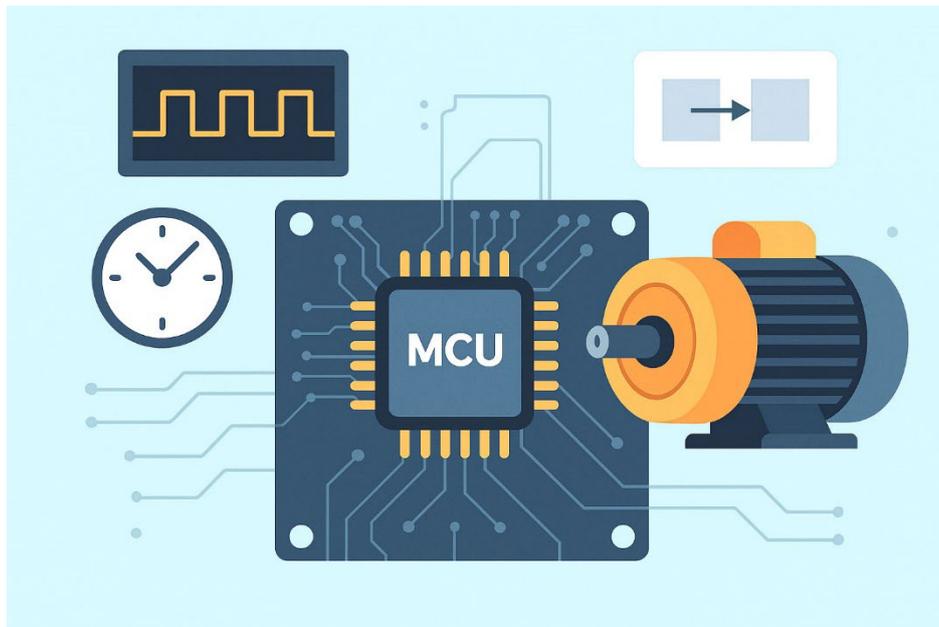


次世代のモータ制御を担うリアルタイムエンジン

プロダクトマーケティング第一部第三課、エンベデッドプロセッシング事業部、エンベデッドプロセッシング
プロダクトグループ、ルネサスエレクトロニクス株式会社

阿部直樹



概要

モータ制御システムにおいて最も重要な技術的要素の一つがリアルタイム性能です。一方で市場ニーズの多様化によってモータ制御用のコントローラはモータ制御に加えて、機器全体のシステム制御や他デバイスとの通信、ユーザインタフェース制御などの様々な処理を並列に実行しなければなりません。本資料ではこれらの課題を解決すべくルネサス RA ファミリの新製品である RA8T2 をベースに機能の特長やユーザメリットを説明します。

リアルタイムエンジンとしてのパフォーマンス追及

MCU (Micro Controller Unit) と MPU (Micro Processor Unit) の違いはご存知でしょうか。どちらも CPU (Central Processing Unit) を搭載した半導体デバイスですが、いくつか違いがあるので説明します。まず共通点は CPU とメモリを中心としたアーキテクチャで、命令実行・データ処理を行います。パフォーマンスでは MCU が 8~32-bit CPU で数十 MHz~数百 MHz であるのに対して、MPU は 32~64bit CPU で数百 MHz~数 GHz と非常に高速です。また、メモリについては MCU がフラッシュメモリや SRAM を内蔵しているのに対し

て MPU は外部にフラッシュメモリや大容量の SDRAM を搭載するのが一般的です。それぞれターゲットのアプリケーションの要求に合わせて使い分けられています。モータ制御においてはファンやポンプなど負荷の変動が小さく、回転速度も大きく変動しないアプリケーションにおいて MCU が用いられることが多く、産業機器の AC ドライブ・AC サーボなど大型のモータを制御して、回転速度やトルクの高速制御や制振制御などが必要なアプリケーションにおいて MPU が用いられています。

