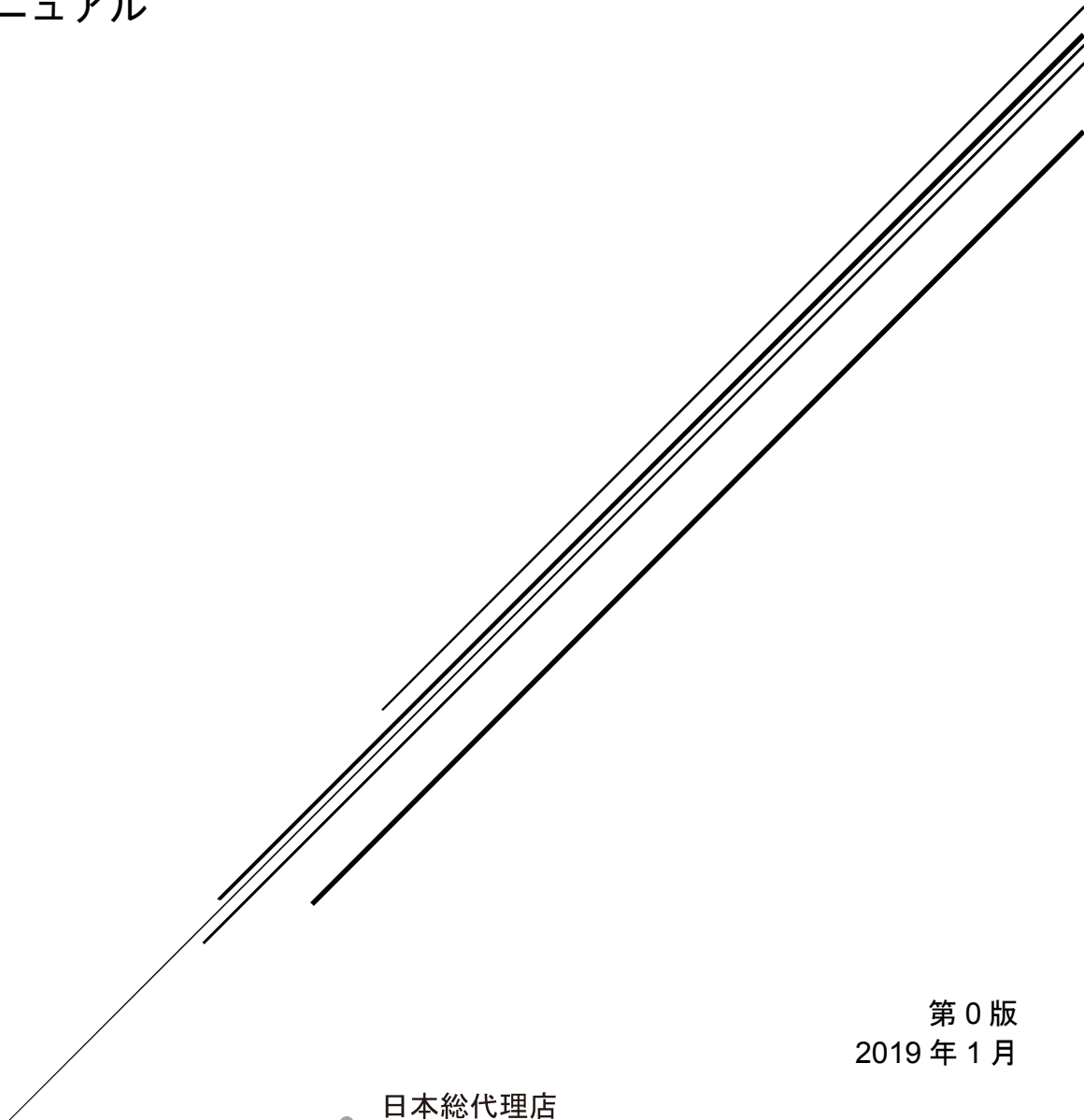


# bendlabs

## シリコン製曲げセンサ

理論マニュアル



第0版  
2019年1月

日本総代理店



株式会社ヒロテック

本社：〒270-1359 千葉県印西市木刈6-20-13  
東京営業所：〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-1-3  
TEL 03-5200-2201  
FAX 03-5200-2212

