

TOPPERSプロジェクトの最新成果と 今後の活動指針

2011年5月19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/>

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プロジェクトの狙い

決定版のITRON仕様OSの開発

- ▶ 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

- ▶ 組み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

組み込みシステム開発技術と開発支援ツールの開発

- ▶ 高品質な組み込みシステムの効率的な開発を支援

組み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

これまでの主な開発成果（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に拡張

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

これまでの主な開発成果（新世代カーネルとTECS）

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

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カーネルの仕様の記述は完成）

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）

これまでの主な開発成果（ミドルウェア, ツール）

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. IPv6にも対応

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

TLV (TraceLog Visualizer)

- ▶ RTOS等のトレースログを可視化するためのツール

これまでの主な開発成果（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(講義テキスト, 配付資料, 環境設定用のプログラムなど)

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

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)

FMPカーネルの
最初の採用事例

945SH
(シャープ)



IPSiO GX e3300 (リコー)



GT-541 (ブラザー工業)



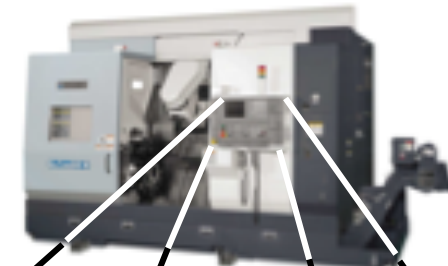
UA-101 (Roland)

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)

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(OSEK/VDX, AUTOSAR仕様をベースに)

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)

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

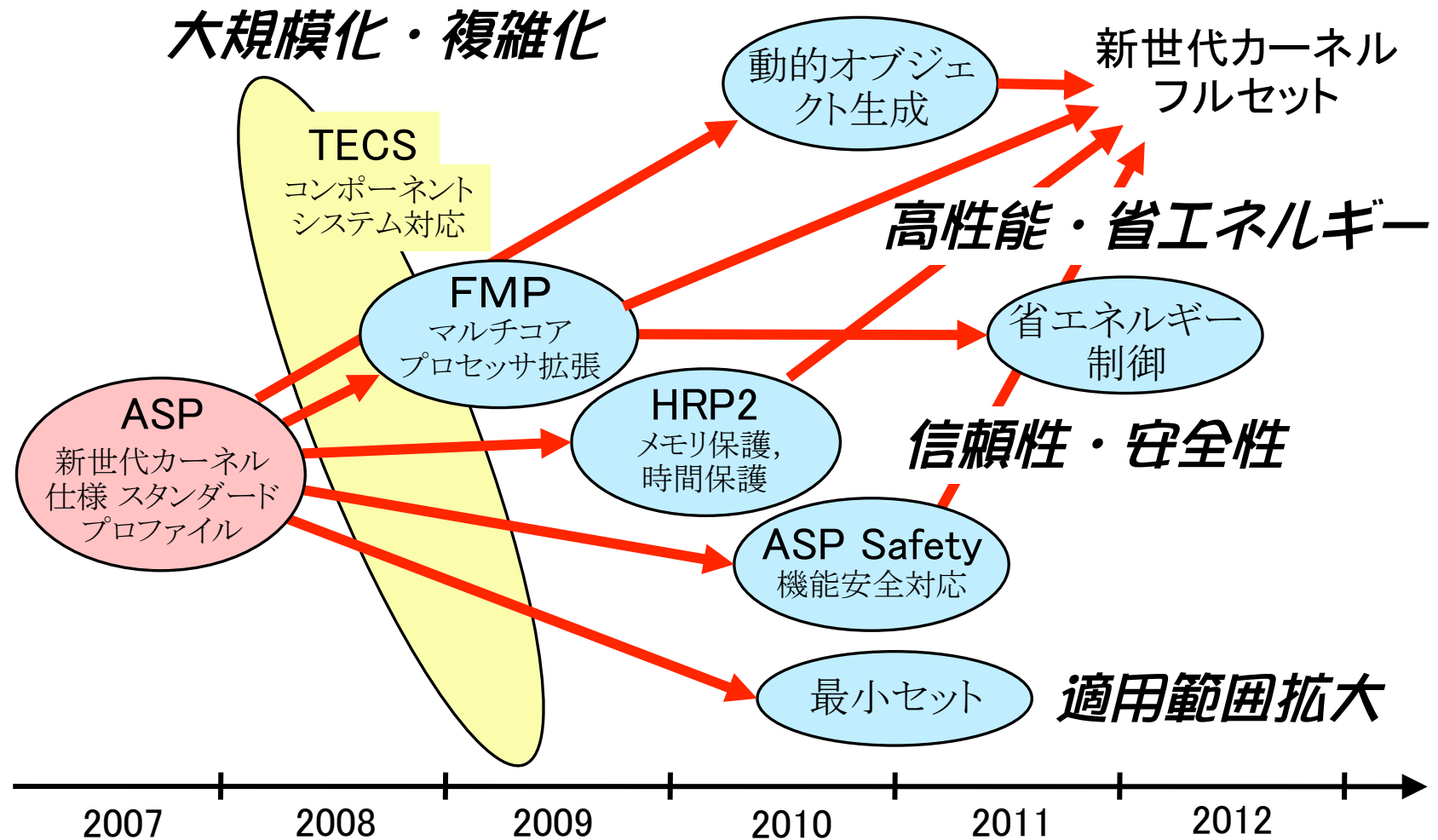
- ▶ マルチコアプロセッサ対応
- ▶ 保護機能(メモリ保護, 時間保護)
- ▶ 機能安全対応, 省エネルギー制御
- ▶ コンポーネントシステム対応

