

## RA Family

### 永久磁石同期モータのホールセンサベクトル制御

#### 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ホールセンサベクトル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。

##### 動作確認デバイス

サンプルソフトウェアの動作確認は下記のデバイスで行っております。

- RA6T2 (R7FA6T2BD3CFP)
- RA6T3 (R7FA6T3BB3CFM)
- RA4T1 (R7FA4T1BB3CFM)
- RA8T1 (R7FA8T1AHECBD)

##### 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。

Renesas Flexible Motor Control Inverter Board 向けホールベクトル制御ソフトウェア

- RA6T2\_MCILV1\_SPM\_HALL\_FOC\_E2S\_V111
- RA4T1\_MCILV1\_SPM\_HALL\_FOC\_E2S\_V101
- RA6T3\_MCILV1\_SPM\_HALL\_FOC\_E2S\_V101
- RA8T1\_MCILV1\_SPM\_HALL\_FOC\_E2S\_V101

## 目次

1. 概説	4
2. 開発環境	4
2.1 動作確認環境	4
2.2 ハードウェア構成	5
2.2.1 ハードウェア構成図	5
2.2.2 ボードユーザインタフェース	6
2.2.3 周辺機能	8
2.2.3.1 RA6T2	8
2.2.3.2 RA4T1	15
2.2.3.3 RA6T3	19
2.2.3.4 RA8T1	23
2.3 ソフトウェア構成	26
2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成	26
2.3.2 モジュール構成	28
2.4 ソフトウェアスペック	29
2.5 割り込み優先順位	30
3. 制御ソフトウェア説明	31
3.1 制御内容	31
3.1.1 モータ起動/停止	31
3.1.2 A/D変換	31
3.1.3 変調	32
3.1.3.1 正弦波変調	32
3.1.3.2 空間ベクトル変調	32
3.1.4 状態遷移	33
3.1.5 電気速度・角度推定	34
3.1.5.1 速度推定	34
3.1.5.2 角度推定	35
3.1.6 始動方法	38
3.1.7 保護機能	39
3.1.8 ADトリガ	40
3.2 ホールセンサベクトル制御ソフトウェア関数仕様	41
3.3 関数一覧表	42
3.4 Contents of control	50
3.4.1 Configuration Options	50
3.4.2 Configuration Options for included modules	50
3.5 制御フロー（フローチャート）	59
3.5.1 メイン処理	59
3.5.2 電流制御周期割り込み（キャリア同期割り込み）処理	60
3.5.3 速度制御周期割り込み処理	61
3.5.4 過電流検出割り込み処理	62
4. サンプルソフトウェアの操作概要	63
4.1 クイックスタート	63

---

4.2	モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」	64
4.2.1	概要	64
4.2.2	Easy 機能操作例	65
4.2.3	Analyzer 機能用変数一覧	67
4.2.4	Analyzer 機能操作例	68
4.2.5	Tuner 機能	70
4.2.6	通信速度の変更例	71
4.2.7	ビルトイン型通信ライブラリの使用方法	72
5.	参考ドキュメント	74

## 1. 概説

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、ホールセンサを用いたベクトル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。

## 2. 開発環境

### 2.1 動作確認環境

本アプリケーションノート対象ソフトウェアを表 2-1、表 2-2 に示します。

表 2-1 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) / RTK0EMA270C00000BJ RA4T1 (R7FA4T1BB3CFM) / RTK0EMA430C00000BJ RA6T3 (R7FA6T3BB3CFM) / RTK0EMA330C00000BJ RA8T1 (R7FA8T1AHECBD) / RTK0EMA5K0C00000BJ
インバータボード / 型名	MCI-LV-1 / RTK0EM0000S04020BJ
モータ	R42BLD30L3 (MOONS' 社製)

表 2-2 ソフトウェア開発環境

e2studio バージョン	FSP バージョン	ツールチェーン バージョン
V2023-10	V5.1.0	GCC ARM Embedded: 10.3.1.20210824(RA6T2,RA6T3,RA4T1) 13.2.1.arm-13-7 (RA8T1)

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

2.2 ハードウェア構成

2.2.1 ハードウェア構成図

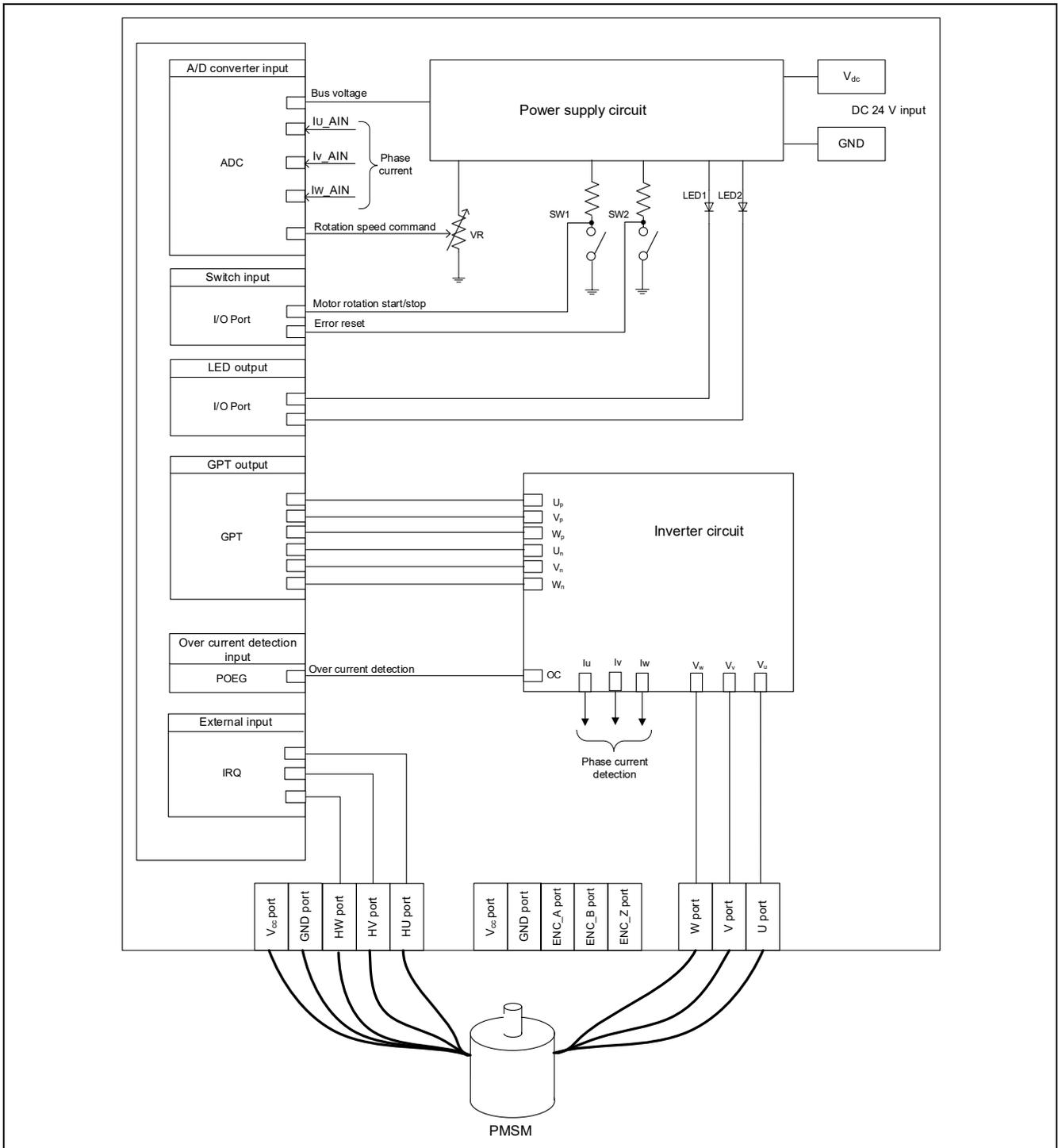


図 2-1 ハードウェア構成図

## 2.2.2 ボードユーザインタフェース

サンプルソフトウェアのユーザインタフェース一覧を表 2-3 に示します。

表 2-3 ユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
回転位置/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	橙色 LED(LED1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● モータ駆動時 : 点灯</li> <li>● モータ停止時 : 消灯</li> </ul>
LED2	橙色 LED(LED2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● エラー検出時 : 点灯</li> <li>● 通常動作時 : 消灯</li> </ul>

サンプルソフトウェアの端子インタフェースを表 2-4 に示します。

表 2-4 端子インタフェース

機能	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
インバータ母線電圧測定	PA06 / AN006	P004 / AN004	P004 / AN004	P008 / AN008
回転速度指令値入力 (VR1)	PB00 / AN008	P005 / AN005	P005 / AN005	P014 / AN007
START/STOP トグルスイッチ(SW1)	PD04	P304	P304	PA15
ERROR RESET プッシュスイッチ(SW2)	PD07	P200	P200	PA13
LED1 点灯/消灯制御	PD01	P113	P113	PA12
LED2 点灯/消灯制御	PD02	P106	P106	PA14
U1 相電流測定	PA04 / AN004	P000 / AN000	P000 / AN000	P004 / AN000
W1 相電流測定	PA00 / AN000	P002 / AN002	P002 / AN002	P006 / AN002
PWM 出力(U <sub>p</sub> )	PB04 / GTIOC4A	P409 / GTIOC1A	P409 / GTIOC1A	P115 / GTIOC5A
PWM 出力(V <sub>p</sub> )	PB06 / GTIOC5A	P103 / GTIOC2A	P103 / GTIOC2A	P113 / GTIOC2A
PWM 出力(W <sub>p</sub> )	PB08 / GTIOC6A	P111 / GTIOC3A	P111 / GTIOC3A	P300 / GTIOC3A
PWM 出力(U <sub>n</sub> )	PB05 / GTIOC4B	P408 / GTIOC1B	P408 / GTIOC1B	P609 / GTIOC5B
PWM 出力(V <sub>n</sub> )	PB07 / GTIOC5B	P102 / GTIOC2B	P102 / GTIOC2B	P114 / GTIOC2B
PWM 出力(W <sub>n</sub> )	PB09 / GTIOC6B	P112 / GTIOC3B	P112 / GTIOC3B	P112 / GTIOC3B
ホールセンサ入力 (HU)	PC04	P008 / IRQ12	P008 / IRQ12	P907 / IRQ10
ホールセンサ入力 (HV)	PC05	P006 / IRQ11	P006 / IRQ11	P905 / IRQ8
ホールセンサ入力 (HW)	PB01	P015 / IRQ13	P015 / IRQ13	P906 / IRQ9
過電流検出時の PWM 緊急停止入力	PC13 / GTETRGD	P104 / GTETRGB	P104 / GTETRGB	P613 / GTETRGA

センサの端子インタフェースを示します。

表 2-5 端子インタフェース

機能	MCI-LV-1
GND	CN6 1pin
+5V	CN6 2pin
ホールセンサ入力(HW)	CN6 3pin
ホールセンサ入力(HV)	CN6 4pin
ホールセンサ入力(HU)	CN6 5pin

## 2.2.3 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 2-6 に示します。

表 2-6 周辺機能対応表

周辺機能	用途	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
A/D コンバータ	U 相電流測定	AN004	AN000	AN000	AN000
	V 相電流測定	AN002	AN001	AN001	AN001
	W 相電流測定	AN000	AN002	AN002	AN002
	インバータ母線電圧測定	AN006	AN004	AN004	AN008
	VR 入力	AN008	AN005	AN005	AN007
AGT	速度制御インターバルタイマ	AGT0	AGT0	AGT0	AGT0
GPT	U 相 PWM 出力	CH4	CH1	CH1	CH5
	V 相 PWM 出力	CH5	CH2	CH2	CH2
	W 相 PWM 出力	CH6	CH3	CH3	CH3
POEG	過電流検出時の PWM 緊急停止入力	Group D	Group B	Group B	Group A

## 2.2.3.1 RA6T2

## (1) 12 ビット A/D コンバータ(ADC)

U 相電流、V 相電流、W 相電流、インバータ母線電圧、回転速度指令値を、「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、キャリア同期割り込みと連動して動作させています。

## (2) 低消費電力非同期汎用タイマ (AGT)

500 [μs]インターバルタイマとして使用します。

## (3) 汎用 PWM タイマ (GPT)

チャンネル 4、5、6 の 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。

## (4) GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

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

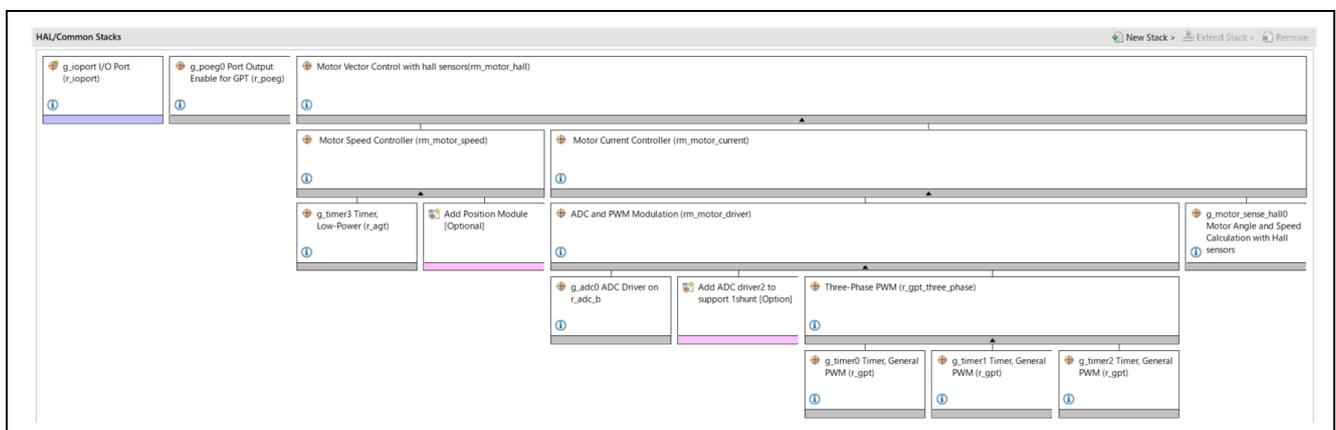


図 2-2 FSP スタック全体図

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_adc0 ADC Driver on r_adc_b	
	▼ General	
	▼ Operation	
	▼ ADC 0	
	Conversion Method	SAR Mode
	Scan Mode	Single Scan
	▼ ADC 1	
	Conversion Method	SAR Mode
	Scan Mode	Single Scan
	▼ ADC Successive Approximation Time	
	ADC 0	6
	ADC 1	6
	▼ Synchronous Operation	
	Enable for ADC 0	Disable
	Enable for ADC 1	Disable
	Synchronous Operation Period Cycle	100
	▼ Calibration	
	▼ A/D Calibration	
	Sampling Time	10
	Conversion Time	6
	▼ Sample and Hold Calibration	
	Sampling Time	25
	Hold Time	3
	▼ Sampling State Table	
	Entry 0	10
	Entry 1	95
	Entry 2	95
	Entry 3	95
	Entry 4	95
Entry 5	95	
Entry 6	95	
Entry 7	95	
Entry 8	95	
Entry 9	95	
Entry 10	95	
Entry 11	95	
Entry 12	95	
Entry 13	95	
Entry 14	95	
Entry 15	95	
Name	g_adc0	

図 2-3 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [1/6]

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_adc0 ADC Driver on r_adc_b	
	> General	
	▼ Clock Configuration	
	Divider	Div /1
	Source	PCLKC
	▼ Interrupts	
	> Limiter Clip Priority	
	> Conversion Error Priority	
	> Overflow Priority	
	> Calibration End Priority	
	▼ Scan End Priority	
	Group 0	Priority 5
	Group 1	Disabled
	Group 2	Disabled
	Group 3	Disabled
	Group 4	Disabled
	Group 5 to 8	Disabled
	> FIFO Priorities	
	Callback	rm_motor_driver_cyclic
	▼ Sample and Hold	
	▼ Enable Unit	
	Unit 0	<input checked="" type="checkbox"/>
	Unit 1	<input type="checkbox"/>
	Unit 2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Unit 4	<input type="checkbox"/>
	Unit 5	<input type="checkbox"/>
	Unit 6	<input type="checkbox"/>
	▼ Analog Channels 0-5	
	Sampling Time	25
	Hold Time	3
	▼ Analog Channels 6-11	
	Sampling Time	95
	Hold Time	5

図 2-4 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [2/6]

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Virtual Channels	
	▼ Virtual Channel 0	
	Scan Group	Scan Group 0
	Channel Select	AN000
	Sampling State Table ID	Sampling State Entry 0
	Channel Gain Table	Disabled
	Channel Offset Table	Disabled
	Add/Average Mode	Disabled
	Add/Average Count	1-time conversion (Normal Conversion)
	Limit Clip Table Id	Disabled
	Conversion Data Format Select	12-bit Data Format
	Digital Filter Selection	Disabled
	▼ Virtual Channel 1	
	Scan Group	Scan Group 0
	Channel Select	AN002
	Sampling State Table ID	Sampling State Entry 0
	Channel Gain Table	Disabled
	Channel Offset Table	Disabled
	Add/Average Mode	Disabled
	Add/Average Count	1-time conversion (Normal Conversion)
	Limit Clip Table Id	Disabled
	Conversion Data Format Select	12-bit Data Format
	Digital Filter Selection	Disabled
	▼ Virtual Channel 2	
	Scan Group	Scan Group 0
	Channel Select	AN004
	Sampling State Table ID	Sampling State Entry 0
	Channel Gain Table	Disabled
	Channel Offset Table	Disabled
	Add/Average Mode	Disabled
Add/Average Count	1-time conversion (Normal Conversion)	
Limit Clip Table Id	Disabled	
Conversion Data Format Select	12-bit Data Format	
Digital Filter Selection	Disabled	

図 2-5 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [3/6]

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	Virtual Channels	
	> Virtual Channel 0	
	> Virtual Channel 1	
	> Virtual Channel 2	
	Virtual Channel 3	
	Scan Group	Scan Group 1
	Channel Select	AN006
	Sampling State Table ID	Sampling State Entry 0
	Channel Gain Table	Disabled
	Channel Offset Table	Disabled
	Add/Average Mode	Disabled
	Add/Average Count	1-time conversion (Normal Conversion)
	Limit Clip Table Id	Disabled
	Conversion Data Format Select	12-bit Data Format
	Digital Filter Selection	Disabled
	Virtual Channel 4	
	Scan Group	Scan Group 1
	Channel Select	AN008
	Sampling State Table ID	Sampling State Entry 0
	Channel Gain Table	Disabled
	Channel Offset Table	Disabled
	Add/Average Mode	Disabled
	Add/Average Count	1-time conversion (Normal Conversion)
	Limit Clip Table Id	Disabled
	Conversion Data Format Select	12-bit Data Format
	Digital Filter Selection	Disabled

図 2-6 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [4/6]

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	Scan Groups	
	Scan Group 0	
	> Self Diagnosis	
	> External Trigger Enable	
	> ELC Trigger Enable	
	GPT Trigger Enable	
	GPT Channel 0 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 1 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 2 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 3 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 4 Request A	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Channel 5 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 6 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 7 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 8 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 9 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 0 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 1 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 2 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 3 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 4 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 5 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 6 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 7 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 8 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 9 Request B	<input type="checkbox"/>
	Enable	Enable
	Converter Selection	ADC 0
	Start Trigger Delay	0
	Scan End Interrupt Enable	Enable
Limit Clip Interrupt Enable	Disable	
FIFO Enable	Disable	
FIFO Interrupt Enable	Disable	
FIFO Interrupt Generation Level	0	

図 2-7 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [5/6]

g_adc0 ADC Driver on r_adc_b		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Scan Groups	
	> Scan Group 0	
	▼ Scan Group 1	
	> Self Diagnosis	
	> External Trigger Enable	
	> ELC Trigger Enable	
	▼ GPT Trigger Enable	
	GPT Channel 0 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 1 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 2 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 3 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 4 Request A	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Channel 5 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 6 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 7 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 8 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 9 Request A	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 0 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 1 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 2 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 3 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 4 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 5 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 6 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 7 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 8 Request B	<input type="checkbox"/>
	GPT Channel 9 Request B	<input type="checkbox"/>
Enable	Enable	
Converter Selection	ADC 1	
Start Trigger Delay	0	
Scan End Interrupt Enable	Disable	
Limit Clip Interrupt Enable	Disable	
FIFO Enable	Disable	
FIFO Interrupt Enable	Disable	
FIFO Interrupt Generation Level	0	

図 2-8 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [6/6]

g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)		
Settings	プロパティ	値
API Info	> Common	
	▼ Module g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)	
	▼ General	
	Name	g_timer3
	Channel	0
	Mode	Periodic
	Period	500
	Period Unit	Microseconds
	Count Source	PCLKB
	> Output	
	> Input	
	▼ Interrupts	
	Callback	rm_motor_speed_cyclic
	Underflow Interrupt Priority	Priority 10
> Pins		

図 2-9 AGT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	Pin Output Support	Enabled with Extra Features
	Write Protect Enable	Disabled
	Clock Source	PCLKD
	▼ Module g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)	
	▼ General	
	Name	g_timer0
	Channel	4
	Mode	Triangle-Wave Symmetric PWM
	Period	50.0
	Period Unit	Microseconds
	> Output	
	> Input	
	> Interrupts	
	▼ Extra Features	
	▼ Output Disable	
	> Output Disable POEG Trigger	
	POEG Link	POEG Channel 3
	GTIOCA Disable Setting	Set Hi Z
	GTIOCB Disable Setting	Set Hi Z
	▼ ADC Trigger	
	▼ Start Event Trigger (Channels with GTINTAD only)	
	Trigger Event A/D Converter Start Request A During Up Counting	<input type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request A During Down Counting	<input checked="" type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request B During Up Counting	<input type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request B During Down Counting	<input type="checkbox"/>
	> Dead Time (Value range varies with Channel)	
	> ADC Trigger (Channels with GTADTRA only)	
	> ADC Trigger (Channels with GTADTRB only)	
	> Interrupt Skipping (Channels with GTITC only)	
	Extra Features	Enabled
	> Pins	

