

## Application Note

## 機械式ホール・エフェクト流量計の設計上の考慮事項と測定結果



Jacob Nogaj

Current and Position Sensing

## 概要

機械式液体流量計システムは、機械的素子の作成にかなりの時間を必要とするため、システムの評価は困難です。本書では、ホール・エフェクト機械式流量計を作成するための設計上の主な考慮事項について詳細に説明し、流量計の評価結果を要約します。また、本書で説明する流量計を作成するための PCB ガーバー・ファイルと 3D 設計ファイルも付属しています。

## 目次

1 はじめに.....	2
2 流量計の設計.....	3
2.1 機械的考慮事項.....	3
2.2 磁石に関する考慮事項.....	3
2.3 ホール・エフェクト・センサに関する考慮事項.....	4
3 流量計の開発.....	7
3.1 3D プリントに関する推奨事項.....	7
3.2 流量計の組み立てに関する考慮事項.....	7
3.3 流量計の組み立てガイド.....	7
4 流量計の評価.....	11
4.1 流量計のテスト.....	11
5 誤差発生源.....	12
5.1 機械的誤差.....	12
5.2 サンプルング誤差.....	13
5.3 磁気誤差.....	13
6 流量計の PCB.....	14
6.1 PCB の回路図.....	14
6.2 PCB レイアウト.....	14
7 部品表 (BOM).....	15
8 関連資料.....	15

## 図の一覧

図 2-1. 円柱型および角型磁石.....	3
図 2-2. 多極磁石.....	3
図 2-3. ユニポーラ・スイッチの動作.....	4
図 2-4. オムニポーラ・スイッチの動作.....	4
図 2-5. ラッチ動作.....	5
図 2-6. パッケージの感度.....	5
図 3-1. シャフトの取り付け.....	7
図 3-2. ベアリングの取り付け.....	8
図 3-3. 磁石の取り付け.....	8
図 3-4. インペラの取り付け.....	9
図 3-5. O リングの取り付け.....	9
図 3-6. 流量計の上面の取り付け.....	9
図 3-7. 水平 PCB 取り付け.....	10
図 3-8. 垂直 PCB 取り付け.....	10
図 3-9. カバーの取り付け.....	10
図 4-1. 流量分析波形.....	11

図 5-1. 位置ずれのシミュレーション.....	12
図 6-1. PCB の回路図.....	14
図 6-2. PCB の上面図.....	14
図 6-3. PCB の底面図.....	14

## 表の一覧

表 3-1. 流量計の組み立て.....	7
表 7-1. 部品表 (BOM).....	15

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

機械式流量計は、インペラの回転速度を監視することにより、液体の移動速度を導出します。磁石を使用して実装すると、ホール・エフェクト・センサを使用して磁界の変化を測定することにより、インペラの回転速度を測定できます。この実装には、機械設計の防水性を維持すると同時に、回転速度を正確に測定できるという利点があります。ホール・エフェクト・デバイスの出力は、マイクロコントローラに接続して、周波数から流量に変換できます。

本書で詳細に説明する流量計の設計は、さまざまな磁石およびホール・センサ構成を評価可能な安価なテスト・システムを提供するためのものです。3D プリントした流量計には、主に 3 つの構成オプションがあります。さらに、各構成オプションで、1 次元 (1D) および 2 次元 (2D) の SOT-23 デバイスなど、さまざまなホール・センサを評価できます。3D プリント可能な機械式流量計のダウンロード・リンクと作成手順については、[セクション 3.2](#) を参照してください。

## 2 流量計の設計

### 2.1 機械的考慮事項

機械式流量計は、液体の移動を使用して、回転速度が流量に比例している回転アセンブリを駆動します。機械的設計特性は流量計の性能と精度に影響するので、流量計の作成時にそれらを考慮することが重要です。機械式流量計を設計する際に考慮すべき最初の機械的特性は、インペラのサイズです。インペラのサイズは、測定可能な最小および最大の流量に影響します。流量シミュレーション・ソフトウェアを使用して機械システムの有効性を評価し、それに応じてインペラ・サイズを調整することで目的のセンシング範囲を実現できます。

誤差の主な原因は、機械的アセンブリの損失によるものです。回転するインペラの摩擦損失は、検出される流量範囲全体にわたるセンシングの線形性に影響を及ぼします。回転する機械式アセンブリからの液体の流れが中断することが原因で、さらに損失が発生します。このような損失は通常、シミュレーション・ソフトウェアや物理的な流量計のテストなしで評価するのは困難です。出力周波数が流量に線形相関するのが理想ですが、損失によって、流量が少ない部分と多い部分が線形センシング範囲からずれる可能性があります。場合によっては、ソフトウェア調整を使用して、流量測定での非線形性を考慮できます。

### 2.2 磁石に関する考慮事項

#### 2.2.1 材料

流量計には、さまざまな磁気材料オプションがあります。ホール・デバイスが磁石の回転を検出できることを確認するため、センシング素子で生成される磁界を評価することが重要です。また、磁石が液体にさらされる場合は、適切な磁気材料を選択することも重要です。

#### 2.2.2 ジオメトリ

流量計に実装する磁石オプションは多数存在します。これらのオプションは、多極磁石と 2 極磁石の 2 つのカテゴリに分類できます。流量計は、単一の多極磁石を使用するか、または複数の 2 極磁石を使用して、センサに必要な分解能を実現できます。磁石は、ホール・センサの要件を満たすために、形状とサイズが異なるものがあります。図 2-1 に、一般的な 2 極磁石の形状を示します。

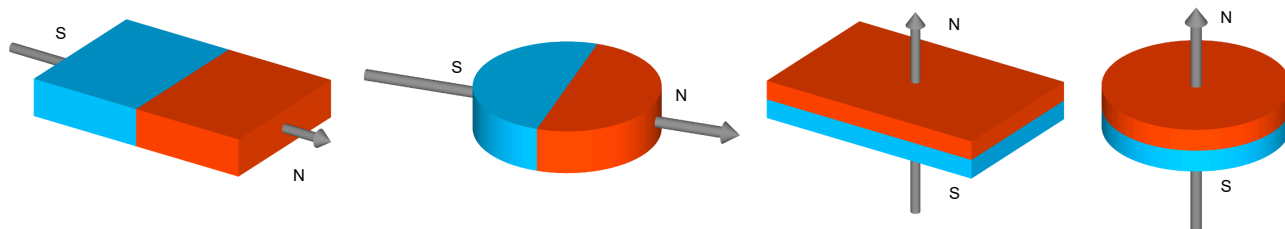


図 2-1. 円柱型および角型磁石

放射状に磁化されたリング磁石は、流量計で使用される最も一般的な多極磁石です。この種の磁石は、単一の磁気材料で、個別の磁石を使用するのと同じ極数を持つことができます (図 2-2 を参照)。

