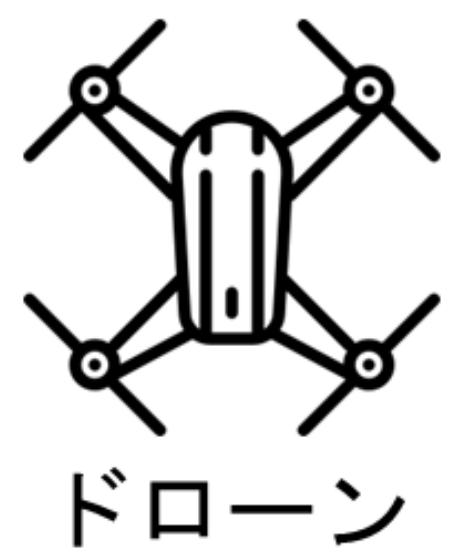


# IoT制御システムの信頼性と生産性の向上技術

李 奕驍 (名古屋大学 大学院情報学研究科)

## 背景

制御システムのIoT化に伴って、信頼性と生産性の向上が重要な研究対象:



組込み向けソフトウェアプラットフォーム (SPF) の多様化

RTOSベースSPF

例: モータ制御

micro-ROS
Zephyr
ESP32

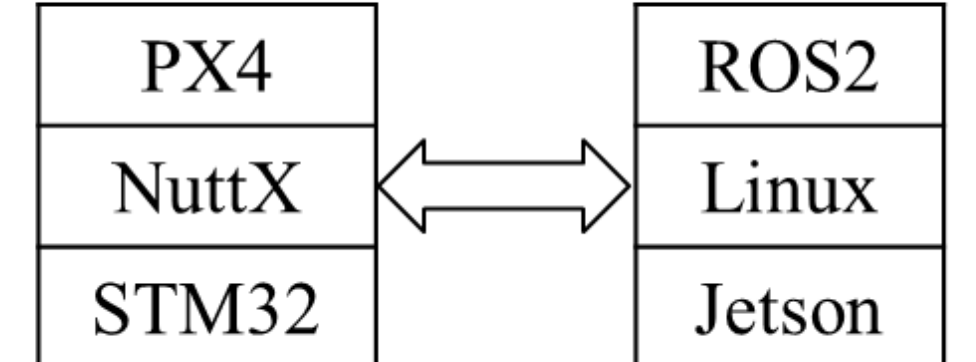
LinuxベースSPF

例: 車載IVI

AGL
Linux
Raspberry Pi 4

Heterogeneous構成

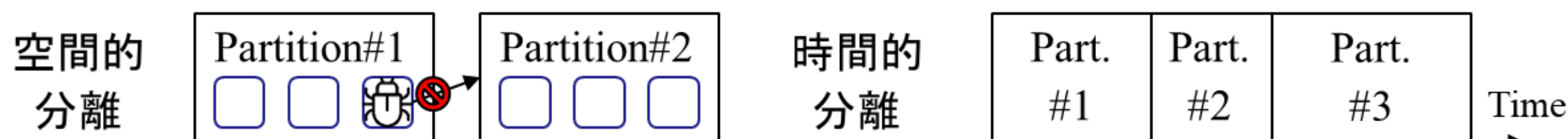
例: 高性能ドローン



## 保護機能付き高信頼RTOS

TOPPERS/HRP3カーネル (シングルコア向け)