図 2-10 GPT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)		
Settings	プロパティ	値
API Info	> Common	
	▼ Module g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)	
	▼ General	
	▼ Trigger	
	GTETRГ Pin	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Output Level	<input type="checkbox"/>
	Oscillation Stop	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS0	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS1	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS2	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS3	<input type="checkbox"/>
	Name	g_poeg0
	Channel	3
	▼ Input	
	GTETRГ Polarity	Active Low
	GTETRГ Noise Filter	PCLKB/32
	▼ Interrupts	
	Callback	g_poe_overcurrent
	Interrupt Priority	Priority 0 (highest)

図 2-11 POEG ドライバの FSP コンフィグレーション

## 2.2.3.2 RA4T1

## (1) 12ビット A/D コンバータ(ADC12)

U相電流、V相電流、W相電流、インバータ母線電圧、回転速度指令値を、「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、キャリア同期割り込みと連動して動作させています。

## (2) 低消費電力非同期汎用タイマ (AGT)

1 [ms]インターバルタイマとして使用します。

## (3) 汎用 PWM タイマ (GPT)

チャンネル 1、2、3 の 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。

## (4) GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

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

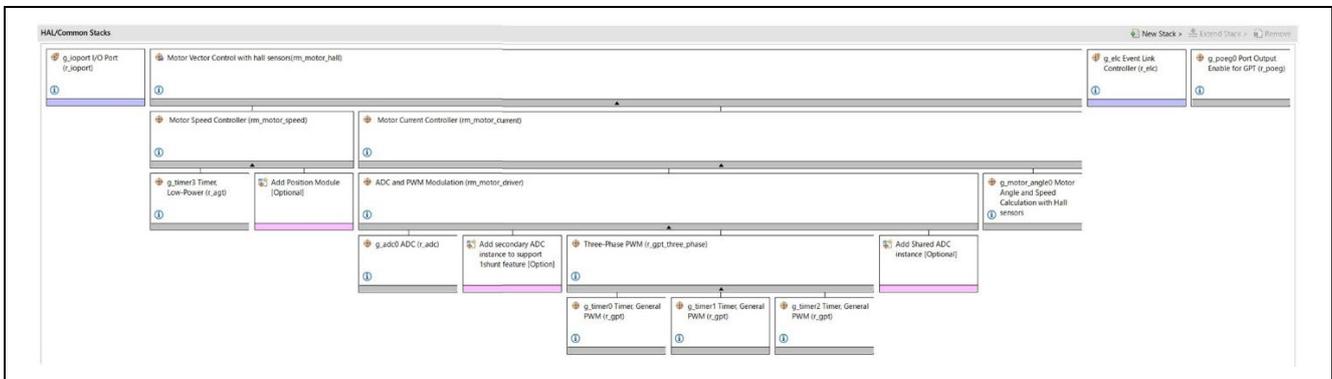


図 2-12 FSP スタック全体図

g_adc0 ADC (r_adc)		
Settings	プロパティ	
API Info	値	
	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_adc0 ADC (r_adc)	
	▼ General	
	Name	g_adc0
	Unit	0
	Resolution	🔒 12-Bit
	Alignment	🔒 Right
	Clear after read	On
	Mode	Single Scan
	Double-trigger	Disabled
	> Input	
	▼ Interrupts	
	Normal/Group A Trigger	GPT1 COUNTER UNDERFLOW (Underflow)
	Group B Trigger	Disabled
	Group Priority (Valid only in Group Scan Mode)	Group A cannot interrupt Group B
	Callback	rm_motor_driver_cyclic
	Scan End Interrupt Priority	Priority 5
	Scan End Group B Interrupt Priority	Disabled
	Window Compare A Interrupt Priority	Disabled
	Window Compare B Interrupt Priority	Disabled
	> Extra	

図 2-13 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [1/6]

g_adc0 ADC (r_adc)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Input	
	▼ Channel Scan Mask (channel availability varies by MCU)	
	Channel 0	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 1	<input type="checkbox"/>
	Channel 2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 3	<input type="checkbox"/>
	Channel 4	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 5	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 6	<input type="checkbox"/>
	Channel 7	<input type="checkbox"/>
	Channel 8	<input type="checkbox"/>
	Channel 9	<input type="checkbox"/>
	Channel 10	<input type="checkbox"/>
	Channel 11	<input type="checkbox"/>
	Channel 12	<input type="checkbox"/>
	Channel 13	<input type="checkbox"/>
	Channel 14	<input type="checkbox"/>
	Channel 15	<input type="checkbox"/>
	Channel 16	<input type="checkbox"/>
	Channel 17	<input type="checkbox"/>
	Channel 18	<input type="checkbox"/>
	Channel 19	<input type="checkbox"/>
	Channel 20	<input type="checkbox"/>
	Channel 21	<input type="checkbox"/>
	Channel 22	<input type="checkbox"/>
	Channel 23	<input type="checkbox"/>
	Channel 24	<input type="checkbox"/>
	Channel 25	<input type="checkbox"/>
Channel 26	<input type="checkbox"/>	
Channel 27	<input type="checkbox"/>	
Channel 28	<input type="checkbox"/>	
Temperature Sensor	<input type="checkbox"/>	
Internal Reference Voltage	<input type="checkbox"/>	

図 2-14 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [2/6]

g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	Pin Output Support	Disabled
	Pin Input Support	Disabled
	▼ Module g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)	
	▼ General	
	Name	g_timer3
	Counter Bit Width	AGTW 32-bit
	Channel	0
	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Periodic
	Period	1
	Period Unit	Milliseconds
	Count Source	PCLKB
	> Output	
> Input		
▼ Interrupts		
Callback	<input checked="" type="checkbox"/> rm_motor_speed_cyclic	
Underflow Interrupt Priority	Priority 10	

図 2-15 AGT ドライバの FSP コンフィグレーション

Property	Value
▼ Common	
Parameter Checking	Default (BSP)
Pin Output Support	Enabled with Extra Features
Write Protect Enable	Disabled
▼ Module g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)	
▼ General	
Name	g_timer0
Channel	1
Mode	Triangle-Wave Symmetric PWM
Period	50.0
Period Unit	Microseconds
▼ Output	
> Custom Waveform	
Duty Cycle Percent (only applicable in PWM mode)	50
GTIOCA Output Enabled	True
GTIOCA Stop Level	Pin Level Low
GTIOCB Output Enabled	True
GTIOCB Stop Level	Pin Level High
> Input	
> Interrupts	
▼ Extra Features	
▼ Output Disable	
> Output Disable POEG Trigger	
POEG Link	POEG Channel 1
GTIOCA Disable Setting	Set Hi Z
GTIOCB Disable Setting	Set Hi Z
▼ ADC Trigger	
▼ Start Event Trigger (Channels with GTINTAD only)	
Trigger Event A/D Converter Start Request A During Up Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request A During Down Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request B During Up Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request B During Down Counting	<input type="checkbox"/>
▼ Dead Time (Value range varies with Channel)	
Dead Time Count Up (Raw Counts)	200
Dead Time Count Down (Raw Counts) (Channels with GTDVD only)	200
> ADC Trigger (Channels with GTADTRA only)	
> ADC Trigger (Channels with GTADTRB only)	
> Interrupt Skipping (Channels with GTITC only)	
Extra Features	Enabled
▼ Pins	

図 2-16 GPT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)	
	▼ General	
	▼ Trigger	
	GTETRГ Pin	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Output Level	<input type="checkbox"/>
	Oscillation Stop	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS0	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS1	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS2	<input type="checkbox"/>
	Name	g_poeg0
	Channel	1
	▼ Input	
	GTETRГ Polarity	Active Low
	GTETRГ Noise Filter	PCLKB/128
	▼ Interrupts	
Callback	g_poe_overcurrent	
Interrupt Priority	Priority 0 (highest)	

図 2-17 POEG ドライバの FSP コンフィグレーション

## 2.2.3.3 RA6T3

## (1) 12 ビット A/D コンバータ(ADC12)

U 相電流、V 相電流、W 相電流、インバータ母線電圧、回転速度指令値を、「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、キャリア同期割り込みと連動して動作させています。

## (2) 低消費電力非同期汎用タイマ (AGT)

1 [ms]インターバルタイマとして使用します。

## (3) 汎用 PWM タイマ (GPT)

チャンネル 1、2、3 の 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。

## (4) GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

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



図 2-18 FSP スタック全体図

g_adc0 ADC (r_adc)		
Settings	プロパティ	
API Info	値	
	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_adc0 ADC (r_adc)	
	▼ General	
	Name	g_adc0
	Unit	0
	Resolution	12-Bit
	Alignment	Right
	Clear after read	On
	Mode	Single Scan
	Double-trigger	Disabled
	> Input	
	▼ Interrupts	
	Normal/Group A Trigger	GPT1 COUNTER UNDERFLOW (Underflow)
	Group B Trigger	Disabled
	Group Priority (Valid only in Group Scan Mode)	Group A cannot interrupt Group B
	Callback	rm_motor_driver_cyclic
	Scan End Interrupt Priority	Priority 5
	Scan End Group B Interrupt Priority	Disabled
	Window Compare A Interrupt Priority	Disabled
	Window Compare B Interrupt Priority	Disabled
	> Extra	

図 2-19 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [1/2]

g_adc0 ADC (r_adc)		
Settings	プロパティ	値
API Info	Input	
	Channel Scan Mask (channel availability varies by MCU)	
	Channel 0	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 1	<input type="checkbox"/>
	Channel 2	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 3	<input type="checkbox"/>
	Channel 4	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 5	<input checked="" type="checkbox"/>
	Channel 6	<input type="checkbox"/>
	Channel 7	<input type="checkbox"/>
	Channel 8	<input type="checkbox"/>
	Channel 9	<input type="checkbox"/>
	Channel 10	<input type="checkbox"/>
	Channel 11	<input type="checkbox"/>
	Channel 12	<input type="checkbox"/>
	Channel 13	<input type="checkbox"/>
	Channel 14	<input type="checkbox"/>
	Channel 15	<input type="checkbox"/>
	Channel 16	<input type="checkbox"/>
	Channel 17	<input type="checkbox"/>
	Channel 18	<input type="checkbox"/>
	Channel 19	<input type="checkbox"/>
	Channel 20	<input type="checkbox"/>
	Channel 21	<input type="checkbox"/>
	Channel 22	<input type="checkbox"/>
	Channel 23	<input type="checkbox"/>
	Channel 24	<input type="checkbox"/>
	Channel 25	<input type="checkbox"/>
	Channel 26	<input type="checkbox"/>
Channel 27	<input type="checkbox"/>	
Channel 28	<input type="checkbox"/>	
Temperature Sensor	<input type="checkbox"/>	
Internal Reference Voltage	<input type="checkbox"/>	

図 2-20 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [2/2]

g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)		
Settings	プロパティ	値
API Info	Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	Pin Output Support	Disabled
	Pin Input Support	Disabled
	Module g_timer3 Timer, Low-Power (r_agt)	
	General	
	Name	g_timer3
	Counter Bit Width	AGTW 32-bit
	Channel	0
	Mode	Periodic
	Period	500
	Period Unit	Microseconds
	Count Source	PCLKB
	Interrupts	
Callback	rm_motor_speed_cyclic	
Underflow Interrupt Priority	Priority 10	

図 2-21 AGT ドライバの FSP コンフィグレーション

The screenshot shows the 'Properties' window for 'g\_timer0 Timer, General PWM (r\_gpt)'. The window is divided into 'Settings' and 'API Info' tabs. The 'Settings' tab is active, displaying a tree view of properties and their values.

Property	Value
▼ Common	
Parameter Checking	Default (BSP)
Pin Output Support	Enabled with Extra Features
Write Protect Enable	Disabled
▼ Module g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)	
▼ General	
Name	g_timer0
Channel	1
Mode	Triangle-Wave Symmetric PWM
Period	50.0
Period Unit	Microseconds
▼ Output	
> Custom Waveform	
Duty Cycle Percent (only applicable in PWM mode)	50
GTIOCA Output Enabled	True
GTIOCA Stop Level	Pin Level Low
GTIOCB Output Enabled	True
GTIOCB Stop Level	Pin Level High
> Input	
> Interrupts	
▼ Extra Features	
▼ Output Disable	
> Output Disable POEG Trigger	
POEG Link	POEG Channel 1
GTIOCA Disable Setting	Set Hi Z
GTIOCB Disable Setting	Set Hi Z
▼ ADC Trigger	
▼ Start Event Trigger (Channels with GTINTAD only)	
Trigger Event A/D Converter Start Request A During Up Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request A During Down Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request B During Up Counting	<input type="checkbox"/>
Trigger Event A/D Converter Start Request B During Down Counting	<input type="checkbox"/>
▼ Dead Time (Value range varies with Channel)	
Dead Time Count Up (Raw Counts)	200
Dead Time Count Down (Raw Counts) (Channels with GTDVD only)	200
> ADC Trigger (Channels with GTADTRA only)	
> ADC Trigger (Channels with GTADTRB only)	
> Interrupt Skipping (Channels with GTITC only)	
Extra Features	Enabled

図 2-22 GPT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)	
	▼ General	
	▼ Trigger	
	GTETRГ Pin	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Output Level	<input type="checkbox"/>
	Oscillation Stop	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS0	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS1	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS2	<input type="checkbox"/>
	Name	g_poeg0
	Channel	1
	▼ Input	
	GTETRГ Polarity	Active Low
	GTETRГ Noise Filter	PCLKB/128
	▼ Interrupts	
Callback	g_poe_overcurrent	
Interrupt Priority	Priority 0 (highest)	

図 2-23 POEG ドライバの FSP コンフィグレーション

## 2.2.3.4 RA8T1

## (1) 12 ビット A/D コンバータ(ADC12)

U 相電流、V 相電流、W 相電流、インバータ母線電圧、回転速度指令値を、「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、キャリア同期割り込みと連動して動作させています。

## (2) 低消費電力非同期汎用タイマ (AGT)

500 [μs]インターバルタイマとして使用します。

## (3) 汎用 PWM タイマ (GPT)

チャンネル 5、2、3 の 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。

## (4) GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

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

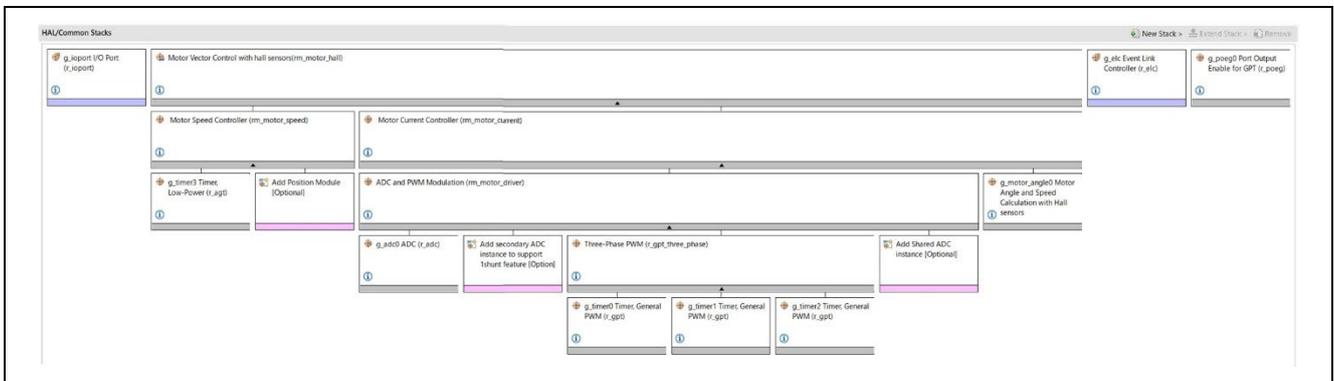


図 2-24 FSP スタック全体図

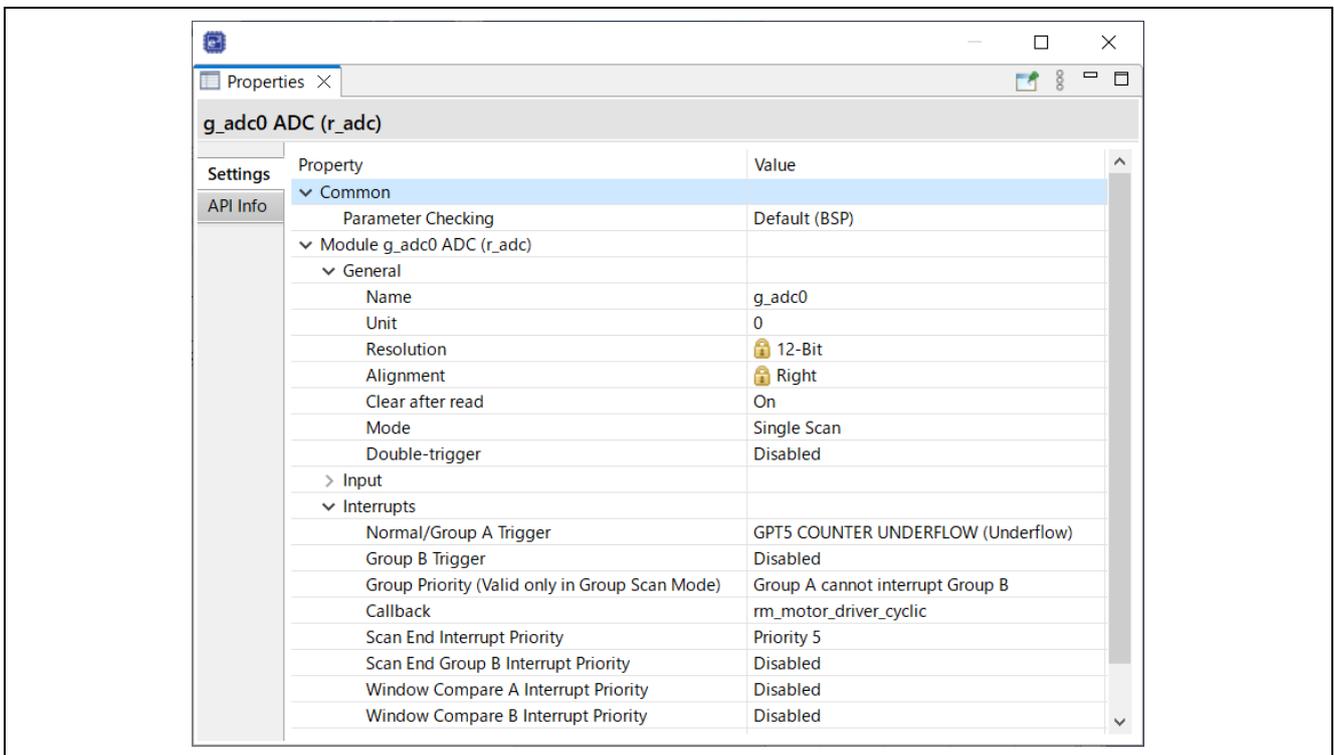


図 2-25 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [1/2]

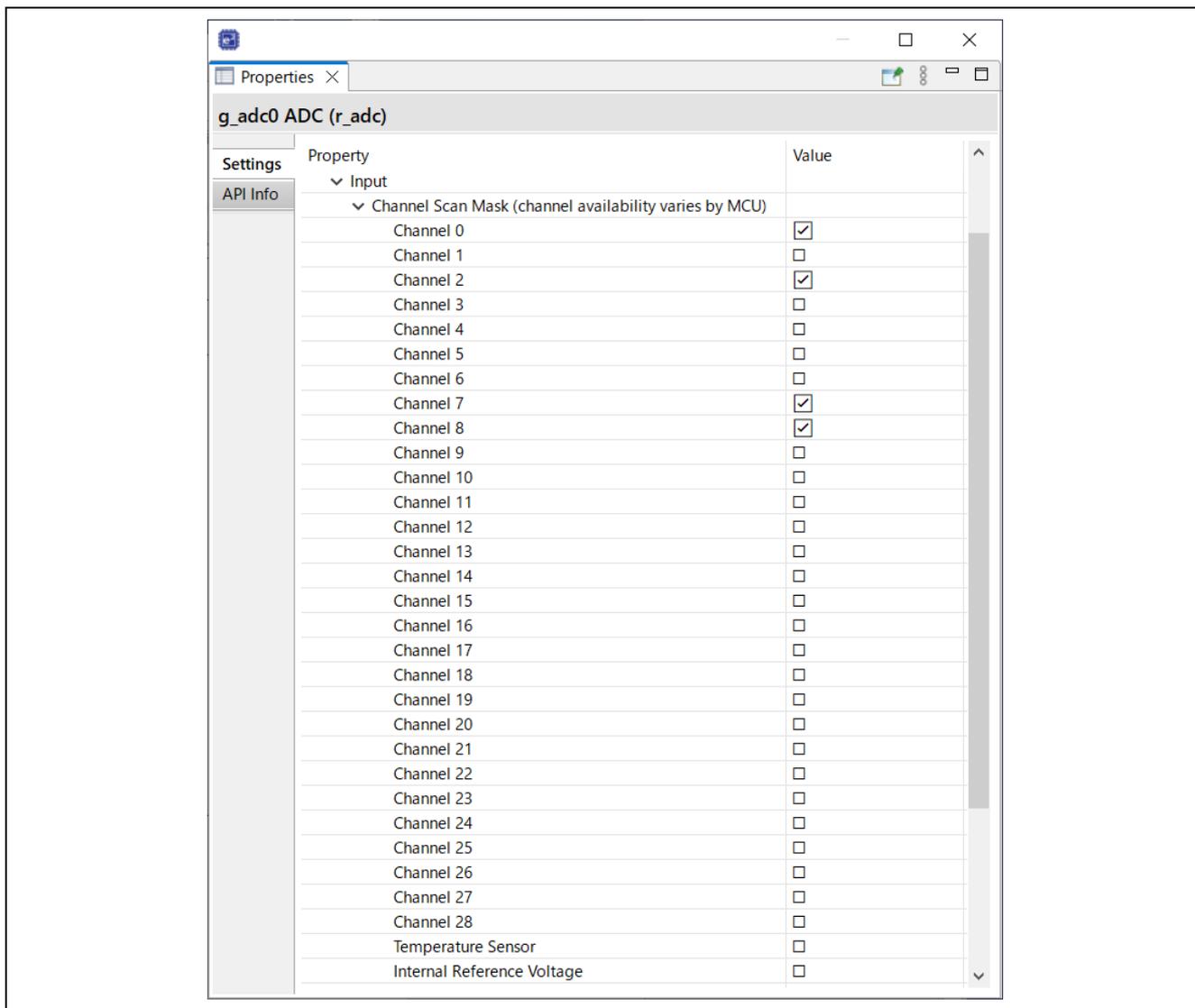


図 2-26 ADC ドライバの FSP コンフィグレーション [2/2]

