

TOPPERSプロジェクトの概要と 最新の成果

2012年11月15日

高田 広章

名古屋大学 大学院情報科学研究科 教授
附属組込みシステム研究センター長

NPO法人 TOPPERSプロジェクト 会長

Email: hiro@ertl.jp URL: <http://www.ertl.jp/~hiro/>

目次

TOPPERSプロジェクトの概要

- ▶ TOPPERSプロジェクトとは？, プロジェクトの狙い
- ▶ 主な開発成果, 主な利用事例

最近の取り組みと最新の成果

- ▶ 重点的に取り組んでいるテーマ
- ▶ TOPPERS新世代カーネル, パーティショニング機能仕様
- ▶ 次世代車載システム向けRTOS
- ▶ TECS, SafeG, スペースワイヤOS

今後の方向性

- ▶ 組込みシステムの変化, 統合システムに求められる技術
- ▶ 次の10年を見据えた活動指針, 新しい取り組みテーマ

TOPPERSプロジェクトの概要

TOPPERSプロジェクトとは？

TOPPERS = Toyohashi Open Platform for
Embedded and Real-Time Systems



プロジェクトの活動内容

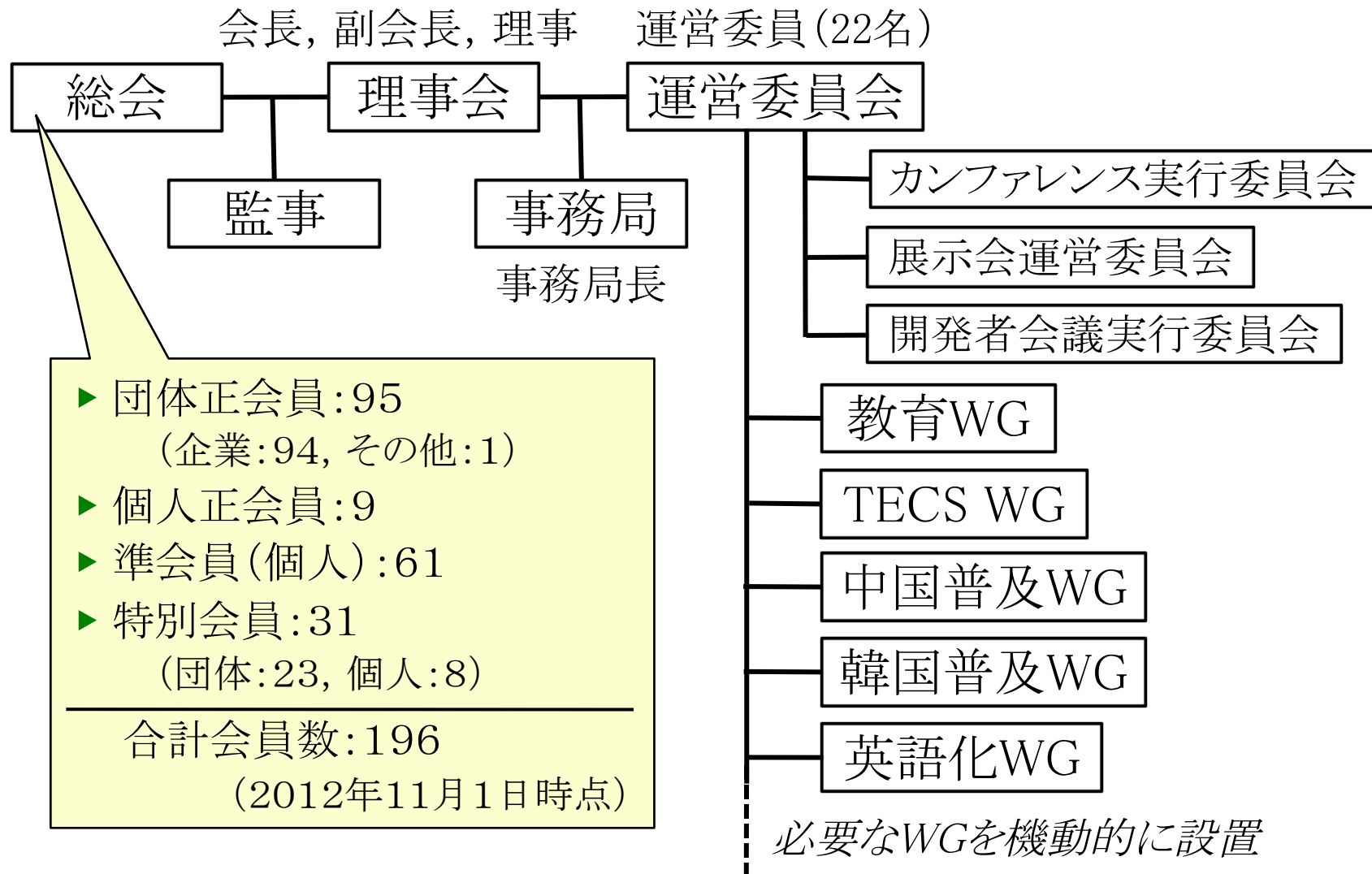
- ▶ ITRON仕様の技術開発成果を出発点として、組込みシステム構築の基盤となる各種の高品質なオープンソースソフトウェアを開発するとともに、その利用技術を提供