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

TOPPERS新世代カーネルの開発状況

TOPPERS新世代カーネル統合仕様書

- ▶ TOPPERS新世代カーネルに属する一連のリアルタイムカーネルの仕様を統合的に記述した仕様書
- ▶ 今回配布を開始したRelease 1.3.0で, ASP・FMP・HRP2の各カーネル
 - ▶ すでにμITRON4.0仕様書を越えるボリュームに

TOPPERS/ASPカーネル

- ▶ TOPPERS新世代カーネルの出発点
 - ▶ μITRON4.0仕様のスタンダードプロファイルに相当する機能を持つ
- ▶ 今回配布を開始したRelease 1.7.0は, 拡張パッケージにより, オブジェクトの動的生成機能や制約タスクをサポート

TOPPERS組込みコンポーネントシステム(TECS)

- ▶ 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
- ▶ 2009年6月に仕様書とツールを配布開始
- ▶ 近日中に配布開始予定のバージョンでは、分散システム開発を支援するための遠隔手続き呼出しをサポート

TOPPERS/FMPカーネル

- ▶ マルチプロセッサ対応のリアルタイムカーネル
- ▶ すでに携帯電話機に採用された事例
- ▶ TTSP(後述)による検証がほぼ完了
- ▶ 近日中に配布開始予定のRelease 1.2.0は、さらに安定性を増したものに

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
- ▶ 近日中に正式版(Release 1.0)の会員向けの早期リリースを開始する予定

TOPPERS/ASP Safetyカーネル(機能安全対応)

- ▶ 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
- ▶ (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
- ▶ 2010年12月から会員向けに早期リリース

動的オブジェクト生成

- ▶ ASPカーネル Release 1.7.0の拡張パッケージの形で実現
- ▶ 一般公開済み

TOPPERS/SSPカーネル(最小セット)