	MCU	MPU
CPU	8~32-bit CPU	32~64bit CPU
周波数帯域	数十 MHz~数百 MHz	数百 MHz~数 GHz
メモリ	フラッシュメモリ, SRAM を内蔵 キャッシュメモリや外部メモリの 拡張性を持つ製品もある	フラッシュメモリは外付, SRAM は内蔵し、外部 SDRAM などの拡張が容易 キャッシュメモリや TCM(Tightly Coupled Memory)でメモリレイテンシを改善
用途・メリット	民生・産業など非常に幅広い用途 MPU に比べて安価、小型	民生・産業の高性能が求められる特定機器向け MCU に比べて高価、大型パッケージ

表 1. MCU と MPU の主な違い

また、モータ制御においてはリアルタイム性能が重要になってきます。リアルタイム性能とは「特定の処理を決められた時間内で完了すること」です。つまり、処理自体が速いことは重要な要素ですが、より重要なことは処理時間にばらつきが少なく、必ず決められた時間に処理が完了することを保証することです。もし、リアルタイム性が保証できない場合、こういったことが起きてしまうでしょうか。MCU・MPU を用いたモータ制御システムでは内蔵しているタイマを使用して PWM (Pulse Width Modulation) 出力にてインバータ回路を駆動します。この制御方式は指令値 (速度・位置・トルク) に対して一定周期内で PWM 出力を変調して所望の波形を生成しモータをコントロールします。リアルタイム性能が保てないケースでは、この処理が周期内で完了せず PWM 出力が意図しないものとなり、モータが指令値通り動作しないだけでなく、最悪のケースではモータが脱調し事故につながることもあるのです。

従来の MCU の場合、CPU の動作周波数が数十 MHz~数百 MHz で内蔵メモリもそれに近い周波数でアクセスできるため、処理時間のワーストを見積もることが可能でリアルタイム性を保証することが容易です。一方 MPU は、制御精度を向上させるために制御周期が短くなり、CPU を高速に動作させる必要があるのですが、CPU より何倍も低速の外部フラッシュメモリからプログラムを実行するとそのメモリのスピードに律速し、本来の性能を引き出すことができません。よって一般的な対策として起動時に内蔵高速 SRAM や TCM にプログラムを配置するか、キャッシュメモリを用いて低速メモリへのアクセスを減らし高速動作を実現しています。

一方で SRAM や TCM に全てのプログラムを配置することは容量の観点で難しいため、限られた内蔵メモリを活用して外部フラッシュメモリのアクセスを減らしリアルタイム性を確保する必要があります。これは、MPU ベースのモータ制御システムのソフトウェア開発者にとって常に課題なのです。

この課題に対して今回ルネサスが開発した RA8T2 は MCU と MPU の良い点を組み合わせて高リアルタイム制御システムの実現に大きく貢献します。性能面は Arm Cortex-M85 1GHz を搭載し MPU クラスの 6,390 CoreMark を実現しています。また MPU と同様にキャッシュメモリ・TCM・SRAM を内蔵していますが、MCU としてコード用の MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) を搭載している点が MPU とは大きく異なる点です。この MRAM は従来ルネサスが開発してきた高速フラッシュメモリである 40nm プロセスの FMONOS と同等の 100MHz までの 0 ウェイトアクセスを実現します。これによりピーク性能は MPU クラスの性能を実現し、仮に内蔵 MRAM へのアクセスが発生しても、外部フラッシュメモリに比べて大きく性能が低下することなく従来 MCU のようにリアルタイム性の確保が容易です。加えて外部に接続するフラッシュメモリや SDRAM を内蔵していることはシステムの小型化や低コスト化に貢献し、専用の外部バスも排除することにより少ないピン数でもユーザの IO を確保できるなどのメリットも享受できるのです。

RA のモータ制御向け MCU において処理性能をルネサス開発の SW をベースに測定した結果を図.1 に示しており、同環境において RA8T1 (Cortex-M85, 480MHz) と比較して倍の性能を見込んでいます。

