

ルネサス RA ファミリ

RA4 シリーズ クイックデザインガイド

要旨

このドキュメントでは、よくある質問に回答し、ハードウェアマニュアルを見直さなければ見落とされる可能性のある MCU の細かな点を指摘するものです。本書は、ハードウェアマニュアルの代わりとなるものではなく、多くのエンジニアが自身の設計を開始する時、必要な重要な項目を紹介し、マニュアルを補完することを目的としています。また、アプリケーションの観点から、設計上の決定事項を論じています。

対象機器

RA4 シリーズ

目次

| | |
|---|----|
| 1. 電源 | 4 |
| 1.1 参考文献 | 5 |
| 2. エミュレータサポート | 5 |
| 2.1 SWD インタフェース | 6 |
| 2.2 JTAG インタフェース | 7 |
| 2.3 SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェース | 8 |
| 2.4 SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェース: TrustZone® をサポートするデバイス | 9 |
| 2.5 マルチエミュレータインタフェース | 10 |
| 2.6 エミュレータ接続のためのソフトウェア設定 | 11 |
| 2.6.1 SWD および JTAG インタフェース | 11 |
| 2.6.2 トレースポート | 11 |
| 3. MCU の動作モード | 12 |
| 4. オプション設定メモリ | 13 |
| 4.1 オプション設定メモリレジスタ | 14 |
| 5. クロック発生回路 | 15 |
| 5.1 リセット条件 | 16 |
| 5.2 クロック周波数要件 | 16 |
| 5.2.1 USB 通信の要件 | 17 |
| 5.2.2 内蔵 ROM またはデータフラッシュのプログラミングと消去に必要な要件 | 17 |
| 5.3 クロック発生回路 (CGC) の低消費電力化 | 17 |
| 5.4 システムクロックコントロールレジスタの書き込み | 17 |
| 5.5 クロック設定の例 | 18 |
| 5.6 HOCO の精度 | 19 |
| 5.7 フラッシュインタフェースクロック | 19 |
| 5.8 基板設計 | 20 |

| | | |
|--------|-------------------------|----|
| 5.9 | 外部水晶振動子の選択 | 20 |
| 5.10 | 外部クロック入力 | 20 |
| 6. | リセット要件とリセット回路 | 21 |
| 6.1 | 端子リセット | 22 |
| 6.2 | パワーオンリセット | 22 |
| 6.3 | VBATT 選択電圧パワーオンリセット | 23 |
| 6.4 | 独立ウォッチドッグタイマのリセット | 23 |
| 6.5 | ウォッチドッグタイマリセット | 23 |
| 6.6 | 電圧監視リセット | 23 |
| 6.7 | ディープソフトウェアスタンバイリセット | 23 |
| 6.8 | ソフトウェアリセット | 23 |
| 6.9 | その他のリセット | 24 |
| 6.10 | コールド/ウォームスタートの決定 | 24 |
| 6.11 | リセット要因の特定 | 24 |
| 7. | TrustZone の有効化 | 24 |
| 7.1 | Arm TrustZone テクノロジーの実装 | 24 |
| 7.2 | TrustZone のエミュレータサポート | 26 |
| 7.2.1 | デバイスライフサイクル管理 | 28 |
| 8. | メモリ | 29 |
| 8.1 | SRAM | 30 |
| 8.2 | スタンバイ SRAM | 30 |
| 8.3 | 周辺 I/O レジスタ | 31 |
| 8.4 | 内蔵フラッシュメモリ | 31 |
| 8.4.1 | バックグラウンド動作 | 32 |
| 8.4.2 | ID コードプロテクション | 32 |
| 8.4.3 | フラッシュブロック保護 | 33 |
| 8.4.4 | メモリプロテクションユニット | 33 |
| 8.5 | エンディアンの制限 | 34 |
| 9. | レジスタ書き込み保護 | 34 |
| 10. | I/O ポートの設定 | 35 |
| 10.1 | マルチファンクションピン選択の設計方法 | 35 |
| 10.2 | ポートを GPIO として設定して使用する方法 | 36 |
| 10.2.1 | 内部プルアップ | 37 |
| 10.2.2 | オープンドレイン出力 | 37 |
| 10.2.3 | 駆動能力 | 37 |
| 10.3 | ポート周辺機能の設定と使用 | 38 |
| 10.4 | IRQ ピンの設定と使い方 | 39 |
| 10.5 | 未使用ピン | 40 |

| | | |
|--------|----------------------------|----|
| 10.6 | 存在しないピン | 41 |
| 10.7 | 電気的特性 | 41 |
| 11. | モジュール停止機能 | 41 |
| 12. | 割り込み制御ユニット | 41 |
| 13. | 低消費電力 | 43 |
| 14. | バス | 46 |
| 14.1 | バスエラー監視 | 47 |
| 14.1.1 | バスエラータイプ | 47 |
| 14.1.2 | バスエラー発生時の動作 | 47 |
| 15. | 一般的なレイアウトの実践 | 48 |
| 15.1 | デジタルドメインとアナログドメインの比較 | 48 |
| 15.2 | 高速信号設計の考慮事項 | 48 |
| 15.3 | 信号グループの選択 | 49 |
| 16. | 参照 | 49 |
| | 改訂記録 | 51 |

1. 電源

RA4 シリーズには、デジタル電源とアナログ電源があります。電源は次のピンを使用します。

表 1. デジタル電源

| 記号 | 名称 | 説明 |
|-----------|-------------|--|
| VCC | 電源 | 電源ピンです。システム電源に接続します。VCC ピンの近くに配置された 0.1 μ F コンデンサを介して、VSS に接続します。 |
| VSS | グランド | グランド |
| VCL | 電源 | VCL 端子に近いコンデンサを介して VSS に接続します。コンデンサの値は MCU グループで異なります。 |
| VCL0 | 電源 | VCL ピンの近くに 0.1 μ F コンデンサを介して、VSS に接続します。 |
| VBATT | バックアップ電源 | バックアップ電源ピンです。VCC 断時、RTC およびサブクロック発振器に電源を供給します。VBATT ピンを使用しない場合は、VCC または VSS に接続してください。 |
| VCC_USB*1 | USB FS 電源 | USB フルスピード用の電源ピンです。このピンは VCC に接続します。VCC_USB ピンの近くに配置された 0.1 μ F コンデンサを介し、VSS_USB に接続します。 |
| VSS_USB | USB FS グランド | USB フルスピード用のグランドピンです。このピンを VSS に接続します。 |

注 1 : RA4M1 では、VCC_USB は入力または出力のいずれかとなります。

入力の場合、USB トランシーバーの電源電圧となります。出力は USB LDO レギュレータから出力される電圧で、外付けコンデンサが必要です。USB LDO レギュレータを使用しない場合は、VCC に接続します。レギュレータを使用する場合は、1.0 μ F のコンデンサを介し VSS に接続します。

表 2. アナログ電源

| 記号 | 名称 | 説明 |
|----------|---------------------------|--|
| AVCC0 | アナログ電源 | 各モジュールのアナログ電圧供給ピンです。このピンを VCC ピンと同じ電圧に接続します。 |
| AVSS0 | アナロググランド | 各モジュールのアナロググランドです。このピンを VSS ピンと同じ電圧に接続します。 |
| VREFH0*1 | 12 ビット ADC 基準電圧 | 12 ビット A/D 用基準電圧入力ピンです。12 ビット A/D コンバータを使用しない場合は、このピンを AVCC0 に接続してください。 |
| VREFLO*1 | 12 ビット ADC 基準電圧 | 12 ビット A/D コンバータのアナログ基準グランドピンです。12 ビット A/D コンバータを使用しない場合は、このピンを VSS に接続してください。 |
| VREFH | 12 ビット ADC & DAC アナログ電源 | 12 ビット A/D コンバータ、ユニット 1 (存在する場合)、D/A コンバータの基準電圧入力ピンです。これらの機能を使用しない場合は、このピンを AVCC0 に接続してください。 |
| VREFL | 12 ビット ADC & DAC アナロググランド | 12 ビット A/D コンバータ、ユニット 1 (存在する場合) および D/A コンバータの基準グランドピンです。これらの機能を使用しない場合は、このピンを VSS に接続してください。 |

注 1. RA4M1 では 14 ビット ADC に適用されます。

1.1 参考文献

RA MCU Group の電源に関する詳細は、以下のドキュメントを参照してください:

- R01UH0887 RA4M1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編
- R01UH0892 RA4M2 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編
- R01UH0893 RA4M3 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編

Arm Cortex-M4 と Arm Cortex-M33 のデバイスでは、チャプター番号が異なる場合があります。

第 1 章「概要」では、各パッケージの電源ピンと推奨バイパスコンデンサを記載しています。

第 5 章「リセット」では、パワーオンリセットと、これを他のリセットソースとの区別方法について説明します。

第 7 章「低電圧検出」では、電源の監視に使用する低電圧検出回路の詳細を説明します。

第 6 章「オプション設定メモリ」では、起動時に自動的に低電圧検出 0 回路を有効にする方法について説明します。

第 11 章「バッテリーバックアップ機能」では、RTC とサブクロック発振器をバッテリーでバックアップする方法について説明します。

オンチップ ADC（アナログデジタルコンバータ）または DAC（デジタルアナログコンバータ）を使用する場合は、これらの周辺機器にフィルタリング電源を供給する方法の詳細については、12-Bit A/D Converter (ADC12) または「12 ビット A/D コンバータ (ADC12)」「12 ビット D/A コンバータ (DAC12)」を参照ください。

表 3. RA4 シリーズ、ユーザーズマニュアル：ハードウェア

| 章名 | 説明 |
|--|--|
| 概要 | 各パッケージの電源ピンをリストアップし、終端とバイパスの注意事項をしめします。 |
| リセット | パワーオンリセットについて説明し、他のリセットソースと区別する方法について説明します。 |
| 電圧検出回路 | 電源の監視に使用できる低電圧検出回路の詳細を説明します。 |
| 低電力モード | 低電力モードを使用すると、電源電圧を下げる場合があります。動作モードが電源要件への影響については、本章を参照してください。 |
| バッテリーバックアップ機能 | RTC とサブクロックの発振器をバッテリーでバックアップする方法を記載します。 |
| 12 ビット A/D コンバータ 14 ビット A/D コンバータ 12 ビット D/A コンバータ | オンチップ A/D や D/A コンバータを使用する場合、これらの周辺機器のためにフィルタリングされた電源を提供する方法について、これらの章を参照してください。 |
| クロック発生回路 | PCB 設計の推奨を含め、利用可能なクロック構成と使用方法について詳細に説明します。 |

2. エミュレータサポート

RA4 ファミリは、SWD や JTAG 通信を使ったデバッグと、SCI 通信を使ったシリアルプログラミングの両方をサポートしています。本エミュレータを使用することで、デバッグとシリアルプログラミングを簡単に切り替えることができます。

SWD または JTAG エミュレータインタフェースは、ARM 標準の 10 ピンまたは 20 ピンソケットに接続する必要があります。SCI 通信を使用したシリアルプログラミング用に、MD、TXD、RXD ピンが追加されています。

TrustZone®をサポートするデバイスでは、デバッグとシリアルプログラミングを使用するため、基板上で P300/SWCLK/TCK ピンと P201/MD ピンを有線 OR 回路での接続をお勧めします。

エミュレータは、製品開発やプロトタイプングには便利ですが、設計が生産に移行すると不要になる場合があります。エミュレータが不要になった場合は、関連する MCU ユーザーズマニュアルハードウェアの「未使用ピンの取り扱い」に従ってポートを設定してください。本書の 10.5 章も参照してください。

2.1 SWD インタフェース

下図は、SWD (Serial Wire Debug) を使用する場合の典型的なデバッグインタフェースを示しています。

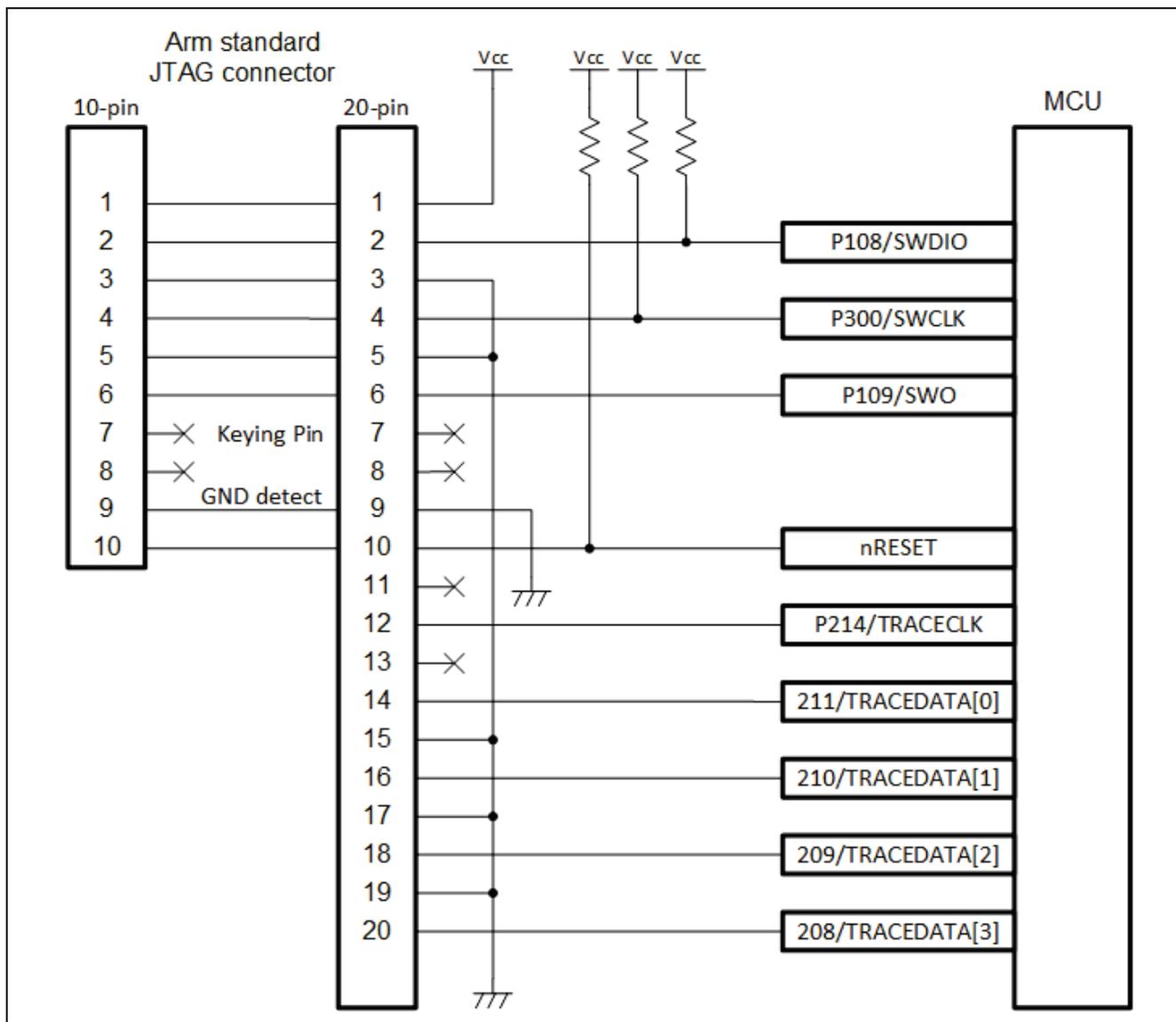


図 1. SWD インタフェースの接続

- 注 : 1. ユーザシステムのリセット回路の出力は、オープンコレクタである必要があります。
 2. RA4M1 などの Arm Cortex-M4 デバイスは、TRACECLK および TRACEDATA[n] ピンをサポートしていません。

2.2 JTAG インタフェース

下図は、ARM 規格の JTAG デバッグインタフェースを使用した場合のデバッグインタフェースの典型的な接続を示しています。

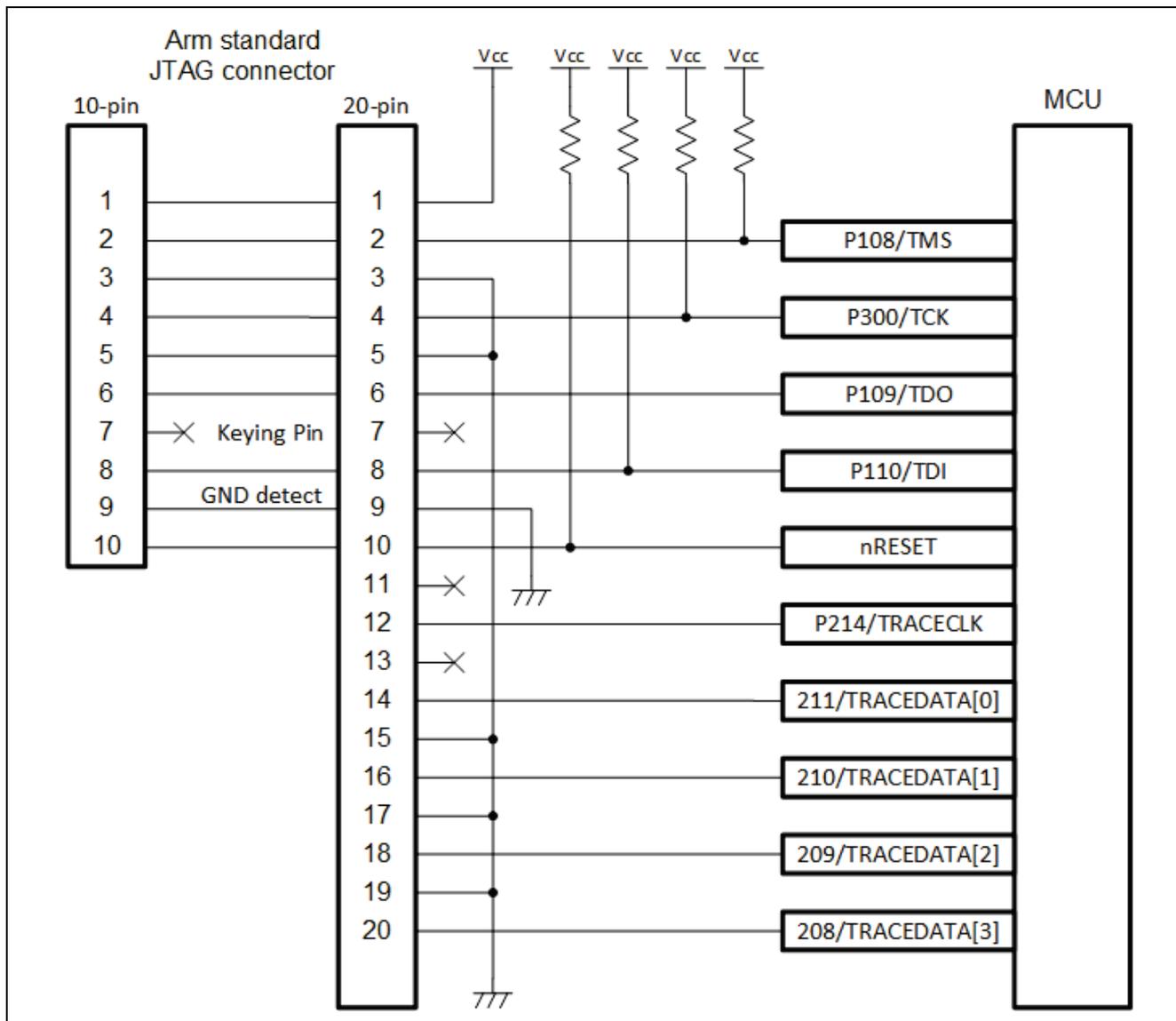


図 2. JTAG インタフェースの接続

- 注：1. ユーザシステムのリセット回路の出力はオープンコレクタである必要があります。
 2. TMS、TCK、TDI には 4.7k Ω ～10k Ω のプルアップを使用してください。
 3. RA4M1 などの Arm Cortex-M4 デバイスは、TRACECLK または TRACEDATA[n] ピンをサポートしません。

