

RL78/I1A

R01AN1087JJ0201

Rev. 2.01

RL78/I1A による LED 制御

2013.03.26

目的

本アプリケーション・ノートは、RL78/I1A マイクロコントローラの機能を使用して LED 照明システムを制御する方法について説明します。

対象読者

本書は、LED照明システムおよび電源システムを設計し、開発するシステム・エンジニアを対象にしています。

対象製品は以下のとおりです。

- 20ピン：R5F1076C
- 30ピン：R5F107AE、R5F107AC
- 38ピン：R5F107DE

目 次

1. はじめに	3
2. RL78/I1A を使用した LED 制御の概要	4
2.1 LED システム制御に関する RL78/I1A の特徴	4
2.2 システム・ブロック図	5
2.3 RL78/I1A の端子機能	6
3. LED 制御ソフトウェア	7
3.1 ファイル構成	7
3.2 内蔵周辺機能の初期化	8
3.3 定電流および調光制御	10
3.4 PI 制御によるフィードバック方法	13
3.5 PI 制御式の係数の計算	16
3.6 ソフトウェア・フロー・チャート	19
4. RL78/I1A DC/DC LED 制御評価ボードの起動方法	23
付録 A 写真	25
付録 B 回路図	26

1. はじめに

本アプリケーション・ノートは、RL78/I1A マイクロコントローラを使用した高輝度 LED を制御するサンプル・プログラムについて説明しています。本サンプル・プログラムは定電流制御による 3 チャンネルの LED の独立制御、可変抵抗器を使用した個別調光制御をおこなっています。また定電流制御のフィードバック処理は、PI（比例積分）制御に基づいているものです。

本プログラムは、RL78/I1A DC/DC LED 制御評価ボード（EZ-0012）を使用して評価することができます。RL78/I1A DC/DC LED 制御ボードの端子構成は回路図にて確認ください。

2. RL78/I1A を使用した LED 制御の概要

2.1 LED システム制御に関する RL78/I1A の特徴

RL78/I1Aマイクロコントローラには、LED照明システムを効率的に制御するための以下のような様々な機能が組み込まれています。

- RL78/I1Aマイクロコントローラでは、16ビット・タイマKB0、KB1、KB2と16ビット・タイマKC0のタイマ出力機能を使用して、最大6チャンネルのLED定電流制御とPWM調光制御をすることができます。そのため、LED定電流制御専用の外部ICが不要になり、設計コストを削減することができます。16ビット・タイマKBnは強力な機能を有し、その中にはサンプル・プログラムで使用するディザリング機能があります。この機能を使用すると、平均PWM分解能を0.98 nsに上げることができます。
- また、RL78/I1Aでは、臨界導通モード(CRM)において、16ビット・タイマKBnと連動するコンパレータおよび外部割り込みによるタイマ・リスタート機能を使用して力率改善(PFC)制御が可能です。PFC制御のための専用ICも不要になるので、設計コストがさらに削減されます。
- RL78/I1Aには、LEDまたはPFC制御回路内で過電流または過電圧が検出された場合にCPUを介在しないでPWM出力を停止することができる保護機能も内蔵されています。この機能は、16ビット・タイマKBnと連動するコンパレータおよび外部割り込みをトリガとした強制的出力停止機能を使用することによって実現します。
さらに、緊急停止後の動作再開はソフトウェアで制御できるため、システム要件に応じてフレキシブルな保護機能が実現されます。
- RL78/I1Aマイクロコントローラは、DALI通信スレーブ機能をサポートするシリアル・アレイ・ユニット(UART4/DALI)を搭載し、DALI通信規格に準拠したマンチェスタコードの送受信(送信: 11、19または27ビット、受信: 19、20または27ビット)をすることができます。これにより、データ送信および受信時のCPU負荷が軽減されています。
- RL78/I1Aは、UART0シリアルインタフェースを使用したDMX512通信もサポートしています。ここで、タイマ・アレイ・ユニットのチャンネル7の入力信号パルス幅測定機能を使用して、RxD0端子のブレーク時間の立ち下りエッジを検出しその幅(88 μ s以上のロー・レベル)を測定することができます。また、16ビットタイマ・アレイ・ユニットのインターバル・タイマ機能を使用して、Mark After Break信号の幅(8 μ s ~ 1 sのハイ・レベル)を計算し信号を受け付けることができます。Mark Time Between Slotsを計測することもできます。
- 赤外線(IR)リモート・コントロール信号受信に16ビット・タイマ・アレイ・ユニットのパルス間隔測定機能を使用することができます。これにより、データ受信時のCPU負荷を軽減することができます。

注 16ビット・タイマKC0ゲート制御機能を使用したPWM調光は、本アプリケーション・ノートで説明するサンプル・プログラムでは使用しません。タイマKB0およびKB1チャンネルのPWM値を調整することによるDC調光のみを使用します。

2.2 システム・ブロック図

図2-1に、RL78/I1A DC/DC LED制御評価ボード（EZ-0012ボード）のシステム・ブロック図を示します。本LED照明システムは、16ビット・タイマKB0およびKB1を使用して3チャンネルLED制御を実行し、以下を使用して調光制御を行います。

- オンボード可変抵抗器（10ビットA/Dコンバータを使用）によるボリューム制御。この調光についてのみ、本アプリケーション・ノートで説明します。
- DALI通信（DALI/UART4インターフェースを使用）
- DMX512通信（UART0インターフェースを使用）
- IR通信（パルス間隔測定モードでタイマ・アレイ・ユニット・チャンネルを使用）

