

TOPPERSプロジェクトの最新成果 マルチコアプロセッサ向けRTOSを一般配付開始

2006年3月22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/>

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

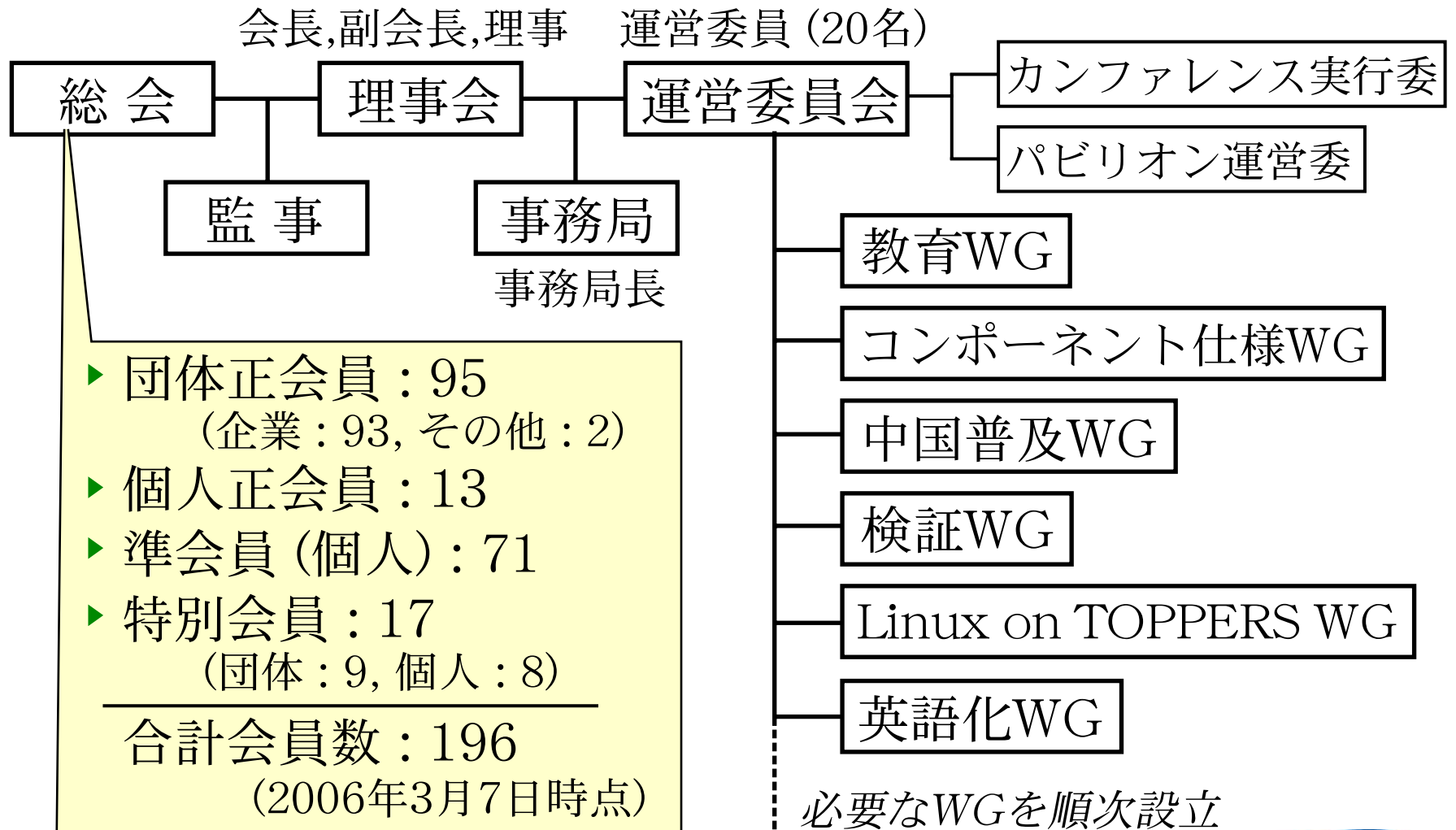
Linuxと類似のOSをもう1つ作っても意味がない!

