

# RL78/G1M

R01AN5516JJ0100

Rev.1.00

2020.08.01

## 永久磁石同期モータの 120 度通電制御 (実装編)

### 要旨

本アプリケーションノートは RL78/G1M マイクロコントローラを使用し、永久磁石同期モータを 120 度通電方式で駆動するサンプルプログラム及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench (RMW)」の使用方法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上でご使用ください。

### 動作確認デバイス

サンプルプログラムの動作確認は以下のデバイスで行っております。

RL78/G1M(R5F11W68ASM)

### 対象サンプルプログラム

本アプリケーションノートの対象サンプルプログラムを下記に示します。

- RL78G1M\_MRSSK\_120\_CSP\_CC\_V100 (IDE: CS+ for CC)
- RL78G1M\_MRSSK\_120\_E2S\_CC\_V100 (IDE: e2studio)

24V Motor Control Evaluation System & RL78/G1M CPU カード向け

RL78/G1M 120 度通電制御サンプルプログラム

コンフィギュレーション定義ファイル”r\_mtr\_config.h”の MTRCONF\_SENSOR\_MODE を 0:HALL、1:LESS と書き換えてコンパイルすることで、ホール制御モード、センサレス制御モードを切り替えて使用することができます。

### 参考資料

- RL78/G1M ユーザーズマニュアル ハードウェア編(R01UH0904JJ0100)
- 永久磁石同期モータの 120 度通電制御 (アルゴリズム編) (R01AN2657JJ0120)
- Renesas Motor Workbench 2.0 ユーザーズマニュアル (R21UZ0004JJ0202 : Renesas-Motor-Workbench-V2-0d)
- Renesas Solution Starter Kit 24V Motor Control Evaluation System for RX23T (Motor RSSK) 取扱説明書 (R20UT3697JJ0120)

## 目次

|   |    |
|---|----|
| 1. 概説.....  | 3  |
| 2. システム概要 .....                                     | 4  |
| 3. 制御プログラム説明 .....                                  | 10 |
| 4. モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の利用方法 ..... | 45 |

## 1. 概説

本アプリケーションノートでは、RL78/G1M マイクロコントローラを使用した永久磁石同期モータ (PMSM) の 120 度通電制御サンプルプログラムの実装方法及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明します。なお、このサンプルプログラムは「永久磁石同期モータの 120 度通電制御(アルゴリズム編)」のアルゴリズムを使用しています。

### 1.1 開発環境

本アプリケーションノート対象サンプルプログラムの開発環境を表 1-1、表 1-2 に示します。

表 1-1 サンプルプログラムの開発環境(H/W)

| マイコン                      | 評価ボード   | モータ                             |
|---------------------------|---|---------------------------------|
| RL78/G1M<br>(R5F11W68ASM) | 24V 系インバータボード <sup>注1</sup><br>& RL78/G1M CPU カード <sup>注2</sup> | TSUKASA <sup>注3</sup><br>TG-55L |

表 1-2 サンプルプログラムの開発環境(S/W)

|  |                           |
|--|---------------------------|
| CS+バージョン<br>V8.03.00                   | ツールチェイン<br>CC-RL V1.09.00 |
| e <sup>2</sup> studio バージョン<br>2020-07 | ツールチェイン<br>CC-RL V1.09.00 |

ご購入、技術サポートにつきましては、弊社営業及び特約店にお問い合わせ下さい。

#### 【注】

- 24V 系インバータボード(RTK0EM0001B00012BJ)は、ルネサスエレクトロニクス株式会社の製品です。
- 以下の RL78/G1M CPU カードを使用可能です。  
T5108 : 株式会社デスクトップラボ (<http://desktoplab.co.jp/>) 製
- TG-55L は、ツカサ電工株式会社の製品です。  
ツカサ電工株式会社 (<http://www.tsukasa-d.co.jp/>)

## 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。

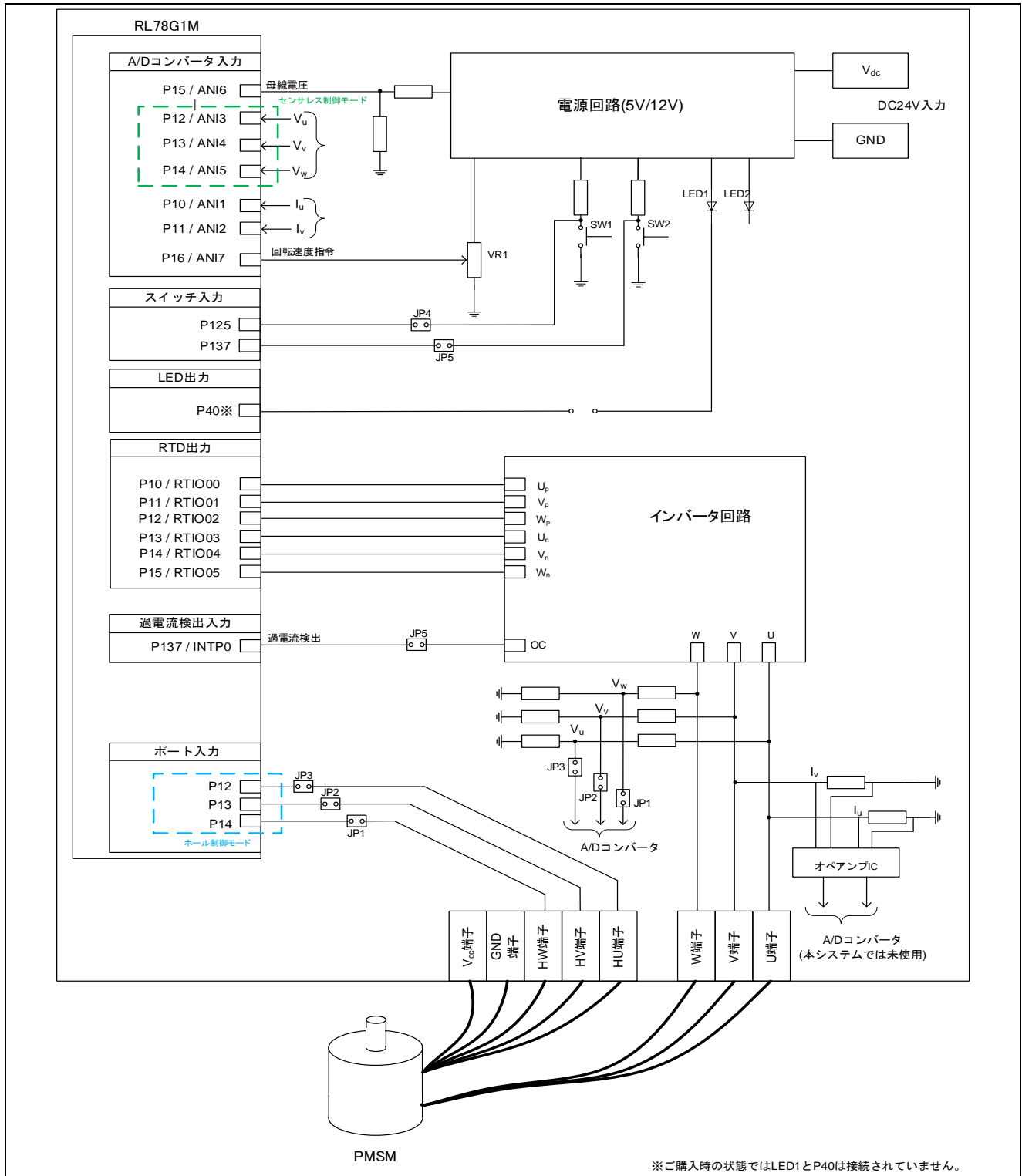


図 2-1 ハードウェア構成図

## 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。

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               |
|-------|-----------|------------------|
| VR1   | 可変抵抗      | 回転速度指令値入力(アナログ値) |
| SW1   | トグルスイッチ   | エラー状態からの復帰指令     |
| SW2   | トグルスイッチ   | [本システムでは未使用]     |
| LED1  | 黄緑色 LED   | [本システムでは未使用]     |
| LED2  | 黄緑色 LED   | [本システムでは未使用]     |
| LED3  | 黄緑色 LED   | [本システムでは未使用]     |
| RESET | プッシュスイッチ  | [本システムでは未使用]     |

本システムの RL78/G1M マイクロコントローラ端子のインタフェース一覧を表 2-2 に示します。

表 2-2 端子インタフェース

| R5F11W68ASM 端子名 | 機能                                 |
|-----------------|------------------------------------|
| P15 / ANI6      | インバータ母線電圧測定                        |
| P16 / ANI7      | 回転速度指令値入力(アナログ値)                   |
| P125            | ERROR RESET トグルスイッチ <sup>注3</sup>  |
| P137            | トグルスイッチ [本システムでは未使用] <sup>注4</sup> |
| P40             | LED1 点灯/消灯制御 [本システムでは未使用]          |
| P12 / ANI3      | U 相電圧測定(A/D) <sup>注2</sup>         |
| P13 / ANI4      | V 相電圧測定(A/D) <sup>注2</sup>         |
| P14 / ANI5      | W 相電圧測定(A/D) <sup>注2</sup>         |
| P12             | ホールセンサ入力 <sup>注1注2</sup> (HU)      |
| P13             | ホールセンサ入力 <sup>注1注2</sup> (HV)      |
| P14             | ホールセンサ入力 <sup>注1注2</sup> (HW)      |
| P00 / RTIO00    | ポート出力/PWM 出力(U <sub>p</sub> )      |
| P01 / RTIO01    | ポート出力/PWM 出力(V <sub>p</sub> )      |
| P02 / RTIO02    | ポート出力/PWM 出力(W <sub>p</sub> )      |
| P03 / RTIO03    | ポート出力/PWM 出力(U <sub>n</sub> )      |
| P04 / RTIO04    | ポート出力/PWM 出力(V <sub>n</sub> )      |
| P05 / RTIO05    | ポート出力/PWM 出力(W <sub>n</sub> )      |
| P125 / RESET    | システムリセット[本システムでは未使用] <sup>注3</sup> |
| P137 / INTPO    | 過電流検出時の PWM 緊急停止入力 <sup>注4</sup>   |

注 1：付属のモータのホールセンサをご利用の場合は、センサノイズの影響を低減するため、三相のホールセンサに接続された導線に 24V 系インバータボード付属のフェライトコア等を取り付けてください。

注 2：ホール制御モード時には JP1~3 の 2-3 を、センサレス制御モード時には 1-2 を短絡してご使用ください。

注 3：本システムでは P125 を SW1 の状態検出のために用いるため、JP4 の 2-3 を短絡してご使用ください。（ただし、E1 エミュレータなどでマイコンにプログラムを書き込む際は、1-2 を短絡してください。）

注 4：本システムでは P137 を過電流検出のために用いるため、JP5 の 1-2 を短絡してご使用ください。

## 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 サンプルプログラム別周辺機能対応表

| 周辺機能              | 用途  |
|-------------------|---|
| 10bit A/D コンバータ   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 回転速度指令値入力(ボード UI 選択時)</li> <li>• インバータ母線電圧測定</li> <li>• 各 U/V/W 相電圧測定</li> </ul> |
| タイマ・アレイ・ユニット(TAU) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PWM 出力</li> <li>• 回転速度計測用フリーランカウンタ</li> <li>• 転極用ディレイタイマ(センサレス制御モード)</li> </ul>  |
| 12 ビット・インターバル・タイマ | 1[ms]周期タイマ  |
| リアルタイム出力制御回路      | 出力波形と出力ポートの制御   |
| 外部割り込み(INTPO)     | 過電流検出   |

## (1) 10bitA/D コンバータ

回転速度指令値入力、U 相電圧、V 相電圧、W 相電圧、及びインバータ母線電圧を「10bit A/D コンバータ」を使用して測定します。

## (2) タイマ・アレイ・ユニット(TAU)

## a. PWM 出力

非相補 PWM を出力するために使用します。

## b. 回転速度計測用フリーランカウンタ

回転速度を計測するためのフリーランカウンタとして使用します。

## c. 転極用ディレイタイマ

ゼロクロス検出からの転極のタイミングを  $\pi/6$  遅らせるためのディレイタイマとして使用します。

## (3) 12 ビット・インターバル・タイマ(IT)

1[ms]周期割り込みを発生させて速度制御を行うために使用します。

## (4) リアルタイム出力制御回路(RTO)

$U_p \sim W_n$  の PWM 出力、ハイ・レベル出力、ロー・レベル出力の設定を行います。

また、強制遮断機能を用いて、過電流検出時には全出力端子をロー・レベル出力とします。

## (5) 外部割り込み(INTPO)

外部回路による過電流検出を行います。

## 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表 2-4 に記します。

表 2-4 サンプルプログラムのフォルダとファイル構成

| フォルダ        |                 | ファイル  | 内容                               |
|-------------|-----------------|---|----------------------------------|
| config      |                 | r_mtr_config.h                                  | コンフィギュレーション定義                    |
|             |                 | r_mtr_motor_parameter.h                         | モータパラメータ定義                       |
|             |                 | r_mtr_control_parameter.h                       | 制御パラメータ定義                        |
|             |                 | r_mtr_inverter_parameter.h                      | インバータパラメータ定義                     |
| application | main            | main.h<br>main.c                                | メイン関数                            |
|             | board           | r_mtr_board.h<br>r_mtr_board.c                  | ハードウェア UI 関数定義                   |
|             | ics             | r_mtr_ics.h<br>r_mtr_ics.c                      | Analyzer <sup>注1</sup> UI 関連関数定義 |
|             |                 | ICS_define.h                                    | RMW の CPU 定義                     |
|             |                 | RL78G1M_vector.c                                | RMW の割り込みベクタ定義                   |
|             |                 | ics2_RL78G1M.h                                  | RMW 通信用関数宣言                      |
|             |                 | ICS2_RL78G1M.lib                                | RMW 通信用ライブラリ                     |
| driver      | auto_generation | cstart.asm<br>hdwinit.asm<br>iodefine.h         | 自動生成ファイル                         |
|             |                 | mtr_ctrl_mrssk.h,<br>mtr_ctrl_mrssk.c           | インバータボード依存関数定義                   |
|             |                 | r_mtr_ctrl_rl78g1m.h,<br>r_mtr_ctrl_rl78g1m.c   | MCU 固有関数定義                       |
| middle      |                 | r_mtr_fixed.h                                   | 固定小数定義                           |
|             |                 | r_mtr_common.h                                  | 共通定義                             |
|             |                 | r_mtr_parameter.h                               | モータ制御パラメータ定義ファイル                 |
|             |                 | r_mtr_driver_access.h,<br>r_mtr_driver_access.c | ドライバアクセス関数定義                     |
|             |                 | r_mtr_statemachine.h,<br>r_mtr_statemachine.c   | ステートマシン関数定義                      |
|             |                 | r_mtr_120.h<br>r_mtr_120.c                      | 120 度通電制御関連関数定義                  |
|             |                 | r_mtr_interrupt.c                               | 割り込みハンドラ関数定義                     |

注 1 : モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の Analyzer 機能の詳細については、4 章を参照下さい。

また、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench(RMW)」に関わるフォルダ、ファイル、関数、変数の名前には識別子「ics / ICS(旧ルネサス製モータ制御開発支援ツール「In Circuit Scope」の略)」が付加されている場合があります。