# シリコン製曲げセンサ - 理論マニュアル

## はじめに

この軟質角変位センサー（特許取得済）は、既存のセンサー技術に代わるものとして、軟質形状因子における角変位を高い精度でドリフトを生じることなく測定すると同時に、消費電力を極めて低いレベルに維持する独自の機能を備えた製品です。製品の主な特徴を以下に示します。

- センサーの原料には、導電性賦形剤と非導電性賦形剤を添加した医療用層状シリコンエラストマーを使用しています。そのため、他のシリコンエラストマー製品と同様の機械的特性と作動温度を備えています。
- センサーでは、差分容量測定を通じて角変位を測定します。それにより温度変動や歪み、ノイズなどの共通モード信号を排除し、角変位を高精度で測定することができます。
- 差分容量の測定に使用するサンプリング電力は極めて小さく、1.8Vにおける電力消費量は100uA未満です。競合する他の技術とは異なり、信号が長期間にわたって高い安定性を維持し、ドリフトを生じないため、信頼性と精度を高めることができます。
- センサーをカスタマイズすることにより、複数のチャンネルや空間的に特異な「ベンディングピクセル」を含めることができます。また寸法を任意に変えることや、剛性を変化させることもできます。さらに非伸張性にすることや、可撓性回路に直接組み入れること、曲がった直交面の測定用として構成することもできます。

## 作動原理

可撓性軟質角変位センサーは、可撓性コンデンサ2個で構成されています。このコンデンサは中心軸からのオフセット位置にあり、センサーの全長にわたって伸びています。このオフセットコンデンサ2個の間の差分容量を測定します（図1）。出力は差分となるため、引張歪みなどの共通モード信号が排除されます。したがって軟質角変位センサーを使用することにより、曲げ歪みに共通モードの引張歪みが重なる場合であっても、曲げ角度を正確に測定することができます。

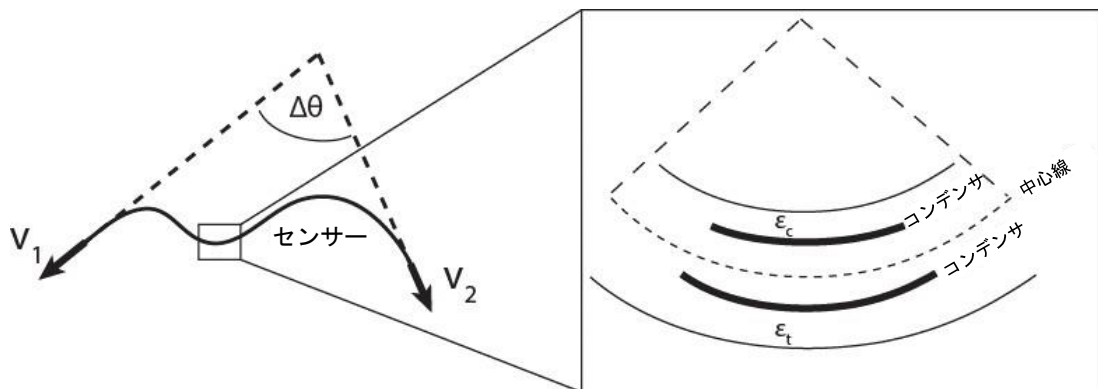


図 1. 作動原理：（左）センサー出力は、センサー両端を基準として定義されるベクトル ( $v_1$ ,  $v_2$ ) から計算される角変位 ( $\Delta\theta$ ) となります。（右）センサーの曲げ位置の断面図から、2個の可撓性コンデンサが中心軸からのオフセット位置にあることが判ります。曲げの内側にあるコンデンサには圧縮歪み ( $\epsilon_c$ ) が生じ、外側にあるコンデンサには引張歪み ( $\epsilon_t$ ) が生じます。差分容量測定により、センサーの総角変位に対して線形に比例する出力が得られます。

# シリコン製曲げセンサ - 理論マニュアル

## 経路独立性

軟質角変位センサーは、経路独立性を備えています。その理由は、外部の曲げによるセンサー出力への影響が非常に小さいことにあります（図2）。この特性は、可撓性コンデンサがセンサー全長に伸びていることから曲げの総量が長さ方向に沿って積分され、外部曲げ経路が打ち消されることに起因しています。このことは、「曲げ位置」がセンサーの長さ方向のどの位置にもありうることを意味しています。

