

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300004

研究課題名(和文) 実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化

研究課題名(英文) Exa-scale Adaptation to Sparse Iterative Library with Run-time Auto-tuning Facility

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：疎行列反復解法ライブラリにおいて、エクサスケール環境に適用できる実行時自動チューニング(AT)技術の方式開発を以下の観点で行った。

(1) 疎行列反復解法ライブラリXabclibをMPI実装したpXabclibを開発し、コード公開を行った。(2) GPU向け疎行列ベクトル積の実装を行い、メニーコアCPUで性能評価を行った。XabclibをOpenFOAMに適用し、ATの有効性を評価した。(3) 高周波電磁場解析の分野で用いられている3次元FDTD法において、冗長計算を伴わない時空間タイリングによりキャッシュヒット率を向上させる手法の研究を行った。

研究成果の概要(英文)：Methods of Auto-tuning (AT) with run-time optimization for sparse iterative library towards to exa-scale environment are developed.

(1) pXabclib, which is an MPI parallelized version of sparse iterative library Xabclib, is developed. The code is open to public. (2) Code of Sparse Matrix-vector Multiplications for GPU is implemented and evaluated with many-core CPU. Effectiveness of AT is verified by adapting Xabclib to OpenFOAM. (3) Method of 3D FDTD for electromagnetic field analysis with high frequency is studied to optimize cache access with time-space tiling without redundant computations.

研究分野：高性能計算

キーワード：自動チューニング 実行時最適化 Xabclib OpenATLib 疎行列反復解法 pXabclib OpenFOAM エクサスケールコンピューティング

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年6月のスパコンランキングTOP500では、神戸の理研計算科学機構に設置された京コンピュータが8.162PFLOPSを実現して世界最速のスパコンになった。中国、米国も1PFLOPS超えのスパコンを所有しており、本格的にペタスケール環境の時代が到来した。一方、ペタスケール環境の次に到来するエクサスケール環境の計算機は、厳しい電力制限に加えて、計算機アーキテクチャの複雑化が予想されている。階層構造をもつメモリに加え、演算アクセラタが付加された高並列マルチコアCPUのノード構成になる。演算アクセラタは現在、GPU(Graphics Processing Unit)が主流となっている。メモリや演算器構成の観点から<非均質計算機>になる。数値計算に必要な演算も、非均質計算機上で高効率実行を考えると非均質計算の考慮が必要となる。特に、高並列マルチコアでの数百スレッド実行と、数十万の高並列ノード実行のためのMPI実行(プロセス実行)の混合実行モデルである<ハイブリッドMPI実行>を考慮しないと、エクサスケール環境での計算機アーキテクチャに適合しない。このように複雑化されたエクサスケール環境に処理を適合(<エクサスケール化>)する、コンパイラを含む自動高速化の手段を我々は持っていない。

(2) エクサスケール環境で高度に複雑化された計算機がもたらすチューニング作業の困難性の爆発的増大から、ソフトウェア性能を人手を介さずに最大限に引き出す仕組みが求められている。とりわけ、数値計算ライブラリにおいては、個々のソフトウェアに特化した入力データに対しても高性能に動作することが強く要求される。このような状況のもと、アプリケーションの性能パラメータを対象計算機のキャッシュサイズ、コア数、通信性能などの計算機アーキテクチャの特性に加え、数値アルゴリズム選択に至る広範な要因を自動的にチューニングする<ソフトウェア自動チューニング技術>(以降、「AT技術」と記載する)が、国内外から注目を集めている。

(3) 数値計算ライブラリのエクサスケール化を行うにあたり、既存技術で達成できない課題は以下である。本研究はこの課題に取り組む、疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化を実現する。

1. 非均質計算機対応：高並列マルチコアCPUと演算アクセラタの適切な切り替え
2. ハイブリッドMPI実行対応：MPI通信とスレッド並列実行の双方の最適化
3. AT性能安定化・AT時間削減対応：実行時ATを実現するため、変動する膨大な性能ログから堅牢な解を導くAT方式。実行時の厳しいAT実行時間制約のもと