RL78/I1Aマイクロコントローラのみで完全制御を実現するため、追加の外部ICが必要ありません。

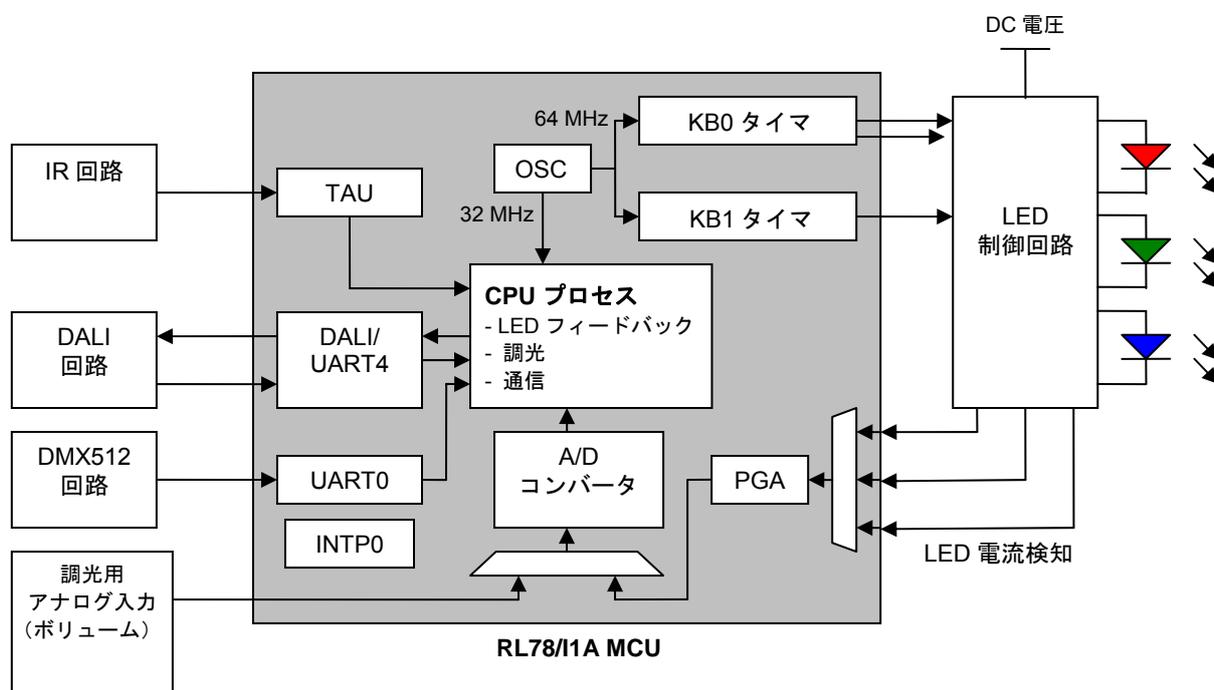


図2-1 RL78/I1ADC/DC LED 制御評価ボードのブロック図

2.3 RL78/I1A の端子機能

以下の表に、使用端子とLED制御システムにおけるそれぞれの機能を簡単に説明します。

機能	機能名	端子名	I/O	説明
LED 制御	TKBO00	P200	O	LED1 の PWM 出力
	TKBO01	P201	O	LED2 の PWM 出力
	TKBO10	P203	O	LED3 の PWM 出力
	ANI2	P22	I	LED1 のフィードバック電流入力
	ANI4	P24	I	LED2 のフィードバック電流入力
	ANI5	P25	I	LED3 のフィードバック電流入力
	ANI6	P120	I	LED2 調光用ボリューム入力
	ANI7	P26	I	LED3 調光用ボリューム入力
	ANI19	P27	I	LED1 調光用ボリューム入力
通信	TXD0	P10	O	DALI 送信出力
	RXD0	P11	I	DALI/DMX512 受信入力
	TI05	P05	I	IR 受信入力

表2-1 端子機能

3. LED 制御ソフトウェア

本章では、ルネサス エレクトロニクスホームページからダウンロードするファイルのファイル構成、使用するRL78/I1Aの内蔵周辺機能およびそれらの初期設定について説明します。また、本サンプル・プログラムの全体的な動作（定電流と調光制御）概要と、フィードバック制御用に実装されたPI制御については包括的な説明とフロー・チャートを示します。

3.1 ファイル構成

本サンプル・プログラムは、以下のように複数のファイルに分割されています。

- **r_init.asm** : オプション・バイトの設定
- **r_main.c** : メイン関数
- **r_usermain.c** : LED調光関数
- **r_userinit.c** : 周辺初期化設定の最上位関数
- **r_adc.c** : LEDボリューム読み取りのための一般的な関数
- **r_adc19.c** : ANI19アナログ入力端子読み取り（LED1ボリューム：VR1）の初期化関数と実行関数
- **r_adc6.c** : ANI6アナログ入力端子読み取り（LED2ボリューム：VR2）の初期化関数と実行関数
- **r_adc7.c** : ANI7アナログ入力端子読み取り（LED3ボリューム：VR3）の初期化関数と実行関数
- **r_timer.c** : LEDボリューム・アナログ・サンプリングのタイマ関数（インターバル・モード）
- **r_led.c** : ポート初期化関数、タイマ初期化関数、およびLEDフィードバック処理関数
- **r_led1.c** : LED1チャンネル制御関数
- **r_led2.c** : LED2チャンネル制御関数
- **r_led3.c** : LED3チャンネル制御関数
- **r_led_user.c** : 調光レベル変換のためのデータ・テーブル
- **r_systeminit.c** : システム初期化関数
- **r_cg.c** : クロック初期化関数
- **r_lvd.c** : LVI初期化関数
- **r_wdt.c** : ウォッチドッグ初期化関数
- **r_user.h** : クロックおよびADCの設定に使用するパラメータ定義

3.2 内蔵周辺機能の初期化

本サンプル・プログラムでは、以下のRL78/I1Aマイクロコントローラ内蔵周辺機能を使用します。

- 調光処理間隔制御：16ビットTAUチャンネル0
- フィードバック処理間隔制御：16ビットTAUチャンネル1
- ディザリング機能によるPWM出力：16ビット・タイマKB0およびKB1
- ボリューム入力：10ビットA/Dコンバータ・チャンネルn (n=19、6、7)
- フィードバック入力増幅：PGAチャンネルn (n=2、4、5)
- LED電流フィードバック入力 (PGA出力から)：10ビットA/Dコンバータ・チャンネルn (n=3)

アナログ入力チャンネル	機能
ANI0	AVREFP
ANI1	AVREFM
ANI2	LED1 フィードバック電流入力
ANI4	LED2 フィードバック電流入力
ANI5	LED3 フィードバック電流入力
ANI6	LED2 調光用ボリューム入力
ANI7	LED3 調光用ボリューム入力
ANI16	未使用
ANI17	未使用
ANI19	LED1 調光用ボリューム入力

表3-1 A/D コンバータ・チャンネル割り当て

ハードウェア初期化には以下の設定が含まれます。

1) オプション・バイトの設定

- ウォッチドッグ・タイマ動作の停止
- LVD (低電圧検出器) 動作モードおよび検出レベルの設定
 - V_{LVI} (低電圧検波電圧) を4.06 Vに設定
 - LVDをリセット・モードに設定 (V_{DD} が V_{LVI} 未満のとき、内部リセットを生成する)
- システム・クロック・ソースとして高速内蔵発振器 (4 MHz) を選択
- オンチップ・デバッグの有効化

2) 周辺設定

- PLLを使用してCPUクロック周波数を32 MHzに設定 (内蔵高速発振クロック f_{IH} x 1/2の16倍)
- 周辺機能クロック供給の設定
- I/Oポートの設定
- 16ビットTAUチャンネル0の設定
 - カウント・クロックを f_{CLK} (32 MHz) に設定
 - 間隔時間を1 ms ($(TDR00 + 1) / f_{CLK}$) に設定
 - 割り込みINTTM00のマスクを解除
- 16ビットTAUチャンネル1の設定
 - カウント・クロックを f_{CLK} (32 MHz) に設定
 - 間隔時間を100 μ s ($(TDR01 + 1) / f_{CLK}$) に設定
 - 割り込みINTTM01のマスクを解除
- A/Dコンバータの設定
 - A/D変換時間を2.97 μ sに設定
 - 割り込みINTADをマスク
- プログラマブル利得増幅器 (PGA) の設定
 - PGA 増幅率を8倍に設定
 - 入力チャンネルをANI2に設定
- 16ビット・タイマKBの設定
 - カウント・クロックを f_{PLL} =64 MHzに設定
 - TKBO00、TKBO01、TKBO10 PWM出力ディザリング機能を有効化
 - TKBOおよびTKB1の動作モードをスタンダロン・モードに設定

- TKBO00、TKBO01、TKBO10の出力のデフォルト・レベルをロー・レベルに、アクティブ・レベルをアクティブ・ハイに設定
- PWM出力の周波数を250 kHz ($f/(TKBCRn0 + 1)$ 、 $n=0, 1$) に設定
 - 分解能8ビットの64 MHzカウント・クロック・ソース ($64 \text{ MHz}/2^8$)
- 割り込みINTTMKB0、INTTMKB1をマスク

初期化後、LEDを駆動するために16ビット・タイマKB0とKB1から250 kHz PWM信号が出力されます。A/Dコンバータは、フィードバック入力端子からセンス電圧を検出し、それらをADC目標レベルと比較し、定電流を維持するようにPWM出力のデューティを調整します。

3.3 定電流および調光制御

TAUチャンネル0、TAUチャンネル1、タイマKB0、タイマKB1、およびA/Dコンバータを初期化後に起動します。動作を開始すると、メイン・ループ・プログラムはオンボード可変抵抗器から最新のLEDボリューム・レベルを取得し、各LEDチャンネルの調光目標レベル（'VRn'^{注1}）を計算します。

TAUチャンネル0割り込み（INTTM00）は1 msごとに発生します。'count_ms'変数が5 msに達すると、割り込み処理ルーチンを変数を増分し、プログラムは次の3 LEDボリューム・チャンネルのA/D変換に進みます。