2.3 SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェース

下図は、SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェースの典型的な接続を示しています。

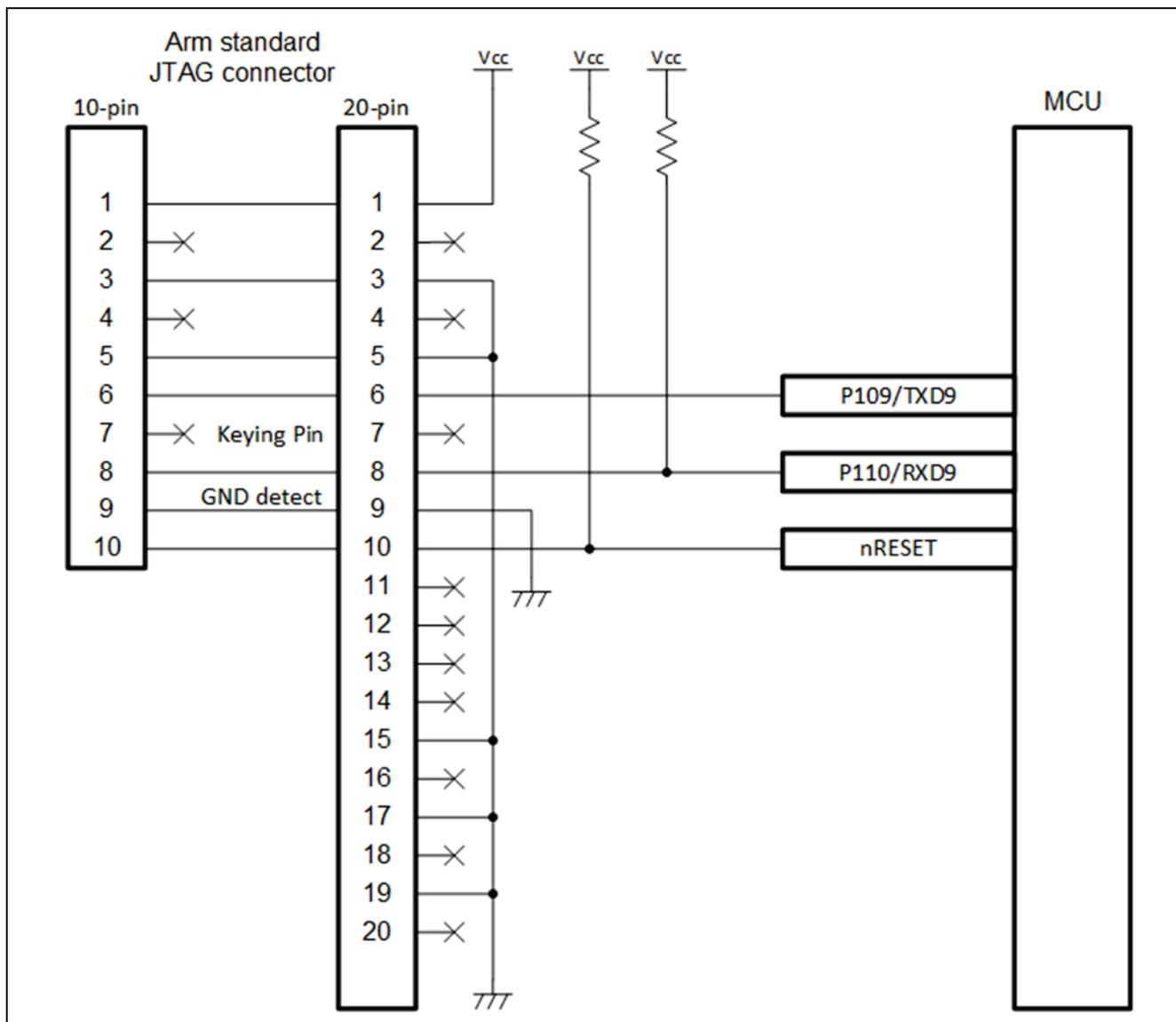


図 3. SCI コネクションを使用したシリアルプログラミングインタフェース

注：1. ユーザシステムのリセット回路出力は、オープンコレクタにしてください。

2. MD ピンは SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェースの一部ではありません。

ただし、シリアルプログラミングモードを有効にするには、MD ピンを Low にする必要があります。

2.4 SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェース: TrustZone® をサポートするデバイス

下図は、TrustZone サポートを含むデバイスにおける SCI を使用したシリアルプログラミングインタフェースの典型的な接続を示しています。Arm TrustZone IDAU 境界レジスタ設定のプログラミングを可能にする P201/MD の追加接続に注意してください。

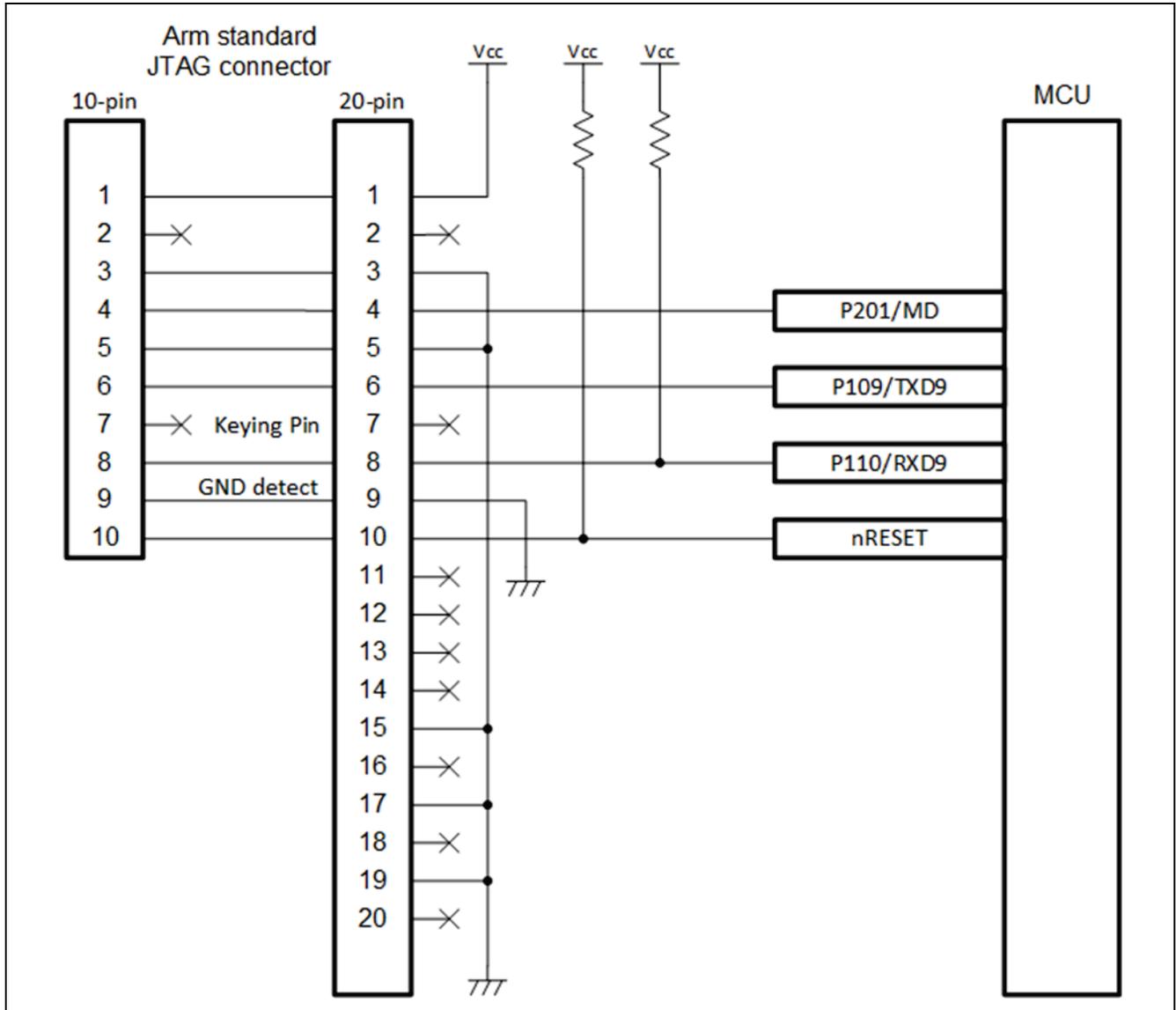


図 4. SCI を使用したシリアルプログラミング インタフェース:
TrustZone® サポート接続を備えたデバイス

- 注:
1. ユーザシステムのリセット回路の出力はオープンコレクタである必要があります。
 2. P201/MD は、TrustZone® IDAU バウンダリ レジスタ設定のプログラミングをサポートするために、Arm 標準 JTAG コネクタのピン 4 に接続します。

2.5 マルチエミュレータインタフェース

下図は、SWD、JTAG、SCI シリアルプログラミング、および TrustZone サポートを含む複数のエミュレータタイプをサポートするデバッグインタフェースの典型的な接続を示しています。

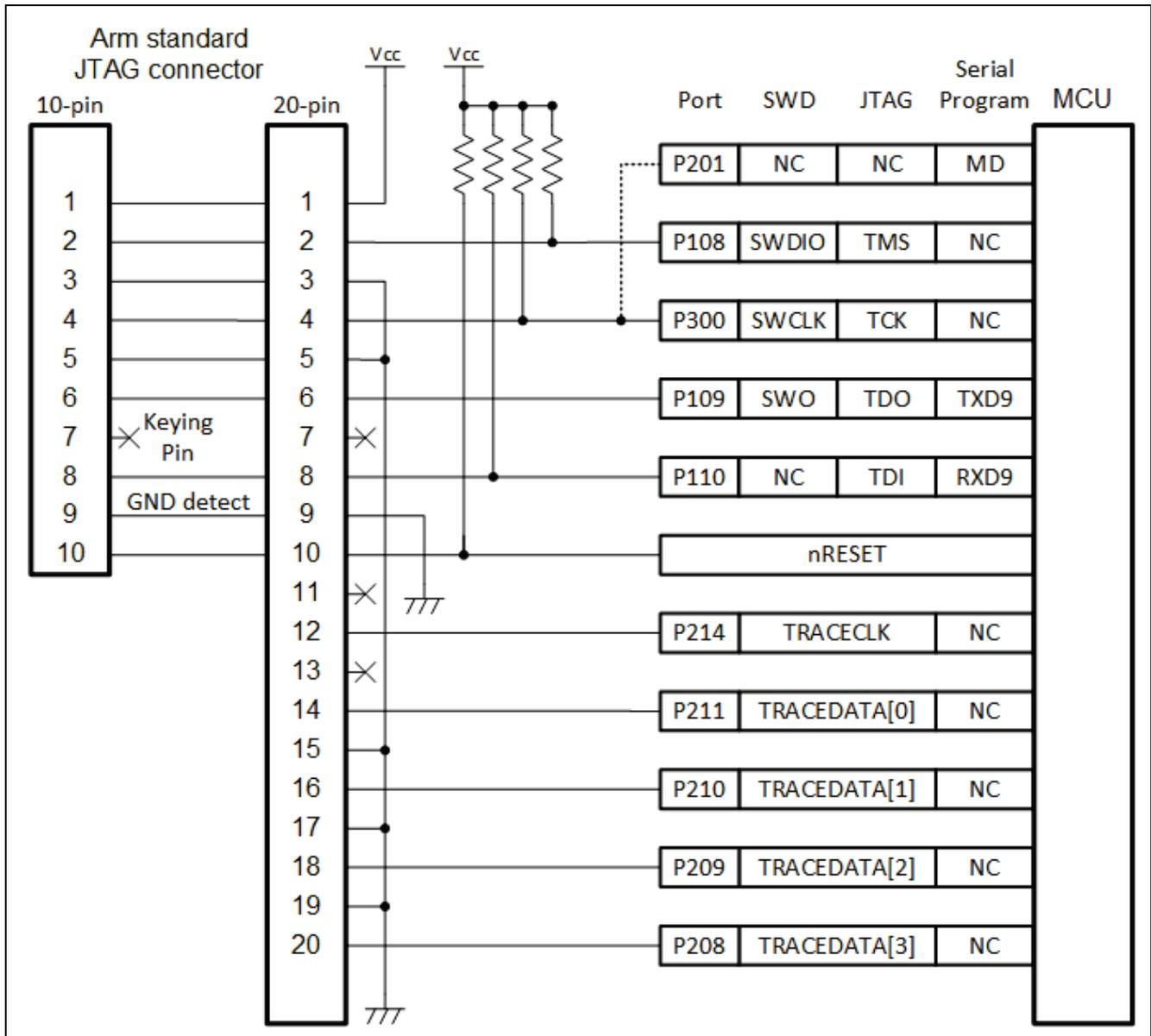


図 5. 複数のエミュレータインタフェースの接続

- 注:1. ターゲットのリセット回路は、オープン コレクタにしてください。nRESET 信号をプルアップしてください。パワーオンリセット回路の動作に影響を与えるため、この信号にコンデンサを接続しないでください。
2. TMS、TCK、TDO、TDI には 4.7kΩ~10kΩ のプルアップを使用する。
3. TrustZone®対応機器でデバッグとシリアルプログラミングを併用する場合は、P201/MD と P300/SWCLK/TCK をワイヤード OR 回路で接続してください。
4. RA4M1 などの Arm Cortex-M4 デバイスは、TRACECLK および TRACEDATA[n] ピンをサポートしていません。

2.6 エミュレータ接続のためのソフトウェア設定

2.6.1 SWD および JTAG インタフェース

SWD と JTAG ピンは、リセット後のデフォルトの状態です。表 4 は、関連するピンとリセット後のデフォルト設定を示しています。

表 4. SWD/JTAG ピンについて

| ピン | P108 | P109 | P110 | P300 |
|----|-----------|---------|------|-----------|
| 機能 | TMS/SWDIO | TDO/SWO | TDI | TCK/SWCLK |

2.6.2 トレースポート

4ビットのトレースポートインタフェースユニット (TPIU) とシリアルワイヤ出力 (SWO) は、RA4 シリーズでトレース出力を提供します。トレースポートおよびクロックは、デバッグスクリプトで使用する前に有効にする必要があります。トレースポート機能を使用する場合は、トレースピンを他の機能に使用しないでください。

表 5 にトレースポート端子とその関連機能を示しています。

表 5. トレース ポート

| ピン | P208 | P209 | P210 | P211 | P214 |
|----|--------|--------|--------|--------|------|
| 機能 | TDATA3 | TDATA2 | TDATA1 | TDATA0 | TCLK |

RA4M1 などの Arm Cortex-M4 デバイスは、TRACECLK または TRACEDATA [n] ピンをサポートしていません。これらのデバイスでは、トレースデータは SWO ピンを介して利用可能です。

SEGGER J-Trace Pro を使用した Arm Cortex-M33 コアデバイスでのトレースポートの使用例については、以下のリンクを参照してください。:

<https://wiki.segger.com/RA6M4>

Arm Cortex-M4 コアデバイスで SEGGER J-Trace Pro を使用してトレースポートを使用する例については、以下のリンクを参照してください。:

https://wiki.segger.com/J-Link_Renesas_RA6M3

トレースポートは、ルネサス FSP の Pin コンフィギュレータを使用して実行時に有効にすることもできますが、この場合、一部のトレースデータが失われる可能性があります。

| Pin Configuration | | Cycle Pin Group | |
|---------------------------|------------|-----------------|------|
| Name | Value | Lock | Link |
| Operation Mode | Trace 4Bit | | |
| ▼ Input/Output | | | ◀▶ |
| TCLK | ✓ P214 | 🔒 | ⇨ |
| TDATA0 | ✓ P211 | 🔒 | ⇨ |
| TDATA1 | ✓ P210 | 🔒 | ⇨ |
| TDATA2 | ✓ P209 | 🔒 | ⇨ |
| TDATA3 | ✓ P208 | 🔒 | ⇨ |
| Module name: DEBUG_TRACE0 | | | |

図 6. FSP コンフィギュレータを使用した時のトレースポートの有効化

3. MCU の動作モード

RA4 シリーズはリセット後に、シングルチップモードまたは SCI/USB ブートモードのいずれかのモードに入ることができます。ブートモードは、MD ピンによって選択されます。

表 6. リセット時に利用可能な動作モード

| 動作モード | MD | 内蔵フラッシュメモリ | 外部バス |
|----------------|----|------------|------|
| シングルチップモード | 1 | 有効 | 無効 |
| SCI/USB ブートモード | 0 | 有効 | 無効 |

図 7 は、モード設定 (MD) ピンによる動作モードの遷移を示します。

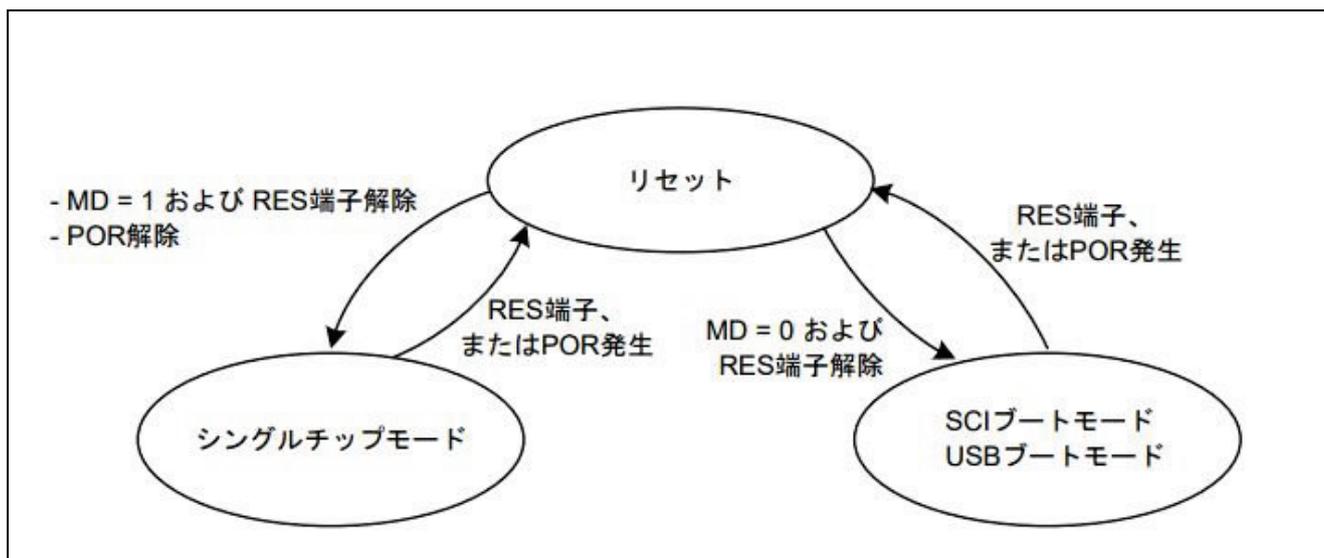


図 7. モード設定ピンレベルと動作モード

典型的な MCU ブートモード回路には、MD ピンを VCC またはグラウンドに接続するためのジャンパと複数の抵抗で構成されます。

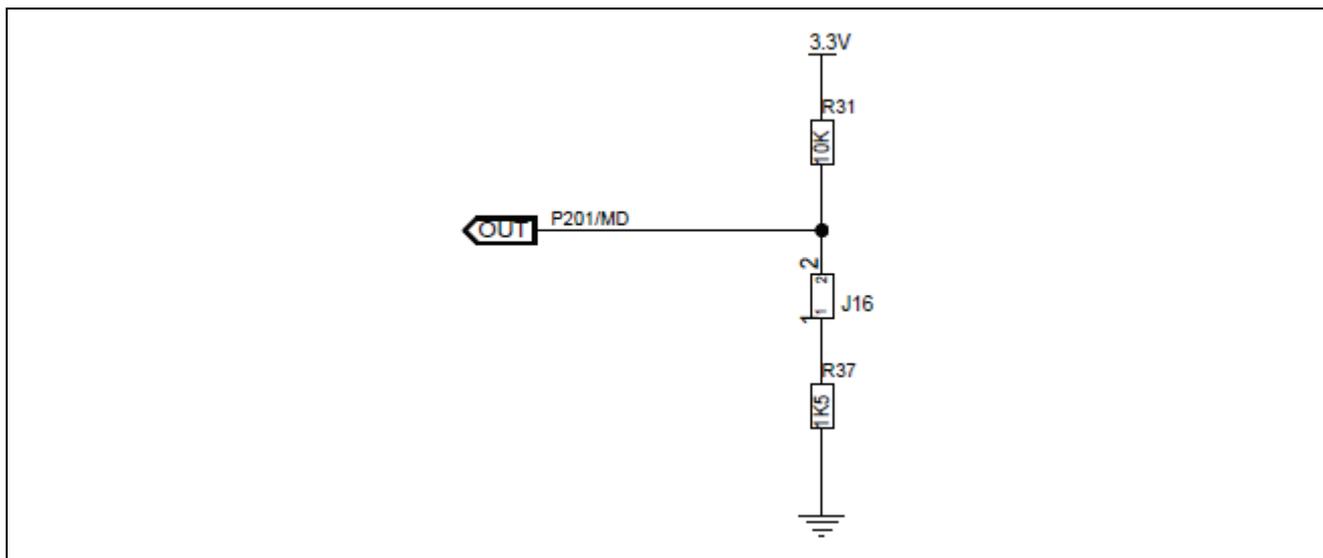


図 1. MCU ブートモード選択の典型的な回路

4. オプション設定メモリ

オプション設定用メモリは、リセット後の MCU の状態を決定するものです。フラッシュメモリのコンフィギュレーション設定領域とプログラムフラッシュ領域に割り当てられています。設定方法は、2つの領域で異なります。Cortex-M33 ベースのデバイスでは、オプション設定メモリのサイズやレイアウトが異なる場合があります。

レジスタは、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「オプション設定メモリ」で詳細に説明されています。

これらのレジスタは、コードフラッシュメモリマップの一部を占めているため、お客様がこれらの場所に誤ってデータを保存(上書き)する可能性があります。

ユーザは、これらの場所に不要なデータが書き込まれないように確認する必要があります。そうでないと、チップの予期しない動作が発生する可能性があります。たとえば、フラッシュオプションレジスタの設定により、リセット直後に独立ウォッチドッグタイマー (IWDT) が有効になることがあります。プログラム ROM に誤って格納されたデータがオプション設定メモリレジスタと重なる場合、IWDT が誤ってオンになる可能性があります。これにより、デバッガとボードとの通信に問題が発生します。