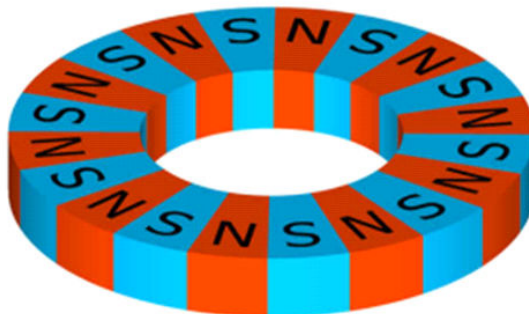


図 2-2. 多極磁石

多極リング磁石を使用すると、スペースに制約のある設計で高分解能を実現できますが、通常は他の磁石よりもコストが高くなります。

### 2.2.3 磁気設計ツール

磁石の方程式とその非線形磁気挙動は複雑に見えますが、計算時間を大幅に短縮するツールがいくつかあります。このようなツールには、ANSYS や Femm などがあります。これらのツールでは、さまざまな設計変数をスイープしながら、マックスウェルの方程式を利用して磁束密度を計算できます。

## 2.3 ホール・エフェクト・センサに関する考慮事項

### 2.3.1 デバイスの感度

流量計で使用する磁石に対して十分な感度が得られるように、ホール・エフェクト・センサを選択します。磁石の位置とサイズは、ホール・エフェクト・センサによって検出される磁束密度に大きな影響を及ぼす可能性があります。ホール・エフェクト・デバイスは、多くの場合、アプリケーション固有の感度要件に適合するように、複数の感度オプションが利用可能です。磁界の変化に対して確実にトリガできる十分な磁氣的余裕を備えたホール・エフェクト・センサを選択する必要があります。

### 2.3.2 ユニポーラ (単極性) スイッチ

ユニポーラ・スイッチは、最も単純なホール・エフェクト・デバイスであり、磁石の **N** 極または **S** 極のいずれか一方について、 $B_{OP}$  および  $B_{RP}$  をセンシングする機能を備えています。センシング方向が単一方向であるセンサを使用する場合、磁束をセンシングするためには、磁石の向きを適切にする必要があります。ホール・エフェクト・スイッチの一般的な磁石の実装としては、**N** 極または **S** 極の磁石の交互配置、または磁石と磁石の間で磁束密度が  $B_{RP}$  スレッシュホールドを下回るように十分な間隔を確保した単方向の磁石、などがあります。デジタル・ホール・エフェクト・デバイスでは、 $B_{OP}$  および  $B_{RP}$  がデバイスのスイッチング・スレッシュホールドを決定します。ホール・エフェクト・スイッチの場合、この特性により、出力デューティ・サイクルは、磁気スレッシュホールド・レベルと磁石の動きに依存します。一般に、ホール・エフェクト・スイッチを流量計設計に実装する場合は、ラッチよりも注意が必要です。ただし、スイッチは、さまざまな磁石の実装と組み合わせるため、流量計の機械的デザインの柔軟性がさらに向上します。図 2-3 にユニポーラ・スイッチの動作を示します。

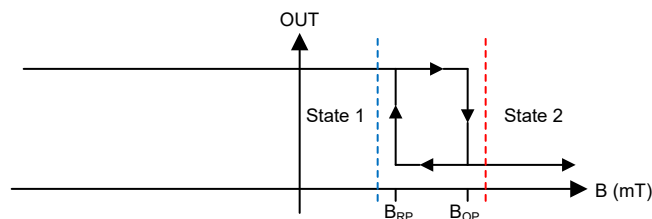


図 2-3. ユニポーラ・スイッチの動作

### 2.3.3 オムニポーラ (両極性) スイッチ

オムニポーラ・スイッチは、相互接続された逆極性の 2 つのユニポーラ・スイッチとして機能します。したがって、スイッチは、やはり  $B_{OP}$  および  $B_{RP}$  によって動作しますが、磁束の極性はセンサの出力に影響を及ぼしません。この実装では、磁石と磁石の間で磁束密度が  $B_{RP}$  スレッシュホールドを下回るように、距離を十分離して磁石を配置する必要があります。オムニポーラ・スイッチを使用すると、極性がセンサの動作に影響を及ぼさないため、磁石を任意の向き (センサに対する面が **N** 極または **S** 極) に配置できます。磁石はどちらの向きにでも配置できるため、流量計の全体的な機械的アセンブリが簡単になります。オムニポーラ・スイッチの動作を図 2-4 に示します。

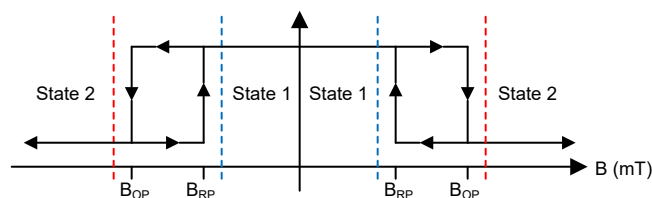


図 2-4. オムニポーラ・スイッチの動作

### 2.3.4 1D ラッチ

1D ホール・エフェクト・ラッチは、スイッチと同様の動作特性を持っていますが、逆極性の磁極が検出されるまでは、以前の出力状態を保持する点が異なります。したがって、出力を変化させるためには、変化する磁極をセンサが検出する必要があります。磁石の間隔が等しいと仮定すると、ラッチの出力波形は、センシング周波数に関係なく約 50% のデューティ・サイクルになります。図 2-5 に、ホール・エフェクト・ラッチの動作特性を示します。

