

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300013

研究課題名（和文） マルチコア複合環境を指向した適応型自動チューニング技術

研究課題名（英文） Adaptive Auto-tuning Technology Aiming Complex Multicore and Multiprocessor Environments

研究代表者

今村 俊幸（IMAMURA TOSHIYUKI）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：60361838

研究成果の概要（和文）：

マルチコアCPU・マルチGPUなど次世代スパコンのプロセッサでの高性能計算を恒常的に維持するための重要な要素「自動チューニング技術」の確立を目的として研究を推進した。「GPUでの性能安定化技法を取り込んだ自動チューニング技術」と「性能データベースを活用する自動チューニング方式」を提案した。さらに、動的に変動する条件に適応する自動チューニングの数理手法の研究を通じベイズモデルに基づく準最適実験計画を与えることに成功した。クラスタ計算ならびにマルチコア計算機での固有値計算、高速フーリエ変換、前処理付反復ソルバに関して自動チューニング技術の応用を実施した。

研究成果の概要（英文）：

To establish a key component of “automatic tuning technology” on multi-core processors and multi-GPU’s for a next-generation supercomputer system, we conducted this research project. In this work, we developed an “automatic tuning technique employing performance stabilization on GPU’s” and an “automatic tuning technique which utilizes a performance database”. Furthermore, we successfully gave the semi-optimal experimental design based on a Bayesian model through the mathematical research of the automatic tuning when the environmental conditions change dynamically. AT (automatic-tuning) for eigenvalue solvers, Fast Fourier Transform, and iterative solver with preconditioning were exploited on a cluster system or a multicore computer system.

交付決定額

（金額単位：円）

|      | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|------|------------|-----------|------------|
| 21年度 | 5,400,000  | 1,620,000 | 7,020,000  |
| 22年度 | 4,100,000  | 1,230,000 | 5,330,000  |
| 23年度 | 4,000,000  | 1,200,000 | 5,200,000  |
| 年度   |            |           |            |
| 年度   |            |           |            |
| 総計   | 13,500,000 | 4,050,000 | 17,550,000 |

研究分野：総合領域

研費の分科・細目：情報学， 計算機システム・ネットワーク

キーワード：マルチコア， 実行時最適化， 動的負荷分散， ハイブリッド並列プログラミングモデル， GPGPU， QR分解， 固有値計算， 高性能BLAS

1. 研究開始当初の背景

数値計算ライブラリなど開発に高度な専門性を必要とするソフトウェアでは、短期間

で更新される新規アーキテクチャに対応するため、プログラム中に各種パラメタを埋め込み、最高性能を出すパラメタ値を半自

動的に決定し高速化を行うソフトウェア自動チューニング手法が採用されている。マルチコア CPU やその他の高性能計算資源 (Cell, アクセラレータ, GPU) の一般化により本手法の重要性が一層高まっている。また複数スレッド・複数プログラムによる CPU コアならびにキャッシュ・メモリ帯域の競合が従来の最適化にはない一因として現れるため、それらの影響を考慮した最適化を行うことが重要なものとなってきている。

これまでに研究されてきた「並列計算機」が持つ計算機資源の多様性や、動的変質を伴う性質はマルチコア CPU の利用形態と多くの共通性を持つとともに、大部分の高性能化技術が性能のチューニングに引き継がれている。一方、マルチコア CPU における高性能数値計算ライブラリの標準仕様は現在のところ存在しない。開発ベンダーが個々に設定する仕様の範囲でチューニングがなされ、性能可搬性にいくつか問題が存在するが、これらの問題の解決には我々が培ってきた性能自動チューニングが有効と考えられる。一方、複合的マルチコア・マルチプロセッサ環境で複数プロセスの複数スレッドが同時に実行される場合は従来の静的なチューニングでは十分にカバーできないなど、新たな問題が存在することも事実である。そこで、従来のチューニング技術を拡張した「適応型自動チューニング」が幅広い計算機環境に対して高性能を保証する強力な武器となると期待される。マルチコア化するデスクトップ PC は当然ながら、複合的なマルチコアプロセッサ構成となる次世代スパコンでもチューニング技術が必要であり、現在スパコン開発で世界をリードする米国でも同様の議論がされている (「SIAM News Vol. 41, No. 5, 2008」において我々日本人グループの活動が紹介され、自動チューニングに対する海外での注目の高さがうかがえる)。このように、デスクトップからスパコンまで広い範囲をカバーする汎用的な次世代のソフトウェアチューニング技術確立が急務となっている。