フィードバック処理は、100 μ sごとに発生するTAU1（INTTM01）の割り込み処理ルーチン内で、PWM出力のデューティを調整することによってLEDn^{注1}の定電流制御を行います。

A/D変換 'FB_LEDADn'^{注2}の結果は、PI制御によるフィードバック処理で、最後の結果 FB_LEDADn_old および目標レベル'VRn'と比較されます。PI制御によるフィードバック処理についての詳細は3.4節を参照してください。

このフィードバック・プロセスを使用することによって、センス電圧を目標レベル電圧に近づけることができます。目標レベルが変化した場合、センス電圧が目標に達する前にフィードバック・プロセスが2回以上実行されます。

ボリュームn^{注1}の計算では、A/D変換の結果を使用して、LEDの輝度を表す調光レベル（目標レベル：'VRn'）が計算されます。

このサンプル・プログラムでは、'FB_LEDADn'範囲（0~0.45 V）と等価な'VRn'範囲（当初は0~5 Vに対応する値の間）を得るように、選択したボリューム・チャンネルのA/D変換結果を変換します。

- 注 1. n=1, 2, 3（ボード EZ-0012 上で、LED1 が赤、LED2 が緑、LED3 が青）
2. サンプル・プログラム中のグローバル変数をシングル・クォーテーション（'）で示します。

TM00割り込み（INTTM00）が発生し、カウントが5 msに達すると、アナログ入力チャンネルはLED1ボリューム・チャンネルに設定され、割り込み処理ルーチンの同じ回の繰り返しの中でLED2およびLED3ボリューム・チャンネルにシフトします。

TM01割り込みが100 μ sごとに発生すると、アナログ入力チャンネルはフィードバック・チャンネルの1つに変更されます。さらに、割り込み処理ルーチンの次の繰り返しで入力チャンネルを次のフィードバック・チャンネルにシフトするために、'feedback' 変数を更新します。

LED1の定電流制御に使用する回路を下図に示します。RL78/I1A PWM出力はPre-Driverを介しバックコンバータのMOSFETをON/OFF制御し、次に、A DC入力はLEDフィードバック電流を測定し、RL78/I1A CPUはLEDにおける定電流を維持するためにPI制御を実装します。ADC目標値はオンボード可変抵抗器VR1から読み取ります。

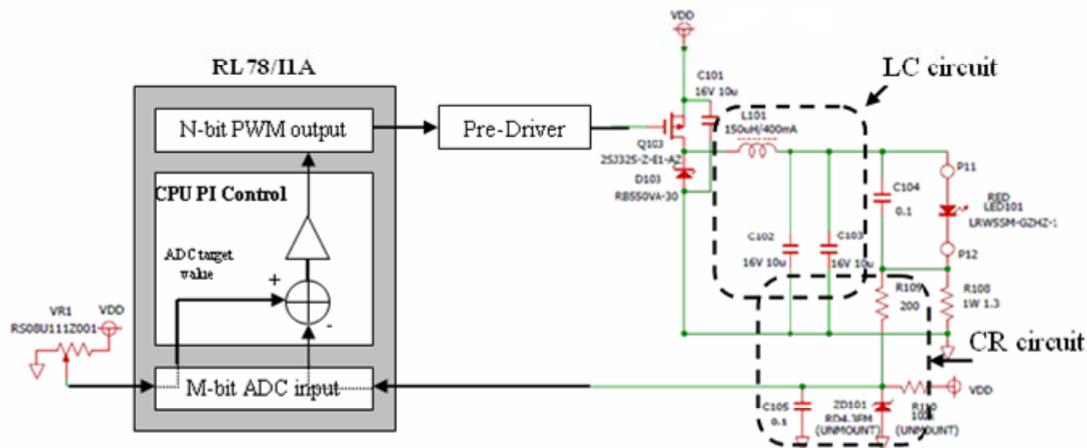


図3-1 LED1 定電流制御のためのバック・コンバータ回路

アナログ入力チャネルのシフト・フローを下図に示します。

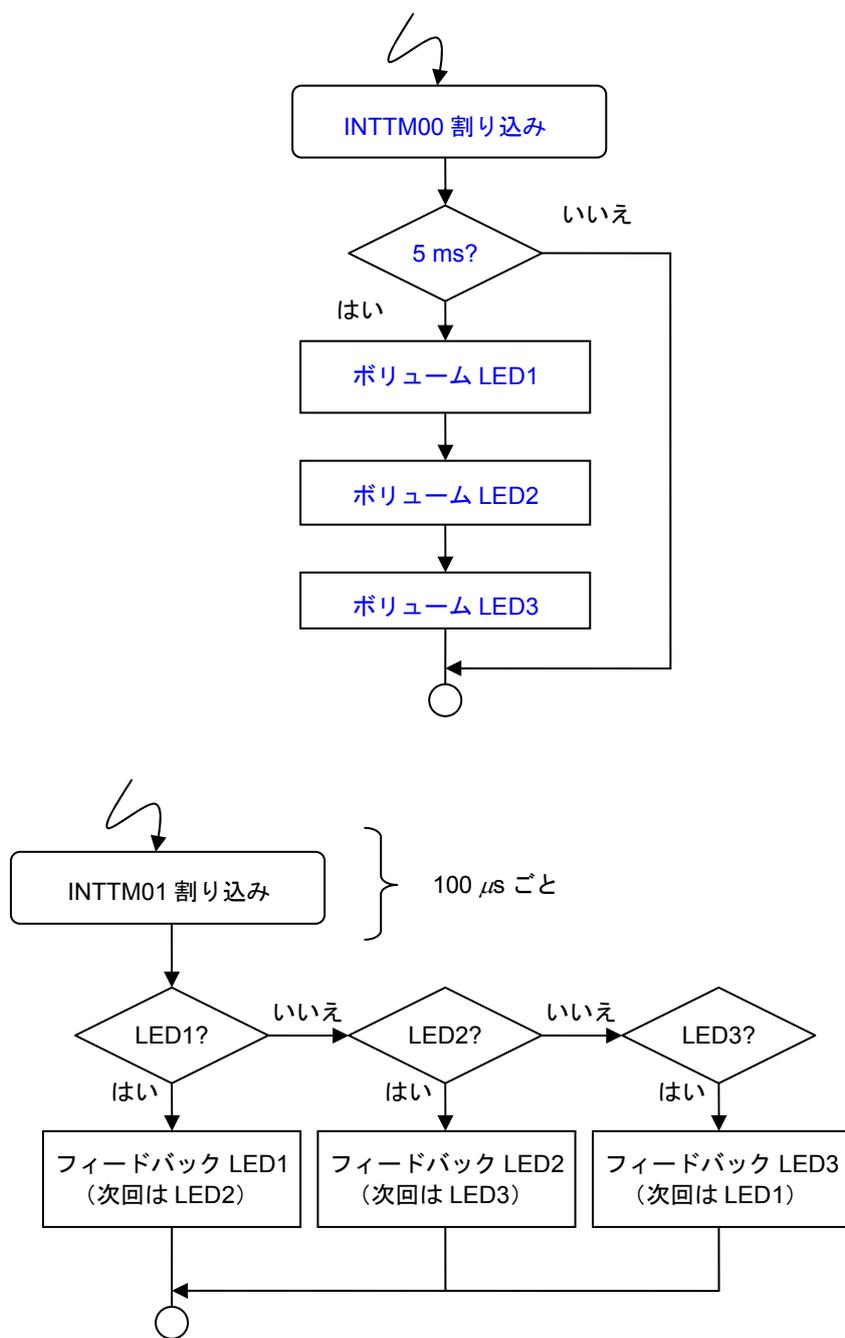


図3-2 アナログ入力チャネルのシフト・フロー

3.4 PI制御によるフィードバック方法

LEDの定電流制御と調光制御（オン/オフを含む）は、いずれもPI制御によるフィードバック処理を使用することによって実現できます。

PIフィードバックの一般的な式を以下に示します。

係数A1およびA2の計算方法については、3.5節「PI制御式の係数の計算」を参照してください。

$$D(n) = D(n-1) + A_1 \cdot E(n) + A_2 \cdot E(n-1)$$

D (n): 最新のPWM出力デューティ

D (n-1): 前回のPWM出力デューティ

E (n): 最新の誤差値 = (A/D変換目標値) - (最新のA/D変換測定値)

