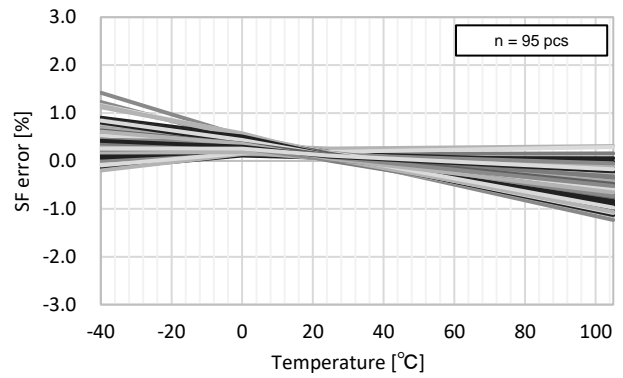


図 5-2 感度温度特性 Ta = +25 °C

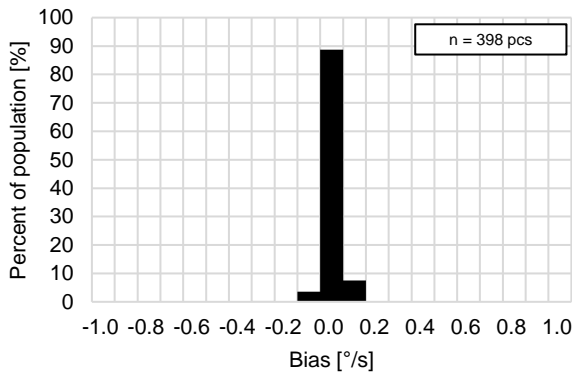


図 5-3 静止時出力偏差 Ta = +25 °C

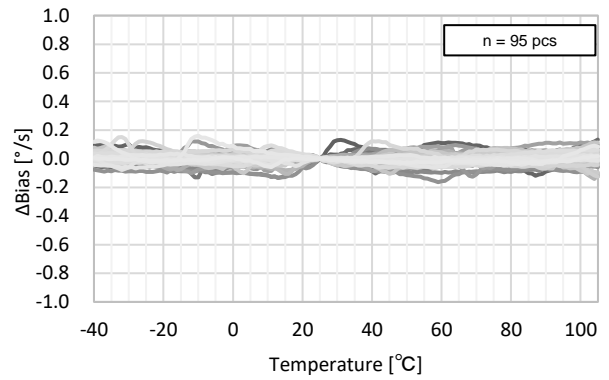


図 5-4 静止時温度特性 Ta = +25 °C

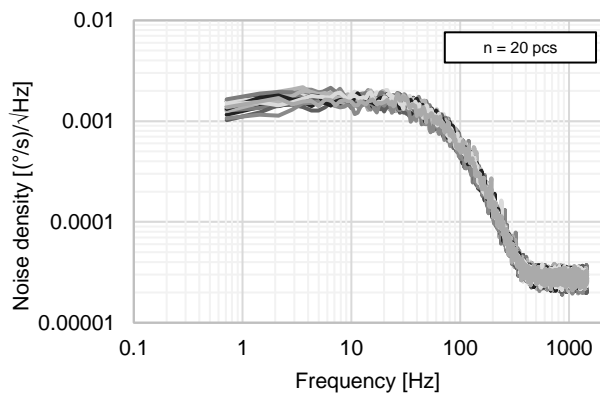


図 5-5 ノイズ密度

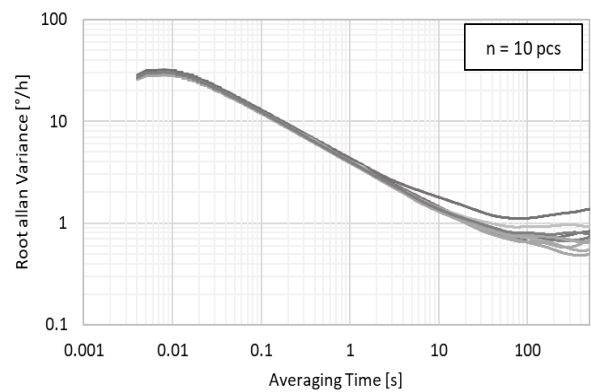


図 5-6 アラン分散

6. シリアルインターフェース

センサーへのアクセスはシリアル通信で行います。電源 V_{DDM} 投入後、3.4 節で説明したシリアル通信待機時間 t_{IF} が経過した後、スレーブ選択信号(SS)を論理“L”レベルに設定することで SafeSPI 通信が有効になります。

6.1. SafeSPI 通信

SafeSPI 通信は、車載用 SafeSPI の仕様(SafeSPI - Serial Peripheral Interface for Automotive Safety Rev1.0)に準拠した 32-bit シリアル通信です。

このモードには、CPOL=1、CPHA=1 でアクセスします。クロックの立ち下がりエッジでデータを取得するモードには対応していません。また、この SPI は SafeSPI の「In-frame protocols」のみに対応しています。「Out-of-frame protocols」には対応していません。

6.1.1. 通信フォーマット

基本的な通信フォーマットを以下に示します。SS を立ち下げると、最初の 2 ビット(bit31/bit30)の SA[1:0]がスレーブデバイス(Gyro)のアドレスになります。MOSI の場合は、出荷時に決定されたスレーブアドレスを設定します。また、スレーブアドレスが正しく設定されていれば、MISO の bit24/bit23 から SA[1:0]が出力されます。このモデルのスレーブアドレスは 2'b00 です。

以下の各機能に、以下の bit29 ~ bit5 を設定してください。bit4- bit2 の CC2:0 は送信データの CRC データになります。CRC はデータ通信におけるエラー検出方法として使用されます。

シリアル データ転送中は、SS を論理“L”レベルに維持する必要があります。SS を論理“H”レベルに設定すると、シリアルデータ転送がキャンセルされます。

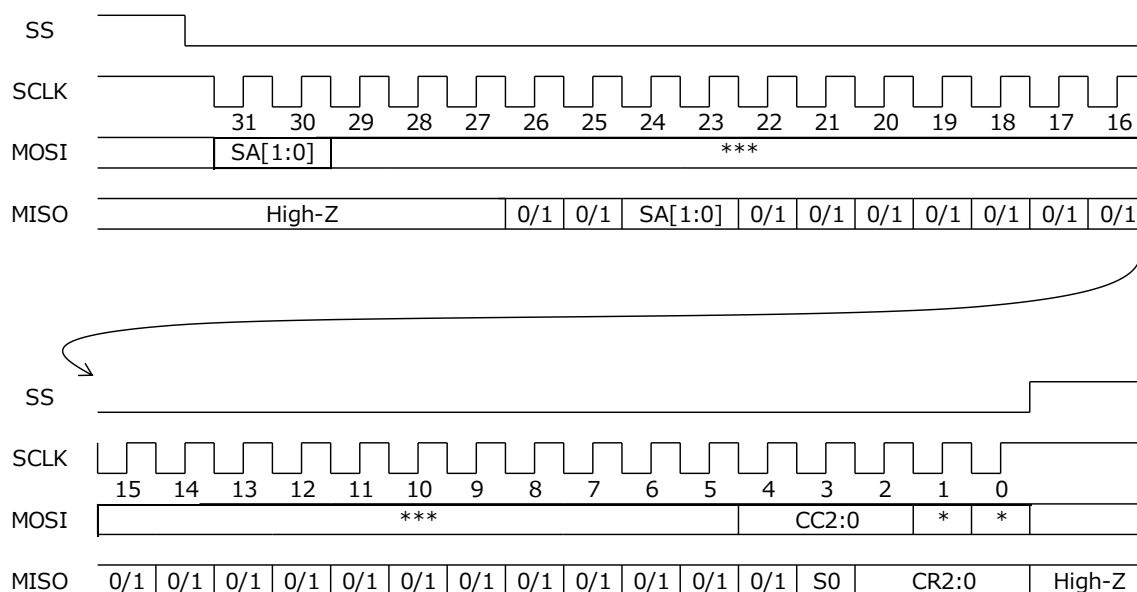


図 6-1 SafeSPI 通信フォーマット

レジスタ書き込み、レジスタ読み取り、角速度読み取り、温度読み取り、故障診断結果読み取りの 5 種類のフォーマットがサポートされています。

6.1.2. レジスター書き込み

レジスター書き込みは、bit29-bit27 を 3'b001 に設定してください。正しく設定すると、MISO の bit22-bit20 から 3'b001 が出力されます。bit26-bit20 と bit18 はレジスター書き込みに影響しない bit です。「0」または「1」のどちらを設定しても問題ありません（ただし、CRC 計算に影響します）。bit19 は「0」に設定してください。bit17-bit13(P/U と REG_ADD[3:0])はレジスターアドレスです。アクセスしたいレジスターアドレスを設定します。bit12-bit5(REG_DATA[7:0])は MOSI によるレジスター設定値です。レジスターマップを参照して設定したい値を転送してください。bit12-bit5 は MISO で設定したレジスターアドレスを書き込む前のデータ(REG_OUT[7:0])を出力します。S0 はジャイロセンサーの故障診断結果です。故障診断結果の詳細は図 6.8 に記されています。

通信フォーマットの信頼性は CRC データ(CC2:0)をチェックすることで確認され、正常であれば bit1 クロックの立ち上がりで設定値が内部レジスターに書き込まれます。CRC データについては後述の「CRC 通信エラーチェック」を参照してください。

