

ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の
創出

H25 年度 実績報告

平成 22 年度採択研究代表者

中島 研吾

東京大学情報基盤センター
教授

自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境

§ 1. 研究実施体制

(1) 中島グループ

- ① 研究代表者: 中島 研吾 (東京大学情報基盤センター、教授)
- ② 研究項目: 自動チューニング機構を有するポストペタスケールアプリケーション開発・実行環境のための基盤ソフトウェア
 - ・ ppOpen-HPC の基本設計
 - ・ ppOpen-MATH の研究開発
 - ・ ppOpen-AT の研究開発
 - ・ ppOpen-SYS の研究開発

(2) 佐藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 佐藤 正樹 (東京大学大気海洋研究所、教授)
- ② 研究項目: ポストペタスケールアプリケーション連成機構
 - ・ ppOpen-HPC の基本設計
 - ・ ppOpen-APPL/FVM の研究開発
 - ・ ppOpen-MATH/MP の研究開発

(3) 古村グループ

- ① 主たる共同研究者: 古村 孝志 (東京大学大学院情報学環、教授)
- ② 研究項目: 差分法に基づくポストペタスケールアプリケーション開発環境
 - ・ ppOpen-APPL/FDM の研究開発

(4) 奥田グループ

- ① 主たる共同研究者: 奥田 洋司 (東京大学大学院新領域創成科学研究科、教授)
- ② 研究項目: 有限要素法に基づくポストペタスケールアプリケーション開発環境
 - ・ ppOpen-APPL/FEM の研究開発
 - ・ 混合精度演算手法に関する研究

(5) 岩下グループ

- ① 主たる共同研究者: 岩下 武史 (京都大学学術情報メディアセンター、准教授)
- ② 研究項目: 境界要素法に基づくポストペタスケールアプリケーション開発環境
 - ・ ppOpen-APPL/BEM の研究開発

(6) 阪口グループ

- ① 主たる共同研究者: 阪口 秀 ((独)海洋研究開発機構、プログラムディレクター)
- ② 研究項目: 個別要素法に基づくポストペタスケールアプリケーション開発環境
 - ・ ppOpen-APPL/DEM の研究開発
 - ・ 通信削減アルゴリズムの研究開発

§ 2. 研究実施の概要

本プロジェクトでは、メニコアクラスタによるポストペタスケールシステム上での科学技術アプリケーションの効率的開発、安定な実行に資する ppOpen-HPC の研究開発を計算科学、計算機科学、数理科学各分野の緊密な協力のもとに実施している。大規模シミュレーションに適した 5 種の分散化手法に限定し、各手法の特性に基づいたアプリケーション開発用ライブラリ群、実行環境を実現する。ppOpen-HPC は図 1 に示す 4 階層より構成される:

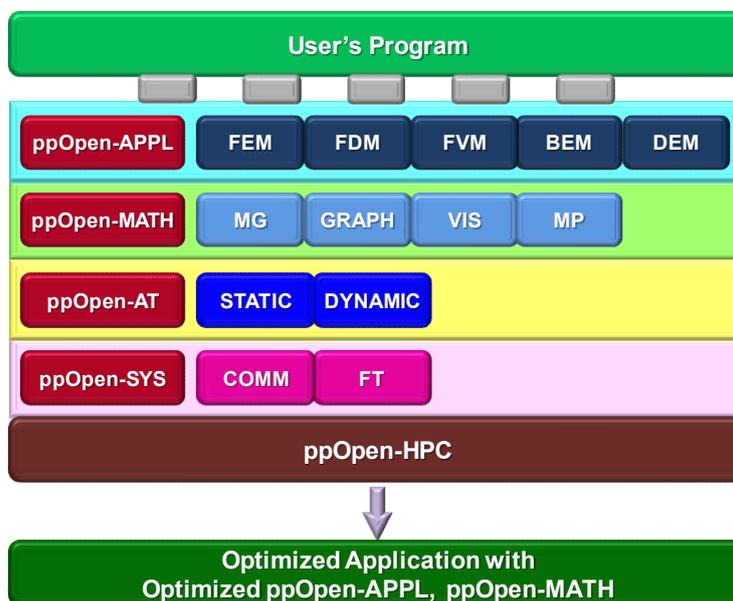


図 1 ppOpen-HPC の構成, 利用イメージ

- ppOpen-APPL: 各手法に対応した並列プログラム開発のためのライブラリ群
- ppOpen-MATH: 各分散化手法に共通の数値演算ライブラリ群
- ppOpen-AT: 科学技術計算のための自動チューニング (Automatic Tuning, AT) 機構
- ppOpen-SYS: ノード間通信, 耐故障機能に関連するライブラリ群

