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

要旨

本アプリケーションノートでは、静電容量タッチセンサ対応開発支援ツール(QE for Capacitive Touch)を使用したアドバンスドモード(高度な設定)と調整可能な CTSU パラメータについて説明します。

静電容量タッチセンサ対応開発支援ツール(QE for Capacitive Touch)は、CTSU を搭載したルネサスマイコンで使用するソフトウェアのパラメータを生成します。基本的には、QE for Capacitive Touch の自動チューニングによってパラメータを生成しますが、さらにタッチのパフォーマンスを最適化するために、QE for Capacitive Touch はアドバンスドモード(高度な設定)をサポートしています。静電容量タッチを初めて開発する場合は、事前に静電容量タッチ導入ガイドをお読みになることを推奨します。

静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

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 には CTSU2、CTSU2L、CTSU2La、CTSU2SL 、CTSU2SLa 等を含みます）

次ページ以降 CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL/CTSU2SLa は CTSU2x を参照してください。

本書が対象とする開発環境

・統合開発環境 e^2 studio 2025-07 以降
・Renesas QE for Capacitive Touch V4.2.0 以降

目次

1.　はじめに 3
1.1　自動チューニング 5
1.2　CapTouch パラメータの手動チューニング 6
1.3　アドバンスドモード(高度な設定)チューニング 7

2.　アドバンスドモード(高度な設定) 9
2.1　シグナル値向上調整フロー 9
2.2　ノイズ対策調整フロー 10
2.3　静電容量タッチセンサごとの対応表 11

3.　各パラメータの概要 12
3.1　計測回数/計測時間 12
3.1.1　計測回数/計測時間変更によるシグナル値/SNR への影響と注意点について 15
3.1.2　計測回数変更時のオフセットチューニング調整の必要性について 16
3.2　オフセットチューニング目標 18
3.2.1　オフセットチューニング目標と計測回数変更による計測値への影響について 21
3.3　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数 23
3.3.1　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数変更によるシグナル値/SNR への影響について 29
3.3.2　アドバンスドモードを用いたベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の調整方法について 30
3.4　電流レンジ 32
3.4.1　電流レンジ変更によるシグナル値/SNR への影響について 34
3.5　非計測 TS 端子出力選択 35
3.6　送信電源 37
3.7　タッチ判定方法/マルチクロック計測/逓倍比 40
3.8　タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正 43
3.9　計測電圧設定 46

改訂記録 48

1.　はじめに

この章では、QE for Capacitive Touch を使用したパラメータの生成フローと、チューニングで調整可能なパラメータを説明します。

QE for Capacitive Touch ではユーザ製品のタッチセンサの寄生容量を計測し、パラメータを最適化する自動チューニングを行います。QE for Capacitive Touch の詳細は下記 Web ページをご確認ください。

静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch | Renesas

QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニングによって基本的な CapTouch パラメータが生成されます。これらのパラメータを使用した評価で、要求仕様を満たさない場合は、CapTouch パラメータの手動チューニングを実施してください。更なる調整が必要な場合は、アドバンスドモード(高度な設定)チューニングを実施してください。図 1-1 に QE for Capacitive Touch でのチューニングのフローを示します。

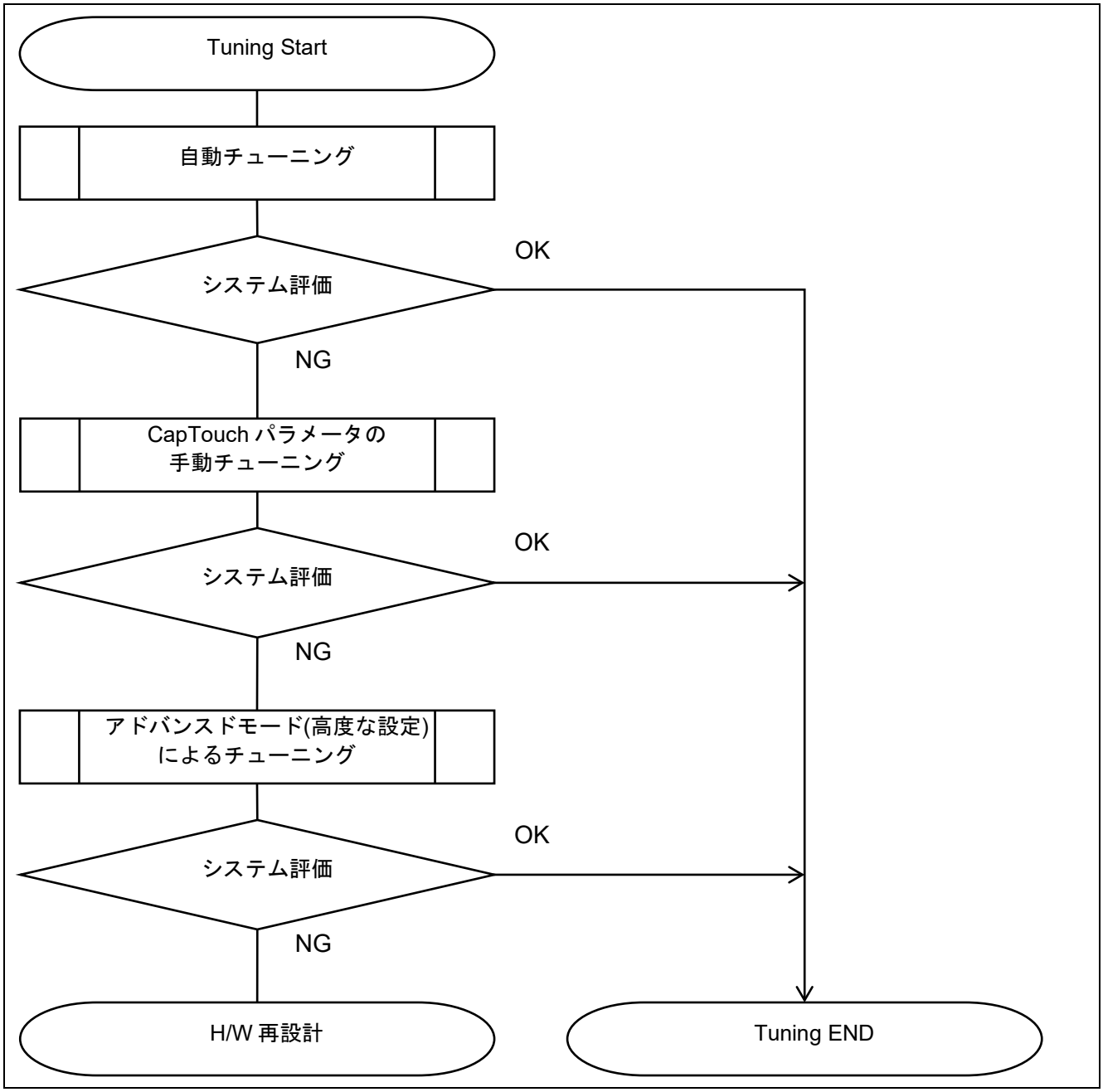


図 1-1 チューニング・フローチャート

表 1-1 に自動チューニング/CapTouch パラメータの手動チューニング/アドバンスドモード(高度な設定)で調整可能なパラメータを示します。各パラメータの詳細は各デバイスファミリの QE CTSU モジュール/ QE TOUCH モジュールアプリケーションノートをご参照ください。

表 1-1 チューニングで調整可能なパラメータ

パラメータ	自動 チューニング	CapTouch パラメータの 手動チューニング	アドバンスドモード(高度な設定) によるチューニング
ベースクロック周波数/ センサドライブパルス周波数	✓	–	✓
オフセット	✓	(表示のみ)	–
タッチしきい値	✓	✓	–
ヒステリシス	✓	✓	–
ドリフト補正のサンプル数	–	✓	–
連続タッチ ON の上限回数	–	✓	–
タッチ ON チャタリングフィルタの 連続一致回数	–	✓	–
タッチ OFF チャタリングフィルタの 連続一致回数	–	✓	–
移動平均フィルタの平均サンプル数	–	✓	–
計測回数/計測時間	–	–	✓
オフセットチューニング目標	–	–	✓
電流レンジ※1	–	–	✓
非計測 TS 端子出力選択※1	–	–	✓
送信電源	–	–	✓
タッチ判定方法※1	–	–	✓
マルチクロック計測/逓倍比※1	–	–	✓
タッチ判定 (ソフトウェア/ハードウェア)※2	–	–	✓
CCO 特性補正 (ソフトウェア/ハードウェア) ※3	–	–	(表示のみ)
マルチクロック補正 (ソフトウェア/ハード ウェア)※3	–	–	(表示のみ)
計測電圧設定※1	✓※4	–	✓※4

✓ :　対応

※1　CTSU2/CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL/CTSU2SLa のみで調整できる機能です。各静電容量タッチセンサの違いと対応製品については静電容量タッチ導入ガイドをご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

※2　ハードウェアでのタッチ判定(自動判定)は、CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL/CTSU2SLa のみで使用できる機能です。ただし SNOOZE モード・シーケンサ（SMS）を内蔵しているマイコンの場合は、SMS と併用することで実現可能です。SMS 内蔵マイコン使用時、タッチ判定の選択肢では”ハードウェア”の代わりに”SMS”と表示されます。スマート・コンフィグレータ/タッチインタフェース構成/アドバンスドモード(高度な設定)から設定可能です。

※3　CTSU2SL/CTSU2SLa のみで表示される機能です。タッチ判定方法やタッチ判定の設定により自動で設定されるためユーザで変更不可です。

※4　マイコン動作電圧の設定が 2.4 V 未満の場合、自動で計測電圧が低電圧に設定されます。2.4 V 以上の場合でもアドバンスドモード(高度な設定)で計測電圧を低電圧に設定可能です。

自動チューニングでは QE for Capacitive Touch により自動でパラメータ値を調整し、調整結果をソースファイルに出力します。CapTouch パラメータの手動チューニングについては QE for Capacitive Touch の”CapTouch パラメーター覧”により変更できるパラメータを示しています。詳細は下記ドキュメントの”7.2 CapTouch パラメータの手動チューニング”をご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

自動チューニングや CapTouch パラメータの手動チューニングでの調整結果が感度やノイズ耐性の面でユーザ要求仕様を満たせない場合にアドバンスドモード(高度な設定)で各パラメータを調整可能です。

1.1　自動チューニング

図 1-2 に自動チューニングのフローを示します。

図 1-2 QE for Capacitive Touch での自動チューニングのフロー

自動チューニングによりタッチセンサ検出の最適なパラメータを決定します。
最初にタッチ OFF 時の静電容量を計測し、その結果に合わせてベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を設定します。また、オフセットチューニング目標に合わせてオフセットを調整します。その後、タッチ ON/OFF 状態の静電容量を計測し、タッチしきい値等を設定し、チューニング結果をソースファイルに出力します。

1.2　CapTouch パラメータの手動チューニング

CapTouch パラメータの手動チューニングでは”CapTouch パラメーター覧”からソフトウェアパラメータを変更することが可能です。タッチ動作とパラメータ値の変更後の結果をリアルタイムで確認できます。

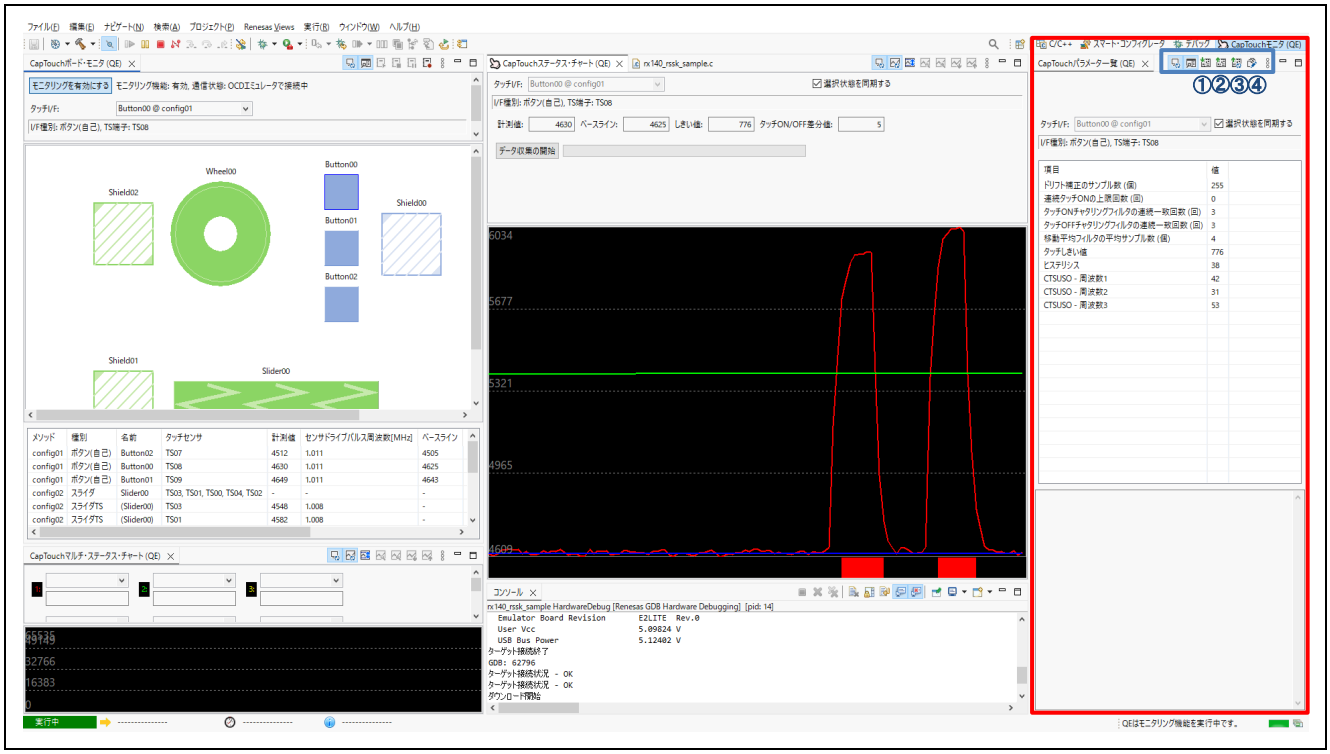


図 1-3 QE for Capacitive Touch を使用した CapTouch パラメータの手動チューニング

手動チューニングには、QE for Capacitive Touch の”CapTouch パラメーター覧”（図 1-3 の赤枠内）を使用します。パラメータの値を変更し、リアルタイムに”CapTouch ステータス･チャート”から調整した結果の動作確認が可能です。また、本ビューで調整したパラメータをソースファイルに反映させることも可能です。CapTouch パラメータの手動チューニングを実施する際に使用する”CapTouch パラメーター覧”ツールバー（図 1-3 の青枠内）の各機能の説明については表 1-2 をご参照ください。これらのアイコンを使用して、アプリケーションにパラメータを読み書きできます。

表 1-2 ”CapTouch パラメーター覧”ツールバー機能説明

		アイコン説明	機能概要
①		ターゲットボードから読み込む	パラメータの数値をターゲットボードから読み込みます。
②		ターゲットボードへ書き込む	編集したパラメータの数値をターゲットボードへ書き込みます。
③		リアルタイムにターゲットボードへ書き込む	リアルタイムにパラメータの数値をターゲットへ反映するかどうかを切り替えるトグルボタンです。
④		パラメータファイルを生成する	本ビューで調整したパラメータの情報を基に、パラメータファイルを出力します。

「パラメータファイルを生成する」により qe_gen フォルダ下にソースファイルを出力します。
表 1-3 に出力されるソースファイルを示します。ソースファイルを出力後、ビルド・デバッグすることで調整したパラメータの動作確認が可能です。

表 1-3 「パラメータファイルを生成する」により出力されるソースファイル

ファイル名	説明
qe_touch_config.c	構成（メソッド）ごとのパラメータ設定を保持するファイル

詳細は QE for Capacitive Touch のヘルプをご参照ください。

1.3　アドバンスドモード(高度な設定)チューニング

アドバンスドモード(高度な設定)チューニングでは静電容量を計測するセンサドライブパルス出力など主にハードウェアに関するパラメータを調整することが可能です。調整できるパラメータの詳細は 2.3 静電容量タッチセンサごとの対応表以降をご参照ください。

図 1-4 は Cap Touch ワークフロー(QE)を示します。ワークフローの"2.タッチセンサの調整"よりチューニングが可能です。"調整の実行"から「アドバンスドモード(高度な設定)」にチェックすることにより、アドバンスドモード(高度な設定)によるチューニングが可能です。

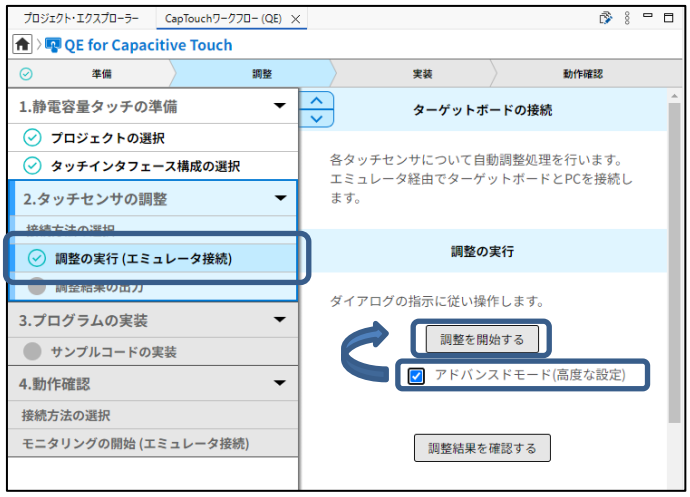
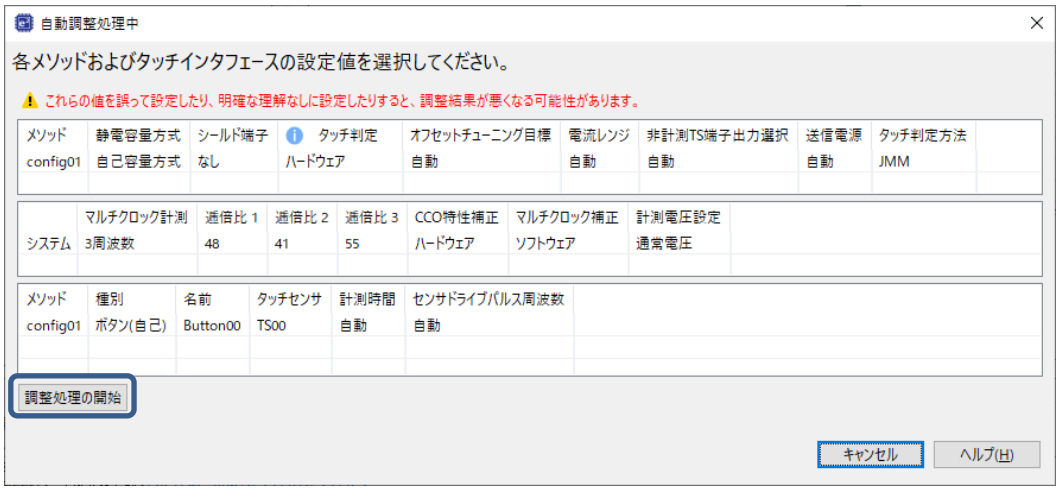


図 1-4 アドバンスドモード(高度な設定)によるチューニング

アドバンスドモード(高度な設定)によるチューニングを開始すると図 1-5 のようなウィンドウが表示され、各パラメータの調整が可能です。必要なパラメータを調整した後、図 1-5 の青枠内「調整処理の開始」ボタンを押下することにより、調整開始します。



CTSU2x を使用した場合の例

図 1-5 アドバンスドモード(高度な設定)ウィンドウ

アドバンスドモード(高度な設定)で調整できるパラメータはデバイスにより異なります。詳細は 2.3 静電容量タッチセンサごとの対応表をご参照ください。

アドバンスドモード(高度な設定)によるチューニング後、"調整結果の出力"から図 1-6 の「ファイルを出力する」ボタンを押下することでパラメータ調整した結果をソースファイルに反映させることが可能です。

図 1-6 調整結果の出力

「ファイルを出力する」ボタンを押下することで qe_gen フォルダ下にソースファイルを出力します。
表 1-4 に出力されるソースファイルを示します。

表 1-4 「ファイルを出力する」ボタンにより出力されるソースファイル

ファイル名	説明
qe_touch_define.h	タッチミドルウェアで使用するマクロ情報ファイル
qe_touch_config.h	ユーザープログラムからインクルードするファイル
qe_touch_config.c	構成（メソッド）ごとのパラメータ設定を保持するファイル

ソースファイルを出力後、ビルド・デバッグすることで調整したパラメータの動作確認が可能です。

これらの値を誤って設定したり、明確な理解なしに設定したりすると、調整結果が悪くなる可能性があります。ご使用になられている環境に合わせて十分に評価したうえで値を調整してください。

