

## RZ/T1 グループ

R01AN4052JJ0110

RZ/T1 モーションコントロール・ソリューションキット向け  
永久磁石同期モータのエンコーダ利用ベクトル制御（位置制御）編

Rev.1.10  
2018.03.16

## 要旨

本アプリケーションノートは RZ/T1 グループの機能を使って永久磁石同期モータをエンコーダ利用ベクトル制御（位置制御）で駆動するサンプルプログラムについて説明することを目的としています。

サンプルプログラムはあくまで参考用途であり、弊社がこの動作を保証するものではありません。サンプルプログラムを使用する場合、適切な環境で十分な評価をしたうえで御使用ください。

## 動作確認デバイス

サンプルプログラムの動作確認は下記のデバイスで行っております。

- RZ/T1 グループ（R7S910018CBG）

# 目次

1.	概説	3
1.1	システムの利用	3
1.2	開発環境	3
2.	システム概要	4
2.1	ハードウェア構成	4
2.2	ハードウェア仕様	6
2.2.1	ユーザ・インタフェース	6
2.2.2	周辺機能	7
2.3	ソフトウェア構成	8
2.3.1	ソフトウェア・ファイル構成	8
2.3.2	モジュール構成	9
2.4	ソフトウェア仕様	10
3.	モータ制御方法	11
3.1	モータ制御システムの電圧方程式	11
3.2	ベクトル制御	13
3.3	始動方法	16
3.4	速度演算方法	17
3.5	三角波比較法	18
4.	制御プログラム説明	20
4.1	制御内容	20
4.1.1	モータ起動／停止	20
4.1.2	モータ軸位置指令値、インバータ母線電圧、モータ 3 相電圧	21
4.1.3	制御方法	23
4.1.4	システム保護機能	23
4.2	関数仕様	24
4.3	変数一覧	29
4.4	マクロ定義	32
4.5	制御フロー（フローチャート）	35
5.	参考ドキュメント	39

## 1. 概説

本アプリケーションノートは、RZ/T1グループを使用し、永久磁石同期モータ（以降はSPMSM）のエンコーダ利用ベクトル制御（位置制御）のサンプルプログラムについて説明するものです。

### 1.1 システムの利用

本システム（サンプルプログラム）は、RZ/T1モーションコントロール・ソリューションキットに含まれるインバータボード Biplane、表面型永久磁石同期モータ（MB057GA140）を使用し、エンコーダ利用ベクトル制御を実現しています。

RZ/T1モーションコントロール・ソリューションキットのご購入、技術サポートにつきましては、弊社営業および特约店にお問い合わせください。

### 1.2 開発環境

#### (1) ソフトウェア開発環境

統合開発環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IARシステムズ製 Embedded Workbench for ARM (V7.80)</li> <li>• RENESAS製 e<sup>2</sup>studio (V6.1.0)</li> </ul>
--------	---

#### (2) ハードウェア環境

オンチップ・デバック・エミュレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embedded Workbench for ARM環境：IARシステムズ社製 I-jet</li> <li>• e<sup>2</sup>studio環境：SEGGER社製 J-Link</li> </ul>
使用マイコン	RZ/T1グループ（R7S910018CBG）
インバータボード	Biplane
モータ	MB057GA140 (SPMSM)

## 2. システム概要

本システムの概要を以下に説明します。

### 2.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を次に示します。

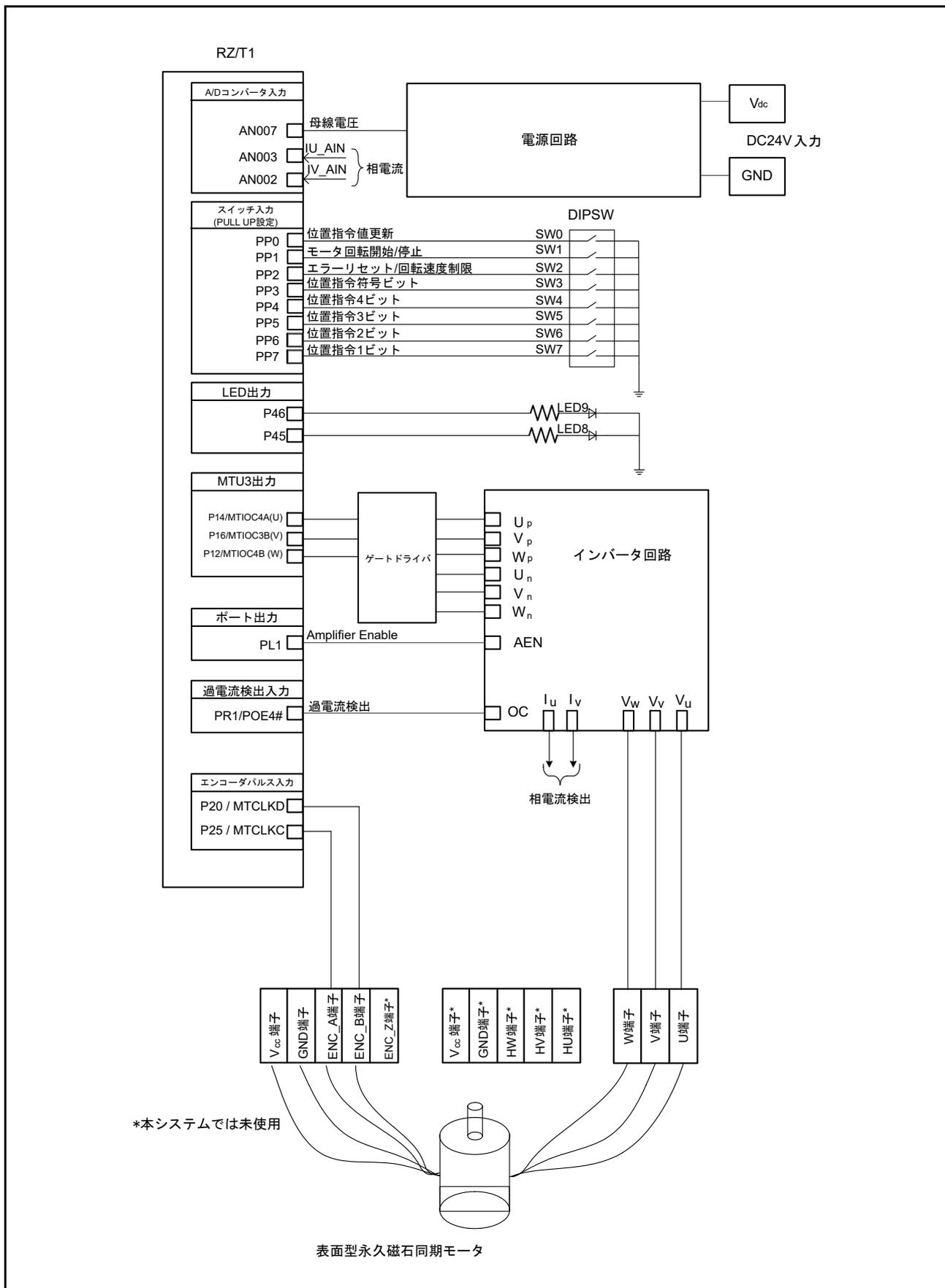


図 2.1 ハードウェア構成図

## 2.2 ハードウェア仕様

### 2.2.1 ユーザ・インタフェース

本システムのユーザ・インタフェース一覧を表 2.1 に示します。

本システムは Axis2 でのみ動作します。エンコーダコネクタを P2 ポートに、モータコネクタを J3 ポートに接続してください。

表 2.1 ユーザ・インタフェース

項目	インタフェース部品	機能
位置指令値更新	ディップスイッチ (SW0)	位置指令値を更新 (4.1.1参照)
位置指令	ディップスイッチ (SW3-7)	位置指令値入力 (4.1.2参照)
START/STOP	ディップスイッチ (SW1)	モータ回転開始/停止指令 (4.1.1参照)
ERROR RESET	ディップスイッチ (SW2)	エラー状態からの復帰指令 (エラー発生時、ONに切り替え後、OFFに再切り替え)
最大速度制御		最大速度制御値を選択 (モータ回転停止時、ON設定 : 25 rad/s、OFF設定 : 100 rad/s)
LED9	黄緑色LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>モータ回転時 : 点灯</li> <li>停止時 : 消灯</li> </ul>
LED8	黄緑色LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>エラー検出時 : 点灯</li> <li>通常動作時 : 消灯</li> </ul>
RESET	プッシュスイッチ (RESET)	システムリセット

本システムの RZ/T1 グループ端子のインタフェース一覧を表 2.2 に示します。

表 2.2 端子インタフェース

端子名	機能
AN007	インバータ母線電圧測定
PP0	位置指令値更新 ディップスイッチ
PP3	位置指令 符号ビット ディップスイッチ
PP4	位置指令 4ビット目 ディップスイッチ
PP5	位置指令 3ビット目 ディップスイッチ
PP6	位置指令 2ビット目 ディップスイッチ
PP7	位置指令 1ビット目 ディップスイッチ
PP1	START/STOPディップスイッチ
PP2	ERROR RESETディップスイッチ
P46	LED9点灯/消灯制御
P45	LED8点灯/消灯制御
AN003	U相電流測定
AN002	V相電流測定
P14 / MTIOC4A	PWM出力(U)
P16 / MTIOC3B	PWM出力(V)
P12 / MTIOC4B	PWM出力(W)
PL1	AEN (Amplifier Enable)
PR1/POE4#	過電流検出時のPWM緊急停止入力
P25 / MTCLKC	エンコーダA相入力
P20 / MTCLKD	エンコーダB相入力

## 2.2.2 周辺機能

本システムに使用する周辺機能一覧を表 2.3 に示します。

表 2.3 周辺機能一覧

周辺機能	用途
12ビットA/Dコンバータ (S12ADAA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>インバータ母線電圧測定</li> <li>U、V相電流測定</li> </ul>
コンペアマッチタイマ (CMT)	1 [ms] インターバルタイマ
マルチファンクションタイマパルスユニット3 (MTU3a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>PWM出力 (3本)</li> <li>エンコーダ入力パルスカウント</li> </ul>
ポートアウトプットイネーブル3 (POE3)	過電流検出時、PWM出力中の端子をハイインピーダンスにする

### (1) 12ビットA/Dコンバータ

U相電流 ( $I_u$ )、V相電流 ( $I_v$ )、インバータ母線電圧 ( $V_{dc}$ )、を「12ビットA/Dコンバータ」を使用して測定します。

動作モードについてはユニット0でサンプル & ホールド機能を使用した「1サイクルスキャンモード」に設定します。

### (2) コンペアマッチタイマ (CMT)

コンペアマッチタイマのチャンネル0を、1 [ms] インターバルタイマとして使用します。

### (3) マルチファンクションタイマパルスユニット3 (MTU3a)

動作モードはチャンネル毎に異なり、チャンネル3、4では相補PWMモードを使用して、デッドタイムなしの出力（“High”アクティブ）を行います。ゲートドライバにより逆相を生成するため、正相のみを出力するよう設定します。また、チャンネル2では位相計数モードを使用して、エンコーダからの入力パルスのカウントします。