- ▶ 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

TOPPERSプロジェクトの組織と会員



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
 - ▶ 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
 - ▶ 昨年4月: 開発成功を発表
 - ▶ 昨年5月: 早期リリース開始
 - ▶ 昨年6月: 仕様書を公開
 - ▶ **本日: 一般配付開始を発表**
- ▶ TOPPERS/ASPカーネル *Advanced Standard Profile*
 - ▶ 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) を改良したリアルタイムOS
 - ▶ 新世代のTOPPERSカーネルの基盤

ソフトウェア開発 ～ 続き

- ▶ TOPPERS/HRPカーネル → 後で紹介
 - ▶ 人工衛星などの宇宙機に用いることが可能な高信頼リアルタイムOS
 - ▶ 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と協力して開発
 - ▶ 昨年10月: 開発開始を発表
 - ▶ **今月: 会員向けの早期リリースを開始**
- ▶ TINET
 - ▶ 組込みシステム向けのTCP/IPプロトコルスタック
 - ▶ IPv4とIPv6の両方に対応
 - ▶ 継続的に改良. Release 1.3の配付を開始 (今年2月)
 - ▶ IPSec, DHCP, リゾルバ等の開発が進行中

ソフトウェア開発 ～ 続き

- ▶ FlexRay対応ミドルウェア → 後で紹介
 - ▶ 次世代の車載ネットワークであるFlexRayに対応するためのリアルタイムOSの拡張機能と通信ミドルウェア
 - ▶ 昨年10月: 開発完了を発表
 - ▶ 昨年10月: JasParに標準化の叩き台として提案, JasParのメンバからAUTOSARにも紹介
 - ▶ **今月: 会員向けの早期リリースを開始**
- ▶ 自動車統合制御システム向けプラットフォーム
 - ▶ 昨年8月: 経済産業省の平成17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業(中部地区)への採択を発表
 - ▶ 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

技術開発・検討

- ▶ 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！**
 - ▶ 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
 - ▶ TOPPERS開発者会議，技術検討会議等において検討
 - ▶ 新世代のTOPPERSカーネルに採用
- ▶ TOPPERS組込みコンポーネント仕様
 - ▶ 仕様検討を継続（毎月）
 - ▶ プロトタイプツールの開発を継続
 - ▶ TOPPERS/ASPカーネルに採用
- ▶ 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（昨年8月）

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について学ぶ4日間コースの教材
- ▶ ネットワークプログラミングについても学ぶ
- ▶ 昨年10月: 講師教育セミナーを実施
- ▶ 昨年11月: 教材を一般配付開始

▶ 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
- ▶ 日本語版と中国語版 (いずれも一般配付中) に加えて、英語版を作成中 (近日中に一般配付予定)
- ▶ 教材を用いたセミナー開催実績が増加中

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 (昨年5月)
- ▶ ET2005 TOPPERS/SESSAMEパビリオン (昨年11月)

国際展開

- ▶ 中国普及・広報ツアー (昨年6月, 北京・武漢・大連)
- ▶ 中国での初級実装セミナーの実施 (昨年9月, 北京)
- ▶ タイでの初級実装セミナーの実施 (今年1月, バンコク)
- ▶ 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ータに認定
- ▶ 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

開発成果物の利用事例

機器への組み込み事例



UA-101 (Roland)



GT-541 (ブラザー工業)



DO!KARAOKE
(松下電器産業)

