

笠原博徳・木村啓二研究室 研究紹介

グリーンコンピューティングに向けた低消費電力マルチコア・メニーコア,
自動並列化コンパイラ,マルチプラットフォームAPI, 応用の研究

早稲田大学

理工学術院基幹理工学部情報理工学科 教授
アドバンスト・マルチコア・プロセッサ研究所 所長

IEEE Computer Society理事

笠原博徳

1985年 早稲田大学博士課程了 工学博士
カリフォルニア大学バークレー客員研究員
日本学術振興会第1回特別研究員
1986年 早大理工専任講師, 1988年 助教授
1997年 教授、現在 理工学術院情報理工学科
1989年～1990年 イリノイ大学Center for
Supercomputing R&D客員研究員
2009年 IEEE Computer Society 理事 (Golden Core
Member 2010-)

査読付論文 183件, シンポジウム論文 27件, 研究会論文 125件, 全国大会論文 154件, 招待講演100件, **新聞・Web記事・TV等メディア掲載 432件**

受賞

1987年 IFAC World Congress Young Author Prize
1997年 情報処理学会坂井記念特別賞
2005年 STARC(半導体理工学研究センタ)共同研究賞
2008年 LSI・オブ・ザ・イヤー 2008 準グランプリ
2008年 Intel Asia Academic Forum Best Research Award
2010年IEEE Computer Society Golden Core Award

政府・学会委員等歴任数 220件

【経済産業省・NEDO他】 45件 【内閣府】 8件
【文部科学省・JST・JSPS・JAXA・原子力機構・海洋研】30件
IEEE 21件, 情報処理学会 36件, ACM 14件, 国際会議PC等 57
件, 高校生科学技術チャレンジ審査委員等 他9件

マルチコア/メニーコア Everywhere

■ 組込からスパコンまで高性能・低消費電力化

▶ 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 4 core RP1, 8 core RP2, 15core
 Hetero RP-X, Plurality HAL 64(米Marvell)-cores, Tiler Tile64/ -Gx100
 (→1000cores), DARPA UHPC (2017: 80GFLOPS/W)

▶ PC, サーバ

Intel Quad Xeon, Core 2 Quad, Nehalem(8core), 80 core, Larrabee (32core) ,
 SCC (48 core), Knights Corner (50 core以上:22nm), AMD 12 Core
 Opteron, 米Dell:大規模データ・センター用省電力型サーバ:ARMマルチコ
 アロセッサ (Marvell4コア)

▶ WSs, Deskside & Highend Servers

IBM Power 7(8cores), Cycrops64 (160 cores), Sun Rock (16 cores), Rainbow
 Falls (16 cores), Fujitsu SPARC64 VIII fx (8 cores)

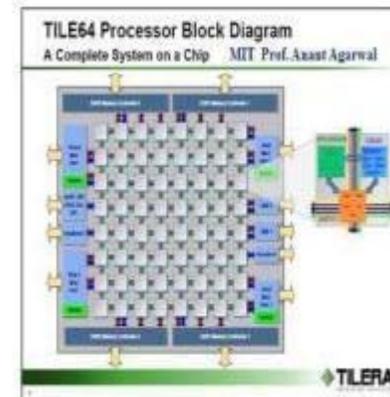
▶ スーパーコンピュータ

IBM 低消費電力マルチコアベースBG/P PowerPC450 (4 cores),
 BG/Q (A2:16cores) 水冷20PFLOPS, 3-4MW (2011-12),
 BlueWaters(HPCS) Power7, 10 PFLOP以上(2011.07),
 中国Tianhe-1A (4.7PFLOPS,6coreX5670+ Nvidia Tesla M2050),
 Godson-3B (1GHz40W8core128GFLOPS) -T (64 core, 192GFLOPS:2011)

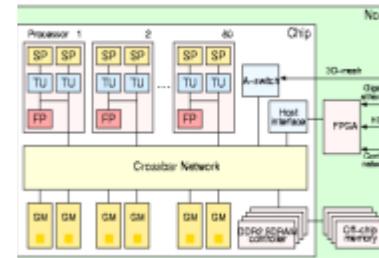
■ 低消費電力, アプリケーションソフトの充実, 短期間
 システム開発, 低コスト, 高機能化が市場競争力決定

<例> 携帯電話, ゲーム, 自動車, サーバ

■ 並列化コンパイラ協調型メニーコアプロセッサ必要



C-64 Chip Architecture



bisection BW = 0.38 TB/s, total BW to 6 neighbors = 48GB/sec



IBM Power7, 1TFLOPS Module

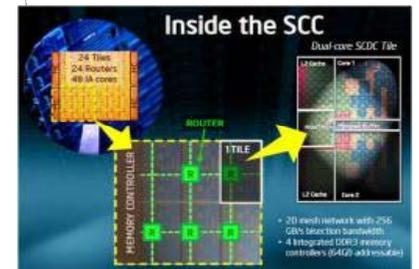
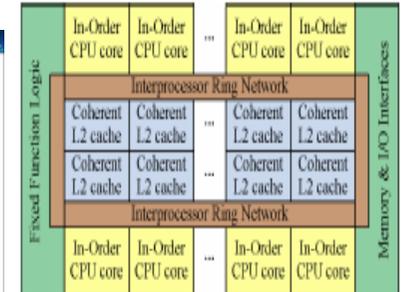


Tianhe-1A: 4.7P(2.56P)FLOPS, No.1, Nov.2010

ルネサス, 日立, 東工大
 早大 RP-X



Intel Larrabee



IBM
 BG/Q
 Proc.
 Board

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)

