

永久磁石同期モータのセンサレス 120 度通電制御

Renesas Flexible Motor Control シリーズ用

要旨

本アプリケーションノートはルネサス製マイクロコントローラを使用し、永久磁石同期モータをセンサレス 120 度通電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。

本アプリケーションノート対象ソフトウェア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。本アプリケーションノート対象ソフトウェアを使用する場合、適切な環境で十分な評価をしたうえで御使用ください。

目次

1.	はじめに	4
2.	用語集	6
3.	使用機材・使用ソフトウェア	7
3.1	使用ハードウェアの一覧	7
3.2	使用ソフトウェアの一覧	7
4.	ハードウェア環境構築方法	8
4.1	ハードウェア環境の概要	8
4.2	電源の準備	8
4.3	インバータの準備	9
4.4	RA シリーズ CPU ボードのセットアップ	9
4.5	キットの接続例	12
4.6	オンボードデバッグ	12
4.7	配線方法	13
5.	ソフトウェア環境構築方法	14
6.	運転方法	15
6.1	運転前の注意点	15
6.2	接続方法	15
6.3	サンプルプログラムの書き込み	19
6.3.1	e ² studio のインストール	19
6.3.2	プロジェクトのインポート	19
6.3.3	プロジェクトのビルド	23
6.3.4	PC とターゲットボードを USB ケーブルで接続	25
6.3.5	ターゲットボードへの書き込み(ビルド済み)	26
6.4	RMW の導入方法	28
6.5	Map ファイルの登録更新	29
6.6	RMW の操作に使用する変数	30
6.7	モータ操作方法	32

6.8	モータ停止・遮断方法	34
7.	モータ制御アルゴリズム	35
7.1	概要	35
7.2	センサレス機能	36
7.3	速度制御	40
7.4	PWM による電圧制御	41
7.5	センサレス制御時の始動方法	43
8.	ハードウェア仕様	44
8.1	ユーザインタフェース	44
8.2	周辺機能	46
9.	ソフトウェア仕様・構成	48
9.1	ソフトウェア仕様	48
9.2	ソフトウェア全体構造	49
9.3	割り込みの説明	50
9.4	ファイル・フォルダ構成	51
9.5	アプリケーション層	54
9.5.1	機能	54
9.5.2	コンフィグレーション情報	54
9.5.3	構造体・変数情報	55
9.5.4	マクロ定義	57
9.6	インタフェースモジュール	61
9.6.1	機能	61
9.6.2	モジュール構成図	62
9.6.3	状態遷移	63
9.6.4	保護機能	64
9.6.5	API	65
9.6.6	構造体・変数情報	66
9.6.7	マクロ定義・列挙体定義	68
9.7	120 度通電センサレス制御モジュール	71
9.7.1	機能	71
9.7.2	モジュール構成図	71
9.7.3	API	72
9.7.4	構造体・変数情報	73
9.7.5	マクロ定義・列挙体定義	78
9.8	120 度通電制御ドライバモジュール	82
9.8.1	機能	82
9.8.2	モジュール構成図	82
9.8.3	API	83
9.8.4	構造体・変数情報	84
9.8.5	マクロ定義・列挙体定義	88
10.	パラメータの設定	92
10.1	概要	92
10.2	インタフェースモジュールの設定パラメータの一覧	92

10.3	120 度通電センサレス制御モジュールの設定パラメータの一覧.....	93
10.4	120 度通電制御ドライバモジュールの設定パラメータの一覧.....	96
10.5	保護関連パラメータ.....	99
10.6	PWM キャリア周波数の変更.....	99
10.7	チョッピング方法の設定.....	99
10.8	インバータパラメータ.....	100
10.8.1	デッドタイム.....	100
10.8.2	電流検出ゲイン.....	100
10.8.3	電圧検出ゲイン.....	100
10.9	モータパラメータ.....	101
11.	制御フロー（フローチャート）.....	103
11.1	メイン処理.....	103
11.2	キャリア周期割り込み処理.....	104
11.3	速度制御周期割り込み処理.....	105
11.4	過電流検出割り込み処理.....	106
12.	FAQ.....	107
12.1	こんなときは.....	107
12.2	よくある質問.....	108
12.2.1	RMW に表示される変数の値が異常となってしまう.....	108

1. はじめに

本アプリケーションノートはルネサス製マイクロコントローラ(MCU)を使用し、永久磁石同期モータを 120 度通電制御で駆動するサンプルプログラム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モータ制御用のキット(Renesas Flexible Motor Control シリーズ)と組み合わせることで、モータ制御を行うことができます。また、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」に対応しており MCU の内部データ確認や、モータ制御のユーザインタフェース(UI)として使用可能です。サンプルプログラムの MCU 機能割り当てや、制御の割り込み負荷状況などを参照頂くことで、使用する MCU の選定やソフトウェア開発の参考としてご活用ください。

本サンプルプログラムは、QE for Motor に対応しております。ワークフローに従って操作するだけでモータ用ソフトウェアの開発ができますので、ご活用ください。

対象ソフトウェア

本アプリケーションノートの対象ソフトウェアを下記に示します。

- ・ RA6T2_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V120
- ・ RA6T2_MCB2_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V100
- ・ RA6T3_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V110
- ・ RA4T1_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V110
- ・ RA8T1_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V110
- ・ RA8T2_MCILV1_SPM_LESS_120_E2S_V100

参考資料

RA6T2 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0951)

RA6T3 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0998)

RA4T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0999)

RA8T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH1016)

RA8T2 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH1067)

RA Flexible Software Package Documentation (Release v6.1.0)

永久磁石同期モータの 120 度通電制御 (アルゴリズム編) (R01AN2657)

Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル (R21UZ0004)

Renesas Motor Workbench クイックスタートガイド (R21QS0011)

MCK-RA6T2 ユーザーズマニュアル (R12UZ0091)

MCK-RA6T3 ユーザーズマニュアル (R12UZ0114)

MCK-RA4T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0115)

MCK-RA8T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0133)

MCK-RA8T2 ユーザーズマニュアル (R12UZ0172)

本アプリケーションノートを使用いただく際に、よく確認される内容について、対応する章を以下にまとめています。

表 1-1 確認したい内容と対応章の一覧

確認したい内容	対応する章
必要な機材を確認・選定する	3
配線を確認する	4.7
サンプルプログラムの開発環境を準備する	5
マイコンにサンプルプログラムを書き込む	6.3
PCにモータを運転するソフトウェアを導入する	6.4
サンプルプログラムを変更した後、RMWに変更点を反映する	6.5
モータを運転する	6.7
運転中のモータを停止する	6.8
モータ制御アルゴリズムを調べる	7
サンプルプログラムの構造を調べる	8
モータパラメータを確認、変更する	10.9
PWM キャリア周波数を変更する	10.6
よくある質問を確認する トラブルが起きた場合の対応を確認したい	12

2. 用語集

本書で、使用されている主な用語と、その説明を、以下に示します。

表 2-1 用語集

用語	説明
MC-COM	波形表示用の接続治具・ツールのことを示します。詳細は、以下の URL を参照ください。 https://www.renesas.com/design-resources/boards-kits/mc-com
RMW	Renesas Motor Workbench と呼ばれる、モータ制御に特化した PC 上で操作可能な GUI アプリケーションソフトウェアのこと。
QE for Motor	ワークフローに従って操作するだけでモータ用ソフトウェアの開発ができるモータ用ソフトウェア開発支援ツールです。詳細は、以下の URL を参照ください。 https://www.renesas.com/software-tool/qe-motor-development-assistance-tool-motor-applications
インバータ母線電圧	インバータ回路に入力される直流電圧のこと。直流中間電圧とも呼ばれる。
オープンループ	センサ信号などのフィードバックを用いることなく、制御を行う制御方式のこと。
センサレス	本書では、「磁極位置センサや速度センサがないこと」を示します。位置センサや速度センサは、コスト面や耐環境性などに弱点を持ち、センサを省略する事がメリットとされています。
電気角	モータに流れる出力電流の位相角度のこと。モータの極対数で割ると、機械角に換算できる。
機械角	モータ軸の回転角度のこと。軸が 1 分に 1 回転で 1rpm となる。

3. 使用機材・使用ソフトウェア

3.1 使用ハードウェアの一覧

本サンプルプログラムの評価に使用した機器の一覧を以下に示します。

表 3-1 ハードウェア開発環境

分類	使用製品
マイコン / CPU ボード型名	RA6T2 (R7FA6T2BD3CFP) / MCB Ver.1 RTK0EMA270C00000BJ RA6T2 (R7FA6T2BD3CFP) / MCB Ver.2 RTK0EMA270C00002BJ RA6T3 (R7FA6T3BB3CFM) / RTK0EMA330C00000BJ RA4T1 (R7FA4T1BB3CFM) / RTK0EMA430C00000BJ RA8T1 (R7FA8T1AHECBD) / RTK0EMA5K0C00000BJ RA8T2 (R7KA8T2LFLCAC) / RTK0EMA6L0C00000BJ
インバータボード / 型名	MCI-LV-1 インバータボード / RTK0EM0000B12020BJ
モータ	R42BLD30L3 (MOONS'社製)

3.2 使用ソフトウェアの一覧

本サンプルプログラムの評価で使用したソフトウェアと、そのバージョンを以下に示します。本サンプルプログラムは、弊社開発環境である e² studio の無償評価版の制限範囲でご利用いただけます。

表 3-2 ソフトウェア開発環境

e ² studio バージョン	FSP バージョン	ツールチェーンバージョン
e ² studio : 2025-07	V6.1.0	GCC ARM Embedded :13.2.1.arm-13-7

4. ハードウェア環境構築方法

4.1 ハードウェア環境の概要

本サンプルプログラムを使用し、モータを動かすためのハードウェア環境について説明します。図 4-1 に、ハードウェア構成例を示します。電源(4.2)、インバータ(4.3)、CPU ボード(4.4)、オンボードデバッグ(4.6)について、詳細を次の項から説明します。

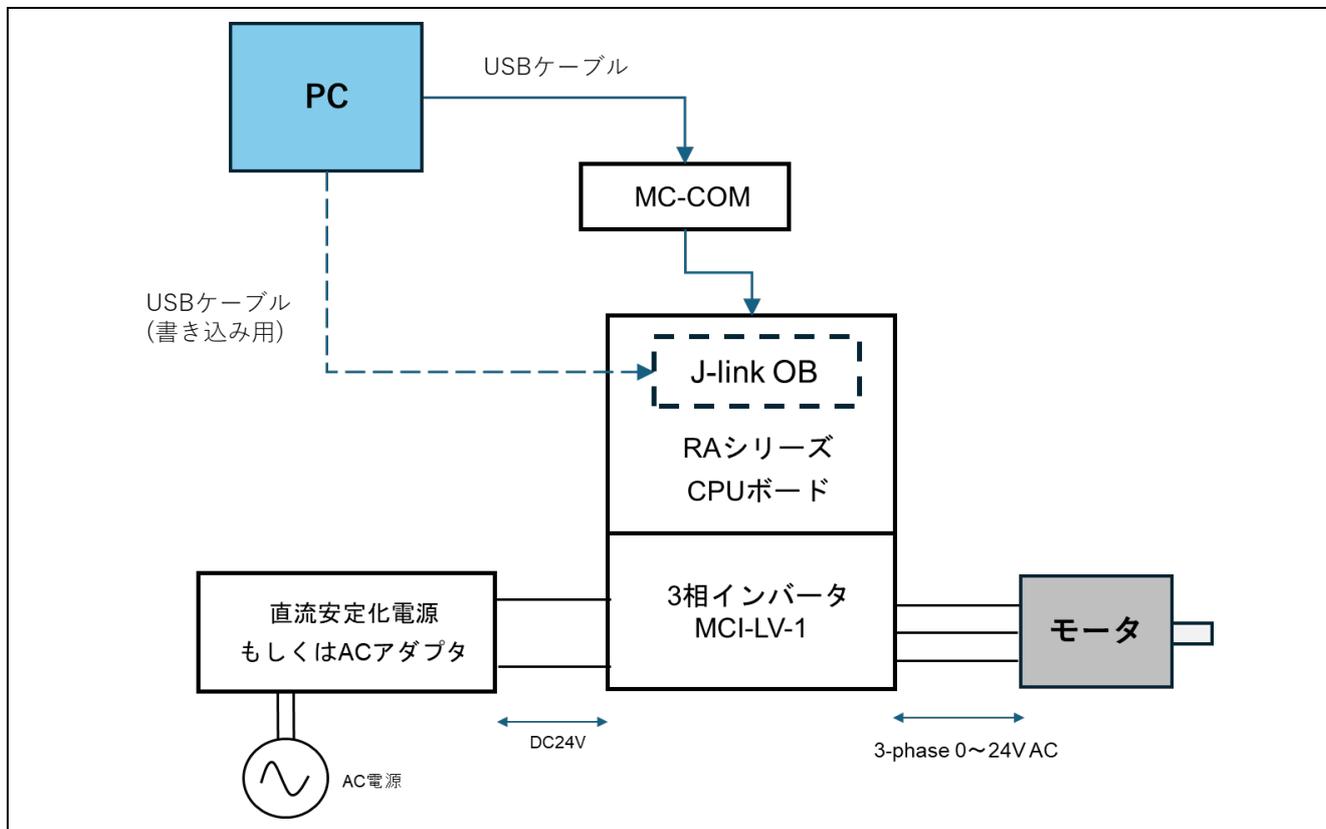


図 4-1 ハードウェア構成例

4.2 電源の準備

本サンプルプログラムでは、直流安定化電源、または AC アダプタ(24V,2.5A 以上の出力が可能なもの)を用いて、単相 AC100V から 3 相インバータ MCI-LV-1 に DC24V を供給しています。

インバータに供給する電圧は、使用するモータの誘起電圧や定格条件、最大負荷条件によって変わります。ユーザの実験環境や、使用する電源の制約や条件に応じて、電源の種類を適切に選定してください。なお、ここで紹介するインバータは、出力電流が最大 10A となっています。

4.3 インバータの準備

インバータを準備される際に、以下の情報を確認してください。本サンプルプログラムでは、MCI-LV-1 に合わせた設定となっており、インバータを変更する場合には変更が必要です。

定格容量(VA)

デッドタイム値(μ s)

電流センサの種類、特性、信号仕様

電流センサのゲイン値及びオフセット値、電流と電圧の関係性や信号の直線性の特性データなど

電圧センサのゲイン値及びオフセット値、信号の直線性の特性データなど

4.4 RA シリーズ CPU ボードのセットアップ

RA シリーズの CPU ボードの装着方法について説明します。MCI-LV-1 の基板に、CPU ボードを直接接続することができます。

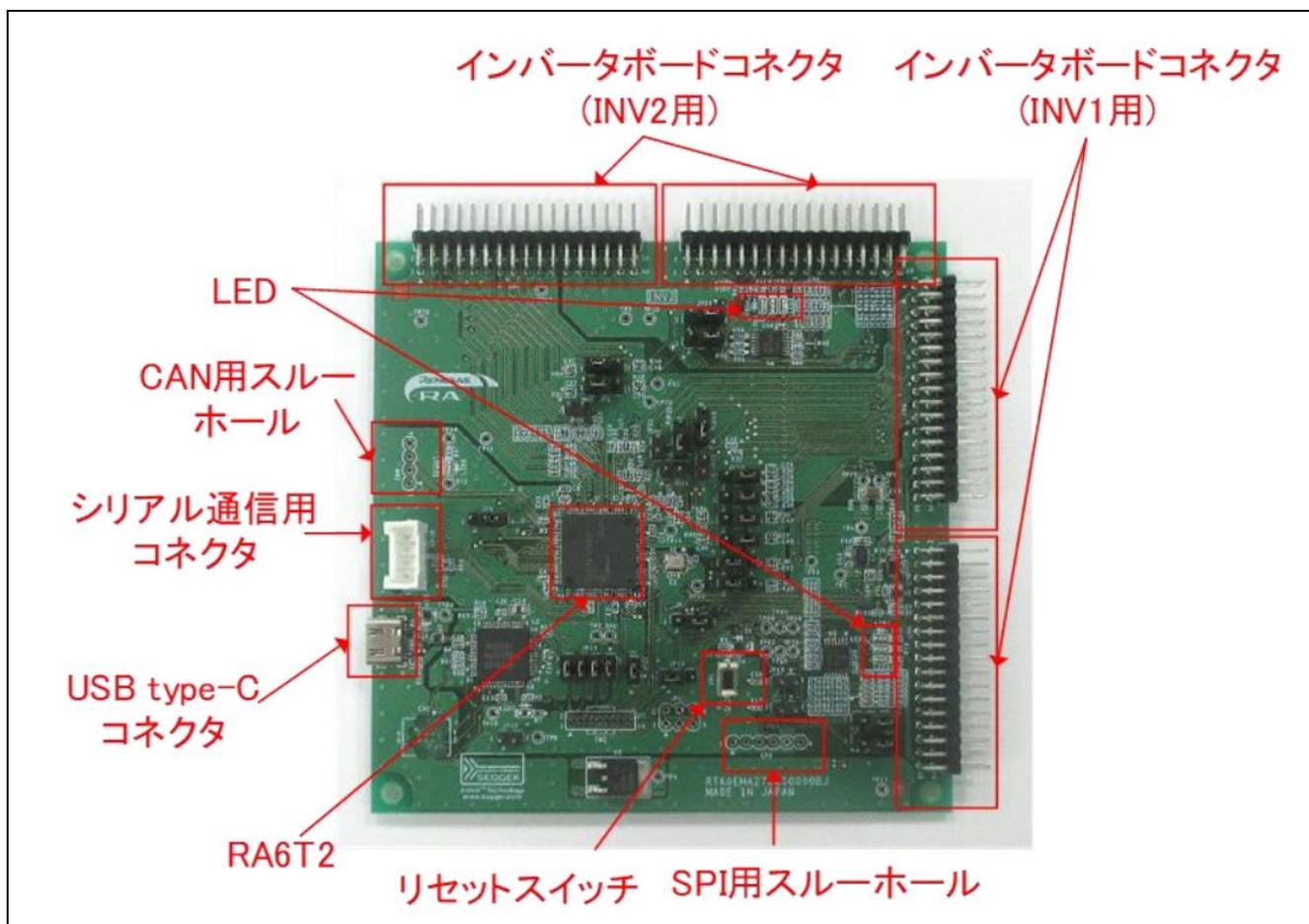


図 4-2 RA6T2 CPU ボードとインターフェース

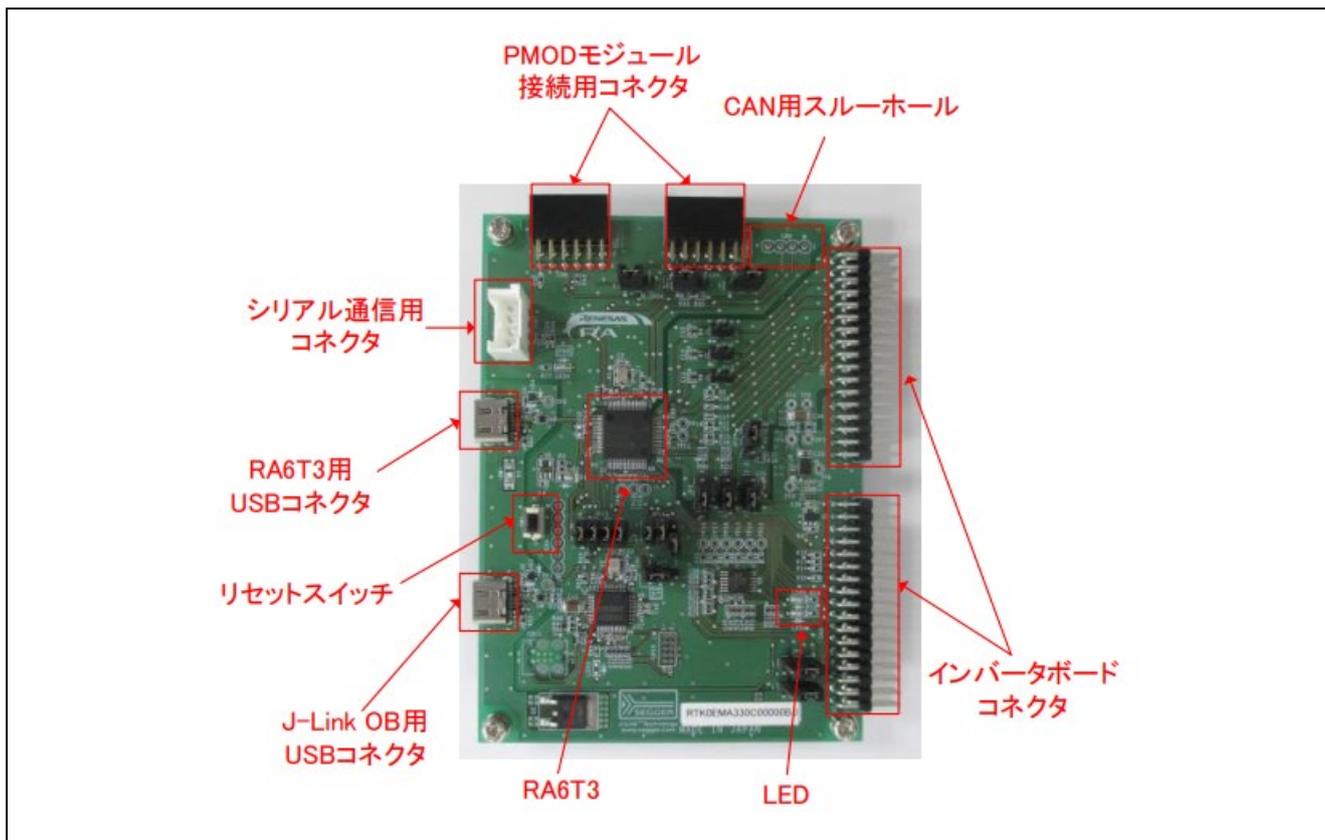


図 4-3 RA6T3 CPU ボードとインタフェース

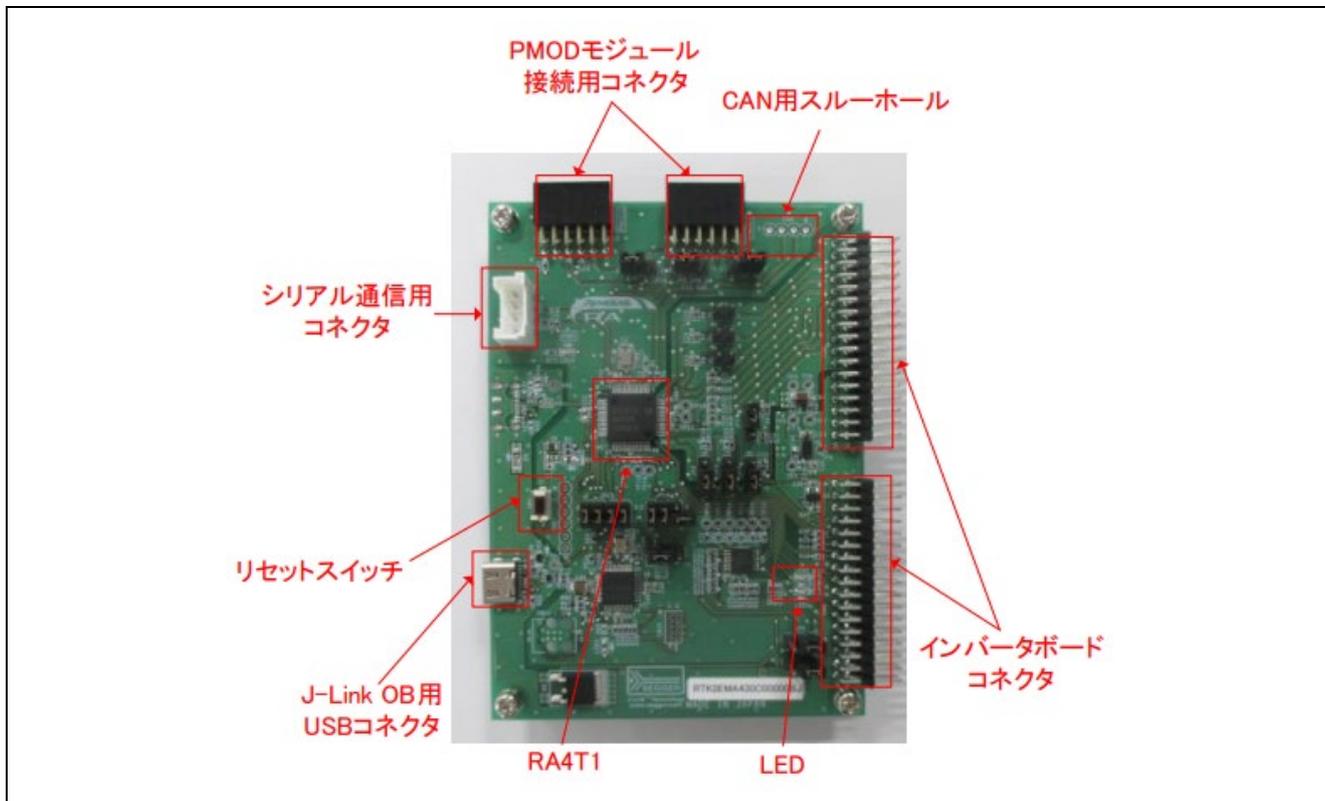


図 4-4 RA4T1 CPU ボードとインタフェース

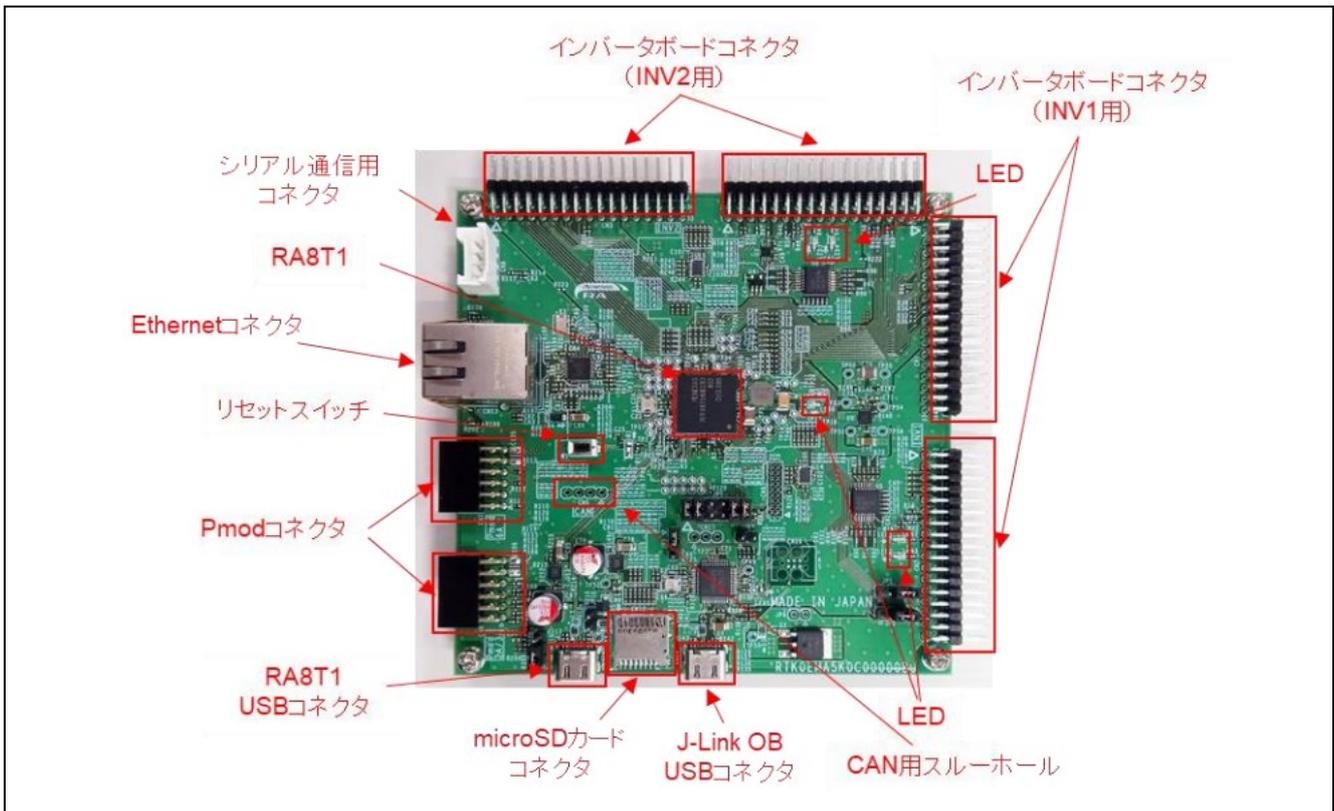


図 4-5 RA8T1 CPU ボードとインタフェース

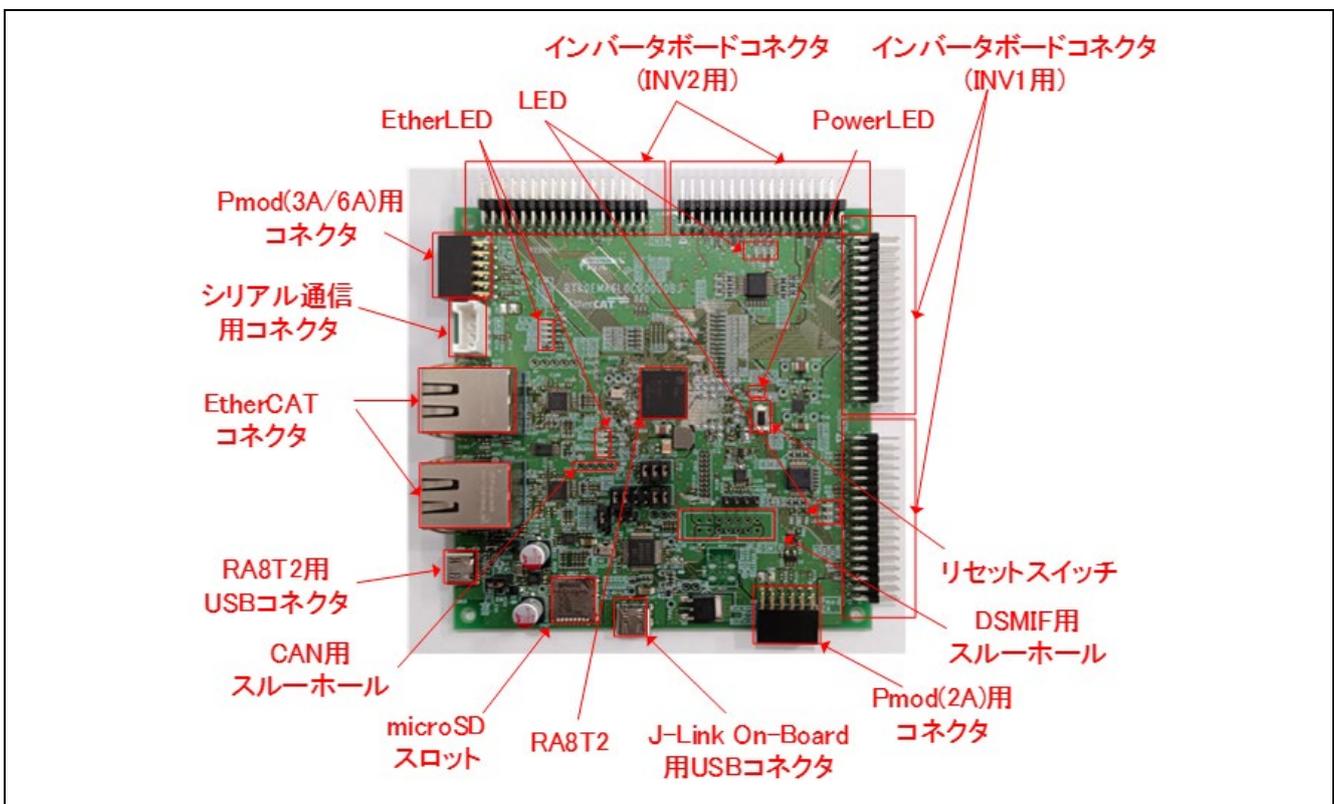


図 4-6 RA8T2 CPU ボードとインタフェース

4.5 キットの接続例

CPU ボードを MCI-LV-1 インバータボードおよび通信ボード(MC-COM、型名: RTK0EMXC90Z0000BJ)と組み合わせて使用する際の接続例を図 4-7 に示します。

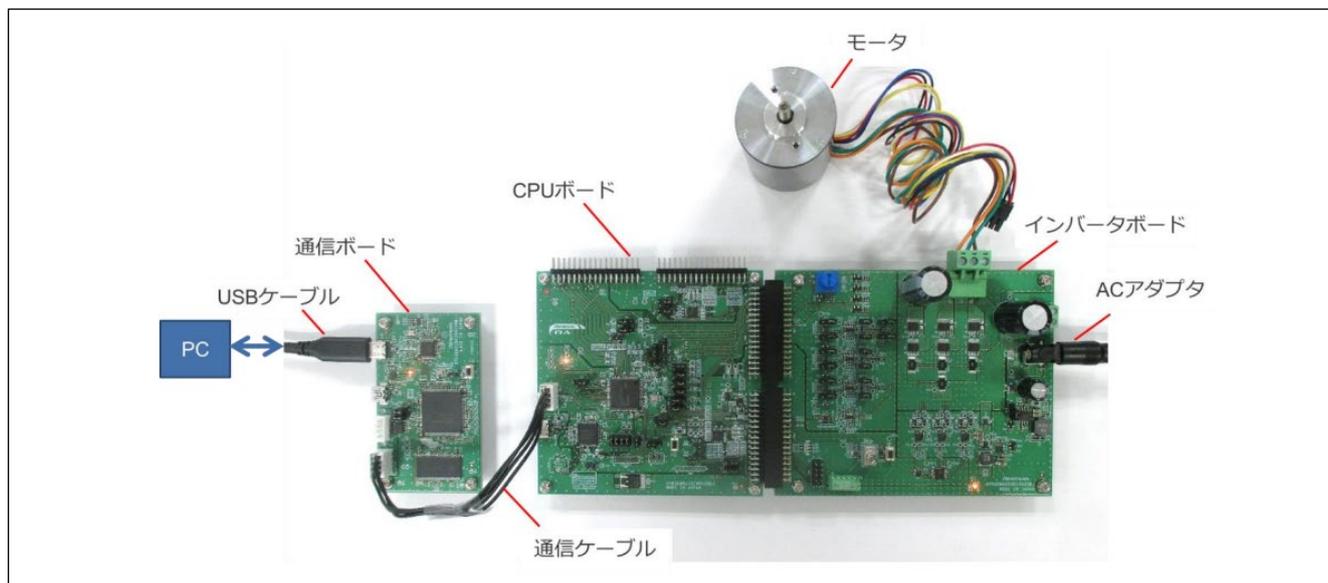


図 4-7 キットの接続例

4.6 オンボードデバッガ

RA シリーズ CPU ボードには、オンボードデバッガ回路 J-Link OB(以下、JLOB)が搭載されており、プログラムの書き換えは JLOB を用いて行います。プログラムを書き換える場合、CPU ボードと PC を USB ケーブルで接続してください。

