

ET2005 TOPPERSセッション

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

TOPPERSプロジェクトの最近の活動

2005年11月18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

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

Hiroaki Takada

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プロジェクトの狙い

- ! 日本の主要産業に重要な役割を果たしている組込みシステム分野で、ITRONによって築いてきた日本発の技術を維持・発展させていきたい

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仕様の標準的なオープンソース実装を用意することで、企業の開発投資をより先端的なソフトウェア部品や開発環境の開発に向ける
 - ▶ ITRON仕様の実装が絞られることで、ソフトウェアの移植性が向上し、それらにサポートが集中する
- ↓
- ▶ ITRON仕様がかかえる「過剰な重複投資」と「過剰な多様性」の問題が解決（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し，ITRONの良さを継承した，次世代のリアルタイムOS技術を開発する

Linuxと類似のOSをもう1つ作っても意味がない！

！汎用OS向けに開発された技術をそのまま導入するのではなく，組込みシステムに向けた技術を開発する

- ▶ オープンソースソフトウェア化により，産学官の力を結集することが可能に
- ▶ 標準化よりもソフトウェア開発の方がスピードが速い

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の開発と，それを用いた教育の場を提供するなどの活動を通じて，組込みシステム技術者の育成に貢献する
- ▶ 開発した教育コンテンツもオープン化する

組み込みシステム開発を取り巻く状況

半導体技術
の進歩



従来からの組み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

組み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**

新しいハードウェア技術の登場/適用

- ▶ ソフトウェアとハードウェアの境界の流動化
- ▶ 新しいプロセッサアーキテクチャの登場

組込みシステム/ソフトウェアの多様化と分化

組込みシステムの多様性

- ▶ 組込みシステムは，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

組込みシステムの多様化・分化

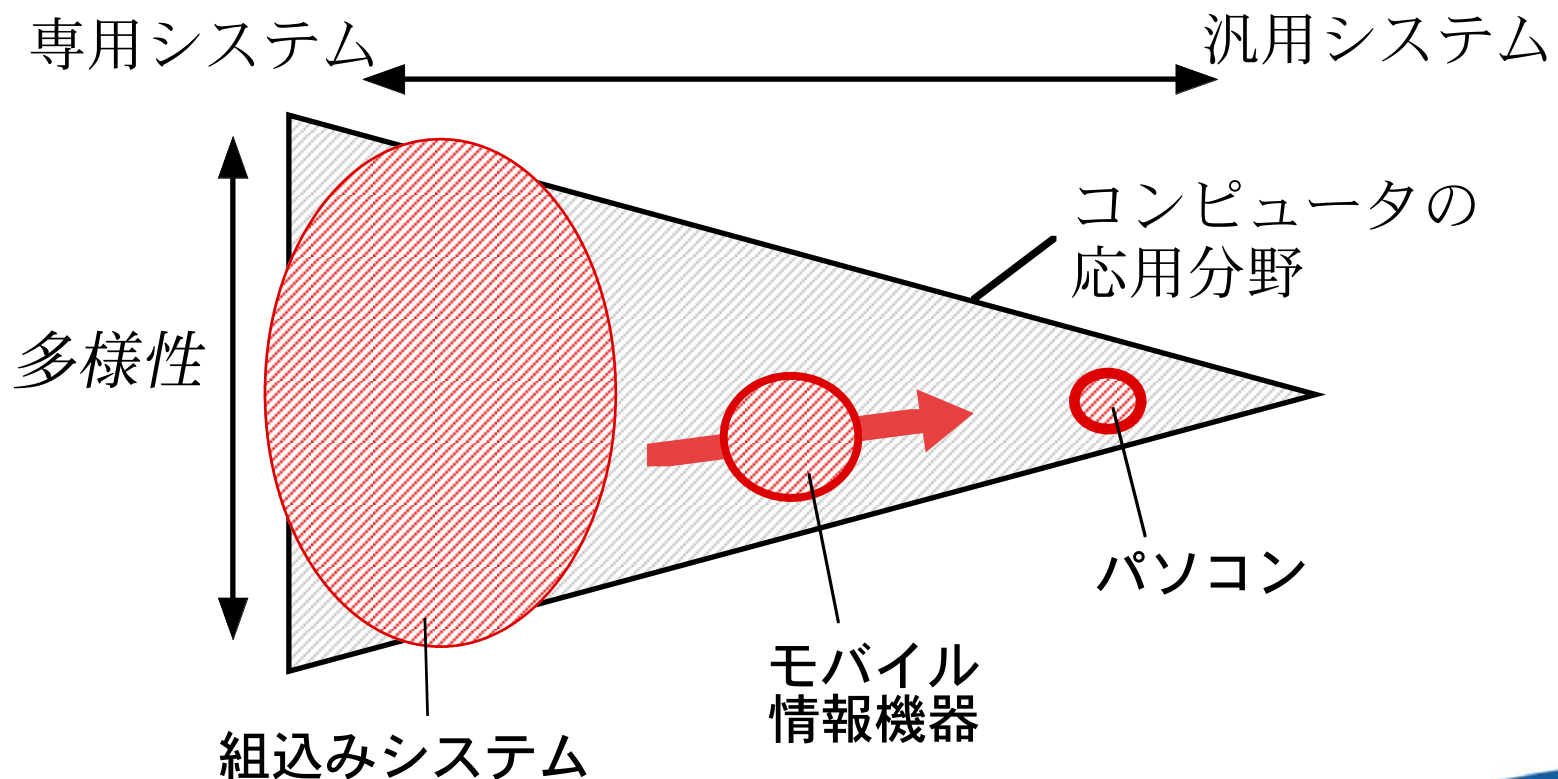
- ▶ 近年，組込みシステムの多様化・分化が進展
↓
- ▶ 組込みシステム開発技術を，ひとまとめに議論しずらく
なっている

