

# 静電容量センサマイコン

## 静電容量タッチ導入ガイド

### 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ユニット(Capacitive Touch Sensing Unit：以下 CTSU)を使用してタッチ機能を実現するための導入ガイドです。

### 動作対象デバイス

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、CTSU2SL 等を含みます)

### 目次

1.	はじめに	3
1.1	静電容量タッチの応用製品開発プロセス	4
2.	静電容量の検出	5
2.1	静電容量検出の概要	5
2.2	自己容量方式	6
2.2.1	検出原理	7
2.2.2	計測範囲	8
2.3	相互容量方式	9
2.3.1	検出原理	10
2.3.2	計測範囲	11
2.4	ドリフト補正処理とタッチ検出	12
3.	静電容量タッチセンサの種類	13
3.1	静電容量タッチセンサの違い	13
3.2	CTSU1	14
3.2.1	ランダムパルス周波数計測	14
3.3	CTSU2	15
3.3.1	マルチ周波数計測	15
3.3.2	アクティブシールド	17
3.3.3	自動判定	18
3.3.4	自動補正	18
3.3.5	自動マルチ周波数補正	18
3.3.6	MEC 機能	19
3.3.7	相互容量並列同時スキャン (CFC)	19
3.3.8	温度補正	19
4.	静電容量センサ搭載 MCU	20
4.1	MCU ラインアップ	20
4.2	MCU 選定のポイント	21

4.2.1	インターフェース.....	21
4.2.2	検出方式の特徴.....	22
4.3	CTSU1 搭載 MCU.....	24
4.4	CTSU2 搭載 MCU.....	28
5.	ハードウェア.....	31
5.1	電極の設計ガイド.....	31
6.	ソフトウェア.....	32
6.1	ソフトウェア構成.....	32
6.1.1	CTSU モジュール.....	33
6.1.2	TOUCH モジュール.....	33
6.1.3	User アプリケーション.....	33
6.2	機能安全.....	34
6.3	低消費電力ガイド.....	34
6.4	ソフトウェアフィルタ.....	34
7.	チューニング.....	35
7.1	QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニング.....	36
7.2	CapTouch パラメータの手動チューニング.....	37
7.3	アドバンスドモード(高度な設定).....	40
8.	開発環境.....	41
8.1	静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch.....	41
8.2	e <sup>2</sup> studio 以外の開発環境を使用する場合.....	42
9.	評価キット.....	43
9.1	静電容量タッチ評価システム.....	43
10.	その他.....	44
10.1	用語.....	44
10.2	Q&A.....	44
10.3	技術問い合わせ.....	45
	改訂記録.....	46

## 1. はじめに

本アプリケーションノートは、静電容量タッチセンサを初めてご使用されるお客様を対象とした導入ガイドです。

静電容量タッチの検出原理や特徴、MCU ラインアップ、ハードウェア、ソフトウェア、開発環境や評価キット(静電容量タッチ評価システム)について紹介しています。

静電容量タッチセンサの第1世代は他社製のIP (SCU/TSCU) を使用しており R8C ファミリ (新規採用は非推奨) に搭載されました。第2世代はからルネサス独自に開発した静電容量センサ CTSU を搭載した製品が RX ファミリからリリースされ、Renesas Synergy™、RA ファミリなどにも展開されています。現在では、第3世代の CTSU2 が搭載された製品が RA ファミリ、RL78 ファミリ、RX ファミリなど様々な製品に搭載されており、CTSU2 の機能も進化しています。

製品のユーザーズマニュアルなどでは、第2世代の静電容量センサを CTSU/CTSUa/CTSUb と表記していますが、第3世代の CTSU2 と区別するため、「CTSU1」と表記します。このアプリケーションノートでは CTSU1 と CTSU2 の違いや CTSU2 の特徴や種類について説明します。

1.1 静電容量タッチの応用製品開発プロセス

図 1-1 に静電容量タッチの応用製品開発プロセスを示します。

- 静電容量タッチの理解については「2 静電容量の検出」、「3 静電容量タッチセンサの種類」
  - 静電容量センサ搭載 MCU については「4 静電容量センサ搭載 MCU」
  - H/W については「5 ハードウェア」
  - S/W については「6 ソフトウェア」
  - チューニングについては「7 チューニング」
  - 開発環境については「8 開発環境」
  - 評価キットについては「9 評価キット」
- を参照して下さい。

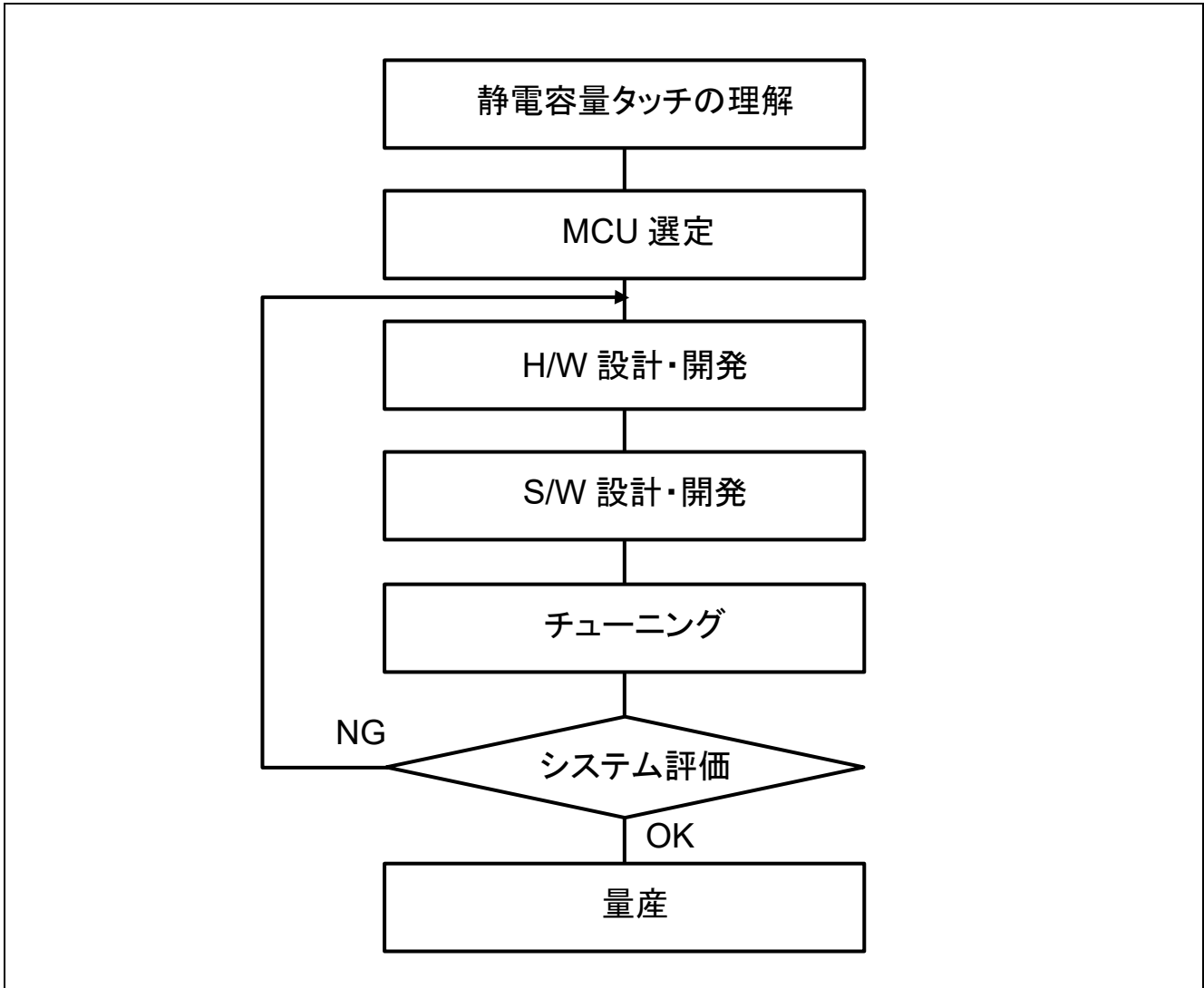


図 1-1 静電容量タッチの応用製品開発プロセス

## 2. 静電容量の検出

### 2.1 静電容量検出の概要

静電容量タッチキーは機械接点を持った一般的なスイッチと異なり、人体と電極間に発生する微小な静電容量（数 pF 以下）の変化を捉えスイッチの ON/OFF に変換しています。

このため、静電容量検出の配線や電極は、ノイズなどの外乱による影響を考量した設計が必要です。

ルネサスが開発した CTSU は、静電容量の計測をスイッチトキャパシタ回路により静電容量を電流に変換し数値化します。数値化した計測値に補正処理を行い、フィルタ処理によりノイズ成分を低減します。最終的にしきい値と比較して判定を行います。静電容量の計測から判定までの流れを図 2-1 に示します。

また、CTSU は、「自己容量方式」と「相互容量方式」の検出方式に対応しています。

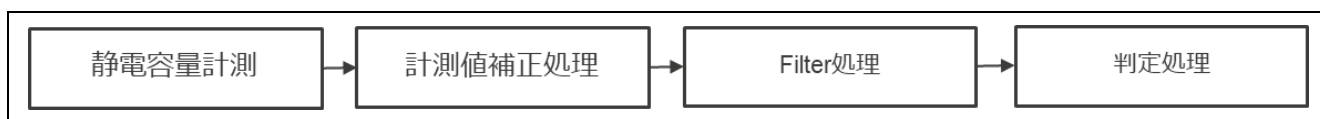


図 2-1 静電容量計測からタッチ判定までの流れ

## 2.2 自己容量方式

自己容量方式とは、電極と GND 間に生じる静電容量の変化を検出する方式です。

図 2-2 に自己容量方式のタッチ検出原理を示します。図の左側は電極だけの静電容量を示し、右側は人体が接触することにより静電容量が変化（増加）した静電容量を表しています。回路上にはコンデンサを接続していない電極や配線などにも静電容量が存在しています。これを寄生容量と呼びます。指が接近することで電極と指の間に静電容量が発生するため、電極-GND 間の静電容量が増加します。

電極-GND 間の総静電容量（Total Capacity）は以下の式で表せます。

$$\text{Total Capacity} = C_p + C_f$$

$C_p$  : 寄生容量

$C_f$  : 指との静電容量

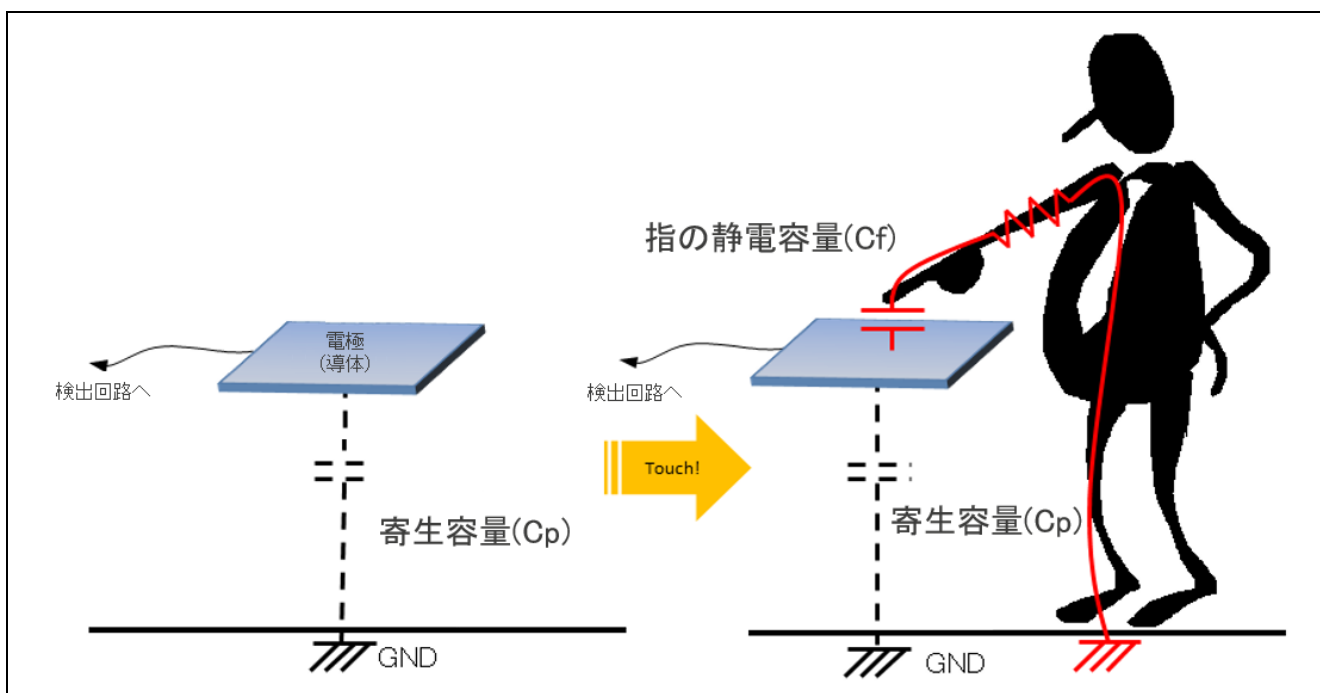


図 2-2 自己容量方式のタッチ検出原理

2.2.1 検出原理

図 2-3 に CTSU の計測部回路を示します。

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 (Voltage Down Converter) から供給される電流 I1 とオフセット電流 (Offset DAC) から供給される電流 I2 を加算した電流になります。

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 (Current Controlled Oscillator : 以下 CCO) に比例した電流 IOUT が印加されます。CCO は IOUT に比例した周波数のパルスを出力します。電流 IOUT の計測はセンサドライブパルスの出力に応じて一定時間計測しセンサカウンタレジスタに格納されます。CCO には発振バラつきがあります。このバラつきを低減するためセンサカウンタレジスタの値を補正 (CCO 補正) した結果を使用します。詳細は 3.3.4 自動補正を参照して下さい。

