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（CTSU） 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。

マイコンの電源設計やレイアウトに関する情報は下記のアプリケーションノートを参照してください。

- 静電容量センサマイコン 静電容量タッチリップル対策ガイド（R30AN0453）

動作確認デバイス

CTSU 搭載 RX ファミリ、RA ファミリ、RL78 ファミリ マイコン、Renesas Synergy™

（CTSU には CTSU2、CTSU2L、CTSU2SL 等を含みます）

次ページ以降 CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL/CTSU2SLa は CTSU2 を参照してください。

目次

1. 概要 4

2. 自己容量方式ボタンの設計ガイド 4
2.1 推奨設計要旨 4
2.2 自己容量方式の概念 6
2.3 CTSU の自己容量方式検出原理 6
2.4 電極パターン設計 9
2.4.1 電極回路の構成 9
2.4.2 電極パッドと配置 10
2.4.3 配線 11
2.5 ノイズ対策設計 14
2.5.1 シールドパターン 14
2.5.1.1 シールド形状 14
2.5.1.2 GND シールド 15
2.5.1.3 アクティブシールド（CTSU2 機能） 16
2.6 パネル厚影響 20
2.6.1 パネル厚とタッチ感度の関係 20
2.6.2 パネル厚とクロストークの関係 21
2.7 設計応用例 22
2.7.1 スライダ電極レイアウトパターン設計例 22
2.7.2 ホイール電極レイアウトパターン設計例 22
2.7.3 フィルム状基板 23
2.7.3.1 フレキシブル基板（FPC） 23
2.7.3.2 フィルムデバイス 23

2.7.3.3　設計例 24
2.7.4　LED 配線 25
2.7.4.1　直接灯火の例 25
2.7.4.2　間接灯火（導光板使用） 25
2.7.5　パネルとボタン電極が離れている場合 26
2.7.6　自己容量マトリクス 26
2.7.7　RF 通信デバイス使用時の注意事項 26
2.7.8　金属オーバーレイパネル設計例 26

3.　相互容量方式ボタンの設計ガイド 27
3.1　推奨設計要旨 27
3.2　相互容量方式の概念 28
3.3　CTSU の相互容量方式検出原理 28
3.4　電極パターン設計 29
3.4.1　電極回路の構成 29
3.4.2　電極パッド 30
3.4.3　配線 33
3.5　タッチ面から電極までの距離 35
3.6　ノイズ対策設計 36
3.6.1　シールドパターン 36
3.6.1.1　シールド形状 36
3.6.1.2　GND シールド 37
3.7　設計応用例 38
3.7.1　耐水電極レイアウトパターン設計 38
3.7.2　LED 配線レイアウト 39
3.7.2.1　直接灯火の例 39
3.7.2.2　間接灯火の例 40

4.　参考資料 41
4.1　参考ドキュメント 41
4.2　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表 42
4.2.1　通常動作モード 42
4.2.2　低電圧動作モード 44

5.　自己容量方式ボタン設計と特性データ 45
5.1　自己容量方式ボタンの感度（SNR） 45
5.2　評価条件 46
5.3　設計パラメータと感度特性 48
5.3.1　電極サイズ 48
5.3.2　配線長 50
5.3.3　複数ボタン設計 52
5.3.3.1　配線間隔 52
5.3.3.2　ボタン間隔 55
5.3.4　GND パターン設計 57
5.3.4.1　電極シールド間隔 57
5.3.4.2　配線シールド間隔 59
5.3.4.3　内層 GND の影響 61

5.3.4.4　メッシュシールド幅 63
5.3.4.5　メッシュシールド開口率 66
5.3.5　アクティブシールド設計 68
5.3.5.1　アクティブシールドの面積 68
5.3.5.2　電極とアクティブシールドの間隔 70
5.3.5.3　配線とアクティブシールドの間隔 72
5.3.5.4　アクティブシールドとベタ GND との距離 74
5.3.5.5　アクティブシールド幅 76
5.3.5.6　アクティブシールド信号端子のダンピング抵抗値 79
5.3.6　基板設計以外のパラメータ 80
5.3.6.1　オーバーレイパネル設計と感度の特性 80
5.3.6.2　電極のダンピング抵抗値と感度の特性 82
5.3.6.3　筐体 GND 間隔と感度の特性 83
5.3.6.4　ESD 保護ダイオード接続時の感度特性 84
5.3.6.5　電源電圧と感度の特性 86
5.3.6.6　配線タッチ時の感度 89

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（CTSU）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化や外来ノイズ対策のため、2 層基板以上を使用してタッチ電極周囲およびタッチ電極直下の層にメッシュパターンの GND シールド（以降、メッシュ GND シールドと表記）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ベタ GND パターンでシールドすることを推奨します。以下の項目は、⑨と⑩を除き図 2-1 中の番号と対応しています。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（CTSU2 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： 表 2-1 および表 2-2 を参照してください
その他の条件については「4.2 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表」を参照してください。
⑩ 電極+配線抵抗値：560Ω以上、1kΩ以下（基準値 560Ωのダンピング抵抗を含む）
ダンピング抵抗はできるだけ TS 端子近傍に配置してください。

項目⑦、⑧のメッシュパターン寸法やアクティブシールド（CTSU2 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。

項目⑨、⑩の推奨値を超える場合の注意事項は「2.4 電極パターン設計」を参照してください。

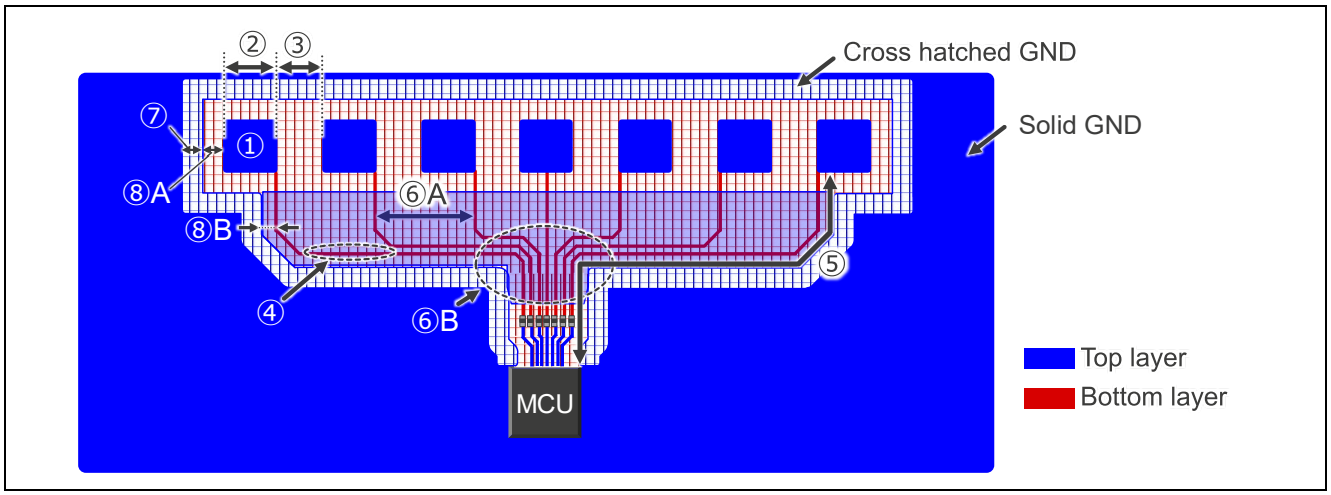


図 2-1 自己容量方式ボタンのパターン設計例

表 2-1 に静電容量センサ搭載製品とタイプの分類を示します。表 2-2 に静電容量センサのタイプと TS 端子の寄生容量(単位：pF)推奨値一覧。表 2-1 から使用するデバイスと CTSU 動作モードよりタイプを選択し、表 2-2 から TS 端子の総抵抗値に応じて寄生容量が推奨値以下になるようにパターン設計してください。寄生容量の推奨値はオーバーレイパネルおよび TS 端子の端子容量を含みます。推奨値はボタンの感度を充分得られるように、QE for Capacitive Touch の自動調整でセンサドライブパルス周波数が 1MHz 以上に設定される条件です。推奨値以外の動作可能範囲および非推奨範囲となる TS 端子の条件は「4.2 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表」を参照してください。

表 2-1 静電容量センサ搭載製品とタイプの分類

<table>
<tr><th colspan="2">静電容量センサ種別</th><th colspan="3">CTSU1</th><th colspan="2">CTSU2</th></tr>
<tr><td rowspan="3">製品カテゴリ/ファミリ</td><td>RL78</td><td>RL78/G16</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">RL78/G22, RL78/G23</td></tr>
<tr><td>RX</td><td colspan="2">RX113, RX130
RX230, RX231, RX23W</td><td>RX671</td><td colspan="2">RX140
RX260, RX261</td></tr>
<tr><td>RA</td><td colspan="2">RA2A1, RA4M1,
RA4W1</td><td>RA4M2,
RA4M3
RA6M1,
RA6M2,
RA6M3,
RA6M4,
RA6M5</td><td colspan="2">RA2E1, RA2L1
RA4L1</td></tr>
<tr><td colspan="2">CTSU 動作モード</td><td>通常動作</td><td>低電圧</td><td>通常動作</td><td>通常動作</td><td>低電圧</td></tr>
<tr><td colspan="2">タイプ(注)</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td></tr>
</table>

注：タイプは本アプリケーションノート特有の表記です。

表 2-2 静電容量センサのタイプと TS 端子の寄生容量(単位：pF)推奨値一覧

タイプ		A	B	C	D	E
総抵抗値（Ω）	560	39	22	46	49	36
	620	38	21	44	46	35
	680	36	21	44	44	34
	750	35	20	42	42	33
	820	33	20	40	40	32
	910	32	19	38	37	30
	1000	30	19	36	35	29

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 Cp、そして電極と指の寄生容量 Cf の合成値です。静電容量の大きさはコンデンサの方程式$C = \varepsilon \frac{S}{d}$（注）と考えることができます。Cp は周辺デバイスが静態であるため一定ですが、Cf は指が近づくにつれて増加します。Cf の増加量にしきい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触れるとショートしてしまい静電容量を測定できません。そのため通常指と電極間に数 mm のオーバーレイパネルを配置します。

注： C：静電容量、ε：誘電率、S：電極の対向面積、d：電極間距離

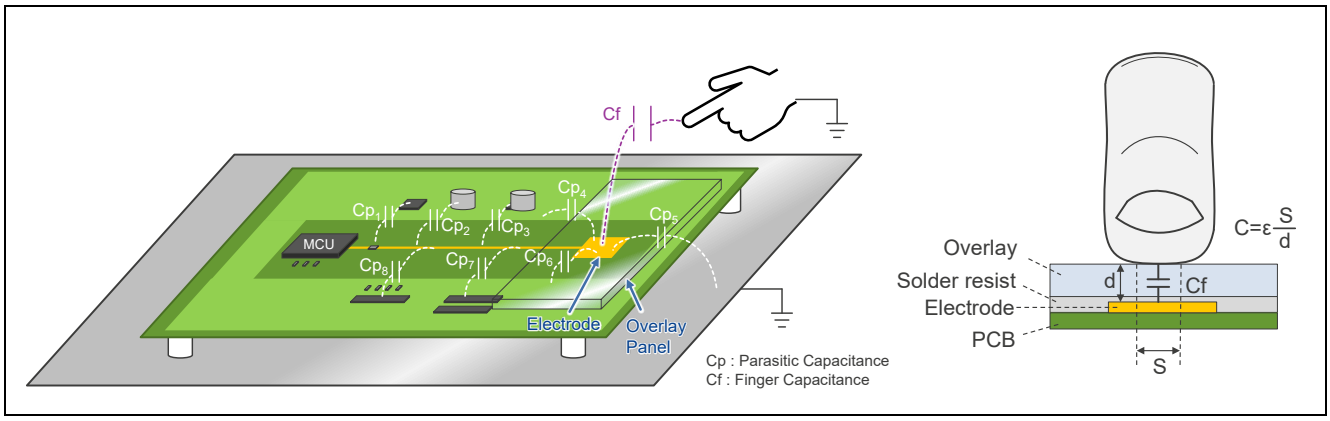


図 2-2 電極に発生する自己容量のイメージ

タッチボタンの感度は SNR (Signal-to-Noise-Ratio)で定義されます。図 2-3 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 ON/OFF の計測値差分をシグナル値とし、ノイズ値との比率で算出します。ノイズはマイコン内部で発生するノイズやボード上のパターンが受ける外来ノイズがあります。SNR が大きいほどタッチボタンの感度が高いことを示します。この計算式は計算の一部として係数（Coefficient）を示しています。値の例は図 5-1、計算例は「5.1 自己容量方式ボタンの感度（SNR）」を参照してください。

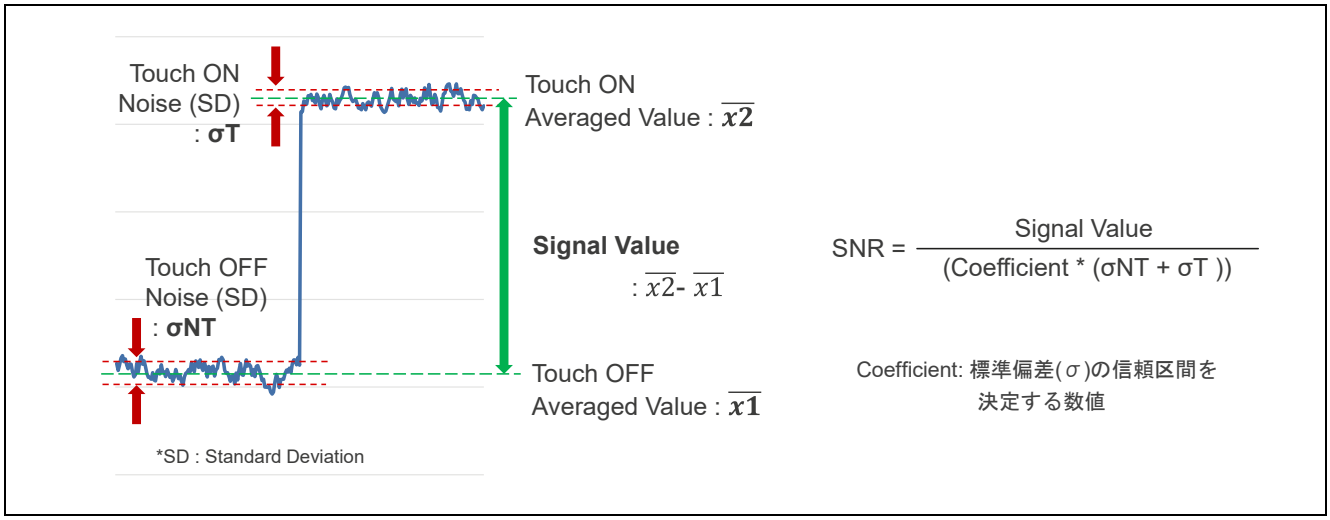


図 2-3 ボタン感度（SNR）の導出方法

2.3　CTSU の自己容量方式検出原理

図 2-4 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周波数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信号が出力されます。この信号を周波数カウンタにより一定時間計測した値がセンサカウンタレジスタに格納され、CTSU の計測値として出力されます。詳細な検出原理はアプリケーションノート「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド（R30AN0424）」を参照してください。

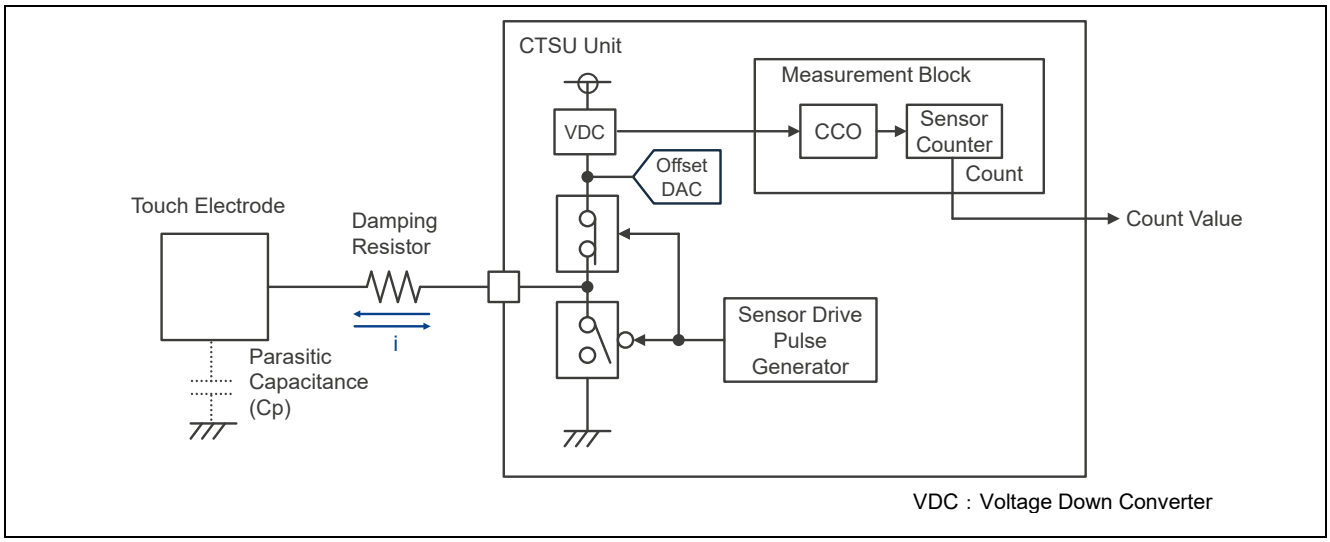


図 2-4 自己容量方式の CTSU 内部構成概要

図 2-5 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。この場合、センサドライブパルス周波数を下げることで 1 サイクルの充放電時間を延ばし、寄生容量が大きいハードウェアでも十分な充放電ができるようになります。しかし、センサドライブパルス周波数を下げると単位時間あたりの充放電回数（計測回数）が低下するため計測値は小さくなります。

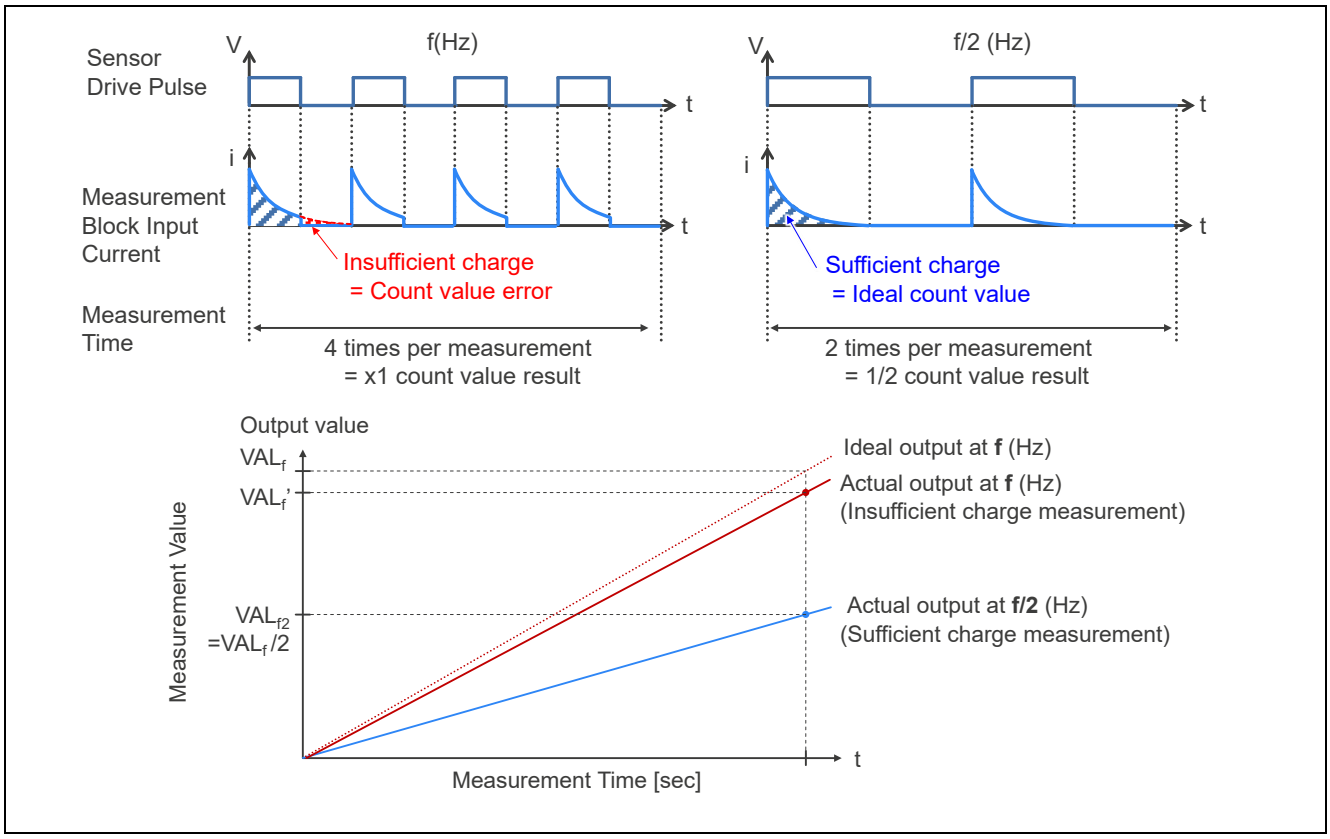
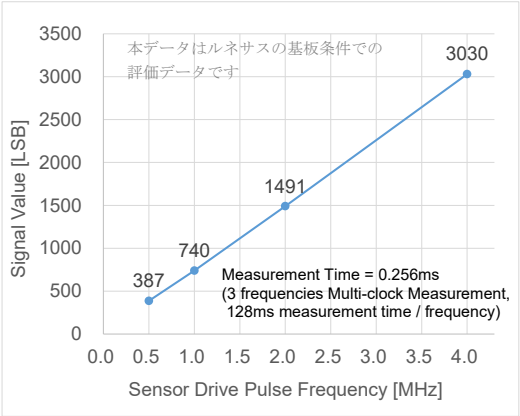
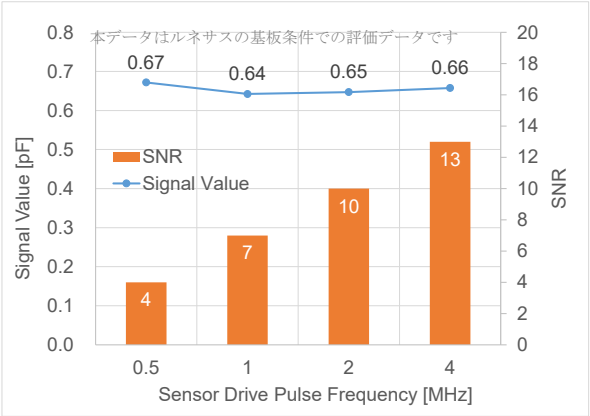


図 2-5 CTSU 計測のイメージ

図 2-6 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。図 2-6(a)はセンサドライブパルス周波数ごとのタッチ ON/OFF のシグナル値であり、センサドライブパルス周波数に比例します。図 2-6(b)で示すタッチ時の検出容量（Signal Value [pF]）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。計測時間が同じであれば、センサドライブパルス周波数が高いほどタッチ計測の積算回数が増えるのでシグナル値は増加しますが、ノイズは平均化されるためノイズ値は緩やかな増加となり SNR が向上します。従って高感度ボタンを実現するにはハードウェア設計段階で電極回路の寄生容量を低く設計し、高いセンサドライブパルス周波数を選択できるようにしてください。



(a)センサドライブパルス周波数と計測値

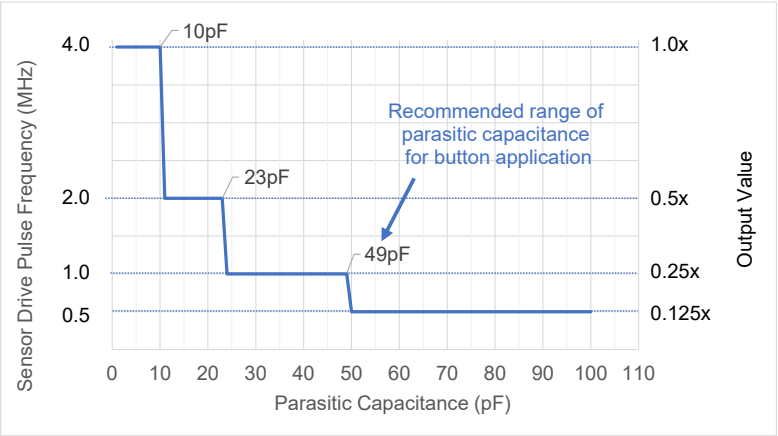


(b)タッチ ON の検出容量と SNR

図 2-6 センサドライブパルス周波数と感度の関係

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 2-7 に寄生容量とセンサドライブパルス周波数の設定例を示します。本例の条件はマイコンが 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。設定値は使用するマイコンおよびハードウェア設計により変化します。

自己容量方式のボタンアプリケーションにおいて RA2L1 を使用する場合、オーバーレイパネル、マイコンの端子含む寄生容量推奨範囲は 49pF 以下です。推奨値はボタンの感度を充分得られるように、QE for Capacitive Touch の自動調整でセンサドライブパルス周波数が 1MHz 以上に設定される条件です。推奨値以外の動作可能範囲および非推奨範囲となる TS 端子の条件は「4.2 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表」を参照してください。推奨値を上回る寄生容量の場合はセンサ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。



Condition:
MCU = RA2L1, Vcc = 5.0V,
R = 560Ω

Note:
ご使用になる MCU および
ハードウェア設計により
周波数レンジは異なります。

図 2-7 寄生容量とセンサドライブパルス周波数の設定例

ハードウェア制約により寄生容量が低減できず、センサドライブパルス周波数が低く感度が不足するときは、QE for Capacitive Touch のアドバンスドモード（高度な設定）の設定により「計測回数/計測時間」を増加することで感度を増すことができます。ただし計測完了までの時間増加や計測値のオーバーフローに注意が必要です。計測回数/計測時の調整方法は「静電容量センサマイコン QE for Capacitive Touch アドバンスドモード(高度な設定)パラメータガイド」を参照してください。

2.4　電極パターン設計

2.4.1　電極回路の構成

図 2-8 に自己容量方式の電極回路を示します。TS 端子に接続するタッチ電極回路の構成はタッチ電極、電極配線、ダンピング抵抗です。タッチ電極および配線はプリント基板のパターンで作成します。ダンピング抵抗は 560Ω が基準値です。ダンピング抵抗は TS 端子と抵抗間の配線からノイズが混入しないように、できるだけ TS 端子近傍に配置してください。

自己容量方式のタッチ電極回路は以下の条件を推奨しています。推奨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。

- 寄生容量 C：表 2-1 および表 2-2 を参照してください
- 抵抗値 R：560Ω 以上、1kΩ 以下（ダンピング抵抗を含む）

電極回路全体の寄生容量 C には基板上の 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。CTSU のセンサドライブパルス周波数に高い周波数を選択することでタッチ ON/OFF の計測値差分（シグナル値）が高くなり、SNR が改善するため C を低く抑える設計を行ってください。各 TS 端子の総寄生容量は QE for Capacitive Touch で確認することが可能です。

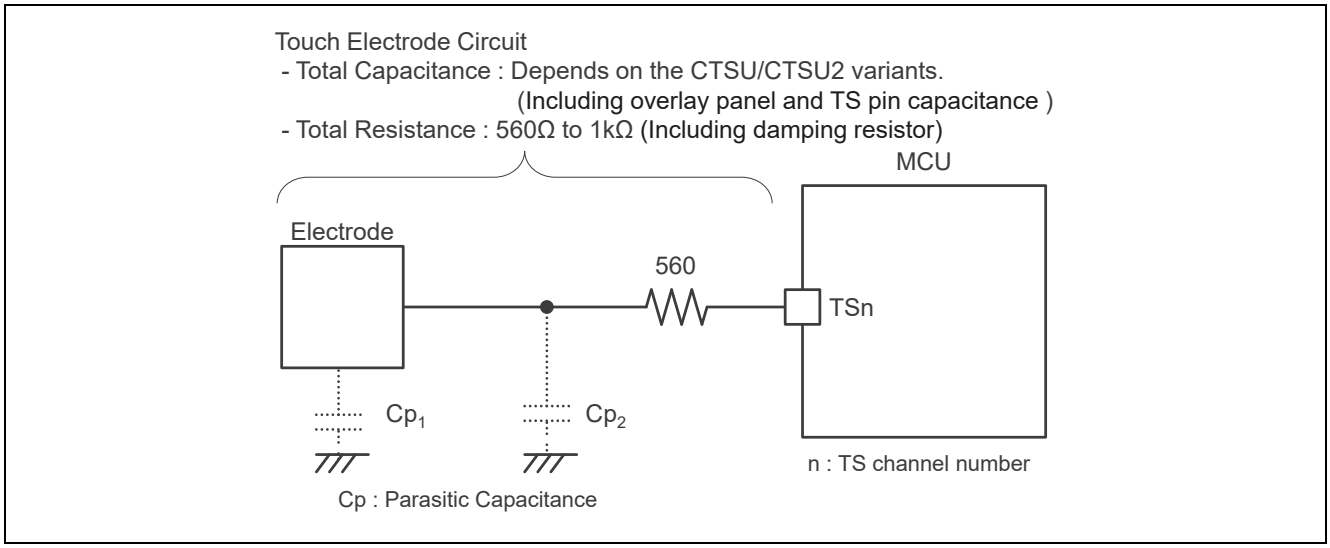


図 2-8　自己容量方式の電極回路

2.4.2　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（オーバーレイパネルと接する面）
- 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。
- 電極間隔：クロストーク（注）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。
  電極直下の配線から発するノイズにより電極の電位が変動し、CTSU の計測値に影響する可能性があります。ベタ GND パターンは寄生容量が増大し、CTSU の静電容量計測レンジを超える可能性があります。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状の GND パターンを配置してください。

注：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」を参照してください。

図 2-9 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。サイズが極端に大きい場合、寄生容量も大きくなり CTSU のセンサドライブパルス周波数を低い設定にする必要があり、ボタン感度が低下する可能性があります。サイズが極端に小さい場合、指と電極パッドの対向面積が小さくなるため静電容量変化が小さくなり、タッチ検出できない可能性があります。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。

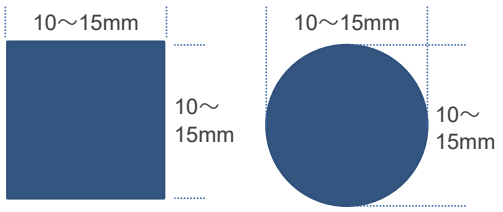


図 2-9　推奨電極形状とサイズ

図 2-10 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。

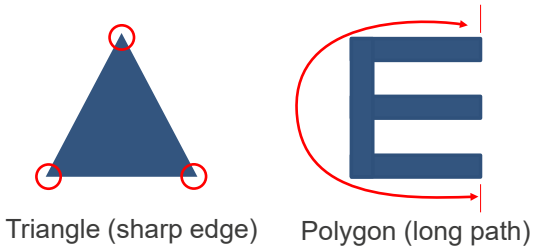


図 2-10　非推奨電極形状

2.4.3　配線

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
  クロストーク低減のため電極パッド周囲（電極パッド寸法の 2 倍程度）は 5mm 以上離してください
- 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 シールドを使用しない場合）

配線は下記の事項を満たすように設計してください。

- 配線長は極力短くしてください。寄生容量は配線長に比例して増加します。
  また配線長が長くなると外来ノイズを受けやすくなります。RF 周波数ノイズ環境での使用が想定される場合は注意が必要です。
- 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。
  配線からの放射ノイズが低減します。
- 電極パッドの縁にビアを打ち、電極パッドの裏面の層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。
- ノイズ対策のため配線直下（配線の裏面の層）にメッシュ GND シールド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 シールドが無くノイズに弱くなります。
  この部分はメッシュ GND シールドを 0.5mm まで近づけることが可能です。
- 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配線どうしの対向面積を最小限にしてください。配線間の容量結合によるノイズ影響を低減します。

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。GND シールド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 は非計測 TS 端子が GND レベルに固定されるため、TS 端子に接続された配線はシールドとしても機能します（注）。GND シールドの配置間隔や TS 端子の配線間隔は距離が近いほど TS 端子の寄生容量が増加するため、総寄生容量の条件を満たすよう配置・配線間隔の設計を調整してください。

注：CTSU を使用している、または CTSU2 のアクティブシールド機能が無効の場合。

図 2-11 に 2 層基板レイアウト例（配線部）を示します。

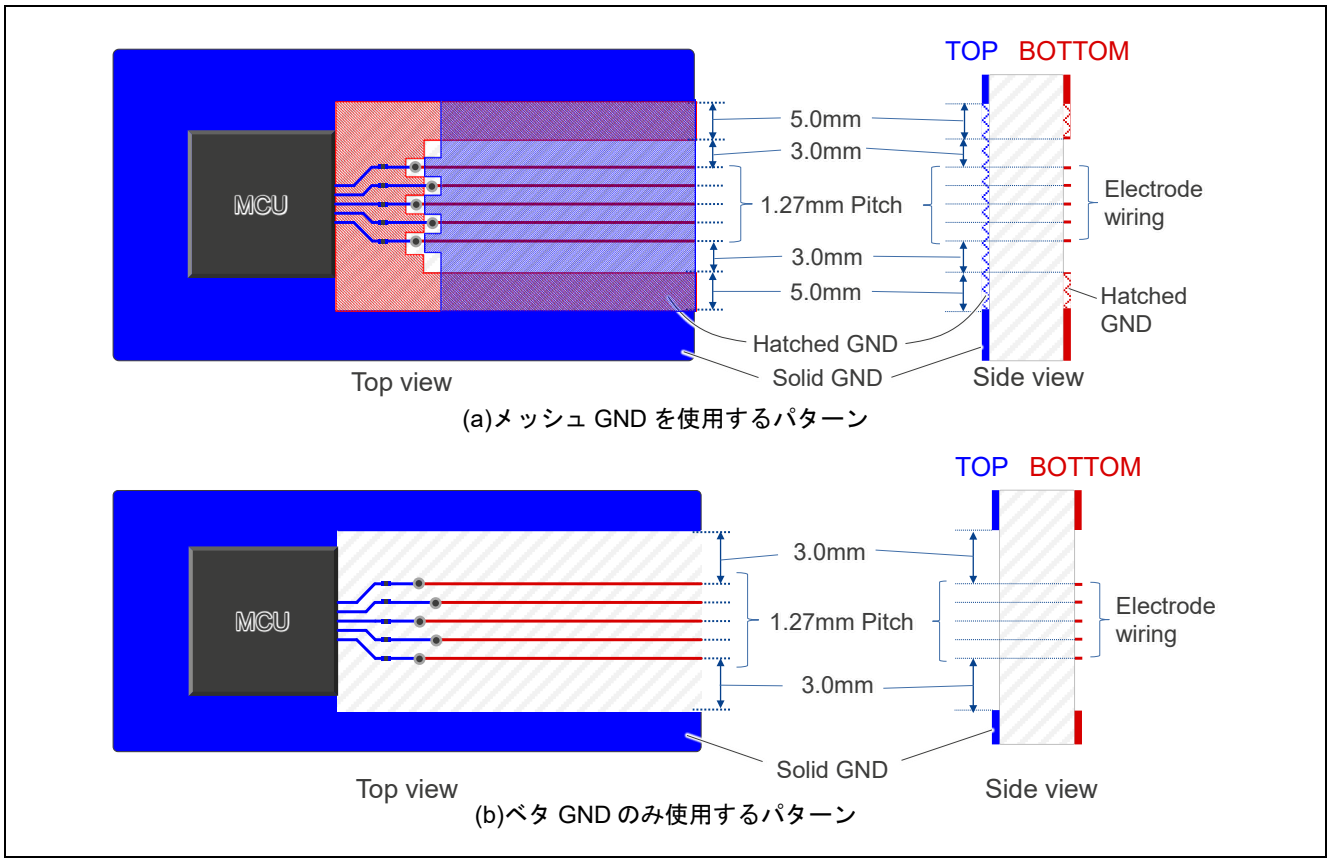


図 2-11 2 層基板レイアウト例（配線部）

図 2-12 に 2 層基板レイアウト例（電極部）を示します。

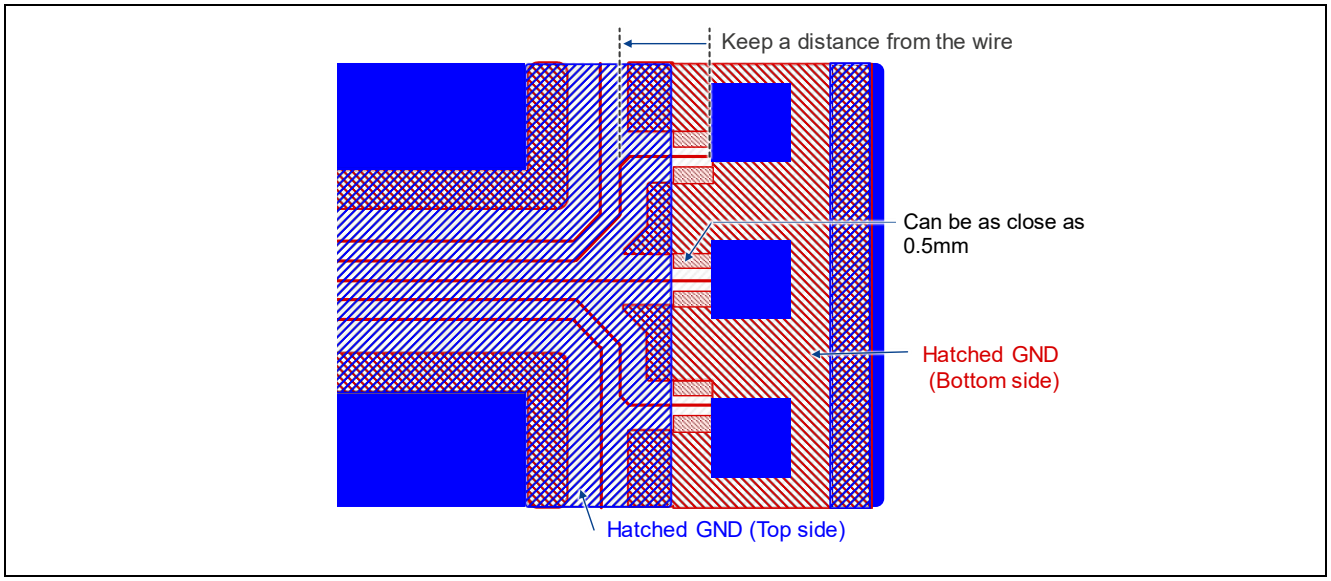


図 2-12 2 層基板レイアウト例（電極部）

図 2-13 と図 2-14 に層ごとのレイアウト例を示します。

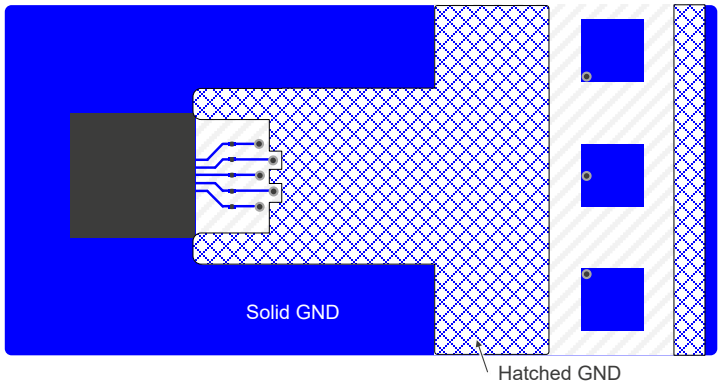


図 2-13 Top 層レイアウト例

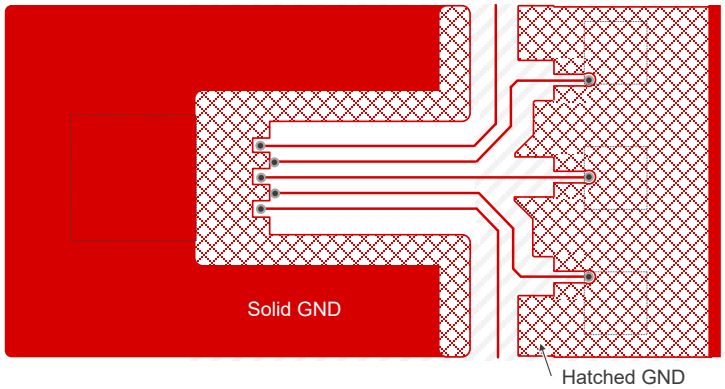


図 2-14 Bottom 層レイアウト例

図 2-15 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。

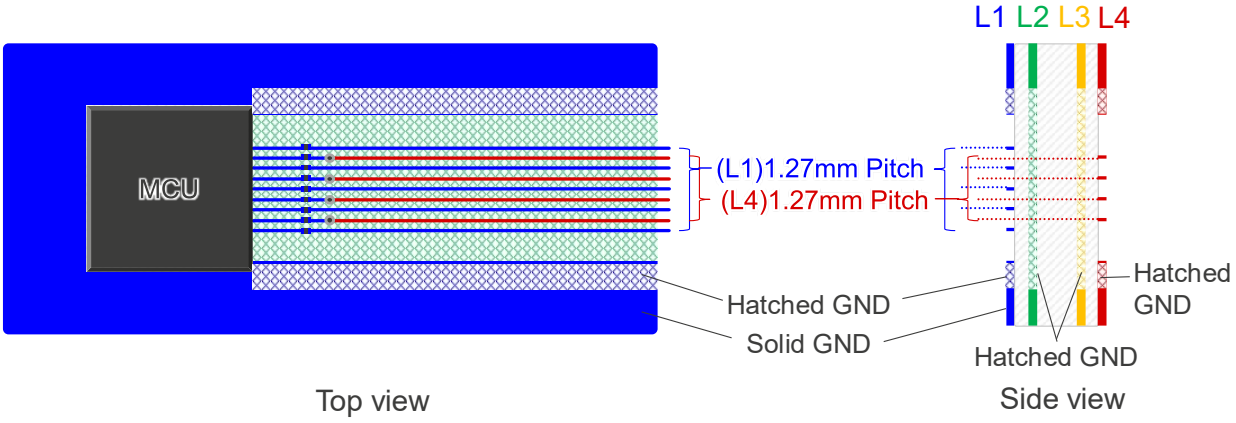


図 2-15 密度を高めた配線例

2.5　ノイズ対策設計

タッチ電極回路はその構造上アンテナ（マイコンの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。ルネサスマイコン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、マイコン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のハードウェア対策例を説明します。なお、一般論として配線長が長い程、外来ノイズを受けやすくなるため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。

