

RL78/I1A

R01AN1601JJ0100

Rev. 1.00

2013.03.25

RL78/I1A のタイマ KB 特殊機能による LED 制御

目的

本アプリケーション・ノートでは、RL78/I1A マイクロコントローラのタイマ KB PWM 出力ゲート機能を使用して、LED 照明システムを制御および調光する方法について説明します。PWM 出力ゲート機能、PWM 出力ソフト・スタート機能、および PWM 出力ディザリング機能を用いて制御します。

対象者

本書は、LED照明システムを設計し、開発するシステム・エンジニアを対象としています。

対象製品は以下のとおりです。

- 20 ピン : R5F1076C
- 30 ピン : R5F107AE、R5F107AC
- 32 ピン : R5F107BC
- 38 ピン : R5F107DE

目次

1.	はじめに	3
2.	PWM出力ゲート機能	4
2.1	タイマKC0 の特徴とPWM出力ゲート機能の説明	4
2.2	PWM出力ゲート機能の利点	5
3.	PWM出力ソフト・スタート機能	7
3.1	PWM出力ソフト・スタート機能の説明	7
3.2	PWM出力ソフト・スタート機能の利点	8
4.	PWM出力ディザリング機能	9
4.1	PWM出力ディザリング機能の説明	9
4.2	PWM出力ディザリング機能の利点	10
5.	LED制御ソフトウェアの説明	11
5.1	ファイル設定	11
5.2	PWM出力ゲート機能のソフトウェア	12
5.2.1	タイマKBおよびタイマKC0 の設定	12
5.2.2	タイマKBのPWM出力ゲート機能とタイマKC0 を使用した調光操作	13
5.2.3	ソフトウェアのフロー・チャート	17
5.3	PWM出力ソフト・スタート機能のソフトウェア	22
5.3.1	タイマKBの設定	22
5.3.2	ソフト・スタート機能を使用した調光操作	23
5.3.3	ソフトウェアのフロー・チャート	25
6.	実験結果	27
6.1	PWM出力ゲート機能	27
6.2	PWM出力ゲート機能とソフト・スタート機能	27
付録 A	写真	28
付録 B	回路図	29

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の 16 ビットタイマ KB とタイマ KC0 を使用して、高輝度 LED を制御する際の参考として示す 2 つのサンプルコードについて説明することを目的としています。

本サンプルコードは、Applilet EZ for HCD Ver.6.0 が生成した調光プログラム(「Analog Input」)を例として利用しています。このサンプルコードの生成方法については、「RL78/I1A による LED 制御アプリケーション・ノート (R01AN1087JJ)」を参照してください。

このサンプルコードは、「RL78/I1A による LED 制御アプリケーション・ノート」で説明しているサンプルコードとは、調光方法が異なります。

1 つ目のサンプルコードでは、16 ビット・タイマ KB の PWM 出力を 16 ビット・タイマ KC0 出力で制御する PWM 出力ゲート機能を使用しています。

2 つ目のサンプルコードでは、PWM 出力ゲート機能に加えて、タイマ KB PWM 出力ソフト・スタート機能を使用しています。

いずれのサンプルコードも、タイマ KB PWM 出力ディザリング機能を利用して PWM の分解能を高めています。

これらのプログラムは、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 制御評価ボードの回路図で端子構成を確認してください。

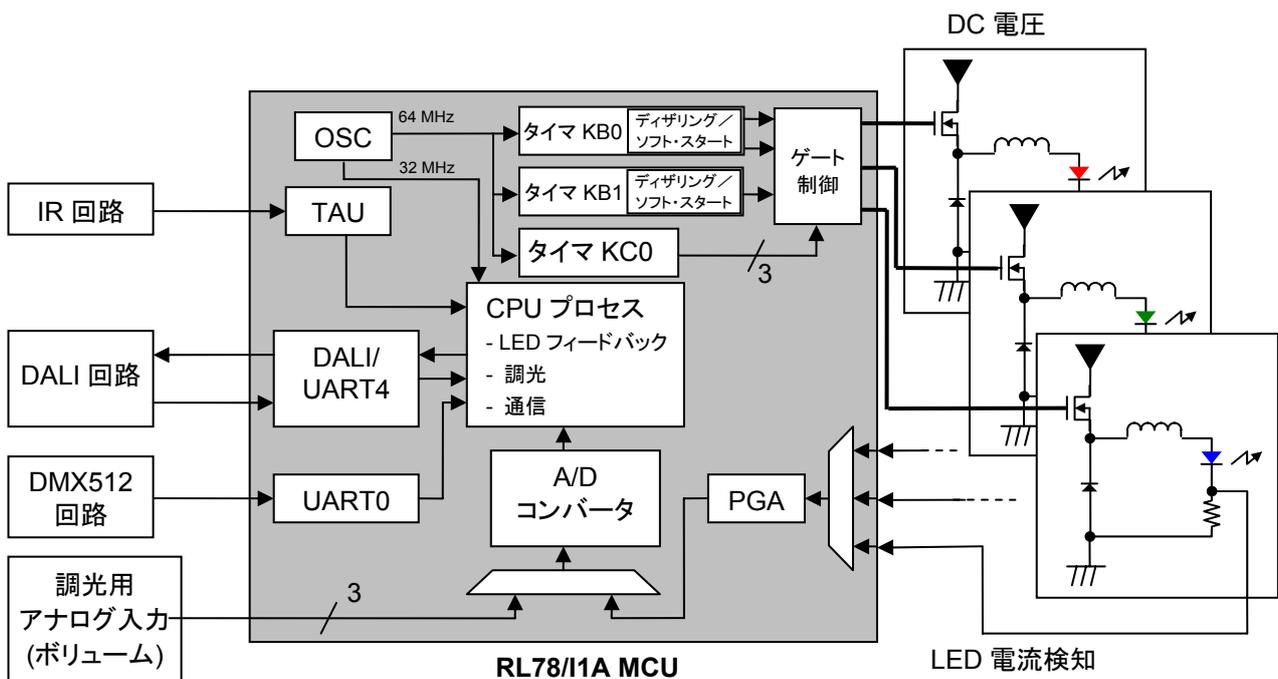


図 1.1 RL78/I1A DC/DC LED 制御評価ボードのブロック図

2. PWM 出力ゲート機能

本章では、16ビット・タイマ KC0 の特徴およびタイマ KB PWM 出力ゲート機能について、それぞれの利点と併せて説明します。

2.1 タイマ KC0 の特徴と PWM 出力ゲート機能の説明

RL78/I1A マイクロコントローラは、最大6本のPWM出力を生成可能な16ビット・タイマKC0を備えています。

タイマKC0は、タイマKB0、タイマKB1、およびタイマKB2と連動することにより、最大6本のPWM出力 (TKBO00、TKBO01、TKBO10、TKBO11、TKBO20およびTKBO21出力) に対してゲート制御できます。タイマKC0 の6本のKC0デューティ・コンペア・レジスタ (TKCDUTY00-TKCDUTY05) で、対応したタイマKBのPWM出力を個別に制御することができます。これにより、6系統のLEDを別々に調光することができます。

TKCO0mゲート出力とTKBOnp出力の関係は、次のようになります。

- TKCO00 (TKCDUTY00により制御) →TKBO00
- TKCO01 (TKCDUTY01により制御) →TKBO01
- TKCO02 (TKCDUTY02により制御) →TKBO10
- TKCO03 (TKCDUTY03により制御) →TKBO11
- TKCO04 (TKCDUTY04により制御) →TKBO20
- TKCO05 (TKCDUTY05により制御) →TKBO21

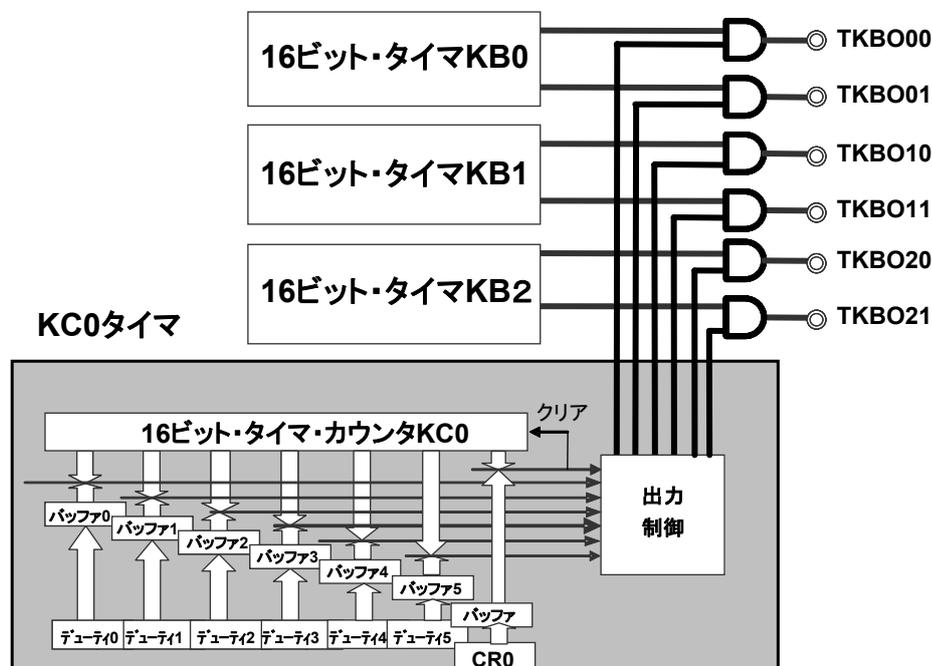


図 2.1 PWM 出力ゲート機能のブロック図(デフォルトレベルがロウ・レベル時)

PWM出力ゲート機能を使用すると、16ビット・タイマKC0出力（TKCO00-TKCO05）がハイ・レベルの間、TKBOnp端子からのPWM出力が有効になります。16ビットタイマKC0出力がロウ・レベルの間は、TKBOnp端子からのデフォルトレベルの出力のみが有効になります（ハイ・レベルまたはロウ・レベル）。

