

## CFD ツール OpenFOAM®への疎行列ライブラリ Xabclib の適用

櫻井隆雄<sup>†1</sup> 片桐孝洋<sup>†2</sup> 大島聡史<sup>†2</sup> 黒田久泰<sup>†3</sup> 猪貝光祥<sup>†4</sup> 直野健<sup>†1</sup>

OpenFOAM®[a]は、オープンソースの数値流体力学 (CFD) のツールボックスである[1]。このツールボックスは乱流モデルや熱対流モデル、混相流モデルといった流体シミュレーションに使用でき、世界中の大学、研究所やエネルギー分野、建設分野、重工業分野の企業で利用されている。

その処理時間の大半は図1に示すように大規模な疎行列を係数とした連立一次方程式を解くための疎行列ソルバの時間で占められている。このことから、高速な疎行列ソルバの適用が OpenFOAM®の高速化に重要であるとわかる。

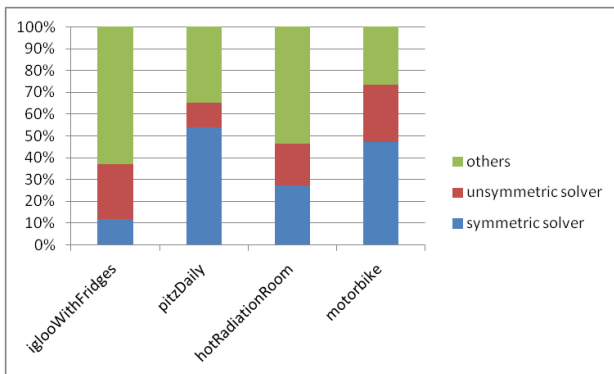


図1. OpenFOAM®の処理時間の内訳

一方で、我々はオープンソースの疎行列ソルバ Xabclibを開発している。Xabclibには疎行列ソルバのパラメータの設定、疎行列ベクトル積 (SpMV) の実装方式の選択、最適な解法や前処理方式の選択、を自動で行う自動チューニング (AT) 方式が実装されている[2-4]。加えて、fill-in 無し不完全LU分解(ILU(0))や二重閾値不完全LU分解(ILUT)といった、OpenFOAM®の疎行列ソルバに実装されている前処理よりも悪条件の問題に強いものが実装されている。よって、Xabclibの使用により OpenFOAM®の高速化が期待できる。

そこで、OpenFOAM®の疎行列ソルバとして、Xabclibを呼び出し可能とするための機能を実装した。実装した機能

は以下の2点である。

- ①行列データ、解ベクトルの授受と、Xabclibのパラメータ設定を行うインターフェース
- ②OpenFOAM®の疎行列格納形式から Xabclib が対応する CRS 形式に変換する機能

これにより、OpenFOAM®を実行する際に、オリジナルの疎行列ソルバに加えて、Xabclibの使用が可能となった。

図2にオリジナルのソルバと Xabclib の性能を東大のFX10で評価した結果を示す。評価に使用した問題は OpenFOAM®に最初から用意されていたチュートリアル motorbike である。同じ CPU 数を使用した場合、6~15%性能が向上していた。

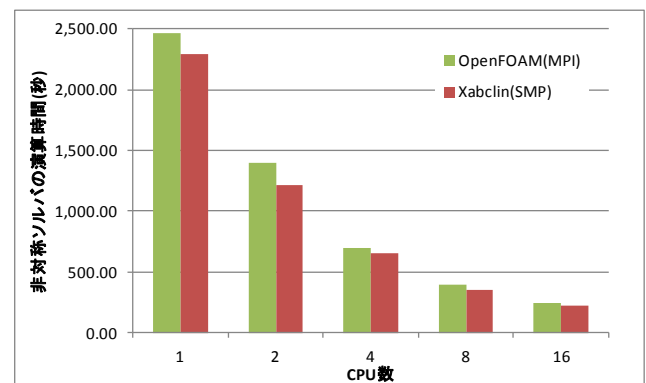


図2. OpenFOAM®の疎行列ソルバと Xabclib の比較

### 謝辞

本研究は科学研究費 基盤研究 B 24300004 「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」の助成を受け行われた。

### 参考文献

- [1] OpenFOAM - The Open Source Computational Fluid Dynamics (CFD) Toolbox  
<http://www.openfoam.com/> (2015年4月3日確認)
- [2] Xabclib プロジェクト TOP ページ  
<http://www.abc-lib.org/Xabclib/index-j.html>  
(2015年4月3日確認)
- [3] K. Naono, T. Katagiri, T. Sakurai, M. Igai, S. Ohshima, H. Kuroda, S. Itoh, and K. Nakajima, "A Fully Run-time Auto-tuned Sparse Iterative Solver with OpenATLib," The 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012), Proceedings of ICIAS2012 (IEEE Xplore database), 2012.
- [4] T. Katagiri, T. Sakurai, M. Igai, S. Ohshima, H. Kuroda, K. Naono, and K. Nakajima, "Control Formats for Unsymmetric and Symmetric Sparse Matrix-Vector Multiplications on OpenMP implementations," High Performance Computing for Computational Science - VECPAR 2012, 2012.

<sup>†1</sup> (株)日立製作所  
Hitachi Ltd.

<sup>†2</sup> 東京大学  
The University of Tokyo

<sup>†3</sup> 愛媛大学  
Ehime University

<sup>†4</sup> (株)日立超 LSI システムズ  
Hitachi ULSI Systems Co., Ltd.

a) OpenFOAM®は ESI 社の登録商標である。