
静電容量式タッチセンサの設計ガイド

はじめに

著者: Feargal Cleary、Microchip Technology Inc.

本書では、Microchip社タッチソリューションを使って堅牢なユーザ インターフェイスを実装する方法を説明します。本書では一般的な課題をまとめ、解決方法とアドバイスを提供します。

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気的要件への対応等様々な判断が必要であり、その手順は複雑です。ここで重要なのが、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。

詳細、ハウツー動画、手順ガイド、タッチ技術の背景は以下のウェブページをご覧ください。

- www.microchip.com/touch
- www.microchipdeveloper.comで[Functions] > [Touch Sensing]と選択

目次

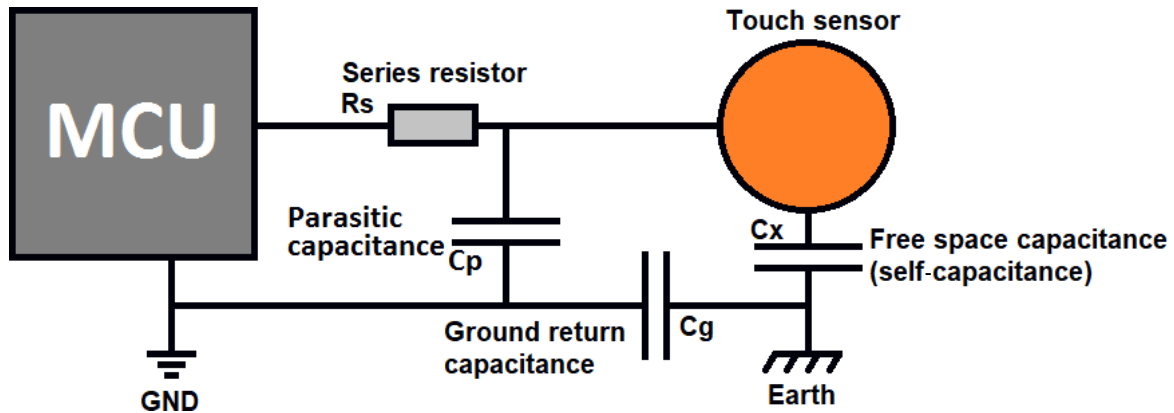
はじめに.....	1
1. 自己容量式センサ	3
1.1. 自己容量式計測	3
1.2. センサ設計	4
1.3. タッチカバーの効果	15
1.4. シールド	15
2. 相互容量式センサ	24
2.1. 相互容量式計測	24
2.2. センサ設計	25
2.3. タッチカバーの効果	39
2.4. シールド	39
3. 補遺A	42
4. 補遺B	43
5. 補遺C	44
6. 改訂履歴.....	45
Microchip社のウェブサイト	46
製品変更通知サービス	46
お客様サポート	46
Microchip社のデバイスコード保護機能	46
法律上の注意点	46
商標	47
品質管理システム	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

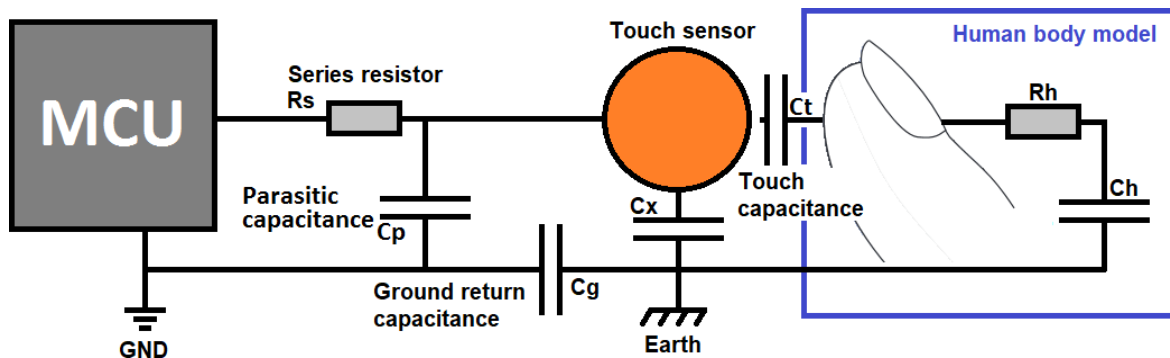
自己容量式タッチセンサはセンサ電極を1つだけ使い、その電極とタッチセンサ回路のグラウンドの間の見かけの静電容量を計測します。

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。これらは校正中に計測される「非タッチ」時または既定値静電容量を形成し、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が増大します。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。この静電容量の増大をタッチ「デルタ」と呼びます。



Notice: 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、タッチセンサの電極とユーザの指先を誘電体(タッチカバー)で分離した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。
- センサが小さいほど、タッチカバーが厚いほど、タッチ静電容量の値は小さくなります。

C_h

- 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100~200 pFです。

C_g

- アプリケーションのDCグラウ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。
- 小型のバッテリー駆動機器では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)です。

直列コンデンサの場合、最小容量のコンデンサの影響が支配的です。

式1-1 直列コンデンサの容量



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

C_t は C_h に比べて非常に小さく、ほとんどのアプリケーションでは C_t は C_g と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 C_t によって決まります。

例:

$$C_t = 1 \text{ pF}, C_h = 100 \text{ pF}, C_g = 100 \text{ pF}$$

$$\rightarrow C_{\text{Total}} = 0.98 \text{ pF}$$

しかし、 C_g 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。

$$C_t = 1 \text{ pF}, C_h = 100 \text{ pF}, C_g = 2 \text{ pF}$$

$$\rightarrow C_{\text{Total}} = 0.662 \text{ pF}$$

→ 計測されるタッチデルタは約33%低下します。

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 C_t を簡単に近似できます。



Notice: 平行領域の面積(A)が誘電体の厚さ(d)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
- 指先のタッチ面積モデル: 直径8 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 $\epsilon_r = 2$)
- 真空の誘電率 ϵ_0 : $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

→ 下式で静電容量を求めます。

$$C_t = \frac{\left(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \right) \times 2 \times \left(\frac{8 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times \pi}{1 \times 10^{-3} \text{ m}} = 0.89 \text{ pF}$$



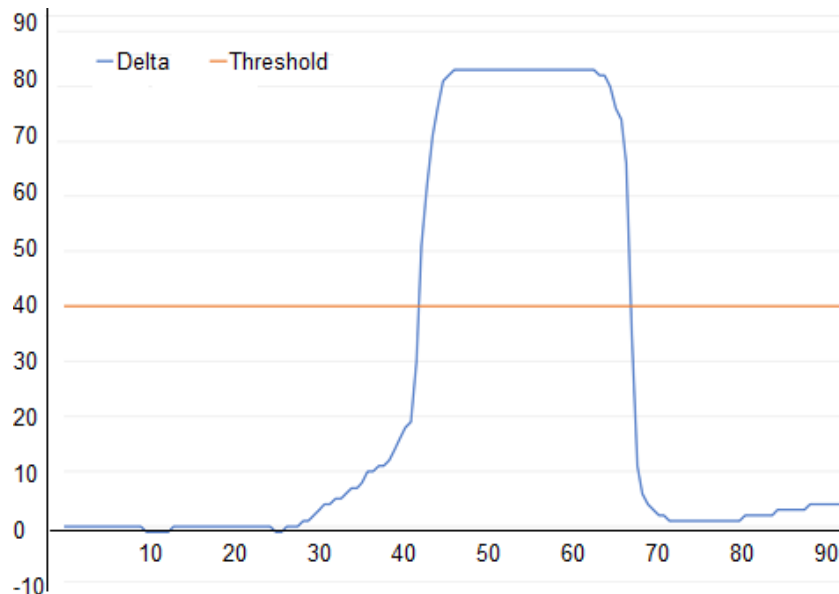
Notice: コンデンサを形成する2つの平板が重なる面積が8 mmのため、上式では直径8 mmの平板のみ使っています。

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はボタンです。ボタンは1個のセンサであり、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 を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)によりタッチされます。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。

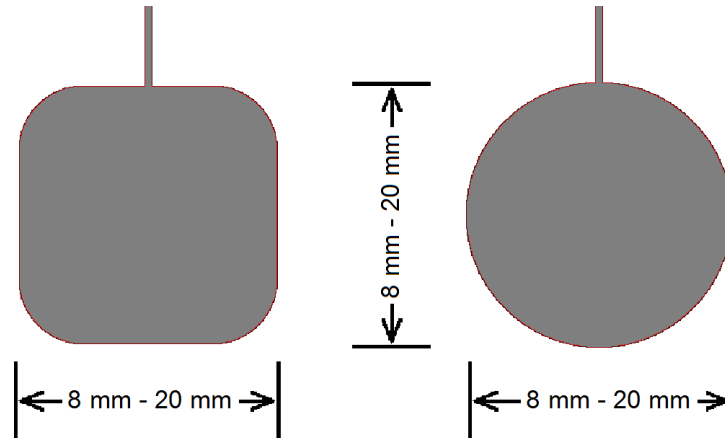
図1-3 ボタンセンサのタッチデルタとしきい値



電極の形状

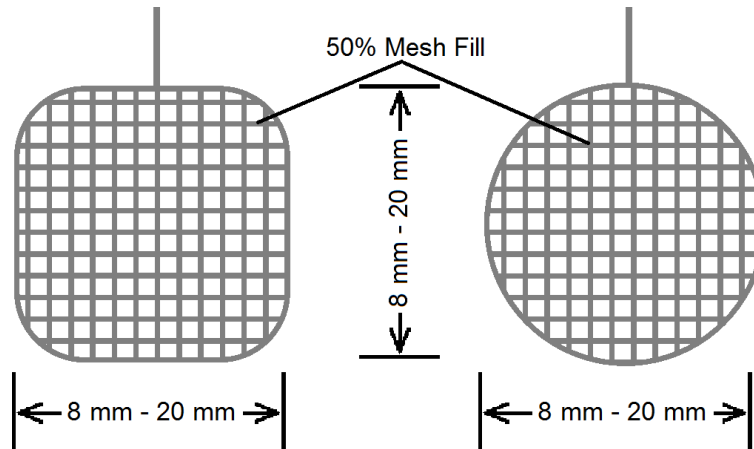
タッチ電極は導電体のパッチ(例: 非導電性サブストレート上の銅)です。一般的に円形または四角形のベタ領域が使われますが、十分なタッチ面積が確保されていれば、どのような形状でも構いません。電界の集中によってセンサパッドへの静電放電(ESD)が発生しやすくなる事を防ぐため、極板の角は丸める必要があります。

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が減少するだけでなく、コンデンサの1つの極板でのタッチ面積も減少するため、それに比例して感度は低下します。

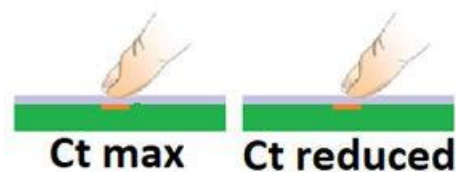
図1-5 メッシュ電極を使った標準的ボタン



タッチセンサの必要サイズ

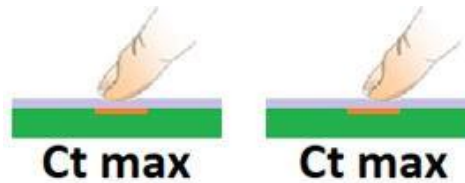
タッチ位置が多少ずれてもタッチを検出できるようにするため、タッチセンサの電極は十分に大きくする必要があります。センサ電極が指先より小さい場合、実効面積の減少によって感度は低下します。例えば、直径8 mmのタッチセンサに対してタッチの直径が8 mmである場合、タッチが正確に電極の中央に位置する場合にのみ最大デルタが表示されます。

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事により、総タッチ面積がタッチセンサの外寸内に収まっている限り、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。

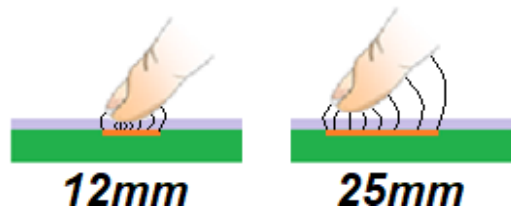
図1-7 直径12 mmのタッチセンサ



ハンドシャドウ

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ウと呼びます。この場合、指先のタッチ静電容量と近接静電容量の区別が容易ではありません。

図1-8 ハンドシャドウが生じている直径25 mmセンサ



ピンローディング

センサを大きくすると既定値の静電容量が増大します。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。

負荷容量が増大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伸びます。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。



Notice: 各デバイスの最大センサ容量の仕様値については3「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間隔は[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間隔の間でトレードオフが必要です。

図1-9 タッチキーの寸法

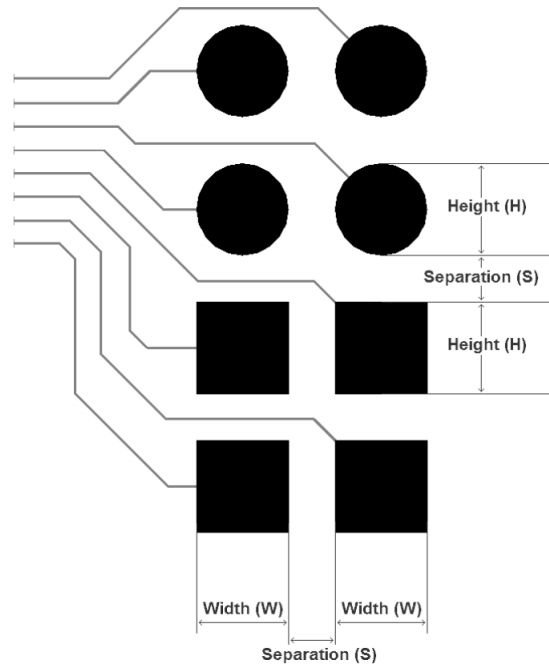


表1-1 タッチキーの寸法

	Min.	Typ.	Max.
高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
幅(W)	3 mm	6 mm	20 mm
分離間隔(S)	3 mm	6 mm	-

