

静電容量センサマイコン

静電容量タッチ電極デザインガイド

要旨

本書は、静電容量タッチ検出回路（CTSUS）を内蔵するマイコンの電極設計および設計例について説明します。

動作確認デバイス

CTSUS搭載 RX ファミリ、RA ファミリ、RL78 ファミリ MCU、Renesas Synergy™

（CTSUSには CTSU2、CTSU2L、CTSU2SL 等を含みます）

目次

1. 概要	3
2. 自己容量方式ボタンの設計ガイド	3
2.1 推奨設計要旨	3
2.2 自己容量方式の概念	4
2.3 CTSUSの自己容量方式検出原理	5
2.4 電極パターン設計	6
2.4.1 電極パッドと配置	7
2.4.2 配線	8
2.5 ノイズ対策設計	11
2.5.1 シールドガードによる対策	11
2.5.1.1 パターン設計	11
2.5.1.2 GND シールド	12
2.5.1.3 アクティブシールド（CTSUS2 機能）	13
2.6 パネル厚影響	15
2.6.1 パネル厚とタッチ感度の関係	15
2.6.2 パネル厚とクロストークの関係	15
2.7 設計応用例	16
2.7.1 スライダ電極レイアウトパターン設計例	16
2.7.2 ホイール電極レイアウトパターン設計例	16
2.7.3 フィルム状基板	17
2.7.4 LED 配線	17
2.7.4.1 直接灯火の例	17
2.7.4.2 間接灯火（導光板使用）	18
2.7.5 パネルとボタン電極が離れている場合	18
3. 相互容量方式 電極レイアウトパターン	19
3.1 概要	19
3.2 推奨設計要旨	20
3.3 相互容量方式の概念	21
3.4 CTSUSの相互容量方式検出原理	21

3.5	電極パターン設計.....	22
3.6	空気層.....	24
3.7	タッチ面から電極までの距離.....	24
3.8	電極配線取回し設計.....	25
3.9	ノイズ対策設計.....	26
3.9.1	パターン設計.....	26
3.9.2	シールドガードによるノイズ対策.....	26
3.10	設計応用例.....	28
3.10.1	耐水電極レイアウトパターン設計.....	28
3.10.2	LED 配線レイアウト.....	29
3.10.2.1	直接灯火の例.....	29
3.10.2.2	間接灯火の例.....	30
4.	参考ドキュメント.....	31
5.	自己容量方式ボタン設計と特性データ.....	32
5.1	自己容量方式ボタンの感度 (SNR).....	32
5.2	CTSU の計測レンジと感度の関係.....	33
5.3	評価条件.....	34
5.4	設計パラメータと感度特性.....	36
5.4.1	電極サイズ.....	36
5.4.2	配線長.....	38
5.4.3	複数ボタン設計.....	40
5.4.3.1	配線間隔.....	40
5.4.3.2	ボタン間隔.....	43
5.4.4	GND パターン設計.....	45
5.4.4.1	電極シールド間隔.....	45
5.4.4.2	配線シールド間隔.....	47
5.4.4.3	内層 GND の影響.....	49
5.4.4.4	メッシュシールド幅.....	51
5.4.4.5	メッシュシールド開口率.....	54
5.4.5	アクティブシールド設計.....	56
5.4.5.1	アクティブシールドの面積.....	56
5.4.5.2	電極とアクティブシールドの間隔.....	58
5.4.5.3	配線とアクティブシールドの間隔.....	60
5.4.5.4	アクティブシールドとベタ GND との距離.....	62
5.4.5.5	アクティブシールド幅.....	64
5.4.5.6	アクティブシールド端子のダンピング抵抗値.....	67
5.4.6	基板設計以外のパラメータ.....	67
5.4.6.1	オーバーレイ設計と感度の特性.....	68
5.4.6.2	電極のダンピング抵抗値と感度の特性.....	70
5.4.6.3	筐体 GND 間隔 vs 感度.....	71
5.4.6.4	ESD 保護ダイオード接続時の感度特性.....	72
5.4.6.5	電源電圧と感度の特性.....	74
5.4.6.6	配線タッチ時の感度.....	77

1. 概要

静電容量タッチボタンはタッチ電極パッド（以降、電極と表記）の形状や大きさ、配線の引き回し、周辺パターン、オーバーレイパネル厚、空気層の有無、製品筐体内部の構造など様々な要因で変化します。従って電極の感度や耐ノイズ性能の設計は十分に考慮する必要があります。

本書ではルネサスの静電容量タッチセンサー（CTSUS）を利用するための電極パッド及び配線の設計やそれに付随する様々な要因について解説し、それらの推奨応用例をご紹介します。

2. 自己容量方式ボタンの設計ガイド

2.1 推奨設計要旨

両面プリント基板に自己容量方式ボタンを作成する場合の参考設計情報を記載します。周辺環境やノイズ要因による寄生容量変動抑制のため、2層基板以上を使用して電極周囲にメッシュパターンのGNDシールドガードを配置することを推奨します。またESD対策のため基板外周をGNDベタパターンでシールドすることを推奨します。⑧と⑨を除きリスト番号と図中番号が対応します。各項目の詳細説明は次項以降に記載します。

- ① 電極形状：正方形または円
- ② 電極サイズ：10mm～15mm
- ③ 電極間隔：指などタッチを想定する物体で同時反応しない間隔（ボタンサイズ×0.8倍以上が目安）
- ④ 配線幅：プリント基板の場合0.15mm～0.20mm程度
- ⑤ 配線長：可能な限り短くしてください。コーナーは直角でなく45度にしてください。
- ⑥ 配線間隔：(A)電極付近は誤反応防止のため可能な限り離してください。(B)1.27mmピッチ
- ⑦ メッシュGNDパターンの幅：5mm
- ⑧ メッシュGNDパターンとボタン・配線との間隔

(A)電極周辺：5mm、(B)配線周辺：3mm以上、

電極または配線と反対面はメッシュパターンで覆ってください。空き部分もメッシュを配置して、両面のメッシュをビアで接続してください。

メッシュパターン寸法、アクティブシールド（CTSUS2のみ）など追加のノイズ対策は「2.5ノイズ対策設計」の項を参照してください。

- ⑨ 電極+配線容量：50pF以下
- ⑩ 電極+配線抵抗値：2kΩ以下（基準値560Ωのダンピング抵抗を含む）

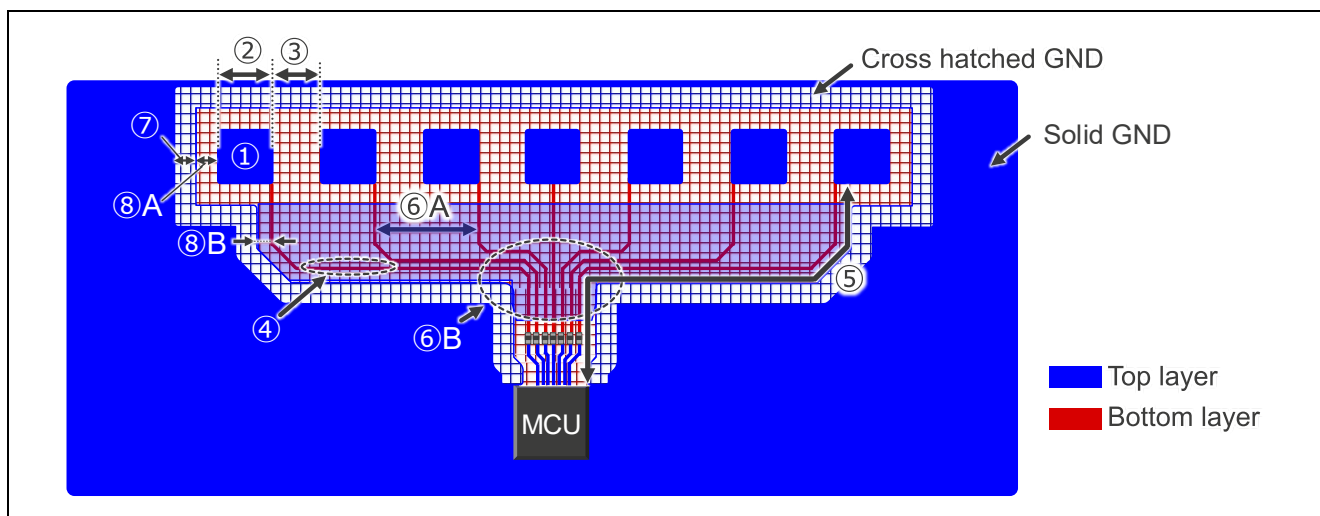


図 2-1 自己容量方式ボタンのパターン設計例

2.2 自己容量方式の概念

図 2-2 に電極に発生する自己容量のイメージを示します。自己容量方式のボタンは静電容量センサーに接続された 1 つの電極で静電容量 C を測定します。 C は電極と周囲の導電体で形成される寄生容量 C_p 、そして電極と指の寄生容量 C_f の合成値です。静電容量の大きさはコンデンサーの方程式 $C = \epsilon \frac{S}{d}$ (注) と考えることができます。 C_p は周辺デバイスが静態であるため一定ですが、 C_f は指が近づくにつれて増加します。 C_f の増加量に閾値を設定することでタッチボタンの ON と OFF を判断できます。なお指が電極に直接接触するとショートしてしまい静電容量を測定できません。通常指と電極間に数 mm のオーバーレイを配置します。

注： C ：静電容量、 ϵ ：誘電率、 S ：電極の対向面積、 d ：電極間距離

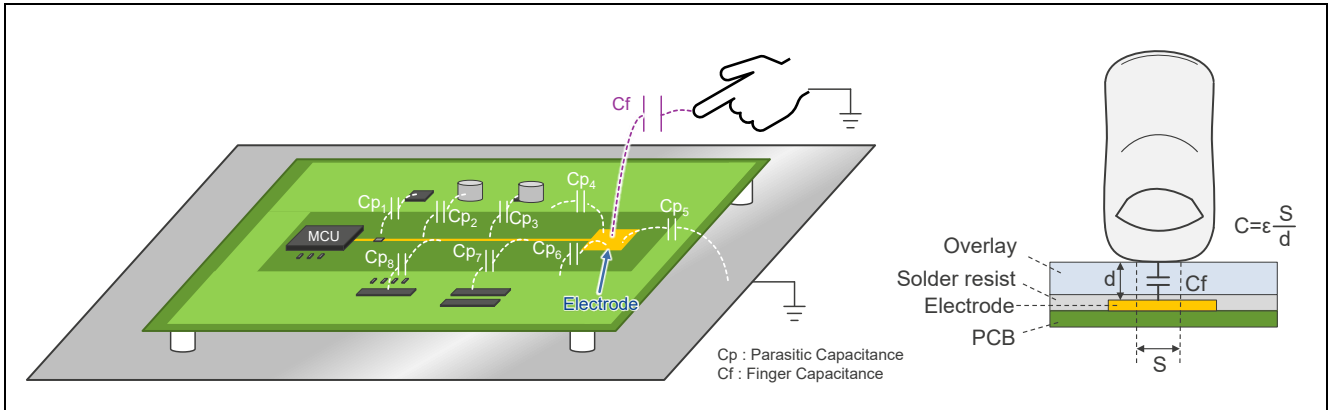


図 2-2 電極に発生する自己容量のイメージ

2.3 CTSU の自己容量方式検出原理

図 2-3 に自己容量方式の CTSU 内部構成概要を示します。CTSU は接続された電極の静電容量 C に比例したデジタルカウント値（計測値）を出力し、ソフトウェアにてタッチボタンの ON と OFF を判定します。CTSU に電極を接続するとセンサドライブパルスで制御されるスイッチトキャパシタになり、 C への充放電電流から静電容量を推定します。CTSU の計測部には電流-周波数変換機能があり、充放電電流と等価の電流が入力され電流量に比例した周波数が出力されます。周波数カウンタにより単位時間あたりの周波数を計測値として出力します。詳細な検出原理はアプリケーションノート「RX113 グループ CTSU 静電容量タッチ検出の基礎」を参照してください。

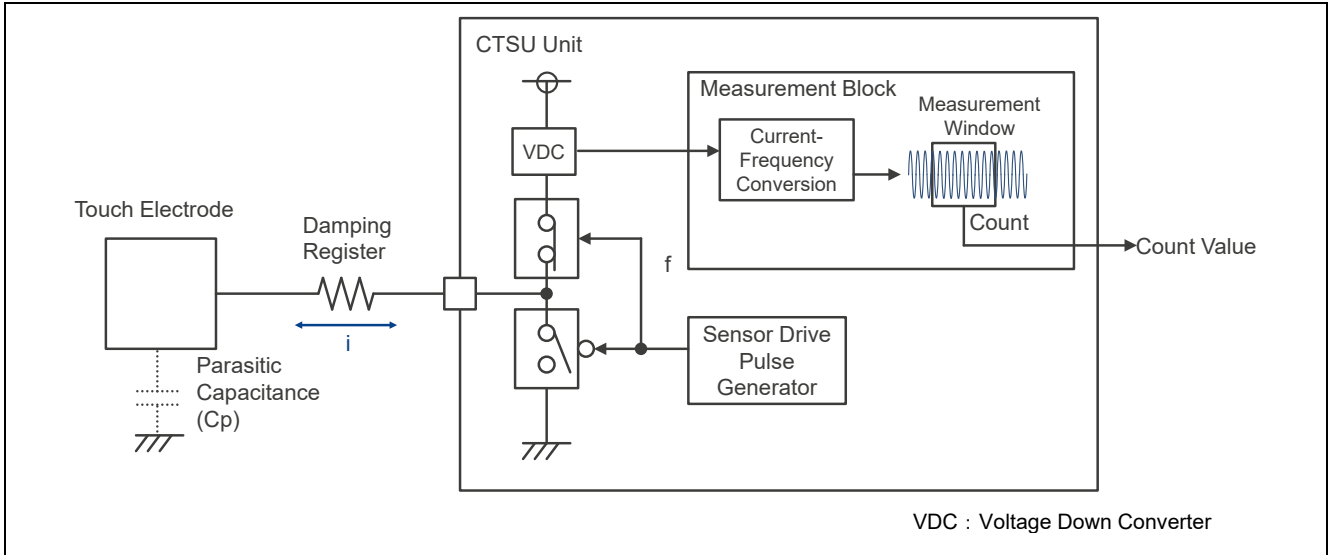


図 2-3 自己容量方式の CTSU 内部構成概要

図 2-4 に CTSU 計測のイメージを示します。センサドライブパルス周波数の 1 サイクルが C の充放電時間より短く不十分な充放電になると、 C に十分な電流量が流れず計測値が理想値より小さくなります。寄生容量が大きい場合はセンサドライブパルス周波数を下げることで計測可能になる場合があります。CTSU はセンサドライブパルス周波数を下げることで最大 50pF まで計測できます。またセンサドライブパルス周波数を下げると電流-周波数変換機能による単位時間あたりの計測数が低下するため、センサー感度が低下するように見えます。CTSU はレジスタ設定値調整により単位時間長くできますが、計測完了までの時間も長くなります。電極回路の静電容量設計はボタン感度、計測時間およびノイズ耐性を満たすために必要です。

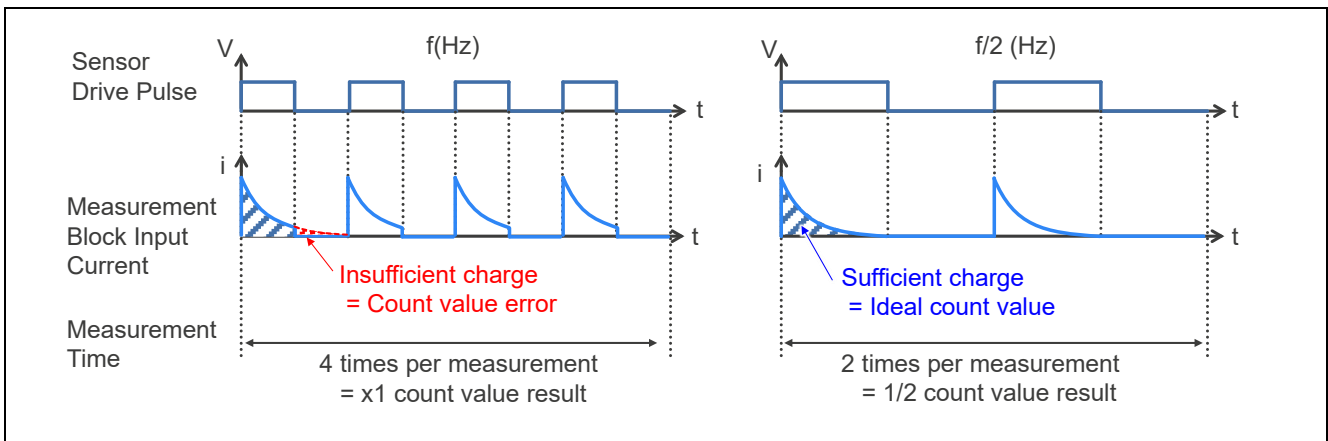


図 2-4 CTSU 計測のイメージ

図 2-5 に GND パターンと寄生容量のイメージを示します。プリント基板を使用する場合、一般的にノイズ対策のため配線パターン直下にベタ GND パターンを配置します。自己容量ボタンにおいては電極とベタ GND パターンに生じる寄生容量 C_{pGND} は C_f と比較して非常に大きな値となり CTSU の測定レンジを超えてしまいます。そのため自己容量ボタンを設計する場合には電極直下にはベタ GND パターンを配置しないようにします。ノイズ対策が必要な場合は寄生容量増加を軽減するためメッシュ状の GND パターンにしてください。

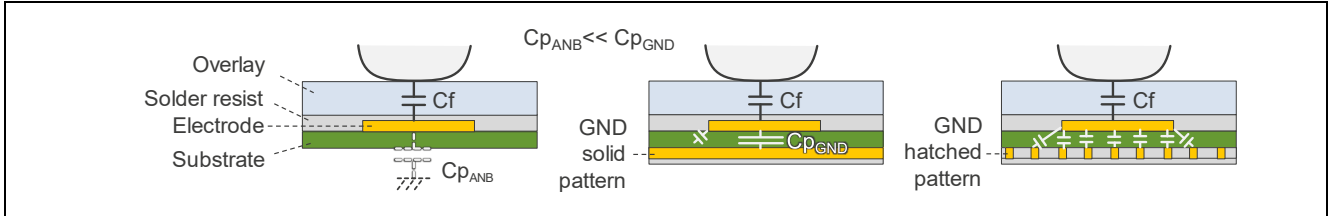


図 2-5 GND パターンと寄生容量のイメージ

2.4 電極パターン設計

自己容量方式のタッチボタン回路は以下の条件になるようパターン設計、および材質選定してください。

静電容量 C : 50pF 以下

抵抗値 R : 2kΩ 以下 (ダンピング抵抗を含む)

図 2-6 に自己容量方式の電極回路を示します。タッチボタン回路の構成はタッチ電極、電極配線、ダンピング抵抗です。CTSU のダンピング抵抗は 560Ω が基準値です。タッチボタン回路 C には基板上的 GND パターン、オーバーレイパネル、筐体シャーシ等基板周辺の物体との寄生容量も付加されるので注意が必要です。上記の設計値以外では正常な計測値を得られない可能性があります。なお各電極の総容量値は QE for Capacitive Touch で確認することが可能です。

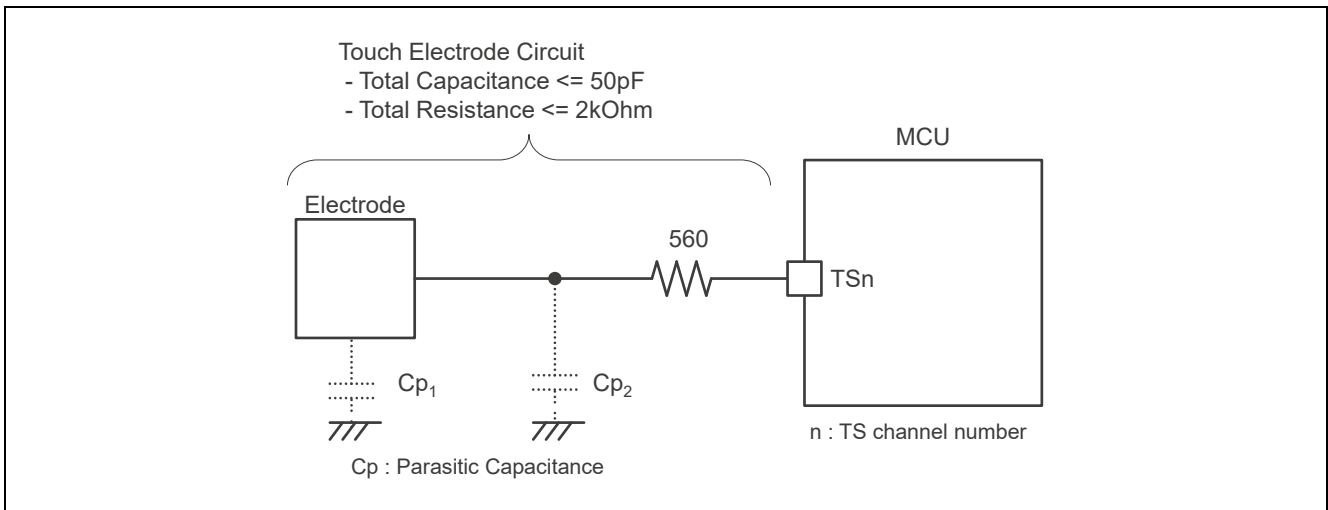


図 2-6 自己容量方式の電極回路

2.4.1 電極パッドと配置

ボタン電極の推奨形状および配置条件は下記のとおりです。

基板への配置面：TOP層（オーバーレイと接する面）

形状：四角形、円形のベタパターン

サイズ：10 x 10 ~ 15 x 15mm

電極間隔：クロストークを考慮して指などタッチを想定する物体で同時反応しない間隔

ボタンサイズ×0.8倍以上が目安

電極と GND パターンとの間隔：5mm 以上

電極直下には他の機能の配線やパターン、ベタ GND パターンを配置しないでください。ノイズ対策のために GND パターンが必要な場合はメッシュ形状の GND パターンを配置できます。

クロストークとは隣接する電極同士の容量結合や、目的の電極にタッチしたときに隣接電極にも指との容量結合が生じることを指します詳細は「2.6.2 パネル厚とクロストークの関係」の項を参照してください。

図 2-7 に推奨電極形状とサイズを示します。電極パッドの形状やサイズは最終製品のパネルのボタンデザインに応じて柔軟に設計できます。操作する人体の部位（例：指先）に対して極端に大きく、または極端に小さくならないサイズにしてください。パッドを四角形にする場合はノイズの影響を低減するため、半径 0.5 から 1.0mm で角を丸めてください。

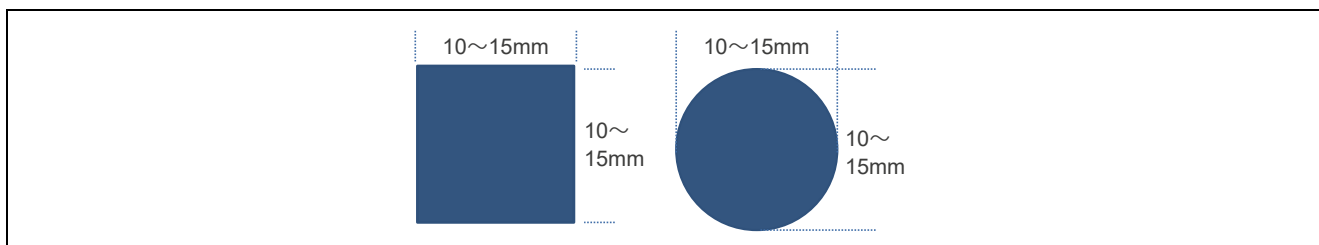


図 2-7 推奨電極形状とサイズ

図 2-8 に非推奨形状を示します。コーナーが鋭角（90 度未満）の三角形や、線幅が細く総長が長くなる「E」型です。これらの形状はアンテナとなり RF ノイズ耐性を劣化させるため、推奨しません。

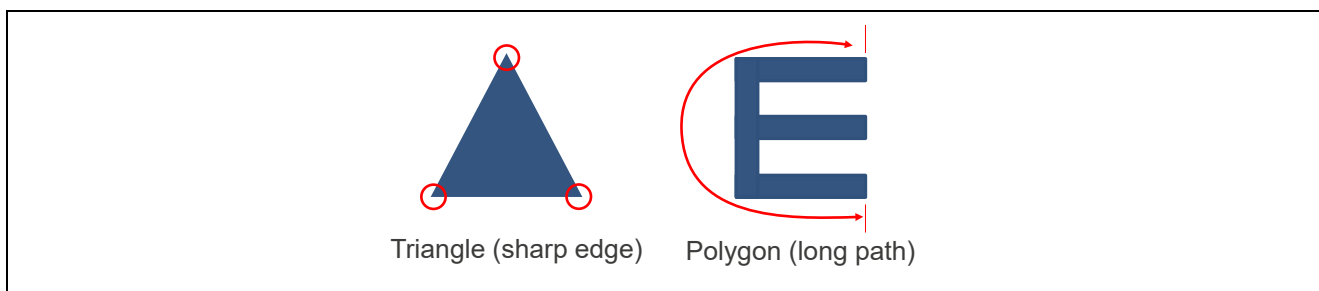


図 2-8 非推奨電極形状

2.4.2 配線

電極配線部分は寄生容量が小さく外来ノイズの影響を受けやすくなっています。配線間隔や GND パターンを適切に配置することでノイズ耐性が向上します。また CTSU は計測中以外の TS 端子と配線は GND レベルに固定されるためシールドとしても機能します。配線幅や配線長により結合容量が変化するため、総寄生容量の条件を満たすよう配線間隔や GND パターンとの間隔を調整してください。

配線の推奨形状および寸法は下記のとおりです。

線幅：0.15mm（量産可能な最小線幅にしてください）

配線間隔：1.27mm ピッチ

ただし電極パッド周囲（電極パッド寸法の 2 倍程度）は 5mm 以上、極力離してください

メッシュ GND パターンの幅：5mm

配線とメッシュ GND パターンの間隔：3.0mm

配線とベタ GND パターンの間隔：3.0mm（メッシュ GND を配置しない場合）

また配線は下記の事項を満たすように設計してください。

配線距離は極力短くしてください

配線のコーナー数を極力少なくしてください。コーナーは 45 度もしくは丸めてください。

電極パッドの縁にビアを打ち、裏面で配線を行ってください。配線部に触れたときの誤動作を低減します。

寄生容量が増えるため、ビア数は最小限にしてください。

ノイズ対策のため電極や配線直下にメッシュ GND パターンを配置してください。

電極からの引き出し部分は配線直下にメッシュ GND パターンが無くノイズに弱くなります。この部分はメッシュ GND を 0.5mm まで近づけてください、

電極配線直下にはタッチ機能以外の配線を配置しないでください。やむなく配置する場合は直交させ対向面積を最小限にしてください。

図 2-9 に 2 層基板レイアウト例（配線部）を示します。

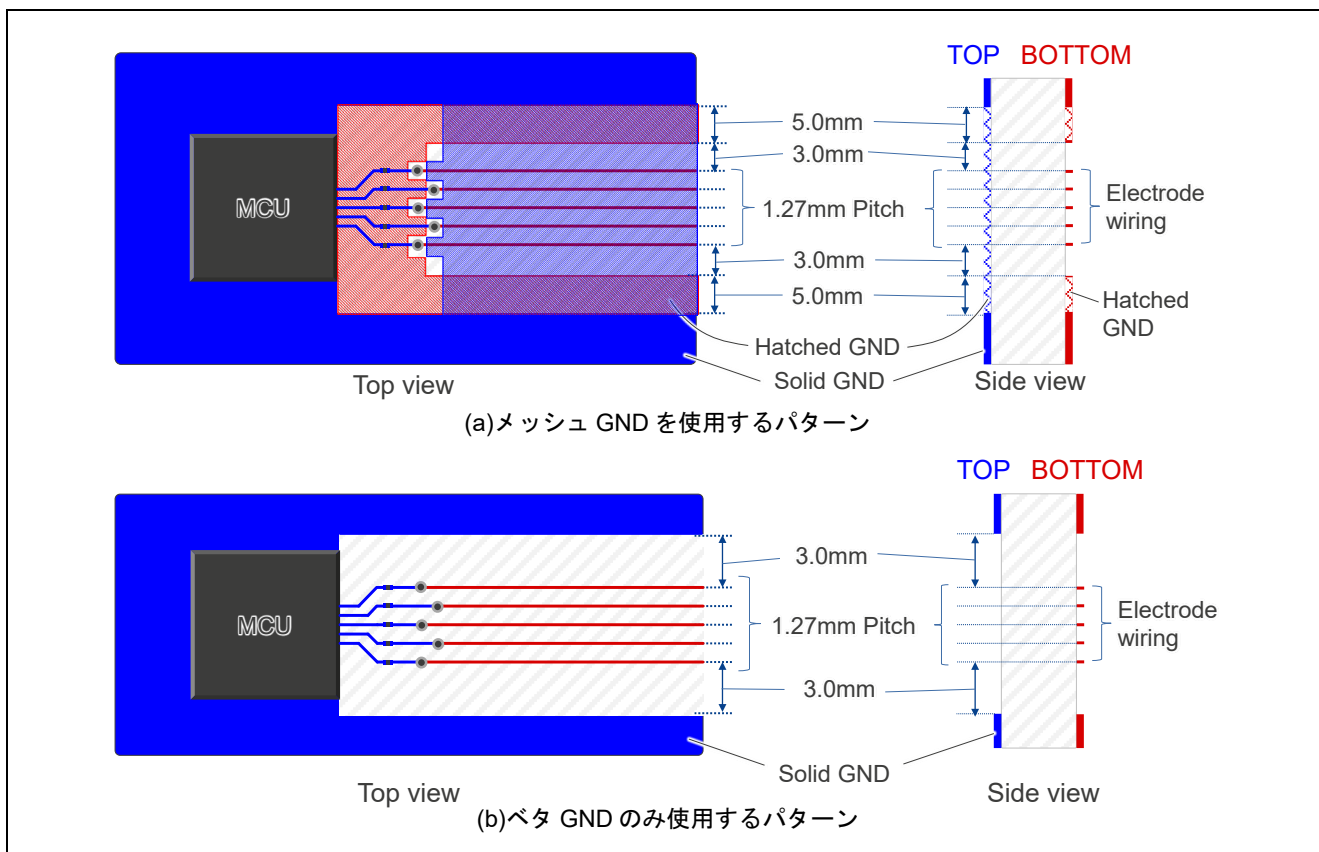


図 2-9 2 層基板レイアウト例（配線部）

図 2-10 に 2 層基板レイアウト例（電極部）を示します。

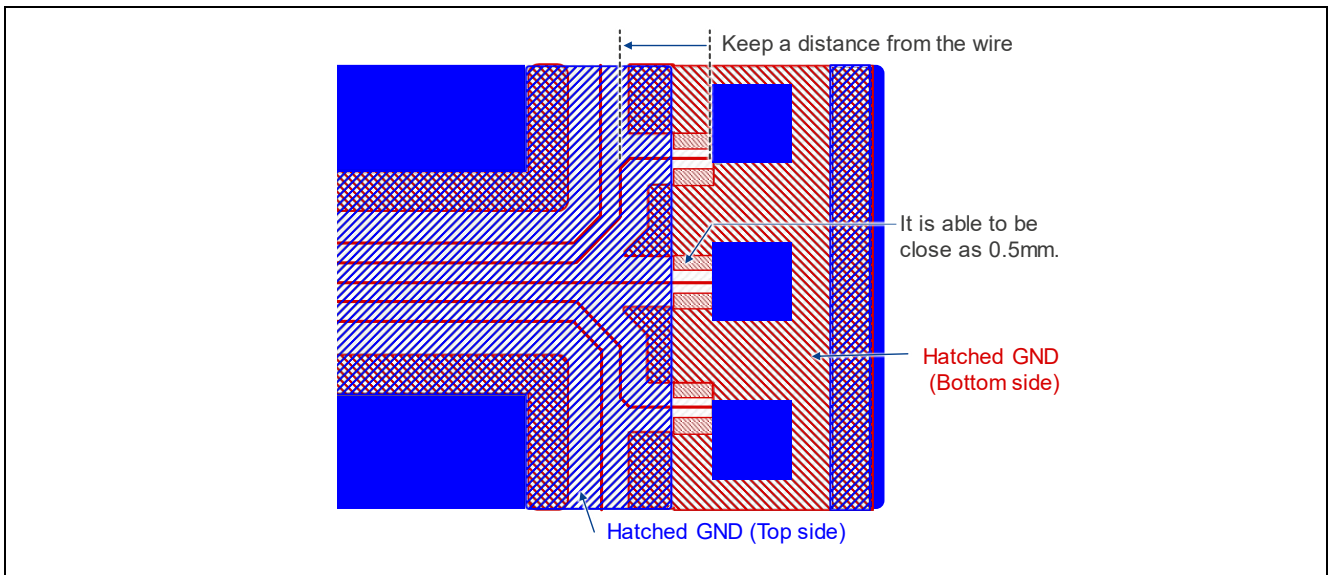


図 2-10 2 層基板レイアウト例（電極部）

図 2-11 と図 2-12 に層ごとのレイアウト例を示します。

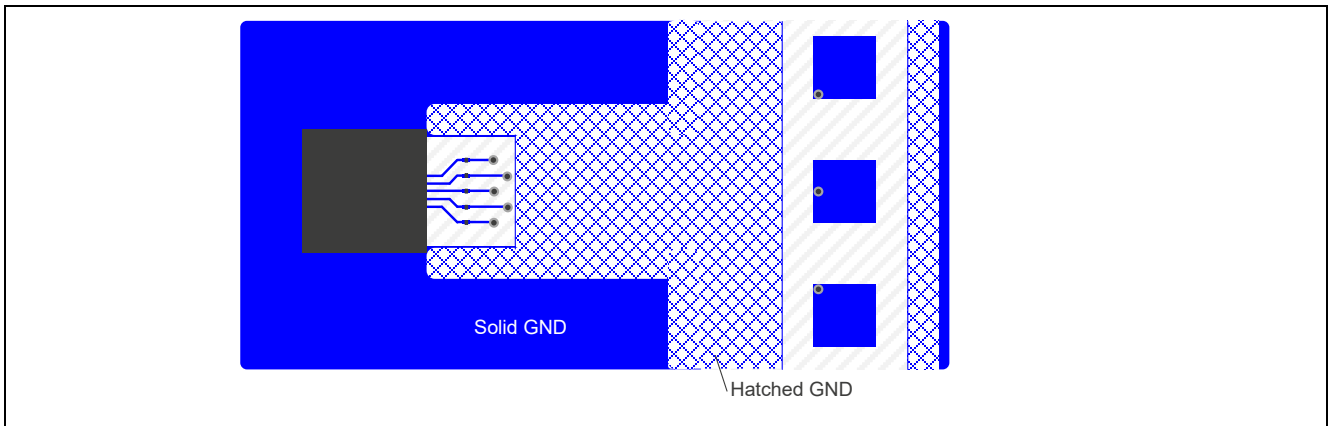


図 2-11 Top 層レイアウト例

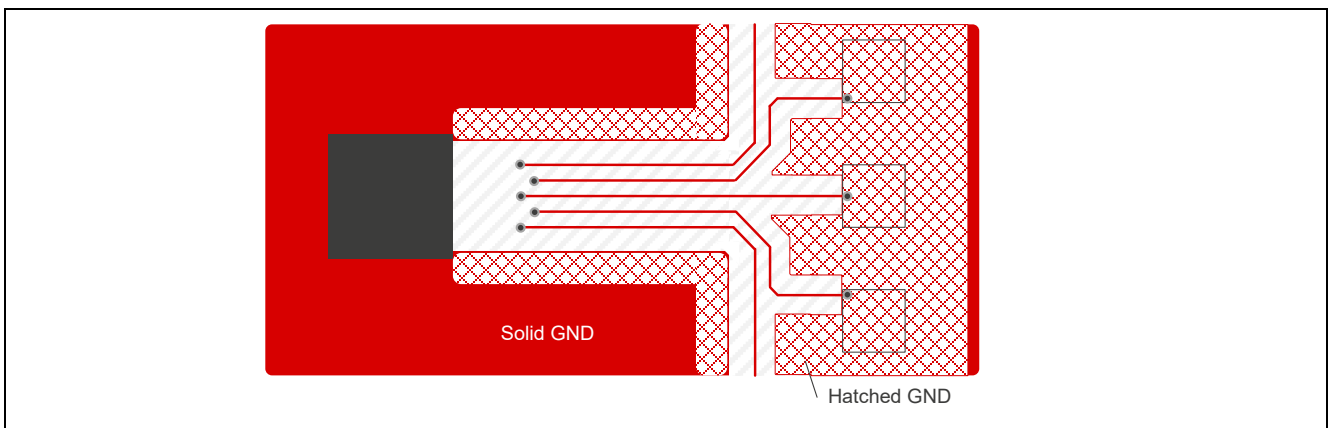


図 2-12 Bottom 層レイアウト例

図 2-13 に密度を高めた配線例を示します。基板サイズに制約があり配線密度を高めたい場合は半ピッチずらして両面に配線してください。4層基板の場合、内層にメッシュ GND を配置してください。

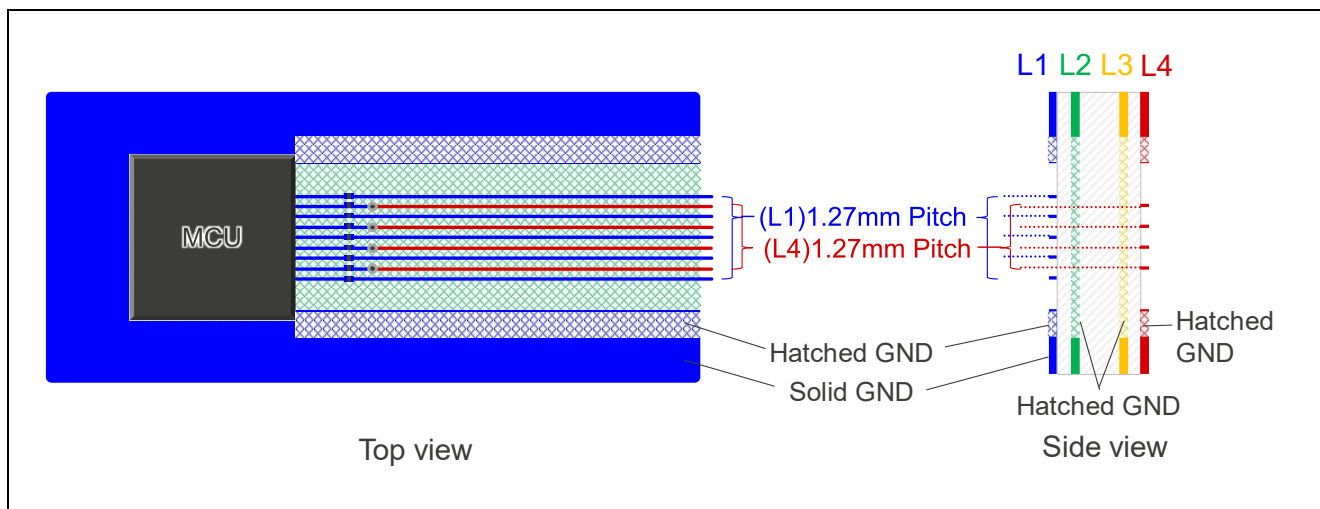


図 2-13 密度を高めた配線例

2.5 ノイズ対策設計

電極回路はその構造上アンテナ（MCU 端子が容量結合のみで開放になる）となるため外来ノイズの影響を受けやすくなっています。ルネサス MCU は複数のノイズ対策機能を持ち強固なノイズ耐性がありますが、MCU 単体で全てのノイズに対応する事は不可能です。厳しいノイズ環境が想定される場合、ハードウェアでの対策が不可欠となります。本項では外来ノイズについて対策例を説明します。

なお、一般論として配線長が長い程、多くのノイズ周波数に同期してノイズが混入しますので、ボタン電極とタッチマイコン間の配線は可能な限り最短距離として下さい。

外来ノイズからタッチボタンの誤動作を防止するにはタッチボタンの周囲をシールドガードします。CTS2 はアクティブシールドをサポートします。

2.5.1 シールドガードによる対策

2.5.1.1 パターン設計

図 2-14 にメッシュパターン寸法を示します。EMS ノイズ対策として電極や電極配線へのシールドが有効です。多層基板では電極や電極配線直下にシールドガードを配置しますが、ベタパターンでは結合容量が大きく電極にタッチした時の静電容量変動を検出できません。そのためメッシュパターンのシールドガードを使用します。ルネサスの静電容量タッチ評価システムでは下記寸法のメッシュパターンを採用しています。また電極配線との容量結合を軽減するため、配線方向によってはメッシュパターンを 45 度傾けます。