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。

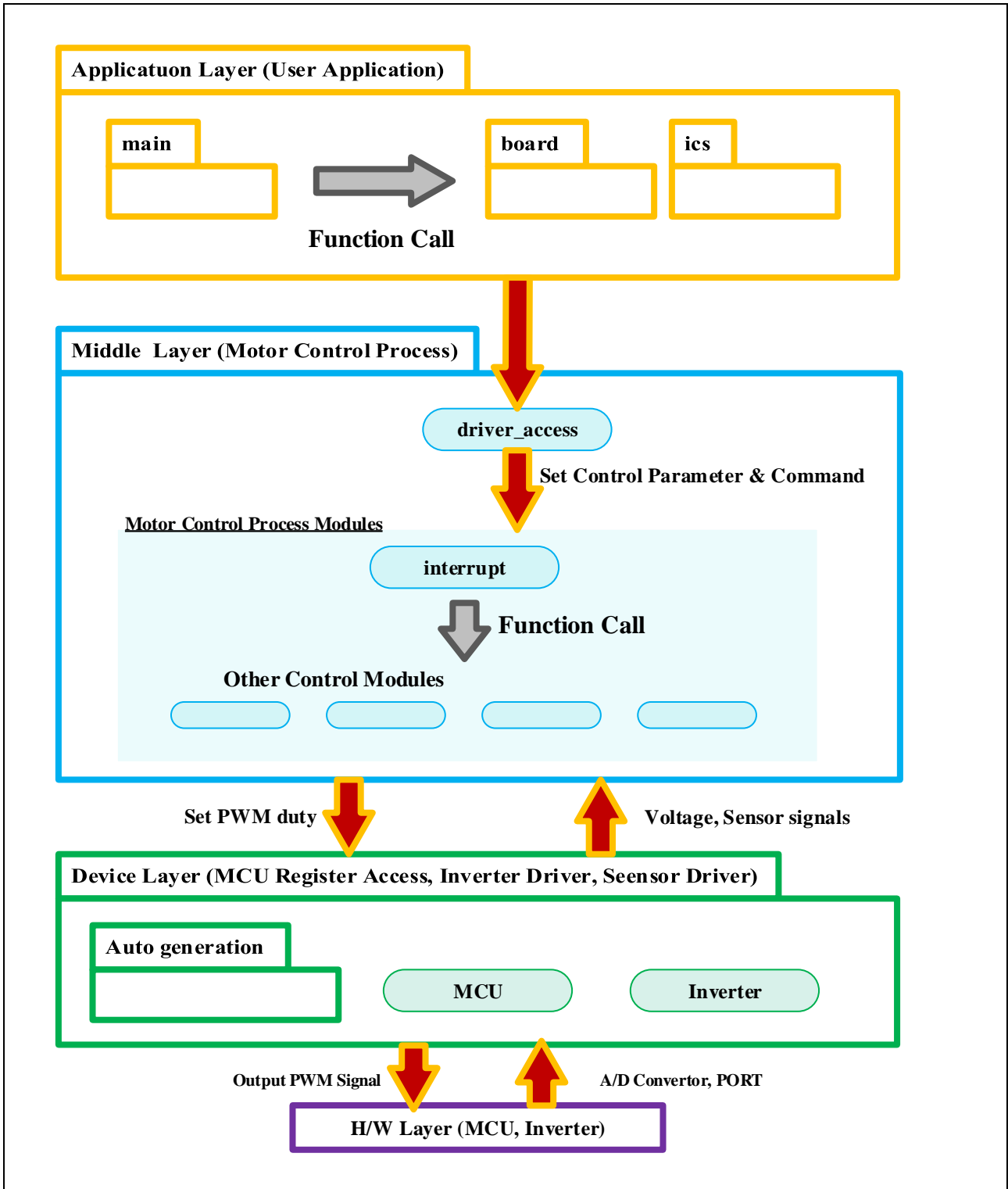


図 2-2 サンプルプログラムのモジュール構成



## 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下記に示します。120 度通電制御の詳細に関しては「永久磁石同期モータの 120 度通電制御(アルゴリズム編)」を参照してください。

表 2-5 ソフトウェア基本仕様

| 項目           | 内容  |
|--------------|---|
| 制御方式         | 120 度通電方式(上アームチョッピング)   |
| モータ回転開始/停止   | VR1(P16)の入力値により判定(最低速度以上：回転開始、最低速度未満：停止)<br>もしくはモータ制御開発支援ツール(Renesas Motor Workbench)による操作  |
| 回転子磁極位置検出    | ホールセンサ：ホール信号の割り込みを用いた位置検出(60 度毎)<br>センサレス：A/D 変換結果による誘起電圧を用いた位置検出(60 度毎)<br>・磁極位置検出時、PWM デューティ設定と通電パターンの決定を行う   |
| 入力電圧         | DC24[V]   |
| メインクロック周波数   | CPU クロック：f <sub>CLK</sub> 20 [MHz]  |
| キャリア周波数(PWM) | 20 [kHz]  |
| 制御周期         | 速度 PI 制御は 1 [ms]毎   |
| 回転速度制御範囲     | ホール制御モード：530 [rpm] ~ 3200 [rpm] <sup>注1</sup><br>センサレス制御モード：265 [rpm] ~ 3200 [rpm] <sup>注1</sup><br>CW/CCW 対応   |
| コンパイラ最適化設定   | 既定の最適化を行う(オプション指定なし)  |
| 保護停止処理       | ・以下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<br>1.インバータ母線電圧が 28 [V]を超過(1 [ms]毎に監視)<br>2.インバータ母線電圧が 15[V]未満(1 [ms]毎に監視)<br>3.回転速度が 3900 [rpm]を超過(1 [ms]毎に監視)<br>4.ホールパターン変化もしくはゼロクロス検出が 200 [ms]間未発生<br>5.出力電圧パターンの異常検出<br>6.外部からの過電流検出信号(INTPO 端子にローレベル入力)を検出 |

注 1：モータを定格回転速度以上で長時間駆動させることはお控えください。

## 2.5 ユーザ・オプション・バイト

RL78/G1M のフラッシュメモリのユーザ・オプション・バイト領域の設定を示します。

表 2-6 ユーザ・オプション・バイト設定値

| 設定値    | アドレス   | 値         | 設定内容  |
|--------|--------|-----------|---|
| F2E3F9 | 000C0H | 11110010B | ウォッチドッグ・タイマカウンタ動作許可<br>(リセット解除後、カウント開始)<br>オーバーフロー時間：7.36 [ms]                          |
|        | 000C1H | 11100011B | ・P125/KR1/RESET 端子：ポート機能<br>・セレクトブル・パワー・オン・リセット検出電圧<br>立ち上がり：4.28 [V]<br>立ち下がり：4.20 [V] |
|        | 000C2H | 11111001B | CPU クロック f <sub>CLK</sub> ：20 [MHz]   |

### 3. 制御プログラム説明

本アプリケーションノートの対象サンプルプログラムについて説明します。

#### 3.1 制御内容

##### 3.1.1 モータ起動/停止

モータの起動と停止は、モータ制御開発支援ツールからの入力、または VR1 の入力によって制御します。VR1 にはアナログ入力端子を割り当て、その入力をメインループ内で監視、回転速度指令値を作成します。回転指令値が最低速度（ホール制御モード：530[rpm]、センサレス制御モード：265[rpm]）以上になると回転を開始し、最低速度未満になると回転を停止します。

##### 3.1.2 A/D 変換

###### (1) モータ回転速度指令値

モータの回転速度指令値はモータ制御開発支援ツールからの入力、または VR1 の出力値(アナログ値)を A/D 変換することによって決定します。A/D 変換された VR1 の値は、以下の表のように回転速度指令値として使用します。変換比の指令値最大値は最大回転速度が出る様に設定しています。回転速度指令値算出には上位 8bit のみを使用しています。

表 3-1 回転速度指令値の変換比

| 項目      | 変換比(指令値 : A/D 変換値) |                                  | チャンネル |
|---------|--------------------|----------------------------------|-------|
| 回転速度指令値 | CW                 | 0 [rpm]~3200[rpm] : 01FFH~03FFH  | ANI7  |
|         | CCW                | -3200 [rpm]~0[rpm] : 0000H~01FFH |       |

###### (2) インバータ母線電圧

下記のように、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・低電圧検出(異常時は PWM 停止)に使用します。母線電圧値算出には上位 8bit のみを使用しています。

表 3-2 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]~111[V] : 0000H~03FFH | ANI6  |

###### (3) U 相、V 相、W 相電圧

下記のように、U、V、W 相電圧を測定し、誘起電圧のゼロクロス判定に使用します。

表 3-3 U、V、W 相の変換比

| 項目        | 変換比(U 相、V 相、W 相電圧 : A/D 変換値) | チャンネル             |
|-----------|------------------------------|-------------------|
| U、V、W 相電圧 | 0 [V]~111 [V] : 0000H~03FFH  | ANI12、ANI13、ANI14 |

【注】A/D 変換の詳細に関しては「RL78/G1M ユーザーズマニュアル ハードウェア編」を参照して下さい。

## 3.1.3 速度制御

本システムでのモータ回転速度は、カウンタをフリーランニングさせ、ホール制御モードではホールパターン変化時に、センサレス制御モードでは誘起電圧のゼロクロス発生時にタイマ値を取り込み、 $2\pi$  [rad] 前の取り込み値との差分から演算します。

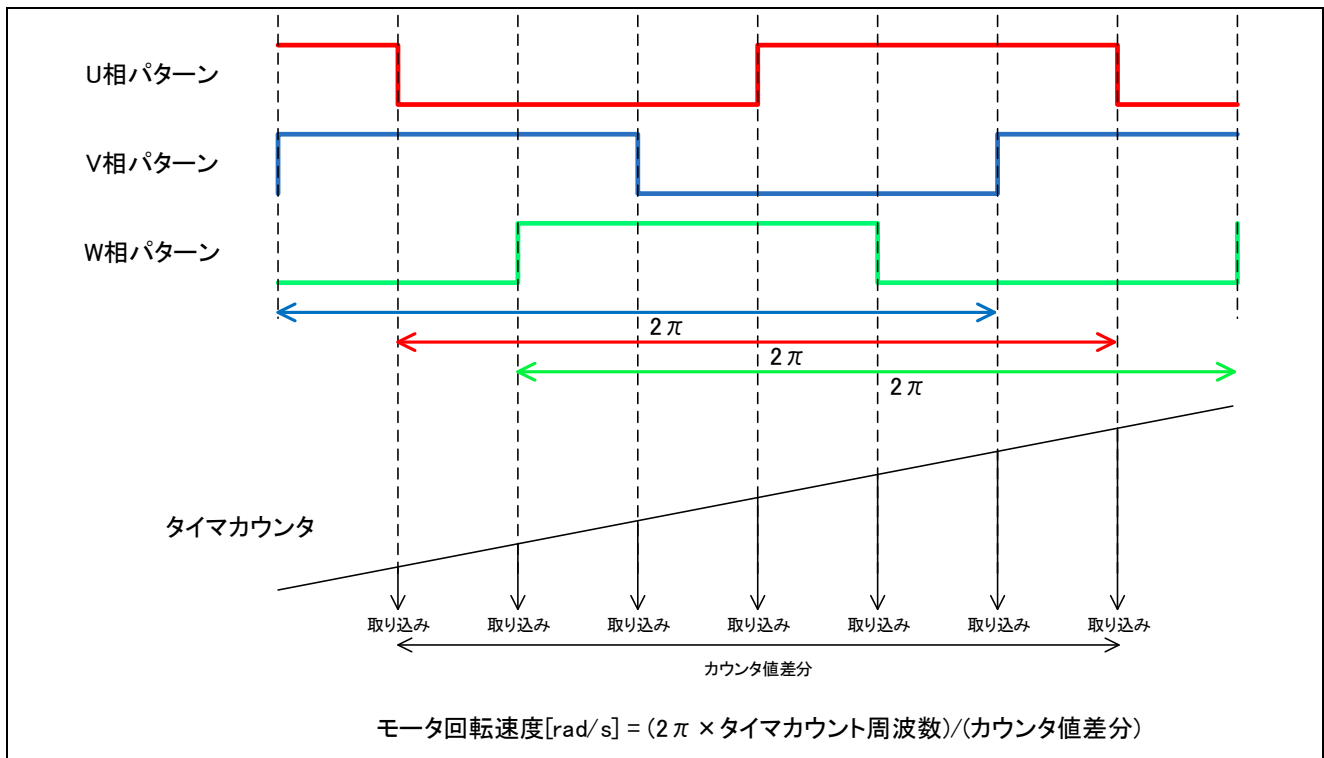


図 3-1 モータ回転速度の演算方法

本アプリケーションノート対象ソフトでの速度制御は、PI 制御によって行います。下記の速度 PI 制御によって電圧指令値を得ます。

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

$v^*$ : 電圧指令値     $\omega^*$ : 速度指令値     $\omega$ : 回転速度

$K_{P\omega}$ : 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

PI 制御の詳細については、専門書を参照してください。

### 3.1.4 PWM による電圧制御

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 3-2 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。

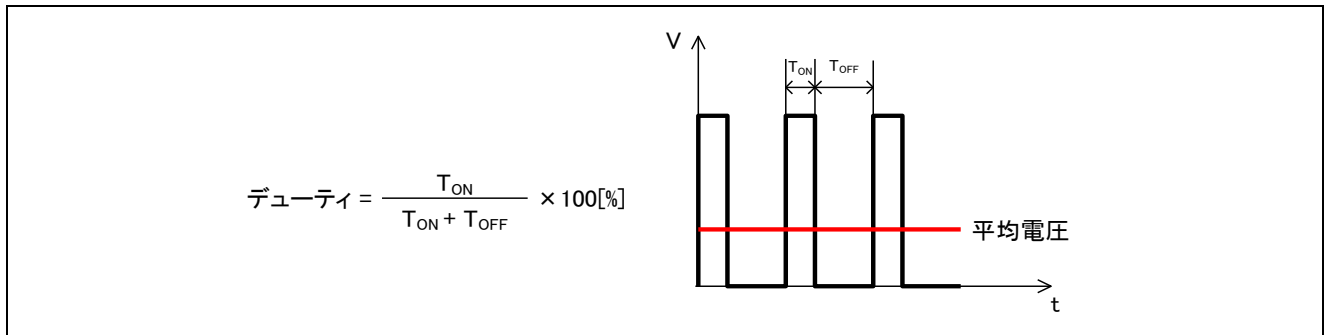


図 3-2 PWM 制御

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 TAU のレジスタに反映させます。

また、本アプリケーションノート対応ソフトでは、非相補上アームチョッピングを採用し、出力電圧及び速度の制御を行っています。図 3-3 に非相補上アームチョッピング時のモータ制御信号出力波形例を示します。

