

RX23E-A グループ

ロードセルを使用した重量計測例

要旨

本書は、RX23E-A を使用したロードセルによる重量計測例について説明します。

RX23E-A には、アナログフロントエンド (AFE) と、24 ビット Δ - Σ A/D コンバータ (DSAD) を搭載しています。プログラマブルゲイン計装アンプ (PGA) 等を使用して、ロードセルの出力を高精度な A/D 変換を行い、重量を算出します。

Renesas Solution Starter Kit for RX23E-A と本書のサンプルプログラムを使用して、ロードセルで分銅の重量計測を行いました。計測値の誤差をロードセル出力フルスケールで割った結果は下図のようになりました。

重量レンジ : 0g~550g
 重量スパン : 550g
 重量測定確度・直線性^{【注】} : $\pm 0.005\% \text{max.span}$ 以内 (27.5mg 相当)
 有効分解能 : 21.0bit (36.2nVrms: 4.8mg 相当)
 ノイズフリー分解能 : 18.4bit (234nV: 31.2mg 相当)

【注】 分銅誤差やロードセルの非直線性を含む



動作確認デバイス

RX23E-A

目次

1. 概要	3
2. 関連ドキュメント	3
3. 動作確認環境	3
4. 重量計測方法	4
4.1 ロードセル	4
4.2 重量算出手順	6
4.3 キャリブレーション	6
4.4 その他機能	7
4.4.1 ゼロリセット	7
4.4.2 PC ツールプログラムとの連携	7
5. サンプルプログラム	8
5.1 動作概要	8
5.2 使用する周辺機能と端子一覧	9
5.2.1 AFE・DSAD0	10
5.2.2 SCI1・DMAC0・DMAC3・CMT0	11
5.2.3 PH2	12
5.2.4 ポート P27	12
5.3 通信制御	13
5.4 プログラム構成	15
5.4.1 ファイル構成	15
5.4.2 マクロ定義	16
5.4.3 構造体	16
5.4.4 関数一覧	17
6. プロジェクトをインポートする方法	20
6.1 e ² studio での手順	20
6.2 CS+での手順	21
7. サンプルプログラムを使用した計測結果	22
7.1 使用メモリと実行サイクル数	22
7.1.1 ビルド条件	22
7.1.2 使用メモリ	22
7.1.3 実行サイクル数	22
7.2 重量計測	23
7.2.1 計測条件	23
7.2.2 計測結果	24
改訂記録	25

1. 概要

本書は、RX23E-A でロードセルを使用した重量計測例を説明します。サンプルプログラムは、Renesas Solution Starter Kit for RX23E-A (RSSKRX23E-A) ボードで動作し、計測結果は RSSKRX23E-A の PC ツールプログラムで表示することができます。

本例の重量計測システムを図 1-1 に示します。

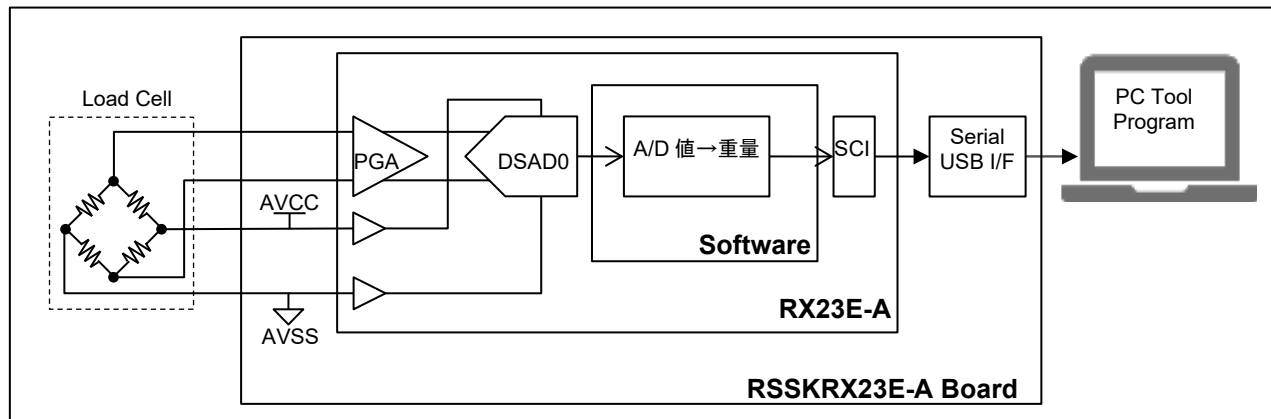


図 1-1 ロードセルを使用した重量計測システム例

2. 関連ドキュメント

- R01UH0801 RX23E-A グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編
- R20UT4542 RSSKRX23E-A ユーザーズマニュアル
- R20AN0540 アプリケーションノート RSSKRX23E-A PC ツールプログラム操作マニュアル

3. 動作確認環境

動作確認環境を表 3-1 に示します。

表 3-1 動作確認環境

項目	内容
ボード	RSSKRX23E-A ボード (RTK0ESXB10C00001BJ)
MCU	RX23E-A (R5F523E6ADFL) 電源電圧(VCC, AVCC0) : 5V 動作周波数(ICLK) : 32MHz 周辺動作周波数(PCLKB) : 32MHz DSAD 動作周波数(f_{DR}) : 4MHz DSAD モジュレータクロック周波数(f_{MOD}) : 0.5MHz
ロードセル	株式会社ティアンドティ LT1-06G
IDE	Renesas e ² Studio V7.8.0 Renesas Smart Configurator V2.6.0
Tool Chain	Renesas CC-RX V3.2.0
エミュレータ	E2 エミュレータ Lite

4. 重量計測方法

RSSKRX23E-A ボードを使用した接続を図 4-1 に示します。本例ではホイートストンブリッジを用いた 4 線式のロードセルを使用します。

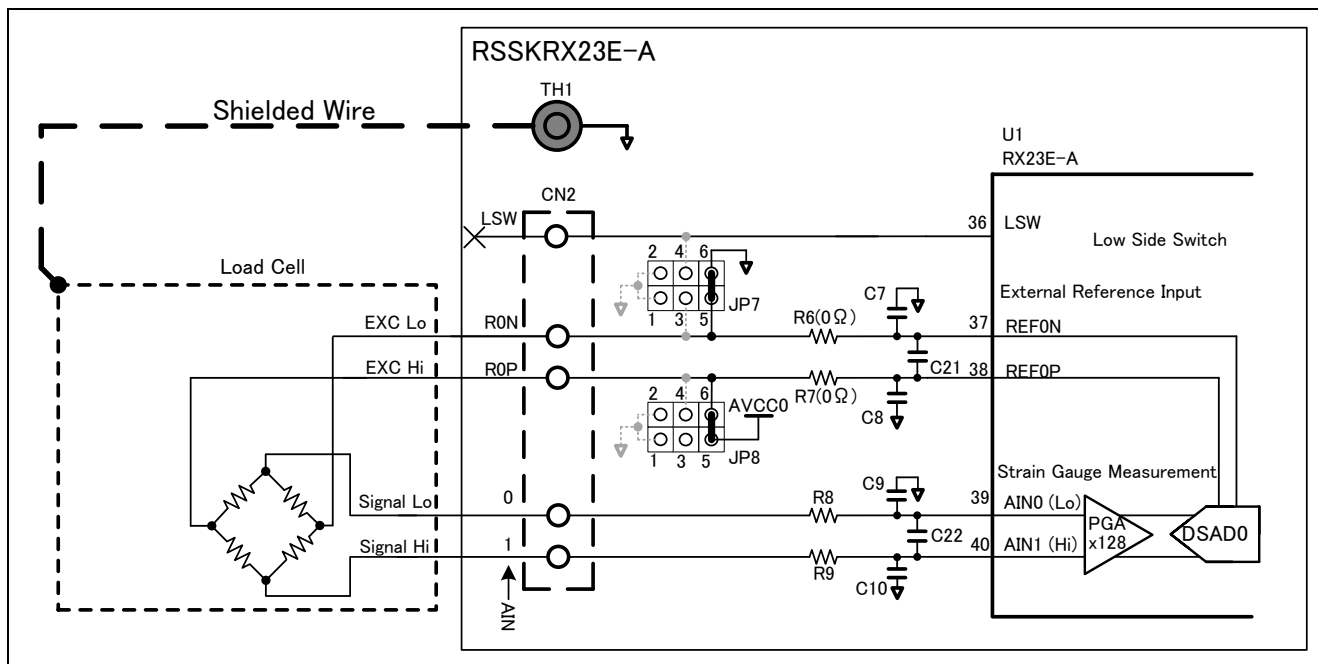


図 4-1 RSSKRX23E-A ボードの接続

4.1 ロードセル

本例で使用するロードセルはホイートストンブリッジ回路で重量を電圧として出力します。使用するロードセルの仕様抜粋を表 4-1 に、印加電圧 5V の場合に仕様から求めた重量対出力電圧特性と誤差範囲を図 4-2 に示します。

