

# 組込マルチコア用 並列化コンパイラと APIについて

経済産業省・NEDO「半導体アプリケーションチップ」  
平成17年度-19年度  
「リアルタイム情報家電用  
マルチコア技術の研究開発事業」成果を含めて

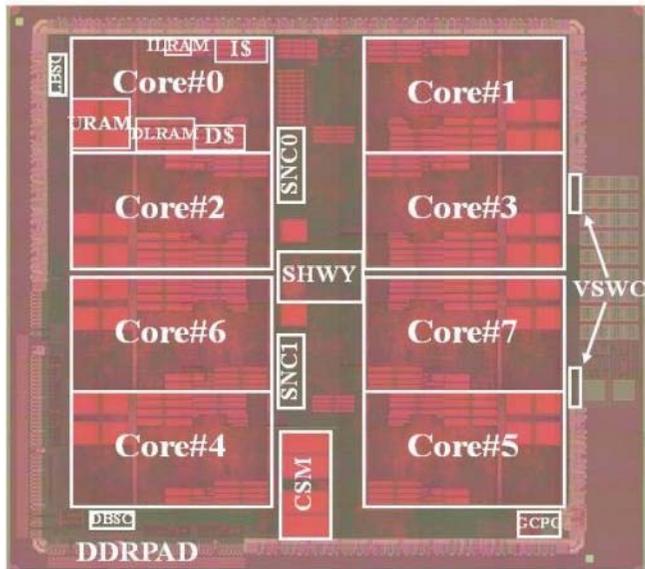
研究開発責任者(PL)

早稲田大学理工学術院基幹理工学部情報理工学科 教授  
早稲田大学アドバンスチップマルチプロセッサ研究所 所長  
笠原博徳

URL: <http://www.kasahara.cs.waseda.ac.jp/>

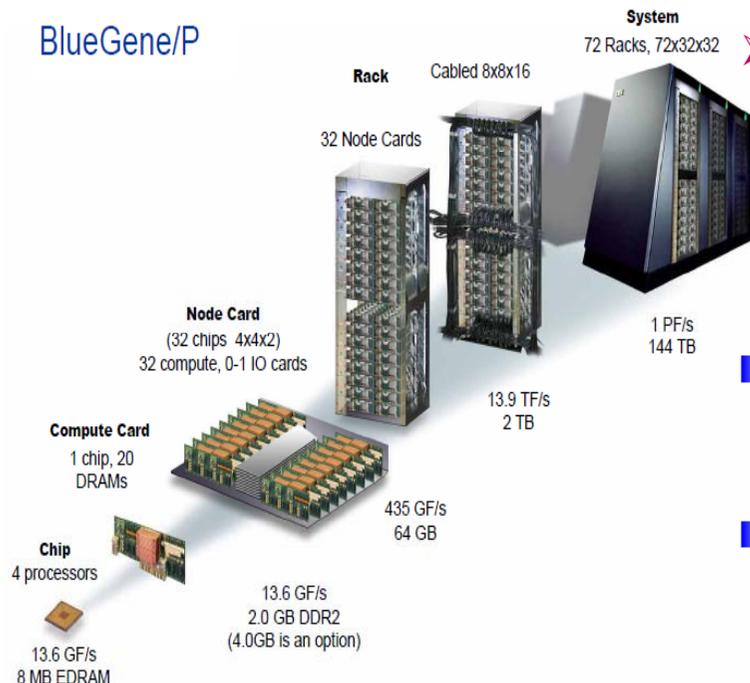
平成21年2月19日(木) 11:00-12:00 @トロン協会

# マルチコアEverywhereの時代



NEDOリアルタイム情報家電用マルチコアプロジェクト  
ルネサス試作チップ(OSCAR)標準アーキテクチャ

BlueGene/P



## ■ 組み込みプロセッサからスパコンまで

### ➤情報家電用マルチコア

カーナビ, 携帯電話, ゲーム, デジタルTV, DVD

IBM/ Sony/ Toshiba Cell, Fujitsu FR1000, Panasonic

Uniphier, NEC/ARM MPCore/MP211/NaviEngine

Renesas SH multi-core SHX3(4 core RP1, 8 core RP2)

Tilera Tile64, SPI Storm-1(16 VLIW cores)

### ➤PC,サーバ

Intel Quad Xeon, Core 2 Quad, Montvale, Tukwila, 80 core,  
AMD Quad Core Opteron, Phenom

### ➤WSs, Deskside & Highend Servers

IBM Power4,5,5+,6, HPCS 実効性能1PFLOP(Power7)

Sun Niagara(SparcT1,T2), Rock

### ➤スーパーコンピュータ

地球シミュレータ, 2002年3月完成, 5120ベクトルプロセッサ : **40TFLOPS**

IBM Blue Gene/L: **360TFLOPS**, 2005,低消費電力マルチコアベース128K processor chips, BG/Q 20PFLOPS (2011)

Blue Waters (2011年7月実効性能 1 PFLOPS : Power7)

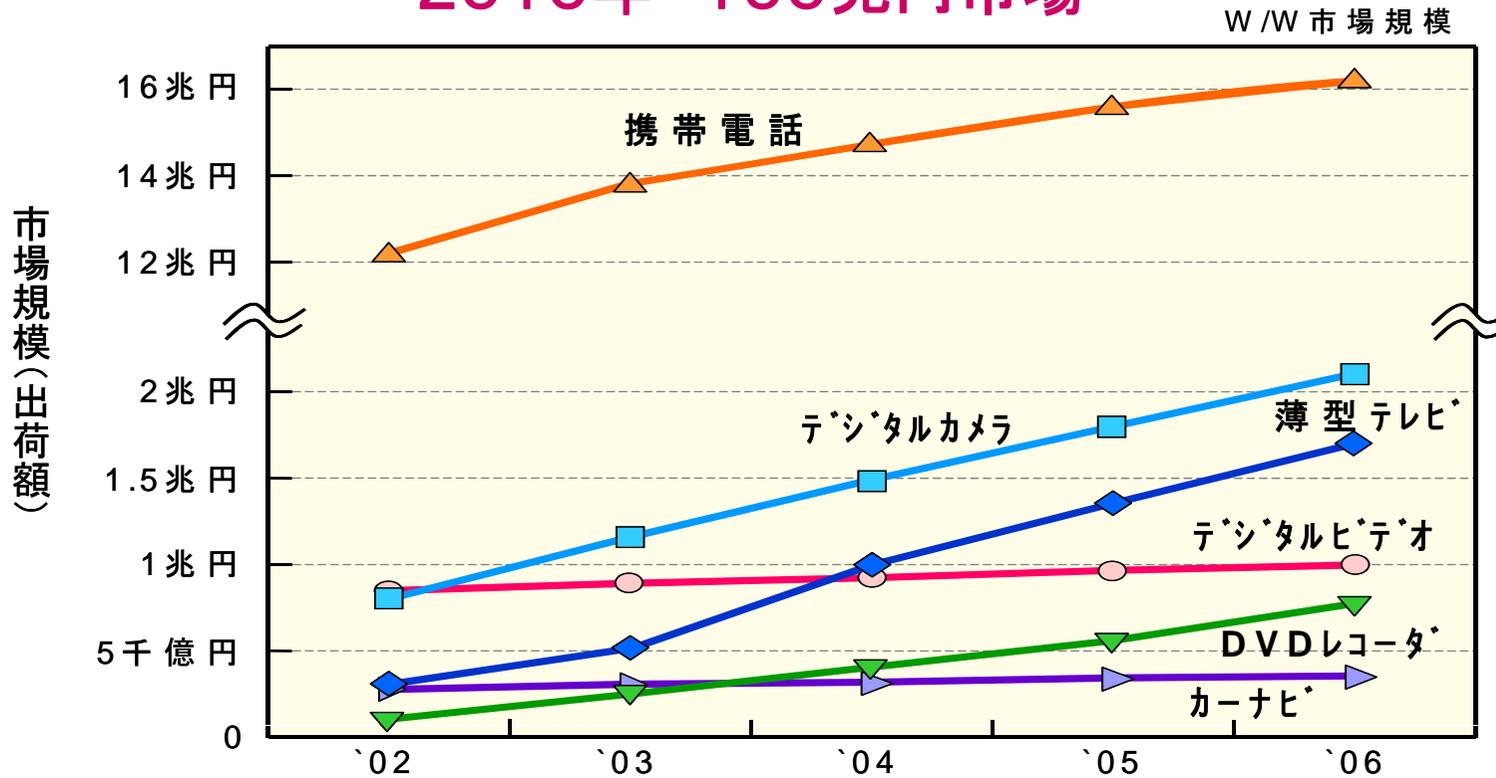
## ■ アプリケーションソフトの充実, 短期間システム開発, 低コスト, 低消費電力, 高機能化が市場競争力決定

<例>携帯電話, ゲーム, 自動車

## ■ 自動並列化コンパイラ協調型マルチコアプロセッサ必要

# リアルタイム情報家電が市場を牽引

## 2010年 100兆円市場



	'03	'07	年平均成長率%
デジタルスチルカメラ(M台)	49	76	12
デジタルTV(M台)	6	27	45
DVDレコーダ(M台)	3.6	33	74
PC用DVD(記録型)(M台)	27	114	43
携帯電話(M台)	490	670	8
自動車用半導体需要(B\$)	14.0	20.9	11

2005.5.11  
 NEDOロードマップ報告会  
 電子・情報技術開発部  
 「技術開発戦略」より

# NEDOリアルタイム情報家電用マルチコア技術

＜目的＞ DVD,デジタルTV,カーナビ,携帯電話等リアルタイム情報家電における優位化製品創出を目指したプロセッサ技術の国際競争力強化

＜研究期間＞平成17年7月～平成20年3月

＜内容＞ 下記特徴をもつマルチコア・アーキテクチャ及びコンパイラ技術の確立

- ・優れた価格性能
- ・短ハードウェア・ソフトウェア開発期間
- ・低消費電力
- ・同一アーキテクチャでローエンドからハイエンド製品まで柔軟に対応
- ・集積度向上に対するスケーラブルな性能向上(複数半導体世代に対応)
- ・異なる企業開発のマルチコア間でのアプリケーションの共用

＜API: Application Programming Interface並列化コンパイラと各マルチコアの接続＞

日立,富士通,ルネサス,東芝,松下,NEC

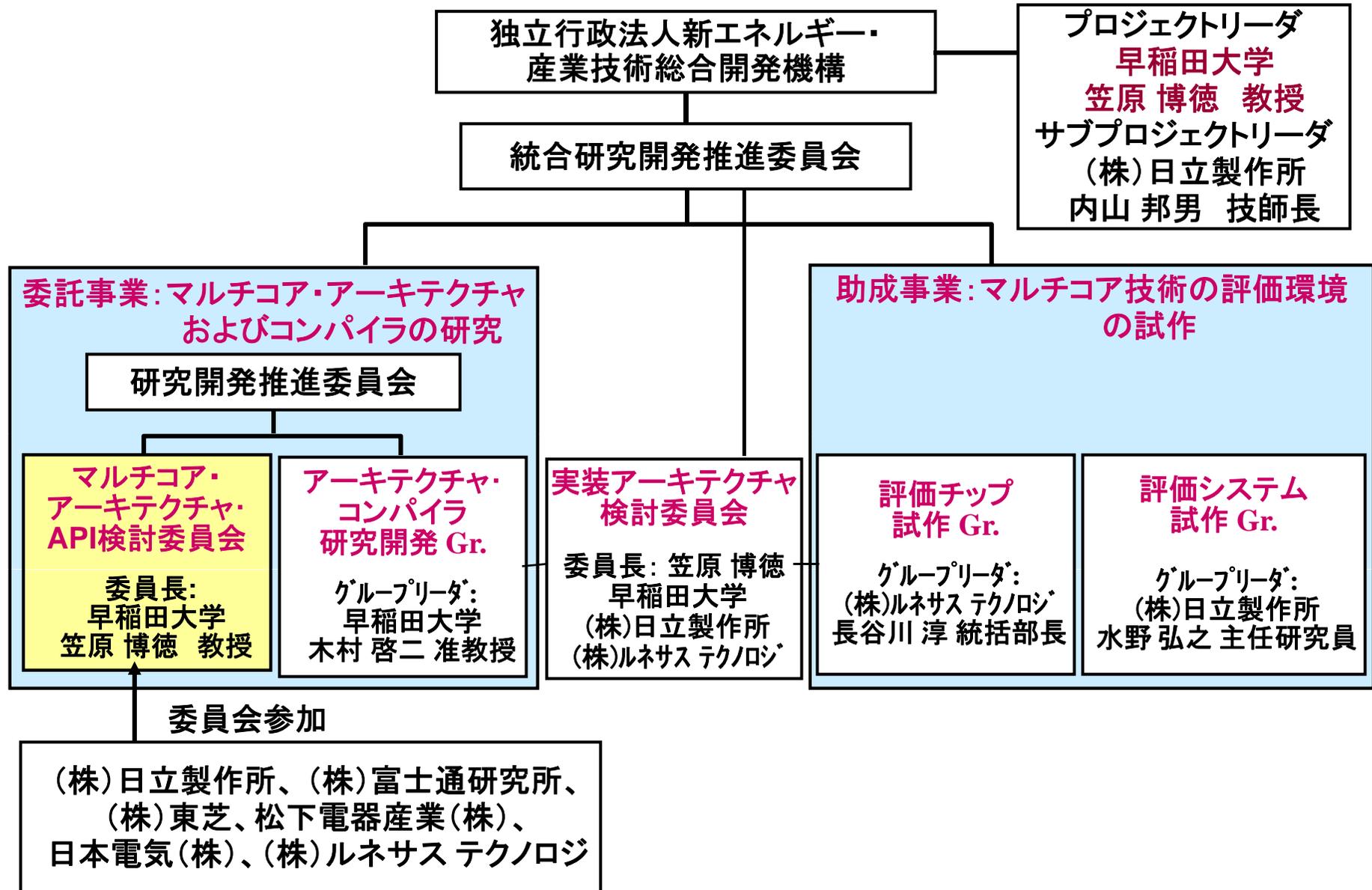
＜委託事業＞ NEDO”アドバンスト並列化コンパイラ“の成果と参加各社のプロセッサ技術を委員会及び研究により発展させ、標準的マルチコア・アーキテクチャと並列化APIを策定し、既存及び新規チップ上での性能評価を通し改良する

＜助成事業＞ 委託事業にて策定されたアーキテクチャをベースとしたチップ及びその開発環境を開発し委託研究での評価のために供与する

＜PC用プロセッサとの目的の違い＞

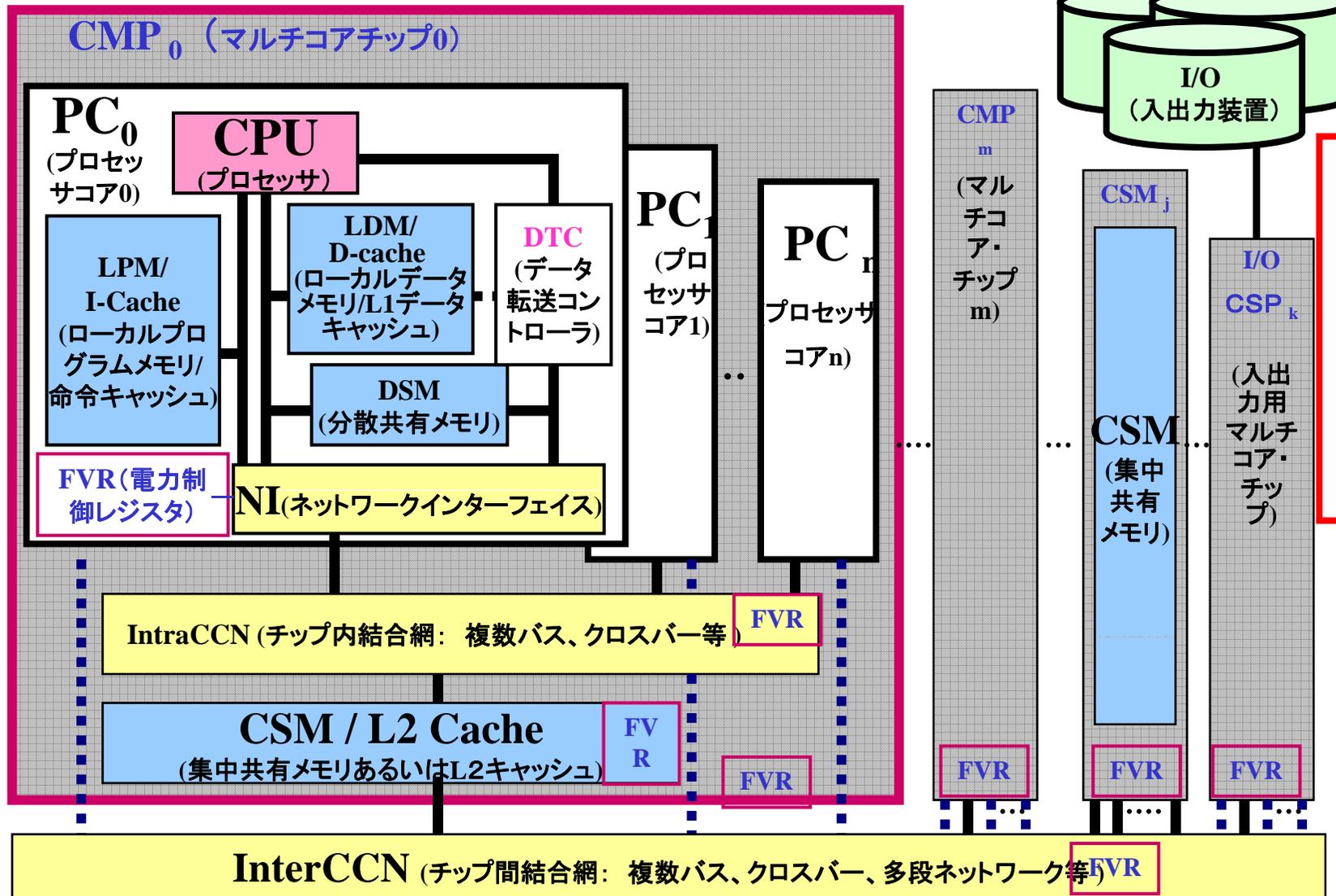
リアルタイム処理なアーキテクチャ・自然冷却可能な低消費電力性

# リアルタイム情報家電用マルチコア技術研究開発実施体制



# 標準的メモリアーキテクチャと承認されたOSCARマルチコア

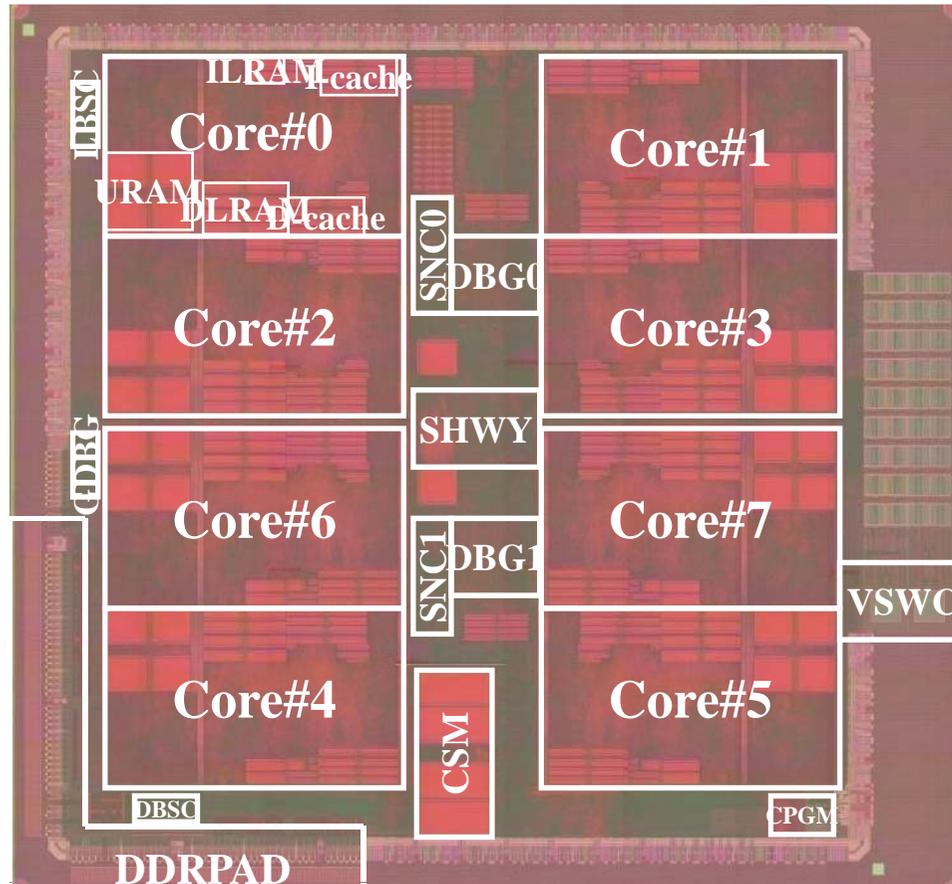
- ローカルメモリ
- 分散共有メモリ
- 集中共有メモリ(チップ内・外)
- DTC(高性能DMAC)
- 電力制御用FVR



