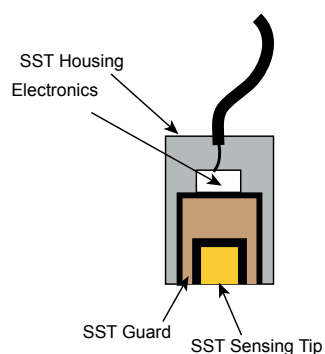


静電容量センサと渦電流センサの違い



該当する装置:

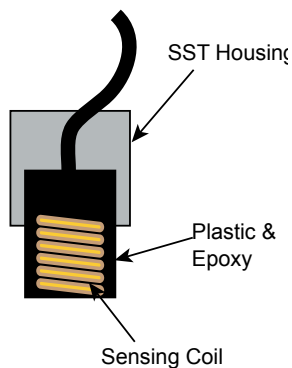
すべての静電容量変位センサおよび渦電流変位センサ

アプリケーション:

すべての非接触変位センサ アプリケーション

サマリー:

この TechNote では、ユーザーがアプリケーションにとって最適な選択ができるように、静電容量変位センサおよび渦電流変位センサの違いを説明します。



概要

静電容量技術と渦電流技術を使用する非接触センサはそれぞれ、さまざまなアプリケーションに応じて、特有の長所と短所を併せ持っています。この観点で 2 つの技術を比較すると、アプリケーションに最も適した技術を選択するために役立ちます。

センサの構造

静電容量センサと渦電流センサの違いを理解する最初の一步は、それぞれがどのような構造になっているかを見ることです。静電容量プローブの中央には、変換素子があります。このステンレススチール製の小片が、ターゲットまでの距離の検知で使用される電界を生成します。絶縁レイヤーで変換素子から分離されているガードリングもステンレススチール製です。ガードリングは変換素子を取り囲み、ターゲットに向かう電界の焦点を合わせます。変換素子およびガードリングには、若干の電子回路コンポーネントが接続されています。これらの内部部品はすべて絶縁レイヤーで覆われ、ステンレススチール製の筐体に収納されています。筐体は、ケーブルの接地シールドに接続されています (図 1)。

渦電流プローブの中心的な機能部品は、センシングコイルです。これは、プローブの終端近くにあるワイヤーのコイルです。交流がコイルを流れ、交流磁場が発生します。この交流磁場が、ターゲットまでの距離の検知に使用されます。コイルはプラスチックとエポキシでできたカプセルに収納されて、ステンレススチール製の筐体に設置されます。渦電流センサの磁界は、静電容量センサの電界ほど焦点を合わせるの簡単ではないため、センシングの磁界全体がターゲットにかかるように、ステンレススチール製の筐体からエポキシでカバーされたコイルを伸ばします (図 2)。

スポットサイズ、ターゲットサイズ、範囲

非接触センサのプローブの検知フィールドは、特定領域をターゲットとします。この領域のサイズをスポットサイズと呼びます。ターゲットはスポットサイズより広くなければなりません。そうでない場合は、特別な較正が必要です。スポットサイズは、必ずプローブの直径に比例します。プローブの直径とスポットサイズの比率は、静電容量センサと渦電流センサでは大きく異なります。このようにスポットサイズが異なることが、最小ターゲットサイズの違いにつながります。

静電容量センサは、検知用に電界を使用します。この電界はガードリングによってプローブに焦点が合わされ、その結果、スポットサイズは変換素子の直径より約 30% 大きくなります (図 3)。変換素子の直径に対する検知領域の一般的な比率は 1:8 です。これは、範囲内のすべてのユニットについて、変換素子の直径が 8 倍大きいことを意味します。たとえば、検知範囲が 500 μm であれば、変換素子の直径は 4000 μm (4mm) が必要です。この比率は、一般的な較正です。高解像度および拡張された範囲の較正によって、この比率を変えることができます。