4.7 配線方法

電源、インバータ、モータの配線方法について説明します。ご使用する装置によって、端子の名称は異なりますので、必ず装置の取扱説明書を参照して内容・仕様を確認の上、配線作業を行ってください。

図 4-8 に電源～インバータ間の配線例を示します。ここでは、直流安定化電源の出力端子をインバータの P 端子・GND 端子に接続します。極性の間違いにご注意ください。図 4-9 に、インバータ～モータ間の配線例を示します。

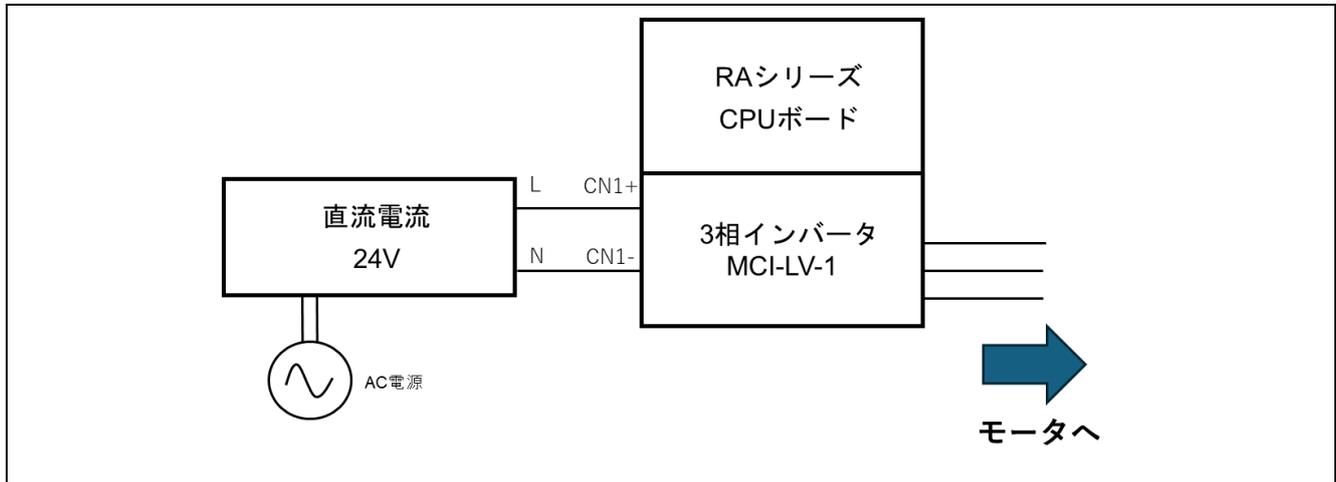


図 4-8 電源～インバータ間の配線

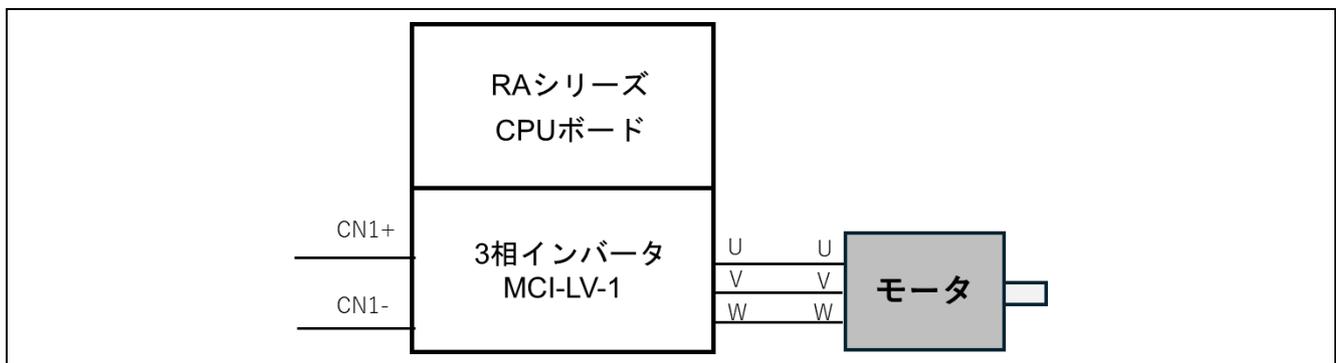


図 4-9 インバータ～モータ間の配線

5. ソフトウェア環境構築方法

本アプリケーションノートのサンプルプログラム開発には開発環境として RA FSP に対応した e² studio を用います。インストール環境は以下からダウンロードしてください。

<https://www.renesas.com/ja/software-tool/flexible-software-package-fsp>

インストール手順は、e² studio 付属の PDF マニュアルを参照してください。

詳細な使用方法は上記 URL でダウンロードが可能な PDF マニュアルやビデオを参照してください。

サンプルプログラムや作成したプログラムのターゲットハードウェアへの書き込み方法は「6.3 サンプルプログラムの書き込み」を参照してください。

6. 運転方法

運転を行うための手順を示します。「6.1 運転前の注意点」をご確認いただき、「6.2 接続方法」以降の操作を順番に行ってください。

6.1 運転前の注意点

モータを動かすにあたって、以下の点にご注意ください。誤った使い方により、感電や機器の故障などを引き起こす場合があります。

トレース実行・ブレークポイントを設定した条件でモータ制御しないでください。不意の停止により、インバータが異常な動作をする場合があります。RMW を使用して、安全機能が正常に動作する条件下で、デバッグを行ってください。

MC-COM は信号が絶縁されているため、運転中も安全に使用できます。類似品を使用する場合、PC とインバータの GND が共通となる場合があります、GND を介して感電事故の恐れがあります。

緊急停止が可能なように、実験設備を構築してください。

インバータが停止しても、PM モータが回転している場合、PM モータは誘起電圧を発生させるため、UVW 三相配線に電圧がかかります。露出した導電部に接触すると、感電の恐れがあります。

6.2 接続方法

書き込み時と運転操作時で CPU ボードと PC の間の接続方法が異なるため、ご注意ください。以下に①書き込み時と②運転操作時についての配線方法を説明します。

① 書き込み時

CPU ボードにオンボードデバッグ回路 JLOB が搭載されており、直接 USB ケーブルを接続することで MCU へのプログラム書き込みが可能です。

書き込んだ後は速やかに USB ケーブルを外してください。

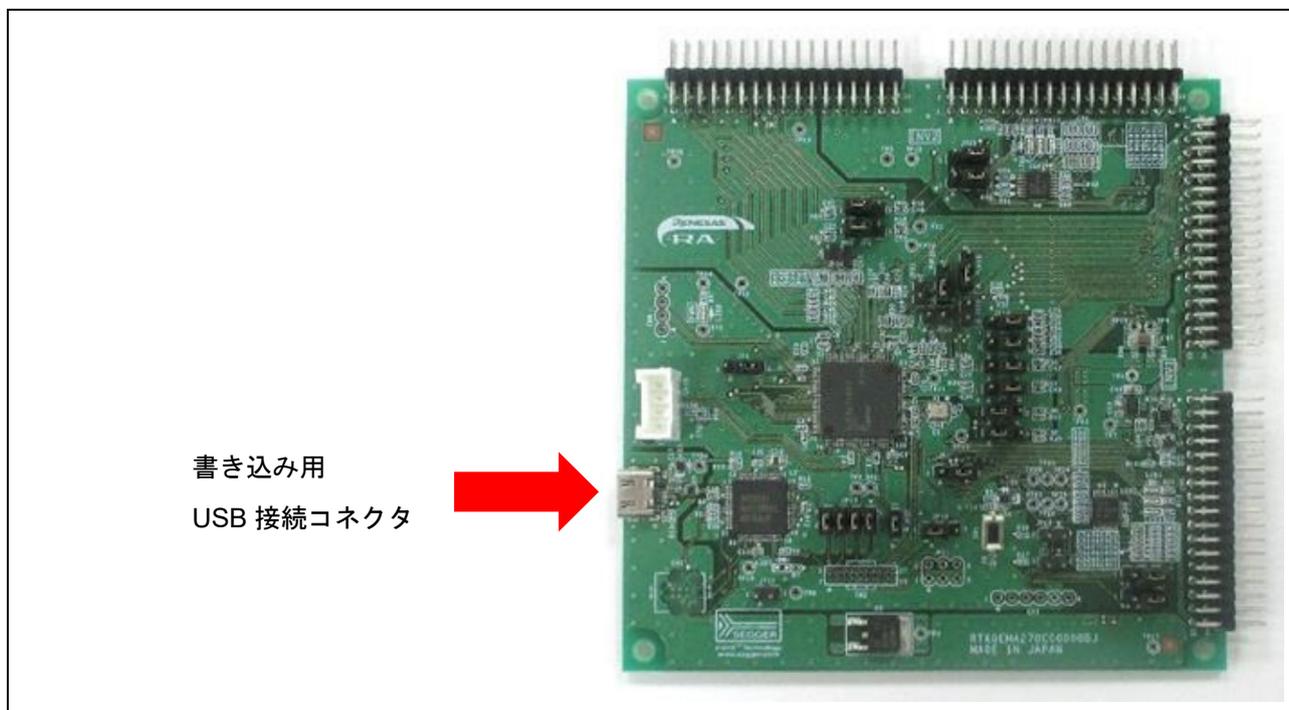


図 6-1 RA6T2 CPU ボード 書き込み時 USB ケーブル接続

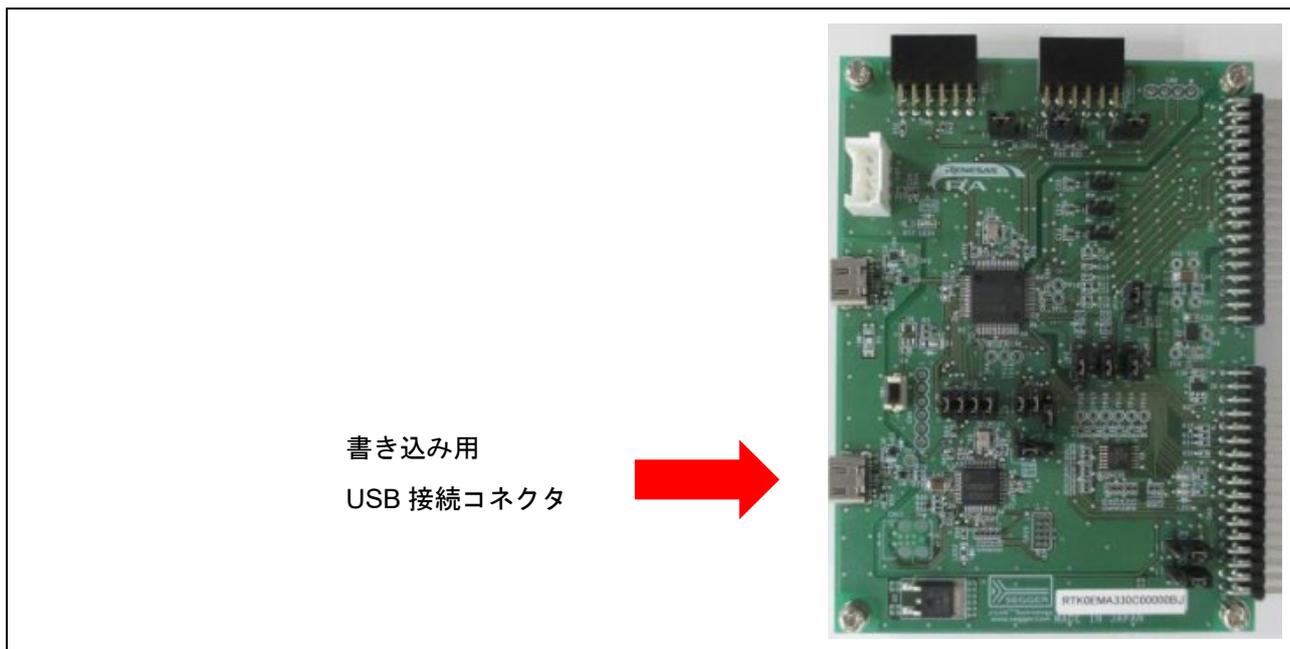


図 6-2 RA6T3 CPU ボード 書き込み時 USB ケーブル接続

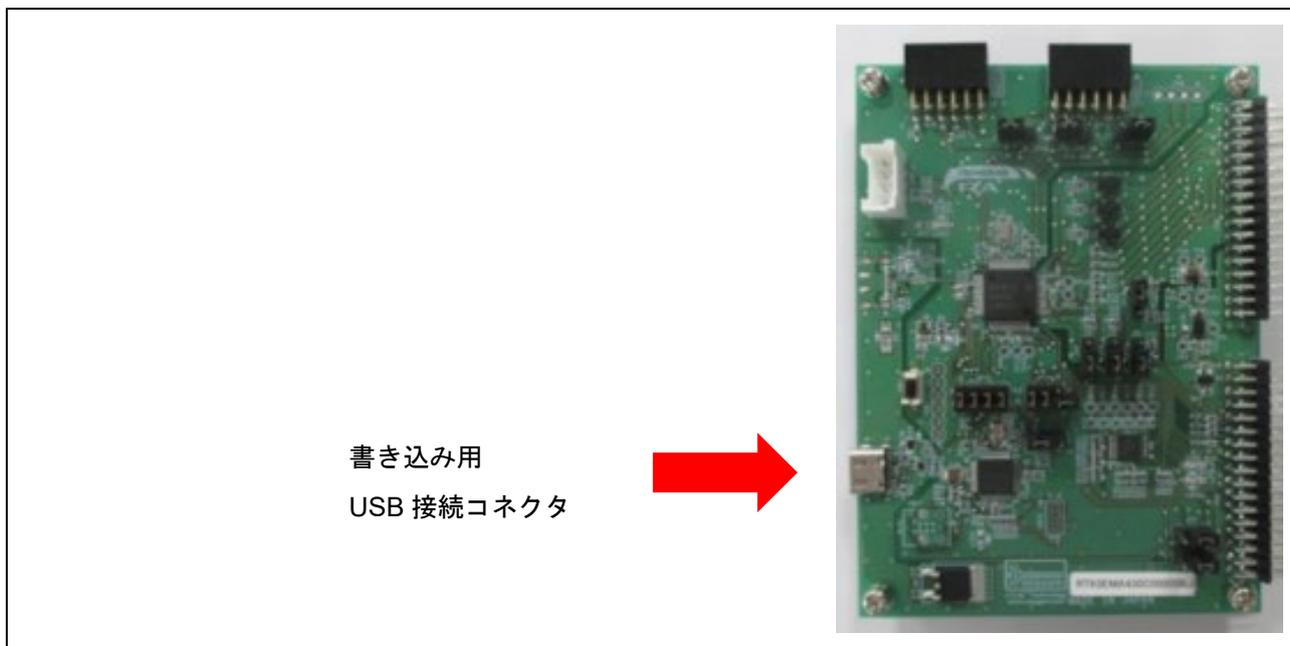


図 6-3 RA4T1 CPU ボード 書き込み時 USB ケーブル接続

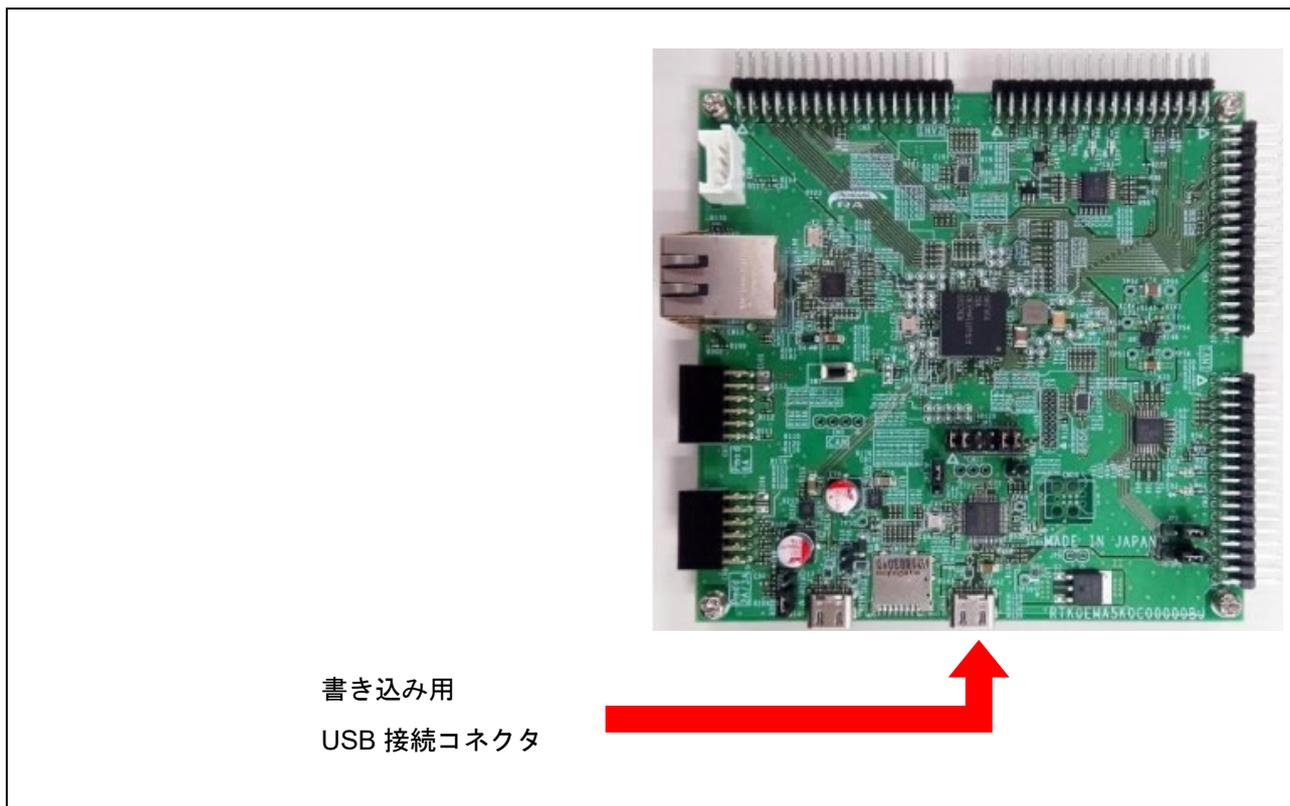


図 6-4 RA8T1 CPU ボード 書き込み時 USB ケーブル接続

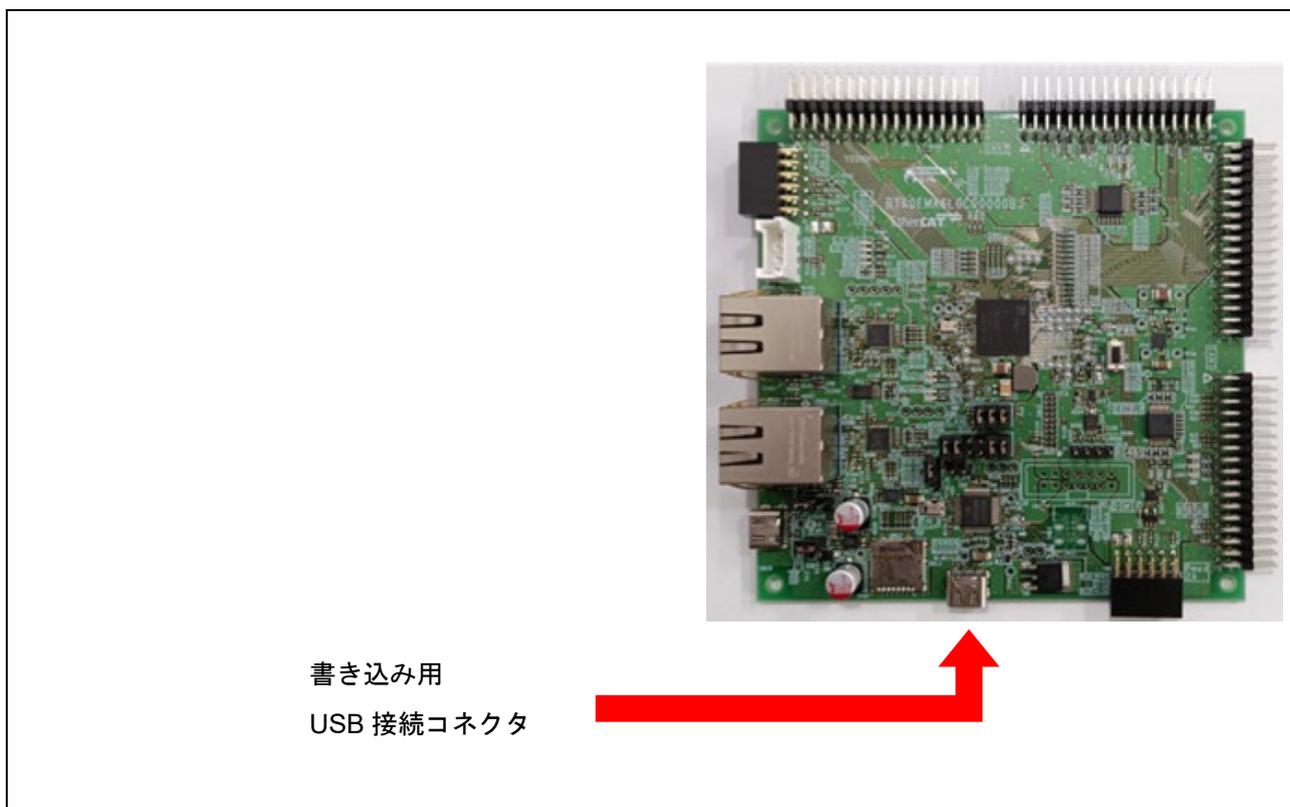


図 6-5 RA8T2 CPU ボード 書き込み時 USB ケーブル接続

② 運転操作時

図 6-6 のように MC-COM(RTK0EMXC90Z00000BJ)を用いて、CPU ボードに接続します。PC とは UART 経由で接続された状態となり、PC からは COM ポートを用いて操作することができます。RMW を用いて運転操作を行うことができます。MC-COM はインバータと PC の間を電氣的に絶縁しますので、安全にご利用いただけます。

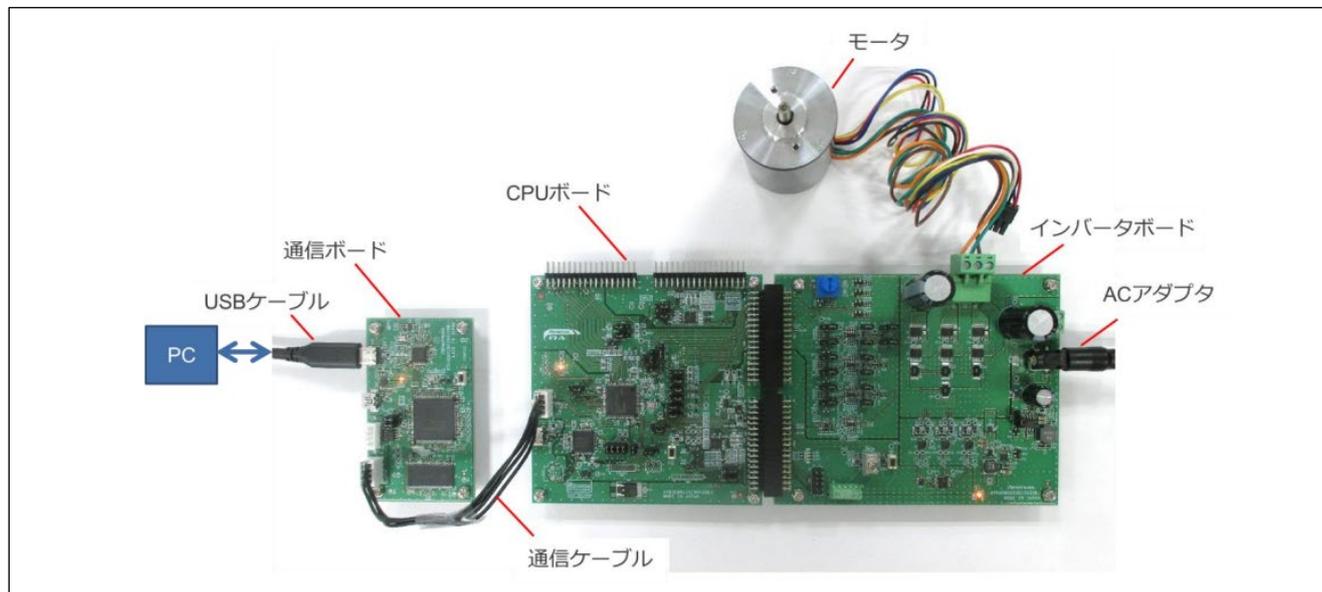


図 6-6 運転操作時の接続例

③ ジャンパの確認

以下のジャンパの接続確認をしてください。他のサンプルプログラムで評価した後は、ジャンパの状態が以下と異なっている場合があります。

・インバータボード

ジャンパ番号	接続
JP8	1-2 接続
JP11	1-2 接続

・RA6T3/RA4T1 ボード

ジャンパ番号	接続
JP1	1-2 接続

・RA6T2/RA8T1/RA8T2 ボード

他のサンプルプログラムでジャンパの変更はないので、デフォルト状態のままご使用ください。

6.3 サンプルプログラムの書き込み

弊社 WEB サイトからダウンロードしたサンプルプログラムを、e² studio を使用して CPU ボードの MCU に書き込んでください。

6.3.1 e² studio のインストール

FSP 対応 e² studio は弊社 WEB サイト(以下の URL)よりダウンロードし、インストールしてください。

<https://www.renesas.com/ja/software-tool/flexible-software-package-fsp>

6.3.2 プロジェクトのインポート

1. 〈ファイル〉 タブを左クリックします。

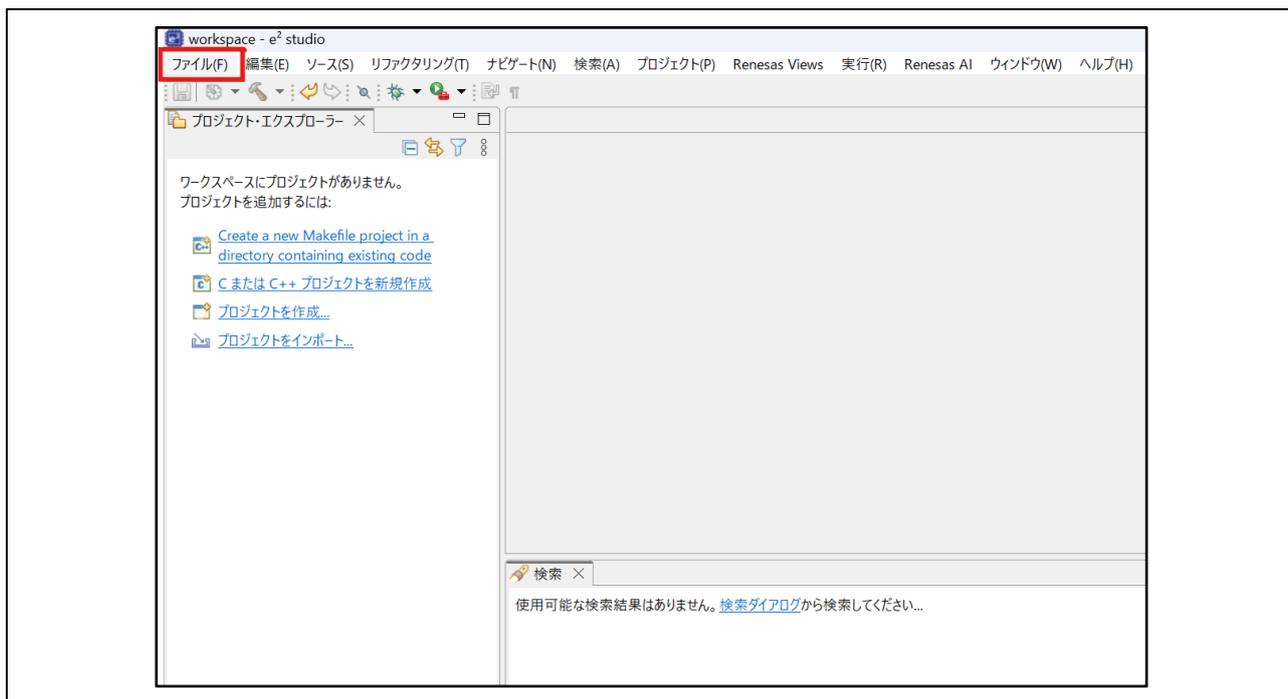


図 6-7 ターゲットファイル指定(1)

2. プルダウンメニューが表示されるので〈インポート〉を選択して左クリックします。

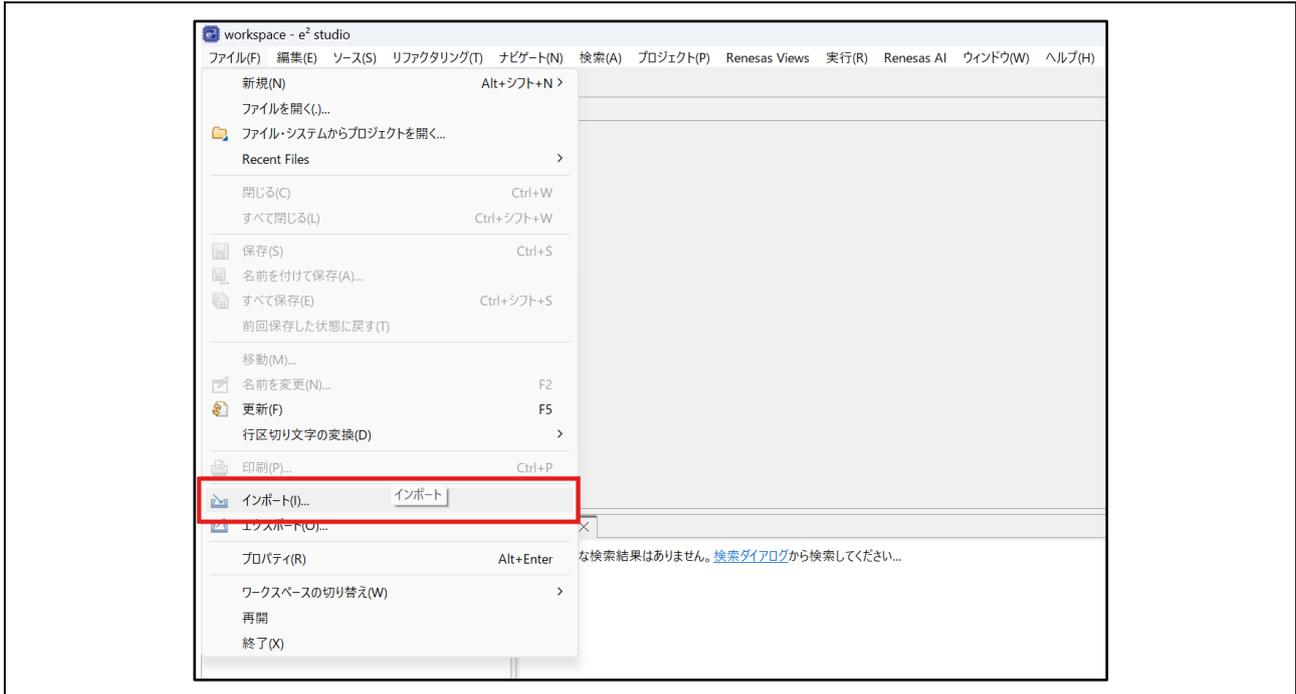


図 6-8 ターゲットファイル指定(2)

3. インポートウィンドウが開くので、〈既存プロジェクトをワークスペースへ〉を選択し、左クリックします。

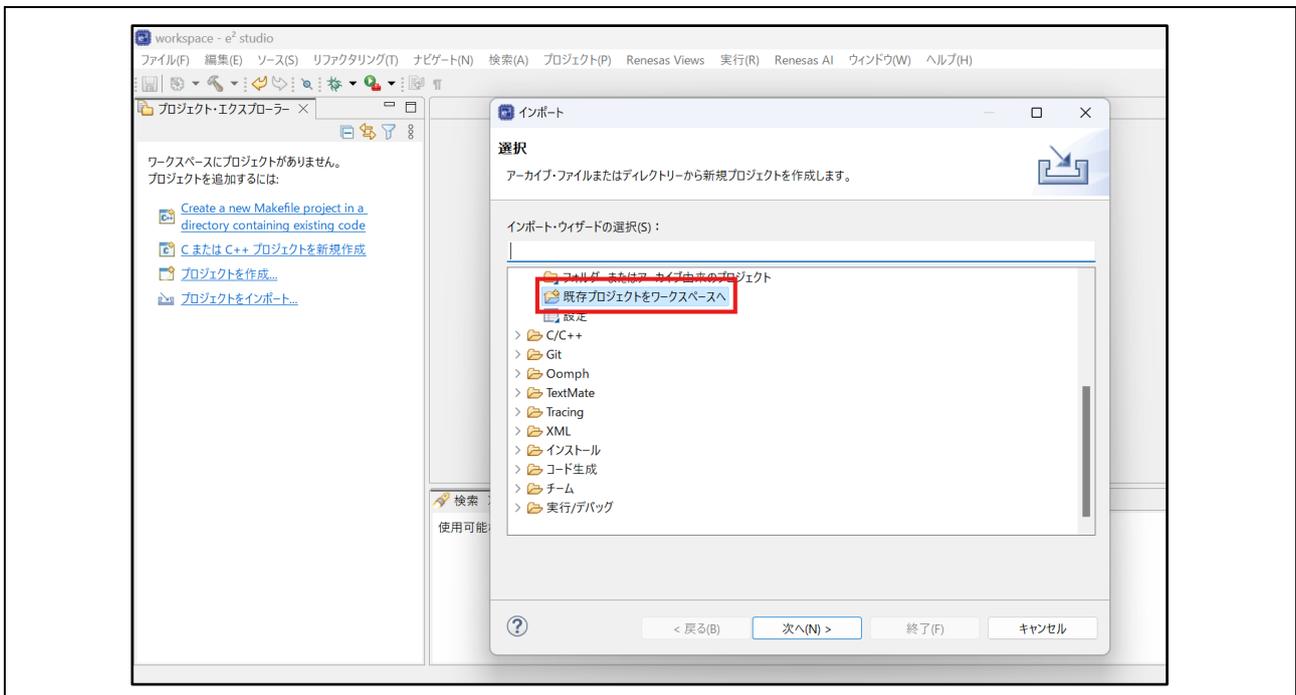


図 6-9 ターゲットファイル指定(3)