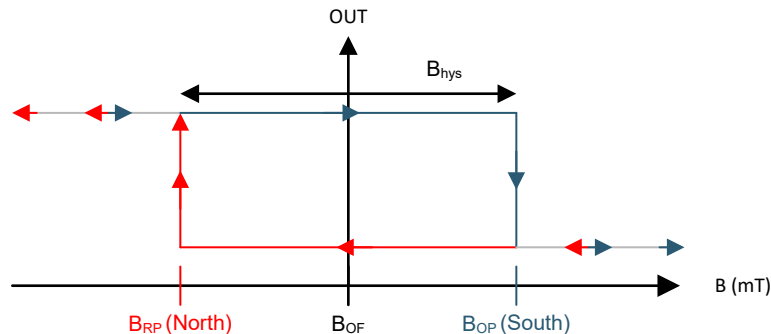


図 2-5. ラッチ動作

### 2.3.5 2D 統合ラッチ

2D ホール・エフェクト・ラッチは 1D ラッチと同様に動作しますが、パッケージに複数のセンシング素子が内蔵されています。TMAG5111 デバイスの場合、この特長により回転センシングと方向センシングが可能になります。2D ラッチには複数のセンシング素子があるので、追加の磁極を必要とせずに、センシング・システムの分解能を向上させることができます。さらに、2D ホール・エフェクト・ラッチが本来備えている直交特性により、2 つの 1D ホール・エフェクト・ラッチを互いに 90° 離れた位置に配置する必要がなくなります。直交出力により、機械式流量計で、より正確な周波数測定および逆流の検出が可能になります。

### 2.3.6 帯域幅

ホール・エフェクト・センサの帯域幅はデジタル特性として規定されており、オペアンプなどのデバイスのアナログ帯域幅とは異なります。帯域幅は、ホール・エフェクト・センサで検出できる最大周波数を決定します。インペラの最大回転速度がデバイスの帯域幅よりも小さいかどうかを確認して、流量計に配置する磁極の数を考慮する必要があります。たとえば、帯域幅の広い DRV5013 ホール・エフェクト・ラッチ (30kHz) と 32 極 (N 16 極、S 16 極) のリング磁石を使用する流量計の理論上の最大センシング速度は、1 秒あたり 1875 回転です。計算された最大回転センシング速度を使って、最大流量のときに機械アセンブリがホール・エフェクト・デバイスのセンシング能力を超えないことを確認します。

### 2.3.7 パッケージ

パッケージのサイズと感度方向によってホール・エフェクト・センサの位置が決まるので、パッケージの選択は、流量計の機械的設計に影響を及ぼす可能性があります。表面実装パッケージをリード付き TO-92 パッケージと比較すると、このことがよくわかります。図 2-6 に、SOT-23 および TO-92 パッケージの従来型および同一面内ホール・エフェクト・センサのセンシング方向の違いを示します。機械的制約によってホール・センサの取り付けの選択肢が制限される場合は、代案として、同一面内センサを使用すれば、パッケージの横方向に磁界を検出できます (図 2-6 を参照)。

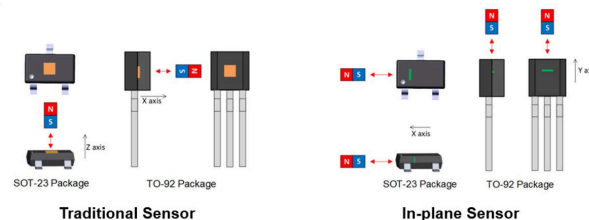


図 2-6. パッケージの感度

### 2.3.8 消費電力

低消費電力のホール・エフェクト・デバイスは、動作時の消費電流低減により、バッテリー駆動システムの動作寿命を延長します。たとえば、DRV5032 低消費電力ホール・エフェクト・スイッチには、5Hz のサンプル・レート・デバイスがあり、1.8V

電源での消費電流は、わずか **0.54 $\mu$ A** (標準値) です。消費電流は、一般にデバイスの帯域幅と反比例するため、目的の流量監視アプリケーションについて、この 2 つの特性のバランスを取る必要があります。広い帯域幅と低消費電力が必要な場合には、スリープ・ピンまたはイネーブル・ピンを外部でデューティ・サイクルするか (デバイスに当該ピンがある場合)、または、デバイスの  $V_{CC}$  ピンをデューティ・サイクルすることにより、平均消費電流を低減する必要があります。



## 3 流量計の開発

### 3.1 3D プリントに関する推奨事項

流量計を適切な構造にするのに適したインフィルを使用して、すべての 3D プリント部品を印刷します。突き出た部分を印刷するときに部品の形状を維持するため、すべての部品をサポート材を使用して印刷してください。すべてのプリント部品を、表面積が最大の面がプリンタの製造プレートに向くように配置します。この配置により、適切なベッド接着性が得られるだけでなく、生成されるサポート材が最小限に抑えられます。サンプル・モデルでは、PolyPrinter 229 を使用してすべての部品を ABS プラスチックで印刷し、60% のインフィル、0.2mm の層高さ、および最小限のサポート材設定を使用しました。

テストに使用した流量計は、さまざまな 3D プリンタで作成できるように設計されています。3D プリンタの精度はさまざまであるため、適切に装着できるように、一部の部品を変更することが必要な場合があります。ほとんどのインターフェイス表面は、他の部品と適切に結合させるため、研磨が必要となります。すべてのプラスチック部品は、押し込んで装着するよう設計されています。3D プリント・ファイルは、設計要件に合わせて変更することもできます。

### 3.2 流量計の組み立てに関する考慮事項

すべての 3D プリント部品を、既存のサポート材を取り除いて準備します。プリンタの精度はさまざまなので、部品によっては、適切に装着できるように変更が必要なものもあります。

表 3-1 に、流量計の設計に必要な 3D プリント・ファイルを示します。すべてのファイルは、[機械式流量計の設計ファイル](#) から入手できます。

表 3-1. 流量計の組み立て

パラメータ	垂直センサ	代替垂直センサ	水平センサ
磁石の互換性	Phoenix America リング磁石 (G8-H-315-50-8)	¼ インチ × 1/16 インチ - ディスク磁石	¼ インチ × 1/16 インチ - ディスク磁石
流量計本体の 3D プリント・ファイル	Flow Body.STL	Flow Body.STL	Flow Body.STL
流量計インペラの 3D プリント・ファイル	Ring Mag Impeller.STL	Alternate Mag Impeller.STL	Horizontal Mag Impeller.STL
流量計上面の 3D プリント・ファイル	Vertical Top.STL	Vertical Top.STL	Horizontal Top.STL
流量計カバーの 3D プリント・ファイル	Vertical Cover.STL	Vertical Cover.STL	Horizontal Cover.STL

