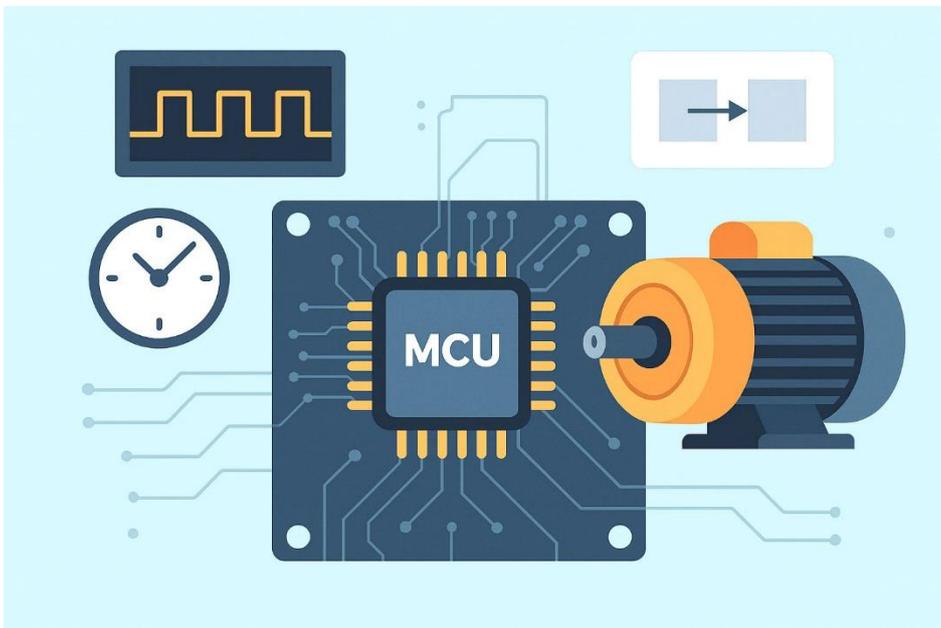


如何开发下一代电机控制的实时引擎

ASSP MCU Product Marketing, GP Embedded Processor and Controller Product Marketing Dept,
Embedded Processing Marketing Division, Renesas Electronics

Naoki Abe



概述

电机控制系统中，实时性是最重要的技术要素之一，它能够提升效率、精度和响应能力。然而，随着市场需求的多样化，电机控制器不仅要执行电机控制，还必须并行执行多种任务，例如设备的整体系统控制、与其他设备的通信以及用户界面控制。本白皮书将解释新发布的 RA8T2 MCU 的功能特性和用户优势，有效解决这些问题。

实时引擎的性能追求

您知道 MCU（微控制器单元）和 MPU（微处理器单元）之间的区别吗？两者都是配备 CPU（中央处理器）的半导体器件，但也有一些区别。首先，虽然它们具有以执行指令和处理数据的 CPU 和内存为中心的共同架构，但它们在性能方面有所不同。MCU 具有 8 至 32 位 CPU，频率为数十至数百 MHz，而 MPU 具

如何开发下一代电机控制的实时引擎

有 32 至 64 位 CPU，频率为数百 MHz 至数 GHz，速度要快得多。在内存方面，MCU 内置闪存和 SRAM，而 MPU 一般具有用于程序存储的外部闪存和大容量 SDRAM。每个都根据目标应用的要求使用。MCU 常用于如风扇和泵等电机控制应用，负载波动小，转速波动不大，而 MPU 则用于如交流驱动器和交流伺服系统等电机控制应用，在工业设备中控制需要高速控制转速、扭矩和振动控制的大型电机。

	MCU	MPU
CPU 频率	8 至 32 位 CPU 几十 MHz 到几百 MHz	32 至 64 位 CPU 数百 MHz 至数 GHz
存储器	内置闪存和 SRAM 某些产品提供了使用额外外部存储器的功能	外部闪存和内置 SRAM 通过外部 SDRAM 等轻松扩展。 通过 Arm CPU 的高速缓存和 TCM（紧密耦合内存）改善内存延迟
用途和好处	应用范围极广，包括消费类和工业类 由于封装尺寸等比 MPU 小，价格一般较低	适用于需要高性能的特定消费类和工业设备 由于封装尺寸比 MCU 更大等，因此价格通常更高

表 1. MCU 和 MPU 之间的主要区别

电机控制中的实时性是指系统在规定的时间内完成特定控制任务。换句话说，虽然处理过程本身的快速很重要，但更重要的是保证该过程在规定的时间内完成，并且处理时间的波动很小。如果无法保证实时性能，会发生什么？以使用 MCU 或 MPU 的电机控制系统为例。逆变器电路通过使用内置定时器的 PWM（脉宽调制）输出驱动。该控制方法在一定时间内调制 PWM 输出的指令值（速度、位置、扭矩），以生成所需的波形并控制电机。如果无法保持实时性能，则该过程将无法在规定的时间内完成，PWM 输出将是意外的，导致电机无法按照命令值运行。在最坏的情况下，电机可能会失去同步并导致事故。

传统 MCU 的 CPU 工作频率在数十至数百 MHz 范围内，内置存储器的访问频率接近 CPU 主频，因此可以估计最坏情况的处理时间，从而轻松保证实时性能。而 MPU 为提高控制精度，需要缩短控制周期，这要求 CPU 需要更高速度运行。但是，当程序从外部闪存执行时，比 CPU 慢数倍，内存速度成为瓶颈，无法达到理论性能水平。因此，作为常规对策，程序在启动时被加载在内置的高速 SRAM 或 TCM 中；或者使用高速缓存来减少对低速内存的访问，实现高速运行。另一方面，从存储容量角度来看，将所有程序都放在 SRAM 或 TCM 中并不现实，因此有必要利用有限的内部存储器来减少对外部闪存的访问并确保实时性。对于基于 MPU 的电机控制系统的软件开发人员来说，这是一个持续性的挑战。

为了应对这一挑战，RA8T2 的设计结合了 MCU 和 MPU 的优势，为实现高实时控制系统带来了突破性解决方案。RA8T2 搭载 Arm Cortex-M85 内核，工作频率高达 1GHz，达到 6,390 CoreMark 跑分，性能媲美 MPU。与 MPU 类似，它也内置了高速缓存、TCM 和 SRAM，但与 MPU 的显著不同之处在于，它搭载

如何开发下一代电机控制的实时引擎

MRAM（磁阻随机存取存储器）进行代码处理。该 MRAM 可实现高达 100MHz 的零等待访问，相当于瑞萨电子此前开发的 40nm 工艺 FMONOS。这使得 TCM 的峰值性能与 MPU 性能相当，即使访问内置 MRAM，性能与外部闪存相比明显提高，从而轻松确保像传统 MCU 一样的实时性能。除了性能之外，内置闪存和 SDRAM 还有助于小型化和降低系统成本。无需专用的外部总线，即使在引脚数量有限的情况下，也能为用户保留更多的 IO 引脚。

下图 1 显示了基于瑞萨电子开发的软件对 RA 电机控制 MCU 处理性能的测量结果。在相同环境下，我们预计性能将是 RA8T1（Cortex-M85,480MHz）的两倍。

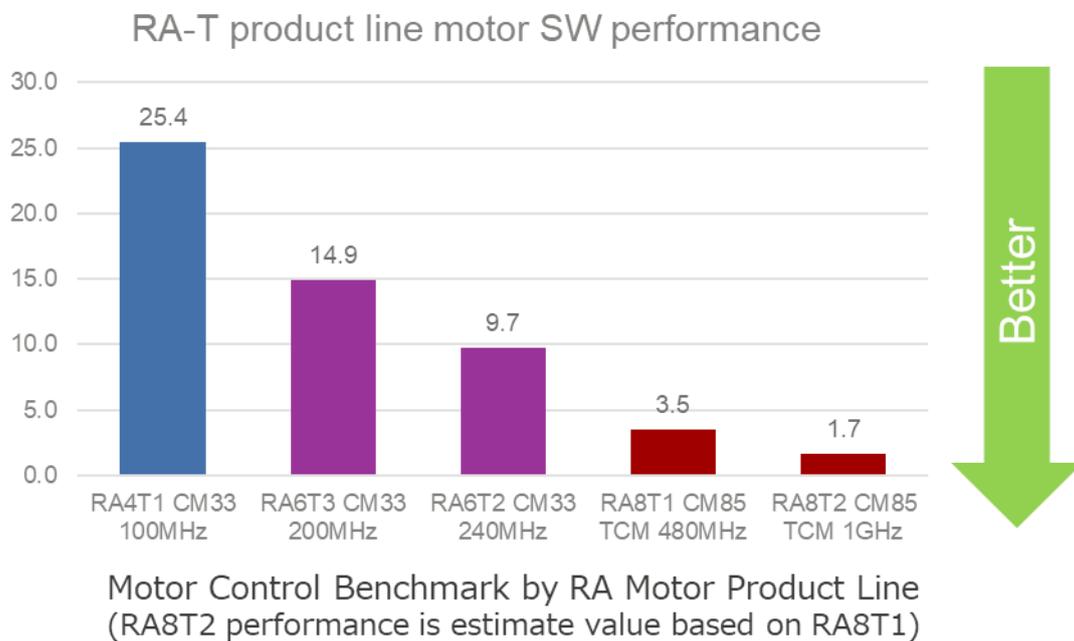


图 1. 瑞萨 RA-T 系列 MCU 的电机控制软件处理性能

确保双核系统的实时性能

在上一节中，从实时性能的角度解释了 MPU 和 MCU 的区别，但电机控制系统还存在其他挑战。高端电机控制设备不是简单地控制电机;根据应用，其他任务（例如系统控制和与其他设备的通信）被添加到电机控制中。换句话说，电机控制的实时处理和其他非实时处理必须并行执行。解决这个问题的一种方法是选择具有更高处理能力的设备并按顺序执行，但这不是最佳解决方案，因为它会增加成本和功耗。另一种方法是采用 MPU 常用的多核系统。这种方法在电机控制应用中非常有效，通常会提前为每个 CPU 内核分配任务，以确保实时性能。

如何开发下一代电机控制的实时引擎

瑞萨 RA 系列 MCU 系列的 RA8T2 采用双核架构设计，搭载 Arm Cortex-M85 主核和可选的 Arm Cortex-M33 内核。用户可以决定用于电机控制实时处理的 CPU。例如，让我们考虑将电机控制处理放置在 Cortex-M85 侧的情况（图 2）。在双核系统中，任务不是简单地分配给每个 CPU，而是 CPU 在运行时必须相互通信。因此，内置 SRAM 用于 CPU 计算和两个 CPU 之间的共享内存。RA8T2 拥有 1.6MB 的大容量，不包括 TCM，对于电机控制和共享内存来说已经足够了。

现在，让我们看看每个 CPU 的任务。Cortex-M85 高达 1GHz 主频和 128KB 的零等待 TCM，满足正常的电机控制程序要求。同样，Cortex-M33 侧分配了系统控制任务，其主频高达 250MHz，满足常规系统控制任务。这种配置，通过共享 SRAM 数据交互，实现实时性能的电机控制和非实时处理的系统控制隔离的并行处理。该架构可在电机控制侧实现高实时性能，并提高系统控制侧的系统响应和质量。

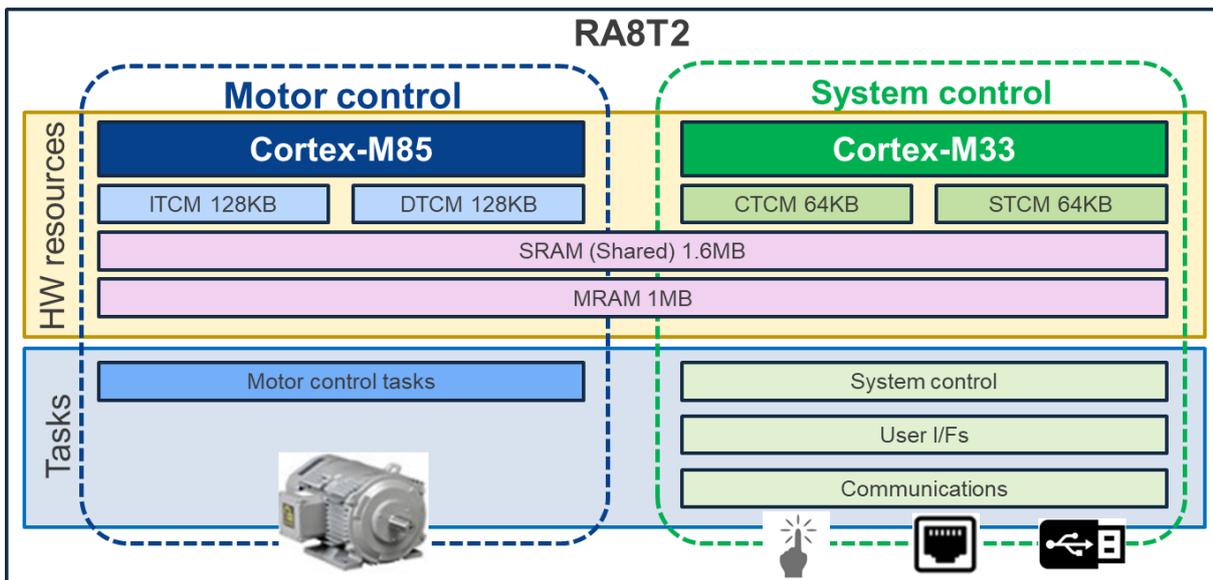


图 2. RA8T2 双核系统中的任务分配示例

工业以太网需求

除了 CPU 性能，我们再来看看 RA8T2 的外设功能。RA8T2 利用卓越的 22nm 工艺技术来降低芯片成本，同时集成多种外设功能。迄今为止，瑞萨 MCU 中广受好评的 PWM 定时器和 AD 转换器等电机控制接口，经过进一步改进，提供更高的电机控制效率并实现新控制算法。

RA8T2 还集成了工业以太网功能，这些功能在工业领域需求量很大。工业以太网是一种用于工业的以太网技术，比办公用的标准以太网具有更高的抗干扰性和实时性。可以在设定的时间内发送和接收数据，从而能

如何开发下一代电机控制的实时引擎

够准确发送和接收特定的制造数据并在工厂内执行。它为电机控制设备提供了各种附加值，例如远程操作、同步工作和设备故障检测。

RA8T2 的以太网由一个具有硬件开关功能的 2 通道千兆以太网控制器和一个 2 通道 EtherCat 从站控制器组成，首次在 RA 系列 MCU 中实现这样的功能。千兆以太网控制器和交换机具有高级路由功能，将支持多协议解决方案，例如 TSN（时间敏感网络）、基于通用以太网的 EtherNet/IP 和 PROFINET。

千兆以太网控制器支持时间敏感网络（TSN），这是一种技术标准，可按时间划分基于 IEEE 以太网的数据，并根据通信帧的优先级控制通信带宽，这是传统标准以太网技术无法实现的。瑞萨电子计划提供以下常用于工业应用的驱动器：

IEEE 802.1AS：同步连接到网络的设备的时间

IEEE 802.1Qbv：对通信帧进行分类并分配优先通信带宽

IEEE 802.1Qbu：中断低优先级以太网帧的通信，以允许传输高优先级帧

除了上述驱动程序外，还计划在未来支持驱动程序以增强功能，以提高通信可靠性。EtherCAT 从站控制器还移植了德国倍福自动化有限公司开发的专用逻辑。拓扑结构为菊花链连接方式，可实现高速、高精度的同步控制。如上所述，以太网和 EtherCAT 处理可以分配给双核系统的 Cortex-M33 核，这在需要同步控制的应用中是有效的，同时为机器人和半导体制造设备等多个电机保持高实时性能。

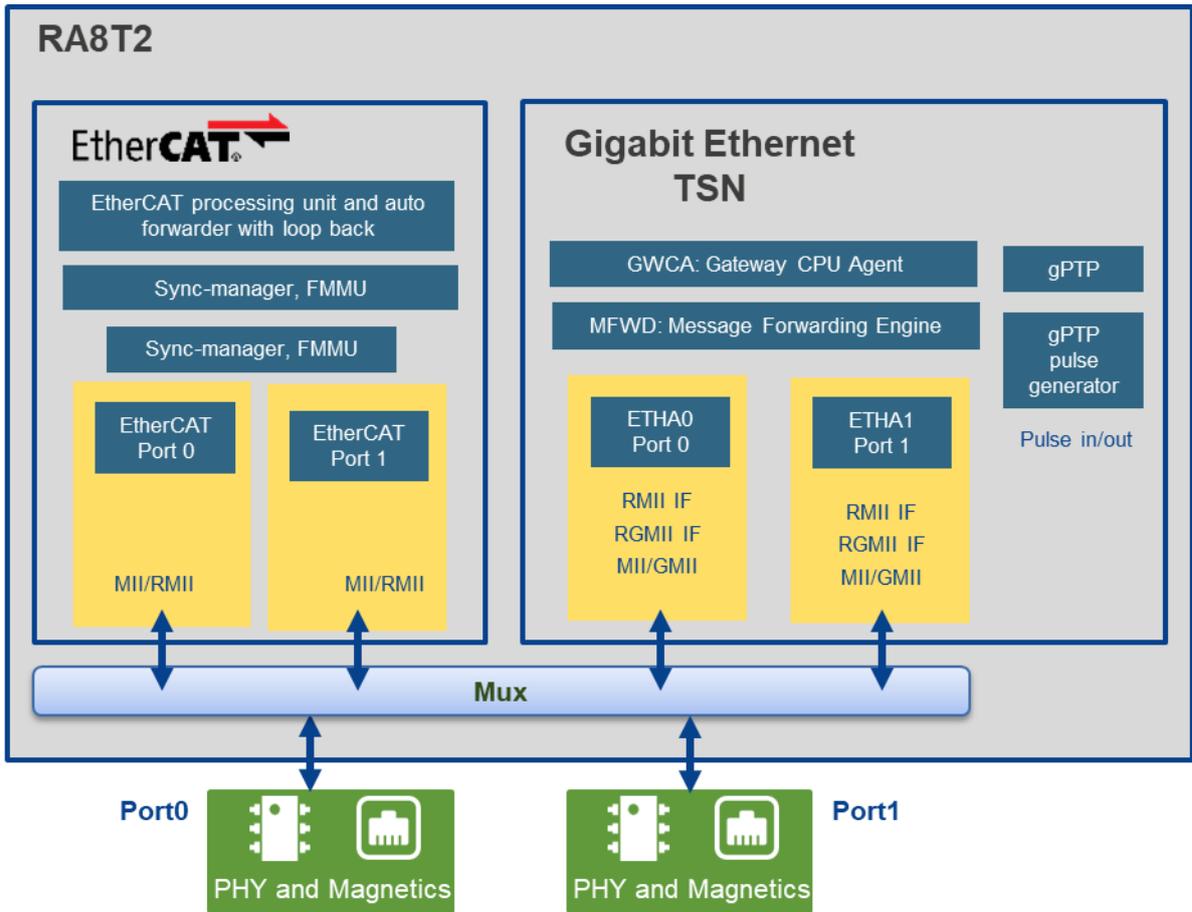


图 3. RA8T2 内置以太网系统配置

电机系统开发解决方案

构建一个 MPU 级电机控制系统评估环境并不容易。随着性能的提高和功能数量的增加，电路板必须处理高速信号，以及处理高电压和大电流的电机控制信号，因此在布局、布线和噪声处理方面需要更加小心和更多考虑。电机控制系统除了元件配置外，还需要开发逆变器等功率电路，电路开发比一般系统需要更长的时间。MCK-RA8T2 是一款硬件参考套件，使开发人员能够通过设计包中包含的电路信息快速启动评估和开发，从而缩短开发时间。

单芯片电机控制完整套件

MCK-RA8T2 可以通过连接器将逆变板直接连到配备 RA8T2 和各种接口的 CPU 板。MCK 中还包含一个 BLDC 电机，使用户能够在打开盒子后立即运行电机。为了支持快速的初步评估和开发，向用户提供了用户手册和快速入门指南。套件中还包含通信板，使用户能够通过隔离器连接到 CPU 板，以便在 PC 和 CPU 板电气隔离的环境中安全地评估电机控制和调试。将此通信板与电机控制开发支持工具 RMW（瑞萨电机工

如何开发下一代电机控制的实时引擎

作台) 相结合, 用户可以在 MCU 内部读取和写入变量, 识别电机参数, 并获取矢量控制中使用的控制参数。



图 4. MCK-RA8T2 图片

Kit Name	MCK-RA8T2
Part Number	RTK0EMA6L0S00020BJ
CPU	RA8T2 (R7KA8T2LFLCAC) Dual core CM85 and CM33, MRAM 1MB / RAM 2MB, w/ EtherCAT BGA289
Included Items	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 概述

如何开发下一代电机控制的实时引擎

应用说明和示例代码

瑞萨电子提供用于控制各种电机的 **RA8T2** 特定应用说明和示例代码。用户可以根据电机类型和控制算法从瑞萨网站下载这些文档。用户可以找到各种电机的 120 度导通法、无传感器矢量等软件控制内容总结;详细的功能和控制流程，对用户的开发和评估非常有用。此外，每个应用笔记都附带示例代码，可部署到 **RA8T2**。示例代码使用各种软件包软件和驱动程序，并使用 **MCK-RA8T2** 作为目标板。对于电机控制示例代码，主要包括控制算法、系统控制、PWM 控制、AD 转换等。

目前，发布了以下电机控制应用说明，未来将继续发布支持用户开发的内容。

类别	标题
电机控制 应用说明 示例代码	用于双永磁同步电机的无传感器矢量控制
	带霍尔传感器的永磁同步电机的矢量控制
	永磁同步电机的无传感器矢量控制
	无传感器矢量控制，带一个分流器，用于永磁同步电机
	带编码器的永磁同步电机的矢量控制
	带电感传感器的永磁同步电机矢量控制
	带霍尔传感器的永磁同步电机的 120 度导通控制
	永磁同步电机的无传感器 120 度导通控制

表 3. RA8T2 MCU 的应用笔记和示例代码列表

总结

RA8T2 MCU 为应对下一代日益复杂且多功能的电机控制应用需求，提供 **MPU** 级别的处理性能。除了出色的性能外，双核系统还可以实现实时和非实时处理的完全并行执行。从功能的角度来看，**RA8T2** 既提供了优化的电机控制功能，又内置强大的工业以太网功能，可在紧凑的尺寸内实现用户系统的联网以及与其他设备的联动。瑞萨电子提供配备 **RA8T2 MCU** 的各种评估和开发解决方案，使用户能够在短时间内开发出经济高效、高性能、高功能的电机控制设备系统。除了用于电机控制的高性能 **MCU** 外，瑞萨电子还拥有覆盖低端和中端 **MCU** 的强大产品组合，专为各级电机控制应用而设计。面对市场需求的快速变化，开发人员可以使用统一的开发环境，轻松、快速地从高端 **MCU** 到低端 **MCU** 的迁移和扩展。欢迎了解瑞萨电子专为电机控制应用设计的 **RA-T** 系列 **MCU**。

如何开发下一代电机控制的实时引擎

参考资料

[RA8T2](#): 专为电机控制应用优化的 1GHz Arm Cortex-M85 微控制器

[MCK-RA8T2](#): 用于轻松评估永磁同步电机（无刷直流）电机控制的开发套件。

[RA 微控制器家族](#): 配备 Arm Cortex-M 内核的 32 位 微控制器

重要通知和免责声明

瑞萨电子株式会社及其关联公司（以下简称“瑞萨”）的技术规范和可靠性数据（包括数据手册）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、Web 工具、安全信息以及其他资源“按原样”提供，不保证无瑕疵。瑞萨不做任何明示或暗示保证，包括但不限于产品适销性、特定用途适用性或不侵犯第三方知识产权的保证。

这些资源的适用对象为使用瑞萨产品熟练进行设计的开发人员。以下事宜请自行负责：(1)为您的应用选择合适的产品，(2)设计、验证和测试您的应用，(3)确保您的应用符合适用标准以及安全性等所有其他要求。这些资源如有更改，恕不另行通知。瑞萨仅授权您将资源用于开发采用瑞萨产品的应用。严禁复制这些资源或用于其他用途。我们未授予任何其他瑞萨知识产权或任何第三方知识产权的许可。

瑞萨对因使用这些资源而产生的任何索赔、损害、成本、损失或负债概不负责，且瑞萨及其代表的全部损失须由您赔偿。瑞萨的产品仅遵守瑞萨的销售通用条款和条件，或书面签订的其他适用条款。使用瑞萨的任何资源不会扩大或更改这些产品的任何适用保修或保修免责声明。(Rev.1.0 Mar 2020)

公司总部

135-0061, 日本东京江东区
豊洲 3-2-24, TOYOSU FORESIA
<https://www.renesas.com>

联系信息

有关产品、技术的更多信息，文档的最新版本，或
离您最近的销售办公室，请访问：
<https://www.renesas.com/contact-us>

商标

瑞萨电子的名称和徽标是瑞萨电子公司的商标。所有商
标和注册商标均为其各自合法所有者的财产。

© 2025 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.

Doc Number: R01WP0031CC0100