で機能する探索空間削減方式。

2. 研究の目的

(1) エクサスケール環境では、高並列マルチコアCPUに加えて演算アクセラタを持つ非均質計算機環境になることが予想されている。ノード内はスレッド並列化され、ノード外はMPIでプロセス並列化されたハイブリッドMPI実行が主流になる。

(2) 本研究ではこの前提のエクサスケール環境に適用できる実行時自動チューニング(AT)技術の方式を研究する。対象は疎行列反復解法、および、それを用いる数値計算ライブラリとシミュレーションとする。実用アプリケーションで求められる実行時ATの要求要件を調査のうえ同定し、エクサスケール化を達成する実行時AT方式を開発する。エクサスケール環境における高効率実行のための数値計算用AT基盤ソフトウェアの確立を目指す。

(3) 本研究の目的は、疎行列反復解法ライブラリのための以下のAT機能を開発することにある。

1. CPU-GPU混載の非均質計算機で機能する、資源切り替え最適化、および演算のGPU化
2. ハイブリッドMPI実行で機能する、MPI通信およびスレッド並列化の実装最適化
3. よりよい実行時ATを実現する、AT性能安定化およびAT時間削減

3. 研究の方法

(1) <AT方式開発グループ(ATMD)><数値計算ライブラリ適用グループ(NLAG)><アプリケーション適用グループ(APAG)>の3グループを編成し、エクサスケール化を達成する実行時AT機能の仕様策定、実装、および性能評価をする。

(2) CPUとGPUの非均質計算機環境でのAT評価のため、スパコンセンターの超並列計算機を利用する。研究分担者と連携研究者が、いままで研究を進めてきたAT要素技術を適用発展させる。

(3) 以下の技術項目について、研究開発を行う。

1. 非均質計算機対応：CPU-GPU混載環境のための資源切り替えのATの実現
2. ハイブリッドMPI実行対応：MPI通信方式最適化、および、高スレッド実行を可能とするSpMV実装と疎行列データ形式変換に関するATの実現
3. AT性能安定化・AT時間削減対応：ATにより堅牢な解を導くd-splineによるATコスト推定法、実行時の制限されたAT時間のもと探索領域を制限できる実験

計画法による AT の実現

4. 研究成果

(1) 数値計算ライブラリのエクサスケール化を実現する、ハイブリッド MPI/OpenMP 実行が可能な AT 機能付き数値計算ライブラリ pXabclib の開発を行った。また、LGPL でホームページ上より公開を行った。

(2) ppOpen-AT 上に、効率よく性能パラメータを推定する手法である d-Spline を用いた標本点逐次追加型性能パラメータ推定手法を実装した。さらに、複数パラメータを同時推定できるように機能拡張し、多数の性能パラメータを持つ代数的マルチグリッド法による数値計算ライブラリに適用し、AT 時間を安定的に短縮できることを確認した。BLAS3 レベルの行列積計算において、Strassen アルゴリズムを活用し、その適用段数に関する AT を行なった。ベースとした ATLAS ライブラリの特性をもとに、AT コストを大幅に削減する手法を提案、実装した。さらに、マルチスレッド型並列処理環境での Strassen アルゴリズムの特性を分析し、AT の可能性を示した。また、BLAS2 レベルの疎行列ベクトル積を GPU 上に実装し、CPU-GPU 間の通信処理の削減により、小規模行列において CU-BLAS より高い効率化を実現した。

(3) エクサスケールコンピューティングを実現するための技術として注目される GPU や MIC を主対象として、高速な疎行列-ベクトル積 (SpMV) の実装や評価に取り組んだ。研究当初は特に GPU を用いた SpMV の実装に注力し、その後は SpMV を用いた疎行列ソルバー全体の高速化にも取り組んだ。容易に GPU プログラムを作成できるプログラミング環境として OpenACC への注目が高まるのをうけて、OpenACC を用いた SpMV や疎行列ソルバーの実装や性能評価にも取り組んだ。さらに、MIC がリリースされ GPU との比較などにも注目が高まるのをうけて、本研究においても MIC を用いた SpMV および疎行列ソルバーについても取り組み、マルチコア CPU・MIC・GPU の性能比較結果などを研究会等にて発表した。また、元々は GPU の性能比較対象として扱っていたマルチコア CPU および MIC 向けの SpMV 実装についても研究を進めた。