標準メモリアーキテクチャとして  
2005年  
12月16日  
承認

# RP2 8コア搭載マルチコアLSI

## チップ諸元

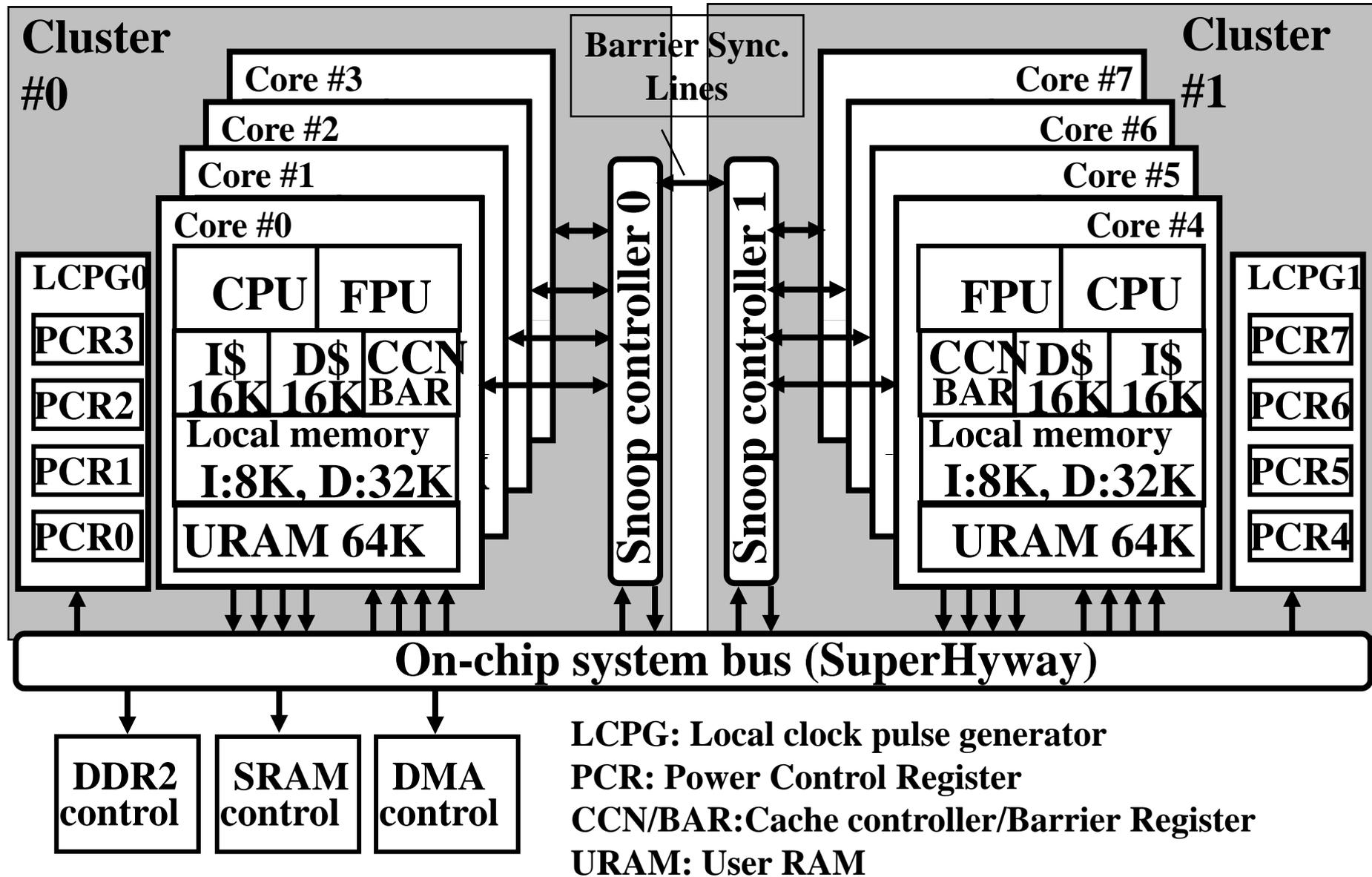


8コア集積マルチコアLSIチップ写真

プロセス	90nm CMOS, 8層メタル, 3種Vth
チップサイズ*	104.8mm <sup>2</sup> (10.61mm x 9.88mm)
電源電圧	1.0V-1.4V(コア), 1.8/3.3V(I/O)
動作周波数	600MHz
CPU性能	8640 MIPS (Dhrystone 2.1)
FPU性能	33.6 GFLOPS
低電力制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CPU毎に独立した周波数変更</li> <li>・CPUコアのクロックを停止するスリープモード</li> <li>・CPUコアの一部のクロックを停止するがキャッシュコヒーレンシ維持可能なライトスリープモード</li> <li>・CPUコアの電源供給を停止するフル電源遮断モード</li> <li>・URAM以外のCPUコアの電源供給を停止するレジューム電源遮断モード</li> </ul>

ISSCC08発表: ISSCC08 論文番号4.5, M.ITO, et al., “An 8640 MIPS SoC with Independent Power-off Control of 8 CPUs and 8 RAMs by an Automatic Parallelizing Compiler”

# 開発8 Core RP2 マルチコアのアーキテクチャ



# NEDOリアルタイム情報家電用マルチコアチップ・デモの様子

<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/honkaigi/74index.html>

## 第74回総合科学技術会議【平成20年4月10日】



第74回総合科学技術会議の様子(1)



第74回総合科学技術会議の様子(2)



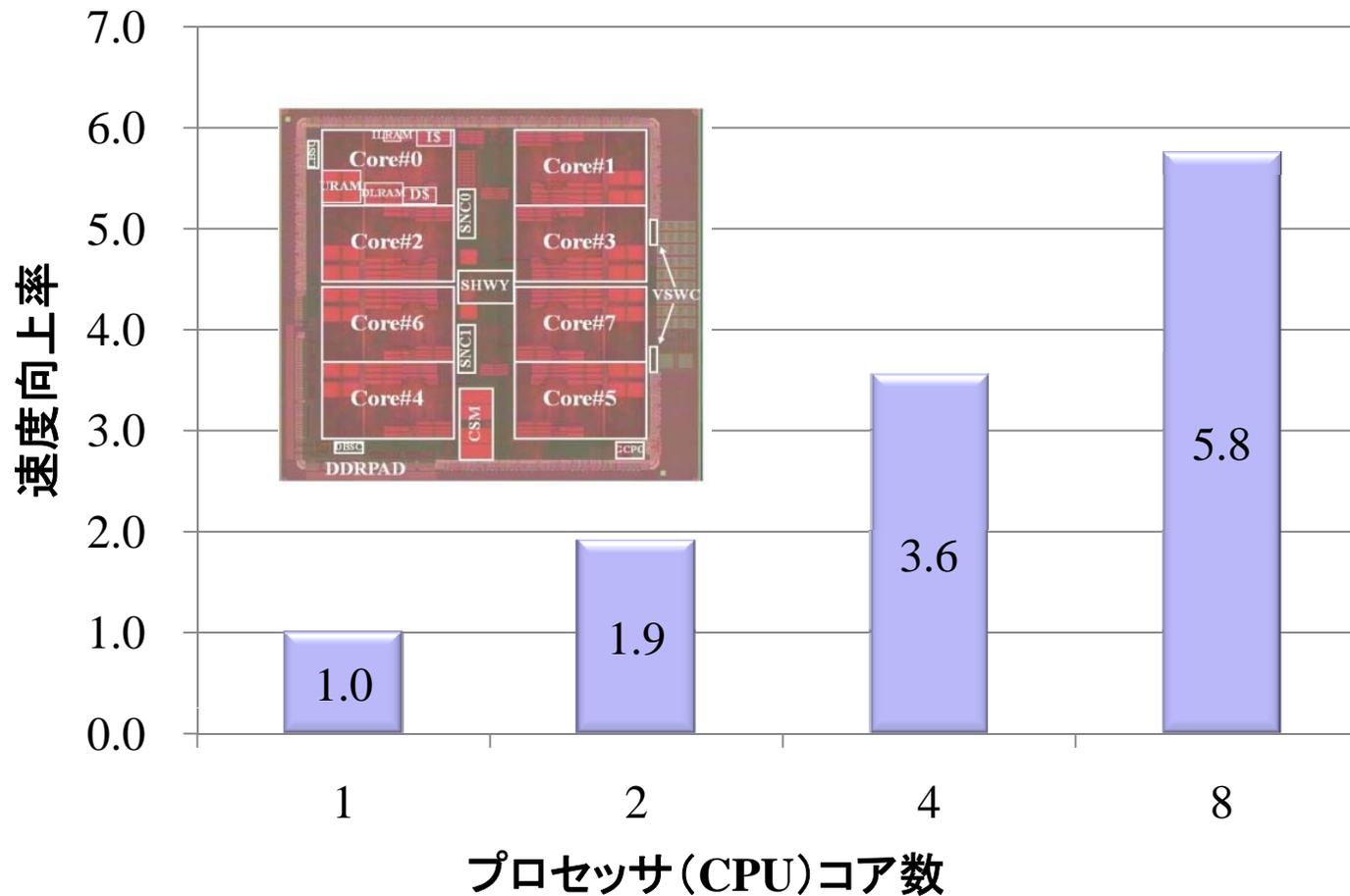
第74回総合科学技術会議の様子(3)



第74回総合科学技術会議の様子(4)

# 開発マルチコア・チップ上での 自動並列化コンパイラを用いた処理速度

オーディオ圧縮(AAC\*エンコード)処理(マルチメディア処理)  
並列化時の1プロセッサコアに対する処理速度向上率



\*) Advanced Audio Coding: ISOにおいて規格化された音声圧縮方式

# 世界をリードするマルチコア用コンパイラ技術

プロセッサ高速化における3大技術課題の解消

## 1. 半導体集積度向上(使用可能トランジスタ数増大)に対する速度向上率の鈍化

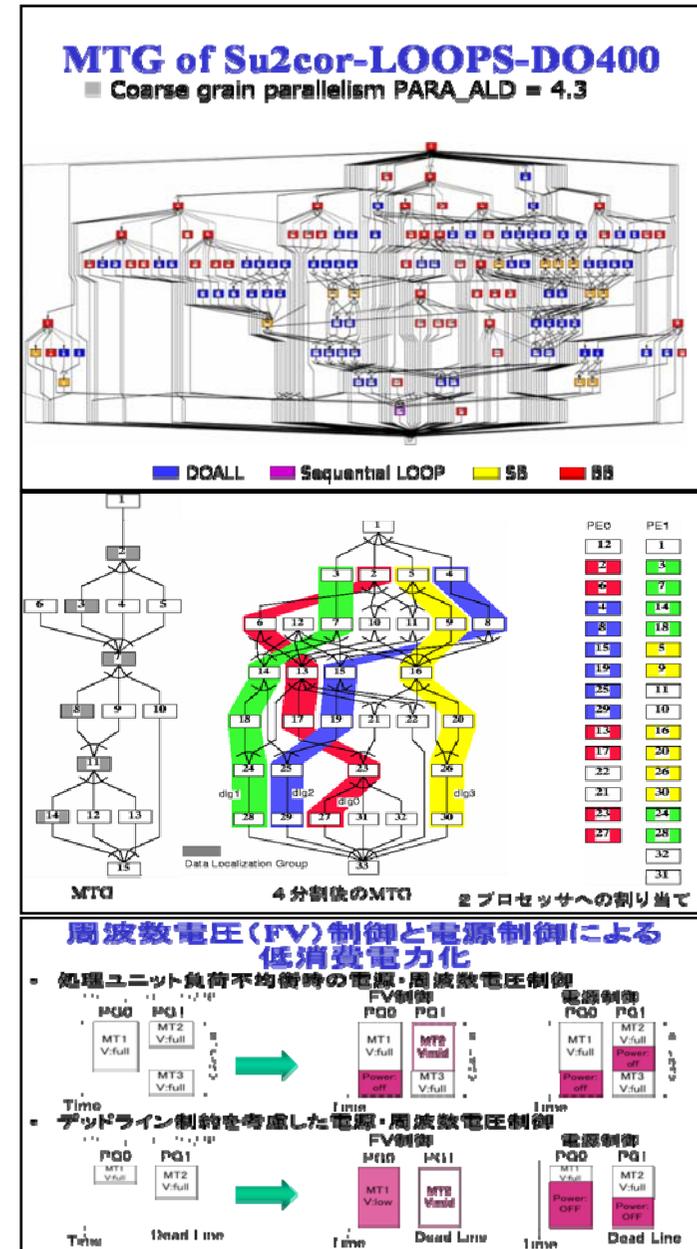
- 粗粒度タスク並列化、ループ並列化、近細粒度並列化によりプログラム全域の並列性を利用するマルチグレイン並列化機能により、従来の命令レベル並列性より大きな並列性を抽出し、複数マルチコアで速度向上

## 2. メモリウォール問題

- コンパイラによるローカルメモリへのデータ分割配置、DMAコントローラによるタスク実行とオーバーラップしたデータ転送によりメモリアクセス・データ転送オーバーヘッド最小化

## 3. 消費電力増大による速度向上の鈍化

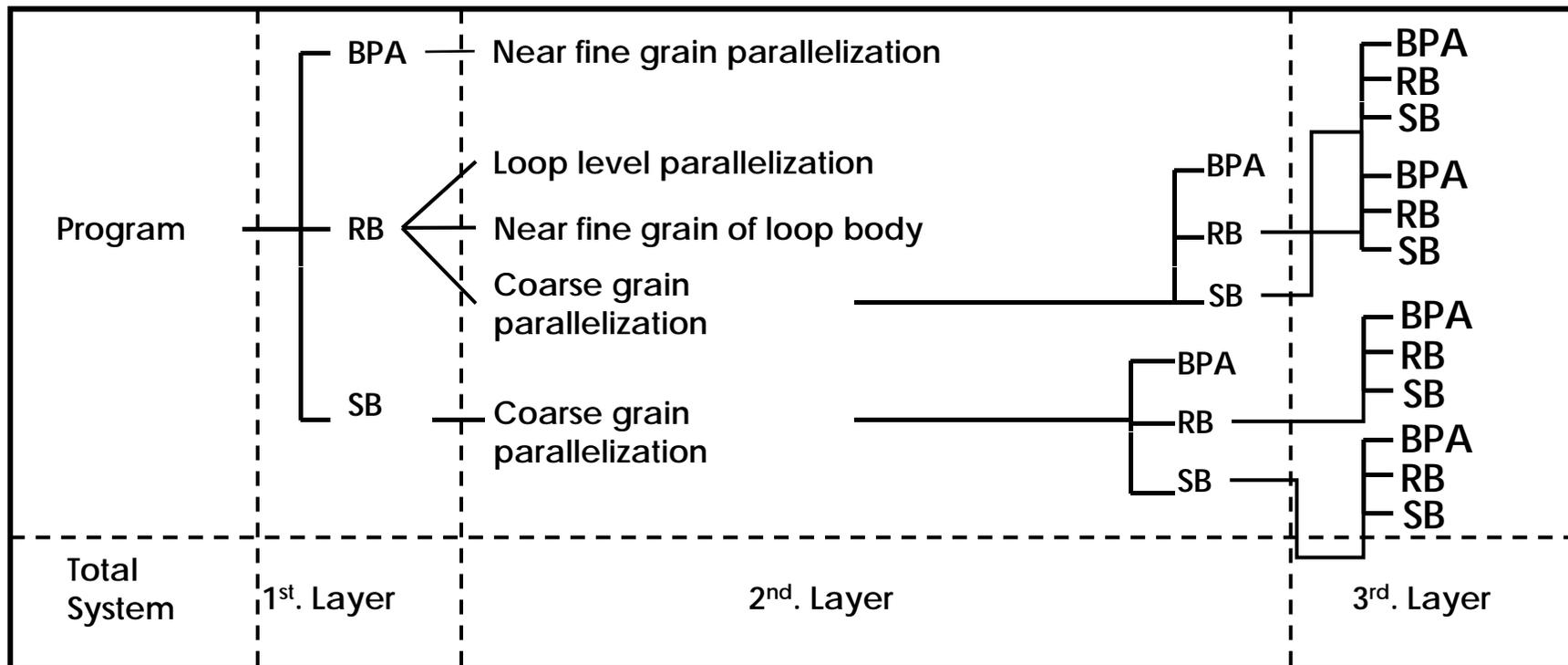
- コンパイラによる低消費電力制御機能を用いたアプリケーション内でのきめ細かい周波数・電圧制御・電源遮断により消費電力低減



