

RX113 Group

R30AN0218JJ0100

Rev 1.00

CTSU 静電容量タッチ検出の基礎

2014.12.25

要旨

RX113 グループは、タッチ電極と人体の間に発生する静電容量を測定することで人体の接触を感知するハードウェア(Capacitive Touch Sensor Unit ;CTSU)を内蔵しています。

本アプリケーションノートでは静電容量タッチ検出の原理を紹介すると共に RX113 に採用されている電流-周波数変換方式の詳細を説明します。

動作確認デバイス

RX113 Group

目次

1. はじめに	2
2. 静電容量タッチスイッチ基礎	2
3. ルネサス静電容量タッチ検出システム	8
4. CTSU による静電容量タッチキー構成方法	16
5. ノイズ耐性	30
6. 付録	35

1. はじめに

人体とタッチ電極間に発生する静電容量を利用したタッチスイッチはスマートフォンを始め家電製品、AV 機器、自動車、産業機器まで広く使われている。タッチスイッチは機構部品が無いため堅牢で曲面へのスイッチの配置などデザイン性に優れ、また従来のスイッチでは実現困難な一次元、二次元方向の指の動きを検出する事が可能である。

本アプリケーションノートでは、静電容量を利用したスイッチの基礎からルネサスオリジナル静電容量タッチスイッチ検出システムの詳細、同システムを使用した静電タッチスイッチの例を紹介する。

2. 静電容量タッチスイッチ基礎

静電容量タッチスイッチは電気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（1pF 以下）変化を捉え何からかの方法でスイッチの ON/OFF に変換している。静電容量をスイッチの ON/OFF に変換する方法は幾つかある。最も簡単な方式としては静電容量と抵抗でローパスフィルタ (LPF) を形成し、静電容量の変化 = LPF の時定数の変化として計測する方法で弛張発振方式と呼ばれる。この方式は回路が単純で専用の静電容量計測回路が不要であるため広く使用されているが、一般的にノイズに弱く照明機器や家電製品から発生するインバータノイズにて誤動作する事がある。

ルネサスが開発した静電容量タッチ検出方式は、高感度、耐ノイズ性を両立するためスイッチトキャパシタフィルタを採用し静電容量を電流に変換、増幅し数値化してスイッチの ON/OFF 状態を判定する。

(図 2-1)

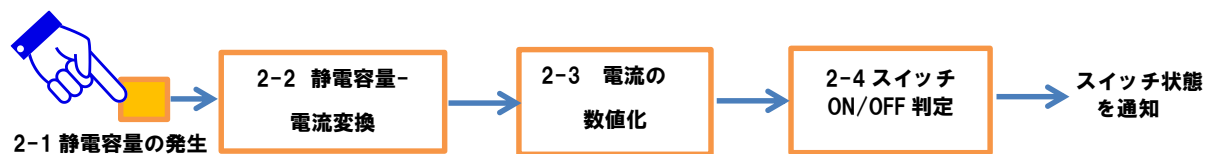


図 2-1 静電容量タッチスイッチ検出の流れ（数字-数字は章番号）

本章では図 2-1 の流れに従い、静電容量タッチスイッチ検出の基礎を説明する。

2.1 静電容量の発生

図 2-2 に静電容量発生仕組みを示す。空間に電極(Electrode)があるとその周囲の導電物質(グランドパターンや金属フレームなど)との間に寄生容量(Parasitic Capacity:Cp)が発生する。この時、人体が接近すると人体と電極間に指による静電容量(Finger Capacity:Cf)が新たに発生し、導体である人体を通し地面に接地される。(図中赤線部)

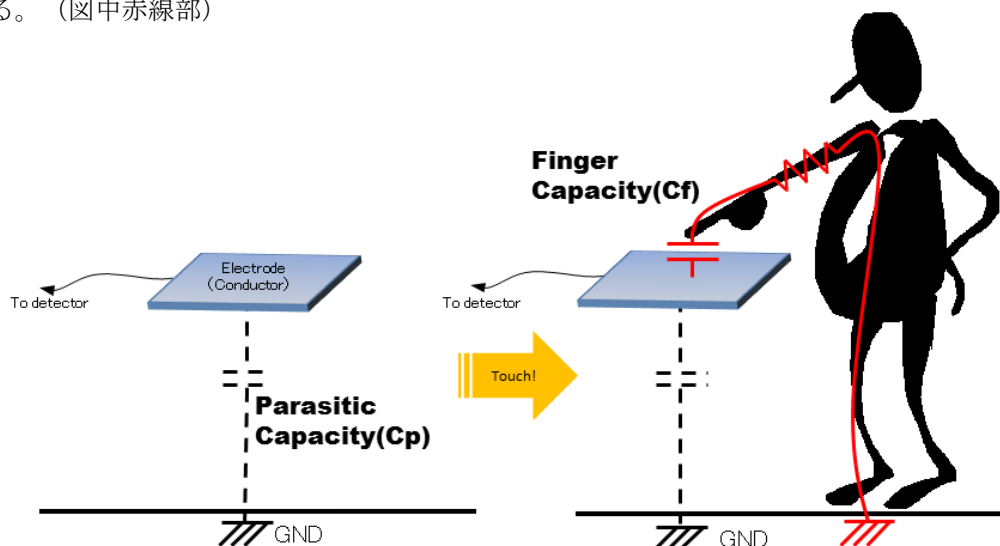


図 2-2 静電容量の発生 (自己容量方式)

電極に発生している総静電容量(Total Capacity)は以下式のように表される。

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

静電容量によるタッチスイッチは、電極に発生している静電容量を定期的に観測し人体による静電容量の増加分 C_f を検知してスイッチの ON、OFF を判定している。

なお、これはタッチスイッチとして一般的な自己容量方式である。単一電極で構成され電極の形状も単純で回路構成が比較的簡単に実現出来る。しかし C_p に対して C_f が小さい程、容量検出回路のダイナミックレンジ確保が必要となり構成が難しくなるため、寄生容量を極力減らす構造検討が必要である。

単一電極で構成する自己容量方式に対して、対の電極で構成する相互容量方式がある。図 2-3 に相互容量方式の例を示す。相互容量方式は、受信電極、送信電極およびパルス発生器で構成される。送信電極に AC パルスを入力すると受信電極との間に電界(Field Coupling)が発生する。この状態で人体が接近すると電界の一部が人体側に移動し電極間の電界が減少する。電界の減少を受信電極で計測すると人体の接近を感知出来る。

相互容量方式は自己容量方式に比較して回路が複雑になるが、自己容量方式で問題となる寄生容量の影響を軽減出来、液体による誤動作が起こりにくい。主にタッチスクリーンやキーマトリクスに使用される。

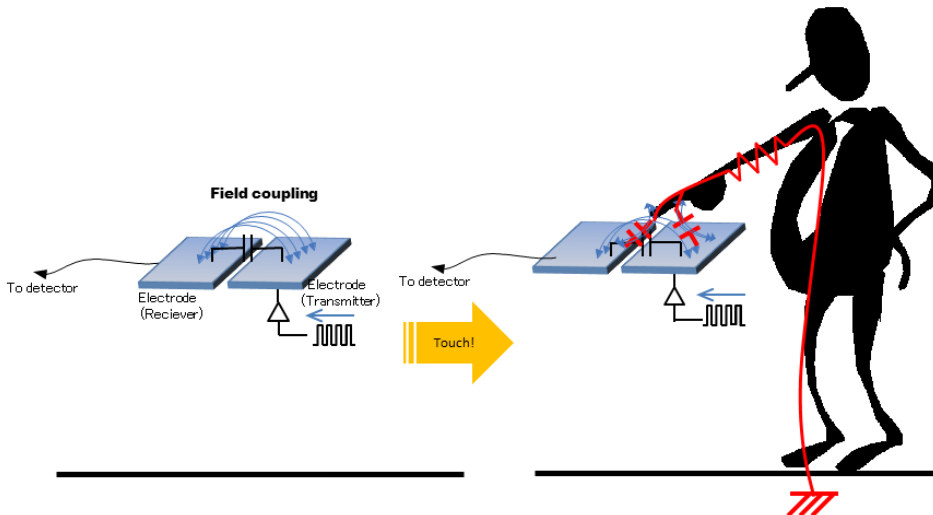


図 2-3 相互容量方式

2.2 静電容量－電流変換

2.1 にて説明した人体と電極間に発生する静電容量から電流量に変換する方法としてスイッチトキャパシタフィルタ(Switched Capacitor Filter:SCF)が使われる。SCF は、2つのスイッチおよびスイッチを交互に ON/OFF する制御信号、電源およびコンデンサで構成される。(図 2-4)

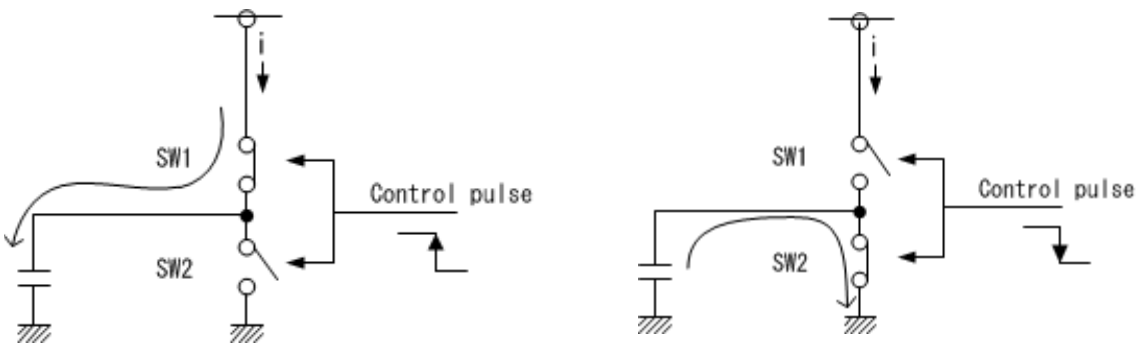


図 2-4 SCF 構成およびコンデンサの充放電動作

SW1 と SW2 は制御信号から出力されるパルスにより一方が ON の時は他方は OFF となるように制御される。SW1 が ON、SW2 が OFF の時、図 2-4 (左図) のようにコンデンサは充電される。その後、SW1 が OFF、SW2 が ON に切り替わると図 2-4 (右図) のようにコンデンサは放電される。

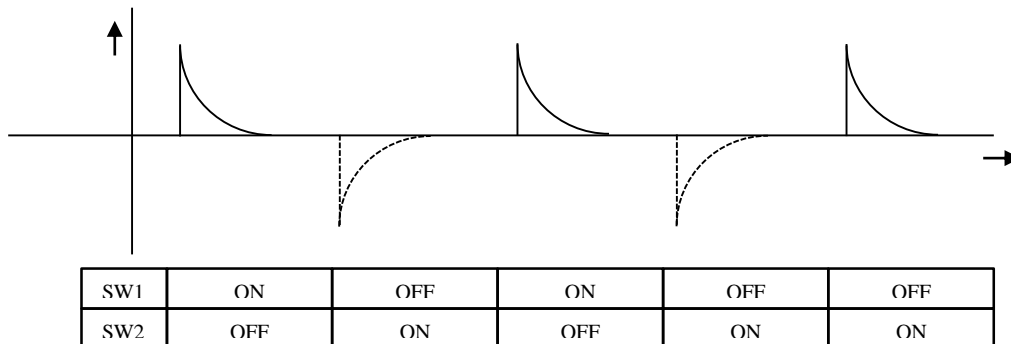


図 2-5 SW1、SW2 の状態と電流 i の関係

これら SW の ON/OFF を周期的に繰り返した時の SW の状態と回路に流れる電流 i の関係を図 2-5 に示す。SW1 が ON した瞬間はコンデンサの電荷は 0 であり、電流が急激にコンデンサに流れ込む。コンデンサの充電が進むにつれ電流量は減少していき、満充電で電流量は 0 になる。その後 SW2 が ON するとコンデンサの電荷はグラウンドに流れ出す。SW1 が OFF のため、この電流（図 2-5 SW1、SW2 の状態と電流 i の関係図 2-5 破線部）は電源側には現れない。この動作を周期的に繰り返すと SW の ON/OFF に合わせ断続的に一定量の電流が流れる。

SW の ON/OFF 周期を保ったままコンデンサの容量を 2 倍にすると電流量も 2 倍になる。（図 2-6）また、コンデンサの容量を同じとして SW の ON/OFF 周期を 2 倍としても電流量は 2 倍となる。（図 2-7）

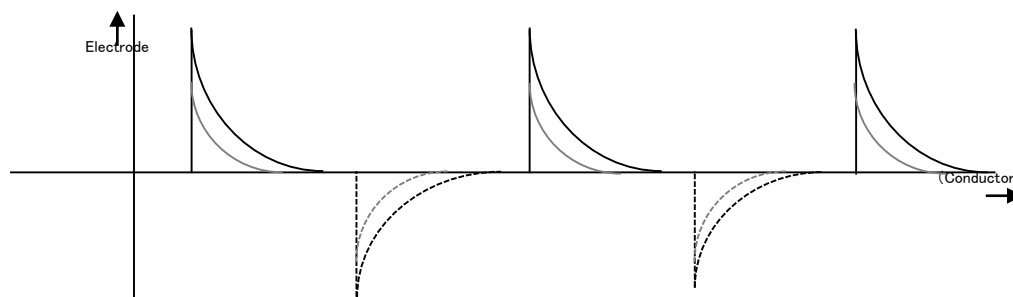


図 2-6 外部コンデンサ容量 2 倍

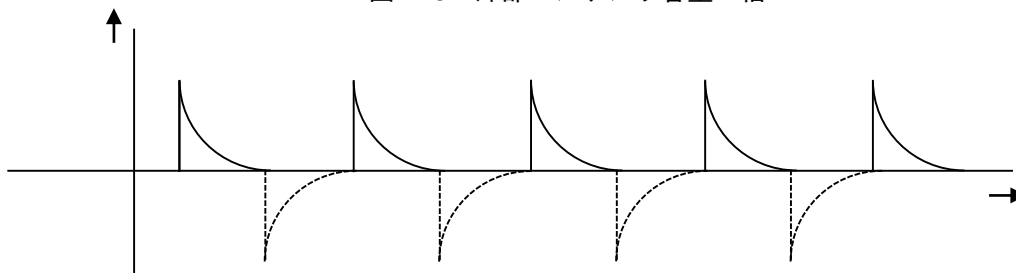


図 2-7 SW 切り替え周波数約 2 倍

これらの関係から回路電流 i 、スイッチ周波数 f 、コンデンサ容量 c 、回路電圧を v とすると以下式が成り立つ。

$$i = fcv$$

この時、 f と v が一定であれば、 i は c に比例する。この通り人体の接近による静電容量の変化を電流の変化に変換する仕組みは SCF で実現可能である。静電容量と電流量の変換比率は、 f と v を調整する事で変更可能である。

2.3 電流の数値化

電流量に変換されたコンデンサの容量は、電流量に応じて発振周波数が変化する回路とその回路から出力されるパルスをカウントするカウンタを用いて数値化する。

数値化の流れを図 2-8 に示す。SCF のコンデンサは充放電を繰り返しているため電流は AC 変動している。SCF は電源回路に接続され平滑回路を通して DC 電流となる。この電流は電流量に比例して発振周波数が変動する電流発振器へ送られ、発振周波数に変換される。このパルスはカウンタに送られ、カウンタは一定時間のパルス数を計測して保持する。図のグラフは、SCF の周波数が一定でコンデンサの容量が 2 倍になった時、電流量が 2 倍となり、電流発振器の周波数も 2 倍になり最終的にはカウンタで計測されるカウント値も 2 倍（6→12）になる例を示している。

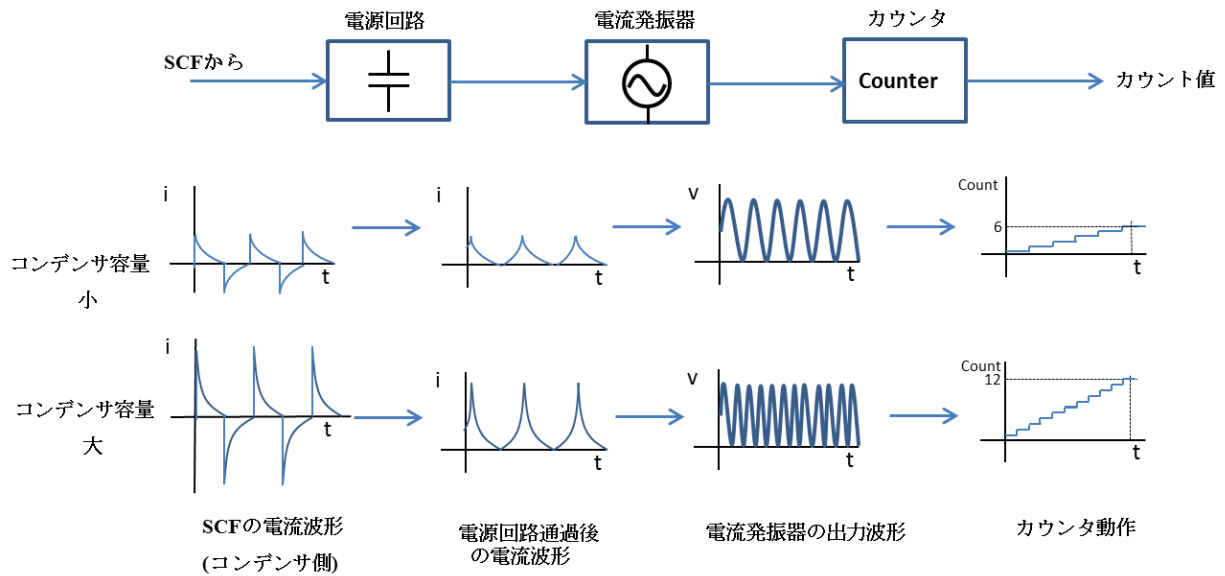


図 2-8 電流数値化の流れ

2.4 スイッチ ON/OFF 判定

2.1 章で説明した通り、自己容量方式の場合は人体が電極に触れているかどうかは静電容量の増加で判断する事が出来る。上記 2.1~2.3 章の静電容量計測処理を定期的に行い、その計測値の変化を観測する事で人体の接触を検知出来る。