(4) 高周波電磁場解析の分野で最も広く用いられている解析手法である 3 次元 FDTD 法に関して、冗長な計算を伴わない時空間タイリングの実現によりキャッシュヒット率を向上させる手法に関して発表を行った。さらに、同手法における性能パラメータであるタイル形状、タイル上の更新タイムステップ数を自動チューニングする方法について提案を行った。提案手法では、立方体タイルを用いた最適化により実効的なキャッシュ容量をまず見積もり、その後に枝刈り付きのモン

テカルロ法を用いる。同手法によって、時空間タイリングを用いた 3 次元 FDTD 法プログラムの性能改善が可能であることを数値実験により示した。

(5) 有限要素解析や差分解析で広く用いられている線形反復法である ICCG 法に関して、メニーコアプロセッサや汎用マルチコアプロセッサが有する SIMD 演算機構を有効活用する手法を提案した。提案手法である ICB 前処理では、係数行列をブロック化し、不完全コレスキー分解においてブロック内のフィルインを許可する。許可するフィルインの増加による収束性の改善とブロック内の密行列演算に SIMD 演算を用いることによる性能向上が本手法の効果である。フロリダ大学の行列データベースより入手したデータを利用した数値実験により、Intel Xeon プロセッサや Intel Xeon Phi コプロセッサ上において、提案手法の有用性を確認した。

(6) 陽的時間積分法を用いた MHD シミュレーションコードでは、クーラン条件により時間積分における時間の刻み幅が制限されるという問題点がある。この問題を解決するために、クーラン条件に制限されない陰的時間積分法を用いることが有効な手法と考えられる。そこで、本研究においては、陰的時間積分法を用いた線形 MHD コードを開発、性能評価を実施し、陰的時間積分法の有効性について検討を行った。

(7) 本研究で開発した陰的時間積分法コードにおいては、クリロフ法の収束を早めるために Physics-based preconditioning の導入も行っている。開発した計算コードの性能評価試験より、クーラン条件が非常に厳しくなるような状況のもとでは、陽的時間積分法コードよりも陰的時間積分法コードの方が高速な計算が可能であり、陰的時間積分法が有効な手法であることを示した。

(8) Xabclib を、フリーの数値流体計算ソフトウェア OpenFOAM に組み込み、性能評価を行った。その結果、AT 機能付き疎行列反復解法ライブラリの有効性を、実アプリケーションにおいて実証することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① [Takahiro Katagiri](#), [Pierre-Yves Aquilanti](#), and [Serge Petiton](#), A Smart Tuning Strategy for Restart Frequency of GMRES(m) with Hierarchical Cache Sizes, Selected Papers of VECPAR' 2012, Springer LNCS, 査読有, Vol. 7851, 2013, 314-328
DOI: 10.1007/978-3-642-38718-0_31
- ② [Takahiro Katagiri](#), [Takao Sakurai](#), [Mitsuyoshi Igai](#), [Satoshi Ohshima](#),

Hisayasu Kuroda, Ken Naono and Kengo Nakajima, Control Formats for Unsymmetric and Symmetric Sparse Matrix-vector Multiplications, Selected Papers of VECPAR'2012, Springer LNCS, 査読有, Vol. 7851, 2013, 236-248

DOI: 10.1007/978-3-642-38718-0_24

- ③ Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Hisayasu Kuroda, Ken Naono, Mitsuyoshi Igai, Satoshi Ohshima, A Sparse Matrix Library with Automatic Selection of Iterative Solvers and Preconditioners, Procedia Computer Science, 査読有, vol.18, 2013, 1332-1341

DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.300

- ④ Teruo Tanaka, Ryo Otsuka, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri and Toshiyuki Imamura, Implementation of d-Spline-based incremental performance parameter estimation method with ppOpen-AT, Scientific Programming, 査読有, 22, 2014, 299-307