4. プロジェクトインポート画面になるので、〈参照〉を左クリックします。

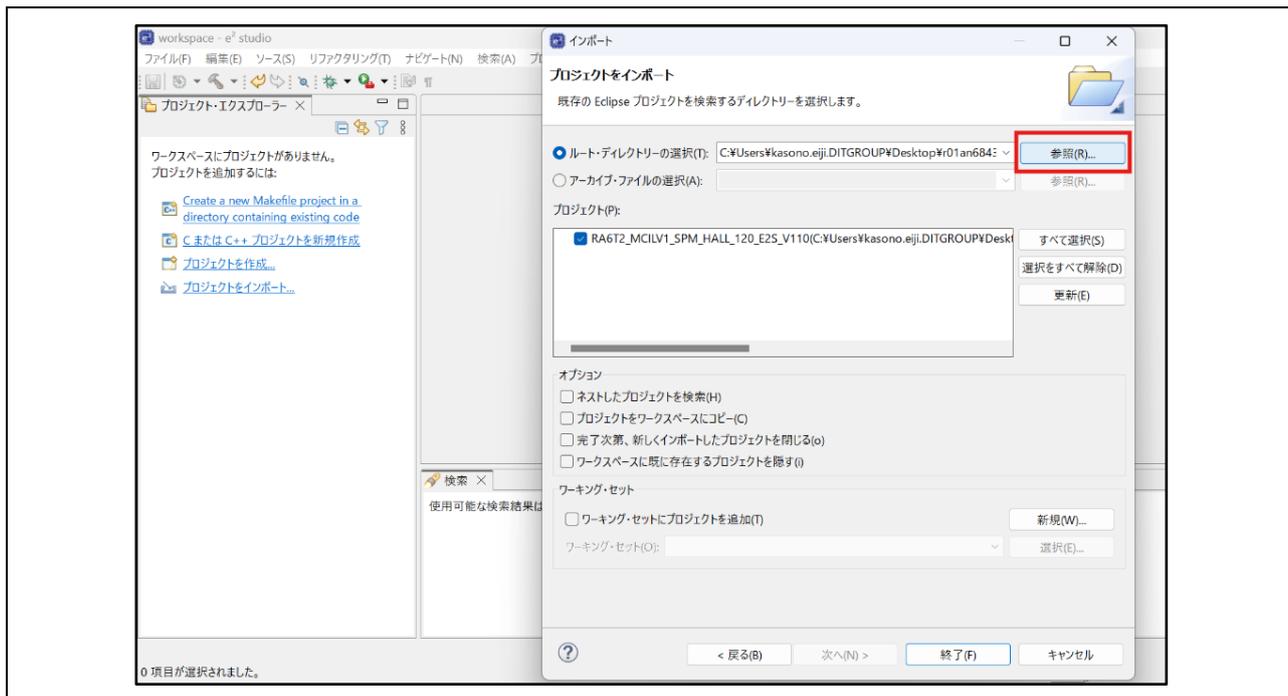


図 6-10 ターゲットファイル指定(4)

5. フォルダー選択画面が開くので、ターゲットのフォルダーを選択し、〈フォルダーの選択〉を左クリックします。

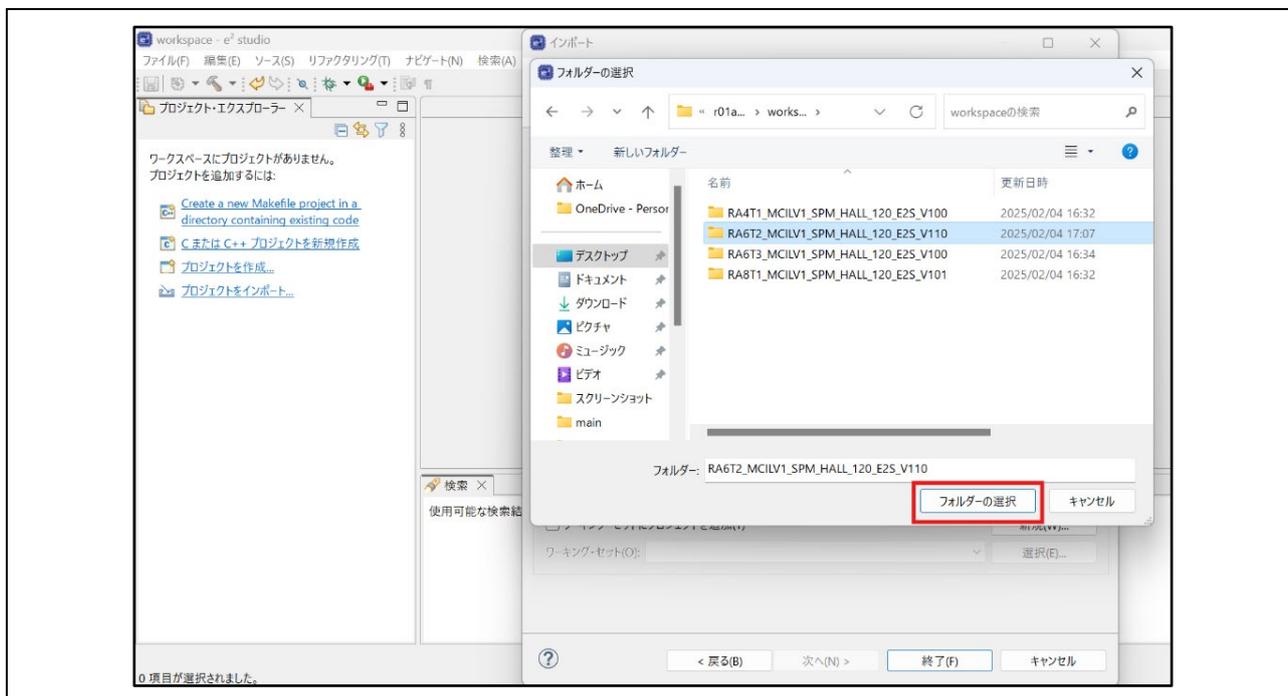


図 6-11 ターゲットファイル指定(5)

6. 正しくターゲットプロジェクトが読み込まれると図 6-12 のようになるので、確認して〈終了〉を左クリックします。

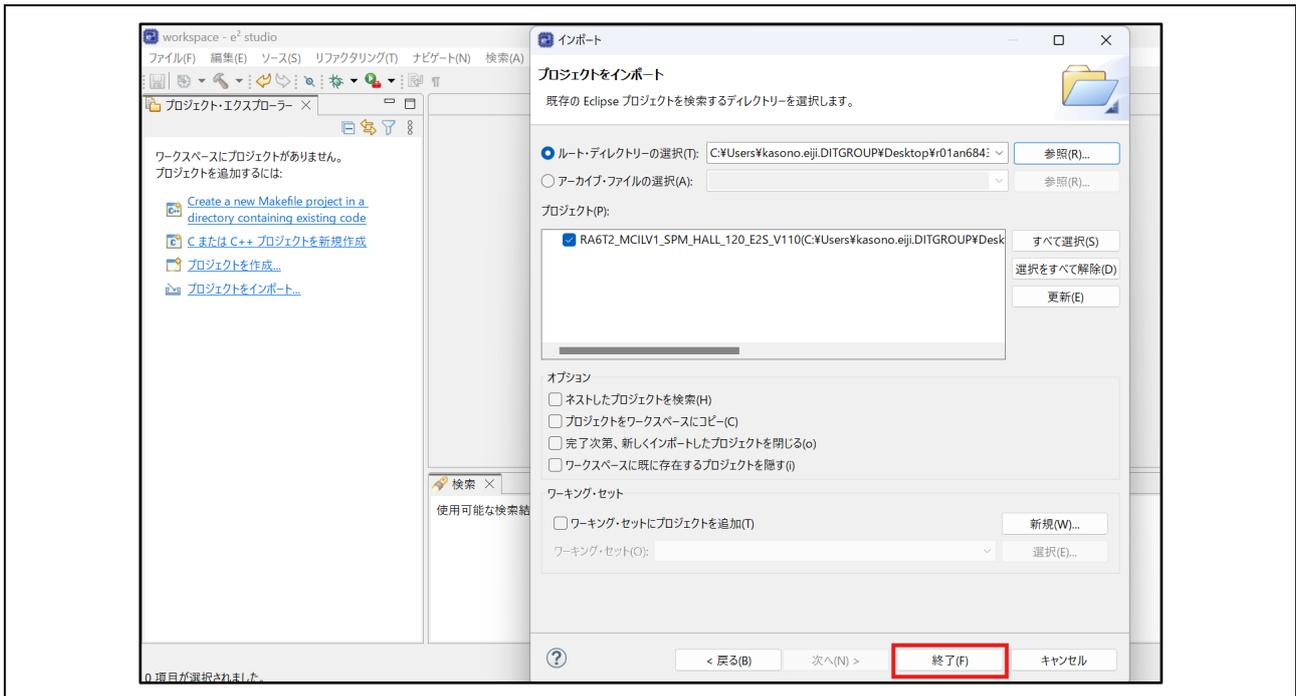


図 6-12 ターゲットファイル指定(6)

7. e2 studio 上にターゲットプロジェクトがインポートされたことを確認します。

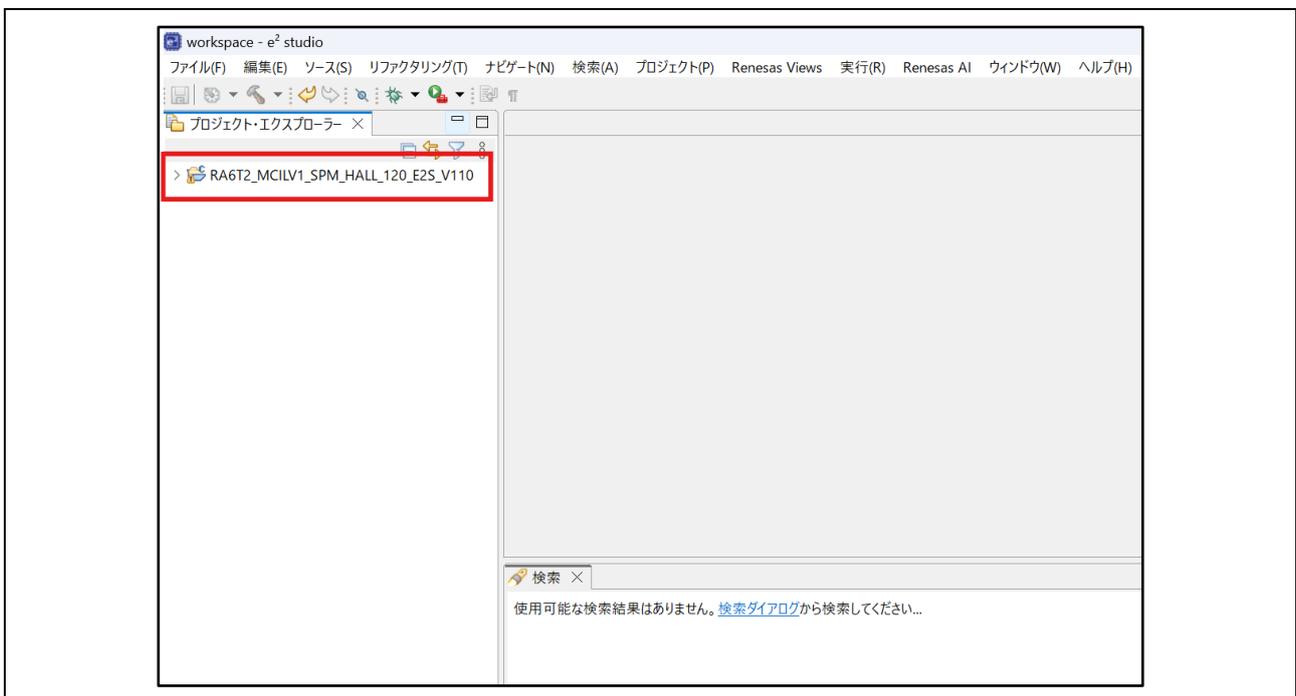


図 6-13 ターゲットプロジェクトインポート確認

6.3.3 プロジェクトのビルド

1. 6.3.2 でインポートした書き込みたいプロジェクトを右クリックします。

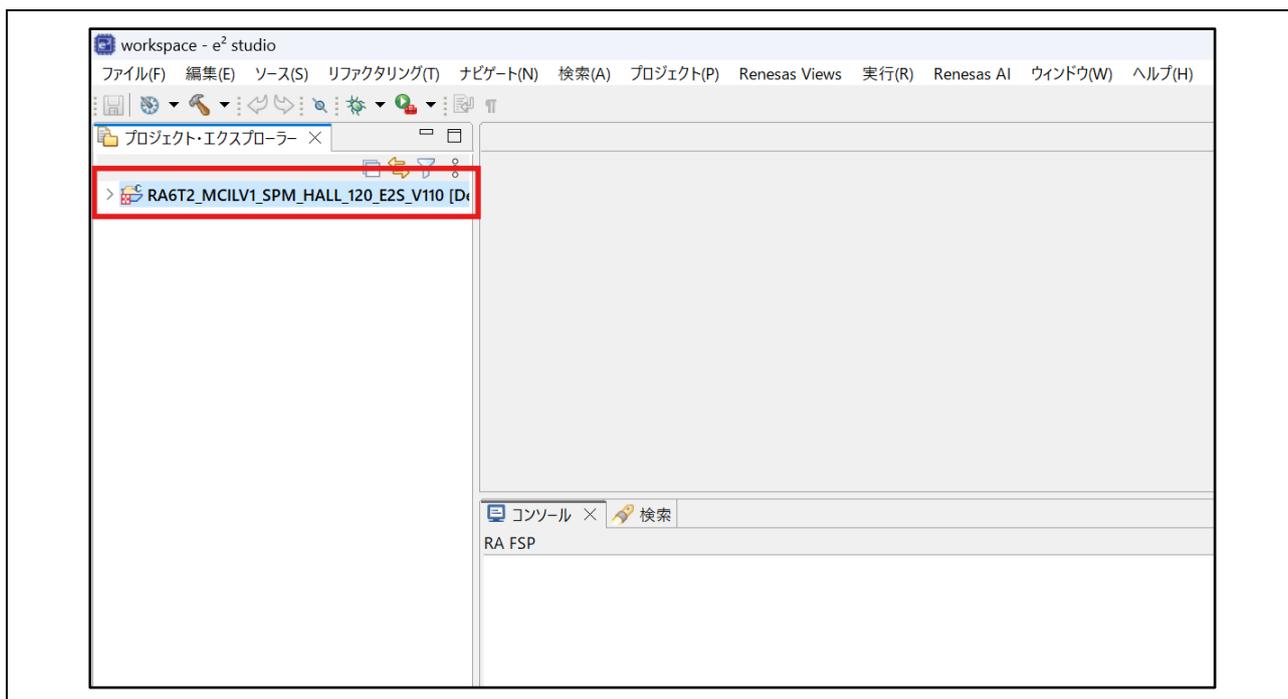


図 6-14 ターゲットプロジェクトの指定

2. プルダウンメニューが開くので、〈プロジェクトのビルド〉を選択し左クリックします。

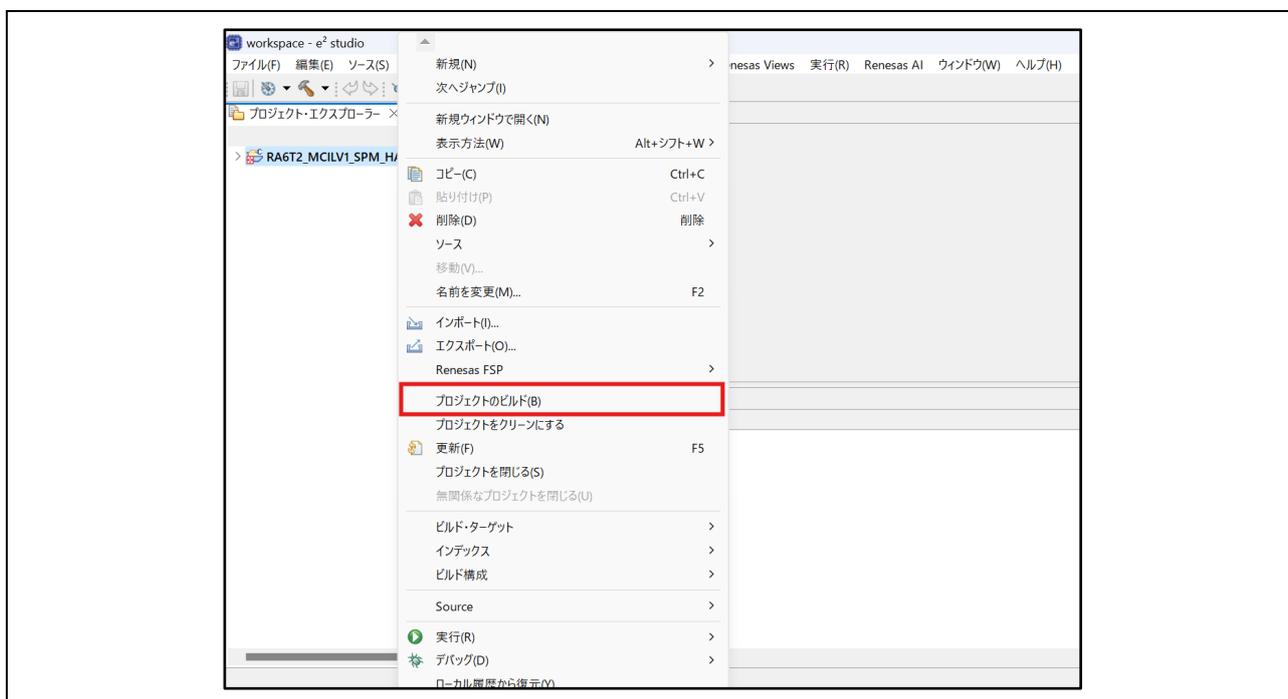


図 6-15 プルダウンメニュー

3. ビルドが実行され、コンソールウィンドウにビルドプロセスが表示されます。最終的にビルドがエラー無く完了したことを確認してください。

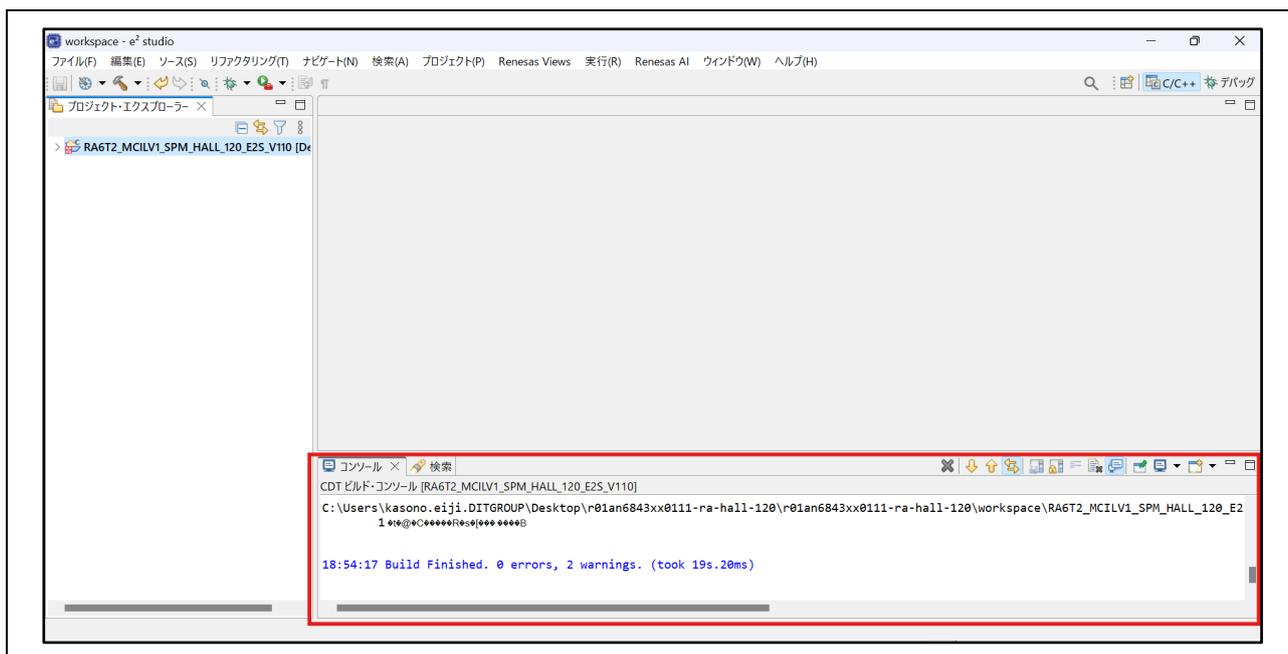


図 6-16 ビルド終了確認

6.3.4 PC とターゲットボードを USB ケーブルで接続

以下の図のように PC と CPU ボードを USB ケーブルで接続してください。

(図のターゲットボードは RA6T2 を使用)

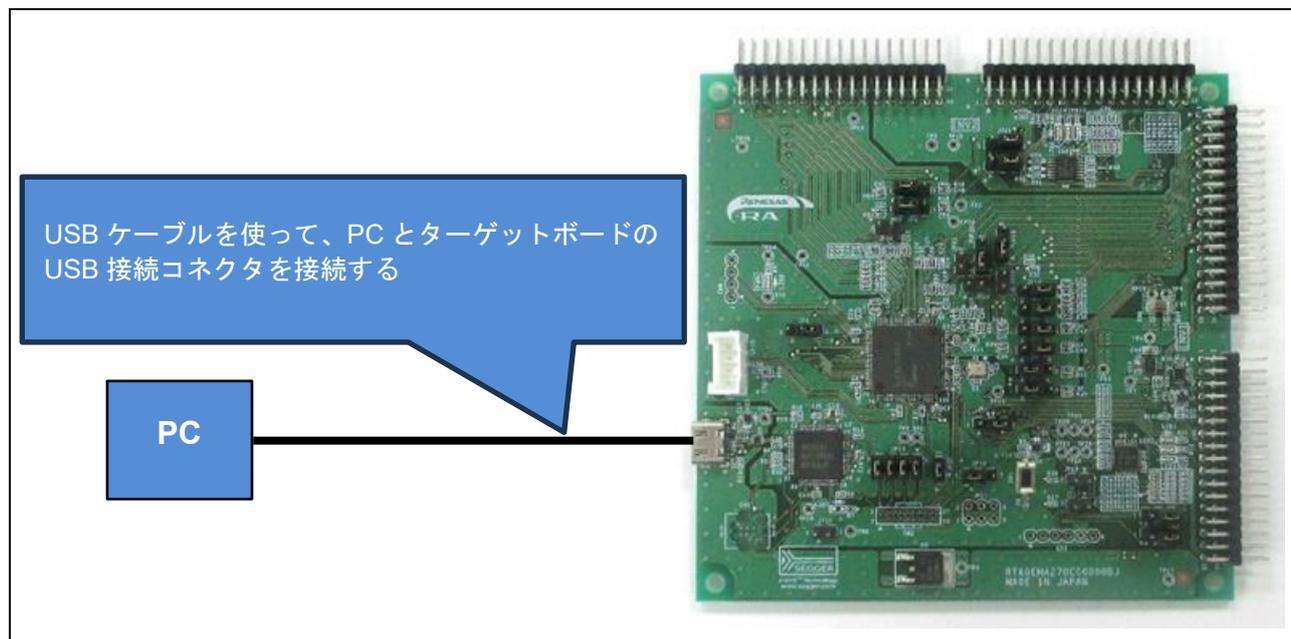


図 6-17 PC とターゲットボード(RA6T2)の接続

6.3.5 ターゲットボードへの書き込み(ビルド済み)

1. 書き込みたいプロジェクトを右クリックします。

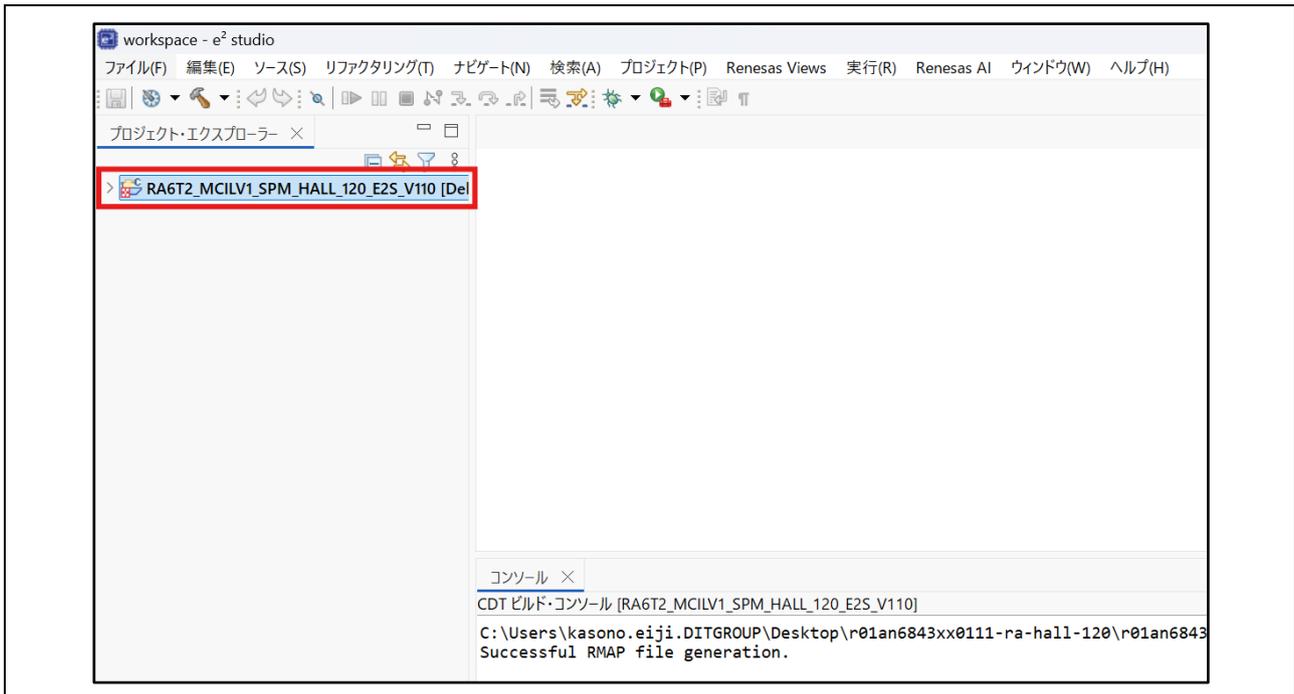


図 6-18 書き込みプロジェクトの選択

2. プルダウンメニューが開くので〈デバッグ〉にカーソルを置き、開いたウィンドウで〈Renesas GDB Hardware Debugging〉を左クリックします。

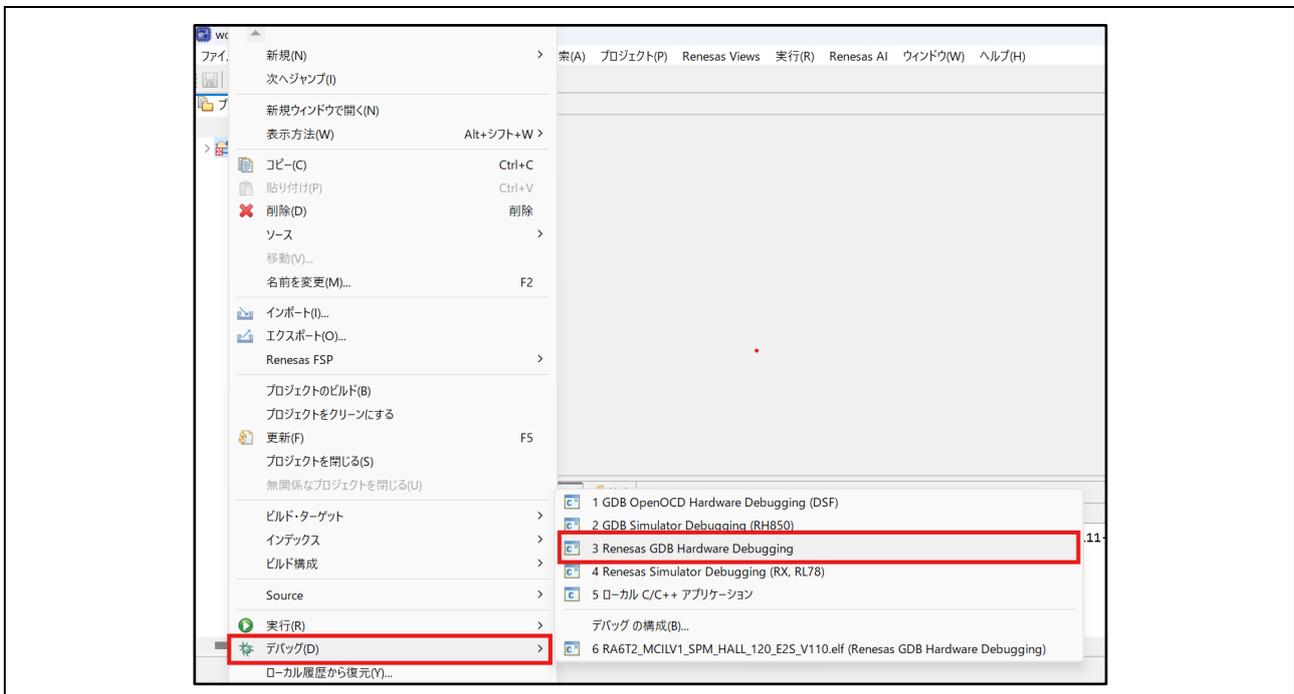


図 6-19 デバッグ方法の選択

3. 正しくターゲットボードと接続され、プログラムがダウンロードされた場合、図 6-20 のような〈デバッグ画面〉に移行します。

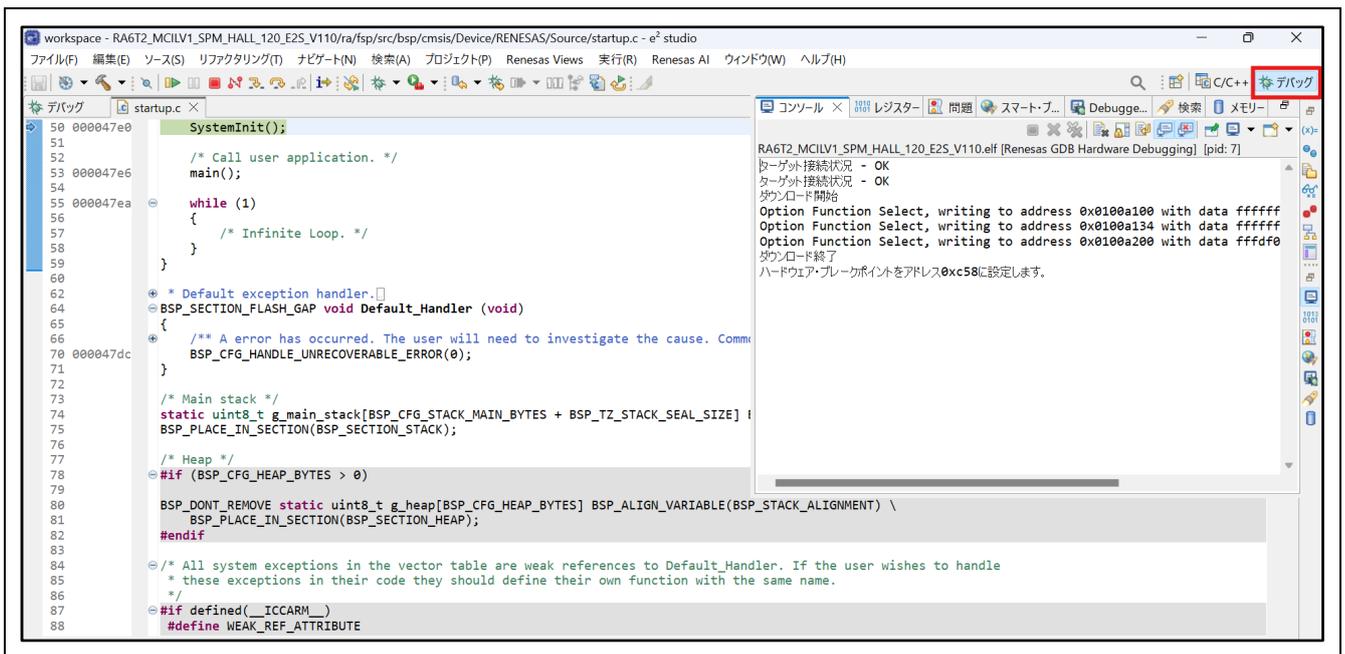


図 6-20 デバッグ画面

4. デバッグ画面の  をクリックして、ターゲットボードとの接続を遮断

USB ケーブルを外して、ターゲットボードへの書き込み完了です。

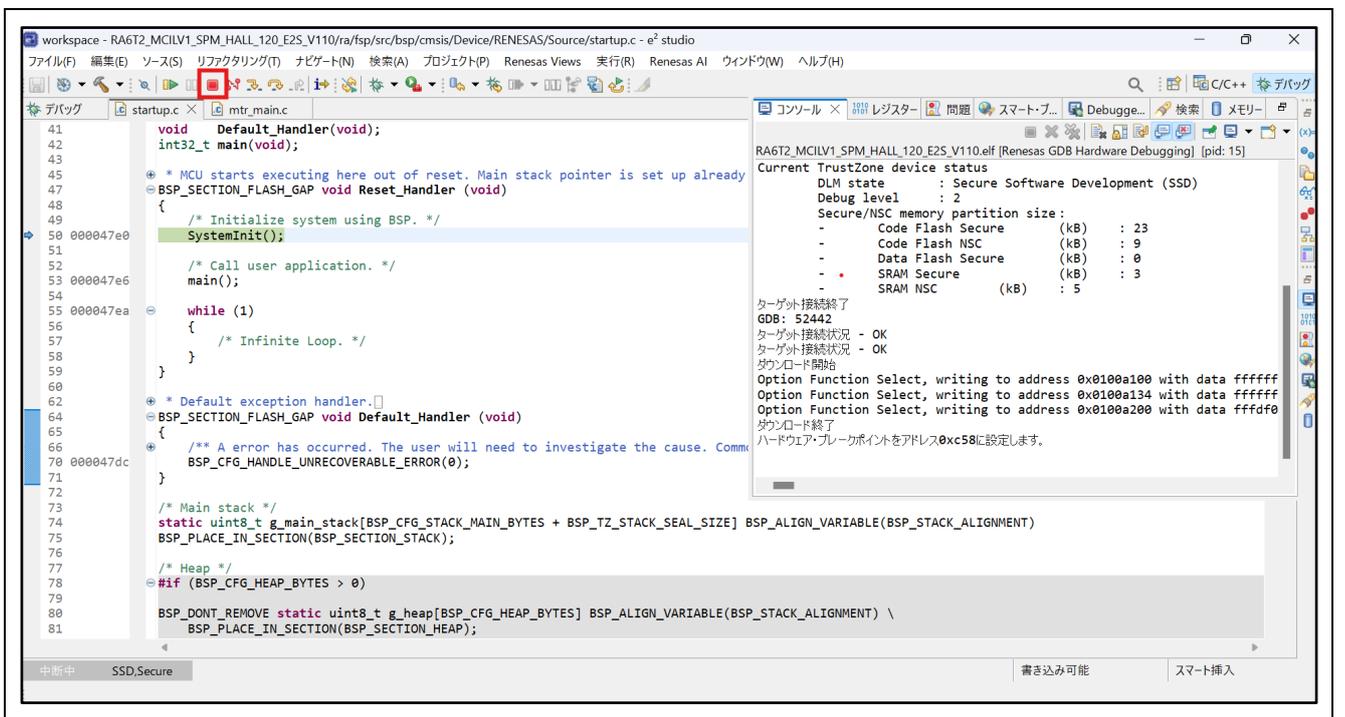


図 6-21 ターゲットボードとの切断

6.4 RMW の導入方法

モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」をユーザインタフェース（回転／停止指令、回転速度指令値設定など）として使用します。モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」は弊社 WEB サイトよりダウンロードしてください。