- ▶ 機能を最小限に絞り込んだリアルタイムカーネル
- ▶ TOPPERS公募型事業の採択テーマとして開発中
- ▶ 近日中に早期リリースを開始する予定

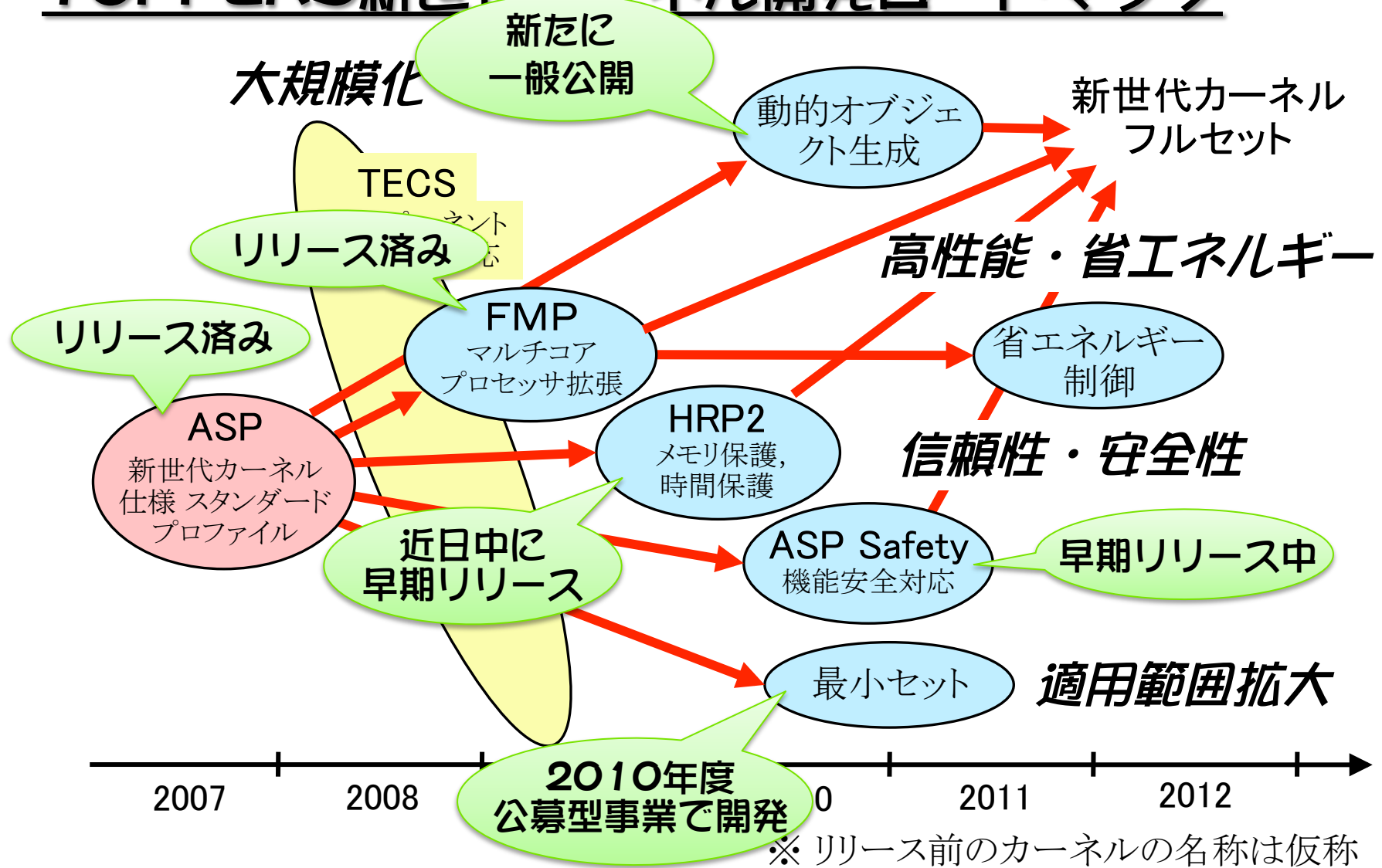
省エネルギー制御

- ▶ 名古屋大学 組込みシステム研究センター(NCES)が中心になって実施した組込みシステムの消費エネルギー最適化の研究において、TOPPERS新世代カーネルに省エネルギー制御機構を組み込む方法を提案
- ▶ 今後、実用化できる技術へと発展させていく計画