図 2-9 に指が電極に近づき再び離れた時のスイッチ ON/OFF 判定の流れを示す。静電容量の計測は図の計測タイミング通り一定間隔で行われる。計測で得られるカウント値は、グラフの青線のように指が電極から離れている時は一定のカウント値を保ち、指が近づくと静電容量の増加と共に増加する。再び指が離れると減少し一定の値となる。この時、指が離れている時のカウント値を基準値(緑破線)、その基準値から一定の値を加算した値をしきい値と設定しておき、計測されたカウント値がしきい値を超えた時をスイッチ ON、しきい値以下の時をスイッチ OFF とする事で、静電タッチスイッチとして ON/OFF の切替が可能となる。

なお、しきい値の変更により静電タッチスイッチの感度調整が出来る。また、計測タイミングの周期変更やカウント値の複数回平均化でスイッチのチャタリング抑制や反応速度などが調整可能である。詳細は後述する。

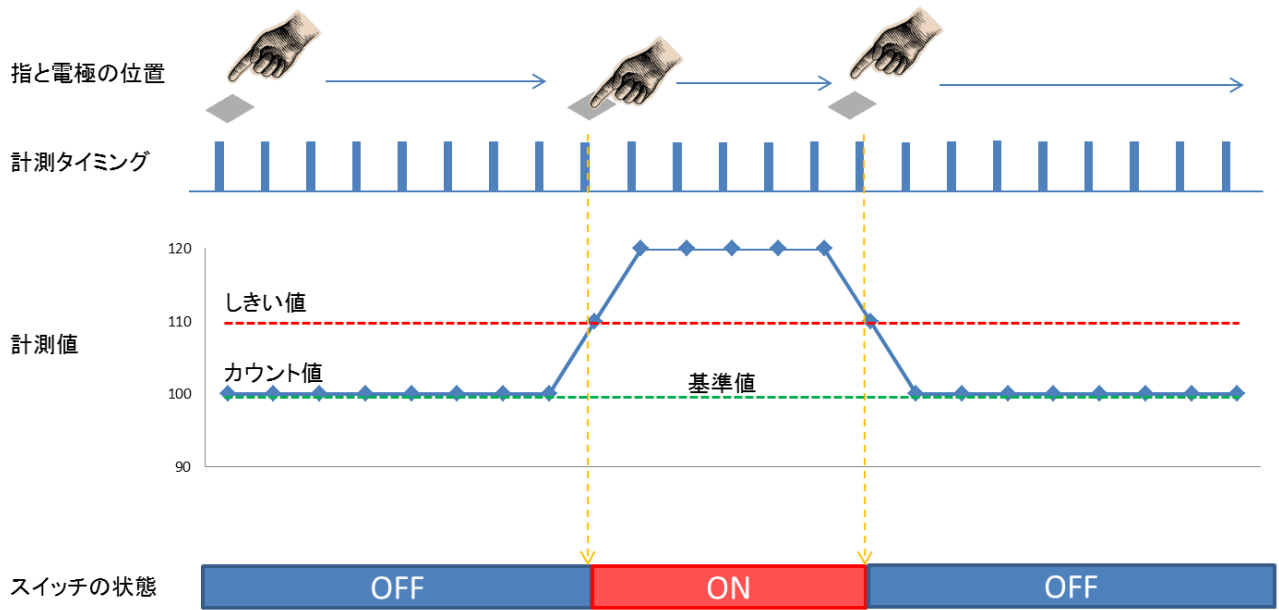


図 2-9 スイッチ ON/OFF 判定

3. ルネサス静電容量タッチ検出システム

ルネサスオリジナル静電容量タッチ検出システムは、低インピーダンス且つ高感度な容量検出用アナログ回路と、優れた温度特性とリニアリティを実現したアナログ-デジタル変換回路を搭載した CTSU にて高感度と高ノイズイミュニティを両立している。また、高速・高効率の 32bitCPU を生かしたタッチ API(Application Program Interface)が、ハードウェアを意識する事なく静電容量タッチシステム開発を容易にしている。本章では、これらハードウェア、ソフトウェアについて説明する。

3.1 全体概要

図 3-1 にルネサス静電容量タッチ検出システムの概要を示す。同システムはハードウェア部とソフトウェア部に分かれ、ハードウェア部は、タッチ電極へ直接接続しパルスドライブにて容量を電流に変換する I/O Driver 部、電流を周波数に変換する Analog Front End 部およびそれらブロックを制御してソフトウェアに容量計測値を渡す Digital Control 部を含んでいる。ソフトウェア部はハードウェアを制御する Physical Driver、容量計測値を元に各 ch のタッチ ON/OFF 判断、スライダ、ホイール、マトリクス電極による指の位置判断を行う Middleware, API および User Application を含んでいる。

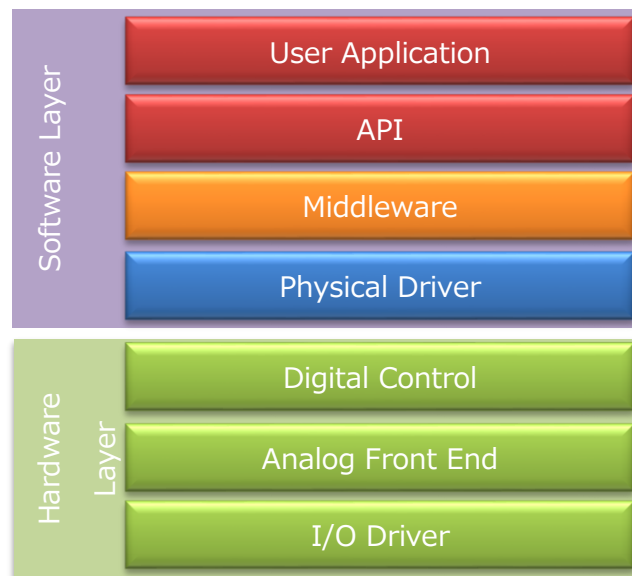


図 3-1 ルネサス静電容量タッチシステム階層

3.2 ハードウェア

3.2.1 概要

図 3-2 にハードウェア全体図を示す。ハードウェアは I/O Driver 部、Analog Front End 部、Digital Control 部および CPU 部に大別される。動作概要は以下の通り。

- 1) I/O Driver に接続された電極に指が接近すると I/O Driver から出力される電流量が変化する。複数電極の計測を行うため、各 I/O Driver はスイッチマトリクスにて切り替えられ、順次計測が実施される。
- 2) I/O Driver 電流は外付け LPF で平滑され電流発振回路(ICO)に送られ電流一周波数変換が行われる。
- 3) Digital Control 部は ICO から出力される一定時間の周波数をカウントする。電極部で発生した静電容量は最終的にカウント値に変換されレジスタへ保存される。
- 4) データ転送回路を介してカウント値は自動的に RAM へ転送される。データ転送と同時に CPU へ計測完了の割り込みが発生、ソフトウェアがその値を参照し、カウント値の変化を監視する事で指の接近を感知する。

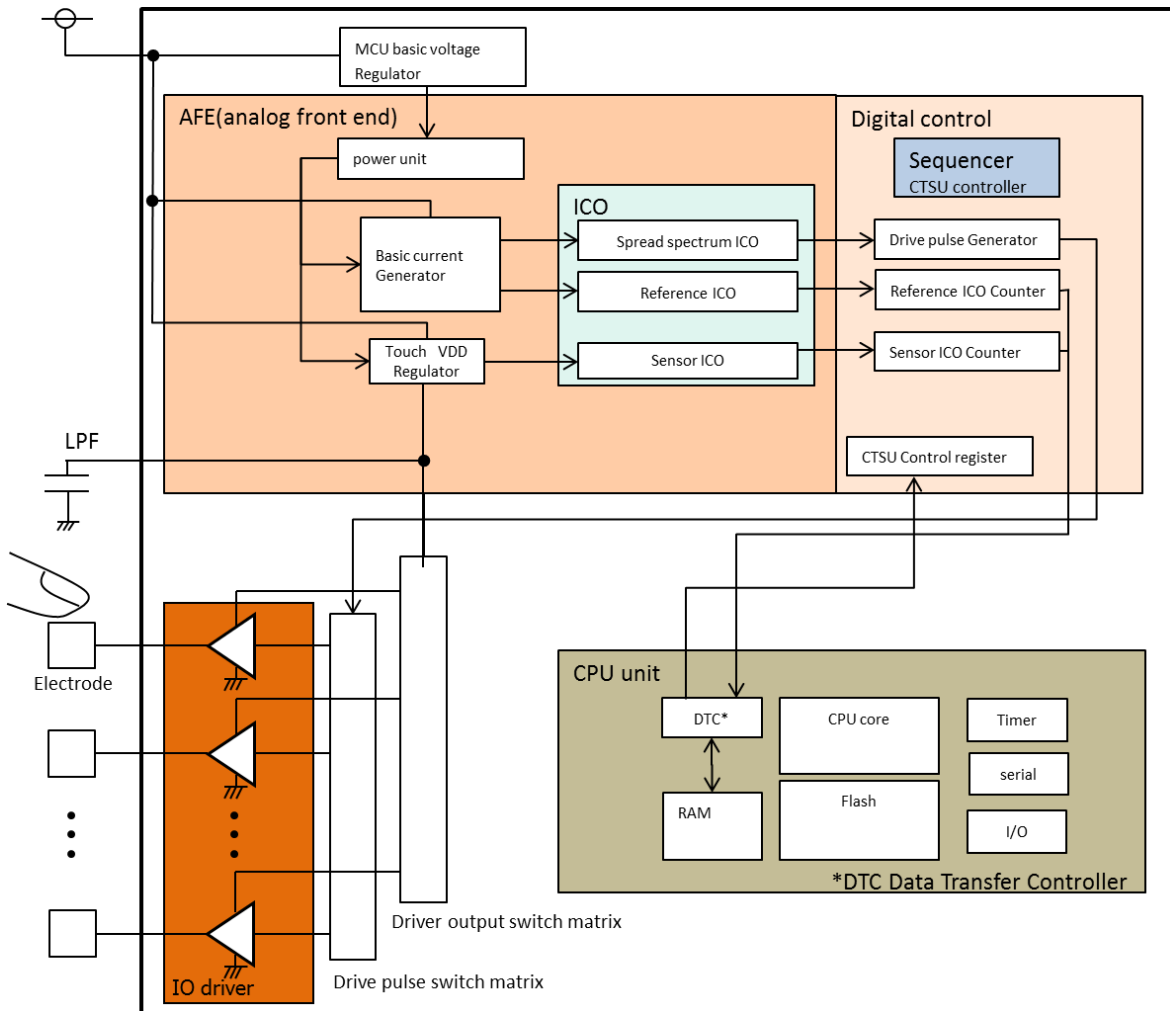


図 3-2 ハードウェア全体図

3.2.2 I/O Driver & Drive pulse generator

I/O Driver の構成を **図 3-3** に示す。I/O Driver はスイッチドキャパシタフィルタで構成される。I/O Driver は Digital 部から供給されるドライブパルスにて二対のスイッチが反転制御される。前述の式($i=fcv$)に従い、Touch VDD regulator から供給される定電圧 v 、電極に発生している静電容量 c とドライブパルスの周波数 f に応じて電流量 i が変化する。この電流は LPF を介して平滑され、Analog Front End 部の ICO へ送られる。

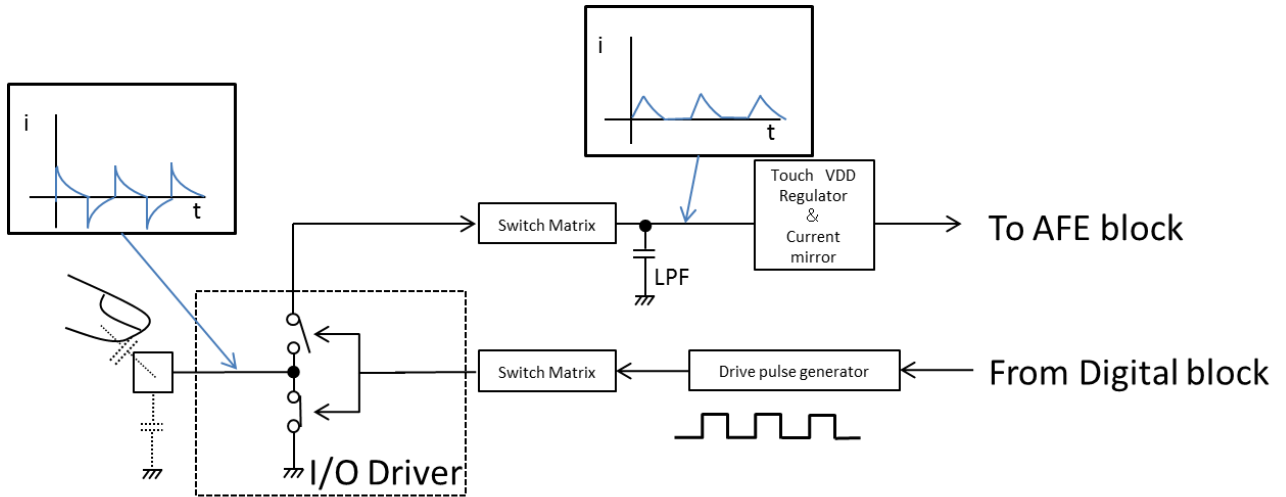


図 3-3 I/O Driver の構成図

3.2.3 Analog Front End

図 3-4 に AFE の構成を示す。AFE 部は主に電源生成部と ICO 部にて構成される。I/O Driver 部で電流に変換された静電容量は AFE 部で周波数に変換され、Digital control 部へ送られる。

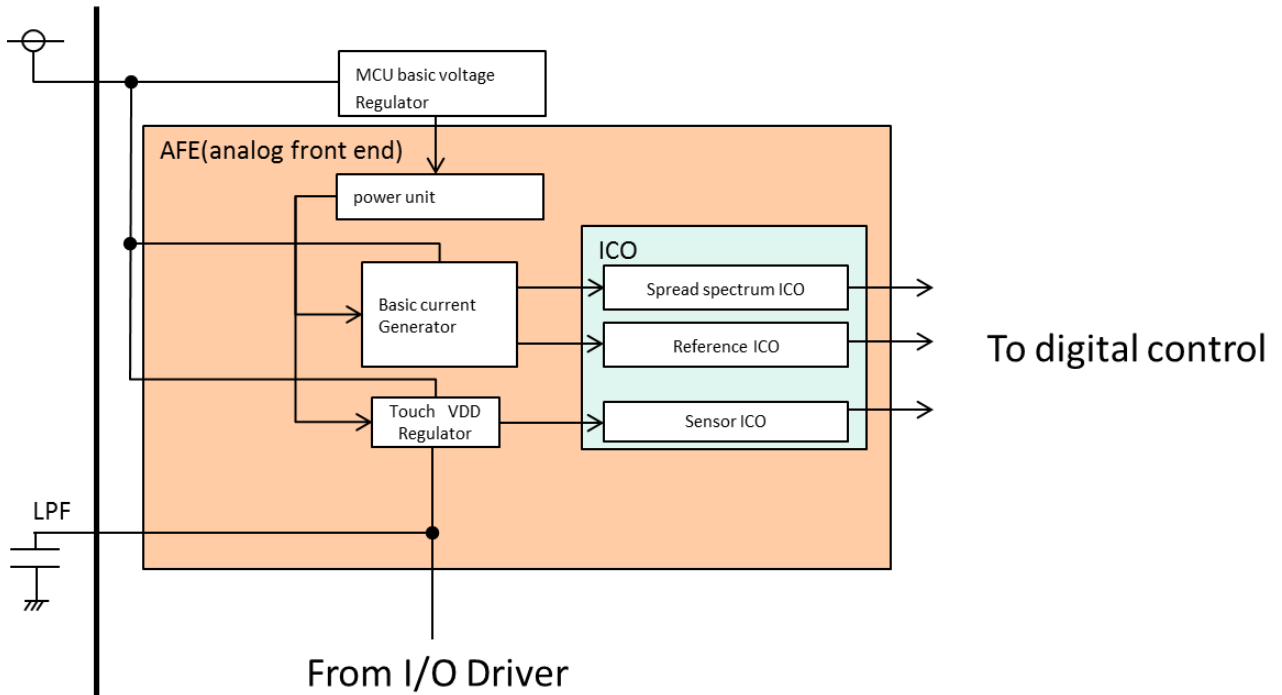


図 3-4 Analog Front End

(1) Touch VDD regulator & ICO for measurement

図 3-5 に Touch VDD Regulator の構成を示す。Touch VDD Regulator は I/O Driver に電圧を供給する Voltage Regulator、検出された電流をオフセットするための Current offset および ICO 部へ電流を渡す Current mirror で構成される。ICO は入力電流に応じて発振周波数が変化する発振器で、電流の増加に比例して周波数が増加する。