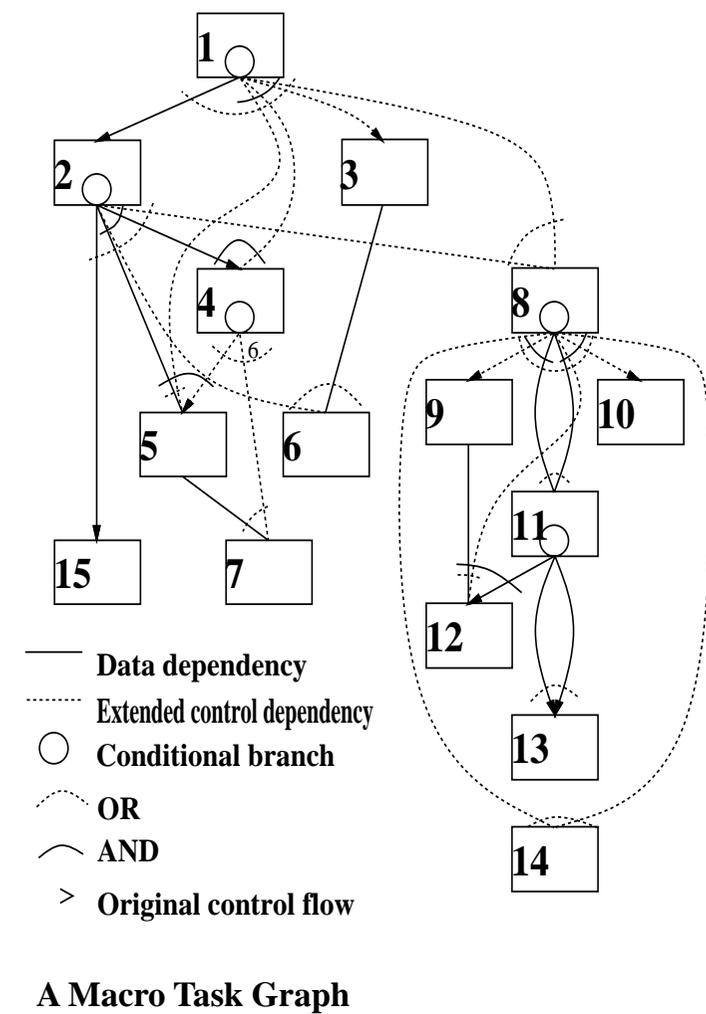
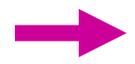
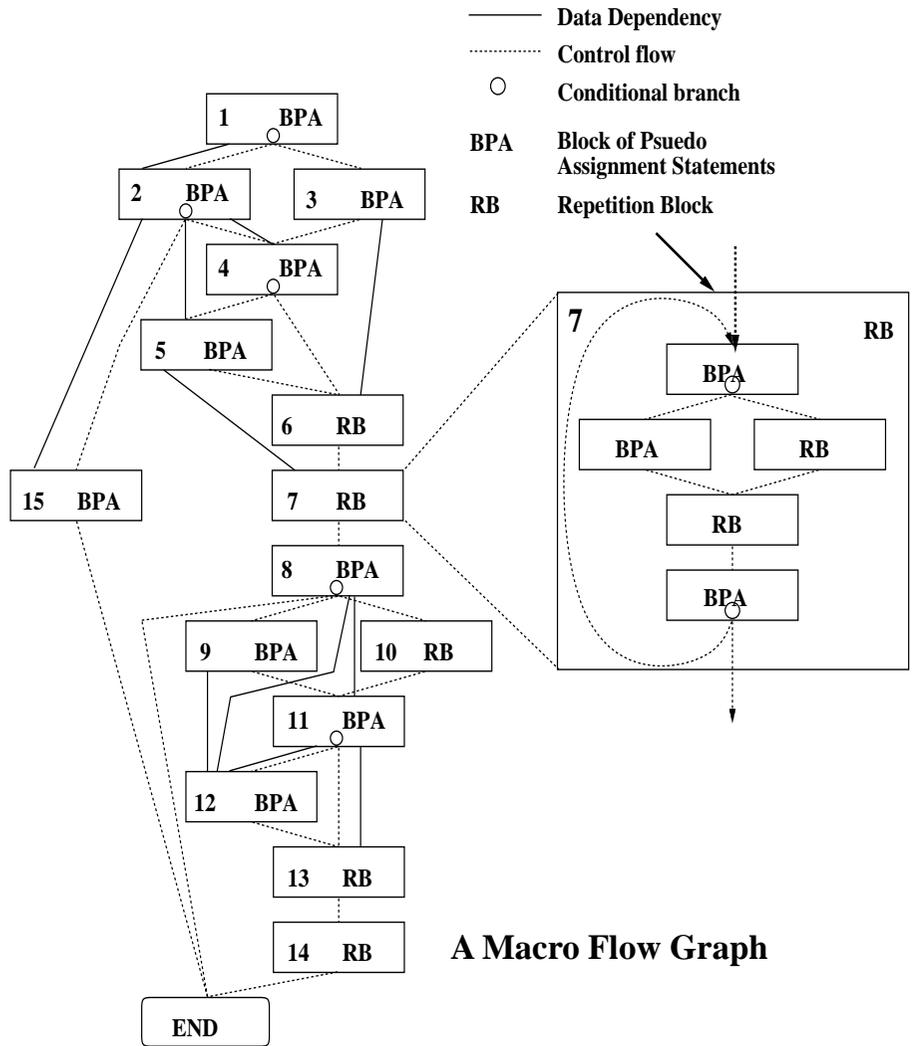
# Generation of coarse grain tasks

## ■ Macro-tasks (MTs)

- **Block of Pseudo Assignments (BPA): Basic Block (BB)**
- **Repetition Block (RB) : natural loop**
- **Subroutine Block (SB): subroutine**

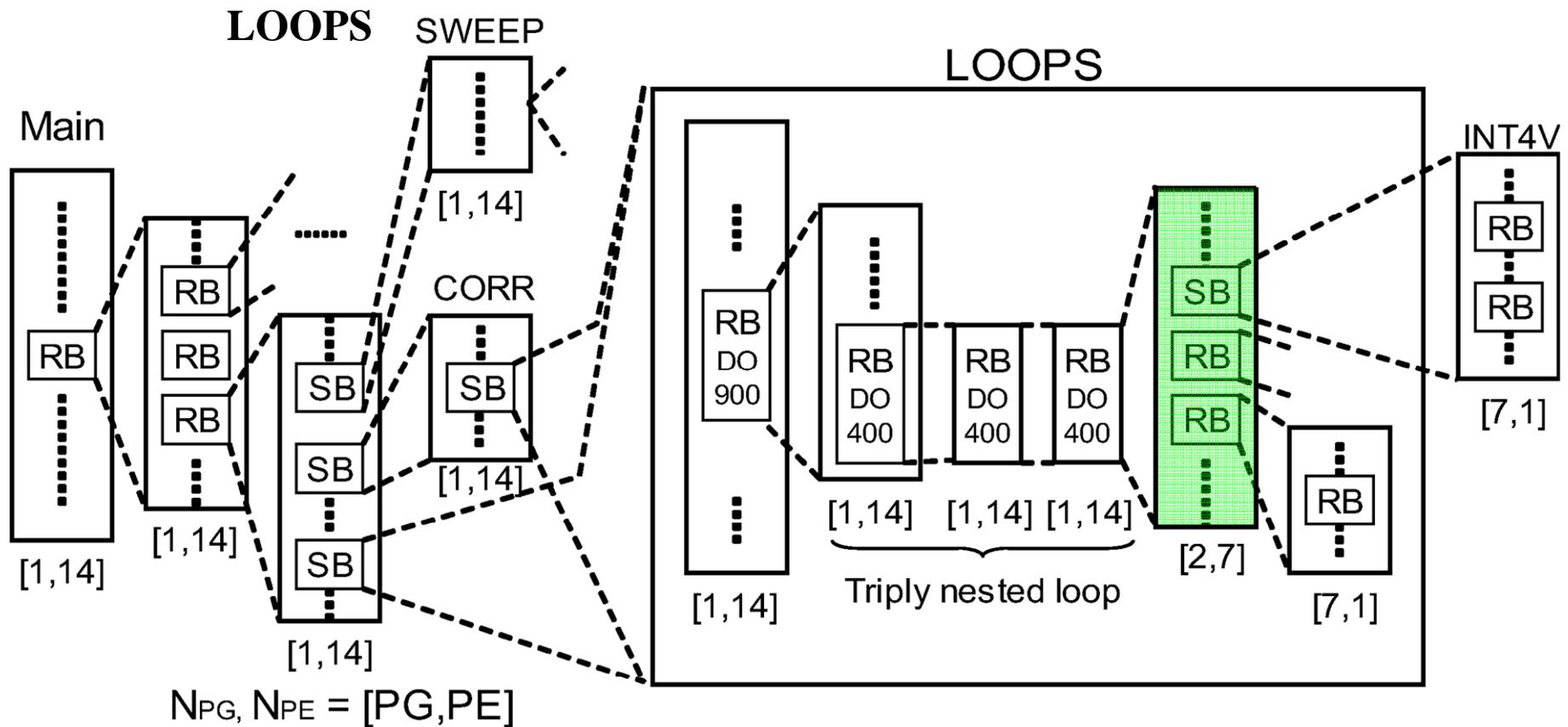


# Earliest Executable Condition Analysis for coarse grain tasks (Macro-tasks)



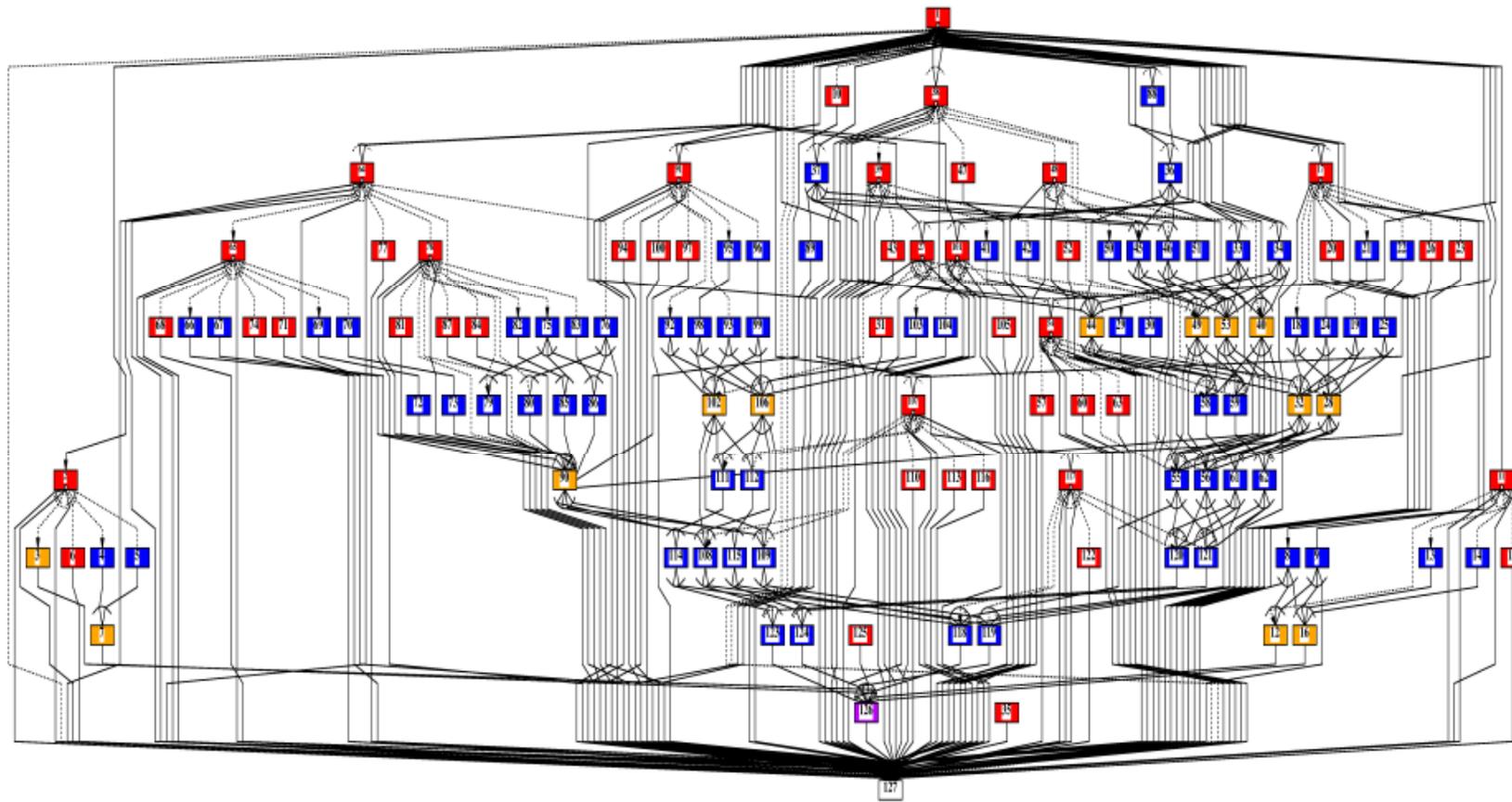
# Automatic processor assignment in su2cor

- Using 14 processors
  - Coarse grain parallelization within DO400 of subroutine



# MTG of Su2cor-LOOPS-DO400

- Coarse grain parallelism  $\text{PARA\_ALD} = 4.3$



DOALL

Sequential LOOP

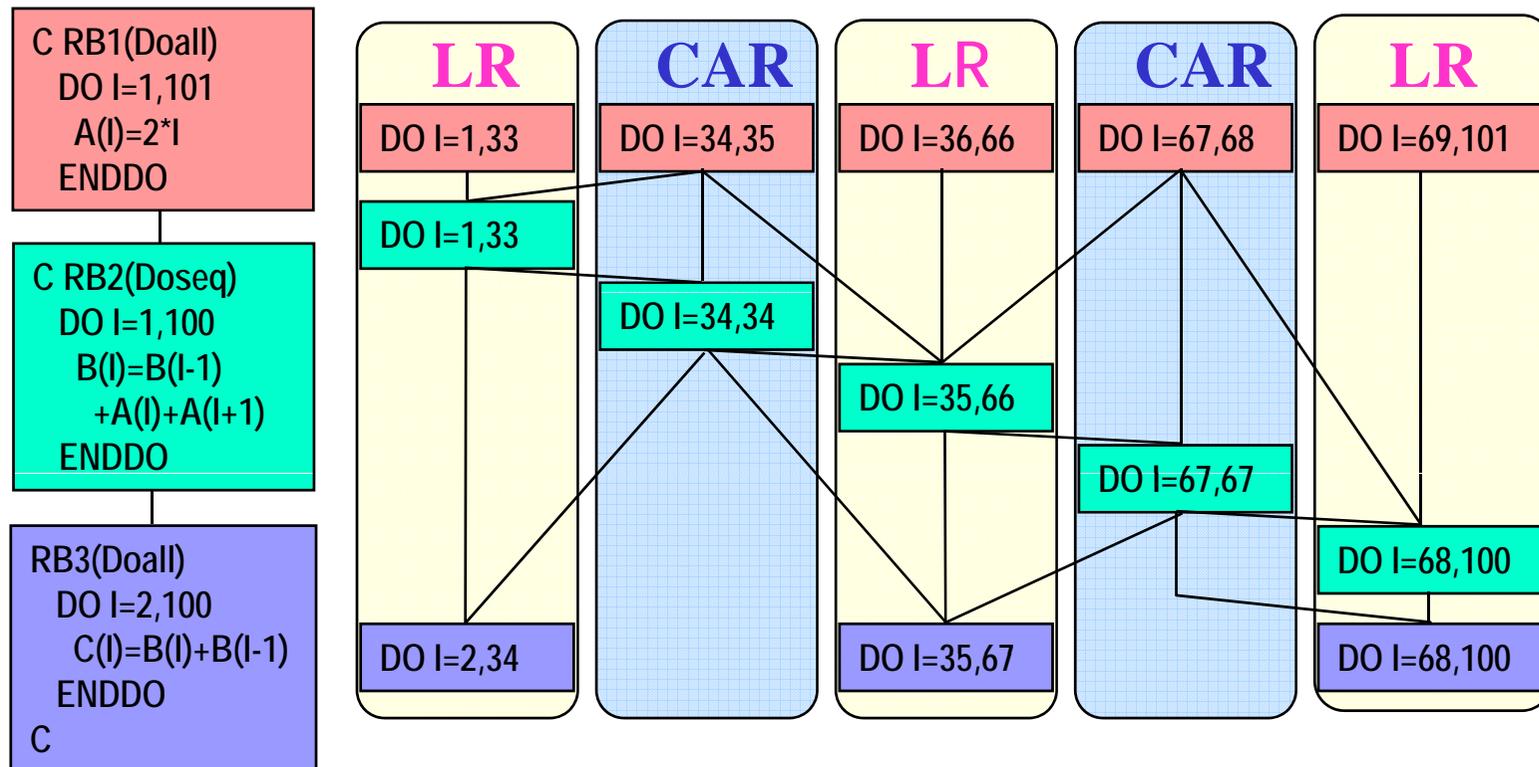
SB

BB

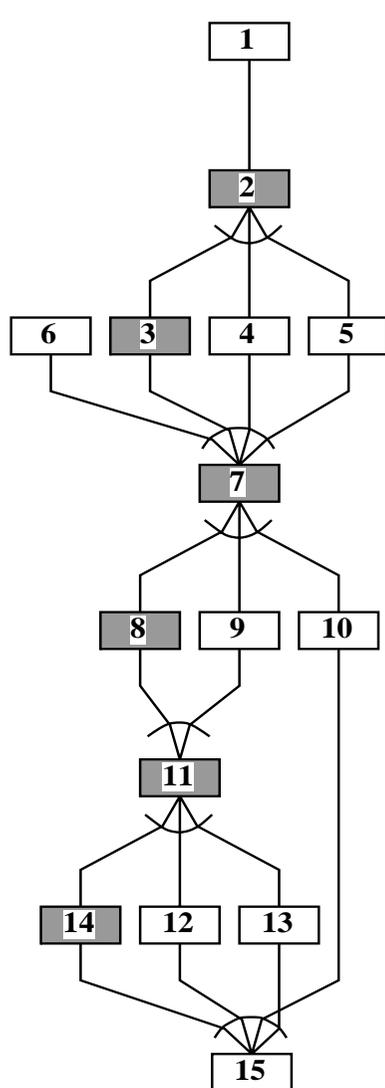
# Data-Localization

## Loop Aligned Decomposition

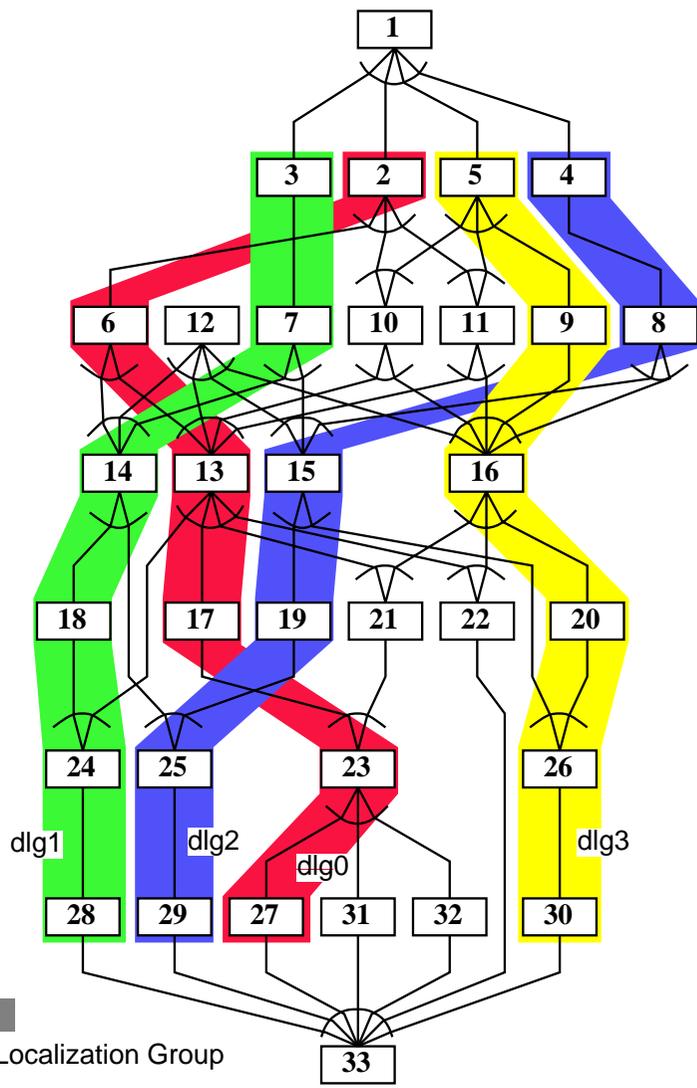
- Decompose multiple loop (Doall and Seq) into **CARs** and **LRs** considering inter-loop data dependence.
  - Most data in **LR** can be passed through LM.
  - LR**: Localizable Region, **CAR**: Commonly Accessed Region