機器組込みソフトウェアとLSI組込みソフトウェア

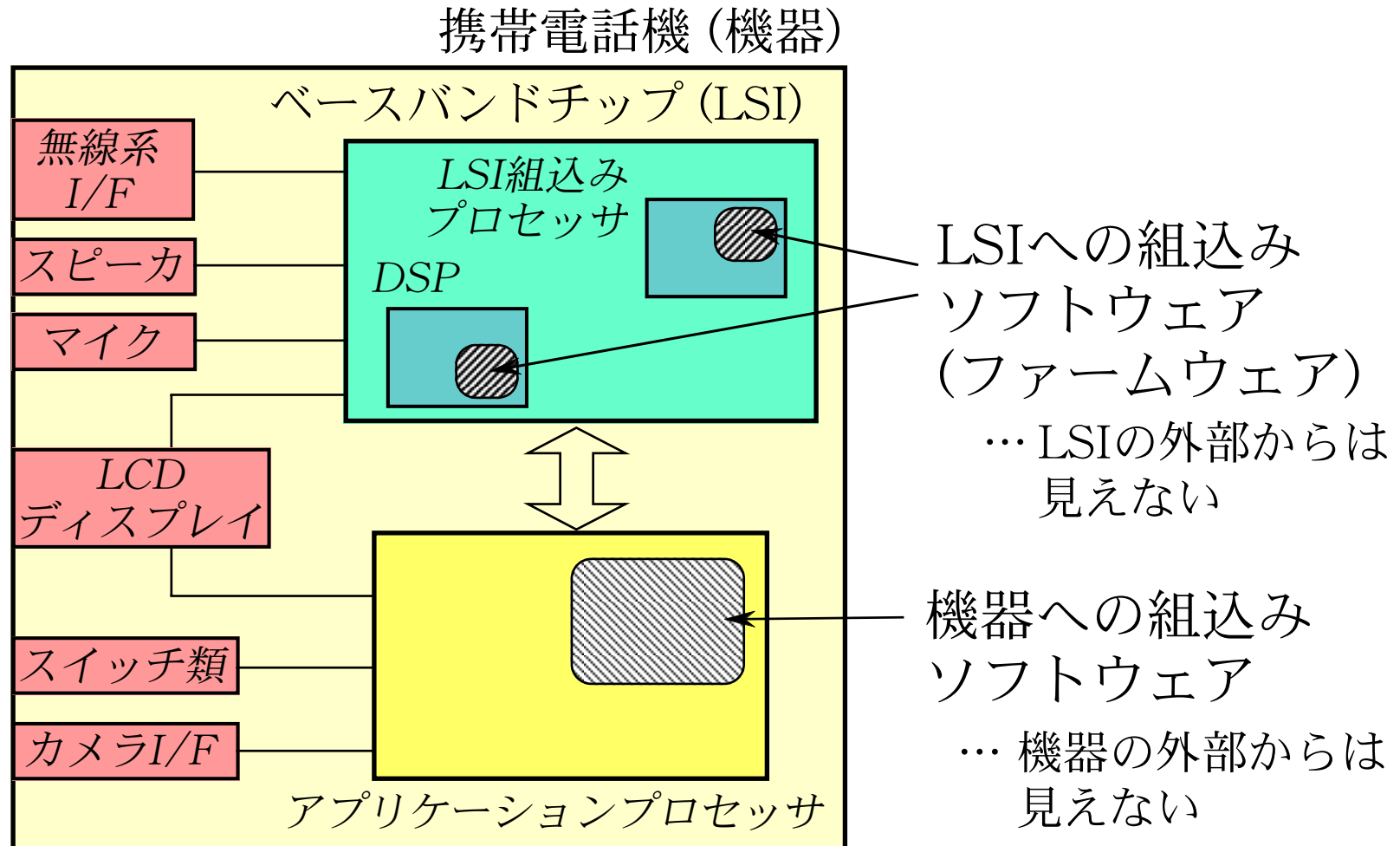
- ▶ 半導体業界では，システムLSI (SoC) に組み込まれるソフトウェアの重要性が増している
- ▶ 機器への組込みソフトウェアとやや特性が違うように思われる (少なくとも，重視される技術は違っている)