下図は、Cortex-M4 デバイスである RA4M3 のオプション機能選択レジスタで構成されるオプション設定メモリです。

| アドレス | レジスタ名 | セキュリティ領域 |
|-------------------------|-------------------------------|----------|
| 0x0100_A2C8~0x0100_A2FF | 予約領域 | セキュア領域 |
| 0x0100_A2C0~0x0100_A2C7 | ブロック保護設定レジスタ選択 (BPS_SEL) | |
| 0x0100_A294~0x0100_A2BF | 予約領域 | |
| 0x0100_A290~0x0100_A293 | バンク選択レジスタ選択 (BANKSEL_SEL) | |
| 0x0100_A284~0x0100_A28F | 予約領域 | |
| 0x0100_A280~0x0100_A283 | オプション機能選択レジスタ1選択 (OFS1_SEL) | |
| 0x0100_A268~0x0100_A27F | 予約領域 | |
| 0x0100_A260~0x0100_A267 | 永久ブロック保護設定レジスタセキュア (PBPS_SEC) | |
| 0x0100_A248~0x0100_A25F | 予約領域 | |
| 0x0100_A240~0x0100_A247 | ブロック保護設定レジスタセキュア (BPS_SEC) | |
| 0x0100_A214~0x0100_A23F | 予約領域 | |
| 0x0100_A210~0x0100_A213 | バンク選択レジスタセキュア (BANKSEL_SEC) | |
| 0x0100_A204~0x0100_A20F | 予約領域 | |
| 0x0100_A200~0x0100_A203 | オプション機能選択レジスタ1セキュア (OFS1_SEC) | |
| 0x0100_A1E8~0x0100_A1FF | 予約領域 | |
| 0x0100_A1E0~0x0100_A1E7 | 永久ブロック保護設定レジスタ (PBPS) | |
| 0x0100_A1C8~0x0100_A1DF | 予約領域 | セキュア領域 |
| 0x0100_A1C0~0x0100_A1C7 | ブロック保護設定レジスタ (BPS) | |
| 0x0100_A194~0x0100_A1BF | 予約領域 | |
| 0x0100_A190~0x0100_A193 | バンク選択レジスタ (RANKSEL) | |
| 0x0100_A184~0x0100_A18F | 予約領域 | |
| 0x0100_A180~0x0100_A183 | オプション機能選択レジスタ1 (OFS1) | |
| 0x0100_A138~0x0100_A17F | 予約領域 | |
| 0x0100_A134~0x0100_A137 | スタートアップ領域設定レジスタ (SAS) | |
| 0x0100_A104~0x0100_A133 | 予約領域 | |
| 0x0100_A100~0x0100_A103 | オプション機能選択レジスタ0 (OFS0) | |

図 9. RA4M3 のオプション機能選択レジスタ

4.1 オプション設定メモリレジスタ

以下はオプション設定メモリレジスタの概要です。起動前に正しく設定されていることを確認してください。

- OFS0 レジスタ
 - 独立ウォッチドッグタイマ (IWDT) 自動起動
 - IWDT タイムアウト、周波数、ウィンドウ表示、割り込みタイプ、および低電力モードの動作
 - ウォッチドッグタイマ (WDT) 自動起動
 - WDT タイムアウト、周波数、ウィンドウ表示、および割り込みタイプ
- OFS1 レジスタ
 - リセット後の LVD0 有効化
 - リセット後の HOCO 起動

ルネサス FSP コンフィギュレータは、以下の RA4M3 MCU の図で示されるように、BSP 設定でオプションメモリの設定をサポートしています。

FSP コンフィギュレータで設定した内容は、MCU 上で動作するようにコンパイルされたバイナリファイルに反映されます。

| EK-RA4M3 | | |
|----------|-----------------------------------|---|
| Settings | プロパティ | 値 |
| | ▼ R7FA4M3AF3CFB | |
| | part_number | R7FA4M3AF3CFB |
| | rom_size_bytes | 1048576 |
| | ram_size_bytes | 131072 |
| | data_flash_size_bytes | 8192 |
| | package_style | LQFP |
| | package_pins | 144 |
| | > RA4M3 | |
| | ▼ RA4M3 Family | |
| | > Security | |
| | ▼ OFS0 register settings | |
| | ▼ Independent WDT | |
| | Start Mode | IWDT is Disabled |
| | Timeout Period | 2048 cycles |
| | Dedicated Clock Frequency Divisor | 128 |
| | Window End Position | 0% (no window end position) |
| | Window Start Position | 100% (no window start position) |
| | Reset Interrupt Request Select | Reset is enabled |
| | Stop Control | Stop counting when in Sleep, Snooze mode, or Software Standby |
| | ▼ WDT | |
| | Start Mode Select | Stop WDT after a reset (register-start mode) |
| | Timeout Period | 16384 cycles |
| | Clock Frequency Division Ratio | 128 |
| | Window End Position | 0% (no window end position) |
| | Window Start Position | 100% (no window start position) |
| | Reset Interrupt Request | Reset |
| | Stop Control | Stop counting when entering Sleep mode |
| | ▼ OFS1 register settings | |
| | Voltage Detection 0 Circuit Start | Voltage monitor 0 reset is disabled after reset |
| | Voltage Detection 0 Level | 2.80 V |
| | HOCO Oscillation Enable | HOCO oscillation is disabled after reset |

図 10. RA4M3 MCU の FSP 設定におけるオプションメモリ設定

5. クロック発生回路

RA4 シリーズには 6 つの主要な発振器があります。これらのうち 5 つは、メインシステムクロックのソースとして使用することができます。残りの 1 つの発振器は独立ウォッチドッグタイマに割り当てられています。一般的なシステムでは、外部の水晶やクロックでメインクロックが駆動されます。この入力は PLL に送られ、PLL クロックに乗算され、メインシステムクロック (ICLK)、フラッシュクロック、周辺モジュールクロック、外部バスクロック、トレースクロック、USB クロックに分周されます。ICLK は、さらに CPU クロック、DMAC クロック、内部フラッシュクロック、SDRAM クロックに使用されます。クロック発生回路のブロック図については、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「クロック発生回路」を参照してください。

各クロックには、特定の許容範囲とタイミング値があります。周波数とクロックタイミングの仕様については、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「電気的特性」の「AC 特性」を参照してください。各クロック周波数間の関係については、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「クロック発生回路」を参照してください。

表 7. RA4 シリーズ オシレータ

| 発振器 | 入力ソース | 周波数 | 主な用途 |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| メインクロック | 外部水晶振動子 または 外部クロック | 8 MHz~24 MHz*3 最大 24MHz まで*3 | PLL 入力、PLL2 入力*1、メインシステムクロック、CLKOUT、CAN クロック、CAC クロック、LCD クロック*2 |

| | | | |
|---------------------|-------------|----------------|---|
| サブクロック (SOSC) | 外部水晶振動子/共振器 | 32.768 kHz | リアルタイムクロック、低消費電力モード時メインシステムクロック、CLKOUT、AGT クロック、CAC クロック、リアルタイムクロック、LCD クロック*2 |
| 高速オンチップオシレータ (HOCO) | 内蔵発振器 | 16/18/20 MHz*4 | PLL 入力*1、メインシステムクロック、CLKOUT、CAC クロック、LCD クロック*2、USB クロック*2 |
| 中速オンチップオシレータ (MOCO) | 内蔵発振器 | 8 MHz | 起動時のメインシステムクロック、CLKOUT、CAC クロック |
| 低速オンチップオシレータ (LOCO) | 内蔵発振器 | 32.768 kHz | 低消費電力モード時および主発振器停止検出時のメインシステムクロック、スティックタイマー*1、AGT クロック、CLKOUT、CAC クロック、リアルタイムクロック |
| 独立ウォッチドッグ (IWDG) | 内蔵発振器 | 15 kHz | 独立ウォッチドッグタイマークロック、CAC クロック |

- 注
1. Arm Cortex-M33 デバイスの場合
 2. Arm Cortex-M4 デバイスの場合
 3. Arm Cortex-M4 デバイスの場合、外部水晶振動子または外部クロック源を使用したメインクロックの入力周波数範囲は、1MHz~20MHz です。外部クロックや外部水晶振動子の最大入力周波数は、MCU への供給電圧により、8MHz、4MHz、1MHz に制限される場合があります。
 4. Arm Cortex-M4 デバイスの場合、HOCO 周波数のオプションは 24/32/48/64 MHz です。

5.1 リセット条件

RA4 シリーズは、リセット後、オンチップの中間速度発振器 (MOCO) をメインクロックソースとして動作を開始します。リセット時に、メイン発振器と PLL はデフォルトでオフになっています。HOCO と IWDG は、オプション設定メモリの設定に応じてオンまたはオフにすることができます。(4章を参照)

5.2 クロック周波数要件

最小と最大の周波数は、以下の表に示されています。外部および内部クロックソースの仕様を含め、MCU ユーザーズマニュアルハードウェアの「クロック発生回路」の「概要」に詳細が記載されています。さらに詳細は、MCU ユーザーズマニュアルハードウェアの「電気的特性」の「AC 特性」にも記載されています。

表 8. Arm Cortex-M4 MCU 内部クロックの周波数範囲

| | ICLK | PCLKA | PCLKB | PCLKC | PCLKD |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 最大周波数 [MHz] | 48 | 48 | 32 | 64 | 64 |
| 最小周波数 [MHz] | - | - | - | - | - |

| | FCLK ¹ | UCLK | CANCLK | SLGDC | |
|-------------|-------------------|------|--------|-------|--|
| 最大周波数 [MHz] | 32 | 48 | 20 | 64 | |
| 最小周波数 [MHz] | 1 | 48 | 1 | - | |

注 1. ROM やデータフラッシュの書き込みや消去を行う場合、FCLK は 4MHz 以上の周波数で動作する必要があります。

表 1. Arm Cortex-M33 MCU の内部クロックの周波数範囲

| | ICLK ¹ | PCLKA ¹ | PCLKB | PCLKC | PCLKD |
|-------------|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| 最大周波数 [MHz] | 100 | 100 | 50 | 50 | 100 |
| 最大周波数 [MHz] | - | - | - | - | - |

| | FCLK ¹ | USBCLK | CANCLK | | |
|-------------|-------------------|--------|--------|--|--|
| 最大周波数 [MHz] | 50 | 48 | 24 | | |
| 最大周波数 [MHz] | - | 48 | 8 | | |

注 1. ROM やデータフラッシュの書き込みや消去を行う場合、FCLK は 4MHz 以上の周波数で動作する必要があります。

5.2.1 USB 通信の要件

USB2.0 フルスピードモジュール(USB-F) は、48MHz の USB クロック信号 (UCLK または USBCLK) が必要です。

USB を Arm Cortex-M33 デバイスで使用し、HOCO を PLL のクロック源として選択する場合、周波数ロックループ (FLL) 機能を有効にする必要があります。Arm Cortex-M4 デバイスは FLL 機能を備えていません。

USB ペリフェラルを使用する場合、メインクロック発振器周波数は特定の選択肢に制限されます。これは、クロック生成回路で利用可能な特定の分周比と、USB モジュールが必要とする 48MHz クロックによるものです。この制限は、関連するレジスタの逡倍と分周の設定に依存します。

Arm® Cortex-M4 デバイスの場合、使用される分周比は PLLCCR2 レジスタ (PLL クロック制御レジスタ 2) の制御ビットの設定に依存します。

Arm® Cortex-M33 デバイスの場合、使用される分周比は、USBCKDIVCR レジスタの USBCKDIV ビットの設定に依存します。また、USBCLK は PLLCCR および PLL2CCR レジスタの PLL 設定に依存します。

関連する分周比と乗算比の詳細については、特定の MCU ユーザーズマニュアルハードウェアのクロック生成回路の章を参照してください。

5.2.2 内蔵 ROM またはデータフラッシュのプログラミングと消去に必要な要件

内蔵 ROM やデータフラッシュのプログラミングや消去を行うには、FCLK が 4MHz 以上である必要があります。

5.3 クロック発生回路 (CGC) の低消費電力化

省電力のために、使用しないクロックの分周器を可能な限り最高値に設定し、クロックを使用しない場合は、適切なレジスタを設定してクロックが停止していることを確認してください。各クロックソースを制御するためのレジスタを下表に示します。

表 10. クロックソースコンフィギュレーションレジスター

| 発振器 | レジスタ | 説明 |
|----------------|---------|------------------|
| メインクロック | MOSCCR | メインクロック発振器の起動/停止 |
| サブクロック | SOSCCR | サブクロック発振器の起動/停止 |
| 高速オンチップ (HOCO) | HOCOCCR | HOCO の起動/停止 |
| 中速オンチップ (MOCO) | MOCOCCR | MOCO の起動/停止 |
| 低速オンチップ (LOCO) | LOCOCCR | LOCO の起動/停止 |

5.4 システムクロックコントロールレジスタの書き込み

システムクロック分割制御レジスタ (SCKDIVCR)、システムクロック源制御レジスタ (SCKSCR) の個々のビットフィールドに書き込む際には注意が必要です。

周辺モジュールクロックのクロックソースが切り替えられると、クロックソース移行期間中、周辺モジュールクロック周期の期間が長くなります。図 11 を参照してください。その結果、ソースが切り替わるたびにクロックが安定するように、命令処理にて遅延を加える必要があります。

クロック周波数変更後の処理を正しく行うには、まず関連するクロック制御レジスタに書き込んで周波数を変更し、次にレジスタから値を読み出してから、その後の処理を行うようにします。

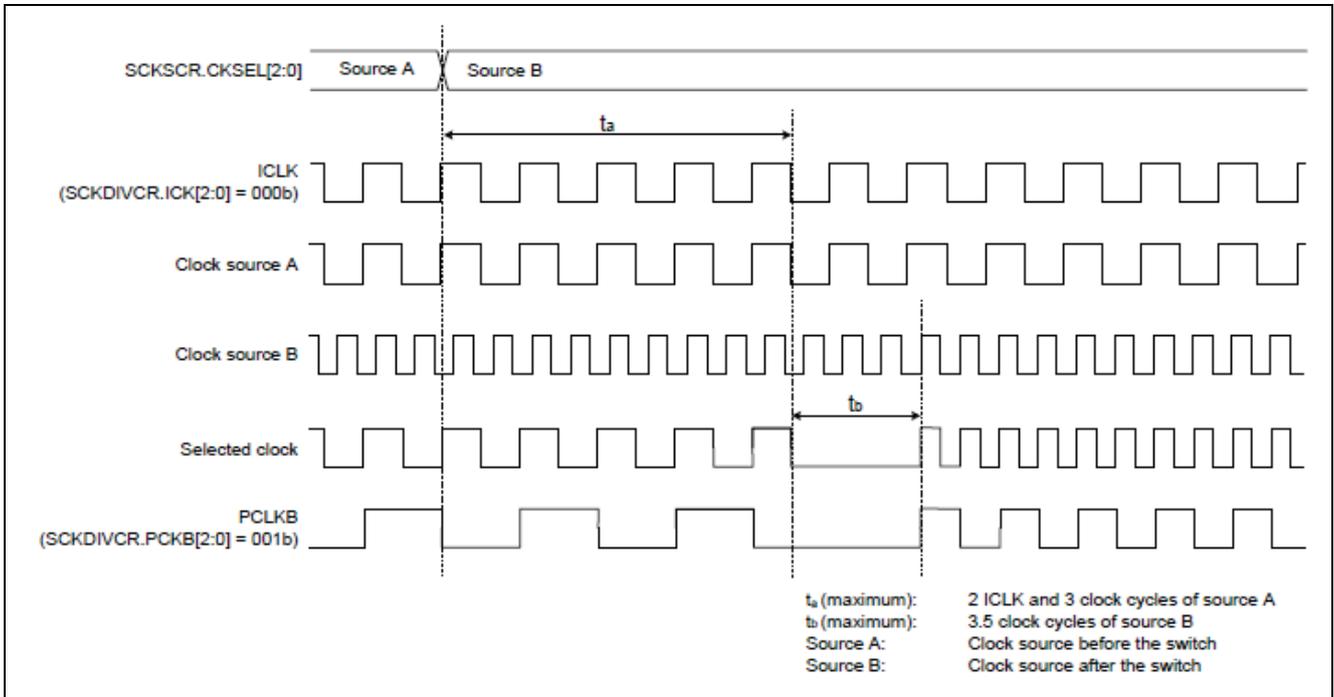


図 11. クロックソース切替のタイミング

5.5 クロック設定の例

ルネサス FSP では、以下のような RA4M3 MCU 用のシンプルで視覚的なクロックコンフィグレーションツールを提供しています。

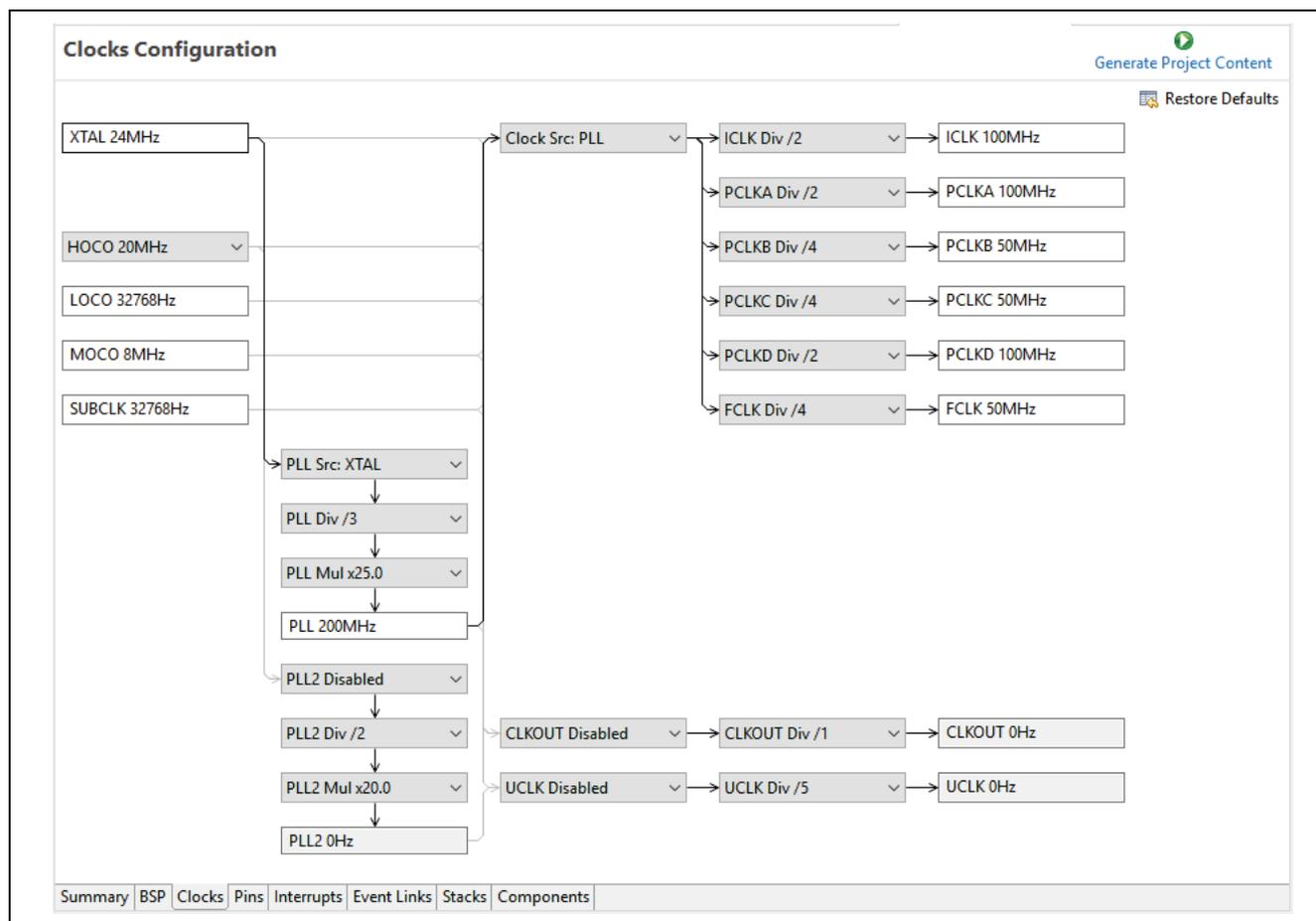


図 12. ルネサス FSP コンフィギュレータによるクロックの設定

5.6 HOCO の精度

内部高速オンチップ発振器（HOCO）は、Arm Cortex-M33 コアデバイスでは 16MHz、18MHz、または 20MHz、Arm Cortex-M4 デバイスでは 24MHz、32MHz、48MHz、または 64MHz で動作し、標準精度は±2%またはそれ以上となります。HOCO の精度仕様は、さまざまな周囲動作温度（Ta）範囲に対して特性化されています。

Arm Cortex-M33 デバイスの場合、周波数ロックループ（FLL）機能を有効にすることで HOCO の精度を向上させることができ、その結果、クロック精度は±0.25%またはそれ以上となります。詳細については、マニュアルの電氣的仕様を参照してください。

HOCO は PLL 回路の入力として使用することができます。HOCO をこのように使用する場合、外部発振器は必要ありません。これは、PCB 設計で部品数を減らす必要がある場合や、スペースの制約などがある場合には利点となります。ただし、クロックの精度による性能のトレードオフや制限があるため、アプリケーションに応じて評価する必要があります。

5.7 フラッシュインタフェースクロック

フラッシュインタフェースクロック（FCLK）は、内部フラッシュ（ROM と DF）のプログラムや消去、データフラッシュからの読み取り時の動作クロックとして使用されます。したがって、FCLK の周波数設定は、データフラッシュからの読み取りにかかる時間に直接影響します。もしユーザのプログラムがデータフラッシュから読み取りを行うか、内部フラッシュのプログラムや消去を行う場合には、最大の FCLK 周波数を使用することが推奨されます。

コードフラッシュ（ROM）またはデータフラッシュの書き込みまたは消去を行う場合、FCLK は少なくとも 4MHz の周波数で動作する必要があります。CLK の周波数設定は、ROM からの読み取りや RAM への読み書きには影響を与えないことに注意してください。

5.8 基板設計

CGC の使用方法とボード設計の推奨事項については、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「クロック発生回路 (CGC)」の「使用上の注意」を参照してください。