# データローカライゼーションのイメージ



MTG



4分割後のMTG

PE0	PE1
12	1
2	3
6	7
4	14
8	18
15	5
19	9
25	11
29	10
13	16
17	20
22	26
21	30
23	24
27	28
	32
	31

2プロセッサへの割り当て

## An Example of Data Localization for Spec95 Swim

```

DO 200 J=1,N
DO 200 I=1,M
  UNEW(I+1,J) = UOLD(I+1,J)+
1  TDT8*(Z(I+1,J+1)+Z(I+1,J))*(CV(I+1,J+1)+CV(I,J+1)+CV(I,J)
2  +CV(I+1,J))-TDT8*(H(I+1,J)-H(I,J))
  VNEW(I,J+1) = VOLD(I,J+1)-TDT8*(Z(I+1,J+1)+Z(I,J+1))
1  *(CU(I+1,J+1)+CU(I,J+1)+CU(I,J)+CU(I+1,J))
2  -TDT8*(H(I,J+1)-H(I,J))
  PNEW(I,J) = POLD(I,J)-TDT8*(CU(I+1,J)-CU(I,J))
1  -TDT8*(CV(I,J+1)-CV(I,J))
200 CONTINUE

```

```

DO 210 J=1,N
  UNEW(1,J) = UNEW(M+1,J)
  VNEW(M+1,J+1) = VNEW(1,J+1)
  PNEW(M+1,J) = PNEW(1,J)
210 CONTINUE

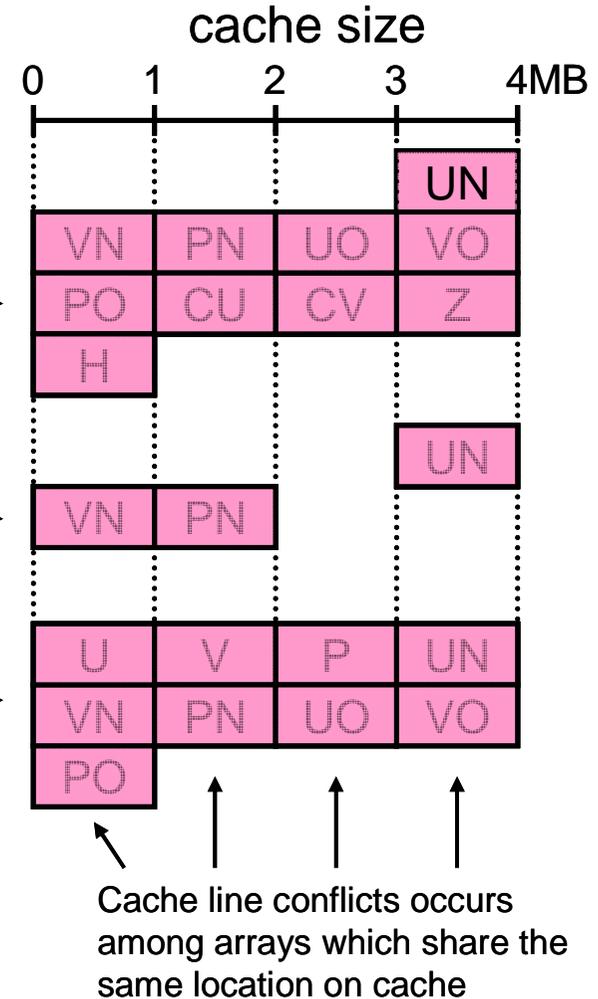
```

```

DO 300 J=1,N
DO 300 I=1,M
  UOLD(I,J) = U(I,J)+ALPHA*(UNEW(I,J)-2.*U(I,J)+UOLD(I,J))
  VOLD(I,J) = V(I,J)+ALPHA*(VNEW(I,J)-2.*V(I,J)+VOLD(I,J))
  POLD(I,J) = P(I,J)+ALPHA*(PNEW(I,J)-2.*P(I,J)+POLD(I,J))
300 CONTINUE

```

(a) An example of target loop group for data localization



(b) Image of alignment of arrays on cache accessed by target loops

# Data Layout for Removing Line Conflict Misses by Array Dimension Padding

## Declaration part of arrays in spec95

before padding

after padding

PARAMETER (N1=513, N2=513)

PARAMETER (N1=513, N2=544)

COMMON U(N1,N2), V(N1,N2), P(N1,N2),

COMMON U(N1,N2), V(N1,N2), P(N1,N2),

\* UNEW(N1,N2), VNEW(N1,N2),

\* UNEW(N1,N2), VNEW(N1,N2),

1 PNEW(N1,N2), UOLD(N1,N2),

1 PNEW(N1,N2), UOLD(N1,N2),

\* VOLD(N1,N2), POLD(N1,N2),

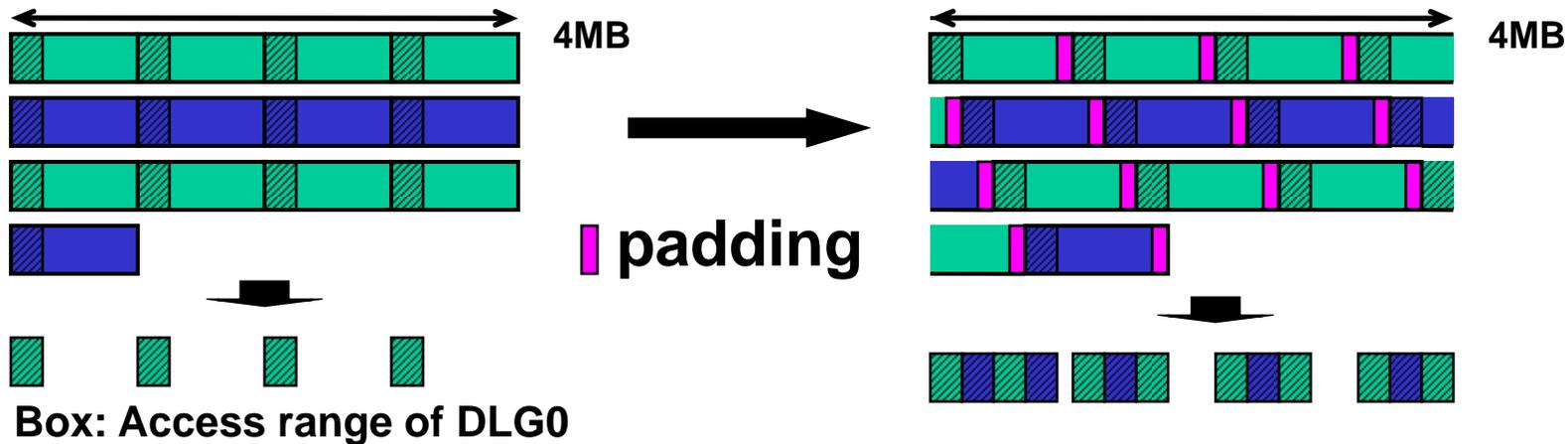
\* VOLD(N1,N2), POLD(N1,N2),

2 CU(N1,N2), CV(N1,N2),

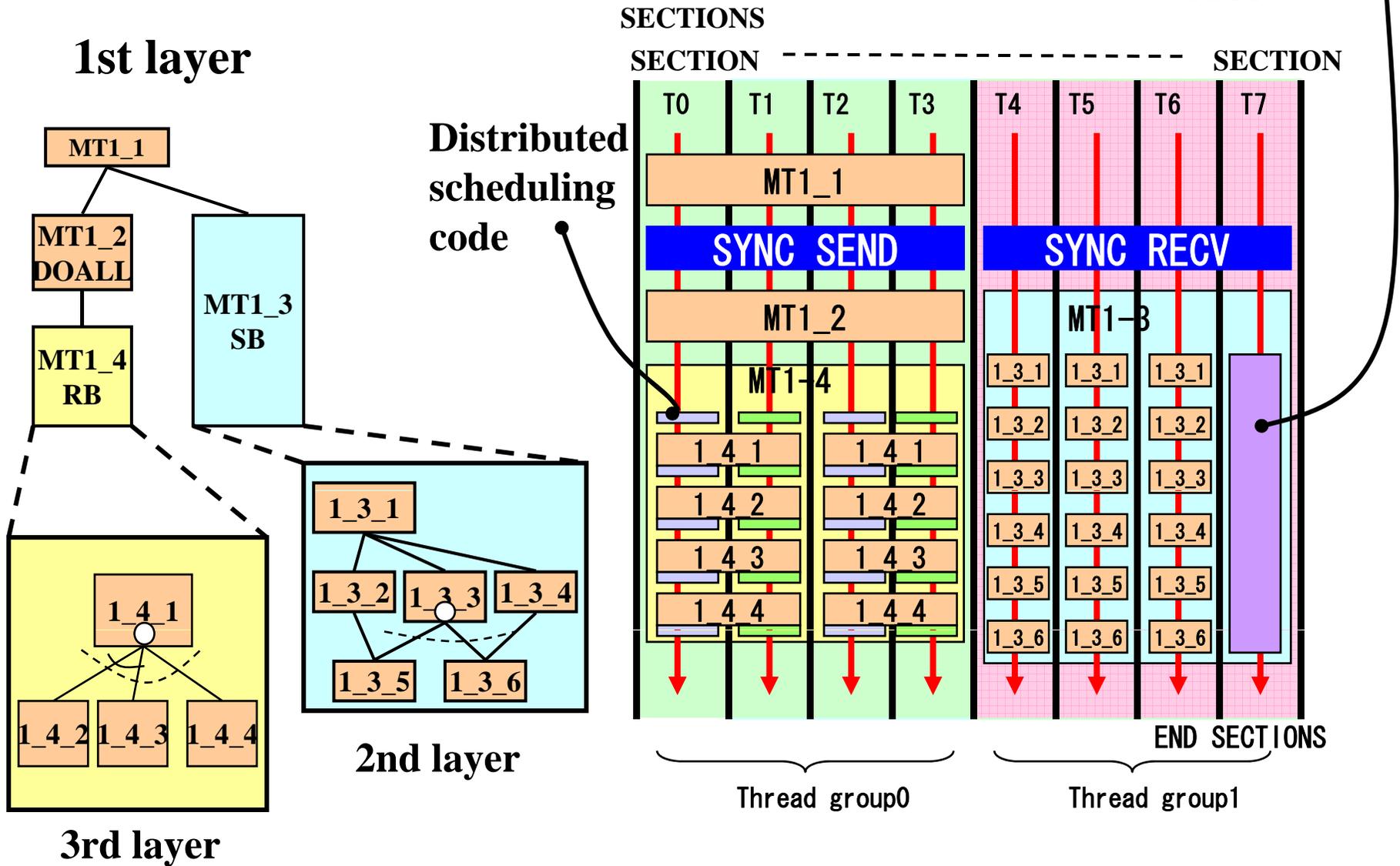
2 CU(N1,N2), CV(N1,N2),

\* Z(N1,N2), H(N1,N2)

\* Z(N1,N2), H(N1,N2)

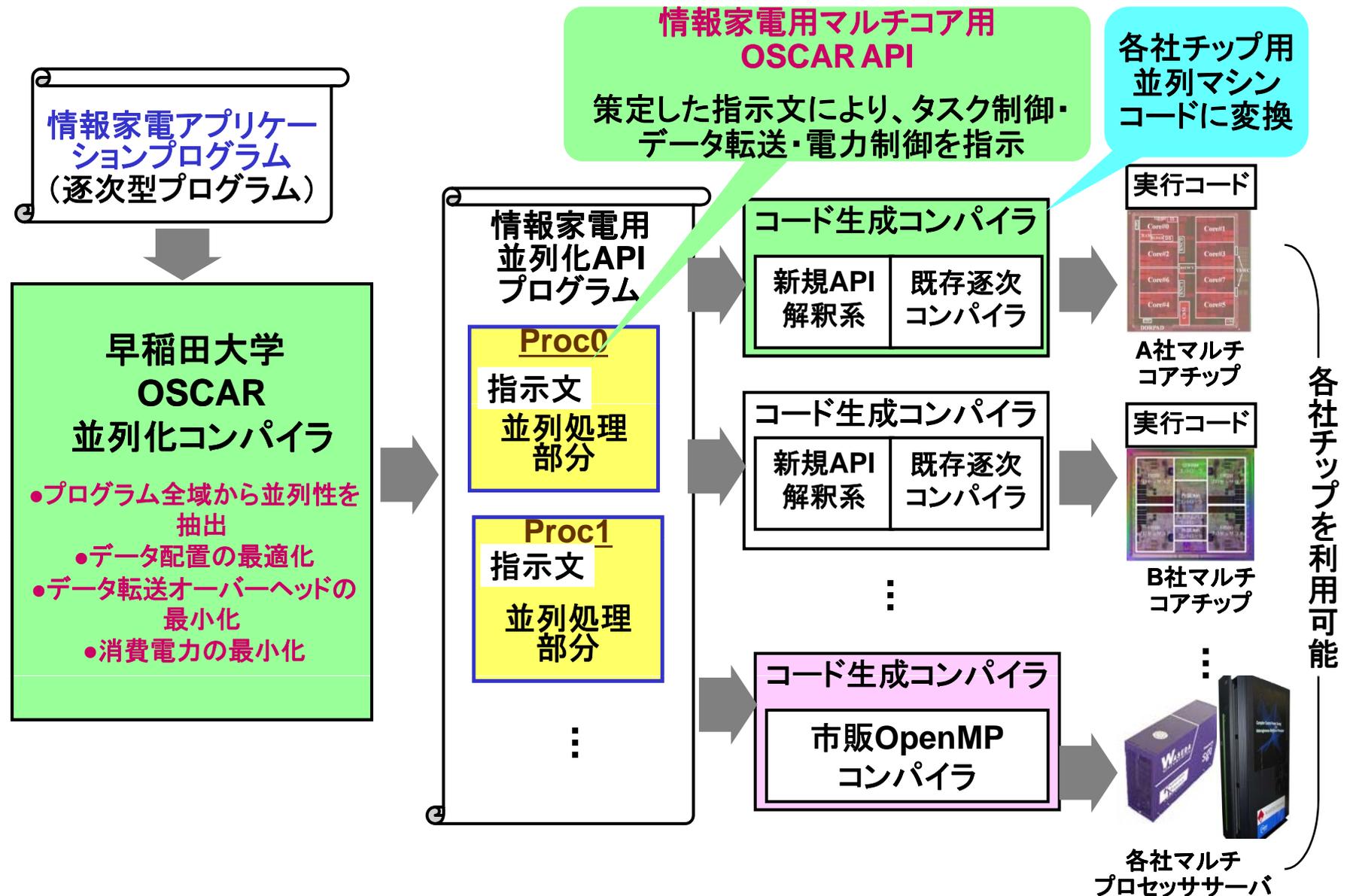


# OSCARコンパイラが自動生成するマルチコアAPI (OpenMP互換)利用、階層マルチグレイン 並列プログラムのイメージ



# OSCAR APIを用いたコンパイル・実行の流れ

API: Application Programming Interface



# 低消費電力リアルタイム並列処理を可能とするAPI

## OSCAR API概要

### <主な特徴>

- ユーザプログラムからの低消費電力制御を可能とする指示文
- リアルタイム並列処理を可能とするメモリ管理・時間管理用指示文
- プロセッサによる計算実行と並列してメモリからのデータ転送を可能とするDMA転送指示文
- 異なる企業のマルチコア間でのプログラム移植が容易
- 15種の指示文のみに抑えたコンパクトな規格で、指示文を理解する小規模ソフトウェアを開発するだけで、既存の逐次コンパイラを用いて並列マシンコードを作成できる。初期導入コストが小
- 早稲田OSCAR並列化コンパイラの利用により、逐次プログラムからAPI入り並列化プログラムの自動生成可能。人手では数ヶ月を要する低消費電力並列化プログラムを数分で自動作成可
- 新規指示文はプログラム中のコメント文の形でユーザプログラムに挿入されるため、市販OpenMPコンパイラを用い、マルチコアPC、サーバ上でも実行可能

