
SH7216 グループ

R01AN0157JJ0100

Rev.1.00

MTU2 三相の正弦波 PWM 出力 (相補 PWM モード)

2010.09.14

要旨

本アプリケーションノートは、SH7216 のマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の相補 PWM (Pulse Width Modulation) モードを用いて出力する三相の相補 PWM 波形を、正弦波として出力するプログラムについて説明しています。

動作確認デバイス

SH7216

目次

1. はじめに	2
2. 応用例の説明	4
3. 参考ドキュメント	28

1. はじめに

1.1 仕様

本アプリケーションノートでは、マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の相補 PWM モードの機能を用いて、三相の相補 PWM 波形を正弦波として出力します。図 1 に構成を示します。

サンプルコードは、PWM デューティ設定値を計算するために必要となる三角関数の数値計算において、

1. FPU を使用するもの (Workspace 名: sh7216_mtu2_fpu_3phase_sine_pwm)
2. FPU を使用しないもの (Workspace 名: sh7216_mtu2_fix_3phase_sine_pwm)

の 2 つがあります。

- MTU2 のチャンネル 3、チャンネル 4 を相補 PWM モード (相補 PWM モード 3) に設定します。
- PWM の正相の出力端子は、TIOC3B 端子、TIOC4A 端子、TIOC4B 端子です。正相に対応する逆相の出力端子は、TIOC3D 端子、TIOC4C 端子、TIOC4D 端子です。
- PWM 出力信号のアクティブレベルは、ローアクティブに設定します。
- 相補 PWM モードでは、正相と逆相とがノンオーバーラップの関係にある短絡防止期間 (デッドタイム) をもつ PWM 波形出力となります。短絡防止期間は 4 μ s に設定します。
- PWM のキャリア周期は 400 μ s に設定します。
- PWM デューティ設定値は、PWM キャリア周期ごとに発生する割り込み処理で更新します。
- TIOC3A 端子からは、PWM のキャリアの半周期に同期したトグル波形を出力します。

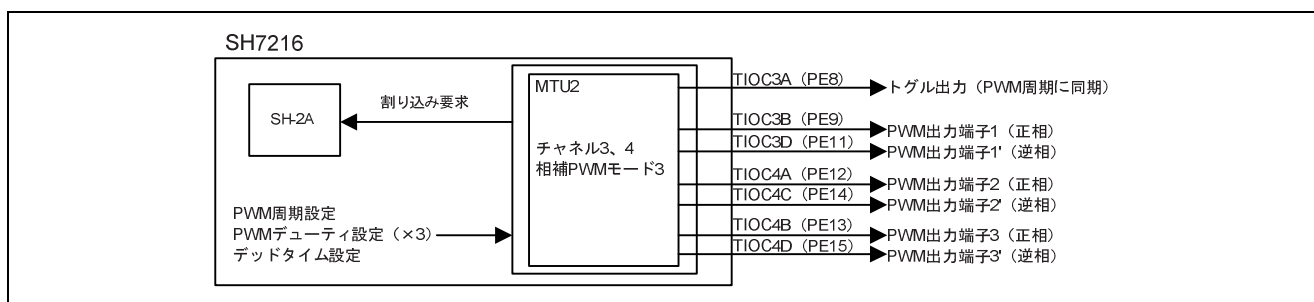


図1 三相の相補 PWM 出力 (相補 PWM モード 3)

1.2 使用機能

マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のチャンネル 3、チャンネル 4

1.3 適用条件

マイコン	SH7216 [R5F72167]
動作周波数	内部クロック : I = 200 MHz バスクロック : B = 50 MHz 周辺クロック : P = 50 MHz MTU2S クロック : M = 100 MHz AD クロック : A = 50 MHz
MCU 動作モード	シングルチップモード
統合開発環境	ルネサス エレクトロニクス製 High-performance Embedded Workshop Ver. 4.07.00.007
C コンパイラ	ルネサス エレクトロニクス製 SuperH RISC engine ファミリ C/C++ コンパイラパッケージ Ver.9.03 Release02
コンパイルオプション	High-performance Embedded Workshop でのデフォルト設定 (-cpu=sh2a* ¹ -include="\$(WORKSPDIR)¥inc" -object="\$(CONFIGDIR)¥\$(FILELEAF).obj" -debug -gbr=auto -chgincpath -errorpath -global_volatile=0 -opt_range=all -infinite_loop=0 -del_vacant_loop=0 -struct_alloc=1 -nologo) 【注】*1 : : FPU を使用しない場合、-cpu=sh2a となります。

1.4 関連アプリケーションノート

本アプリケーションノートに関連するアプリケーションノートを以下に示します。合わせてご参照ください。

- SH7216 グループ MTU2 三相の相補 PWM 出力機能 (相補 PWM モード) (RJJ06B1185)
- SH-2、SH-2A 固定小数点ライブラリ (Ver.1.01) 活用ガイド : <コンパイラ活用ガイド> (RJJ05J0001)

2. 応用例の説明

本アプリケーションノートでは、マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の相補 PWM モードの機能を使用します。

2.1 使用機能の動作概要

2.1.1 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)

マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) は、6 チャンネルの 16 ビットタイマにより構成されている多機能なタイマユニットです。チャンネル毎に、コンペアマッチ機能やインプットキャプチャ機能などの設定が可能です。チャンネル 3 とチャンネル 4 は、相補 PWM モードやリセット同期モードに設定することで、6 本の PWM 出力制御が可能です。

MTU2 の詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJJ09B0575)」の「マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)」の章を参照してください。

表 1 にマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の概要を示します。また、図 2 に MTU2 のブロック図を示します。

表1 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の概要

項目	内容
チャンネル数	16 ビットタイマ×6 チャンネル (チャンネル 0 から 5)
カウンタクロック	チャンネルごとに 8 種類のカウンタ入力クロックを選択可能 (チャンネル 5 は 4 種類)
チャンネル 0~4 の動作	<ul style="list-style-type: none"> コンペアマッチによる波形出力、インプットキャプチャ機能、カウンタクリア動作、複数のタイマカウンタ (TCNT) への同時書き込み、コンペアマッチ/インプットキャプチャによる同時クリア カウンタの同期動作による各レジスタの同期入出力、同期動作と組み合わせることによる最大 12 相の PWM 出力
A/D 変換器トリガ	<ul style="list-style-type: none"> A/D 変換器の変換スタートトリガを生成可能 相補 PWM モード時、カウンタの山/谷での割り込み、および A/D 変換器の変換スタートトリガを間引くことが可能
バッファ動作	<ul style="list-style-type: none"> チャンネル 0、3、4 はレジスタのバッファ動作が設定可能
動作モード	<ul style="list-style-type: none"> チャンネル 0~4 は、PWM モードの設定可能 チャンネル 1、2 はそれぞれ独立に位相計数モードを設定可能 チャンネル 3、4 の連動動作により、相補 PWM モード、リセット同期 PWM モードによる三相の正相、逆相計 6 本の PWM 波形出力の設定可能
割り込み要求	<ul style="list-style-type: none"> 28 種類の割り込み要因 (コンペアマッチ、インプットキャプチャ割り込みなど)
その他	<ul style="list-style-type: none"> カスケード接続動作 内部 16 ビットバスによる高速アクセス レジスタデータの自動転送が可能 モジュールスタンバイモードの設定可能 チャンネル 5 により、デッドタイム補償用カウンタ機能が可能

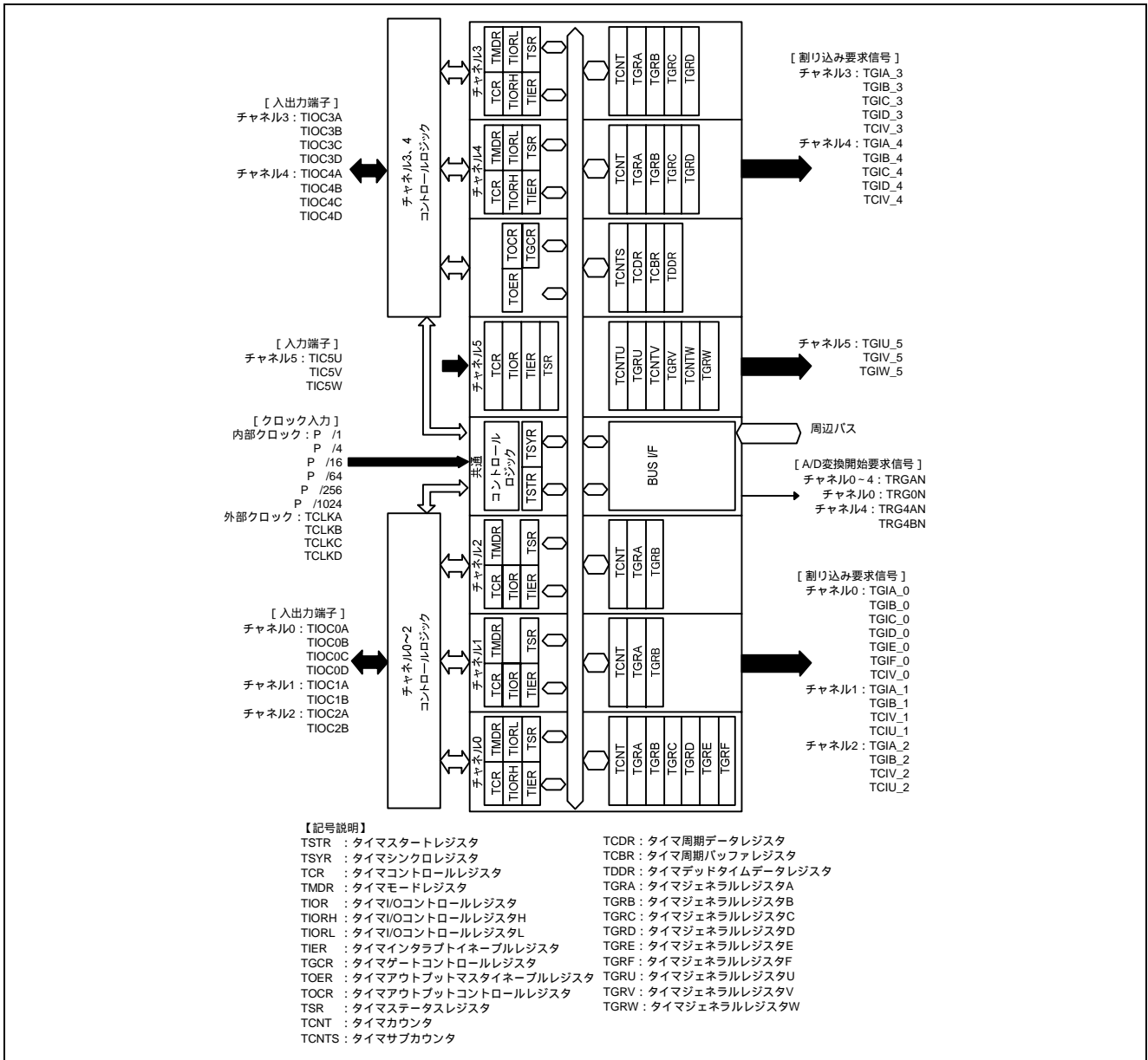


図2 MTU2 のブロック図

2.1.2 相補 PWM モード

マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) は、チャンネル 3、チャンネル 4 を組み合わせて使用することで、相補 PWM モードの設定が可能です。相補 PWM モードでは、正相と逆相がノンオーバーラップの関係にある PWM 波形を三相出力します。ノンオーバーラップ時間 (短絡防止期間) を持たない PWM 波形出力の設定も可能です。相補 PWM モードの PWM 出力端子は、TIOC3B、TIOC3D、TIOC4A、TIOC4B、TIOC4C、TIOC4D 端子です。また、TIOC3A 端子は PWM 周期に同期したトルク出力として使用することが可能です。

