

# VPP500におけるNAS PARALLEL ベンチマーク 5F-1 CFD シミュレーションの性能

倉田信一郎, 堀田淳, 小山隆司, 納富昭  
富士通株式会社

## 1. はじめに

VPP500は要素計算機(PE)をクロスバネットワークで結合した分散メモリ型ベクトル並列スーパーコンピュータである[1][2]。本稿では、米国NASAが主催しているNAS PARALLEL BenchmarksのCFD (Computational Fluid Dynamics)のBT(Block Tridiagonal)及びSP(Scalar Pentadiagonal)におけるVPP500での並列化手法、高速化のために適用した通信と演算の非同期実行技法を述べる。最後に共有メモリ型並列計算機(TCMP)と超並列計算機(MPP)との性能比較を行う。

## 2. NAS PARALLEL CFDモデル

NAS PARALLEL CFDモデルでは5つの非線形偏微分方程式をpseudo-time marchingスキム及び有限差分近似により離散化し、得られた連立一次方程式を解きながら以下の手順で計算を進めるものである[3]。

$$RHS(n) = L1U(n) \quad \text{---- (1)}$$

$$L2\Delta U(n) = RHS(n) \quad \text{---- (2)}$$

$$U(n+1) = U(n) + \Delta U(n) \quad \text{---- (3)}$$

ここでL1, L2は有限差分オペレータで、nは時間ステップである。また、(2)で現れるL2は以下のようなX, Y, Zの3方向の因子の積で表現する。

$$LxLyLz\Delta U(n) = RHS(n) \quad \text{---- (4)}$$

ここでLx, Ly, Lzは陰的オペレータでSP, BTで違いがある。SPとBTは多くの点で類似しているが根本的な違いは通信量と演算量の比にある。

Performance Results for the Simulated CFD in the NAS PARALLEL BENCHMARKS on the VPP500  
Shin-ichiro KURATA, Jun HORITA, Takashi KOYAMA and Akira NODOMI  
FUJITSU Limited

## 3. VPP500での並列化手法

VPP500での並列化手法を述べる前に2.の(1), (2)の特徴を述べる。(1)のRHS計算部分は隣接点を参照して計算を行う。この計算はX, Y, Z方向同時に実行可能である。(2)は(4)に帰着され、3方向のうち、少なくとも2方向が同時実行可能である。

$$Lx\Delta U(n) = RHS(n) \quad \text{---- (5)}$$

の場合、Y, Z方向が同時実行可能でX方向はSWEEPに計算する。これらの特徴を用いるとRHS計算部分は1方向が並列で2方向がベクトル実行でき、(5)の計算ではX方向がSWEEP実行、Y方向がベクトル実行、Z方向が並列実行できる。従って、VPP500では以下の表1, 表2のようにベクトル並列実行できる。

表1 RHS計算部分の並列実行形態

計算	X方向RHS	Y方向RHS	Z方向RHS
X方向	ベクトル	ベクトル	ベクトル
Y方向	ベクトル	ベクトル	並列
Z方向	並列	並列	ベクトル
データ分割	Z方向	Z方向	Y方向

表2 各方向SWEEP部分の並列実行形態

計算	X-SWEEP	Y-SWEEP	Z-SWEEP
X方向	SWEEP	ベクトル	ベクトル
Y方向	ベクトル	SWEEP	並列
Z方向	並列	並列	SWEEP
データ分割	Z方向	Z方向	Y方向

## 4. 通信と演算の非同期実行

VPP500での並列化方法では表1及び表2に示すとおりデータの分割方向が異なる。従って、PE間のデータの通信が発生する。VPP500ではこの種類のデータ転送と演算の非同期実行が効率よくできる。BT, SPの場合、時間イタレーション当たり三回通信が発生する。以下にBTの場合でY方向SWEEP

計算終了後に発生する通信と演算の非同期実行について述べる。

step	処理内容
1)	分割方向の違う配列のデータ通信開始
2)	Z方向ヤコビアン行列作成
3)	1)の通信終了待ち
4)	連立一次方程式の直接法による求解

1)の通信は2)の演算と非同期に実行され、3)で通信終了を確認した後、4)の計算に使用される。ここで使用するPEを増加させても3)で通信終了待ちの時間は発生しなかった。即ち、通信は完全に演算の裏に隠すことができた。他の二回の通信も同様に完全に演算の裏に隠すことができた。

