

注意: この日本語版文書は参考資料としてご利用ください。
最新情報は必ずオリジナルの英語版をご参照願います。



AN2934

静電容量式タッチセンサの設計

はじめに

著者: Feargal Cleary、Microchip Technology Inc.

タッチ式操作を採用した製品を設計するには、材質の選定や機械的および電氣的要件への対応等、様々な判断が必要であるため、その手順は複雑となります。これにおいて重要となるのが、ユーザ インターフェイスを構成するセンサ (ボタン、スライダ、ホイール、タッチスクリーン等) の設計です。

目次

はじめに	1
1. 自己容量式センサ	4
1.1. 自己容量式計測	4
1.2. センサ設計	5
2. タッチカバーの効果	15
3. シールド	16
3.1. パッシブシールド	16
3.2. アクティブシールド	18
3.3. 放射性エミッション	22
4. 相互容量式センサ	24
4.1. 相互容量式計測	24
5. センサ設計	26
5.1. タッチ容量モデル	26
5.2. ボタンセンサの設計	27
5.3. スライダセンサの設計	30
5.4. ホイールセンサの設計	32
5.5. サーフェスセンサの設計	34
6. タッチカバーの効果	38
7. シールド	39
7.1. パッシブシールド	39
7.2. 耐水性	40
8. 補遺 A	42
9. 補遺 B	43
10. 補遺 C	44
Microchip 社のウェブサイト	45
顧客変更通知サービス	45
カスタマサポート	45
Microchip 社のデバイスコード保護について	45
法律上の注意点	46
商標	46

DNVによる品質管理システム認証 47

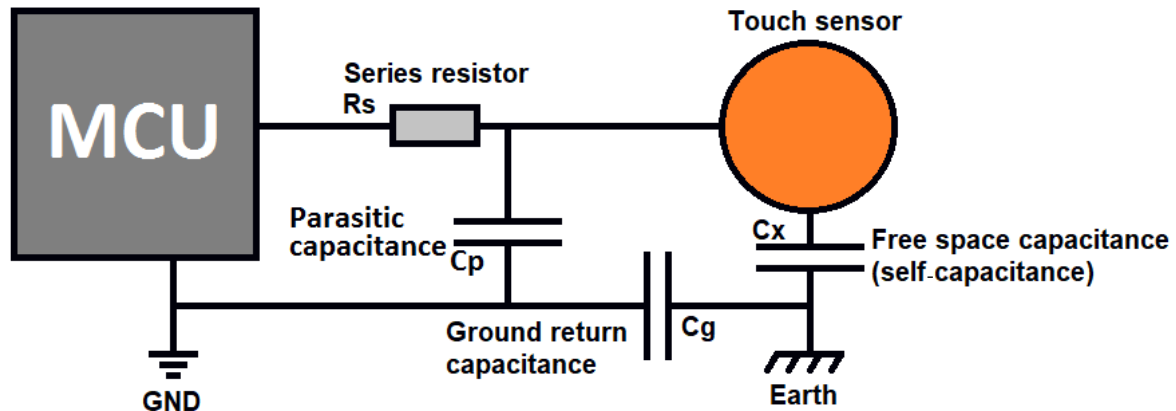
各国の営業所とサービス 48

1. 自己容量式センサ

1.1 自己容量式計測

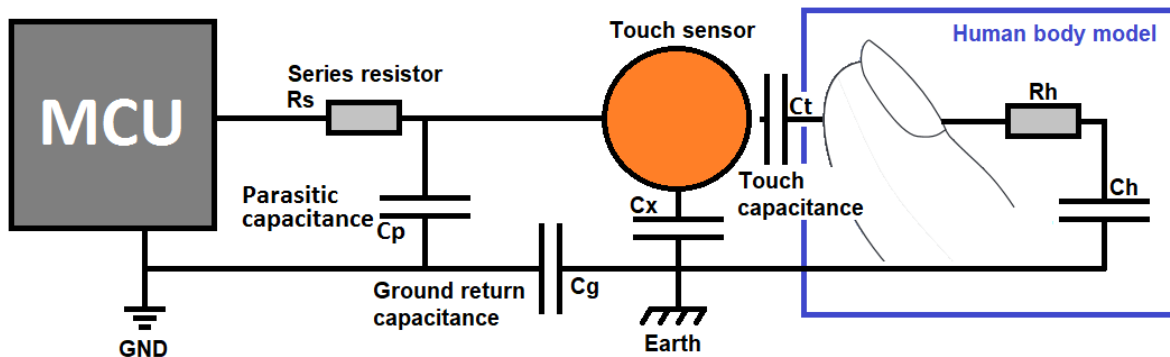
自己容量式タッチセンサはセンサ電極を1つだけ使い、その電極とタッチセンサ回路のDCグラウンドの間の見かけの静電容量を計測します。

図 1-1. 自己容量式センサのモデル



ベース静電容量は寄生容量、センサ容量、グラウンドリターン容量の組み合わせにより形成されます。これらはキャリブレーション中に計測される「非タッチ」時の静電容量を形成し、タッチの発生を示す静電容量変化を検出するための基準として使われます。

図 1-2. 自己容量式センサのタッチ時のモデル



タッチが発生すると、「人体モデル(HBM)」を経由する並列のアース経路が追加される事により、見かけのセンサ容量は増加します。タッチ静電容量 C_t 、HBM 静電容量 C_h 、グラウンドからアースへの容量 C_g は直列に接続されます。この静電容量の増加を「タッチデルタ」と呼びます。

Note: HBM 抵抗 R_h はタッチ感度に影響を及ぼしません。

C_t

- この静電容量は、平行平板コンデンサとして近似できます。

- 固いサーフェスにタッチしたユーザの指先は、直径 5~10 mmの円板として近似できます。本書の例では、標準的なユーザの指先を直径 8 mmの円板として近似します。
- タッチセンサの電極とユーザの指先がコンデンサの2つの極板を形成します。
- タッチカバーが誘電体となります。
- センサのサイズとタッチカバーの厚さおよび材質によって異なりますが、この容量は 0.1 pF~5 pF です。

Ch

- 人体モデル(HBM)の静電容量です。
- アースを基準とする人体の自己容量です。
- 体型によって異なりますが、大人で 100 pF~200 pF です。

Cg

- アプリケーションの DC グランドとアースの間の結合の容量です。
- この値は、アプリケーションのタイプと電源システムによって異なります。
- バッテリ駆動の小型デバイスでは 1 pF 程度です。
- アプリケーションの DC グランドがアースに直接接続される場合、無限大静電容量/短絡となります。複数のコンデンサが直列に接続されている場合、最小容量のコンデンサの影響が支配的となります。

式 1-1. 直列コンデンサの容量



$$C_t = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Ct は Ch に比べて非常に小さく、大部分のアプリケーションでは Ct は Cg に比べても非常に小さくなります。従って、計測される静電容量の変化量は Ct によって決まります。

例:

Ct = 1 pF、Ch = 100 pF、Cg = 100 pF の場合

→ C_{Total} = 0.98 pF

→ C_{Total} は Ct とほとんど同じ

しかし、Cg が非常に小さな(例: 2 pF)アプリケーションでは、感度が大幅に低下します。

Ct = 1 pF、Ch = 100 pF、Cg = 2 pF の場合

→ C_{Total} = 0.662 pF

→ 計測されるタッチデルタは約 33%低下する

1.2 センサ設計

1.2.1 タッチ静電容量モデル

センサを設計する際は、平行平板コンデンサの式を使って Ct を簡単に近似できます。

Note: センサ電極サイズが電極間隔に対して 1 桁以上大きくないと近似精度が低下します。

式 1-2. 平行平板コンデンサの式

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

「A」は平行領域の面積、「 ϵ 」は誘電体の誘電率(真空の誘電率 ϵ_0 x 比誘電率 ϵ_r)、「d」はタッチカバーの厚さです。

→ センサ電極が大きいほど、タッチカバーが薄いほど、タッチカバーの誘電率が高いほど、タッチデルタは大きくなります。

例:

タッチセンサ電極: 直径 12 mm の円板

タッチカバー: 厚さ 1 mm のプラスチック(比誘電率 $\epsilon_r=2$)

タッチ接触領域: 直径 8 mm の円板

→ 静電容量の計算には、小さい方の面積(すなわちユーザの指先の接触面積)を使います。

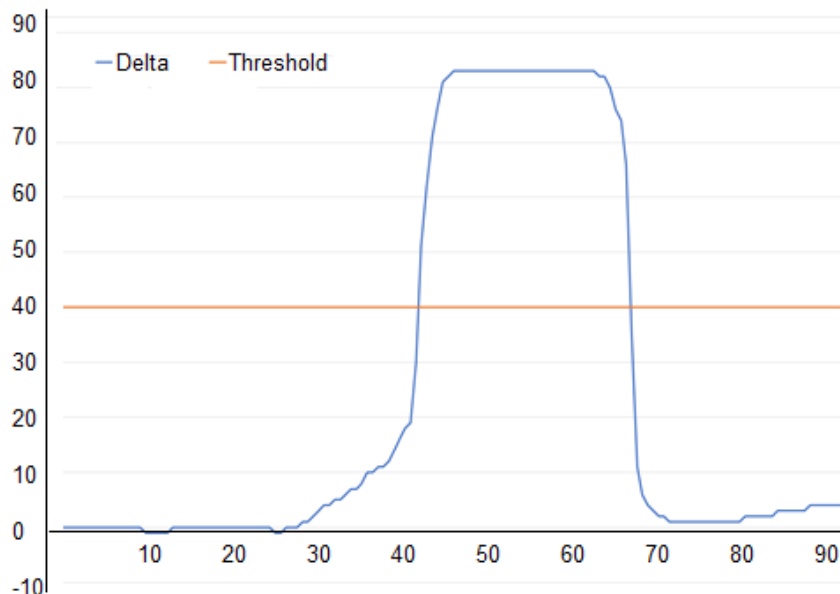
$$C_t = ((8.85E - 12) \times (2) \times (0.00005027)) / (0.001) = - .89 pF$$

1.2.2 ボタンセンサの設計

静電容量式センサの最もシンプルな実装形態がボタンです。この場合、センサのノードは 1 つだけであり、2 進状態(In Detect または Out of Detect)として解釈されます。タッチデルタ (タッチ静電容量 C_t のデジタル化した計測値)がタッチしきい値を超えている場合、センサは「In Detect」状態です。

センサは、ユーザタッチまたはタッチ エミュレータ (HBM 回路を介してアースへ接続した導電性の棒等)により特性を確定させます。しきい値は、最大タッチデルタに対する比率(多くの場合 50%)で設定されます。

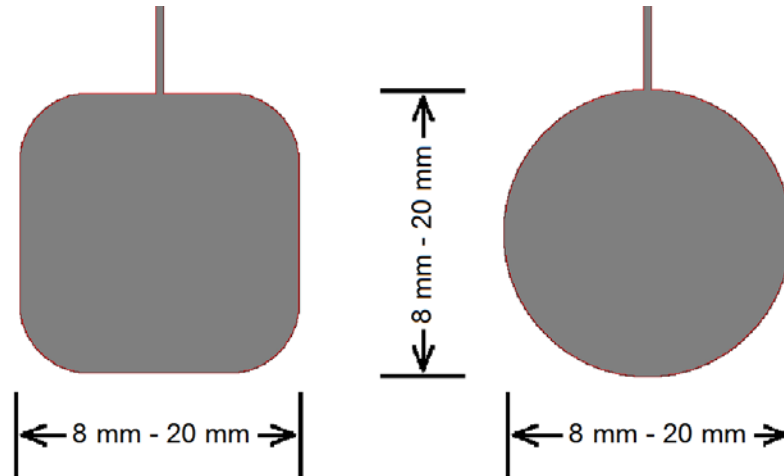
図 1-3. ボタンセンサのタッチデルタとしきい値



電極の形状

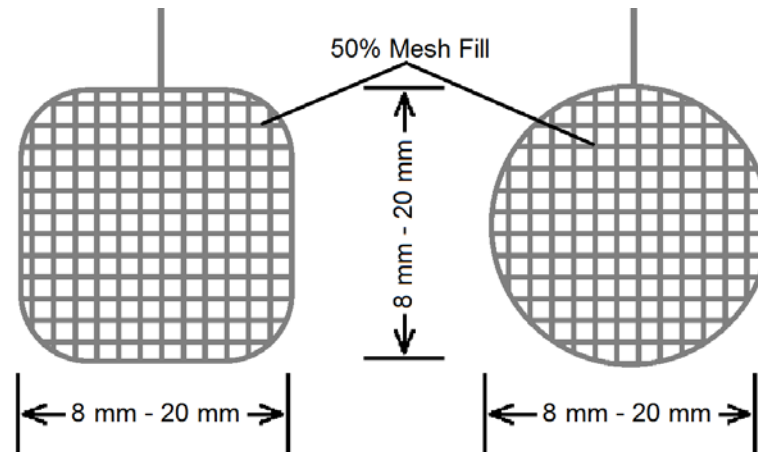
電極はセンサを形成する基板上に配置された導電体のパッチです。一般的に円形または四角形のベタ領域が使われますが、十分なタッチ面積が確保されていれば、どのような形状でも構いません。電界の集中によってセンサパッドへの静電放電(ESD)が発生しやすくなる事を防ぐため、極板の角は丸める必要があります。

図 1-4. 標準的なボタン形状



必要に応じてメッシュ状のパターン(例: 50%メッシュフィル)を使う事もできます。これによりセンサ電極の負荷容量は減少しますが、タッチした指と影響し合う面積も減少するため、それに比例して感度は低下します。

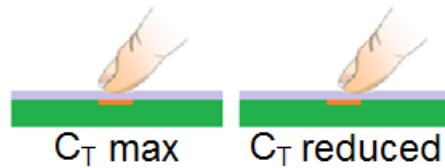
図 1-5. メッシュ電極を使った標準的ボタン



タッチセンサの必要サイズ

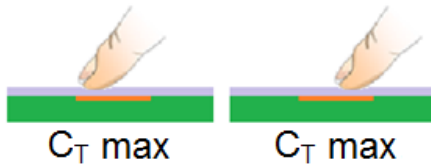
タッチ位置が多少ずれてもタッチを検出できるようにするため、タッチセンサの電極は十分に大きくする必要があります。センサ電極が指先より小さい場合、実効面積の減少によって感度は低下します。例えば、直径 8 mm のタッチセンサに対してタッチの直径が 8 mm である場合、タッチが正確に電極の中央に位置する場合にのみ最大デルタが示されます。

図 1-6. 直径 8 mm のタッチセンサ



センサの寸法を大きくすると、センサ領域内のどこにタッチしても感度は低下しません。タッチの実効面積(平行領域の面積)は、センサのサイズではなくユーザの指先のサイズによって制限されます。

