

RL78/F14

R01AN3809JJ0100

RL78/F14 マイクロコントローラによるモータ制御

Rev.1.00

ホールセンサ付きブラシレス DC モータの 120 度通電制御編

2017.03.31

要 旨

本アプリケーションノートは RL78/F14 の機能を使ってホールセンサ付き 3 相ブラシレス DC モータを 120 度通電方式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下さい。

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。

- ・RL78/F14(R5F10PLJ) L グレード品

目 次

1. 概 説	2
2. システム概要	3
3. モータ制御方法	7
4. 使用周辺機能説明	11
5. 制御プログラム説明	16

1. 概 説

本アプリケーションノートは、RL78/F14 マイクロコントローラを使用し、ホールセンサ付きブラシレス DC モータ(以降、BLDC モータ)の 120 度通電方式による速度制御の例を説明するものです。

1.1 システムの利用

本システム(サンプルプログラム)は、RL78/F14 マイクロコントローラ搭載ボード(ECU001-F14-12V 注 1)及び、BLDC モータ(BLY171S-15V-8000 注 2)を使用し、120 度通電制御を実現しています。

注:

1. ECU001-F14-12V は、株式会社デスクトップラボ の製品です。

株式会社デスクトップラボ (<http://www.desktoplab.co.jp/>)

2. BLY171S-15V-8000 は、Anaheim Automation Inc. の製品です。

Anaheim Automation Inc. (<http://www.anaheimautomation.com/>)

1.2 開発環境

(1)ソフトウェア開発環境

統合開発環境	CS+ for CA, CX (V4.00.00) CS+ for CC (V5.00.00)
	IAR Embedded Workbench (Ver. 7.4.1.4269)
ビルド・ツール	CA78K0R (V1.72) CC-RL (V1.04.00)
	EWRL78 (Ver. 2.21.1)

(2)ハードウェア環境

オンチップ・デバック・エミュレータ	E1
使用マイコン	RL78/F14(R5F10PLJ)
RL78/F14 マイクロコントローラ搭載ボード	ECU001-F14-12V
BLDC モータ	BLY171S-15V-8000

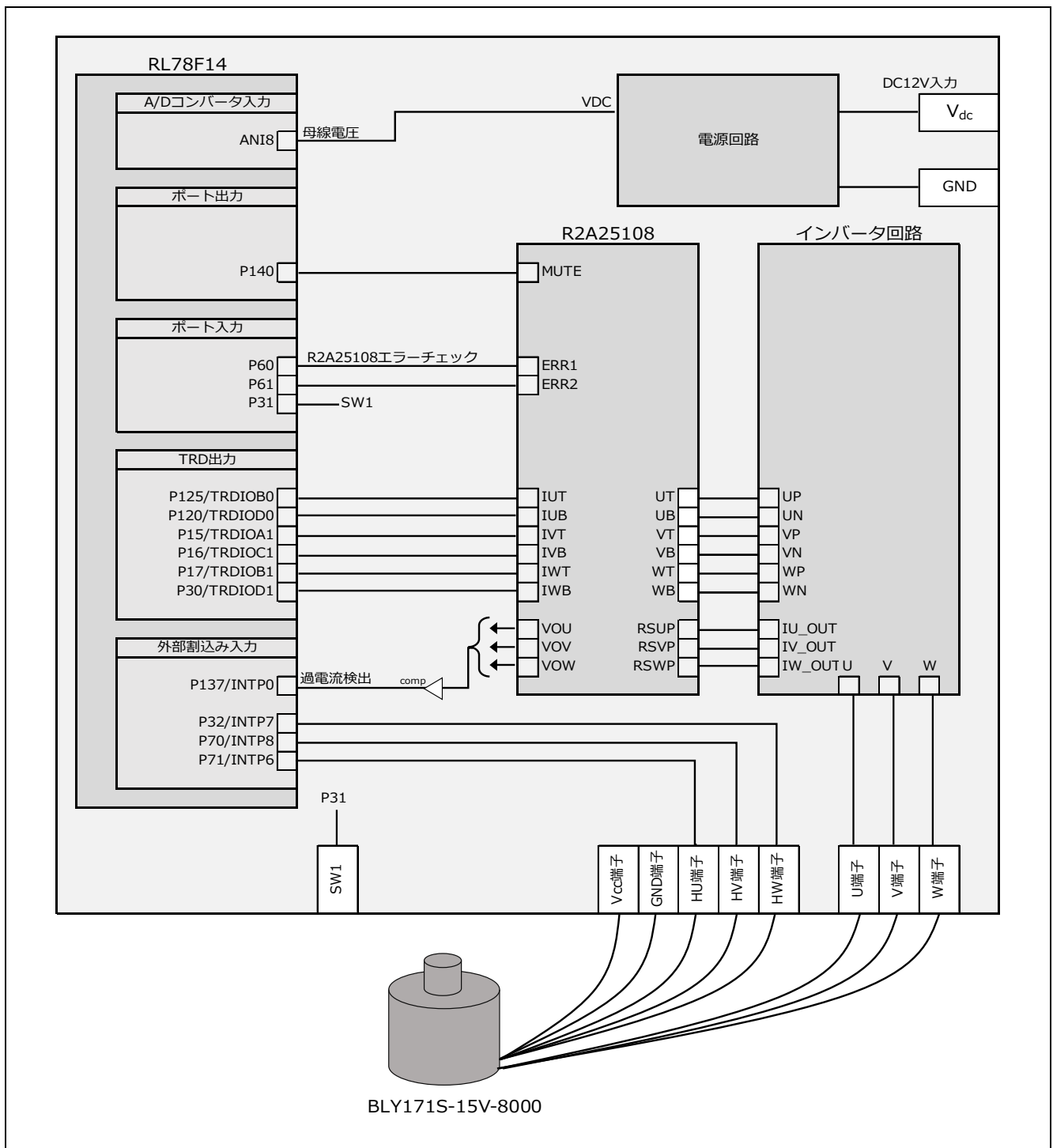
2. システム概要

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

本システムの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 使用資源

2.2.1 端子インタフェース

RL78/F14 マイクロコントローラ端子のインタフェース一覧を表 2-1 に示します。

表 2-1 端子インタフェース

端子名	機能
P71 / INTP6	ホールセンサ入力(HU)
P70 / INTP8	ホールセンサ入力(HV)
P32 / INTP7	ホールセンサ入力(HW)
P86 / AN8	VDC 電圧測定
P125 / TRDIOB0	ポート or 相補 PWM 出力(U_p)
P120 / TRDIOD0	ポート or 相補 PWM 出力(U_n)
P15 / TRDIOA1	ポート or 相補 PWM 出力(V_p)
P17 / TRDIOB1	ポート or 相補 PWM 出力(W_p)
P16 / TRDIOC1	ポート or 相補 PWM 出力(V_n)
P30 / TRDIOD1	ポート or 相補 PWM 出力(W_n)
P60	ERR1 入力
P61	ERR2 入力
P140	MUTE 入力
P31	スイッチ入力

2.2.2 周辺機能

RL78/F14 マイクロコントローラで使用する周辺機能一覧を表 2-2 に示します。

詳細は「4. 使用周辺機能説明」を参照してください。

表 2-2 周辺機能一覧

周辺機能	用途
外部割り込み (INTP6、INTP7、INTP8)	・ホールセンサ信号入力(位置検出) ・ホールセンサ読み出しと外部割り込み(両エッジ)
タイマ RD (TDR)	・相補 PWM モード使用の PWM 出力(正相 3 本、逆相 3 本)
入力ポート(P60、P61)	・エラー検知(過電圧、低電圧、過熱負荷ショート検知)
外部割り込み (INTP0)	・エラー検知(過電流)
出力ポート(P140)	・MUTE 端子制御信号出力
タイマ・アレイ・ユニット(TAU)	・1 [ms]インターバルタイマ ・回転速度計測用フリーランタイマ
A/D コンバータ (ANI8)	・バス電圧検出

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。

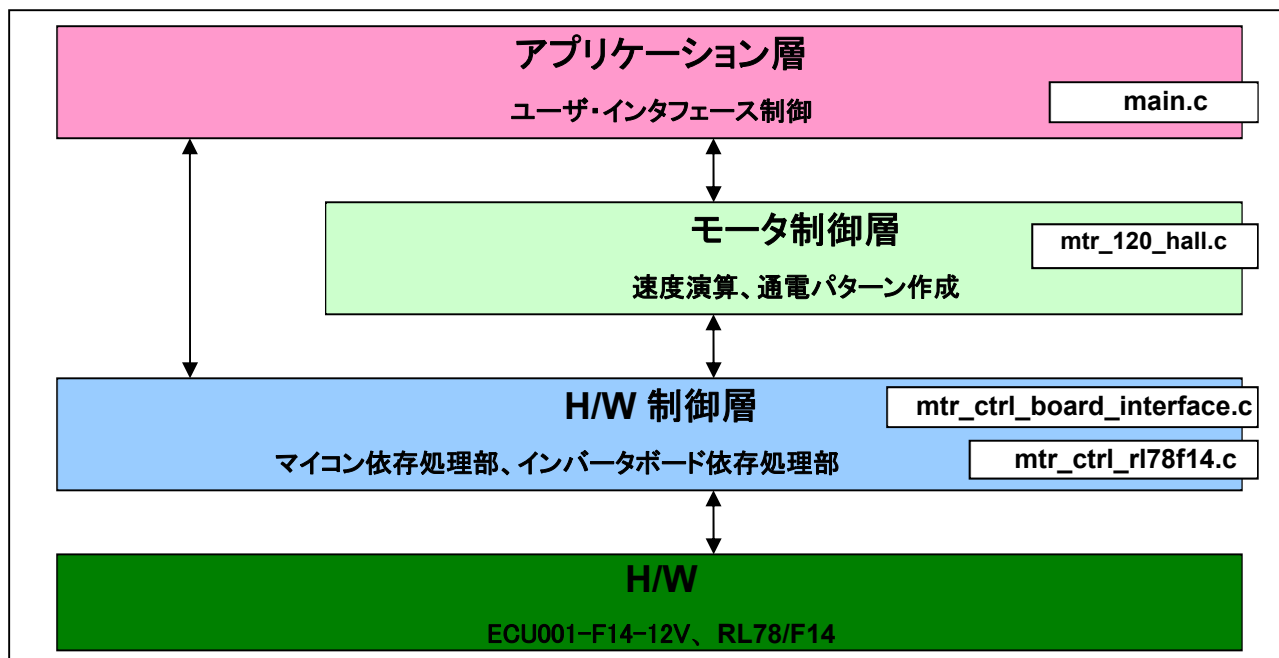
表 2-3 サンプルプログラムのフォルダとファイル構成

RL78F14_120_HALL_InterMidi	inc	main.h	メイン関数、ユーザ・インタフェース制御ヘッダ
		mtr_120_hall.h	ホールセンサ利用 120 度通電制御依存部ヘッダ
		rl78_common.h	共通定義用ヘッダ
		mtr_ctrl_board_interface.h	ボード依存処理部メイン関数、ユーザ・インタフェース制御
		mtr_ctrl_rl78f14.h	RL78/F14 依存処理部ヘッダ
		iodefine.h	SFR 定義ファイル(CGRL 向け)
	src	main.c	メイン関数、ユーザ・インタフェース制御
		mtr_120_hall.c	ホールセンサ利用 120 度通電制御依存部
		mtr_ctr_board_interface.c	ボード依存処理部メイン関数、ユーザ・インタフェース制御
		mtr_ctrl_rl78f14.c	RL78/F14 依存処理部
		mtr_interrupt.c	割り込みハンドラ
	asm	cstart.asm	スタートアップ・ルーチン
		hwinit.asm	ハードウェア初期化
		stkinit.asm	スタック初期化