ピッチ：1.5mm

線幅：0.15mm

線間：1.35mm

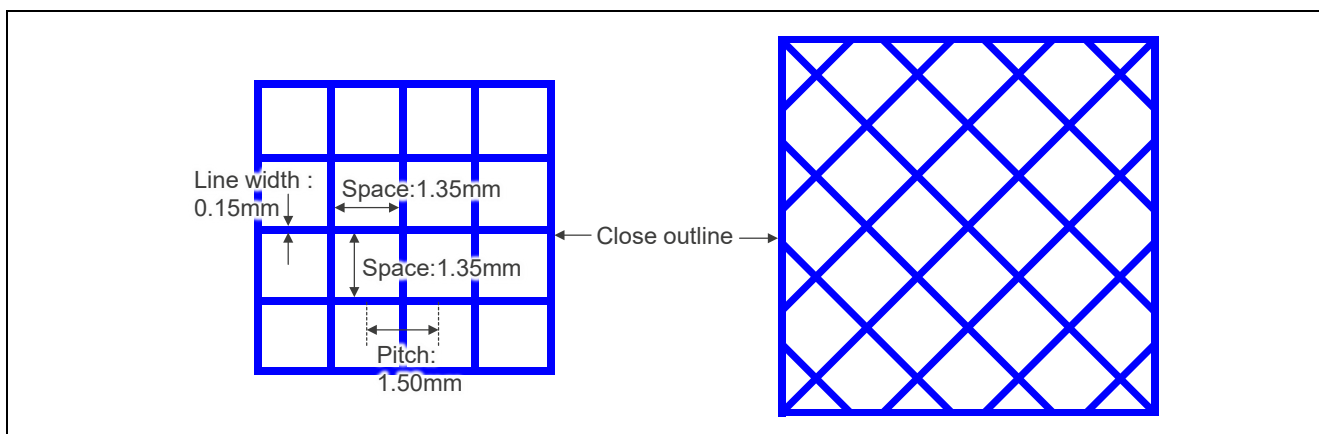


図 2-14 メッシュパターン寸法

2.5.1.2 GND シールド

電極および配線周囲に GND パターンを配置して容量結合を発生させ、外来ノイズの影響による電位変動を抑制します。GND シールドを配置する場合、近づけすぎると寄生容量が増加しすぎてタッチ検出できなくなる場合があります。ノイズ環境が厳しくシールドを近づける必要がある場合、容量結合を軽減できるメッシュ形状を推奨します。また配線長により並走距離が長くなると寄生容量が増加するため、配線とシールドの間隔調整が必要になる場合があります。

Top 層の推奨形状および配置条件は下記のとおりです。下記事項は電極パッドを 1 層に配置した場合を仮定しています。

電極とメッシュ GND シールドの間隔 : 5mm

メッシュ GND シールドの幅 : 5mm 以上

メッシュ GND パターンとベタ GND は接続してください。

電極直下および配線直下はメッシュ GND パターンで覆ってください。

図 2-15 および図 2-16 に多層基板の GND シールドパターン例を示します。

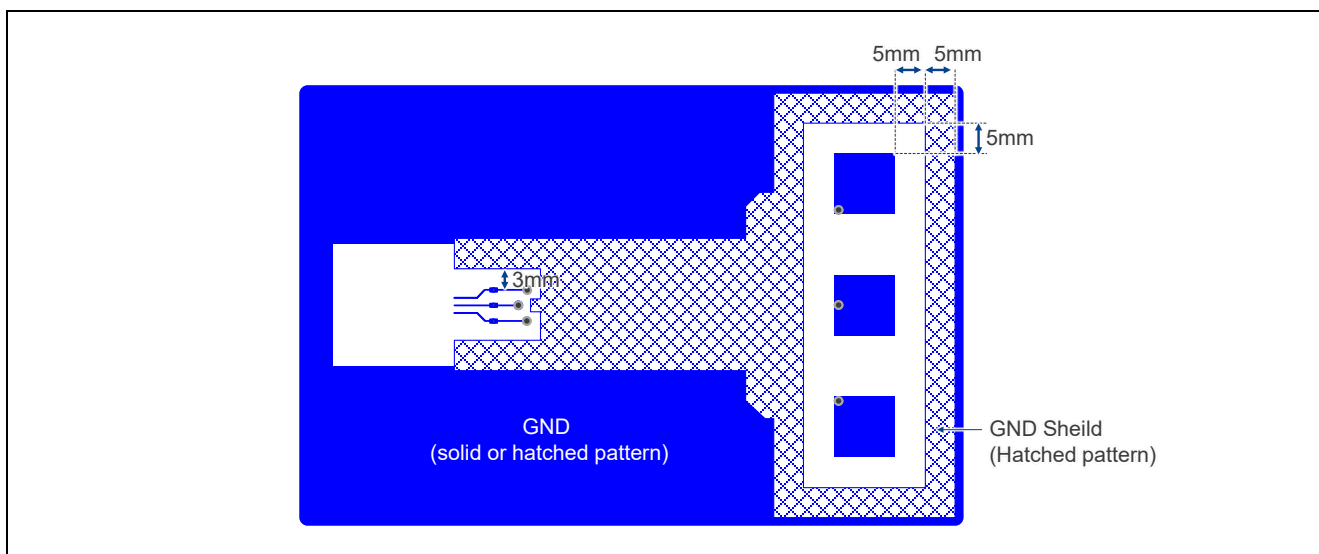


図 2-15 多層基板の GND シールドパターン例 (Top 層)

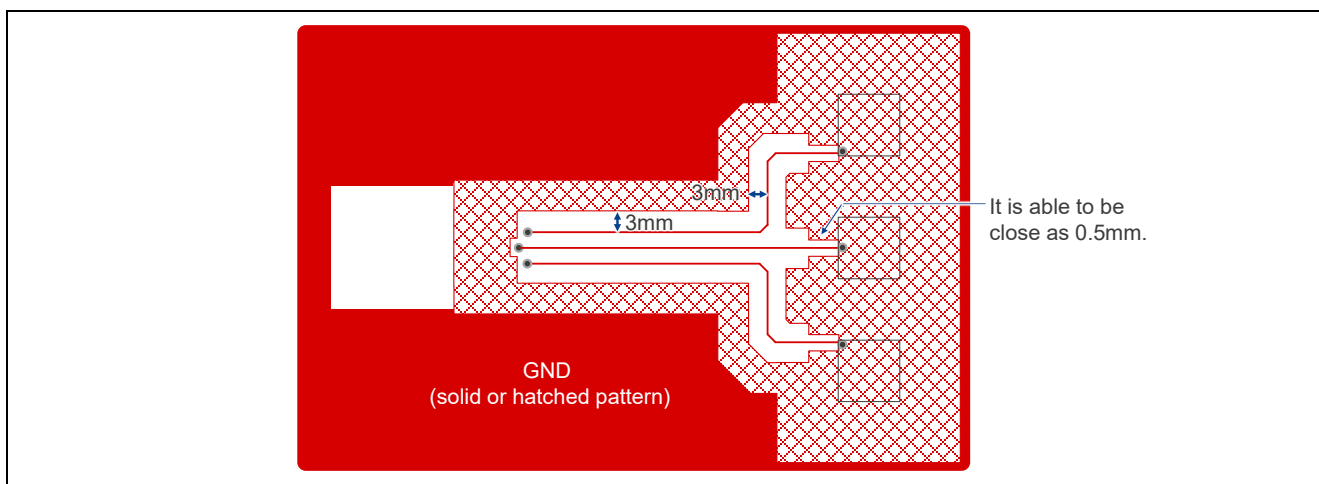


図 2-16 多層基板の GND シールドパターン例 (Bottom 層)

2.5.1.3 アクティブシールド (CTS U2 機能)

本機能は CTS U2 搭載 MCU で使用できます。

アクティブシールドは電極と同電位・同位相の信号でシールドガードを駆動する機能です。アクティブシールドを使用すると電極とシールドガード間の容量結合を軽減しながらノイズ対策ができます。アクティブシールドは通常の電極同様スイッチトキャパシタで駆動されます。寄生容量が大きいと駆動できず、電極との位相がずれてしまい十分な効果を得られなくなります。

図 2-17 にシールド電極回路例を示します。アクティブシールドは電極同様 TS 端子に接続するシールド電極と考えることができます。シールド電極回路は通常の電極と同等の設計ができますが、サイズやパターン設計に注意が必要です。電極を覆うように配置するため、電極数が増加するとシールド電極の寄生容量も増加しスイッチトキャパシタの充放電が不十分になります。その場合はダンピング抵抗値を小さくすると改善する場合があります。電極とアクティブシールドの容量が大きく異なる場合、ボタンとアクティブシールドのグルーピングを小分けにすることも検討して下さい。なお QE for Capacitive Touch では最大 8 個までのグルーピング (構成 (メソッド)) に対応しています。構成 (メソッド) の詳細については QE for Capacitive Touch のヘルプファイルを参照してください。

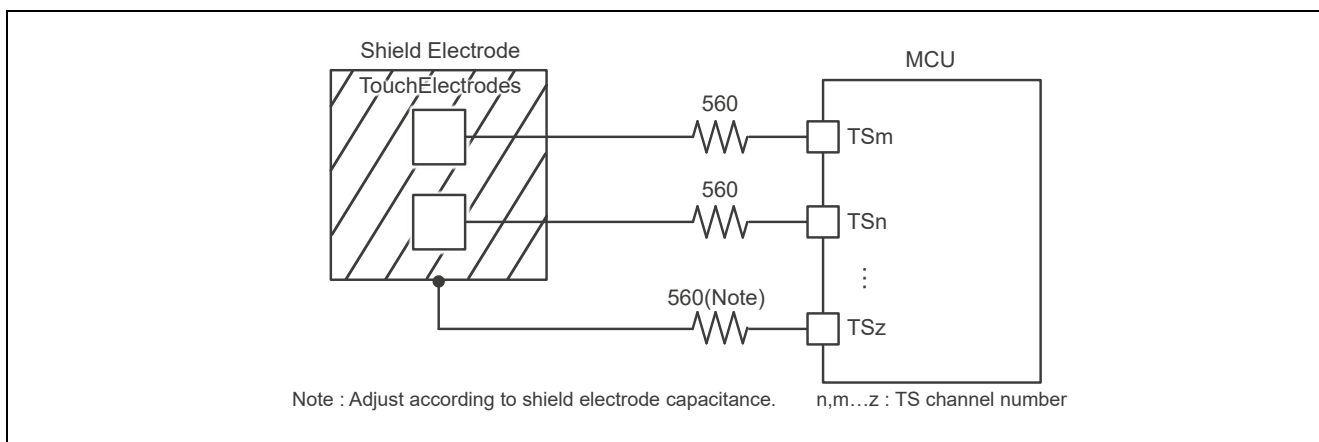


図 2-17 シールド電極回路

アクティブシールド電極の推奨形状および配置条件は下記のとおりです。下記事項は電極パッドを1層に配置した場合を仮定しています。

タッチ電極とアクティブシールド電極の間隔：3mm

アクティブシールド電極の幅：3mm

アクティブシールド電極とベタ GND パターンとの間隔：3mm 以上

電極直下および配線直下はすべてアクティブシールド電極で覆ってください。

図 2-18 および図 2-19 に多層基板のアクティブシールドパターン例を示します。

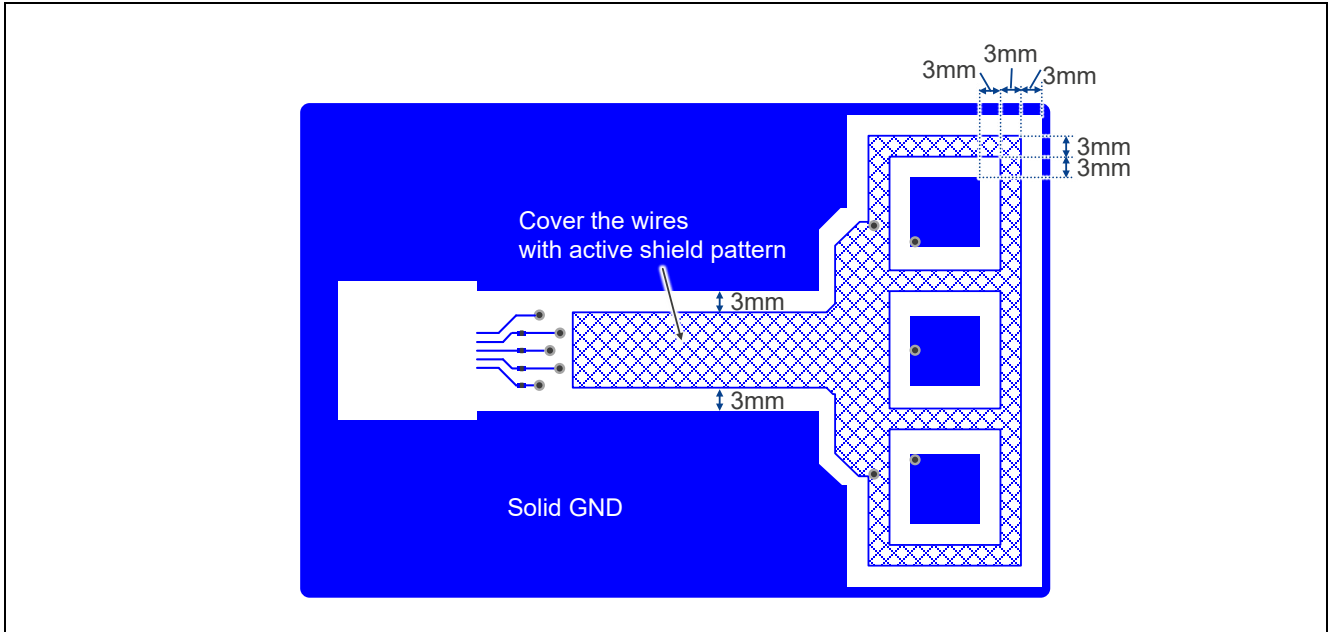


図 2-18 多層基板のアクティブシールドパターン例 (Top 層)

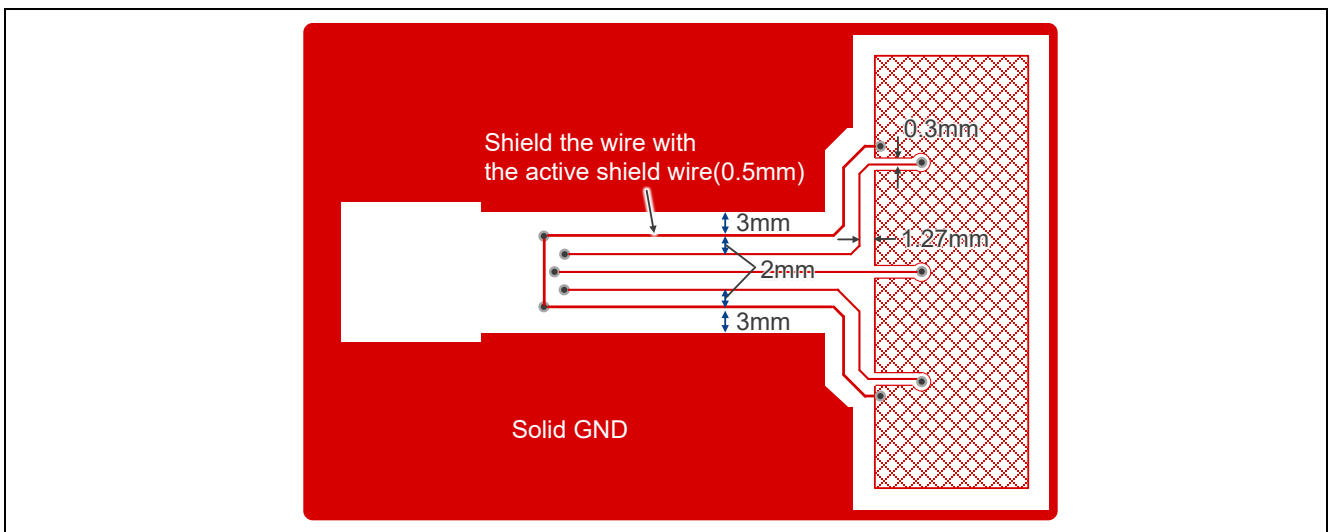


図 2-19 多層基板のアクティブシールドパターン例 (Bottom 層)

2.6 パネル厚影響

自己容量方式によるタッチ検出では、人体とボタン電極間で形成されるコンデンサーの容量を検出しています。よって、ボタン電極と人体が対向する面積が大きく距離が近くなるほど感度が向上します。指によるタッチ検出を想定した場合、指と対向するボタン電極の大きさには限界(10mm~15mm)があるため、距離つまりパネル厚が感度に対する重要な要因となります。

2.6.1 パネル厚とタッチ感度の関係

図 2-20 に容量変化量と感応距離の関係を示します。自己容量方式では指と電極との距離に比例して静電容量が増減するため、広い範囲(距離)でタッチ検出が可能です。ただし、しきい値を容量に対して大きく余裕を取った場合、指がパネルに接触する前にタッチ検出する可能性があります。パネル素材の比誘電率によってもタッチした時の静電容量が増減します。同じ距離でも比誘電率が高い素材では CTSU の測定レンジをオーバーする場合がありますので注意が必要です。

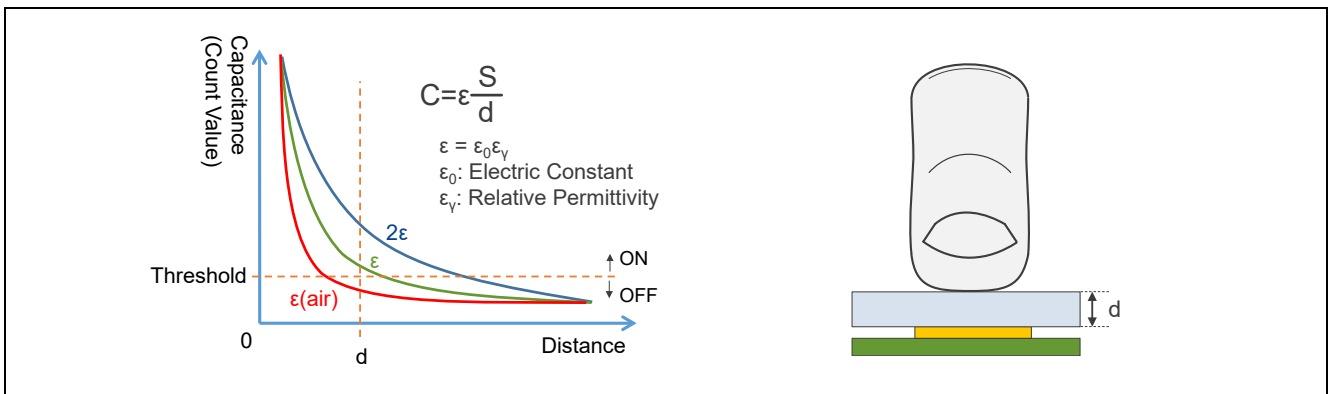


図 2-20 容量変化量と感応距離の関係

表 2-1 各素材の比誘電率

Dielectric Material	比誘電率 ϵ_r
Acrylic	2.4-4.5
Glass	4.5-7.5
Nylon Plastic	3.0-5.0
Flexible Vinyl Film	3.2
Air	1.0
Water	80

2.6.2 パネル厚とクロストークの関係

図 2-21 に自己容量方式 電極間距離とオーバーレイ厚の関係を示します。ボタン電極間の距離が近いと近接しているボタン電極が誤 ON する可能性があります(図左)。ボタン電極の間隔は、隣接ボタン電極の誤検出(クロストーク)を防止するために、ボタンサイズの 0.8 倍以上の間隔を推奨します。

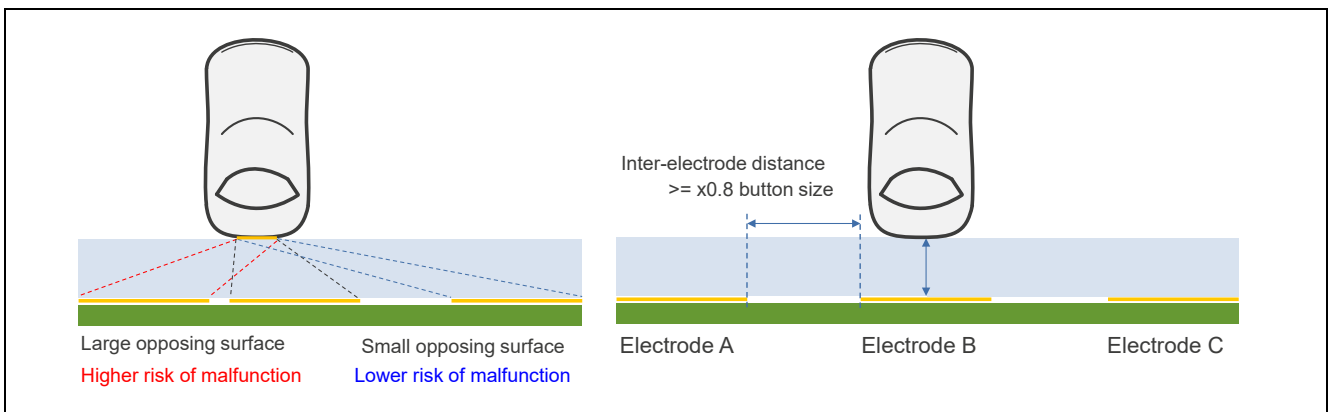


図 2-21 自己容量方式 電極間距離とオーバーレイ厚の関係

2.7 設計応用例

2.7.1 スライダ電極レイアウトパターン設計例

図 2-22 に自己容量方式のスライダ電極推奨パターンを示します。このパターンは指でのタッチを想定しており、スライダの両端以外のどの部分をタッチしても 3 つの電極が反応する様に設計されています。スライダのサイズを変更する場合は、本パターンを拡大、縮小するのではなく、電極数を増減させて調整する必要があります。

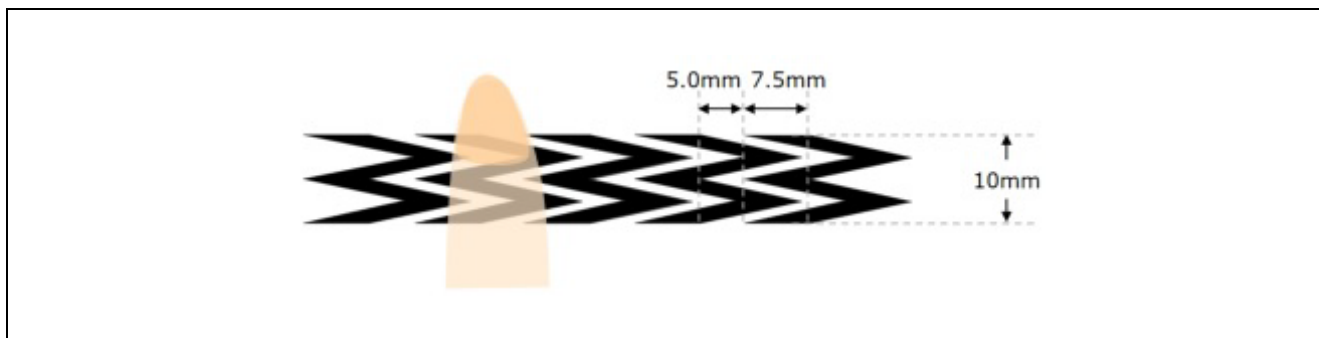


図 2-22 自己容量方式 スライダ電極推奨パターン

2.7.2 ホイール電極レイアウトパターン設計例

図 2-23 に自己容量方式のホイール電極推奨パターンを示します。このパターンは指でのタッチを想定しており、ホイールのどの部分をタッチしても 3 つの電極が反応する様に設計されています。ホイールのサイズを変更する場合は、本パターンを拡大、縮小するのではなく、電極数を増減させて調整する必要があります。

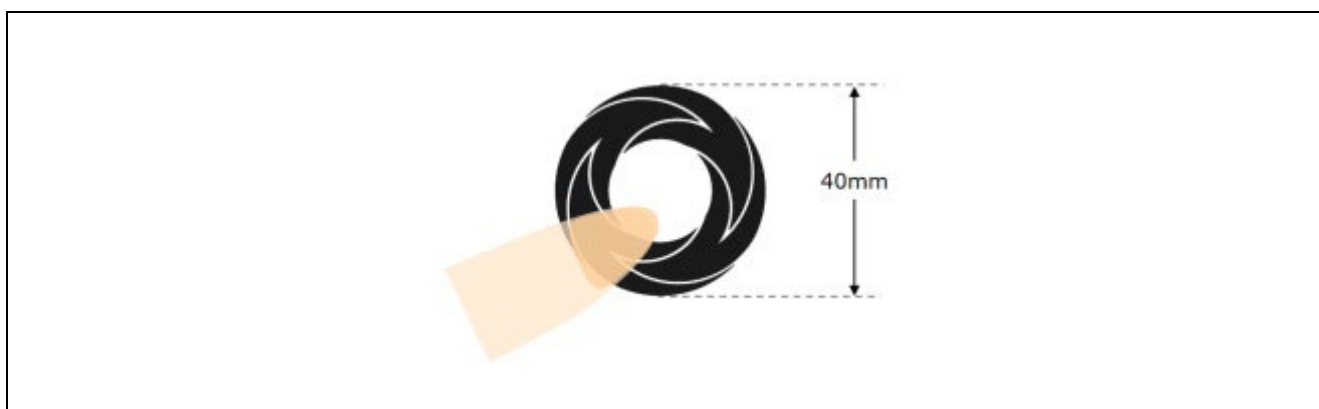


図 2-23 自己容量方式 ホイール電極推奨パターン

2.7.3 フィルム状基板

電極は導電性素材であればいずれも使用出来ますが、カーボンなど面抵抗が大きい素材はタッチ感度を低下させる可能性がありますのでご注意ください。また、面抵抗が大きい素材の場合、指が触れる位置により均一な感度が得られない場合があります。やむを得ず面抵抗の大きい素材を使用する場合は図 2-24 のように配線の引き出しを(b)のようにできる限り電極の中央にするか、(c)のように全体を抵抗値の低い素材で囲い指が触れた位置に関わらず抵抗値が一定となるようにして下さい。銅など十分面抵抗が低い素材の場合は(a)のようにボタン電極のどの部分からでも配線を引き出せます。

フィルム状基板ではプリント基板と比較して線幅や線間が太く広くなる傾向になります。線幅は細い方が寄生容量を抑制できますが、抵抗値が増加するため 1.0mm 程度を基準に設計して下さい。また線間は 1.0mm 程度として下さい。

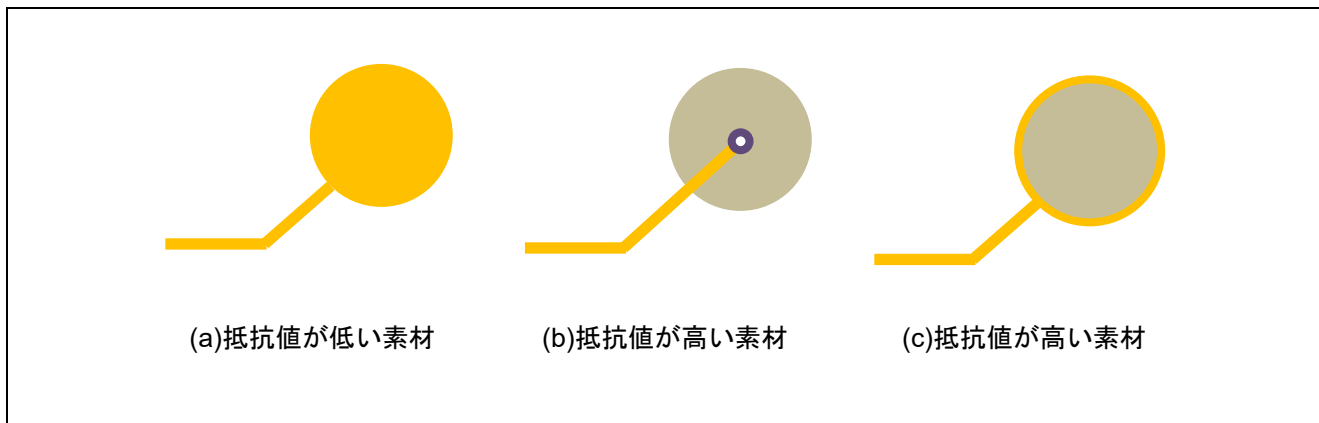


図 2-24 ボタン電極からの配線方法

2.7.4 LED 配線

2.7.4.1 直接灯火の例

図 2-25 に自己容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例を示します。LED 配線は図 2-25 の右の様に電極パッドの外側近辺に配置することを推奨します。LED 回路からの放射ノイズを低減するため、LED 配線に GND シールドを配置したり、多層基板の場合は反対面にも GND シールドを配置して下さい。

LED を電極パッド内に配置する場合は、電極に穴があくため、指の接地面の減少や電極パッドと LED 配線が近接するため、寄生容量増加に伴う感度劣化のリスクがありますので、ご注意ください。

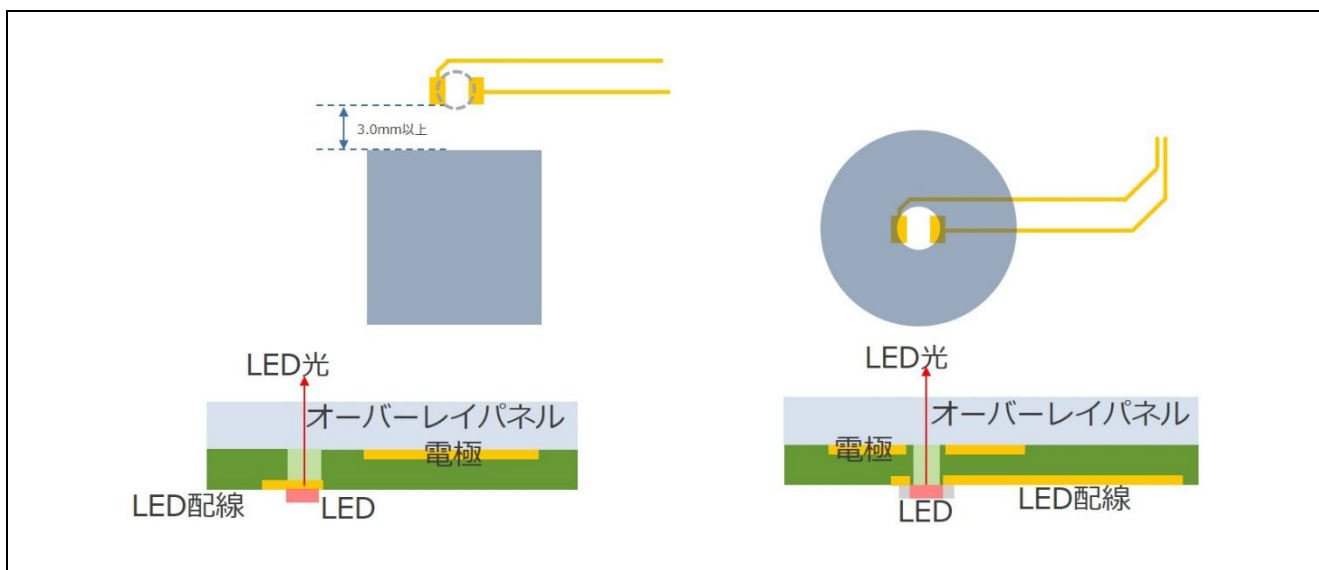


図 2-25 自己容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例

2.7.4.2 間接灯火（導光板使用）

図 2-26 に自己容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例を示します。LED(光源)は発光面から一定距離をとらなければ光ムラになる可能性があります。複数の LED(光源)を対向する位置に配置することにより光ムラを抑えることが可能です。

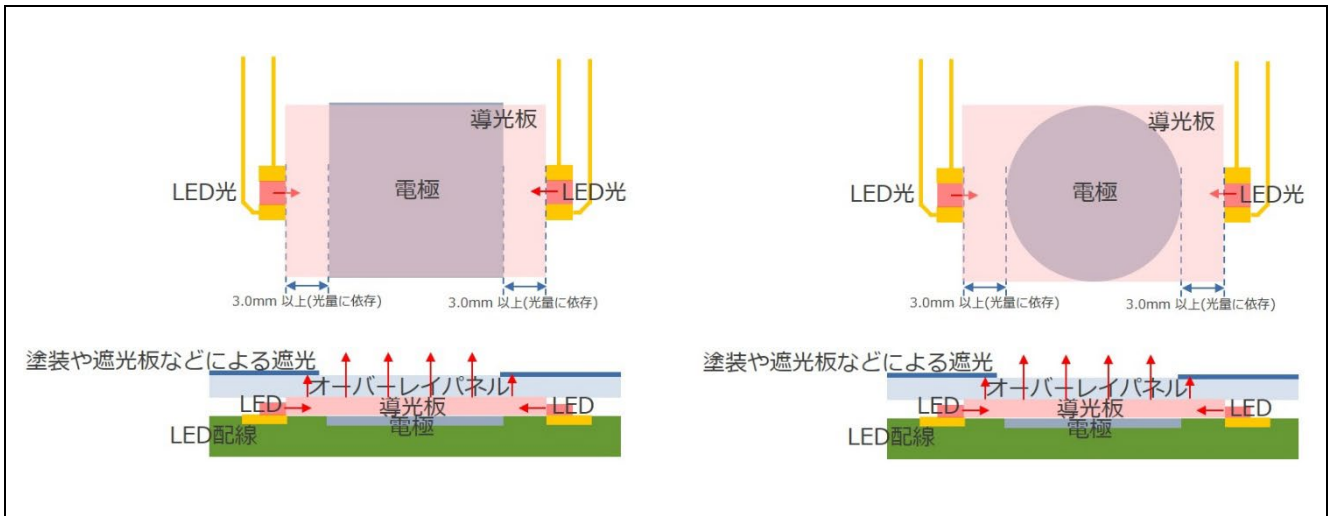


図 2-26 自己容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例

2.7.5 パネルとボタン電極が離れている場合

図 2-27 にパネルとボタン電極が離れている場合の対処例を示します。ボタン電極サイズ、寄生容量など他の条件にも依存しますが、条件が良ければ 2mm 程度の空気層があってもタッチ検出可能です。ただしノイズ耐性の要求が厳しい場合や、空気層が更に大きな場合、他の条件により検出が困難な場合は、図 2-27 の右の例に示す方法でパネルまでのボタン電極を延長する必要があります。

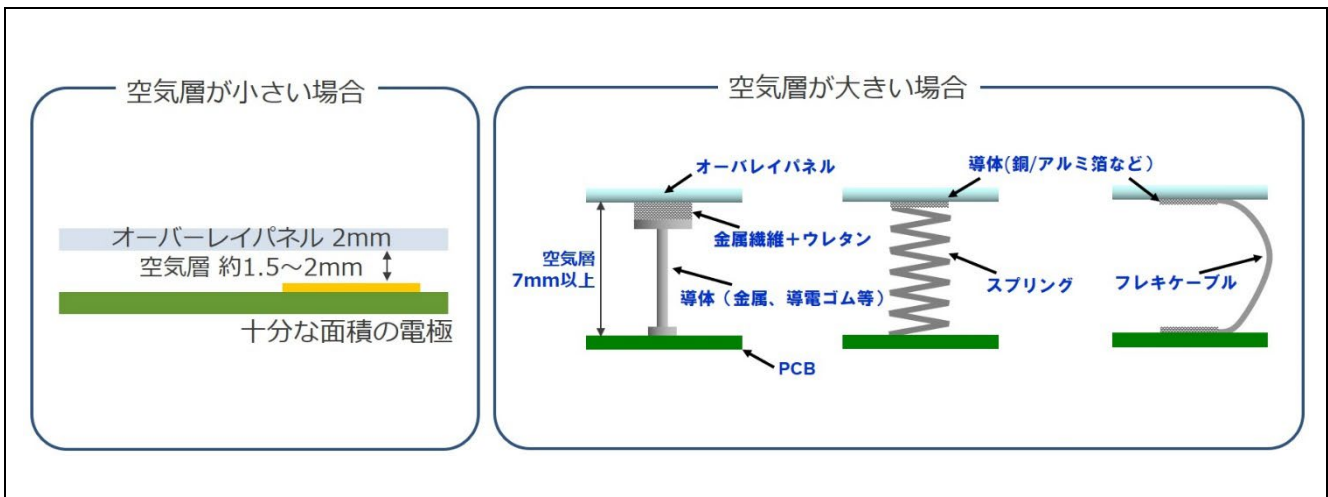


図 2-27 自己容量方式 空気層対策例

3. 相互容量方式 電極レイアウトパターン

3.1 概要

相互容量方式によるボタン電極は、耐水性に優れ、またマトリクス構造による多ボタン対応など自己容量方式では実現出来ない機能がありますが、反面ボタン電極の構造や配線の引き回しが複雑で感度調整が難しくなるため、それら状況を踏まえて設計する必要があります。なお自己容量方式とは異なりパネル厚がある一定以下になると感度が得られないため、ボタン電極の構造を踏まえてパネル厚を決定する必要があります。

相互容量方式は2層以上の多層基板を使用してください。本章では2層基板を例として説明します。

3.2 推奨設計要旨

プリント基板に相互容量方式ボタンを作成する場合の参考設計情報を記載します。電極周囲にメッシュパターン（シールドガード）の GND シールドガードを配置することを推奨します。また ESD 対策のため基板外周を GND ベタパターンでシールドすることを推奨します。⑧と⑨を除きリスト番号と図中番号が対応します。各項目の詳細説明は次項以降に記載します。⑧から⑩を除きリストの番号と図中番号が対応します。各項目の詳細説明は次項以降に記載します。

- ① 電極形状：正方形（送信電極 Tx と受信電極 Rx の組み合わせ）
- ② 電極サイズ：10mm 以上
- ③ 電極間隔：指などタッチを想定する物体で同時反応しない間隔（ボタンサイズ×0.8 倍以上が目安）
- ④ 配線幅：量産可能な最小線幅、プリント基板の場合 0.15mm~0.20mm 程度
- ⑤ 配線長：可能な限り短くしてください。コーナーは直角でなく 45 度にしてください。
- ⑥ 配線間隔：A：電極付近は誤反応防止のため可能な限り離してください
B：電極から離れた場所は 1.27mm ピッチ
C：Tx と Rx 間は結合容量が発生しないように 20mm 以上
- ⑦ メッシュ GND パターン（シールドガード）との間隔
ボタンの推奨パターンは端子の寄生容量が比較的小さいため GND を近づけ寄生容量を増やします
A：電極周辺は 4mm 以上
電極間にも 2mm 幅程度のメッシュ GND パターンを推奨します
B：配線周辺は 1.27mm 以上
- ⑧ Tx、Rx の寄生容量：20pF 以下
- ⑨ 電極+配線抵抗値：2kΩ 以下（基準値 560Ω のダンピング抵抗を含む）
- ⑩ 電極と配線直下には GND パターンを配置しないでください。

相互容量方式ではアクティブシールド機能は使用できません。

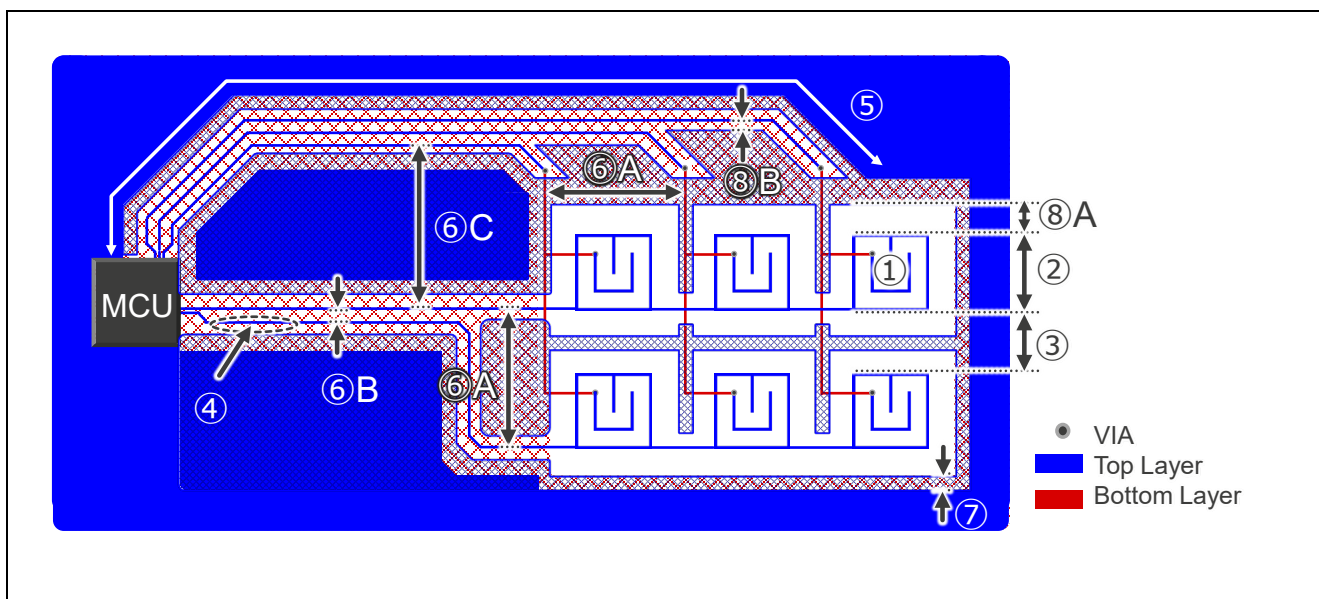


図 3-1 相互容量方式ボタンのパターン設計例

3.3 相互容量方式の概念

図 3-2 に電極が持つ相互容量のイメージを示します。相互容量とは、異なる 2 つの導電体間に生じる寄生容量 C_m を指します。相互容量方式のボタンは静電容量センサーに受信電極 (Rx) と送信電極 (Tx) の 2 つの電極を接続し、Tx をパルス駆動したときに発生する電界が発生し、 C_m にも電荷が溜まります。指が電極に近づくと電極と指の寄生容量 C_f が発生し、 C_m と C_f は並列接続となります。Tx の駆動エネルギーは一定のため充電される電気量は変化しません。そのため C_m と C_f に電荷が分散され C_m の電気量は減少します。 C_f の増加量に閾値を設定することでタッチボタンの ON と OFF を判断できますなお指が電極に直接接触するとショートしてしまい相互容量を測定できません。通常指と電極間に数 mm のオーバーレイを配置します。

