

最新のGPUアクセラレータによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所新エネルギー力学部門風工学分野

<https://hdl.handle.net/2324/7364794>

出版情報 : Wind Energy. 38 (1), pp.101-104, 2014. 日本風力エネルギー学会
バージョン :
権利関係 : © 2014 JWEA



最新のGPUアクセラレータによる LES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化

九州大学応用力学研究所
新エネルギー力学部門 風工学分野

内田 孝紀

連絡先: takanori@riam.kyushu-u.ac.jp, 092-583-7776

1. はじめに

著者は、LES乱流モデルに基づいたRIAM-COMPACT®¹⁾ (リアムコンパクト)と称する数値風況診断技術の開発を進めている(図1を参照)。RIAM-COMPACT®は、九州大学発ベンチャー企業の(株)リアムコンパクト(<http://www.riam-compact.com/>)が、(株)産学連携機構九州(九大TLO)から独占的ライセンス使用許諾を受けている。2006年にRIAM-COMPACT®の商標と実用新案も取得した。

LES乱流モデルに基づいたRIAM-COMPACT®では、計算時間の問題が懸念されてきた。現行の流体計算ソルバーは、Intel Core i7などのマルチコアCPU(Central Processing Unit)に対応しており、計算時間は劇的に短縮され、実用面での利用において特段の問題は無くなってきた²⁾。

前報³⁻⁵⁾では、GPGPUコンピューティングへの対応を報告した。GPGPU (General Purpose computing on GPU: GPUによる汎用計算)のコンセプトとは、グラフィック・レンダリングに限らず、GPU(Graphics Processing Unit)が有する浮動小数点演算能力を、他の数値演算

にも幅広く利用することである。

2013年11月17日(米国時間)に、NVIDIA社は、「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」⁵⁾の上位モデルとなるGPUアクセラレータ「NVIDIA® Tesla® K40 ATLAS 12GB (2880CUDAコア)」を発表した。本報では、Tesla® K40に関して、RIAM-COMPACT®によるベンチマーク結果を報告する。

2. 実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアの概要

本研究では、数値不安定を回避し、複雑地形上の局所的な風の流れを高精度に数値予測するため、一般曲線座標系のコロケート格子に基づいた実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用いる。ここでコロケート格子とは、計算格子のセル中心に物理速度成分と圧力を定義し、セル界面に反変速度成分にヤコビアンを乗じた変数を定義する格子系である。数値計算法は(有限)差分法(FDM; Finite-Difference Method)に基づき、乱流モデルにはLES(Large-Eddy Simulation)を採用する。LESでは流れ場に空間フィルタを施し、大小様々なスケールの乱流渦を、計算格子よりも大きなGS(Grid

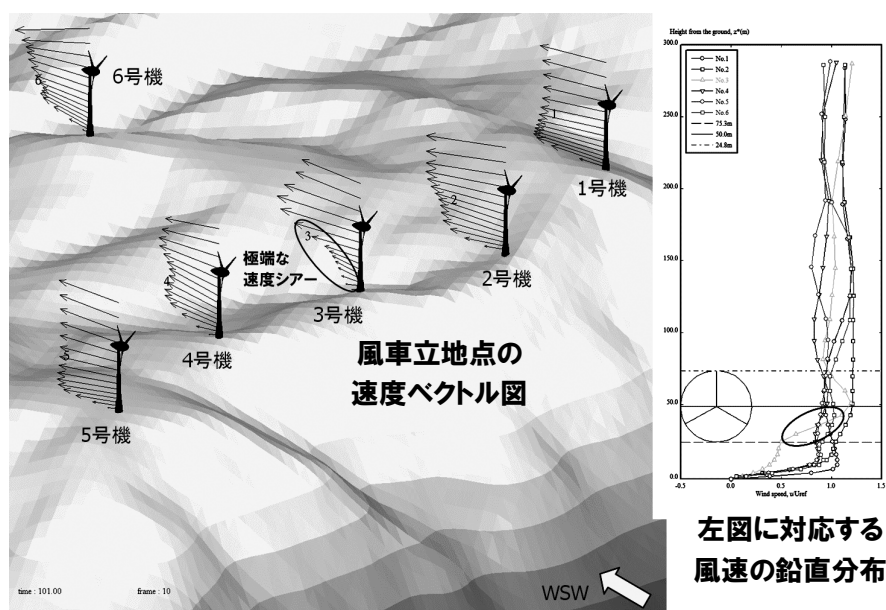


図1 RIAM-COMPACT®による数値風況診断の実例,
太鼓山風力発電所(京都府伊根町)