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
- ▶ テスト品質と保守性を向上させるために、独自の記法によるテストシナリオから、ツールによりテストプログラムを生成する形態
- ▶ 本日付けで、ASPカーネルの仕様を網羅するためのテストシナリオと、テストプログラム生成ツールを含むパッケージの配布を開始
 - ▶ 1779件のテストケースを含む
 - ▶ 統合仕様書やASPカーネルの不具合発見に貢献
- ▶ FMPカーネルに対するテストスイートの開発も完了しており、1年後に配布開始する予定

TOPPERS新世代カーネル開発ロードマップ



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5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

組込みシステムの今後の変化

！組込みシステムの社会インフラ化 制御と情報処理の統合（統合システム）

- ▶ 組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
 - ▶ 欧米の学会では、Cyber Physical Systemと呼ばれている

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

- ▶ 個々のサービスの高度化・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

背景 ～ 重要性を増す統合システム

- ▶ 持続可能な社会の実現を目指して、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, …
- ▶ このようなシステムは, 社会インフラ化すること, 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
 - ➔ 日本が強みが生かせる分野なのでは？

実現を目指す技術

- ▶ Smart Futureのための組み込みシステム技術

開発体制

- ▶ 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

Smart Futureのための組込みシステム技術

- ▶ 組込みシステム技術は、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

Safety & Security

- ▶ 安全性とセキュリティを両立させる技術が不可欠
- ▶ 具体的な取り組み例: SafeG

Ecology (高エネルギー効率)

- ▶ エネルギー効率の高い組込みシステム開発技術が必要
- ▶ 具体的な取り組み例: マルチコア (さらにはメニーコア), 省エネルギー制御

Connectivity

- ▶ 低コスト・省エネルギー・高ディペンダビリティでの接続
- ▶ 具体的な取り組み例: TECSの分散システム開発支援機能

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

これまでのソフトウェア開発形態と課題

- ▶ ソフトウェアやその部分毎に、プロジェクトメンバ(研究教育機関 or 企業 or 個人)が担当
- ▶ 組込みソフトウェアの大規模化・複雑化により、1つの組織だけで開発するのが難しい状況が増えている