- ・ uITRON系静的RTOS、動的生成機能、TECS部品化技術
- ・パーティショニング機能で不具合の波及を防止



マルチコア向け

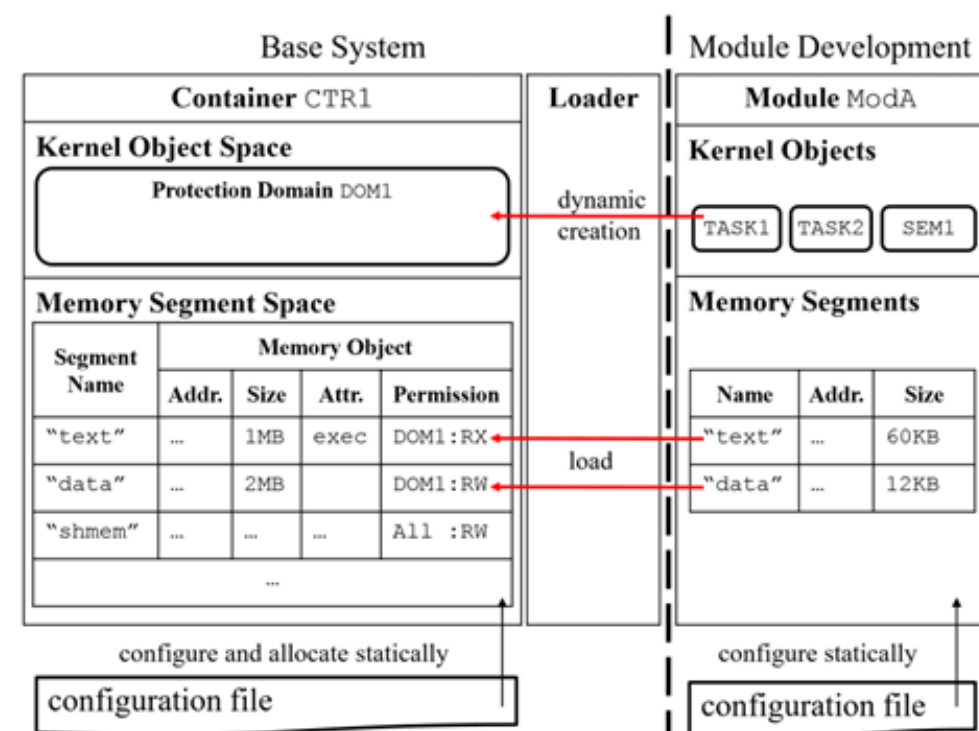
- ・ TOPPERS/HRMP3: HRP3のマルチコア対応版
- ・ TOPPERS/ATK2-SC3-MC: 車載向けAUTOSAR Classic Platform仕様OS

HRP3ベースSPFの例 (EV3RT)

- ・ ユーザアプリの不具合検出
- ・ 動的ローディング機能の実現 (概要→)

ほかの活用方法について検討中

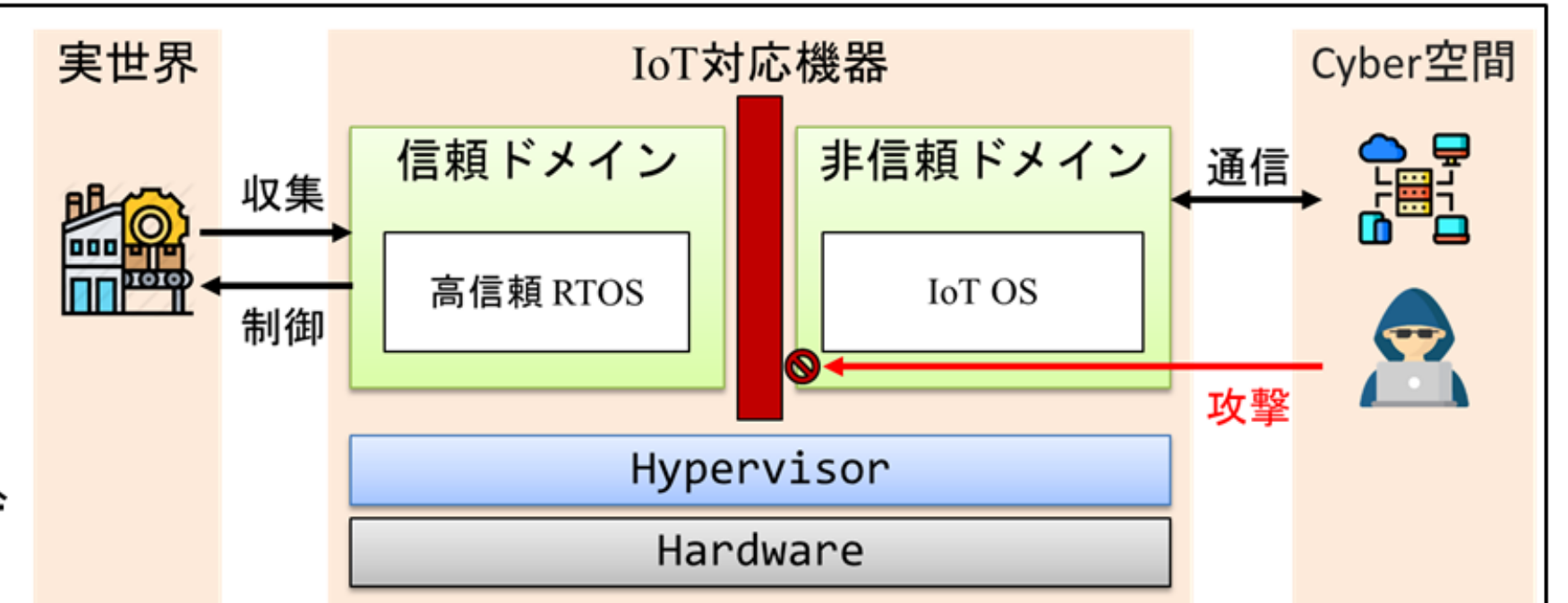
- ・ 飛行中ドローンの不具合からのリカバリ
- ・ Pub/Sub通信の高信頼化



