

TOPPERSプロジェクトの 最近の活動と成果

2006年11月16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



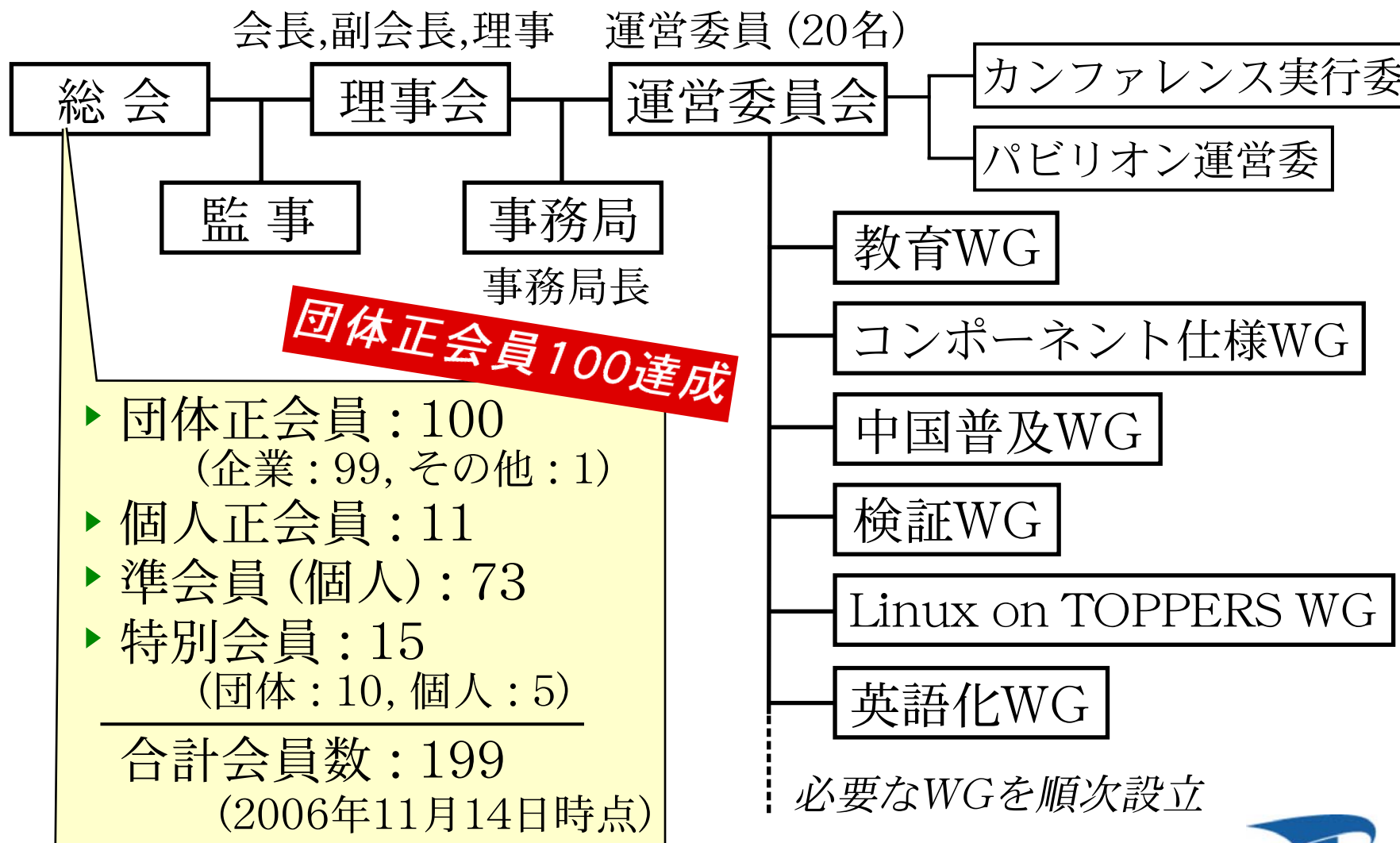
プロジェクトの活動内容

- ▶ 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のような位置付けとなる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

現世代のリアルタイムOSの決定版の構築

- ! 約20年間に渡るITRON仕様の技術開発成果をベースに
- ▶ 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
- ▶ 開発した教育コンテンツもオープン化