CTSU2 搭載マイコンではタッチ電極回路と同電位・同位相でシールドを駆動するアクティブシールド機能を搭載しています。本章では GND レベルのシールドを GND シールドと記載し、アクティブシールドと区別しています。

IEC61000 シリーズに関するノイズ対策は「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ ノイズイミュニティガイド」を参照してください。

2.5.1　シールドパターン

2.5.1.1　シールド形状

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および配線周囲に GND レベルのシールドを配置してください。タッチ電極回路周囲に GND シールドを配置することにより、容量結合でできたパスから外来ノイズを GND に逃がすことでタッチ電極回路の電位が安定し CTSU の計測値に現れるノイズ影響が軽減できます。シールドは電極パターンの寄生容量増加を軽減するためメッシュ状のシールドを推奨します。図 2-16 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 Cp_{GND} は Cf と比較して非常に大きな値となり CTSU の静電容量計測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ことを推奨します。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。

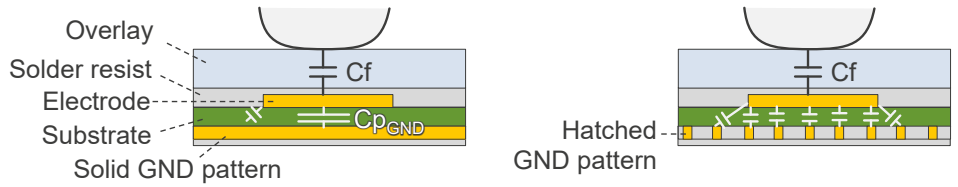


図 2-16　GND パターンと寄生容量のイメージ

図 2-17 にメッシュパターン推奨寸法を示します。EMC 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を配置しますが、ベタパターンでは容量結合が大きく電極にタッチした時の静電容量変化を検出できません。そのためメッシュ状のシールドを使用してください。推奨寸法からピッチや線間を小さくするするとノイズ耐性は向上しますが、単位面積あたりの GND パターン比率が増加することで電極回路の寄生容量が増加するため注意してください。また電極配線との容量結合を軽減するため、タッチ電極回路の配線方向によってはメッシュパターンを 45 度傾けます。

項目	寸法
ピッチ	1.5 mm
線幅	0.15 mm
線間（スペース）	1.35 mm

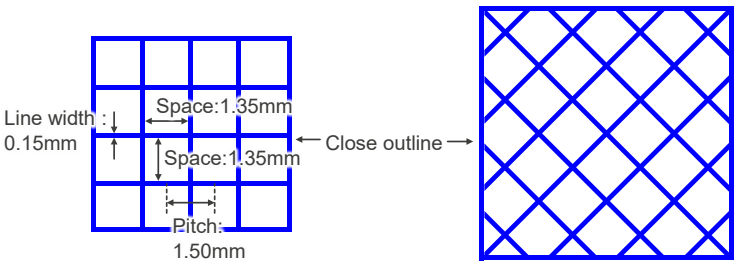


図 2-17　メッシュパターン推奨寸法

2.5.1.2　GND シールド

GND シールドは基板パターンで実現できるノイズ対策で、デジタル信号線への GND シールドは一般的に極力近づける設計を行います。静電容量タッチボタンの設計においてはタッチ電極回路の GND シールドが近いほど寄生容量は増加するため、CTSU のセンサドライブパルス周波数は低い値を設定することになり、ボタン感度が低下します。また配線長が長いボード設計では、電極回路の配線と GND シールドとの並走距離が長くなり寄生容量も増加するためパターン全体で配置間隔を考慮する必要があります。

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。

① 基板層構成：外来ノイズ対策のため 2 層以上
② パターン形状：メッシュパターン
　寸法詳細は「2.5.1.1 シールド形状」を参照してください。
③ タッチ電極とメッシュ GND シールドの間隔：5mm
④ タッチ電極配線とメッシュ GND シールドの間隔：3mm
⑤ メッシュ GND シールドの幅：5mm 以上
　メッシュパターンとベタ 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 2-18 および図 2-19 に多層基板の GND シールドパターン例を示します。

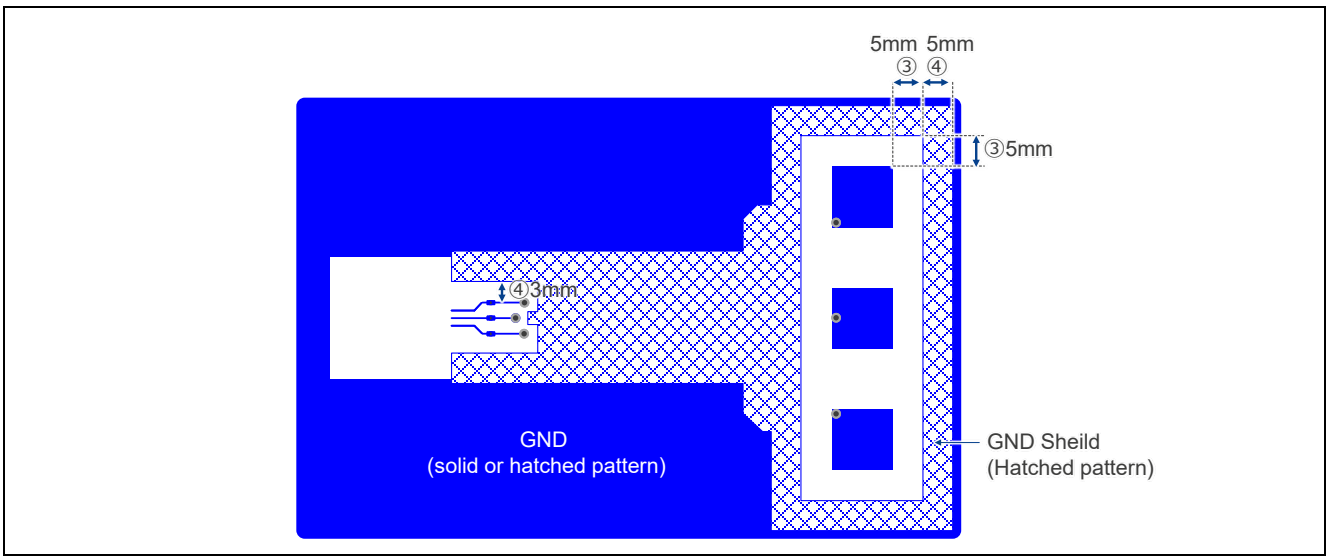


図 2-18　多層基板の GND シールドパターン例（Top 層）

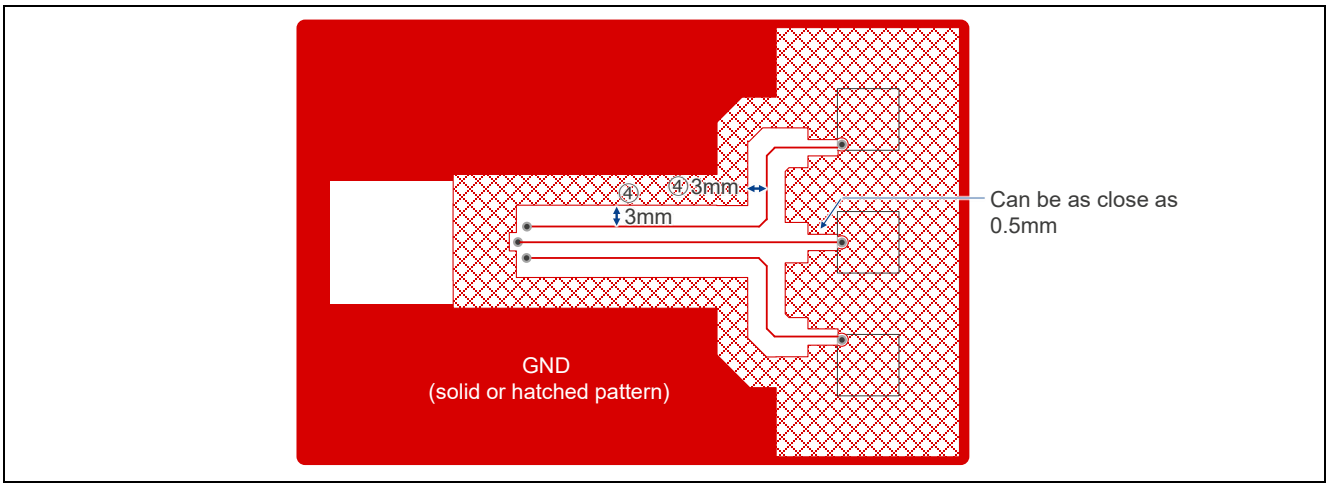


図 2-19　多層基板の GND シールドパターン例（Bottom 層）

2.5.1.3　アクティブシールド（CTSU2 機能）

本機能は CTSU2 搭載マイコンで使用できます。

アクティブシールドはタッチ電極と同電位・同位相の信号でシール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パターン間の容量結合の影響を軽減しながらノイズ対策できます。主にタッチボタンの耐水性を改善する場合に使用します。

図 2-20 にアクティブシールドの寄生容量影響軽減のイメージを示します。図はタッチ計測中にオーバーレイパネル上に水滴が付着し、タッチ電極とシールドパターンを水がブリッジしている状態です。タッチ電極とシールドの間に発生する寄生容量 Cp があり、水が付着すると新たに Cpw で示す寄生容量が発生します。水の比誘電率は空気の 80 倍であり、Cp が 1pF とすると単純計算で Cpw は 80pF の寄生容量になります。タッチボタンを指で押下した場合、ハードウェア条件によりますが、およそ 1pF 前後の変化量です。

(a)は GND シールドを使用した場合の例です。タッチ計測中はタッチ電極とシールドの電位差はセンサドライブパルスの電圧 Vd であり、Cp と Cpw は充電されます。CTSU の計測値には Cpw の充電電流も加算されるため、タッチしきい値を超えタッチ ON を誤検出することがあります。

(b)はアクティブシールドを使用した場合の例です。アクティブシールドにはタッチ電極と同じ電圧 Vd が印加されるため、Cp と Cpw の両端は同電位となり充電されません。そのため CTSU の計測値は水が付着していない状態から変化せず、タッチ OFF の検出状態を維持します。

(c)は(b)の状態でタッチボタンを押下した場合で、指の寄生容量 Cf はアースに接続されるためタッチ電極との電位差により充電されます。Cp と Cpw は充電されないため CTSU は Cf の変化のみ検出し、水が付着した状態でもタッチ ON を検出できます。

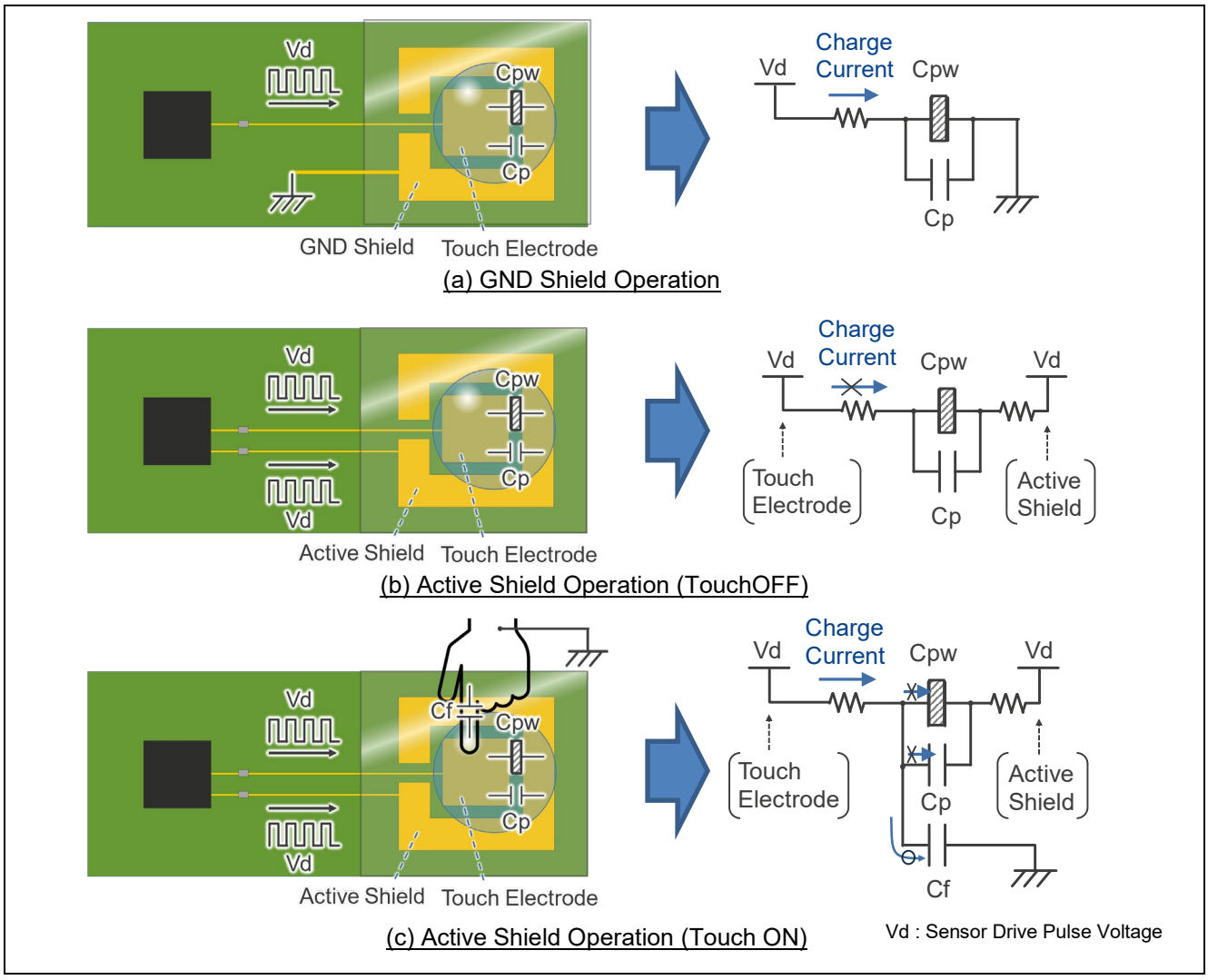


図 2-20　アクティブシールドの寄生容量影響軽減のイメージ

図 2-21 にシールド電極回路例を示します。シールド電極はタッチ電極同様 TS 端子に接続します。TS 端子をアクティブシールド信号端子に設定することでアクティブシールドとして使用できます。アクティブシールドで複数のタッチ電極をシールドするようにパターン設計してください。

アクティブシールドはタッチ電極同様センサドライブパルスで駆動します。シールドパターンの寄生容量とタッチ電極の寄生容量に大幅な差異があると、センサドライブパルスの位相がずれてしまい十分な効果を得られなくなるため注意が必要です。シールドパターンを接続している TS 端子の総寄生容量は 49pF 以下が推奨です。ボタン電極数が増加するとシールドパターンの面積が広くなり寄生容量も増加します。シールドパターンは寄生容量を抑制するためメッシュパターンで設計してください。メッシュパターンの推奨寸法は「2.5.1.1 シールド形状」を参照してください。

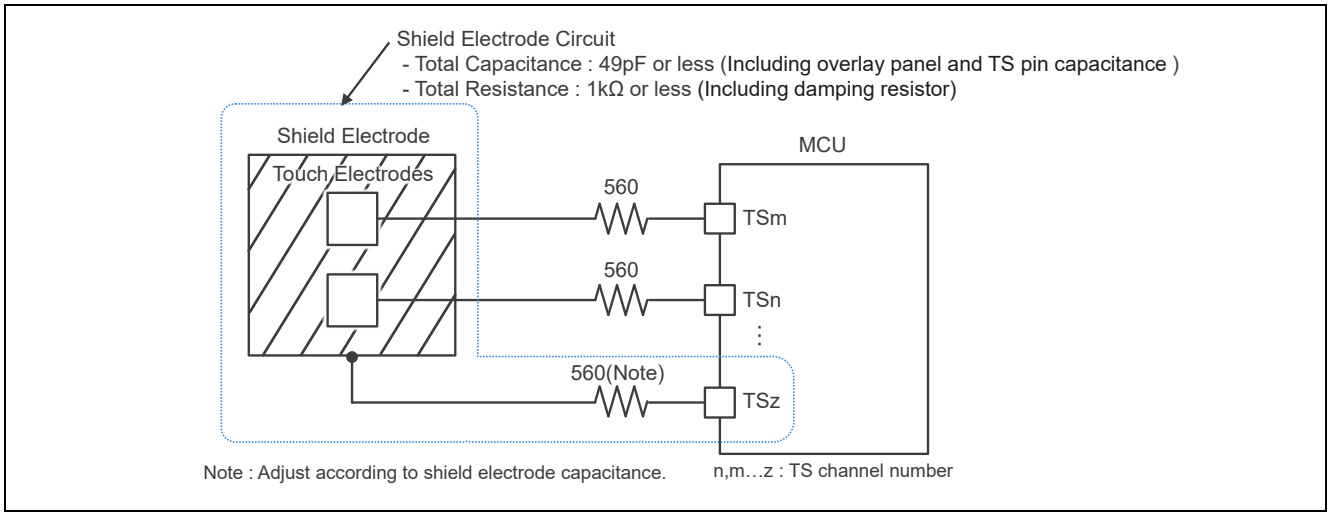


図 2-21 シールド電極回路

ボタン電極が多くシールドパターン 1 つあたりの寄生容量が大きくなる場合、ボタン電極とアクティブシールドのグルーピングを分割することでシールドパターンの寄生容量を削減できます。注意事項として、グルーピングを分割した場合に計測対象ではないグループは Low 出力に固定されます。そのため計測対象グループと非計測グループが近隣すると電極グループ間の寄生容量に充放電が生じ、計測値に影響を与える可能性があります。特に耐水性を考慮する場合は水の付着により誤反応する可能性があるため、想定使用環境で電極グループ間を水でブリッジしない距離まで離すようにしてください。

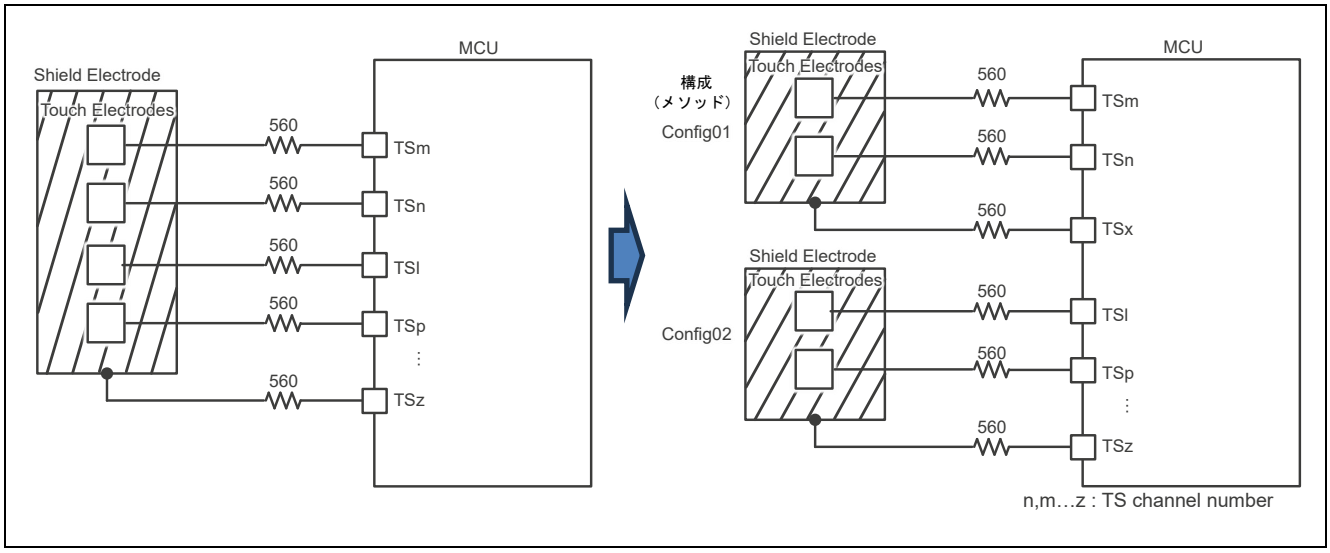


図 2-22 シールド電極回路の分割例

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））を作成できます。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。グルーピングはアクティブシールド 1 端子につきボタン 4 個以下が目安です（アクティブシールド信号端子のダンピング抵抗が 560Ω、ボタンサイズが 10mm の正方形を仮定）。ボタン個数が 4 個より多い場合は 49pF を超える可能性があるためグルーピングの分割を検討してください。ボタン個数とアクティブシールド面積の寄生容量変化の参考値は「5.3.5.1 アクティブシールドの面積」を参照してください。

表 2-3 にアクティブシールド電極の推奨設計を示します。下記事項は電極パッドを TOP 層に配置した場合を仮定しています。表に未記載の設計項目は「2.1 推奨設計要旨」に従ってください。

表 2-3 アクティブシールド電極の推奨設計

No	設計項目	推奨値	注意事項
①	基板層構成	2 層	ノイズ対策のため電極直下および配線直下はアクティブシールド電極で覆ってください。 片面基板では電極直下をシールドできないためノイズ耐性が低下します 層構成が 3 層以上の場合：注 1
-	**タッチ電極周辺部**		
②	パターン形状	メッシュパターン	寸法は「2.5.1.1 シールド形状）を参照してください。ベタパターンの場合：注 2
③	パターン幅	3.0mm	幅が広い場合：注 2 幅が狭い場合：注 3
④	タッチ電極パッドとの間隔	3.0mm	間隔が広い場合：注 3 間隔が狭い場合：注 2
⑤	シールドパターンと ベタ GND との間隔	3.0mm	間隔が広い場合：注 3 間隔が狭い場合：注 2
-	**配線周辺部**		
⑥	パターン幅 （タッチ電極配線に隣接するシールドパターン）	0.5mm	0.5mm の配線にしてください 幅が広い場合：注 2 幅が狭い場合：注 3
⑦	タッチ電極配線との間隔	1.27mm	間隔が広い場合：注 3 間隔が狭い場合：注 2
⑧	タッチ電極配線との間隔 （タッチ電極パッド近傍）	0.3mm	電極パッドとシールドパターン間にある空白部分のシールド効果を高める場合に適用してください。シールドパターンの幅程度の距離であれば寄生容量への影響はほとんどありません。 間隔が狭い部分の距離が長い場合：注 2
⑨	シールドパターンと ベタ GND との間隔	3.0mm	間隔が広い場合：注 3 間隔が狭い場合：注 2
-	**共通項目**		
⑩	静電容量の合計値	49pF 以下（オーバーレイパネル、TS 端子の端子容量を含む）	寄生容量が推奨値を超える場合、「4.2 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表」を参照し、計測可能なセンサドライブパルス周波数を満たす寄生容量への設計変更やダンピング抵抗値変更を検討してください。
⑪	抵抗の合計値	560Ω以上 1kΩ以下 （基準値 560Ωのダンピング抵抗を含む）	

注 1：シールドパターンは TOP 層と BOTTOM 層に配置し内層には他のパターンを配置しないでください。
注 2：寄生容量が大きくなり CTSU のセンサドライブパルス下限値を守れない可能性があります。
注 3：ノイズ耐性が低下する可能性があります。

図 2-23 および図 2-24 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。2 層を超える基板層構成の場合、CTSU の計測値がノイズの影響を受ける可能性があるため⑥の領域内の内層に他のパターンを配置しないでください。

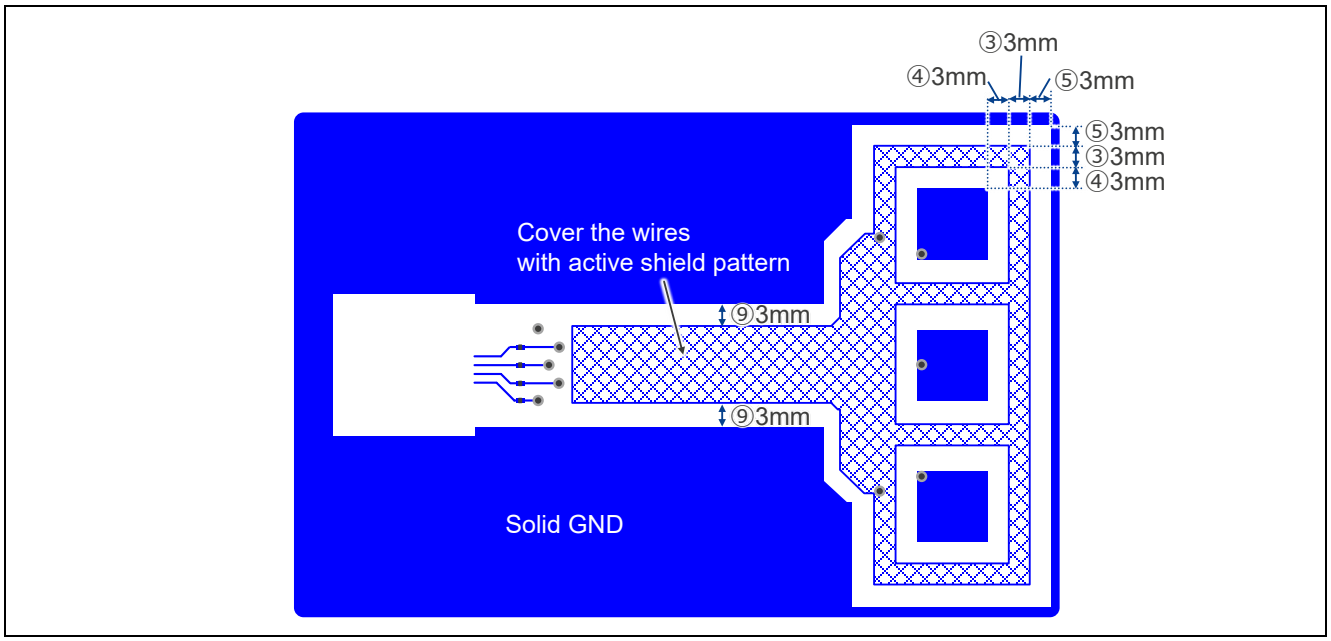


図 2-23 多層基板のアクティブシールドパターン例（Top 層）

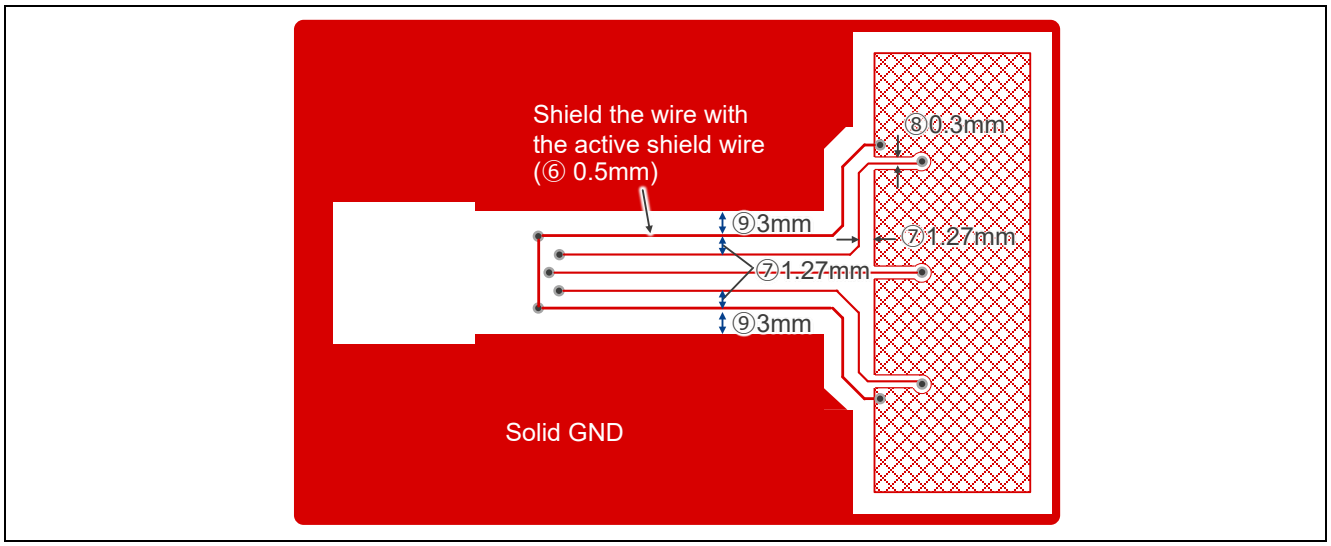


図 2-24 多層基板のアクティブシールドパターン例（Bottom 層）

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平行板コンデンサの静電容量を検出しており、静電容量$C = \varepsilon \frac{S}{d}$の関係を持ちます。よって、ボタン電極と人体が対向する面積（S）が大きく距離（d）が近くなるほどパネルにタッチした際の静電容量が増しタッチ ON/OFF の検出感度が向上します。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 2-25 にオーバーレイパネル厚と静電容量変化の関係を示します。本図はオーバーレイパネルに比誘電率 2.4（アクリル）を使用し、厚み 2.0mm のオーバーレイパネルにタッチした時の静電容量を 1.00 に標準化しています。指とボタン電極の大きさを一定とした場合、オーバーレイパネルが薄いほどタッチした際の静電容量が増加することを示します。CTSU での静電容量計測には静電容量の上限（静電容量計測レンジ）があるためオーバーレイパネルの薄さには限界があります。ルネサスでは 2～3mm 厚のオーバーレイパネル使用を想定しています。オーバーレイパネル素材を比誘電率 4.5（ガラス）に変更すると同じ厚みでも静電容量は 1.88 倍に増加し、比誘電率が 1.0（空気）では静電容量は 0.42 倍まで減少します。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（パネル厚）でも比誘電率が高い素材では CTSU の静電容量計測レンジをオーバーする場合があるので注意が必要です。オーバーレイパネルに比誘電率が高い材質を使用したい場合は厚みを減らすか、オーバーレイパネルとタッチ電極パターンとの間に意図的に空気層や誘電率の低いスペーサーを入れて比誘電率の合成値が低くなるようにすると CTSU の静電容量計測レンジオーバーを防ぐことができます。タッチボタンの感度を高くしたい場合は比誘電率の高い材質への変更や、空気層が無くなるようオーバーレイパネルとタッチ電極パターンを両面テープや樹脂で固定してください。

自己容量方式では指と電極との距離に反比例して静電容量が増減するため、タッチしきい値を調整することで広い範囲（距離）でタッチ検出が可能です。ただし、タッチしきい値を静電容量の変化量に対して過剰に低く設定した場合、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。

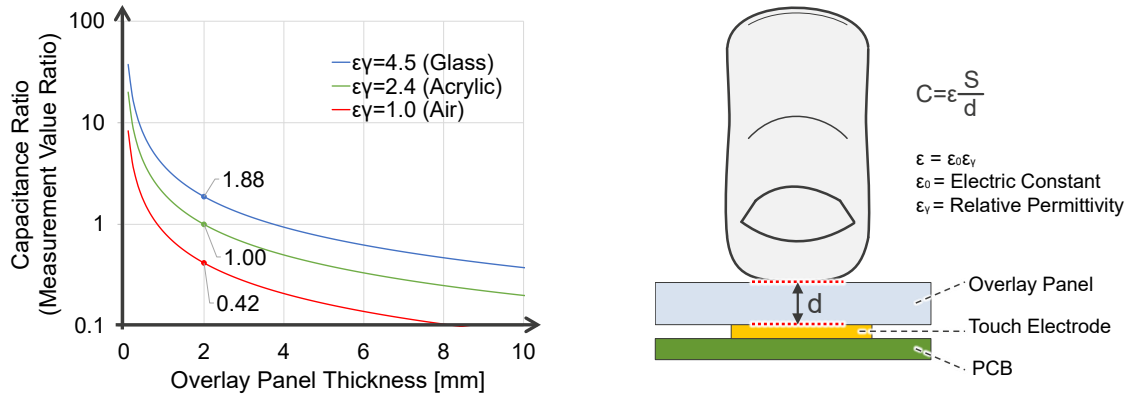


図 2-25 オーバーレイパネル厚と静電容量の関係

表 2-4 各素材の比誘電率

Dielectric Material	比誘電率 ε_γ
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 2-26 に自己容量方式 電極間距離とオーバーレイパネル厚の関係を示します。ボタン電極間の距離が近いと隣接しているボタン電極が誤判定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、オーバーレイパネル厚が 2～3mm の場合はボタンサイズの 0.8 倍以上の間隔を推奨します。