## 制約付きIoT機器向け軽量仮想化

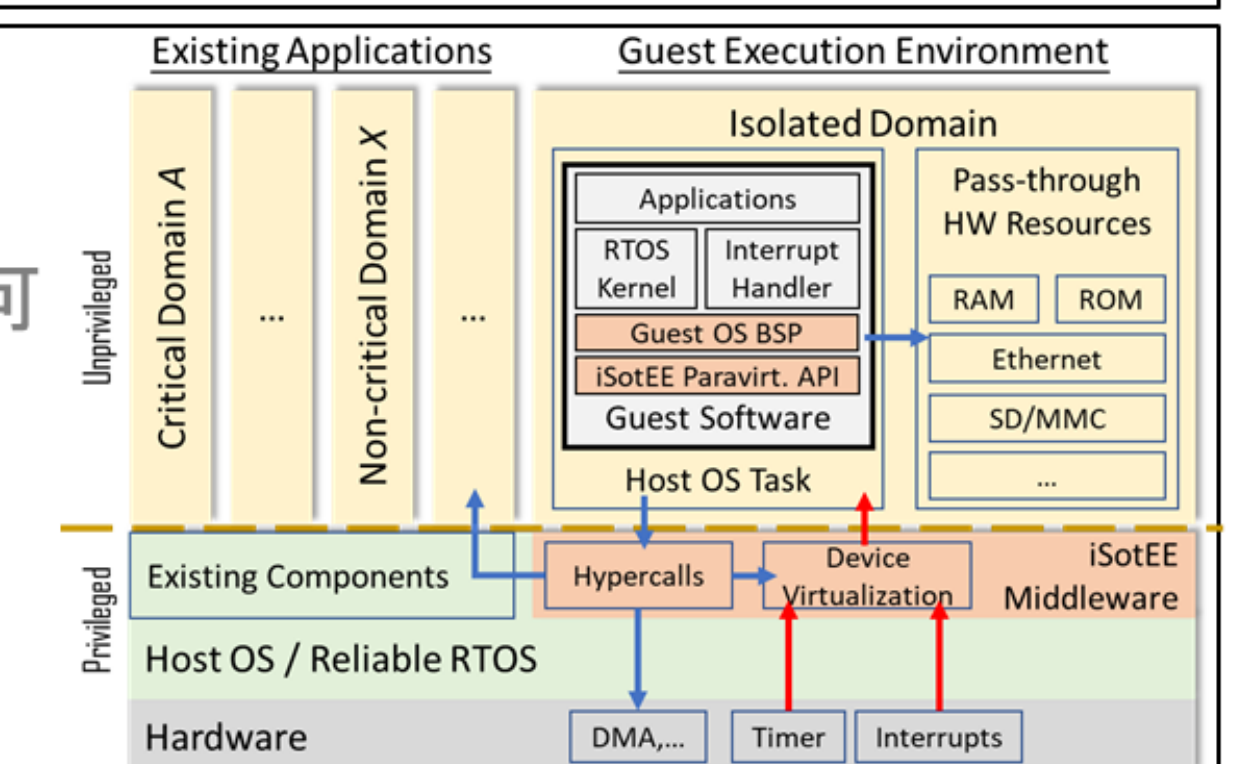
Dual OS構成

- ・ 信頼性と生産性の両立が可能
- 高信頼RTOS + IoT OS
- ・ リソース制約が厳しいIoT機器の殆どはHW仮想化なく既存手法でDual OS構築できず



iSotEE Hypervisor Middleware

- ・ HRP3保護機能活用でHW仮想化支援が不要
- Cortex-M4、Renesas RX等主流マイコン対応可
- ・ 信頼側はNative実行でリアルタイム性保証
- 予測可能なオーバヘッド (最大5%程度)
