

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

要旨

ルネサスの静電容量タッチセンサユニット（CTSU）は、不要な電気信号(ノイズ)によって生成される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。このノイズの影響は、ハードウェアの設計によって異なります。そのため、設計段階で対策を施すことが周囲環境のノイズに強い CTSU マイコンとなり、効果的な製品開発につながります。

本書では、国際規格 IEC61000-4 に定める各イミュニティノイズに対して、CTSU を使用する製品のノイズ耐性を向上する方法を説明します。

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 MCU、Renesas Synergy™
(CTSU、CTSU2、CTSU2L、CTSU2La、CTSU2SL)

本書が対象とする規格

- IEC-61000-4-3
- IEC-61000-4-6
- IEC-61000-4-4
- IEC-61000-4-2

目次

1. はじめに	4
2. ノイズの種類と対策	5
2.1 EMC 規格	5
2.2 RF ノイズと対策	6
2.3 ESD ノイズ (Electro-Static Discharge : 静電気放電)	9
2.4 EFT ノイズ (Electrical Fast Transients : 電気的高速過渡現象)	10
3. CTSU のノイズ対策機能	11
3.1 計測原理とノイズの影響	11
3.2 CTSU1	11
3.2.1 ランダム位相シフト機能	11
3.2.2 高域ノイズ低減機能 (スペクトラム拡散機能)	12
3.3 CTSU2	12
3.3.1 マルチ周波数計測	12
3.3.2 アクティブシールド	13
3.3.3 非計測チャネル出力選択	13
4. ハードウェアのノイズ対策	14
4.1 ボード設計の対策	14
4.1.1 タッチ電極パターン設計	14
4.1.2 電源設計	15
4.1.2.1 電圧供給源の設計	15
4.1.2.2 GND パターン設計	16
4.1.3 未使用端子の処理	16
4.2 放射 RF のノイズ対策	17
4.2.1 TS 端子のダンピング抵抗	17
4.2.2 デジタル信号のノイズ	17
4.2.3 マルチ周波数計測	17
4.3 伝導ノイズ対策	18
4.3.1 コモンモードフィルタ	18
4.3.2 コンデンサの配置	18
4.3.3 マルチ周波数計測	19
4.3.4 GND シールドと電極間距離の考慮	19
4.4 EFT ノイズ対策	20
4.4.1 電源設計	20
4.4.2 コモンモードフィルタ	20
4.4.3 TVS ダイオード	20
4.4.4 マルチ周波数計測	22
4.5 ESD ノイズ対策	22
4.5.1 ボードパターン設計	22
4.5.1.1 タッチ電極	22
4.5.1.2 GND パターン設計	22
4.5.2 TS 端子の端子保護回路	22

5.	ソフトウェアフィルタ	23
5.1	IIR フィルタ	24
5.2	FIR フィルタ	24
5.3	使用例	24
5.4	メディアンフィルタ	25
5.4.1	使用例	25
5.5	計測周期の注意事項	25
6.	評価結果	26
6.1	評価条件	26
6.2	放射イミュニティ (IEC61000-4-3)	29
6.2.1	試験条件	29
6.2.2	コモンモードチョーク	30
6.2.3	フェライトコア	31
6.3	伝導イミュニティ (IEC61000-4-6)	33
6.3.1	試験条件	33
6.3.2	コモンモードチョーク	34
6.3.3	フェライトコア	36
6.4	EFT/B (IEC61000-4-4)	38
6.4.1	試験条件	38
6.4.2	コモンモードチョーク	39
6.4.3	フェライトコア	42
	改訂記録	46

1. はじめに

CTSU はタッチ電極に充電した電流量から静電容量を推定します。計測中にノイズの影響でタッチ電極の電位が変化すると充電電流が変化することで、計測値も影響を受けます。具体的には、計測値に大きな変動があればタッチ閾値を超えて誤動作につながります。計測値への細かな変動は、リニアな計測を必要とするアプリケーションには影響があります。

CTSU の静電容量タッチシステムのノイズ耐性を考えるには、CTSU のタッチ検出動作やボード設計情報の知識が必要です。CTSU を初めてご使用になる場合、まず下記関連ドキュメントを参照し、CTSU や静電容量タッチの理解を深めることを推奨します。

- 静電容量タッチ検出および CTSU の基本情報
[静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド \(R30AN0424\)](#)
- ハードウェア・ボード設計に関する情報
[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 \(R30AN0389\)](#)
- CTSU ドライバ (CTSU モジュール) ソフトウェアに関する情報
RA ファミリ [Renesas Flexible Software Package \(FSP\) User's Manual \(Web Version - HTML\)](#)
API Reference > Modules > CapTouch > [CTSU \(r_ctsu\)](#)
[RL78 ファミリ CTSU モジュール Software Integration System \(R11AN0484\)](#)
[RX ファミリ QE CTSU モジュール Firmware Integration Technology \(R01AN4469\)](#)
- Touch ミドルウェア (TOUCH モジュール) ソフトウェアに関する情報
RA ファミリ [Renesas Flexible Software Package \(FSP\) User's Manual \(Web Version - HTML\)](#)
API Reference > Modules > CapTouch > [Touch \(rm_touch\)](#)
[RL78 ファミリ TOUCH モジュール Software Integration System \(R11AN0485\)](#)
[RX ファミリ QE Touch モジュール Firmware Integration Technology \(R01AN4470\)](#)
- 静電容量タッチアプリケーション開発支援ツール QE for Capacitive Touch に関する情報
[RA ファミリ QE と FSP を使用した静電容量タッチアプリケーションの開発\(R01AN4934\)](#)
[RX ファミリ QE と FIT を使用した静電容量タッチアプリケーションの開発\(R01AN4516\)](#)
[RL78 ファミリ QE と SIS を使用した静電容量タッチアプリケーションの開発\(R01AN5512\)](#)
[RL78 ファミリ スタンドアロン版 QE を使用した静電容量タッチアプリケーションの開発 \(R01AN6574\)](#)
[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\(R30AN0428\)](#)

2. ノイズの種類と対策

2.1 EMC 規格

表 2-1 に EMC 規格の一例を示します。ノイズは空間や接続ケーブルを伝播してシステムに侵入し動作に影響を及ぼします。ここでは CTSU を使用したシステムを正常に動作させるために注意すべきノイズ種類として IEC61000 で例に示します。IEC61000 の詳細については、最新の規格をご確認ください。

表 2-1 EMC 規格の一例 (IEC61000)

試験内容	概要	規格
放射イミュニティ試験	比較的高周波の RF ノイズに対する耐性のテスト	IEC61000-4-3
伝導イミュニティ試験	比較的低周波の RF ノイズに対する耐性のテスト	IEC61000-4-6
静電気放電試験 (ESD)	静電気放電に対する耐性のテスト	IEC61000-4-2
電氣的ファストトランジェント/ バースト試験 (EFT/B)	電源ライン等に混入する連続的なパルス状過渡応答ノイズに対する耐性のテスト	IEC61000-4-4

表 2-2 にイミュニティ試験の性能基準を示します。EMC のイミュニティ試験には性能基準が規定されており、試験時の装置の動作から判定を行います。性能基準は各規格に対して共通です。

表 2-2 イミュニティ試験の性能基準

性能基準 (Performance Criterion)	概要
A	装置は、試験中および試験後も意図したとおりに動作し続けるものとします。 機器が意図したとおりに使用されている場合、メーカーが指定した性能レベルを下回る性能の低下または機能の損失は許容されません
B	装置は、試験後も意図したとおりに動作し続けるものとします。 装置が意図したとおりに使用されている場合、メーカーが指定した性能レベルを下回る性能の低下または機能の損失は許されません。ただし、テスト中の性能の低下は許容されます。実際の動作状態や保存データの変化は許容されません。
C	機能が自己回復可能であるか、制御部の操作によって回復できる場合、一時的な機能の喪失は許容されます。

2.2 RF ノイズと対策

RF ノイズはテレビ・ラジオ放送・携帯端末などで使用される無線周波の電磁波です。RF ノイズは直接基板パターンに入り込むこともあれば、電源などのケーブルから入り込む場合もあります。前者は基板内で、後者は電源などシステムレベルでノイズ対策が必要です。静電容量タッチシステムは静電容量を電気信号に変換して計測します。タッチによる静電容量の変化は微小であり、正常なタッチ検出のためにはセンサ端子やセンサ自体の電源を RF ノイズから保護する必要があります。

RF ノイズ耐性をテストするために IEC61000-4-3 および IEC61000-4-6 があり、2 つの試験規格は試験周波数帯域が異なります。

IEC61000-4-3 は放射イミュニティ試験で、規定された周波数範囲の電波を EUT に直接印加してノイズ耐性を評価します。電波の周波数は 80MHz から 1GHz 以上で、波長に変換すると約 3.7m~30cm です。この波長の長さは基板パターン長に近く、パターンがアンテナとなり CTSU の計測結果に影響する場合があります。またタッチ電極ごとに配線長や寄生容量が異なると影響を与える周波数が端子ごとに異なる場合があります。表 2-3 に放射イミュニティ試験の内容を示します。

表 2-3 放射イミュニティ試験内容

周波数範囲	試験レベル	試験電界強度
80MHz-1GHz 試験バージョンにより、 ~2.7GHz や~6.0GHz	1	1 V/m
	2	3 V/m
	3	10 V/m
	4	30 V/m
	X	個別に規定

IEC61000-4-6 は伝導イミュニティ試験で、放射イミュニティ試験より低い周波数の 150kHz から 80MHz を評価します。この周波数帯域は波長が数 m 以上となり、150kHz の波長は約 2km に及びます。この波長の電波を EUT に直接印加することは難しいため、試験装置により接続されたケーブルに試験信号を印加させ低周波電波の影響を試験します。波長の長さから主に電源や信号のケーブル類に影響します。例えば電源ケーブルがノイズの影響を受け電源電圧が不安定になる周波数帯域があると、CTSU の計測結果が端子一律でノイズの影響を受ける場合があります。表 2-4 に伝導イミュニティ試験の内容を示します。

表 2-4 伝導イミュニティ試験内容

周波数範囲	試験レベル	試験強度
150kHz-80MHz	1	1 V rms
	2	3 V rms
	3	10 V rms
	X	個別に規定

システムの GND や MCU の VSS 端子が商用電源のアース端子に接続されていない AC 電源設計では伝導ノイズが直接基板にコモンモードノイズとして侵入し、ボタンタッチ時の CTSU 計測結果にノイズが発生することがあります。

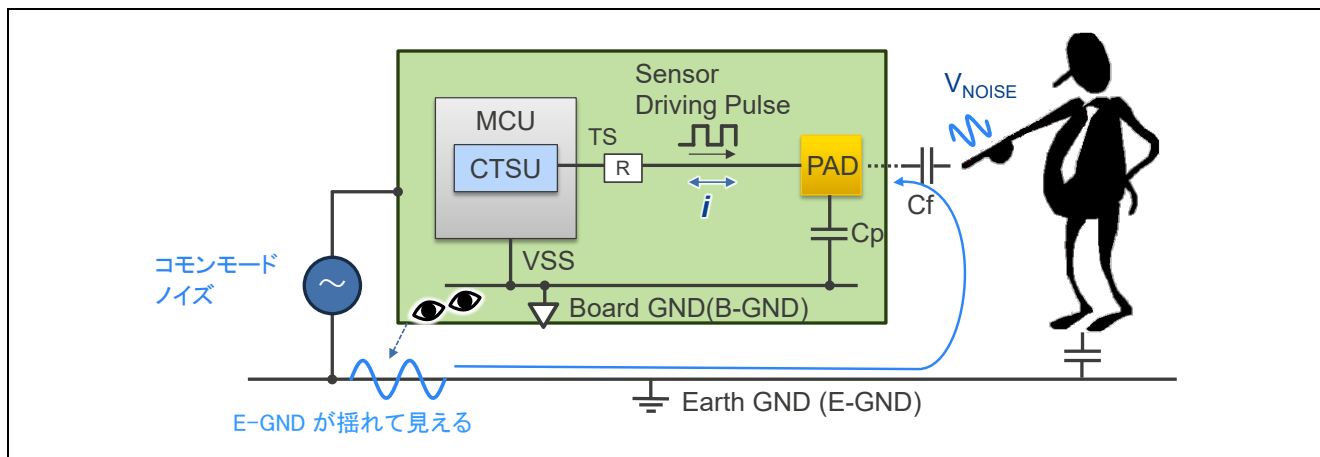


図 2-1 コモンモードノイズの侵入経路

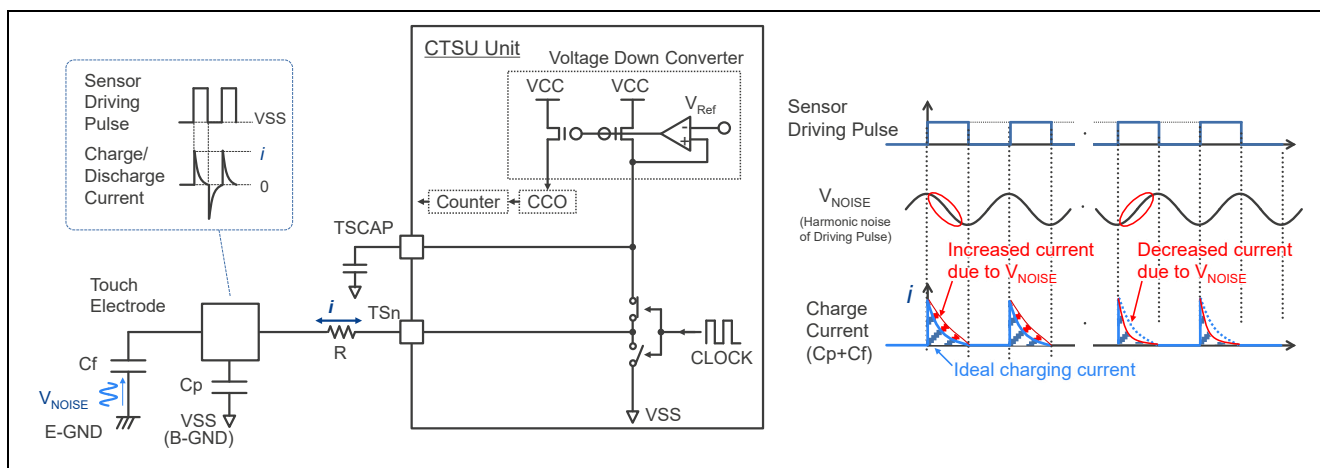


図 2-2 コモンモードノイズと計測電流の関係

図 2-1 にコモンモードノイズの侵入経路、図 2-2 にコモンモードノイズと計測電流の関係を示します。コモンモードノイズは Board GND (B-GND) から見ると Earth GND (E-GND) にノイズが重畳して変動しているように見え、タッチ電極 (PAD) に触れる人体も浮遊容量により E-GND と結合しているためコモンモードノイズが伝わり E-GND と同様に変動しているように見えます。

ここで PAD に触れると、指と PAD で形成された静電容量 Cf にコモンモードノイズをノイズ源とするノイズ (V_{NOISE}) が印加され、CTSU で計測する充電電流が変動します。充電電流の変化に追従した計測結果はノイズが重畳したデジタル値に現れます。コモンモードノイズに CTSU のセンサドライブパルス周波数とその高調波に一致する周波数成分が含まれる場合に計測結果の変動が大きくなる可能性があります。

表 2-5 に RF ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧を示します。放射イミュニティ耐性と伝導イミュニティ耐性への要件はほとんどが共通します。各項目の詳細は掲載章記載の項目を参照してください。

表 2-5 RF ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧

開発ステップ	設計時に必要な対策	掲載章
MCU 選定 (CTSU 機能選択)	ノイズ耐性を重視する場合、CTSU2 搭載 MCU を推奨します - CTSU2 のノイズ対策機能を有効にする - マルチ周波数計測 - アクティブシールド - アクティブシールドを配置する場合、非計測チャネルの出力を設定する または - CTSU のノイズ対策機能を有効にする - ランダム位相シフト機能 - 高域ノイズ低減機能	3.3.1 マルチ周波数計測 3.3.2 アクティブシールド 3.3.3 非計測チャネル出力選択 3.2.1 ランダム位相シフト機能 3.2.2 高域ノイズ低減機能（スペクトラム拡散機能）
ハードウェア設計	- 推奨電極パターンでのボード設計 - 低ノイズの電源供給源を使用する - GND パターン設計に配慮する。アース接続するシステムではコモンモードノイズ対策部品の使用を推奨。 - ダンピング抵抗値調整によるセンサ端子の侵入ノイズレベル低減 - 通信ラインのダンピング抵抗配置 - MCU 電源ラインの適切なコンデンサ容量設計、配置	4.1.1 タッチ電極パターン設計 4.1.2.1 電圧供給源の設計 4.1.2.2 GND パターン設計 4.3.1 コモンモードフィルタ 4.3.4 GND シールドと電極間距離の考慮 4.2.1 TS 端子のダンピング抵抗 4.2.2 デジタル信号のノイズ 4.3.2 コンデンサの配置
ソフトウェア実装	ソフトウェアフィルタ調整による計測値ノイズ低減 - IIR 移動平均（ランダムノイズ向け、おおよその場合に対応） - FIR 移動平均（特定の周期ノイズがある場合）	5.1 IIR フィルタ 5.2 FIR フィルタ

2.3 ESD ノイズ（Electro-Static Discharge：静電気放電）

静電気放電は帯電した物体同士が接触や接近したときに発生します。人体に溜まった静電気はオーバーレイを介していても電極に届くことがあります。電極に加えられた静電気のエネルギーの大きさによって CTSU の計測結果へ影響を与え、デバイス自体が破壊される可能性もあります。このため、基板回路上の保護デバイスや、オーバーレイや製品筐体の形状などのシステムレベルでの対策が必要です。

ESD 耐性をテストするためには IEC61000-4-2 規格があります。表 2-6 に ESD 試験の内容を示します。求められる試験レベルは製品の用途・性質によって決まります。詳細は最新の IEC61000-4-2 の規格を確認してください。タッチ電極への ESD は瞬間的に数 kV の電位差が発生するため、CTSU の計測値にパルスノイズが発生し計測精度の低下、過電圧や過電流検出により計測が停止する場合があります。なお、半導体デバイスは直接 ESD を印加させることを前提としていません。そのため、試験は基板を保護する筐体を含んだ最終製品として実施します。基板内での対策は万が一入り込んだ ESD から回路を保護するためであり、フェールセーフ的な処置です。

表 2-6 ESD 試験内容

試験レベル	試験電圧	
	接触放電	気中放電
1	2 kV	2 kV
2	4 kV	4 kV
3	6 kV	8 kV
4	8 kV	15 kV
X	個別に規定	個別に規定

表 2-7 に ESD ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧を示します。各項目の詳細は掲載章記載の項目を参照してください。

表 2-7 ESD ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧

開発ステップ	設計時に必要な対策	掲載章
ハードウェア設計	- 推奨電極パターンでのボード設計 - GND パターン設計に配慮する。 - TS 端子への静電破壊保護回路の追加	4.1.1 タッチ電極パターン設計 4.5.1.2 GND パターン設計 4.5.2 TS 端子の端子保護回路
ソフトウェア実装	ソフトウェアフィルタ調整による計測値ノイズ低減 メディアンフィルタ	5.4 メディアンフィルタ

2.4 EFT ノイズ（Electrical Fast Transients：電気的高速過渡現象）

電気製品は電源スイッチ操作をしたときの電源内部の構成による逆起電力や、リレースイッチのチャタリングノイズのような電氣的な高速過渡現象（Electrical Fast Transients：EFT）が発生します。電源タップのように複数の電気製品が接続されている環境では、このノイズが電源線を伝い他の電気製品の動作に影響を与える場合があります。タップに電源を接続していない電気製品の電源線や信号線でも、ノイズ源の電源・信号線と近接する場合に空間を伝わり影響を受けることもあります

EFT 耐性をテストするためには IEC61000-4-4 規格があります。IEC61000-4-4 は、EUT の電源線や信号線に周期的な EFT 信号を注入し耐性を評価します。EFT ノイズにより CTSU の計測結果には周期的なパルスノイズが発生し、計測結果の精度低下やタッチの誤検出が発生する場合があります。表 2-8 に EFT/B 試験の内容を示します。

表 2-8 EFT/B 試験の内容

試験レベル	開回路試験電圧（ピーク）		パルスの繰り返し周期
	電源線・接地線	信号・制御線	
1	0.5 kV	0.25 kV	5kHz または 100kHz
2	1 kV	0.5 kV	
3	2 kV	1 kV	
4	4 kV	2 kV	
X	個別に規定		個別に規定

表 2-9 に EFT ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧を示します。各項目の詳細は掲載章記載の項目を参照してください。

表 2-9 EFT ノイズ耐性を向上させるために必要な対策の一覧

開発ステップ	設計時に必要な対策	掲載章
MCU 選定 （CTSU 機能選択）	ノイズ耐性を重視する場合、CTS2 搭載 MCU を推奨します CTS2 のノイズ対策機能を有効にする — マルチ周波数計測	3.3.1 マルチ周波数計測
ハードウェア設計	- 推奨電極パターンでのボード設計 - 低ノイズの電源供給源を使用する - GND パターン設計に配慮する。 - EFT ノイズは AC ラインからコモンモードで侵入する可能性があるため、コモンモードノイズ対策部品を使用する。 - MCU 電源ラインの適切なコンデンサ容量設計、配置 - 電源、TS 端子への TVS ダイオード配置	4.1.1 タッチ電極パターン設計 4.1.2.1 電圧供給源の設計 4.1.2.2 GND パターン設計 4.3.1 コモンモードフィルタ 4.3.2 コンデンサの配置 4.4.3 TVS ダイオード
ソフトウェア実装	ソフトウェアフィルタ調整による計測値ノイズ低減 メディアンフィルタ	5.4 メディアンフィルタ