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強い要求

- ▶ 製品の早期の市場投入が収益を大きく左右
- ➔ システムの品質・信頼性の確保が大きな問題に
- ➔ 組込みシステム技術者の不足が深刻な問題に

(単一の) プロセッサの高速化の限界

- ▶ マルチコアプロセッサなど新しい技術の導入が必要

組み込みシステム/ソフトウェアの多様性と分化

組み込みシステムの多様性

- ▶ 組み込みシステムは，システムの規模・性質いずれの面からも極めて多様である

炊飯器～原子力発電所の制御

組み込みシステムの分化が進展

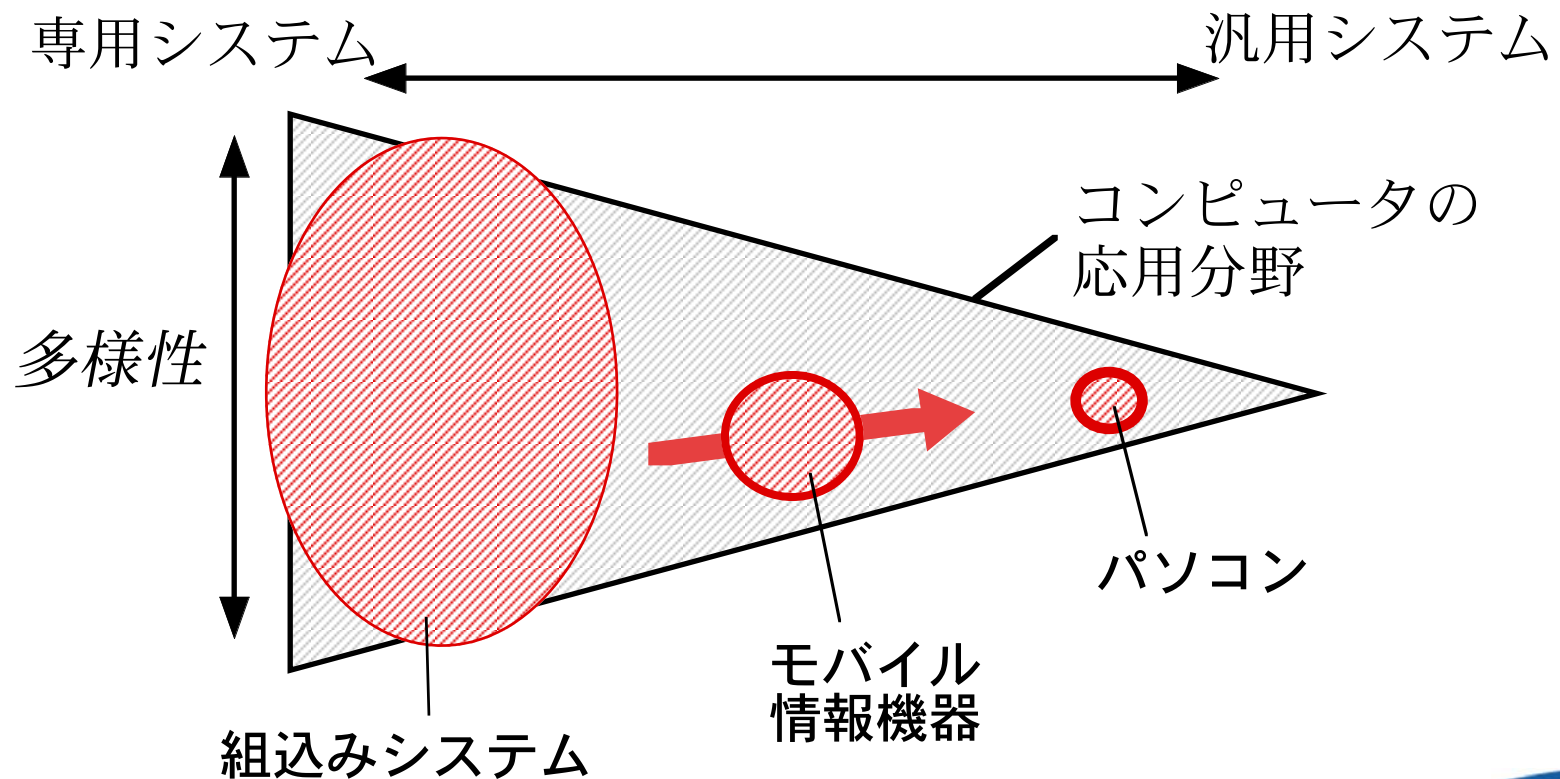
- ▶ 携帯電話を代表とするモバイル情報機器（あまり適切な呼称ではないが）は，従来の組み込みシステムとは特性が異なるものとなってきた