### (4) ポートアウトプットイネーブル3 (POE3)

過電流検出時 (POE4# 端子の立ち下がりエッジ検出時) と出力短絡検出時はPWM出力中端子をハイインピーダンス状態にします。

## 2.3 ソフトウェア構成

### 2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成

サンプルプログラムのフォルダとファイル構成を以下に記します。

下記はモータ制御サンプルプログラムに必要となるもののみ記載しており、ボード初期化等、モータ制御に直接関係しないものは省略しています。

表2.4 サンプルプログラムのフォルダとファイル構成

RZT1_BIPLANE_SSNS_ ENCD_FOC_CPOS	inc		app_common.h	アプリケーション共通ヘッダ	
			iodef.h	RZ/T1グループ IOレジスタ定義ヘッダ	
			r_typedefs.h	共通TYPEDEF定義ヘッダ	
			r_common.h	ドライバ共通ヘッダ	
			r_adc_if.h	S12ADCドライバAPIヘッダ	
			r_cmt_if.h	CMTドライバAPIヘッダ	
			r_io_port_if.h	IO PORTドライバAPIヘッダ	
			r_mtu_if.h	MTU3aドライバAPIヘッダ	
			r_mtr_api.h	駆動ライブラリAPIヘッダ	
			mtr_seq.h	駆動ライブラリ内部ヘッダ（シーケンス制御部）	
			mtr_ctrl.h	駆動ライブラリ内部ヘッダ（モータ制御部）	
	src	drv	adc	r_adc_if.c	S12ADCドライバ関数
			cmt	r_cmt_if.c	CMTドライバ関数
			gpio	r_io_port_if.c	IO PORTドライバ関数
			mtr	r_mtr_api.c	駆動ライブラリAPI関数
				mtr_seq.c	駆動ライブラリ内部関数（シーケンス制御部）
				mtr_ctrl.c	駆動ライブラリ内部関数（モータ制御部）
			mtu	r_mtu_if.c	MTU3aドライバ関数
		sample	main.c	メイン関数、ユーザ・インタフェース制御	
app_interrupt.c			アプリケーション割り込みサービスルーチン		
app_common.c			アプリケーション共通関数		

### 2.3.2 モジュール構成

サンプルプログラムのモジュール構成を図 2.2 に示します。

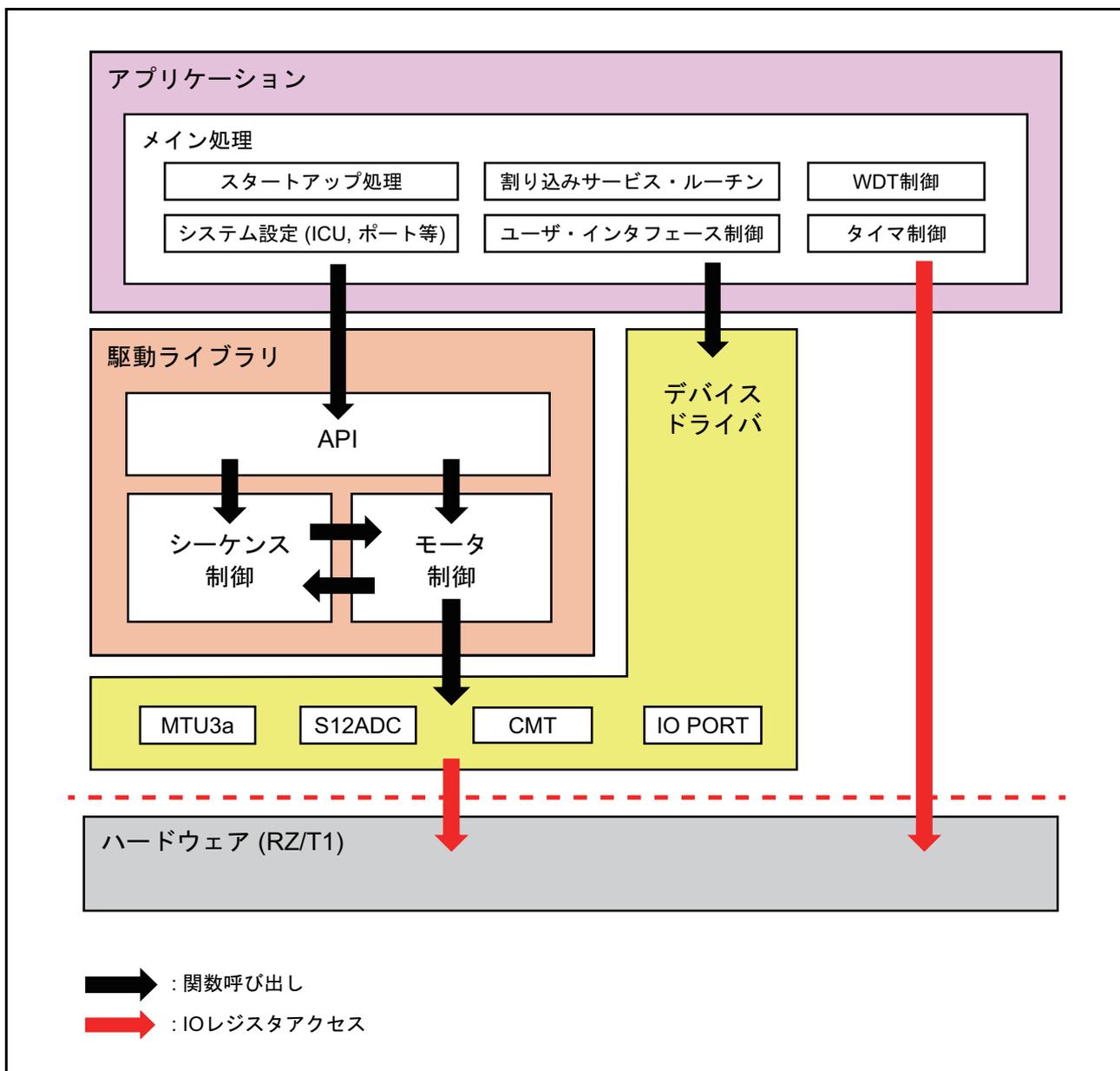


図 2.2 サンプルプログラムのモジュール構成

## 2.4 ソフトウェア仕様

本システムのソフトウェアの基本仕様を表 2.5 に示します。

表 2.5 ソフトウェア基本仕様

項目	内容
制御方式	ベクトル制御（位置制御）
モータ回転開始／停止	SW1（PP1）のレベルにより判定（“Low”：回転開始 “High”：停止）
回転子磁極位置検出	インクリメンタルエンコーダ
キャリア周波数（PWM）	20 [kHz]
制御周期	100 [μs]（キャリア周期の2倍）
最大速度制御値の設定範囲	25、100 [rad/s]
トルク制限の設定範囲	0.5～3.0A
位置制御範囲	-54000 ～ +54000 [pulse]
保護停止処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 以下4つのうちいずれかの条件の時、モータ制御信号出力（3本）を非アクティブにする               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 各相の電流が4 [A]を超過（100 [μs]毎に監視）</li> <li>2. インバータ母線電圧が28 [V]を超過（100 [μs]毎に監視）</li> <li>3. インバータ母線電圧が12 [V]未満（100 [μs]毎に監視）</li> <li>4. 回転速度が600 [rad/s]（電気角）を超過（100 [μs]毎に監視）</li> </ol> </li> <li>• 外部からの過電流検出信号（POE4#端子に立ち下がリエッジ）および出力短絡を検出した場合、PWM出力中端子をハイインピーダンスにする</li> </ul>

### 3. モータ制御方法

サンプルプログラムで用いる SPMSM のベクトル制御について説明します。

#### 3.1 モータ制御システムの電圧方程式

正弦波状の磁束分布を持った永久磁石同期モータ（図 3.1）の電圧方程式は下記の様に表すことができます。

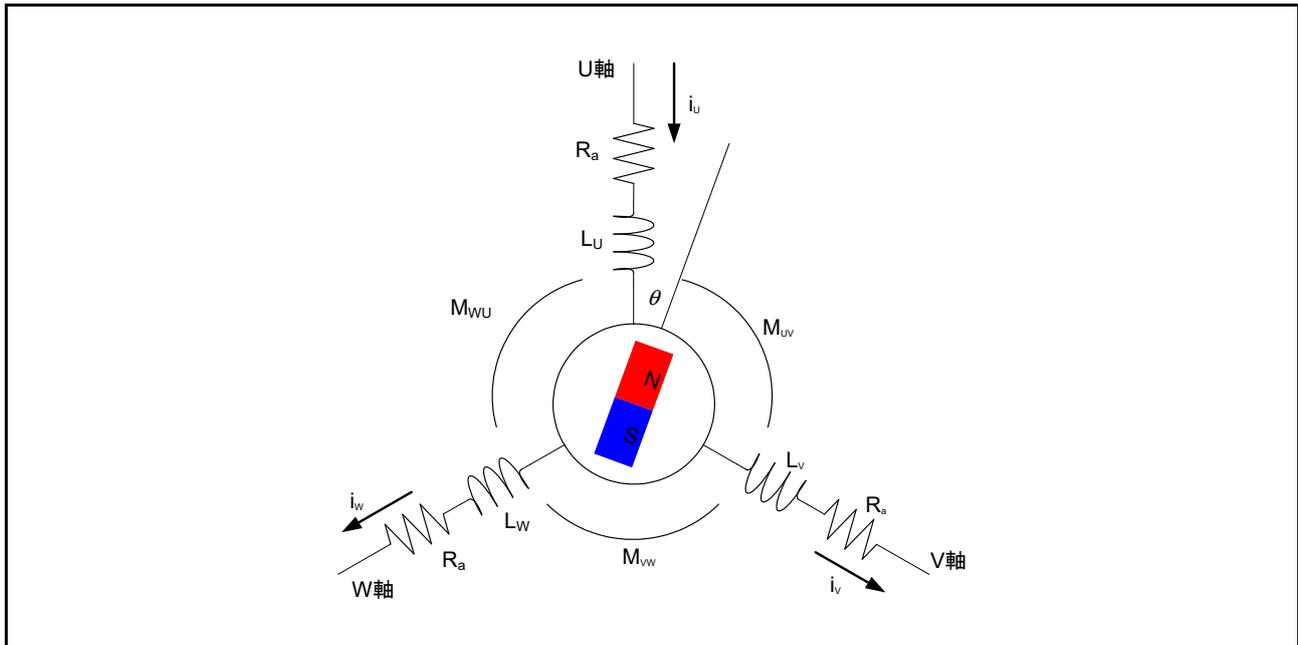


図 3.1 3相永久磁石同期モータの概念図

$$\begin{pmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{pmatrix} = R_a \begin{pmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{pmatrix} + p \begin{pmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_u & M_{uv} & M_{wu} \\ M_{uv} & L_v & M_{vw} \\ M_{wu} & M_{vw} & L_w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{pmatrix} + \psi \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \cos (\theta - 2\pi / 3) \\ \cos (\theta + 2\pi / 3) \end{pmatrix}$$