Scale)成分の渦と、それよりも小さなSGS(Sub-Grid Scale)成分の渦に分離する。GS成分の大規模渦は、モデルに頼らず直接数値シミュレーションを行う。一方で、SGS成分の小規模渦が担う、主としてエネルギー消散作用は、SGS応力を物理的考察に基づいてモデル化される。数値計算手法の詳細は前報²⁻⁵⁾を参照して頂きたい。

3. 本研究で使用した計算機環境の概要

ここでは、本研究で使用した計算機環境を簡単に説明する。図2には、「NVIDIA® Tesla® K40 ATLAS 12GB (2880CUDAコア)」の写真を示す。表1には、比較のため、各GPUの諸元を示す。図3には、ベンチマーク試験を実施した計算機環境を示す。

Tesla® K40は、従来提供されているTesla® K20Xの上位モデルとなる最上位モデルである。GPUコアはGK110Bが用いられており、CUDAコアは2880個である。Tesla® K20Xでは2688個のCUDAコアとなっていた。Tesla® K40における倍精度浮動小数点演算のピーク性能は1.43TFLOPS、単精度は同4.29TFLOPSである。GeForceシリーズで既に導入されている熱および消費電力の余力を用いて動作周波数を高める「Tesla GPU Boost」も新たにサポートしている。メモリは6GBから12GBへ倍増された。帯域幅はK20Xの250GB/secから288GB/secへと高速化している。

図4には、本研究で比較のために使用したベクトル計算機の概要を示す。NEC製SX-9Fは、九州大学応用力学研究所が所有している汎用計算機であり、現在も稼働中である。

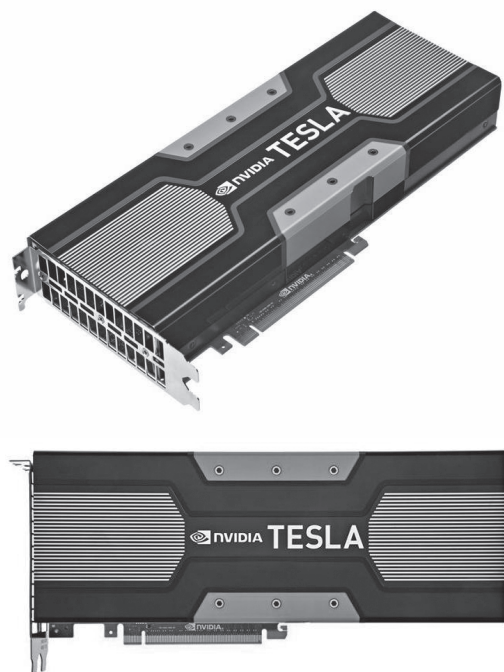


図2 本研究で使用したGPU,
Tesla® K40 (2880CUDAコア, 12GBメモリ)



図3 本研究で使用した計算機環境

【構成】

- 製品 : HPC5000-XI216TS-D8
- CPU : Intel Xeon E5-2670 v2 (2.50GHz, 10コア, 25MB Cache, 22nm, 8.0GT/s) × 2CPUs
- Mem : 64GB (8GB DDR3-1866 ECC Registered×8)
- GPU : NVIDIA® Tesla® K40 (2880CUDAコア, 12GB GDDR5) × 2基
- OS : Windows 7 Enterprise SP1
- GPGPU : CUDA 5.5
- Fortran : Intel Visual Fortran Compiler XE 13.0.1.139.20131008
- C++ : Visual Studio Express 2012 for Windows Desktop



【構成】

- CPU : 6CPU (92.16GFLOPS/単体×6=552.96GFLOPS)
- Mem : 256GB
- 外付けディスク装置 : iStorage D3-10 4TB (RAID5)

図4 本研究で使用したNEC製SX-9F
(ベクトル計算機, 2007年リリース)

表1 各GPUの緒言の比較

TECHNICAL SPECIFICATIONS	TESLA K40	TESLA K20X	TESLA K20	TESLA K10
Peak double-precision floating point performance (board)	1.43 Tflops	1.31 Tflops	1.17 Tflops	0.19 Tflops
Peak single-precision floating point performance (board)	4.29 Tflops	3.95 Tflops	3.52 Tflops	4.58 Tflops
Number of GPUs	1 x GK110B	1 x GK110		2 x GK104s
Number of CUDA cores	2,880	2,688	2,496	2 x 1,536
Memory size per board (GDDR5)	12 GB	6 GB	5 GB	8 GB
Memory bandwidth for board (ECC off)	288 Gbytes/sec	250 Gbytes/sec	208 Gbytes/sec	320 Gbytes/sec
Architecture features	SMX, Dynamic Parallelism, Hyper-Q			SMX
System	Servers and workstations	Servers	Servers and workstations	Servers