図 3 に、相補 PWM モード設定時のマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のチャンネル 3、4 の構成を示します。

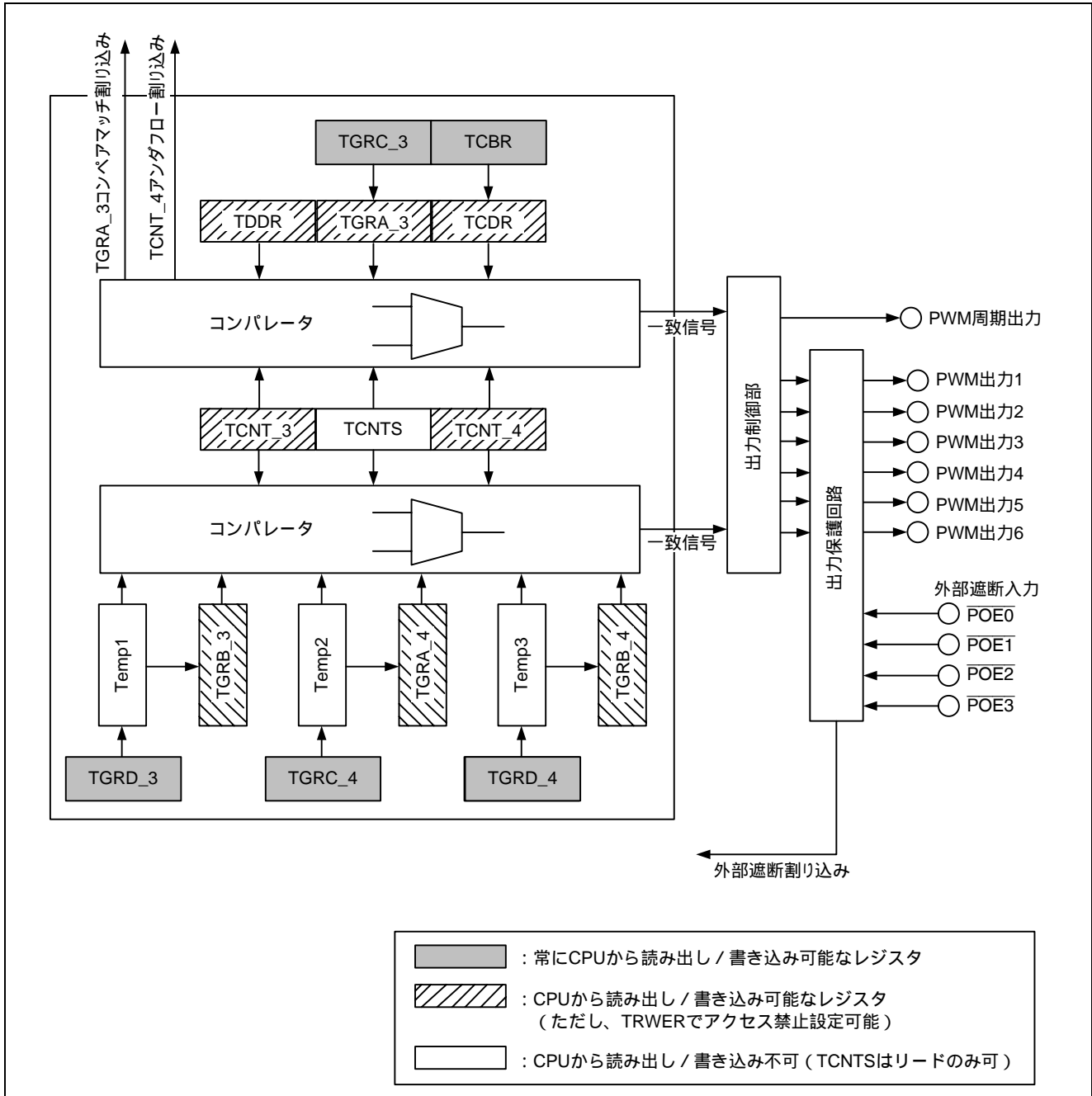


図 3 相補 PWM モード時のチャンネル 3、4 ブロック図

相補 PWM モード設定時のチャンネル 3、チャンネル 4 のレジスタ機能を示します。

- タイマジェネラルレジスタ A₃ (TGRA₃) は、コンペアレジスタとして動作します。TGRA₃ には、TCNT₃ の上限値を設定 (キャリア周期の 1/2 + デッドタイム) します。また、タイマ動作中に本レジスタ値を変更する場合は、タイマジェネラルレジスタ C₃ (TGRC₃) に変更値を設定します。
- タイマジェネラルレジスタ B₃ (TGRB₃) は、コンペアレジスタとして動作します。TGRB₃ には、TIOC3B、TIOC3D 端子から出力する PWM 波形のデューティを設定します。また、タイマ動作中に本レジスタ値を変更する場合は、タイマジェネラルレジスタ D₃ (TGRD₃) に変更値を設定します。
- タイマジェネラルレジスタ C₃ (TGRC₃) は、TGRA₃ のバッファレジスタとして動作します。タイマ動作中は、TGRC₃ の設定値が TGRA₃ に反映されます。
- タイマジェネラルレジスタ D₃ (TGRD₃) は、TGRB₃ のバッファレジスタとして動作します。タイマ動作中は、TGRD₃ の設定値が TGRB₃ に反映されます。
- タイマジェネラルレジスタ A₄ (TGRA₄) は、コンペアレジスタとして動作します。TGRA₄ には、TIOC4A、TIOC4C 端子から出力する PWM 波形のデューティを設定します。また、タイマ動作中に本レジスタ値を変更する場合は、タイマジェネラルレジスタ C₄ (TGRC₄) に変更値を設定します。
- タイマジェネラルレジスタ B₄ (TGRB₄) は、コンペアレジスタとして動作します。TGRB₄ には、TIOC4B、TIOC4D 端子から出力する PWM 波形のデューティを設定します。また、タイマ動作中に本レジスタ値を変更する場合は、タイマジェネラルレジスタ D₄ (TGRD₄) に変更値を設定します。
- タイマジェネラルレジスタ C₄ (TGRC₄) は、TGRA₄ のバッファレジスタとして動作します。タイマ動作中は、TGRC₄ の設定値が TGRA₄ に反映されます。
- タイマジェネラルレジスタ D₄ (TGRD₄) は、TGRB₄ のバッファレジスタとして動作します。タイマ動作中は、TGRD₄ の設定値が TGRB₄ に反映されます。
- テンポラリレジスタ 1、2、3 (Temp1、2、3) は、バッファレジスタとコンペアレジスタの間にあります。バッファレジスタに書き込んだデータは、テンポラリレジスタに転送され、コンペアレジスタへと転送されます。テンポラリレジスタは、CPU からアクセスできません。
- タイマカウンタ₃ (TCNT₃) は、16 ビットのカウンタです。TCNT₃ は、TGRA₃ とのコンペアマッチでダウンカウントとなり、タイマデッドタイムデータレジスタ (TDDR) とのコンペアマッチでアップカウントとなります。
- タイマカウンタ₄ (TCNT₄) は、16 ビットのカウンタです。TCNT₄ は、タイマ周期データレジスタ (TCDR) とのコンペアマッチでダウンカウントとなり、H'0000 になるとアップカウントとなります。
- タイマデッドタイムデータレジスタ (TDDR) は、16 ビットのリード/ライト可能なレジスタです。TDDR には、PWM 波形のデッドタイムを設定します。
- タイマ周期データレジスタ (TCDR) は、16 ビットのレジスタです。TCDR には、PWM キャリア周期の 1/2 の値を設定します。
- タイマ周期バッファレジスタ (TCBR) は、TCDR のバッファレジスタとして動作します。タイマ動作中は、TCBR の設定値が TCDR に反映されます。

2.2 参考プログラムの動作

2.2.1 参考プログラムの動作設定

本アプリケーションノートでは、マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のチャンネル 3、およびチャンネル 4 を相補 PWM モード 3 に設定し、三相の相補 PWM 波形を正弦波として出力します。また、PWM キャリア周期に同期したトグル出力を行います。

表 2 に相補 PWM モード動作の設定条件を示します。また、図 4 に相補 PWM モード時の出力波形例を示します。

表2 相補 PWM モード動作の設定

項目	内容
使用チャンネル	チャンネル 3、チャンネル 4
動作モード	相補 PWM モード 3 (カウンタの山、谷でデータ転送)
端子機能	<ul style="list-style-type: none"> • TIOC3A 端子：PWM 周期に同期したトグル出力 • TIOC3B 端子：PWM 出力 1 (正相波形) • TIOC3D 端子：PWM 出力 1' (PWM 出力 1 の逆相波形) • TIOC4A 端子：PWM 出力 2 (正相波形) • TIOC4C 端子：PWM 出力 2' (PWM 出力 2 の逆相波形) • TIOC4B 端子：PWM 出力 3 (正相波形) • TIOC4D 端子：PWM 出力 3' (PWM 出力 3 の逆相波形)
アクティブレベル	<ul style="list-style-type: none"> • 正相出力：アクティブ Low 出力 • 逆相出力：アクティブ Low 出力
カウンタクロック	12.5 MHz (P クロックを 4 分周)
PWM キャリア周期	400 μ s (キャリア周波数：2.5 kHz)
短絡防止期間	4 μ s
PWM デューティ	<ul style="list-style-type: none"> • PWM 出力 1, 2, 3 はそれぞれ位相が $2\pi/3$ ずつずれた波形を出力し、初期位相は 0, $2\pi/3$, $4\pi/3$ • TGRA_3 のコンペアマッチ割り込み処理ごとに、PWM デューティ設定のバッファレジスタを更新します
割り込み	<ul style="list-style-type: none"> • TGRA_3 のコンペアマッチ割り込み TGRA_3 のコンペアマッチは PWM キャリア周期ごとに発生します。