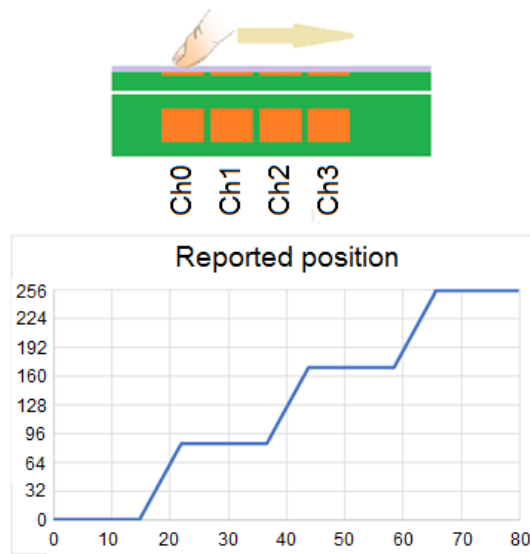
1.2.3 スライダセンサの設計

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。

センサピッチ

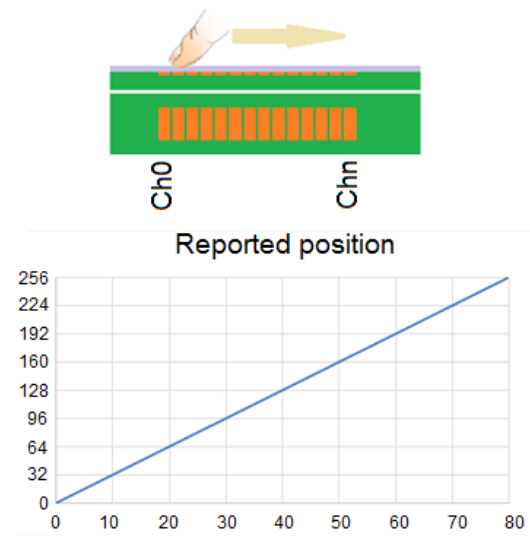
空間的補間(後述)を適用せずに大きなセンサを使うと、レポートされるタッチ位置と実際のタッチ位置の一致度は大きく低下します。下図の場合、タッチ位置がスライダに沿って移動する時、ほとんどの時間で4つある電極のうちの1つにだけ指が接触します。位置の補間計算は、タッチがあるセンサから次のセンサへと境界を横切る時のみ適用できます。

図1-10 補間なしの 슬라이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。

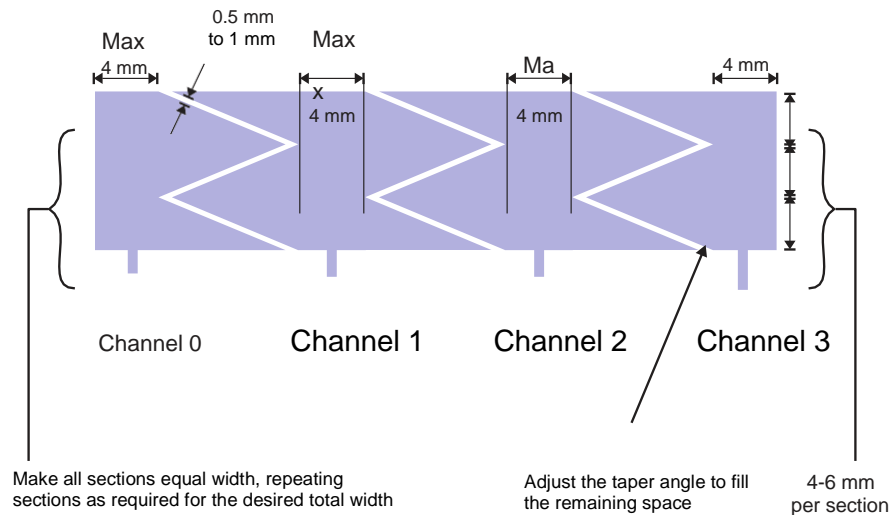
図1-11 良好に補間できる 슬라이ダ



しかし、この方法では必要以上のセンサ電極を要するため、常に最適であるとは限りません。利用できる汎用I/Oピン数が少なくなる、基板の配線が複雑になる、マイクロコントローラが備えているタッチチャンネル数よりも多くのチャンネルが必要となってしまいます。また、タッチ アクイジション時間は電極数に比例するため、スライダが長いとセンサ電極数が多くなり、タッチレイテンシが許容範囲外と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。電極形状の例を下図に示します。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1-12 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、エレメント自体の既定値静電容量と、隣接する電極との間の静電容量が含まれます。



Notice: 「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1.4「シールド」を参照してください。

センサ電極間の推奨分離間隔は、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。

拡張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、電極間の分離間隔を0.5 mm以下にします。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。推奨分離間隔は表1-2を参照してください。

図1-13 ボタンスライダの寸法

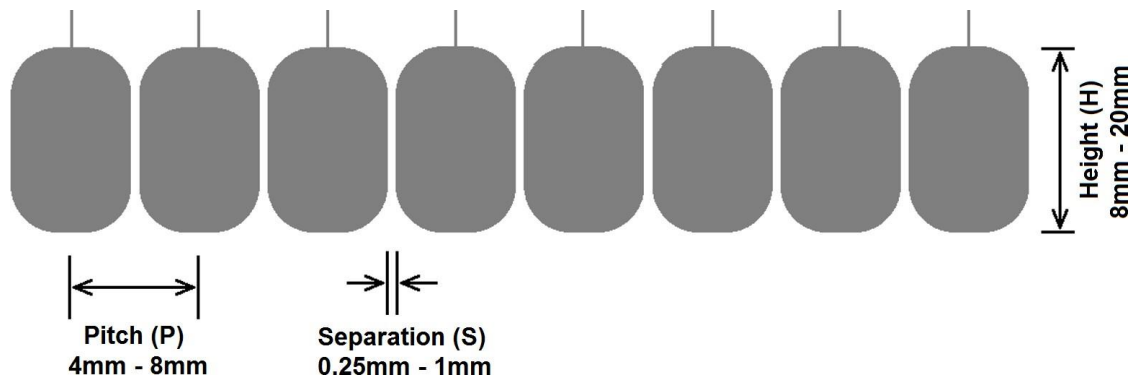


表1-2 ボタンスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダ高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
電極ピッチ(P)	4 mm	6 mm	8 mm

.....続き	Min.	Typ.	Max.
電極間の分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

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間隔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、分離間隔を1 mm以上にしても構いません。

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、分離間隔を小さくしすぎると負荷容量が増大します。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、分離間隔を最大1.5 mmまで大きくする必要があります。推奨分離間隔は表1-3を参照してください。

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。

図1-14 空間的補間を適用したスライダの寸法

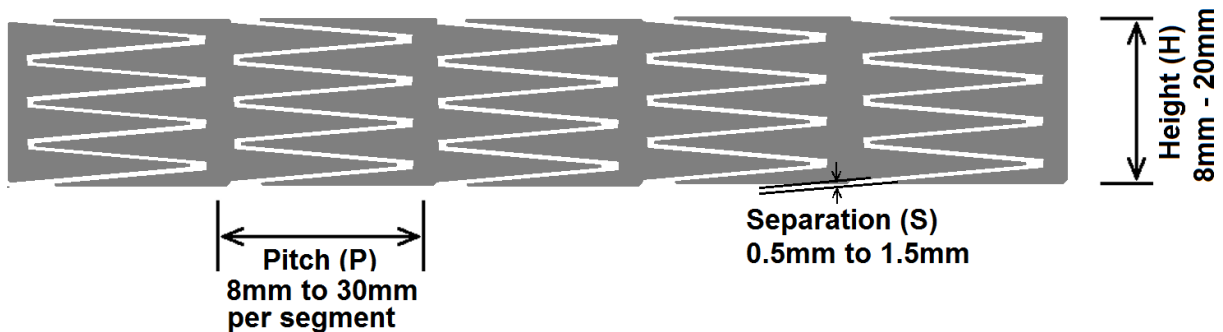


表1-3 空間的補間を適用したスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダ高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
電極ピッチ(P)	8 mm	16 mm	30 mm
電極間の分離間隔(S)	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。

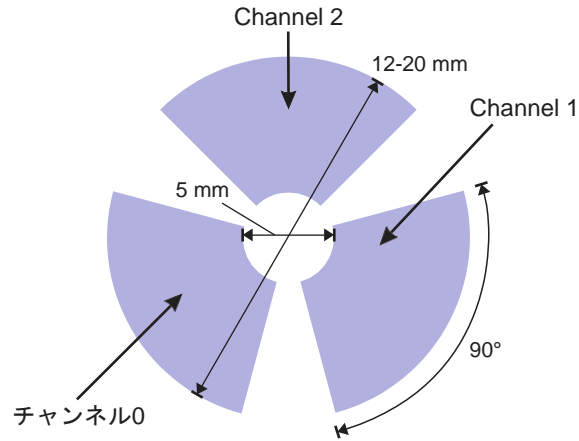


Notice: タッチ位置を特定するには、電極と電極の間のクロスオーバー領域を一意に識別する必要があります。そのため、3個以上の電極が必要です。

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、ホイールはオーバーラップしないディスクリートのセンサで構成できます。

図1-15 3チャンネルのボタンホイール



スライダと同様、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1-16 ボタンホイールの寸法

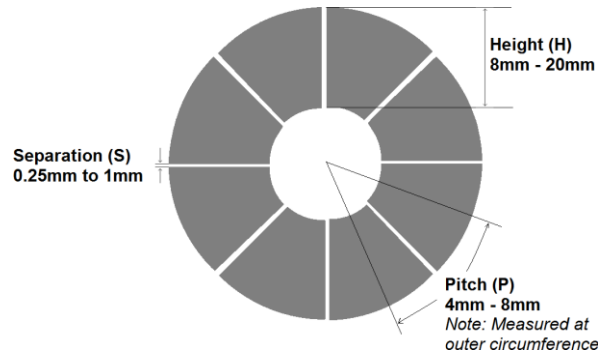


表1-4 ボタンホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
ホイール高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
電極ピッチ(P)	4 mm	6 mm	8 mm
電極間の分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

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、分離間隔を小さくしすぎると負荷容量が増大します。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、分離間隔を最大1.5 mmまで大きくする必要があります。

図1-17 空間的補間を適用したホイールの寸法

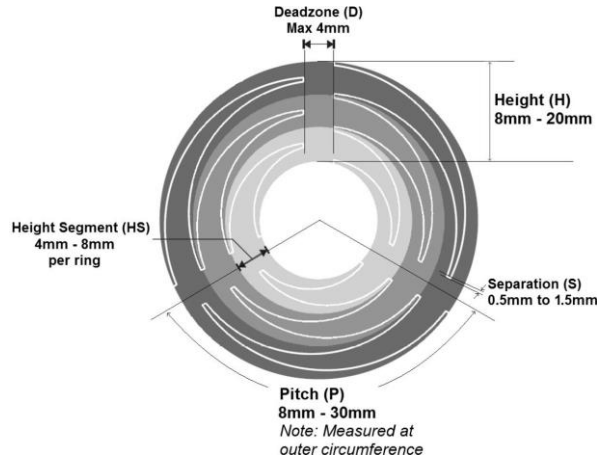


表1-5 空間的補間を適用したホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダ高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
セグメント高さ(HS)	4 mm	6 mm	8 mm
電極ピッチ(P)	8 mm	16 mm	30 mm
電極間の分離間隔(S)	0.5 mm	1 mm	1.5 mm
デッドゾーン(D)	—	—	4 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。この結果値を組み合わせるとタッチ座標を正確に解釈し、2Dジェスチャ (ピンチズーム等のデュアルタッチ ジェスチャ等)を検出します。

最もシンプルな実装は、下図に示す「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、V0~V4が縦方向の位置情報を提供します。

図1-18 タッチサーフェスのダイヤモンドパターン

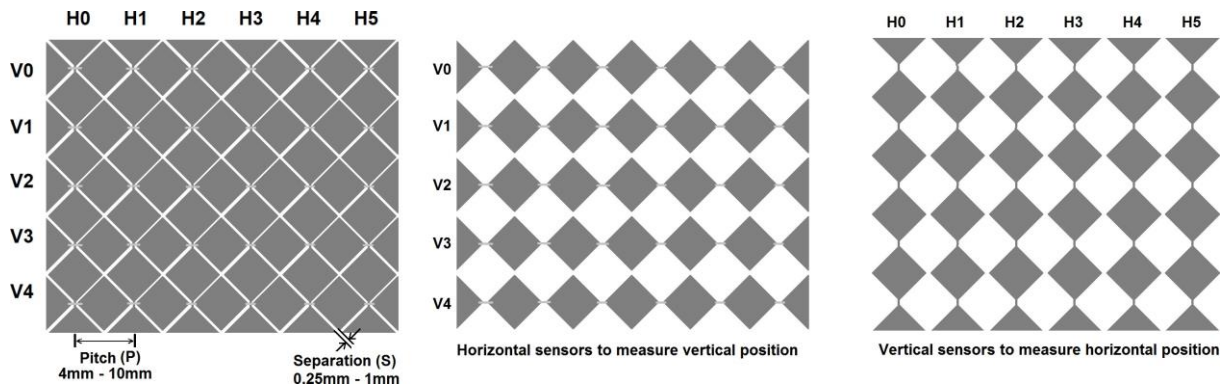


表1-6 ダイヤモンドパターンの寸法

タイプ	Min.	Typ.	Max.
電極ピッチ(P)	4 mm	6 mm	10 mm
電極間の分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

