

数値流体解析の大規模並列計算及びGPU化の試み A Large Parallel Computation and GPU on CFD

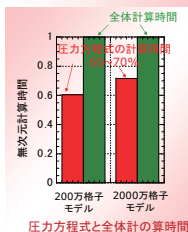
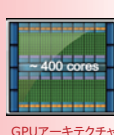
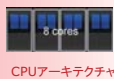
ファム バン フック* 野津 剛* 菊池 浩利* 日比 一喜*

*清水建設株式会社 技術研究所

目的

数値解析や画像処理等はCPUアーキテクチャで行われていて、主な処理時間はCPUの演算性能で定められている。CPUの登場以来からCPUのクロック周波数を上げることで演算性能は向上してきた。しかし、CPUの消費電力及び発熱量の増加によりそのクロック周波数は頭打ちとなり、かつてほどの高速化が期待できなくなるという現状になってきた。現在のCPUアーキテクチャは従来の単独のCPUから複数のCPUが主流となってきた。同時、超規模の並列スレッドで処理できるGPUアーキテクチャも重要な計算機となってくる。これらのアーキテクチャの高い性能を引き出すためには性能の高い多数並列処理の解析ソルバの確立は必要となる。

本研究では、非構造格子の実流問題を対象にして、OpenFOAMの流体解析コードを用い、数百CPUコア規模の利用により数値流体計算を実施した。領域分割法の多数並列処理により圧力方程式の解析ソルバによる加速率を算出し、並列規模による解析ソルバの性能を調べると共に、計算機の規模により利用している解析ソルバの選定の重要性を明らかにする。また、GPU化による解析ソルバを流体解析コードに組み込むことによりその計算の高速化を試みる。



計算機及び解析モデル

計算機

・本検討ではOpteron(2006), Xeon(2008)及びXeon(2010)の3世代のCPU計算機を用い、実流問題での数値流体解析を行った(計算機の詳細は下記の表に参照)。

計算コード

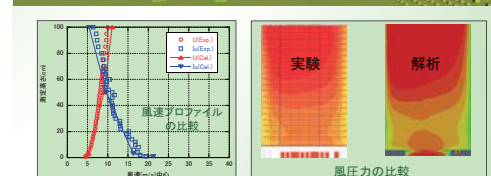
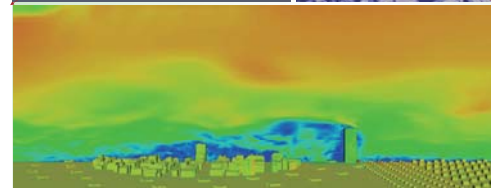
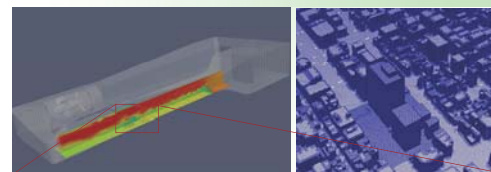
- ・ OpenFOAM 1.6.x
- ・ コンパイラ (倍精度演算)
 - ・ gcc 4.3.3, OpenMPI
 - ・ Cuda2.3 (Tesla C1060), Cuda3.2 (Tesla C2070)

流体問題

- ・ 解析モデル : 都市モデル
- ・ 乱流モデル : RANS, LES
- ・ 格子種 : 非構造格子
- ・ 並列計算法 : 領域分割法
- ・ 格子数 : 約2,000万
- ・ 解析ソルバ : GS法, CG法, AMG法

代表システム	Opteron(2006)	Xeon(2008)	Xeon(2010)
年代	2006	2008	2010
CPU	AMD Opteron Dual x4CPUs	Intel Xeon Dual x2CPUs	Intel Xeon Quad x2CPUs
コア/ノード	16	4	8
CPUクロック	2.4GHz	3.4GHz	3.33GHz
ネットワーク	Infiniband	Gigabit Ethernet	—

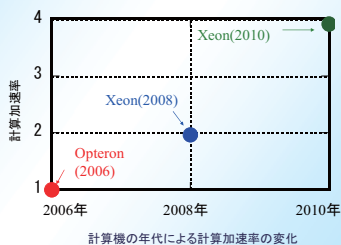
解析モデル



計算加速率

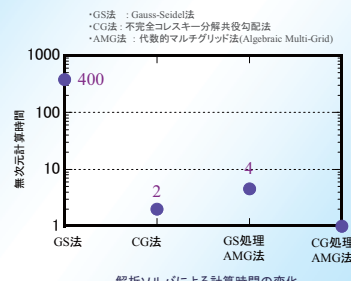
計算機年代による加速率

- ・ 2006年から2010年までそれぞれの計算機のCPUの機種にもかかわらず、数値流体計算の加速率は2年間の間隔に約2倍で増加している。
- ※ Opteron(2006), Xeon(2010)は1ノード内の8並列で実施、Xeon(2008)はGigabit Ethernet ネットワークを通して2ノードの8並列で実施
- ※ 利用乱流モデル:RANS, 解析ソルバ:AMG法