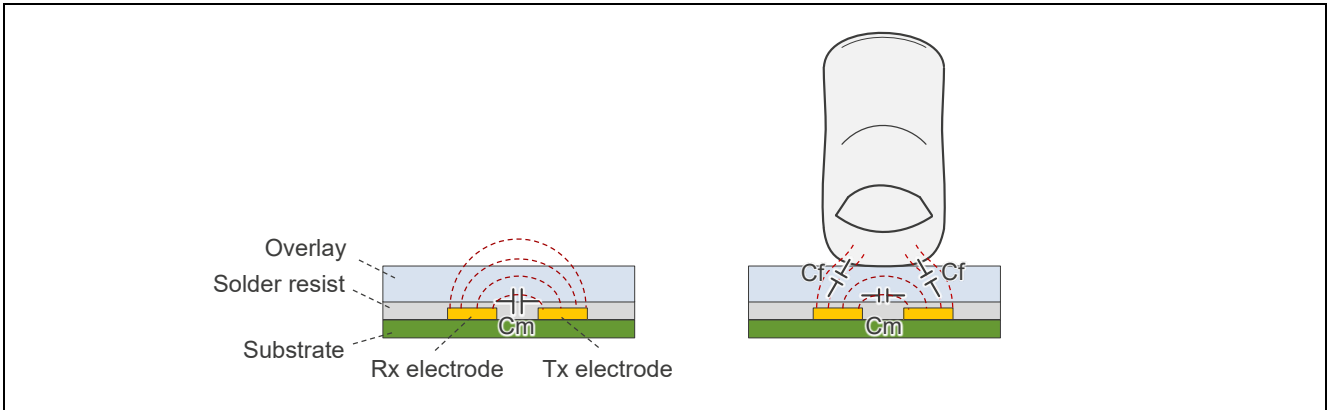


図 3-2 電極が持つ相互容量のイメージ

3.4 CTSU の相互容量方式検出原理

図 3-3 に相互容量方式の CTSU 内部構成概要を示します。CTSU は接続された Rx と Tx の相互容量に対し負の比例のデジタルカウントを出力し、ソフトウェアにてタッチボタンの ON と OFF を判定します。CTSU は接続された 2 つの電極について、パルス出力とスイッチトキャパシタの位相関係を反転させて自己容量を合計 2 回計測し、ソフトウェアにて差分を演算することで C_m を得ます。詳細な相互容量検出原理はアプリケーションノート「RX113 グループ CTSU 静電容量タッチ検出の基礎」を参照してください。

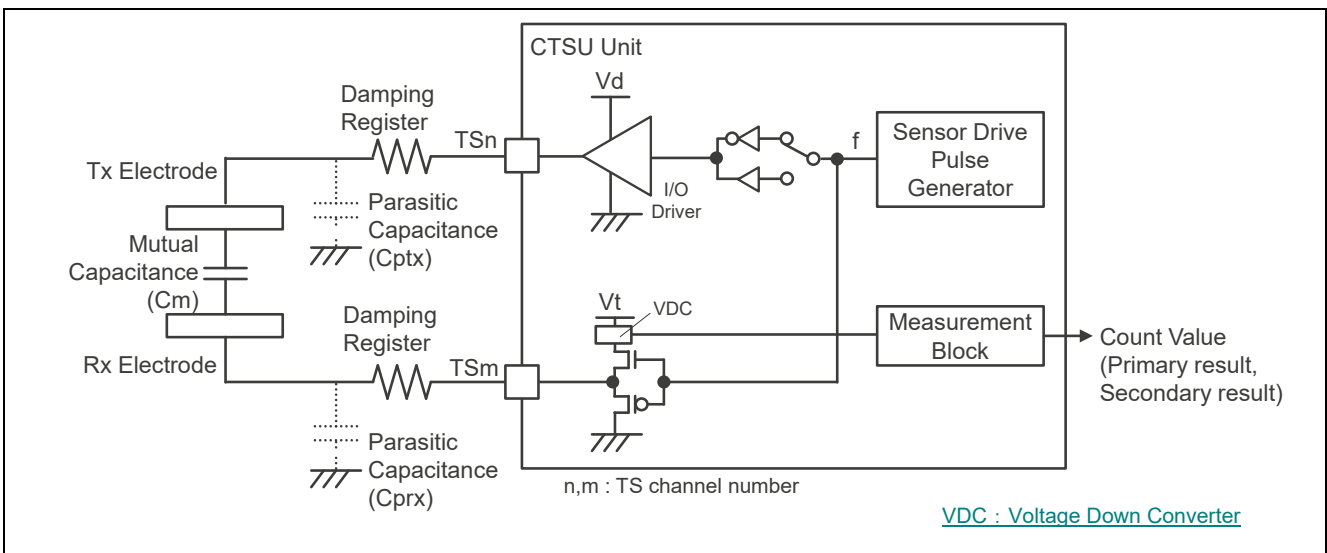


図 3-3 相互容量方式の CTSU 内部構成概要

3.5 電極パターン設計

図 3-4 に相互容量方式の電極回路を示します。相互容量方式のボタン電極は受信電極 (Rx) と送信電極 (Tx) で構成します。相互容量方式の場合、1 電極当たりの総容量値 20pF 以下、総抵抗値 (保護抵抗値含む) 2kΩ 以下にしてください。各電極の総容量値は QE for Capacitive Touch で確認することが可能です。

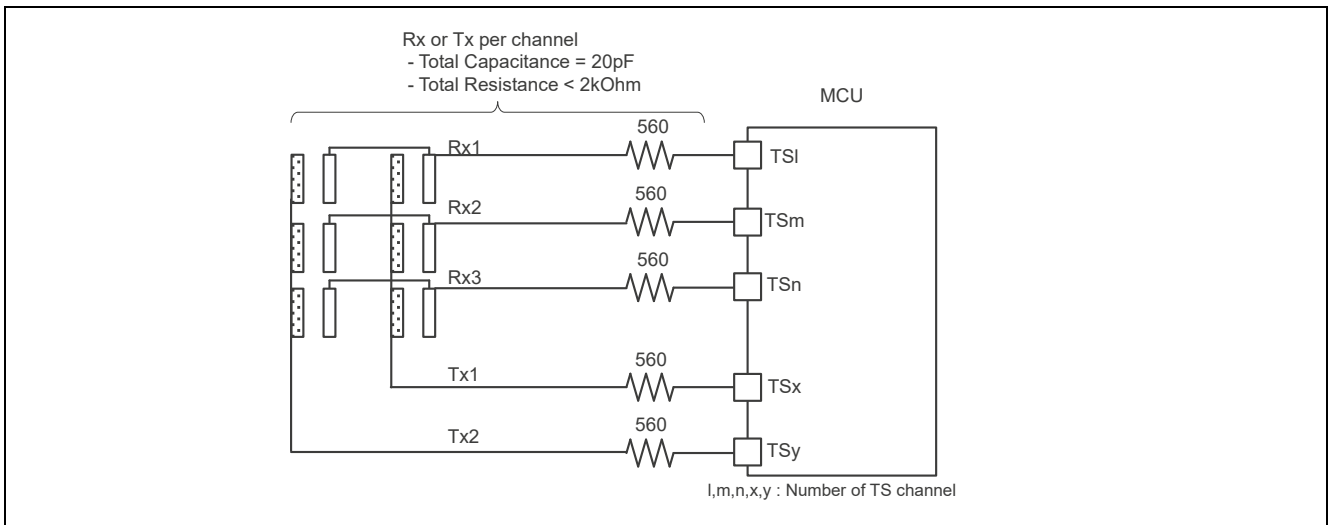


図 3-4 相互容量方式の電極回路

図 3-5 に相互容量方式電極の推奨パターンを示します。Rx を Tx で囲う構造にしてノイズに弱い受信電極を保護します。また Rx と Tx の対向距離を増やすと共に指と干渉する面積を増やす構造としています。このパターンはオーバーレイ厚 2mm から 3mm に対応します。

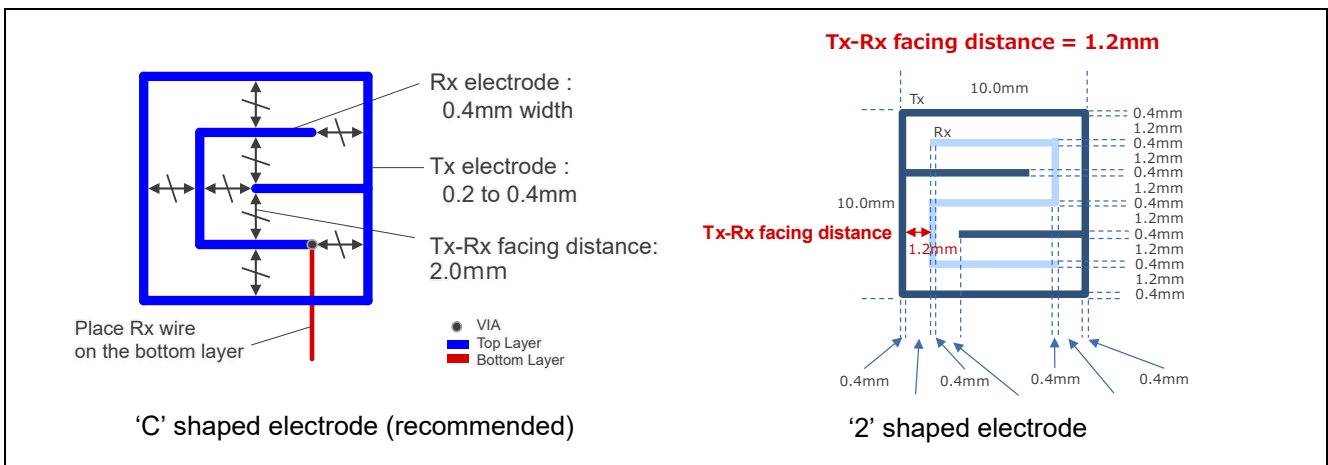


図 3-5 相互容量方式電極の推奨パターン

相互容量方式の計測は Tx、Rx 間で発生する電磁界（容量結合）を測定し、人体が接近した際に電磁界が人体側に誘導され容量結合が減少する事象をとらえます。よって、Tx、Rx 間での容量結合をできる限り大きくすると共に人体（指）が接近した際に容量結合が減少する割合をできる限り大きくするよう設計する必要があります。

図 3-6 に相互容量方式電極の Tx-Rx 容量結合電磁界のイメージを示します。厚いオーバーレイパネルを使用する場合、Tx-Rx 対向距離を長くすればよいのですが、一般的に製品の電極の面積には制限があるため、Tx-Rx 対向距離を長くするには限界があります。このような場合は、図 3-5 の「C」型電極の様に Tx-Rx 並走距離を抑えた小さい電極を使用する必要がありますが、「2」型電極と比較して「C」型電極は Tx-Rx 並走距離が短いため、計測値が小さくなる傾向にあります。

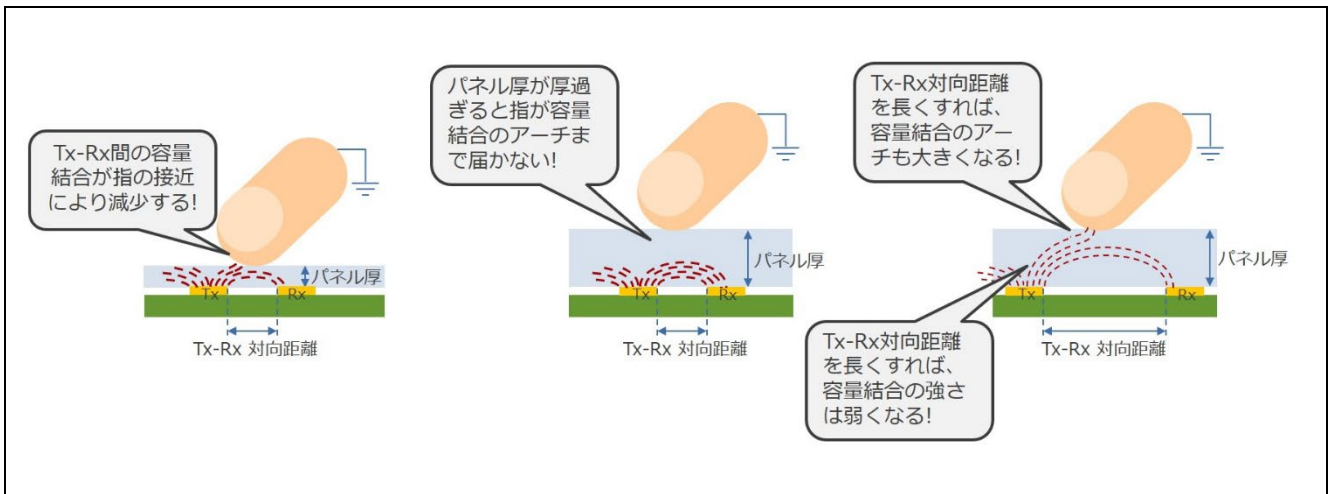


図 3-6 相互容量方式電極の Tx-Rx 容量結合電磁界のイメージ

図 3-7 に相互容量方式電極の Tx-Rx 並走距離と Tx-Rx 対向距離による容量結合イメージを示します。Tx と Rx の並走距離が長いほど Tx-Rx 電極間容量結合が大きくなり、タッチした時の計測値の変化量が大きくなります。電極パッドサイズが同一の場合、Tx-Rx 並走距離が長いほどレイアウトは複雑になります。また、Tx-Rx 対向距離が長ければ、厚いオーバーレイパネルや空気層に対応可能ですが、電磁界の結合密度は小さくなり、容量が小さくなる傾向にあります。

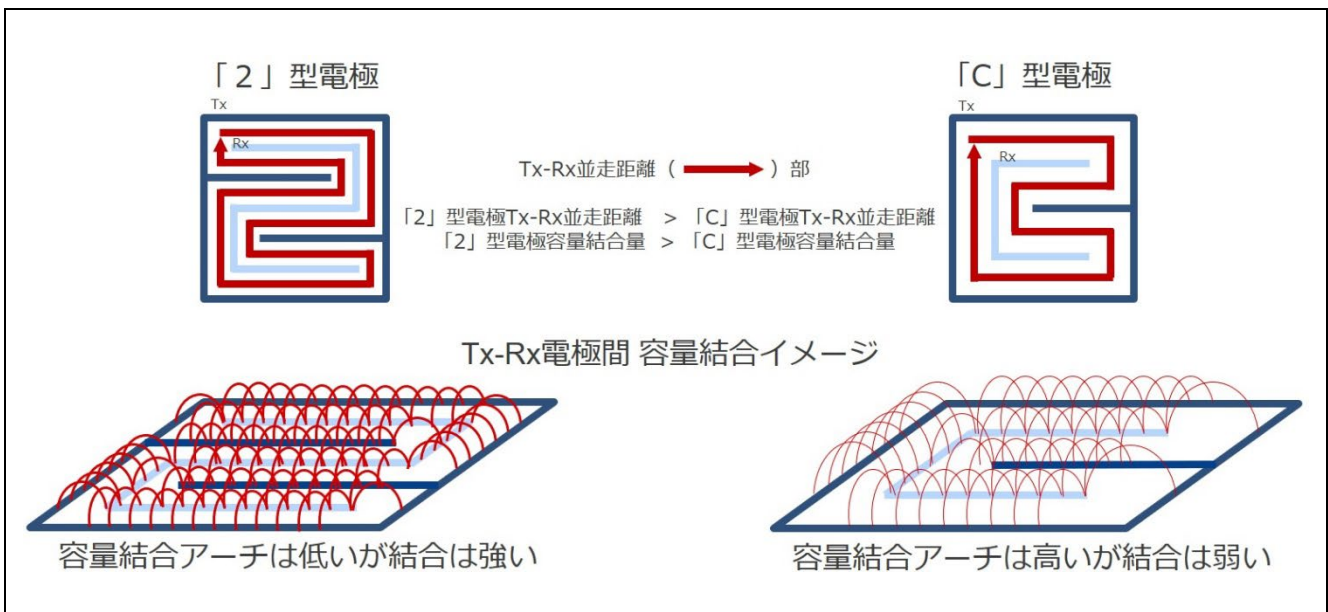


図 3-7 相互容量方式電極の Tx-Rx 並走距離と Tx-Rx 対向距離による容量結合イメージ

3.6 空気層

図 3-8 に相互容量方式 電極パッド Tx-Rx 容量結合電磁界と空気層(パネル厚含む)のイメージを示します。相互容量方式で、電極とオーバーレイパネルとの間に空気層がある場合は、厚いパネルの場合と同様に Tx-Rx 対向距離を長く取る必要があります。送信電極 Tx と受信電極 Rx の対向距離はパネル厚に依存します。Tx-Rx 対向距離は、パネル厚と空気層厚の約 0.6 倍を推奨します。

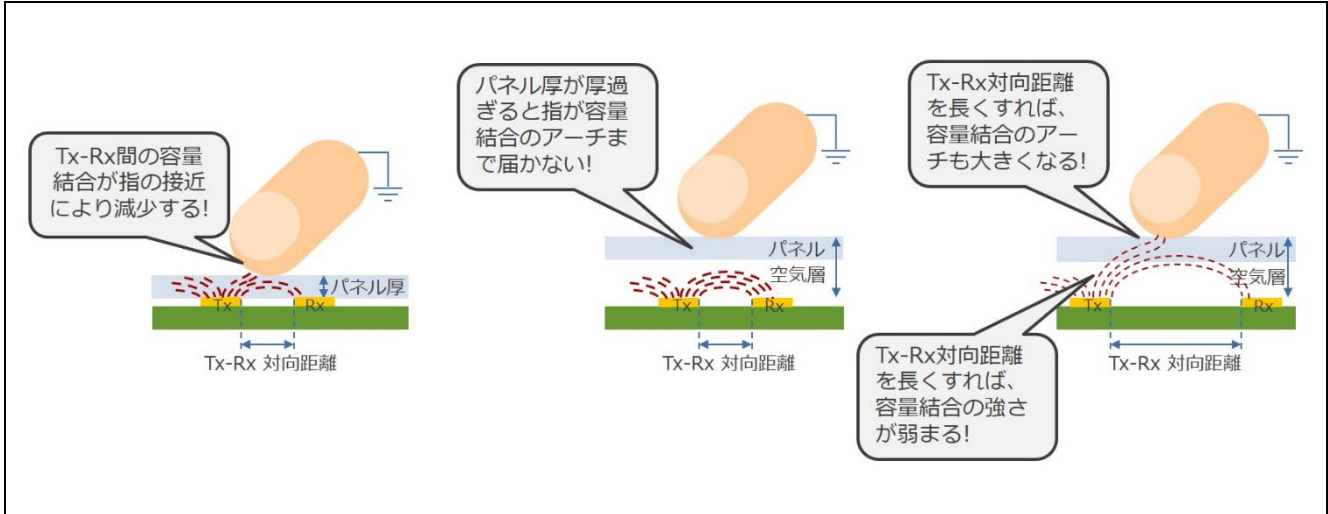


図 3-8 相互容量方式 電極パッド Tx-Rx 容量結合電磁界と空気層(パネル厚含む)のイメージ

3.7 タッチ面から電極までの距離

図 3-9 に相互容量方式 容量変化量と感応距離の関係を示します。相互容量方式では、指（人体）と電極との距離が短すぎても、長すぎても、Tx-Rx 電極間の結合容量の減少量が小さくなるため、パネル厚や空気層厚などの厚みには注意が必要です。上記通り、概ね Rx-Tx 電極間距離の 1.7 倍程度が空気層を含め最適なパネル厚となります。

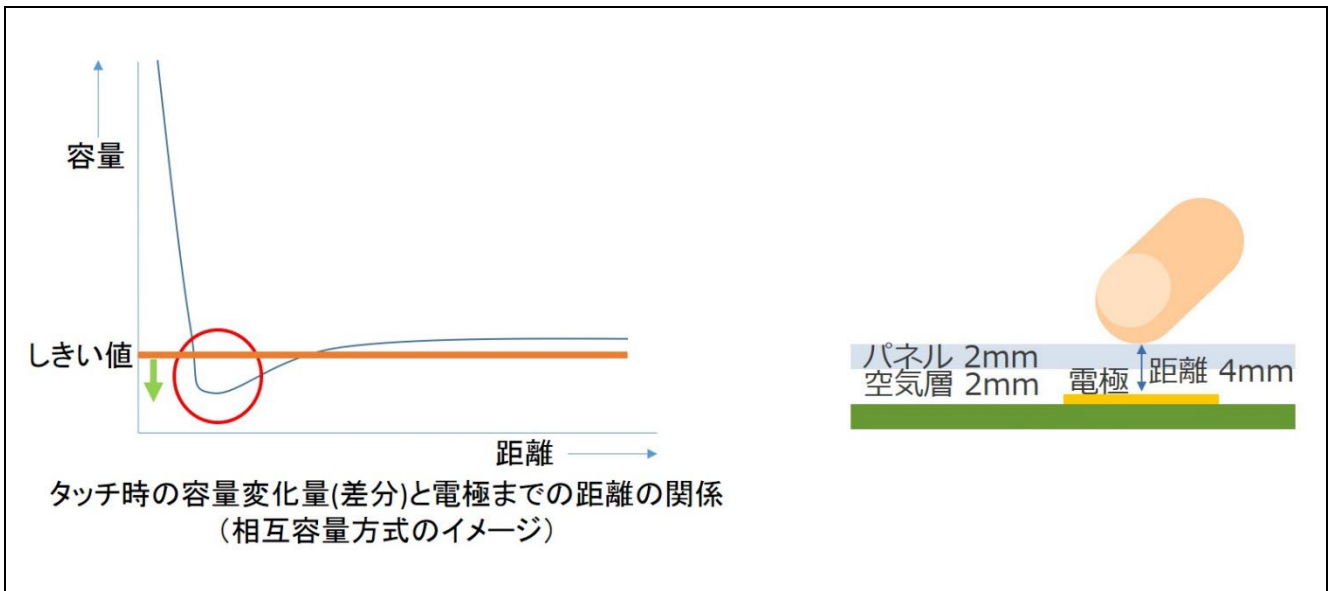


図 3-9 相互容量方式 容量変化量と感応距離の関係

図 3-10 に相互容量方式の電極間距離とパネル厚の関係について示します。電極間隔は、隣接電極の誤検出（クロストーク）を防止するために、パネル(空気層含む)厚の 2 倍以上を推奨しています。

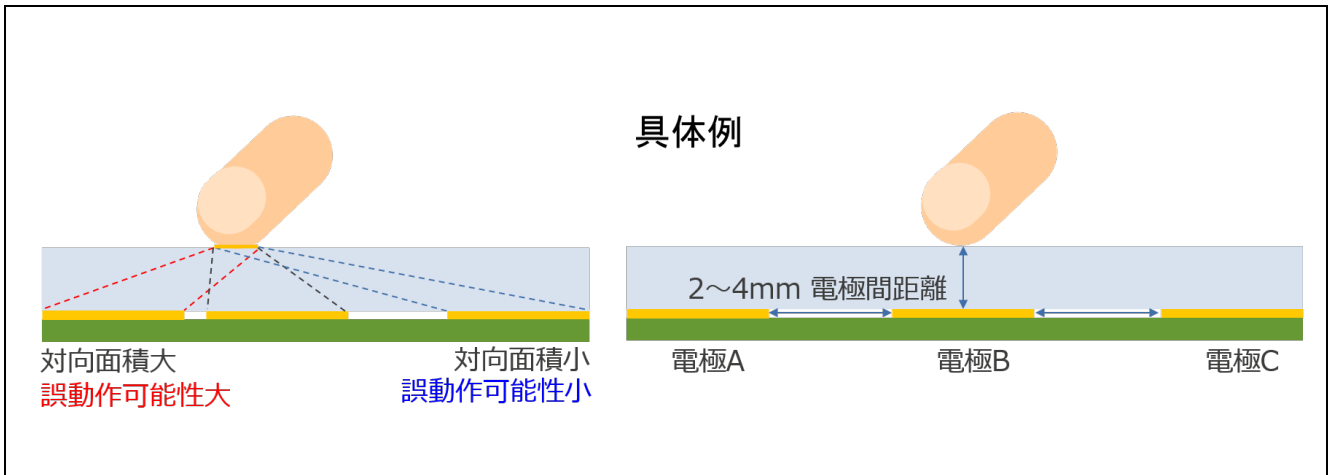


図 3-10 相互容量方式の電極間距離とオーバーレイ厚の関係

3.8 電極配線取回し設計

図 3-11 に相互容量方式 電極配線取回し例を示します。Tx 電極配線と Rx 電極配線は、ボタン電極付近などの指でタッチされる可能性がある部分では互いに広く離隔をとって配線する必要があります。これは電極パッド以外の部分にタッチする事による誤検出（容量減少）のリスクを減らすためです。指等が意図せずタッチしたとしても、Tx 電極配線と Rx 電極配線の双方を一度にタッチ出来ない程度の離隔が必要です。同様に Tx と Rx に設定したタッチ計測（TS）端子を隣接させると端子間で容量結合し、指がボタン電極に接近した際に減少する容量の割合が相対的に減少し感度が低下します。Rx、Tx はそれぞれグループとしてまとめ出来るだけ離して配置して下さい。

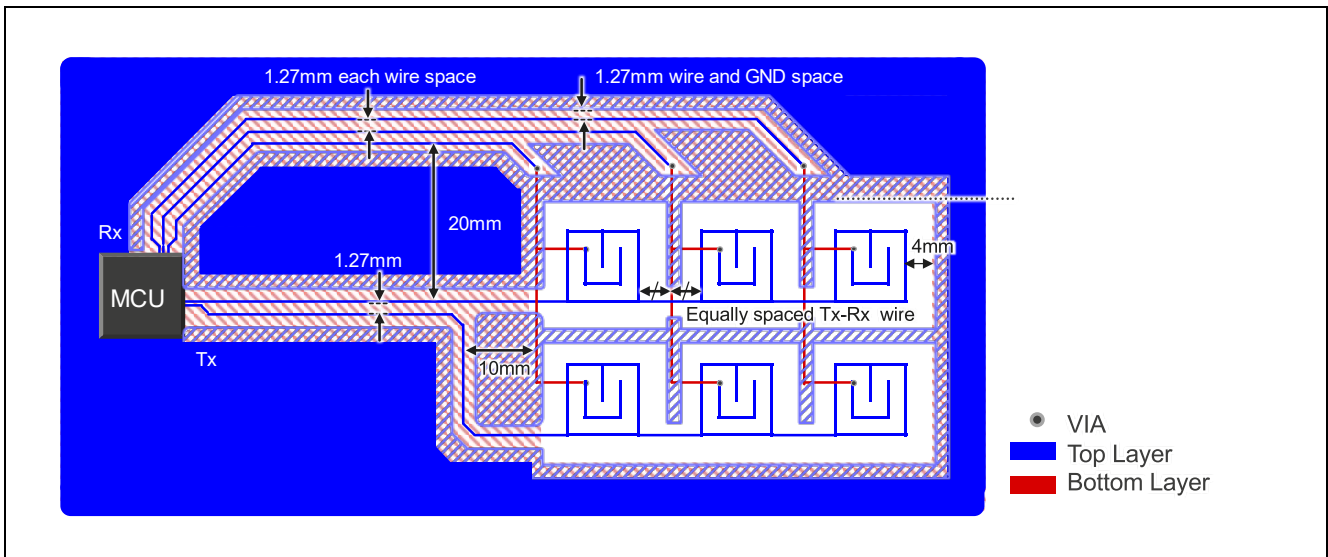


図 3-11 相互容量方式 電極配線取回し例

図 3-12 に相互容量方式 電極配線の制約条件を示します。Tx 電極配線と Rx 電極配線は、配線部では近距離で並走させず、広く離隔をとって配線して下さい。やむを得ず配線を交差させたい場合は、電極付近から遠い場所で垂直に交差させ、出来るだけ早く距離を取って下さい。

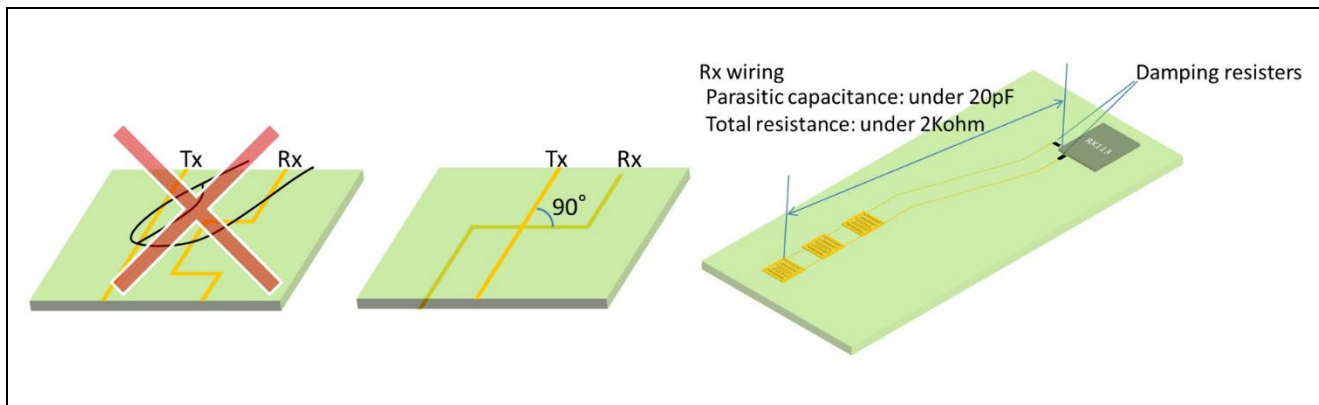


図 3-12 相互容量方式 電極配線の制約条件

3.9 ノイズ対策設計

電極回路はその構造上アンテナ（MCU 端子が容量結合のみで開放になる）となるため外来ノイズの影響を受けやすくなっています。ルネサス MCU は複数のノイズ対策機能を持ち強固なノイズ耐性がありますが、MCU 単体で全てのノイズに対応する事は不可能です。厳しいノイズ環境が想定される場合、ハードウェアでの対策が不可欠となります。本項では外来ノイズについて対策例を説明します。なお、一般論として配線長が長い程、多くのノイズ周波数に同期してノイズが混入しますので、ボタン電極とタッチマイコン間の配線は可能な限り最短距離として下さい。

相互容量方式ではアクティブシールドは使用できません。

3.9.1 パターン設計

3.9.2 シールドガードによるノイズ対策

電極および配線周囲に GND パターンを配置して容量結合を発生させ、外来ノイズの影響による電位変動を抑制します。GND シールドを配置する場合、近づけすぎると寄生容量が増加しすぎてタッチ検出できなくなる場合があります。ノイズ環境が厳しくシールドを近づける必要がある場合、容量結合を軽減できるメッシュ形状を推奨します。ルネサスの静電容量タッチ評価システムでは下記寸法のメッシュパターンを採用しています。また電極配線との容量結合を軽減するため、配線方向によってはメッシュパターンを 45 度傾けます。また配線長により並走距離が長くなると寄生容量が増加するため、配線とシールドの間隔調整が必要になる場合があります。

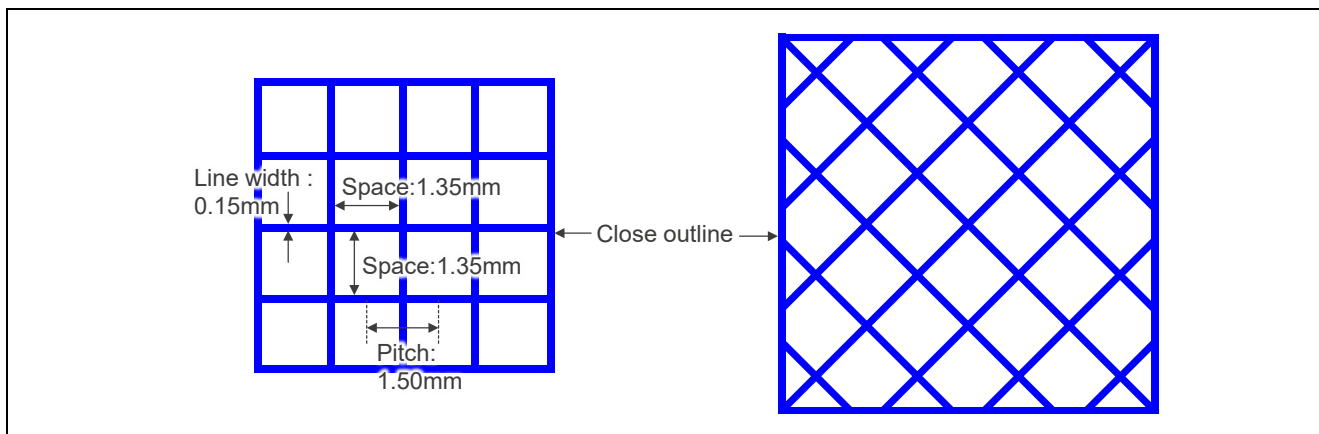


図 3-13 メッシュパターン寸法

図 3-14 および図 3-15 に相互容量方式電極 ノイズ対策パターンレイアウト例を示します。電極配線の外周を覆う様にメッシュ GND を配置します。レイアウト制約によりすべての配線をカバーできない場合、Rx 電極配線を優先して外側を覆うようにメッシュ GND を配置してください。電極配線とメッシュ GND の離隔は 4mm を確保して下さい。

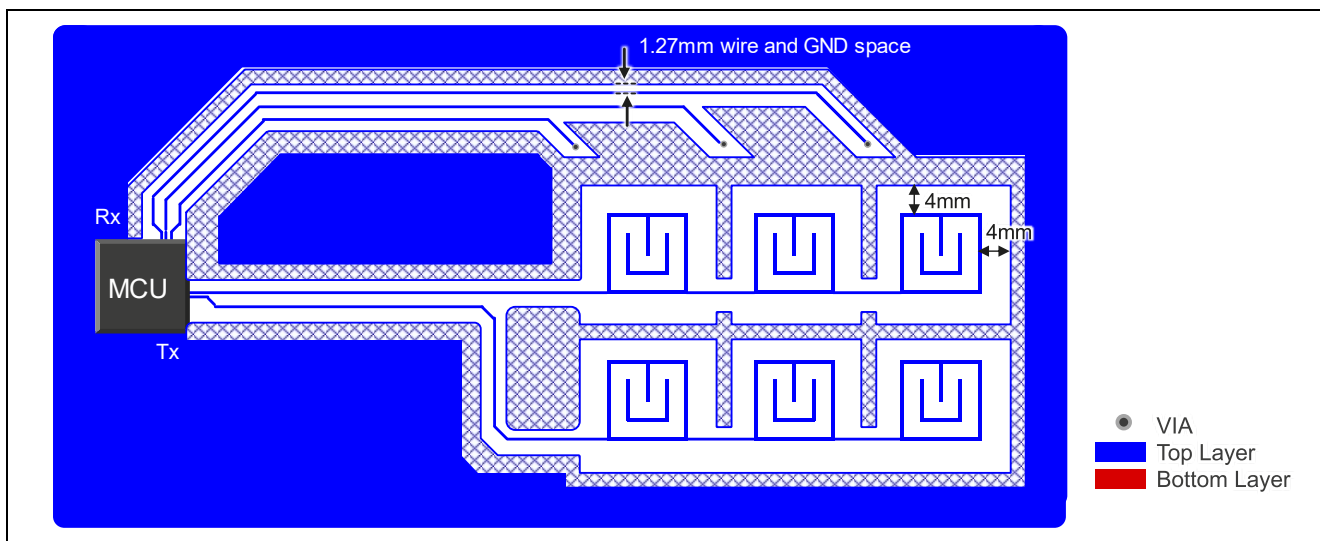


図 3-14 ノイズ対策レイアウトパターン例 (TOP 層)

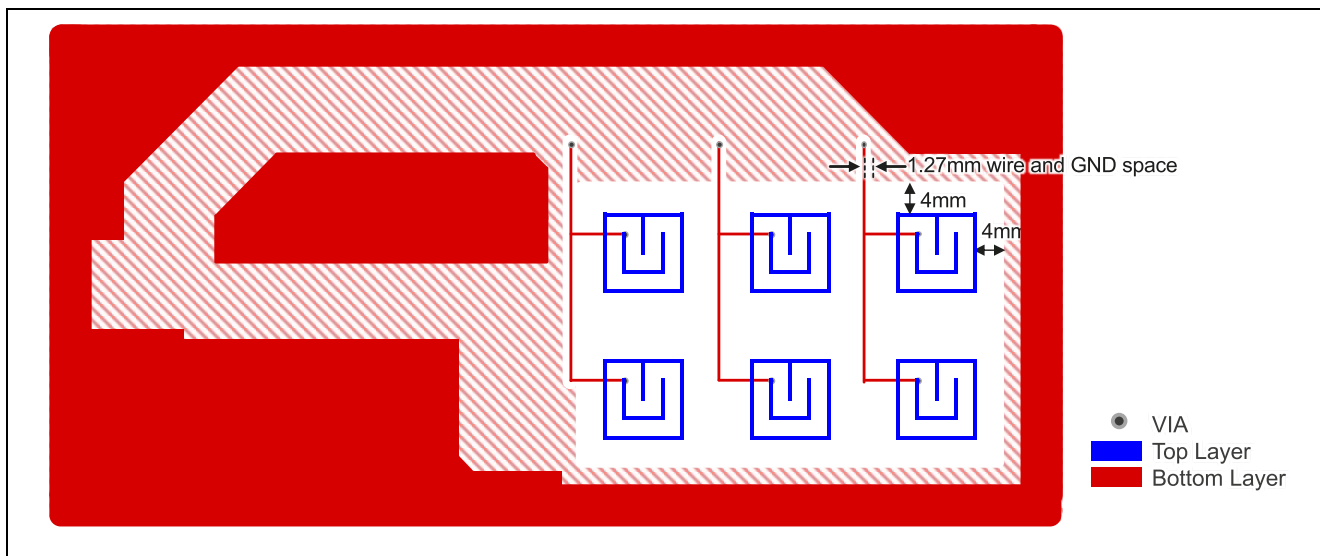


図 3-15 ノイズ対策レイアウトパターン例 (BOTTOM 層)

3.10 設計応用例

3.10.1 耐水電極レイアウトパターン設計

図 3-16 に相互容量方式 耐水電極レイアウトパターンの注意事項について示します。流水などの水量が多く、電極の上に水膜が出来る様な状態では、指が水膜表面に触れた時点で電氣的に指先が水膜下のすべての電極にタッチしている状態に近づいてしまいます。このとき、流水の抵抗値に反比例して隣接電極の誤検出のリスク（クロストーク）に大きく影響します。水量が多い場合や海水など電解質を含む水が静電タッチに対して悪条件なのは、水膜の厚みが厚くなることや水の誘電率が非常に高く、また電解質による誘電率が加味されることで水膜の抵抗値が低くなるためです。