2.　アドバンスドモード(高度な設定)

この章では、アドバンスドモード(高度な設定)での調整と変更できるパラメータについて説明します。

2.1　シグナル値向上調整フロー

図 2-1 にアドバンスドモード(高度な設定)によりタッチ ON/OFF 時の計測値差分を表すシグナル値を向上させる際の調整手順を示します。

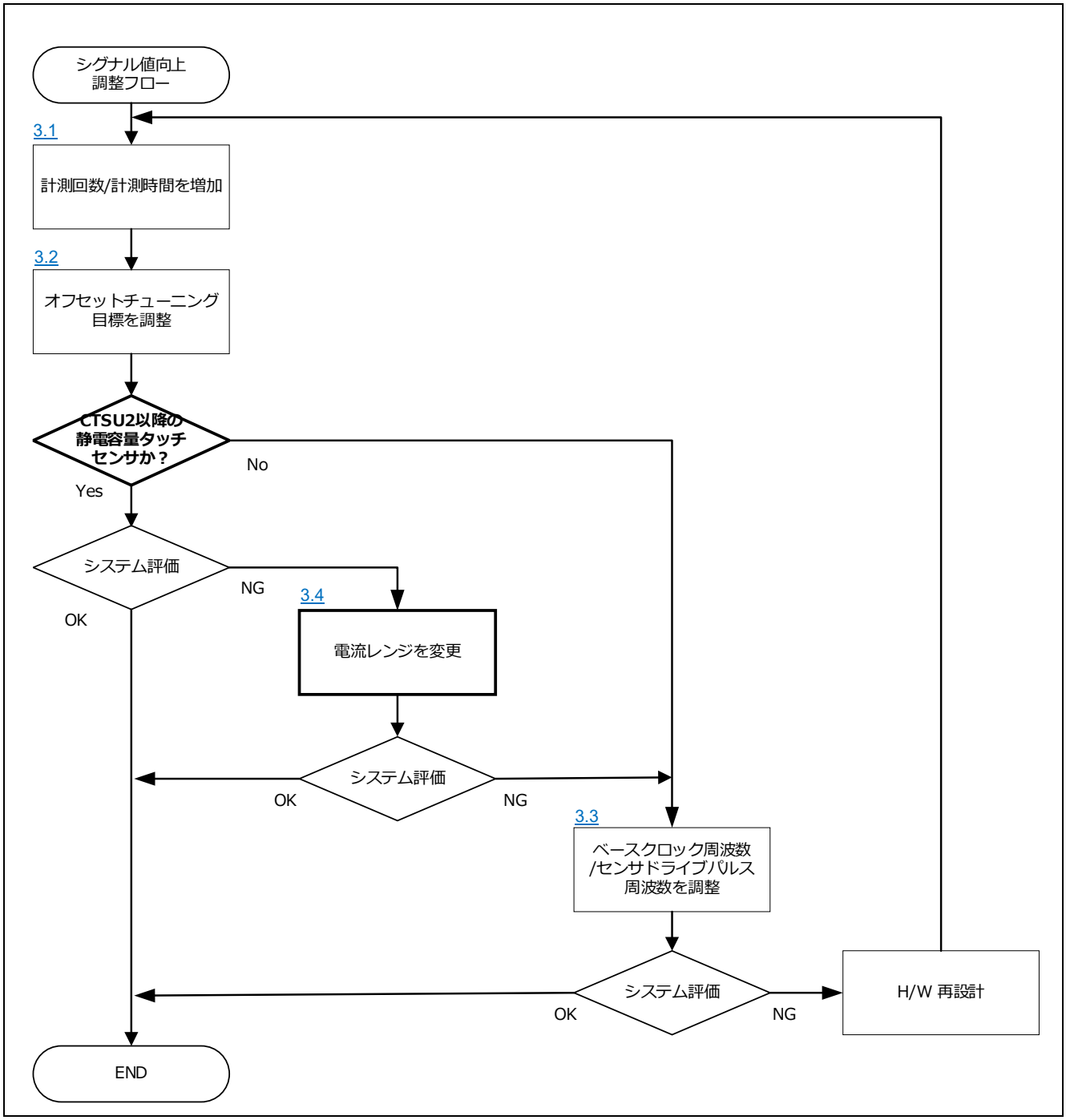


図 2-1 シグナル値向上調整フロー

2.2　ノイズ対策調整フロー

図 2-2 にアドバンスドモード(高度な設定)によりノイズ耐性を向上させる際の調整手順を示します。

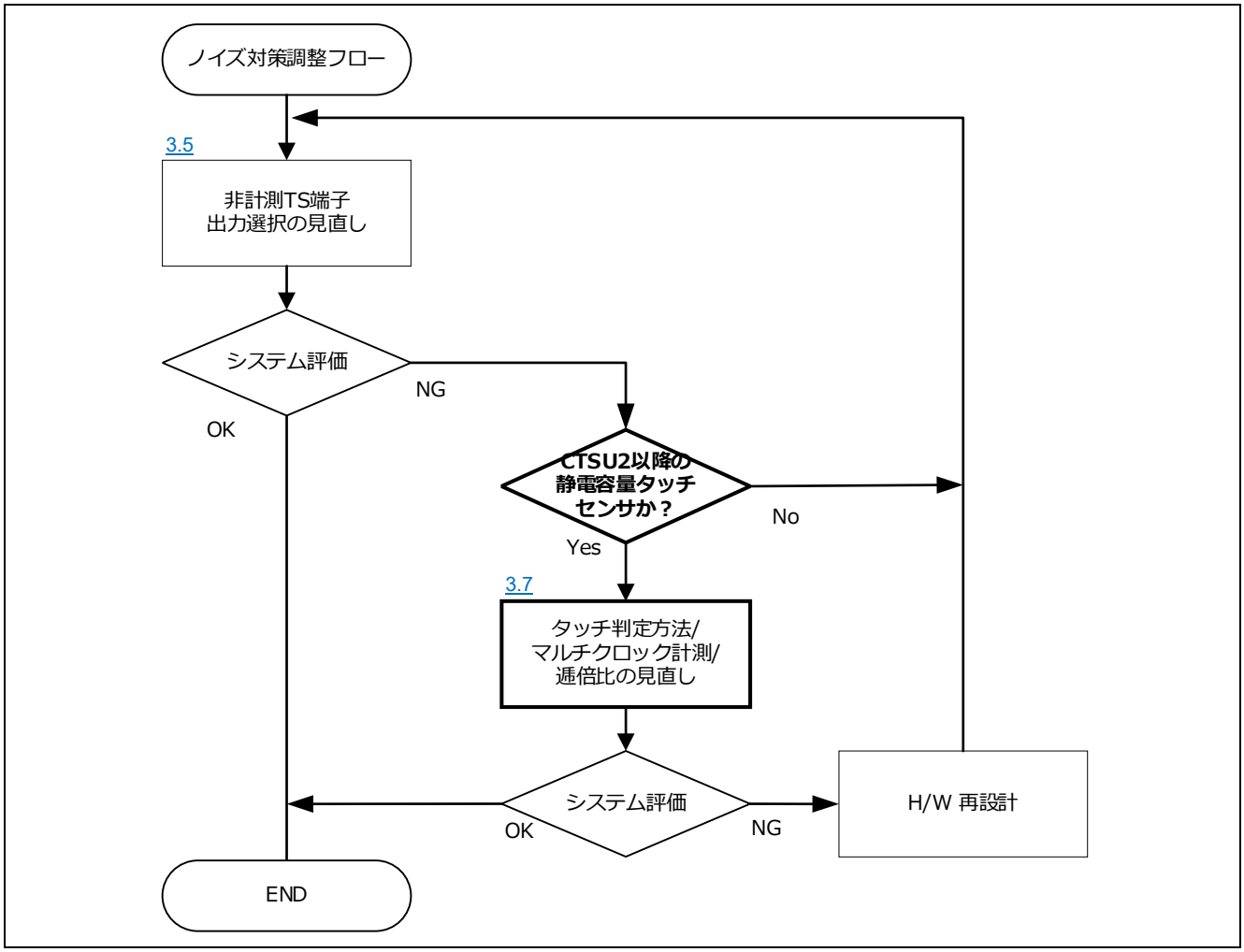


図 2-2 ノイズ対策調整フロー

2.3　静電容量タッチセンサごとの対応表

表 2-1 にアドバンスドモード(高度な設定)で表示されるパラメータと各静電容量タッチセンサの対応表を示します。

表 2-1 静電容量タッチセンサの対応表

	パラメータ	目的	CTSU2x	CTSU2	CTSU1	機能概要
1	計測回数/計測時間	シグナル値向上	✓	✓	✓	計測回数を設定し、計測時間を決定します。 計測値を積算することでシグナル値を向上させることが可能です。
2	オフセットチューニング目標	シグナル値向上	✓	✓	✓	タッチ OFF 時の計測値がターゲット値になるようにオフセット電流の目標(%)を設定します。計測時間を変更した場合等に調整します。
3	ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数	シグナル値向上	✓	✓	✓	タッチセンサに出力する周波数の分周比を設定します。 ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数が高いほどシグナル値が向上します。ただし寄生容量に対してセンサドライブパルス周波数が自動チューニングで設定される値より大きい場合には計測誤差が発生します。詳細は図 3-8～図 3-13 をご参照ください。
4	電流レンジ	シグナル値向上	✓	✓	-	VDC からの電源供給能力を設定し計測電源電流と電流制御発振器(CCO)の入力電流とのカレントミラー比を決定します。電流レンジを低く設定するとタッチ ON 時の CCO 入力電流が大きくなるためシグナル値が向上します。
5	非計測 TS 端子出力選択	ノイズ対策	✓	✓	-	TS 端子に設定されている端子のタッチ計測期間中の非計測端子の処理の設定を行います。 非計測端子の処理を適切に行うことでノイズ対策することが可能です。
6	送信電源	端子設定	✓	✓	✓	相互容量方式使用時やアクティブシールド使用時の送信端子に設定した端子の I/O 電源を選択します。この値はデフォルト設定の値を使用し、変更しないでください。
7	タッチ判定方法	ノイズ対策	✓	✓	-	タッチ判定方法には計測値多数決モード(以下 VMM)と判定多数決モード(以下 JMM)があります。VMM は 3 周波数の計測結果から値が近い 2 つの計測値を加算して判定する方式です。JMM は 3 周波数計測のそれぞれの判定結果を多数決で判定する方式です。
8	マルチクロック計測/逓倍比	ノイズ対策	✓	✓	-	マルチクロックで計測する回数と計測に使用する複数種類の周波数の逓倍比を設定します。マルチクロック計測では同期ノイズを回避するために複数種類のセンサドライブパルス周波数で計測することが可能です。
9	タッチ判定	処理軽減 低消費電力	✓	-	-	タッチ判定をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。タッチ判定をハードウェアに設定した場合に低消費電力動作を実現できます。ただし SNOOZE モード・シーケンサ（SMS）を内蔵しているマイコンの場合は、SMS と併用することで実現可能です。スマート・コンフィグレータ/タッチインタフェース構成/アドバンスドモード(高度な設定)から設定可能です。
10	CCO 特性補正	処理軽減 低消費電力	✓	-	-	CCO 特性補正をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。ハードウェアでのタッチ判定を有効にしている場合にハードウェアに設定されます。ハードウェア処理することで、計測ごとのウェイクアップが不要になり、消費電力低減に貢献できます。 CTSU2SL/CTSU2SLa のみで表示される機能で、タッチ判定方法やタッチ判定の設定により自動で設定されるためユーザで変更不可です。
11	マルチクロック補正	処理軽減 低消費電力	✓	-	-	マルチクロック補正をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。多数決モード(VMM)使用時、ハードウェアでのタッチ判定を有効にしている場合にハードウェアに設定されます。CTSU2SL/CTSU2SLa のみで表示される機能で、タッチ判定方法やタッチ判定の設定により自動で設定されるためユーザで変更不可です。
12	計測電圧設定	低消費電力	✓	✓	-	使用する TSCAP 電圧の設定をします。マイコン動作電圧が 2.4 V 未満の場合には自動で計測電圧を低電圧に設定し、TSCAP 電圧は 1.2 V となります。バッテリ動作時にマイコン動作電圧が 2.4 V 未満になる場合等で使用します。

✓：　対応

3.　各パラメータの概要

3.1　計測回数/計測時間

“計測回数/計測時間”では、計測回数を設定して計測にかかる時間を決定します。 CTSU1 では”計測回数”、CTSU2 では”計測時間”を設定します。

(1)　CTSU1： CTSUPRMODE と CTSUPRRATIO、ベースクロック周期から計測回数 1 回分の時間を決定します。この計測を何回繰り返すかを”計測回数”で設定します。CTSUPRMODE、CTSUPRRATIO の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

(2)　CTSU2/CTSU2x：(STCLK サイクル * 8)を基準に”計測時間”を設定します。3 周波数計測の内、1 周波数での計測時間が設定されます。STCLK の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

“計測回数/計測時間”を増加させることで、シグナル値※を向上させることができます。ただ、同時に計測時間も延びるためユーザの仕様に合わせた調整が必要となります。また、“計測回数/計測時間”を変更した場合はオーバーフローすることを防ぐために、”オフセットチューニング目標”でオフセットチューニングターゲットを調整してください。オフセットチューニングターゲットの調整の詳細は 3.2 オフセットチューニング目標をご参照ください。
※シグナル値はタッチ ON/OFF 時の差分値を表しています。

図 3-1 に計測回数による計測時間とタッチ ON/OFF 時の計測値のイメージ図を示します。

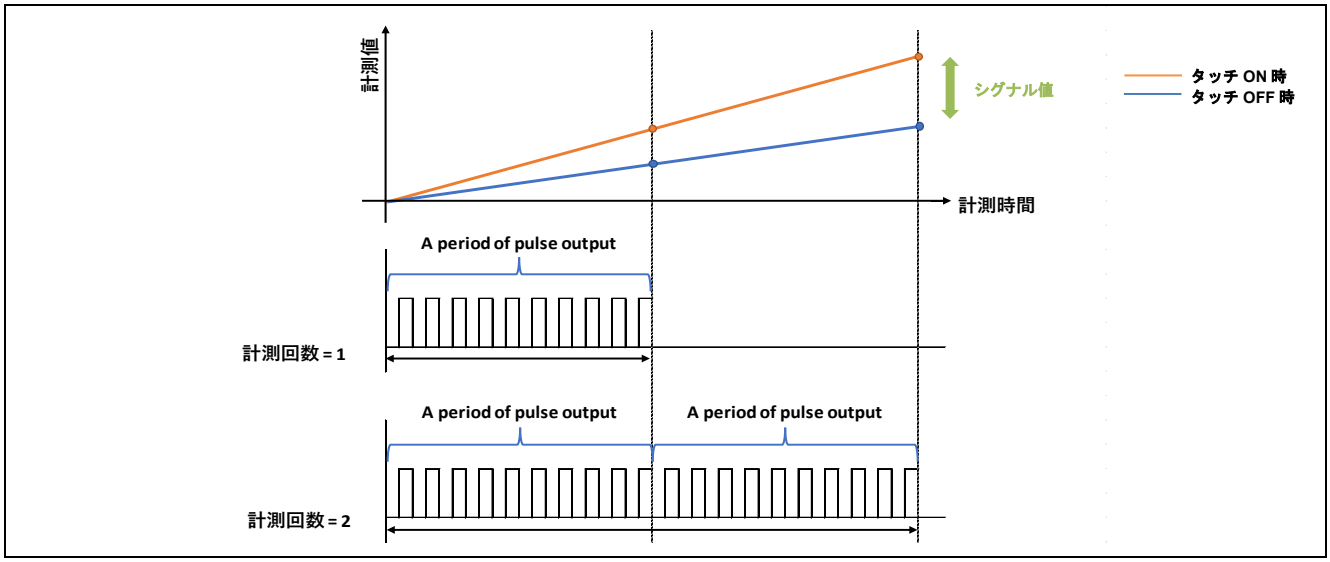


図 3-1 計測回数による計測時間と計測値のイメージ

表 3-1 に自己容量使用時のデフォルトの計測回数/計測時間を示します。CTSU1 では計測時間が 526 μs で一定になるようにベースクロック周波数により計測回数を決定します。CTSU2/CTSU2x では計測時間は 128 μs になるように計測回数を 8 回にしています。

表 3-1 デフォルトの”計測回数”設定

	ベースクロック周波数/ センサドライブパルス周波数 [MHz]	計測回数 ※1	計測時間 [μs]
CTSU1 （RX130 の例）	4	8	526
	2	4	
	1	2	
	0.5	1	
CTSU2/CTSU2x （RX140 の例）	-	8	128 ※2

※1　計測回数(SNUM)の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。
※2　1 周波数の計測時間を記載しています。

CTSU1、CTSU2/CTSU2x それぞれの安定待ち時間/計測時間の計算式と例を以下に示します。

- CTSU1 (RX130 の例)

$$\text{安定待ち時間}[\mu s] = 34 \cdot \frac{1}{\text{ベースクロック周波数}}$$

$$\text{計測時間}[\mu s]※ = 263 \cdot \frac{1}{\text{ベースクロック周波数}} \cdot \text{計測回数}$$

表 3-2 に CTSU1 の代表例として RX130 での自己容量方式使用時の安定待ち時間、計測時間の例を示します。

表 3-2 RX130 での自己容量方式使用時の安定待ち時間、計測時間

ベースクロック周波数[MHz]	計測回数	安定待ち時間[μs]	計測時間[μs] ※	合計(安定待ち時間+ 計測時間) [μs]
4	8	8.5	526	534.5
2	4	17.0	526	543.0
1	2	34.0	526	560.0
0.5	1	68.0	526	594.0

※ CTSUPRRTIO、CTSUPRMODE を推奨値に設定した場合の計測時間を示します。この値を変更することは非推奨です。詳細は各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

- CTSU2/CTSU2x (RX140 の例)

$$\text{安定待ち時間}[\mu s] = 64 \cdot 3 \qquad \text{3 周波数計測使用時}$$

$$\text{計測時間}[\mu s] = 16 \cdot \text{計測回数} \cdot 3 \qquad \text{3 周波数計測使用時}$$

表 3-3 に CTSU2/CTSU2x の代表例として RX140 での自己容量方式使用時の安定待ち時間、計測時間の例を示します。

表 3-3 RX140 での自己容量方式使用時の安定待ち時間、計測時間 (3 周波数計測)

計測回数	安定待ち時間[μs]	計測時間[μs]	合計(安定待ち時間+ 計測時間) [μs]
8 [(STCLK サイクル * 8) * 8]	192 [64 × 3]	384 [128 × 3]	576 [192 + 384]

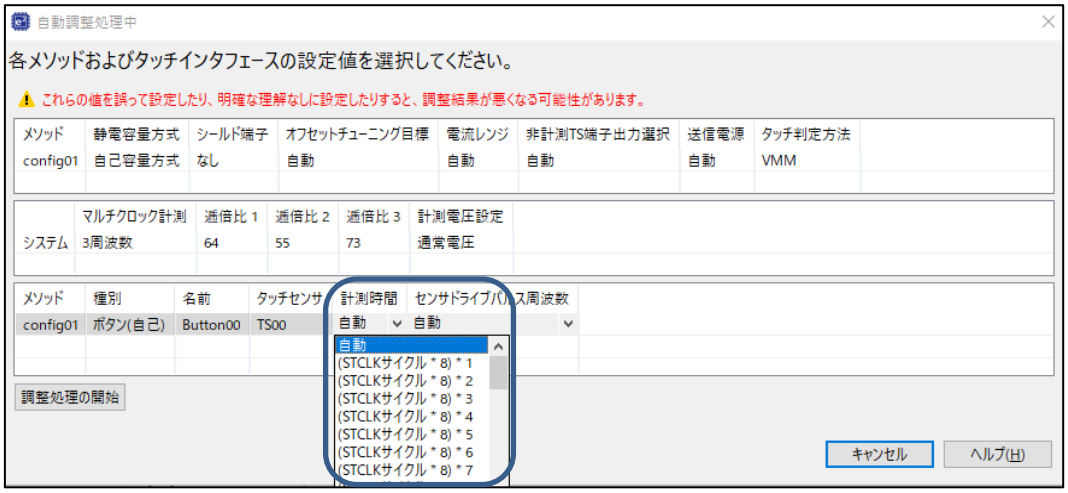
※ STCLK サイクルは計測時間用のリファレンスクロックです。推奨値の 0.5 MHz(2 μs)を使用した場合の計測時間を示します。

各静電容量タッチセンサ使用時での安定待ち時間、計測時間については動作クロックによって異なります。各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルや下記ドキュメントをご参照ください。