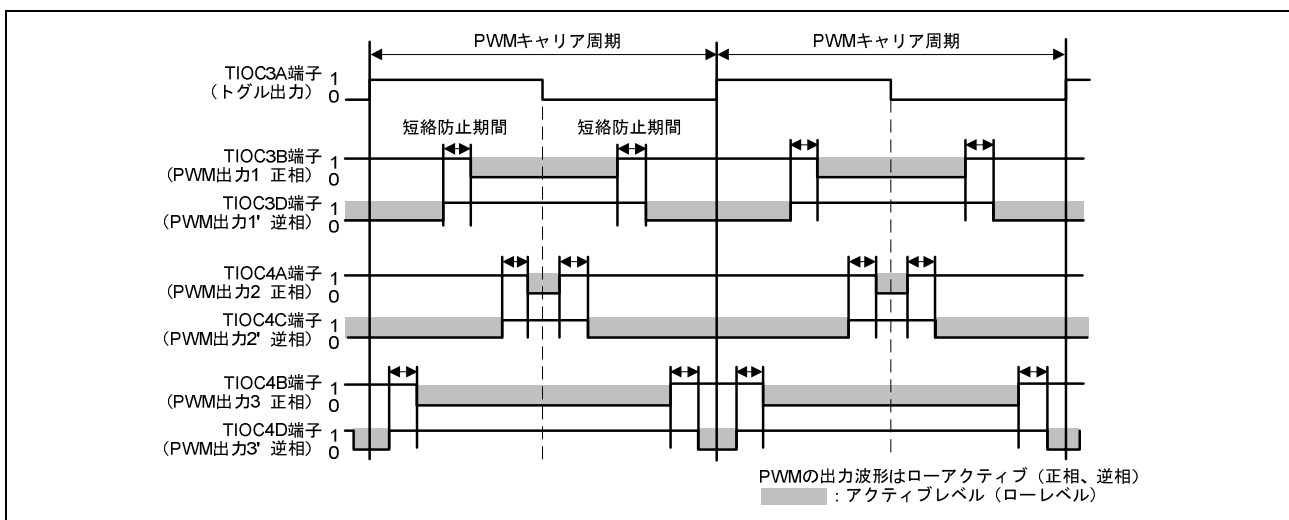


図4 相補 PWM モード動作時の出力波形

2.2.2 参考プログラムの動作説明

(1) タイマカウンタの動作

図5に相補PWMモード設定時のタイマカウンタの動作を示します。チャンネル3、チャンネル4のTCNT_3、TCNT_4カウンタは、アップダウンのカウンタ動作を行います。TCNT_3カウンタの初期値は、TDDRレジスタと同じ値を設定します。また、TCNT_4の初期値はH'0000を設定します。タイマカウンタの動作開始は、チャンネル3、4を同時に行います。

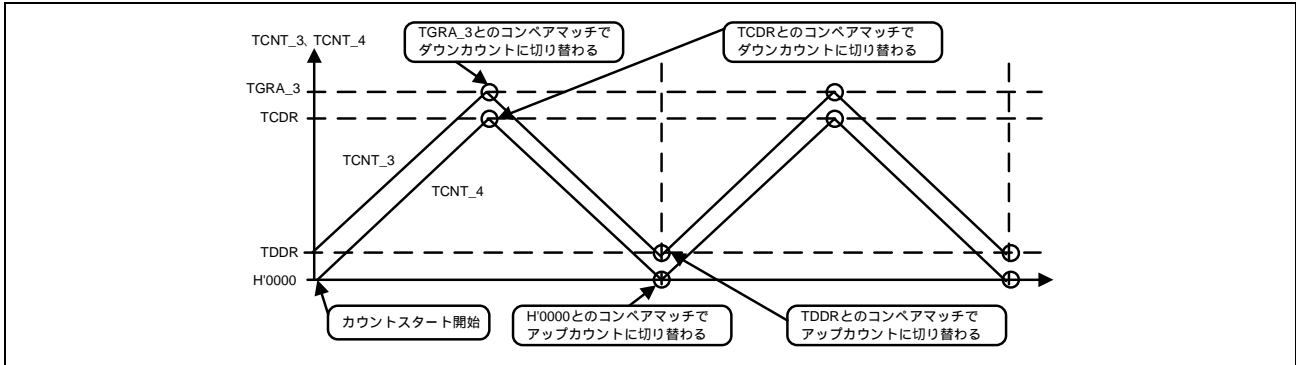


図5 タイマカウンタの動作

(2) PWM 出力波形

3相の相補PWM出力波形は、タイマカウンタ(TCNT_3、TCNT_4)とコンペアレジスタ(TGRB_3、TGRA_4、TGRB_4)とのコンペアマッチで制御します。これらのレジスタとカウンタが一致するとタイマアウトプットコントロールレジスタ(TOCR)のOLSN、OLSPビットで設定した値が、正相出力および逆相出力から出力されます。

図6に相補PWMの1相(正相、逆相)分の出力波形を示しています。正相および逆相の出力信号は、タイマカウンタ(TCNT_3、TCNT_4)とコンペアレジスタ(TGRB_3)とのコンペアマッチで制御します。

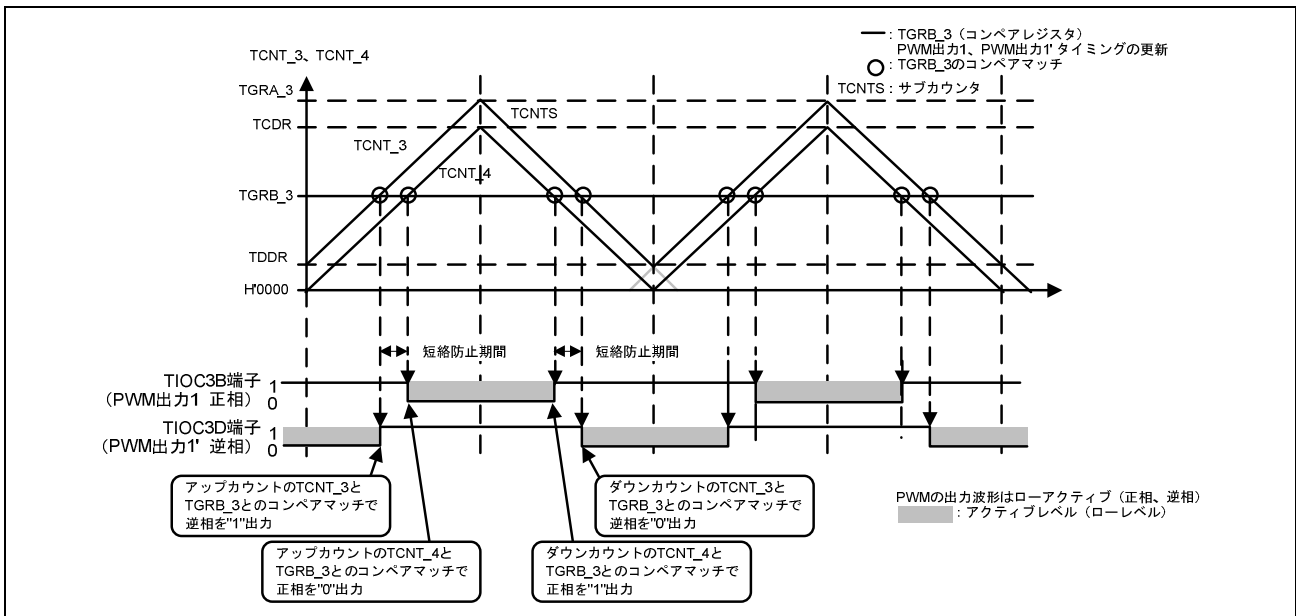


図6 相補PWMの出力波形

(3) PWM デューティの変更

図 7 に PWM デューティの更新タイミングを示します。参考プログラムでは、TGRA_3 のコンペアマッチ割り込み処理 (カウンタの山側の割り込み) で PWM デューティ設定値をインクリメントしてからレジスタ設定を行います。PWM デューティの更新は、3 本のバッファレジスタ TGRD_3、TGRC_4、TGRD_4 を使用します。

なお、デューティを変更するときは、必ず TGRD_4 を最後に設定してください。TGRD_4 のデータを更新しない場合も、更新するレジスタのデータを書き込んだ後、必ず TGRD_4 に書き込み動作を行ってください。

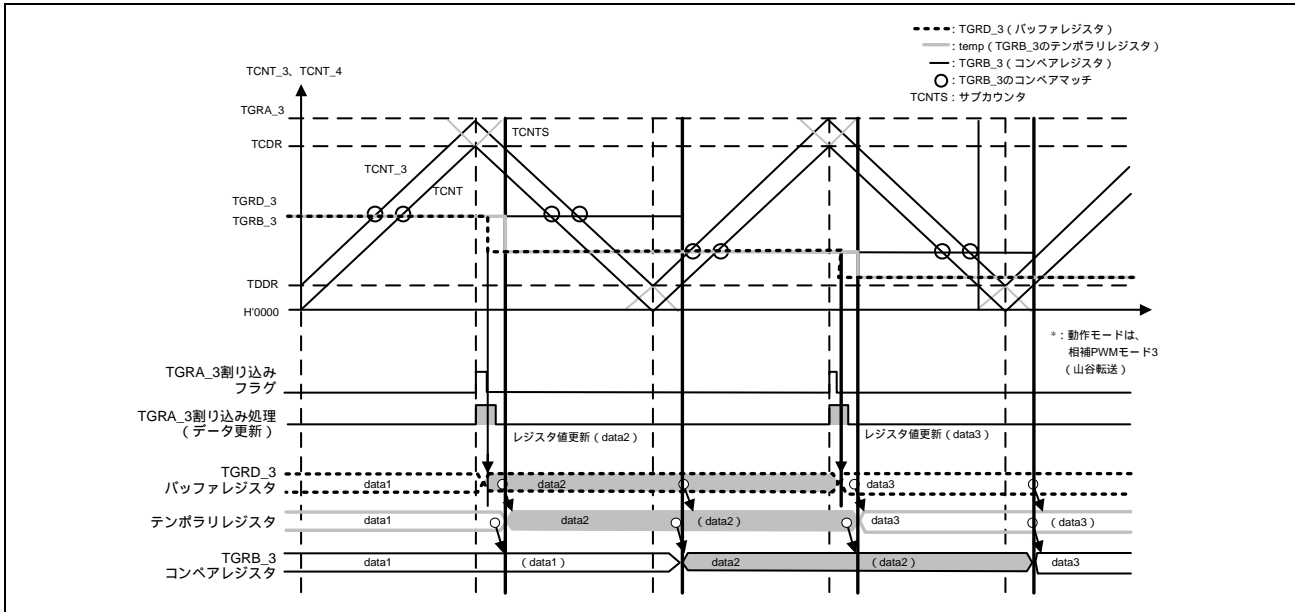


図7 PWM デューティの更新タイミング

(4) PWM デューティの更新値計算

図 8 に、キャリア周期ごとに更新されるコンペアレジスタ TGRB_3、TGRA_4、TGRB_4 の設定値を示します。

キャリア周期ごとに入るコンペアマッチ割り込みで、変数 $angl_cnt$ を 1 インクリメントし、 $angl_cnt$ の値から次の式を用いてコンペアレジスタの設定値を計算します。なお、コンペアレジスタは、バッファレジスタを介して設定します。ROT_CYCLE は正弦波の周期で、本プログラムでは 5000 としています。TGRA_3 の値は 2550 です。

$$(TGRB_3) = \frac{(TGRA_3)}{2} \left\{ \sin \left(2\pi \frac{angl_cnt}{ROT_CYCLE} \right) + 1 \right\}$$

$$(TGRA_4) = \frac{(TGRA_3)}{2} \left\{ \sin \left(2\pi \frac{angl_cnt}{ROT_CYCLE} - \frac{2}{3}\pi \right) + 1 \right\}$$

$$(TGRB_4) = \frac{(TGRA_3)}{2} \left\{ \sin \left(2\pi \frac{angl_cnt}{ROT_CYCLE} - \frac{4}{3}\pi \right) + 1 \right\}$$