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	0	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	0	*	P/U	REG ADD[3:0]			REG DATA[7:0]							CC2:0		*	*			
MISO	High-Z			0	0	SA[1:0]	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	REG OUT[7:0]							0	S0	CR2:0			

図 6-2 レジスター書き込みシーケンス

6.1.3. レジスター読み出し

レジスター読み出しは、レジスター書き込みと異なり、bit19 を「1」に設定します。その他の設定はレジスター書き込みと同じです (bit12-bit5 の設定はレジスター読み出しには影響しません)。レジスター値は MISO の bit12-bit5 から出力されます。

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	0	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	P/U	REG ADD[3:0]			*							CC2:0		*	*			
MISO	High-Z			0	0	SA[1:0]	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	REG OUT[7:0]							0	S0	CR2:0			

図 6-3 レジスター読み取りシーケンス

6.1.4. センサーデータの読み取り

各種データ読み取りシーケンスを以下に示します。

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	0	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CC2:0	*	*	
MISO	High-Z			0	1	SA[1:0]	0	1	0	GYRO DATA[15:0]															S0	CR2:0						

図 6-4 16-bit モード角速度読み出しシーケンス

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	0	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CC2:0	*	*	
MISO	High-Z			0	1	SA[1:0]	0	1	0	GYRO DATA[23:8]															S0	CR2:0						

図 6-5 24-bit モード角速度 MSB 読み出しシーケンス

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	0	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CC2:0	*	*	
MISO	High-Z			0	1	SA[1:0]	0	1	1	GYRO DATA[15:0]															S0	CR2:0						

図 6-6 24-bit モード角速度 LSB 読み出しシーケンス

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	1	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CC2:0	*	*	
MISO	High-Z			0	1	SA[1:0]	1	0	1	TEMP DATA[15:0]															S0	CR2:0						

図 6-7 温度読み出しシーケンス

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MOSI	SA[1:0]	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CC2:0	*	*	
MISO	High-Z			1	0	SA[1:0]	1	1	0	Failure FLAG[15:0]															S0	CR2:0						

図 6-8 故障診断結果読み出しシーケンス

センサーデータを読み出す場合は、bit29-bit27 に読み出したいデータに対応するコマンドを設定します。センサーデータセットは MISO の bit19-bit4 から出力されます。S0 は故障診断結果読み出し出力を減算または計算した結果を出力します。

表 6.1 センサーデータ読み取りコマンドレジスター

ビット[29:27]	R/W	出力データ
001	R/W	レジスターアクセス
010	R	角速度読み出し (24-bit モード/16-bit モード MSB)
011	R	角速度読み出し (24-bit モード LSB)
101	R	温度表示
110	R	故障診断結果の読み出し

- (注) 24-bit モードでは、LSB 側(011)を読み取る前に必ず MSB 側(010) を読み取ってください。
- (注) 1C アドレスで 24 ビットモードに切り替える必要があります。7.8 節を参照してください。
- (注) 24-bit モードでは、出力されるジャイロデータ [23:0] は、
 - 1) MSB 側 (ビット [29:27] が 3'b010) を読み取ると、ジャイロデータ [23:8] が出力されます。
 - 2) LSB 側 (ビット [29:27] が 3'b011) を読み取ると、ジャイロデータ [15:0] が出力されます。
 24-bit に処理する場合は、追加の計算が必要です。(例: (MSB<<8)+(LSB&0x00FF))
- さらに、出力ビットが重複することで、データの信頼性が確保されます。

6.1.5. CRC 通信エラーチェック

この通信は通信エラーチェックとして CRC(Cyclic Redundancy Check)を搭載しています。CC2:0 は MOSI から送信された bit31-bit5 の値を用いて CRC 計算を行う値です。CC2:0 はレジスタ書き込みシーケンスで使用され、bit4-bit2 から送信された CC2:0 データと IC 内部で計算された CRC データを比較することで、正常にデータが送信されたかどうかを判定します。比較結果が一致し、正常にデータが送信されたと判定された場合はレジスタ書き込みを行います。比較結果が不一致の場合、レジスタ書き込みは行いません。その後レジスタ書き込みが行われたかどうかを確認したい場合は、以下のどちらかを実施してください。

- 1) 対象アドレスのレジスタ読み出し
- 2) 後述の「SafeSPI 入力データ比較 CRC 結果格納レジスタ」のデータの読み出し

CR2:0 は、MISO から送信された bit26-bit3 の値を使用して CRC を計算する値となります。この IC からデータが正常に受信されているかどうかの判断に使用できます。インフレーム形式の場合、開始値 3'111、ターゲット値 3'b000 で、多項式 $0x5 (x^3 + x^1 + x^0)$ の 3 ビット CRC が使用されます。

詳細な CRC 計算方法については、SafeSPI 仕様を参照してください。

6.1.6. 操作

表 6.2 センサーデータの読み取り例

センサーデータ	16進コマンド	バイナリーコマンド
角速度 (24-bit モード/16-bit モード MSB)	0x10000018	00 010 000000000000000000000000 110 00
角速度 (24-bit モード LSB)	0x18000000	00 011 000000000000000000000000 000 00
温度	0x28000008	00 101 000000000000000000000000 010 00
故障診断結果	0x3000000c	00 110 000000000000000000000000 011 00

表 6.3 レジスターアクセスの例

センサーデータ	W/R	データ書き込み	16進コマンド	バイナリーコマンド
スリープ制御 [アドレス: 0x06]	W	0x59	0x0800CB38	00 001 0000000 0 0 0 0110 01011001 110 00
	R	-	0x0808C018	00 001 0000000 1 0 0 0110 00000000 110 00
スリープイン [アドレス: 0x05]	W	0x01	0x0800A03C	00 001 0000000 0 0 0 0101 00000001 111 00
	R	-	0x0808A01C	00 001 0000000 1 0 0 0101 00000000 111 00
スリープアウト [アドレス: 0x05]	W	0x00	0x0800A010	00 001 0000000 0 0 0 0101 00000000 100 00
	R	-	0x0808A01C	00 001 0000000 1 0 0 0101 00000000 111 00
ソフトウェア制御 [アドレス: 0x1A]	W	0x59	0x08034B20	00 001 0000000 0 0 1 1010 01011001 000 00
	R	-	0x080B4000	00 001 0000000 1 0 1 1010 00000000 000 00
ソフトウェア リセット [アドレス: 0x1B]	W	0x01	0x08036038	00 001 0000000 0 0 1 1011 00000001 110 00
16-bit 読み取り形式 [アドレス: 0x1C]	R	0x00	0x08038004	00 001 0000000 0 0 1 1100 00000000 001 00
	W	-	0x080B8008	00 001 0000000 1 0 1 1100 00000000 010 00
24-bit 読み取り形式 [アドレス: 0x1C]	R	0x04	0x08038098	00 001 0000000 0 0 1 1100 00000100 110 00
	W	-	0x080B8008	00 001 0000000 1 0 1 1100 00000000 010 00