<https://www.renesas.com/ja/software-tool/renesas-motor-workbench>

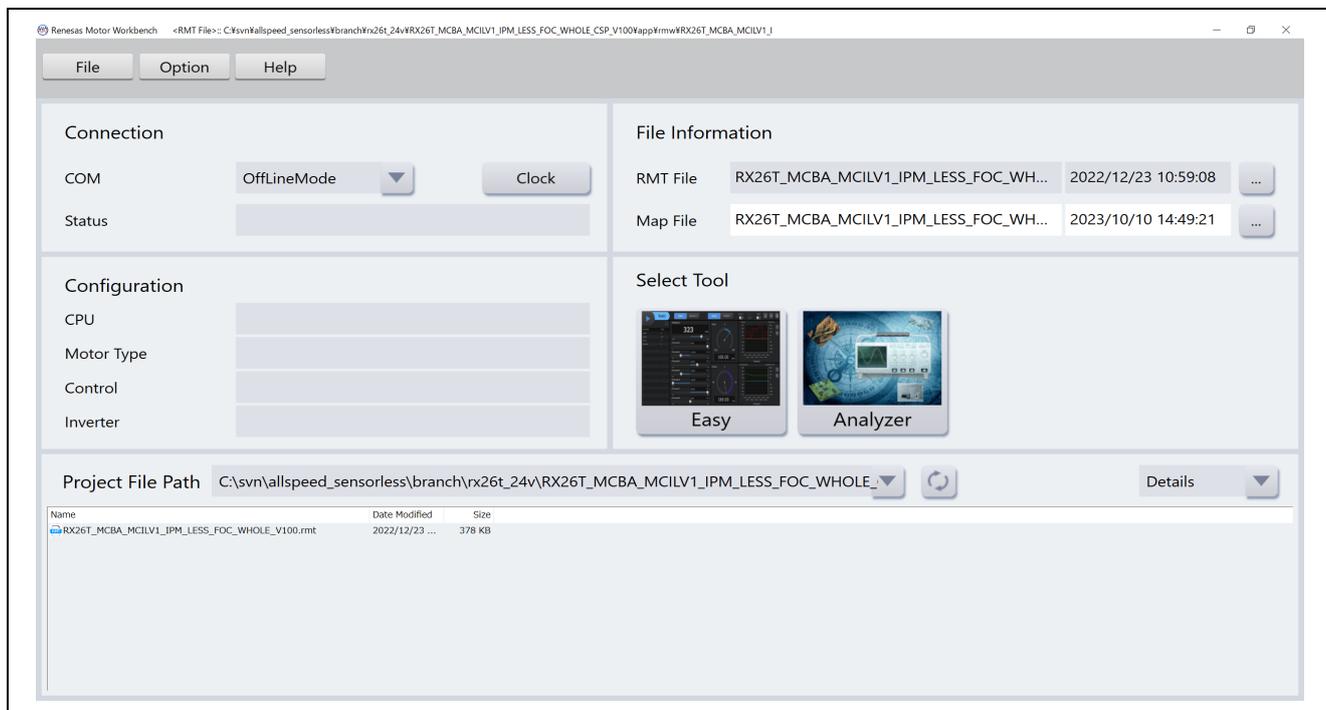


図 6-22 Renesas Motor Workbench 外観

6.5 Map ファイルの登録更新

サンプルプログラムの一部を変更した場合、変数などの情報が記載された Map ファイルを RMW に登録更新する作業が必要になります。サンプルプログラムの変更を行っていない場合には、Map ファイルの登録更新作業は不要です。

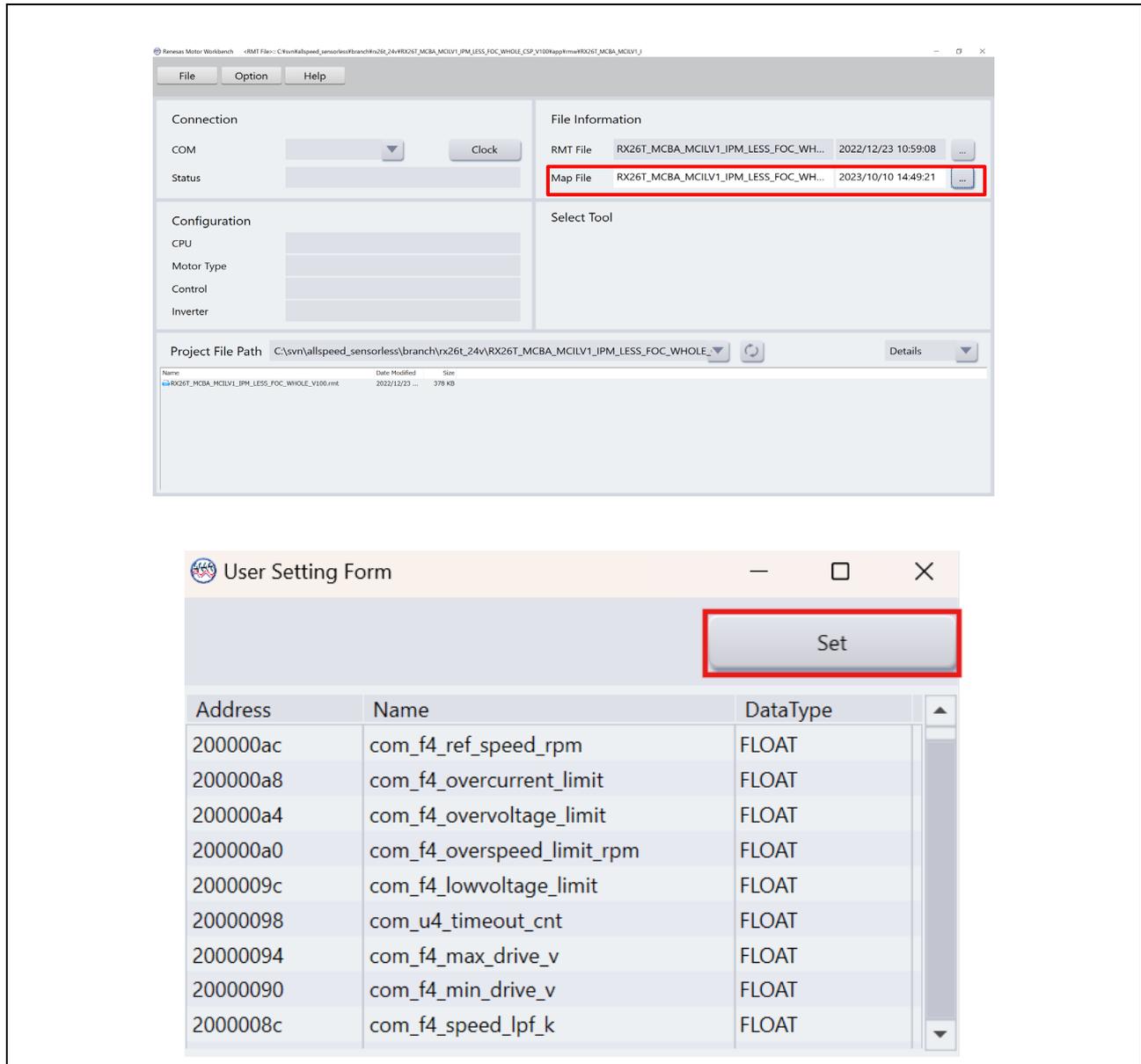


図 6-23 RMW の Map ファイル登録設定箇所（上）と反映画面（下）

6.6 RMW の操作に使用する変数

本サンプルプログラムで、モータを動かす場合には、RMW を用いて制御します。RMW UI 使用時の入力変数一覧を表 6-1 に示します。なお、これらの変数への入力値は `com_u1_enable_write` に `g_u1_enable_write` と同じ値を書き込んだ場合にモータモジュール内の対応する変数へ反映され、モータ制御に使用されます。ただし、(*)が付けられた変数は `com_u1_enable_write` に依存しません。

一部のモータ制御に用いるパラメータは、停止中に設定を変更できます。詳細は表 9-8、表 9-9 を参照してください。

なお、変数名の接頭辞(u1,f4 など)は変数型の省略形となっています。RMW は変数名の接頭辞を設定しておくことで、自動認識して型を選択し、Control Window で変数内部の数値の表示を行います。

表 6-1 Analyzer 機能主要入力用変数一覧

Analyzer 機能入力用変数名	型	内容
<code>com_u1_mode_system</code> (*)	<code>uint8_t</code>	ステート管理 0 : ストップモード 1 : ランモード 3 : リセット
<code>com_f4_ref_speed_rpm</code> (*)	<code>float</code>	速度指令値 (機械角) [rpm]
<code>com_u1_enable_write</code>	<code>uint8_t</code>	ユーザ入力用変数書き換え許可 <code>g_u1_enable_write</code> と変数一致で入力データ反映

次に駆動評価を行う際に観測することの多い主要な構造体変数の一覧を表 6-2 に示します。Analyzer 機能で波形表示する際や変数の値を読み込む際に参考にしてください。

表 6-2 センサレス 120 度通電制御主要変数一覧

センサレス 120 度通電制御主要変数名	型	内容
g_f4_iu_offset_monitor	float	U 相電流オフセット値
g_f4_iw_offset_monitor	float	W 相電流オフセット値
g_f4_iu_ad_monitor	float	U 相電流値 [A]
g_f4_iw_ad_monitor	float	W 相電流値 [A]
g_f4_vdc_ad_monitor	float	インバータ母線電圧値 [V]
g_f4_vu_monitor	float	U 相電圧値 [V]
g_f4_vv_monitor	float	V 相電圧値 [V]
g_f4_vw_monitor	float	W 相電圧値 [V]
g_f4_speed_rad_monitor	float	回転速度(電気角) [rad/s]
g_f4_speed_rpm_monitor	float	回転速度(機械角) [rpm]
g_f4_speed_ref_monitor	float	速度指令値(電気角) [rad/s]
g_f4_v_ref_monitor	float	指令電圧値 [V]
g_u1_direction_monitor	uint8_t	回転方向

6.7 モータ操作方法

RMW の 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、RMW 画面上の“Control Window”で行います。“Control Window”の詳細は、「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。

a) モータを回転させる

- ① “com_u1_mode_system”, “com_f4_ref_speed_rpm”の [W?] 欄にチェックが入っていることを確認します。
- ② 指令回転速度を“com_f4_ref_speed_rpm”の [Write] 欄に入力します。
- ③ “Write”ボタンをクリックします。(この時、com_u1_mode_system 欄は“0”のまま)
- ④ “Read”ボタンを押して現在の“com_f4_ref_speed_rpm”の [Read] 欄を確認します。
- ⑤ “com_u1_mode_system”の [Write]欄に“1”を入力します。
- ⑥ “Write”ボタンをクリックします。

④ Click “Read” button ③⑥ Click “Write” button

Variable Name	Variable Meaning	Data Type	Scale	Base	R?	Read	W?	Write
com_u1_mode_system	State management	INT8	Q0	Decimal	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1
com_f4_ref_speed_rpm	Speed command value (mechan	FLOAT	Q0	Decimal	<input checked="" type="checkbox"/>	2000	<input checked="" type="checkbox"/>	2000
com_u1_enable_write	Enable to rewriting variables	INT8	Q0	Decimal	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	0
com_u1_sw_userif	User interface switch	INT8	Q0	Decimal	<input checked="" type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0

② Write reference speed

図 6-24 モータ回転の手順

b) モータを停止させる

- ① "com_u1_mode_system"の[Write]欄に"0"を入力します。
- ② "Write"ボタンをクリックします。
- ③ モータの停止を確認します。

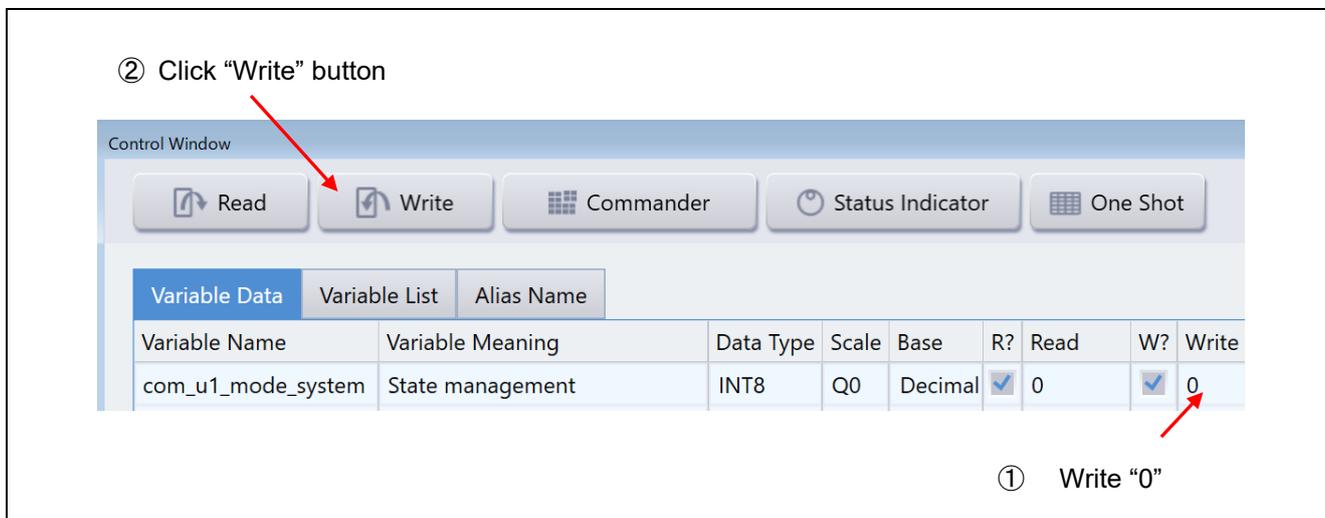


図 6-25 モータ停止の手順

c) 止まってしまった（エラー）場合の処理

- ① "com_u1_mode_system"の[Write]欄に"3"を入力する。
- ② "Write"ボタンを押す。

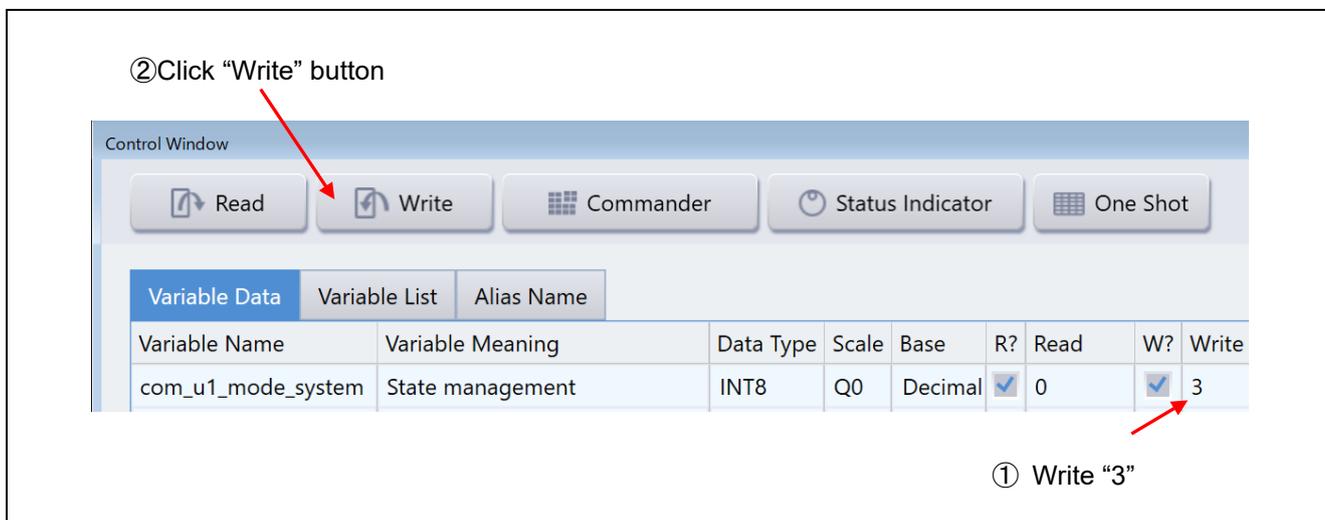


図 6-26 エラー解除の手順

表 6-3 エラーステータスの説明

値	エラー内容	割り当てられているマクロ名
0x0000	エラーなし	MOTOR_ERROR_NONE
0x0001	ハードウェア検出過電流エラー	MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_HW
0x0002	過電圧エラー	MOTOR_ERROR_OVER_VOLTAGE
0x0004	過速度エラー	MOTOR_ERROR_OVER_SPEED
0x0008	ホール信号タイムアウトエラー (センサレス 120 度通電では発生しません)	MOTOR_ERROR_HALL_TIMEOUT
0x0010	誘起電圧検出タイムアウトエラー	MOTOR_ERROR_BEMF_TIMEOUT
0x0020	未使用	MOTOR_ERROR_HALL_PATTERN
0x0040	誘起電圧検出パターンエラー	MOTOR_ERROR_BEMF_PATTERN
0x0080	低電圧エラー	MOTOR_ERROR_LOW_VOLTAGE
0x0100	ソフトウェア検出過電流エラー	MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_SW
0x0200	誘導センサ補正失敗エラー (センサレス 120 度通電では発生しません)	MOTOR_ERROR_INDUCTION_CORRECT
0xFFFF	未定義エラー	MOTOR_ERROR_UNKNOWN

6.8 モータ停止・遮断方法

運転状態からモータを停止する場合には、以下に示す手順で行ってください。なお、緊急時は、②の DC24V の供給を最優先にして停止させてください。

- ① 6.7 b)のモータ停止手順を行う。
- ② モータが停止するのを確認したら、直流安定化電源を操作し、DC24V の供給を停止する。

7. モータ制御アルゴリズム

7.1 概要

本サンプルプログラムのモータ制御アルゴリズムについて説明します。表 7-1 に、モータ制御機能を示します。

表 7-1 本サンプルプログラムのモータ制御機能

機能項目	機能の内容
制御方式	センサレス 120 度通電制御
PWM 出力方式	前半 60 度チョッピング
ロータ位置・回転速度推定方法	誘起電圧ゼロクロス検出
制御モード	速度制御のみ

7.2 センサレス機能

センサレス 120 度通電制御では永久磁石位置を知るためのセンサがありませんので、センサに変わって位置情報を得る手段が必要になります。永久磁石同期モータのセンサレス制御では、誘起電圧を検出することで位置を推定することが一般的です。

誘起電圧とは、コイル内を貫く磁束が変化する際、その変化を妨げるようにその割合に比例してコイルに発生する電圧のことを言います。

例えば、図 7-1 のようにコイルに磁石を近づけた場合を考えます。この場合、コイルを貫く磁束は増加するので、コイルは磁束の増加を妨げるために図の方向に電流を流す起電力を発生させます。（右ねじの法則により、磁石の磁束と逆向きの磁束が発生します）

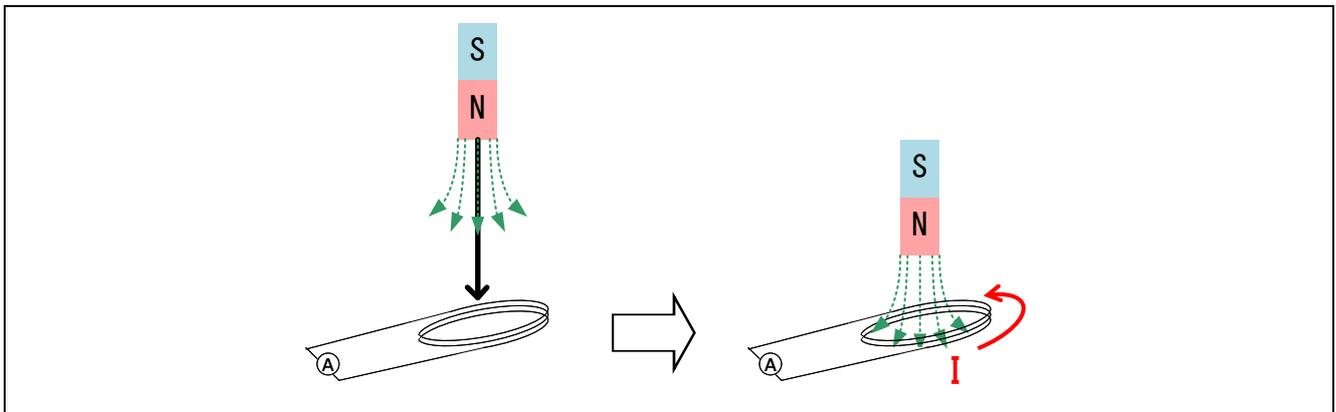


図 7-1 コイルと磁石による誘起電圧

この誘起電圧 E_m は、磁石の磁束を ψ_m として以下の式で表すことができます。

$$E_m = \frac{d}{dt} \psi_m \dots (1)$$

この現象は回転している永久磁石同期モータでも発生します。永久磁石が回転している場合、各相の鎖交磁束が常に変化することで、誘起電圧が発生しています。

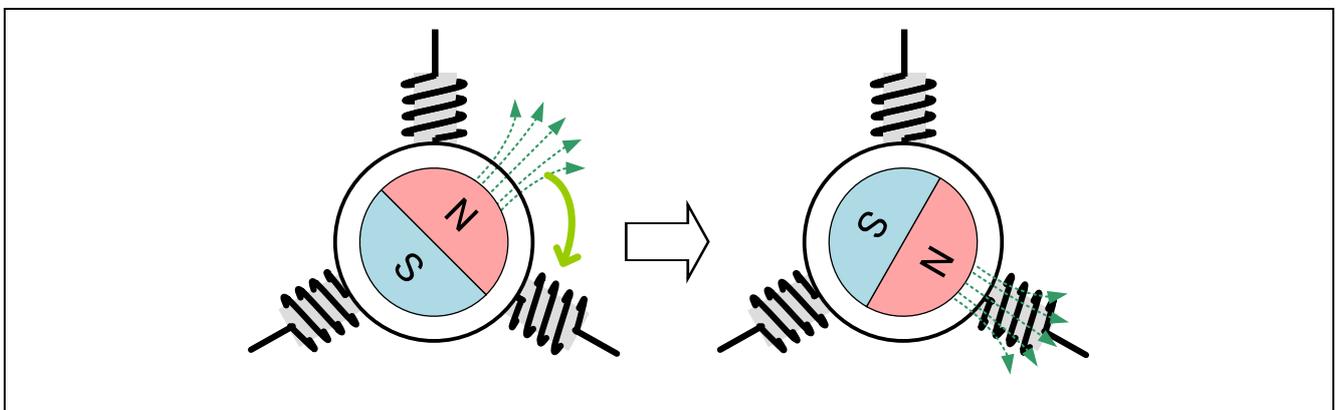


図 7-2 回転する永久磁石同期モータにおける誘起電圧

図 7-3 は、U 相における鎖交磁束の変化を表したもので、縦軸に鎖交磁束の大きさ、横軸に永久磁石の位相を表しています。また、永久磁石の N 極が U 相のコイルを向いている位置を $\theta = 0$ としています。

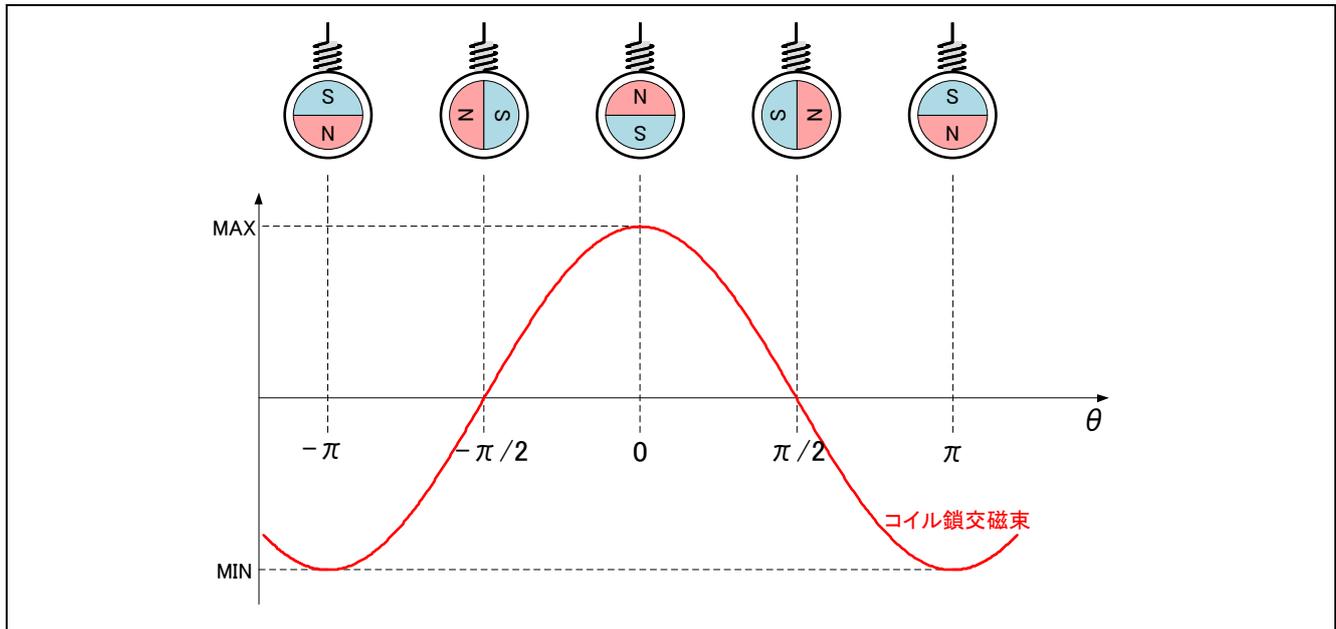


図 7-3 鎖交磁束の変化

U 相の鎖交磁束は余弦波状に変化します。

さらに、V 相、W 相についても同様に考えた場合、V 相、W 相は U 相からそれぞれ $2\pi/3$ 、 $-2\pi/3$ 位相がずれているので、3 相の鎖交磁束は以下の式で表すことができます。

$$\begin{aligned}\varphi_u &= \varphi_m \cos \theta \\ \varphi_v &= \varphi_m \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) \\ \varphi_w &= \varphi_m \cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right)\end{aligned}$$

また、3 相の誘起電圧は角速度を ω とすると、式(1)を用いて以下の式で表すことができます。

$$\begin{aligned}E_u &= \frac{d}{dt} \varphi_u = \frac{d}{dt} \varphi_m \cos \theta = -\omega \varphi_m \sin \theta = \omega \varphi_m \cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \\ E_v &= \frac{d}{dt} \varphi_v = \frac{d}{dt} \varphi_m \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) = -\omega \varphi_m \sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) = \omega \varphi_m \cos\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) \\ E_w &= \frac{d}{dt} \varphi_w = \frac{d}{dt} \varphi_m \cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) = -\omega \varphi_m \sin\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) = \omega \varphi_m \cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)\end{aligned}$$

本式より、各相に発生する誘起電圧は、永久磁石磁束に対して $\pi/2$ 位相が進んでいることが分かります。つまり、誘起電圧を検出することができれば、永久磁石の位置が推定できるということです。

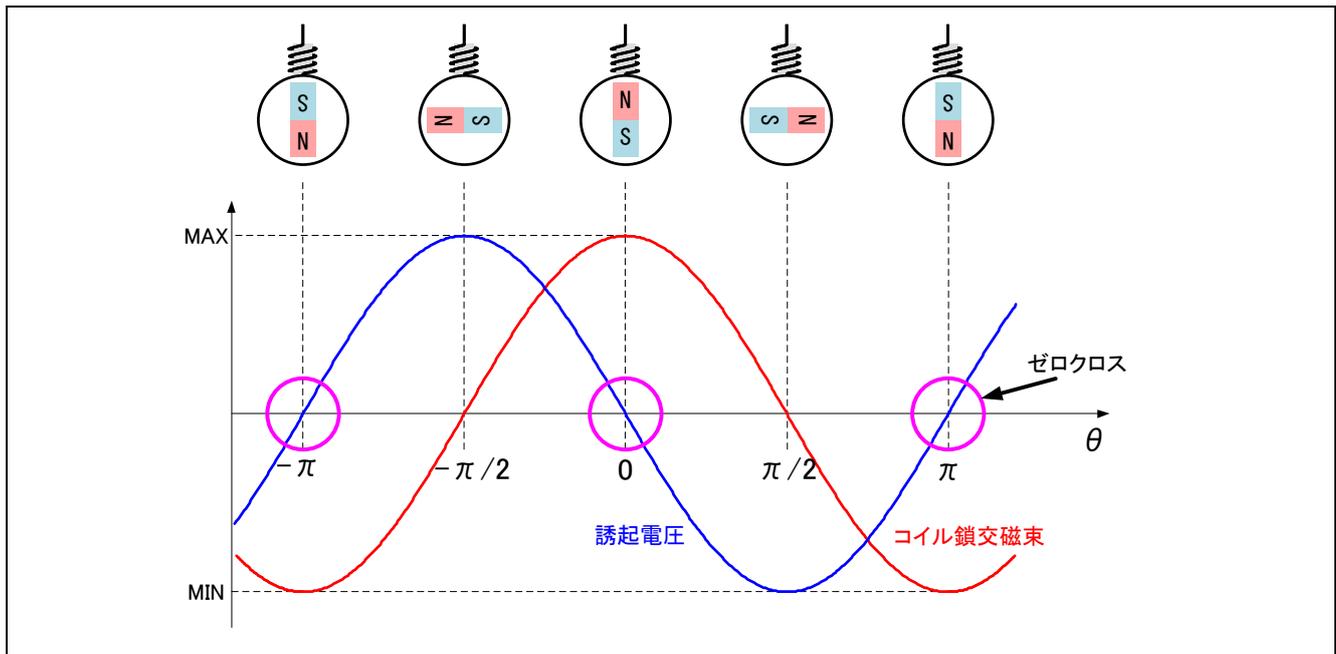


図 7-4 誘起電圧のゼロクロス

ただし、各相の誘起電圧は、モータが回転している間、常に検出できるわけではありません。

120 度通電で駆動中は、3 相のうち 2 相に通電していますので、残りの通電していない 1 相のみ誘起電圧を検出することができます。実際は、誘起電圧が検出できる無通電の相に発生する誘起電圧の符号が替わる点（ゼロクロス）を検出することで位置情報を得ています。

3 相モータでは、このゼロクロスがモータ 1 回転（電気角）する間で各相 2 回、合計 6 回発生します。つまり、このゼロクロスを検出することで 60 度毎の位置推定ができ、ホールセンサと同等の分解能で位置情報を推定することができます。

本システムでは、各相電圧と仮想モータ中点電圧を比較し、その位置関係によって「1」「0」のパターンを作成しています。

さらに、このパターンの位相を $\pi/6$ ずらすことで仮想のホールセンサパターンを作成しています。
 $\pi/6$ は速度推定値から算出しています。

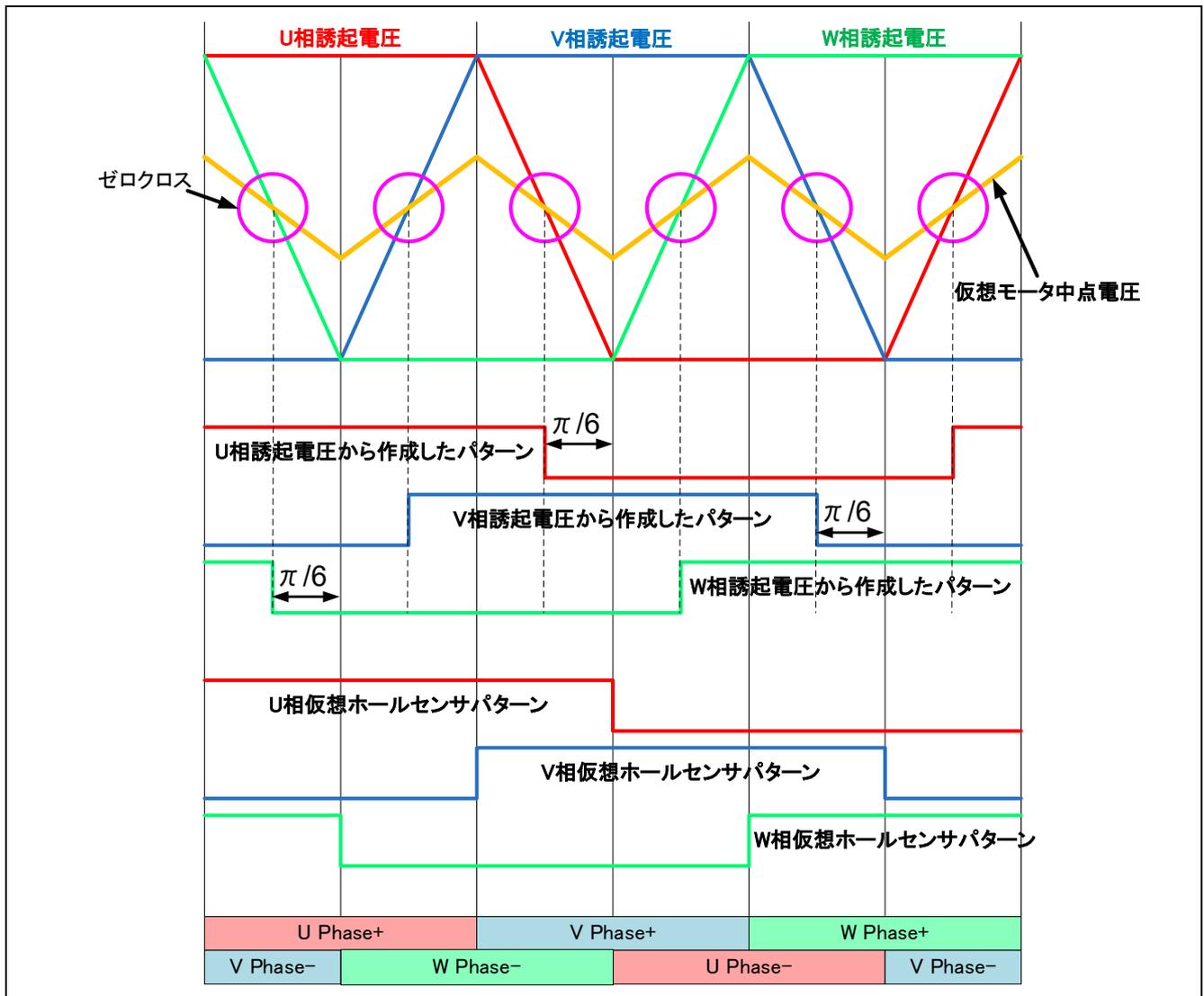


図 7-5 仮想ホールセンサパターン

7.3 速度制御

本サンプルソフトウェアのモータ回転速度は、タイマをフリーランニングさせ、ゼロクロス発生時にタイマ値を取り込み、 2π [rad]前の取り込み値との差分から演算します。