機器組み込みソフトウェアとLSI組み込みソフトウェア

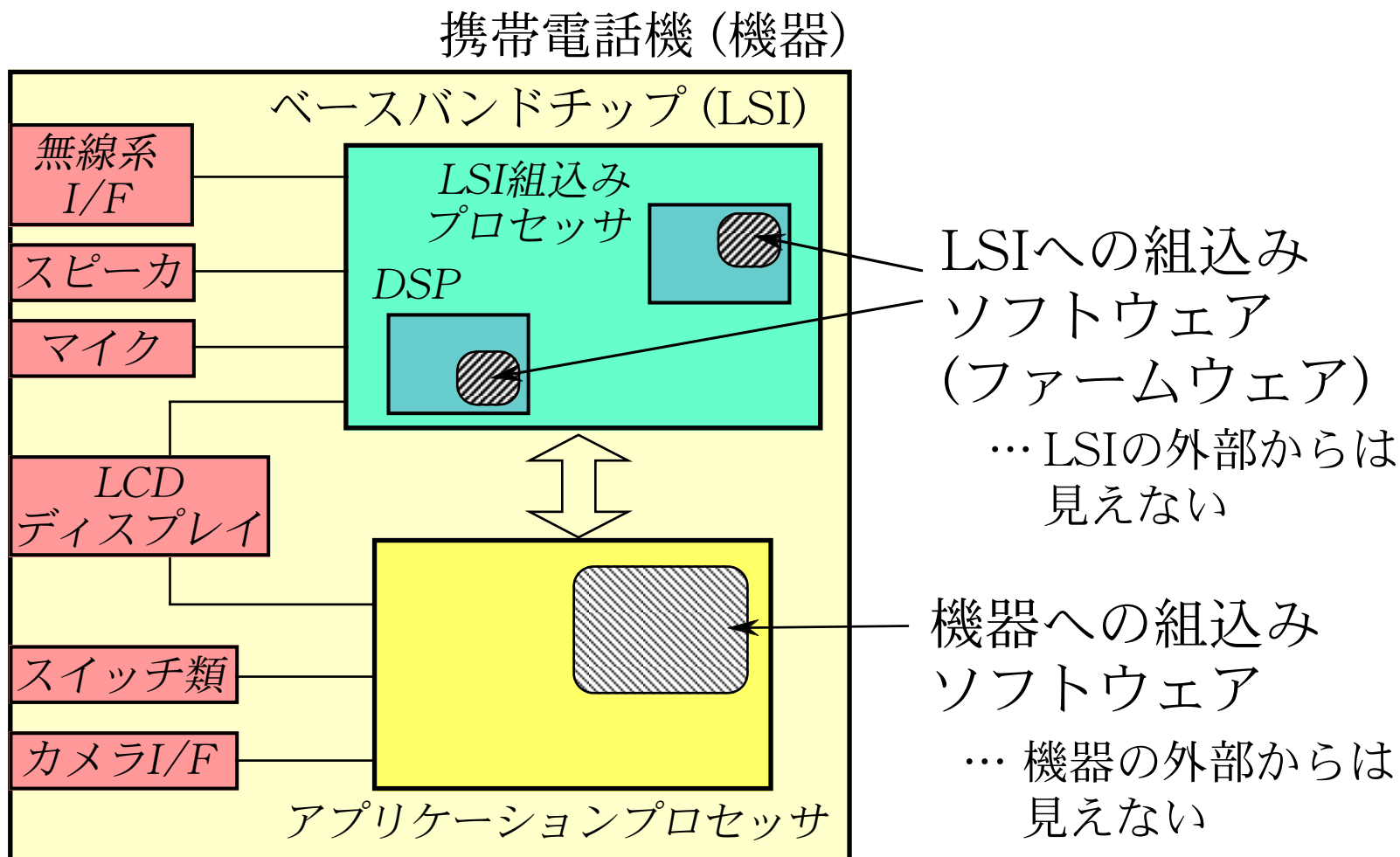
- ▶ 半導体業界では，システムLSI (SoC) に組み込まれるソフトウェアの重要性が増している
- ▶ 機器への組み込みソフトウェアとやや特性が違うように思われる（少なくとも，重視される技術は違っている）

専用システムの多様性と組み込みシステムの分化

- ▶ 専用システムは，アプリケーション特有の要求事項に対して特化して設計されるため，必然的に多様になる
- ▶ モバイル情報機器は汎用システム化しつつある



機器組込みソフトウェアとLSI組込みソフトウェア



組込みシステムソフトウェア開発技術の方向性

応用分野毎のプラットフォーム構築

- ▶ 応用分野毎に，それに向けたハードウェア上に，リアルタイムカーネルと必要となるソフトウェア部品（ミドルウェア）を載せたプラットフォームを構築・活用

モデルベースのアプリケーション設計

- ▶ プラットフォーム上で動作するアプリケーションソフトウェアは，なるべく多くの部分をモデルベースで設計（モデルを記述し，そこからソフトウェアを生成）
- ▶ ソフトウェアのモデル化には，状態遷移図（UMLのステート図など）／状態遷移表やブロック線図（MATLAB/Simulinkなど）を用いる（向き不向きの見極めが重要）
- ▶ プラットフォーム開発とアプリケーションソフトウェア開発を明確に分離する

