

RL78/G24

RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 (CPU ソフトウェア編)

要旨

本アプリケーションノートでは、RL78/G24 マイクロコントローラの機能を使用して Interleaved CrM PFC と LLC を制御する方法について説明します。

対象デバイス

RL78/G24

動作確認ボード

RL78/G24 Interleaved PFC + LLC Board 400W Kit (RTK0EL0006D00000BJ)

注意：サンプルアプリケーションを他のマイコンへ適用する場合、そのマイコンの仕様に合わせて変更し、十分評価してください。

関連ドキュメント

- ・ RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 ハードウェア&ソフト基礎編 (R01AN8175)
- ・ RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 FAA ソフトウェア編 (R01AN8176)
- ・ RL78/G24 ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0961)
- ・ CS+ 統合開発環境 ユーザーズマニュアル プロジェクト操作編 (R20UT4691)
- ・ 統合開発環境 e2 studio ユーザーズマニュアルクイックスタートガイド(R20UT5293)
- ・ RL78 スマート・コンフィグレータ ユーザーガイド：CS+編 (R20AN0580)
- ・ RL78 スマート・コンフィグレータ ユーザーガイド：IAR 編 (R20AN0581)
- ・ RL78 スマート・コンフィグレータ ユーザーガイド：e2 studio 編(R20AN0579)

目次

1. 仕様概要	4
2. 動作確認条件	5
3. ハードウェア仕様	6
4. ソフトウェア仕様	7
4.1 環境構築	7
4.1.1 CC-RL 版 (CS+ for CC)	7
4.1.1.1 CS+ for CC のダウンロードおよびインストール	7
4.1.1.2 サンプルアプリケーションの起動	7
4.1.1.3 サンプルアプリケーションのビルド方法	7
4.1.1.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法	7
4.1.2 CC-RL 版 (e2 studio)	8
4.1.2.1 e2 studio のダウンロードおよびインストール	8
4.1.2.2 サンプルアプリケーションのインポート	8
4.1.2.3 サンプルアプリケーションのビルド方法	8
4.1.2.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法	8
4.1.3 IAR 版	9
4.1.3.1 IAR Embedded Workbench のダウンロードおよびインストール	9
4.1.3.2 サンプルアプリケーションの起動	9
4.1.3.3 サンプルアプリケーションのビルド方法	9
4.1.3.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法	9
4.2 ソフトウェア制御	10
4.3 ソフトウェア構成	10
4.3.1 フォルダ構成	11
4.3.2 オプション・バイトの設定一覧	12
4.3.3 API 関数	13
4.3.3.1 r_tvpower.c	13
4.3.3.2 r_pfc.c	14
4.3.3.3 r_llc1.c	15
4.3.3.4 r_llc2.c	15
5. QE for Lighting & Power を用いた動作	16
5.1 QE for Lighting & Power のダウンロード	16
5.2 ワークスペースの準備	16
5.2.1 ボードの選択	16
5.2.2 ワークスペースの選択	16
5.3 照明通信の設定	17
5.4 電源制御の設定	18
5.4.1 電源制御方式の設定	19
5.4.1.1 Power Configuration ビュー	19
5.4.2 電源制御シミュレータ	26
5.4.2.1 電源制御シミュレータダイアログ	27

5.4.3	電源制御の評価	31
5.4.3.1	ビルドの設定	32
5.4.3.2	評価プログラムの準備	32
5.4.3.3	ボードにダウンロード	32
5.4.3.4	ボード接続	33
5.4.3.5	電源制御の評価	33
5.5	コード生成とプログラム	37
5.5.1	ソースコードの生成	37
5.5.2	ボードにダウンロード	37
5.6	PFC 制御パラメータ A1、A2 に関する注意事項	38
5.6.1	Kp と fz の算出方法	38
5.6.2	Kp の fz の反映方法	38
6.	注意事項	39
7.	参考ドキュメント	39

1. 仕様概要

本サンプルアプリケーションでは、RL78/G24 マイクロコントローラのタイマ KB PWM 出力機能を使用した PFC(力率改善)コンバータ制御および LLC コンバータ制御を行います。各コンバータの定電圧制御は PI (比例積分) 制御に基づいたフィードバック処理にて実現されます。そのため、制御専用の外部 IC が不要になり、設計コストを削減することができます。

本アプリケーションノートは、CPU 版 ソフトウェア編として、主に以下の内容を対象とします。

- ・ サンプル・プログラムの動作条件
- ・ ソフトウェア構成および制御概要
- ・ 各開発環境 (CS+, e2 studio, IAR) での使用方法
- ・ 提供 API の仕様

ターゲットボードおよびハードウェアの詳細情報やサンプル・プログラムのソフトウェア制御概要については、下記ドキュメントを参照してください。

RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 (ハードウェア&ソフト基礎編) (R01AN8175)

2. 動作確認条件

サンプル・プログラムは以下の環境で動作確認をしております。

表 2.1 動作確認環境

項目		内容
使用マイコン		RL78/G24 (R7F101GFGxFP)
使用ボード		RL78/G24 Interleaved PFC + LLC Board 400W Kit (RTK0EL0006D00000BJ)
動作周波数		高速オンチップ・オシレータ・クロック(fHOCO) : 8MHz PLL クロック(fPLL) : 96MHz CPU/周辺ハードウェア・クロック(fCLK) : 48MHz
動作電圧		AC 100V, 230V
CS+ for CC	統合開発環境 (IDE)	ルネサス エレクトロニクス製 CS+ for CC V8.14.00
	コンパイラ	CC-RL V1.15.01
IAR	統合開発環境 (IDE)	IAR Systems 製 IAR Embedded Workbench for Renesas RL78 V5.10.3
	コンパイラ	IAR C/C++ Compiler for Renesas RL78 V5.10.3.2716
e2 studio	統合開発環境 (IDE)	ルネサス エレクトロニクス製 e2 studio 2025-10
	コンパイラ	CC-RL V1.15.01
スマート・コンフィグレータ (SC)		V1.15.0 [使用コンポーネント] Board Support Packages V1.91 A/D コンバータ V1.8.0 D/A コンバータ V1.5.0 PWM 出力 V1.10.1 UART 通信 V1.10.0 インターバル・タイマ V1.8.0 コンパレータ V1.5.1 ポート V1.8.0 入力信号のハイ/ロウ幅測定 V1.7.0 割り込みコントローラ V1.7.0 ウォッチドッグ・タイマ V1.7.0 電圧検出回路 V1.6.1

3. ハードウェア仕様

ターゲットボードおよびハードウェアの詳細情報については、下記ドキュメントの2章を参照してください。

RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 (ハードウェア&ソフト基礎編) (R01AN8175)

4. ソフトウェア仕様

4.1 環境構築

本サンプル・プログラムは CC-RL 版と IAR 版の 2 種のコンパイラにて動作するプロジェクトを提供しております。コンパイラ別の環境構築方法を記載します。

4.1.1 CC-RL 版 (CS+ for CC)

CC-RL 版 (CS+ for CC)の環境構築方法を記載します。

4.1.1.1 CS+ for CC のダウンロードおよびインストール

サンプルアプリケーションを動作させるにあたって、統合開発環境 CS+ for CC が必要になります。ルネサスエレクトロニクスのホームページからダウンロード及びインストールしてください。

4.1.1.2 サンプルアプリケーションの起動

1. 提供プロジェクトファイルを解凍、任意の場所（フォルダ）へ配置します。
2. 解凍したプロジェクトフォルダ内の TvPower_CPU.mtpj をダブルクリックします。

4.1.1.3 サンプルアプリケーションのビルド方法

1. CS+ for CC のメニューバーから「ビルド」→「ビルド・プロジェクト」をクリックします。
2. ビルドが開始され、「すべてのメッセージ」にビルドの状況が表示されるので“ビルド終了”というメッセージが表示されたらビルド完了です。

4.1.1.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法

1. ターゲットボードにマウントしたデバッグボードの E2 Lite コネクタに E2 Lite を接続します。
2. デバッグボードの JP400 をオープンにします。
3. E2 Lite からデバッグボードへ 3.3V 電源を供給する設定にします。
4. ターゲットボードの CN1-CN2 間に AC 入力電圧を印加します。
5. CS+ for CC のメニューバーから「デバッグ」→「デバッグ・ツールへダウンロード」をクリックします。
6. マイクロコントローラへプログラムをダウンロードします。
7. 「デバッグ」→「実行」をクリックし、サンプルアプリケーションのデバッグを実行します。