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

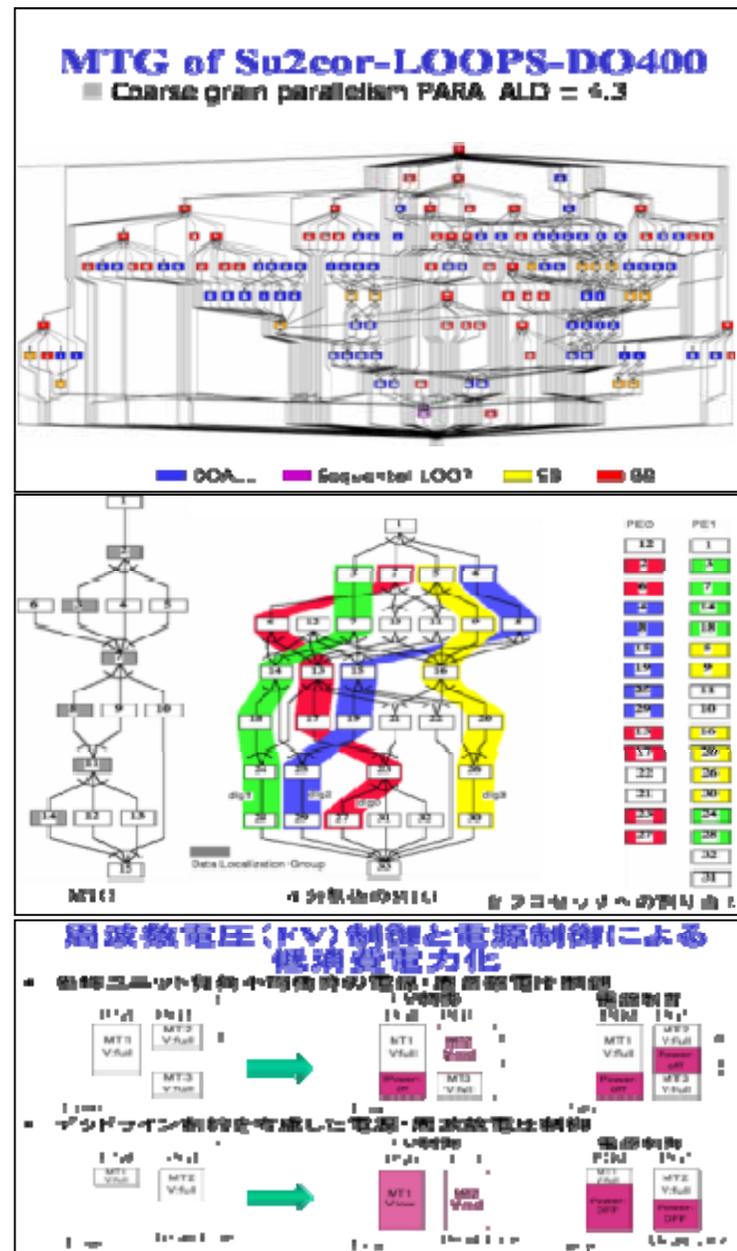
➤ 粗粒度タスク並列化、ループ並列化、近細粒度並列化によりプログラム全域の並列性を利用するマルチグレイン並列化機能により、従来の命令レベル並列性より大きな並列性を抽出し、複数マルチコアで速度向上

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

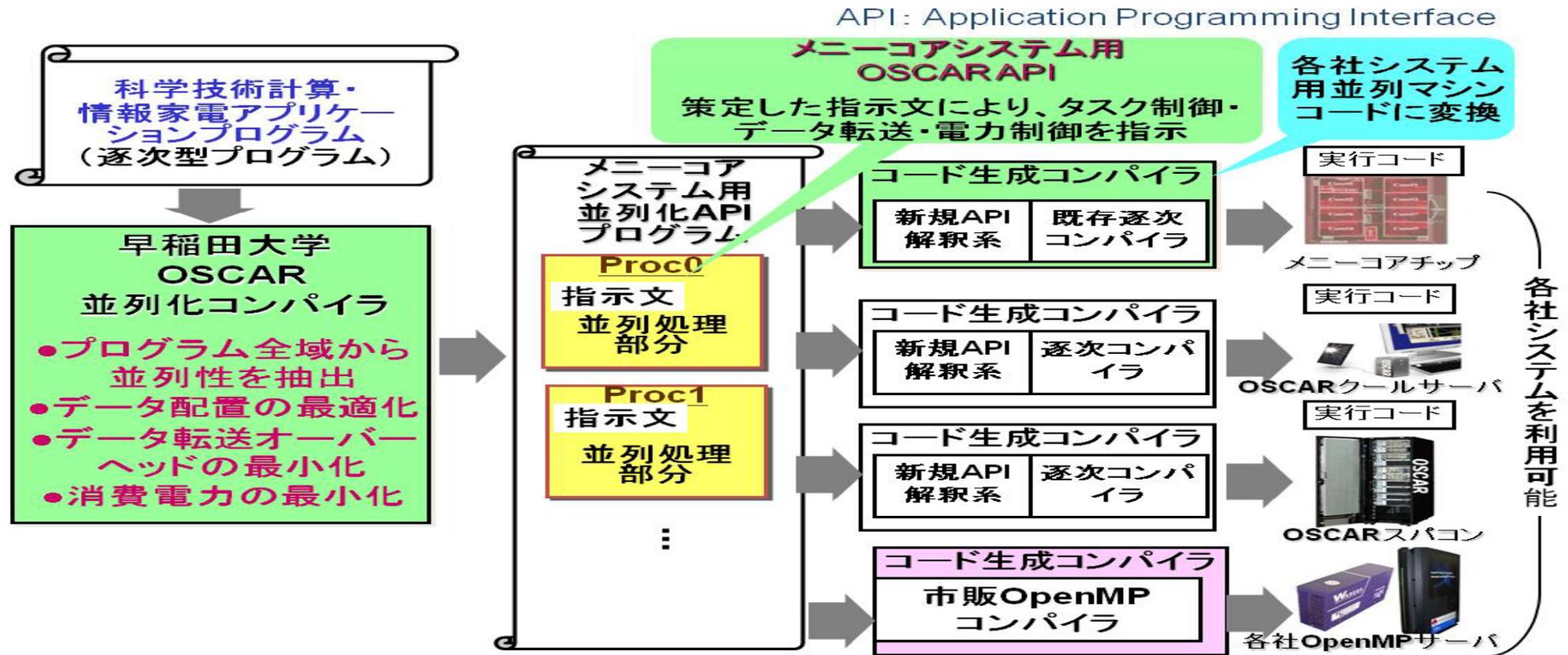
3. 消費電力増大による速度向上の鈍化

➤ 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



デファクトスタンダードを目指すOSCAR マルチコア・メニーコアAPI

IT・半導体6社と開発したOSCAR マルチコア APIは<http://www.kasahara.cs.waseda.ac.jp/>にて公開
組込からハイエンドまで各社のマルチコア(ホモジニアス/ヘテロジニアスアーキテクチャ)上で動作可能
本センターでは自動車・情報家電・ツールメーカーを含め11社と共に研究開発