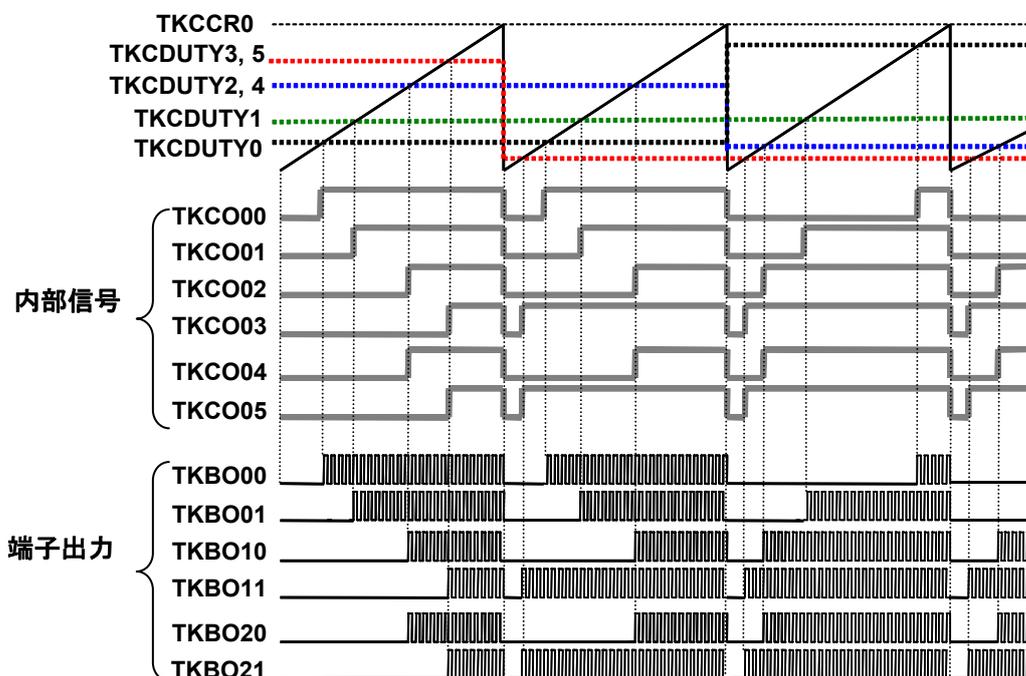


図 2.2 TKBOnp PWM 出力ゲート機能のタイミング・チャートの例

16ビット・タイマKB0をマスタに、16ビット・タイマKC0をスレーブ設定することによって、タイマKB0のカウンタ開始/停止タイミングと同期して、16ビット・タイマKC0を同時にスタート/ストップすることができます。

備考 n = 0-2, p = 0, 1

2.2 PWM 出力ゲート機能の利点

LED 照明のアプリケーションにおいて、PWM 出力ゲート機能を使用することで2つの大きな利点があります。

特に重要な利点は、通常のタイマ KB の PWM 出力を使用している電流調光と、KC タイマおよびタイマ KB の PWM 出力ゲート機能を使用したオン/オフ調光を組み合わせることによって、低輝度までのスムーズに調光できるということです。

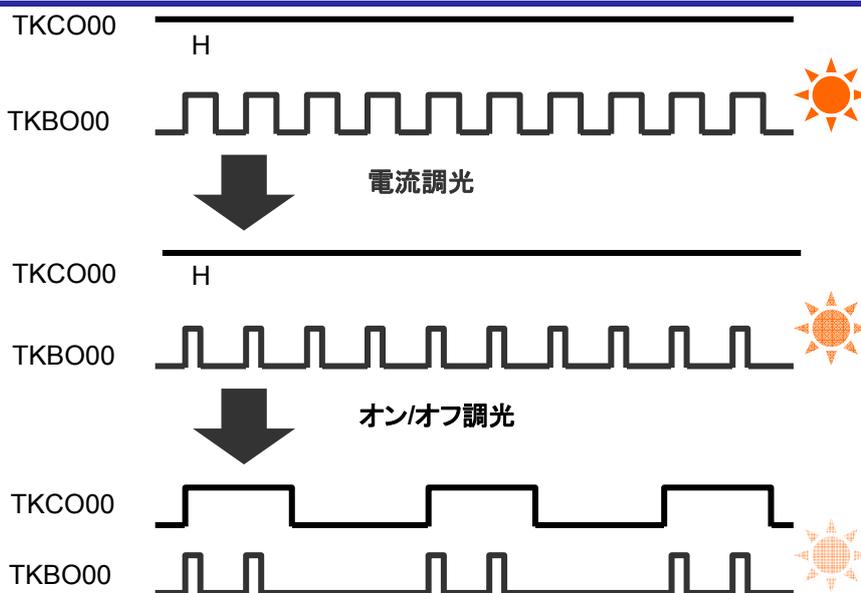


図 2.3 低輝度での調光を可能にする PWM 出力ゲート機能

もう一つの大きな利点は、LED の色を一定に保つことです。一般に、LED の発光する色は LED に流れる電流によって変化します。PWM 出力ゲート機能を使用することで、タイマ KB PWM 信号によって LED に流す電流を一定に保つことができます。これにより輝度を変えても LED の発光色を一定に保つことができます。一方でタイマ KC0 のゲート・ウィンドウを調節することによって調光が行われます。この方式をオン/オフ調光といいます。

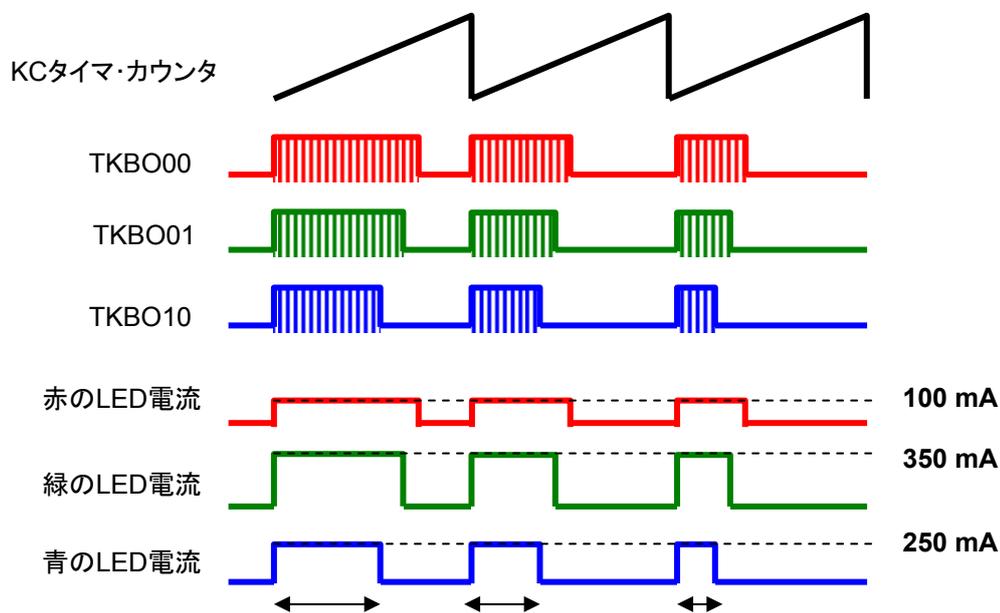


図 2.4 色を一定に保つ PWM 出力ゲート機能(例)

3. PWM 出力ソフト・スタート機能

本章では、PWM 出力ゲート機能との併用できる 16 ビット・タイマ KB の PWM 出力ソフト・スタート機能と、その利点について説明します。

3.1 PWM 出力ソフト・スタート機能の説明

KB0-KB2 タイマの PWM 出力ソフト・スタート機能は、起動時の突入電流を抑制し、過電圧を防止することができます。

PWM 出力ソフト・スタート機能は、タイマ KC0 出力 (TKCO00~TKCO05) の立ち上がりエッジに合わせて対応するタイマ KB0~2 の PWM 出力をあらかじめ設定されたアクティブ期間からスタートします。アクティブ期間は事前に設定されたサイクル数まで、設定された周期毎に 1 クロック期間ずつ自動的に増加します。

従来はソフトウェアで対応していたこのプロセスを、RL78/I1A ではハードウェア機能を使って簡単にできるようにしています。

本機能の設定用として、タイマ KB の PWM 出力ごとにそれぞれ 2 つのレジスタが用意されています。ソフト・スタート初期デューティ・レジスタ (TKBSIRnp) は、TKBOnp 出力の PWM ソフト・スタート機能の初期アクティブ期間 (N) を設定します。もうひとつのレジスタは 16 ビットタイマ KB のソフト・スタート・ステップ幅レジスタ (TKBSSRnp) で、これは PWM 出力が同一アクティブ期間を保持する回数 (M+1) の値 M (M=0000B-1111B) を設定するために使用します。

PWM 出力の初期アクティブ期間は、TKBSIRnp レジスタで設定します。PWM 出力開始後、最初の (M+1) 周期はこの値でデューティが出力されます。次の (M+1) 周期は、PWM 出力のアクティブ期間が 1 クロック分延長されます。さらに、その後の (M+1) 周期はさらに 1 クロック分延長 (初期アクティブ期間+2 クロック分) されます。このようにして TKBCRn1 または TKBCRn3 によって設定されたデューティに達するまでアクティブ期間が増加します。その後、PWM 出力ソフト・スタート機能は無効になり、通常の PWM 出力となります。

PWM ソフト・スタート機能のタイミング・チャートを下図に示します。

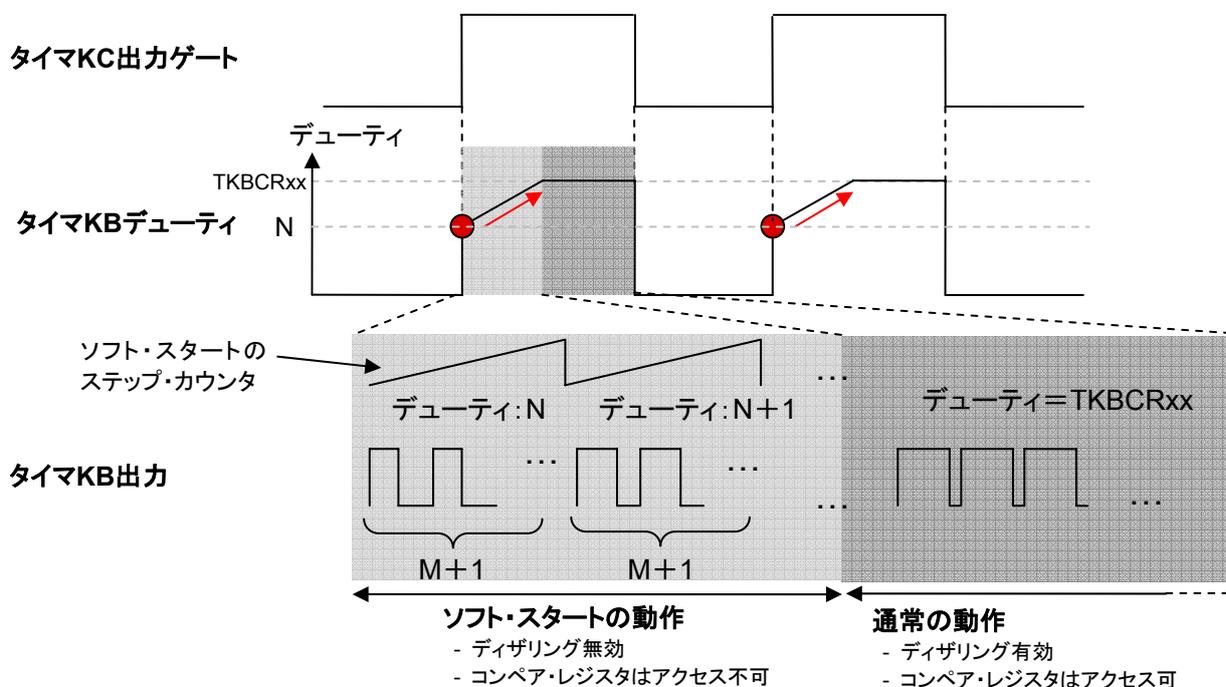


図 3.1 PWM 出力ソフト・スタート機能のタイミング・チャート

3.2 PWM 出力ソフト・スタート機能の利点

PWM 出力ソフト・スタート機能の主な利点は、スイッチング開始時に発生する（DC/DC コンバータ出力電圧が原因であることが多い）LED 電流のオーバershootを減少させることです。