3. CTSU のノイズ対策機能

CTSU にはノイズ対策機能が実装されていますが CTSU のバージョンにより使用できる機能が異なるため、ご使用になる MCU と CTSU バージョンをご確認ください。本章では CTSU のバージョンによるノイズ対策機能の違いを説明します。

3.1 計測原理とノイズの影響

CTSU は 1 回の計測トリガで複数回充放電を繰り返し、充放電ごとの計測結果を積算することで最終的な計測結果をレジスタに格納します。この計測方式はセンサドライブパルス周波数が高いほど単位時間あたりの計測を増やすことができるためダイナミックレンジ (DR) が向上し、CTSU の高感度計測を実現しています。一方、外来ノイズによりセンサ端子の充放電電流が変化し、周期ノイズが発生する環境では一方向へ電流量の増加または減少によりカウンタレジスタに格納される計測結果がオフセットするなど計測精度が低下する場合があります。

図 3-1 に周期ノイズによる充電電流誤差発生イメージを示します。周期ノイズとして影響する周波数はセンサドライブパルス周波数とその高調波に一致する周波数であり、周期ノイズの立ち上がりまたは立ち下がりりが SW1 の ON 期間に同期すると計測値誤差が最大になります。CTSU はこのような周期ノイズ対策としてハードウェアレベルの対策機能を内蔵しています。

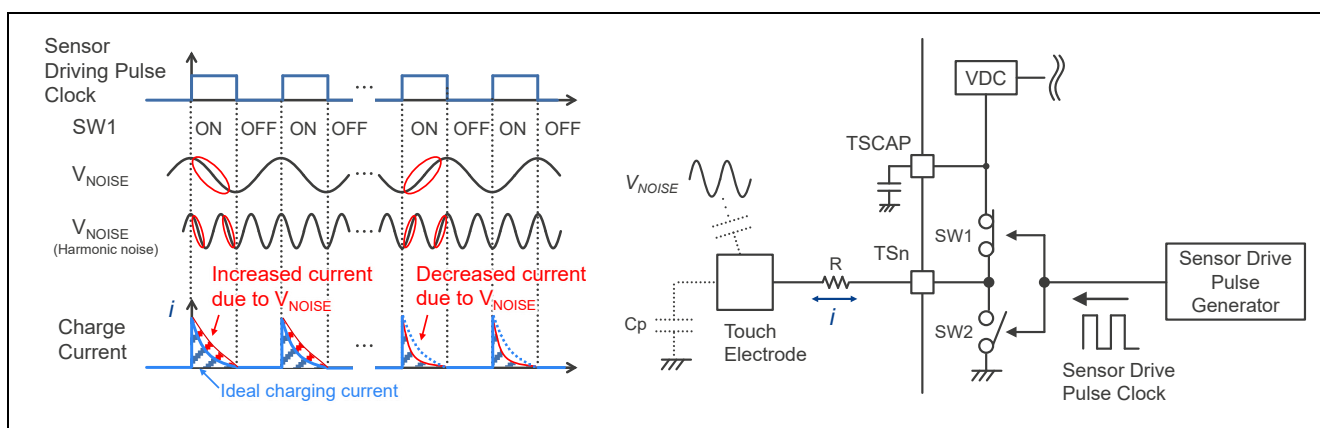


図 3-1 周期ノイズによる充電電流誤差発生イメージ

3.2 CTSU1

CTSU1 は「ランダム位相シフト機能」および「高域ノイズ低減機能（スペクトラム拡散機能）」を内蔵しています。センサドライブパルス周波数とノイズ周波数の基本周波数が一致した場合の計測値への影響を低減できます。センサドライブパルス周波数の最大設定値は 4.0MHz です。

3.2.1 ランダム位相シフト機能

図 3-2 にランダム位相シフト機能の周期ノイズ非同期化イメージを示します。センサドライブパルスの位相をランダムタイミングで 180 度変えることで、周期ノイズによる一方向への一方的な電流量増減をランダム化し平滑化することで計測精度を改善します。本機能は CTSU モジュールおよび TOUCH モジュールでは常に有効です。

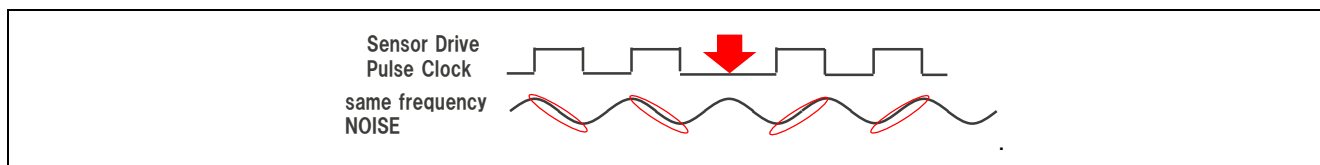


図 3-2 ランダム位相シフト機能の周期ノイズ非同期化イメージ

3.2.2 高域ノイズ低減機能（スペクトラム拡散機能）

高域ノイズ低減機能は意図的にジッターを付加したセンサドライブパルス周波数で計測を行い、同期ノイズとの同期点をランダム化することで計測誤差のピーク点を分散し計測精度を改善します。本機能は CTSU モジュールおよび TOUCH モジュールでは常に有効です。

3.3 CTSU2

3.3.1 マルチ周波数計測

マルチ周波数計測は周波数の異なる複数のセンサドライブパルス周波数を使用して計測します。各センサドライブパルス周波数での干渉を避けるためスペクトラム拡散は使用されません。

本機能はセンサドライブパルス周波数の同期ノイズだけでなく、タッチ電極パターンから侵入したノイズに対しても効果があるため伝導 RF ノイズと放射 RF ノイズの耐性が向上します。

図 3-3 にマルチ周波数計測の計測値選択イメージ、図 3-4 にマルチ周波数計測のノイズ周波数分離イメージを示します。マルチ周波数計測では複数周波数で計測した結果のうち、ノイズの影響を受けた計測結果を除外することで計測精度を向上させます。

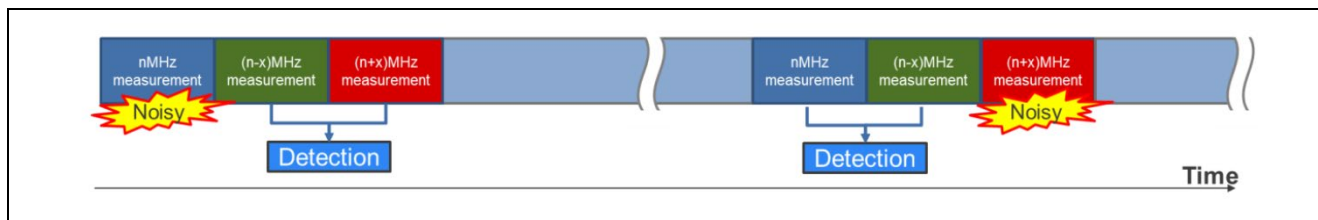


図 3-3 マルチ周波数計測の計測値選択イメージ

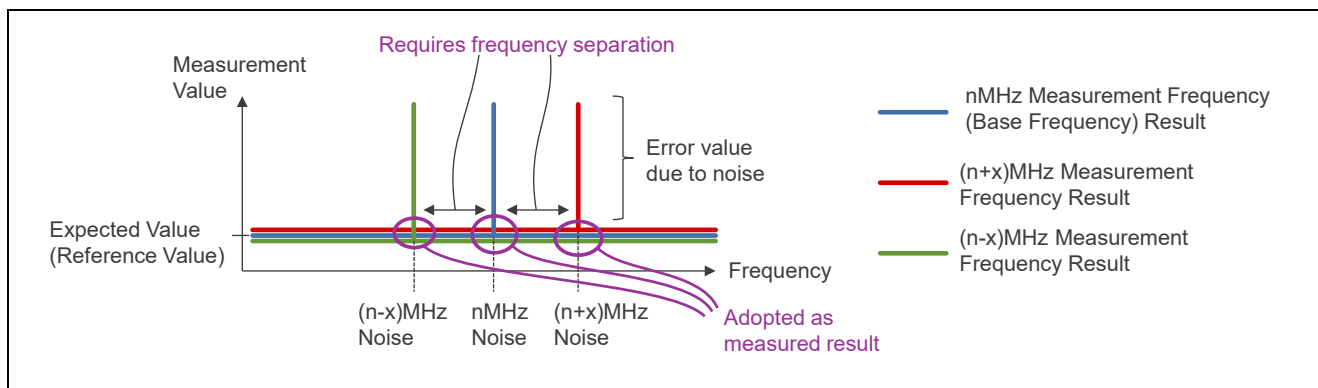


図 3-4 マルチ周波数計測のノイズ周波数分離イメージ

CTSU モジュールと TOUCH モジュールを組み込んだアプリケーションプロジェクト（詳細は FSP、FIT、SIS のドキュメントを参照してください）では、QE for Capacitive Touch の調整フェーズを実行するとマルチ周波数計測のパラメータが自動的に生成され、マルチ周波数計測を使用できます。

調整フェーズの高度な設定（アドバンスドモード）を有効にするとパラメータを手動設定できるようになります。アドバンスドモードのマルチクロック計測設定詳細は「[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 \(R30AN0428\)](#)」を参照してください。

図 3-5 にマルチ周波数計測の干渉周波数例を示します。本例は計測周波数を 1MHz に設定し、タッチ電極にタッチした状態でボードにコモンモードの伝導ノイズを印加した場合に現れる干渉周波数を示します。(a)は自動調整直後の設定で、計測周波数は第 1 周波数の 1MHz を基準に第 2 周波数は+12.5%、第 3 周波数は-12.5%に設定されています。各々の計測周波数がノイズとして干渉していることが確認できます。(b)は測周波数の通倍比を手動調整し、計測周波数を第 1 周波数の 1MHz を基準に第 2 周波数を-20.3%、第 3 周波数を+9.4%に設定した例です。手動調整により第 2、第 3 周波数の干渉周波数が変化したことを確認できます。特定の周波数ノイズが計測結果に現れる場合、計測周波数と一致する周波数のノイズであれば、ノイズ周波数と計測周波数が干渉しないように実環境にて評価を行いながらマルチ周波数計測を調整してください。

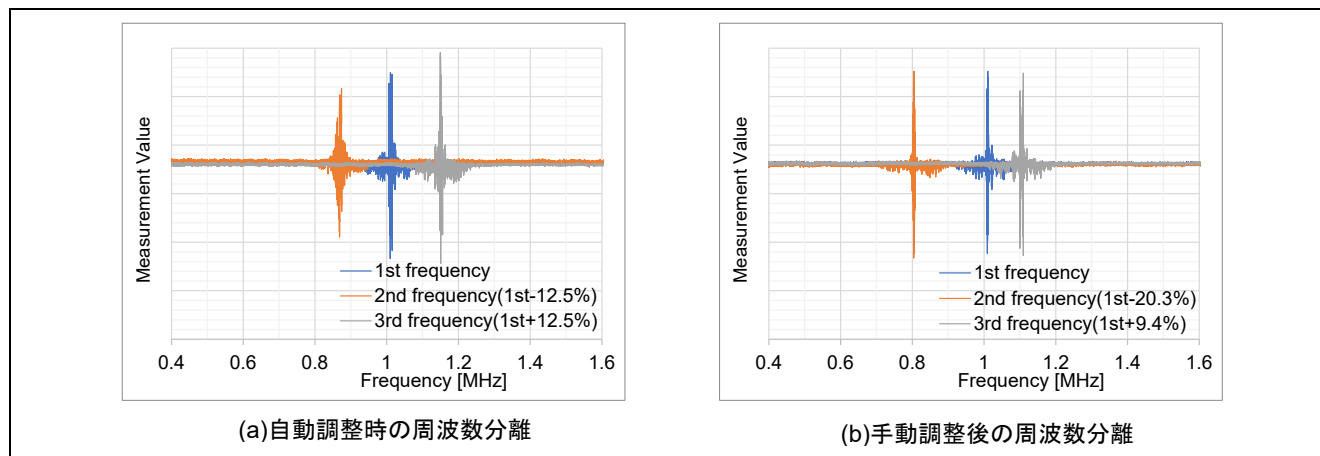


図 3-5 マルチ周波数計測の干渉周波数例

3.3.2 アクティブシールド

CTS2 の自己容量方式では、シールドパターンをセンサドライバパルスと同相のパルスで駆動するアクティブシールドとして設定できます。アクティブシールドを有効にするには、QE for Capacitive Touch のインタフェース構成でアクティブシールドパターンを接続した端子を「シールド端子」として設定してください。アクティブシールドはタッチインタフェース構成（メソッド）につき 1 端子設定できます。アクティブシールドの動作説明は[静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド \(R30AN0424\)](#)を参照してください。設計情報は[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 \(R30AN0389\)](#)を参照してください。

3.3.3 非計測チャネル出力選択

CTS2 の自己容量方式では、非計測チャネルの出力としてセンサドライバパルスと同相のパルス出力を設定できます。QE for Capacitive Touch のインタフェース構成（メソッド）で、アクティブシールドが割り当てられたメソッドの非計測タッチ電極は自動的に同相パルス出力設定になります。

4. ハードウェアのノイズ対策

4.1 ボード設計の対策

4.1.1 タッチ電極パターン設計

タッチ電極回路はノイズを受けやすく、ハードウェア設計段階でノイズ耐性を考慮する必要があります。ノイズ耐性を考慮した基板設計ルールの詳細は、最新の[CTSU 静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#)を参照してください。図 4-1 に自己容量方式のパターン設計要旨抜粋、図 4-2 に相互容量方式のパターン設計要旨抜粋を示します。

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

図 4-1 自己容量方式のパターン設計要旨抜粋

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

図 4-2 相互容量方式のパターン設計要旨抜粋

4.1.2 電源設計

CTSUSは微小な電気信号を扱うアナログペリフェラル機能です。MCUに供給される電圧やGNDパターンにノイズがあるとセンサドライブパルスの電位が変動し計測精度が低下します。計測精度を維持するために電源ラインやオンボード電源回路にノイズ対策デバイスを追加することで、安定した電源をMCUに供給してください。

4.1.2.1 電圧供給源の設計

MCUの電源端子からノイズが侵入しないよう、システムやボード上デバイスの電源設計に注意してください。以下に設計のポイントを示します。

- システムへの給電用ケーブルや配線は可能な限り短くし、インピーダンスを最小化してください。
- 高周波ノイズに対してはノイズフィルタ（フェライトコア、フェライトビーズ）を配置および実装してください。
- MCU電源のリップルを最小化してください。MCUの電圧供給源にはリニアレギュレータを推奨します。リニアレギュレータは低ノイズ出力、高PSRRの製品を選定してください。
- ボード上に電流負荷が高いデバイスが複数ある場合、MCU専用の電源を個別に配置することを推奨します。個別の電源を用意できない場合は電源の根元からパターンを分離してください。
- MCU端子で高消費電流のデバイスを動作させる場合はトランジスタやFETを使用してください。

図4-3に電源供給ラインのレイアウトを示します。IC2はボード上のデバイスを示します。 V_O は電源の供給電圧、 i_n はIC2の動作による消費電流変動、 Z は電源ラインのインピーダンスを示します。 V_n は電源ラインに発生する電圧で $V_n = i_n \times Z$ の関係を持ちます。GNDパターンも同様の考え方です。GNDパターン設計は「4.1.2.2 GNDパターン設計」を参照してください。

(a)の電源構成はMCUまでの電源ラインが長く、MCU電源付近からIC2の電源ラインが分岐する構成です。この場合IC2が動作するとMCUの供給電圧が V_n のノイズを受けるため非推奨です。

(b)と(c)は回路図上は(a)と同等ですが、パターン設計が異なります。

(b)は電源の根本から電源ラインを分岐する構成で、電源とMCUの間の Z を最小化することで V_n の影響を低減できます。

(c)は電源ラインの面積や線幅を増やすことで Z を最小化し、 V_n の影響を低減します。

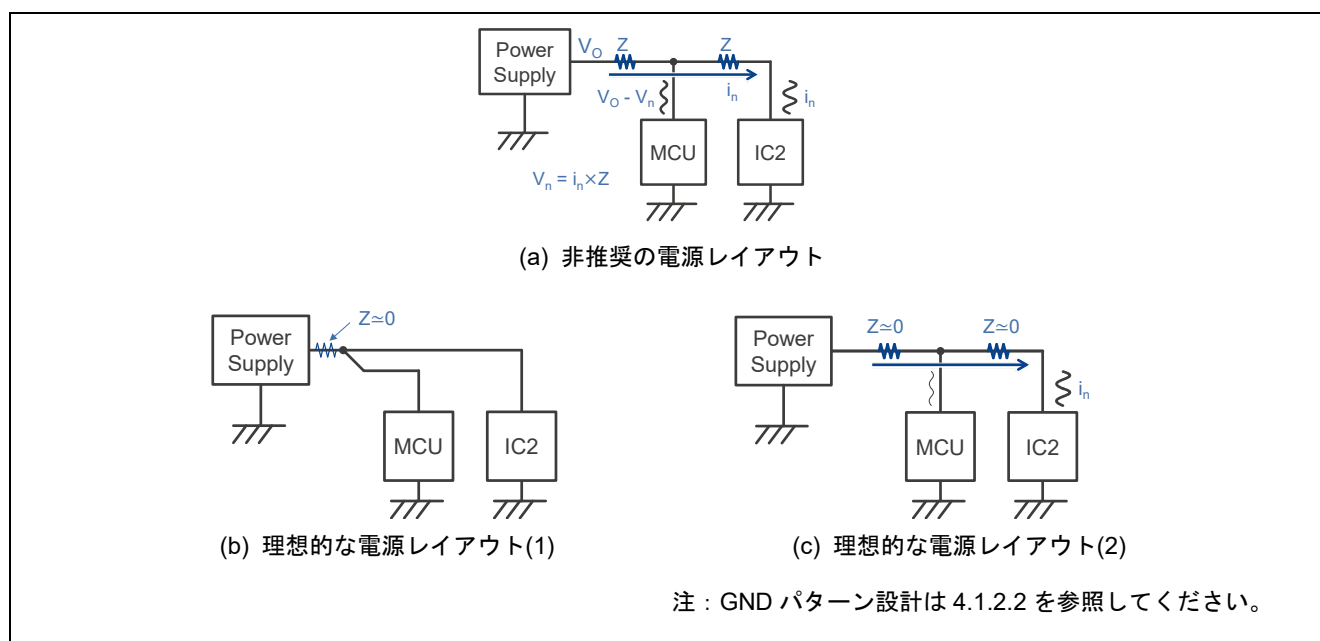


図 4-3 電源供給ラインのレイアウト

4.1.2.2 GND パターン設計

MCU やボード上デバイスの基準電圧である GND は、パターン設計によってはノイズにより電位が変動し、CTS の計測精度が低下するため注意が必要です。以下に GND パターン設計のポイントを示します。

- 空きパターンは可能な限り GND のベタパターンを配置し、面積を広くしてインピーダンスを最小化してください。
- ボード上の電流負荷が高いデバイスと MCU は距離を離し、GND パターンも分離して、GND ラインから MCU にノイズが侵入しないようにレイアウトしてください。

図 4-4 に GND ラインのレイアウトを示します。 i_n は IC2 の動作による消費電流変動、 Z は GND ラインのインピーダンスを示します。 V_n は GND ラインに発生する電圧で $V_n = i_n \times Z$ の関係を持ちます。

(a) の GND ラインは MCU までの距離が長く、MCU の GND ピン付近で IC2 の GND ラインが合流する構成です。この場合 IC2 が動作すると MCU の GND 電位が V_n のノイズを受けるため非推奨です。

(b) は電源の GND ピン根本で GND ラインが合流する構成です。MCU と IC2 の GND ラインを分離し、電源と MCU の間の Z を最小化することで V_n の影響を低減できます。

(c) は回路図上は (a) と同等ですが、パターン設計が異なります。(c) は GND ラインの面積や線幅を増やすことで Z を最小化し、 V_n の影響を低減します。