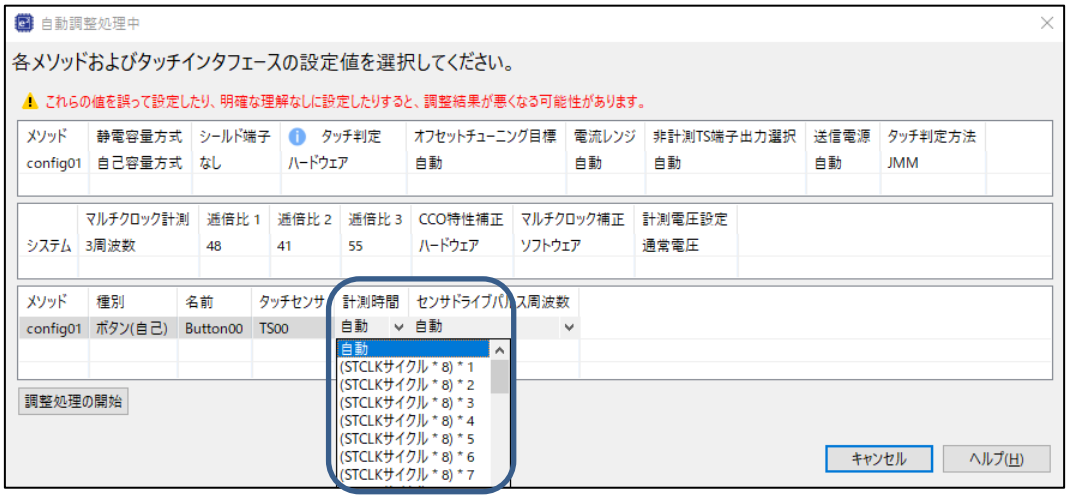
RX ファミリ QE CTSU モジュール Firmware Integration Technology (R01AN4469)

図 3-2 にアドバンスドモード(高度な設定)で”計測回数/計測時間”を設定する箇所を示します。

CTSU1



CTSU2



CTSU2x

図 3-2 “計測回数/計測時間”の設定

設定した値は qe_touch_config.c の”snum”に計測回数 - 1 の値が反映されます。例として RX140 で計測回数/計測時間で”(STCLK サイクル * 8) * 8”を選択した場合、”snum = 0x07”と設定されます。

```
const ctsu_element_cfg_t g_qe_ctsu_element_cfg_config01[] =
{
    { .ssdiv = CTSU_SSDIV_4000, .so = 0x12B, .snum = 0x07, .sdpa = 0x07 },
};
```

※SNUM の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.1.1　計測回数/計測時間変更によるシグナル値/SNR への影響と注意点について

表 3-4 に計測回数/計測時間を変更した場合の RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用時の計測値(実測例)を示します。

表 3-4 計測回数/計測時間を変更した場合の計測値(実測例)

CTSU2x(RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用) 自己容量方式, VMM 方式, センサドライブパルス周波数:2 MHz, 電流レンジ:40 μA, ボタン 1 ch (5 回平均)							
計測回数	オフセットチューニング目標	タッチ OFF 時の平均値 A	タッチ ON 時の平均値 B	シグナル値 (タッチ ON/OFF の差分値) B - A	タッチ OFF 時のノイズ値	SNR	安定待ち時間 + 計測時間
8	37.5%	11545	13514	1969	17.78	17.85	576 μs
12	25.0%	11666	14586	2920	22.76	20.96	768 μs
16	20.0%	11435	14994	3559	27.12	21.12	912 μs

※　実測例は QE for Capacitive Touch の”CapTouch ステータス・チャート (QE) ビュー”の機能より取得しました。詳細は e² studio のヘルプよりご参照ください。

ノイズが標準分布する場合、計測回数/計測時間を上げると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 SNR が向上します。

計測値を積算することでシグナル値を向上させることにつながりますが、同時に計測値がオーバーフローすることや計測時間がユーザの要求仕様を満たさない可能性があります。その場合は、オフセット調整のターゲット値を調整し、測定回数を減らす、測定電流範囲や周波数を変更することをご検討ください。これらは個別に調整が可能です。

また、計測回数を増やすことで、CTSU は低電力動作時の消費電力の増加を引き起こす可能性があります。計測回数は十分に評価したうえでユーザの要求仕様に合わせて設定してください。

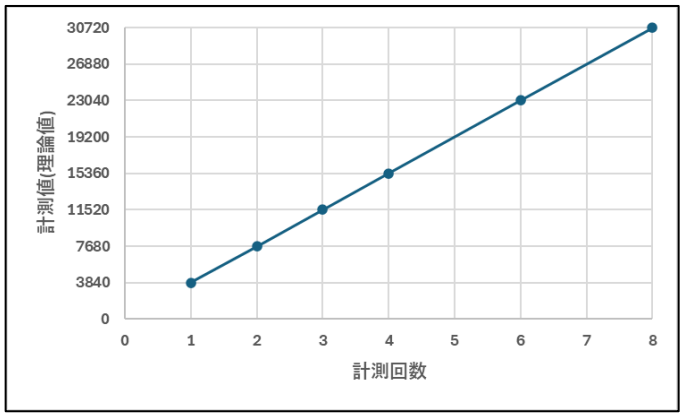
3.1.2　計測回数変更時のオフセットチューニング調整の必要性について

計測回数を変更した場合、計測値が最大値である 65535 を超えてオーバーフローすることを防ぐため、オフセットチューニングの調整をし、計測値を調整する必要があります。オフセットチューニング調整については 3.2 オフセットチューニング目標をご参照ください。

表 3-5、図 3-3 に CTSU1 の代表例として RX130 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値を示します。

表 3-5 RX130 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値(理論値)

CTSU1 (RX130) 自己容量方式 PCLKB:32 MHz センサドライブパルス周波数:2 MHz オフセットチューニング目標:37.5 % ボタン 1 ch				
計測回数	安定待ち時間 [μs]	計測時間 [μs]	合計(安定待ち時間+ 計測時間) [μs]	計測値(理論値)
1	17	131.5	148.5	3840
2	17	263.0	280.0	7680
3	17	394.5	411.5	11520
4	17	526.0	543.0	15360
5	17	657.5	674.5	19200
6	17	789.0	806.0	23040
:	:	:	:	:



※PRMODE、PRRATIO は推奨値を設定

図 3-3 RX130 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値(理論値)

例として自己容量方式で計測回数を 8 回に増やした場合、タッチ OFF 時の計測値は 30720 付近の値になります。また、計測回数を増やすことでタッチ ON 時の計測値がオーバーフローする可能性があります。

表 3-6、図 3-4 に CTSU2/CTSU2x の代表例として RX140 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値を示します。

表 3-6 RX140 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値(理論値)

CTSU2/CTSU2x (RX140) 自己容量方式 PCLKB:32 MHz センサドライブパルス周波数:2 MHz オフセットチューニング目標:37.5 % ボタン 1 ch				
計測回数	安定待ち時間 [μs]	計測時間 [μs]	合計(安定待ち時間 + 計測時間) [μs]	1 周波数当たりの計測値(理論値)
1 [(STCLK サイクル * 8) * **1**]	192	48	240	720
2 [(STCLK サイクル * 8) * **2**]	192	96	288	1440
3 [(STCLK サイクル * 8) * **3**]	192	144	336	2880
:	:	:	:	:
8 [(STCLK サイクル * 8) * **8**]	192	384	576	5760
:	:	:	:	:
16 [(STCLK サイクル * 8) * **16**]	192	768	960	11520
:	:	:	:	:

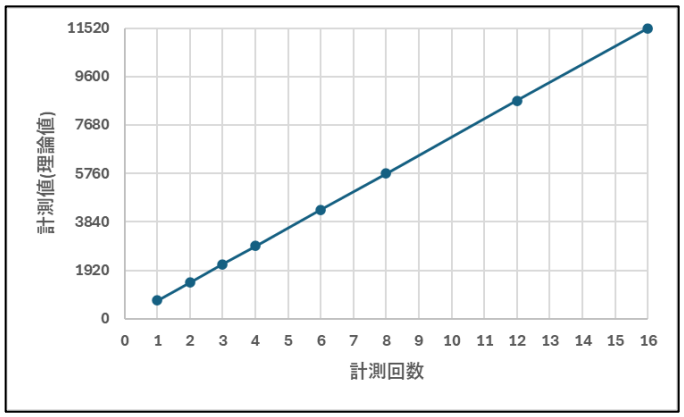


図 3-4 RX140 での“計測回数/計測時間”に対しての計測値(理論値)

例として自己容量方式で計測回数を 16 回に増やした場合、タッチ OFF 時の 1 周波数分の計測値は 11520 付近の値になります。また、計測回数を増やすことでタッチ ON 時の計測値がオーバーフローする可能性があります。

3.2　オフセットチューニング目標

“オフセットチューニング目標”では、タッチ OFF 時の計測値がターゲット値になるようにオフセット値設定をメソッドごとに調整します。計測時間を変更し計測値がオーバーフローする場合や、アクティブシールド使用時に寄生容量が大きく計測値がターゲット値に達しない場合に調整します。詳細は下記ドキュメントの”2.2.2 計測範囲”をご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

図 3-5 に RX130 で自己容量方式使用時のオフセットチューニングのイメージを示します。センサカウンタレジスタは 16 bit のレジスタのため範囲としては 0～65535 ですが、実際に使用する場合は電流計測レンジ内（電流レンジの上限 100 %以下）で計測する必要があります。CTSU ではセンサオフセット調整レジスタを搭載しオフセット電流量をチューニングすることで、寄生容量成分の計測値を制御しターゲット値に調整できます。

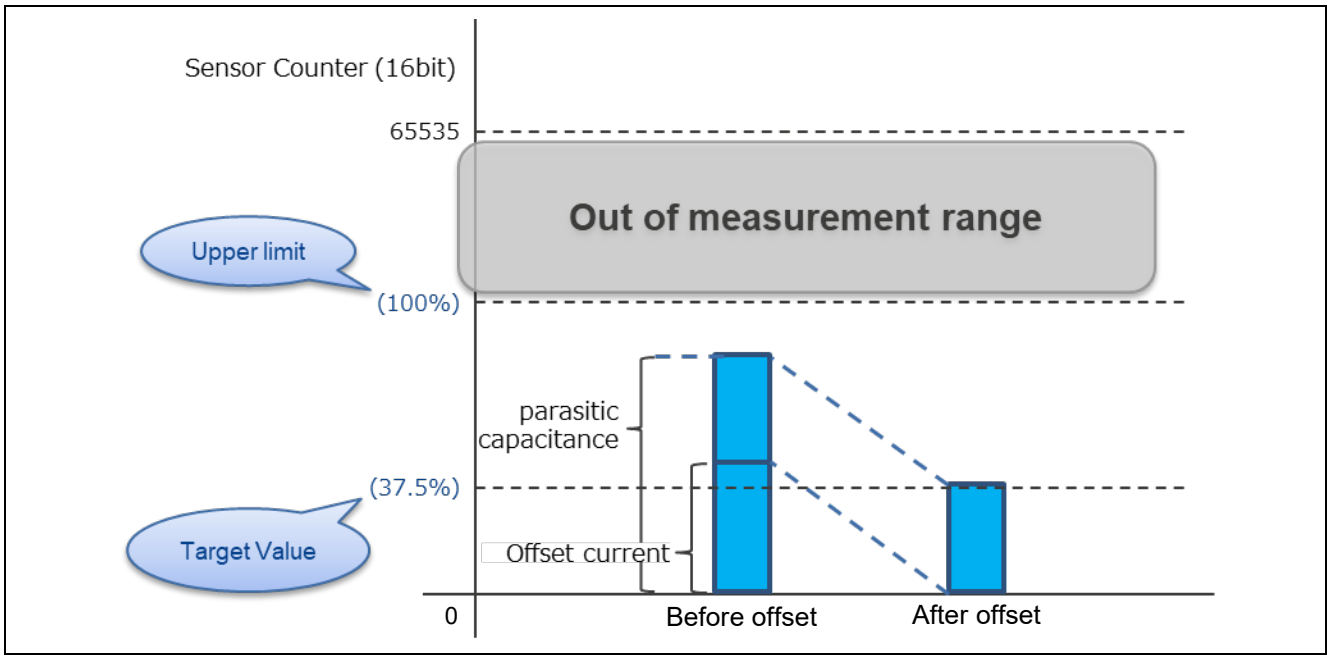


図 3-5 自己容量方式のオフセットチューニング処理

表 3-7 にデフォルトの計測回数でのターゲット値を示します。デフォルトの”計測回数”については表 3-1 デフォルトの”計測回数”設定をご参照ください。

表 3-7 各計測条件でのデフォルトの”オフセットチューニング目標”設定

	タッチ判定方法※	ATUNE0	自己容量方式	相互容量方式	アクティブシールド
CTSU1	-	通常電圧	15360 (37.5 %)	10240 (25 %)	-
CTSU2/ CTSU2x	計測値多数決モード (VMM)	通常電圧	11520 (37.5 %)	7680 (25 %)	4608 (15 %)
		低電圧	9216 (37.5 %)	6144 (25 %)	-
	判定多数決モード (JMM)	通常電圧	5760 (37.5 %)	3840 (25 %)	2304 (15 %)
		低電圧	4608(37.5 %)	3072 (25 %)	-

※　VMM 使用時では 3 周波数計測結果の内、採用された 2 周波数計測結果の合算値(128 + 128 = 256 μs)が最終計測結果となります。JMM 使用時では計測値としては 1 周波数分(128 μs)の値となります。

表 3-8 に CTSU1 でのオフセットチューニング目標の設定に対してのターゲット値を示します。

表 3-8 CTSU1 での“オフセットチューニング目標”に対してのターゲット値

オフセットチューニング目標	ターゲット値
25.0 %	10240
30.0 %	12288
35.0 %	14336
37.5 %	15360
40.0 %	16384
45.0 %	18432
50.0 %	20480

CTSU2/CTSU2x では QE for Capacitive Touch のバージョンの違いによりターゲット値が異なります。表 3-9 に v4.0.0 以降、表 3-10 に v3.5.0 以前の QE for Capacitive Touch を使用した際に CTSU2/CTSU2x でオフセットチューニング目標を変更した場合のターゲット値を示します。

表 3-9 CTSU2/CTSU2x での“オフセットチューニング目標”に対してのターゲット値
(QE for Capacitive Touch v4.0.0 以降)

オフセットチューニング目標	JMM ターゲット値		VMM ターゲット値	
	通常電圧	低電圧	通常電圧	低電圧
10.0 %	1536	1229	3072	2458
15.0 %	2304	1843	4608	3686
20.0 %	3072	2458	6144	4915
25.0 %	3840	3072	7680	6144
30.0 %	4608	3686	9216	7373
35.0 %	5376	4301	10752	8602
37.5 %	5760	4608	11520	9216
40.0 %	6144	4915	12288	9830
45.0 %	6912	5530	13824	11059
50.0 %	7680	6144	15360	12288

※　VMM 使用時は 3 周波数計測結果の 2 周波数合算後(256 μs)の値です。JMM 使用時は 1 周波数分(128 μs)の値です。

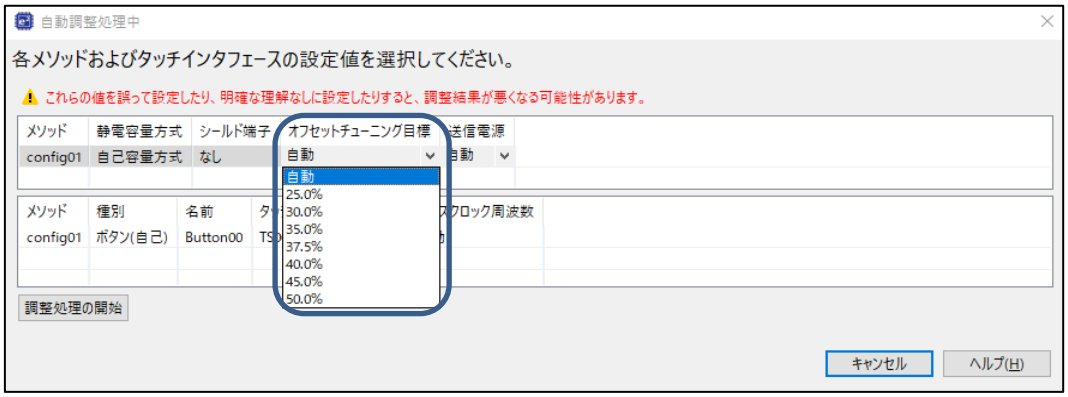
表 3-10 CTSU2/CTSU2x での“オフセットチューニング目標”に対してのターゲット値（参考値）
(QE for Capacitive Touch v3.5.0 以前)

オフセットチューニング目標	ターゲット値※ (QE for Capacitive Touch v3.3.0 以前)	ターゲット値※ (QE for Capacitive Touch v3.5.0)
10.0 %	4096	3072
15.0 %	6144	4608
20.0 %	8192	6144
25.0 %	10240	7680
30.0 %	12288	9216
35.0 %	14336	10752
37.5 %	15360	11520
40.0 %	16384	12288
45.0 %	18432	13824
50.0 %	20480	15360

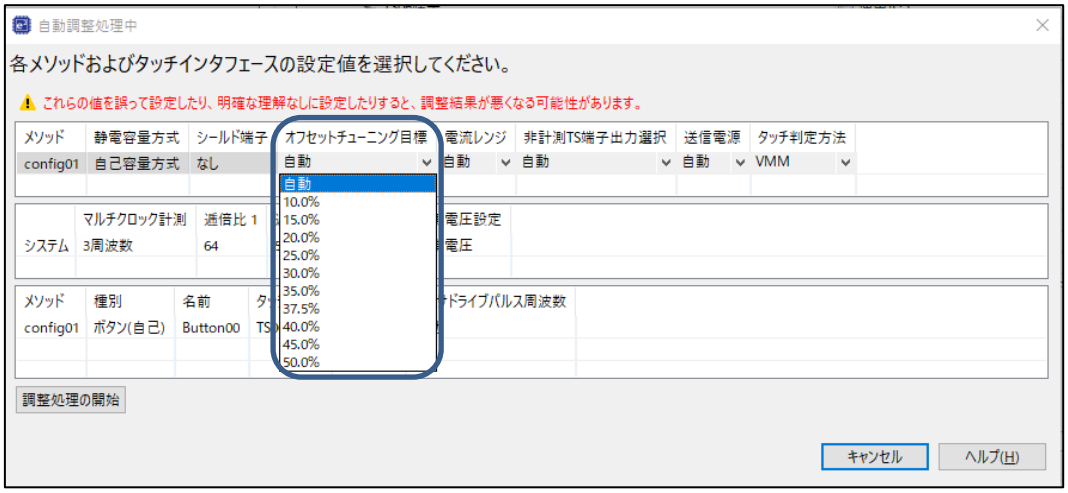
※　3 周波数計測結果の 2 周波数合算後(256 μs)の値です。

※　ターゲット値はチューニング時の QE for Capacitive Touch のバージョンに依存します。本アプリケーションノートでは表 3-9 のターゲット値を使用して説明します。評価には最新版の QE for Capacitive Touch を使用することを推奨します。

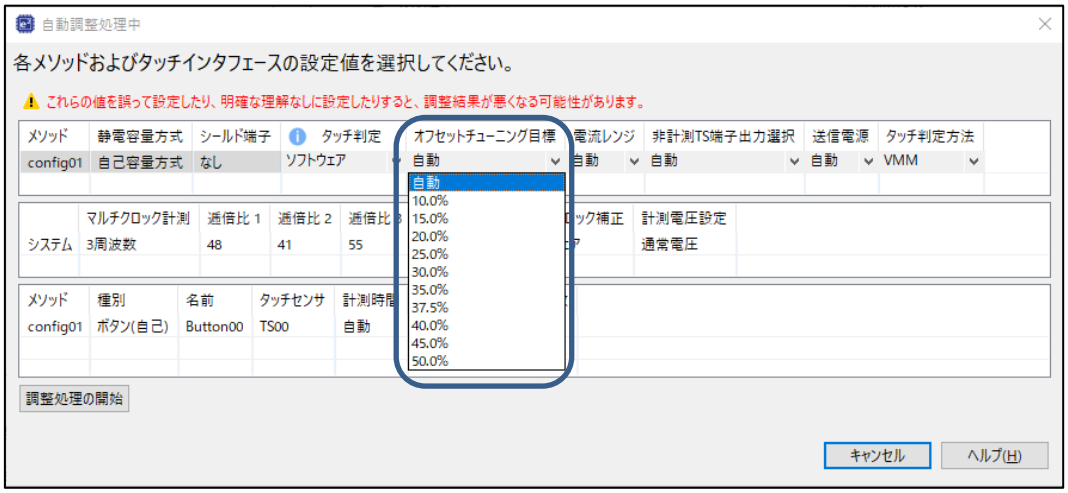
図 3-6 にアドバンスドモード(高度な設定)で”オフセットチューニング目標”を設定する箇所を示します。