### 3.3 流量計の組み立てガイド

#### 3.3.1 シャフトの取り付け

組み立ては、直径 4mm のステンレス・スチール・シャフトを流量計本体に取り付けることから開始します。この部品は押し入れて装着しますが、アセンブリに過度の力を加える必要はありません。シャフトがくぼみにはまらない場合は、取り付け位置の内径を研磨します。図 3-1 に、適切に組み立てられたシャフトと流量計本体を表示します。

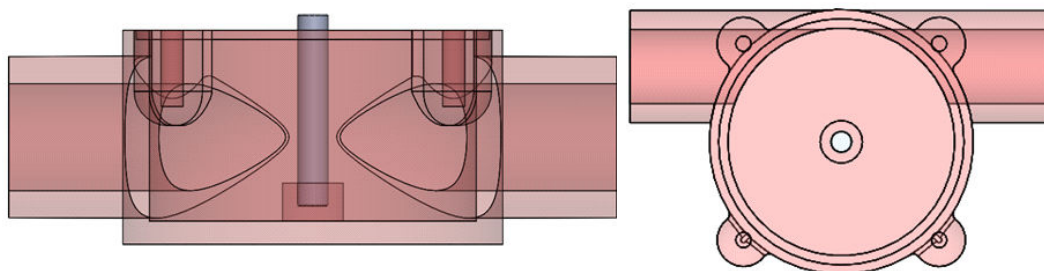


図 3-1. シャフトの取り付け

#### 3.3.2 ベアリングの取り付け

次に、機械部品を流量計のインペラに取り付けます。磁石の組み立ては、選択した流量計のバリエーションによって異なりますが、3 つのバリエーションすべてで、プラスチック・ハウジングにベアリングを押し入れる必要があります。2 個の 4mm

× 10mm × 4mm のベアリングをインペラの内部に押し込みます。1 つのベアリングはインペラの筐体の裏側に配置されるようにします。もう 1 つのベアリングは、前のベアリングの裏側に装着します。これら 2 つのベアリングの位置によって、インペラの高さと、シャフトに対してインペラがどのように回転するかが決まります。図 3-2 に、適切に組み立てられたインペラを示します。

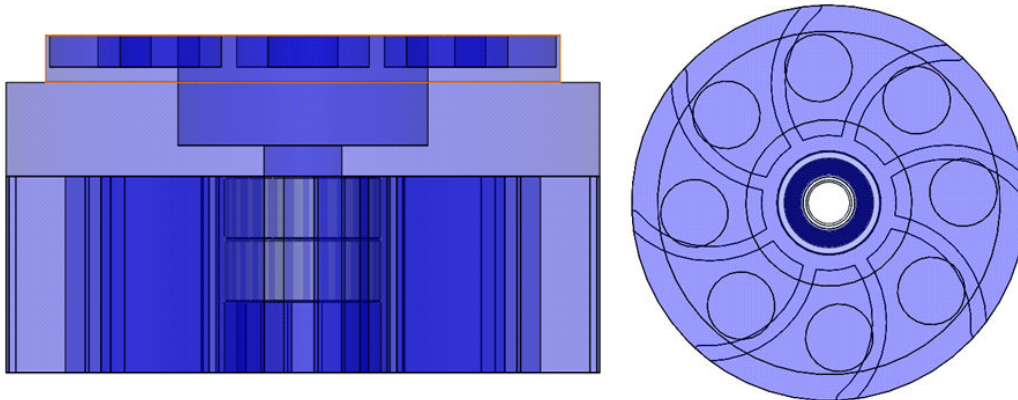


図 3-2. ベアリングの取り付け

### 3.3.3 磁石の取り付け

次に、磁石をインペラに押し込んで取り付けます。使用するホール・センサによっては、磁極の向きが重要になることがあります。リング磁石の場合、磁石はどちらの向きでも取り付けることができます。ディスク磁石を使用する流量計では、N/S 極の向きを交互に配置したものを利用するのが最も一般的です。図 3-3 に、4 つの N 極 (赤) と 4 つの S 極 (黒) を配置した水平インペラの組み立て例を示します。

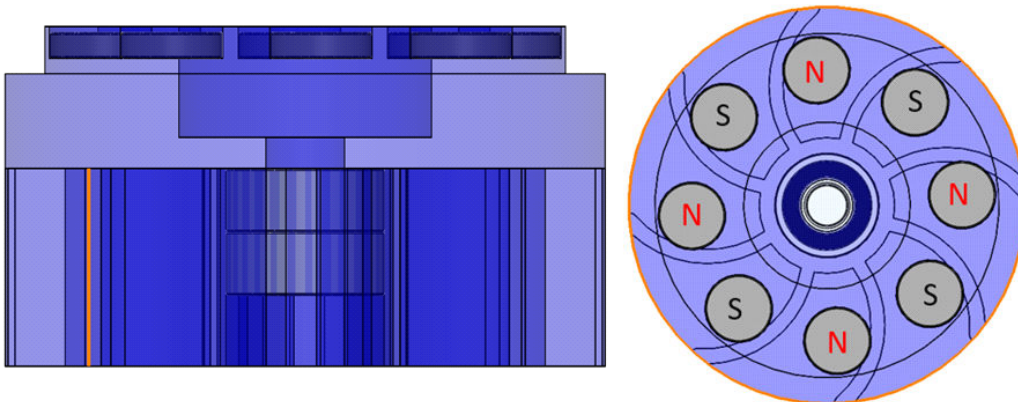


図 3-3. 磁石の取り付け

### 3.3.4 インペラの取り付け

インペラと流量計本体を組み立てたら、2 つの部品を結合できます。インペラを流量計本体のスチール・シャフトに取り付けます。適切に取り付けると、インペラは自由に回転します。さらに、摩擦を低減するため、底面のベアリングにより、インペラを流量計本体の底面より少し上に保持する必要があります。ベアリングをシャフトに簡単に取り付けることができない場合、シャフトの外径を小さくする必要があります。スチール・シャフトを冷凍庫で十分な時間冷却してシャフトの外径を小さくし、シャフトにベアリングをスライドできるようにします。図 3-4 に、適切に組み立てられた部品を示します。