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



組み込みシステムソフトウェア開発の課題

設計品質・信頼性・安全性の確保／向上

- ▶ 設計／開発プロセス, 設計／開発手法, コーディング, テスト／検証手法のすべてにわたっての見直し

設計資産の再利用の促進

- ▶ 良質な設計資産の蓄積（社内で, 業界レベルで）

ハードウェア設計とソフトウェア開発の関連

- ▶ 困難化する／重要になる（広義の）プロセッサ選択
- ▶ ソフトウェアとハードウェアの協調設計が重要に

その他にも多くの課題（主なもの）

- ▶ (超)高信頼性（または安全性）技術
- ▶ 低消費電力／エネルギーシステム技術
- ▶ 組み込みセキュリティ技術

組み込みシステム/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化

- ▶ 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/FDMPカーネル → 後で紹介
 - ▶ 開発成功を発表 (4月). 早期リリース開始 (5月)
 - ▶ 仕様書を公開 (6月). 近日中に一般向けに配付開始
- ▶ 自動車制御システム向けプラットフォーム → 次の次の講演
 - ▶ 経済産業省地域コンソ事業への採択を発表 (8月). 保護機能の導入とCAN/LIN対応ミドルウェアの開発
 - ▶ FlexRay対応ミドルウェアの開発完了を発表 (10月)
- ▶ TOPPERS/HRPカーネル → 後で紹介
 - ▶ 技術検討会議で開発計画を説明 (8月)
 - ▶ 開発開始を発表 (10月). 年度内に実装完了の予定
- ▶ その他のソフトウェアも継続的に改良

技術開発

- ▶ TOPPERS標準割込み処理モデル → 後で紹介
 - ▶ TOPPERS開発者会議において検討 (3月)
- ▶ 組込みコンポーネント仕様
 - ▶ 仕様検討, プロトタイプツール開発を継続
- ▶ 信頼性向上のためのプログラミングルール
 - ▶ TOPPERS信頼性検討会において議論 (8月)

教材開発 → 次の講演

- ▶ 中級実装セミナー教材：セミナー実施 (10月), 教材公開

利用事例

- ▶ 機器への組込み事例が急増
- ▶ CPUボードへのバンドル, 開発環境への利用事例も増加
- ▶ セミナー等での利用事例も多数

普及・広報活動

- ▶ 新しいキャッチフレーズの策定 → 後で紹介
- ▶ TOPPERSカンファレンス2005 (6月)
- ▶ TOPPERS/SESSAMEパビリオン (11月)

国際展開

- ▶ 初級実装セミナー教材の中国語化
- ▶ 中国普及・広報ツアー (6月, 北京・武漢・大連)
- ▶ 中国での初級実装セミナーの実施 (9月, 北京)
- ▶ ウェブサイトや初級実装セミナー教材の英語化