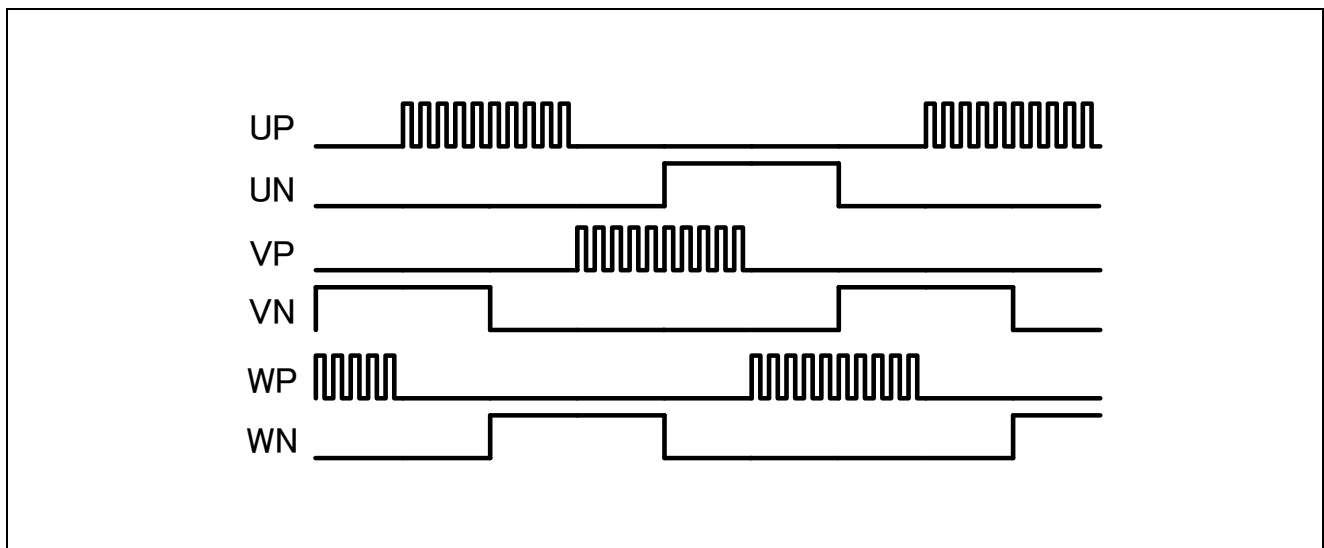


図 3-3 非相補上アームチョッピング

3.1.5 状態遷移

図 3-4 に 120 度通電制御ソフトにおける状態遷移図を示します。

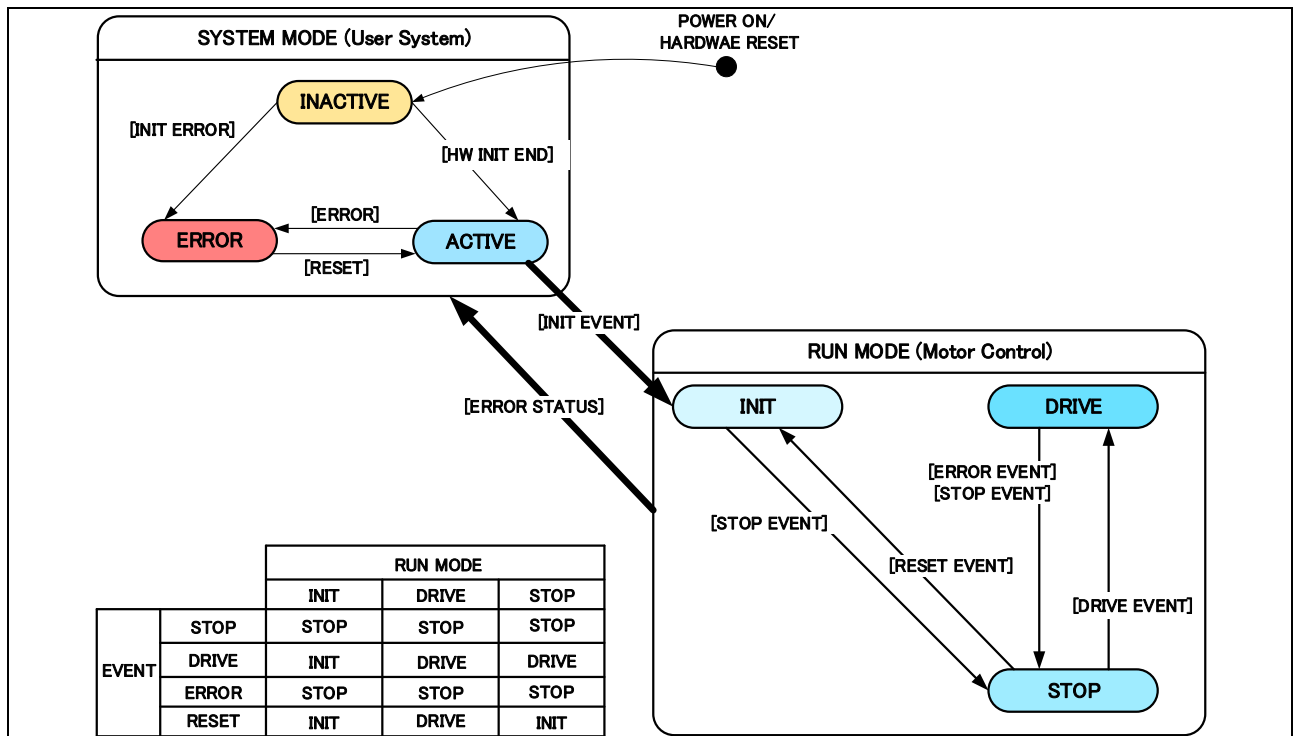


図 3-4 120 度通電制御ソフトの状態遷移図

(1). SYSTEM MODE

システム動作状態を表します。システムの動作状態は、モータ駆動停止(INACTIVE)、モータ駆動(ACTIVE)、異常状態(ERROR)があります。

(2). RUN MODE

モータの駆動状態を表します。各イベント(EVENT)の発生により状態が遷移します。

(3). EVENT

モータの駆動状態の遷移を表します。EVENT が発生すると、RUN MODE が図 3-4 中の表の様に遷移します。各 EVENT の発生要因を表 3-4 に示します。

表 3-4 EVENT 一覧

| イベント名 | 発生条件                 |
|-------|----------------------|
| STOP  | ユーザ操作により発生します        |
| DRIVE | ユーザ操作により発生します        |
| ERROR | システムが異常を検出したときに発生します |
| RESET | ユーザ操作により発生します        |

### 3.1.6 始動方法

#### (1) ホール制御モード

ホール制御モードでは、” MTR\_MODE\_DRIVE” に遷移すると、ホール信号の初期状態から通電パターンを選択し電圧を印加し、PI 制御に移行します。2 回目のホールパターン変化後、速度計算が開始されま

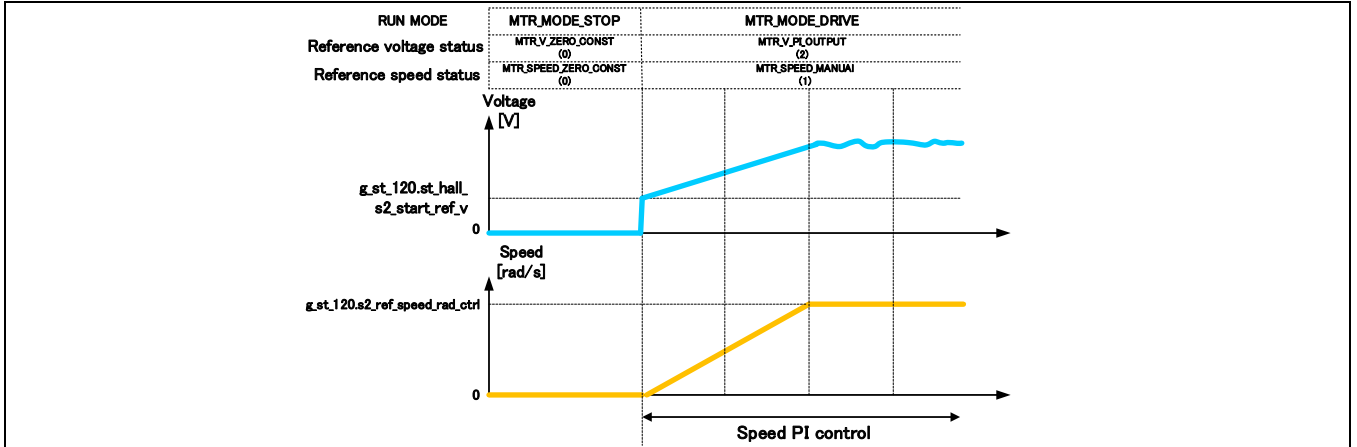


図 3-5 始動シーケンス(ホール制御モード)

#### (2) センサレス制御モード

センサレス制御モードでは、永久磁石(回転子)の磁束の変化による誘起電圧を利用し、60 度毎の磁極の位置を推定します。しかし、誘起電圧は回転することで発生するため、回転速度が小さい場合、磁極の位置を推定することが困難です。

そのため、始動方法として、永久磁石の位置に関わらず、強制的に通電パターンを変化させることで回転磁界を発生させ、強制同期させる方法があります。

図 3-6 ではサンプルソフトでの始動方法を示しています。” MTR\_MODE\_DRIVE” に遷移すると、最初に回転子の引き込みを行います。次にオープンループで駆動し、指令速度が遷移速度に到達した後、PI 制御へと遷移します。

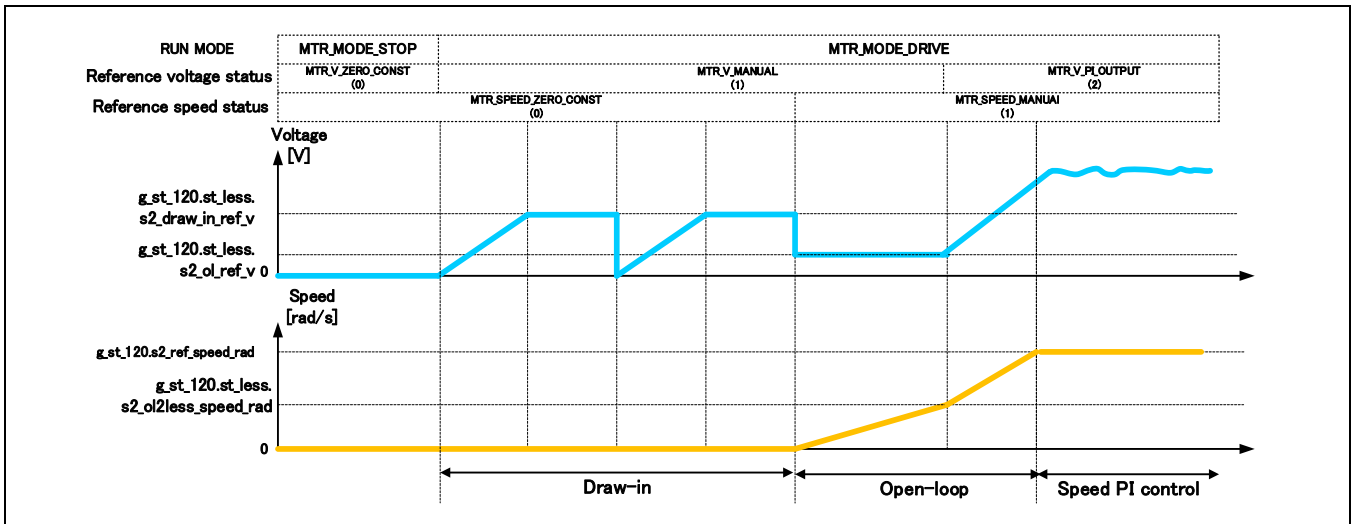


図 3-6 始動シーケンス(センサレス制御モード)

### 3.1.7 システム保護機能

本システムは、以下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。システム保護機能に関わる各設定値は表 3-5 を参照してください。

- ・ハードウェア過電流エラー

ハードウェアからの緊急停止信号(過電流検出)を検出した場合、電圧出力を停止します。

- ・過電圧エラー

過電圧監視周期でインバータ母線電圧を監視し、母線電圧が過電圧リミット値を上回った場合、電圧出力を停止します。過電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差等を考慮して設定した値です。

- ・低電圧エラー

低電圧監視周期でインバータ母線電圧を監視し、母線電圧が低電圧リミット値を下回った場合、電圧出力を停止します。低電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差等を考慮して設定した値です。

- ・回転速度異常エラー

回転速度監視周期で速度を監視し、回転速度が速度リミット値を上回った場合、電圧出力を停止します。

- ・タイムアウトエラー

タイムアウト監視周期でタイムアウトカウンタを監視し、ホール制御モードではホールパターン変化が、センサレス制御モードでは誘起電圧のゼロクロスが一定時間発生しない場合、電圧出力を停止します。

- ・パターンエラー

パターン監視周期で出力電圧パターンを監視し、ホール制御モードではホールセンサ信号、センサレス制御モードでは誘起電圧を基に設定された出力電圧パターンに異常を検出した場合、電圧出力を停止します。

表 3-5 各システム保護機能設定値

| エラー       | 閾値            |              |
|-----------|---------------|--------------|
|           | 過電流エラー        | 過電流リミット値 [A] |
| 過電圧エラー    | 過電圧リミット値 [V]  | 28           |
|           | 監視周期 [ms]     | 1            |
| 低電圧エラー    | 低電圧リミット値 [V]  | 15           |
|           | 監視周期 [ms]     | 1            |
| 回転速度異常エラー | 速度リミット値 [rpm] | 3900         |
|           | 監視周期 [ms]     | 1            |
| タイムアウトエラー | タイムアウト時間[ms]  | 200          |
|           | 監視周期 [ms]     | 1            |

## 3.2 120 度通電制御ソフト関数仕様

本制御プログラムの関数一覧を以下に示します。本システムで使用していない関数は記載していません。

表 3-6 “main.c” 関数一覧

| ファイル名  | 関数名                               | 処理概要  |
|--------|-----------------------------------|---|
| main.c | main<br>入力:なし<br>出力:なし            | 初期化処理と main ループ<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・初期化処理 <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ハードウェア初期化</li> <li>⇒システム変数初期化</li> <li>⇒ICS 通信初期化</li> <li>⇒制御用システム初期化</li> <li>⇒リセット処理</li> <li>⇒母線電圧安定待ち処理</li> </ul> </li> <li>・main ループ <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒UI 入力値に応じたシステム制御</li> <li>⇒ウォッチドッグタイマクリア</li> <li>⇒ICS 通信処理</li> </ul> </li> </ul> |
|        | ics_ui<br>入力:なし<br>出力:なし          | ICS UI 処理(GUI)<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・com 変数の値を ICS 変数へ代入</li> <li>・入力イベントによるモータステータスの変更</li> <li>・リセット時にシステム変数初期化</li> </ul>   |
|        | board_ui<br>入力:なし<br>出力:なし        | ボード UI 処理(H/W)<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・スイッチの状態によるモータステータスの変更</li> <li>・可変抵抗値から回転速度指令値を決定</li> </ul>  |
|        | software_init<br>入力:なし<br>出力:なし   | システム変数の初期化<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・メイン処理変数の初期化</li> <li>・ICS 変数の初期化</li> </ul>   |
|        | mtr_ics_process<br>入力:なし<br>出力:なし | ICS 通信処理  |



表 3-7 “r\_mtr\_ics.c” 関数一覧

| ファイル        | 関数  | 処理概要  |
|-------------|---|---|
| r_mtr_ics.c | mtr_set_com_variables<br>入力:なし<br>出力:なし   | 制御変数への入力受け渡し前処理<br>・ com 変数の値を ICS 変数へ入力<br>・ ICS 変数の値を ICS バッファ変数へ入力 |
|             | mtr_ics_variables_init<br>入力:なし<br>出力:なし  | com 変数の初期化  |
|             | R_MTR_Limit<br>入力: (int16_t) s2_value / 対象の値<br>(int16_t) s2_max / 最大値<br>(int16_t) s2_min / 最小値<br>出力: (int16_t) s2_temp / リミット処理値 | 最大値、最小値のリミット処理  |

表 3-8 “r\_mtr\_board.c” 関数一覧

| ファイル          | 関数  | 処理概要               |
|---------------|---|--------------------|
| r_mtr_board.c | mtr_remove_chattering<br>入力:(uint8_t) u1_sw / スイッチ入力信号<br>(uint8_t) u1_on_off / スイッチ状態<br>出力:(uint8_t) u1_flag_chattering / チャタリングフラグ | スイッチ入力信号のチャタリングの除去 |

表 3-9 “r\_mtr\_ctrl\_mrsk.c” 関数一覧

| ファイル              | 関数   | 処理概要       |
|-------------------|--|------------|
| r_mtr_ctrl_mrsk.c | R_MTR_GetSw1<br>入力:なし<br>出力:(uint8_t) MTR_PORT_SW1 / SW1 の状態 | SW1 の状態を取得 |

表 3-10 “r\_mtr\_ctrl\_rl78g1m.h” 関数一覧

| ファイル                 | 関数                                       | 処理概要                            |
|----------------------|--|---------------------------------|
| r_mtr_ctrl_rl78g1m.h | mtr_input_hall(signal)<br>入力:なし<br>出力:なし | ホールセンサ信号入力                      |
|                      | mtr_get_tcr02(cnt)<br>入力:なし<br>出力:なし     | フリーランタイムカウンタ値取得                 |
|                      | mtr_set_rtoutc(gate)<br>入力:なし<br>出力:なし   | リアルタイム出力制御回路の出力パターン設定           |
|                      | mtr_set_tdr01(duty)<br>入力:なし<br>出力:なし    | PWM デューティの設定                    |
|                      | mtr_clear_wdt()<br>入力:なし<br>出力:なし        | ウォッチドッグタイマ(WDT)クリア              |
|                      | mtr_get_adcr(v)<br>入力:なし<br>出力:なし        | A/D 値取得                         |
|                      | mtr_clear_rtointpclr()<br>入力:なし<br>出力:なし | 強制遮断解除                          |
|                      | mtr_oc_intr_enable()<br>入力:なし<br>出力:なし   | 過電流割り込み許可                       |
|                      | mtr_oc_intr_disable()<br>入力:なし<br>出力:なし  | 過電流割り込み禁止                       |
|                      | mtr_set_tdr03()<br>入力:なし<br>出力:なし        | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマセット      |
|                      | mtr_start_delay_cnt()<br>入力:なし<br>出力:なし  | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマカウントスタート |
|                      | mtr_stop_delay_cnt()<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマカウントストップ |
|                      | mtr_clear_inttm03()<br>入力:なし<br>出力:なし    | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマ割り込み禁止   |