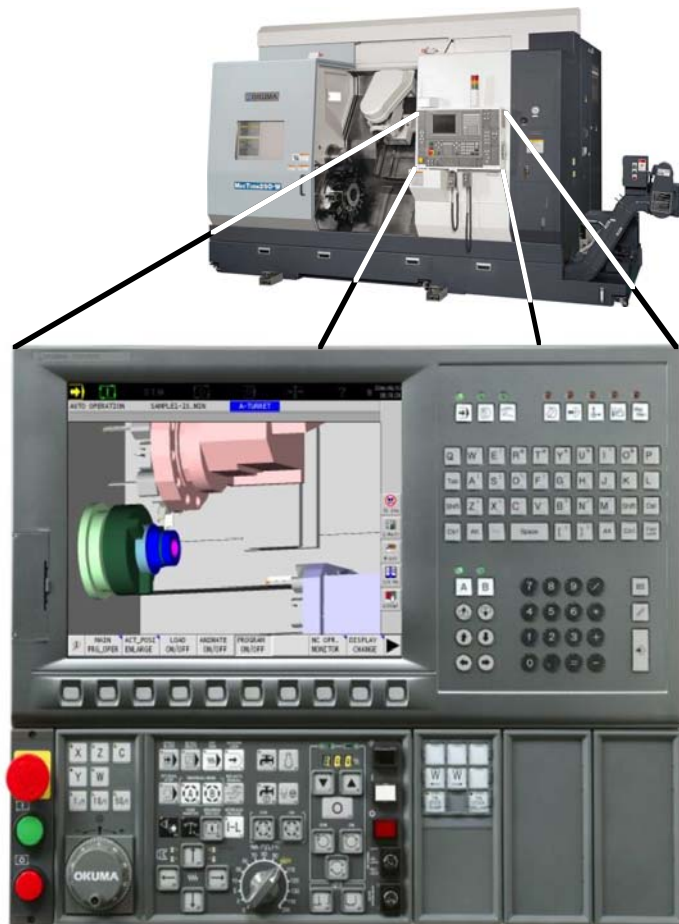


V-440HD (Roland)



KR-107 (Roland)

機器への組み込み事例 ～ 続き



OSP-P200 (オークマ)



TimeSlit (アビックス)



アーク溶接機 DM350
(ダイヘン)

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)
 - ▶ 対称マルチプロセッサ (SMP, SMT)
 - ! 携帯電話など, 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?
 - ▶ 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
 - マルチプロセッサ対応の主ターゲットとする
- ▶ 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

機能分散マルチプロセッサの例

- ▶ 東芝 MeP (Media embedded Processor) プロセッサコアを用いたMPEG2コーデックLSIの構成図



※ 東芝半導体 製品カタログ「MeP (Media embedded Processor) 概説」より

機能分散マルチプロセッサ向けOSの必要性

これまでの機能分散マルチプロセッサ向けソフトウェア開発

- ▶ 各プロセッサに，独立にリアルタイムOSを載せる（プロセッサによっては，OSを載せないものも）
- ▶ プロセッサ間の同期・通信は，（OSではなく）アプリケーションソフトウェアで実現

OSによるサポートの必要性

- ▶ アプリケーション毎にプロセッサ間の同期・通信を実現する必要があり，開発工数が増える
 - ▶ ある処理を別のプロセッサに移そうとすると，同期・通信部分のプログラムの作り直しが必要
- ↓ ! 静的な移し換えのみを考えている
- ▶ OSによる，タスク間同期・通信と互換のプロセッサ間同期・通信機能のサポートが望まれる