寄生容量 Cp だけの場合と指の接触により Cf が印加された場合は電流量 (計測値) が異なります。この計測値の変化から静電容量の変化を検出します。

TSCAP は内部電圧を安定させるためのコンデンサです。

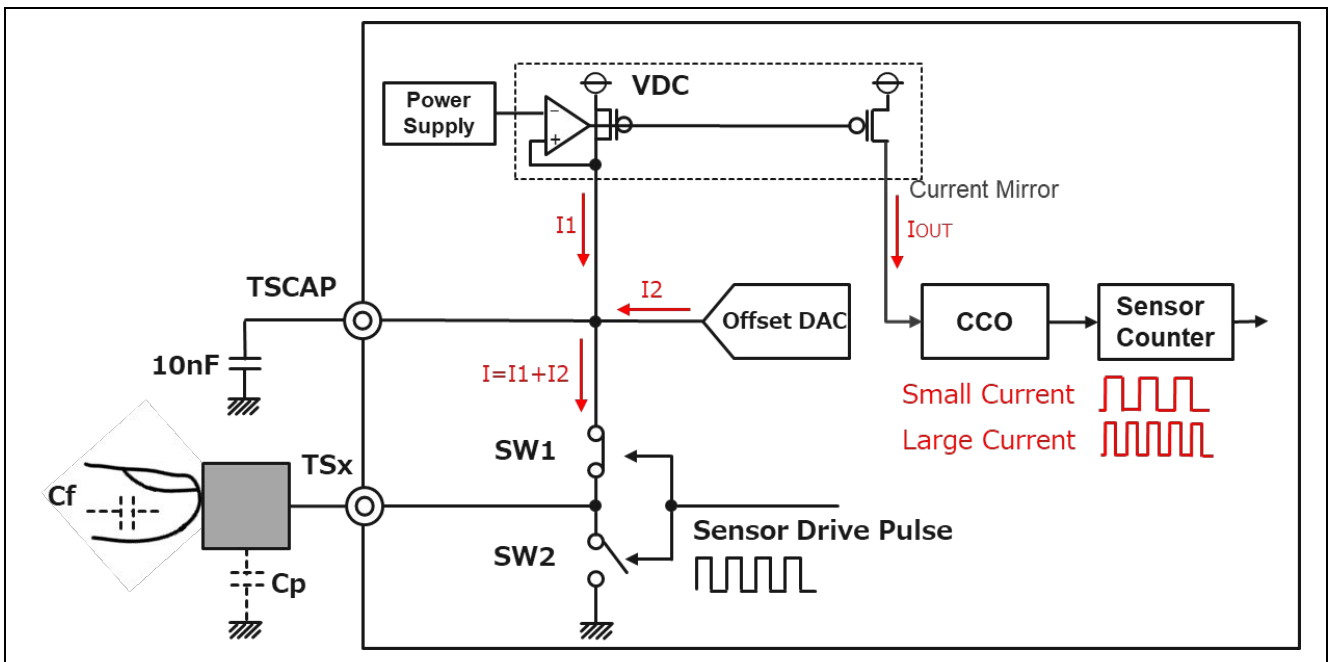


図 2-3 CTSU の計測部回路

2.2.2 計測範囲

センサカウンタレジスタは 16bit 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、寄生容量成分のカウント値を制御することが出来ます。計測レンジ内の目標値にカウント値を近づけるためにオフセット電流をチューニングすることをオフセットチューニング処理といいます。ハードウェアの個体差を調整するため、MCU リセット後にソフトウェア処理で実施します。

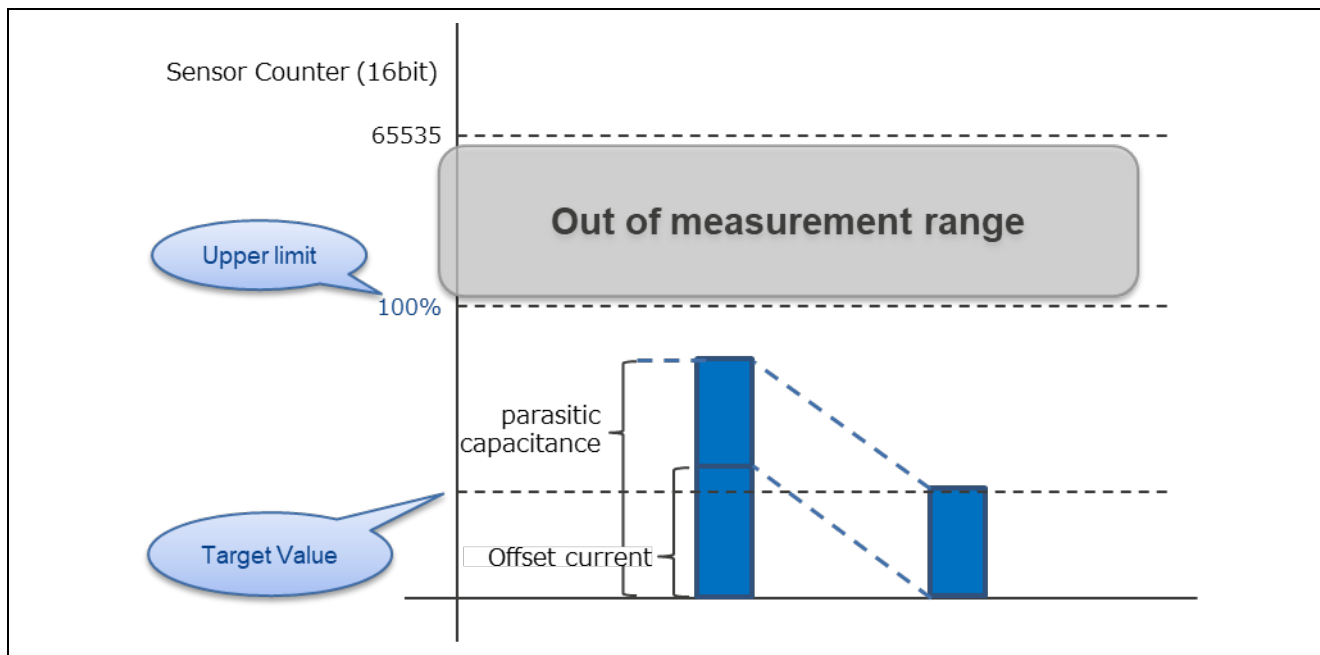


図 2-4 自己容量方式のオフセットチューニング処理

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)



### 2.3 相互容量方式

相互容量方式とは、電極と電極の間に生じる静電容量の変化を検出する方式です。

相互容量方式では、送信電極 TX（以下「TX 電極」）と受信電極 RX（以下「RX 電極」）の 2 つの電極間に発生している静電容量（以下、電極間容量）を計測します。指が電極間に接近すると導体である人体へ電磁界の一部が移動し、電極間容量が減少します。この電極間の静電容量変化を定期的に観測することで人体の接近を検知します。

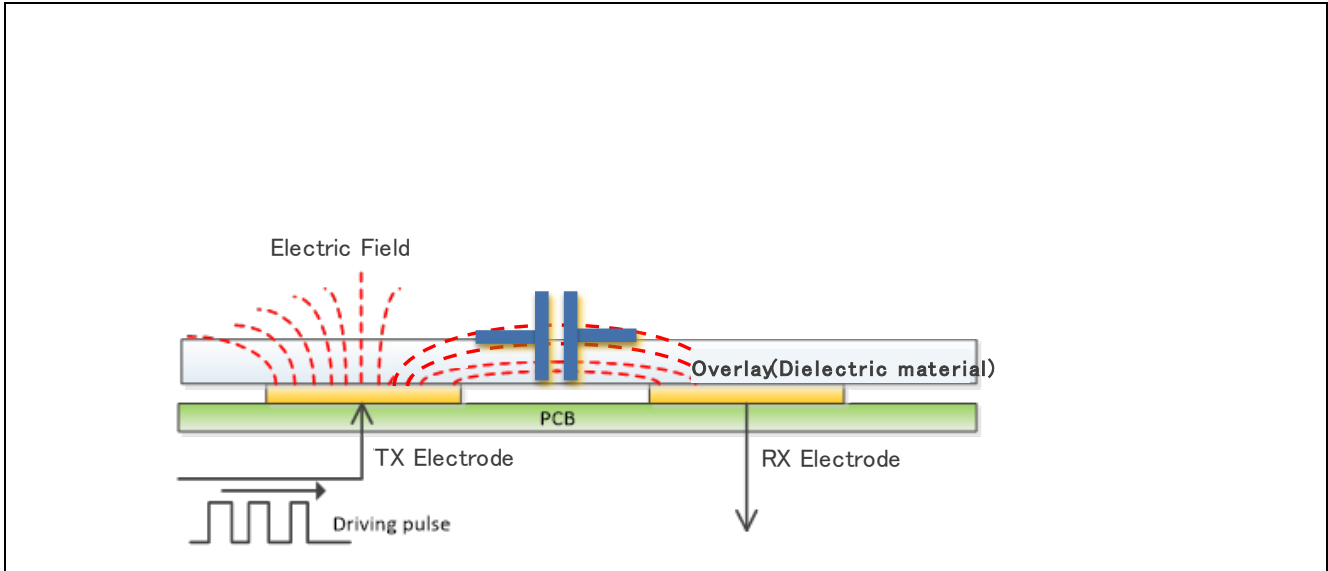


図 2-5 人体非接近時

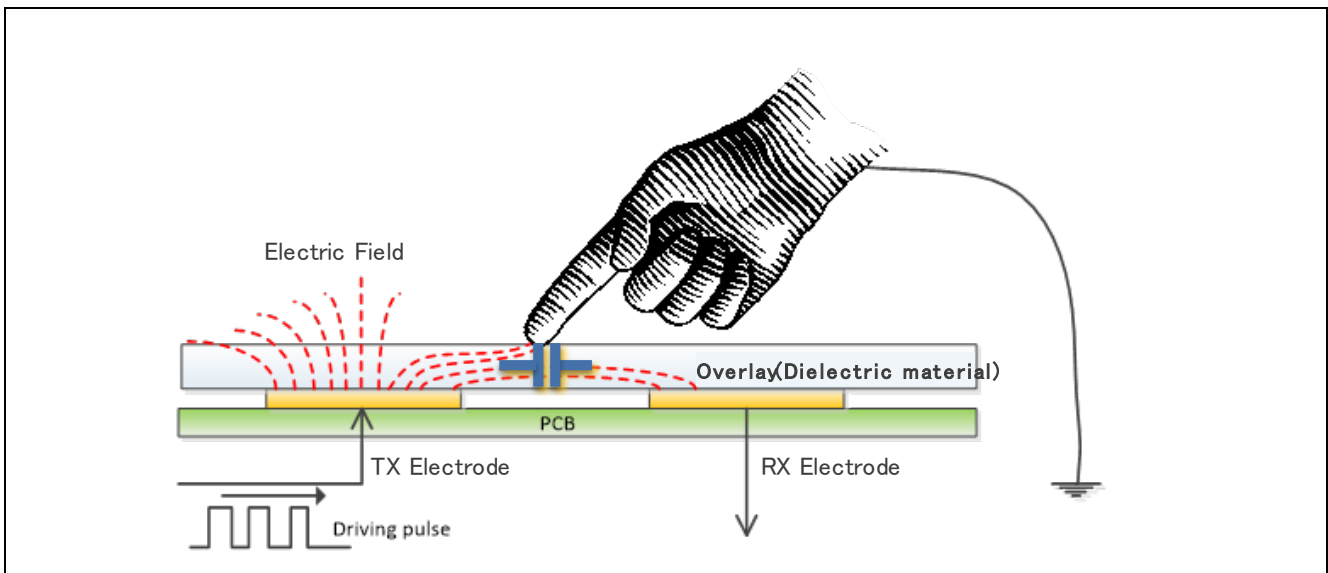


図 2-6 人体接近時

2.3.1 検出原理

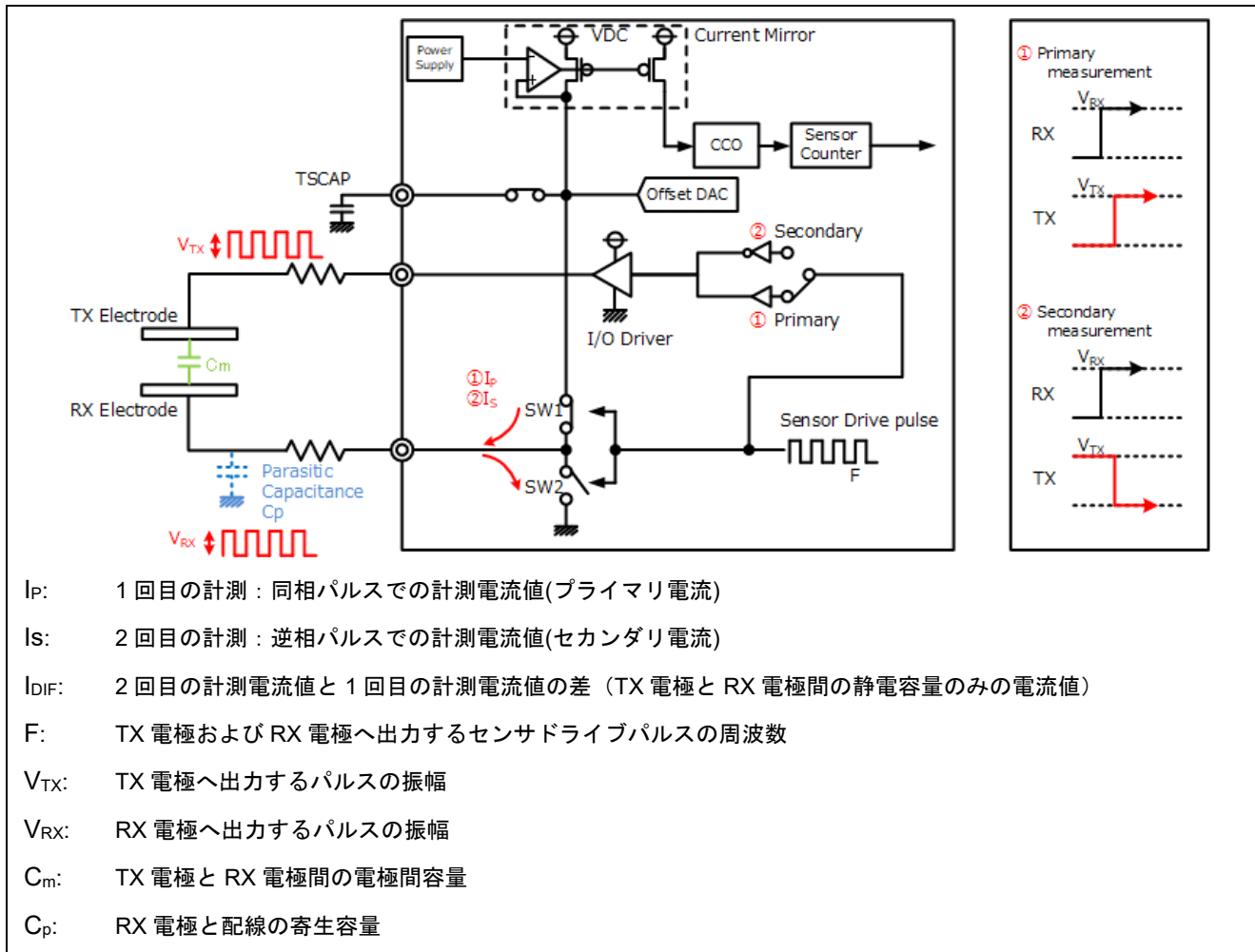


図 2-7 相互容量方式の動作概要

図 2-7 は相互容量方式の CTSU 内部構成概要になります。

センサドライブパルスの周波数  $F$ 、TX 電極側の電圧  $V_{TX}$ 、RX 電極側の電圧  $V_{RX}$ 、寄生容量を  $C_p$ 、電極間容量を  $C_m$  とすると、

同相のパルス出力をした時のプライマリ電流  $I_P$  は、

$$I_P = F ( C_p V_{RX} + C_m (V_{RX} - V_{TX}) )$$

逆相のパルスを出力した場合のセカンダリ電流  $I_S$  は

$$I_S = F ( C_p V_{RX} + C_m (V_{RX} + V_{TX}) )$$

計測結果の差を計算すると、

$$I_{DIF} = I_S - I_P = F C_m 2V_{TX}$$

となり、電極間容量の電流を計測することができます。

このように相互容量方式では、同相パルスと逆相パルスで計測し、2回計測の差分を算出することで寄生容量  $C_p$  をキャンセルし、検出したい電極間容量  $C_m$  のみを計測できます。