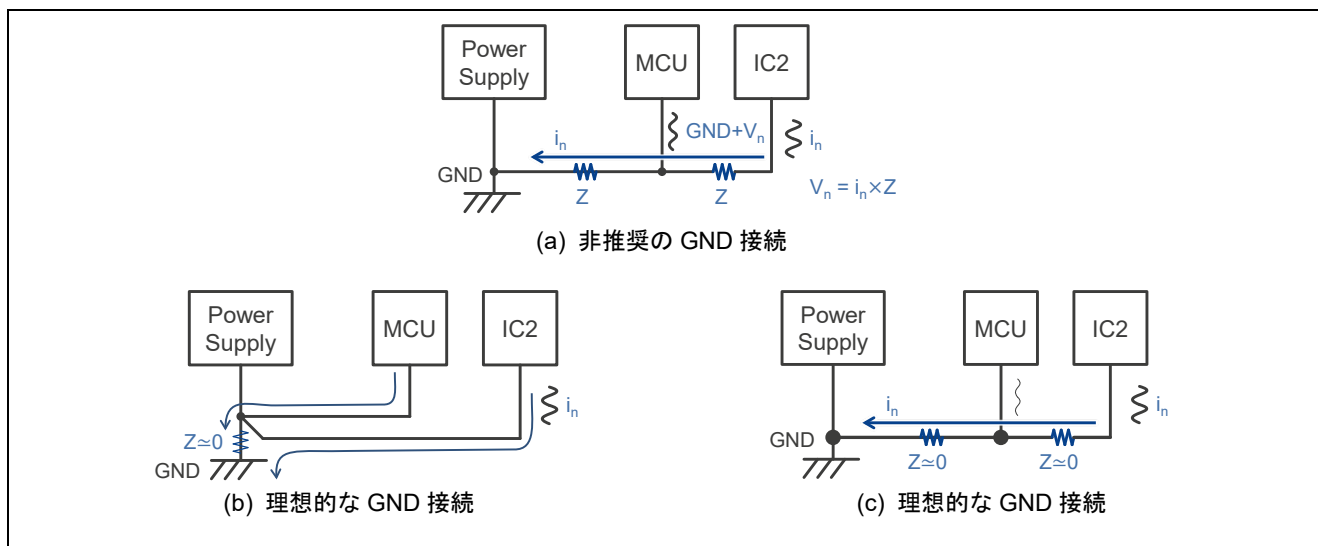


図 4-4 GND ラインのレイアウト

- TSCAP コンデンサの GND は MCU の VSS 端子と同電位になるように、MCU の VSS 端子が接続された GND ベタパターンに接続し、TSCAP コンデンサの GND と MCU の GND は分離しないでください。TSCAP コンデンサの GND と MCU の GND 間のインピーダンスが高い場合、TSCAP コンデンサの高周波ノイズ除去性能が低下し、電源ノイズや外来ノイズの影響を受けやすくなります。

4.1.3 未使用端子の処理

未使用端子をハイインピーダンス状態のまま使用すると外来ノイズの影響を受けやすくなります。未使用端子は各 MCU ファミリのハードウェアマニュアルに記載された「未使用端子の処理」を参照し、適切に処理してください。実装面積が限られプルダウン抵抗を実装できない場合は、端子を出力設定かつ Low 出力固定にしてください。

4.2 放射 RF のノイズ対策

4.2.1 TS 端子のダンピング抵抗

TS 端子に接続するダンピング抵抗と電極の寄生容量成分はローパスフィルタとして機能します。ダンピング抵抗を大きくすることでカットオフ周波数が低下し、TS 端子に侵入する放射ノイズのレベルを低減できます。ただし静電容量計測の充放電時間が長くなるとセンサドライブパルス周波数を低下させる必要があります。自己容量方式のダンピング抵抗を変更したときの感度特性は、[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 \(R30AN0389\)](#) の「5. 自己容量方式ボタン設計と特性データ」を参照してください。

4.2.2 デジタル信号のノイズ

SPI や I2C などの通信、LED や音声出力の PWM 信号を扱うデジタル信号配線は放射ノイズ源となりタッチ電極回路に影響します。デジタル信号を使用する場合は以下に注意して設計してください。

- 配線のコーナーを直角（90 度）にすると鋭角部分からのノイズ放射が大きくなります。ノイズ放射を小さくするために配線のコーナーは 45 度以下、または曲線にしてください。
- デジタル信号レベルが変化した際のオーバーシュートやアンダーシュートは高周波ノイズとして放射されます。デジタル信号ラインの出力側にダンピング抵抗を配置しオーバーシュート、アンダーシュートを抑制してください。またはフェライトビーズを配置してください。
- デジタル信号配線とタッチ電極回路の配線は隣接しないように配置してください。並走してしまう場合は可能な限り距離を離し、デジタル配線には GND シールドを配置してください。
- MCU 端子で高消費電流のデバイスを動作させる場合はトランジスタや FET を使用してください。

4.2.3 マルチ周波数計測

CTS2 を搭載した MCU を使用している場合はマルチ周波数計測を使用してください。詳細は「3.3.1 マルチ周波数計測」を参照してください。

4.3 伝導ノイズ対策

伝導ノイズ耐性はシステムの電源ユニット設計が重要です。伝導ノイズは AC 電源ラインを通じてシステムに侵入します。そのため電源ユニットによりノイズを低減し、MCU および周辺回路にノイズを侵入させないことが重要です。まずはノイズの少ない電圧を供給できる電源ユニット設計を行ってください。本章では伝導ノイズ耐性向上のための MCU ボード設計時に考慮すべきハードウェアのノイズ対策と CTSU 機能について説明します。

4.3.1 コモンモードフィルタ

電源ケーブルからボードに侵入するノイズを低減するにはコモンモードフィルタ（コモンモードチョーク、フェライトコア）を配置、または取り付けてください。ノイズ試験等によりシステムの干渉周波数を調べ、低減させたいノイズ帯域に対してインピーダンスが高いデバイスを選定してください。フィルタの種類により取り付け位置が異なるためそれぞれの項目を参照してください。フィルタは外来ノイズをボード内に拡散させないように配置箇所を考慮する必要があります。図 4-5 にコモンモードフィルタの配置例を示します。

- コモンモードチョーク

コモンモードチョークはボード上でノイズ対策する場合に使用します。そのためボードやシステム設計時にあらかじめ組み込んでおく必要があります。コモンモードチョークを使用する場合、ボード電源の接続ポイントの直後に最短配線で配置してください。例としてケーブルとボードをコネクタで接続する場合、ボード側コネクタの直後にフィルタを配置することでケーブルからボードに侵入するノイズがボード上に拡散することを防ぎます。

- フェライトコア

フェライトコアはケーブルに伝搬するノイズを低減させる場合に使用します。システムアセンブリ後にノイズの問題が発生した場合はクランプタイプのフェライトコアを使用するとボードやシステム設計を変更せずにノイズ対策ができます。例としてケーブルとボードをコネクタで接続する場合、ボード側のコネクタ直前にフィルタを配置することでボードに侵入するノイズを最小限にできます。

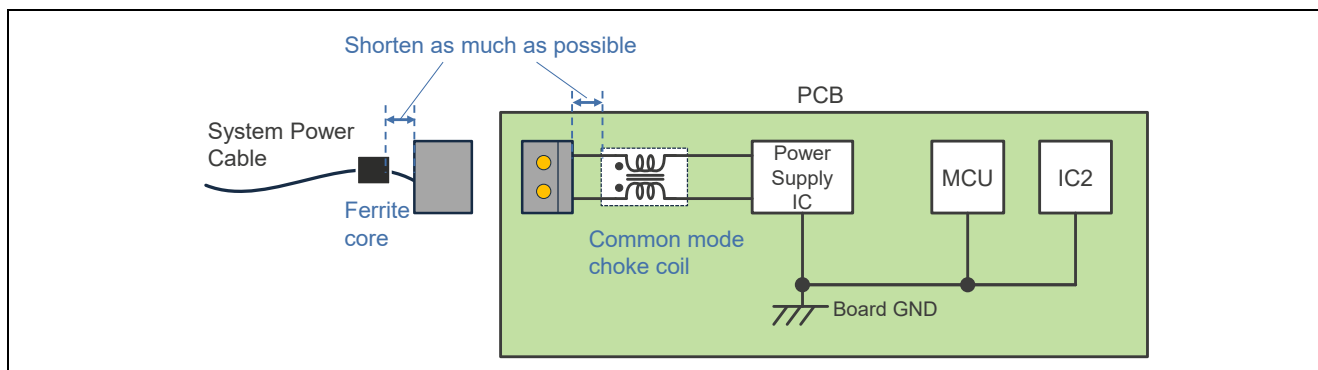


図 4-5 コモンモードフィルタの配置例

4.3.2 コンデンサの配置

電源および信号ケーブルからボードに侵入する電源ノイズ、およびリップルノイズを低減するには MCU の電源ライン、または端子付近にデカップリングコンデンサ、バルクコンデンサを適切に設計および配置してください。

- デカップリングコンデンサ

MCU 自身の消費電流による VCC または V_{DD} の電源ピン-VSS 間の電圧降下を低減し、CTSU の計測を安定させます。ご使用になる MCU のユーザーズマニュアルに記載された推奨容量を電源ピンと VSS ピン近傍に配置してください。またご使用になる MCU ファミリによりハードウェアデザインガイドが用意されている場合はデザインガイドに従ってパターン設計してください。

- バルクコンデンサ

MCU の電圧供給源のリップルを平滑化し MCU の電源ピン-VSS 間の電圧を安定させ CTSU の計測も安定させます。コンデンサの容量は電源設計により異なるため、発振や電圧降下が発生しないよう適切な値を配置してください。

4.3.3 マルチ周波数計測

伝導ノイズ耐性向上には CTSU2 の機能であるマルチ周波数計測が効果的です。伝導ノイズ耐性を考慮する必要がある場合は、CTSU2 を搭載した MCU を選定し、マルチ周波数計測機能を使用してください。詳細は「3.3.1 マルチ周波数計測」を参照してください。

4.3.4 GND シールドと電極間距離の考慮

図 4-6 に電極シールドの伝導ノイズ追加パスによるノイズ抑制イメージを示します。電極周囲に GND シールドを配置、および電極周囲のシールドを電極に近づけることで指とシールドの容量結合が強くなり、ノイズ成分 (V_{NOISE}) が B-GND に逃げるため CTSU の計測電流変動を低減できます。シールドを電極に近づけると C_p が大きくなりタッチ検出感度も低下するため注意が必要です。シールドと電極間の距離を変化させたときの感度特性は、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 (R30AN0389) の「5. 自己容量方式ボタン設計と特性データ」を参照してください。

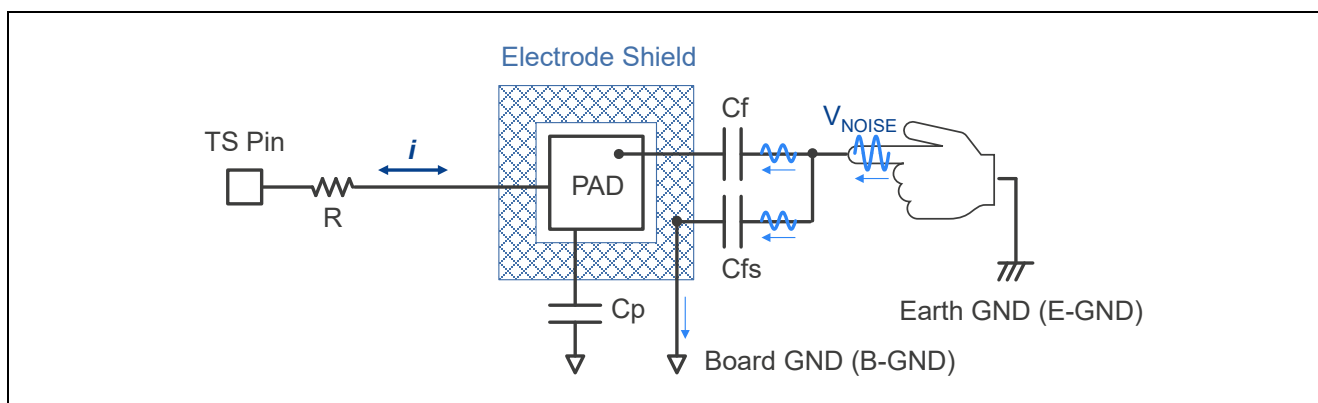


図 4-6 電極シールドの伝導ノイズ追加パスによるノイズ抑制イメージ

4.4 EFT ノイズ対策

EFT ノイズ耐性はシステムの電源ユニット設計が重要です。EFT ノイズは数 kV の連続するパルスノイズが AC 電源ラインを通じてシステムに侵入します。そのため電源ユニットによりノイズを低減し、MCU および周辺回路にノイズを侵入させないことが重要です。まずはノイズの少ない電圧を供給できる電源ユニット設計を行ってください。本章では EFT ノイズ耐性向上のための MCU ボード設計時に考慮すべきハードウェアのノイズ対策と CTSU 機能について説明します。

4.4.1 電源設計

本項ではボードの電源ラインに配置するフィルタの効果について説明します。MCU および周辺回路の電源パターンの注意事項は「4.1.2 電源設計」を参照してください。

4.4.2 コモンモードフィルタ

電源ケーブルからボードに侵入するノイズを低減するにはコモンモードフィルタ（コモンモードチョーク、フェライトコア）を配置、または取り付けてください。コモンモードフィルタにより電源ユニットで除去しきれなかった EFT ノイズを低減し、CTSU の計測値に現れるノイズの低減が期待できます。フィルタの種類により取り付け位置が異なり、ノイズをボード内に拡散させないように配置箇所を考慮する必要があります。フィルタ配置箇所の詳細は「4.3.1 コモンモードフィルタ」を参照してください。

4.4.3 TVS ダイオード

TVS ダイオードを使用すると電源や CTSU のセンサドライブパルス電圧に重畳した EFT ノイズのピーク電圧が低減され、CTSU の計測値に現れるノイズの低減が期待できます。TVS ダイオードの効果を得るためには適切に設計および配置してください。

● ボード電源

過電圧保護として TVS ダイオードを使用する場合、電源入力端子の直後に配置してください。実装は電源ラインおよびボード GND にインピーダンスが小さくなるように最短距離かつできる限り太い配線で接続してください。コモンモードフィルタを使用する場合はコモンモードフィルタの前段に配置してください。

TVS ダイオードの選定要件は下記を参考にしてください。

- 静電気耐量（または ESD 耐圧等）が想定する EFT ノイズ電圧以上
- 最大逆動作電圧（ V_{RWM} ）は配置する電源ラインの電圧以上。動作余裕のため供給電圧の 10～20% 程度高い V_{RWM} を目安にしてください。
- ブレークダウン電圧（ V_{BR} ）またはクランプ電圧（ V_{CLAMP} ）は V_{RWM} との差が小さい。

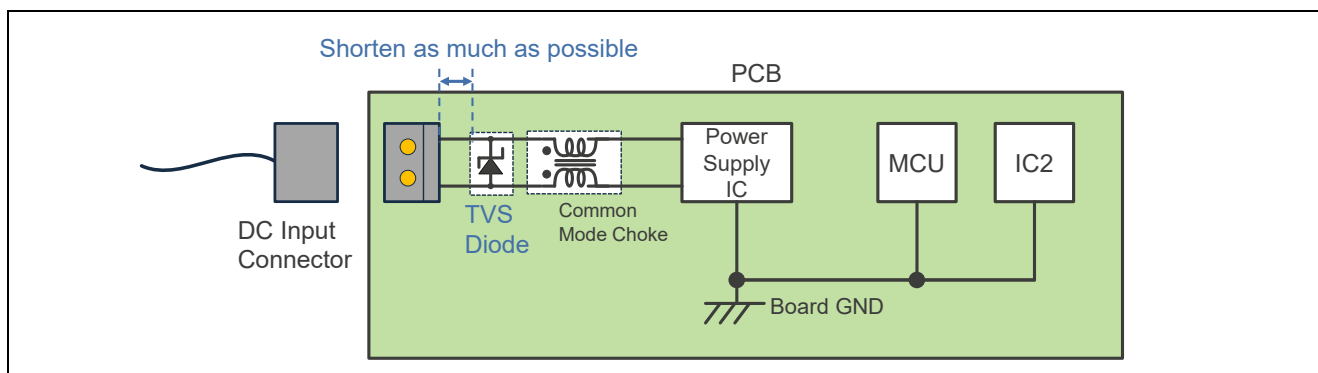


図 4-7 TVS ダイオードの配置例

● TS 端子（タッチ電極）

TVS ダイオードを使用する場合、タッチ電極近傍に配置し、タッチ配線とボード GND 間にインピーダンスが小さくなるように最短距離かつできる限り太い配線で接続してください。

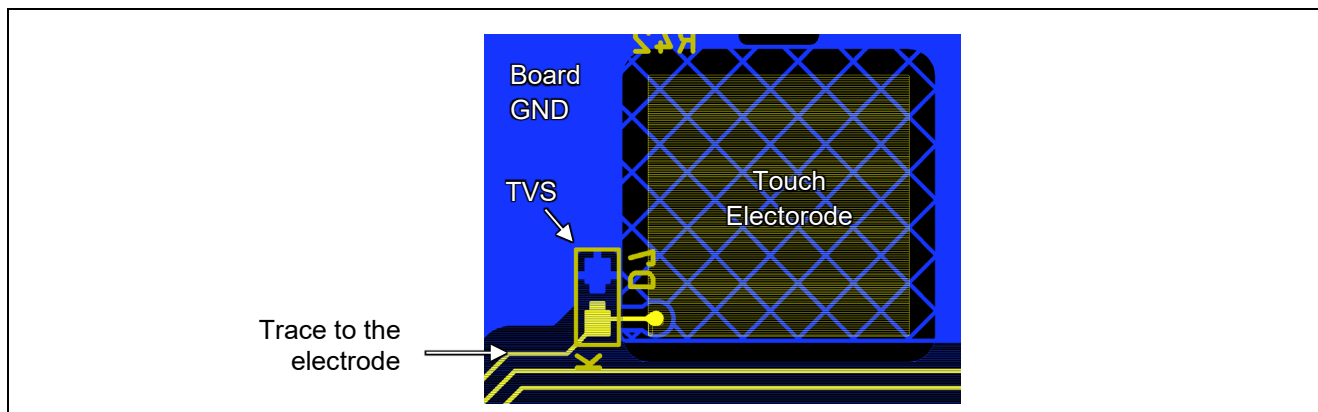


図 4-8 TS 端子の TVS 接続例

TS 端子に接続する TVS ダイオードの選定要件は下記を参考にしてください。

- 低静電容量、低リーク電流。ルネサスでは 0.25pF、50nA（いずれも 25℃での Max 値）の製品を使用して評価を行っています。
- 静電気耐量は想定する EFT ノイズ電圧以上
- 最大逆動作電圧 (V_{RWM}) は MCU 動作電圧以上、ブレークダウン電圧 (V_{BR}) またはクランプ電圧 (V_{CLAMP}) は MCU の絶対定格電圧以下にあること
- V_{BR} または V_{CLAMP} は V_{RWM} との差が小さい
- 選定が難しく、絶対定格電圧を超えてしまう場合は片方向デバイスを 2 個使用し、クランプ回路を構成してください。この場合 TVS の V_F (順方向電圧)と MCU 供給電圧の合計が電圧絶対定格以下になる V_F の製品を選定してください。

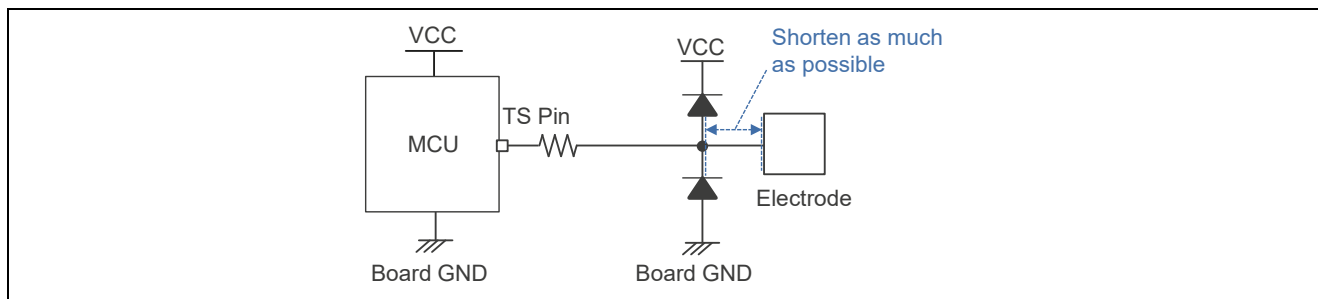


図 4-9 クランプ回路の構成例

TVS ダイオードの静電容量は TS 端子の静電容量に加算されます。RA2L1 に内蔵の CTSU2 においてセンサドライブパルス周波数が 1MHz のとき、TVS ダイオードのリーク電流により、CTSU2 からは約 0.67pF/uA 静電容量が増加するように見えます。なお、この静電容量増加はセンサドライブパルス周波数に反比例します。例えばセンサドライブパルス周波数が 0.5MHz では約 1.33pF/uA、2MHz では 0.33pF/uA になります。CTSU は TS 端子接続された静電容量に応じて段階的にセンサドライブパルス周波数を選択します。センサドライブパルス周波数は高いほどシグナル値（タッチ ON/OFF の差分値）が増加し、SNR が向上します。TS 端子に接続された静電容量が大きすぎる場合、センサドライブパルス周波数を低く設定しなければならず、SNR が低下します。これらの理由から、TS 端子に ESD 対策デバイスを追加する際は、センサドライブパルス周波数を低下させないために低静電容量、低リーク電流のデバイスを選択してください。寄生容量/ダンピング抵抗およびセンサドライブパルス周波数の関係は[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\(R30AN0428\)](#)を参照してください。TS 端子に TVS ダイオードを接続した場合の計測値への影響、および評価時のデバイス条件は[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 \(R30AN0389\)](#)の「5.4.6.4 ESD 保護ダイオード接続時の感度特性」を参照してください。