- ・ IoT OSで豊富な通信ミドルウェアが使える
- Unikernel (Library OS) 風で性能向上

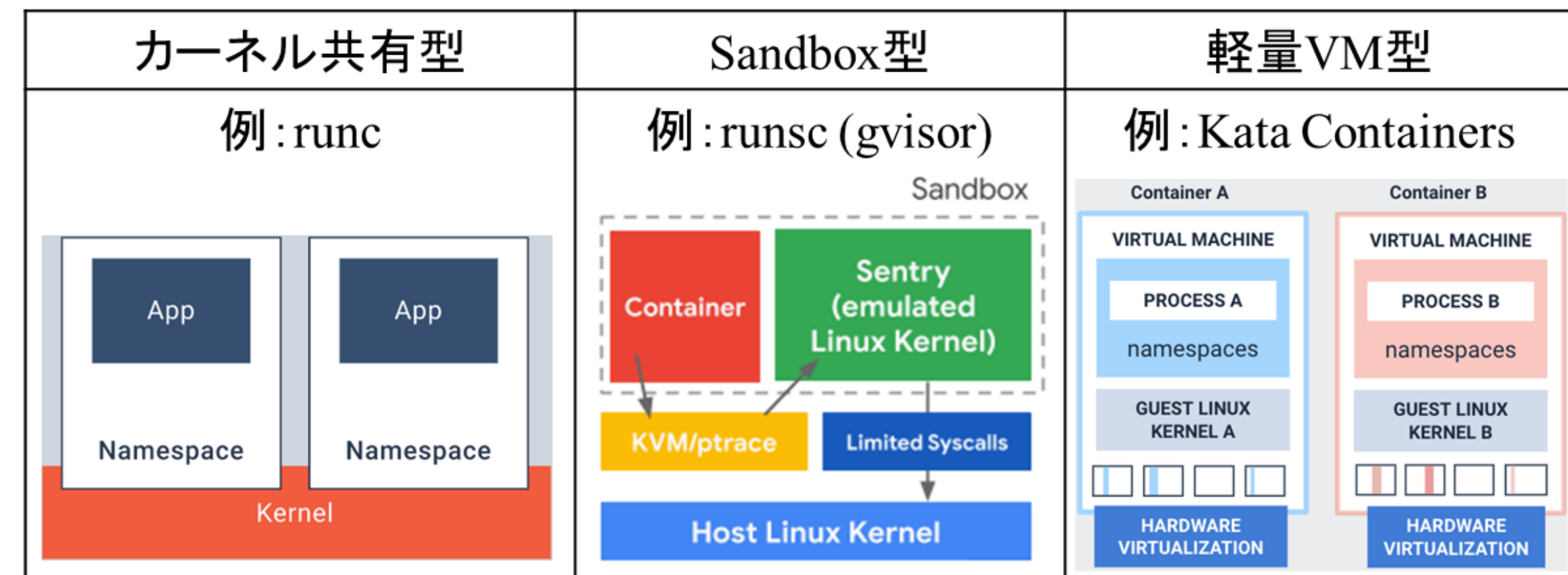


※ iSotEE: A Hypervisor Middleware for IoT-enabled Resource-constrained Reliable Systems, IEEE Access, Volume 10, 2022 (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144044>)