表 6.4 DSP 設定例

DSP 設定[アドレス[0x0c]				データ 書き込み	16 進コマンド	バイナリーコマンド
SelfFSR	EnbNF	LpfOrder	LpfFc			
2'b00 +/- 115 [°/s]	Enable 1'b1	2 nd	1 Hz	0x20	0x08018404	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100000 001 00
			10 Hz	0x21	0x08018428	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100001 010 00
			25 Hz	0x22	0x0801845C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100010 111 00
			50 Hz	0x23	0x08018470	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100011 100 00
			100 Hz	0x24	0x08018498	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100100 110 00
			200 Hz	0x25	0x080184B4	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100101 101 00
		400 Hz	0x26	0x080184C0	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100110 000 00	
		500 Hz	0x27	0x080184EC	00 001 0000000 0 0 0 1100 00100111 011 00	
		1 Hz	0x28	0x08018510	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101000 100 00	
		10 Hz	0x29	0x0801853C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101001 111 00	
		25 Hz	0x2A	0x08018548	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101010 010 00	
		50 Hz	0x2B	0x08018564	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101011 001 00	
		100 Hz	0x2C	0x0801858C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101100 011 00	
		200 Hz	0x2D	0x080185A0	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101101 000 00	
	400 Hz	0x2E	0x080185D4	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101110 101 00		
	500 Hz	0x2F	0x080185F8	00 001 0000000 0 0 0 1100 00101111 110 00		
	4 th	1 Hz	0x30	0x08018600	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110000 000 00	
		10 Hz	0x31	0x0801862C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110001 011 00	
		25 Hz	0x32	0x08018658	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110010 110 00	
		50 Hz	0x33	0x08018674	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110011 101 00	
		100 Hz	0x34	0x0801869C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110100 111 00	
		200 Hz	0x35	0x080186B0	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110101 100 00	
		400 Hz	0x36	0x080186C4	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110110 001 00	
		500 Hz	0x37	0x080186E8	00 001 0000000 0 0 0 1100 00110111 010 00	
		1 Hz	0x00	0x0801800C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000000 011 00	
		10 Hz	0x01	0x08018020	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000001 000 00	
		25 Hz	0x02	0x08018054	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000010 101 00	
		50 Hz	0x03	0x08018078	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000011 110 00	
100 Hz		0x04	0x08018090	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000100 100 00		
200 Hz		0x05	0x080180BC	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000101 111 00		
400 Hz	0x06	0x080180C8	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000110 010 00			
500 Hz	0x07	0x080180E4	00 001 0000000 0 0 0 1100 00000111 001 00			
3 rd	1 Hz	0x08	0x08018118	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001000 110 00		
	10 Hz	0x09	0x08018134	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001001 101 00		
	25 Hz	0x0A	0x08018140	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001010 000 00		
	50 Hz	0x0B	0x0801816C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001011 011 00		
	100 Hz	0x0C	0x08018184	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001100 001 00		
	200 Hz	0x0D	0x080181A8	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001101 010 00		
	400 Hz	0x0E	0x080181DC	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001110 111 00		
	500 Hz	0x0F	0x080181F0	00 001 0000000 0 0 0 1100 00001111 100 00		
	1 Hz	0x10	0x08018208	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010000 010 00		
	10 Hz	0x11	0x08018224	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010001 001 00		
	25 Hz	0x12	0x08018250	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010010 100 00		
	50 Hz	0x13	0x0801827C	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010011 111 00		
	100 Hz	0x14	0x08018294	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010100 101 00		
	200 Hz	0x15	0x080182B8	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010101 110 00		
400 Hz	0x16	0x080182CC	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010110 011 00			
500 Hz	0x17	0x080182E0	00 001 0000000 0 0 0 1100 00010111 000 00			
2'b10 +/- 460 [°/s]	Enable 1'b1	2 nd	1 Hz	0xa0	0x08019408	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100000 010 00
			10 Hz	0xa1	0x08019424	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100001 001 00
			25 Hz	0xa2	0x08019450	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100010 100 00
			50 Hz	0xa3	0x0801947C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100011 111 00
			100 Hz	0xa4	0x08019494	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101000 101 00
			200 Hz	0xa5	0x080194B8	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101010 110 00
		400 Hz	0xa6	0x080194CC	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100110 011 00	
		500 Hz	0xa7	0x080194E0	00 001 0000000 0 0 0 1100 10100111 000 00	
		1 Hz	0xa8	0x0801951C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101000 111 00	
		10 Hz	0xa9	0x08019530	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101001 100 00	
		25 Hz	0xaa	0x08019544	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101010 001 00	
		50 Hz	0xab	0x08019568	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101011 010 00	
		100 Hz	0xac	0x08019580	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101100 000 00	
		200 Hz	0xad	0x080195AC	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101101 011 00	
	400 Hz	0xae	0x080195D8	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101110 110 00		
	500 Hz	0xaf	0x080195F4	00 001 0000000 0 0 0 1100 10101111 101 00		
	4 th	1 Hz	0xb0	0x0801960C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110000 011 00	
		10 Hz	0xb1	0x08019620	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110001 000 00	
		25 Hz	0xb2	0x08019654	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110010 101 00	
		50 Hz	0xb3	0x08019678	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110011 110 00	
		100 Hz	0xb4	0x08019690	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110100 100 00	
		200 Hz	0xb5	0x080196BC	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110101 111 00	
		400 Hz	0xb6	0x080196C8	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110110 010 00	
		500 Hz	0xb7	0x080196E4	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110111 001 00	
		1 Hz	0xb8	0x08019000	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000000 000 00	
		10 Hz	0xb1	0x0801902C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000001 011 00	
		25 Hz	0xb2	0x08019058	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000010 110 00	
		50 Hz	0xb3	0x08019074	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000011 101 00	
100 Hz		0xb4	0x0801909C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000100 111 00		
200 Hz		0xb5	0x080190B0	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000101 100 00		
400 Hz	0xb6	0x080190C4	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000110 001 00			
500 Hz	0xb7	0x080190E8	00 001 0000000 0 0 0 1100 10000111 010 00			
3 rd	1 Hz	0xb8	0x08019114	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001000 101 00		
	10 Hz	0xb9	0x08019138	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001001 110 00		
	25 Hz	0xba	0x0801914C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001010 011 00		
	50 Hz	0xbb	0x08019160	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001011 000 00		
	100 Hz	0xbc	0x08019188	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001100 010 00		
	200 Hz	0xbd	0x080191A4	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001101 001 00		
	400 Hz	0xbe	0x080191D0	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001110 100 00		
	500 Hz	0xbf	0x080191FC	00 001 0000000 0 0 0 1100 10001111 111 00		
	1 Hz	0x90	0x08019204	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010000 001 00		
	10 Hz	0x91	0x08019228	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010001 010 00		
	25 Hz	0x92	0x0801925C	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010010 111 00		
	50 Hz	0x93	0x08019270	00 001 0000000 0 0 0 1100 10110011 110 00		
	100 Hz	0x94	0x08019298	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010100 110 00		
	200 Hz	0x95	0x080192B4	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010101 101 00		
400 Hz	0x96	0x080192C0	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010110 000 00			
500 Hz	0x97	0x080192EC	00 001 0000000 0 0 0 1100 10010111 011 00			
読み取り					0x08098000	00 001 0000000 1 0 0 1100 00000000 000 00

表 6.5 トリガーラッチ機能、INT2 のトリガー端子設定、INT1 の飽和フラグのレジスターアクセスの例

レジスターアクセス	W/R	データ書き込み	16 進コマンド	バイナリーコマンド
SelONT [アドレス: 0x1E]	W	0x84	0x0803D088	00 001 0000000 0 0 1 1110 10000100 010 00
	R	-	0x080BC014	00 001 0000000 1 0 1 1110 00000000 101 00
トリガーデータラッチ [アドレス: 0x0B]	W	0x40	0x0801680C	00 001 0000000 0 0 0 1011 01000000 011 00
	R	-	0x08096010	00 001 0000000 1 0 0 1011 00000000 100 00
飽和フラグ制御 [アドレス: 0x02]	W	0x0D	0x080041A4	00 001 0000000 0 0 0 0010 00001101 001 00
	R	-	0x0808400C	00 001 0000000 1 0 0 0010 00000000 011 00

表 6.6 コマンドラッチ機能のレジスターアクセス例

レジスターアクセス	W/R	データ書き込み	16 進コマンド	バイナリーコマンド
コマンドデータラッチ [アドレス: 0x0B]	W	0x20	0x08016414	00 001 0000000 0 0 0 1011 00100000 101 00
	R	-	0x08096010	00 001 0000000 1 0 0 1011 00000000 100 00
データラッチ [アドレス: 0x15]	W	0x01	0x0802A034	00 001 0000000 0 0 1 0101 00000001 101 00
	R	-	0x080AA014	00 001 0000000 1 0 1 0101 00000000 101 00
ラッチデータ解除 [アドレス: 0x15]	W	0x00	0x0802A018	00 001 0000000 0 0 1 0101 00000000 110 00
	R	-	0x080AA014	00 001 0000000 1 0 1 0101 00000000 101 00

表 6.7 INT2 の DRY 設定と INT1 の飽和フラグのレジスターアクセスの例

レジスターアクセス	W/R	データ書き込み	16 進コマンド	バイナリーコマンド
SelONT [アドレス: 0x1E]	W	0x14	0x0803C280	00 001 0000000 0 0 1 1110 00010100 000 00
	R	-	0x080BC014	00 001 0000000 1 0 1 1110 00000000 101 00
飽和フラグ制御 [アドレス: 0x02]	W	0x0D	0x080041A4	00 001 0000000 0 0 0 0010 00001101 001 00
	R	-	0x0808400C	00 001 0000000 1 0 0 0010 00000000 011 00

6.1.7. 例

[コマンドの例]

in-frame, command	0x 00 00 00 04	OK
in-frame, command	0x FF FF FF F7	OK
in-frame, command	0x 0F 0F 0F 13	OK
in-frame, command	0x 0F F2 C8 E7	OK
<i>in-frame, response</i>	0x 00 00 00 06	OK
<i>in-frame, response</i>	0x FF FF FF FC	OK
<i>in-frame, response</i>	0x 0F 0F 0F 0A	OK
<i>in-frame, response</i>	0x 0F F2 C8 FE	OK

[サンプルプログラム]

```

class CRCGenerator:
    def __init__(self, data):
        self.tmpDat_a = data
        self.intermediate_CRCs = [0] * 30 # 27 + 3

    def calculate_crc(self):

        self.intermediate_CRCs[0] = (1 << 2) + ((1 ^ 1) << 1) + (1 ^ self.tmpDat_a[0])
        for i in range(1, 30):
            prevCRC = self.intermediate_CRCs[i - 1]
            bitShifted = self.tmpDat_a[i]
            self.intermediate_CRCs[i] = (((prevCRC>>1)&1)<<2) + (((prevCRC&1)^((prevCRC>>2)&1))<<
1) + (((prevCRC>>2)&1) ^ bitShifted)
            print(f"CRC{i}: {self.intermediate_CRCs[i]}")

        return self.intermediate_CRCs[29]

def int_to_bit_array(n, length=32):
    return [(n >> i) & 1 for i in range(length-1, -1, -1)]

def main():
    data = [0] * 32 # Example of 32-bit data input
    data = int_to_bit_array(value)
    print(f"data: {data}")

    generator = CRCGenerator(data)
    CRC = generator.calculate_crc()
    # print(f"CRC: {CRC}")

if __name__ == "__main__":
    main()