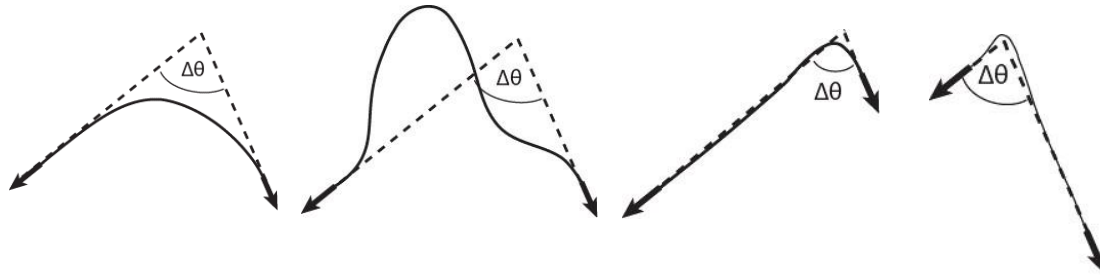
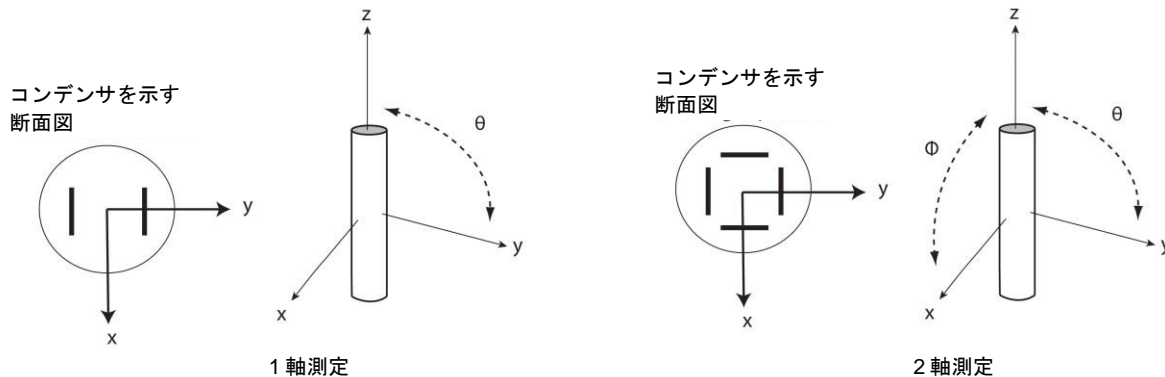


図2. 経路独立性：理想的なセンサーの場合、その角変位はセンサー経路に依存しません。したがって上図に示した4種類のセンサー経路は、いずれも理論的には同じ角変位を示します。

## 2軸センサーと3D出力

可撓性2軸軟質角変位センサーは、当社の1軸センサー技術が進化したものです。2軸センサーでは、可撓性コンデンサ1セットの代わりに、可撓性コンデンサ2個が中心軸からのオフセット位置に搭載されています（図3、左）。それにより、2つの直交面における2つの角度を測定することができます（図3、右）。



## 1軸センサー

## 2軸センサー

図3. 2軸センサー：（左）1軸センサーの模式図。（右）可撓性コンデンサのセットを追加搭載することにより、2軸センサーを使用して2本の直交軸を測定することができます。

# シリコン製曲げセンサ - 理論マニュアル

## 線形性と較正

センサー出力は高い線形性を備えています。そのためセンサーの耐用年数を通じ、較正值を維持すると考えられます。図4に、角変位に対して差分容量をプロットした例を示します。