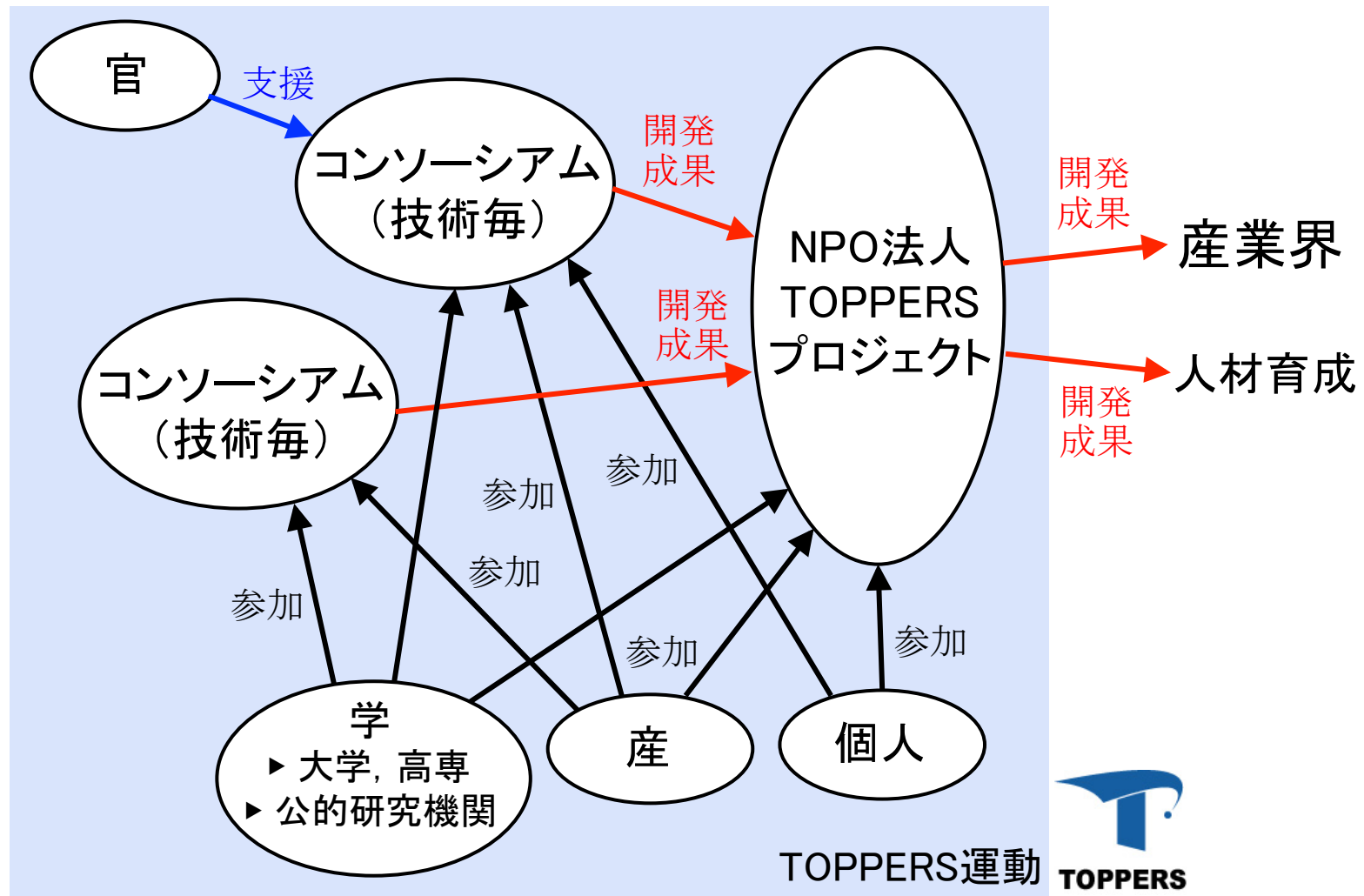
コンソーシアムによるソフトウェア開発

- ▶ 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
- ▶ できたソフトウェアは、TOPPERSプロジェクトからOSS化

NPO法人 TOPPERSプロジェクトの役割

- ▶ 産業界へ提供・普及する窓口
- ▶ プロジェクト全体の枠組みや方向性を定めるハブ

コンソーシアムによるOSS開発



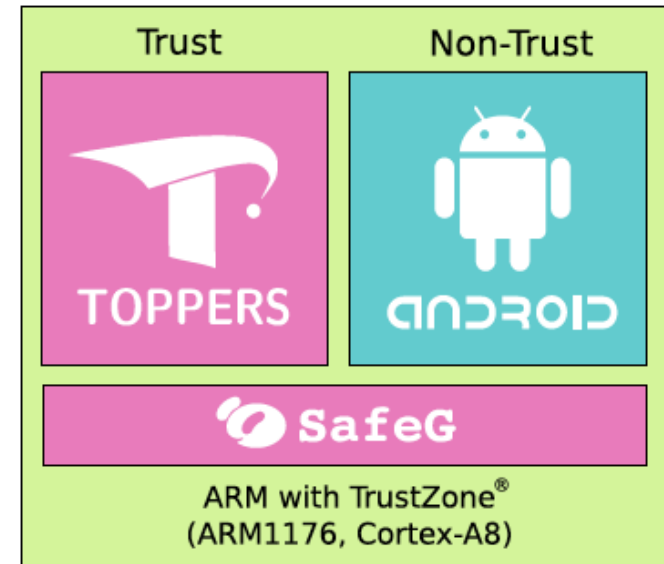
SafeG：高信頼組込みシステム向けデュアルOSモニタ

SafeGとは？

- ▶ 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
- ▶ 名古屋大学 組込みシステム研究センター(NCES)と、高田研究室で開発