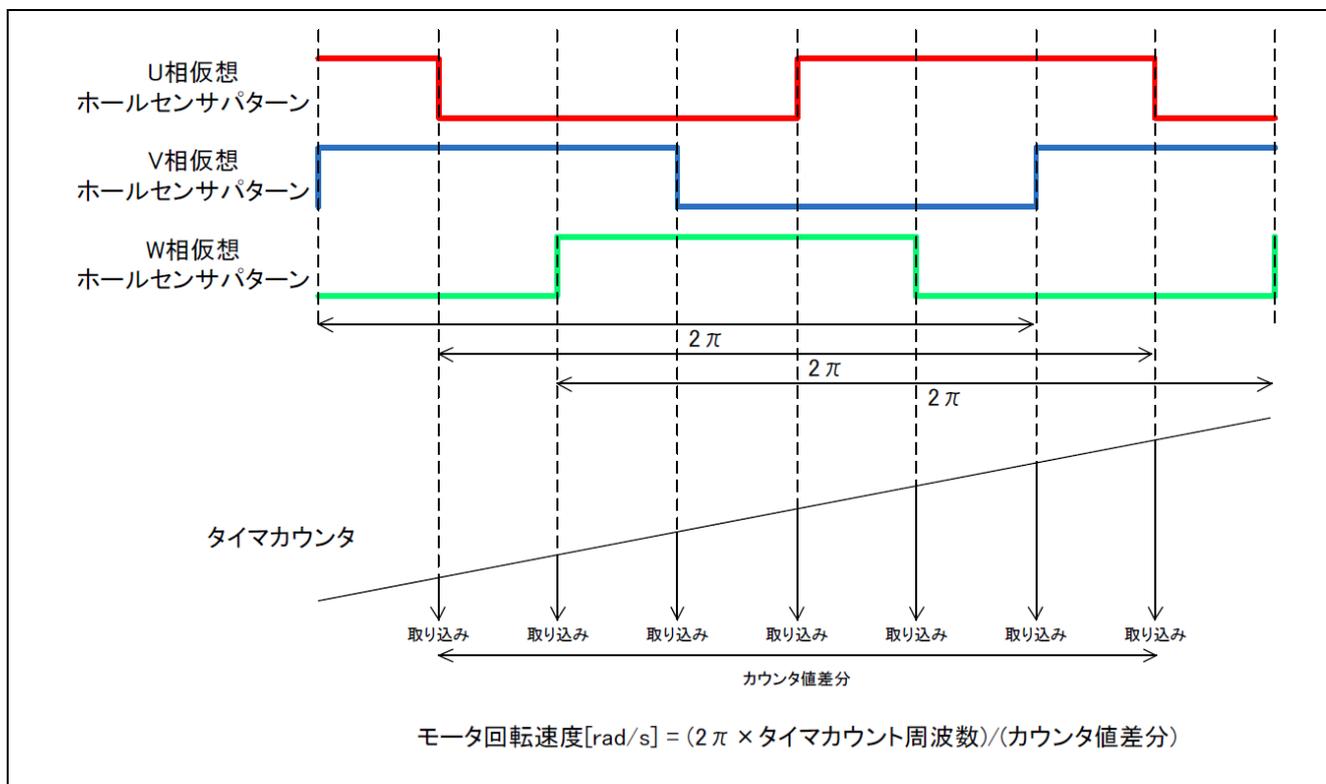


図 7-6 モータ回転速度の演算方法

速度制御は PI 制御によって行います。下記の速度制御 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 ω^* : 速度指令値 ω : 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。

7.4 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 7-7 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。

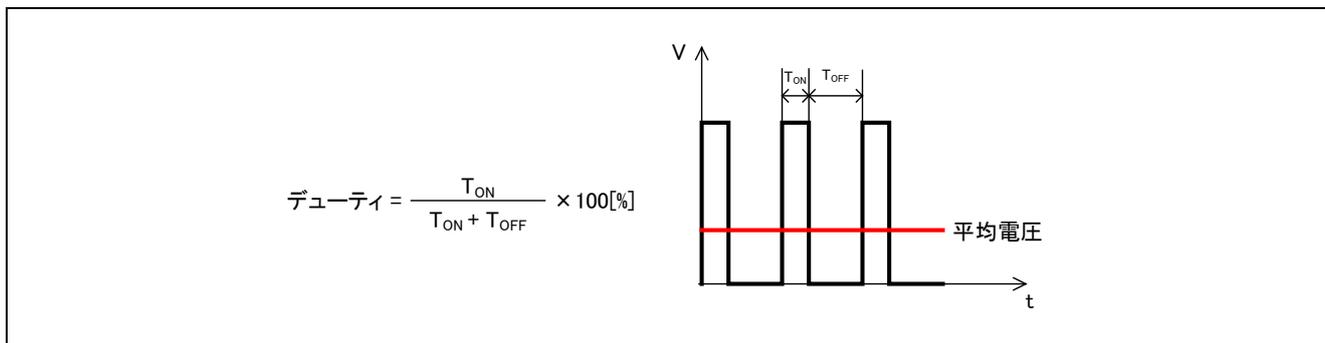


図 7-7 PWM 制御

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ことで所望の制御を行います。

また、サンプルソフトウェアでは前半 60 度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 7-8 に非相補前半 60 度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 7-9 に相補前半 60 度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。

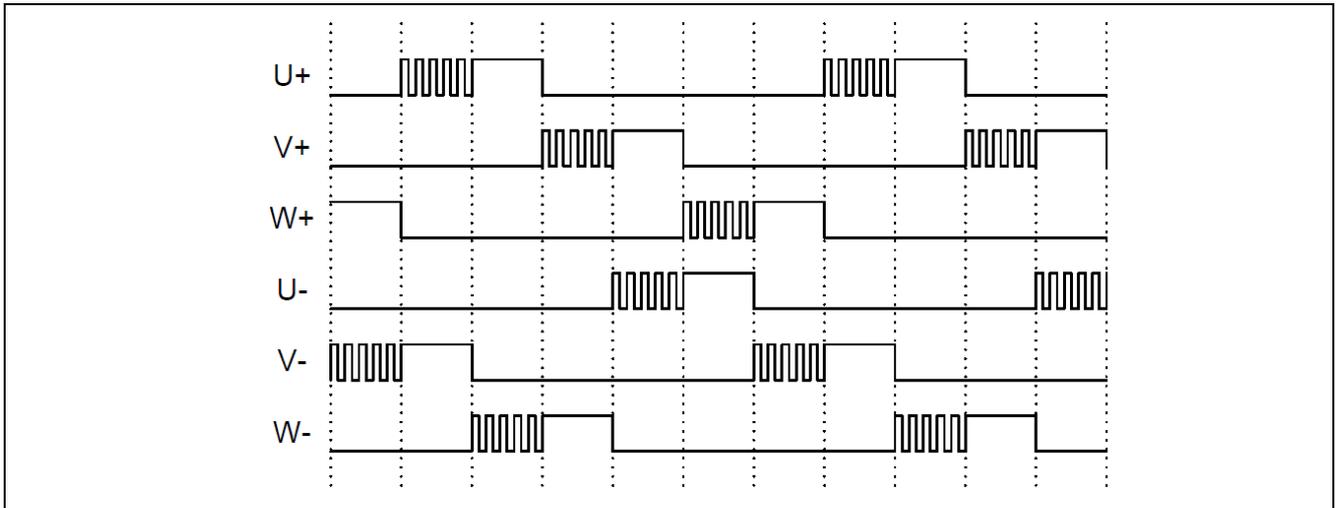


図 7-8 非相補前半 60 度チョッピング

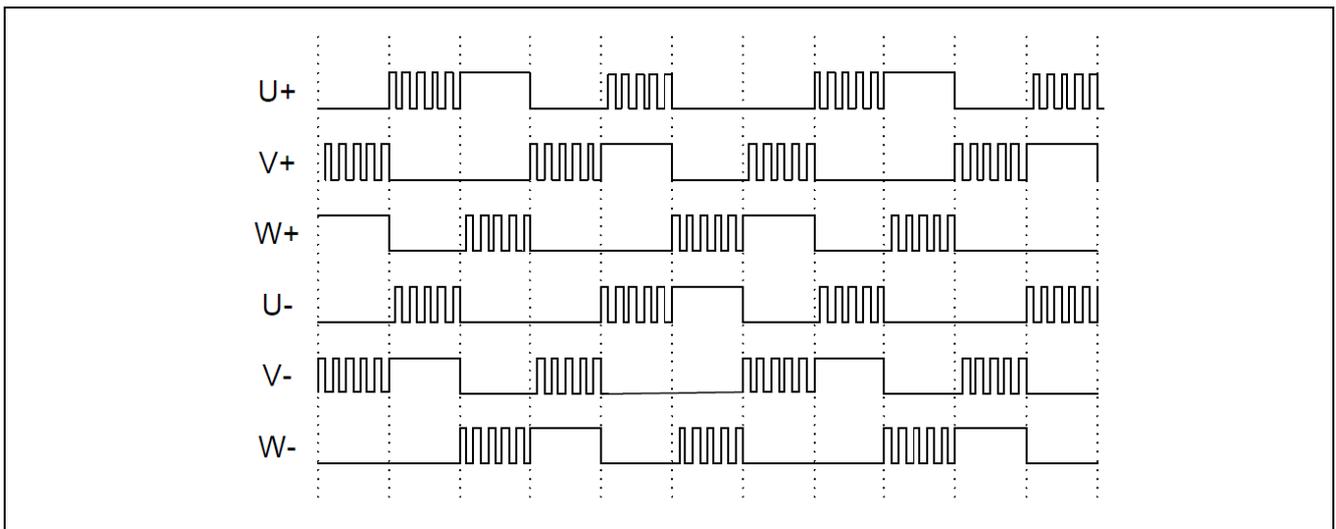


図 7-9 相補前半 60 度チョッピング

7.5 センサレス制御時の始動方法

センサレス 120 度通電制御は、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、始動時は磁極の位置を推定することができず、磁極位置の推定に十分な回転速度が必要です。

そのため、始動方法として永久磁石の位置にかかわらず、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、同期速度に引き込む方法があります。

図 7-10 ではサンプルソフトウェアでの始動方法を示しています。

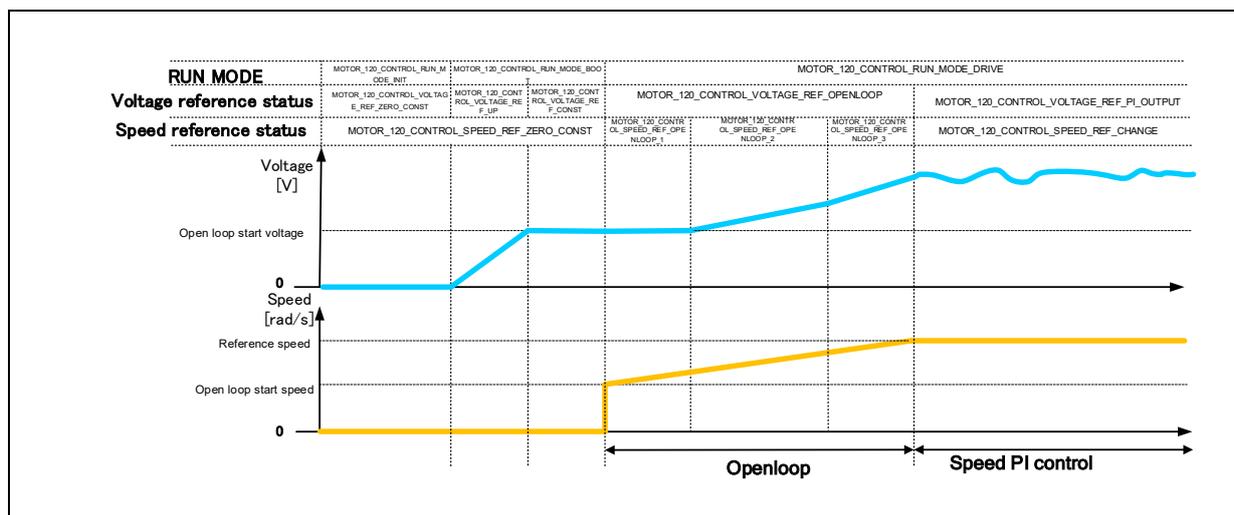


図 7-10 始動方法例

8. ハードウェア仕様

8.1 ユーザインタフェース

本システムのボードユーザインタフェース一覧を表 8-1 に示します。

表 8-1 ボードユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
回転速度	可変抵抗器(VR1)	回転速度指令値入力
START/STOP	トグルスイッチ(SW1)	モータ回転開始/停止指令
ERROR RESET	プッシュスイッチ(SW2)	エラー状態からの復帰指令
LED1	オレンジ色 LED(LED1)	・モータ駆動時 : 点灯 ・モータ停止時 : 消灯
LED2	オレンジ色 LED(LED2)	・エラー検出時 : 点灯 ・通常動作時 : 消灯
LED3	オレンジ色 LED(LED3)	未使用
RESET	プッシュスイッチ(RESET1)	システムリセット

サンプルソフトウェアの端子インタフェースを表 8-2、表 8-3 に示します。

表 8-2 端子インタフェース[1/2]

機能	RA6T2	RA6T3	RA4T1
インバータ母線電圧測定	Ver.1: PA06 / AN006 Ver.2: PA07 / AN007	P004 / AN004	P004 / AN004
回転速度指令値入力用(VR1)	Ver.1: PB00 / AN008 Ver.2: P000 / AN016	P005 / AN005	P005 / AN005
START/STOP トグルスイッチ (SW1)	PD04	P304	P304
ERROR RESET プッシュスイッチ(SW2)	PD07	P200	P200
LED1 点灯/消灯制御	PD01	P113	P113
LED2 点灯/消灯制御	PD02	P106	P106
U 相電流測定	PA04 / AN004	P000 / AN000	P000 / AN000
V 相電流測定	PA02 / AN002	P001 / AN001	P001 / AN001
W 相電流測定	PA00 / AN000	P002 / AN002	P002 / AN002
U 相電圧測定	Ver.1: PA07 / AN007 Ver.2: PE15 / AN027	P500 / AN016	P500 / AN016
V 相電圧測定	PA03 / AN003	P014 / AN012	P014 / AN012
W 相電圧測定	PA01 / AN001	P013 / AN011	P013 / AN011
PWM 出力(U _p)	PB04 / GTIOC4A	P409 / GTIOC1A	P409 / GTIOC1A
PWM 出力(V _p)	PB06 / GTIOC5A	P103 / GTIOC2A	P103 / GTIOC2A
PWM 出力(W _p)	PB08 / GTIOC6A	P111 / GTIOC3A	P111 / GTIOC3A
PWM 出力(U _n)	PB05 / GTIOC4B	P408 / GTIOC1B	P408 / GTIOC1B
PWM 出力(V _n)	PB07 / GTIOC5B	P102 / GTIOC2B	P102 / GTIOC2B
PWM 出力(W _n)	PB09 / GTIOC6B	P112 / GTIOC3B	P112 / GTIOC3B
過電流検出時の PWM 緊急停止入力	PC13 / GTETRGD	P104 / GTETRGB	P104 / GTETRGB

表 8-3 端子インタフェース[2/2]

機能	RA8T1	RA8T2
インバータ母線電圧測定	P008 / AN008	P007 / AN007
回転速度指令値入力用(VR1)	P014 / AN007	P015 / AN015
START/STOP トグルスイッチ (SW1)	PA15	PA00
ERROR RESET プッシュスイッチ(SW2)	PA13	PA07
LED1 点灯/消灯制御	PA12	P614
LED2 点灯/消灯制御	PA14	PA15
U 相電流測定	P004 / AN000	P006 / AN006
V 相電流測定	P005 / AN001	P008 / AN008
W 相電流測定	P006 / AN002	P010 / AN010
U 相電圧測定	P011 / AN106	P009 / AN009
V 相電圧測定	P010 / AN005	P011 / AN011
W 相電圧測定	P015 / AN105	P013 / AN013
PWM 出力(U _p)	P115 / GTIOC5A	P605 / GTIOC8A
PWM 出力(V _p)	P113 / GTIOC2A	P603 / GTIOC7A
PWM 出力(W _p)	P300 / GTIOC3A	P612 / GTIOC9A
PWM 出力(U _n)	P609 / GTIOC5B	P604 / GTIOC8B
PWM 出力(V _n)	P114 / GTIOC2B	P602 / GTIOC7B
PWM 出力(W _n)	P112 / GTIOC3B	P613 / GTIOC9B
過電流検出時の PWM 緊急停止入力	P613 / GTETRGA	P112 / GTETRGA

8.2 周辺機能

サンプルソフトウェアで使用する周辺機能一覧を表 8-4、表 8-5 に示します。

表 8-4 周辺機能対応表[1/2]

周辺機能	用途	RA6T2	RA6T3	RA4T1
A/D コンバータ	U 相電流測定	AN004	AN000	AN000
	V 相電流測定	AN002	AN001	AN001
	W 相電流測定	AN000	AN002	AN002
	U 相電圧測定	Ver.1: AN007 Ver.2: AN027	AN016	AN016
	V 相電圧測定	AN003	AN012	AN012
	W 相電圧測定	AN001	AN011	AN011
	インバータ母線電圧測定	Ver.1: AN006 Ver.2: AN007	AN004	AN004
AGTW	速度制御インターバルタイマ	AGT0	AGT0	AGT0
	回転速度計測用フリーランタイマ	-	AGT1	AGT1
GPT	U 相 PWM 出力	CH4	CH1	CH1
	V 相 PWM 出力	CH5	CH2	CH2
	W 相 PWM 出力	CH6	CH3	CH3
	回転速度計測用フリーランタイマ	CH0	-	-
POEG	過電流検出時の PWM 緊急停止入力	Group D	Group B	Group B

表 8-5 周辺機能対応表[2/2]

周辺機能	用途	RA8T1	RA8T2
A/D コンバータ	U 相電流測定	AN000	AN006
	V 相電流測定	AN001	AN008
	W 相電流測定	AN002	AN010
	U 相電圧測定	AN106	AN009
	V 相電圧測定	AN005	AN011
	W 相電圧測定	AN105	AN013
	インバータ母線電圧測定	AN008	AN007
	VR 入力	AN007	AN015
AGTW	速度制御インターバルタイマ	AGT0	AGT0
	回転速度計測用フリーランタイマ	-	AGT1
GPT	U 相 PWM 出力	CH5	CH8
	V 相 PWM 出力	CH2	CH7
	W 相 PWM 出力	CH3	CH9
	回転速度計測用フリーランタイマ	CH0	-
POEG	過電流検出時の PWM 緊急停止入力	Group A	Group A

(1). A/D コンバータ

U 相電流(I_u)、V 相電流(I_v)、W 相電流(I_w)、U 相電圧(V_u)、V 相電圧(V_v)、W 相電圧(V_w)、およびインバータ母線電圧(V_{dc})と回転速度指令値(VR)を「シングルスキャンモード」で測定します(ハードウェアトリガを使用)。

A/D 変換は GPT のアンダーフロー(PWM の谷)と連動して動作させています。A/D 変換完了割り込みを、キャリア周期割り込みとして使用します。

(2). 非同期汎用タイマ (AGTW)

速度制御周期割り込みのインターバルタイマとして使用します。

RA6T3/RA4T1/RA8T2 では速度計測用フリーランタイマとしても使用します。

(3). 汎用 PWM タイマ (GPT)

相補 PWM 出力動作モードを使用して、デッドタイム付きの出力を行います。

RA6T2/RA8T1 では速度計測用フリーランタイマとしても使用します。

(4). GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

過電流検出時 (GTETRGx 端子の Low レベル検出時) に PWM 出力端子をハイインピーダンス状態にします。

9. ソフトウェア仕様・構成

9.1 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。

表 9-1 センサレス 120 度通電制御ソフトウェア基本仕様

項目	内容
制御方式	120 度通電制御
モータ制御開始/停止	SW1 のレベルにより判定 または Renesas Motor Workbench から入力
回転子磁極位置推定	センサレス (誘起電圧ゼロクロス検出)
入力電圧	DC 24V
メインクロック周波数	RA6T2: 240 [MHz] RA6T3: 200 [MHz] RA4T1: 100 [MHz] RA8T1: 480 [MHz] RA8T2: 1 [GHz]
キャリア(PWM)周波数	20 [kHz](キャリア周期 : 50 [μs])
デッドタイム	2 [μs]
制御周期(速度)	1 [ms]
回転速度範囲	CW : 0 [rpm] ~ 2400 [rpm] CCW : 0 [rpm] ~ 2400 [rpm]
コンパイラ最適化設定	最適化レベル Optimize more(-O2) (デフォルト設定)
保護機能	以下の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. 各相の電流が $3.54(=1.67 \times \sqrt{2}) \times 1.5$ [A] を超過(キャリア周期で監視) 2. インバータ母線電圧が 60 [V] を超過(キャリア周期で監視) 3. インバータ母線電圧が 8[V]未満(キャリア周期で監視) 4. 回転速度が 4500 [rpm] を超過(キャリア周期で監視) 外部からの過電流検出信号を検出した場合、PWM 出力端子をハイインピーダンスにする

9.2 ソフトウェア全体構造

ソフトウェアの全体構成を図 9-1 に示します。

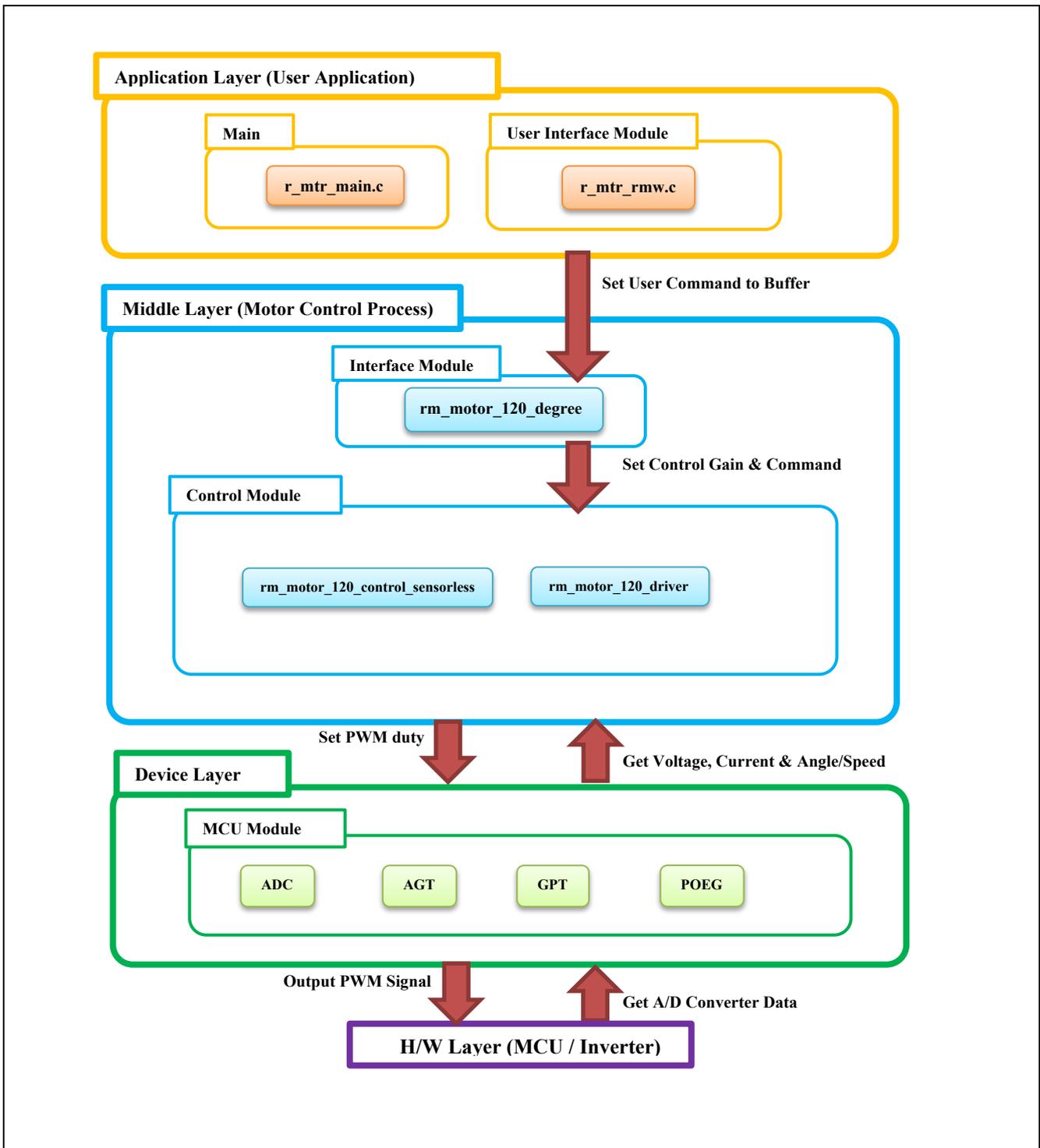
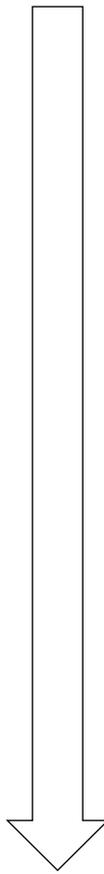


図 9-1 モータ制御ソフトウェアの全体構成

9.3 割り込みの説明

本書で説明するモータ制御プログラムでは、実装処理は主に速度制御周期割り込みと、キャリア周期割り込みで実施されます。アプリケーション層である UI 機能はメインルーチンで実行されます。割り込みとしては他にハードウェア過電流検出に因る緊急停止処理に伴う過電流検出割り込みを用いています。

表 9-2 使用する割り込み・タスク

割り込み レベル	優先度	処理
15	 <p>Min</p>	
14		
13		
12		
11		
10		AGT0 INT 速度制御周期割り込み
9		
8		
7		
6		
5		ADC0 ADI0(RA6T2, RA8T2) ADC0 SCAN END(RA6T3, RA4T1, RA8T1) キャリア周期割り込み(A/D 変換完了割り込み)
4		
3		
2		
1		
0		POEG3 EVENT(RA6T2) POEG1 EVENT(RA6T3, RA4T1) POEG0 EVENT(RA8T1, RA8T2) 過電流検出割り込み
	Max	

9.4 ファイル・フォルダー構成

サンプルプログラムのフォルダーとファイル構成を以下に示します。

表 9-3 ソフトウェアフォルダー構成[1/2]

フォルダー	サブフォルダー	ファイル	備考	
ra_cfg			自動生成のコンフィグヘッダ	
ra_gen			自動生成のレジスタ設定値、メイン関数など	
ra	arm		CMSIS ソースコード	
	board		ボード関連関数定義	
	fsp/inc/api	bsp_api.h	BSP API 定義	
		fsp_common_api.h	Common API 定義	
		r_adc_api.h	AD API 定義	
		r_elc_api.h(RA6T3, RA4T1, RA8T1 のみ)	ELC API 定義	
		r_ioport_api.h	I/O API 定義	
		r_poeg_api.h	POEG API 定義	
		r_three_phase_api.h	3相 PWM API 定義	
		r_timer_api.h	タイマ API 定義	
		r_transfer_api.h	データ転送 API 定義	
		rm_motor_120_control_api.h	120度通電制御 API 定義	
		rm_motor_120_driver_api.h	120度通電制御モータドライバ API 定義	
		rm_motor_angle_api.h	角度 API 定義	
		rm_motor_api.h	モータ API 定義	
		rm_motor_current_api.h	電流制御 API 定義	
		rm_motor_driver_api.h	モータドライバ API 定義	
		rm_motor_position_api.h	位置制御 API 定義	
		rm_motor_speed_api.h	速度 API 定義	
		fsp/inc/instances	r_adc_b.h(RA6T2, RA8T2)	AD 関連定義
			r_adc.h(RA6T3, RA4T1, RA8T1)	
	r_agt.h		AGT 関連定義	
	r_elc.h(RA6T3, RA4T1, RA8T1 のみ)		ELC 関連定義	
	r_gpt.h		GPT 関連定義	
	r_gpt_three_phase.h		3相 PWM 関連定義	
	r_ioport.h		I/O 関連定義	
	r_poeg.h		POEG 関連定義	
	rm_motor_120_control_sensorless.h		センサレス 120度通電制御関連定義	
	rm_motor_120_degree.h		120度通電制御関連定義	
	rm_motor_120_driver.h		120度通電制御モータドライバ関連定義	

表 9-4 ソフトウェアフォルダ構成[2/2]

フォルダ	サブフォルダ	ファイル	備考
ra	fsp/src	bsp	BSP 関連フォルダ
		r_adc_b/r_adc_b.c(RA6T2, RA8T2)	AD ドライバ
		r_adc/r_adc.c(RA6T3, RA4T1, RA8T1)	
		r_agt/r_agt.c	AGT ドライバ
		r_elc/r_elc.c(RA6T3, RA4T1, RA8T1 のみ)	ELC ドライバ
		r_gpt/r_gpt.c	GPT ドライバ
		r_gpt_three_phase/ r_gpt_three_phase.c	3 相 PWM ドライバ
		r_ioport/r_ioport.c	I/O ドライバ
		r_poeg/r_poeg.c	POEG ドライバ
		rm_motor_120_control_sensorless/rm_motor_120_control_sensorless.c	センサレス 120 度通電制御ドライバ
		rm_motor_120_degree/rm_motor_120_degree.c	120 度通電制御ドライバ
		rm_motor_120_driver/rm_motor_120_driver.c	120 度通電制御モータドライバ
src	application/main	mtr_main.h , mtr_main.c	ユーザメイン関数
		r_mtr_control_parameter.h	制御パラメータ定義
		r_mtr_motor_parameter.h	モータパラメータ定義
	application/rmw	r_mtr_rmw.h , r_mtr_rmw.c	Analyzer UI 関連関数定義
		ICS2_RA6T2.h , ICS2_RA6T3.h , ICS2_RA4T1.h , ICS2_RA8T1.h, ICS2_RA8T2.h	ツール用通信関連定義
		ICS2_RA6T2.o , ICS2_RA6T3.o , ICS2_RA4T1.o , ICS2_RA8T1.o, ICS2_RA8T2.o	ツール用通信ライブラリ

FSP を使用することで、周辺機能ドライバを簡単に生成することができます。

FSP は、プロジェクトで使用するマイクロコントローラ、周辺機能、端子機能などの設定情報をコンフィギュレーション設定ファイル (configuration.xml) に保存し、参照します。コンフィギュレーション設定は e² studio 上の FSP 操作によって行います。

上記のファイル以外に、FSP から Project 生成を実行すると以下のフォルダーが自動生成されます。

- ra

FSP で選択したボード関連情報やモジュールのヘッダー・C コードファイルがインストールされます。

機能変更などのコード修正を行う場合は ra/fsp/inc 及び ra/fsp/src 以下の対象モジュールヘッダー・C コードファイルを修正してください。

- ra_cfg

選択したモジュールの機能選択コンフィギュレーション設定が登録されます(ビルドオプションのようなもの)。FSP 操作以外では設定変更などはしないでください。

- ra_gen

FSP 操作で設定したコンフィギュレーション情報(ピン機能設定や割り込み設定、各モジュールの property 設定)から生成される各モジュールの初期化データ統合ファイルが格納されます。ビルド時に必ずコンフィギュレーション設定から自動生成されるので直接修正の必要は有りません。

9.5 アプリケーション層

アプリケーション層はユーザインタフェース(UI)の選択と RMW を使用したモータモジュールに対する制御の指令値設定や制御モジュールのパラメータ更新を行います。

9.5.1 機能

アプリケーション層で設定している機能一覧を表 9-5 に示します。

表 9-5 アプリケーション層の機能一覧

機能	説明
メイン処理	ユーザの指令に対してシステムを有効 / 無効に設定します。
UI 処理	ボード UI/RMW の管理を行います。
マネージャー処理	モータの起動/停止、速度制御の指令値の取得・設定を行います。
RMW の UI 処理	指令値含むパラメータの取得・設定を行います。

9.5.2 コンフィグレーション情報

アプリケーション層は FSP で生成される各モジュールを用いてモータ制御を実行するユーザインタフェース層で、本サンプルプログラムのアプリケーション層はあくまでサンプルとして実装されています。このため、アプリケーション層で設定可能なコンフィグレーション情報は mtr_main.h ファイル内にマクロ定数として規定されています。設定可能なコンフィグレーション情報を表 9-6 に示します。

表 9-6 コンフィグレーション情報一覧

ファイル名	マクロ名	説明
mtr_main.h	CHATTERING_CNT	スイッチ読み込みのチャタリング数
	MTR_MAX_SPEED_RPM	回転速度指令制限値 RMW、ボード UI 共にこれ以上の回転数を指定してもこの値に丸め込まれます。
	CONFIG_DEFAULT_UI	電源投入時（リセット解除時）ボード UI / RMW のいずれを使用するかを設定します。
	MTR_ADCH_VR1	ボードの速度指令値用 VR の値を読み込む A/D チャンネルを設定してください。

表 9-7 コンフィグレーション情報初期値一覧

マクロ名	設定値
CHATTERING_CNT	10
MTR_MAX_SPEED_RPM	2400
CONFIG_DEFAULT_UI	BOARD_UI
MTR_ADCH_VR1	RA6T2 Ver.1 : 8 RA6T2 Ver.2 : 16 RA6T3、RA4T1 : 5 RA8T1 : 7 RA8T2 : 15

9.5.3 構造体・変数情報

アプリケーション層でユーザが使用可能な変数一覧を表 9-8、表 9-9 に示します。

表 9-8、表 9-9 に示す変数は RMW から値を設定することで、表 9-10 に示す構造体変数に反映されます。アプリケーション層はこの構造体変数を引数として、各制御モジュールの Update 関数を実行し、設定パラメータを反映します。

表 9-8 パラメータ変更用変数一覧 [1/2]

変数	説明
g_u1_trig_enable_write	構造体変数更新終了フラグ
com_u1_mode_system	ユーザ入力用システムモード切り替え変数 0 : モータ停止 1 : モータ駆動 3 : エラー解除
g_u1_mode_system	システムモード 0 : モータ停止 1 : モータ駆動 2 : エラー
com_u1_enable_write	ユーザ入力用変数書き換え許可（以下の com 変数はこの変数と g_u1_enable_write が同じ値になった時点でプログラムに反映されます。）
g_u1_enable_write	変数書き換え許可
com_f4_ref_speed_rpm	速度指令値(機械角) [rpm]
com_f4_overcurrent_limit	過電流検出値 [A]
com_f4_overvoltage_limit	過電圧検出値 [V]
com_f4_overspeed_limit_rpm	速度超過検出値(機械角) [rpm]
com_f4_lowvoltage_limit	低電圧検出値 [V]
com_u4_timeout_cnt	ホール信号非検出タイムアウト設定値
com_f4_max_drive_v	最大印加電圧 [V]
com_f4_min_drive_v	最小印加電圧 [V]
com_s4_angle_shift_adjust	角度シフト量調整値
com_f4_speed_lpf_k	速度 LPF 係数
com_f4_limit_speed_change	速度加算ステップ(機械角) [rpm]
com_f4_boot_ref_v	速度 0 状態印加電圧 [V]
com_u4_v_up_time	オープンループ時電圧加算時間 (カウンタ値)
com_u4_v_const_time	オープンループ時一定電圧印加時間 (カウンタ値)
com_s4_ol_start_rpm	オープンループ起動時回転速度(機械角) [rpm]
com_s4_ol_mode1_change_rpm	オープンループ切り換え回転速度その 1 (機械角) [rpm]
com_s4_ol_mode2_change_rpm	オープンループ切り換え回転速度その 2 (機械角) [rpm]
com_f4_ol_start_refv	オープンループ時 (起動時) 印加電圧 [V]
com_f4_ol_mode1_rate_rpm	オープンループモード 1 回転速度加算レート(機械角) [rpm]