OSCAR マルチコアAPI に関する掲載記事の例

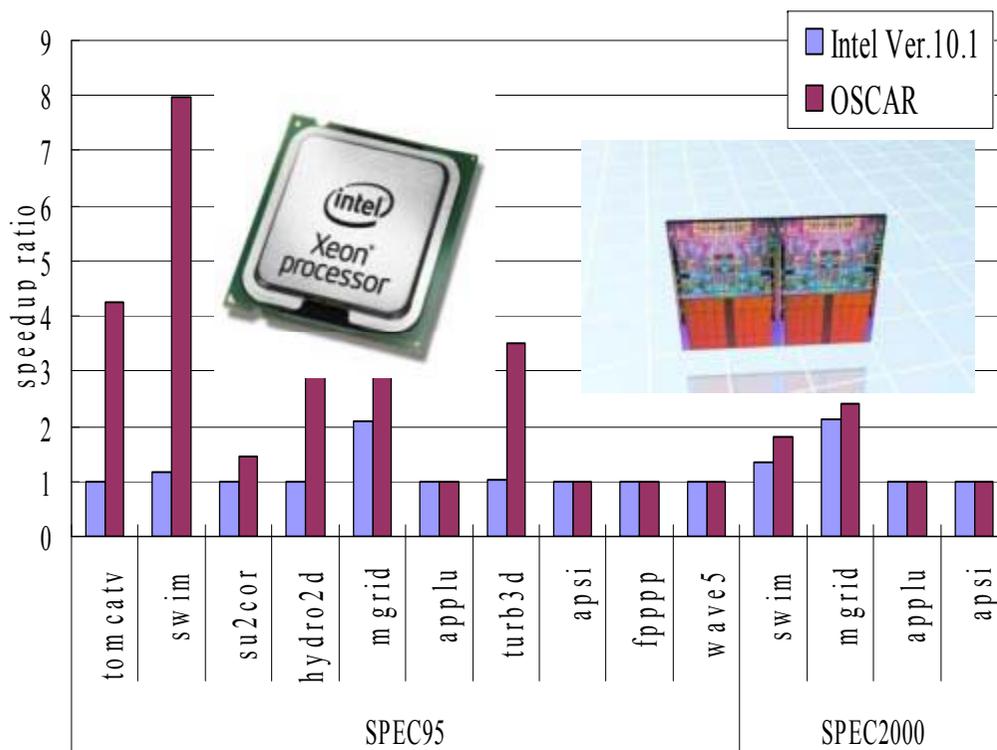
1. 日経産業新聞「情報家電用マルチコアMPU 並列処理で消費電力低減 国家プロジェクトで成果 日本勢の武器に」, Jan. 16. 2009.
2. 日経産業新聞「早大 マルチコアMPU効率利用 プログラム仕様公開」, Nov. 12. 2008.
3. 日本経済新聞「情報家電向けの並列処理ソフト 早大・日立などが開発」, Jun. 01. 2007.
4. EDN Japan, No.95, pp.17「並列化コンパイラ「OSCAR」向けのAPI、各社マルチコア用コードの自動生成が可能に」, Jan. 01. 2009.
5. Automotive Electronics, 2008年第2号,「間近に迫るマルチコアプロセッサ時代」, May. 01. 2008.
6. EDN Japan MAGAZINE ARTICLES, 2009年1月号「並列化コンパイラ「OSCAR」向けのAPI、各社マルチコア用コードの自動生成が可能に」, Jan. 01. 2009.
7. 日経エレクトロニクス Tech On「早大と国内半導体メーカー、並列実行や電力制御をコンパイラに指示する標準APIを策定」, Nov. 14. 2008.
8. Nikkei Electronics Tech On "Group Develops Standard API to Give Parallel Execution, Power Control Orders to Compiler", Nov. 16. 2008.
9. 日経BP 先端技術事業化「早稲田大学の笠原教授ら、企業6社とのプロジェクトで実時間並列処理向けAPIを開発、2008年11月から公開」, Nov. 14. 2008.

現状：世界最高性能のOSCARコンパイラの性能

インテル・IBMマルチコアサーバ上でそれぞれ2倍・3倍以上の高速化

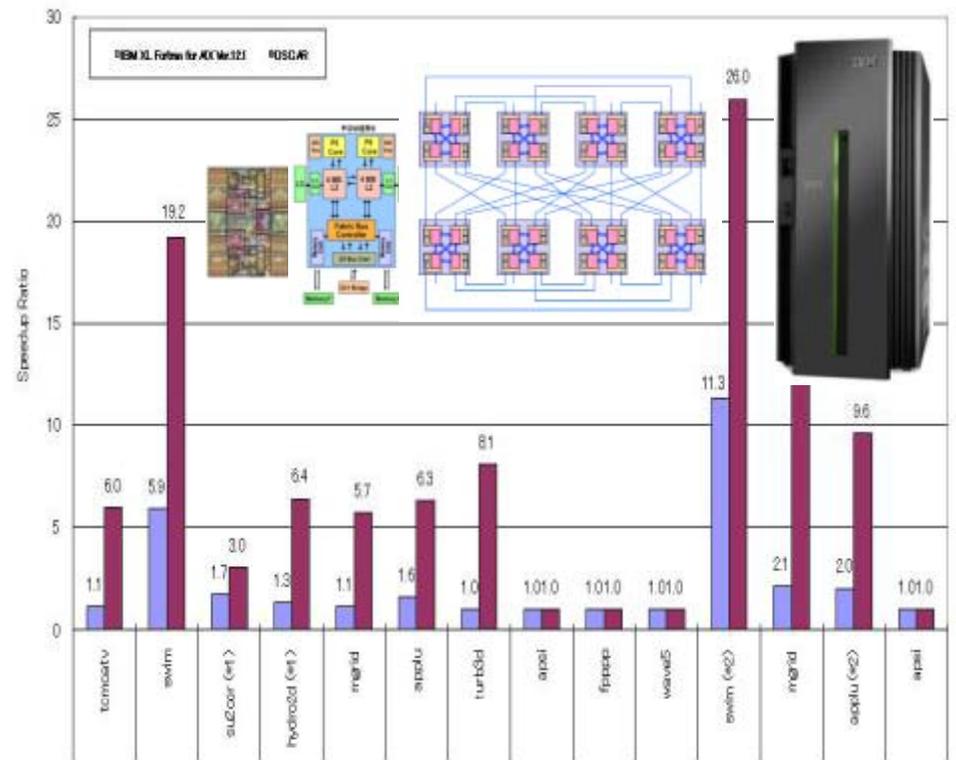
インテル クアッドコアXeonプロセッサ上での 早稲田大学 OSCARコンパイラの性能