## 2. 研究の目的

本研究提案の目的は次の 2 点である。i) マルチコア CPU・Cell・高性能アクセラレータ・GPGPU など高性能プロセッサアーキテクチャが複雑化することにより、高性能計算を恒常的に維持するための「自動チューニング技術」が現在以上に重要であり、専門家による「匠の技」を科学し、一般化し、次(もしくは次々)世代スパコンの開発に強く寄与すること、ii) 「適応型自動チューニング」という新たな枠組みのもと、多様な計算機アーキテクチャの動的な変化や過去の統計情報の取り扱いを研究し、マルチコア複合環境

での高性能数値計算ライブラリの実現を進める。というものである。

## 3. 研究の方法

本研究は、次の 3 グループから構成される学際研究であり、定期開催の会合等 (公開と非公開の両方) にて互いの要求要件などの意見交換を行いながら研究を進めた。

### (1) 適応チューニング基盤技術開発・マルチコア環境構築グループ

本グループでは、専門家によるチューニング技術 (特に、チューニングパラメタ決定方法) を利用し、適応型自動チューニングに必要なソフトウェア群開発ならびに実行環境整備を行った。サブグループ (2) と相互に連携し進めた。また、開発したソフトウェア群は主にサブグループ (3) に応用されることを想定し、実コード応用結果からのフィードバックを重要視し進めた。

(2) 適応チューニングモデル研究グループ  
適応型自動チューニングを抽象的に捕えるために概念的モデル化を行う。特に、本研究においてチューニング・フレームワークの理論部分となる<変動する計算要素に対応する動的かつ再構成可能な概念モデル化>を注意深く進めた。

(3) 数値計算ライブラリへの適用グループ  
数値ライブラリをマルチコア CPU や GPU システムに移植し、性能評価を行う。この移植並びに性能評価は単に開発コードの性能を確認するだけではなく、マルチコア環境下への移植に特有のノウハウ蓄積と有効なチューニングパラメタ抽出調査を含む。例えば、利用者の経験的なパラメタ感度の計量化、パラメタ間の相関ならびに優位パラメタの決定ルール (探索パラメタ優先順位や探索範囲) などが挙げられる。また、実際の数値計算ライブラリ固有のチューニング技術や自動チューニングを指向した最適化アルゴリズム研究も実施した。

また、ハードウェア自身の大きな時間単位の大きな世代変化とともに、短時間に変動する計算機資源なども考慮したチューニングを、理論実装、さらに応用の側面から研究する体制をとってきた。

## 4. 研究成果

前節で述べた学際研究により、研究分野を超えて相互の研究開発成果の活用や意見交換を実施した。研究成果の共有を行うためのワークショップを複数回開催し、議論を深めてきた。また、「自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウムワークショップ」や米国の応用数学会である SIAM のワークショップにおいてミニシンポジウムを毎年オーガナイズし、国内外への成果発信に努めてきた。以下に、研究成果の概要

を述べる。

#### (1) 適応チューニング基盤技術開発・マルチコア環境構築グループ

マルチコアCPU・マルチGPUなど次世代スパコンの基盤となる姿が明確になり、高性能計算を恒常的に維持するための重要な要素「自動チューニング技術」の必要性が再認識された。本研究では、コンパイラやいわゆる専門家による「匠の技」ではなく、多様な計算機アーキテクチャの動的な変化や過去の統計情報を適切に分析し取り扱うことにより、適応的かつ自動的にチューニング作業が達成されることが本研究の目的である。