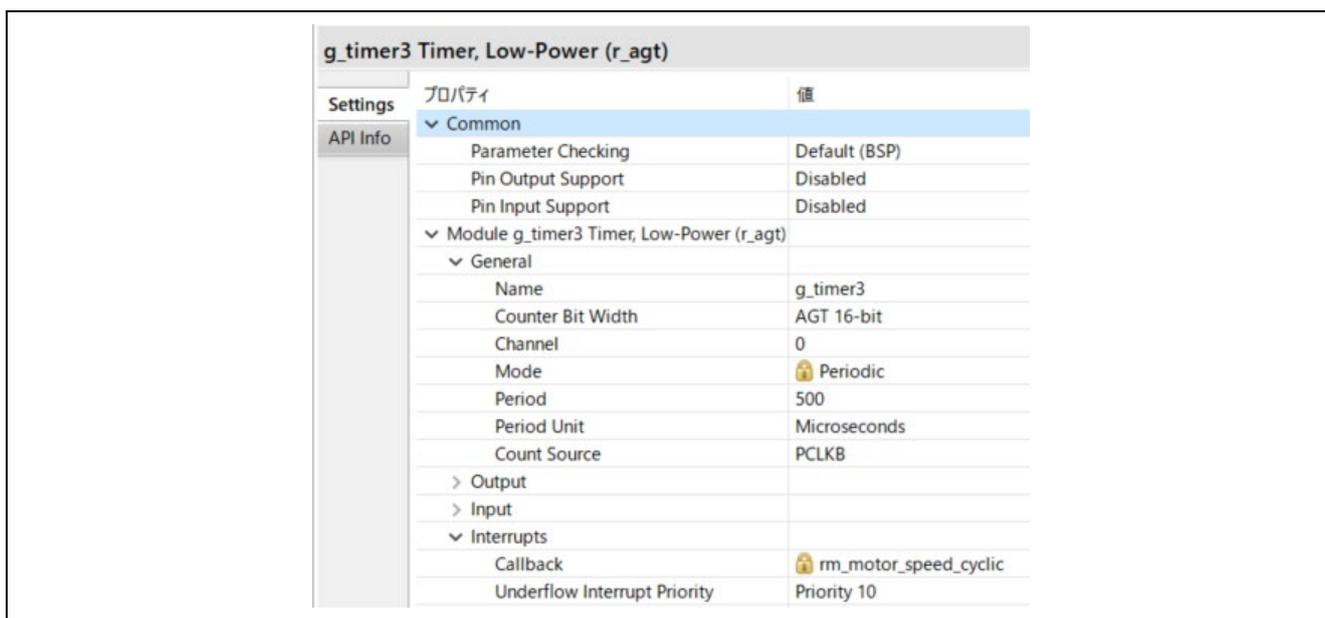


図 2-27 AGT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	Pin Output Support	Enabled with Extra Features
	Write Protect Enable	Disabled
	▼ Module g_timer0 Timer, General PWM (r_gpt)	
	▼ General	
	Name	g_timer0
	Channel	5
	Mode	Triangle-Wave Symmetric PWM
	Period	50.0
	Period Unit	Microseconds
	> Output	
	> Input	
	> Interrupts	
	▼ Extra Features	
	▼ Output Disable	
	▼ Output Disable POEG Trigger	
	Dead Time Error	<input type="checkbox"/>
	GTIOCA and GTIOCB High Level	<input type="checkbox"/>
	GTIOCA and GTIOCB Low Level	<input type="checkbox"/>
	POEG Link	POEG Channel 0
	GTIOCA Disable Setting	Set Hi Z
	GTIOCB Disable Setting	Set Hi Z
	▼ ADC Trigger	
	▼ Start Event Trigger (Channels with GTINTAD only)	
	Trigger Event A/D Converter Start Request A During Up Counting	<input type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request A During Down Counting	<input type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request B During Up Counting	<input type="checkbox"/>
	Trigger Event A/D Converter Start Request B During Down Counting	<input type="checkbox"/>
	> Dead Time (Value range varies with Channel)	
	> ADC Trigger (Channels with GTADTRA only)	
	> ADC Trigger (Channels with GTADTRB only)	
	> Interrupt Skipping (Channels with GTITC only)	
	Extra Features	Enabled

図 2-28 GPT ドライバの FSP コンフィグレーション

g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)		
Settings	プロパティ	値
API Info	▼ Common	
	Parameter Checking	Default (BSP)
	▼ Module g_poeg0 Port Output Enable for GPT (r_poeg)	
	▼ General	
	▼ Trigger	
	GTETRГ Pin	<input checked="" type="checkbox"/>
	GPT Output Level	<input type="checkbox"/>
	Oscillation Stop	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS0	<input type="checkbox"/>
	ACMPHS1	<input type="checkbox"/>
	Name	g_poeg0
	Channel	0
	▼ Input	
	GTETRГ Polarity	Active Low
	GTETRГ Noise Filter	PCLKB/128
	▼ Interrupts	
	Callback	g_poe_overcurrent
	Interrupt Priority	Priority 0 (highest)

図 2-29 POEG ドライバの FSP コンフィグレーション

## 2.3 ソフトウェア構成

## 2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成

ソフトウェアのフォルダとファイル構成を下記に示します。

表 2-7 ソフトウェアフォルダ構成[1/2]

フォルダ	サブフォルダ	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、メイン関数等	
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
		r_adc_api.h		AD API 定義
		r_elc_api.h(RA4T1,RA6T3,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_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)		AD 関連定義
		r_adc.h(RA4T1,RA6T3,RA8T1)		
		r_agt.h		AGT 関連定義
		r_elc.h(RA4T1,RA6T3,RA8T1 のみ)		elc 関連定義
		r_gpt_three_phase.h		3相 PWM 関連定義
		r_gpt.h		GPT 関連定義
		r_ioport.h		I/O 関連定義
		r_poeg.h		POEG 関連定義
		rm_motor_current.h		電流制御関連定義
		rm_motor_driver.h		モータドライバ関連定義
		rm_motor_sense_hall.h		角速度推定処理関連定義
	rm_motor_hall.h		ホールセンサ制御関連定義	
	rm_motor_speed.h		速度関連定義	
fsp/lib			ライブラリファイル	

表 2-8 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)	AD ドライバ
		r_adc/r_adc.c(RA4T1,RA6T3,RA8T1)	
		r_agt/r_agt.c	AGT ドライバ
		r_elc/r_elc.c(RA4T1,RA6T3,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_current/rm_motor_current.c	電流制御ドライバ
		rm_motor_current/rm_motor_current_library.h	電流制御ライブラリ API 定義
		rm_motor_driver/rm_motor_driver.c	モータドライバ
		rm_motor_sense_hall/rm_motor_sense_hall.c	角度推定ドライバ
		rm_motor_hall/rm_motor_hall.c	ホールセンサ モータドライバ
		rm_motor_speed/rm_motor_speed.c	速度制御ドライバ
rm_motor_speed/rm_motor_speed_library.h	速度制御ライブラリ API 定義		
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/user_interface/ics	r_mtr_ics.h , r_mtr_ics.c	Analyzer UI 関連 関数定義
		ICS2_RA6T2.h , ICS2_RA4T1.h , ICS2_RA6T3.h , ICS2_RA8T1.h	ツール用通信 ライブラリ
		ICS2_RA6T2.o , ICS2_RA4T1.o , ICS2_RA6T3.o , ICS2_RA8T1.o	ツール用通信関連 定義

2.3.2 モジュール構成

サンプルソフトウェアのモジュール構成を図 2-30 に示します。

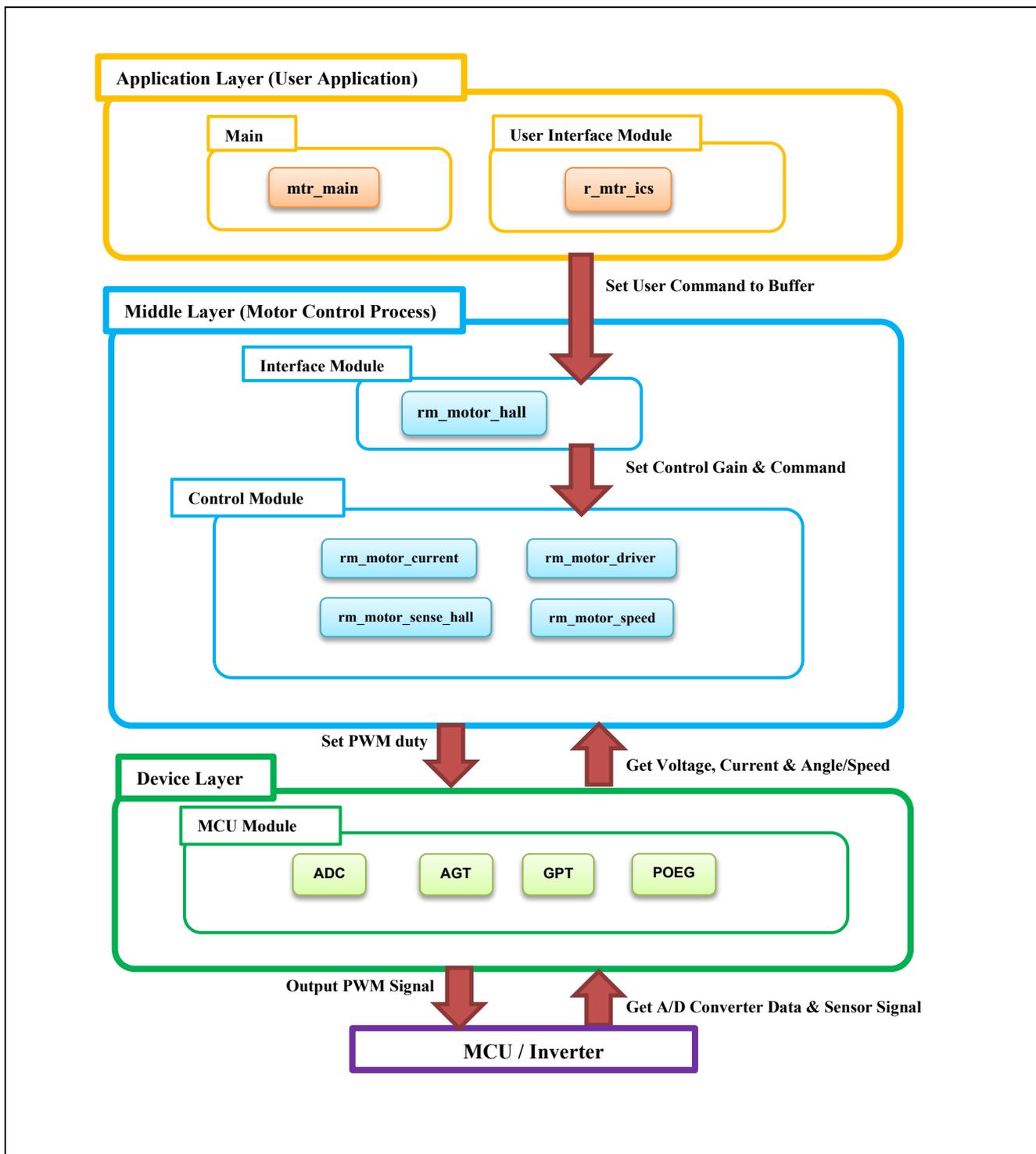


図 2-30 モジュール構成

## 2.4 ソフトウェアスペック

サンプルソフトウェアのソフトウェア基本仕様を下記に示します。

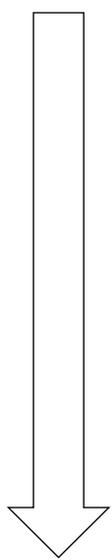
表 2-9 ホールセンサベクトル制御ソフトウェア基本仕様

項目	内容	
制御方式	ベクトル制御	
モータ回転開始/停止	SW1 のレベルにより判定 または Renesas Motor Workbench から入力	
回転子磁極位置検出	ホールセンサ	
入力電圧	DC 24V	
メインロック周波数	RA6T2 : 240 [MHz] RA6T3 : 200 [MHz] RA4T1 : 100 [MHz] RA8T1 : 480 [MHz]	
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 (電流 / 位置・速度推定)	RA6T2 : 50 [μs] RA6T3 : 50 [μs] RA4T1 : 100 [μs] RA8T1 : 50 [μs]	
制御周期(速度)	RA6T2 : 500 [μs] RA6T3 : 500 [μs] RA4T1 : 1000 [μs] RA8T1 : 500 [μs]	
回転速度範囲	CW : 0 [rpm] ~ 2400 [rpm] CCW : 0 [rpm] ~ 2400 [rpm]	
各制御系固有周波数	電流制御系 : 300 [Hz] 速度制御系 : 5 [Hz] 誘起電圧推定系 : 1000 [Hz] 位置推定系 : 50 [Hz]	
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)
保護停止処理	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  (1) 各相の電流が $3.54(=1.67 \cdot \sqrt{2}) \cdot 1.5$ [A] を超過(電流制御周期で監視) (2) インバータ母線電圧が 60 [V] を超過(電流制御周期で監視) (3) インバータ母線電圧が 8[V]未満(電流制御周期で監視) (4) 回転速度が 4500 [rpm] を超過(電流制御周期で監視)  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	

## 2.5 割り込み優先順位

サンプルソフトウェアで使用している割り込みと優先順位を以下に示します。

表 2-10 割り込み優先順位

割り込みレベル	優先度	処理
15	Min  Max	
14		
13		
12		
11		
10		AGT0 INT 速度制御割り込み処理
9		
8		
7		
6		
5		ADC0 ADIO ADC0 SCAN END(RA4T1,RA6T3,RA8T1) A/D 変換完了割り込み(電流制御割り込み処理)
4		
3		
2		
1		
0		POEG3 EVENT(RA6T2) POEG1 EVENT(RA4T1,RA6T3) POEG0 EVENT(RA8T1) 過電流異常割り込み

Allocations		
Interrupt	Event	ISR
0	POEG3 EVENT (Port Output disable interrupt D)	poeg_event_isr
1	AGT0 INT (AGT interrupt)	agt_int_isr
2	ADC0 ADIO (End of A/D scanning operation(Gr.0))	adc_b_adi0_isr

図 2-31 RA6T2 FSP 割り込みコンフィグレーション

Allocations		
Interrupt	Event	ISR
0	AGT0 INT (AGT interrupt)	agt_int_isr
1	ADC0 SCAN END (A/D scan end interrupt)	adc_scan_end_isr
2	POEG1 EVENT (Port Output disable interrupt B)	poeg_event_isr

図 2-32 RA4T1/6T3 FSP 割り込みコンフィグレーション

Allocations		
Interrupt	Event	ISR
0	AGT0 INT (AGT interrupt)	agt_int_isr
1	ADC0 SCAN END (End of A/D scanning operation)	adc_scan_end_isr
2	POEG0 EVENT (Port Output disable interrupt A)	poeg_event_isr

図 2-33 RA8T1 FSP 割り込みコンフィグレーション

### 3. 制御ソフトウェア説明

#### 3.1 制御内容

##### 3.1.1 モータ起動/停止

モータの起動と停止は、Renesas Motor Workbench からの入力または SW1 からの入力によって制御します。SW1 には汎用ポートが割り当てられ、“High”レベルのときスタートスイッチが ON していると判断し、“Low”レベルのときはモータを停止すると判断します。

##### 3.1.2 A/D 変換

###### (1) モータ回転速度指令値

モータの回転速度指令値は Renesas Motor Workbench からの入力または VR1 の出力値(アナログ値)を A/D 変換することによって決定します。A/D 変換された値は、以下の表のように、回転速度指令値として使用します。

表 3-1 回転速度指令値の変換比

項目	変換比 (指令値 : A/D 変換値)	
回転速度指令値	CW	0 [rpm]~2400[rpm] : 0800H~0FFFH
	CCW	0 [rpm]~2400[rpm] : 07FFH~0000H

###### (2) インバータ母線電圧

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

表 3-2 インバータ母線電圧の変換比

項目	変換比 (インバータ母線電圧 : A/D 変換値)
インバータ母線電圧	0 [V]~73.26 [V] : 0000H~0FFFH

###### (3) U 相、V 相、W 相電流

以下の表のように、U 相、V 相、W 相電流を測定し、ベクトル制御に使用します。

表 3-3 U、V、W 相電流の変換比

項目	変換比 (U 相、W 相電流 : A/D 変換値)
U 相、V 相、W 相電流	-8.25 [A]~8.25 [A] : 0000H~0FFFH <sup>注</sup> 電流値=(3.3V-1.65V)/(0.01Ohm*20)=8.25A

## 3.1.3 変調

サンプルソフトウェアでは、モータへの入力電圧はパルス幅変調（以降、PWM）によって生成します。PWM Duty 比の算出を行い、電圧利用効率を上げるために、変調を行った電圧を出力できます。

## 3.1.3.1 正弦波変調

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

## 3.1.3.2 空間ベクトル変調

永久磁石同期モータのベクトル制御において、一般的に所望の各相電圧指令値は正弦波状に生成します。ところが、そのまま PWM 生成のための変調波として使用すると、実際にモータに印加される電圧のインバータ母線電圧に対する電圧利用率は線間電圧換算で最大 86.7[%]となってしまいます。そこで、下記式にあるように各相電圧指令値の最大値と最小値の平均値を算出し、それらを各相電圧指令値から減算したものを変調波として使用します。その結果、変調波の最大振幅は $\sqrt{3}/2$ 倍となり、線間電圧はそのままに電圧利用率は 100[%]となります。

$$\begin{pmatrix} V'_u \\ V'_v \\ V'_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{pmatrix} + \Delta V \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\therefore \Delta V = -\frac{V_{max} + V_{min}}{2}, \quad V_{max} = \max\{V_u, V_v, V_w\}, \quad V_{min} = \min\{V_u, V_v, V_w\}$$

$V_u, V_v, V_w$  : U, V, W 相電圧指令値

$V'_u, V'_v, V'_w$  : PWM 生成用 U, V, W 相電圧指令値(変調波)

変調率  $m$  を以下のように定義します。

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

$m$  : 変調率     $V'$  : PWM生成用相電圧指令     $E$  : インバータ母線電圧

3.1.4 状態遷移

図 3-1 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。

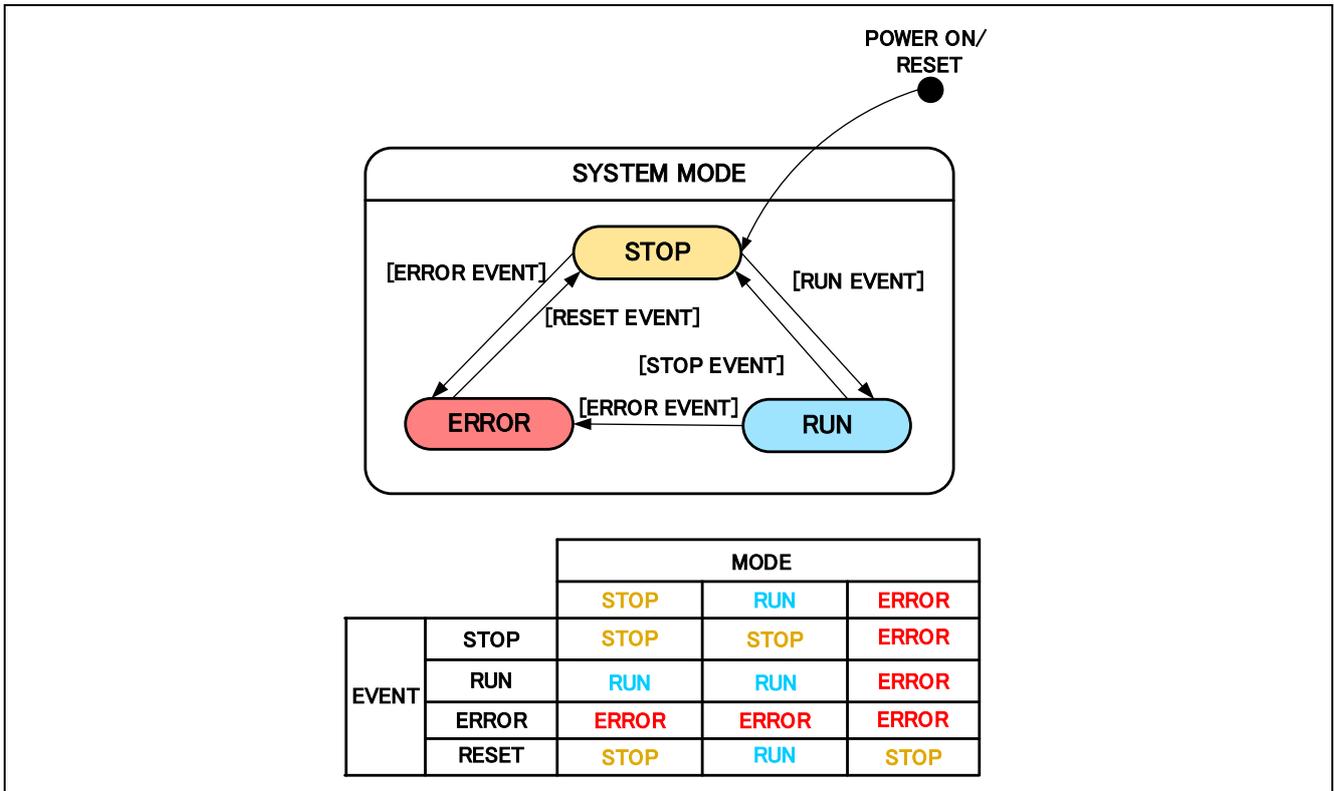


図 3-1 ホールセンサ/センサレスベクトル制御ソフトウェアの状態遷移図

(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 (INACTIVE)、モータ駆動 (ACTIVE)、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 3-1 中の表の様に遷移します。各 EVENT の発生要因は下記となります。

表 3-4 EVENT 一覧

イベント名	発生要因
STOP	ユーザー操作により発生します
RUN	ユーザー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	ユーザー操作により発生します

## 3.1.5 電気速度・角度推定

## 3.1.5.1 速度推定

回転速度の推定は以下のアルゴリズムによって行います。

ホールセンサ信号の変化をキャリア割り込みで確認し、ホール信号の変化の間に何回のキャリア割り込みが発生したかをカウントすることで電気角  $2\pi/6$ [rad](ホール信号変化 1 区間)の期間計測を行います。

$$\text{電気角 } 2\pi/6 \text{ 期間}[\mu\text{sec}] = \text{キャリア割り込み回数} \times \text{キャリア割り込み周期}(50\mu\text{sec})$$

