

二次元CFDによる並列計算機の検証模擬

5V-6

原 田 公 一、吉 田 正 廣、中 村 絹 代
航空宇宙技術研究所

1. はじめに

並列計算機の有用性を検証するため、並列計算機の動作をクロック単位で模擬するシミュレータおよびプログラム記述のためのアセンブラを開発した。

このたび、これらを用いて二次元非圧縮非定常ナビエストックス方程式による解析プログラム処理時における並列計算機の性能について検証模擬を実施したので報告する。また、性能を左右する因子について述べる。

2. 並列計算機のイメージ

並列計算機は全体を制御・監視する制御処理部、データ演算を行うデータ処理部および入出力処理部から成る(図1)。

データ処理部はスカラデータ演算器および128X256台の演算器から成るアレイデータ演算器から成り、後者は隣接結合による上下左右のシフトレジスタで終端がリング結合しているアレイデータメモリコントロールユニットを経由して同数のアレイデータメモリと結合している。

現在、このシミュレータには表1に示す命令が用意されている。

3. プログラムの構造

この計算機のプログラムは各メモリに対応してその領域が割当られる(図2)。

始め制御処理部のプログラムが起動され、以後そのなかでデータ処理部が起動される。以後両者は独立に動作し、各々の停止命令を解読して停止する。

図1 並列計算機のイメージ

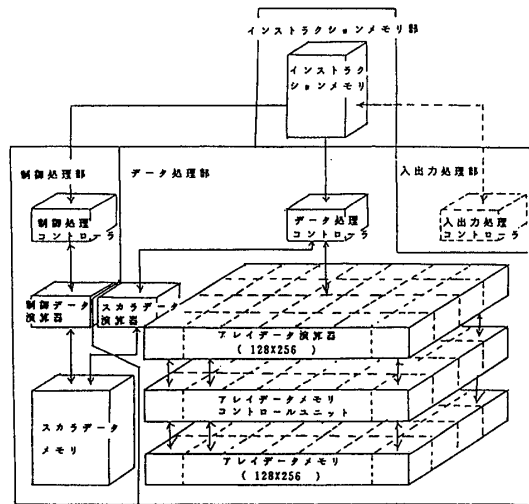


図2 プログラムの構造

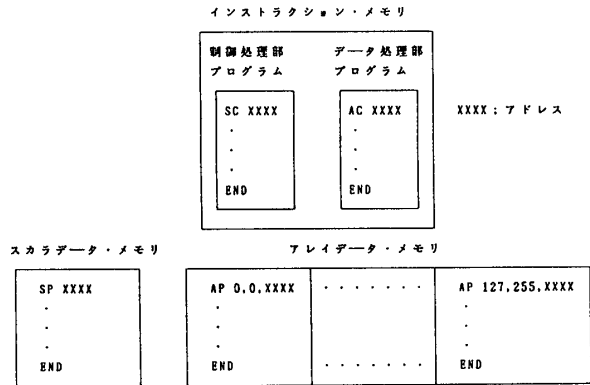


表1 命令数

命 令	制御処理部	データ処理部
制 御	6	7
スカラ演算	14	27 (13)
アレイ演算	—	27 (13)
会 話	3	7

() は浮動少数点演算命令数

4. 解析プログラムの概要

$t = 0$ で非圧縮一様流が円柱のまわりに発生し、以後各時刻ごとに流れ場の渦度・流れ関数の計算、表面渦度の補正、表面圧力・抗力・揚力の計算を繰り返して二次元非定常流を追跡するプログラムである。図3にその計算例を示す。

5. 並列計算機への移植

移植に際し考慮すべき事項は以下のものである。

(1) 格子と演算器との対応

円周を256等分し、半径方向を等比間隔で128分割し各演算器に対応させる。

これは流れ方向上面・下面に各々約100点、境界層方向に約100点をとるのが実用の目処であることによる。

(2) 境界条件とマスク操作

表面では流速は零、充分離れた所では一様流になる。この境界に対応する格子点上の計算とその他の点では演算が異なりその可否を制御するマスク操作が必要である。

(3) 並列処理にともなう計算手順の変更および反復回数の変化

並列処理ではSORを用いることができないのでヤコビ法を用いる。また加速パラメータの変更を必要とする。

(4) 収束判定とマスク操作

流れ関数の計算では反復法を用い、その修正量がある値より小になると反復を停止する。並列処理ではこの判定のためにマスク操作をとらなければならない。

6. 検証模擬

解析プログラムを一台の演算器による逐次処理と128X256台の演算器による並列処理とで対比させて処理時間を求めた(表2)。これにより、性能向上のための方策として以下の事項を挙げる。

(1) 表面圧力・抗力・揚力の計算は他の計算に比べ極端に効率が低い。またこの計算結果が渦度・流れ関数の計算では使用されないことから他の処理部に移動でき、またすべきである。さらにその処理部の性能はスカラデータ演算器の約100倍の性能を有するものでなければならない。

(2) 流れ関数の計算の内容には収束判定の手順が含まれている。逐次処理では計算中に判定でき、ほとんど時間を要しないのに対し、並列処理ではこの計算時間の約4割を占める。したがって関数本来の計算比重を増すことにより効率を向上させることができる。このため前回の反復数により収束判定の手順を用いる頻度を変化させるプログラム技術が必要となる。

謝辞；解析プログラムの作成にあたり当所の井上数値シミュレータ研究室長より助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

Kawaguti, M. & Jain, P.: "Numerical Study of a Viscous Fluid Flow past a Circular Cylinder." J. Phys. Soc. Japan, 21 (1966) 2055-62

図3 計算例

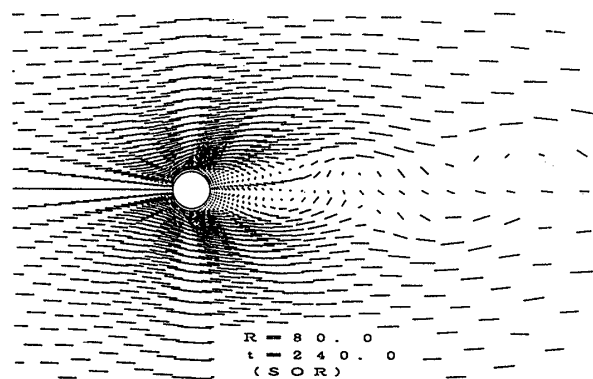


表2 処理時間(クロック)

処理内容	逐次処理	並列処理
渦度の計算	24463783	788
流れ関数の計算	11152098 / 回	543 / 回
表面渦度の補正	77165	327
表面圧力の計算	70229	1475
抗力・揚力の計算	84273	3719