表 4-1 ロードセル LT1-06G 仕様抜粋

項目	値
推奨印加電圧(Recommended Excitation)	12[V]
許容印加電圧(Maximum Excitation)	18[V]
定格荷重(Rated Capacity)	6[N] (≒0.6[kg])
定格出力(Rated Output: R.O.)	0.9±0.1[mV/V]
ゼロバランス(Zero Balance)	4.0%R.O.

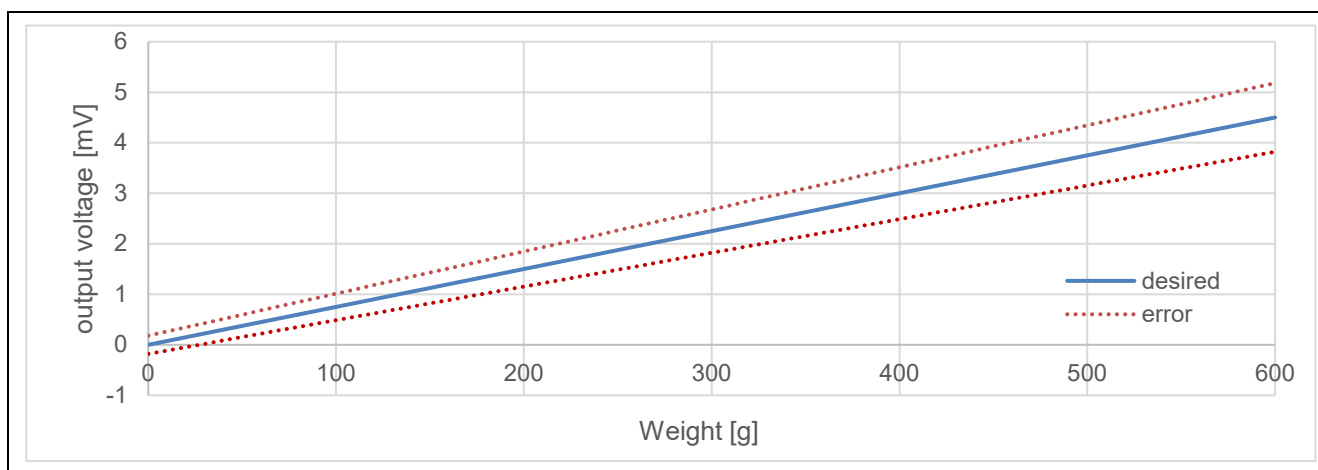


図 4-2 ロードセル LT1-06G の重量対出力電圧特性（印加電圧 5V）

本例では、図 4-1 に示すようにロードセルに供給する電圧を基準電圧としてロードセル出力端子間の電圧を A/D 変換します。

ロードセルの出力電圧が重量に対して非線形の場合、計測精度を高めるために、特性曲線を複数の領域に分割して、領域ごとに直線近似などを行うことで特性曲線に一致させます。

本例では、領域分割は行わずに単一直線特性とみなして、直線補間により電圧を重量に換算します。

重量 M に対する出力電圧 V は、ロードセルへの印加電圧 V_{cc} 、定格出力を RO 、定格荷重 M_{max} とすると次式で表せます。

$$V = RO \cdot V_{cc} \cdot \frac{M}{M_{max}}$$

上式から、出力電圧 V に対する重量 M は次の直線式で算出します。

$$M = \alpha V + \beta, \quad \begin{cases} \alpha = \frac{M_{max}}{RO \cdot V_{cc}} \\ \beta = 0 \end{cases}$$

但し、ロードセルの出力電圧には定格出力やゼロバランスなどで誤差が発生するため、上式の係数 α, β をキャリブレーションにより補正します。

計測条件を表 4-2 に示します。DSAD のデジタルフィルタは、オーバーサンプリング比が 2 のべき乗以外の場合に 1/2 倍から 1 倍のゲインが生じます。A/D 変換値は前記ゲインがかかっているものとして扱います。

表 4-2 ロードセル計測条件

項目	条件	備考
PGA ゲイン G_{PGA}	x128	
DSAD 基準電圧 V_{REF}	5V	ロードセル印加電圧とする。 (REF0P=AVCC0, REF0N=ACSS0)
オーバーサンプリング比 OSR	50000	A/D 変換値出力レート 10SPS
デジタルフィルタゲイン G_{DF}	0.677626358	$G_{DF} = 1/2^{(Ceil(4 \log_2 OSR) - 4 \log_2 OSR)}$
DSAD 出力形式	2's Complement	

4.2 重量算出手順

A/D 変換値から重量への換算は以下の手順で行います。

(1) A/D 変換値の平滑

ノイズや振動などによる A/D 変換結果のばらつきをフィルタ等を取り除きます。本例では 8 サンプル移動平均による平滑処理を行います。

(2) 重量換算

前述の重量換算式で電圧を A/D 変換値に置き換えて算出します。PGA ゲインを G_{PGA} 、デジタルフィルタゲインを G_{DF} 、DSAD の基準電圧を V_{REF} 、A/D 変換値を DATA とすると、DSAD の分解能 24bit から次式で求めます。

$$\begin{aligned} M &= \alpha V + \beta \\ &= \alpha \cdot \frac{2V_{REF}}{2^{24} \cdot G_{PGA} \cdot G_{DF}} \cdot \text{DATA} + \beta \\ &= \alpha \cdot \frac{V_{REF}}{2^{23} \cdot G_{PGA} \cdot G_{DF}} \cdot \text{DATA} + \beta, \quad V_{REF} = AVCC0 - AVSS0 \end{aligned}$$

上式から、A/D 変換値から重量を算出する式を次のように定義します。

$$M = \alpha V + \beta = a \cdot \text{DATA} + b, \quad \begin{cases} a = \alpha \cdot \frac{V_{REF}}{2^{23} \cdot G_{PGA} \cdot G_{DF}} \\ b = \beta = 0 \end{cases}$$

4.3 キャリブレーション

ロードセルの誤差に対して、A/D 変換値から重量へ換算する式の係数 a , b を補正することで計測精度を向上できます。

例として換算式に対応する重量の範囲で、分銅などの基準重量 2 種と、その A/D 変換値から次の手順で行います。

- (1) 基準 1 の重量 M_1 に対する A/D 変換値 DATA_1 を取得
- (2) 基準 2 の重量 M_2 に対する A/D 変換値 DATA_2 を取得
- (3) (DATA_1, M_1) と (DATA_2, M_2) を通る直線の係数 a , b を次式で算出して適用

$$\begin{cases} a = \frac{M_2 - M_1}{\text{DATA}_2 - \text{DATA}_1} \\ b = M_1 - a \cdot \text{DATA}_1 = M_2 - a \cdot \text{DATA}_2 \end{cases}$$