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以下に記します。

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 2-4 に示します。

表 2-4 ソフトウェア基本仕様

項目	内容
制御方式	120 度通電方式 (相補)
モータ回転開始/停止	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチ入力により、回転開始する ・スイッチ長押し、もしくはエラー発生時に停止する
回転子磁極位置検出	ホールセンサによる位置検出(60 度毎)
キャリア周波数(PWM)	20 [kHz]
制御周期	<ul style="list-style-type: none"> ・ホールセンサによる位置検出毎(60 度毎) ・PWM デューティ設定と通電パターンの決定を行う
回転速度制御範囲	CW/CCW 共に 800 [rpm] ~ 5000 [rpm] (8Pole 相当品での回転数)
回転速度演算	<ul style="list-style-type: none"> ・パターン切り替え時、前回からの経過時間より回転数を算出する ・経過時間の測定にはインターバルタイマを使用する
保護停止処理	<ul style="list-style-type: none"> ・以下 2 つのうちいずれかの条件の時、モータ制御信号出力(6 本)を非アクティブにする <ol style="list-style-type: none"> 1. OverSpeed: 回転速度(電気角)が 550[Hz]33000rpm(電気角)を超過(1 [ms]毎に監視) 2. MotorLock: 駆動時、ホールセンサ割り込みが 20 [ms]間未発生 ・プリドライバからのエラー検出信号(ERR1、ERR2)入力時、モータ制御信号出力(6 本)を非アクティブにする

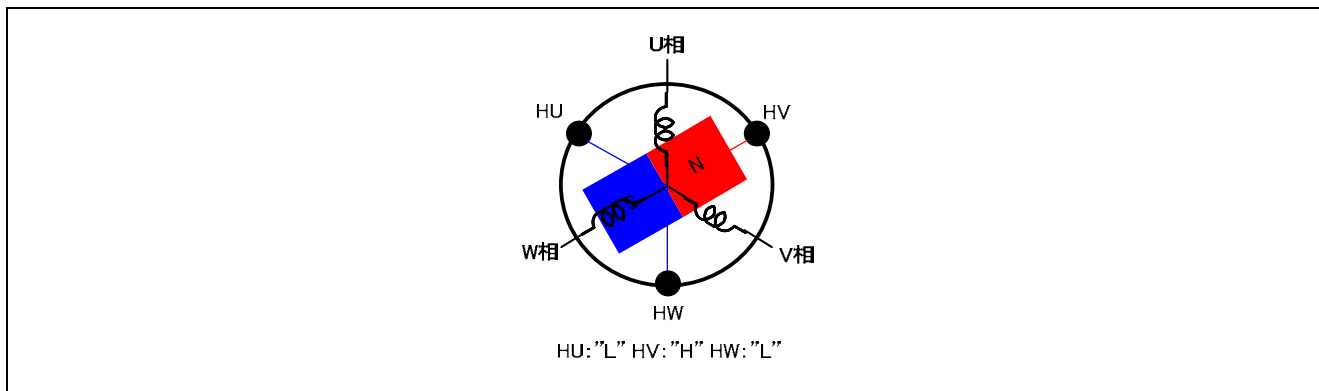
3. モータ制御方法

サンプルプログラムで用いる、BLDC モータのホールセンサ付き 120 度通電制御と速度制御について説明します。

3.1 BLDC モータのホールセンサ付き 120 度通電制御

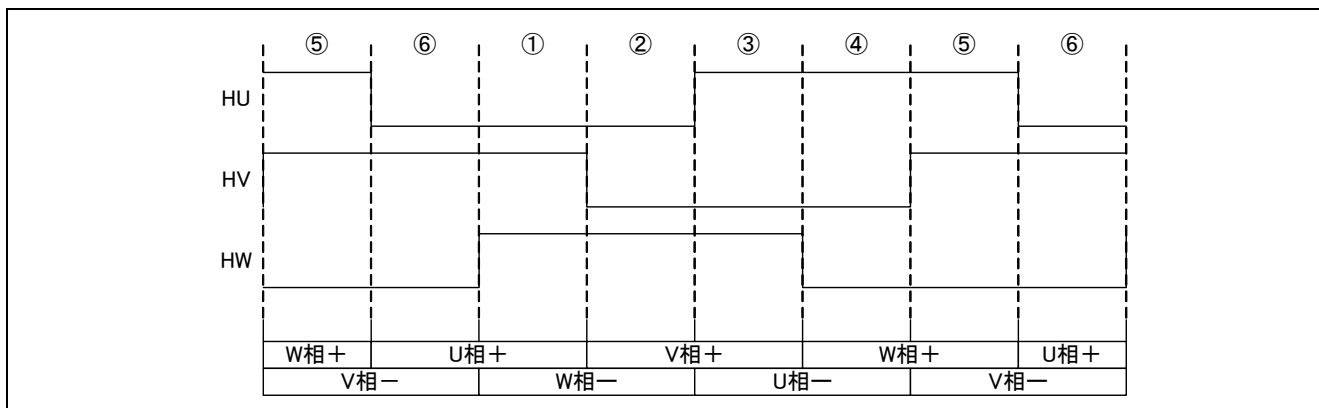
本システムでは永久磁石位置の検出にホールセンサを使用し、ホール IC からの信号(ホールセンサ信号)を位置情報としてマイコンに入力しています。

図 3-1 ホールセンサ(HU、HV、HW)の位置と位置信号の例



ホールセンサは図 3-1 のように 120 度毎に配置され、それぞれのホールセンサ信号は永久磁石の磁極の変化により切り替わります。この 3 つのホールセンサ信号を組み合わせて 60 度毎(1 周につき 6 パターン)に位置情報を得ることが出来ます。

図 3-2 ホールセンサ信号と通電パターンの関係(回転方向: CW)

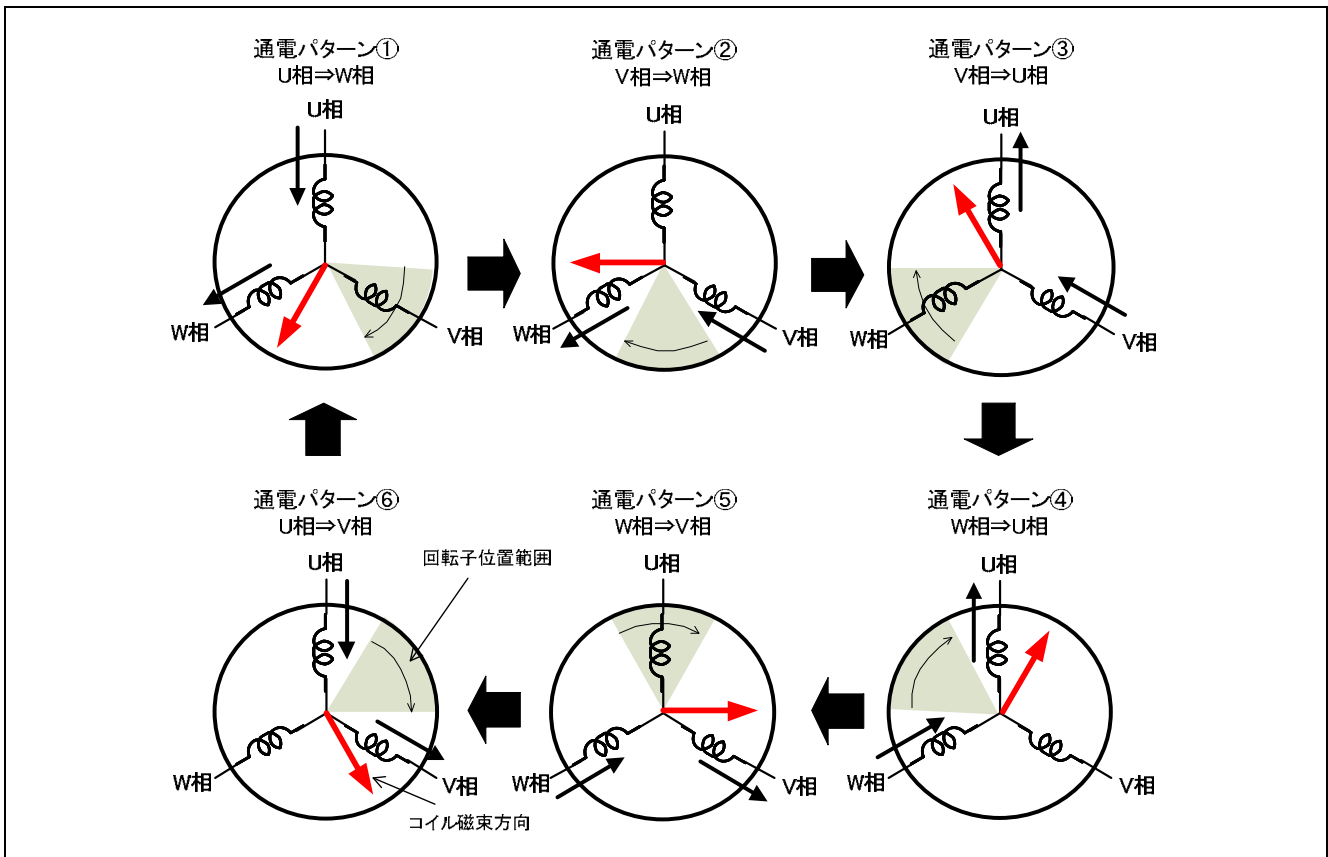


このホールセンサ信号の切り替えタイミングで図 3-2 の様に各相の通電パターンを変化させると、図 3-3 にある様な回転するコイル磁束が永久磁石との間にトルクを生じさせ、回転子は回転する事になります。

各スイッチング素子の通電期間は 120 度である事から、この制御方法を 120 度通電制御と呼びます。

上記の 6 つ通電パターンと回転子位置範囲の関係を図 3-3 に示します。

図 3-3 6つの通電パターンと回転子位置範囲



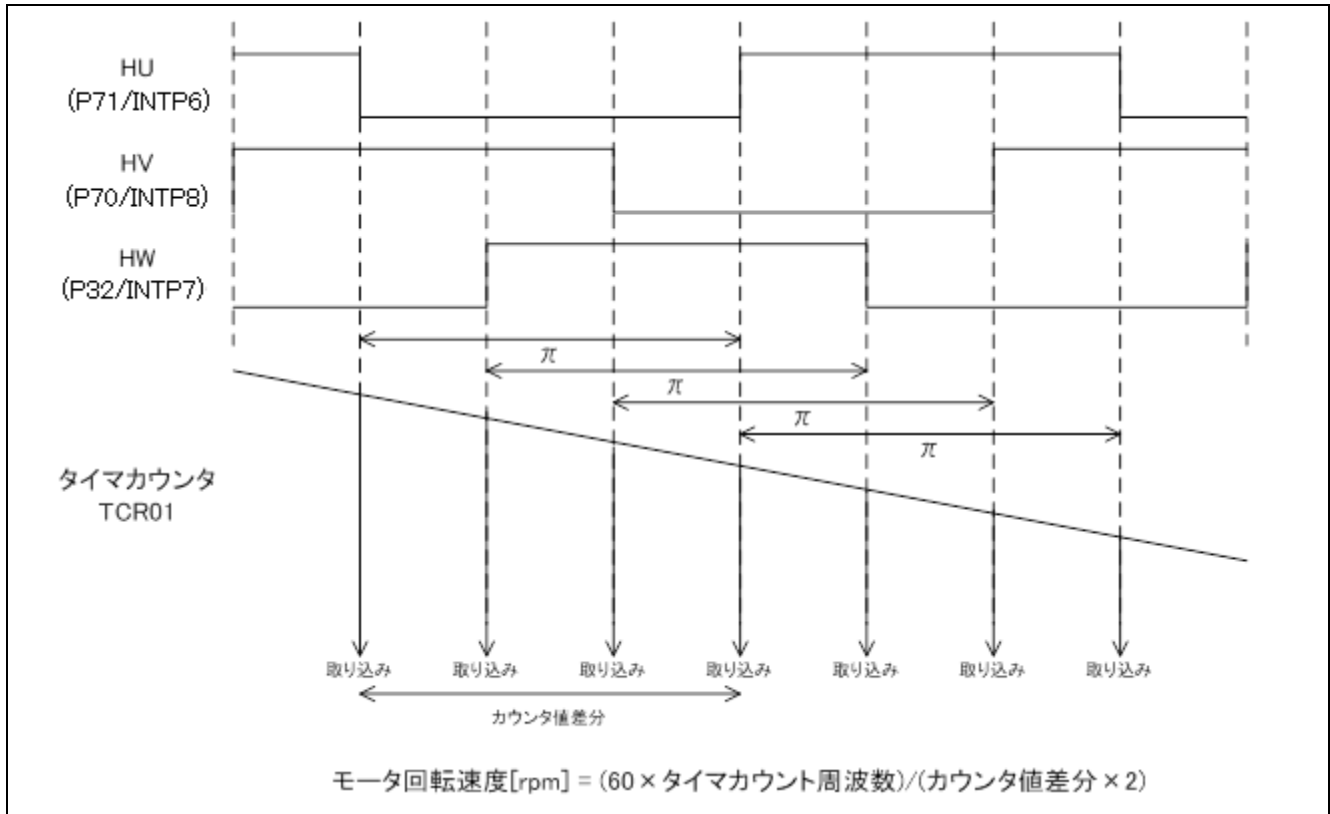
補足:

1. 図 3-3 で示したホールセンサ信号と通電パターンの関係は、本システムに合わせています。モータ仕様等が異なる場合は、システムに合った通電パターンの設定が必要になります。
2. 120 度通電制御では 1 周につき 6 種類の通電パターンしか生成しないので、原理的に必ずトルクリップルが発生します。

3.2 速度制御

本システムでのモータ回転速度は、タイマ・アレイ・ユニットのチャンネル 1 のタイマをフリーランニングさせ、ホールセンサ信号による外部割り込みルーチンでタイマ値を取り込み、 π [rad]前の取り込み値との差分から演算します。この演算手法を用いると、ホールセンサ取り付け位置が不均一な場合でも正確に回転速度を演算出来ます。

図 3-4 モータ回転速度の演算方法



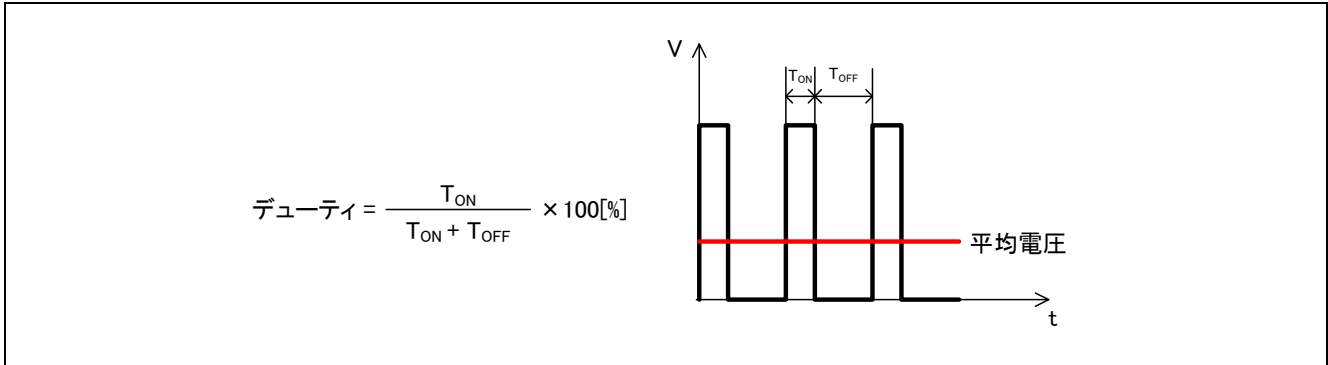
また、本システムでの速度制御は、PI 制御を用いており、任意の(離散)時間 n における指令値電圧を以下の式から算出します。

$$V[n] = V[n-1] + K_p \times (\text{err}[n] - \text{err}[n-1]) + K_i \times \text{err}[n]$$

V: 指令値電圧 err: 回転速度指令値と回転速度演算値の偏差
K_p: 比例ゲイン K_i: 積分ゲイン

さらに、出力電圧の制御には PWM 制御を使用しています。PWM 制御とは、**図 3-5** のように、パルスのデューティを変化させることで平均電圧を調整していく制御方式です。

図 3-5 PWM 制御



ここで、変調率 m を以下のように定義します。

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

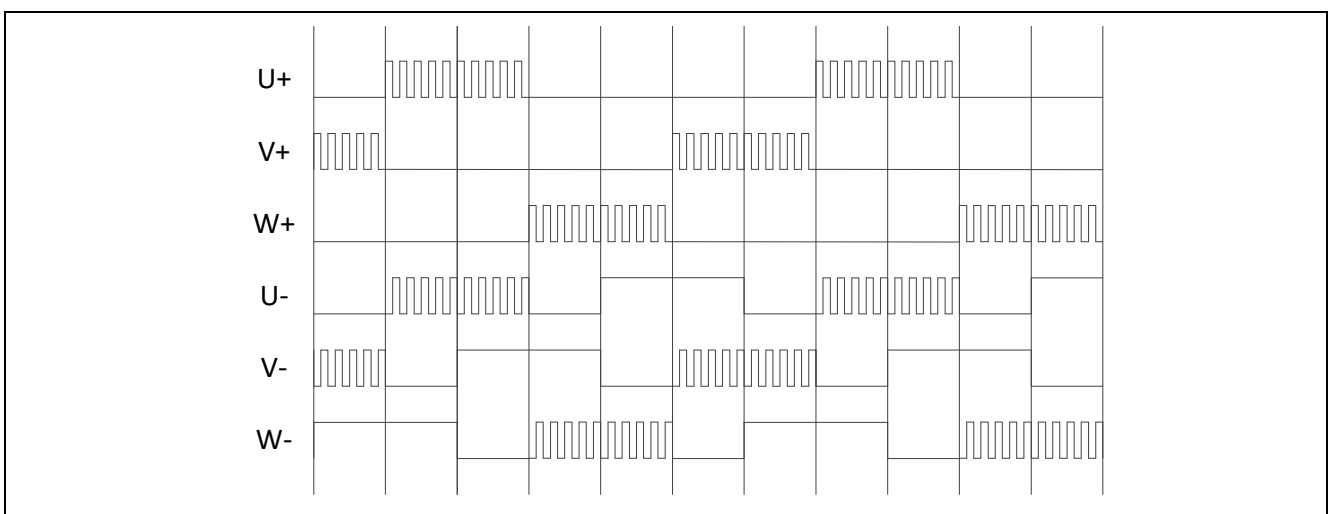
m : 変調率 V : 指令値電圧 E : インバータ母線電圧

この変調率を、PWM デューティを決めるレジスタの設定値に反映させます。

また、本システムでは、相補 PWM チョッピング(120 度)を採用し、出力電圧及び速度の制御を行っています。

図 3-6 に、相補 PWM チョッピング(120 度)時のモータ制御信号出力波形例を示します。

図 3-6 相補 PWM チョッピング(120 度)



4. 使用周辺機能説明

本システムに使用している周辺機能について説明します。

本章で説明する周辺機能を次に示します。

- ・外部割り込み機能
- ・A/D 変換機能
- ・タイマ・アレイ・ユニット TAU
- ・タイマ RD

4.1 外部割り込み機能

本システムでは、外部割り込みを表 4-1 のように設定しています。

表 4-1 外部割り込み設定内容

割り込み	項目	内容	用途
INTP6、INTP7、INTP8	有効エッジ	両エッジ	ホールセンサ信号のエッジ検出
	割り込み優先レベル	2	
INTP0	有効エッジ	立ち下がりがりエッジ	エラー検出(過電流)
	割り込み優先レベル	0	

4.2 A/D コンバータ機能

A/D コンバータは、アナログ入力をデジタル値に変換します。対象マイクロコントローラ(RL78/F14)では、10 ビットの A/D コンバータを 1 回路搭載しています。変換チャンネルを制御することで 12 チャンネルのアナログ入力をデジタル値に変換できます。

本システムでは、A/D コンバータを表 4-2 のように設定しています。

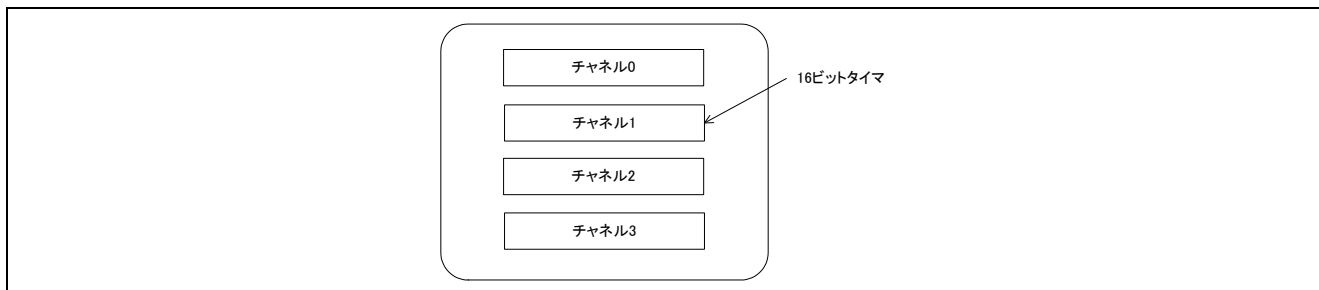
表 4-2 A/D コンバータの設定内容

チャンネル	項目	内容	変換対象
AN18	変換時間	3.563 [μ s]	VDC 電圧
	チャンネル選択モード	セレクトモード	
	変換動作モード	ワンショット変換モード	
	変換開始条件	ソフトウェアトリガ	

4.3 タイマ・アレイ・ユニット TAU 機能

タイマ・アレイ・ユニット TAU は、4 個の 16 ビット・タイマを搭載しています。各 16 ビット・タイマは「チャンネル」と呼び、それぞれを単独のタイマとして使用することはもちろん、複数のチャンネルを組み合わせて高度なタイマ機能として使用することもできます。