E (n-1): 前回の誤差値 = (A/D変換目標値) - (前回のA/D変換測定値)

A1、A2: 係数

1) LEDの定電流制御

LED電流 I_{LED} の目標値は、A/D変換目標値に基づいて判断されます。A/D変換目標値が X_{TARGET} であるときの設定方法を以下に示します。

$$X_{TARGET} = \frac{(I_{LED} \times 8) \times R_s}{V_{REF}} \times 2^M$$

注 この節のサンプル・プログラムでは、A/D変換目標値 X_{TARGET} を'VRn'と定義しています。

たとえば、LED電流 $I_{LED}=350$ mAで定電流制御を実行するとき、センス抵抗 $R_s=1.3$ Ω、A/Dコンバータ基準電圧 $V_{REF}=5$ VおよびA/D変換解像度 $M=10$ ビットと仮定して、A/D変換目標値 $X_{TARGET}=744$ を設定します。

LED電流フィードバック測定値は、利得8のプログラマブル利得増幅器を使用して増幅されるので、A/D変換目標値 X_{TARGET} に8を乗算する必要があります。

2) LEDの調光制御

電流調光制御は、LED定電流の目標値を変更することによって実行できます。つまり、調光に合わせてA/D変換目標値 X_{TARGET} を変更することができます。その結果、PI制御の目標値が変更され、RL78/I1Aマイクロコントローラは X_{TARGET} の理想的な値に向けたフィードバック制御を実行します。たとえば、LED電流を350 mAから100 mAに変更するには、 X_{TARGET} 値を744から216に変更します。

3) PGA入力オフセット電圧補正

PGA（プログラマブル・ゲイン・アンプ）を使用するとき、 ± 5 mV \sim ± 10 mVの入力オフセット電圧を増幅してしまいます。その結果PGAは正確な電圧をフィードバック・ループに供給できません。そのためサンプル・プログラムでは、正のオフセット電圧を考慮し、補正する処理を行っています。

各チャンネルのLEDフィードバック処理の初回時、すなわちLEDがまだオフであるときに、LEDフィードバック電圧値を計算し、これらの値を'offsetLEDn'変数として保存します。これらの値は、電流がLED中を流れていないとき、PGAによって誘導されるオフセット電圧を表します。LEDフィードバック処理では、LEDが点灯するとき、オフセット電圧を消去するために次のLEDフィードバック電圧値からこれらの値を減算します。

さらに、RL78/I1A DC/DC LED制御評価ボードは、各チャンネル・フィードバック回路上のプルアップ抵抗 (R110、R210、R310) によって正のオフセット電圧からの影響を低減するように設計されています。

動作の概要を以下に示します。

- <1> PGA増幅を開始します。
- <2> センス抵抗を使用して測定したLEDフィードバック電圧のA/D変換を開始します。
- <3> A/D変換目標値を読み取ります。
- <4> オフセット電圧を考慮に入れてPI制御の「 $A2 \times E(n-1)$ 」を計算します。
- <5> A/D変換の結果LEDで過電流が発生した場合は、LED出力の処理を停止します。
(この場合は、以下の<6>から<8>までのPI制御の処理を実行しません。)
- <6> A/D変換の結果LEDで過電流が発生しない場合は、オフセット電圧を考慮に入れてPI制御の「 $A1 \times E(n) + A2 \times E(n-1)$ 」を計算します。
- <7> 最後のPWM出力デューティ $D(n-1)$ を<6>の「 $A1 \times E(n) + A2 \times E(n-1)$ 」の結果と比較します。
「 $D(n-1) + A1 \times E(n) + A2 \times E(n-1)$ 」の計算結果が最小PWMデューティ値から最大PWMデューティ値までの範囲内にある場合は誤り計算の結果に応じてデューティ $D(n)$ を設定し、それ以外の場合はデューティ $D(n)$ を最大値または最小値に設定します。
- <8> PWM出力のデューティ設定値を更新します。
- <9> LEDフィードバック電圧のA/D変換値を最後の値として保存します。

上記の動作のフロー (<1>から<9>まで) に対応するサンプル・プログラムの LED1 チャンネルに関する一部分を次ページに記します。

```

PGAINS = FEEDBACK_LED1;
PGAEN = ON; /* <1> */
for( ucCount=0; ucCount<20; ucCount++ )
{
    NOP();
}
ADS = PGA_OUTPUT;
ADCS = ON; /* <2> */
while (!ADIF){} /* <3> */
getvalue = ADCR; /* <3> */
ADCS = OFF;
ADIF = 0;
temp11 = VR1 - (FB_LEDAD1_old - offsetLED1); /* <4> */
ErrLED1 = A2 * temp11;
FB_LEDAD1 = (getvalue >> 6) & 0x03FE;
if (feedback_offset == 0)
{
    offsetLED1 = FB_LEDAD1;
}
If (FB_LEDAD1 >= (MAXCHECK + offsetLED1)) /* <5> */
{
    TKBCRLD00 = 0;
    TKBTRG0 = 1;
}
else
{
    temp12 = VR1 - (FB_LEDAD1 - offsetLED1); /* <6> */
    ErrLED1 += A1 * temp12;
    if (ErrLED1 > 0) /* <7> */
    {
        if (0xFFFF00 - Duty_LED1 >= ErrLED1)
        {
            Duty_LED1 += ErrLED1;
        }
        else
        {
            Duty_LED1 = 0xFFFF00;
        }
    }
    else if (ErrLED1 < 0)
    {
        if (Duty_LED1 > - ErrLED1)
        {
            Duty_LED1 += ErrLED1;
        }
        else
        {
            Duty_LED1 = 0;
        }
    }
    else if (VR1 == 0)
    {
        Duty_LED1 = 0;
    }
}
TKBCRLD00 = (unsigned short)(Duty_LED1 >> 8); /* <8> */
FB_LEDAD1_old = FB_LEDAD1; /* <9> */
TKBTRG0 = 1;
NOP();

```

★

3.5 PI 制御式の係数の計算

ここでは、3.4節に示すPI制御式で係数を計算する方法について説明します。係数A1およびA2は次式から得られます。

$$\begin{aligned} A_1 &= (\pi \times f_z \times T + 1) \times K_P \\ A_2 &= (\pi \times f_z \times T - 1) \times K_P \end{aligned}$$

π : パイ (円周率)
 f_z : ゼロ・ポイント周波数
 T : フィードバック周期
 K_P : 比例定数

つまり、係数A1およびA2は、3つのパラメータ f_z 、 T 、 K_P を判断することによって計算できます。これらのパラメータは、LED制御回路の利得から得られます。

1) 制御回路の極点周波数からのゼロ・ポイント周波数 (f_z) の計算

図3-1に示すように、この制御回路には2つの極点 (LC回路の極点とCR回路の極点) があります。

これらの極点周波数は、それぞれのカットオフ周波数に等しいと見なすことができます。前者を f_{c1} 、後者を f_{c2} とすると、

$L_1=150 \mu\text{H}$ 、 $C_1=20 \mu\text{F}$ 、 $C_2=0.1 \mu\text{F}$ 、 $R_2=200 \Omega$ の場合は次の値が得られます。

$$\begin{aligned} f_{c1} &= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}} = 2.9\text{KHz} \\ f_{c2} &= \frac{1}{2\pi \cdot C_2 \cdot R_2} = 7.9\text{KHz} \end{aligned}$$