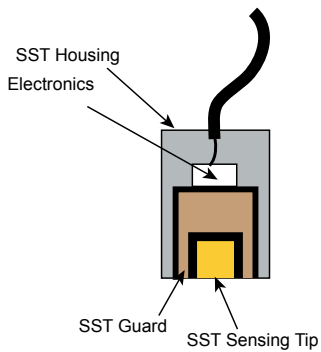


図 1 静電容量センサの構造

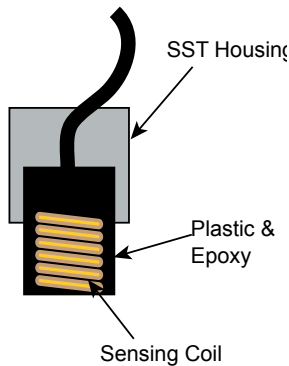


図 2 渦電流センサの構造

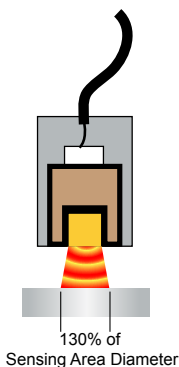


図 3 静電容量センサのスポットサイズ

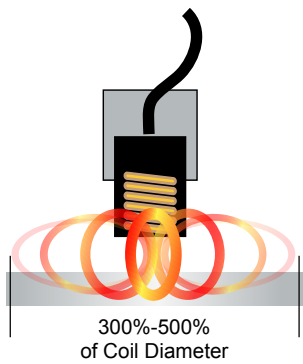


図4過電流センサのスポットサイズ

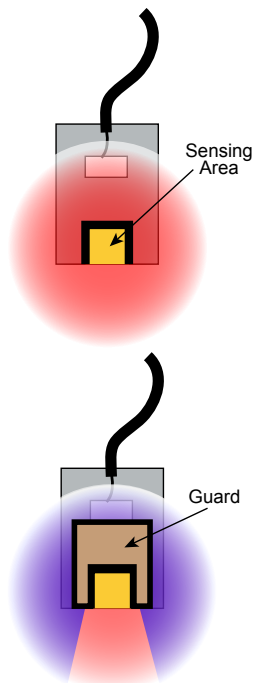


図5静電容量プローブの電界に焦点を合わせるガードリング

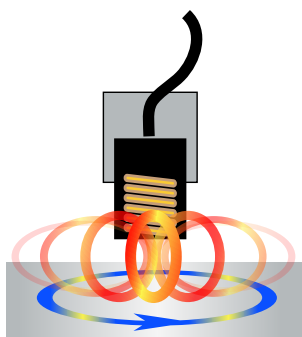


図6交流磁場がターゲット材料で過電流を生成する

過電流センサは、プローブの終端を完全に囲む磁界を使用します。これが比較的大きな検知フィールドを生み出し、その結果、スポットサイズはプローブのコイルの直径の約3倍になります(図4)。過電流センサの場合、センシングコイルの直径に対する検知範囲の比率は1:3です。これは、範囲内のすべてのユニットについて、コイルの直径が3倍大きいことを意味します。したがって、同じ500 μm の検知範囲で、過電流センサの直径は1500 μm (1.5mm)しか必要ありません。

センシングテクノロジーを選択する際は、ターゲットサイズも考慮してください。小さいターゲットでは、静電容量センシングが必要になります。ターゲットがセンサのスポットサイズより小さい場合、特別な較正で固有の測定誤差を補正する必要があります。

センシング技法

静電容量センサおよび過電流センサでは、ターゲットの位置を決定するのに異なる技法を使用しています。精密な変位測定で使用される静電容量センサは、通常500kHz~1MHzの高周波電界を使用します。電界は、変換素子の表面から放射されます。ターゲットで検知フィールドの焦点を合わせるために、ガードリングは別個に、ただし同一の電界を生成し、ターゲット以外のすべてから変換素子を分離します(図5)。

電界における電流の流れの量は、変換素子とターゲット表面の間での静電容量によって決まります。ターゲットおよび変換素子のサイズは一定であるため、ギャップにある材料が変化しないと想定すると、静電容量はプローブとターゲットの間の距離によって決まります。プローブとターゲットの間の距離の変化によって、静電容量が変化すると、次に変換素子での電流の流れが変化します。センサの電子回路が較正済みの出力電圧を生成しますが、これは電流の流れの強さに比例するので、結果的にターゲットの位置を示すことになります。

過電流センサでは、電界ではなく、磁界を使用してターゲットまでの距離を検知します。センシングコイルに交流が流れることで、検知が始まります。これによって、コイルの周囲に交流磁場が発生します。この交流磁場が導電性ターゲットと相互作用すると、ターゲットの材料に過電流と呼ばれる電流が発生します。この過電流が、センシングコイルの磁場と対立する、独自の磁場を生成します(図6)。