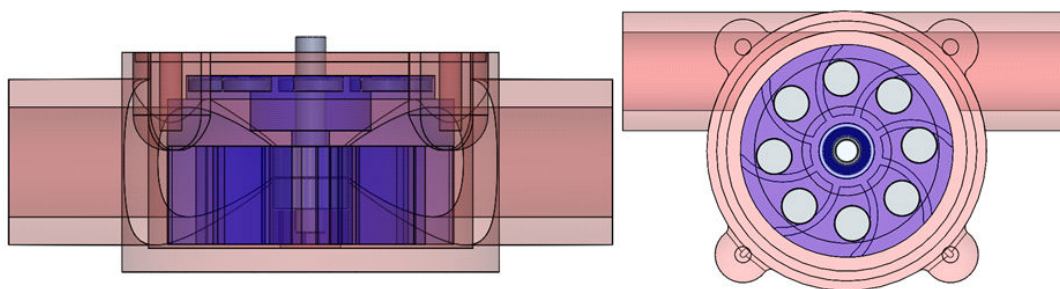


図 3-4. インペラの取り付け

### 3.3.5 Oリングの取り付け

作成している流量計バリエーション用のゴム製 Oリングを、流量計の上面に取り付けます。Oリングは取り付けるとわずかに伸び、プラスチック部品の底面に収まっている必要があります。図 3-5 に、Oリングの取り付けを示します。

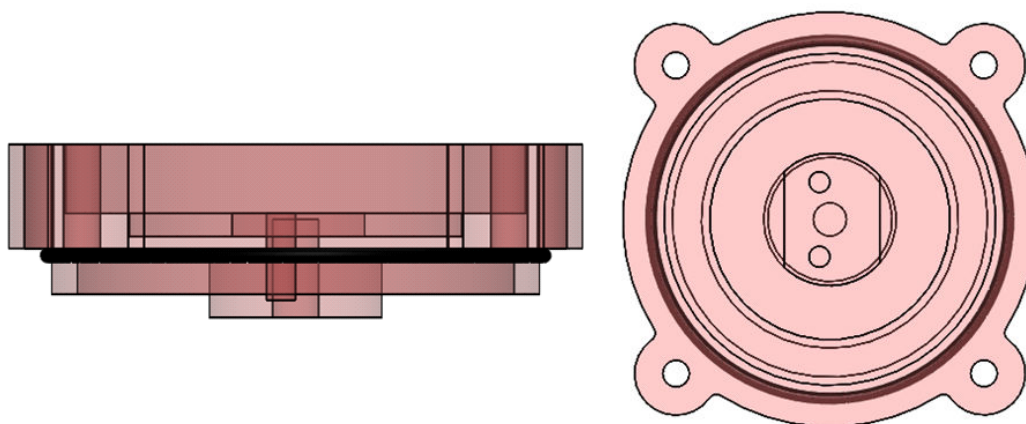


図 3-5. Oリングの取り付け

### 3.3.6 流量計の上面の取り付け

2つの部品を結合できる状態になりました。図 3-6 には示されていませんが、流量計本体の密閉面と流量計の上面の間に防水 PTFE テープを追加してください。Oリングが流量計本体の保持溝と密閉されていることを確認します。流量計の上面を流量計本体に取り付ける際、最後の 2mm は比較的きつように感じるはずです。インペラが障害なく回転できることを確認して、適切に組み立てられたことを確認します。図 3-6 に、組み立てを示します。

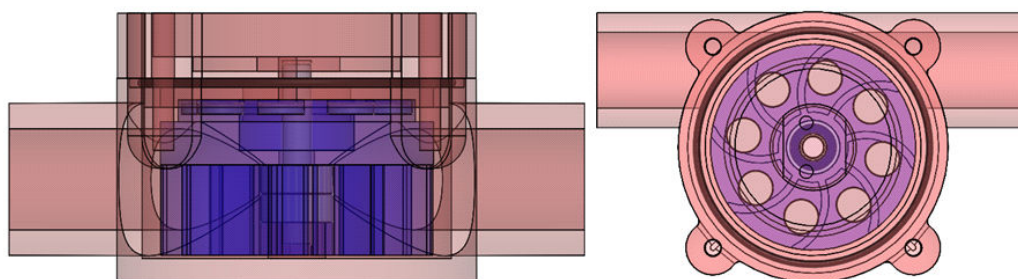


図 3-6. 流量計の上面の取り付け

### 3.3.7 PCB の取り付け

ホール・センサ PCB を取り付け位置に装着します。水平センサの場合は「Horizontal Top」と示される 3D プリント部品に PCB を取り付け、垂直センサの場合は「Vertical Cover」と示される部品に PCB を取り付ける必要があります。垂直取り付けと水平取り付けのどちらのオプションでも、2-56 のナイロン製ねじを使用して、プリントされた取り付け位置に PCB を固定する必要があります。図 3-7 に水平取り付けを、図 3-8 に垂直取り付けを示します。

