

「富岳」成果創出加速プログラム 航空機デジタルフライトが拓く機体開発 DX に向けた実証研究

報告書番号：R23JCMP30

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2023/24108/

● 責任者

稲富裕光, 宇宙科学研究所学際科学研究系

● 問い合わせ先

高木亮治(takaki.ryoji@jaxa.jp)

● メンバ

前山 大貴, 浅田 啓幸, 久谷 雄一, 河合 宗司, 今井 和宏, 松村 洋祐, 高木 亮治

● 事業概要

航空機全機周りの実フライト条件での高忠実 LES 解析による高精度空力予測の実現

参考 URL: <http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/fugaku/index.html>

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

最終ターゲットである「富岳」と同じアーキテクチャを有する JSS を用いることで、効率良くプログラム開発が可能であるため。

● 今年度の成果

高 B/F を要求する流体解析では最近の低 B/F 計算機において性能を出すことが困難になっている。特に、メモリ性能を使い切るためには連続アクセスかつ長いループ長が必要であるが、流体計算で一般的なステンシル計算では、いくつかの問題委がありメモリアクセス性能を使い切れていない。そのため、今後ますます悪化する B/F 環境に対応するため、ステンシル計算からの脱却を目指し、基底関数ベースの手法の性能評価を実施した。ここではFR法を採用し、階層型等間隔直交構造格子に対して、従来のステンシル計算とFR法との比較を行った。

図1に比較結果の一例としてA64FX CPUの結果を示す。OpenMPを用いたスレッド並列を適用するループに対して、「cl」がセルループへの適用、「sl」は内点(Solution Point:SP)ループへの適用を示す。「FD」が従来の差分法(ステンシル計算)の結果、「3D, 1D, 4D」がFR法の結果である。ここで、「3D,1D,4D」であるが、プログラムのデータ・ループ構造の違いで、SPは一般的には空間3次元であり、SPを内包するセルを合わせて4次元・4重ループになる。これをセルの1重ループ+SPの3重ループで実装する「3D」をベースに、SPの3重ループを1重化したものが「1D」、SPの3重ループと

セルの1重ループを1重化したものが「4D」である。図よりSPが小さい領域(FR法で利用されている領域)では差分法(FD)よりもFR法、特に4Dが最速であることがわかる。一方、SPが大きい領域(FR法では超高次精度を意味する)では従来の差分法(FD)が速いこともわかる。この様にSPの値やデータ・ループ構造による性能特性の違いが取得できた。なお、SPを大きくすることでFR法はより高次精度の計算となるが、差分法では精度は変わらない。こういった違いも含めてより詳細な比較を行う予定である。

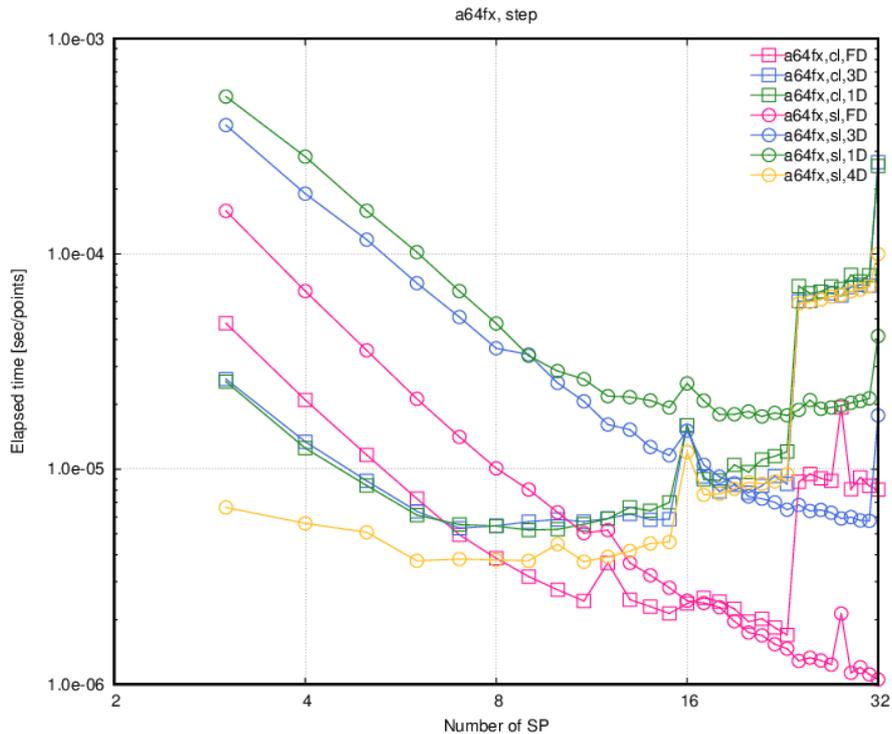


図 1: 差分法 (FD) と FR 法 (3D,1D,4D) の性能比較結果。

● 成果の公表

-査読付き論文

高木亮治, "計算格子の完全自動生成による流体解析と計算手法の検証", 航空宇宙技術, Vol.22, pp. 79-93, 2023, DOI: 10.2322/astj.22.79

-口頭発表

高木亮治, "埋め込み境界法における保存則について", 第55回流体力学講演会/第41回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 3C04, 7/14, 2023

● JSS 利用状況

● 計算情報

| | |
|---------------|--------|
| プロセス並列手法 | MPI |
| スレッド並列手法 | OpenMP |
| プロセス並列数 | 1 - 40 |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 50 時間 |

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.14

内訳

| 計算資源 | | |
|-----------|---------------|---------------|
| 計算システム名 | CPU 利用量(コア・時) | 資源の利用割合※2 (%) |
| TOKI-SORA | 3,880,322.30 | 0.18 |
| TOKI-ST | 14,102.96 | 0.02 |
| TOKI-GP | 62.55 | 0.00 |
| TOKI-XM | 0.00 | 0.00 |
| TOKI-LM | 247.67 | 0.02 |
| TOKI-TST | 0.00 | 0.00 |
| TOKI-TGP | 0.00 | 0.00 |
| TOKI-TLM | 0.00 | 0.00 |

| ファイルシステム資源 | | |
|----------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名 | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home | 495.58 | 0.41 |
| /data 及び/data2 | 23,605.46 | 0.15 |
| /ssd | 1,636.15 | 0.15 |

| アーカイバ資源 | | |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE | 2.99 | 0.01 |

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

| ISV ソフトウェア資源 | | |
|----------------|--------|---------------|
| | 利用量(時) | 資源の利用割合※2 (%) |
| ISV ソフトウェア(合計) | 46.19 | 0.02 |

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合