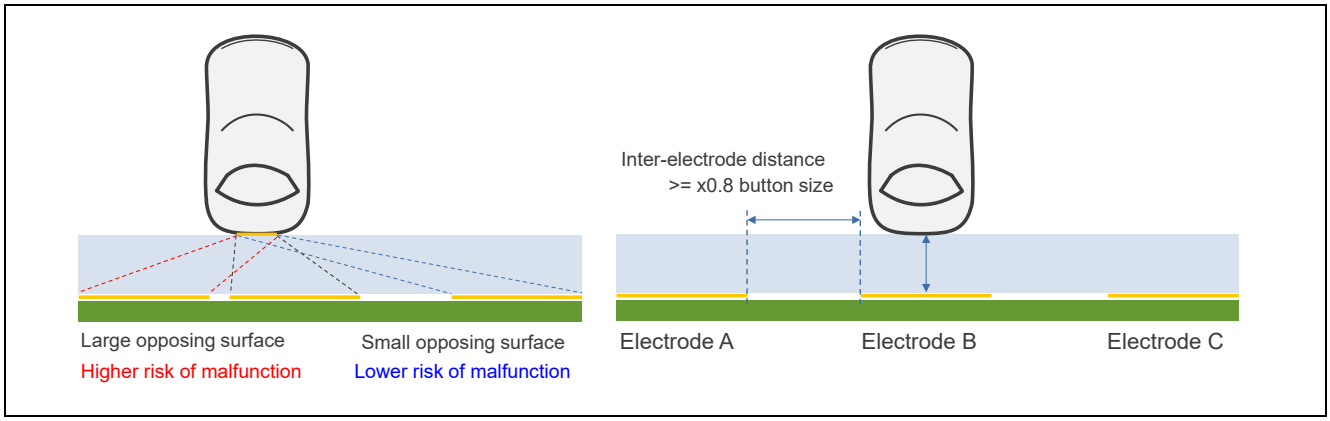


図 2-26　自己容量方式 電極間距離とオーバーレイパネル厚の関係

電極間距離をタッチ電極サイズの 0.8 倍以下にしたい場合はオーバーレイパネル厚、電極サイズおよびタッチ位置ずれの許容範囲を考慮してクロストークの影響を軽減してください。

図 2-27 に電極間距離とクロストークのリスクを示します。図内の a は押下対象のタッチ電極中心との距離、b は隣接のタッチ電極中心との距離です。タッチ位置がタッチ電極からずれている状況において押下対象のボタンはタッチ ON 判定するとします。 オーバーレイパネルの厚み d が一定の場合、電極間距離が近いほど b は a と等長に近づくため、隣接するタッチ電極の静電容量が増加しタッチ ON になる可能性があります。また隣接するタッチ電極の CTSU 計測値がタッチ ON しきい値に近い場合、外来ノイズにより計測値が変動すると誤検知する可能性があります。

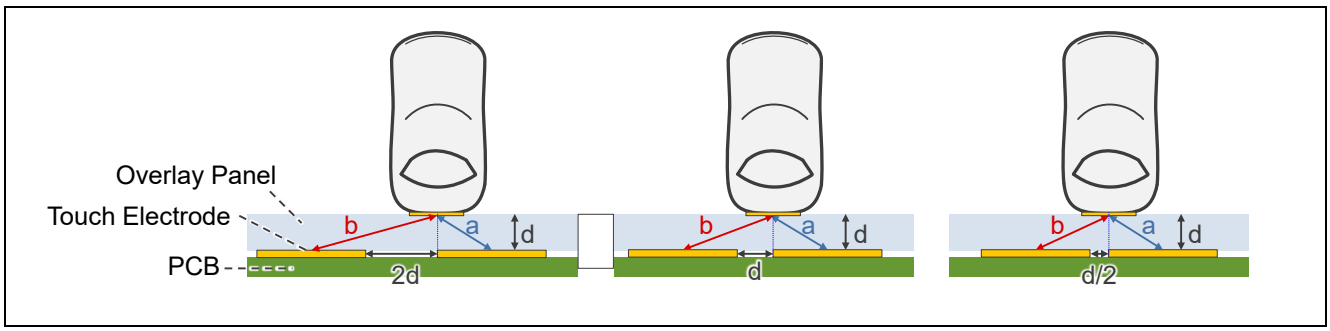


図 2-27　電極間距離と人体-タッチ電極の距離の変化

また、タッチ電極回路の配線長などの設計差により、電極ごとのセンサドライブパルス周波数が異なって感度にばらつきが生じる場合や、誘電率の高いオーバーレイパネルを使用している場合、電極サイズが大きく空気中を介した指との容量結合が大きい場合などは、クロストークが発生しやすくなるため注意が必要です。いずれの場合も電極間隔を十分設けることで対策できます。

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 2-28 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。

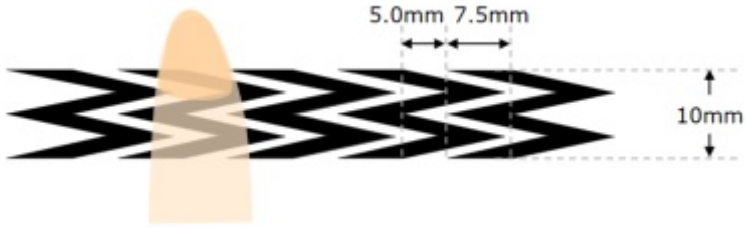


図 2-28 自己容量方式 スライダ電極推奨パターン

2.7.2　ホイール電極レイアウトパターン設計例

図 2-29 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 2-29 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

フィルム状基板はプリント基板（PCB）と比較して薄く柔軟性があり、最終製品のデザイン性が向上することからタッチ電極部分への採用が増加しています。フィルム状基板にはベースフィルムに導体金属（主に銅箔）でパターンが形成されたフレキシブル基板（FPC）、ベースフィルムに導電性ペーストでパターンを印刷するフィルムデバイスがあります。静電容量タッチボタンにおいて FPC、フィルムデバイスとも電極回路設計の基本的な考え方は「2.1 推奨設計要旨」の推奨設計と同様です。本章ではフィルム状基板を使う場合に推奨設計に従うことが難しい設計項目について注意事項および非推奨事項を説明します。

2.7.3.1　フレキシブル基板（FPC）

FPC はパターンに銅箔を使用し 2 層以上のパターン設計も可能なため、PCB の推奨設計とおおよそ同様の設計を行うことができます。PCB の推奨設計は「2.1 推奨設計要旨」を参照してください。FPC を使用する場合の非推奨事項および注意事項を以下に示します。

FPC にマイコン等の IC デバイスを実装する場合、FPC のデバイス直下の面にタッチ電極を配置することは非推奨です。IC デバイスが発するノイズの影響やタッチ電極回路の寄生容量が増加する要因になります。

タッチ電極や配線直下にシールドパターンを配置する場合、基材が薄く、基板両面のパターン層間が近くなるため寄生容量が大きくなります。タッチ電極や配線をシールドする場合はメッシュ GND パターンを使用してください。寄生容量増加が懸念される場合はタッチ電極や配線のシールドパターンを推奨値より遠ざける、メッシュパターンのピッチやスペースを広げることで寄生容量がタッチ電極回路の推奨条件以下になるよう設計してください。TS 端子に接続された寄生容量が推奨値を超えても CTSU の計測は可能ですが、センサドライブパルス周波数が 0.5MHz となりボタンの SNR が低下します。TS 端子に接続された寄生容量が非推奨範囲になると CTSU の計測値に誤差やオーバーフロー、アンダーフローが発生し、SNR 低下やボタン検出ができなくなります。その場合、メッシュパターンのピッチやスペースを広げることで寄生容量がタッチ電極回路の推奨値以下にできないか検討してください。また総抵抗値を低減することで寄生容量推奨値の上限を引き上げることができます。総抵抗値が 560Ω より大きい場合、ダンピング抵抗値を基準値の 560Ω から小さくして総抵抗値の低減ができないか検討してください。外来ノイズ耐性低下や TS 端子の出力電流過多を防止するため、TS 端子の総抵抗値（ダンピング抵抗と FPC の総抵抗値）が 560Ω 以上、1kΩ 以下の範囲になるようにダンピング抵抗値を選択してください。

筐体組込み時に他のデバイス、ハードウェアに貼り付ける固定方法や、配置スペースが狭く距離が近い場合、寄生容量が増加します。増加分を考慮してタッチ電極回路のパターンを設計してください。

2.7.3.2　フィルムデバイス

フィルムデバイスはパターンを印刷する方式では FPC と比較して低コストで製造可能です。透明パターンを作成することもでき、タッチ電極直下に光源を置きボタンを光らせることが容易になりました。一方でフィルムデバイスのパターンは ITO や銀、カーボンを使用した導電性ペーストで成型されるため FPC や PCB の銅箔パターンと比較して抵抗値が高くなります。また単層パターン製造が主流で、2 層以上のパターンを製造できる場合もありますが両面を接続するビア配置は難しく、FPC や PCB よりパターンの自由度が低下します。そのためフィルムデバイスはタッチ電極と配線のみ実装し、CTSU マイコンを実装した制御基板へ FPC/FFC コネクタで接続する構成が一般的です。

電極は導電性素材であればいずれも使用出来ますが、ITO や銀の素材などを使用した透明電極やカーボンなど面抵抗が大きい素材は CTSU のセンサドライブパルス周波数が低下し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。図 2-30 にボタン電極からの配線方法を示します。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周囲のどの部分からでも配線を引き出せます。面抵抗の大きい素材を使用する場合は(b)のように配線の引き出しをできる限り電極の中央にするか、(c)のようにボタン電極周囲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。

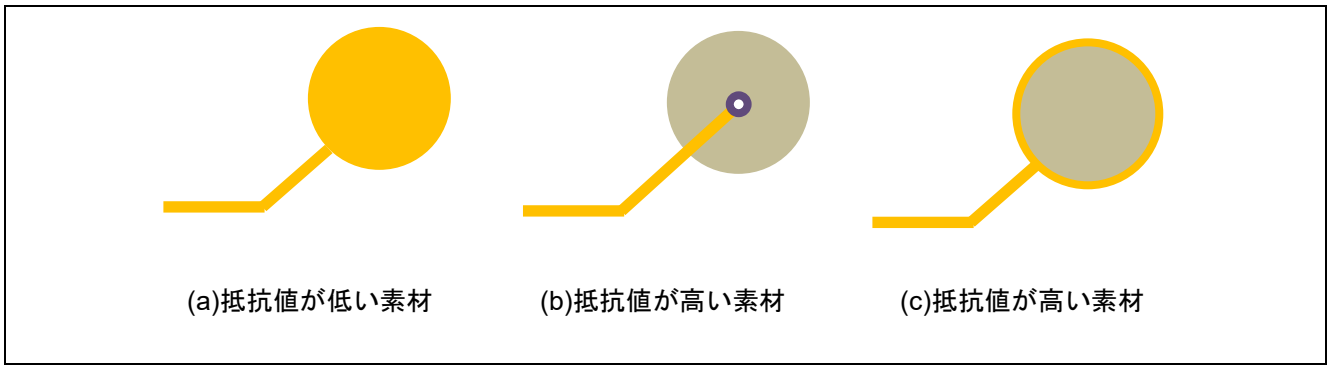


図 2-30 ボタン電極からの配線方法

フィルムデバイスの基本的な設計は PCB の推奨設計に従ってください。PCB の推奨設計は「2.1 推奨設計要旨」を参照してください。フィルムデバイスを使用する場合の注意事項および非推奨事項を以下に示します。

可能な限りハードウェア設計段階でフィルムデバイスと制御基板のタッチ電極回路の抵抗値および静電容量を見積り、CTSU の電極回路推奨条件になるよう設計してください。片面フィルムデバイスではタッチ電極配線の引き回しや、制御基板から引きだす配線が長くなる傾向があり、タッチ電極回路の抵抗値が CTSU の推奨値を超える可能性があります。配線が長くなるデザインでは設計段階で低抵抗値の導電ペーストの採用や、パターン膜厚を増やし抵抗を下げることもご検討ください。

総抵抗値が 1kΩを超える場合、フィルム電極を最終製品の筐体等に組込んだ状態の寄生容量が既知であれば、「4.2 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表」を参照して総抵抗値が 1kΩ以下になるようなダンピング抵抗値を求めることができます。推奨抵抗値 560Ωから変更する場合、外来ノイズ耐性低下や TS 端子の出力電流過多を防止するため、設定可能なセンサドライブパルス周波数内で大きい抵抗値を採用してください。

片面フィルムデバイスの場合、ノイズ対策のためフィルムデバイス上の空きパターンには可能な限りタッチ電極や配線にメッシュ GND シールドを配置してください。タッチ電極と配線直下にシールド層が無いためフィルムデバイス直下にノイズ発生源となるデバイスを配置せず、また制御基板との距離を離してください。

2 層以上のフィルムデバイスでタッチ電極や配線直下にシールドパターンを配置する場合、基材が薄く、基板両面のパターン層間が近くなるため寄生容量が大きくなります。タッチ電極や配線をシールドする場合はメッシュ GND パターンを使用してください。寄生容量増加が懸念される場合はタッチ電極や配線のシールドパターンを推奨値より遠ざける、メッシュパターンのピッチやスペースを広げることで寄生容量がタッチ電極回路の推奨値以下になるよう設計してください。TS 端子に接続された寄生容量が推奨値を超えても CTSU の計測は可能ですが、センサドライブパルス周波数が 0.5MHz となりボタンの SNR が低下します。TS 端子に接続された寄生容量が非推奨範囲になると CTSU の計測値に誤差やオーバーフロー、アンダーフローが発生し、SNR 低下やボタン検出ができなくなります。その場合、メッシュパターンのピッチやスペースを広げることで寄生容量がタッチ電極回路の推奨値以下にできないか検討してください。また総抵抗値を低減することで寄生容量推奨値の上限を引き上げることができます。総抵抗値が 560Ωより大きい場合、ダンピング抵抗値を基準値の 560Ωから小さくして総抵抗値の低減ができないか検討してください。

筐体組込み時に他のデバイス、ハードウェアに貼り付ける固定方法や、配置スペースが狭く距離が近い場合、寄生容量が増加します。増加分を考慮してタッチ電極回路のパターンを設計してください。

2.7.3.3 設計例

ルネサスではフィルム状基板のリファレンスデザインとして「タッチレスボタンデモソリューション」を公開しています。設計情報は下記より入手してください。

タッチレスボタン・リファレンスデザイン
https://www.renesas.com/ja/products/microcontrollers-microprocessors/rx-32-bit-performance-efficiency-mcus/touchless-button-ref-touchless-button-reference-design

2.7.4　LED 配線

2.7.4.1　直接灯火の例

図 2-31 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 2-31 の左図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ください。

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、ご注意下さい。

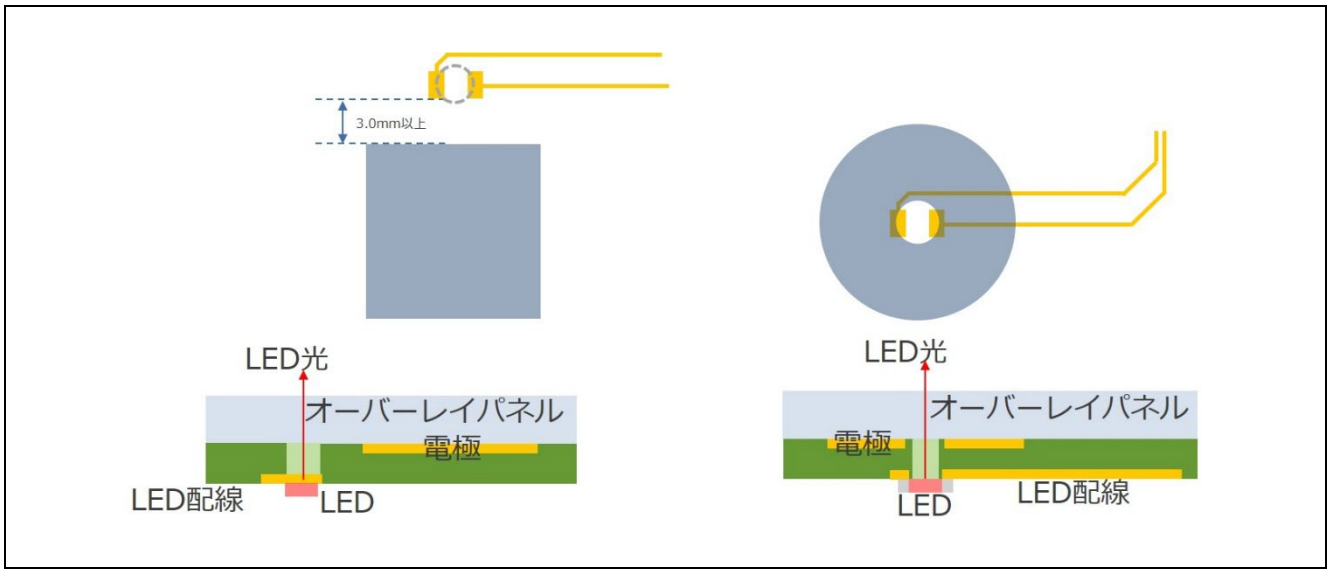


図 2-31　自己容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例

2.7.4.2　間接灯火（導光板使用）

図 2-32 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。

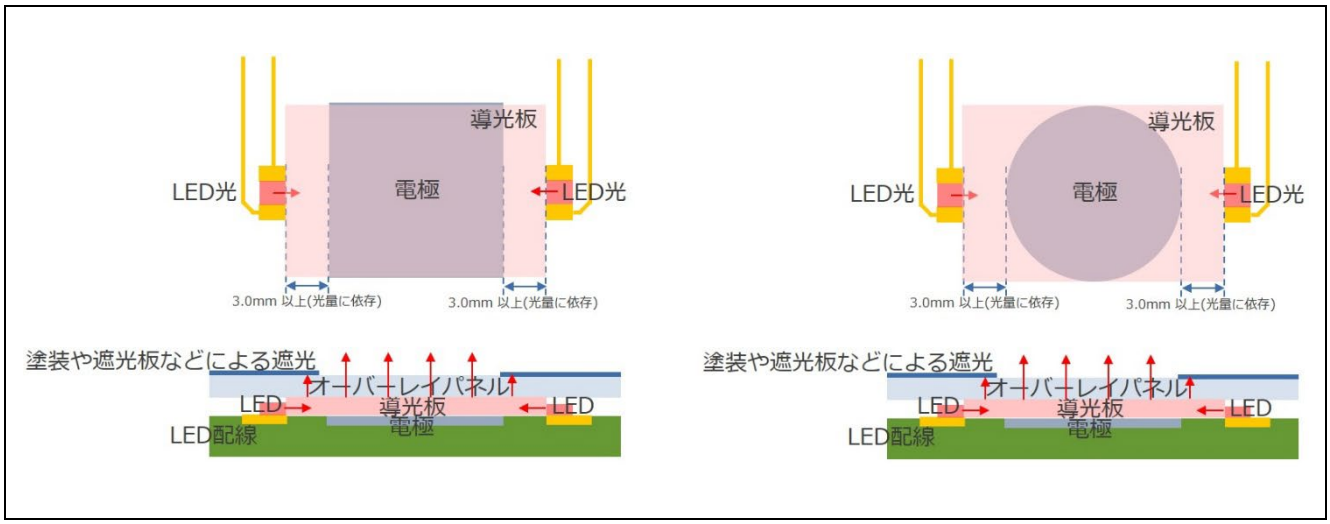


図 2-32　自己容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例

2.7.5　パネルとボタン電極が離れている場合

図 2-33 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。しかし空気層は厚いほどタッチ時の静電容量変化が小さくなりタッチボタンの SNR が低下します。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 2-33 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。いずれの方法でも PCB とパネル側のタッチ電極に相当する導体部分との接点が電気的に接続されるように設計してください。

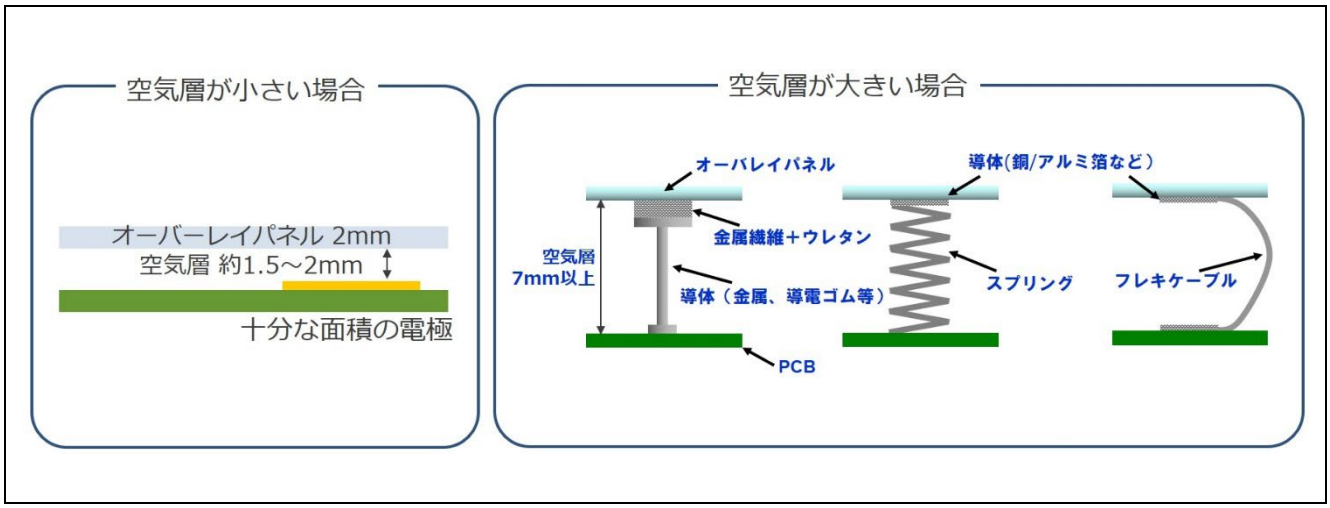


図 2-33　自己容量方式 空気層対策例

2.7.6　自己容量マトリクス

自己容量方式の電極を格子状に配置した自己容量マトリクス形状は CTSU ドライバ、ミドルウェアおよび QE for Capacitive Touch ではサポートしていません。マトリクス形状の電極を使用する場合は相互容量方式を使用してください。

2.7.7　RF 通信デバイス使用時の注意事項

CTSU はタッチ電極回路の静電容量の微小な変化を検出できるため、周囲環境のノイズの影響を受けやすい場合があります。Wi-fi や Bluetooth® などの RF 通信デバイスの電波も CTSU 計測に影響を与える可能性があります。CTSU 搭載マイコンのボード上や筐体内に RF 通信デバイスのアンテナを配置する必要がある場合、タッチマイコンおよびタッチ電極回路と RF 通信デバイスのアンテナはできる限り距離を離してください。

2.7.8　金属オーバーレイパネル設計例

ルネサスではオーバーレイパネルに金属パネルを使用した設計例のアプリケーションノートを準備しています。詳細および設計情報は下記より入手してください。

金属タッチリファレンスデザイン
https://www.renesas.com/products/microcontrollers-microprocessors/rx-32-bit-performance-efficiency-mcus/metal-touch-ref-metal-touch-solution-reference-design

3. 相互容量方式ボタンの設計ガイド

3.1 推奨設計要旨

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でき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。

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から⑩を除きリストの番号と図 3-1 の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 間は容量結合が発生しないように 20mm 以上
⑦ メッシュ GND パターンの幅：2mm 以上
⑧ 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
⑨ Tx、Rx の寄生容量：20pF 以下（オーバーレイパネル、TS 端子の端子容量を含む）
⑩ 電極+配線抵抗値：560Ω以上 1kΩ以下（基準値 560Ωのダンピング抵抗を含む）
⑪ 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。

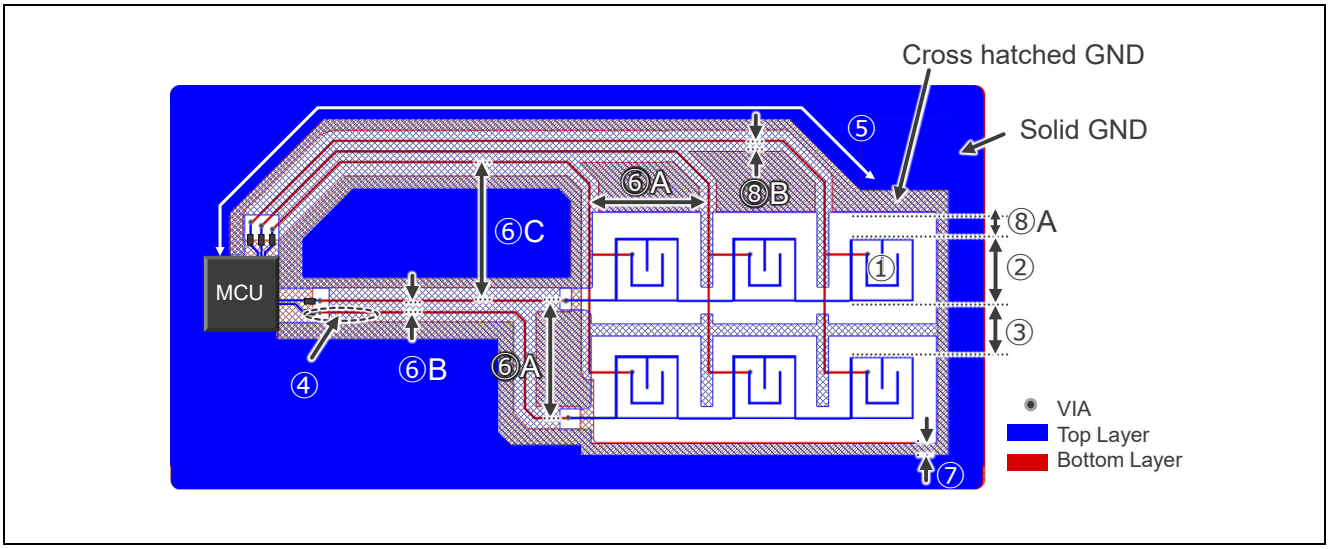


図 3-1 相互容量方式ボタンのパターン設計例

3.2　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。相互容量は送信電極（Tx）と受信電極（Rx）の 2 電極間の電界により生じた静電容量 Cm を指します。ボタンに指など人体が近づくと電界の一部が指と容量結合し、Cm の静電容量が減少します。相互容量方式では人体の近接による Cm の減少量からボタン ON/OFF を検知します。

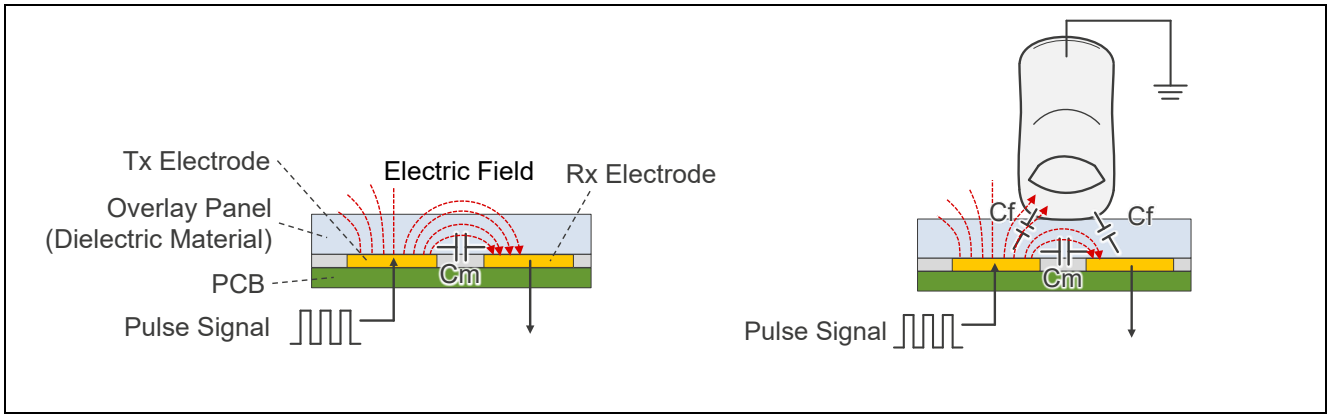


図 3-2 電極が持つ相互容量のイメージ

3.3　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 Tx と Rx 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 Cm 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「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド（R30AN0424）」を参照してください。

CTSU の計測イメージやセンサドライブパルス周波数と感度の関係は自己容量方式と同様の考え方です。詳細は「2.3 CTSU の自己容量方式検出原理」を参照してください。

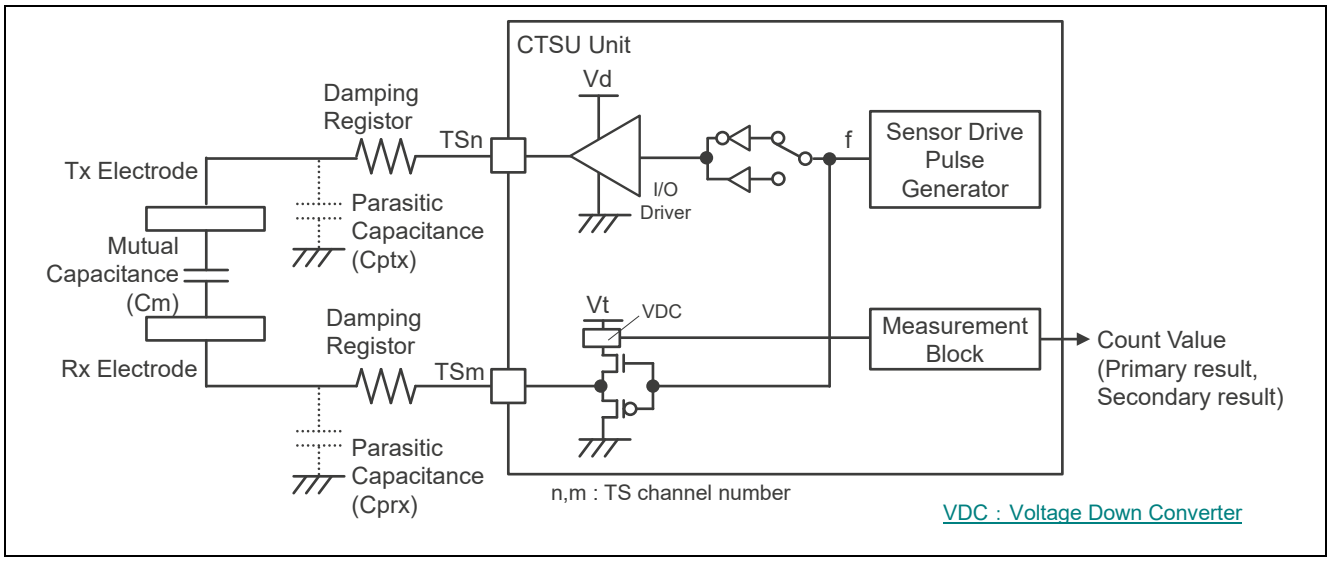


図 3-3 相互容量方式の CTSU 内部構成概要

3.4　電極パターン設計

3.4.1　電極回路の構成

図 3-4 に相互容量方式の電極回路を示します。TS 端子に接続するタッチ電極回路の構成は受信電極（Rx）と送信電極（Tx）、電極配線およびダンピング抵抗です。相互容量方式のボタン電極は Rx と Tx の 1 対の電極で構成します。ダンピング抵抗は 560Ω が基準値です。ダンピング抵抗は TS 端子と抵抗間の配線からノイズが混入しないように、できるだけ TS 端子近傍に配置してください。

相互容量方式のタッチ電極回路は以下の条件を推奨しています。推奨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。

- 寄生容量 C：20pF 以下（Tx または Rx、オーバーレイパネル、TS 端子の端子容量を含む）
- 抵抗値 R：560Ω 以上 1kΩ 以下（ダンピング抵抗を含む）

電極電極回路全体の寄生容量 C には基板上の 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。CTSU のセンサドライブパルス周波数に高い周波数を選択することでタッチ ON/OFF の計測値差分（シグナル値）が高くなり、SNR が改善するため C を低く抑える設計を行ってください。各電極の総寄生容量値は QE for Capacitive Touch で確認することが可能です。

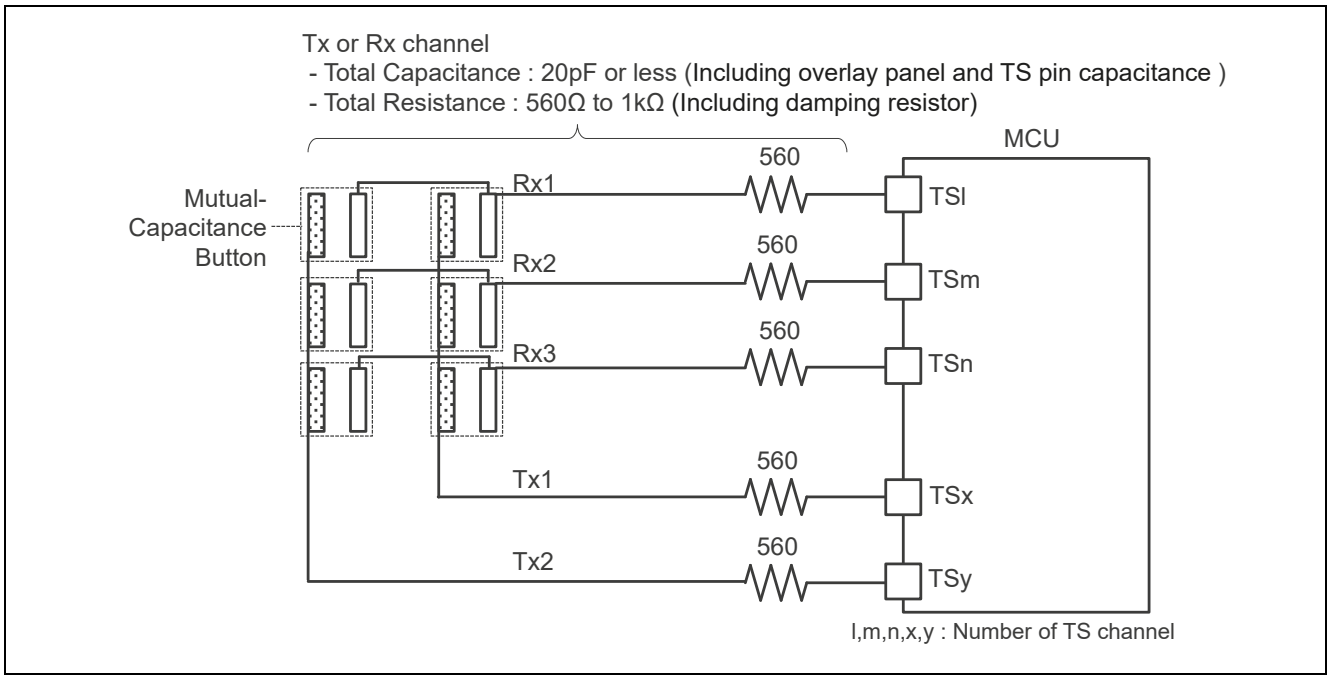
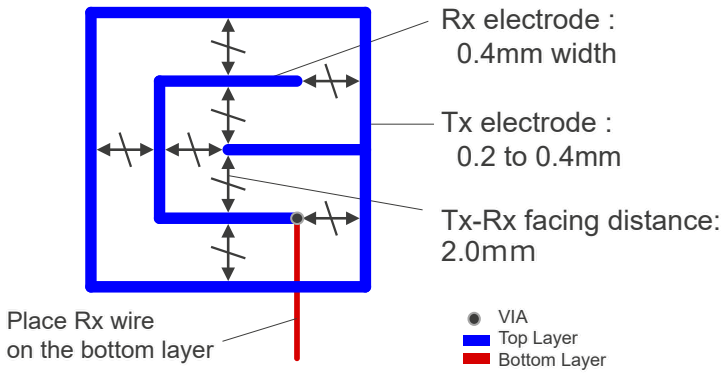


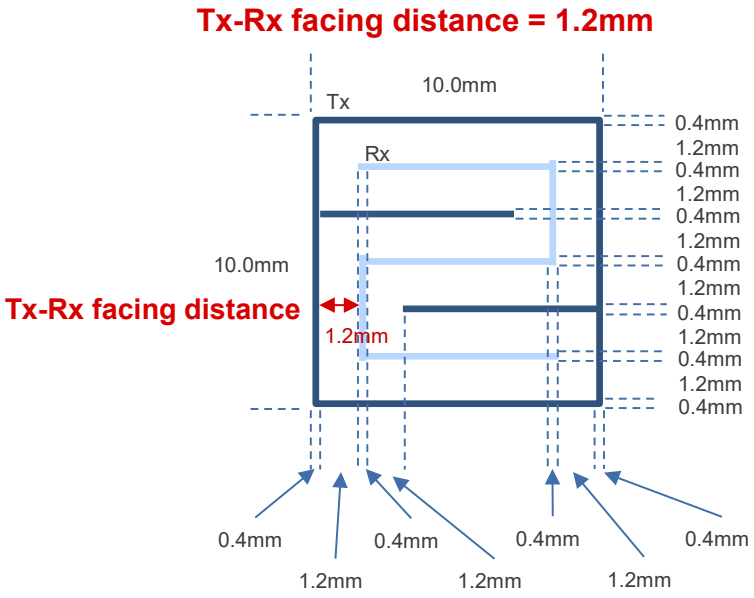
図 3-4 相互容量方式の電極回路

3.4.2　電極パッド

図 3-5 に相互容量方式電極のパターン例を示します。本例はルネサスにて動作確認済みのパターンです。このパターンはオーバーレイパネル厚 2mm から 3mm に対応します。Tx のパターンで Rx のパターンを囲う構造にしてノイズに弱い Rx 電極を保護します。また Tx と Rx 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。



(a) ‘C’ shaped electrode



(b) ‘2’ shaped electrode

図 3-5 相互容量方式電極のパターン例

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静電容量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。この様な場合は、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。