インテル・マルチコア上で
インテルコンパイラに比べ **2.1** 倍速度向上

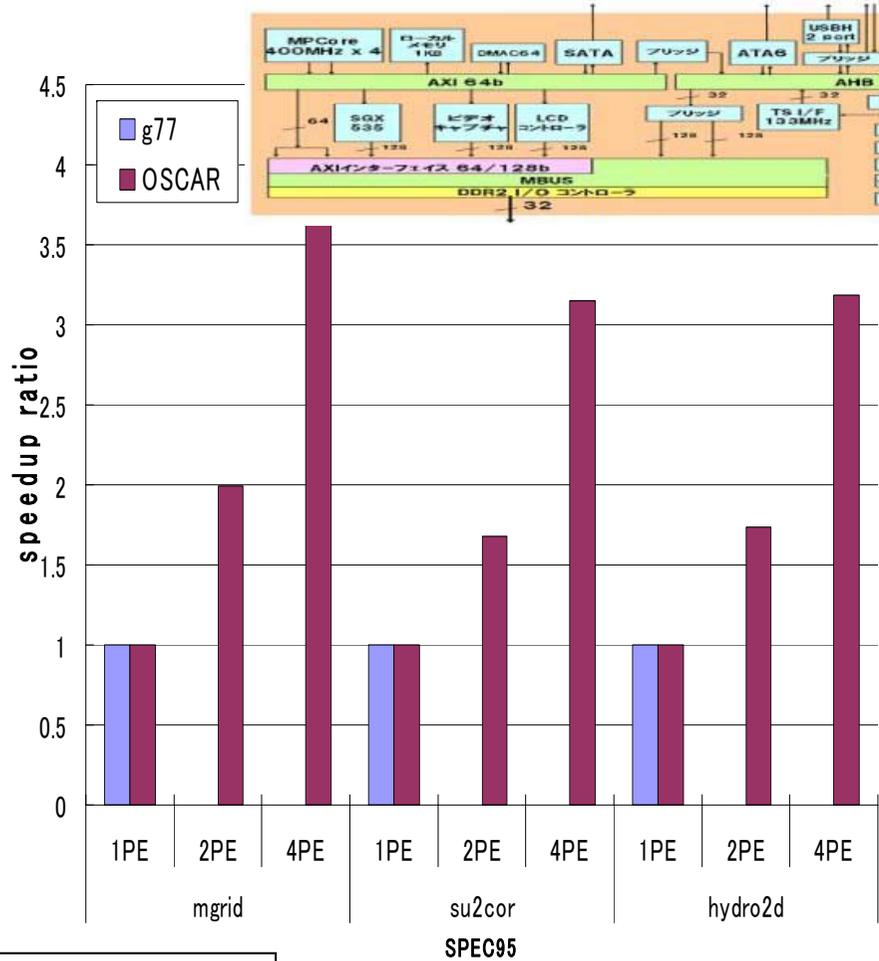


IBM p6 595 Power6 (4.2GHz) ベース 32コア SMP サーバ上での早稲田大学OSCARコンパイラの性能

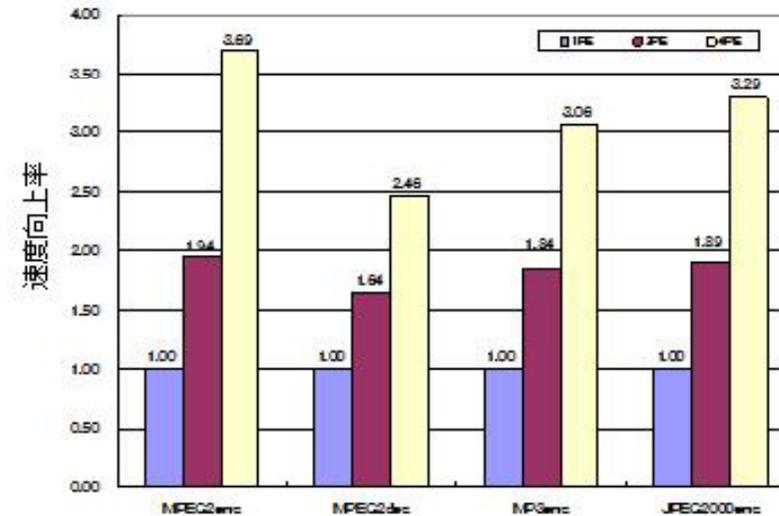
IBM最新サーバ上で
IBMコンパイラに比べ **3.3** 倍速度向上



Performance of OSCAR compiler on NEC NaviEngine(ARM-NEC MPcore)