これにより電気角速度を得ることが出来ます。

$$\text{電気角速度}[\text{rad/sec}] = 2\pi/6[\text{rad}] \div \text{電気角 } 2\pi/6 \text{ 期間}[\mu\text{sec}]$$

但し、ホール信号変化 1 区間での推定だと信号誤差による影響が大きいと考えられるため内部処理としては、直前の信号変化 6 回分(電気角 1 周)の値を用いて演算を行っています。

$$\text{電気角速度}[\text{rad/sec}] = 2\pi[\text{rad}] \div \text{電気角 } 2\pi \text{ 期間}(2\pi/6 \text{ 期間 } 6 \text{ 回分})[\mu\text{sec}]$$

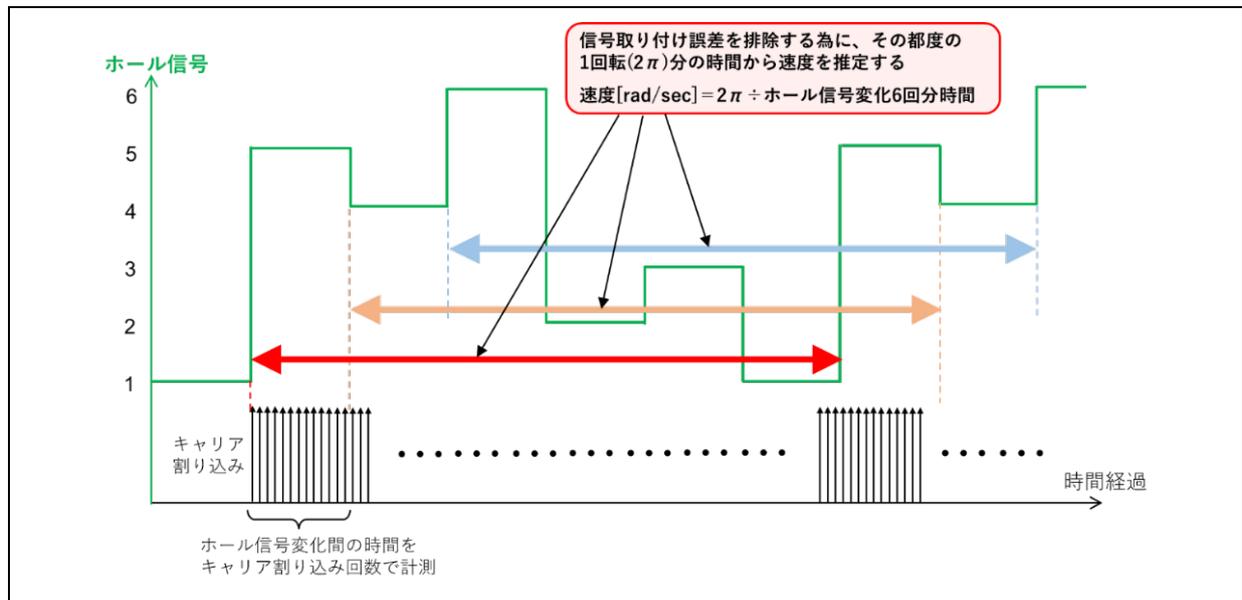


図 3-2 速度推定概念図

※実装上では角度演算時の演算を簡略化するため、以下のような演算に置き換えています。

$$\text{キャリア一周期電気角変化量}[\text{rad}] = 2\pi[\text{rad}] \div \text{キャリア割り込み回数}(2\pi \text{ 期間})$$

$$\text{電気角速度}[\text{rad/sec}] = \text{キャリア一周期電気角変化量}[\text{rad}] \times \text{キャリア周波数}[\text{Hz}]$$

3.1.5.2 角度推定

以下の情報から電気角を推定します。

- A) 回転方向
- B) 推定速度

回転方向はホールセンサ信号パターンにより検出します。ホールセンサ信号のパターンは使用するモータにより決まっているので、信号が変化した際にその直前のホールセンサ信号と今回のホールセンサ信号を比較することで回転方向を検出することが可能となります。

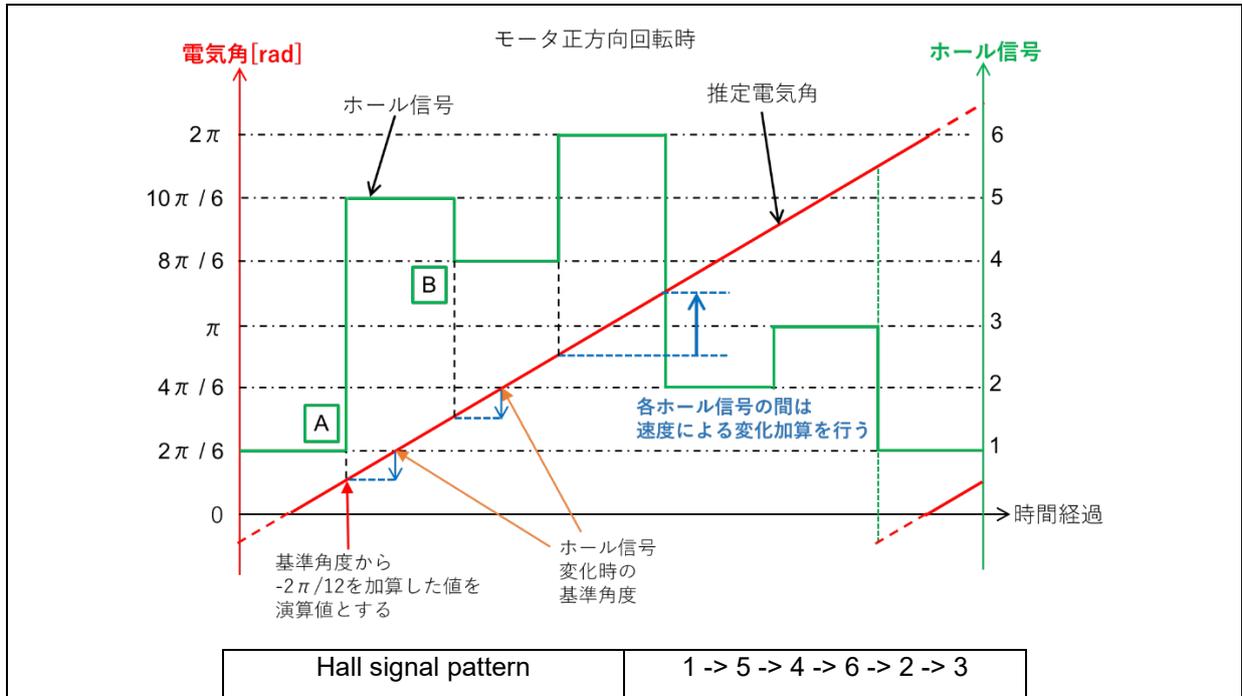


図 3-3 電気角度推定（正方向回転時）

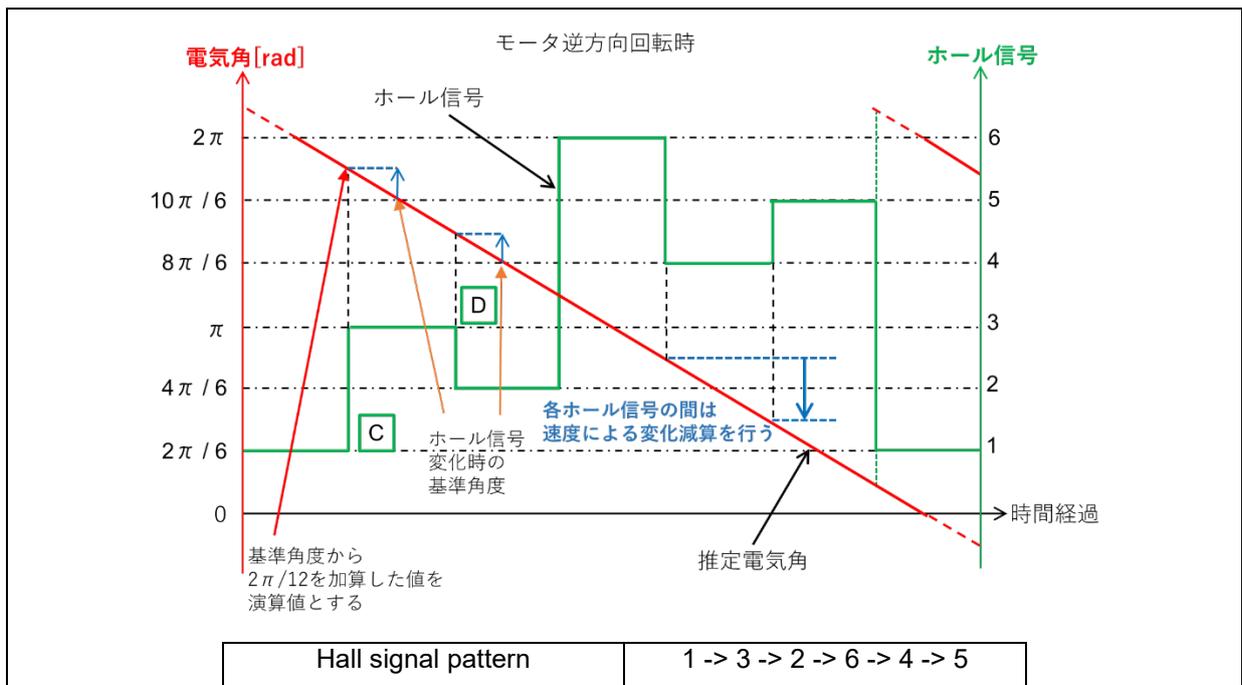


図 3-4 電気角度推定（逆方向回転時）

図 3-3 A 点ではホール信号が 1→5 と変化しています。これからモータの回転方向を正方向と判断出来ます。ここで電気角を以下の様に設定します。

A 点(正方向回転時)

$$\text{電気角[rad]} = 2\pi[\text{rad}] \times \text{基準角度調整値}(1/6) + \text{ホール信号内角度[rad]} + \text{オフセット値[rad]}$$

各ホール信号の変化点において  $2\pi/6[\text{rad}]$  の基準角度をもって電気角を推定します。用いる基準角度調整値はホール信号に応じて表 3-5 のように設定します。

表 3-5 基準角度調整値一覧

ホール信号	1	5	4	6	2	3
基準角度調整値	0(0/6)	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6

図 3-3 A 点ではホール信号が 1→5 と変化しているため、基準角度調整値はホール信号 5 に対応する  $1/6$  を設定します。

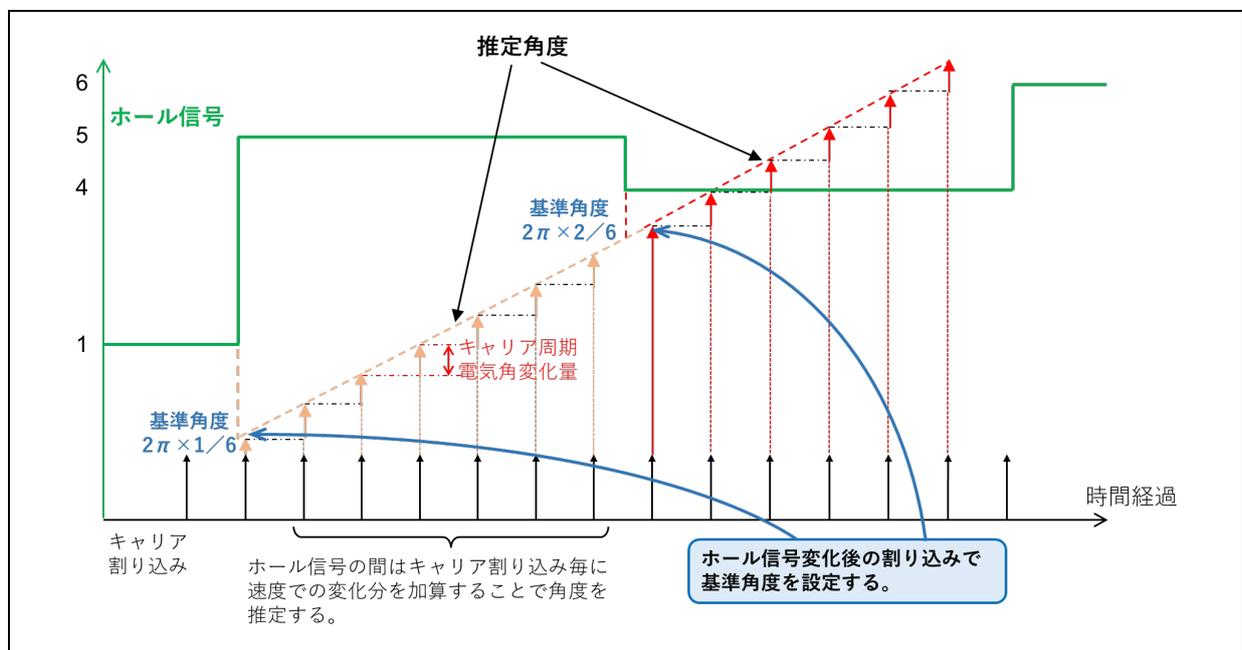


図 3-5 ホール信号内角度推定概念図(正方向回転時)

ホール信号内角度はホール信号変化点において正方向回転であれば  $-2\pi/12[\text{rad}]$ 、逆方向回転であれば  $2\pi/12[\text{rad}]$  を初期値として設定します。そして、キャリア割り込みが発生するたびに、推定速度情報に基づいて差分値を加算していきます。但し、信号誤差や速度変動を考慮して  $-2\pi/12[\text{rad}] \sim 2\pi/12[\text{rad}]$  の範囲の値としています。

正方向回転時

ホール信号内角度[rad]

$$= \text{初期値}(-2\pi/12) + \text{推定速度[rad/sec]} \times \text{キャリア割り込み周期}(50\mu\text{sec}) \times \text{キャリア割り込み回数}$$

逆方向回転時

ホール信号内角度[rad]

$$= \text{初期値}(-2\pi/12) - \text{推定速度[rad/sec]} \times \text{キャリア割り込み周期}(50\mu\text{sec}) \times \text{キャリア割り込み回数}$$

いずれも  $-2\pi/12 \sim 2\pi/12$  の範囲を超えた場合は丸め込みます。

※実装上では処理の簡略化のためキャリア周期電気角変化量を用いて以下のように計算しています。

正方向回転時

$$\text{ホール信号内角度[rad]} = \text{初期値}(-2\pi/12[\text{rad}]) + \text{キャリア一周周期電気角変化量[rad]}$$

逆方向回転時

$$\text{ホール信号内角度[rad]} = \text{初期値}(2\pi/12[\text{rad}]) - \text{キャリア一周周期電気角変化量[rad]}$$

オフセット値はモータ固有の調整値で主にホール信号誤差（センサ取り付け誤差）等を吸収する為に設定します。

同様に、図 3-3 B 点ではホール信号が 5→4 に変化していることから、表 3-5 の基準角度調整値を用いて電気角を以下の様に設定します。

B 点(正方向回転時)

$$\text{電気角[rad]} = 2\pi[\text{rad}] \times \text{基準角度調整値}(2/6) + \text{ホール信号内角度[rad]} + \text{オフセット値[rad]}$$

図 3-4 C 点では、ホール信号が 1→3 と変化しています。これからモータの回転方向を逆方向と判断出来ます。そのため、表 3-5 の基準角度調整値を用いて電気角を以下の様に設定します。

C 点(逆方向回転時)

$$\text{電気角[rad]} = 2\pi[\text{rad}] \times \text{基準角度調整値}(5/6) + \text{ホール信号内角度[rad]} + \text{オフセット値[rad]}$$

同様に、図 3-4 D 点ではホール信号が 3→2 に変化していることから、表 3-5 の基準角度調整値を用いて電気角を以下の様に設定します。

D 点(逆方向回転時)

$$\text{電気角[rad]} = 2\pi[\text{rad}] \times \text{基準角度調整値}(4/6) + \text{ホール信号内角度[rad]} + \text{オフセット値[rad]}$$

## 3.1.6 始動方法

サンプルソフトウェアの始動制御内容を図 3-6 に示します。始動直後から速度制御による q 軸電流指令値で駆動します。

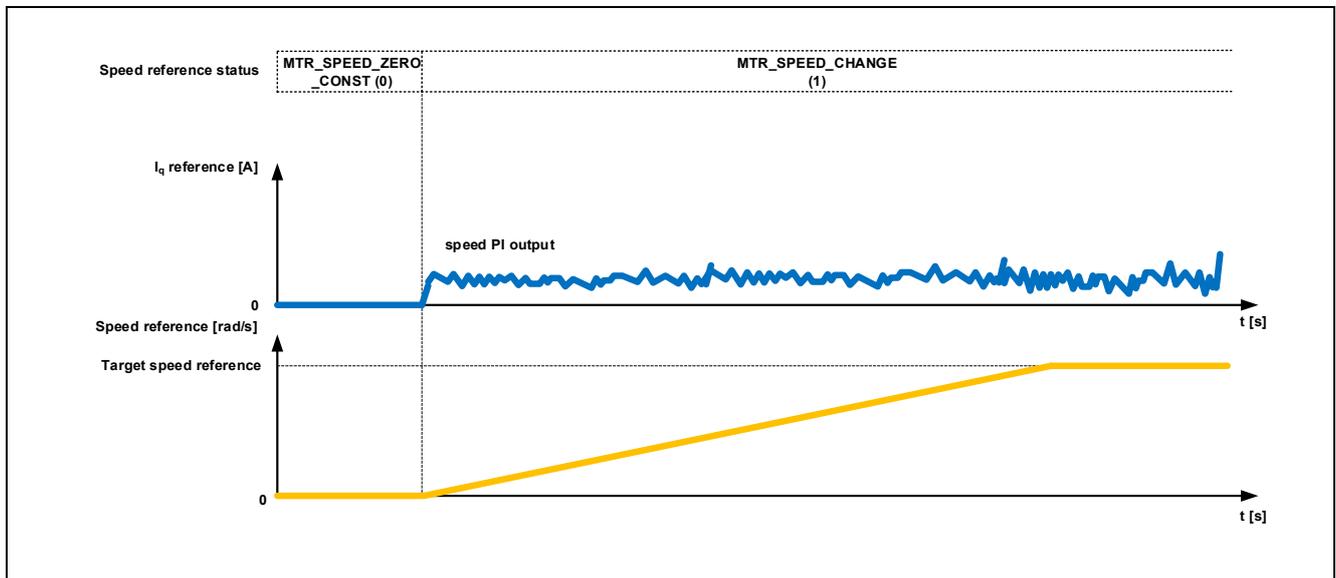


図 3-6 ホールセンサベクトル制御ソフトウェアの始動制御内容

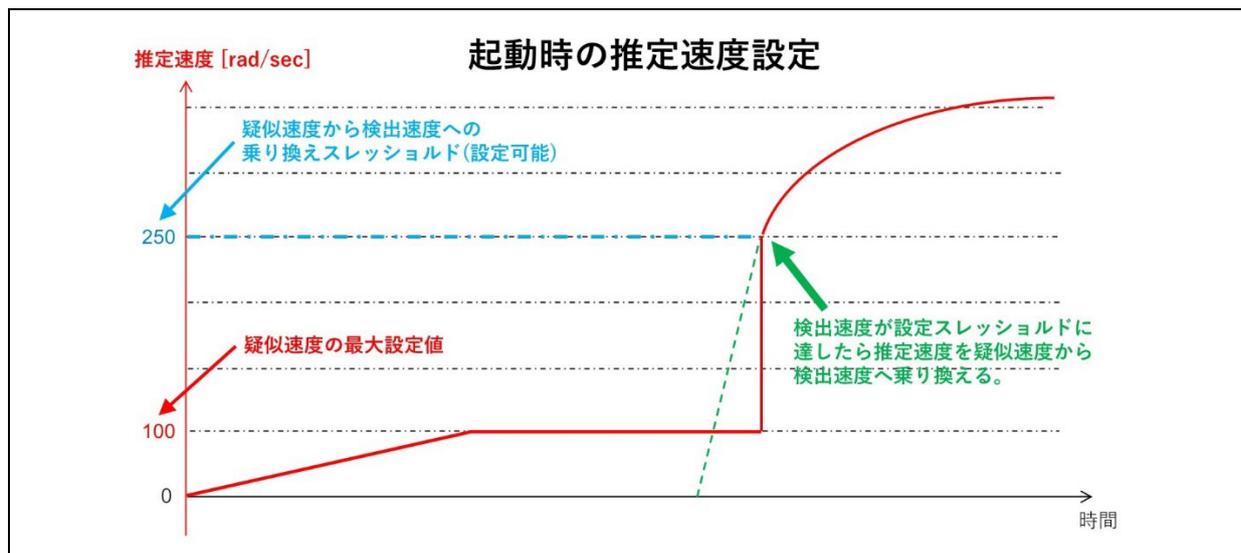


図 3-7 疑似速度推定概念図

但し、この速度推定方式では、電気角 1 周( $2\pi$  [rad])分の情報が取れるまでは、正しい速度情報を推定することができません。

そのため、起動後ある程度回転が安定するまでの期間は、ステップに従って積み上げる疑似速度推定値を使用することでスムーズな始動を実現しています。

回転安定はホール信号による推定速度が設定値( $f4\_start\_speed\_rad$ )に達したことで判定します。設定値に検出値が達したら推定速度を検出値側へ移行します。それまでは疑似速度による積み上げ速度を推定値として用います。

## 3.1.7 保護機能

サンプルソフトウェアは、以下のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止する機能を実装しています。システム保護機能に関わる各設定値は表 3-6 を参照してください。

- 過電流エラー  
ハードウェアからの緊急停止信号(過電流検出)により、PWM 出力端子をハイインピーダンスにします。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等を考慮して設定した値です。
- 低電圧エラー  
低電圧監視周期でインバータ母線電圧を監視し、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等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 3-6 各システム保護機能設定値

エラー	閾値		監視周期
	項目	値	
過電流エラー	過電流リミット値 [A]	3.54	電流制御周期
過電圧エラー	過電圧リミット値 [V]	60	電流制御周期
低電圧エラー	低電圧リミット値 [V]	8	電流制御周期
回転速度エラー	速度リミット値 [rpm]	4500	電流制御周期