組込みシステム分野において、Linuxのように広く使われるオープンソースOSの構築を目指す！

プロジェクトの推進主体

- ▶ 産学官の団体と個人が参加する産学官民連携プロジェクト
- ▶ 2003年9月にNPO法人として組織化
- ▶ それ以前は、名古屋大学(2002年度までは豊橋技術科学大学)高田研究室を中心とする任意団体として活動

TOPPERSプロジェクトの組織と会員



TOPPERSプロジェクトの狙い

決定版のITRON仕様OSの開発

ほぼ完了

- ▶ ITRON仕様がかかえる過剰な重複投資と過剰な多様性の問題を解決(または軽減)

次世代のリアルタイムOS技術の開発

- ▶ 組込みシステムの要求に合致するし, ITRONの良さを継承する次世代のリアルタイムOS技術を開発

Linuxと類似のOSをもう1つ作っても意味がない!

- ▶ オープンソースソフトウェア化により産学官の力を結集

組込みシステム開発技術と開発支援ツールの開発

- ▶ 高品質な組込みシステムの効率的な開発を支援

組込みシステム技術者の育成への貢献

- ▶ オープンソースソフトウェアを用いた教育コースや教材を開発し, それを用いた教育の場を提供

主な開発成果（第1世代カーネル）

TOPPERS/JSPカーネル

最初の開発成果

- ▶ μ ITRON4.0仕様のスタンダードプロファイルに準拠したリアルタイムカーネル

TOPPERS/FI4カーネル

IPA

- ▶ μ ITRON4.0仕様のすべての機能を持つよう拡張

TOPPERS/ATK1 (Automotiveカーネル バージョン1)

- ▶ 自動車制御システム分野での国際標準であるOSEK/VDX OS仕様に準拠したリアルタイムカーネル

TOPPERS/FDMPカーネル

IPA

- ▶ 機能分散マルチプロセッサ向けのリアルタイムカーネル

TOPPERS/HRPカーネル

JAXAと共同開発

- ▶ メモリ保護機能などの高信頼システム向けの機能を追加
- ▶ JAXAが検証を実施

主な開発成果（新世代カーネル）

TOPPERS/ASPカーネル

新世代カーネルの出発点

- ▶ JSPカーネルに対して、信頼性・安全性・ソフトウェアポータビリティ向上のための各種の拡張・改良
- ▶ 拡張パッケージにより、オブジェクトの動的生成をサポート

TOPPERS/FMPカーネル

- ▶ ASPカーネルをマルチコアプロセッサ向けに拡張

TOPPERS/HRP2カーネル

- ▶ メモリ保護機能などの高信頼システム向けの機能を追加

TOPPERS/SSPカーネル

- ▶ 機能を最小限に絞り込んだリアルタイムカーネル

TOPPERS新世代カーネル統合仕様書

TOPPERSテストスイートパッケージ(TTSP)

