

お断り: 配布した資料に対して一部修正があります

TOPPERSプロジェクトの概要と 最新の成果

2011年11月17日

高田 広章

NPO法人 TOPPERSプロジェクト 会長

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

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

目次

組込みシステム開発の課題と方向性

- ▶ 組込みシステム開発の課題
- ▶ 組込みシステム開発効率化と品質確保のために

TOPPERSプロジェクトの概要

- ▶ プロジェクトの狙い, TOPPERSとプラットフォーム
- ▶ 主な開発成果, 主な利用事例

最近の取り組みの最新の成果

- ▶ 重点的に取り組んでいるテーマ
- ▶ TOPPERS新世代カーネル, TOPPERS/SSPカーネル
- ▶ TOPPERS/ATK2, TECS, SafeG, スペースワイヤOS

組込みシステムの今後とTOPPERSの今後の活動方針

- ▶ 次の10年を見据えた活動方針

組込みシステム開発の課題と方向性

組込みシステム開発を取り巻く状況

半導体技術
の進歩



従来からの組込みシステムの大規模化・複雑化

- ▶ 機器の複合化・デジタル化・ネットワーク化
- ▶ 制御要素に情報処理要素が複合
- ▶ コンピュータ制御による高機能化・高付加価値化

組込みシステムの適用分野が拡大

- ▶ コンピュータの小型化・低価格化により広がる適用分野

開発期間の短縮やコストダウンに対する要求

- ▶ 製品の早期の市場投入が収益を大きく左右
 - ▶ 新興国との競争の中で今まで以上のコストダウン要求
- QCDの3つを同時に満たすことが困難に

(単一の)プロセッサの高速化の限界

- ▶ 消費電力(=発熱量)が最大の制約条件に

組み込みシステム/ソフトウェア開発の課題

設計品質の確保/向上

- ▶ システムの大規模化により、ディペンダビリティ(信頼性, 安全性, セキュリティ, ...)の確保が困難に

開発の効率化(生産性の向上)

- ▶ システムの複雑化や品質要求により, 開発効率が低下

その他にも多くの技術的課題(主なもの)

- ▶ 新しいハードウェア技術(例: マルチコア)への対応
- ▶ これまで以上に高い信頼性・安全性の達成
- ▶ 低消費エネルギー(電力)化
- ▶ 情報セキュリティの確保

その背景にある深刻な問題

！余っているのは人手

組み込みシステム技術者(人財)不足

組込みシステムの開発効率化と品質確保のために

すぐにできること

- ▶ ソフトウェア開発プロセスの地道な改善
 - ▶ CMMI, SPICE, 機能安全規格等が参考に
 - ▶ 取り組みにあたっては注意が必要 … 後述
- ! 人材育成 … 時間はかかるが着手はすぐにできる

中期的に取り組むべきこと

- ▶ 設計抽象度を上げる
- ▶ 設計資産の再利用を促進する仕組みの構築
 - ▶ ソフトウェアの再利用は、差分開発が中心の組込みシステム開発では特に有効
- ▶ 応用分野毎のプラットフォームの構築・活用と共通化
 - ▶ プラットフォーム＝ハードウェア＋OS＋ミドルウェア

設計抽象度を上げる

設計抽象度を上げる意義

- ▶ 設計物を少ないライン数で記述できるようにする
 - ▶ 一人の技術者がある時間で開発できるライン数は、記述言語によらずほぼ一定(と言われている)
- ▶ 設計の早い段階(上流開発工程)での検証を可能にする
 - ▶ 開発の手戻りを小さくする

設計抽象度を上げるアプローチ

- ▶ 過去:アセンブリ言語からC言語へ
- ▶ 現在:モデルベース開発
 - ▶ ソフトウェアのモデルを記述し, そこからプログラムを(自動)生成することで, 記述量を削減
 - ▶ モデルの段階で設計検証を実施

設計資産の再利用を促進する仕組みの構築

設計資産の質の向上

- ▶ 設計資産の再利用は重要だが、レガシー化は避けなければならない(設計根拠を記述したドキュメントが重要)
- ▶ 質の高い設計資産を社内で蓄積することも重要だが、非競争領域については業界レベルで蓄積すべき