4.4.4 マルチ周波数計測

CTS2 マイコンのマルチ周波数計測を使用すると異なる 3 周波数のセンサドライブパルス周波数により EFT ノイズ周期と同期しにくくなり、また多数決処理によりノイズ影響を受けた計測値を除外できるため計測値のノイズを低減できる場合があります。マルチ周波数計測の詳細は「3.3.1 マルチ周波数計測」を参照してください。

4.5 ESD ノイズ対策

タッチ電極回路はノイズを受けやすく、ハードウェア設計段階でノイズ耐性を考慮する必要があります。静電気 (ESD) はタッチ電極を覆うオーバーレイを介してタッチ電極に放電されることがあります。またシステムの筐体の隙間やパネル接合面から静電気が回り込み、筐体内の基板に侵入することもあります。タッチ電極が静電気の影響を受けると CTSU 計測値にパルス状ノイズ発生や、計測値にオーバーフローやアンダーフローが発生することがあり、場合によってはデバイス損傷の恐れがあります。本章では ESD ノイズ耐性向上のための MCU ボード設計時に考慮すべきハードウェアのノイズ対策と CTSU 機能について説明します。

4.5.1 ボードパターン設計

4.5.1.1 タッチ電極

基板ノイズ耐性を考慮した基板設計ルールの詳細は、最新の [CTS2 静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#) を参照してください。

4.5.1.2 GND パターン設計

基板外周に 2mm 以上の GND パターンを配置し、タッチ電極および配線は GND パターンでシールドしてください。電位が低く安定した GND パターンに静電気を誘導することでタッチ電極へ直接静電気が侵入することを低減します。またタッチ電極は可能な限り基板端から遠い位置に配置してください。

4.5.2 TS 端子の端子保護回路

TS 端子の端子破壊を防ぐためには TVS ダイオードのような ESD 対策デバイスを追加してください。ESD 対策デバイスを効果的に動作させるためには各デバイスの使用方法に従ってください。追加保護回路は CTSU の計測結果に影響するため低静電容量、低リーク電流のデバイスを推奨します。TVS ダイオードを使用する場合の選定要件は 4.4.3 TVS ダイオードの TS 端子 (タッチ電極) の項目を参照してください。

5. ソフトウェアフィルタ

CTSU ドライバは標準フィルタとして IIR 移動平均フィルタを実装しており、ほとんどの場合標準フィルタで十分な SNR と応答性を得ることができます。しかし、ユーザシステムによっては、より強力なノイズ低減処理が必要となることがあります。

図 5-1 にユーザフィルタ処理追加時のデータフローを示します。ユーザフィルタは CTSU ドライバと TOUCH モジュールの間に配置して処理を行うことができます。詳細なプロジェクトファイルへの組み込み方法、ソフトウェアフィルタのサンプルコード、および使用例プロジェクトファイルは下記アプリケーションノートを参照してください。

[RA ファミリ 静電容量タッチ ソフトウェアフィルタサンプルプログラム \(R30AN0427\)](#)

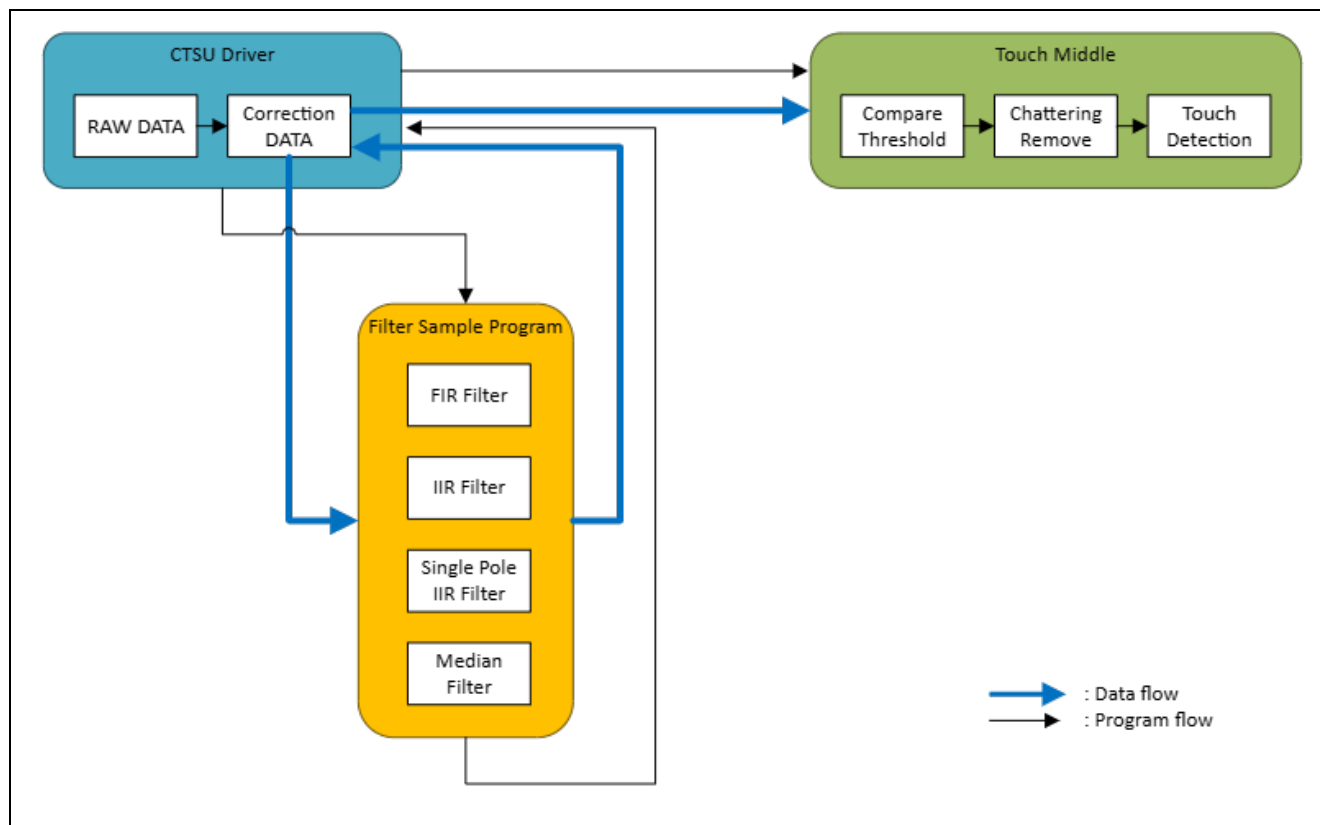


図 5-1 ユーザフィルタ処理追加時のデータフロー

本章では EMC 規格ごとに有効なフィルタを紹介します。

表 5-1 EMC 規格と対応ソフトウェアフィルタ

EMC 規格	想定ノイズ	対応ソフトウェアフィルタ
IEC61000-4-3 放射イミュニティ、 IEC61000-4-6 伝導イミュニティ	ランダムノイズ	IIR フィルタ
	周期ノイズ	FIR フィルタ
IEC61000-4-4 EFT/B、 IEC61000-4-2 ESD	パルスノイズ	メディアンフィルタ

5.1 IIR フィルタ

IIR フィルタ（Infinite Impulse Response フィルタ）は省メモリ、小演算負荷で、ローパワーシステムやボタン個数が多いアプリケーションに最適です。ローパスフィルタとして使用することで高周波ノイズを低減できます。但し、カットオフ周波数を低くするほど整定時間が長くなり、ON/OFF 判定処理が遅延するため注意が必要です。

単極 1 次 IIR フィルタは、 a, b を係数、 x_n を入力値、 y_n を出力値、 y_{n-1} を前回出力値として、次式で計算します。

$$y_n = ax_n + by_{n-1}$$

ローパスフィルタとして使用する場合、係数 a と b はサンプリング周波数 f_s 、カットオフ周波数 f_c とすると次式で求めることができます。

$$b = e^{-\frac{2\pi f_c}{f_s}}, \quad a = 1 - b$$

5.2 FIR フィルタ

FIR フィルタ（Finite Impulse Response フィルタ）は演算誤差による精度劣化が小さく安定度の高いフィルタです。係数によりローパスフィルタやバンドパスフィルタとして使用することで、周期ノイズやランダムノイズを低減して SNR が改善します。但し、過去の一定期間のサンプルを保持し演算するため、フィルタタップ長に比例してメモリ使用量や演算負荷が増加します。

FIR フィルタは、フィルタタップ長を L 、 $h_0 \sim h_{L-1}$ を係数、 x_n を入力値、 x_{n-i} を i サンプル前の入力値、 y_n を出力値とすると、次式で計算します。

$$y_n = \sum_{i=0}^{L-1} h_i \cdot x_{n-i}$$

5.3 使用例

IIR フィルタ、FIR フィルタを使用したノイズ除去例を以下に示します。表 5-2 にフィルタ条件を、図 5-2 にランダムノイズ除去例を示します。

表 5-2 フィルタ使用例条件

フィルタ形式	条件 1	条件 2	補足
単極 1 次 IIR	$b=0.5$	$b=0.75$	
FIR	$L=4$ $h_0 \sim h_{L-1}=0.25$	$L=8$ $h_0 \sim h_{L-1}=0.125$	単純移動平均として使用

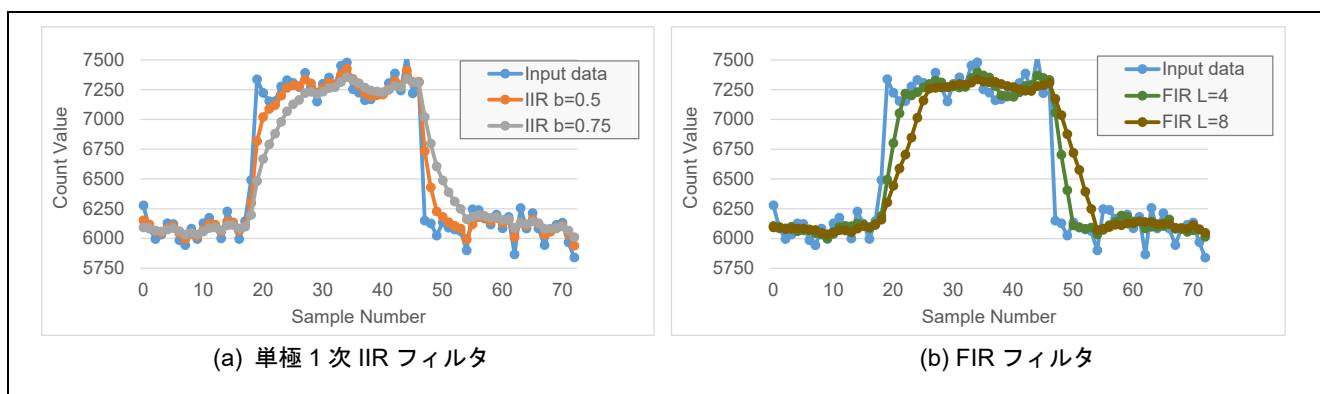


図 5-2 ランダムノイズノイズ除去例

5.4 メディアンフィルタ

メディアンフィルタは任意の個数のサンプリングデータから中央値を抽出するフィルタの一種で、計測値に現れるパルス性ノイズの除去に効果があります。メディアンフィルタは入力したサンプリングデータを大きさ順にソートし、ソート結果の中央値を出力値として採用します。パルス性ノイズの周期がフィルタに入力するサンプリングデータ長の半分以下であれば除去することができます。

5.4.1 使用例

メディアンフィルタを使用したパルス性ノイズ除去例を以下に示します。表 5-3 にフィルタ使用条件、図 5-3 と図 5-4 にパルスノイズ除去例を示します。

表 5-3 フィルタ使用条件

フィルタ形式	条件	設定値
メディアン	サンプリングデータ長	3

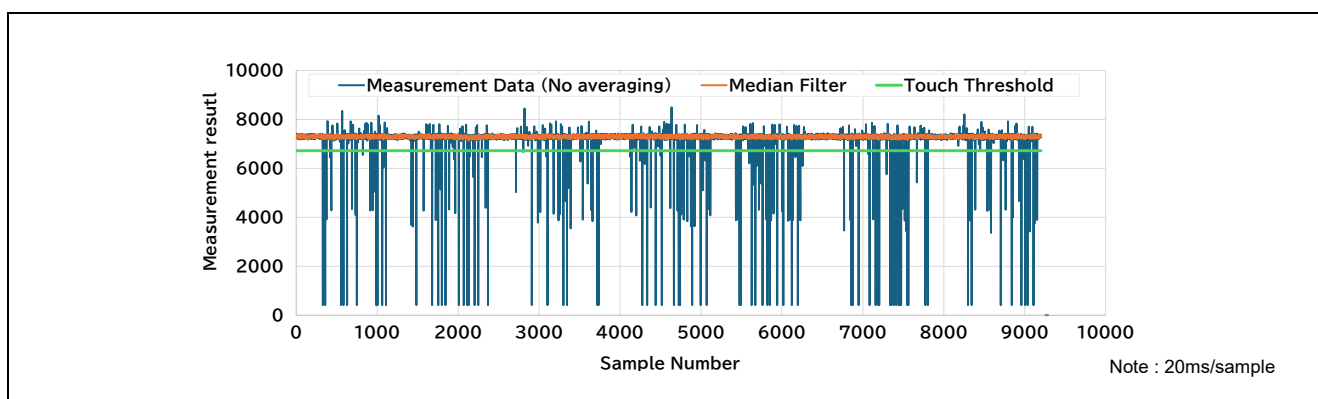


図 5-3 パルスノイズ除去例

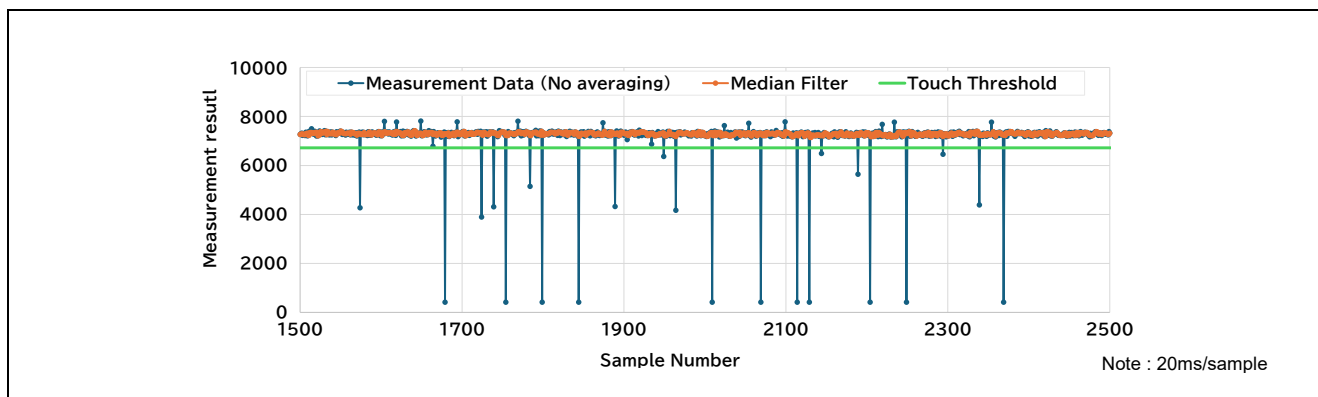


図 5-4 パルスノイズ除去例（一部拡大）

5.5 計測周期の注意事項

ソフトウェアフィルタは計測周期の精度により周波数特性が変化し、計測周期のズレやばらつきで期待した特性が得られない場合があります。フィルタ特性を優先する場合はメインクロックに高速オンチップオシレータ（HOCO）や外付け水晶発振子を使用してください。またタッチ計測実行周期はハードウェアタイマで管理することを推奨します。

6. 評価結果

本書で説明したノイズ対策デバイスを使用した場合の CTSU 計測値を参考データとして示します。参考データはルネサス製の静電容量タッチ評価ボードおよび電源 IC 評価ボードを組み合わせた場合の評価結果（性能）を示すものです。掲載データは各 MCU の電気的特性を保証するものではありません。基板設計においては試作および十分な評価を行い、お客様にて使用可否を判断してください。

6.1 評価条件

表 6-1 にハードウェア条件を示します。

表 6-1 ハードウェア条件

項目	仕様
評価ボード	RA2L1 静電容量タッチ評価システム (RTK0EG0022S01001BJ) - CPU ボード : RA2L1 Cap Touch CPU ボード (RTK0EG0018C01001BJ v1.0) - タッチ電極ボード : 自己容量タッチ電極ボード (RTK0EG0019B01002BJ v1.1)
使用 MCU	RA2L1 (R7FA2L1AB2DFP) 内蔵静電容量タッチモジュール名 : CTSU2
動作周波数	48MHz (HOCO)
電源ユニット	5.0V (iW1810-00 For 5V600mA AC-DC SMPS Design P/N:EBC10013)

図 6-1 に評価したタッチ電極を示します。評価には自己容量タッチ電極ボード (RTK0EG0019B01002BJ v1.1) の TS-B1 表記のタッチボタンを使用しました。

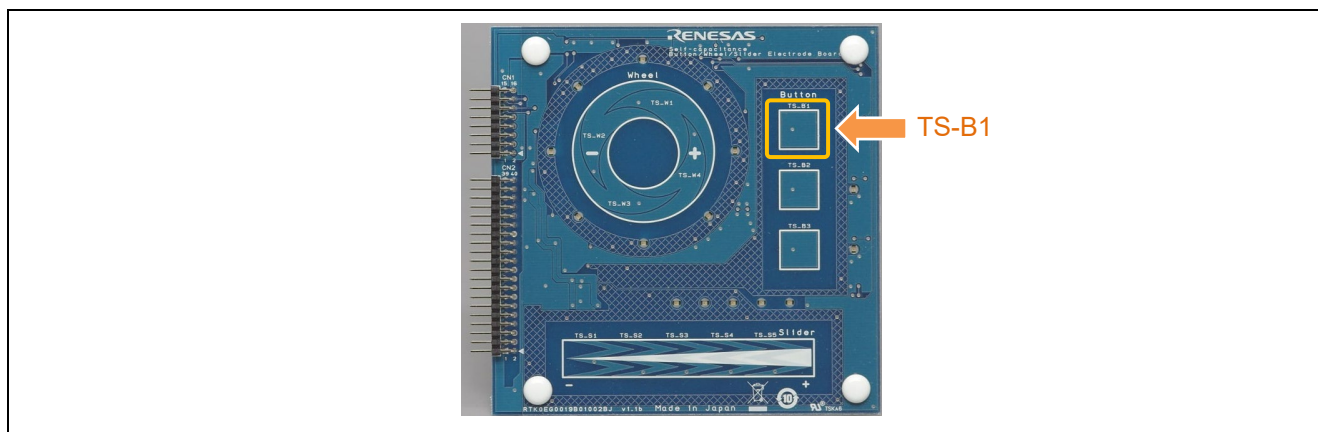


図 6-1 評価したタッチ電極 (TS-B1)

表 6-2 にソフトウェア開発環境を示します。

表 6-2 ソフトウェア開発環境

項目	仕様
統合開発環境	Renesas e ² studio Version: 2022-01
コンパイラ	GCC ARM Embedded 10.3.1.20210824
RA FSP	Version 5.1.0
静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール	QE for Capacitive Touch V3.3.0
エミュレータ	Renesas E2 emulator Lite

表 6-3 にソフトウェア条件を示します。

表 6-3 ソフトウェア条件

項目	設定
使用電極	RTK0EG0019B01002BJ v1.1 の TS-B1 (RA2L1 の TS11 に接続) アクティブシールド：有効 (RA2L1 の TS0 に接続)
タッチセンサパラメータ	特記が無い限り、QE for Capacitive Touch の自動調整処理による結果を使用 - マルチ周波数測定回数：3 周波数 - 計測回数/計測時間：0.128ms - センサドライブパルス周波数：f1 = 1MHz、f2 = 0.859MHz、f3 = 1.141MHz - 計測電流レンジ：通常電流 (40 μA) - 非計測チャネル出力：同相パルス出力
Cap Touch パラメータ	- ドリフト補正期間：255 - 移動平均フィルタの深度：4 — 「5. ソフトウェアフィルタ」で示すフィルタは未使用です。
計測周期	20ms (ハードウェアタイマ (AGT) により生成し、ポーリング処理で計測開始)
その他	タッチ電極ボードの LED は全点灯とした

図 6-2 に RTK0EG0022S01001BJ の QE for Capacitive Touch の自動調整結果を示します。

Method	Kind	Name	Touch Sensor	Parasitic Capacitance[pF]	Sensor Drive Pulse Frequency[MHz]	Threshold	Scan Time[ms]	Overflow
config01	Button(self)	TS_B1	TS11	13.139	1.0	529	0.576	None
config01	Button(self)	TS_B2	TS10	14.924	1.0	553	0.576	None
config01	Button(self)	TS_B3	TS09	11.646	1.0	580	0.576	None
config01	Shield Electrode Pin	Shield00	TS00	49.062	-	-	-	-
config02	Shield Electrode Pin	Shield01	TS08	47.688	-	-	-	-
config02	Button(self)	TS_S1	TS04	11.583	1.0	405	0.576	None
config02	Button(self)	TS_S2	TS02	9.938	1.0	369	0.576	None
config02	Button(self)	TS_S3	TS05	10.938	1.0	397	0.576	None
config02	Button(self)	TS_S4	TS07	11.694	1.0	422	0.576	None
config02	Button(self)	TS_S5	TS06	11.833	1.0	453	0.576	None
config03	Button(self)	TS_W4	TS32	12.34	1.0	499	0.576	None
config03	Shield Electrode Pin	Shield02	TS14	45.694	-	-	-	-
config03	Button(self)	TS_W1	TS18	13.16	1.0	530	0.576	None
config03	Button(self)	TS_W2	TS21	13.056	1.0	553	0.576	None
config03	Button(self)	TS_W3	TS23	13.194	1.0	487	0.576	None