- ▶ TOPPERS新世代カーネル用のテストスイート

主な開発成果 (ミドルウェア)

TINET 経済産業省 地域コンソ

- ▶ ITRON TCP/IP API仕様に準拠したコンパクトなTCP/IPプロトコルスタック
- ▶ IPv4とIPv6の両方に対応

FatFs for TOPPERS

- ▶ FAT12/16/32に対応したファイルシステム

CAN/LINミドルウェアパッケージ 経済産業省 地域コンソ

- ▶ CANとLIN向けの通信ミドルウェア

RLL (Remote Link Loader) IPA

DLM (Dynamic Loading Manager)

- ▶ いずれも、モジュールの動的なローディングを行うためのミドルウェア。実現アプローチが異なる

主な開発成果 (TECS, SafeG, ツール)

TECS (TOPPERS組込みコンポーネントシステム)

- ▶ 各種のソフトウェアモジュールを部品化し、必要な部品を組み合わせることによって大規模な組込みソフトウェアを効率的に構築するための技術(仕様とツール)

SafeG

- ▶ 1つのマイクロプロセッサ上で、汎用OSとRTOSを安全に共存して動作させるデュアルOSモニタ

TLV (TraceLogVisualizer)

- ▶ RTOS等のトレースログを可視化するためのツール

TOPPERS Builder

- ▶ Eclipse/CDTを用い、TOPPERSカーネルを用いた開発を支援する統合開発環境
- ▶ CD-ROMだけで立ち上げられるCD-ROMイメージを用意

主な開発成果（教育コンテンツ）

初級実装セミナーの教材

英語版, 中文版も用意

- ▶ RTOS上に組み込みソフトウェアを構築する手法の基礎を, 実習を通して学習するセミナーの教材

中級実装セミナーの教材

中文版も用意

- ▶ ネットワークプログラミングやシステム設計手法を学習

基礎1実装セミナーの教材

- ▶ 小規模な組み込みシステム開発とRTOSの基礎を学習

基礎2実装セミナーの教材

- ▶ RTOSの解説とサービスコールの実装体験を行う

独立の教育コンテンツ

- ▶ TOPPERS版鹿威し, TOPPERS二足歩行ロボット教材
- ▶ 組み込み技術者向けTECS教育教材
- ▶ ETロボコン向けTOPPERS活用セミナー教材

開発成果物の主な利用事例

コンシューマ機器への組み込み事例



PM-A970 (エプソン)



DO!KARAOKE
(松下電器産業)

945SH
(シャープ)



IPSiO GX e3300 (リコー)



UA-101 (Roland)



XW-P1 (カシオ)

産業機器等への組み込み事例



キザシ (スズキ)



H-IIIB (JAXA)

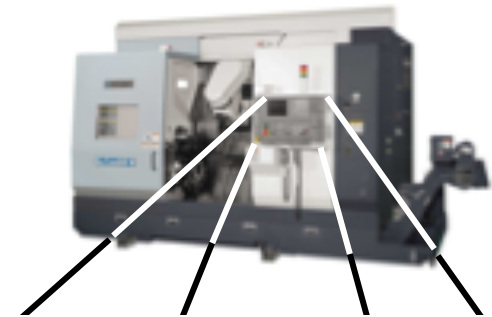


ASTRO-H (JAXA)
<開発中>

アーク溶接機
DP-350
(ダイヘン)



分光測色計 CM-3700A
(コニカミノルタ)



