

大規模数値流体解析を目的としたPCクラスタの有効性についての検討

岩手大学 学生員 青木 晴信 八戸高専 正 員 丸岡 晃
中央大学 正 員 平野 廣和

1. はじめに

風などの流れの中にある構造物を設計する際に、その物体まわりの流れや作用する力の把握が極めて重要になることがある。このような問題に対して、近年では条件設定の任意性等の理由により数値流体解析が行われるようになってきた。実用性の高い数値流体解析を行うには、実際の現象を正確に把握し信頼性の高い結果を得るための大規模な3次元数値流体解析が必要とされている。3次元数値流体解析のような大規模問題には、今までスーパーコンピュータが多く利用されてきたが、多大な費用がかかるため利用する者の範囲が限られていた。そこで近年注目されているのが一般に購入可能なコモディティハードウェアを利用したPCクラスタである¹⁾。PCクラスタは、近年のPCの性能の向上や低価格化により比較的低い費用で高性能のシステムを構築することが可能になってきている。そこで本研究では、有限要素法による数値流体解析のプログラムにより大規模数値流体解析を高速に解くPCクラスタ型並列計算システムを構築し、その有効性について検討した。

2. PCクラスタの構成

本研究では、4台のPCからなるPCクラスタを構築した。各PCともハードウェアの主要部分は、同じものを使用している。これを表-1にまとめる。各PCは、1つのマザーボードに2つのプロセッサを有するデュアルプロセッサシステムを用いているため、最大で8PE(Processing Elements)による並列計算が可能になる。

ソフトウェアの構成を表-2に示す。OSには安定性・性能・コストの面からDebian GNU/Linuxを用いた。本OSは、Linuxカーネルを中核として、全てフリーソフトウェアにより構成されており、数多くのパッケージを有する。本研究で用いたソフトウェアは、全て本OSのパッケージに含まれている。

表-1 単体PCのハードウェアの構成

マザーボード	Tekram P6B40D-A5
プロセッサ	Intel Celeron 450MHz × 2
メモリ	256Mbyte
ネットワーク	100Mbps 対応

表-2 ソフトウェアの構成

OS	Debian GNU/Linux 2.2
カーネル	Linux 2.2.13
コンパイラ	g77, gcc
通信ライブラリ	mpich

3. 数値流体解析によるPCクラスタの並列化評価

(1) 2次元キャビティ内の流れ

解析手法に安定化有限要素法³⁾を用い、2次元キャビティ内の流れの解析を行った。レイノルズ数は100とし、並列計算の有効性を検討するために表-3に示す3種類のメッシュに対する計算を行った。領域分割にはFarhatによる自動領域分割法²⁾を用いた。性能の比較を行うために並列計算専用機IBM RS/6000 SP(中央大学情報研究教育センター所有)を用いて、同様な条件で計算を行った。

表-3 計算パラメータ

ケース	分割数
Small	40 × 40
Medium	80 × 80
Large	160 × 160

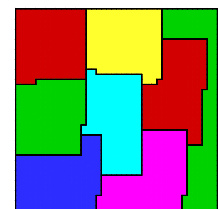


図-1 領域分割図 (8領域)

解析結果を図-2に示す。(a)と(b)の速度向上比より解析スケールが大規模問題になるほど速度向上比が向上していることがわかる。これは、解析スケールが小さい問題では1PEが受け持つ領域が小さいため、有限要素法の計算部分よりも同期待ちやデータの送受信に要する時間が計算時間の大半を占めたためと考えられる。この傾向はIBM RS/6000 SPの方が顕著であった。これは、IBM RS/6000 SPに対して解析スケールが小さかったため、より解析スケールの大きな問題で効率の良い並列化ができると思われる。(c)はLargeにおけるPCクラスタとIBM RS/6000 SPの計算時間の比較である。使用するプロセッサ数を同一とした場合、IBM RS/6000 SPの3.5~4.4倍であった。これより、PCクラスタはIBM RS/6000SPには劣るが、PCクラスタでは8PEであっても80%程度の並列化効率を期待できるため、さらにプロセッサ数を増やすことや、より高性能のものに変更することによって計算時間を短縮できることが考えられる。

Key Words: PCクラスタ, CFD, 有限要素法, 並列計算

〒039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1, TEL:0178-27-7304, FAX:0178-27-7316