本グループの成果の第一の研究成果はGPGPUにおけるLevel2カーネルの性能安定化の考え方や最適化プロセスの提案である。GPGPU統合環境CUDAの一機能、線形計算ライブラリCUBLASの性能不安定性の問題を指摘し、その主原因とモデル化を実施し、様々なカーネル候補関数の性能モデルから最適なコア関数を選択する手法を提案した。性能安定化とともに高性能を達成した。

また、もう一つの成果はAT性能データベースに関する研究である。計算機アーキテクチャごとに異なるAT性能データベースを作ることは、各種パラメタを適応的にチューニングする実行時最適化ATソフトウェアフレームワークの確立に資する。そこで本研究では、データベースからATに関する有用な知見を得るためにすでに開発されているAT機能付き疎行列反復解法ライブラリXabclibを有効活用し、効率的にチューニングデータを採取した。具体的には、性能データベース化のための基礎データ採取と、計算機アーキテクチャの違いによる最適実装方式の違いを分析した。

#### (2) 適応チューニングモデル研究グループ

本サブグループでは、動的に変動する条件に適応する自動チューニングの数理手法について研究した。まず、背景負荷がありうるマルチコアプロセッサ環境において高性能なBLASを実現するため、動的負荷分散に基づく手法を開発した。ここではブロックサイズが小さいと単体性能が下がり、ブロックサイズが大きくと並列性が下がる。我々は並列性を確保したうえで単体性能を最大に出すブロックサイズを決定するアルゴリズムを提案し、実機の上で高い性能を実現した。また、性能が変化する環境の数理的な定式化を行い、変化点前後の性能の相関のモデルを与えた。これに基づき、変化点が1回でタイミングが既知の場合について、ベイズモデルに基づく準最適実験計画を与えた。

#### (3) 数値計算ライブラリへの適用グループ

本サブグループの研究成果はサブグループ(1)の成果応用と参加研究者の個々の応用領域への自動チューニング研究に分類される。

まず、サブグループ(1)の成果応用として、性能データベース・実行時最適化ATフレームワークを利用した数値計算ライブラリの研究が実施された。特に、疎行列反復解法ライブラリを取りあげられ、入力する疎行列データの違いによる、効果的なアルゴリズムが分析された。<行列データ>と<実装・アルゴリズム>を結びつける、写像方式(評価関数)の研究と、実行時ATのためのデータベース検索に必要な基礎技術データの採取、実装オーバーヘッドの許容度、数値計算ポリシ指定などの技術項目が検討された。成果の一部として、実行時の疎行列データ構造変換を踏まえたAT手法の提案、また、データベース化手法が提案できた。特に、疎行列データ変換付きの実行時最適化機能が開発された。インストール時最適化と実行時最適化を併用する場合において、実行時に事前取得の性能データベースを参考するための疎行列の特徴尺度が提案された。

応用領域への自動チューニング応用は4テーマに分けられる。

#### (1) 次世代スパコン「京」やマルチコア+マルチGPU超並列環境向け固有値計算の性能自動チューニングの研究

本テーマでは、マルチコア超並列計算機向けの固有値計算新スキームの開発、従来3重対角化を経由する計算手法を、帯行列を経由することによって相対的に減少を続けるメモリバンド幅への対応を行い、マルチコア環境での固有値ソルバの新計算手法の提案を行った。本提案は京コンピュータでの固有値ソルバに採用され、高スケーラブル・高性能な固有値ソルバ開発に大きく貢献することができた。また、サブグループ(1)で開発した性能チューニングプロセスを適用したGPGPU統合環境CUDAの一機能、線形計算ライブラリCUBLASを利用したGPGPU版の固有値ソルバを開発し、高性能も達成した。

#### (2) マルチコア複合環境としてマルチコアCPUとGPUのハイブリッド環境における行列計算の自動チューニング

本テーマでは、行列計算を対象として、このマルチコア複合環境に適したアルゴリズムの設計と解析、及び最適負荷分散技術の開発を行った。具体的な成果は次の通りである。

#### (1) マルチコア向けのQR分解手法として注目されるTSQR(Tall-Skinny QR)アルゴリズムに対して理論誤差解析を行い、この方法が従来のハウスホルダーQR分解法と同等

以上の数値的安定性を持つことを明らかにした。(2) TSQR アルゴリズムをマルチコア CPU と GPU のハイブリッド環境で実行する際の性能上の問題点を指摘し、それを解決する方法として、コンパクト WY 表現の合成という手法を提案した。(3) 非対称固有値計算のためのヘッセンベルグ化及び特異値分解のための 2 重対角化・逆変換をマルチコア CPU と GPU のハイブリッド環境で実装し、プラットフォームと行列サイズに応じて負荷分散を最適化する手法を提案した。