このセンサの形状的特性は、ピッチと分離間隔により表されます。

- ・ 横方向および縦方向のセンサピッチはそれぞれ列および電極の中心間距離です。
- ・ センサ分離間隔は、隣接するダイヤモンドの平行エッジ間の垂直方向の間隔です。

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)を形成します。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あたり、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。しかし、センサが多いほどアクイジション時間が長くなり、応答時間が長くなります。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上げる事ができます。

一例として「フラワー」パターンを下図に示します。このパターンにより、センサアレイの各エレメントと接続するエレメントの間の空間的補間が拡張されます。

図1-19 タッチサーフェスのフラワーパターン

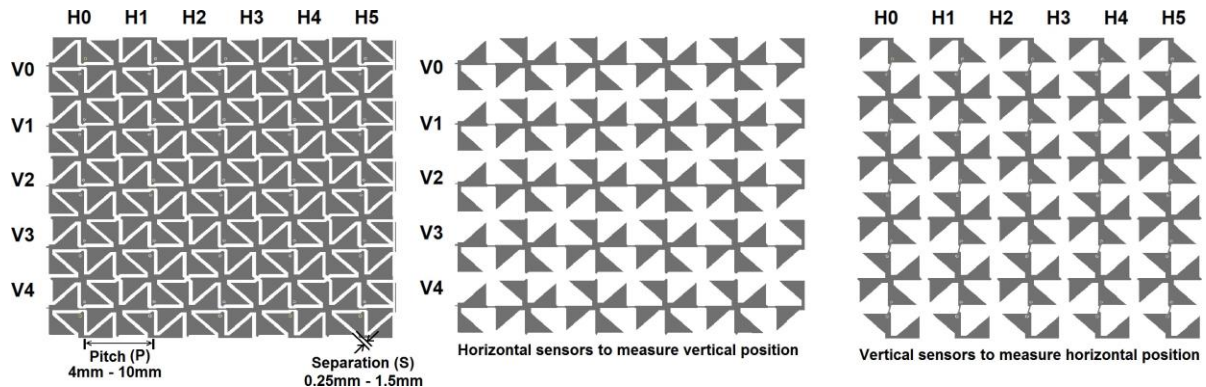


表1-7 フラワーパターンの寸法

タイプ	Min.	Typ.	Max.
電極ピッチ(P)	4 mm	6 mm	10 mm
電極間の分離間隔(S)	0.5 mm	1 mm	1.5 mm

他のセンサの設計と同様、ESDリスクを最小にするため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。



Notice: 2点のタッチを同時に検出するには、タッチの中心間距離がセンサピッチの2倍以上必要です。

1.3 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隔は広がります。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、電極が大きいほど有効接触面積は拡大します。

感度を最大化するため、各センサ電極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。

全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、フラワーパターンのサーフェス)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。

1.4 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。誤検出は電磁干渉 (EMI)以外にも、本来タッチ感度があってはならない場所(基板上の配線等)へのタッチにセンサが反応して発生します。

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、シールド電極がDCレベルに駆動される「パッシブ」シールドと、シールドがアクイジション中の電極と同じ信号で駆動される「アクティブ」シールドに分類できます。



Notice: 特定のデバイスによるシールドサポートの詳細は3「補遺A」を参照してください。

1.4.1 パッシブシールド

- 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。
- 背面銅シールド(電極背後の銅箔層)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(電極と同一層で周囲を囲む)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大するため、RC時定数が増大し、結果としてアクイジション時間が増大します。



Notice: ここでの「グラウンド」には、センサ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。

パッシブセンサは通常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近くを経由する場合、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。

ドリブンシールドを実装できない場合、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ウンド層の間隔よりも大きい場合は注意が必要です。

この問題を改善するには、電極とグラウンドプレーン間隔を可能な限り大きくします。例えば、多層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。

加えて、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、背面グラウ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領域と重ならないため、ベタパターンを使います。

できるだけ感度が低下しないように、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の間隔を保つ必要があります。

図1-20 同一面グラウンドプレーンの分離間隔

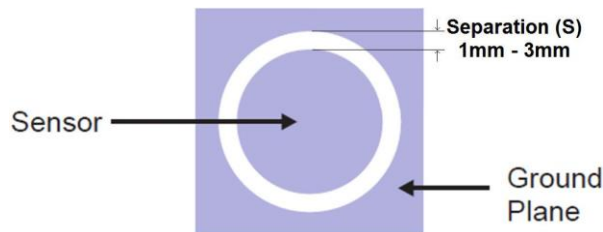
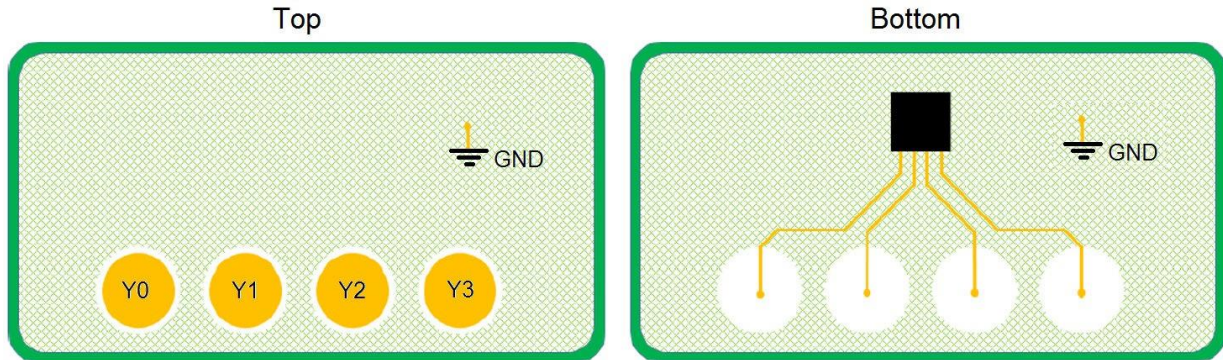


表1-8 センサとグラウンドプレーン間の分離間隔

タイプ	Min.	Typ.	Max.
センサとグラウンドプレーン間の分離間隔(S)	1 mm	2 mm	3 mm

レイアウト例

図1-21 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



センサとグランドの間隔を変えると、いくつかの点でセンサの動作に影響します。

間隔を狭めると、**センサの静電容量**が増大します。比例してセンサ時定数が増大するため、総計測時間も長くなります。センサ電力が大きい、または電極の周囲形状が複雑な場合、グランドとの間隔を大きくしてセンサ容量が過大とならないようにします。

間隔を広げると、**ノイズ耐性**が低下します。グランドシールドを使ってタッチカバー経由のノイズに対してグランドへの低インピーダンス経路を設ける事でノイズ耐性を向上させる事ができます。

間隔を広げると、**耐水性**が向上します。タッチカバーに付着した水により、センサ電極とグランド間の経路で結合が生じトリガが発生します。特にグランドシールドとセンサ電極間隔を狭くした場合、ごくわずかな量の水で結合が生じてしまいます。

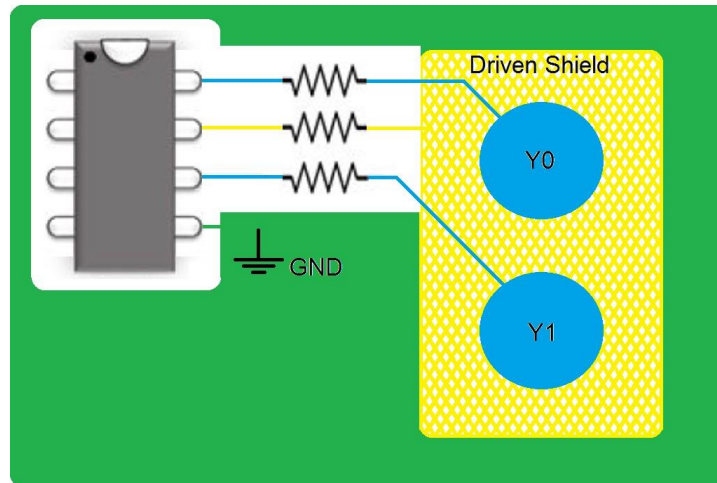
1.4.2 アクティブ シールド

1.4.2.1 ドリブンシールド

- 「シールド」電極を計測中のセンサと同じ信号で駆動します。
- これには専用のシールド電極が必要です。
- 電位差がないため、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が低減または排除され、電極間に電界が存在しません。
- 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。
- 耐水性が向上します。

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大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1-22 ドリブンシールド回路



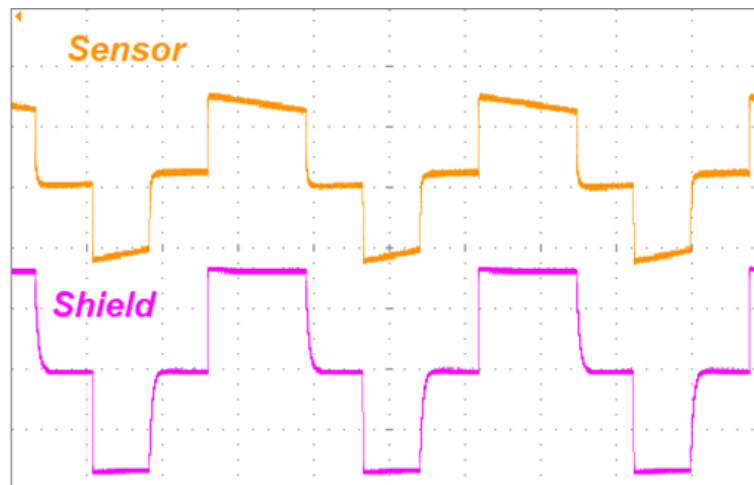
Microchip社のタッチセンサ デバイスでは、2つのクラスのドリブンシールド(3レベルシールドと2レベルシールド)が使えます。

3レベルシールド

3レベルシールドは、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ウ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に対する電氣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。

基板全体に背面シールドを配置する事ができます。また、0.5 mm間隔の同一面シールドは効果が高く、センサを容易にレイアウトできます。

図1-23 レベルシールドの信号



2レベルシールド

2レベルシールドは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があります。ユーザのタッチとセンサシールド電界の相互作用によりタッチ感度が向上します。

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。

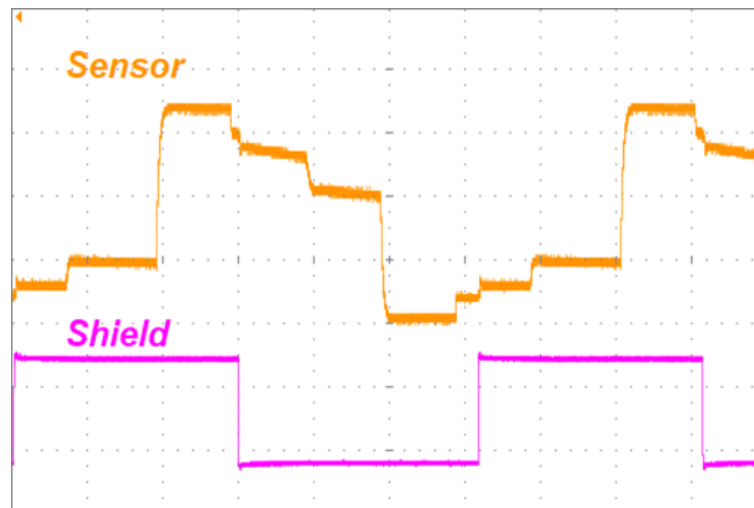
表1-9 センサとシールドの間の分離間隔(2レベルシールド)

タイプ	Min.	Typ.	Max.
センサとシールドの間の分離間隔(S)	1 mm	2 mm	3 mm

シールド電極がセンサ電極に近すぎると、シールドとセンサ間の静電容量がセンサとグランド間の静電容量より大きくなります。その結果SNRの低減や動作の非線形化が生じ、校正エラーが発生する場合があります。

センサトレースと電極は全てシールドとセンサ間の静電容量に寄与するため、この現象は特に2レベルドリブンスールドプラス(1.4.2.2「ドリブンスールドプラス」参照)を使う際に問題となります。