図 1-7. 直径 12 mm のタッチセンサ



ハンドシャドー

センサ電極を必要以上に大きくすると、指先がセンサにタッチする前に手との結合による近接効果によって意図しないタッチ検出が生じます。この現象をハンドシャドーと呼びます。

ピンローディング

センサを大きくすると自己容量が増加します。この影響は、センサが他の回路(他のセンサを含む)の近くに配置されている場合に増大します。

負荷容量が増加すると時定数が大きくなるため、センサの充放電と計測に要する時間が増加します。これはタッチ検出レイテンシと消費電力の増加を招く可能性があります。

計測方式によっては、静電容量の大きなセンサを使うと感度が低下したり、アナログ フロントエンド補償回路のレンジを超えてしまう可能性があります。

Note: 各デバイスの最大センサ容量の仕様値については 8. [補遺 A](#) を参照してください。

電極間隔の確保

1 つのキーにタッチした時に隣接するキーで不要な静電容量の変化が生じないようにするため、センサ電極同士は十分に離す必要があります。センサ電極同士の推奨分離距離は[4 mm + タッチカバーの厚さ]です。センサが密集したユーザ インターフェイスの多くでは、センサのサイズと分離距離の間でトレードオフが必要です。

表 1-1. タッチキーの寸法

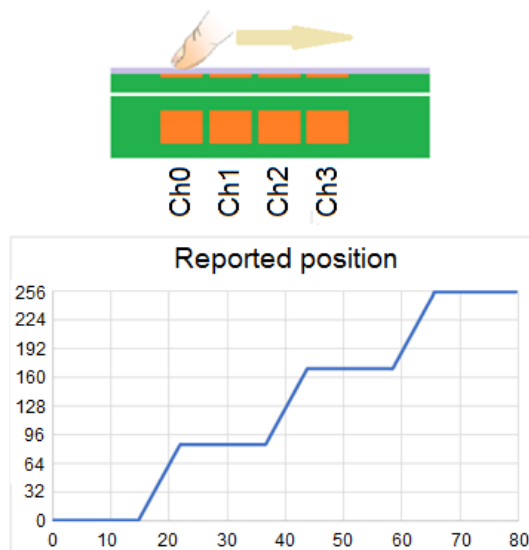
	Min.	Typ.	Max.
キーサイズ	8 mm	12 mm	20 mm
分離距離	3 mm	6 mm	—

1.2.3 スライダセンサの設計

スライダは 2 個以上のタッチセンサ電極を単純に並べた物であり、各センサを個別に計測します。計測された複数のタッチデルタ値からタッチ位置を判定します。その際、センサ間の補間計算により、位置判定の分解能を高める事ができます。

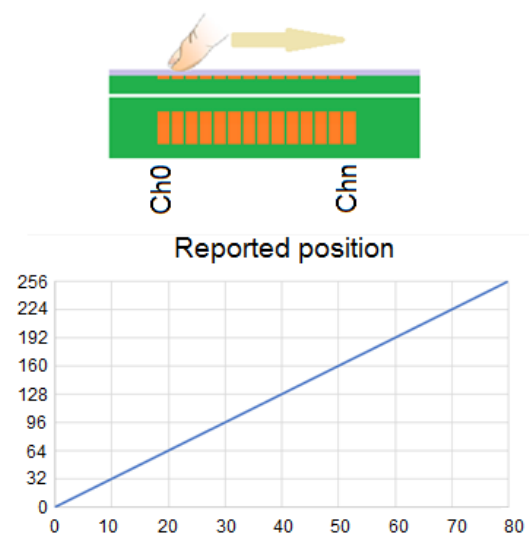
空間的補間(後述)を適用せずに大きなセンサを使うと、レポートされるタッチ位置と実際のタッチ位置の一致度は大きく低下します。図 1-8 の場合、タッチ位置がスライダに沿って移動する時、ほとんどの時間で 4 つある電極のうちの 1 つにだけ指が接触します。位置の補間計算は、タッチがあるセンサから次のセンサへと境界を横切る時にのみ適用できます。

図 1-8. 補間なしのスライダ



これは、センサのサイズを小さくして数を増やす事により改善できます。センサのピッチをタッチサイズの約 1/2 (すなわち 4~5 mm)まで小さくすると、タッチ中は常に 2~3 個のセンサ電極に指が接触するため、常に複数のタッチデルタ値を使って補間計算が行えます。

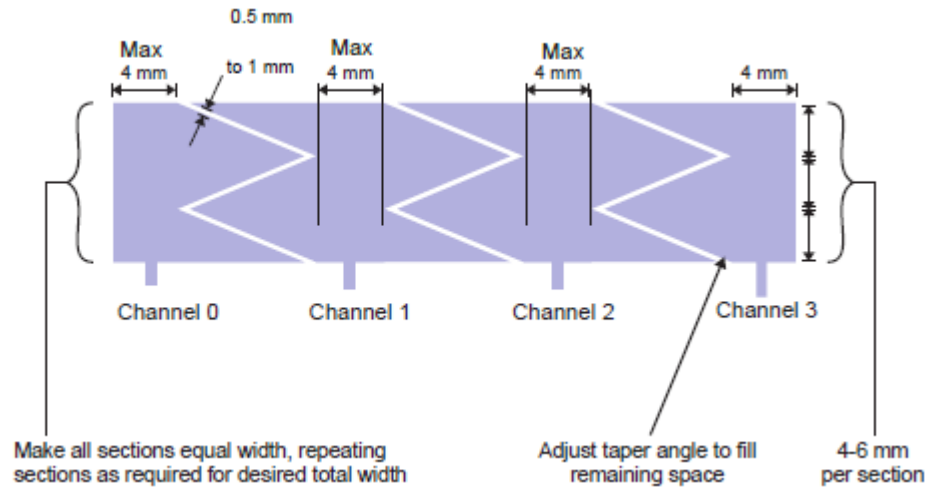
図 1-9. 良好に補間できるスライダ



しかし、常にこの方法が最適であるとは限りません。長いスライダの場合、必要なセンサ電極の数がタッチセンサ コントローラのサポート数を超えてしまう可能性があります。また、計算時間が増加し、タッチレイテンシが許容できなくなる可能性もあります。

少ない電極数で滑らかな反応とするため、隣接する 2 つの電極にまたがる区間の電極形状に空間的補間を適用します。電極形状の例を図 1-10 に示します。この例では、電極はテーパー状の境界を持ち、スライダのどの位置にタッチしても常に 2 つ以上のセンサ電極に指が接触します。

図 1-10. 空間的伸長補間を適用したスライダ形状



スライダ電極の間隔

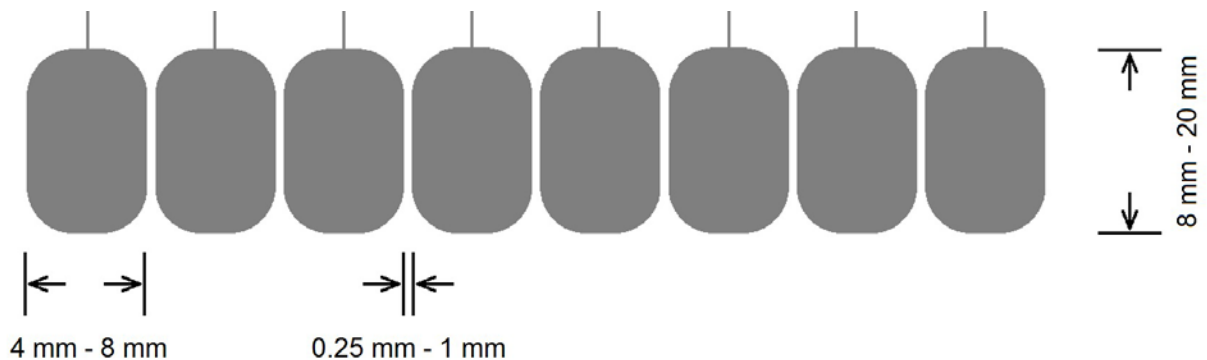
通常、1つのセンサが計測されている間は、他の電極が静的 DC レベルへ駆動されます。このため、スライダの各エレメントの負荷容量には、エレメント自体の自己容量と、隣接する電極との間の静電容量が含まれます。

Note: 「ドリブンシールド プラス」を実装する場合、これは当てはまりません。詳細は 3. 「シールド」を参照してください。

センサ電極間の推奨分離距離は、電極のサイズとオーバーラップ区間の長さによって決まります。

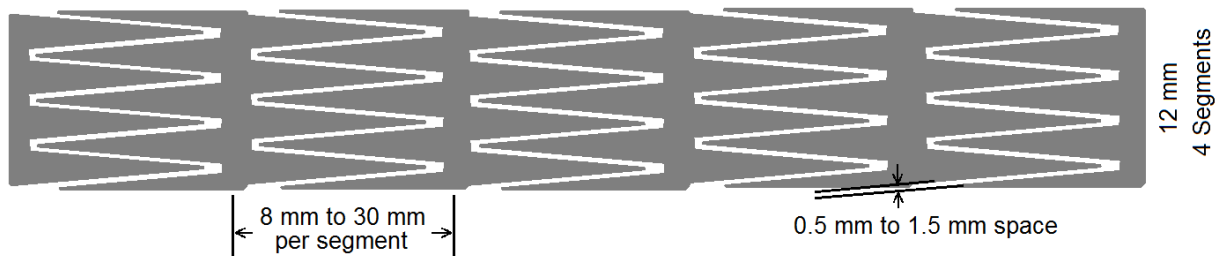
空間的補間を適用しない小さなキーで構成されたスライダでは、電極間の分離距離を 0.5 mm にします。これにより、タッチが 1 つのエレメントから次のエレメントに移動する時にタッチデルタが低下しないため、タッチデルタの一貫性が向上します。

図 1-11. 8 チャンネル スライダ(空間的補間なし)



長いオーバーラップ区間を持つ大きな電極を使ったスライダでは、過大なセンサ負荷容量を防ぐため、センサ電極間の分離距離を大きくする必要があります。そのような構造のスライダでは、分離距離を 1 mm 以上にしても構いません。

図 1-12. 6 チャンネル スライダ(空間的補間を適用)



ボタンセンサの設計と同様に、ESD のリスクを最小化するため、スライダ電極の角は丸める必要があります。空間的補間を適用したスライダ電極の三角形の先端は、切り詰めて直径約 2 mm に丸める必要があります。

連続的な感度を得るには電極同士を近付ける必要があります。しかし、各センサ電極は隣接する電極との間に寄生容量を持つため、分離距離を小さくしすぎると負荷容量が増加します。空間的補間によって電極と電極の間の境界(平行区間)が長くなりすぎる場合、分離距離を最大 1.5 mm まで大きくする必要があります。

表 1-2. ボタンスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max
スライダの幅	8 mm	12 mm	20 mm
電極の長さ	4 mm	6 mm	8 mm
電極間の分離距離	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

表 1-3. 空間的補間を適用したスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max
スライダの幅	8 mm	12 mm	20 mm
電極の長さ	8 mm	16 mm	30 mm
電極間の分離距離	0.5 mm	1 mm	1.5 mm

1.2.4 ホイールセンサの設計

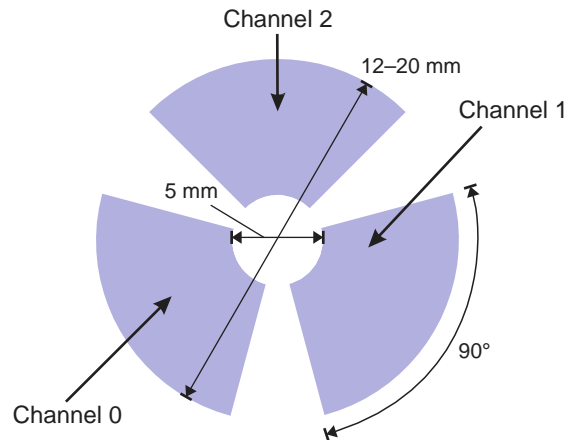
ホイールセンサは、3 個以上のセンサ電極を環状に配置する事により構成します。

Note: タッチ位置を特定するには、電極と電極の間のクロスオーバー領域を一意に識別する必要があるため、3 個以上の電極が必要です。

ホイールセンサの動作はスライダセンサと基本的に同じですが、終端の電極は存在しないため、チャンネル n からチャンネル 0 へラップアラウンドするという点で異なります。

スライダと同様に、最もシンプルな実装形態ではボタンを環状に配置します。3 個以上の電極が必要です。

図 1-13. シンプルな 3 チャンネル ホイール



スライダと同様に、比較的大きなホイールは、センサキーの数を増やすか、各電極の補間範囲を長くする事により、実装できます。

図 1-14. 8 個の電極を使ったホイールセンサ(空間的補間なし)

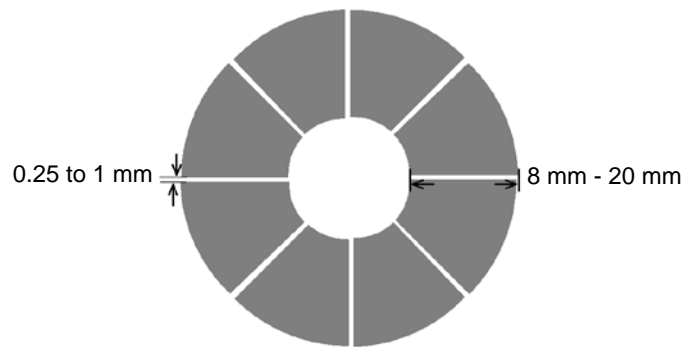
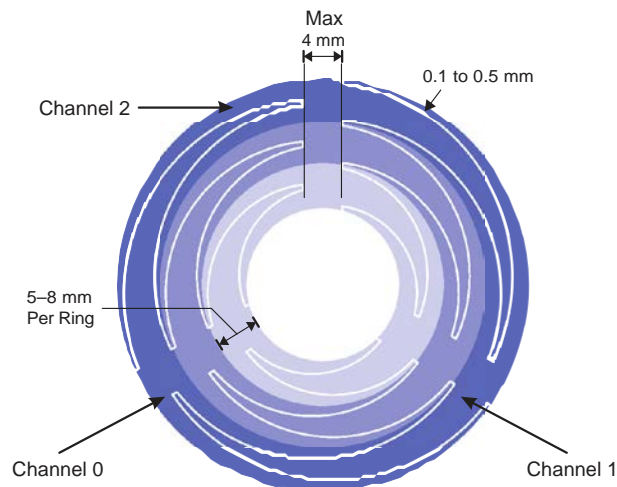


図 1-15. 3 個の電極を使ったホイールセンサ(空間的補間あり)



他のセンサの設計と同様に、ESD のリスクを最小化するため、電極の鋭い角は丸める必要があります。空間的補間を適用した電極の三角形の先端は、切り詰めて直径約 2 mm に丸める必要があります。