表 3-11 “r\_mtr\_ctrl\_rl78g1m.c” 関数一覧

| ファイル                 | 関数  | 処理概要                                 |
|----------------------|---|--------------------------------------|
| r_mtr_ctrl_rl78g1m.c | R_MTR_InitHardware<br>入力:なし<br>出力:なし  | ハードウェア初期化関数の呼び出し                     |
|                      | mtr_init_unused_pins<br>入力:なし<br>出力:なし  | 未使用ピンの初期化                            |
|                      | mtr_init_ui<br>入力:なし<br>出力:なし   | ボード UI で使用するポートの初期化                  |
|                      | mtr_init_clock<br>入力:なし<br>出力:なし  | クロックの初期化                             |
|                      | mtr_ini_it<br>入力:なし<br>出力:なし  | 12 ビット・インターバル・タイマ(IT)の初期化            |
|                      | mtr_init_rto<br>入力:なし<br>出力:なし  | リアルタイム出力制御回路(RTO)の初期化                |
|                      | mtr_init_adc<br>入力:なし<br>出力:なし  | A/D コンバータの初期化                        |
|                      | mtr_init_tau<br>入力:なし<br>出力:なし  | タイマアレイユニット(TAU)の初期化                  |
|                      | mtr_init_intp<br>入力:なし<br>出力:なし   | 外部割り込み(INTP)の初期化                     |
|                      | mtr_init_hall<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【ホール制御モード】<br>ホールセンサ入力ピンの初期化         |
|                      | R_MTR_get_adc<br>入力:(uint8_t) u1_ad_ch / A/D チャネル<br>出力:(int16_t) s2_ad_value / A/D 変換値 | A/D コンバータレジスタ値取得                     |
|                      | R_MTR_get_v_uvw_adc<br>入力:(int16_t) *s2_v_uvw / 三相電圧<br>出力: なし                          | 【センサレス制御モード】<br>三相電圧の A/D コンバータ変換値取得 |
|                      | R_MTR_ctrl_stop<br>入力:なし<br>出力:なし   | モータ停止処理<br>・電圧出力禁止                   |

表 3-12 “r\_mtr\_driver\_access.c” 関数一覧

| ファイル                  | 関数  | 処理概要  |
|-----------------------|---|---|
| r_mtr_driver_access.c | R_MTR_InitControl<br>入力:なし<br>出力:なし   | モータ制御システム初期化<br>・モータステータスの初期化<br>・制御用変数の初期化 |
|                       | R_MTR_IcsInput<br>入力:(mtr_ctrl_input_t) *st_ics_input / ICS 構造体<br>出力:なし                              | ICS 変数の値を ICS バッファ変数へ入力                     |
|                       | R_MTR_SetVariables 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | ICS バッファ変数の値を制御変数へ入力                        |
|                       | R_MTR_InputBuffParamReset<br>入力:なし<br>出力:なし   | ICS バッファ変数のリセット                             |
|                       | R_MTR_ExecEvent<br>入力: (uint8_t) u1_event / イベント<br>出力:なし   | モータステータスの変更とイベント処理                          |
|                       | R_MTR_GetStatus<br>入力:なし<br>出力: (uint8_t) mtr_statemachine_get_status(&g_st_120.st_stm)<br>/ モータステータス | モータステータス取得                                  |
|                       | R_MTR_GetErrorStatus<br>入力:なし<br>出力: (uint16_t) g_st_120.u2_error_status / エラーステータス                   | エラーステータス取得                                  |
|                       | R_MTR_Get_Dir<br>入力:なし<br>出力: (uint8_t) g_st_120.u1_dir / 回転方向  | 回転方向取得                                      |
|                       | R_MTR_SetSpeed<br>入力: (int16_t) s2_ref_speed_rpm / 目標回転速度<br>出力: (uint8_t) u1_stop_req / 停止要求フラグ      | 速度指令値の設定                                    |
|                       | R_MTR_ChargeCapacitor<br>入力:なし<br>出力: (uint16_t) u2_charge_cap_error / タイムアウトエラー                      | 母線電圧安定待ち処理                                  |
|                       | R_MTR_UpdatePolling<br>入力:なし<br>出力:なし   | 制御変数の設定                                     |

表 3-13 “r\_mtr\_statemachine.c” 関数一覧

| ファイル                 | 関数   | 処理概要          |
|----------------------|--|---------------|
| r_mtr_statemachine.c | mtr_statemachine_init<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine / モータステータス構造体<br>出力:なし  | モータステータスの初期化  |
|                      | mtr_statemachine_reset<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine/ モータステータス構造体<br>出力:なし  | モータステータスのリセット |
|                      | mtr_state_machine_event<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine/ モータステータス構造体<br>(void) *p_object / 制御変数用構造体<br>(uint8_t) u1_event / イベント<br>出力:なし | イベントの実行       |
|                      | mtr_statemachine_get_status<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine/ モータステータス構造体<br>出力:(uint8_t) p_state_machine->u1_status / モータステータス            | モータステータスの取得   |
|                      | mtr_act_none<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *st_stm / モータステータス構造体<br>(void) *p_param / 制御変数用構造体<br>出力:なし  | 処理なし          |
|                      | mtr_act_init<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *st_stm / モータステータス構造体<br>(void) *p_param / 制御変数用構造体<br>出力:なし  | 制御変数の初期化      |
|                      | mtr_act_error<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *st_stm / モータステータス構造体<br>(void) *p_param / 制御変数用構造体<br>出力:なし   | モータの停止        |
|                      | mtr_act_drive<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *st_stm / モータステータス構造体<br>(void) *p_param / 制御変数用構造体<br>出力:なし   | 制御変数のリセット     |
|                      | mtr_act_stop<br>入力:(st_mtr_statemachine_t) *st_stm / モータステータス構造体<br>(void) *p_param / 制御変数用構造体<br>出力:なし  | モータの停止        |

表 3-14 “r\_mtr\_120.h” 関数一覧

| ファイル名       | 関数名   | 処理概要                    |
|-------------|---|-------------------------|
| r_mtr_120.h | mtr_conv_q_voltage(v)<br>入力:なし<br>出力:なし       | 電圧の Q 値変換               |
|             | mtr_conv_kp_voltage(kp)<br>入力:なし<br>出力:なし     | 比例ゲインの Q 値変換            |
|             | mtr_conv_kidt_voltage(kidt)<br>入力:なし<br>出力:なし | 積分ゲインの Q 値変換            |
|             | mtr_conv_rpm2rad(v)<br>入力:なし<br>出力:なし         | 速度の単位を[rpm]から[rad/s]へ変換 |

表 3-15 “r\_mtr\_120.c” 関数一覧

| ファイル名       | 関数名   | 処理概要      |
|-------------|---|-----------|
| r_mtr_120.c | mtr_120_motor_default_init<br>入力:(st_mtr_120_control_t) *st_120 / 制御変数用構造体<br>出力:なし | 制御変数の初期化  |
|             | mtr_120_motor_reset<br>入力:(st_mtr_120_control_t) *st_120 / 制御変数用構造体<br>出力:なし        | 制御変数のリセット |

表 3-16 “r\_mtr\_interrupt.c” 関数一覧 [1/3]

| ファイル   | 関数   | 処理概要  |
|--|--|---|
| r_mtr_interrupt.c  | mtr_over_current_interrupt<br>入力:なし<br>出力:なし   | 過電流検出割り込み処理<br>・過電流割り込み禁止<br>・エラーイベント処理<br>・エラーステータスの変更   |
|  | mtr_carrier_interrupt<br>入力:なし<br>出力:なし  | キャリア割り込み<br>【ホール制御モード】<br>・母線電圧取得<br>・ホールパターン変化検出<br>・回転速度計算準備処理<br>・通電パターンの設定<br>【センサレス制御モード】<br>・三相電圧、母線電圧取得<br>・引き込み処理<br>・ゼロクロス検出<br>・回転速度計算準備処理<br>・オープンループ処理<br>・ディレイカウント計算<br>・ディレイタイマスタート |
|  | mtr_prepare_speed_calc 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし   | 回転速度計算準備処理  |
|  | mtr_set_chopping_pattern 【inline function】<br>入力:(uint8_t) u1_pattern / 電圧パターン<br>出力:なし  | チョッピングパターンの設定   |
|  | mtr_set_speed_ref 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | 速度指令値の設定  |
|  | mtr_set_voltage_ref 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | 電圧指令値の設定  |
|  | mtr_pi_ctrl 【inline function】<br>入力:(st_mtr_pi_control_t) *pi_ctrl / PI 制御用構造体<br>出力:int16_t s2_ref_v_delta / 出力電圧変化量          | PI 制御計算処理 (速度型)   |
|  | mtr_duty_calc 【inline function】<br>入力:(int16_t) s2_ref_v / 指令電圧<br>(int16_t) s2_vdc_ad / 母線電圧<br>出力:(uint16_t) u4_temp / デューティ | デューティの算出  |
|  | mtr_abs 【inline function】<br>入力:(int16_t) s2_value / 入力値<br>出力:(int16_t) s2_temp / 変換値   | 絶対値へ変換  |
| mtr_limit_value 【inline function】<br>入力:(int16_t) s2_value / 入力値<br>(int16_t) s2_limit_value / リミット値<br>出力:(int16_t) s2_temp / 変換値 | リミット処理   |   |

表 3-17 “r\_mtr\_interrupt.c” 関数一覧 [2/3]

| ファイル              | 関数   | 処理概要  |
|-------------------|--|---|
| r_mtr_interrupt.c | mtr_error_check 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | エラーチェック   |
|                   | mtr_1ms_interrupt_hall<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【ホール制御モード】<br>IT 割り込み (1 [ms])<br>・ 指令速度モード、指令電圧モードの切り換え<br>・ 指令速度、指令電圧の計算<br>・ 始動処理<br>・ 回転速度計算<br>・ エラーチェック                         |
|                   | mtr_speed_calc 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【ホール制御モード】<br>回転速度計算  |
|                   | mtr_1ms_interrupt_less<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【センサレス制御モード】<br>IT 割り込み (1 [ms])<br>・ 指令速度モード、指令電圧モードの切り換え<br>・ 指令速度、指令電圧の計算<br>・ 引き込み処理<br>・ 回転速度計算<br>・ オープンループカウンタ値計算<br>・ エラーチェック |
|                   | mtr_delay_interrupt<br>入力:なし<br>出力:なし  | 【センサレス制御モード】<br>TAU03 割り込み<br>・ 通電パターン設定  |
|                   | mtr_draw_in_pattern_set 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | 【センサレス制御モード】<br>回転子引き込み時の電圧パターン設定   |
|                   | mtr_detect_zerocross 【inline function】<br>入力:(st_mtr_sensorless_control_t) *st_less<br>/ 制御変数用構造体<br>出力:(uint16_t) u2_temp_signal / 電圧パターン | 【センサレス制御モード】<br>誘起電圧のゼロクロス検出による回転子の位置推定   |
|                   | mtr_drive_openloop 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし   | 【センサレス制御モード】<br>オープンループ駆動処理   |
|                   | mtr_set_angle_shift 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし  | 【センサレス制御モード】<br>ゼロクロス発生後のディレイカウンタの計算  |



表 3-18 “r\_mtr\_interrupt.c” 関数一覧 [3/3]

| ファイル              | 関数  | 処理概要                              |
|-------------------|---|-----------------------------------|
| r_mtr_interrupt.c | mtr_openloop_pattern_set 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:(uint8_t) u1_pattern / 電圧パターン | 【センサレス制御モード】<br>オープンループ時の電圧パターン設定 |
|                   | mtr_start_delay_timer 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし                               | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマスタート       |
|                   | Mtr_stop_delay_timer 【inline function】<br>入力:なし<br>出力:なし                                | 【センサレス制御モード】<br>ディレイタイマストップ       |

### 3.3 120 度通電制御ソフト変数一覧

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。

また、本制御プログラムでは制御値を固定小数点演算で算出しているため、各値はあらかじめスケールリングされています。本書ではシフトする bit 数を「Qn 値」で表します。Qn では、n bit 左シフトするという意味になります。

表 3-19 “main.c” 変数一覧

| 変数                  | 型               | Qn | 内容                    | 備考  |
|---------------------|-----------------|----|-----------------------|---|
| g_u1_system_mode    | static uint8_t  | Q0 | モードシステム管理用変数          |   |
| g_u1_motor_status   | static uint8_t  | Q0 | モータステータス管理用変数         |   |
| g_u1_reset_req      | static uint8_t  | Q0 | リセット要求フラグ             |   |
| g_u1_stop_req       | static uint8_t  | Q0 | ストップ要求フラグ             |   |
| g_u2_error_status   | static uint16_t | Q0 | エラーステータス管理用変数         |   |
| g_u1_flag_ui_change | static uint8_t  | Q0 | UI 変更フラグ              |   |
| g_u2_conf_hw        | uint16_t        | Q0 | RMW configuration 用変数 |   |
| g_u2_conf_sw        | uint16_t        | Q0 |                       |   |
| g_u2_conf_tool      | uint16_t        | Q0 |                       |   |
| gui_u1_active_gui   | uint8_t         | Q0 |                       |   |
| g_u2_conf_sw_ver    | uint16_t        | Q0 |                       |   |
| com_s2_sw_userif    | int16_t         | Q0 | UI 管理用変数              | 0:ICS_UI<br>1:BOARD_UI  |
| g_s2_sw_userif      | int16_t         | Q0 |                       |   |
| com_u1_run_event    | uint8_t         | Q0 | ランモード遷移用変数            | 0 : MTR_EVENT_STOP<br>1 : MTR_EVENT_DRIVE<br>2 : MTR_EVENT_ERROR<br>3 : MTR_EVENT_RESET |
| g_u1_run_event      | uint8_t         | Q0 |                       |   |
| g_u2_init_error     | uint16_t        | Q0 | システムエラー管理用変数          |   |

表 3-20 “r\_mtr\_board.c” 変数一覧

| 変数        | 型              | Qn | 内容            | 備考 |
|-----------|----------------|----|---------------|----|
| u1_sw_cnt | static uint8_t | Q0 | チャタリング判別用カウンタ |    |

表 3-21 “r\_mtr\_ics.c” 変数一覧

| 変数                         | 型                | Qn  | 内容                   | 備考             |
|----------------------------|------------------|-----|----------------------|----------------|
| com_u1_direction           | uint8_t          | Q0  | 回転方向                 | 0 : CW 1 : CCW |
| com_s2_ref_speed_rpm       | int16_t          | Q0  | 目標速度 [rpm]           | 機械角            |
| com_s2_ramp_limit_v        | int16_t          | Q9  | 電圧変化幅制限値 [V/ms]      |                |
| com_s2_kp_speed            | int16_t          | Q18 | 速度比例ゲイン [V s/rad]    |                |
| com_s2_kidt_speed          | int16_t          | Q22 | 速度積分ゲイン [V s/rad]    |                |
| com_s2_ramp_speed_rpm      | int16_t          | Q0  | 加速度 [rpm/ms]         | ホール制御モード       |
| com_s2_start_ref_v         | int16_t          | Q9  | 始動電圧[V]              |                |
| com_s2_ol_ramp_speed_rpm   | int16_t          | Q0  | オープンループ時加速度 [rpm/ms] | センサレス制御モード     |
| com_s2_less_ramp_speed_rpm | int16_t          | Q0  | センサレス制御時加速度 [rpm/ms] |                |
| com_s2_draw_in_ref_v       | int16_t          | Q9  | 引き込み指令電圧[V]          |                |
| com_s2_ol_ref_v            | int16_t          | Q9  | オープンループ指令電圧[V]       |                |
| com_s2_ol2less_speed_rpm   | int16_t          | Q0  | センサレス制御遷移速度[rpm]     |                |
| com_s2_angle_shift_adjust  | int16_t          | Q0  | ディレイタイマカウント調整値       |                |
| com_s2_enable_write        | int16_t          | Q0  | 変数書き換え許可             |                |
| g_s2_enable_write          | int16_t          | Q0  |                      |                |
| st_ics_input               | mtr_ctrl_input_t | Q0  | ICS 変数受け渡し構造体        | 構造体            |

