計算機アーキテクチャ

システム・オン・チップ (2)
車載システム

一色 剛

工学院情報通信系

isshiki@ict.e.titech.ac.jp

講義概要(3回分)

- （第1回）組込みプロセッサ：マイクロコントローラ（マイコン）
  - Intel 8051 8ビットマイコン命令セット、タイマー、割込み制御
  - Internet-of-Things (IoT)への課題

  → 組込みシステムにおけるマイクロコントローラの役割・課題を理解
- （第2回）車載用SoC
  - ECU (electrical Control Unit)、システム構成、ADAS技術
  - 組込みソフトウェア階層、マルチタスク処理

  → 車載システム特有のシステム構成・技術要件、今後の動向を理解
- （第3回）携帯電話・スマートフォン用SoC
  - カスタムHW（画像信号処理、コーデック）
  - GPUアーキテクチャ、ARMプロセッサ

  → 組込み分野で最も技術革新が激しいスマホを支える技術を理解

本日の小テスト

（配布用紙に学籍番号・氏名を記入し、講義終了後に回収します）

下記設問2問以上の回答と講義の感想（自由記述）

1. 車載電子システムに搭載されているECUの4つの主要機能と、各4機能の具体的システム名をそれぞれ2つ以上挙げよ。
2. 車載用マイコンの主要な周辺回路やIO回路を述べよ。
3. 組込みソフトウェア階層を5つ挙げ、それぞれの機能を簡単に説明せよ。
4. 機器のリアルタイム制御を実現するマルチタスク処理の仕組みを簡単に説明せよ。
5. 今後の車載電子システムで必要となる機能やこれらを実現するための課題を述べよ。

車載電子システム

ECU : Electronic Control Unit

■ 車の全機能をCPU搭載組込みシステム(ECU)で制御

パワートレイン制御
- ・エンジン制御システム
  - ーガソリンエンジン制御
  - ーディーゼルエンジン制御
- ・トランスミッション制御システム

シャーシ制御
- ・パワーステアリング制御システム
- ・電子制御ブレーキシステム
- ・運転支援システム

ECU搭載数 (2016)
平均 : 21.6個
高級車 : 100個以上

ボデー制御
- ・エアコンシステム
- ・エアバッグシステム
- ・スマートエントリ
- ・セキュリティシステム

情報通信
- ・カーナビゲーションシステム
- ・自動車電話
- ・ETCシステム
- ・オーディオシステム

1970	1980	1990	2000	2010	2020
点火装置	点火制御	VVT	ハイブリッド	PHV/EV	PHV : Plugin Hybrid EV : 電気自動車
発電機	噴射制御	Lean Burn	直噴	by-wire	Night Vision
Regulator	Air Cond.	エンジン制御	エアサス制御	VSC	ACC
			PCS	配光制御	衝突防止
		ABS	Airbag	車高制御	Immobilizer
		カーナビ	自動車電話	ATIS	VICS
				DSRC	

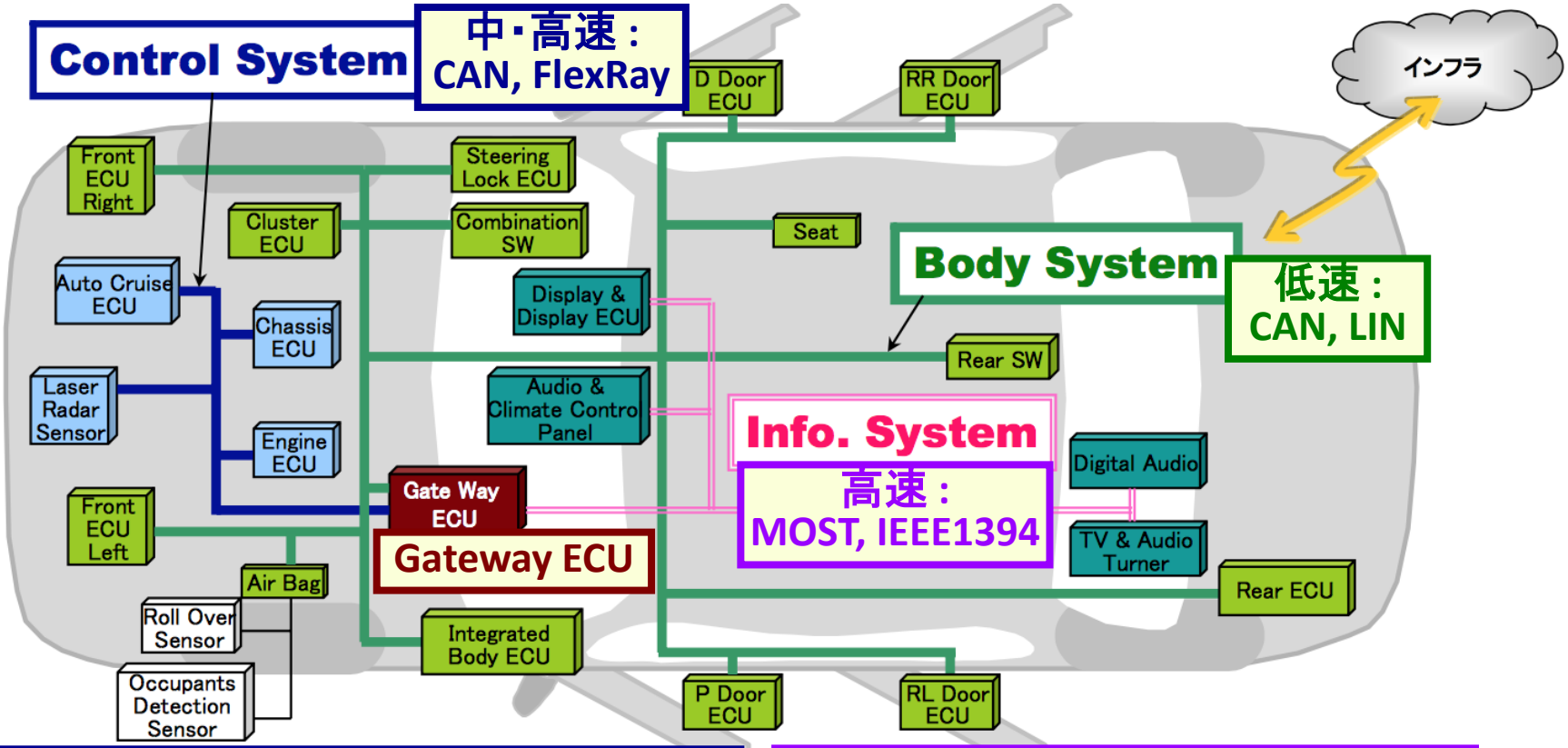
ADAS : Advanced Driving Assistance System

ABS : Antilock Brake Sys.
VVT: Variable Valve Timing
Learn Burn: 希薄燃焼
VSC : 車両安定性制御
ACC : Adaptive Cruise Ctrl
PCS : Pre-Crash Safety

VICS : Vehicle Info & Comm.
ATIS : Advanced Traffic Info
DSRC: Short Range Comm.

Source: http://support.ptc.com/WCMS/files/152004/ja/K-1_Denso.pdf

車両内ネットワーク（3系統）



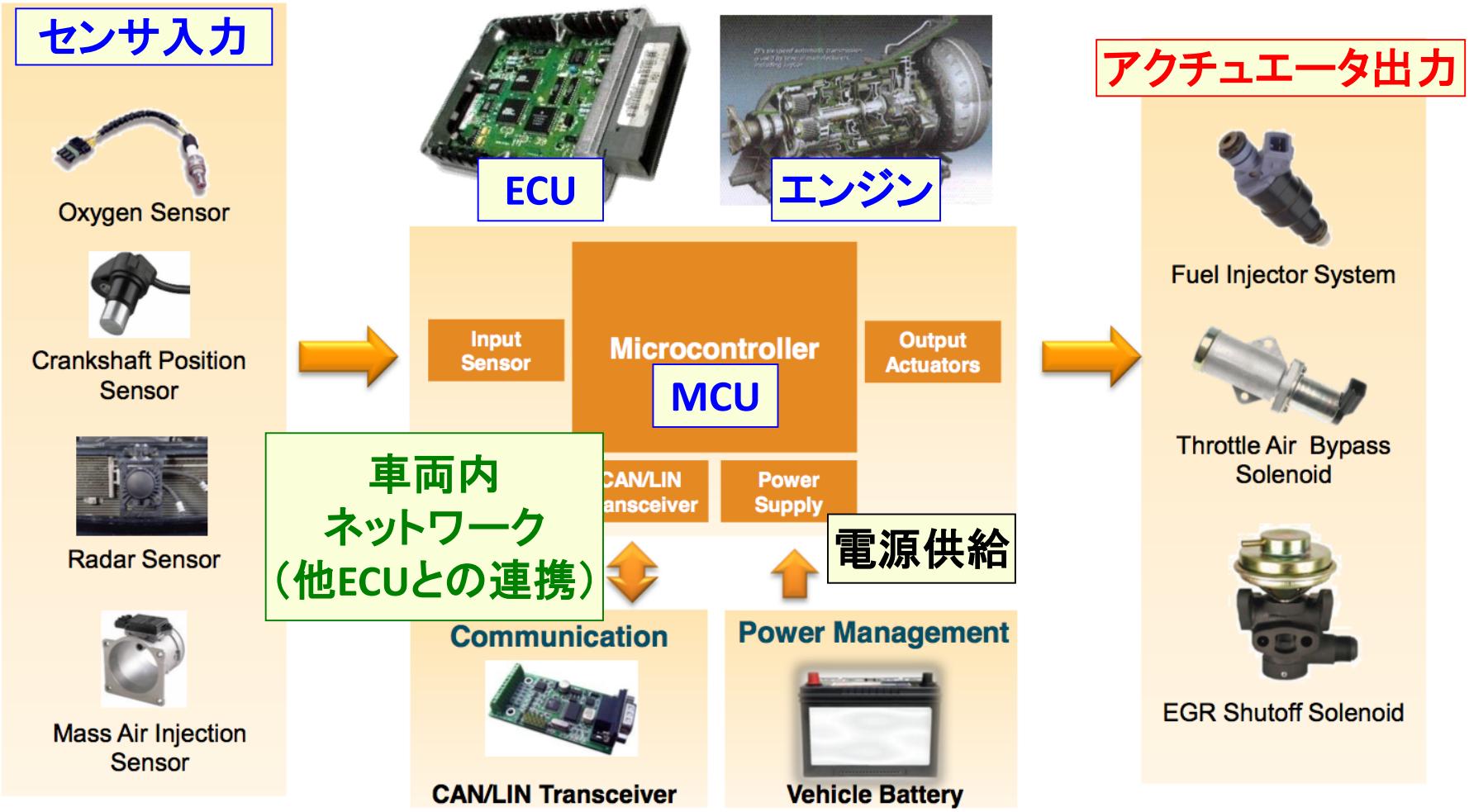
Control System (CAN, FlexRay : 中・高速)
Auto Cruise, Laser-Radar, Chassis, Engine

Info. System (MOST, IEEE1394 :高速)
Display, Audio/Climate Ctrl Panel, Speakers, TV/Audio Tuners

Body System (CAN, LIN : 低速)
Doors, Seat, Steering/Lock, Airbag, Comb. SW, Cluster, Integrated Body, Front/Rear