このとき行われる三角関数の数値計算に関して、

1. FPU を使用するもの (Workspace 名: sh7216_mtu2_fpu_3phase_sine_pwm)
2. FPU を使用しないもの (Workspace 名: sh7216_mtu2_fix_3phase_sine_pwm)

の、2 つのサンプルコードがあります。

1.では、数値計算用ライブラリ(標準インクルードファイル)"math.h"、"mathf.h"をインクルードし、double型、float型の変数を用いて計算します。また、2.では、固定小数点ライブラリ"fixmath.h"をインクルードし、FIX16型の変数を用いて計算します。FIX16型等、固定小数点ライブラリの詳細については、「SH-2、SH-2A 固定小数点ライブラリ (Ver.1.01) 活用ガイド : <コンパイラ活用ガイド> (RJJ05J0001)」を参照してください。

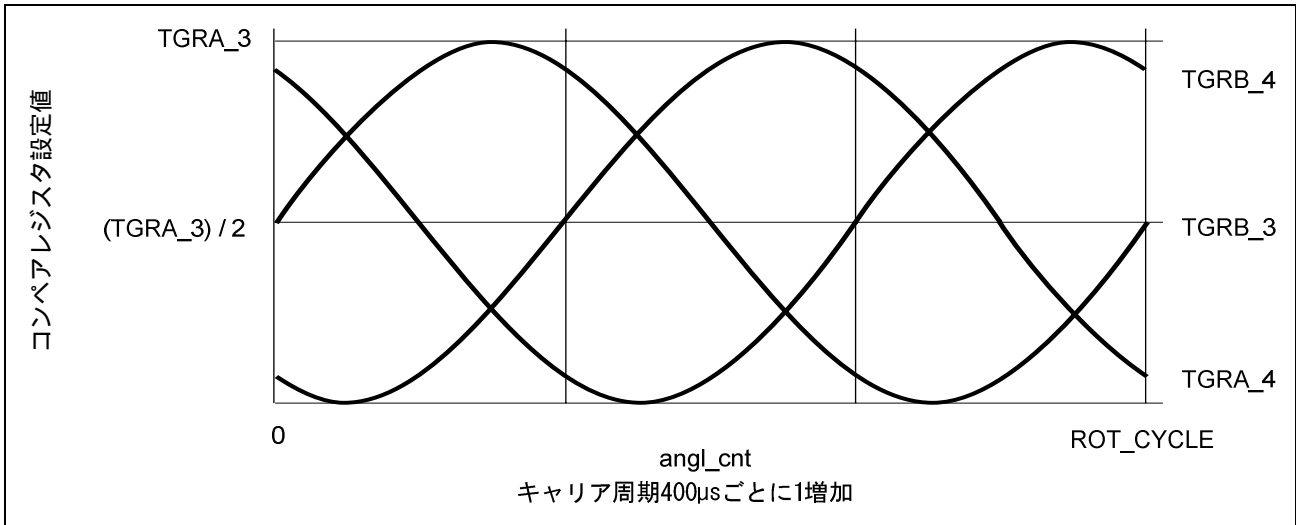


図 8 コンペアレジスタ TGRB_3, TGRA_4, TGRB_4 の設定値

(5) PWM 周期に同期したトグル出力

図 9 に PWM 周期に同期したトグル出力の動作を示します。タイマアウトプットコントロールレジスタ (TOCR) の PSYE ビットを 1 にセットして、PWM キャリア周期に同期したトグル出力を行います。トグル出力端子は、TIOC3A 端子です。初期出力は Low 出力です。

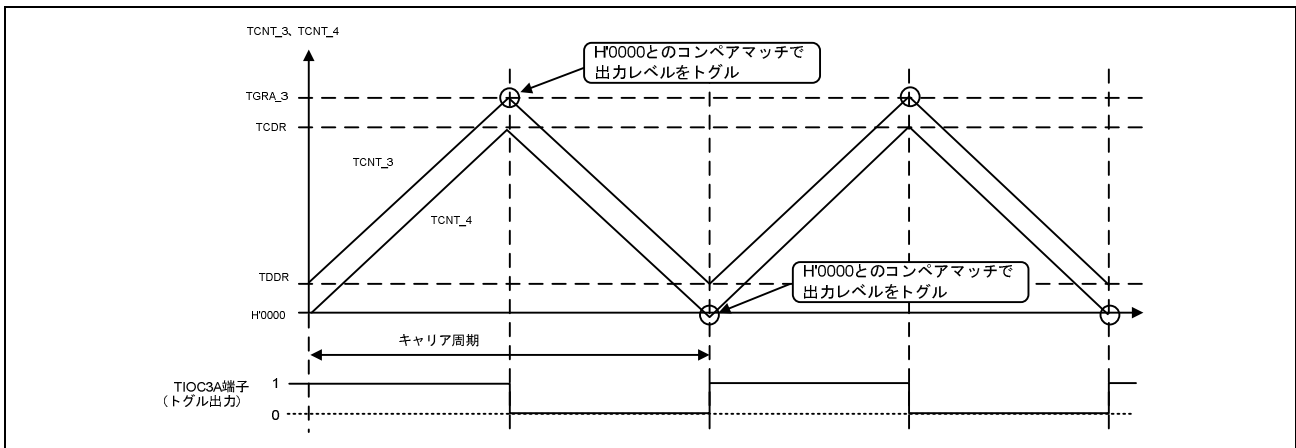


図 9 PWM 周期に同期したトグル出力動作

2.2.3 任意の PWM デューティの出力例

表 3 に PWM デューティの設定値と、そのときの正相出力、および逆相出力の波形の関係について、一相分の正相と逆相の出力動作を示します。

相補 PWM モードでは、コンペアレジスタ (TGRB_3) の値が、H'0000 のとき、正相はデューティ 0% 出力、逆相はデューティ 100% 出力になり出力レベルが固定されます。また、コンペアレジスタ (TGRB_3) の値が、TGRA_3 レジスタの設定値と同等かそれ以上の値のとき、正相はデューティ 100% 出力、逆相はデューティ 0% 出力になり、出力レベルが固定されます。図 10 に正相、逆相の出力波形例を示します。

なお、PWM デューティを変更する際は、設定値をコンペアレジスタに直接設定せず、必ずバッファレジスタに設定して、バッファレジスタ経由でコンペアレジスタを更新してください。

表3 PWM デューティ設定と出力波形例

TGRB_3 レジスタの値	出力波形 *1		波形図
	正相出力 (TIOC3B 端子)	逆相出力 (TIOC3D 端子)	
TGRB_3 = TGRA_3	デューティ 100% 出力	デューティ 0%	図 10 (a)
TGRA_3 > TGRB_3 > TCDR	デューティ 100% 出力	0 < "H"幅 < < 短絡防止期間の 2 倍	図 10 (b)
TGRB_3 = TCDR	デューティ 100% 出力	"H"幅 = 短絡防止期間の 2 倍	図 10 (c)
TCDR > TGRB_3 > TDDR	デューティ 100% > "H"幅 > 短絡防止期間の 2 倍	"H"幅 = 正相の "L"幅 + 短絡防止期間の 2 倍	図 10 (d)
TGRB_3 = TDDR	パルス幅 = 短絡防止期間の 2 倍	デューティ 100% 出力	図 10 (e)
TDDR > TGRB_3 > H'0000	短絡防止期間の 2 倍 > "H"幅 > 0	デューティ 100% 出力	図 10 (f)
TGRB_3 = H'0000	デューティ 0%	デューティ 100% 出力	図 10 (g)