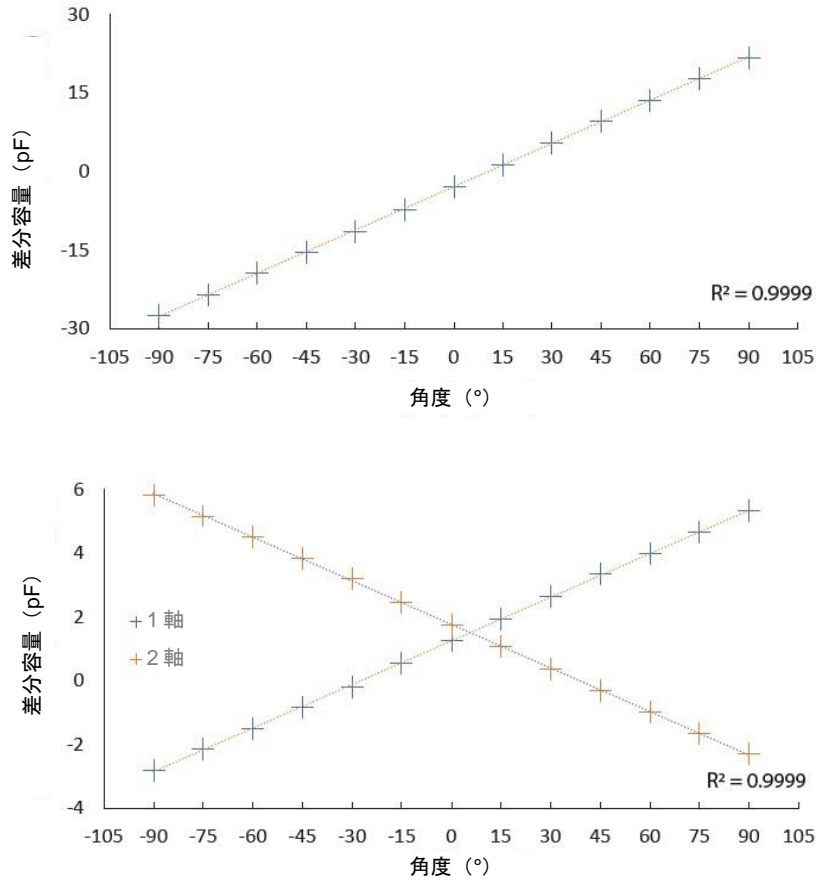


図4. センサーの線形性：（上）1軸センサーにおける角変位に対する差分容量のプロット。  
（下）2軸センサーにおける角変位に対する差分容量のプロット。

## 差分容量のデジタル変換

当社独自の埋込型アナログフロントエンドコントローラは、センサーのエンドタブに直接組み込まれており、便利な I<sup>2</sup>C インタフェースの他、ノイズが少なく信頼性の高い信号を生み出す較正コマンドと使いやすいAPIを備えています。詳しい情報については、クイックスタートガイドを参照してください。

# シリコン製曲げセンサ - 理論マニュアル

## アプリケーションノート

このソフト角変位センサはパワフルで多彩な用途で使用できる万能ツールですが、正確な性能を確保する為にはいくつかの考慮事項に注意する必要があります。

- ・センサは柔らかく弾力性があり、何百万回もの使用サイクルに合わせて設計されていますが各センサのデータシートに記載されている通り、角変位センサの伸びは短期の使用時で 75%、通常使用時で 30%以上のひずみを超えないようにすることを推奨します。

センサの最小曲げ半径は短期の使用時で、各センサの厚みの 2 倍、通常の使用時で厚みの 4 倍を下回ってはいけません。

1 軸センサの場合：厚みが 1.27 mm なので、曲げ R は短期時 2.54 mm、通常時 5.08 mm となります。

2 軸センサの場合：厚みが 4mm なので、曲げ R は短期時 8 mm、通常時 16 mm となります。

- ・電気機械的インターフェース(センサが PCB で終端する場所)にストレーンリリーフが設けられている場合、この領域に過度に負荷をかけないように注意する必要があります。

PCB やケーブルを引っ張ってセンサを動かしたりすると早期故障の原因となりますので、持ち運ぶ際はセンサ本体を直接お持ちください。

- ・センサの理想は 100% の common モード信号とすべての無関係な曲げが排除されべきですが常にそうであるわけではないということです。センサが最終的な位置に来た後に較正手順を実行することを推奨します。これは発生する可能性のある common モード信号を排除するのに役立ちます。

- ・センサはシールドされており、ノイズや寄生容量が触れないように高い許容度を持つべきです。しかしながら主電源から電力が接続されるとアースへの容量性カップリングが起こる可能性があります。このような問題を回避する為に、付属のバッテリーで駆動するようにしてください。主電源から電力を供給する場合は適切なテストと電氣的絶縁が必要になります。

- ・センサーは、センサーの長さに沿ってねじれがない時に最高のパフォーマンスで機能します。最良の結果を得る為にセンサーのねじれを防止してください。ねじれを避けることが出来ない場合は、設置後に較正をすることで一般的には優れたパフォーマンスを提供します。