NaviEngine上での
メディアアプリケーションによる
OSCARコンパイラ評価



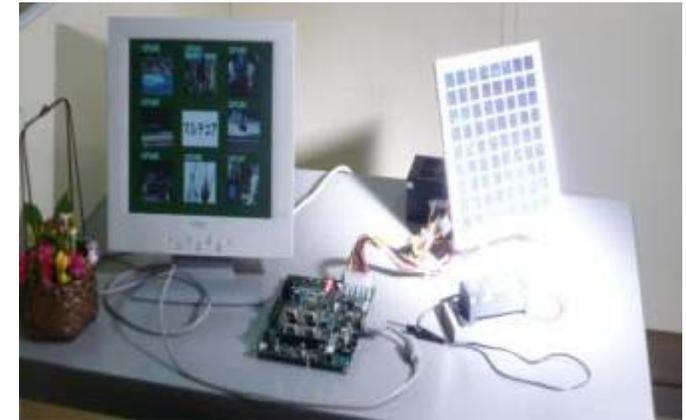
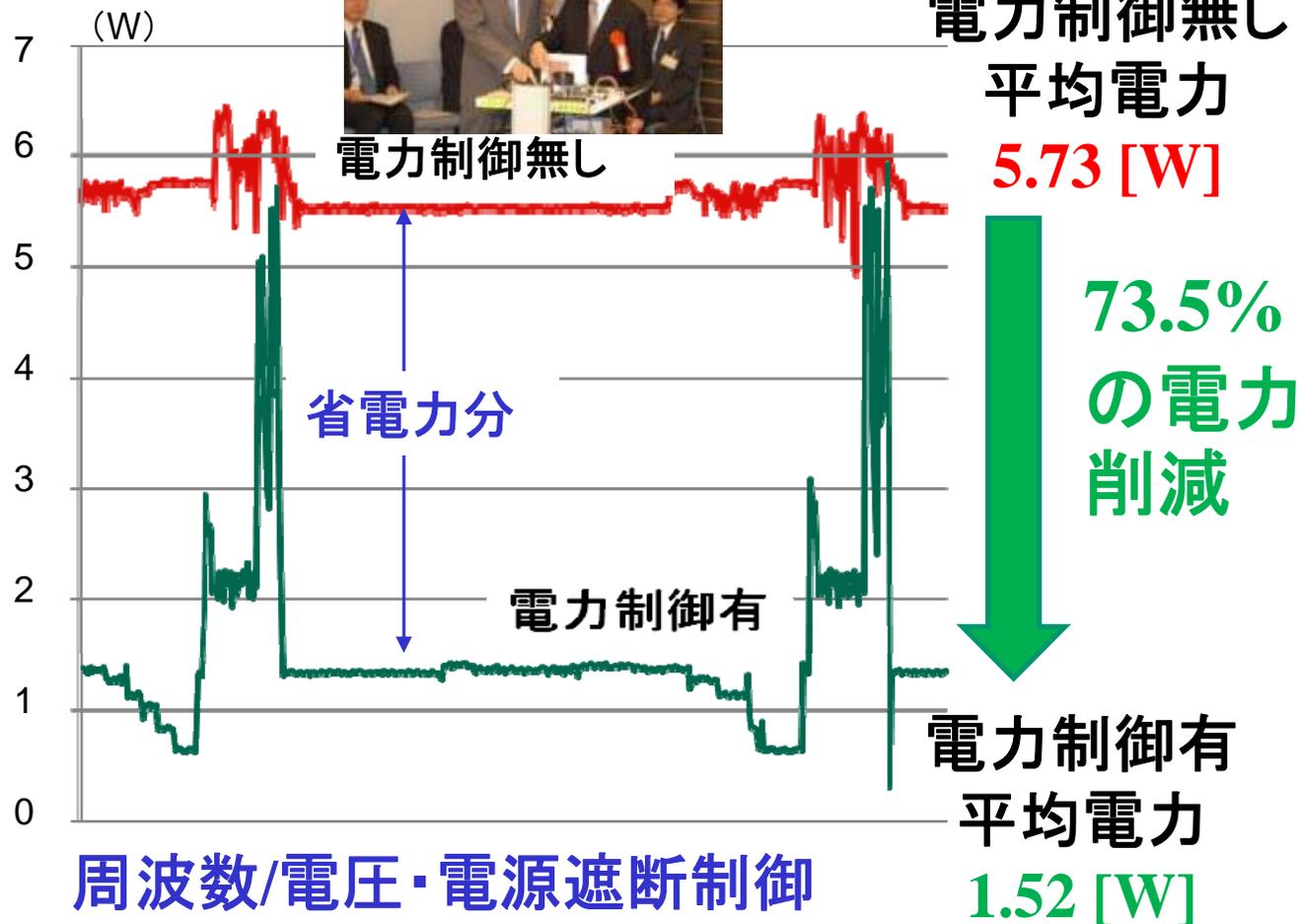
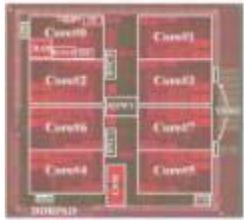
•4プロセッサで、平均3.13倍の速度向上率

Compile Option : -O3

- OSCAR compiler gave us 3.43 times speedup against 1 core for Fortran and 3.13 for C on ARM/NEC MPCore with 4 ARM 400MHz cores