注：ブレークポイント使用時は、安全のため「デバッグ構成」→「デバッグツール設定」→「停止中はタイマー・グループのエミュレーションを停止する」を「はい」に設定してブレーク中にタイマ出力が停止 (Hi-z)するようにしてください。

また、プログラムがブレークポイントで停止した場合は、そこから再開せず、CPU をリセットしてプログラムの最初から実行するようにしてください。

4.1.2 CC-RL 版 (e2 studio)

CC-RL 版 (e2studio)の環境構築方法を記載します。

4.1.2.1 e2 studio のダウンロードおよびインストール

サンプルアプリケーションを動作させるにあたって、統合開発環境 e2 studio が必要になります。
ルネサスエレクトロニクスのホームページからダウンロード及びインストールしてください。


4.1.2.2 サンプルアプリケーションのインポート

1. 提供プロジェクトファイルを解凍、任意の場所（フォルダ）へ配置します。
2. e2 studio を起動します。
3. e2 studio のメニューバーから「ファイル」→「インポート」を選択します。
4. 「既存プロジェクトをワークスペースへ」を選択し、「次へ」を選択します。
5. ルート・ディレクトリーの選択の「参照」を選択し、1.で配置したプロジェクトのルート・ディレクトリーを選択します。
6. プロジェクトのリストに表示される TvPower_CPU にチェックを入れて「終了」を選択します。

4.1.2.3 サンプルアプリケーションのビルド方法

1. プロジェクト・エクスプローラからインポートしたサンプル・プロジェクトを右クリックし、「プロジェクトをビルド」をクリックします。
2. ビルドが開始され、「コンソール」にビルドの状況が表示されるので“Build Finished.”というメッセージが表示されたらビルド完了です。

4.1.2.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法

1. ターゲットボードにマウントしたデバッグボードの E2 Lite コネクタに E2 Lite を接続します。
2. デバッグボードの JP400 をオープンにします。
3. E2 Lite からデバッグボードへ 3.3V 電源を供給する設定にします。
4. ターゲットボードの CN1-CN2 間に AC 入力電圧を印加します。
5. e2 studio の  ボタンをクリックします。
6. マイクロコントローラへプログラムをダウンロードし、デバッグを行います。

注：ブレークポイント使用時は、安全のため、デバッガの「ハードウェア設定」ウィンドウ中の「周辺ブレーク」にある「A(タイマ)」にチェックを入れ、ブレーク中にタイマ出力が停止(Hi-z)するようにしてください。

また、プログラムがブレークポイントで停止した場合は、そこから再開させず、CPU をリセットしてプログラムの最初から実行するようにしてください。

4.1.3 IAR 版

IAR 版の環境構築方法を記載します。

4.1.3.1 IAR Embedded Workbench のダウンロードおよびインストール

サンプルアプリケーションを動作させるにあたって、統合開発環境 IAR Embedded Workbench for Renesas RL78 が必要になります。

IAR Systems のホームページからダウンロード及びインストールしてください。


4.1.3.2 サンプルアプリケーションの起動

1. IAR Embedded Workbench for Renesas RL78 を起動します。
2. 「ファイル」タブ→「新規ワークスペース」を選択します。
3. 「ファイル」から「名前を付けてワークスペース保存」を選択し任意の名前、場所(フォルダ)にワークスペースを配置します。
4. 提供プロジェクトファイルを解凍、作成したワークスペース(フォルダ)を配置します。
5. 「プロジェクト」から「既存プロジェクトの追加」を選択し、3.で配置したプロジェクトファイル(EWP ファイル)を選択します。
6. 「ファイル」から「終了」をクリックします。

4.1.3.3 サンプルアプリケーションのビルド方法

1. ワークスペースでプロジェクトを右クリックし、「メイク」を選択します。
2. ビルドが開始され、「コンソール」にビルドの状況が表示されるので“エラー合計数: 0”というメッセージが表示されたらビルド完了です。

4.1.3.4 サンプルアプリケーションのデバッグ方法

1. ターゲットボードにマウントしたデバッグボードの E2 Lite コネクタに E2 Lite を接続します。
2. デバッグボードの JP400 をオープンにします。
3. E2 Lite からデバッグボードへ 3.3V 電源を供給する設定にします。
4. ターゲットボードの CN1-CN2 間に AC 入力電圧を印加します。
5. IAR Embedded Workbench for Renesas RL78 の  ボタンをクリックします。
6. マイクロコントローラへプログラムをダウンロードし、デバッグを行います。

注：ブレークポイント使用時はタイマ動作に注意し、必要に応じて CPU リセットを行ってください。

4.2 ソフトウェア制御

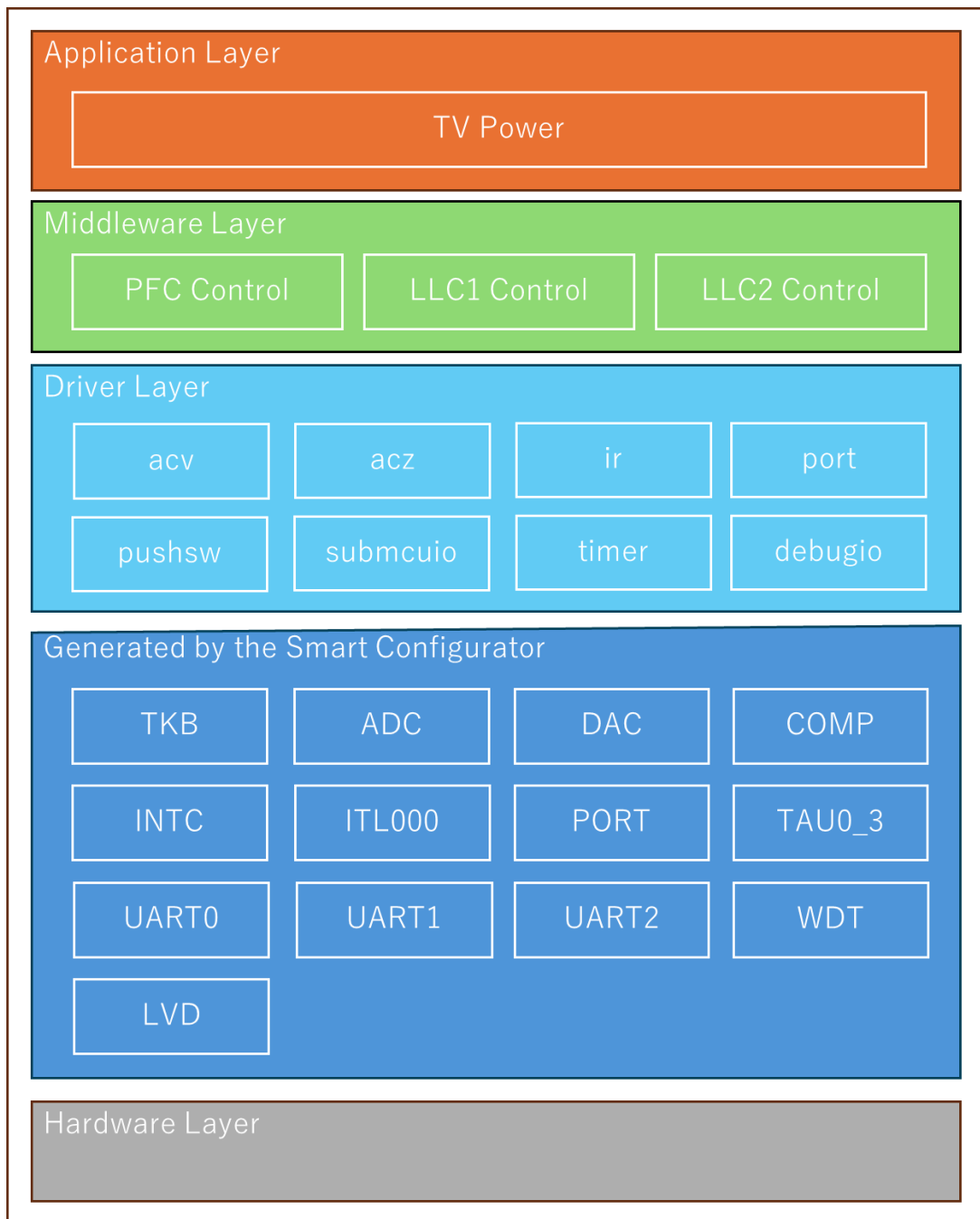
サンプル・プログラムのソフトウェア制御概要については下記ドキュメントの3章を参照してください。