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

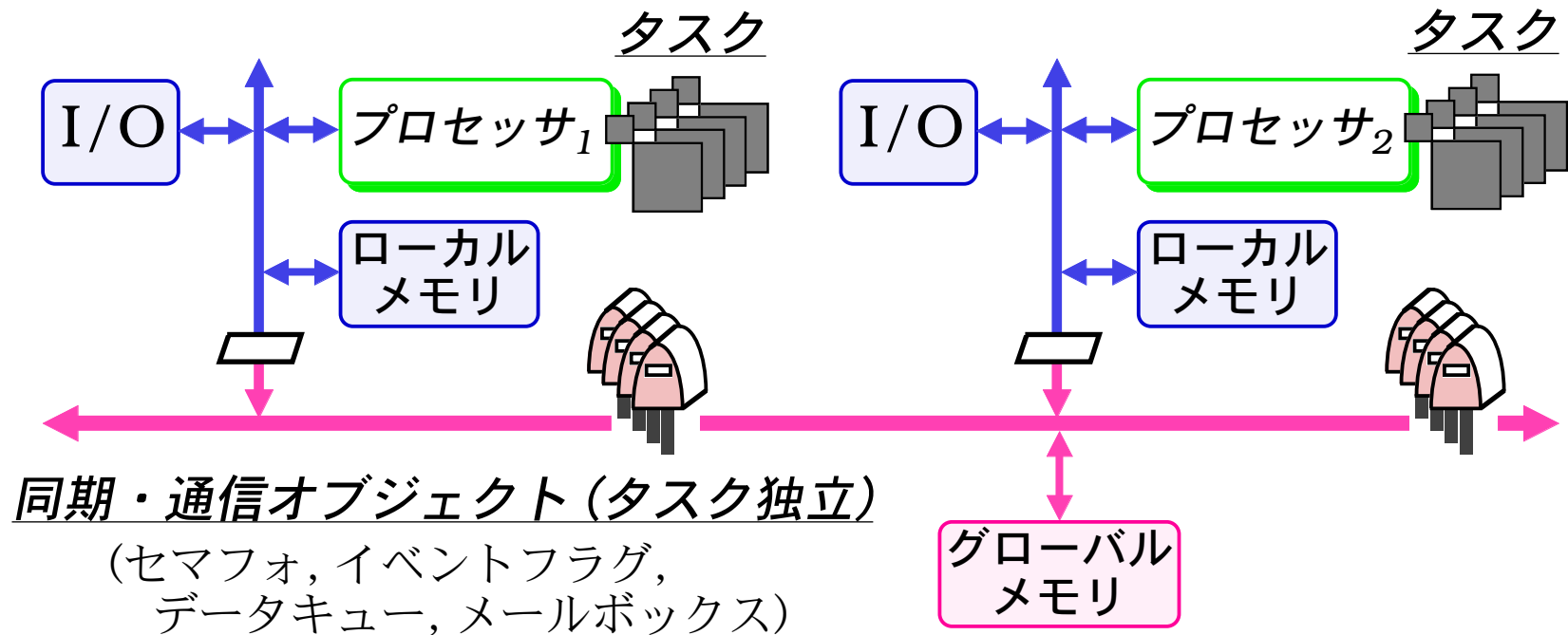
オブジェクトのクラス分け

- ▶ 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カーネルの開発

開発の経緯

- ▶ 名古屋大学 大学院情報科学研究科 組込みリアルタイムシステム研究室（とその共同研究者）は、機能分散マルチプロセッサ向けリアルタイムOSの仕様と実装技術について研究してきた
- ▶ カーネル本体は、同研究室の本田晋也氏が、情報処理推進機構（IPA）による2004年度未踏ソフトウェア創造事業の採択テーマの一環として実装
- ▶ コンフィギュレータは、同研究室からの依頼を受けたTOPPERSプロジェクト会員の高木信尚氏が開発
- ▶ 2005年4月に開発成功を発表，同年5月にTOPPERS会員向けの早期リリースを開始
- ▶ **2006年3月に一般配付を開始**

ターゲットプロセッサ

- ▶ 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)
- ▶ 東芝 MeP (Media embedded Processor)
- ▶ 会員から他のプロセッサにポーティングしたという報告あり

今後の計画

- ▶ TOPPERS/FDMPカーネルの普及
- ▶ TOPPERS/FDMPカーネルのさらなる評価と改良
- ▶ 対称マルチプロセッサ (SMP) 向けのリアルタイムOS技術の研究・開発
- ▶ OSEK仕様準拠のリアルタイムOSを機能分散マルチプロセッサ向けに拡張

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OS
- ▶ 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