表 3-22 “r\_mtr\_parameter.h / 構造体 : st\_mtr\_ctrl\_gain\_t” 変数一覧

| 変数               | 型       | Qn  | 内容      | 備考 |
|------------------|---------|-----|---------|----|
| s2_speed_pi_kp   | int16_t | Q18 | 速度比例ゲイン |    |
| s2_speed_pi_kidt | int16_t | Q22 | 速度積分ゲイン |    |

表 3-23 “r\_mtr\_driver\_access.h / 構造体 : mtr\_ctrl\_input\_t” 変数一覧

| 変数                     | 型                  | Qn | 内容                                 | 備考         |
|------------------------|--------------------|----|------------------------------------|------------|
| u1_dir                 | uint8_t            | Q0 | 回転方向                               |            |
| s2_ref_speed_rad       | int16_t            | Q4 | 指令速度 [rad/s]                       | 電気角        |
| s2_ramp_limit_v        | int16_t            | Q9 | 電圧変化幅制限値 [V/ms]                    |            |
| s2_ramp_speed_rad      | int16_t            | Q4 | 加速度 [krad/s <sup>2</sup> ]         | ホール制御モード   |
| s2_start_ref_v         | int16_t            | Q9 | 始動電圧 [V]                           |            |
| s2_ol_ramp_speed_rad   | int16_t            | Q4 | オープンループ時加速度 [krad/s <sup>2</sup> ] | センサレス制御モード |
| s2_less_ramp_speed_rad | int16_t            | Q4 | センサレス制御時加速度 [krad/s <sup>2</sup> ] |            |
| s2_draw_in_ref_v       | int16_t            | Q9 | 引き込み指令電圧 [V]                       |            |
| s2_ol_ref_v            | int16_t            | Q9 | オープンループ指令電圧 [V]                    |            |
| s2_ol2less_speed_rad   | int16_t            | Q4 | センサレス制御遷移速度                        |            |
| s2_angle_shift_adjust  | int16_t            | Q0 | ディレイタイマカウント調整値                     |            |
| st_gain                | st_mtr_ctrl_gain_t | -  | PI 制御パラメータ構造体                      | 構造体        |

表 3-24 “r\_mtr\_driver\_access.c” 変数一覧

| 変数                     | 型                | Qn | 内容            | 備考  |
|------------------------|------------------|----|---------------|-----|
| g_u1_trig_enable_write | uint8_t          | Q0 | ICS 書き込み許可フラグ |     |
| st_ics_input_buff      | mtr_ctrl_input_t | -  | ツール変数入力バッファ   | 構造体 |

表 3-25 “r\_mtr\_statemachine.h / 構造体 : st\_mtr\_statemachine.h” 変数一覧

| 変数               | 型       | Qn | 内容          | 備考 |
|------------------|---------|----|-------------|----|
| u1_status        | uint8_t | Q0 | モータステータス    |    |
| u1_status_next   | uint8_t | Q0 | 遷移後モータステータス |    |
| u1_current_event | uint8_t | Q0 | 実行イベント      |    |

表 3-26 “r\_mtr\_statemachine.c” 変数一覧

| 変数   | 型                   | Qn | 内容          | 備考 |
|--|---------------------|----|-------------|----|
| state_transition_table<br>[MTR_SIZE_EVENT]<br>[MTR_SIZE_STATE] | static uint8_t      | Q0 | 状態遷移用のマクロ配列 | 配列 |
| mtr_action_table<br>[MTR_SIZE_EVENT]<br>[MTR_SIZE_STATE]       | static mtr_action_t | Q0 | 状態遷移用の関数配列  | 配列 |

表 3-27 “r\_mtr\_120.h / 構造体:st\_mtr\_pi\_control\_t” 変数一覧

| 変数          | 型       | Qn  | 内容                  | 備考 |
|-------------|---------|-----|---------------------|----|
| s2_kp       | int16_t | Q18 | 速度比例ゲイン [(V s)/rad] |    |
| s2_kidt     | int16_t | Q22 | 速度積分ゲイン [(V s)/rad] |    |
| s4_pre_refp | int32_t | Q22 | 速度比例項前回値 [V]        |    |

表 3-28 “r\_mtr\_120.h / 構造体: st\_mtr\_hall\_control\_t” 変数一覧

| 変数                    | 型       | Qn | 内容                    | 備考       |
|-----------------------|---------|----|-----------------------|----------|
| u1_hall_signal        | uint8_t | Q0 | ホール信号値                | ホール制御モード |
| u1_pre_hall_signal    | uint8_t | Q0 | ホール信号前回値              |          |
| u1_first_rotation_cnt | uint8_t | Q0 | 始動後 1 回転するまでのパターンカウンタ |          |
| s2_start_ref_v        | int16_t | Q9 | 始動電圧 [V]              |          |

表 3-29 “r\_mtr\_120.h / 構造体:st\_mtr\_sensorless\_control\_t” 変数一覧

| 変数                     | 型        | Qn | 内容                                 | 備考         |
|------------------------|----------|----|------------------------------------|------------|
| u1_state_draw_in       | uint8_t  | Q0 | 引き込みステート管理                         | センサレス制御モード |
| u1_flag_pattern_change | uint8_t  | Q0 | 電圧パターン変化検出フラグ                      |            |
| u1_flag_set_v_pattern  | uint8_t  | Q0 | 通電パターン設定フラグ                        |            |
| u1_flag_ol2less        | uint8_t  | Q0 | センサレス制御遷移フラグ                       |            |
| u1_flag_zc             | uint8_t  | Q0 | ゼロクロス発生フラグ                         |            |
| u1_flag_vdc_adc        | uint8_t  | Q0 | 母線電圧測定フラグ                          |            |
| u1_bemf_signal         | uint8_t  | Q0 | 仮想ホールパターン信号                        |            |
| u1_pre_bemf_signal     | uint8_t  | Q0 | 仮想ホールパターン信号前回値                     |            |
| u1_set_v_pattern       | uint8_t  | Q0 | 通電パターン                             |            |
| u1_ol_v_pattern_num    | uint8_t  | Q0 | オープンループ通電パターン用リングバッファ              |            |
| u2_cnt_carrier         | uint16_t | Q0 | キャリア周期カウンタ                         |            |
| u2_cnt_delay           | uint16_t | Q0 | ゼロクロスからの転極遅延値                      |            |
| u2_ol_pattern_period   | uint16_t | Q0 | オープンループ転極周期時間                      |            |
| u2_cnt_draw_in         | uint16_t | Q0 | 引き込み時制御用カウンタ                       |            |
| u2_v_const_period      | uint16_t | Q0 | 引き込み時電圧一定時間                        |            |
| s2_vu_ad               | int16_t  | Q0 | U 相電圧                              |            |
| s2_vv_ad               | int16_t  | Q0 | V 相電圧                              |            |
| s2_vw_ad               | int16_t  | Q0 | W 相電圧                              |            |
| s2_vn_ad               | int16_t  | Q0 | 仮想中点電圧                             |            |
| s2_ol2less_speed_rad   | int16_t  | Q4 | センサレス制御遷移速度 [rad/s]                |            |
| s2_ol_ramp_speed_rad   | int16_t  | Q4 | オープンループ時加速度 [krad/s <sup>2</sup> ] |            |
| s2_less_ramp_speed_rad | int16_t  | Q4 | センサレス制御時加速度 [krad/s <sup>2</sup> ] |            |
| s2_draw_in_ref_v       | int16_t  | Q9 | 引き込み指令電圧 [V]                       |            |
| s2_ol_ref_v            | int16_t  | Q9 | 始動電圧 [V]                           |            |
| s2_angle_shift_adjust  | int16_t  | Q0 | 仮想ホールパターン遅延量調整値                    |            |

表 3-30 “r\_mtr\_interrupt.c” 変数一覧

| 変数                            | 型                    | Qn | 内容              | 備考  |
|-------------------------------|----------------------|----|-----------------|-----|
| g_st_120                      | st_mtr_120_control_t | -  | 制御用構造体          | 構造体 |
| g_u1_ol_v_pattern_table[2][7] | Uint8_t              | Q0 | オープンループ電圧パターン配列 | 配列  |

## 3.4 120 度通電制御ソフトマクロ定義

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 3-31 “r\_mtr\_config.h” マクロ定義一覧

| マクロ                 | 定義値 | Qn | 内容              | 備考              |
|---------------------|-----|----|-----------------|-----------------|
| RL78_G1M_MRSSK      | -   | -  | CPU ボードの選択      |                 |
| IP_MRSSK            | -   | -  | インバータボードの選択     |                 |
| MP_TG55L            | -   | -  | モータパラメータの選択     |                 |
| CP_TG55L            | -   | -  | 制御パラメータの選択      |                 |
| ICS_UI              | 0   | -  | RMW UI          | デフォルト設定         |
| BOARD_UI            | 1   | -  | RSSK ボード UI     |                 |
| MTRCONF_DEFAULT_UI  | 0/1 | -  | UI の選択          | ボード UI / ICS UI |
| HALL                | 0   | -- | ホールセンサ          |                 |
| LESS                | 1   | -  | センサレス           | デフォルト設定         |
| MTRCONF_SENSOR_MODE | 0/1 | -  | 回転子の位置検出用センサの選択 | ホールセンサ / センサレス  |

表 3-32 “r\_mtr\_motor\_parameter.h” マクロ定義一覧

| マクロ                    | 定義値          | Qn | 内容                       | 備考 |
|------------------------|--------------|----|--------------------------|----|
| MP_POLE_PAIRS          | 2            | -  | 極対数                      |    |
| MP_RESISTANCE          | 9.125f       | -  | 抵抗 [ $\Omega$ ]          |    |
| MP_D_INDUCTANCE        | 0.003844f    | -  | d 軸インダクタンス [H]           |    |
| MP_Q_INDUCTANCE        | 0.004315f    | -  | q 軸インダクタンス [H]           |    |
| MP_MAGNETIC_FLUX       | 0.02144f     | -  | 誘起電圧係数 [V s/rad]         |    |
| MP_ROTOR_INERTIA       | 0.000002050f | -  | イナーシャ[kgm <sup>2</sup> ] |    |
| MP_NOMINAL_CURRENT_RMS | 0.42f        | -  | 定格電流[A]                  |    |

表 3-33 “r\_mtr\_control\_parameter.h” マクロ定義一覧

| マクロ                      | 定義値  | Qn | 内容                    | 備考             |
|--------------------------|--|----|-----------------------|----------------|
| CP_MAX_SPEED_RPM         | 3200   | -  | 速度指令最大値 [rpm]         | 機械角            |
| CP_LIMIT_SPEED_RPM       | 3900   | -  | 回転速度リミット値 [rpm]       | 機械角            |
| CP_RAMP_LIMIT_V          | 0.25   | -  | 電圧変化幅リミット値 [V]        |                |
| CP_MIN_SPEED_RPM         | 530【ホール制御モード】/<br>265【センサレス制御モード】                          | -  | 速度指令最小値 [rpm]         | 機械角            |
| CP_SPEED_PI_KP           | 0.03015119f【ホール制御<br>モード】/<br>0.001041950f【センサレス制<br>御モード】 | -  | 速度 PI 比例ゲイン [V s/rad] |                |
| CP_SPEED_PI_KIDT         | 0.02192814f【ホール制御<br>モード】/<br>0.000551114f【センサレス制<br>御モード】 | -  | 速度 PI 積分ゲイン [V s/rad] |                |
| CP_HALL2OL_REV_SPEED_RPM | 530  | -  | ホール制御遷移速度 [rpm]       | ホール制御<br>モード   |
| CP_RAMP_SPEED_RPM        | 30   | -  | 加速度 [rpm/ms]          |                |
| CP_START_REF_V           | 3.5f   | -  | 始動電圧 [V]              |                |
| CP_OL2LESS_SPEED_RPM     | 530  | -  | センサレス制御遷移速度 [rpm]     | センサレス制<br>御モード |
| CP_OL_RAMP_SPEED_RPM     | 2  | -  | オープンループ時加速度 [rpm/ms]  |                |
| CP_LESS_RAMP_SPEED_RPM   | 10   | -  | センサレス制御時加速度 [rpm/ms]  |                |
| CP_OL_REF_V              | 4.3f   | -  | オープンループ電圧 [V]         |                |
| CP_DRAW_IN_REF_V         | 20.0f  | -  | 引き込み電圧 [V]            |                |

表 3-34 “r\_mtr\_inverter\_parameter.h” マクロ定義一覧

| マクロ                   | 定義値    | Qn | 内容              | 備考 |
|-----------------------|--------|----|-----------------|----|
| IP_VDC_RANGE          | 111.0f | -  | 電圧スケーリングレンジ [V] |    |
| IP_INPUT_V            | 24.0f  | -  | 入力電圧 [V]        |    |
| IP_OVERVOLTAGE_LIMIT  | 28.0f  | -  | 過電圧リミット [V]     |    |
| IP_UNDERVOLTAGE_LIMIT | 15.0f  | -  | 低電圧リミット [V]     |    |



表 3-35 “main.h” マクロ定義一覧

| マクロ           | 定義値  | Qn | 内容         | 備考 |
|---------------|------|----|------------|----|
| MODE_INACTIVE | 0x00 | -  | インアクティブモード |    |
| MODE_ACTIVE   | 0x01 | -  | アクティブモード   |    |
| MODE_ERROR    | 0x02 | -  | エラーモード     |    |
| SIZE_STATE    | 3    | -  | モード状態数     |    |

表 3-36 “ICS\_define.h” マクロ定義一覧

| マクロ  | 定義値 | Qn | 内容     | 備考 |
|------|-----|----|--------|----|
| RL78 | -   | -  | CPU 定義 |    |

表 3-37 “r\_mtr\_ics.h” マクロ定義一覧

| マクロ                | 定義値    | Qn | 内容               | 備考 |
|--------------------|--------|----|------------------|----|
| ICS_ADDR           | 0xFE00 | -  | ICS 用アドレス指定      |    |
| ICS_INT_LEVEL      | 2      | -  | ICS 用割り込みレベル設定   |    |
| ICS_NUM            | 0x40   | -  | ICS 通信データサイズ     |    |
| ICS_BRR            | 9      | -  | ICS ビットレートレジスタ選択 |    |
| ICS_MODE           | 0      | -  | ICS 割り込みモード設定    |    |
| ADJUST_ICES_PERIOD | 150    | -  | ICS 通信周期調整       |    |

表 3-38 “r\_mtr\_board.h” マクロ定義一覧

| マクロ               | 定義値  | Qn | 内容              | 備考 |
|-------------------|--|----|-----------------|----|
| SW_CHATTERING_CNT | 10   | -  | チャタリング除去判別カウンタ数 |    |
| VR1_MARGIN        | 400  | -  | VR1 マージン値       |    |
| VR1_SCALING       | mtr_conv_rpm2rad(CP_MAX_SPEED_RPM+VR1_MARGIN)/0x0200 | Q4 | VR1 速度指令値計算用定数  |    |
| VR1_OFFSET        | 0x1FF  | -  | VR1 オフセット調整用定数  |    |