```

6.2. タイミング仕様

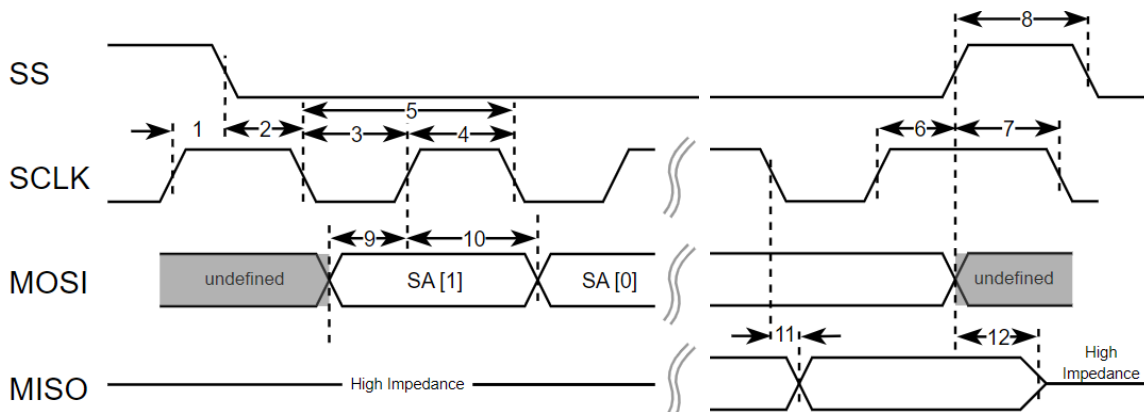


図 6-9 SafeSPI タイミング図

表 6.8 SafeSPI AC 仕様

($V_{DDM} = 2.7\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $V_{DDI} = 1.65\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $GND = 0\text{ V}$, $T_a = -40\text{ }^\circ\text{C} \sim +105\text{ }^\circ\text{C}$)

項目	記号	条件	$V_{DDI} \leq 2.4\text{ V}$		$V_{DDI} > 2.4\text{ V}$		単位
			Min.	Max.	Min.	Max.	
SCK disable lead time	1		10	-	10	-	ns
SCK enable lead time	2		15	-	15	-	ns
SCK low time	3		90	-	40	-	ns
SCK high time	4		90	-	40	-	ns
SCK cycle time	5		200	-	100	-	ns
SCK enable lag time	6		20	-	20	-	ns
SCK disable lag time	7		10	-	10	-	ns
Sequential transfer delay	8		30	-	30	-	ns
MOSI data setup time	9		10	-	10	-	ns
MOSI data hold time	10		10	-	10	-	ns
MISO data valid time	11	Max. $C_L = 30\text{ pF}$	-	80	-	50	ns
MISO data disable lag time	12		-	30	-	30	ns

6.3. コマンド発行の時間制約

6.3.1. SafeSPI 通信

表 6.9 SPI 通信によるコマンド発行の時間制約

($V_{DDM} = 2.7\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $V_{DDI} = 1.65\text{ V} \sim 3.6\text{ V}$, $GND = 0\text{ V}$, $T_a = -40\text{ }^\circ\text{C} \sim +105\text{ }^\circ\text{C}$)

項目	記号	Min.	Typ.	Max.	単位
Sleep-In 実行待機時間	t_{SLPIN}	10	-	-	μs
Sleep-Out 実行待機時間 (注 1)	t_{SLPOUT}	10	-	-	μs

(注 1) Sleep-Out コマンドは、Sleep-In コマンド発行後、コマンド実行待機時間(t_{SLPOUT})が経過した後に発行してください。

7. レジスタマップ

以下にユーザーコマンドレジスタの機能を示します。

表 7.1 ユーザーコマンドレジスタ

アドレス	レジスタ	R/W	機能
0x00			Reserved
0x01			Reserved
0x02	SatFlgCtl	R/W	Saturation flag control
0x03			Reserved
0x04			Reserved
0x05	Status	R/W	Sleep-In
0x06	ProtState	R/W	Sleep-In control
0x07	SafeSPICrcRd	R	SafeSPI CRC result history
0x08	TempRd	R	Temperature data output
0x09	SafeSPICntRd	R	SafeSPI communication clock count
0x0A	DatAccOn	R	Angular velocity data output
0x0B	DatLatchCom	R/W	Data latch
0x0C	SelfFSR	R/W	DSP settings
0x0D			Status read
0x0E			Reserved
0x0F			Reserved
0x10			Reserved
0x11			Reserved
0x12			Reserved
0x13			Reserved
0x14			Reserved
0x15	DatLatchCom	R/W	Command data latch
0x16			Reserved
0x17			Reserved
0x18			Reserved
0x19			Reserved
0x1A	ProtSoftR	R/W	Software reset control
0x1B	SoftReset	R/W	Software reset
0x1C	OutFormat	R/W	Select OutFormat
0x1D	SelMISO	R/W	MISO pin control
0x1E	SelINT	R/W	INT1/INT2 pin control
0x1F			Reserved

R : レジスタ読み出し

R/W : レジスタ読み出し、及びレジスタ書き込み

7.1. 飽和フラグ制御

飽和フラグは、表 7.2 アドレス「0x02」にあるレジスター SatFlgCtl を使用して制御できます。出力設定については、7.10 節を参照してください。

表 7.2 飽和フラグコントロール

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x02	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	SatFlgCtl	0	R/W	飽和フラグ出力選択	0xD: INT1 0xE: INT2 (7-10 参照)
	2		0	R/W		
	1		0	R/W		
0	0		R/W			

7.2. Sleep-In / Sleep-Out 制御

Sleep-In/ Sleep-Out は以下の手順で実行されます。

1. アドレス "0x06" レジスターに "0x59" を設定すると Sleep-In 制御信号が有効になります。
2. アドレス "0x05" レジスターに "0x01" を設定すると Sleep-In が実行されます。
3. アドレス "0x05" レジスターに "0x00" を設定すると Sleep-Out が実行され、通常モードに戻ります。

Sleep-In 中はレジスターアクセスのみ可能で、角速度データと温度センサーデータは利用できません。

Sleep-In から Sleep-Out に移行すると、DSP 機能が初期化されます。DSP 特性を変更する場合は、Sleep-In と Sleep-Out を実行する必要があります。

表 7.3 Sleep-In / Sleep-Out 制御

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x05	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	1	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	0	Spln	0	R/W	Sleep-In 制御	0: Sleep-Out 1: Sleep-In
0x06	7	ProtState[7]	0	R/W	Sleep-In 制御 イネーブル	0x59 が書かれた時に Sleep-In が有効になる
	6	ProtState[6]	0	R/W		
	5	ProtState[5]	0	R/W		
	4	ProtState[4]	0	R/W		
	3	ProtState[3]	0	R/W		
	2	ProtState[2]	0	R/W		
	1	ProtState[1]	0	R/W		
	0	ProtState[0]	0	R/W		

7.3. DSP 設定

このレジスタでは、スケール係数の範囲、ノッチフィルター制御、LPF 順序、および LPF カットオフ周波数を選択できます。

表 7.4 DSP 設定

アドレス	ビット	レジスタ	デフォルト	R/W	機能	設定
0x0C	7	SelfFSR[1]	0	R/W	検出範囲選択	SelfFSR[1:0] 00 : +/-115°/s(Default) 01 : Not Available 10 : +/-460°/s 11 : Not available
	6	SelfFSR[0]	0	R/W		
	5	EnbNF	1	R/W	Notch filter 制御	0 : Disable 1 : Enable
	4	LpfOrder[1]	0	R/W	LPF 次数選択	LpfOrder [1:0] 00 : 2 nd 01 : 3 rd (Default) 10 : 4 th 11 : Not available
	3	LpfOrder[0]	1	R/W		
	2	LpfFc[2]	0	R/W	LPF f _c 選択	LpfFc[2:0] 000 : 1Hz 001 : 10Hz 010 : 25Hz 011 : 50Hz(Default) 100 : 100Hz 101 : 200Hz 110 : 400Hz 111 : 500Hz
	1	LpfFc[1]	1	R/W		
0	LpfFc[0]	1	R/W			

(注) 設定を変更する場合は、変更するビットを除いて初期値を設定してください。同じレジスタ(同じアドレス)のビットは同時に設定変更することができます。

(注) 予約レジスタは変更せず、初期値を使用してください。

(注) センサーを使用する前に、Sleep-In/Sleep-Out で DSP レジスタを初期化してください。7.2 節を参照してください。

7.4. ステータス読み出し

このレジスタはセンサー内のステータスを確認することができます。

表 7.5 出力形式選択

アドレス	ビット	レジスタ	デフォルト	R/W	機能	設定
0x0D	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	datStatus[3]	0	R	ステータスモニター フラグ	H: 通常動作 L: 通常以外
	2	datStatus[2]	0	R	ステータスモニター フラグ	H: テスト動作 L: テスト以外
	1	datStatus[1]	0	R	ステータスモニター フラグ	H: Sleep-In モード L: Sleep-In モード以外
	0	datStatus[0]	0	R	ステータスモニター フラグ	H: 初期動作期間 L: 初期動作期間以外

7.5. 通信チェック

SafeSPI 入力データ比較 CRC 結果(アドレス : 0x07)は、CC2:0 の比較結果を格納するレジスターです。このレジスターを読み出すことで、CC2:0 に送信された CRC データと IC 内部で計算された CRC との比較結果を確認することができます。レジスターデータの詳細を以下に示します。

表 7.6 SafeSPI 入力データ比較 CRC 結果

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x07	7	CRC_7	0	R	8 回前の CC2:0 比較結果	比較結果 H: OK L: NG
	6	CRC_6	0	R	7 回前の CC2:0 比較結果	
	5	CRC_5	0	R	6 回前の CC2:0 比較結果	
	4	CRC_4	0	R	5 回前の CC2:0 比較結果	
	3	CRC_3	0	R	4 回前の CC2:0 比較結果	
	2	CRC_2	0	R	3 回前の CC2:0 比較結果	
	1	CRC_1	0	R	2 回前の CC2:0 比較結果	
	0	CRC_0	0	R	前回通信時の CC2:0 比較結果	