耐水性が必要な製品では隣接電極の誤検出対策として、各電極パッド間の離隔を広くとる必要があります。

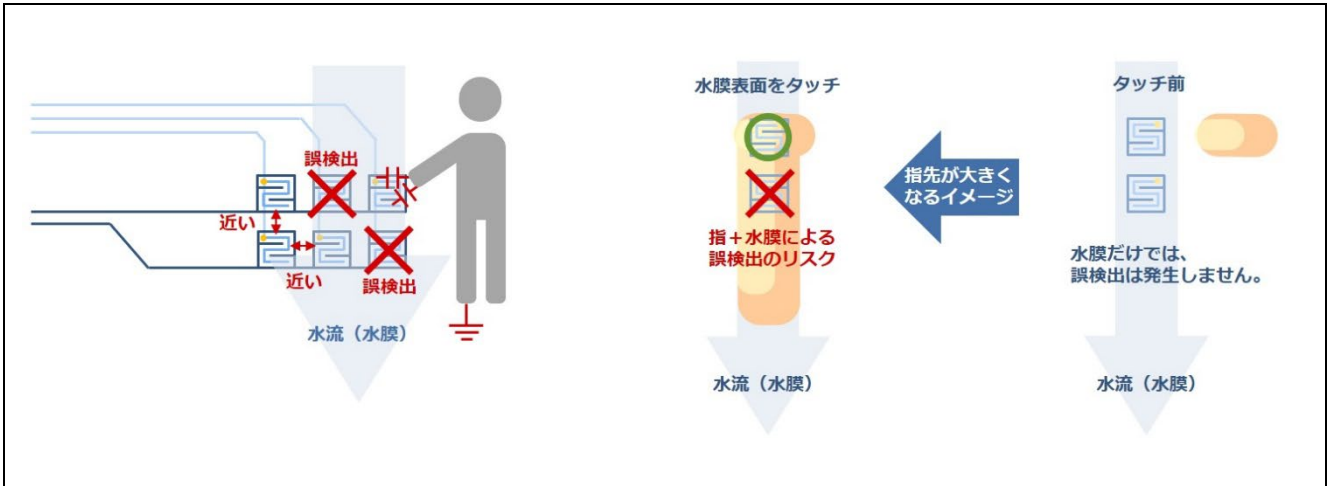


図 3-16 相互容量方式 耐水電極レイアウトパターンの注意事項

図 3-17 に相互容量方式 耐水電極レイアウトの推奨パターンを示します。耐水性を考慮する場合、水流は上から下に流れるために電極は水平方向に 1 列にレイアウトすることが理想です。

計測中の電極に使用されていない Tx 配線は Low 出力されるため、耐水性が必要な製品では Tx を 1 系統にまとめる事で、非アクティブの Tx からの L レベルが水膜を介して他の電極とブリッジし、誤検出されることを防ぐことができます。

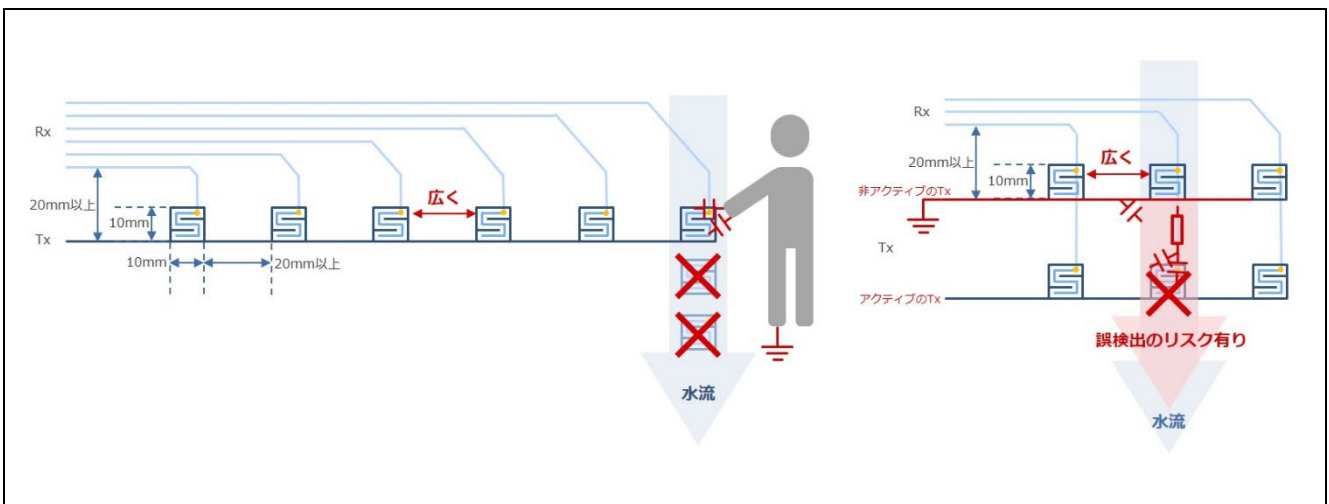


図 3-17 相互容量方式 耐水電極レイアウト推奨パターン

図 3-18 に相互容量方式 電極間距離とパネル厚の関係について示します。電極パッド間隔は、隣接電極の誤検出（クロストーク）を防止するために、パネル(空気層含む)厚の 2 倍以上を推奨しています。

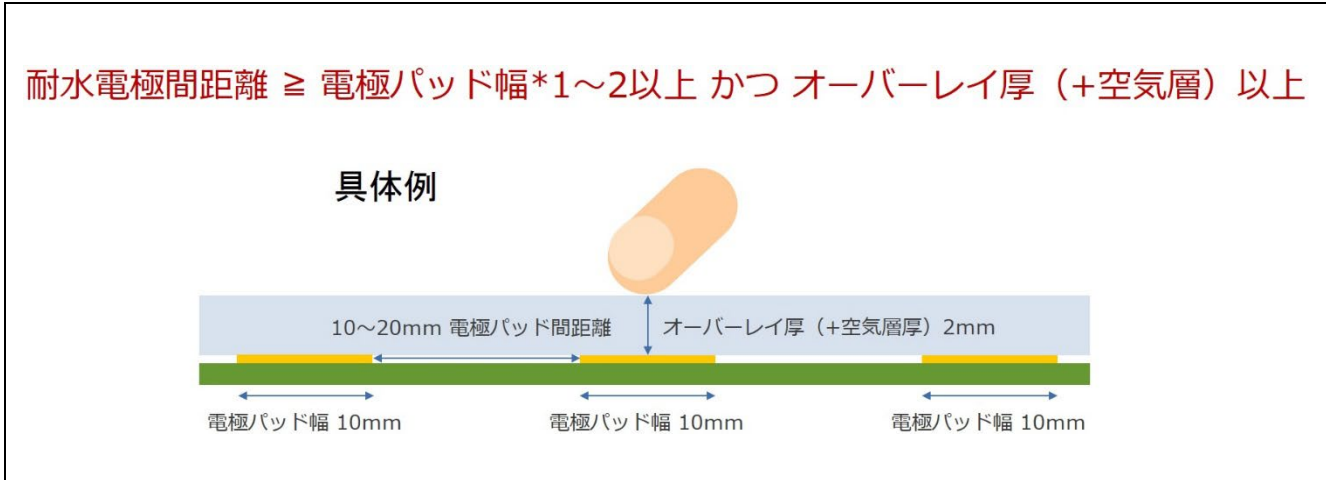


図 3-18 相互容量方式 耐水電極間距離とオーバーレイ厚の関係

3.10.2 LED 配線レイアウト

3.10.2.1 直接灯火の例

図 3-19 に相互容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例を示します。図 3-19 の右の例のように LED は極力電極パッドパターンの外に配置するのが理想です。相互容量方式では Tx-Rx 対向面積を大きくとる事により、検出感度を上げる事が可能な為、電極パッド内への LED 配置は、電極パッド内で Tx 電極と Rx 電極を蛇行させることが困難であり、Tx-Rx 並走距離が小さくなるため、同サイズの電極パッドにおいて感度劣化の要因となります。

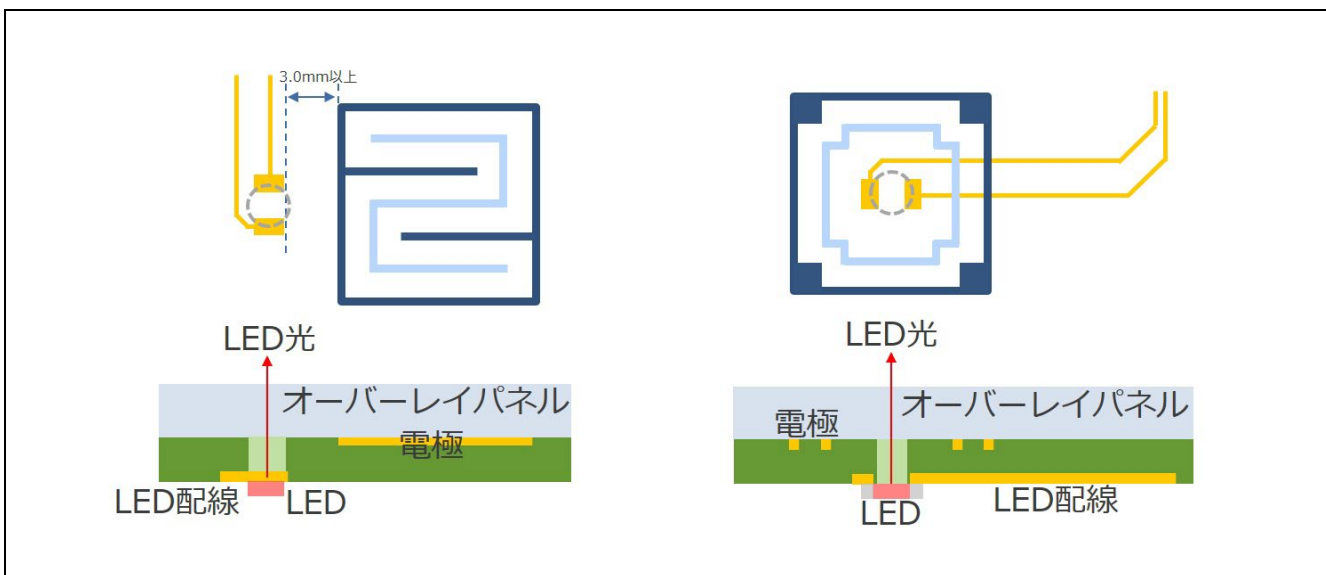


図 3-19 相互容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例

3.10.2.2 間接灯火の例

図 3-20 に相互容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例を示します。LED(光源)は発光面から一定距離をとらなければ光ムラになる可能性があります。

複数の LED(光源)を対向する位置に配置することにより光ムラを抑えることが可能です。

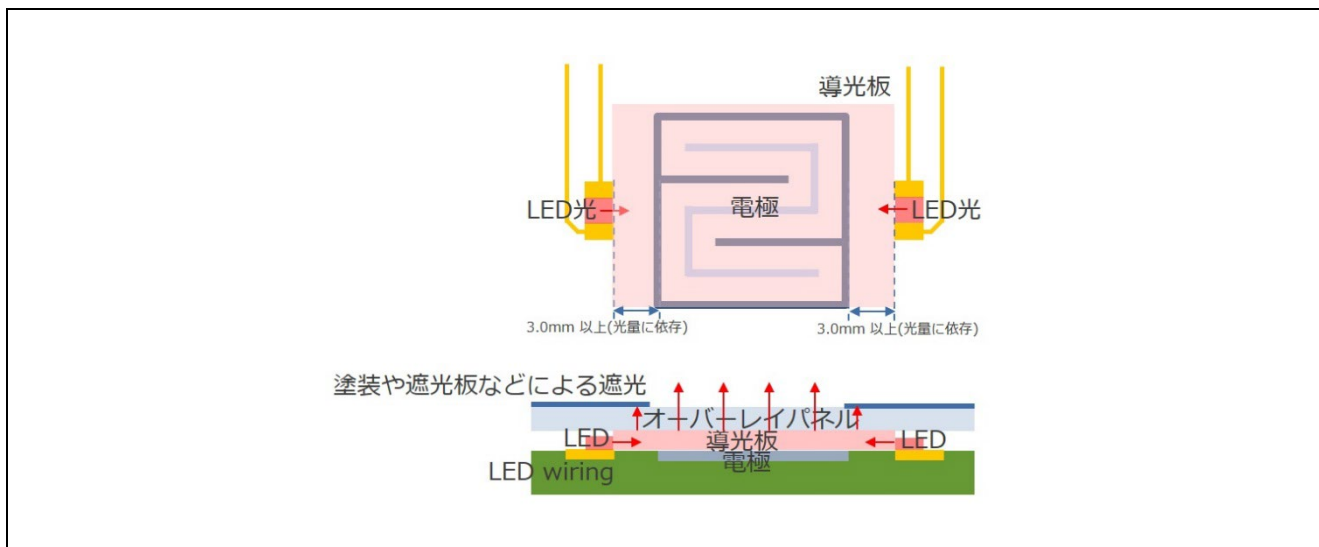


図 3-20 相互容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例

4. 参考ドキュメント

RX113 Group CTSU 静電容量タッチ検出の基礎 (R30AN0218)

(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

5. 自己容量方式ボタン設計と特性データ

静電容量タッチボタンは電極サイズや配線ピッチなど様々な設計パラメータの組み合わせにより特性が変化します。本章では自己容量方式ボタンの個々の設計パラメータを変化させたときの感度への影響をデータで提供します。各パラメータのデータを組み合わせることで基板設計時にどのようなリスクが発生するか見積もることができます。

本書のデータは各 MCU の電気的特性を保証するものではありません。基板設計においては試作および十分な評価を行い、お客様にて使用可否を判断してください。

5.1 自己容量方式ボタンの感度 (SNR)

本章ではボタンの感度を SNR (Signal to Noise Ratio) で定義しています。図 5-1 にボタン感度 (SNR) の導出方法を示します。SNR はボタンのタッチ時と非タッチ時のカウント差分値およびノイズ値から算出します。計測値は任意サンプル数の平均値とします。本書ではノイズ値を任意サンプル数の標準偏差の $\pm 3\sigma$ とし、ボタンのタッチ時または非タッチ時のうち悪い方を採用しています。ノイズ値はデータ取得時間により増減する場合があるため十分なサンプル取得時間で評価してください。

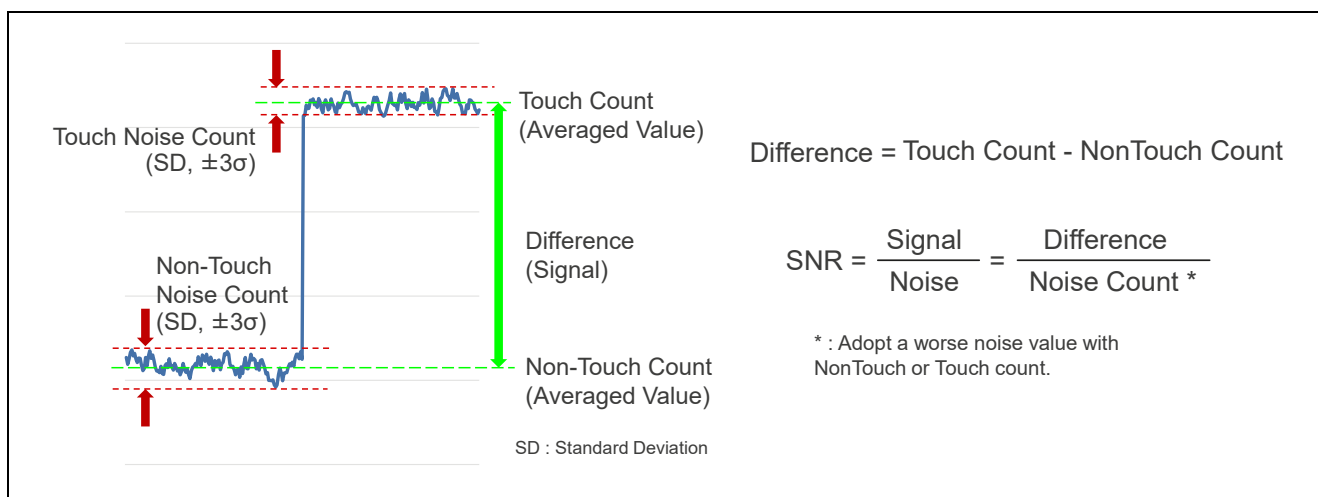


図 5-1 ボタン感度 (SNR) の導出方法

表 5-1 に図 5-5 で示す評価ボードの計測結果を示します。ボタンタッチ時の差分値が 1491、ノイズ値が 78 のとき、SNR は 19 となります。本評価では非タッチ時のノイズのほうが大きかったため非タッチ時のノイズ値を採用しています。

表 5-1 評価ボードパターン例 (推奨設計値、1 ボタン実装) 計測結果

項目	Non-Touch	Touch	Difference
寄生容量 (CPU ボード含む)	17.29 pF	17.94 pF	0.65 pF
寄生容量 (評価ボードのみ)	6.81pF	7.46pF	
計測値	15379	16870	1420
ノイズ値	78	62	—
SNR	19		

Note : センサドライブパルス周波数 = 2MHz

5.2 CTSU の計測レンジと感度の関係

CTSU のセンサドライブパルス周波数は静電容量計測レンジおよび SNR に影響します。図 5-2 に 寄生容量とセンサドライブパルス周波数の設定例に示します。本例の条件は MCU が RA2L1、電源電圧 (VCC) が 5.0V、ダンピング抵抗 R=560Ω です。ダンピング抵抗は外来ノイズからの端子保護および端子からの出力電流制限のため 560Ω を推奨しています。QE for Capacitive Touch の自動調整機能ではセンサドライブパルス周波数は 4.0、2.0、1.0、0.5MHz から選択されます。設定値は使用する MCU により変化します。

自己容量様式のボタンアプリケーションにおいて MCU 端子含むボタン電極の寄生容量推奨範囲は 3.3pF から 50pF です。推奨範囲は QE for Capacitive Touch の自動調整機能により計測基準値の 15360 に合わせこむことが可能な範囲を示しています。推奨範囲を下回ると CTSU のオフセット調整範囲外となり 15360 より小さい計測基準値となり環境変動などの寄生容量変動マージンが少なくなります。推奨範囲を上回る場合はドライブパルス周波数が低くなるため十分な SNR が得られない可能性があります。

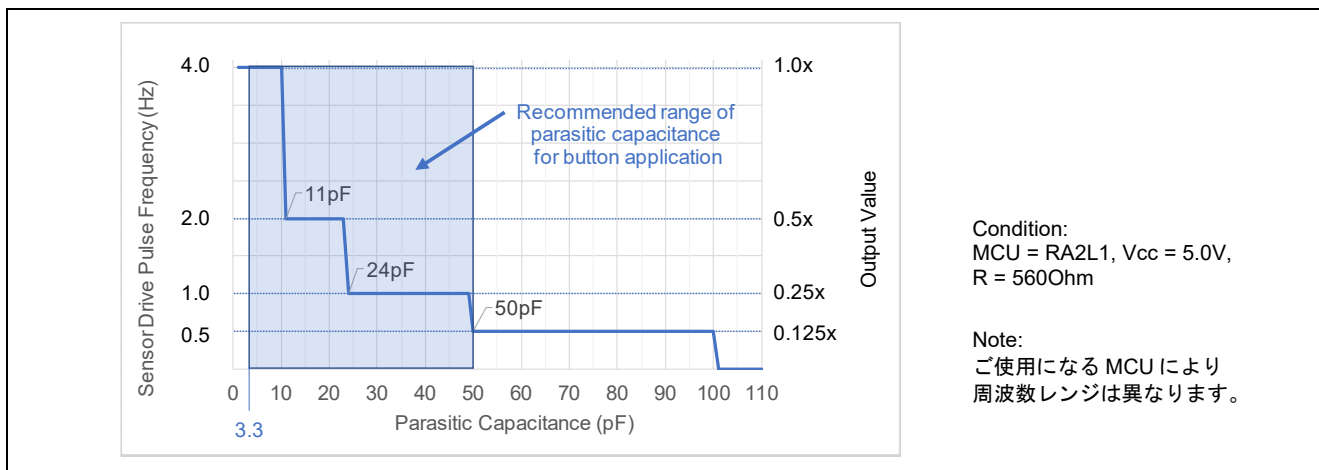


図 5-2 寄生容量とセンサドライブパルス周波数の設定例

図 5-3 にセンサドライブパルス周波数と感度の関係を示します。本例は図 5-5 で示した推奨設計パターンの評価ボードでセンサドライブパルス周波数を変化させたときの評価結果です。図 5-3(a)はセンサドライブパルス周波数ごとのタッチ ON と OFF の計測値差分であり、センサドライブパルス周波数に比例します。図 5-3(b)で示すタッチ時の検出容量 (Difference) のように計測値を静電容量値に変換すると、センサドライブパルス周波数によらず一定の値を検出できています。一方 SNR はセンサドライブパルス周波数に比例して改善します。センサドライブパルス周波数が低いほどカウントあたりのノイズ量が増加するため SNR は低下する傾向があります。

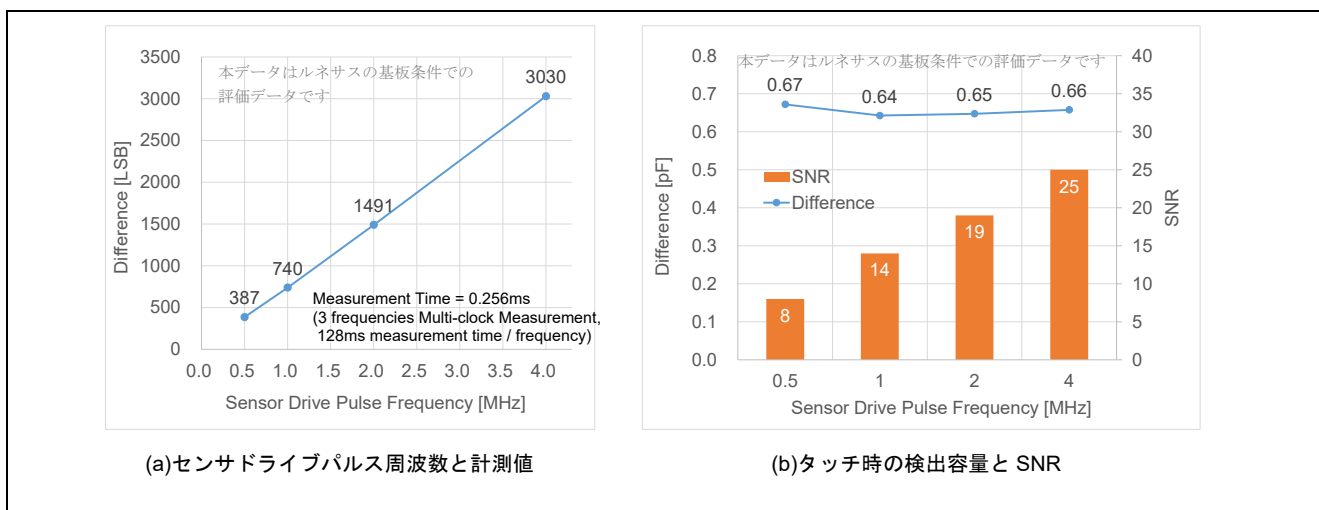


図 5-3 センサドライブパルス周波数と感度の関係

5.3 評価条件

表 5-2 ハードウェア条件

項目	仕様
CPU ボード	RA2L1 Cap Touch CPU ボード (RTK0EG0018C01001BJ) (RA2L1 静電容量タッチ評価システム (RTK0EG0022S01001BJ) 付属品)
使用 MCU	RA2L1 (R7FA2L1AB2DFP)
動作周波数	48MHz
電源	5.0V (USB より給電)
疑似指	Φ8.0×50mm ステンレス棒

表 5-3 ソフトウェア開発環境

項目	仕様
統合開発環境	Renesas e ² studio Version: 2022-01
コンパイラ	GCC ARM Embedded 10.3.1.20210824
RA FSP	Version 3.6.0
静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール	QE for Capacitive Touch V3.0.2
エミュレータ	Renesas E2 emulator Lite

表 5-4 計測条件

項目	設定
CTSU レジスタ設定	QE for Capacitive Touch の自動調整処理による結果を使用 (ドライブパルス周波数は自動調整により決定、多周波数測定回数 3 回、計測時間 0.128ms×多周波数測定回数)
計測周期	20ms (ハードウェアタイマ (AGT) により生成)
データ取得点数	128 個
データ確定方法	128 個を平均化
TS 端子寄生容量の測定方法	QE for Capacitive Touch の自動調整処理のログを使用

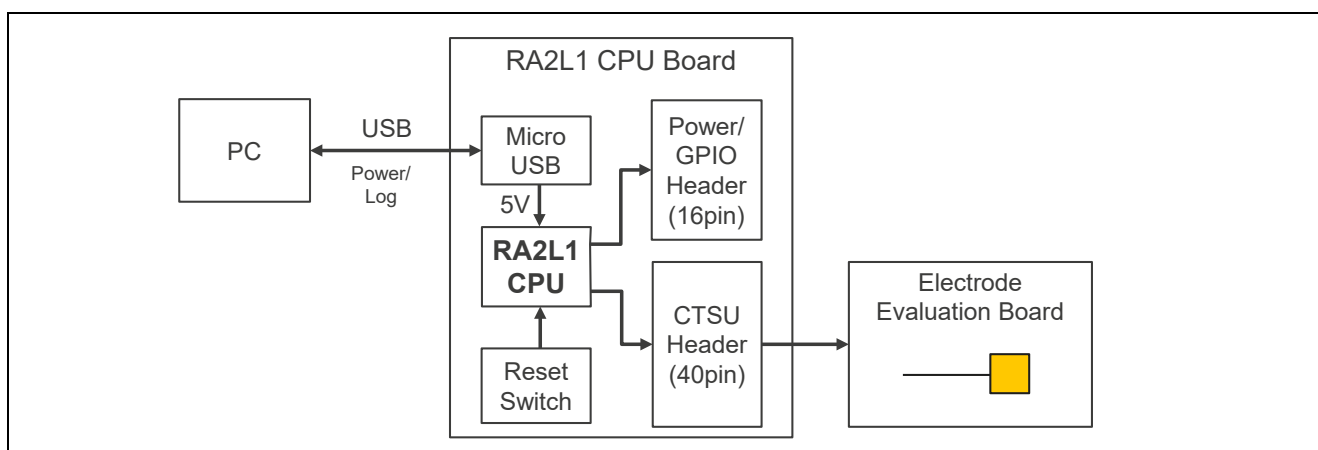


図 5-4 評価ボードブロック図

表 5-5 に電極設計推奨値を示します。図 5-5 に評価ボードパターン例（推奨設計値、1 ボタン実装）、図 5-6 に評価ボードパターン例（推奨設計値、3 ボタン実装）を示します。変化させる設計パラメータにより他の設計パラメータへの影響を与えないよう項目によりボタン数を制限しています。

表 5-5. 電極設計推奨値

パラメータ		仕様	単位	図 2-1 との対応
電極 (PAD)				
	形状	正方形、長方形	-	①
	サイズ	10x10~15x15	mm	②
	電極間隔	電極サイズ x0.8	mm	③
	メッシュ GND シールドの幅	5.0	mm	⑦
	メッシュ GND シールドとの間隔	5.0	mm	⑧A
配線				
	線幅	0.15~0.20	mm	④
	線長	最短距離	mm	⑤
	配線間隔	1.27	mm	⑥
	メッシュ GND シールドの幅	3.0	mm	⑦
	メッシュ GND シールドとの間隔	5.0	mm	⑧B
ダンピング抵抗		560	Ohm	—

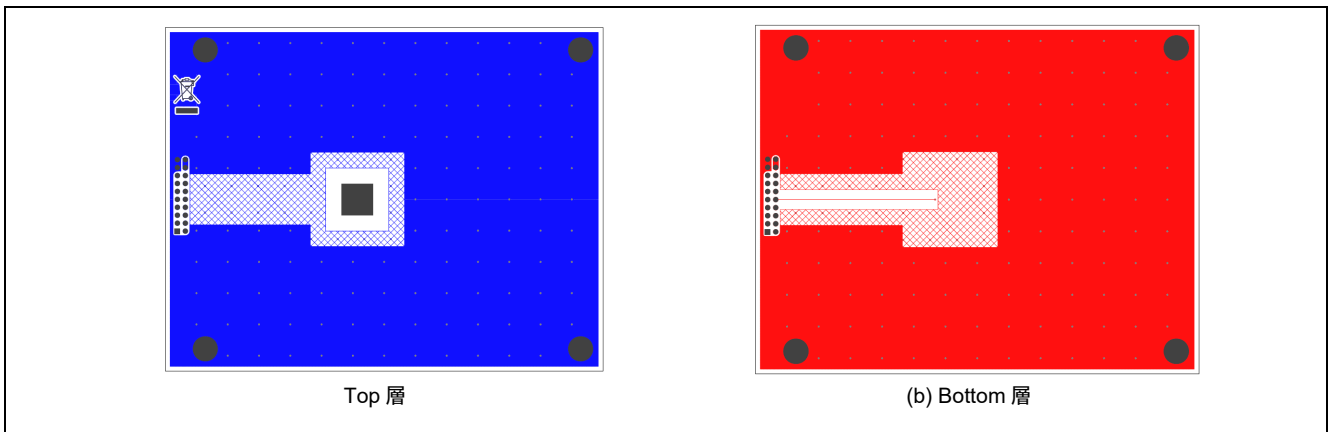


図 5-5 評価ボードパターン例（推奨設計値、1 ボタン実装）

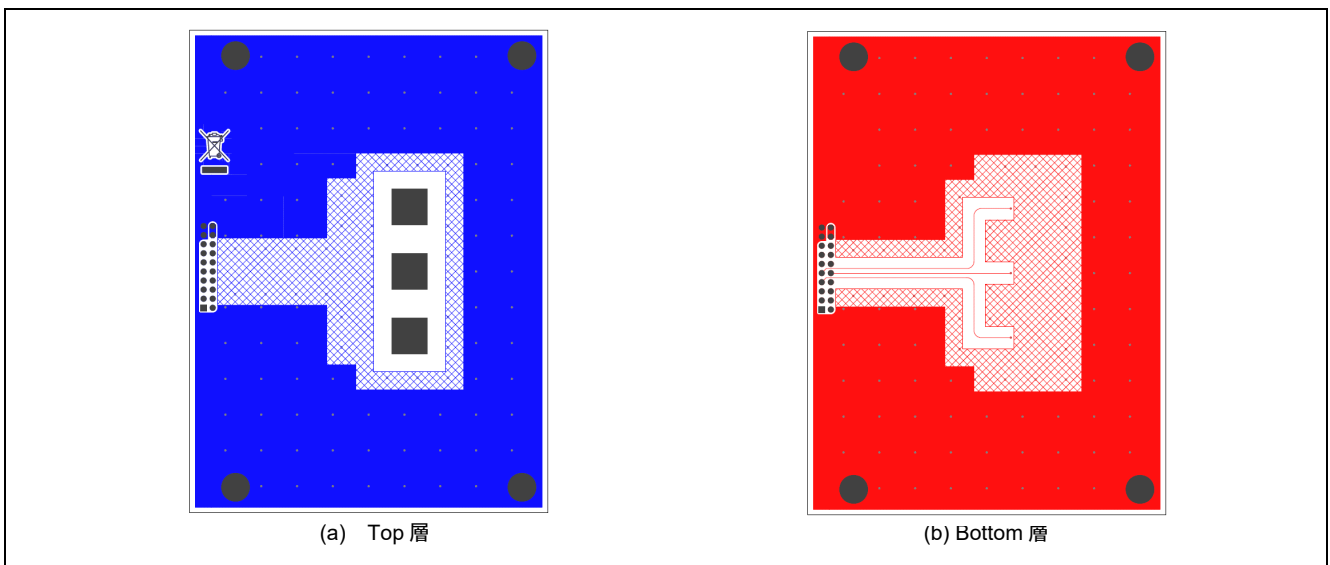


図 5-6 評価ボードパターン例（推奨設計値、3 ボタン実装）

5.4 設計パラメータと感度特性

本節は設計パラメータと感度特性の例を掲載します。特性グラフ内にはシンボルによる略記があります。表 5-6 にグラフ内シンボル一覧を示します。表 5-7 に評価に使用した基板仕様を示します。

表 5-6 グラフ内シンボル一覧

シンボル	説明
★	設計推奨値の電極ボード
Difference	ボタンのタッチ/非タッチの差分
L	配線長 (Length)
f _{0.5}	0.5MHz のセンサドライブパルス周波数
f _{1.0}	1.0MHz のセンサドライブパルス周波数
f _{2.0}	2.0MHz のセンサドライブパルス周波数
f _{4.0}	4.0MHz のセンサドライブパルス周波数

表 5-7 基板仕様

項目	仕様
板厚	1.6mm
材料	FR-4
層数	2層または4層

5.4.1 電極サイズ

表 5-8 に電極サイズ変動時の基板仕様を示します。電極サイズのみ変動させ、それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-8 電極サイズ変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
電極サイズ	5.0x5.0、10x10 30x30、50x50	mm	正方形
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

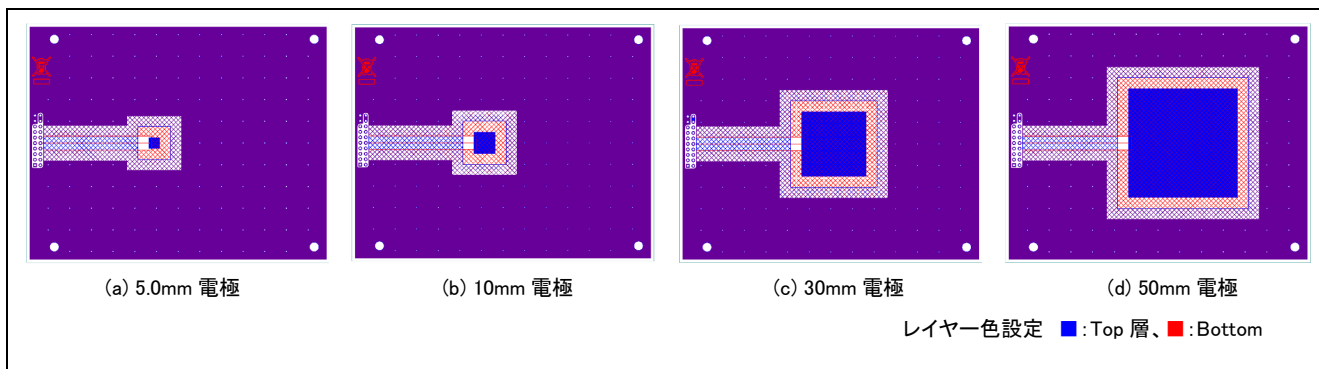


図 5-7 評価ボードパターン (電極サイズ)

図 5-8 に電極サイズと感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みません。

- 電極の寄生容量は面積比で増加します。実際には電極回路周囲の GND シールドやコネクタなど一定の寄生容量も加算されるため、電極回路全体としての増加量は面積比より小さくなります。
- タッチ時の CTSU 計測容量は電極サイズに比例して増加します。電極と接触する指の対向面積以外にも指の側面と電極間に寄生容量が発生します。
- タッチ時の SNR は電極サイズが大きくなると低下します。電極回路の総寄生容量によってはセンサドライブパルス周波数が低下するため SNR も低下します。

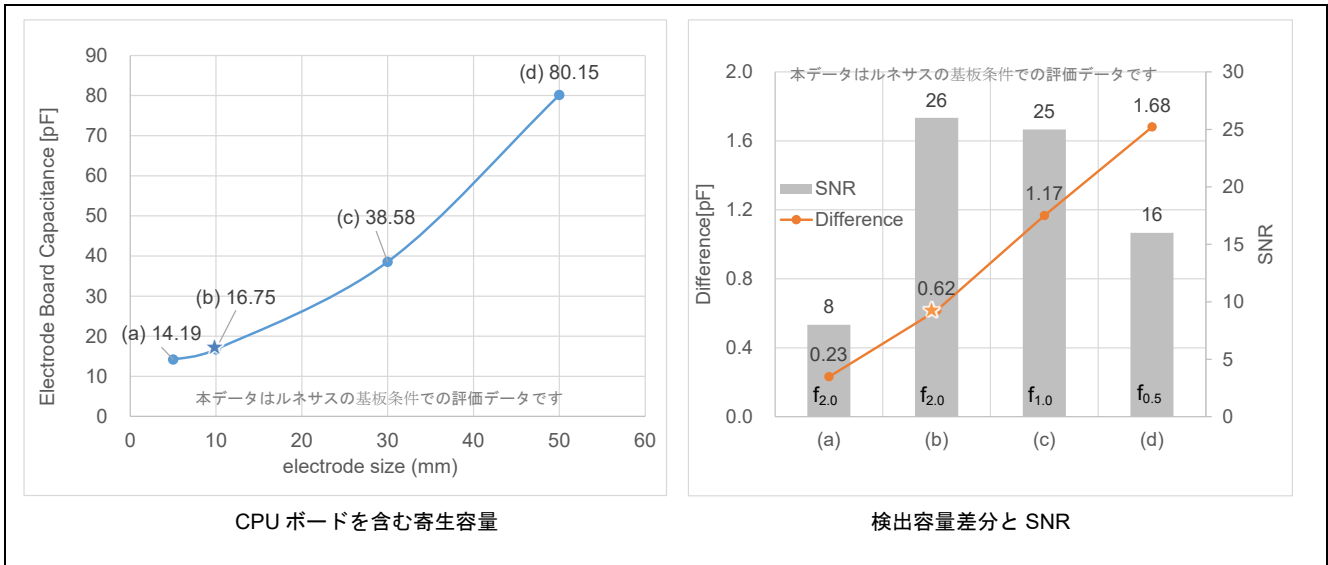


図 5-8 電極サイズと感度の特性

5.4.2 配線長

表 5-9 に配線長変動時の基板仕様、表 5-10 にシールド条件組み合わせを示します。配線長を変動させ、それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。GND パターン形状の違いによる感度影響も併記します。

表 5-9 配線長変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
配線長	50、300、600	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	
GND シールド形状	メッシュ、ベタ	-	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

表 5-10 シールド条件組み合わせ

ラベル名	メッシュ形状	配線-シールド距離	電極-シールド距離
COND1	メッシュ/3.0/5.0	3.0mm	5.0mm
COND2	メッシュ/0.5/0.5	0.5mm	0.5mm
COND3 注：電極直下の GND パターンを抜いています	ベタ/0.5/0.5	0.5mm	0.5mm

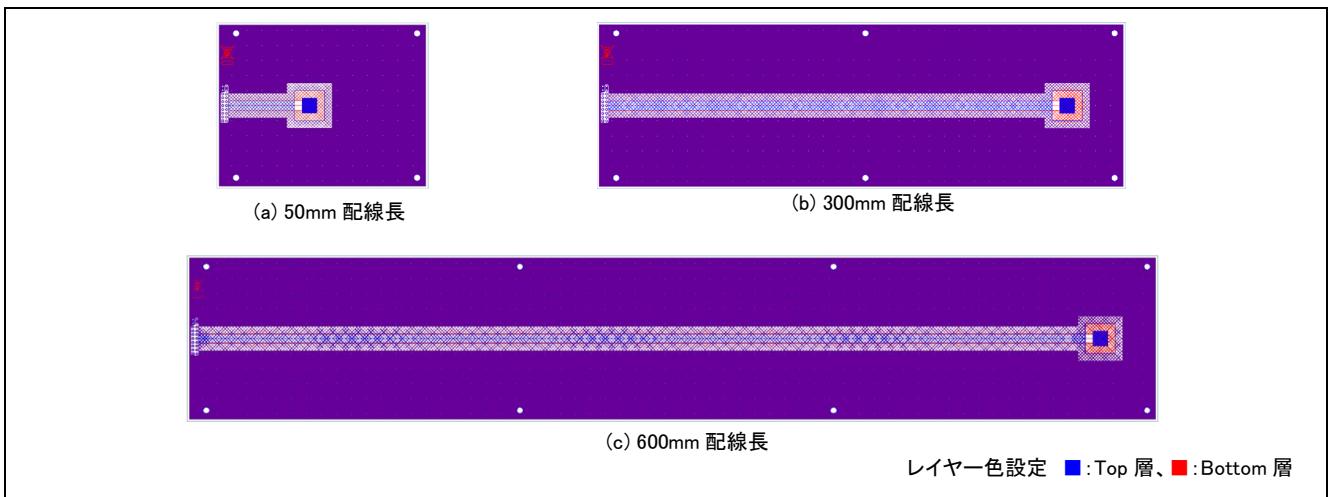


図 5-9 評価ボードパターン (COND1)