現状: 世界唯一コンパイラによる消費電力削減に成功

NEDOプロジェクトで開発した低消費電力
マルチコア(8コア)上でのマルチメディア処理



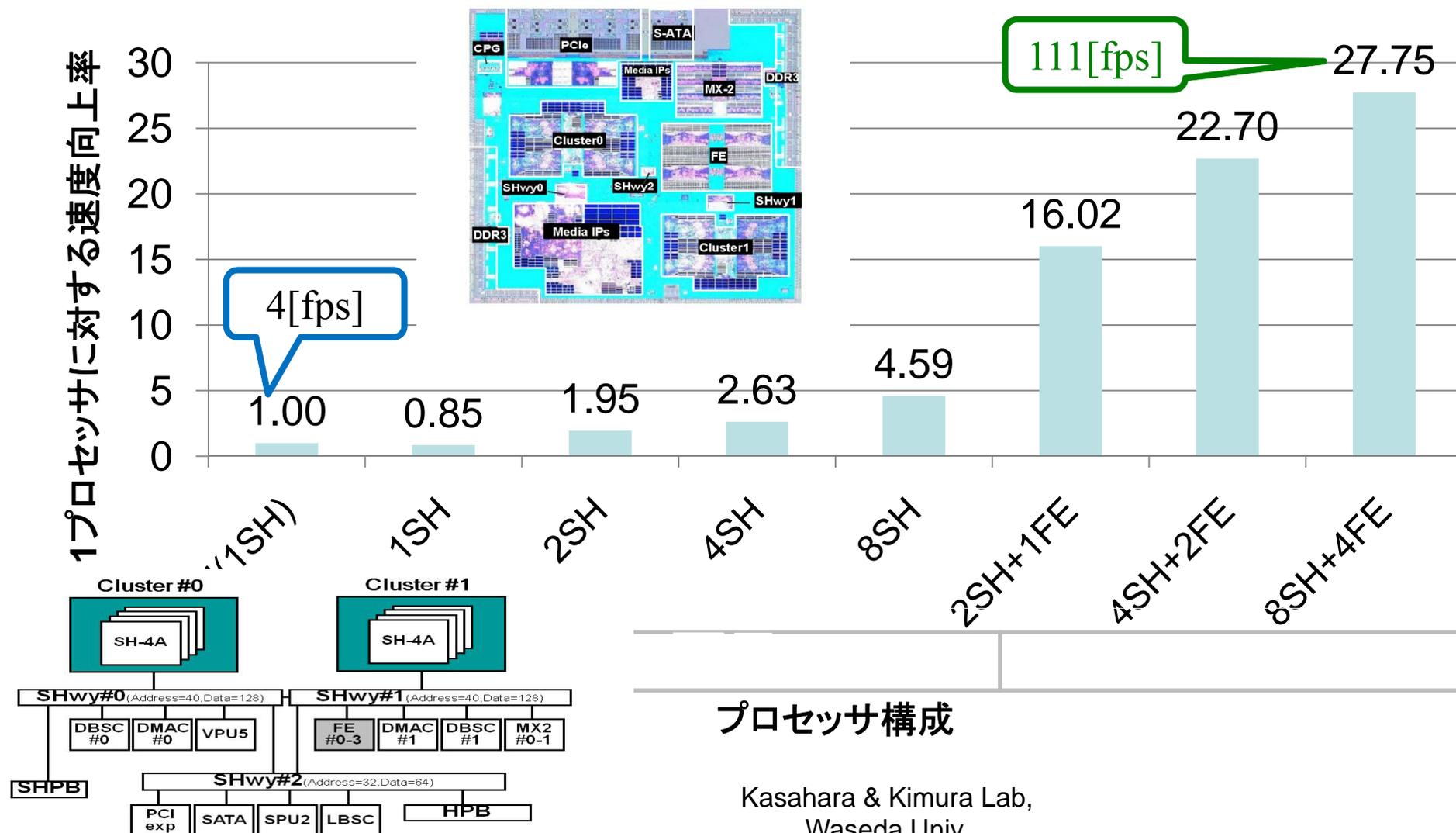
太陽電池で駆動可



ヘテロジニアスマルチコアRP-X上での処理性能

NEDO情報家電用ヘテロジニアスマルチコアプロジェクト(2006-09)

-画像動作追従のためのオプティカルフロー演算のコンパイラ自動並列化(世界初)-



オプティカルフロー(ライブラリ利用)に対する リアルタイム処理時の消費電力制御

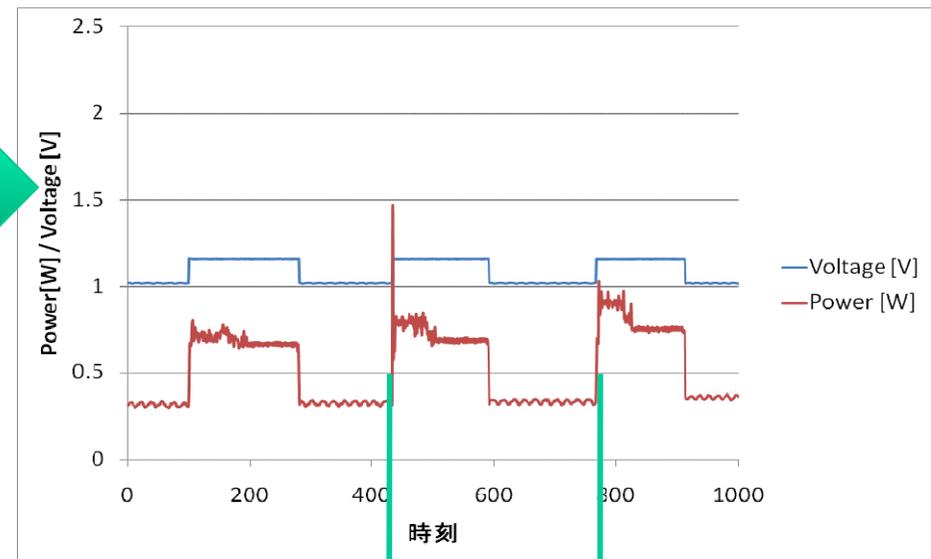
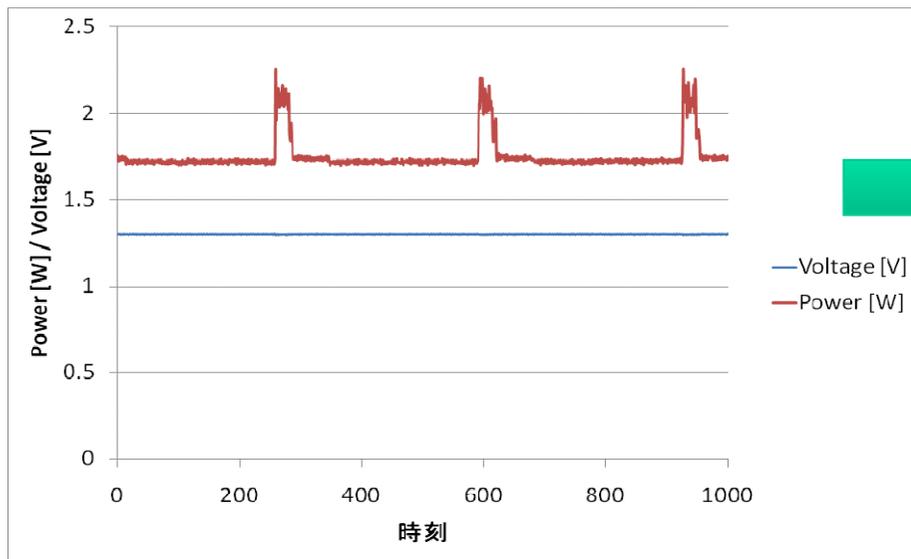
コンパイラ制御なし

コンパイラ制御適用

およそ70[%]の電力削減

平均1.76[W]