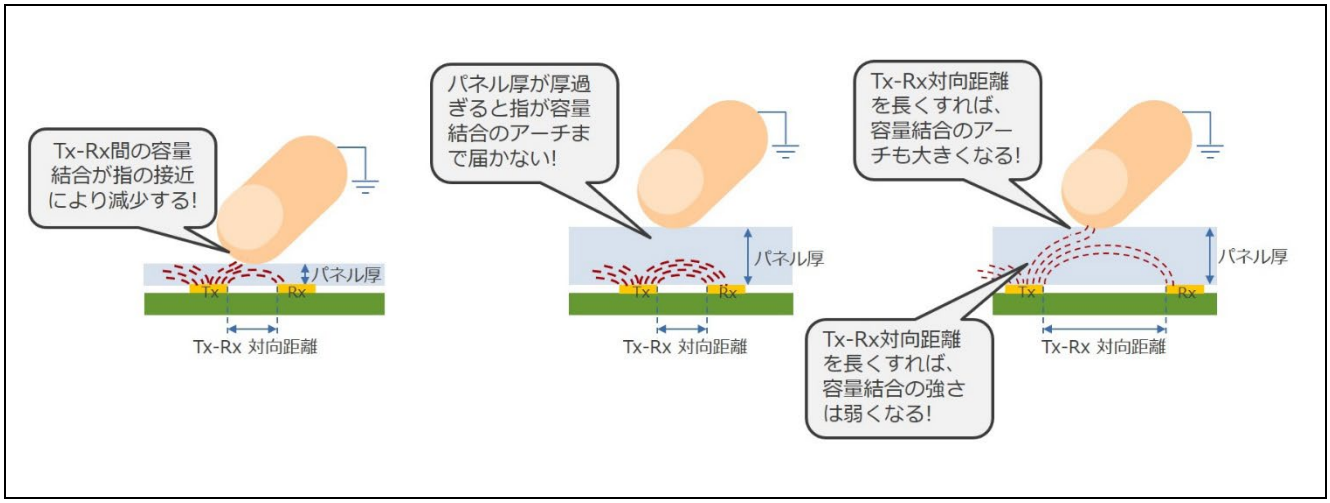


図 3-6 相互容量方式電極の Tx-Rx 容量結合電磁界のイメージ

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 の並走距離が長く、Tx-Rx 対向距離が短いほど Tx-Rx 電極間の容量結合が強くなり、静電容量は大きくなります。またタッチした時に人体へ電界誘導が多くなり Tx-Rx の静電容量が減少するため CTSU 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、電界の結合密度は小さくなり、静電容量が小さくなる傾向にあります。

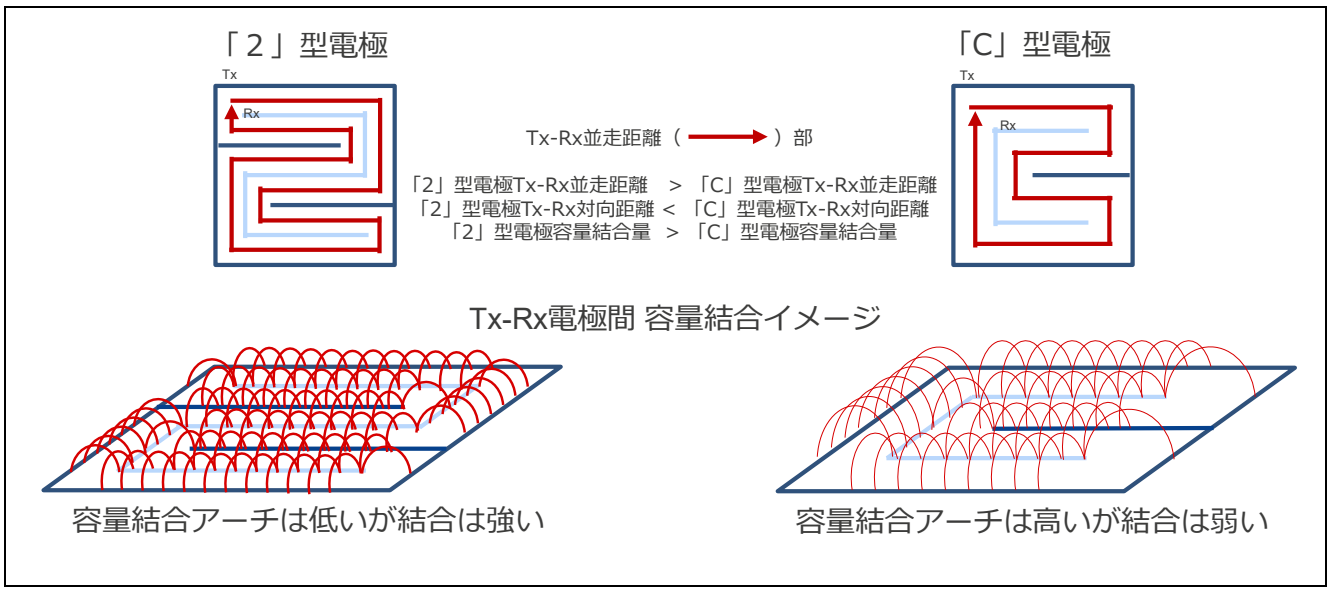


図 3-7 相互容量方式電極の Tx-Rx 並走距離と Tx-Rx 対向距離による容量結合イメージ

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を合計した厚みの約 0.6 倍を推奨します。

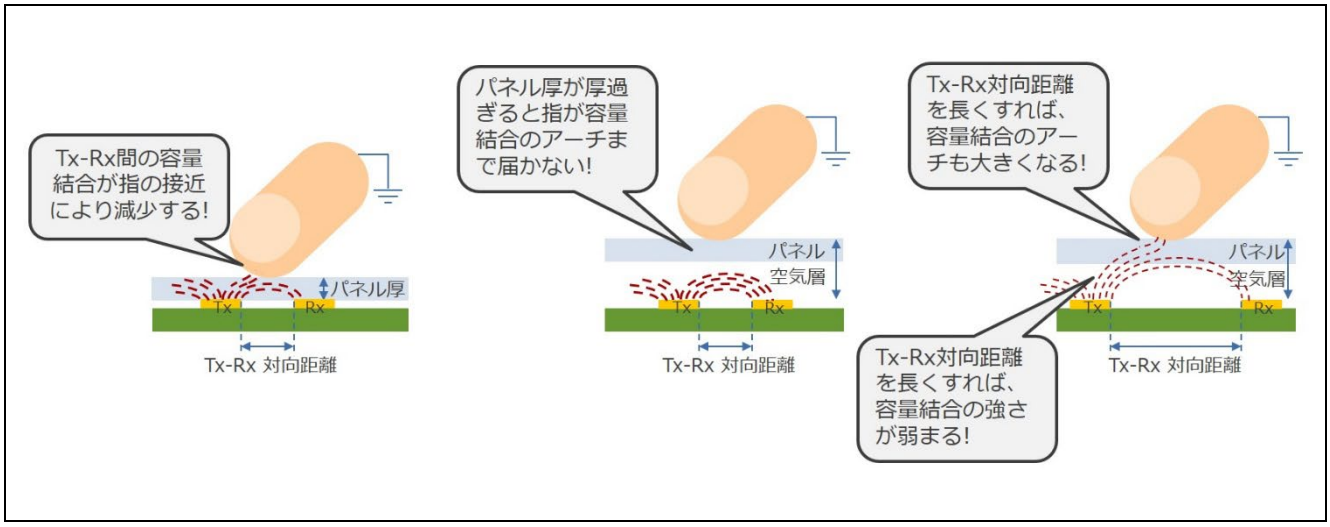


図 3-8 相互容量方式 電極パッド Tx-Rx 容量結合電磁界と空気層(パネル厚含む)のイメージ

図 3-5 以外の相互容量方式ボタンのパターンを設計する場合の考慮事項を下記に示します。

No	設計項目	理想設計	説明	設計考慮事項
①	Tx-Rx の対向距離	パネル厚と空気層厚の合計の約 0.6 倍	電極の垂直方向に対する反応距離が変化する	間隔が広い：オーバーレイパネルを厚くできるが SNR は低下する 間隔が狭い：SNR は向上するがオーバーレイパネルを薄くする必要がある。
②	Tx-Rx の並走距離	長距離	SNR が高くなる Tx-Rx の寄生容量（相互容量）が大きくなる タッチ時の Tx-Rx の相互容量減少が大きくなる	並走距離が短いと SNR が低下する
③	電極サイズ（Tx で Rx を囲う設計）	10x10mm ～15x15mm	電極と指の対向面積を最大にすることでタッチ時の相互容量減少が大きくなり SNR が最大化します	
④	Tx 電極のパターン幅（線幅）	太い・面積が広い	Tx が発する電界強度が強くなり Tx-Rx の相互容量が増加する。SNR が改善する	線幅が細く・面積が狭いと Tx-Rx の相互容量が小さくなり SNR が低下する、タッチ検出できない可能性がある
⑤	Rx 電極のパターン幅（線幅）	太い・面積が広い	Rx が受ける電界強度が強くなり Tx-Rx の相互容量が増加する。SNR が改善する	線幅が細く・面積が狭いと Tx-Rx の相互容量が小さくなり SNR が低下する、タッチ検出できない可能性がある

3.4.3　配線

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：Rx：1.27mm ピッチ
  Tx：1.27mm ピッチ
  Rx – Tx 間：20mm
  クロストーク低減のため電極パッド周囲（電極パッド寸法の 2 倍程度）は 5mm 以上離してください
  Rx – Tx 配線間は誤検出対策のため容量結合が発生しない距離まで広げてください。
- 配線のメッシュ GND シールドパターンの幅：2.0mm
- 配線とメッシュ GND シールドの間隔：1.27mm

配線は下記の事項を満たすように設計してください。

- 配線長は極力短くしてください。寄生容量は配線長に比例して増加します。
  また配線長が長くなると外来ノイズを受けやすくなります。RF 周波数ノイズ環境での使用が想定される場合は注意が必要です。
- 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。
  配線からの放射ノイズが低減します。
- 電極パッドの縁にビアを打ち、電極パッドの裏面の層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。
- ノイズ対策のため配線直下（配線の裏面の層）にメッシュ GND シールドを配置してください。
- 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配線どうしの対向面積を最小限にしてください。配線間の容量結合によるノイズ影響を低減します。
- TS 端子の Rx と Tx は交互に割り当てせず、Tx もしくは Rx のグループをまとめて割り当ててください。マイコンのピン数やレイアウト制限により隣接してしまう場合は TS 端子からの配線引き出し後、可能な限り短距離で Tx 配線と Rx 配線の距離を広げてください。
- Rx 配線と Tx 配線が隣接して容量結合が発生している箇所にタッチすると誤検出する可能性があります。Rx 配線と Tx 配線は可能な限り離して配置してください。
- Rx 配線と Tx 配線を交差する必要がある場合は基板の TOP 層と BOTTOM 層にそれぞれの配線を配置して配線を直交させてください。配線の対向面積を最小限にすることで容量結合を最小化し誤検出を低減します。

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。GND シールド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 は非計測 TS 端子が GND レベルに固定されるため、TS 端子に接続された配線はシールドとしても機能します。GND シールドの配置間隔や TS 端子の配線間隔は距離が近いほど TS 端子の寄生容量が増加するため、総寄生容量の条件を満たすよう配置・配線間隔の設計を調整してください。

図 3-9 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、できるだけ離して配置して下さい。

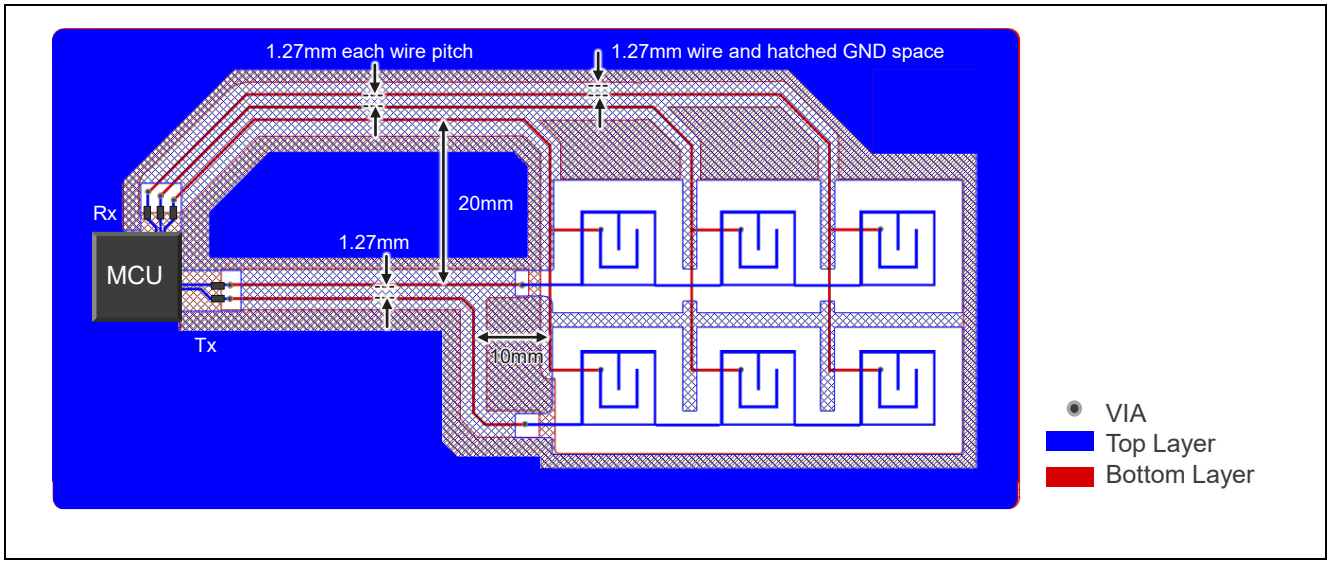


図 3-9 相互容量方式 電極配線取回し例

図 3-10 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、電極付近から離れた場所で垂直に交差させてください。

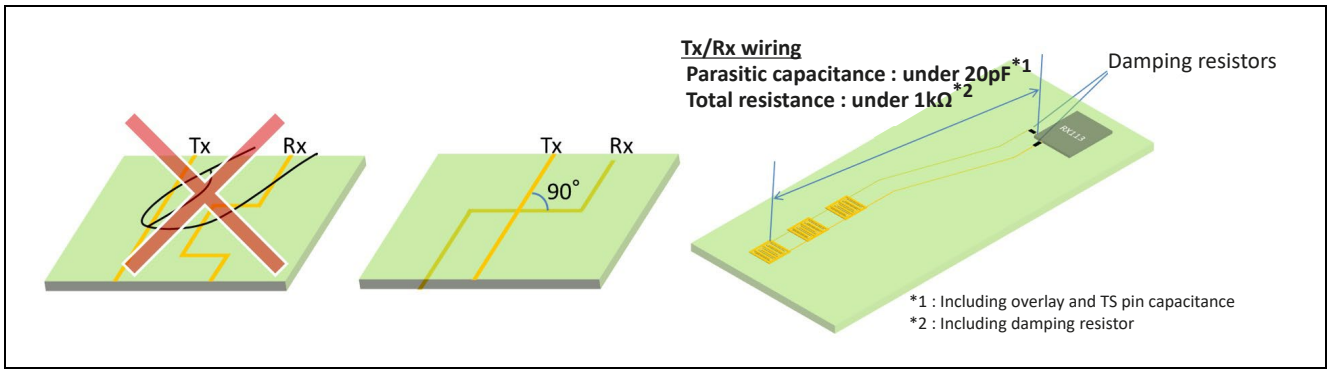


図 3-10 相互容量方式 電極配線の制約条件

3.5　タッチ面から電極までの距離

図 3-11 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 電極間の容量結合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。

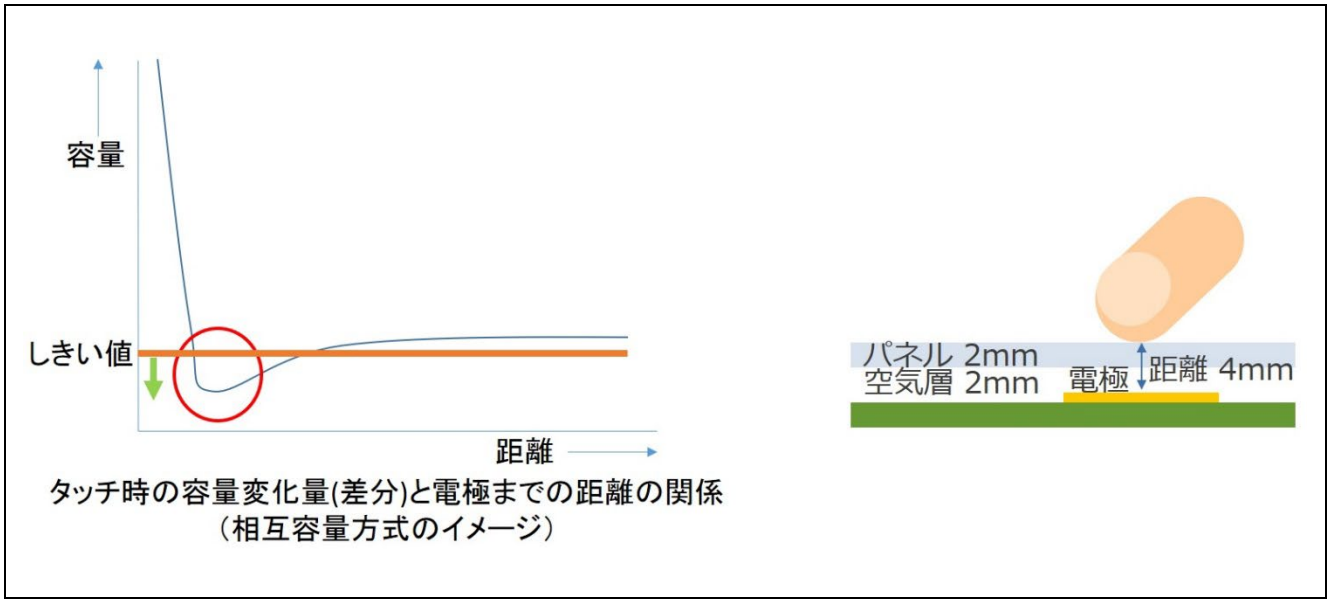


図 3-11　相互容量方式 容量変化量と感応距離の関係

図 3-12 に相互容量方式の電極間距離とオーバーレイ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 3-5 で示す Tx のパターンで Rx のパターンを囲うボタン形状では押下対象ボタンの Tx と隣接ボタンとの距離が開くため、相互容量方式では比較的ボタン間隔を狭くできます。

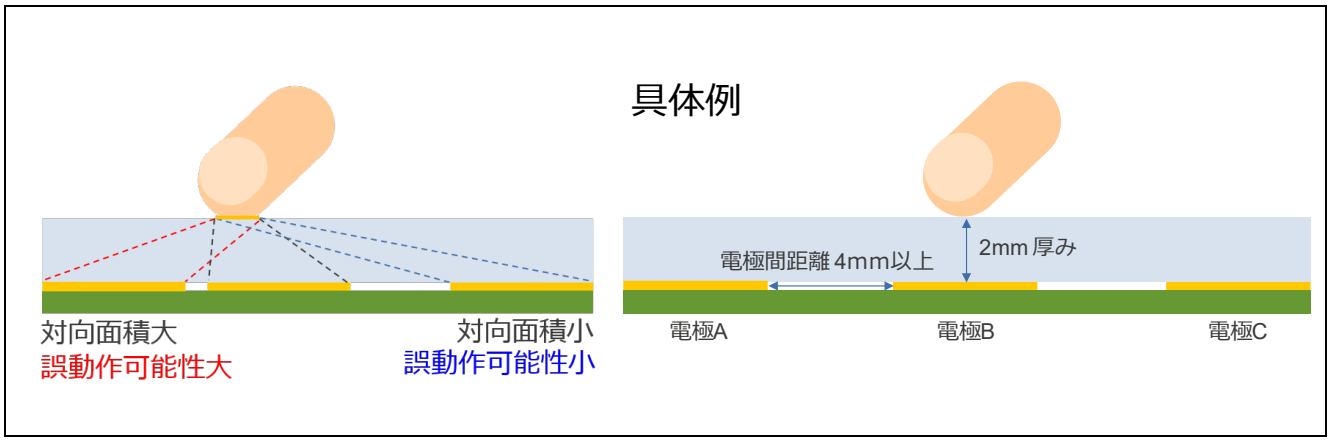


図 3-12　相互容量方式の電極間距離とオーバーレイパネル厚の関係

3.6　ノイズ対策設計

電極回路はその構造上アンテナ（マイコン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。ルネサスマイコン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、マイコン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。

IEC61000 シリーズに関するノイズ対策については「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ ノイズイミュニティガイド」を参照してください。

3.6.1　シールドパターン

3.6.1.1　シールド形状

図 3-13 にメッシュパターン推奨寸法を示します。EMC 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を配置しますが、ベタパターンでは容量結合が大きく電極にタッチした時の静電容量変化を検出できません。そのためメッシュ状のシールドを使用してください。推奨寸法からピッチや線間を小さくするするとノイズ耐性は向上しますが、単位面積あたりの GND パターン比率が増加することで電極回路の寄生容量が増加するため注意してください。また電極配線との容量結合を軽減するため、タッチ電極回路の配線方向によってはメッシュパターンを 45 度傾けます。

項目	寸法
ピッチ	1.5 mm
線幅	0.15 mm
線間（スペース）	1.35 mm

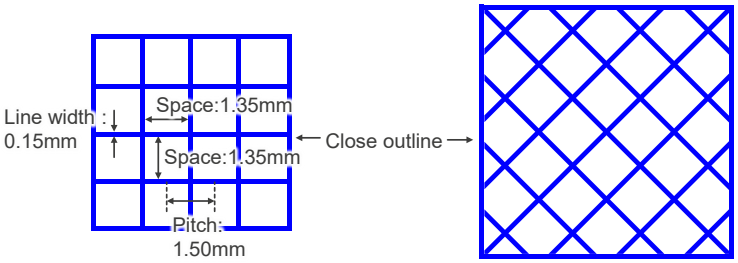


図 3-13　メッシュパターン推奨寸法

3.6.1.2　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。

① 基板層構成：外来ノイズ対策のため 2 層以上
② パターン形状：メッシュパターン
　寸法詳細は「3.6.1.1 シールド形状」を参照してください。
③ タッチ電極とメッシュ GND シールドの間隔：4mm
④ メッシュ GND シールドの幅：2mm 以上
　メッシュパターンとベタ GND は接続してください。
　配線直下はメッシュ GND パターンで覆ってください。
　電極直下のメッシュ GND シールドは配置するとボタン電極のオーバーレイパネル面方向の電界が弱くなり感度が低下するため非推奨です。

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。

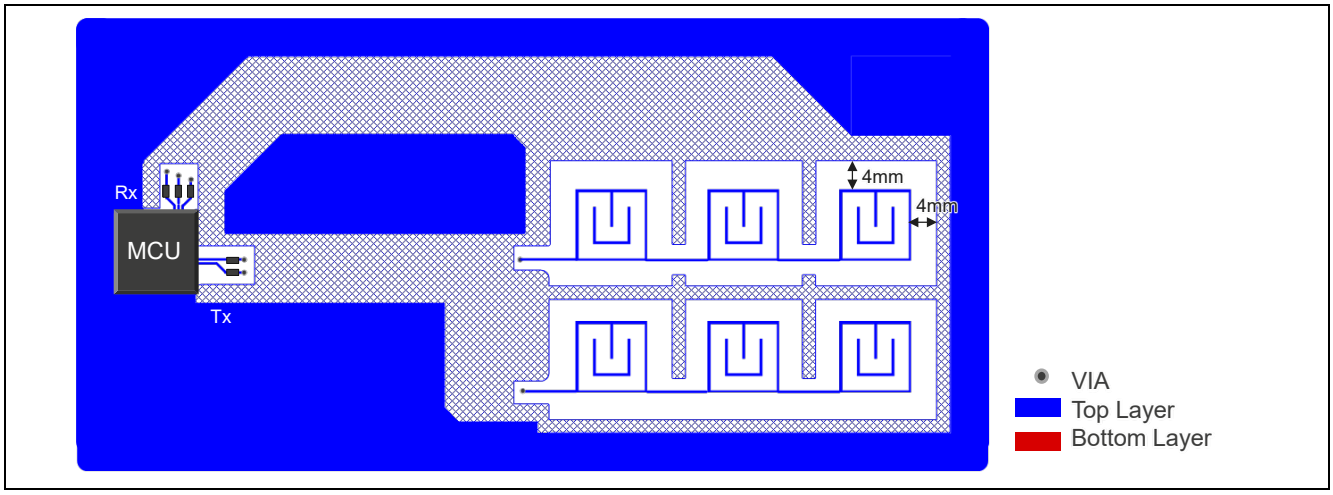


図 3-14 ノイズ対策レイアウトパターン例（TOP 層）

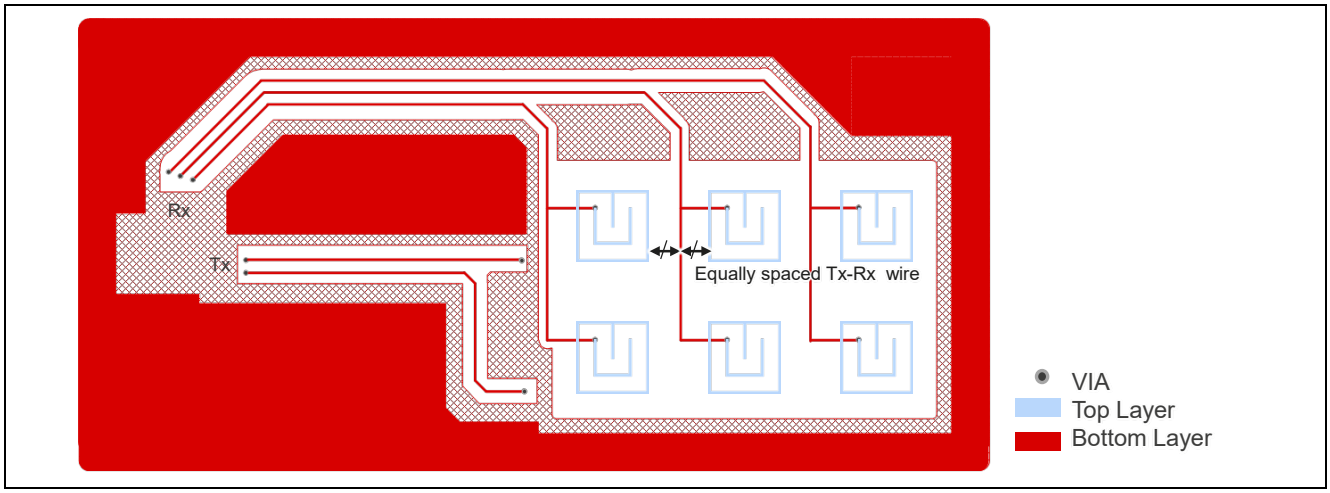


図 3-15 ノイズ対策レイアウトパターン例（BOTTOM 層）

3.7　設計応用例

3.7.1　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気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。

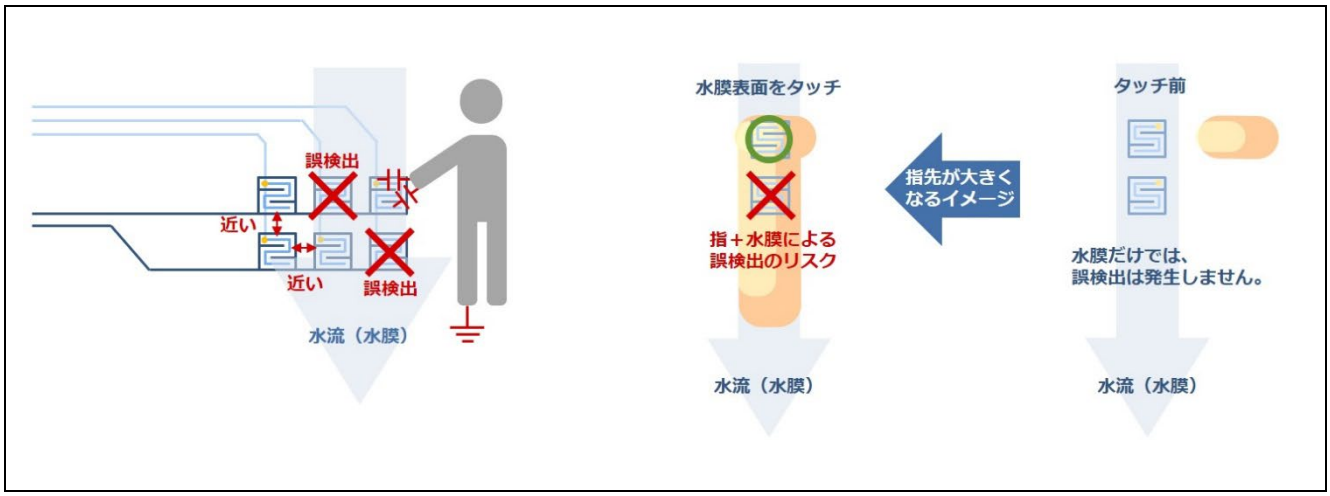


図 3-16 相互容量方式 耐水電極レイアウトパターンの注意事項

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出来ます。

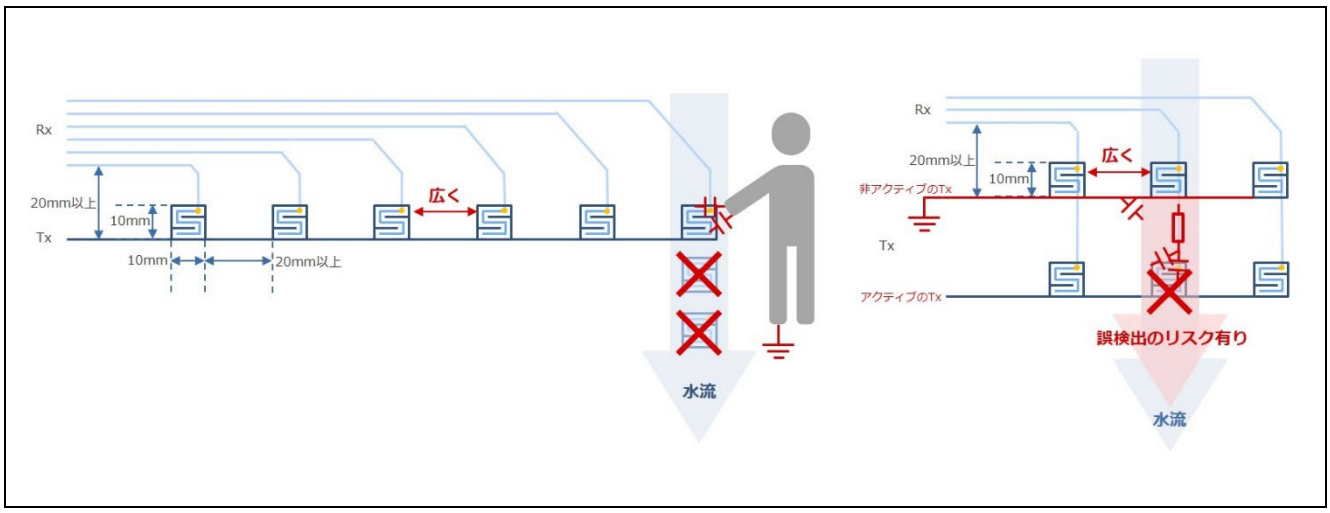


図 3-17 相互容量方式 耐水電極レイアウト推奨パターン

図 3-18 に相互容量方式 電極間距離とオーバーレイパネル厚の関係について示します。相互容量方式のボタンを耐水電極として使用する場合の電極パッド間隔は、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。

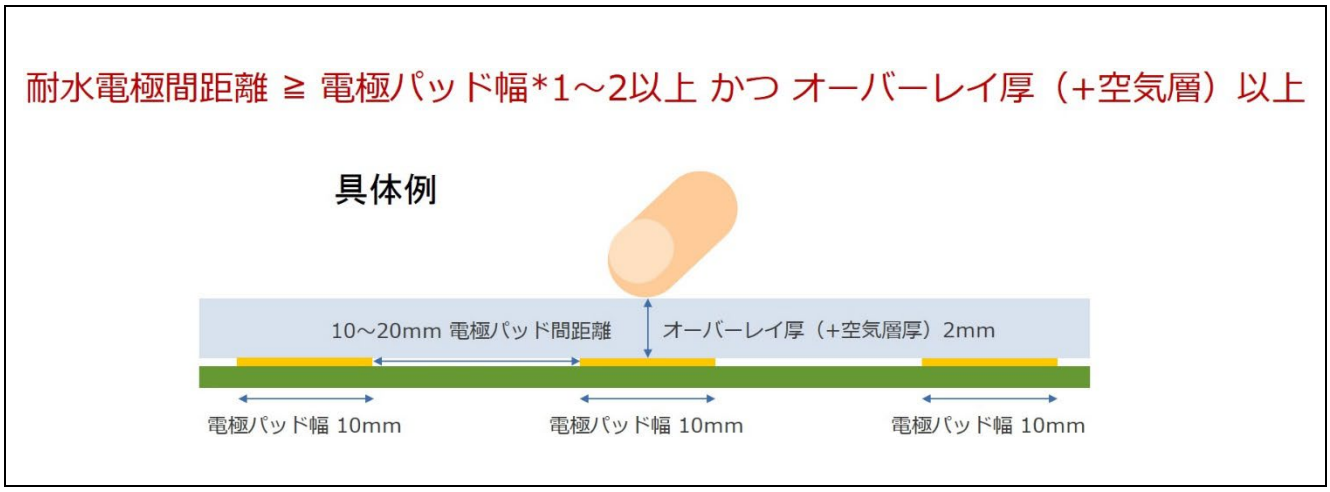


図 3-18 相互容量方式 耐水電極間距離とオーバーレイパネル厚の関係

3.7.2 LED 配線レイアウト

3.7.2.1 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 の左の例の様に 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。

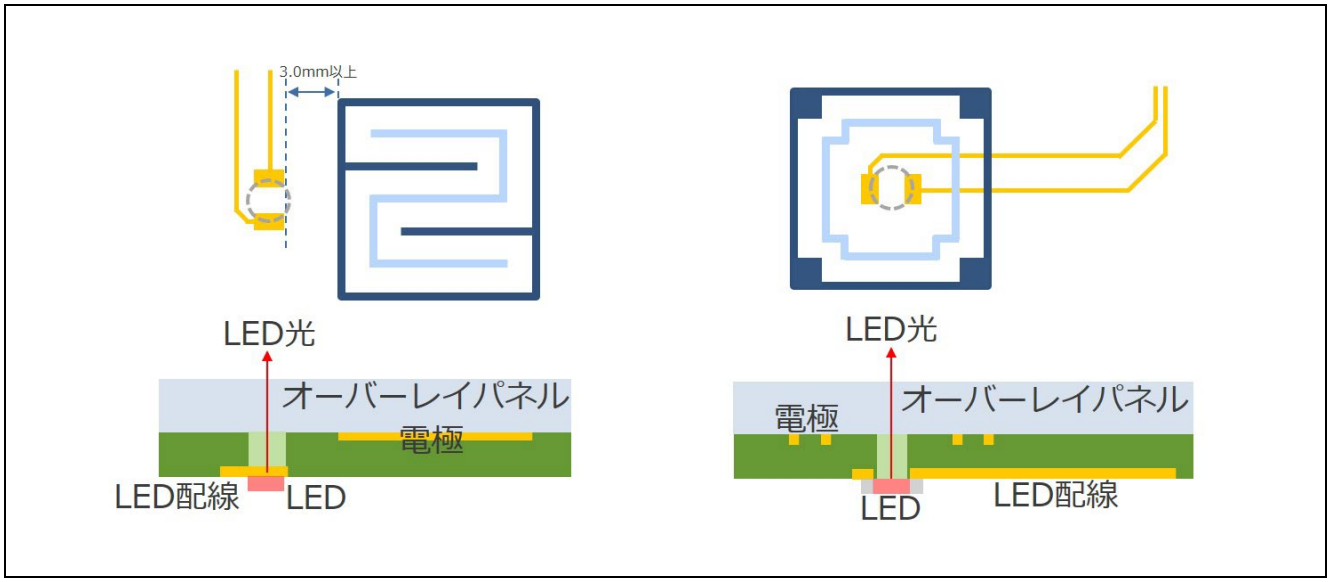


図 3-19 相互容量方式 電極パッドと LED 配線取回し例

3.7.2.2　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。

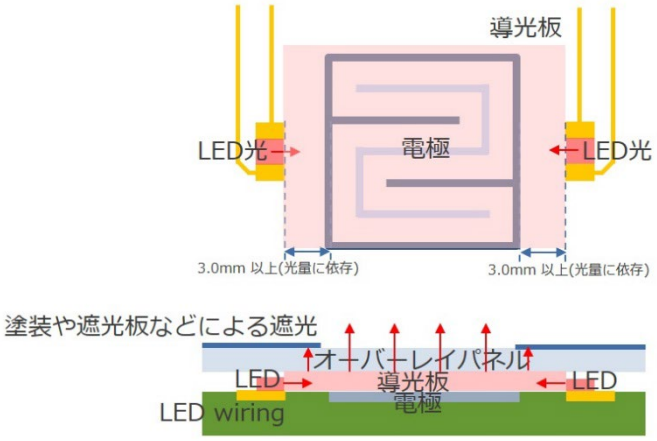


図 3-20 相互容量方式 電極パッドと導光板を使用した LED 配線取回し例

4. 参考資料

4.1 参考ドキュメント

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。

- 静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド（R30AN0424）
- 静電容量センサマイコン 静電容量タッチリップル対策ガイド（R30AN0453）
- 静電容量センサマイコン 静電容量タッチ ノイズイミュニティガイド（R30AN0426）
- 静電容量センサマイコン QE for Capacitive Touch アドバンスドモード(高度な設定)パラメータガイド（R30AN0428）

4.2　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表

CTSU バージョンごとの代表マイコンにおいて寄生容量と総抵抗値の組み合わせによる QE for Capacitive Touch の自動チューニングで設定されるベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を示します。「推奨」範囲はボタンの感度を充分得られるように、QE for Capacitive Touch の自動調整でセンサドライブパルス周波数が 1MHz 以上に設定される条件です。「使用可能」範囲は CTSU で計測可能な範囲で、「推奨」と比較し計測値の SNR またはノイズ耐性の低下する場合がある条件です。「非推奨」範囲は CTSU の計測値に誤差やオーバーフロー、アンダーフローが発生し、SNR 低下やボタン検出ができなくなる条件です。本章では、寄生容量および総抵抗値に代表的な数値を記載しています。推奨範囲の詳細な数値については表 2-2 を参照してください。

なおマイコンの動作クロック、および CTSU モジュールに入力される周辺モジュールクロックによって実際のベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数は前後します。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。各マイコンに搭載している CTSU バージョンを確認するには各マイコンのユーザーズマニュアル ハードウェア編または「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド（R30AN0424）」の「4. 静電容量センサ搭載 MCU」を参照してください。