DOI: 10.3233/SPR-140395

- ⑤ 坂本真貴人, 藤井昭宏, 田中輝雄, Strassen のアルゴリズムを用いた行列積、電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol97-D, No3, 2014, 405-413

- ⑥ 南武志, 岩下武史, 中島浩, 冗長な計算を伴わない 3 次元 FDTD 法の時空間タイリング、情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム (ACS)、査読有, Vol. 6, No. 1, 2013, 56-65

- ⑦ Takeshi Minami, Motoharu Hibino, Tasuku Hiraishi, Takeshi Iwashita and Hiroshi Nakashima, Automatic Parameter Tuning of Three-Dimensional Tiled FDTD Kernel, Proc. of iWAPT2014, 査読有, 2014

DOI: 10.1007/978-3-319-17353-5_24

- ⑧ Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Performance Optimization of SpMV using the CRS format considering OpenMP Scheduling on CPUs and MIC, ATMG2014, Proc. of IEEE MCSoc-14, 査読有, 2014

DOI: 10.1109/MCSoc.2014.43

[学会発表] (計 40 件)

- ① 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 伊藤祥司, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健, 中島研吾, 収束障害 (Fault Convergence) : 数値計算ソフトウェアにおける新しい安全性の概念、第 134 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2012 年 6 月 1 日、電気通信大学 (東京都調布市)

- ② 片桐孝洋, 佐藤雅彦, 自動チューニング

機能付き数値計算ライブラリ Xabclib の新機能と陰解法 MHD コードへの適用の試み、プラズマシミュレータシンポジウム 2012、査読無、2012 年 9 月 11 日、核融合研究所 (岐阜県土岐市)

- ③ Takahiro Katagiri, Jun'ichi Iwata, Kazuyuki Uchida, A Communication Avoiding and Reducing Algorithm for Symmetric Eigenproblem for Very Small Matrices, 第 148 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2015 年 3 月 2 日、花菱ホテル (大分県別府市)

- ④ Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto, Towards Auto-tuning for the Finite Difference Method in Era of 200+ Thread Parallelisms, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI), 査読有, 2015 年 1 月 28 日、つくば国際会議場 (茨城県つくば市)

- ⑤ Takahiro Katagiri, Towards Auto-tuning of Scientific Codes for Many-core Architectures in Era of Exa-flops, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, 査読無, 2015 年 2 月 27 日, Taipei, Taiwan

- ⑥ Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Towards Auto-tuning in the Era of 200+ Thread Parallelisms --- FIBER Framework and Minimizing Software Stack, SIAM CSE15, 査読無, 2015 年 3 月 18 日, Salt Lake City, USA

- ⑦ Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Mitsuyoshi Igai, Satoshi Ohshima, Hisayasu Kuroda, Ken Naono, Xabclib: Parallel Iterative Linear Solver with Run-Time Auto-Tuning, SIAM PP14, 査読無, 2014 年 2 月 20 日, Portland, USA

- ⑧ 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 大島聡史, 猪貝光祥, 黒田久泰, OpenFOAM への疎行列計算ライブラリ Xabclib の適用と評価、オープン CAE シンポジウム 2014、査読無、2014 年 11 月 14 日、国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都渋谷区)

- ⑨ 坂本真貴人, 藤井昭宏, 小西克巳, 田中輝雄, 行列和計算最適化による Strassen 法の高速度化、情報処理学会第 77 回全国大会、査読無, No. 1J-5, 2015 年 3 月 17 日、京都大学 (京都市左京区)

- ⑩ 入江純, 村田陸, 藤井昭宏, 田中輝雄, 片桐孝洋, 自動チューニング基盤 ppOpen-AT 上での標本点逐次追加型複数パラメータ同時推定機能の実現、第 148 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2015 年 3 月 2 日、