【注】 *1 PWM 出力のアクティブレベルはローレベル設定です。相補 PWM 出力の 1 相分 (正相、逆相) の例です。

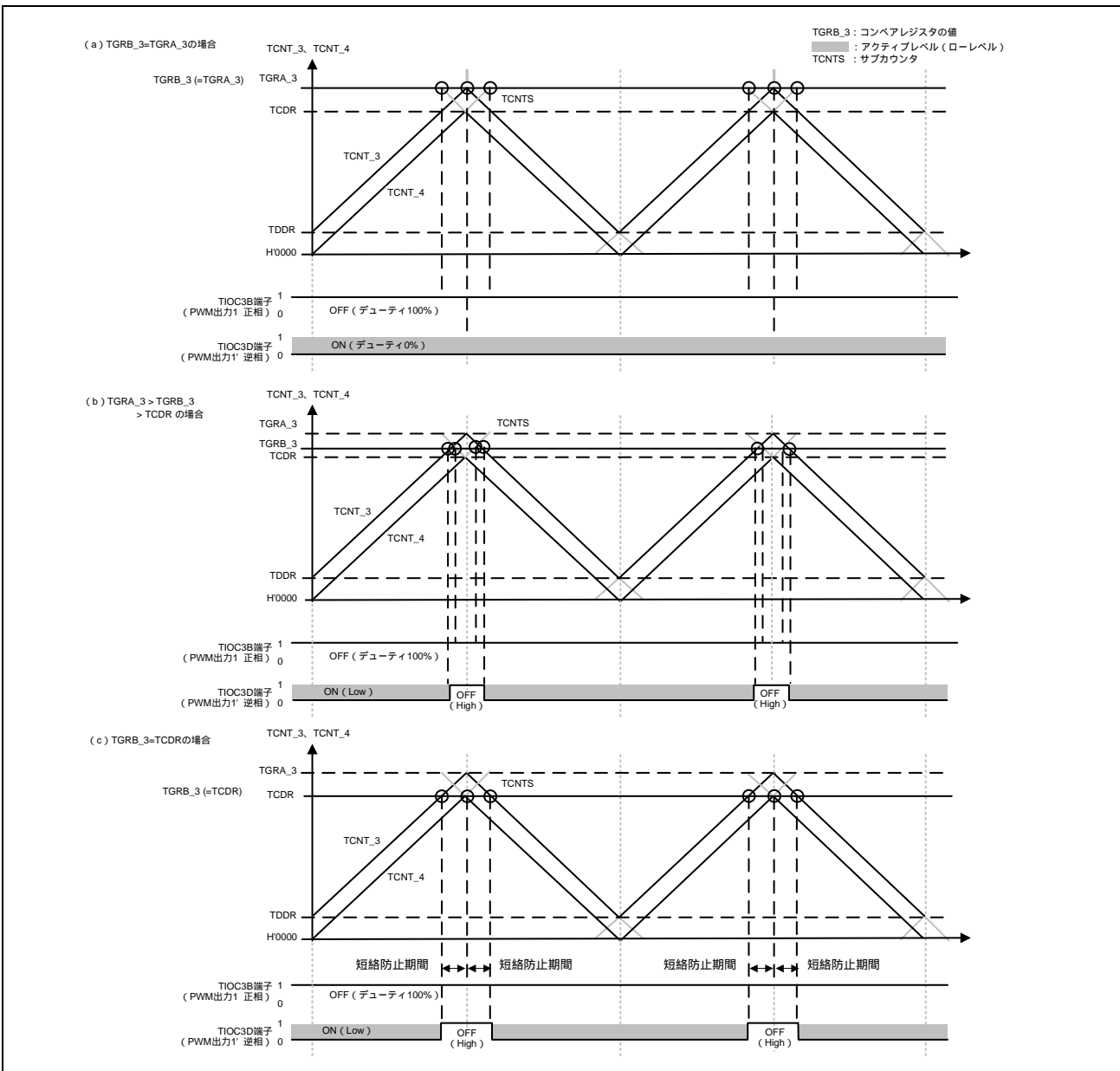


図 10 (a), (b), (c) PWM 波形の出力例

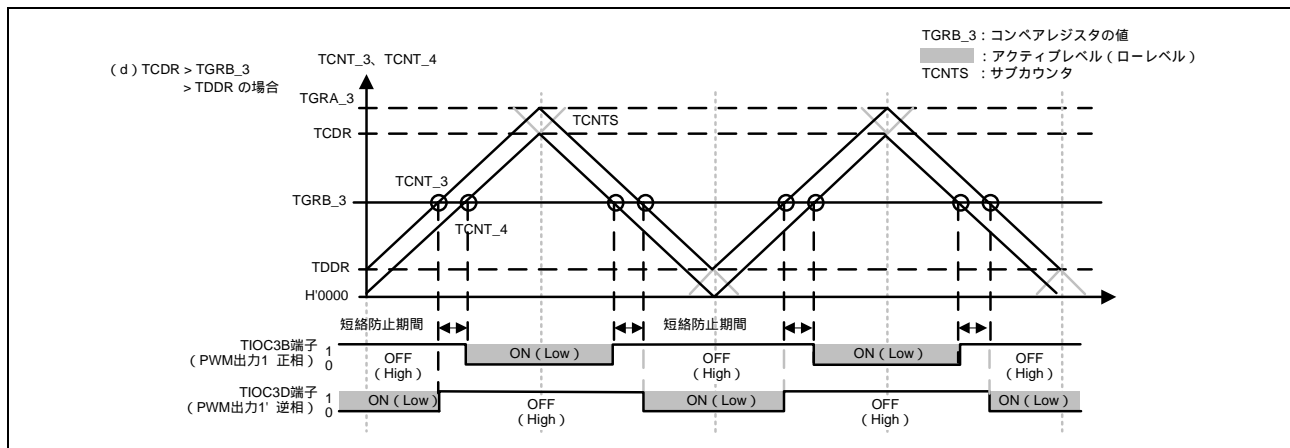


図 10 (d) PWM 波形の出力例

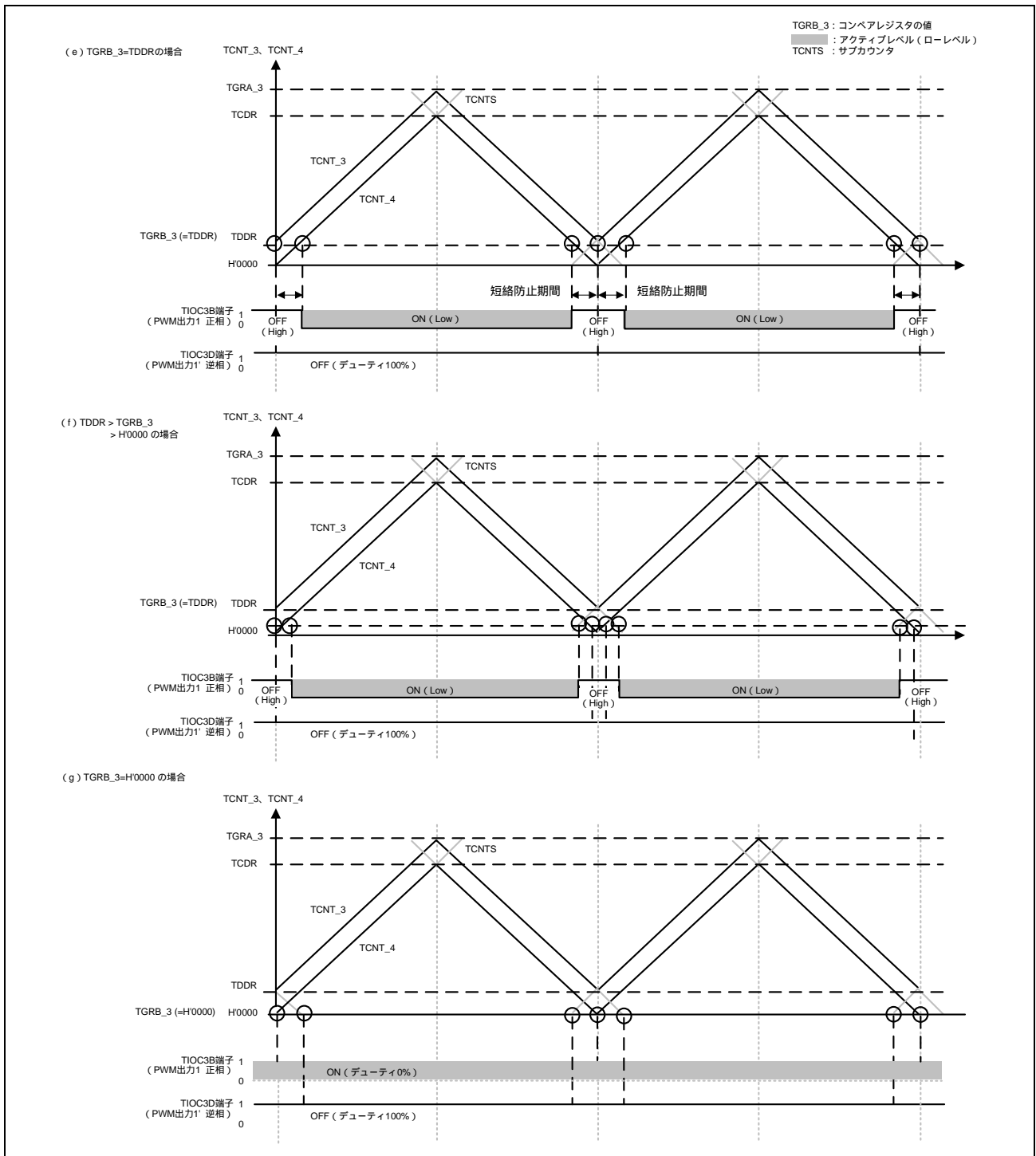


図 10 (e), (f), (g) PWM 波形の出力例

2.3 参考プログラム構成

2.3.1 使用関数

表 4 に参考プログラムで使用する主な関数を示します。

表4 使用関数

関数名	機能
main()	メイン関数。 各モジュールの初期設定、およびマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のタイマのスタートを設定。
stbcr_init()	スタンバイ設定。 MTU2 のモジュールスタンバイの解除設定。
mtu2_init()	MTU2 (チャンネル 3、4) の初期設定。 チャンネル 3、4 を相補 PWM モード 3 に設定。
pfc_init()	ピンファンクションコントローラ (PFC) の初期設定。 MTU2 関連の端子をタイマ端子機能に設定。
int_mtu2_tgi3a()	MTU2 (チャンネル 3) の TGRA_3 コンペアマッチ割り込み処理。 変数 angl_cnt をインクリメントします。 angl_cnt の値から算出された値をバッファレジスタに格納します。 割り込みは PWM のキャリア周期 (400 μ s) ごとに発生します。
calc_tgr_value_by_double()* ¹	計算用ライブラリ"math.h"、double 型変数を用いてコンペアレジスタの設定値を計算し、配列 pul_pwm_duty[] に値を格納します。
calc_tgr_value_by_float()* ¹	計算用ライブラリ"mathf.h"、float 型変数を用いてコンペアレジスタの設定値を計算し、配列 pul_pwm_duty[] に値を格納します。
calc_tgr_value_by_fix16()* ²	計算用ライブラリ"fixmath.h"、FIX16 型変数を用いてコンペアレジスタの設定値を計算し、配列 pul_pwm_duty[] に値を格納します。

【注】 *1 FPU 使用プログラム (Workspace 名 : sh7216_mtu2_fpu_3phase_sine_pwm) のみで使用します
*2 FPU 不使用プログラム (Workspace 名 : sh7216_mtu2_fix_3phase_sine_pwm) のみで使用します

2.3.2 使用変数と定数

表 5 に参考プログラムで使用する変数と定数を示します。

表5 使用変数と定数

変数名	機能	使用関数
rot_dir	変数 angl_cnt の増加、減少を決める変数です。 初期値は 0。 0 の場合は増加、1 の場合は減少を示します。 ただし、参考プログラムでは増加のみの設定です。	<ul style="list-style-type: none"> int_mtu2_tgi3a()
angl_cnt	関数 int_mtu2_tgi3a() の中で 1 インクリメントされます。 初期値は 0、周期は 5000 です。	<ul style="list-style-type: none"> int_mtu2_tgi3a()
type_select* ¹	三角関数の数値計算を、double 型、float 型のどちらで行うか指定します。 初期値は 0。 0 の場合は double 型、1 の場合は float 型で数値計算を行うように分岐します。	<ul style="list-style-type: none"> int_mtu2_tgi3a()
angl_d* ¹	弧度法で表した正弦波 PWM の角度です (double 型)。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_double()
angl_f* ¹	弧度法で表した正弦波 PWM の角度です (float 型)。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_float()
angl_fix16* ²	弧度法で表した正弦波 PWM の角度です (FIX16 型)。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_fix16()
pul_pwm_duty[]	PWM デューティ設定値。各要素は、以下のように、各端子に対応しています。 [0] PWM1 出力 (TIOC3B 端子、TIOC3D 端子) (TGRD_3 レジスタに格納します) [1] PWM2 出力 (TIOC4A 端子、TIOC4C 端子) (TGRC_4 レジスタに格納します) [2] PWM3 出力 (TIOC4B 端子、TIOC4D 端子) (TGRD_4 レジスタに格納します)	<ul style="list-style-type: none"> mtu2_init() int_mtu2_tgi3a() calc_tgr_value_by_double() calc_tgr_value_by_float() calc_tgr_value_by_fix16()
Pi2_fix16* ²	FIX16 型の定数で、値は 2π です。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_fix16()
One_3rd_period_fix16* ²	FIX16 型の定数で、値は $2\pi/3$ です。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_fix16()
Rot_cycle_fix16* ²	FIX16 型の定数で、値は 5000 です。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_fix16()
Half_pul_cycle_fix16* ²	FIX16 型の定数で、値は $(TGRA_3)/2 = 2550$ です。	<ul style="list-style-type: none"> calc_tgr_value_by_fix16()