RL78/G24 による Interleaved CrM PFC and LLC 制御 (ハードウェア&ソフト基礎編) (R01AN8175)

4.3 ソフトウェア構成

サンプル・プログラムのソフトウェア構成を記載します。

図 4.1 ソフトウェア構成図



4.3.1 フォルダ構成

サンプル・プログラムのフォルダ構成を記載します。

表 4-1 フォルダ構成

フォルダ、ファイル名	説明
TvPower_CPU	サンプル・プログラムのフォルダ
main.c	メインファイル
QE Config	QE for Lighting & Power 用フォルダ
r_powerConfig.h	QE for Lighting & Power 用コンフィグヘッダファイル
Src	ソースコード格納フォルダ
r_common.h	共通定義ファイル
application	アプリケーションプログラム格納フォルダ
r_tvpower.c	TV 用電源アプリケーションのソースファイル
r_tvpower.h	TV 用電源アプリケーションのヘッダファイル
middleware	ミドルウェアプログラム格納フォルダ
r_pfc.c	PFC 制御ミドルウェアのソースファイル
r_pfc.h	PFC 制御ミドルウェアのヘッダファイル
r_llc1.c	LLC1 制御ミドルウェアのソースファイル
r_llc1.h	LLC1 制御ミドルウェアのヘッダファイル
r_llc2.c	LLC2 制御ミドルウェアのソースファイル
r_llc2.h	LLC2 制御ミドルウェアのヘッダファイル
driver	ドライバプログラム格納フォルダ
r_acv.c	AC 電圧判定ドライバのソースファイル
r_acv.h	AC 電圧判定ドライバのヘッダファイル
r_acz.c	AC ゼロクロス検出ドライバのソースファイル
r_acz.h	AC ゼロクロス検出ドライバのヘッダファイル
r_adc.c	A/D コンバータドライバのソースファイル
r_adc.h	A/D コンバータドライバのヘッダファイル
r_clock.c	動作クロック設定ドライバのソースファイル
r_clock.h	動作クロック設定ドライバのヘッダファイル
r_debugio.c	デバッグ用 IO ドライバのソースファイル
r_debugio.h	デバッグ用 IO ドライバのヘッダファイル
r_ir.c	IR ドライバのソースファイル
r_ir.h	IR ドライバのヘッダファイル
r_port.c	Port ドライバのソースファイル
r_port.h	Port ドライバのヘッダファイル
r_pushsw.c	PushSW ドライバのソースファイル
r_pushsw.h	PushSW ドライバのヘッダファイル
r_submciu.c	Sub MCU IO ドライバのソースファイル
r_submciu.h	Sub MCU IO ドライバのヘッダファイル
r_timer.c	Timer ドライバのソースファイル
r_timer.h	Timer ドライバのヘッダファイル
smc_gen	スマート・コンフィグレータ生成フォルダ (以下省略) ※配下に本ライブラリのコードが生成されます

4.3.2 オプション・バイトの設定一覧

表 4-2 にオプション・バイト設定を示します。

表 4-2 オプション・バイト設定

アドレス	設定値	内容
000C0H/040C0H	1111 0010 (F2H)	ウォッチドッグ・タイマ動作許可 <ul style="list-style-type: none"> ・ オーバーフロー時間 : $2^8/\text{fIL}$ (7.8125 ms) ・ リセット解除後、カウント開始 ・ HALT/STOP モード時、カウンタ動作停止
000C1H/040C1H	1111 1011 (FBH)	LVD リセット・モード (立ち下がり : 2.91V 立ち上がり : 2.97V)
000C2H/040C2H	1110 1010 (EAH)	フラッシュ動作モード : 高速メインモード 高速オンチップ・オシレータの周波数 : 8MHz
000C3H/040C3H	1000 0100 (84H)	オンチップ・デバッグ動作許可

4.3.3 API 関数

本サンプル・プログラムにおけるアプリケーション層及びミドルウェア層の API 関数を記載します。

4.3.3.1 r_tvpower.c

アプリケーション層の r_tvpower.c で定義されている API 関数一覧を記載します。

表 4-3 アプリケーション API 関数一覧

関数名	説明
R_TVPOWER_Init	電源制御アプリケーション動作を初期化します。
R_TVPOWER_Task	電源制御アプリケーション動作のタスク処理を実行します。

4.3.3.2 r_pfc.c

ミドルウェア層の r_pfc.c で定義されている API 関数一覧を記載します。

表 4-4 PFC 制御 API 関数一覧

関数名	説明
R_PFC_Init	PFC 制御機能を初期化します。
R_PFC_StartBoost	PFC 昇圧制御を開始します。
R_PFC_StartBurst	PFC バースト制御を開始します。
R_PFC_StartNormalSingle	PFC 通常制御を開始します。(シングル出力動作)
R_PFC_SwitchToInterleaved	PFC 出力をインターリーブモードへ切り替えます。
R_PFC_SwitchToSingle	PFC 出力をシングルモードへ切り替えます。
R_PFC_Stop	PFC 制御を停止します。
R_PFC_TickMs	PFC 制御における Tick タイミングを通知します。
R_PFC_GetStatus	PFC 制御状態を取得します。
R_PFC_Tick50us	50us 毎処理を実現します。
R_PFC_FeedbackCycleProcess	PFC のフィードバック処理を実行します。
R_PFC_GetMaxFreqLimit	PFC 最大周波数リミット設定値を取得します。
R_PFC_UpdateMaxFreqLimit	PFC 最大周波数リミット設定を更新します。
R_PFC_GetLoadPower100V	負荷電力を推計し、取得します。(AC100V)
R_PFC_GetLoadPower200V	負荷電力を推計し、取得します。(AC200V)
R_PFC_DetectOcpCallback	OCP 時のコールバック処理です。 本関数は OCP 時に呼び出される必要があります。
R_PFC_SetKp	フィードバック処理の比例ゲイン(Kp)を設定します。
R_PFC_SetFz	フィードバック処理のゼロ点周波数(fz)を設定します。
R_PFC_GetOnWidthCount	PFC Master 側の on 幅設定値を取得します。

4.3.3.3 r_llc1.c

ミドルウェア層の r_llc1.c で定義されている API 関数一覧を記載します。

表 4-5 LLC1 制御 API 関数一覧

関数名	説明
R_LL1C1_Init	LLC1 制御機能を初期化します。
R_LL1C1_StartBurst	LLC1 バースト制御を開始します。
R_LL1C1_StartNormal	LLC1 通常制御を開始します。
R_LL1C1_Stop	LLC1 制御を停止します。
R_LL1C1_TickMs	LLC1 制御における Tick タイミングでの処理を実行します。
R_LL1C1_GetStatus	LLC1 制御状態を取得します。
R_LL1C1_Tick50us	LLC1 の 50us 毎処理を実行します。
R_LL1C1_FeedbackCycleProcess	LLC1 のフィードバック処理を実行します。
R_LL1C1_DetectOcpCallback	OCP 時のコールバック処理です。 本関数は OCP 時に呼び出される必要があります。

4.3.3.4 r_llc2.c

ミドルウェア層の r_llc2.c で定義されている API 関数一覧を記載します。

表 4-6 LLC2 制御 API 関数一覧

関数名	説明
R_LL2C2_Init	LLC2 制御機能を初期化します。
R_LL2C2_StartBurst	LLC2 バースト制御を開始します。
R_LL2C2_StartNormal	LLC2 通常制御を開始します。
R_LL2C2_Stop	LLC2 制御を停止します。
R_LL2C2_TickMs	LLC2 制御における Tick タイミングでの処理を実行します。
R_LL2C2_GetStatus	LLC2 制御状態を取得します。
R_LL2C2_Tick50us	LLC2 の 50us 毎処理を実行します。
R_LL2C2_FeedbackCycleProcess	LLC2 のフィードバック処理を実行します。
R_LL2C2_DetectOcpCallback	OCP 時のコールバック処理です。 本関数は OCP 時に呼び出される必要があります。

5. QE for Lighting & Power を用いた動作

QE for Lighting & Power (V2.0.0 以降)では、電源制御パラメータの設定、シミュレーション、評価、コード生成までを一貫して行うことが可能です