水晶振動子を使用する場合、水晶振動子とその負荷容量を MCU のクロックピン (XTAL / EXTAL、XCIN / XCOUT) にできるだけ近くに配置してください。水晶振動子と MCU の間に他の信号を配線しないでください。また、使用する VIA の数を最小限に抑えてください。

5.9 外部水晶振動子の選択

外部の水晶振動子は、メインクロック ソースとして使用することができます。外部水晶振動子は、MCU の EXTAL と XTAL にピンに接続されます。外部水晶振動子の周波数は、メインクロック発振器の周波数範囲内である必要があります。

水晶振動子の選択は、各基板設計に大きく依存します。RA4 シリーズでの使用に適した水晶振動子の選択肢が豊富にあるため、選択された水晶振動子の電気的特性を慎重に評価し、具体的な実装要件を決定する必要があります。

以下の図は、水晶振動子接続の典型的な例を示しています。

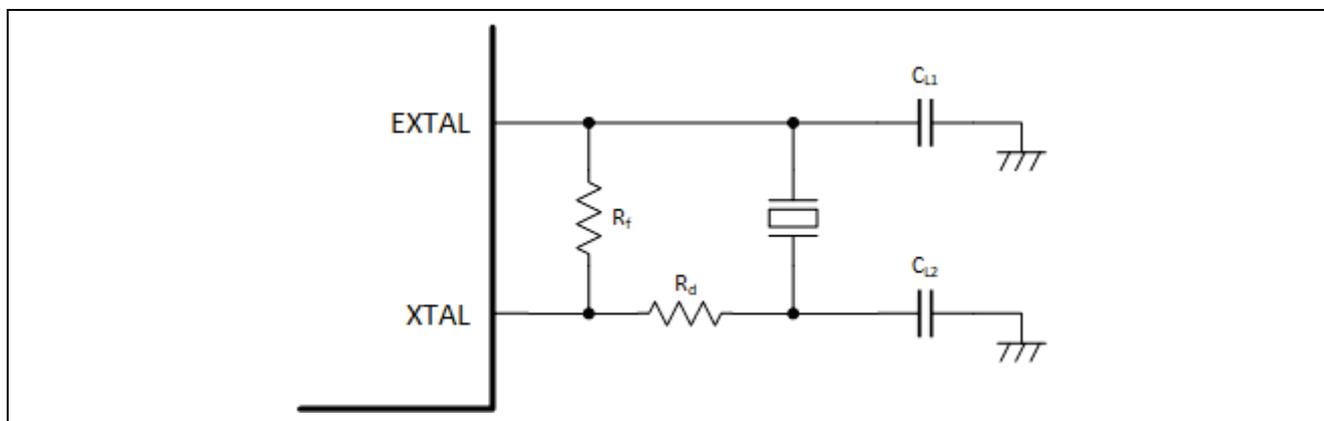


図 13. 水晶振動子の接続例

水晶振動子と関連するコンデンサを選択する際には、慎重な評価が必要です。水晶振動子メーカーが推奨する場合、外部フィードバック抵抗 (R_f) とダンピング抵抗 (R_d) を追加することができます。

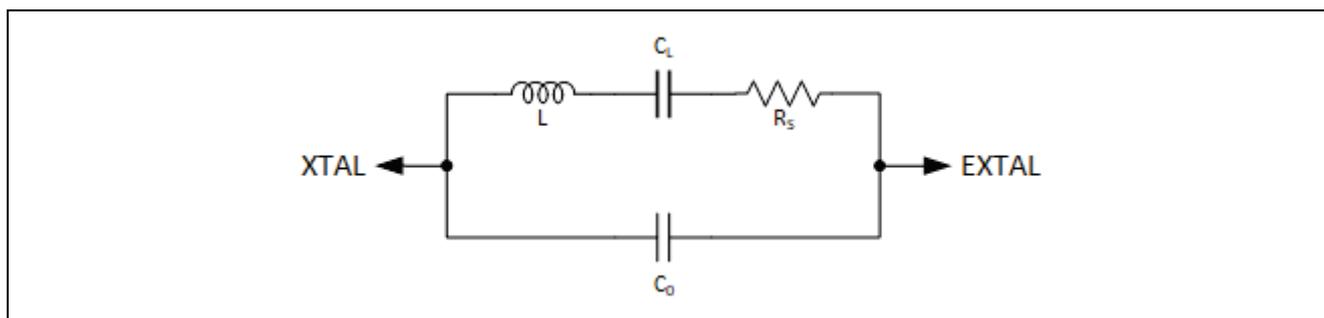


図 14. 水晶発振器の等価回路

C_{L1} および C_{L2} のコンデンサ値の選択は、内部クロックの精度に影響を与えます。 C_{L1} および C_{L2} の値の影響を理解するためには、上記の図の水晶振動子の等価回路を使用して回路をシミュレーションする必要があります。より正確な結果を得るためには、水晶振動子コンポーネント間の配線に関連する浮遊容量も考慮してください。

5.10 外部クロック入力

メインクロック源としてデジタルクロック入力を使用することができます。図 15 に外部クロック入力の接続例を示します。外部クロック信号で発振器を動作させるには、MOMCR.MOSEL ビットを 1 にします。XTAL 端子はハイインピーダンスになります。

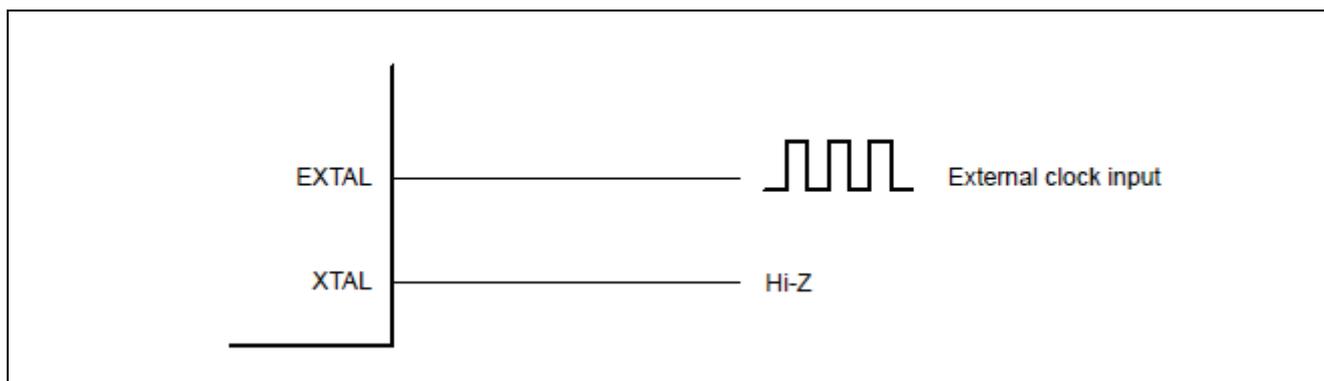


図 13. 水晶振動子の等価回路

注：外部クロック入力の周波数は、主クロック発振器が停止しているときのみ変更可能です。メインクロック発振器停止ビット（MOSCCR、MOSTP）の設定が0の場合は、外部クロック入力の周波数を変更しないでください。

6. リセット要件とリセット回路

Arm® Cortex-M4 デバイスのリセットは、14 種類あります。

表 11. Arm® Cortex-M4 デバイスのリセット

| リセット名 | ソース |
|---------------------------|--|
| ピンリセット | RES 端子への入力電圧が Low |
| パワーオンリセット | VCC 上昇（電圧検出：VPOR） |
| 独立ウォッチドッグタイマリセット | IWDT がアンダーフローまたはリフレッシュエラー |
| ウォッチドッグタイマリセット | WDT のアンダーフローまたはリフレッシュエラー |
| 電圧監視 0 リセット | VCC の下降（監視電圧：Vdet0） |
| 電圧監視 1 リセット | VCC の下降（監視電圧：Vdet1） |
| 電圧監視 2 リセット | VCC の下降（監視電圧：Vdet2） |
| SRAM パリティエラーリセット | SRAM パリティ エラー検出 |
| SRAM ECC エラーリセット | SRAM ECC エラー検出 SRAM |
| バスマスタ MPU エラーリセット | バスマスタ MPU エラー検出 |
| バススレーブ MPU エラーリセット | バススレーブ MPU エラー検出 |
| スタックポインタエラーリセット | スタックポインタエラー検出 |
| ディープソフトウェアスタンバイソフトウェアリセット | 割り込みによるディープソフトウェアスタンバイモードの解除 レジスタ設定 |

Arm® Cortex-M33 デバイスのリセットは、特定のデバイスによって 13 または 14 のタイプがあります。

表 12. Arm® Cortex-M33 デバイス・リセット

| リセット名 | ソース |
|------------------------|------------------------------|
| ピンリセット | RES 端子への入力電圧が Low |
| パワーオンリセット | VCC 上昇 (電圧検出 : VPOR) |
| 独立ウォッチドッグ タイマーリセット | IWDT がアンダーフローまたはリフレッシュエラー |
| ウォッチドッグ タイマーリセット | WDT のアンダーフローまたはリフレッシュエラー |
| 電圧監視 0 リセット | VCC の下降 (監視電圧 : Vdet0) |
| 電圧監視 1 リセット | VCC の下降 (監視電圧 : Vdet1) |
| 電圧監視 2 リセット | VCC の下降 (監視電圧 : Vdet2) |
| SRAM パリティ エラー リセット | SRAM パリティ エラー検出 |
| SRAM ECC エラー リセット | SRAM ECC エラー検出 SRAM |
| バスマスタ MPU エラーリセット | バスマスタ MPU エラー検出 |
| トラストゾーンエラーリセット | トラストゾーンエラー検出 |
| キャッシュパリティエラーリセット | キャッシュパリティエラー検出 |
| ディープ ソフトウェア スタンバイ リセット | 割り込みによるディープソフトウェアスタンバイモードの解除 |
| ソフトウェアリセット | レジスタ設定 |

注 1. RA4M3 のみ

6.1 端子リセット

RES#ピンに Low レベルが入力されると、すべての処理が中止され、MCU はリセット状態に入ります。実行中の MCU をリセットするには、指定されたリセットパルス幅の間、RES#を Low レベルで保持する必要があります。詳細なタイミング要件については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「電気的特性」の「リセットタイミング」を参照してください。また、デバッグサポートに関するリセット回路の詳細については、本書の 2 章、「エミュレータサポート」を参照してください。

正しいリセットを行うために POR 回路が内部的に RES#信号を Low レベルで保持するため、外部キャパシタを RES#信号に使用する必要はありません。このプロセスを開始するには、最小限のリセットパルスが必要です。

6.2 パワーオンリセット

パワーオンリセット (POR) を発生させる条件は 2 つあります。

1. 電源投入時に RES#ピンがハイレベルの場合。
2. VCC が VPOR VPOR 以下の状態で RES# ピンがハイレベルにある場合。

VCC がパワーオンリセット電圧 (VPOR) を超え、パワーオンリセット時間 (tPOR) が経過した後、チップはパワーオンリセット状態から解除されます。パワーオンリセット時間は、外部電源と MCU を安定させるための時間です。電圧レベルやタイミングの詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「電気的特性」の「POR および LVD 特性」を参照してください。

POR 回路は、VCC と同時に RES#が High 状態であることに依存していますので、リセットピンにコンデンサを配置しないでください。これにより、RES#の立ち上がり時間が VCC に対して遅くなり、POR 回路がパワーオンの状態を正しく認識できなくなる可能性があります。

電源 (VCC) が VPOR 以下になるかその時点で RES#ピンが High 状態の場合、パワーオンリセットが発生します。VCC が VPOR を超え、tPOR が経過した後、チップはパワーオン状態から解放されます。

パワーオンリセット後、RSTSRO の PORF ビットは 1 に設定されます。ピンリセットの後、PORF は 0 にクリアされます。

6.3 VBATT 選択電圧パワーオンリセット

VCC ピンの電圧が低下すると、RTC、LOGO、およびサブクロック発振器には VBATT ピンから電力が供給されます。VCC ピンからの電力の低下が検出されると、電源への接続を VCC ピンから VBATT ピンに切り替えます。

Arm Cortex-M4 デバイスの場合、この現象が発生すると、VCC から VBATT への切り替えを知らせるリセットを生成することができます。このリセットと関連する VBATT の設定の詳細については、MCU ユーザーズマニュアルハードウェアのバッテリーバックアップ機能の章に記載されています。

6.4 独立ウォッチドッグタイマのリセット

独立ウォッチドッグタイマ (IWDG) により発生する内部リセットです。

IWDG がアンダーフローすると、独立ウォッチドッグタイマリセットがオプションで発生可能 (NMI を生成することも可能)。そして RSTSRI の IWDTRF ビットが 1 に設定されます。短い遅延 (通常 320 μ s) の後、IWDG リセットがキャンセルされます。詳細なタイミングは、MCU のユーザーズマニュアルを参照してください。

6.5 ウォッチドッグタイマリセット

これはウォッチドッグタイマ (WDT) によって発生する内部リセットです。

WDT がアンダーフローすると、オプションでウォッチドッグタイマリセットが発生可能 (NMI を生成することも可能)。そして RSTSRI の WDTRF ビットが 1 に設定されます。短い遅延時間の後、WDT リセットはキャンセルされます。具体的なタイミングは、MCU ユーザーズマニュアルを参照してください。

6.6 電圧監視リセット

RA4 シリーズは、ブラウンアウト時の安全でない動作から MCU を保護するための回路が含まれています。オンボードコンパレータは、電源電圧を 3 つの基準電圧 (Vdet0、Vdet1、Vdet2) に対して比較します。供給電圧が各基準電圧を下回ると、割り込みまたはリセットを発生させる場合があります。検出電圧 Vdet0、Vdet1、Vdet2 は、それぞれ 3 つのレベルから選択可能です。

Vcc が Vdet0、Vdet1、Vdet2 より上昇した場合、安定化時間経過後に電圧監視リセットから解除されます。

低電圧検出はパワーオンリセット後に無効になります。電圧監視は、オプションファンクションレジスタ OFS1 を使用することで有効にすることができます。詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「低電圧検出 (LVD)」を参照してください。

LVD リセット後、RSTSRO の LVDnRF (n = 0、1、2) ビットは 1 に設定されます。

6.7 ディープソフトウェアスタンバイリセット

ディープソフトウェアスタンバイモードが割り込みで解除された時に発生する内部リセットです。

ディープソフトウェアスタンバイモードが解除されると、ディープソフトウェアスタンバイリセットが発生し、クロック発振が開始されます。割り込みを受信すると、ディープスタンバイ解除待機時間 (tDSBYWT 34-35 クロック) が経過した後、リセットが解除され、通常の処理が開始される。ディープソフトウェアスタンバイモードの詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「低電力モード」を参照してください。

ディープソフトウェアスタンバイリセット後、RSTSRO の DPSRSTF ビットが 1 に設定されます。

6.8 ソフトウェアリセット

Arm コアの AIRCR レジスタの SYSRESETREQ ビットをソフトウェアで設定することで発生する内部リセットです。SYSRESETREQ ビットが 1 に設定されると、ソフトウェアリセットが生成されます。ソフトウェアリセットが発生してから内部リセット時間 (tRESW2) が経過すると、内部リセットは解除され、CPU はリセット例外処理を開始します。具体的なタイミングは、MCU ユーザーズマニュアルを参照してください。

SYSRESETREQ ビットの詳細については、ARM[®] Cortex[®]-M33 および Cortex[®]-M4 Technical Reference Manuals を参照してください。

6.9 その他のリセット

MCU 内のほとんどの周辺機能は、特定の障害条件下でリセットを発生することができます。これらのリセットを有効にするためには、ハードウェア構成は必要ありません。各周辺機能に対してリセットが発生する条件の詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの関連する章を参照してください。

6.10 コールド/ウォームスタートの決定

RA4 シリーズでは、リセット処理の原因をユーザが判断することができます。RSTSR2 の CWSF フラグは、パワーオンリセットによるリセット処理（コールドスタート）か、動作中のリセット信号入力によるリセット処理（ウォームスタート）かを示しています。

パワーオンリセットが発生した場合、フラグは 0 に設定されます。それ以外の場合は 0 になりません。ソフトウェア経由で 1 が書き込まれると、フラグは 1 に設定されます。0 が書き込まれた場合でも、0 に設定されません。

6.11 リセット要因の特定

リセット要因の特定 RA4 シリーズでは、ユーザはリセット信号の発生元を特定することができます。リセットの原因を特定するには、RSTSR0、RSTSR1、RSTSR0 を読み取ります。フロー図については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「リセット発生要因の特定」を参照してください。

以下のコードサンプルは、ルネサス FSP の CMSIS ベースのレジスタ構造を用いて、ソフトウェアリセット、ディープソフトウェアスタンバイ、パワーオンリセットによるリセットが発生したかどうかを判定する方法です。

```
/* Deep Software Standby Reset */
if(1 == R_SYSTEM->RSTSR0_b.DPSRSTF)
{
    /* Do something */
}

/* Power-on Reset */
if(1 == R_SYSTEM->RSTSR0_b.PORF)
{
    /* Do something */
}

/* Software Reset */
if(1 == R_SYSTEM->RSTSR1_b.SWRF)
{
    /* Do something */
}
```

7. TrustZone の有効化

7.1 Arm TrustZone テクノロジーの実装

RA4M2 および RA4M3 などの一部の RA4 シリーズには、Arm® TrustZone® (TZ) セキュリティ機能が含まれています。TZ の実装の詳細については、Arm のドキュメント (<https://developer.arm.com/ip-products/security-ip/trustzone>) または適切なユーザーズマニュアルハードウェアを参照してください。

Arm TrustZone 技術は、MCU とそれによってアプリケーションをセキュア パーティションとノンセキュア パーティションに分けられます。Secure アプリケーションは、セキュアおよびノンセキュアメモリ、リソースにアクセスできます。ノンセキュアコードは、ノンセキュアメモリおよびリソースに加えて、ノンセキュアコーラブル (NSC) 領域に配置された一連のベニアを介してセキュア リソースにアクセスできます。これにより、ノンセキュアパーティションから呼び出されたときにセキュア コードのアクセス ポイントが 1 つ確保されます。MCU はデフォルトでセキュアパーティションから起動します。CPU のセキュリティ状態はセキュアまたはノンセキュアのいずれかになります。MCU コードフラッシュ、データフラッシュ、SRAM はセキュア (S)、ノンセキュア (NS) の領域に分割されます。コードフラッシュと SRAM には、さらに NSC

(ノンセキュアコーラブル) と呼ばれる領域があります。これらのメモリセキュリティ属性は、デバイスのライフサイクルが SSD (Secure Software Debug) 状態のときに、SGI または USB ブートモードコマンドを介して不揮発性メモリに設定されます。メモリセキュリティ属性は、アプリケーション実行前に IDAU (実装定義属性ユニット) ペリフェラルとメモリコントローラに読み込まれ、アプリケーションコードで更新されることはありません。

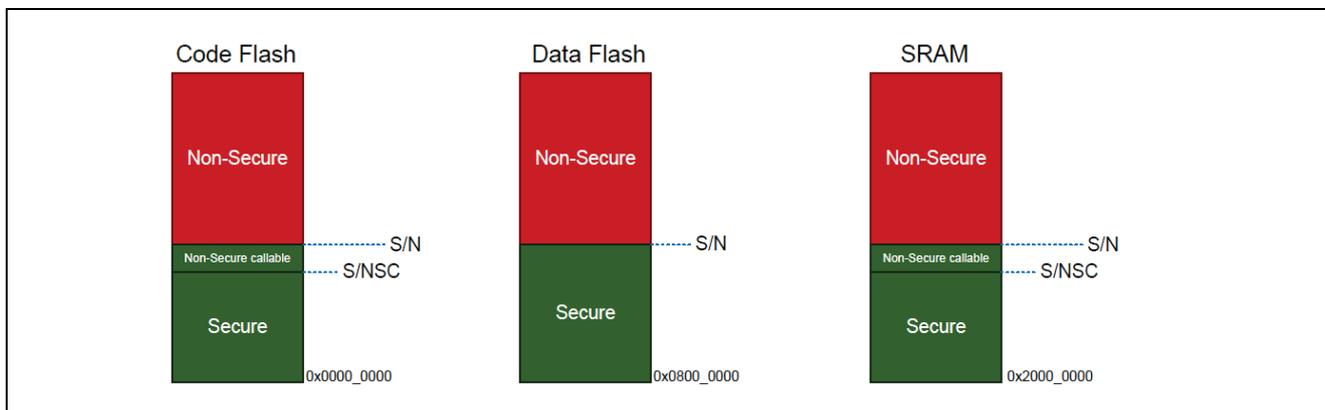


図 16. セキュア領域とノンセキュア領域

注: すべての外部メモリアクセスはノンセキュアと見なされます

フラッシュと SRAM は、セキュア、ノンセキュア、ノンセキュアコーラブルに分けられます。ノンセキュア領域からのすべてのセキュアメモリアクセスは、ノンセキュアコーラブルゲートウェイを経由し、特定のセキュアゲートウェイ (SG) アセンブラ命令を対象にしなければなりません (MUST)。これにより、セキュア API へのアクセスが固定され、サブファンクションへの呼び出しなどが防止されます。SG 命令を対象にしなかった場合、TZ 例外が発生します。TZ 対応コンパイラは、CMSE 拡張機能を使用して、NSC ベニアの生成を自動的に管理します。