連続的な感度を得るには電極同士を近付ける必要があります。しかし、各センサ電極は隣接する電極との間に寄生容量を持つため、分離距離を小さくしすぎると負荷容量が増加します。空間的補間によって電極と電極の間の境界(平行区間)が長くなりすぎる場合、分離距離を最大 1.5 mm まで大きくする必要があります。

表 1-4. ボタンホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
ホイールの幅	8 mm	12 mm	20 mm
電極の長さ	4 mm	6 mm	8 mm
電極間の分離距離	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

表 1-5. 空間的補間を適用したホイールの寸法

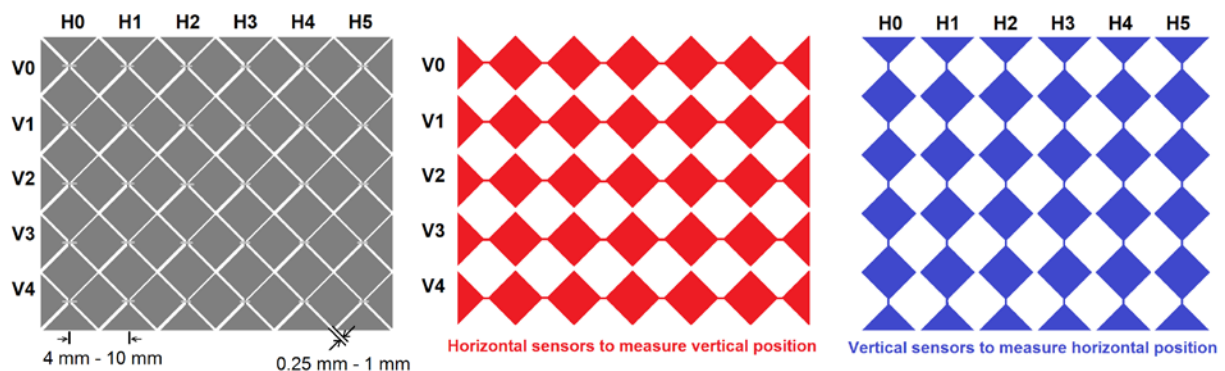
	Min.	Typ.	Max.
スライダの幅	8 mm	12 mm	20 mm
電極の長さ	8 mm	16 mm	30 mm
電極間の分離距離	0.5 mm	1 mm	1.5 mm

1.2.5 サーフেসセンサの設計

自己容量式タッチサーフェスは「行」電極と「列」電極で構成され、それらの計測値を使って縦/横両方向のスライダ機能を実装します。

最もシンプルな実装形態は、図 1-16 に示す「ダイヤモンド」パターンです。この例では、センサ H0～H5 がタッチの横方向の位置情報を提供し、センサ V0～V4 が縦方向の位置情報を提供します。

図 1-16. タッチサーフェスのダイヤモンドパターン



このセンサの形状的特性は、ピッチと分離距離により表されます。

- 横方向および縦方向のセンサピッチは、列および行電極の中心間距離によって決まります。
- センサ分離距離は、隣接するダイヤモンドの平行エッジ間の垂直距離です。

各センサ電極は、直列に接続した複数の正方形(対称ノードピッチ)または菱形(非対称ノードピッチ)により形成されます。横方向と縦方向の補間を改善するため、これらの四角形は 45°傾いています。

電極ピッチ

タッチの直径が 8 mm の場合、理想的な電極ピッチは約 5 mm です。この場合、タッチサーフェスのどの位置にタッチしても、各方向で 2 個以上のセンサ電極にタッチ領域がまたがるため、タッチ位置の補間が最適に行えます。

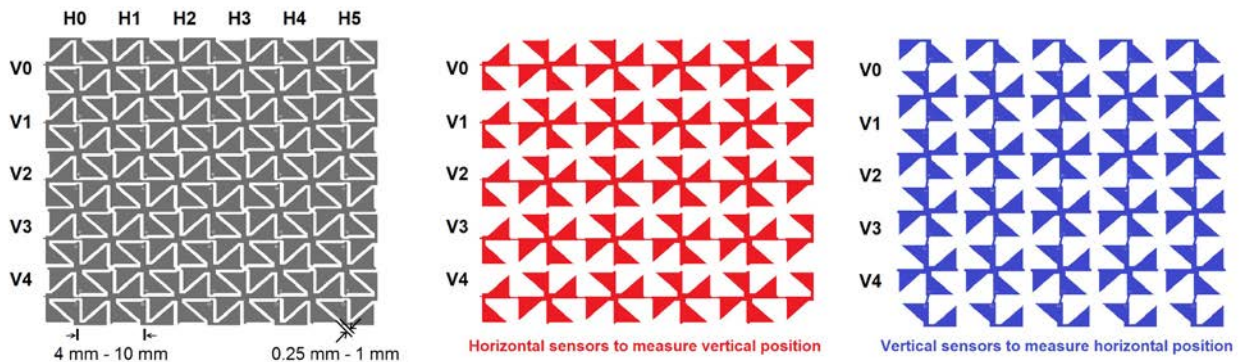
より大きなタッチサーフェスを設計する場合、良好な直線性を維持するには多数のセンサ電極が必要です。センサが多いほど計算時間と消費電力が増加します。多くの場合、センサの直線性と個数の間で妥協点を見つける必要があります。

補間範囲の拡張

スライダおよびホイールと同様に、サーフェスセンサでも、電極の形状によって隣接するセンサとの間の補間範囲を拡張できます。これにより、直線性を維持しながら電極ピッチを拡げる事ができます。

一例として「フラワー」パターンを図 1-17 に示します。このパターンにより、センサアレイの各エレメントと隣接するエレメントの間の補間が拡張されます。

図 1-17. タッチサーフェスのフラワーパターン



他のセンサの設計と同様に、ESD のリスクを最小化するため、電極の鋭い角は丸める必要があります。空間的補間を適用した電極の三角形の先端は、切り詰めて直径約 2 mm に丸める必要があります。

Note: 2 点のタッチを検出するには、タッチの中心間距離がセンサピッチの 2 倍以上である事が必要です。

表 1-6. ダイヤモンドパターンの寸法

タイプ	Min.	Typ.	Max.
電極ピッチ	4 mm	6 mm	10 mm
電極間の分離距離	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

表 1-7. フラワーパターンの寸法

タイプ	Min.	Typ.	Max.
電極ピッチ	4 mm	6 mm	10 mm
電極間の分離距離	0.5 mm	1 mm	1.5 mm

2. タッチカバーの効果

分厚いタッチカバーを使うと、ユーザの指先とセンサ電極の間の距離は増加します。このためユーザとセンサ電極の間の静電容量は減少し、それに比例してタッチ感度は低下します。

これは、電極のサイズを大きくする事で補えます。分厚いカバーは、指先と電極の間に形成される電界を拡散させる効果も持つため、電極が大きいほど接触面積は実質的に増加します。

全てのタイプのセンサの幅は、タッチのサイズより両側へ少なくともタッチカバーの厚さ分は大きくする必要があります。下の例を参照してください。

- 厚さ 1 mm のタッチカバー/ 直径 8 mm のタッチ: 推奨する電極の幅 = 10 mm
- 厚さ 3 mm のタッチカバー/ 直径 8 mm のタッチ: 推奨する電極の幅 = 14 mm
- 厚さ 6 mm のタッチカバー/ 直径 8 mm のタッチ: 推奨する電極の幅 = 20 mm

空間的補間を適用したセンサ (スライダ、ホイール、サーフェス) の場合、電界の拡散によって隣接する電極の間のクロスオーバー領域が拡張され、レポートされるタッチ位置の精度が向上します。

3. シールド

多くのアプリケーションでは、誤検出を防ぐためにタッチセンサをシールドする必要があります。これは、電磁干渉(EMI)によって発生する他、本来タッチ感度があってはならない位置(隣のセンサ等)へのタッチにセンサが反応してしまう事によって発生します。

自己容量式センサには、計測方式に応じて各種のシールドが使えます。

これらは一般的に「パッシブ」シールド(シールド電極は DC レベルに駆動される)と、「アクティブ」シールド(計測サイクル中にシールド電極に対して各種の電圧レベルが順次駆動される)に分類できます。

Note: 特定のデバイスでこの機能が利用できるかどうかは、9. [補遺 B](#) を参照してください。

3.1 パッシブシールド

シールド電極は、センサ電極の周囲に配置するか、動作を阻害する干渉源とセンサの間に配置します。パッシブシールドの場合、センサ計測中にシールド電極を一定 DC レベルに駆動します。

- 通常はシールド電極を DC グラウンドに接続します。
- V_{DD} または任意のグラウンド基準 DC レベルを使う事もできます。
- 背面シールドは、背後からのタッチまたは EMI を防ぎます。
- 同一面シールドは、タッチセンサをより良好に分離します。
- 容量性負荷を低減するため、シールドをメッシュ状にしても構いません。
- 耐水性は低下します。

グラウンド ローディングの効果

DC またはグラウンド ローディングによりセンサのベース静電容量が増加するため、時定数が増加します。

Note: ここでの「グラウンド」には、センサの近くの全ての導電体、またはその DC グラウンドレベルのトレースが含まれます。これには、センサの近くの全ての回路素子または信号トレースが含まれます。

アイドル中のセンサは通常 DC レベルへ駆動され、これらのアイドル中チャンネルへのトレースはグラウンドに接続されているかのように振る舞います。キー1 へのトレースがキー2 を経由する場合、キー2 はグラウンドトレースへローディングされているかのようになります。

グラウンドレベルの電極またはトレースがタッチセンサの近くに存在する場合、センサ電極から放射される電界がグラウンドプレーンに引き込まれるため、タッチ感度は低下します。これにより、ユーザによるタッチと影響し合う電界の強度は低下します。

背面グラウンドシールド

センサの背後にある移動パーツによって生じる誤検出や、バックライトまたはドライバ回路等からのスイッチング信号による干渉を防ぐために、電極の背面にシールドを設ける事が望ましい場合があります。

ドリブンシールドが使えない場合、グラウンドプレーンが使えます。グラウンドプレーンは回路のグラウンドに1点で直接接続します。

DC グラウンドはタッチセンサ電極から放射される電界を引き込むため、背面グラウンドプレーンを使うとタッチセンサの感度が大幅に低下する可能性があります。

特にタッチカバーの厚さが電極とグランド層の間の距離よりも大きい場合に注意する必要があります。

この問題を緩和するには、電極とグランドプレーン間の距離を可能な限り大きくします。例えば、多層プリント基板の最上層にタッチセンサを配置し、最下層にグランドプレーンを配置します。

加えて、グランドシールドをメッシュ状(50%または 25%メッシュフィル)にする事で、シールド効果を提供しながらセンサの負荷容量を低減できます。

センサ基板の背後からのタッチが誤って検出される危険性がない場合、背面グランドプレーン内のセンサキーと重なる領域を切り欠く事ができます。これにより、センサの負荷容量を低減しつつ、センサを他の回路部品または EMI から隔離できます。

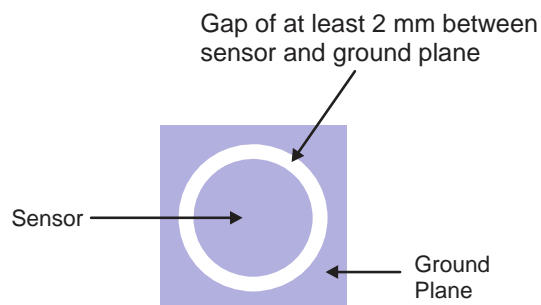
同一面グランドシールド

同一面グランドシールドを実装する事で、タッチセンサ間の分離の向上、センサに対する EMI の低減、タッチ発生中のコモンモードノイズによる障害の低減が図れます。

同一面シールドはタッチセンサ領域と重ならないため、ベタパターンを使います。

感度の低下を最小化するため、このグランドシールドと全てのタッチセンサの間に約 2 mm の距離を保ちます。センサ電極が大きい場合、この距離を拡げても構いません。

図 3-1. 同一面グランドプレーンの分離距離



レイアウト例

図 3-2. 同一面および背面のメッシュ状グランドプレーンを使ったセンサレイアウト

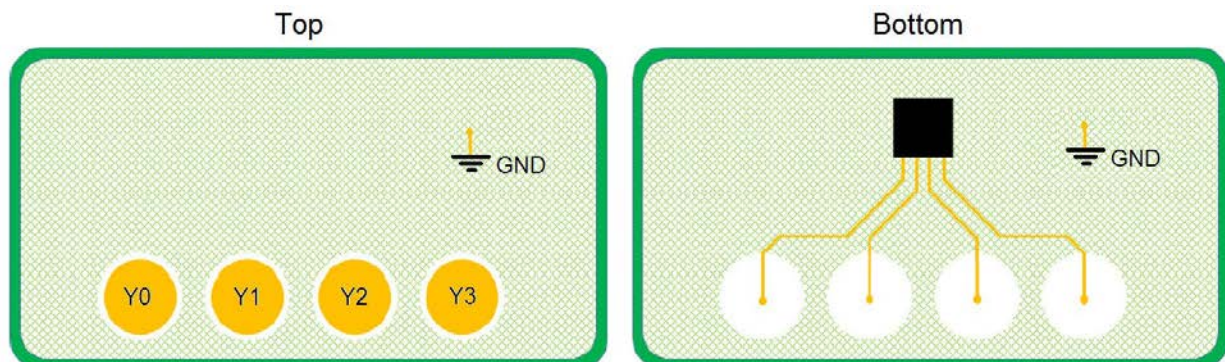


表 3-1. センサとグランドプレーン間の分離距離

Min.	Typ.	Max.
1 mm	2 mm	3 mm

センサ電極が大きい場合、過大な負荷容量を防ぐために、グランドとの分離距離を大きくする必要があります。

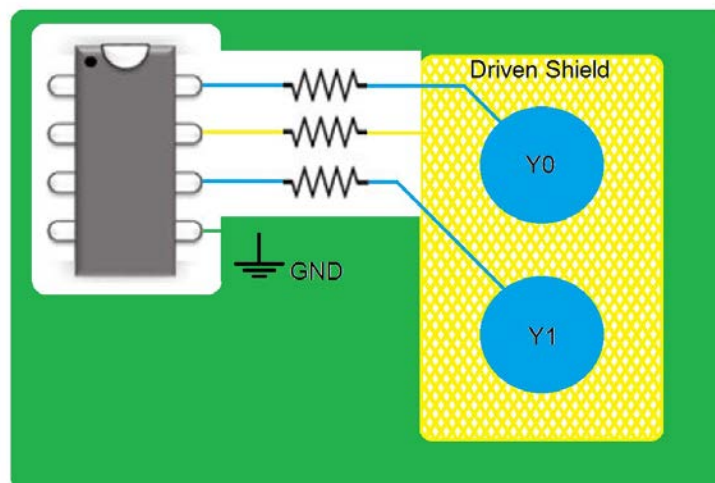
3.2 アクティブ シールド

3.2.1 ドリブンシールド

- センサ計測に同期して「シールド」電極を異なる DC レベルで順次駆動します。
- これには、専用のシールド電極が必要です。
- 隣接するセンサ同士の間での静電容量によって生じるセンサ負荷容量の増加を低減または排除します。
- 背面シールドは、背後からのタッチによって生じる誤検出を防ぎます。
- 耐水性は向上します。