本章では QE for Lighting & Power を用いてターゲットボードの電源制御機能を確認・評価する際の一連の動作について説明します。

5.1 QE for Lighting & Power のダウンロード

ルネサスエレクトロニクスのホームページからダウンロード及びインストールしてください。

5.2 ワークスペースの準備

ターゲットボードの選択やアプリケーションプログラムを格納するフォルダとなるワークスペースを設定します。

5.2.1 ボードの選択

1. 「2. ワークスペースの準備」を開き、「ルネサスボード」を選択します。
2. 対象プロジェクトの選択から「[R01AN8175JJ0100] Interleaved CrM PFC and LLC Control with RL78/G24 (Hardware & Software Basics)」を選択します。

5.2.2 ワークスペースの選択

「ワークスペースの選択」からアプリケーションプログラムを格納する任意のフォルダを選択します。



図 5.1 ワークスペースの準備

5.3 照明通信の設定

本対象プロジェクトでは照明通信に対応していないため「3.照明通信の設定」は使用できません。



図 5.2 照明通信の設定

5.4 電源制御の設定

「4.電源制御の設定」では、Power Configuration ビューを用いて回路特性値および電源制御パラメータの変更が可能です。



図 5.3 電源制御の設定

5.4.1 電源制御方式の設定

「電源制御方式を有効」を有効にすることで、電源制御パラメータの設定、シミュレーション、コード生成などの電源制御機能が使用可能になります。

5.4.1.1 Power Configuration ビュー

「Power Configuration ビューを開く」ボタンを押下することで、回路図の参照と、回路特性値および電源制御パラメータの変更が可能です。

Power Configuration ビューはターゲットボードの回路図（上部）とコンフィグ可能なパラメータ（下部）で構成されます。

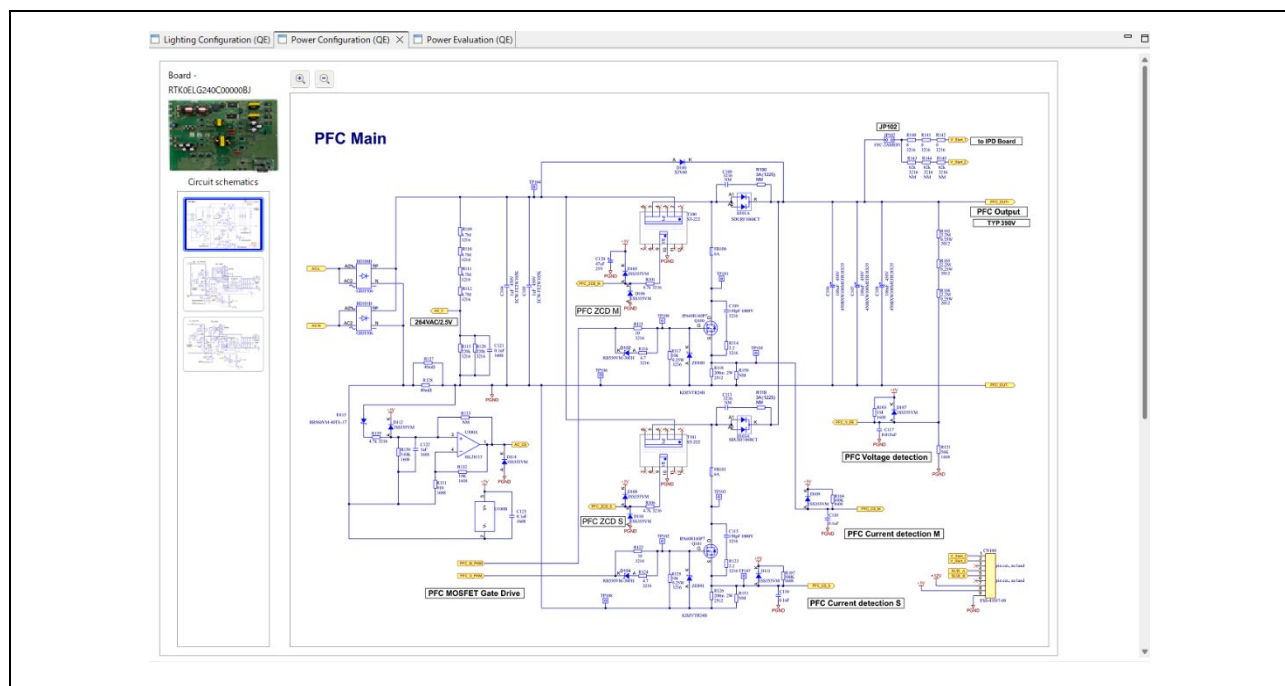


図 5.4 Power Configuration (ターゲットボードの回路図)

Circuit Characteristics	Value	Power Control Parameters	Value
Common		CPU	
AC freq (Hz)	60	PFC	
Synchronous Rectification	<input type="checkbox"/>	DAC value for PFC OCP detection	122
PFC		PFC output voltage target	2735
PFC_M		PFC OVP detection threshold	3022
Power MOSFET		PFC dynamic OVP detection threshold	2826
Ron (Ω)	0.281	PFC feedback parameter A1 (only for simulative)	16425
Ids (A)	6.3	PFC feedback parameter A2 (only for simulative)	-16343
Vth (V)	3.5	LLC1	
Vgs (V)	10	DAC value for LLC1 OCP detection	860
Ciss (pF)	1317	LLC1 output voltage target	8
Coss (pF)	520	LLC1 feedback parameter A1	1989
Crss (pF)	80	LLC1 feedback parameter A2	-59
Inductor L1 (μH)	180	LLC2	
Inductor L2 (μH)	18	DAC value for LLC2 OCP detection	184
PFC_S		LLC2 output voltage target	8
Power MOSFET		LLC2 feedback parameter A1	6947
Ron (Ω)	0.281	LLC2 feedback parameter A2	-835
Ids (A)	6.3	FAA	
Vth (V)	3.5	PFC	
Parameters for PFC Circuit.			

図 5.5 Power Configuration (コンフィグ可能なパラメータ)

コンフィグ可能なパラメータは「Circuit Characteristics」と「Power Control Parameters」から構成されま
す。

Circuit Characteristics は回路特性のパラメータを設定することができます。ここで設定したパラメータは
後述の電源制御シミュレータに反映されます。

表 5.1 Circuit Characteristic 一覧 (1/3)

項目			デフォルト値	説明
Common	AC freq (Hz)		60	AC 電圧の周波数
	Synchronous Rectification		チェックなし	LLC の同期／非同期整流回路を切り 替えます。 チェックすると LLC 同期整流回路が 有効になります。
PFC_M	Power MOSFET	Ron (Ω)	0.281	PFC マスタ側 MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	6.3	PFC マスタ側 MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	3.5	PFC マスタ側 MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	10	PFC マスタ側 MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	1317	PFC マスタ側 MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	520	PFC マスタ側 MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	PFC マスタ側 MOSFET Crss [pF]
	Inductor L1 (μ H)		180	PFC マスタ側トランスの一次側インダ クタンス L1 [μ H]
	Inductor L2 (μ H)		18	PFC マスタ側トランスの二次側インダ クタンス L2 [μ H]
PFC_S	Power MOSFET	Ron (Ω)	0.5	PFC スレーブ側 MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	6.3	PFC スレーブ側 MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	3.5	PFC スレーブ側 MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	1317	PFC スレーブ側 MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	520	PFC スレーブ側 MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	520	PFC スレーブ側 MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	PFC スレーブ側 MOSFET Crss [pF]
	Inductor L1 (μ H)		180	PFC スレーブ側トランスの一次側イン ダクタンス L1 [μ H]
	Inductor L2 (μ H)		18	PFC スレーブ側トランスの二次側イ ンダクタンス L2 [μ H]

表 5.2 Circuit Characteristic 一覧 (2/3)

項目		デフォルト値	説明	
LLC1	Power MOSFET High Side	Ron (Ω)	0.237	LLC1 high side MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	3.6	LLC1 high side MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	4	LLC1 high side MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	10	LLC1 high side MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	807	LLC1 high side MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	249	LLC1 high side MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	LLC1 high side MOSFET Crss [pF]
	Power MOSFET Low Side	Ron (Ω)	0.237	LLC1 low side MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	3.6	LLC1 low side MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	4	LLC1 low side MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	10	LLC1 low side MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	807	LLC1 low side MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	249	LLC1 low side MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	LLC1 low side MOSFET Crss [pF]
	Inductor L1 (μ H)		525	LLC1 トランスの一次側インダクタンス L1 [μ H]
	Inductor L2 (μ H)		2.5	LLC1 トランスの二次側インダクタンス L2 [μ H]
	Inductor L3 (μ H)		2.5	LLC1 L3 [μ H]
Inductor LR (μ H)		75	LLC1 の負荷抵抗 [μ H]	
Capacitor CR (μ F)		0.044	LLC1 の共振コンデンサ容量 [μ F]	