図1-24 レベルシールドの信号



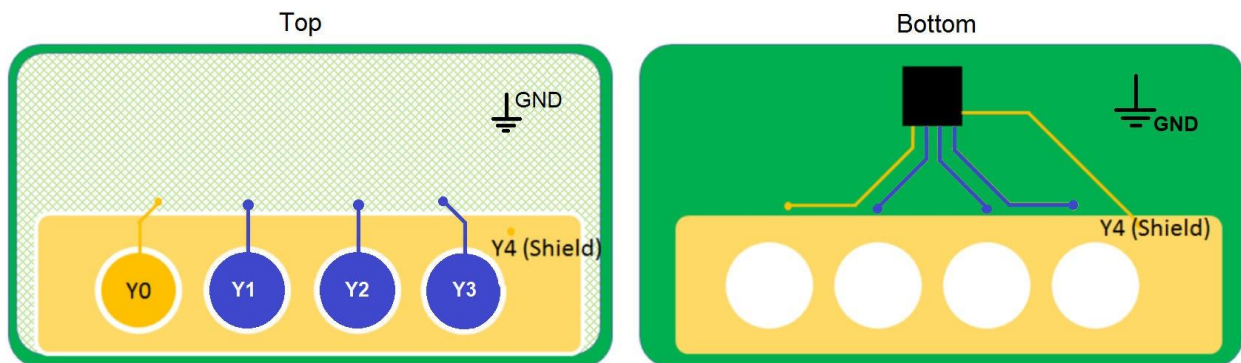
ドリブンスールドの例

タッチセンサの電極と同じ層上に、電極間に適度な間隔を空けて同一面ドリブンスールドを実装します。

電極の背後の層には背面シールドを配置できます。シールドの負荷容量(2レベルシールド)を低減するには、背面シールドを切り欠くかメッシュ状(10~50%メッシュフィル)にします。

図1-25に、センサ領域の周りに同一面シールド、各センサ電極の背後に切り欠きを施した背面シールドのセンサ実装を示します。

図1-25 ドリブンスールドのレイアウト

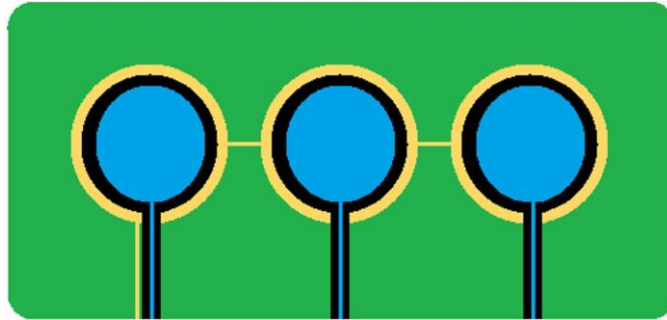


別の方法として、「リングシールド」(図1-23参照)を使って各センサ電極を他のセンサおよびグランドプレーンから分離する事ができます。リングシールドは各タッチセンサを囲んだ同一面シールド電極で構成します。



Notice: 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シンプルにし、単層のセンサ設計が可能になります。

図1-26 リングシールドのレイアウト



1.4.2.2 ドリブンスールド プラス

一部のデバイスではユーザ インターフェイス内のタッチセンサ電極だけでなく、3レベルや2レベル信号によりシールド電極も駆動できます。

タッチセンサに全てのピンを使ってしまってシールド電極用のピンがない場合でも、ドリブンスールド プラスを使うと他のセンサをシールドとして使う事ができます。図1-27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1-27 ドリブンスールド プラスの例

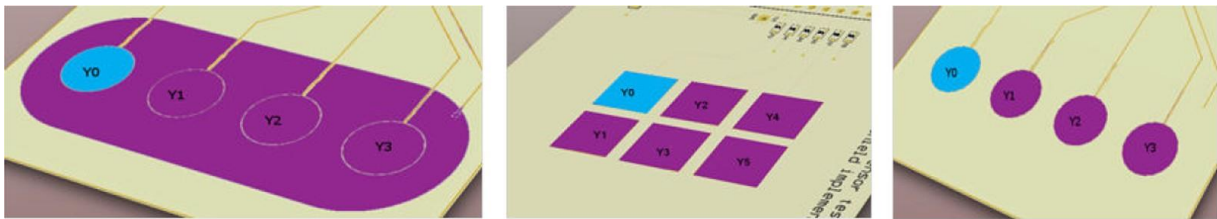


図1-28 グランドに囲まれたセンサ

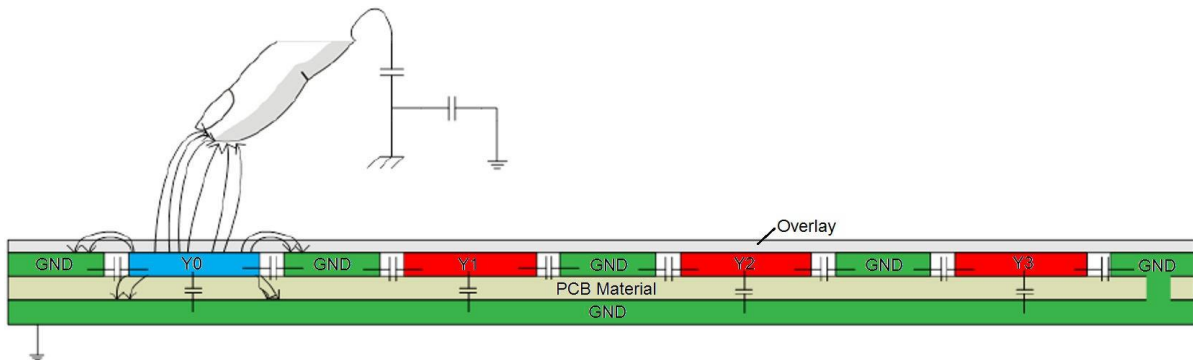
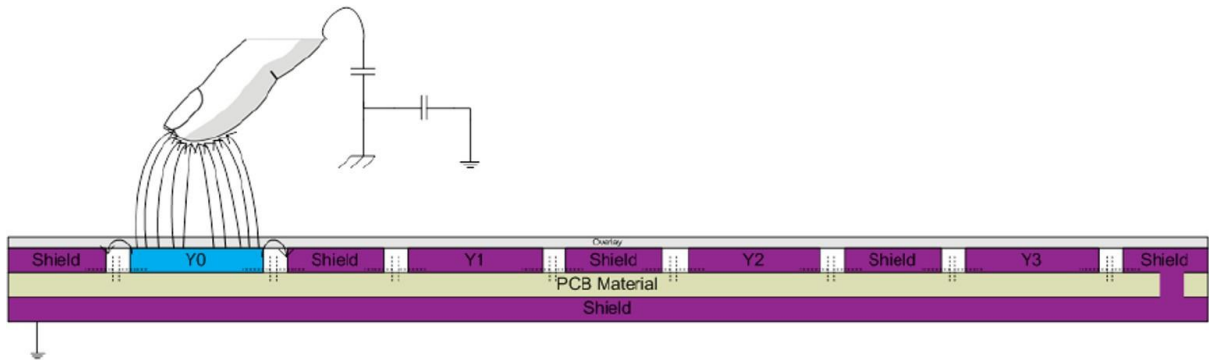


図1-28では、Y0が計測され、他のセンサは全てV_{DD}に維持されています。センサの近くにはグランドベタまたは信号トレースがあります。この状態ではY0とグランドの間に静電容量が生じます。Y0に蓄えられた電荷はグランドと共有され、タッチサーフェスでの電界が弱まり、タッチ感度は低下します。1.4.1「パッシブシールド」で説明した通り、これはセンサとグランドシールドの間隔を大きくする事により改善できます。しかしこの方法は、センサが密集するユーザ インターフェイスには適用できない場合があります。

図1-29 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 プラスを使うと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。

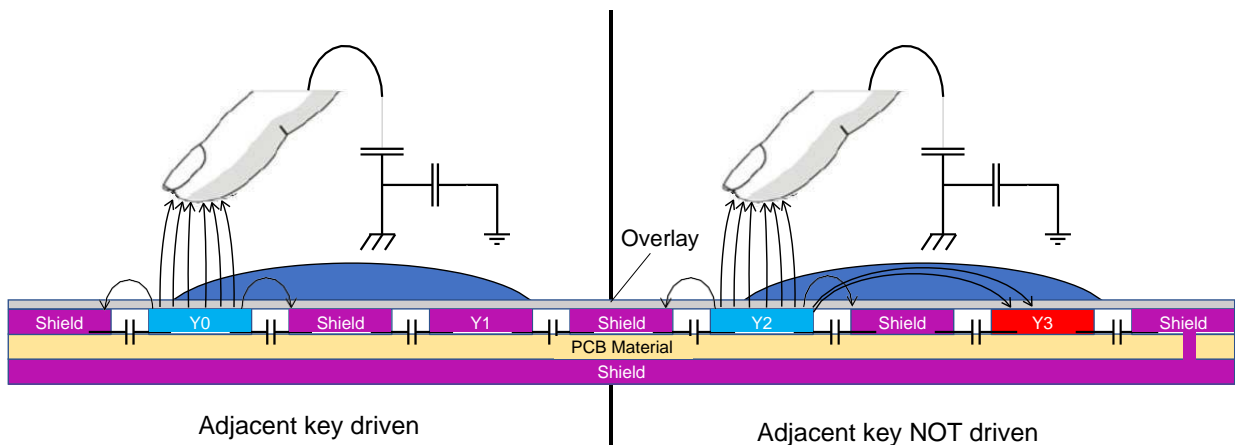
ドリブンシールド プラスの効果により、電界の投影が増強されるため、従来のタッチ設計と近接センサ アプリケーション両方で性能が向上します。

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ければ、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。Microchip社のドリブンシールド プラステクノロジーは全電極を同じ信号で駆動します。従って、キーとキーの間がシールドされていなくても、キー間に水滴が付着した場合のタッチの誤検出を防ぎます。

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ンド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1-30 タッチセンサに付着した水の影響



3レベルシールドの場合、センサの上に水が落ちて、計測信号はほとんど変化しません。シールドはセンサと同じ電位に駆動されるため、電荷移動はありません。

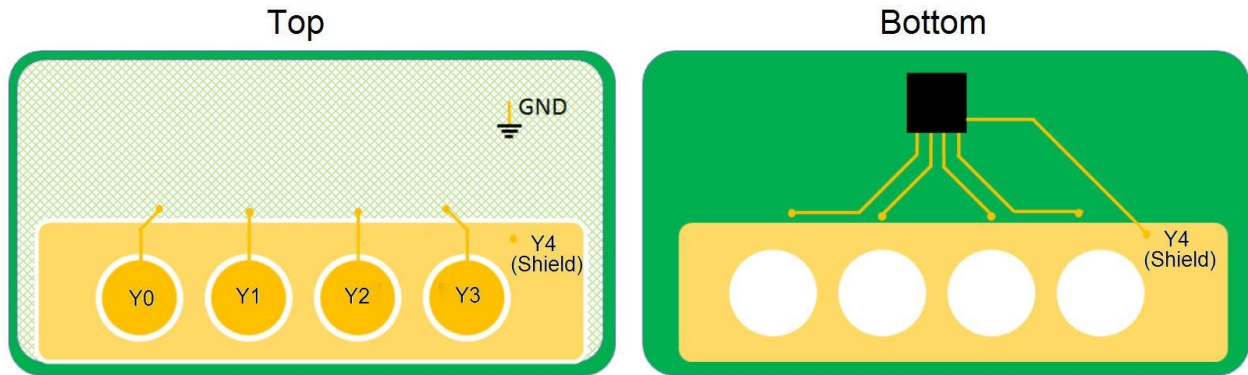
2レベルシールドは自己/相互容量式ハイブリッド計測です。

- 自己容量式センサでは水により静電容量が増大し、タッチデルタが生じます。
- 相互容量式センサでも水により静電容量計測値が大きくなります。しかし通常はユーザのタッチにより相互静電容量が増大するため、結果として計測値はアンチタッチ デルタを示します。
- 以上を組み合わせた影響は以下の通りです。
 - タッチデルタの発生傾向 – 誤検出が生じる可能性があります。

- アンチタッチ デルタ - アンチタッチ再校正により水を除去した時に誤検出が生じる可能性があります。
- 2レベルシールドを実装したセンサの動作は水の量と場所に依存します。その影響はセンサの設計とカバースタックによってある程度改善できますが、アプリケーションの処理に依存します。

図1-31に、同一面および背面ドリブンシールドを実装したセンサレイアウトにおけるドリブンシールド プラスの動作を示します。全センサ電極をシールドとして駆動するため、グランド領域全体に水が付着しない限り、水による誤検出は生じません。

図1-31 ドリブンシールド プラスのレイアウト例



1.4.3 放射性エミッション

アプリケーションと使用環境によっては、ドリブンシールドを使うと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。

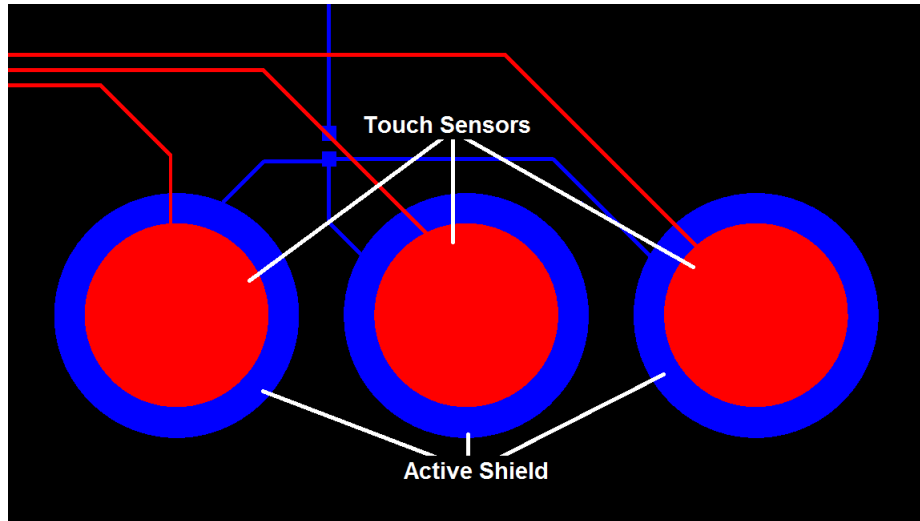
高エミッションは、タッチセンサのスイッチング周波数だけで強く発生するのではなく、MCUコア速度とI/Oピンスルーレートに応じて高い周波数でも発生します。