このセンサは、センシングコイルの周囲に一定の磁場を作るように設計されています。ターゲットでの過電流は検知フィールドとは反対であるため、元の磁界を維持するために、センサはセンシングコイルへの電流を増加させます。ターゲットのプローブからの距離が変化すると、磁界を維持するために必要な電流の量も変化します。センシングコイルの電流が処理されて出力電圧が発生し、これがプローブに対するターゲットの位置を表します。

エラー発生源

過電流センサは、磁界の変化を利用してターゲットまでの距離を決定します。これに対して、静電容量センサは、静電容量における変化を利用します。ここで、ターゲットまでの距離以外にも、磁界や静電容量を変化させる要因があります。これらの要因は、アプリケーションにおける潜在的な誤差の原因となります。幸運なことに、たいていの場合、こうしたエラー発生源は2つのテクノロジーで異なっています。アプリケーションにおける、これらのエラー発生源の存在や強さを理解することが、最適なセンシングテクノロジーを選択するための手がかりとなります。

この記事の残りの部分では、アプリケーションに最適な選択を行い、可能限り最善の結果が得られるように、こうしたエラー発生源について説明します。

ギャップの汚染

一部のアプリケーションでは、センサとターゲットの間のギャップが、埃や冷却剤などの液体や測定対象の一部ではない他の材料などによって、汚染されていることがあります。こうした汚染の存在にセンサがどのように応答するかは、静電容量センサまたは過電流センサを選択するうえで重要な要因です。

静電容量センサでは、センサとターゲットの間での静電容量の変化は両者の間の距離の変化であると想定します。静電容量に影響を与える他の要因としては、ターゲットとセンサの間のギャップの材料の誘電率 (ϵ) があります。空気の誘電率は1よりわずかに高い値です。異なる誘電率を持つ別の材料がセンサ/ターゲットのギャップに入ると、静電容量が増加し、センサは間違っただけでターゲットがセンサに近づいたと示します (図7)。汚染物質の誘電率が高いほど、センサに対する影響が大きくなります。オイルの誘電率は8~12です。水の誘電率は非常に高く、80です。

センサとターゲットの間の材料の誘電率に対する感度から、静電容量変位センサは、ターゲットの位置を測定する際はクリーンな環境で使用する必要があります。

非導電性の材料の厚みや密度を検知するために、静電容量センサの誘電感度を利用することもできます。このタイプのアプリケーションの詳細情報は、Lion Precision ウェブサイトの技術ライブラリのセクションにある静電容量センサの理論入門を参照してください。

静電容量センサとは違って、過電流センサは検知に磁界を使用します。磁界は、埃、水、オイルなどの非導電性の汚染物質の影響を受けません。したがって、過電流センサとターゲットの間のセンシング領域にこうした汚染物質が入り込んでも、センサの出力は影響を受けません。

この理由で、過電流センサは汚れやすい、不利な環境が関与しているアプリケーションに最適な選択です。Lion Precision 過電流プローブは、IP67 と評価されており、非腐食性の液体に完全に浸漬された状態でも使用できます。

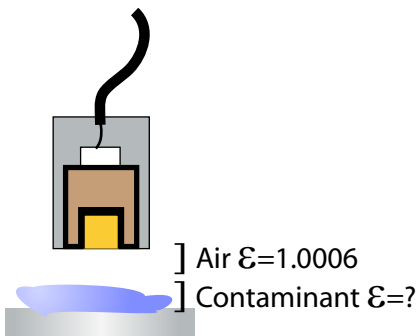


図7 汚染物質により、全体的な誘電率に変化が生じ、結果として測定誤差が発生する。静電容量センサはクリーンな環境で使用しなければならない。

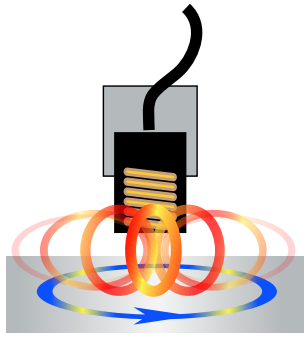


図8プローブの磁界がターゲット表面に侵入するため、過電流ではターゲットの最小厚さ要件がある。

ターゲットの厚さ

静電容量センサと過電流センサでは、ターゲットの厚さに関する要件が異なります。静電容量センサの電界は、材料内部に侵入することなく、ターゲットの表面にだけ関与します。このため、静電容量センサは材料の厚さには影響されません。

一方、過電流センサの磁界は、材料内で過電流を誘引するため、ターゲットの表面から侵入する必要があります(図8)。材料が薄過ぎると、ターゲットで発生する過電流が小さくなり、磁界も弱くなります。この結果、センサの感度が弱くなり、ノイズに対する信号の比率が小さくなります。