表 4-1　静電容量センサ搭載製品と設定表図番号対応の一覧

静電容量センサ種別		CTSU1			CTSU2	
製品カテゴリ/ファミリ	RL78	RL78/G16	-	-	RL78/G22, RL78/G23	
	RX	RX113, RX130 RX230, RX231, RX23W		RX671	RX140 RX260, RX261	
	RA	RA2A1, RA4M1, RA4W1		RA4M2, RA4M3, RA6M1, RA6M2, RA6M3, RA6M4, RA6M5	RA2E1, RA2L1 RA4L1	
CTSU 動作モード		通常動作	低電圧	通常動作	通常動作	低電圧
タイプ（注）		A	B	C	D	E
図番号		図 4-1	図 4-4	図 4-2	図 4-3	図 4-5

注：タイプは本アプリケーションノート特有の表記です。

4.2.1　通常動作モード

図 4-1 に CTSU1、表 4 1 のタイプ A の代表例として RX130 の寄生容量/ダンピング抵抗と自動チューニングで設定されるベースクロック周波数の関係を示します。下図は動作クロック 32 MHz の例です。

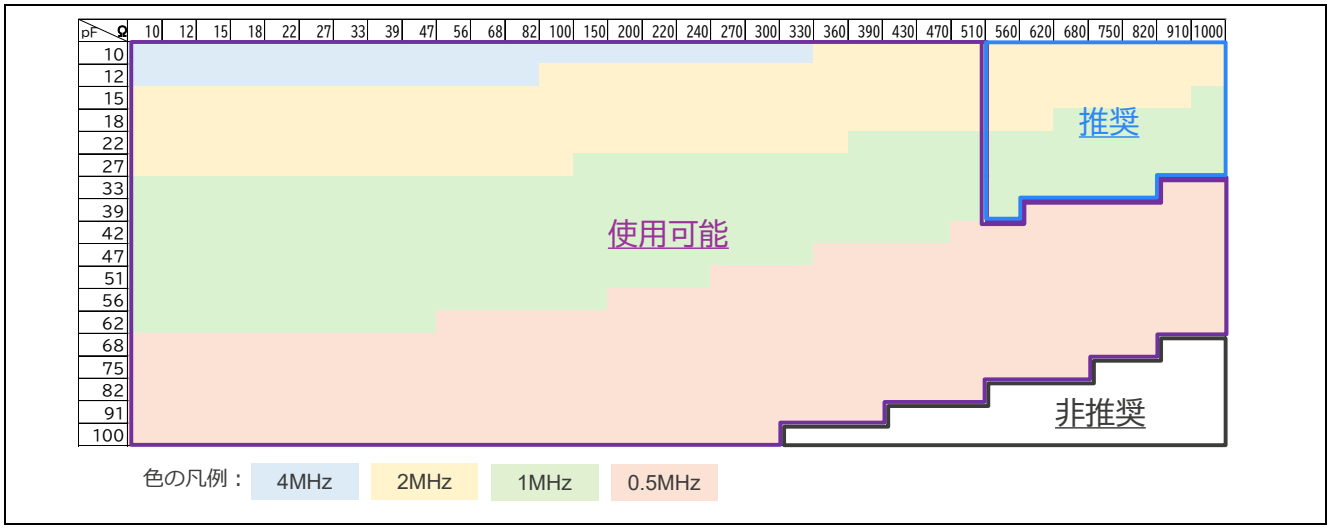


図 4-1　CTSU1（RX130）の寄生容量/ダンピング抵抗とベースクロック周波数の関係

図 4-2 に CTSU1、表 4-1 のタイプ C の代表例として RX671 の寄生容量/ダンピング抵抗と自動チューニングで設定されるベースクロック周波数の関係を示します。下図は動作クロック 30 MHz の例です。

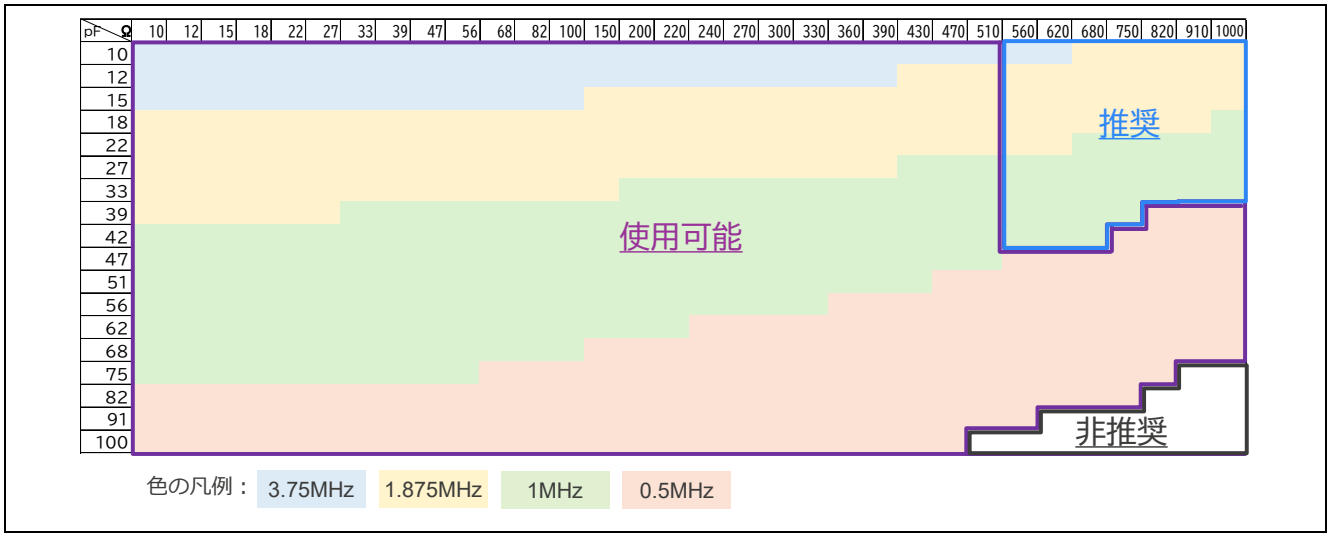


図 4-2 CTSU1（RX671）の寄生容量/ダンピング抵抗とベースクロック周波数の関係

図 4-3 に CTSU2 の寄生容量/ダンピング抵抗と自動チューニングで設定されるセンサドライブパルス周波数の関係を示します。

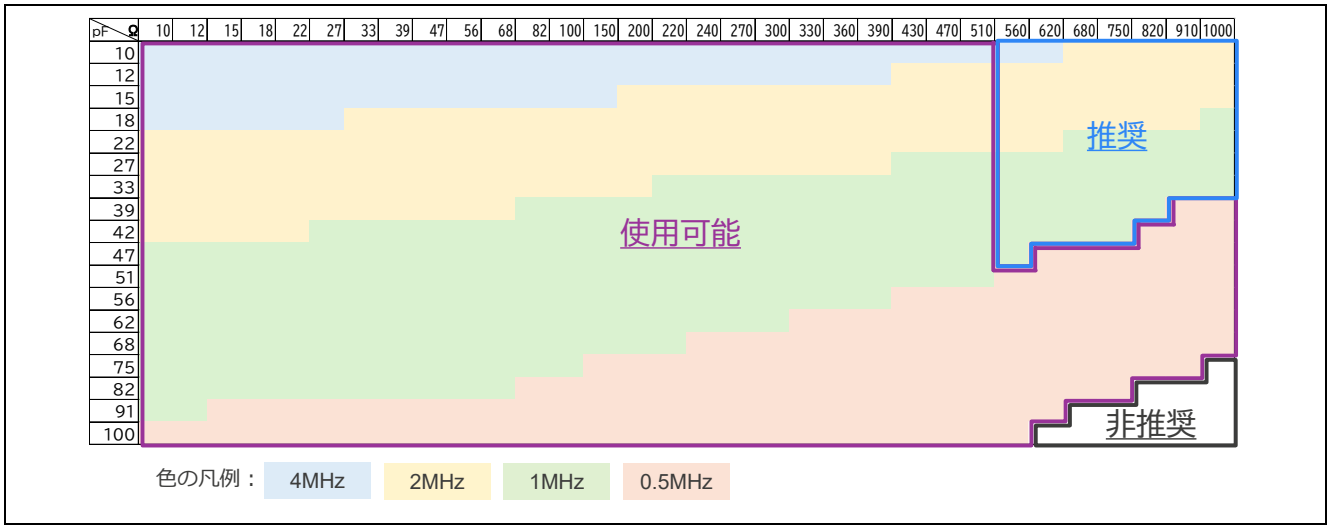


図 4-3 CTSU2 の寄生容量/ダンピング抵抗とセンサドライブパルス周波数の関係

4.2.2　低電圧動作モード

図 4-4 に CTSU1、表 4-1 のタイプ B、低電圧モードの代表例として RX130 の寄生容量/ダンピング抵抗と自動チューニングで設定されるベースクロック周波数の関係を示します。下図は動作クロック 32 MHz の例です。

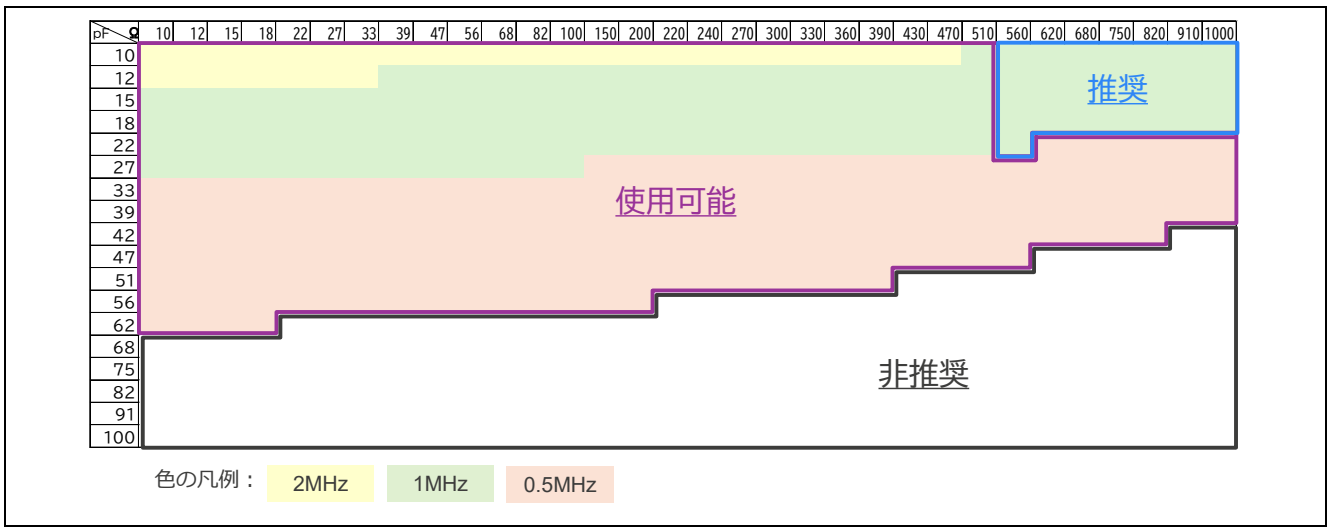


図 4-4 RX130(低電圧モード)の寄生容量/ダンピング抵抗とベースクロック周波数の関係

図 4-5 に CTSU2、表 4-1 のタイプ E 、低電圧モードの寄生容量/ダンピング抵抗と自動チューニングで設定されるセンサドライブパルス周波数の関係を示します。

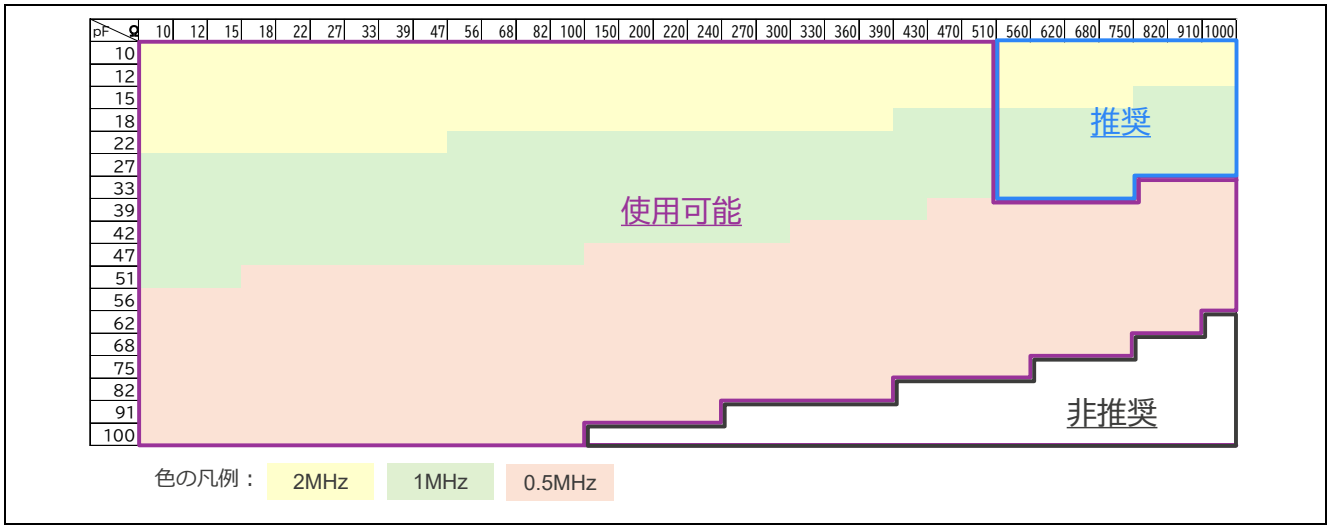


図 4-5 CTSU2（低電圧モード）の寄生容量/ダンピング抵抗とセンサドライブパルス周波数の関係

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。

本書のデータは各マイコン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 ON とタッチ OFF の計測値から差分値（シグナル値）およびノイズ値を求め算出します。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。

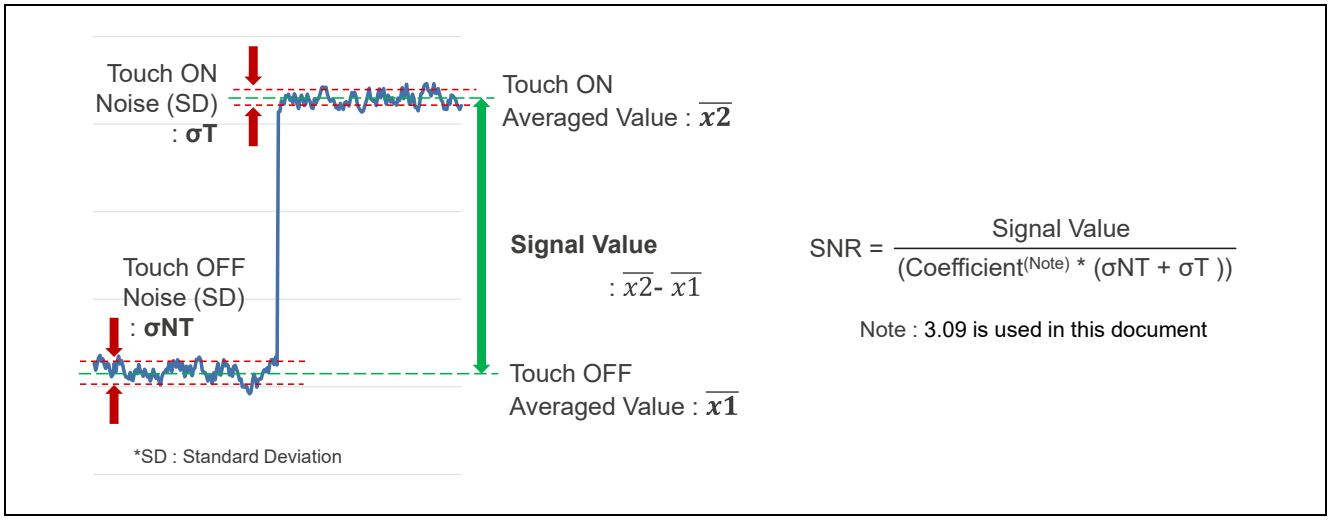


図 5-1　ボタン感度（SNR）の導出方法

表 5-1 に図 5-3 で示す評価ボードの計測結果を示します。タッチ ON のシグナル値が 1491、ノイズ値が 78 のとき、SNR は 10 となります。

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	Touch OFF	Touch ON	Signal Value
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	1491
ノイズ値（σ）	20.50	26.09	ー
SNR	**10**		

Note：センサドライブパルス周波数 = 2MHz

5.2　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）
使用マイコン	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 e² 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 （センサ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
タッチ判定方法 （マルチクロック計測の計測値の確定方法）	計測値多数決モード(VMM)

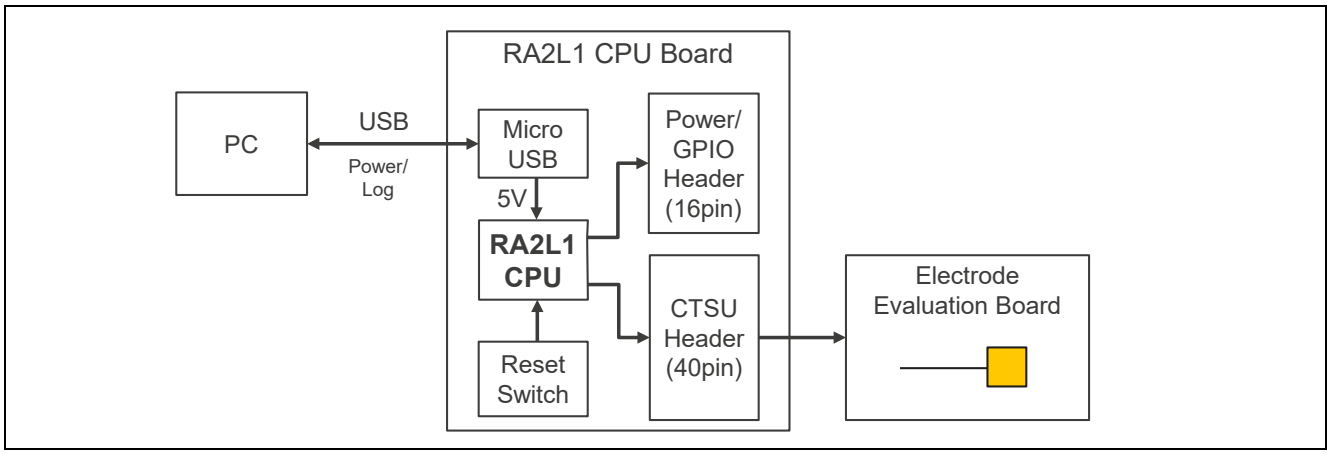
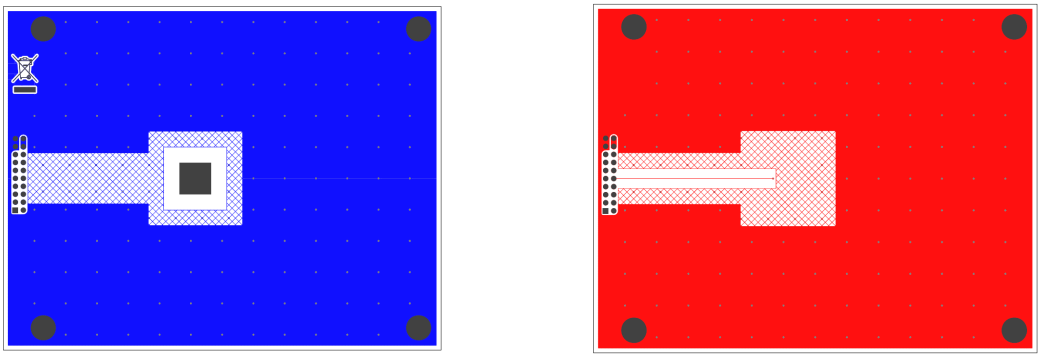


図 5-2 評価ボードブロック図

表 5-5 に電極設計推奨値を示します。図 5-3 に 評価ボードパターン例（推奨設計値、1 ボタン実装）、図 5-4 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。

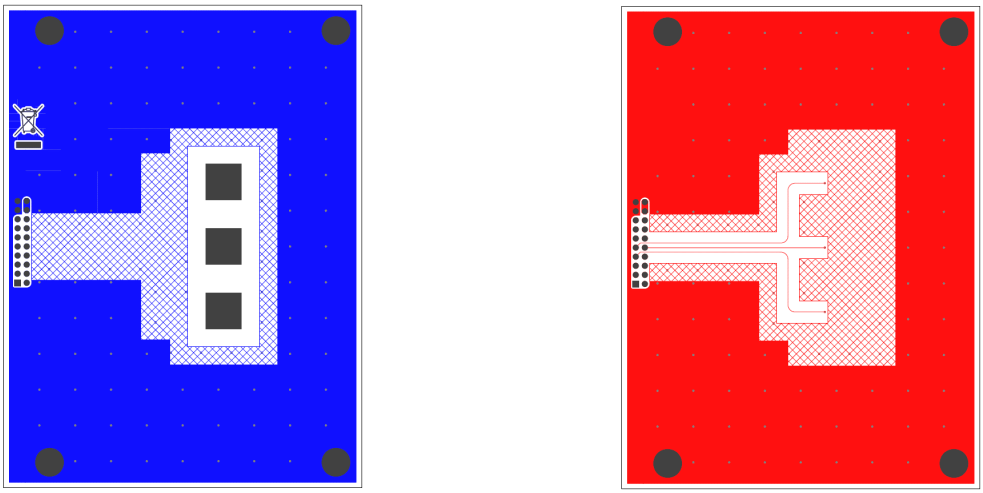
表 5-5 電極設計推奨値

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	5.0	mm	⑦
	メッシュ GND シールドとの間隔	3.0	mm	⑧B
ダンピング抵抗		560	Ω	ー



Top 層　　(b) Bottom 層

図 5-3 評価ボードパターン例（推奨設計値、1 ボタン実装）



(a)　Top 層　　(b) Bottom 層

図 5-4 評価ボードパターン例（推奨設計値、3 ボタン実装）

5.3　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 ON/OFF の差分。図 5-1 に示す「Signal Value」に相当します
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

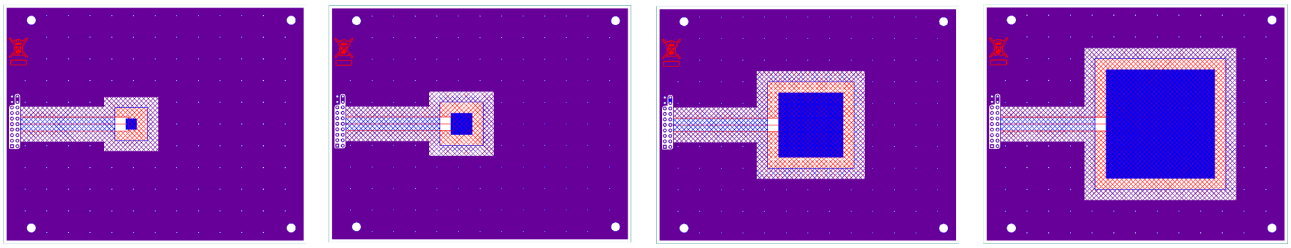
5.3.1　電極サイズ

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**
オーバーレイパネル厚	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



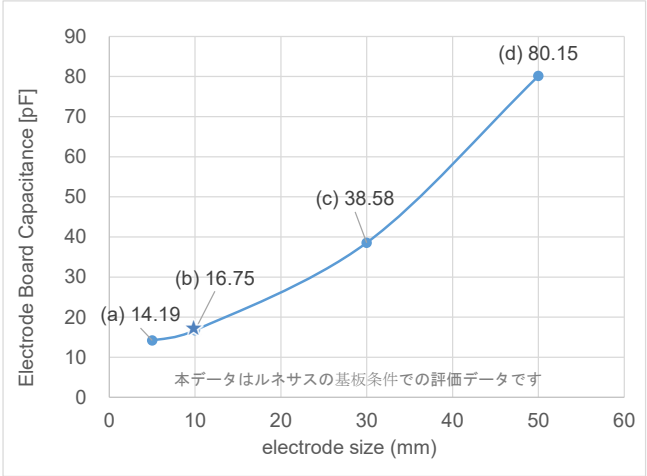
(a) 5.0mm 電極　(b) 10mm 電極　(c) 30mm 電極　(d) 50mm 電極

レイヤー色設定 ■:Top 層、■:Bottom

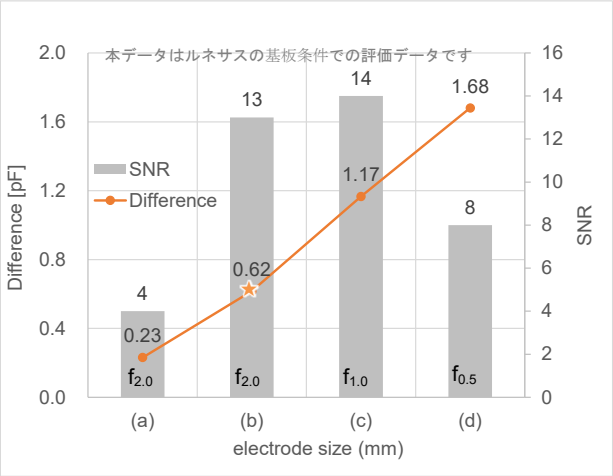
図 5-5 評価ボードパターン（電極サイズ）

図 5-6 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 を含みます。

- 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。



CPU ボードを含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-6 電極サイズと感度の特性

5.3.2　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**	
オーバーレイパネル厚	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	GND パターン形状	配線-シールド距離	電極-シールド距離
COND1	メッシュ	3.0mm	5.0mm
COND2	メッシュ	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	0.5mm	0.5mm

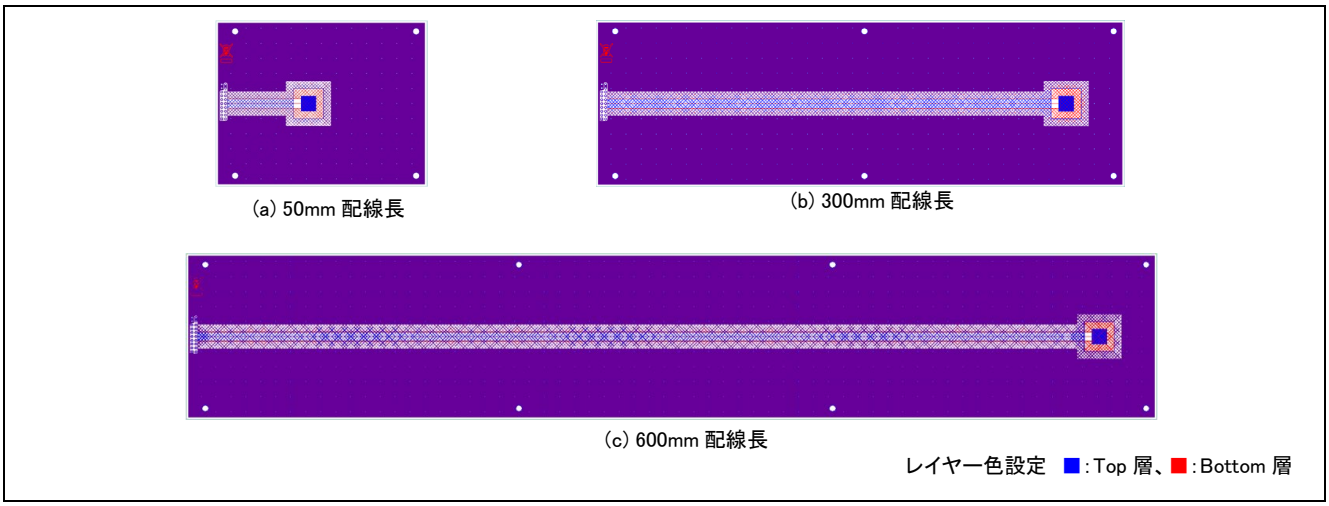


図 5-7 評価ボードパターン（COND1）

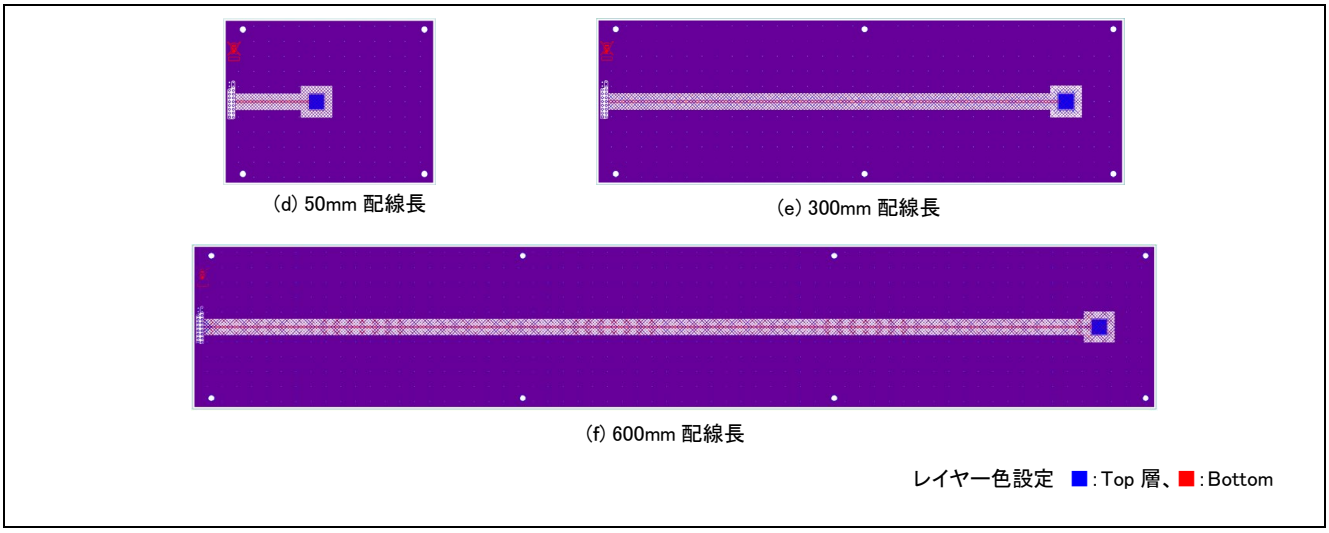


図 5-8 評価ボードパターン（COND2）

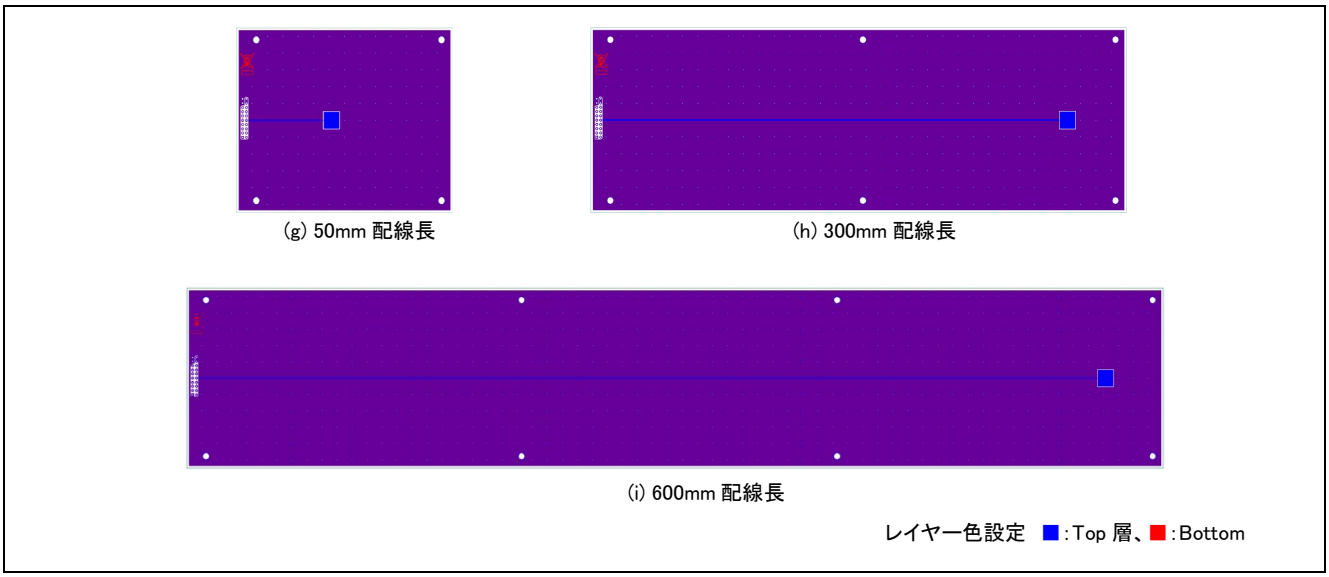


図 5-9 評価ボードパターン（COND3）

図 5-10 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。

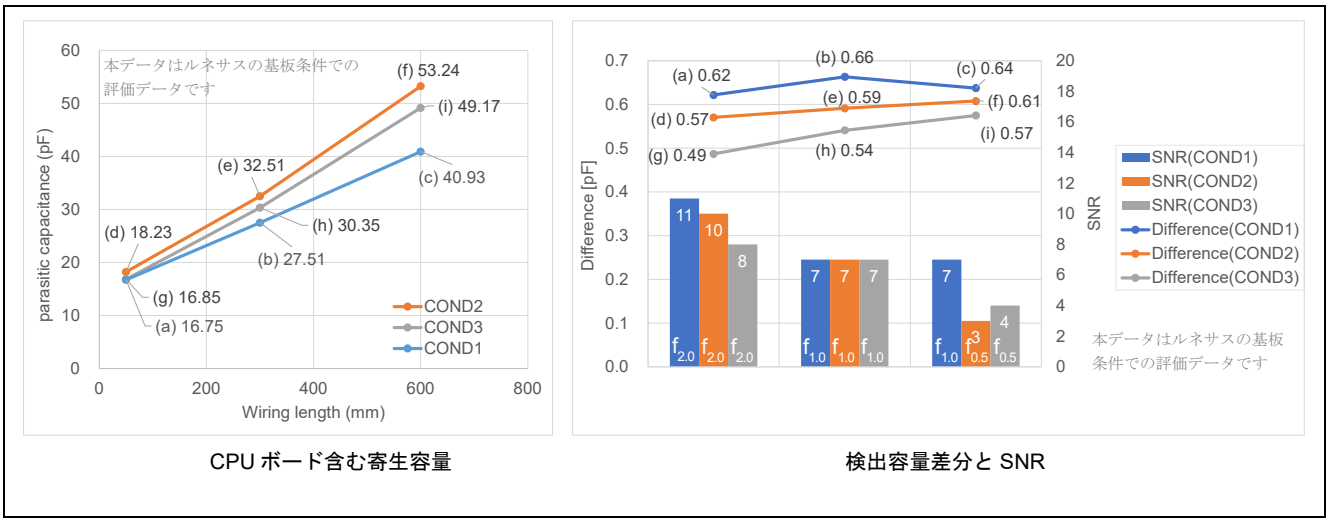


図 5-10 配線長と感度の特性

5.3.3　複数ボタン設計

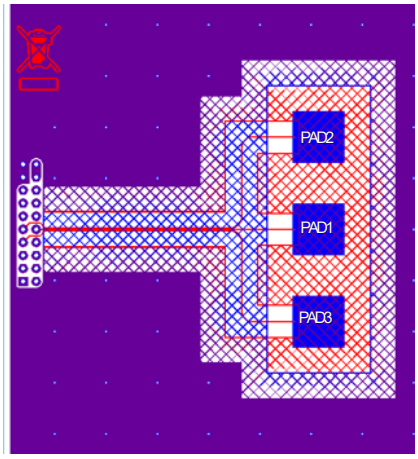
5.3.3.1　配線間隔

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。

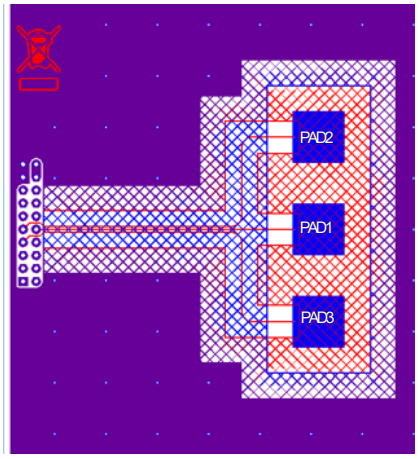
表 5-11 配線間隔変動時の基板仕様

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	
オーバーレイパネル厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

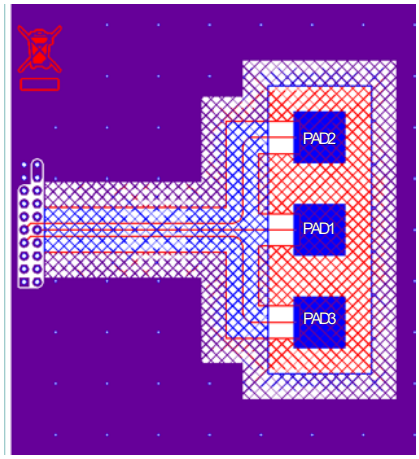
注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値