表 3-39 “r\_mtr\_ctrl\_rl78g1m.h” マクロ定義一覧 [1/2]

| マクロ                      | 定義値  | Qn | 内容                         | 備考 |
|--------------------------|--|----|----------------------------|----|
| MTR_CARRIER_FREQ         | 20.0f  | -  | キャリア割り込み周波数 [kHz]          |    |
| MTR_TAU0_FREQ            | 20.0f  | -  | TAU0 周波数 [MHz]             |    |
| MTR_1MS_FREQ             | 1.0f   | -  | 1ms 割り込み周波数 [kHz]          |    |
| MTR_IT_FREQ              | 15.0f  | -  | 12 ビット・インターバル・タイマ周波数 [kHz] |    |
| MTR_TAU_PWM_CNT          | (uint16_t)(MTR_TAU0_FREQ / MTR_CARRIER_FREQ * 1000 - 1)  | -  | キャリア割り込みカウンタレジスタ設定値        |    |
| MTR_IT_1MS_CNT           | (uint16_t)(MTR_IT_FREQ / MTR_1MS_FREQ - 1)               | -  | 1ms 割り込みカウンタレジスタ設定値        |    |
| MTR_VDC_SCALING          | (int16_t)(IP_VDC_RANGE / 1023.0f * (1 << MTR_Q_VOLTAGE)) | Q9 | A/D 変換用電圧スケール値             |    |
| MTR_DUTY_BIT_SHIFT       | 5  | -  | デューティ計算用ビットシフト             |    |
| MTR_DUTY_SCALING         | MTR_TAU_PWM_CNT >> (MTR_Q_VOLTAGE - MTR_DUTY_BIT_SHIFT)  | -  | デューティ変換用定数                 |    |
| MTR_TIME_WAIT_CHARGE_CAP | 4300   | -  | チャージキャパシタ待ち時間              |    |
| MTR_CNT_WAIT_CHARGE_CAP  | 20   | -  | チャージキャパシタ待ちループ回数           |    |
| MTR_PORT_HALL_U          | P1_bit.no2   | -  | ホールセンサ U 相入力ポート            |    |
| MTR_PORT_HALL_V          | P1_bit.no3   | -  | ホールセンサ V 相入力ポート            |    |
| MTR_PORT_HALL_W          | P1_bit.no4   | -  | ホールセンサ W 相入力ポート            |    |
| MTR_PORT_UP              | P0_bit.no0   | -  | U 相 (正相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_UN              | P0_bit.no1   | -  | U 相 (逆相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_VP              | P0_bit.no2   | -  | V 相 (正相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_VN              | P0_bit.no3   | -  | V 相 (逆相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_WP              | P0_bit.no4   | -  | W 相 (正相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_WN              | P0_bit.no5   | -  | W 相 (逆相) 電圧出力ポート           |    |
| MTR_PORT_SW1             | P12_bit.no5  | -  | SW1 入力ポート                  |    |
| MTR_PORT_SW2             | P13_bit.no7  | -  | SW2 入力ポート                  |    |
| MTR_PORT_LED1            | P4_bit.no0   | -  | LED1 出力ポート                 |    |
| MTR_TAU1_CNT             | TCR01  | -  | 速度計算用タイマカウンタレジスタ           |    |
| MTR_ADCCH_VR1            | 7  | -  | VR1 の A/D コンバータチャネル        |    |
| MTR_ADCCH_VDC            | 6  | -  | 母線電圧の A/D コンバータチャネル        |    |
| MTR_ADCCH_VU             | 3  | -  | U 相電圧の A/D コンバータチャネル       |    |
| MTR_ADCCH_VV             | 4  | -  | V 相電圧の A/D コンバータチャネル       |    |
| MTR_ADCCH_VW             | 5  | -  | W 相電圧の A/D コンバータチャネル       |    |
| MTR_ADCCH_IU             | 1  | -  | U 相電流の A/D コンバータチャネル       |    |
| MTR_ADCCH_IV             | 2  | -  | V 相電流の A/D コンバータチャネル       |    |

表 3-40 “r\_mtr\_rl78g1m.h” マクロ定義一覧 [2/2]

| マクロ                      | 定義値    | Qn | 内容                 | 備考 |
|--------------------------|--------|----|--------------------|----|
| MTR_UP_H                 | 0x0010 | -  | 通電パターン             |    |
| MTR_UP_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_UP_PWM               | 0x0001 | -  |                    |    |
| MTR_VP_H                 | 0x0020 | -  |                    |    |
| MTR_VP_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_VP_PWM               | 0x0002 | -  |                    |    |
| MTR_WP_H                 | 0x0040 | -  |                    |    |
| MTR_WP_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_WP_PWM               | 0x0004 | -  |                    |    |
| MTR_UN_H                 | 0x0080 | -  |                    |    |
| MTR_UN_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_UN_PWM               | 0x0008 | -  |                    |    |
| MTR_VN_H                 | 0x1000 | -  |                    |    |
| MTR_VN_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_VN_PWM               | 0x0100 | -  |                    |    |
| MTR_WN_H                 | 0x2000 | -  |                    |    |
| MTR_WN_L                 | 0x0000 | -  |                    |    |
| MTR_WN_PWM               | 0x0200 | -  |                    |    |
| MTR_ALL_OFF              | 0x0000 | -  |                    |    |
| ERROR_NONE               | 0x00   | -  | エラーなし              |    |
| ERROR_CHARGE_CAP_TIMEOUT | 0x01   | -  | キャパシタチャージタイムアウトエラー |    |

表 3-41 “r\_mtr\_common.h” マクロ定義一覧

| マクロ          | 定義値              | Qn | 内容     | 備考 |
|--------------|------------------|----|--------|----|
| MTR_TWOPI    | 2*3.14159265359f | -  | 2π     |    |
| MTR_TWOPI_60 | MTR_TWOPI/60     | -  | 2π/60  |    |
| MTR_CW       | 0                | -  | CW     |    |
| MTR_CCW      | 1                | -  | CCW    |    |
| MTR_ON       | 0                | -  | オン     |    |
| MTR_OFF      | 1                | -  | オフ     |    |
| MTR_CLR      | 0                | -  | フラグクリア |    |
| MTR_SET      | 1                | -  | フラグセット |    |

表 3-42 “r\_mtr\_fixed.h” マクロ定義一覧

| マクロ                      | 定義値  | Qn | 内容                       | 備考 |
|--------------------------|--|----|--------------------------|----|
| MTR_Q_VOLTAGE            | 9  | -  | 電圧 Q 値                   |    |
| MTR_Q_AFREQ              | 4  | -  | 角周波数 Q 値                 |    |
| MTR_Q_SPEED_KP           | 18   | -  | 比例ゲイン Q 値                |    |
| MTR_Q_SPEED_KIDT         | 22   | -  | 積分ゲイン Q 値                |    |
| RSFT_AFREQ_KP_2VOLTAGE   | MTR_Q_SPEED_KP +<br>MTR_Q_AFREQ -<br>MTR_Q_VOLTAGE   | -  | (角速度*比例ゲイン)から電圧変換時の右シフト量 |    |
| RSFT_AFREQ_KIDT_2VOLTAGE | MTR_Q_SPEED_KIDT +<br>MTR_Q_AFREQ -<br>MTR_Q_VOLTAGE | -  | (角速度*積分ゲイン)から電圧変換時の右シフト量 |    |

表 3-43 “r\_mtr\_parameter.h” マクロ定義一覧

| マクロ                         | 定義値  | Qn | 内容                                      | 備考 |
|-----------------------------|--|----|---|----|
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE     | (int32_t)(156000 * MTR_TWOP1 *<br>(1 << MTR_Q_AFREQ))    | Q9 | 回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数                     |    |
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE_1ST | MTR_SPEED_CALC_BASE/6                                    | Q9 | 回転開始後最初の速度計算における、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数    |    |
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE_2ND | MTR_SPEED_CALC_BASE/3                                    | Q9 | 回転開始後 2 回目の速度計算における、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数 |    |
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE_3RD | MTR_SPEED_CALC_BASE/2                                    | Q9 | 回転開始後 3 回目の速度計算における、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数 |    |
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE_4TH | MTR_SPEED_CALC_BASE*2/3                                  | Q9 | 回転開始後 4 回目の速度計算における、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数 |    |
| MTR_SPEED_CALC_B<br>ASE_5TH | MTR_SPEED_CALC_BASE*5/6                                  | Q9 | 回転開始後 5 回目の速度計算における、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数 |    |
| MTR_OL_CNT_CALC_<br>BASE    | MTR_CARRIER_FREQ * 1000 *<br>MTR_TWOP1 / MTR_PATTERN_NUM | -  | オープンループカウンタ計算用定数                        |    |
| MTR_MAX_SPEED_R<br>AD       | mtr_conv_rpm2rad(CP_MAX_SPEED_R<br>PM)                   | Q4 | 最大指令速度 [rad/s]                          |    |
| MTR_MIN_SPEED_R<br>AD       | mtr_conv_rpm2rad(CP_MIN_SPEED_R<br>PM)                   | Q4 | 最小指令速度 [rad/s]                          |    |
| MTR_MAX_DRIVE_V             | mtr_conv_q_voltage(IP_INPUT_V * 0.90f)                   | Q9 | 最大指令電圧 [V]                              |    |
| MTR_MIN_DRIVE_V             | mtr_conv_q_voltage(IP_INPUT_V * 0.0f)                    | Q9 | 最小指令電圧 [V]                              |    |
| MTR_MCU_ON_V                | mtr_conv_q_voltage(IP_INPUT_V * 0.8)                     | Q9 | 母線電圧安定供給判断値 [V]                         |    |

表 3-44 “r\_mtr\_statemachine.h” マクロ定義一覧

| マクロ             | 定義値  | Qn | 内容       | 備考 |
|-----------------|------|----|----------|----|
| MTR_MODE_INIT   | 0x00 | Q0 | 初期化モード   |    |
| MTR_MODE_DRIVE  | 0x01 | Q0 | ドライブモード  |    |
| MTR_MODE_STOP   | 0x02 | Q0 | ストップモード  |    |
| MTR_SIZE_STATE  | 3    | Q0 | ステート数    |    |
| MTR_EVENT_STOP  | 0x00 | Q0 | ストップイベント |    |
| MTR_EVENT_DRIVE | 0x01 | Q0 | ランイベント   |    |
| MTR_EVENT_ERROR | 0x02 | Q0 | エラーイベント  |    |
| MTR_EVENT_RESET | 0x03 | Q0 | リセットイベント |    |
| MTR_SIZE_EVENT  | 4    | Q0 | イベント数    |    |

表 3-45 “r\_mtr\_120.h” マクロ定義一覧 [1/2]

| マクロ                       | 定義値  | Qn | 内容                          | 備考         |
|---------------------------|--|----|-----------------------------|------------|
| MTR_TIMEOUT_CNT           | 200  | -  | タイムアウトエラー判定値                |            |
| MTR_HALL2OL_REV_SPEED_RAD | mtr_conv_rpm2rad(CP_HALL2OL_REV_SPEED_RPM) | Q4 | 回転反転時の PI 制御からオープンループへの遷移速度 | ホール制御モード   |
| MTR_AVOID_COMMUTATION     | 4  | -  | 転極後ゼロクロス判定回避カウント数           | センサレス制御モード |
| MTR_DRAW_IN_1ST_PATTERN   | 1  | -  | 引き込み第一パターン                  |            |
| MTR_DRAW_IN_2ND_PATTERN   | 2  | -  | 引き込み第二パターン                  |            |
| MTR_PATTERN_CW_V_U        | 2  | -  | CW 時電圧パターン                  |            |
| MTR_PATTERN_CW_W_U        | 3  | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CW_W_V        | 1  | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CW_U_V        | 5  | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CW_U_W        | 4  | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CW_V_W        | 6  | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CCW_V_U       | 5【ホール制御モード】 / 3【センサレス制御モード】                | -  | CCW 時電圧パターン                 |            |
| MTR_PATTERN_CCW_V_W       | 1【ホール制御モード】 / 2【センサレス制御モード】                | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CCW_U_W       | 3【ホール制御モード】 / 6【センサレス制御モード】                | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CCW_U_V       | 2【ホール制御モード】 / 4【センサレス制御モード】                | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CCW_W_V       | 6【ホール制御モード】 / 5【センサレス制御モード】                | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_CCW_W_U       | 4【ホール制御モード】 / 1【センサレス制御モード】                | -  |                             |            |
| MTR_PATTERN_NUM           | 6  | -  |                             | 通電パターン数    |

表 3-46 “r\_mtr\_120.h” マクロ定義一覧 [2/2]

| マクロ                     | 定義値  | Qn | 内容             | 備考 |
|-------------------------|------|----|----------------|----|
| MTR_ERROR_NONE          | 0x00 | -  | エラーなし          |    |
| MTR_ERROR_OVER_CURRENT  | 0x01 | -  | 過電流エラー         |    |
| MTR_ERROR_OVER_VOLTAGE  | 0x02 | -  | 過電圧エラー         |    |
| MTR_ERROR_OVER_SPEED    | 0x04 | -  | 過速度エラー         |    |
| MTR_ERROR_HALL_TIMEOUT  | 0x08 | -  | ホールタイムアウトエラー   |    |
| MTR_ERROR_BEMF_TIMEOUT  | 0x10 | -  | 誘起電圧タイムアウトエラー  |    |
| MTR_ERROR_HALL_PATTERN  | 0x20 | -  | ホールパターンエラー     |    |
| MTR_ERROR_BEMF_PATTERN  | 0x40 | -  | 誘起電圧パターンエラー    |    |
| MTR_ERROR_UNDER_VOLTAGE | 0x80 | -  | 低電圧エラー         |    |
| MTR_ERROR_UNKNOWN       | 0xff | -  | 未定義エラー         |    |
| MTR_DRAW_IN_NONE        | 0    | -  | 回転子引き込み非動作     |    |
| MTR_DRAW_IN_1ST         | 1    | -  | 回転子引き込み 1 回目   |    |
| MTR_DRAW_IN_2ND         | 2    | -  | 回転子引き込み 2 回目   |    |
| MTR_DRAW_IN_FINISH      | 3    | -  | 回転子引き込み終了      |    |
| MTR_SPEED_ZERO_CONST    | 0    | -  | 指令速度 0 モード     |    |
| MTR_SPEED_MANUAL        | 1    | -  | 指令速度マニュアル入力モード |    |
| MTR_V_ZERO_CONST        | 0    | -  | 指令電圧 0 モード     |    |
| MTR_V_MANUAL            | 1    | -  | 指令電圧マニュアル入力モード |    |
| MTR_V_PI_OUTPUT         | 2    | -  | 指令電圧 PI 出力モード  |    |