センサの磁界の侵入の深さは、材料やセンサの振動磁界の周波数によります。Lion Precision 過電流センサの周波数は、通常 1-2MHz です。表1は、一般的な材料に対する最小厚さです。

詳細は、技術ライブラリの TechNote 「Minimum Recommended Target Thicknessat」 (www.lionprecision.com) を参照してください。

ターゲットの材料および回転するターゲット

静電容量センサと過電流センサでは、ターゲットの材料の違いに対する反応が大きく異なります。過電流センサの磁界は、ターゲットに侵入し、材料内で過電流を誘引します。そして、プローブより磁界とは反対の磁界を生成します。過電流の強さ、そして結果として得られる磁界の強さは、材料の透過性と抵抗率に依存します。こうした特性は、材料によって大きく変化します。また、こうした特性は、たとえば熱処理やアニーリングなどの処理技法によっても大きく変化します。たとえば、異なる加工がなされたこと以外は同一である2つのアルミニウムには、異なる磁気特性があるかもしれません。磁性がない種類の異なる材料(アルミニウムとチタンなど)間では、透過性や抵抗率の変動は小さいですが、磁性がない材料用に較正された高性能の過電流センサでは、別の磁性がない材料で使用するとエラーが生じる可能性があります。

アルミニウムやチタンなどの磁性がない材料と、鉄や鋼などの磁性がある材料の違いは非常に大きいです。アルミニウムやチタンの透過性を相対的に1であるとする、鉄の相対透過性は10,000にもなります。

磁性がない材料用に較正された過電流センサは、磁性がある材料で使用すると、まったく機能しません。精密な測定で過電流センサを使用する場合、アプリケーションで使用する個別の材料に合わせてセンサを較正することが特に重要です。

また、鉄や鋼などの透過性が高く、磁性がある材料は、同じ材料の小片内で過電流センサに小さな誤差を発生させることもあります。すべての不完全な材料には、微細な隙間や材料の変動があります。こうした領域では、材料の透過性がわずかに変化します。こうした変化は比較的小さいですが、磁性がある材料の非常に高い透過性によ

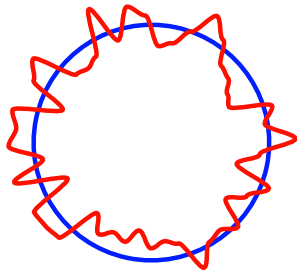


図9「電氣的ランアウト」(赤色)を示すランアウトのプロット、過電流センサが鉄や鋼などの磁性がある回転する材料を測定する場合に発生。

て、高解像度の過電流センサではこれらの変化も検知されます。この問題は、磁性がある材料のターゲットが回転する場合に顕著です。

過電流センサは、回転するシャフトのランアウトを測定するために取り付けることができます。ただし、仮にシャフトが理想的であって、全くランアウトがないとしても、高解像度の過電流センサはシャフトの回転による繰り返しパターンを検知してしまいます(図9)。こうした変化は、材料における小さな変動の結果です。この現象は良く知られており、「電氣的ランアウト」と呼ばれます。こうした誤差は非常に小さく、多くの場合、ミクロンの範囲です。多くのシャフトのランアウトのアプリケーション、特に過電流センサが標準となる不利な環境ではより大きな誤差が発生しやすいため、これらの誤差は容認される場合があります。その他のより精密なアプリケーションでは、こうした誤差を特定できる技法を使用するか、静電容量センサなど別のセンシングテクノロジーを選択する必要があります。

静電容量センサの電界は、接地への導電路としてターゲットを使用します。すべての導電性の材料が等しくこれを提供するので、静電容量センサはすべての導電性の材料を同様に測定できます。静電容量センサが較正されると、いかなる導電性のターゲットでも、性能を低下させることなく使用できます。

静電容量センサの電界は材料に侵入しないので、材料内での変動は測定に影響しません。静電容量センサは、過電流センサで見られるランアウト現象を示さないで、誤差を発生させることなく、任意の導電性の材料によるターゲットが回転している場合に使用できます。

過電流センサは、ターゲットと同じ材料で較正する必要があります。また、アプリケーションで電氣的ランアウトによる誤差を容認できない場合は、過電流センサを磁性がある材料のターゲットが回転している場合に使用するべきではありません。静電容量センサは、一度較正すると、材料に関する誤差なしで、どんな導電性の材料でも使用でき、回転するターゲットでも正しく機能します。