これらのセキュア、ノンセキュア、およびノンセキュア呼び出し可能なメモリ領域は、FSP を使用して簡単に設定、管理することができます。

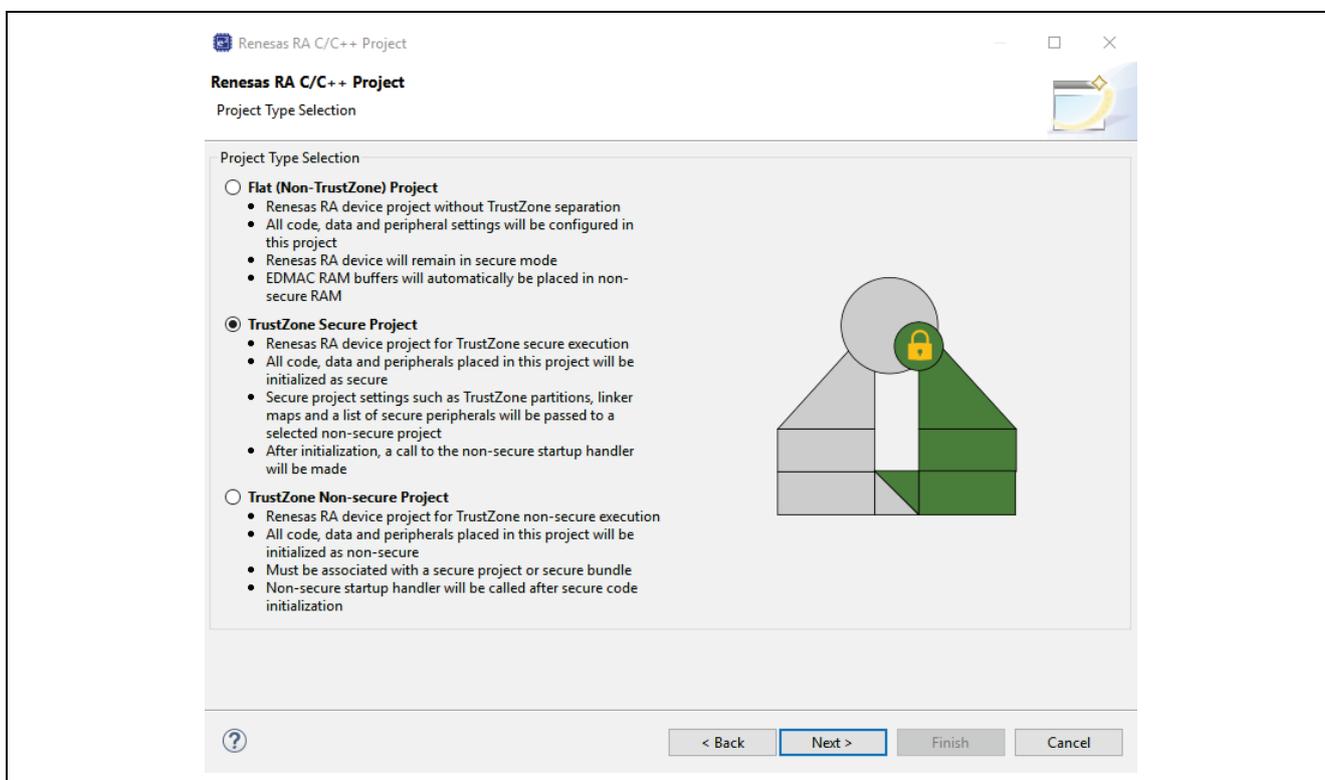


図 17. RA プロジェクトジェネレータを使用して新しい TZ 対応プロジェクトを設定する方法

| Summary | BSP | Clocks | Pins | Interrupts | Event Links | Stacks | Components | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|------|------------|-------------|--------|-----------------|--------------|----------|----------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> 問題 コンソール プロパティ スマート・ブラウザー 検索 </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EK-RA4M2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Settings | プロパティ | | | | | | 値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> > R7FA4M2AD3CFP > RA4M2 ▼ RA4M2 Family <ul style="list-style-type: none"> ▼ Security <ul style="list-style-type: none"> > Exceptions ▼ SRAM Accessibility <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">SRAM Protection</td> <td style="padding: 2px;">Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">SRAM ECC</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Standby RAM</td> <td style="padding: 2px;">Regions 7-0 are all Secure.</td> </tr> </table> ▼ BUS Accessibility <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Bus Security Attribution Register A</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Bus Security Attribution Register B</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">System Reset Request Accessibility</td> <td style="padding: 2px;">Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Cache Accessibility</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">System Reset Status Accessibility</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Battery Backup Accessibility</td> <td style="padding: 2px;">Both Secure and Non-Secure State</td> </tr> </table> | | | | | | SRAM Protection | Secure State | SRAM ECC | Both Secure and Non-Secure State | Standby RAM | Regions 7-0 are all Secure. | Bus Security Attribution Register A | Both Secure and Non-Secure State | Bus Security Attribution Register B | Both Secure and Non-Secure State | System Reset Request Accessibility | Secure State | Cache Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | System Reset Status Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | Battery Backup Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | |
| SRAM Protection | Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SRAM ECC | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Standby RAM | Regions 7-0 are all Secure. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bus Security Attribution Register A | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bus Security Attribution Register B | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| System Reset Request Accessibility | Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cache Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| System Reset Status Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Battery Backup Accessibility | Both Secure and Non-Secure State | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 18. FSP コンフィギュレータにおけるセキュアとノンセキュアの設定について

参考資料:

- RA Arm TrustZone Tooling Primer
- Securing Data at Rest Using the Arm TrustZone
- Security Design with Arm TrustZone - IP Protection
- Establishing and Protecting Device Identity using SCE9 and Arm TrustZone
- Device Lifecycle Management Key Installatio
- Arm TrustZone Security section in the relevant MCU Hardware User' s Manual

7.2 TrustZone のエミュレータサポート

ルネサスは、SWD や JTAG 通信によるデバッグと SCI 通信によるシリアルプログラミングの両方に対応したエミュレータを提供しています。このエミュレータを使用することで、デバッグとシリアルプログラミングを簡単に切り替えることができます。このエミュレータを使用した場合の 10 ピンソケット、20 ピンソケットのピン配置は以下の通りです。SWD と JTAG のピン配列は Arm®標準であり、SCI 通信によるシリアルプログラミングのために MD、TXD、RXD ピンが追加されています。

TrustZone IDAU 境界レジスタ設定をプログラムするには、シリアルプログラミングインタフェースを使用する必要があります。デバッグとシリアルプログラミングの両方を使用するには、基板上で P300 / SWCLK / TCK と P201 / MD ピンをワイヤード OR 回路で接続することを推奨します。

表 13. エミュレータのピン割り当て

| ピン番号 | SWD | JTAG | SCI を使用したシリアルプログラミング |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | VCC | VCC | VCC |
| 2 | P108/SWDIO | P108/SWDIO | NC |
| 4 | P300/SWCLK P201/MD によるワイヤード OR | P300/TCK P201/MD によるワイヤード OR | P201/MD |
| 6 | P109/SWO/TXD9 | P109/TDO/TXD9 | P109/TDO/TXD9 |
| 8 | P110/SWO/RXD9 | P110/TDI/RXD9 | P110/TDI/RXD9 |
| 9 | GNDdetect | GNDdetect | GNDdetect |
| 10 | nRESET | nRESET | nRESET |
| 12 | P214/TCLK | P214/TCLK | NC |
| 14 | P211/TDATA[0] | P211/TDATA[0] | NC |
| 16 | P210/TDATA[1] | P210/TDATA[1] | NC |
| 18 | P209/TDATA[2] | P209/TDATA[2] | NC |
| 20 | P208/TDATA[3] | P208/TDATA[3] | NC |
| 3、5、15、17、19 | GND | GND | GND |
| 7 | NC | NC | NC |
| 11、13 | NC | NC | NC |

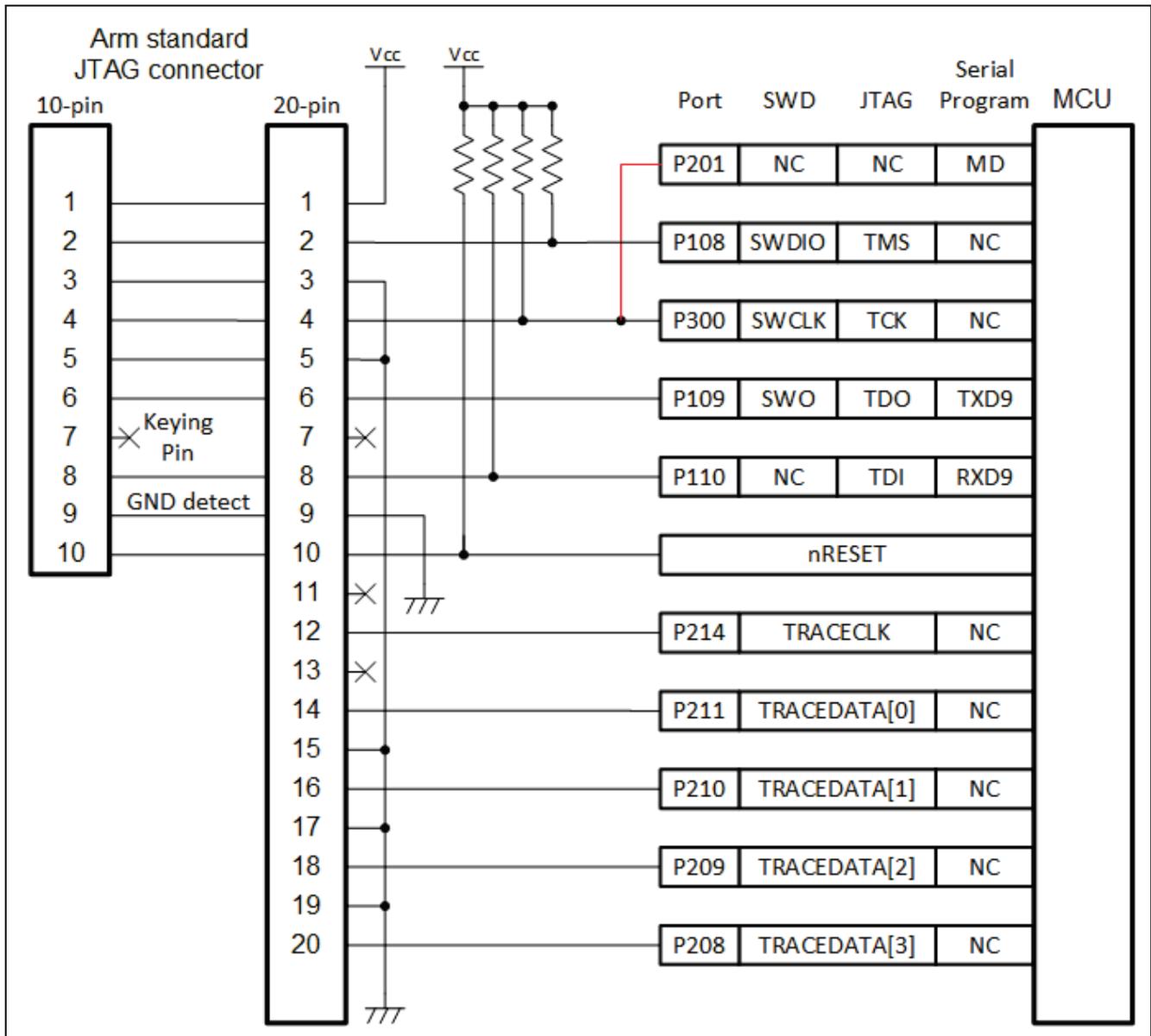


図 19. TrustZone をサポートする MCU のエミュレータ接続

7.2.1 デバイスライフサイクル管理

Arm Cortex-M33 コアを搭載した RA4 シリーズは、デバイスライフサイクル管理 (DLM) に対応しており、製品が立ち上げから開発、製造、最終的には廃止までのプロセスを管理する仕組みです。RA ファミリ MCU のデバッグ機能とシリアルプログラミング機能は、デバイスのライフサイクル状態によって定義されます。

詳細については、アプリケーションノート *Renesas RA Family Device Lifecycle Management Key Installation* を参照してください。

8. メモリ

RA4 シリーズは、0000 0000h から FFFF FFFFh までの 4GB のリニアアドレス空間をサポートし、プログラム、データ、および外部メモリバスを含むことができます。プログラムメモリとデータメモリはアドレス空間を共有しており、それぞれにアクセスするために別々のバスが使用されており、パフォーマンスが向上し、プログラムとデータの同時アクセスが可能です。メモリマップ内には、オンチップ RAM、周辺 I/O レジスタ、プログラムコードフラッシュ、データフラッシュ用の領域が含まれています。

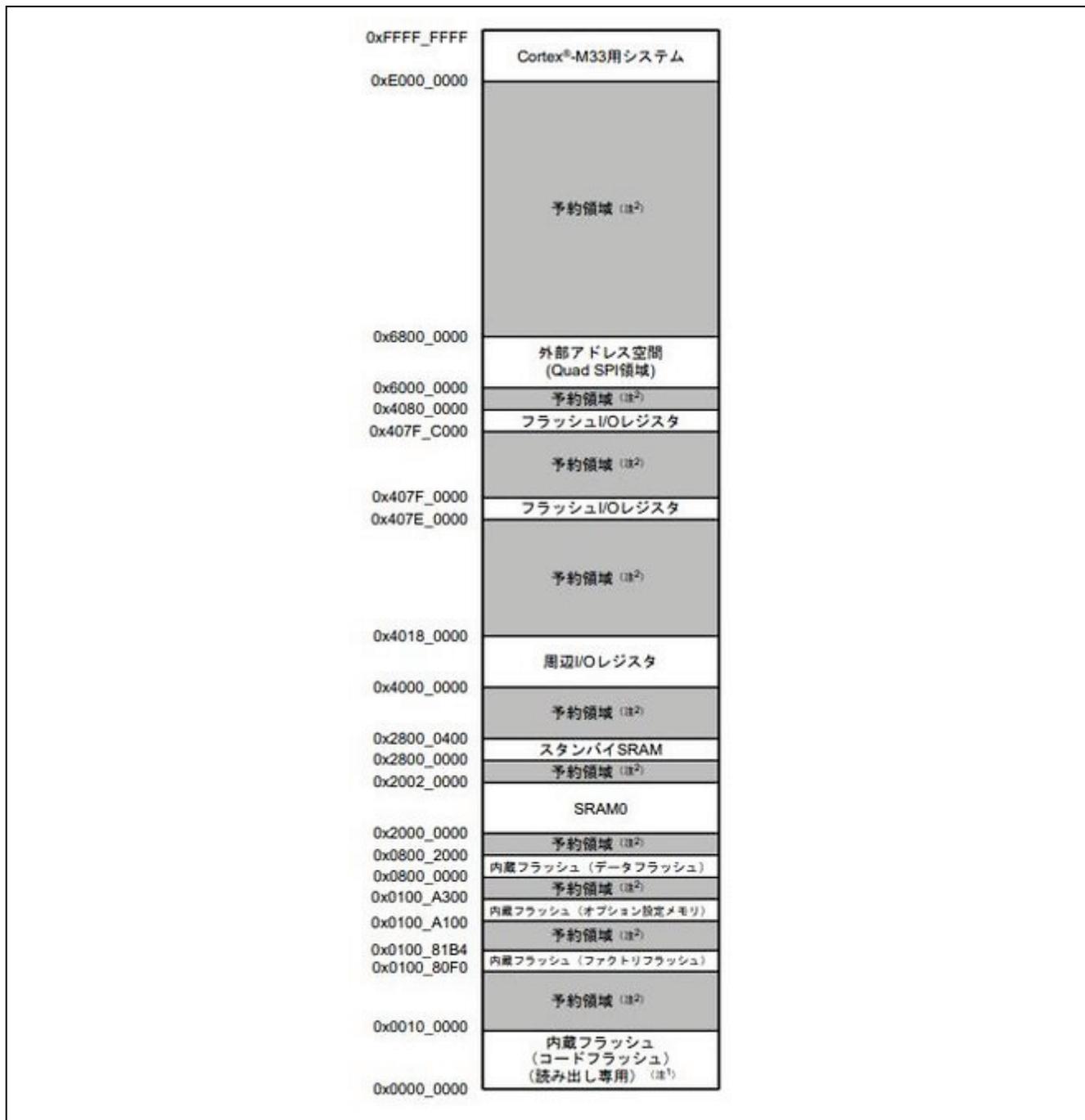


図 20. RA4M3 メモリマップ

8.1 SRAM

RA4 シリーズには、パリティビットチェックまたは ECC（エラー訂正コード）を備えたオンチップの高速 SRAM モジュールが用意されています。SRAM0 の最初の 32 KB の領域は ECC の対象となります。他の領域ではパリティチェックが実行されます。以下の表には、SRAM の仕様が示されています。SRAM モジュールの数と容量はデバイスによって異なります。詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアを参照してください。

表 42.1 SRAM の仕様

| 項目 | ECC なし | ECC あり |
|-------------|---|--|
| SRAM 容量 | SRAM0: 64 KB | SRAM0: 64 KB |
| SRAM アドレス | SRAM0: 0x2001_0000~0x2001_FFFF | SRAM0: 0x2000_0000~0x2000_FFFF |
| アクセス | ウェイトなしのアクセスが可能です。初期状態では 1 ウェイトアクセスが設定されます。詳細は「42.3.9. アクセスサイクル」を参照してください。 | |
| データ保持機能 | ディープソフトウェアスタンバイモード時は使用不可です。 | |
| モジュールストップ機能 | 消費電力低減のためにモジュールストップ状態を設定可能です。 | |
| パリティ | 8 ビットデータと 1 ビットパリティの偶数パリティ | パリティなし |
| エラーチェック | 偶パリティ（データ：8 ビット、パリティ：1 ビット） | SEC-DED（Single-Error Correction および Double-Error Detection Code） |
| セキュリティ | TrustZone フィルタはメモリアクセスと SFR アクセスに対して、統合されます。メモリ空間へのアクセスはメモリのセキュリティ属性 (SA) の設定により、制御されます。I/O 空間 (SFR) へのアクセスはレジスタのセキュリティ属性 (SA) の設定により、制御されます。「42.3.6. TrustZone フィルタ機能」を参照してください。 | |

図 21. RA4M3 SRAM の仕様

8.2 スタンバイ SRAM

RA4 シリーズは、ディープソフトウェアスタンバイモードでデータを保持するオンチップ SRAM を提供します。以下の表は、スタンバイ SRAM の仕様を示しています。

ディープソフトウェアスタンバイモードでスタンバイ SRAM に電源が供給されるのは、DPSBYCR.DEEPCUT [1:0] ビットによって有効にされます。DPSBYCR.DEEPCUT [1:0] ビットが 00b に設定されている場合、スタンバイ SRAM のデータはディープソフトウェアスタンバイモードで保持されます。DPSBYCR.DEEPCUT [1:0] ビットの詳細については、11 章「低消費電力モード」を参照してください。

表 43.1 スタンバイ SRAM の仕様

| 項目 | 内容 |
|-------------|---|
| SRAM 容量 | 1 KB |
| SRAM アドレス | 0x2800_0000~0x2800_03FF |
| アクセス | スタンバイ RAM クロックは、PCLKB と同じクロックです。詳細は、「43.3.5. アクセスサイクル」を参照してください。 |
| データ保持機能 | ディープソフトウェアスタンバイモード時、データを保持可能です。詳細は、「43.3.1. データ保持」を参照してください。 |
| パリティ | 偶数パリティ（データ：8 ビット、パリティ：1 ビット） |
| モジュールストップ機能 | モジュールストップ状態に設定して消費電力を削減します。詳細は、「43.3.2. モジュールストップ機能の設定」を参照してください。 |
| セキュリティ | TrustZone フィルタ機能に従うスタンバイ RAM の読み出し、書き出し動作が可能です。詳細は、「43.3.4. TrustZone フィルタ機能」を参照してください。 |

図 22. RA4M3 スタンバイ SRAM の仕様

ルネサス FSP の LPM（Low Power Mode）ドライバには、以下の図に示すように、スタンバイ SRAM への電力供給を切断するか保持するかのオプションが用意されています。LPM ドライバの API を呼び出して、選択した設定を MCU レジスタに書き込む必要があります。

| g_lpm_deep_sw_standby Low Power Modes (r_lpm) | |
|--|---|
| Settings | プロパティ |
| API Info | 値 |
| Common | |
| Parameter Checking | Default (BSP) |
| Standby Limit | Disabled |
| Module g_lpm_deep_sw_standby Low Power Modes (r_lpm) | |
| General | |
| Standby Options | |
| Deep Standby Options | |
| Cancel Sources | |
| Cancel Edges | |
| I/O Port Retention | Maintain the IO port states |
| Power-Supply Control | Supply power to the Standby SRAM, low-speed on-chip oscillator, AGTn (n = 0-3) and USBFS resume detecting unit Supply power to the Standby SRAM, low-speed on-chip oscillator, AGTn (n = 0-3) and USBFS resume detecting unit Cut the power supply to standby RAM, low-speed on-chip oscillator, AGTn (n = 0-3), and USBFS resume detecting unit Cut the power supply to LVDn, standby RAM, low-speed on-chip oscillator, AGTn (n = 0-3), and USBFS resume detecting unit. Enable low power function of power-on reset circuit |

図 23. ルネサス FSP コンフィギュレータによるスタンバイ SRAM への電源供給の有効化/無効化

8.3 周辺 I/O レジスタ

周辺 I/O レジスタのブロックは、デバイスと現在の動作モードに応じてメモリマップ上のさまざまな場所に表示されます。ほとんどの周辺 I/O レジスタは、アドレス 4000 0000h から 400F FFFFh までの領域を占有しますが、デバイスによっては位置やサイズが異なる場合があります。詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェア編を参照してください。詳細は「I/O レジスタ」の付録や各周辺機能のレジスタ説明に記載されています。この領域は、すべての動作モードで常に利用可能なレジスタを含んでいます。フラッシュメモリへのアクセスを制御するフラッシュ I/O レジスタは、407E 0000h~407E FFFFh と 407F C000h~407F FFFFh の 2 領域を占有します。