# 低消費電力リアルタイム並列処理を可能とするAPI

## OSCAR API概要

指示文リスト 詳細は <http://www.kasahara.cs.waseda.ac.jp/index.ja.html> 参照

- 共有メモリ並列処理用 OpenMP 指示文 (4 種)
  - 並列スレッドの生成指示文
  - 排他同期制御用クリティカルセクション指示文
  - メモリー貫性制御指示文
  - スレッドプライベート変数指示文
- <新規>組込及びリアルタイム処理用メモリ配置指示文 (3 種)
  - オンチップ集中共有メモリへのデータ配置を指定する指示文
  - ローカルデータメモリにデータを配置する指示文 (OpenMP 指示文の拡張利用)
  - 各プロセッサコア上の分散共有メモリへのデータ配置を指定する指示文
- <新規>組込及び高性能計算用データ転送指示文 (4 種)
  - データ転送コントローラを用いた転送指定する指示文 (詳細指示は下記指示文を用いて指定)
  - 連続したデータ領域の転送を指定する指示文
  - とびとびのデータを転送するストライド転送を指定する指示文
  - データ転送コントローラによる同期フラグセット及びチェックを行う指示文
- <新規>低消費電力制御用指示文 (2 種)
  - CPU 等の各種モジュールの周波数・電圧・電源遮断制御を下記 100 分率で指定する指示文  
100 : 最大周波数で動作、50 : 周波数を 1/2 にスローダウン、0 : クロックオフ等。各動作周波数に対応した電圧レベルの指示可能。-1 : リーク電力を抑える電源遮断。
  - 指定したモジュールの周波数・電源状態を取得する指示文
- <新規>メニーコア対応ネスト並列処理用グループバリア同期指示文 (1 種)
  - 任意の CPU グループに対するバリア同期を指定する指示文
- <新規>リアルタイム処理用 タイマー指示文 (1 種)
  - デッドライン管理のため経過時間を取得するタイマー指示文

# 情報家電マルチコア用OSCAR APIに関するプレスリリース(2008.11.11)とAPI詳細を公開したシンポジウム(2008.11.14)

  
 WASEDA UNIVERSITY  
 Press Release

2008年11月11日

報道機関 各位

早稲田大学広報室

**<世界初> 異なるメーカーの情報家電用マルチコア上で低消費電力リアルタイム並列処理を実現するソフトウェア規格(API)を開発・公開**

IT・半導体6社と共に NEDO プロジェクトにて、世界初の低消費電力リアルタイム並列処理を可能とする API(アプリケーション・プログラム・インターフェイス)[OSCAR API]を開発・公開。逐次プログラムから API で記述された並列処理プログラムを自動生成する OSCAR 自動並列化コンパイラを開発し、異なる企業のマルチコア上で音楽・映像等のマルチメディア処理の高速化と88%の電力削減に成功。

早稲田大学 (所在地: 東京都新宿区、総長: 白井寛彦) 理工学術院の笠原博徳教授らのグループは、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「リアルタイム情報家電用マルチコア技術の研究開発」プロジェクト(プロジェクトリーダー: 同教授)において、(株)東芝、日本電気 (株)、パナソニック (株)、(株)日立製作所、(株)富士通研究所、(株)ルネサス テクノロジーの6社 (社名五十音順) と共に、異なる企業のマルチコアプロセス上で、情報家電用アプリケーションプログラムや科学技術計算プログラムの低消費電力リアルタイム並列処理を可能とするソフトウェア規格 (API: アプリケーション・プログラム・インターフェイス)を開発し、2008年11月14日(金)に公開し、

この API を用いることにより、携帯電話、カーナビ、デジタルテレビ、ビデオカメラ、DVD レコーダ、ゲーム機等の情報家電向けマルチコア用プログラムを簡単に作成できると共に、異なるメーカーのマルチコア間でプログラムの移植性を高めることができます。

開発した OSCAR (Optimally Scheduled Advanced Multiprocessor) API は、市販の PC 用マルチコアやマルチプロセッサ上で利用されている OpenMP<sup>®</sup> API が対象としている共有メモリ型マルチプロセッサ用の並列化機能との互換性を保ちながら、OpenMP では実現されていない、小容量ローカルメモリを利用した並列処理、プロセスによるプログラム実行と並列したデータ転送用ハードウェアを用いたデータ転送、消費電力の削減<sup>①</sup>を実現しています。また、OSCAR API で記述されたプログラムは、OpenMP サポートのコンパイラによりマルチコア PC やサーバ上で実行することができます。

本学が開発した OSCAR 自動並列化コンパイラを用いると、通常のプログラムを、自動的に API を用いて並列化されたマルチコア用高性能・低消費電力化プログラムに変換できます。これにより、従来高度な知識と経験を持つ専門家でも数週間から数ヶ月を要していた並列プログラムの作成を数分程度に短縮することができます。OSCAR コンパイラにより開発 API を用いて自動並列化されたプログラムはプロジェクトで開発した新規 4 コア及び 8 コアの情報家電用マルチコア、及び異なるメーカーのコアを用いた既存の情報家電用マルチコア、さらにはマルチコア PC やハイエンドマルチプロセッササーバ上で、以下のような性能を実現しています。

① 世界初の、コンパイラによる自動電力削減に成功し、新規開発 8 コアのマルチコア上でリアルタイム・オーディオ・データ圧縮処理時の消費電力を 88%削減 (1/9 に削減)、映像データ・ブロード時の消費電力

※本ご案内は、文部科学記者会、科学記者会、経産省記者会、経済団体記者会、新聞・通信各社の科学部様にお送りしております。

【本件に関するお問い合わせ先】早稲田大学 理工学術院 情報理工学 教授 笠原博徳  
TEL: 03-5286-3371 FAX: 03-3232-3594 E-mail: kasahara@waseda.jp

【情報発信元】早稲田大学広報室広報課 担当 矢古宇  
TEL: 03-3202-5454 FAX: 03-3202-9435 E-mail: koho@list.waseda.jp URL: http://www.waseda.jp/

も動作も可能。  
マルチメディア処理の自動並列  
2 コアのマルチプロセッササー  
学術院 55N 号館 1 階にて開催  
「チップ・コンパイラ・API」に  
紙をご参照ください。  
別冊、半導体の進化と共に開  
されます。

以上



※本ご案内は、文部科学記者会、科学記者会、経産省記者会、経済団体記者会、新聞・通信各社の科学部様にお送りしております。

【本件に関するお問い合わせ先】早稲田大学 理工学術院 情報理工学 教授 笠原博徳  
TEL: 03-5286-3371 FAX: 03-3232-3594 E-mail: kasahara@waseda.jp

【情報発信元】早稲田大学広報室広報課 担当 矢古宇  
TEL: 03-3202-5454 FAX: 03-3202-9435 E-mail: koho@list.waseda.jp URL: http://www.waseda.jp/

## 「低消費電力マルチコア・シンポジウム」 —情報家電用マルチコアチップ・コンパイラ・API—

<http://www.kasahara.c.waseda.ac.jp/index.js.html>

2008年11月14日(金)

早稲田大学理工学術院 55N 号館 1 階、〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1

アクセス: <http://www.sci.waseda.ac.jp/campus/index.html>

<講演会> 午後 3:00~6:00 大会開催

<デモ・懇親会> 午後 6:15~8:00 第 1 会場開催

参加費無料・事前登録不要

主催 早稲田大学 IT 研究機構アドバンスドチップマルチプロセッサ研究所

後援: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

早稲田大学 GCOE アンビエント SoC 教育研究の国際拠点

マルチコアプロセッサは、携帯電話、デジタルテレビ、Blu-ray レコーダ、ビデオカメラ、カーナビのような情報家電機器、ロボット、自動車のようなリアルタイム制御システムから、PC、サーバ、スーパーコンピュータまで、身の回りの多くの情報システムで、高性能化、低消費電力化のために採用されています。本シンポジウムでは、NEDO「リアルタイム情報家電用マルチコア」プロジェクトで開発されたマルチコアチップ、並列化コンパイラ、各社のマルチコア上でのアプリケーションプログラムの移植性を高めるリアルタイム低消費電力並列処理を可能とするマルチコア用 API (OSCAR API) 等を含め、最先端の情報家電用マルチコアとソフトウェア技術を、講演・デモを通じ、ご紹介いたします。

\*OSCAR API は上記 NEDO プロジェクトにて産学共同で開発されたソフトウェアインターフェイスです。

### プログラム

#### <講演> (講演者敬称略)

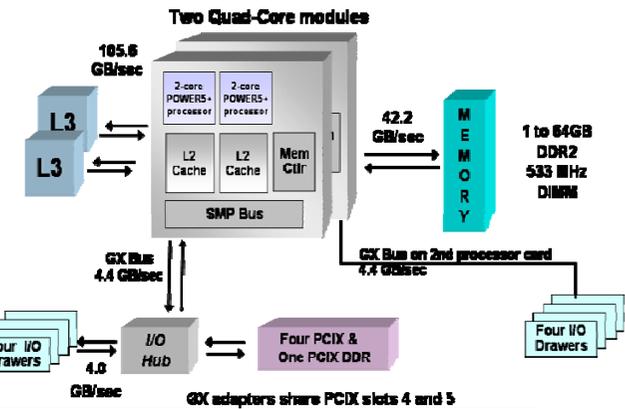
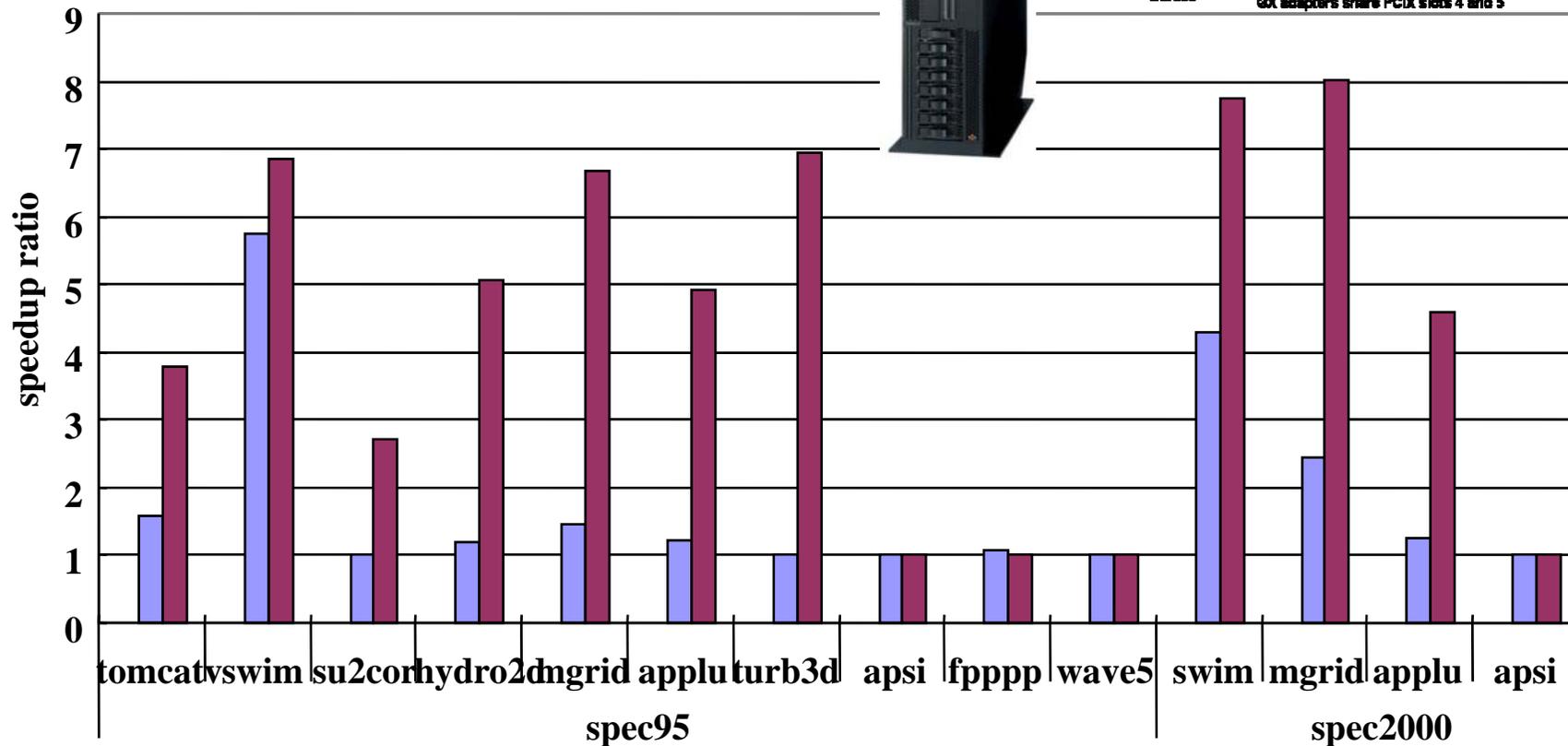
- 3:00-3:05 ご挨拶
- 3:05-3:25 リアルタイム情報家電用マルチコア・アーキテクチャ・コンパイラ・API  
早稲田大学 笠原博徳
- 3:25-3:50 リアルタイム情報家電マルチコア用 OSCAR API  
早稲田大学 木村啓二
- 3:50-4:10 低消費電力情報家電用マルチコア: RZ1, RZ2  
(株) ルネサス テクノロジー 伊藤雅之
- 4:10-4:30 マルチコア API 解家コンパイラの開発  
(株) 日立製作所 佐藤真幸
- 4:30-4:40 休憩
- 4:40-5:00 Spurs Engine のアーキテクチャとその狙い  
(株) 東芝 萩田誠明
- 5:00-5:20 低消費電力マルチコア M2 Core とソフトウェア技術  
日半雄英 (株) 神楽直人
- 5:20-5:40 UmZhir プラットフォームにおけるマルチプロセッサ  
パナソニック (株) 木村浩三
- 5:40-6:00 低消費電力 FR1000 マルチコアプロセッサ  
(株) 富士通研究所 鈴木貴久
- <マルチコア・チップ・コンパイラ・API デモ及び懇親会> (総括)
- 6:15-8:00 (株) 東芝、日本電気 (株)、パナソニック (株)、(株) 日立製作所、  
(株) 富士通研究所、(株) ルネサス テクノロジー、早稲田大学によるデモ

【問合せ先】早稲田大学 アンビエント GCOE 東京事務局 菊池雅子  
〒167-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 63 号館-5F-20  
TEL: (03) 5155-5822 E-Mail: GCOE-ASOC@list.waseda.jp