PWM 出力ソフト・スタート機能は LED の過電流を防止し、それによって同じく過電圧も防止することができます。

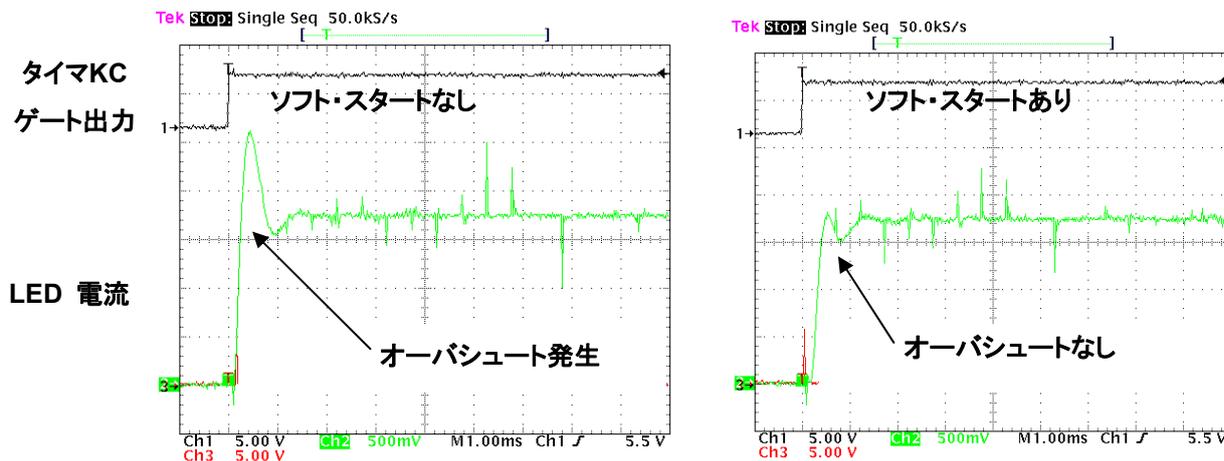


図 3.2 LED 電流のオーバershootの比較

4. PWM 出力ディザリング機能

本章では、16 ビットタイマ KB の PWM 出力ディザリング機能と、その利点について説明します。

4.1 PWM 出力ディザリング機能の説明

PWM 出力ディザリング機能の目的は、16 周期ごとに N 回、PWM 出力のアクティブ期間を 1 クロック分延長することによって、PWM 出力の分解能を 16 倍に高めることです。

PWM 出力ディザリング機能を使用していない時のタイマ KB の最小ステップは 15.6 ns (タイマ KB カウントクロック=64 MHz 時) ですが、使用時の最小ステップは $15.6/16=0.98$ ns (16 周期の平均) 相当です。

TKBDNRn0 および TKBDNRn1 ディザリング・カウンタ・レジスタは、小数のクロック・カウントにたとえることができます。

TKBCRn1 および TKBCRn3 コンペア・レジスタの下位 8 ビットとディザリング・カウンタ・レジスタは、TKBCRLDn0 および TKBCRLDn1 レジスタを使用して同時に設定できます。

アクティブ期間を設定するためのコンペア・レジスタ、ディザリング・カウンタ・レジスタの関係を、下図に示します。

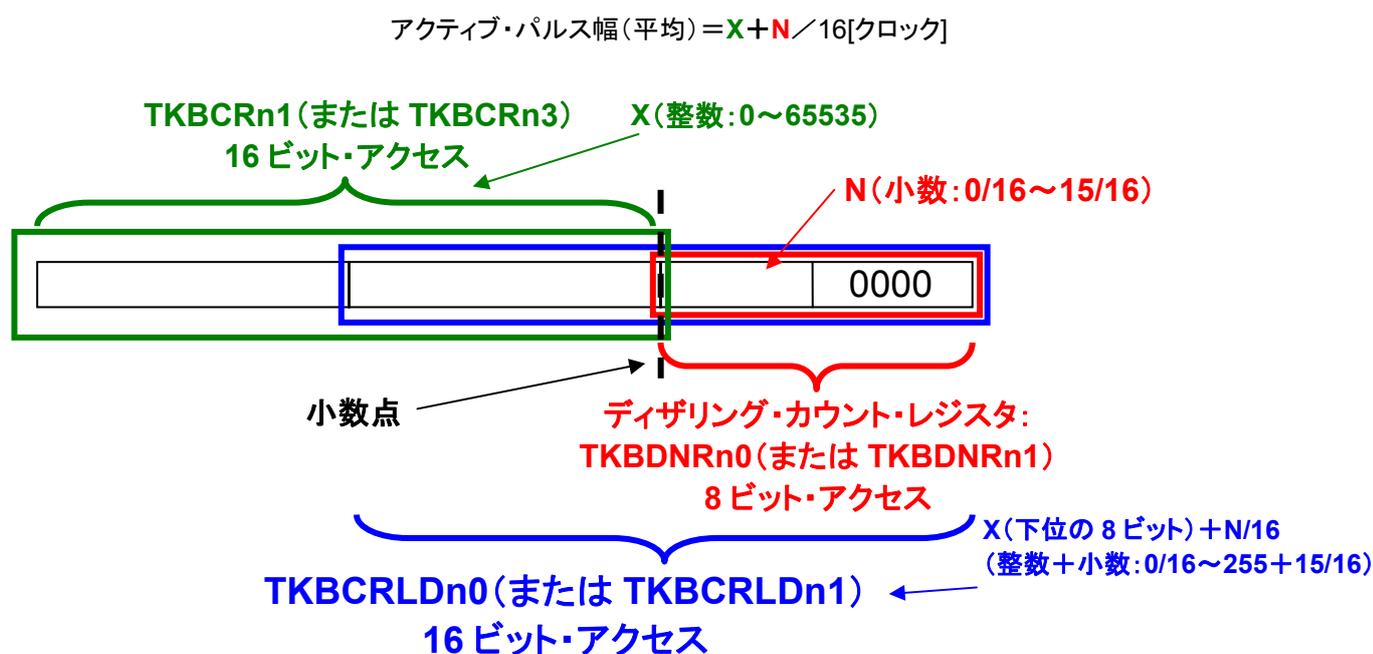


図 4.1 ディザリング機能設定レジスタ

ディザリング機能により延長されるアクティブ期間は次の表のようになります。

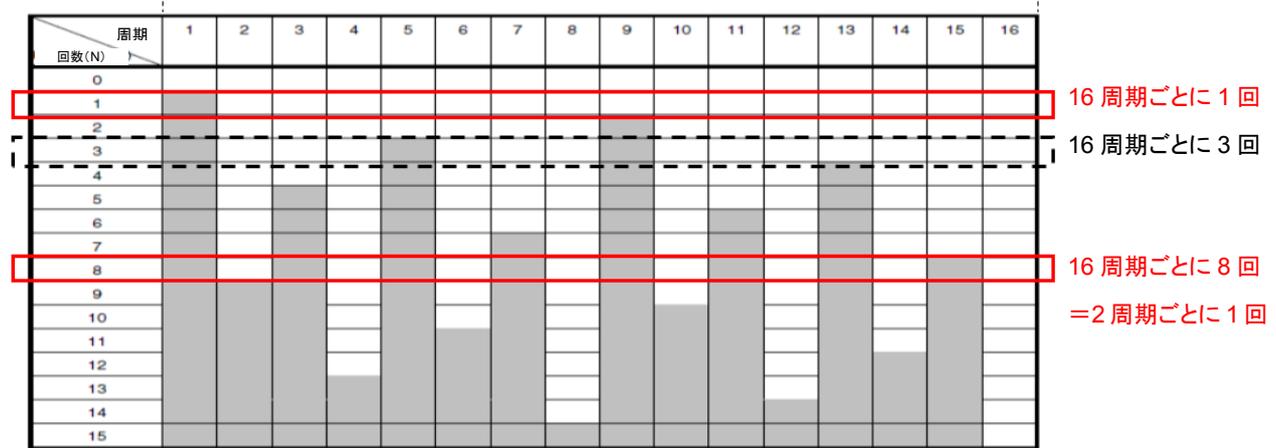


図 4.2 16 ビット・タイマ KB のディザリング・カウント・レジスタ (TKBDNRn) 設定表

例として、ディザリング・カウント・レジスタの TKBDNRn0 が 0x10、TKBDNRn1 が 0x80 に設定されている場合の、TKBOn0 および TKBOn1 PWM 出力を下図に示します。

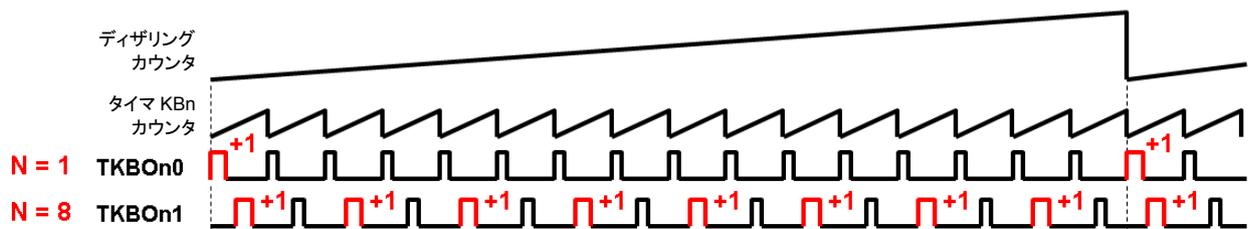


図 4.3 ディザリング機能使用時の TKBOn0 および TKBOn1 PWM 出力

4.2 PWM 出力ディザリング機能の利点

PWM 出力ディザリング機能の主な利点は、PWM の分解能不足を補い、LED のリップル電流を低減させ、低輝度調光がチラつきなくできることです。

PWM 出力ディザリング機能は、スムーズな LED 調光と DC/DC コンバータ出力の安定化に役立ち、高精度な電流制御が実現できます。

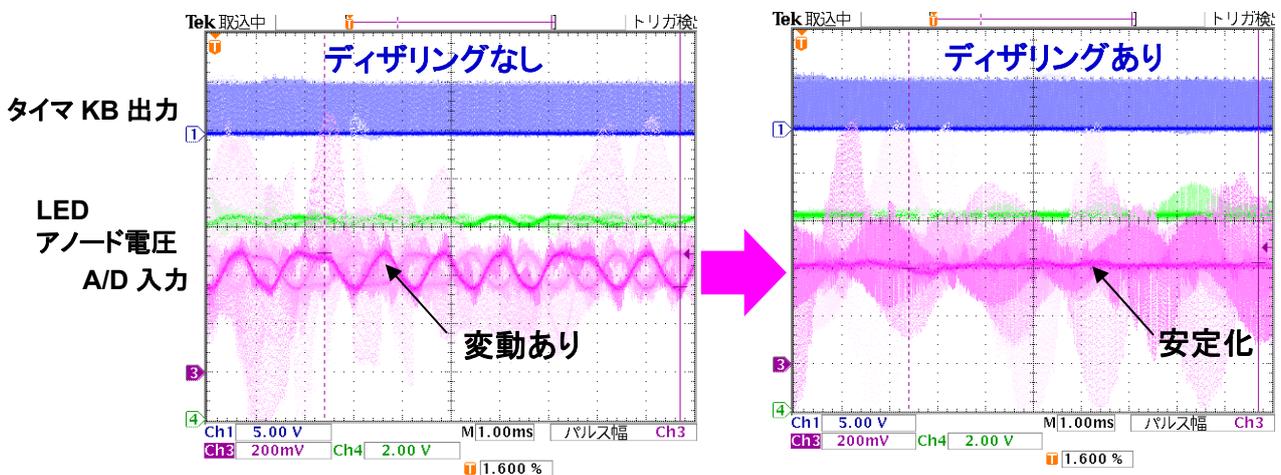


図 4.4 ディザリング機能の有無と LED 電流波形の関係

5. LED 制御ソフトウェアの説明

本章では、弊社ウェブサイトからダウンロードできる 2 つのサンプルコードのファイル構成について説明し、続いてそれぞれの詳細について説明します。

1 つ目のサンプルコードは PWM 出力ゲート機能とディザリング機能を使用しており、2 つ目のサンプルコードは 16 ビット・タイマ KB の PWM ソフト・スタート機能も使用しています。