価格:80万円前後

価格:35万円前後

備考) <http://www.nvidia.co.jp/>から引用

4. 本研究で対象とした流れ場と計算条件

本研究では、前報²⁻⁵⁾と同様、3次元の孤立峰を過ぎる流れ場を対象として計算時間の比較を行った(図5を参照)。表2には、本ベンチマークテストに使用した計算格子数、メモリサイズ、計算ステップ数を示す。実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアでは、使用するメモリサイズが極めて小さいのも大きな特長の一つである。

5. K40シングルGPUの驚異的な計算速度

本研究では1,000万点の計算格子を使った孤立峰周辺気流($t=50h/U$)を初期値とし、そこから5,000ステップの計算(時間 $t=50\sim60h/U$)を実行し、その経過時間を比較した。得られた結果を表3に示す。

その結果、最新の「NVIDIA® Tesla® K40 12GB (2880CUDAコア)」のシングルGPUを用いた計算では、驚異的な演算速度が達成されていることが示された。さらに、Tesla® K40を2基用いたマルチGPUの並列計算

においては、さらに高速化が達成された。

なお、Tesla® K40を2基用いたマルチGPUの並列計算では、前報⁴⁾で実施した5,000万点の大規模計算も可能であった。前報⁴⁾では、「NVIDIA® Tesla® M2090 6GB (512CUDAコア)」×4基を用いた並列計算が最速の結果(2,928s)であった。Tesla® K40を2基用いたマルチGPUの並列計算は、これを上回り2,594sという結果を示した。

Tesla® K40にはActiveタイプ(GPU自体にファンを搭載)と、Passiveタイプ(GPU自体のファンが非搭載)の2種類があり、前者はワークステーション製品(図3に示すHPC5000-XI216TS-D8では2基)に搭載することが可能になる。よって、通常のデスクトップPCに近い感覚で居室に置いて使用すること可能になる。Tesla® K40が有する12GBメモリに収まるデータサイズを探ったところ3,500万点くらいが限界と推測された。

6. おわりに

本研究では、最新の「NVIDIA® Tesla® K40 12GB (2880CUDAコア)」のシングルGPUの計算、および2基用いたマルチGPUの並列計算を、実地形版RIAM-COMPACT®により実施した。計算格子点数は約1,000万格子点、メモリサイズは3,190MBである。その結果、最新の「NVIDIA® Tesla® K40 12GB (2880CUDAコア)」のシングルGPUを用いた計算では、驚異的な演算速度が達成されていることが示された。さらに、Tesla® K40を2基用いたマルチGPUの並列計算においては、さらに高速化が達成された。これはGPUの有するCUDAコア数が大幅に増加したことによると言える。

ここで改めて強調しておきたい点がある。実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアでは、使用するメモリサイズが極めて小さいのも大きな特長の一つである。その結果、メモリサイズ12GBのTesla® K40のシングルGPUの環境下において、約1,000万格子点の大規模計算が