CTSU1



CTSU2



CTSU2x

図 3-6 “オフセットチューニング目標”の設定

設定した値は qe_touch_config.c に反映されます。下記は RX130 使用時の自己容量方式/相互容量方式のターゲット値の例です。この値を直接書き換えることは推奨していません。

```
#if (CTSU_TARGET_VALUE_CONFIG_SUPPORT == 1)
    .tuning_self_target_value   = 15360,
    .tuning_mutual_target_value = 10240,
#endif
```

3.2.1　オフセットチューニング目標と計測回数変更による計測値への影響について

計測回数により計測値が変化し、計測回数をデフォルトの設定から 2 倍の値に設定すると計測値も 2 倍になります。

(1)　CTSU1：

計測値=(オフセットチューニング目標[%] × 40960※) / 100×(計測回数 / デフォルトの計測回数)
※ 40960 はオフセットチューニング目標 100 %時の値です。

(2)　CTSU2/CTSU2x：

- VMM 使用時：

— 計測電圧設定：通常電圧
計測値=(オフセットチューニング目標[%] ×30720※) / 100×(計測回数 / デフォルトの計測回数)
※ 30720 は計測時間 256 μs でのオフセットチューニング目標 100 %の値です。

— 計測電圧設定：低電圧
計測値=(オフセットチューニング目標[%] ×24576※) / 100×(計測回数 / デフォルトの計測回数)
※ 24576 は計測時間 256 μs でのオフセットチューニング目標 100 %の値です。

- JMM 使用時：

— 計測電圧設定：通常電圧
計測値=(オフセットチューニング目標[%] ×15360※) / 100×(計測回数 / デフォルトの計測回数)
※ 15360 は計測時間 128 μs でのオフセットチューニング目標 100 %の値です。

— 計測電圧設定：低電圧
計測値=(オフセットチューニング目標[%] ×12288※) / 100×(計測回数 / デフォルトの計測回数)
※12288 は計測時間 128 μs でのオフセットチューニング目標 100 %の値です。

表 3-11、図 3-7 に CTSU2/CTSU2x での計測回数を変更した場合のオフセットチューニング目標の設定に対しての VMM 使用時のタッチ OFF 時の計測値(理論値)を示します。

表 3-11 計測回数を変更した場合の“オフセットチューニング目標”に対しての計測値(理論値)

オフセットチューニング目標	VMM 使用時のターゲット値※	タッチ OFF 時の VMM 使用時の計測値(理論値)※	
		計測回数 : 8 (デフォルト)	計測回数 : 16
10.0 %	3072	3072	6144
15.0 %	4608	4608	9216
20.0 %	6144	6144	12288
25.0 %	7680	7680	15360
30.0 %	9216	9216	18432
35.0 %	10752	10752	21504
37.5 %	11520	11520	23040
40.0 %	12288	12288	24576
45.0 %	13824	13824	27648
50.0 %	15360	15360	30720

※　3 周波数計測結果の 2 周波数合算後の値です。

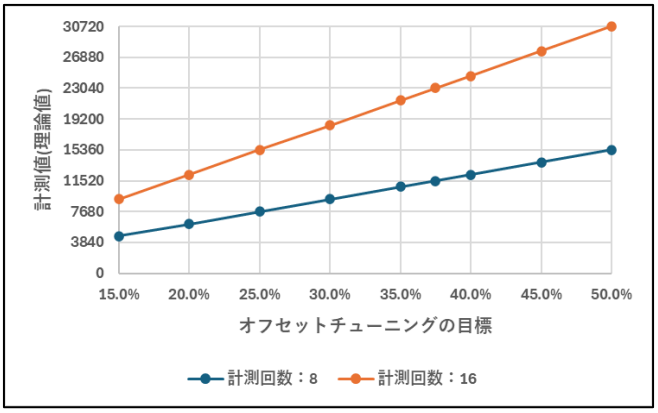


図 3-7 計測回数を変更した場合の“オフセットチューニング目標”に対しての計測値(理論値)

オフセットチューニング目標を変更することで計測値がオーバーフローする可能性があります。システム（製品）が動作中に想定される最大の容量付加状態の時※の計測値がオーバーフローしないようにターゲット値と計測時間を設定してください。また、特に変更の必要が無ければ、表 3-7 を参考に各方式のターゲット値になるようオフセットチューニング目標と計測時間を設定してください。

計測回数を変更し、計測値が想定と異なった場合は表 3-11 を参考にオフセットチューニング目標を設定してください。オフセットチューニング目標は計測値がターゲット値よりも大きい場合はデフォルトの設定よりも低く設定し、計測値がターゲット値よりも小さい場合はデフォルトの設定よりも高く設定してください。電極の寄生容量が小さい場合やアクティブシールドを使用する場合など、オフセットチューニング処理で設定したターゲット値に届かない際にこれらのターゲット値を再設定してください。
※例としてタッチボタンの上に、水をこぼしてしまった場合など、通常の操作以外も含め考えられうる最大の容量付加状態を想定してください。

3.3　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数

“ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数”ではタッチセンサに出力する周波数の分周を設定します。CTSU1 では”ベースクロック周波数”、CTSU2 では”センサドライブパルス周波数”と表示されます。ベースクロックとセンサドライブパルスについては各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。
ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数が高いほどシグナル値が向上しますが、寄生容量が大きい場合計測誤差が発生します。CTSU は TS 端子よりセンサドライブパルスを出力して、その充電電流から静電容量を計測します。詳細は下記ドキュメントをご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数は寄生容量と設定したダンピング抵抗により、自動チューニングで最適な周波数に設定されます。また、動作クロックによってベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数が異なります。詳細は各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

CTSU1 は寄生容量/ダンピング抵抗により 4 種類の周波数 4 / 2 / 1 / 0.5 MHz から最終的な周波数が決定されます。

図 3-8 に CTSU1 の代表例(TSCAP 電圧 1.6 V)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。

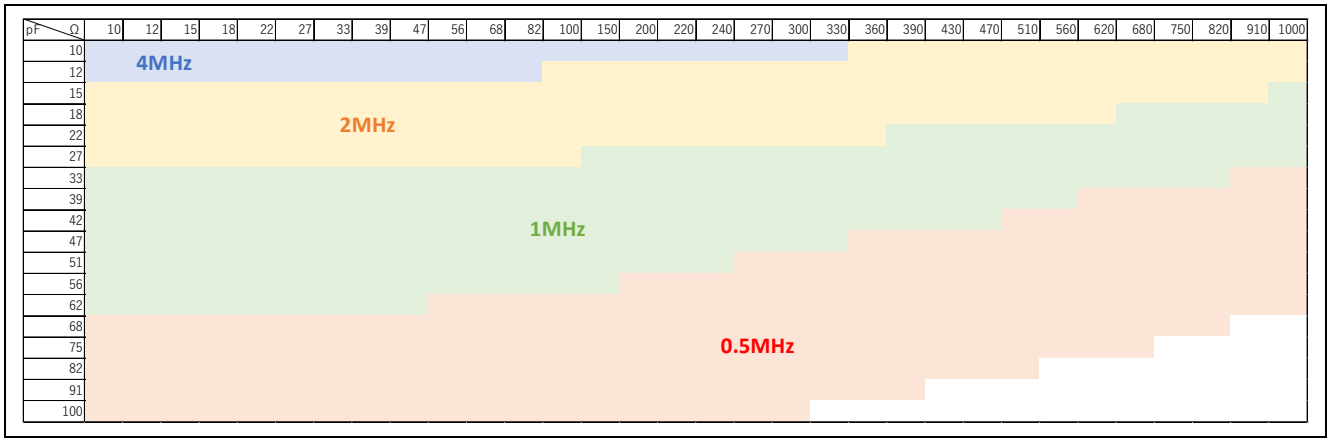


図 3-8 RX130(受信電極 1.6 V)での寄生容量/ダンピング抵抗とベースクロック周波数の関係

図 3-9 に CTSU1 の代表例(TSCAP 電圧 1.18 V)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。

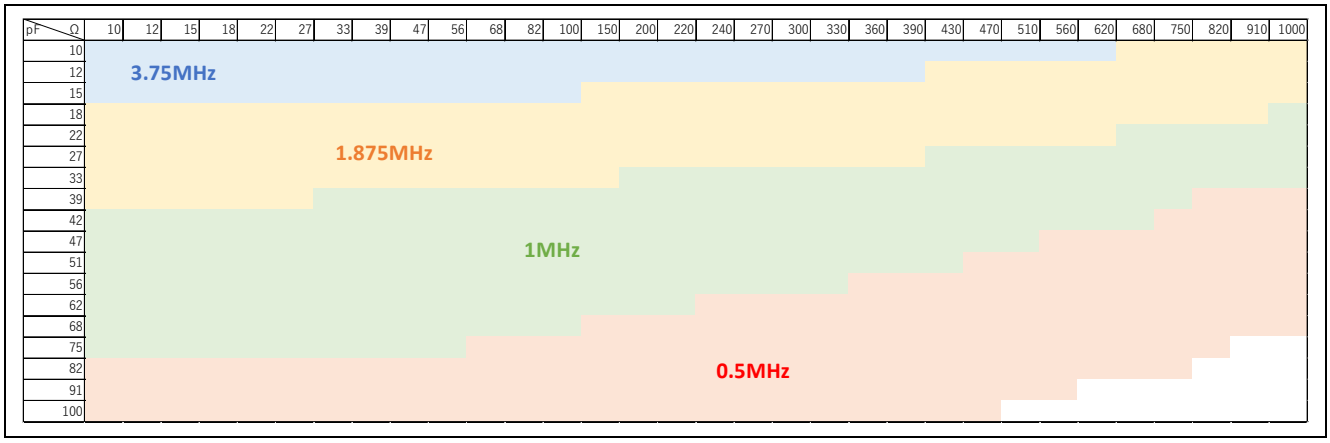


図 3-9 RX671 (受信電極 1.18 V)での寄生容量/ダンピング抵抗とベースクロック周波数の関係

CTSU2/CTSU2x は寄生容量/ダンピング抵抗により最適なセンサドライブパルス周波数の上限が決定されます。その範囲内で 3 周波数の内、最も高い周波数が上限周波数未満に収まるように選択します。図 3-10~図 3-13 では第 1 周波数の例を示します。3 周波数計測の内の第 1 周波数については、"3.7 タッチ判定方法/マルチクロック計測/逓倍比"をご参照ください。

図 3-10 に、CTSU2/CTSU2x の代表例として RX140(SUCLK40 MHz 上限)を使用した場合の、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通常電圧使用時のセンサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係を示します。

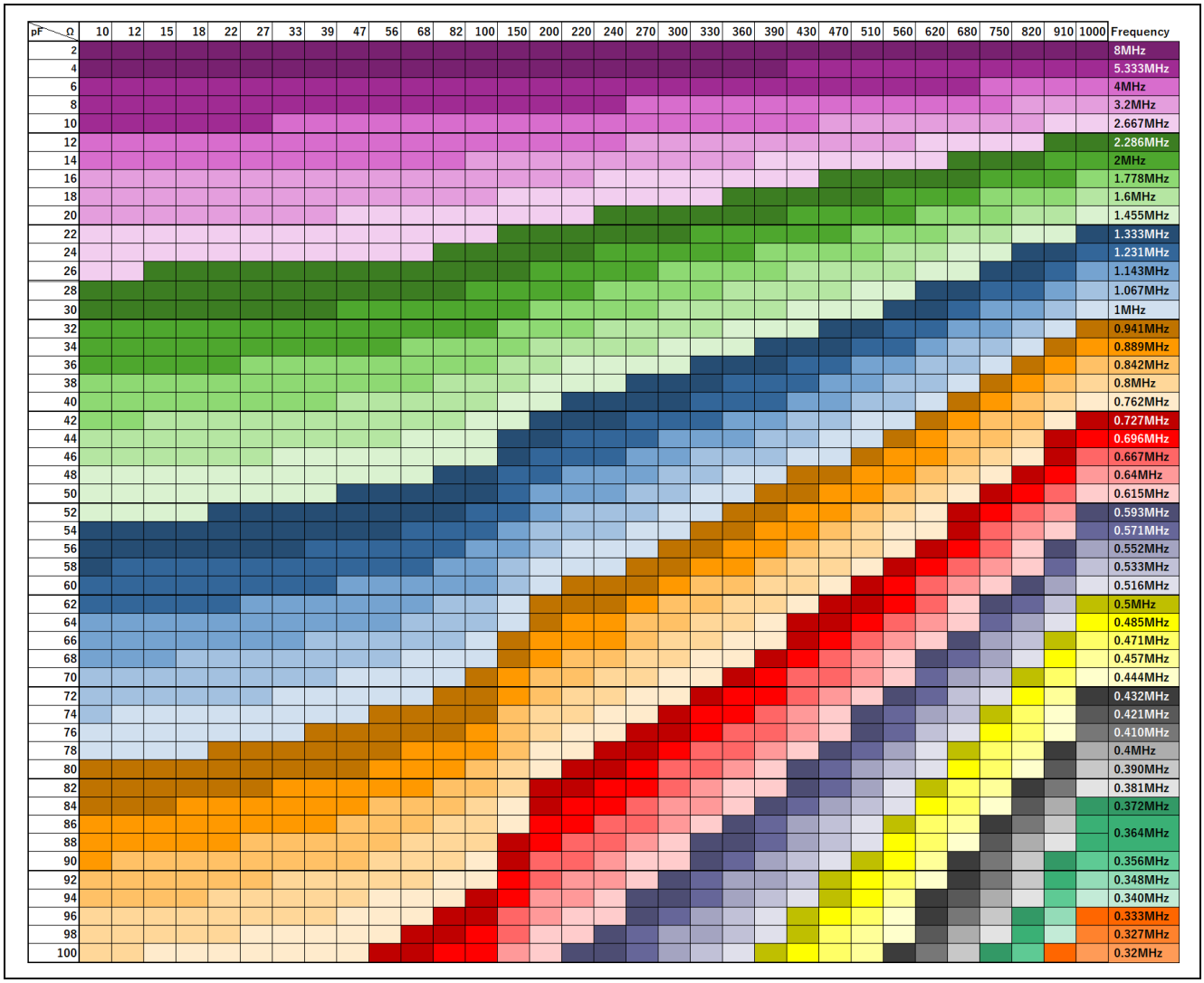


図 3-10 RX140 (計測電圧設定：通常電圧)での寄生容量/ダンピング抵抗と
センサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係

図 3-11 に、CTSU2/CTSU2x の代表例として RX140(SUCLK40 MHz 上限)を使用した場合の、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低電圧使用時のセンサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係を示します。

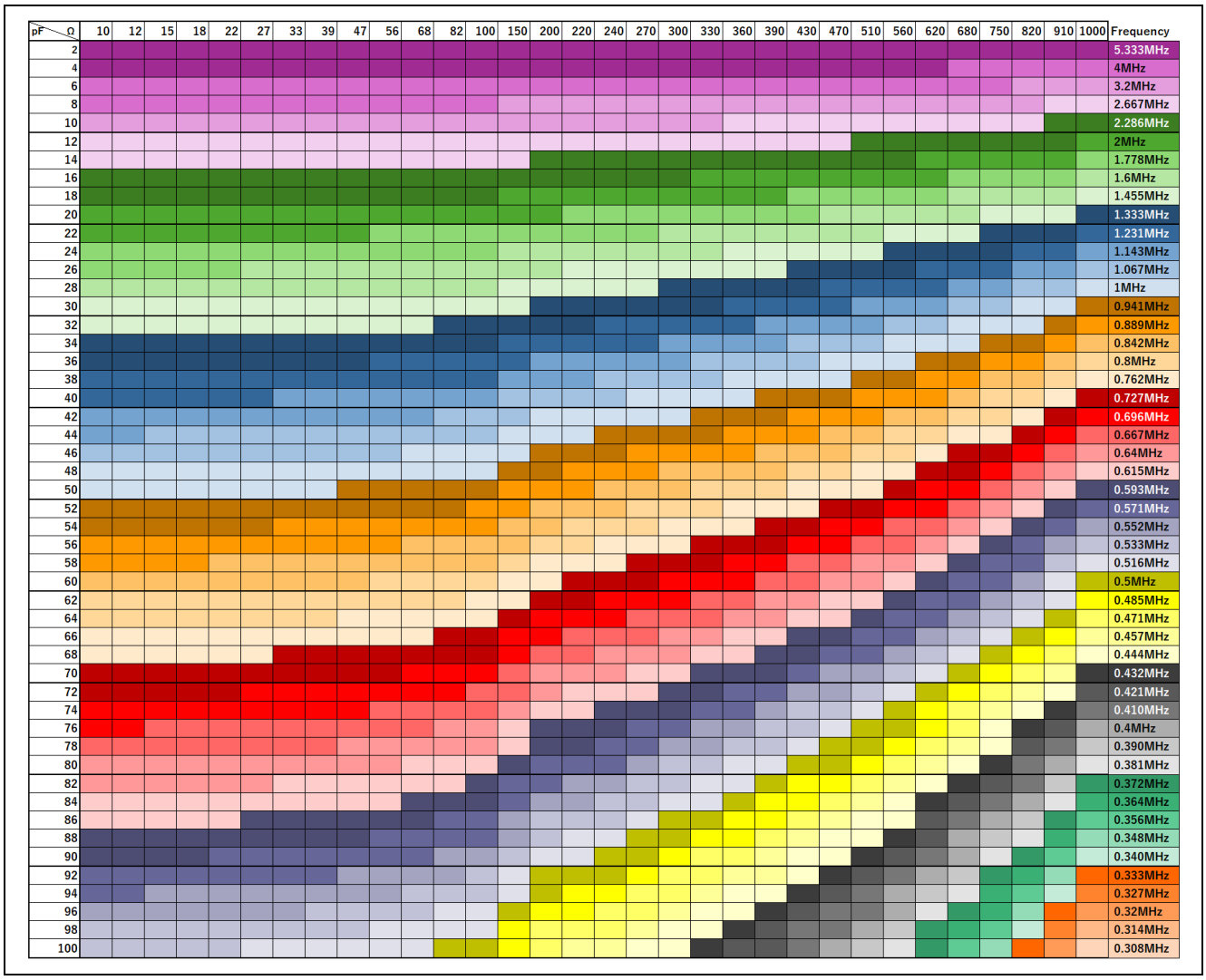


図 3-11 RX140 (計測電圧設定：低電圧)での寄生容量/ダンピング抵抗と
センサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係

図 3-12 に、CTSU2/CTSU2x の代表例として RL78/G23(SUCLK32 MHz 上限)を使用した場合の、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通常電圧使用時のセンサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係を示します。

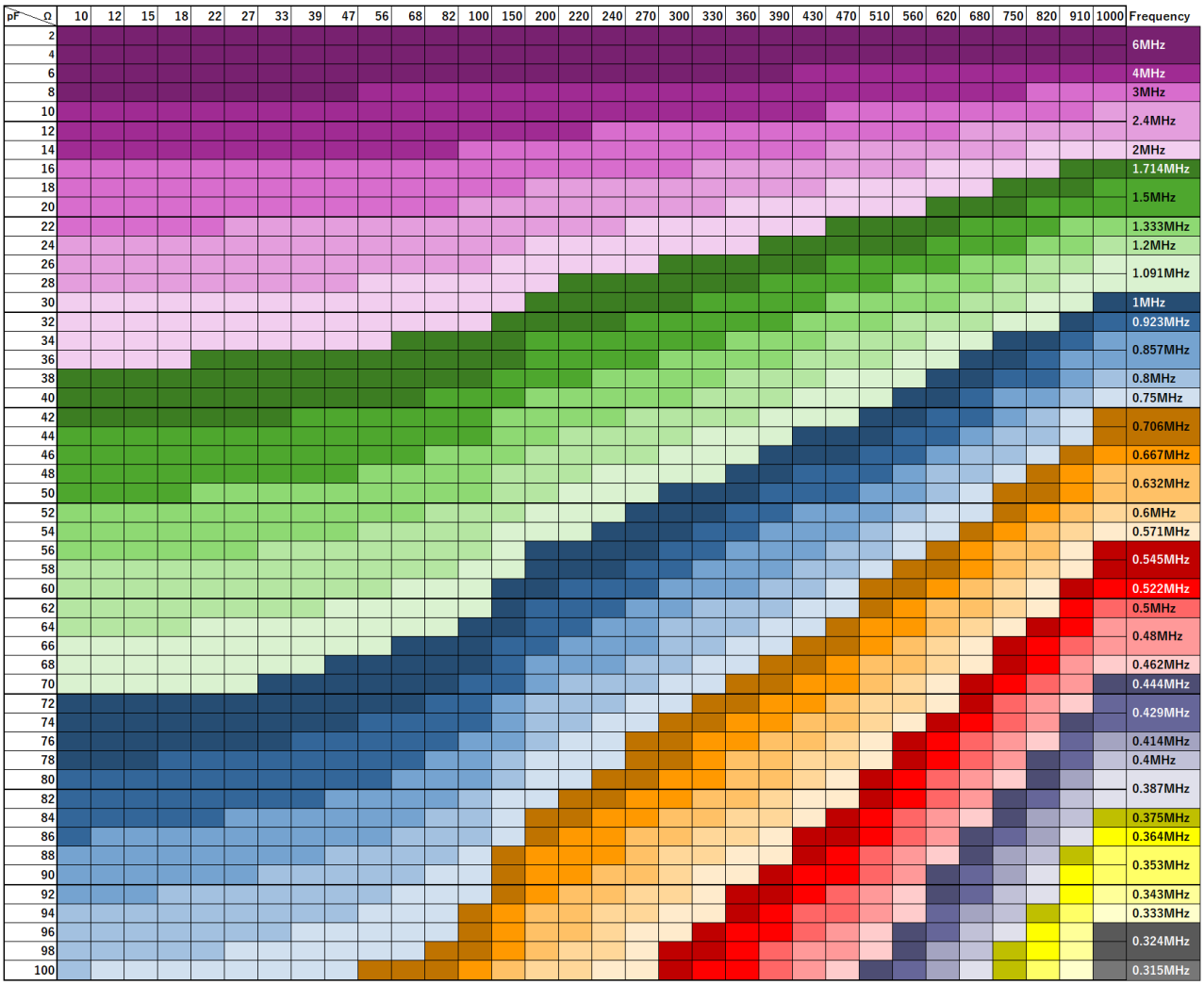


図 3-12 RL78/G23 (計測電圧設定：通常電圧)での寄生容量/ダンピング抵抗と
センサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係

