

『日産自動車におけるPCクラスタのCFDへの利用』

日産自動車株式会社 藤谷 克郎、中島 学
(株)富士通長野システムエンジニアリング 野田 茂穂、玉木 剛

1. 背景

ものづくりにおいて、数値シミュレーションは期間短縮／品質向上など様々な側面で欠かせない道具になっている。中でも自動車業界では、製品サイクルの短期化／開発コストの削減などに対応するため、コンピュータでのフルシミュレーションによる設計開発のデジタル化が盛んである。[1]

日産自動車では数値流体力学（CFD）のソフトウェアとして、複数の自社開発のコード（ハウスコード）を用いている。その中でエンジンルーム内の気流解析や室内空調解析（図1）のような複雑形状が多数存在する問題に対して、ボクセル格子を採用している。

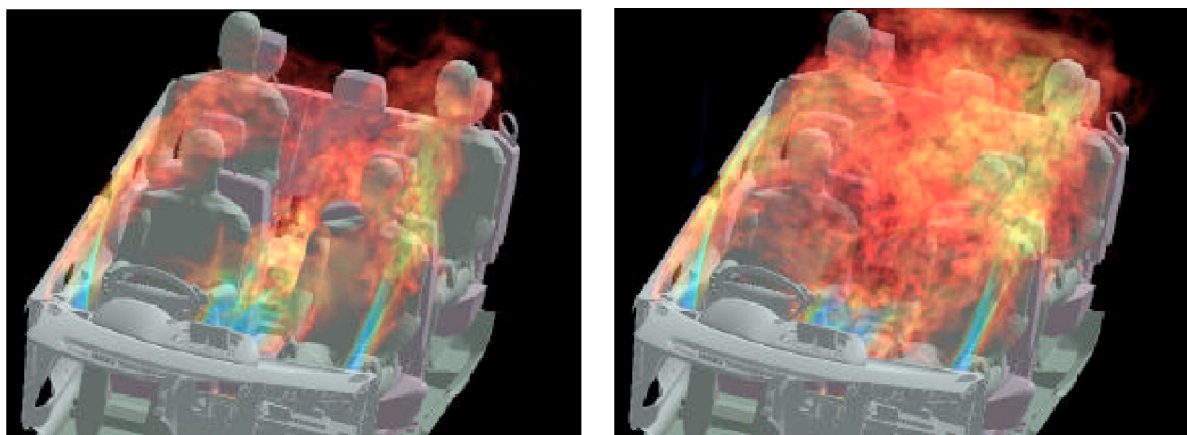
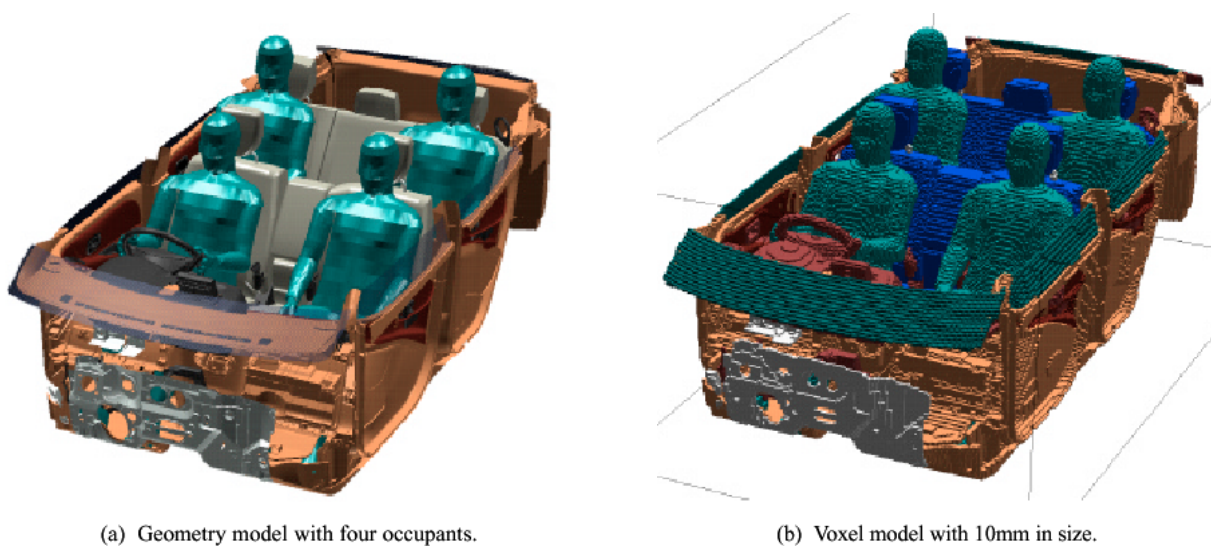