Current offset は、静電容量として計測された電流に含まれる寄生容量の影響を軽減するために電流量をオフセットする仕組みである。詳細は後述する。

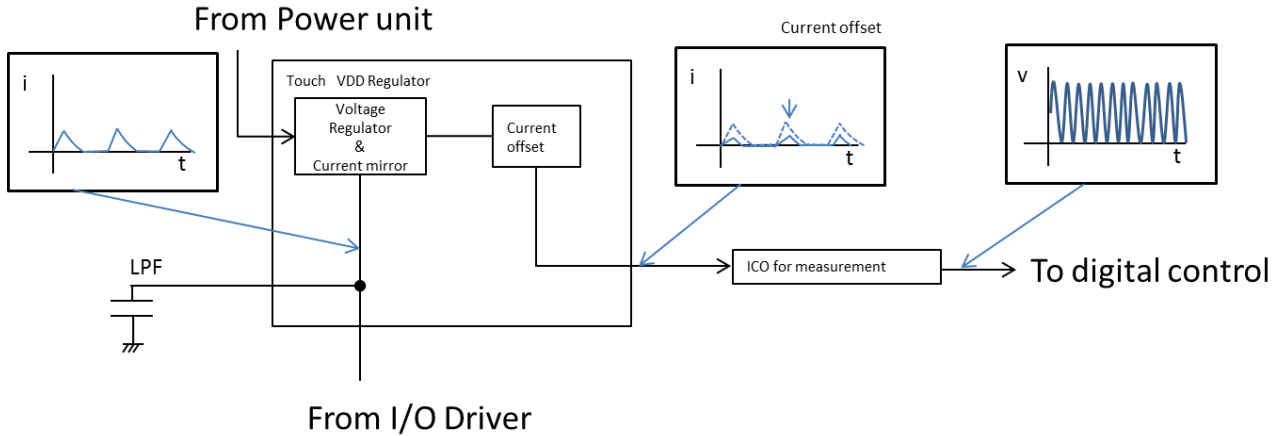


図 3-5 Touch VDD Regulator & ICO for measurement

(2) Basic current generator, ICO for reference & ICO for spread spectrum

図 3-6 に Basic current generator と ICO for reference, ICO for spread spectrum の構成を示す。これら 2つの ICO は役割が異なり、ICO for spread spectrum で生成されたパルスは最終的に I/O Driver に送られ SCF のドライブパルスの周波数拡散に使われる。もう一方の ICO for reference は、前述の ICO for measurement の比較用として使用される。それぞれ詳細な使用方法は後述する。

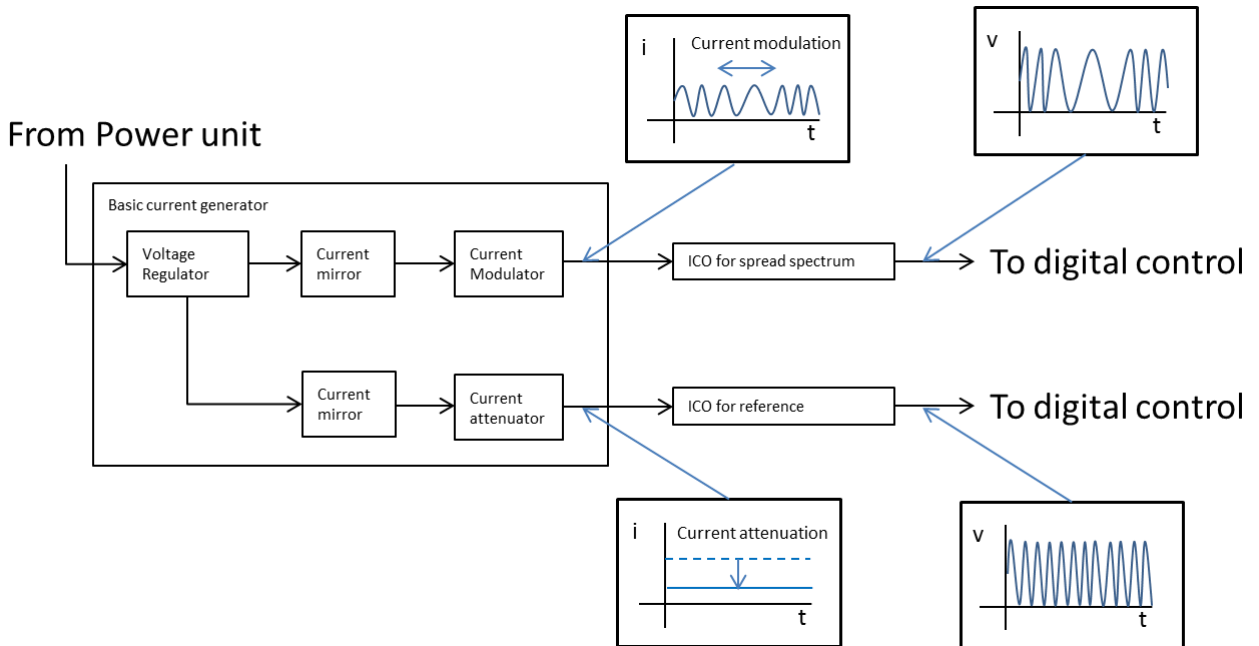


図 3-6 Basic current generator, ICO for reference & for spread spectrum

Basic current generator は、定電圧で電流を供給するための Voltage Regulator と Current mirror を介して制御された電流を ICO に供給する Current Modulator と Current Offset で構成される。Voltage Regulator は、前述の Touch VDD Regulator 内の Voltage Regulator と同一構成となっており、Current mirror を介して後段の回路へ定電圧を供給している。Current modulator は後段の ICO for spread spectrum の周波数を拡散するために Voltage Regulator から出力される電流を変調している。図 3-6 のグラフで示す通り、結果として ICO for spread spectrum が出力する波形は FM 変調されて Digital control 部の Drive pulse generator へ送られる。Current Offset は Voltage Regulator から出力される電流を制限する事で、後段の ICO for reference の出力周波数を制御している。

3.2.4 Digital control & CPU unit

図 3-7 に Digital control と CPU unit を示す。Digital control は ICO の出力パルスをカウントする counter、ICO の FM 変調パルスを元に I/O Driver のドライブパルス生成する Drive pulse generator、CPU とデータをやり取りする Register 群および CTSU 全体のシーケンス動作を制御する Sequencer で構成される。CPU unit は DTC(Data Transfer Controller)もしくは Register 群を介して CTSU とデータのやり取りを行い、ソフトウェアのアルゴリズムに従ってタッチスイッチに関わる処理を実行する。

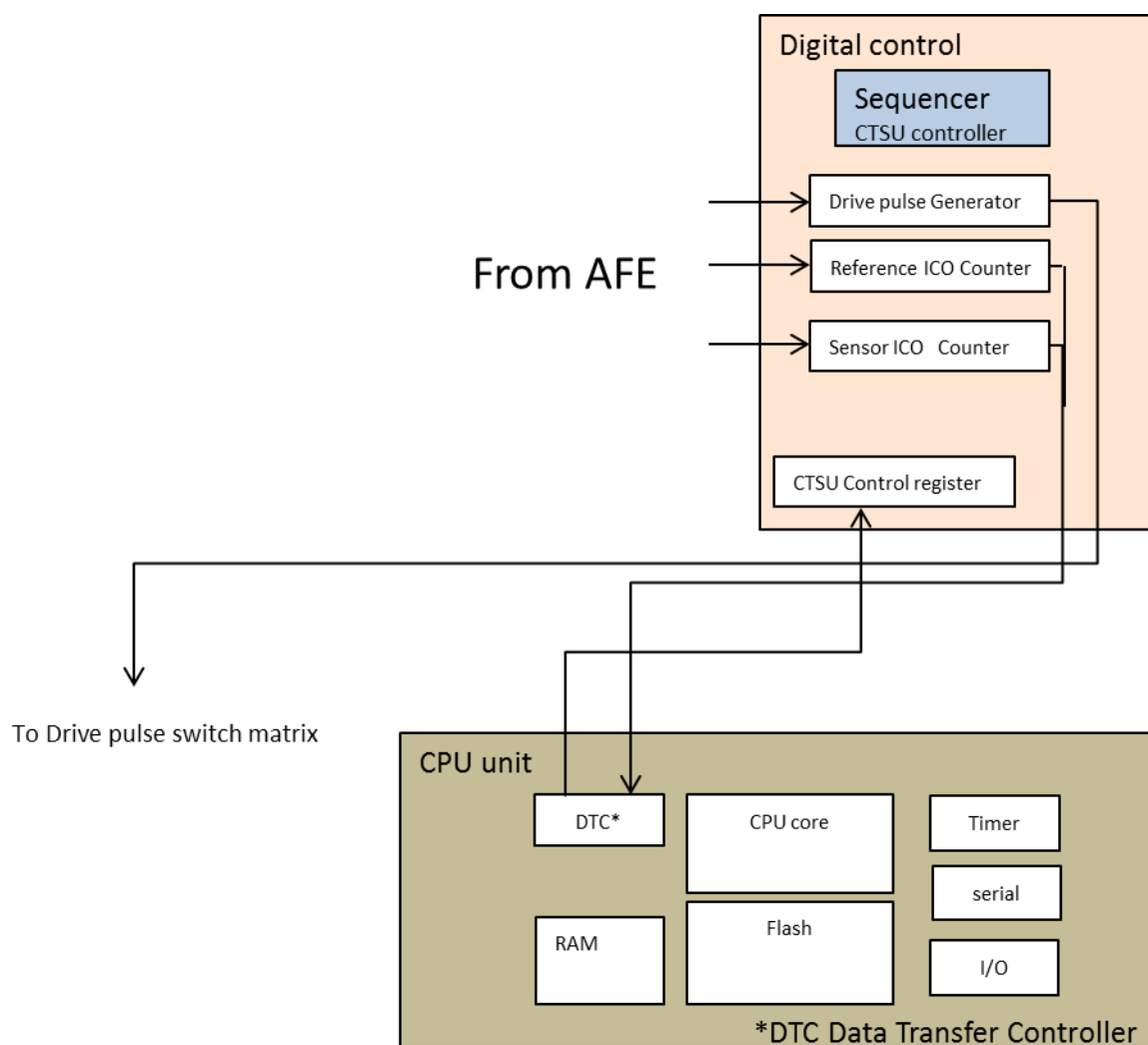


図 3-7 Digital control & CPU unit

(1) Drive pulse generator

図 3-8 に Drive pulse generator の構成を示す。Drive pulse generator は Clock pulse generator、Phase shifter、Polynomial counter、Mixer で構成される。CPU oscillator からの入力は、Clock pulse generator で適当な周波数に分周され Phase shifter に送られる。Phase shifter は Polynomial counter からの指示に従い、位相を反転す

る。Polynomial counter は、疑似乱数と生成多項式に基づき Phase shifter からのパルス出力の位相をランダム化するよう制御を行っている。Phase shifter からの出力は ICO for spread spectrum の FM 変調出力により正規化され、周期がランダム化される。位相、周期共にランダム化されたパルス出力は I/O Driver に送られ、IO Driver のスイッチタイミングをランダム化する。このように Drive pulse generator の目的は、I/O Driver にある SCF のスイッチタイミングの周期と位相を拡散し、外来ノイズとスイッチタイミングの同期化を抑制してタッチ検出への影響を防ぐ事にある。詳細は後述する。

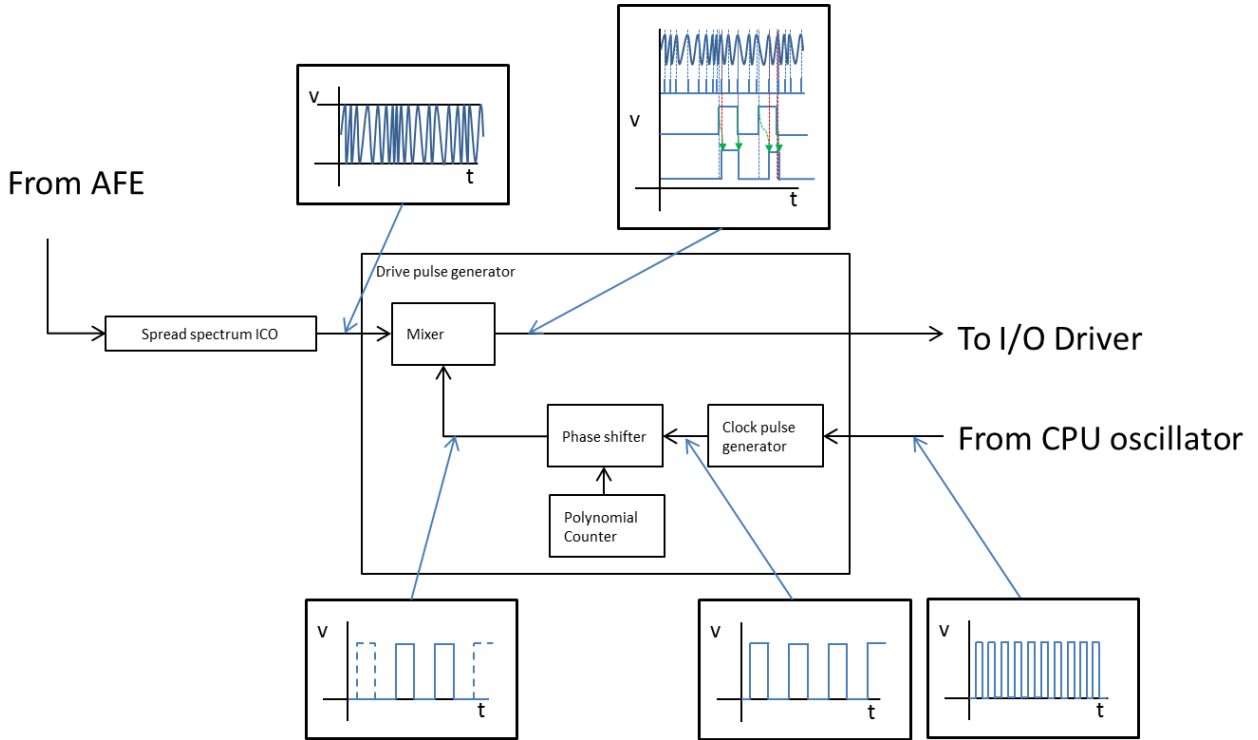


図 3-8 Drive pulse generator

(2) Reference counter & Sensor counter

図 3-9 に Reference counter と Sensor counter の構成を示す。これら Counter は Sequencer により制御され、ICO から出力されるパルスを一定時間カウント、同カウント値は DTC を介して CPU unit の RAM に転送される。RAM に転送されたカウント値は最終的にソフトウェアにて処理され静電容量の変化、つまり人体の接触を感知する事が可能となる。

From AFE

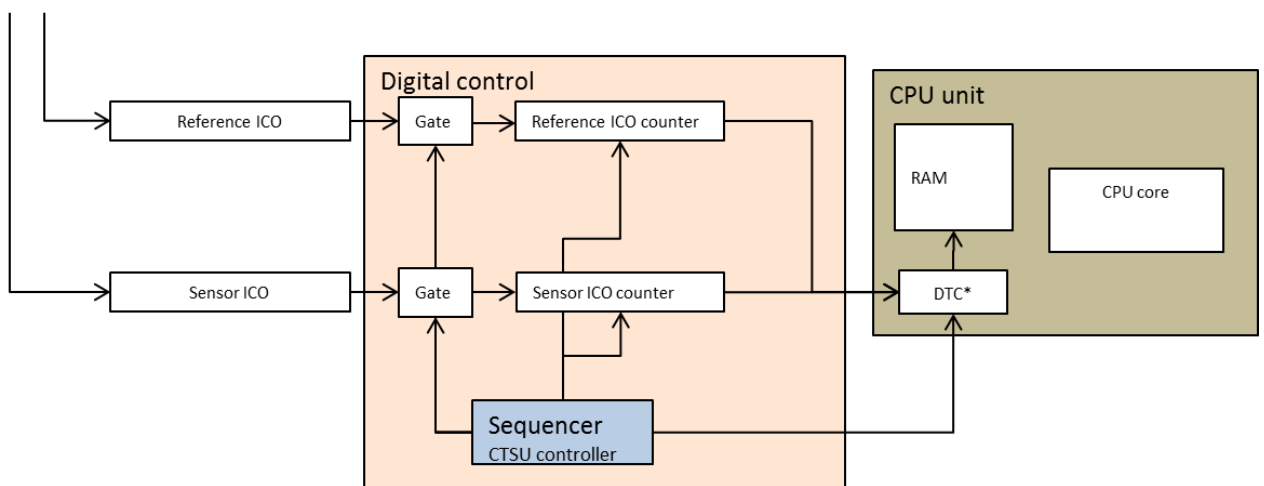


図 3-9 Reference counter & Sensor counter

3.3 ソフトウェア

3.3.1 ソフトウェア全体図

図 4-16 にソフトウェア全体図を示す。ソフトウェアは Physical Driver、Middleware、API、Application で構成される。Physical Driver は CTSU と直接データをやり取りし上位層とのデータのやり取りを行う。Middleware は Physical Driver 経由で入手した ICO の値を加工し API へ渡す。また上位層から指定されたコマンドを Physical Driver へ渡す役割がある。API は Application 層と Middleware 層間のデータやり取りを仲介する。Application はタッチキー、スライダ、ホイール処理の実体であり User Application の要求に応じ、キーの ON/OFF 状態、ホイール、スライダ上の指の位置を返す。また、静電タッチ統合開発環境 Workbench6 と接続するためのデバッグインタフェースと USB インターフェースが含まれる。