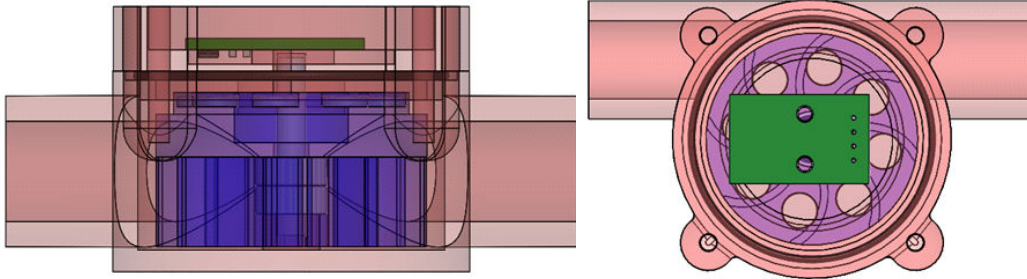


図 3-7. 水平 PCB 取り付け

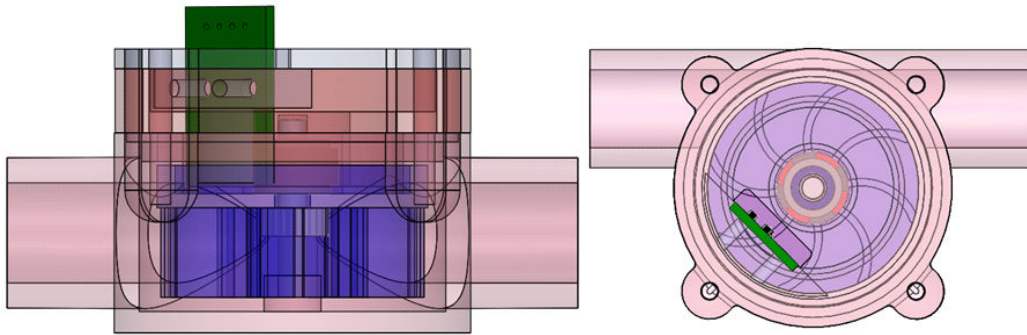


図 3-8. 垂直 PCB 取り付け

### 3.3.8 カバーの取り付け

最後に、流量計の設計で使用するカバーを取り付けます。垂直センサ・オプションの場合、このカバーは PCB にも取り付けます。カバーには、ピン・ヘッダまたはワイヤを流量計外に配線するためのスロットがあります。流量計のこの段は前の流量計段から分離されているため、この接続に防水を適用する必要はありません。最終的な組み立てでは、外側の取り付け穴に 4 個のねじを装着する必要があります。組み立ての結合部で液体の漏れが発生しないように、4 個のねじで十分な締め付け圧が生成されるようにしてください。並目ねじを流量計本体に挿入します。図 3-9 に、水平流量計の最終的な組み立てを示します。

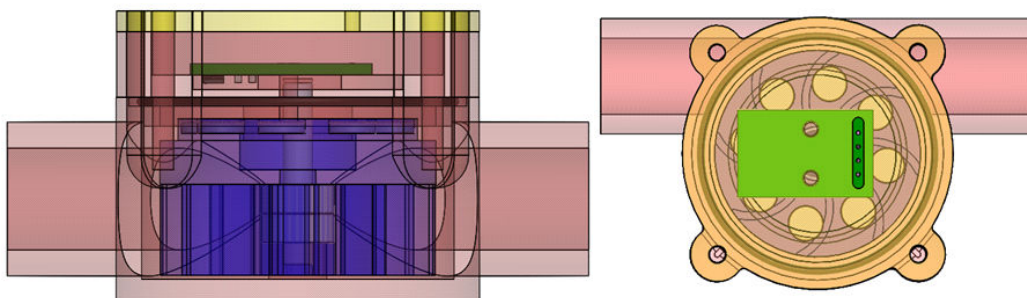


図 3-9. カバーの取り付け

特定の評価設定に合わせて、入口と出口に 1/2 インチの PVC 固定具を取り付けます。流量計本体に固定具を取り付ける場合は、PVC プライマと PVC 接着剤を使用してください。初期の防水評価のためには、センシング PCB を取りはずします。

## 4 流量計の評価

### 4.1 流量計のテスト

テスト・システムの制限により、テスト時に生成される最大制御流量は 11.2 リットル/分でした。テスト対象の流量計は、4 個のディスク磁石を搭載した DRV5013 ホール・センサと、水平構成の流量計を使用します (図 4-1 を参照)。基準流量は、産業グレードの磁力流量計を機械式流量計と直列につなげて使用して測定しました。流量シミュレーションでは、30L/分を超える量まで非線形性を懸念せずに正確に検出できる 3D プリントの流量計を推定しています。流量が 2L/分未満になると、線形性は低下すると予想されます。必要な流量が 3D プリント設計の推奨制限を超える場合は、より正確な結果を得るため、流量計のサイズを変更する必要がある場合があります。

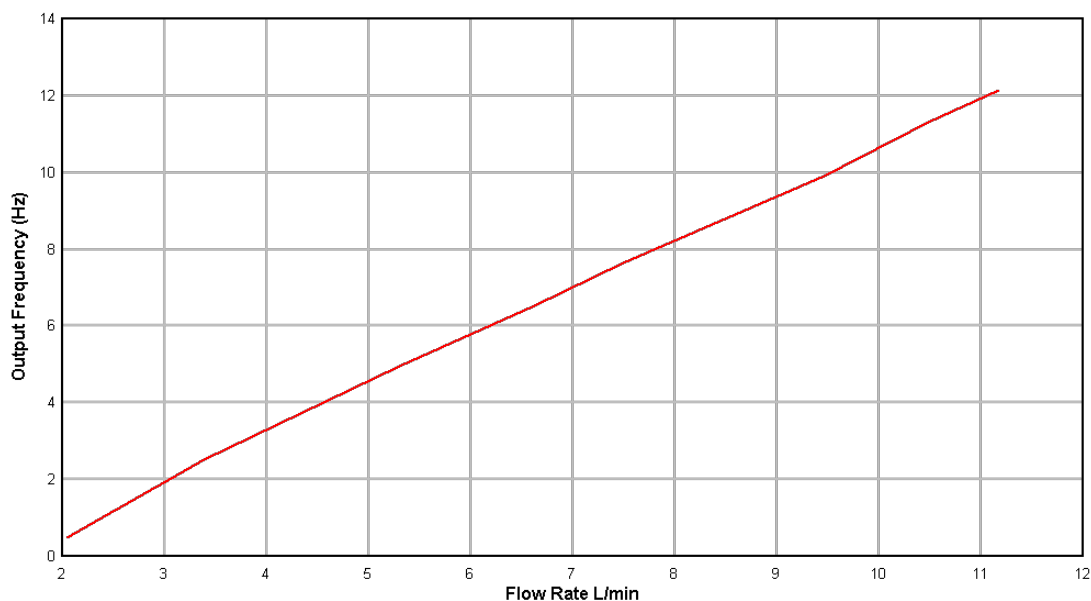


図 4-1. 流量分析波形

## 5 誤差発生源

機械式流量計の精度には、多くの要因が影響を及ぼします。これらの誤差要因は、機械的誤差、サンプリング誤差、磁気誤差など、発生源に基づいて分類できます。

### 5.1 機械的誤差

機械的誤差は、測定される流量の誤差に寄与する流量計の物理的特性であると考えられます。回転式流量計に関連する一般的な機械的誤差は、摩擦損失です。流量や流量計の設計によって、摩擦損失が誤差の支配的な原因となることがあります。たとえば、流量が少ない場合、ベアリングの摩擦損失が、インペラが液体の流量に比例して回転する能力に影響を及ぼすことがよくあります。この比較的大きな摩擦力は、最終的にメーターを流れる水の力に等しくなり、最小流量を決定付けます。