先行研究においてメンバー自身が開発した大規模アプリケーションを元にして ppOpen-APPL の各機能を開発, 実装した。ppOpen-AT は ppOpen-APPL の原型コードを対象として研究開発を実施し, その知見を各 ppOpen-APPL の開発, 最適化に適用している。現在は各機能の最適化, 機能追加, Intel Xeon/Phi 等メニコア向けバージョン開発を実施中である。また, ppOpen-APPL を地震, 大気海洋, 電磁気学など様々な分野のシミュレーションプログラムの開発・実行に適用し, ソフトウェアの検証を実施している。開発したソフトウェアはプロジェクトホームページ (<http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/>) よりオープンソースとして公開中である (英文による附属資料付き, 現在は平成 25 年 11 月に公開した Ver.0.2.0)。

ppOpen-AT は, 自動チューニング(AT)のための計算機言語である。本プロジェクトでは, FDM (Finite-Difference Method, 差分法) に現れる計算パターンに着目し, コンパイラでは適用できないループ変換機能を提供する AT 機能を開発した。Intel Xeon/Phi 等メニコアアーキテクチャで必須の高スレッド実行時に, AT によって高い性能を達成することが可能となった。

ppOpen-MATH/MP は FDM や FEM (Finite-Element Method, 有限要素法) など, 異なる分散化手法を持つ複数のモデルを結合し, 大規模データ転送, データ変換を実施するための弱

連成カップリングツールである。平成 25 年度～26 年度にかけて、ppOpen-MATH/MP を使用した、地震動+構造物応答連成シミュレーションを ppOpen-APPL/FDM, ppOpen-APPL/FEM によって実施中である(図 2)。このようなシミュレーションは防災・減災への貢献という観点から大きな社会的インパクトがある。