このレジスターを読み出すと、ビット 0 に前回の通信時の CC2:0 比較結果、ビット 1 に 2 回前の CC2:0 比較結果が格納されます。比較結果は通信ごとにシフトされるため、過去 8 回分の比較結果を確認することができます。

SafeSPI 通信カウント(アドレス : 0x09)は、SafeSPI 通信した回数をカウントします。このカウント値は SS が Low になり、32 クロックで通信が正常に終了した場合にのみ増加します。例えば、クロック数 31 や 33 で SS が L から H に変化した場合はカウントアップされません。この値を読み出すことで、デバッグ時に通信状態を確認することができます。

以下は、SafeSPI 通信のクロックカウント数と SafeSPICntRd ステータスです。

表 7.7 SafeSPI 通信クロックカウントと SafeSPICntRd ステータス

Clock カウント数	SafeSPICntRd ステータス	備考 (レジスター書き込み状況)
0~30	カウントアップなし	レジスター書き込みは実施されない
31	カウントアップなし	CRC が正常なら書き込みを実施
32(normal)	カウントアップあり	CRC が正常なら書き込みを実施
33	カウントアップなし	CRC が正常なら書き込みを実施

7.6. データラッチ制御

データラッチは、任意のタイミングで角速度データをラッチし、ラッチデータを読み出すことができます。データラッチ機能は、表 7.8 に示すアドレス“0x0B”のレジスターを使用することで有効になります。トリガーデータラッチ機能は、「EnbIntLatch」を“1”に設定することで有効になります。また、コマンドデータラッチ機能は、「EnbCmdTrg」を“1”に設定することで有効になります。

図 7-1 に通常の角速度読み出しタイミングチャートを示します。データラッチ機能が無効の場合、図 7-1 に示すように、角速度要求読み出しコマンドが入力された時点のデータが出力されます。

一方、データラッチ機能は、トリガー信号またはコマンドを使用して任意のタイミングで内部データをラッチします。ラッチデータは、その後の角速度読み出しで角速度データとして読み出されます。ラッチされた読み出しデータは、新たなラッチ操作を行わない限り更新されません。

表 7.8 データラッチ設定

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x0B	7	Reserved	0	R/W	Reserved	Reserved
	6	EnbIntLatch	0	R/W	トリガーラッチ有効	0: 無効にする 1: 有効にする
	5	EnbCmdTrg	0	R/W	コマンドデータラッチ有効	0: 無効にする 1: 有効にする
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	1	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	0	Reserved	0	R	Reserved	Reserved

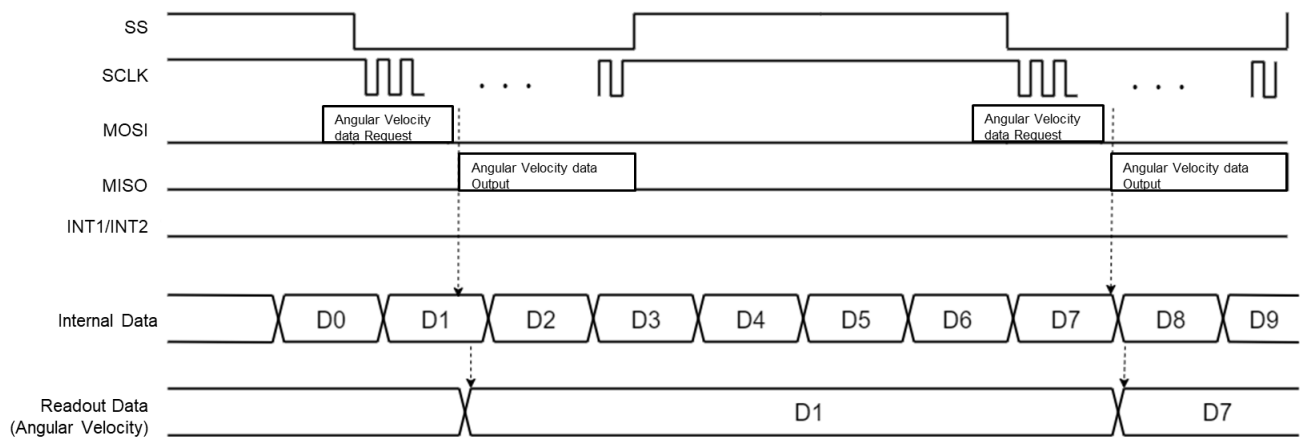


図 7-1 通常の角速度読み取りタイミングチャート

7.6.1. トリガーデータラッチ機能

図 7-2 にトリガーラッチ機能のタイミングチャートを示します。INT1/INT2 に H パルストリガー信号が入力されると、角速度データの内部データがラッチされます。データがラッチされた後、角速度要求が入力されるとラッチされたデータが出力されます。その後、新しいトリガー信号が入力されない限り、読み出されたデータは更新されません。

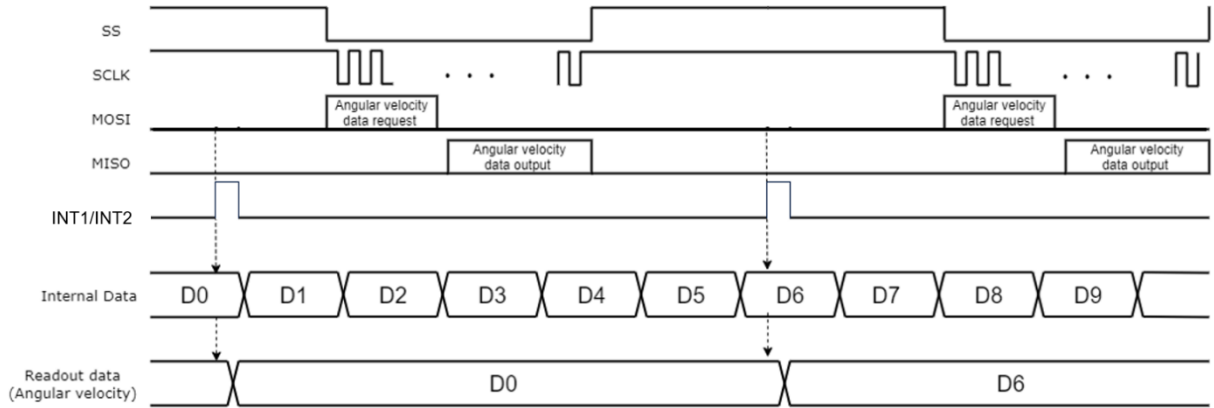


図 7-2 トリガーデータラッチタイミングチャート

7.6.2. コマンドデータラッチ機能

コマンドデータラッチ機能は、アドレス「0x15」の DatLatchCom を「1」に設定することで、内部の角速度データをラッチする機能です（表 7.9）。データをラッチした後は、角速度要求が入力されるとラッチしたデータが出力されます。その後は、新たなラッチコマンドを実行しない限り、読み出したデータは更新されません。そのため、再度データをラッチする場合は、DatLatchCom を一度「0」に設定し、その後 DatLatchCom を「1」に設定してください。

表 7.9 データラッチコマンド制御

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x15	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	1	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	0	DatLatchCom	0	R/W	コマンドデータラッチ	0→1: データラッチ実行

(注 1) 設定を変更する場合は、変更ビット以外は初期値を設定してください。同じレジスター(同じアドレス)のビットであれば、同時に設定を変更できます。

(注 2) Reserved レジスターは変更せず、デフォルト値を使用してください。

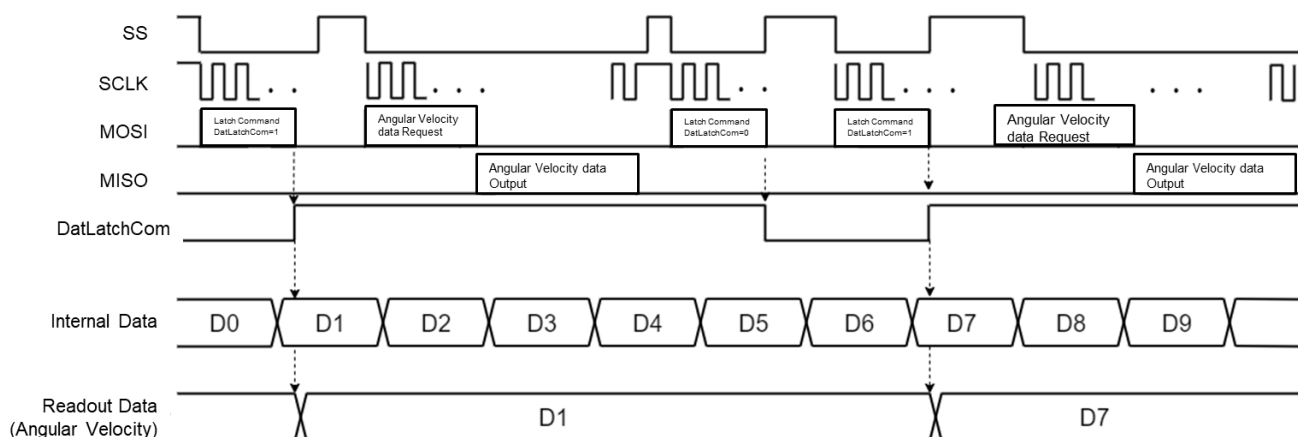


図 7-3 データコマンドラッチタイミングチャート

7.7. ソフトウェアリセット制御 / ソフトウェアリセット

ソフトウェアリセットは以下の手順で実行されます。

1. アドレス "0x1A" レジスターに "0x59" を設定するとソフトウェアリセット信号が有効になります。
2. アドレス "0x1B" レジスターに "0x01" を設定するとソフトウェアリセットが実行され、アドレス "0x1B" のデータは "0x00" に戻ります。