$V_{TX}$  は電源電圧から供給されます。従って MCU の電源電圧によって計測値が変化します。

TSCAP は内部電圧を安定させるためのコンデンサです。

2.3.2 計測範囲

センサカウンタレジスタは 16bit 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をチューニングすることで、寄生容量成分のカウント値を制御することが出来ます。計測レンジ内の目標値にカウント値を近づけるためにオフセット電流量をチューニングすることをオフセットチューニング処理といいます。ハードウェアの個体差を調整するため、MCU リセット後にソフトウェア処理で実施します。図 2-8 は相互容量方式のオフセットチューニング処理になります。同相パルス出力時に計測した電流  $I_p$  の計測値をプライマリカウンタ、逆相パルス出力時に計測した電流  $I_s$  の計測値をセカンダリカウンタと言います。

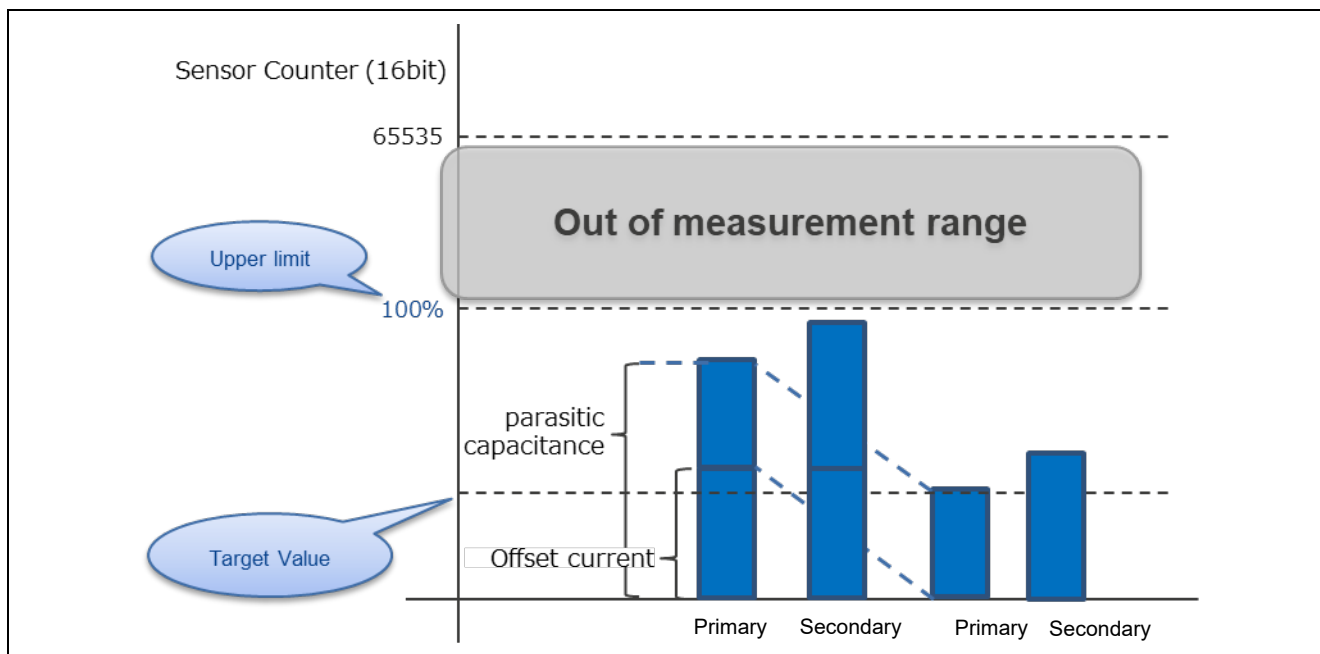


図 2-8 相互容量方式のオフセットチューニング処理

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

## 2.4 ドリフト補正処理とタッチ検出

ドリフト補正処理とは、人がタッチセンサに触れていない時に変化する静電容量の変化に追従する処理です。タッチ検出とは、人がタッチセンサに触れた時に変化する静電容量を検出する処理です。例えば湿度の変化によっても寄生容量は変化します。

図 2-9 に自己容量方式のドリフト補正処理による計測値と基準値の変化及びタッチ ON 検出までの一連の動作例を示します。

### (1) ドリフト補正処理

静電容量は、近くに配置した電極上に指が接触した場合や温度や湿度、経年劣化などによる静電容量の変化などで変化します。これらの影響を削減するためにドリフト補正処理により定期的に基準値を更新しています。

### (2) タッチ検出

人体が電極上のオーバーレイに接触すると静電容量が変化して、タッチしきい値を超えるとタッチ ON が確定します。相互容量ボタンはタッチ時に電極間容量が減少するため、計測値の減少方向にタッチしきい値を設定してタッチ ON/OFF を判定します。

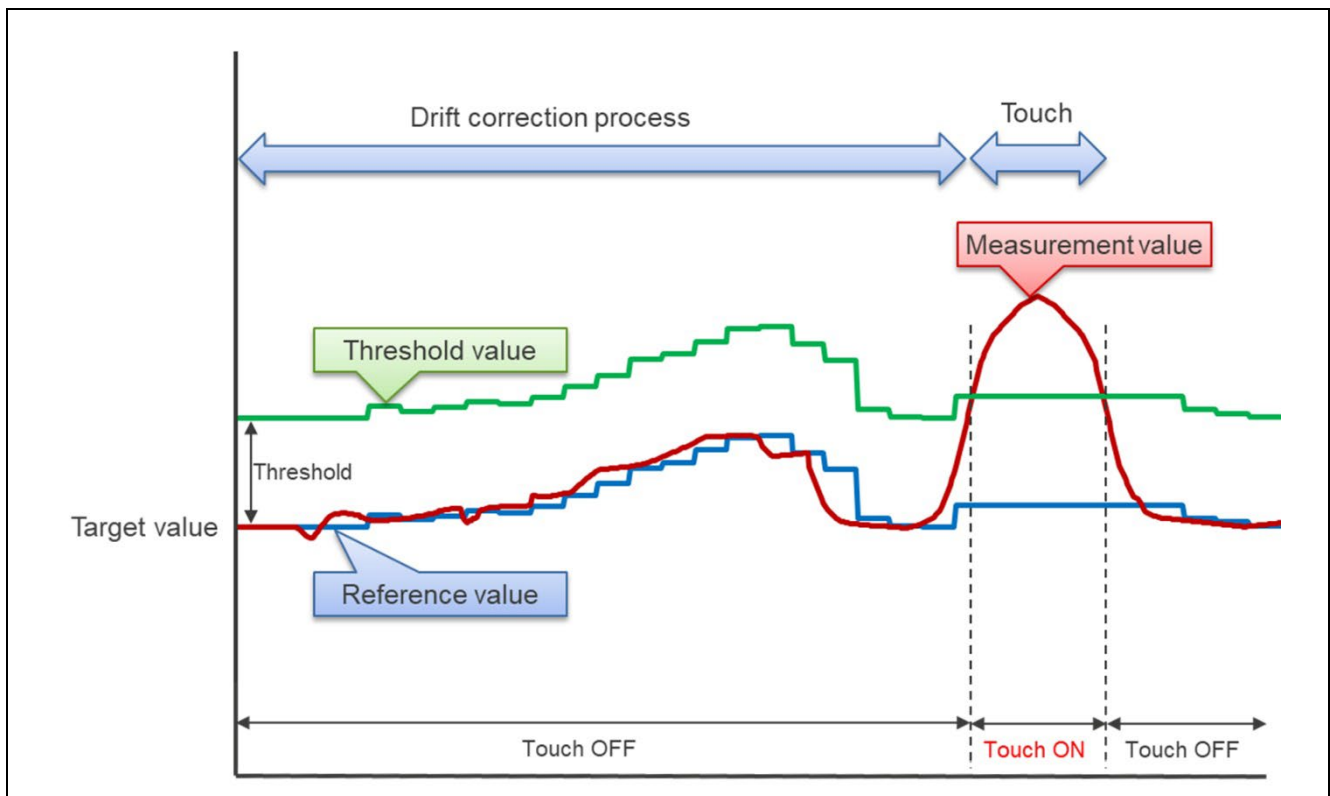


図 2-9 自己容量方式のドリフト補正処理とタッチ ON 検出

動作の詳細は以下の TOUCH モジュールに関するアプリケーションノートを参照して下さい。

[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 \(R01AN4470\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: Touch \(rm\\_touch\)](#)

タッチ ON/OFF 判定やドリフト補正などの詳細は「7 チューニング」を参照して下さい。

### 3. 静電容量タッチセンサの種類

この章では、静電容量タッチセンサの種類と静電容量タッチセンサを使う際に出てくる専門用語について説明します。

#### 3.1 静電容量タッチセンサの違い

CTS2UはCTS1Uと比較して主に以下の機能が追加および強化されています。

- ノイズ耐性の強化
  - 複数種のセンサドライバパルス周波数計測による同期ノイズ回避機能
- 耐水性向上
  - アクティブシールド電極による自己容量方式での耐水性向上
- スキャン速度の強化
  - 並列同時スキャンに対応した「相互容量並行計測モード」(CFC)追加
- ソフトウェア処理負荷の軽減
  - 自動判定機能の追加
  - 自動補正機能の追加

表 3-1 に第 2 世代と第 3 世代に搭載している静電容量タッチセンサ機能の比較を示します。

表 3-1 静電容量タッチセンサ機能の比較

Function	CTS1U/CTS1Ua	CTS1Ub	CTS2U	CTS2UL	CTS2ULa	CTS2USL	CTS2USLa
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	△	△	△	△	△
マルチ周波数計測			✓	✓	✓	✓	✓
アクティブシールド			✓	✓	✓	✓	✓
自動判定				✓*1 *2	✓*1 *2	✓*2	✓*3
自動補正				✓*1	✓*1	✓	✓
自動マルチ周波数補正							✓
MEC 機能		✓			✓	✓	✓
相互容量並列同時スキャン (CFC)			✓				
温度補正			✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

△ : マルチ周波数計測に対応しているため、当機能はドライバでサポートしていません。

\*1 : SNOOZE モード・シーケンサ (SMS) と併用によって実現。サポート製品は表 4-12 を参照して下さい。

\*2 : 自動判定は JMM で計測します。詳細は 3.3.1(2)判定多数決モード(JMM)を参照して下さい。

\*3 : 自動判定は VMM もしくは JMM で計測します。

詳細は 3.3.1(1) 計測値多数決モード(VMM)を参照して下さい。

詳細は 3.3.1(2) 判定多数決モード(JMM)を参照して下さい。

VMM を使用した自動判定は、将来のアップデートで対応予定です。

## 3.2 CTSU1

### 3.2.1 ランダムパルス周波数計測

ランダムパルス周波数計測とは、静電容量の計測時にノイズの影響を低減するため、ノイズとセンサドライブパルスが同期しないようにする方法です。

静電容量の測定はセンサドライブパルスを出力して電流を計測します。このセンサドライブパルスにノイズが混入すると計測結果が変動します。このため、CTSU1ではスペクトラム拡散や位相シフトによってノイズと同期しないようなランダムパルスを出力することでノイズの影響を低減しています。図 3-1に CTSU1 のセンサドライブパルス出力波形の例を示します。

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

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

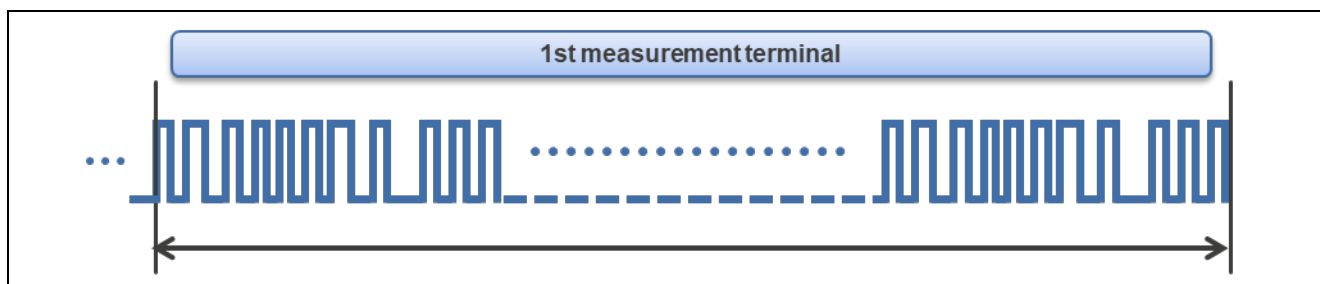


図 3-1 CTSU1 のセンサドライブパルス出力波形

### 3.3 CTSU2

#### 3.3.1 マルチ周波数計測

マルチ周波数計測とは、静電容量の計測時にノイズの影響を低減するため、センサドライブパルスに異なる周波数を複数用いて計測する方法です。

静電容量の測定はセンサドライブパルスを出力して電流を計測します。このセンサドライブパルスにノイズが混入すると計測結果が変動します。このため、CTSU2では周波数の異なる複数のクロックで計測を行うことができるマルチ周波数計測機能が搭載されています。図 3-2 に 3 周波数で計測したときのセンサドライブパルス波形の例を示します。ノイズの影響を受けた可能性のある計測結果を除外することでノイズ耐性を向上しています。

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

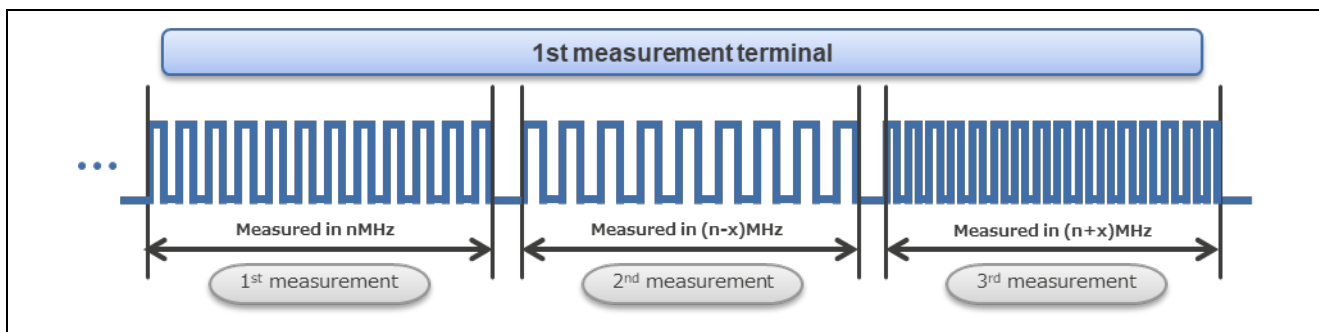


図 3-2 CTSU2 の 3 周波数計測時のセンサドライブパルス出力波形

マルチ周波数計測のタッチ判定方法に計測値多数決モードと判定多数決モードの 2 つの計測方式があります。

(1) 計測値多数決モード(VMM)

計測値多数決モード(Value Majority Mode : 以下 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。