SafeGの最大の特徴

- ▶ ARM TrustZone技術を用い、RTOSをTrust状態、汎用OSをNon-Trust状態で実行し、RTOSと汎用OSを時間的・空間的に分離
- ▶ 汎用OSにバグやセキュリティホールがあり、汎用OSのカーネルが誤動作したり、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



開発の背景

- ▶ 最近の組込みシステムは、ネットワークに接続することで豊富な機能を提供することが求められる一方で、高い安全性やリアルタイム性が必要な処理も実行する必要
- ▶ ネットワーク接続による豊富な機能の実現と高信頼性の確保という相反する要求に、1つのOSだけで応えることは難しい
- ▶ LinuxやWindowsのような汎用OSと、ITRON仕様やAUTOSAR仕様のようなRTOSを併用するアプローチが有効
- ▶ 仮想マシン(VM)やハイブリッドOSの技術は、実行時オーバヘッドが大きいという問題や、OS自身の不具合には対処できないという問題がある

SafeGのその他の特長

- ▶ RTOS側のリアルタイム性を保証
 - ▶ RTOS側の割込みが常に優先され、それによりOSの切換えを行うため、汎用OSの実行によって、RTOS上で動作するアプリケーションのリアルタイム性が阻害されない
- ▶ 小さい実行時オーバヘッド
 - ▶ ARM TrustZone技術を活用することによって、OS間の切換え時間が1～2μ秒程度 (ARM1176JZF-S, 210MHzで測定)
- ▶ 汎用OSに加える修正が少ない
 - ▶ 汎用OSのバージョンを上げる必要がある場合にも、容易に追従することができる
- ▶ SafeG自身は小規模で信頼性確保が容易
 - ▶ SafeG自身は、コードサイズ(バイナリ)が1.5KB以下と小規模なソフトウェアで、信頼性を確保することが容易

今回リリースするSafeG

- ▶ シングルコアプロセッサのみに対応
- ▶ 汎用OSとしてLinuxおよびAndroidを, RTOSとしてTOPPERS/ASPカーネルを用いている

今後の開発計画

- ▶ OS間通信機能, より柔軟なスケジューリング機構, マルチコアプロセッサのサポートなどの開発が進行中
 - ▶ 順次リリースする計画
- ▶ NCESでは, NCESと共同でSafeGの開発を進める企業を募集中. SafeGをテーマにコンソーシアム型共同研究を実施することも検討

次世代車載システム向けRTOSに関するコンソ

活動の位置づけと名称

- ▶ 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
- ▶ 次世代車載システム向けRTOSの仕様検討および開発に関するコンソーシアム型共同研究(略称:ATK2コンソ)

参加企業(2011年5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 アドバンステクノロロジー(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

ベースとする研究開発成果

- ▶ TOPPERS新世代カーネル
- ▶ NCESで開発したAUTOSAR仕様ベースのRTOS仕様と実装
 - ▶ マルチコアプロセッサにも対応. 国際的にも最先端の技術であると自負
- ▶ NCESを中心とするコンソ型共同研究で開発したRTOSの検証支援ツールと検証スイート(TTSP)

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8名が参加(内1名がフルタイムで従事)

プロジェクトの期間

- ▶ まずは、2011年4月～2012年3月
- ▶ 進捗や成果を見て、次年度以降の継続について検討
 - ▶ できれば、3年程度継続して、RTOSのみではなく、COM等のミドルウェアの開発も行いたい

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

TOPPERSカンファレンス2011

▶ 6月10日(金)に東京(大田区産業プラザ)で開催
テーマ

- ▶ 10年の歩みと今後の展望
一組込みシステムと情報システムの融合に向けてー

特別講演

- ▶ スマートコミュニティーを実現するスマートエネルギーシステム ～そのビジョンと技術～

中村良道氏((株)スマートエナジー研究所)

技術トラック・チュートリアル

- ▶ TECS, SafeG, 最小セットカーネル, 適用事例, テストスイート, TOPPERS Builder, MPプログラミングライブ

基調講演

- ▶ TOPPERSプロジェクトの現状と方向性

高田広章(TOPPERSプロジェクト/名古屋大学)