放射の軽減

シールドからの放射を低減する設計上のテクニックは以下の通りです。

- 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大させ、高周波のエネルギー量を低減します。
- Note:** 抵抗素子のパッケージには寄生容量があり、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。
- ドリブン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シールド電極のパッチを配置します。パッチは各センサの外縁が十分に覆われるようにする必要があります。このレイアウトを図1-32に示します。
 - これらのパッチは1点に集約してから抵抗に接続します(星形結線)。このレイアウトを図1-32に示します。

図1-32 面積を最小にしたドリブンシールド

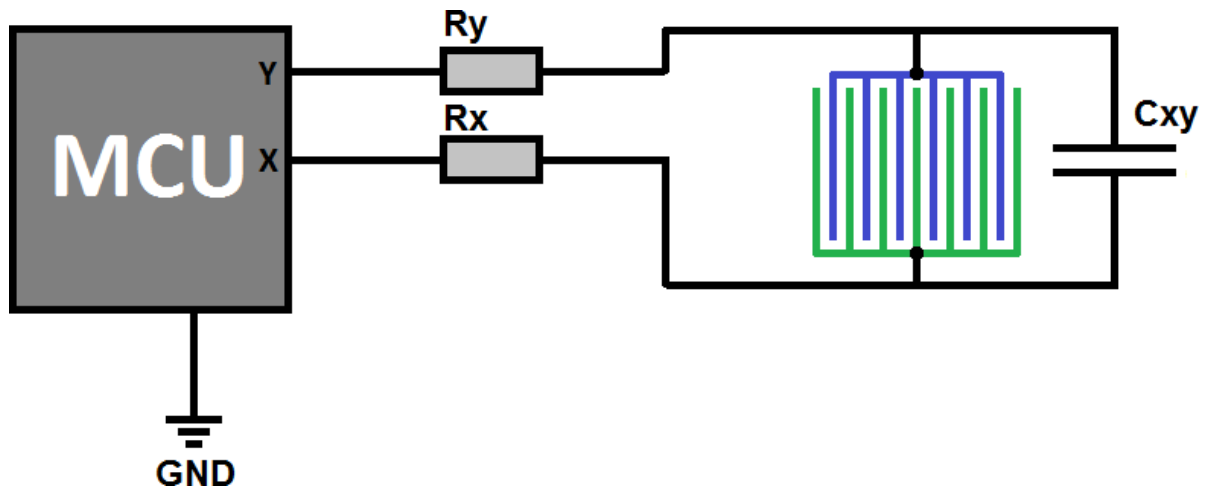


2. 相互容量式センサ

2.1 相互容量式計測

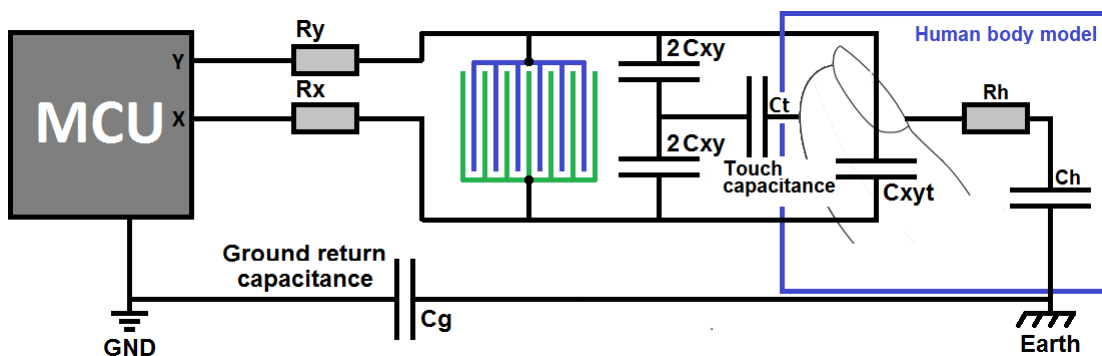
相互容量式タッチセンサは各センサノードで一対の電極を使い、それら電極間の静電容量を計測します。電極同士を近付けて配置する事によりセンサを形成します。センサノードのベース静電容量を形成する2つの導電体の平行区間の長さを最適化するため、通常はインターリーブ(楕形)電極を使います。

図2-1 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。回路内でのタッチ効果をモデル化するため、センサ静電容量 C_{xy} を2つの直列コンデンサ(それぞれの値は $2C_{xy}$)で形成した等価相静電容量に置き換えます。

図2-2 タッチ時の相互容量式センサ



タッチ時は以下の2つの効果が複雑に競合します。

1. 指先はX-Yコンデンサの3つ目の電極を形成し、X-Y間の結合を強めます。これをコンデンサ C_{xyt} でモデル化します。
2. 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 リターン経路が形成される事により、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。



Notice: 計測中は各容量が完全に充放電された状態であるため、HBM抵抗 R_h はタッチ感度に影響を及ぼしません。

C_t

- ・ センサと指先の間直列静電容量

C_{xyt}

- ・ 指先によって生じるXとYの間の並列静電容量

C_h

- ・ 人体モデル(HBM)の静電容量
- ・ 100~200 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機器では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。

等価XY容量は下式によって求めます。

式2-1 等価XY容量

$$C_{eq} = \frac{4C_{xy}^2}{4C_{xy} + C_f} + C_{xyt}$$

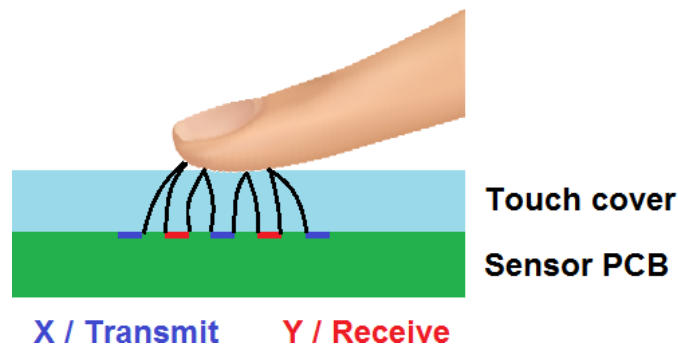
C_t は C_t 、 C_h 、 C_g を直列接続した静電容量です。

2.2 センサ設計

2.2.1 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を簡単に近似する事はできません。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。ユーザのタッチにより、電極ペアの外縁と指先の点間の電界が支配的となって容量が決まります。

図2-3 相互容量式センサの電界



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以下のアプリケーション要件を満たす事ができます。

- 高感度
- 高ノイズ耐性
- 高耐水性
- 小さい既定値センサ容量(アクイジション方式によってはセンサ容量に対する制限あり)
- 低消費電力
- 低タッチレイテンシ

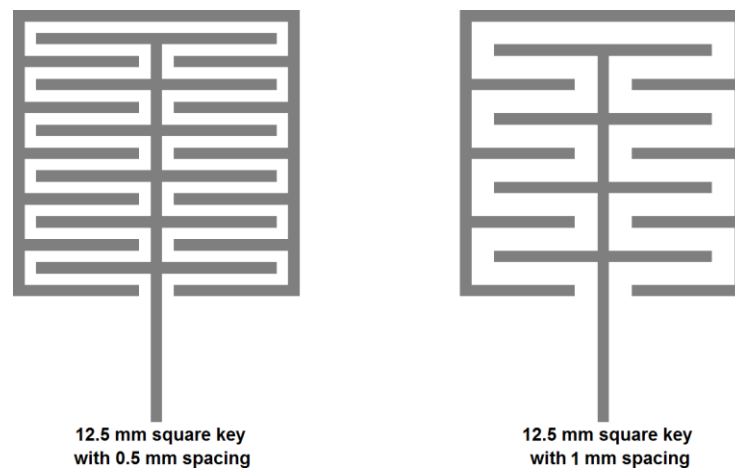
いかなるアプリケーションでも各種要件間で妥協点を見つける必要があります。

例えば、インターリーブ電極を密にすればタッチデルタの最大化を図れます。しかし、センサ静電容量を小さくするにはXとYの間隔を広げる必要があります。

センサ容量を大きくしすぎるとアクイジション時間と消費電力が増大します。

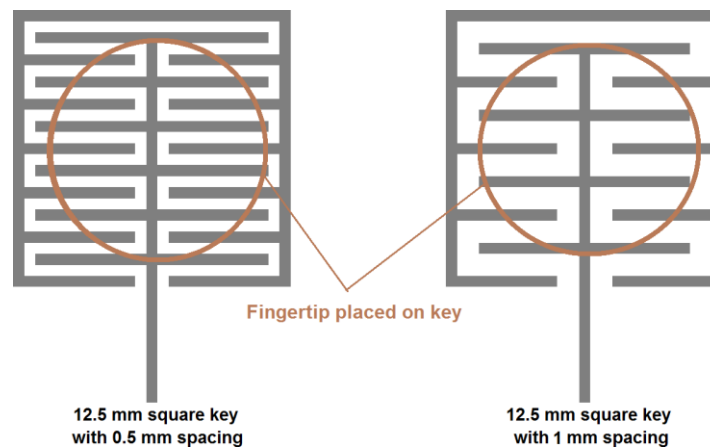
X-Y分離間隔を大きくすると既定値X-Y静電容量が減少し、同エリア内の並行区間も減少します。

図2-4 X/Y電極間の分離間隔(0.5 mmと1 mm)



この間隔が広いと、ユーザがセンサにタッチした時に電極の並行区間のごく一部だけが指で覆われます。この場合、X-Y電界の相互作用が減少するためセンサ感度も低下します。

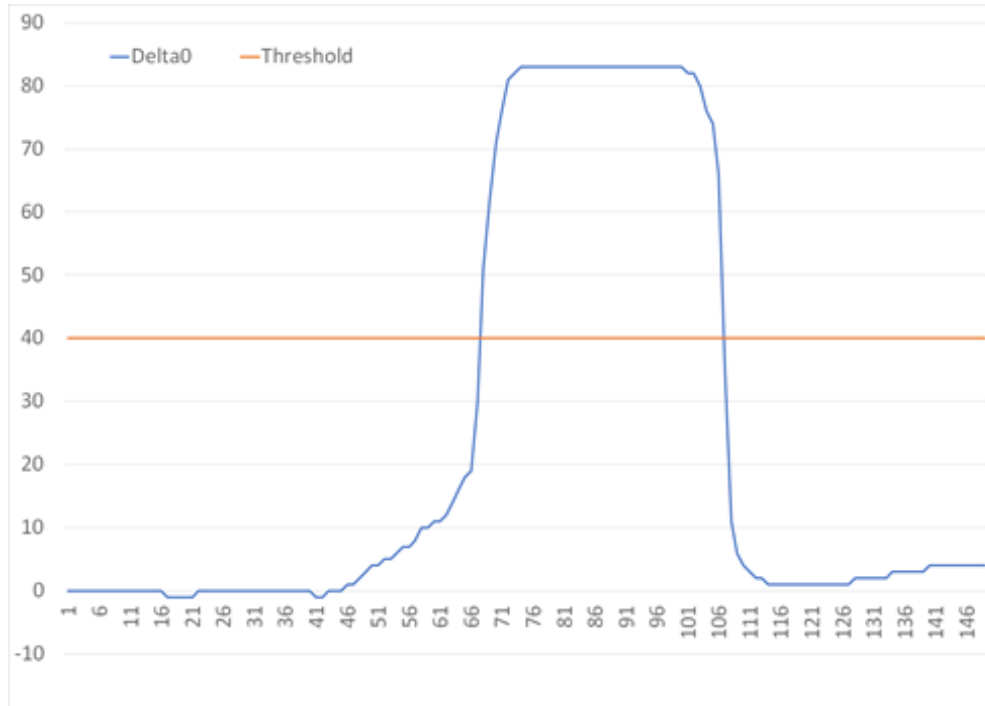
図2-5 12 mmキーのタッチ領域



2.2.2 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X-Y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 を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。

図2-6 ボタンセンサのタッチデルタとしきい値



電極の形状

センサノードはX電極とY電極が結合を生じる領域ならどこでも形成されます。通常のボタンは円形または長方形ですが、X電極とY電極の結合区間が並行であれば任意の形状を形成できます。

インターリーブ電極を使ったキー

最もシンプルなセンサレイアウトは同一面上のインターリーブ電極を使ったキーです。図2-7を参照してください。

インターリーブ電極を使ったキーの幅は通常8~20 mmです。過大なX-Y静電容量(およびそれに伴うアクイジション時間の増大)を避けるため、大きいキーの場合は電極間隔を広くします。