受賞等

- ▶ 本田晋也氏 (名古屋大学) が, IPAの2004年度第1回未踏ソフトウェア創造事業でスーパークリエイターに認定
- ▶ IPv6対応のTINET-1.2が, 第7回LSI IPデザイン・アワードのIP賞を受賞

TOPPERS標準割込み処理モデル

現世代のリアルタイムOSの完成度をさらに上げる！

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モデル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
- ▶ ソフトウェア生産性の向上のためには、若干のオーバヘッドは許される状況に

策定の目標

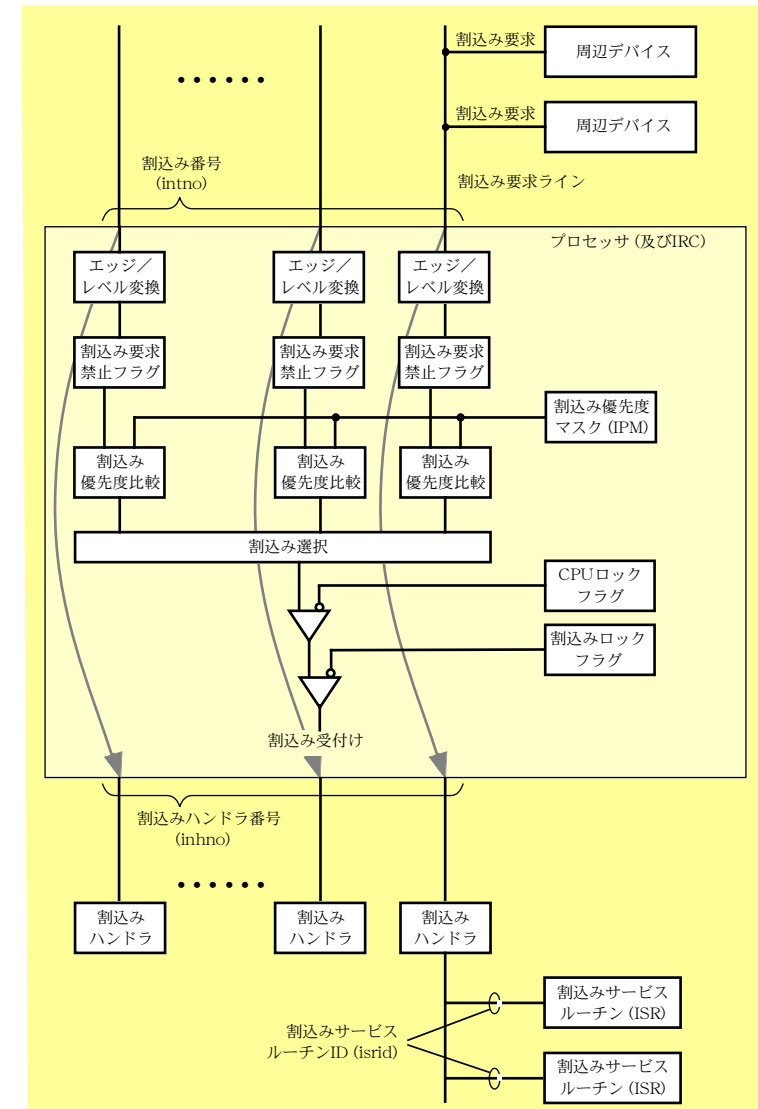
- ▶ 割込み処理に関わるソフトウェアの再利用性の向上
- ▶ オーバヘッドの増加は最小限に抑える
- ▶ プロセッサの割込みアーキテクチャの詳細を知ることなしに、アプリケーション構築を可能に

割込み処理モデルの概念図

- ▶ 右図は、割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

最重要ポイント

- ▶ 割込み優先度の概念を導入
- ▶ 割込み優先度を何段階サポートするかは、ターゲット依存(1段階も許容)



APIに対する影響

- ▶ 機能が標準化されるサービスコール
 - ▶ `dis_int/ena_int`, `chg_ipm/get_ipm`
- ▶ 新設すべき静的API・サービスコール
 - ▶ `CFG_INT/cfg_int` : 割込み要求ラインの属性の設定
 - ▶ `ref_int` : 割込み要求ラインの参照