図 4-1 タイマ・アレイ・ユニット



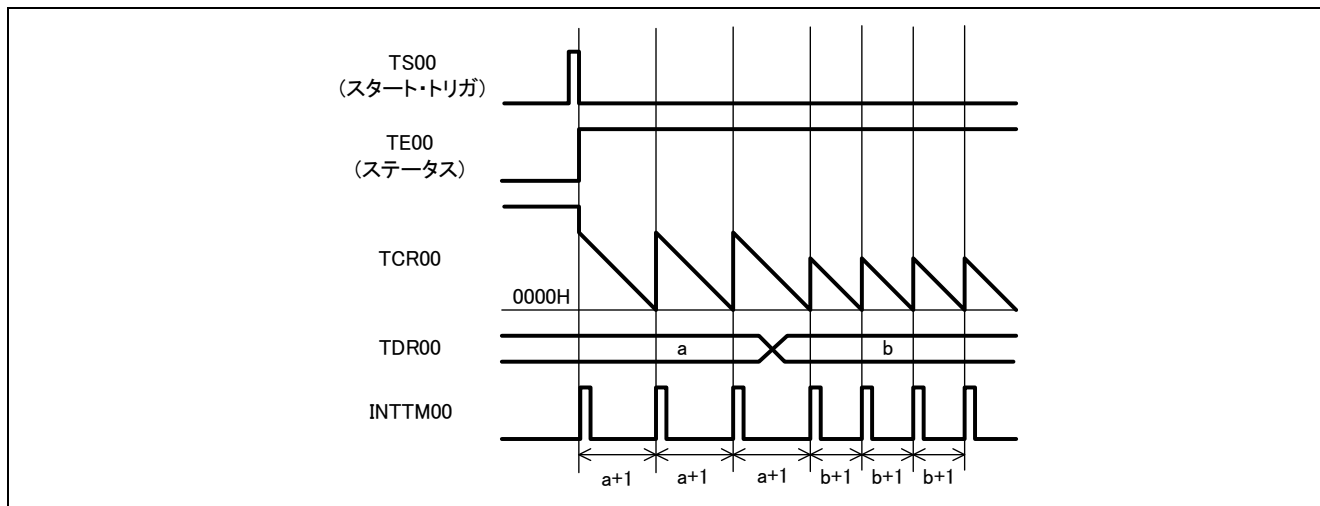
本システムではタイマ・アレイ・ユニットの表 4-3 のように設定しています。

表 4-3 タイマ・アレイ・ユニットの設定内容

チャンネル	項目	内容	用途
チャンネル 0	タイマの動作モード	インターバルタイマ機能	1 [ms]生成用タイマ
	ソースクロック	CK00	
	カウントクロック周波数	24 [MHz]	
	割り込み周期	1 [ms]	
	タイマ・データ・レジスタ 0(TDR00)設定値	$23999 (1[\text{ms}]/(1/24[\text{MHz}])) - 1$	
チャンネル 1	タイマの動作モード	インターバルタイマ機能	速度演算用タイマ
	ソースクロック	CK01	
	カウントクロック周波数	125 [kHz]	
	割り込み周期	524 [ms](未使用)	
	タイマ・データ・レジスタ 1(TDR01)設定値	65535	

また、インターバルタイマの基本タイミングは、図 4-2 の通りです。

図 4-2 インターバルタイマの基本タイミング例(チャンネル 0 の例)



4.4 タイマ RD 機能

タイマ RD は、16 ビットタイマを 2 本(タイマ RD0、タイマ RD1)持ちます。

また、タイマ RD には、以下の 4 つのモードがあります。

- ・タイマモード
- ・リセット同期 PWM モード
- ・相補 PWM モード
- ・PWM3 モード

本システムでは、タイマ RD を表 4-4 のように設定します。

表 4-4 タイマ RD 設定内容

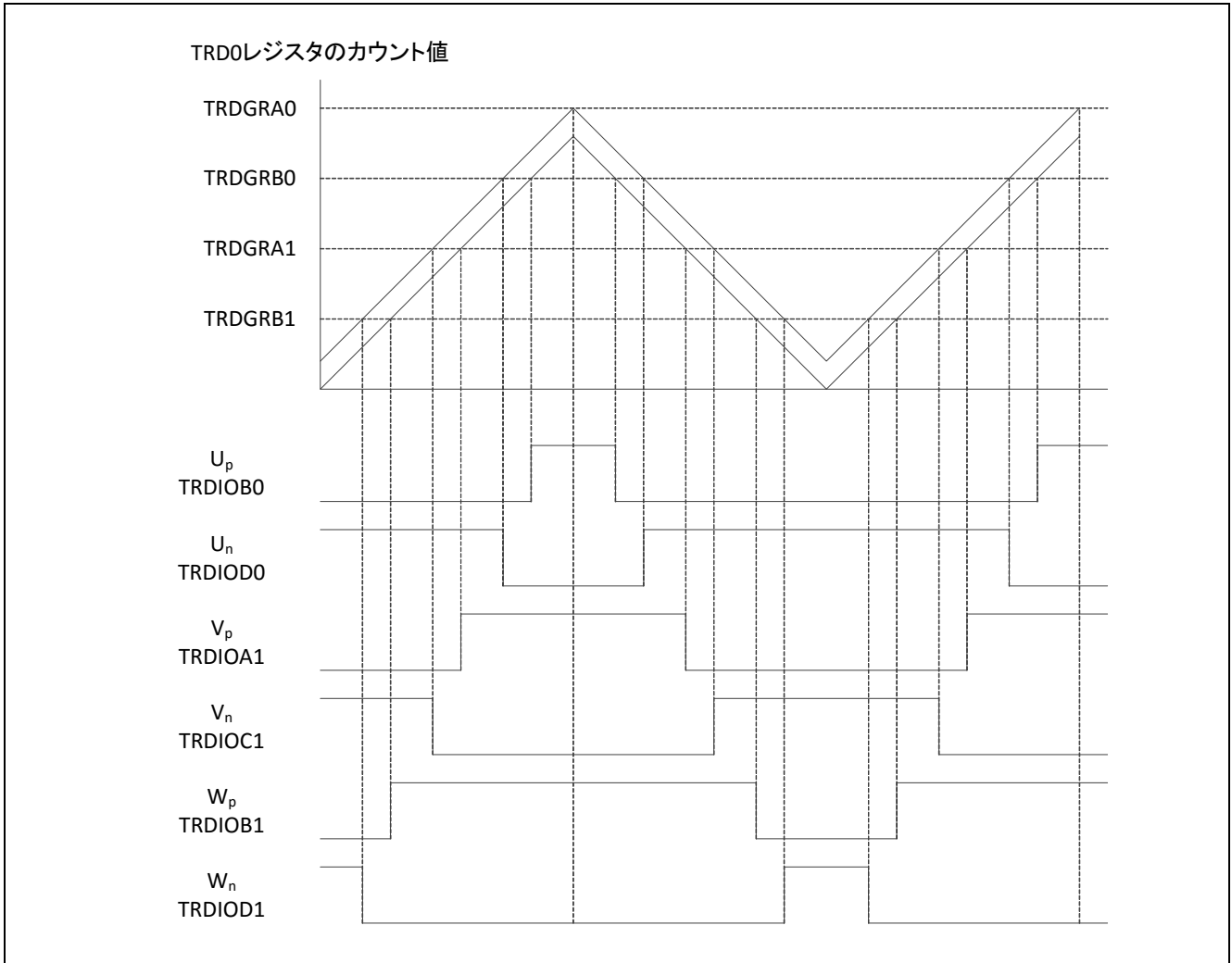
使用タイマ	項目	内容	用途
タイマ RD	使用モード	相補 PWM モード	6 相 PWM 出力
	PWM 周期	50 [μ s]	
	短絡防止時間(Dead Time)	2 [μ s]	
	カウント周波数	48 [MHz]	
	出力レベル	初期出力"Low"、アクティブレベル"High"	
	バッファ動作	あり	
	パルス出力強制遮断制御	有効 (遮断時の出力値:ハイインピーダンス出力)	
	出力端子	図 4-3 参照	

注意:

相補 PWM モードは、タイマ RD0 とタイマ RD1 のカウンタやレジスタを組み合わせで波形を出力します。

また、PWM 出力波形例を図 4-3 に示します。

図 4-3 相補 PWM モード時 PWM 出力波形例



4.5 変調率から PWM のデューティ設定へ

相補 PWM モード時のデューティの設定方法をまとめます。

まず、「3.2」の方法で求めた変調率を使用し、正相アクティブレベル幅を求め、正相アクティブレベル幅を出力する TRDGRB0、TRDGRA1、TRDGRB1 への設定値を求めます。

$$\text{正相アクティブレベル幅} = \text{PWM 周期幅} \times \text{変調率}$$

$$\text{TRDGRB0} = \text{TRDGRA1} = \text{TRDGRB1} = \text{TRDGRA1} - \text{TRD0} + 1 - \text{正相アクティブレベル幅}$$

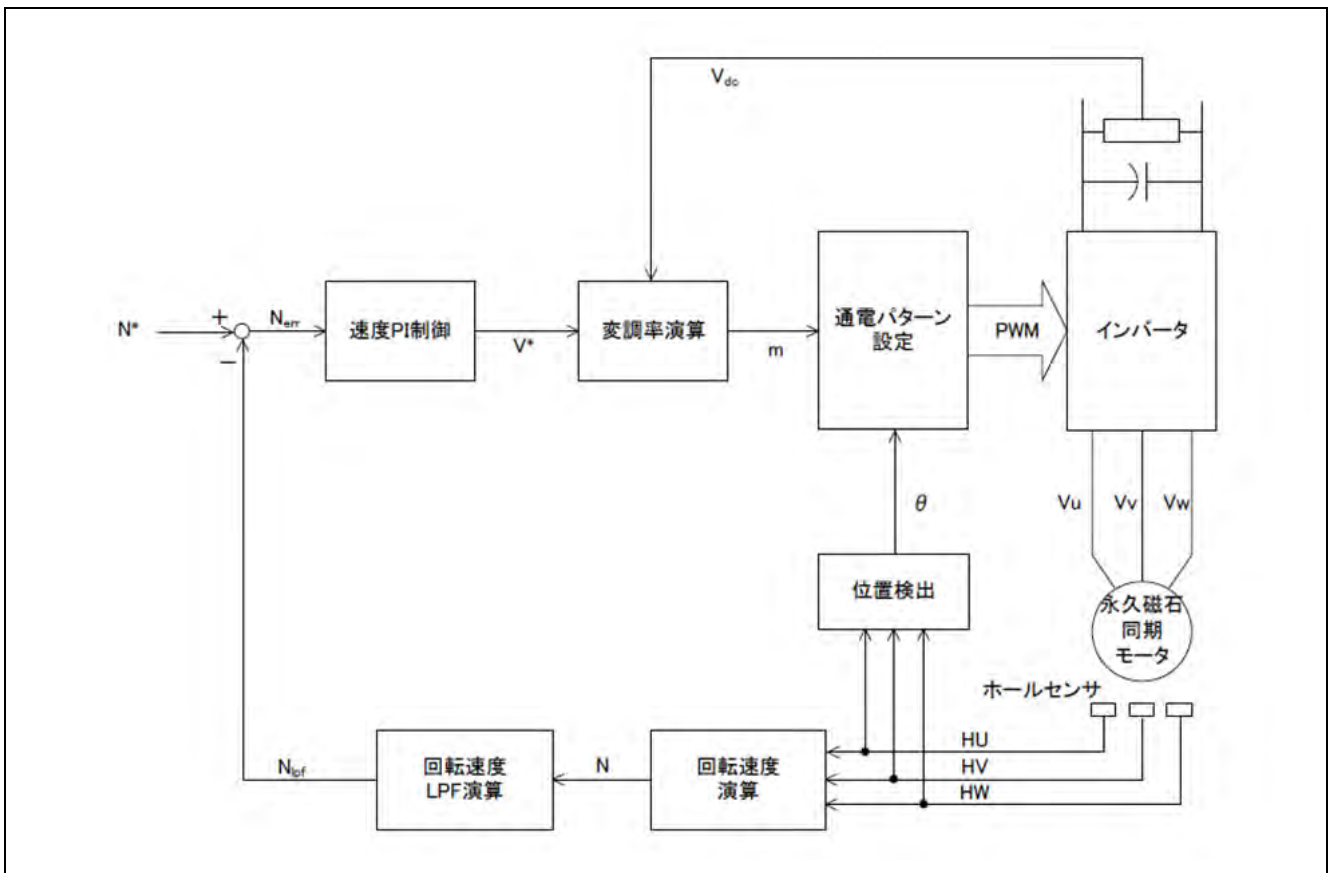
5. 制御プログラム説明

本システムの制御プログラムについて説明します。

5.1 制御ブロック図

本システムではオープンループ制御によりモータを始動し、その後は以下のブロック図に従い、制御を行っています。

図 5-1 制御ブロック図



名称	内容
N	回転速度
N_{ipf}	LPF 後回転速度
N^*	回転速度指令値
N_{err}	回転速度偏差
V^*	電圧指令値
V_{dc}	インバータ V_{dc} 電圧
m	変調率
PWM	PWM 出力信号
V_u, V_v, V_w	相電圧
HU, HV, HW	ホールセンサ
θ	回転子位置