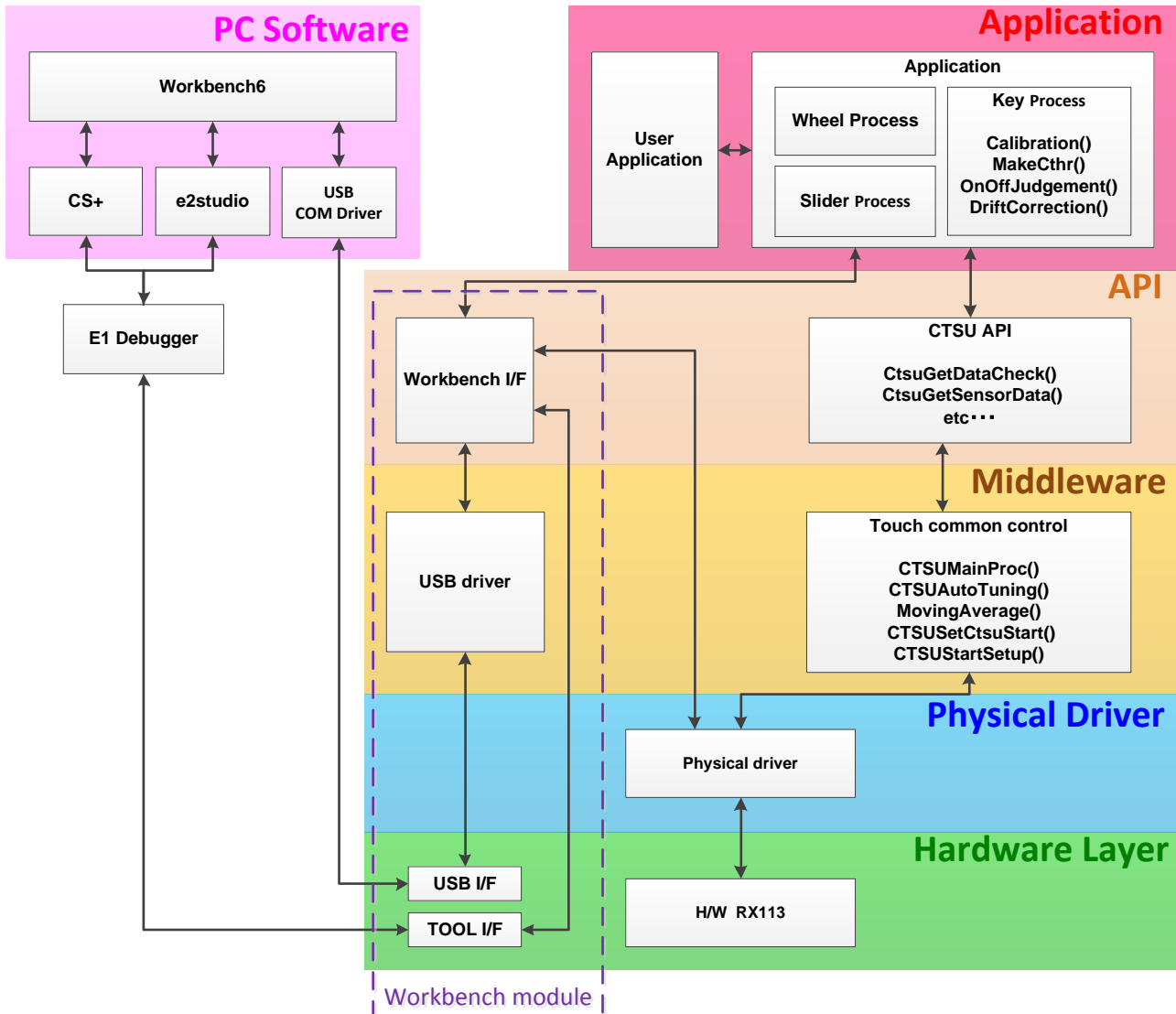


図 3-10 ソフトウェア全体図

3.3.2 Physical Driver

Physical Driver は、CTSU のレジスタ全てにアクセスするための内部関数群である。上位層からの要求に対してレジスタからデータを読み出し返す。また上位層からの書き込み要求を受けレジスタへ値を書き込む。

3.3.3 Middleware

Middleware は、上位層からの要求に応じて CTSU の初期化 (CTSU レジスタ値転送用 DTC の初期化含む)、ICO 値の平均化、レジスタ設定などを行う。

3.3.4 API

API は、Application と Middleware 間でデータのやり取りを行うための関数群である。

- ・ CTSU 計測モード設定 API
- ・ CTSU 計測データ取得確認 API
- ・ CTSU センサ ICO 計測データ取得 API

その他 API と各 API の詳細は、アプリケーションノート名：CTSU API リファレンスガイド (r30an0215jj_rx113) を参照。

3.3.5 Application

Application は、とタッチキー、スライダ、ホイール処理の実体である。API にて収集したデータから下記処理を実行する。

- ・ キャリブレーション処理
- ・ 環境変化に対する計測データ追従補正処理
- ・ キーの ON/OFF 処理
- ・ スライダ、ホイールの位置検出処理
- ・ 製品のシステム制御、LED、LCD の表示などのユーザーのアプリケーション

3.3.6 Workbench module

Workbench モジュールは、タッチ統合開発環境 Workbench との通信を行う。通信方法は2つあり、一方はマイコンのデバッグ接続(FINE)⇒エミュレータデバッグ E1⇒開発環境 CS+ or e2studio⇒Workbench へ接続する方法、もう一方は USB で Workbench と接続する方法である。詳細は Workbench のマニュアルを参照の事。

4. CTSU による静電容量タッチキー構成方法

4.1 概要

この章では、CTSU を使って実際にタッチキーパネルを構成するための手順を説明する。大まかな手順は以下の通り。

- ・タッチキー基板設計
- ・ソフトウェアの準備
- ・タッチキー感度の調整
- ・評価

4.2 タッチパネル基板設計

4.2.1 自己容量方式タッチキーの設計

(a) 静電容量の考え方

図 4-1 左に静電容量のモデルを示す。

式の通り、静電容量 C は以下の特性を持つ。

- ・電極面積 A に比例
- ・電極間物質の比誘電率 κ に比例
- ・電極間の距離に反比例

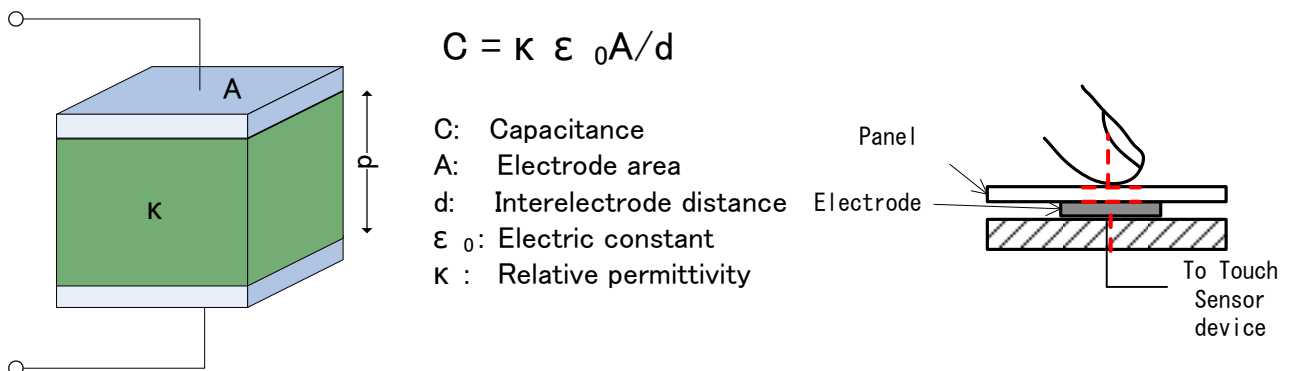


図 4-1 静電容量モデル

静電容量タッチキーは、この静電容量の特性を利用し人体の接触を検知する。図 4-1 右のように人間の指と電極間に発生する静電容量を計測する。指が触れていない非接触状態と指が触れている接触状態での静電容量の差が大きい程、高い感度が得られ後述する耐ノイズ性が向上する。人間の指の大きさは限りがあり、電極と対向する面積 A には限りがあるので、パネルに使用する材質は比誘電率が高く薄い素材とした方が優秀なタッチキーとなる。比誘電率は表 4-1 の通り素材により異なる。一般的には耐熱性が必要な製品にはガラス、その他はプラスチックが使用される。

表 4-1 各素材の比誘電率

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

(b) 電極

指の接触を感知するタッチ電極は、10x10~15x15mm 程度の面積で●、■の形状が望ましい。電極が▲、E形状など、鋭角な部分があると同部分がノイズを受信するアンテナとなるため望ましくない。LEDの光を透過させるためにドーナツ状またはメッシュ状とする事は可能であるが、面積減による感度低下やLEDのPWM駆動によるノイズに注意が必要である。ノイズに対する最終的なマージンとなるため、タッチ感度は可能な限り高くする必要あり。

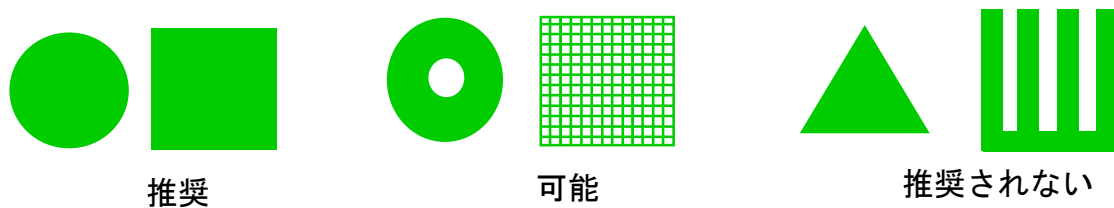
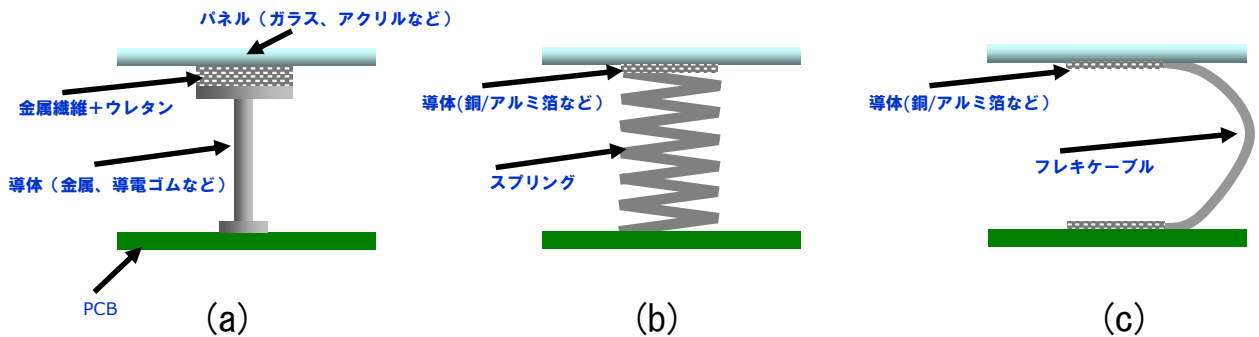


図 4-2 タッチ電極形状

電極とマイコンは同一基板上で且つ最短距離での配線が望ましいが、パネル形状により同一基板上に配置出来ない場合は、図 4-3 の様な配置が可能である。



- (a) 基板に金属棒を取り付け先端に金属繊維で包んだウレタンを接着。ウレタンの厚さがパネルと PCB のクリアランスとなる。
- (b) 基板にスプリングを取り付けパネル裏面に導体を貼る。バネによりパネル裏面の導体と密着させる。スプリングの縮み分がパネルと PCB のクリアランスとなる。
- (c) フレキケーブルの先端を電極としパネルへ接着する。フレキケーブル長がパネルと PCB のクリアランスとなる。

図 4-3 基板と電極が離れている場合の対処例

(c) 電極配線

タッチ電極とマイコン端子間の配線は、出来る限り短く結線する事を推奨する。また、PWM 出力、シリアル通信などの配線とは容量結合によるノイズ混入をしない距離を保つ事が望ましい。止むを得ず、タッチ電極配線と信号線を交差させる際は、基板の表裏で直交させるようにする。(図 4-5 参照) 図 4-4 にタッチキー基板における寄生容量と抵抗の例を示す。寄生容量は GND パターン、シャーシや信号線と電極、電極配線、コネクタなどの間に発生する。CTSU で想定している容量計測の最大値は 50pF である。よって人体の接触時の静電容量と非接触時の寄生容量を合わせて 50pF を超えない様に調整する必要がある。逆に極端に寄生容量が小さい (10pF 以下) とノイズ耐性が低下する可能性があるため、その際は後述の GND パターンの配置にて調整する必要がある。

また、電極-マイコン端子間には耐サージ破壊やノイズ耐性向上のためダンピング抵抗の挿入を推奨する。ダンピング抵抗はできる限りマイコン端子直近に配置する。なお、電極-マイコン間のインピーダンスは、容量計測に使用される SCF の周波数つまり感度に影響するため、ダンピング抵抗を含め抵抗値の総和は 2KΩ 以下 (SCF 周波数: 0.5MHz~4MHz) とする事を推奨する。

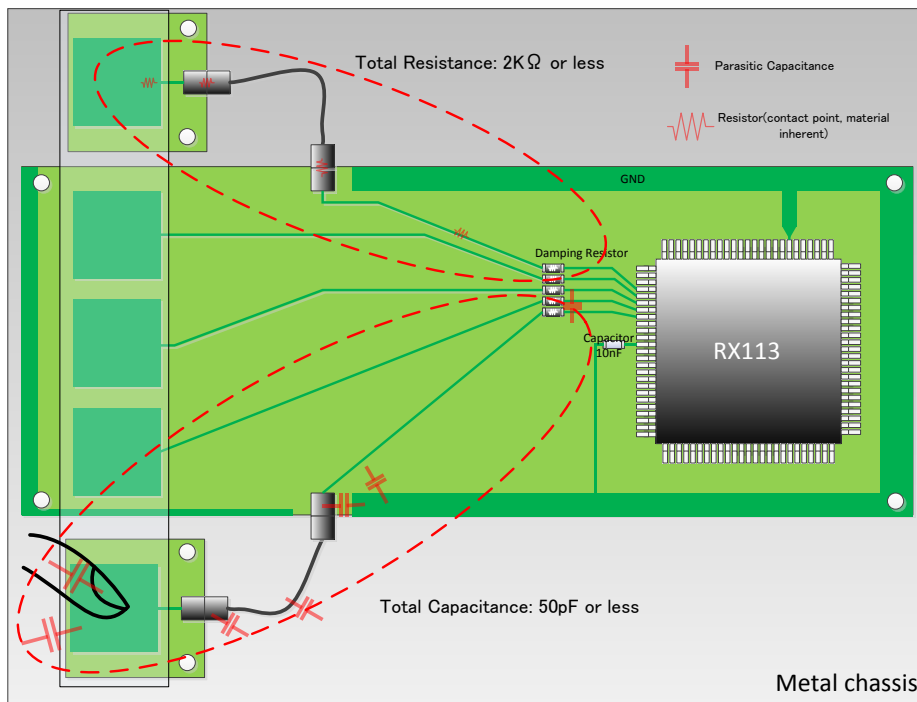


図 4-4 タッチキー基板における寄生容量と抵抗

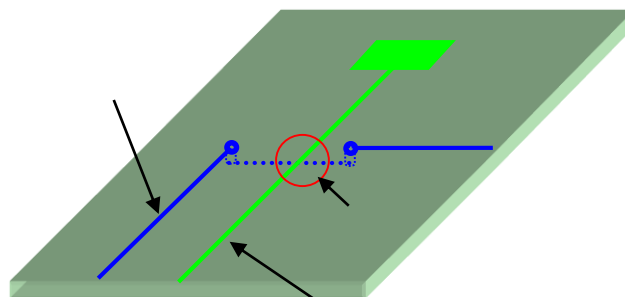


図 4-5 電極配線と信号線の交差例

(d) 電極および電極配線の GND シールド

製品の使用環境や製品内部からの RF ノイズが強く電磁界シールドが必要となる場合は、電極および電極配線を GND パターンで保護する。その際、寄生容量を低減するため、GND パターンはメッシュ形状とする事を推奨する。

(e) TSCAP 端子

TSCAP 端子には LPF として GND 間に 10nF のコンデンサを挿入する。その際コンデンサは TSCAP 端子近傍に配置し配線は出来る限り短くする。

4.2.2 相互容量方式タッチキーの設計

(a) 静電容量の考え方

相互容量方式の原理を図 4-6 に示す。

相互容量方式では対の電極を用意し一方を送信電極、もう一方を受信電極とし送信電極側からパルスを送出し受信電極と間に容量結合による電磁界を形成する。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する。この変化を定期的に観測する事で人体の接近を検知する。

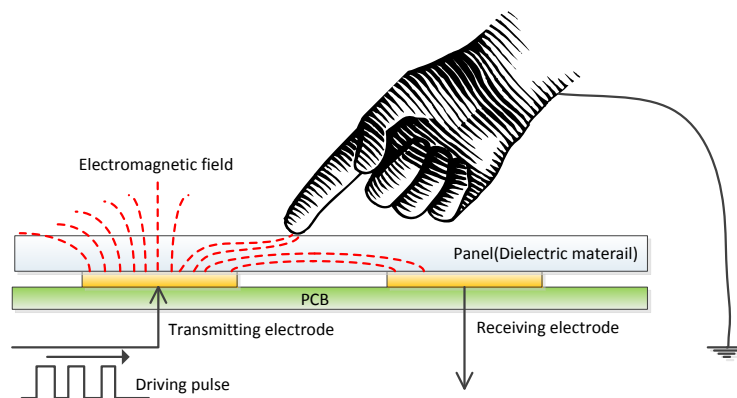


図 4-6 相互容量方式の原理

図 4-7 にルネサス相互容量方式の原理を示す。CTSU(Capacitive Touch Sensing Unit)はスイッチドキャパシタフィルタ(SCF)を利用した容量-電流変換器と電流検出器で構成され、マイコン外部に接続された容量を数値に変換する機能がある。更に SCF に同期してパルス出力可能なパルスジェネレータがあり、SCF とパルスジェネレータ出力間に対の電極を配置すると相互容量方式による容量計測が可能である。