4.4 その他機能

4.4.1 ゼロリセット

重量換算結果からゼロ重量とする基準計測結果を引くことで計測重量を補正します。

基準値は、ゼロ重量とする状態で計測・重量換算した結果とします。

4.4.2 PC ツールプログラムとの連携

サンプルプログラムは RSSKRX23E-A の PC ツールプログラムと通信を行い、PC ツールプログラムで重量計測結果を表示できます。

通信仕様は「RSSKRX23E-A PC ツールプログラム操作マニュアル」を参照ください。

本例で対応する通信コマンドを表 4-3 に示します。

表 4-3 対応する通信コマンド

コマンド	概要	備考
Negotiation	MCU のエンディアン情報、MCU の機能の読み出し	
Read	レジスタ読み出し	
Run	DSAD の変換動作開始	
Stop	DSAD の変換動作停止	
TransmissionCh0	MCU からの Ch0 データ送信	重量[g]を物理量として送信

5. サンプルプログラム

5.1 動作概要

図 5-1 に本サンプルプログラムの処理フローを示します。

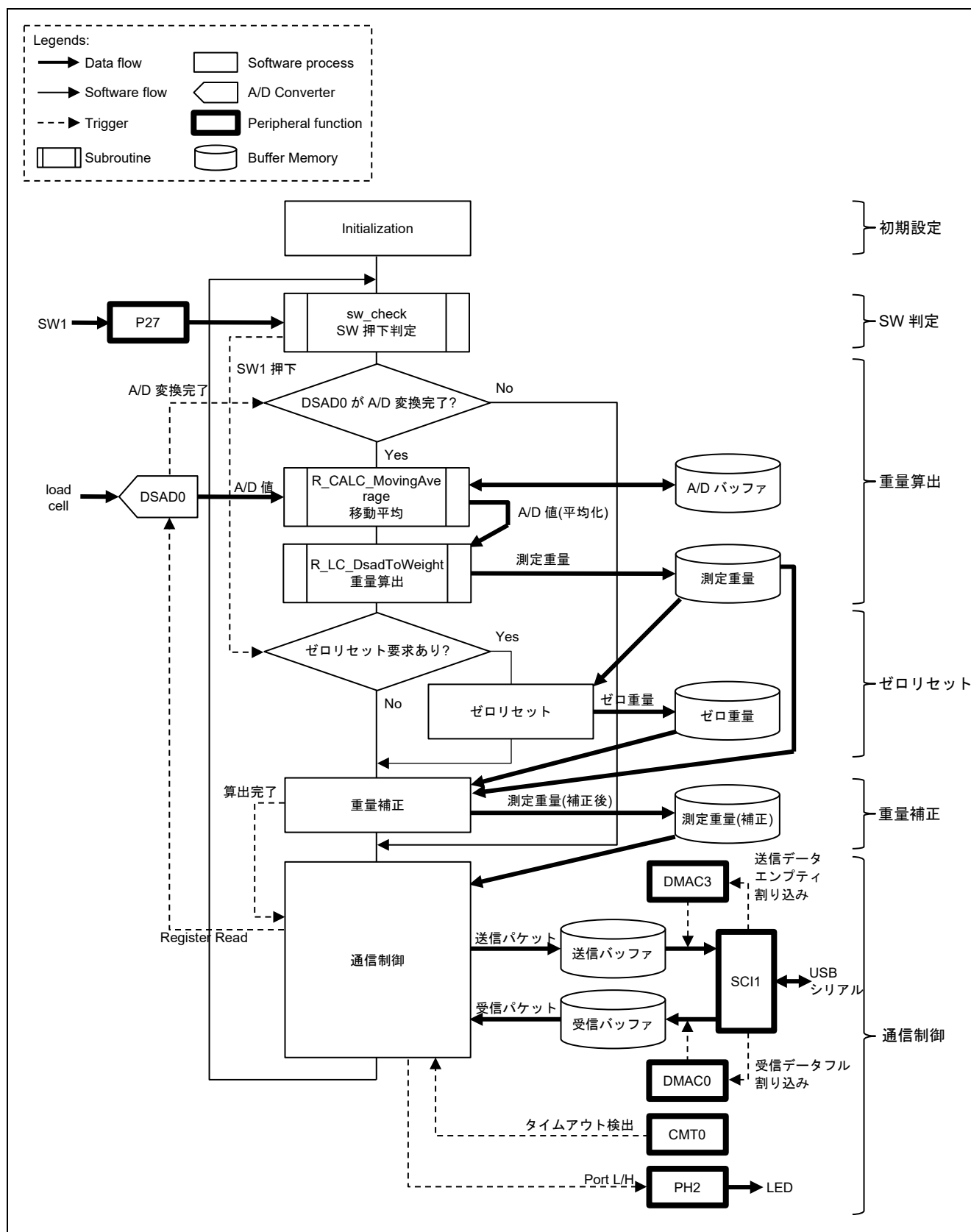


図 5-1 重量計測処理フロー

各処理の概略は次の通りです。

- 初期設定
次の初期設定を行います。
 - ・ RSSKRX23E-A の PC ツールプログラムと接続する場合、通信バッファの初期化及び SCI1 の動作開始
 - ・ DSAD0 の A/D 変換開始
- SW 押下判定
SW1 の入力を読み出し、2 回一致で入力状態を確定させます。SW1 の押下を検出したとき、ゼロリセットの要求をセットします。
- 重量測定
DSAD0 の A/D 変換完了をトリガに、A/D 変換値の移動平均の結果から重量を算出します。
- ゼロリセット
SW1 押下によるゼロリセット要求に対し、現在の測定重量をゼロ重量とします。
- 重量補正
測定重量とゼロ重量から補正した重量を算出します。
- PC 通信
RSSKRX23E-A の PC ツールプログラムとの通信処理を行い、計測した重量送信します。
また計測重量の送信中は LED1 を点灯します。詳細は 5.3 を参照ください。

5.2 使用する周辺機能と端子一覧

本例で使用する周辺機能一覧を表 5-1 に、使用端子一覧を表 5-2 に示します。合わせて各周辺機能の設定条件を示します。

周辺機能の設定は Smart Configurator(以降、SC)のコード生成機能を用いて生成しています。

表 5-1 使用する周辺機能一覧

周辺機能	用途
AFE、DSAD0	ロードセルの A/D 変換
SCI1	PC ツールプログラムとの UART 通信
DMAC0	SCI1 の受信データフル割り込みをトリガにデータ転送
DMAC3	SCI1 の送信データエンpty割り込みをトリガにデータ転送
CMT0	SCI1 の通信タイムアウト検出
PH2	LED1 点灯制御
P27	SW1 入力

表 5-2 使用端子一覧

端子名	入出力	用途
P27	入力	SW1 入力端子
PH2	出力	LED1 点灯制御
P26/TXD1	出力	UART1 送信端子
P30/RXD1	入力	UART1 受信端子
P31/CTS1#	入力	CTS 信号入力端子
AIN0	入力	ロードセル-側入力端子
AIN1	入力	ロードセル+側入力端子
REF0P	入力	ロードセル測定 DSAD+側基準電圧 (RSSK Board 上で AVCC0 に接続)
REF0N	入力	ロードセル測定 DSAD-側基準電圧 (RSSK Board 上で AVSS0 に接続)