図 3-13 に、CTSU2/CTSU2x の代表例として RL78/G23(SUCLK32 MHz 上限)を使用した場合の、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低電圧使用時のセンサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係を示します。

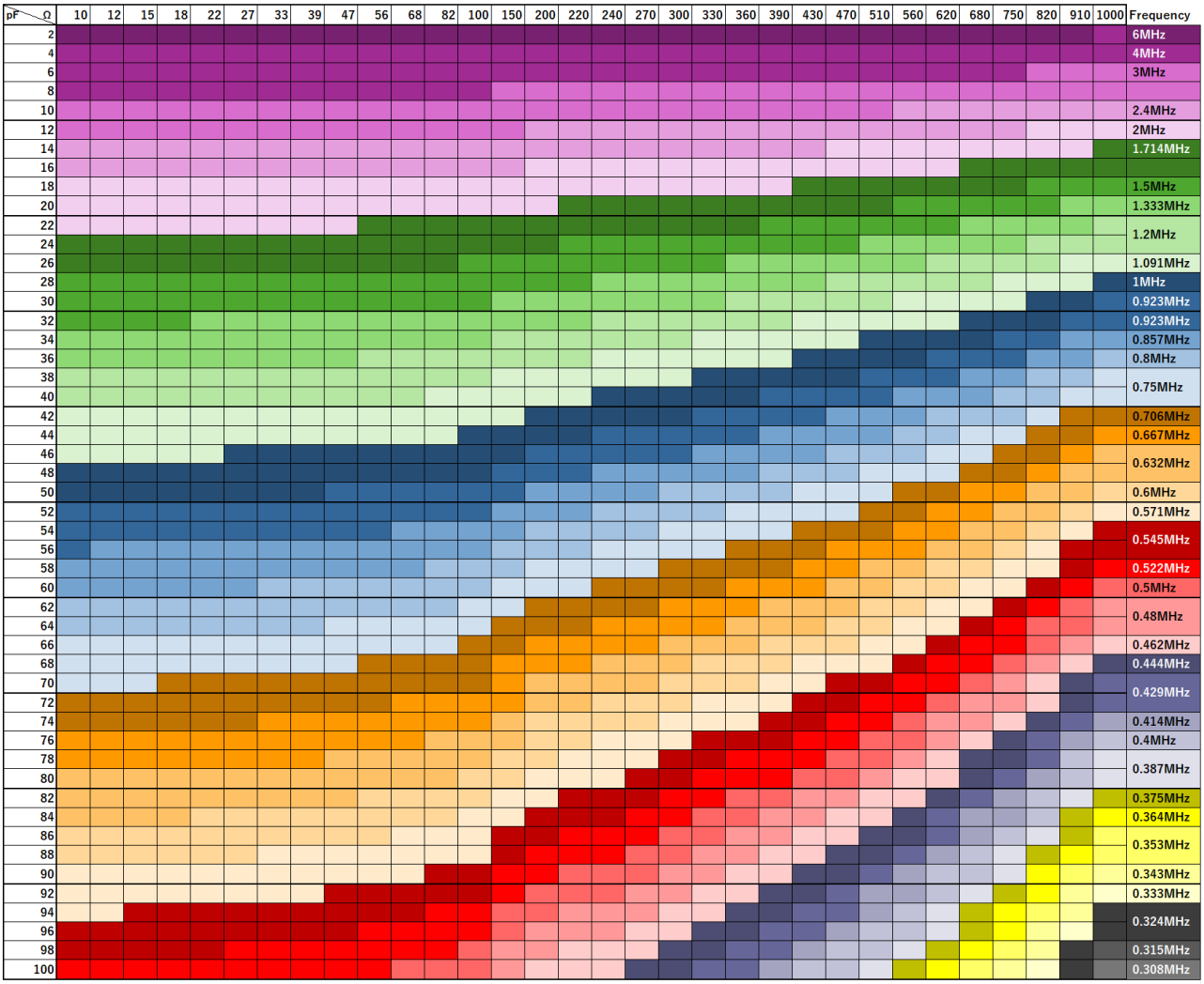
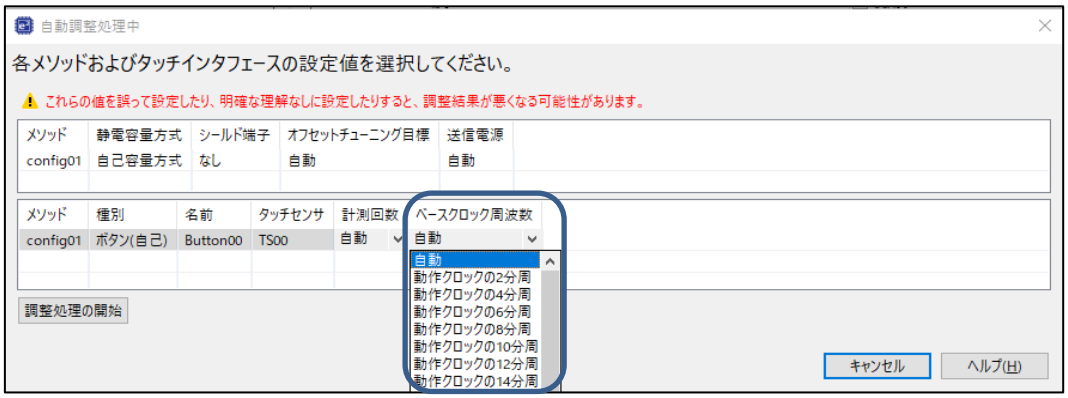


図 3-13 RL78/G23 (計測電圧設定：低電圧)での寄生容量/ダンピング抵抗と
センサドライブパルス周波数(第 1 周波数)の関係

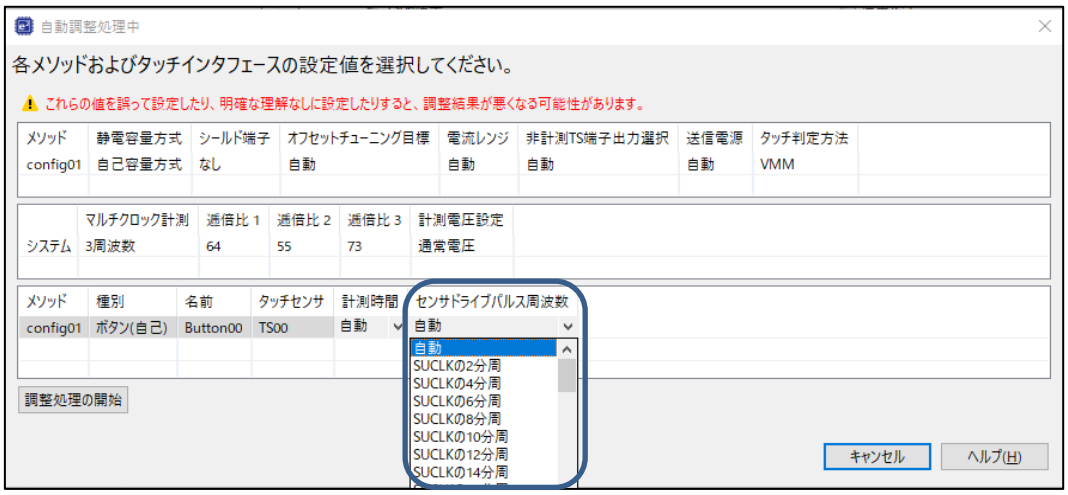
寄生容量が大きいほどベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数は低く設定されます。寄生容量が大きい場合にベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を高く設定すると、TS 端子よりセンサドライブパルスを出力する際に、充放電が満足に行われず計測値の誤差が発生する可能性があります。そのため、自動チューニングでは計測誤差が発生しない最適な周波数に設定します。

センサドライブパルス周波数が電極ごとに異なり動作に影響が出る場合は、一番低い周波数に合わせるなどユーザの要求仕様に合わせて十分に評価したうえで調整してください。

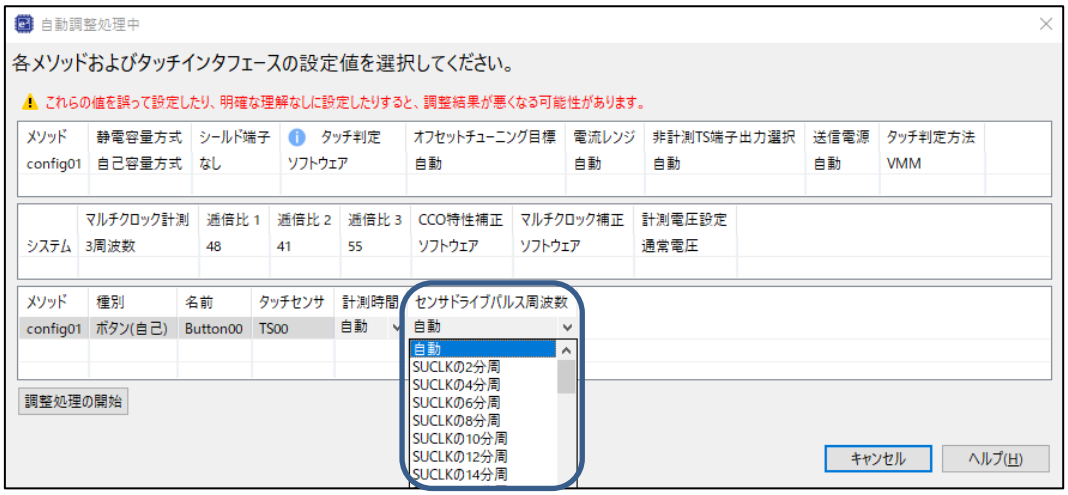
図 3-14 にアドバンスドモード(高度な設定)で”ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数”を設定する箇所を示します。



CTSU1



CTSU2



CTSU2x

図 3-14 “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

設定した値は qe_touch_config.c の”sdpa”に反映されます。例として RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用時、”SUCLK の 16 分周”を選択した場合”sdpa = 0x07”と設定されます。

```
const ctsu_element_cfg_t g_qe_ctsu_element_cfg_config01[] =
{
    { .ssdiv = CTSU_SSDIV_4000, .so = 0x12B, .snum = 0x07, .sdpa = 0x07 },
};
```

※SDPA の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.3.1　ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数変更によるシグナル値/SNR への影響について

表 3-12 にセンサドライブパルス周波数を変更した場合の RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用時の計測値(実測例)を示します。

表 3-12 センサドライブパルス周波数を変更した場合の計測値(実測例)

CTSU2x(RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用), 自己容量方式, VMM 方式, 計測回数:8 (安定待ち時間+計測時間:576 μs), 電流レンジ:40 μA, オフセットチューニング目標:37.5 % (5 回平均)					
センサドライブパルス周波数	タッチ OFF 時の平均値 A	タッチ ON 時の平均値 B	シグナル値 (タッチ ON/OFF の差分値) B - A	タッチ OFF 時のノイズ値	SNR
4MHz	11674	15322	3648	26.1	23.29
2MHz	11540	13376	1836	17.7	16.22
1MHz	11580	12513	932	13.0	11.29
0.5MHz	11550	12021	471	13.8	5.40

※実測例は QE for Capacitive Touch の"CapTouch ステータス・チャート (QE) ビュー"の機能より取得しました。詳細は e² studio のヘルプよりご参照ください。

ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を高くするとタッチ ON/OFF の差分値は大きく見えますが、周波数を高くすることでタッチ ON 時にオーバーフローが発生する可能性があります。また、寄生容量が大きい場合に無理に周波数を上げると計測誤差が発生する可能性があります。

図 3-15 に寄生容量が大きい場合にベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を上げた場合の CTSU 計測のイメージを示します。高い周波数の場合パルスの出力が充電時間よりも早く、寄生容量が大きい場合だと十分に充放電できない可能性があります。それにより計測に誤差が発生する可能性があるため、寄生容量に合わせた周波数の設定が必要となります。

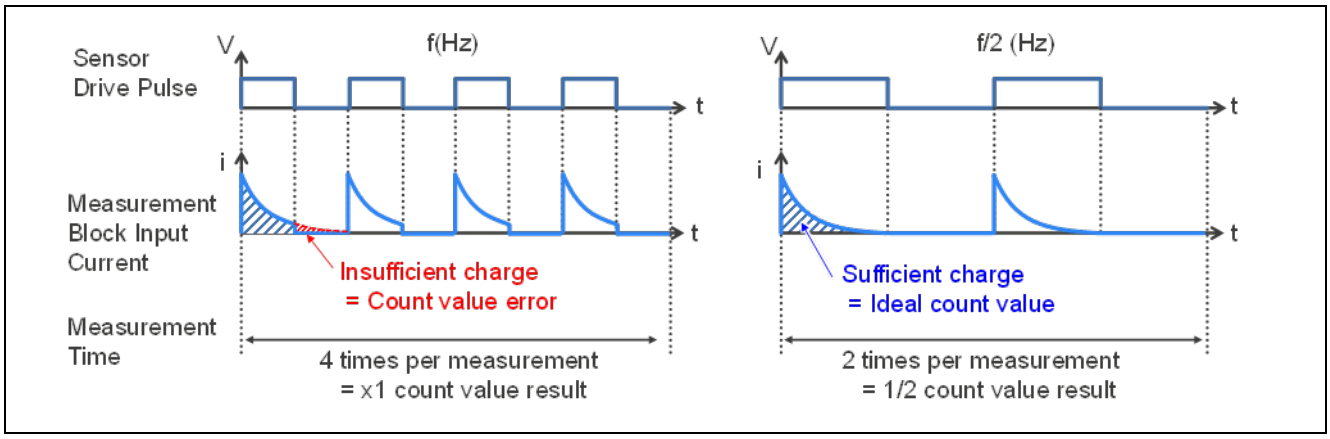


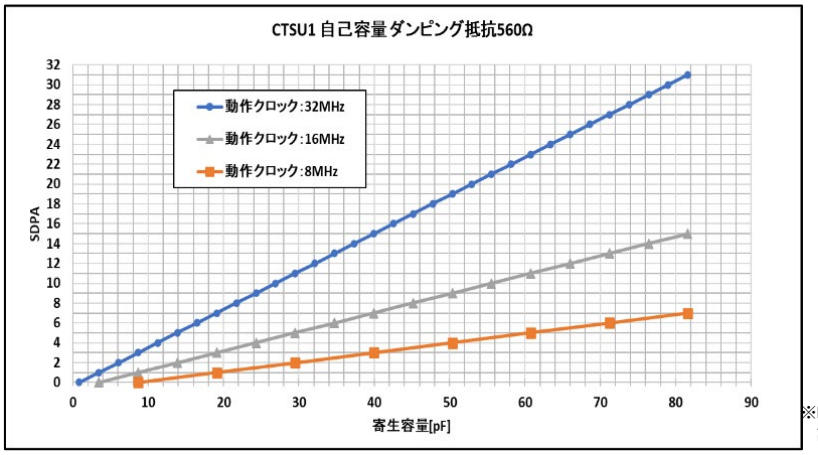
図 3-15 CTSU 計測のイメージ

0.5MHz 設定時、寄生容量が小さい場合にタッチ OFF 時の平均値がオフセットチューニング目標付近に設定されない場合があります。理由として寄生容量が小さいことで VDC から供給される電流が小さく、カレントミラー回路に供給される電流も小さくなることから計測値がターゲット値に到達しないためです。その場合はベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数を高くするか、オフセットチューニング目標を下げてください。また、充放電時間を十分に確保することを考慮し、ベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数は図 3-8～図 3-13 を参考に設定してください。

ユーザの要求仕様に合わせて十分に評価したうえで調整してください。

3.3.2　アドバンスドモードを用いたベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数の調整方法について

自動チューニングでは計測誤差が発生しない最適なベースクロック周波数/センサドライブパルス周波数に設定します。CTSU1 では寄生容量により 4 種類の周波数 4 / 2 / 1 / 0.5 MHz から最終的な周波数が決定されますが、寄生容量に対して設定された周波数のマージンが大きすぎる場合があります。その場合はアドバンスドモードにより、さらに最適な周波数に変更することが可能です。図 3-16 に CTSU1 である RX130 でダンピング抵抗 560 Ω を使用した場合の寄生容量と SDPA の関係を示します。



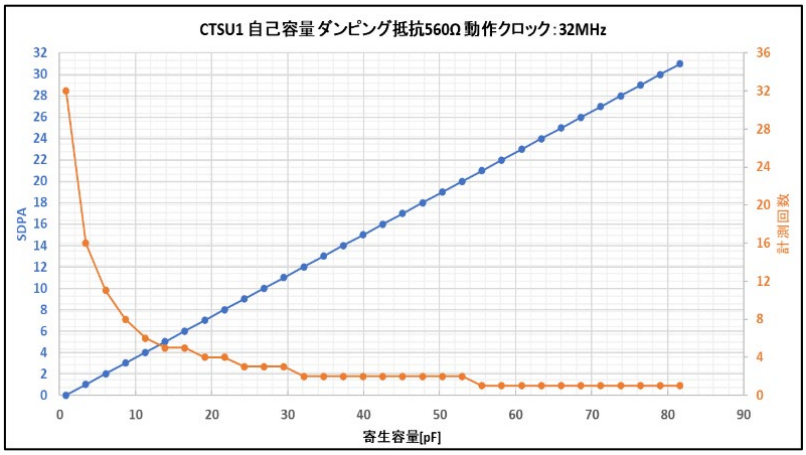
※PRMODE、PRRATIO は推奨値を設定

図 3-16 RX130 使用時に計測可能な寄生容量値

寄生容量が 30pF で動作クロック(CTSUCLK)が 32 MHz の場合、最適な SDPA は 11 となります。
ベースクロック周波数は下記の計算式で求められます。
ベースクロック周波数 = CTSUCLK / ((SDPA + 1) × 2)

動作クロック(CTSUCLK)が 32 MHz で SDPA が 11 の場合、ベースクロック周波数は下記になります。
ベースクロック周波数 ： 32[MHz] / ((11 + 1) × 2) = 1.333MHz

RX130 では自動チューニング結果として計測時間が 526 μs となるように設定されますが、本アドバンスドモードを用いてベースクロック周波数を手動で変更した場合は計測時間も変化します。詳細は”3.1 計測回数/計測時間”をご参照ください。図 3-17 に 526 μs 付近に設定する場合の動作クロック 32 MHz 使用時の SDPA と計測回数の関係を示します。



※計測回数の設定値は整数に限られるため、SDPA によっては最適な計測回数でも計測時間 526μs から大きく乖離するケースがあります

図 3-17 RX130(動作クロック 32 MHz)使用時に 526 μs 相当の計測時間を設定する場合の SDPA と計測回数

計測時間を変更する場合はオーバーフローエラーが発生しないよう、ユーザの要求仕様に合わせて調整してください。また、動作クロックによっては自動チューニングにより 4 / 2 / 1 / 0.5 MHz 以外に設定されることがあります。例として動作クロックが 30 MHz の場合は、分周の関係で 4 / 2 MHz に設定することができません。その場合は 4 / 2 MHz 付近の周波数で低い値、3.75 / 1.875 MHz に設定されます。

図 3-18 に CTSU2 である RX140 でデフォルトの”マルチクロック計測/逓倍比”の設定を使用し、ダンピング抵抗 560 Ω を使用した場合の寄生容量と SDPA の関係を示します。