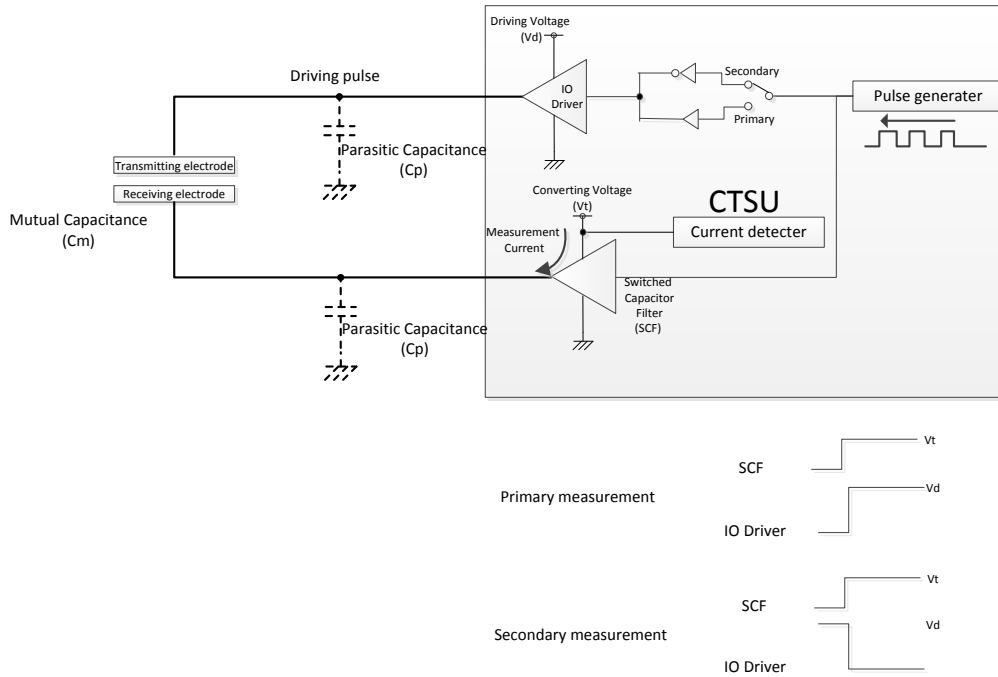


図 4-7 ルネサス相互容量方式の原理

電極間に発生している容量 C_m を計測するため、CTSU は同一電極に対して容量計測処理を 2 回行う。1 回目、2 回目でパルス出力と SCF の位相関係を反転させて計測し、2 回目計測値 - 1 回目計測値の計算により C_m の値を得る事が出来る。

Basic Formula:

$$I_c = VFC$$

Where

I_c = Capacitor Current

F = Switching Frequency

C = capacitance

V = Switching Voltage

$$I_{pri} = fC_pV_t + fC_m(V_t - V_d) \quad \dots\dots\dots \text{数式 4-1}$$

$$I_{sec} = fC_pV_t + fC_m(V_t + V_d) \quad \dots\dots\dots \text{数式 4-2}$$

数式 4-1 - 数式 4-2

$$\begin{aligned} &= I_{sec} - I_{pri} \\ &= fC_pV_t + fC_m(V_t + V_d) - [fC_pV_t + fC_m(V_t - V_d)] \\ &= 2fC_mV_d \quad \dots\dots\dots \text{数式 4-3} \end{aligned}$$

- I_{pri} : 1 回目の計測電流値
- I_{sec} : 2 回目の計測電流値
- f : SCF およびドライブパルスの周波数

- Vd: パルスジェネレータの駆動電圧
- Vt: SCF が駆動する電圧
- Cm: 電極間に発生する静電容量
- Cp: 各電極、配線などの寄生容量

数式 4-1、4-2 はそれぞれ 1 回目、2 回目の計測で得られる計測電流値である。数式 4-3 の結果であり、 f 、 Vd はそれぞれ定数であるため、1 回目、2 回目の電流計測値と同式より Cm の値を得る事が出来る。

(b) 電極

相互容量方式ボタンのパターン例を図 4-8 に示す。外側は送信電極(Tx)、内側は受信電極(Rx)である。

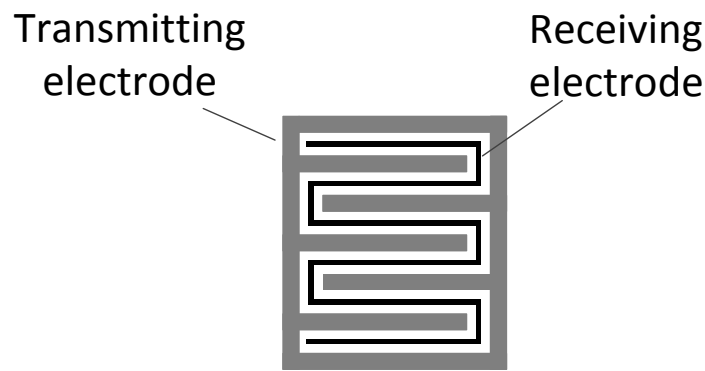


図 4-8 相互容量方式ボタンのパターン例

Tx と Rx の外周を対向させる距離を確保し電極間容量を増加させる。電極サイズは、 $10\sim 16\text{mm}^2$ 程度が望ましい。 16mm^2 以上の電極を構成する事は可能だが、対面する指の面積を超えた部分は、電極として効果が少なくまた寄生容量を増加させるので注意が必要である。

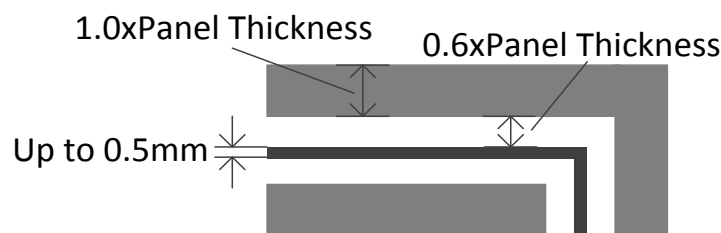


図 4-9 Tx,Rx の配線幅

図 4-9 に Tx,Rx の配線幅を示す。できる限り寄生容量を減らすため、Rx の配線幅は 0.5mm 以下とする。Rx の配線幅は、電極素材の面抵抗に依存し抵抗値が大きい素材（カーボンフィルムなど）では抵抗値が大きくなるよう配線幅を確保する。Tx の配線幅はカバーパネルの厚さと同等とすることを推奨する。また、Rx と Tx の配線間距離は、カバーパネルの厚さの 0.6 倍程度とすることを推奨する。ただし、これらにより Tx と Rx の外周対向が減少する事は好ましくない。

(c) 配線の考え方

相互容量方式では、Rx の配線に注意が必要である。他の信号線からのノイズ混入や寄生容量などが問題となる。特に Tx 配線との容量結合には配慮が必要である。以下に具体的な配線例を示す。

Tx と Rx の配線間で容量結合が発生しないよう配線間距離は可能な限り離す事を推奨する。図 4-10 のように Tx と Rx の配線を接近させると指が接触した際に指の容量を計測する可能性がある。また、Tx と Rx の配線を交差させる場合は、直交させ可能な限り併走を避ける事を推奨する。

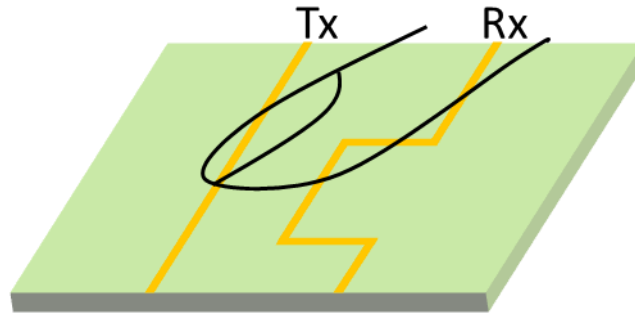


図 4-10 Tx と Rx の配線距離

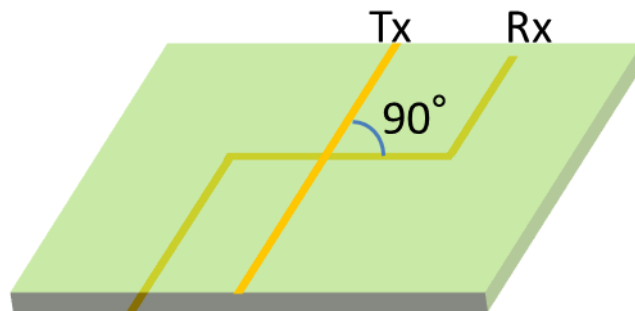


図 4-11 Tx と Rx の配線が交差する場合

デバイスの計測端子から Rx までの配線は寄生容量を抑制するため可能な限り短く配線する事を推奨する。配線で発生する寄生容量は 20pF 以下、抵抗は、計測端子直近に配置する制限抵抗の値を含め 2K Ω 以下とすることを推奨する。

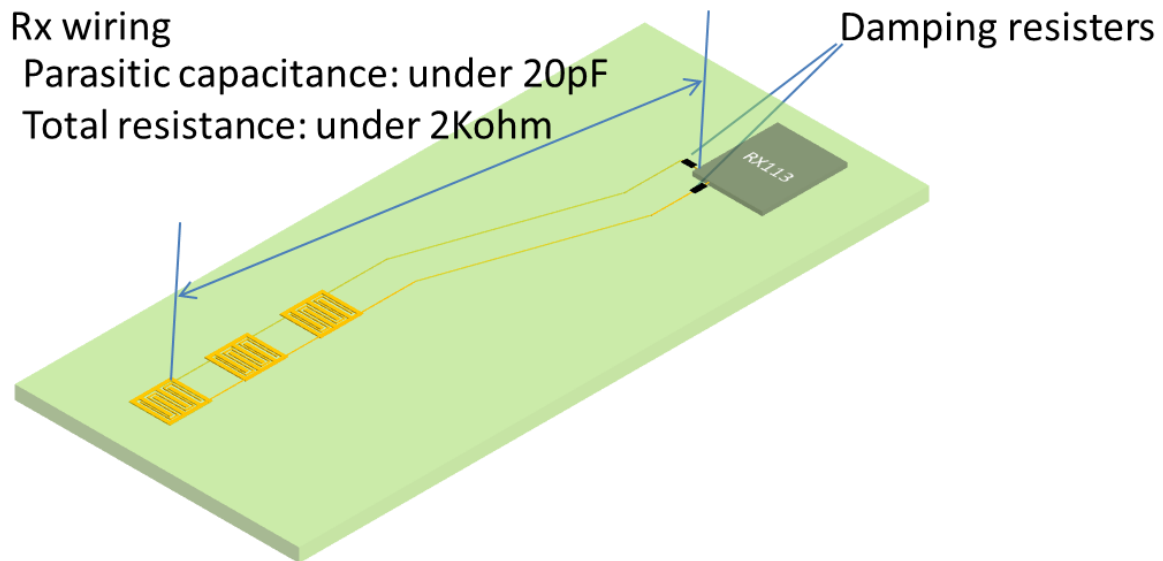


図 4-12 Rx 配線の寄生容量と抵抗値

(d) 電極および電極配線の GND シールド

製品の使用環境や製品内部からの RF ノイズが強く電磁界シールドが必要となる場合は、電極および電極配線を GND パターンで保護する。その際、寄生容量を低減するため、GND パターンはメッシュ形状とする事を推奨する。

(e) TSCAP 端子

TSCAP 端子には LPF として GND 間に 10nF のコンデンサを挿入する。その際コンデンサは TSCAP 端子近傍に配置し配線は出来る限り短くする。

4.3 CTSU 設定

4.3.1 自己容量方式の CTSU 設定

(a) 初期設定

以下初期設定が必要。詳しくは UM 参照。

- ・ TS 端子設定
- ・ TSCAP 端子 LPF 放電処理
- ・ CTSU 初期化
- ・ DTC 設定

(b) ICO counter の計測時間の考え方

前述の通り、Sensor ICO および Reference ICO の発振出力はそれぞれ Sensor ICO counter および reference ICO counter が計測期間中カウントしカウント値としてレジスタに収納される。計測期間は以下のレジスタ値と計算式で決定される。

- IO driver ベースクロック周期：CTSUS に入力される PCLK の周波数、CTSUS 動作クロック選択ビットおよび CTSUS ベースクロック設定ビットで決定される。PCLK が 32MHz、CTSUS 動作クロック選択ビットで 1/2 周期を選択して CTSUS ベースクロック選択ビットで 16 分周を選択すると IO driver ベースクロック周波数は 0.5MHz となり周期としては 2uSec となる。なお、CTSUS ベースクロック設定ビットは DTC 転送対象となっており、TS 端子毎に変更する事が可能である。

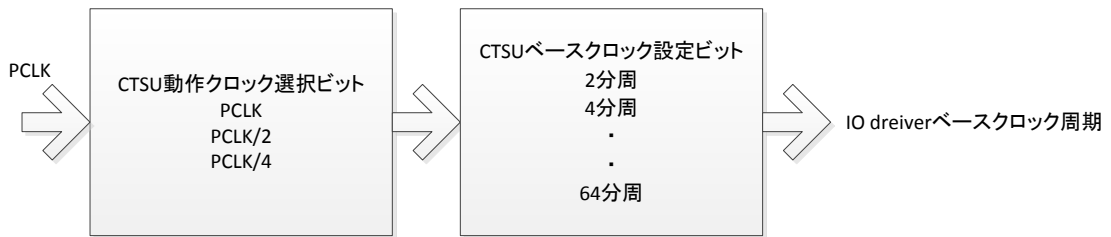
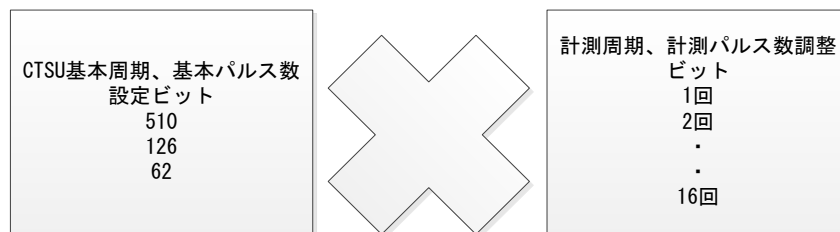


図 4-13 IO driver ベースクロック周期

- 基本パルス数：IO driver から出力されるパルスの基本セット。IO driver の出力は Phase shifter によりランダム化されるが、その周期 1 セットのパルスの数である。CTSUPRMODE レジスタ設定により決定する。
- 計測周期計測パルス数：上記基本パルス 1 セットを繰り返す回数。CTSUPRRATIO レジスタの設定により決定する。



- 計測回数：上記式で表される計測動作回数。CTSUSNUM レジスタ設定により決定する。DTC 転送対象となっており各 TS 端子毎に計測動作回数を設定する事が可能。

計測時間(Sec)=IO driver ベースクロック周期 * {基本パルス数 * 計測周期計測パルス数 + (基本パルス数 - 2) * 0.25} * 計測回数

この値が ICO counter の計測時間を決定すると共に各 TS 端子当たりの計測時間になる。IO driver ベースクロック周期および計測回数は、DTC 転送対象となっており TS 端子毎に SCF の周波数と計測時間を設定する事が出来る。各計測端子の寄生容量や抵抗値を考慮して IO driver ベースクロック周期および計測回数を決し Sensor ICO counter がオーバーフローしないようにする必要がある。図 4-15 に計測周期と IO counter の関係の例を示す。計測回数 CTSUSNUM を 2 回に設定すると ICO counter がオーバーフローし 0x0FFFF となって正しく計測値が得られない例を示している。

なお、オーバーフロー時は ICO counter は 0xFFFF で固定され、CTSUSOVS (Sensor ICO counter over flow flag)、CTSUROVF (Reference ICO counter over flow flag) が 1 になる。