5.2.1 AFE・DSAD0

表 4-2 の測定条件に基づいた AFE、DSAD0 の設定条件を表 5-3 に示します。

表 5-3 AFE、DSAD0 の設定

項目		設定
アナログ入力チャンネル設定		- チャンネル 0 : 有効 - チャンネル 1~5 : 無効
$\Delta \Sigma$ A/D 変換器動作電圧設定		3.6V-5.5V(高精度)
$\Delta \Sigma$ A/D 変換器動作モード設定		ノーマルモード
動作クロック設定		PCLKB/8 4MHz
開始トリガソース		ソフトウェアトリガ
割り込み設定		使用しない
ユニット間同期スタート設定		同期スタートを無効にする
電圧異常および断線検出設定		使用しない
チャンネル 0	アナログ入力設定	- 正入力信号 : AIN1 - 負の入力信号 : AIN0 - 基準電圧 : REF0P/REF0N +側基準電圧のバッファ無効 -側基準電圧のバッファ無効
	アンプファイア設定	- アンプ選択 : PGA - PGA ゲイン設定 : x128
	$\Delta \Sigma$ A/D 変換設定	- A/D 変換モード : 通常動作 - データ形式 : 2 の補数形式 - A/D 変換回数 : 即値モード、1 回 - オーバーサンプリング比 : 50000 - オフセット補正 : 設定しない (デバイスデフォルトを使用) - ゲイン補正 : 設定しない (デバイスデフォルトを使用) - 平均化データを使う : 無効
	断線アシスト設定	許可しない

5.2.2 SCI1・DMAC0・DMAC3・CMT0

PC ツールプログラムとの通信に、SCI1 を調歩同期モードで使用します。受信データの取得には DMAC0、送信データの設定に DMAC3 を使用します。また、通信タイムアウトの検出に CMT0 を使用します。

各周辺機能の設定条件を以下に示します。

表 5-4 SCI1 の設定

項目	設定
シリアル通信方式	調歩同期式
スタートビットの検出	RXD1 端子の Low レベル
データ・ビット長	8 ビット
パリティ設定	禁止
ストップビット設定	1 ビット
データ転送方向設定	LSB ファースト
転送速度設定	- 転送クロック：内部クロック - ビットレート：3Mbps - ビットレートモジュレーション機能有効 - SCK1 端子機能：SCK1 を使用しない
ノイズフィルタ設定	ノイズフィルタを使用しない
ハードウェアフロー制御設定	CTS1#
データ処理設定	送信データ処理：DMAC3 で処理する 受信データ処理：DMAC0 で処理する
割り込み設定	受信エラー割り込み許可しない
コールバック機能設定	なし
入出力端子	- 出力：TXD1(P26) - 入力：RXD1(P30) : CTS1(P31)

表 5-5 DMAC の設定

項目	設定	
使用チャンネル	DMAC0	DMAC3
DMA 起動要因	SCI1 (RXI1)	SCI1 (TXI1)
起動要因フラグ制御	起動要因フラグをクリアする	起動要因フラグをクリアする
転送モード	フリーランニングモード	ノーマル転送
転送データサイズ	8bit	8bit
転送回数/リピートサイズ/ブロックサイズ	-	ソフトウェアで設定
転送元アドレス	0008 A025h(SCI1.RDR) - アドレス固定	- ソフトウェアで設定 - アドレスインクリメント - 転送先アドレスに拡張リピートエリアを設定する - 拡張リピートエリア：当該アドレスの下位 12 ビット(4K バイト)
転送先アドレス	- ソフトウェアで設定 - アドレスインクリメント - 転送先アドレスに拡張リピートエリアを設定する - 拡張リピートエリア：当該アドレスの下位 9 ビット(512 バイト)	0008 A023h(SCI1.TDR) - アドレス固定
割り込み設定	割り込み許可しない	割り込み許可しない

表 5-6 CMT0 の設定

項目	設定
クロック設定	PCLKB/512
コンペアマッチ設定	インターバル時間：1000ms コンペアマッチ割り込みを許可(CMI0) 優先順位：レベル 0(割り込み禁止)

5.2.3 PH2

PH2 を使用して LED1 の点灯・消灯を行います。PC ツールプログラムへ計測結果を送信中に点灯します。

PH2 の設定条件を表 5-7 に示します。

表 5-7 PH2 の設定

項目	設定
PORTH	PH2：出力 CMOS 出力 1 を出力

5.2.4 ポート P27

ポート P27 を使用して SW1 の押下検出を行います。SW1 押下を検出したときゼロ重量を更新します。

ポート P27 の設定条件を表 5-8 に示します。

表 5-8 ポート P27 の設定

項目	設定
PORT2	P27：入力 内蔵プルアップ OFF

5.3 通信制御

RSSKRX23R-A の通信仕様に基づいて、PC ツールプログラムとの処理を行います。

通信処理のフローを図 5-2 に示します。

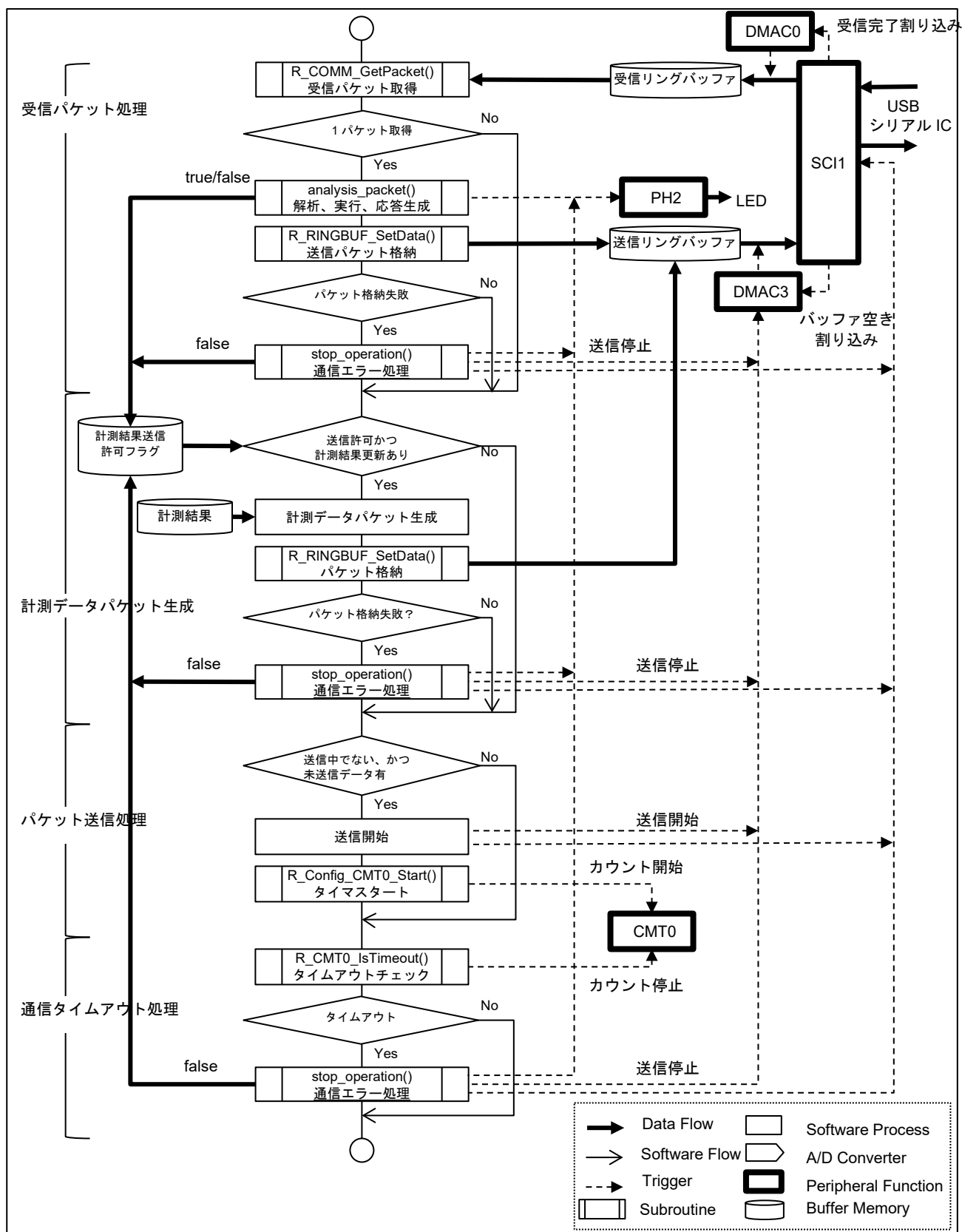


図 5-2 通信処理フロー

各処理の概略は次の通りです。

- 受信パケット処理

受信リングバッファから受信パケットを1つ取得し、コマンドの解析、対応する処理を行い、応答パケットを送信リングバッファに格納します。表 5-9 に本プログラムで対応するコマンドと、コマンドに対応する処理を示します。対応しないコマンドに対してはNACKを返します。