表 5.3 Circuit Characteristic 一覧 (3/3)

項目		デフォルト値	説明	
LLC2	Power MOSFET High Side	Ron (Ω)	0.237	LLC2 high side MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	3.6	LLC2 high side MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	4	LLC2 high side MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	10	LLC2 high side MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	807	LLC2 high side MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	249	LLC2 high side MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	LLC2 high side MOSFET Crss [pF]
	Power MOSFET Low Side	Ron (Ω)	0.237	LLC2 low side MOSFET Ron [Ω]
		Ids (A)	3.6	LLC2 low side MOSFET Ids [A]
		Vth (V)	4	LLC2 low side MOSFET Vth [V]
		Vgs (V)	10	LLC2 low side MOSFET Vgs [V]
		Ciss (pF)	807	LLC2 low side MOSFET Ciss [pF]
		Coss (pF)	249	LLC2 low side MOSFET Coss [pF]
		Crss (pF)	80	LLC2 low side MOSFET Crss [pF]
	Inductor L1 (μ H)		425	LLC2 トランスの一次側インダクタンス L1 [μ H]
	Inductor L2 (μ H)		28	LLC2 トランスの二次側インダクタンス L2 [μ H]
	Inductor L3 (μ H)		28	LLC2 L3 [μ H]
Inductor LR (μ H)		75	LLC2 の負荷抵抗 [μ H]	
Capacitor CR (μ F)		0.044	LLC2 の共振コンデンサ容量 [μ F]	

Power Control Parameters は電源制御に関するパラメータを設定することができます。ここで設定したパラメータは後述の電源制御シミュレータと生成プログラムに反映されます。本書では CPU 版評価プログラムの設定項目を以下に示します。

表 5.4 電源制御パラメータ値一覧(1/3)

項目	デフォルト値	説明
PFC DAC value for PFC OCP detection	122	PFC の OCP 検出用 DAC 値 例 : VDD = 5 V、ピーク電流 = 10 A の場合 DAC 出力電圧 [V] = 10 A × 0.2 Ω × 1.2 (20% マージン) = 2.4 V PFC_CS_LIMIT_FOR_DAC = (2.4 V / 5 V) × 256 = 122
PFC output voltage target	2735	PFC_V_FB ピンの目標 A/D 値 実測値に基づき、以下の暫定計算式を使用します。 PFC_ADC_TARGET = 6.528 × Voltage + 215.428 例 : Voltage = 386V PFC_ADC_TARGET = 6.528 × 386 + 215.428 = 2735
PFC OVP detection threshold	3022	PFC OVP 検出しきい値 (検出対象 : PFC_V_FB ピン) 実測値に基づき、以下の暫定計算式を使用します。 PFC_ADC_OVP_THRESHOLD = 6.528 × Voltage + 215.428 例 : Voltage = 430 V PFC_ADC_OVP_THRESHOLD = 6.528 × 430 + 215.428 = 3022
PFC Dynamic-OVP detection threshold	2826	PFC Dynamic-OVP 検出しきい値 (検出対象 : PFC_V_FB ピン) 実測値に基づき、以下の暫定計算式を使用します。 PFC_ADC_DOVP_THRESHOLD = 6.528 × Voltage + 215.428 例 : Voltage = 400 V PFC_ADC_DOVP_THRESHOLD = 6.528 × 400 + 215.428 = 2826

表 5.5 電源制御パラメータ値一覧(2/3)

項目		デフォルト値	説明
PFC	PFC feedback parameter A1 (only for simulation)	16425	<p>PI 制御の係数 A1</p> $A1 = (\pi \times fz \times T + 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A1 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 2 \text{ Hz}$、$T = 400 \mu\text{s}$、$Kp = 0.25$</p> $\text{PFC_PI_PARAM_A1} = (\pi \times 2 \times 400 \times 10^{-6} + 1) \times 0.25 \times 65536 = 16425$
	PFC feedback parameter A2 (only for simulation)	-16343	<p>PI 制御の係数</p> $A2 = (\pi \times fz \times T - 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A2 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 2 \text{ Hz}$、$T = 400 \mu\text{s}$、$Kp = 0.25$</p> $\text{PFC_PI_PARAM_A2} = (\pi \times 2 \times 400 \times 10^{-6} - 1) \times 0.25 \times 65536 = -16343$
LLC1	DAC value for LLC1 OCP detection	860	<p>LLC1 の OCP 検出用 DAC 値</p> <p>例 : $VDD = 5 \text{ V}$ の場合</p> <p>DAC 出力電圧 [V] = 3.5 V (定格負荷時ピーク電圧) $\times 1.20$ (マージン) = 4.2 V</p> $\text{LLC1_CS_LIMIT_FOR_DAC} = (4.2 \text{ V} / 5 \text{ V}) \times 1024 = 860$
	LLC1 output voltage target	8	<p>LLC1 のフィードバック周期 (200 μs) 中に A/D 値は 16 回取得され、その 16 回分の判定結果の合計が LLC1_ADC_TARGET となります。</p> <p>LLC1_ADC_TARGET の範囲は 0~16 です。</p> <p>回路上では、LLC1 の出力電圧が 13 V のとき、LLC1_ADC_TARGET は 8 となります。</p> <p>また、出力電圧が 13 V を超えると LLC1_ADC_TARGET は増加し、出力電圧が低下すると LLC1_ADC_TARGET は減少します。</p>
	LLC1 feedback parameter A1	1989	<p>PI 制御の係数 A1</p> $A1 = (\pi \times fz \times T + 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A1 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 1500 \text{ Hz}$、$T = 200 \mu\text{s}$、$Kp = 0.015625$</p> $\text{LLC1_PI_PARAM_A1} = (\pi \times 1500 \times 200 \times 10^{-6} + 1) \times 0.015625 \times 65536 = 1989$

表 5.6 電源制御パラメータ値一覧(3/3)

マクロ名		デフォルト値	説明
LLC1	LLC1 feedback parameter A2	-59	<p>PI 制御の係数 A2</p> $A2 = (\pi \times fz \times T - 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A2 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 1500 \text{ Hz}$、$T = 200 \mu\text{s}$、$Kp = 0.015625$</p> $\text{LLC1_PI_PARAM_A2} = (\pi \times 1500 \times 200 \times 10^{-6} - 1) \times 0.015625 \times 65536 = -59$
LLC2	DAC value for LLC2 OCP detection	184	<p>LLC2 の OCP 検出用 DAC 値</p> <p>例 : $VDD = 5 \text{ V}$ の場合</p> <p>DAC 出力電圧 [V] = 3.0 V (定格負荷時ピーク電圧) $\times 1.20$ (マージン) = 3.6 V</p> $\text{LLC2_CS_LIMIT_FOR_DAC} = (3.6 \text{ V} / 5 \text{ V}) \times 256 = 184$
	LLC2 output voltage target	8	<p>LLC2 のフィードバック周期 ($200 \mu\text{s}$) 中に A/D 値は 16 回取得され、</p> <p>その 16 回分の判定結果の合計が LLC2_ADC_TARGET となります。</p> <p>LLC2_ADC_TARGET の値は 0~16 の範囲となります。</p> <p>回路上では、LLC2 の出力電圧が 50V のとき、LLC2_ADC_TARGET は 8 となります。</p> <p>また、出力電圧が 13V を超えると LLC2_ADC_TARGET は増加し、出力電圧が低下すると LLC2_ADC_TARGET は減少します。</p>
	LLC2 feedback parameter A1	6947	<p>PI 制御の係数 A1</p> $A1 = (\pi \times fz \times T + 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A1 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 1250 \text{ Hz}$、$T = 200 \mu\text{s}$、$Kp = 0.059375$</p> $\text{LLC2_PI_PARAM_A2} = (\pi \times 1250 \times 200 \times 10^{-6} + 1) \times 0.059375 \times 65536 = 6947$
	LLC2 feedback parameter A2	-835	<p>PI 制御の係数 A2</p> $A2 = (\pi \times fz \times T - 1) \times Kp$ <p>計算を容易にし、小数部の精度を向上させるため、A2 には 65536 を乗算する必要があります。</p> <p>例 : $fz = 1250 \text{ Hz}$、$T = 200 \mu\text{s}$、$Kp = 0.059375$</p> $\text{LLC2_PI_PARAM_A2} = (\pi \times 1250 \times 200 \times 10^{-6} - 1) \times 0.059375 \times 65536 = -835$