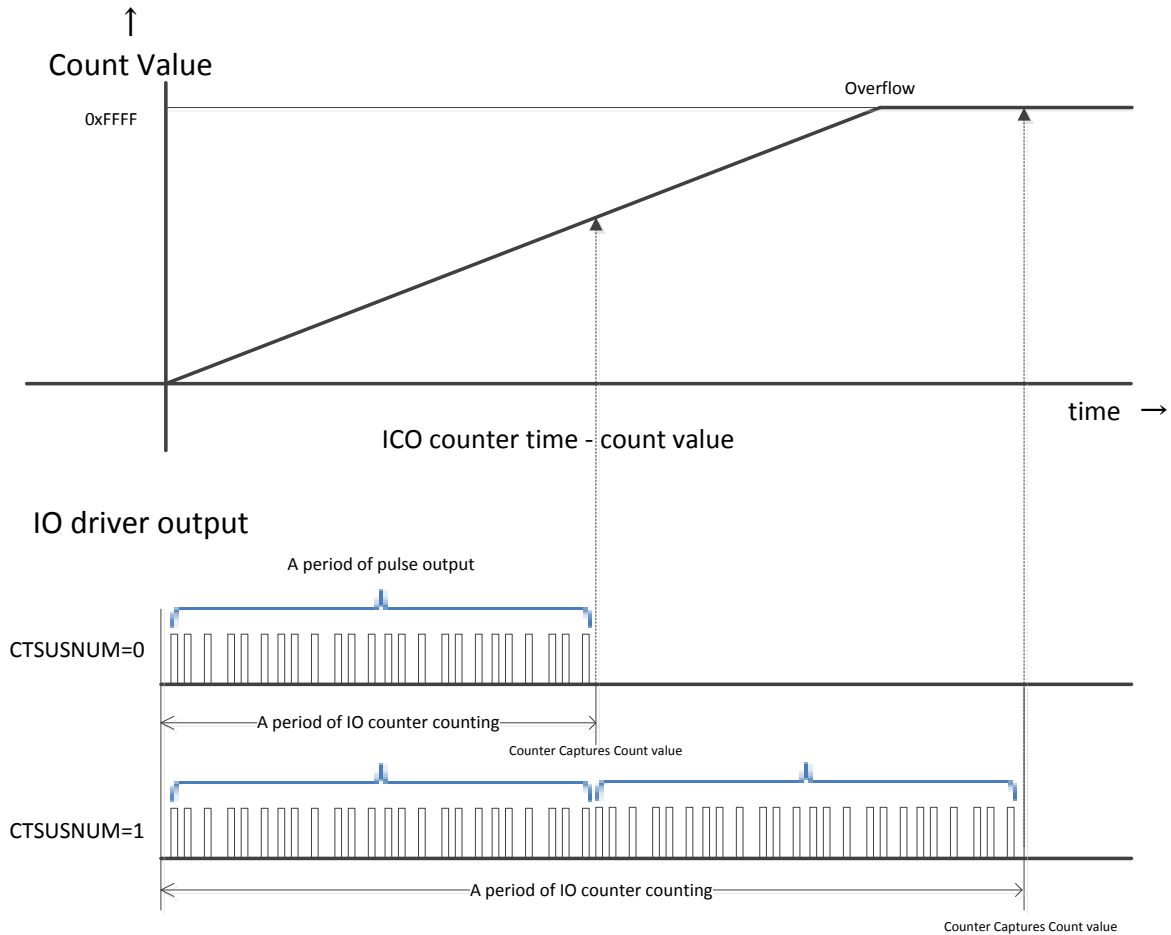


図 4-14 IO driver 出力と IO counter の関係例

(c) IO ドライバ (SCF) 周波数の決定

前述の通り、IO ドライバ周波数は CTSU の容量の計測感度を決定する重要なパラメータである。

$i=FCV$ により電流 i は、SCF の周波数 F 、コンデンサの容量 C 、電圧 V に比例する。よって周波数は高い程電流量が増大し感度が得られる。しかしコンデンサの満充電/放電時間より高速に SCF のスイッチングを行っても感度は頭打ちとなるため、TS 端子に接続された容量に応じて周波数を決定する必要がある。また、電極-TS 端子間の抵抗値がコンデンサの充放電時間に影響し、SCF の周波数は抵抗値にほぼ比例して低くなる。

抵抗値が既知であれば、製作したタッチキー基板の寄生容量は、CTSUS を使って大枠の値を計測する事が出来る。以下のその手法を示す。

上記、自己容量方式タッチキーの設計に従いタッチキー基板を製作し各電極へ接続された TS 端子のセンサ ICO の値を計測する。その際、CTSUS レジスタの設定値は以下の通りとする。

容量計測時のレジスタ設定一覧

- IO driver ベースクロック:0.5MHz
- 設定例 PCLK が 32MHz の場合、CTSUSCLK:00B、CTSUSDP:31
- CTSUATUNE0: $V_{cc} \geq 2.4V$ 以上の場合、"0"、 $V_{cc} < 2.4V$ の場合、"1"
- CTSUATUNE1:1 高出力
- CTSUPRRATIO:3 推奨設定値
- CTSUPRMODE:10B 基本パルス数 62 パルス

- CTSUSOFF:1 高域ノイズ低減 OFF
- CTSUSO:00000000B センサオフセット無し
- CTSUSNUM:0 計測回数 1 回

各タッチキーのおおよその寄生容量は、計測された Sensor ICO counter の値を表 4-2 に照らし合わせる事で得られる。この際、センサ ICO の値から 9pF 以下もしくは 50pF 以上と判断された場合はタッチキーとして性能が得られない可能性があるため、寄生容量を増やすまたは削減するよう基板の改訂を行う。

- ・ 9pF 以下の場合 電極-GND 間の容量結合が小さいため電磁界ノイズへの耐性が得られない可能性がある
- ・ 50pF 以上の場合 CTSU 電源が想定している以上の電流が流れ、正しい容量計測が行われない可能性がある。

表 4-2 センサ ICO とおおよその寄生容量

Sensor ICO count value	Capacitance (pF)
9801 or under	Under 9
9800-10200	Approximately 10
10201-11000	Approximately 12
11001-11900	Approximately 15
11901-13000	Approximately 18
13001-14600	Approximately 22
14601-16200	Approximately 27
16201-18000	Approximately 33
18001-19600	Approximately 39
19601-20300	Approximately 47
20301 or over	Over 50

※ Sensor ICO の計測カウント値は RX113 サンプル実測値

計測にて得られたおおよその寄生容量と既知の抵抗値を表 4-3 に当てはめ IO ドライバ周波数を得る。

RISE	0%~90% 過渡立ち上がり時間																									
CK	200	220	240	270	300	330	360	390	430	470	510	560	620	680	750	820	910	1000	1100	1200	1300	1500	1600	1800	2000	2200
3.9	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86
4.7	17.27	17.54	17.90	18.26	18.64	19.04	19.44	19.84	20.26	20.68	21.14	21.60	22.07	22.54	23.02	23.50	24.00	24.50	25.00	25.50	26.00	26.50	27.00	27.50	28.00	28.50
6.9	29.86	29.71	29.73	29.80	29.87	29.94	29.99	30.04	30.09	30.14	30.19	30.24	30.29	30.34	30.39	30.44	30.49	30.54	30.59	30.64	30.69	30.74	30.79	30.84	30.89	30.94
10	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86	41.86
12	46.45	47.37	48.31	49.24	50.18	51.12	52.06	53.00	53.94	54.88	55.82	56.76	57.70	58.64	59.58	60.52	61.46	62.40	63.34	64.28	65.22	66.16	67.10	68.04	68.98	69.92
15	44.38	45.42	46.50	47.61	48.74	49.89	51.04	52.19	53.34	54.49	55.64	56.79	57.94	59.09	60.24	61.39	62.54	63.69	64.84	65.99	67.14	68.29	69.44	70.59	71.74	72.89
19	50.20	50.72	51.24	51.76	52.28	52.80	53.32	53.84	54.36	54.88	55.40	55.92	56.44	56.96	57.48	58.00	58.52	59.04	59.56	60.08	60.60	61.12	61.64	62.16	62.68	63.20
23	52.65	53.72	54.80	55.88	56.96	58.04	59.12	60.20	61.28	62.36	63.44	64.52	65.60	66.68	67.76	68.84	69.92	71.00	72.08	73.16	74.24	75.32	76.40	77.48	78.56	79.64
27	55.10	56.18	57.26	58.34	59.42	60.50	61.58	62.66	63.74	64.82	65.90	66.98	68.06	69.14	70.22	71.30	72.38	73.46	74.54	75.62	76.70	77.78	78.86	79.94	81.02	82.10
33	57.55	58.63	59.71	60.79	61.87	62.95	64.03	65.11	66.19	67.27	68.35	69.43	70.51	71.59	72.67	73.75	74.83	75.91	76.99	78.07	79.15	80.23	81.31	82.39	83.47	84.55
39	59.99	61.07	62.15	63.23	64.31	65.39	66.47	67.55	68.63	69.71	70.79	71.87	72.95	74.03	75.11	76.19	77.27	78.35	79.43	80.51	81.59	82.67	83.75	84.83	85.91	86.99
47	62.43	63.51	64.59	65.67	66.75	67.83	68.91	69.99	71.07	72.15	73.23	74.31	75.39	76.47	77.55	78.63	79.71	80.79	81.87	82.95	84.03	85.11	86.19	87.27	88.35	89.43
55	64.87	65.95	67.03	68.11	69.19	70.27	71.35	72.43	73.51	74.59	75.67	76.75	77.83	78.91	79.99	81.07	82.15	83.23	84.31	85.39	86.47	87.55	88.63	89.71	90.79	91.87

表 4-3 寄生容量、抵抗値と IO ドライバ周波数の関係

(d) Sensor ICO 電流調整

Sensor ICO は電流発振器であり入力された電流量に比例して発振周波数が変化する。電流量に比例して周波数が直線的に変化する帯域は有限であり、おおよそ 100MHz がダイナミックレンジとなる。おおよそ 100MHz 以上または極低速帯域では電流一周波数の直線性が失われる。(図 4-15 左上参照) Sensor ICO の電流-発振特性は、マイコン個体により若干のバラツキがあるため個別に調整が必要であり同調整のために reference ICO を用いる。Sensor ICO と reference ICO の回路は同一構成でありマイコン個体内では、ほぼ同一の特性を示す。Sensor ICO は IO ドライバと TSCAP 電源にて発生させた入力電流で動作するが、reference ICO は、レジスタ設定にて可変可能 (0~19.5uA) な入力電流で動作する。図 4-15 右上例の通り、

CTSUAレジスタの設定値が 03FF~0FFFH の間で得られる青線で囲まれた reference ICO counter の値が ICO のダイナミックレンジとなる。一方、Sensor ICO は IO driver から供給される電流により発振周波数が決定する。

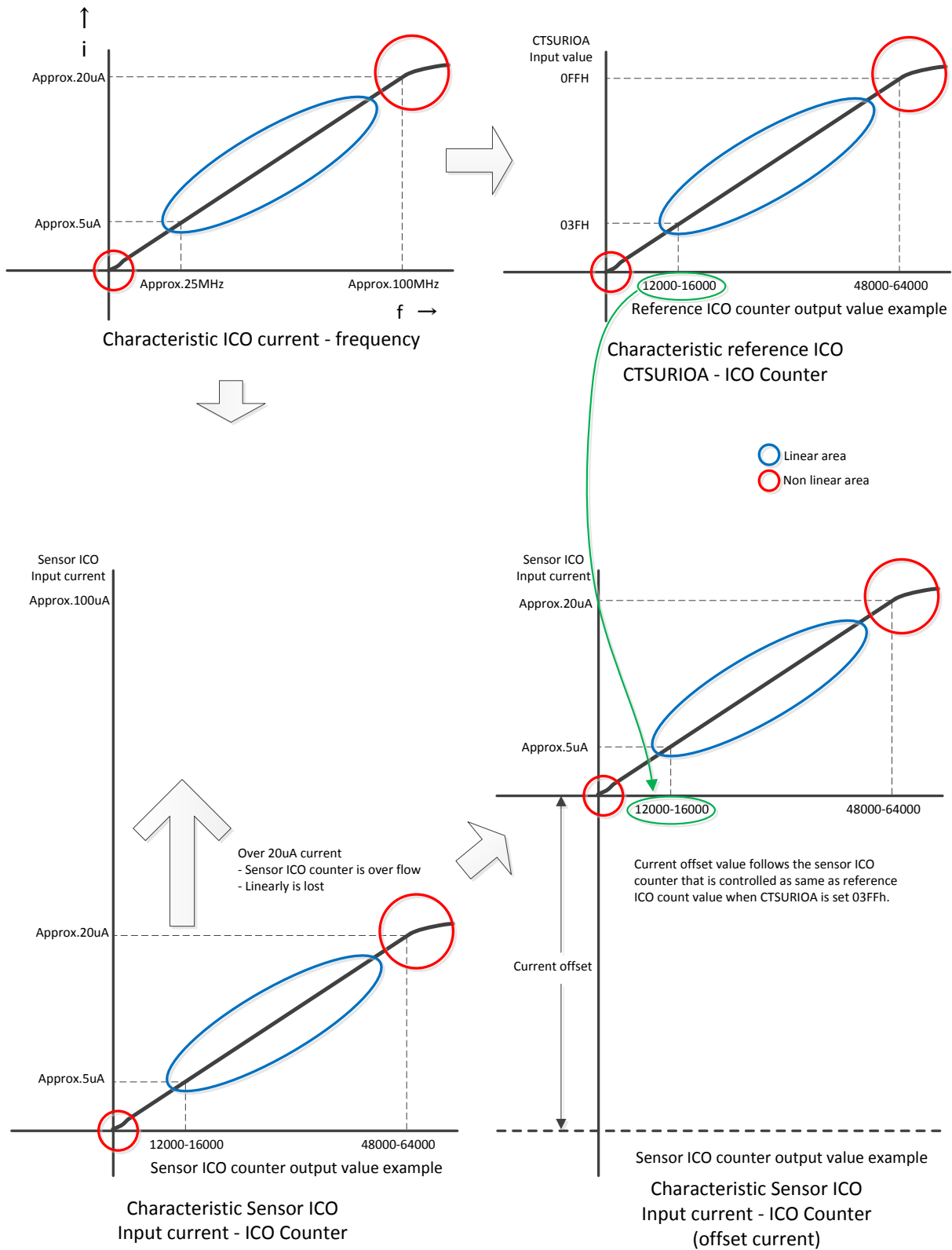


図 4-15 Sensor ICO、reference ICO と電流の関係

その電流は、外部の静電容量や IO ドライバの周波数に比例するため、必ずしも約 20uA 内に収まるとは限らず ICO のダイナミックレンジを超える可能性がある。(図 4-15 左下参照) そこで電流オフセット機能より Sensor ICO への電流を制限し、電流量を ICO のダイナミックレンジ内に収める。(図 4-15 右下参照) 具体的には Sensor ICO counter の値が、CTSURIOA に 0x03FF を設定して得られた Reference ICO counter の値と一致するように CTSUSO の値を調整する。概ね 100uA まで電流オフセットが可能である。Reference ICO counter の値はマイコン個別に異なるため製品上で調整プログラムを実行し調整する必要がある。

(e) Sensor ICO アンダーフロー

前述の電流オフセット値の調整にて、Sensor ICO に供給される電流量が電流オフセット値に以下になると Sensor ICO アンダーフロー状態となる。その場合、計測値の結果としての Sensor ICO counter は不定となり正しい計測値が得られない。Sensor ICO アンダーフローによる誤計測を防止するため、計測終了時には必ず TSCAP 電圧異常監視ビットを確認する。CTSUICOMP が 1 になっていた場合は、いずれかの TS 端子の計測時にアンダーフローとなっているので、当該 TS 端子の電流オフセットを再調整するか計測を停止する。なお、Sensor ICO 電流調整が正しく行われている場合は、通常アンダーフローは発生しない。考えられる要因としては、TS 端子とタッチ電極間の配線が破断し静電容量が著しく減少した場合、TS 端子が他の配線と接触し TSCAP 電圧が異常となる場合である。いずれにしてもハードウェア要因である可能性が高いため、ソフトウェア側では対処出来ない可能性がある。

4.3.2 相互容量方式の CTSU 設定

(a) 初期設定

自己容量同様、相互容量方式で使用するための初期設定が必要である。詳細は UM 参照。

(b) ICO counter の計測時間の考え方

1 計測当たりの時間は自己容量と同じ。ただし、4.2.2 相互容量方式タッチキーの設計にて説明した通り相互容量方式では 1 電極にて 2 回計測を行うため計測時間は自己容量方式の約 2 倍となる。

(c) IO ドライバ (SCF) 周波数の決定

自己容量と同様、概ねの容量を求めて SCF の周波数を決定する。

4.4 ソフトウェア処理

4.4.1 自己容量方式のソフトウェア処理

(a) 計測処理

タッチキーは継続的に静電容量を計測して、その静電容量の変化からキーの ON/OFF 判断を行う。よって静電容量の計測は継続的且つ定期的に行う必要がある。CTSU はタッチ計測端子として選択された各 TS 端子を順次切り替えながら静電容量を計測し、各 TS 端子の静電容量計測結果(Sensor ICO counter、Reference ICO counter)の値を DTC 経由で RAM 上に展開する事が出来る。ソフトウェア処理では、定周期で CTSU を起動し計測終了の割り込みで計測結果を取り込みキー判断を行う。CTSU による TS 端子当たりの計測時間は概ね 500uSec で 10 個の TS 端子を計測すると約 5mSec で全端子の計測が可能となる。

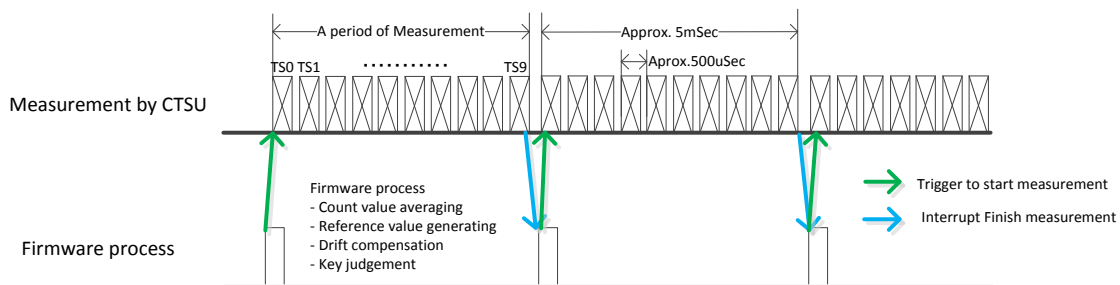


図 4-16 CTSU 計測とソフトウェアのタイミング

(b) 基準値、しきい値の作成

タッチキースイッチでは、機械接点スイッチと異なり明確な ON/OFF 状態は存在しない。計測された静電容量の変化から人体の接触を検知する。静電容量の変化を計測するために仮想的に非タッチ状態の計測値を作成する。これを基準値と呼び計測値と基準値の差分がある一定の値を超えた時、タッチキーを ON と判定する。ある一定の値をしきい値と呼ぶ。基準値の更新は、計測値を一定期間平均して行うが、平均化の回数や速度を変化させる事でキーの反応速度を調整する事が出来る。またしきい値を変化させる事でタッチ感を調整する事が出来る。キー ON 中に基準値が計測値に追従してキー OFF にならないようキー判定が ON の間は基準値の計測値への追従を停止する。計測値がキー OFF 判定されるまで小さくなった時に基準値の追従を再開する。