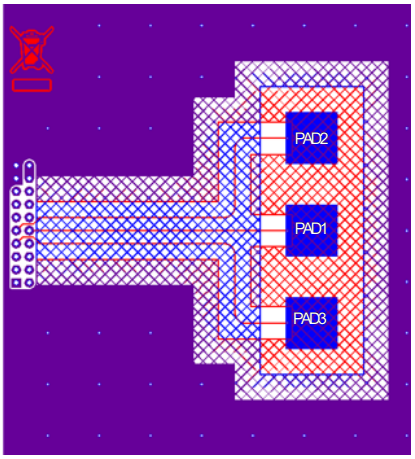
(a) 0.3mm 配線



(b) 0.5mm 配線間



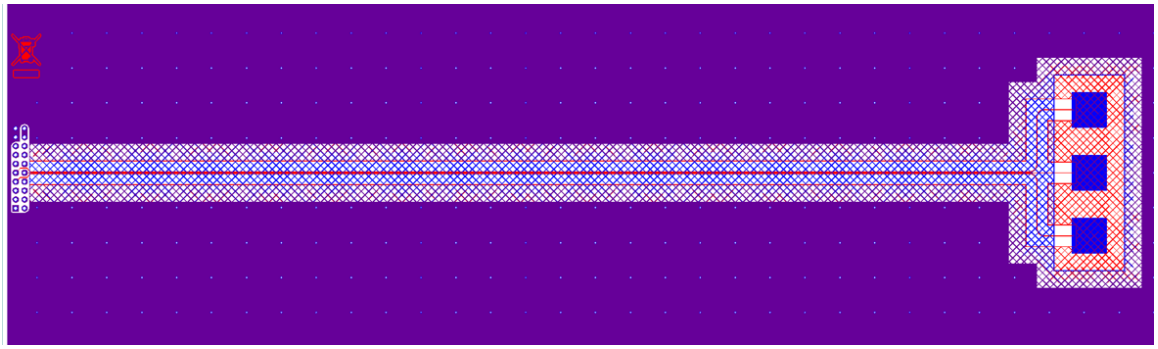
(c) 1.27mm 配線間



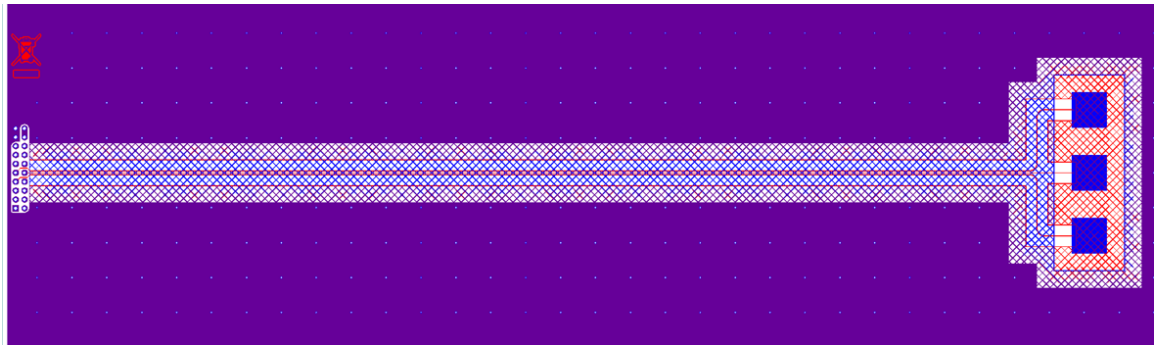
(d) 2.54mm 配線間

レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom

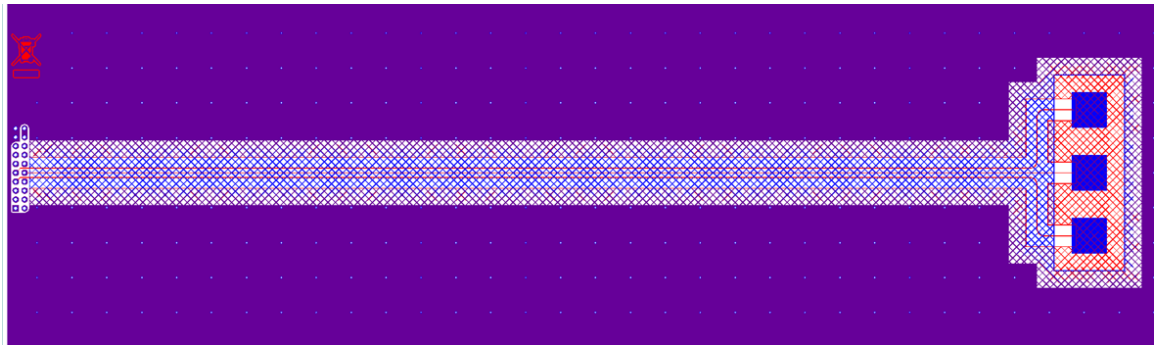
図 5-11 評価ボードパターン(配線長 50mm)



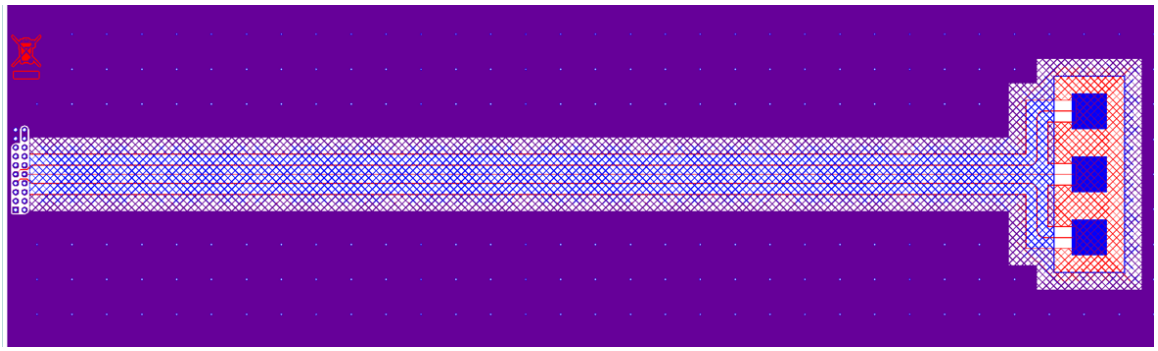
(e) 0.3mm 配線



(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 5-12 評価ボードパターン(配線長 300mm)

図 5-13 に 配線間隔と寄生容量、図 5-14 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。）

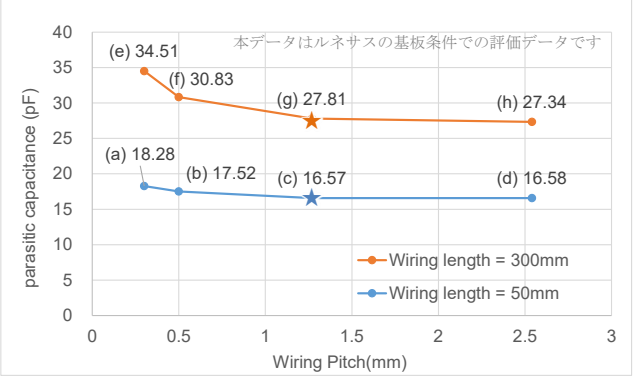
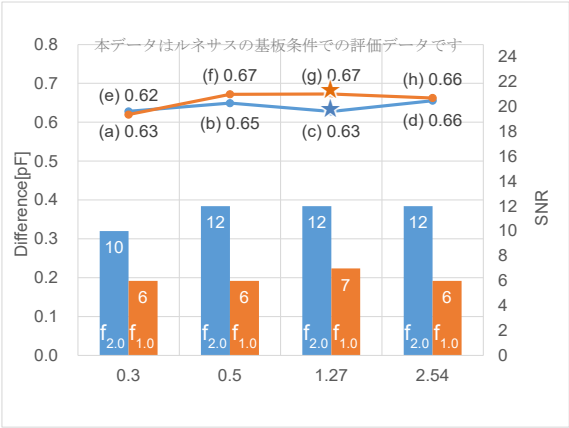
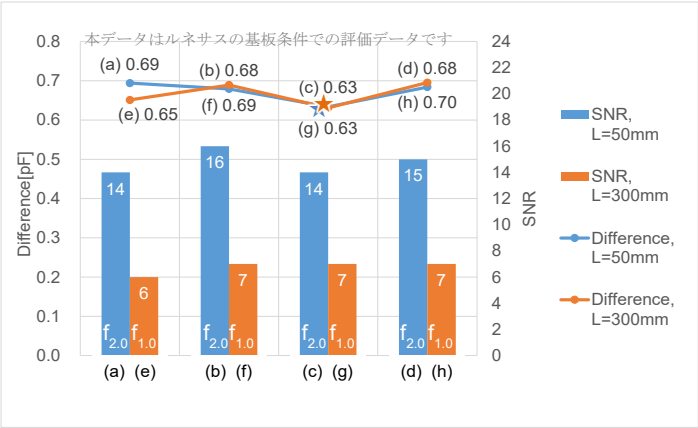


図 5-13 配線間隔と寄生容量（CPU ボード含む）



PAD1 検出容量差分と SNR



PAD2 検出容量差分と SNR

図 5-14 配線間隔と感度の特性

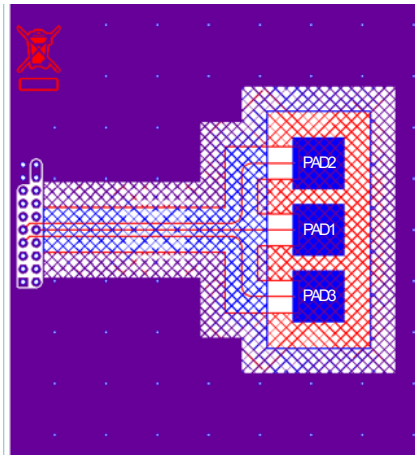
5.3.3.2　ボタン間隔

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。

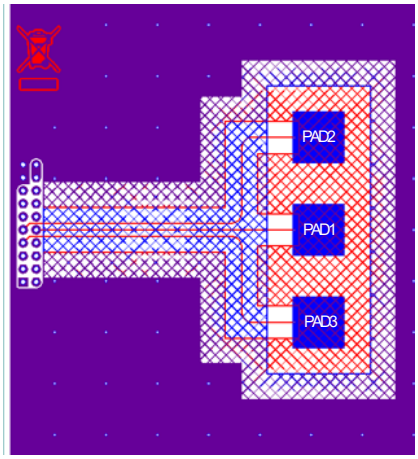
表 5-12 ボタン間隔変動時の基板仕様

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**	
オーバーレイパネル厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

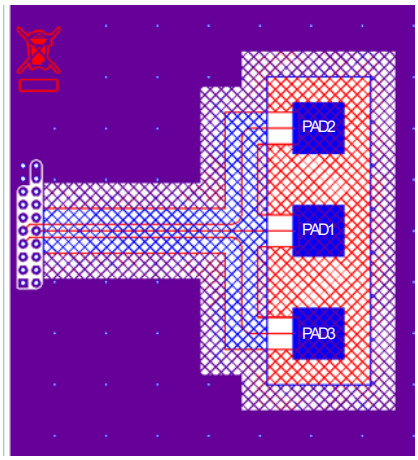
注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値



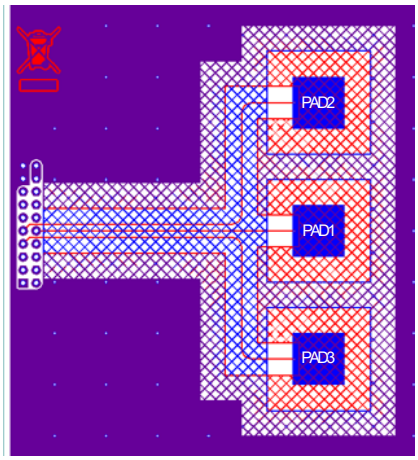
(a) 3.0mm ボタン間隔



(b) 8.0mm ボタン間



(c) 10.0mm ボタン間隔



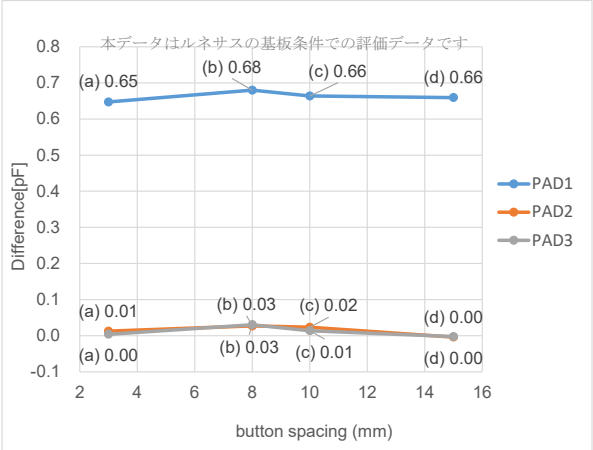
(d) 15.0mm ボタン間

レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom

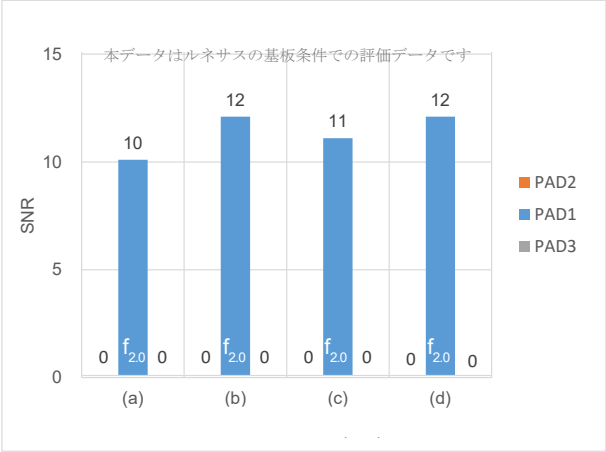
図 5-15 評価ボードパターン（ボタン間隔）

図 5-16 に ボタン間隔と感度の特性を示します。

- オーバーレイパネル厚 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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-16 ボタン間隔と感度の特性

5.3.4　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。

5.3.4.1　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	
オーバーレイパネル厚	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

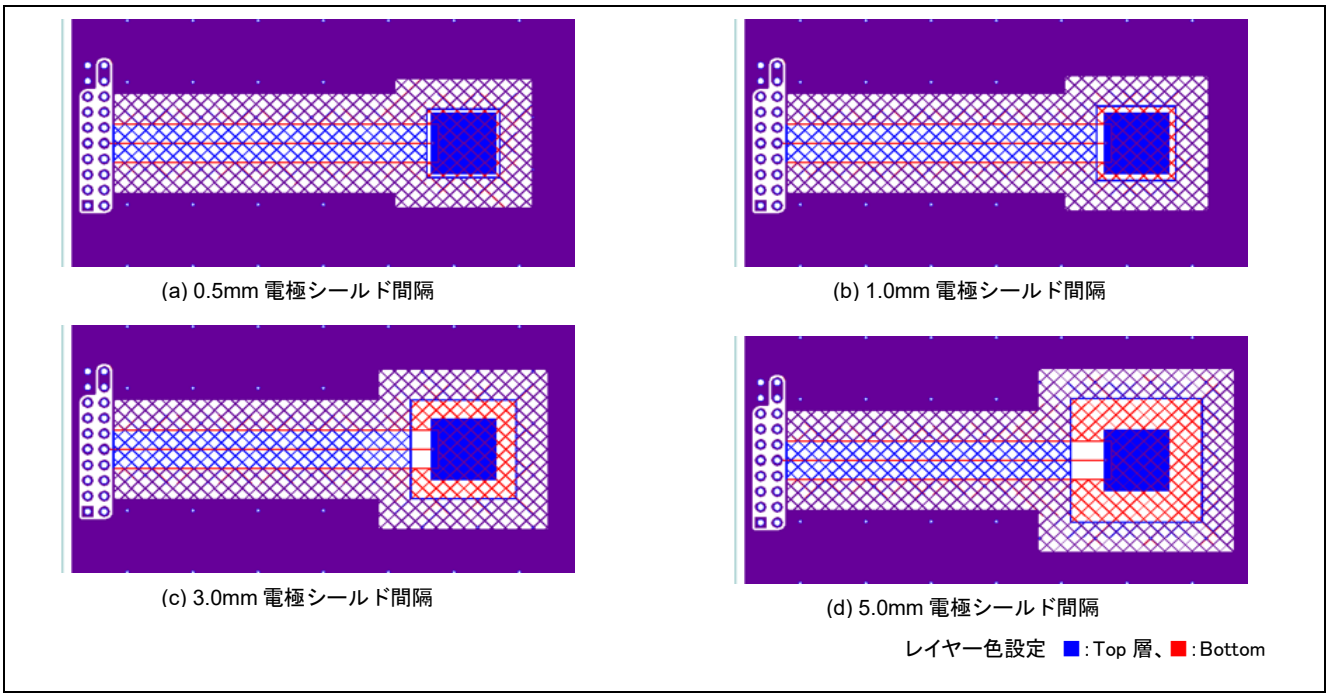


図 5-17 評価ボードパターン（メッシュ GND、電極-シールド間隔を変動）

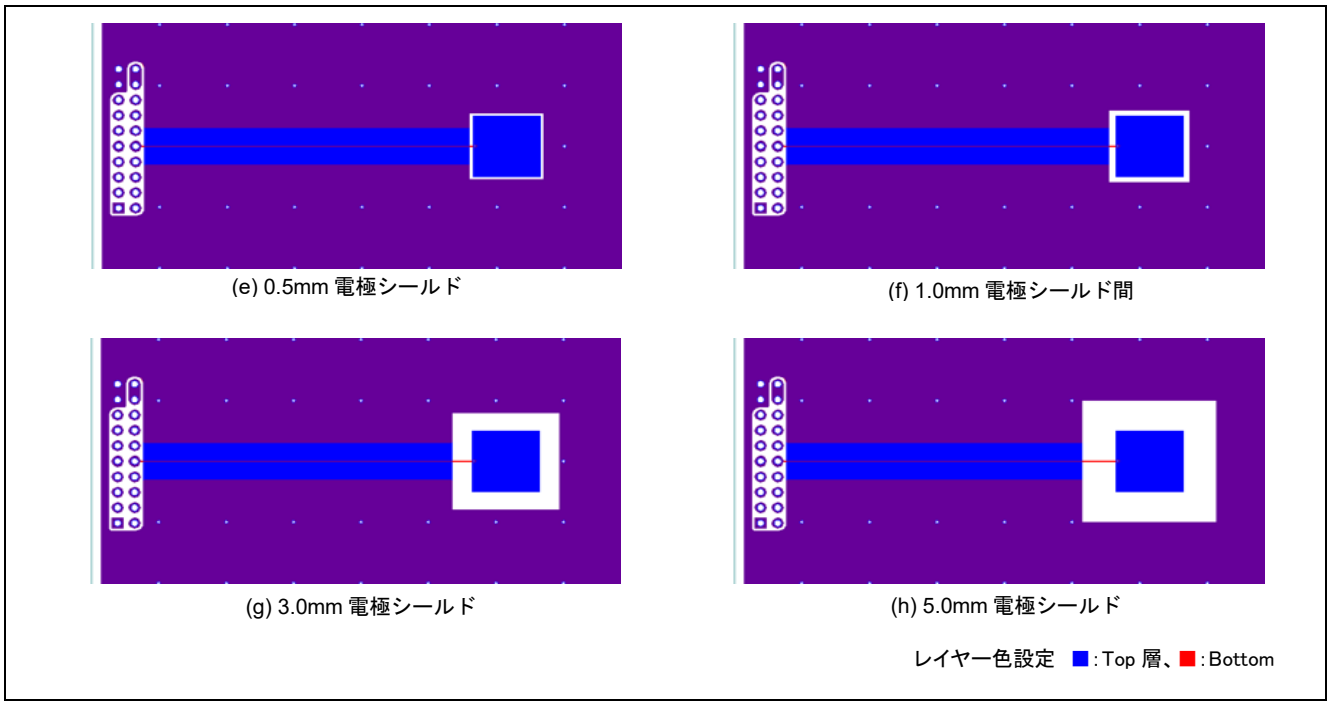


図 5-18 評価ボードパターン（ベタ GND、電極-シールド間隔を変動）

図 5-19 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の基板は電極直下にベタ GND パターンが無いためメッシュ 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。）

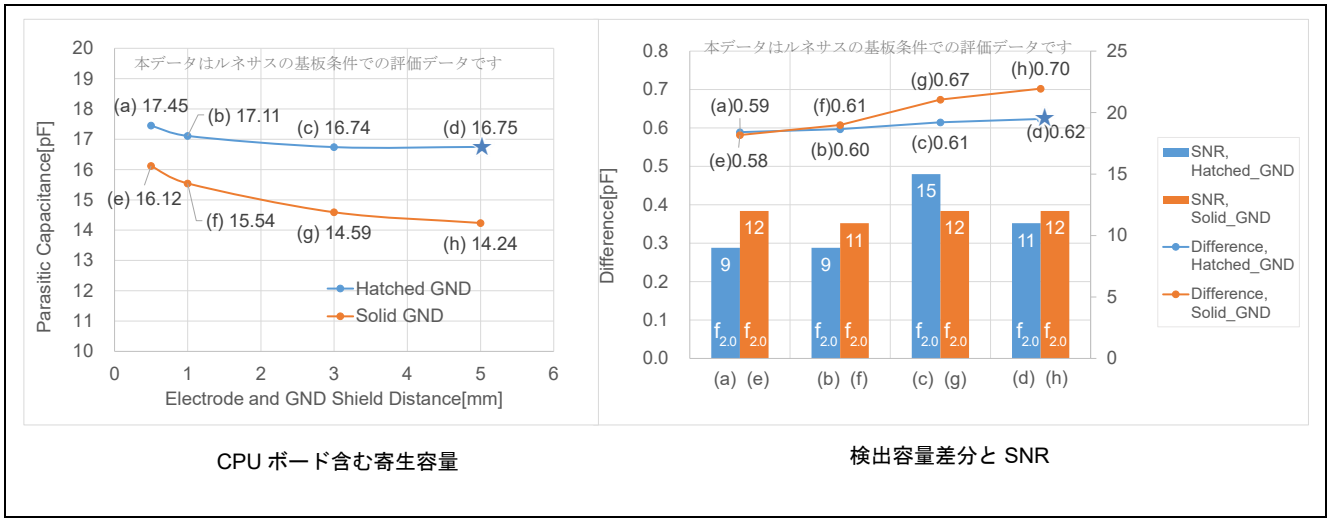


図 5-19 電極とシールド間隔と感度の特性

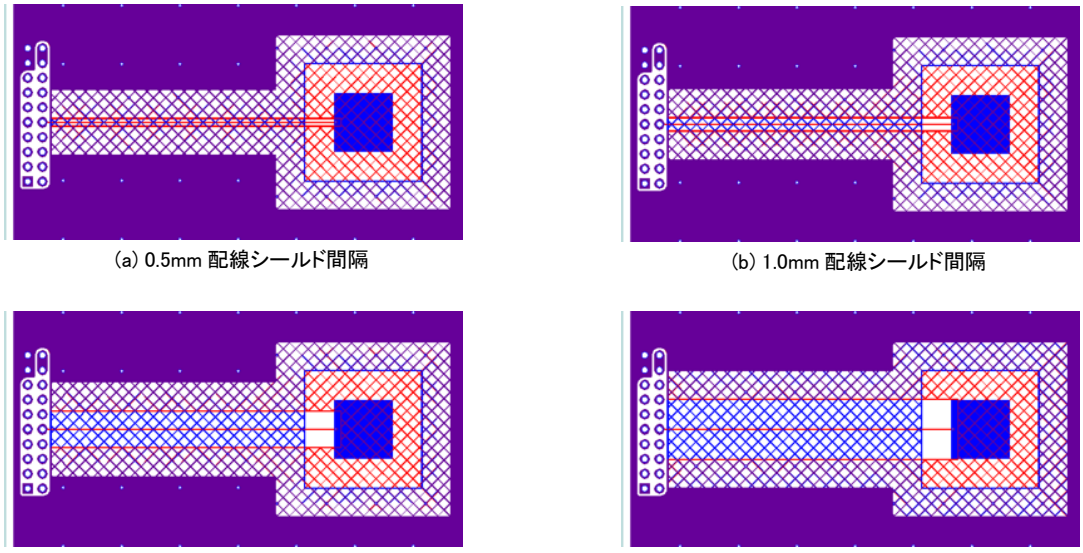
5.3.4.2　配線シールド間隔

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**	
オーバーレイパネル厚	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



(a) 0.5mm 配線シールド間隔

(b) 1.0mm 配線シールド間隔

(c) 3.0mm 配線シールド間隔

(d) 5.0mm 配線シールド間隔

レイヤー色設定　■:Top 層、■:Bottom

図 5-20 評価ボードパターン（メッシュ GND）

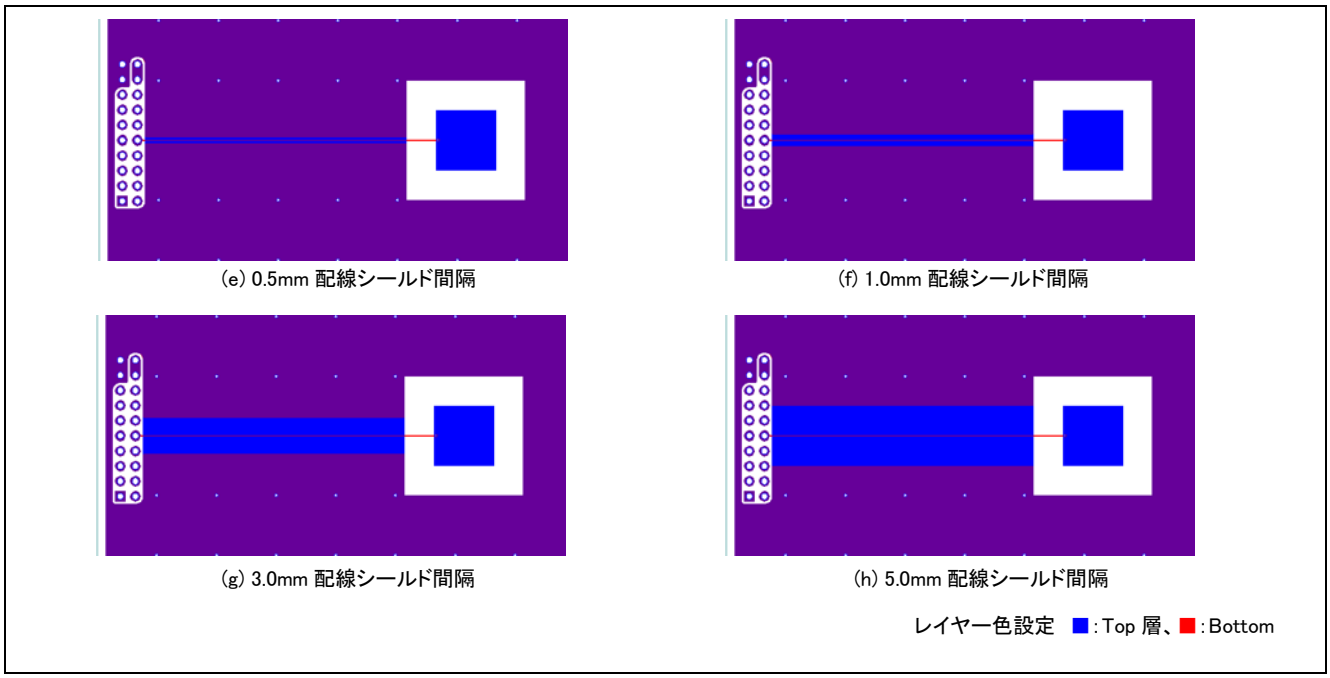


図 5-21 評価ボードパターン（ベタ GND）

図 5-22 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 パターンが無いためメッシュ 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。）」

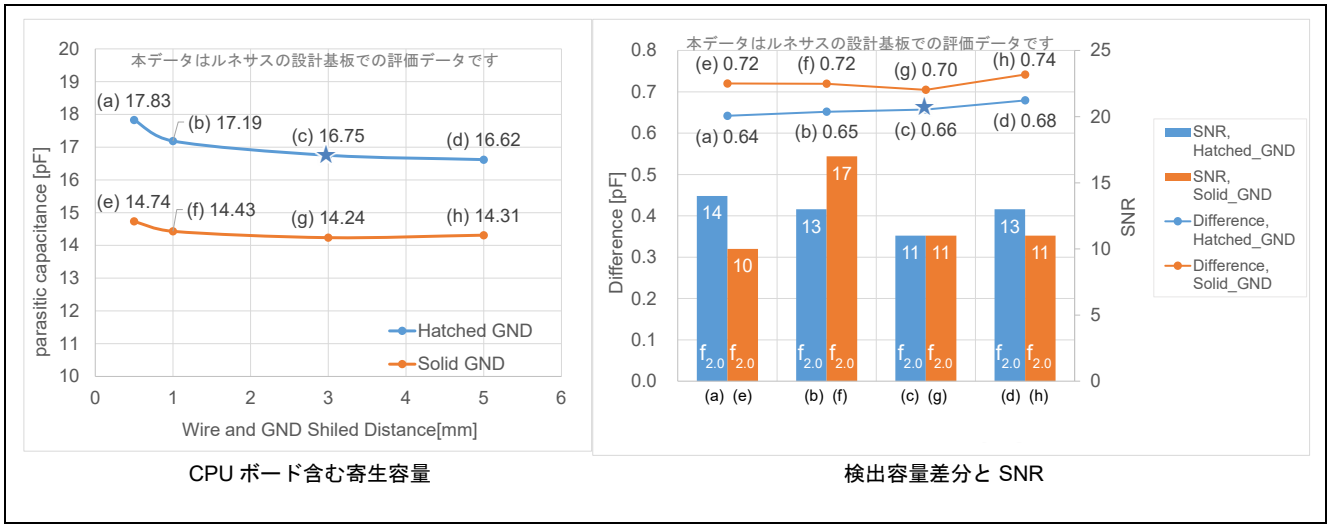


図 5-22 配線シールド間隔 と感度の特性

5.3.4.3　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**
オーバーレイパネル厚	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

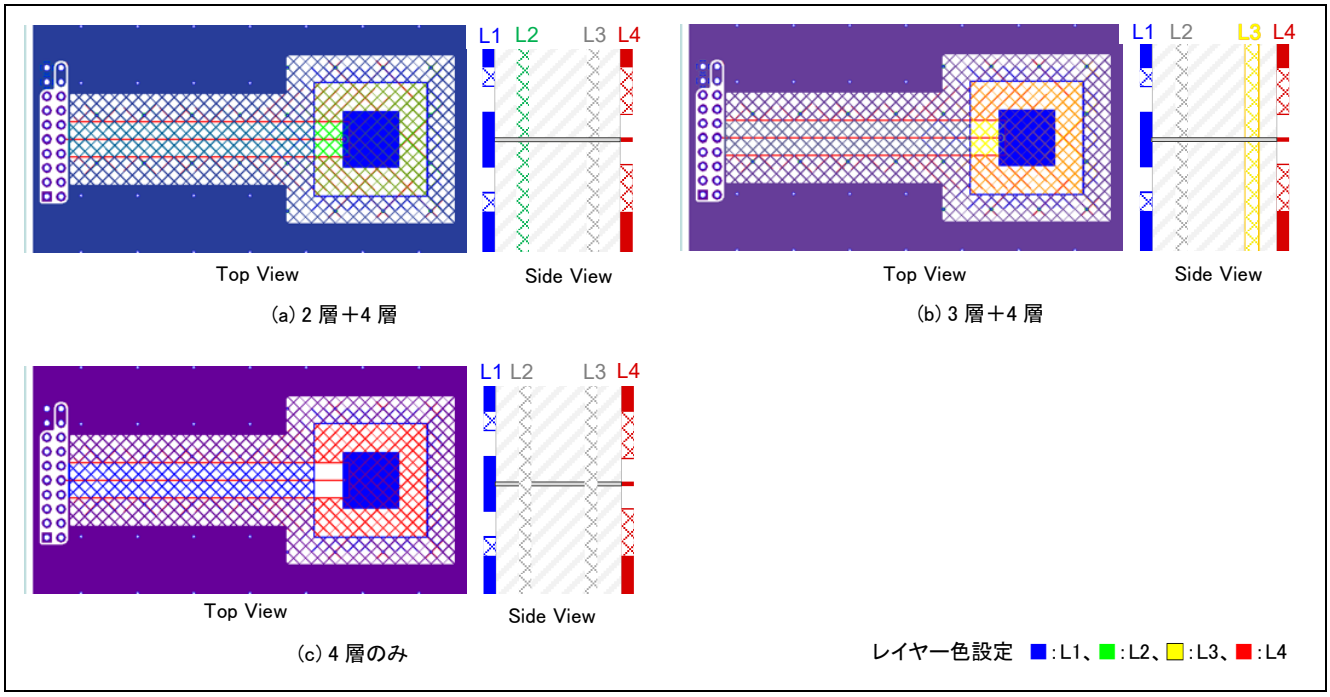


図 5-23 評価ボードパターン（メッシュ GND）

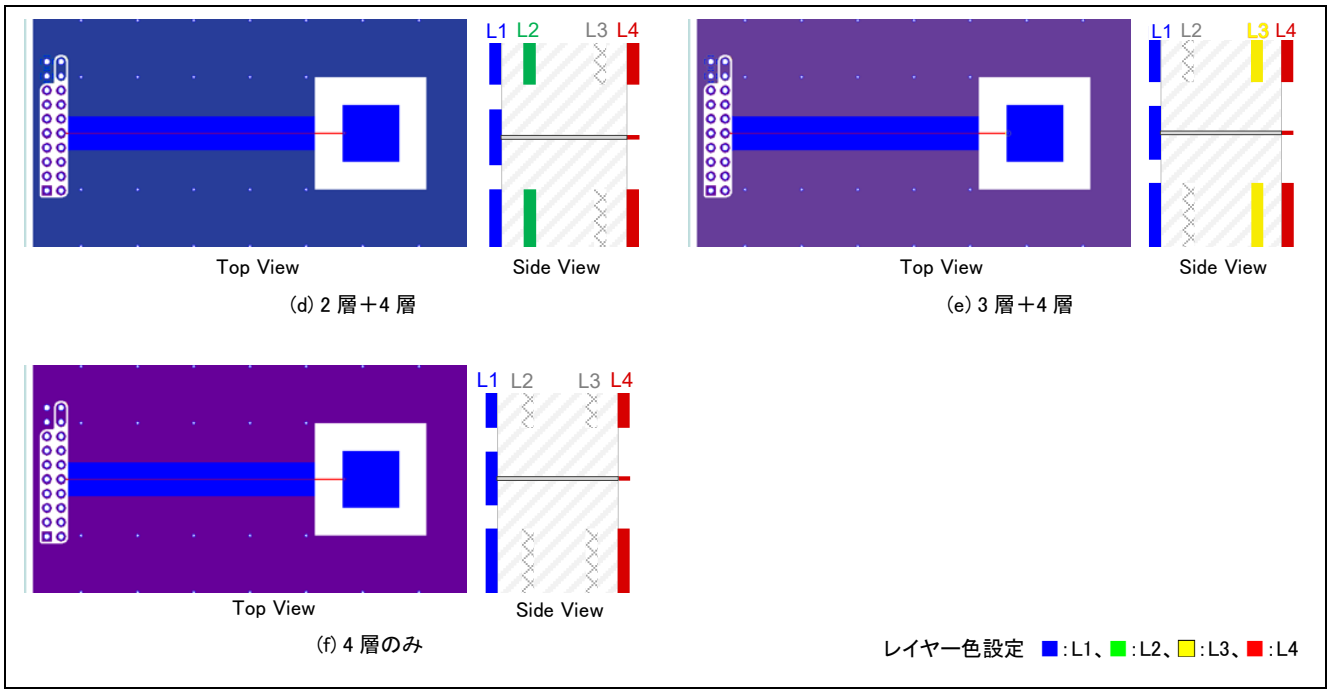


図 5-24 評価ボードパターン（ベタ GND）

図 5-25 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 を含みます。

- 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。

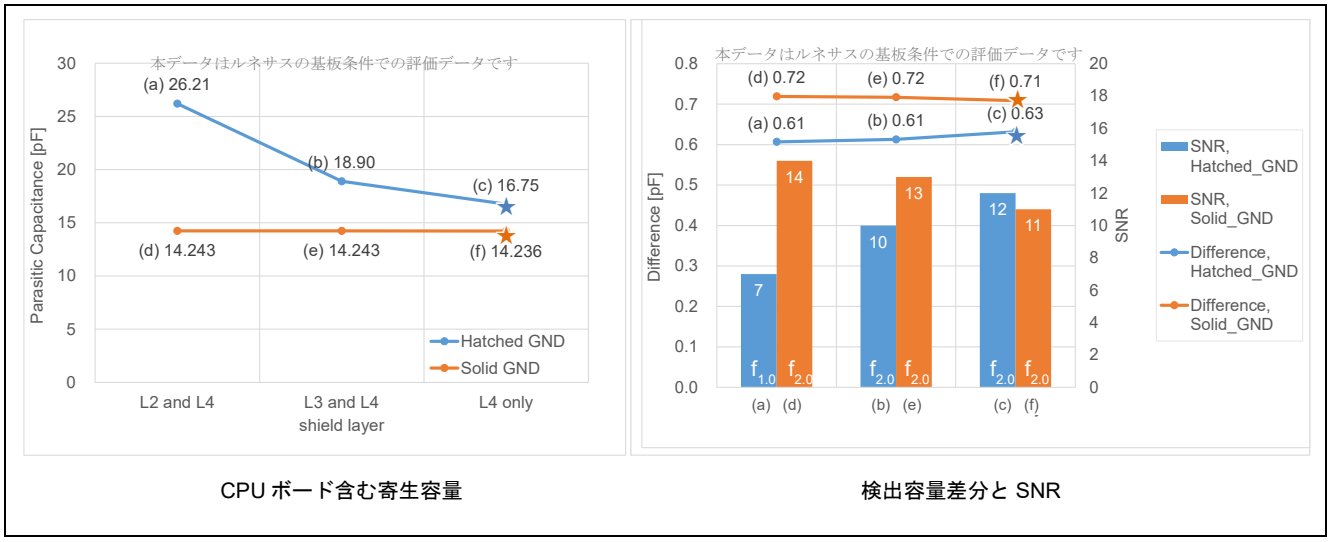


図 5-25 内層 GND と感度の特性

5.3.4.4　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**	
オーバーレイパネル厚	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