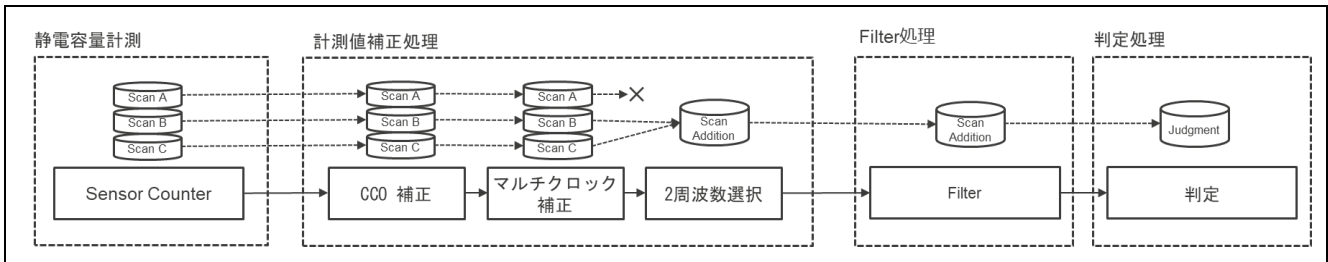


図 3-3 VMM の信号の流れ

3 周波数のそれぞれの計測結果に CCO 補正を実施後、計測周波数によってカウント値が増減するので、Scan A の計測周波数を基準として Scan B と Scan C の値を補正します。マルチクロック補正結果が近い 2 つの計測値を選択して加算します。計測値のノイズを低減するためのフィルタ処理を実施してタッチの判定を行います。図 3-3 は VMM の信号の流れになります。

VMM はボタン、スライダ/ホイール検出などに対応していますが、CTS2SLa の自動判定(VMM)機能ではボタン判定のみ対応しています。VMM を使用した自動判定は、将来のアップデートで対応予定です。

(2) 判定多数決モード(JMM)

判定多数決モード(Judgement Majority Mode:以下 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。

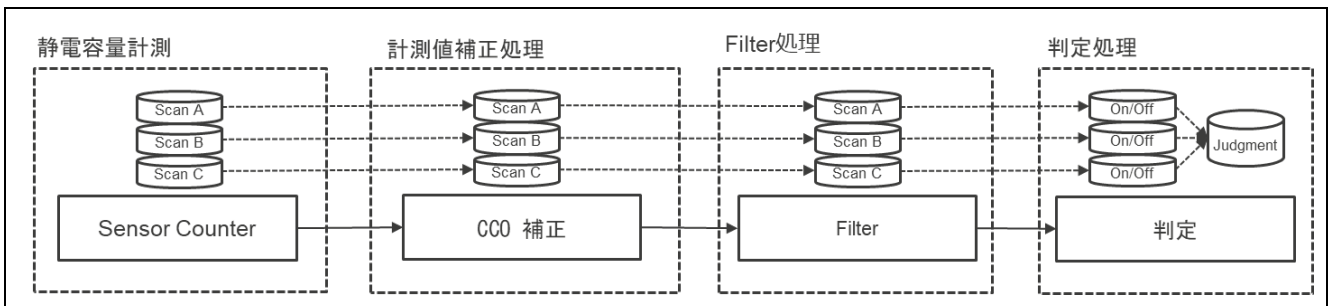


図 3-4 JMM の信号の流れ

3 周波数のそれぞれの計測結果に CCO 補正を行い、ノイズを低減するためのフィルタ処理を実施します。それぞれの計測周波数毎に On/Off 判断を行い多数決で判定します。図 3-4 は JMM の信号の流れになります。

JMM は自己容量と相互容量方式のボタン判定のみ対応しています。スライダ/ホイール及び相互容量並列同時スキャン (CFC) は JMM に対応していません。また、CTS2L,CTS2La,CTS2SL の自動判定の検出は JMM になります。CTS2SLa の自動判定機能は JMM と VMM に対応しています。

VMM を使用した自動判定は、将来のアップデートで対応予定です。

ソフトウェアによる JMM は QE for Capacitive Touch とドライバが対応している必要があります。

QE ツールの対応は以下の予定です

- QE ツールは V4.0.0 以降

ドライバの対応は以下の予定です。

- RA ファミリは FSP V5.60 以降
- RL78 ファミリは SIS V2.00 以降
- RX ファミリは FIT V3.00 以降



### 3.3.2 アクティブシールド

アクティブシールドとは、電極と周辺 GND 間の容量結合を軽減しながらノイズ対策を行う方法です。

動作としては、計測中の電極と同電位・同位相の信号でシールドガードを駆動します。計測中の電極と同電位・同位相の信号でシールドガードを駆動する機能です。アクティブシールドを使用すると電極とシールドガード間の容量結合を軽減しながらノイズ対策が出来ます。

図 3-5 に示すように、1つのボタンを計測中に水滴によって静電容量が発生すると誤動作の要因となります。図 3-6 に示すようにアクティブシールドを使用することでもう1つの電極に発生する容量の影響を小さくできるため誤動作を防ぐことができます。

アクティブシールドは自己容量方式のみで使用できます。相互容量方式では使用できません。

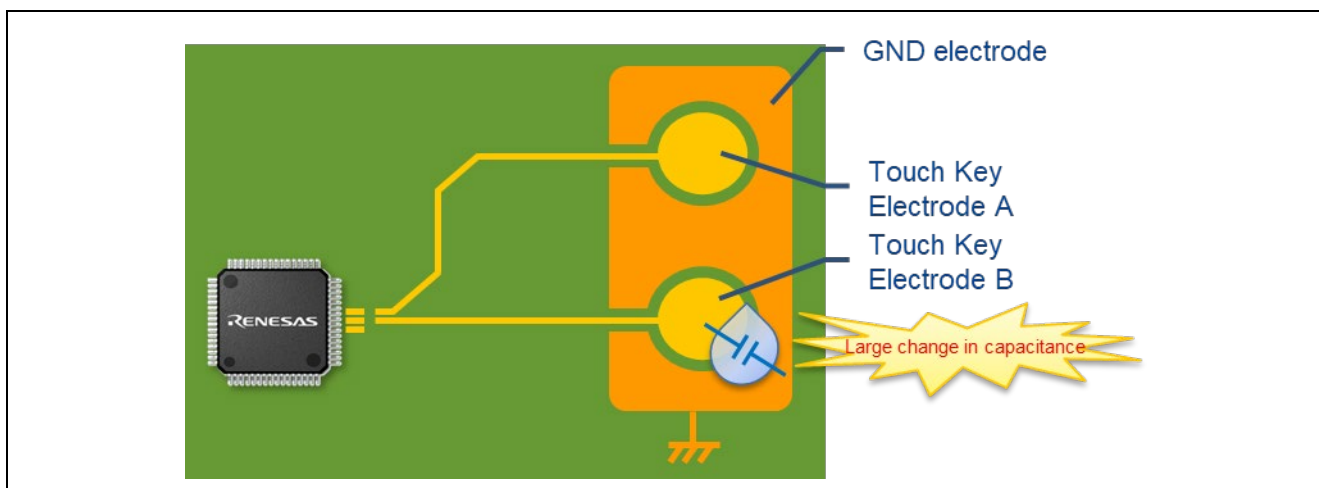


図 3-5 GND シールドの場合

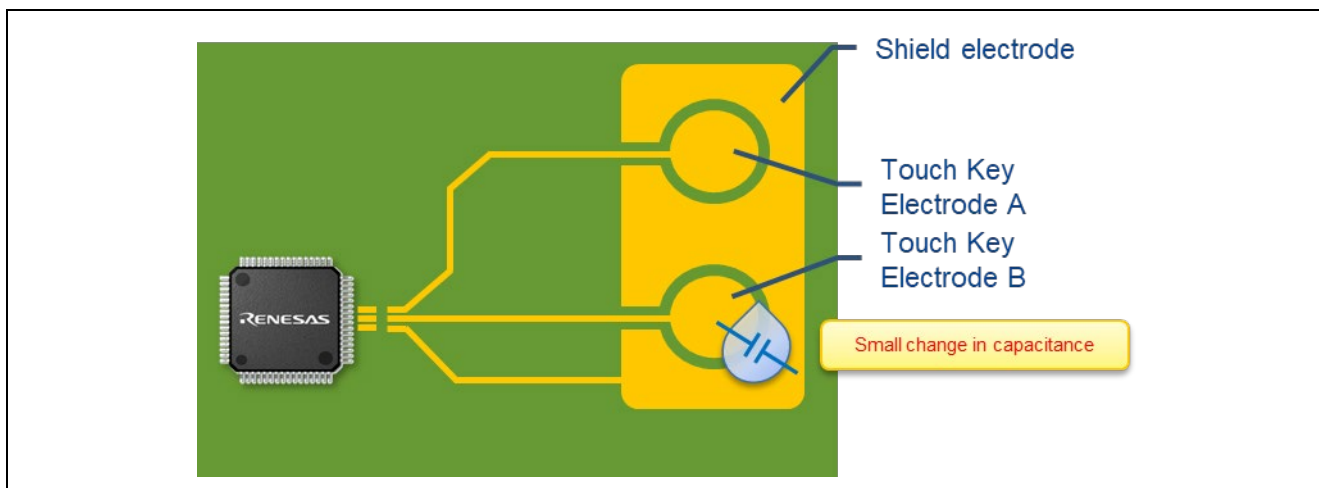


図 3-6 アクティブシールドの場合

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

[静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#)

### 3.3.3 自動判定

CPU を動作させずにハードウェアにてボタンのタッチ判定をする機能です。そのため、低消費電力動作を実現できます。

この機能を使用する場合には自動判定機能を搭載している静電容量センサを選択して下さい。

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

### 3.3.4 自動補正

ハードウェアでセンサ CCO (ICO) 補正をする自動補正機能です。ソフトウェアの補正計算処理を使用することなくハードウェアが補正計算を処理するため、メインプロセッサの処理時間を消費しません。

CCO 補正及び自動補正の詳細は以下を参照して下さい。

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

### 3.3.5 自動マルチ周波数補正

ハードウェアで3周波数計測後のマルチクロック補正を実施する機能です。

ハードウェアが補正計算を処理するため、メインプロセッサの処理時間を消費しません。

自動マルチ周波数補正は、将来のアップデートで対応予定です。

詳細は以下を参照して下さい。

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

### 3.3.6 MEC 機能

MEC (Multiple Electrode Connection) は自己容量方式の電極を CTSU 内部で接続し 1 つの電極として計測する機能です。MEC 機能を使用すると任意のボタンでスタンバイ状態から復帰することが可能です。また、複数回の計測を 1 つにすることで計測回数を短縮できるため消費電力を削減することが可能です。加えて、複数の電極を 1 つの大きな近接センサの電極として使用することができます。単一電極と比較した場合、寄生容量が増加するため、CTS2 設定に必要なソフトウェア設定に調整されます。例えば、ダイナミックレンジに対して安定に計測するため周波数を調整します。

図 3-7 に MEC の例を示します。左側の図は MEC 機能を無効、右側は MEC 機能を有効な状態を示しており、ソフトウェアによって切り替えが可能です。

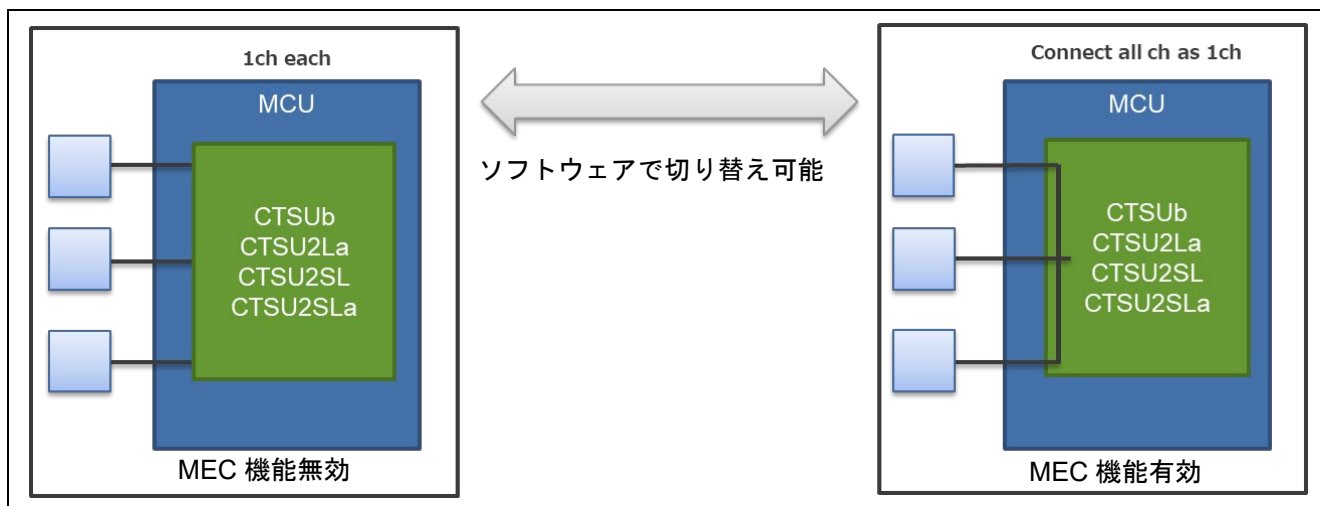


図 3-7 MEC の例

この機能を使用する場合には MEC 機能を搭載している静電容量センサを選択して下さい。

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RX140 グループ スマートウエイクアップソリューション \(R11AN0613\)](#)

### 3.3.7 相互容量並列同時スキャン (CFC)

受信電極に CFC 端子を使用し相互容量並行計測モードにすることで複数端子を同時に計測することが出来ます。

詳細は以下を参照して下さい。

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

### 3.3.8 温度補正

温度補正とは、TS 端子に接続した外付け抵抗に流れる電流量を定期的に計測して、CCO 用の補正係数を更新する処理です。

詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

4. 静電容量センサ搭載 MCU

4.1 MCU ラインアップ

ルネサスは RA、RX、RL78 ファミリ MCU、Renesas Synergy™ のすべてに幅広いラインナップの静電容量センサ搭載 MCU を用意しています。

これら各ファミリの詳細及び最新情報については下記をご参照ください。

- [RA ファミリ Arm® Cortex®-M ベース MCU](#)
- [RX 32 ビット高性能・高効率 MCU](#)
- [RL78 低消費電力 8/16 ビット MCU](#)
- [Renesas Synergy™ プラットフォーム](#)