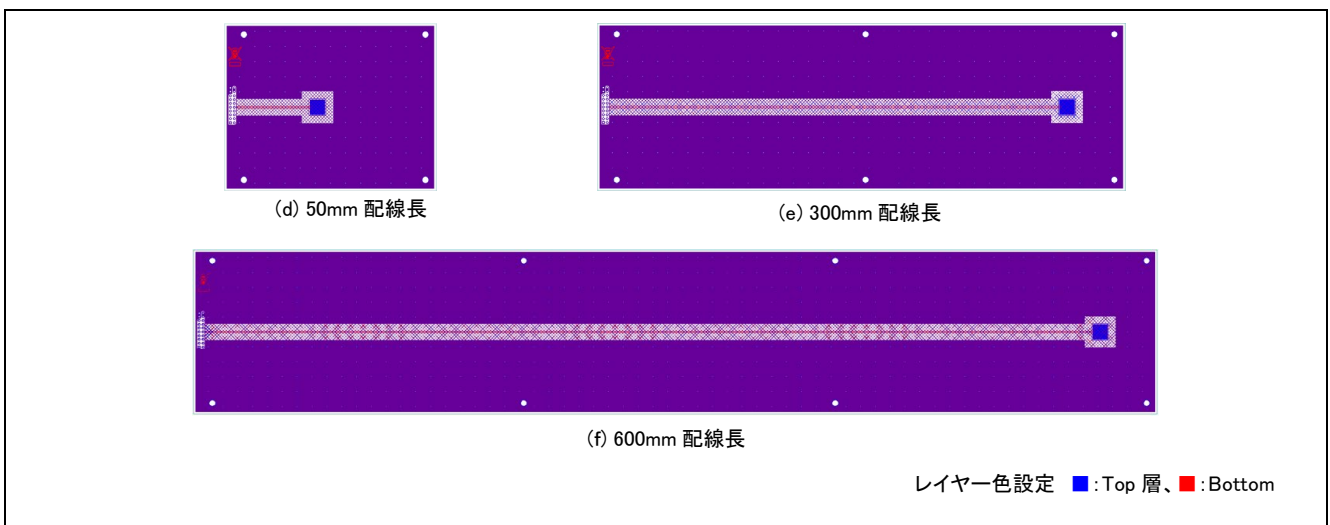


図 5-10 評価ボードパターン (COND2)

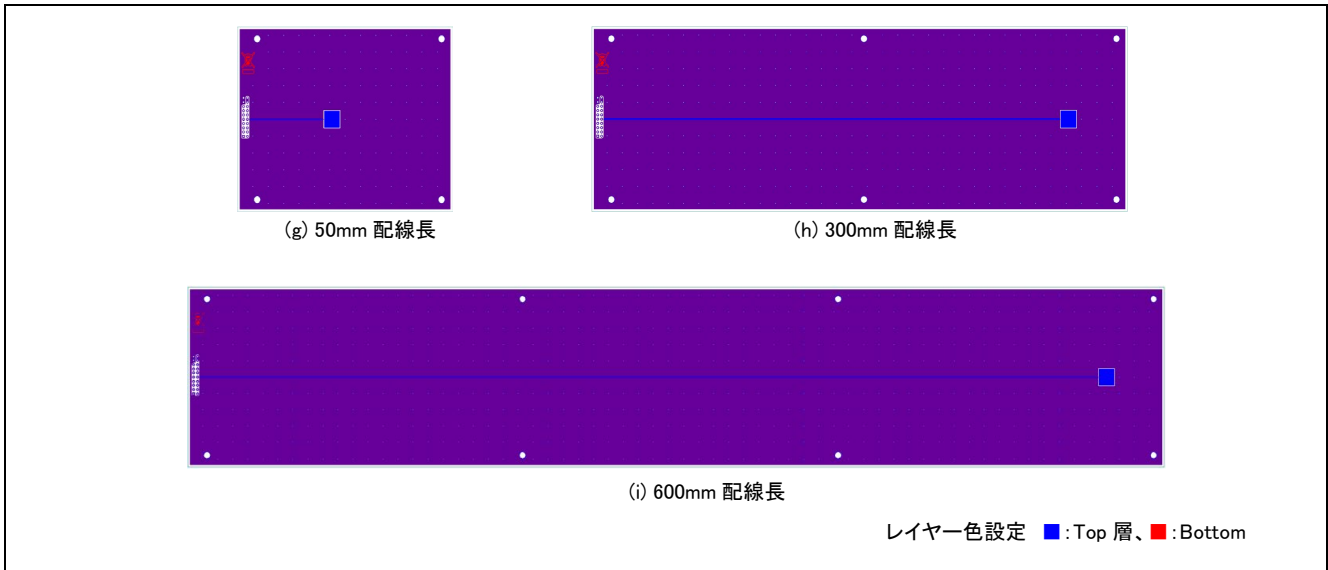


図 5-11 評価ボードパターン (COND3)

図 5-12 に配線長と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- 配線長に比例して寄生容量が増加します。
- GND シールドが電極と配線に近いほど寄生容量増加の傾きが大きくなります。
- タッチ時の寄生容量増加量は配線長によらず一定値を検出します。
- タッチ時の SNR は配線長が長くなると低下します。電極回路の総寄生容量によってはセンサドライブパルス周波数が低下するため SNR も低下します。

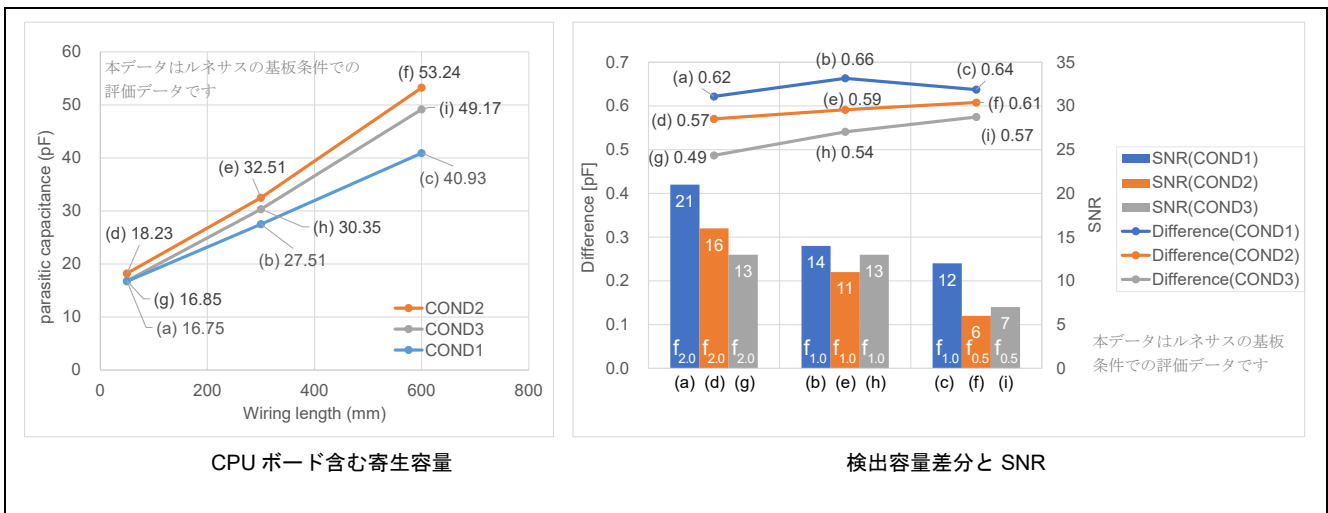


図 5-12 配線長と感度の特性

5.4.3 複数ボタン設計

5.4.3.1 配線間隔

表 5-11 に配線間隔変動時の基板仕様を示します。配線間隔と配線長を変動させ、それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-11 配線間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
配線間隔	0.3、0.5、1.27、2.54	mm	
配線長	50、300	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

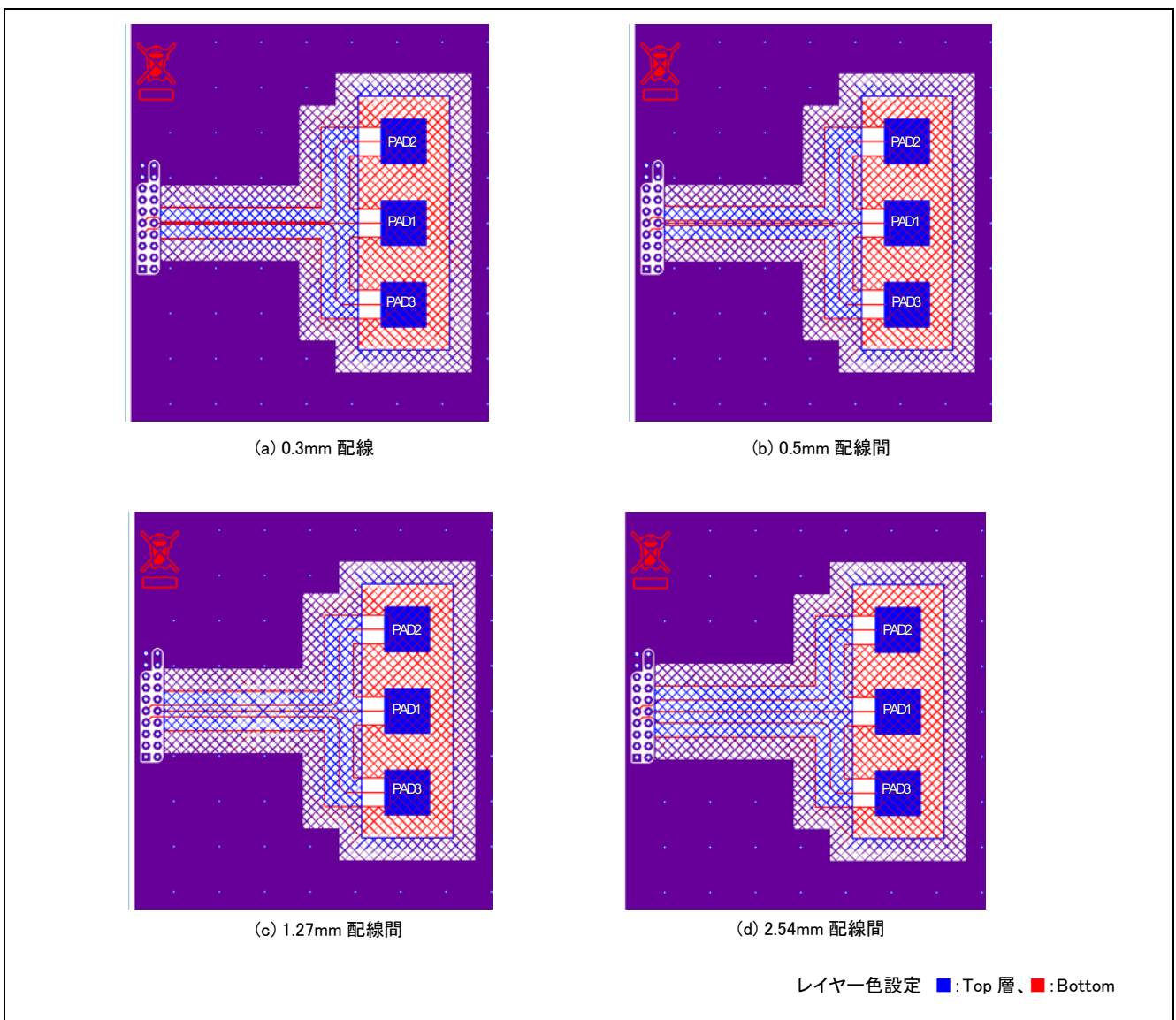
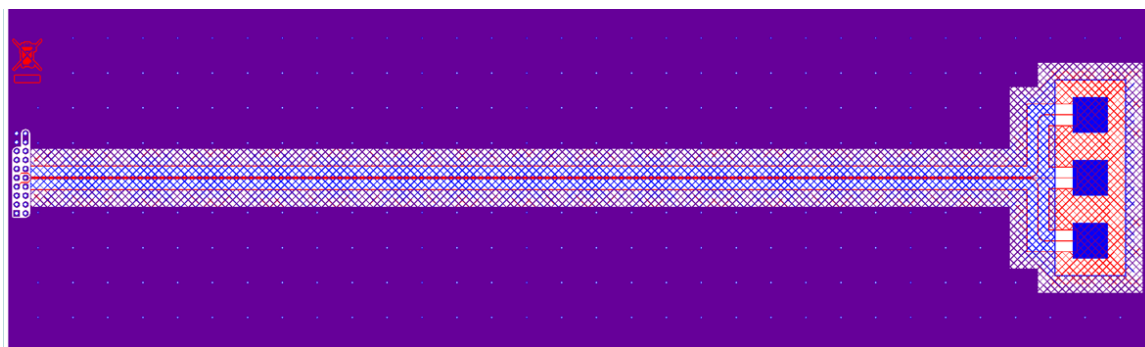
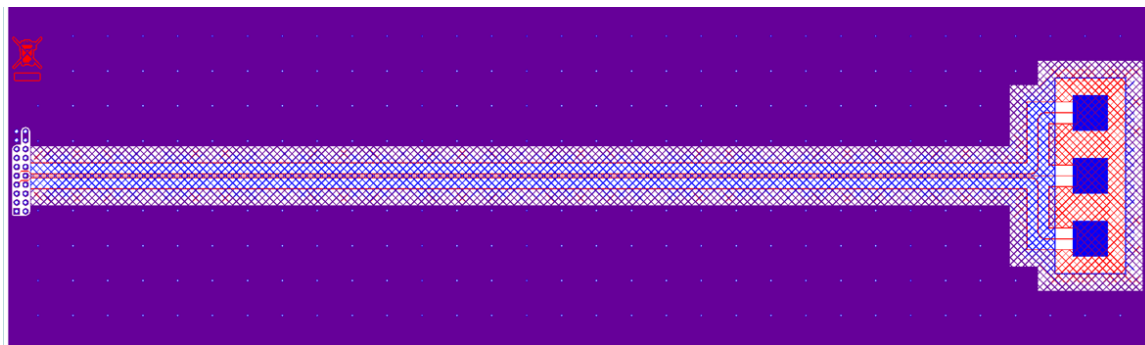


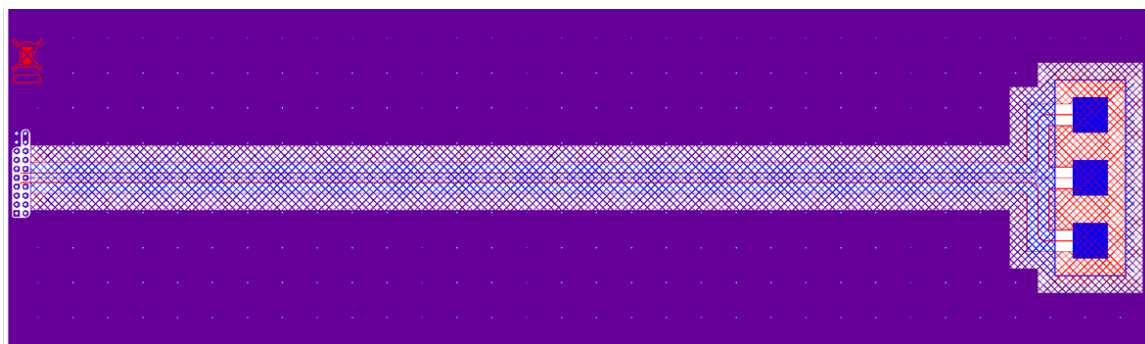
図 5-13 評価ボードパターン(配線長 50mm)



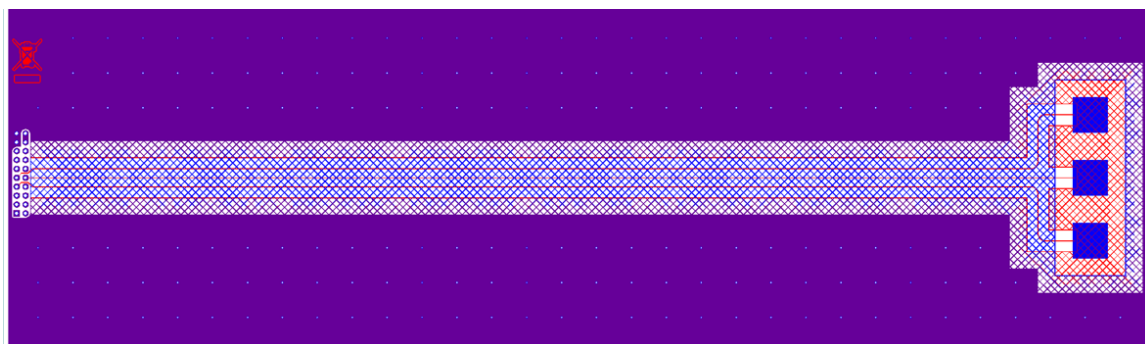
(e) 0.3mm 配線



(f) 0.5mm 配線間隔



(g) 1.27mm 配線間



(h) 2.54mm 配線間

レイヤー色設定 ■:Top 層、■:Bottom

図 5-14 評価ボードパターン(配線長 300mm)

図 5-15 に配線間隔と寄生容量、図 5-16 に配線間隔と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- 配線間隔が狭いほど寄生容量が増加します。
- タッチ時の寄生容量は配線間隔によらず一定値を検出します。
- PAD1 のように両隣に配線がある場合、タッチ時の SNR は配線間隔が狭くなると低下します。電極回路の総寄生容量によってはセンサドライブパルス周波数が低下し SNR も低下します。PAD2 のように片方に配線群の外側の配線で、配線間隔によらず SNR が一定となります。配線群の外側の配線の SNR は GND シールドとの距離に依存します。(1.27mm の SNR は計測誤差により低い値となっています。)

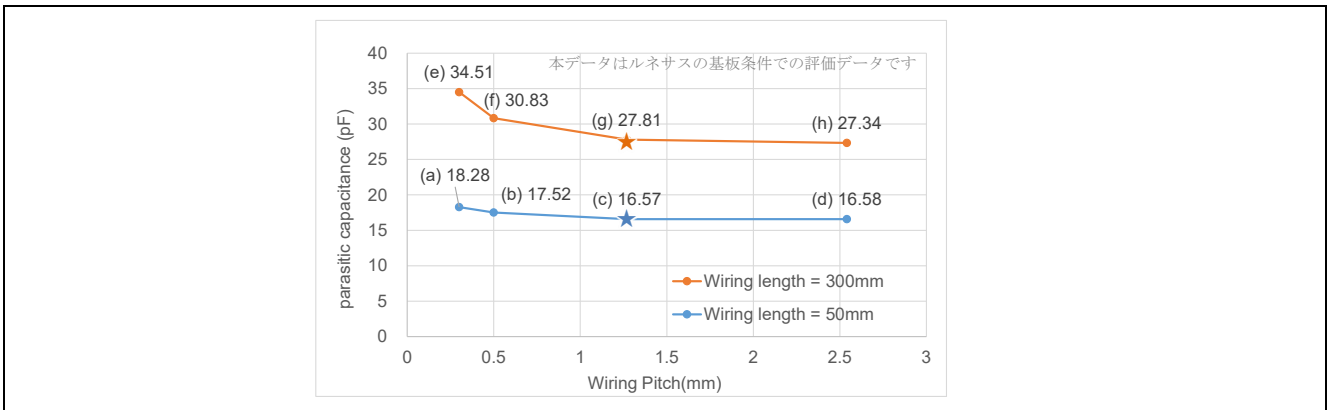


図 5-15 配線間隔と寄生容量 (CPU ボード含む)

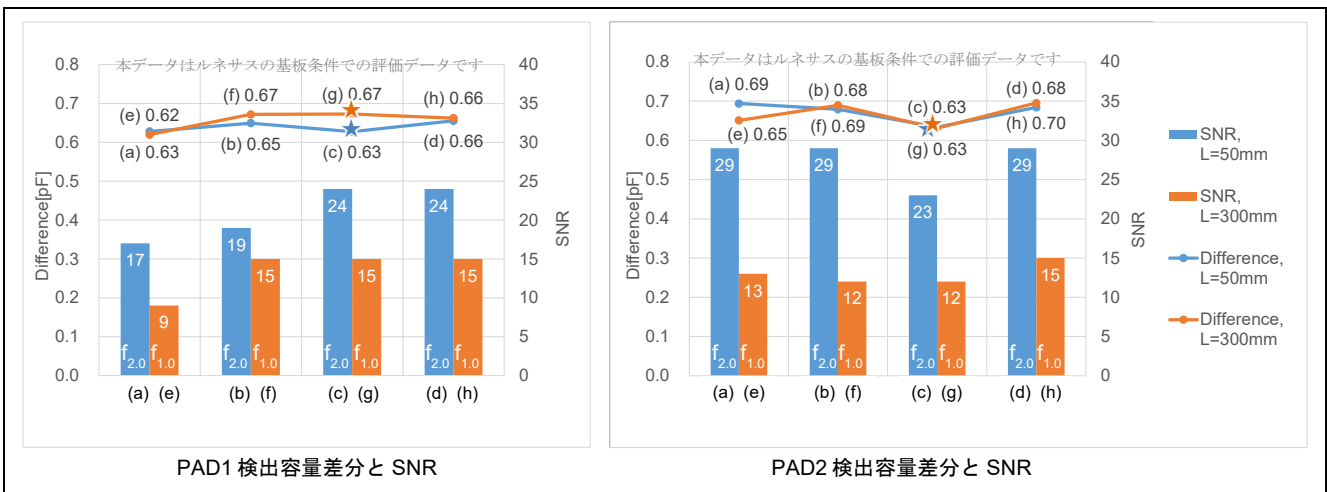


図 5-16 配線間隔と感度の特性

5.4.3.2 ボタン間隔

ボタン間隔を変動させたときの感度特性を示します。ボタン間隔以外の設計パラメータは固定とします。

表 5-12 ボタン間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
ボタン間隔	3.0、8.0、10.0、15.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

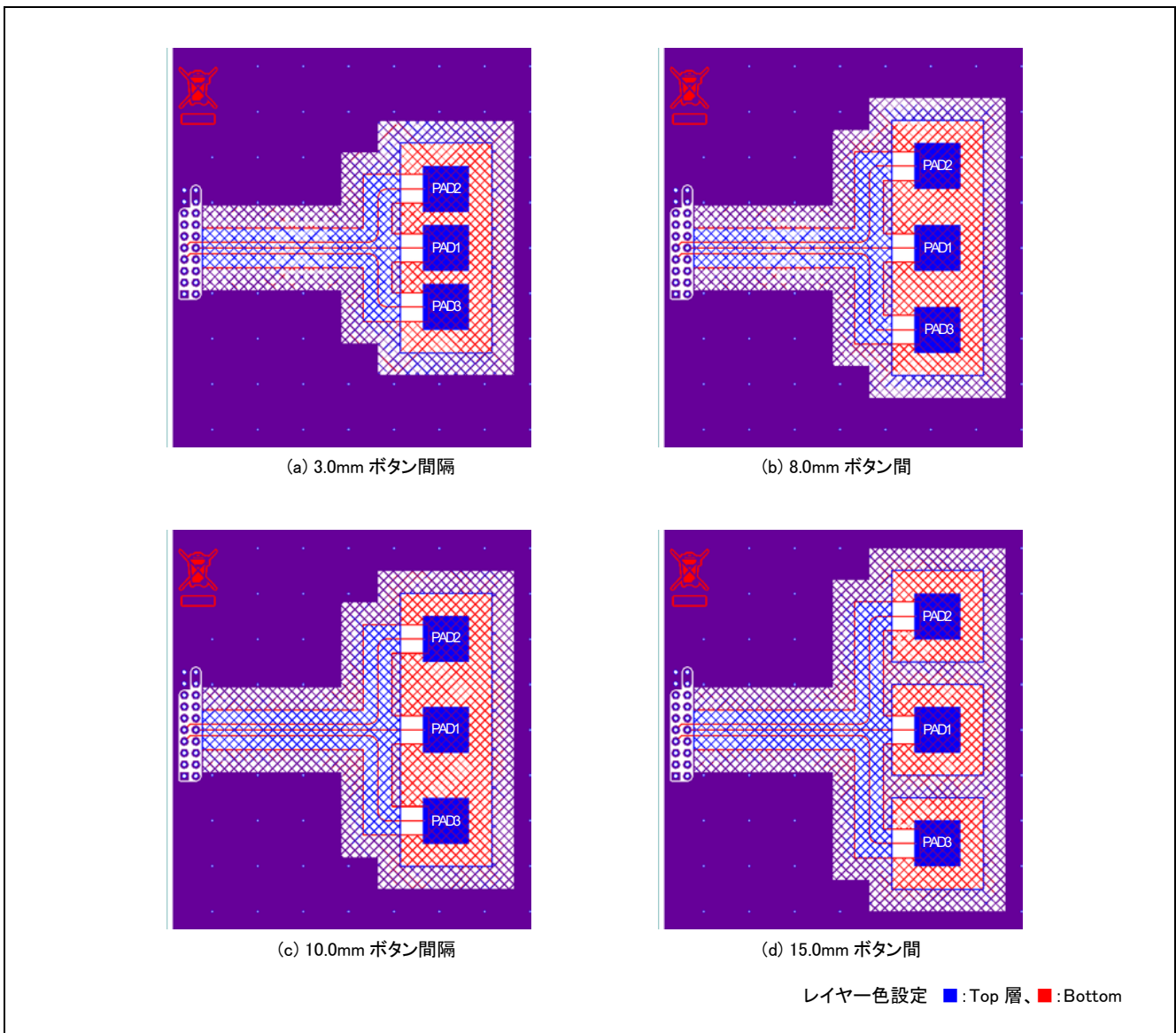


図 5-17 評価ボードパターン（ボタン間隔）

図 5-18 にボタン間隔と感度の特性を示します。

- オーバーレイ厚 2.0mm ではボタン間隔を 3.0mm に狭めても押下対象ボタンの SNR 低下および隣接ボタンの誤反応は発生しません。

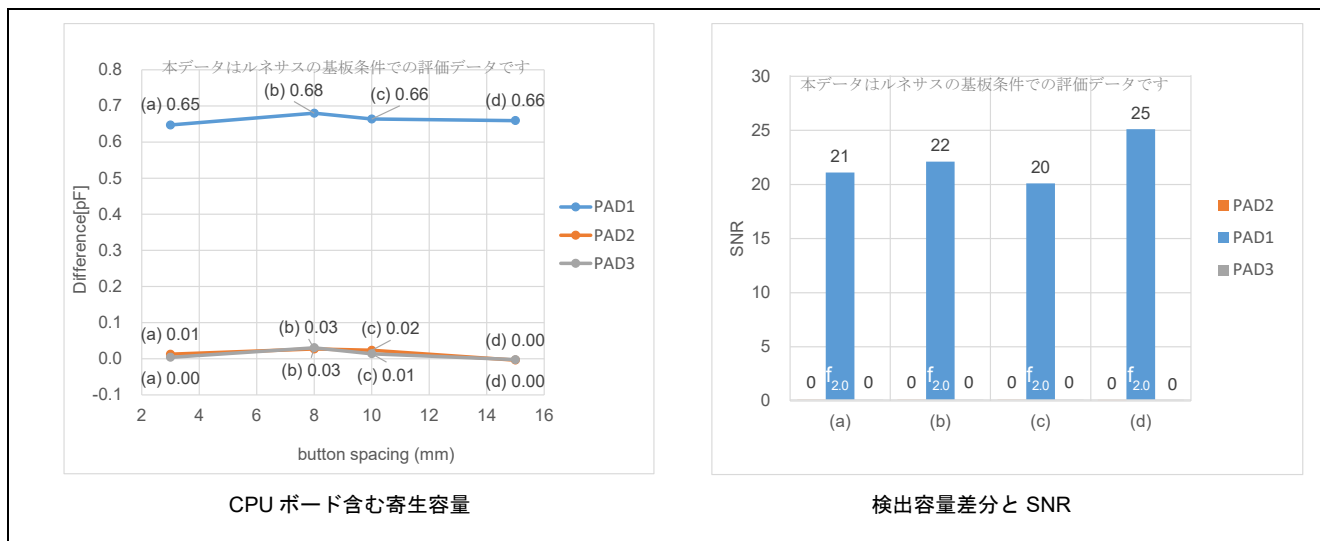


図 5-18 ボタン間隔と感度の特性

5.4.4 GND パターン設計

本項では主に GND パターンが電極特性に与える影響を示します。本書においてシールドとはタッチ電極および配線と基板の同層にあり隣接させた GND パターンを指します。

5.4.4.1 電極シールド間隔

表 5-13 に電極シールド間隔変動時の基板仕様を示します。電極シールド間隔は電極と GND シールドとの距離を示します。シールドにはメッシュ GND、もしくはベタ GND を使用し、電極シールド間隔、および配線シールド間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-13 電極シールド間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
シールドタイプ	メッシュ GND、 ベタ GND	-	
電極シールド間隔	0.5、1.0、3.0、 5.0	mm	
配線シールド間隔	3.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

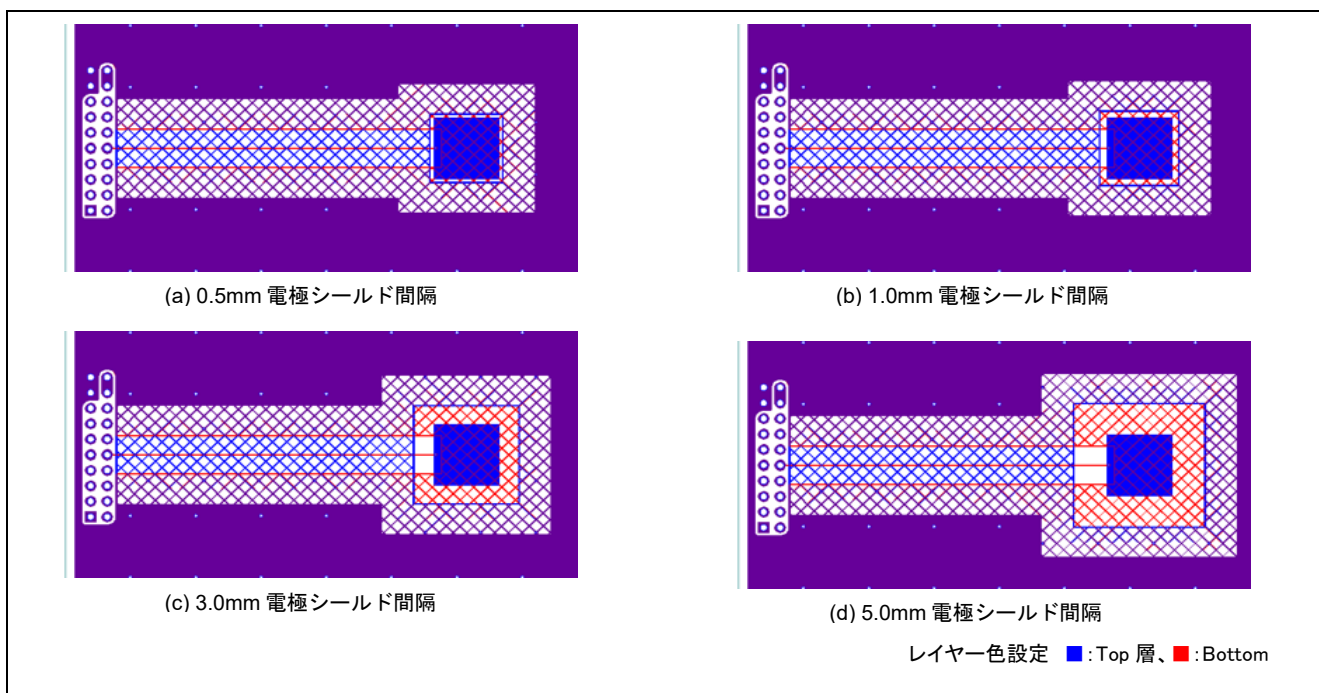


図 5-19 評価ボードパターン（メッシュ GND、電極-シールド間隔を変動）

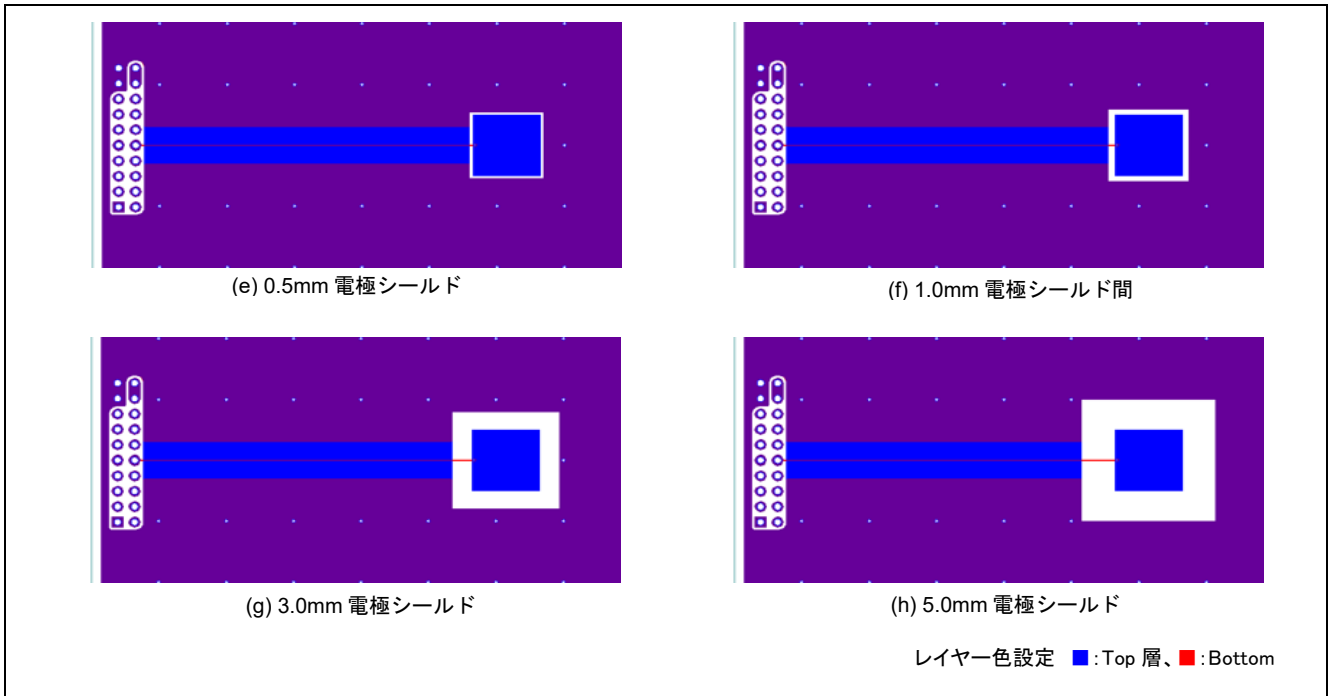


図 5-20 評価ボードパターン（ベタ GND、電極-シールド間隔を変動）

図 5-21 に電極とシールド間隔と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。なお GND シールドがベタパターン基板は電極直下にベタ GND パターンが無い場合メッシュ GND パターン基板より寄生容量が小さくなっています。

- 電極と GND シールドとの距離が近いほど寄生容量が増加します。メッシュ GND シールドはベタ GND シールドと比較して距離を近づけても寄生容量の上昇量は小さくなります。
- 電極と GND シールドとの距離が近いほど検出容量差分は小さくなります。
- タッチ時の SNR は電極と GND シールドとの距離が近いほど低下する傾向があります。（(c)と(e)は計測誤差により大きい値となっています。）

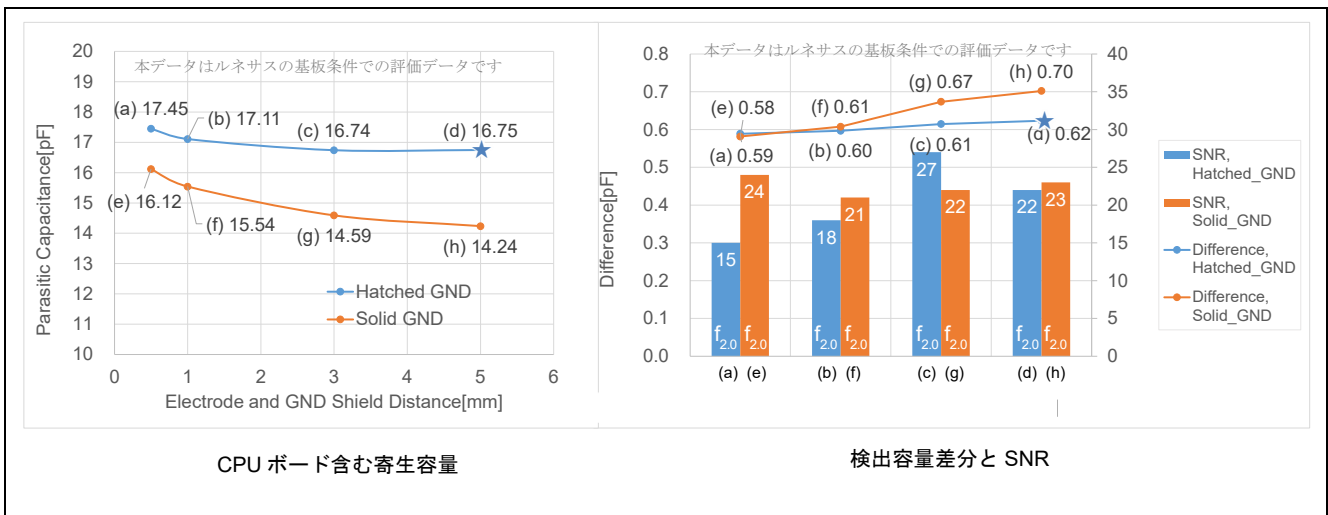


図 5-21 電極とシールド間隔と感度の特性

5.4.4.2 配線シールド間隔

表 5-14 に配線シールド変動時の基板仕様を示します。配線シールド間隔は配線と GND シールドとの距離を示します。シールドにはメッシュ GND、もしくはベタ GND を使用し、配線シールド間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-14 配線シールド変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
シールドタイプ	メッシュ GND、 ベタ GND	-	
配線シールド間隔	0.5、1.0、3.0、 5.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

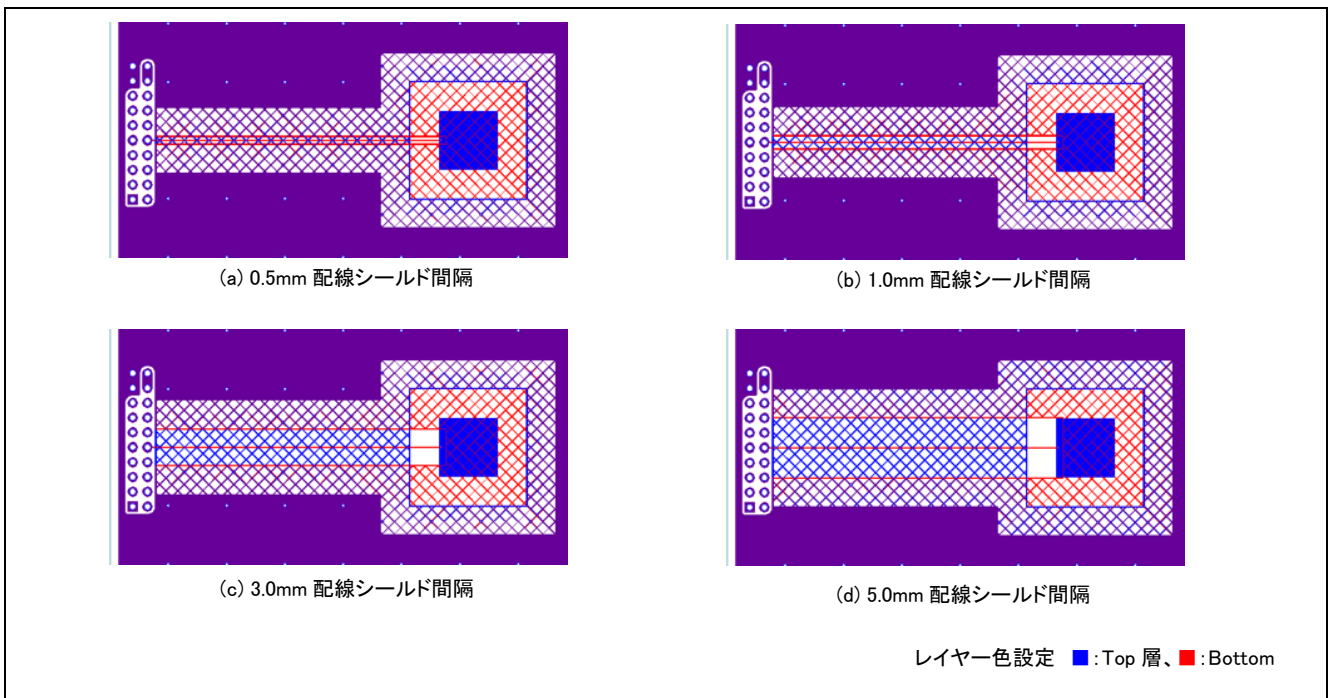


図 5-22 評価ボードパターン（メッシュ GND）

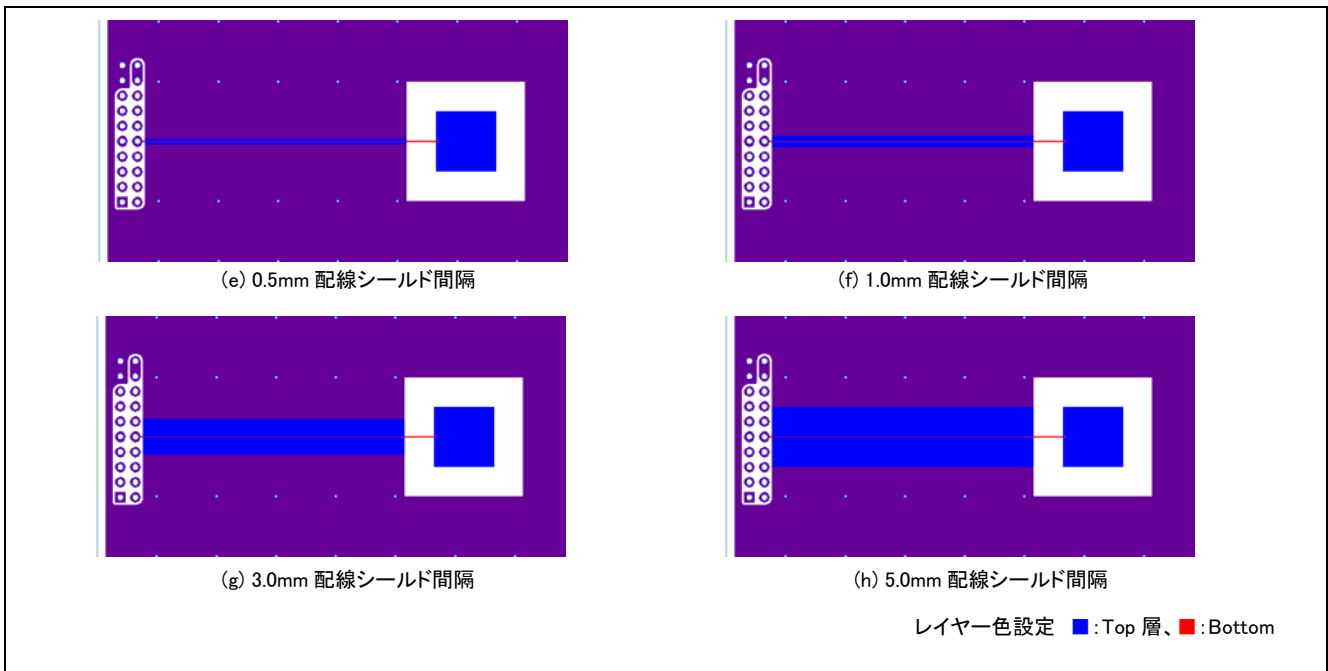


図 5-23 評価ボードパターン (ベタ GND)