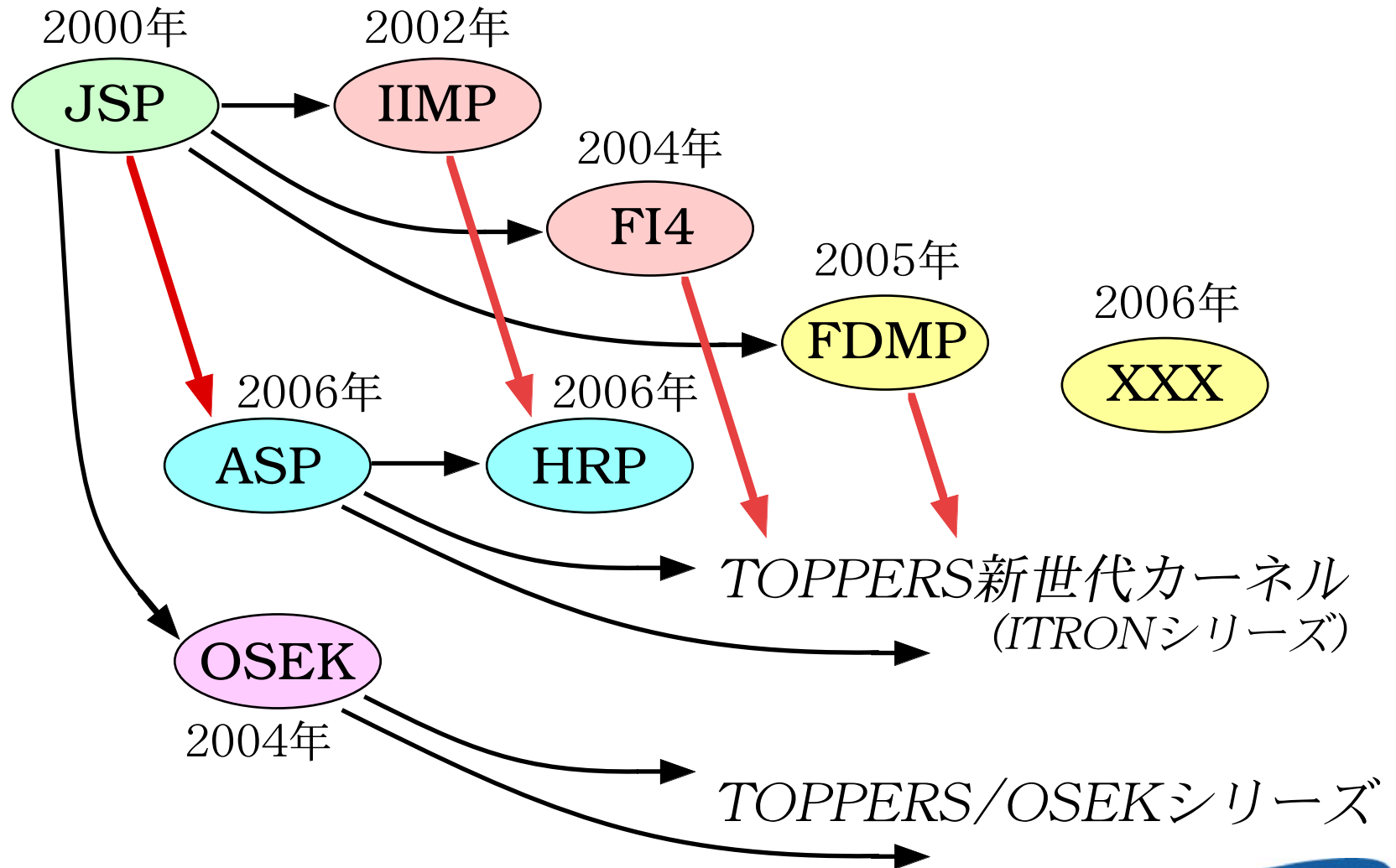
開発の経緯

- ▶ 名古屋大学 大学院情報科学研究科 組込みリアルタイムシステム研究室と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) で、宇宙機向けリアルタイムOSに関する共同研究を実施
- ▶ 2005年10月にTOPPERS/HRPカーネルの開発開始を発表
- ▶ トロン協会がIPAの情報技術開発支援事業の採択テーマにより開発したIIMPカーネルの開発成果を利用
- ▶ **2006年3月にTOPPERS会員向けの早期リリースを開始**