電極セグメント幅は通常、利用可能な最小トラック幅とする必要がありますが、ITO等の高シート抵抗材料上にセンサを形成する場合は最大1 mmまで広くできます。

図2-7 インターリーブ電極を使ったキーの寸法

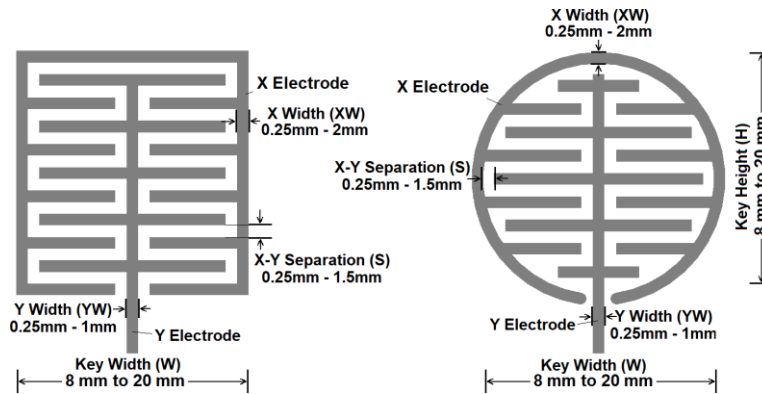


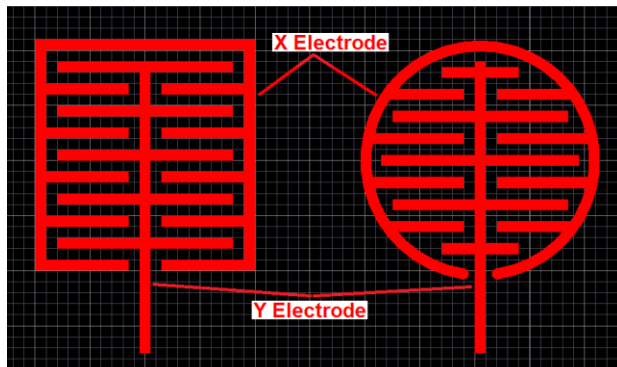
表2-1 インターリーブ電極を使ったキーの寸法

	Min.	Typ.	Max.
キー高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
キー幅(W)	8 mm	12 mm	20 mm
X幅(XW)	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
X-Y分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

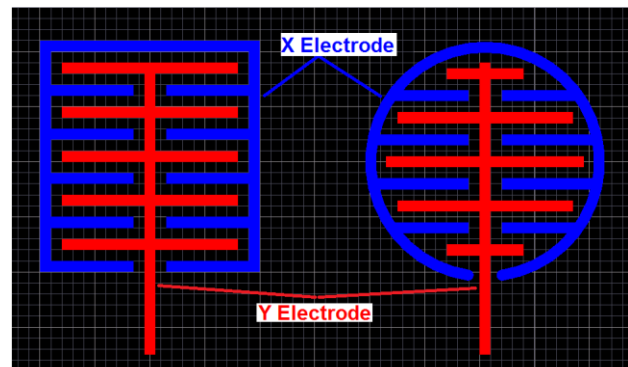
インターリーブ電極を使ったキーは、通常1つの基板層に実装しますが、2層に分けて実装する事もできます。その場合、X電極をタッチサーフェスから遠い方の層に実装します。2層設計では高感度化と既定値センサ容量の低減が可能です。2層を使う事で、X-Y電極の間隔を大きくしながらタッチと重なる平行区間を長くして感度を高めるため、既定値センサ容量を低減できます。

2層のインターリーブ式センサはX電極とY電極の配線が容易になるため、フレキシブル基板への実装に非常に適しています。しかし基板が厚い場合(例: 1.6 mm FR4)、感度が低下します。

図2-8 単層および2層のセンサレイアウト



Standard key - X and Y electrodes both on the top layer



Split level key - X electrodes on bottom layer, Y on top

ベタX電極を使ったセンサ

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

図2-9 ベタX電極を使ったキーのレイアウト

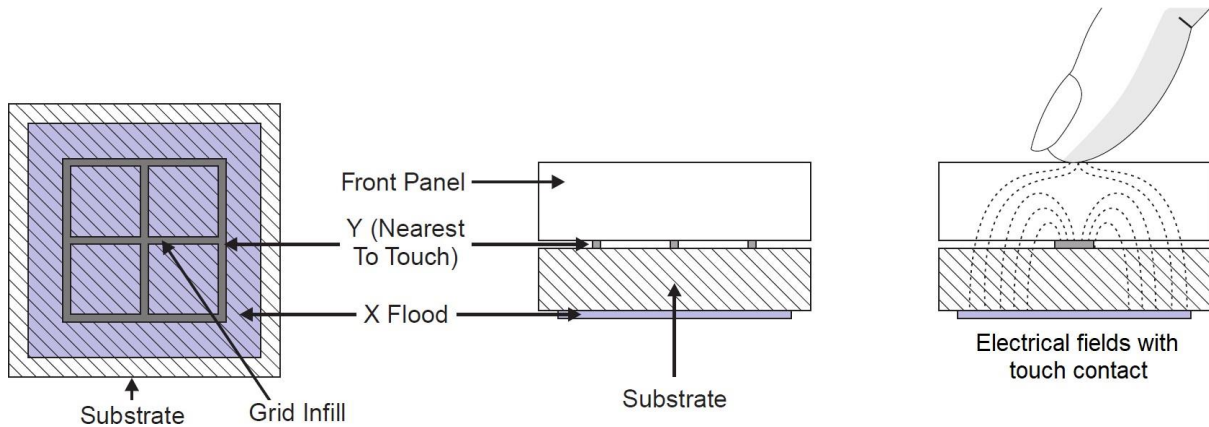


図2-10 ベタX電極を使ったキーの寸法

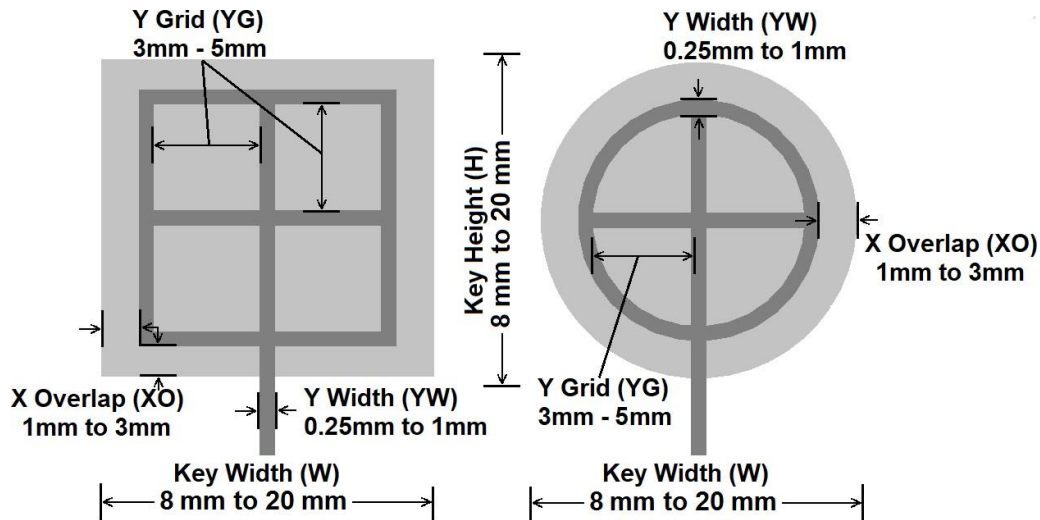


表2-2 ベタX電極を使ったキーの寸法

	Min.	Typ.	Max.
キー高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
キー幅(W)	8 mm	12 mm	20 mm
Xオーバーラップ(XO)	1 mm	2 mm	3 mm
Y幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Yグリッド(YG)	3 mm	4 mm	5 mm

このレイアウトにより、X領域によってX電極の背後の回路ノイズからY電極をシールドできます。しかし、厚いタッチカバーが必要なアプリケーションではX電極の感度が低下します。

一般的に、ベタのX電極は2電極を分離しているタッチカバーがセンサ基板よりも薄い場合のみ使います。一般的な1.6 mm FR4基板を使う場合、1.6 mmよりも厚いタッチカバーは使えません。



Notice: 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。薄い基板に合わせてタッチカバーも薄くする必要があります。



Notice: 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。5「補遺C」を参照してください。

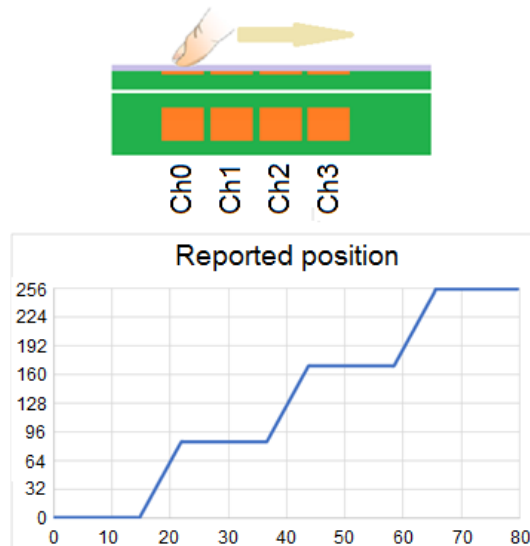
2.2.3 スライダセンサの設計

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。

スライダ幅は8~20 mmとします。過大なXY静電容量(およびそれに伴うアキュイジション時間の増大)を避けるため、大きいキーの場合は電極の寸法と間隔も大きくします。

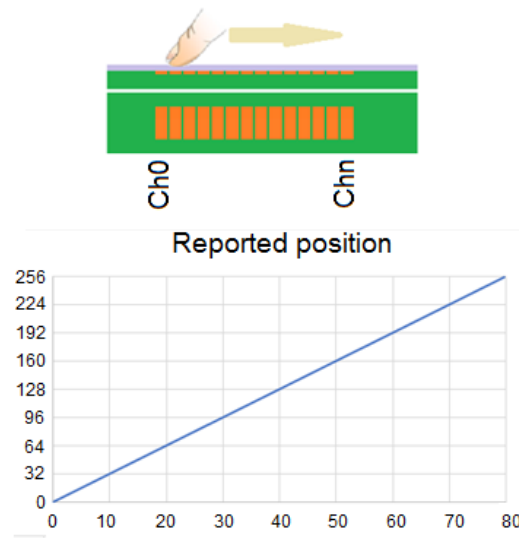
前述のように、補間せずに大きなセンサを使うと直線性が低下します。

図2-11 補間なしのスライダ



これは、センサ数を増やしセンサ幅を狭める事で改善できますが、総計測時間が長くなりタッチチャンネルの使用が制限されます。容量性または抵抗性補間を実装すると、スライダの直線性を向上させる事ができます。

図2-12 良好に補間できるスライダ



インターリーブ電極を使ったスライダ

空間的補間を適用すると、少ないセンサ数で良好な直線性が得られます。これは、X電極とY電極を交互に配置してセンサノードを形成するインターリーブレイアウトを使って実装できます。

通常はセンサ配線を容易にするため1つのセンサラインと複数のXセンサラインを使います。これにはYラインの負荷容量と時定数増大が伴うため、Yセンサラインのトレースには注意が必要です。

図2-13 インターリーブ電極を使ったスライダのレイアウト

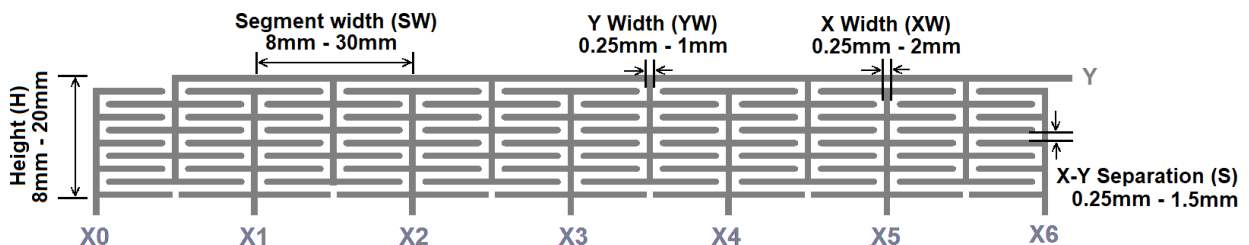


表2-3 インターリーブ電極を使ったスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダ高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
セグメント幅(SW)	8 mm	12 mm	30 mm
X電極幅(XW)	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y電極幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
X-Y分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

インターリーブ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、空間的補間を強化できます。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と同じです。