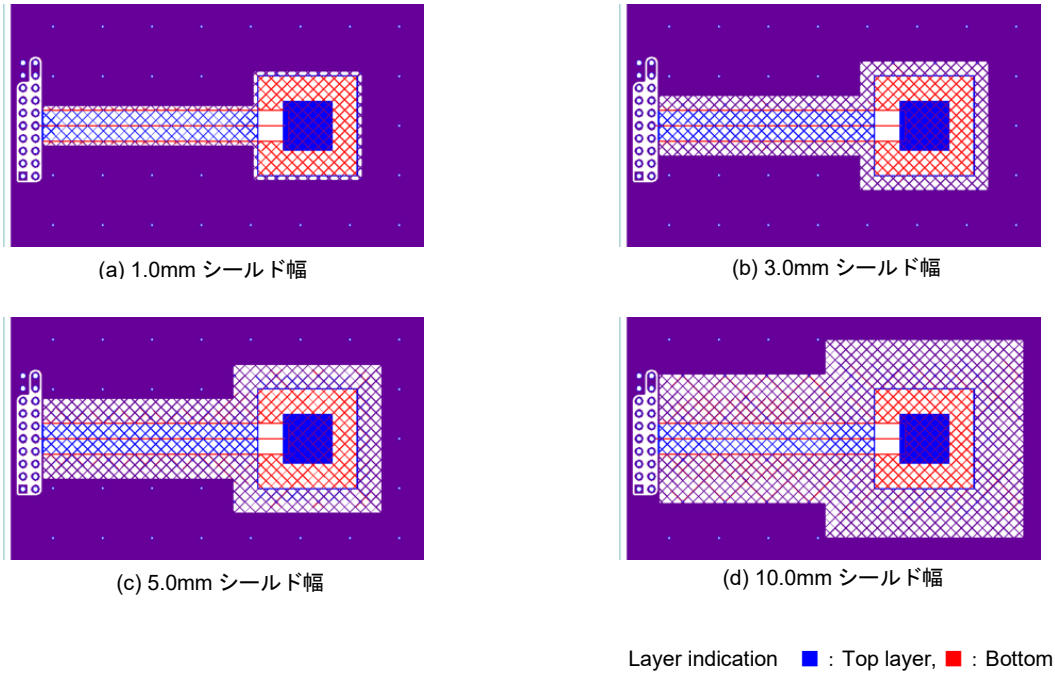
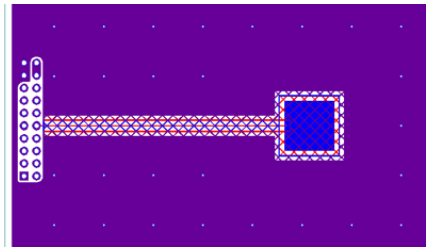
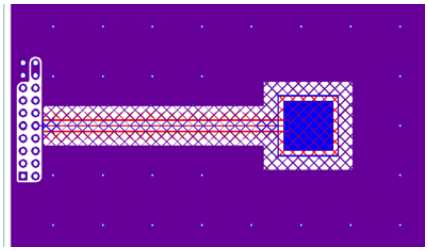


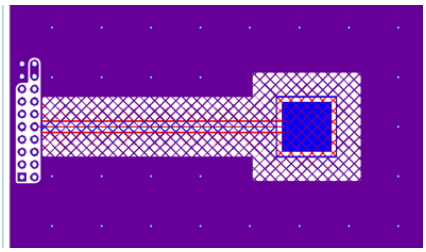
図 5-26 評価ボードパターン（電極および配線とメッシュシールドとの距離＝推奨値）



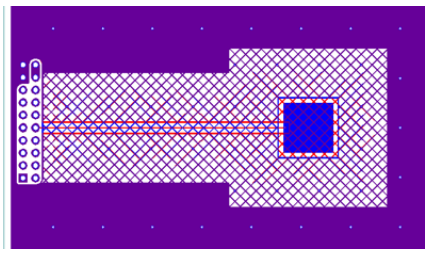
(e) 1.0mm シールド幅



(f) 3.0mm シールド幅



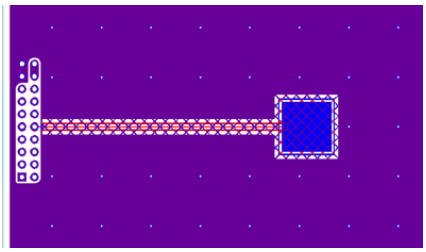
(g) 5.0mm シールド幅



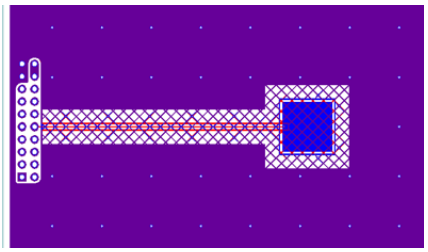
(h) 10.0mm シールド

Layer indication ■ : Top layer, ■ : Bottom layer

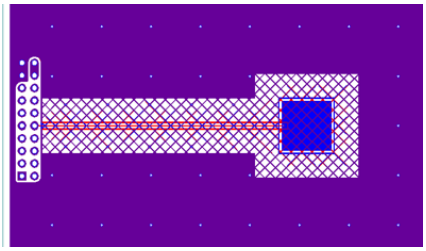
図 5-27 評価ボードパターン（電極および配線とメッシュシールドとの距離＝1.0mm）



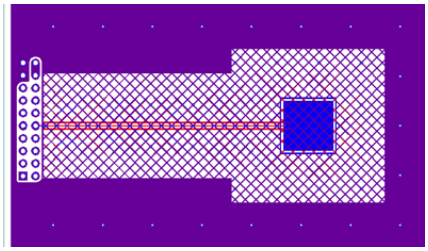
(i) 1.0mm シールド幅



(j) 3.0mm シールド幅



(k) 5.0mm シールド幅



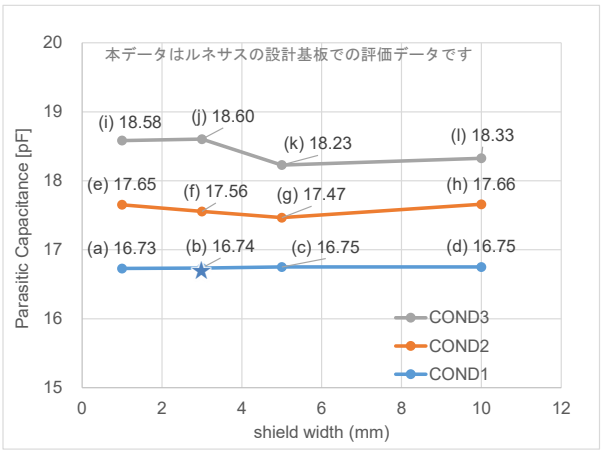
(l) 10.0mm シールド幅

Layer indication ■ : Top layer, ■ : Bottom layer

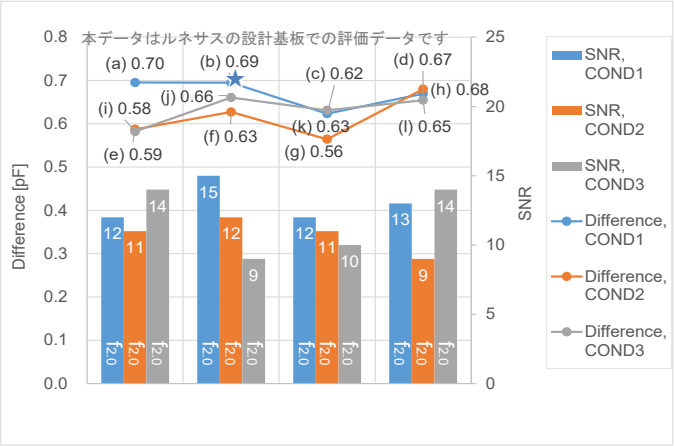
図 5-28 評価ボードパターン（電極および配線とメッシュシールドとの距離＝0.5mm）

図 5-29 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）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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-29 メッシュシールド幅 と感度の特性

5.3.4.5　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**	**-**	
オーバーレイパネル厚	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 5-30 に メッシュ寸法を示します。

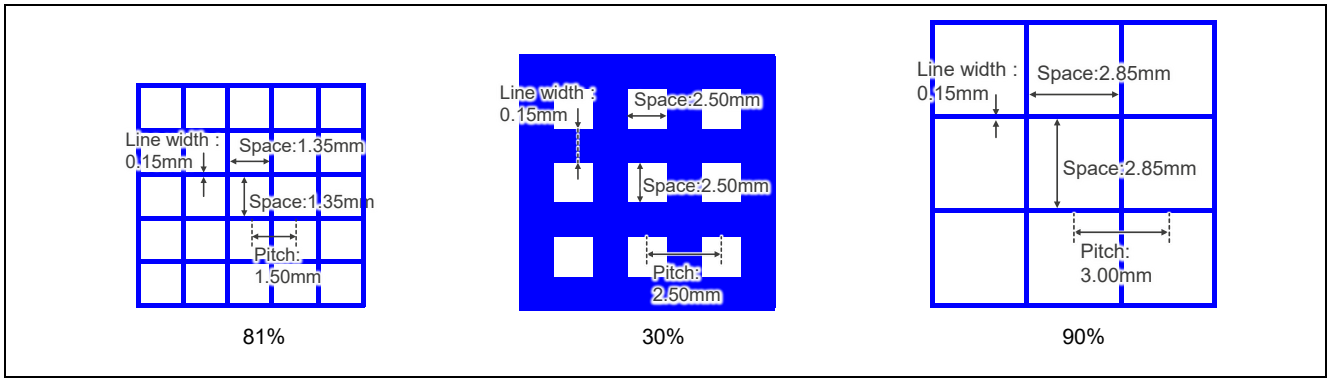


図 5-30 メッシュ寸法

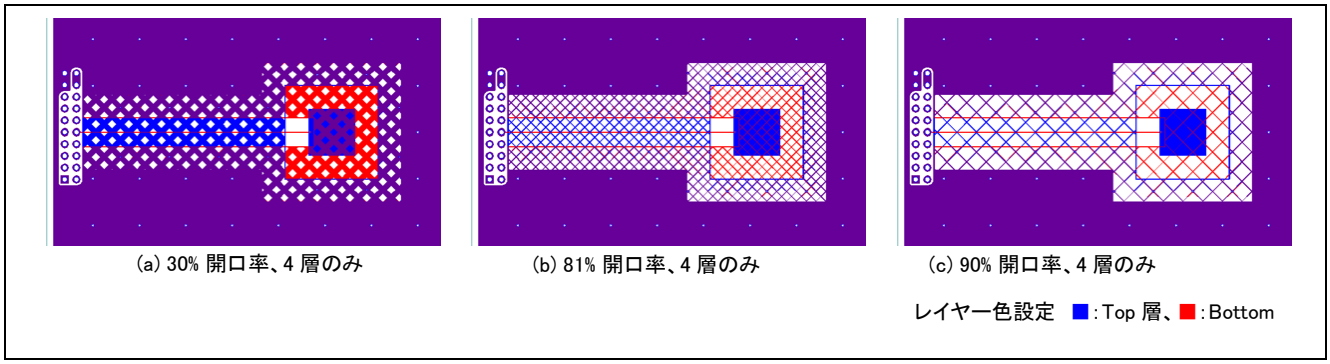
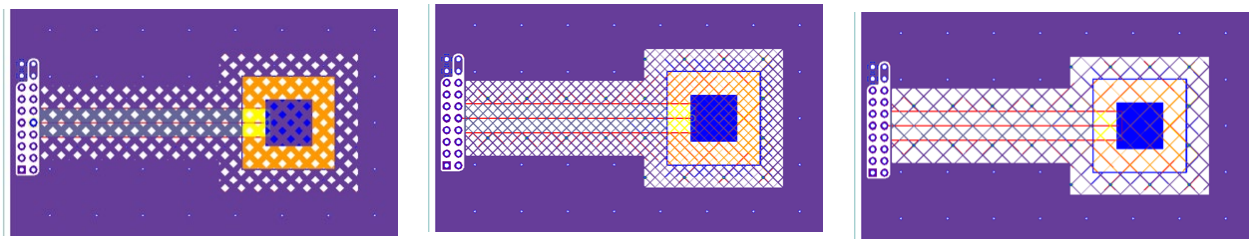


図 5-31 評価ボードパターン（両面基板、GND シールド）



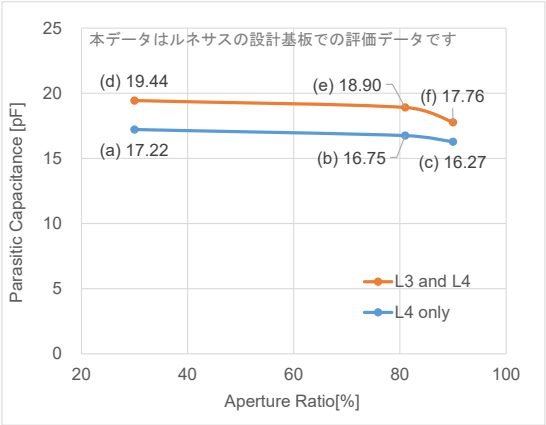
(d) 30% 開口率、3 層＋4 層　(e) 81% 開口率、3 層＋4 層　(f) 90% 開口率、3 層＋4 層

レイヤー色設定 ■:L1、■、L3、■:L4

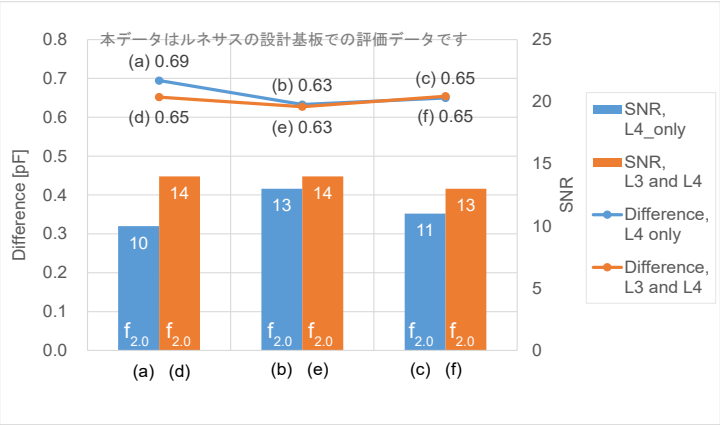
図 5-32 評価ボードパターン（4 層基板、GND シールド）

図 5-33 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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-33 メッシュシールド開口率 と感度の特性

5.3.5　アクティブシールド設計

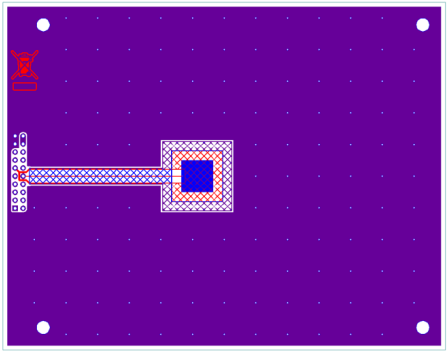
5.3.5.1　アクティブシールドの面積

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。

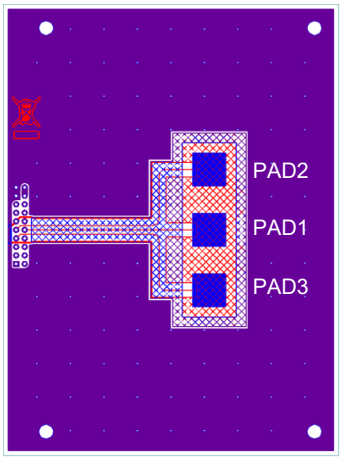
表 5-18 ボタン数によるアクティブシールド電極容量確認基板仕様

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	-	
オーバーレイパネル厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

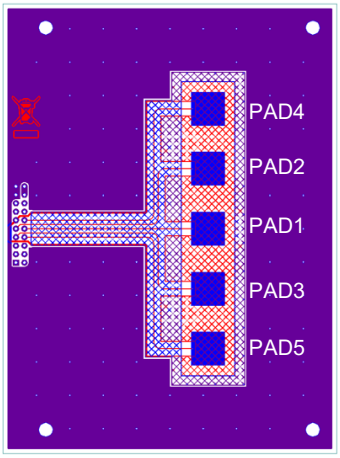
注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値



(a)1 ボタン



(b) 3 ボタン



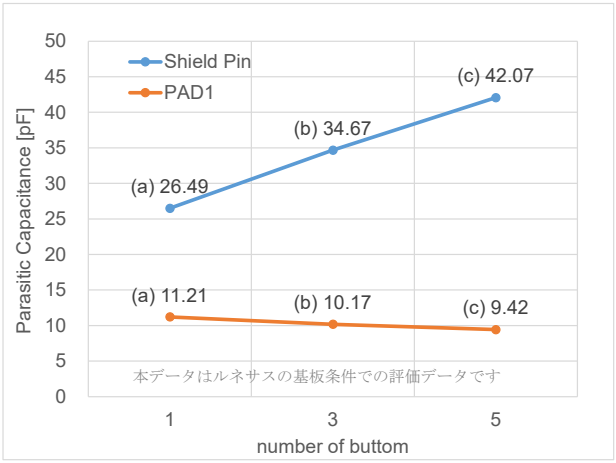
(c) 5 ボタン

レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom

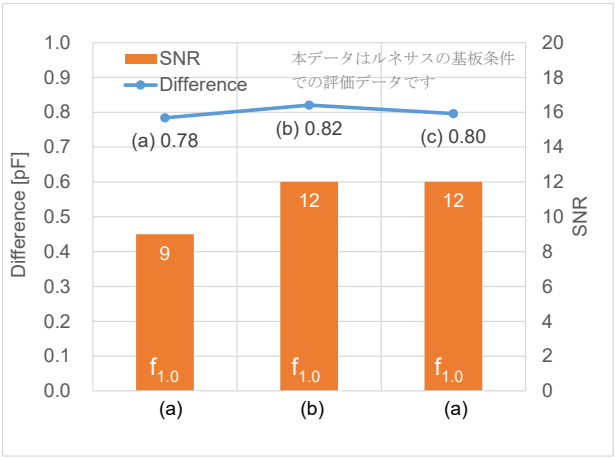
図 5-34 評価ボードパターン（アクティブシールド電極容量確認基板）

図 5-35 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信号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センサ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アクティブシールド信号端子の寄生容量が 50pF を超える場合があるため設計時は注意が必要です。



CPU ボード含む寄生容量



PAD1 の検出容量差分と SNR

図 5-35 アクティブシールド電極容量と感度の特性

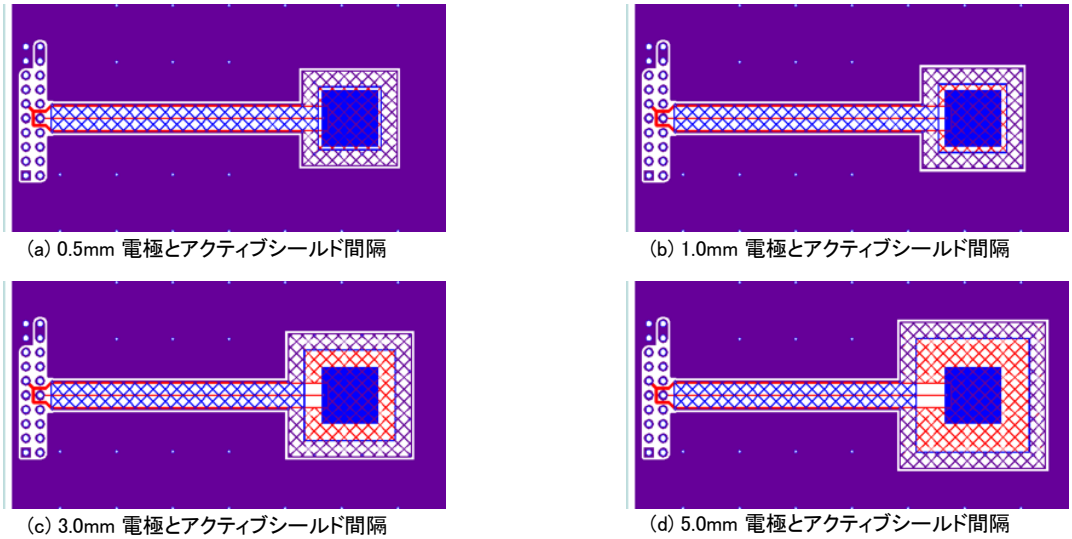
5.3.5.2　電極とアクティブシールドの間隔

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**	
オーバーレイパネル厚	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



(a) 0.5mm 電極とアクティブシールド間隔　(b) 1.0mm 電極とアクティブシールド間隔

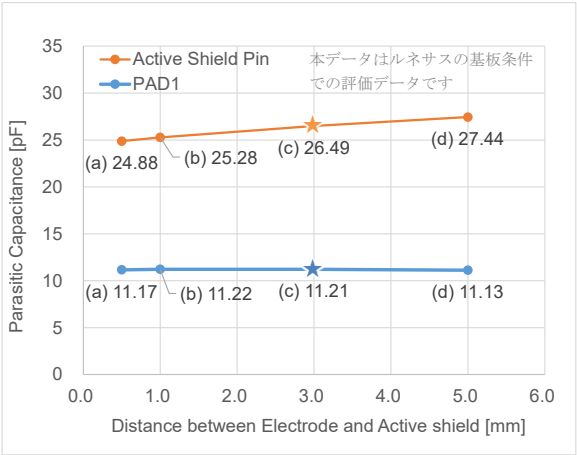
(c) 3.0mm 電極とアクティブシールド間隔　(d) 5.0mm 電極とアクティブシールド間隔

レイヤー色設定 ■:Top 層、■:Bottom

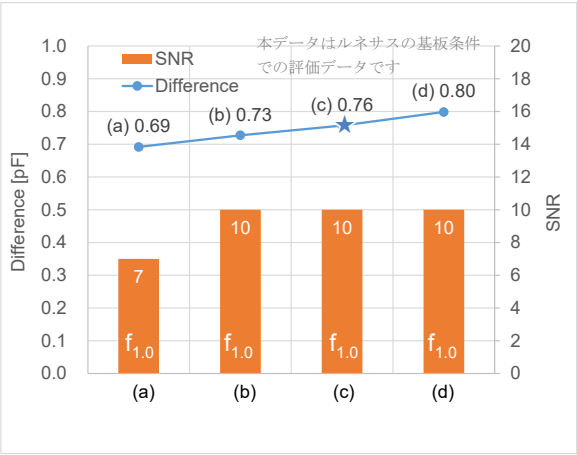
図 5-36 評価ボードパターン

図 5-37 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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-37 電極とアクティブシールド間距離と感度の特性

5.3.5.3　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**	
オーバーレイパネル厚	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

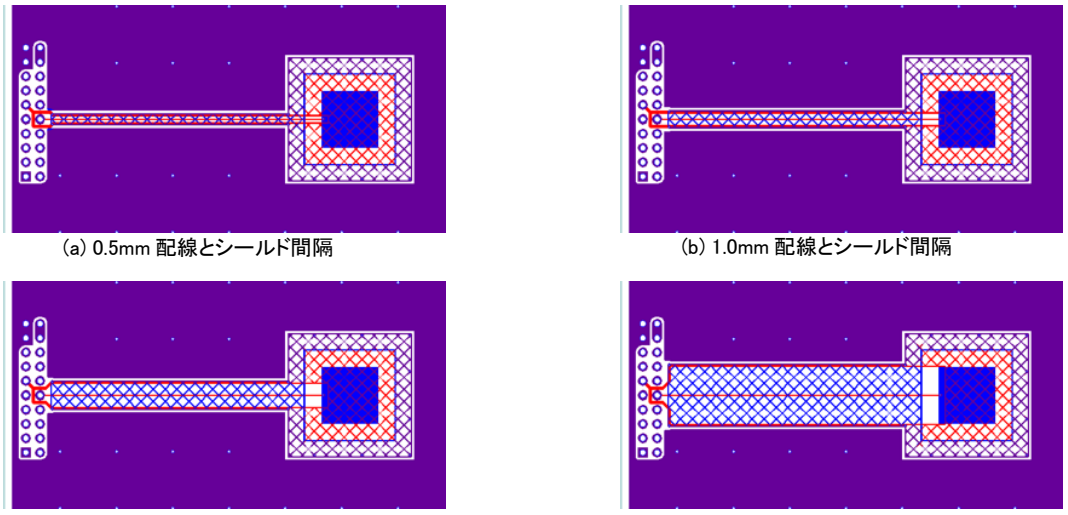
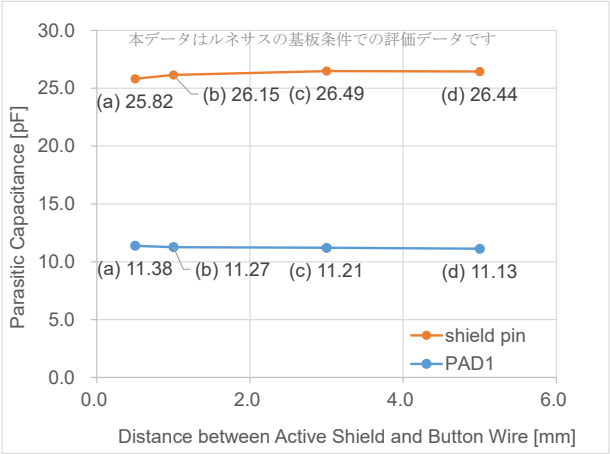


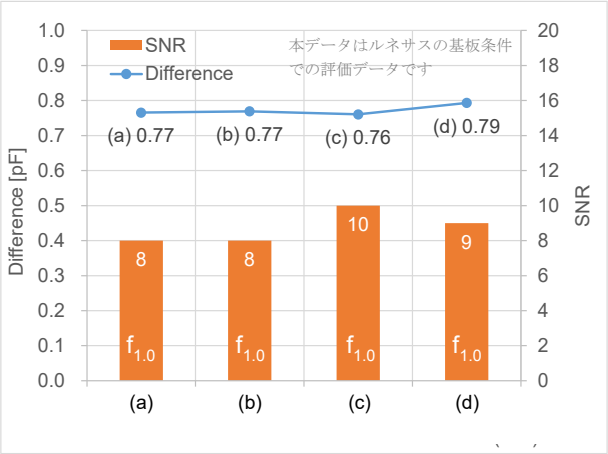
図 5-38 評価ボードパターン（配線とアクティブシールド間隔）

図 5-39 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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-39 配線とアクティブシールド間距離と感度の特性

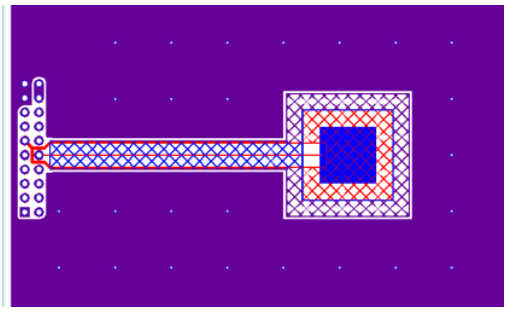
5.3.5.4　アクティブシールドとベタ GND との距離

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。

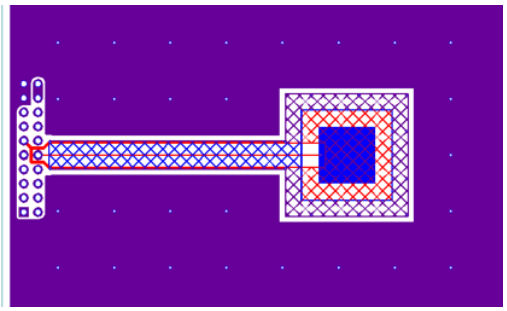
表 5-21 アクティブシールドとベタ GND 間隔変動時の基板仕様

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**	
オーバーレイパネル厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

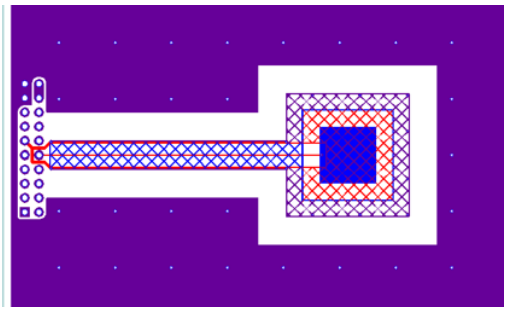
注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値



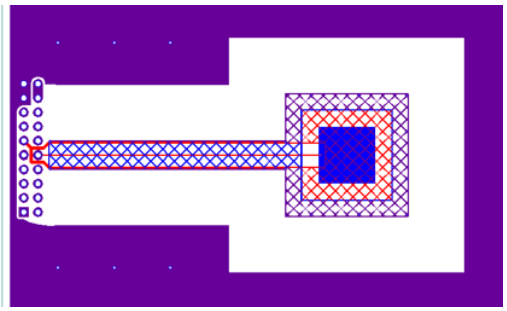
(a) 0.5mm メッシュ GND とベタ GND の間隔



(b) 1.0mm メッシュ GND とベタ GND の間隔



(c) 5.0mm メッシュ GND とベタ GND の間隔



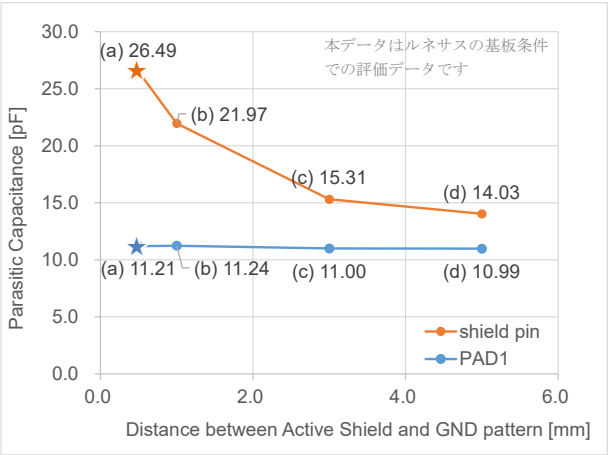
(d) 10.0mm メッシュ GND とベタ GND の間隔

レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom

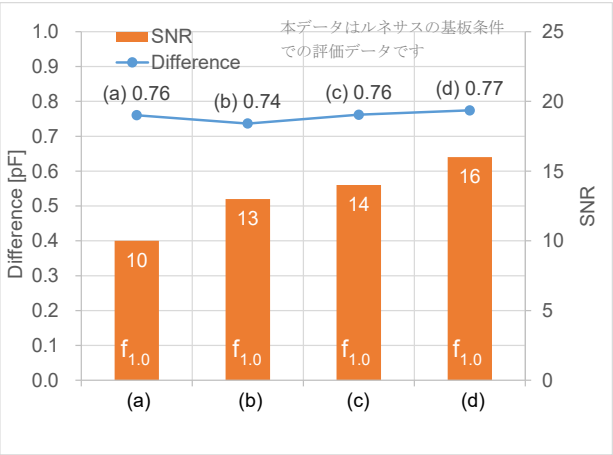
図 5-40 評価ボードパターン（アクティブシールドとベタ GND との距離の感度特性）

図 5-41 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信号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センサ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。



CPU ボード含む寄生容量



検出容量差分と SNR

図 5-41 アクティブシールドとベタ GND の距離と感度の特性

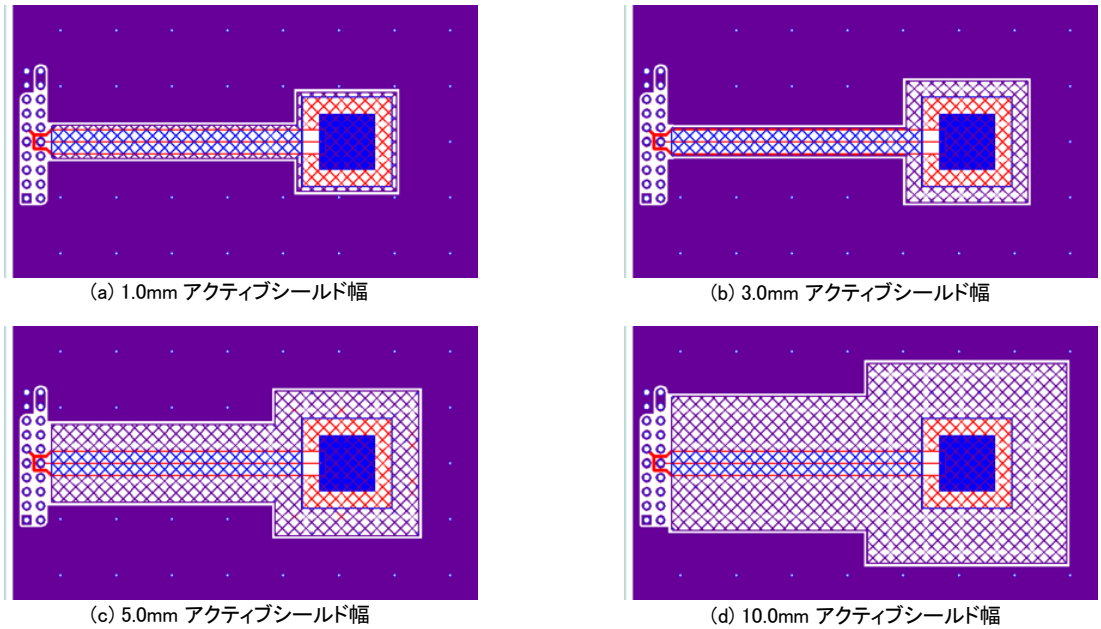
5.3.5.5　アクティブシールド幅

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**	
オーバーレイパネル厚	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



レイヤー色設定　■:Top 層、■:Bottom

図 5-42 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）

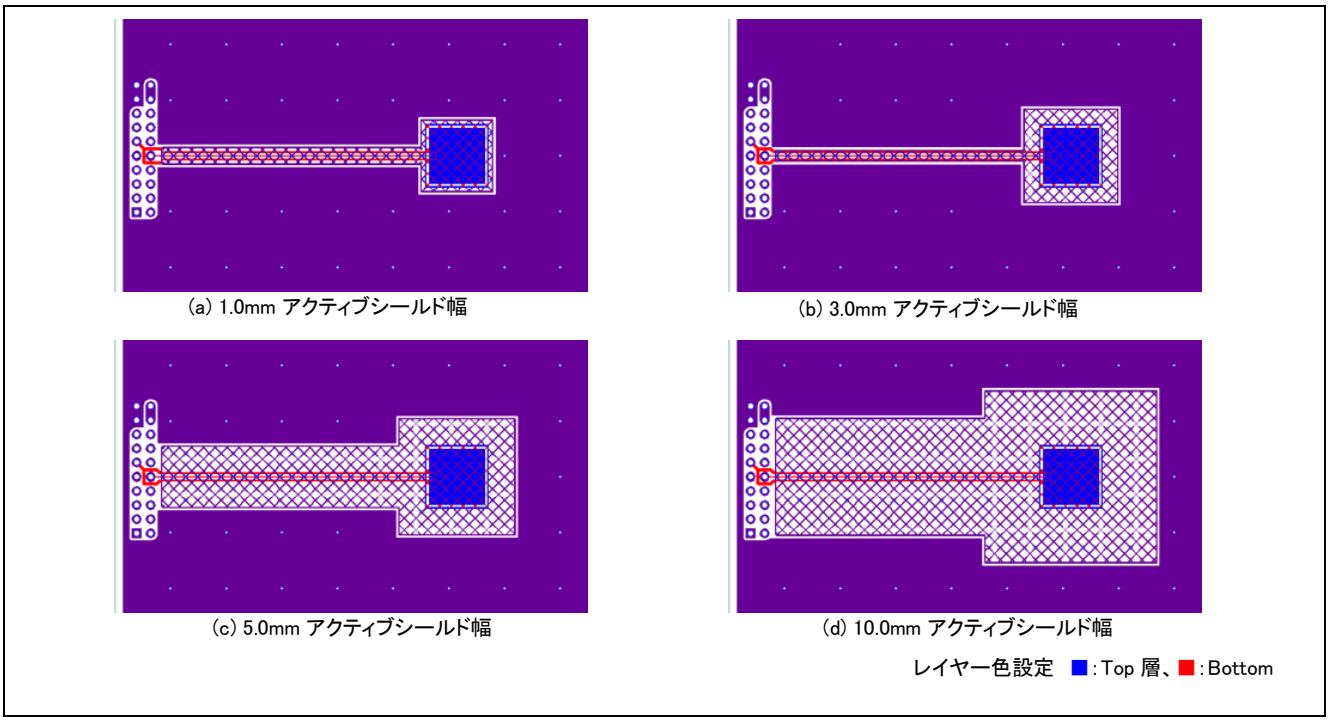


図 5-43 評価ボードパターン（電極＆配線とアクティブシールド間隔：0.5 ㎜）

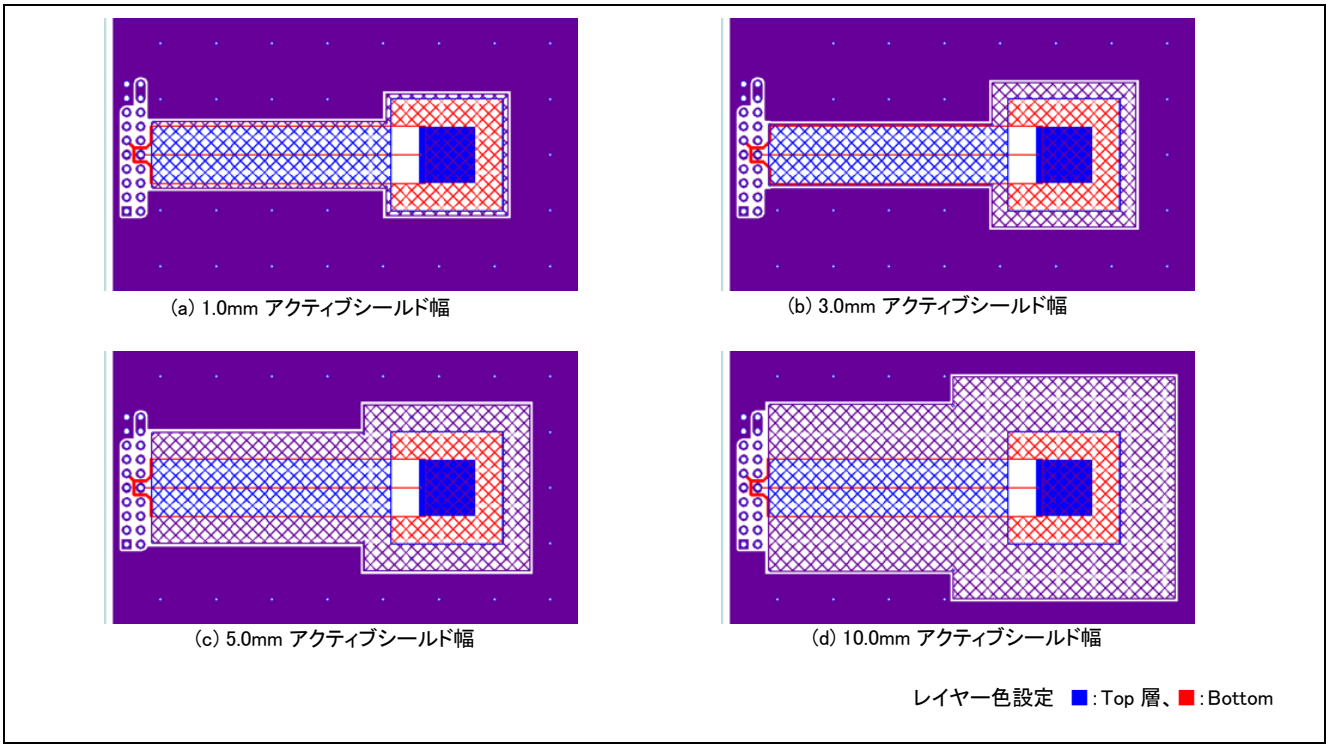
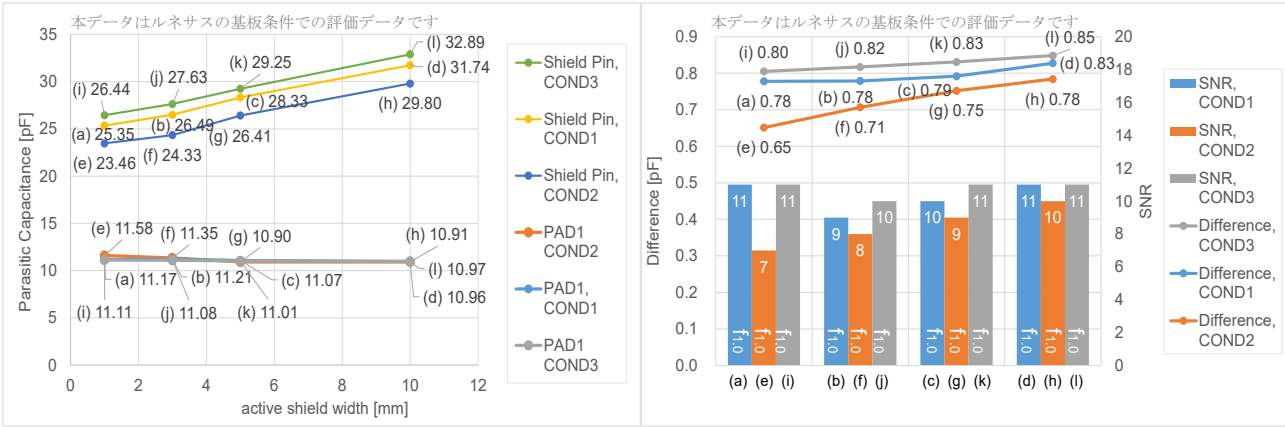