今後の計画

- ▶ JAXAが中心となって、宇宙機に搭載できる品質を確保するために検証を実施
- ▶ 近い将来に宇宙機に搭載することを目指す

TOPPERSカーネルの関係図と今後



FlexRay対応ミドルウェア

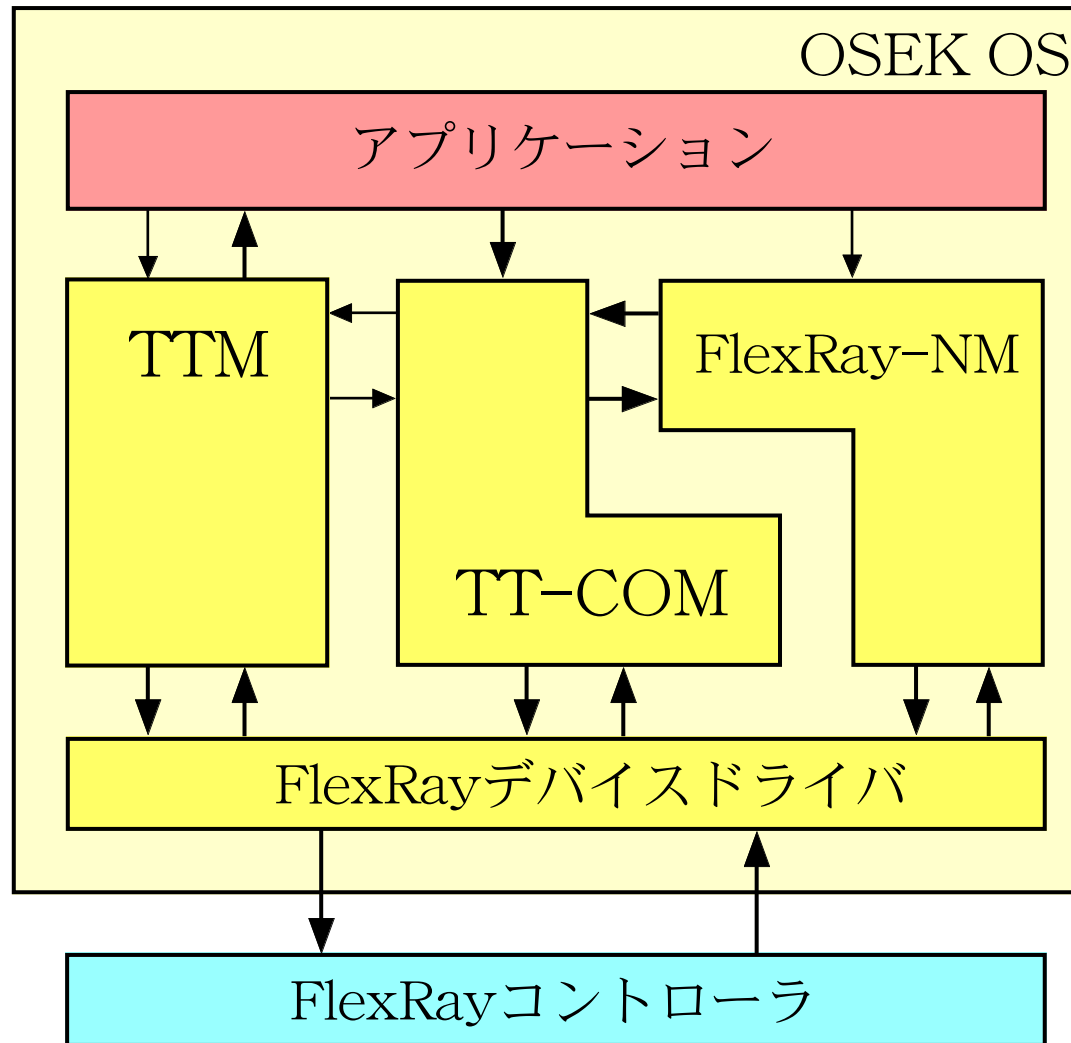
位置付け

- ▶ 次世代の車載ネットワークであるFlexRayに対応するためのリアルタイムOSの拡張機能と通信ミドルウェア
- ▶ TOPPERS/OSEKカーネル上で動作するミドルウェア群とコンフィギュレーションツール

ミドルウェアの構成要素

- ▶ タイムトリガモジュール (TTM)
- ▶ 通信ミドルウェア (TT-COM)
- ▶ ネットワーク管理ミドルウェア (FlexRay-NM)
- ▶ FlexRayコントローラのデバイスドライバ
- ▶ これらに対応するシステムジェネレータ (SG)

ソフトウェア構成



- ▶ ソフトウェア全体がOSEK仕様OS上で動作
- ▶ ただし、いずれのミドルウェアも、OSEK OSへの依存性は低い(他のOSやOS無しへの対応も容易)

タイムトリガモジュール (TTM)

役割

- ▶ FlexRayによりネットワーク全体で同期した時刻 (ネットワーク時刻) にあわせて各種の処理を起動する

機能概要

- ▶ どのネットワーク時刻 (サイクル&MT値) でどのような処理を行うか登録したテーブルに従い, 処理を呼び出す
- ▶ 行える処理は, タスクの起動, イベントのセット, デッドライン監視, コールバックルーチンの呼出し
- ▶ これにより起動したタスクは, OSEK仕様OSの通常のスケジューリング規則に従ってスケジュールされる
- ▶ 通信エラーにより, FlexRayで時刻同期がとれなくなった場合には, ローカルタイマに切り替えて処理を継続
- ▶ 通信エラーからの回復時に再同期処理を行う