再利用を前提とした開発プロセス

- ▶ 設計資産の品質を維持するためには、開発プロセスや組織から考えることが重要
 - ➔ プロダクトライン型ソフトウェア開発

ソフトウェアの部品化の促進

- ▶ ソフトウェアを再利用しやすい形(部品)で開発する
- ▶ ソフトウェアの部品化技術が重要に

プラットフォームの構築・活用と共通化

応用ドメイン毎のプラットフォーム構築

- ▶ 多様な組込みシステムを、1つのプラットフォームでカバーするのは不可能
- ▶ 適切な範囲(これが難しい)の応用ドメインを設定し、それに向けたプラットフォームを構築

プラットフォーム活用によるコスト低減と品質向上

- ▶ 多くのアプリケーションで同一のプラットフォームを用いることで、(アプリケーションあたりの)プラットフォーム開発コストを削減
- ▶ システムの品質確保のために鍵となる部分であり、開発リソースを集中させて高品質なプラットフォームを構築することで、システムの品質向上につながる
- ▶ プラットフォームの共通化・標準化が重要に

プラットフォームの共通化・標準化の例

- ▶ 社内でのプラットフォーム共通化
 - 例) パナソニックのUniPhier (ユニフィエ)
 - ▶ プロセッサとビデオコーデックなどを含むシステムLSIと、ミドルウェアやOSなどのソフトウェアからなるデジタル家電用の統合プラットフォーム
- ▶ 業界内でのプラットフォーム標準化
 - 例) AUTOSAR → <http://www.autosar.org/>
 - 例) JASPAR → <http://www.jaspar.jp/>
 - ▶ 自動車制御システム向けのプラットフォームやツールの標準化
- ▶ デファクト標準によるプラットフォーム標準化
 - ▶ モバイル情報端末(携帯電話等)向けのプラットフォームは、2～3種類程度に収束していくだろう

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

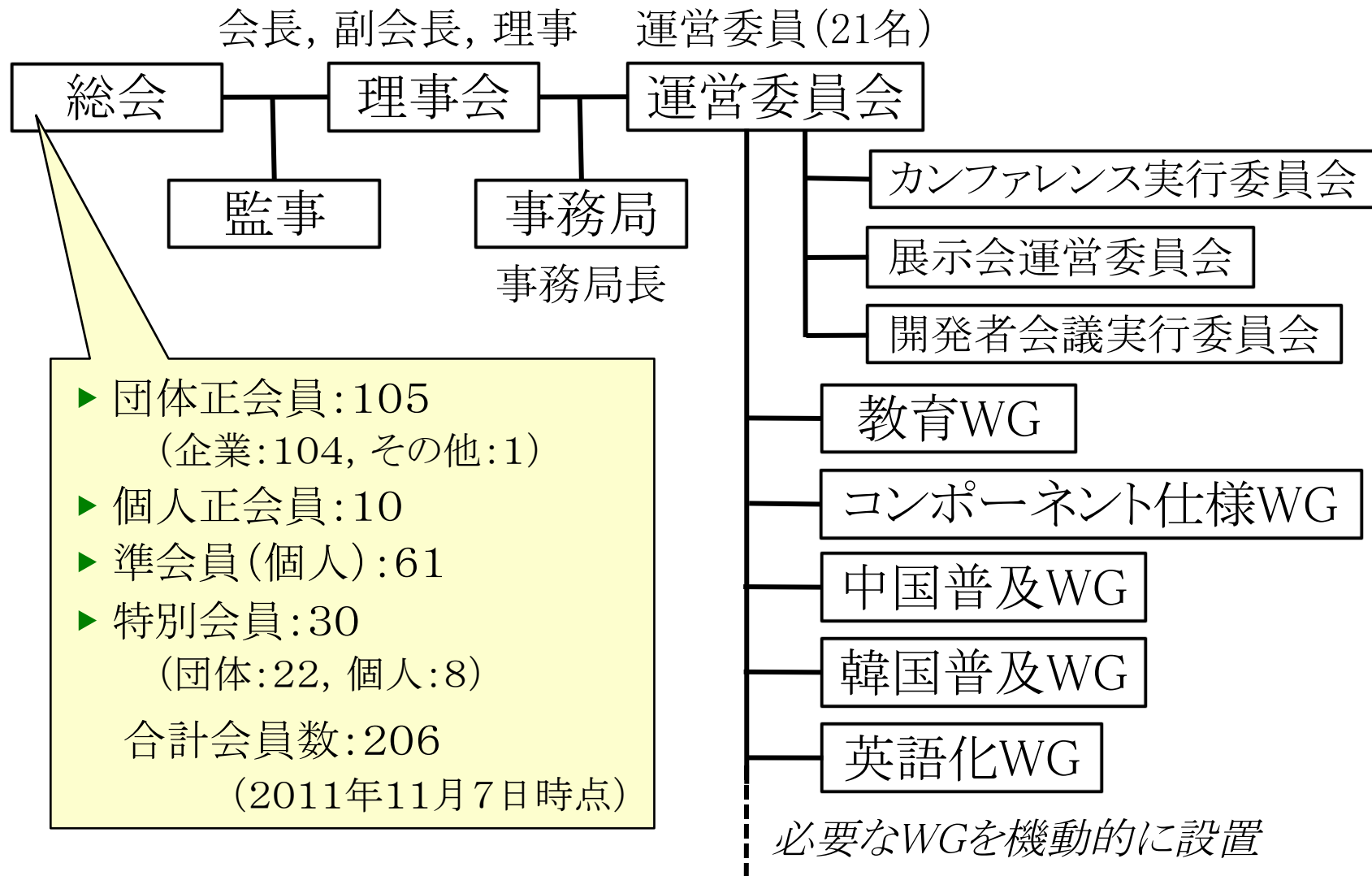
- ▶ ITRON仕様の技術開発成果を出発点として、組み込みシステム構築の基盤となる各種の高品質なオープンソースソフトウェアを開発するとともに、その利用技術を提供