- 花菱ホテル (大分県別府市)
- ⑪ Teruo Tanaka, Akihiro Fujii, A Study on Enhancement of Data Fitting Function “d-Spline”, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, 査読無, 2014年3月14日, Taipei, Taiwan
 - ⑫ 坂本真貴人、藤井昭宏、田中輝雄、Strassen のアルゴリズムを付加した行列積自動チューニングライブラリ、第138回情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2013年2月21日、芦原温泉清風荘 (福岡県あわら市)
 - ⑬ Teruo Tanaka, Makito Sakamoto, Akihiro Fujii, BLAS3-level Matrix Multiply Automatic Tuning Implemented within Strassen, 2013 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, 査読無, 2013年3月27日, Taipei, Taiwan
 - ⑭ 五十嵐勇輝、藤井昭宏、田中輝雄、GPGPUを用いた行列行列積の自動チューニング、情報処理学会第75回全国大会講演会、査読無、2K-5、2013年3月6日、東北大学 (宮城県仙台市)
 - ⑮ Ryo Otsuka, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Takahiro Katagiri, Implementation of Incremental Performance Parameter Estimation Method to ppOpen-AT, The 11th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-Special), 査読無, 2012年10月30日, 工学院大学 (東京都八王子市)
 - ⑯ 田中輝雄、大塚亮、藤井昭宏、片桐孝洋、自動チューニング基盤 ppOpen-AT への標本点逐次追加型性能パラメータ推定法の適用、日本応用数学会 2012年度年会、査読無、2012年8月28日、稚内全日空ホテル (北海道稚内市)
 - ⑰ Teruo Tanaka, Ryo Otsuka, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri, An Incremental Parameter Estimation Method Applying d-Spline for Software Automatic Tuning, EASIAM2012, 査読無, 2012年6月27日, Taipei, Taiwan
 - ⑱ 大島聡史、GPUを用いた疎行列ベクトル積計算の最適化、日本応用数学会 2012年度年会、査読無、2012年8月28日、稚内全日空ホテル (北海道稚内市)
 - ⑲ 大島聡史、伊東聡、片桐孝洋、中島研吾、行列格納形式の変換を考慮したGPU向け疎行列ソルバの開発、GTC JAPAN 2012、査読有、2012年7月26日、東京ミッドタウン (東京都港区)
 - ⑳ Satoshi Ohshima, Effective SpMV Implementation on Modern Parallel Architectures, 2013 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, 査読無, 2013年3月28日, Taipei, Taiwan
 - 21 Satoshi Ohshima, Performance Evaluation of SpMV on Current Parallel Processors -- CPU vs GPU vs MIC --, HPC in Asia session at ISC'13, 査読有, 2013年6月17日, Leipzig, Germany
 - 22 大島聡史、金子勇、片桐孝洋、Xeon PhiにおけるSpMVの性能評価、第140回HPC研究発表会、査読無、2013年8月2日、北九州国際会議場 (福岡県北九州市)
 - 23 大島聡史、金子勇、片桐孝洋、メニーコアアーキテクチャ向けのSpMV最適化と自動チューニング、日本応用数学会 2013年度年会、査読無、2013年9月10日、アクロス福岡 (福岡市中央区)
 - 24 Satoshi Ohshima, Fast SpMV Implementation on GPU / Manycore Architectures and its Application, 2013 International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), 査読無, 2013年12月6日、東京大学 (東京都文京区)
 - 25 Satoshi Ohshima, Implementation and Performance Evaluation of SpMV on Modern Parallel Processors, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, 査読無, 2014年3月14日, Taipei, Taiwan
 - 26 Satoshi Ohshima, Performance Evaluation of SpMV Considering Matrix Layout Parameters, HPC in Asia session at ISC'14, 査読有, 2014年6月26日, Leipzig, Germany
 - 27 大島聡史、松本正晴、片桐孝洋、塙敏博、中島研吾、様々な計算機環境におけるOpenMP/OpenACCを用いたICCG法の性能評価、第145回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2014年7月29日、朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター (新潟市中央区)
 - 28 Satoshi Ohshima, Performance Evaluation and Comparison of ICCG method using OpenMP and OpenACC, Workshop on HPC and Cloud Accelerators, 査読無, 2014年8月26日, RIKEN AICS (兵庫県神戸市)
 - 29 大島聡史、松本正晴、片桐孝洋、疎行列ソルバーにおける自動チューニングを用いたOpenMP指示文の最適化、日本応用数学会 2014年度年会、査読無、2014年9月3日、政策研究大学院大学 (東京都港区)
 - 30 Satoshi Ohshima, Performance evaluation of Preconditioned Iterative Linear Solver Using OpenMP