図 6-2 RTK0EG0022S01001BJ の QE for Capacitive Touch の自動調整結果

本書の評価結果は CTSU2 のマルチ周波数計測機能を使用したデータを掲載しています。マルチ周波数計測機能の説明および計測値選択処理（多数決判定処理）は「3.3.1 マルチ周波数計測」を参照してください。

図 6-3 に本書の評価結果の見方を示します。

- (a) マルチ周波数計測値の結果。3 周波数個別の計測値（f1、f2、f3 の計測値）を示します。
- (b) 多数決判定結果。(a)の結果を多数決判定し、移動平均を適用した計測値を示します。

(b)の多数決判定は(a)の 3 周波数のうち 2 周波数の結果を合算するため計測値が 2 倍になります。そのため(b)のグラフは(a)のグラフより 2 倍のスケールに調整しています

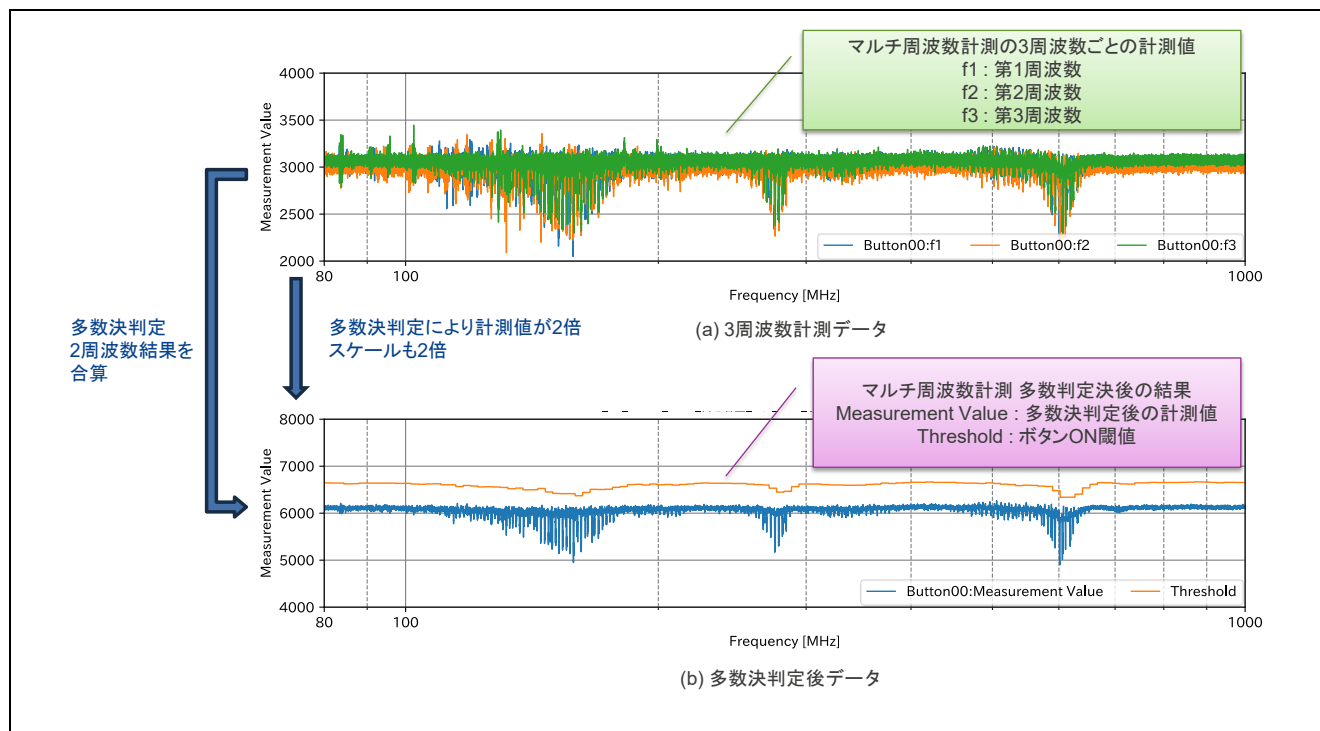


図 6-3 本書の評価結果の見方

6.2 放射イミュニティ (IEC61000-4-3)

6.2.1 試験条件

表 6-4 に放射イミュニティ試験条件、図 6-4 に試験環境ブロック図、図 6-5 に試験環境を示します。本評価は IEC61000-4-3 で規定された条件で実施しました。

表 6-4 放射イミュニティ試験条件

項目	設定値	備考
試験電圧	60V/m $\pm$ 10%	
試験周波数	・ 80MHz~1GHz ・ 1GHz~6GHz	
周波数ステップ	1.0%	
変調条件	1kHz 正弦波 AM 80%	
印加時間	1.0 秒	
電磁界の向き	水平、垂直	評価ボード、タッチ電極面に対して照射

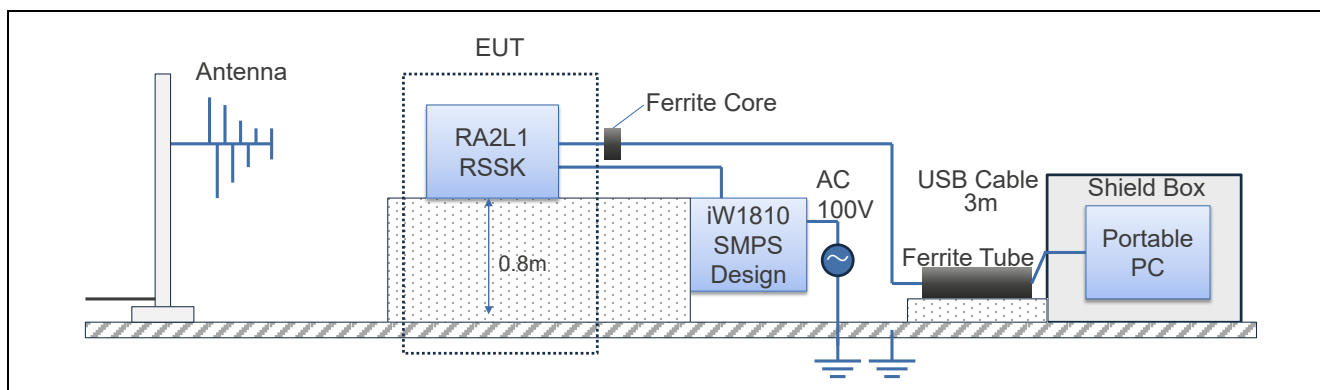


図 6-4 試験環境ブロック図

本評価では可能な限り評価ボード上のパターンのみの影響を評価するため、電源ケーブル（1.2m）および PC との通信ケーブル（3m USB ケーブル）が電波の影響を受けないようコネクタ近傍から後方にケーブルを逃がすように配置し、評価ボードのタッチ電極面に対し水平偏波および垂直偏波を印加しました。

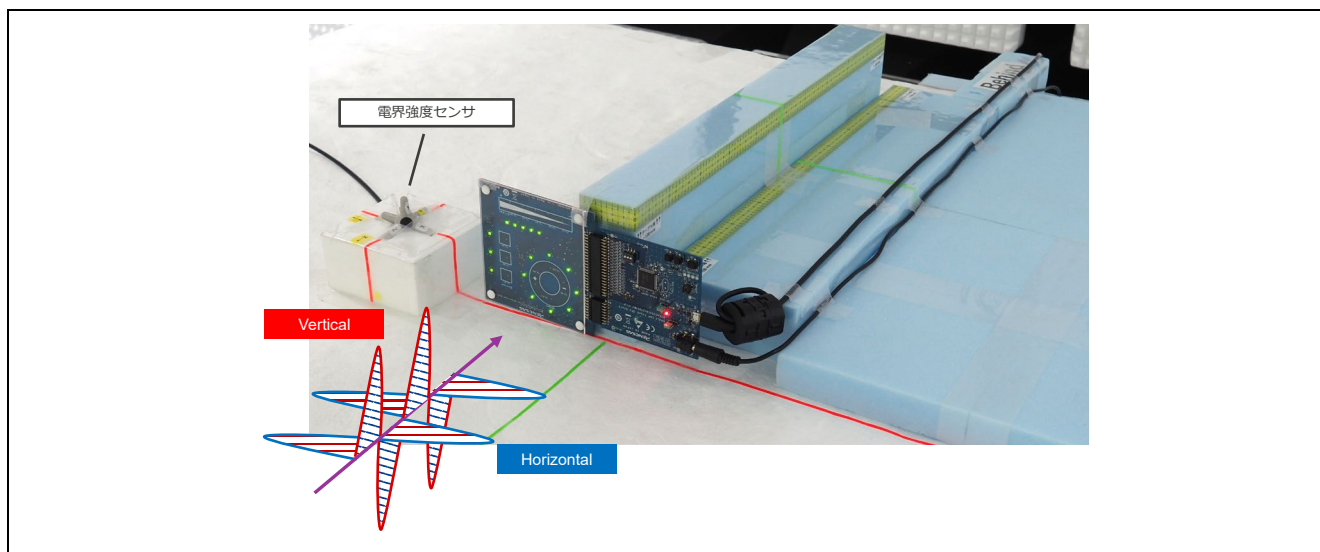


図 6-5 試験環境

6.2.2 コモンモードチョーク

表 6-5 に使用部品、図 6-6 にコモンモードチョーク配置箇所を示します。本評価ではインピーダンス 100Ω の製品を使用した場合の評価結果を例示します。

表 6-5 使用部品

使用部品	インピーダンス仕様 (100MHz)
Murata DLW5BTM101SQ2L	100Ω

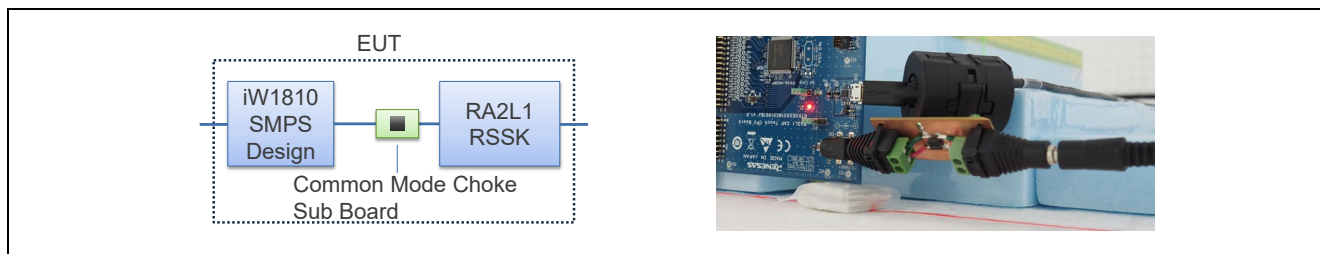


図 6-6 コモンモードチョーク配置箇所

図 6-7 から図 6-10 に評価結果を示します。コモンモードチョーク無しでは 180MHz、260MHz、600MHz に放射ノイズの影響がありますが、コモンモードチョークを使用するとノイズが減少しました。

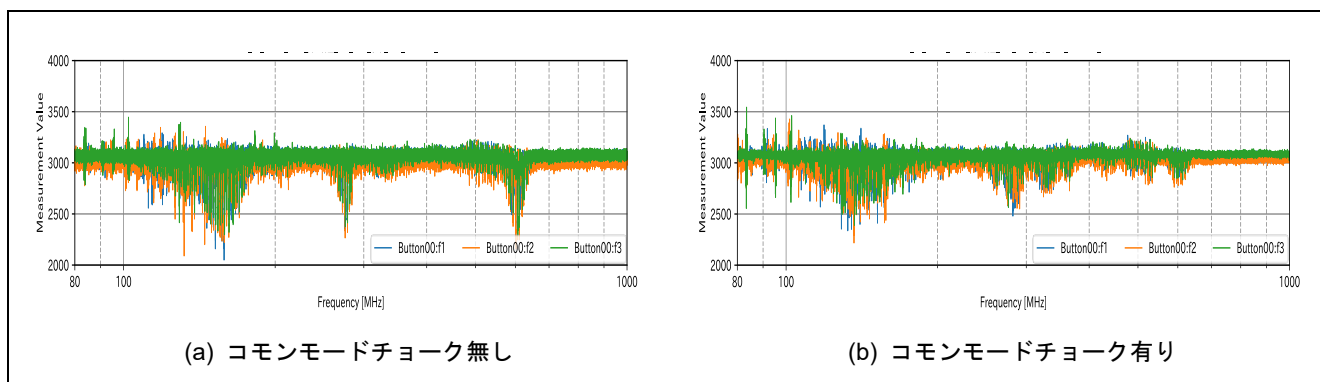


図 6-7 コモンモードチョーク 3 周波数計測データ (水平偏波)

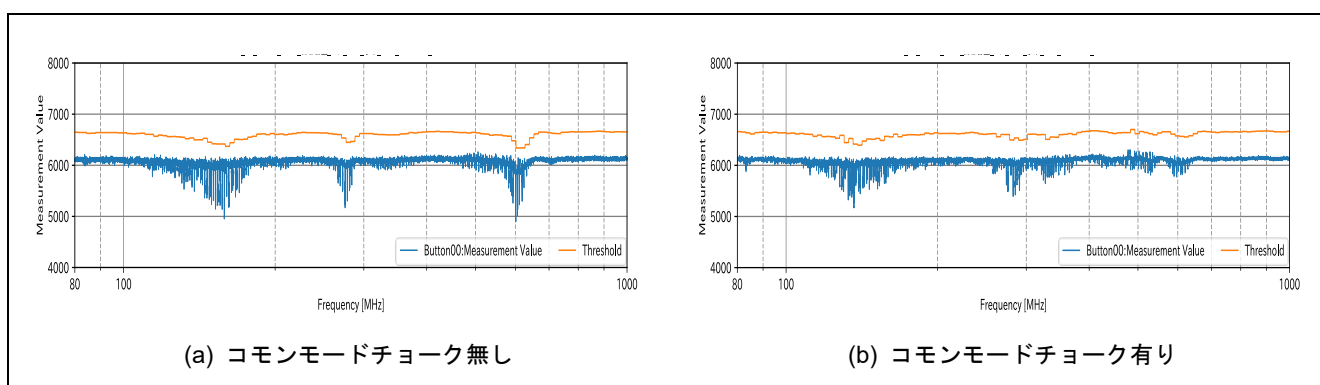


図 6-8 コモンモードチョーク 多数決判定後データ (水平偏波)

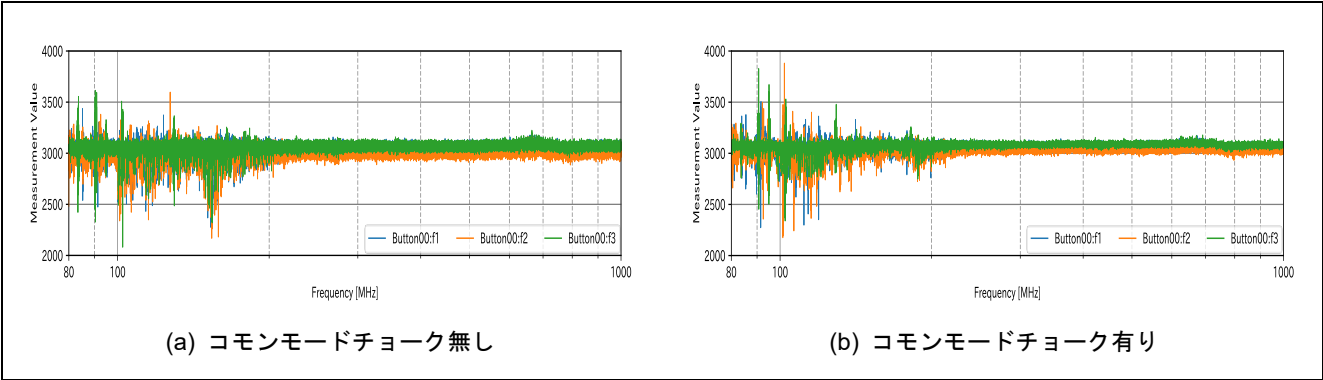


図 6-9 コモンモードチョーク 3 周波数データ（垂直偏波）

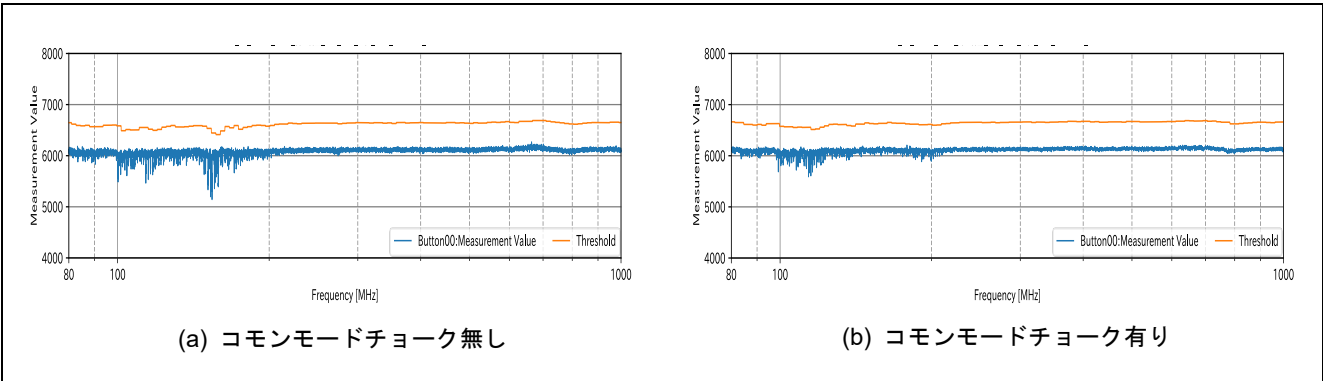


図 6-10 コモンモードチョーク 多数決判定後データ（垂直偏波）

6.2.3 フェライトコア

表 6-6 に使用部品、図 6-11 にフェライトコア配置箇所を示します。本評価では巻き数によるノイズ低減効果を場合の評価結果を例示します。

表 6-6 使用部品

使用部品	巻き数仕様
SEIWA E04SR200935A	1 ターン
	2 ターン

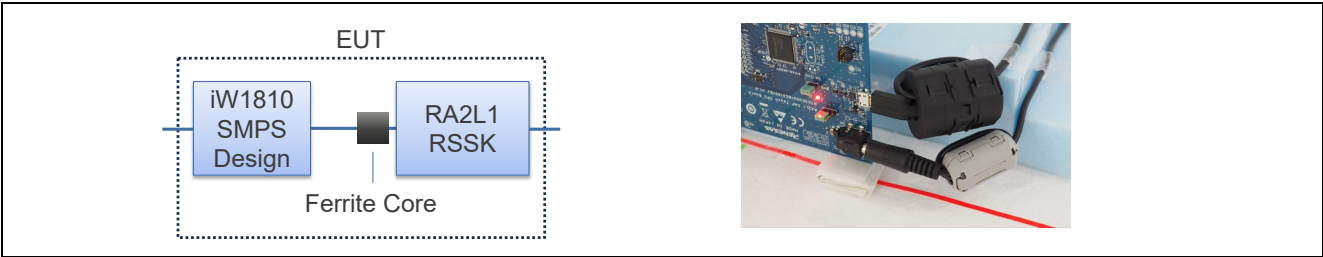


図 6-11 フェライトコア配置箇所

図 6-12 から図 6-15 に評価結果を示します。フェライトコア無しでは 180MHz、260MHz、600MHz が放射ノイズの影響を受けますが、フェライトコアを使用するとノイズが低減しました。また巻き数を増やすとさらにノイズが減少しました。

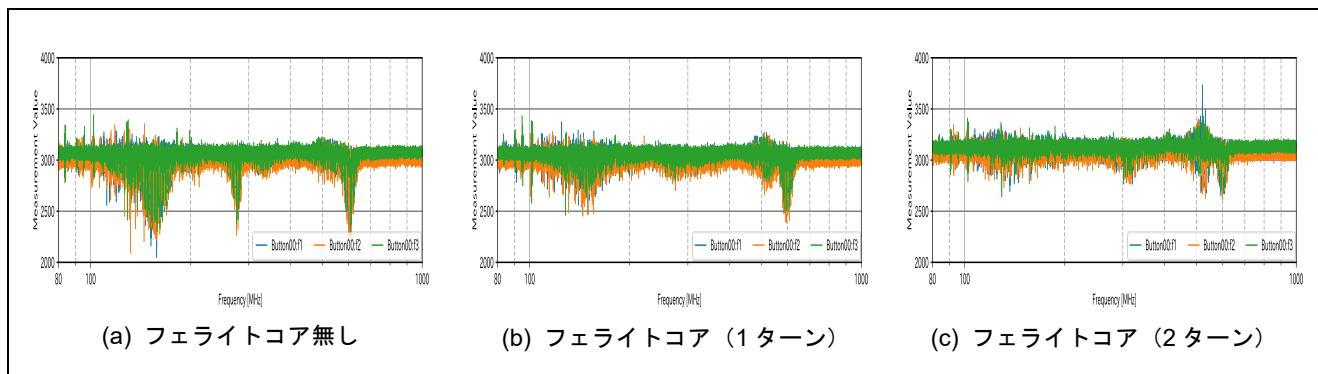


図 6-12 フェライトコア 3 周波数データ (水平偏波)

