

iSENSOR® IMU クイック・スタート・ガイドおよびバイアス最適化のヒント

Mark Looney 著

はじめに

iSensor IMU 製品には、ADIS1636x と ADIS1640x があります。これらの多軸慣性センシング・システムは、さまざまなモーション解析&制御アプリケーション（ナビゲーション、プラットフォーム安定化など）の基本的な構成要素になります。

実装と取扱い

iSensor IMU 製品のパッケージには、システムへの装着のための 2 つの基本部位として、アルミ・ベースプレートとフレキシブル・コネクタがあります（図 1 を参照）。アルミ・ベースプレートには 4 つの取付けタブがあり、さまざまな装着方法に対応します。図 2 と図 3 に簡単な装着方法を示します。ここでは、2 本の M2 または 2-56 ネジを使ってベースプレートをシステムの PC ボードに固定します。また、高精度アライメント用の穴を使用して、システムの慣性座標系（ヨー軸）を基準にした慣性センサーアライメントを行うこともできます。図 3 の寸法は、メイティング・コネクタの実装面と同じ面にベースプレートを取り付ける場合を想定しています。

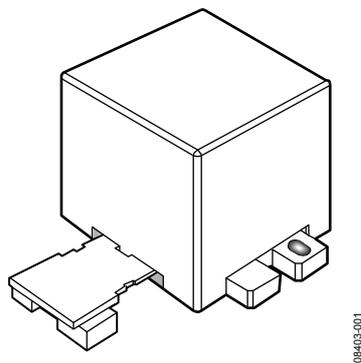


図 1. IMU パッケージのスタイル

09403-001

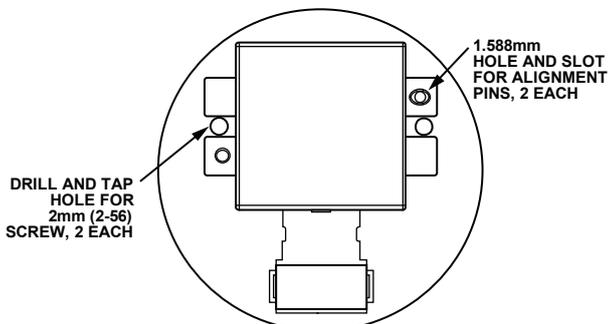


図 2. 2 本のネジで実装する方法（アライメントピンを使用）

09403-002

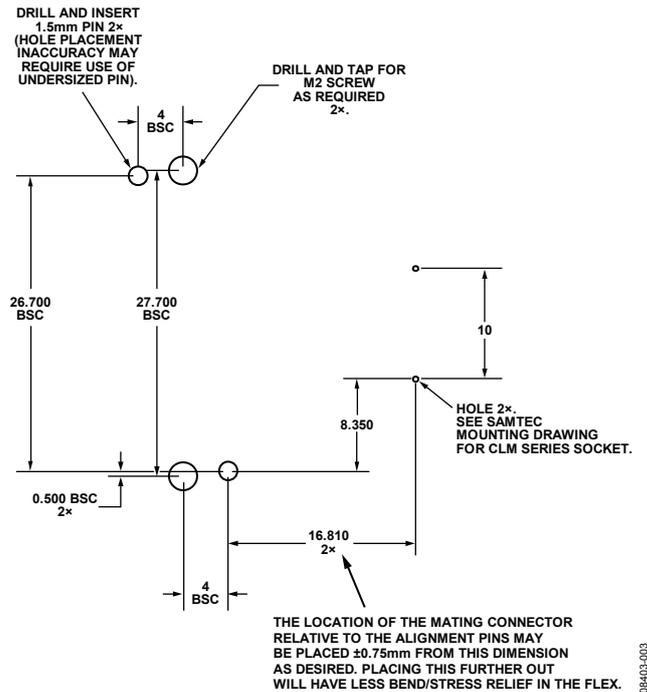


図 3. 推奨の取付け穴位置

09403-003

強い衝撃や振動が予想されるアプリケーションでは、機械的共振を除去するためにもっと手の込んだ実装方法が必要ですが、2 本のネジで実装する方法は、機械的なシステム設計と並行してデータ収集を開始するための手軽な出発点になります。図 4 に、ADISUSBZ 評価システムのメイティング・コネクタ（Samtec CLM-112-02-LM-D-A）に使用するパッド・レイアウト・パターンを示します。

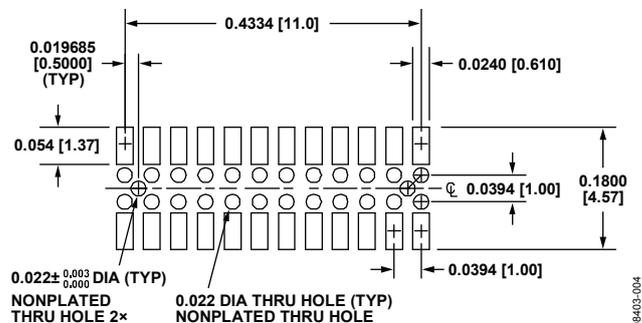


図 4. メイティング・コネクタの推奨レイアウト

09403-004

IMUの取付けと取外し

IMUの取り付けは、次の2つの手順で行います。

1. ベースプレートをネジで固定します。
2. コネクタをメイト側に押し込みます。

IMUを取り外すときは、小型のマイナス・ドライバを使ってコネクタをメイトからゆっくりと外します。次にネジを外して、デバイスを持ち上げます。コネクタを取り外すときに、プラスチック・ケースやベースプレートを持って無理に引っ張らないでください。フレキシブル・コネクタは通常の動作では非常に高い信頼性がありますが、無理な取扱いをすると壊れる可能性があります。壊れても、このコネクタを修理することはできません。