### 3.2 ホールセンサベクトル制御ソフトウェア関数仕様

ホールセンサベクトル制御の制御ブロック図を示します。

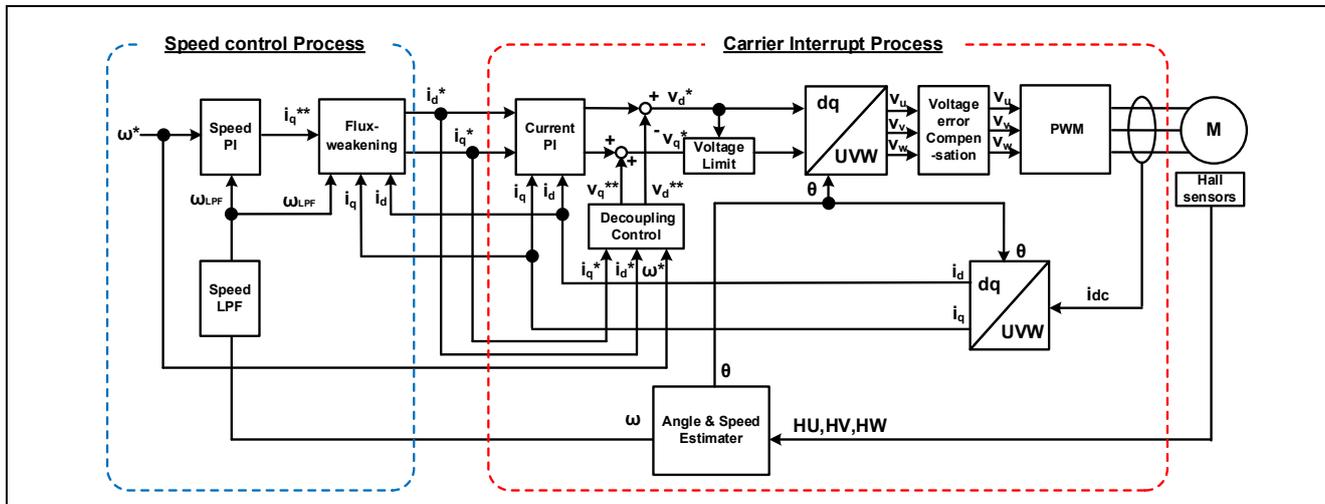


図 3-9 ホールセンサベクトル制御概略ブロック図

## 3.3 関数一覧表

表 3-7 電流制御周期割り込み関数内実行関数一覧(1/5)

ファイル名	関数名	処理概要
mtr_main.c	mtr_callback_event 入力：(motor_callback_args_t*) p_args / コールバック関数パラメータデータ 出力：なし	ホールセンサ制御コールバック関数
rm_motor_hall.c	rm_motor_hall_current_callback 入力：(motor_current_callback_args_t*) p_args / コールバック関数パラメータデータ 出力：なし	速度制御の出力を電流制御の入力にセット
	RM_MOTOR_HALL_ErrorCheck 入力：(motor_ctrl_t* const) p_ctrl / モータ制御構造体ポインタ (uint16_t* const) p_error / モータエラー情報 出力：fsp_err_t / 関数実行結果	エラーチェック
	rm_motor_hall_copy_speed_current 入力：(motor_speed_output_t*) st_output / 速度制御出力データ (motor_current_input_t*) st_input / 電流制御入力データ 出力：なし	速度出力データを電流入力データにコピー

表 3-8 電流制御周期割り込み関数内実行関数一覧(2/5)

ファイル名	関数名	処理概要
rm_motor_driver.c	rm_motor_driver_cyclic 入力 : (adc_callback_args_t *) p_args / コールバック関数パラメータデータ 出力 : なし	モータドライバコールバック関数
	rm_motor_driver_current_get 入力 : (motor_driver_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータドライバインスタンス 出力 : なし	A/D 変換データを取得 (相電流と母線電圧)
	RM_MOTOR_DRIVER_FlagCurrentOffsetGet 入力 : (motor_driver_ctrl_t * const) p_ctrl / モータドライバ制御構造体ポインタ (uint8_t * const) p_flag_offset / 電流オフセット検出完了フラグ 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	電流オフセット値を測定
	RM_MOTOR_DRIVER_PhaseVoltageSet 入力 : (motor_driver_ctrl_t * const) p_ctrl / モータドライバ制御構造体ポインタ (float const) u_voltage / U 相電圧 (float const) v_voltage / V 相電圧 (float const) w_voltage / W 相電圧 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	PWM デューティ計算用の相電圧データを設定
	rm_motor_driver_modulation 入力 : (motor_driver_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータドライバインスタンス 出力 : なし	PWM 変調の実行
	rm_motor_driver_mod_run 入力 : (motor_driver_instance_ctrl_t *) p_ctrl // モータドライバインスタンス (const float *) p_f4_v_in / 入力三相電圧 (float *) p_f4_duty_out / 出力デューティ 出力 : なし	入力三相電圧 (バイポーラ) からデューティサイクルを計算
	rm_motor_driver_set_uvw_duty 入力 : (motor_driver_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータドライバインスタンス (float) f_duty_u / U 相デューティ (float) f_duty_v / V 相デューティ (float) f_duty_w / W 相デューティ 出力 : なし	PWM デューティ設定
	RM_MOTOR_DRIVER_CurrentGet 入力 : (motor_driver_ctrl_t * const) p_ctrl / モータドライバコントロールブロック (motor_driver_current_get_t * const) p_current_get / 取得データ 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	相電流、Vdc、Va_max データを取得

表 3-9 電流制御周期割り込み関数内実行関数一覧(3/5)

ファイル名	関数名	処理概要
rm_motor_current.c	rm_motor_current_cyclic 入力 : (motor_driver_callback_args_t *) p_args / コールバック関数パラメータデータ 出力 : なし	電流制御周期動作
	RM_MOTOR_CURRENT_ParameterSet 入力 : (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (motor_current_input_current_t const * const) p_st_input / インプット電流データ 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	電流制御入力データを設定
	RM_MOTOR_CURRENT_CurrentSet 入力 : (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (motor_current_input_current_t const * const) p_st_current / インプット電流データ (motor_current_input_voltage_t const * const) p_st_voltage / インプット電圧データ 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	d/q 軸の電流と電圧のデータを設定
	RM_MOTOR_CURRENT_CurrentGet 入力 : (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (float * const) p_id / 取得した d 軸電流へのポインタ (float * const) p_iq / 取得した q 軸電流へのポインタ 出力 : fsp_err_t / 関数実行結果	d/q 軸電流を取得
	motor_current_transform_uv_w_dq_abs 入力 : (const float) f_angle / 回転角度 (const float *) f_uv_w / UVW 相ポインタ (float *) f_dq / dq 軸ポインタ 出力 : なし	UVW → dq 座標変換(絶対変換)

表 3-10 電流制御周期割り込み関数内実行関数一覧(4/5)

ファイル名	関数名	処理概要
rm_motor_current.c	motor_current_angle_cyclic 入力: (motor_current_instance_t *) p_instance / 電流インスタンス 出力: なし	電流制御の周期動作における角度/速度プロセス
	RM_MOTOR_CURRENT_SpeedPhaseSet 入力: (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (float const) speed_rad / 回転速度 (float const) phase_rad / 位相 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	電流速度とロータ位相データを設定
	RM_MOTOR_CURRENT_CurrentReferenceSet 入力: (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (float const) id_reference / d 軸電流指令 (float const) iq_reference / q 軸電流指令 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	電流指令値を設定
	RM_MOTOR_CURRENT_PhaseVoltageGet 入力: (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流制御構造体ポインタ (motor_current_get_voltage_t * const) p_voltage / 取得電圧データ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	設定された相電圧を取得
	motor_current_pi_calculation 入力: (motor_current_instance_ctrl_t *) p_instance / 電流インスタンスコントロール 出力: なし	電流ベクトルコマンドと実際の電流ベクトルから出力電圧ベクトルを計算
	motor_current_pi_control 入力: (motor_current_pi_params_t *) pi_ctrl / PI 制御パラメータ 出力: float / PI 制御出力値	PI 制御
	motor_current_limit_abs 入力: (float) f4_value / ターゲットの値 (float) f4_limit_value / 制限値 出力: float / 制限した値	絶対値の制限
	motor_current_decoupling 入力: (motor_current_instance_ctrl_t *) p_ctrl / 電流制御インスタンス (float) f_speed_rad / 回転速度 (const motor_current_motor_parameter_t *) p_mtr / モータ電流パラメータ 出力: なし	非干渉制御
motor_current_voltage_limit 入力: (motor_current_instance_ctrl_t *) p_ctrl / 電流制御インスタンス 出力: なし	電圧ベクトルの制限	

表 3-11 電流制御周期割り込み関数内実行関数一覧(5/5)

ファイル名	関数名	処理概要
rm_motor_current.c	motor_current_transform_dq_uvuw_abs 入力: (const float) f_angle / 回転角度 (const float *) f_dq / dq 軸ポインタ (float *) f_uvuw / UVW 相ポインタ 出力: なし	dq → UVW 座標変換(絶対変換)
librm_motor_current.a	rm_motor_voltage_error_compensation_main 入力: (motor_currnt_voltage_compensation_t *) st_volt_comp / 電圧誤差補償データ (float *) p_f4_v_array / リファレンス電圧 (float *) p_f4_i_array / リファレンス電流 (float) f4_vdc / 母線電圧 出力: なし	電圧誤差補償
rm_motor_sense_hall.c	RM_MOTOR_SENSE_HALL_FlagPiCtrlSet 入力: (motor_angle_ctrl_t * const) p_ctrl / 角度制御構造体ポインタ (uint32_t const) flag_pi / PI 制御実行中フラグ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	PI 制御実行のフラグを設定
	RM_MOTOR_SENSE_HALL_SpeedSet 入力: (motor_angle_ctrl_t * const) p_ctrl / 角度制御構造体ポインタ (float const) speed_ctrl / リファレンス回転速度 (float const) damp_speed / ダンピング回転速度 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	速度情報を設定
	RM_MOTOR_SENSE_HALL_AngleSpeedGet 入力: (motor_angle_ctrl_t * const) p_ctrl / 角度制御構造体ポインタ (float * const) p_angle / 角度データ (float * const) p_speed / 速度データ (float * const) p_phase_err / 位相誤差データ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	ロータの角度と回転速度を取得 (位相誤差データは取得出来ません)
r_gpt_three_phase.c	R_GPT_THREE_PHASE_DutyCycleSet 入力: (three_phase_ctrl_t * const) p_ctrl / 三相タイマ制御構造体ポインタ (three_phase_duty_cycle_t * const) p_duty_cycle / 設定デューティサイクル 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	各タイマのデューティサイクル設定

表 3-12 速度制御周期割り込み関数内実行関数一覧(1/3)

ファイル名	関数名	処理概要
mtr_main.c	mtr_callback_event 入力: motor_callback_args_t * p_args / コールバック関数/パラメータデータ 出力: なし	ホールセンサ制御コールバック関数
	get_vr1 入力: なし 出力: uint16_t / 変換値	VR1 の A/D 変換値取得
rm_motor_current.c	RM_MOTOR_CURRENT_ParameterGet 入力: (motor_current_ctrl_t * const) p_ctrl / 電流コントロールブロック (motor_current_output_t const * const) p_st_output / アウトプット電流データ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	電流制御から速度制御入力データを取得
rm_motor_hall.c	rm_motor_hall_speed_callback 入力: (motor_speed_callback_args_t *) p_args / コールバック関数 パラメータデータ 出力: なし	速度制御コールバック関数
	rm_motor_hall_copy_current_speed 入力: (motor_current_output_t *) st_output / 電流出力データ (motor_speed_input_t *) st_input / 速度入力データ 出力: なし	電流出力データを速度入力データにコピー

表 3-13 速度制御周期割り込み関数内実行関数一覧(2/3)

ファイル名	関数名	処理概要
rm_motor_speed.c	rm_motor_speed_cyclic 入力: (timer_callback_args_t *) p_args / コールバック関数パラメータデータ 出力: なし	速度制御の周期動作 (タイマ割り込み時の呼び出し)
	RM_MOTOR_SPEED_ParameterSet 入力: (motor_speed_ctrl_t * const) p_ctrl / モータ速度コントロールブロック (motor_speed_input_t const * const) p_st_input / 速度入力パラメータ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	速度入力パラメータを設定
	RM_MOTOR_SPEED_SpeedControl 入力: (motor_speed_ctrl_t * const) p_ctrl / モータ速度コントロールブロック 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	d/q 軸電流指令値を計算 (速度制御のメインプロセス)
	rm_motor_speed_set_speed_ref_hall 入力: (motor_speed_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータ速度インスタンス 出力: float / リファレンス速度	速度指令値を更新
	rm_motor_speed_set_iq_ref_hall 入力: (motor_speed_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータ速度インスタンス 出力: float / q 軸リファレンス電流	q 軸の電流指令値を更新
	rm_motor_speed_set_id_ref_hall 入力: (motor_speed_instance_ctrl_t *) p_ctrl / モータ速度インスタンス 出力: float / d 軸リファレンス電流	d 軸の電流指令値を更新
	RM_MOTOR_SPEED_ParameterGet 入力: (motor_speed_ctrl_t * const) p_ctrl / モータ速度コントロールブロック (motor_speed_output_t * const) p_st_output / 速度出力データ 出力: fsp_err_t / 関数実行結果	速度制御の出力パラメータを取得

表 3-14 速度制御周期割り込み関数内実行関数一覧(3/3)

ファイル名	関数名	処理概要
librm_motor_speed.a	rm_motor_speed_first_order_lpf 入力 : (motor_speed_lpf_t *) p_lpf / 一次 LPF 構造体ポインタ (float) f_input / 入力データ 出力 : float / フィルター後のデータ	一次 LPF 処理
	rm_motor_speed_fluxwkn_set_vamax 入力 : (motor_speed_flux_weakening_t *) p_fluxwkn / 弱め磁束構造体ポインタ (float) f4_va_max / 最大電圧ベクトル 出力 : なし	最大電圧ベクトルを設定
	rm_motor_speed_fluxwkn_run 入力 : (motor_speed_flux_weakening_t *) p_fluxwkn / 弱め磁束構造体ポインタ (float) f4_speed_rad / モータ電気速度 (const float *) p_f4_idq / d/q 軸電流 (float *) p_f4_idq_ref / d/q 軸リファレンス電流 出力 : なし	弱め磁束制御実行

### 3.4 Contents of control

#### 3.4.1 Configuration Options

モータ用ホールセンサベクトル制御モジュールの構成オプションは、RA Configurator を使用して構成できます。変更されたオプションは、コードの生成時に `hal_data.c/h` に自動的に反映されます。オプション名と設定値を以下の表に記載します。

表 3-15 Configuration Options (rm\_motor\_hall.h)

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)	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)	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。

表 3-16 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_hall.h)

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
Limit of over current (A)	1.67	1.67	1.67	1.67
Limit of over voltage (V)	60.0	60.0	60.0	60.0
Limit of over speed (rpm)	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
Limit of low voltage (V)	8.0	8.0	8.0	8.0

#### 3.4.2 Configuration Options for included modules

モータ用センサレスベクトル制御モジュールには、以下のモジュールが含まれます。

- Current Module
- Speed Module
- Angle Module
- Driver Module

またこれらのモジュールには、センサレスベクトル制御モジュールと同じ構成パラメータがあります。オプション名と設定値を以下の表に示します。

表 3-17 電流制御用構成オプション

Configuration Options (rm_motor_current.h)	
オプション名	内容
General   Shunt type	シャント抵抗をいくつ用いて電流検出を行うかを選択します。
General   Current control decimation	電流制御の間引き
General   PWM carrier frequency (kHz)	PWM キャリア周波数
General   Input voltage (V)	入力電圧 [V]
General   Sample delay compensation	サンプル遅延補正の有効/無効を選択します。
General   Period magnification value	電圧誤差補正時の周期倍率
General   Voltage error compensation	電圧誤差補償の有効/無効を選択します。
General   Voltage error compensation table of voltage 1	電圧の電圧誤差補正テーブル 1
General   Voltage error compensation table of voltage 2	電圧の電圧誤差補正テーブル 2
General   Voltage error compensation table of voltage 3	電圧の電圧誤差補正テーブル 3
General   Voltage error compensation table of voltage 4	電圧の電圧誤差補正テーブル 4
General   Voltage error compensation table of voltage 5	電圧の電圧誤差補正テーブル 5
General   Voltage error compensation table of current 1	電流の電圧誤差補正テーブル 1
General   Voltage error compensation table of current 2	電流の電圧誤差補正テーブル 2
General   Voltage error compensation table of current 3	電流の電圧誤差補正テーブル 3
General   Voltage error compensation table of current 4	電流の電圧誤差補正テーブル 4
General   Voltage error compensation table of current 5	電流の電圧誤差補正テーブル 5
Design Parameter   Current PI loop omega	電流制御系固有周波数 [Hz]
Design Parameter   Current PI loop zeta	電流制御系減衰係
Motor Parameter   Pole pairs	極対数
Motor Parameter   Resistance (ohm)	抵抗 [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)	磁束 [Wb].
Motor Parameter   Rotor inertia (kgm <sup>2</sup> )	イナーシャ [kgm <sup>2</sup> ].

表 3-18 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_current.h)

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
General   Shunt type	2shunt	2shunt	2shunt	2shunt
General   Current control decimation	0	1	0	0
General   PWM carrier frequency (kHz)	20.0	20.0	20.0	20.0
General   Input voltage (V)	24.0	24.0	24.0	24.0
General   Sample delay compensation	Enable	Disable	Disable	Disable
General   Period magnification value	1.5	1.5	1.5	1.5
General   Voltage error compensation	Enable	Enable	Enable	Enable
General   Voltage error compensation table of voltage 1	0.477	0.477	0.477	0.477
General   Voltage error compensation table of voltage 2	0.742	0.742	0.742	0.742
General   Voltage error compensation table of voltage 3	0.892	0.892	0.892	0.892
General   Voltage error compensation table of voltage 4	0.979	0.979	0.979	0.979
General   Voltage error compensation table of voltage 5	1.009	1.009	1.009	1.009
General   Voltage error compensation table of current 1	0.021	0.021	0.021	0.021
General   Voltage error compensation table of current 2	0.034	0.034	0.034	0.034
General   Voltage error compensation table of current 3	0.064	0.064	0.064	0.064
General   Voltage error compensation table of current 4	0.158	0.158	0.158	0.158
General   Voltage error compensation table of current 5	0.400	0.400	0.400	0.400
Design Parameter   Current PI loop omega	300.0	300.0	300.0	300.0
Design Parameter   Current PI loop zeta	1.0	1.0	1.0	1.0
Motor Parameter   Pole pairs	4	4	4	4
Motor Parameter   Resistance (ohm)	1.3	1.3	1.3	1.3
Motor Parameter   Inductance of d-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter   Inductance of q-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter   Permanent magnetic flux (Wb)	0.01119	0.01119	0.01119	0.01119
Motor Parameter   Rotor inertia (kgm <sup>2</sup> )	0.00003666	0.00003666	0.00003666	0.00003666

表 3-19 速度制御用構成オプション

Configuration Options (rm_motor_speed.h)	
オプション名	内容
Common   Position support	位置制御可否選択
General   Speed control period (sec)	速度制御周期[sec]
General   Step of speed climbing (rpm)	速度変動のステップ値[rpm]。加速と減速でこの値によって速度を制御します。
General   Maximum rotational speed (rpm)	最大速度 [rpm]
General   Speed LPF omega	速度 LPF 固有周波数 [Hz]
General   Limit of q-axis current (A)	q 軸電流リミット [A]
General   Step of speed feedback at open-loop	オープンループ時指令速度ステップ(指令速度に対する割合を設定)
General   Natural frequency	外乱速度オブザーバの固有振動数
General   Open-loop damping	オープンループダンピング制御の選択
General   Flux weakening	弱め磁束制御の選択
General   Torque compensation for sensorless transition	センサレス切り替え制御の選択
General   Speed observer	速度オブザーバ処理の有効/無効を選択します。
General   Selection of speed observer	速度オブザーバの種類を選択します。
General   Control method	コントロール方式の選択(PID or IPD)
Open-Loop   Step of d-axis current climbing	d 軸電流指令値加算ステップ [A/msec]
Open-Loop   Step of d-axis current descending	d 軸電流指令値減算ステップ [A/msec]
Open-Loop   Step of q-axis current descending ratio	q 軸電流指令値減算ステップ [A/msec]
Open-Loop   Reference of d-axis current	オープンループ制御時 d 軸電流指令値 [A]
Open-Loop   Threshold of speed control descending	d 軸電流指令値減算開始速度[rpm]
Open-Loop   Threshold of speed control climbing	d 軸電流指令値加算開始速度 [rpm]
Open-Loop   Period between open-loop to BEMF (sec)	センサレス切り替え処理時間 [s]
Open-Loop   Phase error(degree) to decide sensor-less switch timing	センサレス制御切り替え可能位相誤差(電気角) [deg]
Design parameter   Speed PI loop omega	速度制御系固有周波数 [Hz]
Design parameter   Speed PI loop zeta	速度制御系減衰係数
Design parameter   Estimated d-axis HPF omega	d 軸誘起電圧 HPF カットオフ周波数 [Hz]
Design parameter   Open-loop damping zeta	オープンループダンピング制御減衰係数
Design parameter   Cutoff frequency of phase error LPF	位相誤差 LPF カットオフ周波数 [Hz]
Design parameter   Speed observer omega	速度オブザーバカットオフ周波数 [Hz]
Design parameter   Speed observer zeta	速度オブザーバ減衰係数
Motor Parameter   Pole pairs	極対数
Motor Parameter   Resistance (ohm)	抵抗 [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)	磁束 [Wb]
Motor Parameter   Rotor inertia (kgm <sup>2</sup> )	イナーシャ [kgm <sup>2</sup> ]

表 3-20 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_speed.h)