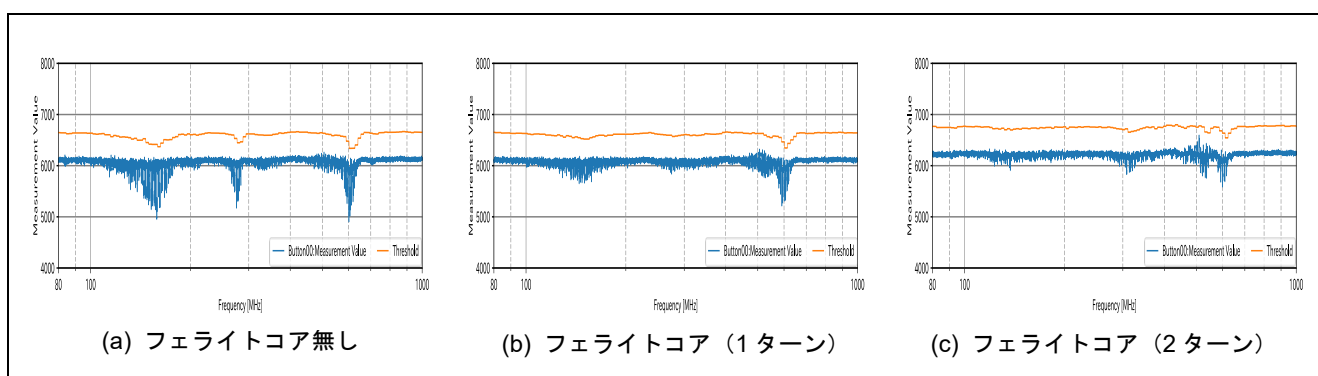


図 6-13 フェライトコア 多数決判定後データ (水平偏波)

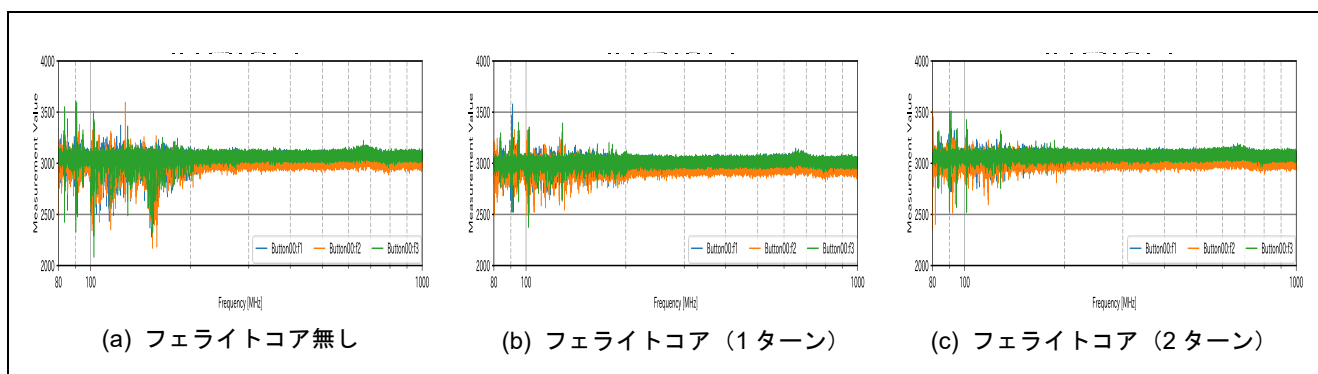


図 6-14 フェライトコア 3 周波数データ (垂直偏波)

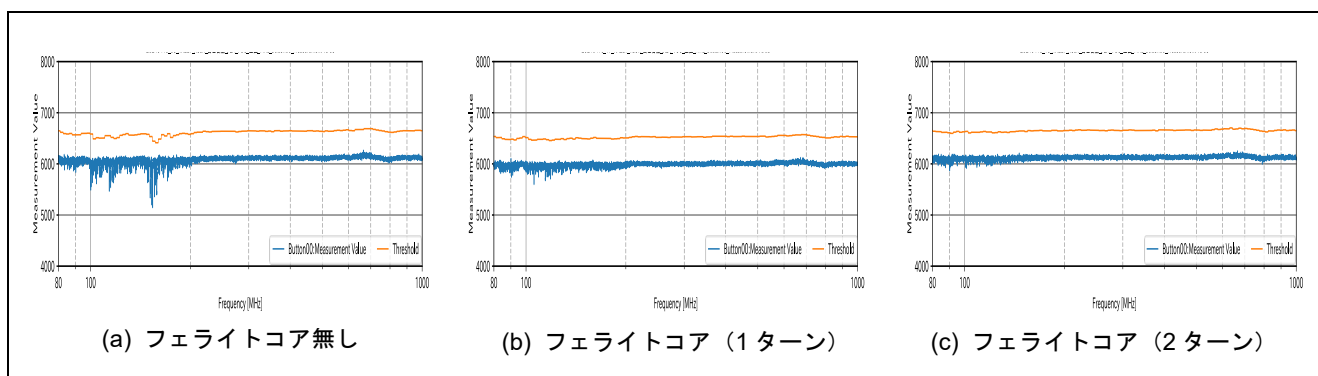


図 6-15 フェライトコア 多数決判定後データ (垂直偏波)

6.3 伝導イミュニティ (IEC61000-4-6)

6.3.1 試験条件

表 6-7 に伝導イミュニティ試験条件、図 6-16 に試験環境ブロック図、図 6-17 に試験環境を示します。IEC61000-4-6 で規定される条件で評価を実施しました。

表 6-7 伝導イミュニティ試験条件

項目	設定値	備考
試験レベル	10Vrms	
試験周波数	0.15MHz~80MHz	
周波数ステップ	1.0%	
変調条件	1kHz 正弦波 AM 80%	
滞留時間	1.0 秒	

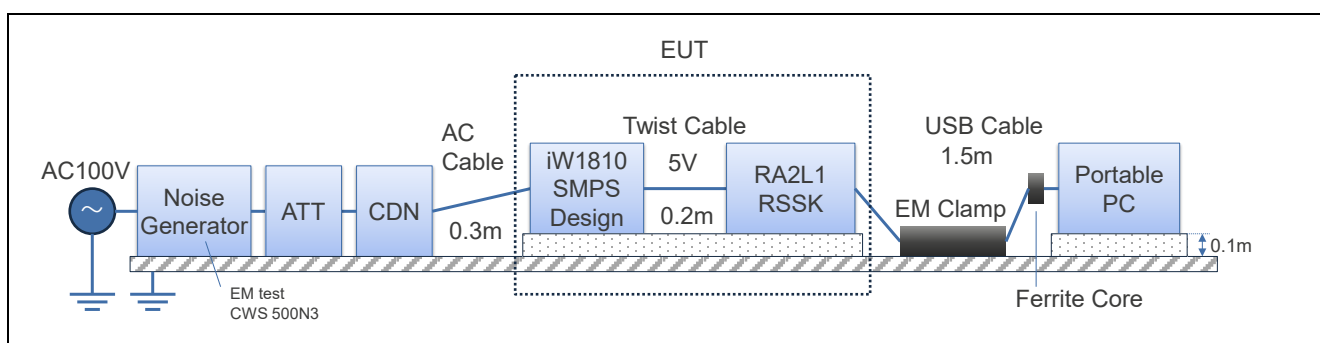


図 6-16 試験環境ブロック図

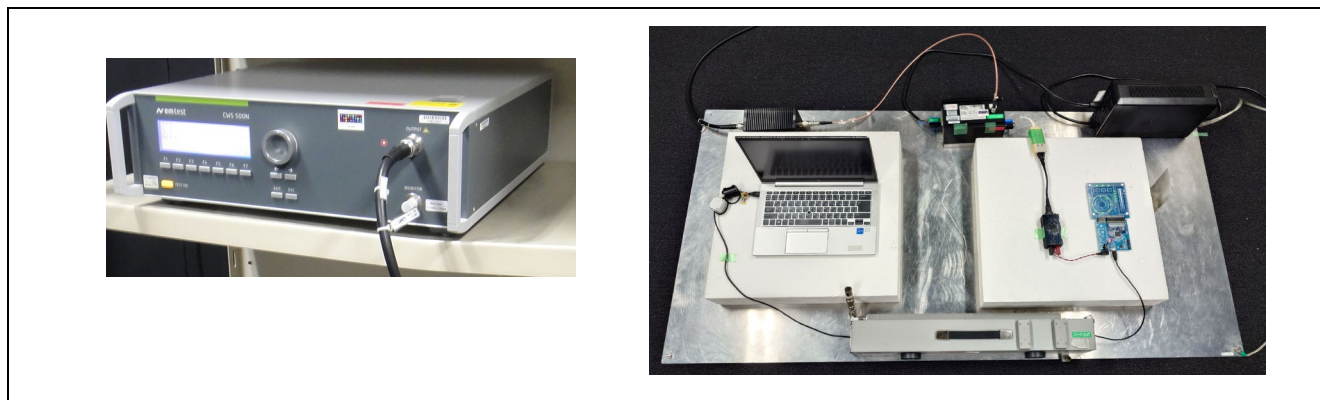


図 6-17 試験環境

表 6-8 に疑似指仕様を示します。IEC61000-4-6 では人が機器に触れた状態で操作することを考慮した手の影響を模擬した試験にも言及しており、疑似指を使用したタッチ状態の評価も実施しました。

表 6-8 疑似指仕様

項目	仕様
材質	SUS304 ステンレス
外径	Φ 10mm
長さ	50mm
アース接地方法	220 pF と 510 Ω の RC ネットワークを介し、300mm ワイヤで接続
タッチ ON 静電容量増加	約 0.95pF (図 6-1 で示す TS-B1 タッチ電極)

6.3.2 コモンモードチョーク

表 6-9 に使用部品、図 6-18 にコモンモードチョーク配置箇所を示します。本評価ではインピーダンス 100Ω の製品を使用した場合の評価結果を例示します。

表 6-9 使用部品

使用部品	インピーダンス仕様 (100MHz)
Murata DLW5BTM101SQ2L	100Ω

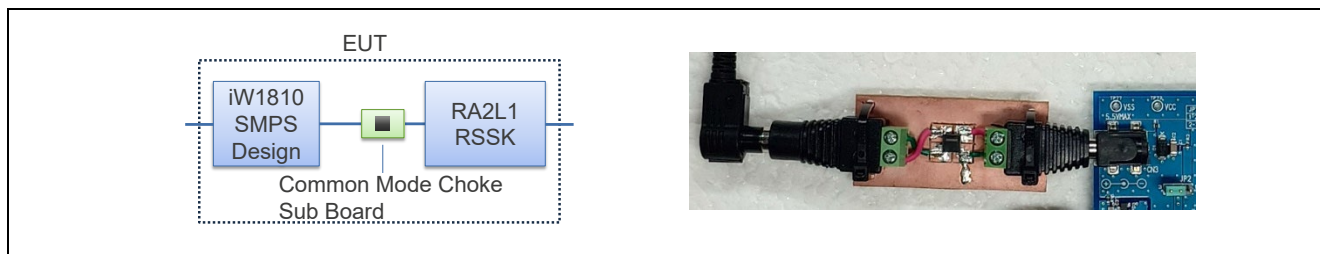


図 6-18 コモンモードチョーク配置箇所

図 6-19 と図 6-20 にタッチ OFF の評価結果を示します。3 周波数データの 60MHz 周辺にノイズの影響がありますがコモンモードチョークを使用するとノイズが減少しました。また、マルチ周波数計測の多数決判定によりノイズは除去されました。

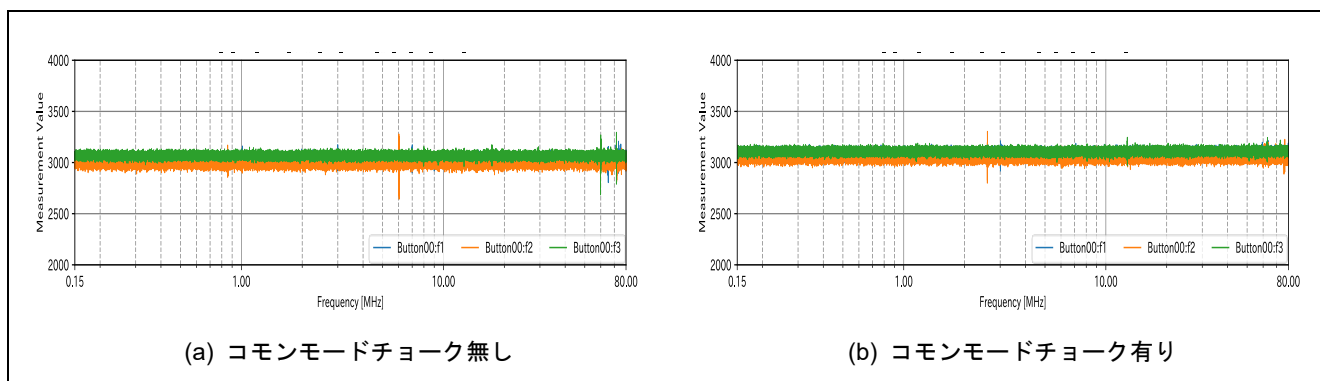


図 6-19 コモンモードチョーク (100Ω) 3 周波数データ (タッチ OFF)

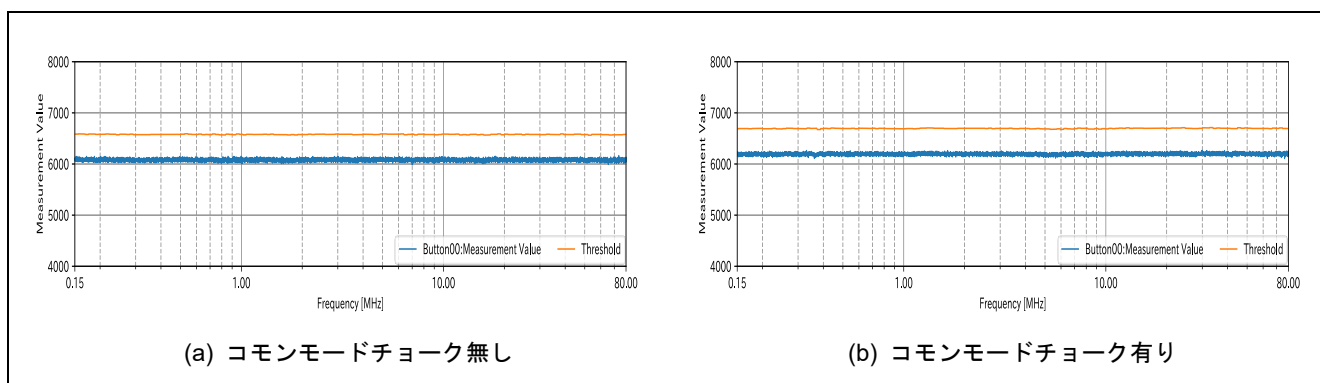


図 6-20 コモンモードチョーク (100Ω) 多数決判定後データ (タッチ OFF)

図 6-21 と図 6-22 にタッチ ON の評価結果を示します。タッチ ON では疑似指を通じて伝導ノイズがタッチ電極から直接基板に侵入するため、3 周波数データに CTSU のセンサドライバパルス周波数 (1.0MHz) とその高調波にノイズが発生しました。また 60MHz 周辺にノイズの影響があります。多数決判定後のデータはほとんどのノイズが除去できることを示しマルチ周波数計測の多数決判定が有効であることを示します。また、多数決判定後のデータでは 1.0MHz と 60MHz 周辺のノイズはコモンモードチョークを使用すると減少しました。

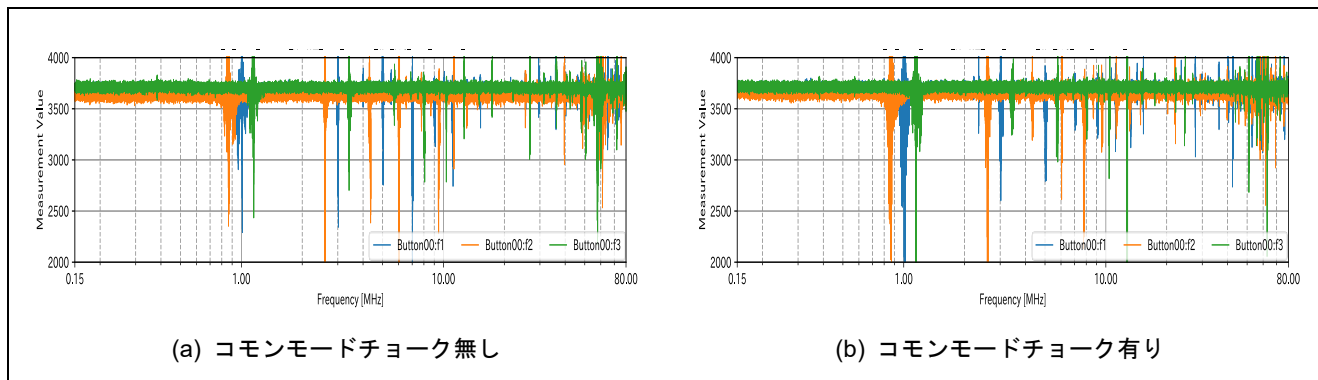


図 6-21 コモンモードチョーク (100Ω) 3 周波数データ (タッチ ON)

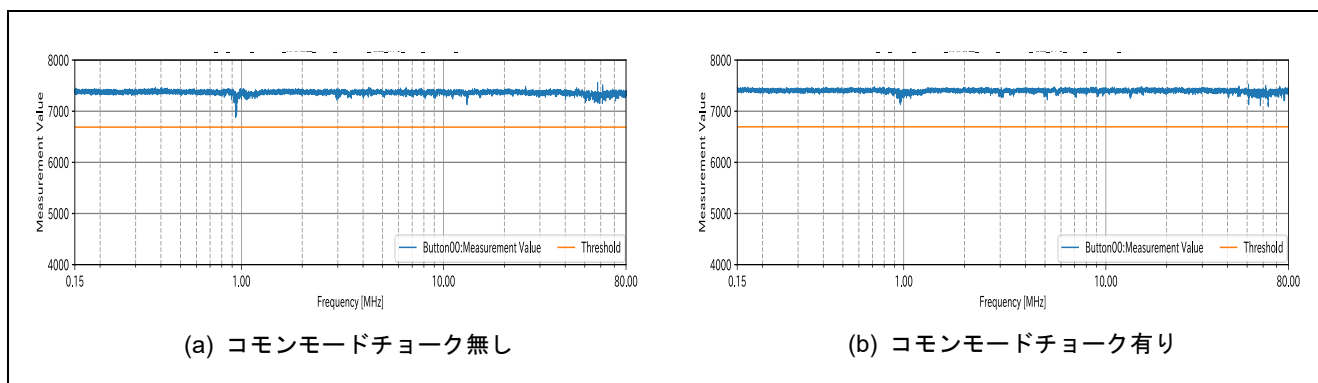


図 6-22 コモンモードチョーク (100Ω) 多数決判定後データ (タッチ ON)

6.3.3 フェライトコア

表 6-10 に使用部品、図 6-23 にフェライトコア配置箇所を示します。

表 6-10 使用部品

使用部品	巻き数仕様
SEIWA E04SR200935A	1 ターン
	2 ターン

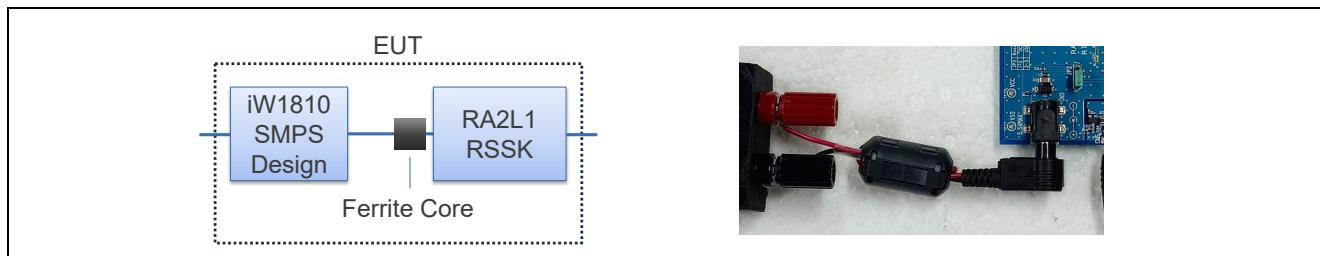


図 6-23 フェライトコア配置箇所

図 6-24 と図 6-25 にタッチ OFF の評価結果を示します。3 周波数データの 60MHz 周辺にノイズの影響がありますがフェライトコアを使用するとノイズが減少しました。また、マルチ周波数計測の多数決判定によりノイズは除去されました。