センサの近くにあるグランドレベルのトレースはセンサの負荷容量の増加と感度の低下を招くだけでなく、特定の環境条件(具体的には、水が付着した場合や湿度が非常に高い場合)にタッチの誤検出を招く可能性があります。

図 3-3. ドリブンシールド回路



Microchip 社のタッチセンサ デバイスでは、2つのクラスのドリブンシールド(3 レベルシールドと 2 レベルシールド)が使えます。

3 レベルシールド

シールドは、計測中の各段階において電極電位に一致する一連の電圧で順次駆動されます。これはタッチセンサのグランド結合容量分を相殺して負荷容量を低減すると共に、EMI に対する電気的シールドを提供する事でセンサの信号ノイズ比(SNR)を向上させます。センサと他の回路部品との間にシールドを設ける事により、水滴が付着した時の動作が大幅に向上します。

表 3-2. センサとシールドの間の分離距離(3 レベルシールド)

Min.	Typ.	Max.
0.2 mm	0.5 mm	3 mm

2 レベルシールド

センサ計測中にチャージパルスを駆動する事で、センサを外部の影響からシールドすると共に、センサの感度を増強します。

シールド電極は計測に同期したパルスで駆動します。これらのパルスは、センサの静電容量に追加の電荷を注入する事により、自己容量式計測を増強する効果を有します。ユーザのタッチはシールドとセンサの間およびセンサとグラウンドの間の電界とも影響し合うため、タッチ感度は向上します。

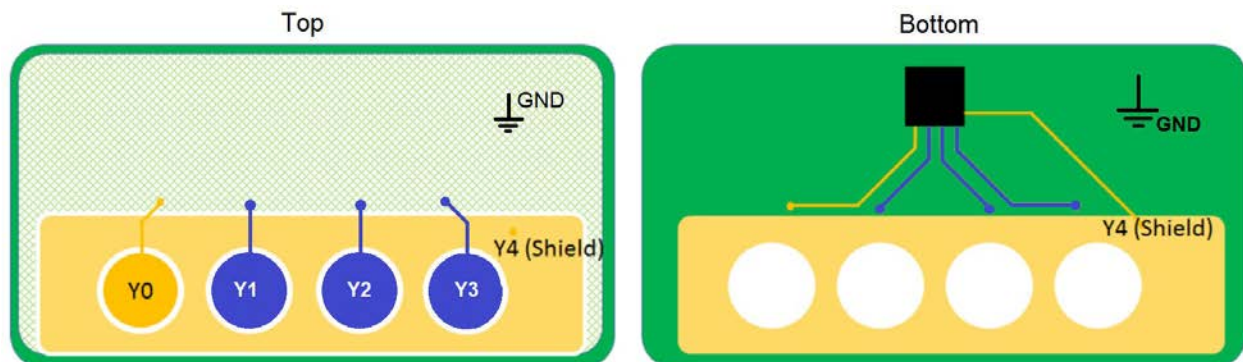
シールドによってセンサはグラウンドレベルの回路部品から分離されるため、センサの負荷容量は減少します。

表 3-3. センサとシールド電極の間の分離距離

Min.	Typ.	Max.
1 mm	2 mm	3 mm

ドリブンシールドの例

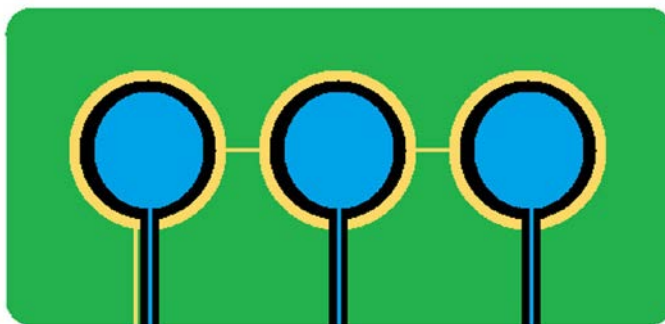
図 3-4. ドリブンシールドのレイアウト



別の方法として、「リングシールド」を使って各センサ電極を他のセンサおよびグラウンドプレーンから分離する事ができます。リングシールドは、各タッチセンサを囲んだシールド電極で構成されます。電極には 2 mm 以上の幅が必要であり、タッチセンサとの間に約 2 mm の分離距離が必要です。

Note: このシールドは、センサ電極を完全に囲む円環を形成してはいけません。そうした場合、RF ノイズの問題が生じる可能性があります。また、リングを切り欠く事で配線を簡素化し、単層のセンサ設計が可能になります。

図 3-5. リングシールドのレイアウト



3.2.2 ドリブンスールド プラス

一部のデバイスでは、3 レベルまたは 2 レベルの「シールド」信号を使ってシールド電極だけでなくユーザ インターフェイス内の他のタッチセンサ電極を駆動する事もできます。

タッチセンサ用に全てのピンを使うためシールド用にピンが残らない場合でも、ドリブンスールド プラスを使って他のセンサをシールドとして使う事ができます。図 3-6 に示す応用例では、Y0 がアクティブなセンサであり、他の電極は全てシールドとして駆動されます。

図 3-6. ドリブンスールド プラスの例

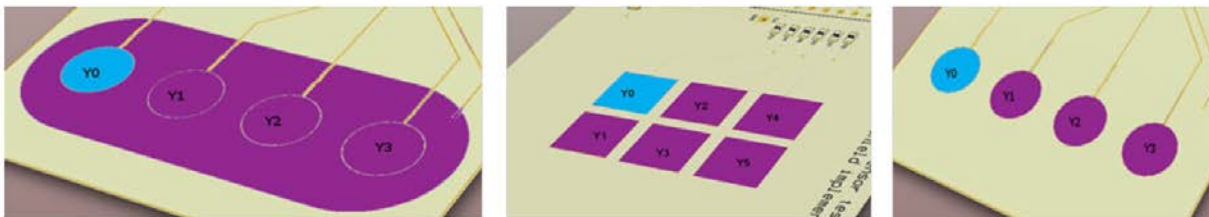


図 3-7. グランドに囲まれたセンサ

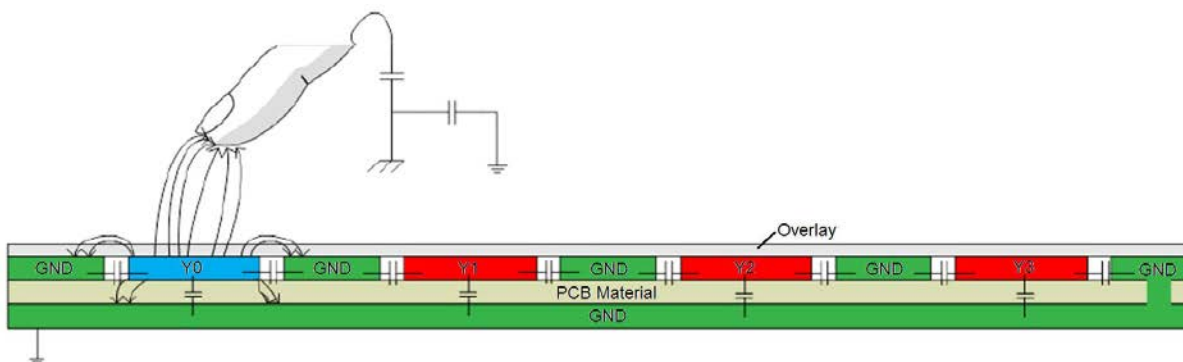
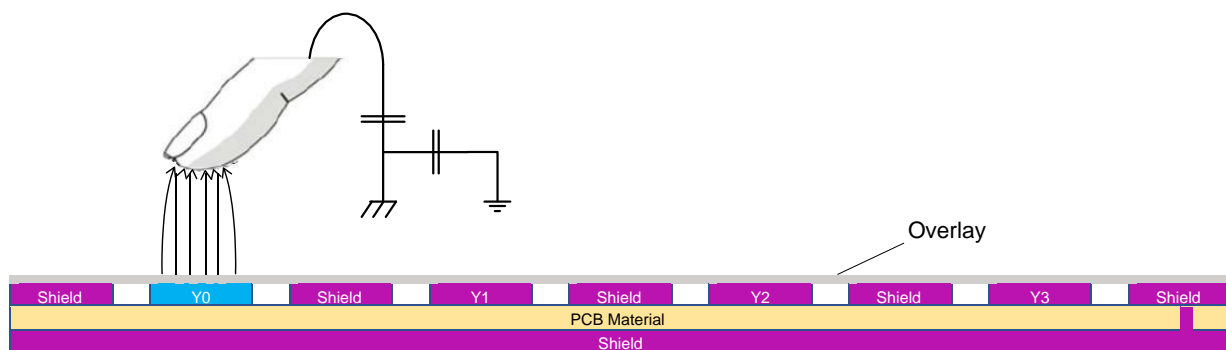


図 3-7 では、Y0 が計測され、他のセンサは全て V_{DD} に保たれます。センサの近くにはグランドベタまたは信号トレースがあります。この状態では、Y0 とグランドの間に静電容量が生じます。Y0 に蓄えられた電荷はグランドと共有され、タッチサーフェスでの電界が弱まり、タッチ感度は低下します。3.1 「パッシブシールド」で説明した通り、これはセンサとグランドシールドの間の距離を大きくする事により緩和できます。しかしこの方法は、センサが密集するユーザ インターフェイスには適用できない場合があります。

図 3-8. ドリブンシールド プラスを使ったセンサ



ドリブンシールド プラスを使う場合、Y0 と他の電極は同じ電位に駆動されるため、それらの間に負荷容量はほとんど生じません。センサとユーザの間の電界は強まるため、感度と SNR は向上します。

ドリブンシールド プラスの効果により、電界の投影が増強されるため、近接センサ アプリケーションの性能が向上します。

耐水性

ドリブンシールド プラスを使うと、センサとシールドは同電位に駆動されるため、センサとシールドの間で水滴による結合が生じて、タッチデルタは生成されません。ドリブンシールドを使っても隣接するキーがシールドされていないと、水滴によってそれらのキーとの結合が生じ、タッチの誤検出を招く可能性があります。

タッチセンサに水が付着する可能性がある場合、システムの設計には注意が必要です。シールド信号とグラウンドの間に水が付着すると、タッチセンサからの電界の一部が水を介してグラウンドへ結合し、タッチの誤検出を招く可能性があります。

図 3-9. タッチセンサに付着した水の影響

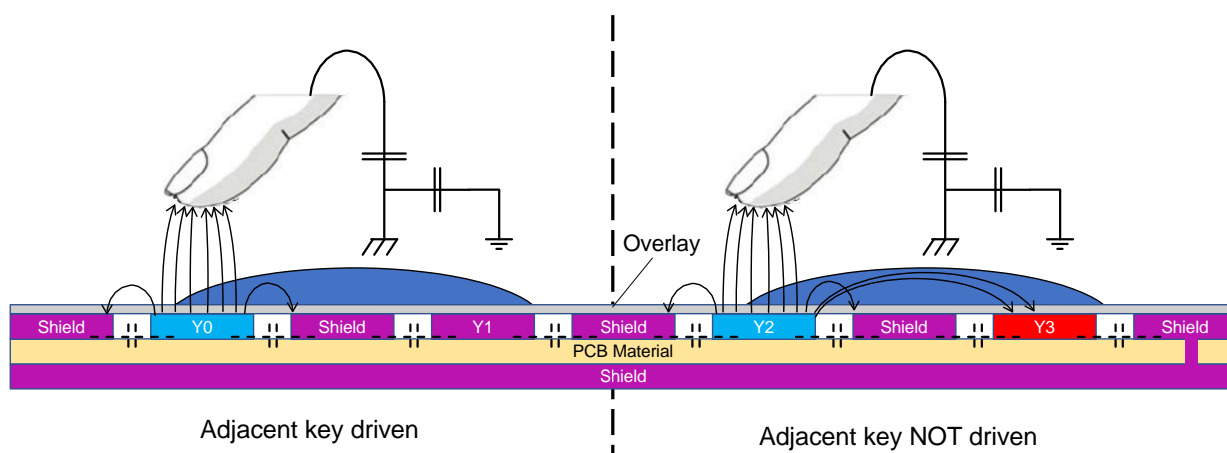
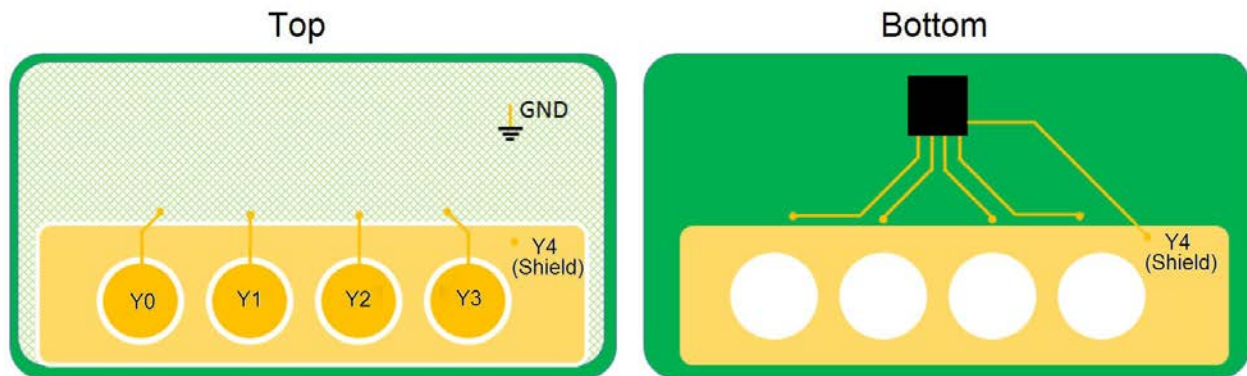


図 3-10. ドリブンシールド プラスのレイアウト例



3.3 放射性エミッション

適用法と使用環境によっては、アクティブ シールドを使うと RF エミッションが過大になる可能性があります。これは大面積の電極の高速なスイッチングによって生じ、RFI 規格の要件を満たせなくなる場合があります。

高エミッションは、タッチセンサのスイッチング周波数だけで強く発生するのではなく、MCU コア速度と I/O ピン スルーレートに応じてさらに高い周波数でも発生します。