5.4.2 電源制御シミュレータ

電源制御シミュレータは、Power Configuration ビューで設定したパラメータを用いてターゲットボードの動作をソフトウェア上でシミュレーションする機能です。

本シミュレータを使用することで、実機で確認する前に、PFC や LLC の電圧・電流の時間変化や制御動作の傾向をグラフ等で事前に確認できます。

5.4.2.1 電源制御シミュレータダイアログ

「電源制御シミュレーションダイアログを開く」ボタンを押下することで電源制御シミュレータを起動することができます。電源制御シミュレータでは、以下パラメータを設定したうえで「Start Simulation」ボタンを押下することでシミュレーション開始できます。シミュレーション中の各パラメータ値の推移をグラフで可視化されます。

表 5.7 設定可能パラメーター一覧

項目	時間[ms] (デフォルト値)	デフォルト値		説明
AC Voltage Gain	0.000	282.000 [V]		入力電圧 設定した時間 [ms] が経過すると、設定値が反映されます。
LLC1 Load Resistance	0.000	100 [Ω]		LLC1 負荷抵抗 設定した時間 [ms] が経過すると、設定値が反映されます
LLC2 Load Resistance	0.000	100 [Ω]		LLC2 負荷抵抗 設定した時間 [ms] が経過すると、設定値が反映されます
Operating modes	0.000	SW1	SW2	動作モード切り替え SW 基本動作： 設定した時間 [ms] が経過すると、設定した SW 状態が反映されます。 <ul style="list-style-type: none"> • チェックあり：SW 押下 • チェックなし：SW 未押下 SW の 押下時間 により、短押し/長押しを判定します。 判定条件： 短押し：1999 ms 以下 長押し：2000 ms 以上 動作： SW1 短押し：LLC2 起動/停止 SW1 長押し：最大周波数リミット 機能 ON/OFF SW2 短押し：Standby/Normal モード切り替え SW2 長押し：Standby/Normal モード切り替え
		チェックなし	チェックなし	
Simulation time [ms]	-	5		シミュレーション時間

表 5.8 出力波形一覧

項目		説明
Common	Input AC Power	AC 電力[W]
PFC	PFC Output Current	PFC 出力電流[A]
	PFC Output Voltage	PFC 出力電圧[V]
	PFC M PWM On Duty	PFC マスタ側 PWM デューティ比[%]
	PFC S PWM On Duty	PFC スレーブ側 PWM デューティ比[%]
	PFC PWM Frequency	PFC PWM 動作周波数[Hz]
LLC1	LLC1 Output Current	LLC1 出力電流[A]
	LLC1 Output Voltage	LLC1 出力電圧[V]
	LLC1 LC Resonant Current	LLC1 LC 共振電流[A]
	LLC1 Secondary Current	LLC1 二次側電流[A]
	LLC1 PWM Frequency	LLC1 PWM 動作周波数[Hz]
LLC2	LLC2 Output Current	LLC1 出力電流[A]
	LLC2Output Voltage	LLC1 出力電圧[V]
	LLC2 LC Resonant Current	LLC1 LC 共振電流[A]
	LLC2 Secondary Current	LLC1 二次側電流[A]
	LLC2 PWM Frequency	LLC1 PWM 動作周波数[Hz]

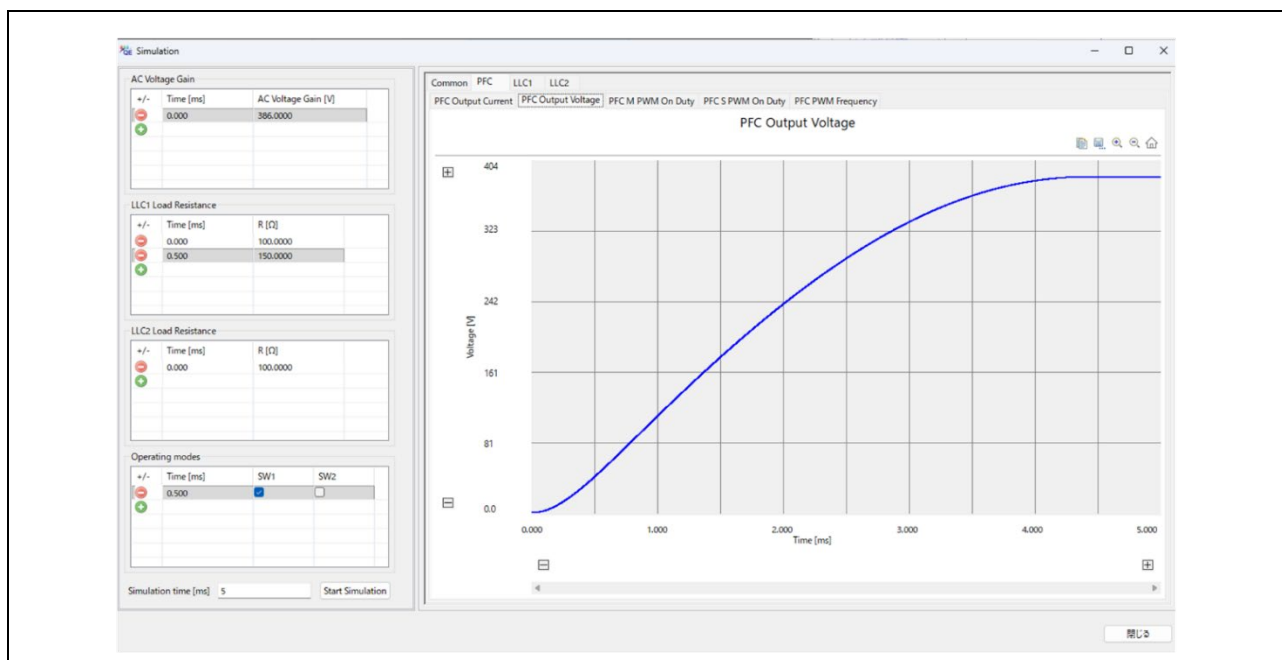


図 5.6 電源制御シミュレータダイアログ

操作手順(基本操作)

1. シミュレーション条件の設定

AC Voltage Gain、負荷抵抗値、動作モード切り替え (SW 動作) など、シミュレーション条件を必要に応じて設定します。

各設定項目には複数の条件を設定でき、指定した「時間 [ms]」が経過すると、シミュレーション中に設定値が動的に切り替わります。

2. シミュレーション時間の設定

「Simulation time [ms]」でシミュレーション時間を入力します。

3. シミュレーションの実行/停止

「Start Simulation」を押下するとシミュレーションが開始します。

シミュレーション中は、ボタンが「Stop Simulation」に切り変わり、そのボタンを押下してシミュレーションを停止できます。

シミュレーション停止後、再度「Start Simulation」を押下することで、シミュレーションを再開できます。

4. 出力波形の確認

シミュレーション実行中は、PFC や LLC の電圧・電流の時間変化、PWM デューティ比など、電源制御動作の傾向を波形として確認できます。

操作手順(Normal モード移行方法)

Standby モードから Normal モードへの遷移をシミュレートする場合は、「Simulation time [ms]」を 600ms 以上に設定し「Operating modes」の SW2 を 600ms 以降に短押しとなるように設定し、シミュレーションを開始してください。

シミュレーション開始から 600 ms 経過後に SW2 の短押し操作が反映され、Standby モードから Normal モードへ切り替わります。

なお、上記の操作は、デフォルト条件での一例です。

Power Configuration ビューで変更した回路特性値や電源制御パラメータの内容に応じて、「Simulation time [ms]」および「Operating modes」のタイミングは適切な値に変更してください。

シミュレーション時間の目安

Simulation time [ms] で指定したシミュレーション時間に応じて、PC 上での演算処理が行われます。

シミュレーションの実行時間は、PC の性能に依存しますが、目安として以下のようになります。

表 5.9 シミュレーション時間の目安

Simulation time[ms] (設定値)	シミュレーション実行時間	実行環境
1000	約 90 分	CPU : Intel Core i7-13700 メモリ : 32GB OS : Windows11