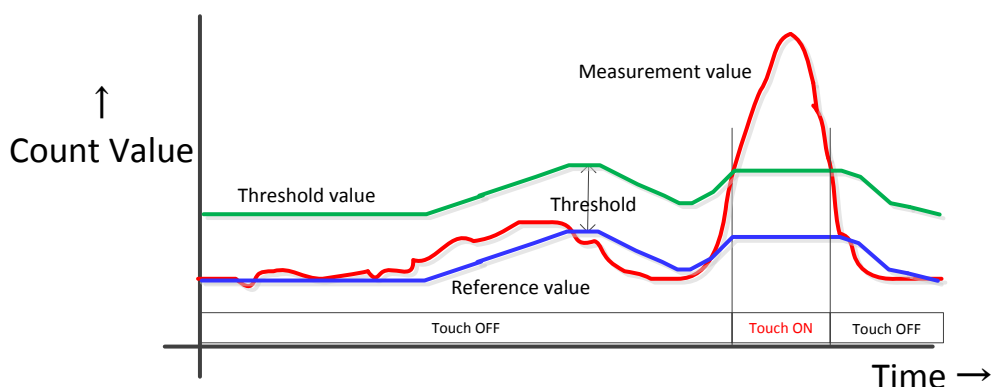


図 4-17 計測値、基準値、しきい値とタッチ ON/OFF の関係

(c) ソフトウェアパラメータの調整

標準ソフトウェアにて調整可能なパラメータは以下の通り。

- Continual touch limiter (連続 ON キャンセル)

強力なノイズや急激な寄生容量の増加にてキーが ON 状態から復帰出来なくなる事がある。ドリフト補正処理が急激な環境要因による容量の増加に追従出来ないためである。この状態から復帰するために一定時間以上キー ON が継続した時に強制的に OFF 状態としてドリフト補正処理を動作させる事が出来、この連続 ON キャンセル機能と呼ぶ。パラメータとして機能自体の ON/OFF と連続 ON の回数を設定する事が出来る。

- Drift correction (ドリフト補正処理)

上記通り、基準値は計測値から作成される。基準値が計測値に追従する速度によりキーの反応速度と環境追従性が変わる。パラメータとして機能自体の ON/OFF と平均する計測回数を設定することが出来る。

- Response delay time to touch/non-touch (連続 ON/OFF 判定)

所謂チャタリング処理である。ON または OFF 状態が一定回数継続した時にキーの ON または OFF を確定する。パラメータとして機能自体の ON/OFF と連続 ON/OFF の回数を設定する事が出来る。

- Hysteresis (ヒステリシス)

所謂チャタリング処理である。キー ON 後のしきい値に定数をオフセットしキー OFF から ON、ON から OFF のしきい値にヒステリシスを持たせる事でチャタリングを防止する。パラメータとして各キー毎に定数を設定する事が可能である。

- Threshold (しきい値)

キーに触れた時のカウント値の変化量が、しきい値を超えた場合にキー ON と判断する。パラメータとして各キーに定数を設定する事が出来る。

4.4.2 相互容量方式のソフトウェア処理

ソフトウェア処理は概ね自己容量方式と同様である。前述の通り相互容量方式は人体の接近時に電極間容量の減少するため、計測値の減少方向にしきい値を設定してタッチキースイッチの ON/OFF を判定する。詳細はソフト処理に関するアプリケーションノートを参照の事。

5. ノイズ耐性

5.1 概要

静電容量方式タッチスイッチは、微小な静電容量の変化を捉えるためノイズや電源変動に極力影響を受けない設計が必要である。

ルネサスタッチソリューションでは、前述の CTSU に内蔵された各種ノイズイミュニティの仕組みに加えソフトウェアによるノイズフィルタを準備している。更にユーザー基板上での工夫により更なる高いノイズ耐性が実現可能である。本章では、これらノイズ耐性について説明する。

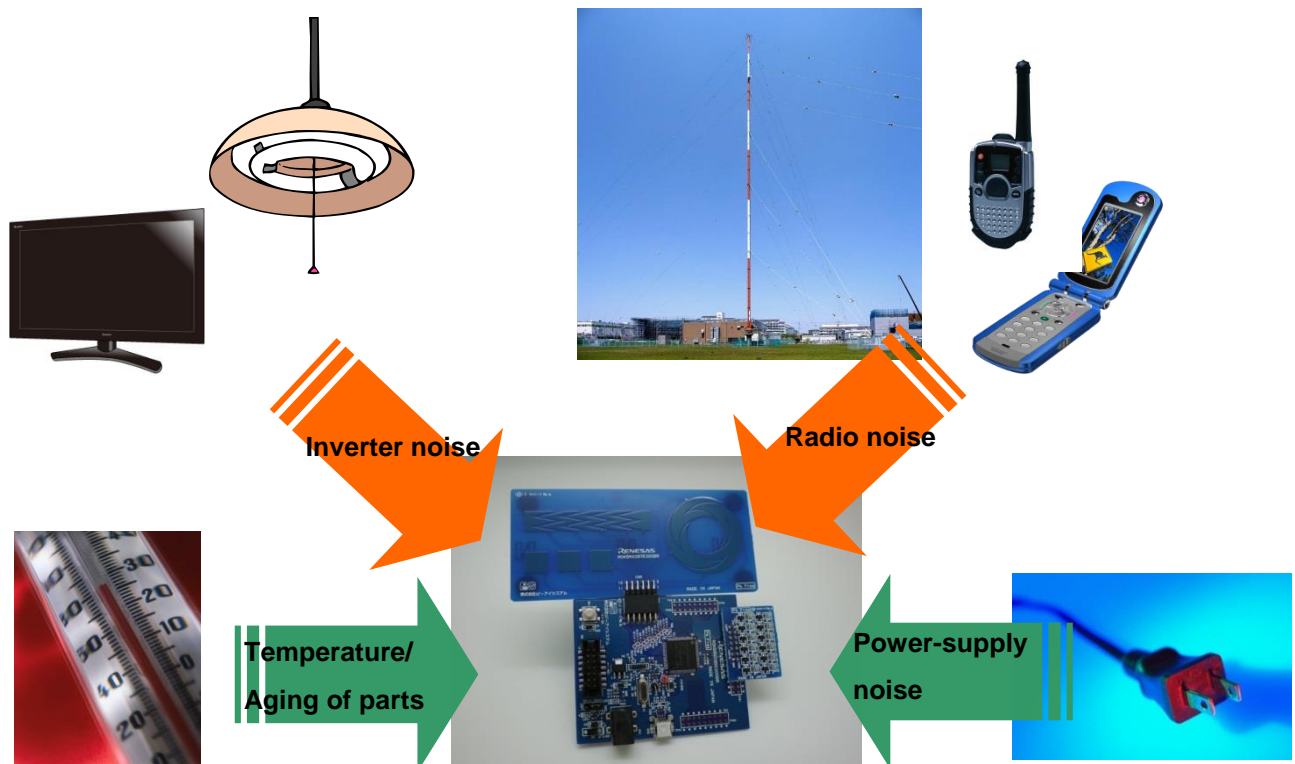


図 5-1 タッチ計測に影響する外乱要因

5.2 基板でのノイズイミュニティ

5.2.1 電源回路

タッチマイコンに十分安定化された電源を供給する必要がある。以下に注意点と対策を挙げる。

(a) 3端子レギュレータの使用

電源のリプル分を除去するため電源容量が十分確保された3端子レギュレータの使用を推奨する。

(b) タッチ計測に使用する端子の周辺端子

タッチ端子に使用する端子の周辺端子では、LEDのPWM駆動、音声出力、シリアル通信など高速且つ電流を消費する処理は行わない事を推奨する。特に相互容量方式で送信側として使用する端子とVcc間の端子

にて電流消費量が増えるとマイコン内部の端子電圧が降下しタッチ計測が不安定となる可能性がある。当該端子では電流出力を行わない事を推奨する。

(c) フェライトコアの挿入

電源ラインからの伝導ノイズが想定される場合、電源ラインへのフェライトコアの挿入を推奨する。

(d) 電源の分離

他のデバイスと電源を共有する場合は、十分容量が確保された電源の根本から電源を分離し他のデバイスからの影響を軽減することを推奨する。

5.2.2 タッチ電極および配線

タッチ電極および配線はノイズ受信のアンテナとなるため、電磁波ノイズが懸念される環境では対策が必要となる。以下に注意点と対策を挙げる。

(a) 配線

タッチ電極とタッチ計測端子間にはできる限り短距離にて配線する事を推奨する。また、高速の信号線と併走すると容量結合により配線にノイズが重畳する可能性がある。

(b) GND パターンの配置

電磁波ノイズが懸念される環境では、電磁シールドとしてタッチ電極および配線の周辺に GND パターンを配置する事を推奨する。ただし GND を配置する際は寄生容量によりタッチ感度に影響する可能性があるため、GND パターンをシーランド比 7:3 (パターン無し 70%、銅パターン 30%) 程度の網状として影響を軽減する。

(c) カバーパネル

カバーパネルの厚みおよび材質は、想定される静電強度に対して十分な絶縁破壊耐性を確保する事を推奨する。また、パネル接合部から静電気が回り込み電極に落雷する可能性があるためパネル接合部に隙間が発生しないよう注意が必要である。



図 5-2 カバーパネル隙間から静電気が回り込むケース

5.3 CTSU のノイズイミュニティ

CTSU は放射、伝導によるノイズ混入に対して静電容量計測を安定的に行うための各種ノイズイミュニティ回路が内蔵されている。これら回路の仕組みについて説明する。

5.3.1 SCF クロックの位相シフト

CTSU は、SCF を使用して静電容量を電流量に変換するため SCF は一定周期でスイッチを ON/OFF させて外部の容量に充電/放電を繰り返している。この時スイッチ周期に同期したノイズが電極に混入すると充電期間にノイズの山/谷が常に一致し、電流量がノイズ分増加/減少するため計測が正しく行われず可能性がある。同ノイズ対策として CTSU では SCF ドライブパルスの位相シフト回路を搭載している。位相反転させる事でノイズの山/谷と同期する事を防ぐ。位相シフトはポリノミアルカウンタにより決定され、一回の計測ではシフト/180°シフトの回数が同数になるよう調整されている。

図 5-3 に同期ノイズの影響と 180°シフトによる同期ノイズの均衡化を示す。充電時の SCF ドライブパルスとノイズの山が同期した場合、電流の充放電波形にノイズが重畳する。この場合、充電時の電流量がノイ

ズにより増加するため、実際の容量よりノイズ分大きく計測される。このノイズ量が指のタッチ時の容量増分より大きい場合はノイズ印可時にタッチ ON と誤判定される。そこで、SCF ドライブパルスを一定の法則で 180°位相シフトし同期関係を反転させる事でノイズの山/谷それぞれに同期させノイズによる電流量の増減を均衡化する。ポリノミアルカウンタの回数や頻度は、CTSU のレジスタにより調整可能である。

なお、位相シフトは同一周波数のイズのみならず奇数関係にある周波数ノイズにも有効である。

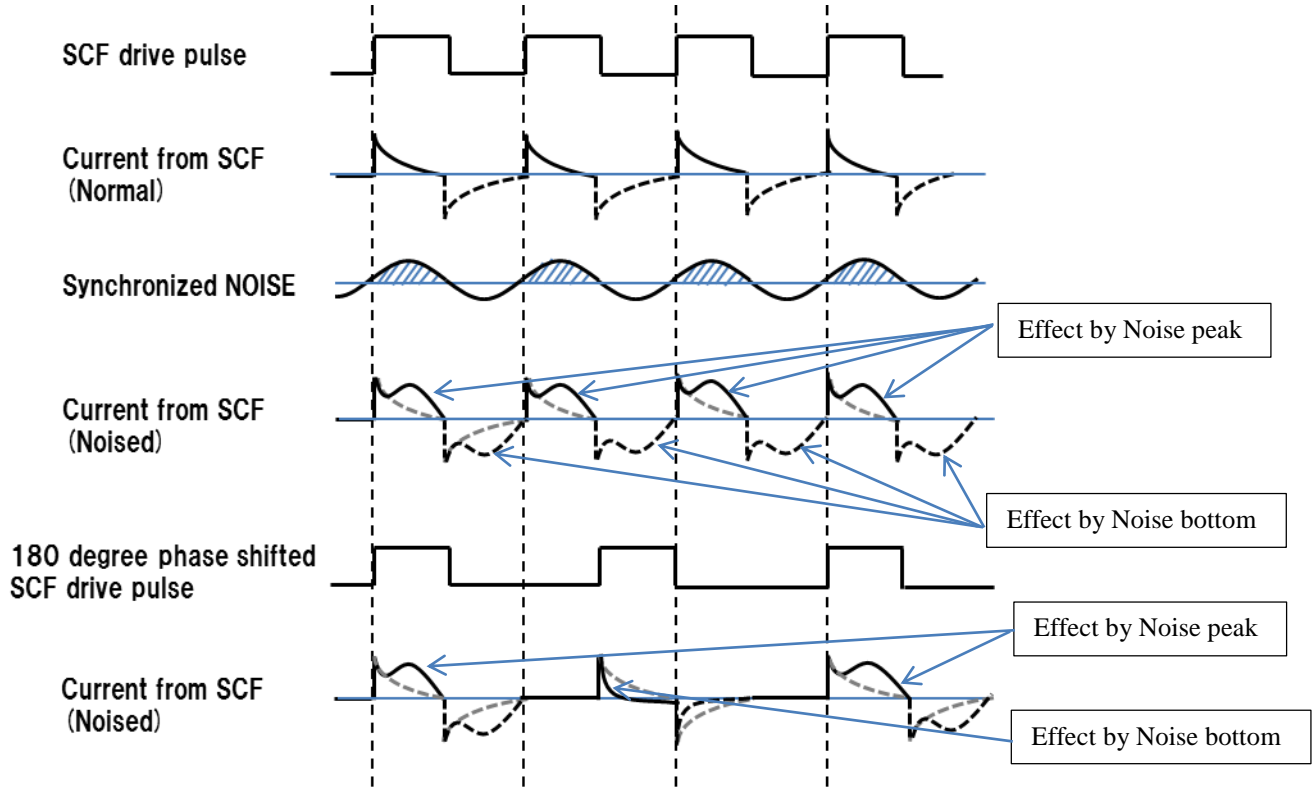


図 5-3 同期ノイズの影響と 180°位相シフトによる同期ノイズ均衡化

5.3.2 SCF ドライブパルスのエッジ拡散

SCF ドライブパルスの周波数と逡倍関係にあるノイズが印可された場合、ドライブパルスのエッジがノイズと同期して静電容量計測に影響を及ぼす。(図 5-4 参照) 同対策のため SCF ドライブパルスのエッジをドライブパルスと非同期の信号によって正規化しエッジ周波数を拡散する。前述の通り変調された電流を ICO for spread spectrum に供給し正規化用のパルスを発生させ SCF ドライブパルスがノイズへ同期する事を回避している。(図 5-5 参照)

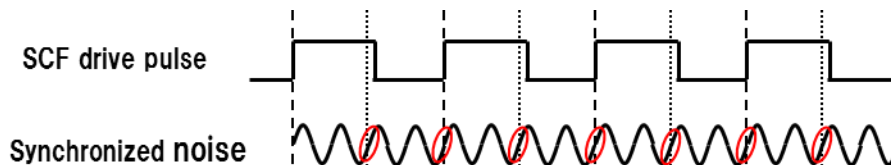


図 5-4 SCF ドライブパルスと逡倍関係にあるノイズの印可

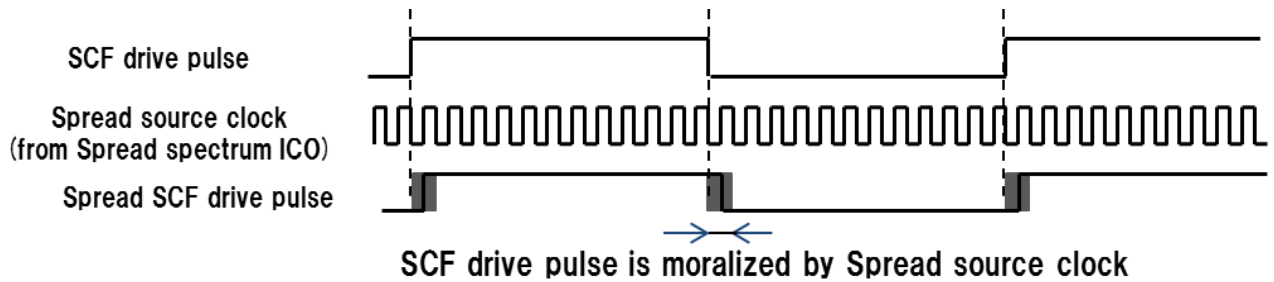


図 5-5 拡散クロックによる SCF ドライブパルスの正規化

5.4 ソフトウェア

CTSU のノイズ対策回路は低周波（数 KHz 以下）のノイズを除去する事は出来ない。この帯域のノイズはソフトウェアにより除去する。以下にソフトウェアによるフィルタ例を挙げる。

5.4.1 ドリフト補正処理

タッチ計測は温度、湿度、部材の経年劣化などの環境変動に影響を受ける。これら数 Hz 以下の緩やかな変動は、ハードウェアによる対処は難しいためソフトウェアによる積分処理にて対応する。