【注】 *1 FPU 使用プログラム (Workspace 名 : sh7216_mtu2_fpu_3phase_sine_pwm) のみで使用します

*2 FPU 不使用プログラム (Workspace 名 : sh7216_mtu2_fix_3phase_sine_pwm) のみで使用します

2.4 使用機能の設定手順

参考プログラムの処理フローを示します。

2.4.1 メイン関数

図 11 にメイン関数の処理フローを示します。

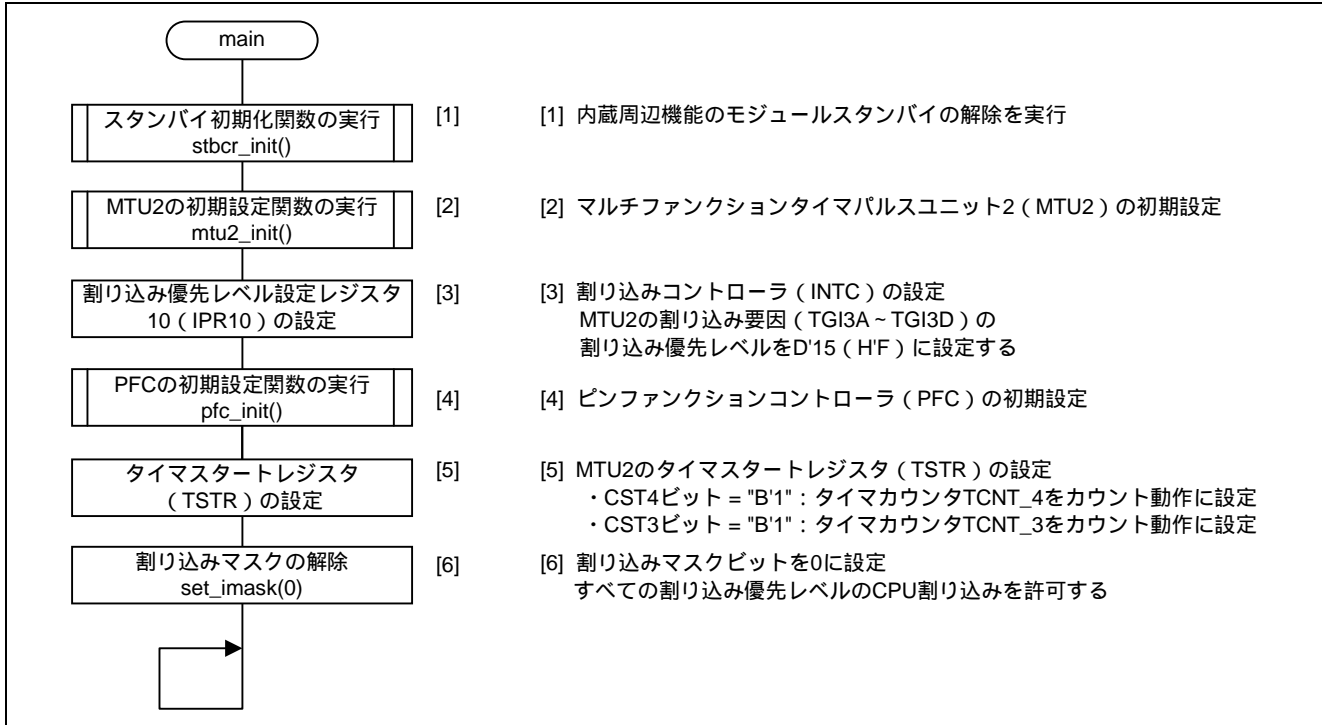


図 11 メイン関数の処理

2.4.2 スタンバイの初期設定

図 12 にスタンバイの初期設定の処理フローを示します。

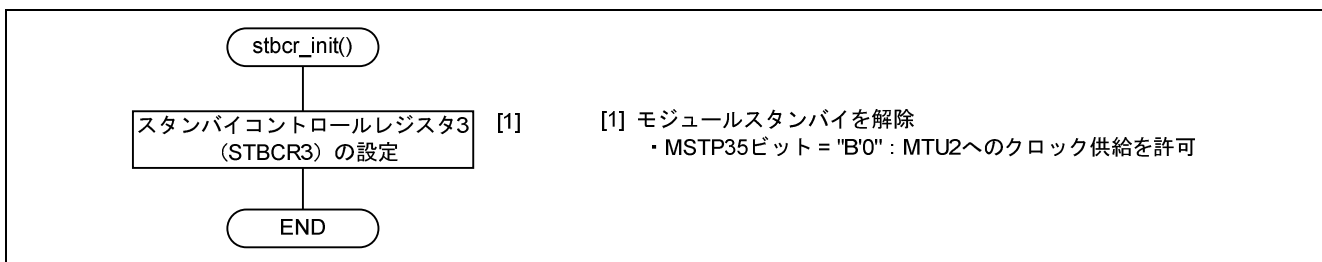


図 12 スタンバイの初期設定

2.4.3 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の初期設定

図 13 にマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の初期設定の処理フローを示します。チャンネル 3、チャンネル 4 を相補 PWM モード 3 に設定します。



図 13 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の初期設定

2.4.4 ピンファンクションコントローラ (PFC) の初期設定

図 14 にピンファンクションコントローラ (PFC) の初期設定の処理フローを示します。

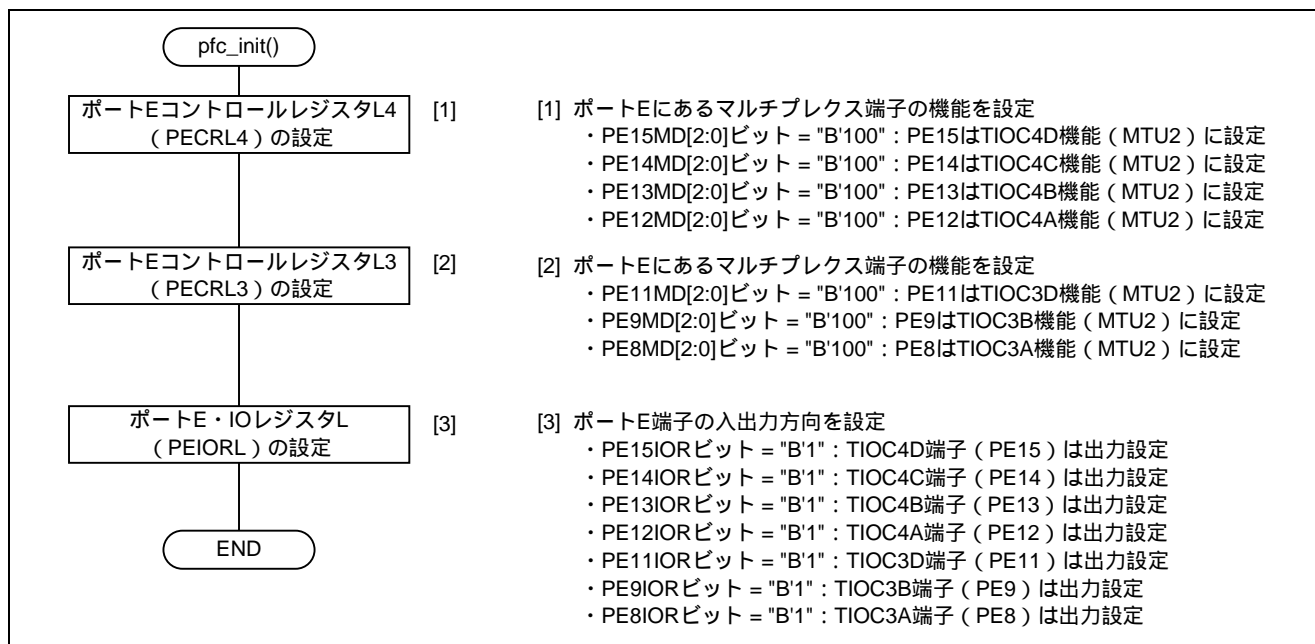


図 14 ピンファンクションコントローラ (PFC) の初期設定

2.4.5 コンペアマッチ割り込み処理

図 15(a)、(b)に MTU2 のコンペアマッチ割り込み (TGRA_3) の処理フローを示します。図 15(a)は FPU を使用するプログラム、図 15(b)は FPU を使用しないプログラムの処理フローです。

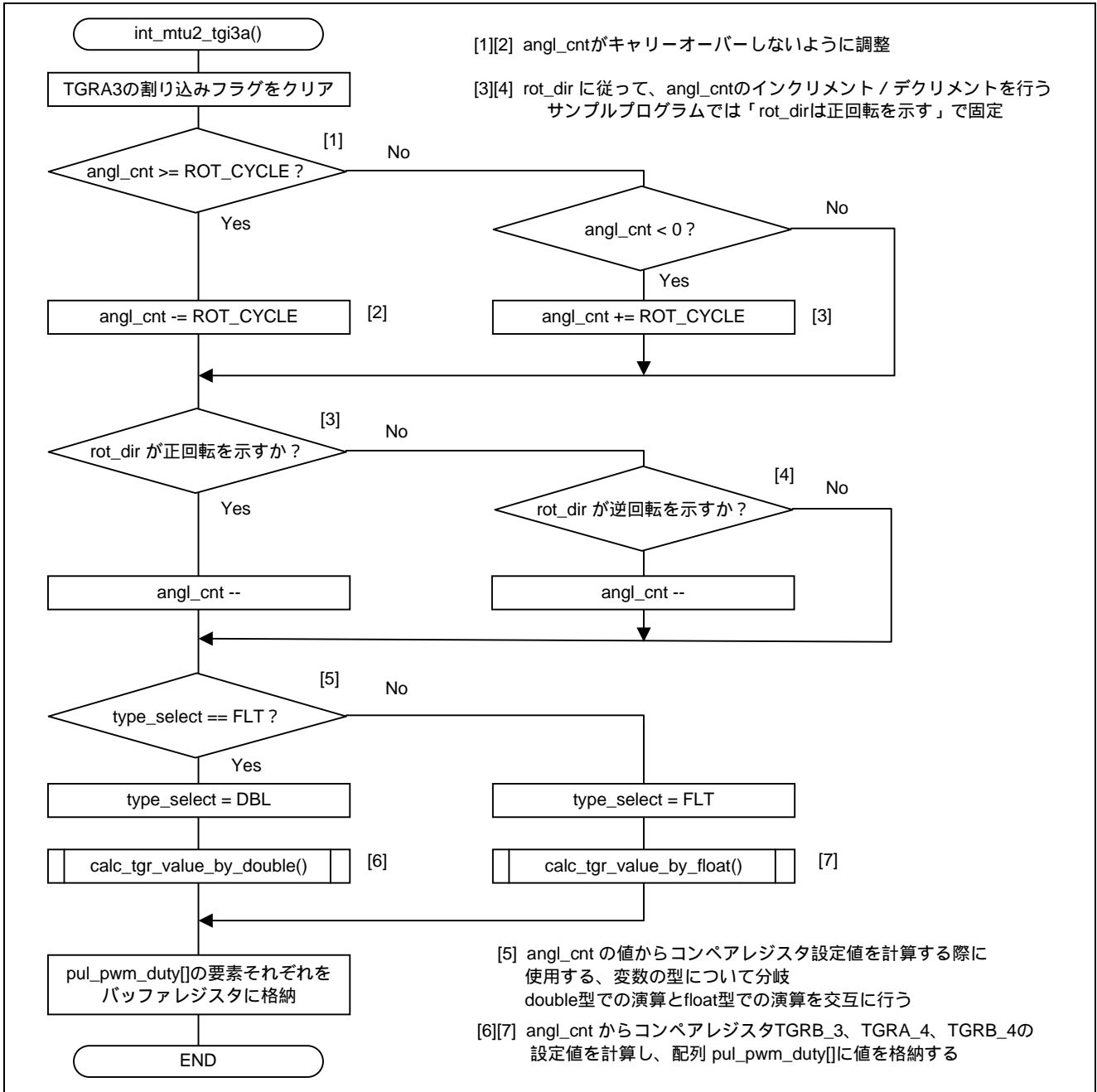


図 15(a) MTU2 のコンペアマッチ割り込み (TGRA_3) 処理 (FPU 使用)