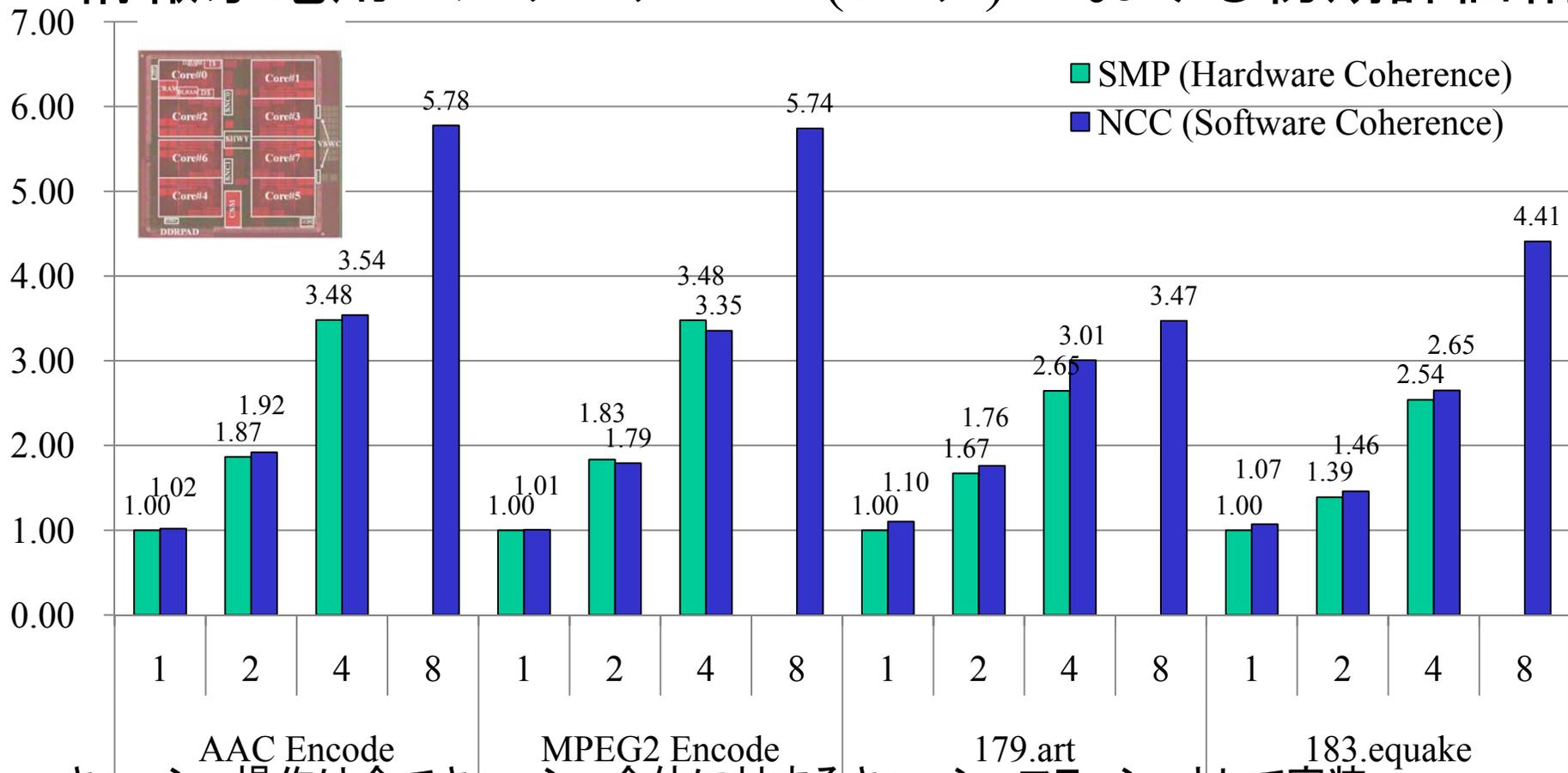
平均0.54[W]



1周期 : 33[ms]
→30[fps]