機能構成は、以下の通りです。

(1)永久磁石位置推定

ホールセンサ信号(HU、HV、HW)の両エッジで割り込みを発生させ、その割り込み関数内でポート値を読み込むことで、永久磁石位置を検出します。マイコンに入力されるホールセンサ信号は、デジタル信号を想定しています。

(2)回転速度演算

ホールセンサ信号(HU、HV、HW)の割り込み関数内で、タイマ・カウンタ(TCR01)の値を取得し、回転速度演算を行います。回転速度演算値は、速度制御の演算に使用します。

(3)速度制御

速度指令値と回転速度演算値を用いて、速度 PI 制御を行います。速度 PI 制御の出力値は、電圧指令値として設定されます。

(4)保護停止処理

モータまたはインバータが破損することを防止します。

5.2 制御内容

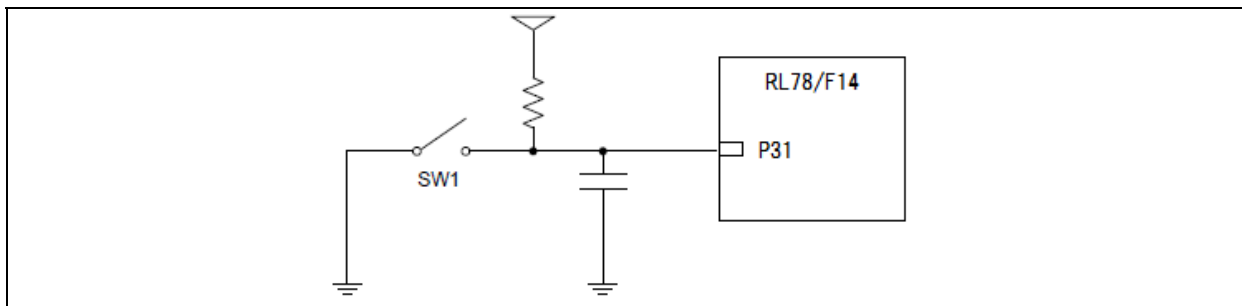
5.2.1 モータ起動／停止

モータの起動と停止は、SW1 の入力によって制御します。

汎用ポート(P31)は、SW1 にアサインされています。サンプルプログラムは、メイン・ループ内で P31 を読みます。SW1 は、短い時間押されたとき、スタートスイッチは、オンと判定されます。これに対して SW1 を長い時間押された時、プログラムは、モータを停止させます。

モータが回っている間に SW1 を押すとき、ソフトウェアによって回転数コマンド値は変化します。

図 5-1 スタートスイッチ外部回路の概念図



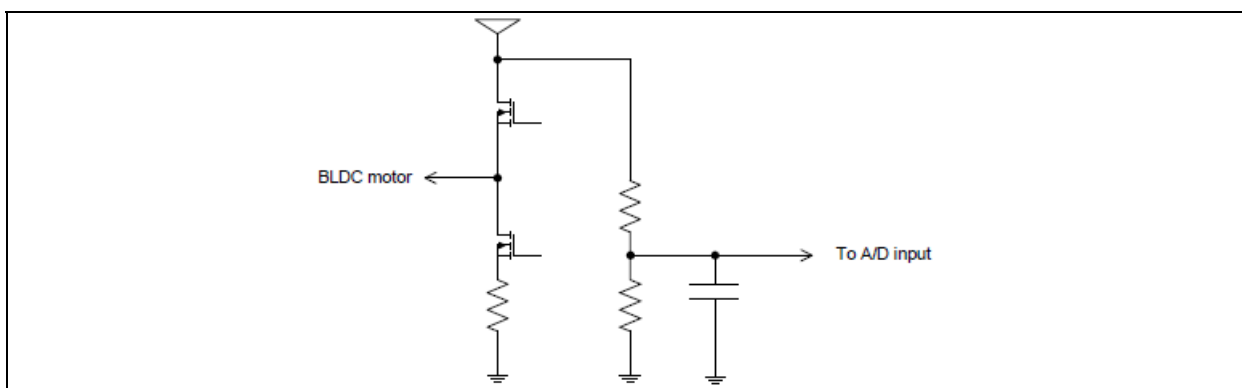
5.2.2 インバータ バス電圧

インバータ バス電圧は、表5-1のように測定されます。変換計算された要因は、過電圧の検出に使用されます。(過電圧検出した場合、PWMは停止されます)

表5-1 インバータ バス電圧の変換比

項目	変換比(インバータ電圧 V_{dc} : A/D変換値)	チャンネル
インバータ バス電圧	0 [V] ~26 [V] : 000H to 03FFH	ANI8

図 5-2 インバータ電圧の外部回路の概念図



5.2.3 回転速度演算

回転速度は、ホールセンサ信号による外部割り込みとフリーランタイム(TAU チャンネル 01)を使用して計算します。ホールセンサ割り込みルーチンで、フリーランタイムのカウンタ値を取得し、前回との差分を求め、その値から次式による速度演算を行います。

$$\text{回転速度(N)} = (60 \times 125 \text{ [kHz]}) / \{(\pi \text{ [rad] 前のカウンタ値} - \text{現在のカウンタ値}) \times 2\}$$

備考:

1. 125 [kHz] =(フリーランタイムのカウントクロック周波数)
2. (×2)は取得区間が推定 π [rad]のため

さらに、本システムでは、速度演算結果に対して LPF(加重移動平均)処理を行います。

5.2.4 速度 PI 制御

本システムでは、ホールセンサ割り込み間に複数回 PI 制御が行われることを避けるために、速度 PI 制御は 5 [ms]周期で行います。

電圧指令値(V*)は以下の式により作成します。

比例(P)項: $K_p \times (\text{現在の回転速度偏差} - \text{前回の回転速度偏差})$

積分(I)項: $K_i \times (\text{現在の回転速度偏差})$

電圧指令値(V*) = 前回の電圧指令値 + 比例項 + 積分項

備考:

1. 比例ゲイン(K_p) : 0.0001
2. 積分ゲイン(K_i) : 0.00001

K_p 、 K_i の値は、使用するシステムに依存します。

PI 制御の詳細については、専門書を参照してください。

5.2.5 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。

・プリドライバエラー

プリドライバボードからのエラー検出入力(ERR1、ERR2)により、過電圧検知、低電圧検知、天絡検知を検出した時に、CPU によって緊急停止します。

ERR1 は P60 端子、ERR2 は P61 端子を使用します。外部通知エラーの種別と各端子の組み合わせは、表 5-2 の通りです。

表 5-2 外部通知エラー種別

検知エラー種別	ERR1(P60)	ERR2(P61)
過電圧検知	Low	High
低電圧検知	Low	Low
天絡／地絡検知	High	Low
異常なし	High	High

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)。INTPO 端子を使用しています。

・回転速度異常エラー

1 [ms]間隔で回転速度演算値を監視し、回転速度異常値(33000 [rpm](電気角)を超えた場合)を検出した時に、CPU によって緊急停止します。

・タイムアウトエラー

一定時間(20 [ms])ホールセンサ割り込みが発生しない場合、CPU によって緊急停止します。

・ホールセンサ信号パターンエラー

ホールセンサ割り込み処理毎にホールセンサ信号のパターンを監視し、エラーパターン(000(b), 111(b))を検出した場合、CPU によって緊急停止します。(All Low/ALL High のパターン検出)

5.3 システム・リソース

5.3.1 割り込み

本制御プログラムで使用する割り込みの一覧を次に示します。

表 5-3 割り込みリソース

割り込み	割り込みハンドラ	割り込み発生条件	主な機能
キャリア同期割り込み (INTTRD0)	void mtr_carrier_interrupt(void)	50 [μ s](20 [kHz])	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼロクロス検出処理 ・通電パターン切り替え ・回転速度演算 ・モータ停止判定カウンタ値クリア
ホールセンサ割り込み (INTP6,INTP7,INTP8)	void mtr_hall_interrupt(void)	ホールセンサエッジ検出	<ul style="list-style-type: none"> ・回転数計算 ・モータ停止カウンタ値クリア ・通電パターン設定
インターバルタイマ割り込 (INTTM00)	void mtr_tau0_interrupt(void)	1 [ms](1 [kHz])	<ul style="list-style-type: none"> ・速度 PI 制御 ・エラー監視 ・制御開始時間計測
過電流エラー検出割り込み (INTP0)	void mtr_over_current_interrupt(void)	エラー検出(過電流)	<ul style="list-style-type: none"> ・エラー検知(過電流検知)

5.3.2 ポート機能

本制御プログラムで使用するポート機能の一覧を次に示します。

表 5-4 ポート機能

入出力	ポート番号	機能	備考
入力	INTP6/P71	ホールセンサ信号割り込み入力(HU)	両エッジ検出を行う
	INTP8/P70	ホールセンサ信号割り込み入力(HV)	
	INTP7/P32	ホールセンサ信号割り込み入力(HW)	
	P31	スイッチ入力	モータの ON/OFF
	P60	ERR1 端子入力	ブリドライバからのエラー
	P61	ERR2 端子入力	
	INTP0/P137	過電流検出入力	
出力	P42	MUTE 端子制御信号出力	Pre-Driver コントロール
	P125	U 相上アームモータ制御信号ポート出力(Up)	論理設定は"High"アクティブ
	P120	U 相下アームモータ制御信号ポート出力(Un)	
	P15	V 相上アームモータ制御信号ポート出力(Vp)	
	P16	V 相下アームモータ制御信号ポート出力(Vn)	
	P17	W 相上アームモータ制御信号ポート出力(Wp)	
	P30	W 相下アームモータ制御信号ポート出力(Wn)	

5.3.3 PWM 出力部

本制御プログラムで使用する PWM 出力部の一覧を次に示します。

表 5-5 PWM 信号

入出力	出力端子	機能	備考
出力	TRDIOB0	U 相上アームモータ制御信号 PWM 出力(U _p)	論理設定は"High"アクティブ
	TRDIOD0	U 相下アームモータ制御信号 PWM 出力(U _n)	
	TRDIOA1	V 相上アームモータ制御信号 PWM 出力(V _p)	
	TRDIOC1	V 相下アームモータ制御信号 PWM 出力(V _n)	
	TRDIOB1	W 相上アームモータ制御信号 PWM 出力(W _p)	
	TRDIOD1	W 相下アームモータ制御信号 PWM 出力(W _n)	

5.3.4 A/D コンバータ入力信号と使用チャネル

本制御プログラムで使用する A/D コンバータ入力のチャネルを次に示します。

表 5-6 A/D converter settings

チャネル	測定信号	セッティング値のレンジ	備考
ANI8	Inverter bus voltage	26 [V] / 5 [V]	過電圧保護計算モジュレーション

5.4 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 5-7 制御関数一覧(1/3)

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"> ・ハードウェア初期化関数呼び出し ・ユーザ インタフェース初期化関数呼び出し ・メイン処理使用変数初期化関数呼び出し ・状態遷移及びイベント実行関数呼び出し ・メイン処理 <ul style="list-style-type: none"> ⇒メイン処理実行関数呼び出し ⇒ウォッチドッグタイマクリア関数呼び出し
	ctrl_ui() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・モータステータスの変更 ・回転速度指令値と回転方向の決定
	software_init() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・メイン処理にて使用する変数の初期化
	check_sw() 入力:sw_mode 出力:sw_mode	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチ状態の取得とスイッチモードの決定
	change_ref_speed_in_stages() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・速度指令値の段階的な変更
mtr_ctrl_board_interface.c	get_sw1() 入力:なし 出力:(uint8) tmp_port / SW1 のレベル	<ul style="list-style-type: none"> ・SW1 の状態を取得
mtr_interrupt.c	mtr_hall_interrupt() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・出力パターン決定関数呼び出し
	mtr_over_current_interrupt() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・イベント設定 ・エラー状態
	mtr_tau0_interrupt() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・エラーチェック関数呼び出し ・5 [ms]毎に速度 PI 制御関数呼び出し ・オープンループ始動制御
	mtr_carrier_interrupt() 入力:なし 出力:なし	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼロクロス検出関数呼び出し ・コンペアー 致フラグ(IMFA)クリア関数呼び出し