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
Common   Position support	-	-	-	-
General   Speed control period (sec)	0.0005	0.001	0.0005	0.0005
General   Step of speed climbing (rpm)	0.5	0.5	0.5	0.5
General   Maximum rotational speed (rpm)	2400.0	2400.0	2400.0	2400.0
General   Speed LPF omega	10.0	10.0	10.0	10.0
General   Limit of q-axis current (A)	1.67	1.67	1.67	1.67
General   Step of speed feedback at open-loop	0.2	0.2	0.2	0.2
General   Natural frequency	100.0	100.0	100.0	100.0
General   Open-loop damping	Disable	Disable	Disable	Disable
General   Flux weakening	Disable	Disable	Disable	Disable
General   Torque compensation for sensorless transition	Disable	Disable	Disable	Disable
General   Speed observer	Disable	Disable	Disable	Disable
General   Selection of speed observer	Normal	Normal	Normal	Normal
General   Control method	-	-	-	-
Open-Loop   Step of d-axis current climbing	0.3	0.3	0.3	0.3
Open-Loop   Step of d-axis current descending	0.3	0.3	0.3	0.3
Open-Loop   Step of q-axis current descending ratio	1.0	1.0	1.0	1.0
Open-Loop   Reference of d-axis current	0.3	0.3	0.3	0.3
Open-Loop   Threshold of speed control descending	500	500	500	500
Open-Loop   Threshold of speed control climbing	400	400	400	400
Open-Loop   Period between open-loop to BEMF (sec)	0.025	0.025	0.025	0.025
Open-Loop   Phase error(degree) to decide sensor-less switch timing	10	10	10	10
Design parameter   Speed PI loop omega	5.0	5.0	5.0	5.0
Design parameter   Speed PI loop zeta	1.0	1.0	1.0	1.0
Design parameter   Estimated d-axis HPF omega	2.5	2.5	2.5	2.5
Design parameter   Open-loop damping zeta	-	-	-	-
Design parameter   Cutoff frequency of phase error LPF	10.0	10.0	10.0	10.0
Design parameter   Speed observer omega	-	-	-	-
Design parameter   Speed observer zeta	-	-	-	-
Motor Parameter   Pole pairs	4	4	4	4
Motor Parameter   Resistance (ohm)	1.3	1.3	1.3	1.3
Motor Parameter   Inductance of d-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter   Inductance of q-axis (H)	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
Motor Parameter   Permanent magnetic flux (Wb)	0.01119	0.01119	0.01119	0.01119
Motor Parameter   Rotor inertia (kgm <sup>2</sup> )	0.000003666	0.000003666	0.000003666	0.000003666

表 3-21 ホール向けモータアングルドライバ構成オプション

Configuration Options (rm_motor_sense_hall.h)	
オプション名	内容
Hall sensor   U phase input port	U 相ホールセンサポート
Hall sensor   V phase input port	V 相ホールセンサポート
Hall sensor   W phase input port	W 相ホールセンサポート
Hall sensor   sensor pattern #1	ホールセンサパターン 1
Hall sensor   sensor pattern #2	ホールセンサパターン 2
Hall sensor   sensor pattern #3	ホールセンサパターン 3
Hall sensor   sensor pattern #4	ホールセンサパターン 4
Hall sensor   sensor pattern #5	ホールセンサパターン 5
Hall sensor   sensor pattern #6	ホールセンサパターン 6
PWM Carrier Frequency	PWM キャリア周波数
Correction parameter of rotor angle	ロータ角の補正パラメータ
Default counts of carrier interrupt	ホール信号変化間のキャリア割り込みのデフォルトカウンタ
Maximum counts of one rotation	1 回転の間の最大キャリア割り込み数
Target value for pseudo speed (rad/s)	疑似速度推定目標速度
Target time until the pseudo speed update reaches (msec)	疑似速度推定の目標速度への到達時間
Rotation counts to start speed estimation	速度推定を開始するフラグとなる回転回数
Carrier counts at startup	疑似速度推定を開始するフラグとなるキャリア割り込み回数
Speed to judge start	PI 制御を開始する速度[rad/sec]

表 3-22 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_sense\_hall.h)

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
Hall sensor   U phase input port	BSP_IO_PORT _12_PIN_04	BSP_IO_PORT _00_PIN_08	BSP_IO_PORT _00_PIN_08	BSP_IO_PORT _09_PIN_07
Hall sensor   V phase input port	BSP_IO_PORT _12_PIN_05	BSP_IO_PORT _00_PIN_06	BSP_IO_PORT _00_PIN_06	BSP_IO_PORT _09_PIN_05
Hall sensor   W phase input port	BSP_IO_PORT _11_PIN_01	BSP_IO_PORT _00_PIN_15	BSP_IO_PORT _00_PIN_15	BSP_IO_PORT _09_PIN_06
Hall sensor   sensor pattern #1	1	1	1	1
Hall sensor   sensor pattern #2	5	5	5	5
Hall sensor   sensor pattern #3	4	4	4	4
Hall sensor   sensor pattern #4	6	6	6	6
Hall sensor   sensor pattern #5	2	2	2	2
Hall sensor   sensor pattern #6	3	3	3	3
PWM Carrier Frequency	20.0	10.0	20.0	20.0
Correction parameter of rotor angle	0.4	0.4	0.4	0.4
Default counts of carrier interrupt	300	300	300	300
Maximum counts of one rotation	500	500	500	500
Target value for pseudo speed (rad/s)	100.0	100.0	100.0	100.0
Target time until the pseudo speed update reaches (msec)	300.0	600.0	300.0	300.0
Rotation counts to start speed estimation	2	2	2	2
Carrier counts at startup	400	400	400	400
Speed to judge start	250.0	250.0	250.0	250.0

表 3-23 ADC と PWM モジュールシヨンドライバ構成オプション

Configuration Options (rm_motor_driver.h)	
オプション名	内容
Common   ADC_B Support	ADC_B 使用選択
Common   Shared ADC support	ADC シェアードモジュール使用選択
Common   Supported Motor Number	制御モータ数設定
General   Shunt type	電流検出方法選択
General   Modulation method	変調方式選択
General   PWM output port UP	U 相アッパーアームポート設定
General   PWM output port UN	U 相ローワーアームポート設定
General   PWM output port VP	V 相アッパーアームポート設定
General   PWM output port VN	V 相ローワーアームポート設定
General   PWM output port WP	W 相アッパーアームポート設定
General   PWM output port WN	W 相ローワーアームポート設定
General   PWM Timer Frequency (MHz)	PWM タイマ周波数 [MHz]
General   PWM Carrier Period (Microseconds)	PWM キャリア周期 [Micro seconds]
General   Dead Time (Raw Counts)	デッドタイムカウント値 [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   Counts for current offset measurement	オフセット取得時積算回数
General   A/D conversion channel for U Phase current	U 相電流検出 A/D チャンネル番号
General   A/D conversion channel for W Phase current	W 相電流検出 A/D チャンネル番号
General   A/D conversion channel for Main Line Voltage	母線電圧検出 A/D チャンネル番号
General   A/D conversion channel for V Phase current	V 相電流検出 A/D チャンネル番号
General   A/D conversion channel for sin signal	sin 信号検出 A/D チャンネル番号
General   A/D conversion channel for cos signal	cos 信号検出 A/D チャンネル番号
General   Using ADC scan group	対応する ADC モジュールのスキャングループ設定を反映します。
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	母線電圧検出 ADC ユニット番号
General   A/D conversion unit for V Phase current	V 相電流検出 ADC ユニット番号
General   A/D conversion unit for sin signal	sin 信号検出 ADC ユニット番号
General   A/D conversion unit for cos signal	cos 信号検出 ADC ユニット番号
General   ADC interrupt module	割り込みを発生させる ADC モジュール番号
General   Adjustment value to current A/D	電流 A/D 調整値(1shunt 用)
General   Minimum difference of PWM duty	PWM デューティの最小差(1shunt 用)
General   Adjustment delay of A/D conversion	ADC の調整遅延(1shunt 用)
General   1shunt interrupt phase	1shunt 時の ADC 割り込み発生相(UVW)
General   Input Voltage (V)	母線電圧入力値
General   Resolution of A/D conversion	A/D コンバータ分解能
General   Offset of A/D conversion for current	A/D コンバータ入力オフセット
General   Conversion level of A/D conversion for voltage	電圧変換レベル
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
Modulation   Maximum duty	PWM 最大デューティ デッドタイムを除いた最大デューティ

表 3-24 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_driver.h) [1/2]

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
Common   ADC_B Support	Enabled	-	-	-
Common   Shared ADC support	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled
Common   Supported Motor Number	1	1	1	1
General   Shunt type	2shunt	2shunt	2shunt	2shunt
General   Modulation method	SVPWM	SVPWM	SVPWM	SVPWM
General   PWM output port UP	BSP_IO_PORT_11_PIN_04	BSP_IO_PORT_04_PIN_09	BSP_IO_PORT_04_PIN_09	BSP_IO_PORT_01_PIN_15
General   PWM output port UN	BSP_IO_PORT_11_PIN_05	BSP_IO_PORT_04_PIN_08	BSP_IO_PORT_04_PIN_08	BSP_IO_PORT_06_PIN_09
General   PWM output port VP	BSP_IO_PORT_11_PIN_06	BSP_IO_PORT_01_PIN_03	BSP_IO_PORT_01_PIN_03	BSP_IO_PORT_01_PIN_13
General   PWM output port VN	BSP_IO_PORT_11_PIN_07	BSP_IO_PORT_01_PIN_02	BSP_IO_PORT_01_PIN_02	BSP_IO_PORT_01_PIN_14
General   PWM output port WP	BSP_IO_PORT_11_PIN_08	BSP_IO_PORT_01_PIN_11	BSP_IO_PORT_01_PIN_11	BSP_IO_PORT_03_PIN_00
General   PWM output port WN	BSP_IO_PORT_11_PIN_09	BSP_IO_PORT_01_PIN_12	BSP_IO_PORT_01_PIN_12	BSP_IO_PORT_01_PIN_12
General   PWM Timer Frequency (MHz)	120.0	100.0	100.0	120.0
General   PWM Carrier Period (Microseconds)	50.0	50.0	50.0	50.0
General   Dead Time (Raw Counts)	240	200	240	240
General   Current Range (A)	16.5	16.5	16.5	16.5
General   Voltage Range (V)	73.26	73.26	73.26	73.26
General   Counts for current offset measurement	500	500	500	500
General   A/D conversion channel for U Phase current	4	0	0	0
General   A/D conversion channel for W Phase current	0	2	2	2
General   A/D conversion channel for Main Line Voltage	6	4	4	8
General   A/D conversion channel for V Phase current	-	-	-	-
General   A/D conversion channel for sin signal	-	-	-	-
General   A/D conversion channel for cos signal	-	-	-	-
General   Using ADC scan group	0	-	-	-

表 3-25 Configuration Options 初期値 (rm\_motor\_driver.h) [2/2]

オプション名	RA6T2	RA4T1	RA6T3	RA8T1
General   A/D conversion unit for U Phase current	-	0	0	0
General   A/D conversion unit for W Phase current	-	0	0	0
General   A/D conversion unit for main line voltage	-	0	0	0
General   A/D conversion unit for V Phase current	-	-	-	-
General   A/D conversion unit for sin signal	-	-	-	-
General   A/D conversion unit for cos signal	-	-	-	-
General   ADC interrupt module	-	1st	1st	1st
General   Adjustment value to current A/D	-	-	-	-
General   Minimum difference of PWM duty	-	-	-	-
General   Adjustment delay of A/D conversion	-	-	-	-
General   1shunt interrupt phase	-	-	-	-
General   Input Voltage (V)	24.0	24.0	24.0	24.0
General   Resolution of A/D conversion	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
General   Offset of A/D conversion for current	0x7FF	0x7FF	0x7FF	0x7FF
General   Conversion level of A/D conversion for voltage	1.0	1.0	1.0	1.0
General   GTIOCA stop level	Pin Level Low	Pin Level Low	Pin Level Low	Pin Level Low
General   GTIOCB stop level	Pin Level High	Pin Level High	Pin Level High	Pin Level High
Modulation   Maximum duty	0.9375	0.9375	0.9375	0.9375