## コンテナの評価分析手法

OCI Runtime (低レベルランタイム)

- ・ コンテナアーキテクチャ内、リソース分離を実現する部分
- ・ 実装によって性能・セキュリティの特性が大きく異なる



各種OCI Runtimeの量的評価手法の確立とツール開発

- ・ アプリや環境の要件に合わせて最適なRuntimeが選択可能
- ・ 近年、伝統のカーネル共有型の脆弱性が深刻化 今年: CVE-2022-{0492,2588}

## 省電力高性能ドローン開発基盤

高性能ドローン

- ・ 複雑な機能の実現に必要 (自律飛行、位置推定、常時監視等)
- ・ 小型軽量化、省電力化がボトルネック

Flight Controller

- ・ リアルタイム制御
- ・ Cortex-Mマイコン



Companion Computer

- ・ 高性能処理、通信
- ・ 例: RasPi4、Jetson

電力↑  
発熱↑  
重量↑

超低消費電力マイコンSony SPRESENSEをCompanion Computerに活用

- ・ 機能が豊富 (無線、センサ、AI、GNSS)



※1: <https://www.ieice.org/publications/conference-FIT-DVDs/FIT2019/data/pdf/CC-003.pdf>

※2: <https://www.aps-web.jp/academy/amp/10632/> ※3: <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>

## マルチコアRTOS

組込みシステムのコア数が急速に増加中

- ・ 多くの既存RTOSに課題あり
- 2~4コア程度と想定
- スケールしないGiant Lock
- 公平でないTest-and-set実装
- ・ OSの設計・実装によって性能が大きく異なる可能性

用途	製品	コア数	アーキテクチャ
Edge Computing	NXP LX2160A	16	ARM Cortex-A72
	Kalray MPPA3-80	80	Kalray VLIW
Microcontroller	SONY SPRESENSE	6	ARM Cortex-M4F
	Infineon TC397	6	Infineon TriCore
	NXP S32S24	8	ARM Cortex-R52
	Renesas RH850/U2B	8	Renesas RH850