$v_u, v_v, v_w$ : 各相電機子電圧

$L_u, L_v, L_w$ : 各相自己インダクタンス

$i_u, i_v, i_w$ : 各相電機子電流

$M_{uv}, M_{vw}, M_{wu}$ : 各相間相互インダクタンス

$\phi_u, \phi_v, \phi_w$ : 各相電機子鎖交磁束

$\psi$ : 永久磁石による電機子鎖交磁束の最大値

$R_a$ : 各相電機子電流

$\theta$ : U相からの永久磁石 (回転子) の進み角

$p$ : 微分演算子

ここで自己インダクタンスと相互インダクタンスは次式の様に表されます。

$$\begin{cases} L_u = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta) \\ L_v = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta + 2\pi/3) \\ L_w = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta - 2\pi/3) \end{cases}$$
$$\begin{cases} M_{uv} = -L_a/2 - L_{as} \cos(2\theta - 2\pi/3) \\ M_{vw} = -L_a/2 - L_{as} \cos 2\theta \\ M_{wu} = -L_a/2 - L_{as} \cos(\theta + 2\pi/3) \end{cases}$$

$l_a$  : 一相あたりの漏れインダクタンス  
 $L_a$  : 一相あたりの有効インダクタンスの平均値  
 $L_{as}$  : 一相あたりの有効インダクタンスの振幅

### 3.2 ベクトル制御

回転子の永久磁石の磁束（N極）方向に d 軸を定め、d 軸から 90 度進んだ方向に q 軸を取る事にすると、dq 座標系から見た永久磁石同期モータの電圧方程式を得るためには以下の変換行列を用いればよい事になります。

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos \theta & \cos (\theta - 2\pi/3) & \cos (\theta + 2\pi/3) \\ -\sin \theta & -\sin (\theta - 2\pi/3) & -\sin (\theta + 2\pi/3) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{pmatrix}$$

上記の座標変換により dq 座標系での永久磁石同期モータの電圧方程式は以下の様に表すことができます。

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_a + \rho L_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_a + \rho L_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \psi_a \end{pmatrix}$$

$v_d, v_q$  : 各相電機子電圧

$L_d, L_q$  : 各相自己インダクタンス

$i_d, i_q$  : 各相電機子電流

$L_d = I_a + 3/2 (L_a - L_{as}), \quad L_q = I_a + 3/2 (L_a + L_{as})$

$\theta$  : U相からの d 軸 (回転子) の進み角

$\psi_a$  : 永久磁石による電機子 鎖交磁束の実効値

$R_a$  : 各相電機子抵抗

$\psi_a = \sqrt{3/2} \psi$

これにより静止している 3 相固定子に流れていた交流は、回転子である永久磁石と同期して回転している 2 相の固定子に直流として現れるとみなす事が出来ます。

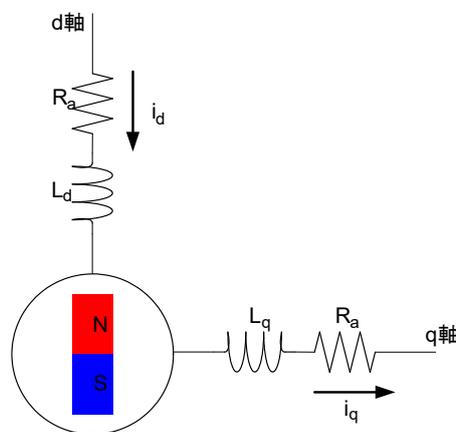


図 3.2 2 相直流モータの概念図

モータに生じるトルクの大きさは電流ベクトルと電機子鎖交磁束の外積により、下記のように求めることができます。この式の右辺第一項をマグネットトルク、右辺第二項をリラクタンストルクと呼びます。

$$T = P_n \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \}$$

$T$ : モータトルク     $P_n$ : 極対数

d軸とq軸のインダクタンスの差が無いモータを突極性が無いモータと呼びます。この場合、リラクタンストルクは0になるので、q軸電流に比例してトルクは大きくなります。このため、q軸電流をトルク電流と呼ぶ事があります。一方、d軸電流は、その大きさを変化させる事でq軸電圧にとって恰も永久磁石の磁束の大きさが変化しているかのように見做せるはたらきをするので励磁電流と呼ぶ事があります。

一般的にSPMSMは突極性が無いので、速度制御の際、トルクを発生させるのに不要なd軸電流は0に制御します。これを $i_d=0$ 制御と呼びます。一方、この時のモータの運動方程式は、下記のように表されるので、速度を上昇させたい場合は、q軸電流 $i_q$ を上昇させればよい事が解ります。

$$J \frac{d\omega}{dt} = P_n \psi_a i_q - T_L$$

$T_L$ : 負荷トルク

$J$ : モータの慣性モーメント

速度制御は、この運動方程式を解く事によってではなく、PI制御によって行います。速度PI制御によってq軸電流の指令値を得ます。

$$i_q^* = \left( K_{P\omega} + \frac{K_{I\omega}}{s} \right) (\omega^* - \omega)$$

$K_{P\omega}$ : 速度PI比例ゲイン

$K_{I\omega}$ : 速度PI積分ゲイン

$s$ : ラプラス演算子

d軸とq軸の電流指令値により早く安定させるため、電流値にもPI制御を行います。電流PI制御によって指令電圧値を得ます。

$$V_d^* = (K_{Pi_d} + \frac{K_{Ii_d}}{s})(i_d^* - i_d)$$

$K_{Pi_d}$ : d軸電流PI比例ゲイン       $K_{Ii_d}$ : d軸電流PI積分ゲイン

$$V_q^* = (K_{Pi_q} + \frac{K_{Ii_q}}{s})(i_q^* - i_q)$$

$K_{Pi_q}$ : q軸電流PI比例ゲイン       $K_{Ii_q}$ : q軸電流PI積分ゲイン

モータが回転すると誘起電圧が発生し、d軸電圧にはq軸電流による影響が、またq軸電圧にはd軸電流と永久磁石磁束による影響が、速度が大きくなるにつれ顕著になります。このd軸とq軸の干渉は、電流値の安定を遅らせるはたらきをしてしまうことがあります。これを避けるために、各軸の干渉項を予めキャンセルする様にフィードフォワードして各軸の電圧を算出します。

$$V_d^* = (K_{Pi_d} + \frac{K_{Ii_d}}{s})(i_d^* - i_d) - \omega L_q i_q$$

$$V_q^* = (K_{Pi_q} + \frac{K_{Ii_q}}{s})(i_q^* - i_q) + \omega(L_d i_d + \psi_a)$$

この様にして干渉項の影響を無くす方法を非干渉制御と呼びます。これにより、d軸とq軸を独立に制御する事が可能になります。

ベクトル制御は、互いに独立して制御する事が出来なかった3相の交流モータを独立に制御可能な2相の直流モータへと変換し、トルクや回転子の速度、位置を管理しながら制御する方法といえます。

ベクトル制御の制御フローを以下に記します。

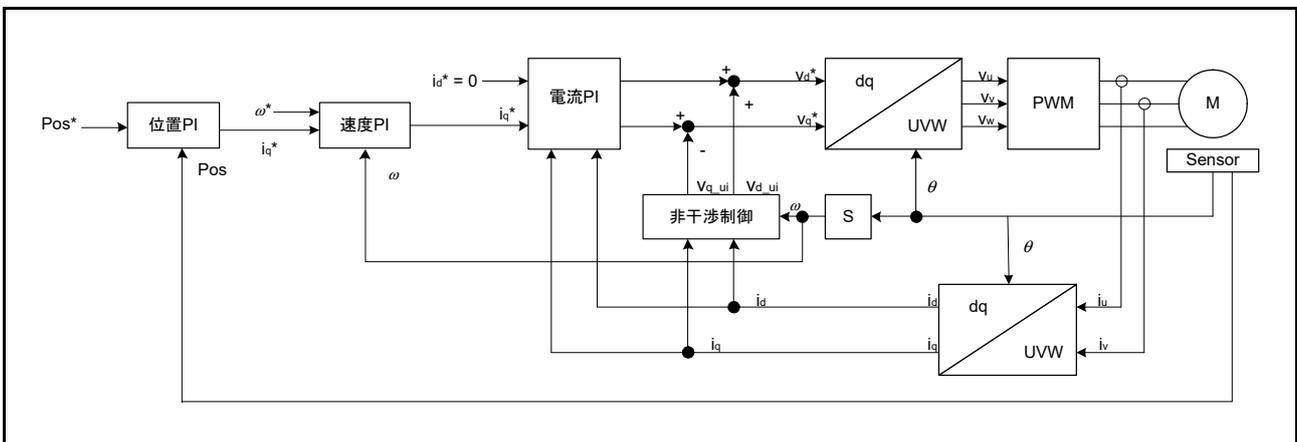


図 3.3 ベクトル制御（位置制御）の制御フロー

### 3.3 始動方法

本システムでは、始動時に図 3.4 のような順で電流ベクトルを作ることで d 軸と電流ベクトルの向きを一致させ、回転子の磁極位置を決定します。始動時のシーケンスを図 3.5 に記します。