組み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

TOPPERSとプラットフォーム

- ▶ TOPPERSプロジェクトは、組込みシステムのプラットフォーム構築技術を開発する
 - ! TOPPERSの2つめの“P”は、プラットフォームの“P”
- ▶ 各応用分野向けのプラットフォームを開発するわけではなく、応用分野毎のプラットフォームを構築するために必要な部品(コンポーネント)を開発する
 - ▶ ただし、自動車制御システム向けについては、実際のプラットフォーム開発まで行う
- ▶ また、それらの部品を組み上げてプラットフォームを構築するための技術の開発にも取り組んでいる
 - ▶ TECS:組込みシステム向けのコンポーネントシステム
- ▶ 質の高い設計資産を業界レベルで蓄積する

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新世代カーネル統合仕様書

- ▶ μ ITRON4.0仕様をベースに、最近10年の新しい要求に対応できるように改良・拡張したカーネル仕様
- ▶ 作成中（ASP, FMP, HRP2カーネルの仕様記述は完成）

TOPPERSテストスイートパッケージ（TTSP）

- ▶ TOPPERS新世代カーネルのテストスイート
- ▶ 独自の記法によるテストシナリオと、そこからテストプログラム生成するためのツールを含むパッケージ

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 (TraceLog Visualizer)

- ▶ 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)



GT-541 (ブラザー工業)



UA-101 (Roland)

産業機器等への組み込み事例



キザシ (スズキ)

アーク溶接機
DP-350
(ダイヘン)



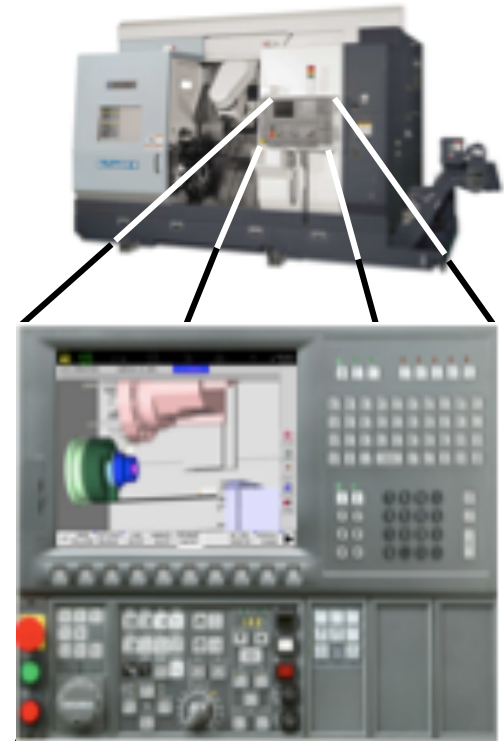
H-IIIB (JAXA)
<開発中>



ASTRO-H (JAXA)
<開発中>



マイクロプレート
分析装置 AP-X
(協和メデックス)