応答パケットが送信リングバッファに格納できない場合は、通信エラー処理を行います。

表 5-9 パケットとアクション

コマンド	処理
Negotiation	応答パケットでソフトウェアの状態を返す
Read	応答パケットで指定されたレジスタのリード値を返す
Run	計測結果送信許可フラグをセット、LED1 を点灯
Stop	計測結果送信許可フラグをクリア、LED1 を消灯

- 計測データパケット生成

計測結果送信許可フラグがセット、かつ計測結果の更新がある場合、計測結果から TransmissionCh0 応答パケットを生成し、送信リングバッファに格納します。

応答パケットが送信リングバッファに格納できない場合は通信エラー処理を行います。

- パケット送信処理

データ送信中でなく、送信リングバッファに未送信データがある場合、DMAC3 で送信を開始し、タイムアウト検出用の CMT0 で1秒のカウントを開始します。

- 通信タイムアウト処理

送信が完了していればタイムアウト検出用の CMT0 を停止します。

送信中の場合、タイマのコンペアマッチを確認し、コンペアマッチが発生していればタイムアウトと判定します。タイムアウトと判定した場合、通信エラー処理を行います。

- 通信エラー処理

送信パケットを送信リングバッファに格納できない場合、または通信タイムアウトが発生した場合、通信を停止して再接続可能とするため、次の処理を行います。

- 送信に使用する SCI1 と DMAC3 を停止
- 送信バッファと計測結果送信許可フラグをクリア
- LED1 を消灯

送信・受信に使用するリングバッファはDMAC転送対象のため、各バッファサイズに合わせたアライメントでアドレス配置をしています。本プログラムでは、セクション名を B_DMCA_REPEAT_AREA_1 として宣言し、最大バッファサイズに合わせて配置を設定しています。

5.4 プログラム構成

5.4.1 ファイル構成

表 5-10 ファイル構成

フォルダ名、ファイル名	説明
src	
└ smc_gen	Smart Configurator 生成
├ └ general	
├ └ r_bsp	
├ └ Config_AFE	
├ └ Config_CMT0	
├ └ Config_DMACH0	
├ └ Config_DMACH3	
├ └ Config_DSAD0	
├ └ Config_PORT	
├ └ Config_SCI1	
├ └ r_config	
├ └ r_pincfg	
└ r_ring_buffer_control_api.c	リングバッファ制御プログラム
└ r_ring_buffer_control_api.h	リングバッファ制御 API 定義
└ r_loadcell_api.c	ロードセル演算プログラム
└ r_loadcell_api.h	ロードセル演算 API 定義
└ r_sensor_common_api.c	移動平均処理関数
└ r_sensor_common_api.h	移動平均処理関数 API 定義
└ r_communication_control_api.c	通信制御プログラム
└ r_communication_control_api.h	通信制御 API 定義
└ main.c	メイン処理

5.4.2 マクロ定義

表 5-11 main.c 定義一覧

定義名	型	初期値	説明
D_PRV_PC_TOOL_USE	bool	1	PC ツールプログラムとの通信を 0:使用しない 1:使用する
D_PRV_SAMPLE_NUM	size_t	8	移動平均のサンプル数

表 5-12 r_roadcell_api.h 定義一覧

定義名	型	初期値	説明
D_LC_PGA_GAIN	float	128.0F	ロードセル計測用 PGA のゲイン G_{PGA} [倍]
D_LC_CODE_FS	uint32_t	16777216	2^{24}
D_LC_DF_GAIN	float	0.677626F	デジタルフィルタゲイン G_{DF}
D_LC_VREF	float	5.0F	DSAD 基準電圧 V_{REF}
D_LC_VCC	float	5.0F	ロードセル印加電圧 V_{CC}
D_LC_RO	float	0.0009F	定格出力 $RO[V/V]$
D_LC_MMAX	float	600.0F	定格荷重 $M_{MAX}[g]$
D_LC_COEFFICIENT_A	float	$(D_LC_MMAX * D_LC_VREF * 2) / (D_LC_RO * D_LC_VCC * D_LC_CODE_FS * D_LC_PGA_GAIN * D_LC_DF_GAIN)$	AD 値[LSB]から重量[g]に変換するための係数 a $\frac{M_{max}}{RO \cdot V_{cc}} \cdot \frac{2V_{REF}}{2^{24} \cdot G_{PGA} \cdot G_{DF}}$
D_LC_COEFFICIENT_B	float	0.0F	係数 b

5.4.3 構造体

表 5-13 r_ring_buffer_control_api.h 構造体一覧

構造体名	st_ring_buf_t		
メンバ変数	型	名称	内容
	uint8_t *	p_buf	リングバッファのポインタ
	size_t	length	リングバッファ長
	uint32_t	r_index	リードインデックス
	uint32_t	w_index	ライトインデックス

5.4.4 関数一覧

表 5-14 main 関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
main main 関数	void	-		void	-	-
stop_operation 通信の停止とリングバッファの初期化	void	-	I	st_ring_buf_t *	ary	リングバッファへのポインタ
analysis_packet 受信パケットに従い、コマンド実行し、応答パケットを格納する。 Run/Stop コマンドの場合、計測結果送信許可フラグを更新。	size_t	応答データ長	I	uint8_t const	recv_pck[]	受信パケット格納配列
			O	uint8_t	send_pck[]	応答パケット格納配列
				bool *	p_tx_flag	計測結果送信許可フラグへのポインタ
sw_check SW1 押下を検出	bool *	SW1 true : 押下 false : 押下以外	I/O	void	-	-

表 5-15 r_communication_control_api 関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_COMM_GetPacket 受信リングバッファから、1パケット読み出す	uint16_t	パケット長[Byte]	I	st_ring_bif_t *	r_buf	受信リングバッファへのポインタ
			O	uint8_t	r_packet[]	受信パケット格納配列

表 5-16 r_ring_buffer_control_api 関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_RINGBUF_GetData リングバッファから指定バイト数を読み出す	size_t	読み出しバイト数	I	st_ring_buf_t *	ary	リングバッファへのポインタ
			O	uint8_t	data[]	データ格納配列
			I	size_t	len	読み出しバイト数
			I	bool	index_update	インデックス更新フラグ true: 更新する false: 更新しない
R_RINGBUF_SetData リングバッファへ指定バイト数書き込む	size_t	書き込みバイト数	O	st_ring_buf_t *	ary	リングバッファへのポインタ
			I	uint8_t	data[]	データ格納配列
			I	size_t	len	書込バイト数
R_RINGBUF_GetDataLength リングバッファに格納されたバイト数を読み出す	size_t	格納バイト数	I	st_ring_buf_t *	ary	リングバッファへのポインタ
R_RINGBUF_SetDataIndex リングバッファのインデックスを更新する	uint32_t	インデックス値	O	st_ring_buf_t *	ary	リングバッファへのポインタ
			I	uint16_t	value	インデックス値
			I	uint8_t	select	対象インデックス 0: Read, 1: Write

表 5-17 r_sensor_common_api 関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_CALC_MovingAverage	float	移動平均結果	I	float	input	入力値 (A/D 変換値)
			I	float	array[]	前値配列
			I	size_t	size	前値配列要素数
			I	int32_t *	w_index	書込インデックス値へのポインタ