図2-14 ベタX電極を使ったスライダのレイアウト

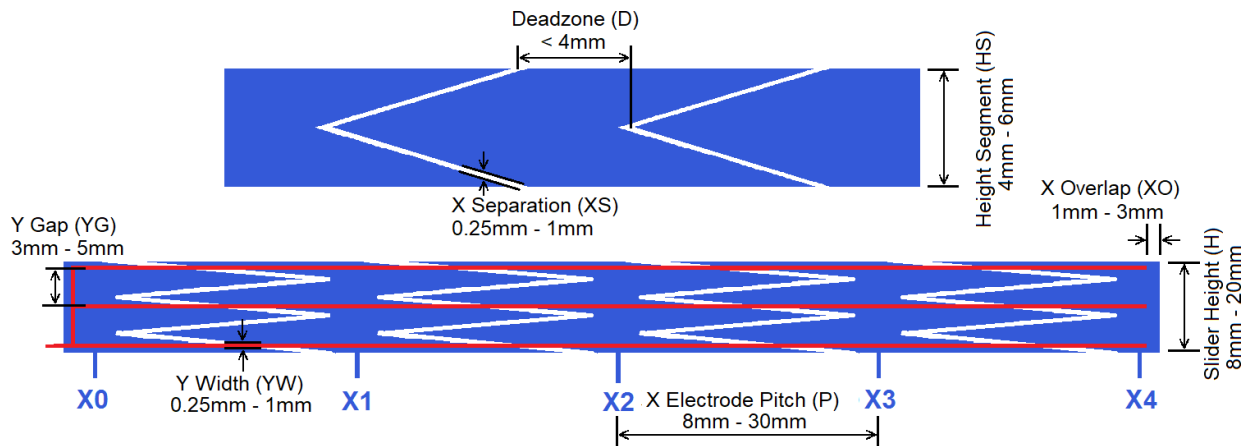


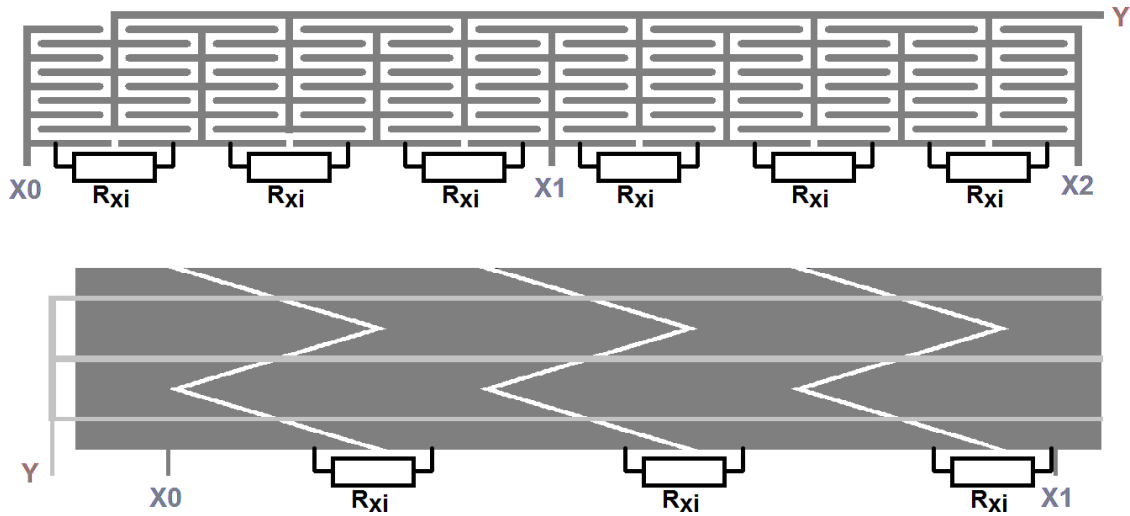
表2-4 ベタX電極を使ったスライダの寸法

	Min.	Typ.	Max.
スライダ高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
セグメント高さ(HS)	4 mm	5 mm	6 mm
X電極ピッチ(P)	8 mm	12 mm	30 mm
Xセグメント分離間隔(XS)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
X電極オーバーラップ(XO)	1 mm	2 mm	3 mm
デッドゾーン(D)	-	2 mm	4 mm
Y電極幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Yギャップ(YG)	3 mm	4 mm	5 mm

抵抗性補間

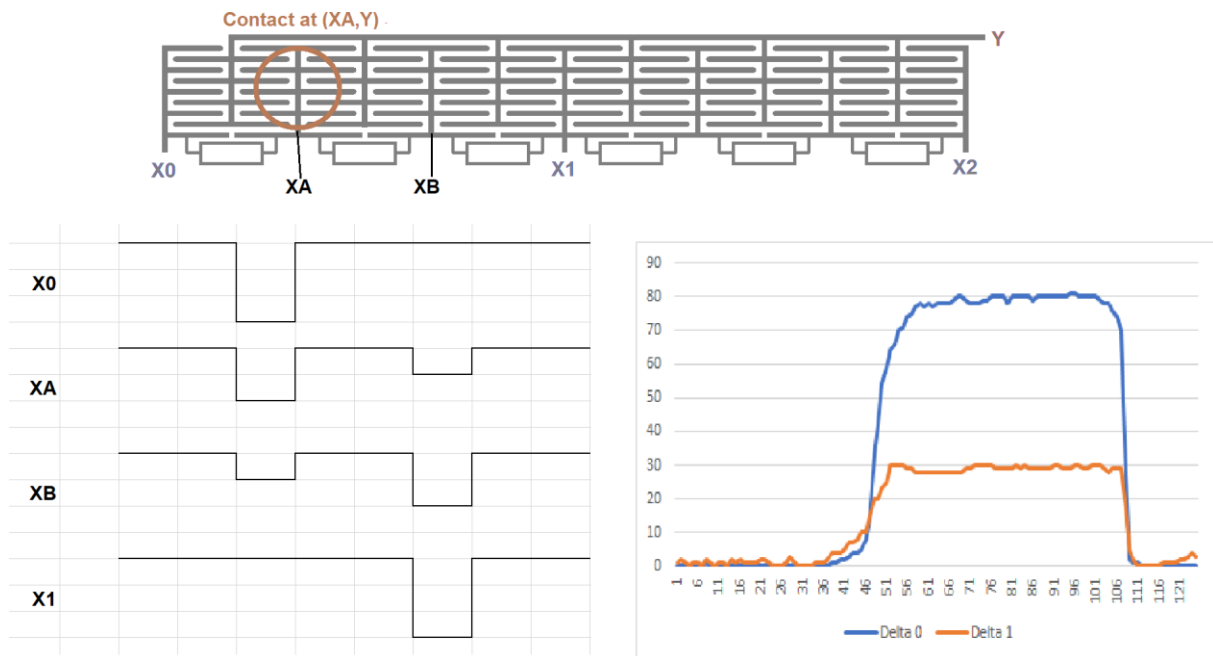
スライダにインターリーブ電極またはベタX電極のどちらを使った場合も、一部のセンサノード間に抵抗性補間を適用する事により、直線性を維持しながら計測するセンサノードの数を減らす事ができます。

図2-15 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。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。

図2-16 抵抗性補間によるタッチ位置



中間ノードXA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ノードX0とX1で生じます。XAとXBでパルス幅が減少すると、これらの位置で比例してタッチデルタが小さくなり、ノード(X0,Y)と(X1,Y)の間が補間されます。

図の例の2つの中間ノードで計測されたデルタは(X0,Y)で2/3、(X1,Y)で1/3です。

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。

2.2.4 ホイールセンサの設計

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



Notice: 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ります。そのため、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。

センサ幅は8~20 mmとします。過大なXY静電容量(およびそれに伴うアクイジション時間の増大)を避けるため、大きいセンサの場合は電極間隔を広くします。

電極セグメント幅は通常、できるだけ小さなトラック幅とする必要があります。ただし、ITO等の高シート抵抗材料上にセンサを形成する場合は最大1 mmまで大きくできます。

インターリーブ電極を使ったホイール

インターリーブ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電極を同一の基板層に形成します。既定値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2-17 インターリーブ電極を使ったホイールのレイアウト

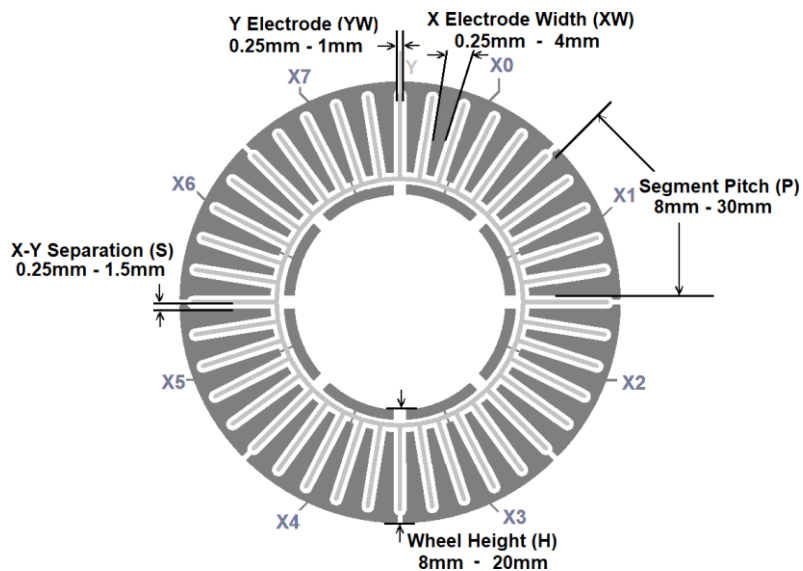


表2-5 インターリーブ電極を使ったホイールの寸法

	Min.	Typ.	Max.
ホイール高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
セグメント幅	8 mm	12 mm	30 mm
X電極幅	0.25 mm	0.5 mm	4 mm*
Y電極幅	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
電極間隔	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm



Notice: ・テーパー部の寸法は両端でこのレンジ内である必要があります。

ベタX電極を使ったホイール

ベタX設計のX電極をY電極とは異なる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、インターリーブ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と同じです。

ホイールは4~6 mmの同心円セグメントで構成され、各セグメントはインターリーブ電極を使ったパターンを収めています。センサは、必要な幅を構成するのに十分な数のセグメントを収めている必要があります。

図2-18 ベタX電極を使ったホイールのレイアウト

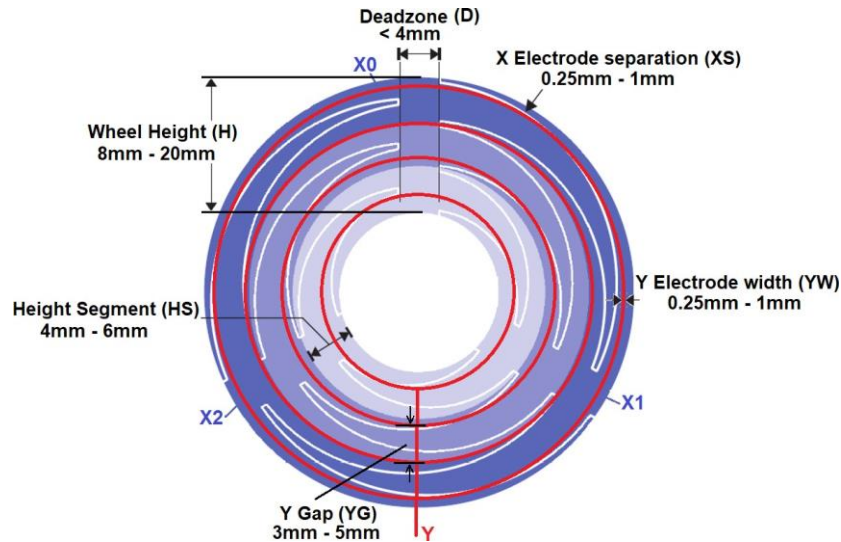


表2-6 ベタX電極を使ったホイールの寸法

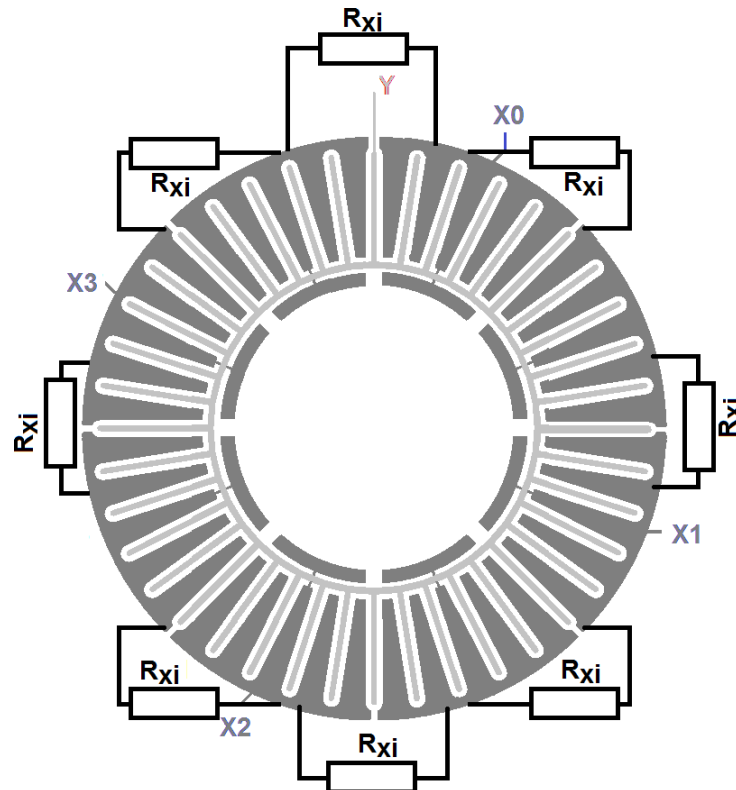
	Min.	Typ.	Max.
ホイール高さ(H)	8 mm	12 mm	20 mm
セグメント高さ(HS)	4 mm	5 mm	6 mm
X電極ピッチ(P)	8 mm	16 mm	30 mm
X電極分離間隔(XS)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
X電極オーバーラップ(XO)	1 mm	2 mm	3 mm
デッドゾーン(D)	-	2 mm	4 mm
Y電極幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Yギャップ(YG)	3 mm	4 mm	5 mm

抵抗性補間

同一面X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。

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。

図2-19 抵抗性補間を適用したホイール



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ます。パルス幅が減少すると、これらの位置でのタッチデルタが比例して減少し、計測ノード間が補間されます。

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。

2.2.5 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せられて横方向と縦方向のスライダ機能が実装されます。



Notice: 2点のタッチを検出するには、別々のタッチポイントとして検出されるように、タッチの中心間距離がセンサピッチの2倍以上である必要があります。

インターリーブ電極を使ったサーフェス

インターリーブ電極を使ったスライダパターンを2次元に拡張する事でサーフェスセンサを形成できます。このサーフェス パターンでは各行を左方から右方へ、各列を上方から下方へと連結しず。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実装して接続部のみ第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2-20 インターリーブ電極を使ったサーフェスセンサのレイアウト

