

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
  - pK-Open-FVM の研究開発
  - pK-Open-SOL の研究開発
  - pK-Open-AT の研究開発

## § 2. 研究実施の概要

平成 23 年度～27 年度に実施された「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『』 ppOpen-HPC」の研究開発において得られた知見、ソフトウェア資産を元に「ポスト京」等メニーコアアーキテクチャ向けのアプリケーション開発フレームワーク「pK-Open-HPC」を開発した。pK-Open-HPC は、ppOpen-HPC の機能を拡張した以下の 3 コンポーネントから構成される：

- pK-Open-FVM：ブロック AMR 型有限体積法に基づくアプリケーション開発フレームワーク
- pK-Open-SOL：高性能な疎行列計算向け前処理付き反復法ソルバー
- pK-Open-AT：パラメータ自動チューニング機構

pK-Open-FVM では、これまでの成果を元に様々な分野のアプリケーションへの応用

を図り、プラズマ蒸着装置開発へ向けたシミュレーション、Block 型 AMR フレームワークの開発とエージェントベースモデルへの応用を実施した。

pK-Open-SOL では ESSEX-II プロジェクトと連携して、量子力学アプリケーションから導出される大規模な固有値問題の並列前処理付き反復法による解法の研究を実施した。これらの問題は一般に対角成分の絶対値が小さく、従来の反復法による求解は非常に困難であることが知られているが、本研究では、ブロック化、対角シフトの導入による安定で効率的な前処理手法を提案し、従来求解不可能であった問題も解けるようになった。これらの成果は ESSEX, ESSEX-II の成果物である GHOST および PHIST ライブラリへの統合を進めている。分散並列環境下における、効率的で安定な前処理手法の実現のために、階層的な多色順序付け法を提案、実装に着手した。今後、実装を継続し、大規模環境での検証、実問題への適用を進めて行く予定である。また OpenMP の動的スケジューリング機能を活用し、並列疎行列ベクトル積演算における計算と通信のオーバーラップを実現し、富士通 FX10 4,800 ノードを使用した際に、前処理付き共役勾配法の性能を 10% 以上改善した。

ppOpen-AT (ppOpen-HPC の自動チューニング機構) では、ディレクティブベースの AT (Automatic Tuning, 自動チューニング) 向けの専用言語を開発し、ステンシル計算、密行列演算、疎行列演算などで大きな成果を上げてきた。pK-Open-AT ではステンシル計算、疎行列向け前処理付き反復法等について、ESSEX チームと協力して性能評価モデルを構築し、より効果的な AT フレームワークの開発を目指している。本年度研究では、有限差分法アプリケーション(ppOpen-APPL/FDM)の主演算部分において、従来の実装に加え、①Byte per FLOPS が小さくなる実装方式、および、②更に①に加えて IF 文がない実装によりコンパイラ最適化を推進する実装方式、を開発した。また、この 3 種の実装方式について最適な実装を自動チューニング(AT)により選択する階層型 AT 方式を開発し、Xeon Phi、Ivy Bridge、および富士通 FX10 において提案する AT 方式の有効性を評価し、それぞれ 4.21 倍、2.52 倍、および 2.03 倍の効果があることを実証した。

#### 代表的原著論文 (3 篇)

- [1] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, Proceedings of the Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (in conjunction with the IEEE IPDPS2016), 2016
- [2] Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogeneous Material Properties, Procedia Computer Science 80, 1635-1645, 2016
- [3] Takeshi Iwashita, Akihiro Ida, Takeshi Mifune, and Yasuhito Takahashi, Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices, The 17th Biennial Conf. Electromagnetic Field Computation (IEEE CEFC2016), 2016