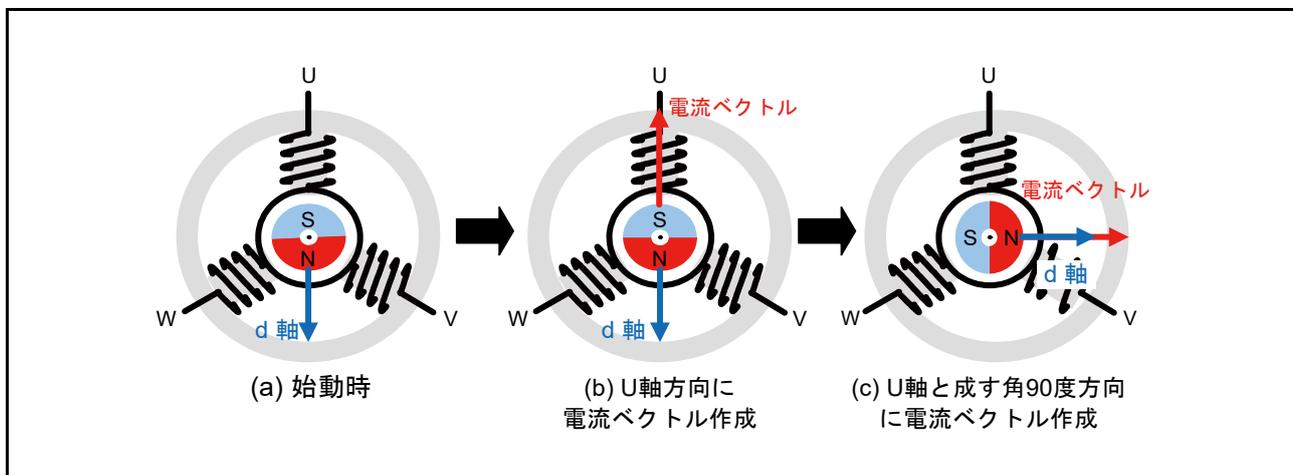


図 3.4 永久磁石位置の決定

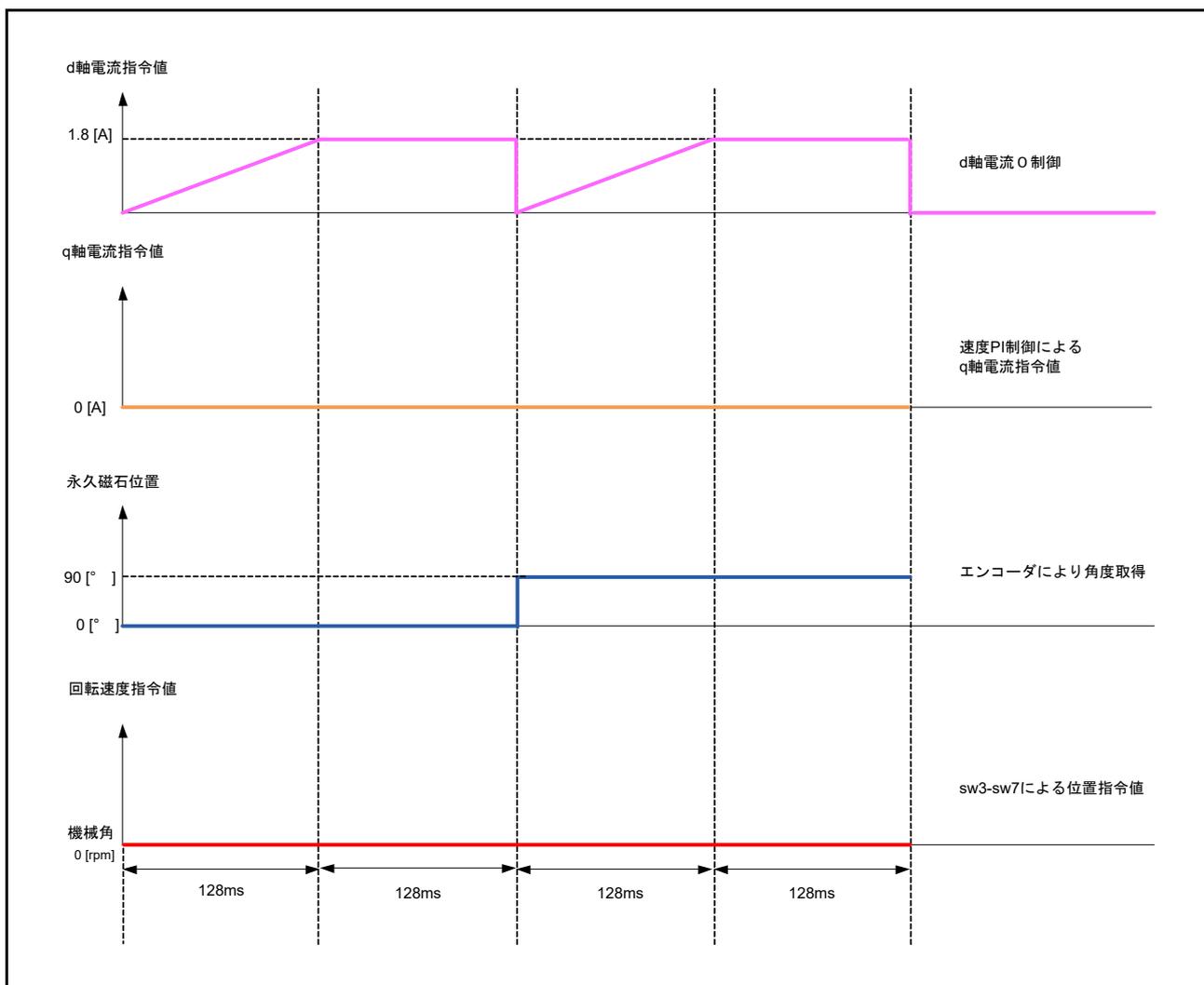


図 3.5 始動制御内容

### 3.4 速度演算方法

本システムでは、図 3.6 の様にエンコーダタイマカウンタ値から角速度を演算します。

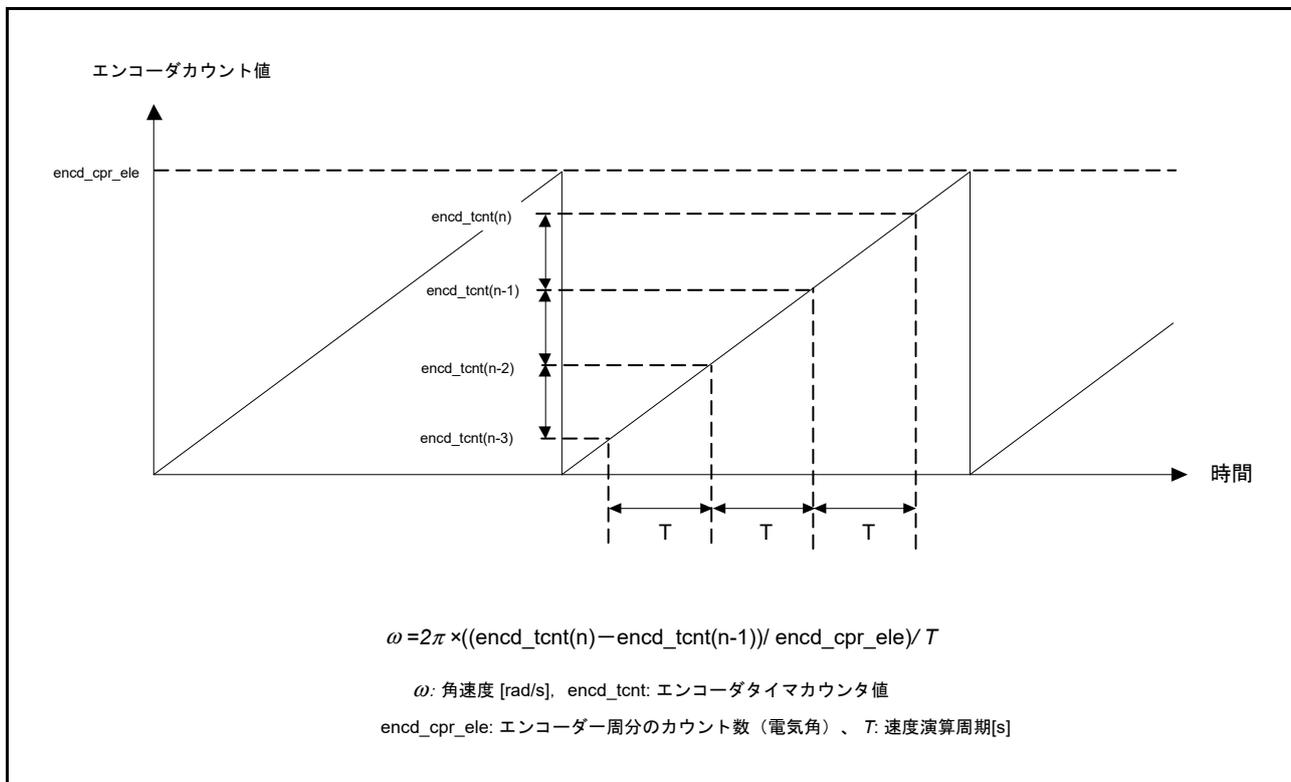


図 3.6 エンコーダ利用による速度演算

### 3.5 三角波比較法

指令値電圧を実際に出力するためには、キャリア波形（三角波）と指令値電圧波形を比較する事で出力電圧のパルス幅を決める三角波比較法を用います。このPWM方式により、正弦波状の指令値電圧を擬似的に出力する事が出来ます。