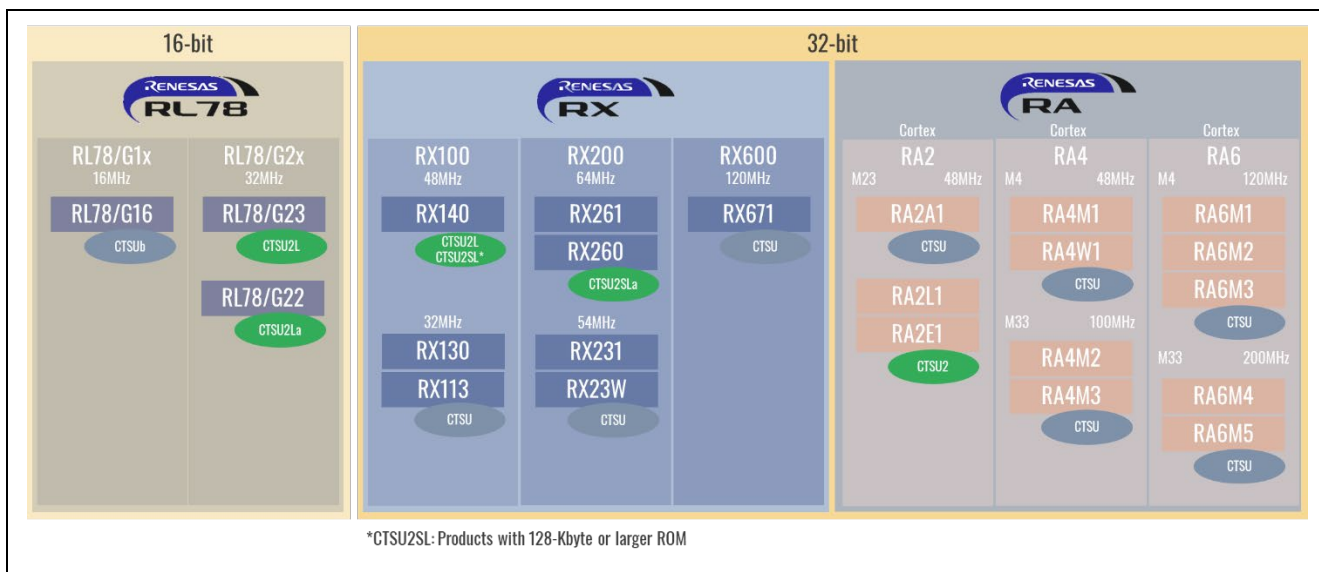


図 4-1 静電容量センサ搭載 MCU ラインアップ

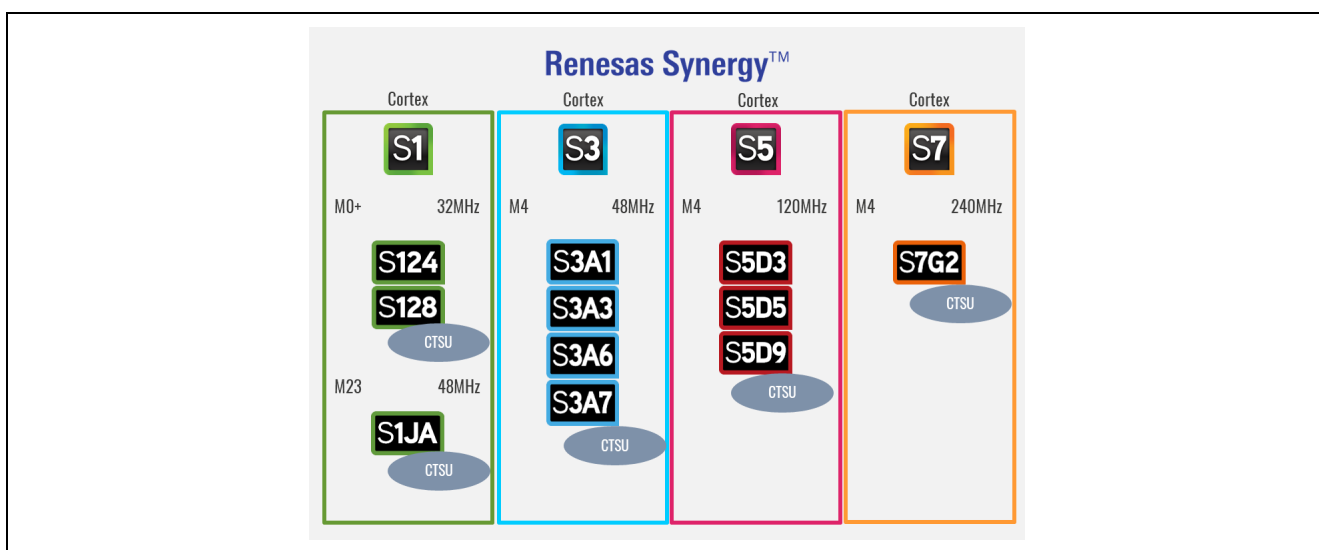


図 4-2 静電容量センサ搭載 Renesas Synergy™ ラインアップ

## 4.2 MCU 選定のポイント

静電容量タッチセンサ搭載 MCU の選択にはいくつかのポイントがあります。まずは、お客様の製品でどのような静電容量タッチセンサを応用したインターフェースを使用したいかが重要となります。インターフェースが決まると、そのインターフェースに必要な TS 端子の本数が決まり、選択肢を絞ることができます。さらに静電容量タッチセンサ以外にも必要となる MCU 周辺機能を検証することで、お客様に最適な静電容量タッチセンサ搭載 MCU が決まります。

### 4.2.1 インターフェース

ここでは、ルネサスが提供する静電容量タッチセンサ・ソリューションにおけるインターフェースを紹介します。

インターフェースには自己容量ボタン、自己容量スライダ、自己容量ホイール、相互容量ボタン（キーパッド）があります。それぞれの特徴は以下のとおりです。

#### (1) 自己容量ボタン

指が触れたことによって反応し、機械接点スイッチの置き換えに最適なインターフェースです。

自己容量方式のみ使用可能で、TS 端子 1 本で構成可能です。

#### (2) 自己容量スライダ、自己容量ホイール

スライダは指の上下、左右に移動した際の位置を検出し、ホイールは指を円状に動かした際の角度を検出します。これら 2 つのインターフェースは、TS 端子の両端がない（ホイールが該当します）、両端がある（スライダが該当します）といった違いがありますが、それ以外はほぼ同じインターフェースです。

スライダ、ホイールとも自己容量方式のみ使用可能で、スライダは TS 端子 3 本から 10 本、ホイールは TS 端子 4 本または 8 本で構成可能です。

#### (3) 相互容量ボタン（キーパッド）

指が触れたことによって反応することはボタンと同じですが、TS 端子をマトリクス状に配置することによって 1×2 の 2 ボタンから 8×8 の 64 ボタンまで、少ない TS 端子で多くのボタンを構成可能です。

相互容量方式のみ使用可能で、TS 端子を 2 本から構成可能です。

表 4-1 検出方式ごとにサポートするインターフェースと必要な TS 端子数

インターフェース	TS 端子数
自己容量ボタン	1
自己容量ホイール	4、8
自己容量スライダ	3~10
相互容量ボタン（キーパッド）	2

注： 最低限必要な TS 端子数を示しています。

4.2.2 検出方式の特徴

各検出方式の特徴を以下に示します。

● 自己容量方式の特徴

プリント基板上に配線する場合に、考慮しなければいけない項目が少なく、容易にレイアウトができます。また、スライダやホイールの電極を構成することができます。

耐水性はあまり強くはないため、耐水性が必要な場合は、CTS2で1端子をアクティブシールドにすることで、相互容量方式と同様に耐水性が強くなります。(図 4-3 参照)

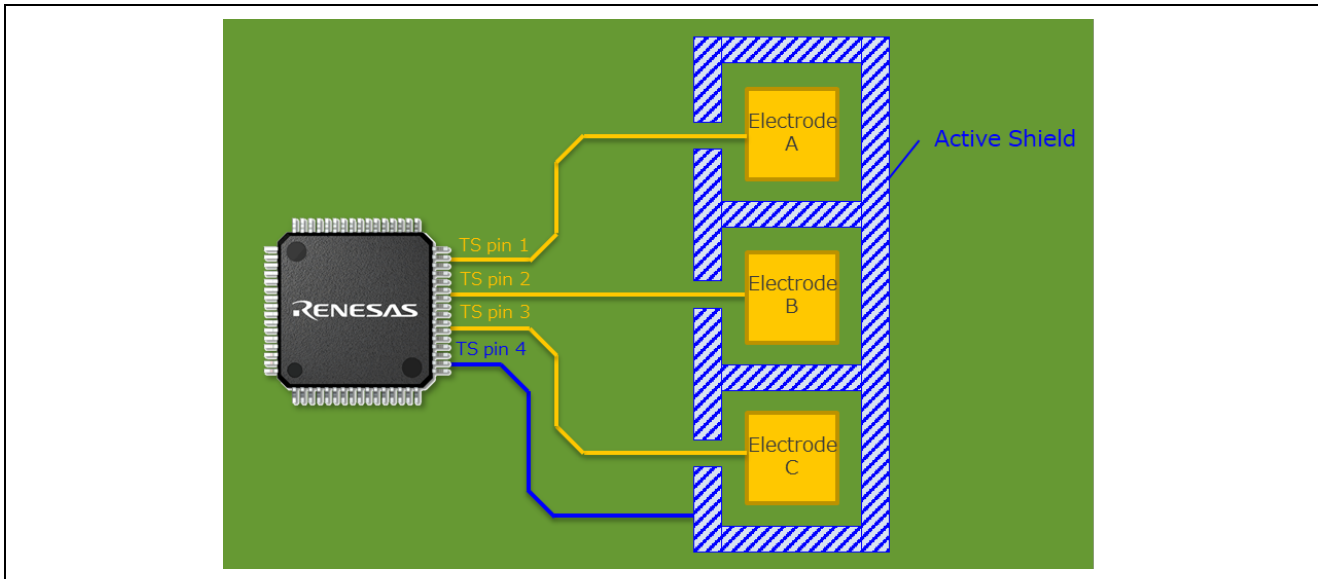


図 4-3 自己容量方式の電極レイアウト

● 相互容量方式の特徴

ボタンをマトリクス形状にして少ない端子数でキーパッドを構成でき、耐水性にも優れています。ただし、配線に際し、送信電極と受信電極間の配線の制限や寄生容量値などは自己容量方式と比較して考慮すべき項目が増えます。

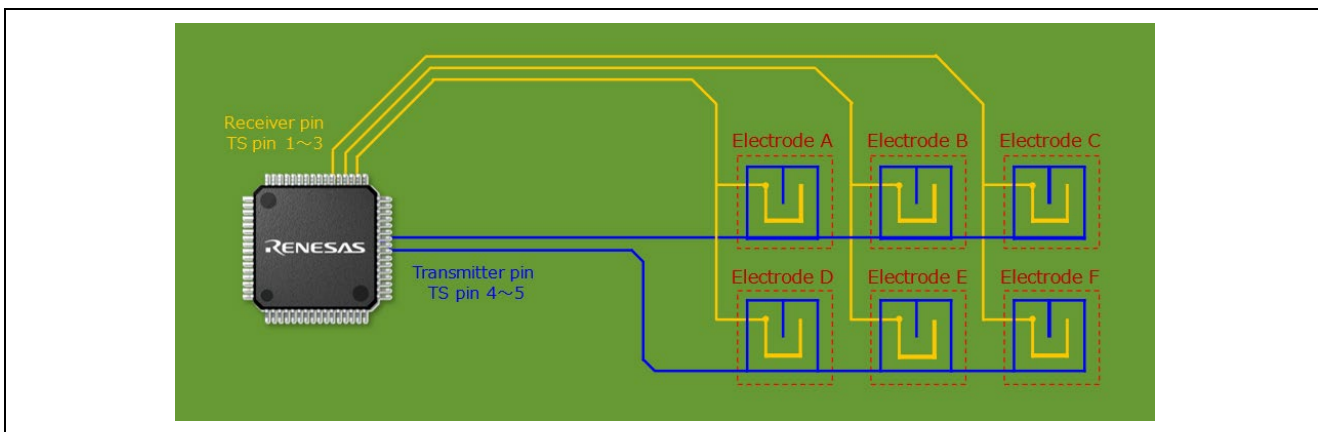


図 4-4 相互容量方式の電極レイアウト

電極レイアウトの詳細に関しては以下を参照して下さい。

[静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#)

- 検出方式と配線に関する注意事項

自己容量方式は図 4-3 に示すように 1 つの TS 端子に 1 つの電極を構成しますが、相互容量方式の場合は図 4-4 に示すように、1 つの TS 端子で複数の電極を構成します。このため送信電極と受信電極間の配線の制限や寄生容量値などは自己容量方式と比較して制限が多くなります。

詳細は以下を参照して下さい。

[静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#)



### 4.3 CTSU1 搭載 MCU

CTSU1 (CTSUC/CTSUA/CTSUB) を搭載した MCU の機能比較を表 4-2～表 4-8 に示します。各デバイスの詳細については各製品紹介ページをご参照ください。

製品紹介ページ下部にある製品選択欄にてより詳細な製品の絞り込みができます。

表 4-2 CTSU1 搭載 RA ファミリ (1/2)

製品グループ名	<a href="#">RA2A1</a>	<a href="#">RA4M1</a>	<a href="#">RA4M2</a>	<a href="#">RA4M3</a>	<a href="#">RA4W1</a>
CPU コア	ARM CM23	ARM CM4	ARM CM33	ARM CM33	ARM CM4
最大動作周波数 (MHz)	48	48	100	100	48
電源電圧 (V) *1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	1.8 - 3.6
Program Memory (KB)	256	256	256, 384, 512	512, 768, 1024	512
Data Flash (KB)	8	8	8	8	8
RAM (KB)	32	32	128	128	96
静電容量センサ種別	CTSU				
TS 端子数	26	27	12	20	11
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-3 CTSU1 搭載 RA ファミリ (2/2)

製品グループ名	<a href="#">RA6M1</a>	<a href="#">RA6M2</a>	<a href="#">RA6M3</a>	<a href="#">RA6M4</a>	<a href="#">RA6M5</a>
CPU コア	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM33	ARM CM33
最大動作周波数 (MHz)	120	120	120	200	200
電源電圧 (V) *1	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	512	512, 1024	1024, 2048	512, 768, 1024	1024, 1536, 2048
Data Flash (KB)	8	32	64	8	8
RAM (KB)	256	384	640, 384	256	512
静電容量センサ種別	CTSU				
TS 端子数	19	18	18	20	12
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。



表 4-4 CTSU1 搭載 RX ファミリ (1/2)

製品グループ名	<a href="#">RX113</a>	<a href="#">RX130</a>	<a href="#">RX230</a>	<a href="#">RX231</a>	<a href="#">RX23W</a>
CPU コア	RXv1	RXv1	RXv2	RXv2	RXv2
最大動作周波数 (MHz)	32	32	54	54	54
電源電圧 (V) *1	1.8 - 3.6	1.8 - 5.5	1.8 - 5.5	1.8 - 5.5	1.8 - 3.6
Program Memory (KB)	128, 256, 384, 512	64, 128, 256, 384, 512	128, 256	128, 256, 384, 512	384, 512
Data Flash (KB)	8	8	8	8	8
RAM (KB)	64, 32	10, 16, 48, 32	32	32, 64	64
静電容量センサ種別	CTSU	CTSUa	CTSU		
TS 端子数	12	36	24	24	12
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-5 CTSU1 搭載 RX ファミリ (2/2)

製品グループ名	<a href="#">RX671</a>
CPU コア	RXv3
最大動作周波数 (MHz)	120
電源電圧 (V) *1	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	1024, 1536, 2048
Data Flash (KB)	8
RAM (KB)	384
静電容量センサ種別	CTSUa
TS 端子数	17
自己容量方式	✓
相互容量方式	✓
ランダムパルス周波数計測	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-6 CTSU1 搭載 Renesas Synergy™ (1/3)

製品グループ名	<a href="#">S124</a>	<a href="#">S128</a>	<a href="#">S1JA</a>	<a href="#">S3A1</a>	<a href="#">S3A3</a>
CPU コア	ARM CM0+	ARM CM0+	ARM CM23	ARM CM4	ARM CM4
最大動作周波数 (MHz)	32	32	48	48	48
電源電圧 (V) *1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5
Program Memory (KB)	64, 128	256	256	1024	512
Data Flash (KB)	4	4	8	8	8
RAM (KB)	16	24	32	192	96
静電容量センサ種別	CTSU				
TS 端子数	31	28	26	27	27
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-7 CTSU1 搭載 Renesas Synergy™ (2/3)