図 5-24 に配線シールド間隔と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。なお GND シールドがベタパターンの基板は電極直下にベタ GND パターンが無い場合メッシュ GND パターン基板より寄生容量が小さくなっています。

- 配線と GND シールドとの距離が近いほど寄生容量が増加します。
- 配線と GND シールドとの距離が近いほど検出容量差分は小さくなります。
- タッチ時の SNR は配線と GND シールドとの距離が近いほど低下する傾向があります。((h) は計測誤差により大きい値となっています。) 」

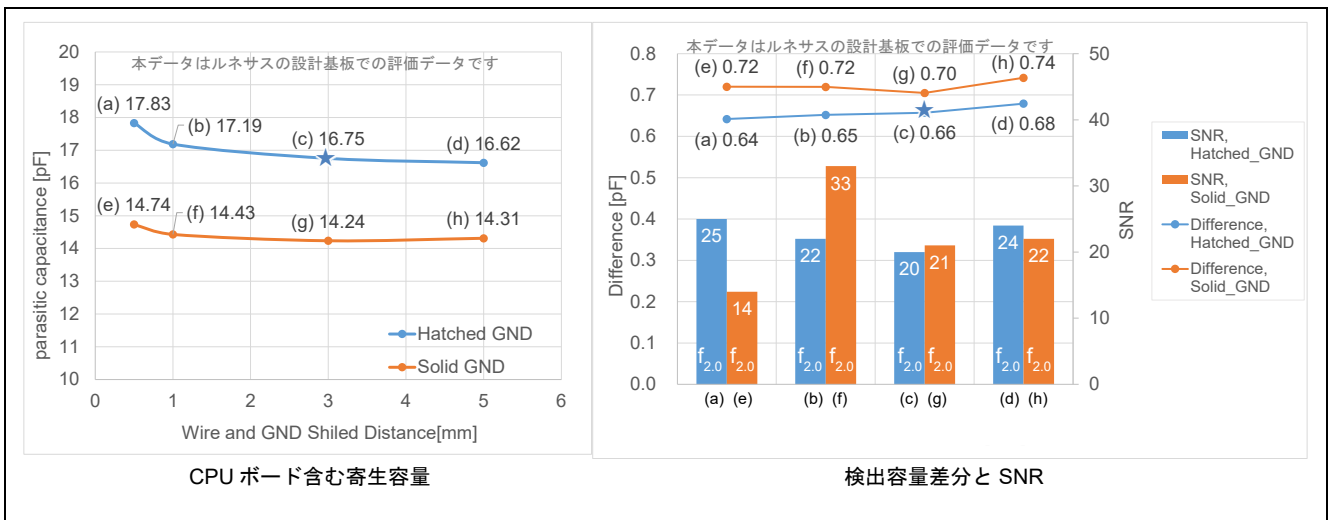


図 5-24 配線シールド間隔と感度の特性

5.4.4.3 内層 GND の影響

表 5-15 に内層 GND 有無の基板仕様を示します。多層基板でシールド層を変動させ、それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。GND パターン形状の違いによる感度影響も併載します。なおシールドがベタパターンの条件は電極直下のパターンを削除しています。

表 5-15 内層 GND 有無の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
シールド階層	L2、L3、なし	-	L4 はどの条件でも有り
シールドタイプ	メッシュ GND、ベタ GND	-	ベタ GND は電極直下パターン無し
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

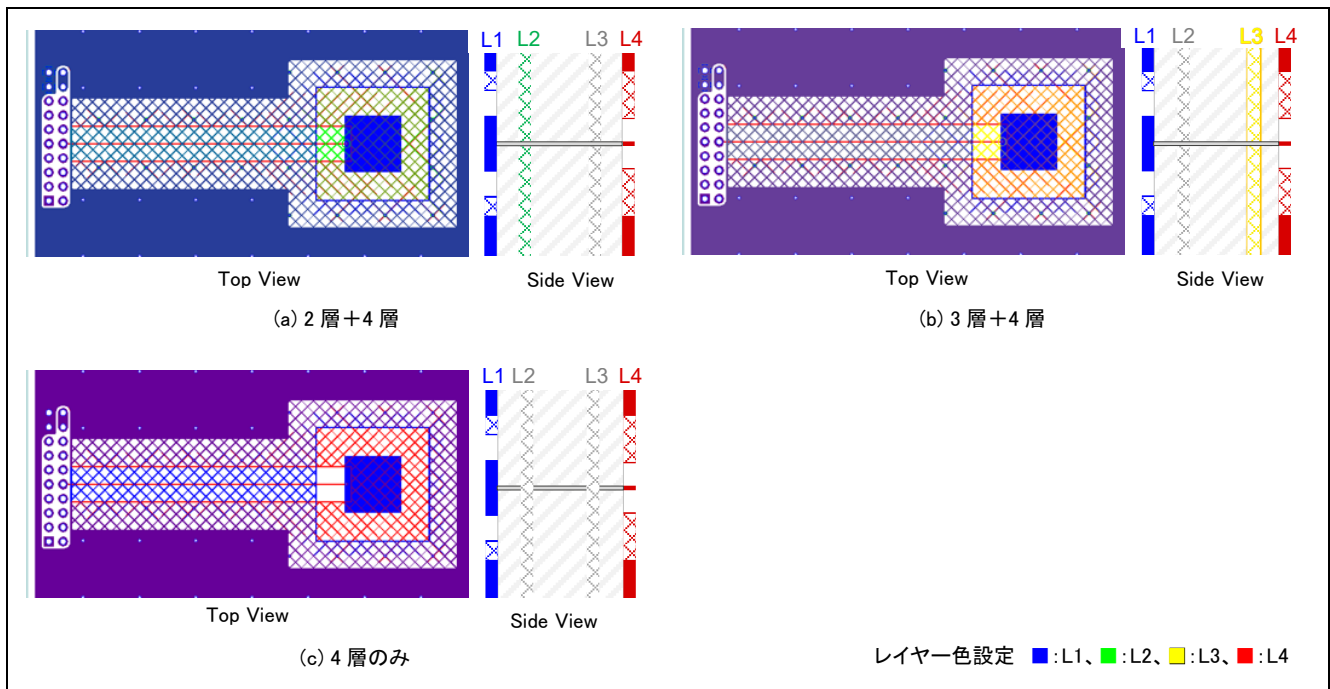


図 5-25 評価ボードパターン（メッシュ GND）

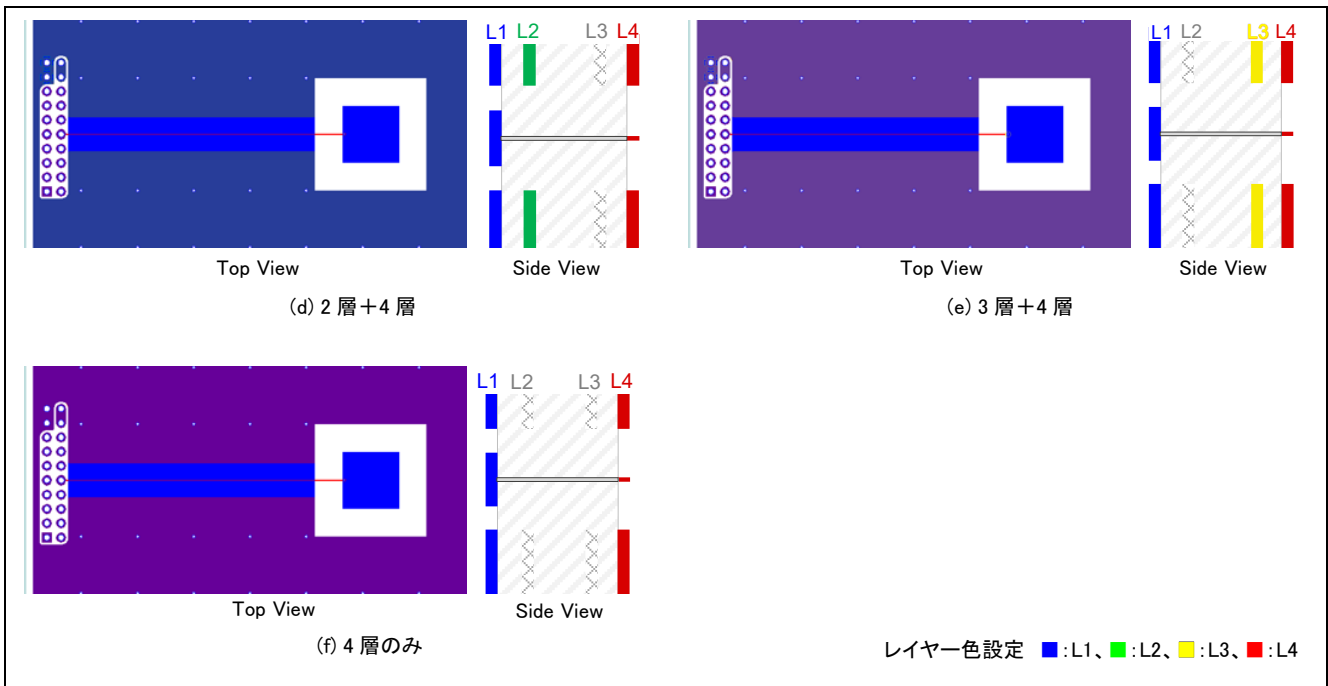


図 5-26 評価ボードパターン (ベタ GND)

図 5-27 に内層 GND と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みません。

- 電極直下にシールドを配置する場合、内層 GND が電極に近いほど寄生容量が増加します。メッシュパターンの場合でも電極直下に配置すると寄生容量が増加するため注意が必要です。ベタパターンは電極直下のパターンを抜いているため寄生容量増加はありません。
- 検出容量差分はシールド層によらず一定を示します。
- 内層 GND が電極に近い層にあるほど SNR が低下します。内層への GND シールド配置は総寄生容量が大きくなり、センサドライブパルス周波数が低下するため SNR が低下しやすくなります。

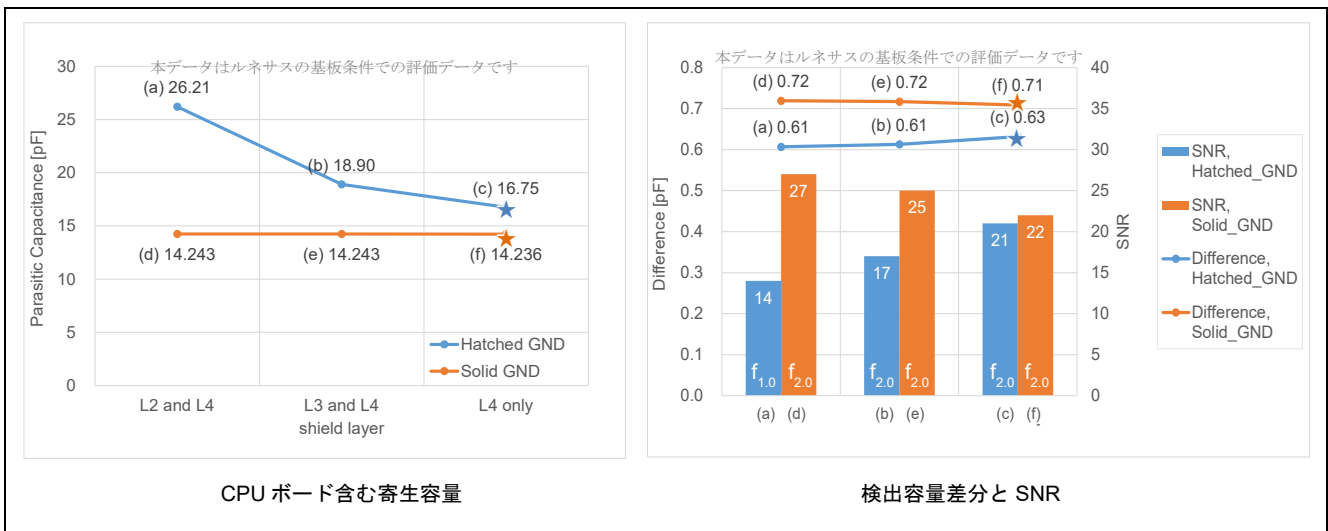


図 5-27 内層 GND と感度の特性

5.4.4.4 メッシュシールド幅

表 5-16 にメッシュシールド幅変動時の基板仕様を示します。メッシュシールド幅、電極および配線とメッシュシールドの間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-16 メッシュシールド幅変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
メッシュシールド幅 (電極周囲および配線周囲)	1.0、3.0、5.0、10.0	mm	
電極シールド間隔	0.5、1.0、5.0	mm	
配線シールド間隔	0.5、1.0、3.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	
シールド条件の組み合わせ (配線-シールド距離/電極-シールド距離)			
COND1	3.0/5.0	mm	推奨設計値
COND2	1.0/1.0	mm	
COND3	0.5/0.5	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

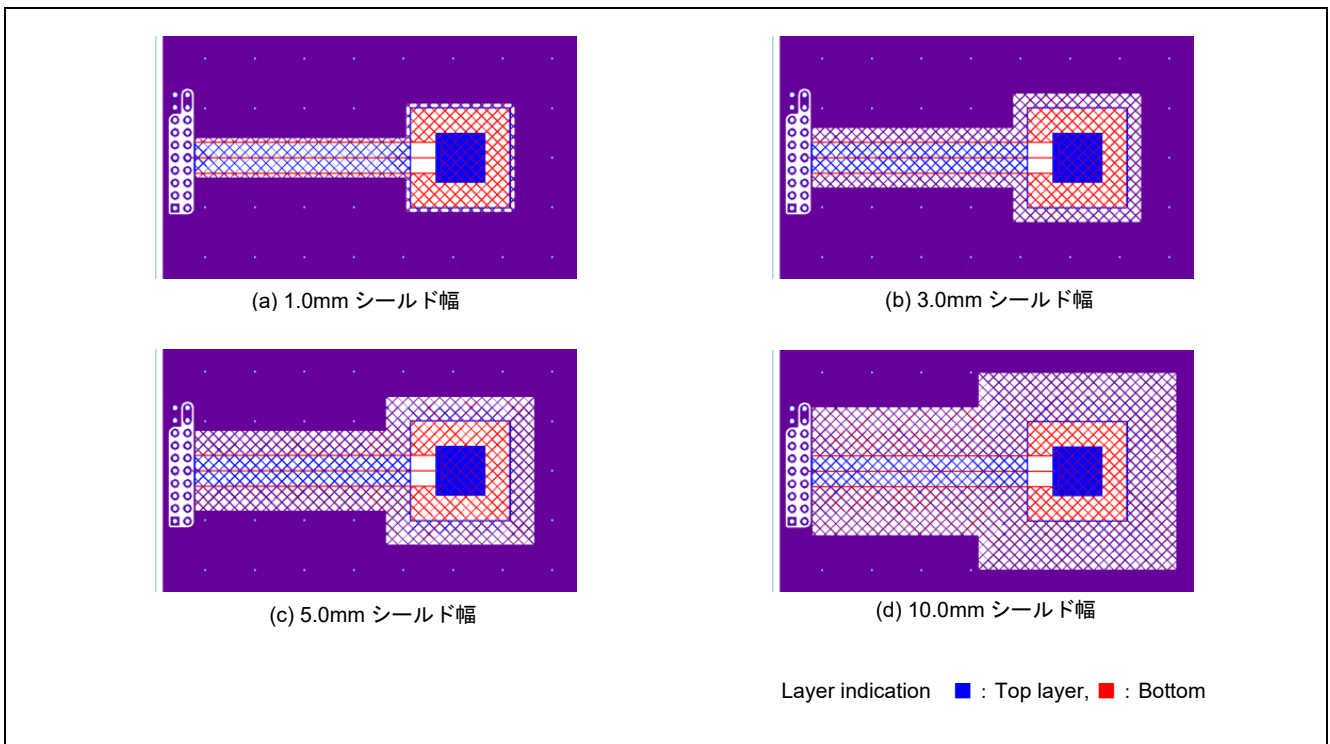


図 5-28 評価ボードパターン (電極および配線とメッシュシールドとの距離=推奨値)

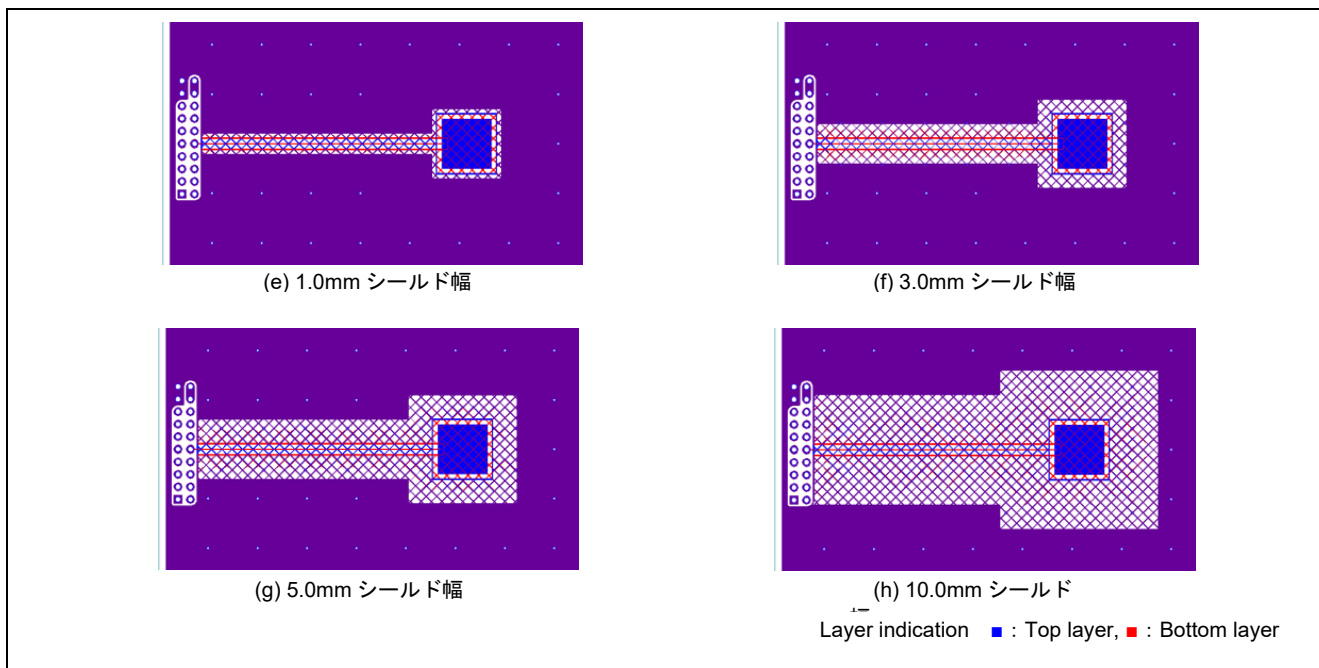


図 5-29 評価ボードパターン（電極および配線とメッシュシールドとの距離=1.0mm）

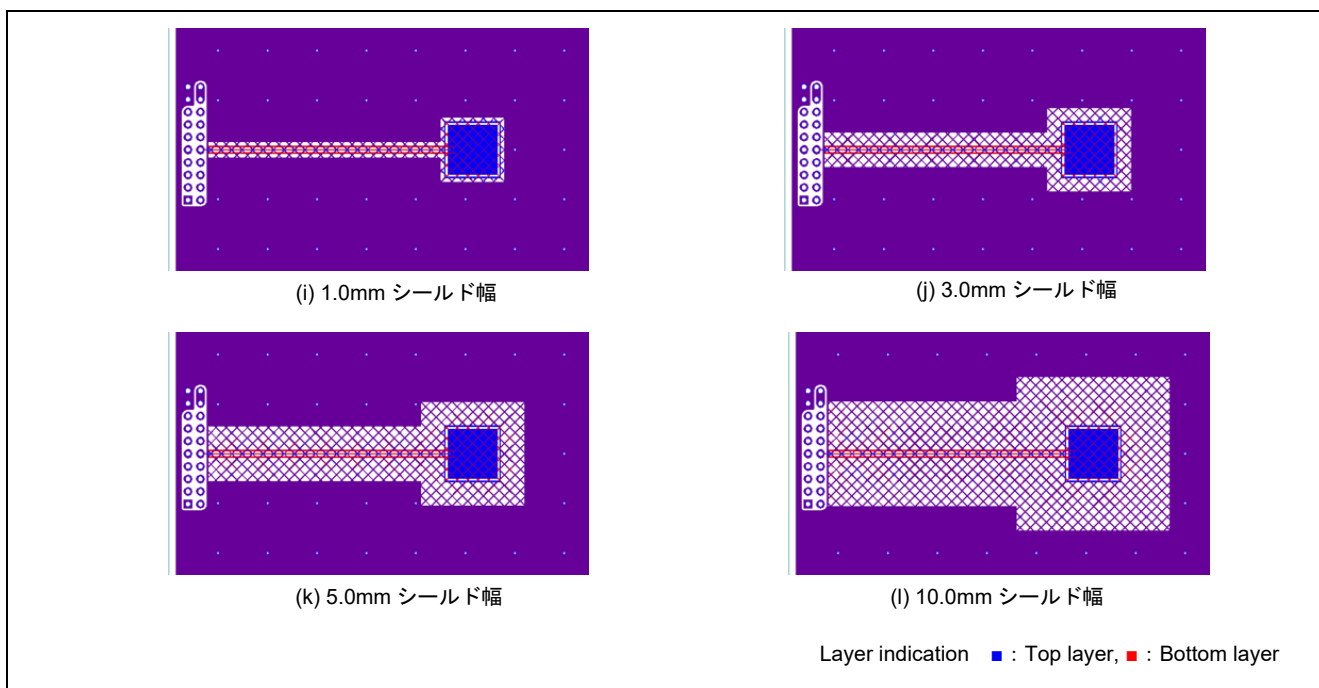


図 5-30 評価ボードパターン（電極および配線とメッシュシールドとの距離=0.5mm）

図 5-31 にメッシュシールド幅 と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- COND1 (推奨設計) においてはメッシュシールド幅を狭くしても寄生容量は一定になります。メッシュシールドの外周にベタ GND を配置していますが、電極および配線とシールドの距離が十分離れていればほとんど影響しません。COND2、COND3 はメッシュシールド幅を狭くすると電極および配線とベタ GND の距離が近くなるため、寄生容量が増加します。

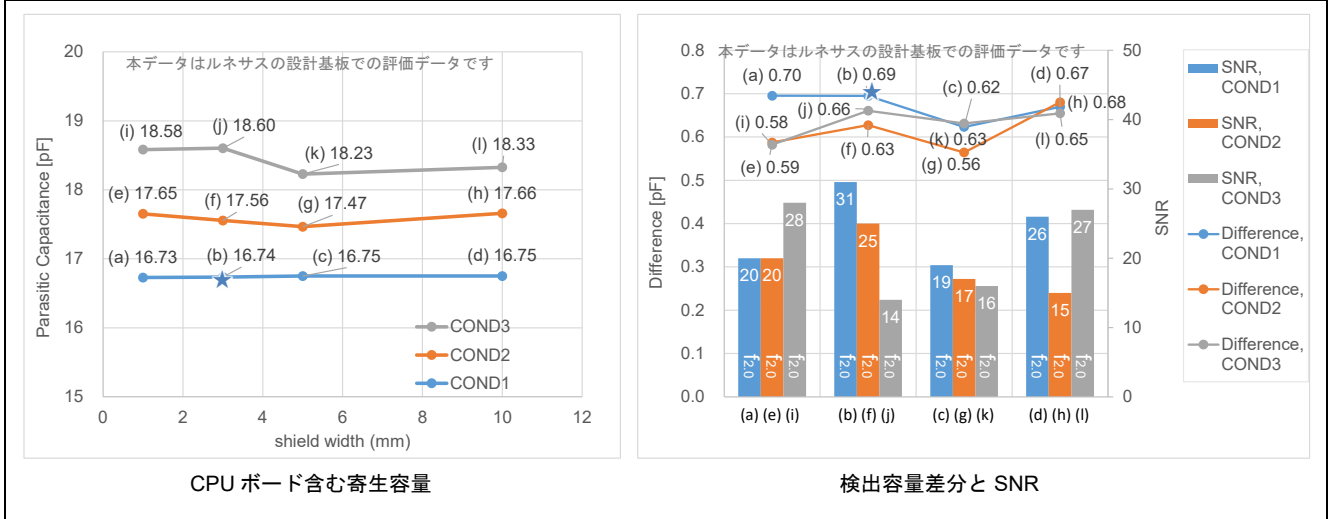


図 5-31 メッシュシールド幅 と感度の特性

5.4.4.5 メッシュシールド開口率

表 5-17 にメッシュシールドの開口率変動時の基板仕様を示します。多層基板におけるメッシュシールドの階層、およびシールドタイプ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-17 メッシュシールドの開口率変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
シールド開口率	30、81、90	%	
シールド階層	最下層(4層)のみ、3層+4層	-	
シールドタイプ	メッシュ GND、アクティブシールド	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

図 5-32 にメッシュ寸法を示します。

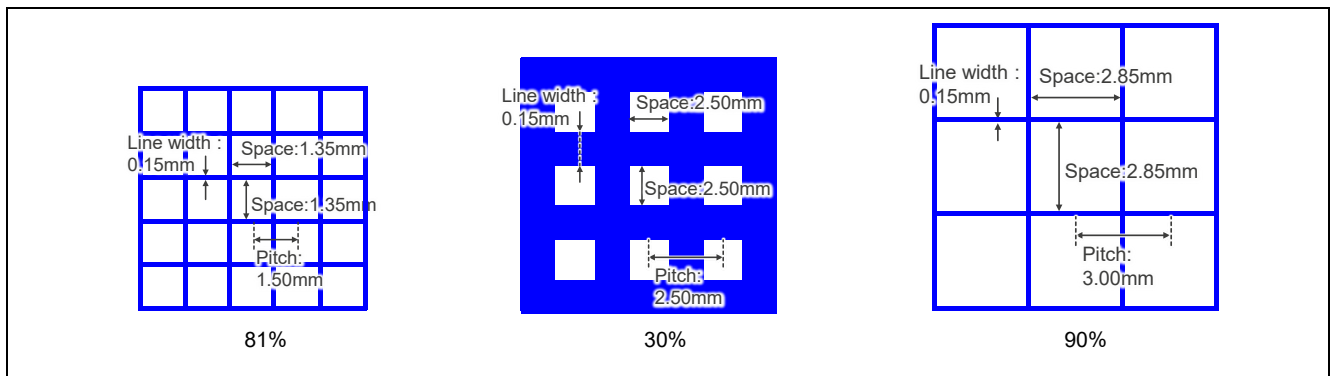


図 5-32 メッシュ寸法

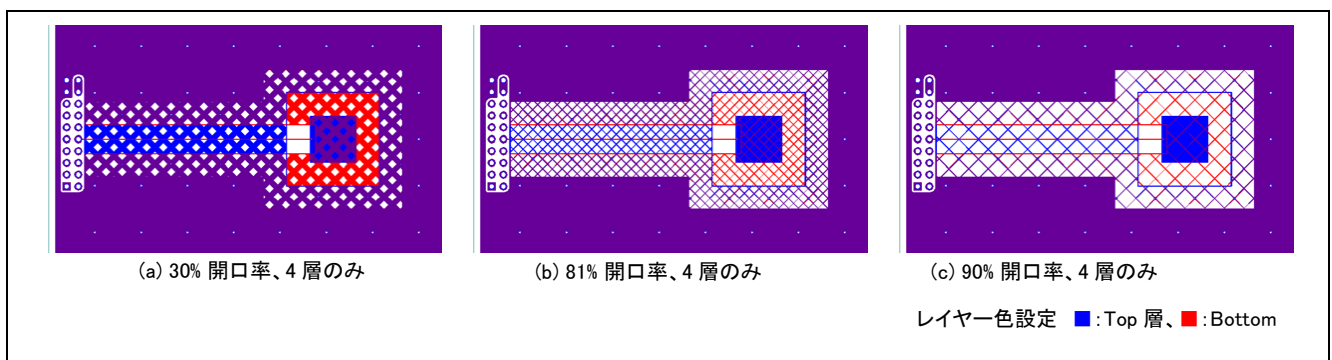


図 5-33 評価ボードパターン（両面基板、GND シールド）

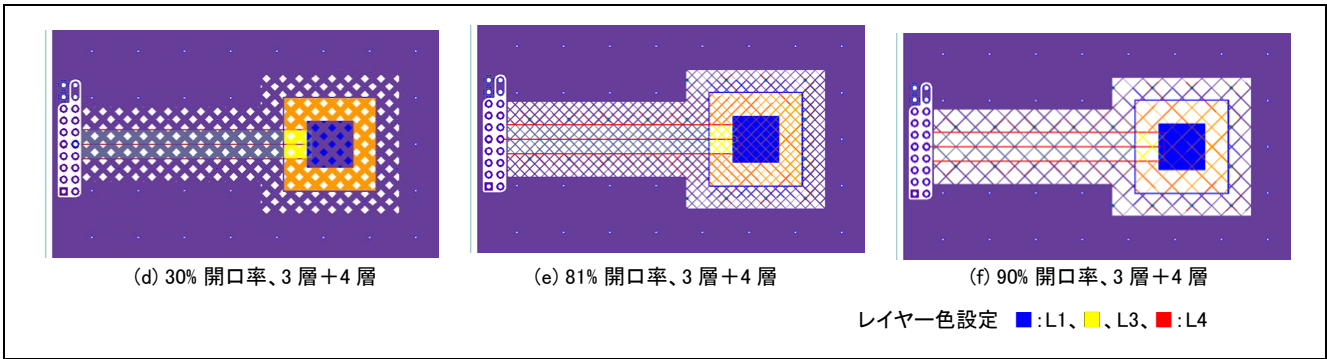


図 5-34 評価ボードパターン (4 層基板、GND シールド)

図 5-35 にメッシュシールド開口率と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- メッシュ開口率が小さいほど電極との対向面積が増えるため寄生容量が増加します。また内層に GND シールド層を追加すると対向距離が短くなるため寄生容量の増加率が高くなります。
- タッチ時の検出容量差分は開口率によらず一定になります。

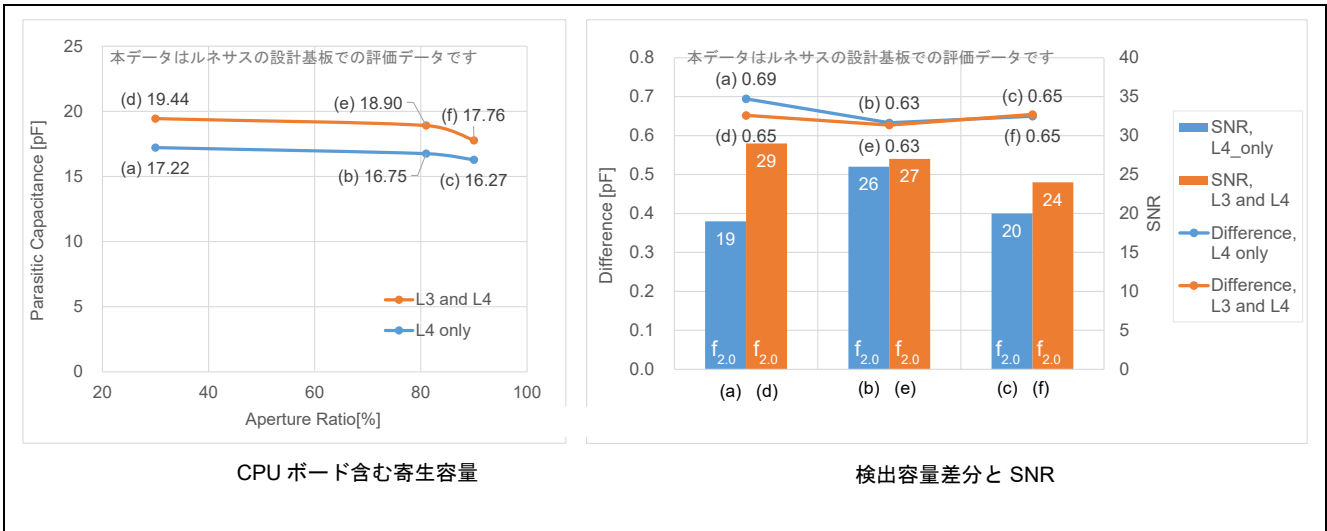


図 5-35 メッシュシールド開口率と感度の特性

5.4.5 アクティブシールド設計

5.4.5.1 アクティブシールドの面積

表 5-18 にボタン数によるアクティブシールド電極容量確認基板仕様を示します。ボタン数以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-18 ボタン数によるアクティブシールド電極容量確認基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
ボタン数	1、3、5	個	
シールドタイプ	アクティブシールド	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

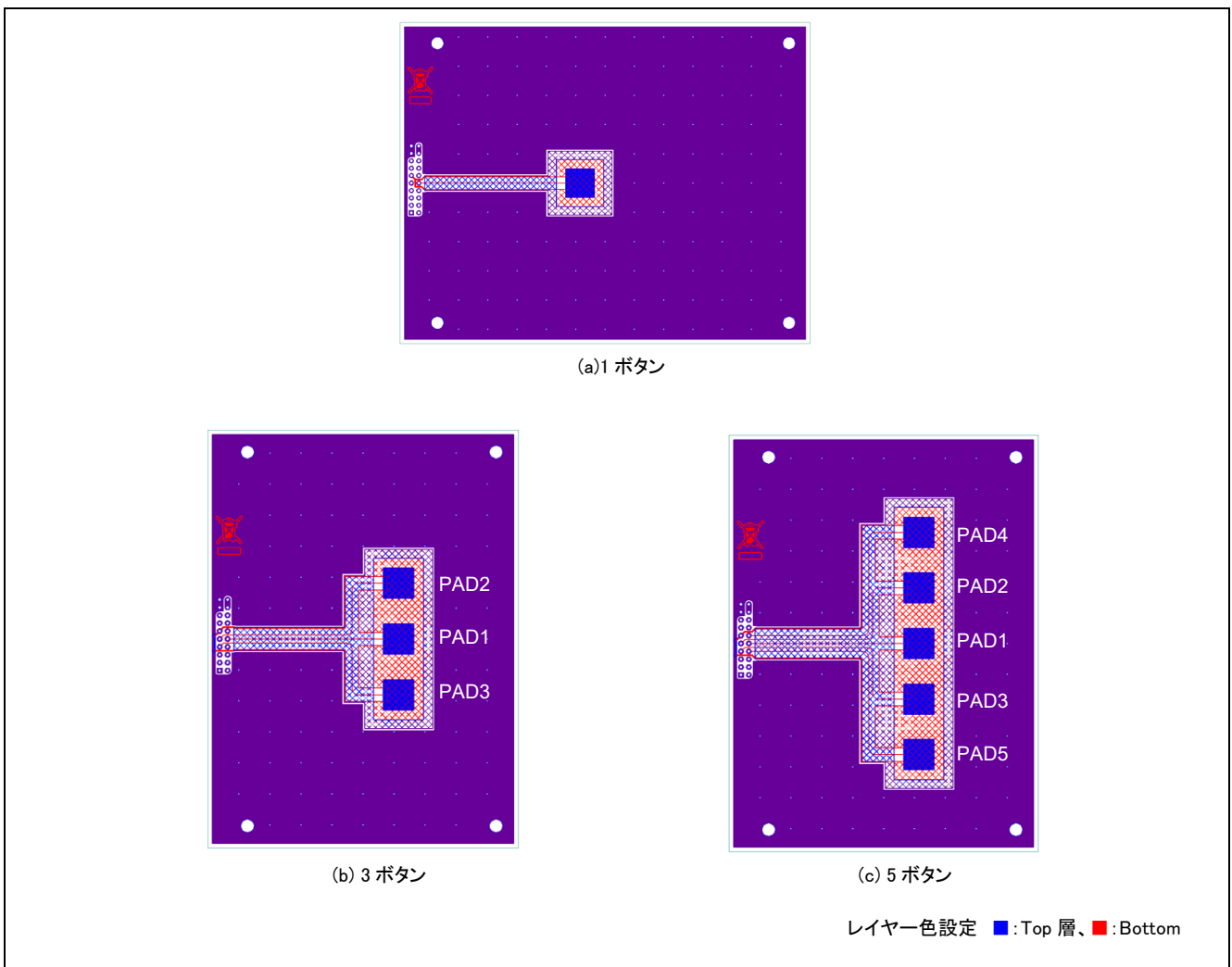


図 5-36 評価ボードパターン（アクティブシールド電極容量確認基板）

図 5-37 にアクティブシールド電極容量と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- アクティブシールドの評価ボードはメッシュ GND シールドと比較して電極のある評価ボード部分の寄生容量分が減少し、主に CPU ボード部分の寄生容量が検出されます。CPU ボード部分はアクティブシールドが無いため寄生容量として残ります。
- ボタン (PAD1) の寄生容量はボタン個数によって低下します。アクティブシールドの寄生容量軽減効果とシールド面積増加により周囲のベタ GND から遠くなるためです。
- ボタン個数に応じてアクティブシールドの面積も増加するため、アクティブシールド端子の寄生容量も増加もします。
- 本評価での基板では寄生容量はボタンよりアクティブシールドの方が大きくなる傾向にあります。QE for Capacitive Touch の自動調整では、ボタンとアクティブシールドの構成 (メソッド) のうち寄生容量が最大の端子に合わせてドライブパルス周波数が選択されます。ボタン個数やサイズによってはシールド端子の寄生容量が 50pF を超える場合があるため設計時は注意が必要です。