NC装置 OSP-P200
(オークマ)

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仕様の公表から、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

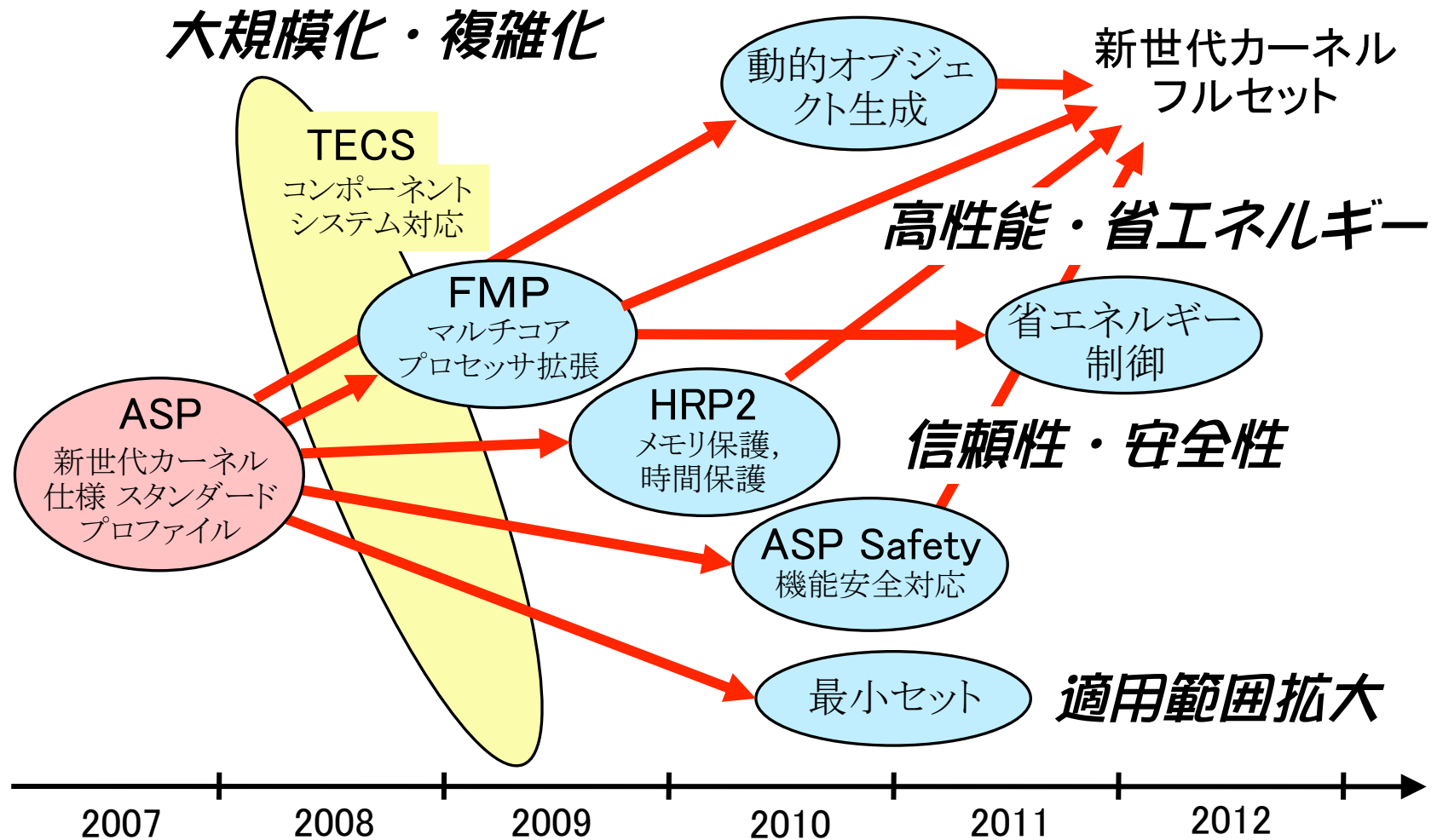
- ▶ マルチコアプロセッサ対応
- ▶ 保護機能(メモリ保護, 時間保護)
- ▶ 機能安全対応, 省エネルギー制御
- ▶ コンポーネントシステム対応