5.1 ファイル構成

2 つのサンプルコードはいくつかのファイルに分かれており、Applilet EZ for HCD V6.0 が生成したコードと同じ構造になっています。

- r_init.asm : オプションバイトの設定をします。
- r_main.c : 主要な機能部分です。
- r_usermain.c : LED 調光機能を実現します。
- r_userinit.c : 周辺の初期化機能です。
- r_adc.c : LED 輝度指定を読み出す機能です。
- r_adc19.c : ANI19 アナログ入力端子の初期化と変換結果読み出し機能です (LED1 調光設定 : VR1)。
- r_adc6.c : ANI6 アナログ入力端子の初期化と変換結果読み出し機能です (LED2 調光設定 : VR2)。
- r_adc7.c : ANI7 アナログ入力端子の初期化と変換結果読み出し機能です (LED3 調光設定 : VR3)。
- r_timer.c : LED 調光のためのタイマ機能 (インターバル・モード) を含んでいます。
- r_led.c : ポートおよびタイマの初期化機能と LED フィードバック処理機能です。
- r_led1.c : LED1 系統の制御機能です。
- r_led2.c : LED2 系統の制御機能です。
- r_led3.c : LED3 系統の制御機能です。
- r_led_user.c : 調光レベル変換のデータを含んでいます。
- r_systeminit.c : システム初期化機能です。
- r_cgc.c : クロック初期化機能です。
- r_lvd.c : LVD 初期化機能です。
- r_wdt.c : ウォッチドッグ初期化機能です。
- r_user.h : クロックと ADC の設定に使用するパラメータ定義を含んでいます。

5.2 PWM 出力ゲート機能のソフトウェア

1 つ目のサンプルコードは PWM 出力ゲート機能の使用例です。本項では、PWM 出力ゲート機能を実現するためのタイマ KB および KC タイマの初期設定について説明し、さらに調光方法とこの PWM 出力ゲート機能のサンプルコードについても詳細に説明します。また、ソフトウェアの各処理別のフロー・チャートも示します。

5.2.1 タイマ KB およびタイマ KC の設定

- PWM 出力ゲート機能（およびディザリング機能）を使用する TKBO00、TKBO01、TKBO10 出力の設定を行います。
 - PWM 出力ゲート機能を使用するために、TKBCTLn0 レジスタの TKBGTEnp ビット（タイマ KC0 出力による TKBOnp PWM 出力ゲート機能の制御）を 1 にセットします。

```
TKBCTL00 = 0x5500;
TKBCTL10 = 0x0500;
```

- タイマ KC0 の動作モードを同期スタート/ストップモードに設定します（タイマ KC0 をスレープ、タイマ KB0 をマスタとして使用）。
 - TKCCTL0 レジスタの TKCMD0 ビット（タイマ KC0 動作モード選択）を 1 にセットします。これにより、タイマ KC0 をスレープ、タイマ KB0 をマスタとして使用します。

```
TKCCTL0 = 0x11;
```

- タイマ出力 TKCO0m のアクティブ・レベルを「ハイ」に設定し、デフォルトレベルを「ロウ」（通常出力）に設定します。
 - TKCIOC00 レジスタの、TKCTOL0m（アクティブ・レベル設定）と TKCTOD0m（デフォルトレベル設定）ビットを共に 0 にクリアします。

```
TKCIOC00 = 0x0000;
```

- タイマ KC0 出力を、タイマ KB の PWM 出力ゲート機能を使用できるように設定し、タイマ出力の TKCO0m 出力を有効にします。
 - TKCIOC01 レジスタの TKCTOE0m ビットを 1 にセットします。

```
TKCIOC01 = 0b00000111;
```

- TKCO0m の端子出力を無効に設定します。
 - TOETKC0 レジスタの TOETKC0m ビットを 1 にセットします。

```
TOETKC0 = 0b00000000
```

- すべてのタイマの KC0 PWM デューティ・サイクル値を 0 に設定します。
 - すべての TKCO0m デューティ・コンペア・レジスタ（TKCDUTY0m）を 0 にクリアします。

```
TKCDUTY00 = 0x0000;
TKCDUTY01 = 0x0000;
TKCDUTY02 = 0x0000;
TKCDUTY03 = 0x0000;
TKCDUTY04 = 0x0000;
TKCDUTY05 = 0x0000;
```

- タイマ KC0 出力周波数を 100 Hz に設定します (パルス周期=10 ms)。
- パルス周期 = (TKCCR0 設定値+1) × カウンタ・クロック周期
 カウンタ・クロック周期は TPS2 レジスタにより 500 ns (2 MHz) に設定されているため、
 タイマ KC0 コンペア・レジスタ TKCCR0 は 19999 (20000-1) に設定する必要があります。

TKCCR0 = 20000-1;

備考 n = 0-2、m = 0-5、p = 0, 1

5.2.2 タイマ KB の PWM 出力ゲート機能と KC タイマを使用した調光操作

本項では、タイマ KC0 出力で制御する 16 ビット・タイマ KB のゲート制御を使用した PWM 調光について説明します。

5.2.2.1 調光方法の概要

この調光方法では、電流を一定に保つためのタイマ KB 出力の制御に PI フィードバック制御方法 (詳細は「RL78/I1A による LED 制御アプリケーション・ノート」を参照) を使用していますが、このサンプルコードではターゲットの調光レベルは最大レベルに固定されています。

そのため、LED の輝度は、タイマ KC0 出力で制御される PWM 出力ゲート機能のみを使用して調節されます。タイマ KC0 からの出力ゲート信号は、オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチのスライダを変化させることにより制御されます。

タイマ KC0 出力がハイ・レベルの間は PI フィードバック制御が有効になり、タイマ KB の PWM デューティ・サイクル値を調節することによって電流は一定に保たれます。

10 μs のインターバル・タイマ (インターバル・タイマ・モードのタイマ・アレイ・ユニットのチャンネル 2) を使用してタイマ KC0 出力ステータス (ハイ・レベルまたはロウ・レベル) をポーリングし、対応する LED チャンネルの PI フィードバック処理を有効/無効にします。

5.2.2.2 調光の分解能(LED1 チャンネルの例)

調光のステップ数は、タイマ KC0 の出力分解能に応じて異なります。タイマ KC0 の最大分解能は 16 ビット (65,536 ステップ) です。

本例では、タイマ KC0 コンペア・レジスタ 0 (TKCCR0) を 19999 に設定して 100 Hz 出力周波数を選択しているため、理論的には LED は 20,000 ステップで調光されることになります。

しかし、実際には、10 ビット A/D コンバータから読み出すアナログ・ボリューム・スイッチ (VR1) の出力を対応するアクティブ期間に変換し、タイマ KC0 の PWM デューティ・サイクル (TKCDUTY00) を設定しています。

- VR1 アナログ・ボリューム・スイッチ出力の範囲：0~1023
- タイマ KC0 の PWM 出力アクティブ期間の範囲：0~20,000
- $20000 \div 1023 \cong 19$

VR1 の値に 19 をかけて、タイマ KC0 の PWM 出力アクティブ期間の値を算出しています。

この方法では、実際の調光ステップは 1024 (10 ビット) になります。

5.2.2.3 タイマ KC0 の周波数

人間の目で見ても光がちらつかないように、タイマ KC0 出力の周波数には 100 Hz を選択しています。一般的に、ちらつきを抑えるためには 100 Hz の周波数が使用されます。

5.2.2.4 PI フィードバック処理の制御

タイマ・アレイ・ユニットのチャンネル 2 は、10 μ s 周期のインターバル・タイマ・モードに設定されています。

```
TMR02 = 0b0000000000000000;  
TDR02 = 319; /*この周期の初期値は 10  $\mu$ s @ 32 MHz に設定されています。*/
```

PI フィードバック処理を制御するには、インターバル・タイマ INTTM02 割り込みルーチンを使用して、TKCTOF0 出力フラグ・レジスタの TKCTOF00、TKCTOF01、TKCTOF02 ビットでタイマ KC0 出力ステータスをポーリングします。

- <1> ハイ・レベルの場合：対応する LED チャンネルの PI フィードバック処理が有効になります。
- <2> ロウ・レベルの場合：対応する LED チャンネルの PI フィードバック処理が無効になります。

そのため、TKCIOC01 レジスタを使用してタイマ KC0 出力を事前に有効にしておく必要があります (TKCTOE0m ビットを 1 にセットすることでタイマ KB の PWM 出力ゲート機能を使用し、タイマ出力を有効にします)。

また、ゲート信号が内部だけになるように、タイマ KC0 出力端子制御レジスタ TOETKC0 を使用して TKCO0m の端子出力が無効にする必要があります (TOETKC0m ビットを 0 にクリアすることで TKCO0m の端子出力が無効にします)。

端子出力が無効になっていても、タイマ KC0 出力ステータス・レジスタ TKCTOF0 を用いてタイマ KC0 出力信号のステータスを判断することができます。

たとえば、最初の LED1 チャンネルの PI フィードバック処理の繰り返しで、ターゲットとする調光レベル (VR1) が 0 から 0 以外の値に変わった場合、TKBCR01 レジスタに保持されているデューティ・サイクル値は 0 から始まり、調光値が最大値 (LED1_dim_max = 650) になるまで増加していきます。最後のデューティ・サイクル値は、次の PI フィードバック処理サイクルまで保持されます。