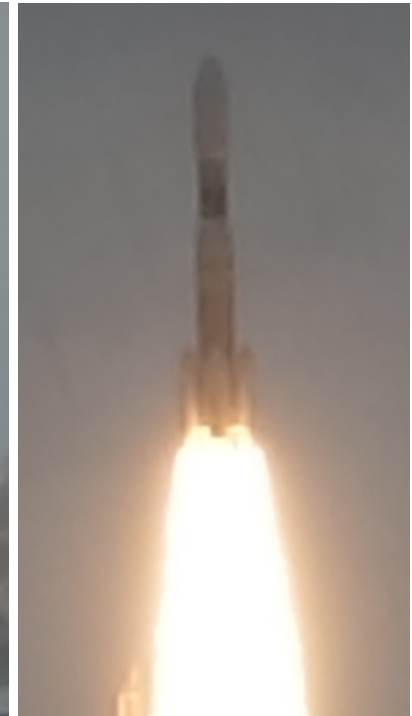
NC装置 OSP-P200
(オークマ)



HDDデュプリケータ
Demi XG3031 (YEC)

TOPPERS宇宙へ飛び立つ！

- ▶ TOPPERS/HRPカーネルが用いられた誘導制御計算機等を搭載したH-IIBロケットが、2012年7月21日に、種子島宇宙センターから打ち上げに成功



撮影：高田広章

最近の取り組みと最新の成果

重点的に取り組んでいるテーマ

次世代のリアルタイムカーネル技術

- ! 高信頼性・安全性・リアルタイム性を追求
- ▶ TOPPERS新世代カーネル(ITRON仕様からの発展)
- ▶ 次世代車載システム向けRTOS(AUTOSAR仕様をベース)

ソフトウェア部品化技術

- ▶ TECS(TOPPERS組込みコンポーネントシステム)