### 3.5 制御フロー (フローチャート)

#### 3.5.1 メイン処理

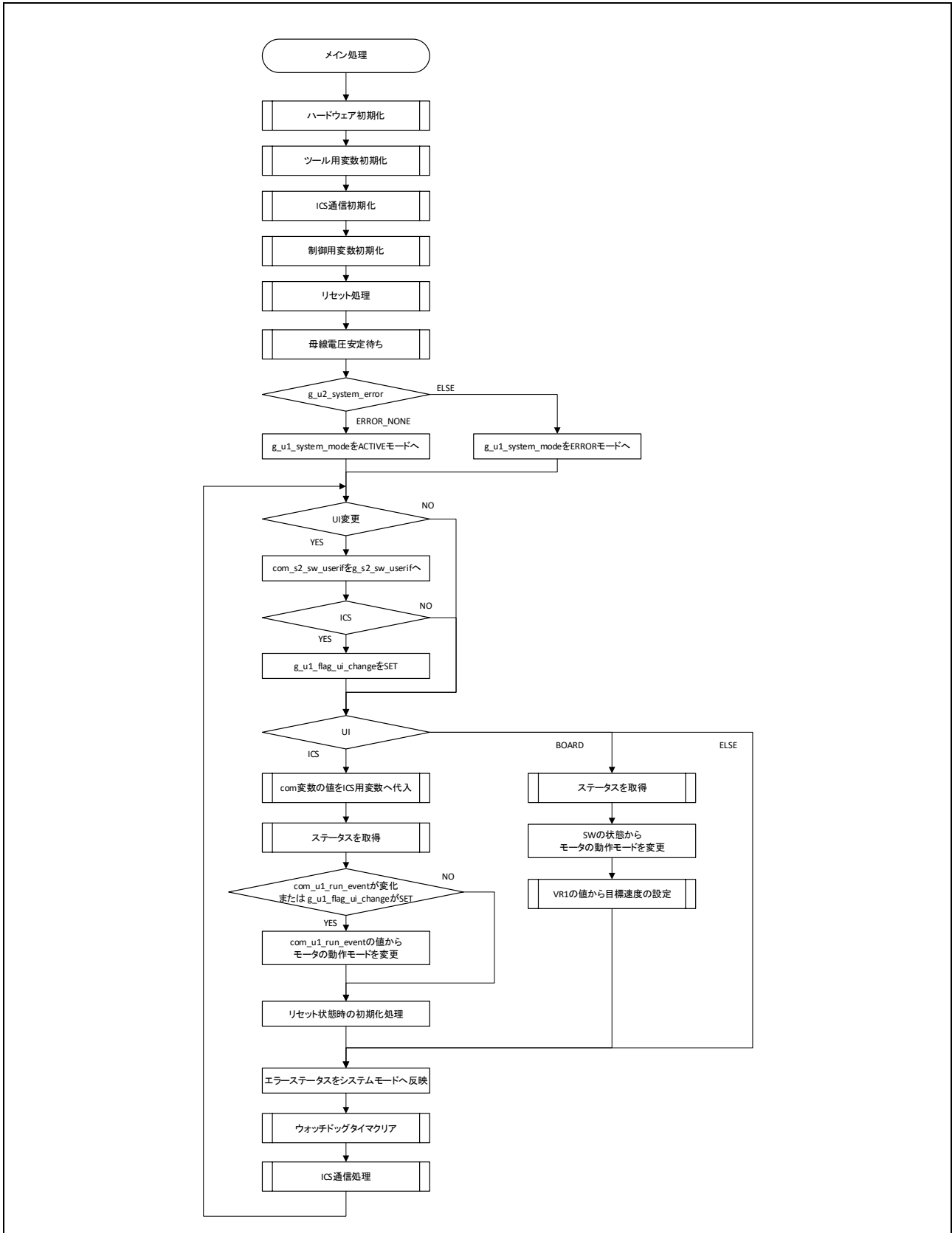


図 3-7 メイン処理フローチャート

3.5.2 キャリア周期割り込み処理

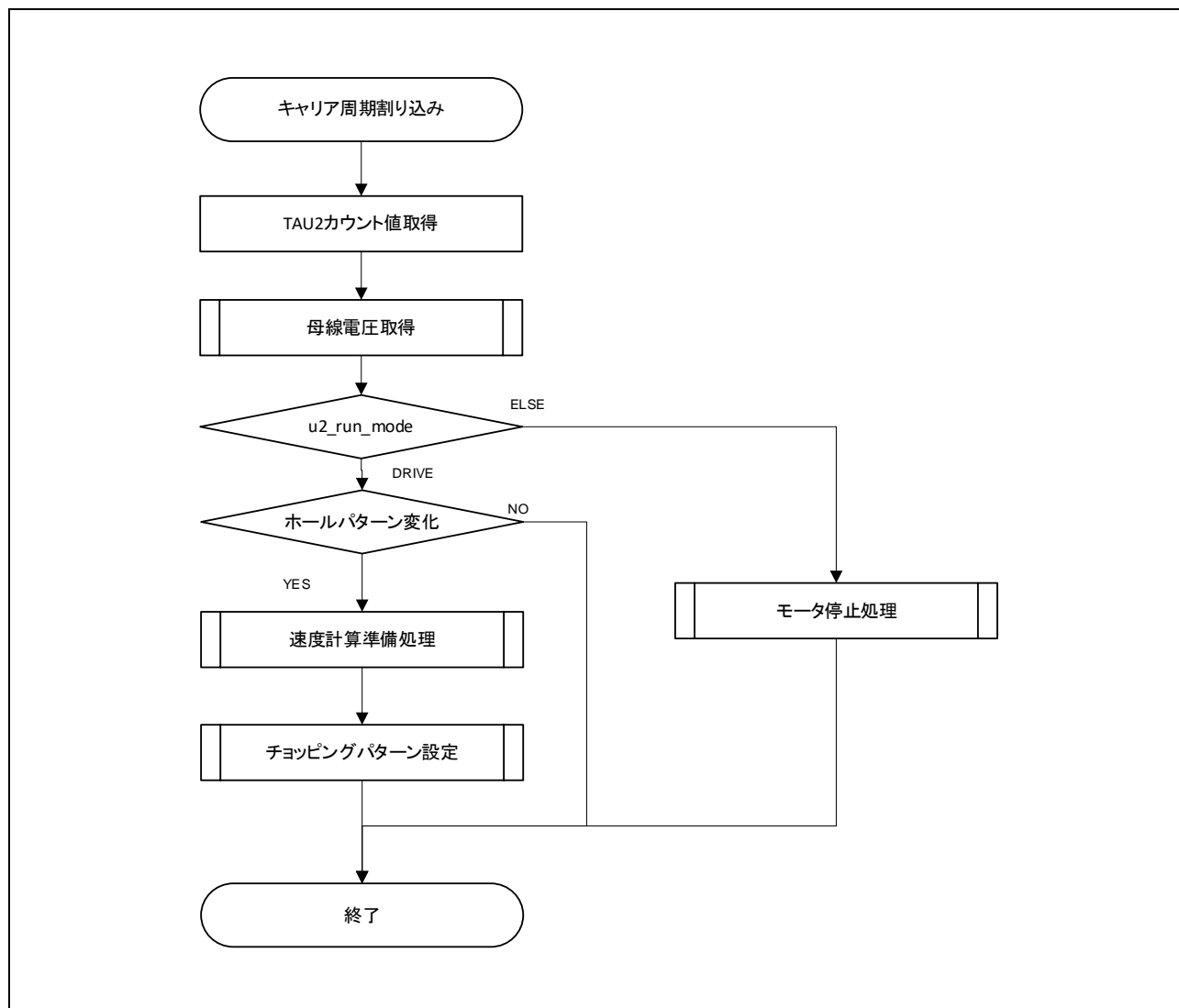


図 3-8 キャリア周期割り込み処理フローチャート (ホール制御モード)



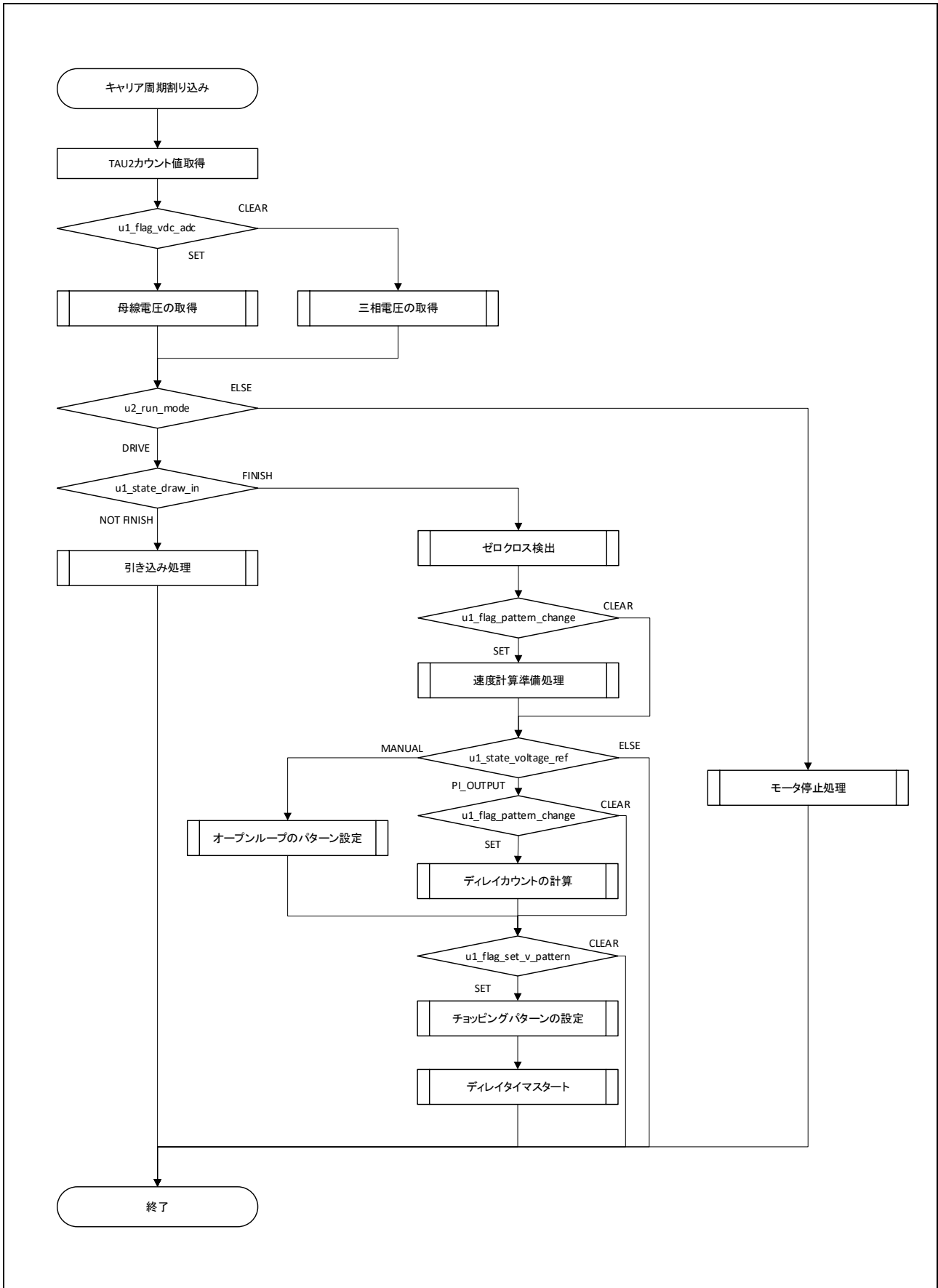


図 3-9 キャリア周期割り込み処理フローチャート (センサレス制御モード)

3.5.3 1 [ms]割り込み処理

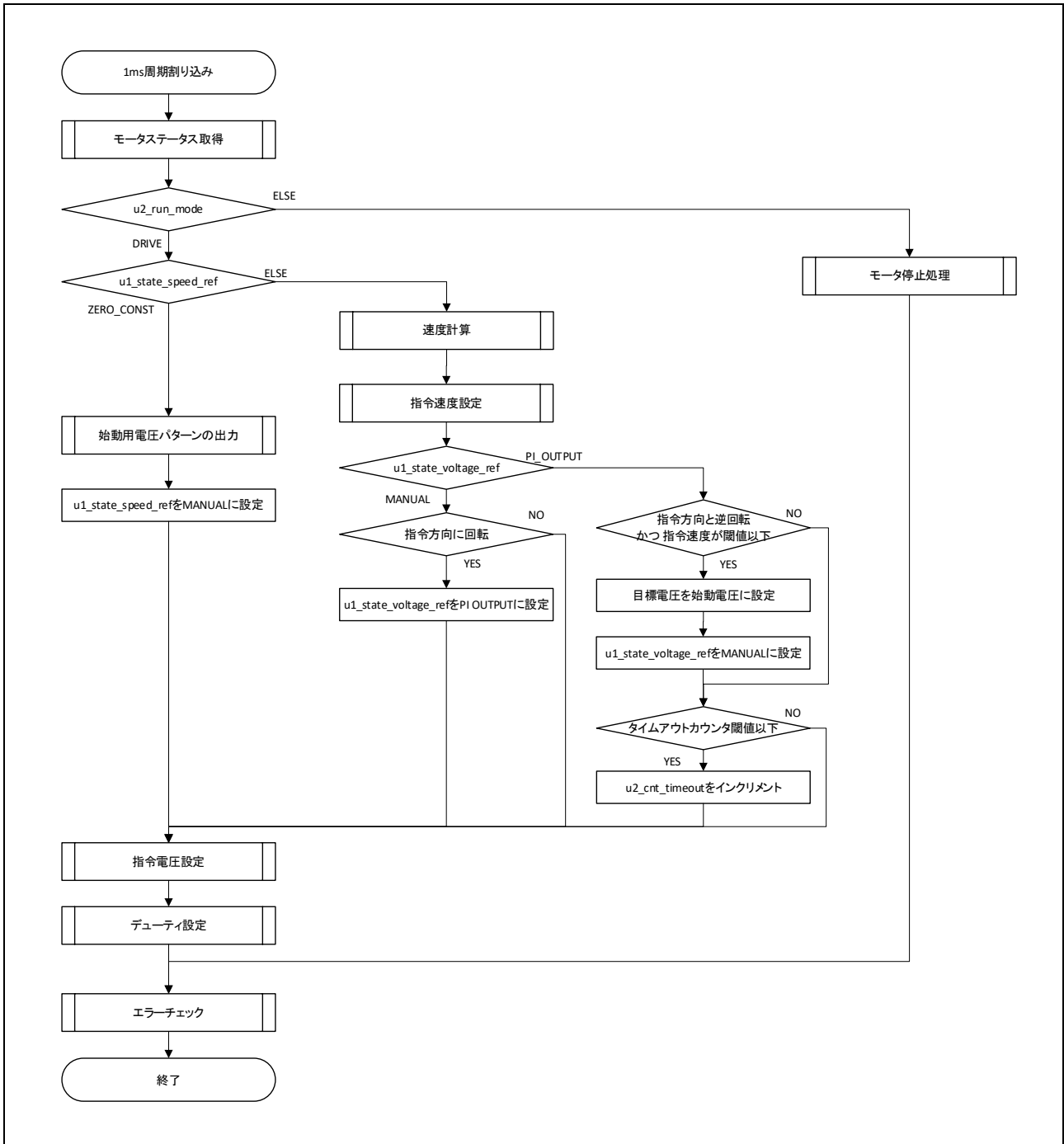


図 3-10 1 [ms]割り込み処理フローチャート(ホール制御モード)

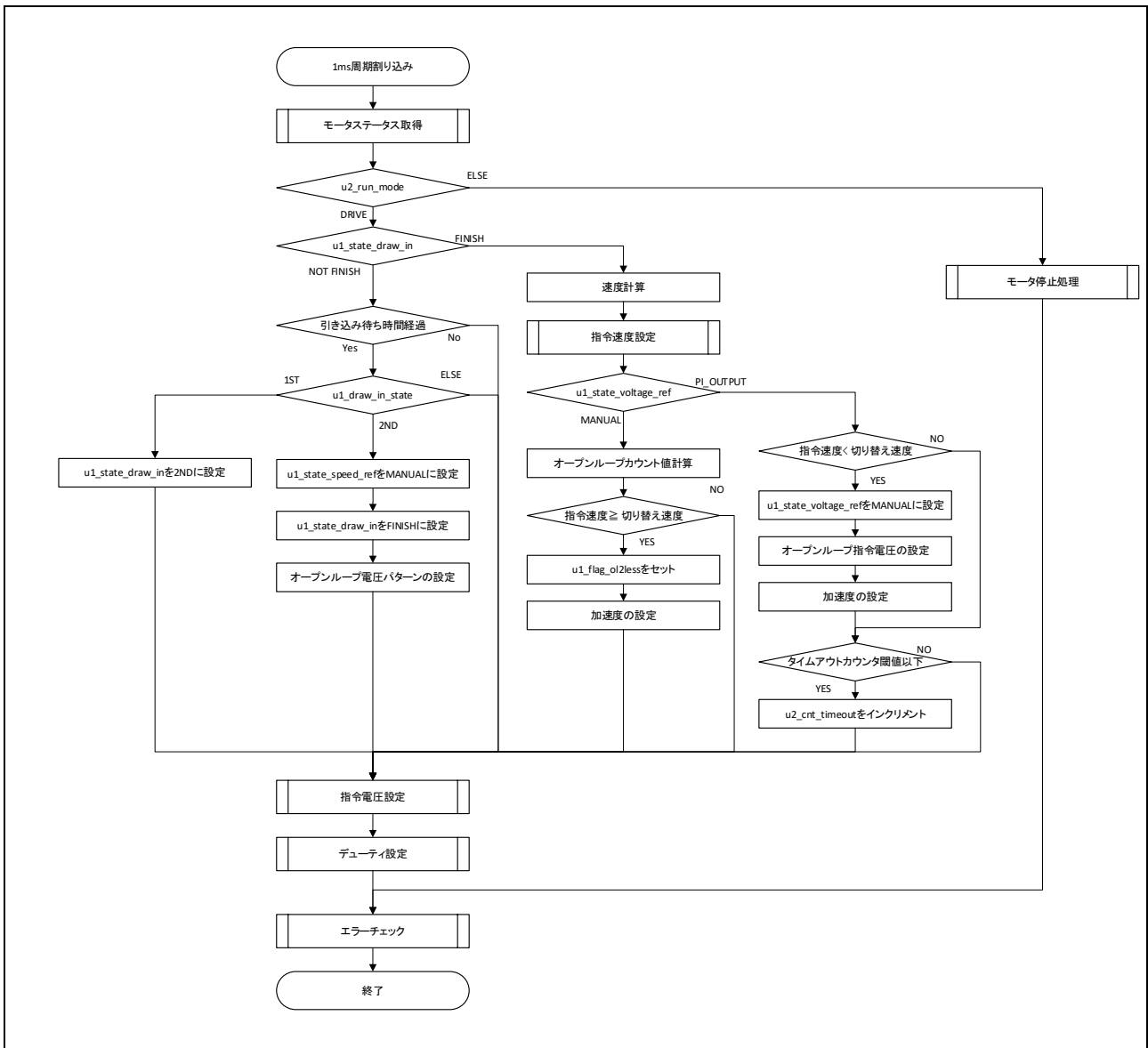


図 3-11 1 [ms]割り込み処理フローチャート(センサレス制御モード)