#### (3) 並列三次元高速フーリエ変換 (FFT) の自動チューニング

本テーマでは、マルチコアプロセッサから成る超並列クラスタにおいて、並列三次元高速フーリエ変換 (FFT) の高速化を行った。並列 FFT のチューニングを行う際には、さまざまな性能パラメタが存在する。しかし、最適な性能パラメタはプロセッサのアーキテクチャ、ノード間を結合するネットワーク、そして問題サイズなどに依存するため、これらのパラメタをその都度手動でチューニングすることは困難になりつつある。そこで高速化手法として、通信時間を削減するためのデータの二次元分割に加えて自動チューニングも導入し、実装および性能評価を行った。その結果、並列三次元 FFT において自動チューニングを適用することにより性能が向上することが分かった。

#### (4) マルチコア・メニーコアに基づくクラスタ型並列システムでの、悪条件問題に対しても安定で効率的な前処理付き反復法ソルバの研究

本テーマでは、有限要素法、差分法による大規模科学技術シミュレーションをマルチコア・メニーコアに基づくクラスタ型並列システムを用いて効率的に実施するための、悪条件問題に対しても安定で効率的な前処理付き反復法ソルバの開発、実装、検証を実施した。特に OpenMP と MPI を組み合わせた Hybrid 並列プログラミングモデルに注目し、Flat MPI との比較を実施した。

まず、不均質場における静的弾性問題を対象とした並列有限要素法アプリケーションに対して、階層型領域間境界分割

(Hierarchical Interface Decomposition, HID) に基づく前処理付反復法ソルバ及び OpenMP と MPI の Hybrid 並列プログラミングモデルを適用し、T2K オープンスパコン (東大)512 コアにおいて Flat MPI との性能比較、最適化を実施した。First Touch Data Placement, データ再配置, 適切な NUMA control の組み合わせにより、Hybrid 並列プログラミングモデルが Flat MPI と同等かそれを上回る性能を得られることがわかった。また、領域間のオーバーラップ領域の拡張とセパレータ拡張を考慮して、悪条件問題のた

めに改良した改良 HID 法を提案、開発した。提案手法を不均質場における有限要素法による三次元静的弾性力学問題に適用し、従来手法と比較して安定で効率もよいことが示された。

更に OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルを、並列多重格子前処理付き反復法を使用した、三次元有限体積法に基づく不均質多孔質媒体中における地下水流れ問題シミュレーションに適用した。多重格子法の緩和演算子としては、IC(0)を適用した。開発したプログラムの性能と安定性を T2K オープンスパコン (東大) 8,192 コアまでを使用して評価した。OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルの中では特に各ソケットに1つのMPIプロセスを割り当てる HB 4×4 が、最も高い性能を示している。また、効率的な Coarse Grid Solver を提案し、1,000 コアを超える環境では計算効率を大きく改善することを示した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 2 件)

- 1) Imamura, T., Yamada, S., and Machida, M., "Narrow-band reduction approach of a DRSM eigensolver on a multicore-based cluster system", *Parallel Computing: From Multicores and GPU's to Petascale*, Vol. 19, pp. 91-98, 2010
- 2) 今村俊幸, 「超並列環境向きの固有値計算アルゴリズムと自動チューニング」, *応用数理*, 20(3), pp. 26-36, 2010  
[http://ci.nii.ac.jp/els/110007730720.pdf?id=ART0009529781&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order\\_no=&ppv\\_type=0&lang\\_sw=&no=1339483800&cp=](http://ci.nii.ac.jp/els/110007730720.pdf?id=ART0009529781&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1339483800&cp=)
- 3) 今村俊幸, 「CUDA 環境下での DGEMV 関数の性能安定化・自動チューニングに関する考察」, *情報処理学会論文誌コンピューティングシステム*, Vol. 4, No. 4, pp. 158-168 (Oct. 2011).  
[https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=78061&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=78061&item_no=1&page_id=13&block_id=8)
- 4) 片桐孝洋, 「ペタフロップス環境における小規模行列用対称密行列固有値ソルバに向けて - 逆変換の改良 -」, *情報処理学会論文誌: ACS*, Vol. 3, No. 2, pp. 1-8 (2010)  
[https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=69728&ite](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=69728&ite)