図1 室内空調（CAD/Voxel/Results） [1]

ボクセル格子とは物体形状に沿った計算格子を用いるのではなく、空間を直交格子で分割し、その格子が物体の外か中かを示すフラグで物体形状を表現する手法である。（図2）

CADデータが存在すれば、ボクセル格子は格子生成作業に人手を必要としない。従来はCADデータからの格子生成作業を人が行っており、解析業務の期間／工数共にかなりのウェイトを占めていた。ボクセル格子の利用は、高コストな格子生成工程の大幅な圧縮を可能とし、製品サイクルの短期化／開発コストの削減を実現させる。さらに、格子生成工程に人為的なファクターが存在しないため、均一な品質の計算結果を得る事ができる。

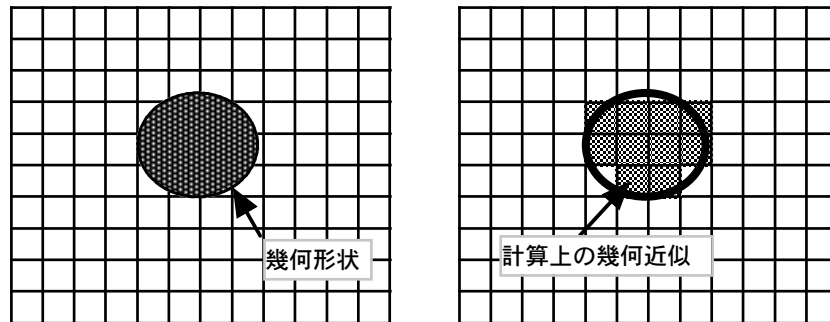


図2 ボクセル格子

ボクセル格子を用いた流体解析では、微細な（多数の）計算格子を用いる事が解析結果（物体近似）の質を左右する。前出の室内空調解析の例では、 $1.7 \times 3.5 \times 1.4$ [m]の矩形領域を 10 [mm]ピッチのボクセルで表現している。このときの格子数は約850万点である。

精度の高い計算結果を得る為に、より細密なボクセルで空間をうめる事が求められる。しかし、計算に使用できる総計算格子数は、使用する計算機の搭載メモリで上限が定められる。また、より多くの計算格子を使用すると、計算時間のターンアラウンドの増大につながる。そのため、ボクセル格子を用いた流体解析では、大容量メモリが使用でき、計算速度性能の高い計算機を用いる事が大事である。

近年、数値計算の研究分野では、並列計算機環境での流体解析コードの適用が盛んに行われており、実際に使える技術として成熟してきた。複数の計算機を一つの計算機のように使用出来れば、大容量メモリの利用が可能になる。また、Pentium等CPUの高速化から、PCクラスタを用いた安価な計算機環境のパフォーマンスに期待が持てる。

そこで日産自動車においてPCクラスタの利用が検討され、導入にいたった。ハードの導入に先立って、対象としているボクセル格子を用いた流体解析のハウスコードの並列化も行った。