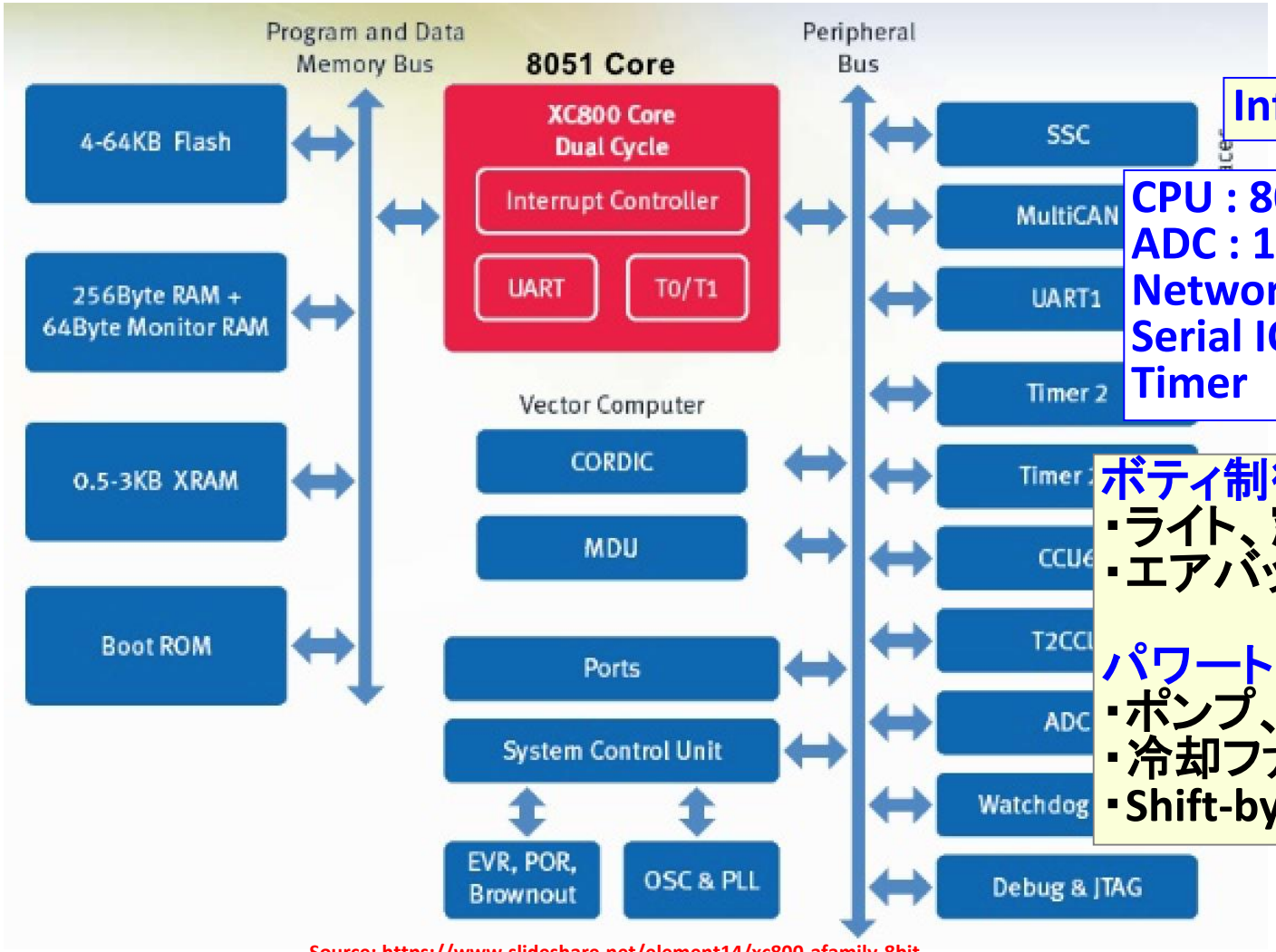
Source: http://support.ptc.com/WCMS/files/152004/ja/K-1_Denso.pdf

ECU (Electronic Control Unit)



Source: https://www.slideshare.net/test_interlatin/functional-test-automotive-seminar-in-mexico

Automotive 8-bit Microcontroller (MCU)



Infineon XC800

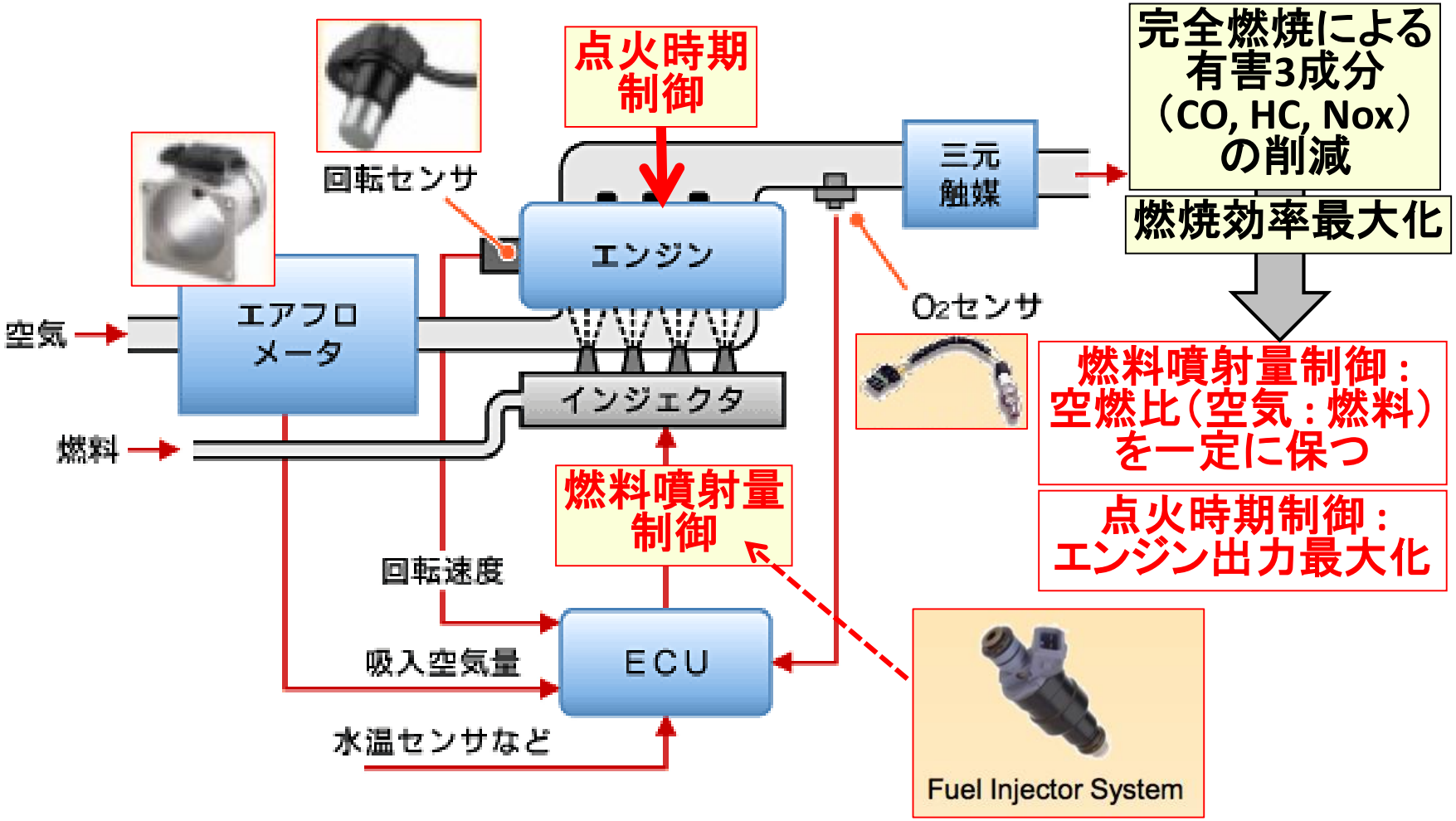
CPU : 8051
ADC : 10b x 8 chan
Network : LIN, CAN
Serial IO : UART, SSC, I2C
Timer

ボディ制御 :
- ライト、窓、スイッチ
- エアバッグ、ステアリング

パワートレイン制御 :
- ポンプ、バルブ
- 冷却ファン
- Shift-by-wire

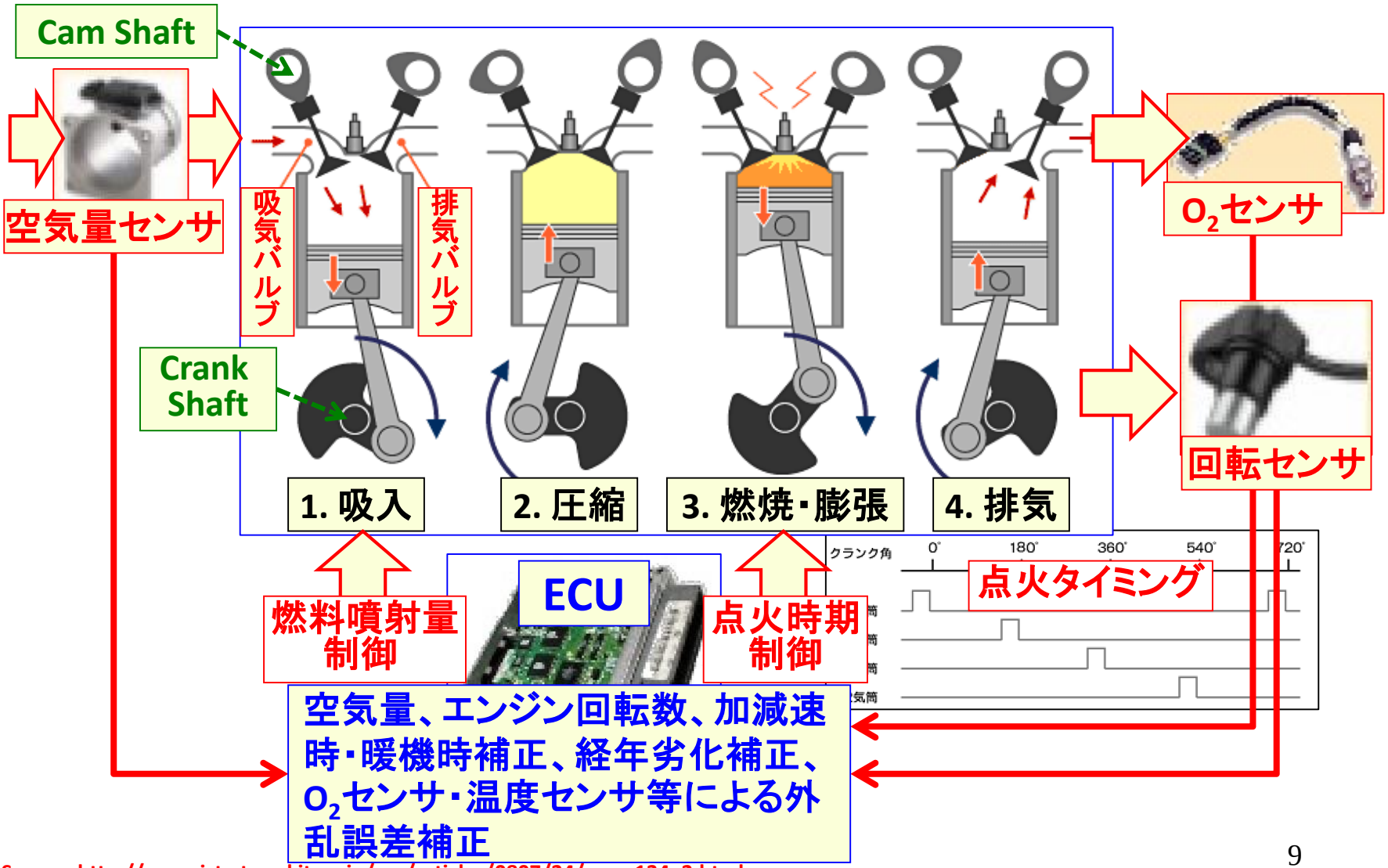
Source: https://www.slideshare.net/element14/xc800-afamily-8bit-automotive-microcontrollers