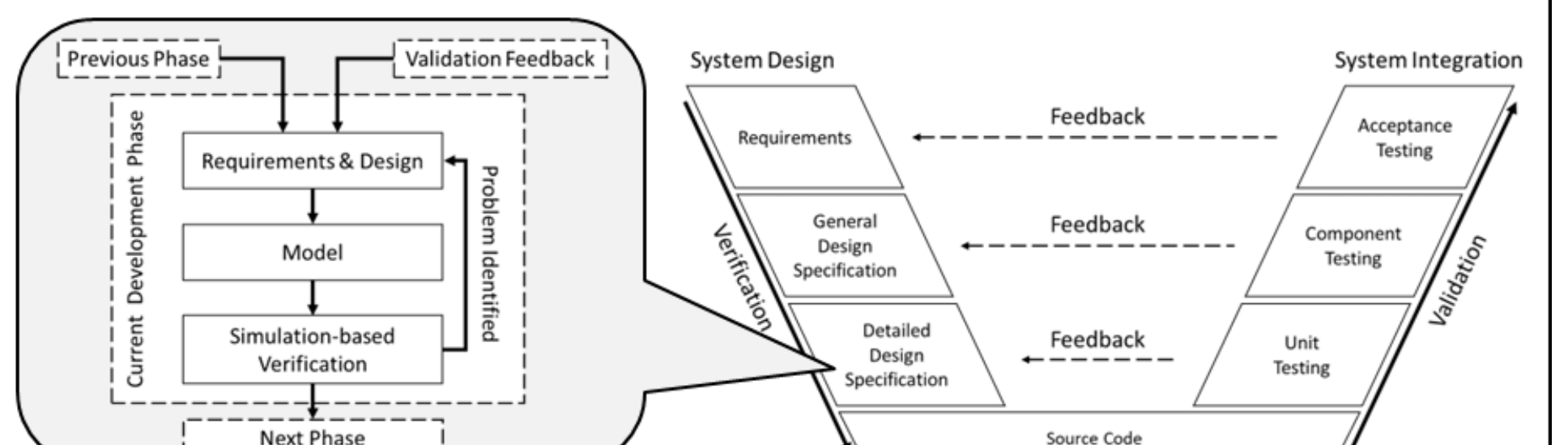
TOPPERS/FMPの評価実験で細粒度ロックの優位性を検証

- ・ 数少ない (唯一?) Giantと細粒度ロック両方対応のオープンソースRTOS
- ・ ロック設計を考慮した実験設計
- カーネルのソースコードを分析し、ロック獲得の実装パターンを整理
- 負荷の組み合わせで、様々な条件での性能特徴を計測
- ・ 4コアでの評価が完了し、実験データを整理中
- 今後: 手法のツール化、TOPPERS/FMP3の細粒度ロック対応の検討

## 自動運転V&V改善

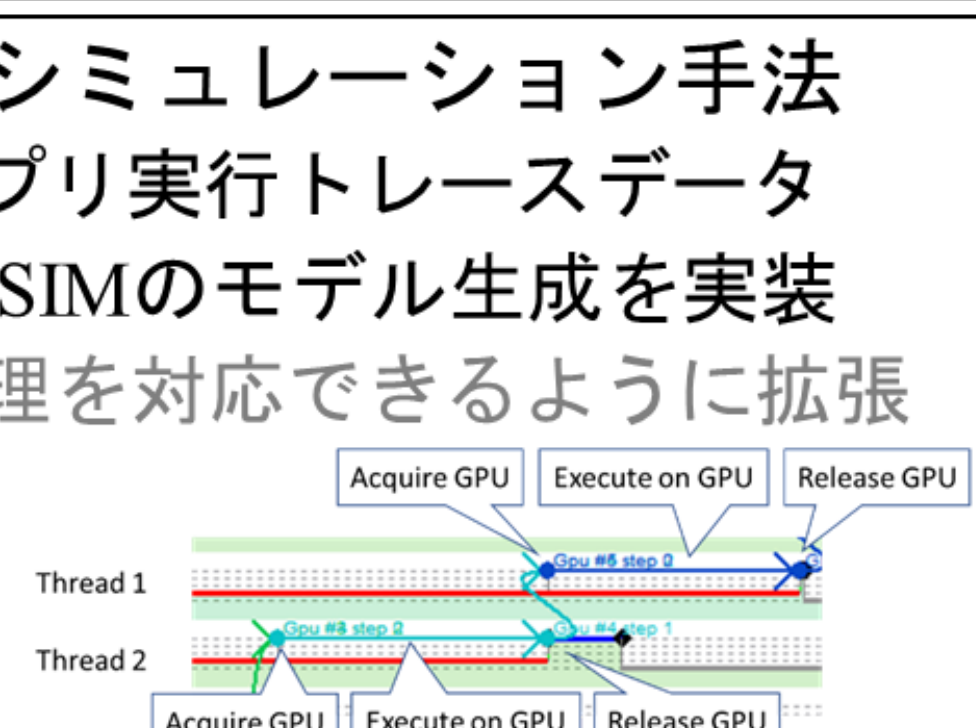
V&Vの効率化に問題の早期発見が重要

- ・ シミュレーションは効果的な手法だが、複雑な自動運転アプリの高精度モデル作成は容易でない



計測データを活用したシミュレーション手法

- ・ 入力: 設計モデル、アプリ実行トレースデータ
- ・ 商用シミュレータchronSIMのモデル生成を実装
- 実行時間分布とGPU処理を対応できるように拡張
- ・ 高精度モデルで設計と実装が不一致の問題を特定できた



※ Agile Software Design Verification and Validation (V&V) for Automated Driving, FISITA Web Congress 2020 (<https://www.fisita.com/library/fisita-world-congress/2020/f2020-ves-017>)