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



※ リリース前のカーネルの名称は仮称

リリース済みの開発成果（再掲）

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新世代カーネル統合仕様書

- ▶ μ ITRON4.0仕様をベースに、最近10年の新しい要求に対応できるように改良・拡張したカーネル仕様
- ▶ 作成中（ASP, FMP, HRP2カーネルの仕様記述は完成）

TOPPERSテストスイートパッケージ（TTSP）

- ▶ TOPPERS新世代カーネルのテストスイート
- ▶ 独自の記法によるテストシナリオと、そこからテストプログラム生成するためのツールを含むパッケージ

新たにリリースする開発成果

TOPPERS/SSPカーネル(最小セット)

- ▶ TOPPERS 2010年度公募型事業の採択テーマとして, 名古屋市工業研究所と杉本明加氏(個人会員)が開発
- ▶ 機能を最小限に絞り込んだリアルタイムカーネル
 - ▶ タスクの状態は, 実行状態, 実行可能状態, 休止状態の3つのみ(つまり, 待ち状態を持たない)
 - ▶ 優先度毎のタスク数を1つに制限
- ▶ 標準構成のサイズ(カーネルのみ, Cortex-M3, gcc)
 - ▶ ROM: 約3Kバイト
 - ▶ RAM: 24バイト
- ▶ Cortex-M3, M32C, M16Cをサポート