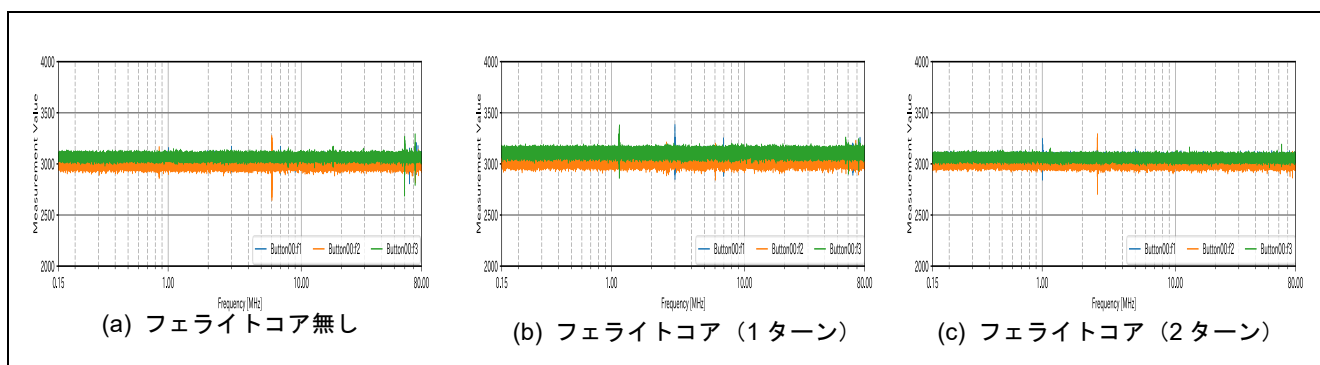


図 6-24 フェライトコア 3 周波数データ (タッチ OFF)

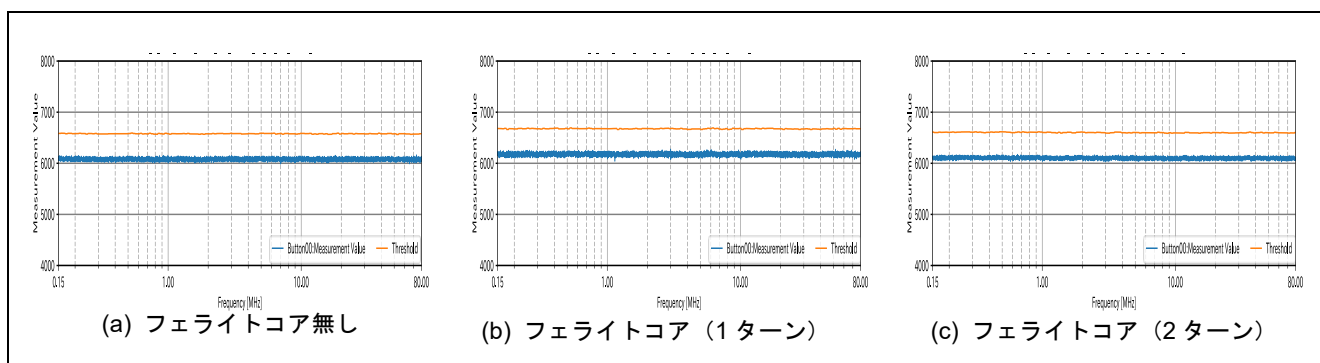


図 6-25 フェライトコア 多数決判定後データ (タッチ OFF)

図 6-26 と図 6-27 にタッチ ON の評価結果を示します。3 周波数データでは CTSU のセンサドライバパルス周波数（1.0MHz）とその高調波のノイズ、および 60MHz 周辺にノイズの影響があります。60MHz 周辺のノイズはフェライトコアにより低減しました。多数決判定後のデータで多数決判定によりほとんどのノイズが除去され、1.0MHz と 60MHz 周辺のノイズはフェライトコアを使用すると減少しました。

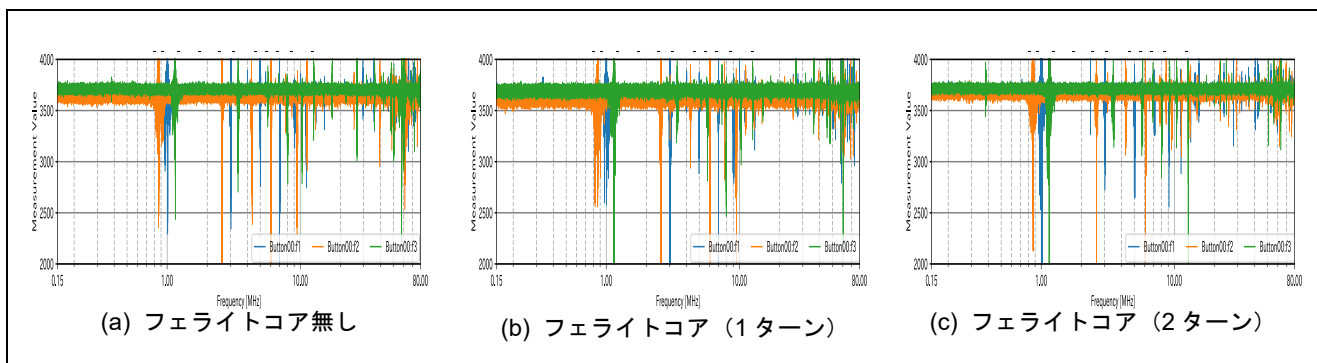


図 6-26 フェライトコア 3 周波数データ (タッチ ON)

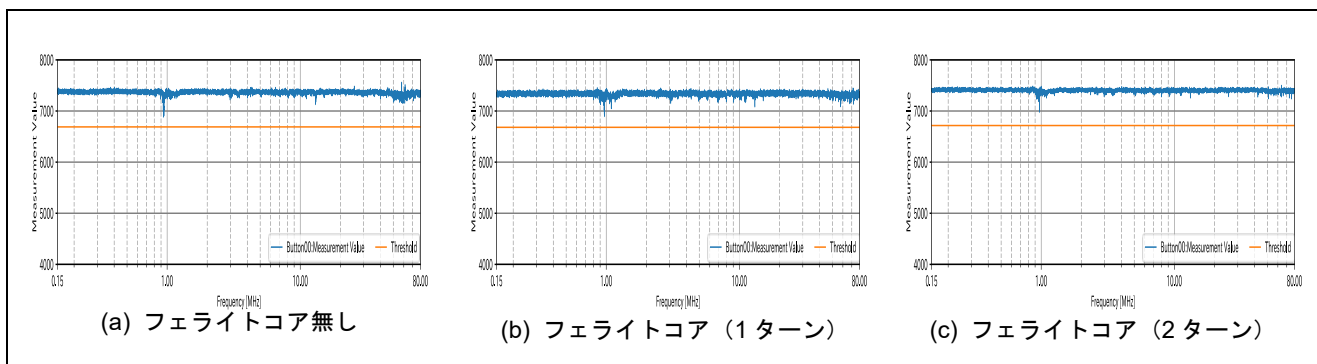


図 6-27 フェライトコア 多数決判定後データ (タッチ ON)

6.4 EFT/B (IEC61000-4-4)

6.4.1 試験条件

表 6-11 に試験条件、図 6-28 に試験環境ブロック図、図 6-29 に試験環境を示します。評価は IEC61000-4-4 で規定された条件で実施しました。

表 6-11 試験条件

項目	設定値	備考
試験電圧	±2kV	
パルス繰り返し周期	5kHz、100kHz	
バースト周期	300ms	
パルス数	75	
試験時間	3 分	

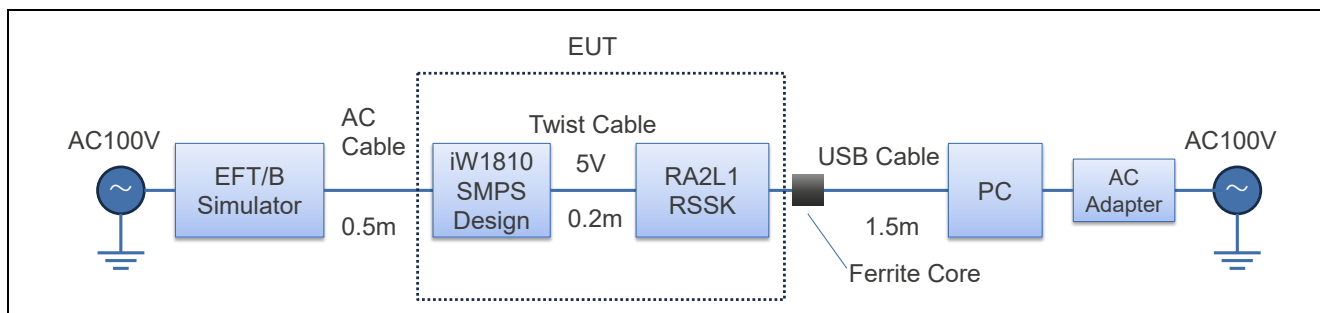


図 6-28 試験環境ブロック図

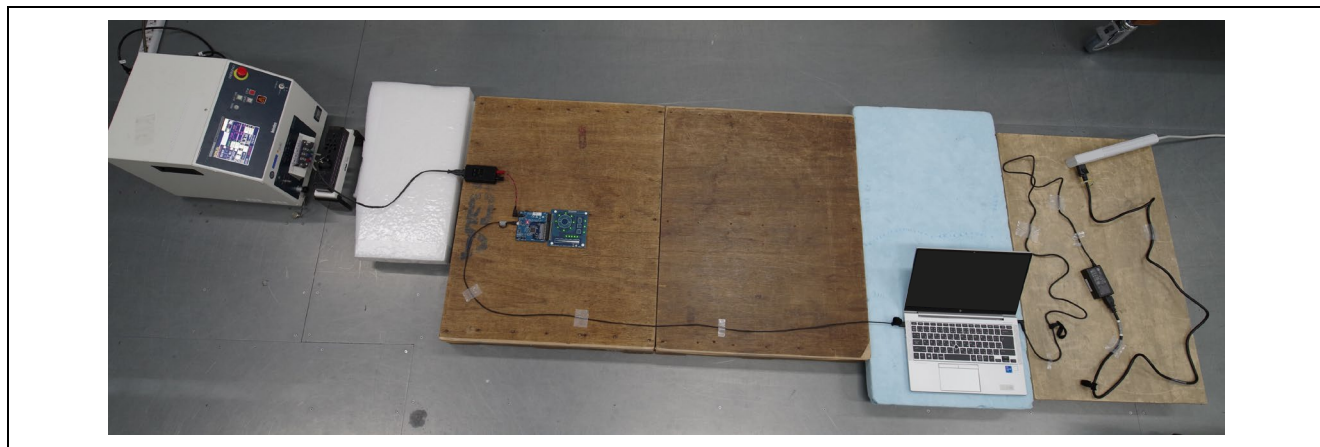


図 6-29 試験環境

6.4.2 コモンモードチョーク

表 6-12 に使用部品、図 6-30 にコモンモードチョーク配置箇所を示します。本評価ではインピーダンス 100Ω の製品を使用した場合の評価結果を例示します。

表 6-12 使用部品

使用部品	インピーダンス仕様 (100MHz)
Murata DLW5BTM101SQ2L	100Ω

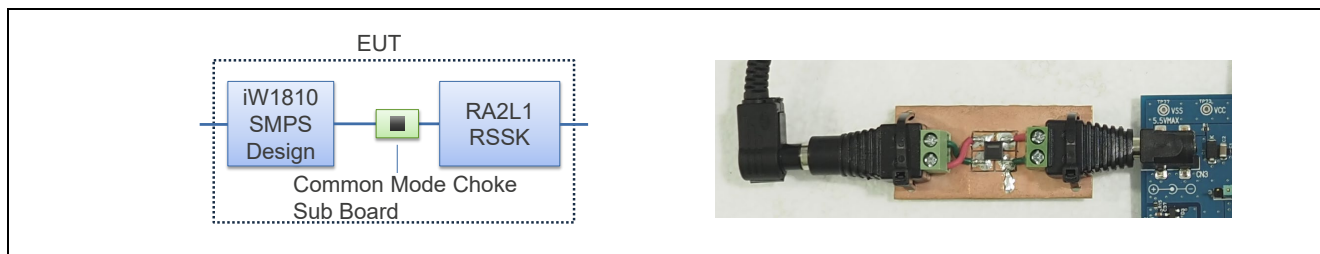


図 6-30 コモンモードチョーク配置箇所

図 6-31 から図 6-34 に繰り返し周期 5kHz の評価結果を示します。3 周波数データにパルス状ノイズが発生しますが、マルチ周波数計測の多数決判定により除去されていました。

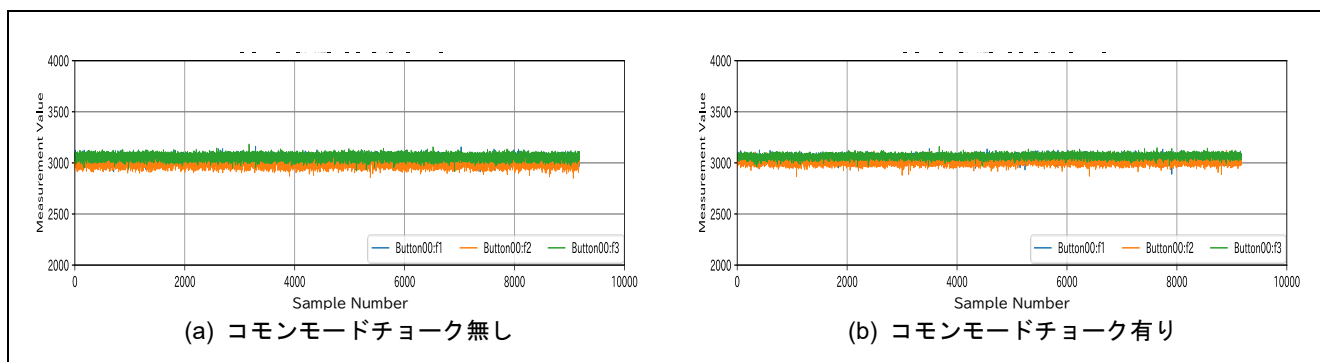


図 6-31 コモンモードチョーク 3 周波数データ (+2kV、5kHz)

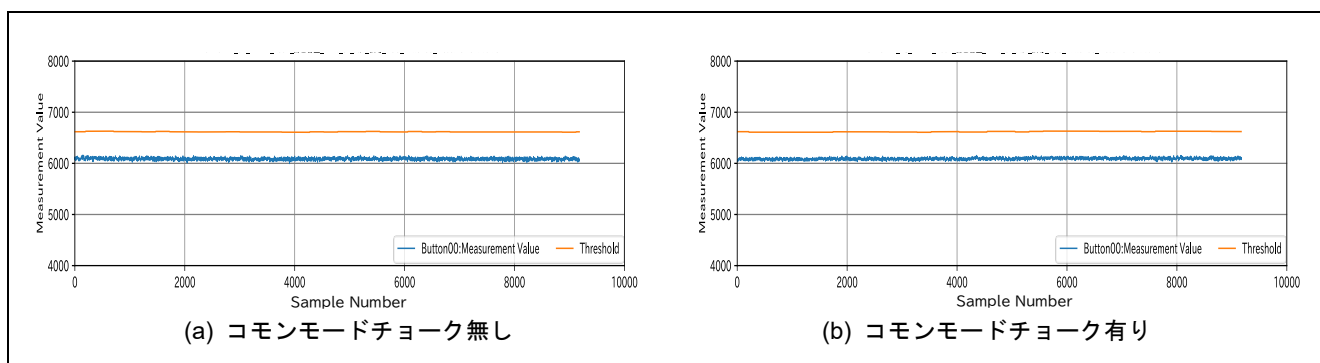


図 6-32 コモンモードチョーク 多数決判定後データ (+2kV、5kHz)

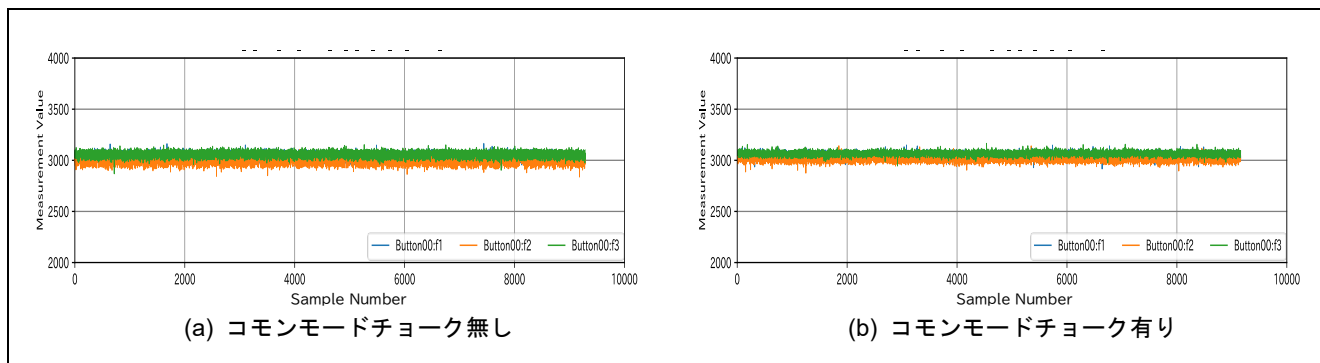


図 6-33 コモンモードチョーク 3 周波数データ (-2kV、5kHz)

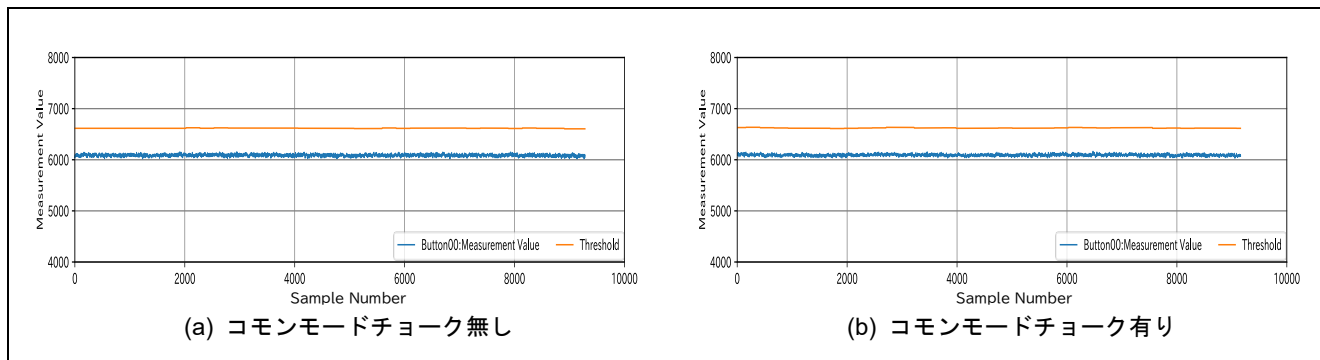


図 6-34 コモンモードチョーク 多数決判定後データ (-2kV、5kHz)

図 6-35 から図 6-38 に繰り返し周期 100kHz の評価結果を示します。3 周波数データのパルス状ノイズが繰り返し周期 5kHz と比較して大きくなりましたが、計測値のノイズはコモンモードチョークにより低減し、さらにマルチ周波数計測の多数決判定により除去されていました。

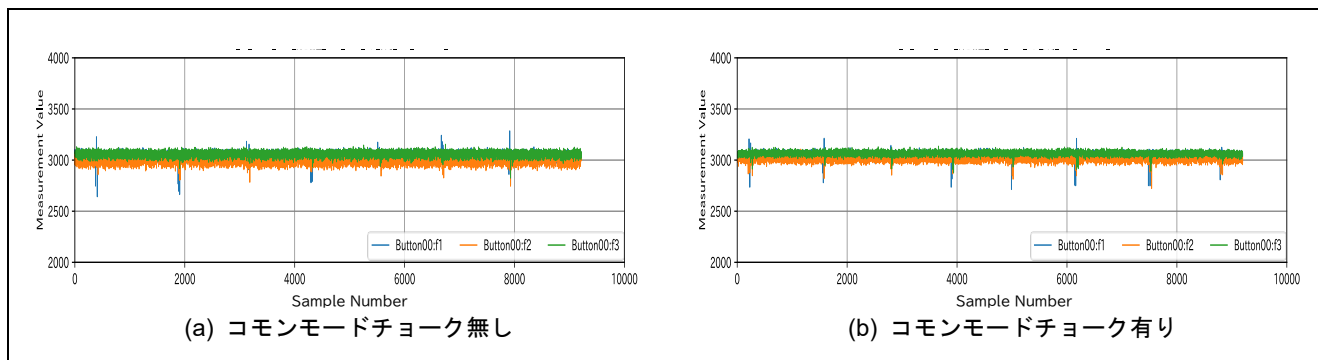


図 6-35 コモンモードチョーク 3 周波数データ (+2kV、100kHz)