応用分野毎のプラットフォームの共通化・標準化の例

- ▶ 社内共通プラットフォーム

例) 松下電器の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活動

例) JASPAR → <http://www.jaspar.jp/>

- ▶ 日本の自動車メーカーを中心に、自動車制御システム向けのネットワーク技術、ミドルウェア、ソフトウェア基盤等を協調して開発

例) CE Linuxフォーラム → <http://www.celinuxforum.org/>

- ▶ デジタル家電機器向けのLinuxの仕様を定義

- ▶ 業界内でのプラットフォームのデファクト標準

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
 - ▶ 組込みシステム向けのコンポーネント仕様

TOPPERSプロジェクトのこの1年

ソフトウェア開発

- ▶ TOPPERS/ASPカーネル → 後で詳しく紹介
 - ▶ TOPPERS/JSPカーネル (μ ITRON4.0仕様スタンダードプロファイル準拠) を改良したりアルタイムOS
 - ▶ 2006年9月: 開発者会議において仕様・実装検討
 - ▶ 2006年10月,11月: 早期リリース開始
- ▶ TOPPERS/HRPカーネル
 - ▶ 宇宙機などの高い信頼性が求められるシステムに用いることを想定したりアルタイムOS
 - ▶ 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で開発
 - ▶ 2006年3月,9月: 早期リリース開始
 - ▶ JAXAによる検証作業が進行中

ソフトウェア開発 ～ 続き

- ▶ TOPPERS/FDMPカーネル **IPA** → 4番目の講演
 - ▶ μ ITRON仕様のリアルタイムOSを、機能分散マルチプロセッサ向けに拡張したリアルタイムOS
 - ▶ 2006年3月: 一般配付を開始
- ▶ TOPPERS/SMPカーネル → 5番目の講演
 - ▶ μ ITRON仕様のリアルタイムOSを、対称型マルチプロセッサ (SMP) 向けに拡張したリアルタイムOS
 - ▶ 2006年6月: 仕様書の早期リリースを開始
 - ▶ 2006年9月: 開発者会議において仕様検討
- ▶ TOPPERS向けEclipse開発環境 **IPA**
 - ▶ TOPPERSカーネル上のアプリケーション開発を行うためのEclipseベースの統合開発環境
 - ▶ 2006年3月: 開発成功を発表, 早期リリース開始

ソフトウェア開発 ～ 続き

- ▶ TOPPERS FlexRayミドルウェアパッケージ
 - ▶ 次世代の車載ネットワークであるFlexRay対応のためのリアルタイムOSの拡張機能と通信ミドルウェア
 - ▶ 2006年3月: 早期リリース開始
- ▶ 自動車統合制御システム向けプラットフォーム
 - ▶ 経済産業省 地域新生コンソーシアム研究開発事業 (中部地区) の採択テーマ
 - ▶ TOPPERS/OSEKカーネルへの保護機能の導入とCAN, LIN対応ミドルウェアの開発が進行中
- ▶ その他のソフトウェアも継続的に拡張・改良
 - ▶ JSPカーネル, FI4カーネルのバージョンアップ
 - ▶ TINETのバージョンアップ. IPSec, DHCP, リゾルバ等の開発が進行中

技術開発・検討

- ▶ TOPPERS標準割込み処理モデル → 後で紹介
 - ▶ μ ITRON仕様では標準化されておらず，JSPカーネルでもターゲット依存となっていた割込み処理のモデルを標準化することで，ソフトウェアの移植性を向上
 - ▶ メーリングリスト，開発者会議，技術検討会議において検討．対称型マルチコアプロセッサも考慮
 - ▶ TOPPERS新世代カーネルに実装中
- ▶ TOPPERS組込みコンポーネント仕様 (TECS) → 6番目の講演
 - ▶ 仕様検討を継続 (検討会議を毎月開催)
 - ▶ サポートツールの開発が進行中
 - ▶ TOPPERS/ASPカーネルへの導入を目指す

教材開発

- ▶ 中級実装セミナー教材
 - ▶ リアルタイムOSを用いたリアルタイムシステム構築やネットワークプログラミングについて学ぶ4日間コースの教材
 - ▶ 2005年11月: 教材を一般配付開始
 - ▶ 2006年10月: 中級実装セミナーを開催
 - ▶ 2006年11月: 改良した教材の一般配付を開始
- ▶ 初級実装セミナー教材
 - ▶ リアルタイムOSを用いたシステム構築の基礎について学ぶ2日間コースの教材
 - ▶ 2006年6月: 英語版の一般配付を開始
- ▶ 二足走行ロボット教材 → 次の講演
 - ▶ 制御ソフトウェアおよび教材の開発が進行中