機械的移動の不正確性が原因で、その他の機械的誤差が発生することがあります。流量計の場合、通常は磁石が同じ間隔で配置され、インペラの上面に平面状に取り付けられていることが想定されます。ただし、アセンブリの誤差が部品の位置に影響を与え、ホール・センサで検出される磁界が変化する可能性があります。機械式流量計の重要な特性は、シャフトを基準としてインペラがどれだけ正確に回転するかです。この動きのずれは、回転アセンブリ内の揺れとして説明でき、磁石の角度とホール・センサとの距離を変更します。

図 5-1 は、センター・シャフトとの垂直位置ずれ 0 度、 $\pm 1$  度、 $\pm 2.5$  度、 $\pm 5$  度でシミュレーションされた水平インペラを表しています。このシミュレーションは、直径  $\frac{1}{4}$  インチの N42 ディスク磁石 8 個をインペラ上に等間隔で磁極が交互になるよう配置した水平インペラの機械的な位置をエミュレートしています。位置  $0^\circ$  は正の最大位置ずれを表し、 $180^\circ$  は負の最大位置ずれを表します。負の最大位置ずれは正の位置ずれと位相が  $180^\circ$  ずれていると想定されるので、シミュレーションの範囲は  $0^\circ \sim 180^\circ$  です。

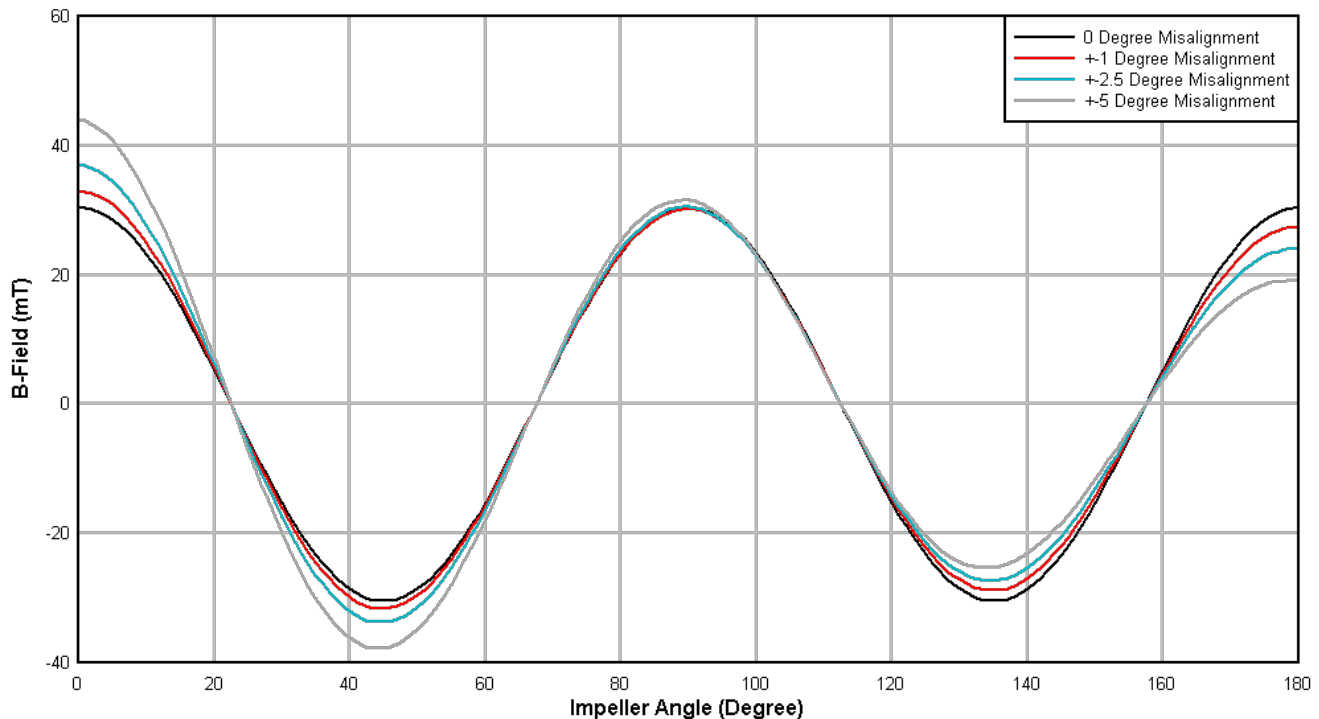


図 5-1. 位置ずれのシミュレーション

## 5.2 サンプリング誤差

サンプリング誤差は、測定する流量に対してサンプル・レートが不適切であるために発生します。この誤差は、ホール・エフェクト・センサ、またはデータを収集するデバイスのいずれかが原因で発生します。センサの場合は、デバイスの帯域幅が磁界の変化の周波数をサポートするのに十分であることを確認します。データ収集周波数はセンサのサンプリング周波数と同様で、周波数が低すぎると、周波数測定の正確性が損なわれる可能性があります。したがって、サンプリング周波数は最低でも予測される最大出力周波数の 2 倍にします。

## 5.3 磁気誤差

磁気誤差は、磁石構造の物理的なばらつきと材質のばらつきに起因します。このような誤差は通常、磁石のサブライヤによって規定されるか、最大許容誤差の評価により計算されます。磁気誤差は、使用するホール・エフェクト・センサによって、センシング・システムに及ぼす影響が大きくなったり小さくなったりします。磁石とホール・エフェクト・センサを使用して、システムの許容誤差を設計します。

もう 1 つの誤差発生源は、デバイスのばらつきです。製造時のばらつきにより、ホール・エフェクト・デバイス間で標準的な  $B_{RP}$  や  $B_{OP}$  などの特性が異なるものになります。ホール・センサのデータシートに、磁気特性の最小値、標準値、最大値が記載されています。これらの値を考慮して、ホール・センサと磁石の適合性を検証します。



## 6 流量計の PCB

### 6.1 PCB の回路図

図 6-1 に、流量計の回路図を示します。C1 はローカル電源デカップリング・コンデンサで、R1、R2 はそれぞれ OUT1 および OUT2 のオープン・ドレイン・ホール・センサ用プルアップ抵抗です。センサ取り付けパッドは、1D と 2D の SOT-23 パッケージ両方のホール・センサに対応できます。使用する前に、PCB 上のピン 1 インジケータ (左上) がデバイスのピン 1 と揃っていることを確認してください。