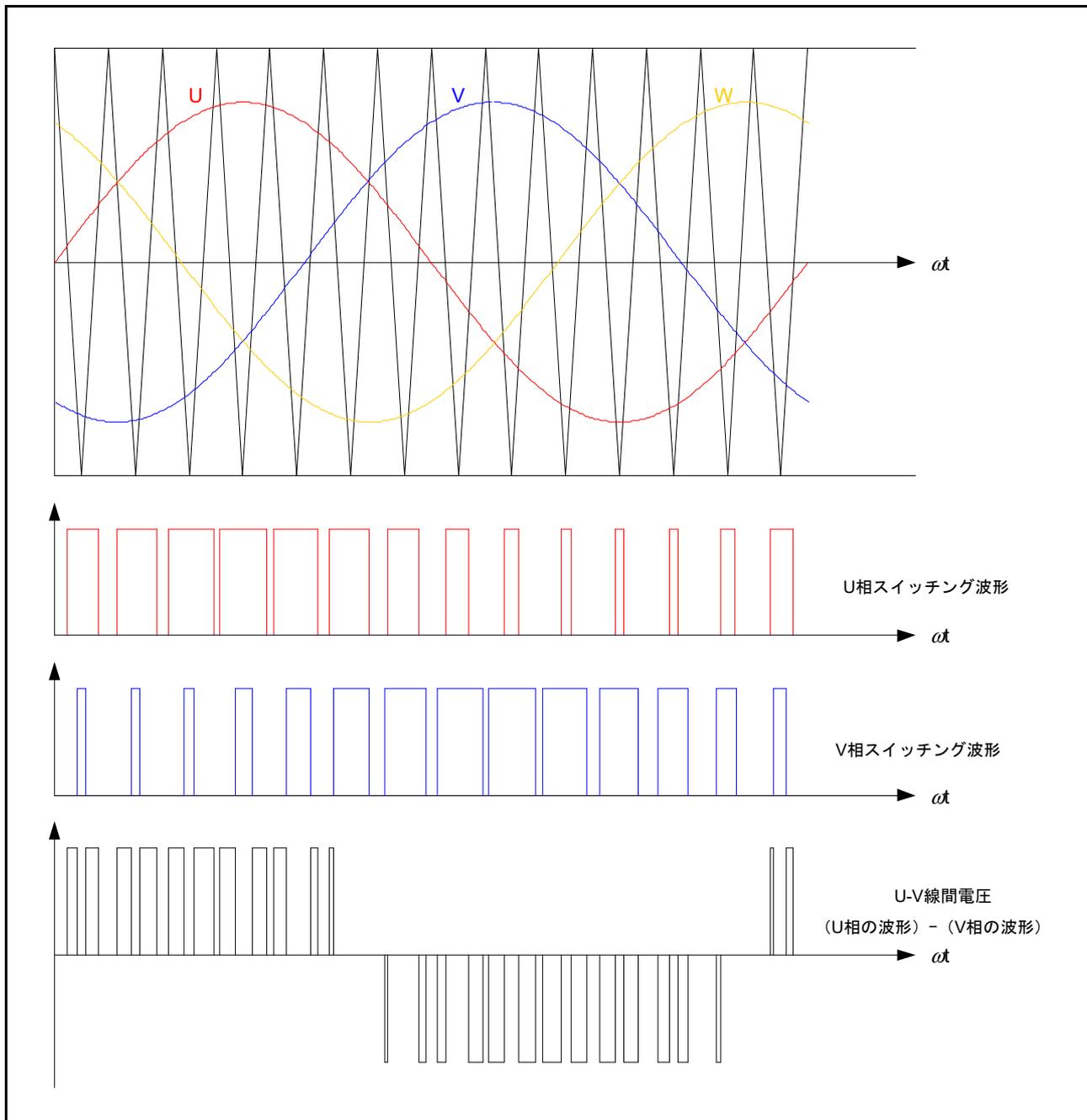


図 3.7 三角波比較法のご概念図

ここで、図 3.8 のように、出力電圧パルスのキャリア波に対する割合をデューティと呼びます。

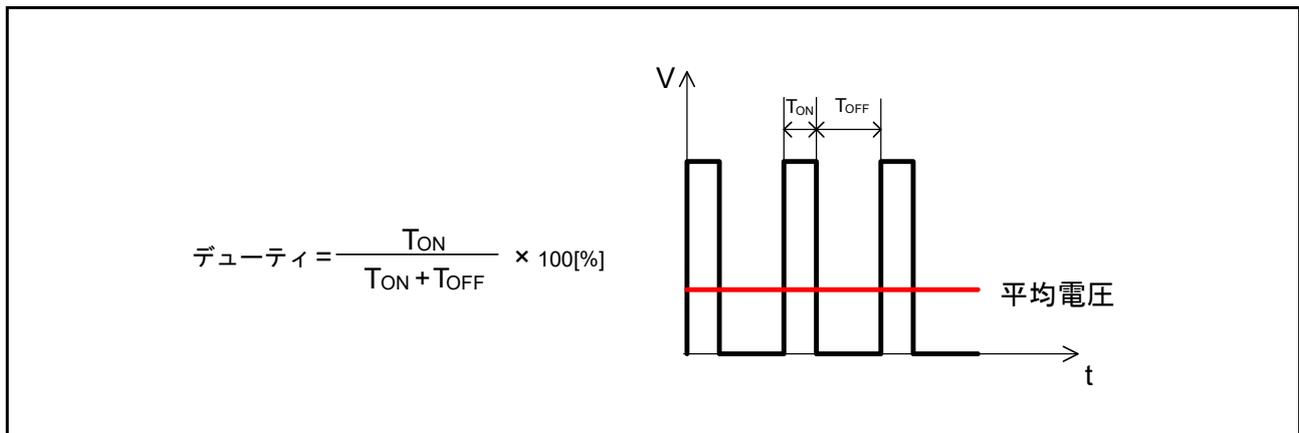


図 3.8 デューティの定義

また、変調率  $m$  を以下のように定義します。

$$m = \frac{V}{E}$$

$m$  : 変調率       $V$  : 指令値電圧       $E$  : インバータ母線電圧

この変調率を、PWM デューティを決めるレジスタに反映させる事で所望の制御を行います。

## 4. 制御プログラム説明

本システムの制御プログラムについて説明します。

### 4.1 制御内容

#### 4.1.1 モータ起動／停止

モータの起動と停止は、SW1の入力によって制御します。

SW1には汎用ポート（PP1）が割り当てられ、メイン・ループ内で、PP1端子を読み、“Low (SW1 = SW ON)”レベルのとき、モータが起動状態となり、逆に“High (SW1 = SW OFF)”レベルのときはモータが停止状態となります。ただし、電源投入後にモータ軸位置指令値を一度以上更新していない場合、SW1 = SW ONを入力してもモータ起動はしません。SW1 = SW ONとした後、4.1.2に示すSW0のレベルを切り替え、モータ軸位置指令値を更新する必要があります。

## 4.1.2 モータ軸位置指令値、インバータ母線電圧、モータ 3 相電圧

## (1) モータ軸位置指令値

ディップスイッチを使用して、表 4.1 に示すとおりモータ軸位置指令値を設定します。また、SW0 の汎用ポート（PP0）端子を読み、前回のレベルと異なる場合に、SW3-SW7 の設定が取り込まれ、モータ軸位置指令値を更新します。位置指令の計算式は次式の様に表示されます。

$$\text{位置指令値} = \text{軸回転 CW 方向最大位置 (54000)} \times (n/15)$$

表 4.1 位置指令値の組み合わせ

項目		ディップスイッチ操作設定				
位置指令値[pulse]	n	符号 bit (SW3)	4bit (SW4)	3bit (SW5)	2bit (SW6)	1bit (SW7)
54000	15	SW OFF	SW ON	SW ON	SW ON	SW ON
50400	14	SW OFF	SW ON	SW ON	SW ON	SW OFF
46800	13	SW OFF	SW ON	SW ON	SW OFF	SW ON
43200	12	SW OFF	SW ON	SW ON	SW OFF	SW OFF
39600	11	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW ON	SW ON
36000	10	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW ON	SW OFF
32400	9	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW ON
28800	8	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW OFF
25200	7	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW ON	SW ON
21600	6	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW ON	SW OFF
18000	5	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW ON
14400	4	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW OFF
10800	3	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW ON
7200	2	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW OFF
3600	1	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW ON
0	0	SW OFF or SW ON	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW OFF
-3600	-1	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW OFF	SW ON
-7200	-2	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW OFF
-10800	-3	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW ON	SW ON
-14400	-4	SW ON	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW OFF
-18000	-5	SW ON	SW OFF	SW ON	SW OFF	SW ON
-21600	-6	SW ON	SW OFF	SW ON	SW ON	SW OFF
-25200	-7	SW ON	SW OFF	SW ON	SW ON	SW ON
-28800	-8	SW ON	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW OFF
-32400	-9	SW ON	SW ON	SW OFF	SW OFF	SW ON
-36000	-10	SW ON	SW ON	SW OFF	SW ON	SW OFF
-39600	-11	SW ON	SW ON	SW OFF	SW ON	SW ON
-43200	-12	SW ON	SW ON	SW ON	SW OFF	SW OFF
-46800	-13	SW ON	SW ON	SW ON	SW OFF	SW ON
-50400	-14	SW ON	SW ON	SW ON	SW ON	SW OFF
-54000	-15	SW ON	SW ON	SW ON	SW ON	SW ON

## (2) インバータ母線電圧

表 4.2 のように、インバータ母線電圧を測定します。  
変調率の算出と過電圧検出（異常時は PWM 停止）に使用します。

表 4.2 インバータ母線電圧の変換比

項目	変換比（インバータ母線電圧：A/D変換値）	チャンネル
インバータ母線電圧	0 [V]～280.0 [V]：0000H～0FFFH	AN007

## (3) U相、V相電流

表 4.3 のように、U相、V相電流を測定し、ベクトル制御に使用します。

表 4.3 U、V相電流の変換比

項目	変換比（U相、V相電流：A/D変換値）	チャンネル
U相、V相電流	-37.5 [A]～37.5 [A]：0000H～0FFFH	AN003、AN002

### 4.1.3 制御方法

始動時に回転子の磁極位置を決定し、一定時間が経過したら（3.3章参照）、エンコーダを利用したベクトル制御によってモータを駆動します（図3.3のブロック図を参照）。また、速度制御と位置制御にはPI制御を用いています。

### 4.1.4 システム保護機能

本制御プログラムは、以下の4種のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止機能を実現しています。

- 過電流エラー  
ハードウェアからの緊急停止信号（過電流検出）により、PWM出力端子にハイインピーダンス出力します（CPUを介さない緊急停止）。  
また、100 [μs] 間隔でU相、V相、W相電流を監視し、過電流（4 [A] を超過）を検出した時に、CPUによって緊急停止します。
- 過電圧エラー  
100 [μs] 間隔でインバータ母線電圧を監視し、過電圧（28 [V] を超過）を検出した時に、CPUによって緊急停止します。ここで、過電圧リミット値 28 [V] は抵抗値の誤差と AC アダプタ等による供給電圧の誤差を考慮して設定した値です。
- 低電圧エラー  
100 [μs] 間隔でインバータ母線電圧を監視し、低電圧（12 [V] を下回った場合）を検出した時に、CPUによって緊急停止します。
- 高速度エラー  
100 [μs] 間隔で速度を監視し、600 [rad/s]（電気角）を超過した場合、CPUによって緊急停止します。

## 4.2 関数仕様

本制御プログラムでは、複数の制御関数を使用しています。制御関数の一覧を以下に示します。  
より詳細な処理については、フローチャート、またはソースファイルを参照してください。

表4.4 アプリケーション制御関数一覧 (1/2)

ファイル名	関数概要	処理概要
main.c	main 入力：なし 出力：なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>クロック、ポート、割り込み設定関数呼び出し</li> <li>ハードウェア初期化関数呼び出し</li> <li>メイン処理使用変数初期化関数呼び出し</li> <li>状態遷移およびイベント実行関数呼び出し</li> <li>ウォッチドッグタイマ、タイマ実行関数呼び出し</li> <li>メイン処理               <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ メイン処理実行関数呼び出し</li> <li>⇒ ウォッチドッグタイマクリア関数呼び出し</li> </ul> </li> </ul>
	ctrl_ui 入力：なし 出力：なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>モータステータスの変更</li> <li>位置指令値の決定</li> </ul>
	software_init 入力：なし 出力：なし	メイン処理にて使用する変数の初期化
	sys_init 入力：なし 出力：なし	クロック設定
	set_ports 入力：なし 出力：なし	IOポート設定
	set_irqs 入力：なし 出力：なし	割り込み設定
	set_wdt 入力：なし 出力：なし	WDT設定
	clear_wdt 入力：なし 出力：なし	WDTクリア
	set_timer 入力：なし 出力：なし	1ms周期タイマ設定
	start_timer 入力：なし 出力：なし	1ms周期タイマ開始
	stop_timer 入力：なし 出力：なし	1ms周期タイマ停止
	get_sw_pos 入力：なし 出力：位置設定	位置設定を取得
	get_sw1 入力：なし 出力：SW1のレベル	SW1の状態を取得
	get_sw2 入力：なし 出力：SW2のレベル	SW2の状態を取得
	led9_on 入力：なし 出力：なし	LED9の点灯
	led8_on 入力：なし 出力：なし	LED8の点灯

表4.4 アプリケーション制御関数一覧 (2/2)

ファイル名	関数概要	処理概要
main.c	led9_off 入力：なし 出力：なし	LED9の消灯
	led8_off 入力：なし 出力：なし	LED8の消灯
app_common.c	APP_VIC_Init 入力：なし 出力：なし	VIC初期設定処理
	APP_CPU_EnableInterrupt 入力：なし 出力：なし	CPU割り込み受付許可
	APP_CPU_DisableInterrupt 入力：なし 出力：なし	CPU割り込み受付禁止
	APP_VIC_EnableIRQ 入力：割り込みベクタ番号 出力：なし	VIC割り込み許可
	APP_VIC_DisableIRQ 入力：割り込みベクタ番号 出力：なし	VIC割り込み禁止
	APP_VIC_ClearEdgeDetectIRQ 入力：割り込みベクタ番号 出力：なし	VIC割り込みエッジ検出クリア
	APP_VIC_EndSeqIRQ 入力：なし 出力：なし	割り込みシーケンス終了処理
app_interrupt.c	app_cmt_cmi0_isr 入力：なし 出力：なし	CMT : CMI0割り込みサービスルーチン • R_MTR_Timer_Interrupt関数呼び出し
	app_cmt_cmi1_isr 入力：なし 出力：なし	CMT : CMI1割り込みサービスルーチン • R_CMT_CMI1_Interrupt関数呼び出し
	app_mtu_tciv4_isr 入力：なし 出力：なし	MTU3 : TCIV4割り込みサービスルーチン • R_MTR_Pwm_Interrupt関数呼び出し
	app_poe3_oei2_isr 入力：なし 出力：なし	POE3 : OEI2割り込みサービスルーチン • R_MTR_OverCurrent_Interrupt関数呼び出し