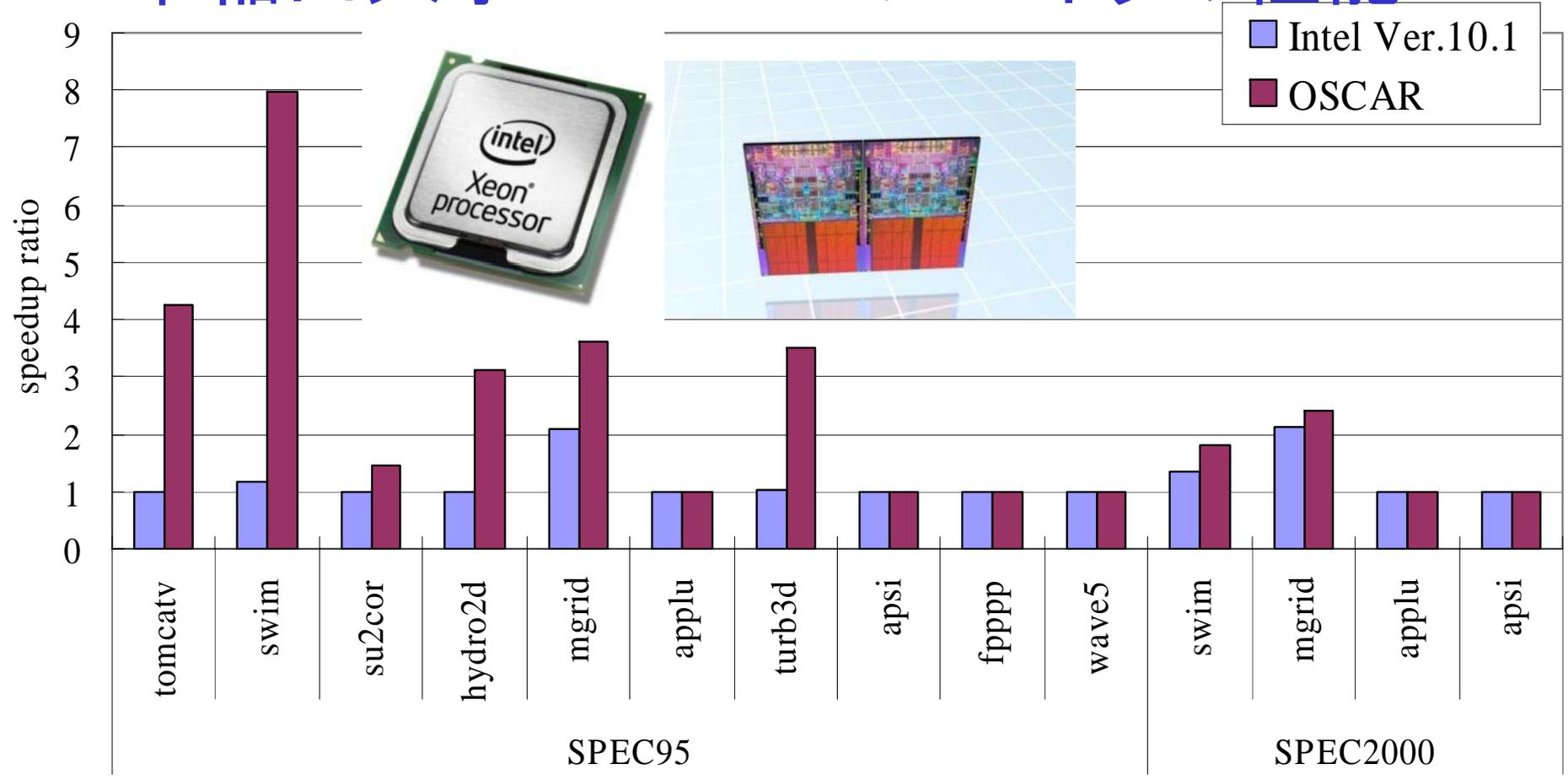
# IBMサーバp550q上でのOSCAR並列化コンパイラの性能

8プロセッサコア・マルチプロセッサシステム上で  
従来のループ並列化に対し、2.7倍の高速化

- ループ並列化
- マルチグレイン並列化

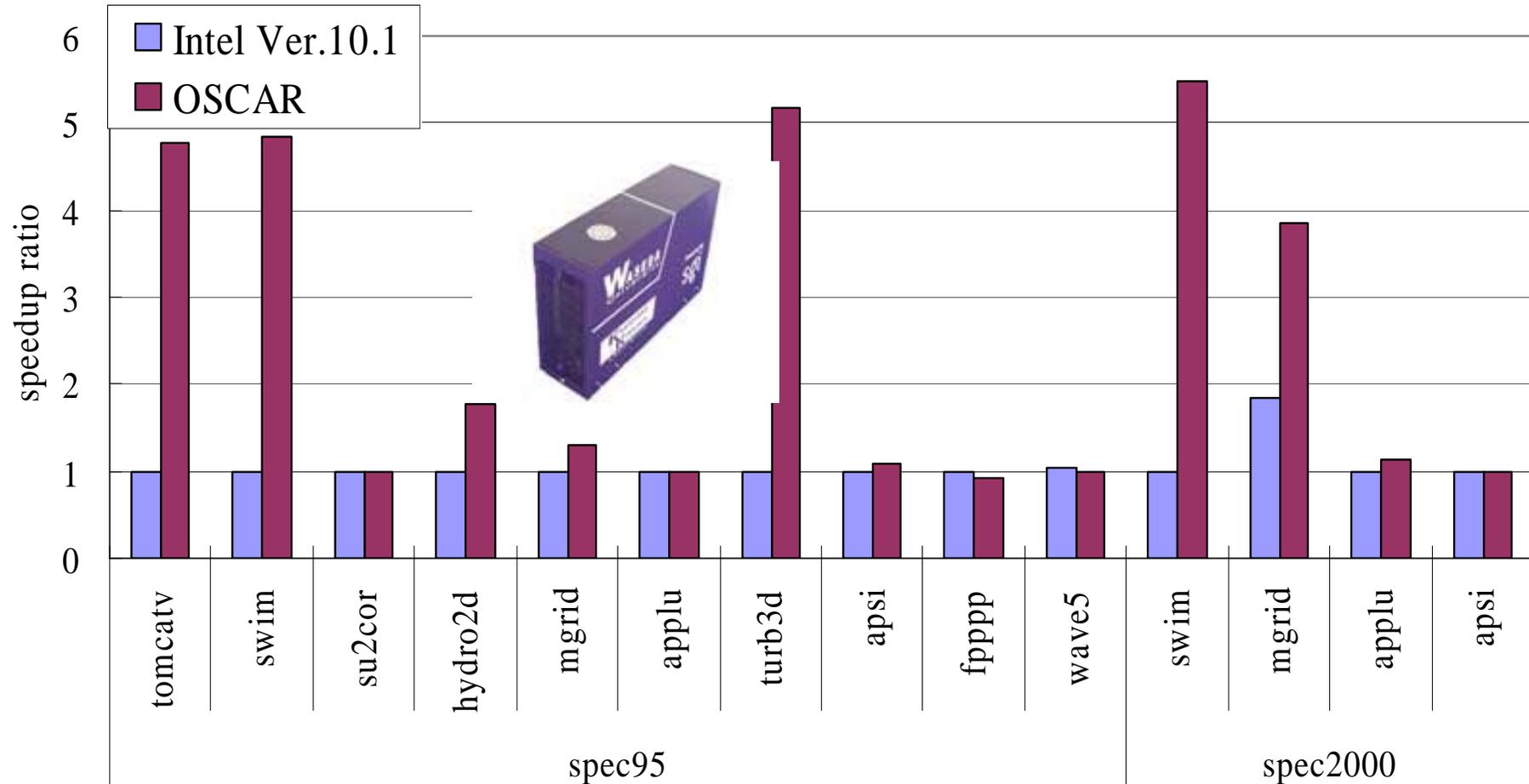


# インテル クアッドコア Xeon プロセッサ上での 早稲田大学 OSCAR コンパイラの性能



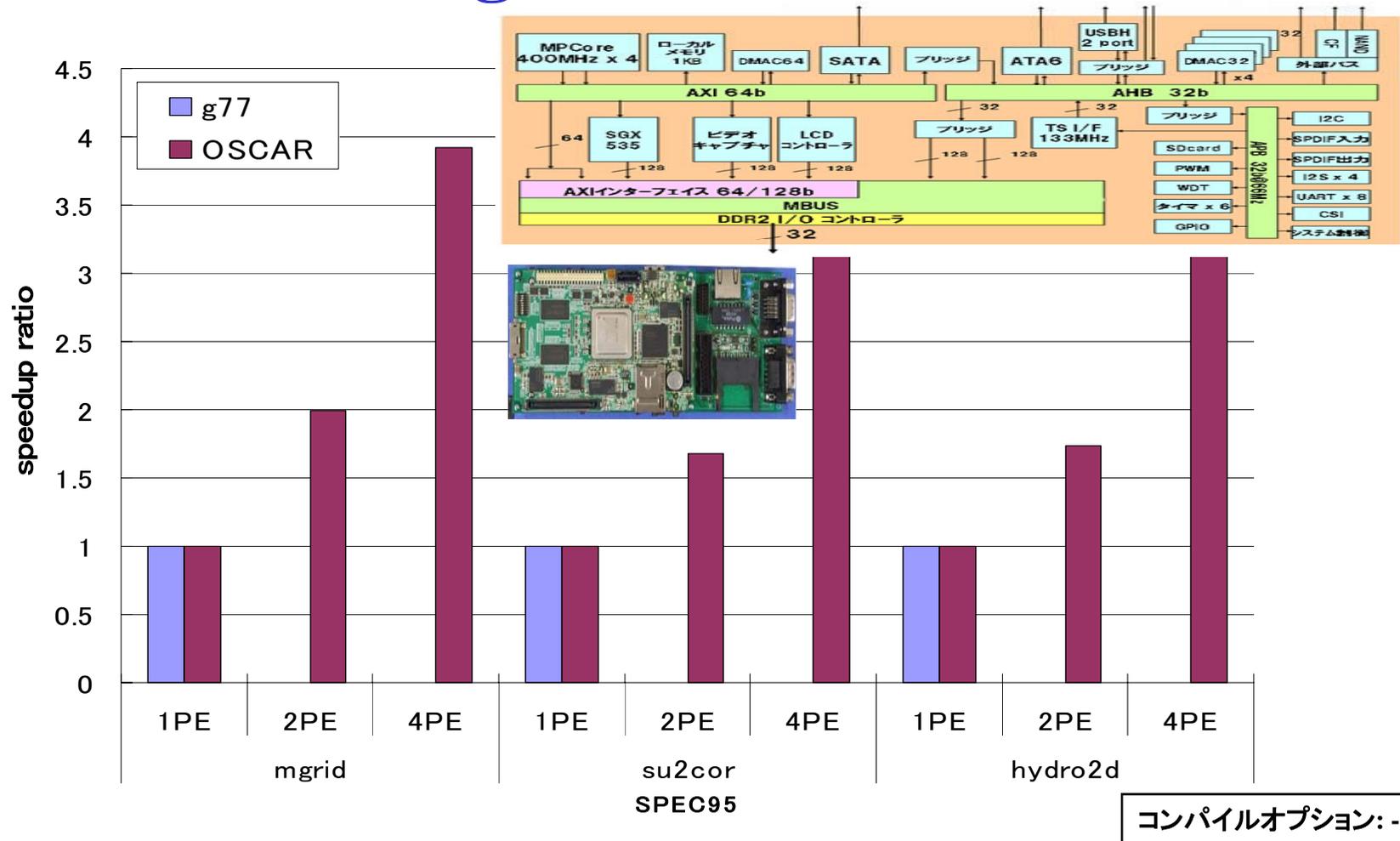
**OSCAR コンパイラが生成するOpenMP並列化コードはインテルコンパイラ ver.10.1の性能をインテル・マルチコア上で2.09 倍向上**

# インテルMontvaleマルチコアを用いた 16 コアSGI Altix 450 デスクサイドサーバ上での OSCAR コンパイラの性能



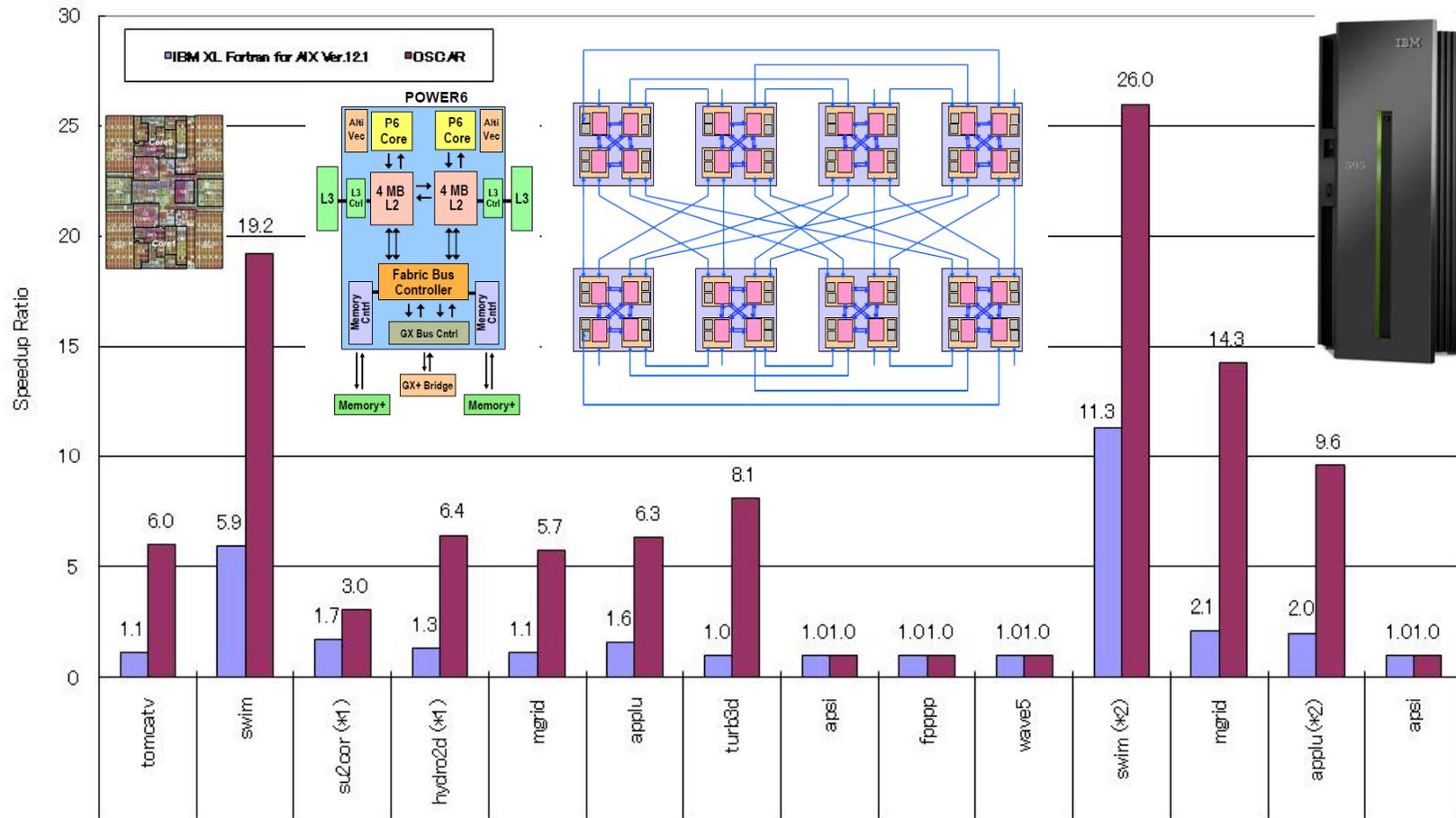
**OSCAR コンパイラが生成するOpenMPコードはインテル  
Itanium Compiler revision 10.1の性能を 2.32 倍向上**

# 早稲田大学 OSCARコンパイラの NEC NaviEngine上での並列処理性能



- OSCAR コンパイラは4コアARM・NECマルチコア上で1コアと比べSpec CFP95 3プログラム平均で3.42倍の速度向上

# Performance of OSCAR Compiler on IBM p6 595 Power6 (4.2GHz) based 32-core SMP Server



**OpenMP codes generated by OSCAR compiler accelerate IBM XL Fortran for AIX Ver.12.1 about **3.3 times** on the average**

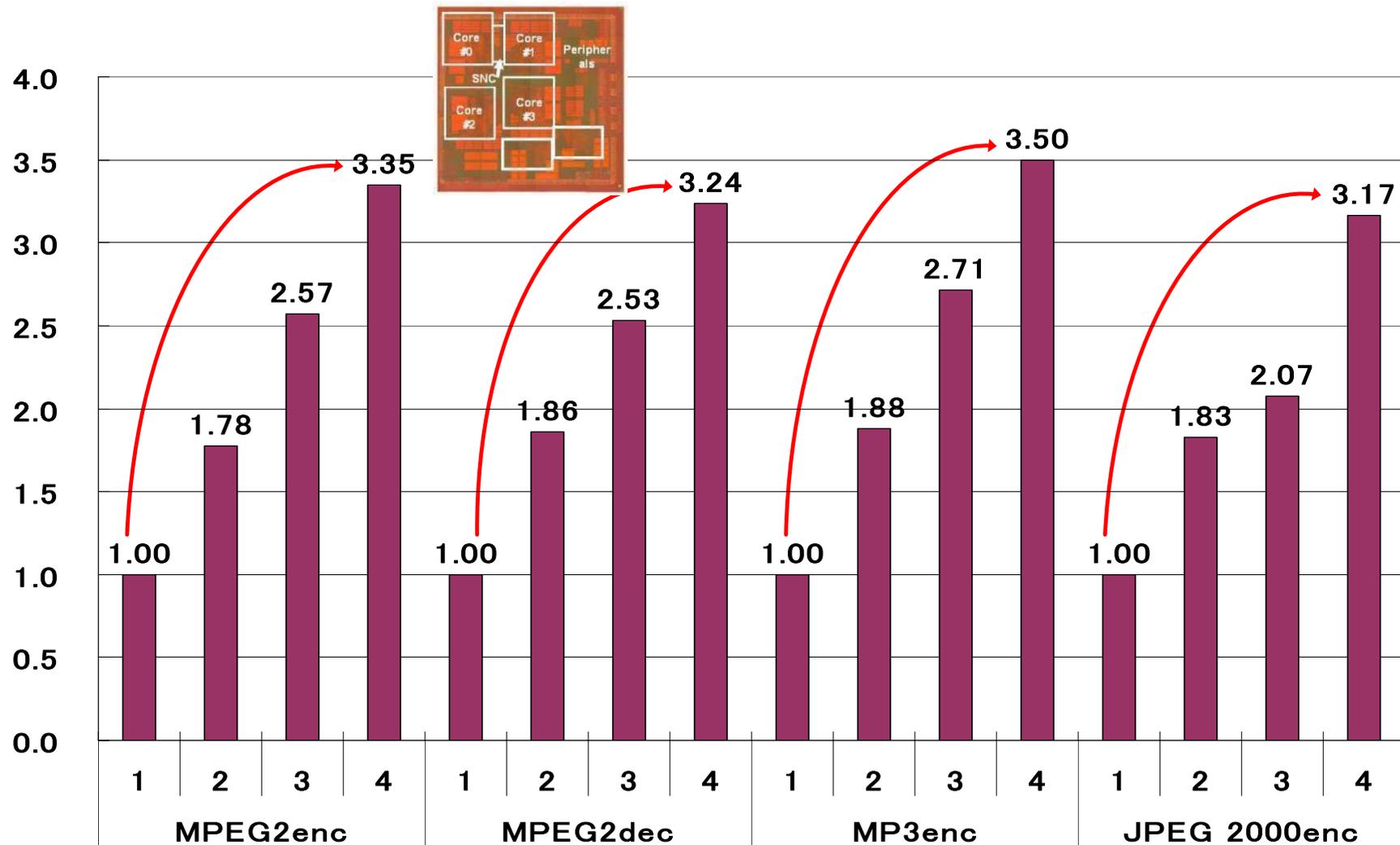
**Compile Option:**

(\*1) Sequential: -O3 -qarch=pwr6, XLF: -O3 -qarch=pwr6 -qsmp=auto, OSCAR: -O3 -qarch=pwr6 -qsmp=noauto

(\*2) Sequential: -O5 -q64 -qarch=pwr6, XLF: -O5 -q64 -qarch=pwr6 -qsmp=auto, OSCAR: -O5 -q64 -qarch=pwr6 -qsmp=noauto

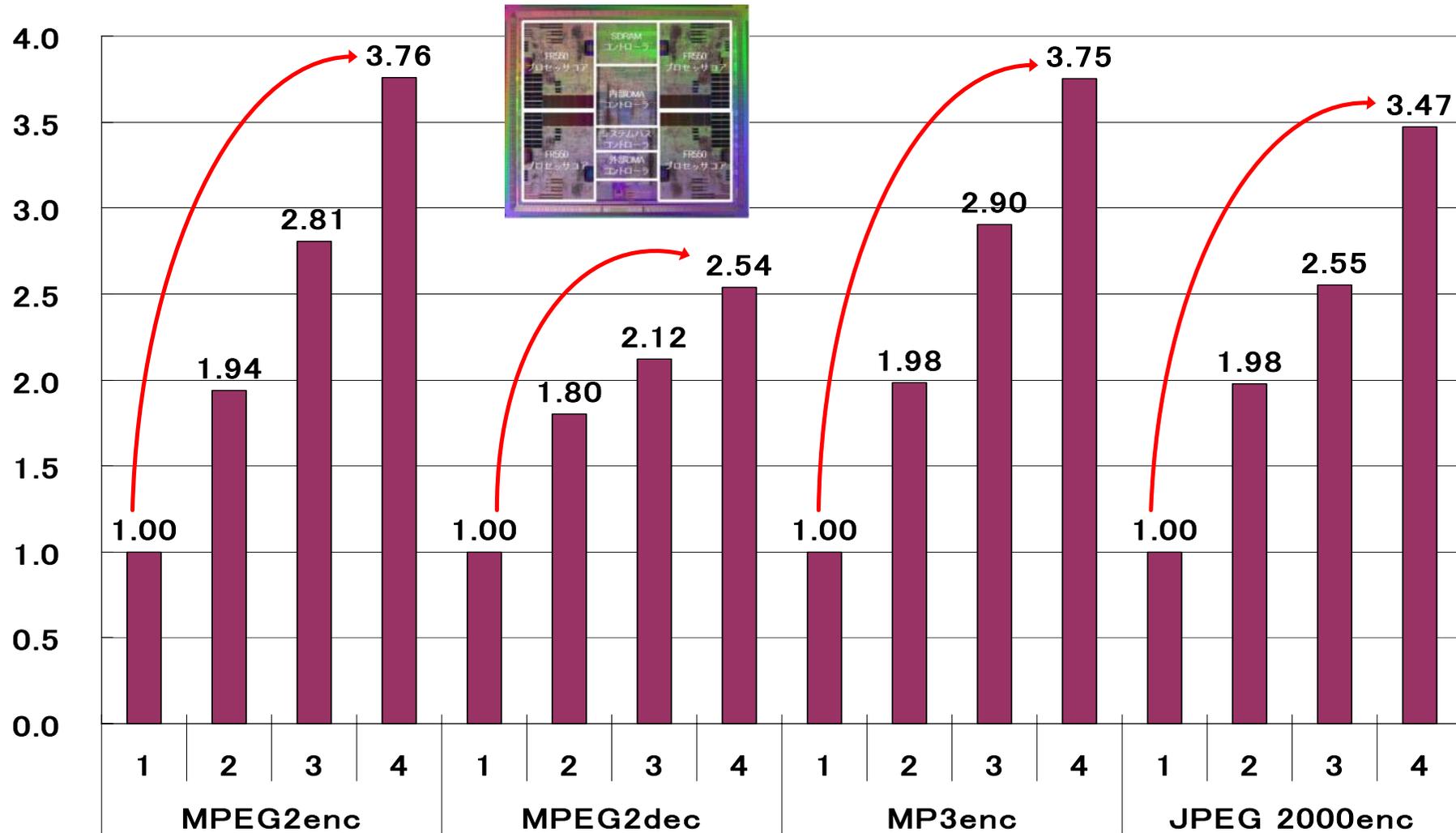
(Others) Sequential: -O5 -qarch=pwr6, XLF: -O5 -qarch=pwr6 -qsmp=auto, OSCAR: -O5 -qarch=pwr6 -qsmp=noauto