- and OpenACC, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, 査読無, 2015年2月28日, Taipei, Taiwan
- 31 大島聡史、片桐孝洋、櫻井隆雄、中島研吾、黒田久泰、直野健、猪貝光祥、動的な並列実行機構を用いた SpMV 実装の性能評価、第148回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、査読無、2015年3月2日、花菱ホテル(大分県別府市)
- 32 Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, Optimization of Preconditioned Iterative Linear Solvers Using OpenMP/OpenACC on GPU and MIC, SIAM CSE2015, 査読無, 2015年3月15日, Salt Lake City, USA
- 33 日比野元春、南武志、平石拓、岩下武史、中島浩、Xcrypt を用いた 3 次元 FDTD 法プログラムの自動チューニング、日本応用数学会 2012 年度年会、査読無、2012年8月31日、稚内全日空ホテル(北海道稚内市)
- 34 河合直聡、岩下武史、中島浩、最新プロセッサの SIMD 演算を活用する並列化ガウス=ザイデルスムーザの実装方法、先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS 2013)、査読有、2013年5月23日、仙台国際センター(宮城県仙台市)
- 35 武村直和、岩下武史、伊田明弘、中島浩、IC 前処理における SIMD 演算活用のためのブロック化手法、日本応用数学会 2013 年度年会、査読無、2013年9月10日、アクロス福岡(福岡市中央区)
- 36 Takeshi Iwashita, Naokazu Takemura and Hiroshi Nakashima, A fill-in strategy for fast ICCG solver with SIMD vectorization, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 査読有, 2015年1月26日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)
- 37 Takeshi Iwashita, New fill-in strategy for fast ICCG solver using SIMD vectorization, International Workshop on Information Technology, Applied Mathematics and Science (IMS2015), 査読無, 2015年3月26日、京都市生涯学習総合センター(京都府京都市)
- 38 佐藤雅彦ほか、高ベータ LHD プラズマに対する非線形 MHD シミュレーション、プラズマシミュレータシンポジウム 2012、査読無、2012年9月11日、核融合科学研究所(岐阜県土岐市)
- 39 佐藤雅彦ほか、Nonlinear MHD simulation of high beta LHD plasmas、第19回NEXT研究会、査読無、2013年8月29日、京都大学(京都府宇治市)
- 40 佐藤雅彦、陰的時間積分法を用いた MHD コードの開発、第11回核燃焼プラズマ統合コード研究会、査読無、2013年12月19日、九州大学(福岡県福岡市)
- [図書] (計1件)
①片桐孝洋、スパコンプログラミング入門ー並列処理と MPI の学習ー、東京大学出版会、2013年3月12日、186ページ
- [産業財産権]
○出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)
- [その他]
<http://www.abc-lib.org/Xabclib/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
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
- (2) 研究分担者
岩下 武史 (IWASHITA, Takeshi)
北海道大学・情報基盤センター・教授
研究者番号: 30324685
- 大島 聡史 (OHSHIMA, Satoshi)
東京大学・情報基盤センター・助教
研究者番号: 40570081
- 黒田 久泰 (KURODA, Hisayasu)
愛媛大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 60323507
- 佐藤 雅彦 (SATO, Masahiko)
核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
研究者番号: 80455211
- 田中 輝雄 (TANAKA, Teruo)
工学院大学・情報工学部・教授
研究者番号: 90622837
- (3) 連携研究者
櫻井 隆雄 (SAKURAI, Takao)
日立製作所・研究開発グループ・研究員
研究者番号: 90634296
- 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
- 今村 俊幸 (IMAMURA, Toshiyuki)
独立行政法人理化学研究所・計算科学研究機構・チームリーダー
研究者番号: 60361838