次に、以下に示すように、これらの2つの周波数よりも低いゼロ・ポイント周波数を選択します。

$$f_z = 1.5\text{KHz}$$

2) ゼロ・ポイント周波数 (f_z) からのフィードバック周期 (T) の計算

サンプリング定理により、フィードバック周期 T の逆数に等しいサンプリング周波数はゼロ・ポイント周波数 f_z の2倍以上でなければなりません。

つまり、フィードバック周期 T とゼロ・ポイント周波数 f_z の関係は、次式とする必要があります。

$$T < \frac{1}{2f_z}$$

したがって、 $f_z=1.5 \text{kHz}$ とすると、フィードバック周期 T は $333 \mu\text{s}$ 未満でなければなりません。

また、フィードバック処理専用のCPU負荷を考慮する必要があります。合計3つのLEDチャンネルは定電流フィードバック制御を必要とします。したがって、このサンプル・プログラムでは、CPU負荷は以下の図3-3に示すようにLEDチャンネルごとにフィードバック制御を実行するために $100 \mu\text{s}$ の周期で分配されます。

これにより、フィードバック周期Tは次のように設定されます。

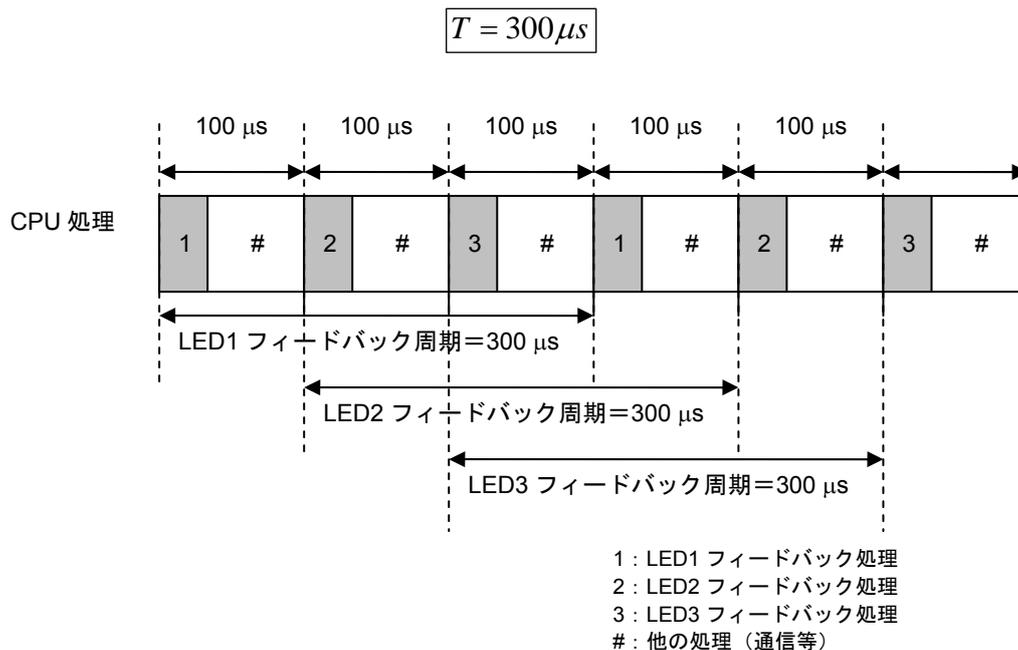


図3-3 フィードバック処理のための CPU 負荷分散

3) マイクロコントローラの利得（ADC入力 / PWM出力）からの比例定数 K_P の計算

マイクロコントローラの利得（A/Dコンバータ入力/PWM出力）は、特定のA/D変換分解能とPWM分解能に対するLED電流の変化に注目することによって取得できます。

まず、固有のA/D変換分解能に対するLED電流の変化を判断する必要があります。LED電流が I_{LED} 、センス抵抗 R_S によるフィードバック電圧のA/D変換結果が X 、A/D変換分解能が M ビット、ADC基準電圧が V_{REF} であるとき、次式が成り立ちます。

$$I_{LED} \cdot R_S = \frac{V_{REF} \cdot X}{2^M}$$

ここで、1に等しいA/D変換値（ $X=1$ ）に対するLED電流の変化を i_{AD} とすると、次の結果が得られます。

$$i_{AD} = \frac{V_{REF}}{R_S \cdot 2^M}$$

次に、固有のPWM分解能に対するLED電流の変化を判断する必要があります。LED電流が I_{LED} 、LED順電圧の合計が V_{FT} 、入力電圧が V_I 、（PWM出力のデューティ・レジスタ値+1）が Y 、PWM出力分解能が N ビットであるとき、次式が成り立ちます。

$$I_{LED} \cdot R_S + V_{FT} = \frac{V_I \cdot Y}{2^N}$$

ここで、1に等しいPWMデューティ値 ($Y=1$) に対するLED電流の変化を i_{PWM} とすると、さらにLED順電圧は一定のままなので、次の結果が得られます。

$$i_{PWM} = \frac{V_I}{R_S \cdot 2^N}$$

したがって、利得 i_{PWM}/i_{AD} は上式から以下と推定します。

$$\frac{i_{PWM}}{i_{AD}} = \frac{V_I}{V_{REF}} \cdot 2^{(M-N)}$$

A/D変換分解能Mが13ビット (ADCの10ビット+ $2^3=8$ 増幅利得によるPGAの3ビット)、PWM出力分解能Nが12ビット (PWMの8ビット+ディザリング機能のための4ビット)、入力電圧 V_I が5V、A/Dコンバータ基準電圧 V_{REF} が5Vであることを考慮すると、次の利得結果 (A/Dコンバータ入力/PWM出力) が得られます。

$$\frac{i_{PWM}}{i_{AD}} = 2$$

比例定数 K_P は、この利得の逆数よりも小さい値に設定する必要があります。

$$K_P < \frac{1}{\left(\frac{i_{PWM}}{i_{AD}}\right)}$$

ここでは、 K_P を次のように選択します。

$$K_P = 0.3$$

上記の結果から、PI制御係数 A_1 および A_2 を計算することができます。

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.724 \\ A_2 &= 0.124 \end{aligned}$$

サンプル・プログラムでは、両方の係数は、PWMデューティおよび誤差値と同様に、整数変数を取得し、計算を容易にするために、 $2^8 (=256)$ を乗算します。