製品グループ名	<a href="#">S3A6</a>	<a href="#">S3A7</a>	<a href="#">S5D3</a>	<a href="#">S5D5</a>	<a href="#">S5D9</a>
CPU コア	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4
最大動作周波数 (MHz) *1	48	48	120	120	120
電源電圧 (V)	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	256	1024	512	512, 1024	1024, 2048
Data Flash (KB)	8	16	8	32	64
RAM (KB)	32	192	256	384	640
静電容量センサ種別	CTSU				
TS 端子数	27	31	12	18	18
自己容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓	✓	✓
ランダムパルス周波数計測	✓	✓	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-8 CTSU1 搭載 Renesas Synergy™ (3/3)

製品グループ名	<a href="#">S7G2</a>
CPU コア	ARM CM4
最大動作周波数 (MHz)	240
電源電圧 (V) *1	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	3072, 4096
Data Flash (KB)	64
RAM (KB)	640
静電容量センサ種別	CTSU
TS 端子数	18
自己容量方式	✓
相互容量方式	✓
ランダムパルス周波数計測	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

表 4-9 CTSU1 搭載 RL78 ファミリ

製品グループ名	<a href="#">RL78/G16</a>
CPU コア	RL78
最大動作周波数 (MHz)	16
電源電圧 (V) *1	2.4 - 5.5
Program Memory (KB)	16, 32
Data Flash (KB)	1
RAM (KB)	2
静電容量センサ種別	CTSUb
TS 端子数	15
自己容量方式	✓
相互容量方式	✓
ランダムパルス周波数計測	✓
MEC 機能	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

#### 4.4 CTSU2 搭載 MCU

CTSU2 (CTSU2、CTSU2L、CTSU2La、CTSU2SL) 搭載 MCU の機能概要比較を表 4-10～表 4-10 に示します。この表にある電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

各デバイスの詳細については各製品紹介ページをご参照ください。

製品紹介ページ下部にある製品選択欄にてより詳細な製品の絞り込みができます。

表 4-10 CTSU2 搭載 RA ファミリ

製品グループ名	<a href="#">RA2E1</a>	<a href="#">RA2L1</a>
CPU コア	ARM CM23	ARM CM23
最大動作周波数 (MHz)	48	48
電源電圧 (V) *1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5
Program Memory (KB)	32, 64, 128	128, 256
Data Flash (KB)	4	8
RAM (KB)	16	32
静電容量センサ種別	CTSU2	
TS 端子数	30	32
自己容量方式	✓	✓
相互容量方式	✓	✓
マルチ周波数計測	✓	✓
アクティブシールド *2	✓	✓
自動判定		
自動補正		
自動マルチ周波数補正		
複数電極接続機能 : MEC		
相互容量並列同時スキャン : CFC	18	20
温度補正	✓	✓
低電圧モード *3	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

\*2 : 低電圧モードでは動作しません。

\*3 : 計測電圧を低電圧(ATUNE0=1)にした動作になります。

マイコン動作中に計測電圧を切り替えることはサポートしていません。

QE for Capacitive Touch Ver.4.0.0 以降でサポートします。

表 4-9 CTSU2 搭載 RX ファミリ

製品グループ名	<a href="#">RX140</a>	<a href="#">RX260</a>	<a href="#">RX261</a>
CPU コア	RXv2	RXv3	RXv3
最大動作周波数 (MHz)	48	64	64
電源電圧 (V) *1	1.8 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5
Program Memory (KB)	64	128, 256	256,384,512
Data Flash (KB)	4	8	8
RAM (KB)	16	32, 64	128
静電容量センサ種別	CTSU2L	CTSU2SL	CTSU2SLa
TS 端子数	12	36	36
自己容量方式	✓	✓	✓
相互容量方式	✓	✓	✓
マルチ周波数計測	✓	✓	✓
アクティブシールド *2	✓	✓	✓
自動判定		✓*3	✓*4
自動補正		✓	✓
自動マルチ周波数補正			✓*5
複数電極接続機能 : MEC		✓	✓
相互容量並列同時スキャン : CFC			
温度補正	✓	✓	✓
低電圧モード *6	✓	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : 電源電圧 (V) は静電容量タッチセンサの動作電圧と異なる場合があります。

\*2 : 低電圧モードでは動作しません。

\*3 : 自動判定は JMM をサポートします。

\*4 : 自動判定は VMM と JMM をサポートします。

VMM を使用した自動判定は、将来のアップデートで対応予定です。

\*5 : 自動マルチ周波数補正は、将来のアップデートで対応予定です。

\*6 : 計測電圧を低電圧(ATUNE0=1)にした動作になります。

マイコン動作中に計測電圧を切り替えることはサポートしていません。

QE for Capacitive Touch Ver.4.0.0 以降でサポートします。

表 4-10 CTSU2 搭載 RL78 ファミリ

製品グループ名	<a href="#">RL78/G23</a>	<a href="#">RL78/G22</a>
CPU コア	RL78	RL78
最大動作周波数 (MHz)	32	32
電源電圧 (V)	1.6 - 5.5 *1	1.6 - 5.5 *1
Program Memory (KB)	96, 128, 192, 256, 384, 512, 768	32, 64
Data Flash (KB)	8	2
RAM (KB)	16, 12, 48, 32, 24, 20	4
静電容量センサ種別	CTSU2L	CTSU2La
TS 端子数	32	29
自己容量方式	✓	✓
相互容量方式	✓	✓
マルチ周波数計測	✓	✓
アクティブシールド *2	✓	✓
自動判定 *3 *4	✓	✓
自動補正 *3	✓	✓
自動マルチ周波数補正		
複数電極接続機能 : MEC		✓
相互容量並列同時スキャン : CFC		
温度補正	✓	✓
低電圧モード *5	✓	✓

✓ : 対応

\*1 : CTSU2L および CTSU2La の動作電圧条件は、VDD = 1.8~5.5 V です。

CTSU2L および CTSU2La を使用する場合、VDD = 1.8~5.5 V の範囲でご使用ください。

\*2 : 低電圧モードでは動作しません。

\*3 : SNOOZE モード・シーケンサ (SMS) と併用によって実現。

\*4 : 自動判定は JMM をサポートします。

\*5 : 計測電圧を低電圧(ATUNE0=1)にした動作になります。

マイコン動作中に計測電圧を切り替えることはサポートしていません。

QE for Capacitive Touch Ver.4.0.0 以降でサポートします。

## 5. ハードウェア

### 5.1 電極の設計ガイド

自己容量方式や相互容量方式の電極レイアウトパターンや特性データを掲載しています。MCU の電極設計および設計例は以下のアプリケーションノートを参考にしてください。

[静電容量タッチ電極デザインガイド \(R30AN0389\)](#)

## 6. ソフトウェア

この章では、静電容量タッチキーに関するソフトウェアについて説明します。

### 6.1 ソフトウェア構成

本章は CTSU モジュール、TOUCH モジュールを含めた静電容量タッチセンサを応用したプログラムのソフトウェアに関して説明します。

ルネサスは静電容量タッチセンサを応用したプログラムの構築向けにドライバ（CTSU モジュール）とミドルウェア（TOUCH モジュール）を MCU ファミリー事に提供しています。ドライバとミドルウェアは後述する QE for Capacitive Touch を始めとする開発環境と組み合わせて使用します。QE for Capacitive Touch によるチューニング結果はパラメータファイルとしてプログラムに組み込まれ、パラメータファイルの定義を TOUCH モジュール、CTSU モジュールが参照することでプログラムに反映されます。CTSU モジュールと TOUCH モジュール、アプリケーションを含む標準的なプログラムのソフトウェア構成を図 6-1 に示します。

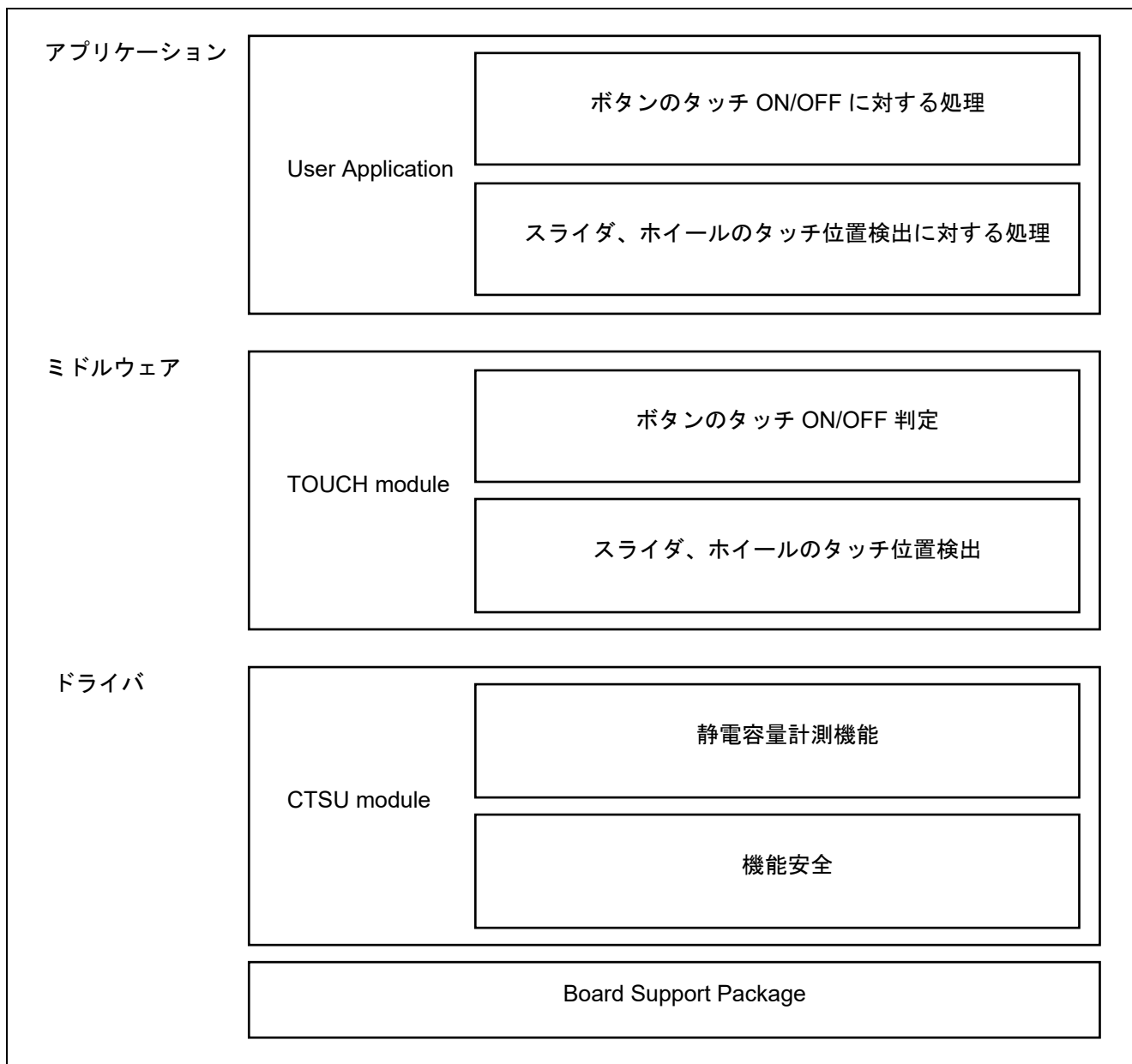


図 6-1 ソフトウェア構成



### 6.1.1 CTSU モジュール

CTSU モジュールは TOUCH モジュール向けのドライバです。QE for Capacitive Touch によってチューニングされた CTSU レジスタ設定値などをパラメータファイルから同モジュールに入力して使用します。

同モジュールが提供する静電容量計測機能を以下に示します。

- ・ ICO 補正制御
- ・ オフセットチューニング
- ・ ランダムパルス周波数計測
- ・ マルチ周波数計測
- ・ アクティブシールド制御
- ・ 自動判定制御
- ・ 自動補正制御
- ・ MEC 制御
- ・ CFC 制御
- ・ 温度補正制御
- ・ 機能安全

CTSU モジュールに関する詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4469\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: CTSU \(r\\_ctsu\)](#)

[Renesas Synergy™ Software Package \(SSP\)](#)

### 6.1.2 TOUCH モジュール

TOUCH モジュールは CTSU モジュールを使用して静電容量方式のタッチ検出機能を提供するミドルウェアです。QE for Capacitive Touch によってチューニングされたパラメータ設定値などをパラメータファイルから同モジュールに入力して使用します。

同モジュールが提供する主な機能を以下に示します。

- ・ ボタンのタッチ ON/OFF 判定
- ・ スライダ、ホイールのタッチ位置検出

TOUCH モジュールに関する詳細は以下を参照して下さい。

[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 \(R01AN4470\)](#)

[RA Flexible Software Package Documentation: Touch \(rm\\_touch\)](#)

[Renesas Synergy™ Software Package \(SSP\)](#)

### 6.1.3 User アプリケーション

User アプリケーションは、お客様が作成するアプリケーションです。お客様のご要望に応じてボタン、スライダ、ホイールの処理を作成してください。デモセットでは一例としてボタンの処理を載せています。

## 6.2 機能安全

機能安全とは、セルフテストソフトウェアを用いる事で自身の内部回路を診断する機能です。

ルネサスの静電容量タッチキー（CTSU1 および CTSU2）は、セルフテストソフトウェアで自身の内部回路を診断することが可能です。

機能安全については下記 Web ページをご参照ください。

<https://www.renesas.com/capacitive-touch-functional-safety>

## 6.3 低消費電力ガイド

低消費電力向けアプリケーションで静電容量タッチを使用する場合の設定例を用意しています。静電容量タッチを使用した低消費電力ガイドについては下記 APN をご参照ください。

[RA2L1 グループ 静電容量タッチ低消費電力ガイド \(R01AN6266\)](#)

[RA6M2 グループ 静電容量タッチ低消費電力ガイド \(R01AN6473\)](#)

[RL78/G23 グループ 静電容量タッチ低消費電力ガイド \(SNOOZE 機能\) \(R01AN5886\)](#)

[RL78/G23 グループ 静電容量タッチ低消費電力ガイド \(SMS 機能\) \(R01AN6670\)](#)

MEC 機能を使用したアプリケーションノートは以下になります。

[RX140 グループ スマートウエイクアップソリューション \(R11AN0613\)](#)

[RL78/G22 静電容量タッチ低消費電力ガイド\(SMS/MEC 機能\) \(R01AN6847\)](#)

## 6.4 ソフトウェアフィルタ

ソフトウェアフィルタとは、取得した計測値に対してノイズ成分を低減し信号成分を取得する関数になります。

CTSU モジュールはユーザ独自のフィルタへの差し替えや、複数フィルタを併用することができるように API を提供しています。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 ファミリー 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 \(R30AN0427\)](#)

[静電容量センサマイコン静電容量タッチノイズイミュニティガイド\(R30AN0426\)](#)

7. チューニング

チューニングとは、ソフトウェアで制御するパラメータを決定する際、実機を使用して計測を行い、値を決める工程の作業名です。

静電容量タッチセンサは微小な静電容量変化を的確に捉えるために QE for Capacitive Touch を使用してソフトウェアのパラメータを生成します。基本的な CapTouch パラメータは、QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニングによって生成されます。こ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、「7.2 CapTouch パラメータの手動チューニング」を実施して下さい。更なる調整が必要な場合は、「7.3 アドバンスドモード(高度な設定)」をご参照ください。