2. ハードウェア構成

導入したPCクラスタはPentium4搭載PCをベースとした8ノードクラスタである。以下に構成要素の概説を記述する。

- ・メモリはRIMMを使用している。当時はまだ512MBのRIMMメモリが手に入らなかったため、256MBを4枚の構成とした。1ノード当り1GBのメモリなので、全体として8GBのメモリ空間が使用出来る。
- ・各ノードに搭載したHDDは10GBを2本とし、各々システム用とデータ用とした。これは、仮にシステムディスクがクラッシュしてもデータを保護する為である。
- ・GigaEtherのカードは、Intelのマザーボードを使用している為、当時稼動保障がされていた、EtherPro1000を選択した。
- ・グラフィックスは、各ノードでのジオメトリエンジンの使用も考慮し、全てのノードにGeforce2を搭載した。
- ・一対のキーボード/マウス/モニタを各ノードで共有させるためPC切替機を使用した。当初は、ぷらっとホーム製のPC-Shareを導入した。しかしながら、Geforce2との相性が悪く、PCが起動しない問題が発生した。BlackBox製では問題が起きない事を実機に組み込んで確認し、BlackBox製に変更した。この問題は、Geforce2が起動時にモニタの電源状態を確認するのに対して、PC-ShareはGeforce2からの信号を受けてモニタを繋ぎに行く仕組みとなっており、Geforce2とPC-Shareが互いに待ち状態になるため発生した。
- ・筐体は、1ノード4Uのラックマウント筐体を使用し、ラック全体で36Uである。2Uのラックマウント筐体でもPentium4の組み込みが可能である事を確認していたが、HDDが2本というリクエストに対応する為、4Uのラックマウントを採用した。
- ・総電源容量はPC本体、モニタ、ラックファン等を含めて、約3000Wである。

1台あたりのCPU性能は姫野ベンチマーク (MIDDLE) [3]で約500MFLOPSであり、8ノードクラスタとして動作させた場合、理論性能は4GFLOPSとなる。

主な構成を以下に示す。

[主な構成] (図3、4参照)

本体 : [Pentium4 1.5GHz, 1GB RIMM, 20GB HDD, Intel EtherPro1000, Geforce2 32MB] × 8

ギガスイッチ : [AlliedTelesis 9006SX/SC (8ポート)] × 1

PC切替機 : [BlackBox マトリックス・サブ・スイッチ (8ポートPC切替機)] × 1

OS : Windows2000 Professional

※上記マシンを19インチラックにマウントした。

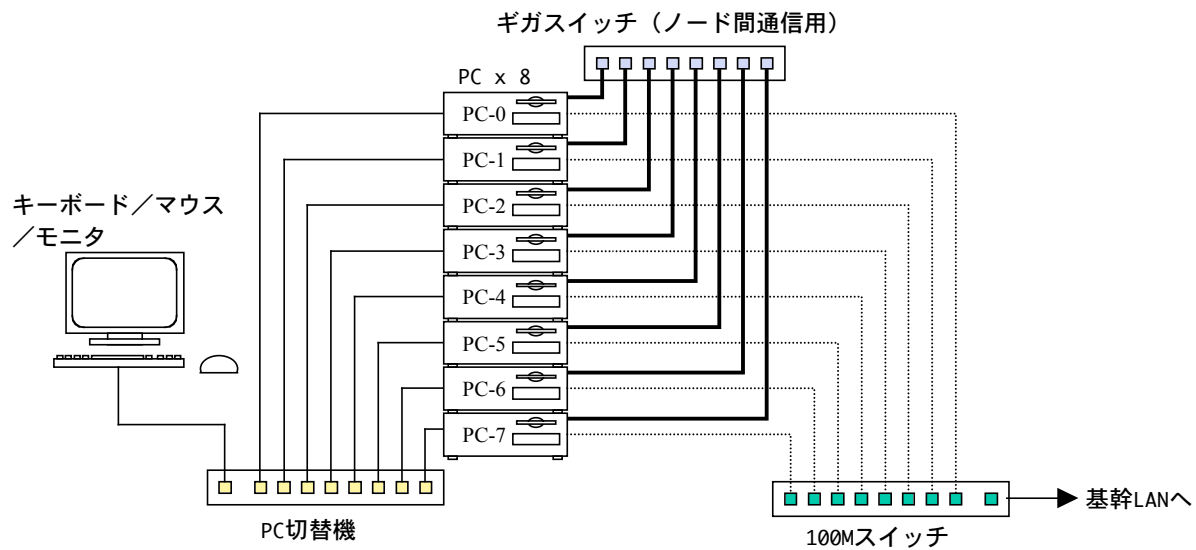


図3 構成図



図4 本体図

3. ソフトウェアの並列化

PCクラスタへの並列化作業を行う対象として、ボクセル格子を用いた非圧縮性3次元流体解析ソルバを選択した。選択したソルバに対して分散型並列・共有型並列の2タイプの並列化を行なった。また、並列化を適用する前に、動的領域確保の為、Fortranで記述されたプログラムをC言語に移植した。従って、開発環境はMicrosoft Visual C++6.0である。