表 9-9 パラメータ変更用変数一覧 [2/2]

変数	説明
com_f4_ol_mode2_rate_refv	オープンループモード 1 印加電圧加算レート [V]
com_f4_ol_mode2_rate_rpm	オープンループモード 2 回転速度加算レート(機械角) [rpm]
com_f4_ol_mode3_rate_refv	オープンループモード 2 印加電圧加算レート [V]
com_f4_ol_mode3_max_refv	オープンループ最大印加電圧 [V]
com_f4_pi_ctrl_kp	速度 PI 比例係数
com_f4_pi_ctrl_ki	速度 PI 積分係数
com_f4_pi_ctrl_ilimit	速度 PI 電流制限値 [A]

表 9-10 RMW によるパラメータ更新用構造体の変数一覧

構造体	説明
g_user_motor_120_degree_extended_cfg	インタフェースモジュールユーザ変更可能 コンフィグレーションパラメータ構造体
g_user_motor_120_control_extended_cfg	120 度通電センサレス制御モジュールユーザ変更可能 コンフィグレーションパラメータ構造体
g_user_motor_120_driver_extended_cfg	120 度通電制御ドライバモジュールユーザ変更可能 コンフィグレーションパラメータ構造体

9.5.4 マクロ定義

マクロ一覧を以下に示します。

表 9-11 マクロ一覧 [1/4] (mtr_main.h)

マクロ名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
SW_ON	0	0	0
SW_OFF	1	1	1
SW1_ON	1	1	1
SW1_OFF	0	0	0
SW2_ON	0	0	0
SW2_OFF	1	1	1
CHATTERING_CNT	10	10	10
SPIKE_CNT	128	128	128
SPIKE_OC_RATE	0.9F	0.9F	0.9F
MTR_CW	0	0	0
MTR_CCW	1	1	1
MTR_LED_ON	BSP_IO_LEVEL_LOW	BSP_IO_LEVEL_LOW	BSP_IO_LEVEL_LOW
MTR_LED_OFF	BSP_IO_LEVEL_HIGH	BSP_IO_LEVEL_HIGH	BSP_IO_LEVEL_HIGH
ICS_UI	0	0	0
BOARD_UI	1	1	1
LOOP_SPEED	0	0	0
LOOP_POSITION	1	1	1
MTR_MAX_SPEED_RPM	2400	2400	2400
STOP_RPM	400	400	400
MTR_AD12BIT_DATA	4095.0f	4095.0f	4095.0f
VR1_SCALING	$(\text{MTR_MAX_SPEED_RPM} + 100) / (\text{MTR_AD12BIT_DATA} * 0.5f)$	$(\text{MTR_MAX_SPEED_RPM} + 100) / (\text{MTR_AD12BIT_DATA} * 0.5f)$	$(\text{MTR_MAX_SPEED_RPM} + 100) / (\text{MTR_AD12BIT_DATA} * 0.5f)$
ADJUST_OFFSET	0x7FF	0x7FF	0x7FF
MTR_FLG_CLR	0	0	0
MTR_FLG_SET	1	1	1
CONFIG_DEFAULT_UI	BOARD_UI	BOARD_UI	BOARD_UI
CONFIG_LOOP_MODE	-	-	-

表 9-12 マクロ一覧 [2/4] (mtr_main.h)

マクロ名	RA8T1	RA8T2
SW_ON	0	0
SW_OFF	1	1
SW1_ON	1	1
SW1_OFF	0	0
SW2_ON	0	0
SW2_OFF	1	1
CHATTERING_CNT	10	10
SPIKE_CNT	128	128
SPIKE_OC_RATE	0.9F	0.9F
MTR_CW	0	0
MTR_CCW	1	1
MTR_LED_ON	BSP_IO_LEVEL_LOW	BSP_IO_LEVEL_LOW
MTR_LED_OFF	BSP_IO_LEVEL_HIGH	BSP_IO_LEVEL_HIGH
ICS_UI	0	0
BOARD_UI	1	1
LOOP_SPEED	0	0
LOOP_POSITION	1	1
MTR_MAX_SPEED_RPM	2400	2400
STOP_RPM	400	400
MTR_AD12BIT_DATA	4095.0f	4095.0f
VR1_SCALING	$(MTR_MAX_SPEED_RPM + 100) / (MTR_AD12BIT_DATA * 0.5f)$	$(MTR_MAX_SPEED_RPM + 100) / (MTR_AD12BIT_DATA * 0.5f)$
ADJUST_OFFSET	0x7FF	0x7FF
MTR_FLG_CLR	0	0
MTR_FLG_SET	1	1
CONFIG_DEFAULT_UI	BOARD_UI	BOARD_UI
CONFIG_LOOP_MODE	-	-

表 9-13 マクロ一覧 [3/4] (mtr_main.h)

マクロ名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
MTR_ADCH_VR1	8	5	5
MTR_PORT_SW1	BSP_IO_PORT_13_PIN_04	BSP_IO_PORT_03_PIN_04	BSP_IO_PORT_03_PIN_04
MTR_PORT_SW2	BSP_IO_PORT_13_PIN_07	BSP_IO_PORT_02_PIN_00	BSP_IO_PORT_02_PIN_00
MTR_PORT_LED1	BSP_IO_PORT_13_PIN_01	BSP_IO_PORT_01_PIN_13	BSP_IO_PORT_01_PIN_13
MTR_PORT_LED2	BSP_IO_PORT_13_PIN_02	BSP_IO_PORT_01_PIN_06	BSP_IO_PORT_01_PIN_06
MTR_PORT_LED3	BSP_IO_PORT_13_PIN_03	-	-

表 9-14 マクロ一覧 [4/4] (mtr_main.h)

マクロ名	RA8T1	RA8T2
MTR_ADCH_VR1	7	15
MTR_PORT_SW1	BSP_IO_PORT_10_PIN_15	BSP_IO_PORT_10_PIN_00
MTR_PORT_SW2	BSP_IO_PORT_10_PIN_13	BSP_IO_PORT_10_PIN_07
MTR_PORT_LED1	BSP_IO_PORT_10_PIN_12	BSP_IO_PORT_06_PIN_14
MTR_PORT_LED2	BSP_IO_PORT_10_PIN_14	BSP_IO_PORT_10_PIN_15
MTR_PORT_LED3	-	BSP_IO_PORT_10_PIN_04

表 9-15 マクロ一覧 [1/2] (r_mtr_rmw.h)

マクロ名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
USE_BUILT_IN	0	0	0
MTR_ICS_DECIMATION	5	5	3
ICS_BRR	19	250	250
ICS_INT_MODE	1	1	1
MTR_SQRT_2	1.41421356f	1.41421356f	1.41421356f
MTR_TWO_PI	6.28318531f	6.28318531f	6.28318531f
MTR_RAD_RPM	60/MTR_TWO_PI	60/MTR_TWO_PI	60/MTR_TWO_PI
MTR_RAD_DEGREE	360/MTR_TWO_PI	360/MTR_TWO_PI	360/MTR_TWO_PI
MTR_OVERCURRENT_MARGIN_MULT	1.5f	1.5f	1.5f

表 9-16 マクロ一覧 [2/2] (r_mtr_rmw.h)

マクロ名	RA8T1	RA8T2
USE_BUILT_IN	0	0
MTR_ICS_DECIMATION	5	5
ICS_BRR	19	19
ICS_INT_MODE	1	1
MTR_SQRT_2	1.41421356f	1.41421356f
MTR_TWO_PI	6.28318531f	6.28318531f
MTR_RAD_RPM	60/MTR_TWO_PI	60/MTR_TWO_PI
MTR_RAD_DEGREE	360/MTR_TWO_PI	360/MTR_TWO_PI
MTR_OVERCURRENT_MARGIN_MULT	1.5f	1.5f

9.6 インタフェースモジュール

インタフェースモジュールは、モータ制御を実施する各モジュールを適切に使用してモータ制御全体を管理するモジュールです。各モジュール間のインタフェースやモータ制御のシステム全体の管理、保護などを行っています。

9.6.1 機能

インタフェースモジュールの機能一覧を表 9-17 に示します。

表 9-17 インタフェースモジュールの機能一覧

機能	説明
ステート管理	ユーザの指令に対してステートを切り換えてモータを制御します。
保護機能	保護機能によりエラー処理を行います。
速度情報の取得	120 度通電センサレス制御モジュールから速度情報の取得を行います。
ユーザ指令値設定	ユーザの入力した速度指令値を 120 度通電センサレス制御モジュールに対して設定します。
割り込み処理	速度制御周期割り込み・キャリア周期割り込みに対してイベントに従ったユーザ実装処理を実行します。

9.6.2 モジュール構成図

モジュール構成図を図 9-2 に示します。

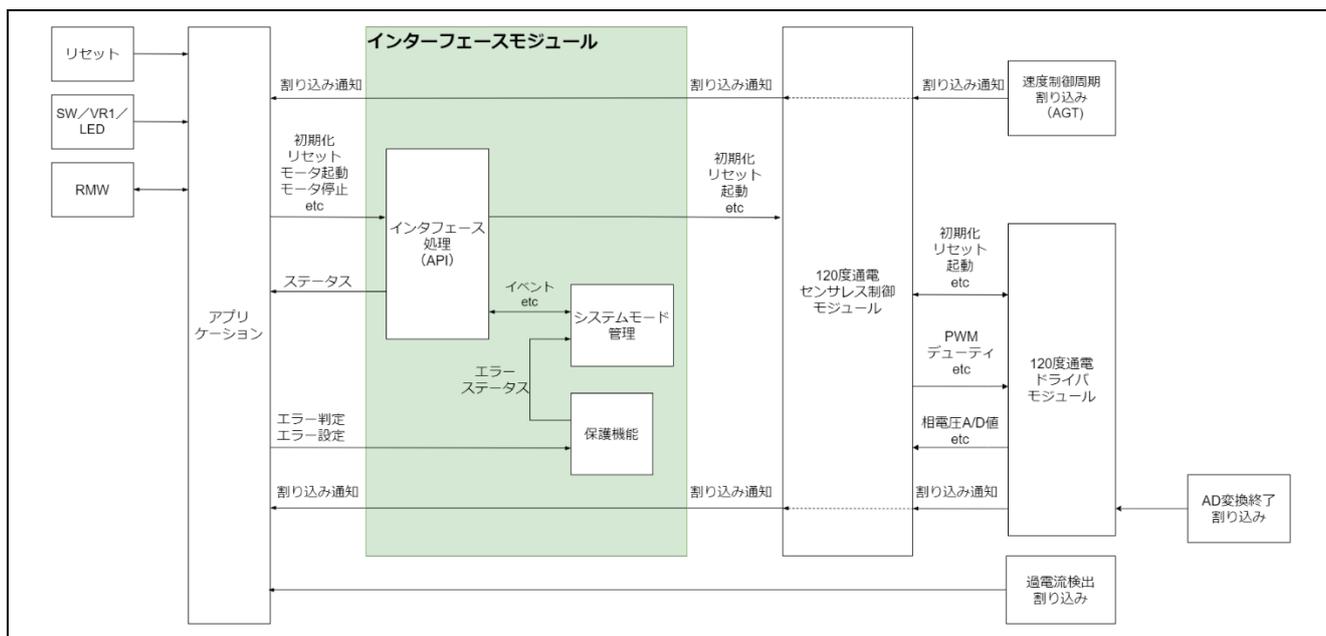


図 9-2 インタフェースモジュール構成図

9.6.3 状態遷移

図 9-3 にサンプルソフトウェアにおける状態遷移図を示します。サンプルソフトウェアでは、「SYSTEM MODE」により状態を管理します。

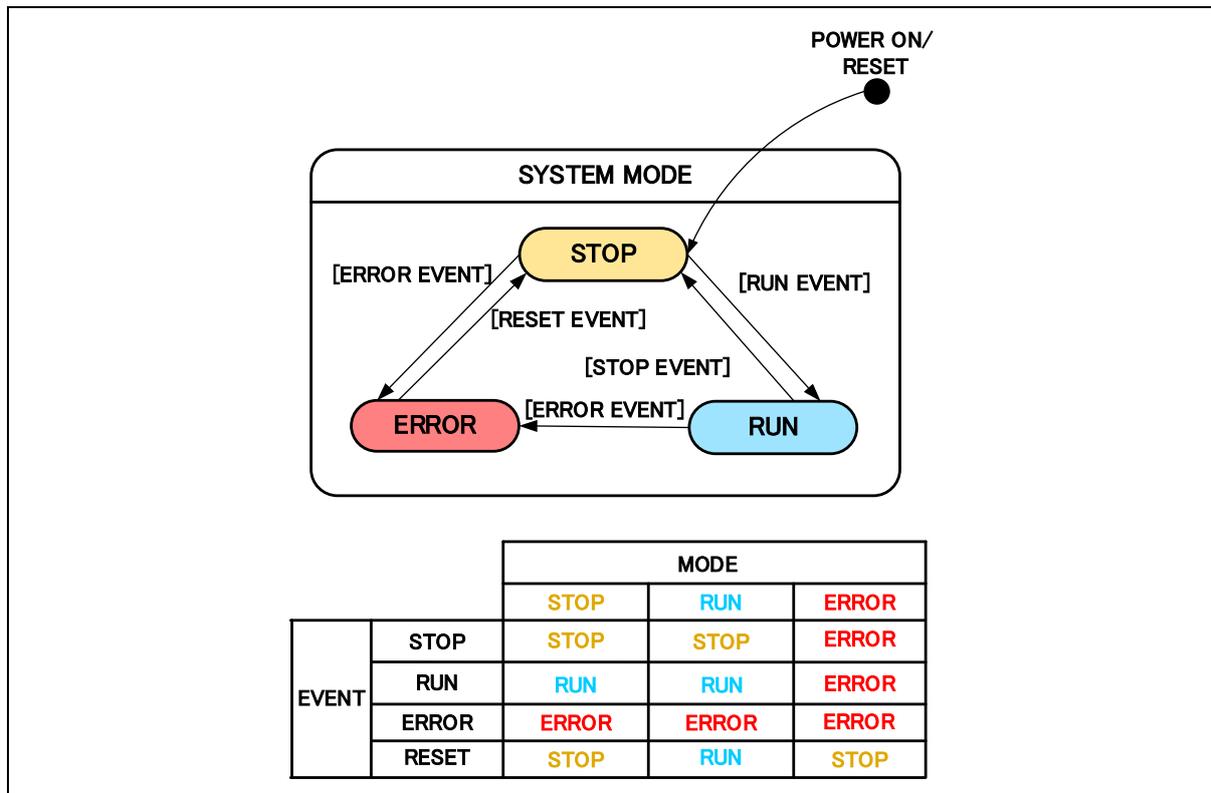


図 9-3 サンプルソフトウェアの状態遷移図

(1) SYSTEM MODE

システム動作状態を表します。各イベント (EVENT) の発生により、状態が遷移します。システムの動作状態は、モータ駆動停止 (STOP)、モータ駆動 (RUN)、異常状態 (ERROR) があります。

(2) EVENT

各 SYSTEM MODE 中に EVENT が発生すると、その EVENT に従って、システム動作状態が図 9-3 中の表のように遷移します。各 EVENT の発生要因は下記となります。

表 9-18 EVENT 一覧

イベント名	発生要因
STOP	ユーザ操作により発生します
RUN	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

9.6.4 保護機能

本制御プログラムは、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装しています。保護機能に関わる各設定値は表 9-19 を参照してください。

- 過電流エラー
過電流エラーはハードウェア及びソフトウェア両方で検出されます。
ハードウェアからの緊急停止信号（過電流検出）により、PWM 出力端子をハイインピーダンス状態にします。また、過電流監視周期で U 相、V 相、W 相電流を監視し、過電流（過電流リミット値を超過）を検出した時に、緊急停止します（ソフトウェア検出）。
- 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、過電圧（過電圧リミット値を超過）を検出した時に、緊急停止します。過電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差など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、低電圧（低電圧リミット値を下回った場合）を検出した時に、緊急停止します。低電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差などを考慮して設定した値です。
- 回転速度エラー
回転速度監視周期で速度を監視し、速度リミット値を超過した場合、緊急停止します。

表 9-19 各保護機能の動作条件・設定値

過電流エラー	過電流リミット値 [A]	1.67
	監視周期 [μs]	キャリア周期*
過電圧エラー	過電圧リミット値 [V]	60
	監視周期 [μs]	キャリア周期*
低電圧エラー	低電圧リミット値 [V]	8
	監視周期 [μs]	キャリア周期*
回転速度エラー	速度リミット値(機械角) [rpm]	4500
	監視周期 [μs]	キャリア周期*

※: 表 9-1 センサレス 120 度通電制御ソフトウェア基本仕様を参照

9.6.5 API

各モジュールの API 一覧を以下に示します。

表 9-20 API 一覧

API	説明
RM_MOTOR_120_DEGREE_Open	本モジュールと使用する下層モジュールのインスタンスを生成（オープン）します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_Close	本モジュールと使用する下層モジュールのインスタンスを終了（クローズ）します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_Run	モータ駆動状態にします。
RM_MOTOR_120_DEGREE_Stop	モータ停止状態にします。
RM_MOTOR_120_DEGREE_Reset	本モジュールをリセット状態にします。 下層モジュールのリセットも行います。
RM_MOTOR_120_DEGREE_ErrorSet	システムにエラー状態を設定します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_SpeedSet	速度指令値(機械角)[rpm]を設定します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_StatusGet	システムのステータスを取得します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_AngleGet	ロータ角度(位置)情報[rad]を取得します。 (センサレス 120 度通電では非サポート)
RM_MOTOR_120_DEGREE_SpeedGet	速度情報(機械角)[rpm]を取得します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_ErrorCheck	エラー状態で無いかをチェックします。
RM_MOTOR_120_DEGREE_PositionSet	位置指令値[degree]を設定します。 (センサレス 120 度通電では非サポート)
RM_MOTOR_120_DEGREE_WaitStopFlagGet	停止状態フラグを取得します。
RM_MOTOR_120_DEGREE_FunctionSelect	イナーシャ推定機能・原点復帰機能を選択します。 (センサレス 120 度通電では非サポート)

9.6.6 構造体・変数情報

インタフェースモジュールの構造体・変数一覧を以下に示します。

表 9-21 インタフェースモジュール用構造体・変数一覧 (rm_motor_api.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_callback_args_t	*p_context	コールバック関数用コンテキスト情報
	event	コールバック関数へのイベント情報
motor_cfg_t	*p_motor_speed_instance	下層速度制御モジュールインスタンスアドレス (センサレス 120 度通電では使用しません)
	*p_motor_current_instance	下層電流制御モジュールインスタンスアドレス (センサレス 120 度通電では使用しません)
	*p_callback	設定コールバック関数アドレス
	*p_context	設定コールバック関数用コンテキスト情報
	*p_extend	ユーザ設定可能コンフィグレーション情報構造体 参照用アドレス
motor_api_t	*open	モジュールオープン (開始) 関数アドレス
	*close	モジュールクローズ (停止) 関数アドレス
	*run	モータ回転開始関数アドレス
	*stop	モータ回転停止関数アドレス
	*reset	モジュールリセット関数アドレス
	*errorSet	エラー情報設定関数アドレス
	*speedSet	速度指令値(機械角)[rpm]設定用関数アドレス
	*positionSet	位置指令値設定用関数アドレス (センサレス 120 度通電では非サポート)
	*statusGet	モジュール状態取得用関数アドレス
	*angleGet	ロータ角度[rad]取得用関数アドレス (センサレス 120 度通電では非サポート)
	*speedGet	回転速度(機械角)[rpm]取得用関数アドレス
	*waitStopFlagGet	モータ回転停止フラグ取得用関数アドレス
	*errorCheck	エラー状態確認関数アドレス
*functionSelect	サーボ機能選択関数アドレス (センサレス 120 度通電では非サポート)	
motor_instance_t	*p_ctrl	モジュール内変数構造体アドレス
	*p_cfg	モジュールコンフィギュレーション情報 構造体アドレス
	*p_api	API 関数群構造体アドレス

表 9-22 インタフェースモジュール用構造体・変数一覧 (rm_motor_120_degree.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_degree_statemachine_t	status	動作ステータス
	status_next	次遷移ステータス
	current_event	発生イベント
	u2_error_status	エラー情報
motor_120_degree_extended_cfg_t	f_overcurrent_limit	過電流検出値 [A]
	f_overvoltage_limit	過電圧検出値 [V]
	f_overspeed_limit	速度超過検出値(機械角) [rpm]
	f_lowvoltage_limit	低電圧検出値 [V]
motor_120_degree_instance_ctrl_t	open	モジュールオープン情報
	u2_error_info	エラー情報
	f_speed_rpm	回転速度(機械角) [rpm]
	st_statem	ステート管理構造体
	*p_cfg	コンフィギュレーション情報参照用アドレス

9.6.7 マクロ定義・列挙体定義

インタフェースモジュールのマクロ・列挙体一覧を以下に示します。

表 9-23 インタフェースモジュール用マクロ一覧

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
rm_motor_120_degree.c	MOTOR_120_DEGREE_OPEN	0x4D314C53L	モジュールオープン情報
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_SIZE_STATE	3	ステートサイズ
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_SIZE_EVENT	4	イベントサイズ
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_ERROR_NONE	0x00	エラー無し
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_ERROR_EVENTOU TBOUND	0x01	設定外イベント発生
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_ERROR_STATEOU TBOUND	0x02	設定外ステート発生
	MOTOR_120_DEGREE_STATE MACHINE_ERROR_ACTIONEX CEPTION	0x04	例外発生

表 9-24 インタフェースモジュール用列举体一覧 [1/2] (rm_motor_api.h)

列举体名	メンバ	値	意味
motor_error_t	MOTOR_ERROR_NONE	0x0000	エラーなし
	MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_HW	0x0001	ハードウェア検出過電流エラー
	MOTOR_ERROR_OVER_VOLTAGE	0x0002	過電圧エラー
	MOTOR_ERROR_OVER_SPEED	0x0004	速度超過エラー
	MOTOR_ERROR_HALL_TIMEOUT	0x0008	ホール信号タイムアウトエラー (センサレス 120 度通電では発生しません)
	MOTOR_ERROR_BEMF_TIMEOUT	0x0010	誘起電圧検出タイムアウトエラー
	MOTOR_ERROR_HALL_PATTERN	0x0020	未使用
	MOTOR_ERROR_BEMF_PATTERN	0x0040	誘起電圧検出パターンエラー
	MOTOR_ERROR_LOW_VOLTAGE	0x0080	低電圧エラー
	MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_SW	0x0100	ソフトウェア検出過電流エラー
	MOTOR_ERROR_INDUC TION_CORRECT	0x0200	誘導センサ補正失敗エラー (センサレス 120 度通電では発生しません)
	MOTOR_ERROR_UNKN OWN	0xFFFF	未定義エラー
	motor_callback_event_t	MOTOR_CALLBACK_EVENT_SPEED_FORWARD	1
MOTOR_CALLBACK_EVENT_SPEED_BACKWARD		2	速度制御後割り込みイベント (センサレス 120 度通電では発生しません)
MOTOR_CALLBACK_EVENT_CURRENT_FORWARD		3	電流制御前割り込みイベント (センサレス 120 度通電では発生しません)
MOTOR_CALLBACK_EVENT_CURRENT_BACKWARD		4	電流制御後割り込みイベント (センサレス 120 度通電では発生しません)
MOTOR_CALLBACK_EVENT_ADC_FORWARD		5	A/D 変換処理前割り込みイベント
MOTOR_CALLBACK_EVENT_ADC_BACKWARD		6	A/D 変換処理後割り込みイベント
MOTOR_CALLBACK_EVENT_CYCLE_FORWARD		7	周期処理前割り込みイベント
MOTOR_CALLBACK_EVENT_CYCLE_BACKWARD		8	周期処理後割り込みイベント
motor_wait_stop_flag_t	MOTOR_WAIT_STOP_FLAG_CLEAR	0	モータ停止待ちフラグクリア
	MOTOR_WAIT_STOP_FLAG_SET	1	モータ停止待ちフラグセット

表 9-25 インタフェースモジュール用列挙体一覧[2/2] (rm_motor_api.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_function_select_t (センサレス 120 度通電では使用しません)	MOTOR_FUNCTION_SELECT_NONE	0	サーボ機能無効
	MOTOR_FUNCTION_SELECT_INERTIA_ESTIMATE	1	イナーシャ推定機能選択
	MOTOR_FUNCTION_SELECT_RETURN_ORIGIN	2	原点復帰機能選択

表 9-26 インタフェースモジュール用列挙体一覧 (rm_motor_120_degree.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_degree_ctrl_status_t	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_STATUS_STOP	0	モータ回転停止ステート
	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_STATUS_RUN	1	モータ回転状態ステート
	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_STATUS_ERROR	2	エラー状態ステート
motor_120_degree_ctrl_event_t	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_EVENT_STOP	0	回転停止イベント
	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_EVENT_RUN	1	回転開始イベント
	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_EVENT_ERROR	2	エラー発生イベント
	MOTOR_120_DEGREE_CTRL_EVENT_RESET	3	リセットイベント

9.7 120 度通電センサレス制御モジュール

120 度通電センサレス制御モジュールはユーザの速度指令値と検出した回転速度を用いて速度制御演算を行い、120 度通電制御ドライバモジュールに対して駆動電圧指令値を設定します。

9.7.1 機能

120 度通電センサレス制御モジュールの機能一覧を以下に示します。

表 9-27 120 度通電センサレス制御モジュールの機能一覧

機能	説明
120 度通電タイミング検出	検出された相電圧値から 120 度の通電タイミングの割り出しを行います。
120 度通電制御	上記検出された 120 度タイミングに従って通電パターンを設定を行います。通電パターンは相補前半 60 度チョッピングと非相補前半 60 度チョッピングから選択が可能です。
速度検出	検出された 120 度タイミングとフリーランカウンタ値を用いてロータ回転速度の検出を行います。
速度 PI 制御	上記検出回転速度と回転速度指令値から速度 PI 制御を行い、必要な PWM デューティを演算。演算された PWM デューティに従い 3 相 PWM デューティを設定します。

9.7.2 モジュール構成図

モジュール構成図を以下に示します。

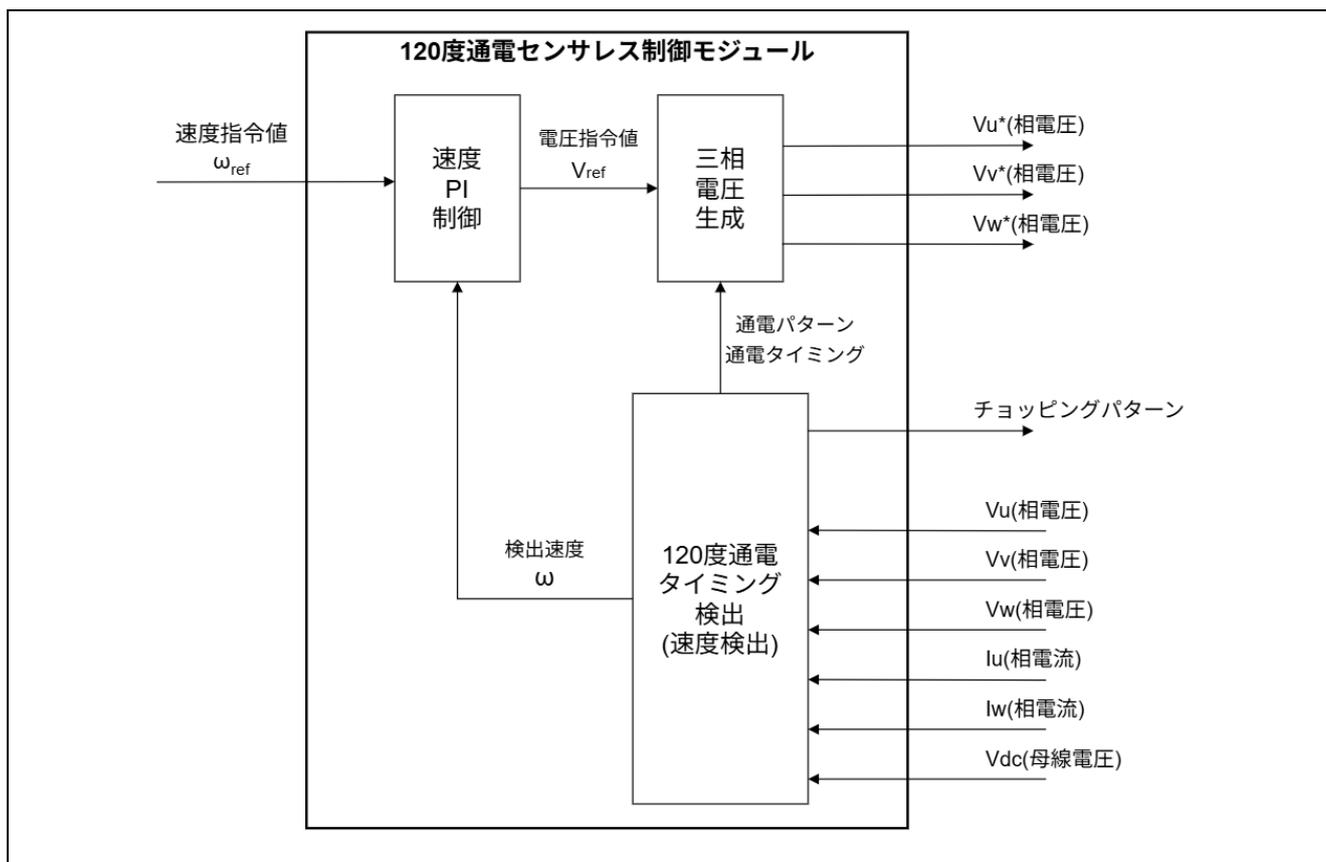


図 9-4 モジュール構成図

9.7.3 API

120 度通電センサレス制御モジュールの API 一覧を以下に示します。

表 9-28 120 度通電センサレス制御モジュールの API 一覧

API	説明
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_Open	120 度通電センサレス制御モジュールを開始(オープン)します。下層モジュールのオープンも行います。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_Close	120 度通電センサレス制御モジュールを終了(クローズ)します。下層モジュールのクローズも行います。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_Run	モータを駆動(回転開始)します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_Stop	モータ回転を停止します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_Reset	モジュールのリセットを行います。下層モジュールのリセットも行います。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_SpeedSet	速度指令値(機械角)[rpm]を設定します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_SpeedGet	検出された回転速度(機械角)[rpm]を取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_CurrentGet	検出された相電流、相電圧、インバータ母線電圧を取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_WaitStopFlagGet	モータ回転停止待ちフラグ情報を取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_TimeoutErrorFlagGet	誘起電圧タイムアウトエラーフラグ情報を取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PatternErrorFlagGet	誘起電圧からの仮想ホールパターン検出エラーフラグを取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_VoltageRefGet	駆動電圧指令値を取得します。
RM_MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_ParameterUpdate	モジュールのコンフィギュレーション設定値を更新します。

9.7.4 構造体・変数情報

120 度通電センサレス制御モジュールの構造体・変数一覧を以下に示します。

表 9-29 120 度通電制御モジュール用構造体・変数一覧 [1/2] (rm_motor_120_control_api.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_control_callback_args_t	event	コールバック発生イベント
	*p_context	コールバック用コンテキスト情報
motor_120_control_motor_parameter_t	u4_motor_pp	モータ極対数
	f4_motor_r	モータ抵抗値 [Ω]
	f4_motor_ld	モータ d 軸インダクタンス [H]
	f4_motor_lq	モータ q 軸インダクタンス [H]
	f4_motor_m	モータ鎖交磁束数 [Wb]
	f4_motor_j	モータイナーシャ [kgm^2]
motor_120_control_cfg_t	conduction_type	チョッピングパターン選択
	u4_timeout_cnt	信号検出タイムアウト時間(カウンタ値)
	f4_max_drive_v	最大印加電圧値 [V]
	f4_min_drive_v	最小印加電圧値 [V]
	u4_speed_pi_decimation	速度制御間引き数
	u4_free_run_timer_freq	速度検出用フリーランタイム周波数 [MHz]
	f4_speed_lpf_k	速度 LPF 係数
	f4_limit_speed_change	速度加算ステップ(機械角) [rpm]
	f4_pi_ctrl_kp	速度 PI 比例係数
	f4_pi_ctrl_ki	速度 PI 積分係数
	f4_pi_ctrl_ilimit	速度 PI 制限値
	*p_callback	登録コールバック関数アドレス
	*p_context	コンテキスト情報アドレス
	*p_extend	ユーザ設定コンフィギュレーション情報アクセス用アドレス

表 9-30 120 度通電制御モジュール用構造体・変数一覧 [2/2] (rm_motor_120_control_api.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_control_api_t	*open	モジュールオープン関数アドレス
	*close	モジュールクローズ関数アドレス
	*run	モータ回転開始関数アドレス
	*stop	モータ回転停止関数アドレス
	*reset	モジュールリセット関数アドレス
	*speedSet	回転速度指令値(機械角)[rpm]設定関数アドレス
	*speedGet	回転速度(機械角)[rpm]取得関数アドレス
	*currentGet	相電圧・相電流・インバータ母線電圧値取得関数アドレス
	*waitStopFlagGet	停止待ちフラグ取得関数アドレス
	*timeoutErrorFlagGet	タイムアウトエラー発生確認関数アドレス
	*patternErrorFlagGet	パターンエラー発生確認関数アドレス
	*voltageRefGet	電圧指令値取得関数アドレス
	*parameterUpdate	モジュールコンフィギュレーション情報更新関数アドレス
motor_120_control_instance_t	*p_ctrl	モジュール使用変数構造体アドレス
	*p_cfg	モジュールコンフィギュレーション情報構造体アドレス
	*p_api	モジュール API 関数アドレス群構造体アドレス

表 9-31 120 度通電センサレス制御モジュール用構造体・変数一覧 [1/3]
(rm_motor_120_control_sensorless.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_control_sensorless_extended_cfg_t	f4_stop_bemf	モータ停止検出判断値
	f4_max_boot_v	モータ駆動時最大出力電圧 [V]
	f4_carrier_freq	三相 PWM キャリア周波数 [kHz]
	s4_angle_shift_adjust	仮想ホールパターン検出調整値
	f4_boot_ref_v	速度 0 状態印加電圧 [V]
	u4_v_up_time	オープンループ時電圧加算時間 (カウンタ値)
	u4_v_const_time	オープンループ時一定電圧印加時間 (カウンタ値)
	s4_ol_start_rpm	オープンループ起動時回転速度(機械角) [rpm]
	s4_ol_mode1_change_rpm	オープンループ切り換え回転速度その 1 (機械角) [rpm]
	s4_ol_mode2_change_rpm	オープンループ切り換え回転速度その 2 (機械角) [rpm]
	f4_ol_start_refv	オープンループ時 (起動時) 印加電圧 [V]
	f4_ol_mode1_rate_rpm	オープンループモード 1 回転速度加算レート(機械角) [rpm]
	f4_ol_mode2_rate_refv	オープンループモード 1 印加電圧加算レート [V]
	f4_ol_mode2_rate_rpm	オープンループモード 2 回転速度加算レート(機械角) [rpm]
	f4_ol_mode3_rate_refv	オープンループモード 2 印加電圧加算レート [V]
	f4_ol_mode3_max_refv	オープンループ最大印加電圧 [V]
	*p_motor_120_driver_instance	下層 120 度通電ドライバモジュールインスタンスアドレス
	*p_speed_cyclic_timer_instance	下層速度制御周期用タイマモジュールインスタンスアドレス
	*p_speed_calc_timer_instance	下層速度検出用フリーランタイマモジュールインスタンスアドレス