電気的接続

iSensor製品は電源を入れるとスタートアップし、ユーザ入力の有無に関係なくデータの生成を開始します。図5に、電源、グラウンド、4線シリアル信号、データ・レディ信号に対応した接続図を示します。データ・レディ信号を用いてマスタ・プロセッサの割込みサービス・ルーチンを駆動することで、プロセッサ・リソースの最適化を図りながらデータの連続性を維持することができます。

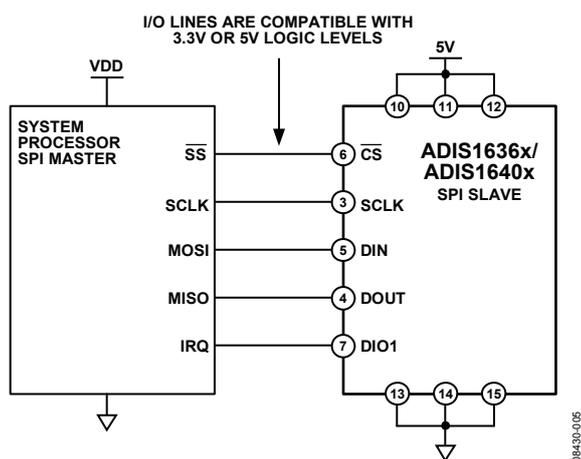


図5. 電気的接続図

表1. 汎用マスタ・プロセッサのピン名と機能

ピン名	機能
SS	スレーブ・セレクト
IRQ	割込み要求
MOSI	マスタ出力、スレーブ入力
MISO	マスタ入力、スレーブ出力
SCLK	シリアル・クロック

SPIインターフェース

表2に、マスタ・プロセッサとiSensor IMU間のSPI通信に必要な代表的な設定の一覧を示します。通常、これらの設定はマスタ・プロセッサの制御レジスタ内にあります。たとえば、ADSP-BF533プロセッサ・ファミリーでは、SPI_BAUD、SPI_CTL、SPI_FLGの各レジスタがその役割を果たしています。

表2. 汎用マスタ・プロセッサのSPI設定

Processor Setting	Description
Master	The iSensor IMUs operate as slaves.
SCLK Rate ≤ 2 MHz	Normal mode, SMPL_PRD[7:0] $\leq 0x09$.
SPI Mode 3	CPOL = 1 (polarity), CHPA = 1 (phase).
MSB-First Mode	Bit sequence.
16-Bit Mode	Shift register/data length.

データ通信では、ファームウェア・レベルのレジスタ管理が必要です。DINにコマンドを送るには、送信バッファ・レジスタ (ADSP-BF533のSPI_TDBR) への書き込みが必要です。出力データをDOUTから取得するには、受信バッファ・レジスタ (ADSP-BF533のSPI_RDBR) からの読み出しが必要になります。

バイアス精度と安定性の最適化

すべてのiSensor IMU製品には、工場出荷時の校正が行われており、MEMS ジャイロスコープのバイアス精度の大幅な改善を実現しています。環境条件によっては (温度サイクルや装着条件など)、ジャイロスコープの出力バイアスにいくらかずれが生じる可能性があります。シングル・ポイント調整でこのようなずれを補正でき、かつ一部のデバイスで提供している温度補正を含め、工場校正値すべてを復元することもできます。この調整では、無回転時のジャイロスコープの出力を測定し、その反数をオフセット・レジスタに書き込みます。ジャイロスコープのシングル・ポイント調整には、基本的に3つのオプションがあります。自動ゼロ点調整、高精度自動ゼロ点調整、それにマニュアル校正です。以下の条件/設定により、この調整プロセスで最適な精度を実現できます。

1. サンプル・レート = 819.2 SPS (SMPL_PRD[7:0] = 0x01)
2. 熱的安定状態
温度出力レジスタを読み出すことで、熱的安定状態であることを確認できます。
3. 無回転状態 (無振動を含む)
少量のデータを取り、出力ノイズがデータシートの規定と一致しているか確認します。たとえば、ADIS1636x と ADIS1640x では、フィルタなしの状態ではジャイロスコープのノイズを 1%/sec rms 未満と規定しています。

各ジャイロスコープの複数のサンプルを平均化すれば、ジャイロスコープのノイズに起因する不確実性に対応することができます。図6のアラン分散曲線は、バイアス精度と平均化時間の関係を示しています。