表 5-7 制御関数一覧(2/3)

ファイル名	関数概要	処理概要
mtr_120_hall.c	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:(uint8)u1_event / 発生イベント 出力:なし	・ステータスの変更を行う ・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
	mtr_act_run() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・モータ起動時変数初期化関数呼び出し ・モータ制御開始関数呼び出し ・出力パターン決定関数呼び出し
	mtr_act_stop() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・モータ制御終了関数呼び出し
	mtr_act_none() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・処理はなし
	mtr_act_reset() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・グローバル変数の初期化 ・モータ停止待ち
	mtr_act_error() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・モータ制御終了関数呼び出し
	mtr_pattern_set() 入力:(uint8)u1_state / モータステータス 出力:(uint8)u1_state / モータステータス	・速度計測関数呼び出し ・通電パターンの決定 ・モータ制御信号作成関数呼び出し
	mtr_speed_calc() 入力:なし 出力:なし	・速度計測演算処理
	mtr_start_init() 入力:なし 出力:なし	・モータ起動時に必要な変数だけ初期化
	mtr_pi_ctrl_speed() 入力:なし 出力:なし	・速度 PI 制御
	R_MTR_SetSpeed() 入力:(int16)ref_speed / 回転速度指令値 出力:なし	・回転速度指令値の設定
	R_MTR_SetDir() 入力:(uint8)dir / 回転方向指令値 出力:なし	・回転方向の設定
	R_MTR_GetSpeed() 入力:なし 出力:(int16)g_s2_rpm / 回転速度演算値	・回転速度演算値(電気角)の取得
	R_MTR_GetStatus() 入力:なし 出力:(uint8)g_u1_mode_system / モータステータス	・モータステータスを取得
	mtr_error_check() 入力:なし 出力:なし	・エラーの監視と検出
	mtr_25108_err() 入力:なし 出力:なし	・エラー検知(過電圧/加熱、低電圧、天絡/地絡検知)

表 5-7 制御関数一覧(3/3)

ファイル名	関数概要	処理概要
mtr_ctrl_rl78f14.c	R_MTR_InitHardware() 入力:なし 出力:なし	・各初期化関数の呼び出し
	R_MTR_InitClock() 入力:なし 出力:なし	・クロックの初期化
	R_MTR_InitIoPort() 入力:なし 出力:なし	・I/O ポートの初期化
	R_MTR_InitTAU() 入力:なし 出力:なし	・タイマ・アレイ・ユニットの初期化
	R_MTR_InitTRD() 入力:なし 出力:なし	・タイマ RD の初期化
	R_MTR_InitADC() 入力:なし 出力:なし	・A/D コンバータの初期化
	R_MTR_InitExtInt() 入力:なし 出力:なし	・外部割込みの初期化
	init_ui() 入力:なし 出力:なし	・ユーザ使用周辺機能の初期化
	mtr_ctrl_start() 入力:なし 出力:なし	・TAU0 カウント開始
	mtr_ctrl_stop() 入力:なし	・タイマ RD 出力停止 ・TAU0 カウント停止 ・モータ制御出力ポートを非アクティブに設定 ・モータ回転停止待ち
	mtr_ctrl_error() 入力:なし 出力:なし	・タイマ RD 出力停止 ・モータ制御出力ポートを非アクティブに設定 ・TAU0 カウント停止
	mtr_change_pattern() 入力:(uint8)pattern / 通電パターン 出力:なし	・出力パターンの設定 ・出力パターンエラー時にモータステータス変更 ・イベント処理選択関数呼び出し
	mtr_get_adc() 入力:(uint8)ad_ch / 変換チャネル 出力:(int16)s2_temp / A/D 変換結果	・AD 変換を行い結果出力
	clear_wdt() 入力:なし 出力:なし	・ウォッチドッグタイマクリア
mtr_clear_trd0_imfa() 入力:なし 出力:なし	・コンペアマッチフラグ(IMFA)クリア	

5.5 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。ただし、ローカル変数は記載していません。

表 5-8 変数関数一覧

変数名	型	内容	備考
g_u1_cnt_speed_pi	uint8	速度PI制御用割り込み間引き数カウンタ	速度PI制御周期5 [ms]をカウント
g_s2_pwm_duty	int16	タイマRDコンペアレジスタ設定値	
g_u2_cnt_openloop_mode	uint16	オープンループモード時間カウンタ	
g_u2_cnt_wait_stop	uint16	モータ停止待ちカウンタ	モータ停止待ちをカウント
g_u1_flg_wait_stop	uint8	モータ停止待ちフラグ	0:モータ停止待ちではない 1:モータ停止待ち
g_u2_run_mode	uint16	運転モード管理	1:オープンループモード 2:通常運転モード
g_u1_error_status	uint8	エラーステータス管理	1: 過電流検知エラー 2: 過電圧検知エラー 3: 回転速度異常エラー 4: タイムアウトエラー 5: ホールセンサパターナエラー 7: 低電圧検知エラー 8: 天絡/地絡検知エラー (0xff: 未定義エラー)
g_u1_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

5.6 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 5-9 マクロ関数一覧(1/6)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
main.h	SW_ON	0	“SW アクティブレベル
	SW_OFF	1	“SW インアクティブレベル
	SW_MODE_NONE	0	“SW not push
	SW_MODE_SHORT	1	“SW short push
	SW_MODE_LONG	2	“SW long push
	CHATTERING_CNT	100	チャタリング除去
	PUSH_CNT	0xF000	長押し判定用
	PUSH_CNT_CLR	0	0 クリア用
	SOFT_STOP_SPEED	0	停止時 0 クリア用
	SOFT_MIN_SPEED	0	回転速度指令最小値(機械角) [rpm]
	SOFT_MAX_SPEED	3000	回転速度指令最大値(機械角) [rpm]
	SOFT_DIFF_SPEED	500	加減速差分値(機械角) [rpm]
	REF_SPEED_DECEL	0	減速
	REF_SPEED_ACCEL	1	加速

表 5-9 マクロ関数一覧(2/6)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
mtr_ctrl_rl8f14.h	MTR_PWM_TIMER_FREQ	48.0	TRD 周波数[MHz]
	MTR_TAU1_FREQ	93750	タイマ・アレイ・ユニットチャンネル 1 カウント周波数 [Hz]
	MTR_PORT_MODE_HALL_U	PM7.1	U 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_MODE_HALL_V	PM7.0	V 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_MODE_HALL_W	PM3.2	W 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_HALL_U	P7.1	U 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_HALL_V	P7.0	V 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_HALL_W	P3.2	W 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_PULLUP_HALL_U	PU7.1	U 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_PULLUP_HALL_V	PU7.0	V 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_PULLUP_HALL_W	PU3.2	W 相ホールセンサ入力ポート
	MTR_PORT_MODE_CTL_HALL_U	PMC7.1	ポートモードコントロール
	MTR_PORT_MODE_CTL_HALL_V	PMC7.0	ポートモードコントロール
	MTR_PORT_MODE_UP	PM12.5	U 相(正相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_UN	PM12.0	U 相(逆相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_VP	PM1.5	V 相(正相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_VN	PM1.6	V 相(逆相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_WP	PM1.7	W 相(正相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_WN	PM3.0	W 相(逆相)出力ポートモード
	MTR_PORT_MODE_CTL_UP	PMC12.5	ポートモードコントロール
	MTR_PORT_MODE_CTL_UN	PMC12.0	ポートモードコントロール
	MTR_PORT_UP	P12.5	U 相(正相)出力ポート
	MTR_PORT_UN	P12.0	U 相(逆相)出力ポート
	MTR_PORT_VP	P1.5	V 相(正相)出力ポート
	MTR_PORT_VN	P1.6	V 相(逆相)出力ポート
	MTR_PORT_WP	P1.7	W 相(正相)出力ポート
	MTR_PORT_WN	P3.0	W 相(逆相)出力ポート

表 5-9 マクロ関数一覧(3/6)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
mtr_ctrl_rl8f14.h	MTR_TAU1_CNT	TCR01	速度計測用タイマカウントレジスタ
	MTR_PORT_MODE_MUTE	PM14.0	MUTE 出力ポート
	MTR_PORT_MUTE	P14.0	MUTE 出力ポート
	MTR_PORT_MODE_ERR1	PM6.0	ブリドライバエラー信号 1
	MTR_PORT_MODE_ERR2	PM6.1	ブリドライバエラー信号 2
	MTR_PORT_ERR1	P6.0	ブリドライバエラー信号 1
	MTR_PORT_ERR2	P6.1	ブリドライバエラー信号 2
	MTR_PORT_PULLUP_ERR1	PU6.0	ブリドライバエラー信号 1
	MTR_PORT_PULLUP_ERR2	PU6.1	ブリドライバエラー信号 2
	MTR_PORT_MODE_SW1	PM3.1	SW1 入力ポート
	MTR_PORT_SW1	P3.1	SW1 入力ポート
	MTR_PORT_PULLUP_SW1	PU3.1	SW1 入力ポート
	MTR_PORT_MODE_ADCCH_VDC	PM8.6	AD 入力ポート (VDC)
	MTR_ADCCH_VDC	8	Vdc 電圧
	MTR_MAX_VDC	12	指令電圧リミット [V]
	MTR_VDC_RESOLUTION	26/1023	Vdc スケーリングデータ

表 5-9 マクロ関数一覧(4/6)

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
mtr_120_hall.h	MTR_CARRIER_FREQ	20	キャリア周波数[kHz]
	MTR_DEADTIME_US	2	PWM デッド・タイム[us]
	MTR_START_DUTY	9	PWM 初期 duty 比率 [%]
	MTR_PATTERN_CW_U_V	5	CW 仮想ホールセンサ値
	MTR_PATTERN_CW_U_W	4	
	MTR_PATTERN_CW_V_W	6	
	MTR_PATTERN_CW_V_U	2	
	MTR_PATTERN_CW_W_U	3	
	MTR_PATTERN_CW_W_V	1	
	MTR_PATTERN_CCW_U_V	2	
	MTR_PATTERN_CCW_W_V	6	
	MTR_PATTERN_CCW_W_U	4	
	MTR_PATTERN_CCW_V_U	5	
	MTR_PATTERN_CCW_V_W	1	
	MTR_PATTERN_CCW_U_W	3	
	MTR_SPEED_PI_DECIMATION	4	速度 PI 制御用割り込み間引き数
	MTR_SPEED_PI_KP	0.0001	比例項ゲイン
	MTR_SPEED_PI_KI	0.00001	積分項ゲイン
	MTR_AVG_OLD	0.3	LPF 前回値フィルタ係数
	MTR_SPEED_LIMIT	33000	速度異常エラー判定値(電気角) [rpm]
	MTR_OVERVOLTAGE_LIMIT	15	過電圧検出閾値[V]
	MTR_TIMEOUT_CNT	20	停止判定時間 [ms]
	MTR_START_CNT	200	起動後制御開始時間 [ms]
	MTR_CARRIER_SET	$(1000 / \text{MTR_CARRIER_FREQ} * \text{MTR_PWM_TIMER_FREQ} - 1)$	キャリア周波数設定値
	MTR_PWM_DEAD_TIME	$(\text{MTR_PWM_TIMER_FREQ} * \text{MTR_DEADTIME_US})$	デッド・タイム設定値
	MTR_START_DUTY_SET	$((((\text{MTR_CARRIER_SET} + 1) / 100) * \text{MTR_START_DUTY}) / 2) + \text{MTR_PWM_DEAD_TIME} - 1)$	PWM duty 設定レジスタ初期値
	MTR_PWM_PERIOD	$(((\text{MTR_CARRIER_SET} + 1) / 2) + \text{MTR_PWM_DEAD_TIME})$	PWM ペリオド値
	MTR_RATE_DUTY	$(\text{MTR_START_DUTY} / 100)$	初期 duty 比
	MTR_MAX_PWM_DUTY	$((((\text{MTR_CARRIER_SET} + 1) / 100) * 95) - 1)$	duty 上限 limit 値 (95%)
	MTR_MIN_PWM_DUTY	$((((\text{MTR_CARRIER_SET} + 1) / 100) * 5) - 1)$	duty 下限 limit 値 (5%)
MTR_RPM_CALC_BASE	$60 * \text{MTR_TAU1_FREQ} / 2$	速度計測用定数	