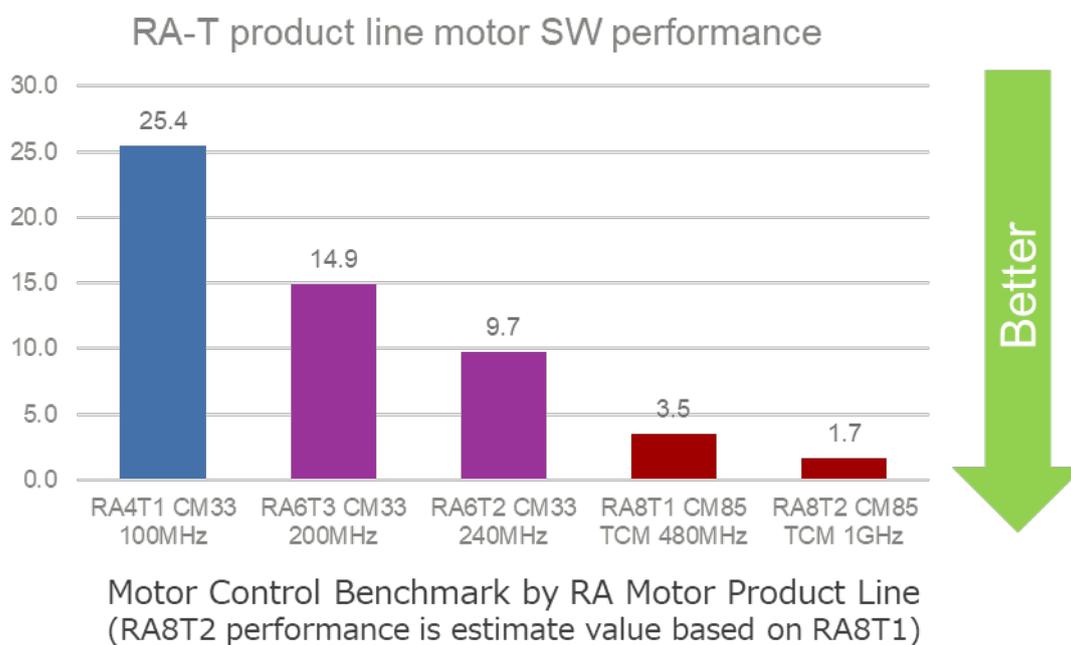


図 1. ルネサス RA-T プロダクトラインのモータ制御 SW 処理性能

デュアルコアシステムにおけるリアルタイム性能の確保

前項ではリアルタイム性能の視点で MPU と MCU の違いについて説明しましたが、モータ制御システムにおいて課題はまだあります。ハイエンドのモータ制御のデバイスは単にモータを制御するだけではなく、用途に応

じてシステム制御や他デバイスとの通信などの他のタスクがモータ制御に追加されます。つまりモータ制御のリアルタイム処理とその他の非リアルタイム処理を並列実行しないといけません。この課題を解決する一つのアプローチはより処理能力の高いデバイスを選定してシーケンシャルに実行することですが、これはコストや消費電力が高くなるため最適な解とはいええないでしょう。もう一つのアプローチは MPU で採用されているマルチコアシステムを用いることです。この手法はモータ制御の場合に非常に有効で、リアルタイム性を確保するため CPU コア毎に予めタスクを割り振るのが一般的です。

RA8T2 はルネサスの Arm コア MCU ファミリで、Cortex-M85 に加えて Cortex-M33 コアをオプションで提供しデュアルコアシステムを構築できます。どちらの CPU にモータ制御等のリアルタイム処理を搭載するかはユーザ次第ですが、例として Cortex-M85 側にモータ制御処理を配置するケースを考えてみます (図.2)。デュアルコアシステムでは単にタスクをそれぞれに割り当てるだけではなく、それらの CPU が相互にコミュニケーションを取りながら動作しなければなりません。そのため内蔵 SRAM は CPU の演算用だけではなく、二つの CPU 間の共有メモリとして使うこともできるようになっています。RA8T2 では TCM を除くと 1.6MB と大容量でモータ制御と共有メモリとして十分なサイズです。