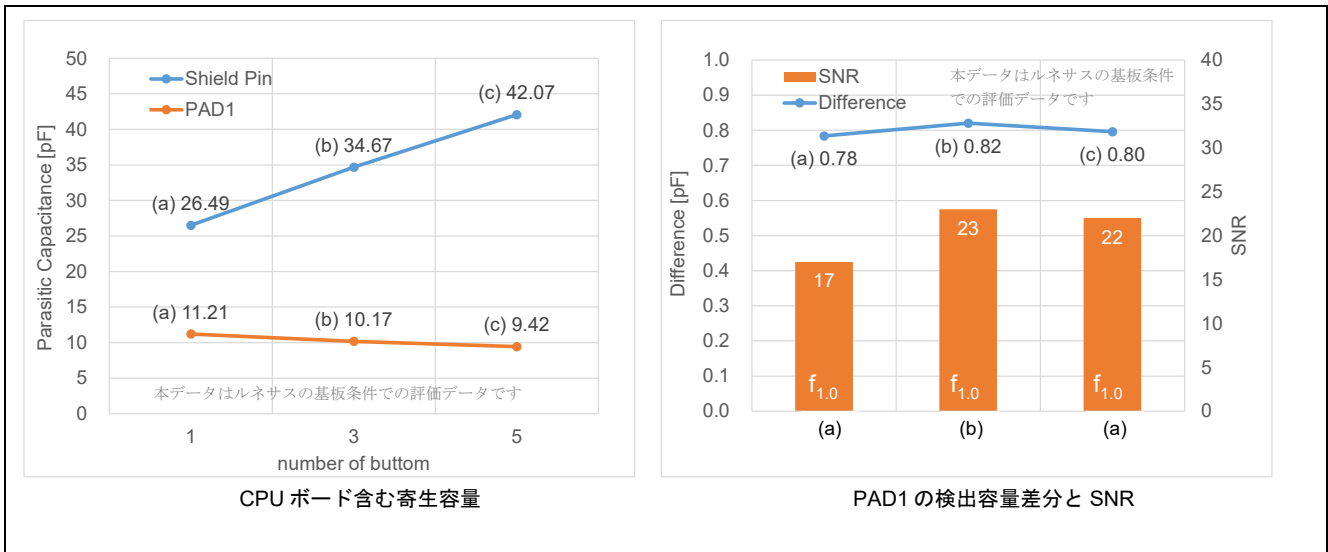


図 5-37 アクティブシールド電極容量と感度の特性

5.4.5.2 電極とアクティブシールドの間隔

表 5-19 に電極とアクティブシールド間隔変動時の基板仕様を示します。電極とアクティブシールド間隔に連動させた配線とアクティブシールド間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-19 電極とアクティブシールド間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
電極とアクティブシールド間隔	0.5、1.0、3.0、5.0	mm	
配線とアクティブシールド間隔	0.5、3.0、5.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

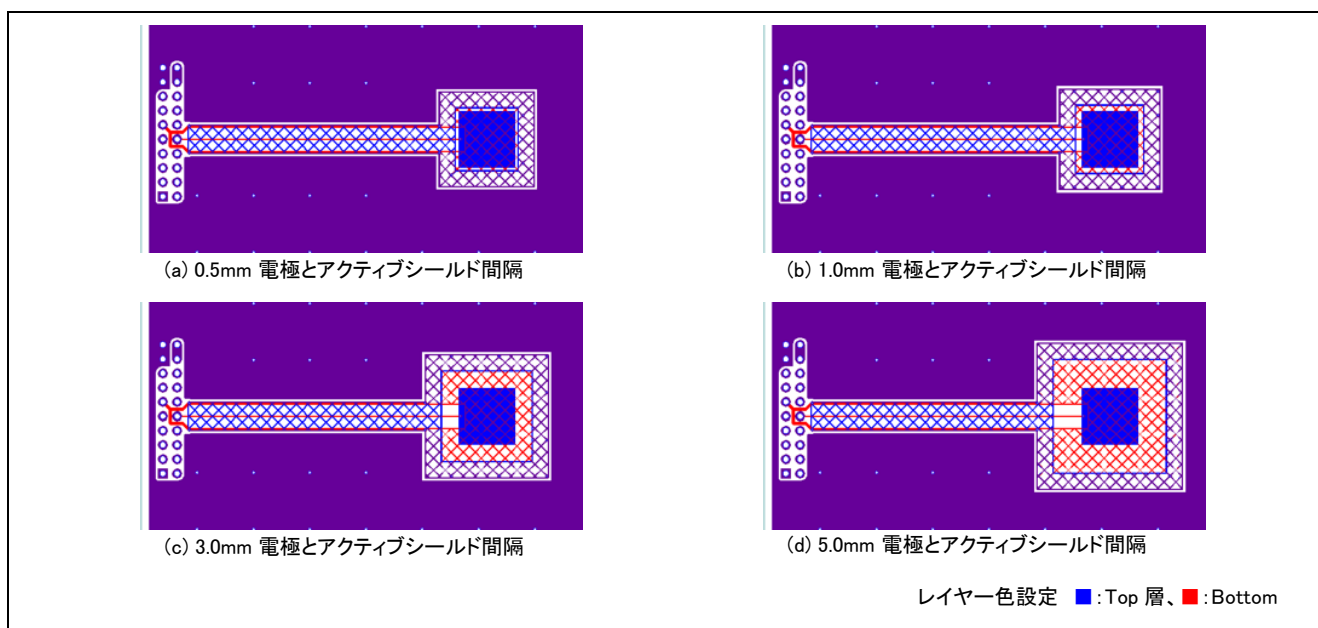


図 5-38 評価ボードパターン

図 5-39 に電極とアクティブシールド間距離と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- ボタンの寄生容量は電極とアクティブシールド間距離によらず一定となります。アクティブシールドピン
の寄生容量はシールドの面積に依存します。
- 電極とアクティブシールド間距離による SNR 変化はありません。アクティブシールドにより外周の
GND ベタパターンと電極間距離の影響が低下するため、電極とアクティブシールド間距離に比例して
静電容量検出差分が改善します。

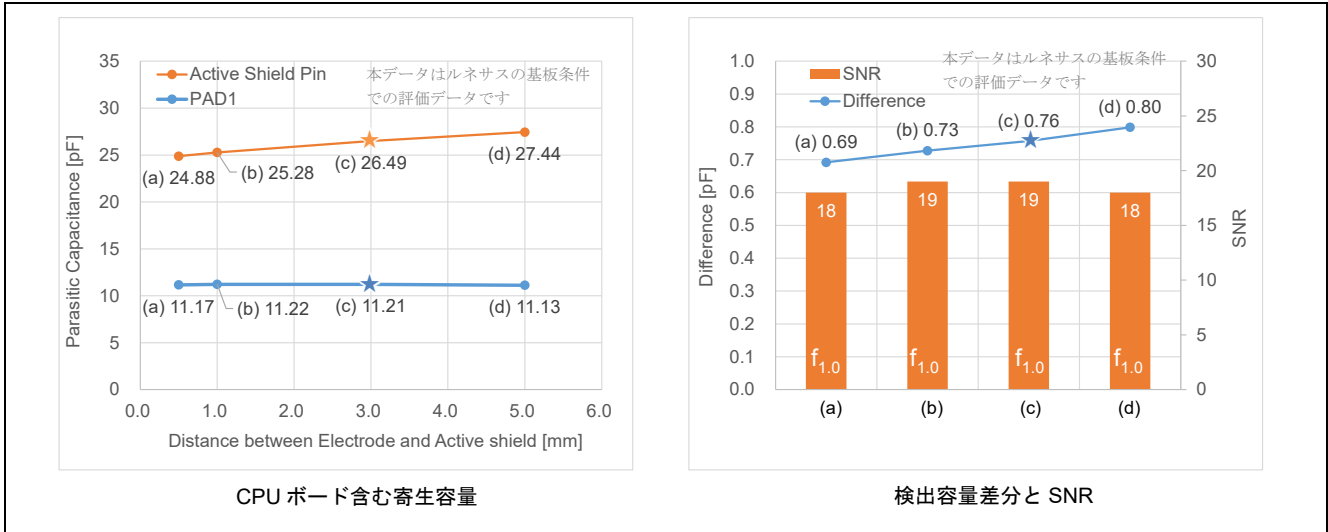


図 5-39 電極とアクティブシールド間距離と感度の特性

5.4.5.3 配線とアクティブシールドの間隔

表 5-20 に配線とアクティブシールド間隔変動時の基板仕様を示します。配線とアクティブシールド間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-20 配線とアクティブシールド間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
配線とアクティブシールド間隔	0.5、1.0、3.0、5.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

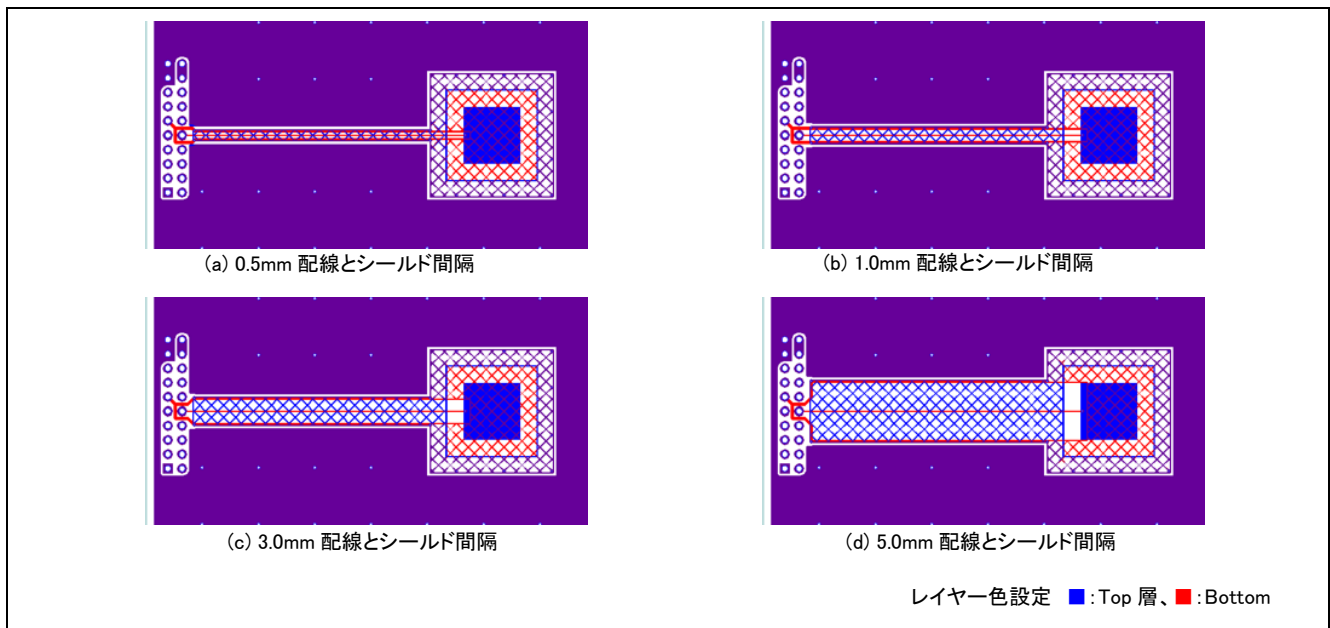


図 5-40 評価ボードパターン（配線とアクティブシールド間隔）

図 5-41 に配線とアクティブシールド間距離と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- ボタンの寄生容量は配線とアクティブシールドの距離によらず一定となります。アクティブシールドピンの寄生容量はシールドの面積に依存します。
- 配線とアクティブシールド間距離による SNR 変化はありません。静電容量検出値は一定であり、配線とアクティブシールド間距離による静電容量検出差分への影響はありません。

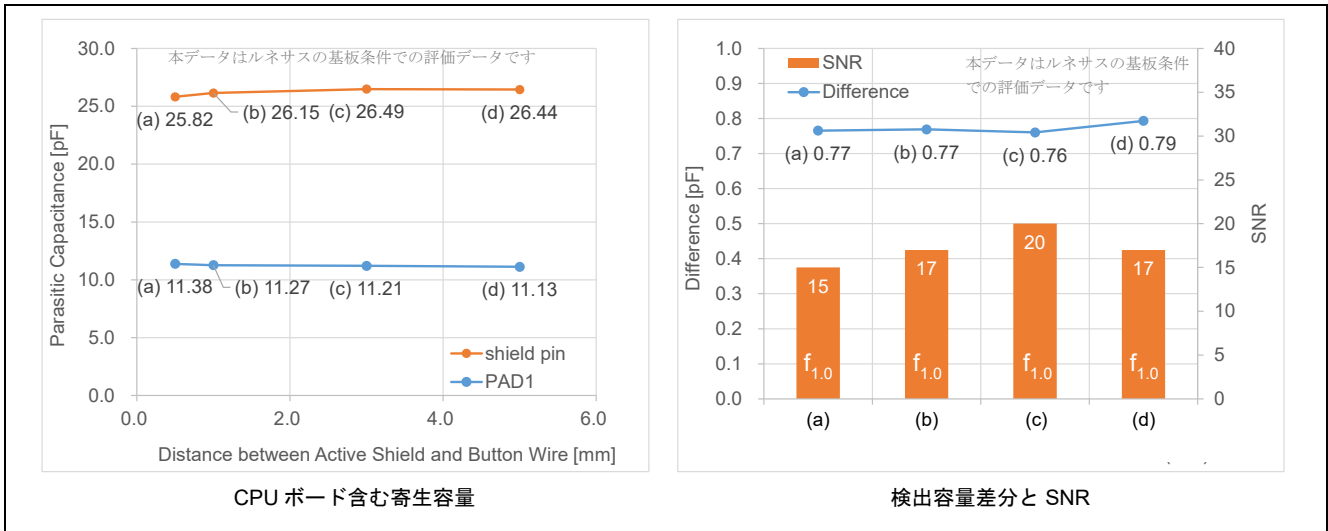


図 5-41 配線とアクティブシールド間距離と感度の特性

5.4.5.4 アクティブシールドとベタ GND との距離

表 5-21 にアクティブシールドとベタ GND 間隔変動時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-21 アクティブシールドとベタ GND 間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
アクティブシールドとベタ GND の間隔	0.5、1.0、5.0、10.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

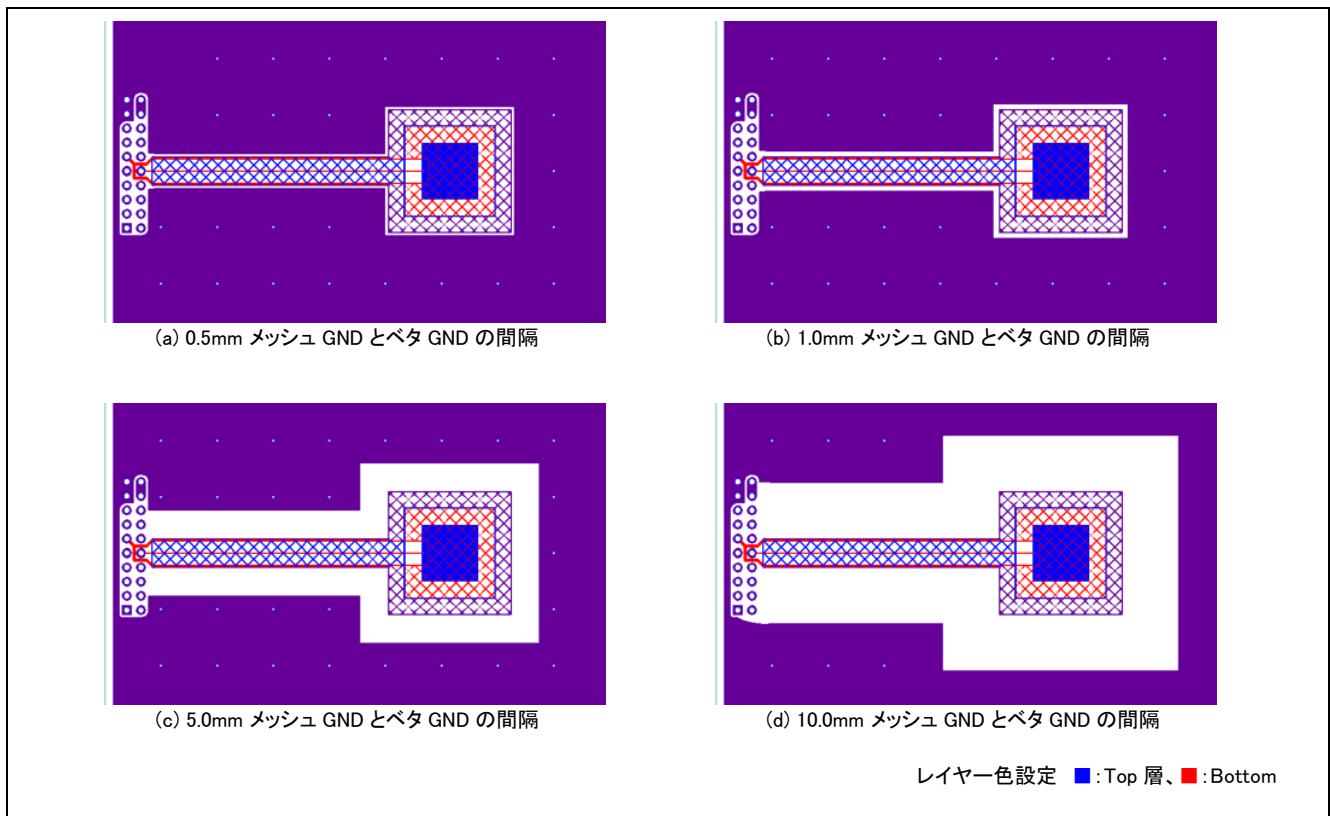


図 5-42 評価ボードパターン（アクティブシールドとベタ GND との距離の感度特性）

図 5-43 にアクティブシールドとベタ GND の距離と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- ボタンの寄生容量はアクティブシールドとベタ GND パターンの距離によらず一定となります。推奨設計値では電極とベタ GND パターンが十分離れており影響しません。アクティブシールド端子はアクティブシールドとベタ GND との距離が近いほど寄生容量が増加します。
- 寄生容量が最大の端子を基準にドライブパルス周波数が選択されるため、基板設計によっては SNR 低下する場合があります。

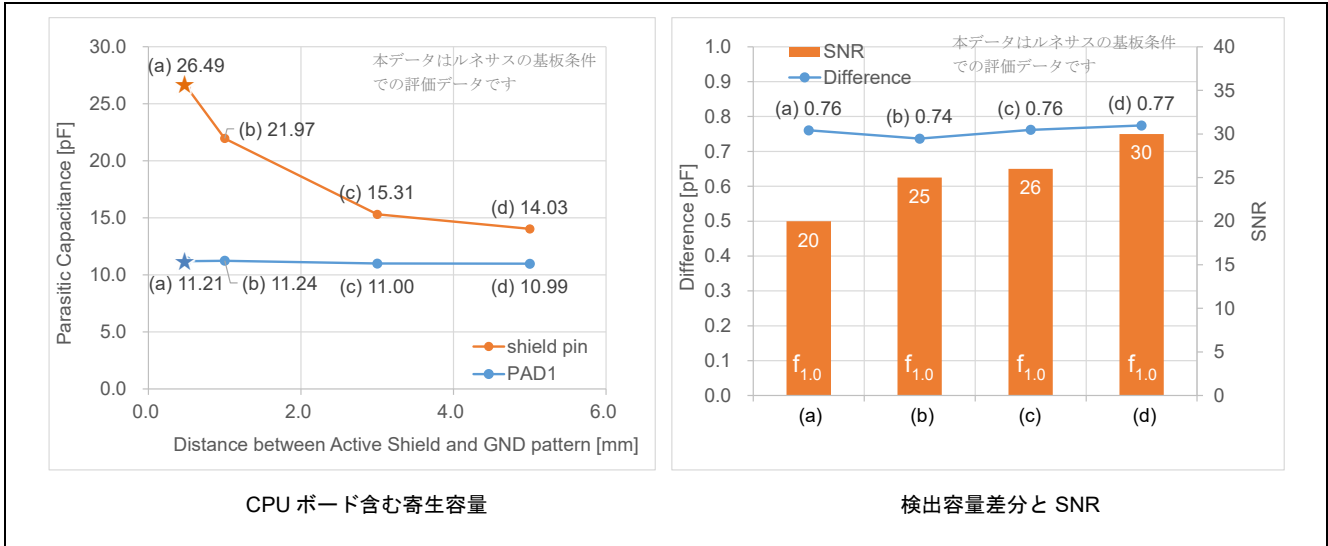


図 5-43 アクティブシールドとベタ GND の距離と感度の特性

5.4.5.5 アクティブシールド幅

表 5-22 にアクティブシールド幅変動時の基板仕様を示します。電極とアクティブシールド間隔、配線とアクティブシールド間隔以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-22 アクティブシールド幅変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
アクティブシールドの幅	1.0、3.0、5.0、10.0	mm	
電極とアクティブシールド間隔	0.5、3.0、5.0	mm	
配線とアクティブシールド間隔	0.5、3.0、5.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	
シールド条件の組み合わせ（配線-シールド距離/電極-シールド距離）			
組み合わせ(1)	3.0/3.0	mm	推奨設計値
組み合わせ(2)	0.5/0.5	mm	
組み合わせ(3)	5.0/5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

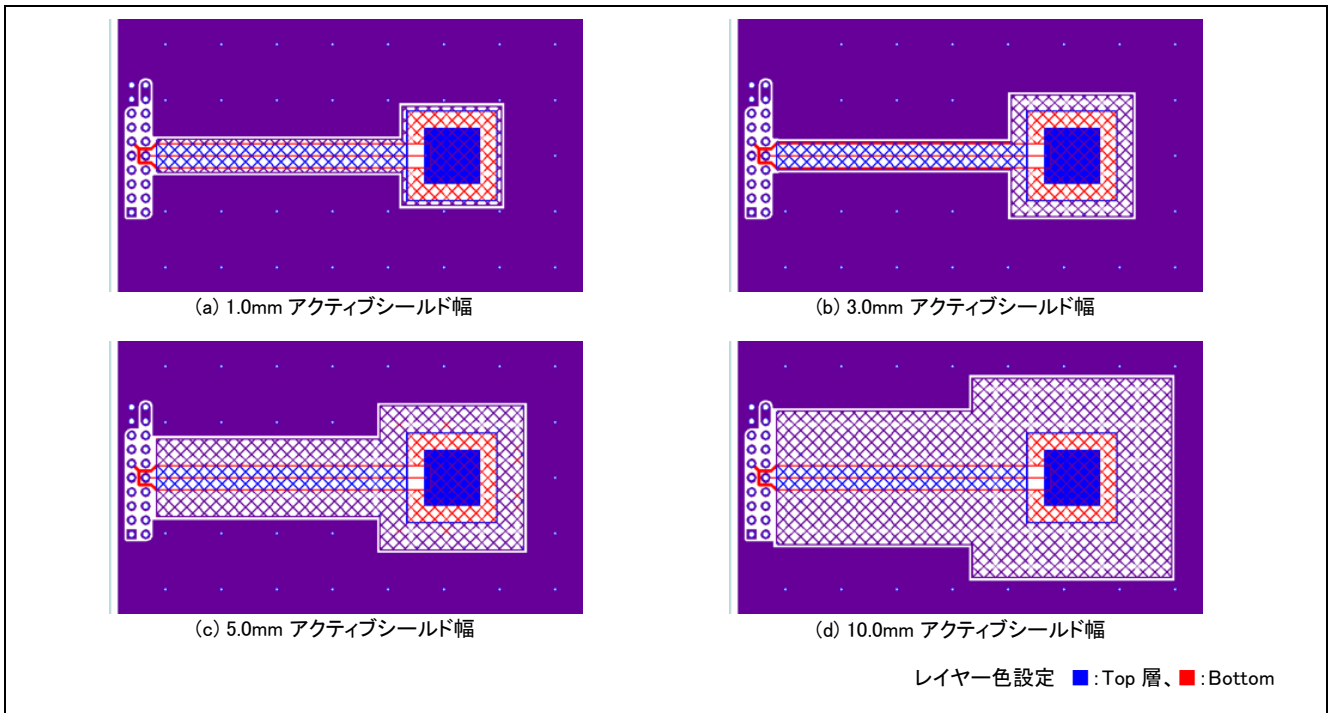


図 5-44 評価ボードパターン（電極&配線とアクティブシールド間隔：3.0mm）

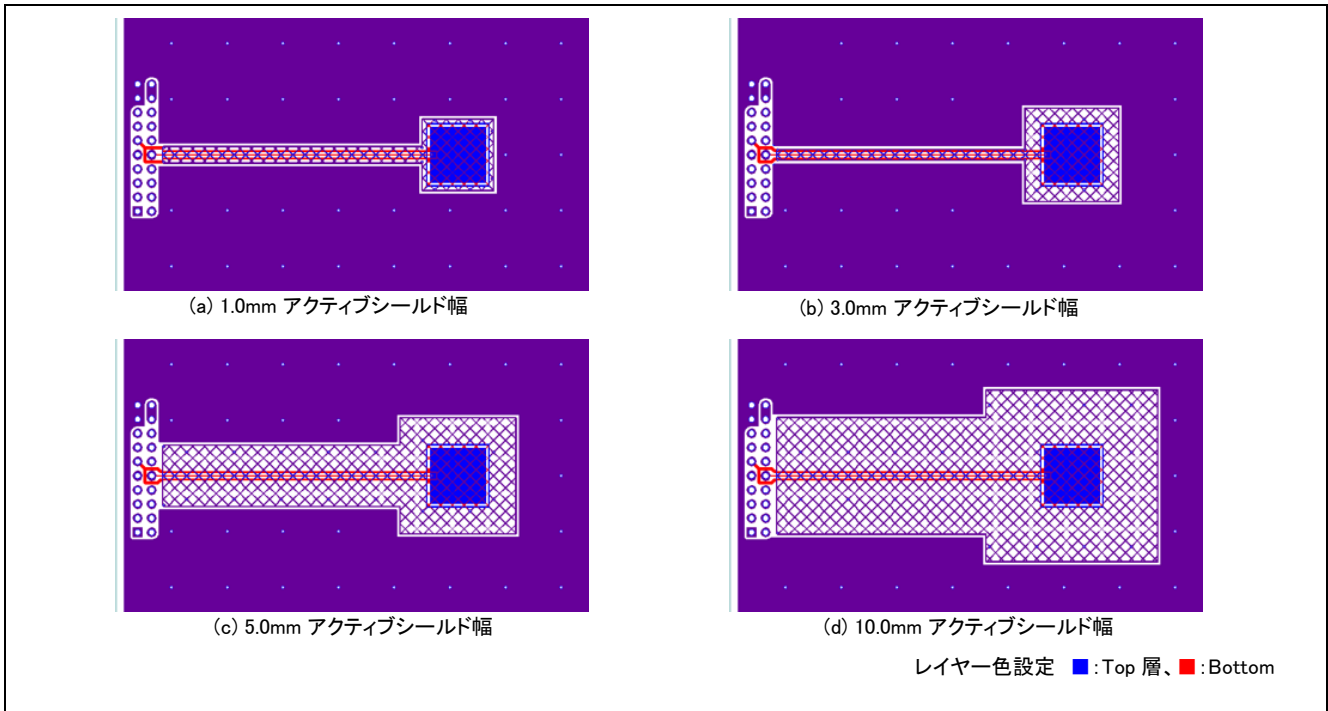


図 5-45 評価ボードパターン（電極&配線とアクティブシールド間隔：0.5 mm）

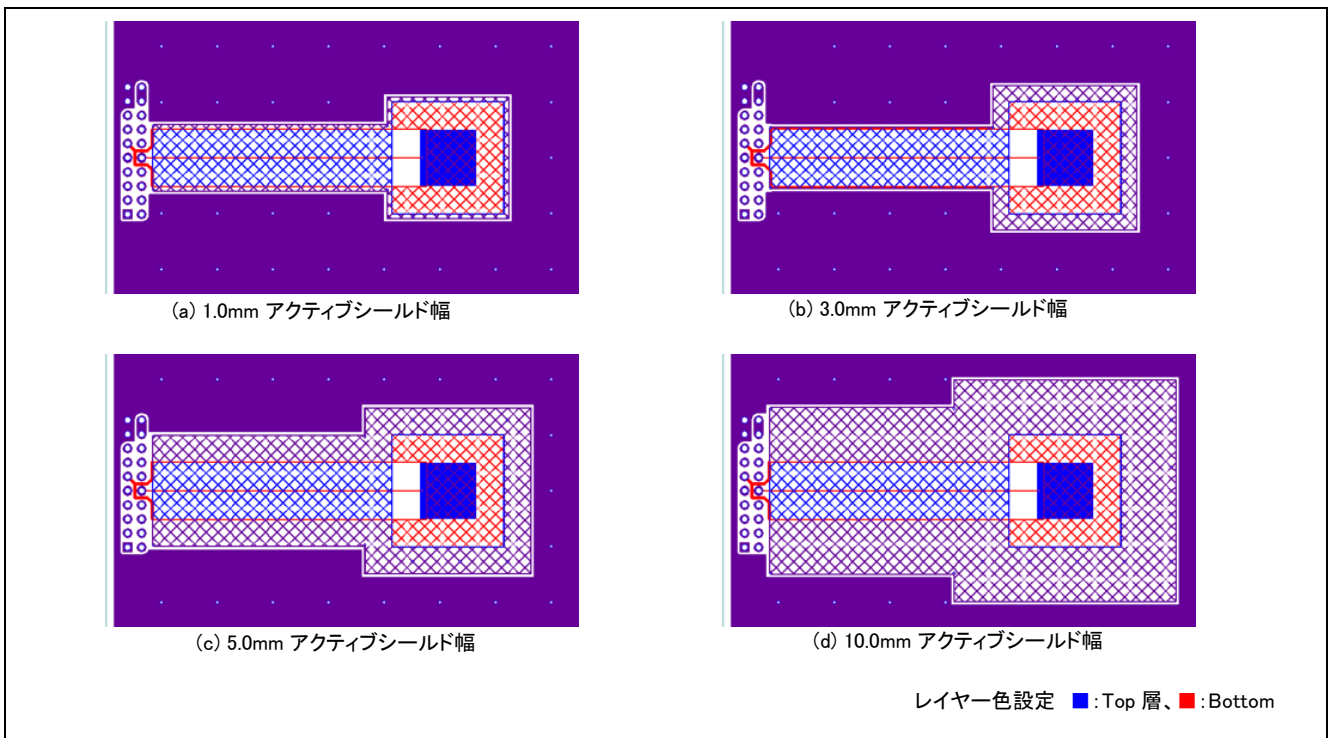


図 5-46 評価ボードパターン（電極&配線とアクティブシールド間隔：5.0 mm）

図 5-47 にアクティブシールド幅と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- ボタンの寄生容量はアクティブシールドの幅が狭いとわずかに増加する傾向があります。電極と GND ベタパターンとの距離が近くなるため寄生容量に影響します。アクティブシールド端子はシールド幅により面積が増加するため寄生容量も増加します。
- アクティブシールド幅による SNR 変化はありませんが、基板設計により寄生容量が増加するとドライブパルス周波数が低下することで SNR 低下する可能性があります。
- 電極および配線とアクティブシールドの距離が近い場合、静電容量検出量が低下する傾向があります。電極とアクティブシールド外周のベタ GND パターンとの距離が近くなり、電極の容量結合が強くなることで電極タッチ時の静電容量変化が生じにくくなります。

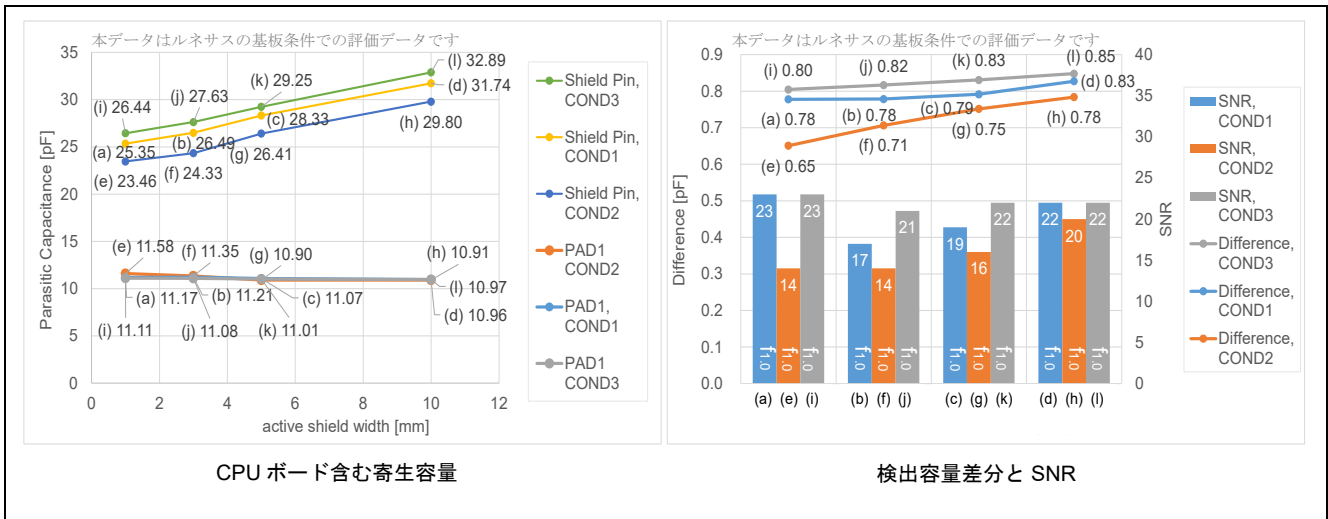


図 5-47 アクティブシールド幅と感度の特性

5.4.5.6 アクティブシールド端子のダンピング抵抗値

表 5-23 に アクティブシールド端子のダンピング抵抗値と感度特性評価条件を示します。ダンピング抵抗値以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-23 アクティブシールド端子のダンピング抵抗値と感度特性評価条件

設計パラメータ	仕様	単位	備考
ダンピング抵抗値	10、560、1000	Ω	
シールドタイプ	アクティブシールド	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

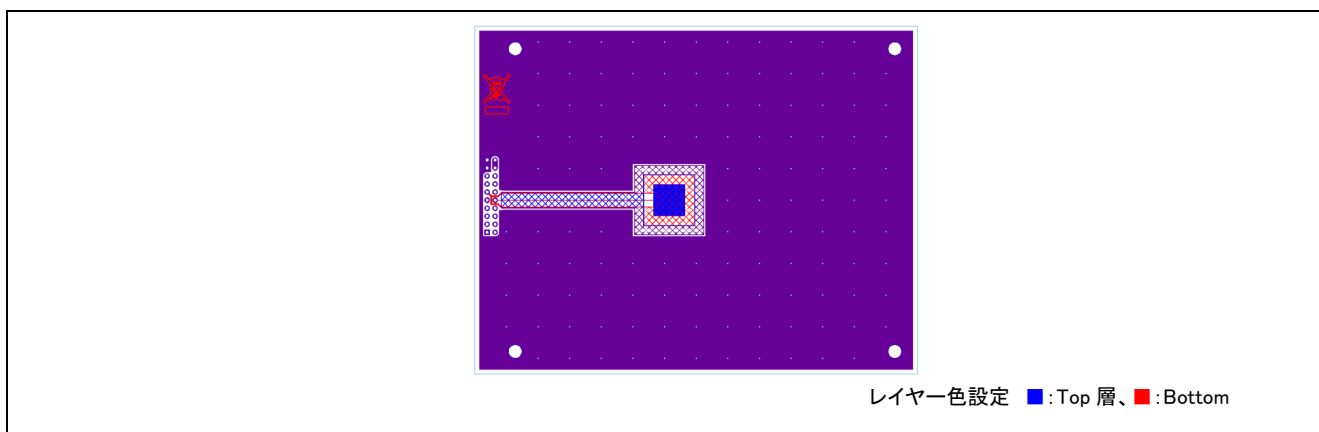


図 5-48 評価ボードパターン

図 5-49 にアクティブシールド端子のダンピング抵抗値と感度の特性を示します。

- 同一の電極パターンでアクティブシールド端子のダンピング抵抗を変化させた場合、ボタンの検出容量および SNR はアクティブシールドのダンピング抵抗値によらず一定となります。
- ダンピング抵抗は外来ノイズを減衰させる役割があるため抵抗値を小さくすると外来ノイズの影響を受け計測値が不安定になったり、TSCAP 電圧エラーなど CTSU が動作停止してしまうリスクが発生します。特に推奨値の 560 Ohm より小さくする場合は十分な評価を行ってください。

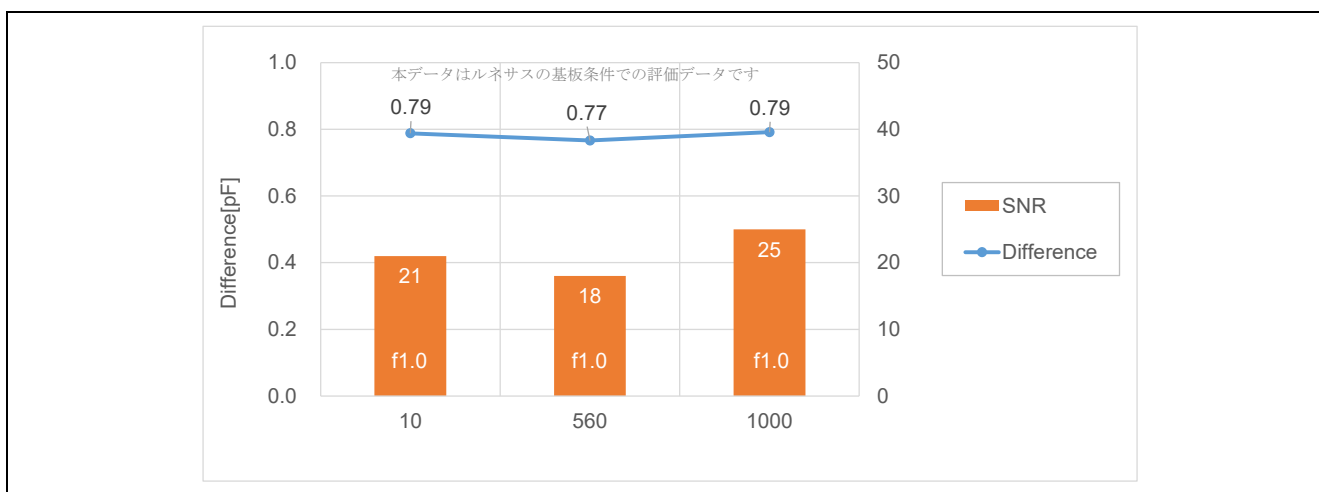


図 5-49 アクティブシールド端子のダンピング抵抗値と感度の特性

5.4.6 基板設計以外のパラメータ

5.4.6.1 オーバーレイ設計と感度の特性

表 5-24 にオーバーレイ厚および空気層変動時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-24 オーバーレイ厚および空気層変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
オーバーレイ厚	2.0、10.0	mm	アクリル
空気層	0、1.0、3.0、5.0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

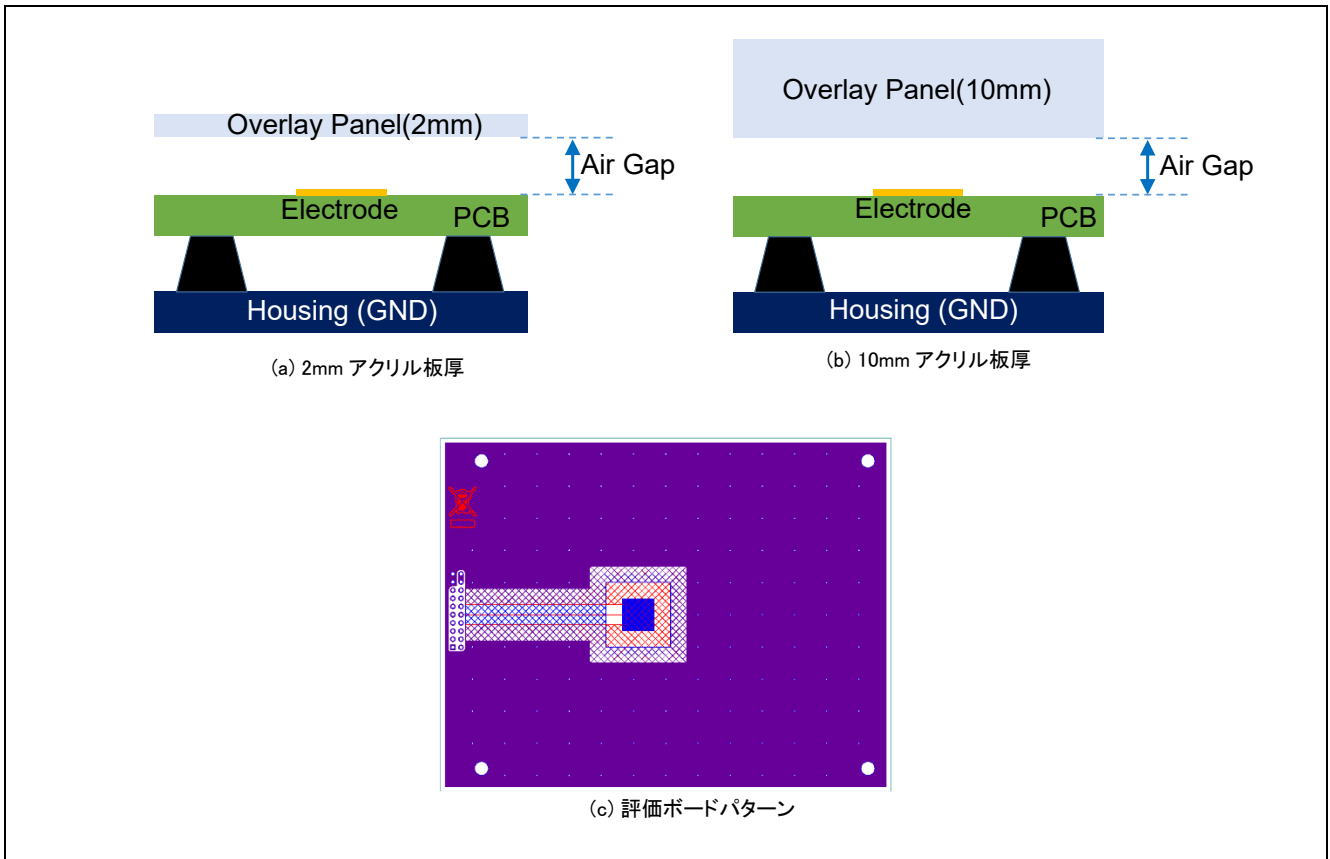


図 5-50 評価条件

図 5-51 にオーバーレイの空気層と寄生容量を示します。図 5-52 にオーバーレイの空気層と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- オーバーレイが厚いほど寄生容量は増加しますが、検出容量の差分は小さくなり SNR が低下します。
- 空気層が広いほど基板の検出容量の差分が低下し SNR が低下します。
- 静電容量タッチでは電極と指がコンデンサーの電極に相当するためオーバーレイパネルが厚くなるほど SNR が低下します。またアクリルオーバーレイと比較して空気層は比誘電率が低いため、空気層が広いほど検出容量および SNR は低下します。