表 5-18 r_loadcell_api 関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_LC_DsadToWeight A/D 値を重量に変換する	float	測定重量 [g]	I	float	dsad	A/D 平均値
			I	float	coef_a	係数 a
			I	float	coef_b	係数 b

表 5-19 Config_CMT0 ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_CMT0_IsTimeout タイムアウトかどうかを返す	bool	false: カウント中 true: タイムアウト	I	bool	flag	カウンタ停止 false : 続行 true : 停止
R_CMT0_CntClear CMT0 のコンペアマッチタイマカウンタをクリアする	void	-	-	void	-	

表 5-20 Config_DMAC0 ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_DMAC0_SetDestAddr DMAC0 の DMDAR を設定	void	-	I	void *	p_addr	destination address
R_DMAC0_GetDestAddr DMAC0 の DMDAR を返す (マクロ関数)	void *	DMAC0.DMDAR	-	void	-	-

表 5-21 Config_DMAC3 ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_DMAC3_SetSrcAddr DMAC3 の DMSAR を設定	void	-	I	void *	p_addr	source address
R_DMAC3_SetTxCnt DMAC3 の DMCRA を設定	void	-	I	uint32_t	cnt	transfer count

表 5-22 Config_DSAD0 ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_DSAD0_IsConversionEnd DSAD0 の AD 変換状態を返す	bool	false : Conversion true : Conversion end	-	void	-	-
R_DSAD0_ClearIrFlag DSAD0 の IR フラグをクリア	void	-	-	void	-	-

表 5-23 Config_PORT ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_LED1_On LED1 を点灯（マクロ関数）	void	-	-	void	-	-
R_LED1_Off LED1 を消灯（マクロ関数）	void	-	-	void	-	-

表 5-24 Config_SCI1 ユーザー定義関数一覧

関数名/概要	戻り値		引数			
	型	値	I/O	型	変数名	説明
R_SCI1_IsTransferEnd returns the transfer status of SCI1	bool	false:Transferring true:Transfer end	-	void	-	-
R_SCI1_SendStart start transmission of SCI1	MD_STATUS	MD_OK	-	void	-	-
R_SCI1_SendStop stop transmission of SCI1	MD_STATUS	MD_OK	-	void	-	-
R_SCI1_ReceiveStart starts receiving of SCI1.	MD_STATUS	MD_OK	-	void	-	-

6. プロジェクトをインポートする方法

サンプルコードは e² studio のプロジェクト形式で提供しています。本章では、e² studio および CS+ヘブプロジェクトをインポートする方法を示します。インポート完了後、ビルドおよびデバッグの設定を確認してください。

6.1 e² studio での手順

e² studio でご使用になる際は、下記の手順で e² studio にインポートしてください。

(使用する e² studio のバージョンによっては画面が異なる場合があります。)

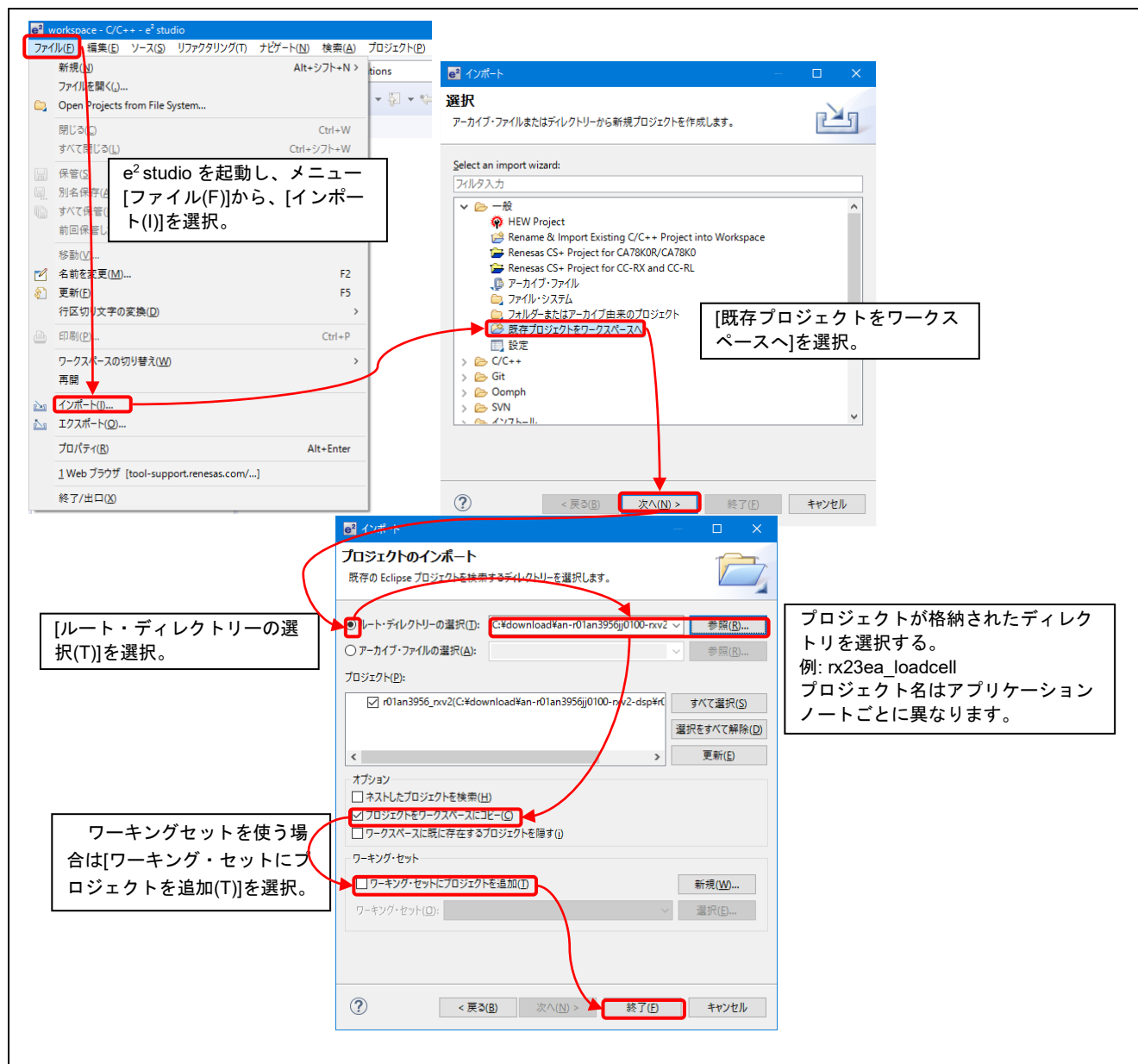


図 6-1 プロジェクトを e² studio にインポートする方法

6.2 CS+での手順

CS+でご使用になる際は、下記の手順でCS+にインポートしてください。

(使用するCS+のバージョンによっては画面が異なる場合があります。)