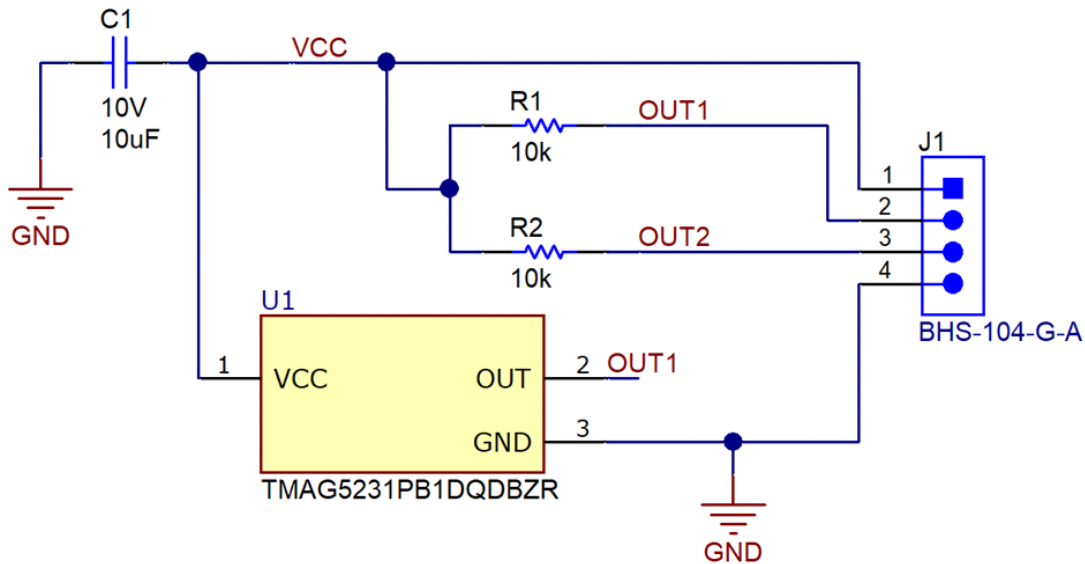


図 6-1. PCB の回路図

### 6.2 PCB レイアウト

ガーバー・ファイルは、本書の [セクション 3.2](#) に示されるダウンロード・ファイルから入手できます。

図 6-2 および図 6-3 に、PCB の上面および底面の図を示します。

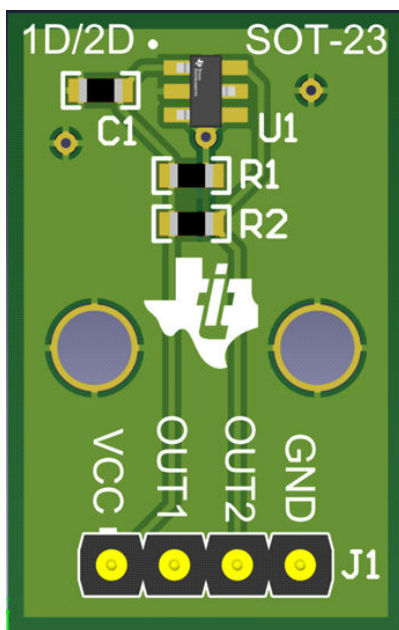


図 6-2. PCB の上面図

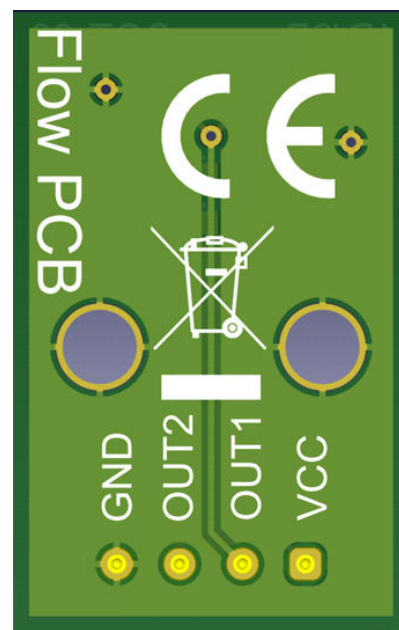


図 6-3. PCB の底面図

## 7 部品表 (BOM)

表 7-1 に、部品表 (BOM) を示します。

表 7-1. 部品表 (BOM)

コード	数量	値	説明	パッケージ	型番	メーカー
PCB	1		流量計 PCB、2 層基板			
C1	1	10 $\mu$ F	10 $\mu$ F コンデンサ、20%、10V、0603	0603	LMK107BC6106MA-T	Taiyo Yuden
R1、R2	2	10k $\Omega$	10K 抵抗、5%、0.1W、0603	0603	RC0603JR-0710KL	YAGEO
J1	1		ヘッダ、2.54mm、4 × 1、金、TH	2.54mm、4 × 1	BHS-104-G-A	Samtec
U1	1		DRV5013、SOT-23	SOT-23	DRV5013FAQDBZR	テキサス・インスツルメンツ
O リング	1		1.5mm 幅のニトリルゴム性 O リング、内径 40mm、外径 43mm			
シャフト	1		直径 4mm x 25mm ステンレス・スチール・ロッド			
ベアリング	2		密閉型ベアリング: 内径 4mm、外径 10mm、4mm 厚		MR104-2RS	Bearings Direct
リング磁石	1		8 極、ラジアル多極磁石、穴 8mm、外径 1/2 インチ		G8-H-315-50-8	Phoenix America
ディスク磁石	8		直径 1/4 インチ × 1/16 インチ厚の N52 軸方向磁化ディスク磁石		D41-N52	K&J Magnetics
PTFE テープ	1		PTFE テープ、1/2 インチ幅		21TF19	Grainger
ねじ	4		粗ねじ、3/4 インチ長 #6		32MT17	Grainger
ナイロン製ねじ	2		2-56 ナイロン製ねじ、1/8 インチ長、パン・ヘッド・フィリップス		94735A705	McMaster - Carr
流量計上面	1		流量計上面、3D プリント、2 バージョン: 垂直と水平			
流量計本体	1		流量計本体、3D プリント ABS、1 バージョン			
インペラ	1		インペラ、3D プリント、3 バージョン: 水平、交互、リング磁石			
流量計カバー	1		流量計カバー、3D プリント、2 バージョン: 水平、垂直			

## 8 関連資料

- [テキサス・インスツルメンツ、機械式流量計の設計ファイル](#)

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated