

μT-Kernel 3.0

～リアルタイムOSとμT-Kernel 3.0の概要紹介～



μT-Kernel 3.0

トロンフォーラム

2026.2.10

組み込みシステムとリアルタイムOS



- **電気・電子機器の部品**として搭載されるコンピュータを**組み込みコンピュータ**とよび、そのコンピュータ・システムを**組み込みシステム**とよぶ
- 組み込みシステムで主に使用されるOSが**リアルタイムOS**





- 機器制御を主目的とし、リアルタイム性（実時間性）に優れる
 - ▶ リアルタイムとは時間を守ること（時間保証）
 - ▶ 機器制御の時間の単位は、一般にミリ秒～マイクロ秒
- 組み込みシステム向けに省資源、低能力のマイコンで動作する
 - ▶ マイコン：マイクロコントローラ、MCU
 - ▶ パソコンやサーバーなど汎用コンピュータで使用されるプロセッサ(MPU)とは、パフォーマンスや資源は遥かに少ない
 - ◇ **μT-Kernel 3.0のコードサイズは100Kバイト程度**



- 1980年代、日本でTRONプロジェクトの**ITRON/μITRON**が登場
 - ▶ μITRONは80年代から90年代のデファクトスタンダードとなる
 - ▶ TRONプロジェクトのOSは **μITRON⇒T-Kernel⇒μT-Kernel** と進歩し続ける
- 2000年代以降、**IoT**の普及によりOSの重要性が大きくなる
 - ▶ 組み込みシステムではOSを使用しないベアメタル・システムも多かったが…
 - ▶ ネットワーク機能はOS無しに実現するのは難しい
- 2018年、IEEE(米国電気電子学会)はリアルタイムOSの標準規格**IEEE2050-2018**を制定
 - ▶ 仕様のベースにはTRONプロジェクトのリアルタイムOS **μT-Kernel**が選ばれる
 - ▶ IEEEのOS規格は汎用OSの **POSIX** とリアルタイムOSの**IEEE2050-2018** となる

TRONプロジェクト



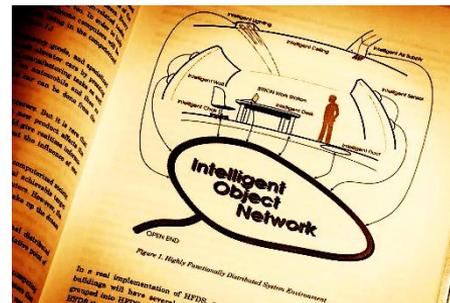
- 組織や応用に縛られないオープンIoT(Internet of Things)の実現を目指す
- TRONプロジェクトの推進を進める国際的な標準化団体がトロンフォーラム
- トロンフォーラムには約200社の世界の企業・団体が参加

▶ 会長：坂村健

◇坂村健（東京大学名誉教授、IEEE Life Fellow、
INIAD cHUB（東洋大学情報連携学 学術実業連携機構）機構長、
YRPユビキタス・ネットワーキング研究所長、TRONプロジェクトリーダー）

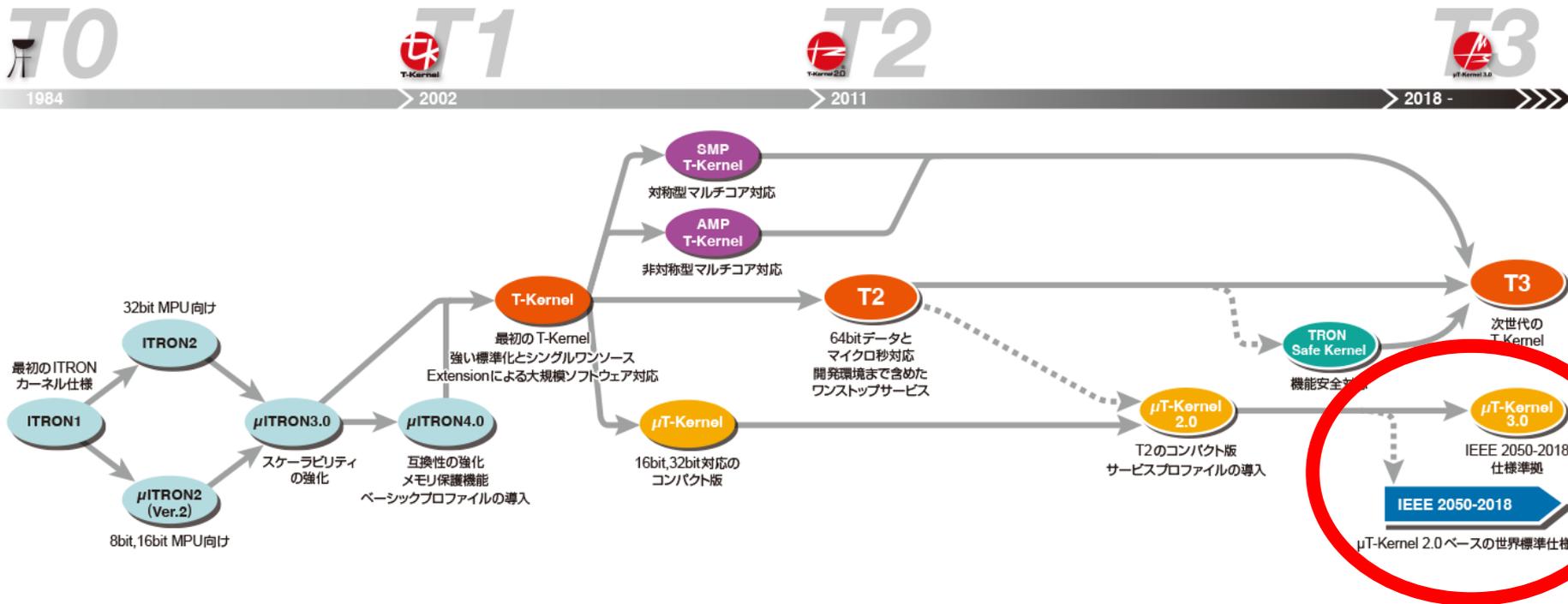
▶ 事務局

◇YRPユビキタス・ネットワーキング研究所内
◇東京都品川区西五反田2-12-3第一誠実ビル9F



TRON Project 1987, pp. 7, Springer-Verlag

TRONプロジェクトのリアルタイムOS





- **IEEE 2050-2018**国際標準仕様に準拠した軽量RTOS
- TRONプロジェクトの最新RTOS
 - ▶ 2019年に最初のバージョンをリリース
 - ▶ μITRONやT-KernelなどTRONプロジェクトのOSと高い互換性
 - ▶ IoTエッジノードなど小規模組込みシステムに向けて超軽量でスケラブル
- 組織や応用に縛られないノンプロプライエタリなOS
 - ▶ 特定の会社・組織に縛られることはない
 - ▶ 製品利用可能なオープンソースのライセンス **T-License**
 - ▶ GitHubからソースコード公開



μT-Kernel 3.0

TRONのリアルタイムOSの機能比較



分類	機能	μITRON 4.0	IEEE2050-2018 (μT-Kernel2.0)	μT-Kernel 3.0
タスク	タスク管理	○	○	○
	タスク付属同期	○	○	○
	タスク例外	○	○	○
同期・通信	セマフォ	○	○	○
	イベントフラグ	○	○	○
	メールボックス	○	○	○
	ミューテックス	○	○	○
	メッセージバッファ	○	○	○
メモリ管理	固定長・可変長メモリプール	○	○	○
	システムメモリ管理	×	○	○
時間管理	周期ハンドラ	○	○	○
	アラームハンドラ	○	○	○
ハードウェア管理	割込みハンドラ	○	○	○
	デバイス管理	×	○	○
	物理タイマ	×	○	○
機能拡張	サブシステム	×	×	○



■最新のマイコン、開発環境に対応

- ▶組み込みシステムの主だったCPUアーキテクチャに対応
- ▶μT-Kernel 3.0.08からArm v8-Mアーキテクチャに対応
 - ◇ スタック境界チェック機能
 - ◇ セキュア機能拡張 (TrustZone対応)

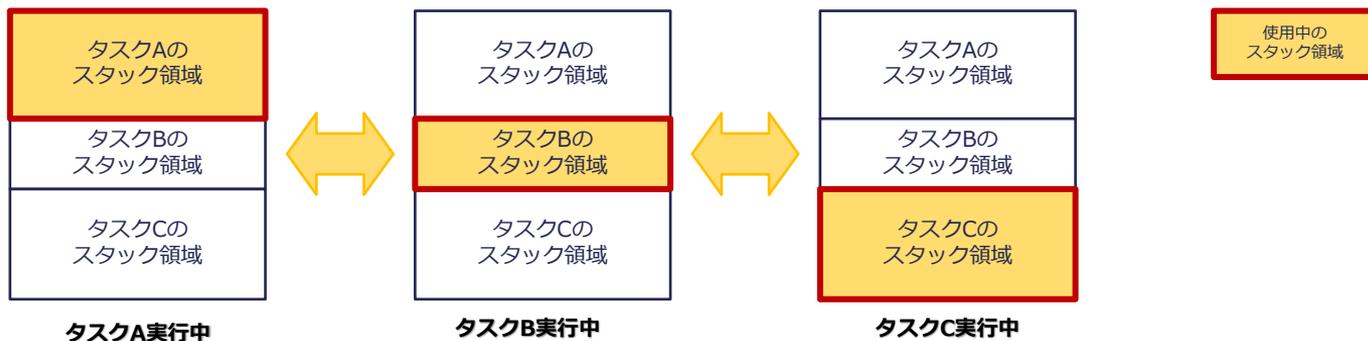
■様々なプラットフォームに容易に組み込んで使用が可能

Arm	Cortex-M0/M0+
	Cortex-M3/M4
	Cortex-M7
	Cortex-M33
	Cortex-M55/M85
Renesas	RX

スタック境界チェック機能



- Armv8-Mアーキテクチャからスタックの境界チェックの機能が実装
 - ▶ スタック領域を設定しておくことスタックオーバーフロー発生時に例外で検出可能
- スタックオーバーフローはプログラム実行時の嫌なバグ
 - ▶ RTOSのマルチタスク・プログラムでは、タスク毎にスタックを割り当てるため管理が困難
- **μT-Kernel 3.0はスタック境界チェック機能に対応済**
 - ▶ タスク切り替えの際にOSがスタック境界を設定
 - ▶ タスク実行中にスタックオーバーフローが起こると例外が発生しこれを検知
- **特別なツールやプログラムがなくてもスタックオーバーフローを検出可能**



TrustZone とは



■ IoTの普及によりマイコンでもセキュリティ対策が重要に

- ▶ ネットワーク通信、データの保護、ファームウェアの改ざん防止、などなど
- ▶ 2024年 EUでサイバーレジリエンス法(CRA)が発行、2027年から強制

■ Armのセキュリティ機能 TrustZone

- ▶ Armマイコンに搭載されたセキュリティ拡張機能
- ▶ Cortex-MではArmv8-Mから対応

セキュア・ワールド

暗号ライブラリ

ファームウェア更新

セキュアブート

セキュア・デバイスドライバ

非セキュア・ワールド

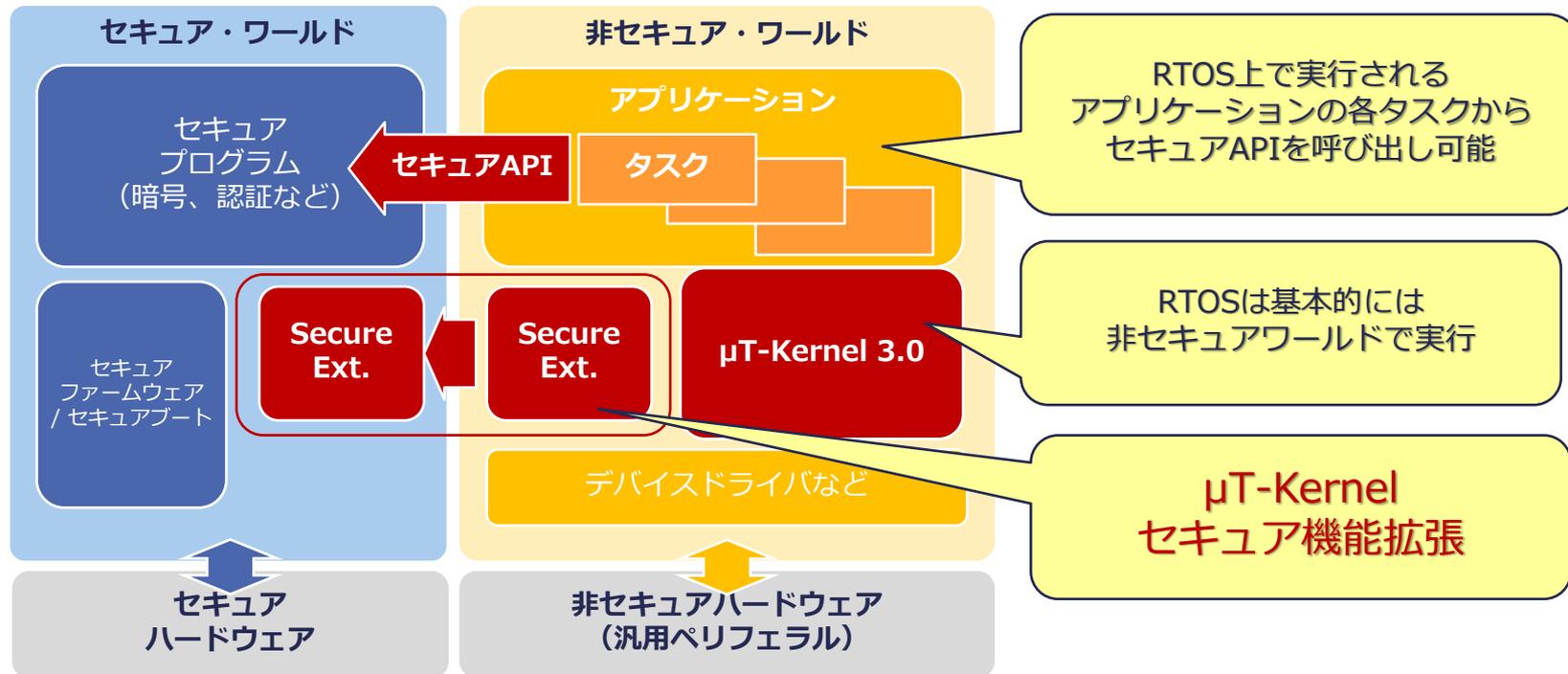
アプリケーション

ミドルウェア

RTOS

汎用デバイスドライバ

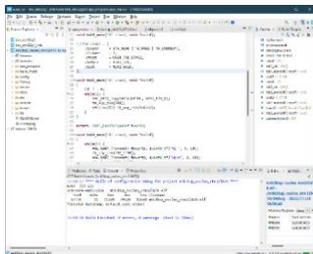
TrustZone対応 μ T-Kernel セキュア機能拡張



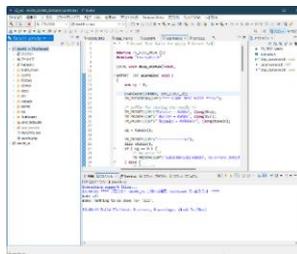
各種開発環境へ対応



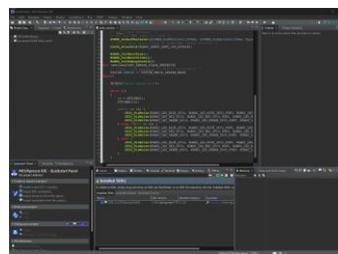
- 特定の開発環境、ツール、プラットフォームに非依存
 - ▶ Cコンパイラが実行できる環境であれば何でもOK
- マイコンメーカー各社が提供する各種開発環境が使用可能
 - ▶ サンプル・プロジェクトも提供



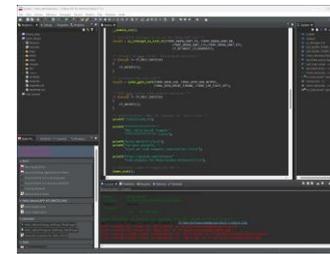
STマイクロエレクトロニクス
STM32CubeIDE



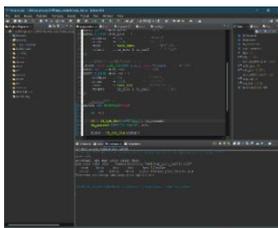
ルネサス エレクトロニクス
e2Studio



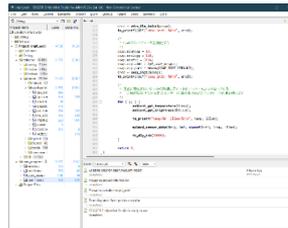
NXP
MCUXpresso



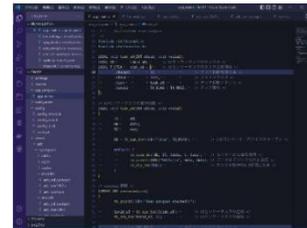
インフィニオン
ModusToolbox



Eclipse Embedded CDT



SEGGER Embedded Studio



Visual studio code

その他、etc.

BSP(Board Support Package)の提供



■ 市販マイコンボードで簡単に評価・試作が可能な μT-Kernel 3.0 BSPをGitHubから提供

▶ **BSP1** スタンドアローンで動作

▶ **BSP2** マイコンメーカーのプラットフォームで動作

▶ IDEからインポートするだけで使用できるサンプルプロジェクトも提供

tron-forum / mtk3_bsp2

mtk3_bsp2 Public

main 2 Branches 8 Tags

tron-forum v1.00.03 Release 8671w5 8 months ago 8 Commits

- config v1.00.02 Release 10 months ago
- doc v1.00.03 Release 8 months ago
- include v1.00.03 Release 8 months ago
- mtkernel @ 435096c v1.00.00 Release 2 years ago
- sysdepend v1.00.03 Release 8 months ago
- .gitmodules first commit 3 years ago
- README.md v1.00.03 Release 8 months ago

μT-Kernel 3.0 BSP2

μT-Kernel 3.0 BSP2 is a BSP (Board Support Package) for various development boards. By using μT-Kernel 3.0 BSP2, you can use the real-time OS μT-Kernel 3.0 on the development environment and firmware provided by the microcontroller manufacturer.

μT-Kernel 3.0 BSP2は、各種開発ボードに向けたBSP (Board Support Package)です。μT-Kernel 3.0 BSP2を使用することにより、マイコンメーカーが提供する開発環境やファームウェアの上で、リアルタイムOS μT-Kernel 3.0を使用することができます。

ドキュメント Documents

- [BSP2ユーザーズマニュアル STM32Cube編](#)
- [BSP2ユーザーズマニュアル RA FSP編](#)
- [BSP2ユーザーズマニュアル NXP MCUxpresso編](#)
- [BSP2ユーザーズマニュアル ModusToolbox編](#)

対応ボード Supported boards

Board	MCU	IDE	Manufacturer
NUCLEO-L476RG	STM32L476RG	STM32Cube IDE	STMicroelectronics
NUCLEO-L4R5ZI	STM32L4R5ZI	STM32Cube IDE	STMicroelectronics
NUCLEO-F401RE	STM32F401RE	STM32Cube IDE	STMicroelectronics
NUCLEO-F411RE	STM32L411RE	STM32Cube IDE	STMicroelectronics
NUCLEO-F446SE	STM32F446SE	STM32Cube IDE	STMicroelectronics

μT-Kernel 3.0 BSP2 対応マイコンボード



ルネサス エレクトロニクス

EK-R8MD1 EK-RA8M1 EK-RA6M3
FPB-RA4E1 Clicker RA4M1 Arduino UNO R4 MINIMA

STマイクロエレクトロニクス

STM32L476 Nucleo-64 STM32L4R5 Nucleo-64
STM32F401 Nucleo-64 STM32F411 Nucleo-64
STM32F446 Nucleo-64
STM32G431 Nucleo-64 STM32G491 Nucleo-64
STM32H533 Nucleo-64 STM32H723 Nucleo-144
STM32F767 Nucleo-144
STM32N6570-DK STM32N6570 Nucleo-144

NXP Semiconductors

FRDM-MCXN947 LPC55S69-EVK

インフィニオン テクノロジーズ

EVK-XMC7200



写真は対応ボードの一部

今後もさらに拡充

製品利用可能なオープンソース



■ μT-Kernel 3.0

▶ https://github.com/tron-forum/mtkernel_3

■ μT-Kernel 3.0 Secure Extension

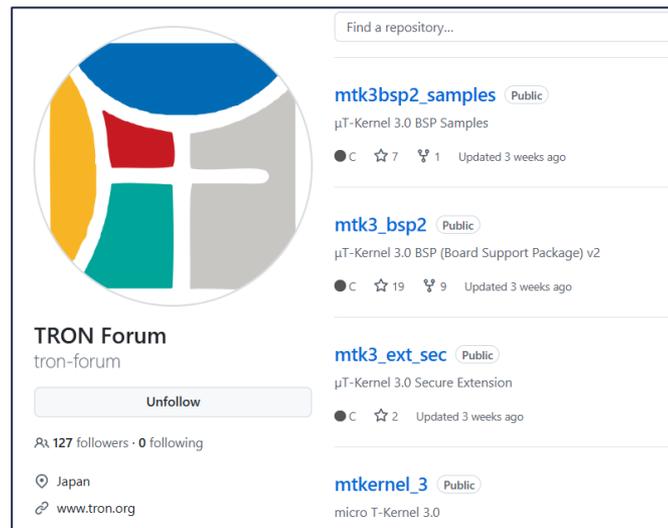
▶ https://github.com/tron-forum/mtk3_ext_sec

■ μT-Kernel 3.0 BSP2

▶ https://github.com/tron-forum/mtk3_bsp2

■ μT-Kernel 3.0 BSP2 Samples

▶ https://github.com/tron-forum/mtk3bsp2_samples





- 仕様書、各種ドキュメントは日本語版がWebから公開
- μT-Kernel 技術情報Web
<https://www.tron.org/mt-kernel3/>
- トロンフォーラムではセミナー、ウェビナーを開催