ガソリンエンジン燃料噴射システム



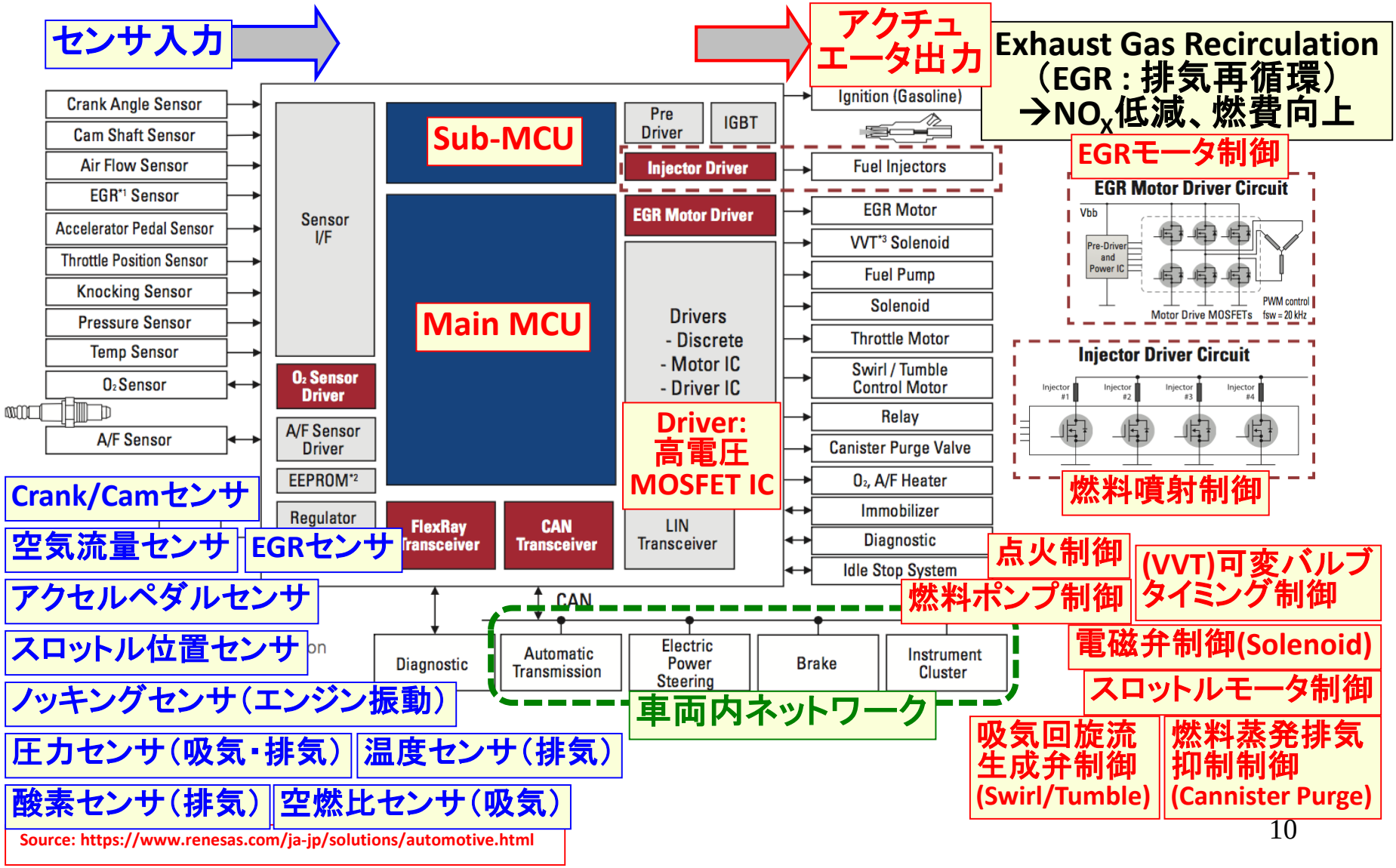
Source: http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/0807/24/news134_2.html

ガソリンエンジン燃料噴射システム



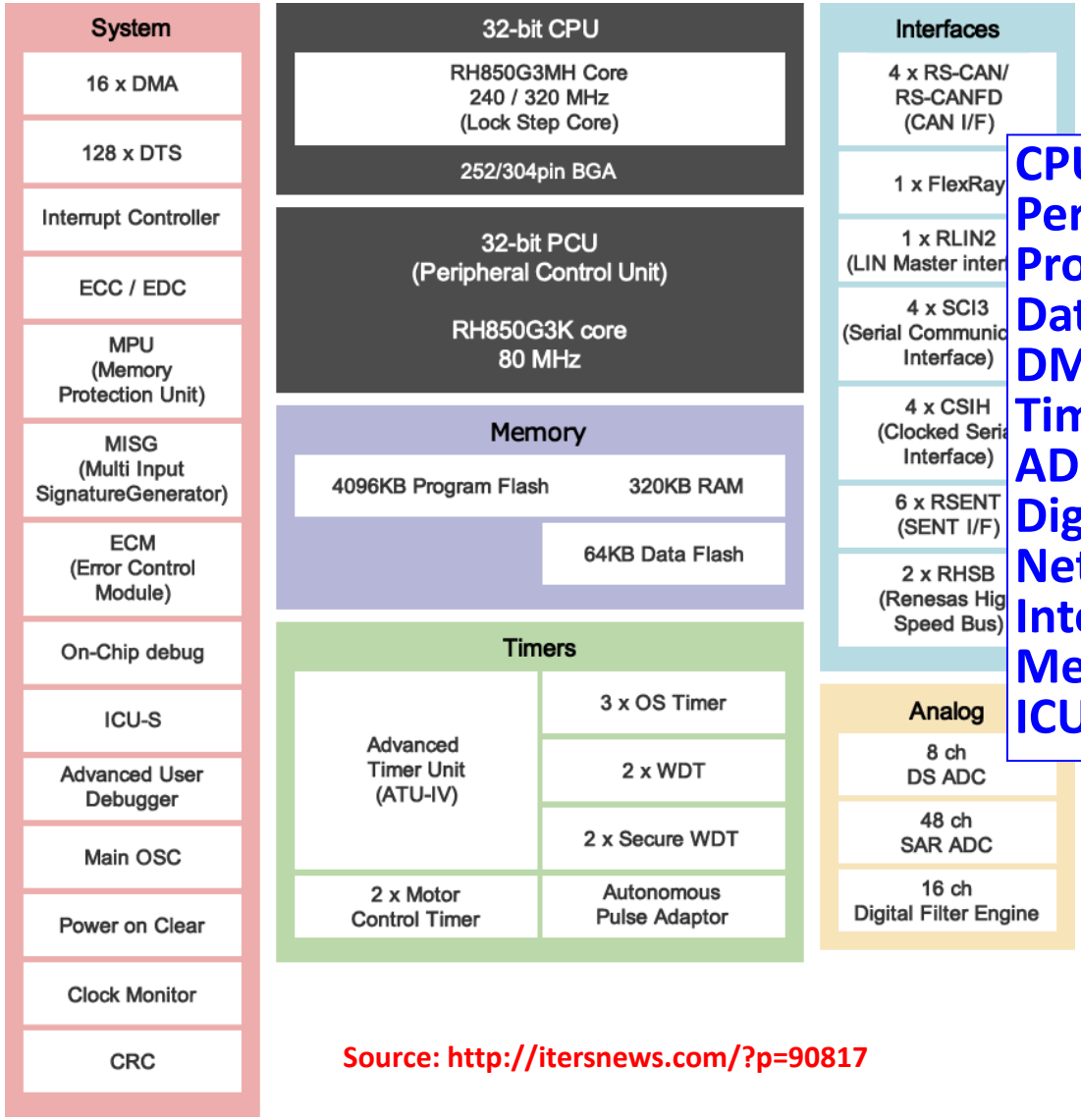
Source: http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/0807/24/news134_2.html

Gasoline Engine ECU (Renesas Reference System)



Source: https://www.renesas.com/ja-jp/solutions/automotive.html

Engine Control 32-bit MCU



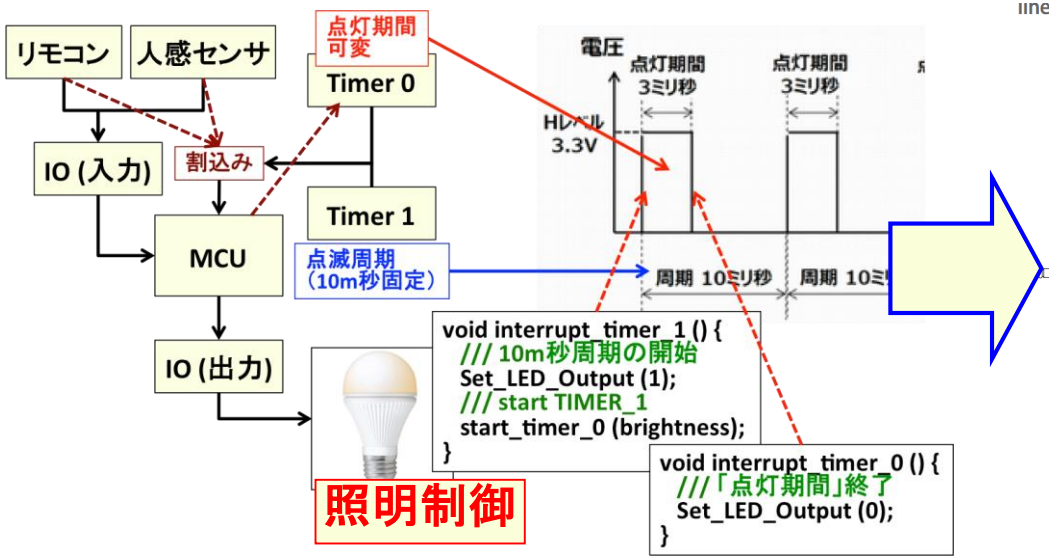
Renesas RH850/EM1-S2

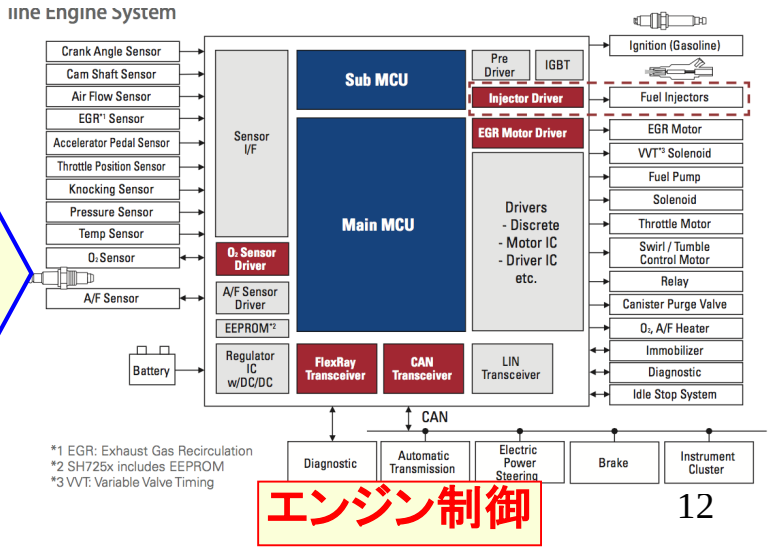
CPU : 32-bit
Periperal Control : RH850G3K
Program : 4MB Flash, 8KB cache
Data : 64KB Flash, 320KB SRAM
DMA : 16 チャネル
Timers : 9 チャネル/2 units (total)
ADC : 8(ΔΣ) + 48(逐次比較) チャネル
Digital Filters : 16 チャネル
Network : LIN, CANx4, FlexRay
Interrupt Controller
Memory Protection Unit
ICU-S : Hardware Security Module