また、それぞれの CPU のタスクについて見ていきましょう。Cortex-M85 には最大 1GHz でゼロウェイトの TCM が命令用・データ用それぞれ 128KB あり、通常のモータ制御向けプログラムであれば十分なサイズです。同様に Cortex-M33 側はシステム制御を割り当ており、最大動作周波数は 250MHz でこちらも一般的なシステム制御を行うには十分な性能です。この構成であればリアルタイム性能が必要なモータ制御と非リアルタイム処理であるシステム制御が SRAM を経由しながらも分離することが可能で、完全な並列処理を実現します。これにより、モータ制御側の高いリアルタイム性能が実現できることに加えて、システム制御側のレスポンスやシステム品質も向上させることができるのです。

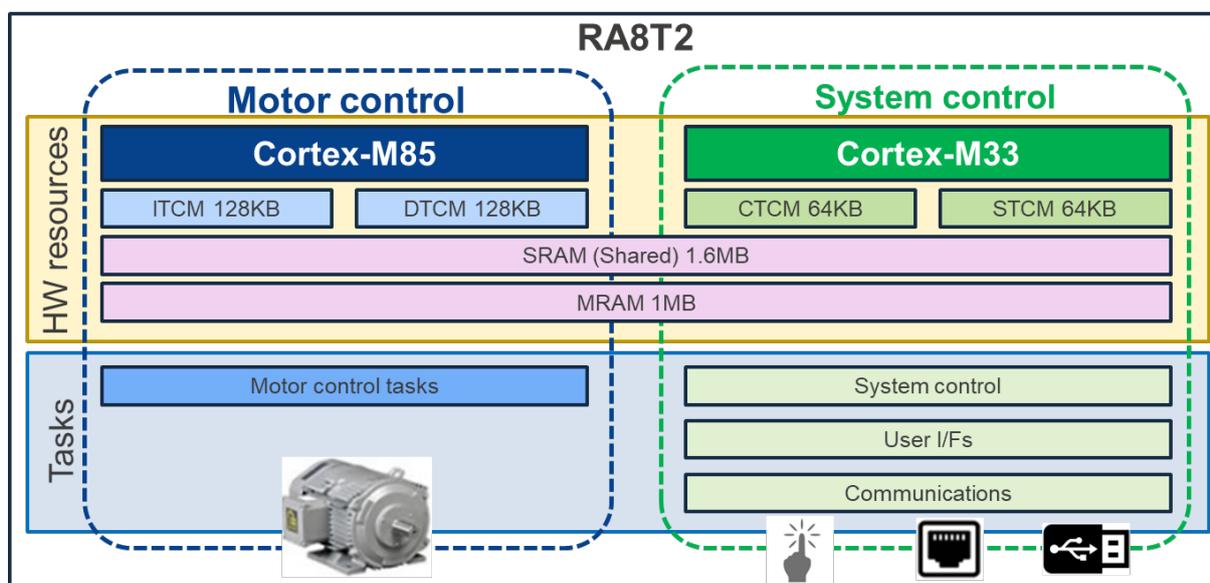


図.2. RA8T2 デュアルコアシステムにおけるタスクの配置例

産業用イーサネットのニーズ

ここまで主に CPU 性能についてご紹介してきましたが、RA8T2 の周辺機能を見てみましょう。RA8T2 は 22nm の優れた微細化プロセス技術を活用し、デバイスコストを抑えつつ様々な周辺機能を搭載しています。モータ制御向けにはこれまでのルネサスの MCU で実績のある PWM タイマ、AD 変換器を改善し更なるモータ制御の高効率化や新たなアルゴリズムの実装を実現します。

また、RA8T2 は主に産業分野でニーズが高い産業用イーサネットの機能を新たに追加しています。産業用イーサネットとは、産業向けに使用されているイーサネット技術で、オフィスなどで使用される標準的なイーサネットよりも、高い堅牢性、リアルタイム性能を備えています。工場内で製造に関する特定のデータを正確に送受信し動作を実行するために、決められた時間内にデータを送受信することが可能です。モータ制御機器に対して遠隔からの操作、同期動作、機器の故障検知など様々な付加価値を提供します。

RA8T2 のイーサネットは HW スイッチ機能を有した 2ch のギガビットイーサネットコントローラと RA では初めて搭載する 2ch のイーサネットスレーブコントローラで構成されています。ギガビットイーサネットコントローラとスイッチはハイレベルなルーティング機能を有し、汎用イーサネットベースの EtherNet/IP や PROFINET といったマルチプロトコル対応をソリューションとしてサポート予定です。また従来の標準イーサネット (IEEE 802.3) 技術では不可能であった IEEE イーサネットベースのデータを時間で分割し、通信フレームの優先度に応じて通信帯域を制御する技術規格である TSN(Time Sensitive Networking)に対応しており、産業用途で多用される以下のドライバを提供予定です。これらに加えて通信のロバスト性を向上させる拡張機能も将来的にドライバ提供によるサポートを計画しています。

- IEEE 802.1AS: ネットワークにつながる機器の時刻を同期させる
- IEEE 802.1Qbv: 通信フレームを分類し、優先させる通信帯域を確保する
- IEEE 802.1Qbu: 優先度の低いイーサネットフレーム通信を中断し、優先度の高いフレームの送信を可能にする

またイーサネットスレーブコントローラはドイツ Beckhoff 社が開発したロジックを移植しており、トポロジはデジチェーンで高速且つ高精度な同期制御を可能とします。また先述の通りイーサネットやイーサネットの処理はデュアルコアシステムの場合、Cortex-M33 側に割り付けることでロボットや半導体製造装置などの複数のモータの高リアルタイム性を維持しつつ同期制御させるアプリケーションで威力を発揮します。

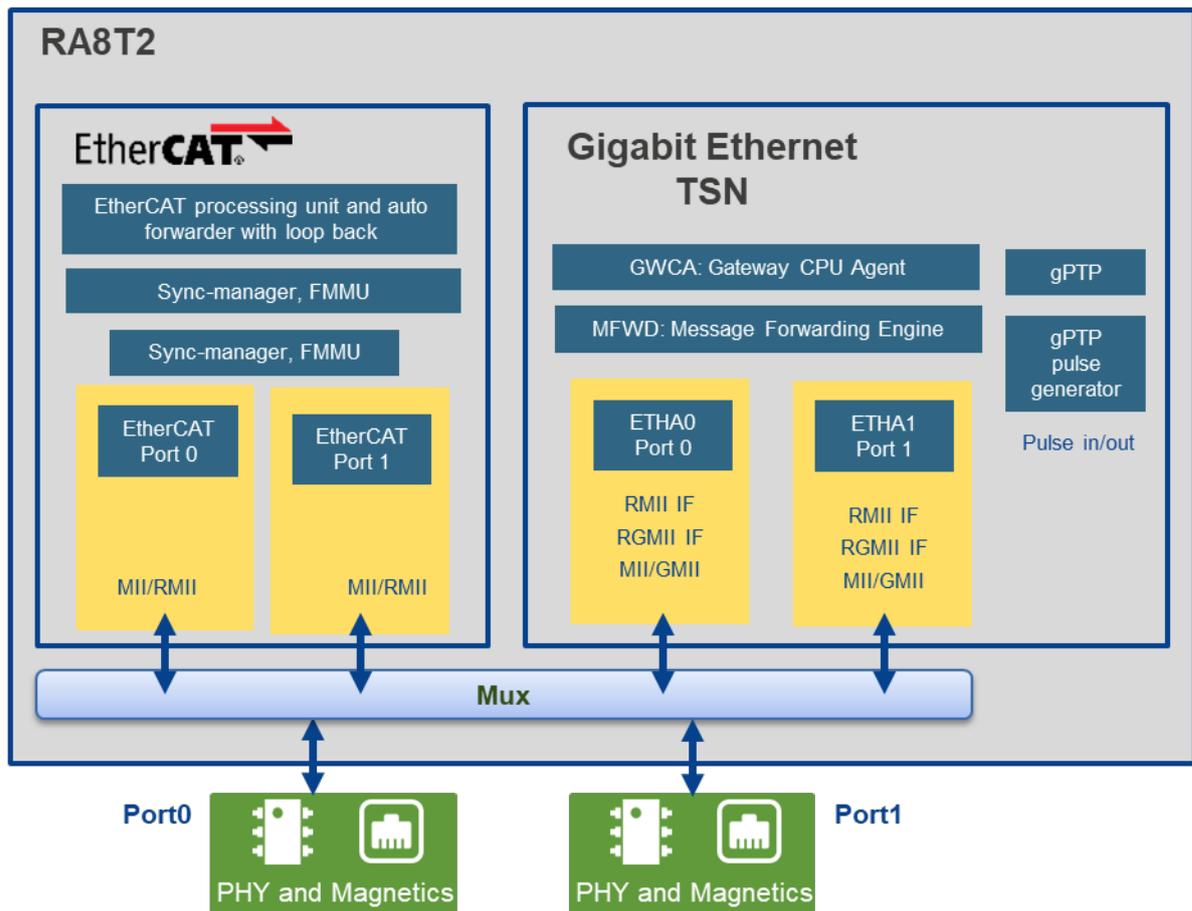


図 3. RA8T2 の内蔵イーサネットワークシステム構成

モータ開発ソリューション

MPU クラスのモータ制御システムを評価する環境の構築は簡単ではありません。なぜなら性能が向上し機能が増えることによってボードは高速信号を扱わなければならない、高電圧・大電流を扱うモータ制御信号が近接するため、これまで以上にレイアウト、配線、ノイズのケアが必要になるためです。また、モータ制御システムはインバータ回路といったパワーステージの開発も必須で一般的なシステムよりも回路開発に時間がかかります。そこで RA8T2 ではすぐ評価や開発に着手できるようにハードウェアリファレンスキットとして MCK-RA8T2 を準備しており、回路情報もデザインパッケージとして付属しています。

■モータを回すためのコンポーネントを全てワンパッケージ

MCK-RA8T2 は RA8T2 と各種 IF を搭載した CPU ボードにコネクタを介してインバータボードを直結することが可能です。BLDC モータも同梱されており、ボックスを開ければすぐモータを回すことができます。加えてユーザーズマニュアル、クイックスタートガイドを提供しているためユーザのユースケースに合わせて、初期

評価からユーザインバータボードの評価など様々な用途に応用することができます。また付属のコミュニケーションカードはアイソレータを介して CPU ボードと接続され、PC と CPU ボードが電氣的に絶縁された環境で安全にモータ制御の評価、デバッグを行うことが可能です。このコミュニケーションカードはモータ制御開発支援ツールである RMW(Renesas Motor Workbench)と組み合わせることによって MCU 内部の変数の読み書きや、モータパラメータの同定、ベクトル制御で使用する制御パラメータを取得することができます。



図 4. MCK-RA8T2 外観

名称	MCK-RA8T2
製品型名	RTK0EMA6L0S00020BJ
搭載 CPU	RA8T2 (R7KA8T2LFLCAC) Dual core CM85 and CM33, MRAM 1MB / RAM 2MB, w/ EtherCAT BGA289
同梱物	Inverter Board (RTK0EM0000B12020BJ) CPU Board (RTK0EMA6L0C00000BJ) Communication board (RTK0EMXC90Z00000BJ) Brushless DC Motor (Rated voltage : 36[V], Rated current : 1.67[A])
I/Fs	USB connector for J-Link On-Board USB connector for RA8T2 SCI connector for Renesas Motor Workbench communication CAN communication (Through holes) 20-pin through hole for Arm debugger PMOD connectors (Type2A + Type3A/6A) Ether CAT connector MicroSD slot DSMIF

表 2. MCK-RA8T2 概要

■アプリケーションノート・サンプルコード

RA8T2 では様々なモータを制御するためのアプリケーションノートとサンプルコードを準備しています。使用するモータタイプや制御アルゴリズムに合わせて WEB サイトよりダウンロードすることができます。各種モータを動作させる 120 度通電方式やセンサレスベクトルなどのソフトウェアの制御内容をまとめています。また関数や制御フローなど詳細に記述しておりユーザの開発・評価に非常に役に立ちます。また、各アプリケーションノートには MCU にダウンロードすることができるサンプルコードが付属しています。各種パッケージソフトウェア、ドライバを使用しており MCK-RA8T2 をターゲットボードにしています。モータ制御向けには主に制御アルゴリズム、システム制御、PWM 制御、AD 変換が含まれています。

現在モータ制御向けには下記のアプリケーションノートをリリースしており、今後もユーザの開発に貢献する内容をリリースしていきます。

Category	Title
Motor Control	Sensorless vector control for dual permanent magnetic synchronous motor
Application Note	Vector control for permanent magnetic synchronous motor with hall sensors
Sample code	Sensorless Vector Control for Permanent Magnet Synchronous Motor
	Sensorless Vector Control with one shunt for Permanent Magnet Synchronous Motor
	Vector Control for Permanent Magnet Synchronous Motor with Encoder
	Vector Control for Permanent Magnet Synchronous Motor with Inductive Sensor
	120-degree Conducting Control of Permanent Magnet Synchronous Motor with Hall Sensors
	Sensorless 120-degree Conducting Control of Permanent Magnet Synchronous Motor

表 3. RA8T2 モータ制御用アプリケーションノート・サンプルコード一覧

まとめ

次世代に向けて複雑化・多機能化していくモータ制御アプリケーションにおいて RA8T2 は MPU クラスのパフォーマンスを実現しました。また、優れたパフォーマンスに加えてデュアルコアシステムによりリアルタイム処理と非リアルタイム処理の完全な並列実行が可能です。機能面ではモータ制御機能の最適化に加え産業イーサネット機能を内蔵しユーザシステムのネットワーク化及び他デバイスとの連携をコンパクトなフットプリントで実現できます。ルネサスは RA8T2 の様々な評価・開発ソリューションをユーザに提供し高性能・高機能なモータ制御機器システムを短期間且つ低コストで開発することができます。

関連情報

[RA8T2](#): モータ制御アプリケーション向け、Arm® Cortex® -M85 搭載した 1GHz マイコン

[MCK-RA8T2](#): 永久磁石同期モータ（ブラシレス DC モータ）を用いたモータ制御を速やかに評価できる開発キット

[RA MCU Family](#): Arm Cortex-M コア搭載した 32 ビットマイコン

ルネサスエレクトロニクスまたはその関連会社（Renesas）無断複写・転載を禁じます。全著作権所有。すべての商標および商品名は、それぞれの所有者のものであります。ルネサスは、本書に記載されている情報は提供された時点では正確であると考えていますが、その品質や使用に関してリスクを負いません。すべての情報は、商品性、特定の目的への適合性、または非侵害を含むがこれらに限定されないことを含め、明示、黙示、法定、または取引、使用、または取引慣行の過程から生じるかどうかを問わず、いかなる種類の保証もなく現状のまま提供されます。ルネサスは、直接的、間接的、特別、結果的、偶発的、またはその他のいかなる損害についても、そのような損害の可能性について通知された場合でも、本書の情報の使用または信頼から生じる責任を負いません。ルネサスは、予告なしに製品の製造を中止するか、製品の設計や仕様、または本書の他の情報を変更する権利を留保します。すべてのコンテンツは、米国および国際著作権法によって保護されています。ここで特に許可されている場合を除き、本資料のいかなる部分も、ルネサスからの事前の書面による許可なしに、いかなる形式または手段によっても複製することはできません。訪問者またはユーザは、公共または商業目的で、この資料の派生物を修正、配布、公開、送信、または作成することを許可されていません。(Rev.1.0 Mar 2020)

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）

<https://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、最寄り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。

<http://www.renesas.com/contact/>

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2025 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved
Doc Number: R01WP0031JJ0100