開発中のソフトウェア

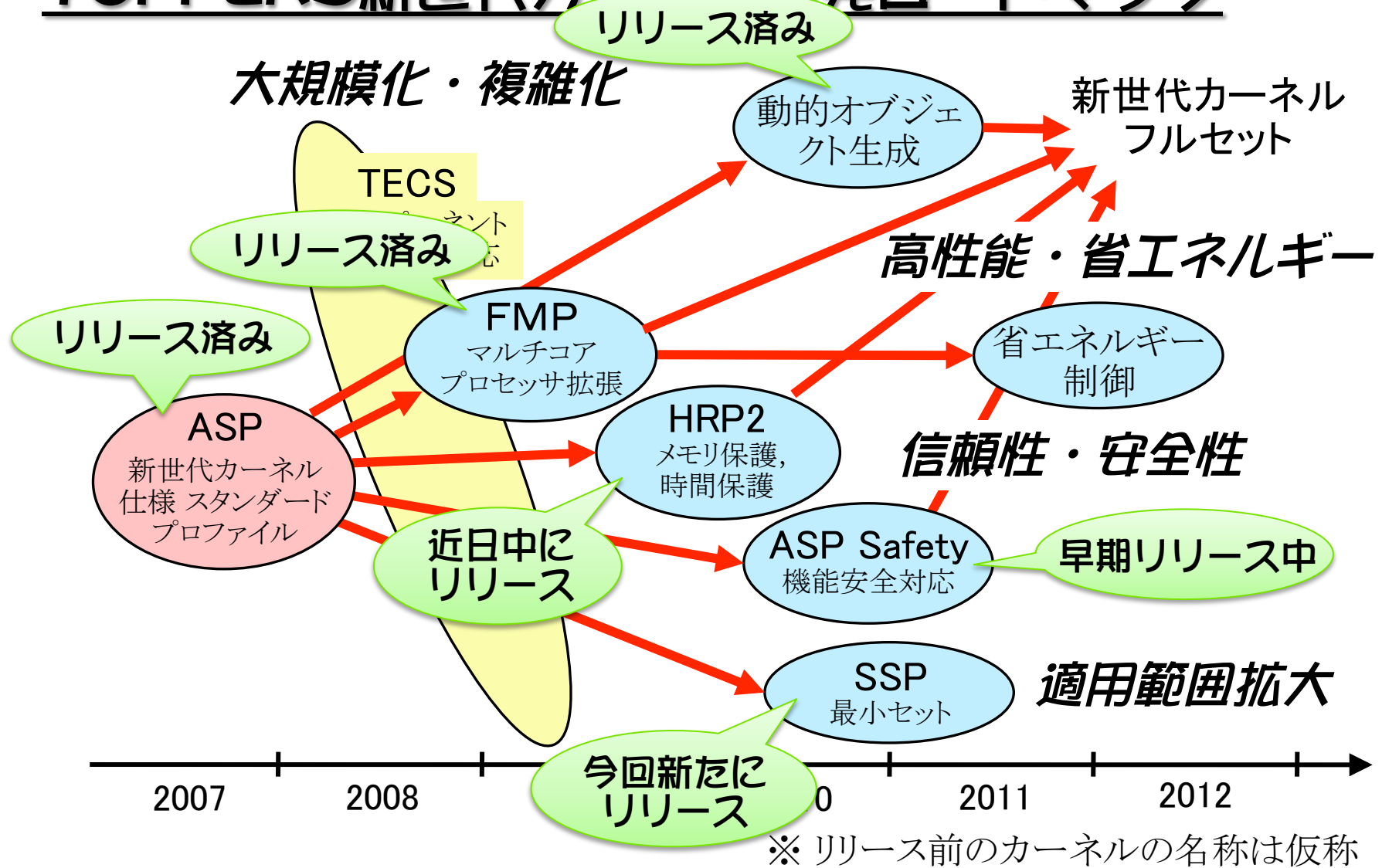
TOPPERS/HRP2カーネル

- ▶ 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
- ▶ 現在, 開発の最終段階
- ▶ 近日中に一般公開を開始する予定

TOPPERS/ASP Safetyカーネル(機能安全対応)

- ▶ (株)ヴィッツが機能安全規格IEC 61508のSIL 3に準拠したソフトウェアプロセスに基づいて開発
- ▶ ASPカーネルの機能を徹底的な検証が可能な範囲にサブセット化したもの
- ▶ 2010年12月から会員向けに早期リリース

TOPPERS新世代カーネル開発ロードマップ



次世代車載システム向けRTOSに関するコンソーシアム

プロジェクトの位置付け

- ▶ 名古屋大学 組込みシステム研究センター(NCES)が設定した研究開発テーマに、複数の企業の参加を得て研究・開発を進めるコンソーシアム型共同研究
- ▶ 2011年11月時点で、11の企業が参加(さらに参加を検討している企業がある)

参加企業(2011年11月時点, 五十音順)

- | | |
|-------------|--------------------------|
| ▶ (株) ヴィッツ | ▶ 日本電気通信システム(株) |
| ▶ (株) OTSL | ▶ パナソニック アドバンスステクノロジー(株) |
| ▶ (株) サニー技研 | ▶ 富士ソフト(株) |
| ▶ (株) デンソー | ▶ 富士通VLSI(株) |
| ▶ (株) 東芝 | ▶ ルネサス エレクトロニクス(株) |
| ▶ トヨタ自動車(株) | |

研究開発体制

- ▶ 参加企業から、計12名の技術者がNCESに常駐(内2名はハーフタイムでの従事)
- ▶ 名古屋大学の教員・研究員6名が参加(内1名がフルタイムで従事)

研究開発の内容

- ▶ AUTOSAR OS仕様をベースとした次世代の車載組込みシステム向けのRTOS仕様の策定
- ▶ 策定した仕様に基づいたRTOSの実装と評価
- ▶ 検証スイートの開発

研究開発成果の取扱い

- ▶ 開発したRTOS(検証スイートを除く)は、開発終了後、TOPPERSプロジェクトより、TOPPERS/ATK2の名称でオープンソースソフトウェアとして一般公開

プロジェクトの期間

- ▶ まずは, 2011年4月～2012年3月
- ▶ 3年間程度, 継続実施する計画

2011年度の取り組み領域

- ▶ RTOS仕様の策定
 - ▶ AUTOSAR OS仕様の問題点や曖昧な点を修正
- ▶ RTOSの実装と評価
 - ▶ AUTOSAR OS仕様のSC1(基本セット)のすべてとSC3(メモリ保護)の一部の実装
 - ▶ トレーサビリティの取れた設計ドキュメント
 - ▶ 通信ミドルウェアを搭載して, 機能と性能を評価
- ▶ 検証スイートの開発
 - ▶ 実装したRTOSのテストスイート
 - ▶ コードカバレッジ(MC/DC) 100%を目指す