図 5-44 評価ボードパターン（電極＆配線とアクティブシールド間隔：5.0 ㎜）

図 5-45 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信号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センサ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。



CPU ボード含む寄生容量　　検出容量差分と SNR

図 5-45 アクティブシールド幅と感度の特性

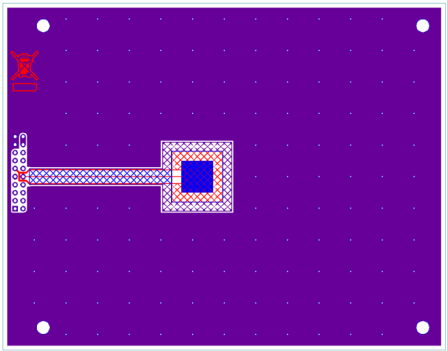
5.3.5.6　アクティブシールド信号端子のダンピング抵抗値

表 5-23 に アクティブシールド信号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信号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	-	
オーバーレイパネル厚	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



レイヤー色設定 ■:Top 層、■:Bottom

図 5-46 評価ボードパターン

図 5-47 に アクティブシールド信号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信号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 Ω より小さくする場合は十分な評価を行ってください。

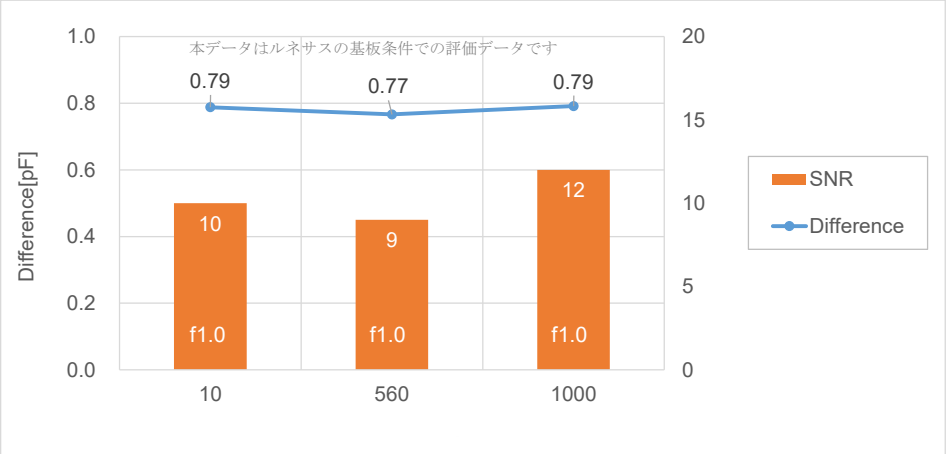


図 5-47 アクティブシールド信号端子のダンピング抵抗値と感度の特性

5.3.6　基板設計以外のパラメータ

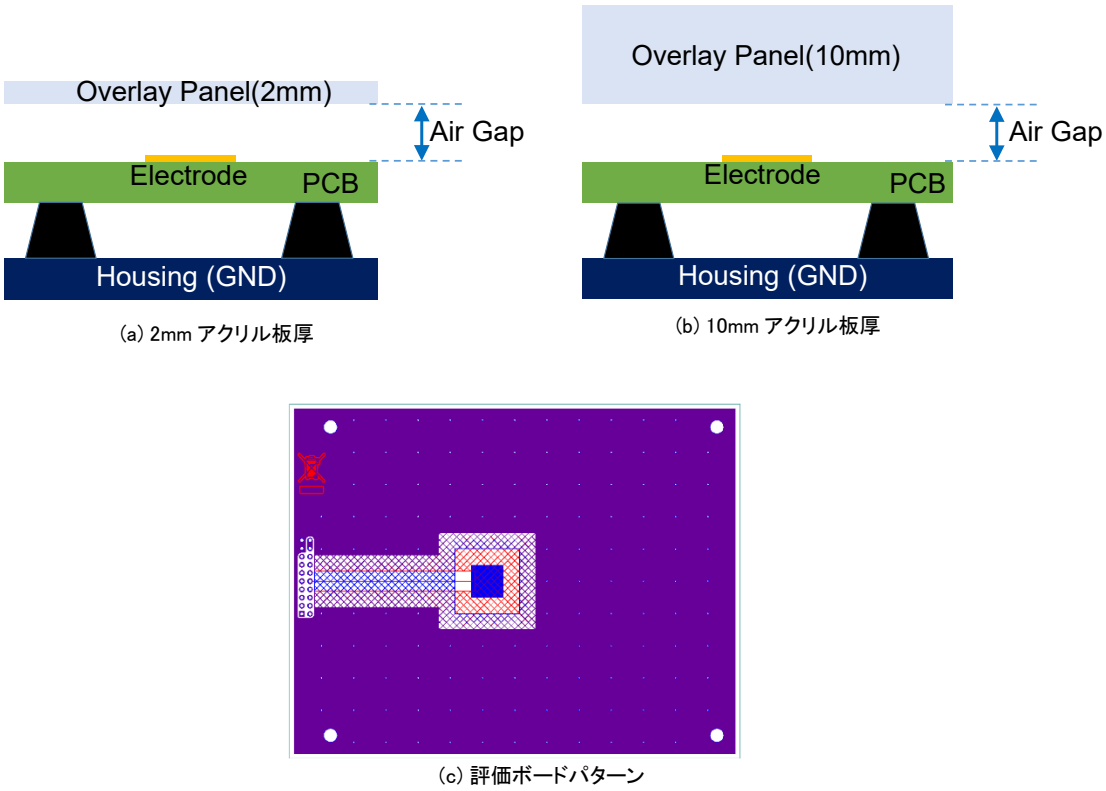
5.3.6.1　オーバーレイパネル設計と感度の特性

表 5-24 に オーバーレイパネル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 オーバーレイパネル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
オーバーレイパネル厚	**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



(a) 2mm アクリル板厚

(b) 10mm アクリル板厚

(c) 評価ボードパターン

図 5-48 評価条件

図 5-49 に オーバーレイパネルの空気層と寄生容量を示します。図 5-50 に オーバーレイパネル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。

- オーバーレイパネル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パネル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。

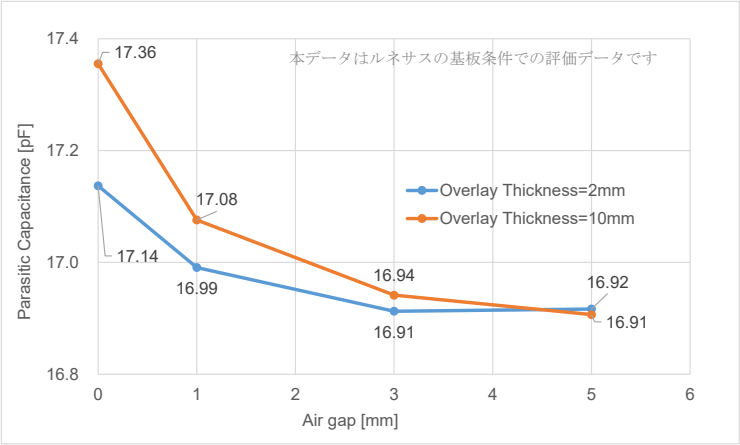
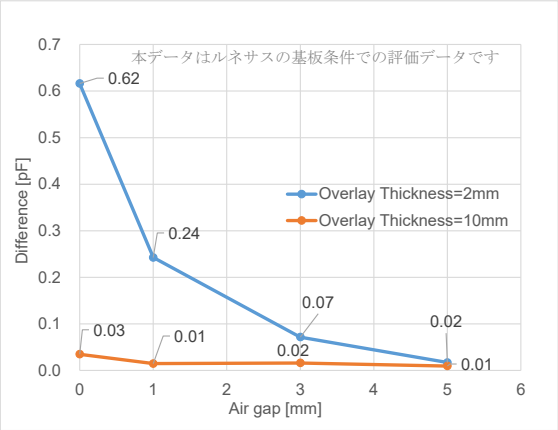
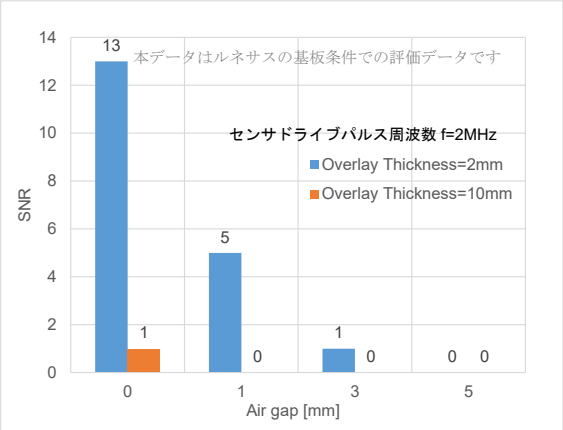


図 5-49 オーバーレイパネルの空気層と寄生容量



検出容量差分



SNR

図 5-50 オーバーレイパネルの空気層と感度の特性

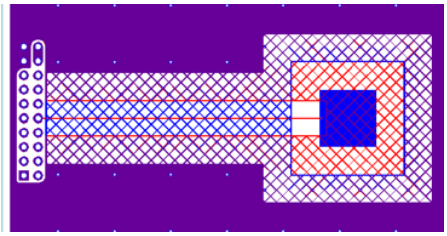
5.3.6.2　電極のダンピング抵抗値と感度の特性

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	-	
オーバーレイパネル厚	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



レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom 層

図 5-51 評価ボードパターン

図 5-52 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センサ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センサ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 Ω より小さくする場合は十分な評価を行ってください。

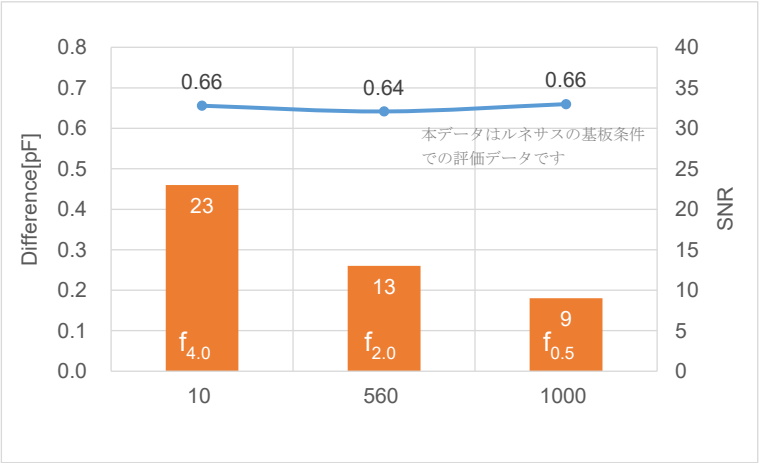


図 5-52 ダンピング抵抗値 と感度の特性

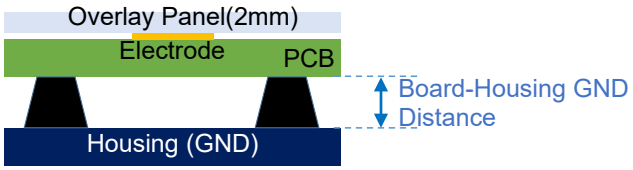
5.3.6.3　筐体 GND 間隔と感度の特性

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。

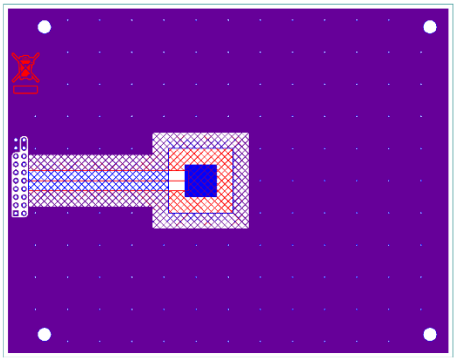
表 5-26 筐体 GND の間隔変動時の基板仕様

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**	
オーバーレイパネル厚	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



基板と筐体 GND の間隔



評価ボードパターン

図 5-53 評価条件

図 5-54 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。

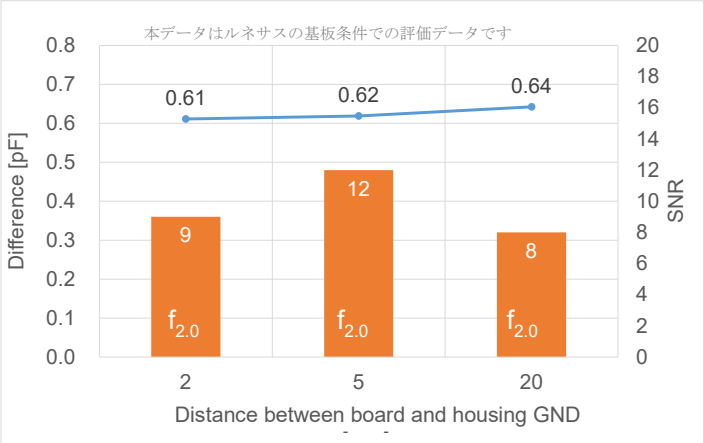


図 5-54 筐体 GND 間隔と感度の特性

5.3.6.4 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**	
オーバーレイパネル厚	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 5-55 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。

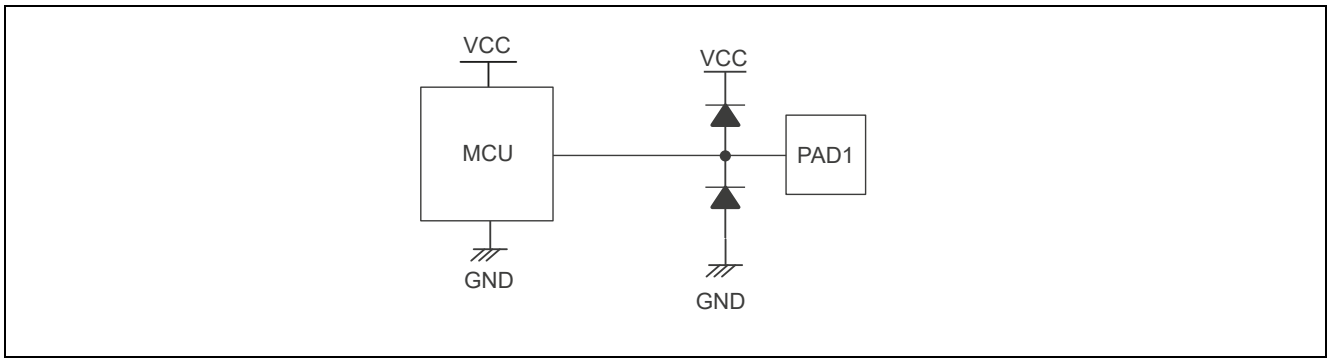


図 5-55 ESD 保護ダイオード寄生容量評価ボード回路図

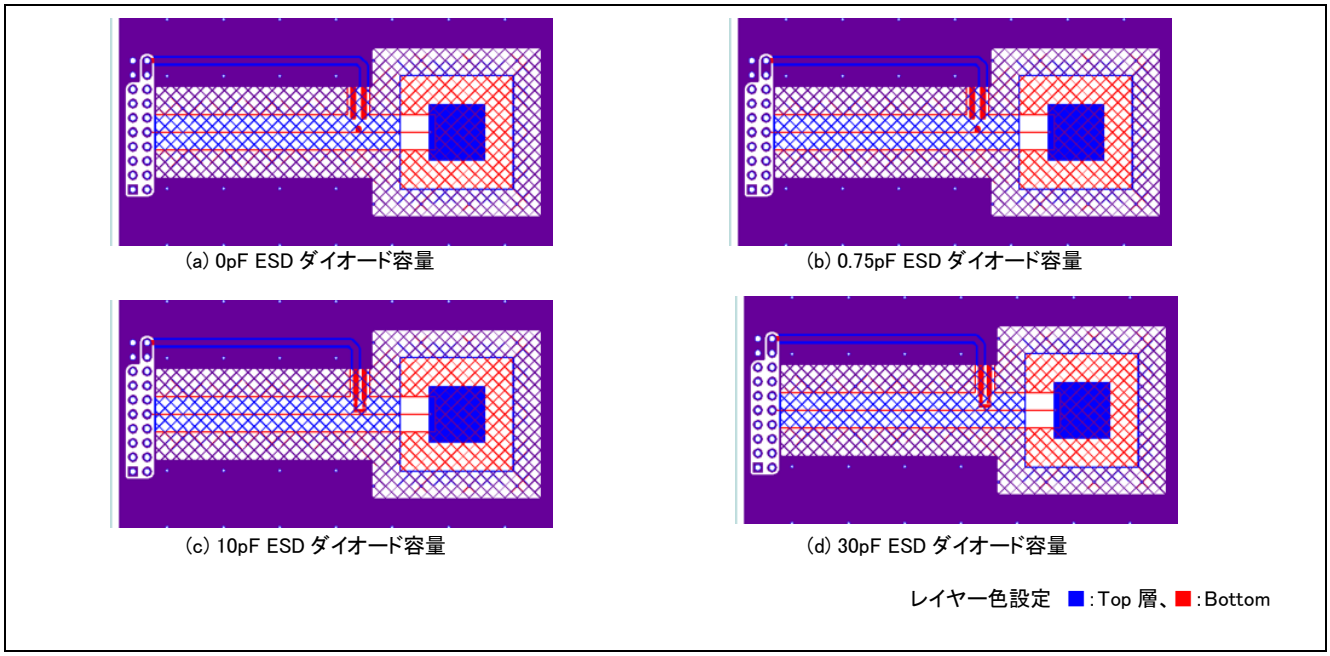
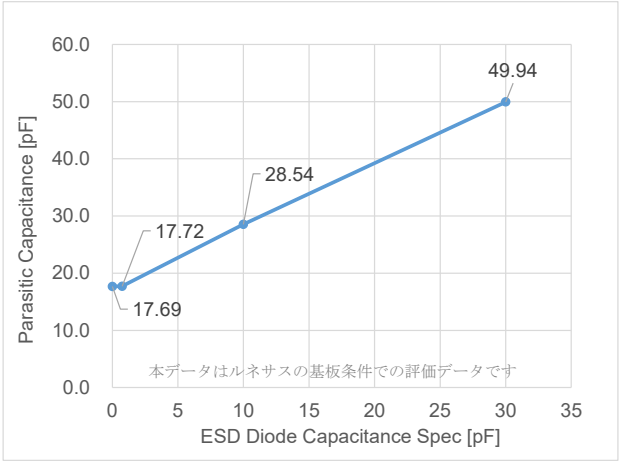


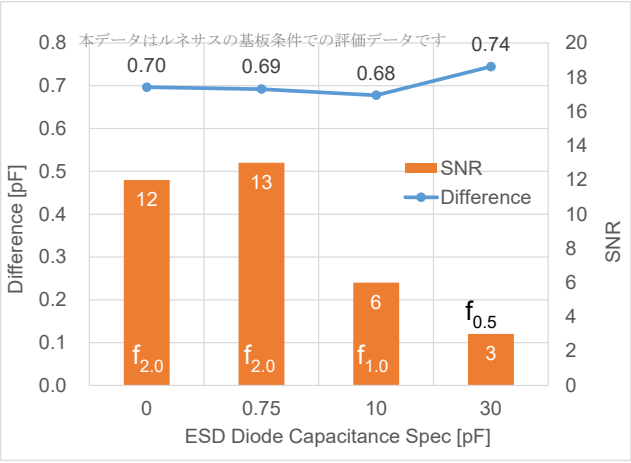
図 5-56 評価ボードパターン

図 5-57 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センサ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。



(i) CPU ボード含む寄生容量



(ii) 検出容量差分と SNR

図 5-57 ESD 保護ダイオード寄生容量と感度の特性

5.3.6.5　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	-	
オーバーレイパネル厚	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）
使用マイコン	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）
使用マイコン	RX140（R5F51406ADFN）
動作周波数	48MHz

表 5-31 に RX マイコンの評価ソフトウェア開発環境、図 5-58 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 マイコン）

項目	仕様
統合開発環境	Renesas e² 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 5-58 使用コンポーネント一覧

図 5-59 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）が 0.526ms、CTSU2（RX140）は 0.256ms です。CTSU2 はハードウェアでマルチクロック計測をサポートしており、QE for Capacitive Touch の自動調整により 3 種類のマルチクロック測定を設定します。このときの 1 周波数あたりの計測時間は 0.128ms です。マルチクロック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。

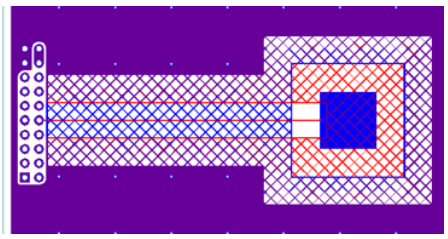
Method	Kind	Name	Touch Sensor	Parasitic Capacitance[pF]	Sensor Drive Pulse Frequency[MHz]	Threshold	Scan Time[ms]	Overflow
config01	Button(self)	PAD1	TS29	15.105	1.886 (BASE: 2.0)	1240	0.559	None

(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 5-59 QE for Capacitive Touch の自動調整結果



レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom 層

図 5-60 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 5-61 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。

注：マイコンの電源電圧が 2.4V 未満では通常動作モードは設定禁止です。そのため図 5-61 には電源電圧 1.8V のデータはありません。

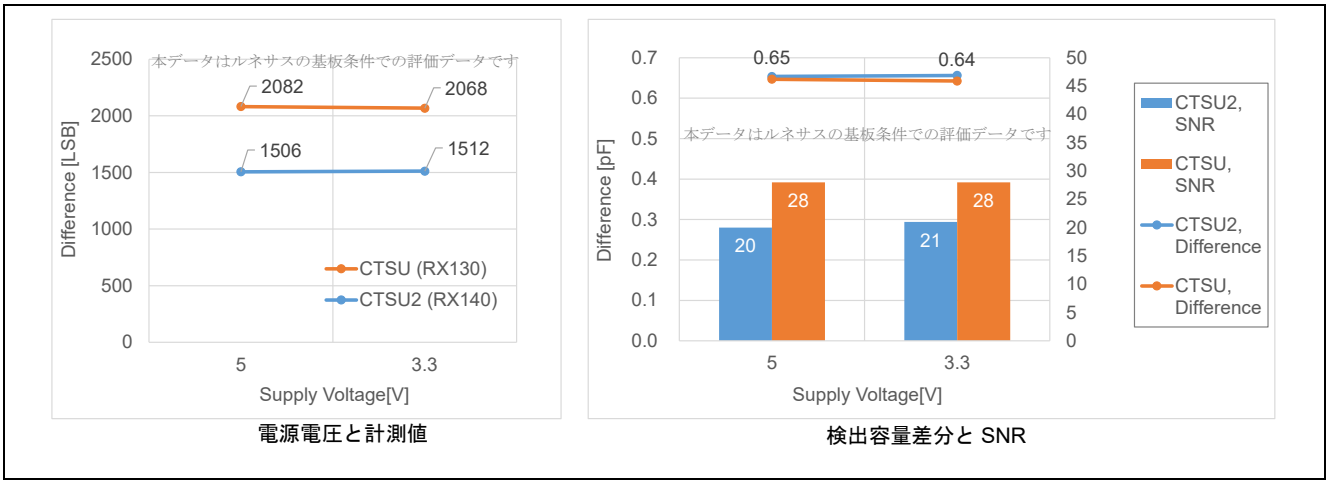


図 5-61 通常モードの電源電圧と感度の特性

(2) 低電圧モード

図 5-62 に低電圧モードの電源電圧 と感度の特性を示します。低電圧モード動作とは、RX130 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。マイコンによっては低電圧モードをサポートしていません。マイコンが本機能をサポートしているかはご使用になるマイコン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マイコン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。

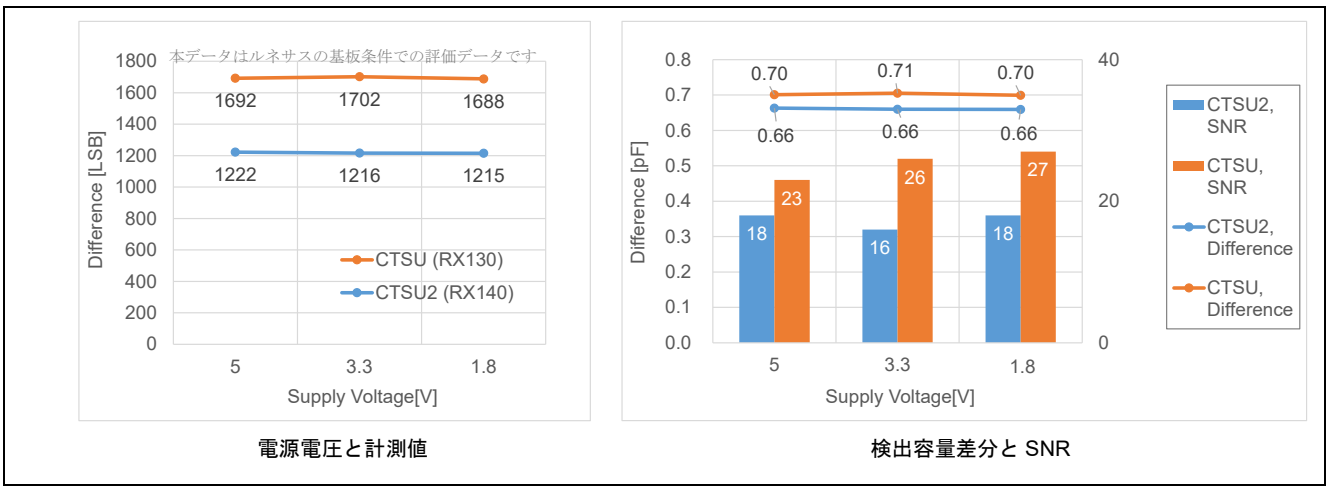


図 5-62 低電圧モードの電源電圧 と感度の特性

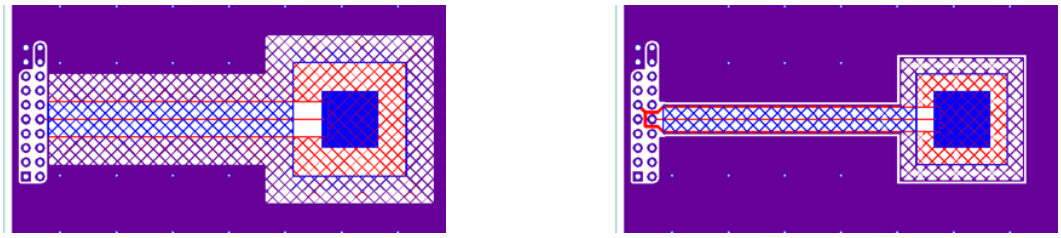
5.3.6.6　配線タッチ時の感度

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**	**-**	
オーバーレイパネル厚	2.0	mm	アクリル
空気層	0	mm	
基板スペーサー	5.0	mm	

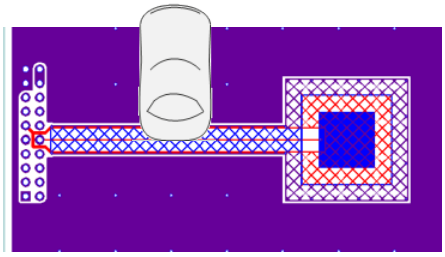
注：表記以外は表 5-5 で示す推奨設計値



(a) メッシュ GND　　(b) アクティブシールド

レイヤー色設定　■：Top 層、■：Bottom 層

図 5-63　評価ボードパターン



Note　2mm オーバーレイパネルを介してタッチ

図 5-64　配線タッチ位置

図 5-65 に　配線タッチ時の感度を示します。オーバーレイパネル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。

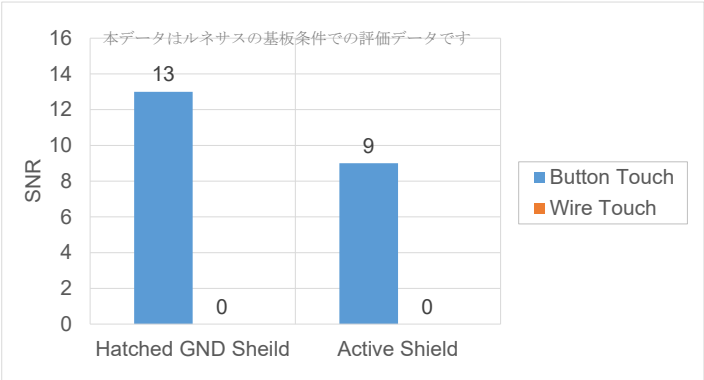


図 5-65　配線タッチ時の感度

用語集

用語	説明
CTSU	Capacitive Touch Sensing Unit の略称です。CTSU1 と CTSU2 の総称としても使用しています。
CTSU1	第 2 世代の CTSU IP の総称で、CTSU2 と区別するための表記です。
CTSU2	第 3 世代の CTSU IP の総称です。
CTSU ドライバ	ルネサスソフトウェアパッケージに内包された CTSU のドライバソフトウェアです。
CTSU モジュール	スマート・コンフィグレータで組み込むことができる CTSU ドライバ ソフトウェアの単位です。
TOUCH ミドルウェア	ルネサスソフトウェアパッケージに内包された CTSU を使用したタッチ検出処理のミドルウェアです。
TOUCH モジュール	スマート・コンフィグレータで組み込むことができる TOUCH ミドルウェア ソフトウェアの単位です。
r_ctsu モジュール	スマート・コンフィグレータで表示される CTSU ドライバの名称です。
rm_touch モジュール	スマート・コンフィグレータで表示される TOUCH モジュールの名称です。
CCO	CCO（Current Control oscillator）とは静電容量タッチセンサで使用する電流制御発振器です。ドキュメントによっては ICO と表記しています。
ICO	CCO と同じです。
TSCAP	CTSU の内部電圧を安定させるためのコンデンサです。
ダンピング抵抗	外来ノイズからの端子破壊やノイズの影響を軽減するための抵抗です。
VDC	VDC(voltage down converter)は CTSU に内蔵している静電容量センサ計測用の電源回路です。
マルチクロック計測	周波数の異なる複数のセンサユニットクロックを使用して計測する機能です
センサドライブパルス	スイッチトキャパシタを駆動する信号です。
同期ノイズ	センサドライブパルスと一致する周波数のノイズです。
EUT	Equipment Under Test の略号です。試験対象の装置を意味します。
LDO	Low Dropout Regulator の略号です。
PSRR	Power Supply Rejection Ration の略号です。
FSP	Flexible Software Package の略号です。
FIT	Firmware Integration Technology の略号です。
SIS	Software Integration System の略号です。

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	ー	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 2-11 (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
2.1	2025.04.28	全体	CTSU に関する用語の修正および統一
			TS 端子の推奨抵抗値を 1kΩ以下に修正（QE for Capacitive Touch で設定可能な最大値）
		4	2.1 章 説明を追加
		5	表 2-1、表 2-2 を追加
		6	図 2-3 ボタン感度（SNR）の導出方法を追加、SNR の説明を追加
		7	図 2-5 CTSU 計測のイメージを修正、図 2-5 の説明を修正
		8	前版の 5.2 章の内容を 2.3 章に移動
			・前版の図 5-3 を図 2-6 に変更、説明を修正
			・前版の図 5-2 を図 2-7 に変更、説明を修正
		9	2.4.1 章 説明を修正および追記
		10	2.4.2 章 説明を追記
		11	2.4.3 章 説明を追記
		13	図 2-13 配線部ビア周辺の GND シールドパターンを修正
			図 2-14 配線部ビア周辺の GND シールドパターンを修正、電極部のビアと GND シールド間のスペースを調整
		14	2.5 章 シールド方法の記載に関する説明を追記、ノイズ対策に関する参考ドキュメントを追記
			2.5.1 章 タイトルを変更
			2.5.1.1 章 タイトルを変更、説明を追記
			前版の図 2-5 を図 2-16 に変更、前版 2.3 章の GND パターンと寄生容量のイメージの説明を 2.5.1.1 章に移動
			図 2-17 にメッシュパターン推奨寸法一覧を追加
		15	2.5.1.2 章 説明を追加
			GND シールドの推奨形状および配置条件に追記
		16	2.5.1.3 章 アクティブシールドの説明内容を追記および推奨設計情報を追加
		20	2.6 章 説明を追記
			2.6.1 章 説明を追記、図 2-25 の修正およびタイトルを変更
		21	2.6.2 章 説明を追記
		23	2.7.3 章 フィルム状基板に関する内容を更新
			2.7.3.1 章 フレキシブル基板（FPC）の説明を追加
			2.7.3.2 章 フィルムデバイスの説明を追加
		24	2.7.3.3 章 フィルム状基板の設計例を追加
		26	2.7.5 章 説明を追記
			2.7.6 章 自己容量マトリクスを追加
			2.7.7 章 RF 通信デバイス使用時の注意事項を追加
			2.7.8 章 金属オーバーレイパネル設計例を追加

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
2.1	2025.04.28	27	前版の 3.1 章を削除し以降の章番号を繰り上げ、前版の 3.1 章の説明を今版の 3.1 章に移動
			3.1 章 相互容量方式ボタンの推奨設計要旨に前版の⑦以降の番号を繰り下げ、⑦メッシュ GND パターンの幅を追加
			⑨Tx、Rx の寄生容量に条件を追記
			図 3-1 Tx 配線をボトム層に移動
		28	3.3 章 説明を追記
			3.4 章 相互容量電極パターン設計の見出しを細分化
			・3.4.1 章 電極回路の構成を追加
			・3.4.2 電極パッド（29 ページ）
			・3.4.3 配線（32 ページ）
			図 3-5 (b)の寸法表記の未記載部分を修正
		31	図 3-7 の説明を修正
		32	相互容量方式ボタン設計の考慮事項を追加
		33	前版の 3.8 章を今版の 3.4.3 章に移動
		34	図 3-9 Tx 配線をボトム層に移動
			図 3-10 Tx/Rx 配線の静電容量、抵抗値の注記を追加
		34	前版の 3.6 章と 3.7 章の内容を今版の 3.5 章に統合し、3.5 章タイトルを変更
		36	3.6 章 ノイズ対策に関する参考ドキュメントを追記
			3.6 章以下の見出し構成を変更
			・3.6.1 シールドパターンを追加
			・前版の 3.9.1 章を 3.6.1.1 章に変更し、タイトルを変更、図 3-14、図 3-15 および図の説明を 3.6.1.2 章に移動
			・前版の 3.9.2 章を 3.6.1.2 章に変更し、タイトルを変更、説明を追記
		41	参考ドキュメントを追加および更新
		42	4.2 章ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の設定表を追加
		45	図 5-1 SNR 計算式を QE for Capacitive Touch の計算式に修正
			表 5-1 SNR の値を更新
		46	表 5-4 マルチクロック計測の計測値の確定方法を追記
		48	5.3 章 感度特性のグラフ全体について SNR の値を QE for Capacitive Touch の計算式を適用結果に更新
		80	5.3.6.1 章 タイトルを修正

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うと、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みます。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といたします。
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（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

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。

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/

© 2025 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.