注意事項

Simulation time に大きな値を設定すると実行時間やメモリ使用量に影響を与え、エラーが発生する可能性があります。

詳細はリリースノートを参照してください。

5.4.3 電源制御の評価

Power Configuration ビューで設定したパラメータ等を反映した評価プログラムの生成することができます。また、「Variable Read/Write」や「Variable Monitoring」を用いて評価プログラムが動作しているターゲットボード上で様々なパラメータ値の変化をリアルタイムに確認することが可能です。



図 5.7 電源制御の評価

5.4.3.1 ビルドの設定

Power Configuration ビューで設定したパラメータ等を反映した、評価用のプロジェクトのビルド設定を行います。

(1) コンパイラを選択

生成するプロジェクトは以下コンパイラに対応しています。

- CC-RL コンパイラ (e² studio)
- CC-RL コンパイラ (CS+)
- IAR RL78 コンパイラ

(2) プログラムの種類を選択

また、電源制御処理を実行するコアの種類として CPU と FAA を選択できます。

本書では CPU を選択する前提で以下を説明します。

5.4.3.2 評価プログラムの準備

選択したコンパイラとプログラムの種類に合わせた評価プログラムを生成します。

(1) 設定に合わせたプロジェクトの生成

「設定に合わせたプロジェクトの生成」を押下すると評価用プロジェクトが以下フォルダに生成されません。

<workspace>\qeLighting_gen\tuning_program

(2) 通信プログラムをプロジェクトに追加

「通信プログラムをプロジェクトに追加」ボタンを押下すると Variable Read/Write や Variable Monitoring で使用する通信プログラムがプロジェクトに追加されます。

※通信プログラムを追加した後は、ヘルプの記載内容(「設定変更と評価プログラムの作成(ヘルプ参照)」を押下)に従い、生成されたアプリケーションプログラム統合してください。

5.4.3.3 ボードにダウンロード

生成したプロジェクトをターゲットボードに書き込みます。

ターゲットボードにマウントしたデバッグボードの E2 Lite コネクタに E2 Lite を接続し、「評価用プログラムを評価ボードに書き込む」ボタンを押下してください。

5.4.3.4 ボード接続

通信には USB ケーブルを使用し、ターゲットボードとホスト PC を接続します

本接続は、Variable Read/Write および Variable Monitoring による電源制御評価時の通信に使用します。

注意：通信を開始する前に、SW2 を手動で押下し、ターゲットボードを Normal モードに設定してください。

1. デバッグボードに USB ケーブルを接続します。
2. 「ビットレート」に 500000 を設定します。
3. 「COM Port」に PC と接続した COM ポートを指定します。
4. 「接続」ボタンを押下します。

5.4.3.5 電源制御の評価

ターゲットボード上の電源制御パラメータをリアルタイムで評価します。

2つの評価機能を保有しています。

(1) Variable Read/Write

Variable Read/Write では、アプリケーションプログラムの内部変数やレジスタの値をリアルタイムに読み出し、モニタリングすることが可能です。

本アプリケーションノートでモニタリングできる内部変数はすべて読み取り専用であり、値の書き込みはできません。

「[Variable Read/Write]タブを開く」ボタンを押下すると[Power Evaluation (QE)]ビューの[Variable Read/Write]タブが開きます。

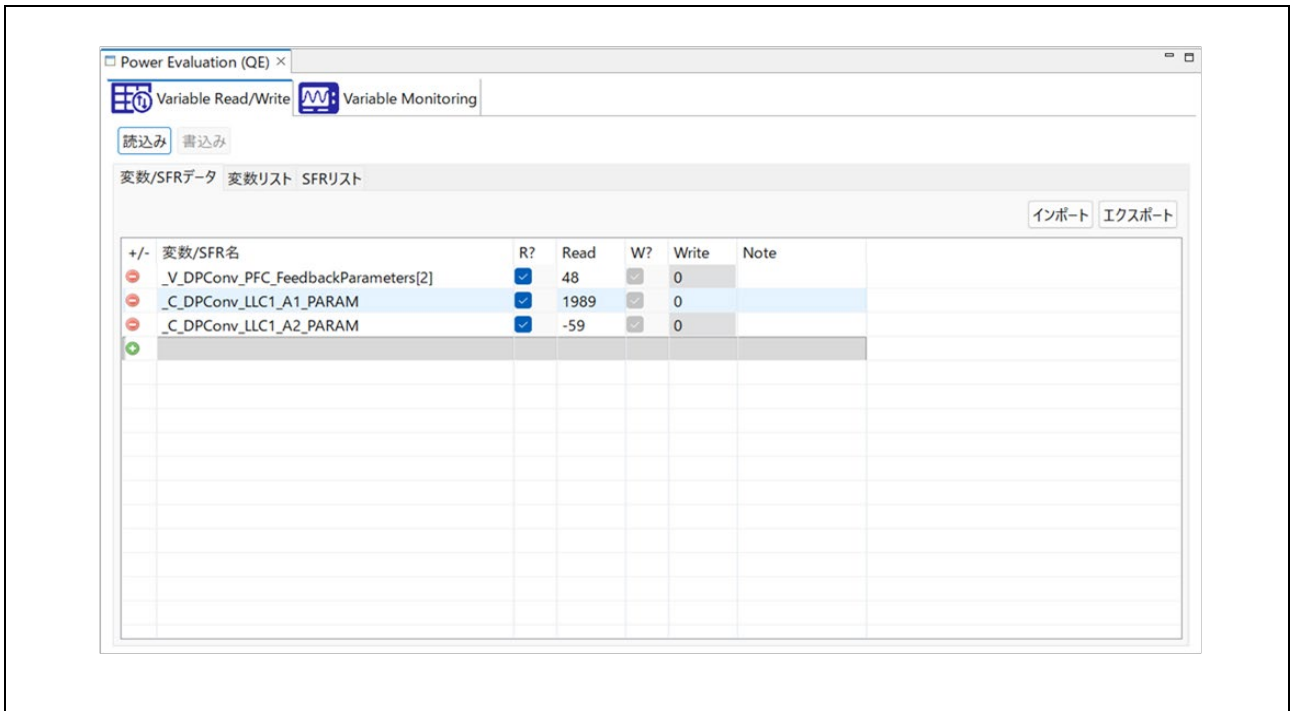


図 5.8 Variable Read/Write

操作手順

1. 評価対象変数の選択

タブ内の変数選択リストから、評価対象となる電源制御変数を選択します

2. 変数値の読み出し

「読み込み」ボタンを押下すると現在の変数値が表示されます。

(2) Variable Monitoring

Variable Monitoring では、評価プログラムの内部変数やレジスタの値一定周期で連続的に取得し、時間変化をグラフとして表示することが可能です。

「[Variable Monitoring]タブを開く」ボタンを押下すると[Power Evaluation (QE)]ビューの[Variable Monitoring]タブが開きます。