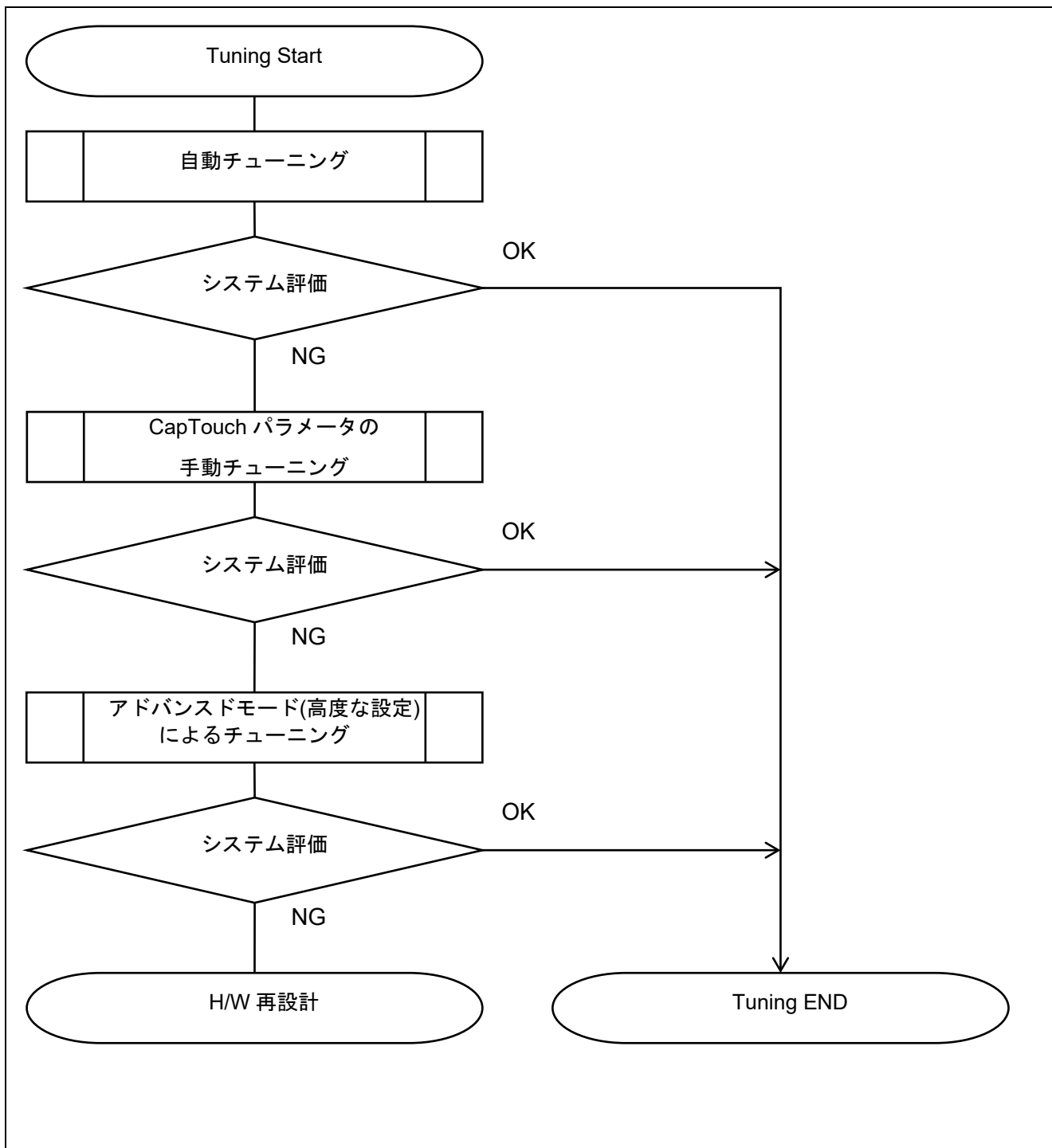


図 7-1 チューニング・フローチャート

### 7.1 QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニング

図 7-2 は QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニングであり、以下の処理によりチューニングパラメータを作成します。MCU のリセット後はこのパラメータを元に動作を開始します。

- ・ 寄生容量計測

寄生容量と抵抗値から充放電可能なセンサドライブパルス周波数を決定します。

- ・ オフセット調整

オフセット電流をチューニングすることで計測レンジ内の目標値にカウント値を近づけます。

- ・ 感度計測（タッチしない状態）

非接触状態の静電容量値を計測することで基準値を決定します。

- ・ 感度計測（タッチした状態）

指を接触した状態での静電容量値を計測し、非接触状態の計測結果との差分を計算することで指の容量変化を算出します。この結果から、しきい値やヒステリシスを決定します。

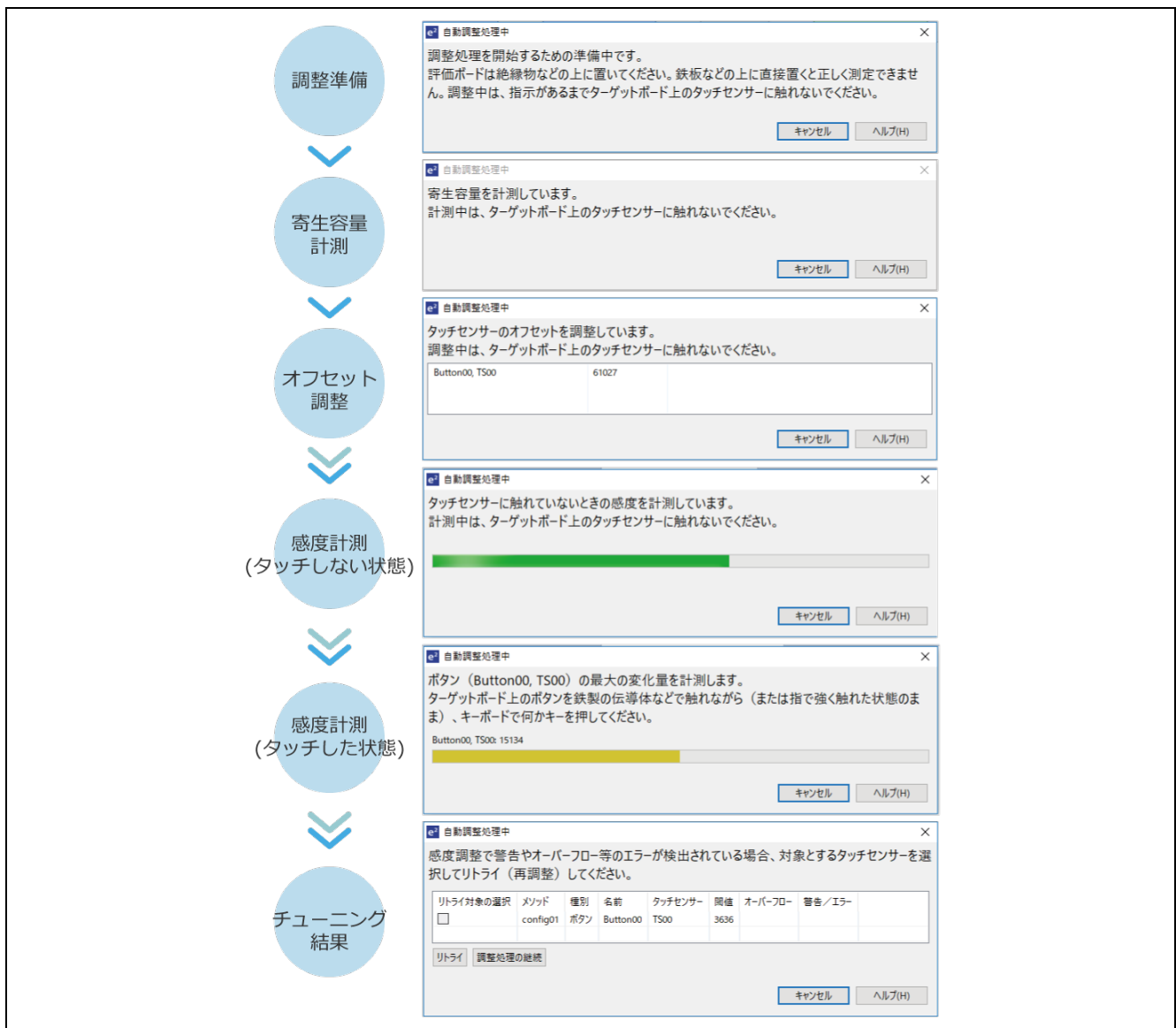


図 7-2 QE for Capacitive Touch を使用した自動チューニング

## 7.2 CapTouch パラメータの手動チューニング

QE for Capacitive Touch による自動チューニングに対して、ユーザが適宜パラメータを変更することを手動チューニングとします。

表 7-1 に手動チューニングの対象となる CapTouch パラメータを示します。

表 7-1 CapTouch パラメータ一覧

CapTouch パラメータ	概要
移動平均フィルタの深度	ノイズの影響を削減するために移動平均フィルタを使用しており、移動平均回数を指定します。
タッチしきい値	タッチ ON と判断するための値であり、計測値が基準値からタッチ ON 判定するまでに必要な変化量を指定します。
ヒステリシス	タッチ OFF と判断するための値であり、計測値がタッチしきい値からタッチ OFF 判定するまでに必要な変化量を指定します
ドリフト補正処理間隔	寄生容量の変化に追従するために一定周期で基準値を更新する機能で、基準値を更新する期間を指定できます。
ポジティブ・ノイズフィルタの判定回数	タッチ ON を確定するためのチャタリング対策処理です。タッチ ON 状態が一定回数継続した時にタッチ ON 確定する期間を指定できます。
ネガティブ・ノイズフィルタの判定回数	タッチ OFF を確定するためのチャタリング対策処理です。タッチ OFF 状態が一定回数継続した時にタッチ OFF 確定する期間を指定できます。
長押しキャンセルの判定回数	ボタンの上に何か接触してタッチ ON した場合に、一定サイクル後に強制的にタッチ OFF にする機能です。強制的にタッチ OFF にする機能を発動する期間を指定できます。

CapTouch パラメータに関連する静電容量計測機能に関する詳細説明を以下に示します。

### (1) 移動平均

カウント値算出時に適用されるフィルタです。

CapTouch パラメータとして移動平均フィルタの深度（以降、深度）があり、深度が減少すると計測値のカウント値への反映速度が増し、ボタンの反応速度が向上します。その代償としてノイズ等に対する計測値の急激な増加減時にカウント値が過敏に反応することが挙げられます。一方、深度が増加すると急激な計測値の変化などノイズへの耐性が向上しますが、反応が鈍化する可能性があります。

## (2) タッチ判定

自己容量ボタン、相互容量ボタン（キーパッド）のタッチ ON/OFF を判定する機能です。

CapTouch パラメータとして以下があります。

- タッチしきい値

ボタン/キーパッドがタッチ OFF からタッチ ON に切り替わる判定に使用されるパラメータです。

タッチしきい値を小さくするとタッチ ON しやすくなり、タッチしきい値を大きくするとタッチ ON しづらくなります。

- ヒステリシス

ボタン/キーパッドがタッチ ON からタッチ OFF に切り替わる判定の際に、タッチしきい値に対して適用されるパラメータです。当パラメータはチャタリング対策として機能し、タッチしきい値からヒステリシス分下回ったときにタッチ OFF と判定されます。

ヒステリシスを大きくするほどチャタリング対策の効果を高めますが、タッチ ON からタッチ OFF になりづらくなり、結果としてボタンの反応が悪くなる可能性があるので注意してください。

- ポジティブ・ノイズフィルタ

ボタン/キーパッドのカウント値がタッチしきい値を超えてから実際にタッチ ON と判定されるまでの期間を設定するパラメータです。当パラメータはチャタリング対策として機能し、カウント値がタッチしきい値を指定期間上回ったときにタッチ ON を確定します。

ポジティブ・ノイズフィルタを増やすとチャタリング対策の効果を高めますが、ボタンの反応が悪くなる可能性があるので注意してください。

- ネガティブ・ノイズフィルタ

ボタン/キーパッドのカウント値がタッチしきい値を下回ってから実際にタッチ OFF と判定されるまでの期間を設定するパラメータです。当パラメータはチャタリング対策として機能し、カウント値がタッチしきい値を指定期間下回ったときにタッチ OFF を確定します。

ネガティブ・ノイズフィルタを増やすとチャタリング対策の効果を高めますが、ボタンの反応が悪くなる可能性があるので注意してください。

## (3) ドリフト補正

ボタン/キーパッドの基準値を周辺環境に合わせて更新する機能です。当機能はタッチ OFF のときに機能し、タッチ OFF のときのカウント値を指定期間で平均化し、その平均値で基準値を更新します。

CapTouch パラメータとしてドリフト補正間隔があり、基準値を更新する期間を指定できます。同パラメータは大きくすると基準値の更新が遅くなり、小さくすると基準値の更新が早まります。小さくし過ぎるとボタンに触れたときのカウント値に即座に追従し、結果的にタッチ ON しづらくなるため注意してください。

## (4) 長押しキャンセル

ボタン/キーパッドのタッチ ON の期間が一定期間を超えたときにタッチ OFF にする機能です。強いノイズなどの急激な環境変化により、ドリフト補正処理による基準値更新が間に合わずタッチ ON 状態から復帰できなくなることがあります。この状態から復帰するために、一定期間タッチ ON 状態が継続した時に強制的にタッチ OFF にし、ドリフト補正を動作させます。

CapTouch パラメータとして長押しキャンセルのサイクルがあり、長押しキャンセルを発動する期間を指定できます。

手動チューニングはプログラムのソースコードを直接編集することも可能ですが、ここでは、QE for Capacitive Touch を使用した手動チューニングを説明します。

手動チューニングには、QE for Capacitive Touch の「CapTouch パラメータ一覧」(図 7-3 の赤枠内)を使用します。例えばボタンをもっと反応しやすくしたい場合は、「タッチしきい値」の値を小さくします。ここでは、タッチしきい値を 3000 から 1000 に下げています。図 7-3 の赤い線がカウント値、青い線が基準値、緑の線がタッチしきい値を表します。タッチしきい値が 3000 ではタッチ ON しないカウント値が、タッチしきい値 1000 ではタッチ ON することが確認できます。