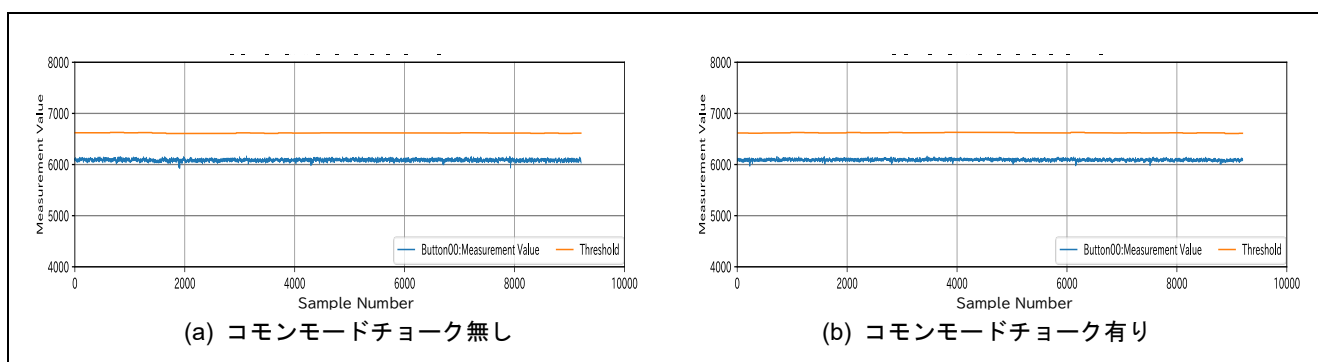


図 6-36 コモンモードチョーク 多数決判定後データ (+2kV、100kHz)

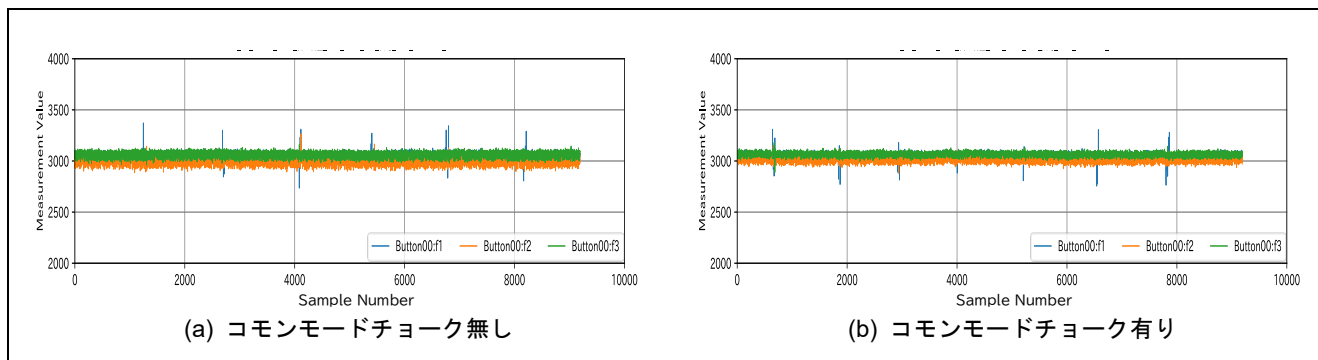


図 6-37 コモンモードチョーク 3 周波数データ (-2kV、100kHz)

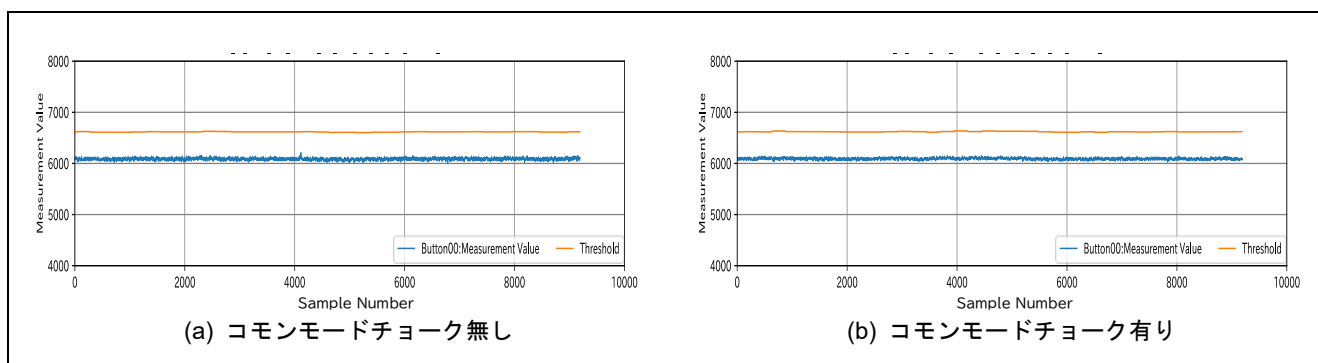


図 6-38 コモンモードチョーク 多数決判定後データ (-2kV、100kHz)

6.4.3 フェライトコア

表 6-13 に使用部品、図 6-39 にフェライトコア配置箇所を示します。本評価では巻き数によるノイズ低減効果の場合の評価結果を例示します。

表 6-13 使用部品

使用部品	巻き数仕様
SEIWA E04SR200935A	1 ターン
	2 ターン

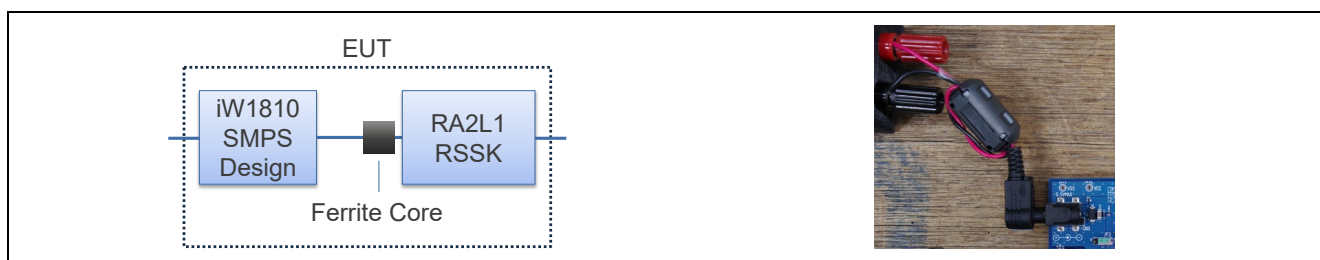


図 6-39 フェライトコア配置箇所

図 6-40 から図 6-43 に繰り返し周期 5kHz の評価結果を示します。3 周波数データにパルス状ノイズが発生しますが、マルチ周波数計測の多数決判定により除去されていました。

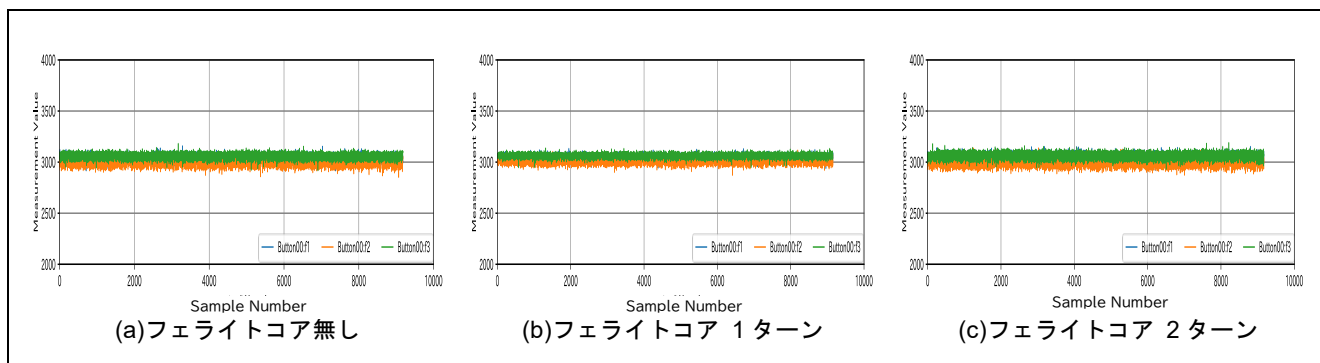


図 6-40 フェライトコア 3 周波数データ (+2kV、5kHz)

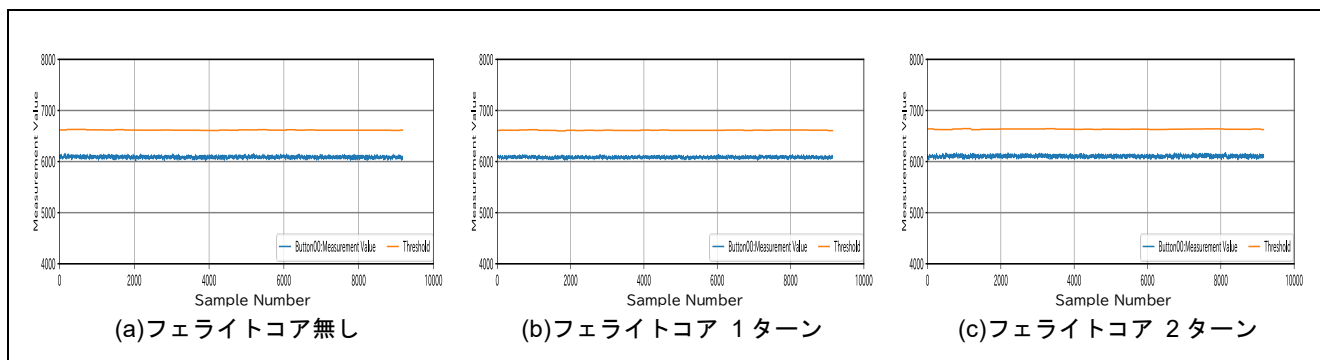


図 6-41 フェライトコア 多数決判定後データ (+2kV、5kHz)

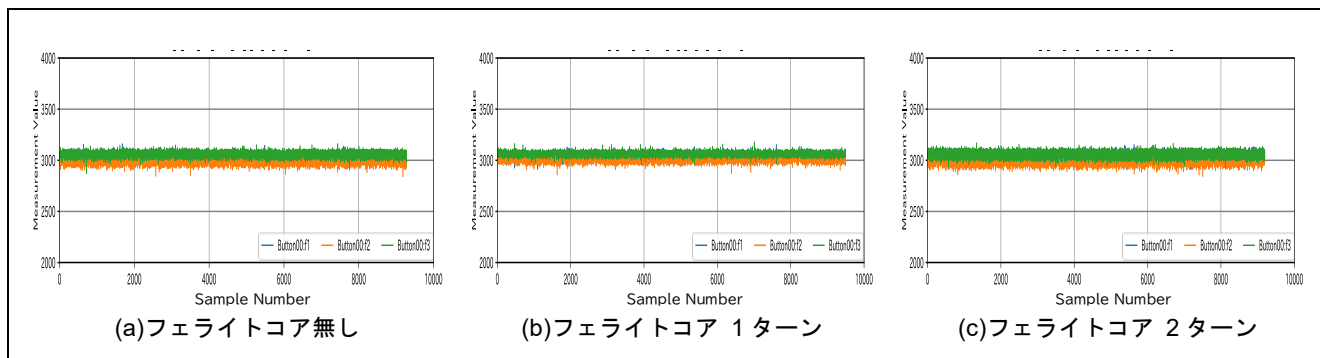


図 6-42 フェライトコア 3 周波数データ (-2kV、5kHz)

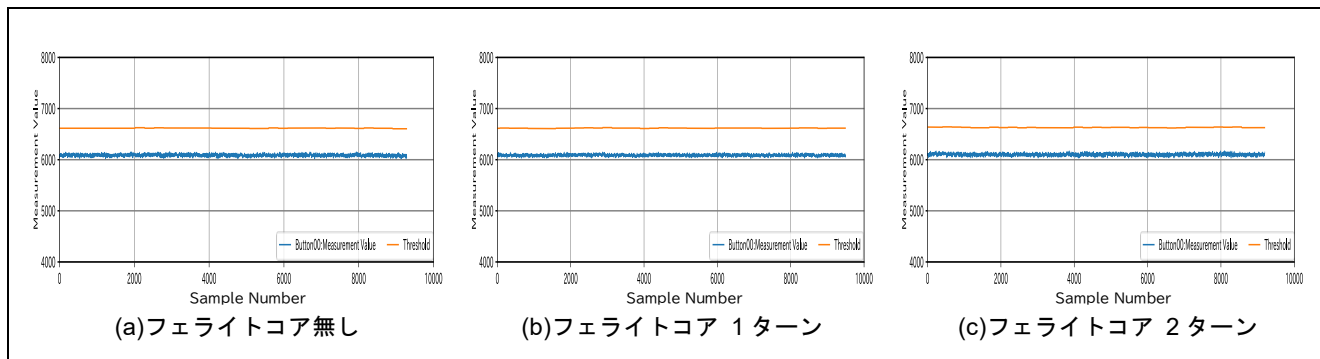


図 6-43 フェライトコア 多数決判定後データ (-2kV、5kHz)

図 6-44 から図 6-47 に繰り返し周期 100kHz の評価結果を示します。3 周波数データのパルス状ノイズが繰り返し周期 5kHz と比較して大きくなりましたが、計測値のノイズはフェライトコアにより低減し、さらにマルチ周波数計測の多数決判定により除去されていました。

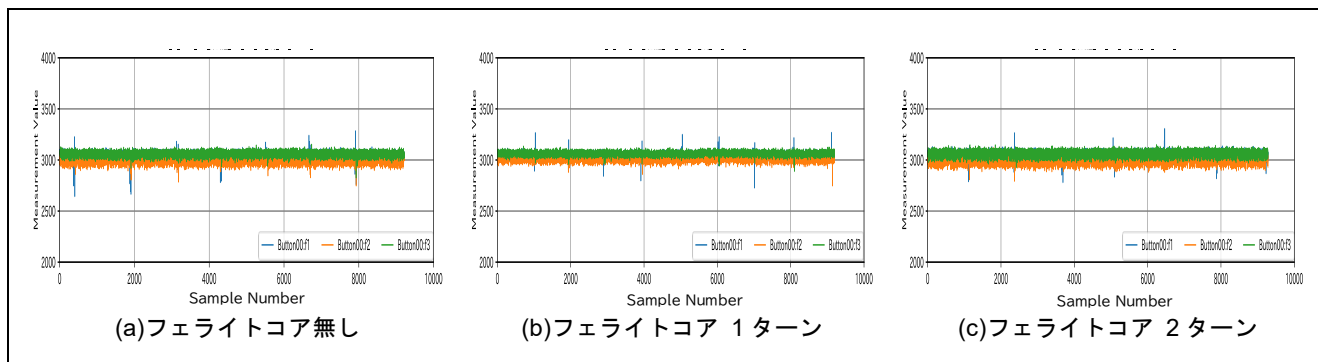


図 6-44 フェライトコア 3 周波数データ (+2kV、100kHz)

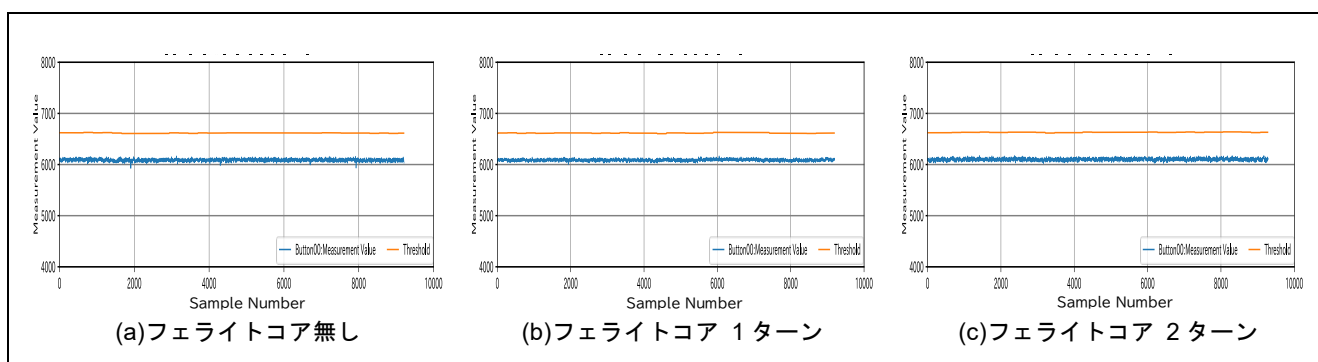


図 6-45 フェライトコア 多数決判定後データ (+2kV、100kHz)

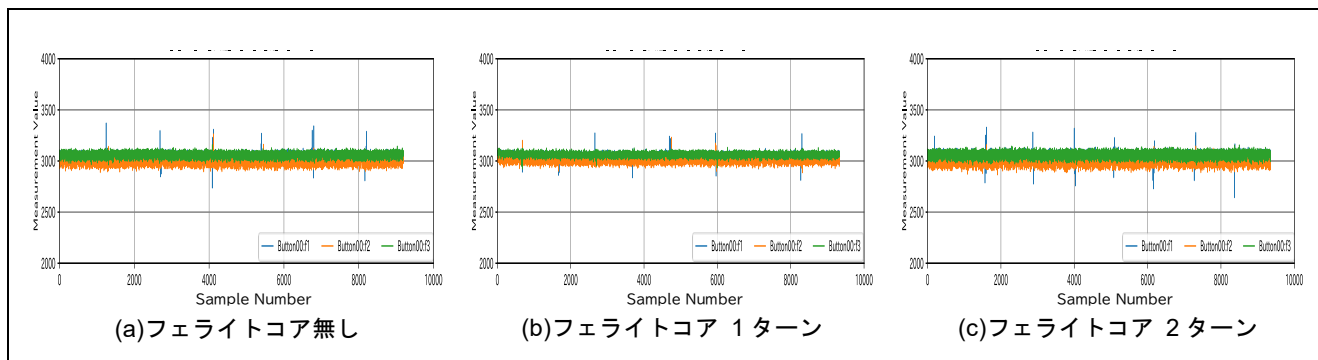


図 6-46 フェライトコア 3 周波数データ (-2kV、100kHz)

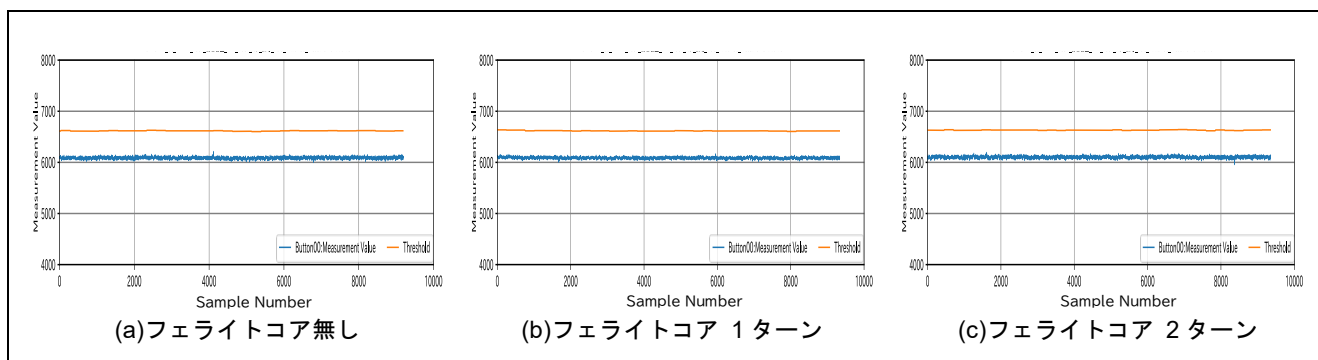


図 6-47 フェライトコア 多数決判定後データ (-2kV、100kHz)

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。詳細は静電容量タッチ電極デザインガイド(R30AN0389)を参照して下さい。
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。
マルチ周波数計測	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あり、マルチクロック計測機能を指します。
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。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	May.31.2023	-	新規発行
2.00	Dec.25.2023	-	IEC61000-4-6 に対応
		6	コモンモードノイズの影響を追記
		7	表 2-5 伝導 RF ノイズ対策を追記
		9	3.1 文章を修正、図 3-1 を修正 3.2 文章を修正
		10	3.3.1 説明文を修正、図 3-4 を修正 マルチ周波数計測の設定変更方法を削除 マルチ周波数計測の干渉周波数説明および図 3-5 を追加
		11	3.3.2 参考資料を追記
		14	4.1.2.2 TSCAP コンデンサの GND 接続の注意事項を追加
		15	4.2.2 配線のコーナー設計の注意事項を追加
		16	4.3 伝導ノイズ対策を追加
		18	5 章 全体的に修正
3.00	Jun.28.2024	7	図 2-2 を修正
		9	2.3 文章を修正
		10	2.4 文章を追記 表 2 8 を追加
		13	図 3-5 縦軸名を修正
		14	4.1 見出し名を修正
		15	4.1.2.1 文章を修正
		18	4.3 文章を修正
		20	4.4 EFT ノイズ対策を追加
		22	図 5-1 図面を修正 表 5.1 IEC61000-4-4 EFT/B の項目を追加
		24	5.4 章の見出し番号を 5.5 章に変更 5.4.メディアアンフィルタを追加
		25	6. 評価結果を追加
4.00	Dec.27.2024	9	表 2-7 ESD 対策一覧を追加
		21	TVS ダイオードの選定要件の修正および追記
		22	4.5 ESD ノイズ対策を追加
		24	図 5-1 図面を修正 表 5-1 EMC 規格と対応ソフトウェアフィルタに ESD を追加
		26	6 章 文章を追記
		33	表 6-8 疑似指の静電容量変化量を追記

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イやマガジンケース、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、リセットしてください。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くと、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）、交通管制（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
 8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
 9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
 10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
 11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
 12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものとしします。
 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/