策定の経緯と今後の計画

- ▶ 仕様案を2月に会員向けに公表した後, 3月のTOPPERS開発者会議と6月の技術検討会議において検討. その結果を入れて仕様案を改訂
- ▶ TOPPERS/ASPカーネルに実装し, 妥当性を評価
- ▶ TOPPERS/HRPカーネルもこれに準拠させる

TOPPERS/ASPカーネル

ASP = **A**dvanced **S**tandard **P**rofile

位置付け

- ▶ JSPカーネルを改良したりアルタイムカーネル
- ▶ 新世代のTOPPERSカーネルの基盤

仕様と実装の概要

- ▶ TOPPERS標準割込み処理モデルに準拠
- ▶ 組込みコンポーネント仕様に対応
- ▶ JSPカーネルに対するその他の追加機能：
 - ▶ イベントフラグの複数待ち, アラームハンドラ, ISR
 - ▶ オブジェクトの状態参照, カーネルの終了
 - ▶ 同期/通信オブジェクトの初期化
- ▶ 実装上の数多くの改良

TOPPERS/HRPカーネル

HRP = High Reliable system Profile

位置付け

- ▶ 宇宙機 (例: 人工衛星) などの高信頼システム向けのリアルタイムカーネル
- ▶ TOPPERSプロジェクトメンバと宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の共同で開発中

仕様と実装の概要

- ▶ TOPPERS/ASPカーネルをベースに開発
- ▶ IIMPカーネルの開発成果を活用
- ▶ μ ITRON4.0仕様 保護機能拡張がベース
- ▶ 高信頼システム向けの機能をサポート
 - ▶ ミューテックス, アラームハンドラ, オーバランハンドラ

マルチ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

- ▶ 近年，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 (マルチコア型マイクロプロセッサ)
- ▶ 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)
 - ! 汎用システムに近い組込みシステム分野で今後使われる? → TOPPERSでも今後取り組む
 - ▶ 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カーネルでサポート
 - ▶ 疎結合マルチプロセッサ (分散システム)
 - 組込みコンポーネント仕様の枠組みで扱う
- 中間的な形態もあり, 明確な区別なし
- ! カーネルの実装方法で区別
 - 直接操作法 vs. 遠隔呼出し法