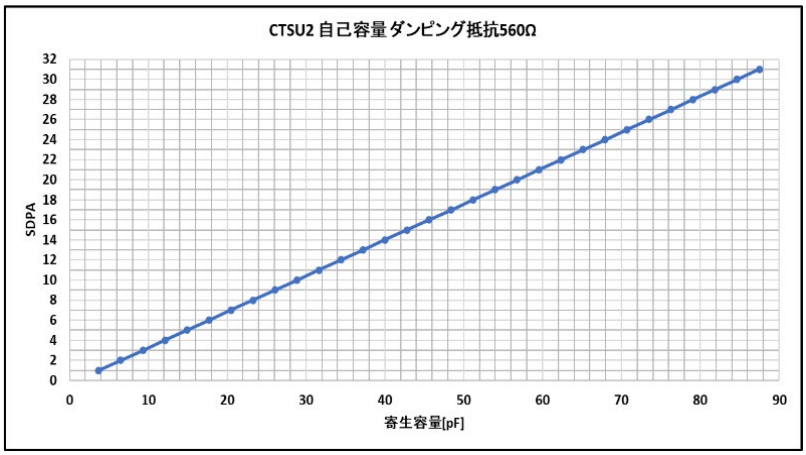


図 3-18 RX140 使用時に計測可能な寄生容量値 (計測電圧設定：通常電圧)

寄生容量が 25 pF の場合、最適な SDPA は 9 となります。
センサドライブパルス周波数は下記の計算式で求められます。
センサドライブパルス周波数 = (SUCLK※ / 2) / (SDPA + 1)

※SUCLK = STCLK[0.5 MHz] × SUMULTI を示しています。
　STCLK、SUMULTI の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

SDPA が 9 の場合、3 周波数計測時の周波数は下記のようになります。
センサドライブパルス周波数(64 逓倍) ： (32[MHz] / 2) / (9 + 1) = 1.6 MHz
センサドライブパルス周波数(55 逓倍) ： (27.5[MHz] / 2) / (9 + 1) = 1.38 MHz
センサドライブパルス周波数(73 逓倍) ： (36.5[MHz] / 2) / (9 + 1) = 1.83 MHz

　ユーザの要求仕様に合わせて十分に評価したうえで調整してください。

3.4　電流レンジ

“電流レンジ”の設定は CTSU2/CTSU2x のみで変更可能です。
“電流レンジ”では計測用 VDC から供給した電流とカレントミラー回路を介して電流制御発振器（CCO）に流れる電流とのカレントミラー比をメソッドごとに設定します。”電流レンジ”を低く設定するとタッチ ON 時の CCO 入力電流が高くなるためシグナル値が向上します。
CTSU は TS 端子よりセンサドライブパルスを出力して、その充放電電流を計測することで静電容量値を計測します。電極側の電流 I、センサドライブパルス周波数 F、寄生容量を Cp、指の静電容量 Cf、センサドライブパルス電圧 V とすると次の式が成立します。

$$I = F\,(Cp + Cf)\,V$$

ここで、電流 I は計測用 VDC から供給される電流 I1 とオフセット電流（DAC）から供給される電流 I2 を加算した電流になります。詳細は下記ドキュメントの”2.2.1 検出原理”をご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

計測用 VDC から供給した電流 I1 は、カレントミラー回路を介して電流制御発振器(CCO)に比例した電流 IOUT が印加されます。”電流レンジ”の設定では VDC からの電源供給能力を設定し、設定に合わせて自動でカレントミラー比を決定します。電流レンジを大きくすることで、計測用 VDC から供給する電流 I1 が大きくなります。
図 3-19 に通常電流(40 μA)使用時の計測イメージを示します。

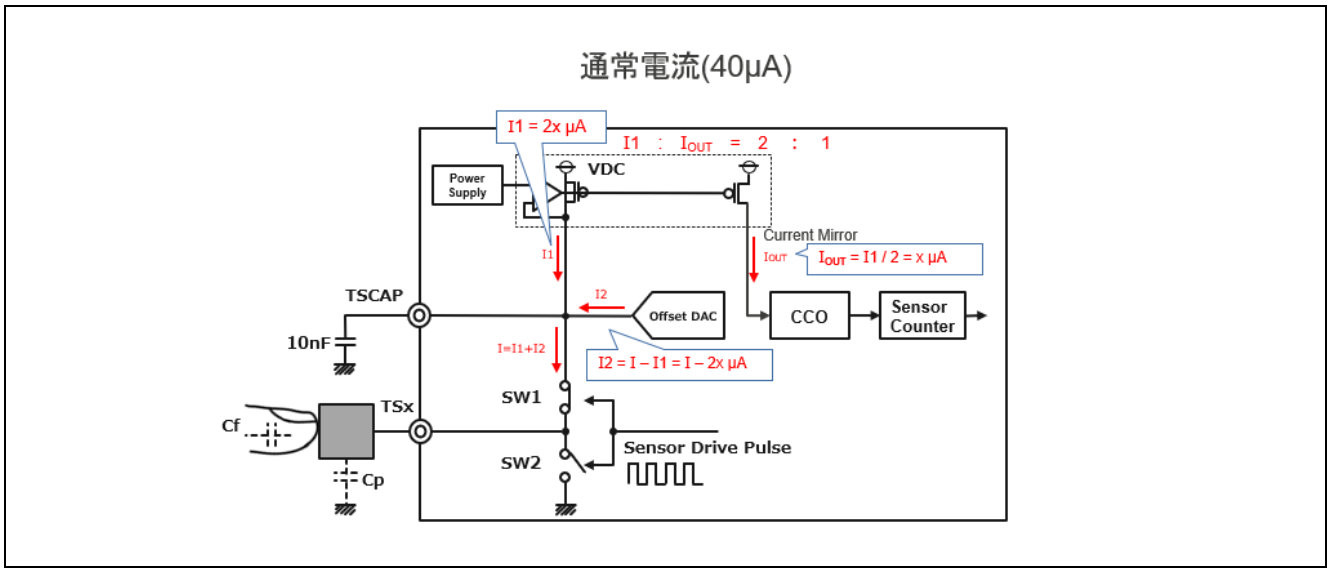


図 3-19 通常電流(40 μA)使用時の計測イメージ

表 3-13 にデフォルトの設定を示します。

表 3-13 デフォルトの”電流レンジ”設定

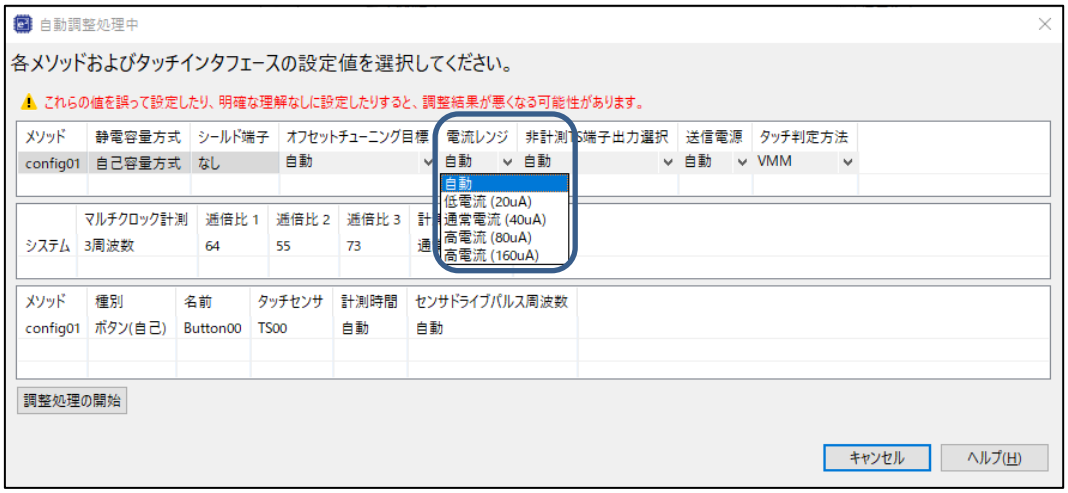
	自己容量方式使用時	相互容量方式使用時
CTSU2/CTSU2x	通常電流(40 μA)	高電流(80 μA)

表 3-14 に CTSU2/CTSU2x での各設定の概要を示します。

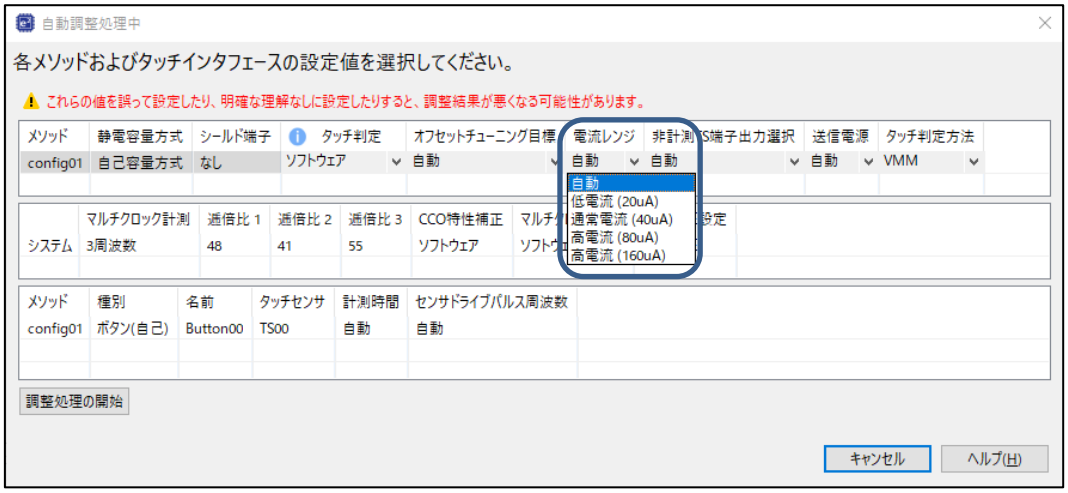
表 3-14 CTSU2/CTSU2x での”電流レンジ”設定概要

電流レンジ	ATUNE1	ATUNE2	カレントミラー比
低電流(20 μA)	0	1	1
通常電流(40 μA)	1	0	2
高電流(80 μA)	0	0	4
高電流(160 μA)	1	1	8

図 3-20 にアドバンスドモード(高度な設定)で”電流レンジ”を設定する箇所を示します。



CTSU2



CTSU2x

図 3-20 “電流レンジ”の設定

設定した内容は qe_touch_config.c に反映されます。下記は通常電流(40 μA)の例です。

```
    .atune12= CTSU_ATUNE12_40UA,
```

※ ATUNE の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.4.1　電流レンジ変更によるシグナル値/SNR への影響について

表 3-15 に電流レンジを変更した場合の RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用時の計測値(実測例)を示します。

表 3-15 電流レンジを変更した場合の計測値(実測例)

CTSU2x(RX140 搭載静電容量タッチ評価システム使用), 自己容量方式, VMM 方式, センサドライブパルス周波数:2 MHz, 計測回数:8 (安定待ち時間+計測時間:576 μs), オフセットチューニング目標:37.5 % (5 回平均)					
電流 レンジ	タッチ OFF 時の 平均値 A	タッチ ON 時の 平均値 B	シグナル値 (タッチ ON/OFF の差分値) B - A	タッチ OFF 時の ノイズ値	SNR
20μA	11653	15508	3855	38.32	16.22
40μA	11566	13513	1947	16.96	17.67
80μA	11513	12484	970	11.46	14.29
160μA	11360	11840	480	9.94	7.49

※　実測例は QE for Capacitive Touch の”CapTouch ステータス・チャート (QE) ビュー”の機能より取得しました。詳細は e² studio のヘルプよりご参照ください。

電流レンジを低くするとタッチ ON/OFF の差分値は大きく見えますが、電流レンジを低くすることでタッチ ON 時にオーバーフローが発生する可能性があります。また、寄生容量が小さい場合に電流モードが大きすぎると、タッチ OFF 時の平均値がオフセットチューニング目標付近に設定されない場合があります。理由として寄生容量が小さいことで VDC から供給される電流が小さく、カレントミラー回路に供給される電流も小さくなることから計測値がターゲット値に到達しないためです。その場合は電流レンジを下げるか、計測値のターゲット値を下げてください。

図 3-21 に例としてセンサドライブパルス周波数が 2 MHz で寄生容量が約 18.8 pF の電極を使用している場合の電流レンジが通常電流(40 μA)/高電流(160 μA)時のオフセットチューニング目標に対する計測用 VDC から供給される電流 I1 とオフセット電流（DAC）から供給される電流 I2、電流制御発振器(CCO)に流れる電流値 Iout を示します。

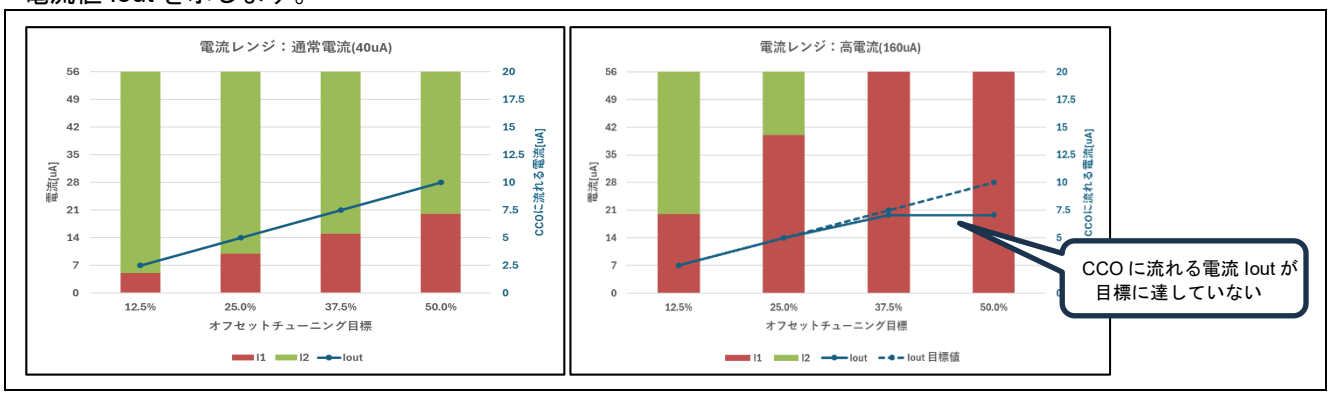


図 3-21 オフセットチューニング目標と電流レンジを変更した際の電流値

電流制御発振器(CCO)に流れる電流は 2.5~20 μA でオフセットチューニング目標 100%の際に 20 μA 流れます。

通常電流(40 μA)使用時はオフセットチューニング目標が 37.5 %時に I1 = 約 15 μA, I2 = 約 41 μA となっています。CCO に流れる電流 IOUT は計測用 VDC から供給した電流 I1 とのカレントミラー比で値が決定するため IOUT = I1 / 2 = 7.5 μA と求められます。

高電流(160 μA)使用時はオフセットチューニング目標が 37.5 %時に I1 = 約 56 μA, I2 = 0 μA となっています。CCO に流れる電流 IOUT は計測用 VDC から供給した電流 I1 とのカレントミラー比で値が決定するため IOUT = I1 / 8 = 約 7 μA と求められます。

このように寄生容量が小さい場合に電流モードが大きすぎるとカレントミラー回路に供給される電流も小さくなり、計測値がターゲット値に到達しません。

ユーザの要求仕様に合わせて十分に評価したうえで、電流レンジ、オフセットチューニング目標を調整してください。

3.5　非計測 TS 端子出力選択

“非計測 TS 端子出力選択”の設定は CTSU2/CTSU2x のみで変更可能です。
“非計測 TS 端子出力選択”では計測期間中の計測端子以外の非計測端子の処理をメソッドごとに設定します。非計測端子の処理を適切に行うことでノイズ対策が可能です。計測していない TS 端子は ノイズ対策のために GPIO Low 出力に設定することを推奨します。アクティブシールド使用時は寄生容量の増加を抑えつつ外部からの影響をシールドするために、計測期間中の非計測端子はセンサドライブパルスと同相のシールド信号を出力する設定である同相パルス出力に設定してください。表 3-16 にデフォルトの設定を示します。

表 3-16 デフォルトの”非計測 TS 端子出力選択”設定

	自己容量方式使用時	相互容量方式使用時	アクティブシールド使用時
CTSU2/CTSU2x	GPIO から L 出力	GPIO から L 出力	同相パルス出力

例として図 3-22 のようなタッチインタフェース構成の場合の TS 端子の計測イメージを図 3-23 に示します。config01 の計測期間中の TS 端子の挙動について、アクティブシールドが設定されているため、TS00 を計測中の他端子 TS01,TS02 は同相パルス出力しています。また、config02 の計測期間中では TS03 を計測中 TS04 は Low 出力となります。

図 3-22 タッチインタフェース構成の例

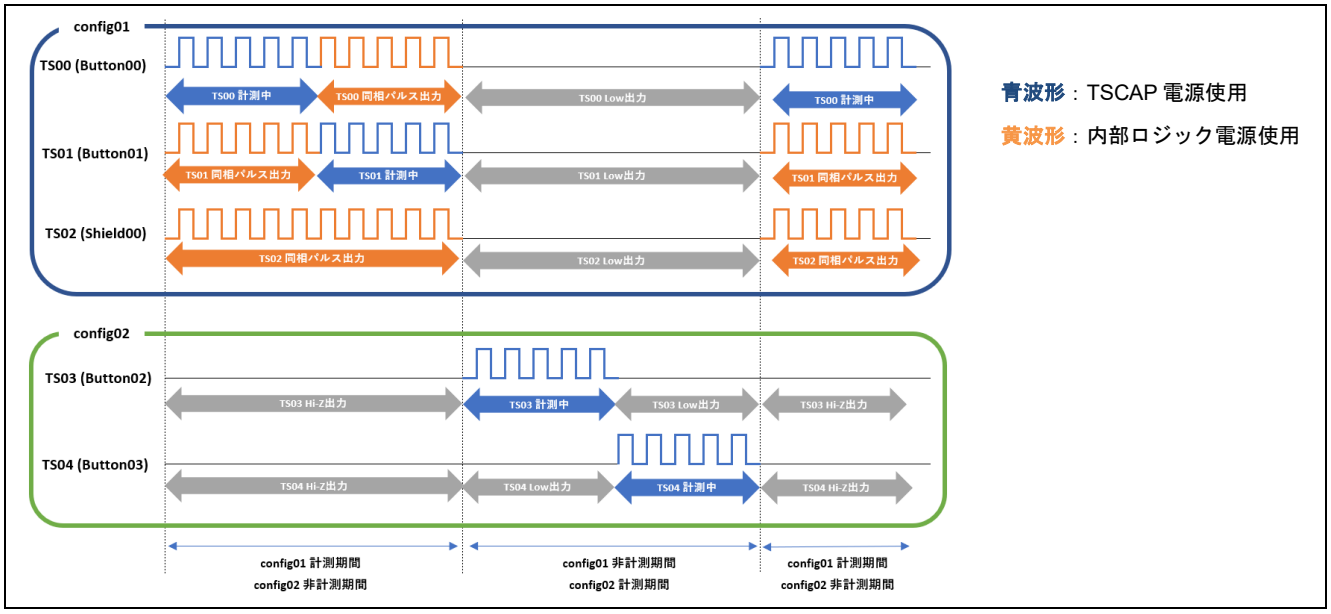


図 3-23 TS 端子の計測イメージ

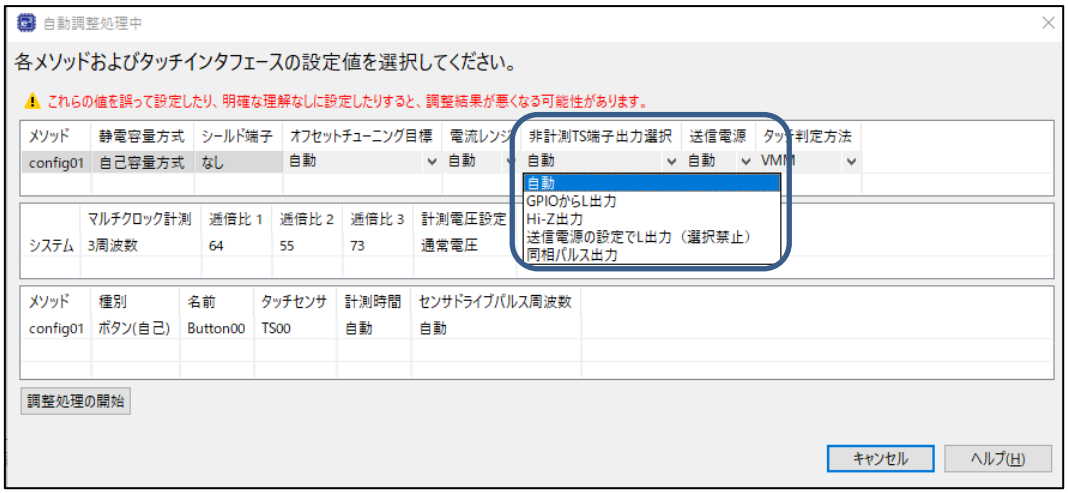
これは非計測 TS 端子出力選択設定の一例です。詳細については以下の資料をご参照ください。
RL78 ファミリ 静電容量センサユニット (CTSU2L) 動作説明 (R01AN5744)