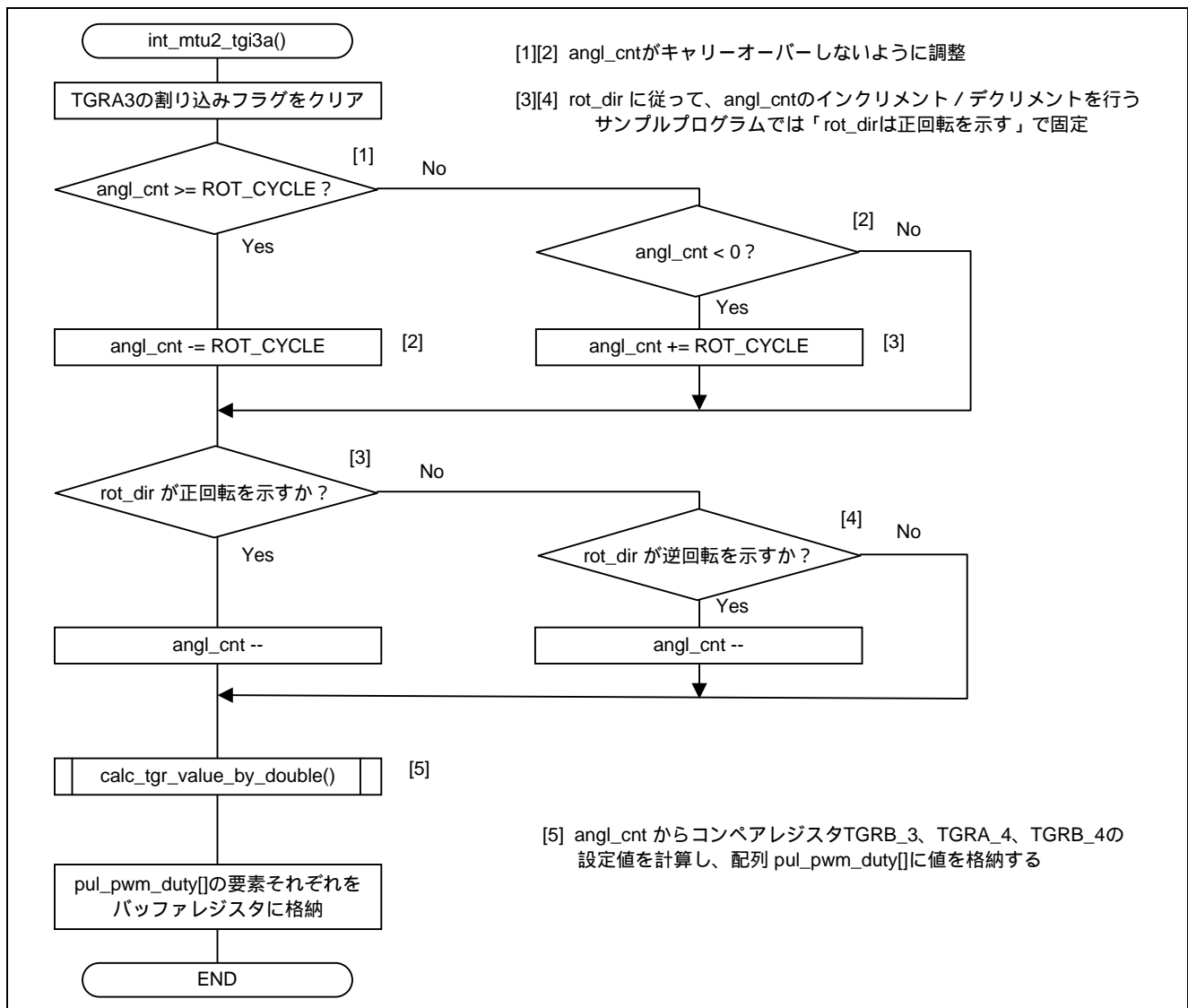


図 15(b) MTU2 のコンペアマッチ割り込み (TGRA_3) 処理 (FPU 使用なし)

2.4.6 コンペアレジスタ値計算の処理

図 16 に、double 型変数、数値計算用ライブラリ"math.h"使用時の、コンペアレジスタ値計算の処理フローを示します。float 型変数、数値計算用ライブラリ"math.h"使用時、および FIX16 型変数、固定小数点ライブラリ"fixmath.h"使用時も、処理フローは同様です。

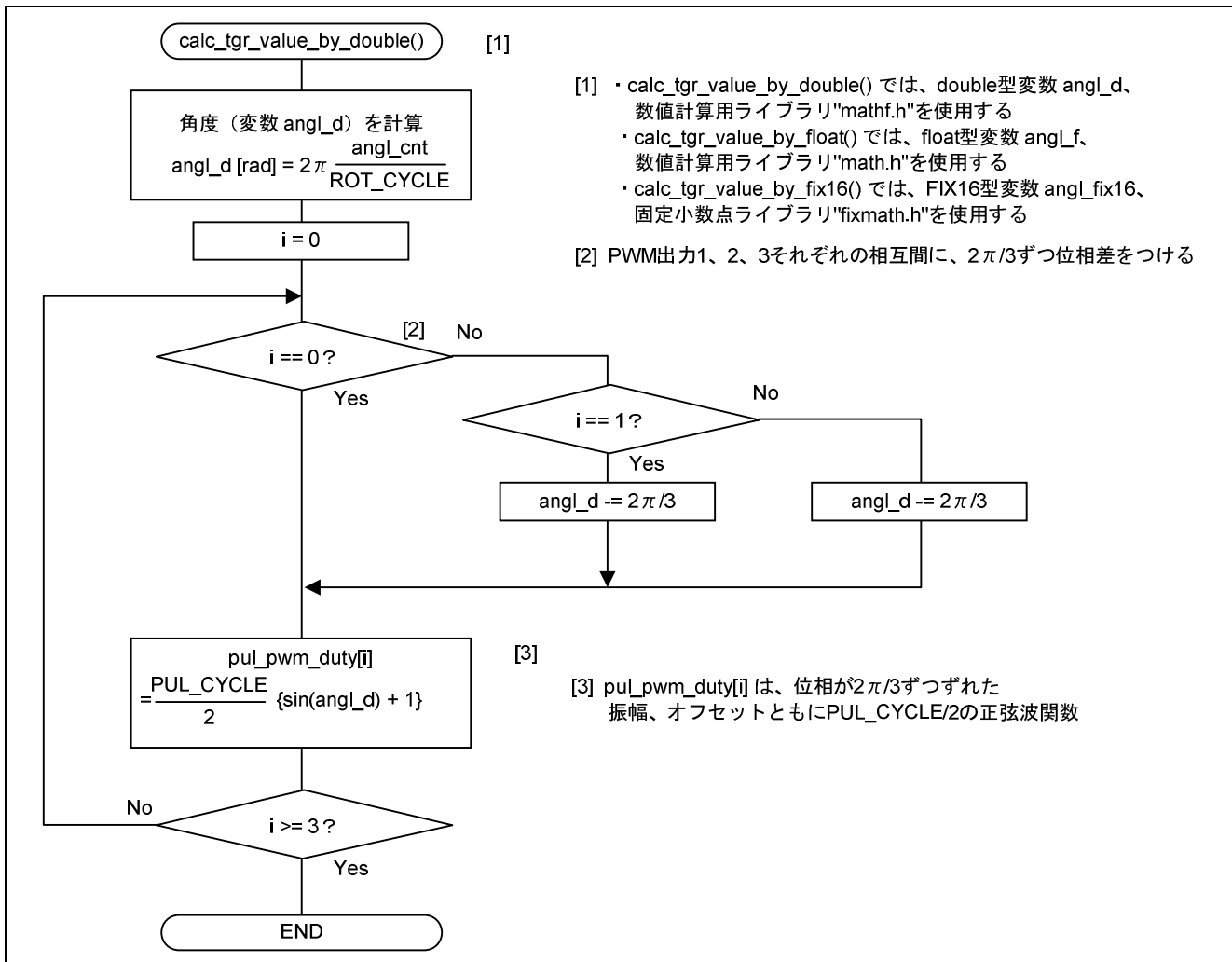


図 16 コンペアレジスタ値計算の処理

2.5 参考プログラムのレジスタ設定

参考プログラムで使用するレジスタの設定値を示します。

2.5.1 クロックパルス発振器 (CPG)

表 6 にクロックパルス発振器 (CPG) のレジスタ設定を示します。

表6 クロックパルス発振器 (CPG)

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
周波数制御 レジスタ (FRQCR)	H'FFFE0010	H'1303	クロック出力設定と動作周波数の分周率を指定 <ul style="list-style-type: none"> ● CKOEN="B'1" : CK 端子ローレベル固定 ● STC[1:0]="B'11" : ×2 PLL 回路 1 ● IFC[2:0]="B'000" : ×1、内部クロック (I) ● RNGS="B'0" : 高周波モード ● PFC[2:0]= "B'011" : ×1/4、周辺クロック (P)

2.5.2 低消費電力モード

表 7 に低消費電力モードのレジスタ設定を示します。

表7 低消費電力モード

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
スタンバイ コントロール レジスタ 3 (STBCR3)	H'FFFE0408	H'5E	各モジュールの動作を設定 <ul style="list-style-type: none"> ● HIZ="B'0" : ソフトウェアスタンバイ時に端子状態を保持 ● MSTP36="B'1" : MTU2S へのクロックの供給を停止 ● MSTP35="B'0" : MTU2 は動作 ● MSTP34="B'1" : リザーブビット ● MSTP33="B'1" : IIC3 へのクロック供給を停止 ● MSTP32="B'1" : ADC へのクロック供給を停止 ● MSTP31="B'1" : リザーブビット ● MSTP30="B'0" : フラッシュメモリ は動作