備考 m = 0-2

PI フィードバック処理制御の INTTM02 割り込みルーチン

```
void _int_tm02(void)
{
  /* LED1 チャンネル・フィードバック・スタート/ストップ制御 */
  if (TKCTOF00 == 1)
  {
    feedback1_off = 0; // TKCO00 出力がハイ・レベルのとき PI フィードバックは有効 <1>
  }
  else if (TKCTOF00 == 0)
  {
    feedback1_off = 1; // TKCO00 出力がロウ・レベルのとき PI フィードバックは無効 <2>
  }

  /* LED2 チャンネル・フィードバック・スタート/ストップ制御 */
  if (TKCTOF01 == 1)
  {
    feedback2_off = 0; // TKCO01 出力がハイ・レベルのとき PI フィードバックは有効 <1>
  }
  else if (TKCTOF01 == 0)
  {
    feedback2_off = 1; // TKCO01 出力がロウ・レベルのとき PI フィードバックは無効 <2>
  }

  /* LED3 チャンネル・フィードバック・スタート/ストップ制御 */
  if (TKCTOF02 == 1)
  {
    feedback3_off = 0; // TKCO02 出力がハイ・レベルのとき PI フィードバックは有効 <1>
  }
  else if (TKCTOF02 == 0)
  {
    feedback3_off = 1; // TKCO02 出力がロウ・レベルのとき PI フィードバックは無効 <2>
  }
}
```

5.2.2.5 LED1 チャンネルの調光操作タイミング・チャート

ゲート制御機能による調光操作の原理について、以下の LED1 チャンネルのタイミング・チャートで説明します。

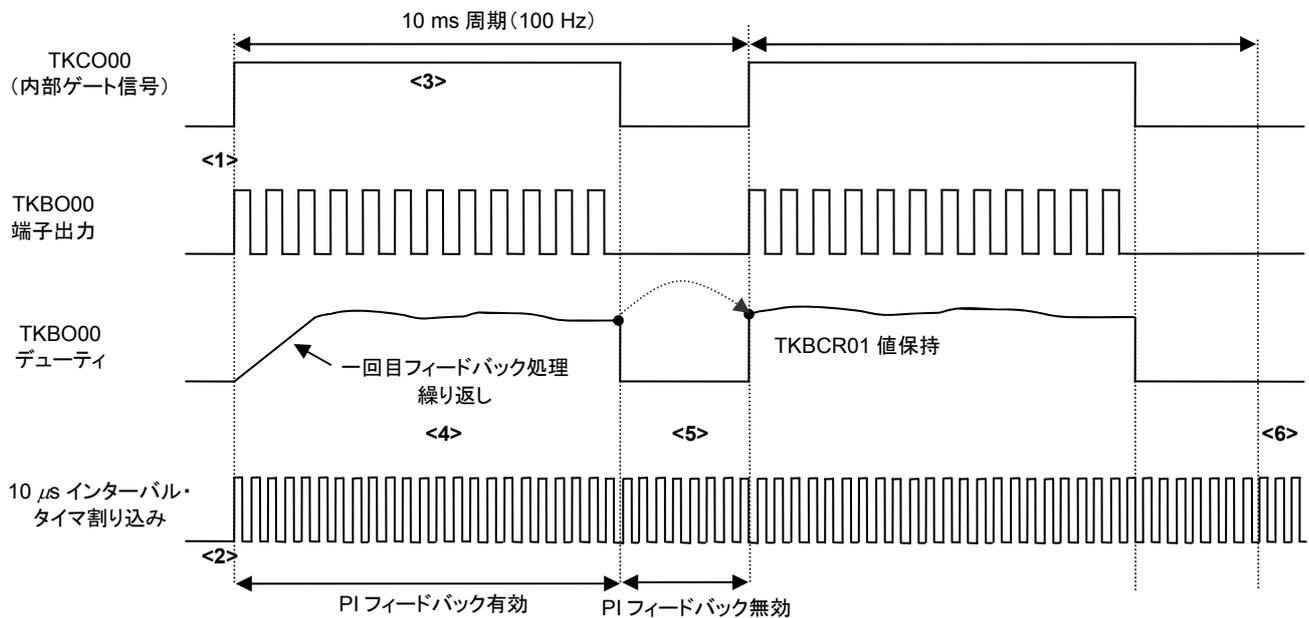


図 5.1 PWM 出力ゲート機能を使用した LED1 調光操作のタイミング・チャート

調光操作の仕組みを以下に説明します。

- <1> タイマ KB0 とタイマ KC0 がスタートします（同期スタート）。
- <2> 10 μ s インターバル・タイマがスタートします（インターバル・タイマ・モードの TAU チャンネル 2）。
- <3> 光の変更が必要になった場合（オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチの出力は 0 以外：VR1 \neq 0）、TKBO00 出力に対応するタイマ KC0 デューティ・コンペア・レジスタ TKCDUTY00 をターゲットの調光レベル VR1 に合わせて調整します（アナログ・ボリューム・スイッチで制御）。
- <4> TKBO00 のタイマ KC0 ゲート信号がハイ・レベルに設定されている場合には、TKBO00 出力の PI フィードバック制御が有効になります。
- <5> TKBO00 のタイマ KC0 ゲート信号がロウ・レベルに設定されている場合には、TKBO00 出力の PI フィードバック制御が無効になります。
- <6> ターゲットの調光レベルが 0 (VR1=0) になるまで上記<4>および<5>が繰り返されます。この時点でタイマ KC0 のデューティ・サイクル TKCDUTY00 は 0 に設定され、TKBO00 タイマ KB0 出力の TKBCR01 コンペア・レジスタも 0 に設定されます。
- <7> LED の点灯が必要な場合 (VR1 \neq 0) には、上記<3>以降の動作が繰り返されます。