# 開発RP1マルチコア(4cores)上での並列化 コンパイラを用いた並列処理性能(速度向上率)



1プロセッサと比較して、4プロセッサで平均3.31倍の速度向上

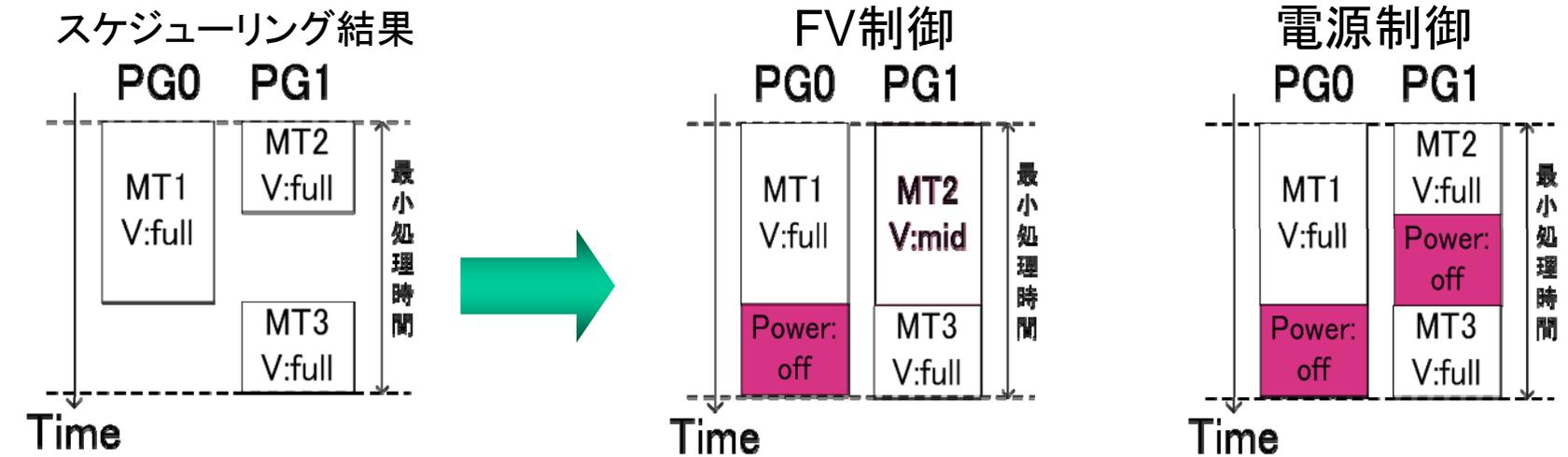
# 既存富士通 FR1000マルチコア上での OSCARコンパイラによる並列化性能(策定API利用)



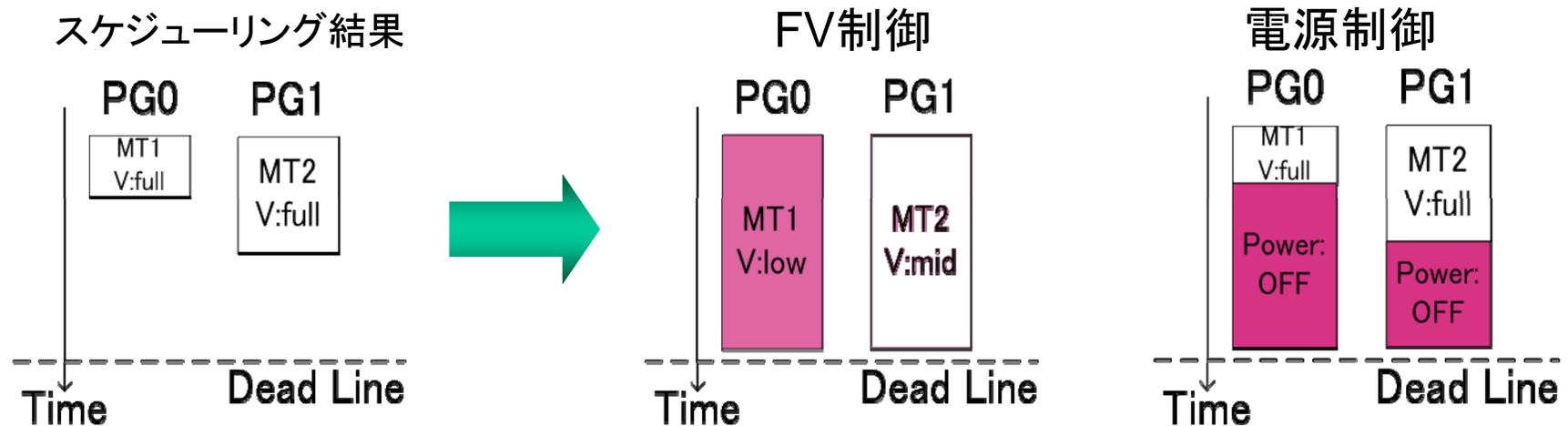
1プロセッサと比較して、4プロセッサで平均3.38倍の速度向上

## 周波数電圧 (FV) 制御と電源制御による低消費電力化

- 処理ユニット負荷不均衡時の電源・周波数電圧制御

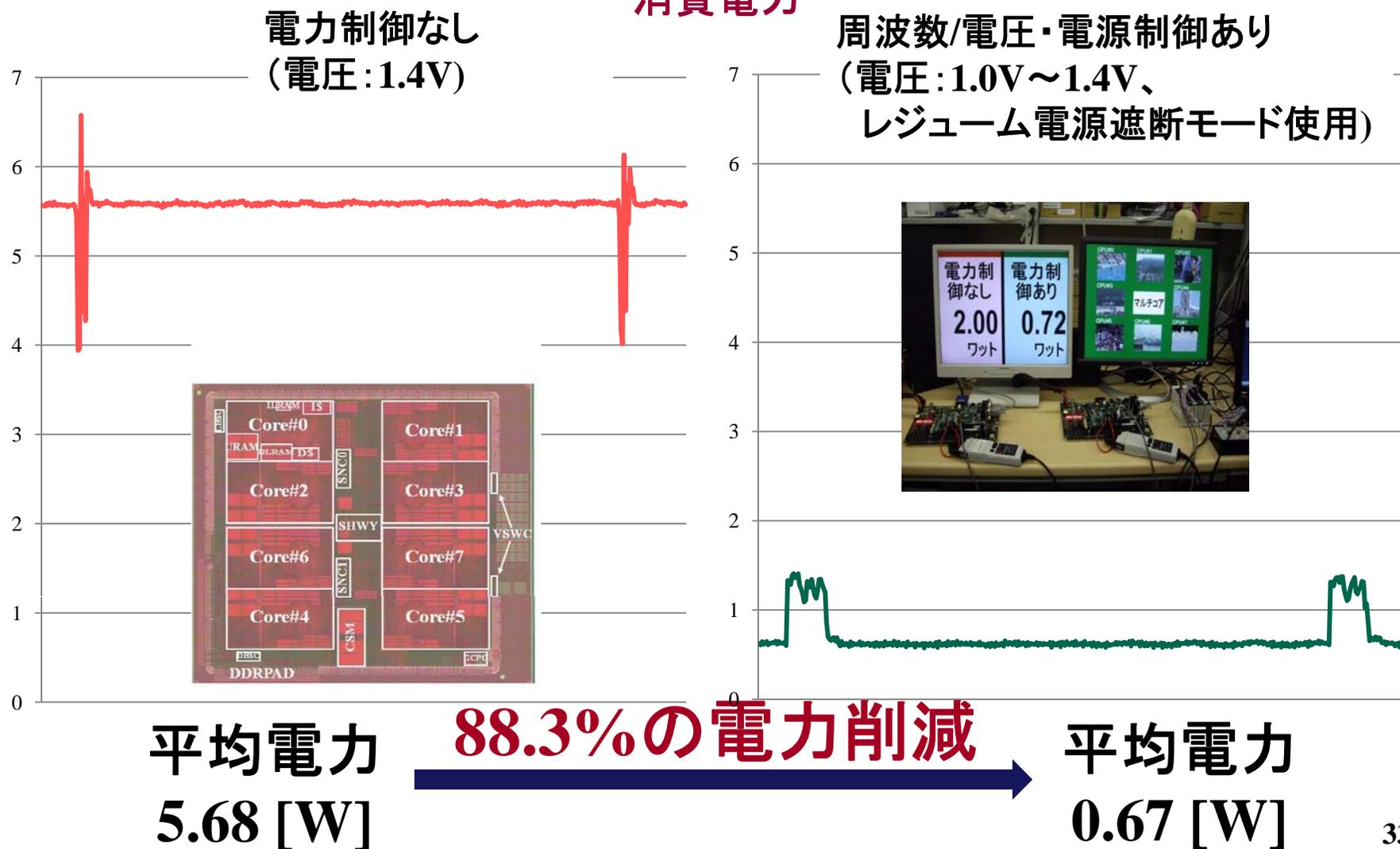


- デッドライン制約を考慮した電源・周波数電圧制御



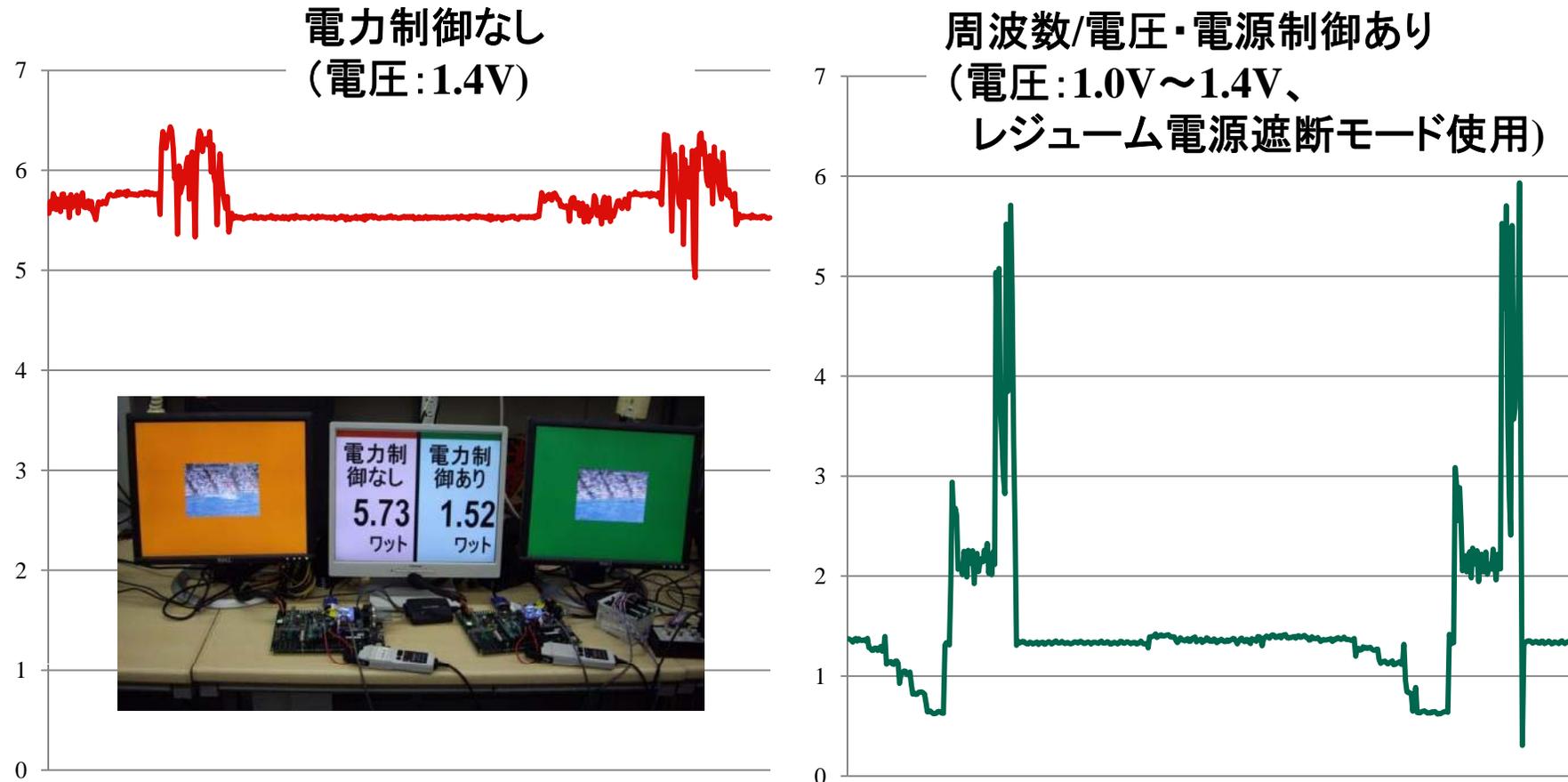
# 音楽圧縮におけるコンパイラ周波数/電圧・電源制御 による開発チップ上での消費電力削減効果

セキュアオーディオ圧縮(AACエンコード+AES暗号化)処理を8コアで実行時の  
消費電力



# 画像表示におけるコンパイラ周波数/電圧・電源制御 による開発チップ上での消費電力削減効果

動画表示 (MPEG2デコード処理) を8コアで実行時の消費電力



平均電力  
5.73 [W]

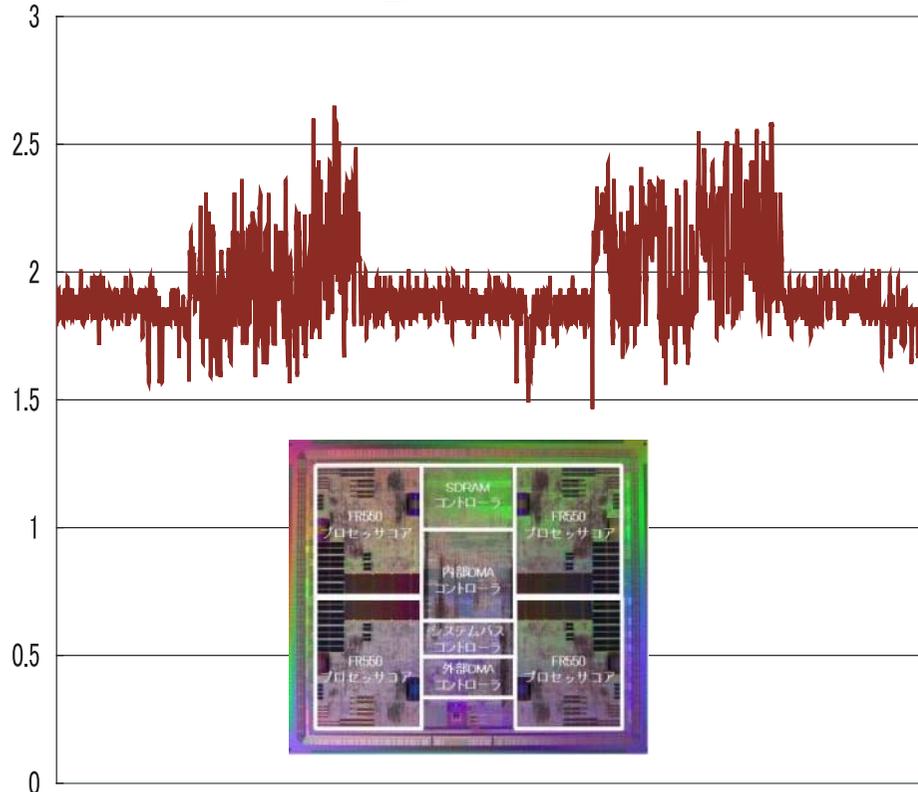
73.5%の電力削減

平均電力  
1.52 [W]

# 画像表示におけるコンパイラ周波数/電圧・電源制御 による既存FR1000(4コア)マルチコア上での消費電力削減効果

動画伸張(MPEG2デコード)処理を4コアで実行時の消費電力

電力制御無し  
(電圧: 1.25V)



周波数制御有り  
(電圧: 1.25V、クロック停止)