エミッションの緩和

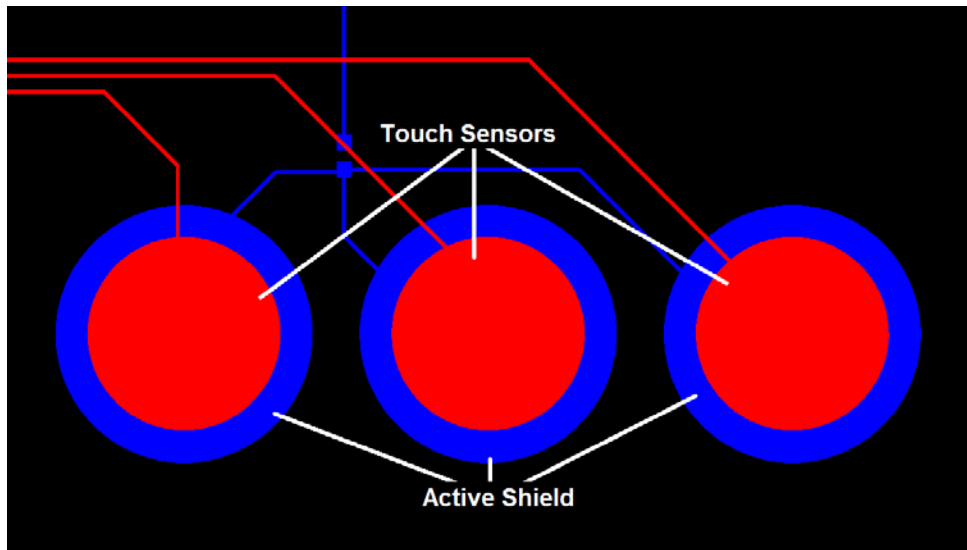
シールド電極への直列抵抗を大きくする

- 直列抵抗を大きくする事により RC シールドの時定数を増加させ、高周波数でのエネルギー量を低減します。
Note: 抵抗素子のパッケージは寄生容量を有し、RF 周波数でのインピーダンスは素子の抵抗値よりも低下します。

アクティブ シールドの面積を縮小する

- 完全なベタにするのではなく、各タッチセンサの背面にだけシールド電極のパッチ(各センサの外縁から 2~5 mm だけ拡げる)を配置します。
- これらのパッチは 1 点で互いに接続してから抵抗に接続します(星形結線)。

図 3-11. 面積を最小化したドリブンシールド

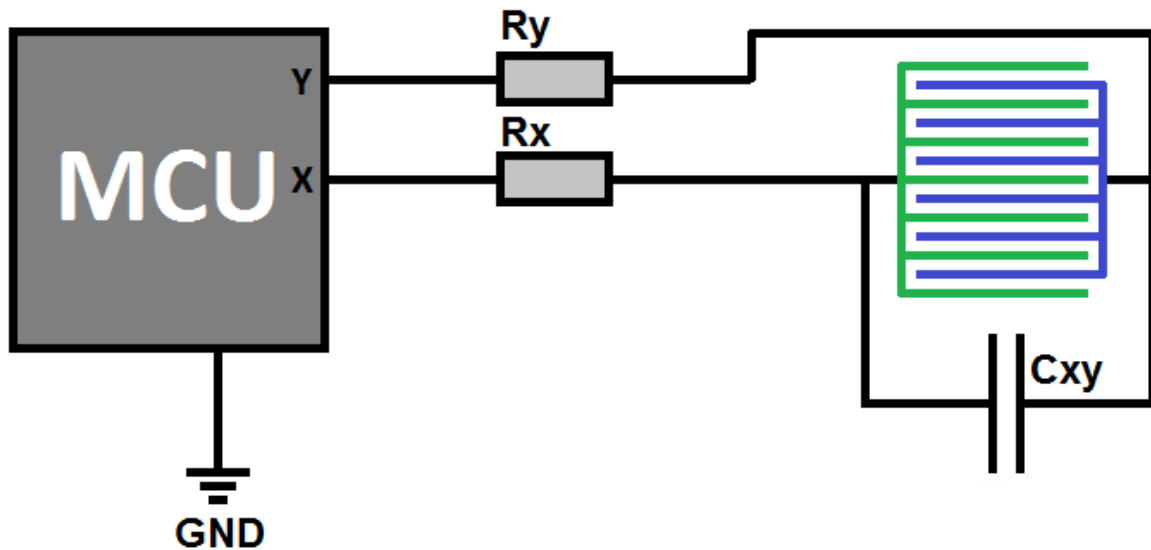


4. 相互容量式センサ

4.1 相互容量式計測

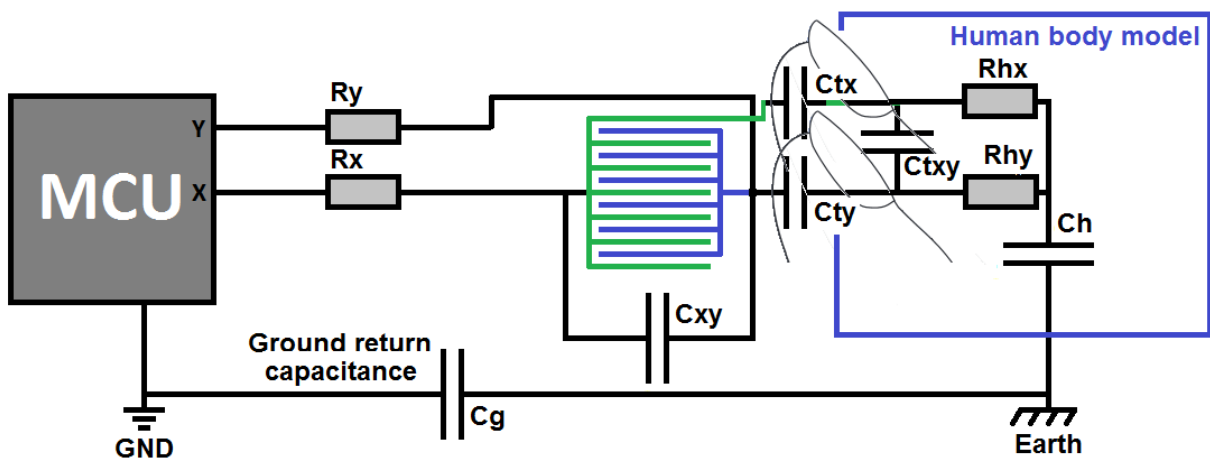
相互容量式タッチセンサは、各センサノードで 1 ペアの電極を使い、それらの電極の間の静電容量を計測します。電極ペアを互いに近付けて配置する事によりセンサを形成します。センサノードのベース静電容量を形成する 2 つの導電体の平行区間の長さを最適化するため、通常は楕形の電極を使います。

図 4-1. 相互容量式センサ



センサにタッチしたユーザの指は、X (送信)電極と Y (受信)電極の間の電界と相互に影響します。

図 4-2. タッチ時の相互容量式センサ



以下の 2 つの効果が多岐に競合します。

- X/Y 容量に追加の「電極板」が形成され、各センサ電極に対して直列の C_{tx} と C_{ty} が並列に追加される事により、X-Y 間の結合が強まります。
- C_h (HBM 容量)と C_g (グラウンド-アース間の容量)によりグラウンド リターン経路が提供される事により、X から Y への電荷移動量は減少するため、見かけの X-Y 容量は減少します。

Note: HBM 抵抗 R_h (図では R_{hx} と R_{hy})はタッチ感度に影響を及ぼしません。

C_t

- タッチによる XY 静電容量の総減少量
- 0.1 pF~2 pF (センサの構造とタッチカバーの厚さおよび材質によって異なる)

C_h

- 人体モデル(HBM)の静電容量
- 100 pF~200 pF

C_g

- アプリケーションの DC グラウンドとアースの間の静電容量
- アプリケーションのタイプと電源システムによって異なる
- 小型のバッテリー駆動型デバイスでは 1 pF 程度
- DC グラウンドがアースへ直接接続される場合は無限大容量/短絡

自己容量式センサと同様に、ほとんどのアプリケーションにおいて C_t は C_h または C_g より大幅に小さくなります。計測されるタッチデルタはほぼ C_t によって決まり、 C_t はセンサの設計によって決まります。

5. センサ設計

5.1 タッチ静電容量モデル

自己容量式計測とは異なり、特定レイアウトの相互容量式センサのタッチ静電容量 C_t を簡単に近似することはできません。この場合の「平板」は X および Y 電極の各セグメントであり、それらはタッチカバーよりも大幅に小さいため、平行平板コンデンサの近似は使えません。ユーザのタッチは、電極ペアと指の間の edge and point fields によって支配されます。

相互容量式センサを設計する際は、ノードレイアウトを最適化する事によりアプリケーション要件を満たす事ができます。

設計要件の例:

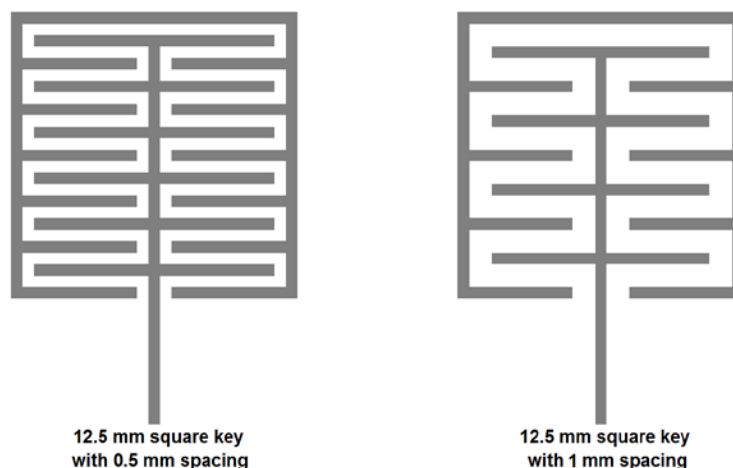
- タッチデルタの最大化
- ノイズ耐性の最適化
- 耐水性の最適化
- センサ容量の最小化
- 消費電力の最小化
- タッチレイテンシの最小化

多くのアプリケーションでは、各種要件の間で妥協点を見つける事が必要です。

例えば、楕形電極を密にして平行区間の長さを増やす事でタッチデルタの最大化を図れます。しかし、センサ容量を最小化するには X 電極と Y 電極の間の距離を大きくする必要があります。

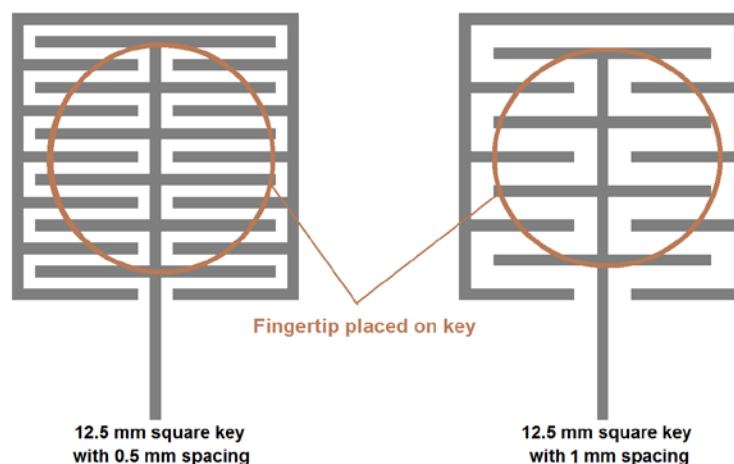
この距離を大きくするとセンサの静電容量は減少しますが、楕形電極の平行区間の長さは減少します。

図 5-1. X/Y 電極間の分離距離(0.5 mm と 1 mm)



ユーザがセンサにタッチした時に、電極の平行区間のごく一部だけが指で覆われます。指で覆われた平行区間でのみ XY 電界との相互作用が発生するため、タッチ感度はこの区間の長さに比例します。

図 5-2. 12 mm キーのタッチ領域



5.2 ボタンセンサの設計

静電容量式センサの最もシンプルな実装形態がボタンです。この場合、センサの XY ノードは 1 つだけであり、2 進状態 (In Detect または Out of Detect) として解釈されます。タッチデルタ (タッチ静電容量 C_t のデジタル化した計測値) がタッチしきい値を超えている場合、センサは「In Detect」状態です。

Note: 相互容量式センサでは C_t はタッチによって減少します。しかし多くの場合、信号デルタは反転されてタッチ発生時に増加します。

電極の形状

センサノードは、X 電極と Y 電極の間の結合が生じる領域に形成されます。通常のボタンは円形または長方形ですが、楕形電極を使って任意の形状を形成できます。

楕形電極を使ったキー

最もシンプルなセンサレイアウトは同一面上の楕形電極ペアを使ったキーです。図 5-3 を参照してください。

図 5-3. 標準的な同一面レイアウト

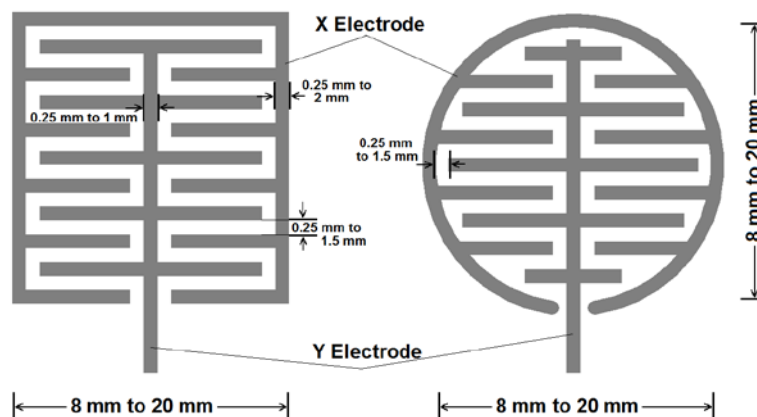
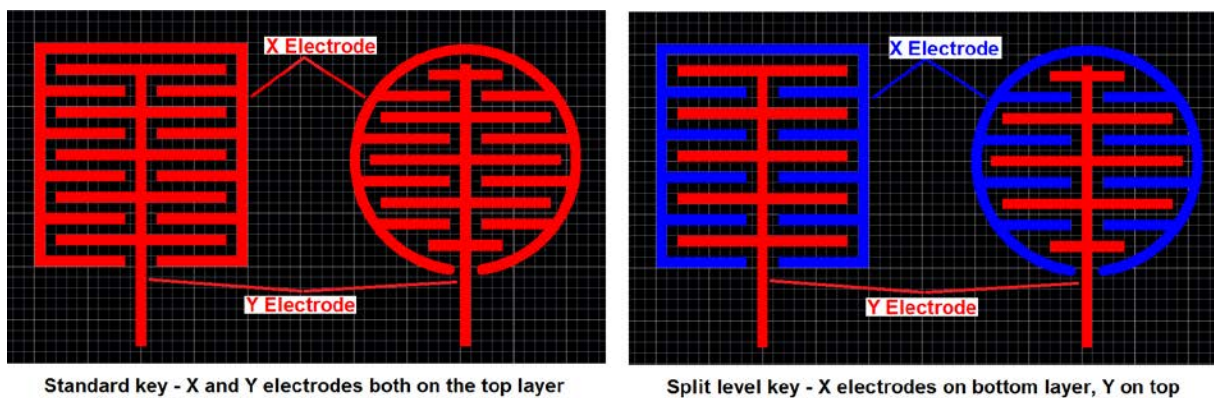