5.2.3 ソフトウェアのフロー・チャート

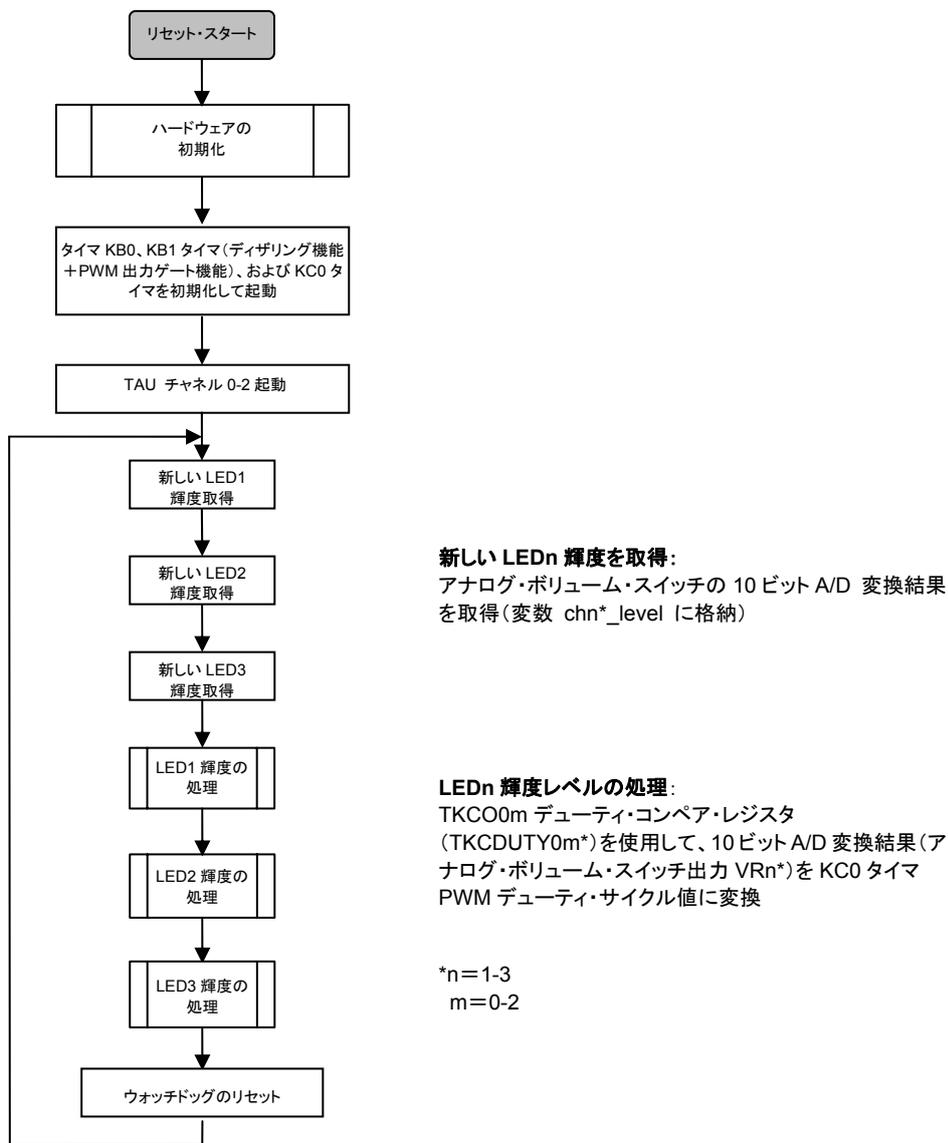


図 5.2 メインプログラム・ループのフロー・チャート

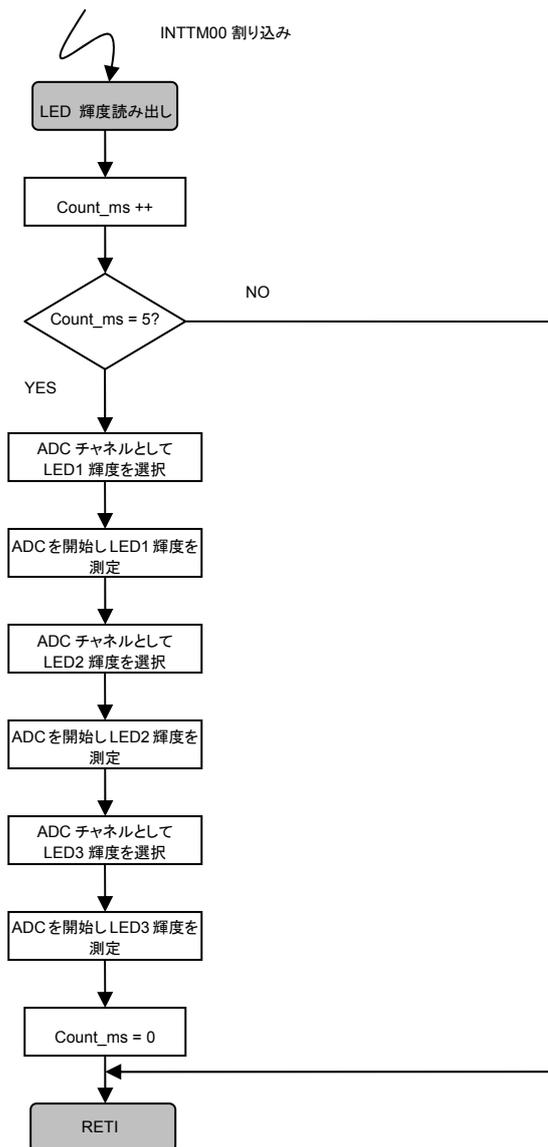


図 5.3 LED 輝度指定の読み出しフロー・チャート

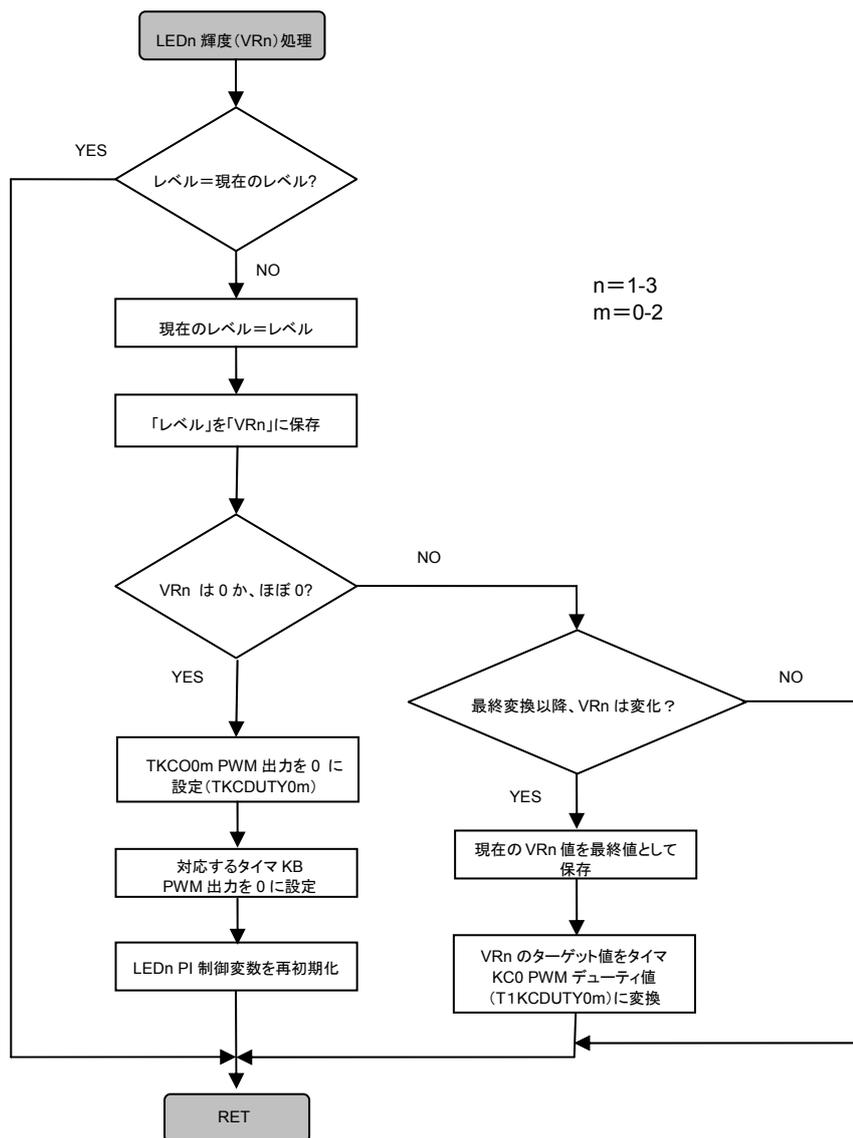


図 5.4 LEDn 輝度 (VRn) 処理フロー・チャート (n=1、2、3)

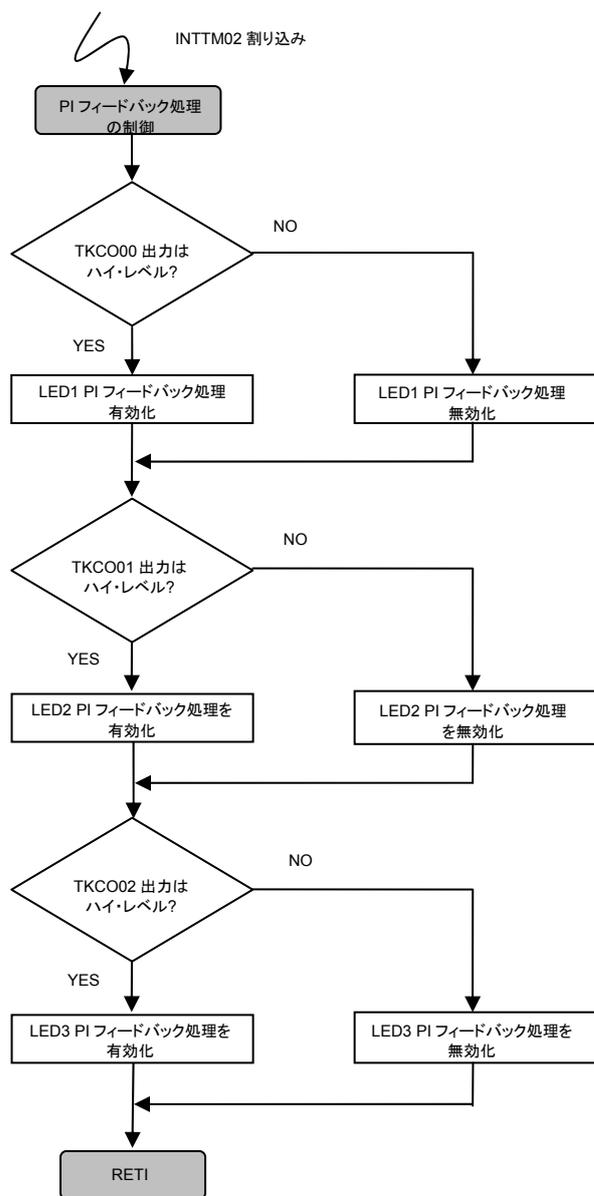
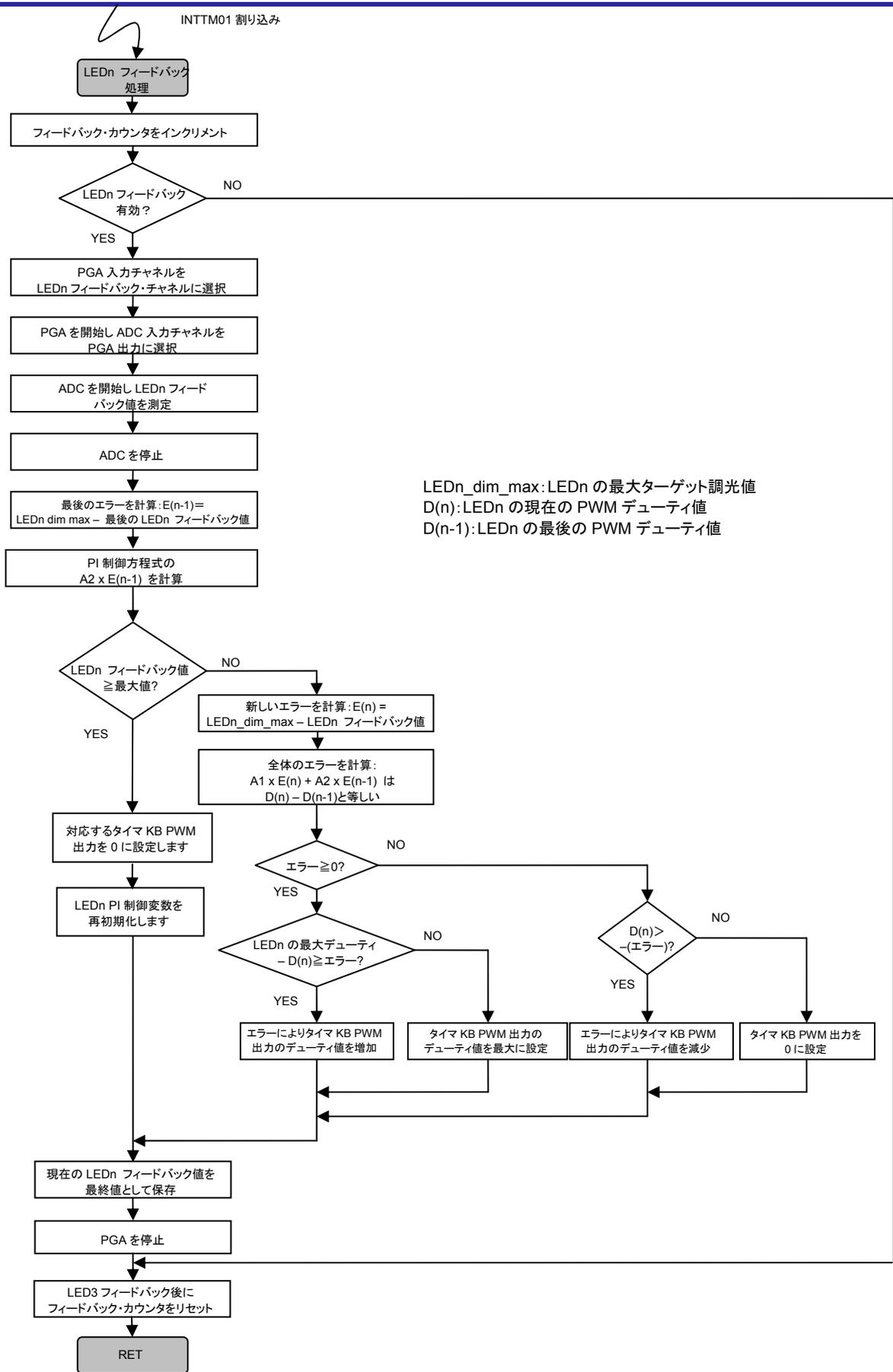


図 5.5 PI フィードバック制御のフロー・チャート



LEDn_dim_max: LEDn の最大ターゲット調光値
 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 5.6 LEDn PI フィードバック処理のフロー・チャート (n=1-3)

5.3 PWM 出力ソフト・スタート機能ソフトウェア

2 つ目のサンプルコードは、PWM 出力ゲート機能にタイマ KB の PWM 出力ソフト・スタート機能を追加しています。タイマの初期化と調光操作は前述のサンプルコードと非常によく似ていますが、その違いも説明します。また、PWM 出力ゲート機能のサンプルコードとの違いも示します。

5.3.1 タイマ KB の設定

タイマ KB およびタイマ KC の設定は、前節で説明した PWM 出力ゲート機能とほぼ同じですが、ソフト・スタート機能を設定・有効化するレジスタが追加されています。

- PWM 出力ソフト・スタート機能を使用する TKBO00、TKBO01、TKBO10 出力の設定を行います (PWM 出力ゲート機能とディザリング機能の両方を使用しますが、PWM ソフト・スタート機能が有効の場合にはディザリングは無効化されます)。
 - PWM 出力ソフト・スタート機能を使用するために、TKBCTLn0 レジスタの TKBSSEnp ビット (TKBOnp PWM 出力ソフト・スタート機能の制御) を 1 にセットします。

```
TKBCTL00 = 0x7700;
TKBCTL10 = 0x0700;
```

- TKBOnp 出力の PWM 出力ソフト・スタート機能のパラメータを設定します。
 - TKBSIRnp レジスタで、TKBOnp 出力の PWM 出力ソフト・スタート機能の初期デューティを設定します。また TKBSSRnp レジスタで、TKBOnp の PWM 出力を同じアクティブ期間に保っておく回数を設定します。(下記は参考値として例示しています。実際の値は、アプリケーションに応じた実験結果に基づいて調整してください)。

```
TKBSIR00 = 0x0070; // 112
TKBSIR01 = 0x008C; // 140
TKBSIR10 = 0x008C; // 140
TKBSSR00 = 0x01;
TKBSSR01 = 0x00;
TKBSSR10 = 0x00;
```