流体解析等のプログラムを領域分割法で並列化する場合、通信量を減らすために、適当に間引いた間隔で通信させることがある。しかしながら、ソルバの収束性等に影響をおよぼす事が懸念されるため、今回の並列化作業では、計算結果が並列化適用前後で完全一致する事を前提に置いた。従って、単ノードでの計算とクラスタでの計算では、収束性/計算結果共に完全に一致する。

◆分散型並列

並列ライブラリはWindows版MPI[2]Ver1.2.0を使用した。また並列化手法として領域分割法を用いた。実行時の計算領域の分割方法は、ノード間の通信面（通信点数）が最小になるような3次元分割を行なう。従って、計算する各 i, j, k の格子数に応じて分割方法は異なる。

大規模な問題に対応させるため、各ノード毎の計算に必要なデータ領域のみをそのノードが保持する実装とした。このためアプリケーションが使用可能なトータルメモリ量はノード数を増やせば無尽蔵(?)に使用できる。

ただし、一般にPCクラスタでの並列化プログラムの実効性能はノード数の増加に伴い通信量が増大し、効率が悪化するので実際には無尽蔵というわけには行かない。

◆共有メモリ型並列

上記の分散並列化したコードに対して、Win32スレッドを用いた共有メモリ型の並列化を行ない、Dual CPUマシンでのPCクラスタにも対応できるようにした。

4. 性能

並列化したソルバをPentium3 Xeon 550MHz、100BASE/Tの環境で実行した。格子数は110*165*80であり、総ステップ数は10000である。

この計測では8ノードで演算時間と通信時間が同程度である事がわかる。(表1、図5)

	演算時間	通信時間	合計
1ノード	38734.1	0	38734.1
2ノード	20295.7	3083.1	23378.8
4ノード	10278.3	3391.4	13669.7
8ノード	5722	4743.5	10465.5

表1 Pentium3での演算時間

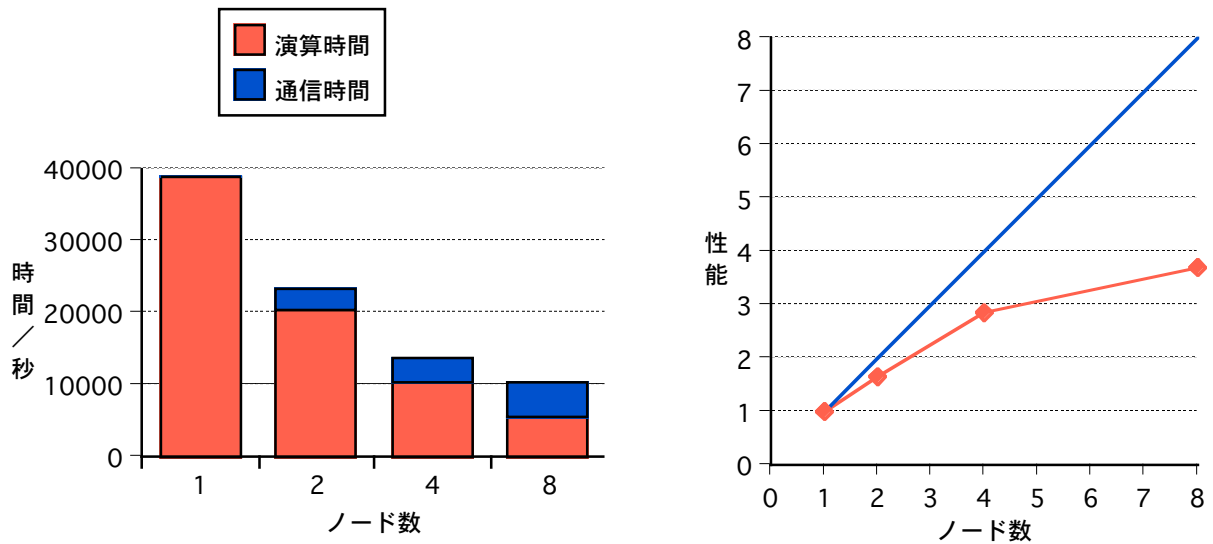


図5 Pentium3での並列性能

導入したPentium4クラスタで、姫野ベンチマーク (MIDDLE,LARGE) [3]と実用問題で、計算性能を計測した。(表2、表3)