組込みシステム向けプラットフォームと開発支援ツール

- ▶ 各種のミドルウェアや仮想化技術
- ▶ 開発支援ツール(シミュレータ, 可視化ツール)
- ▶ 宇宙機向けソフトウェアプラットフォーム

技術者育成のための教材開発

- ▶ プラットフォーム技術者の育成
- ▶ ETロボコン向けプラットフォームと教材の提供

TOPPERS新世代カーネルの必要性

μITRON4.0仕様が公表されてから、すでに10年以上が経過
組込みシステムにおける要求の変化

- ▶ システム/ソフトウェアの一層の大規模化・複雑化
- ▶ これまで以上に高い信頼性・安全性
- ▶ 小さい消費エネルギーで高い性能

μITRON4.0仕様以降の各方面の技術開発成果

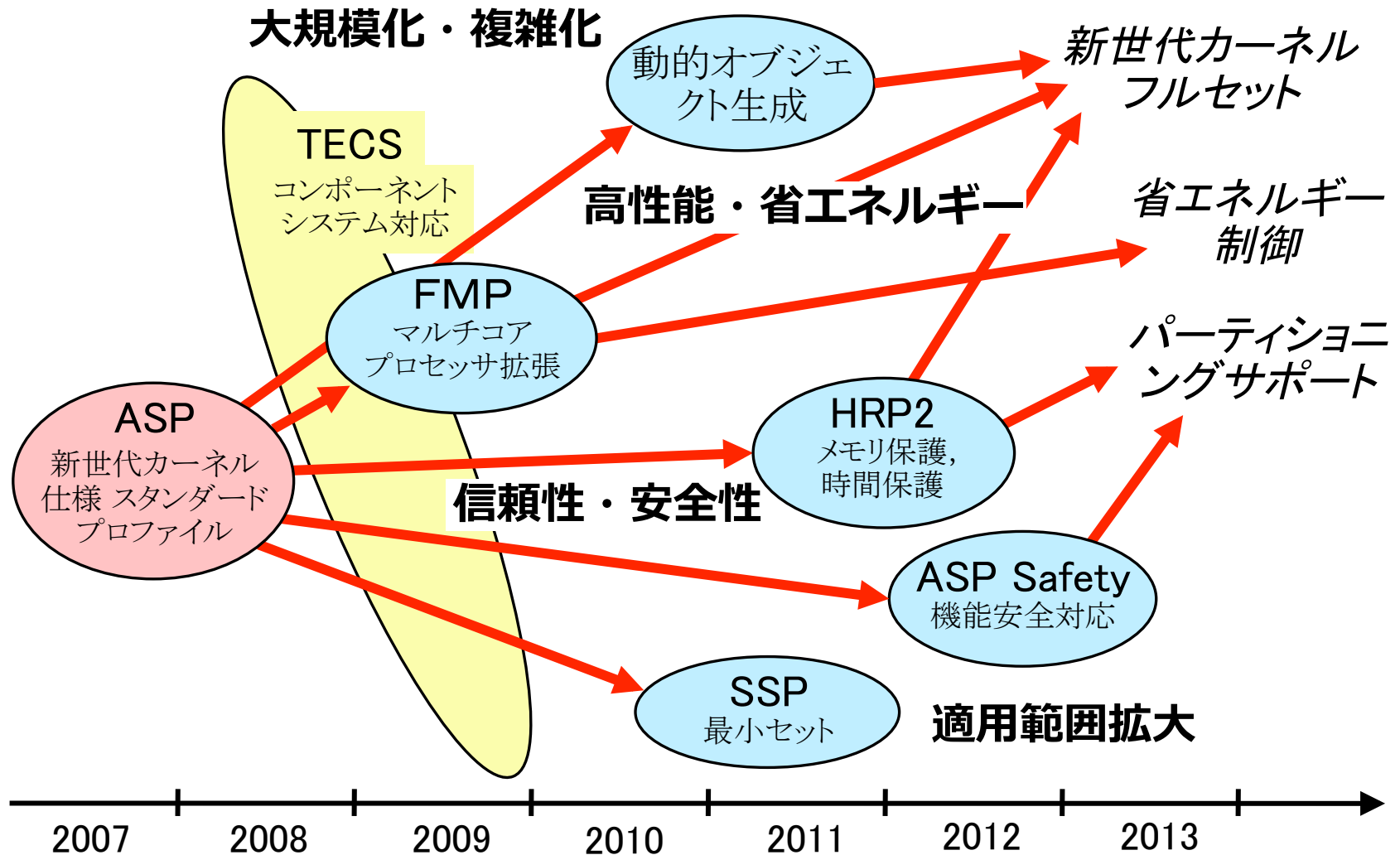
- ▶ マルチコアプロセッサ対応
- ▶ 保護機能(メモリ保護, 時間保護)
- ▶ 機能安全対応, 省エネルギー制御
- ▶ ソフトウェアの部品化への対応

μITRON4.0仕様で完成度が低かった箇所の改良

- ▶ システムコンフィギュレーション手順など

→これらの要求にこたえる新しいカーネル仕様が必要

TOPPERS新世代カーネル開発ロードマップ



TOPPERS新世代カーネルの開発状況

TOPPERS/HRP2カーネル

- ▶ 高信頼システム向けに、各種の保護機能(メモリ保護機能とオブジェクトアクセス保護機能, オーバランハンドラ機能など)を持ったリアルタイムカーネル
- ▶ 2012年5月に最初のバージョンをリリース. 改良が進行中