Source: http://itersnews.com/?p=90817

組込みソフトウェア

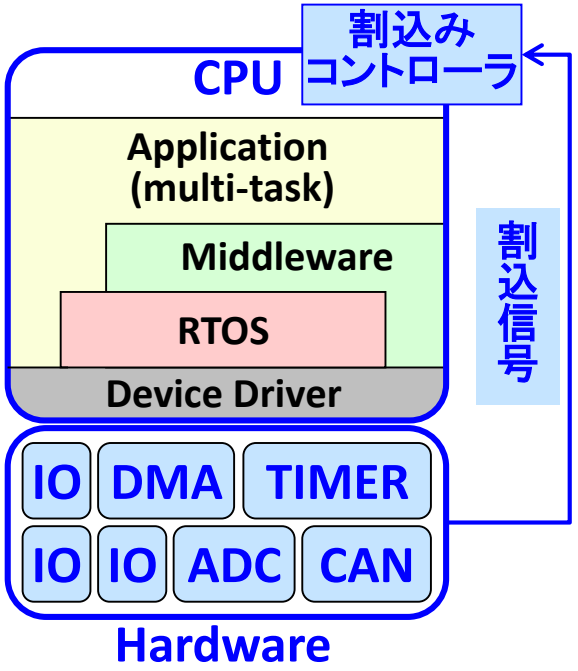
- 組込みシステムの特性（復習）
  - 入力（センサ類）、出力（アクチュエータ類）、通信
  - リアルタイム性（エンジン制御）
  - 多数の入出力処理要求（割込処理、計算処理）
- 照明制御（前々回）→ 割込みプログラミング（単純なシステム動作）
  - 2つのタイマにより点灯期間を調整（割込ハンドラでLEDをON/OFF制御）
- エンジン制御 → リアルタイムOS + マルチタスクプログラミング
  - 多数の入出力処理・計算処理を複数のタスクプログラムに分割
  - リアルタイムOS（RTOS）によりタスク実行順序を制御（スケジューリング）



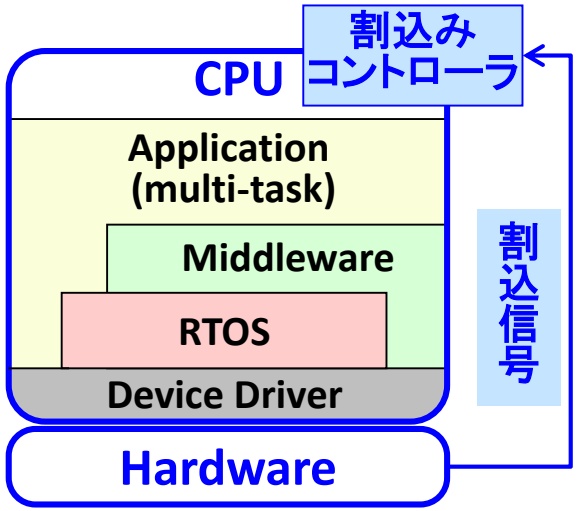


組込みソフトウェア階層

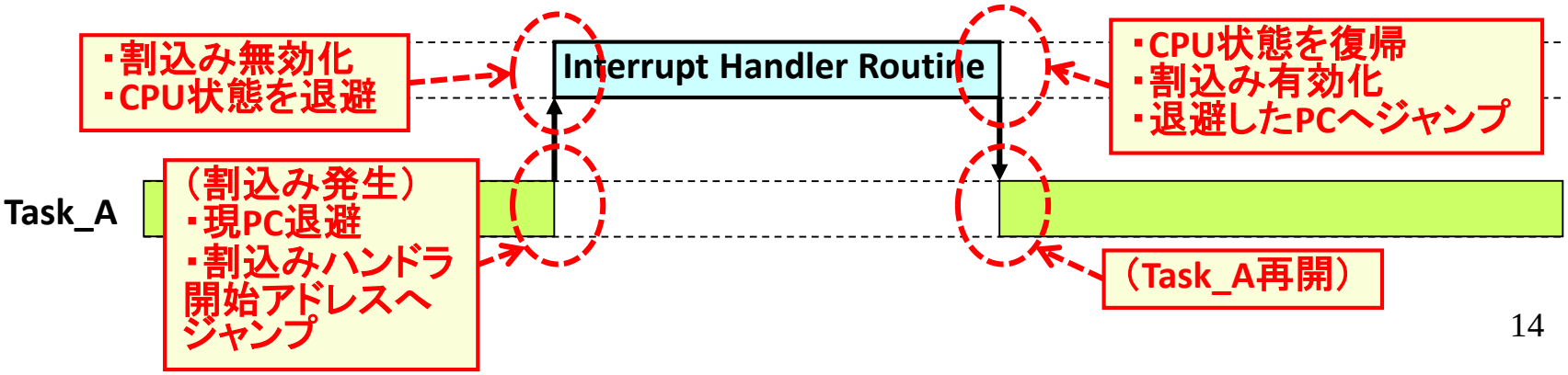
- アプリケーション層
  - 組込みシステム固有の計算機能実装
  - RTOS搭載の場合：マルチタスク（後述）
- ミドルウェア層
  - 共通ライブラリ（通信プロトコル、ファイルシステム、データ管理）等のHW非依存のSW部品
- RTOS（リアルタイムOS）層
  - タスク管理（並行実行制御、タスク間同期、タスク間通信）
  - 割込み管理（割込み無効化・有効化）
  - 資源管理：排他制御、デバイスドライバ管理
  - 時間管理：タイマを利用したタスクの時間制御
- デバイス・ドライバ層
  - HWデバイス固有レジスタへのread/writeを介したHW制御
- ハードウェア層
  - HWデバイス固有レジスタへのCPUによるread/writeに応じたHW動作
  - 特定条件時に割込み信号でCPUに割込み要求を通知
- 割込みコントローラ
  - 割込み無効化・有効化機能の回路実装
  - 割込みベクトルをCPUへ通知 → 割込み要求デバイスに対応した割込みハンドラが起動する仕組みを提供



割込み機構

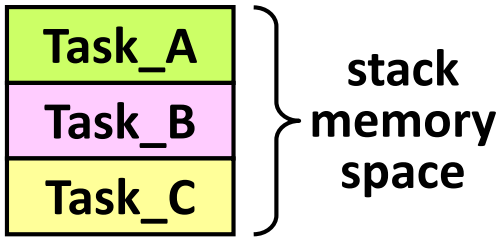


- **HW割込み（外部割込み）**
  - HWデバイスが通知する割込み要求で発生
  - 割込みコントローラから送られる割込みベクトルから割込み発生要因を特定し、対応する割込みハンドラを呼ぶ
- **SW割込み（内部割込み）**
  - システムコール：タスク切替など、現タスクを強制的に中断
  - 例外：0除算、オーバーフロー、無効命令など異常発生時
- **割込み処理フロー**
  1. **割込み発生時：**実行前の現命令アドレス（PC）をレジスタなどに退避、割込みを無効化、割込みハンドラの開始アドレスにジャンプ
  2. **割込みハンドラ開始後：**レジスタファイルなどCPU状態をスタックメモリに退避した後に、実際の割込み処理を開始（サブルーチンも利用可）
  3. **割込み処理終了後：**CPU状態をスタックメモリから復帰、割込みを有効化、割込み発生前の命令アドレスにジャンプ



マルチタスク処理

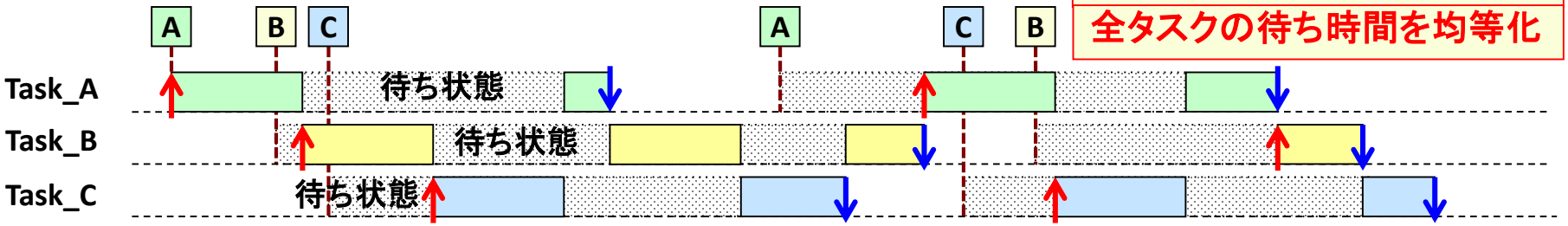
- タスク：独立したプログラム実行単位
- コンテキスト：タスク実行情報
  - CPU状態：PC（プログラムカウンタ）、SP（スタックポインタ）、レジスタファイル
  - スタックメモリ（固定サイズ）→ 再帰呼出しは通常禁止!!
  - タスク状態、タスク優先度
- タスクスケジューリング
  - Round-Robin：一定周期で実行タスクを切替（汎用OS）
  - 優先度ベース：優先度が高いタスクが実行される（RTOS）