表 3-17 に各処理設定の概要を示します。

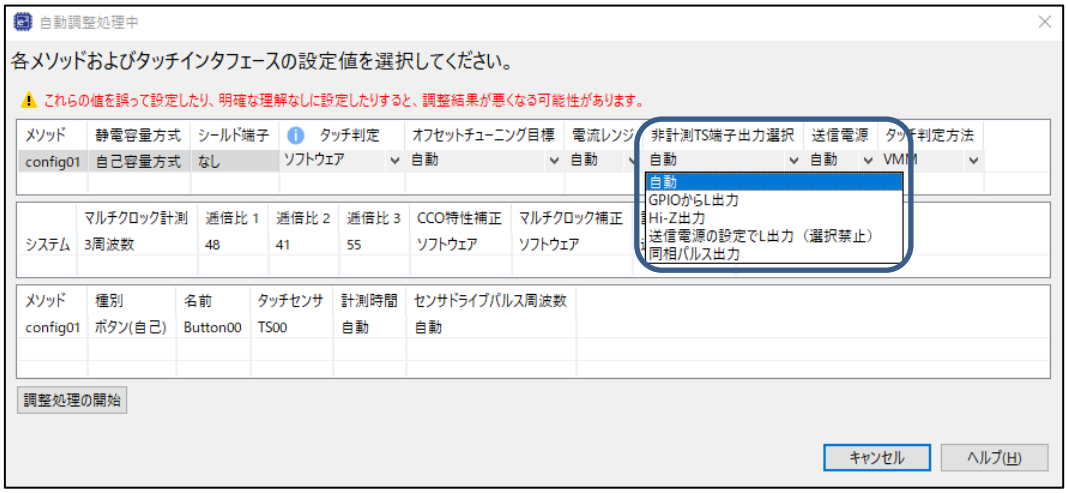
表 3-17 各処理設定の概要

非計測 TS 端子出力選択設定	概要
GPIO から L 出力	計測期間中の非計測端子から Low 出力する設定です。
Hi-Z 出力	計測期間中の非計測端子から Hi-Z 出力する設定です。
同相パルス出力	計測期間中の非計測端子からセンサドライブパルスと同相のシールド信号を出力する設定です。

図 3-24 にアドバンスドモード(高度な設定)で"非計測 TS 端子出力選択"を設定する箇所を示します。



CTSU2



CTSU2x

図 3-24 "非計測 TS 端子出力選択"の設定

設定した内容は qe_touch_config.c に反映されます。下記は GPIO から L 出力に設定した例です。

```
    .posel  = CTSU_POSEL_LOW_GPIO,
```

※ POSEL の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.6　送信電源

“送信電源”では相互容量方式使用時、送信端子に設定した端子の I/O 電源をメソッドごとに選択します。
また、選択した電源は、自己容量方式のアクティブシールド電極用の電源にも使用されます。
この値はデフォルト設定の値を使用し、変更しないでください。詳細は下記ドキュメントをご参照ください。

RL78 ファミリ 静電容量センサユニット (CTSU2L) 動作説明 (R01AN5744)

表 3-18 にデフォルトの設定を示します。

表 3-18 デフォルトの”送信電源”設定

	自己容量方式使用時	相互容量方式使用時	アクティブシールド使用時
CTSU1	VCC	VCC	-
CTSU2/CTSU2x	VCC	VCC(専用)	内部ロジック電源 (アクティブシールド用電源)

表 3-19 に CTSU1 での各設定の概要を示します。

表 3-19 CTSU1 での”送信電源”設定概要

	送信端子の電源設定	TXVSEL	概要
自己容量方式使用時	VCC	0	計測時に受信端子のみ使用し、送信端子を使用しません。受信端子は TSCAP 電源を使用します。
相互容量方式使用時	VCC	0	計測時に送信端子も使用します。送信端子の電圧によりシグナル値が変わります。受信端子は TSCAP 電源を使用します。

CTSU1 を使用する場合は TXVSEL = 1 の設定は行わないでください。

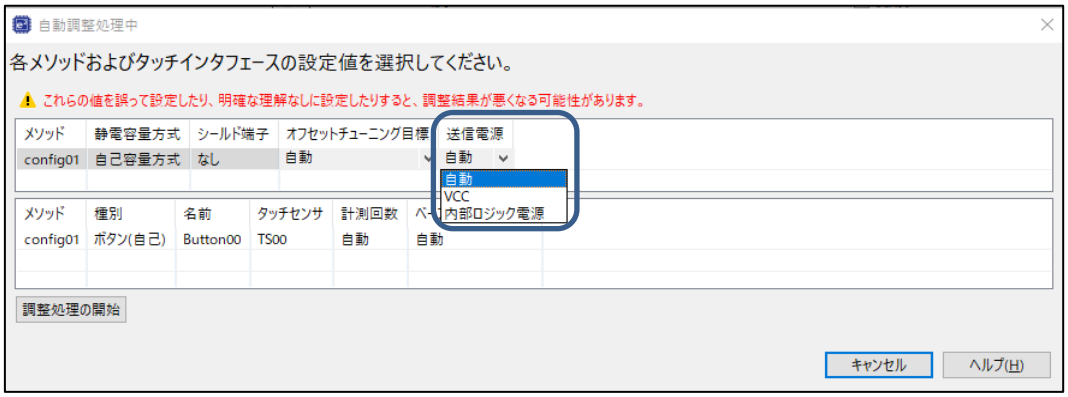
表 3-20 に CTSU2/CTSU2x での各設定の概要を示します。

表 3-20 CTSU2/CTSU2x での”送信電源”設定概要

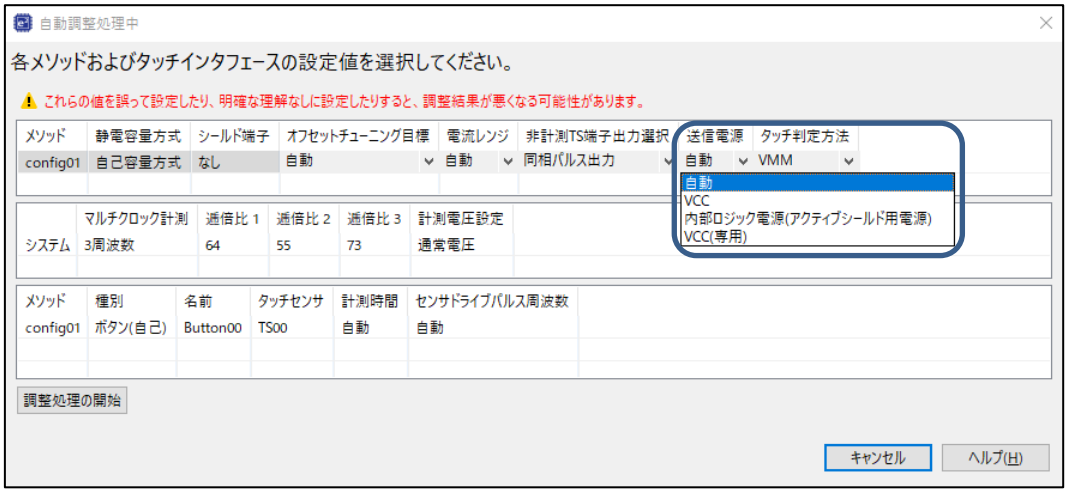
	送信端子の電源設定	TXVSEL	TXVSEL2	概要
自己容量方式使用時	VCC	0	0	計測時に受信端子のみ使用し、送信端子を使用しません。受信端子は TSCAP 電源を使用します。
相互容量方式使用時	VCC(専用)	0 / 1	1	計測時に送信端子も使用します。送信端子の電圧によりシグナル値が変わります。受信端子は TSCAP 電源を使用します。
アクティブシールド使用時	内部ロジック電源 (アクティブシールド用電源) RX,RA:VCL RL:REGC	1	0	シールドパルスの出力のために送信端子を使用します。送信端子から受信端子と同相・同電位のパルスを出力することでシールドの役割を果たすことができます。受信端子は TSCAP 電源を使用します。

※　詳細は下記ドキュメントの”2.3.1 検出原理”をご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

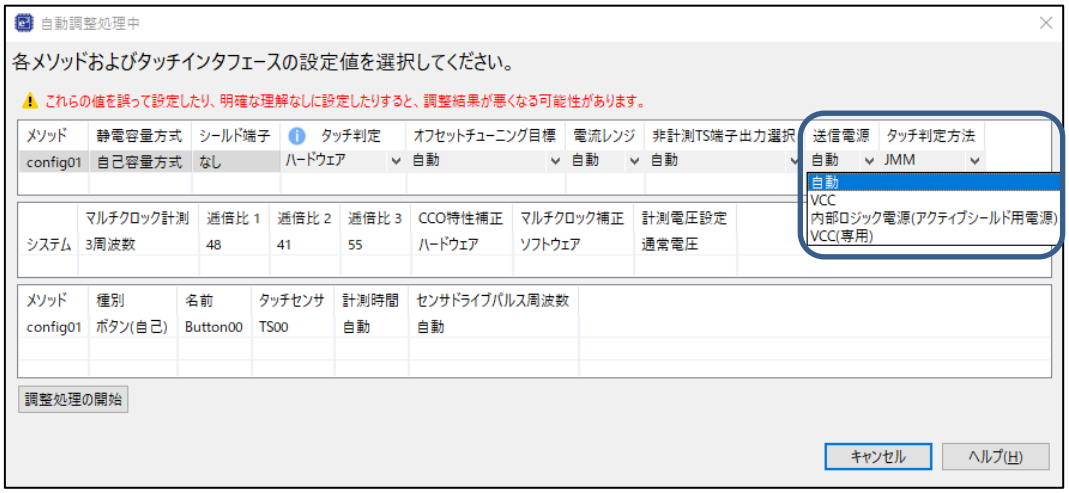
図 3-25 にアドバンスドモード(高度な設定)で”送信電源”の設定する箇所を示します。



CTSU1



CTSU2



CTSU2x

図 3-25 “送信電源”の設定

設定した内容は qe_touch_config.c に反映されます。

下記は CTSU1 での例です。

- 自己容量方式使用時 / 相互容量方式使用時

```
    .txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
```

下記は CTSU2/CTSU2x での例です。

- 自己容量方式使用時

```
    .txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
    .txvsel2= CTSU_TXVSEL_MODE,
```

- 相互容量方式使用時

```
    .txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
    .txvsel2= CTSU_TXVSEL_VCC_PRIVATE,
```

- アクティブシールド使用時

```
    .txvsel = CTSU_TXVSEL_INTERNAL_POWER,
    .txvsel2= CTSU_TXVSEL_MODE,
```

3.7　タッチ判定方法/マルチクロック計測/逓倍比

“タッチ判定方法”と“マルチクロック計測”、”逓倍比”の設定は CTSU2/CTSU2x のみで変更可能です。マルチクロック計測では同期ノイズを回避するために複数種類のセンサドライブパルス周波数で計測可能です。デフォルトでは 3 種類の周波数で計測し、3 つの周波数それぞれで計測した結果を用いてタッチ判定をします。“タッチ判定方法”はメソッドごと、“マルチクロック計測”と”逓倍比”はシステムごとに設定が可能です。

下記にタッチ判定方法を示します。

1. 計測値多数決モード(Value Majority Mode： VMM)

VMM は、3 周波数の計測結果から値が近い 2 つの計測結果を加算した値でタッチ判定する方式です。図 3-26 に VMM 使用時動作イメージを示します。

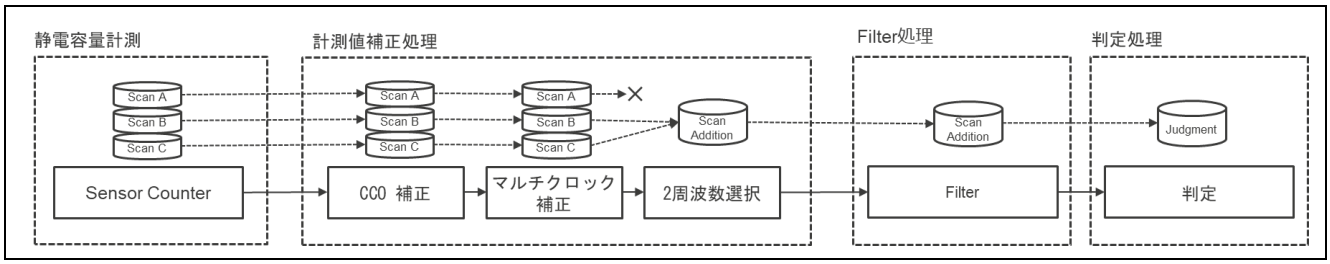


図 3-26 VMM 使用時の動作イメージ

2. 判定多数決モード(Judgment Majority Mode： JMM)

JMM は、3 周波数計測のそれぞれの判定結果から多数決により最終的なタッチ判定する方式です。自己容量ボタンと相互容量ボタンのみ対応しています。図 3-27 に JMM 使用時の動作イメージを示します。

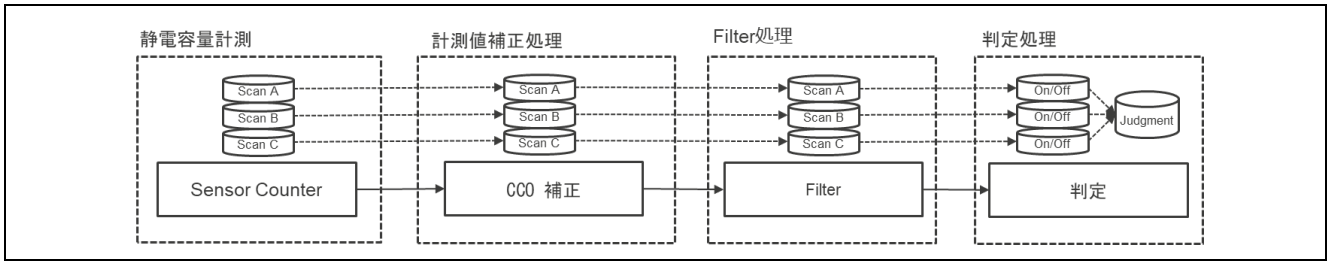


図 3-27 JMM 使用時の動作イメージ

タッチ判定方法の詳細は下記ドキュメントをご参照ください。
静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド (R30AN0424)

表 3-21 にボタン使用時の“タッチ判定方法”と“マルチクロック計測”のデフォルトの設定例を示します。

表 3-21 デフォルトの“タッチ判定方法/マルチクロック計測”設定

	タッチ判定	タッチ判定方法	マルチクロック計測
CTSU2	-	VMM	3 周波数
CTSU2x	ハードウェア	JMM	3 周波数
	ソフトウェア	VMM	3 周波数

設定した逓倍比によるセンサドライブパルス周波数は図 3-28 のように表示されます。

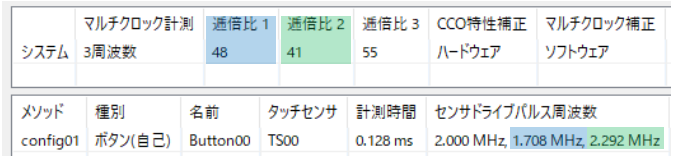


図 3-28 逓倍比の設定によるセンサドライブパルス周波数

アドバンスドモードの設定では、マルチクロック計測は 3 種類のセンサドライブパルス周波数でそれぞれ計測します。第 1 周波数は”センサドライブパルス周波数”で設定した値で、その逓倍比はデバイスにより 48 または 64 に固定されます。第 2 周波数、第 3 周波数の逓倍比は任意の値に変更することが可能です。

表 3-22 に”逓倍比”のデフォルトの設定と設定可能な下限値と上限値を示します。

表 3-22 デフォルトの”逓倍比”設定

デバイス名	第 1 周波数 逓倍比※1	第 2 周波数 逓倍比※2 [設定可能範囲]	第 3 周波数 逓倍比※2 [設定可能範囲]
RL78/G22 RL78/G23 RL78/L23 RA0L1	48	41 [32~60]	通常電圧：55 [32~60] 低電圧：46 [32~60]
RX260 RX261	48	41 [32~64]	通常電圧：55 [32~64] 低電圧：46 [32~64]
RL78/F22 RL78/F25	64	55 [32~76]	73 [32~76]
その他の デバイス	64	通常電圧：55 [32~80] 低電圧：55 [32~64]	通常電圧：73 [32~80] 低電圧：46 [32~64]

※1　SUCLK の上限値により第 1 周波数の逓倍比が異なります。SUCLK の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

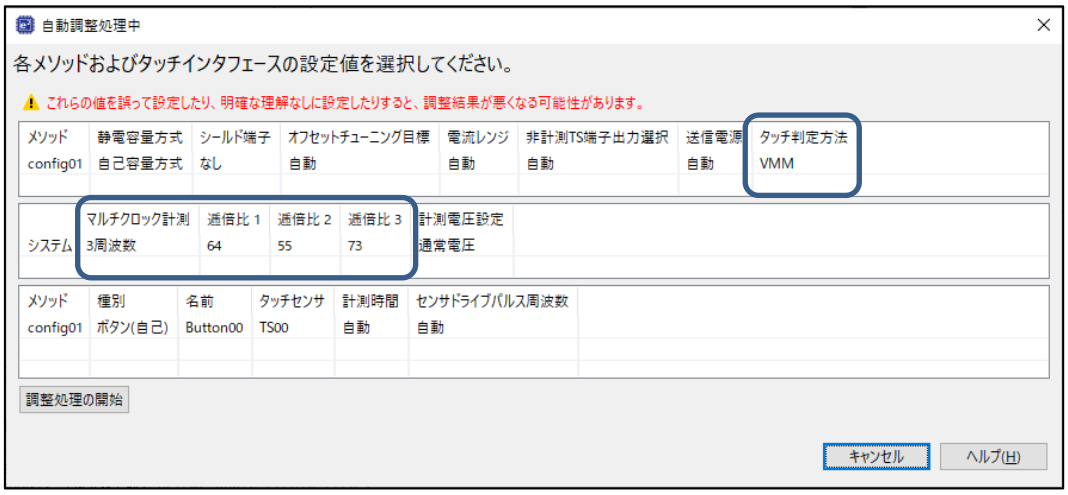
※2　計測電圧設定については “3.9 計測電圧設定”をご参照ください。

下記に逓倍比を変更した際の第 2 周波数、第 3 周波数のセンサドライブパルス周波数の計算式を示します。

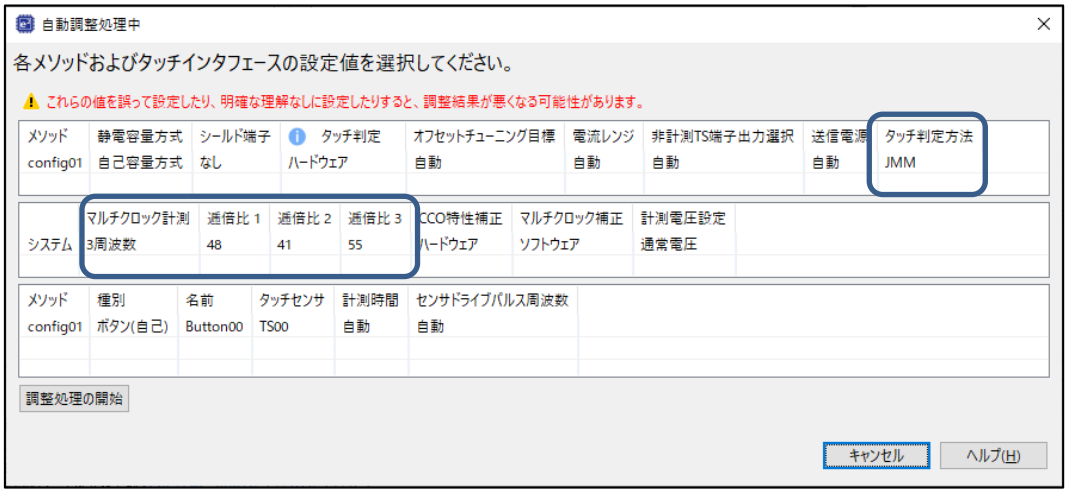
センサドライブパルス周波数[第 2 周波数] = センサドライブパルス周波数[第 1 周波数] × 逓倍比[第 2 周波数]/逓倍比[第 1 周波数]
センサドライブパルス周波数[第 3 周波数] = センサドライブパルス周波数[第 1 周波数] × 逓倍比[第 3 周波数]/逓倍比[第 1 周波数]

3 周波数計測の周波数差分を大きくすると、計測値のばらつきが大きくなる傾向があります。
また、逓倍比は計測値がオーバーフローしないよう設定する必要があります。逓倍比の設定は十分に評価したうえで設定してください。