TOPPERS/FMPカーネル

- ▶ マルチコアプロセッサ対応のリアルタイムカーネル
- ▶ 動的負荷分散機能の研究開発が進行中

TOPPERS/SSPカーネル

- ▶ 機能を最小限に絞り込んだリアルタイムカーネル
- ▶ 2012年6月に改良版をリリース

新しい機能仕様の検討

- ▶ プロセッサ時間のパーティショニング機能仕様の検討

パーティショニング機能仕様の検討

仕様検討の背景

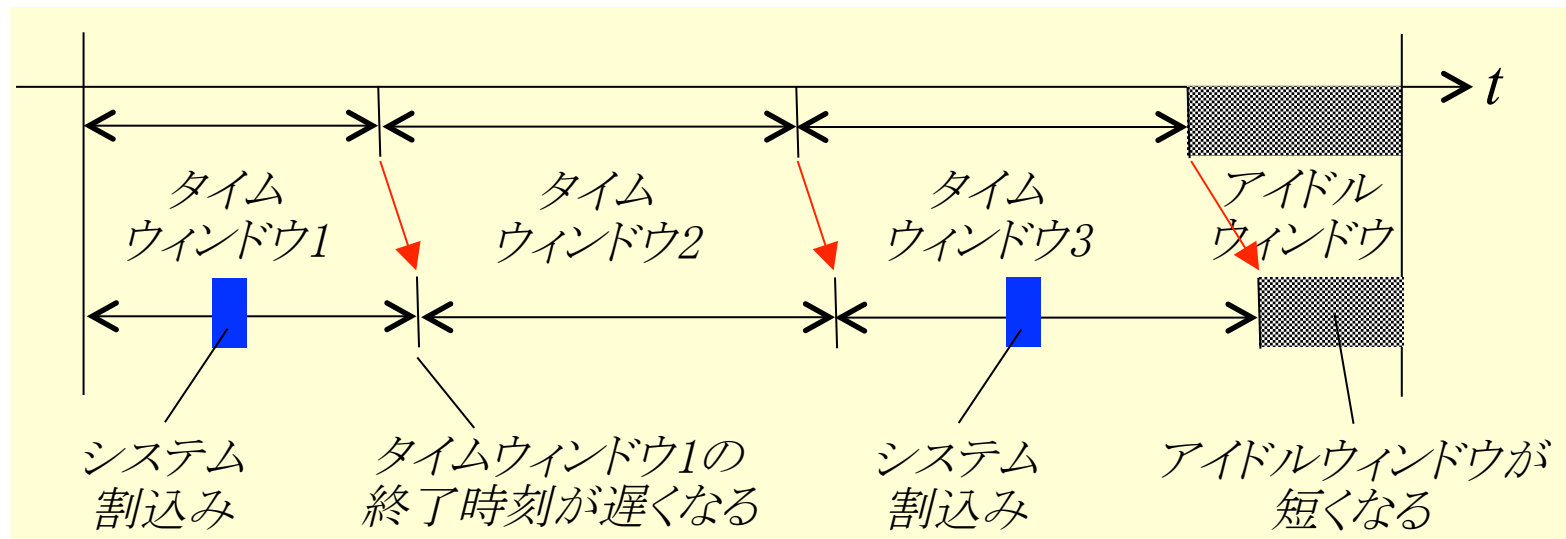
- ▶ 機能安全規格への対応が求められる中で、ソフトウェアの開発/検証コストを最適化するために、パーティショニング機能は不可欠
- ▶ 良いパーティショニング規格がない(AUTOSAR OS仕様は、時間保護に問題が多い)

策定した仕様におけるパーティション間の時間保護

- ▶ 各パーティションは、システム周期内で各パーティションを実行するタイムウィンドウを決める方式(航空機向け規格であるARINC 653で採用)をベースとして、システム割込み(タイムウィンドウによらずに受け付けられる割込み)を許すように拡張した方式でスケジュール
- ▶ パーティション内で複数のタスクを実行する場合には、従来のOSと同じ方式でスケジュール(階層型スケジュール)

システム割込みのタイムウィンドウへの影響

- ▶ あるタイムウィンドウの途中でシステム割込みが処理された場合、そのタイムウィンドウの終了時刻は、システム割込みの処理時間分、遅くなる
- ▶ システム割込みを使用する場合には、システム周期の最後に、システム周期内で要求されるシステム割込みの最大合計処理時間以上のアイドルウィンドウを置く



次世代車載システム向けRTOS

TOPPERS/ATK2

- ▶ AUTOSAR OS仕様をベースとした次世代の車載制御システム向けのリアルタイムカーネル
- ▶ 最初のバージョン(AUTOSAR OS仕様 SC1のフルセットとSC3(メモリ保護)のサブセットに相当する機能を実現)を、2013年1月にリリース予定
- ▶ 名古屋大学 組込みシステム研究センター(NCES)を中心に、13社の企業が参加するコンソーシアム型共同研究において開発
 - ▶ ATK2の検証スイートや、トレーサビリティの取れた設計書の開発も実施
 - ▶ マルチコア拡張や、ATK2上で動作する通信ミドルウェア(AUTOSAR COM仕様ベース)の開発が進行中