環境パラメータ温度および真空

センシングの物理やドライバの電子回路における関連する違いから、静電容量センサと過電流センサのプロブの動作温度範囲や、真空対応状況は異なります。

Lion Precision 静電容量プロブと過電流プロブの動作温度範囲は異なります。不利な環境への耐性から、過電流プロブの動作温度範囲はかなり広がっています。標準の過電流プロブは、ポリウレタン製のケーブルを使用しており、動作温度範囲は $-25\sim+125^{\circ}\text{C}$ です。テフロン FEP ケーブルを使用している高温プロブの動作温度範囲は $-25\sim+200^{\circ}\text{C}$ です。

これに対して、結露の影響を受ける静電容量プロブの動作温度範囲は $+4\sim+50^{\circ}\text{C}$ です。

どちらのセンシングテクノロジーでも、ドライバ電子回路の動作温度範囲は +4~+50 °Cです。

静電容量プローブおよび過電流プローブは、どちらも真空アプリケーションで使用できます。プローブの素材は、構造的な耐久力に基づいて選択されており、真空下でのガス放出を最小化しています。真空対応プローブは、極めてクリーンなプロセスで製造され、特殊なパッケージングで繊細な真空環境にとって脅威となる異物を排除しています。

多くの真空アプリケーションでは、正確な温度制御が必要となります。プローブの電力消費は、関連する温度変化への寄与も含めて、静電容量と過電流のテクノロジー間で異なっています。静電容量プローブの電流は非常に小さく、電力消費も非常に少ないです。一般的な静電容量プローブの消費電力は 40 μ W 未満であり、真空室に与える熱は非常にわずかです。

過電流プローブの消費電力は 40 μ W から 1mW まで幅があります。これらの高い電力では、過電流プローブによってかなりの熱が真空室に加えられ、高精度の真空環境が妨害されることがあります。過電流プローブの電力消費は、数多くの要因に依存しています。プローブのサイズだけでは、電力消費を正確に予測できません。それぞれの過電流センサの消費電力は個別に評価する必要があります。

静電容量センサと過電流センサはいずれも、真空環境で適切に機能します。温度に敏感な真空では、過電流センサはアプリケーションによって熱を与えすぎる場合があります。こうしたアプリケーションでは、静電容量センサの方がより良い選択となります。

プローブの取り付け

静電容量センサと過電流センサの間での検知フィールドの形状や反応特性の違いから、テクノロジーによって、プローブ取り付けの要件が異なります。過電流プローブは、比較的大きな磁界を生成します。磁界の直径は、少なくともプローブの直径の 3 倍以上であり、3 種類の大きなプローブの直径より大きくなっています。複数のプローブが接近して取り付けられている場合、磁界は相互に影響します (図 10)。この相互作用によって、センサの出力で誤差が生じます。このタイプの取り付けが避けられない場合、ECL202 などのデジタル技術に基づくセンサを特別に校正して、隣接するプローブからの影響を減少または除去する必要があります。

また、過電流プローブによる磁界はプローブの背後にも 1.5 倍ほど及びます。このエリアに、たとえば取り付け用の金具などの金属製の物体があると、磁界と相互作用し、センサの出力に影響する可能性があります (図 11)。近くに金具を取り付けることが避けられない場合は、その金具がある状態でセンサを校正して、当該金具による影響を補正する必要があります。

静電容量プローブの電界は、プローブの前面からしか放出されません。この電界はほ

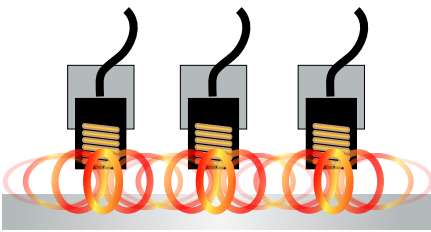


図 10 近接して取り付けられた過電流プローブの重複する磁界は相互干渉し、測定誤差を生じる

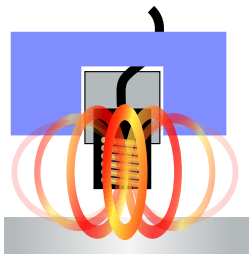


図 11 磁界が広く周囲を囲むため、過電流プローブの前面に近すぎる取り付け用金具は測定に影響を与える静電容量では発生しない問題

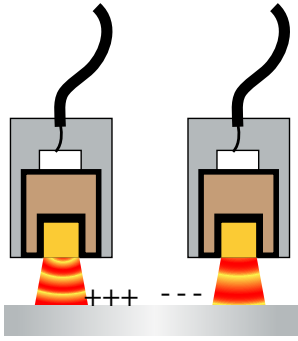


図 12 独立した (非同期) 静電容量センサは異なる周波数で動作できる時には、極性が異なる電荷をターゲットに追加するため、干渉の原因となるセンサを同期させることで、この問題を排除できる