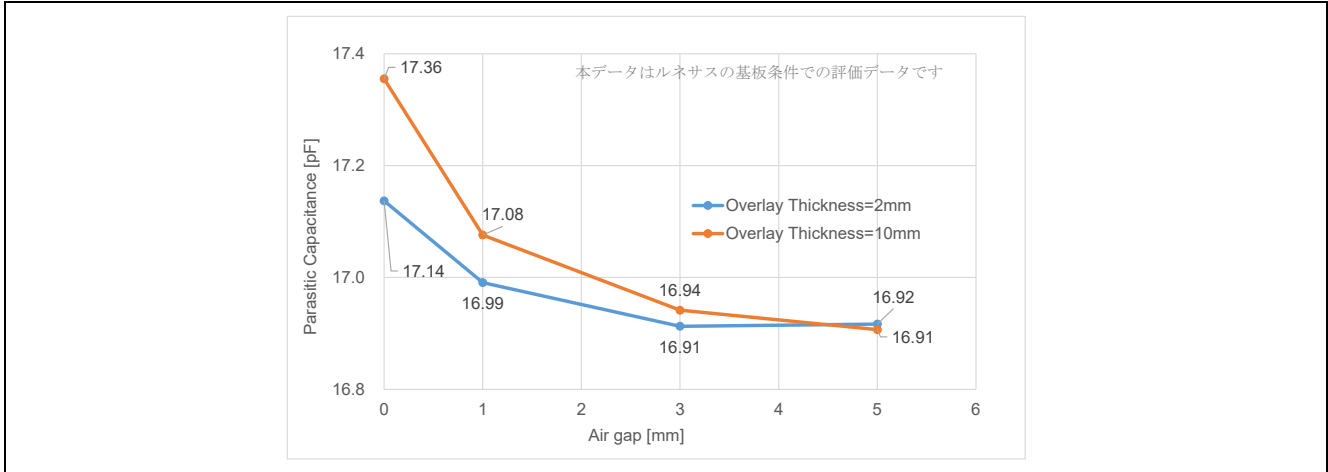


図 5-51 オーバーレイの空気層と寄生容量

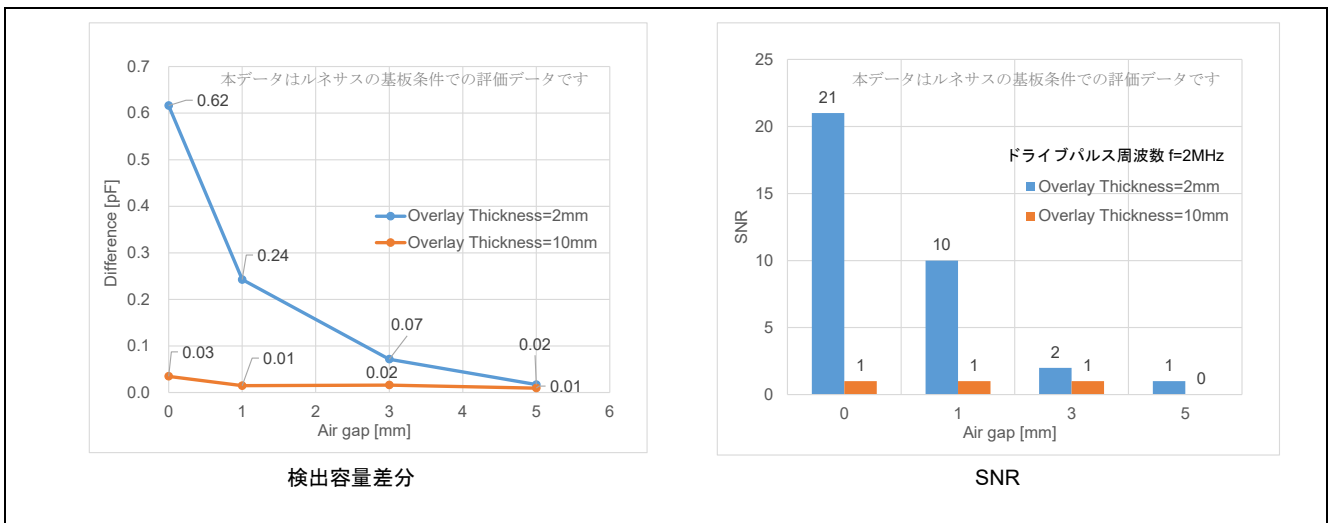


図 5-52 オーバーレイの空気層と感度の特性

5.4.6.2 電極のダンピング抵抗値と感度の特性

表 5-25 にダンピング抵抗値変動時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-25 ダンピング抵抗値変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
ダンピング抵抗値	10、560、1000	Ω	
シールドタイプ	メッシュ GND	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

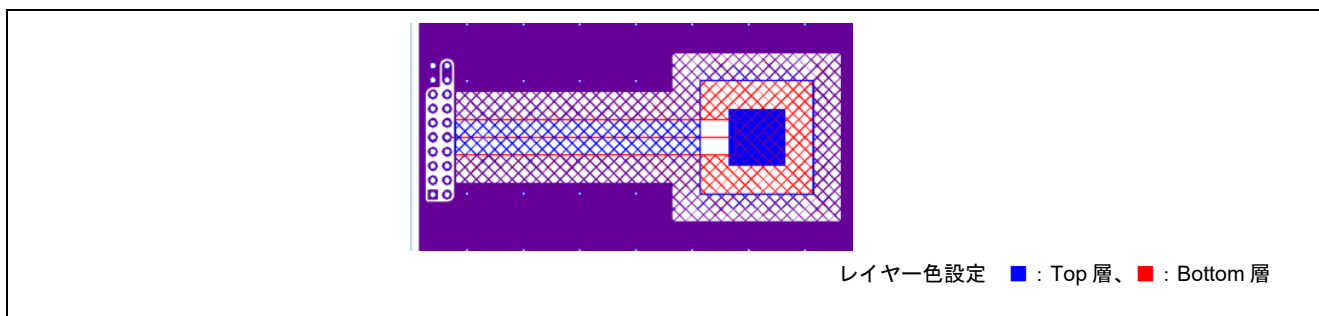


図 5-53 評価ボードパターン

図 5-54 にダンピング抵抗値 と感度の特性を示します。

- ダンピング抵抗値に比例して回路の時定数が増加し充放電時間も増加します。CTSU の計測では TS 端子の寄生容量に対し十分な充放電時間を確保する必要があります。不十分な充放電になると計測値が不安定となるため、十分な充放電時間を確保するためドライブパルス周波数を下げる必要があります。
- QE for Capacitive Touch の自動調整機能では、非タッチ時の寄生容量の大きさから最適なドライブパルス周波数を決定します。
- ダンピング抵抗は外来ノイズを減衰させる役割があるため抵抗値を小さくすると外来ノイズの影響を受け計測値が不安定になったり、TSCAP 電圧エラーなど CTSU が動作停止してしまうリスクが発生します。特に推奨値の 560 Ohm より小さくする場合は十分な評価を行ってください。

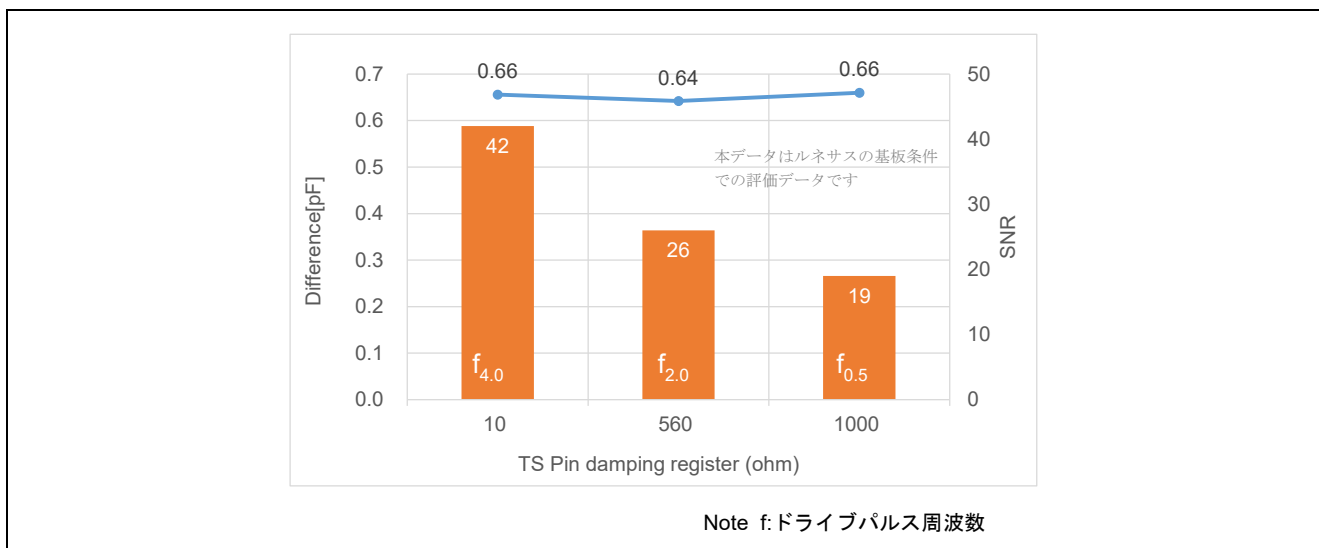


図 5-54 ダンピング抵抗値 と感度の特性

5.4.6.3 筐体 GND 間隔 vs 感度

表 5-26 に筐体 GND の間隔変動時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-26 筐体 GND の間隔変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
基板と筐体 GND の間隔 (基板スペーサー高)	2.0、5.0、20.0	mm	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

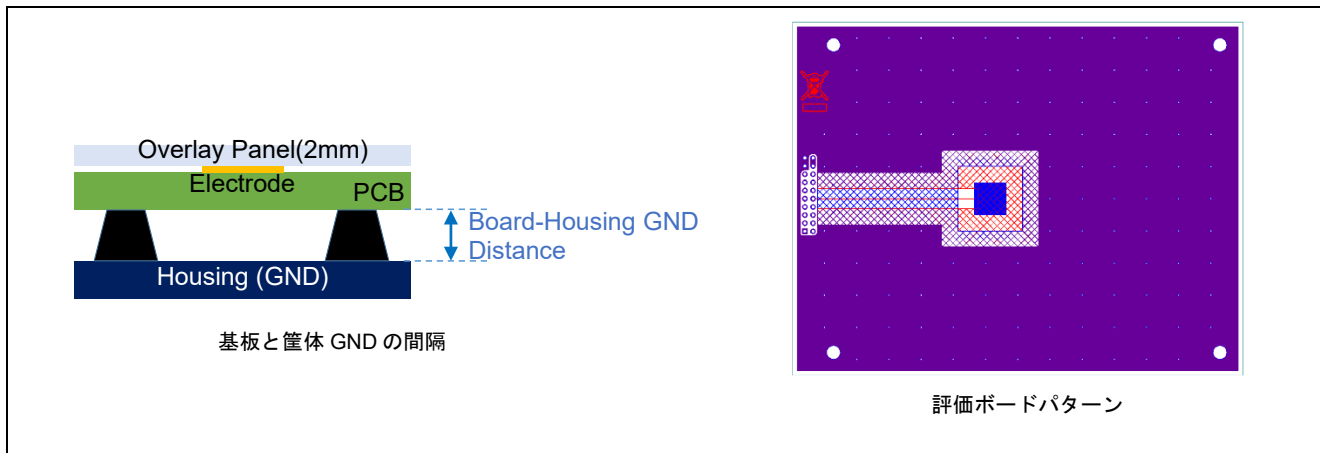


図 5-55 評価条件

図 5-56 に筐体 GND 間隔と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- 基板面から筐体 (GND レベルの導体を想定) までの距離が近いほど感度が低下します。基板が筐体に近いほど容量結合が強くなり、電極タッチ時の静電容量変化が生じにくくなります。

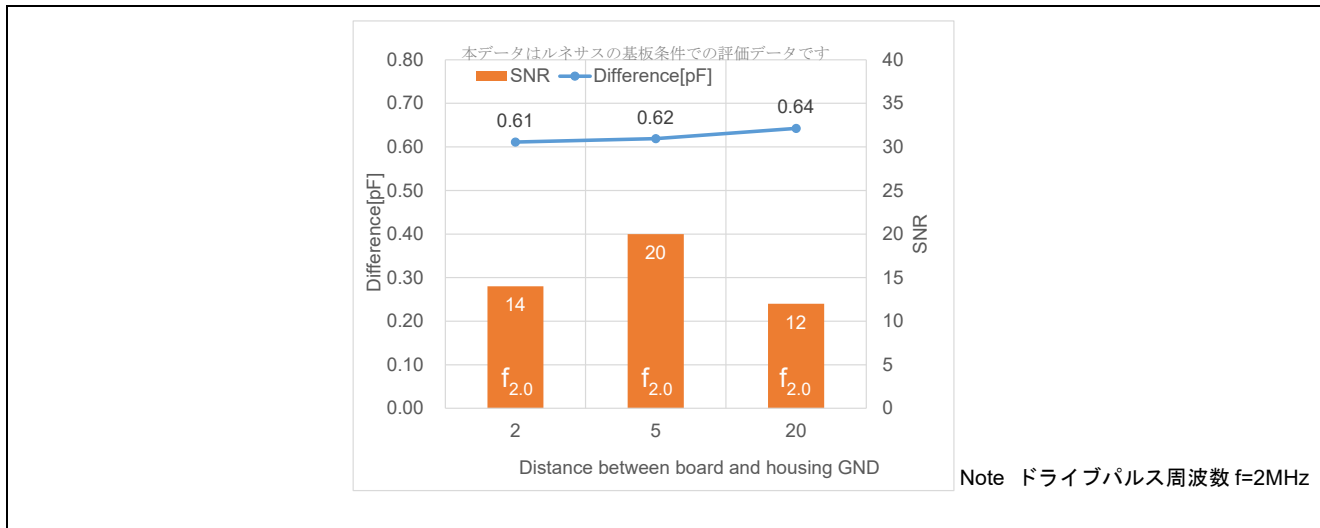


図 5-56 筐体 GND 間隔と感度の特性

5.4.6.4 ESD 保護ダイオード接続時の感度特性

表 5-27 に ESD 保護ダイオードの寄生容量変動時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。なお TS 端子に ESD 保護ダイオードを接続した場合の感度特性を示す評価であり、ESD 試験は実施していません。また ESD 保護ダイオードの接続箇所や必要耐圧などの仕様はシステムによるため、お客様にて設計検討および部品を選定してください。

表 5-27 ESD 保護ダイオードの寄生容量変動時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
ESD 保護ダイオードの静電容量 (Typ 値)	0 (未接続)、 0.75、10、30	pF	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

図 5-57 に ESD 保護ダイオード寄生容量評価ボード回路図を示します。

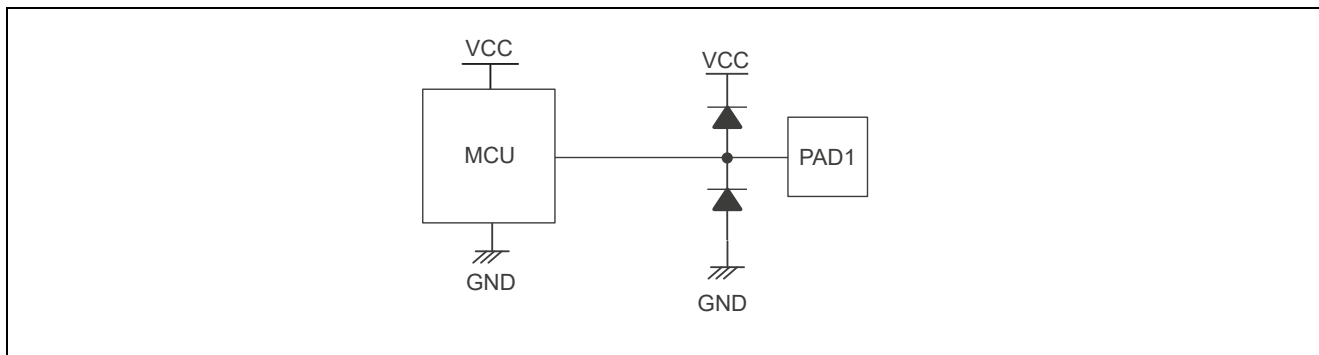


図 5-57 ESD 保護ダイオード寄生容量評価ボード回路図

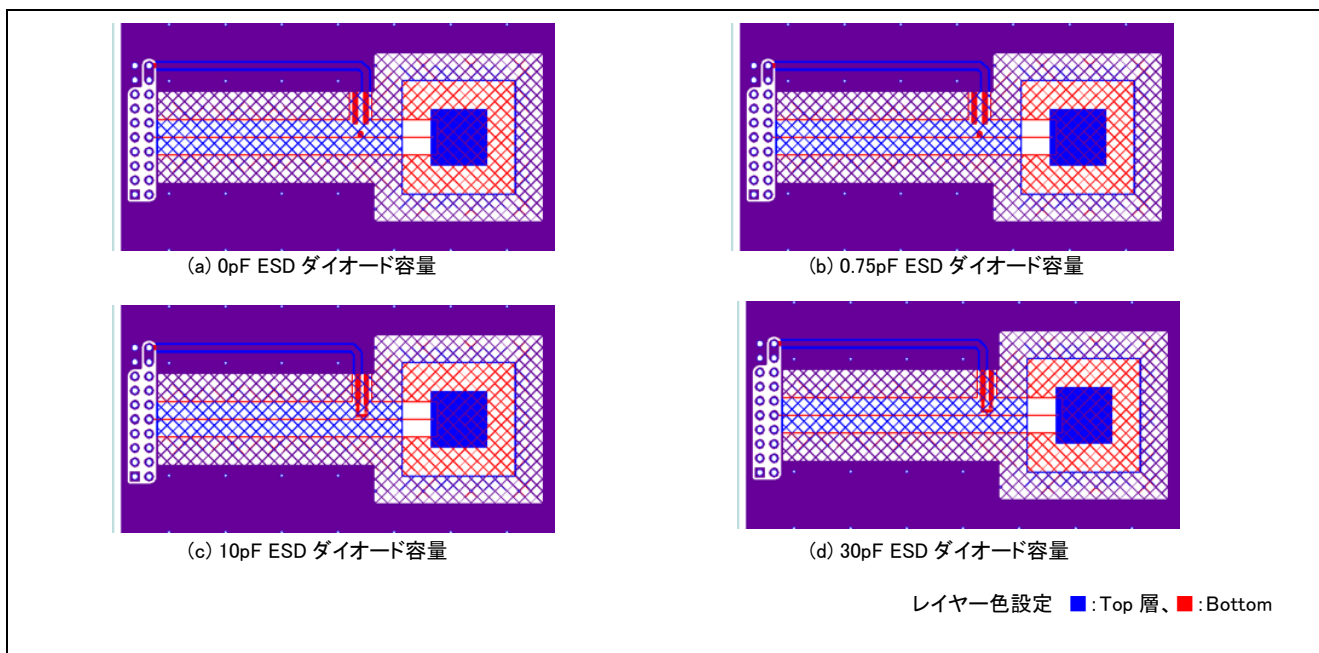


図 5-58 評価ボードパターン

図 5-59 に ESD 保護ダイオード寄生容量と感度の特性を示します。寄生容量には CPU ボードの寄生容量約 10.48pF を含みます。

- TS 端子に ESD 保護ダイオードを接続すると接続した素子の静電容量が付加され、静電容量が大きいと計測ドライブパルス周波数が下がり感度が低下します。
- CTSU は寄生容量に印加した電流量から静電容量を推定するため、ESD 保護ダイオードを接続する場合は静電容量値およびリーク電流が小さい製品を選択してください。

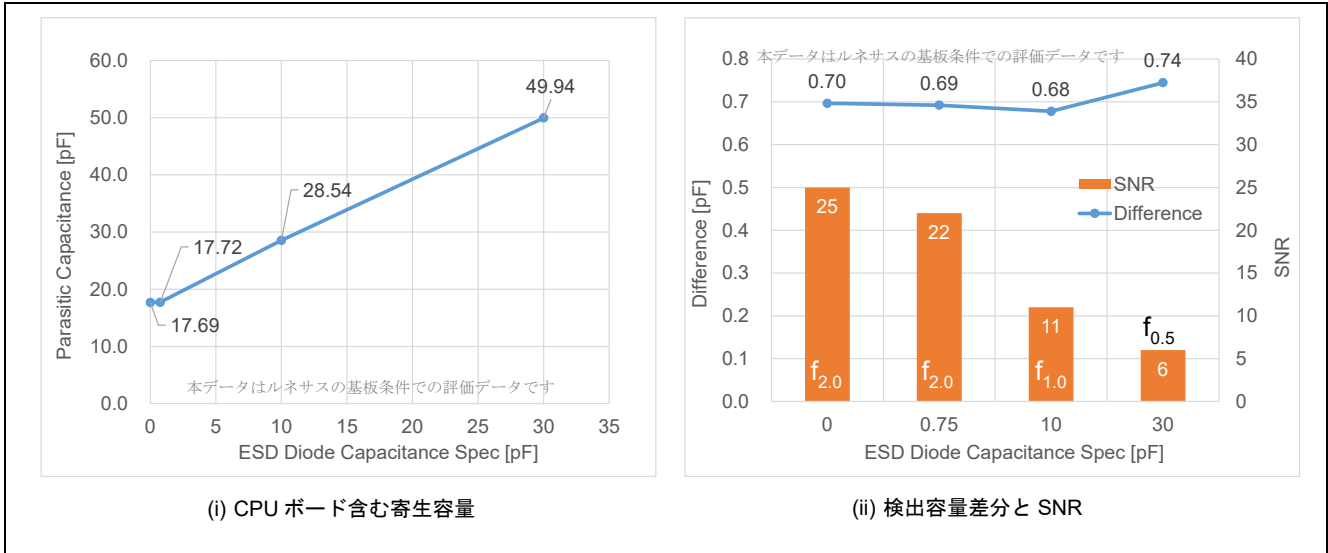


図 5-59 ESD 保護ダイオード寄生容量と感度の特性

5.4.6.5 電源電圧と感度の特性

表 5-28 に電源電圧変動時の電極基板仕様を示します。電源電圧以外の電極基板設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-28 電源電圧変動時の電極基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
電源電圧	1.8、3.3、5.0	V	
シールドタイプ	メッシュ GND	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

表 5-29 に CTSU1 デバイスの評価条件、表 5-30 に CTSU2 デバイスの評価条件を示します。本評価は CTSU1 デバイスと CTSU2 デバイスについて実施しました。

表 5-29 CTSU1 デバイスの評価条件

項目	仕様
CPU ボード	RX130 Cap Touch CPU ボード (RTK0EG0004C01002BJ) (RX130 静電容量タッチ評価システム (RTK0EG0003S01002BJ) 付属品)
使用 MCU	RX130 (R5F51305ADFN)
動作周波数	32MHz

表 5-30 CTSU2 デバイスの評価条件

項目	仕様
CPU ボード	RX140 Cap Touch CPU ボード (RTK0EG0038C01001BJ) (RX140 静電容量タッチ評価システム (RTK0EG0039S01001BJ) 付属品)
使用 MCU	RX140 (R5F51406ADFN)
動作周波数	48MHz

表 5-31 に RX MCU の評価ソフトウェア開発環境、図 5-60 に使用コンポーネント一覧を示します。

表 5-31 評価ソフトウェア開発環境 (RX MCU)

項目	仕様
統合開発環境	Renesas e ² studio Version: 2022-04
コンパイラ	Renesas CC-RX v3.04.00
静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール	QE for Capacitive Touch V3.0.2
エミュレータ	Renesas E2 Lite emulator

Selected components:		
Component	Version	Configuration
Board Support Packages. (r_bsp)	7.10	r_bsp(used)
Byte-based circular buffer library. (r...	2.00	r_byteq(used)
CMT driver (r_cmt_rx)	5.10	r_cmt_rx(used)
CTSU QE API (r_ctsu_qe)	2.10	r_ctsu_qe(used)
Ports	2.3.0	Config_PORT(PORT: used)
SCI/SCIF Asynchronous Mode	1.11.0	Config_SCI6(SCI6: used)
Touch QE API (rm_touch_qe)	2.10	rm_touch_qe(used)

図 5-60 使用コンポーネント一覧

図 5-61 に QE for Capacitive Touch の自動調整結果を示します。「Scan Time[ms]」はソフトウェアのオーバーヘッド処理を含む 1 チャンネルあたりの計測時間を示します。ハードウェアの計測時間は CTSU1 (RX130) は 0.526ms、CTSU2 (RX140) は 0.256ms です。CTSU2 はハードウェアでマルチ周波数計測をサポートしており、QE for Capacitive Touch の自動調整により 3 種類のマルチ周波数測定を設定します。このときの 1 周波数あたりの計測時間は 0.128ms です。マルチ周波数計測の計測結果は多数決判定で選択された 2 つの周波数の計測値から算出されるため、計測時間は 0.256ms に相当します。CTSU1 は 1 種類の周波数のみで計測を行います。

Method	Kind	Name	Touch Sensor	Parasitic Capacitance[pF]	Sensor Drive Pulse Frequency[MHz]	Threshold	Scan Time[ms]	Overflow
config01	Button(self)	PAD1	TS29	15.105	1.886 (BASE: 2.0)	1240	0.559	None
(a) CTSU1 (RX130)								
Method	Kind	Name	Touch Sensor	Parasitic Capacitance[pF]	Sensor Drive Pulse Frequency[MHz]	Threshold	Scan Time[ms]	Overflow
config01	Button(self)	Button00	TS29	15.417	2.0	883	0.576	None
(b) CTSU2 (RX140)								

図 5-61 QE for Capacitive Touch の自動調整結果

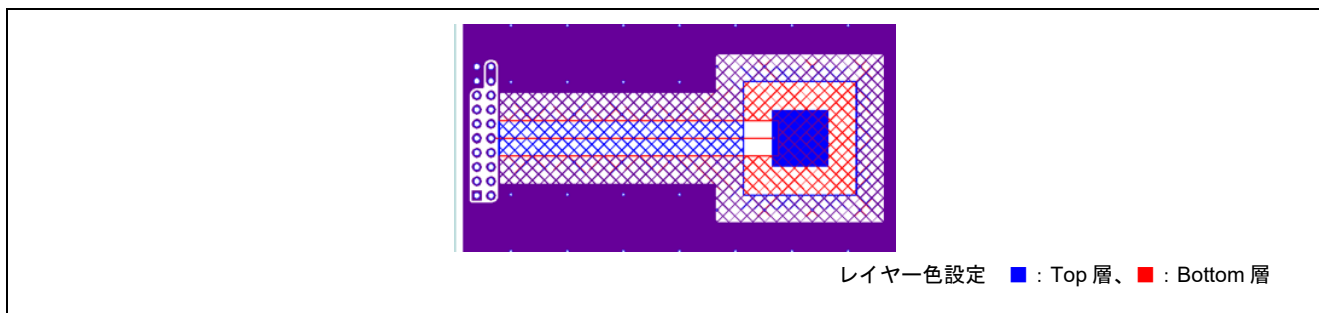


図 5-62 評価ボードパターン（電源電圧の感度評価）

(1) 通常動作モード

図 5-63 に通常モードの電源電圧 と感度の特性を示します。通常モード動作とは、RX130 では CTSUCR1.CTSUATUNE0 ビットに'0'、RX140 では CTSUCRA.ATUNE0 ビットに'0'をセットした状態で CTSU が動作している状態を指します。

- 電源電圧によって計測値の変化および感度の変化はありません。
- CTSU1 と CTSU2 の計測値および SNR の相違は計測時間の違いによるものです。CTSU2 は CTSU1 の約 1/2 の計測時間ですが、計測値および SNR は 2/3 程度であり単位時間あたりの計測精度は向上しています。

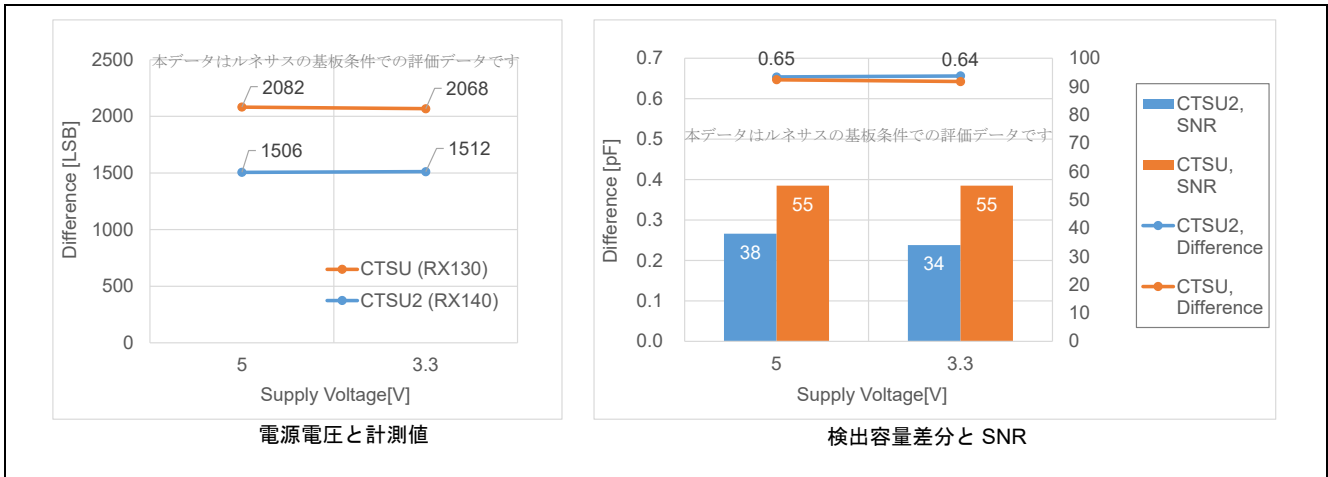


図 5-63 通常モードの電源電圧 と感度の特性

(2) 低電圧モード

低電圧モード動作とは、RX130 では CTSUCR1.CTSUATUNE0 ビットに'1'、RX140 では CTSUCRA.ATUNE0 ビットに'1'をセットした状態で CTSU が動作している状態を指します。MCU によっては低電圧モードをサポートしていません。MCU が本機能をサポートしているかをご使用になる MCU のユーザーズマニュアルをご確認ください。本機能をサポートしていない MCU で当該レジスタを設定した場合の動作は保証しません。

- 電源電圧によって計測値の変化および感度の変化はありません。
- 低電圧モードでは通常モードよりも計測値が低下しますが、SNR は通常モードと同等です。
- CTSU1 と CTSU2 では計測値および SNR に相違は計測時間の違いによるものです。CTSU2 は CTSU1 の約 1/2 の計測時間ですが、計測値および SNR は 2/3 程度の低下であり単位時間あたりの計測精度は向上しています。

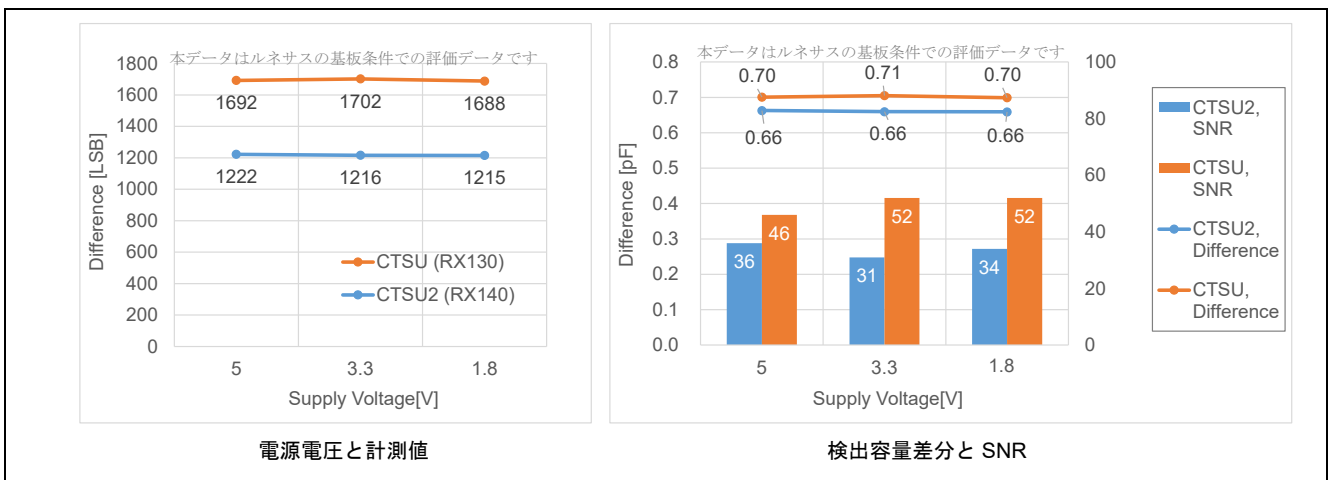


図 5-64 通常モードの電源電圧 と感度の特性

5.4.6.6 配線タッチ時の感度

表 5-32 に電極配線タッチ時の基板仕様を示します。それ以外の設計パラメータは固定した条件で評価を行いました。

表 5-32 電極配線タッチ時の基板仕様

設計パラメータ	仕様	単位	備考
シールドタイプ	メッシュ GND、 アクティブシールド	-	
オーバーレイ厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値

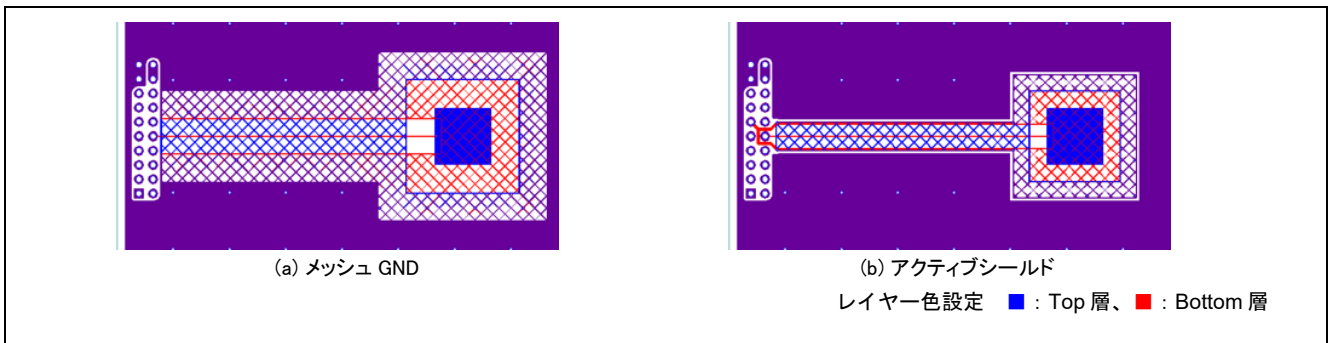


図 5-65 評価ボードパターン

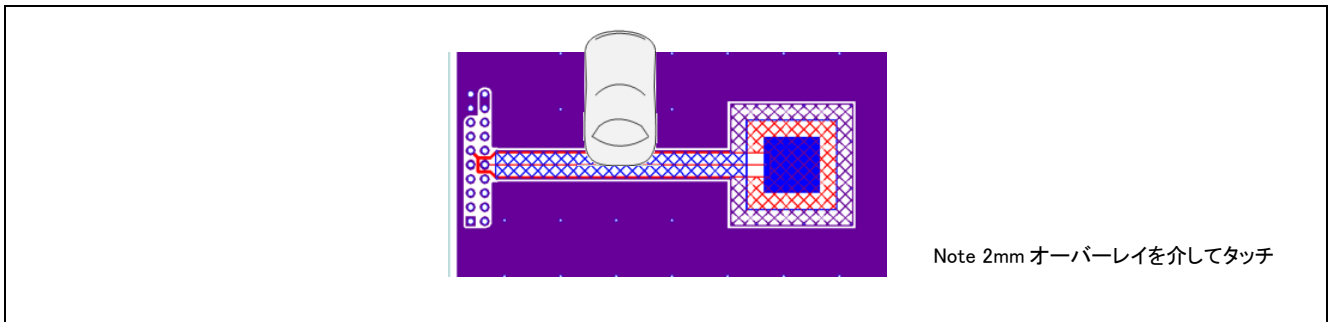


図 5-66 配線タッチ位置

図 5-67 に配線タッチ時の感度を示します。オーバーレイ上かつシールドパターン上から配線をタッチしてもタッチ検出可能な SNR にはなりません。

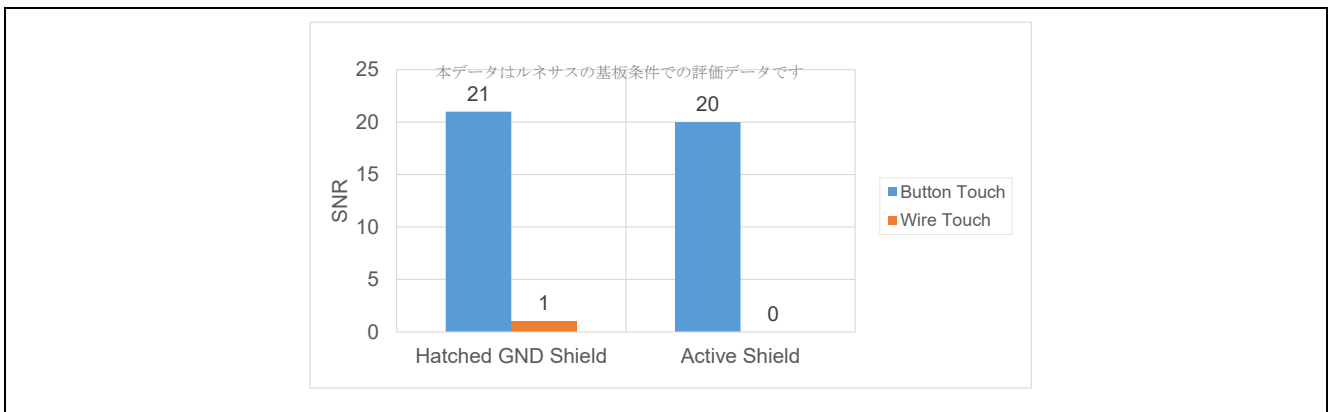


図 5-67 配線タッチ時の感度

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com/>

お問合せ先

<http://japan.renesas.com/contact/>

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.0	2021.04.12	—	新規作成
2.0	2022.09.30	8	推奨寸法の説明および数値を修正 図 2-9 (a)の寸法を修正、図 2-9 (b)を追加
		15	図 2-20 計算式の注釈を追加
		22	図 3-5 C 型電極の寸法を修正
		32	5. 自己容量方式ボタン設計と特性データ 追加

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

CMOS製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSIの内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れしないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI周辺のノイズが印加され、LSI内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS製品の入力がノイズなどに起因して、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられているリザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違えば、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含まれます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
 2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
 3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
 4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
 5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
 6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。
標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等
当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
 7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
 8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
 9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
 10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
 11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
 12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものいたします。
 13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
 14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。
- 注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。
- 注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレストシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。