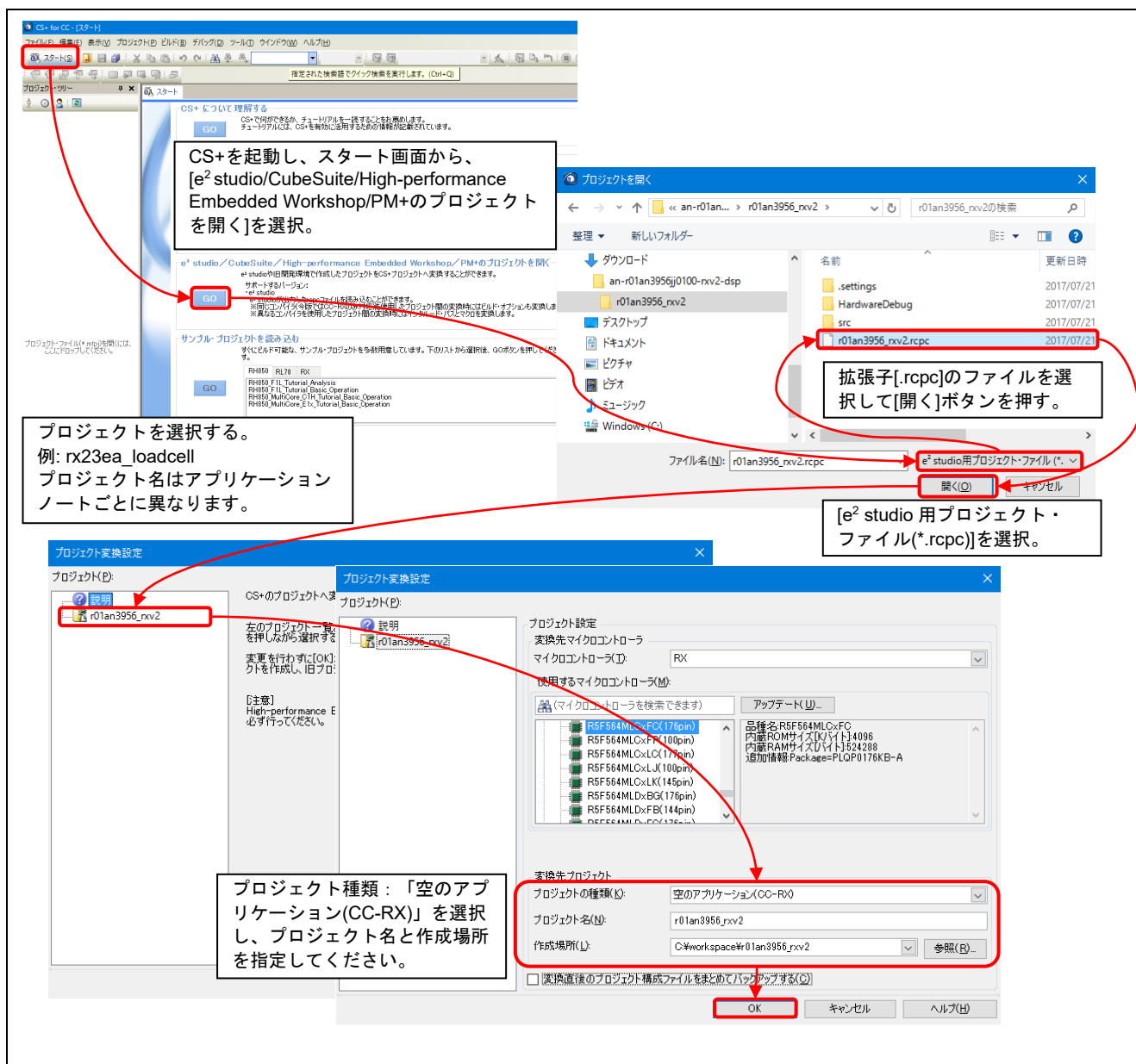


図 6-2 プロジェクトをCS+にインポートする方法

7. サンプルプログラムを使用した計測結果

7.1 使用メモリと実行サイクル数

7.1.1 ビルド条件

「3 動作確認環境」において、サンプルプログラムのビルド条件を表 7-1 に示します。この設定は、この設定は、PC ツール対応のメモリ配置を除いてプロジェクト生成時のデフォルト設定です。

表 7-1 ビルド条件

項目		設定
Compiler	PC ツール非対応	-isa=rxv2 -utf8 -nomessage -output=obj -debug -outcode=utf8 -nologo
	PC ツール対応	上記に追加 -define=D_PRV_PC_TOOL_USE=1
Linker		-noprelink -output="rx23ea_loadcell.abs" -form=absolute -nomessage -vect=_undefined_interrupt_source_isr -list=rx23ea_loadcell.map -nooptimize -rom=D=R,D_1=R_1,D_2=R_2 -nologo
追加セクション		-start=B_DMAC_REPEAT_AREA_1/02000

7.1.2 使用メモリ

サンプルプログラムのメモリ使用量を表 7-2 に示します。

表 7-2 メモリ使用量

項目	サイズ [byte]		備考
	PC ツール非対応	PC ツール対応	
ROM	8351	8805	
Code	6565	7019	
Data	1786	1786	
RAM	7061 (2069)	12183 (7191)	【注】
Data	1941	7063	
Stack	5120 (128)	5120 (128)	【注】

【注】 “()”で示す RAM の使用量は Stack の使用量から算出

7.1.3 実行サイクル数

「図 5-1 重量計測処理フロー」の各ブロックの実行サイクル数と処理負荷を表 7-3 に示します。

表 7-3 実行サイクル数

項目	実行サイクル数 (実行時間@ICLK=32MHz)	処理負荷 [%]	条件
温度計測	155cycle (4.84usec)	0.005	A/D 変換値取得から温度算出まで
通信制御	351cycle (10.97usec)	0.011	正常動作時の最大処理サイクル数

【注】 処理負荷は DSAD の出力周期(100msec)中の実行時間で算出

7.2 重量計測

RSSKRX23E-A ボードとサンプルプログラムを使用して、表 4-1 に示すロードセル LT1-06G による重量計測結果を示します。

7.2.1 計測条件

重量計測のシステム構成を図 7-1 に、計測に使用した機器を表 7-4 に示します。また、計測重量に対する分銅の組み合わせと、分銅の公差をそれぞれ表 7-5、表 7-6 に示します。キャリブレーションは「4.3 キャリブレーション」に従い、0g（無負荷）と 550g の 2 点の重量で行っています。

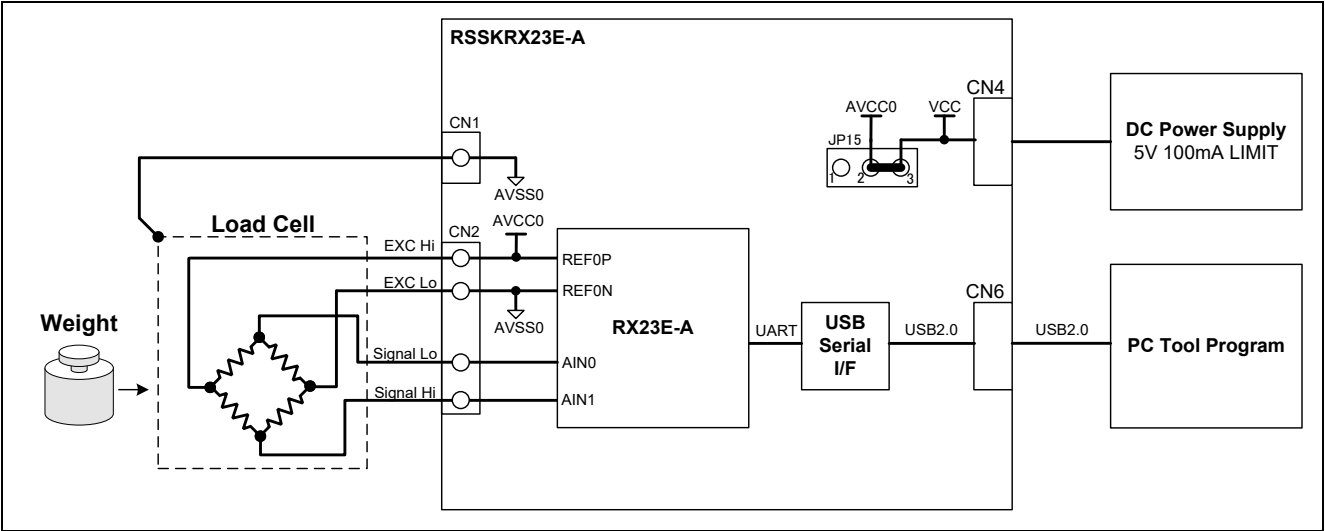


図 7-1 ロードセルによる重量計測の構成

表 7-4 ロードセルによる重量計測 使用機器

項目	型式	メーカー名
DC Power Supply	PCR1000MS	KIKUSUI ELECTRONICS CORPORATION
Counterweight	738-65-53-04	Tokyo Garasu Kikai Co., Ltd.