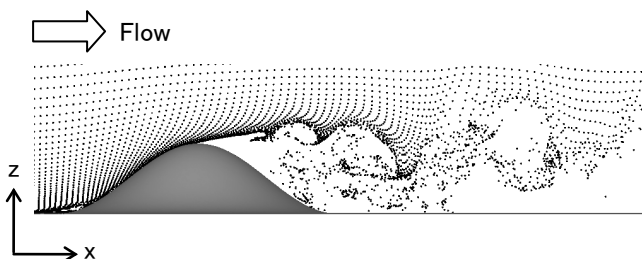
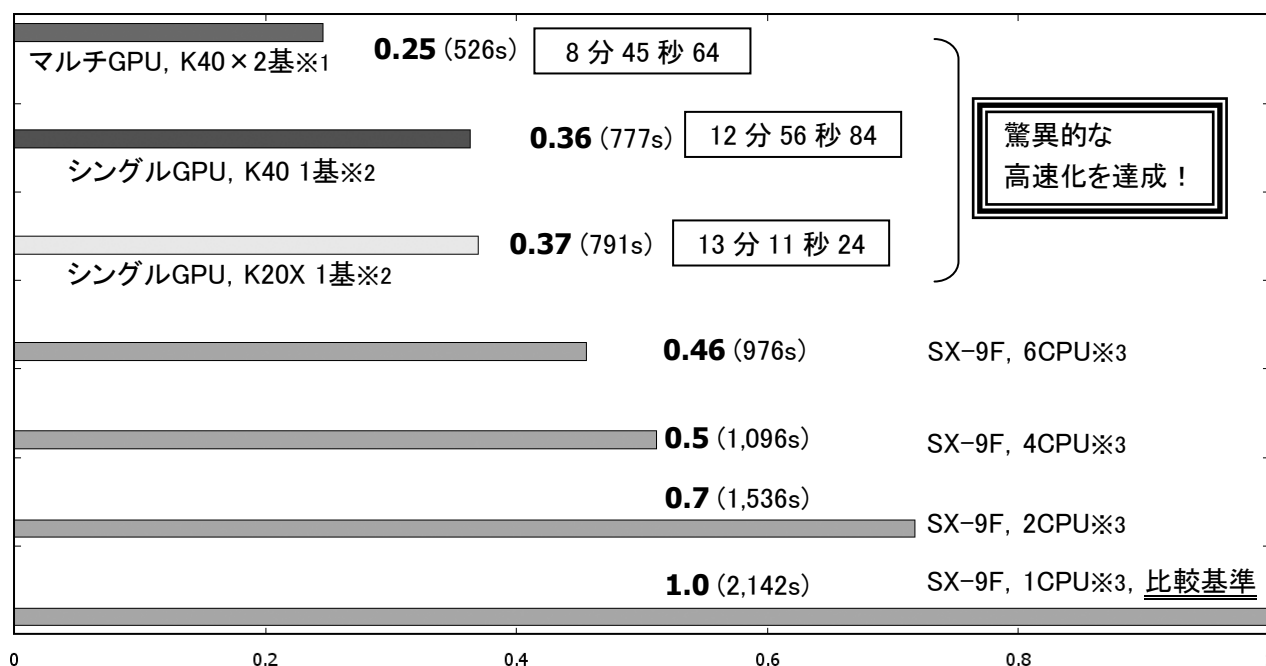


図5 孤立峰近傍における流れ場の可視化、瞬間場、パッシブ粒子追跡法、数値計算

表2 計算格子数とメモリサイズなど

計算格子数	1,165 × 121 × 71点 (約1,000万点)
メモリサイズ	3,190MB
計算ステップ	5,000ステップ

表3 計算速度の比較, 1,000万点の計算, メモリサイズ3,190MB
(太数字はSX-9Fの1CPUに対する速度比を表す。括弧内の数字は実際の計算時間を表す)



※1 「CUDA CとFortranを組み合わせたマルチGPU対応コード」を使用。ECC設定=OFF。

CUDAの部分はNVIDIA CUDAコンパイラを適用。Fortranの部分はPGIコンパイラを適用。

※2 ECC設定=OFF。

※3 FORTRAN90/SXの「-Pauto」を適用。

実現した。なお, Tesla® K40単体では3,500万格子点までは計算が可能であると推測された。

今後, 通常のデスクトップPCに近い環境と使用感覚で, より大規模かつ高速な数値風況診断が可能になることが期待される。

謝 辞

本研究の一部は, 科学研究費補助金 基盤B「震災特区の大気環境改善と風力発電の適切な普及に資する狭域数値風況予測技術の開発(研究課題番号: 24310120)」, および挑戦的萌芽研究「数値風況予測技術リアムコンパクトをコア技術とした風車の安全運転に関する研究開発(研究課題番号: 25560166)」の援助を受けました。

HPCシステムズ(株)には, 計算時間の評価などで多大な協力を得ました。

ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 内田孝紀: LESに基づいたRIAM-COMPACT® CFDモデルの紹介—風車の安全運転に資する数値風況診断技術の確立へ向けて—, 日本風力エ

ネルギー学会誌, Vol.36, 通巻105, pp.6-9, 2013

- 2) 内田孝紀: インテル次世代ハイエンドCPU「Sandy Bridge-EP」を用いたRIAM-COMPACT®のOpenMP並列風況シミュレーション—ここまできた! デスクトップPC1台による大規模計算とその高速化—, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.36, 通巻101, pp.82-85, 2012
- 3) 内田孝紀, 大屋裕二: GPGPUコンピューティングによる数値風況予測技術RIAM-COMPACT®の高速化, 風力エネルギー協会誌, Vol.35, 通巻98, pp.78-84, 2011
- 4) 内田孝紀: GPGPUコンピューティングによる数値風況予測技術RIAM-COMPACT®の高速化—第2報 マルチGPUによる大規模計算の試み—, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.36, 通巻103, pp.441-445, 2012
- 5) 内田孝紀: GPGPUコンピューティングによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.37, 通巻108, pp.533-536, 2013