- m\_no=1&page\_id=13&block\_id=8
- 5) 片桐孝洋, 佐藤 雅彦, 「疎行列-ベクトル積におけるブロック化BSS法と高スレッド並列環境での性能評価」, 情報処理学会論文誌:ACS, Vol. 4, No. 3, pp. 1-8 (2011)  
[https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=71782&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=71782&item_no=1&page_id=13&block_id=8)
  - 6) Hiroki Toyokawa, Kinji Kimura, Yusaku Yamamoto, Masami Takata, Akira Ajisaka and Yoshimasa Nakamura, “On Auto-tuned Pre/postprocessing for the Singular Value Decomposition of Dense Square Matrices”, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS), Vol. 4, No. 3, pp. 9-21, 2011.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ipsjtrans/4/0/4\\_0\\_134/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ipsjtrans/4/0/4_0_134/_pdf)
  - 7) 深谷 猛, 山本有作, 張紹良, 「動的計画法を用いたブロックハウスホルダーQR分解アルゴリズムの性能最適化」, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS), Vol. 4, No. 4, pp. 146-157, 2011.  
[https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=78060&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=78060&item_no=1&page_id=13&block_id=8)
  - 8) Nakajima, K., “Parallel Multistage Preconditioners by Extended Hierarchical Interface Decomposition for Ill-Conditioned Problems”, Advances in Parallel Computing Vol. 19 “From Multicores and GPU’s to Petascale”, IOS press, 99-106, 2010

[学会発表] (計81件)

- 1) Yoshida, S., and Imamura, T., “Acceleration of two dimensional FMM using GPU”, International Workshop on Modern Science and Technology 2010 (IWMST 2010), September 4-5, 2010, Kitami, Japan
- 2) Susumu Yamada, Toshiyuki Imamura, and Masahiko Machida, “Parallelization Design for Multi-core Platforms in Density Matrix Renormalization Group toward 2-D Quantum Strongly-correlated Systems”, ACM/IEEE the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC11), Seattle, USA, 2011.  
 [USB-memory]
- 3) 今村俊幸, 木村光宏, 「Cell/B. E. に

- よる倍精度粒子法の高速度化」, FAIS マルチコアワークショップ2009, 北九州産業学術推進機構ひびきの, 招待講演, 2009年10月29日
- 4) Takahiro Katagiri, “Challenges of Run-time Auto-tuning for Sparse Iterative Solvers”, Fifth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2010), Proceedings of VECPAR’ 2010, 2pages., Berkeley, California, USA, June 22 (2010) (A Position Paper)
  - 5) 片桐孝洋, 「疎行列反復解法ライブラリにおける自動チューニング機能の開発」, 京都大学数理解析研究所研究集会, 科学技術計算アルゴリズムの数理的基盤と展開(代表者:大石進一(早稲田大学)), 若手セッション, 京都大学数理解析研究所講究録, 2010年10月19日.
  - 6) Takeshi Fukaya, Yusaku Yamamoto, and Shao-Liang Zhang, “A Dynamic Programming Approach to Auto-Tuning the Blocking Strategy For the Householder QR Decomposition”, Workshop on Advanced Auto-tuning on Numerical Software (AANS2010), Tokyo, April 2, 2010.
  - 7) Takafumi Miyata, Yusaku Yamamoto and Shao-Liang Zhang, “Performance Modeling of Multishift QR Algorithms for the Parallel Solution of Symmetric Tridiagonal Eigenvalue Problems”, M2A2 2010, Busan, May 21-23, 2010.
  - 8) Takeshi Fukaya, Yusaku Yamamoto, and Shao-Liang Zhang, “Auto-tuning for BLAS-based Matrix Computations”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE11), Grand Sierra Resort and Casino, Reno, Nevada, February 28- March 4, 2011.
  - 9) Nakajima, K., ‘Flat MPI vs. Hybrid: Evaluation of Parallel Programming Models for Preconditioned Iterative Solvers on “T2K Open Supercomputer”’, IEEE Proceedings of the 38th International Conference on Parallel Processing (ICPP-09) (Second International Workshop on Parallel Programming Models and Systems Software for High-End Computing (P2S2)), 73-80, 2009
  - 10) Nakajima, K., “Parallel Multigrid Solvers using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models on Multi-Core/Multi-Socket Clusters”, 2nd International Kyoto Forum on Krylov Subspace Methods (2010. 3)招