実行されると表 7.1 に示すユーザーコマンドレジスターが初期化されます（デフォルト値に設定されます）。

表 7.10 ソフトウェアリセット制御

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x1A	7	ProtSoftR[7]	0	R/W	ソフトウェアリセット制御	0x59 を書き込むとソフトウェアリセットが有効になる
	6	ProtSoftR[6]	0	R/W		
	5	ProtSoftR[5]	0	R/W		
	4	ProtSoftR[4]	0	R/W		
	3	ProtSoftR[3]	0	R/W		
	2	ProtSoftR[2]	0	R/W		
	1	ProtSoftR[1]	0	R/W		
	0	ProtSoftR[0]	0	R/W		
0x1B	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	1	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	0	SoftReset	0	R/W	ソフトウェアリセット信号	0→1: ソフトウェアリセット実行

(注 1) 設定を変更する場合は、変更ビット以外は初期値を設定してください。同じレジスター(同じアドレス)のビットであれば、同時に設定を変更できます。

(注 2) Reserved レジスターは変更せず、デフォルト値を使用してください。

7.8. 出力データフォーマット

レジスターでは、角度速度の出力形式が 16-bit または 24-bit から選択されます。

表 7.11 出力形式選択

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x1C	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	SelGyroOut	0	R/W	出力データ形式選択	0: 16-bit (Default) 1: 24-bit
	1	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	0	Reserved	0	R	Reserved	Reserved

7.9. MISO 端子制御

MISO 端子制御を表 7.12 に示します。アドレス「0x1D」です。MISO 出力は「SelMISO[1:0]」を書き込むことによって変更されます。端子状態を表 7.13 に示します。

表 7.12 MISO 端子制御

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	R/W	機能	設定
0x1D	7	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	6	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	5	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	4	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	3	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	2	Reserved	0	R	Reserved	Reserved
	1	SelMISO[1]	1	R/W	MISO 端子 ステータス選択	(注 1)
0	SelMISO[0]	0	R/W			

表 7.13 MISO 端子制御状態

モード	SelMISO[1]	SelMISO[0]	SS	MISO
SafeSPI	X	X	0	出力
	0	0	1	出力"L"レベル
	0	1	1	出力"H"レベル
	1	X	1	High-Z

(注 1) 初期値は SelMISO[1]では「1」、SelMISO[0]では「0」です。

7.10. INT1 と INT2 の設定

このレジスターは、INT1 端子と INT2 端子の機能を選択することができます。INT1 と INT2 の制御を表 8.23 に示します。

外部トリガーモードの制御については 7.6.1 項を、飽和フラグについては、8.2 節を参照してください。なお、DRY はデータ更新フラグになります。

表 7.14 SelONT

アドレス	ビット	レジスター	デフォルト	タイプ	機能	設定
0x1E	7	Int2Trg	0	R/W	INT2 の外部トリガー モード制御	0: 無効にする 1: 有効にする
	6	Int2St	0	R/W	INT2 の飽和フラグ出力制御	
	5	Reserved	0	R/W	Reserved	
	4	Int2Dry	0	R/W	INT2 の DataReady 出力制御	
	3	Int1Trg	0	R/W	INT1 の外部トリガー モード制御	
	2	Int1St	0	R/W	INT1 の飽和フラグ出力制御	
	1	Reserved	0	R/W	Reserved	
	0	Int1Dry	0	R/W	INT1 の DataReady 出力制御	

表 7.15 INT1 及び INT2 端子制御状態

設定モード	端子レジスターの状態		端子ステータス(INT1, INT2)		
	INT1 出力 設定	INT2 出力 設定	デフォルト	レジスター 設定後	Sleep-In
設定なし	デフォルト	デフォルト	High-Z	High-Z	High-Z
DRY 出力	アドレス:1E 0x01	アドレス:1E 0x10	High-Z	出力	“L”レベル 出力
飽和フラグ出力	アドレス:02 0x0D アドレス:1E 0x04	アドレス:02 0x0E アドレス:1E 0x40	High-Z	出力	High-Z
トリガーラッチ入力	アドレス:0B 0x40 アドレス:1E 0x08	アドレス:0B 0x40 アドレス:1E 0x80	High-Z	入力	High-Z

8. 故障診断機能

8.1. コマンド発行の時間的制約

エラーフラグは、16-bit フォーマットに 11 個の故障診断結果を割り当てます。診断結果の更新レートは 1kHz です。読み取りビットとエラーフラグの対応については、表 8.1 を参照してください。

表 8.1 エラーフラグ説明

エラーフラグ:EF[15:0]	診断ブロック	説明
EF[0]	ジャイロ駆動ブロック 1	0: 正常状態 1: ジャイロ駆動に関連するエラー
EF[1]	ジャイロ駆動ブロック 2	0: 正常状態 1: ジャイロ駆動に関連するエラー
EF[3]	ジャイロ検出ブロック	0: 正常状態 1: ジャイロ検出に関連するエラー
EF[4]	温度センサブロック	0: 正常状態 1: 温度センサーに関連するエラー
EF[5]	電源ブロック 1	0: 正常状態 1: 電源に関連するエラー
EF[6]	電源ブロック 2	0: 正常状態 1: 電源に関連するエラー
EF[7]	ADC ブロック	0: 正常状態 1: ADC に関連するエラー
EF[8]	不揮発性メモリおよびレジスターブロック	0: 正常状態 1: メモリとレジスターに関連するエラー
EF[13]	ロジック DSP ブロック 1	0: 正常状態 1: ロジックに関連するエラー
EF[14]	ロジック DSP ブロック 2	0: 正常状態 1: ロジックに関連するエラー
EF[15]	内部クロックブロック	0: 正常状態 1: 内部クロックに関連するエラー

8.2. 飽和フラグ

この飽和フラグはセンサー出力の飽和を監視するもので、INT1 または INT2 端子からフラグが出力されます。過度の衝撃や振動でセンサー内部信号が飽和した場合、“H”レベルを出力します。このフラグが“H”の間、ジャイロ検出ブロック EF[3]の診断は停止するため、センサー出力は正常値を出力しません。

9. フィルター特性

9.1. デジタルフィルター

本製品では、弊社で用意したセレクトラブルフィルター (LPF)から選択して使用できます。

9.1.1. ローパスフィルター (LPF)

セレクトラブルフィルターは、フィルター次数 (2次/3次/4次) と、カットオフ周波数 (1 Hz ~ 500 Hz, 8段階) が選択可能です。設定方法は 7.3 節を参照して下さい。

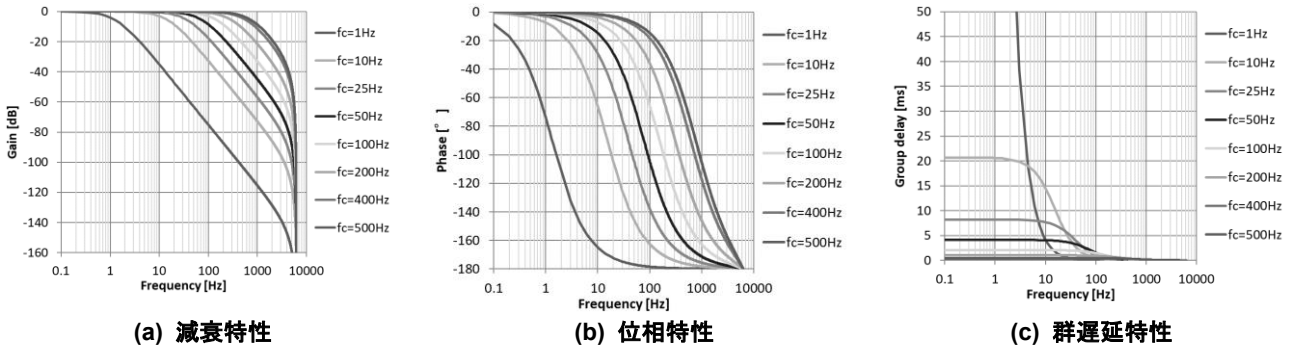


図 9-1 セレクトラブルフィルターボード線図(2次)