表 5-9 マクロ関数一覧(5/6)

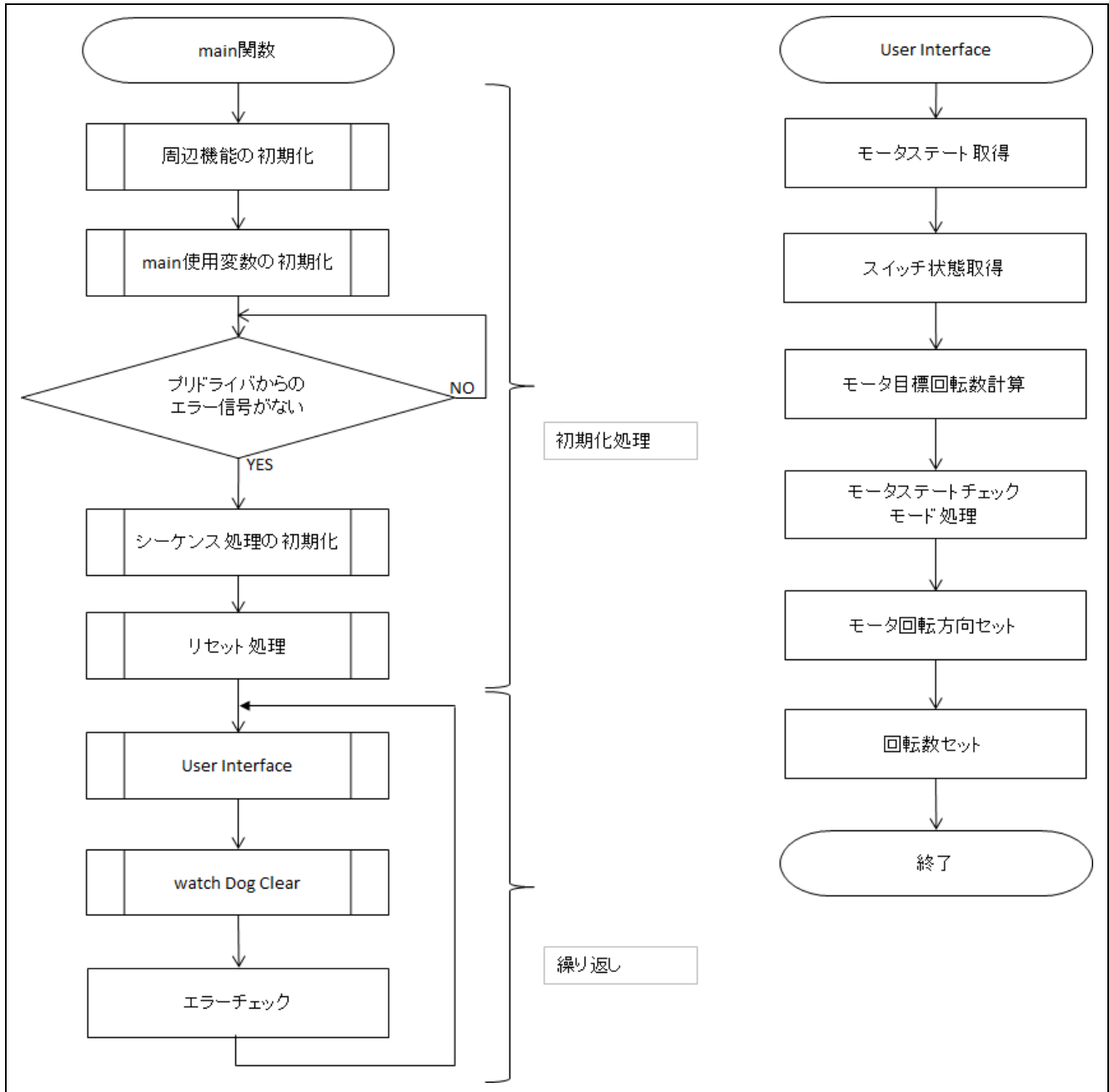
ファイル名	マクロ名	定義値	備考
mtr_120_hall.h	MTR_PATTERN_ERROR	0	通電パターン
	MTR_U_PWM_VN_ON	1	
	MTR_V_PWM_WN_ON	2	
	MTR_W_PWM_UN_ON	3	
	MTR_U_PWM_WN_ON	4	
	MTR_V_PWM_UN_ON	5	
	MTR_W_PWM_VN_ON	6	
	MTR_CW	0	回転方向設定値: CW
	MTR_CCW	1	回転方向設定値: CCW
	MTR_AVG_NEW	1 - MTR_AVG_OLD	LPF 現在値フィルタ係数
	MTR_OVERSIZE_LIMIT	115	速度偏差最小値
	MTR_FLG_CLR	0	フラグクリア用定数
	MTR_FLG_SET	1	フラグセット用定数
	MTR_STOP_WAIT_CNT	200	停止待ち時間 [ms]
	MTR_POLE_PAIR	4	極対数補正用定数(8 極)

表 5-9 マクロ関数一覧(6/6)

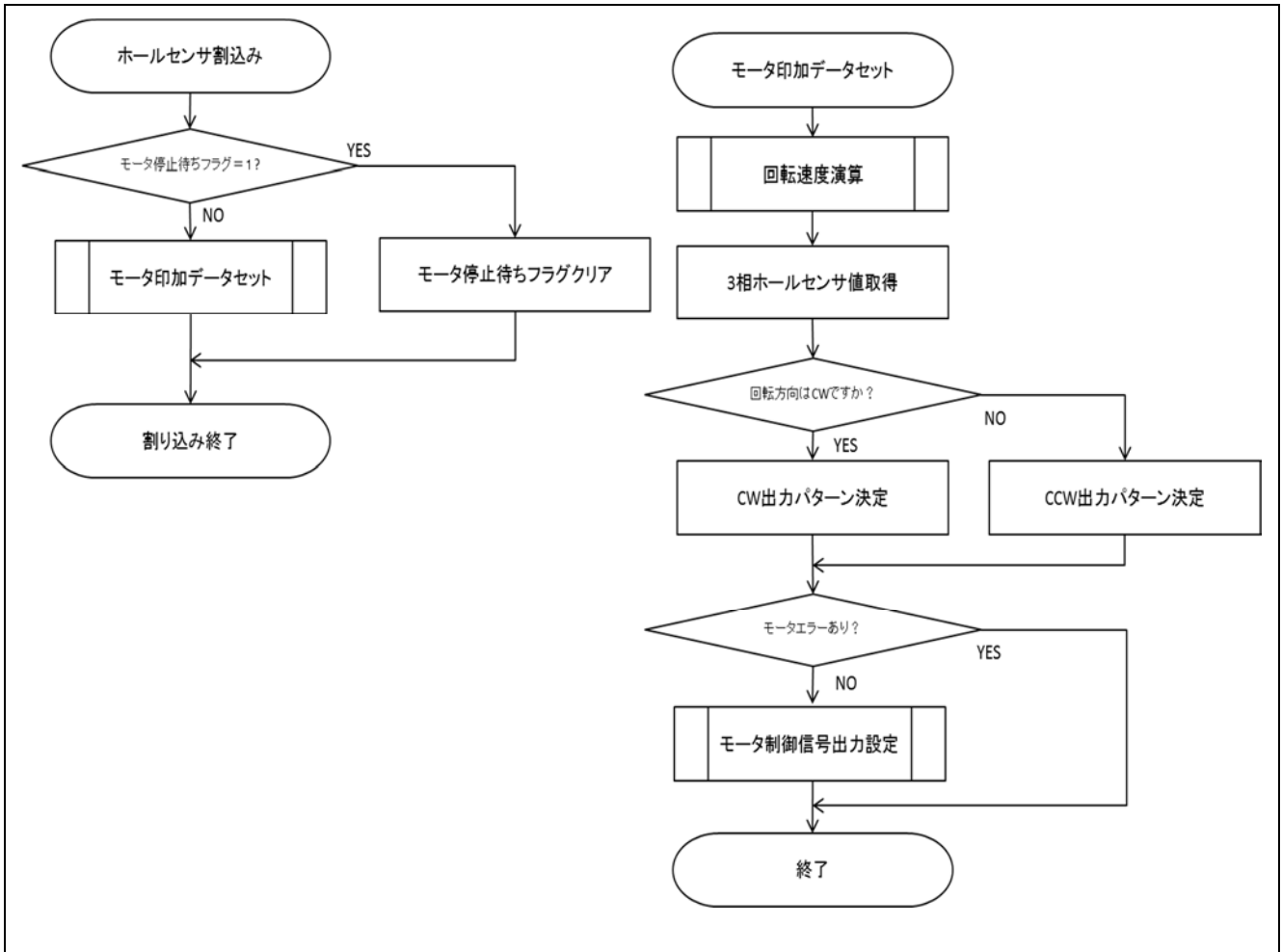
ファイル名	マクロ名	定義値	備考
mtr_120_hall.h	MTR_INITIAL_MODE	0x00	初期化モード
	MTR_OPENLOOP_MODE	0x01	オープンループモード
	MTR_HALL_120_MODE	0x02	ホールセンサ付き 120 度通電制御モード
	MTR_OVER_CURRENT_ERROR	1	過電流検知エラー
	MTR_OVER_VOLTAGE_ERROR	2	過電圧検知エラー
	MTR_OVER_SPEED_ERROR	3	回転速度異常エラー
	MTR_TIMEOUT_ERROR	4	タイムアウトエラー
	MTR_HALL_ERROR	5	ホールセンサエラー
	MTR_UNDER_VOLTAGE_ERROR	7	低電圧検知エラー
	MTR_SHORT_ERROR	8	天絡/地絡検知エラー
	MTR_UNKNOWN_ERROR	0xff	未定義エラー
	MTR_MODE_STOP	0	停止状態
	MTR_MODE_RUN	1	回転中
	MTR_MODE_ERROR	2	エラー状態
	MTR_SIZE_STATE	3	状態数
	MTR_EVENT_STOP	0	モータ停止イベント
	MTR_EVENT_RUN	1	モータ起動イベント
	MTR_EVENT_ERROR	2	モータエラーイベント
	MTR_EVENT_RESET	3	モータリセットイベント
	MTR_SIZE_EVENT	4	イベント数

5.7 制御フロー (フロー・チャート)