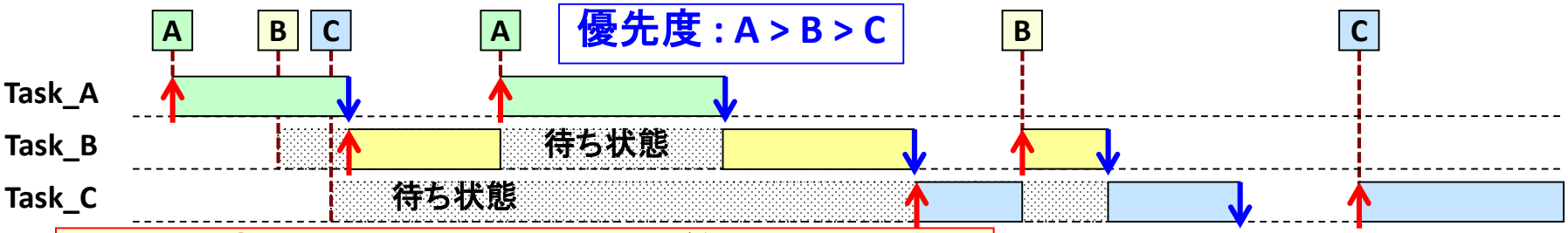


複数タスクのスタック領域は連続的に割当てられることが多い

リアルタイム性保証が困難

全タスクの待ち時間を均等化



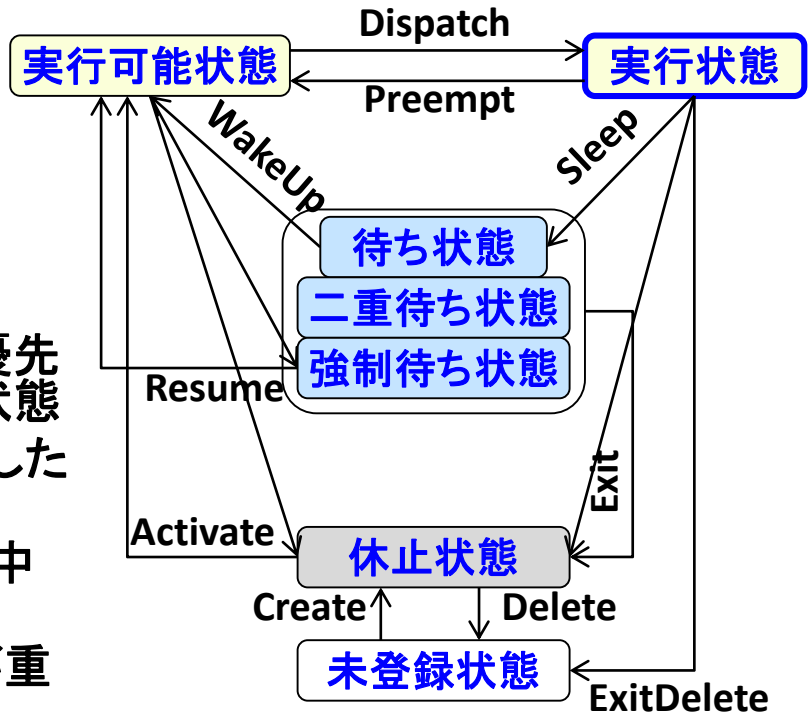


優先度の高いタスクのリアルタイム性が保証しやすくなる。

優先度の低いタスクは待ち時間が増大する。

タスクとコンテキストスイッチ

- コンテキストスイッチ：実行タスク切替
  - 現タスクのCPU状態をメモリへ退避
  - 次タスクのCPU状態をメモリから復帰
- タスク状態（uITRON4.0例）
  - 実行状態：現在実行中のタスク状態
  - 実行可能状態：実行可能であるが、優先度の高い他のタスクが実行中である状態
  - 待ち状態：自タスクによって実行中断した状態
  - 強制待ち状態：他タスクによって強制中断した状態
  - 二重待ち状態：上記2つの待ち状態が重なった状態
  - 休止状態：タスク起動前・終了後状態
  - 未登録状態：タスク生成前・削除後状態

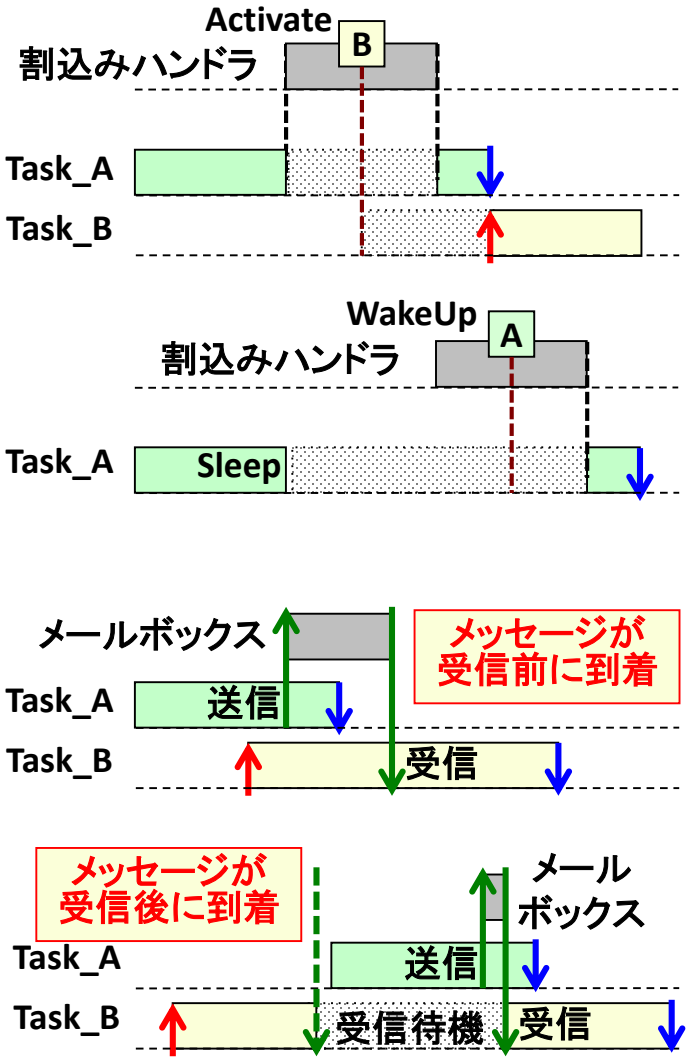


タスク状態遷移図

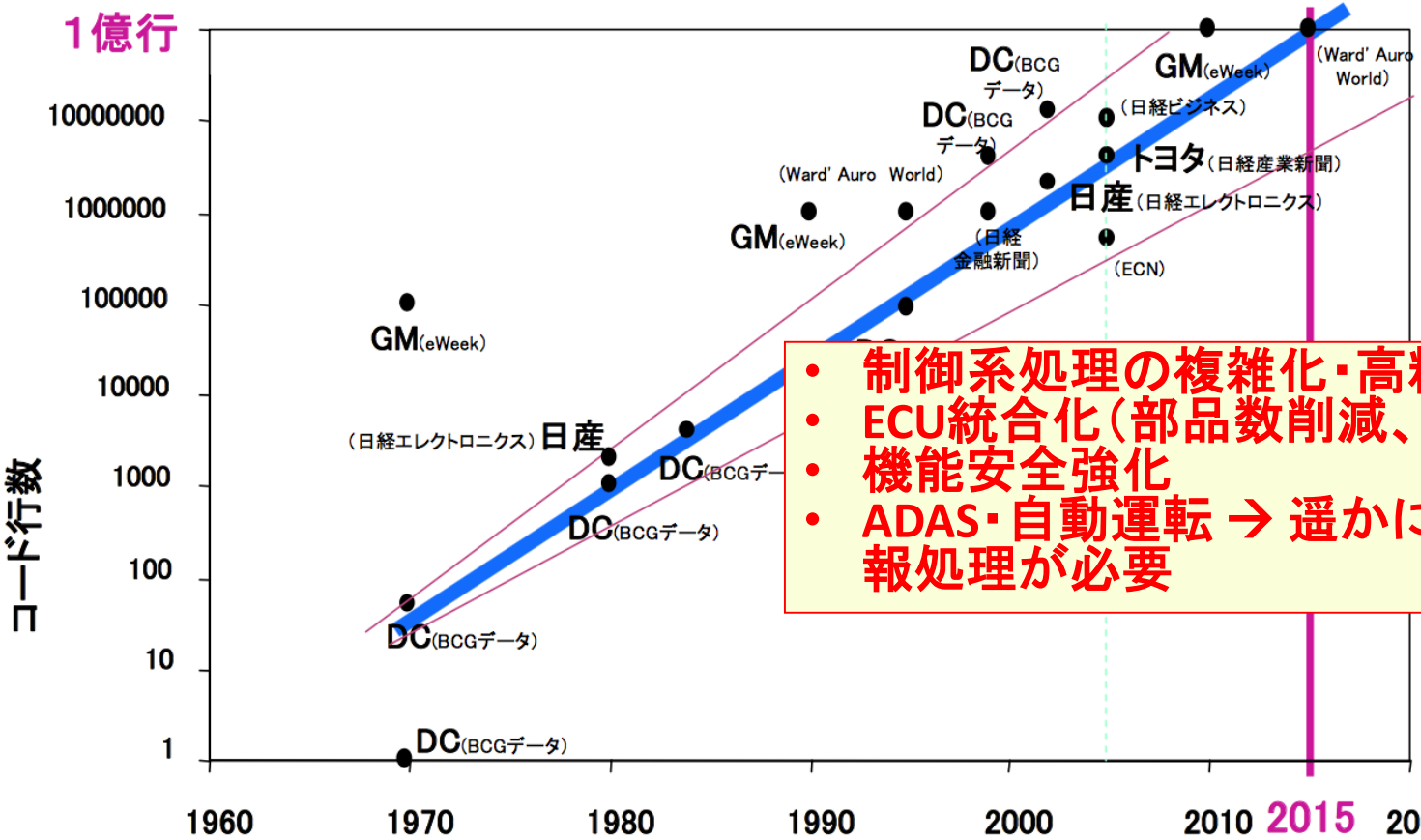
Source: http://www.tron.org/ja/wp-content/themes/dp-magjam/pdf/specifications/ja/WG024-S001-04.03.03.pdf

タスク生成・タスク間通信同期

- タスク起動
  - システム起動時のタスク起動
  - 割込みハンドラ内・タスク内のタスク起動(Activate)
- タスク間同期
  - タスク起床：外部割込み待ち(自タスクSleep) → 割込みハンドラ内でタスクWakeup
  - イベントフラグ：イベントIDに基づく起床待ち
- タスク間通信（メールボックス）
  - 送信側：メッセージ送信（非同期）
  - 受信側：メッセージが到着するまで待機
- 計算資源の排他制御
  - セマフォ：カウンタが正値の場合、資源を獲得（+1）し、資源使用後に解放（-1）→資源が獲得可能になるまで待機
  - CPUロック・ロック解除：割込み禁止、タスクスケジュール禁止 →この間計算資源を独占できる
  - ディスパッチ禁止・許可：割込み許可のままタスクスケジュール禁止



車載組込みソフトウェア規模



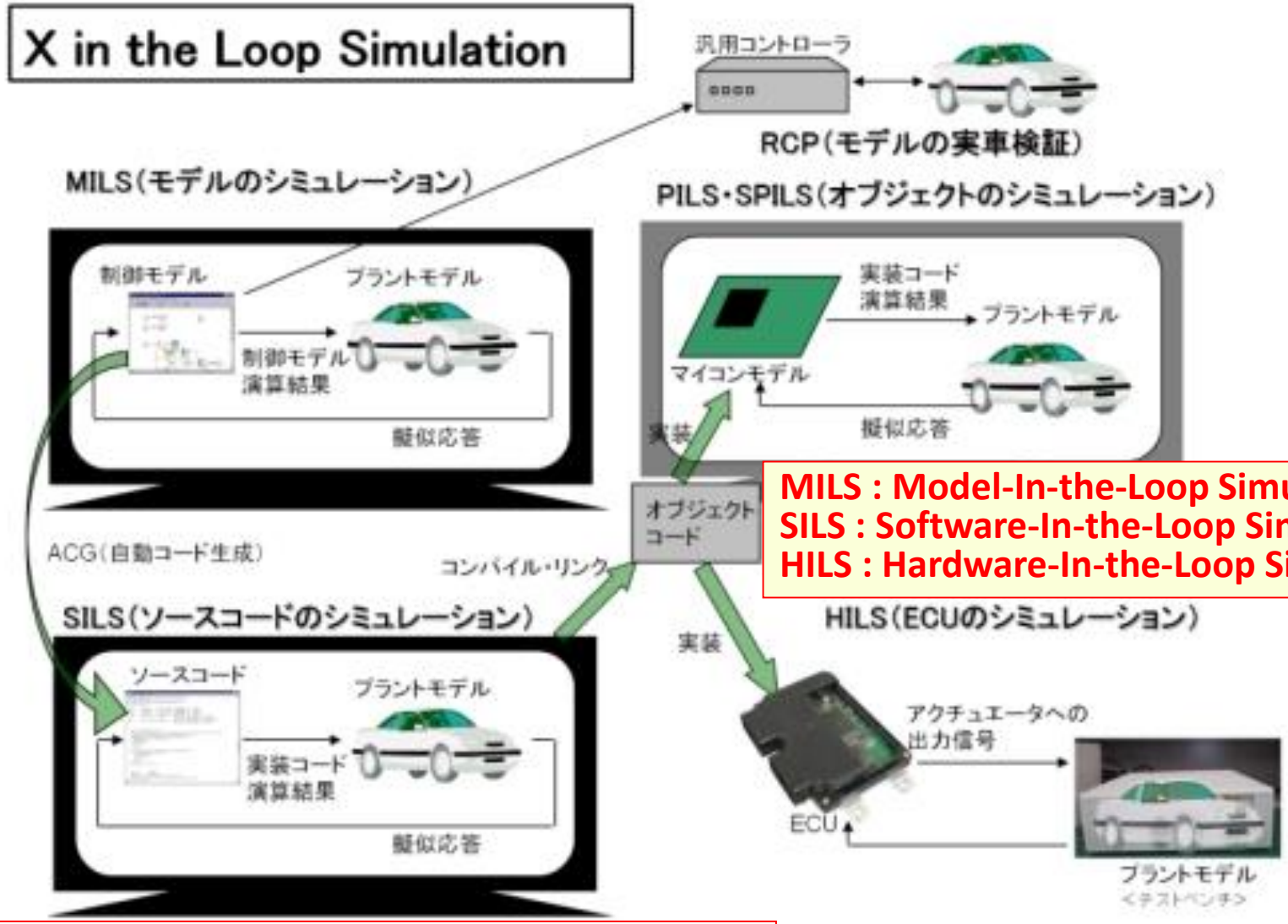
- 制御系処理の複雑化・高精度化
- ECU統合化(部品数削減、低コスト化)
- 機能安全強化
- ADAS・自動運転 → 遥かに複雑な情報処理が必要