備考 n=0-2、p=0, 1

5.3.2 ソフト・スタート機能を使用した調光操作

ソフト・スタート機能による調光操作の原理について、以下の LED1 チャンネルのタイミング・チャートで説明します。

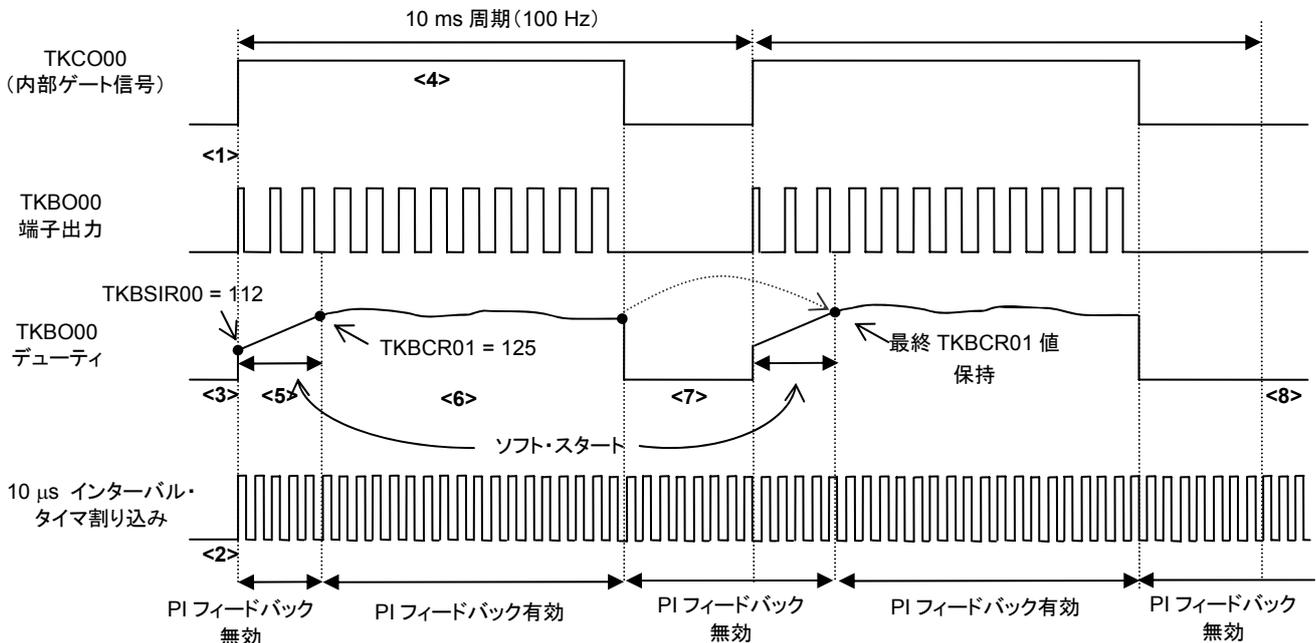


図 5.7 PWM 出力ゲート機能を使用した LED1 調光操作のタイミング・チャート

調光操作の仕組みを以下に説明します。

- <1> タイマ KB0 とタイマ KC0 がスタートします (同期スタート)。
- <2> 10 μs インターバル・タイマがスタートします (インターバル・タイマ・モードの TAU チャンネル 2)。
- <3> 発光させる必要がない場合 (オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチ出力が 0V : VR1 = 0)、タイマ KC0 のデューティ・サイクルを指定する TKCDUTY00 レジスタとタイマ KB0 の TKBO00 出力のデューティ・サイクルを指定する TKBCR01 コンペア・レジスタは共に 0 に設定され、TKBO00 出力デューティに対応する PI パラメータは、LED 電流 350 mA で実験結果に基づいて判定した最大値に初期化されます。

Duty_LED1 = 0x7D0000; // TKBCR01 = 125 (TKBO00 出力) に対応

- <4> 光の変更が必要な場合 (オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチ出力は 0V 以外 : VR1 ≠ 0) は、以下のようになります。
 1. 最初のフィードバック・サイクル (VR1 が 0 から他の値に変わったとき) で、TKBO00 タイマ KB0 出力の TKBCR01 コンペア・レジスタは 350 mA の LED 電流に対応する最大値 125 に設定され、ソフト・スタート機能の正しい動作が可能になり (TKBCR01 < TKBSIR00 の場合にはエラー)、'Duty_LED1' PI パラメータも次のような最大値に再初期化されます。


```
Duty_LED1 = 0x7D0000;
TKBCR01 = 125;
```
 2. オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチ出力に動きがある (VR1 が変化する) たびに、TKBO00 出力に対応するタイマ KC0 デューティ・コンペア・レジスタ TKCDUTY00 が、ターゲットの調光レベル VR1 に応じて調整されます。

- <5> タイマ KC0・デューティ・コンペア・レジスタ TKCDUTY00 が設定されると、TKBSIR00 および TKBSSR00 レジスタのパラメータに基づいて TKBO00 PWM 出力のソフト・スタート機能が即座にスタートします。
- <6> TKBO00 のタイマ KC0 ゲート信号がハイ・レベルに設定されている場合、ソフト・スタート機能が完了すると、TKBO00 出力の PI フィードバック制御が有効になります。
- <7> TKBO00 のタイマ KC0 ゲート信号がロウ・レベルに設定されている場合、TKBO00 出力の PI フィードバック制御は無効です。
- <8> ターゲットの調光レベルが 0 になる（オンボードのアナログ・ボリューム・スイッチ出力が 0V : VR1=0）まで、<4>の 2 から<7>までの動作が繰り返され、0 になった時点で<3>の動作が実行されます。
- <9> 発光が再び必要となると（VR1≠0）、調光の動作が再び<4>の 1 から始まります。

この調光プロセスは、他の 2 つの LED チャンネルでも同様に機能します。LED の最大電流 350 mA を得るための TKBCRxx コンペア・レジスタの最大値は、チャンネルごとに実験で測定します。TKBOnp PWM 出力デューティ値（およびデューティ値に対応する PI パラメータ値）はソフト・スタート機能が起動する前にこの最大値に設定してください。

各 LED チャンネルの値は以下のようになります。

```
Duty_LED1 = 0x7D0000; // TKBCR01 = 125 (TKBO00) に対応  
TKBCR01 = 125
```

```
Duty_LED2 = 0xA50000; // TKBCR03 = 165 (TKBO01) に対応  
TKBCR03 = 165
```

```
Duty_LED3 = 0xB40000; // TKBCR11 = 180 (TKBO10) に対応  
TKBCR11 = 180
```

備考 np = 00, 01, 10

5.3.3 ソフトウェアのフロー・チャート

本ソフトウェア・プログラムは、PWM 出力ゲート機能のプログラムに PWM 出力ソフト・スタート機能を加えています。同じ機能を使用しているため、前節で示したソフトウェアのチャートと似ていますが、「LEDn 輝度 (VRn) 処理」 ('r_led1.c', 'r_led2.c', および 'r_led3.c' ファイル) と「PI フィードバック処理制御」 ('r_led.c' ファイル) が異なります。フロー・チャートを以下に示します。

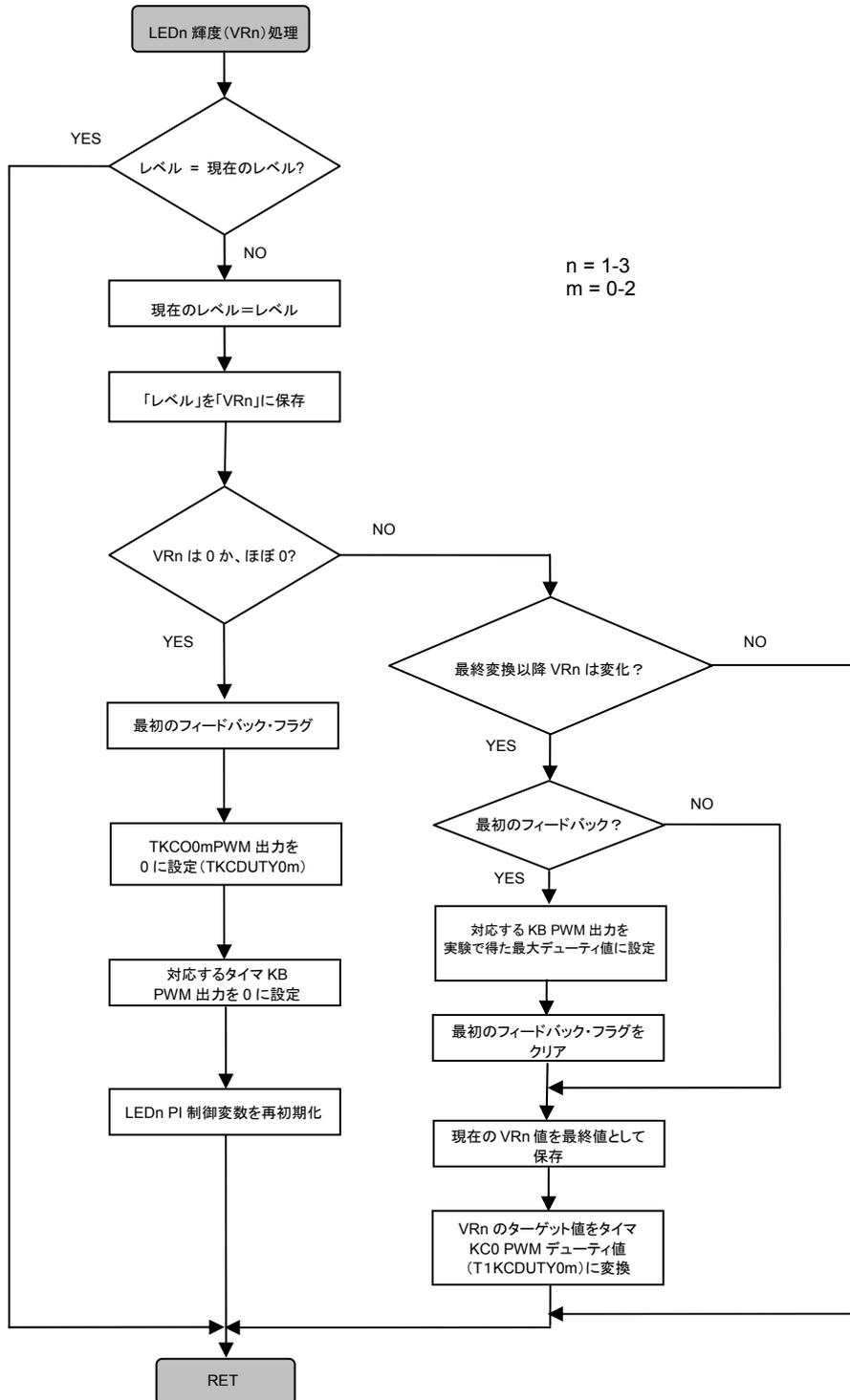


図 5.8 LEDn 輝度 (VRn) 処理フロー・チャート (n = 1-3)