表4.5 駆動ライブラリ制御関数一覧

ファイル名	関数概要	処理概要
r_mtr_api.c	R_MTR_InitHardware 入力：なし 出力：なし	周辺機能の初期化
	R_MTR_InitSequence 入力：なし 出力：なし	シーケンス処理の初期化
	R_MTR_ExecEvent 入力：発生イベント 出力：なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>ステータスの変更を行う</li> <li>発生イベントに対して、適切な処理の実行関数を呼び出し <ul style="list-style-type: none"> <li>モータ起動/停止</li> <li>モータ制御処理初期化</li> </ul> </li> </ul>
	R_MTR_GetStatus 入力：なし 出力：ステータス情報	ステータス取得
	R_MTR_GetErrorStatus 入力：なし 出力：エラーステータス情報	エラー発生時のエラーステータスの取得
	R_MTR_SetMaxSpeed 入力：速度指令値[rad/sec] 出力：なし	最大速度制御値の設定 入力値：25,50,100 (その他の値をセットした場合、100になる)
	R_MTR_GetSpeed 入力：なし 出力：速度値[rad/sec]	速度演算値（電気角）の取得
	R_MTR_SetPosition 入力：位置制御指令値[pulse] 出力：なし	位置制御指令の設定 入力値：-54000～+54000 (範囲外の値をセットした場合、最小値/最大値になる)
	R_MTR_GetPosition 入力：なし 出力：現在位置値[pulse]	現在位置値の取得
	R_MTR_SetMaxTorque 入力：トルク制御指令値[A] 出力：なし	最大トルクの設定 入力値：0.5～3.0 (範囲外の値をセットした場合、最小値/最大値になる)
	R_MTR_GetTorque 入力：なし 出力：現在トルク値[A]	現在トルク値の取得
	R_MTR_GetCurrentAdjustStatus 入力：なし 出力：電流オフセット検出ステータス情報	電流オフセット検出のステータスを取得
	R_MTR_ClearCurrentAdjustStatus 入力：なし 出力：なし	電流オフセット検出のステータスをクリア
	R_MTR_OverCurrent_Interrupt 入力：なし 出力：なし	過電流検出処理 (POE3：OEI2割り込みサービスルーチン内で呼び出し) <ul style="list-style-type: none"> <li>イベント処理選択関数呼び出し</li> <li>モータステータス変更</li> <li>ハイインピーダンス状態解除関数呼び出し</li> </ul>
	R_MTR_Pwm_Interrupt 入力：なし 出力：なし	100 [μs] 毎に呼び出し (MTU3：TCIV4割り込みサービスルーチン内で呼び出し) <ul style="list-style-type: none"> <li>ベクトル制御</li> <li>電流PI制御</li> </ul>
R_MTR_Timer_Interrupt 入力：なし 出力：なし	1 [ms] 毎に呼び出し (タイマ割り込みサービスルーチン内で呼び出し) <ul style="list-style-type: none"> <li>始動制御</li> <li>速度PI制御</li> </ul>	

表4.6 デバイスドライバ制御関数一覧 (1/2)

ファイル名	関数概要	処理概要
r_adc_if.c	R_ADC_SetOpr 入力：ユニット、 オペレーション設定構造体アドレス、 割り込みコールバック関数アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	S12ADCaオペレーション設定処理
	R_ADC_GetDataAnalogInput 入力：ユニット、アナログ入力チャンネル 出力：入力データ値、入力パラメータエラー	S12ADCaアナログ入力データ取得処理
	R_ADC_GetAdcStatus 入力：ユニット 出力：なし	S12ADCaステータス取得処理
	R_ADC_Start 入力：ユニット、トリガー設定 出力：正常終了、入力パラメータエラー	S12ADCa変換開始処理
	R_ADC_Stop 入力：ユニット 出力：正常終了、入力パラメータエラー	S12ADCa変換停止処理
r_cmt_if.c	R_CMT_SetOpr 入力：チャンネル、クロック分周、 割り込み許可/禁止 出力：正常終了、入力パラメータエラー	CMTオペレーション設定処理
	R_CMT_SetTimeCounter 入力：チャンネル、カウンタ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	CMTタイムカウンタ設定処理
	R_CMT_SetCompareMatchCount 入力：チャンネル、カウンタ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	CMTコンペアマッチカウント設定処理
	R_CMT_Start 入力：チャンネル 出力：正常終了、入力パラメータエラー	CMTタイムカウンタ開始処理
	R_CMT_Stop 入力：チャンネル 出力：正常終了、入力パラメータエラー	CMTタイムカウンタ停止処理
r_io_port_if.c	R_IO_PORT_Set 入力：ポート、モード、入力PULL-UP設定、 機能選択設定 出力：正常終了、入力パラメータエラー	IOポート設定処理
	R_IO_PORT_GetInputData 入力：ポート 出力：入力データ値、入力パラメータエラー	IOポート入力データ取得処理
	R_IO_PORT_SetOutputData 入力：ポート、出力設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	IOポート出力データ設定処理
r_mtu_if.c	R_MTU_SetOpr 入力：チャンネル、 オペレーション設定構造体アドレス、 割り込みコールバック関数アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aオペレーション設定処理
	R_MTU_SetTimerCounter 入力：チャンネル、カウンタ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマカウンタ設定処理
	R_MTU_SetTimerGeneral 入力：チャンネル、ジェネラルカウンタ、 カウンタ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマジェネラルカウンタ設定処理

表4.6 デバイスドライバ制御関数一覧 (2/2)

ファイル名	関数概要	処理概要
r_mtu_if.c	R_MTU_ClearTimerStatus 入力：チャンネル、ステータス値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aステータスクリア処理
	R_MTU_SetTimerOutput 入力：MTIOピン、 タイマアウトプット設定構造体アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマアウトプット設定処理
	R_MTU_SetTimerGate 入力：タイマゲート有効/無効、 タイマゲート設定構造体アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマゲート設定処理
	R_MTU_SetTimerCycle 入力：チャンネル、データ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマ周期設定処理
	R_MTU_SetTimerDeadTime 入力：チャンネル、デッドタイム有効/無効、 カウンタ設定値 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aデッドタイム設定処理
	R_MTU_SetInterruptSkip 入力：チャンネル、 タイマ割り込み間引き設定構造体アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマ割り込み間引き設定処理
	R_MTU_SetNoiseFilterMtlck 入力：ノイズフィルタ設定構造体アドレス 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aノイズフィルタ（MTCLK用）設定処理
	R_MTU_StartTimerCounterA 入力：タイマカウンタ 出力：正常終了	MTU3aタイマカウンタ開始処理
	R_MTU_StopTimerCounterA 入力：タイマカウンタ 出力：正常終了	MTU3aタイマカウンタ停止処理
	R_MTU_StartTimerOutput 入力：MTIOピン 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマアウトプット開始処理
	R_MTU_StopTimerOutput 入力：MTIOピン 出力：正常終了、入力パラメータエラー	MTU3aタイマアウトプット停止処理

## 4.3 変数一覧

本制御プログラムで使用する変数一覧を次に示します。

表4.7 変数一覧 (1/3)

ファイル	変数名	型	内容	備考
main.c (アプリケーション)	g_u1_motor_status	uint8	ユーザモータステータス管理	0: 停止 1: 回転中 2: エラー
	g_u1_reset_req	uint8	リセット要求フラグ	0: エラー状態時SW2 ON 1: エラー状態時SW2 OFF
	g_u1_sw1_cnt	uint8	SW1判定カウンタ	チャタリング除去
	g_u1_sw2_cnt	uint8	SW2判定カウンタ	チャタリング除去
	g_s4_setposition	uint32	位置指令値	[pulse]
	g_u1_sw0_port_old	uint8	SW0前回値	0: ON 1: OFF
	g_u1_pos_first_update	uint8	位置指令初回更新フラグ	1: 更新済み 0: 未更新
g_u2_sw_pos_value	uint16	位置設定	0x0000 ~ 0x0FFF	
r_mtr_api.c (駆動ライブラリ)	g_u1_def_state	uint8	モータステータスの定義	配列メンバ • ストップモード • ランモード • エラーモード
	gp_u1_def_action	uint8	アクションの定義	配列メンバ • ストップアクション • ランアクション • エラーアクション • リセットアクション • アクションなし
mtr_seq.c (駆動ライブラリ)	g_u1_seq_mode_system	uint8	ステート管理	0: ストップモード 1: ランモード 2: エラーモード
	g_u2_seq_run_mode	uint16	運転モード管理	2: 始動モード 5: 通常運転モード
	g_u1_seq_error_status	uint8	エラーステータス管理	0: エラーなし 1: 過電流エラー 2: 過電圧エラー 3: 高速度エラー 7: 低電圧エラー 0xFF: 未定義エラー
mtr_ctrl.c (駆動ライブラリ)	g_f4_vdc_ad	float	インバータ母線電圧A/D値	[V]
	g_f4_vd_ref	float	d軸電圧指令値	電流PI制御出力値 [V]
	g_f4_vq_ref	float	q軸電圧指令値	電流PI制御出力値 [V]
	g_f4_iu_ad	float	U相電流	[A]
	g_f4_pre_iu_ad	float	U相電流前回値	[A]
	g_f4_iv_ad	float	V相電流	[A]
	g_f4_iw_ad	float	W相電流	[A]
	g_f4_pre_iv_ad	float	V相電流前回値	[A]
	g_f4_offset_iu	float	U相電流オフセット値	[A]
	g_f4_offset_iv	float	V相電流オフセット値	[A]
	g_f4_id_lpf	float	d軸電流	[A]
	g_f4_iq_lpf	float	q軸電流	[A]
	g_f4_kp_id	float	d軸電流PI比例項ゲイン	
	g_f4_ki_id	float	d軸電流PI積分項ゲイン	
g_f4_kp_iq	float	q軸電流PI比例項ゲイン		

表4.7 変数一覧 (2 / 3)

ファイル	変数名	型	内容	備考
mtr_ctrl.c (駆動ライブラリ)	g_f4_ki_iq	float	q軸電流PI積分項ゲイン	
	g_f4_kp_speed	float	速度PI制御比例項ゲイン	
	g_f4_ki_speed	float	速度PI制御積分項ゲイン	
	g_f4_lim_vd	float	d軸電流PI制御出力リミット値	[V]
	g_f4_lim_vq	float	q軸電流PI制御出力リミット値	[V]
	g_f4_ilim_vd	float	d軸電流PI制御積分項リミット値	[V]
	g_f4_ilim_vq	float	q軸電流PI制御積分項リミット値	[V]
	g_f4_lim_iq	float	速度PI制御出力リミット値	[A]
	g_f4_ilim_iq	float	速度PI制御積分項リミット値	[A]
	g_f4_id_ref	float	d軸電流指令値	[A]
	g_f4_iq_ref	float	q軸電流指令値	[A]
	g_f4_speed_rad	float	速度演算値	電気角 [rad/s]
	g_f4_ref_speed_rad	float	速度指令値	電気角 [rad/s]
	g_f4_ref_speed_rad_ad	float	速度調整値	電気角 [rad/s]
	g_f4_angle_rad	float	回転子位置	電気角 [rad]
	g_f4_max_speed_rad	float	速度最大値	電気角 [rad/s]
	g_f4_refu	float	U相電圧指令値	[V]
	g_f4_refv	float	V相電圧指令値	[V]
	g_f4_refw	float	W相電圧指令値	[V]
	g_f4_inv_limit	float	相電圧リミット値	[V]
	vd	MTR_PI_CTRL	d軸電流PI制御用構造体	
	vq	MTR_PI_CTRL	q軸電流PI制御用構造体	
	speed	MTR_PI_CTRL	速度PI制御用構造体	
	position	MTR_PI_CTRL	位置PI制御用構造体	
	g_u1_flag_id_open	uint8	始動モード判定フラグ	
	g_u2_cnt_adjust	uint16	電流オフセット計算用カウンタ	
	g_f4_id_open	float	始動モード時d軸電流指令値	[A]
	g_u2_cnt_adj_theta	uint16	位置決め時間カウンタ	
	g_f4_d_angle_rad	float	回転子位置差分	[rad]
	g_f4_encd_tcmt	float	エンコーダタイマカウンタ値	
	g_f4_pre_encd_tcmt	float	エンコーダタイマカウンタ前回値	
	g_u1_direction	uint8	モータ動作方向フラグ	
	g_s2_angle_count	int16	速度計測用カウンタ	
	g_u2_cnt_angle_pi	uint16	位置PIループ作成用カウンタ	
	g_s4_position_count	int32	エンコーダ位置カウンタ	
	g_s4_ref_position	int32	位置制御指令値	
	g_f4_lock_kp_position	float	停止時位置PI制御比例項ゲイン	
	g_f4_lock_ki_position	float	停止時位置PI制御積分項ゲイン	
	g_f4_lock_limit_position	float	停止時位置PI制御出力リミット値	
	g_f4_lock_ilimit_position	float	停止時位置PI制御積分項リミット値	
g_f4_lock_kp_speed	float	停止時速度PI制御比例項ゲイン		
g_f4_lock_ki_speed	float	停止時速度PI制御積分項ゲイン		