普及・広報活動

- ▶ TOPPERSカンファレンス2006 (2006年5月)
- ▶ ET2006 TOPPERSパビリオン (2006年11月)
- ▶ プレス発表会 (2006年3月, 2006年11月)
- ▶ TOPPERSニュースレター, TOPPERS MAP

国際展開

- ▶ タイでの初級実装セミナーの実施 (2006年1月, バンコク)
- ▶ 中国での普及・広報活動 (2006年10月, 西安)
- ▶ ウェブサイトや初級実装セミナー教材の英語化

受賞等

- ▶ TOPPERS FlexRayミドルウェアが, 第8回LSI IPデザイン・アワード (企業部門) のIP優秀賞を受賞
- ▶ TOPPERS/FDMPカーネルが, 第8回LSI IPデザイン・アワード (大学部門) のIP賞を受賞

TOPPERSプロジェクトの目指す方向性



- ▶ TOPPERSプロジェクトは、高い信頼性と安全性を求められる組み込みシステム向けに、高品質なオープンソースプラットフォーム（のコンポーネント）を提供する



- ▶ 多くのシステムでプラットフォームを共有することで、開発リソースの分散を防ぎ、コスト品質（コストあたりの品質）の高いシステム開発が可能に



- ▶ 組み込みシステム開発の課題の解決（または軽減）につながる

高信頼性・安全性に向けての取組み

高信頼・安全なリアルタイムOSの要件

- ▶ リアルタイムOSの信頼性・安全性が高いこと
 - ▶ リアルタイムOS自身の信頼性が高いこと
 - ▶ ハードウェアの故障・誤動作に対処できること
- ▶ 高信頼・安全なアプリケーションの構築を容易にすること

取り組むべきこと

- ▶ RTOS自身の信頼性・安全性を上げること
- ▶ 高信頼・安全なアプリケーションの構築を容易にするRTOS仕様とすること
- ▶ ハードウェアの故障に対処できるRTOSとすること
- ▶ これらが達成されていることを示すエビデンスを示せるようにすること

IEC 61508 (JIS C 0508) — 安全に関する国際規格

- ▶ 「電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全」に関する国際規格
 - ▶ 安全性にかかわるあらゆる電子システムに適用（もちろん，ソフトウェアも含む）
 - ▶ 分野別のサブ規格が存在．例えば，自動車分野向けのサブ規格は策定作業中 (ISO/WD 26262)
- ▶ 安全性確保のためのベストプラクティスの集大成
 - ▶ ソフトウェアに対しては，約100の技法が挙げられており，安全度水準 (SIL) に応じて使用すべきもの/すべきでないものを整理
- ▶ 欧州発の規格であり，我が国の産業界にとって非関税障壁となるおそれ

機能安全対応リアルタイムOSの開発

- ▶ TOPPERSプロジェクトとしては、IEC 61508のSIL 3に対応できるリアルタイムOSの開発を目指したい
- ▶ ヴィッツ(株)と名古屋大学を中心とするコンソーシアムで、経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業に「機能安全対応自動車制御プラットフォームの開発」のテーマで提案し、採択される(3年間の事業)
- ▶ 以下のソフトウェアを、IEC 61508のSIL 3に合致するプロセスで開発する計画
 - ▶ TOPPERS/ASPカーネルをベースとした機能安全対応リアルタイムカーネル
 - ▶ 車載ネットワーク用の通信ミドルウェア
 - ▶ 例示アプリケーション
- ▶ その過程で作成したドキュメントも公開したい

TOPPERS新世代カーネル (ITRONシリーズ)

! TOPPERSプロジェクトの6年間の技術開発を踏まえて、
 μ ITRON4.0仕様に対して、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改良を加える

TOPPERS/ASPカーネル (Advanced Standard Profile)