## 3.5 制御フロー（フローチャート）

## 3.5.1 メイン処理

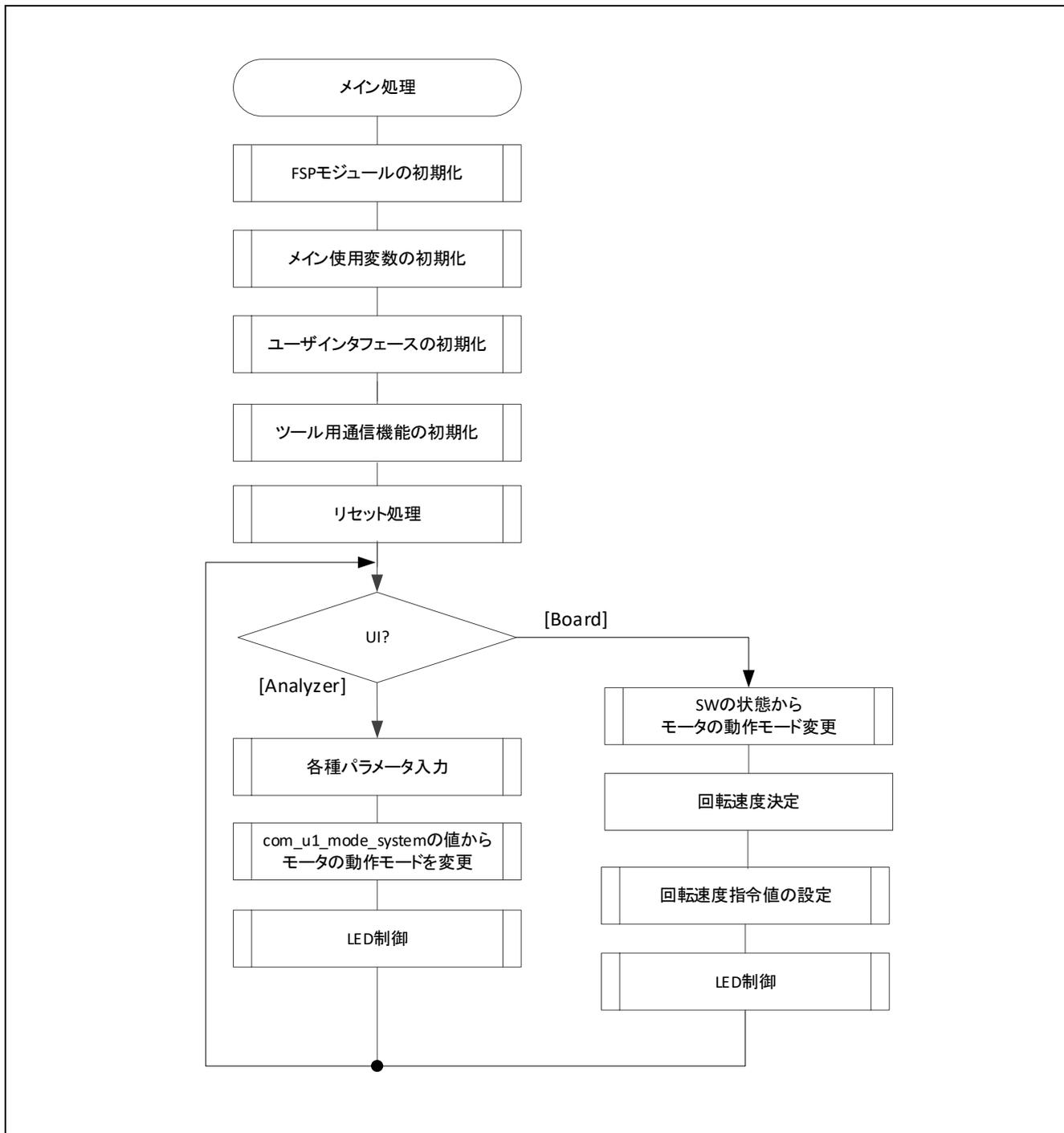


図 3-10 メイン処理フローチャート

3.5.2 電流制御周期割り込み（キャリア同期割り込み）処理

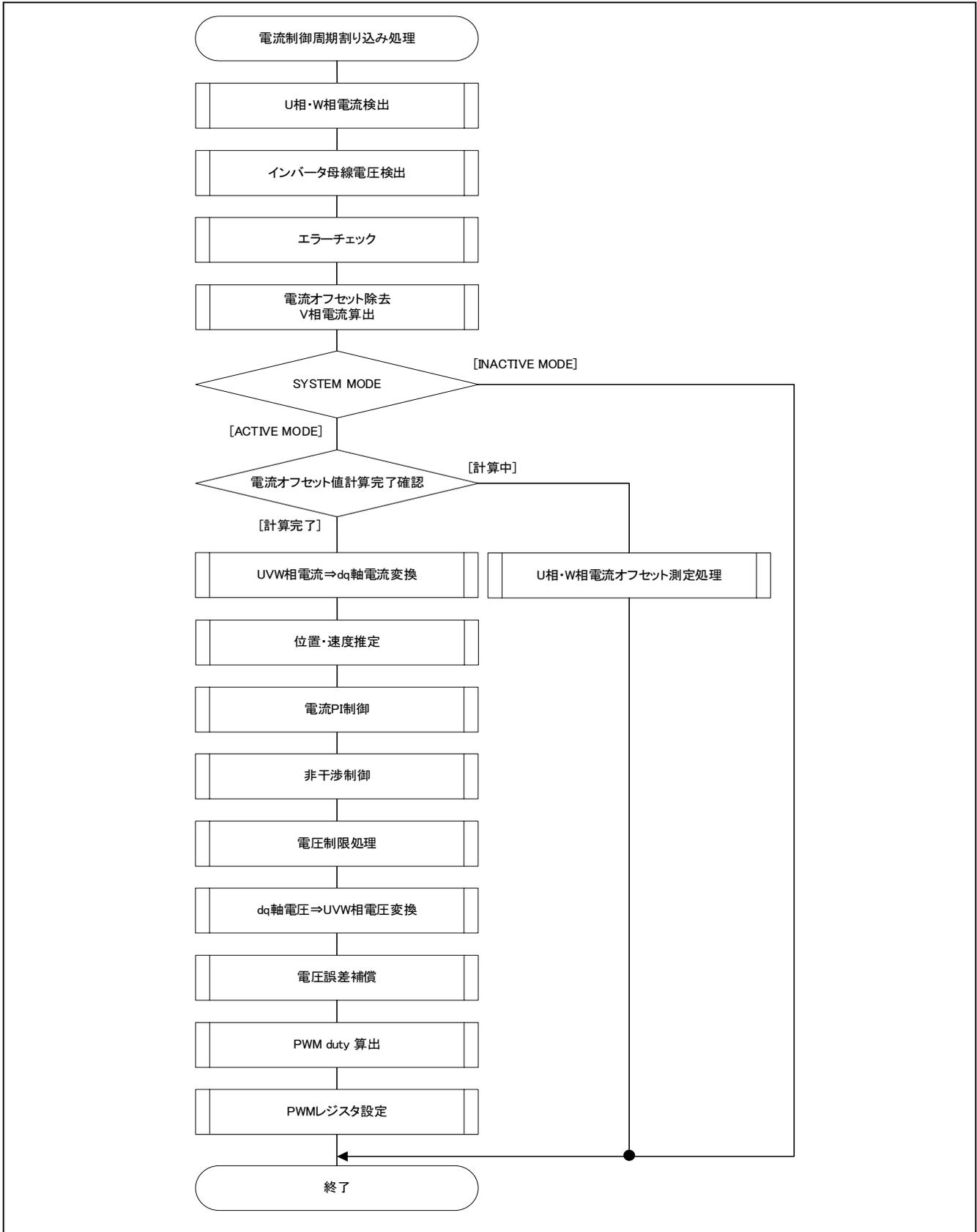


図 3-11 電流制御周期割り込み処理フローチャート

## 3.5.3 速度制御周期割り込み処理

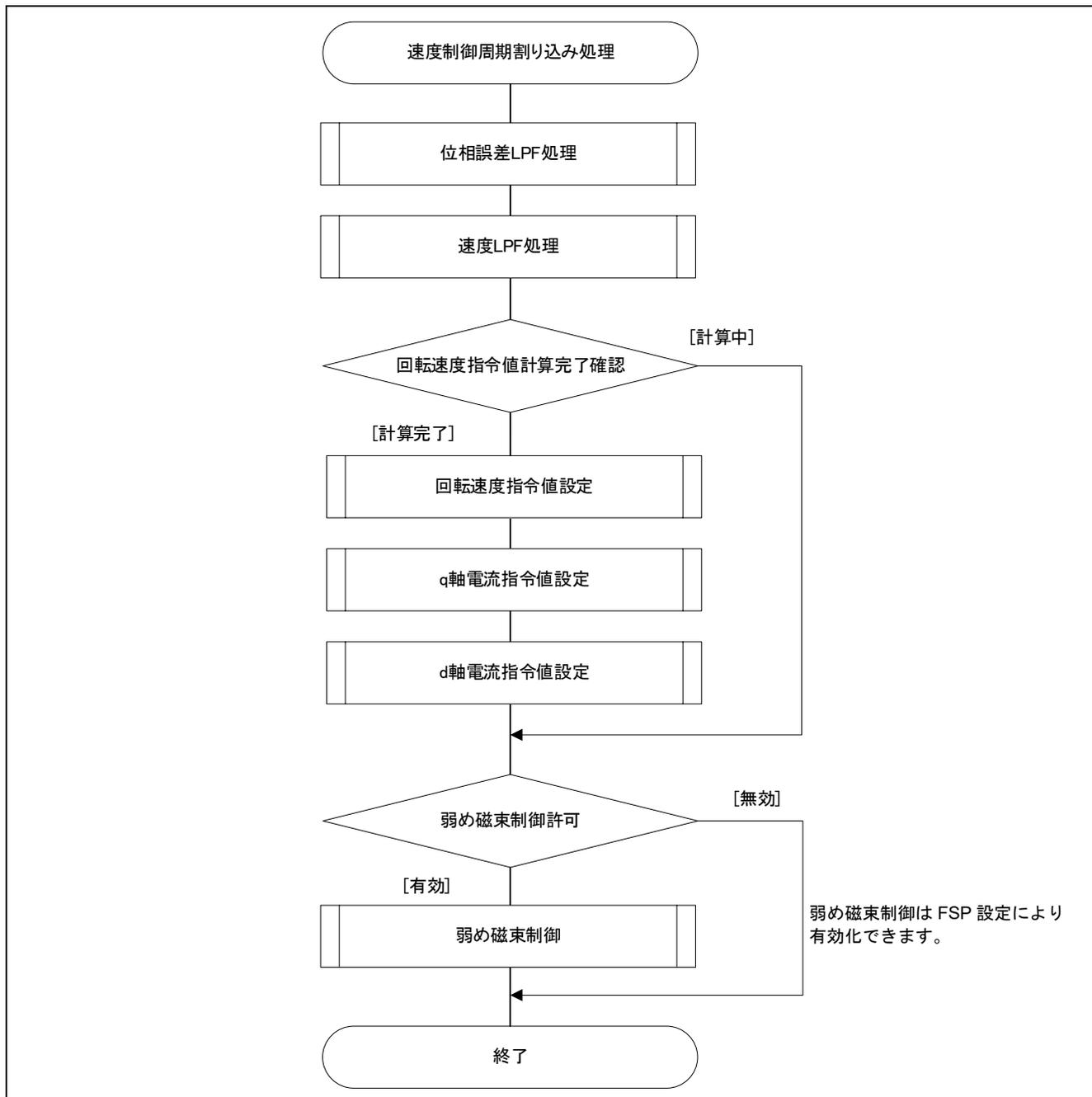


図 3-12 速度制御周期割り込み処理フローチャート

## 3.5.4 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。

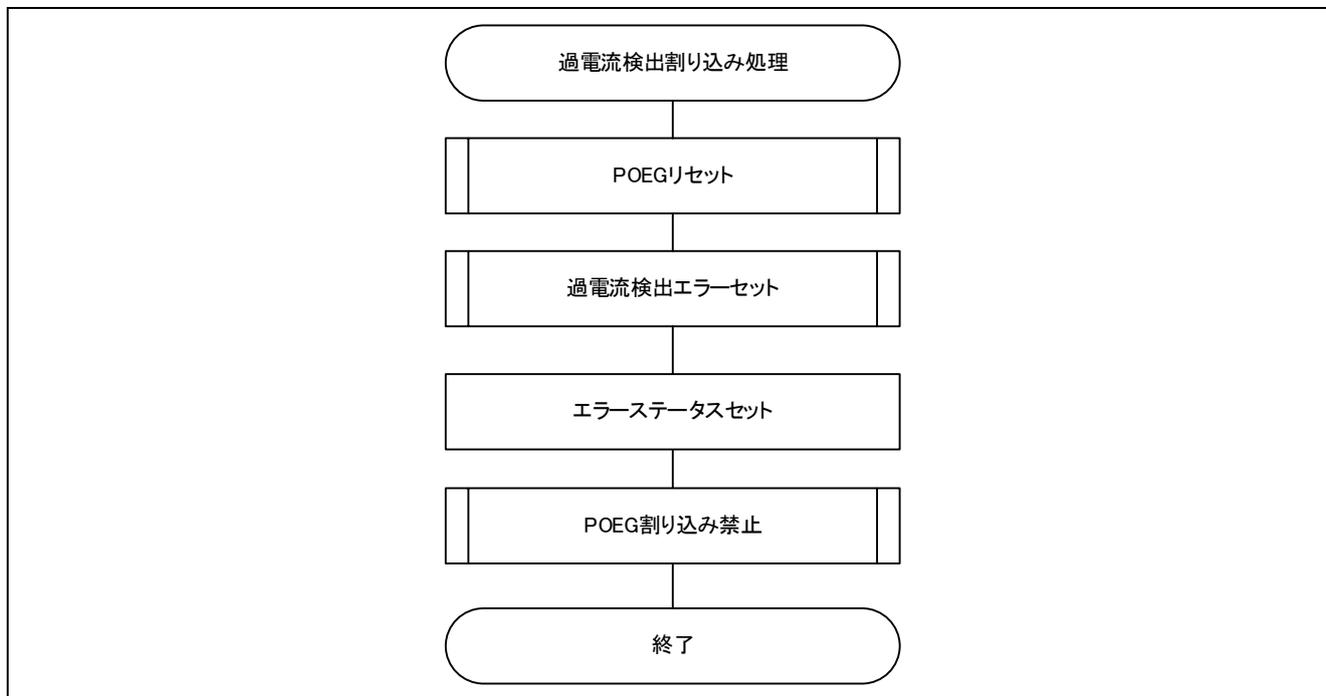


図 3-13 過電流検出割り込み処理フローチャート

## 4. サンプルソフトウェアの操作概要

サンプルソフトウェアの操作について説明します。

### 4.1 クイックスタート

モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」を使用せずにサンプルコードを動作させる場合、下記の手順でクイックスタートサンプルプロジェクトを実行します。

- (1) 安定化電源投入後、またはリセット後はインバータボード上の LED1、LED2 は消灯状態で、モータは停止しています。
- (2) インバータボード上のトグルスイッチ(SW1)を ON にするとモータが回転します。トグルスイッチ(SW1)を切り替えるごとにモータの回転開始/停止を繰り返します。モータが正常に回転している場合はインバータボード上の LED1 が点灯します。このとき、インバータボード上の LED2 が点灯している場合はエラーが発生しています。
- (3) モータの回転方向を変更する場合は、インバータボード上のボリューム抵抗(VR)で調整します。
  - ボリューム抵抗(VR)を右に回す：時計回りに回転
  - ボリューム抵抗(VR)を左に回す：反時計回りに回転
- (4) エラーが発生した場合、インバータボード上の LED2 が点灯し、回転が停止します。復帰するためにはインバータボードのトグルスイッチ(SW1)を OFF にした上でプッシュスイッチ(SW2)を押してください。
- (5) 動作確認を終了する場合は、モータの回転が停止していることを確認し、安定化電源の出力を OFF にします。

## 4.2 モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」

### 4.2.1 概要

サンプルソフトウェアでは、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、回転速度指令等)として使用します。使用方法などの詳細は「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。

モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」は弊社 WEB サイトより入手してください。

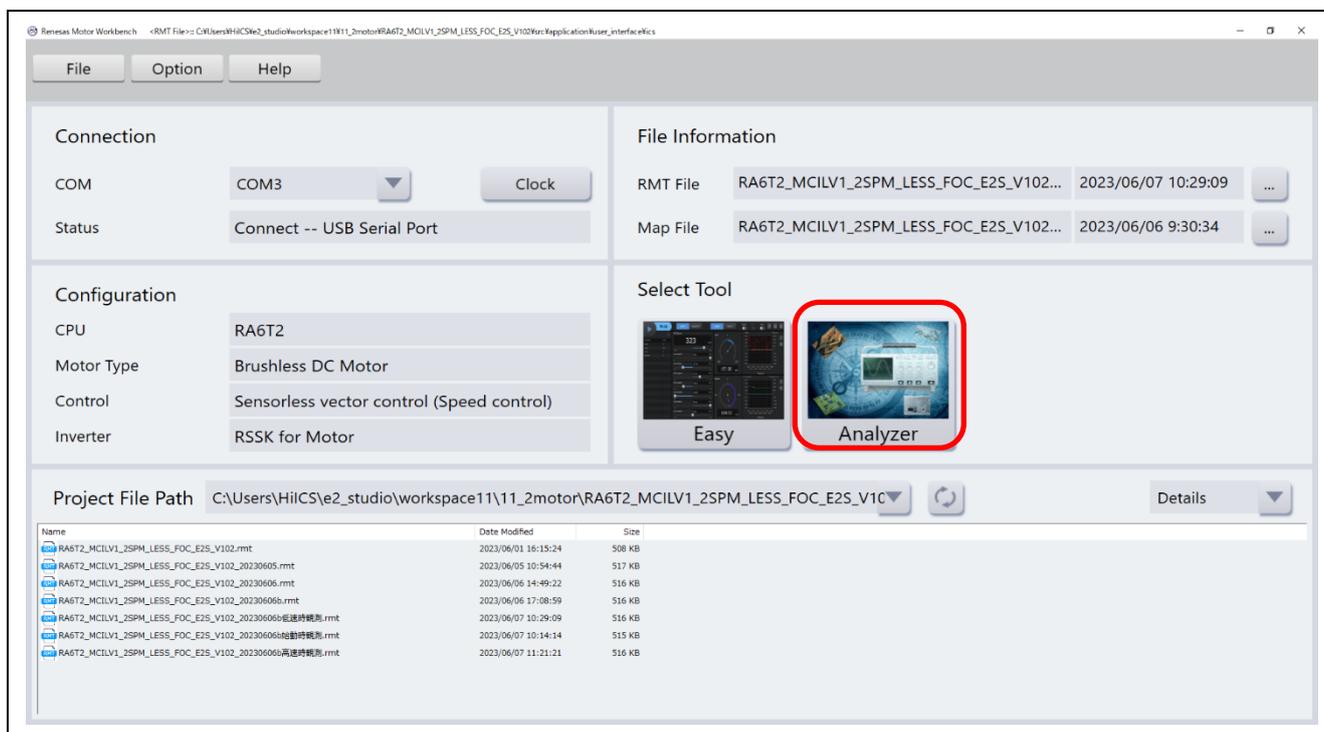


図 4-1 Renesas Motor Workbench 外観

- モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使い方



- (1) ツールアイコン  をクリックしツールを起動します。
- (2) Main Window の MENU バーから、[File] → [Open RMT File(O)]を選択します。  
プロジェクトフォルダの“src/application/user\_interface/ics”フォルダ内にある RMT ファイルを読み込みます。
- (3) “Connection”の COM で接続されたキットの COM を選択します。
- (4) 右側の Select Tool の Analyzer ボタンをクリックし、Analyzer 機能を起動します。
- (5) “4.2.4 Analyzer 機能操作例”を基にモータを駆動します。

## 4.2.2 Easy 機能操作例

Easy 機能を使用し、モータを操作する例を以下に示します。

- ユーザーインターフェースを Renesas Motor Workbench 使用に変更する
  - ① “RMW UI”を ON にする。

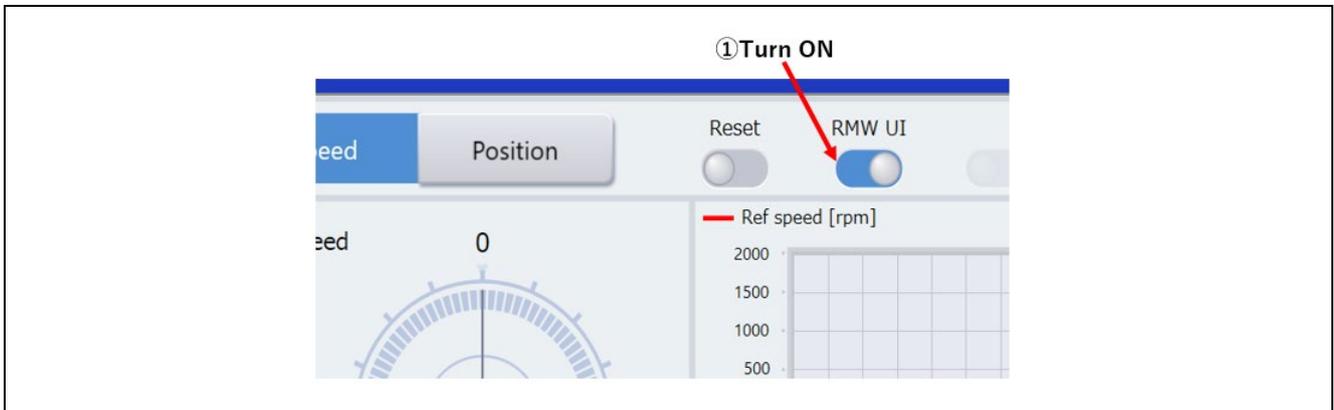


図 4-2 Renesas Motor Workbench 使用に変更する手順

- モータを回転させる
  - ① “Run”ボタンを押す。
  - ② 指令回転速度を“Ref speed”スライダで入力する。

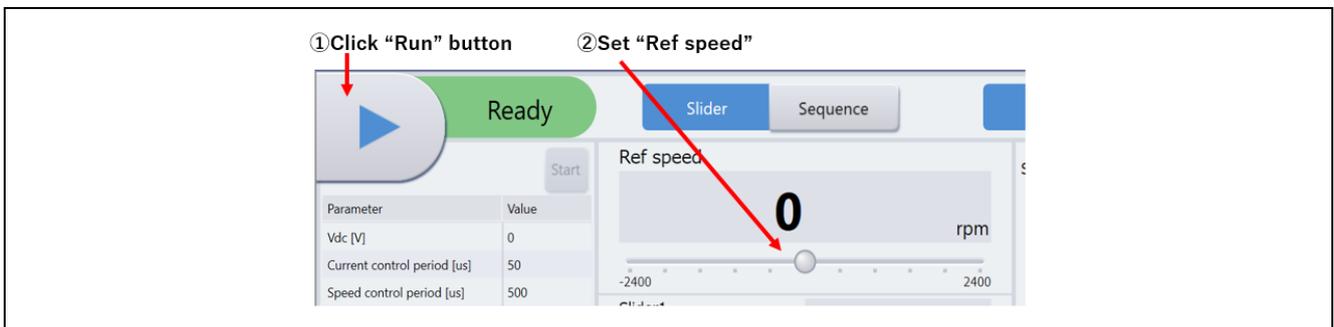


図 4-3 モータ回転の手順

- モータを停止させる
  - ① “Stop”ボタンを押す。

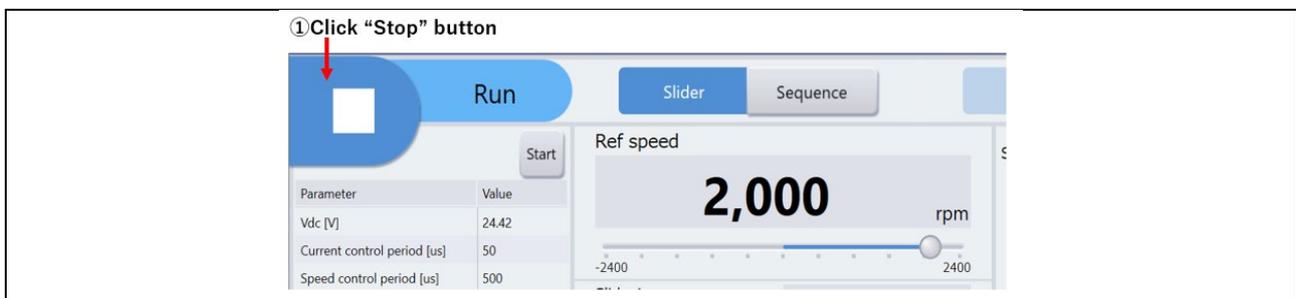


図 4-4 モータ停止の手順

- 止まってしまった（エラー）場合の処理
  - “Reset”スイッチを ON にする。
  - “Reset”スイッチを OFF にする。

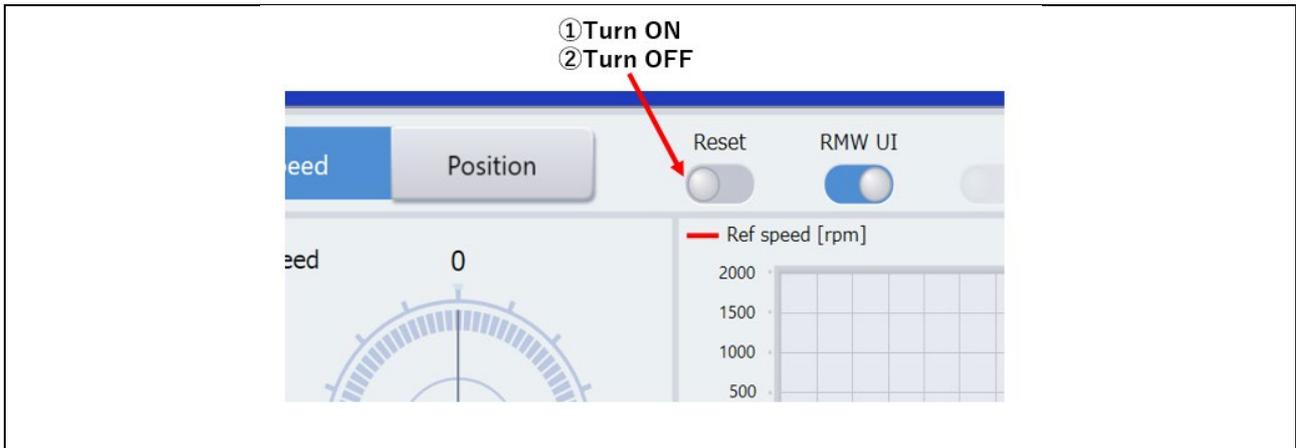


図 4-5 エラー解除の手順

## 4.2.3 Analyzer 機能用変数一覧

Analyzer ユーザインタフェース使用時の入力用変数一覧を表 4-1 に示します。なお、これらの変数への入力値は com\_u1\_enable\_write に g\_u1\_enable\_write と同じ値を書き込んだ場合に対応する変数へ反映されます。ただし、(\*)が付けられた変数は com\_u1\_enable\_write に依存しません。

表 4-1 Analyzer 機能入力用変数一覧

変数名	型	内容
com_u1_sw_userif (*)	uint8_t	ユーザインタフェーススイッチ 0 : Analyzer 使用 1 : ボード使用 (デフォルト)
com_u1_mode_system (*)	uint8_t	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
com_f4_ref_speed_rpm	float	速度指令値 (機械角) [rpm]
com_u2_mtr_pp	uint16_t	極対数
com_f4_mtr_r	float	抵抗 [ $\Omega$ ]
com_f4_mtr_ld	float	d 軸インダクタンス [H]
com_f4_mtr_lq	float	q 軸インダクタンス [H]
com_f4_mtr_m	float	磁束 [Wb]
com_f4_mtr_j	float	イナーシャ [ $\text{kgm}^2$ ]
com_f4_current_omega	float	電流制御系固有周波数 [Hz]
com_f4_current_zeta	float	電流制御系減衰係数
com_f4_speed_omega	float	速度制御系固有周波数 [Hz]
com_f4_speed_zeta	float	速度制御系減衰係数
com_f4_max_speed_rpm	float	速度最大値(機械角) [rpm]
com_f4_overspeed_limit_rpm	float	速度超過エラー閾値(機械角) [rpm]
com_f4_overcurrent_limit	float	電流超過エラー閾値[A]
com_f4_iq_limit	float	q 軸電流最大値[A]
com_f4_limit_speed_change	float	速度指令最大増減幅(電気角) [rad/s]
com_u1_enable_write	uint8_t	変数書き換え許可 (g_u1_enable_write と同じ値を書き込んだ場合に書き込み許可)

## 4.2.4 Analyzer 機能操作例

Analyzer 機能を使用し、モータを操作する例を以下に示します。操作は、図 4-6 で示す”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。

- ユーザインタフェースを Analyzer 使用に変更する
  - (1) “com\_u1\_sw\_userif”の[W?]欄に“チェック”が入っていることを確認します。
  - (2) [Write]欄に 0 を入力します。
  - (3) “Write”ボタンをクリックします。
- モータを回転させる
  - (1) “com\_u1\_mode\_system”, “com\_f4\_ref\_speed\_rpm”, “com\_u1\_enable\_write”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。
  - (4) “Read”ボタンを押して現在の“com\_f4\_ref\_speed\_rpm”, “g\_u1\_enable\_write”の [Read] 欄を確認します。
  - (5) MCU 内の変数値へ反映させるため、“com\_u1\_enable\_write” に④で確認した”g\_u1\_enable\_write”と同じ値を入力します。
  - (6) “com\_u1\_mode\_system”の [Write]欄に”1”を入力します。
  - (7) “Write”ボタンをクリックします。

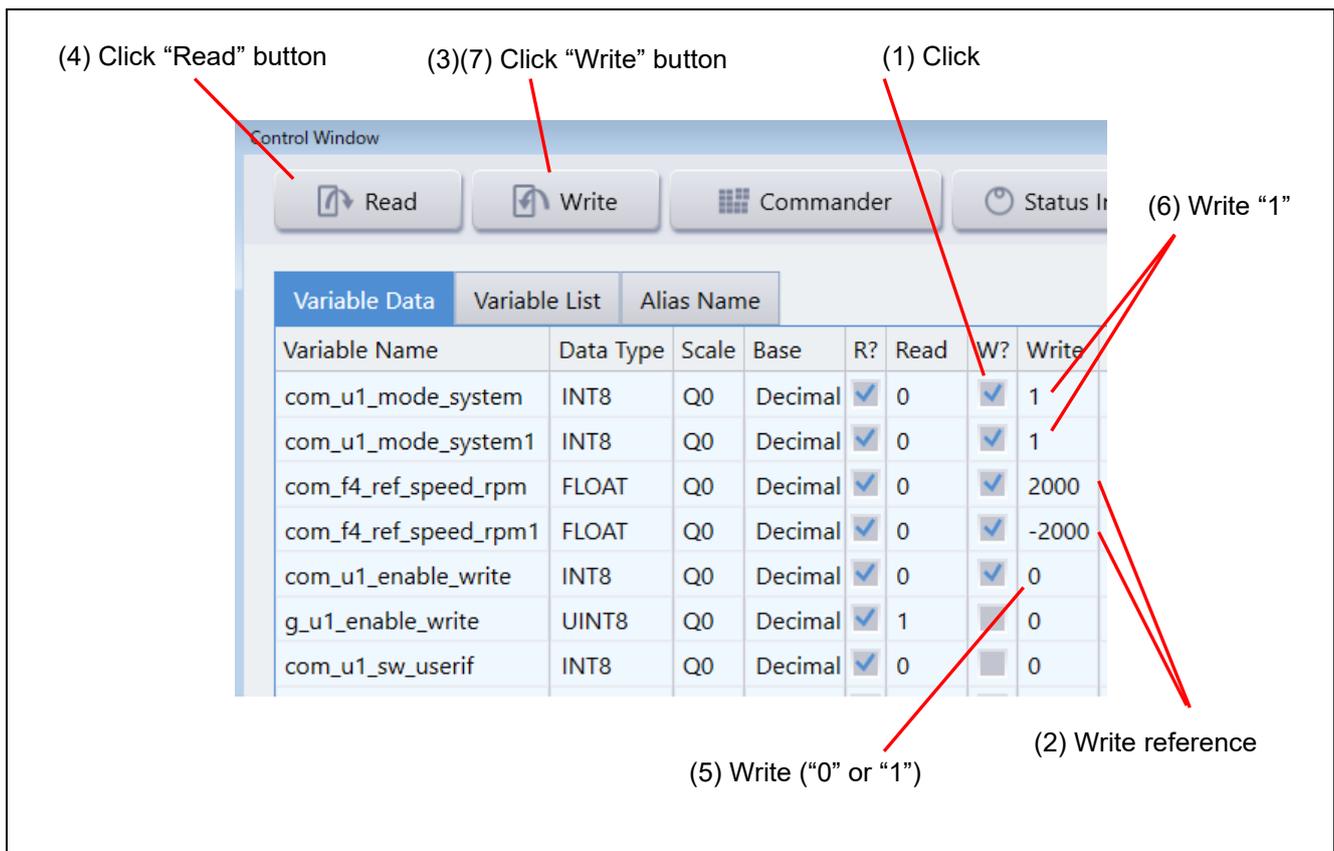


図 4-6 モータ回転の手順

- モータを停止させる
  - "com\_u1\_mode\_system"の[Write]欄に"0"を入力します。
  - "Write"ボタンをクリックします。