図 3-29 にアドバンスドモード(高度な設定)で”タッチ判定方法/マルチクロック計測/逓倍比”を設定する箇所を示します。



CTSU2



CTSU2x

図 3-29 “タッチ判定方法/マルチクロック計測/逓倍比”の設定

“タッチ判定方法”の設定は qe_touch_define.h に反映されます。下記は VMM 使用時の設定例です。

```
#define CTSU_CFG_MAJORITY_MODE (1)
```

“マルチクロック計測/逓倍比”を設定した値は qe_touch_define.h に反映されます。下記は SUCLK の上限が 40 MHz の場合の設定例です。

```
#define CTSU_CFG_NUM_SUMULTI    (3)
#define CTSU_CFG_SUMULTI0       (0x3F)
#define CTSU_CFG_SUMULTI1       (0x36)
#define CTSU_CFG_SUMULTI2       (0x48)
```

※　SUMULTI の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.8　タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正

“タッチ判定”と”CCO 特性補正”、”マルチクロック補正”の設定は CTSU2x が対象です。”タッチ判定”,”CCO 特性補正”,”マルチクロック補正”は各処理をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。ハードウェアで処理する場合、ソフトウェアでの処理が不要となるため低消費電力、メインプロセッサの処理時間低減を実現しています。アドバンスドモード(高度な設定)では"タッチ判定”の設定を参照し、”CCO 特性補正”、”マルチクロック補正”が自動で設定されます。表 3-23 に各機能の説明を示します。

表 3-23 ”タッチ判定/マルチクロック補正/CCO 特性補正”の機能概要

機能	機能概要
タッチ判定	タッチ判定をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。ハードウェアでのタッチ判定(自動判定)はボタンのみ使用可能です。ただし SNOOZE モード・シーケンサ(SMS)を内蔵しているマイコンの場合は、SMS と併用することで実現可能です。SMS 使用時は判定多数決モード(JMM)のみ使用可能です。
CCO 特性補正	CCO 特性補正をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。CTSU2SL/CTSU2SLa のみで表示される機能で、タッチ判定方法やタッチ判定の設定により自動で設定されるためユーザで変更不可です。
マルチクロック補正	マルチクロック補正をハードウェアまたはソフトウェアで実施するかを設定する機能です。3 周波数計測後のマルチクロック補正処理と 3 周波数計測結果の内近しい値の 2 周波数の結果を合算する 2 周波数選択処理を実施します。計測値多数決モード(VMM)使用時のみ使用可能です。CTSU2SL/CTSU2SLa のみで表示される機能で、タッチ判定方法やタッチ判定の設定により自動で設定されるためユーザで変更不可です。

図 3-30 に VMM 使用時の各機能の動作イメージを示します。

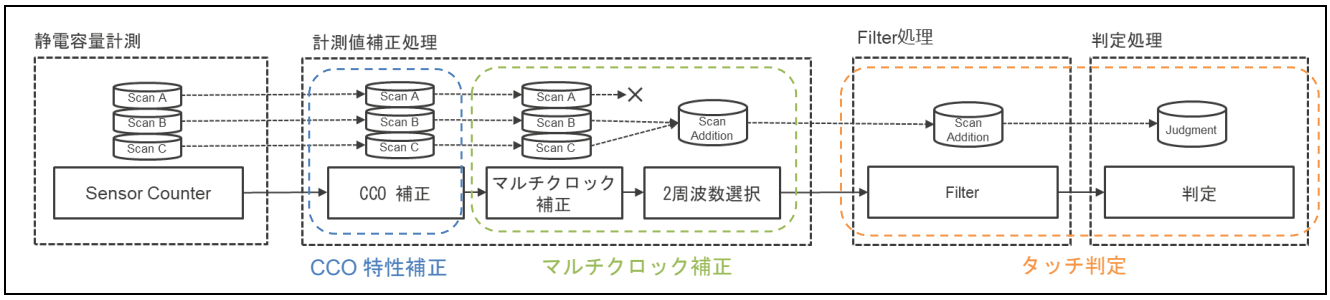


図 3-30 VMM 使用時の動作イメージ

図 3-31 に JMM 使用時の各機能の動作イメージを示します。JMM 使用時はマルチクロック補正の処理がありません。

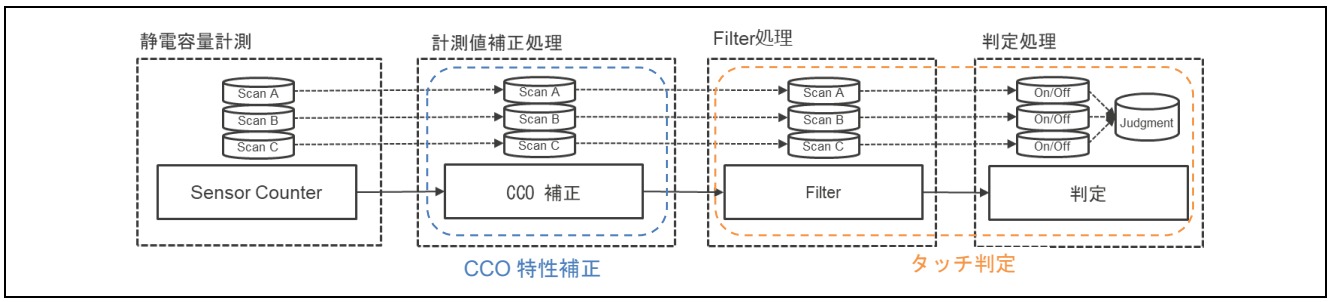


図 3-31 JMM 使用時の動作イメージ

表 3-24 にタッチ判定がハードウェア/ソフトウェア設定時の各機能のデフォルト設定の例を示します。

表 3-24 “CCO 特性補正/マルチクロック補正”のデフォルト設定

タッチ判定	CCO 特性補正	マルチクロック補正
ハードウェア	ハードウェア	VMM 使用時：ハードウェア JMM 使用時：ソフトウェア※
ソフトウェア	ソフトウェア	ソフトウェア※

※　マルチクロック補正無効時も含みます。

システム内のメソッドで一つでもタッチ判定がハードウェア設定の場合に、システムとして CCO 特性補正がハードウェアに設定されます。また、タッチ判定がハードウェア設定時に VMM を使用していればマルチクロック補正もハードウェアに設定されます。図 3-32 に”タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正”設定の決定フローを示します。

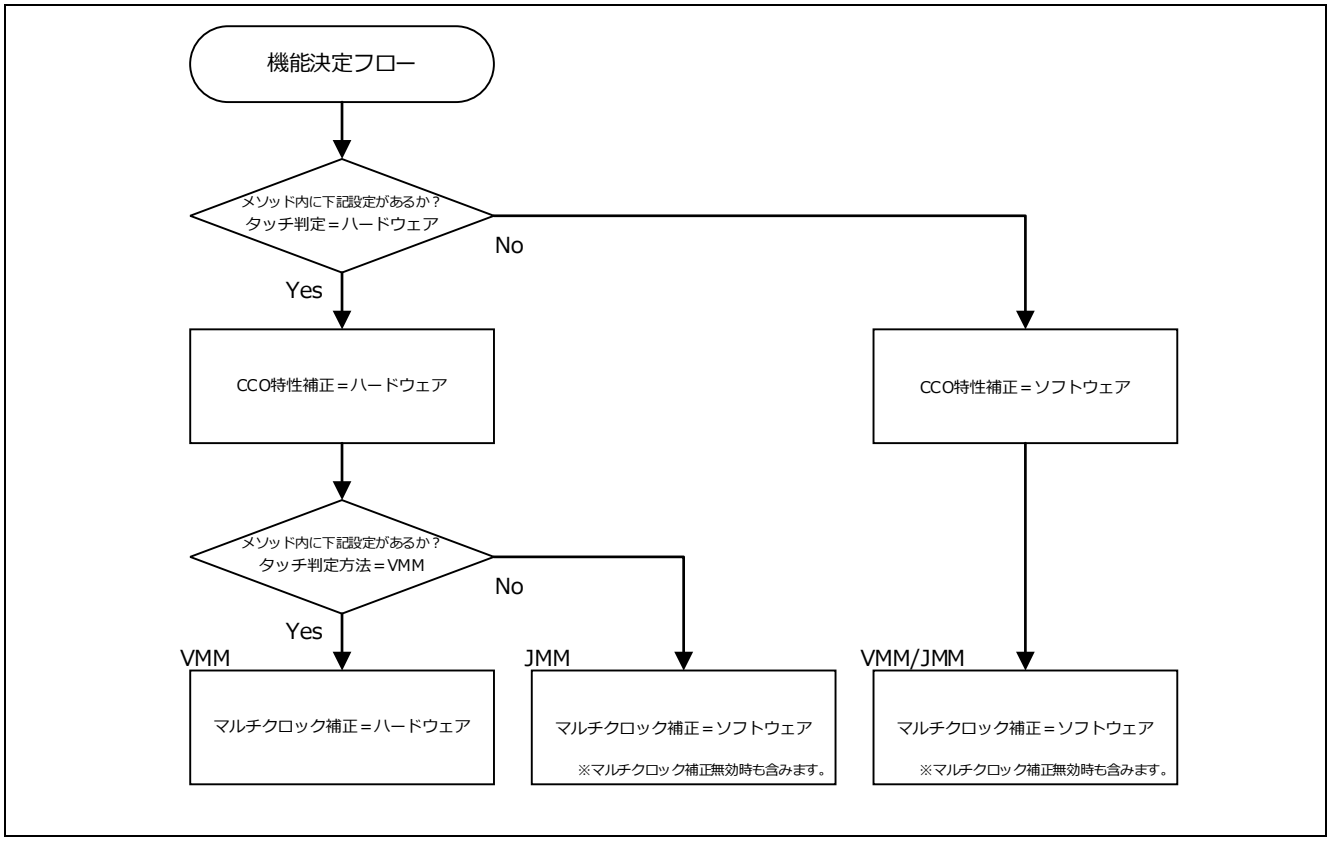
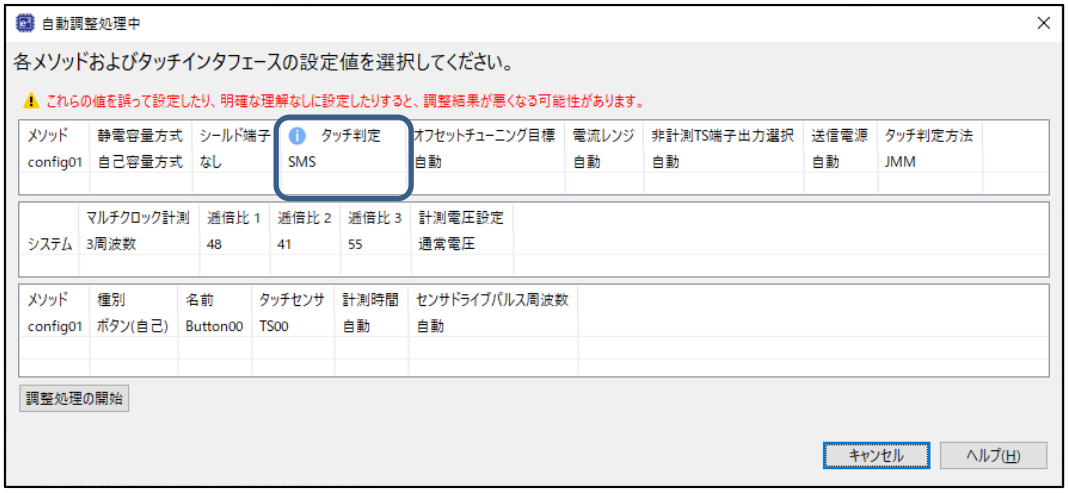
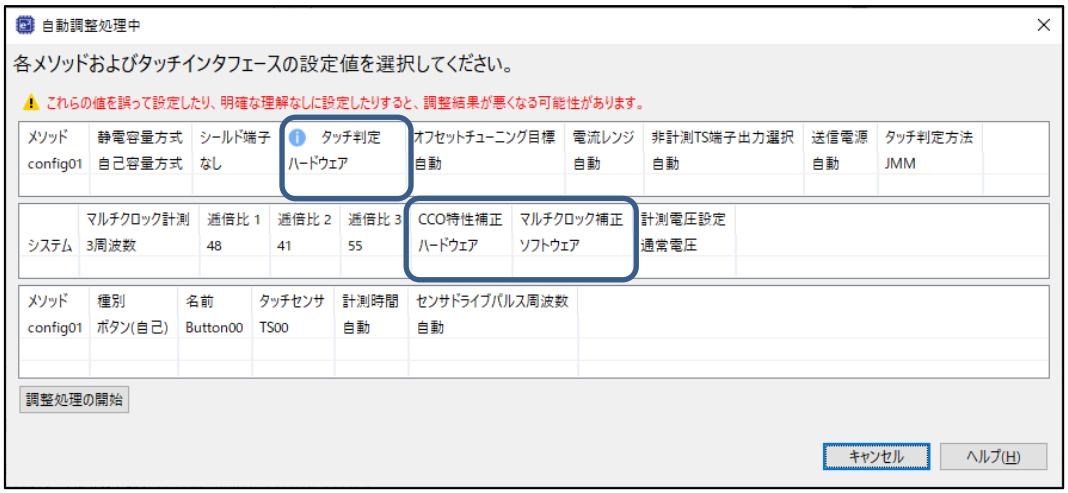


図 3-32 “タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正”の決定フロー

図 3-33 にアドバンスドモード(高度な設定)で“タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正”を設定する箇所を示します。SMS 内蔵マイコン使用時、タッチ判定の選択肢では”ハードウェア”の代わりに”SMS”と表示されます。



CTSU2L/CTSU2La



CTSU2SL/CTSU2SLa

図 3-33 “タッチ判定/CCO 特性補正/マルチクロック補正”の設定

“タッチ判定”の設定は r_ctsu_qe_config.h に反映されます。下記はタッチ判定をハードウェアに設定した場合の例です。

```
#define CTSU_CFG_AUTO_JUDGE_ENABLE          (1)
```

“CCO 特性補正/マルチクロック補正”の設定は qe_touch_define.h に反映されます。下記は JMM 使用時にタッチ判定をハードウェア設定にした場合の例です。

```
#define CTSU_CFG_AUTO_CORRECTION_ENABLE       (1)
#define CTSU_CFG_AUTO_MULTI_CLOCK_CORRECTION_ENABLE (0)
```

※　各機能の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

3.9　計測電圧設定

“計測電圧設定”の設定は CTSU2/CTSU2x のみで変更可能です。
計測電圧設定では使用する TSCAP 電圧をシステムごとに設定できます。マイコンの動作電圧が 2.4 V 未満の場合には自動で計測電圧を低電圧に設定し、TSCAP 電圧は 1.2 V となります。バッテリ動作時にマイコン動作電圧が 2.4 V 未満になる場合等で使用します。また、計測電圧設定はボタン、スライダ、ホイール使用時のみ使用できます。マイコン動作中に TSCAP 電圧を切り替えることはサポートしていません。
表 3-25 にマイコンの動作電圧による計測電圧設定のデフォルトの設定例を示します。

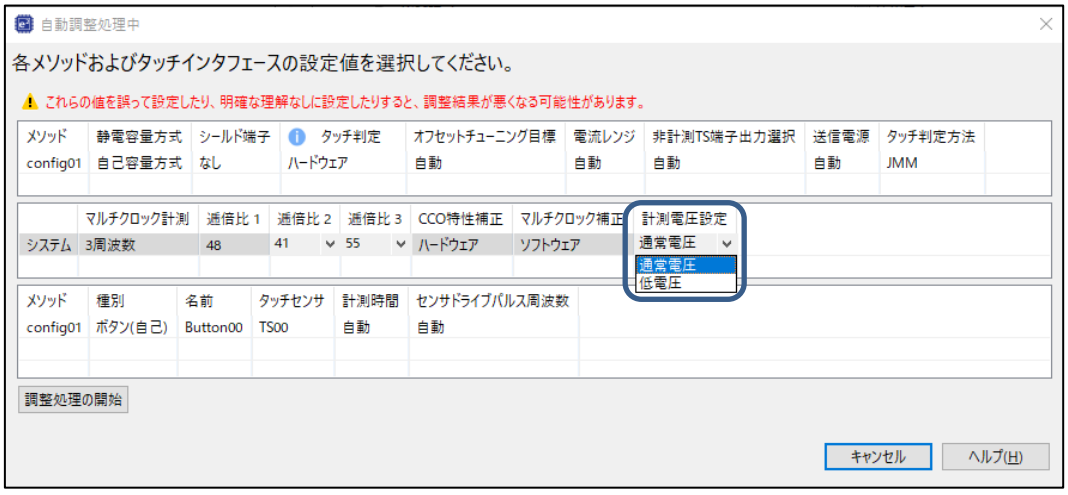
表 3-25 マイコンの動作電圧による計測電圧設定のデフォルト設定

マイコンの動作電圧※	計測電圧設定	TSCAP 電圧
2.4V 以上	通常電圧	1.5 V
2.4V 未満	低電圧	1.2 V

※設定可能な動作電圧は各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

図 3-34 にアドバンスドモード(高度な設定)で”計測電圧設定”を設定する箇所を示します。

CTSU2



CTSU2x

図 3-34 “計測電圧設定”の設定

設定した値は qe_touch_define.h に反映されます。以下に例を示します。

- マイコンの動作電圧 5.0 V で計測電圧設定：通常電圧時（TSCAP 電圧：1.5 V）

```
#define CTSU_CFG_VCC_MV           (5000)
#define CTSU_CFG_LOW_VOLTAGE_MODE (0)
```

- マイコンの動作電圧 5.0 V で計測電圧設定：低電圧時（TSCAP 電圧：1.2 V）

```
#define CTSU_CFG_VCC_MV           (5000)
#define CTSU_CFG_LOW_VOLTAGE_MODE (1)
```

- マイコンの動作電圧 1.8 V で計測電圧設定：低電圧時（TSCAP 電圧：1.2 V）

```
#define CTSU_CFG_VCC_MV           (1800)
#define CTSU_CFG_LOW_VOLTAGE_MODE (1)
```

※　計測電圧設定の詳細については各静電容量タッチセンサマイコンのハードウェアマニュアルをご参照ください。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2023/6/20	-	初版発行
2.00	2023/12/25	P26	計測周波数の調整方法について説明を追加
		P30	計測電流レンジ変更時のオフセット目標値に対する電流の変化量について説明を追加
		P38	自動補正(ハードウェア)有効/無効時のイメージ図を追加
3.00	2024/10/22	-	新機能の情報を追加 ・タッチ判定方法 ・自動判定/自動マルチ周波数補正 ・低電圧動作モード
		-	QE for Capacitive Touch v4.0.0 以降のワークフロー、モニタリング用ビューデザインの変更に伴い図を変更
		-	QE for Capacitive Touch v4.0.0 以降のアドバンスドモード(高度な設定)のダイアログについて設定可能な項目名が変更となったため図を変更
		P1	動作確認デバイスに CTSU2La、CTSU2SLa を追加
		P11	静電容量タッチセンサの対応表を更新
		P15,26,31	QE for Capacitive Touch v4.0.0 でのオフセットチューニング目標値更新に伴いデータを更新
		P18	QE for Capacitive Touch v4.0.0 でのオフセットチューニング目標値更新に伴い内容を修正
		P19	表 3-10 に QE for Capacitive Touch v3.3.0 および v3.5.0 のチューニング目標値を記載
		P23	RX671 を例とした寄生容量/ダンピング抵抗と計測周波数の関係の表を追加
		P29	電流制御発振器(CCO)に流れる定格電流値を修正
		P34	前版から 3.6 章と 3.7 章を入れ替え
		P37	3.7 章のタイトルを修正
		P37	タッチ判定方法について説明を追加し、逓倍比について説明を修正
		P40	自動判定、自動マルチ周波数補正について説明を追加
		P43	低電圧動作モードについて説明を追加
3.10	2025/2/19	-	QE for Capacitive Touch v4.1.0 での用語修正に伴い用語を修正
		-	QE for Capacitive Touch v4.1.0 での用語修正に伴い図を変更
		-	QE for Capacitive Touch v4.1.0 より VMM を使用したハードウェア判定が可能となったため使用制限についての文章を削除
		P15	3.1.1 章の文章を更新
3.20	2025/9/24	-	QE for Capacitive Touch v4.2.0 以降のワークフロー、モニタリング用ビューデザインの変更に伴い図を変更
		P11	パラメータの説明を修正
		P12	“計測回数/計測時間”についての説明を修正
		P23	センサドライブパルス周波数の調整方法の変更に伴い説明や図を修正
		P32	電流レンジとカレントミラー比についての表を追加
		P41	逓倍比設定の説明に RL78/L23, RA0L1, RL78/F25, RL78/F22 を追加

製品ご使用上の注意事項

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

1. 静電気対策
   CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。
2. 電源投入時の処置
   電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。
3. 電源オフ時における入力信号
   当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。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

お問合せ窓口

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

www.renesas.com/contact/

商標について

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

© 2025 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.