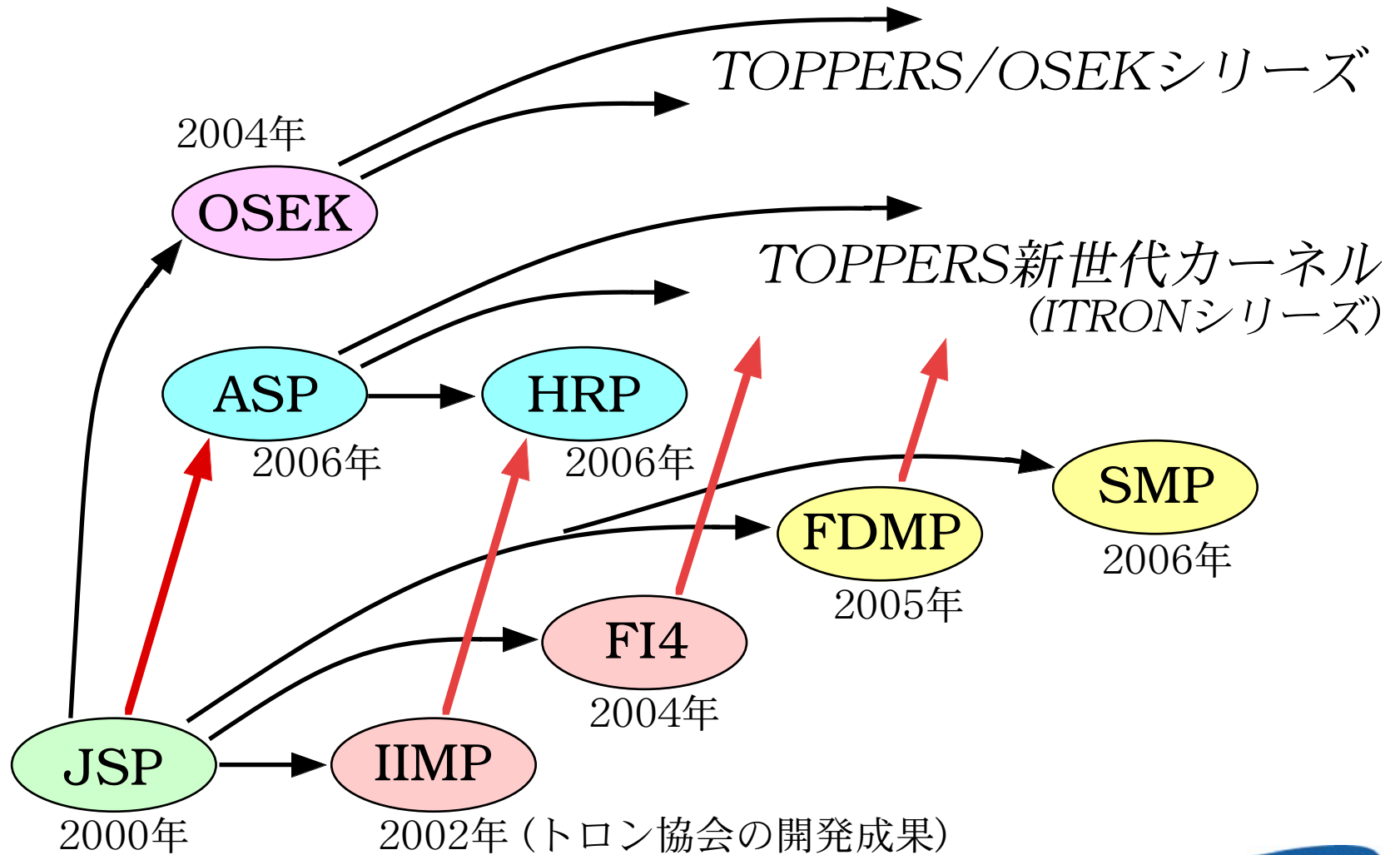
現世代のリアルタイムカーネルの完成度をさらに上げる!

- ▶ TOPPERS/JSPカーネルの改良版
- ▶ TOPPERS新世代カーネルの基盤
- ▶ α 版を会員向けに配付中

TOPPERS/HRPカーネル (High Reliable system Profile)

- ▶ TOPPERS/ASPカーネルに対して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
- ▶ 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で開発
- ▶ 会員向けに早期リリース中

TOPPERS新世代カーネルの位置付け



TOPPERS/ASPカーネルの仕様概要

ベースとする仕様

- ▶ μ ITRON4.0仕様のスタンダードプロファイルをベースとして、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
- ▶ 割込み処理機能については、「TOPPERS標準割込み処理モデル」に準拠する

拡張の内容

- ▶ スタンダードプロファイル外の機能の一部導入
 - ▶ イベントフラグの複数タスク待ち
 - ▶ アラームハンドラ
 - ▶ 割込みサービスルーチン
 - ▶ 割込み管理機能 (dis_int, ena_int, chg_ipm, get_ipm)
 - ▶ オブジェクトの状態参照機能 (ref_xxx)

拡張の内容 ～ 続き

- ▶ JSPカーネルにおける独自の拡張機能
 - ▶ 性能評価用システム時刻参照機能
 - ▶ 終了処理ルーチン機能
 - ▶ カーネル動作状態の参照
- ▶ ASPカーネルにおける独自の拡張機能
 - ▶ 割り込み要求ラインの属性の設定
 - ▶ 同期・通信オブジェクトの再初期化機能
 - ▶ 優先度データキュー機能 → 後で説明
 - ▶ カーネルの終了機能
 - ▶ 非タスクコンテキスト用のスタック領域の設定
- ▶ TOPPERS組込みコンポーネント仕様の導入
 - ▶ デバイスドライバやシステムログ機能との接続