$$\begin{aligned} A_1 &= 185 \\ A_2 &= 32 \end{aligned}$$

3.6 ソフトウェア・フロー・チャート

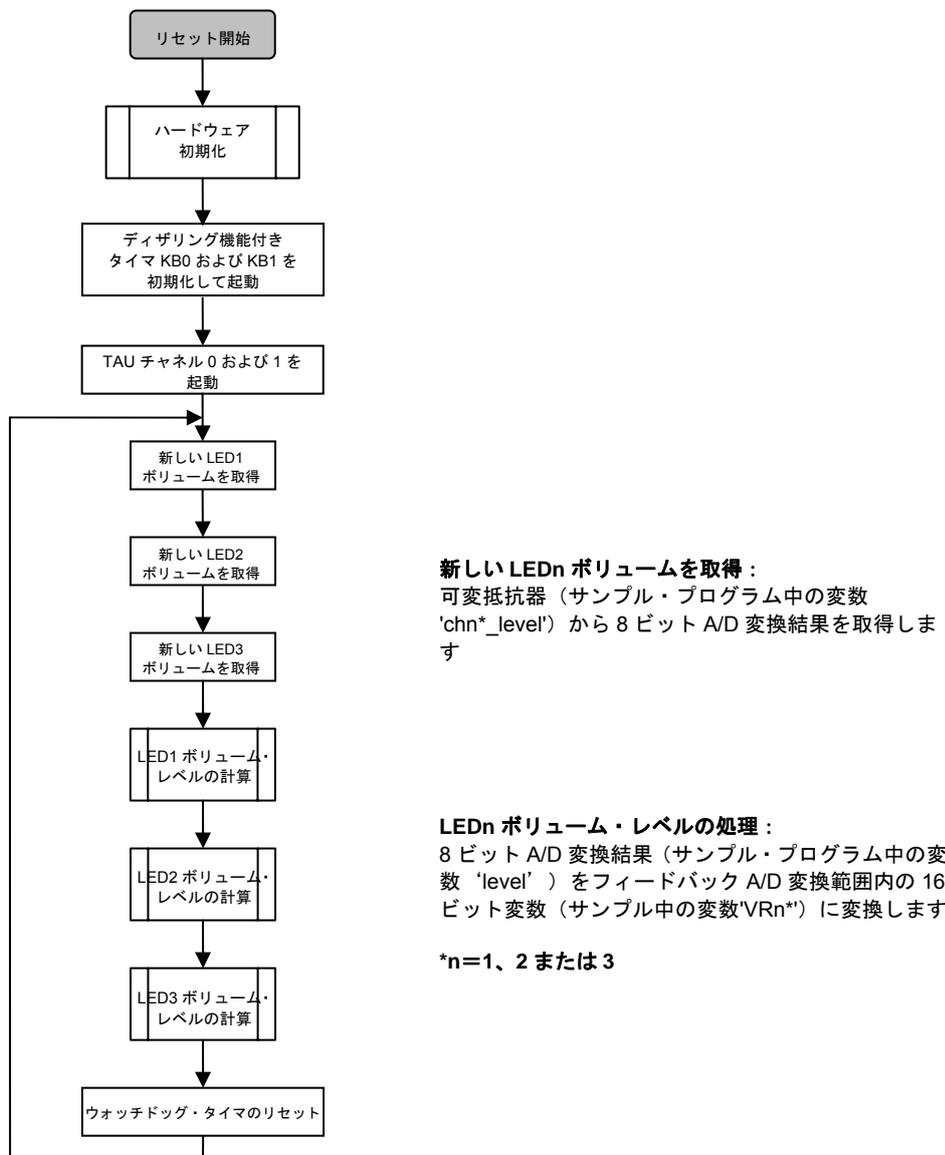


図3-4 メイン・プログラム・ループのフロー・チャート

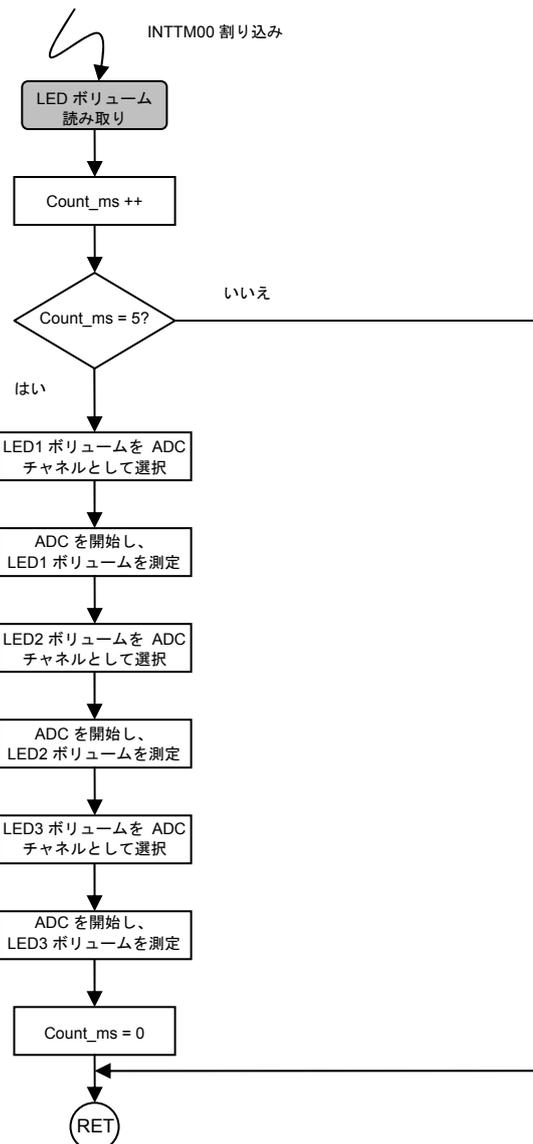


図3-5 LEDn ボリューム読み取りのフロー・チャート

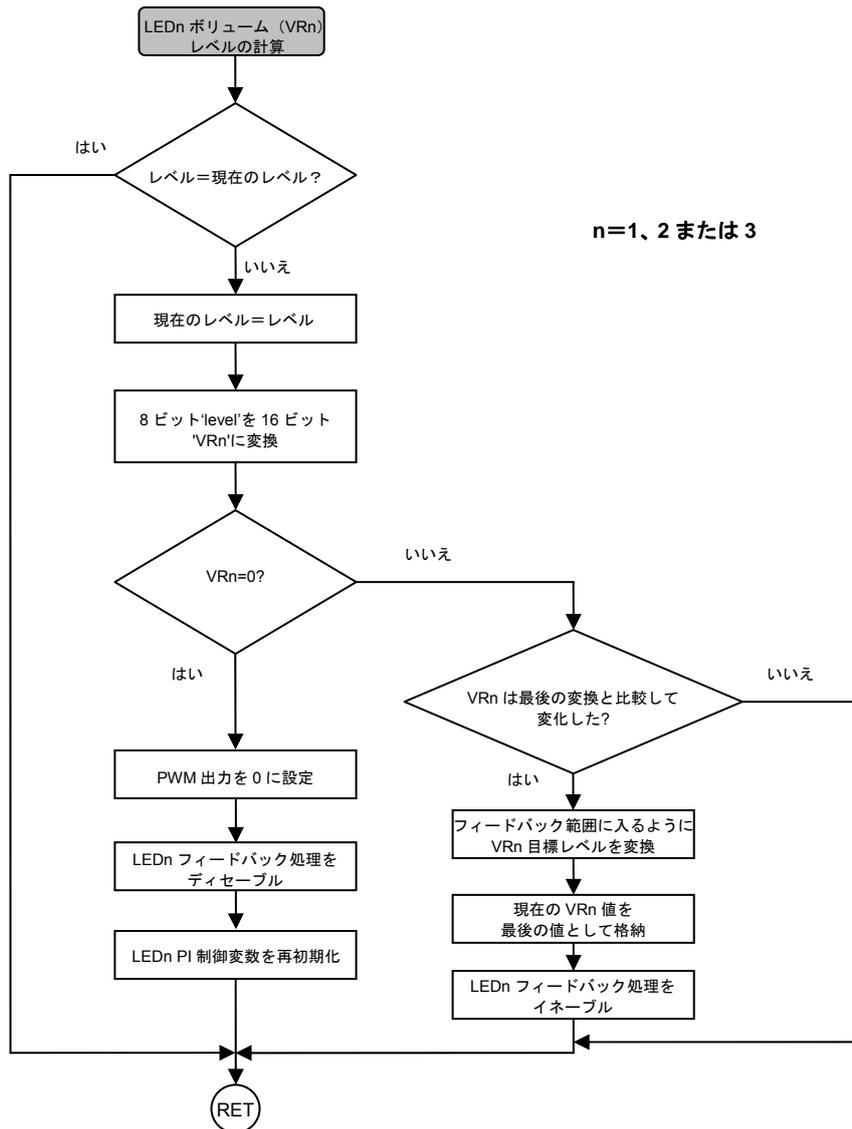
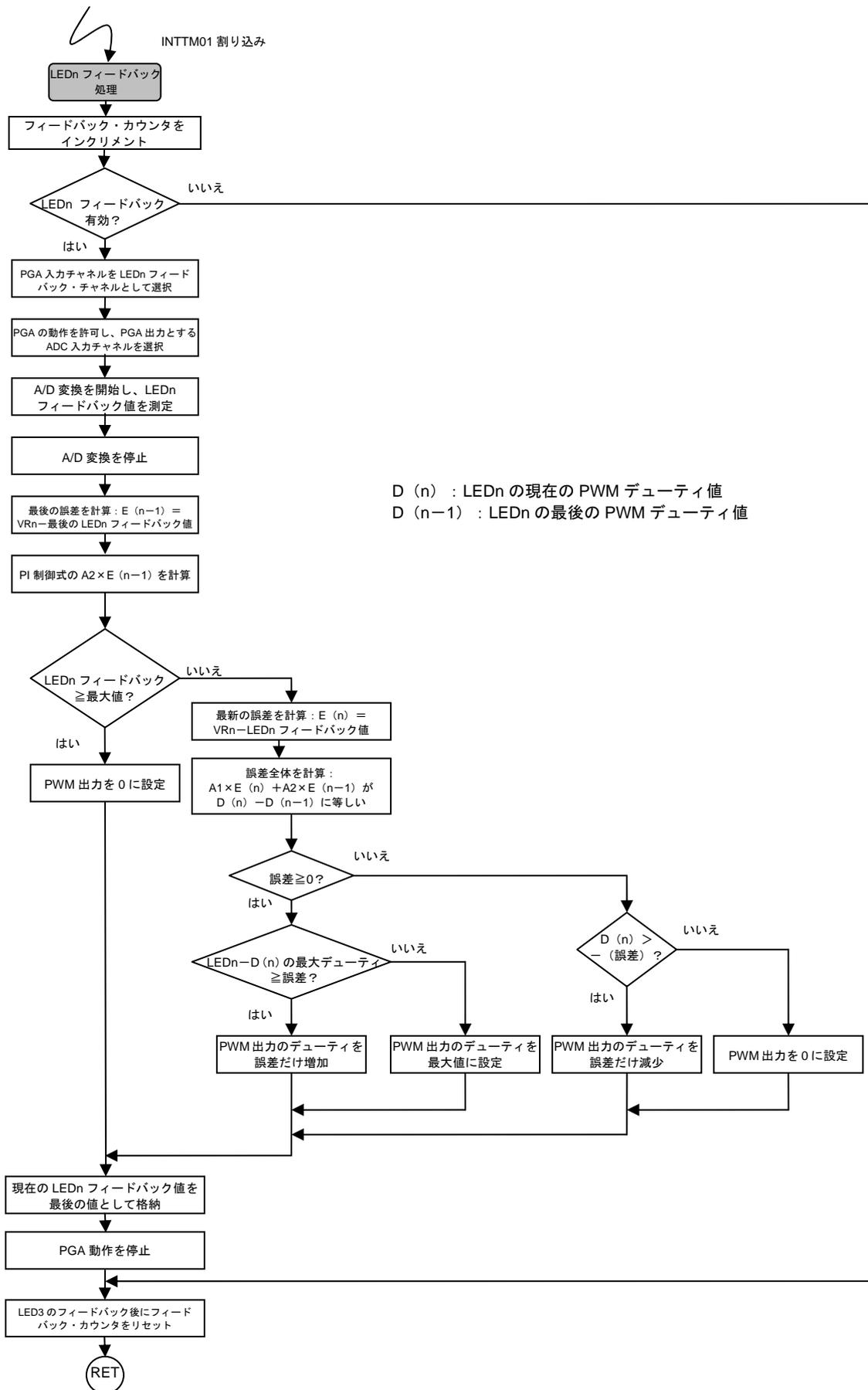