TOPPERS/FDMPカーネルの仕様

仕様決定にあたっての基本方針

- ▶ μ ITRON4.0仕様のスタンダードプロファイルをベースにマルチプロセッサ向けに拡張
- ▶ マルチプロセッサ独自の機能は極力設けない

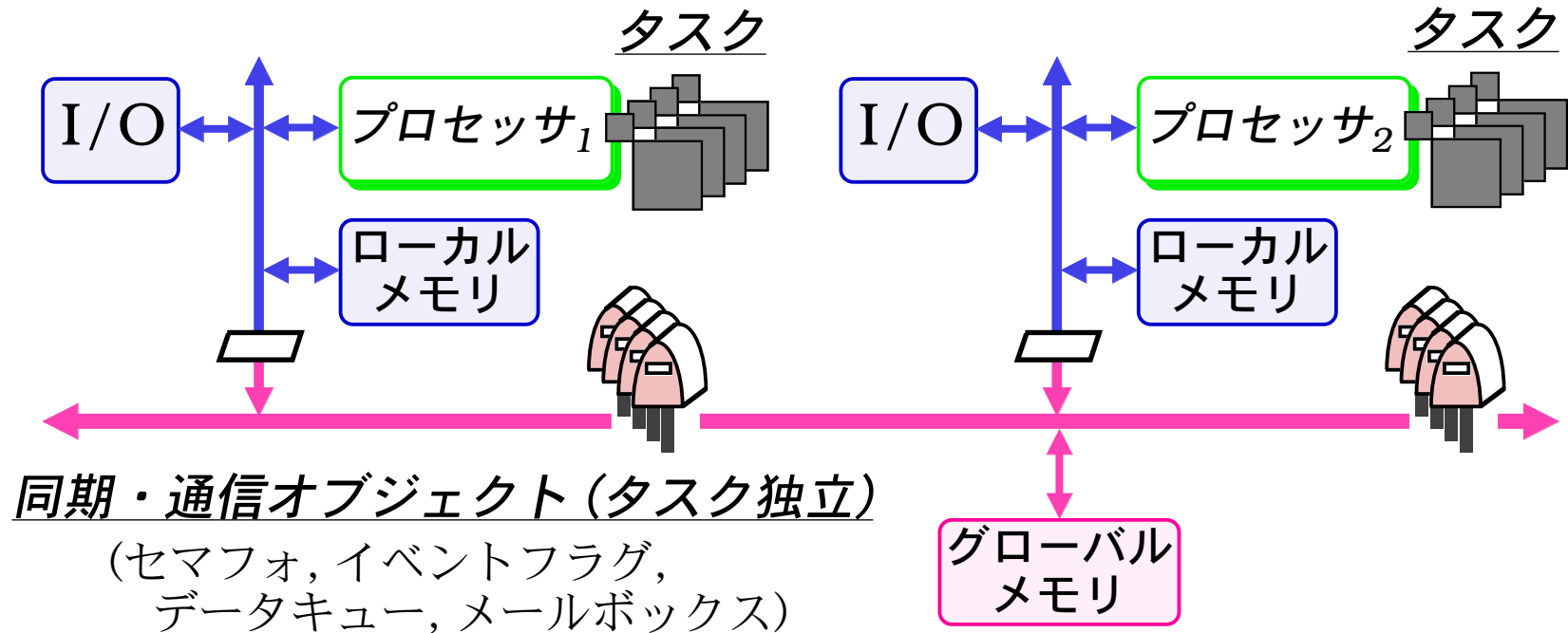
オブジェクトのクラス分け

- ▶ カーネルオブジェクト（タスク、セマフォなど）は、いずれかのプロセッサに属する
- ▶ タスクは、それが属するプロセッサでのみ実行される
- ▶ タスクは、すべてのカーネルオブジェクトに（機能的には）同じようにアクセスできる

オブジェクトの指定方法

- ▶ オブジェクトのID番号の上位ビットでそれが属するプロセッサを指定

オブジェクト管理の概念図



- ▶ 割り込み処理やタスクスケジューリング処理は、プロセッサ毎に行う
 - ▶ あるプロセッサで割り込みを禁止しても、他のプロセッサでは割り込みが発生する

静的APIの拡張

- ▶ システムコンフィギュレーションファイルにおいては、クラスの囲みの中に、そのクラスに所属するオブジェクトを登録する静的APIを記述する

```
local_class <プロセッサ名> {  
    そのプロセッサのローカルクラスに属するオブジェクトの登録など  
    .....  
}
```

システムの構築方法

- ▶ コンフィギュレータは、プロセッサ毎にディレクトリを作り、その中にMakefileやコンフィギュレーション結果ファイルを生成する
- ▶ ディレクトリ毎にmakeすることで、プロセッサ毎のバイナリを生成

TOPPERS/FDMPカーネルの利点・特長

- ▶ 機能分散マルチプロセッサ上でのアプリケーション開発を大幅に効率化
 - ▶ μ ITRON仕様準拠のAPIで各プロセッサ上のオブジェクトにアクセス可能
 - ▶ μ ITRON仕様OS向けのソフトウェア資産が活用可能
- ▶ 性能を重視した実装
 - ▶ プロセッサ数に対するスケーラビリティ
 - ▶ リアルタイム性（特に割込みに対する応答性）を損なわないための工夫
- ▶ 新たなターゲットプロセッサへのポーティングが容易
 - ▶ JSPカーネルがサポートしていると特に容易

TOPPERS/FDMPカーネルの実装状況と今後

現時点でサポートしているプロセッサ

- ▶ 東芝 MeP (Media embedded Processor)
- ▶ 米国ALTERA社 Nios II (FPGA向けソフトコア)
- ▶ 米国XILINX社 MicroBlaze (FPGA向けソフトコア)