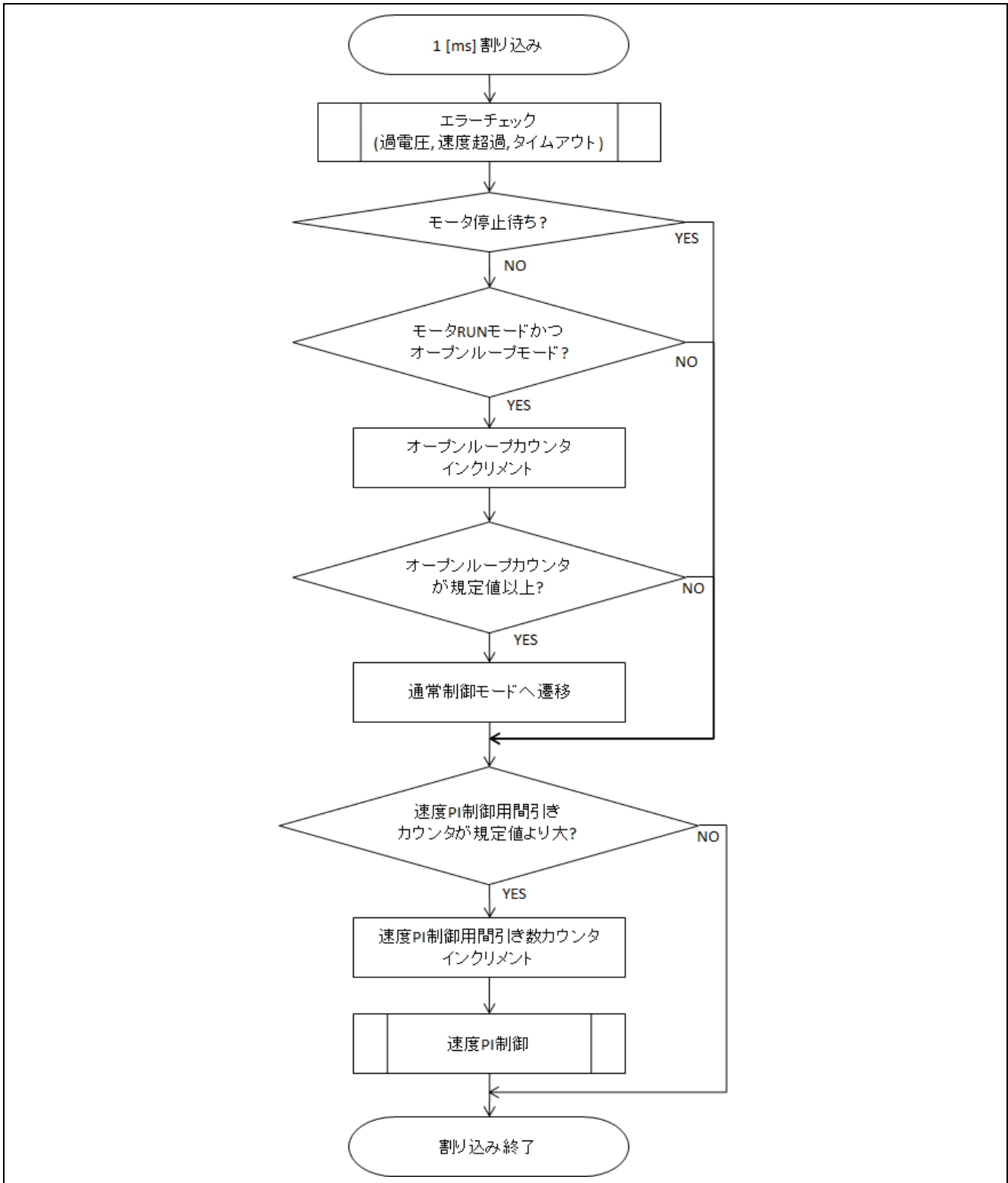
(1)メインルーチン



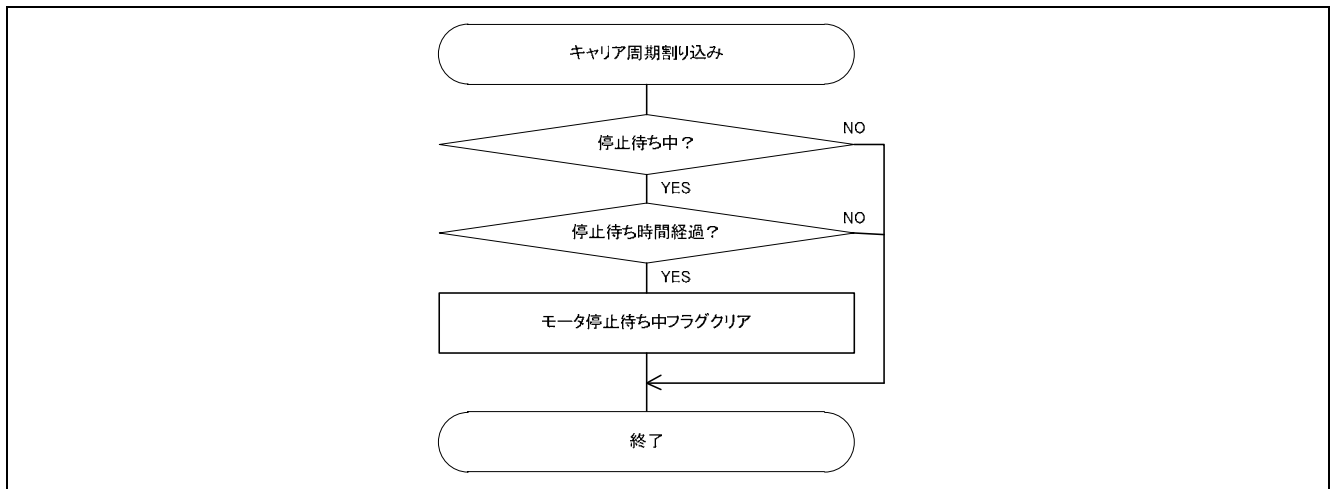
(2)ホールセンサ割り込み処理



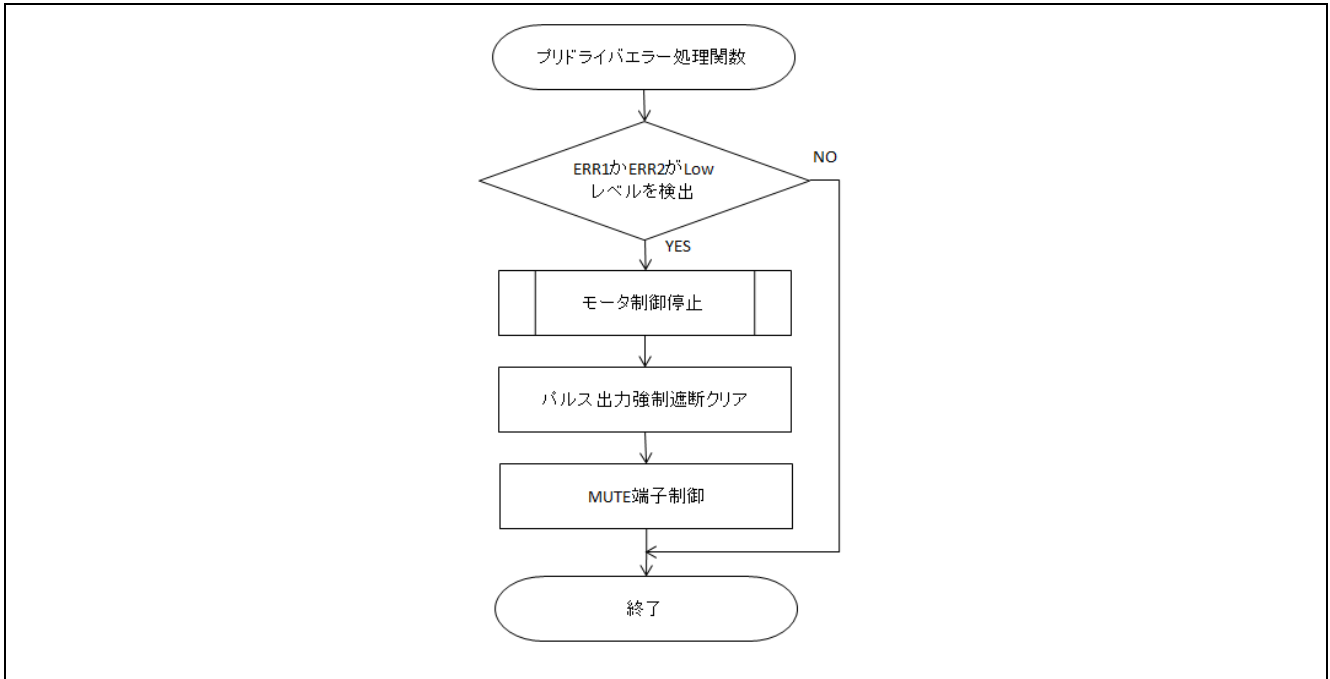
(3)1 [ms]割り込み処理



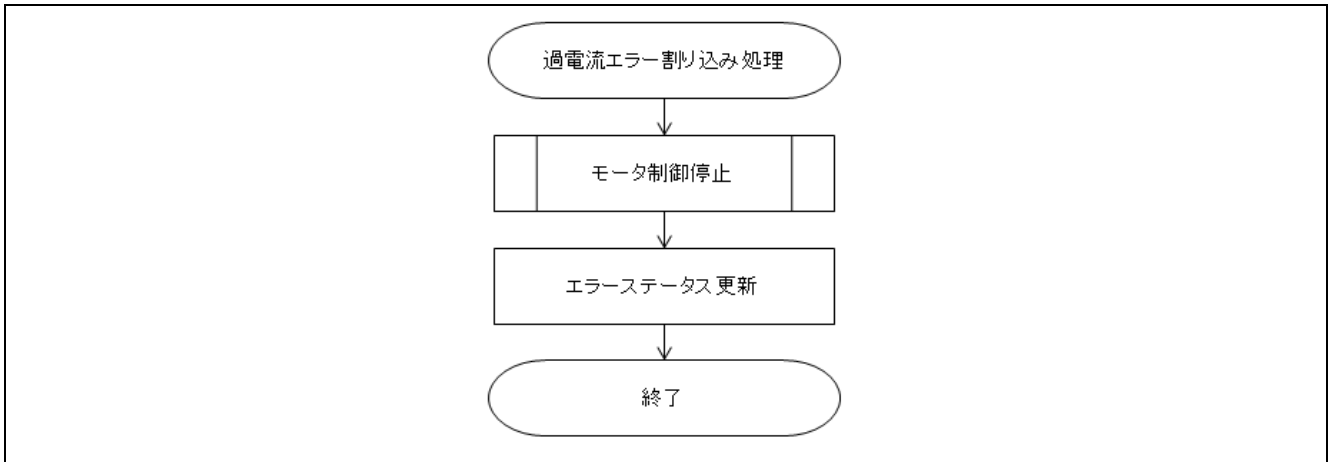
(4)キャリア周期割り込み処理



(5)プリドライバエラー処理



(6)過電流エラー割り込み処理



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/>

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。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	概要
1.00	2017.03.31	－	初版発行

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生じた損害（お客様または第三者いずれか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。
 - 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。
 - 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、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、その他の不適切に使用しないでください。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、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、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損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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、(1)核兵器、化学兵器、生物兵器等の大量破壊兵器およびこれらを運搬することができるミサイル（無人航空機を含みます。）の開発、設計、製造、使用もしくは貯蔵等の目的、(2)通常兵器の開発、設計、製造または使用の目的、または(3)その他の国際的な平和および安全の維持の妨げとなる目的で、自ら使用せず、かつ、第三者に使用、販売、譲渡、輸出、賃貸もしくは使用許諾しないでください。
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。
 - お客様の転売、貸与等により、本書（本ご注意書きを含みます。）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、当社は一切その責任を負わず、お客様にかかる使用に基づく当社への請求につき当社を免責いただきます。
 - 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。
 - 本資料に記載された情報または当社製品に関し、ご不明点がある場合には、当社営業にお問い合わせください。
- 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。

(Rev.3.0-1 2016.11)



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どうぞ。
総合お問合せ窓口：<https://www.renesas.com/contact/>