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(コンポーネント技術)を用いる利点

- ▶ 大規模な組込みソフトウェアの見える化
- ▶ ソフトウェア部品の流通性・再利用性の向上
- ▶ 分散フレームワークによる分散システムの開発効率化

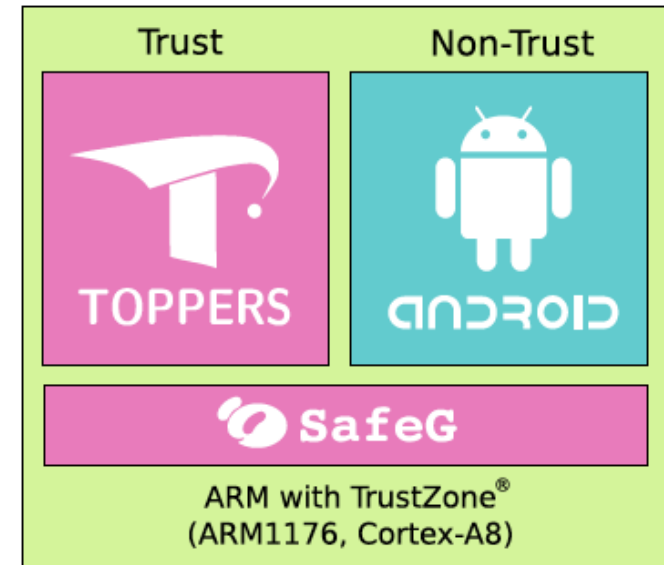
TECSの特徴とアプローチ

- ▶ 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(現時点では未完成)

SafeG

SafeGの概要

- ▶ 1つのマイクロプロセッサ上で、汎用OS (LinuxとAndroid) とRTOS (ASPカーネル) を安全に共存して動作させるデュアルOSモニタ
- ▶ ARM TrustZone技術を用い、RTOSをTrust状態、汎用OSをNon-Trust状態で実行
- ▶ 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



リリース・開発計画

- ▶ 2011年6月に、オープンソースとして配布開始
- ▶ 名古屋大学 組込みシステム研究センター&高田研究室で各種の拡張開発が進行中

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

組込みシステムの今後と TOPPERSの今後の活動指針

TOPPERSプロジェクトのこれまでと現状

第1期:ITRON仕様の実装

- ▶ 1999年頃:μITRON4.0仕様に準拠したリアルタイムカーネルの開発を開始
- ▶ 2000年11月:JSPカーネルとして公開
- ▶ 2003年9月:NPO法人 TOPPERSプロジェクト発足
- ▶ 2004年4月:FI4カーネル, ATK1 (OSEK/VDX OS仕様)

第2期:TOPPERS新世代カーネル

- ▶ 2006年頃:TOPPERS新世代カーネルの開発を開始
- ▶ 2007年11月:ASPカーネルを早期リリース, TOPPERS新世代カーネル開発ロードマップを公表
- ▶ 2011年11月(現在):開発ロードマップの大部分を達成

第3期へ進むべき時期に来ている

組み込みシステムの今後の変化

制御と情報処理の統合（統合システム）

- ▶ 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, エネルギーITS, スマート...
- ▶ 組み込みシステムと情報システムを結合した大規模なシステム (System of Systems) 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

次の10年を見据えた活動指針

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

(共同) 開発者を募集 – まとめて代えて

- ▶ TOPPERSのソフトウェア開発に参加して下さる会社を募集
 - ▶ コンソーシアム型開発への発展の可能性も

具体的な開発案件(現時点での主なもの)

- ▶ 次世代のリアルタイムOS
 - ▶ TOPPERS新世代カーネル
 - ▶ 次世代車載システム向けRTOS
- ▶ 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
 - ▶ SafeG
 - ▶ TLV (トレースログ可視化ツール)
 - ▶ ScheSim (スケジューリングシミュレータ)
- ▶ 技術者育成のための教材開発