ATKと新世代カーネルとの関係

- ▶ TOPPERS新世代カーネル … ITRON仕様ベース
- ▶ ATK … OSEK/AUTOSAR OS仕様ベース
 - ▶ ATK1 … OSEK OS仕様仕様
 - ▶ ATK2 … AUTOSAR OS仕様ベース
- ▶ TOPPERS新世代カーネルにおいて開発した技術を、AUTOSAR OS仕様の実現に活用している(リアルタイムカーネルとしての基本機能は類似)
 - ▶ メモリ保護機能(特にコンフィギュレーション方法)
 - ▶ マルチコアプロセッサ対応
- ▶ 逆に, AUTOSAR OS仕様の方が進んでいるところは, TOPPERS新世代カーネルにも取り込む
 - ▶ 外部時刻同期機能
- ▶ パーティション機能は両者に共通のものを導入

TECS (TOPPERS組込みコンポーネントシステム)

TECSとは?

- ▶ 各種のソフトウェアモジュールを部品化し、必要な部品を組み合わせることによって大規模な組込みソフトウェアを効率的に構築するための技術

TECSの特徴とアプローチ

- ▶ コンポーネント間の結合を静的にし、最適化を可能に
- ▶ すべてのソフトウェアをコンポーネントとして扱える
- ▶ 遠隔呼出し(RPC)のためのコンポーネントをツールにより生成

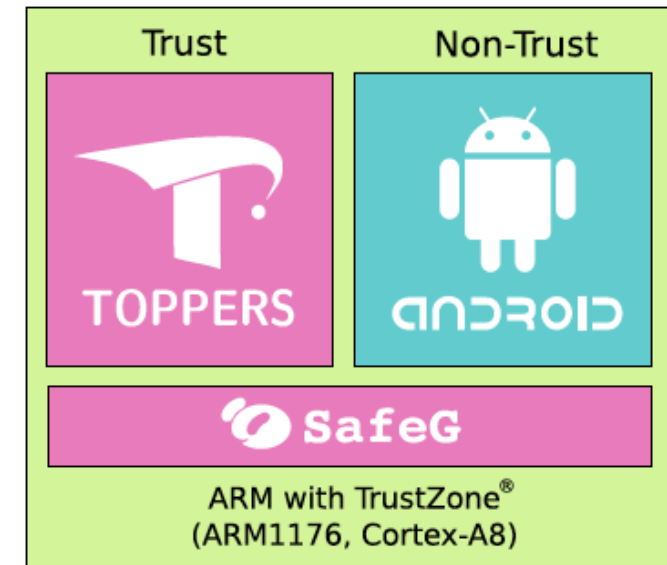
最近の取り組みと成果

- ▶ 2012年6月に、RPCをサポートしたバージョンをリリース
- ▶ 軽量Rubyとの連携機能などを開発中

SafeG

SafeGの概要

- ▶ 1つのマイクロプロセッサ上で、汎用OS (LinuxやAndroid)とRTOSを安全に共存して動作させるデュアルOSモニタ
- ▶ ARM TrustZone技術を活用
- ▶ 汎用OSにセキュリティホールがあり、特権モードで不正なプログラムが動作しても、RTOS側を保護できる



最近の取り組みと成果

- ▶ 2012年7月に以下の機能を持ったバージョンをリリース
 - ▶ マルチコアプロセッサ対応
 - ▶ OS間通信機能
 - ▶ グローバルスケジューリング機能

スペースワイヤOS

スペースワイヤ(SpaceWire)とは？

- ▶ 次世代の宇宙機向け通信ネットワーク規格
- ▶ 国内外の科学衛星への採用が始まっている
- ▶ 国内においては、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)が中心になって研究開発

スペースワイヤOSの構成

- ▶ カーネルにTOPPERS/HRP2カーネルを利用
- ▶ スペースワイヤ上での通信機能を実現するミドルウェア

研究開発の計画

- ▶ NCESとJAXAの共同研究により開発中
- ▶ 2011年度:ミドルウェアの仕様検討(特にリアルタイム性保証手法の検討)とカーネルのポーティング
- ▶ 2012年度:ミドルウェアの開発