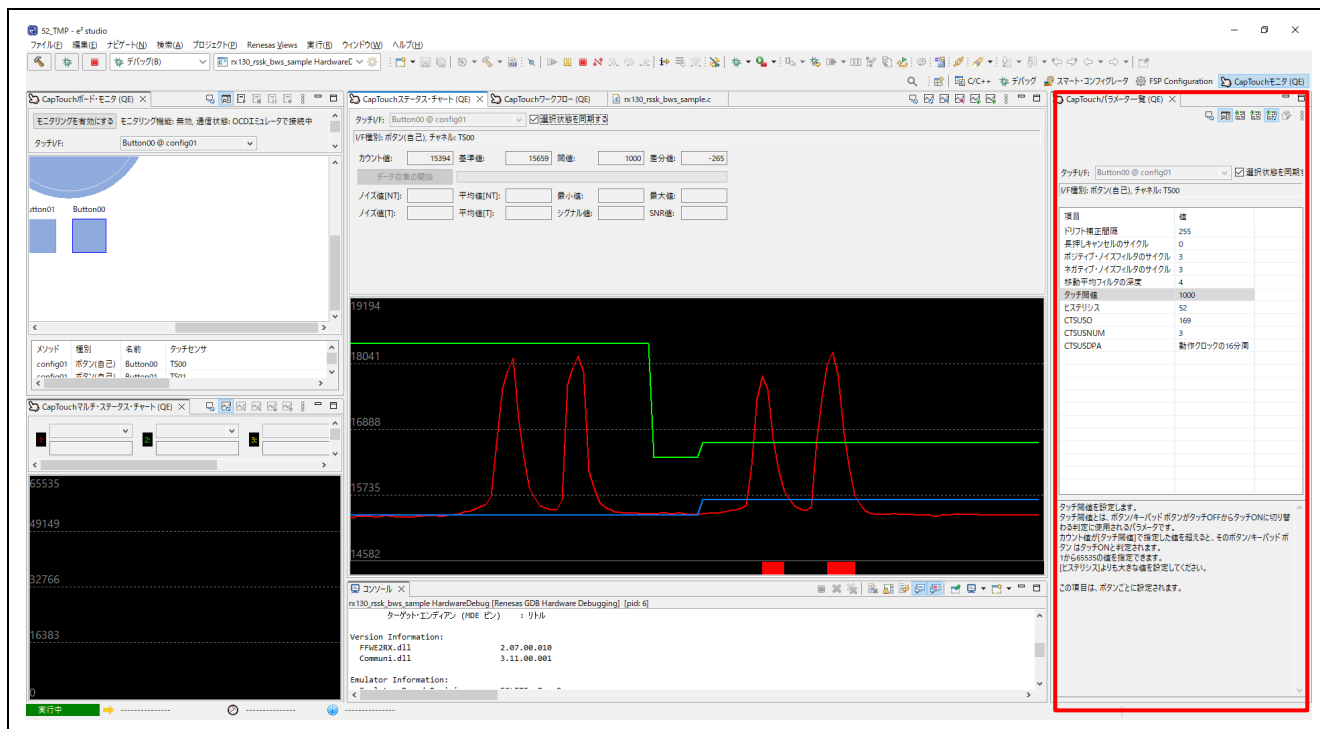


図 7-3 QE for Capacitive Touch を使用した手動チューニング

パラメータについては下記 APN もご参照ください。

[RL78 ファミリ CTSU モジュール Software Integration System \(R11AN0484\)](#)

[RL78 ファミリ TOUCH モジュール Software Integration System \(R11AN0485\)](#)

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

[RX ファミリ QE Touch モジュール Firmware Integration Technology \(R01AN4470\)](#)

### 7.3 アドバンスドモード(高度な設定)

アドバンスドモード(高度な設定)はドライブパルスの周波数や計測時間などの各パラメータを個別に調整することが可能です。詳細は以下のアプリケーションノートを参照して下さい。

[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 \(R30AN0428\)](#)



## 8. 開発環境

開発環境は、当社ホームページにて公開している「統合開発環境 e2studio」と「QE for Capacitive Touch」を使用する場合、CS+及び IAR 製統合開発環境をご利用になるお客様向けの、スタンドアロン版 QE for Capacitive Touch があります。

QE for Capacitive Touch のダウンロード及び詳細については下記 URL より静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch 紹介ページをご参照ください。組み込みシステムの開発やチューニングのガイド、チュートリアルビデオなどを複数用意しています。スタンドアロン版も同一パッケージに含まれます。

[静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch](#)

[静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch ユーザ向け情報](#)

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

静電容量式タッチセンサ対応開発支援ツール QE for Capacitive Touch は、統合開発環境 e2studio 上で動作するソリューション・ツールキットです。静電容量タッチセンサを使用した組み込みシステム開発に必要なタッチインタフェースの初期設定や感度チューニングに対応しており、開発期間を短縮できます。

ワークフローに従った簡単な GUI 操作でシステム開発が可能です。図 8-1 に QE for Capacitive Touch の動作画面を示します。

The screenshot displays the QE for Capacitive Touch software interface, which is divided into several stages of the development process:

- 調整準備 (Adjustment Preparation):** The main window shows a 'プロジェクトの選択' (Project Selection) dialog where 'Proj\_RAZL1' is selected. A sidebar on the left lists steps: 1. 静電容量タッチの準備 (Preparation of capacitive touch), 2. タッチセンサの調整 (Touch sensor adjustment), 3. プログラムの実装 (Program implementation), and 4. 動作確認 (Operation confirmation).
- 寄生容量計測 (Parasitic Capacitance Measurement):** A dialog box titled '自動調整処理中' (Automatic adjustment processing) indicates that the system is measuring parasitic capacitance on the target board.
- オフセット調整 (Offset Adjustment):** A dialog box shows the adjustment of the touch sensor's offset. It displays a table with columns for 'ボタン' (Button) and 'TS00' (TS00), with a value of 61027 shown for Button00.
- 感度計測 (感度計測) (Sensitivity Measurement):** A dialog box shows the measurement of sensitivity. It includes a progress bar and a note that the system is measuring sensitivity when the touch sensor is not touched.
- 感度計測 (感度計測) (Sensitivity Measurement):** A second dialog box shows the measurement of sensitivity when the touch sensor is touched. It displays a progress bar and a note that the system is measuring the maximum change in sensitivity for Button00 (TS00) on the target board.
- チューニング結果 (Tuning Results):** The final dialog box shows the results of the sensitivity adjustment. It includes a table with columns for 'リトライ対象の選択' (Selection of retry target), 'メソッド' (Method), '識別' (Identification), '名前' (Name), 'タッチセンサ' (Touch sensor), '間隔' (Interval), 'オーバーフロー' (Overflow), '警告/エラー' (Warning/Error), and 'リトライ' (Retry). The table shows a row for 'config01' with 'Button00' and 'TS00'.

The main interface also features a 'モニタリング' (Monitoring) section with a graph showing the input strength of the touch sensor over time. Annotations indicate that the graph shows the input strength of the selected touch sensor and the status of the touch input recognized by the MCU.

図 8-1 QE for Capacitive Touch の動作画面

## 8.2 e<sup>2</sup>studio 以外の開発環境を使用する場合

CS+及びIAR 製統合開発環境をご利用のお客様には、スタンドアロン版 QE for Capacitive Touch（以降、スタンドアロン版 QE）を用意しております。スタンドアロン版 QE は、シリアルポート経由で計測結果を取得して、チューニングやモニター機能を実現します。図 8-2 にスタンドアロン版 QE の動作画面を示します。

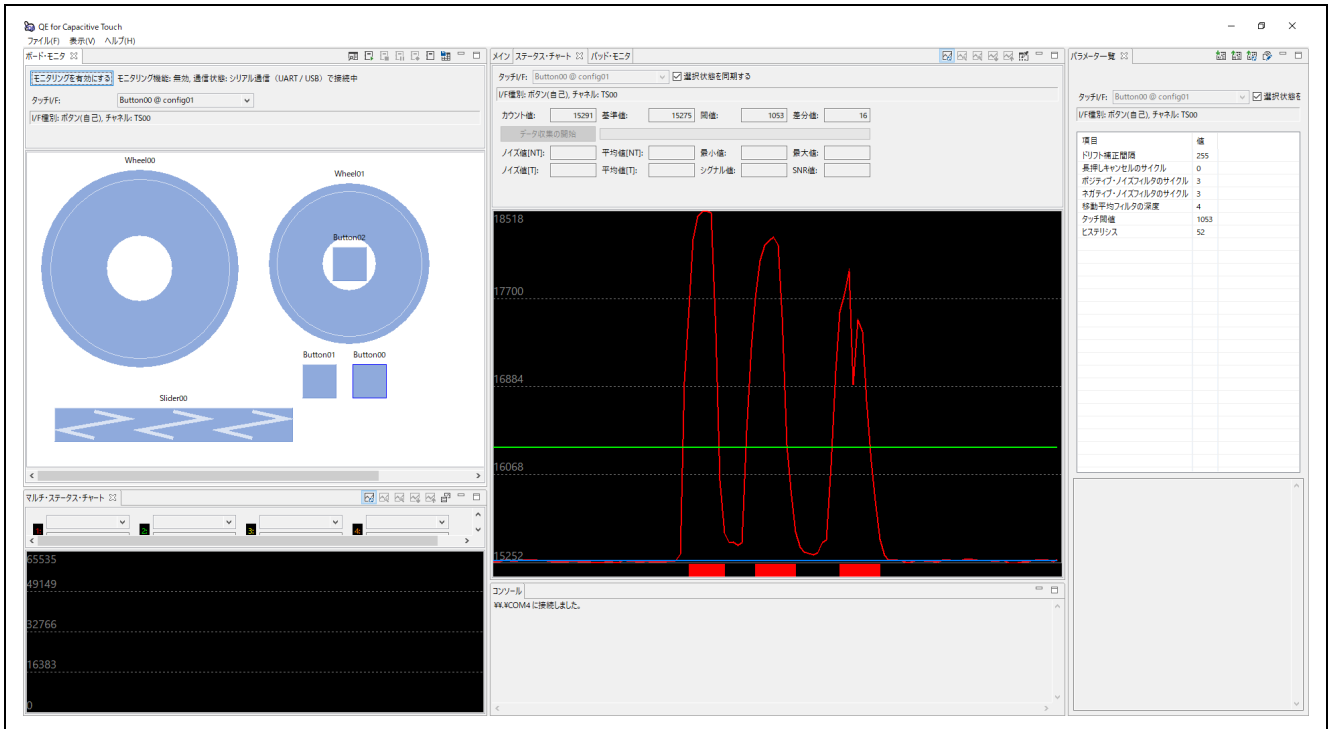


図 8-2 スタンドアロン版 QE

## 9. 評価キット

### 9.1 静電容量タッチ評価システム

静電容量タッチ評価システムは、ルネサスが提供するタッチキー・ソリューションを容易に評価することができるキットです。キットに含まれるボードやソフトウェアを用いて、キット購入後すぐに評価を始めることができます。

詳細は以下を参照して下さい。

<https://www.renesas.com/solutions/touch-key>

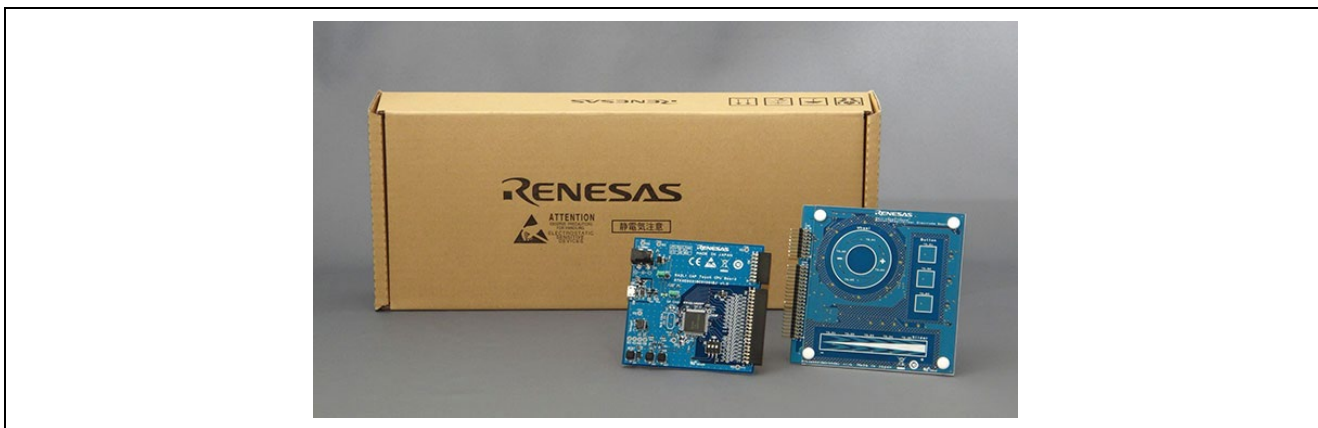


図 9-1 静電容量タッチ評価システム

10. その他

10.1 用語

用語	説明
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。アプリケーションノートによっては 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。

10.2 Q&A

質問	回答
1つの静電容量タッチ MCU で自己容量方式と相互容量方式は切替可能でしょうか？	可能です。
電極に指を接触させた状態で MCU をリセットして起動した場合、接触状態を検出できますか？	リセット起動後にソフトウェアによってオフセットチューニングが実行されます。 この時に指が電極に接触している状態では指の容量も寄生容量として調整するため検出できません。
自己容量電極に指を接触させたままオフセットチューニング処理を実行し、指を離すとカウント値が下がるのはなぜですか？	寄生容量に指の静電容量が付加された状態でオフセットチューニング処理が実行されます。この後に指を離すと指の静電容量が減少するためカウント値が低下します。
自己容量電極に指を接触させたままオフセットチューニング処理を実行し、指を離すとボタンが反応しなくなるのはなぜですか？	寄生容量に指の静電容量が付加された状態でオフセットチューニング処理が実行されます。この場合、指を離すと静電容量が減少し、カウント値が低下しますが、基準値は変わりません。ドリフト処理で基準値が追従するまでボタンの反応が悪くなります。

### 10.3 技術問い合わせ

テクニカルサポートにお問い合わせを送信するか、ナレッジベースのよくある質問（FAQ）またはコミュニティフォーラムを検索してください。

<https://www.renesas.com/contact-us>

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2023.03.31	—	初版発行
1.10	2023.04.04	20	図 4-1 を改定
1.20	2023.12.20	3	1 章の内容を更新
		7	TSCAP の説明を追記
		8	イニシャルオフセットチューニングをオフセットチューニングに変更
		10	2.3.1 章の内容を更新
		11	2.3.2 章の内容を更新
		13	表 3-1 を更新
		15	3.2.1 章の内容を更新
		16	3.3.2 章の内容を更新
		18	図 3-5 を更新
		20	図 4-1 を更新
		24-27	RL78/G16 追加
		29	表 4-11 を更新
		30	表 4-12 を更新
		33	イニシャルオフセットチューニングをオフセットチューニングに変更
		34	リンクを更新 ソフトウェアフィルタを追加
		35	チューニングの内容を更新
		40	高度な設定によるチューニングを更新
		41	リンクを更新
		44	FAQ を追加
1.30	2024.10.22	5	2.1 章の文章更新と図を追加
		6	2.2 章の文章更新
		7	2.2.1 章の文章更新
		8	2.2.2 章の図を更新
		9	2.3 章の文章更新
		11	2.3.2 章の図を更新
		12	2.4 章の文章更新
		13	3. 章に文章追加
		13	3.1 章の内容を更新
		14	3.2.1 章の文章更新
		15	3.3.1 章の文章更新
		16	3.3.1 (1) 計測値多数決モード (VMM) を追加
		16	3.3.1 (2) 判定多数決モード (JMM) を追加
		17	3.3.2 章の文章更新
		18	3.3.5 章を追加挿入
		19	3.3.6 章を更新
		19	3.3.8 章の文章更新
		20	4.1 章の図 4-1 を更新
		27 - 29	4.4 章の表 4-10～表 4-12 を更新
		31	6. 章に文章追加
		31	6.1 章の文章更新

		32	6.1.1章の文章更新
		32	6.1.3章追加
		33	6.2章の文章更新
		33	6.3章に参照資料追加
		33	6.4章の文章更新
		34	7.章の文章更新
		36	7.2章の表 7-1 更新
		39	7.3章のタイトルと文章を更新
		40	8.章の文章更新

## 製品ご使用上の注意事項

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

### 1. 静電気対策

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

### 2. 電源投入時の処置

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

### 3. 電源オフ時における入力信号

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

### 4. 未使用端子の処理

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

### 5. クロックについて

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

### 6. 入力端子の印加波形

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

### 7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

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

### 8. 製品間の相違について

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



## ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含まれます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

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

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものいたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

## 本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

[www.renesas.com](http://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/](http://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。