図 5-6 にドリフト補正処理の動作を示す。前述の通り、基準値とその基準値に連動するしきい値をソフトウェアにて作成し計測値と逐次比較しタッチ ON/OFF 判定を行う。この基準値は計測値を積分し平均化して算出しており環境変動による計測値の変動を緩和している。この積分回数を変更する事で、環境変化への追従性を調整する事が出来る。

なお、ドリフト補正処理はタッチ ON 判定されると一旦動作を停止し OFF 判定にて再開される。タッチ ON 判定中にドリフト補正を実行し続けるとキーの長押しにより計測値＝基準値となり ON 判定出来なくなる事を防止するためである。

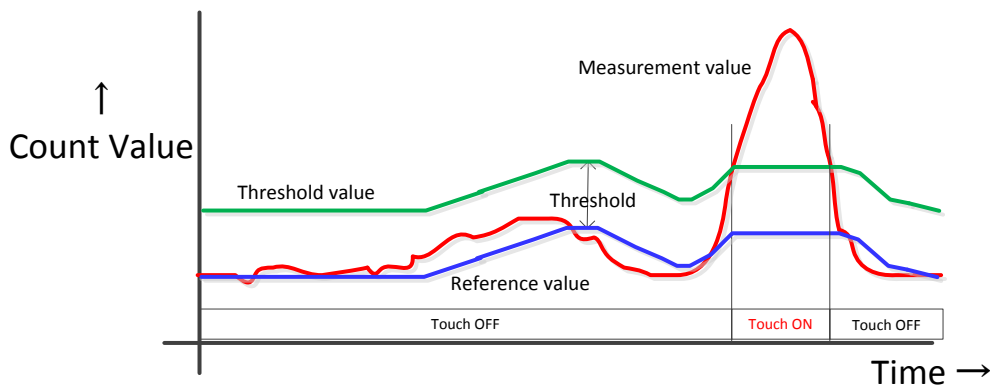


図 5-6 ドリフト補正処理

5.4.2 ランダムノイズ対策

計測値にランダムに発生するノイズを除去するためには計測値を平均化するためのソフトウェアフィルタを挿入する。

以下にソフトウェアフィルタ例を示す。

(a) 移動平均フィルタ

移動平均フィルタの例を図 5-7 に示す。例では計測値 1 回につき 4 回前までの計測値を平均し計測値として使用する。回数を調整し印可されるノイズの周波数を平均化する。一例として、計測周期が 20mSEC の時、10Hz(100mSEC 周期)のノイズを平均化するには、5 回以上に調整する。ただし平均回数を多くするほどキーの反応速度が劣化するので注意が必要である。

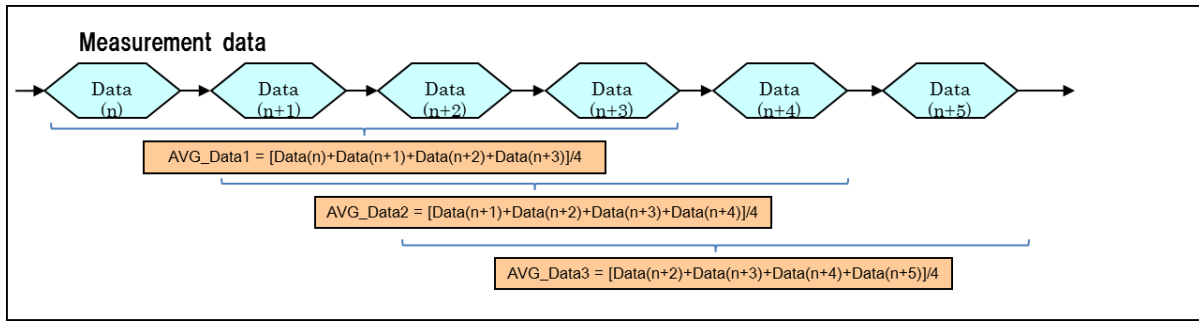


図 5-7 移動平均フィルタの例

(b) 上限フィルタ

上限フィルタとは前回の計測値と今回の計測値を比較し、予め定めた上限値以上の差分があった場合は上限値分のみ前回の計測値に加算する処理である。バーストノイズ印可により計測値が乱高下する場合に計測値を安定化させる事が出来る。図 5-8 に計測値へ上限フィルタを適用した例を示す。この例では、前回の値から増減分が±20 カウントを超えた時に増減分を±20 に制限している。グラフの通り、急激なカウント値の増減を押さえノイズによるタッチ誤判断を抑制している。ノイズ成分をカットするため上記移動平均フィルタより能動的にノイズを抑制する事が可能である。なお、増減分の範囲を狭くする程、タッチ検出までの時間が増加しキー反応が遅くなるので注意が必要である。

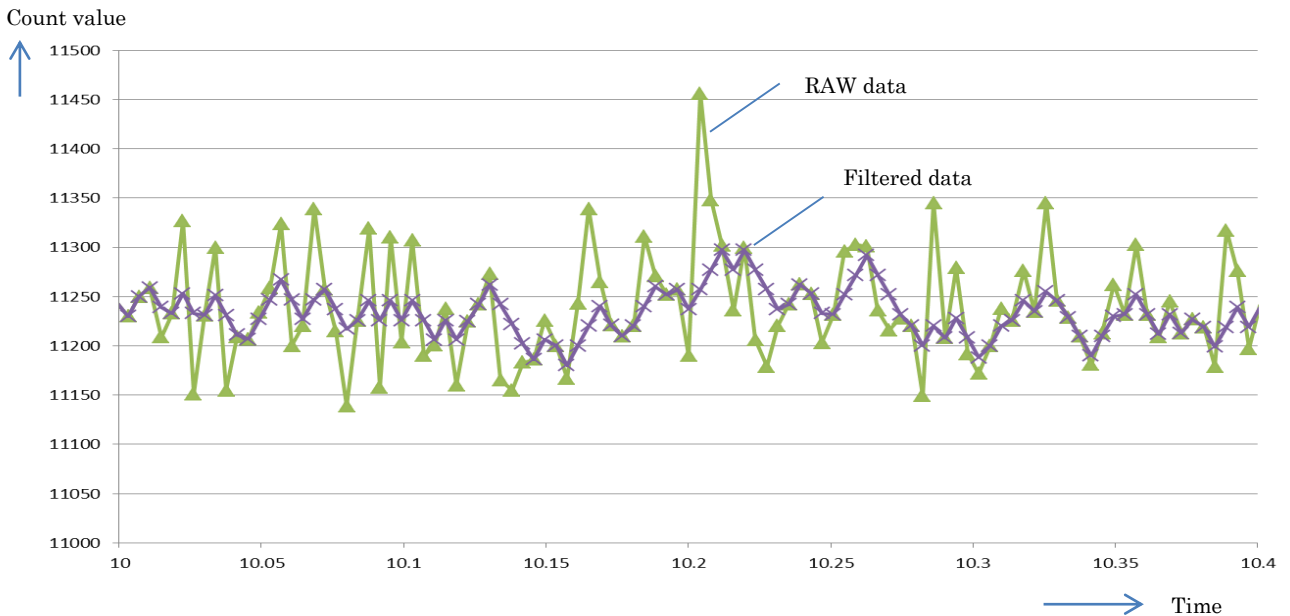


図 5-8 計測値への上限フィルタ適用例

5.4.3 チャタリング対策

機会接点スイッチと同様にタッチキーにおいてもチャタリング対策が必要となる場合がある。以下にチャタリング対策の例を挙げる。

(a) N 回一致

キーON→OFF、OFF→ON 判断時に ON または OFF が N 回連続した事を確認してから ON または OFF を確定する。連続回数を増やす程チャタリング対策には効果があるが、キー反応速度が低下する。

(b) 多数決一致

一定期間内の ON または OFF の回数を計測しどちらが多い方で ON または OFF を確定する。上記 N 回一致の方法に比較して高速に判断出来るが、チャタリングの除去能力は低い。

6. 付録

6.1 スイッチドキャパシタフィルタ (SCF) の考え方



SCFの働きは水車の働きに置き換えて考えると理解し易い。電流を水流、コンデンサをバケツ、周波数をバケツの数に例えて説明する。バケツがぶら下がっている水車にホースで水を入れながら水車を一定の速度で回す。その先に樋をつけてバケツの水を流すと樋には一定量の水が発生する。(図 6-1) 水車に付けるバケツの数を倍にする(一定時間にバケツが送る速度が上昇→周波数上昇)と水流は倍増する。(図 6-2) バケツの大きさを倍にする(一回に入る水量が増える→容量増)にしても同様に水量は倍になる。(図 6-3) しかし、バケツの数をやみくもに増やすとバケツ1個あたりに入る水の量が減って、一定以上、水量が増えなくなる。(図 6-4) また、バケツ一杯にならないため効率が悪い。

実際の動作でもコンデンサが満充電となる最大周波数でSCFを駆動すると最も効率がよい。またコンデンサの容量を最大限に生し微小な容量変化を捉える事が可能となる。

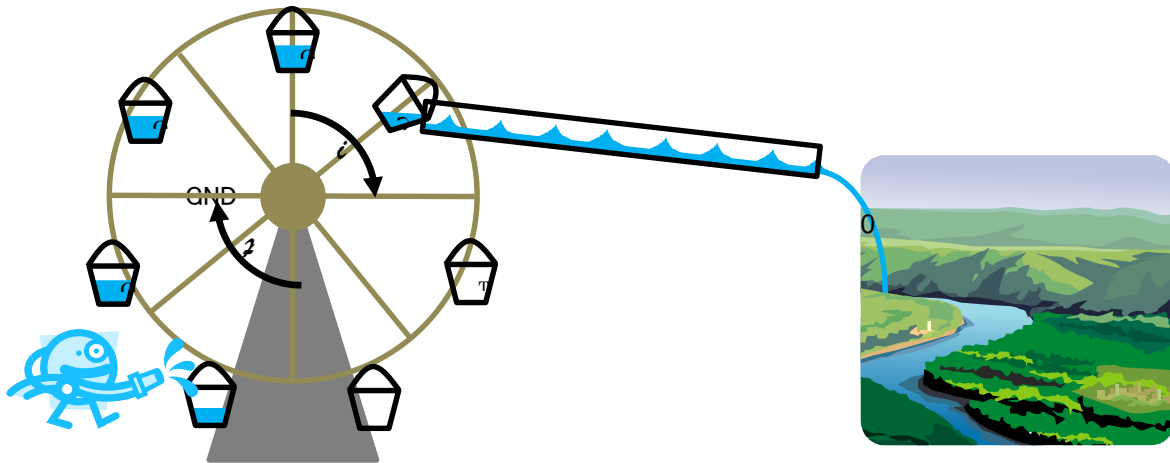


図 6-1 水車

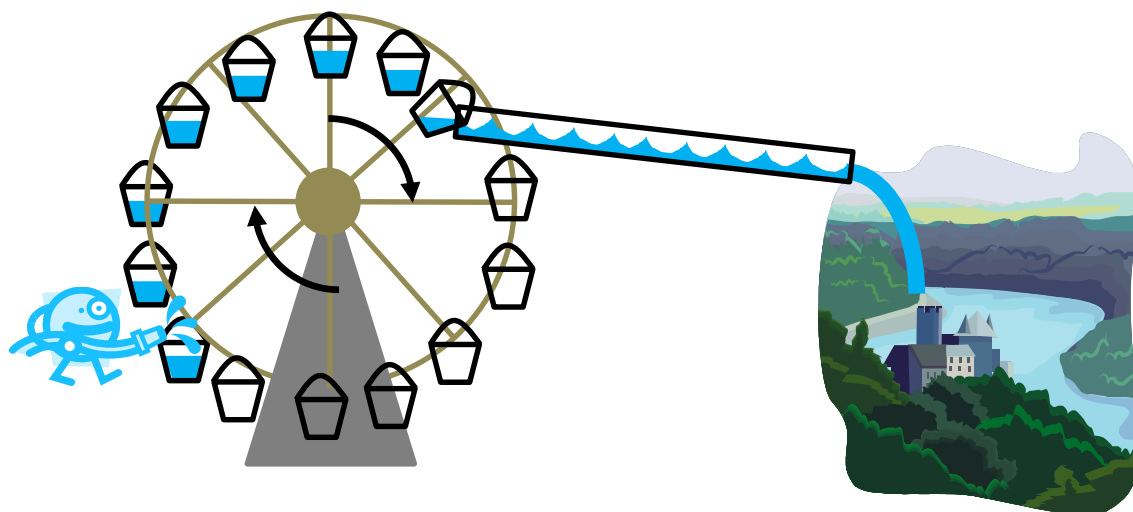


図 6-2 バケツの数増加 (周波数 UP)

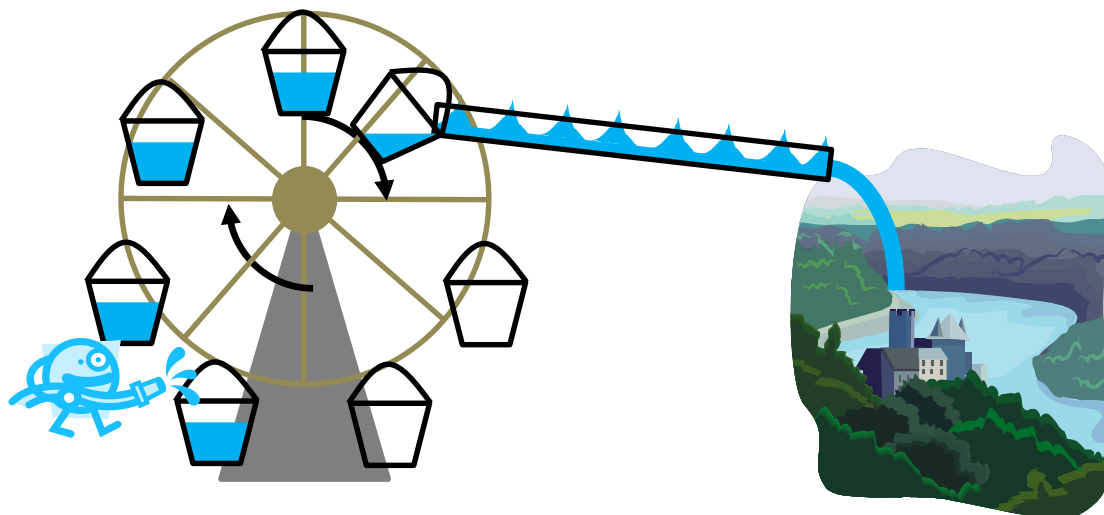


図 6-3 バケツの大きさ 2 倍

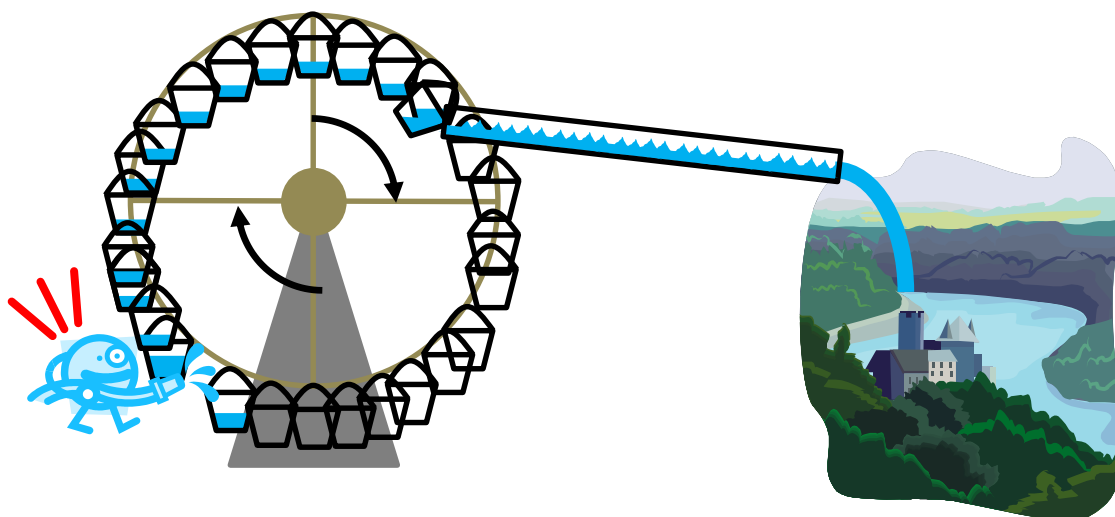


図 6-4 バケツの数 4 倍（周波数更に UP）

6.1.1 ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

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

お問い合わせ先

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

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2014.12.25		初版発行

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、本文を参照してください。なお、本マニュアルの本文と異なる記載がある場合は、本文の記載が優先するものとします。

1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「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。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

2. 電源投入時の処置

【注意】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. リザーブアドレスのアクセス禁止

【注意】リザーブアドレスのアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレスがあります。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。

4. クロックについて

【注意】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。

5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、事前に問題ないことをご確認下さい。

同じグループのマイコンでも型名が違っていると、内部メモリ、レイアウトパターンの相違などにより、特性が異なる場合があります。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。

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。お客様の機器・システムの設計において、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には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して、お客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
3. 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に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。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. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製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。
5. 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）、交通用信号機器、
防災・防犯装置、各種安全装置等
当社製品は、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（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図しない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に損害が生じて、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障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。
7. 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、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、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。
8. 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。お客様がかかる法令を遵守しないこと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。
9. 本資料に記載されている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。また、当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍用用途に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
11. 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。

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とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有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。



ルネサスエレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

※営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒100-0004 千代田区大手町2-6-2（日本ビル）

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。

総合お問合せ窓口：<http://japan.renesas.com/contact/>