図3-6 LEDn ボリューム (VRn) 処理のフロー・チャート (n=1、2、3)

★



D (n) : LEDn の現在の PWM デューティ値
 D (n-1) : LEDn の最後の PWM デューティ値

図3-7 LEDn フィードバック処理のフロー・チャート (n=1、2、3)

4. RL78/I1A DC/DC LED 制御評価ボードの起動方法

与えられたサンプル・プログラムを使用してRL78/I1A DC/DC LED制御評価ボードの評価を開始する前に、以下の手順を実行してください。

以下の手順は、RFP（Renesas Flash Programmer）ソフトウェア・ツールを使用してサンプル・プログラムをRL78/I1Aフラッシュ・メモリにダウンロードするプロセスを示しています。

1. フラッシュ・プログラミングを可能にするために、SW2ビット3-5-7をON位置に設定（他のビットはすべてOFF位置に設定）することによってフラッシュ・プログラミング・モードを選択します。
2. 5V電源をCN1 DCジャック・コネクタに接続します。
3. タイプA Mini-B USBケーブルを使用して、PC USBポートにRL78/I1A DC/DC LED制御評価ボードを接続します。

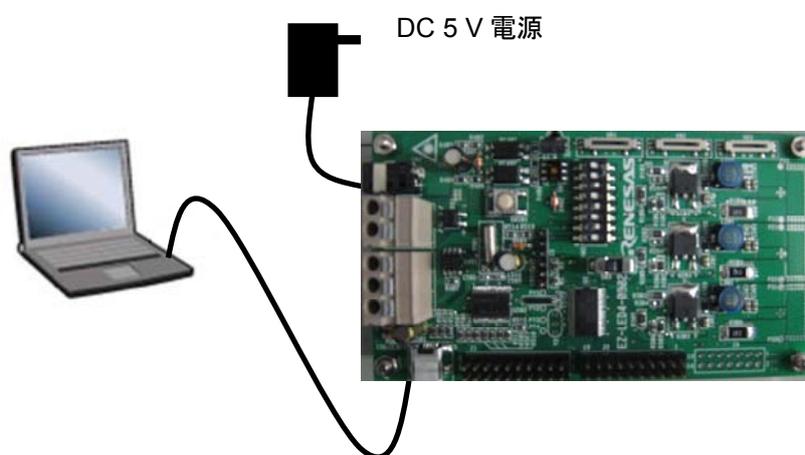


図4-1 システム環境

4. 「RFP」フラッシュ・プログラマ・ツールを開きます。



図4-2 RFP 起動画面

5. 「新しいワークスペースの作成」にチェックして、[次へ]ボタンをクリックします。[新しいワークスペースの作成]ウィンドウが開きます。
パラメータ・ファイル「R5F017DE」を選択します
ホストPCとボードとの通信を可能にするCOMポートを指定します。

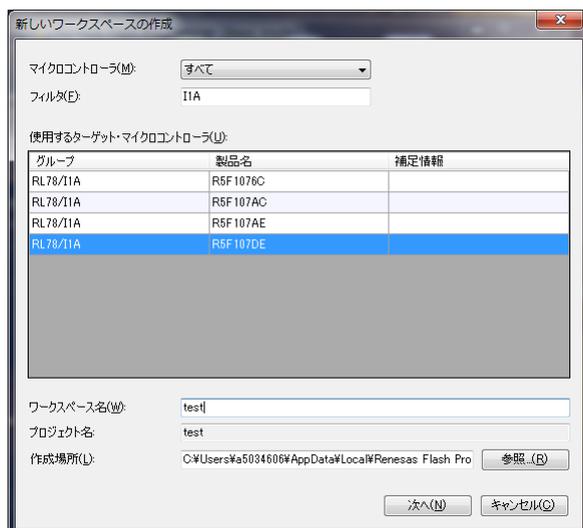


図4-3 RFP フラッシュ・プログラミング・ツール - 「新しいワークスペースの作成」ウィンドウ

6. プログラミングするサンプル・プログラムの「hex」ファイルを選択します。
7. [次へ]ボタンをクリックして、サンプル・プログラムをRL78/I1Aフラッシュ・メモリにフラッシュ・プログラミングします。
8. フラッシュ・プログラミングが完了したら、「RFP」を閉じます。