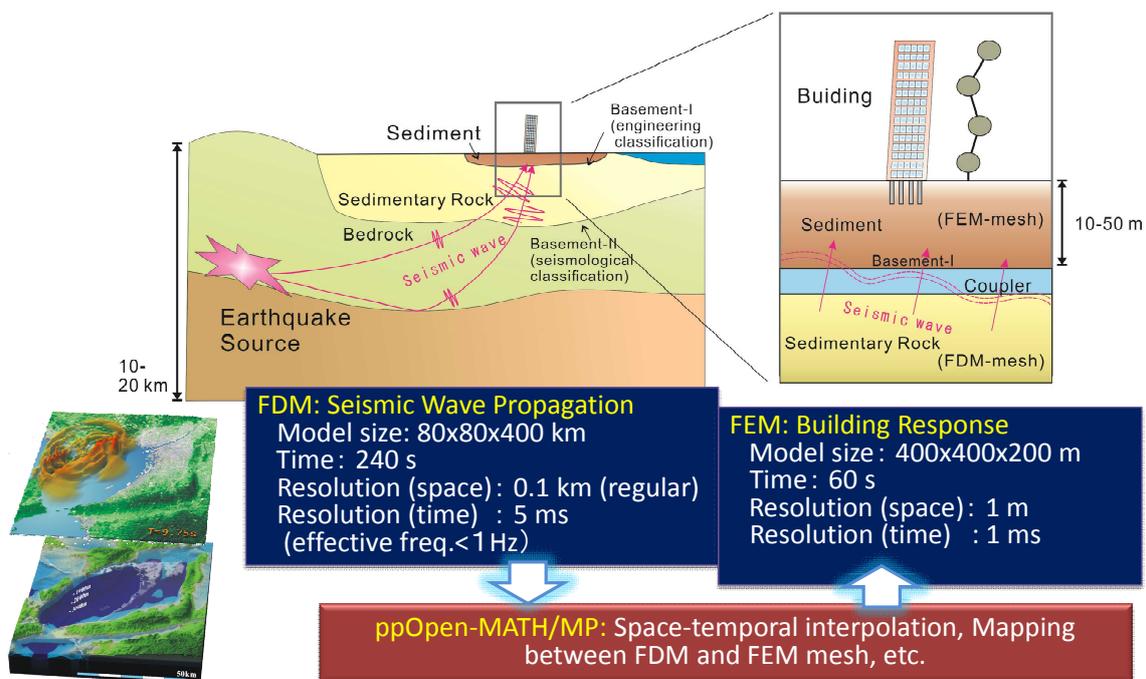


図 2 ppOpen-MATH/MP を使用した地震動+構造物応答連成シミュレーションのイメージ

ppOpen-HPC のようなオープンソースを普及させるためには、実際にシミュレーションプログラムの開発に適用し、実用化事例を紹介していくことが必要である。国内外の計算科学・工学分野の研究者と協力して、大規模シミュレーションコードに ppOpen-HPC の機能を適用する取組を実施している。また、更なる普及を図るために、平成 26 年 3 月から ppOpen-HPC の個別機能に関するスーパーコンピュータによる実習付きの講習会を実施している。将来的には ppOpen-HPC の利用者による利用事例報告会なども開催予定である。また、大学院、学部の講義・演習・全学ゼミの教材としての導入も実施している。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国内)

- [1] 中島研吾, 前処理付きマルチスレッド並列疎行列ソルバー, 情報処理学会研究報告

(HPC-139-6), 2013 年 5 月

- [2] 實本英之, 鴨志田良和, 適切なチェックポイント周期を与えるアプリケーションレベルチェックポイントライブラリ, 情報処理学会研究報告(HPC-139-10), 2013 年 5 月
- [3] 大島聡史, 金子勇, メニーコアプロセッサ Xeon Phi の性能評価, 情報処理学会研究報告(HPC-139-20), 2013 年 5 月
- [4] 大島聡史, 金子勇, 片桐孝洋, Xeon Phi における SpMV の性能評価, 情報処理学会研究報告(HPC-140-33), 2013 年 8 月

論文詳細情報(国際)

- [5] Serban Georgescu, Peter Chow, Hiroshi Okuda, GPU Acceleration for FEM-Based Structural Analysis, Archives of Computational Methods in Engineering, Vol.20, Issue 2, pp 111-121, 2013
- [6] Nakajima, K., Automatic Tuning of Parallel Multigrid Solvers using OpenMP/MPI Hybrid Parallel Programming Models, Lecture Notes in Computer Science 7851, 435-450, June 2013
- [7] Nakajima, K., Large-scale Simulations of 3D Groundwater Flow using Parallel Geometric Multigrid Method, Procedia Computer Science 18, 1265-1274, Proceedings of IHPCES 2013 (Third International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks) in conjunction with ICCS 2013, Barcelona, Spain, June 2013
- [8] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito and Satoshi Ohshima, “Early Experiences for Adaptation of Auto-tuning by ppOpen-AT to an Explicit Method”, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoc-13), Proceedings of MCSoc2013, pp.153-158, 2013 (DOI: 10.1109/MCSoc.2013.15)
- [9] Takahiro Katagiri, Cheng Luo, Reiji Suda, Shoichi Hirasawa, Satoshi Ohshima, “Energy Optimization for Scientific Programs Using Auto-tuning Language ppOpen-AT”, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoc-13), Proceedings of MCSoc2013, pp. 123-128, 2013. (DOI:10.1109/MCSoc.2013.14)
- [10] Junji Kitao, Yasuhito Takahashi, Koji Fujiwara, Takeshi Mifune, and Takeshi Iwashita, “Automatic Determination of Acceleration Factor Based on Residual and Functional in Shifted ICCG Method for 3-D Electromagnetic Field Analyses”, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 49, no. 5, pp. 1741—1744, 2013. (DOI: 10.1109/TMAG.2013.2239277)
- [11] Daisuke Nishiura, Yamamoto Matsuo, Hide Sakaguchi, ppohDEM: Computational performance for open source code of the discrete element method, Computer Physics Communications, 185 (5), 1486-1495 (2014) doi:10.1016/j.cpc.2014.02.01

- [12] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima, Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, Proceedings of Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with ICCS 2014, Procedia Computer Science, 2014 (in press)
- [13] Takashi Arakawa, Takahiro Inoue and Masaki Sato, Performance evaluation and case study of a coupling software ppOpen-MATH/MP, Proceedings of Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with ICCS 2014, Procedia Computer Science, 2014 (in press)
- [14] Futoshi Mori, Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura, Performance of the FDM simulation of Seismic Wave Propagation using the ppOpen-APPL/FDM library on Intel Xeon Phi Coprocessor, Proceedings of the 11th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), 2014 (in press)