ルネサス FSP は、特定のデバイスのすべての周辺 I/O レジスタを簡単にアクセスできる I/O データ構造にマッピングする CMSIS データ構造の C ヘッダファイルを含んでいます。

8.4 内蔵フラッシュメモリ

RA4 シリーズには、コードフラッシュとデータフラッシュの 2 つのフラッシュメモリセクションがあり、デバイスによってサイズやプログラム可能回数が異なります。フラッシュコントロールユニット (FCU) は、フラッシュメモリの書き込みと消去を制御します。フラッシュアプリケーションコマンドインタフェース (FACI) は、指定された FACI コマンドに従って FCU を制御します。コードフラッシュは、ユーザーアプリケーションコードと定数データを保存するように設計されています。データフラッシュは、構成パラメータ、ユーザ設定、ログデータなど、随時更新される情報を保存するように設計されています。データフラッシュ領域の書き込みと消去の単位は、コードフラッシュの場合よりはるかに小さい（データフラッシュの場合は 2 バイト、コードフラッシュの場合は 128 バイト）。

データフラッシュ領域とコードフラッシュ領域の両方は、アプリケーションコードによってプログラムや消去が可能です。これにより、外部のプログラミングツールを接続しなくてもフィールドファームウェアの更新が可能になります。

ルネサス FSP は、コードフラッシュメモリとデータフラッシュメモリの両方に対して HAL 層ドライバを提供しています。

以下の表は、コードフラッシュメモリとデータフラッシュメモリの仕様の例を示しています。

表 44.1 フラッシュメモリの仕様 (1/2)

| 項目 | コードフラッシュメモリ | データフラッシュメモリ |
|--|--|--|
| メモリ容量 | ユーザー領域：最大 1 MB | データ領域：8 KB |
| リードサイクル | 「44.16.3. アクセスサイクル」を参照のこと | 「44.16.3. アクセスサイクル」を参照のこと |
| イレース後の値 | 0xFF | 不定 |
| プログラム/イレース方式 | <ul style="list-style-type: none"> FACI コマンド発行領域 (0x407E_0000) に設定した FACI コマンドで、コードフラッシュメモリおよびデータフラッシュメモリのプログラム/イレース、オプション設定メモリのプログラムが可能 (セルフプログラミング) シリアルプログラマによるシリアルインタフェース通信を介したプログラム/イレース (シリアルプログラミング) | |
| プロテクション機能 | フラッシュメモリの誤書き換えを防止 | |
| ブロックスワップ機能 | ブロックスワップ構造により、書き換えが中断された場合でも非セキュアアプリケーションの一部分を安全にアップデートできます。 | 不可 |
| BGO (バックグラウンドオペレーション) 機能 ^(注1) | <ul style="list-style-type: none"> コードフラッシュメモリのプログラム/イレース中にデータフラッシュメモリの読み出しが可能 データフラッシュメモリのプログラム/イレース中にコードフラッシュメモリの読み出しが可能 | |
| プログラム/イレース単位 | <ul style="list-style-type: none"> ユーザー領域へのプログラム：128 バイト ユーザー領域のイレース：ブロック単位 | <ul style="list-style-type: none"> データ領域へのプログラム：4/8/16 バイト データ領域のイレース：64/128/256 バイト |
| その他の機能 | セルフプログラミング中の割り込み受け付け可能 本 MCU の初期設定でオプション設定メモリの拡張領域の設定可能 | |
| オンボードプログラミング (4 種類) | ブートモード (SCI インタフェース) でのプログラム/イレース <ul style="list-style-type: none"> 調歩同期式シリアルインターフェース (SCI9) を使用 通信速度は自動調整 ブートモード (USB インタフェース) でのプログラム/イレース <ul style="list-style-type: none"> USBFS を使用 特別なハードウェアが不要で、PC と直結可能 オンチップデバッグモードによるプログラム/イレース <ul style="list-style-type: none"> JTAG/SWD インタフェースを使用 セルフプログラミングによるプログラム/イレース <ul style="list-style-type: none"> システムをリセットすることなくコードフラッシュメモリのプログラム/イレースが可能 | |
| ユニーク ID | 各 MCU に 16 バイトの ID を提供 | |
| FACI コマンド | プログラム：128 バイト ブロックイレース：1 ブロック (8 KB または 32 KB) P/E サスペンド P/E レジューム 強制停止 ステータスクリア コンフィグレーション設定 (16 バイト) | プログラム：4/8/16 バイト ブロックイレース：1 ブロック (64 バイト) マルチブロックイレース：64/128/256 バイト P/E サスペンド P/E レジューム 強制停止 ブランクチェック：4 バイト～データフラッシュメモリ容量 ステータスクリア |

図 24. RA4M3 MCU のコードフラッシュメモリおよびデータフラッシュメモリの仕様

注：コードフラッシュの消去状態は FFh ですが、データフラッシュの消去状態は不定です。

8.4.1 バックグラウンド動作

RA4 シリーズは、コードフラッシュとデータフラッシュのバックグラウンドペレーションをサポートしています。つまり、プログラムまたは消去が開始された場合でも、ユーザは操作中のメモリ領域以外のメモリの実行やアクセスを継続できます。例えば、データフラッシュメモリが消去またはプログラムされている間に CPU がコードフラッシュからアプリケーションコードを実行することができます。またコードフラッシュメモリが消去またはプログラムされている間に、CPU が SRAM からアプリケーションコードを実行することができます。ただし、この規則の例外として、データフラッシュはコードフラッシュのプログラムまたは消去中にアクセスできません。

8.4.2 ID コードプロテクション

Cortex-M4 コアを搭載した RA4 シリーズは、オプション設定メモリ領域に ID コードとして使用される 128 ビットメモリを搭載しています。この ID コードを空白 (0xFF) にすると、保護機能は有効にならず、ブートモードやオンチップデバッグを使用して MCU にアクセスすることが可能になります。ID コードが設定され

ている場合、ユーザはこれらのモードへのアクセスを制御することができます。ユーザは、常に接続を拒否するか、一致する ID コードが入力されたときに接続を許可するかを選択することができます。詳細は、RA4 シリーズのユーザーズマニュアル ハードウェア編の「OCD/シリアルプログラマ ID 設定レジスタ (OSIS)」と「ID コードプロテクション」を参照してください。

ルネサス FSP のコンフィギュレータは、ArmCortex-M4 コアを搭載した RA4 シリーズの ID コードプロテクションの設定オプションを提供します。

| プロパティ | 値 |
|-----------------------------|----------------------------------|
| > R7FA4M1AB3CFP | |
| > RA4M1 | |
| ▼ RA4M1 Family | |
| > OFS0 register settings | |
| > OFS1 register settings | |
| > MPU | |
| Use Low Voltage Mode | Disabled |
| Main Oscillator Wait Time | 262144 cycles |
| ID Code Mode | Unlocked (Ignore ID) |
| ID Code (32 Hex Characters) | FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF |
| > RA Common | |

図 25. ルネサス FSP のコンフィギュレータを使用した RA4M1 (Arm Cortex-M4 コア) の ID コード設定

注：ID コード保護設定は、間違えると MCU へのアクセスがブロックされる可能性があるため、

慎重に取扱う必要があります。

8.4.3 フラッシュブロック保護

Cortex-M33 コアを搭載した RA4 シリーズには、フラッシュブロック保護機能があり、セキュアまたはノンセキュアなソフトウェアによるイレースや再プログラムからセキュアまたはノンセキュアなフラッシュ領域を保護します。保護は、セキュア、ノンセキュアなソフトウェアの両方に対して行われることに注意してください。

詳細については、Arm® TrustZone®アプリケーションノートを使用した、保存データの保護に関する章「フラッシュブロック保護の設定」を参照してください。

8.4.4 メモリプロテクションユニット

Cortex-M4 コアを搭載した RA4 シリーズには、メモリ保護ユニット (MPU)があります。これらは、様々な MCU 領域を不正なアクセスから保護する機能を持っています。選択肢には、書き込みと読み取りを許可する、書き込みを禁止する、書き込みと読み取りを禁止するものがあります。特定のメモリアドレスで対応する定数値を設定することで、これらのオプションのうちいずれかを選択します。詳細については、MCU ユーザーズマニュアルハードウェアの「メモリ保護ユニット」を参照してください。

| プロパティ | 値 |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| > R7FA4M1AB3CFP | |
| > RA4M1 | |
| ▼ RA4M1 Family | |
| > OFS0 register settings | |
| > OFS1 register settings | |
| ▼ MPU | |
| Enable or disable PC Region 0 | Disabled |
| PC0 Start | 0x00FFFFFFC |
| PC0 End | 0x00FFFFFFF |
| Enable or disable PC Region 1 | Disabled |
| PC1 Start | 0x00FFFFFFC |
| PC1 End | 0x00FFFFFFF |
| Enable or disable Memory Region 0 | Disabled |
| Memory Region 0 Start | 0x00FFFFFFC |
| Memory Region 0 End | 0x00FFFFFFF |
| Enable or disable Memory Region 1 | Disabled |
| Memory Region 1 Start | 0x200FFFFFFC |
| Memory Region 1 End | 0x200FFFFFFF |
| Enable or disable Memory Region 2 | Disabled |
| Memory Region 2 Start | 0x407FFFFFFC |
| Memory Region 2 End | 0x407FFFFFFF |
| Enable or disable Memory Region 3 | Disabled |
| Memory Region 3 Start | 0x400DFFFC |
| Memory Region 3 End | 0x400DFFFF |
| Use Low Voltage Mode | Disabled |
| Main Oscillator Wait Time | 262144 cycles |
| ID Code Mode | Unlocked (Ignore ID) |
| ID Code (32 Hex Characters) | FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF |
| > RA Common | |

図 26. ルネサス FSP コンフィギュレータによる RA4M1 (Arm Cortex-M4 コア) の MPU 設定

注: MPU 設定は、MCU 領域へのアクセスをブロックする可能性のあるミスを防ぐために慎重に処理する必要があります。

8.5 エンディアンの制限

Arm Cortex-M コアでコードを実行するためには、命令コードを含むメモリ空間がリトルエンディアンである必要があります。

9. レジスタ書き込み保護

レジスタライトプロテクト機能により、ソフトウェアエラーによる上書きから重要なレジスタを保護します。保護するレジスタは、プロテクトレジスタ (PRCR) で設定されます。表 14 は、PRCR ビットと保護されるレジスタの関連を示しています。

| b15 | b14 | b13 | b12 | b11 | b10 | b9 | b8 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|---------|------|----|------|------|
| PRKEY[7:0] | | | | | | | | - | - | - | PRC4*1- | PRC3 | - | PRC1 | PRC0 |

図 27. PRCR レジスタ

注 1. Arm Cortex-M4 デバイスでは存在しません。

表 14. PRCR 保護ビット

| PRCR ビット | 概要 |
|------------|--|
| PRC0 | <ul style="list-style-type: none"> クロック発生回路関連レジスタ： SCKDIVCR、SCKSCR、PLLCR、PLLCCR2、MEMWAIT、MOSCCR、HOCOCR、MOCOCR、CKOCR、TRCKCR、OSTDCR、OSTDSR、SLCDSCKCR、EBCKOCR、MOCOUTCR、HOCOUTCR、MOSCWTGR、MOMCR、SOSCCR、SOMCR、LOCOCR、LOCOUTCR、HOCOWTGR、USBCKCR |
| PRC1 | <ul style="list-style-type: none"> 低消費電力モード関連レジスタ： SBYCR、SNZCR、SNZEDCR、SNZREQCR、OPCCR、SOPCCR、DPSBYCR、DPSIER0-3、DPSIFR0-3、DPSIEGR0-2、SYOCDCR、STCONR バッテリーバックアップ機能関連レジスタ： VBTGR1、VBTGR2、VBTGR、VBTMPCR、VBTLVDICR、VBTWCTLR、VBTWCHOOTSR、VBTWCH10TSR、VBTWCH20TSR、VBTICTLR、VBTICTLR、VBTWTER、VBTWEGR、VBTWFR、VBTBKRn (n = 0~511)、BKRACR |
| PRC3 | <ul style="list-style-type: none"> LVD 関連レジスタ： LVD1GR1、LVD1SR、LVD2GR1、LVD2SR、LVCMPGR、LVDLVLR、LVD1CR0、LVD2CR0 |
| PRC4* | <ul style="list-style-type: none"> セキュリティ機能関連レジスタ： CGFSAR、RSTSAR、LPMSAR、LVDSAR、BBFSAR、DPFSAR、CSAR、SRAMSAR、STBRAMSAR、DTCSAR、DMACSAR、ICUSARx、BUSSARx、MMPUSARx、TZFSAR、CPUDSAR、FSAR、PSARx、MSSAR、PmSAR、ELCSARx |
| PRKEY[7:0] | これらのビットは、PRCR レジスタへの書き込みアクセスを制御します。PRCR レジスタを変更するには、上位 8 ビットに A5h を書き込み、下位 8 ビットに希望する値を 16 ビットユニットとして書き込んでください。 |

注 1. Arm Cortex-M4 デバイスには存在しません。

ルネサス FSP は、レジスタ書き込み保護を有効および無効にする 2 つの API (R_BSP_RegisterProtectEnable および R_BSP_RegisterProtectDisable) を提供します。

10. I/O ポートの設定

「I/O ポート」セクションでは、ユーザーズマニュアルハードウェアに基づいて、各ピンの正確な設定について説明されています。リセット後に各ピンの設定が適用されるまでそのピンのデフォルト状態になることに注意してください。ほとんどのピンは、アプリケーションコードの実行が開始されるまで設定されません。一部のピンが望ましくない状態になる可能性がある期間が存在する場合があります。これはどの設定方法を使用しても同様です。ユーザは、これが各アプリケーションに及ぼす影響、および他のシステム機能への影響を考慮する必要があります。

IO ポートの設定は、レジスタへの直接書き込みまたは FSP ピン設定を使用して行うことができます。

10.1 マルチファンクションピン選択の設計方法

RA4 シリーズのほとんどのピンは、複数の周辺機能から選択して設定することができます。FSP のピンコンフィギュレータのようなツールはルネサスから提供されており、各周辺機能のピンの割り当てを支援することができます。複数の周辺機能が必要な場合は、以下の設計戦略を使用し、ピンの選択を支援します。

- まず、1 つのポートオプションだけで周辺機能を割り当てます。例えば、デバッグ機能のトレースデータ信号には、1 つのポートオプションしかありません。この機能が必要な場合は、まずこれらのポートを割り当てます。
- 次に、限られたポートオプションで周辺機能を割り当てます。例えば、QSPI 周辺機能をサポートするデバイスでは、通常、各 QSPI 信号に対して 2 つのオプションしかありません。
- 複数のポート オプションを持つ周辺機能を最後に割り当てます。一例としては、通常、多数の利用可能なポートオプションを持つシリアル通信インタフェース (SCI) が挙げられます。
- 一部の周辺機能のポートオプションは交換可能ですが、他のものは論理的なグループで割り当てる必要があります。例えば、IIC 周辺機能には、信号名にサフィックス "_A" を持つポートと、サフィックス "_B" を持つポートがあります。周辺機能に対して同じサフィックスを持つポートを選択する必要があります。他の周辺機能には、この種のサフィックスがなく、ポートは交換可能に割り当てることができます。例えば、USBFS 周辺機能の USB_VBUSEN 信号です。このドキュメントの 15.3 章 も参照してください。

10.2 ポートを GPIO として設定して使用する方

ポートを GPIO として設定して使用する方には、ポートコントロールレジスタ (PCNTR1) を使用する方と、PmnPFS レジスタを使用する方の2つがあります。

方法 1: ポートレジコントロールスタ (PCNTR1)

- ポートコントロールレジスタ 1 (PCNTR1) のポートディレクションビット (PDRn) に "1" を書き込むことで、ピンを出力として選択します。
- ポートディレクションビット (PDRn) は、は読み書き可能です。"1" に設定すると、そのピンは出力として選択されます。I/O ポートのデフォルトの状態は "0" (入力) です。RA4 シリーズでは、ポートディレクションレジスタを読み出すことができます。
- 対応するポートコントロールレジスタ (PCNTR1) のポート出力データビット (PODRn) は、読み書き可能です。PODR を読み取ると、出力データラッチの状態 (ピンレベルではない) が読み取られます。
- ポートコントロールレジスタ 2 (PCNTR2) のポート入力ビット (PIDRn) は読み取り専用です。ピンの状態を読み取るには、PCNTR2 レジスタ内の PIDRn ビットを読み取ります。

方法 2: ポート mn ピン機能選択 (PmnPFS) レジスタ

- ポートモードレジスタ (PMR) は、個々のピンが GPIO として機能するか、周辺ピンとして機能するかを指定するために読み書きされます。リセット時には、すべての PMR レジスタが 0 に設定され、すべてのピンが GPIO として機能します。PMR レジスタが "1" に設定されると、対応するピンは周辺機能に使用されます。周辺機能は、そのピンの MPC 設定で定義されます。
- ピンを出力に設定する場合、ポートの所望の出力値を最初にデータラッチに書き込み、その後、方向レジスタを出力に設定することが推奨されています。すべてのシステムで重要ではありませんが、これにより、設定中のポートに意図しない出力グリッチが発生するのを防ぎます。

一般的に、ポートを設定するために PCNTR1 を使用すると、より高速なアクセスが可能になりますが、使用可能な構成機能が少なくなります。PmnPFS レジスタを使用すると、より多くの構成機能が利用可能になりますが、アクセス速度が遅くなります。

ルネサス FSP では、以下に示すように、リセット後に GPIO ピンを構成するためのピンコンフィギュレーションが提供されています。GPIO が構成された後は、FSP の HAL レイヤー API を使用して制御することができます。

Pin Configuration

| Name | Value | Link |
|----------------|---------------------------|------|
| Symbolic Name | PMOD1_SS3 | |
| Comment | | |
| Mode | Output mode (Initial Low) | |
| Pull up | None | |
| IRQ | None | |
| Drive Capacity | Low | |
| Output type | CMOS | |
| ▼ Input/Output | | |
| P302 | ✓ GPIO | → |

Module name: P302

Port Capabilities: BUS_ASYNC0: A07
GPT_OP50: GTOUUP
GPT4: GTIOCA
ICU0: IRQ05
SCI2: SDA
SCI2: TXD
SPI0: SSL3

図 28. FSP コンフィギュレータを使用して P302 を出力および低として設定

10.2.1 内部プルアップ

- ポート 0 から 9 のほとんどのピンには、プルアップ抵抗を有効にするオプションがあります。プルアップは、各ポート mn ピン機能選択 (PmnPFS) レジスタのプルアップ (PCR) ビットによって制御されます。各 PmnPFS レジスタの PCR ビットは、ポート上の対応するピンを制御します。
- ピンは、まず PmnPFS レジスタの関連ビットで入力として設定される必要があります。PCR ビットを "1" に設定するとプルアップが有効になり、"0" に設定するとプルアップが無効となります。
- リセット後、一部を除き PCR レジスタは 0 にクリアされ、したがってすべてのプルアップ抵抗は無効になります。
- 外部バスピン、GPIO 出力ピン、周辺機能出力ピンとして指定された場合は、自動的にプルアップがオフになります。

10.2.2 オープンドレイン出力

- 出力として設定されたピンは通常、CMOS 出力として動作します。
- ポート 0 から 9 のほとんどのピンは、NMOS オープンドレイン出力として設定するオプションがあります。
- 各ポート mn ピン機能選択 (PmnPFS) レジスタにおける N チャンネルオープンドレイン制御 (NCODR) ビットは、オープンドレインモードで動作するピンを制御します。各レジスタの該当するビットを "1" に設定すると、出力がオープンドレインになります。該当するビットを "0" に設定すると、ポートが CMOS 出力になります。

10.2.3 駆動能力

ポート 1~9 のほとんどのピンは、出力の駆動能力を選択できるオプションがあります。Arm Cortex-M4 デバイスの場合、ドライブ能力は低または中ドライブ能力に設定できます。Arm Cortex-M33 デバイスの場合、ドライブ能力は低、中、高のいずれかに設定することができます。

- ドライブ能力の切り替えは、各ポート mn ピン機能選択 (PmnPFS) レジスタのドライブ能力制御レジスタ (DSCR) ビットによって制御されます。
- リセット後、すべての DSCR レジスタは 0 にクリアされるため、すべてのピンは低ドライブ出力に設定されます。選択されたピンの出力のドライブ容量を変更するには、「00」以外の値を設定します。
- 全てのピンの合計出力の最大値は、ArmCortex-M4 デバイスでは 60 mA、Arm Cortex-M33 デバイスでは 80 mA です。
- ドライブレベルの典型的な違いは以下に示されています。実際出力電流レベルはデバイスやピンのタイプによって異なります。詳細については、該当する MCU のユーザーズマニュアルを参照してください。

表 15. ピンドライブ容量

| 典型的な出力ピン | DSCR[1:0] | 駆動能力 | 最大値 (mA) |
|------------------|-----------|------|----------|
| ピンあたりの許容出力電流 | 0 0 | 低駆動 | 4.0 |
| ピンあたりの許容出力電流 | 0 1 | 中駆動 | 8.0 |
| 無効な設定；使用しないでください | 1 0 | - | |
| 1 ピンあたり許容される出力電流 | 1 1 | 高駆動 | 32 |

| ハイドライブ出力ピン | DSCR[1:0] | 駆動能力 | 最大値 (mA) |
|------------------|-----------|------|----------|
| ピンあたりの許容出力電流 | 0 0 | 低駆動 | 4.0 |
| ピンあたりの許容出力電流 | 0 1 | 中駆動 | 8.0 |
| 無効な設定；使用しないでください | 1 0 | - | |
| ピンあたりの許容出力電流 | 1 1 | 高駆動 | 40 |