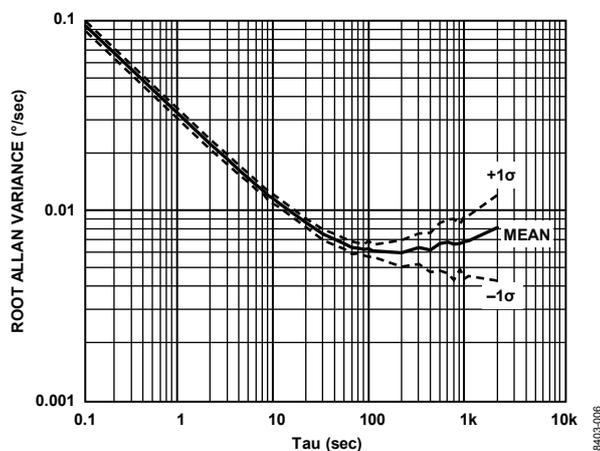


図6. ADIS1636x/ADIS1640xのアラン分散曲線

自動ゼロ点調整機能

自動ゼロ点調整機能は各ジャイロスコープ出力レジスタを自動的に読み出し、その反数を該当するユーザ・オフセット・レジスタに書き込みます。この手法で最良の結果を得るには、次の手順に従ってください。

1. `SMPL_PRD[7:0] = 0x01` (DIN = 0xB601)
2. `SENS_AVG[7:0] = 0x06` (DIN = 0xB806)
3. 200 ms で内部フィルタ・タップを充填
4. `GLOB_CMD[0] = 1` (DIN = 0xBE01)

このシーケンスを使用すると、等価平均化時間は約 0.15 秒になります。図6に従うと、これによって約 0.08°/secのバイアス精度が得られます。

高精度の自動ゼロ点調整機能

高精度自動ゼロ点調整機能は、自動ゼロ点調整機能より優れた精度を提供します。各ジャイロスコープ出力の 30 秒の平均を取り、適切な補正係数を計算して、それをユーザ・オフセット・レジスタに自動的にロードします。30 秒の測定期間中、IMUはそのサンプル・レートとフィルタを自動的に設定して最適なデータ収集を行います。ADIS1636x/ADIS1640xファミリーでは、バイアス補正精度は 0.008°/sec近くまで到達可能です(図6を参照: 平均時間 30 秒)。この手法を実行するときは、`GLB_CMD[4] = 1` (DIN = 0xBE10) と設定します。

マニュアル校正

マニュアル校正では、より長い平均化時間に対応するアプリケーション用にバイアス精度を最適化することができます。アラン分散曲線(図6を参照)から判断すると、ここで提供されているデバイス数においては 100 秒の平均時間で最良の精度が得られます。マニュアル校正で最良の結果を得るには、次の手順に従ってください。

1. `SMPL_PRD[7:0] = 0x01` (DIN = 0xB601)
2. 初期の温度セトリングのために 1~2 分待ちます。これはアプリケーションによって異なりますが、最大 10~15 分のウォームアップ時間が必要になることがあります。
3. `TEMP_OUT` レジスタを読み出して確認します。
4. 819.2 SPS (約 100 秒) で 82,000 サンプルを読み出します。
5. これらの値の平均を計算します。
6. この推定値をオフセット補正係数に変換します。
内部ユーザ・オフセット・レジスタの場合:
 - a. 推定値に 80 を掛けます。
 - b. その値を四捨五入します。
 - c. その数値を 14 ビットの 2 の補数フォーマットに変換します。
7. 該当するユーザ・オフセット・レジスタにこの値を書き込みます。
8. 内部ユーザ・オフセット補正レジスタを使用している場合は、`GLOB_CMD[3] = 1` (DIN = 0xBE04) です。

ユーザ・オフセット・レジスタの分解能は、0.0125°/secのステップ・サイズですが、これは大部分のアプリケーションで十分な値です。プロセッサで補正を行うことができる場合は、追加で性能を上げることができ、図6に示す 0.006°/secバイアス精度を達成するデバイスの数を増やすことができます。この場合、IMUジャイロスコープの出力に対して 16 ビット・レジスタを使用して、ステップ 6aの倍数を 80 から 320 に変更します。

サンプル・レートのデシメーション

これらの製品の最良のバイアス安定性を維持するには、819.2 SPSの内部サンプル・レートが非常に重要です。サンプル・レートの低いアプリケーションの場合は、内部 Bartlett ウィンドウ・フィルタを使って帯域幅を制限し、ジャイロスコープと加速度センサーの出力レジスタにあるデータをデシメーションします。一例として、データ・レディ出力を使ってカウンタを駆動し、そのカウントによりシステム・レベルのサンプル・レートを整数レベルで分割するという方法があります。各システムで個別に調整が必要になることもありますが、Bartlett ウィンドウにおける 1 段当たりのタップ数を各セットアップで最大分割係数に設定してください。たとえば、`SENS_AVG[2:0] = 100` (1 段当たり 16 タップに変換) の場合、2 から 16 までの任意の整数でサンプル・レートを分割しても最適なバイアス安定性を維持することができます。