改良の内容

- ▶ μ ITRON4.0仕様に対する変更
 - ▶ ITRON標準データ型の見直し
 - ▶ 非タスクコンテキストからのext_tsk → 後で説明
 - ▶ CPU例外ハンドラで行える操作
 - ▶ カーネルの用いる管理領域の分離 → 後で説明
- ▶ JSPカーネルにおける実装定義／依存事項に対する変更
 - ▶ インクルードファイルの構成の整理
 - ▶ 割込み処理／例外処理関係の型定義
 - ▶ 処理単位の実行開始／リターン時のシステム状態の規定（一部 μ ITRON4.0仕様に対しても変更） → 後で説明
 - ▶ isig_timの扱い
 - ▶ カーネルの用いる領域の指定方法

TOPPERS標準割込み処理モデル

策定の背景

- ▶ μ ITRON仕様では、標準化によるオーバヘッドを避けるために、割込み処理機能は弱く標準化するに留めており、プロセッサ/カーネルによる違いが大きい
- ▶ ソフトウェアの生産性向上のためには、若干のオーバヘッドは許される状況に (μ ITRON4.0仕様が策定されてからすでに7年が経過)

策定の目標

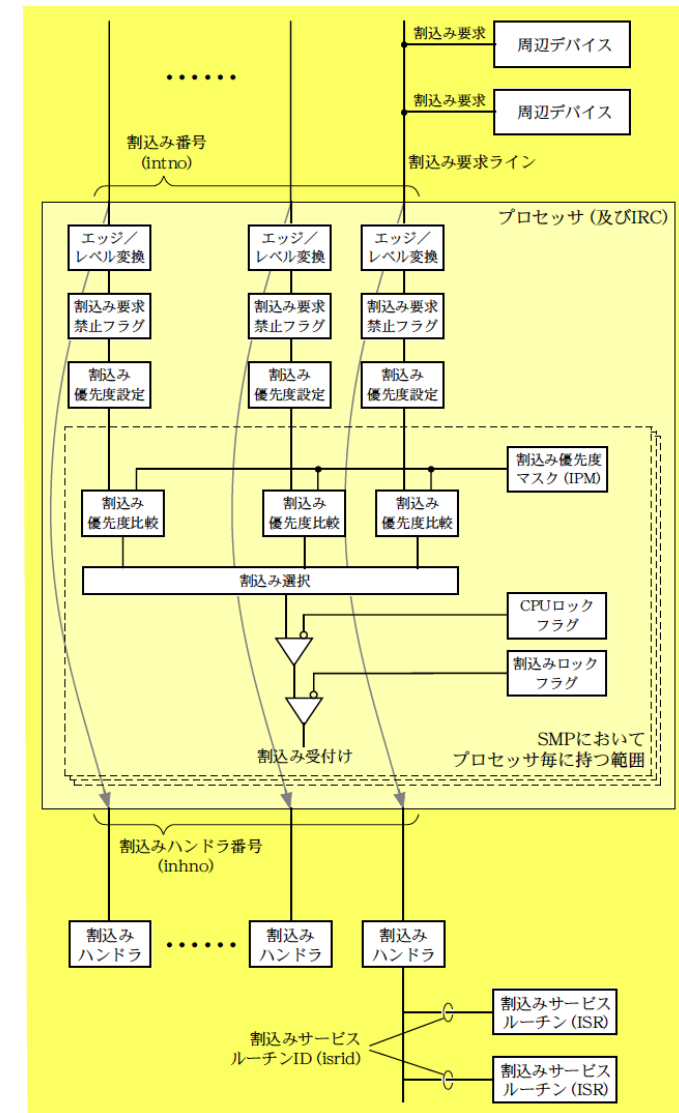
- ▶ 割込み処理に関わるソフトウェアの再利用性の向上
- ▶ オーバヘッドの増加は最小限に抑える
- ! プロセッサの割込みアーキテクチャの詳細を知ることなしに、割込みを用いたアプリケーション構築を可能に

割り込み処理モデルの概念図

- ▶ 右図は、割り込み処理モデルの持つすべての機能が、ハードウェアで実現されているとして描いた図
- ▶ 実際のハードウェアで不足する機能はソフトウェアで実現する

μITRON4.0仕様との大きな違い

- ▶ 割り込み優先度の概念と割り込み優先度マスク (IPM) を導入
- ▶ 割り込み要求ラインの属性を標準化. 属性を設定するためのAPIを用意
- ▶ マルチコアについても考慮