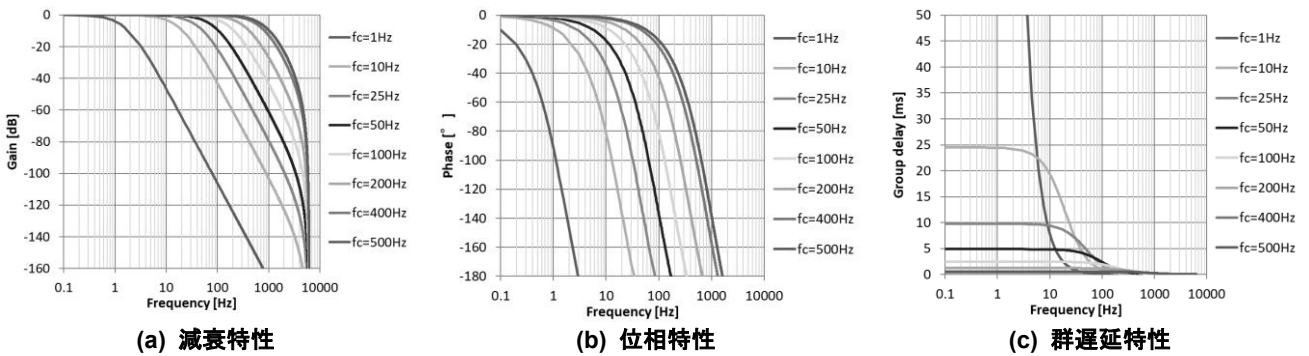


図 9-2 セレクトラブルフィルターボード線図(3次)

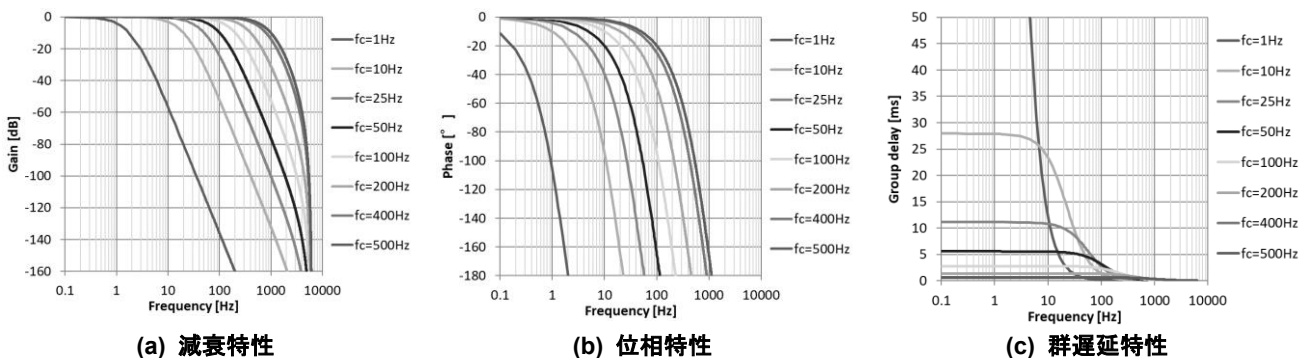
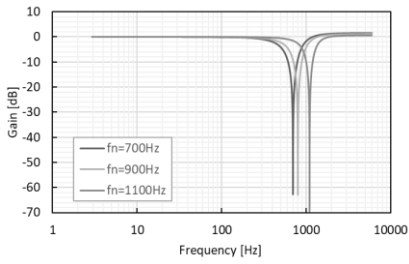


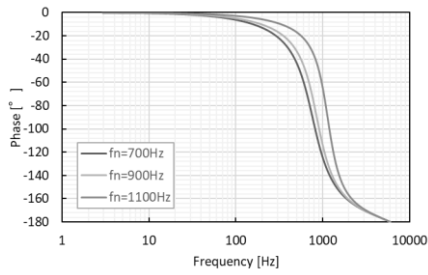
図 9-3 セレクトラブルフィルターボード線図(4次)

9.1.2. ノッチフィルター (NF)

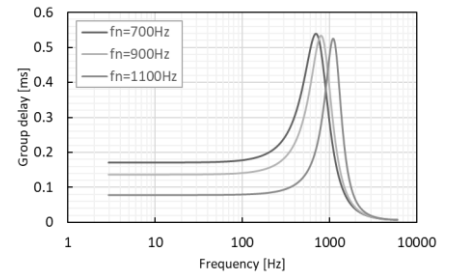
ノッチフィルターは、離調周波数成分 (13.3 節を参照してください) を除去するフィルターです。弊社にてフィルターの中心周波数 f_n (700 Hz ~ 1100 Hz) を設定して出荷します。またノッチフィルターの使用についても選択も可能です。図 9.4 ノッチフィルターを使用する場合のボード線図を示します。



(a) 減衰特性



(b) 位相特性



(c) 群遅延特性

図 9-4 ノッチフィルターのフィルター特性

10. 接続回路例

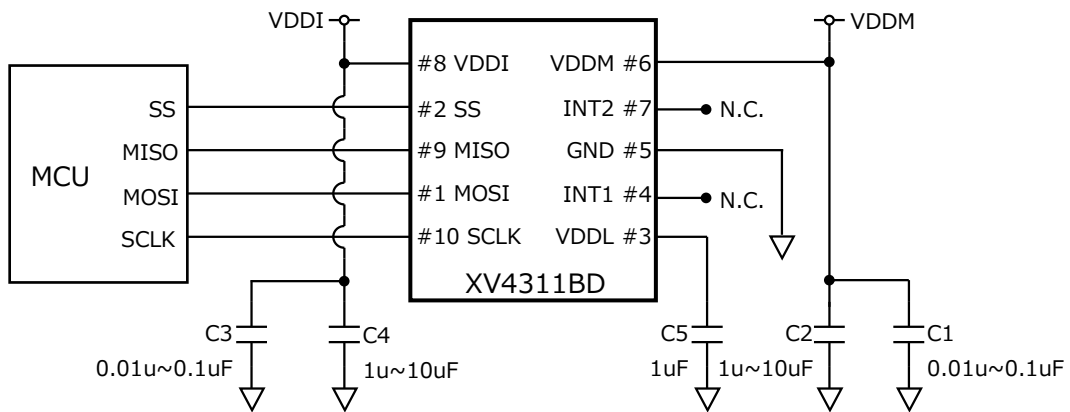


図 10-1 接続例 1 (Default: INT1、INT2 設定なし)

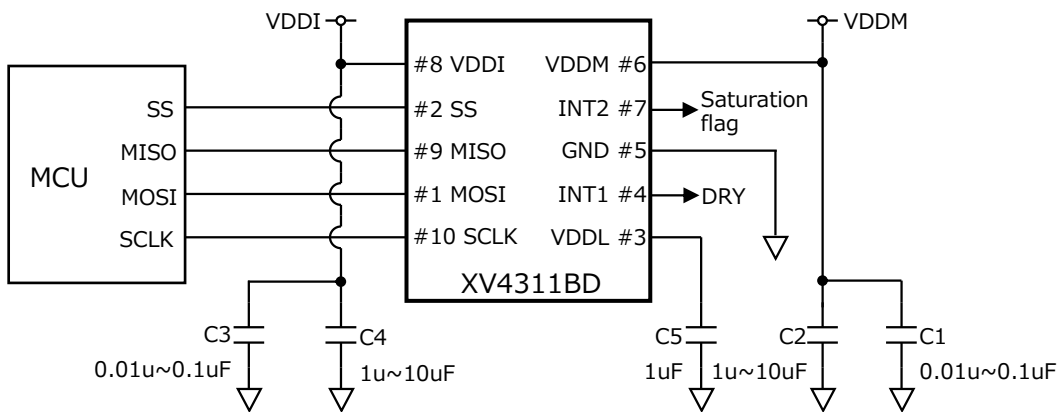


図 10-2 接続例 2 (DRY 出力、飽和フラグ出力)

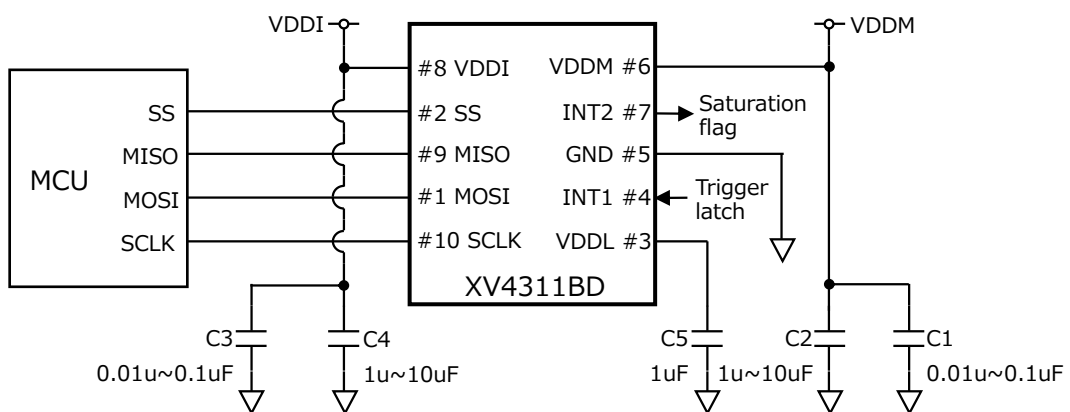


図 10-3 接続例 3 (トリガーラッチ入力、飽和フラグ出力)

(注) INT1、INT2 機能を使用する場合は、必要に応じてプルアップ抵抗またはプルダウン抵抗を使用して MCU に接続してください。

11. その他

11.1. Electro-Static discharge (ESD)

AEC-Q100 Grade 2 Rev.Jに準拠しています。

試験方法	Min.	規格及び試験条件
HBM	2000V	JESD22-A114、 V_{DDM} 、 V_{DDI} and GND reference, 3 times
CDM	500V	ANSI/ESD S5.3.1-2009、Charged Device Model (CDM), Component Level