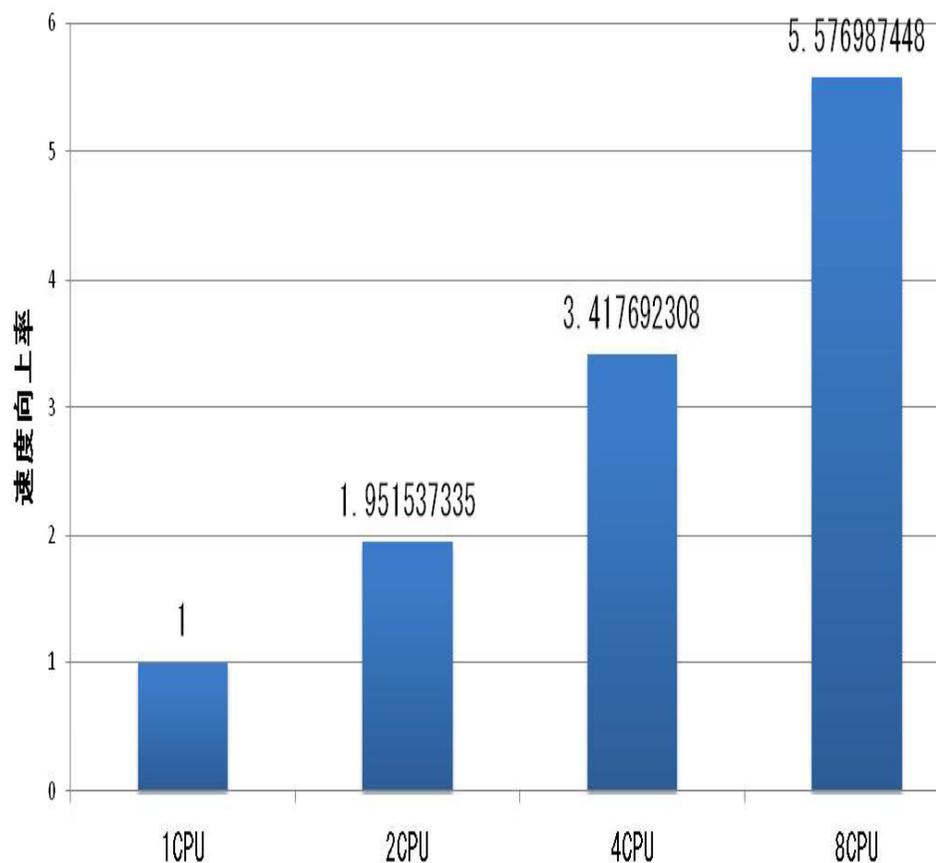
メニーコアへ向けたソフトウェアコヒーレンス制御の性能

情報家電用マルチコア RP2 (8コア) における初期評価結果



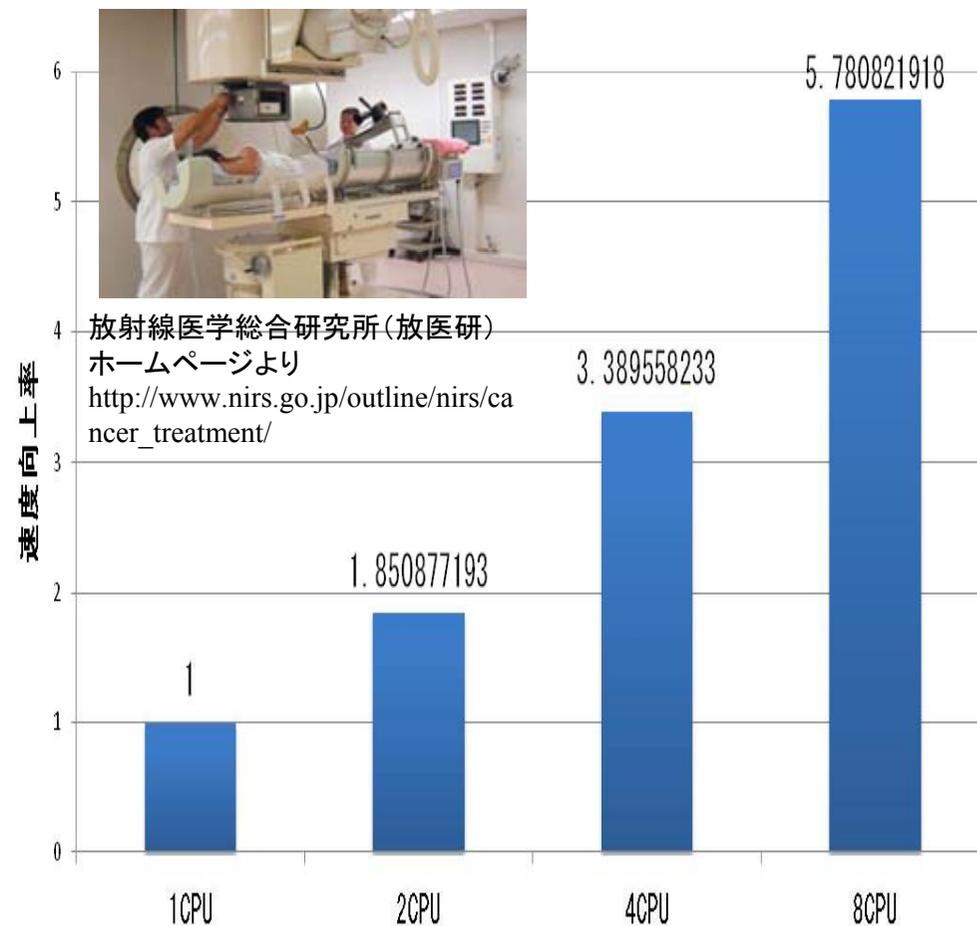
- キャッシュ操作は全てキャッシュ全体に対するキャッシュフラッシュとして実装
- 部分的なキャッシュ操作を実装することでさらに性能向上が得られる可能性あり

マルチコアプロセッサ上での 重粒子線ガン治療計画の並列処理性能



8CPUで5.58倍の速度向上

Intel Quadcore Xeon 8コアSMP



放射線医学総合研究所(放医研)
ホームページより
http://www.nirs.go.jp/outline/nirs/cancer_treatment/

8CPUで5.78倍の速度向上

**IBM Power 7 8コアSMP
(日立 SR16000)**

グリーン・コンピューティング・システム研究開発センター 概要

2011年4月13日竣工，2011年5月13日開所（記念シンポジウム）

経済産業省「2009年度産業技術研究開発施設整備費補助金」
先端イノベーション拠点整備事業

＜目標＞

太陽電池で駆動可能で
冷却ファンが不要な

超低消費電力・高性能マルチコア/
メニーコアプロセッサ*のハードウェア、
ソフトウェア、応用技術の研究開発

*1チップ上に多数のプロセッサコアを
集積する次世代マルチコアプロセッサ

＜産学連携＞

日立,富士通,ルネサス,NEC,トヨタ,
デンソー,オリンパス,
三菱電機(重粒子線ガン治療)等

＜波及効果＞

超低消費電力メニーコア

- CO₂排出量削減
- サーバ国際競争力強化
- 我が国の産業利益を支える
情報家電,自動車等の高付加価値化



産官学連携研究開発・実用化(波及効果)

命を守る

環境を守る

早稲田大学:研究開発

超低消費電力・メニーコアシステム技術

OSCARメニーコアチップ

OSCAR
Many-core
Chip



産業競争力を守る

市場規模: 情報家電・携帯電話系 数10兆円

市場規模: スパコン・サーバ系 1兆円

まとめ

グリーン・コンピューティング・システム研究開発センターでの
産官学連携研究開発(持続的強化のための人材育成含む)

1.環境を守るコンピューティング・システム

太陽光電力等クリーンエネルギーで動作し、自然冷却可能な
超低消費電力(マルチコア・メニーコア)プロセッサ・システムの
ハードウェア・ソフトウェア・応用技術

2.命を守るコンピューティング・システム

災害(地震・津波・溶岩流)スーパーリアルタイムシミュレーシ
ョン技術、医療(重粒子線ガン治療、内視鏡、脳梗塞診断補助)
等並列ソフトウェア技術・アーキテクチャ技術

3.産業競争力を守るコンピューティング・システム

我が国の主要産業である自動車、情報家電、ロボット等の安
全、安心、快適、省エネ、高機能、高生産性を実現し高付加価
値化に貢献するソフトウェア・ハードウェア・API技術