出力ドライブ能力は、ボード設計全体の性能に重要な影響を与えることがあります。以下の点を考慮して、各出力のドライブ能力を選択する必要があります。

- 全てのピンを低駆動能力（デフォルト）に設定して性能を評価することを推奨します。全てのピンを低駆動能力（デフォルト）に設定して性能を評価することを推奨します。
- ボードレイアウトによっては中または高駆動能力に設定されたピンは、より高い EMI 放射を引き起こす可能性があります。ボードレイアウトによっては、中または高駆動能力に設定されたピンは、より高い EMI 放射を引き起こす可能性があります。
- 長いトレースの場合、信号が受信機に正しく伝播するためには、より高い駆動能力が必要な場合があります。

10.3 ポート周辺機能の設定と使用

T ポート mn ピン機能選択レジスタ（PmnPFS）は、各ポートの特性を設定するために使用されます。PSEL ビットは、ポートごとに選択された周辺機能を選択します。

- ほとんどのピンに複数の機能があるため、RA4 シリーズにはピン機能制御レジスタ（PmnPFS）があり、ピンに割り当てられた機能を変更することができます。
- 各ピンには、それぞれ独自の PmnPFS レジスタがあります。
- 各 PmnPFS レジスタは、ピンを周辺機能（PSEL ビット）、IRQ 入力ピン（ISEL ビット）、またはアナログ入力ピン（ASEL ビット）として使用することを可能にします。ASEL ビットが“1”（ピンをアナログ入力ピンとして使用）に設定されている場合、ピンの PMR ビットは GPIO 使用のために設定され、ピンの PDR ビットは入力に設定される必要があります。
- ユーザーズマニュアルハードウェアの「I/O ポート」の「各製品の周辺機器選択設定」を参照してください。
- 周辺機器のピンに予期しないエッジが入出力されないようにするためには、ピンの PmnPFS レジスタを変更する前に、対象のピンのポート モード制御（PMR）ビットをクリアするようにしてください。
- すべての PmnPFS レジスタは、リセット時に書き込み禁止になっています。これらのレジスタに書き込むためには、最初に書き込み保護レジスタ（PWPR）を使用して書き込みを有効にする必要があります。
- PmnPFS レジスタを設定する際には、1つの機能が複数のピンに割り当てられないように注意する必要があります。ユーザはこれを行うべきではありませんが、MCU は許可します。この場合、ピン上の機能は未定義になります。PmnPFS レジスタを設定する際には、1つの機能が複数のピンに割り当てられないように注意する必要があります。ユーザはこれを行うべきではありませんが、MCU は許可します。この場合、ピン上の機能は未定義になります。
- 外部バス、イーサネットコントローラ、または USB を使用する場合、これらの周辺機器を使用する前に、MPC に追加のレジスタを設定する必要があります。
- 以下の図は、FSP ピン設定を使用して QSPI ピンを有効にする例を示しています。

| Pin Configuration | | | |
|---|---------|------|------|
| Name | Value | Lock | Link |
| Pin Group Selection | _B only | | |
| Operation Mode | Quad | | |
| ▼ Input/Output | | | |
| QSPCLK | ✓ P305 | | |
| QSSL | ✓ P306 | | |
| QIO0 | ✓ P307 | | |
| QIO1 | ✓ P308 | | |
| QIO2 | ✓ P309 | | |
| QIO3 | ✓ P310 | | |
| Module name: QSPI0 | | | |
| Usage: For QSPI, same Pin Group Recommended | | | |

図 29. ルネサス FSP のピンコンフィギュレータを使用した QSPI ピンの有効化

10.4 IRQ ピンの設定と使い方

- 特定のポートピンは、ハードウェア割り込みライン（IRQ）として使用することができます。お使いの MCU でどのピンが使用可能かについては、ユーザズマニュアルハードウェアの「I/O ポート」の各製品の周辺機器選択設定を参照してください。
- 一部の IRQ ピンには末尾に「-DS」があるものがあります（例：IRQ1-DS）。「-DS」は、このピンがディープソフトウェアスタンバイモードから MCU を起動するために使用できることを示します。
- 注：IRQn と IRQn-DS を同時に使用することはできません。末尾に-DS が有る/無いで同じ番号の割り込みは内部的に同じ割り込みに接続されますが、外部のピン接続が異なります。
- ポートピンを IRQ ピンとして使用するためには、ピンの PFS レジスタの割り込み入力機能選択ビット（ISEL）を“1”に設定する必要があります。
- ピンは IRQ と周辺機能の両方に同時に使用することができます。これを有効にするには、ピンの PFS レジスタの ISEL ビットと PSEL ビットの両方を設定する必要があります。
- 同じ番号の IRQ 機能は、1つのピンでのみ有効にする必要があります。
- IRQ ピンは、以下の検出で割り込みをトリガーすることができます：
 - Low レベル
 - 立ち下がリエッジ
 - 立ち上がりエッジ
 - 立ち上がりエッジと立ち下がリエッジ
 どのトリガーが選択されるかは、IRQ 制御レジスタ（IRQCRi）を使用して選択されます。
- IRQ ピンにはデジタルフィルタリングが有効です。このフィルタは、4つの選択可能なクロックレート（PCLK、PCLK/8、PCLK/32、PCLK/64）のうちの1つで信号を繰り返しサンプリングすることに基づいています。このフィルタは、短いパルス（フィルタレートで3サイクル未満の High または Low パルス）をフィルタリングします。このフィルタは、これらのラインのリングやノイズをフィルタリングするのに便利ですが、機械的なスイッチバウンスのような長いイベントをフィルタリングするには、あまりにも速すぎます。フィルタリングを有効にすると、ハードウェア IRQ ラインに短いレイテンシ（フィルタリング時間）が追加されます。
- デジタルフィルタリングは、各 IRQ ピンに対して独立して有効にすることができます。これは、IRQCRi レジスタの IRQ ピンデジタルフィルタイネーブル（FLTEN）ビットを各 IRQ に設定することで実現します。
- デジタルフィルタリング用のクロックレートは各 IRQ ピンで独立して設定可能です。これは、IRQCRi レジスタの IRQ ピンデジタルフィルタ設定（FCLKSEL[1:0]）ビットを各 IRQ に設定することで可能です。
- 図 30、図 31 にルネサス FSP を使用した IRQ ピンのイネーブルとコンフィギュレーションの例を示します。

Pin Configuration

| Name | Value | Lock | Link |
|----------------|---------|------|------|
| Operation Mode | Enabled | | |
| ▼ Input/Output | | | ◀ ▶ |
| NMI | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ00 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ01 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ02 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ03 | ✓ P202 | 🔓 | ➡ |
| IRQ04 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ05 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ06 | ✓ P000 | 🔓 | ➡ |
| IRQ07 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ08 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ09 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ10 | None | 🔒 | ➡ |
| IRQ11 | None | 🔒 | ➡ |

Module name: ICU0
Usage: To use IRQ function with output or peripheral modes, change directly in port dialog

図 30. ルネサス FSP のピン設定ツールを使用して、P202 と P000 をそれぞれ IRQ03、IRQ06 入力として有効にする

| Settings | プロパティ | 値 |
|----------|---|-------------------------|
| API Info | Common | |
| | Parameter Checking | Default (BSP) |
| | Module g_external_irq_user_sw External IRQ (r_icu) | |
| | Name | g_external_irq_user_sw |
| | Channel | 13 |
| | Trigger | Falling |
| | Digital Filtering | Enabled |
| | Digital Filtering Sample Clock (Only valid when Digital Filtering is Enabled) | PCLK / 64 |
| | Callback | external_irq_user_sw_cb |
| | Pin Interrupt Priority | Priority 3 |
| | Pins | |
| | IRQ13 | P009 |

図 31. ルネサス FSP コンフィギュレータを使用した IRQ13 の設定例

10.5 未使用ピン

注：特定のピンには特定の終端処理が必要な場合があります。MCU の I/O ポートについては、ユーザーズマニュアルハードウェア編の「未使用ピンの処理」を参照して、特定の推奨事項を確認してください。

フローティング状態の未使用のピンは余分な電力を消費し、システムがノイズの問題により影響を受けやすくなる可能性があります。未使用ピンは、以下の方法のいずれかを使用して終端処理を行ってください。

1. 最初の選択肢は、ピンを入力に設定し（リセット後のデフォルト状態）、抵抗を使ってピンを Vcc または Vss に接続することです。どちらの接続でも MCU に差はありませんが、システムノイズの観点からは有利になる場合があります。Vss は最も一般的な選択でしょう。ピンを出力に設定するためにポートの方向レジスタに誤って書き込むと、出力がショートする可能性があるため、ピンを直接 Vcc または Vss に接続しないようにしてください。
2. 第二の方法は、ピンを出力に設定することです。ピンのレベルは High または Low に設定することができます。ピンを Low 出力として設定すると、ピンが内部的にグランドに接続されます。これは全体的なシステムのノイズに対する懸念を軽減するのに役立つ場合があります。
未使用のピンを出力に設定する場合の懸念は、ポートの設定をソフトウェア制御で行う必要があることです。MCU がリセット状態で保持され、方向レジスタが出力に設定されるまで、ピンは浮動入力となり、余分な電流を引き込む可能性があります。この時間中の余分な電流を許容できる場合、最初の方法で必要だった外部抵抗が不要になります。
3. ピンを入力として残し、外部抵抗で終端する方法は、MCU の多くのポートで利用可能な内部プルアップを使用します。これは、ピンを出力に設定するのと同じ制限（プログラムでポートを設定する必要があります）がありますが、デバイスがピンを駆動しないため、グランド、隣接ピン、Vcc への不慮のピンの短絡の影響を制限することができます。

10.6 存在しないピン

RA4 シリーズは、総ピン数が異なる複数のパッケージサイズで提供されています。その MCU グループの最大パッケージ（通常 100 ピンまたは 144 ピン）より小さいパッケージでは、PDR レジスタの存在しないポートの対応ビットを「1」（出力）に、PODR レジスタを「0」に設定します。ユーザは、ユーザズマニュアルハードウェアの「I/O ポート」の「I/O ポートの仕様」表を確認することで、各 MCU パッケージでどのポートが利用可能かを確認できます。例えば、ポート 1 の 0 と 1 のピンは、144 と 100 ピンパッケージでのみ利用可能です。存在しないピンを追加で処理する必要はないことに注意してください。

10.7 電気的特性

通常の GPIO ポートでは、CMOS レベルの入力 ($High \geq 0.8 * V_{cc}$, $Low \leq 0.2 * V_{cc}$) が必要です。一部の GPIO ポートにはシュミットトリガ入力があり、入力要件は若干異なります。詳細については、ユーザズマニュアルハードウェアの「電気的特性」を参照してください。

11. モジュール停止機能

電力効率を最大化するため、RA4 シリーズの MCU では、モジュール停止制御レジスタ (MSTPCR_i, $i=A, B, C, D, E$) への書き込みによって、オンチップペリフェラルを個別に停止することができます。モジュールが停止すると、モジュールレジスタへのアクセスは不可能になります。

リセット後、DMAC、DTC、SRAM を除くほとんどのモジュールがモジュール停止状態になります。詳細については、ユーザズマニュアルハードウェアを参照してください。

周辺機器のレジスタにアクセスする前に、MSTPCR_i レジスタの対応するビットに '0' を書き込むことによって、停止モードから取り出して有効にする必要があります。

周辺機器は、MSTPCR_i レジスタの適切なビットに '1' を書き込むことで停止させることができます。

ルネサス FSP の HAL ドライバは、モジュールのスタート/ストップ機能を自動的に処理します。

12. 割り込み制御ユニット

割り込みコントローラユニット (ICU) は、どのイベント信号を NVIC、DTC、および DMAC モジュールにリンクさせるかを制御します。また、ICU はノンマスクابل割り込みの制御も行います。図 32 に ICU の仕様の例を、図 33 に I/O ピンから IRQ_i イベントを立ち上げる機能の例を示します。各 RA4 シリーズの詳細については、ハードウェアユーザズマニュアルを参照してください。

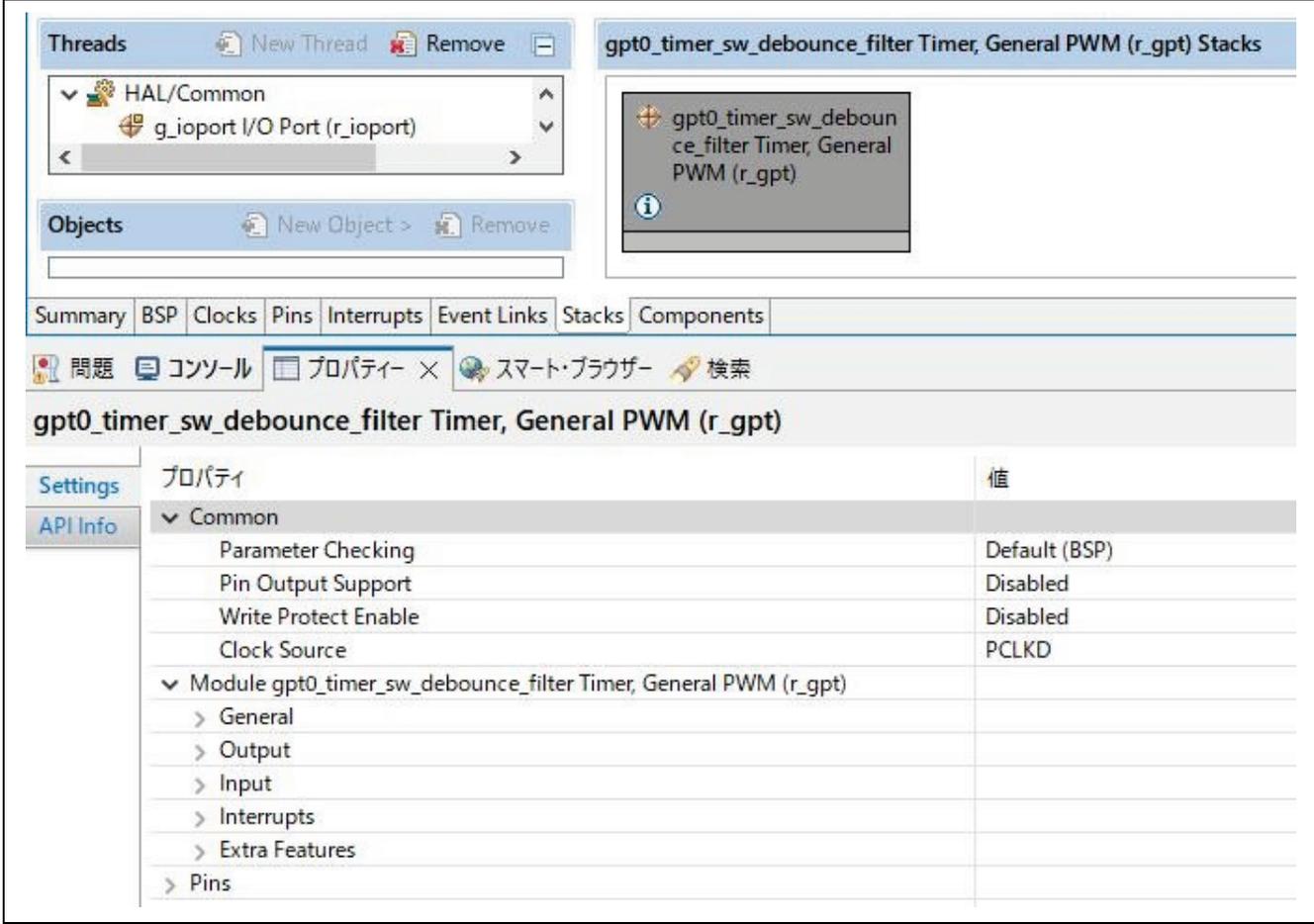
| 項目 | | 内容 |
|----------------------------------|--|--|
| マスクابل 割り込み | 周辺機能割り込み | <ul style="list-style-type: none"> 周辺モジュールからの割り込み 要因数：223（イベントリスト番号 32～511 内の要因から選択） |
| | 外部端子割り込み | <ul style="list-style-type: none"> 割り込み検出：Low レベル^(注4)、立ち下がリエッジ、立ち上がリエッジ、両エッジ。要因ごとに設定可能 デジタルフィルタ機能 16 要因（IRQi (i = 0～15) 端子からの割り込み） |
| | CPU (NVIC) への割り込み要求 | <ul style="list-style-type: none"> 96 本の割り込み要求を NVIC に対して出力 |
| | DMAC 制御 | <ul style="list-style-type: none"> 割り込み要因によって DMAC の起動が可能^(注1) DMAC の全チャンネル個別に対象の割り込み要因を選択可能 |
| | DTC 制御 | <ul style="list-style-type: none"> 割り込み要因によって DTC の起動が可能^(注1) 割り込み要因の選択方式は、NVIC への割り込み要求と同一 |
| ノンマスクابل 割り込み ^(注2) | NMI 端子割り込み | <ul style="list-style-type: none"> NMI 端子からの割り込み 割り込み検出：立ち下がリエッジまたは立ち上がリエッジ デジタルフィルタ機能 |
| | WDT アンダーフロー／リフレッシュエラー ^(注3) | ダウンカウンタのアンダーフローまたはリフレッシュエラー発生時の割り込み |
| | IWDT アンダーフロー／リフレッシュエラー ^(注3) | ダウンカウンタのアンダーフローまたはリフレッシュエラー発生時の割り込み |
| | 低電圧検出 1 ^(注3) | 電圧監視 1 回路の電圧監視 1 割り込み (LVD_LVD1) |
| | 低電圧検出 2 ^(注3) | 電圧監視 2 回路の電圧監視 2 割り込み (LVD_LVD2) |
| | RPEST ^(注5) | SRAM パリティエラー発生時の割り込み |
| | RECCST ^(注5) | SRAM ECC エラー発生時の割り込み |
| | TZFST ^(注5) | TrustZone フィルタエラー発生時の割り込み |
| | CPEST ^(注5) | キャッシュ RAM パリティエラー発生時の割り込み |
| | 発振停止検出割り込み ^(注3) | メイン発振器の停止を検出したときの割り込み |
| バスマスタ MPU エラー ^(注5) | バスマスタ MPU エラー割り込み | |
| 低消費電力モード | <ul style="list-style-type: none"> スリープモード：ノンマスクابل割り込みまたはその他の割り込み要因によって復帰 ソフトウェアスタンバイモード：ノンマスクابل割り込みによって復帰。WUPEN レジスタで割り込みの選択が可能 スヌーズモード：ノンマスクابل割り込みによって復帰。SELSR0 および WUPEN レジスタで割り込みの選択が可能 <p>「13.2.17. SELSR0：SYS イベントリンク設定レジスタ」と「13.2.18. WUPEN0：ウェイクアップ割り込みイネーブルレジスタ 0」、「13.2.19. WUPEN1：ウェイクアップ割り込みイネーブルレジスタ 1」を参照してください。</p> | |
| TrustZone フィルタ | 使用可能 | |

図 32. RA4M3 ICU の仕様

| 端子名 | 入出力 | 内容 |
|-----------------|-----|------------------|
| NMI | 入力 | ノンマスクابل割り込み要求端子 |
| IRQi (i = 0～15) | 入力 | 外部割り込み要求端子 |

図 33. RA4M3 ICU の I/O ピン

下図は、ルネサス FSP コンフィギュレータを使用して、割り込みの有効化と設定を行う場合の例です。ICU と割り込みは、HAL ドライバの構成の一部として、FSP を通して設定します。



The screenshot shows the IDE interface with the 'Properties' window for the component 'gpt0_timer_sw_debounce_filter Timer, General PWM (r_gpt)'. The 'Common' section is expanded, showing the following settings:

| プロパティ | 値 |
|---|---------------|
| ▼ Common | |
| Parameter Checking | Default (BSP) |
| Pin Output Support | Disabled |
| Write Protect Enable | Disabled |
| Clock Source | PCLKD |
| ▼ Module gpt0_timer_sw_debounce_filter Timer, General PWM (r_gpt) | |
| > General | |
| > Output | |
| > Input | |
| > Interrupts | |
| > Extra Features | |
| > Pins | |

図 34. GTP0 オーバーフロー割り込みを有効にし、割り込みサービスルーチンによって呼び出されるユーザーコールバック関数を設定する

13. 低消費電力

RA4 シリーズには、消費電力を削減するためのいくつかの機能があります。これには、クロック分周器の設定、モジュールの停止、通常モードでの電源制御モードの選択、低消費電力モードへの遷移などがあります。詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「低消費電力モード」参照してください。

RA4 シリーズは、MCU グループに応じて 4 つの異なる低消費電力モードをサポートしています。

これらは次のとおりです：

- スリープモード
- ソフトウェア スタンバイモード
- スヌーズモード
- ディープソフトウェアのスタンバイモード

消費電力削減のために利用できる機能の概要は、次の表のとおりです。

表 16. 低電力モード機能の仕様

| アイテム | 仕様 |
|------------------------------|--|
| クロック信号の変更による消費電力の削減 | 周波数分周比は、システムクロック (ICLK)、周辺モジュールクロック (PCLKH、PCLKL、PCLKADC、PCLKGPT)、外部バスクロック (BCLK)、フラッシュインタフェースクロック (FCLK) に対して、独立して選択できます。* ¹ |
| モジュールストップ | 各ペリフェラルモジュールについて、個別に機能を停止できます。 |
| 低消費電力モード | <ul style="list-style-type: none"> スリープモード ソフトウェアスタンバイモード スヌーズモード ディープソフトウェアスタンバイモード |
| 電源制御モード | 電源制御モード3つの動作電源制御モード: <ul style="list-style-type: none"> 高速モード 低速モード サブオシレータスピードモード |
| TrustZone フィルタ* ² | セキュリティ属性を各レジスタに設定できます。 |