表 5-1. 楕形電極を使ったキーの寸法

	Min.	Typ.	Max.
キーのサイズ	8 mm	12 mm	20 mm
X 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
電極間の距離	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

楕形電極を使ったキーは、通常 1 つのプリント基板層に実装しますが、2 層に分けて実装する事もできます(X 電極をタッチサーフェスから遠い方の層に実装)。2 層を使う事で、タッチと重なる平行区間の長さを最大化しながら、X/Y 電極間の距離を大きくできる(従ってセンサの静電容量を低減できる)という利点が得られます。

図 5-4. 単層および 2 層のセンサレイアウト



ベタ X 電極を使ったキー

グリッド状の Y 電極の背後にベタの X 電極を配置します。X のベタ領域は、Y 電極の外縁から外側へ 2 mm 以上上げる必要があります。

図 5-5. ベタ X 電極を使ったキーのレイアウト

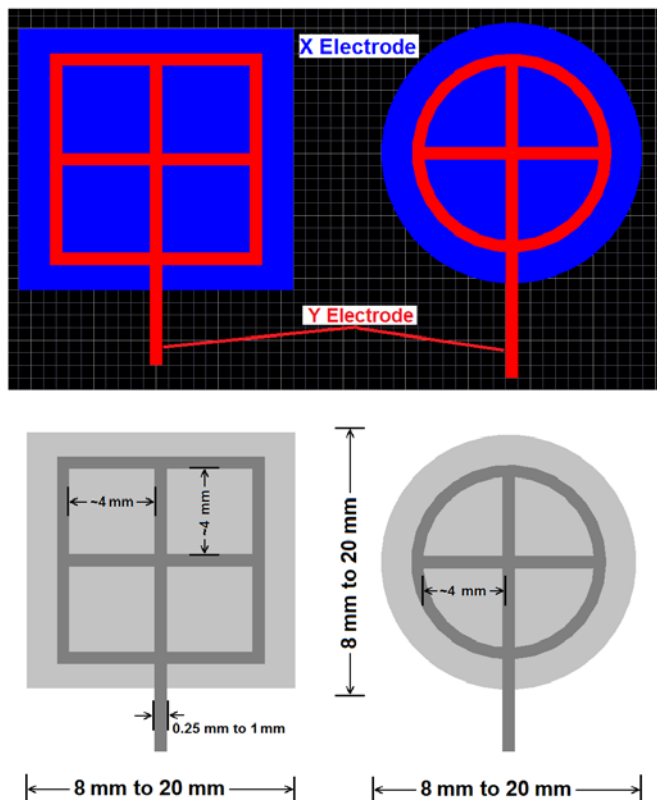


表 5-2. ベタ X 電極を使ったキーの寸法

	Min.	Typ.	Max.
キーのサイズ	8 mm	12 mm	20 mm
X 電極の幅	8 mm	12 mm	20 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Y グリッドの間隔	4 mm	4 mm	4 mm

このレイアウトにより、X 電極によって Y 電極を回路ノイズからシールドできるという利点があります。しかし、分厚いタッチカバーが必要な場合、X 電極の感度が低下します。

一般的に、ベタの X 電極は、タッチカバーがセンサ基板よりも薄い場合にのみ使います。標準的な 1.6 mm FR4 プリント基板を使う場合、1.6 mm よりも厚いタッチカバーを使うべきではありません。

Note: ベタの X 電極は、一般的にフレキシブル基板への実装には適しません。なぜなら、薄い基板に合わせてタッチカバーも薄くする必要があるからです。デバイスによっては、ベタの X 電極が適さない場合もあります。各デバイスの詳細は 10. 補遺 C を参照してください。

5.3 スライダセンサの設計

スライダは、2つ以上のセンサを1列に並べる事により実装できます。センサグループからの複数の計測値からタッチ位置を判定します。その際、センサ間の補間計算により、位置判定の分解能を高める事ができます。

前述の通り、補間せずに大きなセンサを使うと、計算したタッチ位置と実際のタッチ位置は良好に対応しません。センサ数を増やす事で補間は改善できますが、全体的な計算時間は増加します。

楕形電極を使ったスライダ

楕形の X および Y 電極を交互に配置してセンサノードを形成する事により、空間的補間を適用できます。通常は、センサ配線を容易にするため、1つの Y センサラインと複数の X センサラインを使います。

図 5-6. 楕形電極を使ったスライダのレイアウト

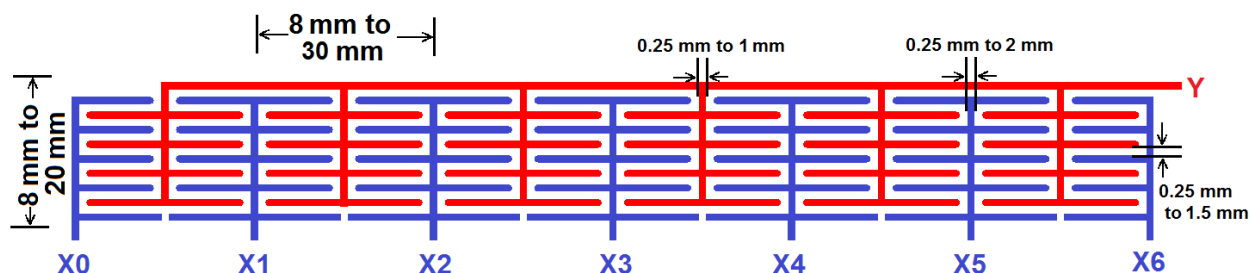


表 5-3. 楕形電極を使ったスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダの幅	8 mm	12 mm	20 mm
1 セグメントの幅	8 mm	12 mm	30 mm
X 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
電極間の距離	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

楕形電極を使ったスライダは、X 電極と Y 電極を同一基板層に配置するか、異なる基板層に分けて配置する(X 電極をタッチサーフェスから遠い方の層に配置) 事により形成できます。

ベタ X 電極を使ったスライダ

ベタ X 電極を使ったスライダでは、X 電極を別の基板層に配置するため、直線性が向上します。Y 電極を複雑なパターンにしなくても、空間的補間を拡張できます。ベタ X 電極のパターンは、前述の自己容量式スライダ用の空間的補間を施した電極(図 1-10 参照)と同じです。

図 5-7. ベタ X 電極を使ったスライダのレイアウト

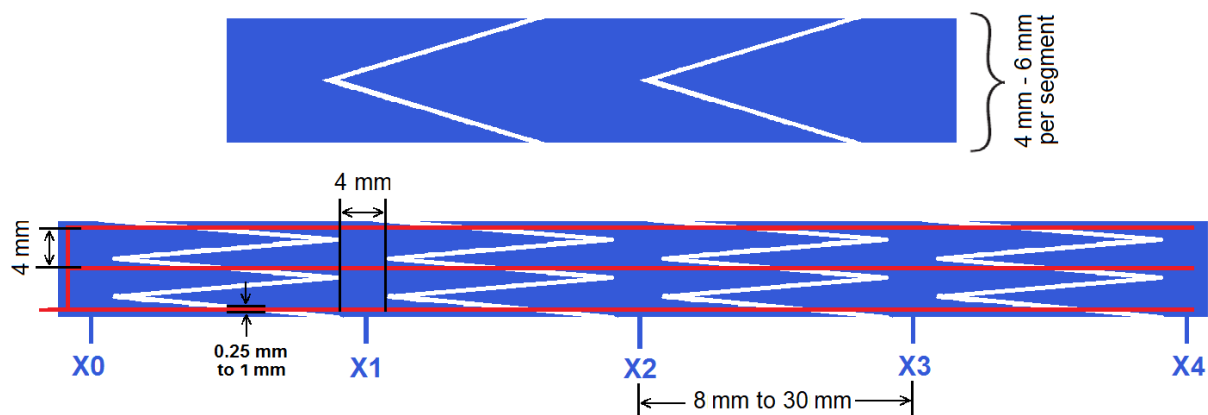


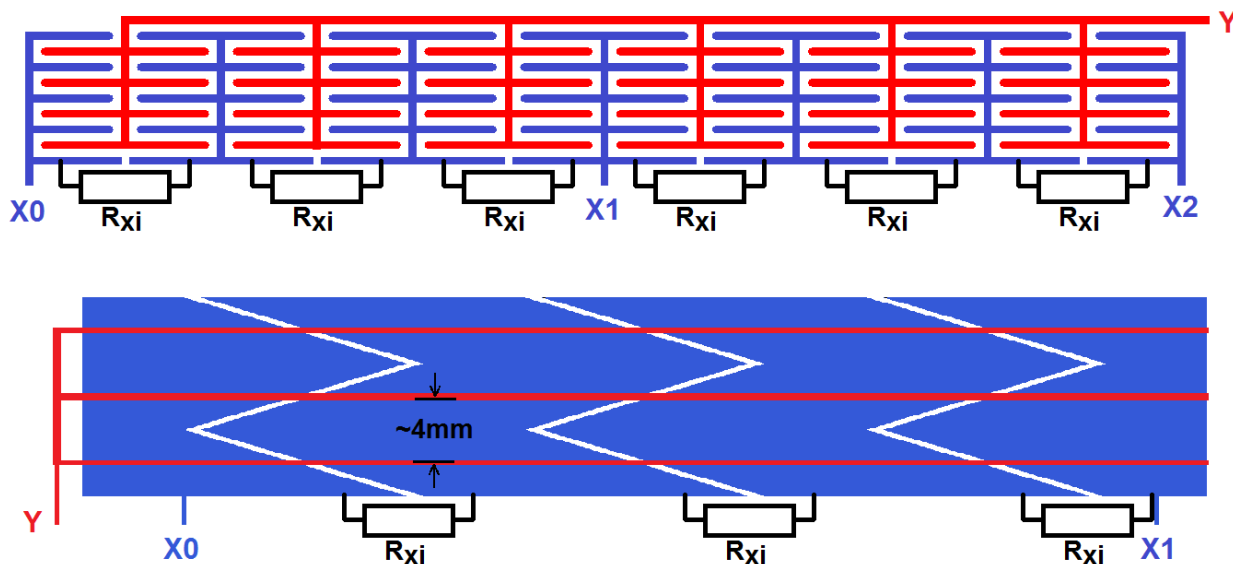
表 5-4. ベタ X 電極を使ったスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダの幅	8 mm	12 mm	20 mm
X 電極の幅	8 mm	15 mm	30 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Y 電極パターンの間隔	3 mm	4 mm	5 mm

抵抗性補間

スライダに楕形電極またはベタ X 電極のどちらを使った場合も、一部のセンサノード間に抵抗性補間を適用する事により、直線性を維持しながら計測するセンサノードの数を減らす事ができます。

図 5-8. 抵抗性補間を適用したスライダ



X 電極間を抵抗で直列接続する場合、少なくともスライダの両端に1つずつ(計 2 個)の X 電極が必要です。抵抗分圧回路によって各中間ノードは X 電極電圧間の分圧電圧で駆動されます。

中間ノードでタッチが発生すると、その位置に比例したタッチデルタが回路に直接接続した各ノードで生じ、スライダに沿った補間が容易に行えます。

セグメント間の補間抵抗 R_{xi} は、計測回路に直接接続された 2 つの X ラインの間の総抵抗が 10~20 k Ω となるように選定します。

5.4 ホイールセンサの設計

ホイールセンサは、3 個以上のセンサノードを環状に配置する事により構成します。

Note: タッチ位置を特定するには、電極と電極の間のクロスオーバー領域を一意に識別する必要があるため、3 個以上の電極が必要です。

ホイールセンサの動作はスライダセンサと基本的に同じですが、終端の電極は存在しないため、チャンネル n からチャンネル 0 へラップアラウンドするという点で異なります。

楕形電極を使ったホイール

楕形電極を使ったスライダと同様に、同一面に両方の電極を配置するのが最もシンプルなホイールの実装方法です。X および Y 電極を同一のプリント基板層に形成します。センサ容量を低減するため、電極を 2 つの基板層に分けて配置する事も可能です(X 電極をタッチカバーから遠い方の層に配置)。

図 5-9. 楕形電極を使ったホイールのレイアウト

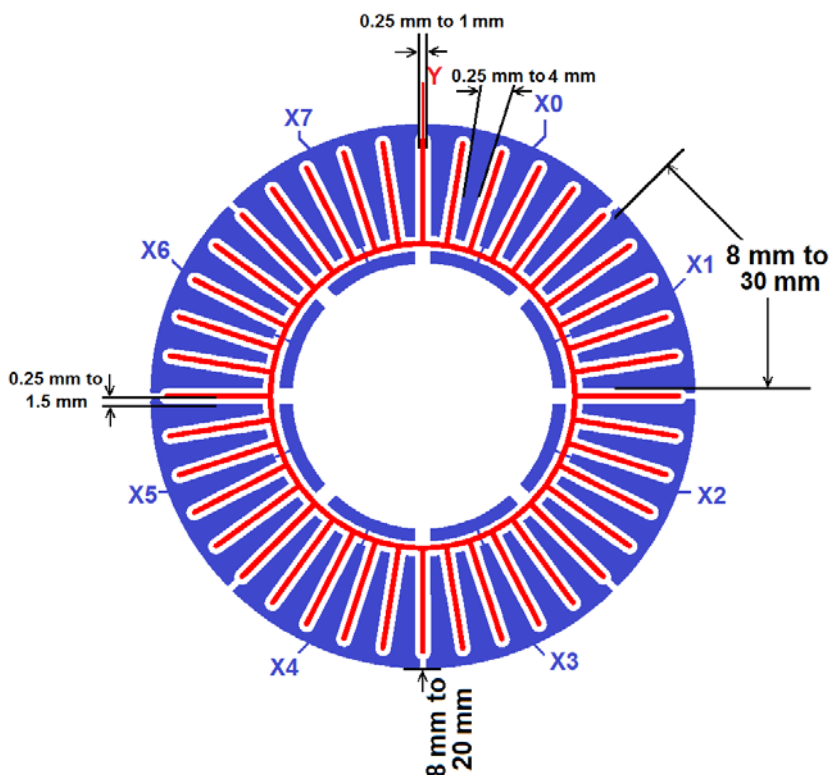


表 5-5. 楕形電極を使ったホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
ホイールの幅	8 mm	12 mm	20 mm
セグメントの幅	8 mm	12 mm	30 mm
X 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	4 mm*