表 7-5 設定重量に対する分銅の組み合わせ

設定重量	分銅の組み合わせ
50g	50g x1
100g	100g x1
150g	50g x1 100g x1
200g	200g x1
250g	50g x1 200g x1
300g	100g x1 200g x1
350g	50g x1 100g x1 200g x1
400g	200g x2
450g	50g x1 200g x2
500g	500g x1
550g	50g x1 500g x1

表 7-6 分銅の公差

分銅の重量	分銅の公差
50g	±30mg
100g	±30mg
200g	±50mg
500g	±100mg

7.2.2 計測結果

重量計測結果から、計測値の誤差をロードセル出力のフルスケール 550g で割った結果を図 7-2 に示します。分銅の公差内に計測重量が収まっていることから、RX23E-A が十分な計測精度を有していることが確認できます。

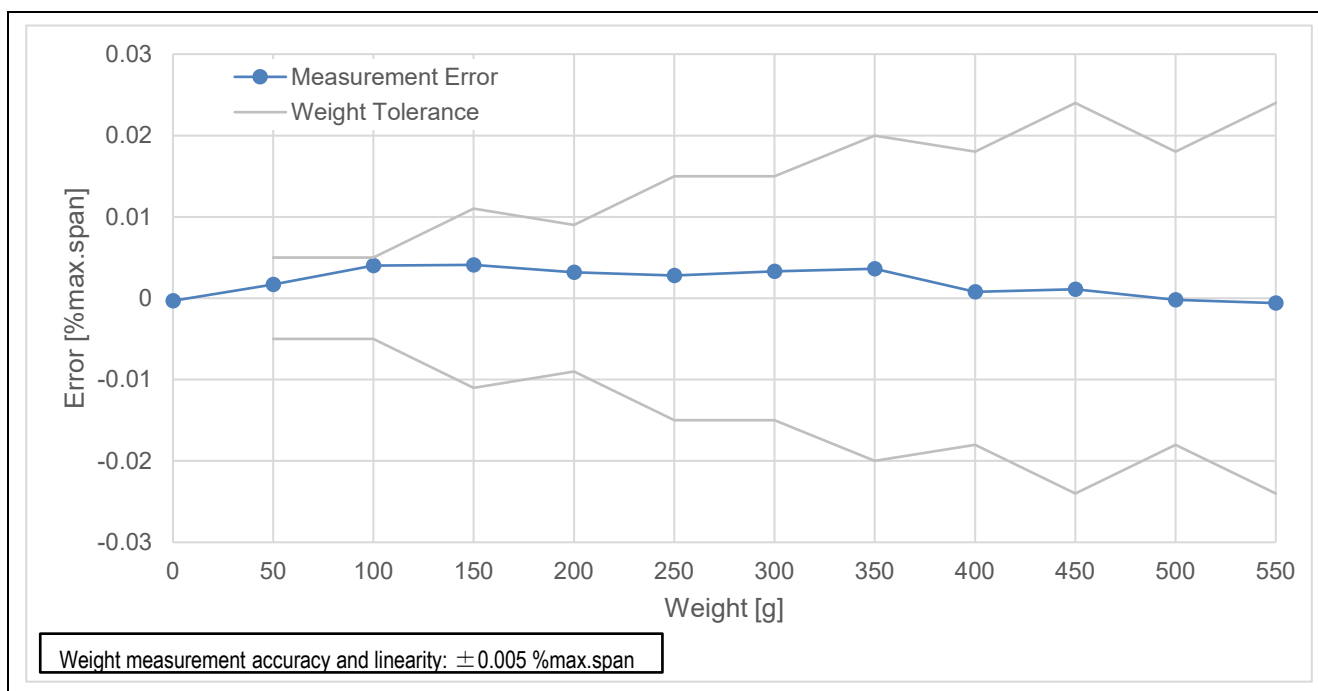


図 7-2 重量計測誤差（周囲温度：25℃）

設定重量 0g 時の移動平均をしない 1000 サンプルの重量計測値のヒストグラムを図 7-3 に示します。重量は rms 値で 4.82mg、P-P 値で 31.2mg でした。ロードセルの重量電圧感度は 7.5uV/g なので、入力換算電圧は rms 値で 36.2nV、P-P 値で 234nV になります。これらから算出した有効分解能とノイズフリー分解能を以下に示します。RX23E-A の 10SPS、PGA ゲイン 128 倍における入力換算ノイズの typ. 33nVrms に対し、ロードセルのノイズが若干加わっていますが、RX23E-A で高精度な重量測定が可能であることがわかります。

有効分解能：	21.0bit (36.2nVrms: 4.8mg 相当)
ノイズフリー分解能：	18.4bit (234nV: 31.2mg 相当)

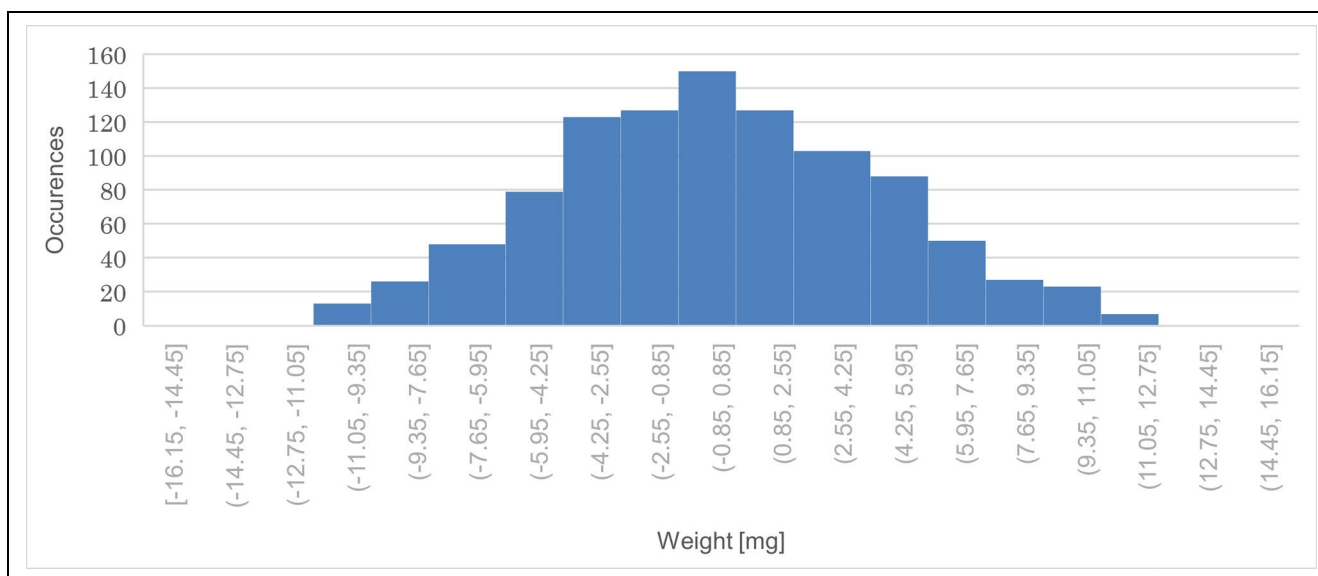


図 7-3 設定重量 0g（無負荷）時の計測値ヒストグラム

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	Nov.29.19	-	初版
1.10	July 20.20	p.3 p.10 p.22	表 3-1 IDE と Tool Chain の更新 表 5-3 Smart Configurator での設定の更新 表 7-1,表 7-2,表 7-3 IDE, Tool Chain 更新に伴い変更 その他、誤記修正と説明追加

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。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、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、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。
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）、交通管制（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

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

6. 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。
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、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。
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。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. 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。
10. 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。
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。
12. 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.4.0-1 2017.11)

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。