11.2. はんだ耐熱性

エアリフロー炉にて加熱処理条件(JEDEC J-STD-020D.1)に準拠しています。

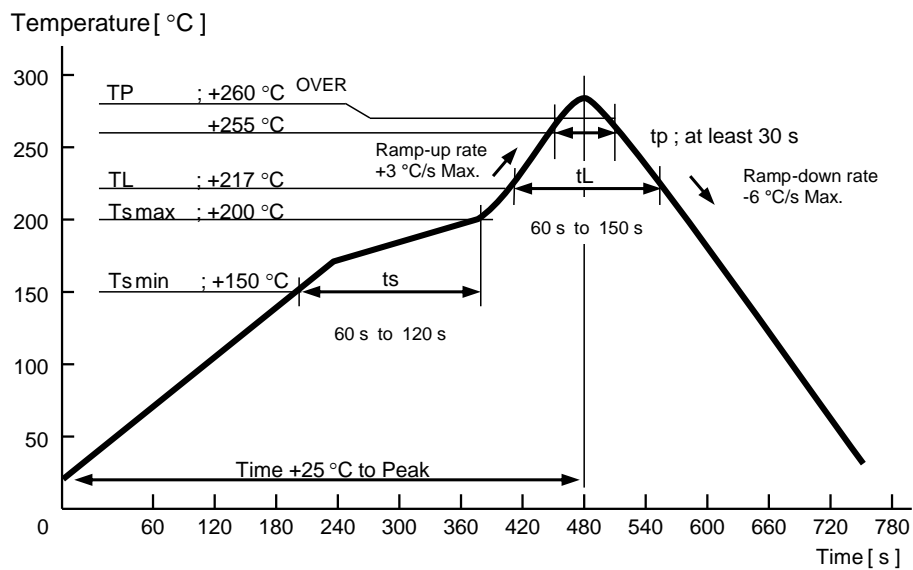


図 11-1 リフロー温度プロファイル

12. テーピング仕様

12.1. テーピング数量

標準数量は、2000 pcs./reel になります。

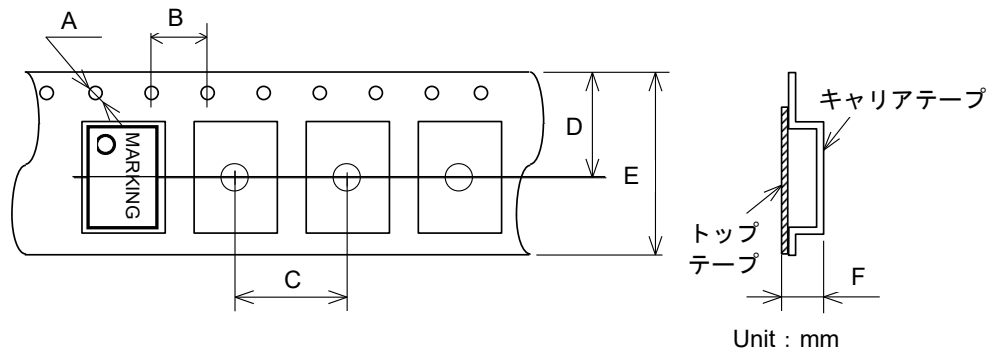
12.2. テーピング材質

EIA-481、IEC 60286、JIS C0806 に準拠しています。

表 12.1 テープおよびリールの材質

部材	材質
キャリアテープ	導電性 PS (Polystyrene)
トップテープ	帯電防止 PET (Polyethylene terephthalate)
リール	導電性 PS

12.3. テーピング形状



Unit : mm

Symbol	A	b	C	D	E	F
Value	$\phi 1.5$	4.0	8.0	7.25	12.0	2.1

図 12-1 テープ寸法

12.4. リール寸法

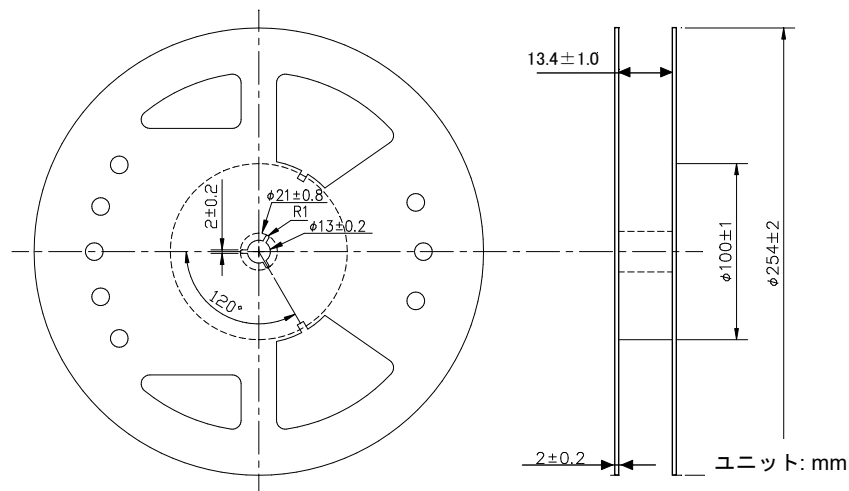


図 12-2 リール形状

13. 用語と定義

13.1. 他軸感度

X 軸あるいは Y 軸の感度を、Z 軸の感度で割った値を他軸感度と定義します。X, Y, Z 軸方向は図 13-1 の通りです。

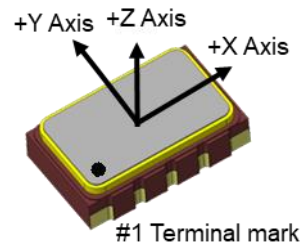


図 13-1 ジャイロセンサー検出軸方向

13.2. 駆動周波数

駆動周波数とは、コリオリの力を得るために常時振動させるセンサー素子の周波数です。

13.3. 離調周波数

駆動モードの共振周波数と検出モードの共振周波数の差を離調周波数と呼びます。離調周波数が小さければ、センサー素子に生じたコリオリ力を機械・電気変換する効率が上がり、センサー素子の感度は高くなります。

14. 使用上の注意事項

★本製品は水晶デバイスを含む精密部品です。取り扱いにあたっては次の点にご注意ください。★

1. 本製品は、耐衝撃性に配慮して設計されておりますが、落下および衝撃の条件によっては製品が破壊される可能性があります。誤って落下した場合や過度の衝撃が加わった場合は、製品の保証ができないため、ご使用にならないようお願いいたします。
以下に示す加速度以上の衝撃印加後はご使用にならないでください。
 - 1) 最大加速度： $\pm 22050 \text{ m/s}^2$ (2250G)以内
 - 2) 2kHz以上の加速度成分*： $\pm 294 \text{ m/s}^2$ (30 G)以内* 時間領域32 ms、加速度のデータ取得間隔10 us (100 kSps) 以内で窓関数をハンニングとした場合のFFT強度
2. 本製品を実装する際、例えば、製品の吸着、チャッキング、基板搭載時、および車両組付け時などに過度の衝撃が加わると特性の変化または劣化につながりますので、なるべく衝撃の小さい条件の設定をしてください。ご使用前に必ず上記のFFT解析を御社にて実施いただき、特性に影響がないことをご確認ください。条件変更時にも同様にご確認ください。また、実装時および実装後において、本製品が機械体や他の基板などと衝突しないようご注意ください。
3. 耐静電気破壊保護回路は内蔵されておりますが、過大静電気が加わるとICが破壊されることがありますので、梱包および、運搬容器は導電性のものを使用してください。また、はんだごてや測定回路等は高電圧リークの無いものを使用し、作業時はアースを取る等の静電対策を行ってください。
4. 超音波振動の印加（超音波洗浄、基板切断など）は使用条件により、水晶振動子が共振破壊される場合があります。弊社にて貴社での使用条件（洗浄機の種類・パワー・時間・槽内の位置等）を特定できないため超音波洗浄の保証は致しかねます。やむを得ずご使用される場合は、使用前に必ず貴社でご確認ください。
5. リフローは3回までとしてください。半田付けミスがあった場合には、半田ごてによる手直しをお願いします。この場合こて先温度は、 $+350 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下、3秒以内にてお願いします。
6. 弊社フットパターン例の寸法での基板作製を推奨します。
7. 結露などによる端子間の短絡が発生する環境下ではご使用にならないようお願い致します。
8. 本製品は角速度を検出するために、センサー素子を駆動しています。外部から駆動周波数近傍、および高次高調波の周波数成分をもった信号がセンサーに印加されると、センサーの角速度出力に変動を与える可能性があります。基板の電源設計、シリアルインターフェースの通信周波数の設定に当たっては、貴社にて十分な確認をお願い致します。
9. 本製品は製品同士を接近して複数動作させても干渉しにくい設計となっておりますが、基板の振動や、電源の共通インピーダンスによって機械的若しくは電氣的に干渉する場合があります。ご使用にあたっては貴社での確認をお願いします。
10. 本製品の離調周波数は $900 \pm 300 \text{ Hz}$ です。お客様側での基板設計の際は、基板の共振周波数がこの離調周波数近傍に入らないよう設計をお願い致します。また基板へ実装する際は、振動変位が小さい基板固定部近傍へ配置してください。
11. 他の信号線からの電磁誘導・静電誘導による誤動作を避けるため、パターン設計に際しては他の信号線をセンサーの近くやパッケージの背面領域を通さないでください。また、他の信号線と交差しないパターン設計をお願い致します。
12. 振動・衝撃・ノイズについては事前にご確認いただき対策をお願いいたします。なお、基板設計情報をご提供いただける場合は弊社にて設計サポートさせていただきます。