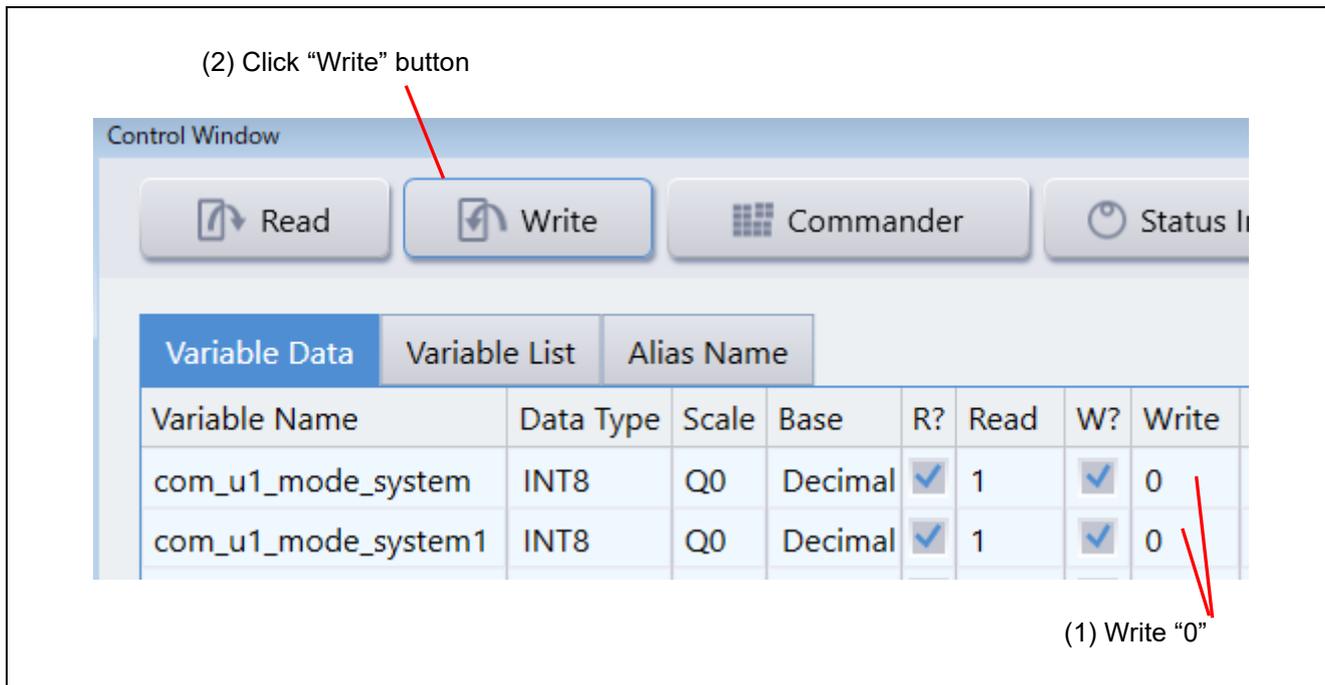


図 4-7 モータ停止の手順

- 止まってしまった（エラー）場合の処理
  - “com\_u1\_mode\_system”の[Write]欄に“3”を入力します。
  - “Write”ボタンをクリックします。

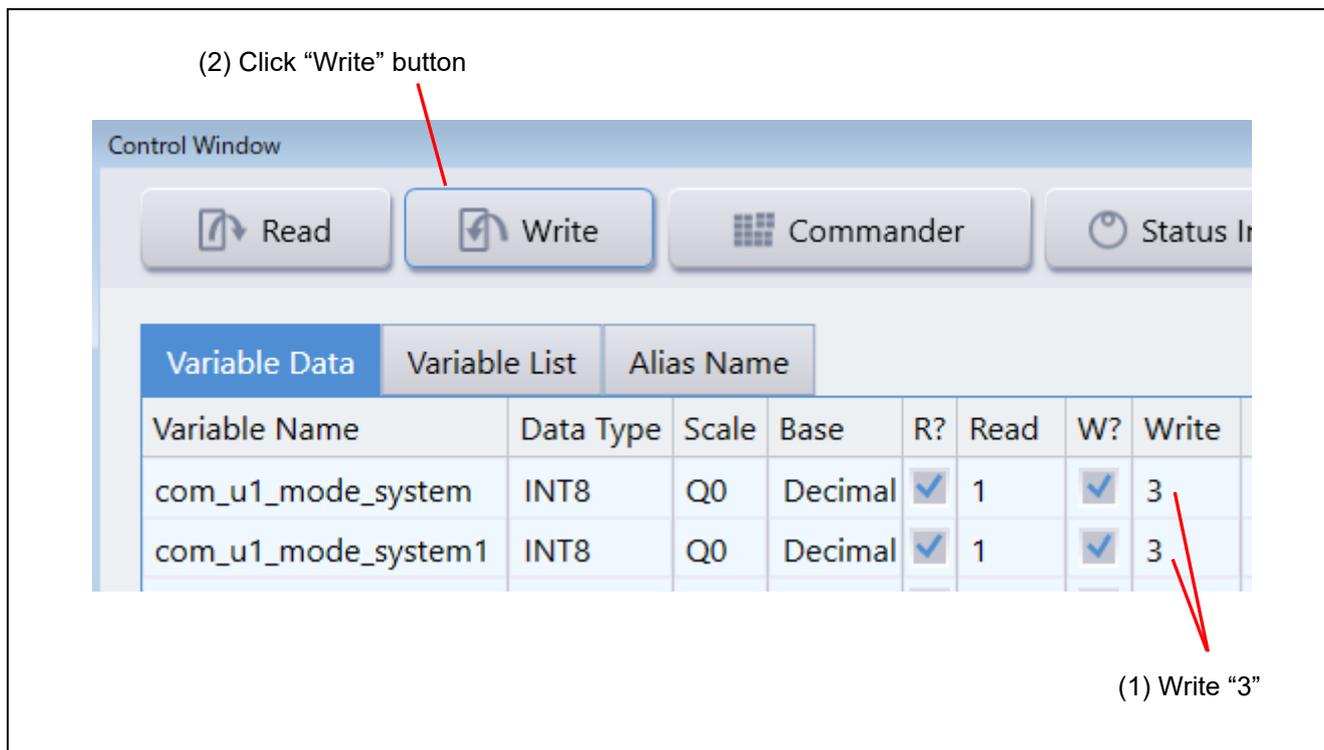


図 4-8 エラー解除の手順

#### 4.2.5 Tuner 機能

Tuner 機能を使用するには、Renesas Motor Workbench が提供する実行ファイル、またはサンプルソフトウェアに同梱されている

「RA6T2(RA6T3,RA4T1,RA8T1)\_MCILV1\_SPM\_HALL\_FOC\_TUNER\_E2S\_Vxxx」を用います。

Tuner 機能の使用法については、Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアルを参照ください。

#### 4.2.6 通信速度の変更例

サンプルソフトウェアで Renesas Motor Workbench の通信速度を変更する手順を示します。変更する値については、「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。

- サンプルソフトウェアの通信速度設定を変更する(通信レート 10Mbps の場合)
  - ① r\_mtr\_ics.h の ICS\_BRR の値を 1 に変更する
  - ② r\_mtr\_ics.h の MTR\_ICS\_DECIMATION の値を 1 に変更する

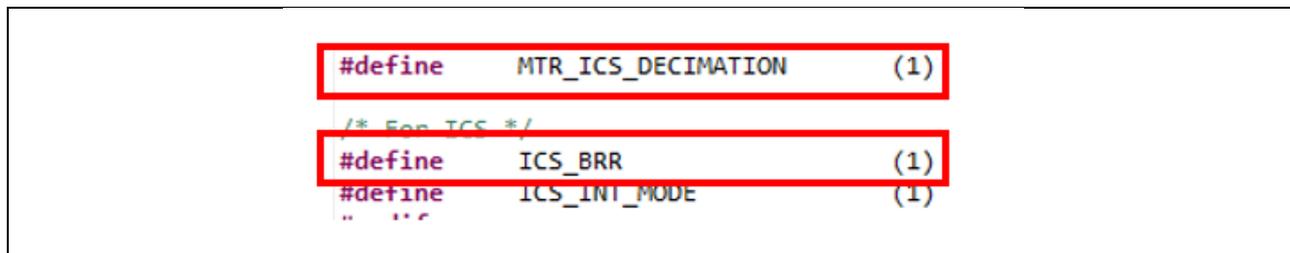


図 4-9 r\_mtr\_ics.h の修正

- Renesas Motor Workbench の通信速度設定を変更して接続する
  - ① Main Window の Clock ボタンを押して値を 80,000,000 に変更する  
(この値は通信レートを 1Mbps から 10Mbps に変更したため、デフォルト値の 8,000,000 を 10 倍して得られます。)
  - ② Connection の COM で接続中のキットの COM を選択する

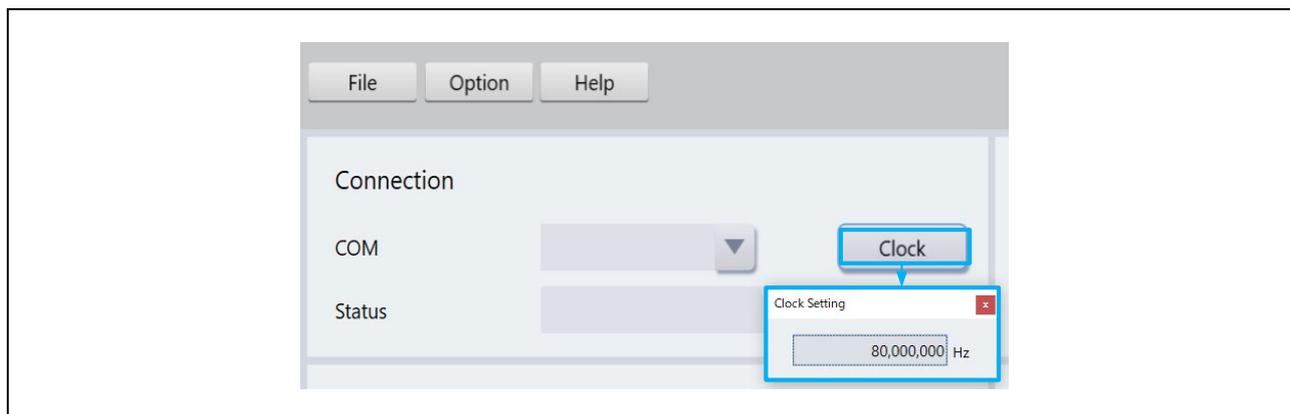


図 4-10 Clock 周波数の設定

接続に失敗する場合は、通信ボードのリセット後に再接続する手順を繰り返してください。

#### 4.2.7 ビルトイン型通信ライブラリの使用方法

サンプルソフトウェアで通信ボードを使わずにビルトイン型通信ライブラリを用いて Renesas Motor Workbench と接続する手順を示します。

- PC と CPU ボードの接続
  - ① CPU ボードと PC を USB/シリアル変換基板等を介して接続する
- ビルトイン型通信用プロジェクトの準備(RA6T2 921600bps の例)
  - ① ICS2\_RA6T2.o の登録を解除する

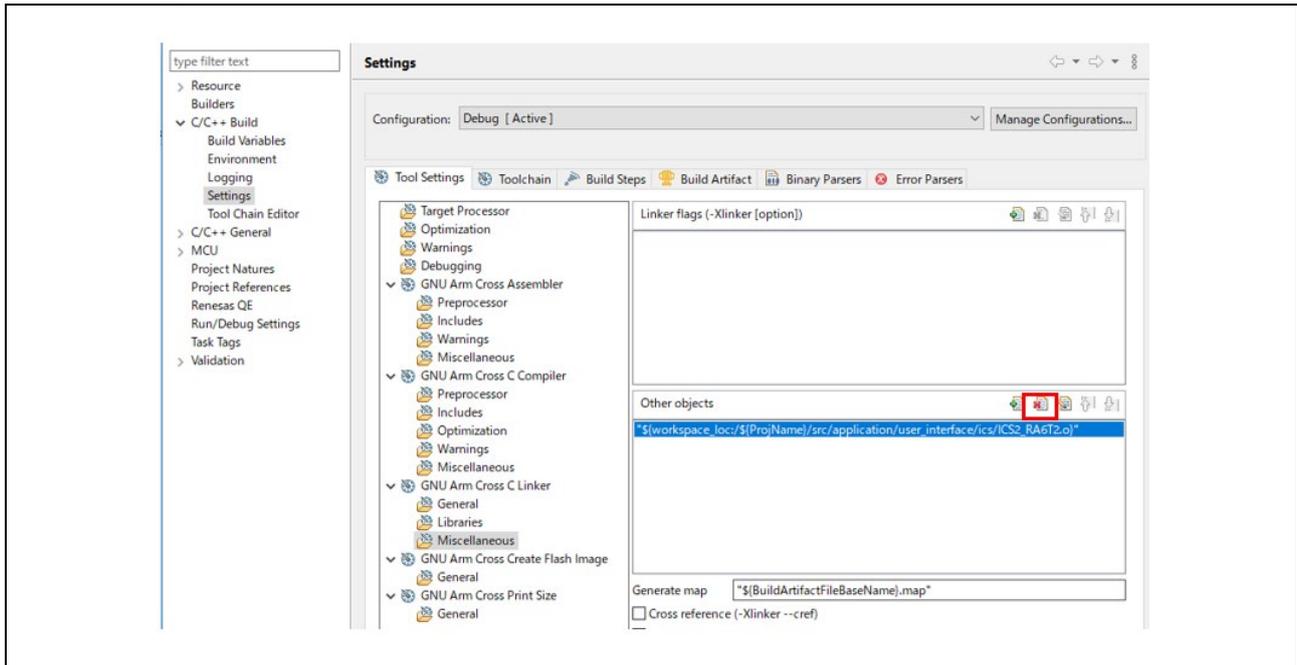


図 4-11 ICS2\_RA6T2.o の登録解除

- ② ICS2\_RA6T2\_Built\_in.o を登録する

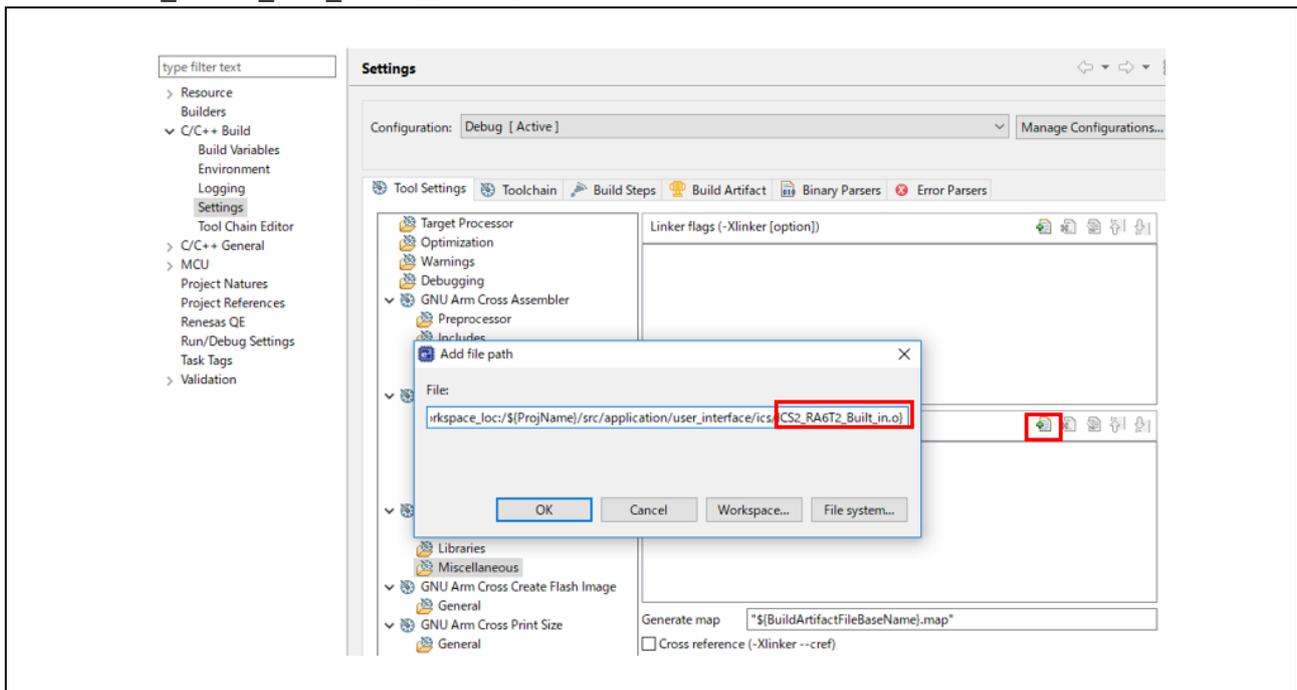


図 4-12 ICS2\_RA6T2\_Built\_in.o を登録

- ③ r\_mtr\_ics.h の USE\_BUILT\_IN の値を 1 に変更する

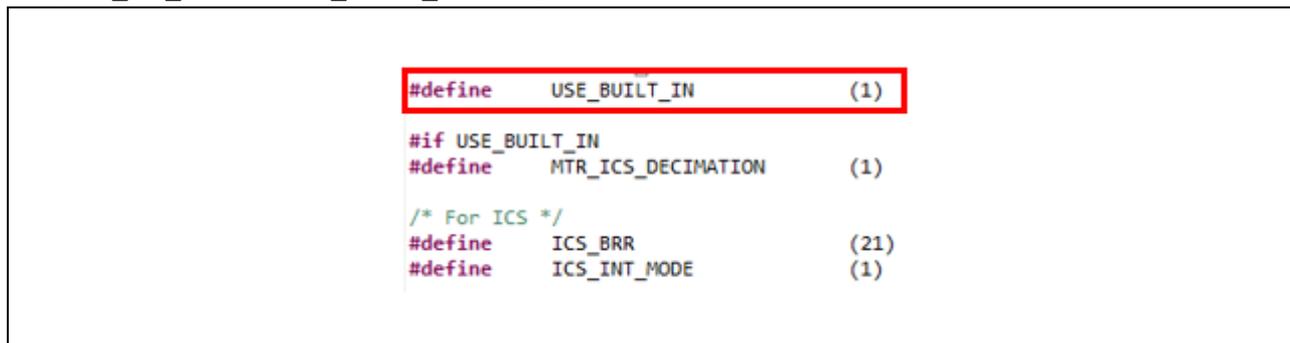


図 4-13 r\_mtr\_ics.h の修正

- Renesas Motor Workbench の通信ボーレート設定を変更して接続する
  - ① Main Window の Option メニューから Baudrate Dialog で値を 921,600 に変更する
  - ② Connection の COM で接続中のキットの COM を選択する

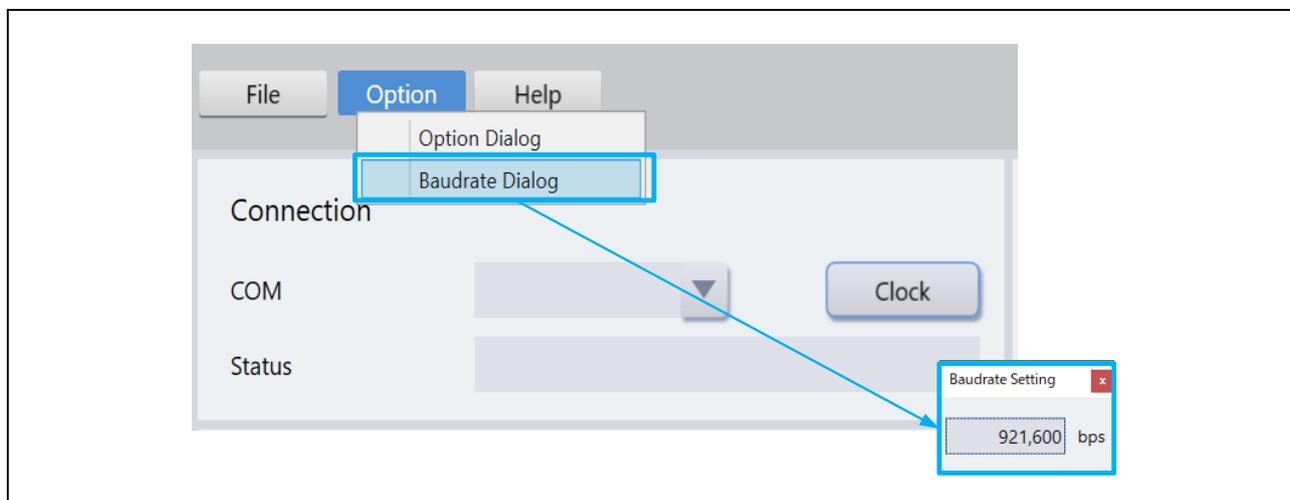


図 4-14 Baudrate の修正

## 5. 参考ドキュメント

- RA6T2 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0951)
- RA8T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH1016)
- Renesas Flexible Software Package (FSP) User's Manual  
(PDF 版 : R11UM0155, Web 版 : RA Flexible Software Package Documentation)
- 統合開発環境 e2studio 2022-07 以上 ユーザーズマニュアル クイックスタートガイド (R20UT5210)
- 永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御 (アルゴリズム編) (R01AN3786)
- 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-RA8T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0133)

## 改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2022.6.29	-	初版発行
1.10	2023.8.30	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Renesas Flexible Motor Control シリーズ用に更新</li><li>• 「3.1.6 始動方法」を更新</li></ul>
1.20	2024.1.23	-	RA8T1, RA6T3, RA4T1 関連記述追加
1.21	2024.12.23	-	対象プロジェクト更新

## 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イやマガジンケース、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しないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

### 4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

### 5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後、切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

### 6. 入力端子の印加波形

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

### 7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

### 8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違えば、フラッシュメモリ、レイアウトパターンなどの相違などにより、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みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品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、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
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、海中中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

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て、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したします。
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](http://www.renesas.com)

## お問合せ窓口

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

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

## 商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。