OSEKtimeとの主な違い

OSEKtime : OSEK/VDXプロジェクトにより検討されたTTPをサポートするOS仕様

- ▶ OSEKtimeでは、タイムトリガ処理が通常の (OSEK仕様 OS上の) タスクよりも常に優先して実行される
 - ▶ イベント処理 (ネットワーク時刻に非依存に起動した処理) を優先したい場合には困る



OSEKtimeのアプローチは問題があると判断

- ▶ OSEKtimeは、タイムトリガOSの上にOSEK仕様OSを載せたハイブリッド構造のOSである
 - ▶ 構造が複雑、オーバヘッドは？
- ▶ TTMは、割込みハンドラの起動間隔を制御する機能を持たない。必要性について今後検討する

通信ミドルウェア (TT-COM)

役割

- ▶ FlexRayによるアプリケーションレベルのデータ (シグナル) の送受信処理を行う

機能概要

- ▶ アプリケーションデータの蓄積／キューイング処理
 - ▶ 状態メッセージ (unqueued message)
 - ➔ スタティックフレームに
 - ▶ イベントメッセージ (queued message)
 - ➔ スタティックまたはダイナミックフレームに
- ▶ (単純な) アプリケーションデータのフィルタリング処理
- ▶ アプリケーションデータのメッセージへの組立て／分解
- ▶ バイトオーダ変換
- ▶ 送受信途絶検出

ネットワーク管理ミドルウェア (FlexRay-NM)

役割

- ▶ FlexRay通信の状態管理と、FlexRay上のノードのステータス管理を行う

設計方針

- ▶ FlexRayが持つ機能をなるべく素直に使用する

機能概要

- ▶ FlexRay通信のスタートアップ処理と異常検出
- ▶ FlexRayコントローラの状態遷移
- ▶ ノード情報 (接続/未接続, スリープ要求) の管理
- ▶ スリープ要求状況の管理とスリープ状態への移行処理
- ▶ 送信フレーム内のNMベクタの生成
 - ▶ スタティックフレームの先頭4バイトを使用

FlexRay対応ミドルウェアの開発

開発の経緯

- ▶ 名古屋大学 大学院情報科学研究科 組込みリアルタイムシステム研究室 (高田・富山研究室), (株)ヴィッツ, (株)サニー技研が共同で開発
- ▶ (株)ルネサステクノロジが支援
- ▶ 2005年10月に, FlexRay対応ミドルウェアの開発完了を世界に先駆けて発表
- ▶ **2006年3月にTOPPERS会員向けの早期リリースを開始**

ターゲットシステム

- ▶ ルネサステクノロジのM32C
- ▶ ルネサステクノロジのFlexRayコントローラ

標準化に向けての活動

- ▶ JasParに対して、このソフトウェアを叩き台として標準化検討を開始することを提案
- ▶ JasParのメンバから、AUTOSARにも紹介

ソフトウェア開発に関する計画

- ▶ 他のプロセッサやネットワークコントローラへのポーティング
- ▶ JasParでの検討から出てきた要求事項に対応
- ▶ 次の段階として、フォールトトレラント機能についても検討

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

 **HiQoS** •• **High Quality Open Source**

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

TOPPERSカンファレンス2006

- ▶ 5月26日(金) に東京で開催 (タワーホール船堀)

基調講演

- ▶ TOPPERSプロジェクトの活動と今後 (仮題)
高田広章 (TOPPERSプロジェクト会長)

オーバビューセッション・チュートリアルセッション

- ▶ TOPPERSのためのオープンソース統合開発環境
- ▶ マルチプロセッサに対するTOPPERSでの取組み
- ▶ 組込みソフト教育におけるTOPPERSの使い方
- ▶ TOPPERSベースのOSに求められる品質とその検証方法
- ▶ FlexRayミドルウェアの解説とその活用事例紹介

特別講演

- ▶ 数理的技法のフィールドワーク
木下佳樹 (産総研 システム検証研究センター長)