今後の方向性

組み込みシステムの変化

制御と情報処理の統合（統合システム，融合システム）

- ▶ 情報通信技術と組み込みシステム技術を活用したスマート社会を構築することが世界的な流れ
 - ▶ スマートグリッド，スマートコミュニティ，エネルギーITS，…
- ▶ 組み込みシステムと情報システムを結合した大規模な統合システム（融合システム）の構築が重要に

ネットワークによる機能再配置 ← クラウドコンピューティング

- ▶ それぞれのサービスの複雑化はさらに進むと思われる
- ▶ すべての機器がネットワーク接続されれば，すべての機器が汎用・多機能である必要はない
 - ! パラダイムチェンジの時期の見極めが難しい

消費電力あたりの性能の向上

- ▶ 新しいハードウェア技術の導入が必要

クラウドコンピューティングと組み込みシステム

クラウドコンピューティング

- ▶ 本質はネットワークによる機能再配置
- ▶ 集中処理(現在のクラウドコンピューティング) vs. 分散処理は、繰り返す歴史

クラウドコンピューティングはエネルギー効率が低い(はず)

- ▶ 高性能な計算機(サーバ)は、低性能な計算機(例えば、モバイル端末)よりも、エネルギー効率が低い
- ▶ データを運ぶのに要するエネルギーも大きい
 - ▶ 計算 vs. 通信のコストトレードオフも繰り返す歴史(今は通信が安い?)
- ▶ サーバで音声認識をするのは正しいか?
- ▶ ビッグデータを必要としない処理は、分散処理する方向に戻ってくると思われる

Googleのデータセンター



立ち上る水蒸気

⇒ <http://www.google.com/about/datacenters/gallery/>



データセンター内のカラフルな配管



データセンター内のサーバ群

統合システム開発上の課題と求められる技術

統合システム開発上の課題

- ▶ 異なる開発文化(情報システム vs. 組込みシステム)の擦り合わせが不可欠
- ▶ 社会インフラ化することと、物理的な世界とつながることから、より高いディペンダビリティが要求される

統合システムに求められる技術

- ▶ ビッグデータの解析結果を圧縮(抽象化?)する技術
- ▶ 統合システムモデリング技術とそれを用いた(上流での)検証技術, それを支援するツール
 - ▶ 情報システムと組込みシステムの役割分担(ディペンダビリティ要求も含めて)を早期に検証することが必要
- ▶ 安全性(セーフティ)と情報セキュリティの両立

次の10年を見据えた活動指針 (2011年度に策定)

Smart Futureのための組込みシステム技術

- ▶ 組込みシステム技術を、持続可能なスマート社会の実現 (Smart Future) のための重要な要素技術の1つと位置づけ、その研究開発と普及に取り組む
- ▶ それに向けての研究開発課題
 - ▶ Safety & Security
 - ▶ Ecology (高エネルギー効率)
 - ▶ Connectivity

コンソーシアムによるオープンソースソフトウェア開発

- ▶ 同じ技術に関心を持つプロジェクトメンバによりコンソーシアムを結成し、複数組織の協力によりソフトウェアを開発
- ▶ 開発したソフトウェアは、TOPPERSプロジェクトからオープンソースソフトウェアとして公開

TOPPERSの新しい取り組みテーマ

情報セキュリティ技術の強化

- ▶ SafeGを要素技術として活用
 - ▶ ファイアウォールとしてのSafeG
 - ▶ 自己診断の機構としてのSafeG(二重の防御機構)

ビッグデータに向けたデータ処理プラットフォーム

- ▶ 組込みシステム向けデータストリーム管理システム(DSMS)
 - ▶ NCESを中心とするコンソーシアム型共同研究において開発中のDSMS (Claudia)を、将来はオープンソース化

Smart Futureに向けたミドルウェア

- ▶ ECHONET Liteミドルウェア(計画中)