2.5.3 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)

表 8 にマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のレジスタ設定を示します。

表8 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
タイマ コントロール レジスタ_3 (TCR_3)	H'FFFE4200	H'01	TCNT の制御内容を設定 <ul style="list-style-type: none"> • CCLR[2:0]="B'000" : TCNT のクリア禁止 • CKEG[1:0]="B'00" : 立ち上がりエッジでカウント • TPSC[2:0]="B'001" : TCNT は内部クロック P /4 でカウント
タイマ コントロール レジスタ_4 (TCR_4)	H'FFFE4201	H'01	TCNT の制御内容を設定 <ul style="list-style-type: none"> • CCLR[2:0]="B'000" : TCNT のクリア禁止 • CKEG[1:0]="B'00" : 立ち上がりエッジでカウント • TPSC[2:0]="B'001" : TCNT は内部クロック P /4 でカウント
タイマ カウンタ_3 (TCNT_3)	H'FFFE4210	D'40	16 ビットのカウンタ 相補 PWM モードでは、タイマデッドタイムデータレジスタ (TDDR) の設定値と同じ値を初期値として設定する。
タイマ カウンタ_4 (TCNT_4)	H'FFFE4212	H'0000	16 ビットのカウンタ 初期値は"H'0000"に設定する。
タイマジェネラル レジスタ A_3 (TGRA_3)	H'FFFE4218	D'2040	相補 PWM モードでは、TCNT_3 の 上限値 (キャリア周期の 1/2 + デッドタイム) を設定
タイマジェネラル レジスタ C_3 (TGRC_3)	H'FFFE4224		相補 PWM モードでは、TGRA_3 のバッファレジスタ TGRA_3 レジスタと同じ値を設定。
タイマジェネラル レジスタ B_3 (TGRB_3)	H'FFFE421A	D'0 ~ D'2550	相補 PWM モードでは、PWM 出力 1 のコンペアレジスタ PWM デューティを設定。
タイマジェネラル レジスタ D_3 (TGRD_3)	H'FFFE4226		相補 PWM モードでは、TGRB_3 のバッファレジスタ 初期設定では TGRB_3 レジスタと同じ値を設定。 PWM デューティの更新値は本レジスタに設定。
タイマジェネラル レジスタ A_4 (TGRA_4)	H'FFFE421C	D'0 ~ D'2550	相補 PWM モードでは PWM 出力 2 のコンペアレジスタ PWM デューティを設定。
タイマジェネラル レジスタ C_4 (TGRC_4)	H'FFFE4228		相補 PWM モードでは TGRA_4 のバッファレジスタ 初期設定では TGRA_4 レジスタと同じ値を設定。 PWM デューティの更新値は本レジスタに設定。
タイマジェネラル レジスタ B_4 (TGRB_4)	H'FFFE421E	D'0 ~ D'2550	相補 PWM モードでは PWM 出力 3 のコンペアレジスタ PWM デューティを設定。
タイマジェネラル レジスタ D_4 (TGRD_4)	H'FFFE422A		相補 PWM モードでは TGRB_4 のバッファレジスタ 初期設定では TGRB_4 レジスタと同じ値を設定。 PWM デューティの更新値は本レジスタに設定。

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
タイマデッドタイムデータレジスタ (TDDR)	H'FFFE4216	D'40	相補 PWM モード時のみ使用される 16 ビットのレジスタ TCNT_4 と TCNT_3 のオフセット値 (デッドタイムの値) を設定。
タイマ周期データレジスタ (TCDR)	H'FFFE4214	D'2000	相補 PWM モード時のみ使用されるレジスタ TCNT_4 の上限値 (キャリア周期の 1/2) を設定。
タイマ周期バッファレジスタ (TCBR)	H'FFFE4222		相補 PWM モード時のみ使用されるレジスタ TCDR レジスタのバッファレジスタ。TCDR レジスタと同じ値を設定。
タイマアウトプットコントロールレジスタ 1 (TOCR1)	H'FFFE420E	H'40	相補 PWM モード時の出力動作の設定 <ul style="list-style-type: none"> • PSYE="B'1": PWM 周期に同期したトグル出力の許可 • TOCL="B'0": TOCS ビット、OLSN ビット、OLSP ビットへの書き込みを許可 • TOCS="B'0": TOCR1 の設定を有効にする • OLSN="B'0": 相補 PWM モード時、逆相の出力レベルを選択 初期出力=High、アクティブレベル=Low • OLSP="B'0": 相補 PWM モード時、正相の出力レベルを選択 初期出力=High、アクティブレベル=Low
タイマモードレジスタ_3 (TMDR_3)	H'FFFE4202	H'3F	動作モードを設定 (チャンネル 3) <ul style="list-style-type: none"> • BFB="B'1": TGRB と TGRD はバッファ動作 • BFA="B'1": TGRA と TGRC はバッファ動作 • MD[3:0]="B'1111": 相補 PWM モード 3 (山・谷で転送)
タイマモードレジスタ_4 (TMDR_4)	H'FFFE4203	-	動作モードを設定 (チャンネル 4) チャンネル 3 を相補 PWM モードに設定した場合、チャンネル 4 の設定は無効となり自動的にチャンネル 3 の設定に従います。設定は行わず、初期値のままにしてください。
タイマアウトプットマスタインエーブルレジスタ (TOER)	H'FFFE420A	H'FF	MTU2 出力端子の出力設定の許可 / 禁止を設定 <ul style="list-style-type: none"> • OE4D="B'1": TIOC4D 端子の MTU2 出力を許可 • OE4C="B'1": TIOC4C 端子の MTU2 出力を許可 • OE3D="B'1": TIOC3D 端子の MTU2 出力を許可 • OE4B="B'1": TIOC4B 端子の MTU2 出力を許可 • OE4A="B'1": TIOC4A 端子の MTU2 出力を許可 • OE3B="B'1": TIOC3B 端子の MTU2 出力を許可
タイマインタラプトインエーブルレジスタ_3 (TIER_3)	H'FFFE4208	H'01	割り込み要求の許可、禁止を設定 <ul style="list-style-type: none"> • TGIEA="B'1": TGFA ビットによる割り込み要求 (TGIA) を許可
タイマスタートレジスタ (TSTR)	H'FFFE4280	H'C0	チャンネル 0~4 の TCNT の動作 / 停止を設定 <ul style="list-style-type: none"> • CST4="B'1": TCNT_4 はカウント動作 • CST3="B'1": TCNT_3 はカウント動作 TCNT_2、TCNT_1、TCNT_0 はカウント停止。 TCNT_4 と TCNT_3 のカウンタ動作のビット設定は同時に行ってください。

2.5.4 割り込みコントローラ (INTC)

表 9 に割り込みコントローラ (INTC) のレジスタ設定を示します。

表9 割り込みコントローラ (INTC)

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
割り込み優先レベル設定レジスタ 10 (IPR10)	H'FFFE0C08	H'00F0	割り込みの優先順位 (レベル 0 ~ 15) を設定 <ul style="list-style-type: none"> Bit 15-12 = "B'0000" : MTU2 (TGI2A, TGI2B) 割り込みレベル=0。 Bit 11-8 = "B'0000" : MTU2 (TCI2V, TCI2U) 割り込みレベル=0。 Bit 7-4 = "B'1111" : MTU3 (TGI3A ~ TGI3D) 割り込みレベル=15。 Bit 3-0 = "B'0000" : MTU3 (TCI3V) 割り込みレベル=0。 TGI3A の割り込みを使用します。

2.5.5 ピンファンクションコントローラ (PFC)

表 10 にピンファンクションコントローラ (PFC) のレジスタ設定を示します。

表10 ピンファンクションコントローラ (PFC)

レジスタ名	アドレス	設定値	機能
ポート E コントロールレジスタ L4 (PECRL4)	H'FFFE3A10	H'4444	ポート E のマルチプレクス端子の機能を設定 <ul style="list-style-type: none"> PE15MD[2:0]="B'100": PE15 は、TIOC4D 入出力 (MTU2) PE14MD[2:0]="B'100": PE14 は、TIOC4C 入出力 (MTU2) PE13MD[2:0]="B'100": PE13 は、TIOC4B 入出力 (MTU2) PE12MD[2:0]="B'100": PE12 は、TIOC4A 入出力 (MTU2)
ポート E コントロールレジスタ L3 (PECRL3)	H'FFFE3A12	H'4044	ポート E のマルチプレクス端子の機能を設定 <ul style="list-style-type: none"> PE11MD[2:0]="B'100": PE11 は、TIOC3D 入出力 (MTU2) PE10MD[2:0]="B'100": PE10 は、TIOC3B 入出力 (MTU2) PE9MD[2:0]="B'100": PE9 は、TIOC3B 入出力 (MTU2) PE8MD[2:0]="B'000": PE8 は、PE8 入出力 (ポート)
ポート B・IO レジスタ H (PBIORH)	H'FFFE3884	H'000E	ポート B の端子の入出力方向を設定 <ul style="list-style-type: none"> PB19IOR="B'1": PB19 (TIOC3D) は、出力端子 PB18IOR="B'1": PB18 (TIOC3B) は、出力端子 PB17IOR="B'1": PB17 (TIOC3A) は、出力端子 PB16IOR="B'0": PB16 (ポート) は、入力端子 その他すべて "B'0" に設定: すべて入力端子
ポート B・IO レジスタ L (PBIORL)	H'FFFE3886	H'00F0	ポート B の端子の入出力方向を設定 <ul style="list-style-type: none"> PB7IOR="B'1": PB7 (TIOC4D) は、出力端子 PB6IOR="B'1": PB6 (TIOC4C) は、出力端子 PB5IOR="B'1": PB5 (TIOC4B) は、出力端子 PB4IOR="B'1": PB4 (TIOC4A) は、出力端子 その他すべて "B'0" に設定: すべて入力端子

3. 参考ドキュメント

- ハードウェアマニュアル
SH7216 グループ ハードウェアマニュアル[RJJ09B0575]
(最新版はルネサスエレクトロニクスのホームページから入手してください)
- ソフトウェアマニュアル
SH-2A/SH2A-FPU ソフトウェアマニュアル [RJJ09B0086]
(最新版はルネサスエレクトロニクスのホームページから入手してください)

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/inquiry>

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. 本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。
2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連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の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。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。
3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。
4. 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。
5. 輸出に際しては、「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。本資料に記載されている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用途の目的で使用しないでください。また、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に使用することができません。
6. 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。
7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されてい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生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。
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
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、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）
特定水準： 航空機器、航空宇宙機器、海中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等
8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社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。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めておりますが、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、社会的損害など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、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。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、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。
10. 当社製品の環境適合性等、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。
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固くお断りいたします。
12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

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/inquiry>