表 9-32 120 度通電センサレス制御モジュール用構造体・変数一覧 [2/3]
(rm_motor_120_control_sensorless.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_control_sensorless_instance_ctrl_t	open	モジュールオープン情報
	active	システム動作状態
	run_mode	動作モード
	timeout_error_flag	タイムアウト発生フラグ
	pattern_error_flag	パターン検出エラーフラグ
	direction	回転方向
	f4_ol_pattern_set_calc	オープンループ強制パターン切り換え時間 (タイマカウント値)
	f4_speed_calc_base	速度検出演算用基本カウンタ値
	f_rpm2rad	rpm⇒rad/s 変換値
	f4_v_ref	電圧指令値 [V]
	u4_pwm_duty	設定 PWM デューティ
	f4_ref_speed_rad	速度指令値(電気角) [rad/s]
	f4_ref_speed_rad_ctrl	内部速度指令値(電気角) [rad/s]
	f4_speed_rad	回転速度(電気角) [rad/s]
	u4_cnt_speed_pi	速度制御周期割り込み計測回数
	flag_wait_stop	回転停止待ちフラグ
	f4_vn_ad	三相中間電位 [V]
	u4_cnt_adj_v	定電圧印加時間用カウンタ
	flag_draw_in	始動時強制引き込みステータス
	v_pattern	設定チョッピングパターン番号
	u4_v_pattern_num	オープンループ時パターン選択番号
	u4_bemf_signal	検出仮想ホールパターン
	u4_pre_bemf_signal	前回検出仮想ホールパターン
	flag_pattern_change	PWM パターン変更フラグ
	flag_speed_ref	速度指令値ステート
	flag_voltage_ref	電圧指令値ステート
	u4_ol_signal	オープンループ時仮想パターン
	u4_ol_pattern_set	オープンループパターン切り換え時間 (カウンタ値)
	u4_cnt_ol_pattern_set	オープンループパターン切り換え時間カウンタ
	u4_cnt_timeout	パターン検出タイムアウトエラー用カウンタ

表 9-33 120 度通電センサレス制御モジュール用構造体・変数一覧 [3/3]
(rm_motor_120_control_sensorless.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_control_sensorless_instance_ctrl_t	u4_bemf_timer_cnt	カウンタ現在値
	u4_pre_bemf_timer_cnt	カウンタ前回値
	s4_timer_cnt_ave	1 回転(2 π)分カウンタ値
	u4_timer_cnt_buf	1 回転用カウンタ保持バッファ
	u4_timer_cnt_num	上記バッファ配列用番号管理
	u4_cnt_carrier	A/D 変換完了割り込み数計測用カウンタ
	u4_pre_cnt_carrier	前回計測 A/D 変換完了割り込み数
	u4_angle_shift_cnt	パターン検出シフト用カウント
	f4_pi_ctrl_err	PI 制御誤差値
	f4_pi_ctrl_refi	PI 制御積分項
	*p_cfg	コンフィギュレーション情報参照用アドレス
	timer_direction	速度計測用タイマカウント方向(加算/減算)
	timer_args	タイマ割り込み用構造体

9.7.5 マクロ定義・列挙体定義

120 度通電センサレス制御モジュールのマクロ・列挙体一覧を以下に示します。

表 9-34 120 度通電センサレス制御モジュール用マクロ一覧 (rm_motor_120_control_sensorless.c) [1/2]

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
rm_motor_120_control_sensorless.c	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_OPEN	('1' << 24U) ('2' << 16U) ('S' << 8U) ('L' << 0U)	モジュールオープン情報
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_TWOPI	2.0F 3.1415926535F	2π
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_TWOPI_DIV_60	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_TWOPI / 60.0F	$2\pi/60$ (rpm⇒rad/sec 変換用)
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_HZ_TRANS	1000U	kHz⇒Hz 変換用
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_V_U	2	仮想ホールパターン正回転 V⇒U 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_W_U	3	仮想ホールパターン正回転 W⇒U 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_W_V	1	仮想ホールパターン正回転 W⇒V 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_U_V	5	仮想ホールパターン正回転 U⇒V 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_U_W	4	仮想ホールパターン正回転 U⇒W 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CW_V_W	6	仮想ホールパターン正回転 V⇒W 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_V_U	3	仮想ホールパターン逆回転 V⇒U 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_V_W	2	仮想ホールパターン逆回転 V⇒W 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_U_W	6	仮想ホールパターン逆回転 U⇒W 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_U_V	4	仮想ホールパターン逆回転 U⇒V 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_W_V	5	仮想ホールパターン逆回転 W⇒V 時
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTE RN_CCW_W_U	1	仮想ホールパターン逆回転 W⇒U 時

表 9-35 120 度通電センサレス制御モジュール用マクロ一覧 (rm_motor_120_control_sensorless.c) [2/2]

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
rm_motor_120_control_sensorless.c	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTERN_ERROR	0	仮想ホールパターンエラー
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTERN_FIRST	1	オープンループ時 1st パターン番号
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTERN_MAX	7	オープンループ時パターン最大数
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_VOLTAGE_AVERAGE	3	中間電位計算用

表 9-36 120 度通電制御モジュール用列举体一覧 [1/2] (rm_motor_120_control_api.h)

列举体名	メンバ	値	意味
motor_120_control_event_t	MOTOR_120_CONTROL_EVENT_ADC_FORWARD	1	A/D 変換完了割り込み処理前イベント
	MOTOR_120_CONTROL_EVENT_ADC_BACKWARD	2	A/D 変換完了割り込み処理後イベント
	MOTOR_120_CONTROL_EVENT_CYCLE_FORWARD	3	速度制御周期割り込み処理前イベント
	MOTOR_120_CONTROL_EVENT_CYCLE_BACKWARD	4	速度制御周期割り込み処理後イベント
motor_120_conduction_type_t	MOTOR_120_CONDUCTION_TYPE_FIRST60	0	非相補前半 60 度チョッピング
	MOTOR_120_CONDUCTION_TYPE_COMPLEMENTARY	1	相補前半 60 度チョッピング
motor_120_control_status_t	MOTOR_120_CONTROL_STATUS_INACTIVE	0	制御非アクティブ
	MOTOR_120_CONTROL_STATUS_ACTIVE	1	制御アクティブ
motor_120_control_run_mode_t	MOTOR_120_CONTROL_RUN_MODE_INIT	0	初期化ステート
	MOTOR_120_CONTROL_RUN_MODE_BOOT	1	ブート（オープンループ）ステート
	MOTOR_120_CONTROL_RUN_MODE_DRIVE	2	ドライブ（速度 PI 制御）ステート
motor_120_control_rotation_direction_t	MOTOR_120_CONTROL_ROTATION_DIRECTION_CW	0	時計回り
	MOTOR_120_CONTROL_ROTATION_DIRECTION_CCW	1	反時計回り
	MOTOR_120_CONTROL_ROTATION_DIRECTION_MAX	2	回転方向最大値
motor_120_control_wait_stop_flag_t	MOTOR_120_CONTROL_WAIT_STOP_FLAG_CLEAR	0	停止待ちフラグクリア
	MOTOR_120_CONTROL_WAIT_STOP_FLAG_SET	1	停止待ちフラグセット
motor_120_control_timeout_error_flag_t	MOTOR_120_CONTROL_TIMEOUT_ERROR_FLAG_CLEAR	0	停止待ちフラグクリア
	MOTOR_120_CONTROL_TIMEOUT_ERROR_FLAG_SET	1	停止待ちフラグセット
motor_120_control_pattern_error_flag_t	MOTOR_120_CONTROL_PATTERN_ERROR_FLAG_CLEAR	0	エラーフラグクリア
	MOTOR_120_CONTROL_PATTERN_ERROR_FLAG_SET	1	エラーフラグセット

表 9-37 120 度通電制御モジュール用列挙体一覧 [2/2] (rm_motor_120_control_api.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_control_speed_ref_t	MOTOR_120_CONTROL_SPEED_REF_ZERO_CONST	0	速度指令 0 設定ステート
	MOTOR_120_CONTROL_SPEED_REF_OPENLOOP_1	1	速度オープンループ第 1 段階ステート
	MOTOR_120_CONTROL_SPEED_REF_OPENLOOP_2	2	速度オープンループ第 2 段階ステート
	MOTOR_120_CONTROL_SPEED_REF_OPENLOOP_3	3	速度オープンループ第 3 段階ステート
	MOTOR_120_CONTROL_SPEED_REF_CHANGE	4	速度 PI 制御ステート
motor_120_control_voltage_ref_t	MOTOR_120_CONTROL_VOLTAGE_REF_ZERO_CONST	0	電圧 0 指令ステート
	MOTOR_120_CONTROL_VOLTAGE_REF_UP	1	電圧加算ステート
	MOTOR_120_CONTROL_VOLTAGE_REF_CONST	2	電圧一定ステート
	MOTOR_120_CONTROL_VOLTAGE_REF_OPENLOOP	3	電圧オープンループ時ステート
	MOTOR_120_CONTROL_VOLTAGE_REF_PI_OUTPUT	4	電圧 PI 制御ステート

表 9-38 120 度通電センサレス制御モジュール用列挙体一覧 (rm_motor_120_control_sensorless.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_control_sensorless_draw_in_position_t	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_DRAW_IN_POSITION_INIT	0	始動引き込み時初期状態
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_DRAW_IN_POSITION_1ST_TIME	1	始動引き込み第 1 段階
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_DRAW_IN_POSITION_2ND_TIME	2	始動引き込み第 2 段階
motor_120_control_sensorless_pattern_change_flag_t	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTERN_CHANGE_FLAG_CLEAR	0	パターン変更フラグクリア
	MOTOR_120_CONTROL_SENSORLESS_PATTERN_CHANGE_FLAG_SET	1	パターン変更フラグセット

9.8 120 度通電制御ドライバモジュール

120 度通電制御ドライバモジュールは、モータ制御用の各モジュールが MCU のペリフェラルにアクセスする際に各ペリフェラルモジュールとの接続を簡単化するためのモジュールです。120 度通電制御ドライバモジュールを適切に設定することで、MCU の機能割り当てや使用するボード仕様の差分を上位モータモジュールの変更無く使用することが可能になります。

9.8.1 機能

120 度通電制御ドライバモジュールの機能一覧を表 9-39 に示します。

表 9-39 120 度通電制御ドライバモジュールの機能一覧

機能	説明
A/D 変換値の取得	相電圧・相電流やインバータ母線電圧など AD 値を取得します。
電流オフセット調整	AD で検出した電圧・電流値のオフセット値を計算します。
PWM の duty 設定	U/V/W 相へ出力する PWM Duty 値を設定します。
PWM の開始、停止	PWM 出力の開始、停止(アクティブ/非アクティブ)を制御します。

9.8.2 モジュール構成図

120 度通電制御ドライバモジュールのモジュール構成図を図 9-5 に示します。

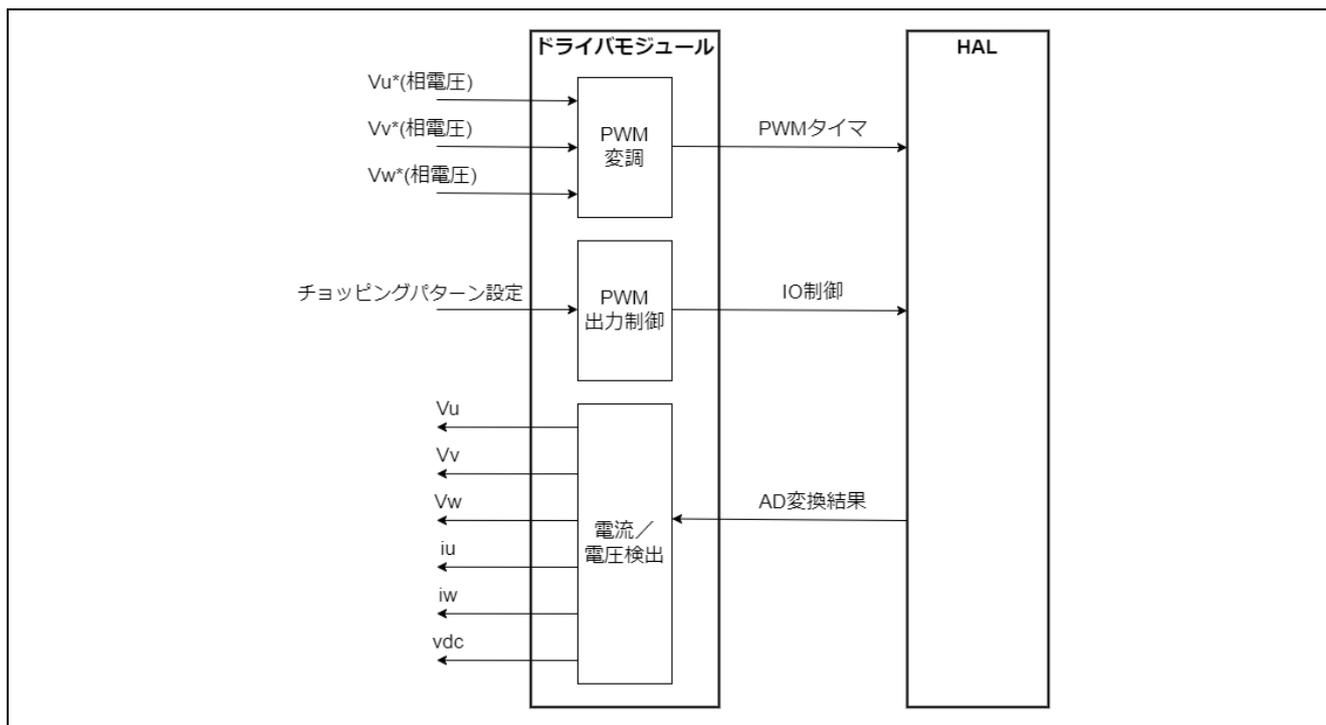


図 9-5 モジュール構成図

9.8.3 API

120 度通電制御ドライバモジュールの API 一覧表と各 API の説明を表 9-40 に示します。

表 9-40 120 度通電制御ドライバモジュールの API 一覧

API	説明
RM_MOTOR_120_DRIVER_Open	モジュール開始(オープン)
RM_MOTOR_120_DRIVER_Close	モジュール終了(クローズ)
RM_MOTOR_120_DRIVER_Run	モータ回転開始
RM_MOTOR_120_DRIVER_Stop	モータ回転停止
RM_MOTOR_120_DRIVER_Reset	モジュールリセット
RM_MOTOR_120_DRIVER_PhaseVoltageSet	印加電圧設定
RM_MOTOR_120_DRIVER_PhasePatternSet	印加パターン設定
RM_MOTOR_120_DRIVER_CurrentGet	相電圧・相電流・インバータ母線電圧値取得
RM_MOTOR_120_DRIVER_CurrentOffsetCalc	A/D オフセット値検出
RM_MOTOR_120_DRIVER_FlagCurrentOffsetGet	A/D オフセット検出終了情報取得
RM_MOTOR_120_DRIVER_ParameterUpdate	コンフィギュレーションデータ更新

9.8.4 構造体・変数情報

120 度通電制御ドライバモジュールで使用する構造体一覧を以下に示します。

表 9-41 120 度通電制御ドライバモジュール用構造体・変数一覧 (rm_motor_120_driver_api.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_driver_callback_args_t	event	120 度通電制御ドライバモジュールコールバック関数イベント
	*p_context	120 度通電制御ドライバモジュールコールバック関数用コンテキスト情報アドレス
motor_120_driver_current_status_t	iu	U 相電流値 [A]
	iv	V 相電流値 [A]
	iw	W 相電流値 [A]
	vdc	インバータ母線電圧値 [V]
	vu	U 相電圧値 [V]
	vv	V 相電圧値 [V]
	vw	W 相電圧値 [V]
motor_120_driver_cfg_t	*p_callback	コールバック関数登録用アドレス
	*p_context	コールバック関数使用コンテキスト情報アドレス
	*p_extend	コンフィギュレーション情報参照用アドレス
motor_120_driver_api_t	*open	オープン関数アドレス
	*close	クローズ関数アドレス
	*run	モータ回転開始関数アドレス
	*stop	モータ回転停止関数アドレス
	*reset	リセット関数アドレス
	*phaseVoltageSet	印加電圧設定関数アドレス
	*phasePatternSet	印加パターン設定関数アドレス
	*currentGet	相電圧・相電流・インバータ母線電圧値取得関数アドレス
	*currentOffsetCalc	A/D オフセット値検出関数アドレス
	*flagCurrentOffsetGet	A/D オフセット検出終了情報取得関数アドレス
	*parameterUpdate	コンフィギュレーションデータ更新関数アドレス
motor_120_driver_instance_t	*p_ctrl	ドライバモジュール内変数構造体アドレス
	*p_cfg	ドライバモジュールコンフィギュレーション情報構造体アドレス
	*p_api	ドライバモジュール API 関数群構造体アドレス

表 9-42 120 度通電制御ドライバモジュール用構造体・変数一覧 [1/3] (rm_motor_120_driver.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_driver_shared_instance_ctrl_t	open	シェアードモジュールオープン情報
	registered_motor_count	登録モータ数
	*p_context	参照コンテキスト情報アドレス
motor_120_driver_ext_ended_shared_cfg_t	*p_adc_instance_1st	下層 ADC モジュール 1 つ目のインスタンスアドレス
	*p_adc_instance_2nd	下層 ADC モジュール 2 つ目のインスタンスアドレス
	*p_shared_instance_ctrl	シェアードモジュール変数構造体アドレス
motor_120_driver_modulation_t	f4_vdc	インバータ母線電圧値 [V]
	f4_max_duty	最大デューティ値
	f4_min_duty	最小デューティ値
	f4_neutral_duty	ニュートラルデューティ値
motor_120_driver_ext_ended_cfg_t	*p_adc_instance	下層 ADC モジュールインスタンスアドレス
	*p_three_phase_instance	下層 3 相 PWM モジュールインスタンスアドレス
	motor_120_type	ホールセンサ利用/センサレス情報
	iu_ad_ch	U 相電流検出用 AD チャンネル
	iw_ad_ch	W 相電流検出用 AD チャンネル
	vdc_ad_ch	インバータ母線電圧検出用 AD チャンネル
	vu_ad_ch	U 相電圧検出用 AD チャンネル
	vv_ad_ch	V 相電圧検出用 AD チャンネル
	vw_ad_ch	W 相電圧検出用 AD チャンネル
	iu_ad_unit	U 相電流検出用 AD ユニット番号
	iw_ad_unit	W 相電流検出用 AD ユニット番号
	vdc_ad_unit	インバータ母線電圧検出用 AD ユニット番号
	vu_ad_unit	U 相電圧検出用 AD ユニット番号
	vv_ad_unit	V 相電圧検出用 AD ユニット番号
	vw_ad_unit	W 相電圧検出用 AD ユニット番号
	port_up	U 相上アーム用ポート番号
	port_un	U 相下アーム用ポート番号
	port_vp	V 相上アーム用ポート番号
	port_vn	V 相下アーム用ポート番号
	port_wp	W 相上アーム用ポート番号
port_wn	W 相下アーム用ポート番号	

表 9-43 120 度通電制御ドライバモジュール用構造体・変数一覧 [2/3] (rm_motor_120_driver.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_driver_extended_cfg_t	u4_pwm_timer_freq	PWM タイマ周波数 [MHz]
	pwm_carrier_freq	PWM キャリア周波数 [kHz]
	u4_deadtime	デッドタイム値 (カウント数)
	f_current_range	電流検出最大値 [A]
	f_vdc_range	インバータ母線電圧検出最大値 [A]
	f_ad_resolution	AD 変換解像度
	f_ad_current_offset	電流オフセット検出回数
	f_ad_voltage_conversion	電圧変換値
	u4_offset_calc_count	電流オフセット検出回数
	mod_param	変調用パラメータ
	interrupt_adc	割り込み発生 ADC モジュール番号
	*p_shared_cfg	AD シェアードモジュールコンフィギュレーション情報アドレス
motor_120_driver_instance_ctrl_t	open	オープン情報
	u1_active	動作情報
	u4_carrier_base	PWM デューティ演算規定値
	u4_deadtime_count	デッドタイムカウンタ値
	f_iu_ad	U 相電流検出値 [A]
	f_iw_ad	V 相電流検出値 [A]
	f_vdc_ad	インバータ母線電圧検出値 [V]
	f_refu	U 相電圧指令値 [V]
	f_refv	V 相電圧指令値 [V]
	f_refw	W 相電圧指令値 [V]
	f_vu_ad	U 相電圧検出値 [V]
	f_vv_ad	V 相電圧検出値 [V]
	f_vw_ad	W 相電圧検出値 [V]

表 9-44 120 度通電制御ドライバモジュール用構造体・変数一覧 [3/3] (rm_motor_120_driver.h)

構造体名	メンバ	説明
motor_120_driver_instance_ctrl_t	u1_flag_offset_calc	オフセット検出終了フラグ
	u4_offset_calc_times	オフセット検出測定回数
	f_offset_iu	U 相電流オフセット値
	f_offset_iw	V 相電流オフセット値
	f_sum_iu_ad	U 相電流オフセット計算用総計値
	f_sum_iw_ad	V 相電流オフセット計算用総計値
	f_offset_vu	U 相電圧オフセット値
	f_offset_vv	V 相電圧オフセット値
	f_offset_vw	W 相電圧オフセット値
	f_offset_off_vu	ポート OFF 時 U 相電圧オフセット値
	f_offset_off_vv	ポート OFF 時 V 相電圧オフセット値
	f_offset_off_vw	ポート OFF 時 W 相電圧オフセット値
	f_sum_vu_ad	U 相電圧オフセット計算用総計値
	f_sum_vv_ad	V 相電圧オフセット計算用総計値
	f_sum_vw_ad	W 相電圧オフセット計算用総計値
	u4_gtioca_general_low_cfg	GTIOCA 通常ポート Low 信号出力設定
	u4_gtioca_general_high_cfg	GTIOCA 通常ポート High 信号出力設定
	u4_gtioca_periheral_low_cfg	GTIOCA PWM ポート Low 信号出力設定
	u4_gtioca_periheral_high_cfg	GTIOCA PWM ポート High 信号出力設定
	u4_gtiocb_general_low_cfg	GTIOCB 通常ポート Low 信号出力設定
	u4_gtiocb_general_high_cfg	GTIOCB 通常ポート High 信号出力設定
	u4_gtiocb_periheral_low_cfg	GTIOCB PWM ポート Low 信号出力設定
	u4_gtiocb_periheral_high_cfg	GTIOCB PWM ポート High 信号出力設定
	st_modulation	変調用構造体
	*p_cfg	コンフィギュレーション情報参照用アドレス
	adc_callback_args	A/D 変換完了割り込みコールバック用変数
	timer_callback_args	タイマ割り込みコールバック用変数
	*p_shared_ctrl	シェアードモジュール変数参照用アドレス

9.8.5 マクロ定義・列挙体定義

120 度通電制御ドライバモジュールのマクロ・列挙体一覧を以下に示します。

表 9-45 120 度通電制御ドライバモジュールマクロ一覧

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
rm_motor_120_driver.c	MOTOR_120_DRIVER_OPEN	('M' << 24U) ('1' << 16U) ('D' << 8U) ('R' << 0U)	モジュールオープン情報
	MOTOR_120_DRIVER_SHARED_ADC_OPEN	('M' << 24U) ('1' << 16U) ('S' << 8U) ('A' << 0U)	シェアードモジュールモジュールオープン情報
	MOTOR_120_DRIVER_DEV_HALF	0.5F	0.5
	MOTOR_120_DRIVER_KHZ_TRANS	1000U	kHz⇒Hz 変換
	MOTOR_120_DRIVER_GENERAL_IO_PORT_L	0x3000004	ポート設定 一般ポート出力 Low
	MOTOR_120_DRIVER_GENERAL_IO_PORT_H	0x3000005	ポート設定 一般ポート出力 High
	MOTOR_120_DRIVER_PERIPHERAL_IO_PORT_L	0x3010004	ポート設定 PWM ポート出力 Low
	MOTOR_120_DRIVER_PERIPHERAL_IO_PORT_H	0x3010005	ポート設定 PWM ポート出力 High

表 9-46 120 度通電制御ドライバモジュール用列挙体一覧 [1/2] (rm_motor_120_driver_api.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_driver_event_t	MOTOR_120_DRIVER_EVENT_FORWARD	0	ドライバモジュール処理前イベント (A/D 変換完了割り込み)
	MOTOR_120_DRIVER_EVENT_120_CONTROL	1	ドライバモジュール処理実行イベント (A/D 変換完了割り込み)
	MOTOR_120_DRIVER_EVENT_BACKWARD	2	ドライバモジュール処理後イベント (A/D 変換完了割り込み)
motor_120_driver_flag_offset_calc_t	MOTOR_120_DRIVER_FLAG_OFFSET_CALC_CLEAR	0	オフセット未取得
	MOTOR_120_DRIVER_FLAG_OFFSET_CALC_OFF_FINISH	1	ポート OFF 時オフセット取得済
	MOTOR_120_DRIVER_FLAG_OFFSET_CALC_ALL_FINISH	2	全オフセット取得済
motor_120_driver_phase_pattern_t	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_ERROR	0	3 相パターンエラー
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_PWM_VN_ON	1	UP : PWM 出力 VN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_PWM_WN_ON	2	UP : PWM 出力 WN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_PWM_UN_ON	3	VP : PWM 出力 UN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_PWM_WN_ON	4	VP : PWM 出力 WN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_PWM_UN_ON	5	WP : PWM 出力 UN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_PWM_VN_ON	6	WP : PWM 出力 VN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_ON_VN_PWM	7	UP : ON VN : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_ON_WN_PWM	8	UP : ON WN : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_ON_UN_PWM	9	VP : ON UN : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_ON_WN_PWM	10	VP : ON WN : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_ON_UN_PWM	11	WP : ON UN : PWM 出力

表 9-47 120 度通電制御ドライバモジュール用列挙体一覧 [2/2] (rm_motor_120_driver_api.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_driver_phase_pattern_t	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_ON_VN_PWM	12	WP : ON VN : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_U_PWM_VN_ON	13	U : PWM 出力 VN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_U_PWM_WN_ON	14	U : PWM 出力 WN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_V_PWM_UN_ON	15	V : PWM 出力 UN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_V_PWM_WN_ON	16	V : PWM 出力 WN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_W_PWM_UN_ON	17	W : PWM 出力 UN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_W_PWM_VN_ON	18	W : PWM 出力 VN : ON
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_ON_V_PWM	19	UP : ON V : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_UP_ON_W_PWM	20	UP : ON W : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_ON_U_PWM	21	VP : ON U : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_VP_ON_W_PWM	22	VP : ON W : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_ON_U_PWM	23	WP : ON U : PWM 出力
	MOTOR_120_DRIVER_PHASE_PATTERN_WP_ON_V_PWM	24	WP : ON V : PWM 出力

表 9-48 120 度通電制御ドライバモジュール用列挙体一覧 (rm_motor_120_driver.h)

列挙体名	メンバ	値	意味
motor_120_driver_select_adc_instance_t	MOTOR_120_DRIVER_SELECT_ADC_INSTANCE_1ST	0	1 つ目の ADC モジュールインスタンス
	MOTOR_120_DRIVER_SELECT_ADC_INSTANCE_2ND	1	2 つ目の ADC モジュールインスタンス
motor_120_driver_status_t	MOTOR_120_DRIVER_STATUS_INACTIVE	0	非動作(モータ停止)ステート
	MOTOR_120_DRIVER_STATUS_ACTIVE	1	動作(モータ回転)ステート
motor_120_driver_type_t	MOTOR_120_DRIVER_TYPE_SENSORLESS	0	センサレス
	MOTOR_120_DRIVER_TYPE_HALL	1	ホールセンサ利用

10. パラメータの設定

10.1 概要

本サンプルプログラムでは、FSP コンフィギュレータを用いることで各モジュールの必要パラメータの初期値設定が行えます。変更された初期値は、コードの生成時に `common_data.c/h`、及び `hal_data.c/h` に自動的に反映されます。設定されたパラメータは起動時の各モジュールの初期化処理で変数・構造体に設定され、各々の処理に使用されます。

一部のパラメータは、RMW などから動的に変更が可能です。対象パラメータに関しては 9.5.3 章を参照してください。また、パラメータ更新の操作に関しては RMW の取り扱い説明書を参照してください。

10.2 インタフェースモジュールの設定パラメータの一覧

インタフェースモジュールの設定パラメータ名と初期設定値を以下に示します。パラメータはプロパティタブより設定することができます。以下全ての FSP モジュールで同様です。

表 10-1 Configuration Options (rm_motor_120_degree)

オプション名	内容
Limit of over current (A)	相電流がこの値を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
Limit of over voltage (V)	インバータ母線電圧がこの値を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
Limit of over speed (rpm)	回転速度がこの値を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
Limit of low voltage (V)	インバータ母線電圧がこの値を下回ると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
Callback	実行コールバック関数

表 10-2 Configuration Options 初期値 [1/2] (rm_motor_120_degree)

オプション名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
Limit of over current (A)	1.67	1.67	1.67
Limit of over voltage (V)	60.0	60.0	60.0
Limit of over speed (rpm)	4500.0	4500.0	4500.0
Limit of low voltage (V)	8.0	8.0	8.0
Callback	mtr_callback_event	mtr_callback_event	mtr_callback_event

表 10-3 Configuration Options 初期値 [2/2] (rm_motor_120_degree)

オプション名	RA8T1	RA8T2
Limit of over current (A)	1.67	1.67
Limit of over voltage (V)	60.0	60.0
Limit of over speed (rpm)	4500.0	4500.0
Limit of low voltage (V)	8.0	8.0
Callback	mtr_callback_event	mtr_callback_event

10.3 120 度通電センサレス制御モジュールの設定パラメータの一覧

120 度通電センサレス制御モジュールの設定パラメータ名と初期設定値を以下に示します。

表 10-4 Configuration Options (rm_motor_120_control_sensorless)

オプション名	内容
General Conduction type	前半 60 度チョッピング制御切り替え
General Stop BEMF	センサレス駆動停止判定電圧
General Timeout counts (msec)	停止判定カウンタ [ms]
General Maximum voltage for BOOT (V)	BOOT モード最大電圧 [V]
General Maximum voltage (V)	最大指令電圧 [V]
General Minimum voltage (V)	最小指令電圧 [V]
General Carrier frequency (kHz)	PWM キャリア周波数 [kHz]
General Adjusting angle	パターン切り替えタイミング調整値
General Speed PI decimation	速度 PI 制御用割り込み間引き数
General Free run timer frequency (MHz)	フリーランタイマ周波数 [MHz]
General Speed LPF K	速度 LPF パラメータ
General Step of speed change	速度指令最大増減幅
General Boot reference voltage (V)	電圧指令値 [V]
General Voltage lamping time	電圧指令値加算カウント回数
General Voltage constant adjust time	電圧指令値一定カウント回数
General Open loop start speed (rpm)	起動速度(機械角) [rpm]
General Open loop mode2 speed (rpm)	オープンループモード 1→2 切り替え速度 (機械角) [rpm]
General Open loop mode3 speed (rpm)	オープンループモード 2→3 切り替え速度 (機械角) [rpm]
General Open loop start voltage (V)	起動電圧 [V]
General Open loop mode1 speed rate	オープンループモード 1 での速度増加率 [rpm/control period]
General Open loop mode2 voltage rate	オープンループモード 2 での電圧増加率 [V/control period]
General Open loop mode2 speed rate	オープンループモード 2 での速度増加率 [rpm/control period]
General Open loop mode3 voltage rate	オープンループモード 3 での電圧増加率 [V/control period]
General Open loop maximum voltage (V)	オープンループモード 3 での最大電圧 [V]
General PI control KP	速度 PI 比例ゲイン
General PI control KI	速度 PI 積分ゲイン
General PI control limit	速度 PI 制御積分項リミット値 [V]
Motor Parameter Pole pairs	極対数
Motor Parameter Resistance (ohm)	抵抗値 [ohm]
Motor Parameter Inductance of d-axis (H)	d 軸インダクタンス [H]
Motor Parameter Inductance of q-axis (H)	q 軸インダクタンス [H]
Motor Parameter Permanent magnetic flux (Wb)	鎖交磁束数 [Wb]
Motor Parameter Rotor inertia (kgm ²)	イナーシャ [kgm ²]

表 10-5 Configuration Options 初期値 [1/2] (rm_motor_120_control_sensorless)

オプション名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
General Conduction type	Complementary First 60 degree PWM	Complementary First 60 degree PWM	Complementary First 60 degree PWM
General Stop BEMF	0.5	0.5	0.5
General Timeout counts (msec)	2000	2000	2000
General Maximum voltage for BOOT (V)	8.0	8.0	8.0
General Maximum voltage (V)	20.0	20.0	20.0
General Minimum voltage (V)	3.0	3.0	3.0
General Carrier frequency (kHz)	20.0	20.0	20.0
General Adjusting angle	0	0	0
General Speed PI decimation	1	1	1
General Free run timer frequency (MHz)	120	50	50
General Speed LPF K	1.0	1.0	1.0
General Step of speed change	0.2	0.2	0.2
General Boot reference voltage (V)	3.0	3.0	3.0
General Voltage lamping time	128	128	128
General Voltage constant adjust time	64	64	64
General Open loop start speed (rpm)	150	150	150
General Open loop mode2 speed (rpm)	185	185	185
General Open loop mode3 speed (rpm)	1000	1000	1000
General Open loop start voltage (V)	3.0	3.0	3.0
General Open loop mode1 speed rate	0.25	0.25	0.25
General Open loop mode2 voltage rate	0.00285	0.00285	0.00285
General Open loop mode2 speed rate	0.71	0.71	0.71
General Open loop mode3 voltage rate	0.002	0.002	0.002
General Open loop maximum voltage (V)	6.5	6.5	6.5
General PI control KP	0.02	0.02	0.02
General PI control KI	0.004	0.004	0.004
General PI control limit	24.0	24.0	24.0
Motor Parameter Pole pairs	4	4	4
Motor Parameter Resistance (ohm)	1.3	1.3	1.3
Motor Parameter Inductance of d-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter Inductance of q-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter Permanent magnetic flux (Wb)	0.01119	0.01119	0.01119
Motor Parameter Rotor inertia (kgm ²)	0.000003666	0.000003666	0.000003666

表 10-6 Configuration Options 初期値 [2/2] (rm_motor_120_control_sensorless)