表 4.7 変数一覧 (3 / 3)

ファイル	変数名	型	内容	備考
mtr_ctrl.c (駆動ライブラリ)	g_f4_nomal_kp_position	float	回転時位置PI制御比例項ゲイン	
	g_f4_nomal_ki_position	float	回転時位置PI制御積分項ゲイン	
	g_f4_nomal_limit_position	float	回転時位置PI制御出力リミット値	
	g_f4_nomal_ilimit_position	float	回転時位置PI制御積分項リミット値	
	g_f4_nomal_kp_speed	float	回転時速度PI制御比例項ゲイン	
	g_f4_nomal_ki_speed	float	回転時速度PI制御積分項ゲイン	
	g_u1_flag_lock		サーボロックパラメータ切り替えフラグ	
	g_s2_lock_diff		サーボロック判定位置	
	g_u1_flag_pospi_speedpi		位置PI、速度PI制御フラグ	

## 4.4 マクロ定義

本制御プログラムで使用するマクロ定義一覧を次に示します。

表4.8 アプリケーションマクロ定義一覧

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
main.c	SW_ON	0	"Low" アクティブ
	SW_OFF	1	
	CHATTERING_CNT	200	チャタリング除去
	PORT_SW1	IO_PORT_P(1)	SW1入力ポート (PP1)
	PORT_SW2	IO_PORT_P(2)	SW2入力ポート (PP2)
	PORT_LED9	IO_PORT_4(6)	LED9出力ポート (P46)
	PORT_LED8	IO_PORT_4(5)	LED8出力ポート (P45)
	LED_ON	1	"High" アクティブ
	LED_OFF	0	
	FLAG_ON	1	フラグON
	FLAG_OFF	0	フラグOFF

表4.9 駆動ライブラリマクロ定義一覧 (1 / 3)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
r_mtr_api.h	MTR_DEADTIME	0	デッドタイム [μs]
	MTR_PWM_TIMER_FREQ	150.0f	PWMタイマカウンタ周波数 [MHz]
	MTR_CARRIER_FREQ	20.0f	キャリア周波数 [kHz]
	MTR_DEADTIME_SET	MTR_DEADTIME * MTR_PWM_TIMER_FREQ	デッドタイム設定値
	MTR_CARRIER_SET	(MTR_PWM_TIMER_FREQ * 1000 / MTR_CARRIER_FREQ / 2) + MTR_DEADTIME_SET	キャリア設定値
	MTR_HALF_CARRIER_SET	MTR_CARRIER_SET / 2	キャリア設定値/2
	MTR_LOCK_EN	1	サーボロック機能有無
	MTR_INT_DECIMATION	1	割り込み間引き回数
	MTR_CTRL_PERIOD	(MTR_INT_DECIMATION + 1) / (MTR_CARRIER_FREQ * 1000)	制御周期 [s]
	MTR_CONTROL_FREQ	(MTR_CARRIER_FREQ * 1000) / (MTR_INT_DECIMATION + 1)	制御周波数 [Hz]
	MTR_M	0.040107f	磁束 [Wb]
	MTR_R	3.35f	抵抗 [Ω]
	MTR_LD	0.00632f	d軸インダクタンス [H]
	MTR_LQ	0.00632f	q軸インダクタンス [H]
	MTR_POLE_PAIRS	2	極対数
	MTR_ENCD_CPR_MECH	2000.0f	エンコーダ一周分のカウント数 (機械角)
	MTR_ENCD_CPR_ELE	MTR_ENCD_CPR_MECH / MTR_POLE_PAIRS	エンコーダ一周分のカウント数 (電気角)
	MTR_SPEED_LIMIT	600	速度リミット値 (電気角) [rad/s]
	MTR_OVERCURRENT_LIMIT	4	電流リミット値 [A]
	MTR_OVERVOLTAGE_LIMIT	28	高電圧リミット値 [V]
	MTR_UNDERVOLTAGE_LIMIT	12	低電圧リミット値 [V]
MTR_TWOPI	2*3.14159265f	2π	
MTR_SQRT_2_3	0.81649658f	√(2/3)	

表4.9 駆動ライブラリマクロ定義一覧 (2 / 3)

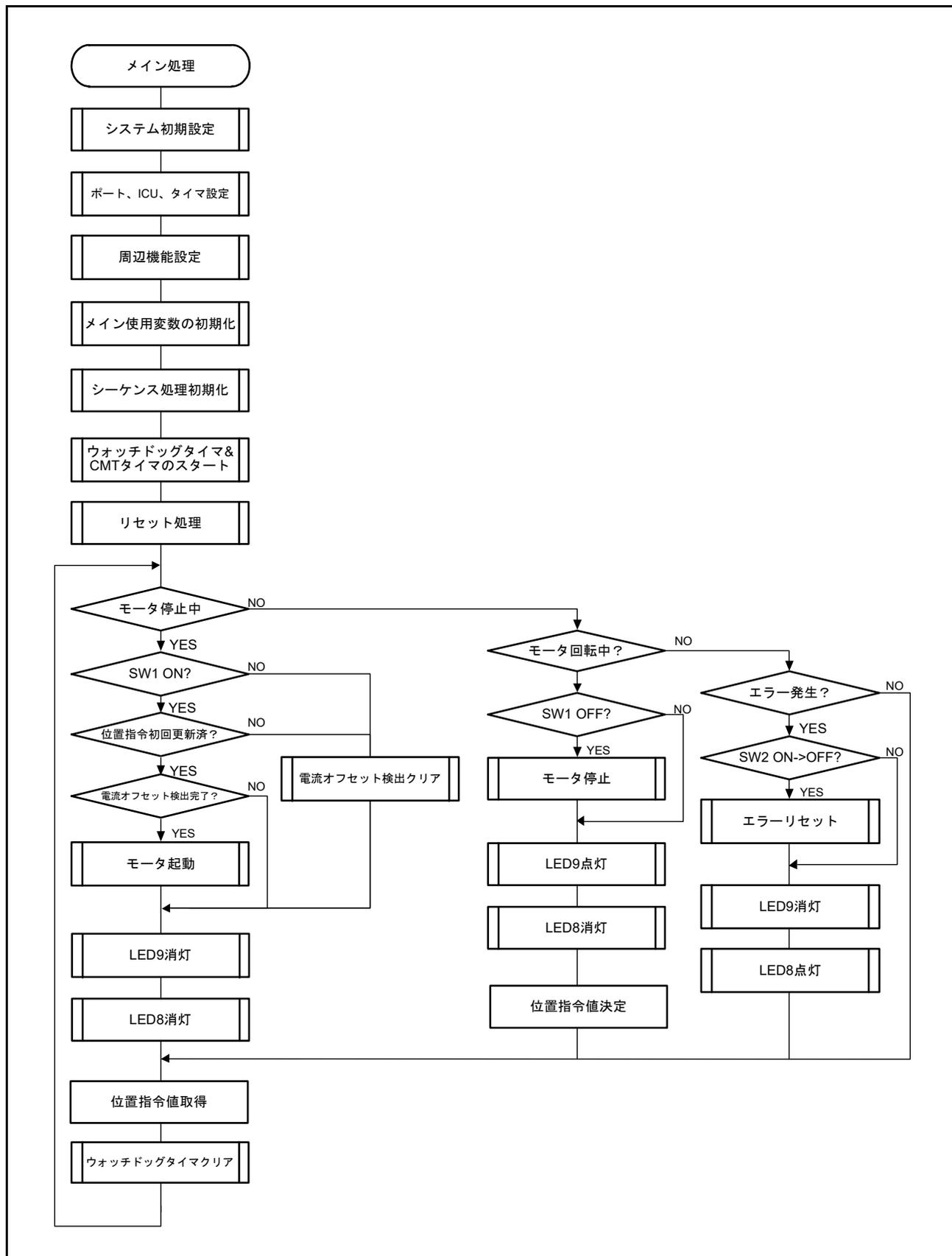
ファイル名	マクロ名	定義値	備考
r_mtr_api.h	MTR_HALFPI	3.14159265f/2	(1/2) $\pi$
	MTR_HALF_VDC	12	電源電圧 / 2 [V]
	MTR_ADC_SCALING	0x7FF	ADCオフセット調整用定数
	MTR_CURRENT_SCALING	75.0f / 4095.0f	電流A/D変換値分解能
	MTR_VDC_SCALING	280.0f / 4095.0f	インバータ母線電圧A/D変換値分解能
	MTR_ID_PI_KP	4	d軸電流PI制御比例項ゲイン
	MTR_ID_PI_KI	0.21f	d軸電流PI制御積分項ゲイン
	MTR_IQ_PI_KP	4	q軸電流PI制御比例項ゲイン
	MTR_IQ_PI_KI	0.21f	q軸電流PI制御積分項ゲイン
	MTR_SPEED_PI_KP	0.025f	速度PI制御比例項ゲイン
	MTR_SPEED_PI_KI	0.0001f	速度PI制御積分項ゲイン
	MTR_SPEED_LPF_K	0.1f	速度LPFゲイン
	MTR_CURRENT_LPF_K	0.1f	電流LPFゲイン
	MTR_LIMIT_VD	11	d軸電流PI制御出力リミット値 [V]
	MTR_LIMIT_VQ	11	q軸電流PI制御出力リミット値 [V]
	MTR_I_LIMIT_VD	11	d軸電流PI制御積分項リミット値 [V]
	MTR_I_LIMIT_VQ	11	q軸電流PI制御積分項リミット値 [V]
	MTR_LIMIT_IQ	3	速度PI制御出力リミット値 [A]
	MTR_I_LIMIT_IQ	3	速度PI制御積分項リミット値 [A]
	MTR_MAX_SPEED_RAD	100.0f	MAX速度（電気角）[rad/s]
	MTR_MIN_SPEED_RAD	0.0f	MIN速度（電気角）[rad/s]
	MTR_START_REF_SPEED_UP_STEP	(MTR_MAX_SPEED_RAD – MTR_MIN_SPEED_RAD) / 2048.0f	加速度制限用定数
	MTR_START_REF_SPEED_DOWN_STEP	(MTR_MAX_SPEED_RAD – MTR_MIN_SPEED_RAD) / 2048.0f	加速度制限用定数
	MTR_START_OL_ID	1.8f	始動モード時d軸電流 [A]
	MTR_START_OL_ID_UP_TIME	128	d軸電流加算時間[ms]
	MTR_START_OL_REF_ID	MTR_START_OL_ID	始動モード時d軸電流指令値 [A]
	MTR_START_OL_ID_UP_STEP	MTR_START_OL_ID/MTR_START_OL_ID_UP_TIME	指令d軸電流加算値[A]
	MTR_ANGLE_ADJUST_TIME	128	位置決め時間 [ms]
	MTR_CHECK_ENCD_PERIOD	MTR_CTRL_PERIOD	エンコーダタイムカウンタサンプリング周期 [s]
	MTR_POSITION_PI_KP_25	0.0195f	回転時位置PI制御比例項ゲイン (25 rad/sec用)
	MTR_POSITION_PI_KP_50	0.0110f	回転時位置PI制御比例項ゲイン (50 rad/sec用)
	MTR_POSITION_PI_KP_100	0.0058f	回転時位置PI制御比例項ゲイン (100 rad/sec用)
	MTR_POSITION_PI_KI	0.000025f	回転時位置PI制御積分項ゲイン
MTR_POSITION_LIMIT_25	25.0f	回転時位置PI制御出力リミット値 (25 rad/sec用)	
MTR_POSITION_LIMIT_50	50.0f	回転時位置PI制御出力リミット値 (50 rad/sec用)	
MTR_POSITION_LIMIT_100	100.0f	回転時位置PI制御出力リミット値 (100 rad/sec用)	
MTR_POSITION_I_LIMIT	5.0f	回転時位置PI制御積分項リミット値	