注: 表中に該当するOEM名とデータの出所を明記()内がデータの出所　出所:記事検索、BCGデータベース及び分析

世の中の予測では、2015年に1億行
レクサスLS460は、1700万行 (ナビを除いて700万行)

Source: http://support.ptc.com/WCMS/files/152004/ja/K-1_Denso.pdf

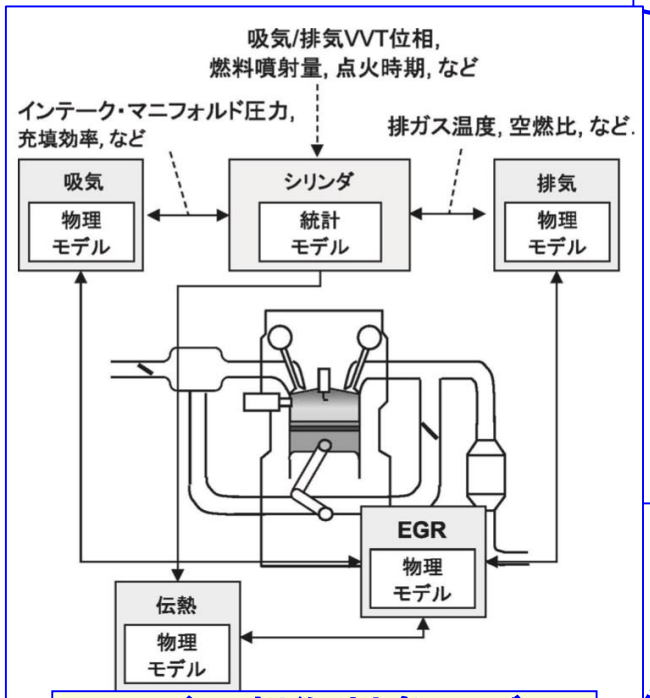
車両システムシミュレーションとECU検証



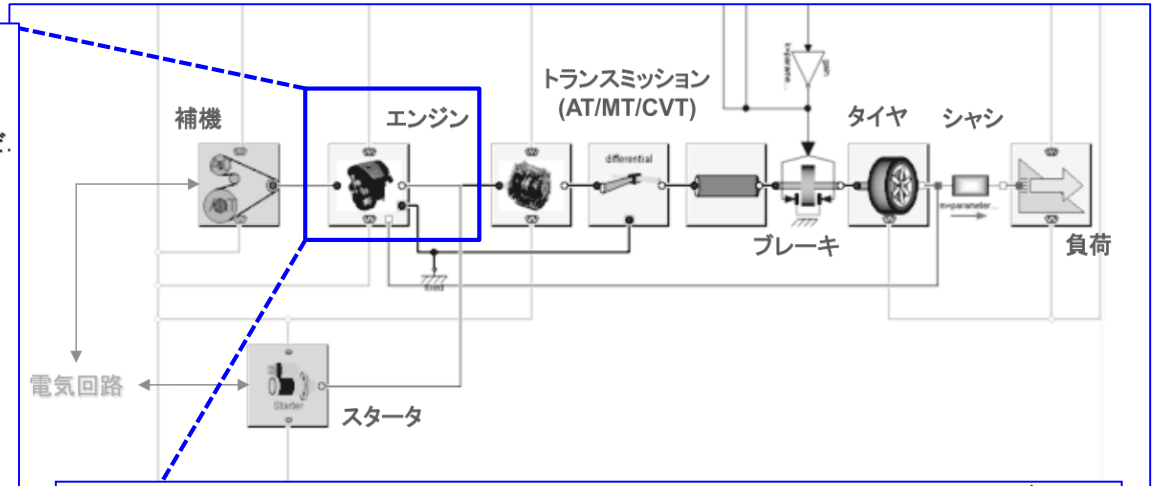
MILS : Model-In-the-Loop Simulation
SILS : Software-In-the-Loop Simulation
HILS : Hardware-In-the-Loop Simulation

Source: http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1408/27/news007.html

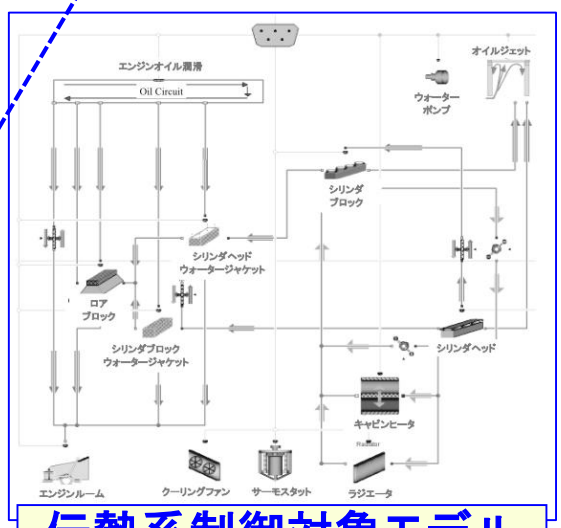
車両システムのモデル化



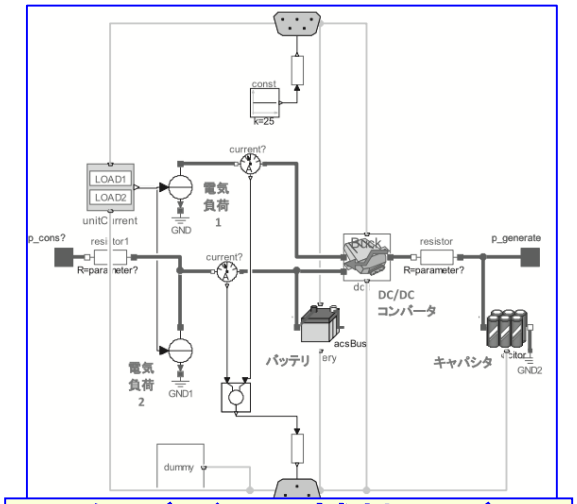
エンジン制御対象モデル



回転系（トランスミッション・タイヤ）制御対象モデル



伝熱系制御対象モデル

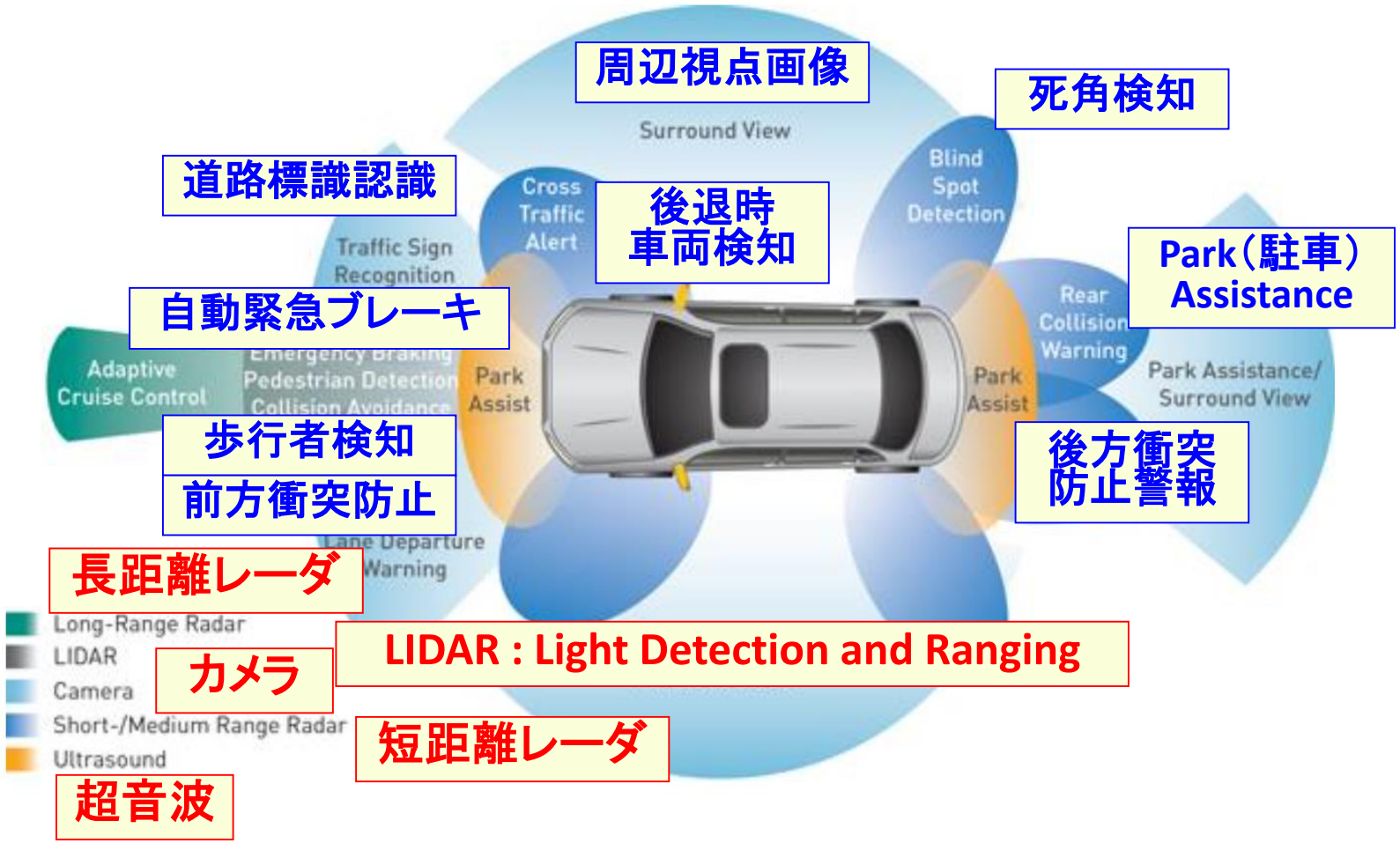


電気デバイス補機モデル

エンジン・ECU に繋がるすべての電子制御部品 と制御目標を有する機構をモデル化

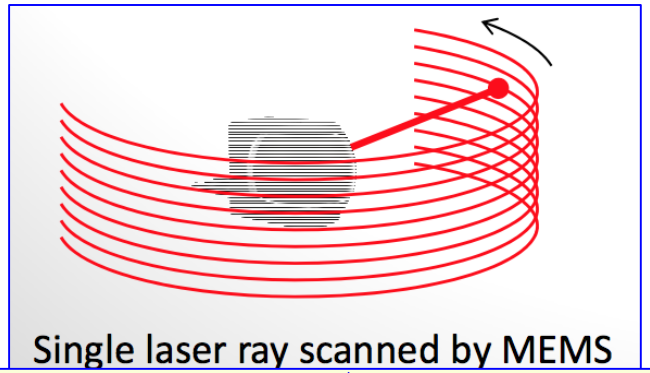
Source: https://www.jstage.jst.go.jp/article/sicejl/53/8/53_702/_pdf