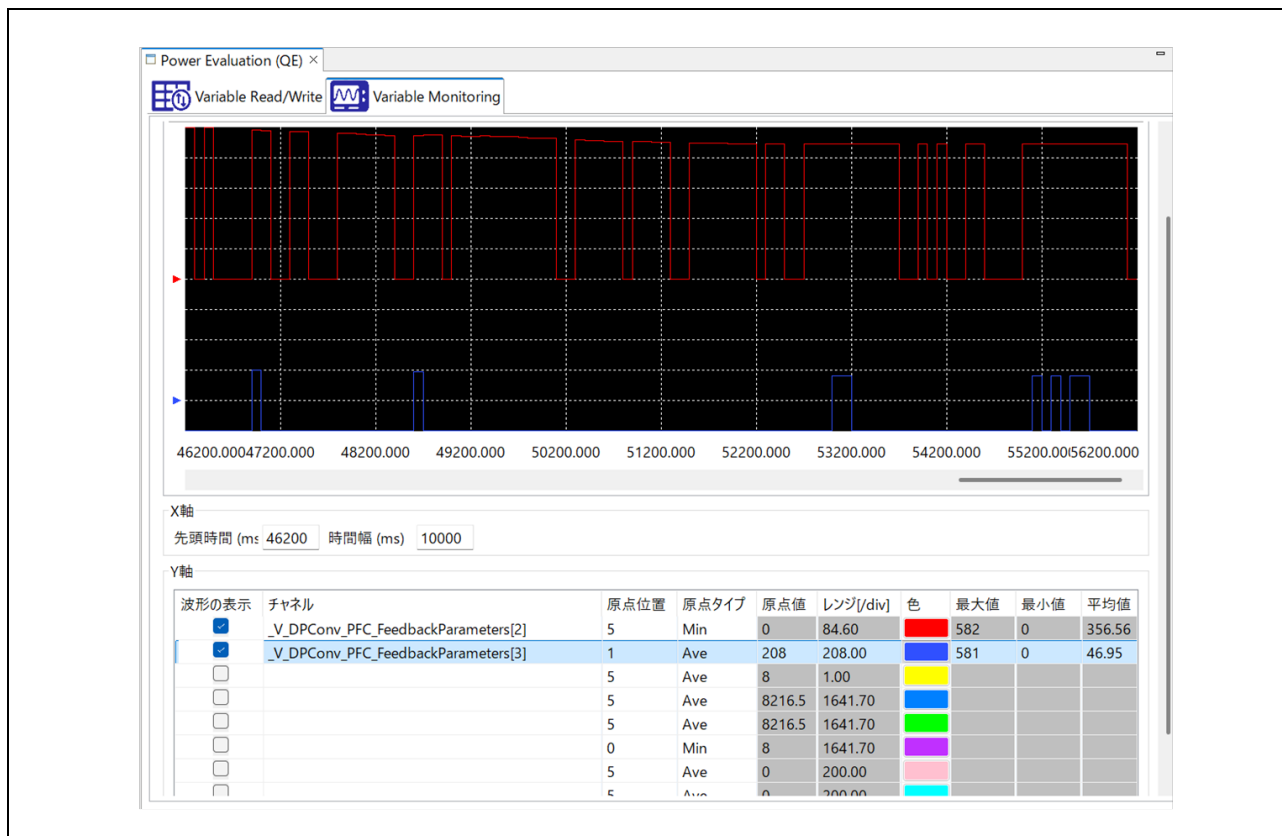


図 5.9 Variable Monitoring

操作手順

1. モニタリング対象変数の選択

タブ内のドロップダウンリスト(チャンネル)から波形表示したい変数を選択します。

複数の変数を同時に選択することも可能です。

2. 取得条件の設定

モニタリング時の時間の設定や出力波形のレンジの設定が可能です。

3. モニタリングの開始

「モニタリングを開始します」を押下すると、変数値の取得と波形表示が開始されます。

5.5 コード生成とプログラム

電源制御の評価時に設定したパラメータを反映したプロジェクトを生成し、ターゲットボードへ書き込むことができます。

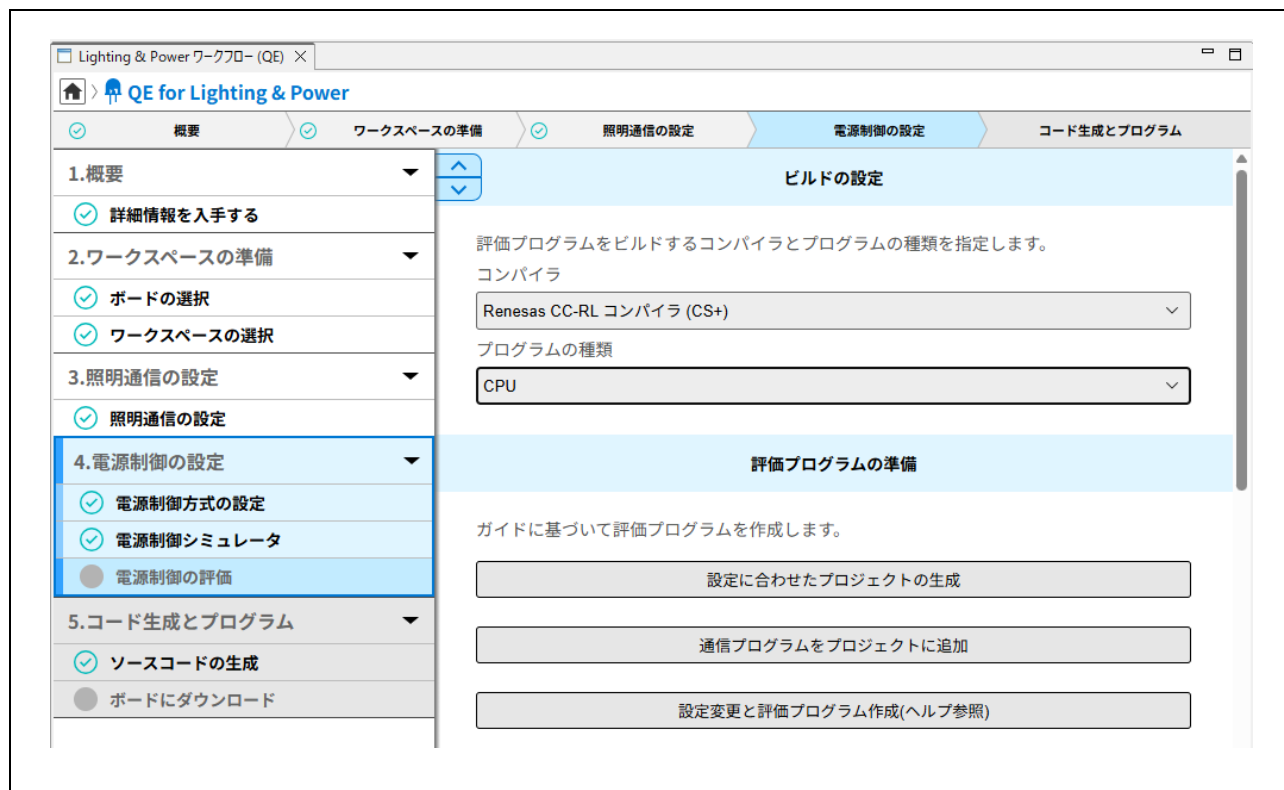


図 5.10 コード生成とプログラム

5.5.1 ソースコードの生成

「ソースコードの生成」ボタンを押下すると以下フォルダにプロジェクトが生成されます。

“<workspace>\%qeLighting_gen\solution”

5.5.2 ボードにダウンロード

「ボードにダウンロード」ボタンを押下すると E2 Lite 経由でプロジェクトをターゲットボードに書き込みます。

5.6 PFC 制御パラメータ A1、A2 に関する注意事項

PFC PI 制御の係数 A1 及び A2 は、評価プログラム内部でゼロ・ポイント周波数(f_z)や比例ゲイン(K_p)などから演算される仕様となっています。そのため、Power Configuration ビューやシミュレータで算出・設定した A1 及び A2 の値は、生成されるアプリケーションプログラムには反映されません。

本パラメータを変更する場合は、アプリケーションプログラムに定義されたゼロ・ポイント周波数(f_z)、比例ゲイン(K_p)の値を直接変更する必要があります。

5.6.1 K_p と f_z の算出方法

Power Configuration ビューやシミュレータで算出・設定した A1、A2 の値から次式でゼロ・ポイント周波数(f_z)、比例ゲイン(K_p)を算出することができます。

ただし、A1 と A2 の値はアプリケーションプログラムの都合上 65536 で乗算された値となっているため、計算を行う際には 65536 で除算した値で代入してください。

また、対象プログラムにおける PFC のフィードバック周期 T は 400us 固定となります。

$$K_p = \frac{A1 - A2}{2}$$

$$f_z = \frac{A1 + A2}{\pi T(A1 - A2)}$$

5.6.2 K_p の f_z の反映方法

計算式より求めたゼロ・ポイント周波数(f_z)と比例ゲイン(K_p)の値は、アプリケーションプログラム内の以下のマクロ値を直接編集することで変更できます。それぞれ整数値で設定してください。

表 5.10 f_z 、 K_p プログラム修正箇所

対象ファイル	マクロ名	デフォルト値	備考
r_pfc.c	PFC_DEFAULT_FZ	2	単位は Hz となります。
	PFC_DEFAULT_KP_EXT12	1024	アプリケーションプログラムの都合上、4096 で乗算した値を設定してください。 例). K_p が 0.25 の場合 $0.25 * 4096 = 1024$

6. 注意事項

本書が提供するサンプル・プログラム動作はあくまでもサンプルです。アプリケーション層は、使用目的に合わせた設計変更・評価を行ってください。

7. 参考ドキュメント

RL78/G24 ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0961)

RL78 ファミリ ユーザーズマニュアル ソフトウェア編 (R01US0015)

(最新版をルネサスエレクトロニクスホームページから入手してください。)

テクニカルアップデート／テクニカルニュース

(最新版の情報をルネサスエレクトロニクスホームページから入手してください。)

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2026.03.19	—	初版発行

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

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

2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れしないでください。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に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

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くと、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、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、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

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いたします。
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

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。