## 3.5.4 過電流割り込み処理

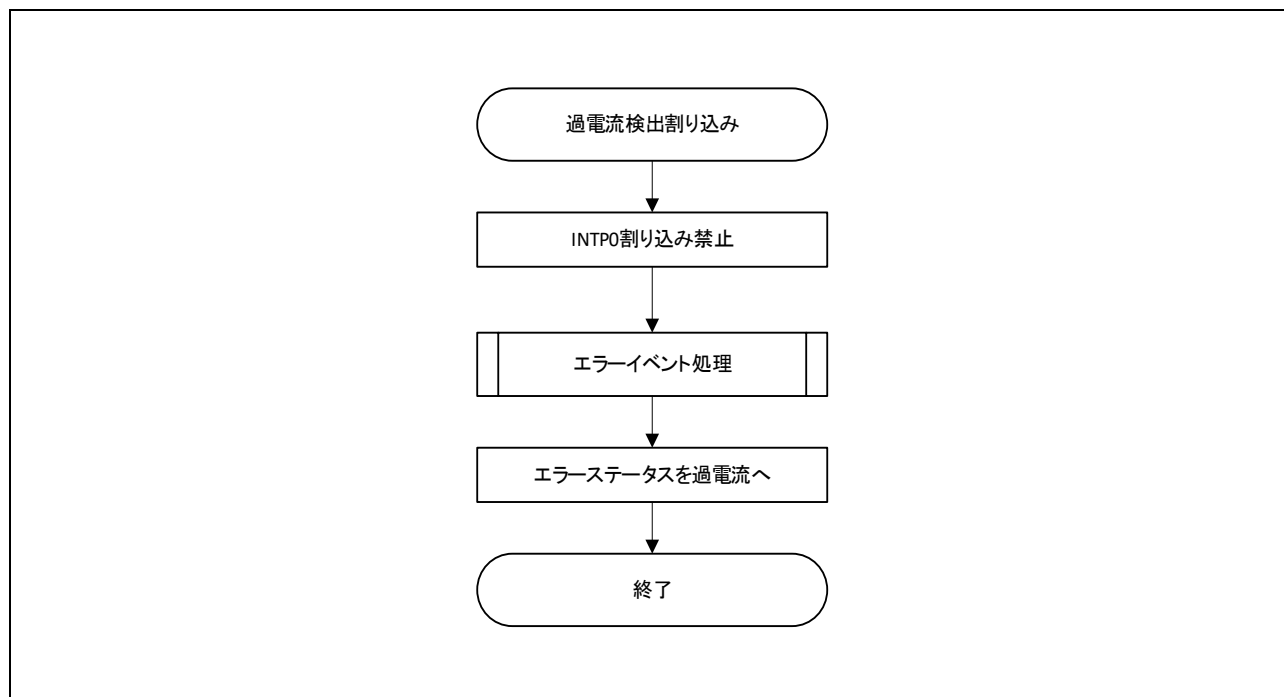


図 3-12 過電流検出割り込み処理フローチャート

## 3.5.5 デイレイタイマ割り込み処理

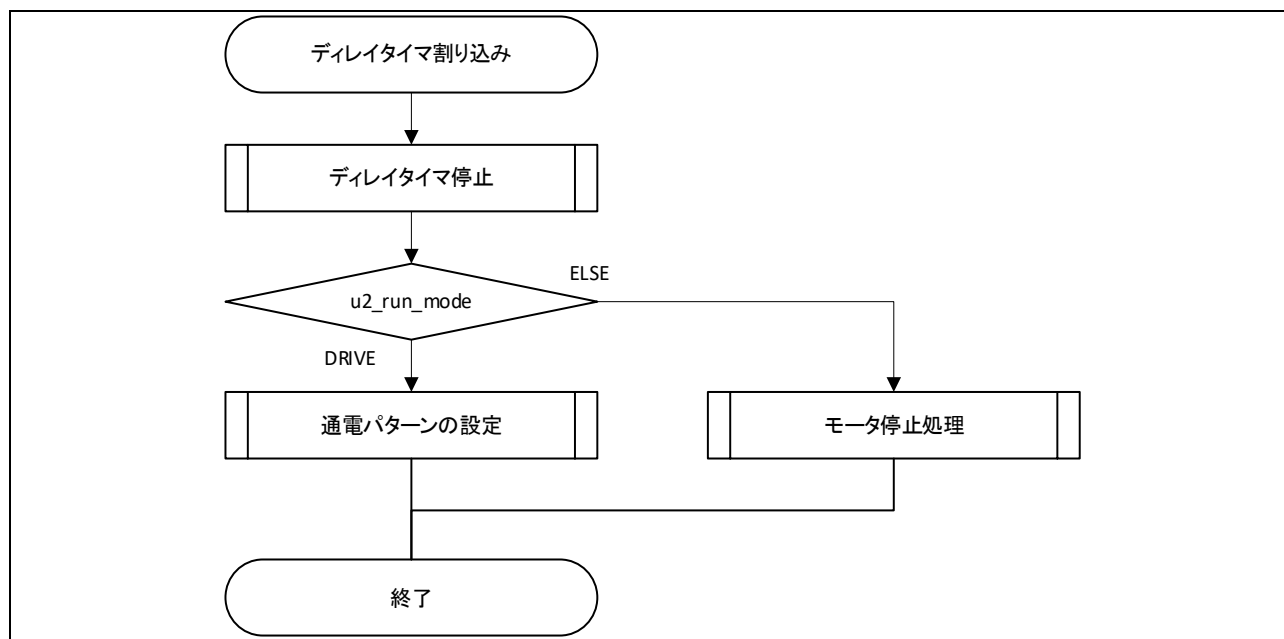


図 3-13 デイレイタイマ割り込み処理フローチャート



## 4.2 Analyzer 機能用変数一覧

Analyzer ユーザインタフェース使用時の入力用変数一覧を表 4-1 に示します。なお、これらの変数の値は com\_s2\_enable\_write に g\_s2\_enable\_write と同じ値を書き込んだ際に反映されます。ただし、(\*)が付けられた変数は com\_s2\_enable\_write に依存しません。

表 4-1 Analyzer 機能入力用変数一覧

| 変数名                        | 型       | 内容  | 備考<br>([ ]: 反映先の変数名)                      |
|----------------------------|---------|---|---|
| com_u1_run_event (*)       | uint8_t | ランモード遷移用変数<br>0: ストップイベント<br>1: ドライブイベント<br>2: エラーイベント<br>3: リセットイベント | [g_u1_run_event]                          |
| com_s2_sw_userif (*)       | int16_t | UI 管理用変数<br>0: ICS UI (default)<br>1: Board UI                        | [g_s2_sw_userif]                          |
| com_u1_direction           | uint8_t | 回転方向<br>0 : CW 1 : CCW  | [g_st_120.u1_ref_dir]                     |
| com_s2_ref_speed_rpm       | int16_t | 目標速度 [rpm]  | [g_st_120.s2_ref_speed_rad]               |
| com_s2_ramp_limit_v        | int16_t | 電圧変化幅制限値[V/ms]  | [g_st_120.s2_ramp_limit_v]                |
| com_s2_kp_speed            | int16_t | 速度比例ゲイン [V s/rad]   | [g_st_120.st_pi_speed.s2_kp]              |
| com_s2_kidt_speed          | int16_t | 速度積分ゲイン [V s/rad]   | [g_st_120.st_pi_speed.s2_kidt]            |
| com_s2_ramp_speed_rpm      | int16_t | 加速度 [rpm/ms]  | [g_st_120.s2_ramp_speed_rad]              |
| com_s2_start_ref_v         | int16_t | 始動電圧[V]   | [g_st_120.st_hall.s2_start_ref_v]         |
| com_s2_ol_ramp_speed_rpm   | int16_t | オープンループ時加速度 [rpm/ms]  | [g_st_120.st_less.s2_ol_ramp_speed_rad]   |
| com_s2_less_ramp_speed_rpm | int16_t | センサレス制御時加速度 [rpm/ms]  | [g_st_120.st_less.s2_less_ramp_speed_rad] |
| com_s2_draw_in_ref_v       | int16_t | 引き込み指令電圧[V]   | [g_st_120.st_less.s2_draw_in_ref_v]       |
| com_s2_ol_ref_v            | int16_t | オープンループ指令電圧[V]  | [g_st_120.st_less.s2_ol_ref_v]            |
| com_s2_ol2less_speed_rpm   | int16_t | センサレス制御遷移速度[rpm]  | [g_st_120.st_less.s2_ol2less_speed_rad]   |
| com_s2_angle_shift_adjust  | int16_t | ディレイタイマカウンタ調整値  | [g_st_120.st_less.s2_angle_shift_adjust]  |
| com_s2_enable_write        | int16_t | 変数書き換え許可  | [g_s2_enable_write]                       |

### 4.3 Analyzer 操作例

Analyzer 機能を使用し、モータを操作する例を以下に示します。操作は、図 4-1 で示す “Control Window” で行います。“Control Window” の詳細は、「Renesas Motor Workbench V 2.0 ユーザーズマニュアル」を参照して下さい。

- モータを回転させる
  - ① “com\_u1\_run\_event”, “com\_s2\_ref\_speed\_rpm”, “com\_s2\_enable\_write” の [W?] 欄に”チェック”が入っていることを確認する。
  - ② 指令回転速度を “com\_u2\_ref\_speed\_rpm” の [Write] 欄に入力する。
  - ③ “Write” ボタンを押す。
  - ④ “Read” ボタンを押して現在の “com\_s2\_ref\_speed\_rpm”, “g\_s2\_enable\_write” の [Read] 欄を確認する。
  - ⑤ MCU 内の変数値へ反映させるため、“com\_s2\_enable\_write” に④で確認した “g\_s2\_enable\_write” と同じ値を入力する。
  - ⑥ “com\_u1\_run\_event” の [Write]欄に “1” を入力する。
  - ⑦ “Write” ボタンを押す。

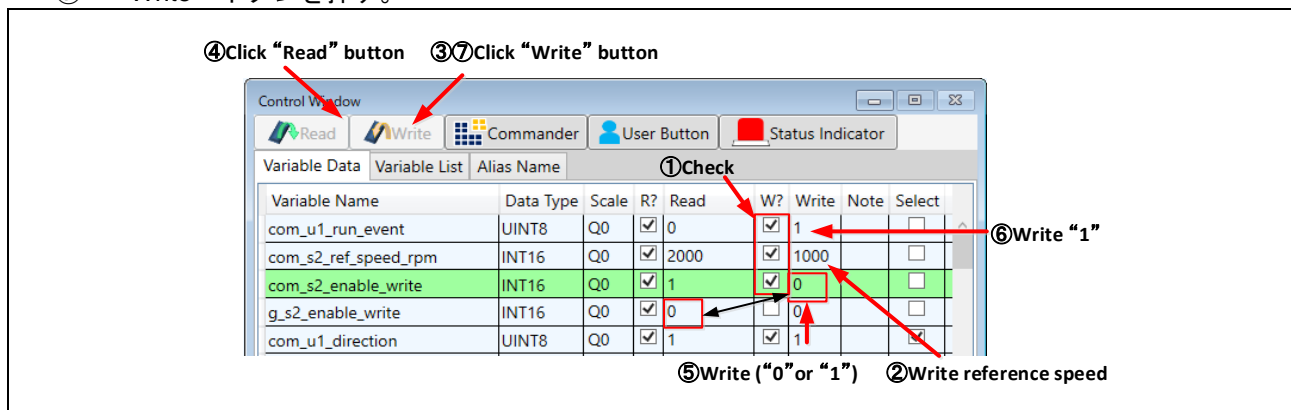


図 4-2 モータ回転の手順

- モータを停止させる
  - ① “com\_u1\_run\_event” の [Write]欄に “0” を入力する。
  - ② “Write” ボタンを押す。

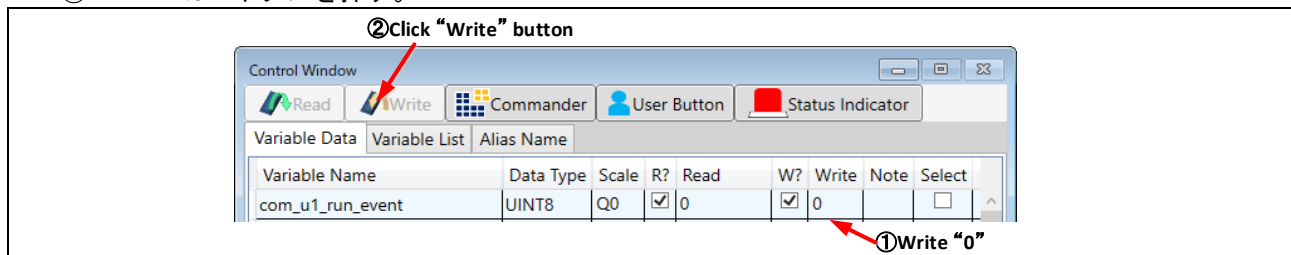


図 4-3 モータ停止の手順

- 止まってしまった（エラー）場合の処理
  - ① “com\_u1\_run\_event” の [Write]欄に “3” を入力する。
  - ② “Write” ボタンを押す。

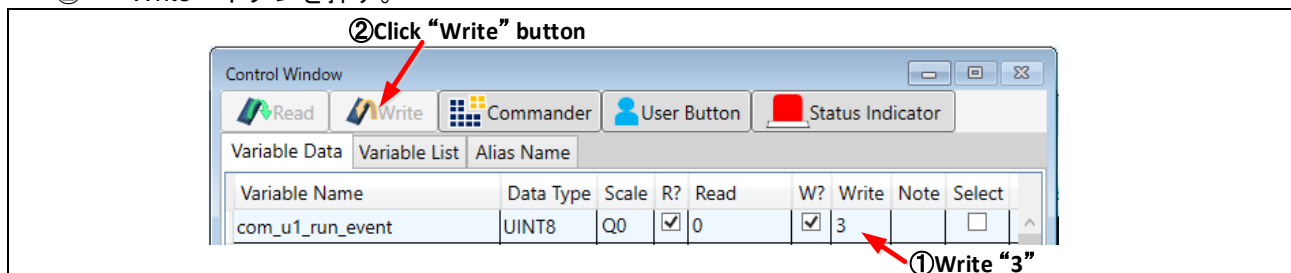


図 4-4 エラー解除の手順

## 改訂記録

| Rev. | 発行日        | 改訂内容 |      |
|------|------------|------|------|
|      |            | ページ  | ポイント |
| 1.00 | 2020/08/01 | -    | 新規発行 |



## 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. 静電気対策

CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

### 2. 電源投入時の処置

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. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

### 4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「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。

### 5. クロックについて

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、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。

### 6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 $V_{IL}$  (Max.) から  $V_{IH}$  (Min.) までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 $V_{IL}$  (Max.) から  $V_{IH}$  (Min.) までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

### 7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

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、将来の拡張機能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。

### 8. 製品間の相違について

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えば、フラッシュメモリ、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。型名が違う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まれます。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、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)

## 本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

[www.renesas.com](http://www.renesas.com)

## お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

[www.renesas.com/contact/](http://www.renesas.com/contact/)

## 商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。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。