ADAS (Advanced Driving Assistance System)

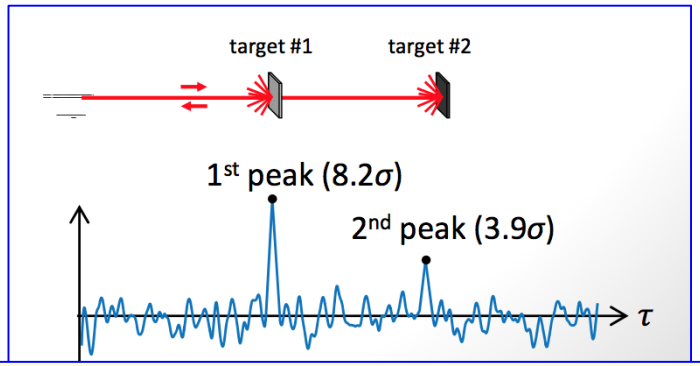


Source: http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/whitepapers/video/trends-in-automotive-safety.pdf

LIDAR : Light Detection and Ranging (Pioneer)



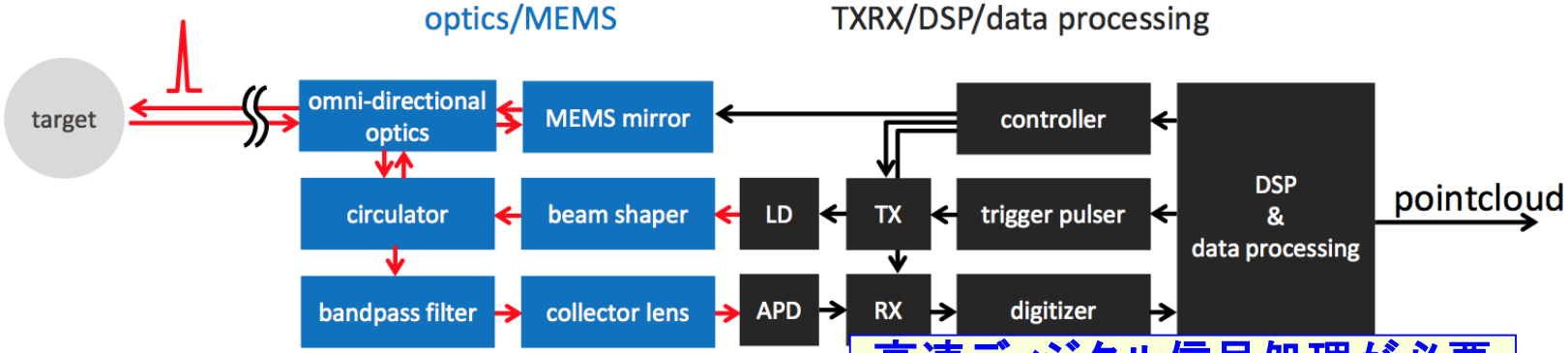
MEMS技術によりレーザー波を周辺角全体にスキャンすることで、高精度の距離測定が可能、低コスト化実現



レーザー発射波の反射を計測し、反射波の到達時間遅延から距離を高精度で測定

(1) Scanner
optics/MEMS

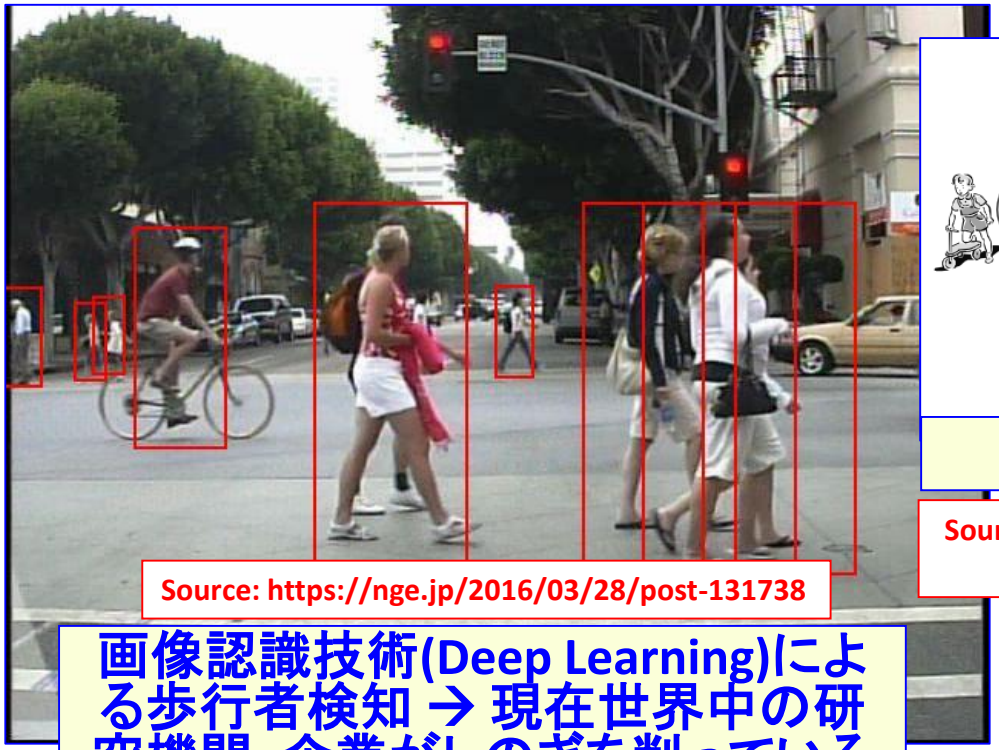
(2) System
TXRX/DSP/data processing



高速ディジタル信号処理が必要
→ 専用HW回路で実現

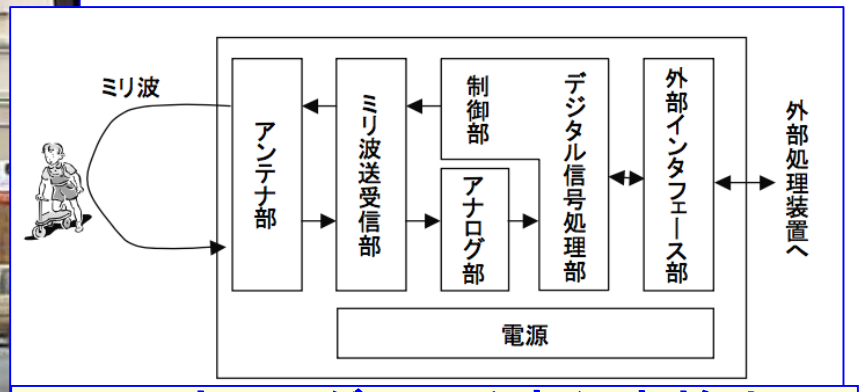
Source: Tsuyoshi Sato, MPSoC '17 (Annecy, France)

歩行者検知技術



Source: https://nge.jp/2016/03/28/post-131738

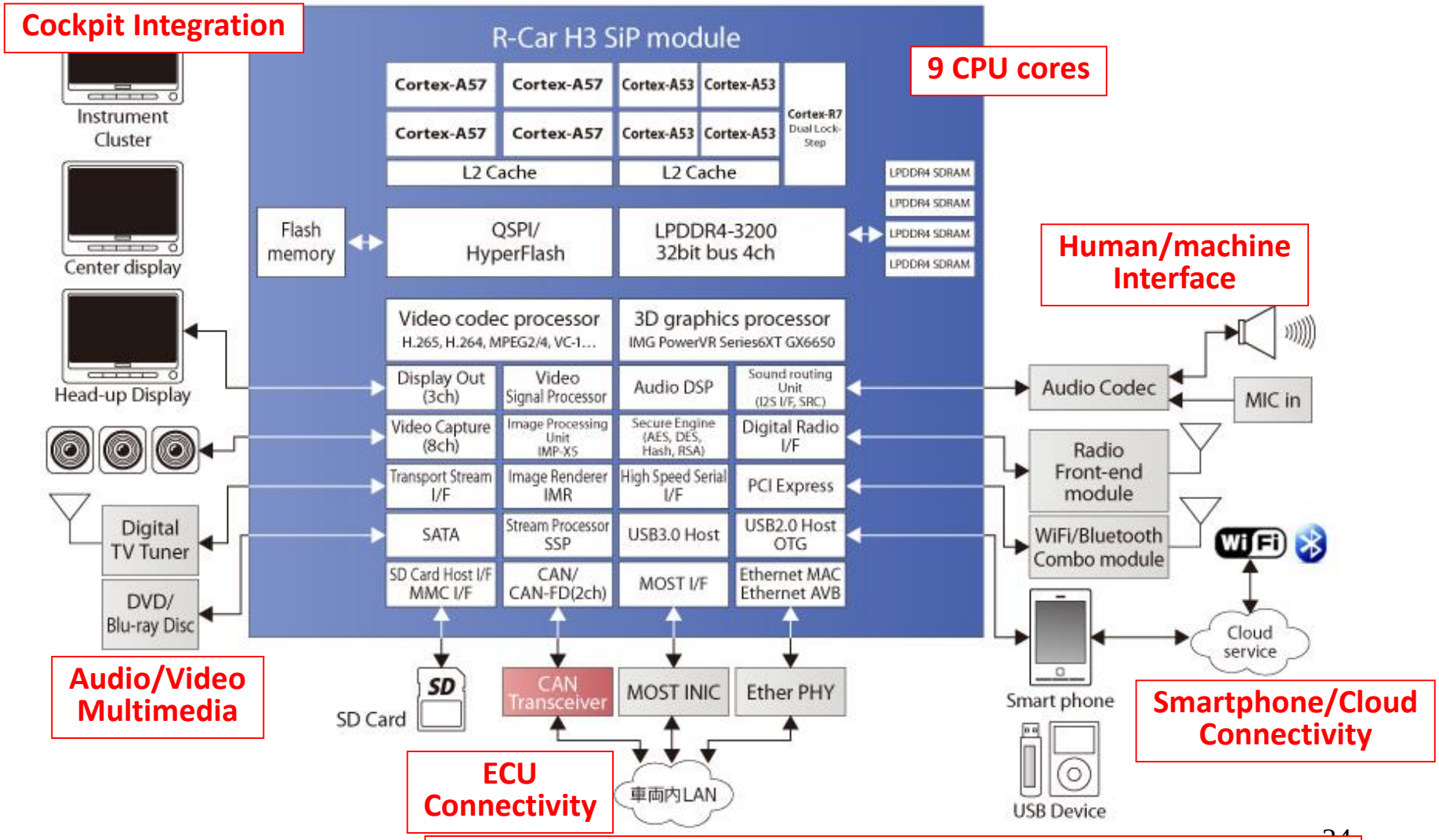
画像認識技術(Deep Learning)による歩行者検知 → 現在世界中の研究機関・企業がしのぎを削っている