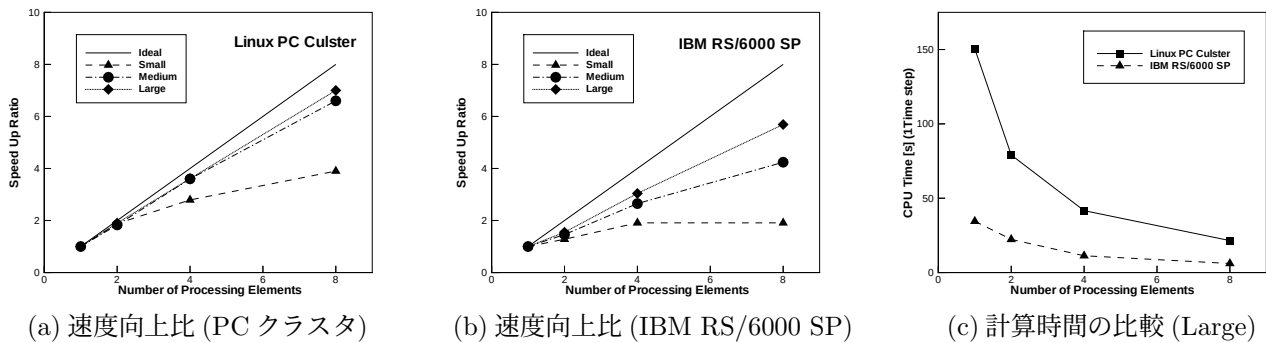


図-3 2次元キャビティ内の流れの解析結果

(2) 3次元矩形断面まわりの流れ

解析手法に IBTD/FS 法⁴⁾を用いて矩形断面 ($B/D=20$) まわりの流れの解析を行った。レイノルズ数は 10000 とし、大規模数値流体解析に対する並列計算の有効性を検討するために、2次元メッシュを高さ方向に 32 層重ねた 3次元メッシュによる計算を行った。総節点数は 35856×32 、総要素数は 35200×32 である。領域分割には、有限要素に分割された解析領域をプロセッサ数に従い軸方向に等分割し、個々の小領域での計算を各プロセッサごとに割り当てる方法を用いた。連立一次方程式の解法には SCG 法を用いており、行列の記憶法にイタレーションごとに行列を構築し事前に記憶しない Matrix Free 法と要素ごとの行列を記憶する Element-by-Element (E-by-E) 法の 2 種類を用い、比較を行った。

解析結果を図-3 に示す。(a) は 1PE あたりの記憶容量負荷の変化を示したものである。1PE のときの Matrix Free 法の記憶容量は E-by-E 法の約 1/2 であった。どちらも PE 数の増加に伴い記憶容量が減少し、8PE では 1PE のときの約 1/5 になった。(b) の速度向上比は、Matrix Free 法のほうが E-by-E 法よりも高い速度向上比であった。Matrix Free 法では、行列の構築のため通信量に対する演算量が多いので、E-by-E 法よりも効率的の良い並列計算が行われたと考えられる。(c) の計算時間の比較では 1PE における Matrix Free 法の計算時間は E-by-E 法の 1.2 倍だが、8PE になると速度向上比が高いことから 1.1 倍になり、計算効率の低下が並列計算によって緩和されている。

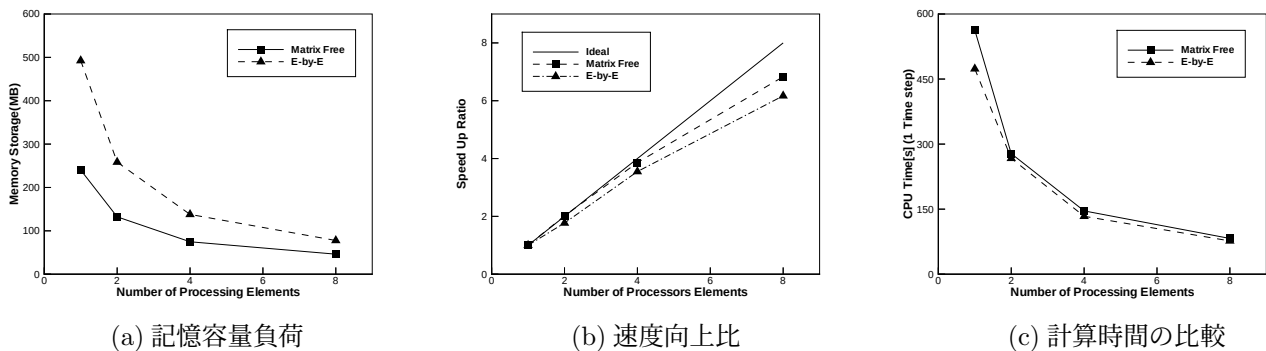


図-3 矩形断面まわりの流れの解析結果

4. おわりに

本研究では PC クラスタを構築し、大規模数値流体解析に対する有効性を検討した。以下に結論を示す。

1. 2次元キャビティ内の流れの結果より、2次元問題では解析スケールが大きいほど効率の良い並列計算が行われた。
2. E-by-E 法より演算量の多い Matrix Free 法での計算効率の低下は、並列計算によって緩和されることがわかった。

本システムは並列計算専用機より性能は劣るが、並列計算専用機より高い並列化効率を得られた。今後の PC の性能向上、システムの柔軟性を考慮すると PC クラスタは並列計算専用機の性能に匹敵するものと思われる。

参考文献

- 1) URL <http://beowulf.gsfc.nasa.gov/>
- 2) C.Farhat:A simple and efficient automatic FEM domain decomposer,Computer & Structures,Vol.28,No.5, pp.579-602,1988.
- 3) V.Kalro and T.E.Tezduyar:Finite element solution strategies for large-scale flow simulations,Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,Vol.112,pp3-24,1994.
- 4) 丸岡晃, 太田真二, 平野廣和, 川原睦人: 同次補間を用いた陰的有限要素法による非圧縮粘性流れの解析, 構造工学論文集,Vol.43A,pp.383-394,1997.