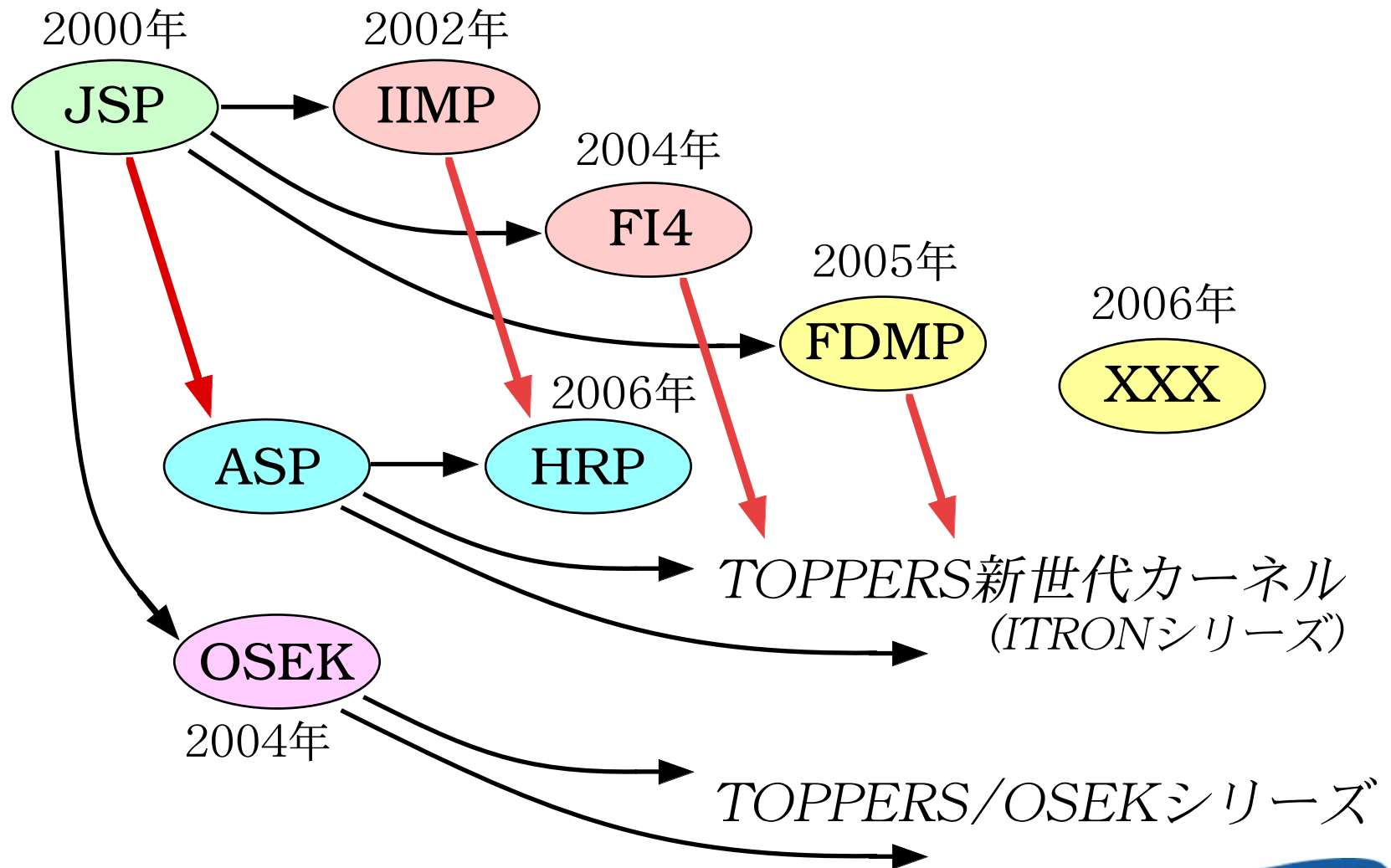
配付計画

- ▶ 現在, TOPPERSプロジェクトの会員向けに配付中 (早期リリース)
- ▶ 年内には一般に配付開始予定 (もう少し遅くなるかも)

カーネルの評価

- ▶ 現在, カーネルの基本性能の評価を実施中
- ▶ アプリケーションへの適用による有効性の評価が重要

TOPPERSカーネルの関係図と今後



新しいキャッチフレーズの策定

- ▶ TOPPERSプロジェクトが狙うドメインと、そのドメインに対して何を提供するかを明確にする
- ▶ 力を入れて取り組んでいる分野：
 - ▶ 自動車制御
 - ▶ 産業機器
 - ▶ 人材育成
 - ▶ 宇宙機
 - ▶ SoC
 - ▶ 国際化



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