注: 1. 詳細はユーザーズハードウェアマニュアルの「クロック発生回路」を参照してください。
2. TrustZone セキュリティ機能をサポートするデバイスの場合。

以下の表は、低消費電力モードへの移行条件、CPU と周辺モジュールの状態、および各モードの解除方法を示しています。

表 17. 低消費電力モード

| 動作状態* ¹ | スリープモード | 全モジュールクロック停止モード | ソフトウェアスタンバイモード | ディープソフトウェアスタンバイモード |
|--------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|
| 遷移条件 | SBYCR. SSBY=0 の場合の WFI 命令 | SBYCR. SSBY=1 かつ DPSBYCR. DPSBY=0 の場合の WFI 命令 | スヌーズ要求トリガー. SNZCR. SNZE=11 | SBYCR. SSBY=1 かつ DPSBYCR. DPSBY=1 の場合の WFI 命令 |
| 解除方法 | すべての割り込み。このモード内で使用可能な任意のリセット | このモードで定義された割り込み。このモードで使用可能なリセット。 | このモードで定義された割り込み。このモードで使用可能なリセット。 | このモードで定義された割り込み。このモードで使用可能なリセット。 |
| 割り込み解除後の状態 | プログラム実行状態 (割り込み処理中) | プログラム実行状態 (割り込み処理中) | プログラム実行状態 (割り込み処理中) | リセット状態 |
| リセット解除後の状態 | リセット状態 | リセット状態 | リセット状態 | リセット状態 |

注: 1. 詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの表「各低電力モードの動作条件」を参照してください。

RA4 シリーズには、通常モードおよびスリープモードで低消費電力動作するように MCU を設定するレジスタ設定が含まれています。これらのモードは動作電力制御モードと呼ばれ、OPCCR レジスタによって制御されます。

以下は、動作電力消費制御モードと、各モード下での最大許容クロッキングおよび電圧レベルの概要です。

表 18. 各動作消費電力制御モードで使用可能な発振器

| モード | 発振器 | | | | | | |
|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------|-----------|--------------|
| | PLL、PLL2 | 高速オンチップオシレータ | 中速オンチップオシレータ | 低速オンチップオシレータ | メインクロック発振器 | サブクロック発振器 | IWDT 専用内蔵発振器 |
| High-Speed | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 |
| Low-Speed | 不可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 | 可能 |
| Subosc-speed | 不可能 | 不可能 | 不可能 | 可能 | 不可能 | 可能 | 可能 |

注:OPCCR レジスタの値を低消費電力動作モードのいずれかに設定することは可能ですが、クロックや電圧レベルを所望のモードの要件に合わせて設定する必要があります。そうでない場合、OPCCR レジスタの設定は消費電力を下げる効果を持ちません。

最も低い電力数値を実現するために、クロック生成回路には可能な限り大きな分周器を使用します。

低消費電力モードは、RES ピンリセット、電源オンリセット、電圧モニタリセット、周辺機器割り込みなど、様々な割り込みソースによって解除されます。異なる低消費電力モードの割り込みソースのリストについては、ユーザズマニュアルハードウェアの「低消費電力モード」を参照してください。

スヌーズモードのみ、ソフトウェアスタンバイモードからスヌーズモードに移行するためのスヌーズ要求がトリガーとなります。他の低消費電力モードへの遷移は、スタンバイ制御レジスタ (SBYCR) を適切に設定した上で WFI 命令を実行することで行われます。

ルネサス FSP は、低消費電力モードドライバとドライバコンフィギュレータを提供しており、低消費電力モード、ウェイクソース/キャンセルソースなどを設定することができます。

| プロパティ | 値 |
|--|---|
| ▼ Common | |
| Parameter Checking | Default (BSP) |
| Standby Limit | Disabled |
| ▼ Module g_lpm_deep_sw_standby Low Power Modes (| |
| ▼ General | |
| Name | g_lpm_deep_sw_standby |
| Low Power Mode | Deep Software Standby mode |
| Output port state in standby and deep standby | No change |
| ▼ Standby Options | |
| > Wake Sources | |
| > Snooze End Sources | |
| Snooze Request Source | RXD0 falling edge |
| DTC state in Snooze Mode | Disabled |
| Snooze Cancel Source | None |
| ▼ Deep Standby Options | |
| > Cancel Sources | |
| > Cancel Edges | |
| I/O Port Retention | Maintain the IO port states |
| Power-Supply Control | Supply power to the Standby SRAM, low-speed on-chip oscillator, AGTn and USBFS resume detect... |

図 31. ルネサス FSP コンフィギュレータによる低消費電力モードの設定

FSP コンフィギュレータで特定の低消費電力モードを設定した後、低消費電力モードドライバの API を使用して LPM ドライバを初期化し、設定された低消費電力モードに MCU を配置することができます

```

/* Open LPM driver and initialize LPM mode */
err = R_LPM_Open(&g_lpm_deep_sw_standby_ctrl, &g_lpm_deep_sw_standby_cfg);
/* Handle error */
if (FSP_SUCCESS != err)
{
    return (err);
}
/* Transition to configured LPM mode: Deep Software Standby Mode */
err = R_LPM_LowPowerModeEnter (&g_lpm_deep_sw_standby_ctrl);
/* Handle error */
if (FSP_SUCCESS != err)
{
    return (err);
}
    
```

LPM 用の FSP コンフィギュレータおよびドライバ API の使用方法の例については、RA デバイスのアプリケーション ノート「低消費電力アプリケーション入門」を参照してください。

14. バス

Arm Cortex-M33 MCU のバスは、32 ビットの AHB (Advanced High-performance Bus) バスマトリックスで構成されています。図 36 にはバスマスタとバススレーブがリストされており、図 37 にはバスの構成が示されています。

注：Arm Cortex 命令コードを実行する際は、メモリ空間はリトルエンディアン形式でアクセスされます。

| バスの種類 | バスマスタ/スレーブ名 | バス I/F 最高周波数 | 同期クロック | 内容 |
|--------|---------------------|--------------|--------|--|
| バスマスタ | コードバス (Cortex-M33) | 100 MHz | ICLK | 命令およびオペランド用 CPU 命令キャッシュを接続 |
| | システムバス (Cortex-M33) | 100 MHz | ICLK | システム用 CPU データキャッシュを接続 |
| | DMAC / DTC | 100 MHz | ICLK | DMAC/DTC を接続 |
| バススレーブ | FHBIU | 100 MHz | ICLK | コードフラッシュメモリとコンフィグレーション領域を接続 |
| | FLBIU | 50 MHz | FCLK | データフラッシュメモリ、FACI を接続 |
| | S0BIU | 100 MHz | ICLK | SRAM0 (スタンバイ RAM) を接続 |
| | PSBIU | 100 MHz | ICLK | 周辺システムモジュール (DTC、DMAC、ICU、フラッシュ、MPU、SRAM、デバッグ/トレースモジュール、システムコントローラ、BUS コントローラ) を接続 |
| | PLBIU | 50 MHz | PCLKB | 周辺モジュール (CAC、ELC、I/O ポート、POEG、RTC、WDT、IWDT、AGT、IIC、CAN、USBFS、SDHI、SSIE、TSN、CTSU) を接続 |
| | PHBIU | 100 MHz | PCLKA | 周辺モジュール (GPT、SCI、SPI、CRC、DOC、ADC12、DAC12、SCE9) を接続 |
| | EQBIU (QSPI 領域) | 100 MHz | PCLKA | QSPI (外部メモリインタフェース) を接続 |

注. FHBIU: フラッシュ高速バスインタフェースユニット
 FLBIU: フラッシュ低速バスインタフェースユニット
 S0BIU: SRAM0 バスインタフェースユニット
 PSBIU: 周辺システムバスインタフェースユニット
 PLBIU: 周辺低速バスインタフェースユニット
 PHBIU: 周辺高速バスインタフェースユニット
 EQBIU: 外部メモリインタフェース QSPI バスインタフェースユニット

図 36. RA4M3 バスの仕様

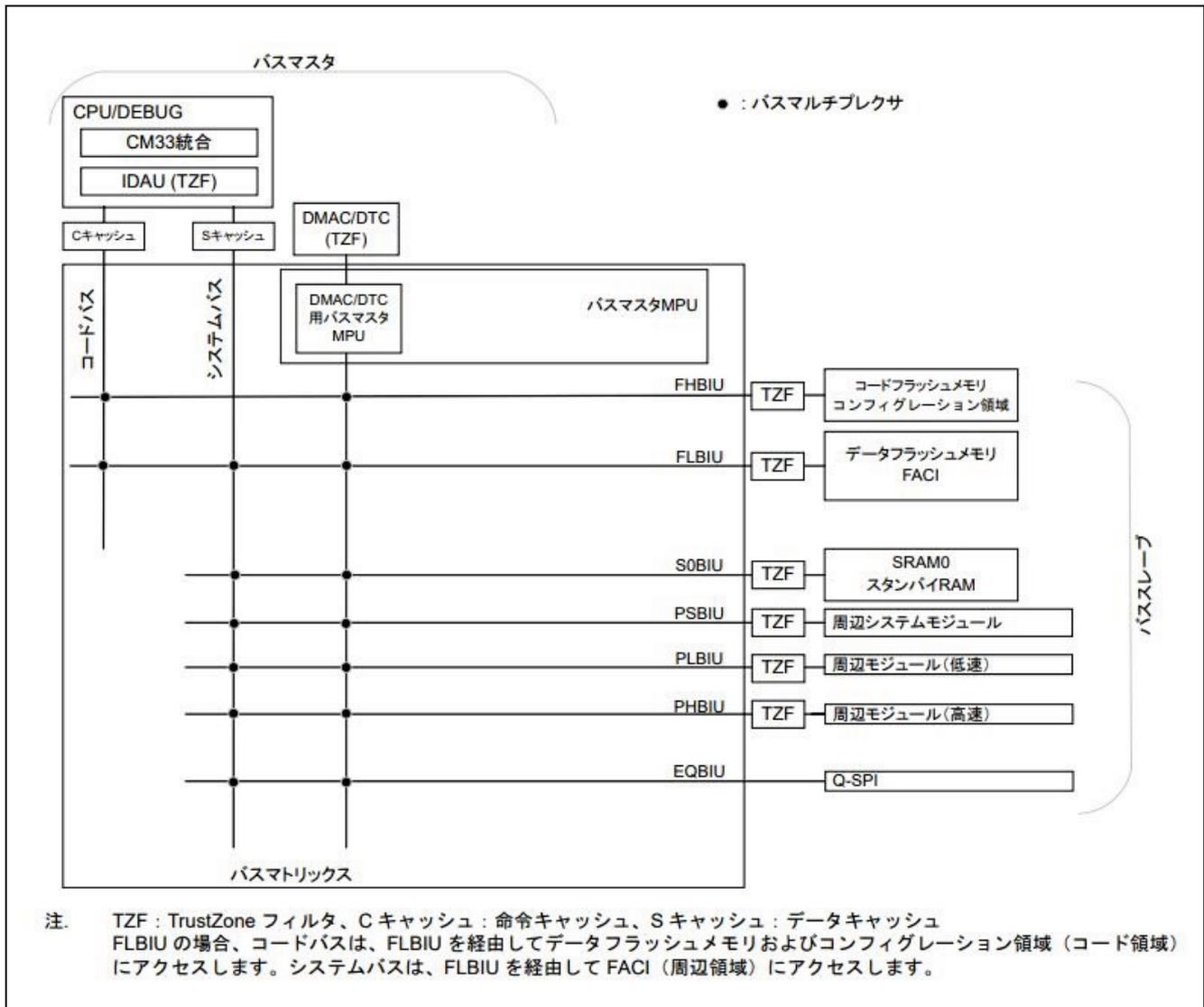


図 37. RA4M3 バス接続

14.1 バスエラー監視

バスエラー監視システムは、各個別の領域を監視します。エラーが検出されると、AHB-Lite エラーレスポンスプロトコルを使用して要求元のマスターIPにエラーが返されます。

14.1.1 バスエラータイプ

各バスでは、以下のようなエラーが発生する可能性があります：

- 不正なアドレスアクセス
- バスマスタ MPU エラー
- トラストゾーンフィルターエラー (Trustzone をサポートする MCU のみ)
- 各スレーブ IP から送信されたバスエラー

14.1.2 バスエラー発生時の動作

バスエラーが発生すると、動作は保証されず、エラーは要求元のマスターIPに返されます。各マスターで発生するバスエラーは、BUSnERRADD および BUSnERRSTAT レジスタに格納されます。これらのレジスタは、リセットによってのみクリアする必要があります。詳細については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「バスエラーアドレスレジスタ (BUSnERRADD)」と「バスエラーステータスレジスタ (BUSnERRSTAT)」を参照してください。

注 : DMAC と DTC はバスエラーを受信しないため、バスエラーによる影響はありません。

15. 一般的なレイアウトの実践

15.1 デジタルドメインとアナログドメインの比較

RA4 シリーズはドメイン機能を備えています：電源、デジタル、アナログです。

一般に、電源ピンは電圧と基準入力専用であり、複数の機能を持つことはありません。電源ピンは通常、MCU 内の特定の部分、つまりドメインに特化しています。例えば、MCU の主電源電圧は、デジタルコア、デジタル周辺機能、デジタル I/O ピンの多くに電力を供給することになります。デジタルドメインは、デジタル回路、デジタル I/O ピン、関連する電源ピンから構成されます。アナログ機能用に指定された電源ピン（AVCCO、関連する AVSSO など）は、デジタルドメイン回路とは別に、MCU 内の特定のアナログ回路に電力を供給します。アナログドメインは、アナログ回路、アナログ I/O ピン、関連する電源ピンから構成されません。

デジタル信号は通常、周期的なクロックに関連する繰り返しのスイッチングパターンです。デジタル信号の遷移は、比較的鋭いエッジになる傾向があり、遷移間の High または Low レベルが安定しています。各信号は、指定された時間枠内に、論理状態として許容できる電圧レベルで安定している必要があります。信号の状態は、通常、所定のクロック間隔でサンプリングされ、関連するデータ信号を評価するためにクロックのエッジ遷移を使用します。デジタル信号の電圧レベルのわずかな変動は、レベルが指定された範囲内にとどまる限り、通常は許容されます。しかし、デジタル信号に対する大きな外部からの影響は、データがサンプリングされる瞬間に誤った論理状態になる可能性があります。

アナログ信号は通常は全く異なっています。アナログ信号は周期的かもしれませんが、アナログ信号の評価は通常、論理状態ではなく、一定範囲内の電圧の測定です。アナログ信号の電圧レベルは、特定のトリガーイベントに基づいてサンプリングされ、その結果得られる測定値は、MCU 内のアナログ回路を使用して処理されます。アナログ測定の精度は、サンプリングされた電圧レベルの精度に直接関係しています。アナログ入力信号の電圧レベルをわずかでも変化させる可能性のある不要な外的影響は、測定の精度に影響を与える可能性があります。

ルネサス RA4 シリーズの I/O ピンは非常に多重化されているため、多くの I/O ピンはアナログまたはデジタル機能のどちらかにも使用することができます。このため、デジタルとアナログの機能が重複し、データエラーが発生することがあります。

デジタルとアナログの信号ドメイン間で起こりうる問題を最小限に抑えるために、以下のガイドラインを考慮してください。

- I/O ピンの機能を割り当てる際には、アナログピンとデジタルピンが物理的にできるだけ分離されるようにピン機能を選択してください。
- 各アナログ信号はできるだけ他の信号から分離してください。
- PCB 配線は、各アナログ信号をできるだけ分離してください。同じ領域に他の信号（アナログまたはデジタル）を配線しないようにしてください。
- アナログ電源電圧とアナログ基準電圧には、適切な AC フィルタが含まれていることを確認します。これは、MCU 電圧ピンの近くにある推奨コンデンサや、適切な誘導フィルタの形式であるかもしれません。目的は、電圧供給と基準電圧をほぼリップルのない状態で提供することです。
- PCB 設計で専用の電源層を使用する場合、アナログ電圧領域でデジタル信号を配線しないようにし、デジタル電圧領域でアナログ信号を配線しないようにしてください。

高感度なアプリケーションでは、回路設計が性能に及ぼす影響を理解するために、シミュレーションツールを使って特定の設計を評価することが強く推奨されます。例えば、精密センサー設計や非常に高速なデジタルバスインタフェースなどのアプリケーションが含まれます。各周辺機能の特定の要件については、ユーザーズマニュアルハードウェアの「電気的特性」を参照してください。

15.2 高速信号設計の考慮事項

デジタル信号のクロック速度が上がると、外部からのノイズの影響がより重要になることがあります。一部の周辺機能は「高速」デジタル信号として分類されることがあります。高速デジタル信号に対しては、追加の設計上の考慮が必要です。

クロストークとは、ある信号の遷移が、近くにある別の信号に誘導的な影響を与える状態のことです。このクロストークの影響が十分強い場合、最初の信号が2番目の信号のエラーを引き起こす可能性があります。クロストークの影響を軽減するために、以下の一般的なPCB配線ガイドラインを使用してください。

- 同じ配線層で配線された信号間に十分なスペースを確保します。通常、同じデジタルグループの信号間は最低1トレース幅以上、異なるデジタルグループの信号間は最低3~5トレース幅以上のスペースを確保します。
- 同一配線層上のクロック信号とデータ信号の間には、十分なスペースを確保します。通常、クロックとその他のデジタル信号の間には、最低でも3~5トレース幅のスペースを確保します。
- 隣接する配線層でのデジタル信号の並列配線は避けてください。隣接する信号層で配線する必要がある場合は、可能な限り、直交交差を使用するようにしてください。

可能であれば、信号層の間に電源層またはグランド層を使用して、PCB信号層を分離してください。電源層やグランド層の固体銅は、デジタル信号の「シールド」として機能することができます。

標準化されたインタフェースには、それぞれ特定の要件があります。PCBが信号クロストーク問題を回避するように設計されていることを確認するために、設計の各インタフェースの関連規格を参照することを強くお勧めします。

15.3 信号グループの選択

一部のピン名には、末尾に信号グループを示す_A、_B、_Cが追加されています。IIC、SPI、SSIE、ETHERC、SDHIなど特定の周辺機能を割り当てる場合は、同じ末尾を持つ機能ピンを選択してください。ユーザーズマニュアルハードウェア編の「電気的特性」に示されているACタイミング特性を信号グループごとに測定する場合があります。信号グループが混在している場合、その周辺機器は機能しない可能性があり、記載されているACタイミング特性は適用されない場合があります。

周辺機能のピン名に信号グループの末尾に_Aなどがいない場合、各機能の信号に対して最も使いやすいピン配置を選択することが安全です。

ユーザーズマニュアルハードウェア「I/Oポート」の「周辺機器選択設定」、「PmnPFSレジスタ設定に関する注意事項」を参照してください。

16. 参照

The このクイックデザインガイドの作成には、以下の文書が使用されました。各文書の最新バージョンについては、[Renesas website](#) をご覧ください。

| 参照 | 文書番号 | 概要 |
|----|-----------|---|
| 1 | R01UH0887 | ルネサス RA4M1 グループ、ユーザーズマニュアル：ハードウェア編 |
| 2 | R01UH0892 | ルネサス RA4M2 グループ、ユーザーズマニュアル：ハードウェア編 |
| 3 | R01UH0893 | ルネサス RA4M3 グループ、ユーザーズマニュアル：ハードウェア編 |
| 4 | R20AN0577 | RA Arm® TrustZone® Tooling Primer RA Arm® TrustZone® Tooling Primer |
| 5 | R11AN0467 | Renesas RA Security Design with Arm TrustZone – IP Protection |
| 6 | R11AN0468 | Renesas RA Securing Data at Rest Using the Arm® TrustZone® |
| 7 | R11AN0475 | Establishing and Protecting Device Identity using SCE9 and Arm® TrustZone® Establishing and Protecting Device Identity using SCE9 and Arm® TrustZone® |
| 8 | R11AN0469 | Renesas RA Family Device Lifecycle Management Key Installation Device Lifecycle Management Key Installation |

ウェブサイトとサポート

以下のバニティ URL にアクセスして、RA ファミリの主要な要素を学び、コンポーネントや関連するドキュメントをダウンロードし、サポートを受けることができます。

1. RA 製品情報 www.renesas.com/ra
2. RA 製品サポートフォーラム www.renesas.com/ra/forum
3. RA フレキシブルソフトウェア パッケージ www.renesas.com/FSP
4. ルネサスのサポート www.renesas.com/support

改訂記録

| 改訂版 | 日付 | 概要 | |
|------|-------------|-----|--------|
| | | ページ | 要約 |
| 1.00 | Nov. 20. 23 | - | 初版リリース |

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. R 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、変更、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、変更、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、不正な変更、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いません。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なります。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 October 2020)

本社

豊洲フォレンジア、豊洲 3-2-24、
135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24 豊洲フォレンジア

www.renesas.com

商標

Renesas および Renesas 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。

お問い合わせ先

製品、技術、ドキュメントの最新版、最寄りの営業所などに関する詳しい情報は、こちらをご覧ください：www.renesas.com/contact/。