オプション名	RA8T1	RA8T2
General Conduction type	Complementary First 60 degree PWM	Complementary First 60 degree PWM
General Stop BEMF	0.5	0.5
General Timeout counts (msec)	2000	2000
General Maximum voltage for BOOT (V)	8.0	8.0
General Maximum voltage (V)	20.0	20.0
General Minimum voltage (V)	3.0	3.0
General Carrier frequency (kHz)	20.0	20.0
General Adjusting angle	0	0
General Speed PI decimation	1	1
General Free run timer frequency (MHz)	120	250
General Speed LPF K	1.0	1.0
General Step of speed change	0.2	0.2
General Boot reference voltage (V)	3.0	3.0
General Voltage lamping time	128	128
General Voltage constant adjust time	64	64
General Open loop start speed (rpm)	150	150
General Open loop mode2 speed (rpm)	185	185
General Open loop mode3 speed (rpm)	1000	1000
General Open loop start voltage (V)	3.0	3.0
General Open loop mode1 speed rate	0.25	0.25
General Open loop mode2 voltage rate	0.00285	0.00285
General Open loop mode2 speed rate	0.71	0.71
General Open loop mode3 voltage rate	0.002	0.002
General Open loop maximum voltage (V)	6.5	6.5
General PI control KP	0.02	0.02
General PI control KI	0.004	0.004
General PI control limit	24.0	24.0
Motor Parameter Pole pairs	4	4
Motor Parameter Resistance (ohm)	1.3	1.3
Motor Parameter Inductance of d-axis (H)	0.0013	0.0013
Motor Parameter Inductance of q-axis (H)	0.0013	0.0013
Motor Parameter Permanent magnetic flux (Wb)	0.01119	0.01119
Motor Parameter Rotor inertia (kgm ²)	0.000003666	0.000003666

10.4 120 度通電制御ドライバモジュールの設定パラメータの一覧

120 度通電制御ドライバモジュールの設定パラメータ名と初期設定値を以下に示します。

表 10-7 Configuration Options (rm_motor_120_driver)

オプション名	内容
Common ADC_B Support	ADC_B モジュール使用
Common Shared ADC Support	シェアード ADC モジュール使用
General PWM output port UP	PWM 出力(U _p)ポート
General PWM output port UN	PWM 出力(Un)ポート
General PWM output port VP	PWM 出力(V _p)ポート
General PWM output port VN	PWM 出力(V _n)ポート
General PWM output port WP	PWM 出力(W _p)ポート
General PWM output port WN	PWM 出力(W _n)ポート
General PWM timer frequency (MHz)	PWM タイマ周波数 [MHz]
General PWM carrier period (Microseconds)	PWM キャリア周波数 [μs]
General Dead time (Raw counts)	デッドタイムカウント [Raw counts]
General Current range (A)	電流検出レンジ [A]
General Voltage range (V)	電圧検出レンジ [V]
General Resolution of A/D conversion	A/D 変換値
General Offset of A/D conversion for current	A/D 変換オフセット
General Conversion level of A/D conversion for voltage	電圧 A/D 変換率
General Counts for current offset measurement	オフセット値計算回数
General Input voltage	インバータ母線電圧
General A/D conversion channel for U phase current	U 相電流検出チャンネル
General A/D conversion channel for W phase current	W 相電流検出チャンネル
General A/D conversion channel for main line voltage	インバータ母線電圧検出チャンネル
General A/D conversion channel for U phase voltage	U 相電圧検出チャンネル
General A/D conversion channel for V phase voltage	V 相電圧検出チャンネル
General A/D conversion channel for W phase voltage	W 相電圧検出チャンネル
General A/D conversion unit for U phase current	U 相電流検出 ADC ユニット番号
General A/D conversion unit for W phase current	W 相電流検出 ADC ユニット番号
General A/D conversion unit for main line voltage	インバータ母線電圧検出 ADC ユニット番号
General A/D conversion unit for U phase voltage	U 相電圧検出 ADC ユニット番号
General A/D conversion unit for V phase voltage	V 相電圧検出 ADC ユニット番号
General A/D conversion unit for W phase voltage	W 相電圧検出 ADC ユニット番号
General GTIOCA stop level	上アーム停止時レベル
General GTIOCB stop level	下アーム停止時レベル
General ADC interrupt module	A/D 変換完了割り込みを発生させる ADC モジュール番号
Modulation Maximum duty	PWM 最大デューティ

表 10-8 Configuration Options 初期値 [1/2] (rm_motor_120_driver)

オプション名	RA6T2	RA6T3	RA4T1
Common ADC_B Support	Enabled	Disabled	Disabled
Common Shared ADC Support	Disabled	Disabled	Disabled
General PWM output port UP	BSP_IO_POR T_11_PIN_04	BSP_IO_POR T_04_PIN_09	BSP_IO_POR T_04_PIN_09
General PWM output port UN	BSP_IO_POR T_11_PIN_05	BSP_IO_POR T_04_PIN_08	BSP_IO_POR T_04_PIN_08
General PWM output port VP	BSP_IO_POR T_11_PIN_06	BSP_IO_POR T_01_PIN_03	BSP_IO_POR T_01_PIN_03
General PWM output port VN	BSP_IO_POR T_11_PIN_07	BSP_IO_POR T_01_PIN_02	BSP_IO_POR T_01_PIN_02
General PWM output port WP	BSP_IO_POR T_11_PIN_08	BSP_IO_POR T_01_PIN_11	BSP_IO_POR T_01_PIN_11
General PWM output port WN	BSP_IO_POR T_11_PIN_09	BSP_IO_POR T_01_PIN_12	BSP_IO_POR T_01_PIN_12
General PWM timer frequency (MHz)	120	100	100
General PWM carrier period (Microseconds)	50	50	50
General Dead time (Raw counts)	240	200	200
General Current range (A)	16.5	16.5	16.5
General Voltage range (V)	73.51	73.51	73.51
General Resolution of A/D conversion	0xFFF	0xFFF	0xFFF
General Offset of A/D conversion for current	0x7FF	0x7FF	0x7FF
General Conversion level of A/D conversion for voltage	1.0	1.0	1.0
General Counts for current offset measurement	500	500	500
General Input voltage	24.0	24.0	24.0
General A/D conversion channel for U phase current	4	0	0
General A/D conversion channel for W phase current	0	2	A2
General A/D conversion channel for main line voltage	Ver.1: 6 Ver.2: 7	4	4
General A/D conversion channel for U phase voltage	Ver.1: 7 Ver.2: 27	16	16
General A/D conversion channel for V phase voltage	3	12	12
General A/D conversion channel for W phase voltage	1	11	11
General A/D conversion unit for U phase current	-	-	-
General A/D conversion unit for W phase current	-	-	-
General A/D conversion unit for main line voltage	-	-	-
General A/D conversion unit for U phase voltage	-	-	-
General A/D conversion unit for V phase voltage	-	-	-
General A/D conversion unit for W phase voltage	-	-	-
General GTIOCA stop level	Pin Level Low	Pin Level Low	Pin Level Low
General GTIOCB stop level	Pin Level High	Pin Level High	Pin Level High
General ADC interrupt module	-	-	-
Modulation Maximum duty	0.9375	0.9375	0.9375

表 10-9 Configuration Options 初期値 [2/2] (rm_motor_120_driver)

オプション名	RA8T1	RA8T2
Common ADC_B Support	Disabled	Enabled
Common Shared ADC Support	Enabled	Disabled
General PWM output port UP	BSP_IO_POR T_01_PIN_15	BSP_IO_POR T_06_PIN_05
General PWM output port UN	BSP_IO_POR T_06_PIN_09	BSP_IO_POR T_06_PIN_04
General PWM output port VP	BSP_IO_POR T_01_PIN_13	BSP_IO_POR T_06_PIN_03
General PWM output port VN	BSP_IO_POR T_01_PIN_14	BSP_IO_POR T_06_PIN_02
General PWM output port WP	BSP_IO_POR T_03_PIN_00	BSP_IO_POR T_06_PIN_12
General PWM output port WN	BSP_IO_POR T_01_PIN_12	BSP_IO_POR T_06_PIN_13
General PWM timer frequency (MHz)	120	250
General PWM carrier period (Microseconds)	50	50
General Dead time (Raw counts)	240	500
General Current range (A)	16.5	16.5
General Voltage range (V)	73.51	73.51
General Resolution of A/D conversion	0xFFFF	0xFFFF
General Offset of A/D conversion for current	0x7FF	0x7FF
General Conversion level of A/D conversion for voltage	1.0	1.0
General Counts for current offset measurement	500	500
General Input voltage	24.0	24.0
General A/D conversion channel for U phase current	0	6
General A/D conversion channel for W phase current	2	10
General A/D conversion channel for main line voltage	8	7
General A/D conversion channel for U phase voltage	6	9
General A/D conversion channel for V phase voltage	5	11
General A/D conversion channel for W phase voltage	5	13
General A/D conversion unit for U phase current	-	-
General A/D conversion unit for W phase current	-	-
General A/D conversion unit for main line voltage	-	-
General A/D conversion unit for U phase voltage	-	-
General A/D conversion unit for V phase voltage	-	-
General A/D conversion unit for W phase voltage	-	-
General GTIOCA stop level	Pin Level Low	Pin Level Low
General GTIOCB stop level	Pin Level High	Pin Level High
General ADC interrupt module	1st	1st
Modulation Maximum duty	0.9375	0.9375

10.5 保護関連パラメータ

rm_motor_120_drgree/Limit of over current

過電流保護が動作する電流を設定します。「入力値*sqrt(2)*1.5」が設定されます。

rm_motor_120_degree/Limit of over voltage

過電圧保護が動作する電圧を設定します。使用する電源環境に合わせて設定してください。

rm_motor_120_degree/Limit of low voltage

低電圧保護が動作する電圧を設定します。使用する電源環境に合わせて設定してください。

10.6 PWM キャリア周波数の変更

PWM キャリア周波数の変更は以下の設定値を変更します。

rm_motor_120_driver/PWM Carrier frequency

キャリア制御周期を設定します。

10.7 チョッピング方法の設定

rm_motor_120_control_sensorless/Conduction type

本サンプルプログラムでは、60 度チョッピング方法に対して 2 種類の設定を選択することができます。デフォルトは相補前半 60 度チョッピングとなります。

10.8 インバータパラメータ

10.8.1 デッドタイム

rm_motor_120_driver/Dead Time (Raw Counts)

インバータボードの仕様書・設計書に記載された、デッドタイム時間をタイマのカウント数で指定してください。例えばタイマクロックが 120MHz の場合 2.0 μ s では 240 となります。

10.8.2 電流検出ゲイン

rm_motor_120_driver/Current Range (A)

電流の検出レンジを設定します。0-3.3V で \pm 8.25A(Peak to Peak で 16.5A)の換算となっているのが MCI-LV-1 の仕様です。Peak to Peak の値を設定してください。

表 10-10 MCI-LV-1 の電流信号仕様

3 相出力電流値	ADC 入力電圧値	ADC 変換値
+8.25A	3.3V	4095
0A	1.65V	2047
-8.25A	0V	0

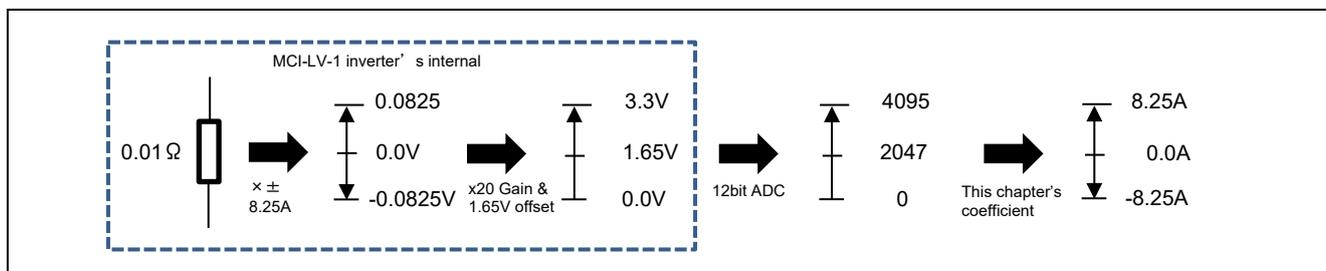


図 10-1 電流検出の計算の流れ

10.8.3 電圧検出ゲイン

rm_motor_120_driver/Voltage Range (V)

ADC 電圧の最大値(ADC 変換値 4095)のとき、インバータ母線電圧で何 V に相当するかを求める係数を設定します。MCI-LV-1 では ADC 電圧 3.3V で 73.51V に相当するため、73.51 を設定します。

表 10-11 MCI-LV-1 のインバータ母線電圧信号仕様

インバータ母線電圧値	ADC 入力電圧値	ADC 変換値
0V	0V	0
73.51V	3.3V	4095

10.9 モータパラメータ

モータの製造メーカーから、モータパラメータの情報が得られない場合、LCR メータを用いて R,Ld,Lq のモータパラメータを簡易的に得ることができます。また、オシロスコープを用いることで、簡易的に誘起電圧を得ることができます。ここで説明した方法は、磁気飽和などを考慮せず、またモータを速やかに回す事を考慮した、簡易的な方法であり、個体差や測定誤差を含んでいます。このため、実際の製品開発でパラメータを使用する際には、精度を担保した測定設備を用いて測定を行ってください。

LCR メータは、定期的に校正をされたもので、電源を起動して 30 分以上経過させたウォーミングアップ完了状態で測定してください。また、4 端子法を用いて、プローブの誤差を低減するため、オープン補正とショート補正をあらかじめ行ってください。詳細は、LCR メータの取扱説明書を参照してください。

Pole pairs

モータの極対数を設定します。極対数は、極数を 1/2 した値となります。モータの仕様書を参照してください。

Resistance

LCR メータで測定する際の配線は、モータの三相出力線 U,V,W のうち、2 つを選び、プローブをつなげてください。抵抗値を求める場合は、直流抵抗(DCR)のモードを用いて、測定します。得られた抵抗値は、2 相分の合成抵抗となっていますので、1/2 をすることで、1 相分のモータの抵抗値を得ることができます。得られた抵抗 R を各モジュールのモータパラメータの抵抗値に設定してください。単位は Ω となります。

Inductance of d-axis, Inductance of q-axis

LCR メータで測定する際の配線は、モータの三相出力線 U,V,W のうち、2 つを選び、プローブをつなげてください。計測モードは、直列等価回路モード(Ls)で行います。詳細な測定方法は、LCR メータの取扱説明書を参照ください。

軸をゆっくり回し、表示されるインダクタンスの最大値と最小値をメモします。このとき、最大値の 1/2 が、Lq となり、最小値の 1/2 の値が Ld となります。

得られた Ld 及び Lq を各モジュールの d/q 軸インダクタンスに設定してください。単位は H(ヘンリー)です。

Rotor inertia

モータの回転子・軸のイナーシャ（慣性モーメント）を設定します。単位は、 kg m^2 です。通常、モータに添付された資料に記述があります。負荷を取り付ける場合には、負荷側のイナーシャも加えて設定してください。

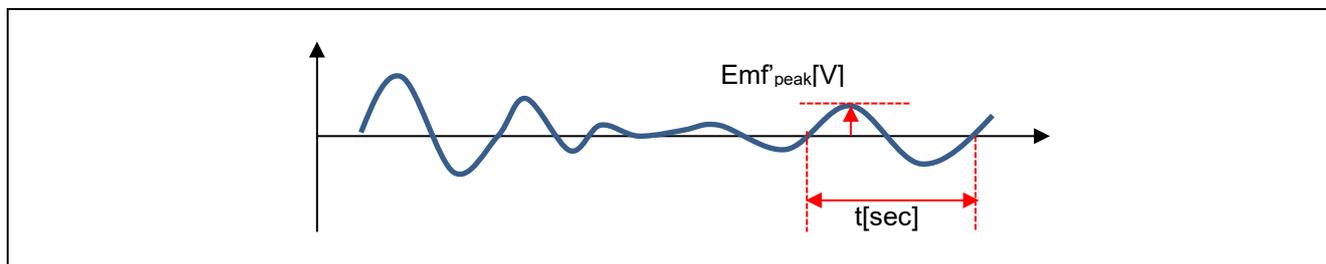
Nominal current

モータの定格電流(実効値)を設定してください。単位はアンペアです。モータの銘板または添付資料に記載されています。

Permanent magnetic flux

モータの三相出力線 U,V,W のうち、2 つを選び、オシロスコープにつなげてください。例えば、U 相と V 相を、オシロスコープのプローブを当てて、電圧を測れるようにします。モータの軸の先には、定格速度で回転できるモータを繋げて定格速度で回転させると、U-V 相の線間電圧値が得られます。線間電圧値を $\sqrt{3}$ で割ることで、相あたりの誘起電圧のピーク値が得られます。鎖交磁束数 Ψ は、誘起電圧 $=\omega\Psi$ の式から求められますから、定格速度を電気角速度の周波数 $f[\text{Hz}]$ に換算し、 $\omega=2\pi f$ に置き換え、誘起電圧 $=2\pi f\Psi$ となり、式を変形し、値を代入することで鎖交磁束 $\Psi[\text{Wb}]$ が得られます。

軸の先にモータを取り付けできないなどの場合には、精度は保証されず、試運転目的のみでの利用となりますが、手で素早く回転させ、電圧波形を取得して簡易的に求める手法も使用できます。手で回した際に、以下のようなイメージで電圧波形が得られますが、このとき、正弦波で一定速に近い周期を選び、電圧のピークと周期を求めます。



本アルゴリズムではピーク値を実効値に換算する必要があるため $\sqrt{2}$ で割って実効値 Emf'_{rms} を得ます。

$$Emf'_{rms}[V] = Emf'_{peak}[V] \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

得られた時間 $t[sec]$ を Hz に直すため、 $f=1/t$ の式にあてはめます。得られた $f[Hz]$ と、この IPM モータの定格速度から得られる電気角周波数 $[Hz]$ の比を求め、同時に得られた電圧 $Emf'_{rms}[V]$ に比を掛け算します。

$$Emf[V] = Emf'_{rms}[V] \times \frac{\text{電気角周波数}[Hz]}{f[Hz]}$$

この結果、このモータの定格速度で回転した時に発生する、誘起電圧 $[V]$ が簡易的に求められます。実際に誘起電圧を求める場合には、負荷試験装置を使い、定格速度でモータの軸を回転させて測定する必要があります。

次に誘起電圧から、鎖交磁束数 $\Psi [Wb]$ を求めます。一般的に、誘起電圧と鎖交磁束数には以下のような関係式があります。 f は、定格速度時の電気角周波数 $[Hz]$ です。

$$Emf[V] = \omega\Psi = 2\pi f\Psi$$

式を変形し、上記で得られた誘起電圧 $Emf[V]$ と、定格速度運転時の電気角周波数 $[Hz]$ を代入することで、鎖交磁束数 $\Psi [Wb]$ を求められます。

$$\Psi = \frac{Emf[V]}{2\pi f}$$

得られた鎖交磁束数 Ψ は各モジュールの Magnetic Flux に設定してください。

11. 制御フロー（フローチャート）

11.1 メイン処理

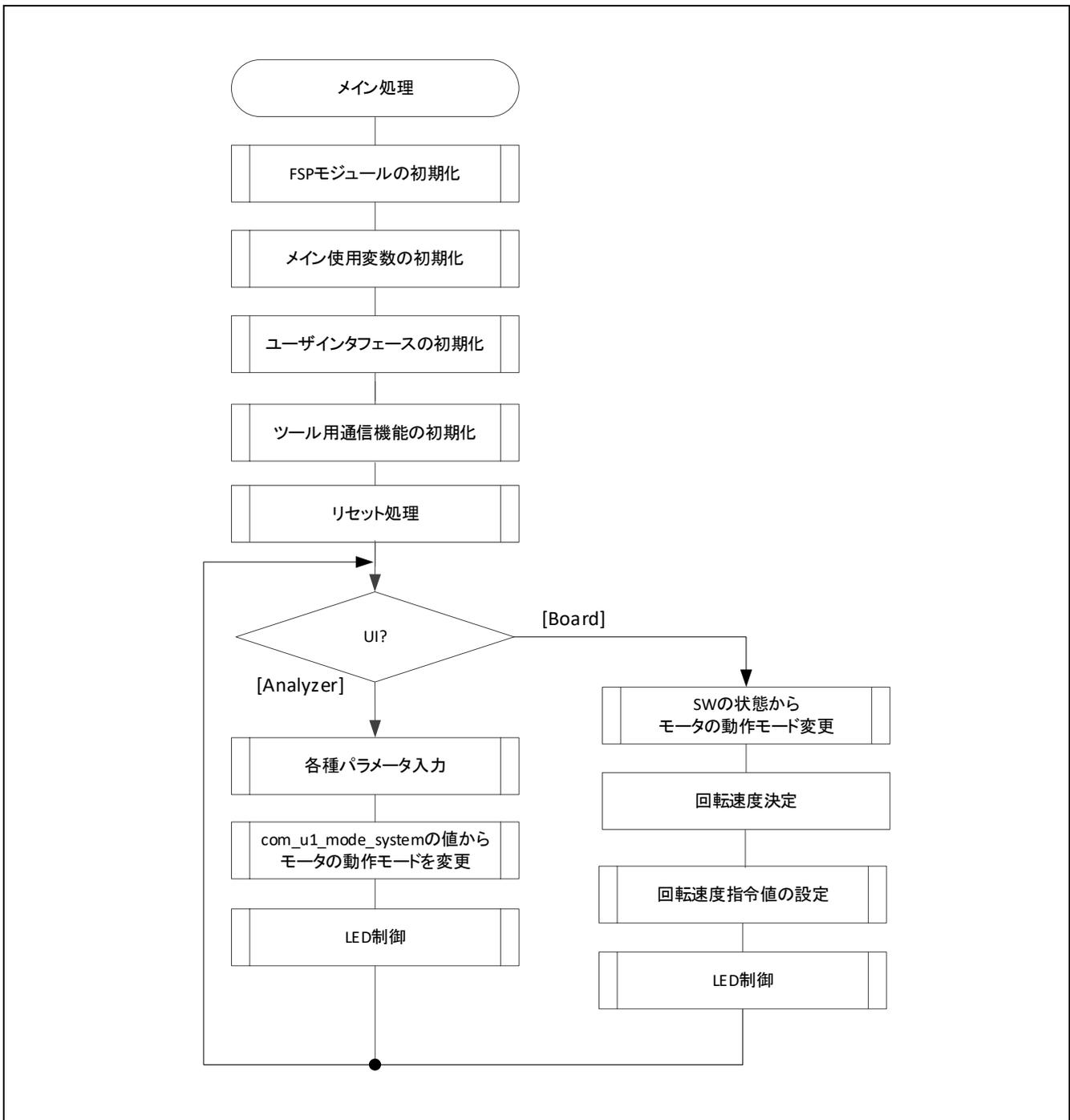


図 11-1 メイン処理フローチャート

11.2 キャリア周期割り込み処理

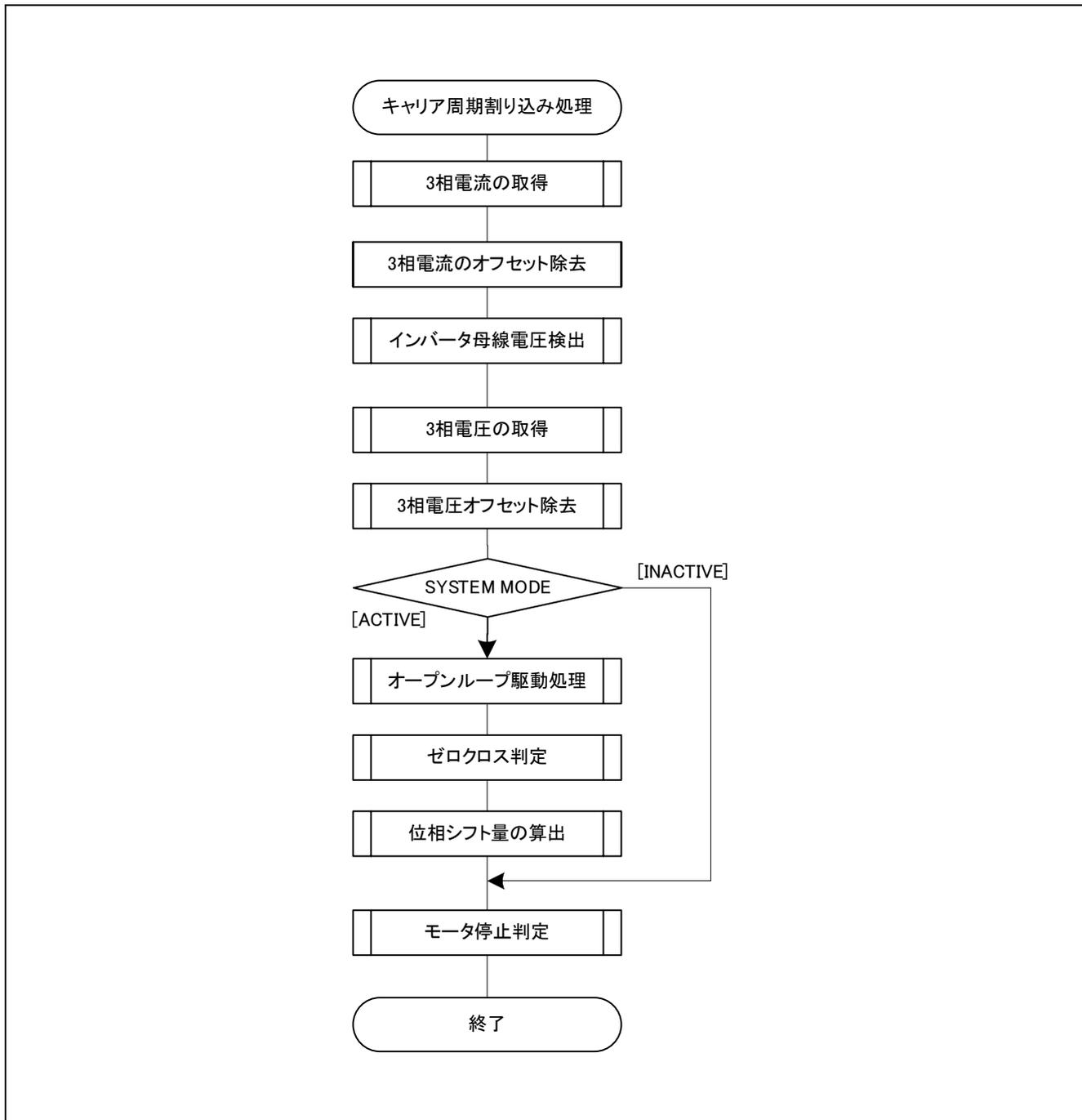


図 11-2 キャリア周期割り込み処理フローチャート

11.3 速度制御周期割り込み処理

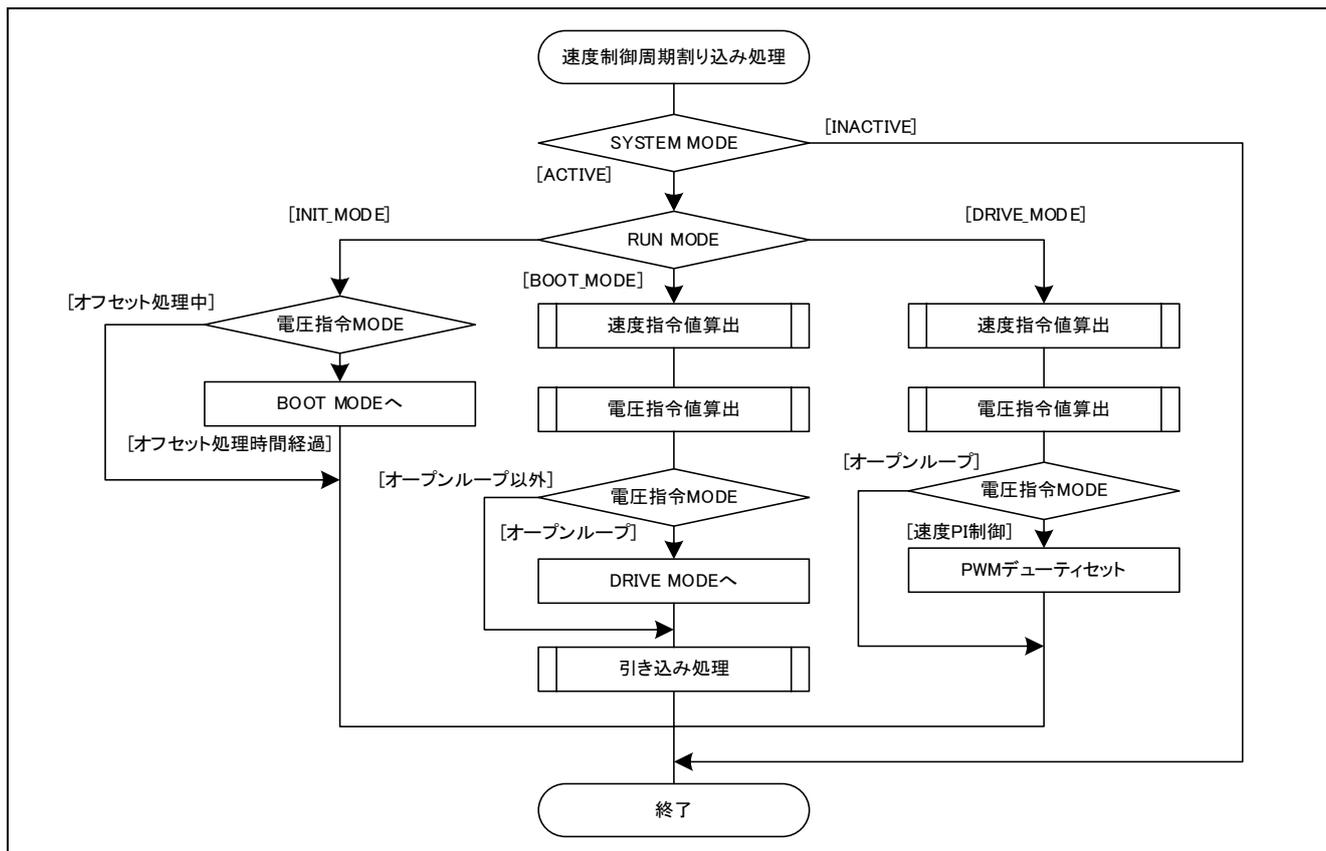


図 11-3 速度制御周期割り込み処理フローチャート

11.4 過電流検出割り込み処理

過電流検出割り込みは、サンプルソフトウェアにおける PWM 出力端子のハイインピーダンス制御条件で発生する割り込みです。そのため、本割り込み処理の実行開始時点では既に PWM 出力端子はハイインピーダンス状態になっており、モータへの出力は停止しています。

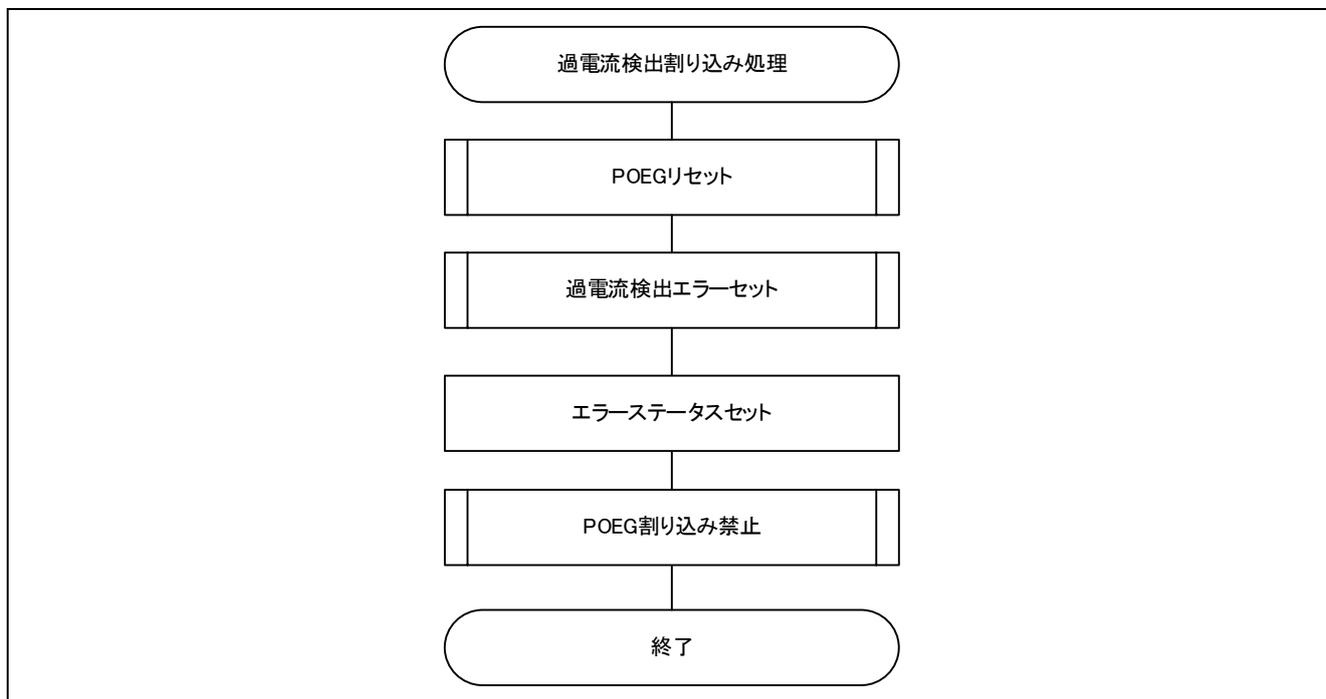


図 11-4 過電流検出割り込み処理フローチャート

12. FAQ

12.1 こんなときは

代表的な現象と、その解決例を表 12-1 に示します。

表 12-1 現象と回答の一覧

現象	回答
負荷を掛けると、モータが設定以外の速度で回り続けてしまう	モータが脱調しています。制御不能状態ですので、速やかに停止してください。 モータパラメータや、制御パラメータが不適切であること、ハードウェアの性能上の制約で、制御できない場合があります。設計の見直しを行ってください。
エラーで停止後、モータを回転できない	6.7 c)を参照してください。エラーからの復帰方法が説明されています。
運転開始を行っても、エラーで停止してしまう	6.7 c)を参照してエラー要因を確認してください。エラー要因に関連する設定を確認してください。
RMW から値を設定しても、反映されない	com_u1_enable_write の変数操作で、パラメータを書き換えます。 com_u1_enable_write への数値の書き換えタイミングが、パラメータの書き込みより先の場合、内部の反映処理が先に動作します。以下のように対応してください。 com_u1_enable_write を最後の行に置く com_u1_enable_write の書き込みを 2 回行う、または、トグル書き込みする

12.2 よくある質問

12.2.1 RMW に表示される変数の値が異常となってしまう

サンプルプログラムの変更を行った場合、ビルド後に src/application/rmw フォルダー内に生成される Map ファイルを RMW に登録し、サンプルプログラムの変数状態を更新する作業が必要です。この作業を省略した場合、変数が正しく表示できない場合があります。詳細は、6.5 を参照ください。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2023.5.23	-	初版発行
1.10	2024.1.23	-	RA8T1 関連記述追加
1.11	2024.12.23	-	対象プロジェクト更新
1.20	2025.9.2	-	・ RA8T2 追加 ・ 章立てを更新
1.21	2025.10.31	-	・ RA6T2 Ver.2 追加 ・ 誤記修正

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、 $V_{IL}(\text{Max.})$ から $V_{IH}(\text{Min.})$ 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、 $V_{IL}(\text{Max.})$ から $V_{IH}(\text{Min.})$ 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。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、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。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. 当社製品または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. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、変更、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、改造、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。
6. 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、当社は一切その責任を負いません。

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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.5.0-1 2020.10)

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

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/

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。