ミリ波レーダによる歩行者検出

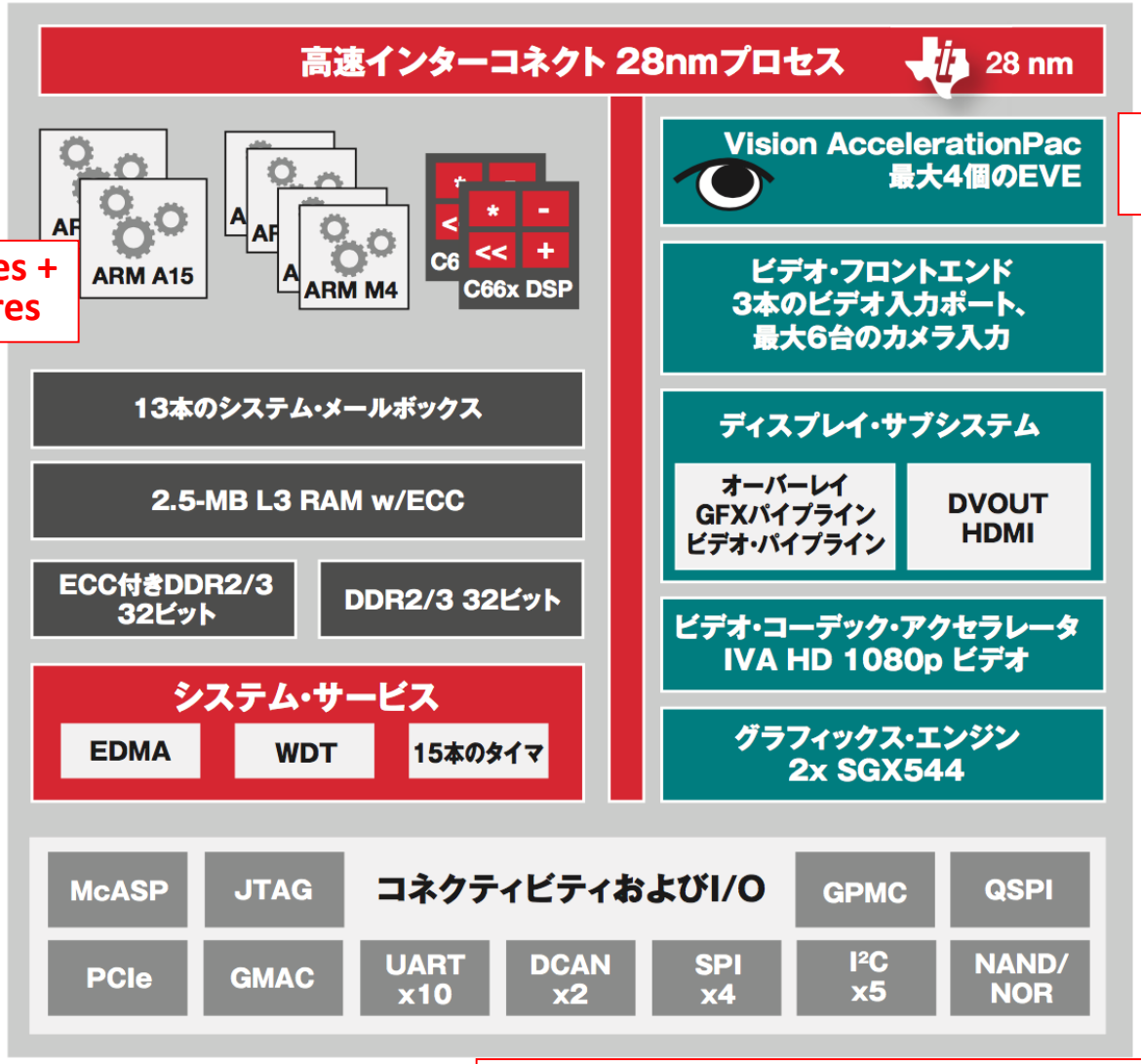
Source: http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/jmag/vol59-4/paper07.pdf

車載コックピット用SoC (Renesas R-Car H3)



Source: https://www.renesas.com/ja-jp/solutions/automotive/products/rcar-h3.html

車載画像認識用SoC (TI TDA2x)



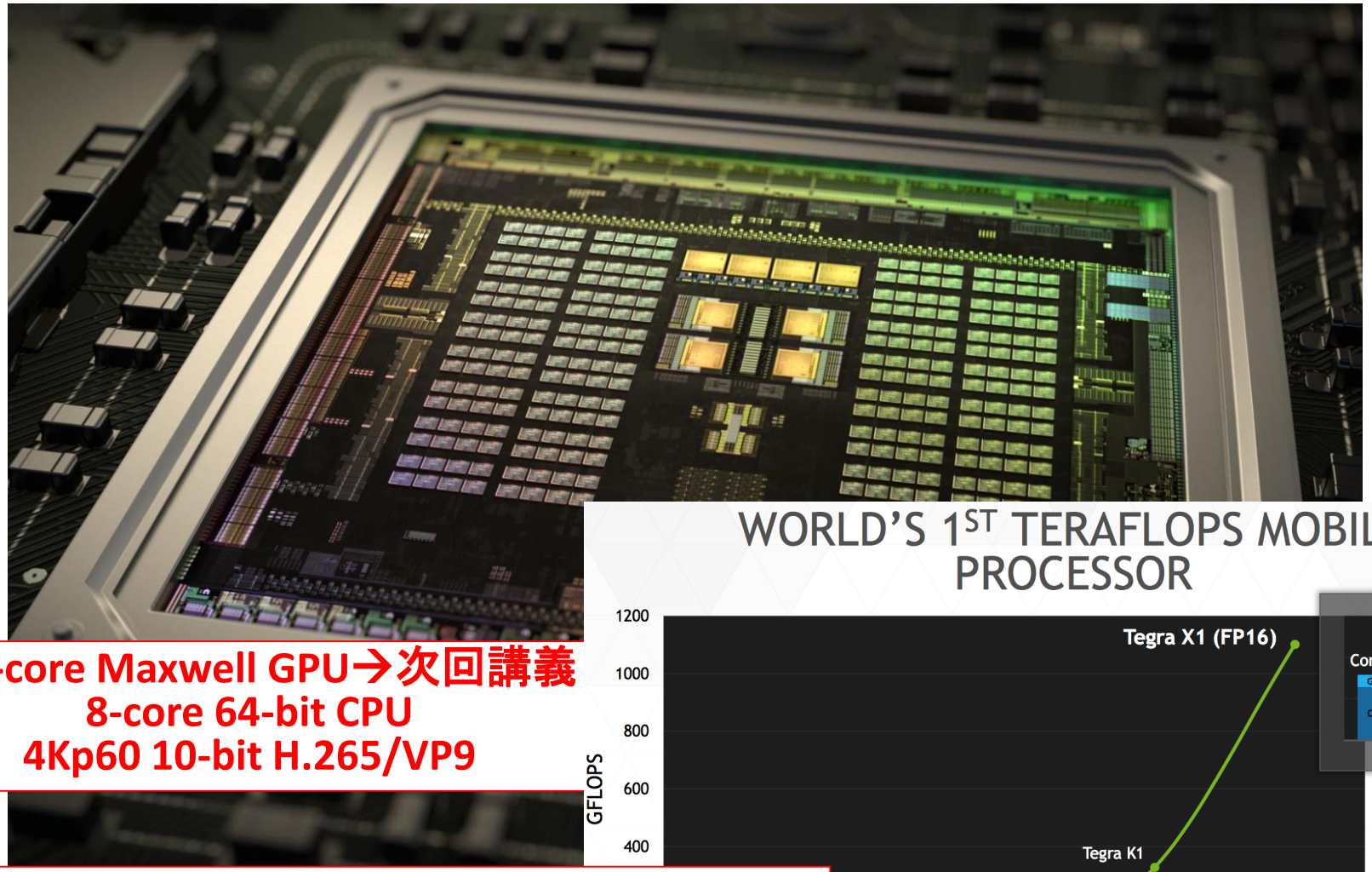
6 CPU cores +
2 DSP cores

16 MACs/clk
@ 650MHz

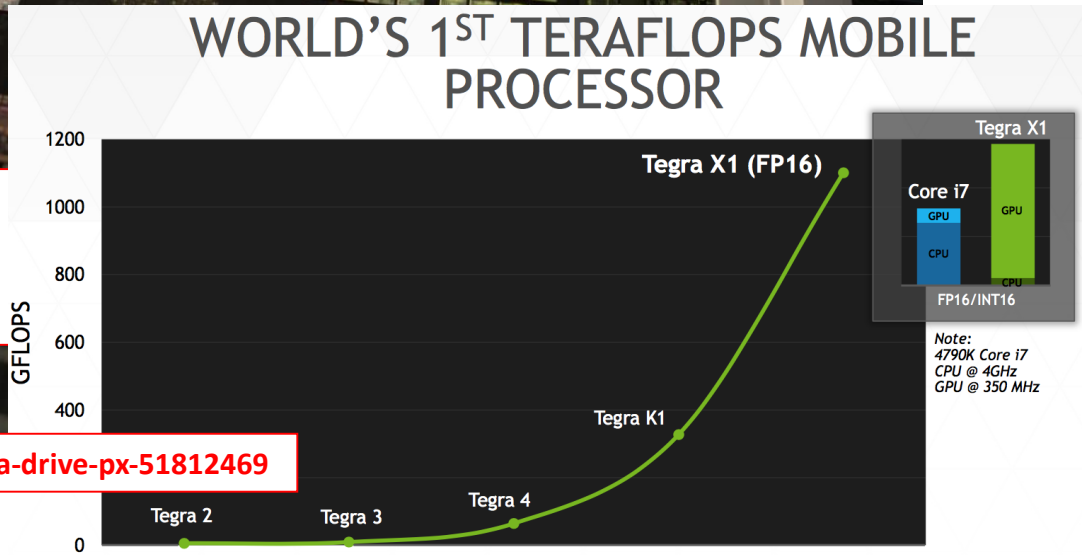
40GMACs

Source: http://www.tij.co.jp/tool/jp/tda2evm5777

Nvidia TegraX1車載用SoC



256-core Maxwell GPU→次回講義
8-core 64-bit CPU
4Kp60 10-bit H.265/VP9



Source: https://www.slideshare.net/NVIDIAJapan/nvidia-drive-px-51812469

本日の小テスト

（配布用紙に学籍番号・氏名を記入し、講義終了後に回収します）

下記設問2問以上の回答と講義の感想（自由記述）

1. 車載電子システムに搭載されているECUの4つの主要機能と、各4機能の具体的システム名をそれぞれ2つ以上挙げよ。
2. 車載用マイコンの主要な周辺回路やIO回路を述べよ。
3. 組込みソフトウェア階層を5つ挙げ、それぞれの機能を簡単に説明せよ。
4. 機器のリアルタイム制御を実現するマルチタスク処理の仕組みを簡単に説明せよ。
5. 今後の車載電子システムで必要となる機能やこれらを実現するための課題を述べよ。