(続き)

	Min.	Typ.	Max.
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
電極間の距離	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

Note: * テーパー部の寸法は両端でこのレンジ内である事が重要です。

ベタ X 電極を使ったホイール

X 電極を Y 電極とは異なるプリント基板層に配置する事で、Y 電極を複雑なパターンにする事なく空間的補間を拡張できます。これにより、楕形電極を使った場合よりも直線性を向上させる事ができます。ベタ X 電極のパターンは、前述の自己容量式ホイール用の空間的補間を施した電極(図 1-15 参照)と同じです。

図 5-10. ベタ X 電極を使ったホイールのレイアウト

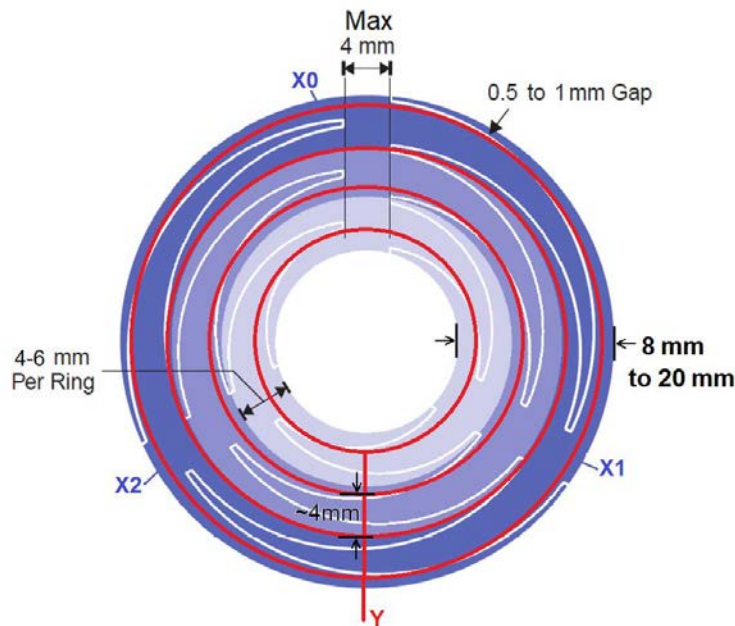


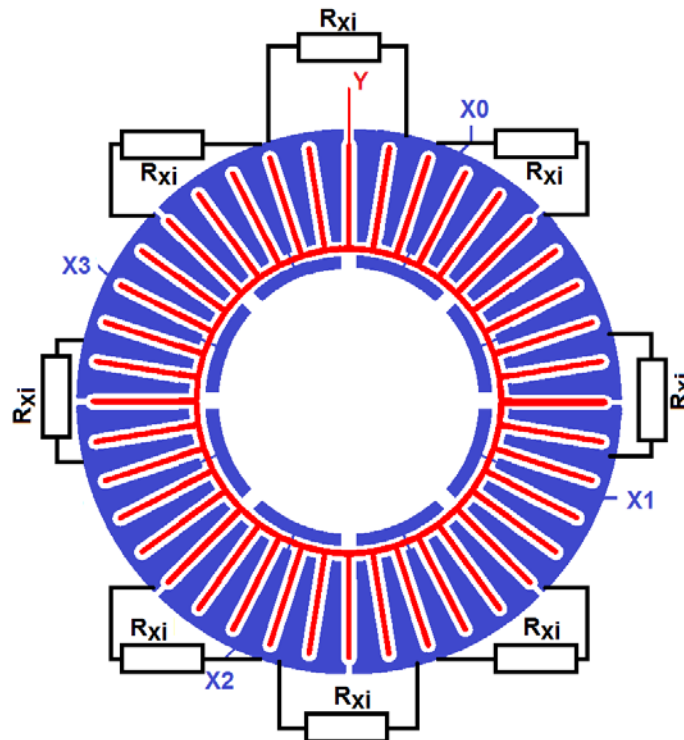
表 5-6. ベタ X 電極を使ったホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
ホイールの幅	8 mm	12 mm	20 mm
X 電極の幅	8 mm	15 mm	30 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Y 電極パターンの間隔	3 mm	4 mm	5 mm

抵抗性補間

ホイールに楕形電極またはベタ X 電極のどちらを使った場合も、一部のセンサノード間に抵抗性補間を適用する事により、直線性を維持しながら計測するセンサノードの数を減らす事ができます。

図 5-11. 抵抗性補間を適用したホイール



計測回路に直接接続した X 電極は 3 個以上必要であり、それらはホイール上に対称的に配置する必要があります。中間ノードは直列抵抗で互いに接続します。これにより抵抗分圧回路が形成され、各中間ノードは X 電極駆動電圧の分圧で駆動されます。中間ノードでタッチが発生すると、その位置に比例したタッチデルタが回路に直接接続した各ノードで生じ、ホイールの円周に沿った補間が容易に行えます。

セグメント間の補間抵抗 R_{xi} は、計測回路に直接接続された 2 つの X ラインの間の総抵抗が 10~20 k Ω となるように選定します。

5.5 サーフেসセンサの設計

相互容量式タッチ サーフেসセンサは「行」電極と「列」電極で構成され、それらはそれぞれ X 電極と Y 電極として実装されます。各行および各列が計測され、それらのデータが組み合わされて横方向と縦方向のスライダ機能が実装されます。

Note: 2 点のタッチを検出するには、タッチの中心間距離がセンサピッチの 2 倍以上である事が必要です。

楕形電極を使ったサーフェスセンサ

楕形電極を使ったスライダパターンを 2 次元へ拡張する事により、サーフェス センサを形成します。このサーフェス パターンでは、各行を左方から右方へと連結し、各列を上方から下方へと連結する必要があります。従って行パターンと列パターンの交差を可能にするために、2 つの基板層が必要です。

両方の電極を同一基板層に配置して接続部のみ第 2 層に配置するか、X 電極と Y 電極を別々の基板層に配置する事ができます(X 電極をタッチカバーから遠い方の層に配置)。

図 5-12. 櫛形電極を使ったサーフェスセンサのレイアウト

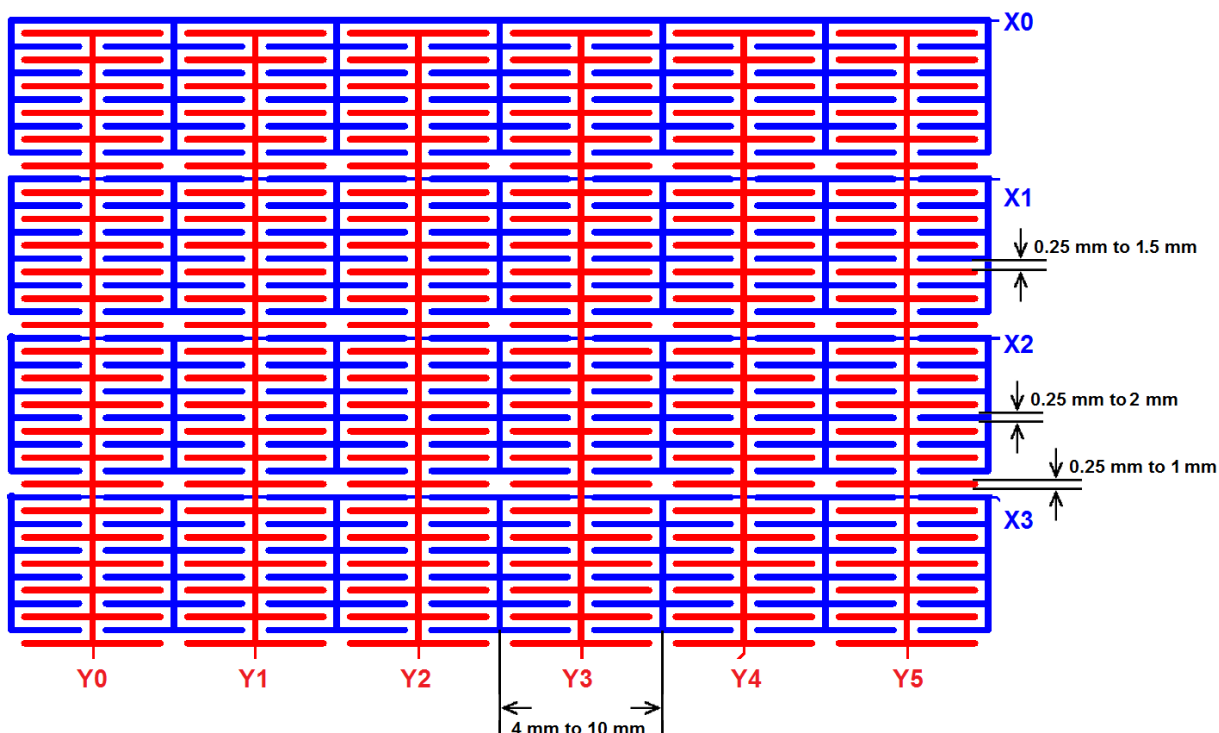


表 5-7. 櫛形電極を使ったサーフェスセンサの寸法

	Min.	Typ.	Max.
行/列のピッチ	4 mm	6 mm	10 mm
X 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
電極間の距離	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

ダイヤモンドパターン

5.5 「サーフェスセンサの設計」で説明した自己容量式サーフェスセンサ用のダイヤモンドパターンは、相互容量式サーフェスセンサとして実装する事もできます。

横方向のセンサノードを X ラインとして駆動し、縦方向のノードを Y として計測します(その逆も可能)。X および Y 電極は同一層に配置する事も、別々の層に配置する事もできます(前述のボタン、スライダ、ホイールと同様に X 電極をタッチカバーから遠い方の層に配置)。

Note: 交換可能な XY 電極での実装は、1つの基板層に電極を配置するようにします。

図 5-13. 相互容量式サーフェスセンサのダイヤモンドパターン

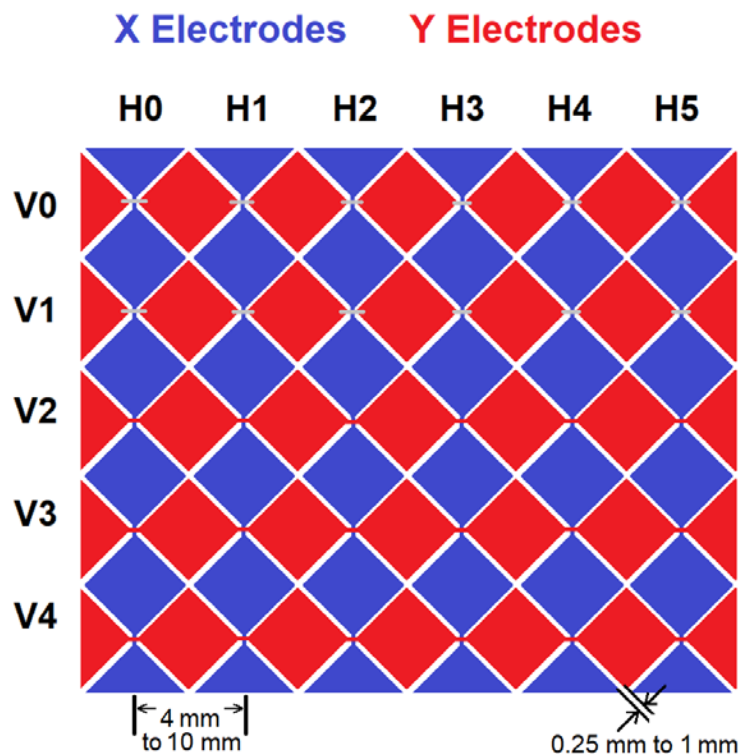


表 5-8. サーフェスセンサのダイヤモンドパターンの寸法

	Min.	Typ.	Max.
行/列のピッチ	4 mm	6 mm	10 mm
X/Y 分離距離	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

相互容量式サーフェスセンサにもフラワーパターンが使えます。

ベタ X 電極を使ったサーフェスセンサ

X 電極を縦方向のバーとして第 2 層に配置し、Y 電極を横方向に走る細いトレースとして第 1 層に配置します。Y ノード間の補間は縦方向の位置を提供し、X ノード間の補間は横方向の位置を提供します。

図 5-14. ベタ X 電極を使ったパターン

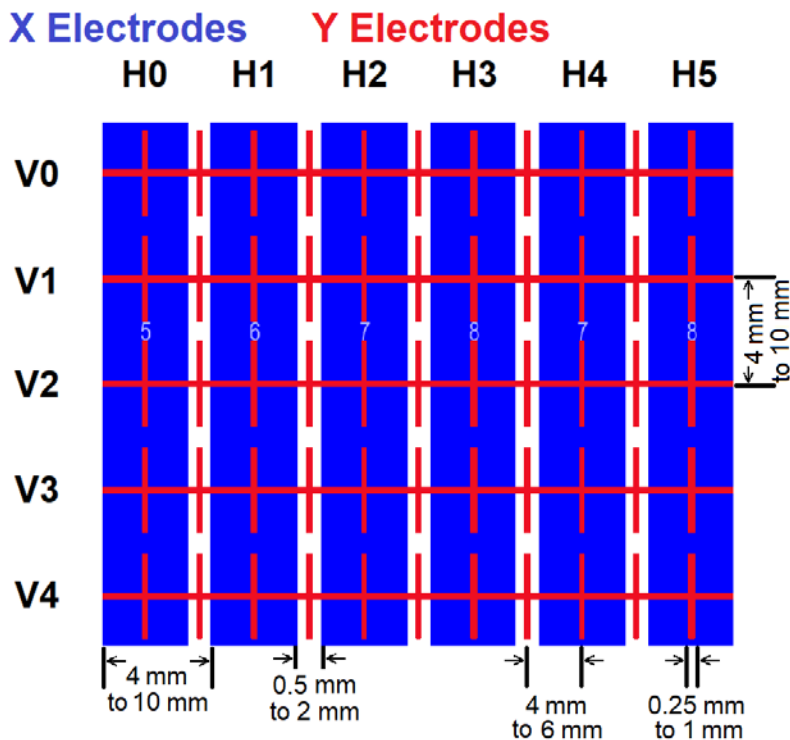


表 5-9. ベタ X 電極を使ったパターンの寸法

	Min.	Typ.	Max.
行/列のピッチ	4 mm	6 mm	10 mm
X/Y 分離距離	0.5 mm	1 mm	2 mm
Y 電極の幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Y 電極の分離距離	3 mm	4 mm	5 mm

6. タッチカバーの効果

タッチカバーの厚みを増すと、ユーザの指先とセンサ電極の間の距離が増加し、それらに形成される電界はより拡散されます。タッチ静電容量は減少しますが、電極のサイズを大きくするかデジタル処理の量を増す事により補償できます。