- 待講演
- 11) Nakajima, K., “Parallel Multigrid Solvers using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models on Multi-Core/Multi-Socket Clusters”, 11th Copper Mountain Conference on Iterative Methods, Copper Mountain, CO, USA (2010. 4) 招待講演
  - 12) Yuta Sawa, and Reiji Suda, “Auto Tuning Method for Deciding Block Size Parameters in Dynamically Load-balanced BLAS”, Proceedings of 4th international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT 2009), 2nd Oct. (1-2 Oct), 2009. pp. 113-127.
  - 13) R. Suda, K. Naono, K. Teranishi and J. Cavazos, “Software Automatic Tuning: Concepts and State-of-the-Art Results”, Springer, Chapter 1 of “Software Automatic Tuning: From Concepts to the State-of-the-Art Results”, Editors: Ken Naono, Keita Teranishi, John Cavazos and Reiji Suda, 2010, pp. 3-18.
  - 14) 須田礼仁, 「オフライン自動チューニングの数理手法」, 情報処理学会 HPC 研究会, 東京大学, 2010年6月17日.
  - 15) Daisuke Takahashi, “An Implementation of Parallel 3-D FFT with 2-D Decomposition on a Massively Parallel Cluster of Multi-core Processors”, Proc. 8th International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics (PPAM 2009), Part I, Workshop on Memory Issues on Multi- and Manycore Platforms, Lecture Notes in Computer Science, No. 6067, Springer-Verlag, pp. 606-614, 2010.
  - 16) 高橋大介, 「並列FFTにおける自動チューニング」, 日本応用数理学会2010年度年会講演予稿集, pp. 303-304, 2010.
  - 17) Daisuke Takahashi, “Automatic Tuning for Parallel 3-D FFTs”, 2010 SIAM Annual Meeting, David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, July 16, 2010.

[図書] (計1件)

- 1) Y. Sawa and R. Suda, “Autotuning Method for Deciding Block Size Parameters in Dynamically Load-balanced BLAS”, Chapter 3 of “Software Automatic Tuning: From Concepts to the State-of-the-Art Results”, Springer, Sep. 2010. ,

Editors: Ken Naono, Keita Teranishi, John Cavazos and Reiji Suda, pp. 33-48, contributed paper.

[産業財産権]  
○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今村 俊幸 (IMAMURA TOSHIYUKI)  
電気通信大学・情報理工学研究科・准教授  
研究者番号: 60361838

### (2) 研究分担者

片桐 孝洋 (KATAGIRI TAKAHIRO)  
東京大学・情報基盤センター・准教授  
研究者番号: 40345434

須田 礼仁 (SUDA REIJI)  
東京大学・情報理工学系研究科・教授  
研究者番号: 40251392

高橋 大介 (TAKAHASHI DAISUKE)  
筑波大学・システム情報工学研究科・准教授  
研究者番号: 00292714

山本 有作 (YAMAMOTO YUSAKU)  
神戸大学・システム情報学研究科・教授  
研究者番号: 2036 2288

中島 研吾 (NAKAJIMA KENGO)  
東京大学・情報基盤センター・教授  
研究者番号: 20376528

(3) 連携研究者  
なし