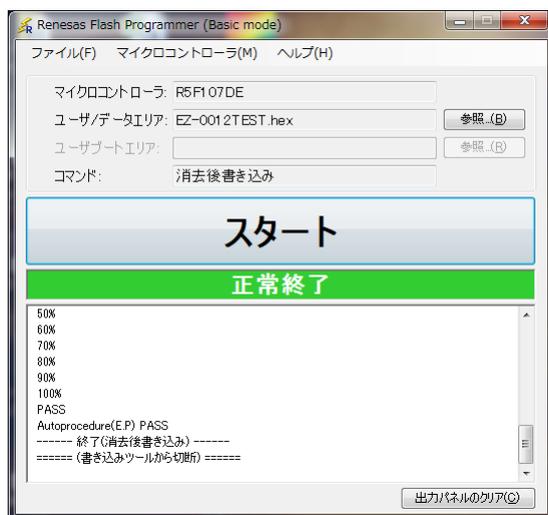
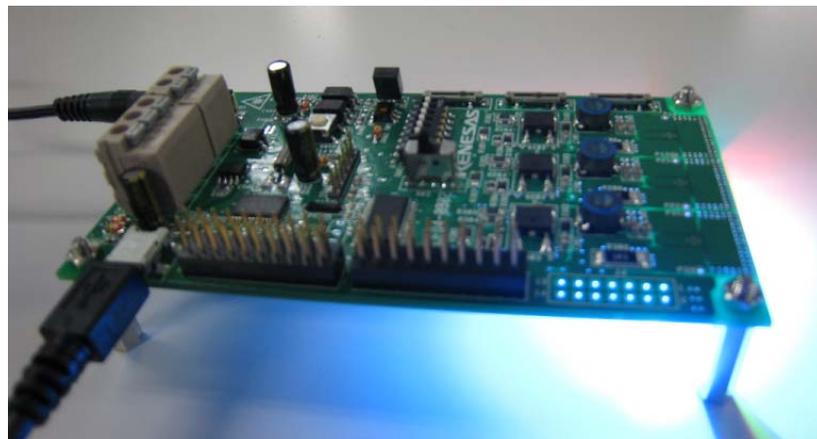


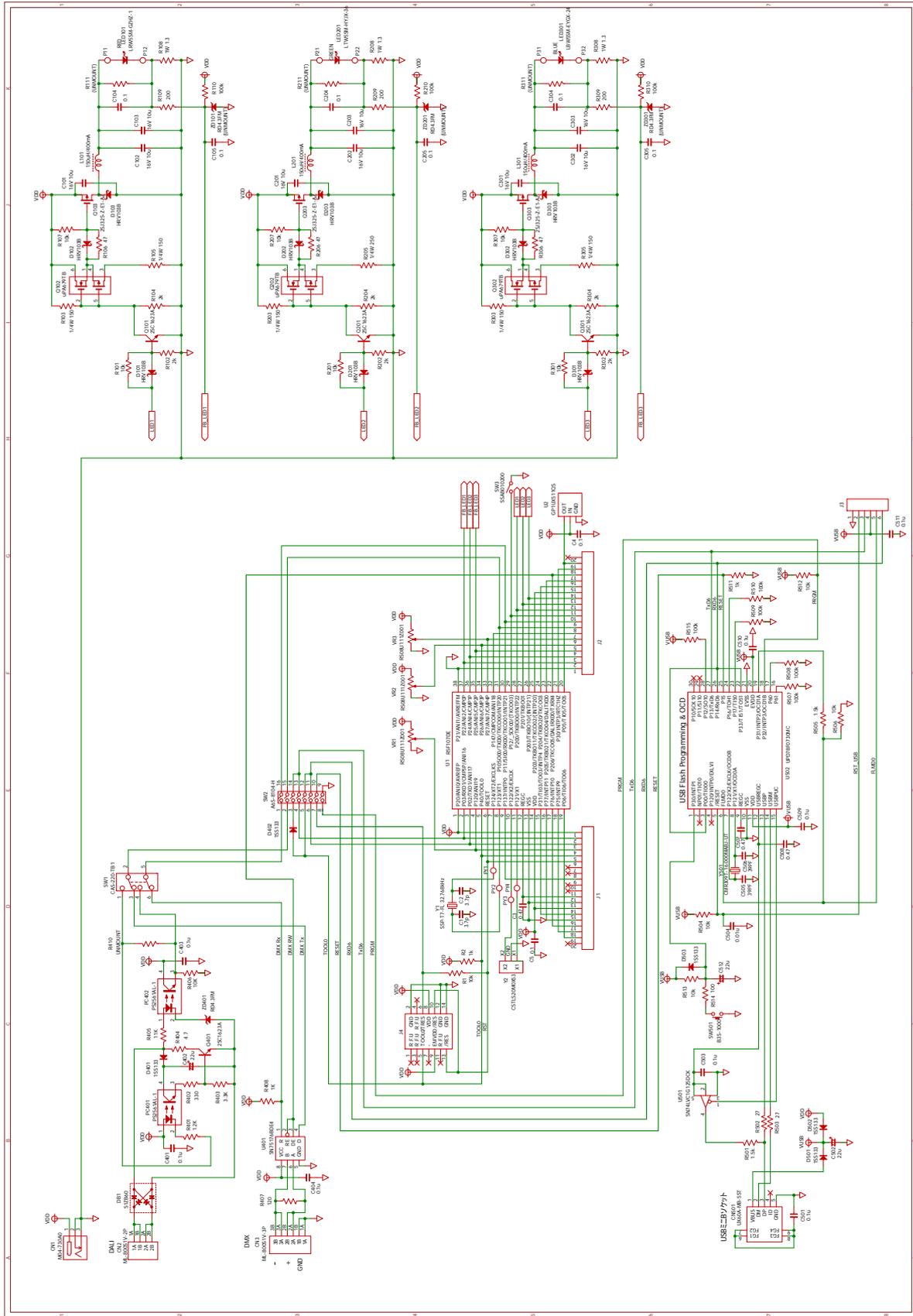
図4-4 RFP フラッシュ・プログラミング・ツール - 「終了画面」ウィンドウ

9. 5 V電源とUSBケーブルを取り外します。
10. SW2ビット7、8をON位置に設定（他のビットはすべてOFF位置に設定）することによって「動作モード」を選択します。
11. 再びDC 5 V電源をCN1コネクタに接続します。
12. スライドスイッチVR1～VR3（可変抵抗器）を動かし、LEDの輝度の変化を確認します。
13. 評価が完了したら、CN1コネクタからDC 5 V電源を外します。

付録A 写真



付録B 回路図



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/>

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2012.03.28	-	初版発行
2.00	2012.09.27	p.3	1.はじめに の説明を変更
		p.4	2.1 LED システム制御に関する RL78/I1A の特徴 の説明を変更
		p.5	2.2 システム・ブロック図 の説明を変更
		p.7	3. LED 制御ソフトウェア の説明を変更
		p.10	3.3 定電流および調光制御 の説明を変更
		p.13	3.4 3) PGA 入力オフセット電圧補正 の説明を変更
		p.15	3.4 3) PGA 入力オフセット電圧補正 にプログラムを修正
2.01	2013.03.26	p. 1	対象読者 の説明を変更
		p. 4	2.1 LED システム制御に関する RL78/I1A の特徴 の説明を変更
		p. 15	3.4 3) PGA 入力オフセット電圧補正 のプログラムを修正
		p. 22	図 3-7 LEDn フィードバック処理のフロー・チャート(n=1、2、3) を修正

本製品は外国為替及び外国貿易法の規定により規制貨物等に該当しますので、日本国外に輸出する場合には、同法に基づき日本国政府の輸出許可が必要です。

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。

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えば、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

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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も、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。
- 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。
- 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。
- 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い合わせください。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。
- 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事情報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。
- 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。
- 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・電話番号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 エレクトロニクス販売株式会社 〒100-0004 千代田区大手町2-6-2（日本ビル）

(03)5201-5307

■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/>