解析ソルバの加速率

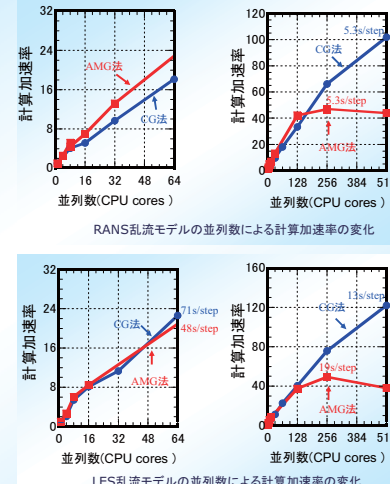
- ・ 圧力方程式の異なる解析ソルバを用い、数値流体計算によりAMG法はGS法より100~400倍以上に、CG法より2倍以上に計算加速可能。計算高速化においては解析ソルバの選定は重要な要素であることが分かる。
- ※ 計算はXeon(2010)の1ノード内の8並列で実施。
- ※ 利用乱流モデル:RANS



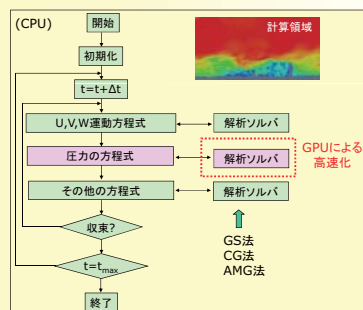
多数並列処理の加速率

- ・ CG法及びAMG法の解析ソルバを用い、1から512並列(CPUコア)まで数値流体解析を実施し、計算加速率を算出した。
- ・ RANS乱流モデル:
 - ・ 64CPUコア以下ではCG法及びAMG法の加速率が増加している。64CPUコアでは単位CPUコアの約17~20倍の計算加速が可能。
 - ・ 128CPUコアではAMG法の加速率は約40の頭打ちとなる。一方、CG法の加速率はまだまだ増加し、512CPUコアでは加速率は100以上になる。
- ・ LES乱流モデル:
 - ・ RANS乱流モデルと同等な加速率が得て、128CPUコア以上で並列処理するとCG法の方が有利である。
 - ・ 512CPUコアではCG法はAMG法より実の計算時間が少ないことが分かる。

※ 計算機: Opteron(2006)
ネットワーク: InfiniBand

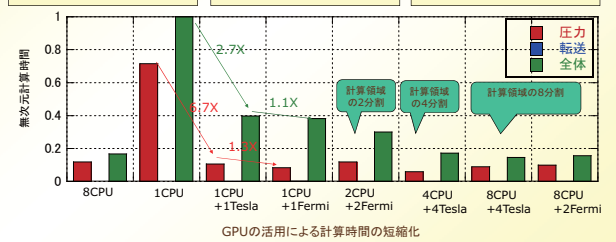
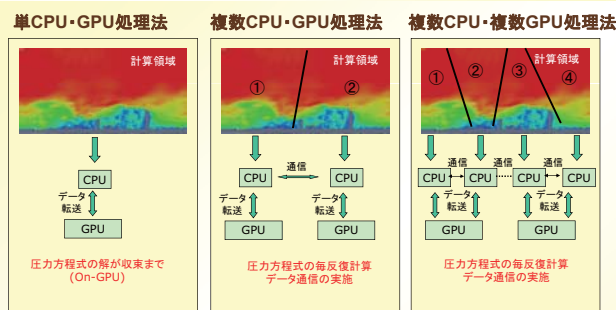


アクセラレーターとしてのGPUによる計算高速化



GPUによる計算高速化

- ・ 数値流体解析においては圧力方程式を解く部分が計算時間の大部分を占め、その解析時間を短縮するために圧力方程式のCGソルバのGPU化を行った。
- ・ 1GPUの利用により圧力方程式の解析を6.7~8.7倍に高速化し、1CPUコアの全体計算時間を1/2.7~1/3に短縮した。
- ・ 複数CPU・GPU又は複数CPU・複数GPUを利用し、多数の領域分割処理を行うと共に全体の計算時間を大幅に短縮可能。



結論

本研究で非構造格子の実流問題を対象にして、数百CPUコア規模の利用により数値流体計算を実施し、以下の結論を得た。

・CPUの利用

2006年から2010年までの計算機ではCPUの機種にもかかわらず、数値流体計算の加速率は2倍/2年である。1ノード(8コア, 8並列)の実行は単位CPUコアに対して6X高速可能計算高速化には適切な解析ソルバの利用が重要(数十倍~数百倍)遅い解析ソルバは並列効率が高い傾向と見られる。

・GPUの利用の試み

GPUをアクセラレーターとして利用し、2000万格子規模では圧力方程式の解析ソルバのGPU化によりその方程式の解析は約8.7に計算高速化し、全体計算時間の1/3まで短縮可能である。GPUの活用にはノード内のCPUの最大限の利用は重要。

謝辞

本検討の一部の成果は、東京工業大学の共同利用(産業利用)および先端研究施設共用促進事業『みんなのスパコン』TSUBAMEによるベータスケールへの飛翔トライアルユースによりTSUBAME 1.2を利用した。ここに、記して謝意を表する。