### 5. 性能比較

BTのクラスAの性能を米国NASAから公開されている性能[4]と比較し、図1に示す。ピーク性能に対する実効性能の比率を効率と定義して、縦軸を効率に、横軸をピーク性能にそれぞれとる。TCMPでは70-60%(CRAY YMP)及び50-40%(CRAY C90)の効率が得られているが、高並列にすると効率は更に低下すると予想される。MPPは元々の効率が30%程度であり、高並列で実行すると更に効率が落ちていく。一方、VPP500

では低並列でも70%台の効率を維持し、高並列で実行しても効率は70%前後であり、従来のTCMPより高い効率を高並列実行時においても維持している。

CLASS B(格子点数がCLASS Aの約4倍)や更に格子点数を増やした例(格子点数がCLASS Aの27倍)においてもVPP500ではCLASS Aと同様の性能特性を示す。

### 6. おわりに

NAS PARALLEL Benchmarksを例にとり、VPP500での並列化手法、及び演算と転送の非同期実行技法について述べた。また、得られた性能を示し、その高い並列実効効率の実例を示した。

### 7. 参考文献

- [1]持山貴司：ベクトル並列スーパーコンピュータVPP500のベクトル処理, 情報処理学会第49回全国大会6K-1.
- [2]石坂賢一：ベクトル並列スーパーコンピュータVPP500の並列処理, 情報処理学会第49回全国大会6K-2.
- [3]D. Bailey, et al.: THE NAS PARALLEL BENCHMARKS, RNR Tech. Report RNR-94-007, March 1994.
- [4]D. Bailey, et al.: NAS PARALLEL BENCHMARK RESULTS 10-94, NAS Tech. Report NAS-94-001, October 1994.

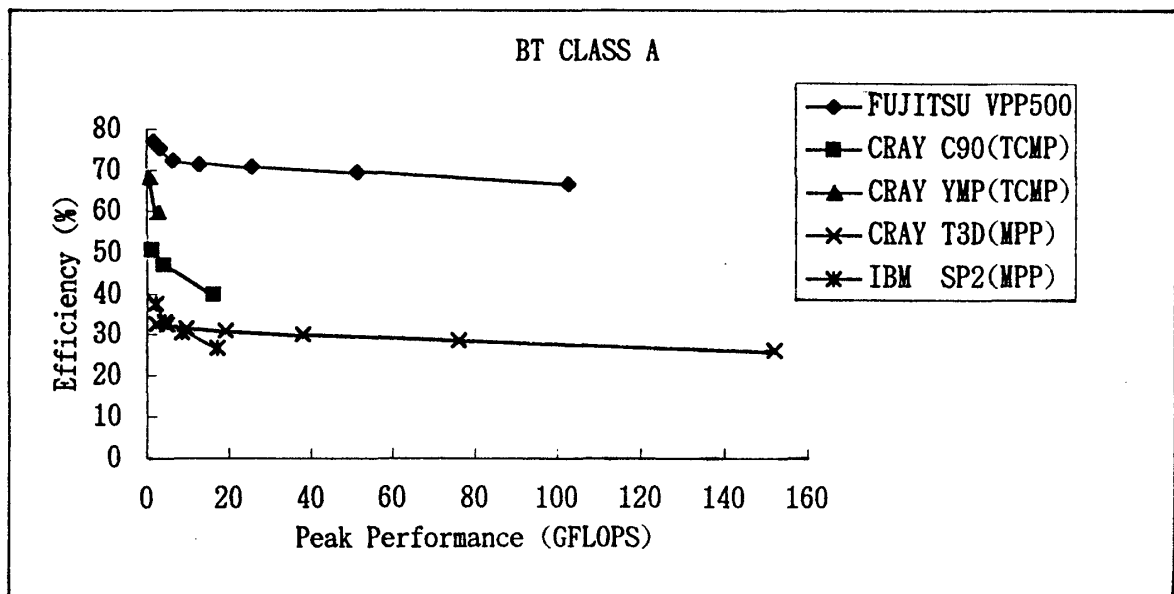


図1 BT 性能 (CLASS A)