[姫野ベンチマーク] (MIDDLE, LARGE、C言語並列版、VC++) [MFLOPS]

	MIDDLE(256*128*128)	LARGE(512*256*256)
1ノード	508	---
2ノード	890	---
4ノード	1207	1688
8ノード	1032	3153

表2 クラスタでの姫野ベンチマーク

[実用問題]

通常用いている問題規模での計測を行った。(図6)

model	size	Pentium4	SX-5S	P4/SX-5S	Grid scale
エアボックス1	346*158*85	2時間30分	30分	5	5mm
エアボックス2	324*129*64	1時間45分	25分	4.2	5mm
ダクト小	203*504*205	8時間00分	2時間	4	2~3mm
ダクト大	410*418*180	20時間00分	7時間	2.9	2~3mm

表3 実用問題でのクラスタとSX-5との性能比較

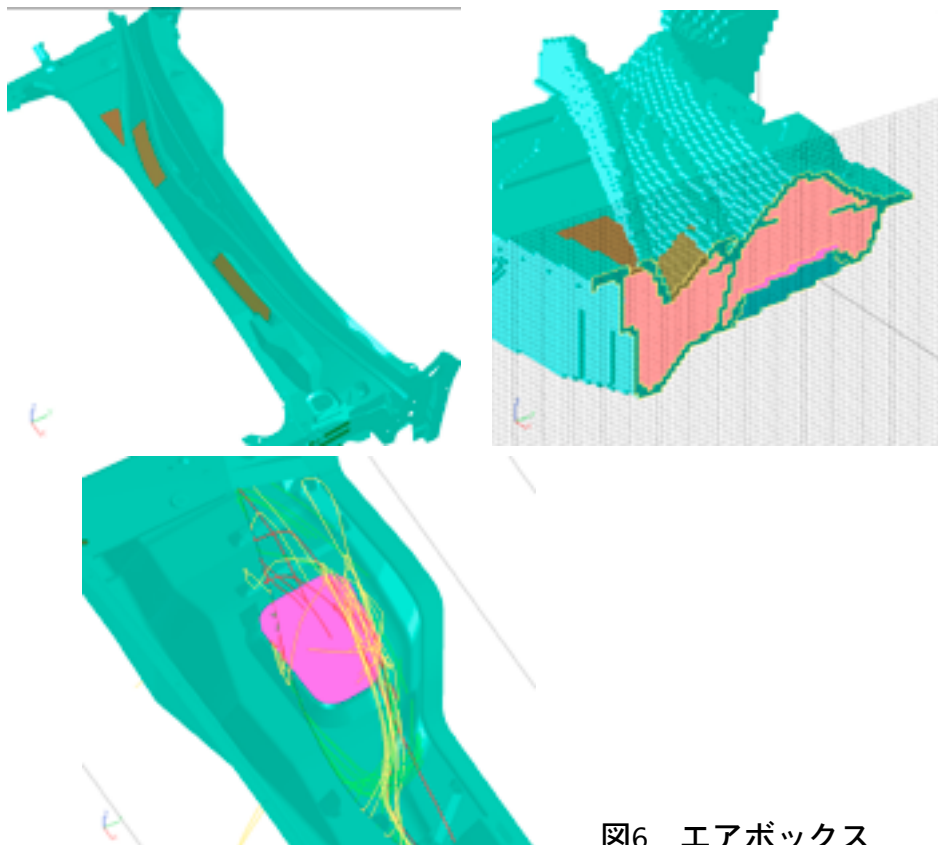


図6 エアボックス

5. まとめ

ボクセル格子を用いた流体解析コードを並列化し、Pentium4を用いたPCクラスタシステムを導入した。導入したシステムでは、既存の高価な計算機に置き換わるには至らないが、中規模な計算規模に対しては十分に実用に耐えられる事が証明できた。今後、Dual CPU化やCPUの高速化により、PCクラスタを用いた解析業務規模が拡大していくと思われる。

6. 参考文献

[1]小野：設計における直交格子法の利用、ながれ 21 (2002) 16-25

[2]MPICH-A Portable Implementation of MPI,
<http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich/>

[3]姫野ベンチマーク、<http://w3cic.riken.go.jp/HPC/HimenoBMT/index.html>