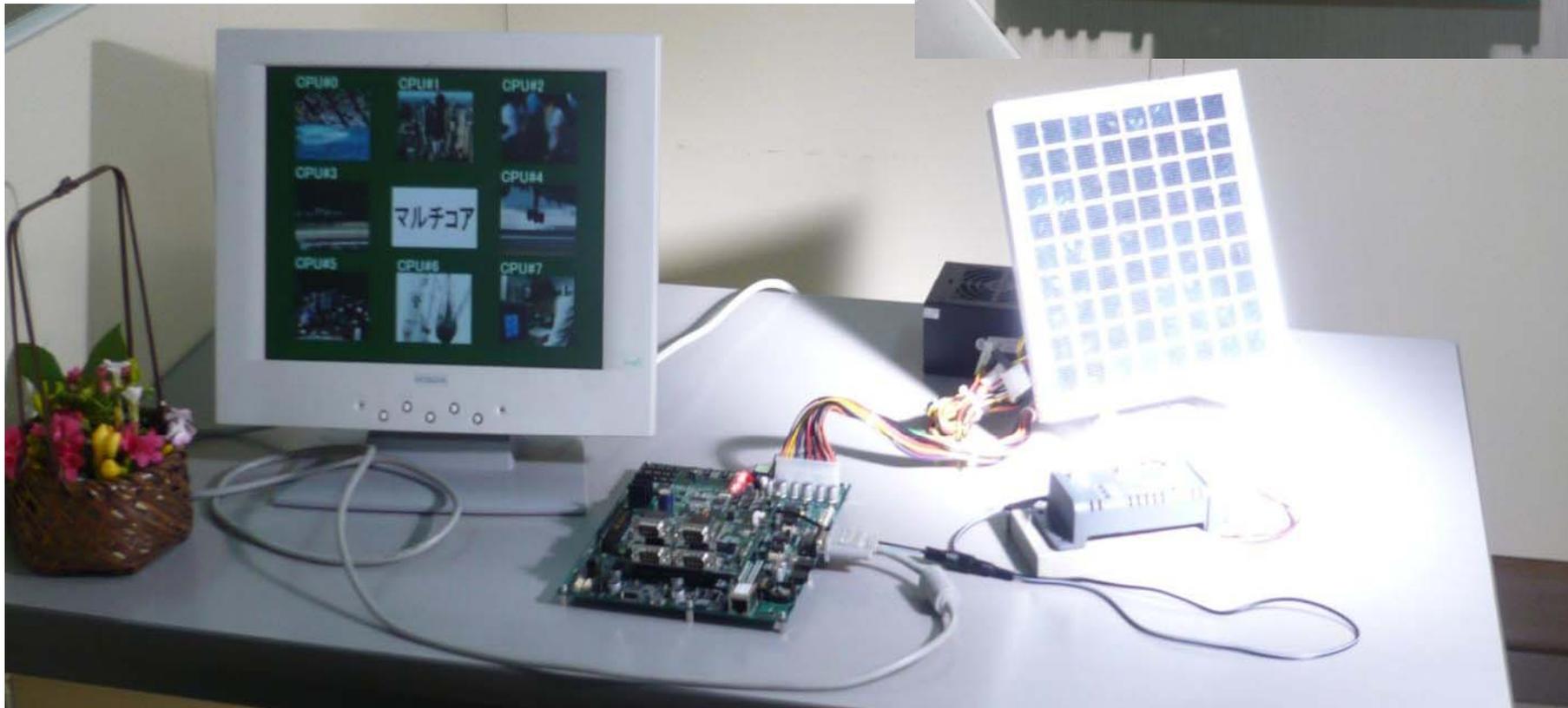
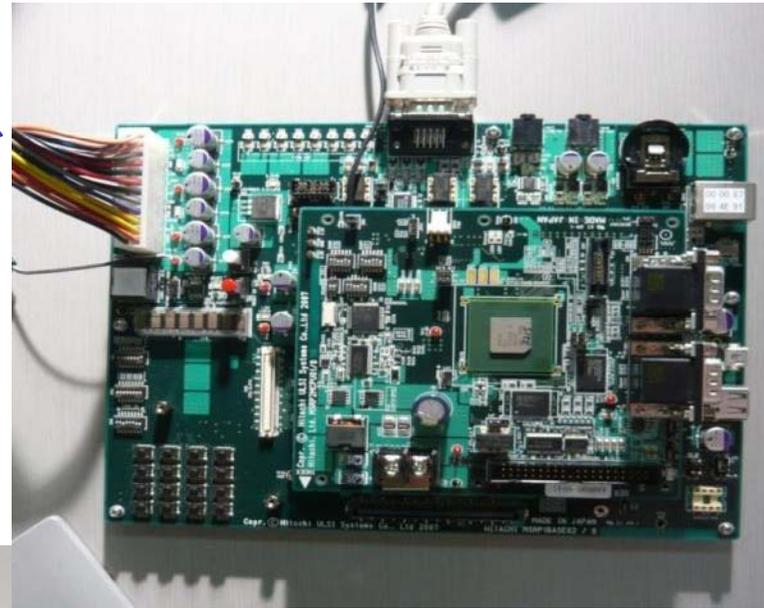
平均電力  
1.93[W]

23%の電力削減

平均電力  
1.48[W]

# ソーラパネル駆動可能な 低消費電力高性能マルチコア RP2(SH4A 8コア集積)

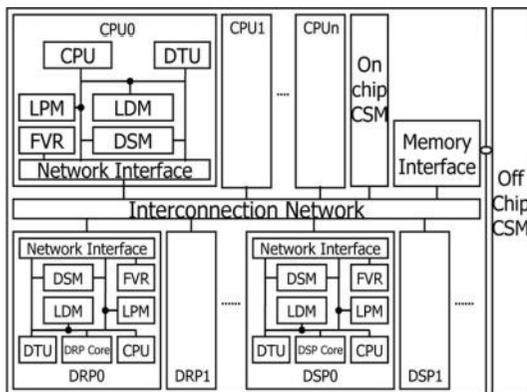
- クリーンエネルギーで駆動可
  - 電力供給が困難な場所での使用可能
  - 災害時でも使用可能



# 早大OSCARヘテロジニアスマルチコアとコンパイラ

汎用高性能プロセッサと同等の性能を1/10の動作周波数・1/90の電力で達成可能

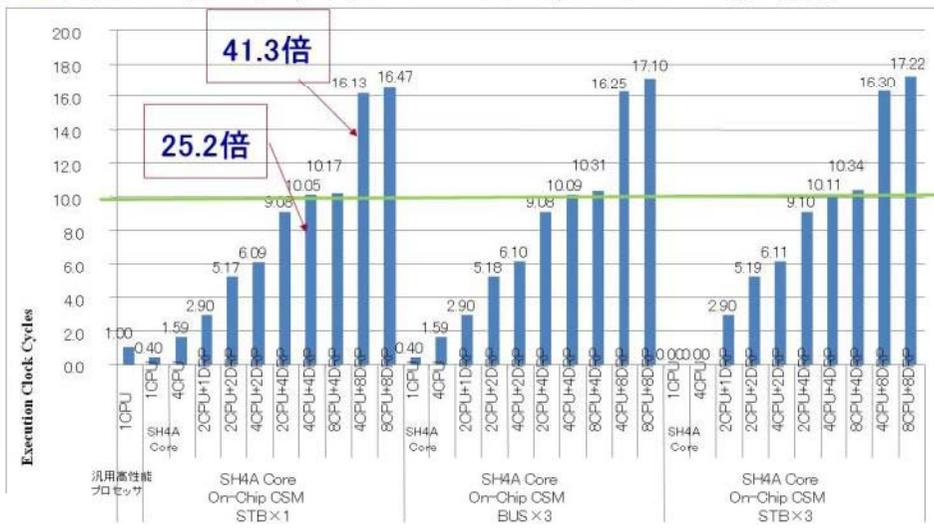
## OSCAR Heterogeneous Multicore



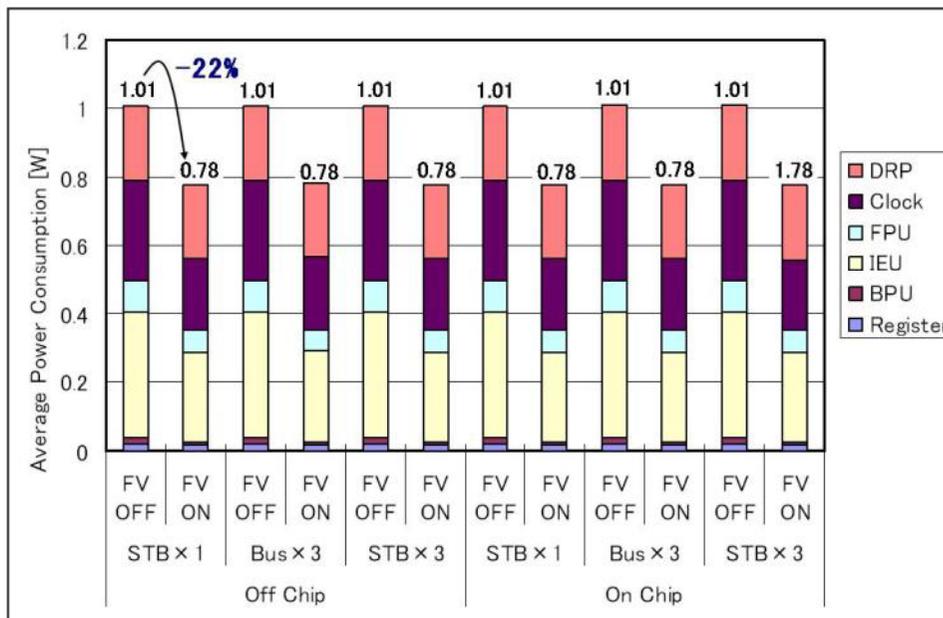
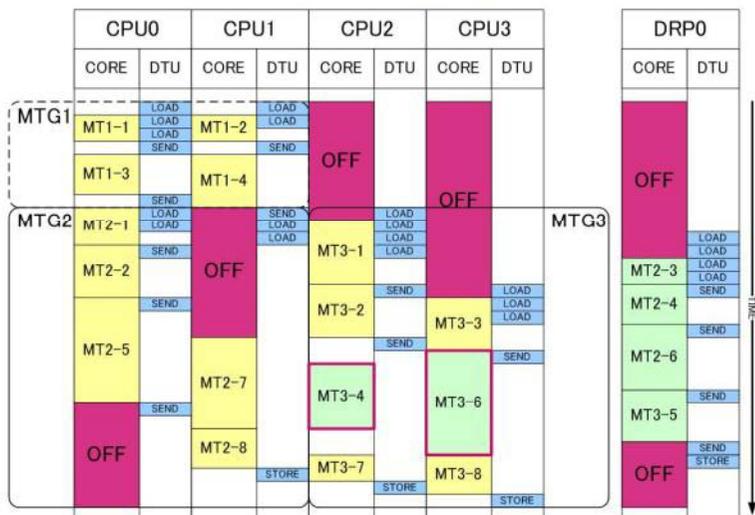
- OSCAR Type Memory Architecture
- LPM
  - Local Program Memory
- LDM
  - Local Data Memory
- DSM
  - Distributed Shared Memory
- CSM
  - Centralized Shared Memory
    - On Chip and/or Off Chip
- DTU
  - Data Transfer Unit
- Interconnection Network
  - Multiple Buses
  - Split Transaction Buses
  - CrossBar ...

## ヘテロジニアスマルチコア性能 (オンチップ共有メモリ:4クロック)

汎用コア1台に対し、4汎用コア+4アクセラレータで25.2倍の性能



## An Image of Static Schedule for Heterogeneous Multicore with Data Transfer Overlapping and Power Control



# まとめ

- 世界初のコンパイラ協調型 高性能・低消費電力・リアルタイム情報家電向け4コア(RP1),8CPUコア(RP2)マルチコアLSIを試作
- 8コアRP2チップでは、8個のプロセッサとメモリの独立電源遮断・動作周波数制御(1/2,1/4,1/8,0)・電圧制御(1.4V,1.2V,1.0V)可能。
  - 総合科学技術会議:8画面までの動画像を表示し、標準半導体と比べ
    - 8画面表示時 1/14に電力削減 マルチコア: 2.5W,標準半導体:35W
    - 1画面表示時1/50に電力削減 マルチコア: 0.5W, 標準半導体:25W
- 世界最高処理性能かつ世界初の電力制御を実現したOSCAR自動並列化コンパイラの開発に成功(動的電力、今後の微細化で問題となるリーク電力も削減)
  - 自動並列化によりAACエンコーダを8プロセッサで5.8倍の高速化
  - IBM(Power5+), Intel(SGI Altix450 最新Itanium2 Montvale16コア, Quad-core Xeon)上で各社コンパイラの性能を2倍以上向上
  - 世界初の電力制御に成功し、オーディオAACエンコードで88%、動画像MPEG2エンコードで74%の電力削減:太陽電池にて駆動可能
- 従来の手動並列化では数週間単位の時間を要した並列アプリケーション作成を、各社のマルチコア用にコンパイラによりAPIを用いて数秒単位で作成
- 今後:情報家電・自動車統合制御系・クールサーバ(グリーンIT)・スパコン

**参考**

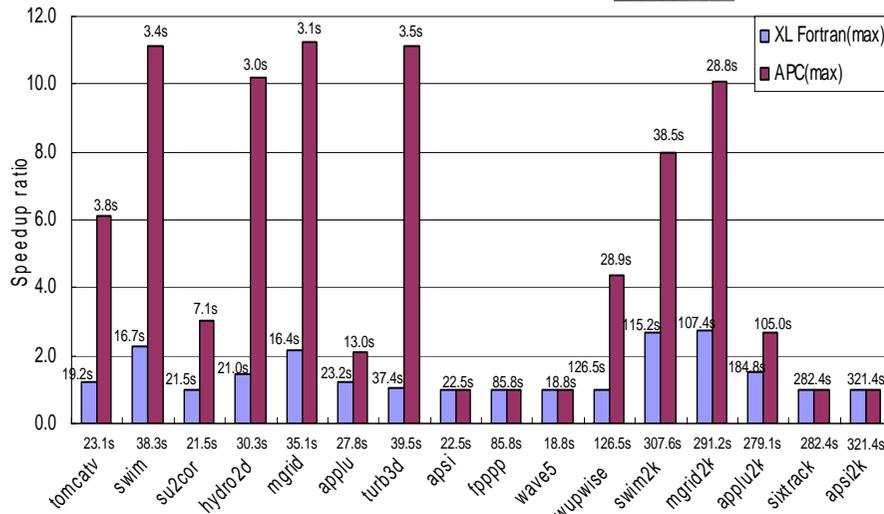
# Low Power High Performance Multicore and Parallelizing Compiler for Mobile phones, Games, Cars, Supercomputers (Prof. H. Kasahara)

**Millennium Project  
IT21(METI, NEDO)  
Advanced Parallelizing  
Compiler  
(2000.9~2003.3)  
Waseda, Fujitsu, Hitachi**

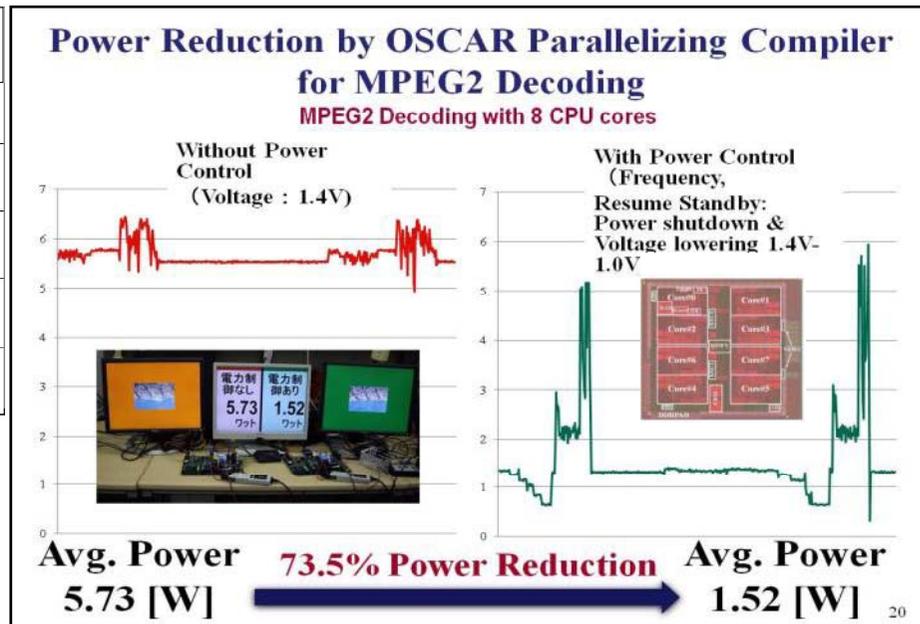


**METI/NEDO Multi-core Processors for Realtime Consumer Electronics (2005.7~2008.3) Waseda, Hitachi, Renesas, Fujitsu, Toshiba, Panasonic, NEC**

- Good Cost performance
- Short HW/SW development periods
- Low power consumption
- Scalable performance
- Embedded multicore API



**OSCAR Multigrain compiler attains 3.5 times speedup in average against a product compiler**



**Reviewed Papers 166, Invited Talks 76, Tech. Reports 115, Symposium 25, Annual Convention 154, News Papers/TV/Web News/Magazine Articles 205**  
**IEEE Trans. Computer, IPSJ Trans., ISSCC, Cool Chips, Supercomputing, ACM ICS**

# 笠原博徳

## <略歴>

1980年早稲田大学理工学部電気工学科卒, 1985年同大学院博士課程了(工博),  
 1983年早稲田大学理工学部助手, 1985年日本学術振興会第1回特別研究員,  
 1985年カリフォルニア大学バークレーEECS客員研究員.  
 1986年早稲田大学理工学部電気電子情報工学科専任講師,1988年助教授,  
 1989年—1990年イリノイ大学 Center for Supercomputing R & D客員研究員,  
 1997年早稲田大学理工教授, 2003年より情報理工学科(コンピュータ・ネットワーク工学科)  
 1987年IFAC World Congress第1回Young Author Prize,  
 1997年情処坂井記念特別研究賞, 2004年STARC共同研究賞, 2008年LSIオブザイヤー準グランプリ

## <主な学会活動>

**情報処理学会**: 計算機アーキテクチャ研究会主査, 論文誌編集委HG主査,  
 会誌編集委HWG主査, 論文誌2001並列処理特集委員長, JSPF2000プログラム委員長等.

**ACM**: International Conference on Supercomputing(ICS)プログラム委員  
 ENIAC50周年記念ICS 1996 Program Chair on Software.

**IEEE: Computer Society BoG(理事)**, Japan 委員長, 東京支部理事, 長期戦略委員会委員, SC07 PC等  
 その他スーパーコンピュータ・並列処理に関する多くの国際会議プログラム委員.

## <各種委員等>

**経済産業省**: 情報政策提言フォーラム(アーキテクチャ/HPC WG主査),  
 ミレニアムプロジェクトIT21”アドバンスト並列化コンパイラ”プロジェクトリーダー,  
 ペタフロップスマシン委員会委員, 超先端電子基盤技術委員, ビジネスGRID評価委員  
**NEDO**: コンピュータ戦略WG委員長, 研究評価委員, “リアルタイム 情報家電用マルチコア “プロジェクトリーダー等

**文部科学省**: 地球シミュレータ中間評価委員, 次世代スーパーコンピュータ概念設計評価委員

**JST**: 科学技術振興調整費GRAPE-DR運営委員, COINS運営委員, さきがけ21領域アドバイザー

**内閣府**: 総合科学技術会議分野別推進戦略(報通信分野)ソフトウェアWG, 研究開発基盤WG委員,  
 第5回産学官連携推進会議分科会パネリスト

**原研**: 研究評価委員, 計算科学推進センタ第1種客員研究員.

**高校校科学具術チャレンジ(朝日新聞)**: JSEC審査委員

**東京電力学術評価委員**, **日本EU協調会議科学技術ラウンドテーブル日本代表**等。

<論文等> 査読付き論文166件, 招待講演76件(国際会議, 国内学会, 海外大学, Intel, Google等), 研究会115件,  
 シンポジウム 25件, メディア掲載 205件(新聞, TV, 雑誌, Webニュース等), 特許 8件(他に国際出願有り)