ASPカーネルにおける信頼性・安全性向上

細かな改良の積み重ね

例1) ext_tskの仕様変更

- ▶ μ ITRON4.0仕様では、ext_tskはリターンすることのないサービスコールと規定

? 非タスクコンテキストからext_tskを呼んだらどうするか

- ▶ μ ITRON4.0仕様では実装定義
 - ▶ JSPカーネルでは実行を継続するよう頑張るが、結果は保証しない。安全性を重視するシステムでは、危険の可能性を検出すれば、早期にリカバリすべき場合も
 - ▶ カーネルをダウンさせる方法では、アプリケーションでのリカバリの余地をなくす
- ➡ リカバリ方法をアプリケーションで決められるように、E_CTXエラーを返す仕様に変更

例2) 処理単位の実行開始/リターン時のシステム状態

▶ タスク例外処理ルーチンの例

	CPUロック/ ロック解除状態	割込み優先度 マスク (IPM)	ディスパッチ 禁止/許可状態	タスク例外 禁止/許可状態
【TOPPERS新世代カーネル】				
実行開始条件	解除	任意	任意	許可
実行開始時処理	そのまま	そのまま	そのまま	禁止する
リターン前	原則解除	原則元に	原則元に	原則禁止
リターン時処理	解除する	元に戻す	元に戻す	許可する

【 μ ITRON4.0仕様】 …この表は独自に作成

実行開始条件	解除	—	任意	許可
実行開始時処理	そのまま	—	そのまま	禁止する
リターン前	解除	—	任意	任意
リターン時処理	未規定	—	そのまま	許可する

例3) カーネルの用いる管理領域の分離と優先度データキュー

- ▶ μ ITRON4.0仕様では、メールボックスに送信するメッセージの先頭の領域(数バイト)をカーネルが利用
- ▶ アプリケーションが誤ってこの領域を書き換えると、カーネルの中で不具合が発生する
- ▶ μ ITRON4.0仕様 保護機能拡張(PX仕様)では、カーネルの用いる管理領域を分離するようメールボックスの仕様を変更。ただし、元の仕様のメールボックスで発生しない送信時のメッセージフルエラーが発生する



- ▶ PX仕様のメールボックス機能の上位互換となる優先度データキュー機能(データを優先度順にキューイングするデータキュー)を新たに追加
- ▶ メールボックスは仕様変更せずに残し、使用は推奨しない

マルチコアプロセッサへの対応

マルチプロセッサ利用の現状と必要性

- ▶ マルチコアプロセッサ (オンチップマルチプロセッサ) の登場により, 組込みシステム分野においてもマルチプロセッサの必要性・利用が広がる

典型例) 携帯電話機

- ▶ アプリケーションプロセッサとベースバンドチップ内のプロセッサ (別々のLSI)
- ▶ それぞれもまたマルチプロセッサ構成 (マルチコア)
- ▶ 小さい消費電力で高性能を実現するためには, マルチプロセッサ構成が有利
 - ▶ 1GHzのプロセッサ1つよりも, 200MHzのプロセッサ5つの方が消費電力が小さい (他の条件にも依存)
- ▶ 高性能なプロセッサはコスト的にも不利な場合が

マルチプロセッサのタイプ

- ▶ 密結合マルチプロセッサ (共有メモリ)
 - ▶ 対称型マルチプロセッサ (SMP, SMTも同様)
 - ! 汎用システムに近い組込みシステムでメリット
 - TOPPERS/SMPカーネル → 5番目の講演
 - ▶ 機能分散マルチプロセッサ
 - ! 実行すべき処理があらかじめ決まっている組込みシステムには, こちらの方が有効
 - TOPPERS/FDMPカーネル → 4番目の講演
 - ▶ 疎結合マルチプロセッサ (分散システム)
 - TOPPERS組込みコンポーネント仕様でサポート
- 中間的な形態もあり, 明確な区別なし → 6番目の講演
- ! カーネルの実装方法で区別
 - 直接操作法 vs. 遠隔呼出し法

成果物利用とプロジェクト参加のお誘い

- ▶ 開発成果物はウェブサイトから自由にダウンロードできますので、ぜひご利用ください
- ▶ プロジェクトの活動に参加したい方／活動を支援して頂ける方は、ぜひプロジェクトにご入会ください



インダストリアルコントロールの新しいスタンダードへ

TOPPERSプロジェクトは、組込みシステム開発に有用な
高品質のオープンソースソフトウェアと教育コンテンツを開発し、
組込みシステム開発に新しいスタンダードを提案します

<http://www.toppers.jp/>