ぼ円錐形であり、結果的にスポット サイズはセンシング領域の直径より約 30% ほど大きくなります。取り付け用ハードウェアやその他の物体の付近が電界内である可能性は低いため、センサの較正には影響しません。同じターゲットに対して、複数の独立した静電容量センサを使用する場合、あるプローブからの電界がターゲットに電荷を追加しようとし、別のプローブが電荷を取り除こうとすることがあります (図 12)。このターゲットに関して対立する相互作用によって、センサの出力で誤差が生じます。この問題は、センサを同期させることで簡単に解決できます。同期によってすべてのセンサのドライブ信号が同じ位相に設定され、すべてのプローブが同時に電荷を追加または除去するようになり、干渉が排除されます。すべての Lion Precision 複数チャンネル システムは同期しており、このエラー発生源に関する課題を排除しています。

アプリケーションが共通のターゲットについて複数のプローブを使用することを要求している場合、同期した静電容量センサが非常に使いやすいです。アプリケーションが過電流テクノロジーを要求している場合、取り付けプランで特別な注意が必要であり、特別な較正が必要です。

結論

静電容量変位センサと過電流変位センサの間で最適な選択を行うには、考慮すべき要因が数多くあります。液体や廃棄材料などで汚染されている測定エリアが含まれるアプリケーションでは、過電流センシングを使用する必要があります。静電容量センサは、クリーンな環境が必要です。

静電容量による検知フィールドのサイズが比較的小さいことから、小さいターゲットの測定は静電容量センサの方がより簡単です。過電流センシングが必要な場合、小さいターゲットでは特別な較正を使用できます。

同じサイズの静電容量プローブと過電流プローブでは、過電流プローブの方が測定範囲が広がります。

静電容量プローブはターゲットの表面と相互作用するため、材料の厚さは静電容量による測定では要因とはなりません。過電流センサには、ターゲットに関する最小厚さの要件があります。

静電容量センサには、導電性の材料であれば、ターゲットの材料への感度はありません。過電流センサは材料の違いに対する感度があり、アプリケーションのターゲットの材料で較正する必要があります。

複数のプローブを使用する場合、静電容量センサは同期する必要がありますが、干渉なしで互いに接近させて取り付けることができます。同期している場合でも、近付けて取り付けると、過電流プローブは相互作用します。これが避けられない場合、特別な較正を行うことができますが、可能であるのは Lion Precision ECL202 などのデジタル式センサの場合だけです。

静電容量プローブの小さい検知フィールドは、ターゲットのみに向けられているので、取り付け金具や付近の物体が検知されるのを防止します。過電流の検知フィールドは大きく周囲を取り囲んでいるため、取り付け金具や他の物体がセンシング領域の付近にあると、検知される可能性があります。

2つのテクノロジーの間でこの他に異なるのは、解像度と帯域の2つの仕様です。静電容量センサの解像度は、過電流センサの解像度より高いため、非常に高い解像度の正確なアプリケーションでは静電容量センサを選択するのが良いでしょう。

静電容量センサおよび過電流センサの大半は帯域が 10-15kHz ですが、一部の過電流センサ (ECL101) の帯域は 80kHz です。

両テクノロジー間でのこれ以外の違いとして、コストが挙げられます。一般的に言えば、過電流センサの方が低コストです。

比較表

•• ベストな選択、• 機能する選択、— 選択対象外

要因	静電容量	過電流
汚れた環境	—	••
小さなターゲット	••	•
大きなレンジ	•	••
薄い材料	••	•
材料の多様性	••	•
複数のプローブ	••	•
プローブの取り付けの容易さ	••	•
解像度	••	•
帯域幅	•	••
コスト	•	••

静電容量と過電流のセンシング テクノロジーの違いに関するこのレビューは、使用するアプリケーションにどちらが最適な選択肢であるかを判断するのに役立ちます。最適なセンサの選択に関するサポートが必要な場合は、Lion Precision (www.lionprecision.com) までお問い合わせください。