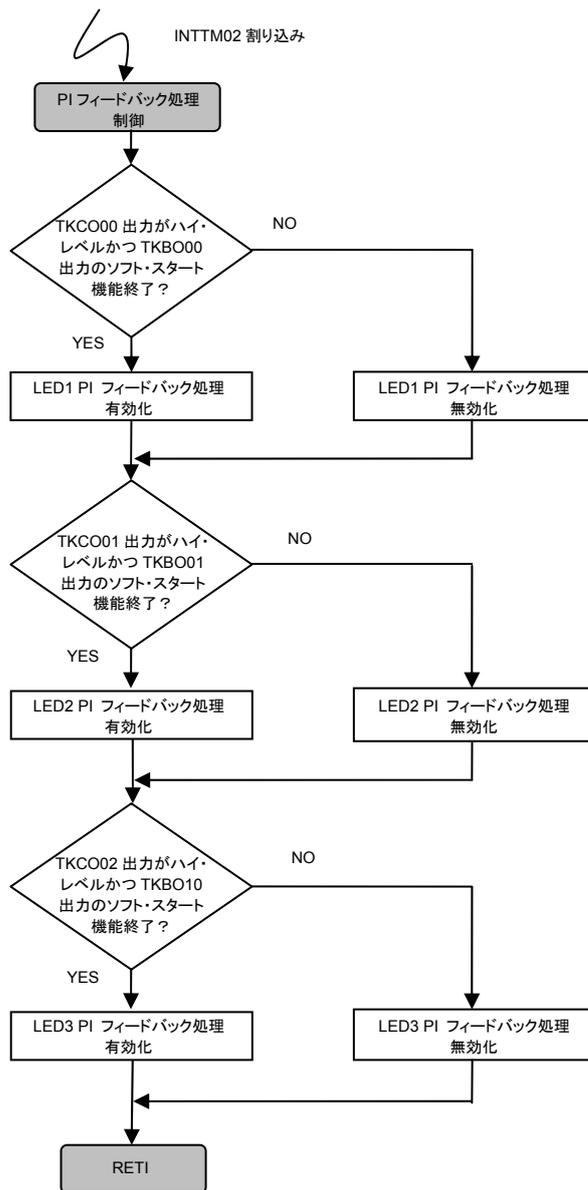


図 5.9 PI フィードバック制御のフロー・チャート

6. 実験結果

6.1 PWM 出力ゲート機能

以下の波形は、PWM 出力ゲート機能使用時の LED の電流を示しています。

特にチャンネル 2 と 3 で、切り替え時にわずかな電流のオーバーシュートが見られます。ソフト・スタート機能の目的はこの電流のオーバーシュートをなくすか、または低減することです。

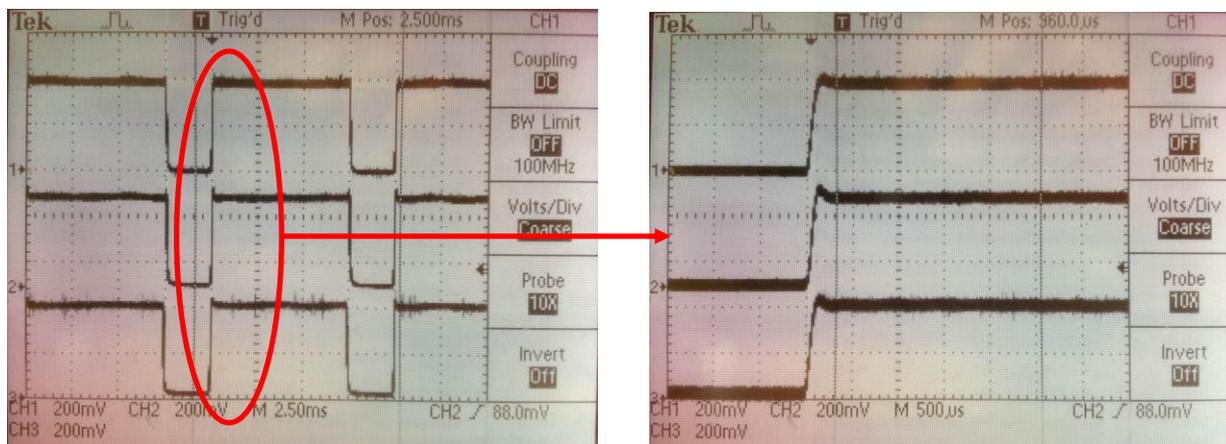


図 6.1 ゲート機能使用時の LED 電流の波形

6.2 PWM 出力ゲート機能とソフト・スタート機能

以下の波形は、PWM 出力ゲート機能とソフト・スタート機能使用時の、LED 電流を示しています。

ソフト・スタート機能が追加されると、電流のオーバーシュートが解消されています。

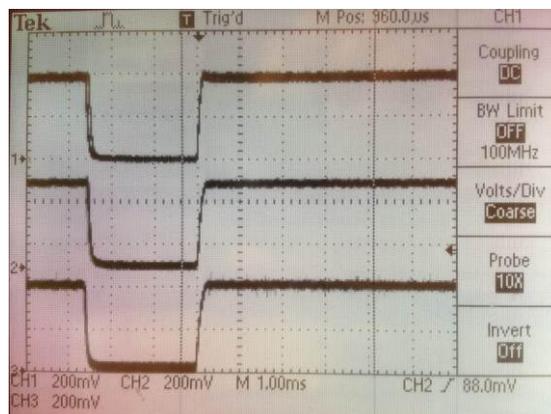
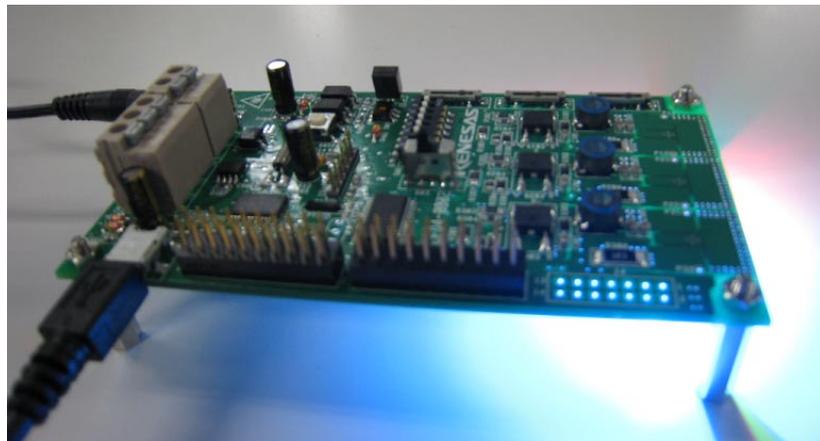


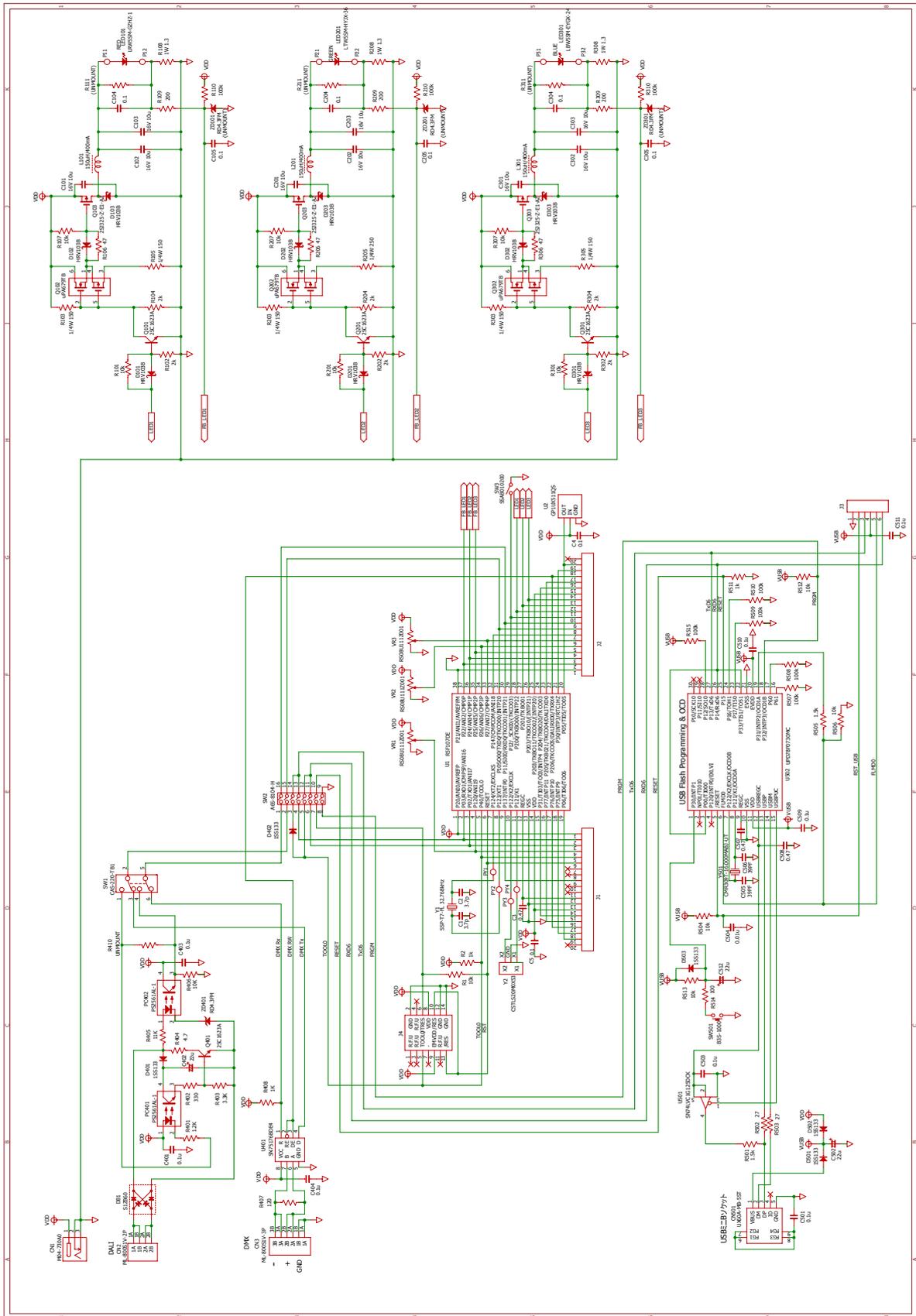
図 6.2 ゲート機能とソフト・スタート機能使用時の LED 電流の波形

注意 上記の電流波形は、RL78/I1A DC/DC LED 制御評価ボード(EZ-0012)の電源として安定化電源装置を使用してキャプチャしたものです。使用する電源の種類によっては、電流に歪みが生じる場合があります。そのため、評価の際には、安定化電源装置を使用することを推奨します。

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 Web サイト

<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	2013.03.25	－	初版発行

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くと、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り、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。

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て、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」その他輸出入関連法令を遵守し、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・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どうぞ。
総合お問合せ窓口：<http://japan.renesas.com/contact/>