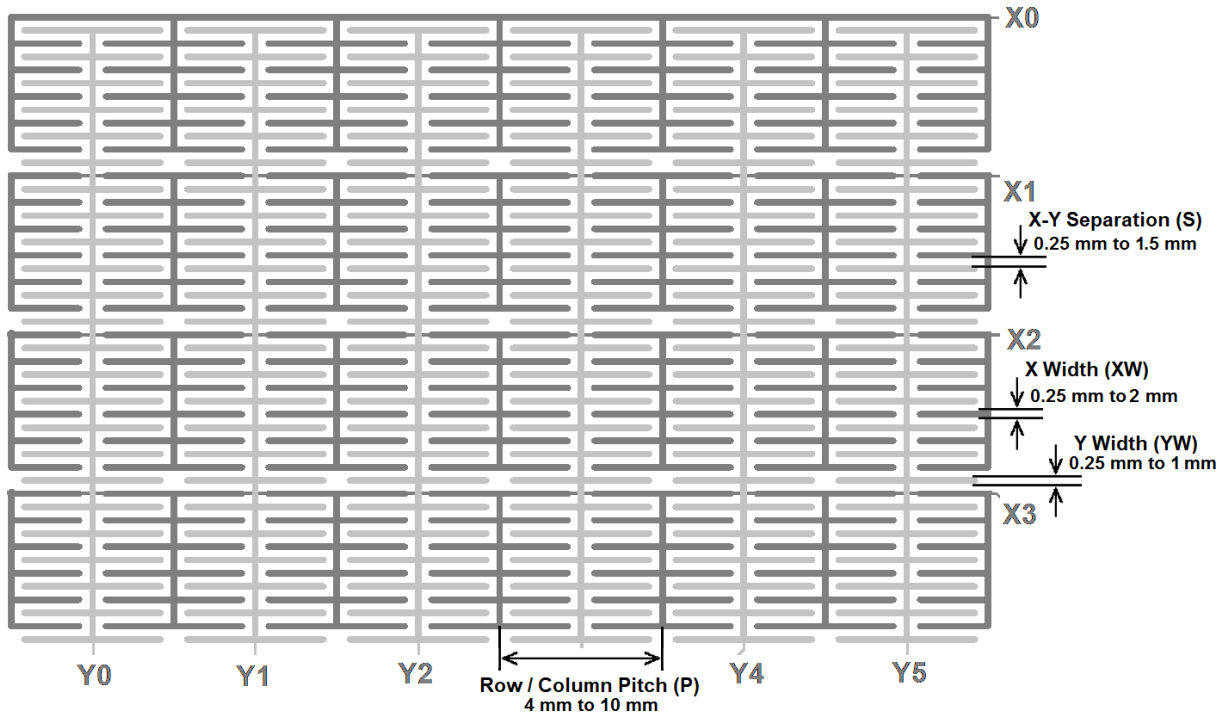


表2-7 インターリーブ電極を使ったサーフェスセンサの寸法

	Min.	Typ.	Max.
行/列ピッチ(P)	4 mm	6 mm	10 mm
X電極幅(XW)	0.25 mm	0.5 mm	2 mm
Y電極幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
XY分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1.5 mm

ダイヤモンドパターン

2.2.5「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します。



Notice: 入れ替え可能なXY電極での実装(ピンをX電極として駆動またはY電極として計測)は、感度が一定となるように同じ基板層に配置します。

図2-21 相互容量式サーフェスセンサのダイヤモンドパターン

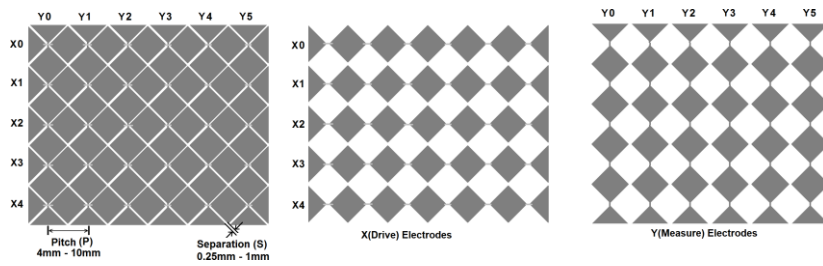


表2-8 ダイヤモンドパターンの寸法

	Min.	Typ.	Max.
行/列ピッチ(P)	4 mm	6 mm	10 mm
XY分離間隔(S)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

同様に、相互容量式サーフェスにも1.2.5「サーフェスセンサの設計」のフラワーパターンサーフェスを使えます。

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2-22 ベタX電極を使ったパターン

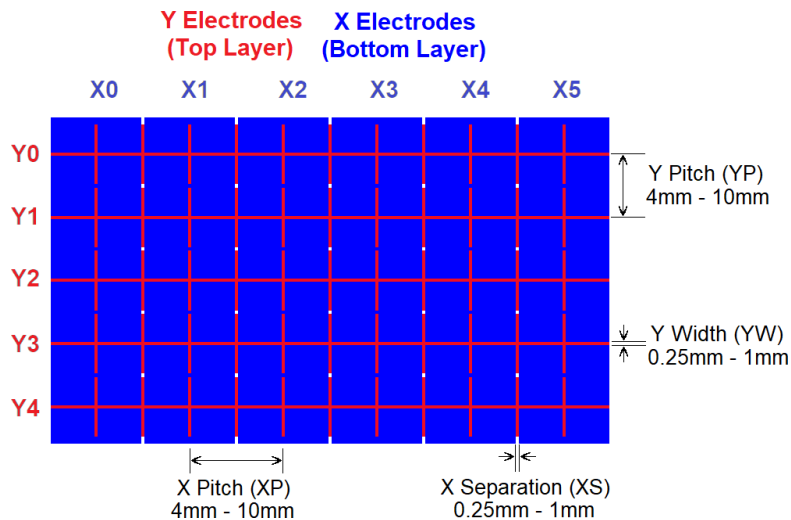


表2-9 ベタX電極を使ったパターンの寸法

	Min.	Typ.	Max.
Yピッチ(YP)	4 mm	6 mm	10 mm
Y幅(YW)	0.25 mm	0.5 mm	1 mm
Xピッチ(XP)	4 mm	6 mm	10 mm
X分離間隔	0.25 mm	0.5 mm	1 mm

2.3 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隔が広がり、それらの間に形成される電界は拡散します。タッチ静電容量は減少しますが、電極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/ホイール最小幅は下式で求めます。
(8 mm + (2 × 1 mm) = 10 mm

タッチカバーの厚さが3 mmである場合、これは(mm + (2 × 3 mm) = 14 mm)まで増大します。

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、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がり、レポートされるタッチ位置の精度が向上します。

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層の間隔よりも厚いタッチカバーを使わない事を推奨します。

2.4 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、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分離できます。

2.4.1 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他の電源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大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隔よりも大きい場合に注意する必要があります。

この問題を改善するには、電極とグラウンドプレーンの間隔を可能な限り大きくします。例えば、多層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、シールド効果を得ながら感度低下を抑える事ができます。

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、タッチセンサ同士の間を分離すると共に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、このグランドシールドと全てのタッチセンサの間に約2 mmの間隔を保ちます。耐水性を向上させる場合、この間隔を拡げても構いません。ただし間隔が5 mmを超えるとシールドの効果は低下します。

図2-23 同一面グランドプレーンの分離間隔

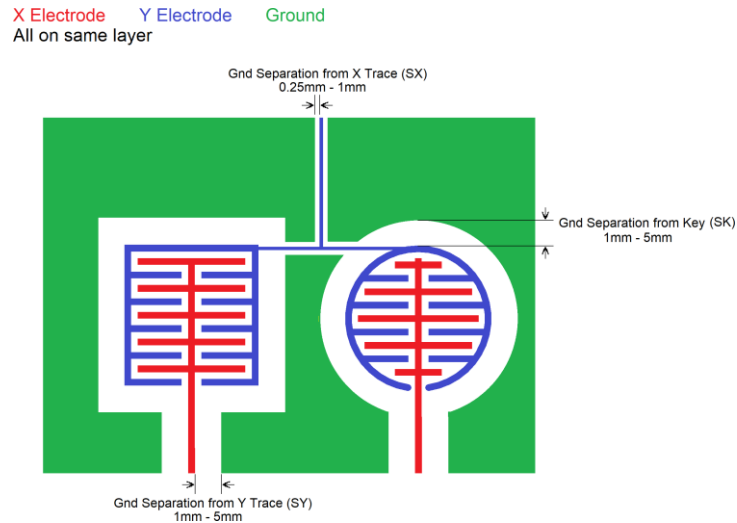


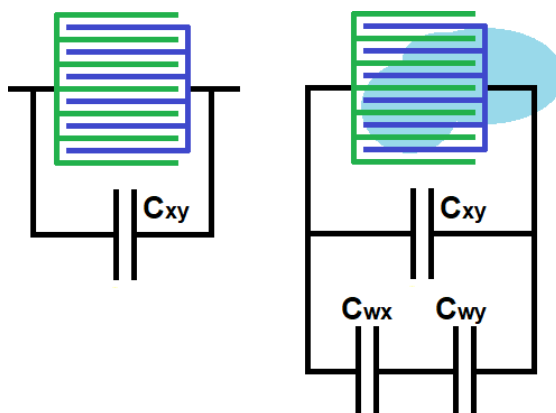
表2-10 センサとグランドプレーン間の分離間隔

	Min.	Typ.	Max.
キーからのグランド分離間隔(SK)	1 mm	2 mm	5 mm
Yトレースからのグランド分離間隔(SY)	1 mm	2 mm	5 mm
Xトレースからのグランド分離間隔(SX)	0.25 mm	0.25 mm	1 mm

2.4.2 耐水性

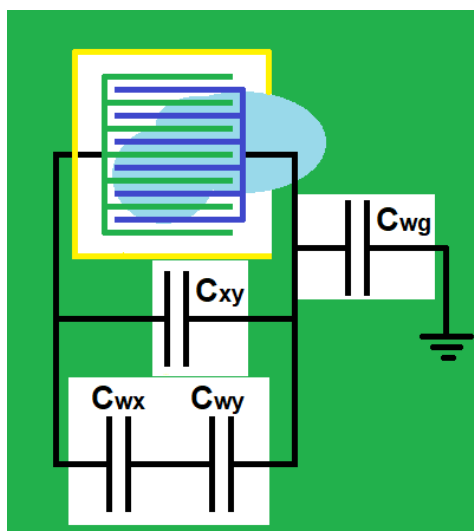
相互容量式センサの場合、分離されたセンサノードに水滴が付着しても誤ったタッチ検出は生じません。水滴とXラインの間に形成される静電容量 C_{wx} および水滴とYラインの間に形成される静電容量 C_{wy} により、X-Y間の結合は強まるものの、水滴は顕著なグランドリターン経路を提供しないため、センサは負のタッチデルタを示します。これはしばしば「アンチタッチ」と呼ばれます。

図2-24 分離されたセンサ上の水滴



多くの設計では、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容量結合を形成し、グランドリターン結合を強めます。その結果、タッチデルタが増大してタッチの誤検出を招く可能性があります。

図2-25 センサとグランドベタにまたがる水滴



3. 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

4. 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)

5. 補遺C

デバイスファミリ	ペタX電極への適性 ⁽¹⁾
ATtiny81X/161X/321X	Yes
ATmega324PB/ATmega328PB	No
ATSAML10/L11	Yes
ATSAML22	No
ATSAMC20/C21	No
ATSAMD10/D11	No
ATSAMD20/D21/DA1/ATSAMHA1	No
ATSAML21	No
ATSAMD51/ATSAME51/E53/E54	Yes

Note: 1. Yes = XラインのI/O駆動をサポートします。

6. 改訂履歴

文書リビジョン	日付	内容
B	2020年07月	セクションを再構成し、図を更新しました。
A	2019年02月	初版

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提供しています。以下を含む各種の情報がご覧になれます。

- **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

製品変更通知サービス

Microchip社の製品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。

<http://www.microchip.com/pcn>にアクセスし、登録手続きをしてください。

お客様サポート

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。

- 正規代理店
- 弊社営業所
- 技術サポート

サポートは正規代理店に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。 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関し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、通常の場合ならびに仕様に従って使った場合、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て対応策に取り組んでまいります。
- 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は、デジタル ミレニアム著作権法の定めるところ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、更新によって変更となる事があります。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、AdapteC、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、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。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZLは米国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、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、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。

AdapteCロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcomはその他の国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

GestICは、その他の国におけるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Inc.の子会社)の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2020, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-5224-7018-2

品質管理システム

Microchip社の品質管理システムについてはwww.microchip.com/qualityをご覧ください。



MICROCHIP

各国の営業所とサービス

南北アメリカ

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/support>
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

アジア太平洋

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 - 廈門
Tel: 86-592-2388138

中国 - 珠海
Tel: 86-756-3210040

アジア太平洋

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 - プネ
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 - ペナン
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

欧州

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: 45-4485-5910
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 - ガーヒンク
Tel: 49-8931-9700

ドイツ - ハーン
Tel: 49-2129-3766400

ドイツ - ハイムブロン
Tel: 49-7131-72400

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 - ドリュエネン
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

ノルウェー - トロンハイム
Tel: 47-7288-4388

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 - マドリード
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 - ウォーキングム
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820