感度を最大化するため、センサのサイズはタッチのサイズより少なくともタッチカバーの厚さ分は拡げる必要があります。

厚さ 1 mm のタッチカバーを使う場合、タッチボタンの最小サイズまたはスライダ/ホイールの最小幅は下式により与えられます。

$$(8\text{ mm} + (2 \times 1\text{ mm})) = 10\text{ mm}.$$

タッチカバーの厚さが 3 mm である場合、これは $(8\text{ mm} + (2 \times 3\text{ mm})) = 14\text{ mm}$ まで増加します。

補間を適用したセンサ (スライダ、ホイール、サーフェス) では、カバーを厚くする事で、隣接する電極との間のクロスオーバー領域が拡大され、レポートされるタッチ位置の精度が向上するといった利点が得られます。

ベタ X 電極を使った場合、カバーを厚くすると感度の低下がより顕著に現れます。X 層と Y 層の間の距離よりも厚いタッチカバーを使わない事を推奨します。

7. シールド

多くのアプリケーションでは、不適切な動作を防ぐため、タッチセンサをシールドする必要があります。これは、EMI によって発生する他、本来タッチ感度があってはならない位置(センサの背面等)へのタッチにセンサが反応してしまう事によって発生します。

相互容量式センサは、パッシブシールドを使って隔離できます。

7.1 パッシブシールド

- 通常、シールド電極を DC グラウンドに接続します。
- V_{DD} または任意のグラウンド基準 DC レベルを使う事もできます。
- 背面シールドは、背後からのタッチによる誤検出または背後からの EMI を防ぎます。
- 同一面シールドは、タッチセンサをより良好に分離します。
- 容量性負荷を低減するため、シールドをメッシュ状にしても構いません。
- 耐水性は低下します。

背面グラウンドシールド

センサの背後からのタッチによって生じる誤検出や、バックライトまたはドライバ回路等からのスイッチング信号による干渉を防ぐために、電極の背面にシールドを設ける事が望ましい場合があります。

これにはグラウンドプレーンが使えます。グラウンドプレーンは、回路のグラウンドに 1 点で直接接続します。

相互容量式センサの場合、センサノードの背後のグラウンドエリアは、センサノードの総静電容量を減少させる効果を持ちます。アプリケーションによっては、これを利用して、キーを互いにより近付ける事ができます。しかし、Y ライン電極の負荷容量により、センサの時定数は増加する可能性があります。

DC グラウンドは X 電極から放射される電界を引き込むため、背面グラウンドプレーンを使うとタッチセンサの感度が大幅に低下する可能性があります。特にタッチカバーの厚さがセンサとグラウンド層の間の距離よりも大きい場合に注意する必要があります。

この問題を緩和するには、電極とグラウンドプレーン間の距離を可能な限り大きくします。例えば、多層プリント基板の最上層にタッチセンサを配置し、最下層にグラウンドプレーンを配置します。

グラウンドシールドをメッシュ状(50%または 25%メッシュフィル)にする事で、シールド効果を提供しながら感度の低下を緩和できます。

センサ基板の背後からのタッチが誤って検出される危険性がない場合、背面グラウンドプレーン内のセンサと重なる領域を切り欠く事ができます。これにより、センサの感度低下を回避しつつ、センサを他の回路部品または EMI から隔離できます。

同一面グラウンドシールド

同一面グラウンドシールドを実装する事で、タッチセンサ同士の間での分離を改善すると共に EMI とコモンモードノイズの影響を低減できます。

同一面シールドはタッチセンサ領域に重ならないため、ベタパターンが使えます。

感度の低下を最小化するため、このグラウンドシールドと全てのタッチセンサの間に約 2 mm の距離を保ちます。センサ電極が大きい場合または耐水性を向上させる場合、この距離を拡げても構いません。

図 7-1. 同一面グランドプレーンの分離距離

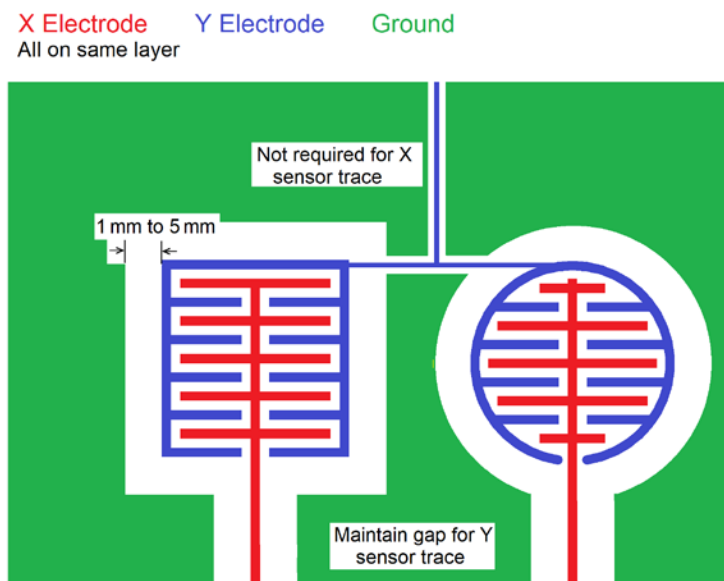


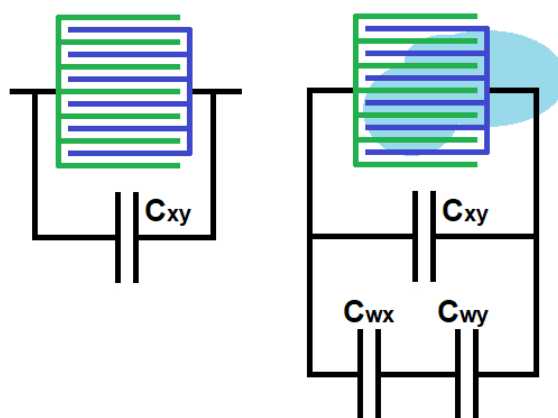
表 7-1. センサとグランドプレーンの間の分離距離

Min.	Typ.	Max.
1 mm	2 mm	5 mm

7.2 耐水性

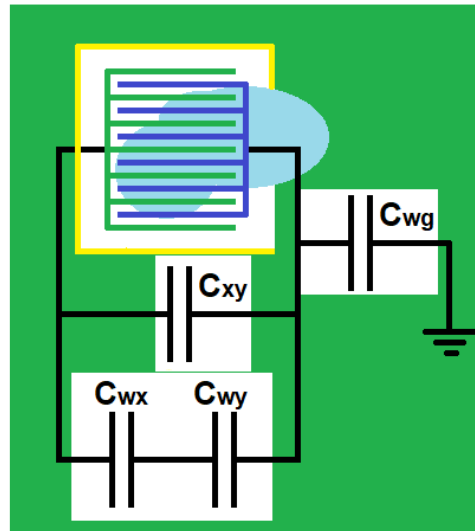
相互容量式センサの場合、分離されたセンサノードに水滴が付着しても誤ったタッチ検出は生じません。実際、水滴と X ラインの間に形成される静電容量 C_{wx} および水滴と Y ラインの間に形成される静電容量 C_{wy} により、X-Y 間の結合は強まるものの、水滴は顕著なグランドリターン経路を提供しないため、センサは「タッチからほど遠い」デルタを示します。

図 7-2. 分離されたセンサ上の水滴



通常、センサは近接して配置された複数のセンサから成るグループの中の 1 つであり、多数の回路部品および信号とプリント基板を共有します。この場合、センサノードと他の回路部品にまたがる水滴は、グランドリターン結合を強めます。その結果、タッチデルタが増加してタッチの誤検出を招く可能性があります。

図 7-3. センサとグランドベタにまたがる水滴



8. 補遺 A

デバイスファミリ	自己容量式センサの 最大静電容量(pF)	相互容量式センサの 最大静電容量(pF)
ATtiny81X/161X/321X	53	32
ATmega324PB/ATmega328PB	32	32
ATSAML10/L11	63	32
ATSAML22	32	32
ATSAMC20/C21	32	32
ATSAMD10/D11	32	32
ATSAMD20/D21/DA1 / ATSAMHA1	32	32
ATSAML21	32	32
ATSAMD51/ATSAME51/ ATSAME53/ATSAME54	63	32

9. 補遺 B

デバイスファミリ	アクティブ シールドのサポート
ATtiny81X/161X/321X	ドリブンシールド プラス (3 レベル)
ATSAML1X	
ATSAMD2X/ATSAMDA1/ATSAMHA1	ドリブンシールド (2 レベル)
ATSAMC2X/ATSAML2X	
ATSAME5X/ATSAMD5X	
PIC [®] MCU (HCVD なし)	
ATmega328PB/ATmega324PB	アクティブ シールドは非サポート
PIC MCU (デュアル ADC 内蔵)	ドリブンシールド プラス (2 レベル)
PIC MCU (ADCC 内蔵)	ドリブンシールド プラス (2 レベル)

10. 補遺 C

デバイスファミリ	ベタ X 電極への適性 ⁽¹⁾
ATtiny81X/161X/321X	あり
ATmega324PB/ATmega328PB	なし
ATSAML10/L11	あり
ATSAML22	なし
ATSAMC20/C21	なし
ATSAMD10/D11	なし
ATSAMD20/D21/DA1/ATSAMHA1	なし
ATSAML21	なし
ATSAMD51/ATSAME51/E53/E54	あり

Note: 1. 「適性あり」のデバイスは、X ラインの I/O 駆動をサポートします。

Microchip 社のウェブサイト

Microchip 社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを簡単に見つけ出せます。インターネット ブラウザから以下の内容をご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - よく寄せられる質問(FAQ)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッショングループ、Microchip 社のコンサルタント プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/販売代理店)の一覧

顧客変更通知サービス

Microchip 社の顧客変更通知サービスは、お客様に Microchip 社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

Microchip 社ウェブサイト(<http://www.microchip.com/>)にアクセスし、[Design]メニューの下の[Product Change Notification]からご登録ください。

カスタマサポート

Microchip 社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用になれます。

- 販売代理店
- 弊社営業所
- フィールド アプリケーション エンジニア(FAE)
- 技術サポート

サポートは販売代理店までお問い合わせください。各地の営業所もご利用になれます。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用になれます。 <http://www.microchip.com/support>

Microchip 社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製デバイスのコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip 社製品は、該当する Microchip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip 社では、通常の条件ならびに仕様に従って使用した場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- しかし、コード保護機能を解除するための不正かつ違法な方法が存在する事もまた事実です。弊社の理解では、こうした手法は全て Microchip 社データシートにある動作仕様書以外の方法で Microchip 社製品を使用する事になります。このような行為は知的所有権の侵害に該当する可能性が非常に高いと言えます。
- Microchip 社は、コードの保全性に懸念を抱いているお客様と連携し、対応策に取り組んでいきます。

- Microchip 社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。

コード保護機能は常に進歩しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。Microchip 社のコード保護機能の侵害は、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。そのような行為によってソフトウェアまたはその他の著作物に不正なアクセスを受けた場合、デジタル ミレニアム著作権法の定める所により損害賠償訴訟を起こす権利があります。

法律上の注意点

本書に記載されているデバイス アプリケーション等の情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって無効とされる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。Microchip 社は、明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、状態、品質、性能、商品性、特定目的への適合性をはじめとする、いかなる類の表明も保証も行いません。

Microchip 社は、本書の情報およびその使用に起因する一切の責任を否認します。Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途に Microchip 社の製品を使用する事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip 社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、AnyRate、AVR、AVR ロゴ、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT ロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGA は米国およびその他の国における Microchip Technology Incorporated の登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-WIRE は米国における Microchip Technology Incorporated 社の登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet ロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA、ZENA は米国とその他の国における Microchip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は、米国における Microchip Technology Incorporated のサービスマークです。

Silicon Storage Technology は、米国以外の国における Microchip Technology Inc.の登録商標です。

GestlC は、米国以外の国における Microchip Technology Inc.の子会社である Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2019, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved. ISBN: 978-1-5224-4389-6

DNV による品質管理システム認証

ISO/TS 16949

Microchip 社では、Chandler および Tempe(アリゾナ州)、Gresham(オレゴン州)の本部、設計部およびウェハ製造工場そしてカリフォルニア州とインドのデザイン センターが ISO/TS-16949:2009 認証を取得しています。Microchip 社の品質システムプロセスおよび手順は、PIC[®] MCU および dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]コード ホッピング デバイス、シリアル EEPROM、マイクロペリフェラル、不揮発性メモリ、アナログ製品に採用されています。さらに、開発システムの設計と製造に関する Microchip 社の品質システムは ISO 9001:2000 認証を取得しています。

各国の営業所とサービス

北米	アジア/太平洋	アジア/太平洋	ヨーロッパ
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel:480-792-7200 Fax:480-792-7277 技術サポート: http://www.microchip.com/ サポート URL: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel:678-957-9614 Fax:678-957-1455 オースティン、TX Tel:512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel:774-760-0087 Fax:774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel:630-285-0071 Fax:630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel:972-818-7423 Fax:972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel:248-848-4000 ヒューストン、TX Tel:281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel:317-773-8323 Fax:317-773-5453 Tel:317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel:949-462-9523 Fax:949-462-9608 Tel:951-273-7800 ローリー、NC Tel:919-844-7510 ニューヨーク、NY Tel:631-435-6000 サンノゼ、CA Tel:408-735-9110 Tel:408-436-4270 カナダ - トロント Tel:905-695-1980 Fax:905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel:61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel:86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel:86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel:86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel:86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel:86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel:86-571-8792-8115 中国 - 香港 SAR Tel:852-2943-5100 中国 - 南京 Tel:86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel:86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel:86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel:86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel:86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel:86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel:86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel:86-29-8833-7252 中国 - 厦門 Tel:86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel:86-756-3210040	インド - バンガロール Tel:91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel:91-11-4160-8631 インド - ブネ Tel:91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel:81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel:81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel:82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel:82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel:60-3-7651-7906 マレーシア - ベナン Tel:60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel:63-2-634-9065 シンガポール Tel:65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel:886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel:886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel:886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel:66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel:84-28-5448-2100	オーストリア - ヴェルス Tel:43-7242-2244-39 Fax:43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel:45-4450-2828 Fax:45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel:358-9-4520-820 フランス - パリ Tel:33-1-69-53-63-20 Fax:33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガーヒング Tel:49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel:49-2129-3766400 ドイツ - ハイльブロン Tel:49-7131-67-3636 ドイツ - カールスルーエ Tel:49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel:49-89-627-144-0 Fax:49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel:49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel:972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel:39-0331-742611 Fax:39-0331-466781 イタリア - パドヴァ Tel:39-049-7625286 オランダ - ドリュウネン Tel:31-416-690399 Fax:31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel:47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel:48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel:40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel:34-91-708-08-90 Fax:34-91-708-08-91 スウェーデン - ヨーテボリ Tel:46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel:46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキンガム Tel:44-118-921-5800 Fax:44-118-921-5820