表4.9 駆動ライブラリマクロ定義一覧 (3 / 3)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
r_mtr_api.h	MTR_LOCK_DIFF	100	エンコーダ位置差分定義
	MTR_LOCK_POSITION_PI_KP	0.10f	停止時位置PI制御比例項ゲイン
	MTR_LOCK_POSITION_PI_KI	0.005f	停止時位置PI制御積分項ゲイン
	MTR_LOCK_POSITION_LIMIT	25.0f	停止時位置PI制御出力リミット値
	MTR_LOCK_POSITION_I_LIMIT	2.0f	停止時位置PI制御積分項リミット値
	MTR_LOCK_SPEED_PI_KP	0.020f	停止時速度PI制御比例項ゲイン
	MTR_LOCK_SPEED_PI_KI	0.0025f	停止時速度PI制御積分項ゲイン
	MTR_POS_PI_CTRL_CYC	5	位置PI制御周期[ms]
	MTR_CURRENT_ADJUST_TIME	100	リセット処理後電流安定待ち時間[ms]
	MTR_ANGLE_MAX_COUNT	2000	1回転パルスカウント[pulse]
	MTR_POSITION_CW_MAX	54000	軸回転CW方向最大位置[pulse]
	MTR_POSITION_CCW_MAX	-54000	軸回転CCW方向最大位置[pulse]
	MTR_EVENT_STOP	0x00	モータ停止イベント
	MTR_EVENT_RUN	0x01	モータ起動イベント
	MTR_EVENT_ERROR	0x02	モータエラーイベント
	MTR_EVENT_RESET	0x03	モータリセットイベント
	MTR_MODE_STOP	0x00	停止状態
	MTR_MODE_RUN	0x01	回転中
	MTR_MODE_ERROR	0x02	エラー状態
	MTR_NONE_ERROR	0x00	エラーなし状態
	MTR_OVER_CURRENT_ERROR	0x01	過電流エラー
	MTR_OVER_VOLTAGE_ERROR	0x02	過電圧エラー
	MTR_OVER_SPEED_ERROR	0x03	高速度エラー
	MTR_UNDER_VOLTAGE_ERROR	0x07	低電圧エラー
	MTR_UNKNOWN_ERROR	0xFF	未定義エラー
	MTR_CURRENT_ADJUST_RUNNING	0x00	電流オフセット検出中
	MTR_CURRENT_ADJUST_COMPLETE	0x01	電流オフセット検出完了

### 4.5 制御フロー（フローチャート）

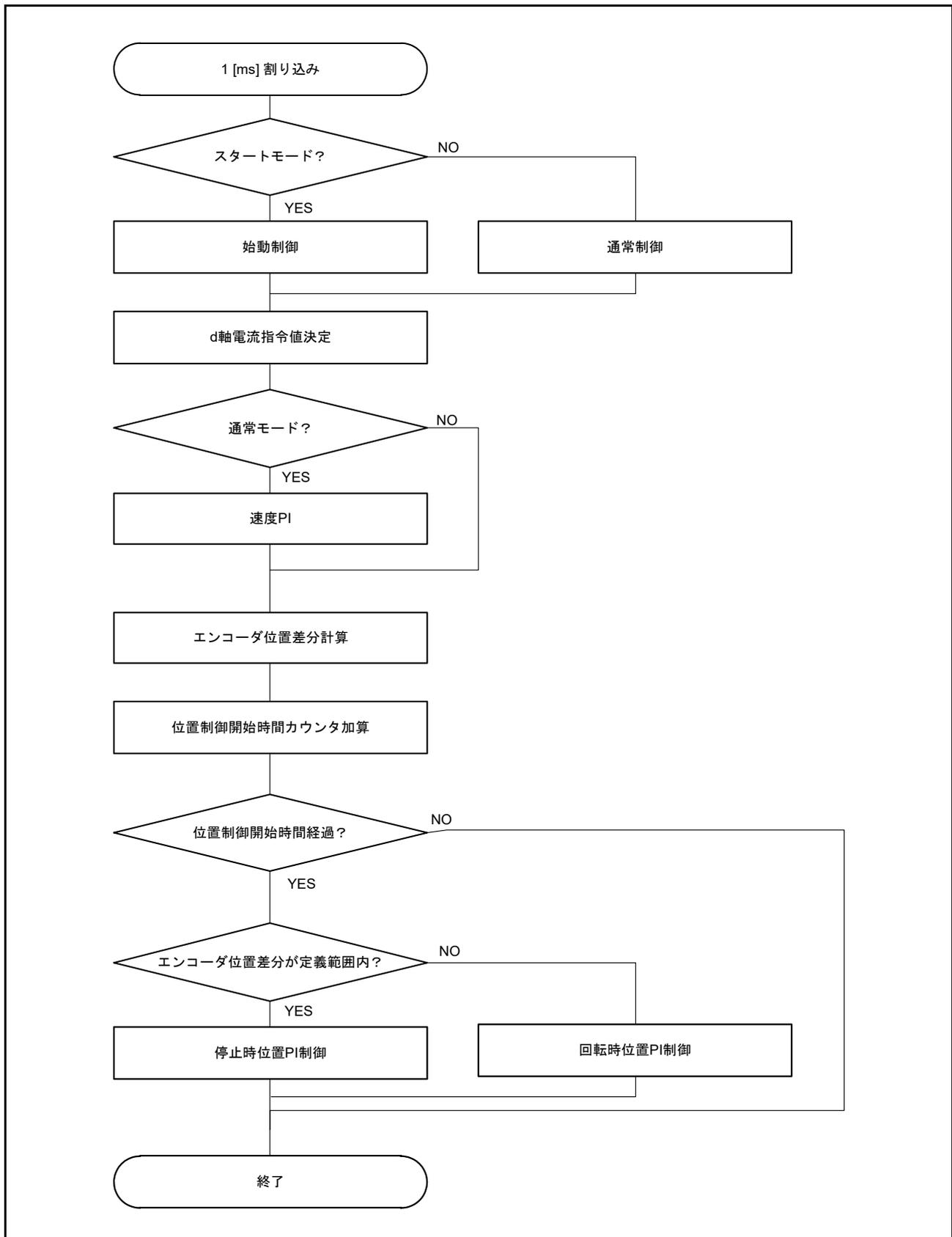
#### (1) メイン処理



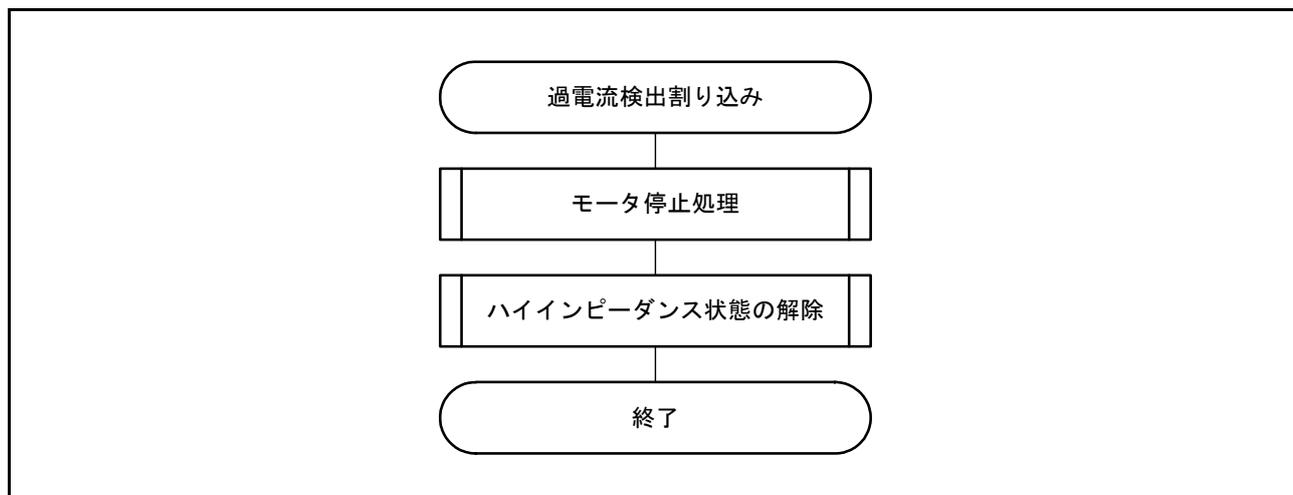
## (2) 100 [μs] 周期割り込み処理



(3) 1 [ms] 割り込み処理



(4) 過電流検出割り込み処理



## 5. 参考ドキュメント

- RZ/T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0483JJ0130)
- RZ/T1 Group User's Manual: Solution Kit (R01UH0665EU0104)

## 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/>

お問合せ先

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

改訂記録	RZ/T1 モーションコントロール・ソリューションキット向け 永久磁石同期モータの エンコーダ利用ベクトル制御（位置制御）編 アプリケーションノート
------	---

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2017.12.18	—	初版発行
1.10	2018.03.16	1. 概説	
		3	1.2 開発環境 GCC環境情報を追加

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. 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（予約領域）のアクセス禁止

【注意】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、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレス（予約領域）がありません。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、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っていると、内部 ROM、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。型名が異なる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）、交通制御（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て、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となります。
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)



ルネサスエレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

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

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒135-0061 東京都江東区豊洲3-2-24（豊洲フォレシア）

■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：<https://www.renesas.com/contact/>