

「東大・国立天文台グループ、世界一の電力効率をもつスーパーコンピュータを完成  
～電力あたり性能ランク Little Green 500 List でトップ 1 に～」

### 1. 発表者：

平木 敬（東京大学大学院情報理工学系研究科 創造情報学専攻 教授）  
牧野淳一郎（国立天文台 理論研究部 教授）

### 2. 発表概要：

東大・国立天文台が共同開発したスーパーコンピュータシステム GRAPE-DR（注1）は、7月1日、電力あたりの性能のランク付けを行う Green500 プロジェクトが発表した 2010年6月の「Little Green 500 List」（注2）で Top1 にリストされ、世界一の電力あたり性能を実現していることが認定されました。GRAPE-DR は、HPL ベンチマーク（注3）で1ワットあたり 814Mflops の処理性能を実現しました。これは、現在世界最高速の Cray XT6 システムの約 3 倍の電力あたり性能を達成したことで、世界中がしのぎを削っている分野である、スーパーコンピューティングにおける超低消費電力化において、我が国が世界をリードする技術を確立したことになります。

### 3. 発表内容：

[本研究成果の意義]

1. 世界一の省電力スーパーコンピュータ技術を実現し、スーパーコンピュータで問題となる運転費用を大きく削減することを可能にしたこと。
2. これにより、次々世代のスーパーコンピュータ実現のための最重要課題 であり、炭酸ガス生産量抑制にも重要な消費電力削減で大きく前進したこと。
3. 次々世代スーパーコンピュータの基本技術を確立したこと。

[詳細説明]

スーパーコンピュータの性能向上は激しい国際競争があり、1年ないし1年半で2倍というハイペースな進歩が続いています。しかし、近年になって、処理性能向上に伴う消費電力の増加が大きな問題になってきています。膨大な消費電力は、環境負荷の面からも大きな問題であり、また単純に計算機利用のコスト増にもつながります。このままでは、数年後には計算機本体の費用と、運転費用である電気代が逆転すると予測できます。このような状況から、計算機の電力あたり性能を向上させることが、次々世代のスーパーコンピュータ開発の最重要課題となっています。

Green 500 プロジェクトは、このような状況を予測したバージニア工科大学の Feng 教授が 2006年に IEEE（注4）で提案したことから始まっており、HPL ベンチマークでの電力あたり性能を順位付けすることで、電力あたり性能が高い計算機の開発・普及を促進しようというものです。

今回、東大・天文台が共同開発した GRAPE-DR システムが Little Green 500List で首位を獲得したことは、次々世代のスーパーコンピュータ開発の最大の課題の解決方向を、世界に示すことができた、という大きな意義があると考えています。

今回の速度・消費電力の測定は、国立天文台三鷹キャンパスに設置された GRAPE-DR システム(写真 1)で行いました。測定に使ったシステムは、GRAPE-DR システム全体のうち 64ノ

ードであり、1 ノードは GRAPE-DR ボード 1 枚、インテル製 Core i7 -920 CPU、ASUS 製マザーボード、18GB DDR3 メモリ、x4 DDR インフィニバンドネットワーク（注5）からなるもので、東大・天文台で開発した GRAPE-DR ボード(写真 4)以外は一般市販部品を使用しています。

GRAPE-DR ボードを利用せず、インテル製 CPU だけを使った場合、今回測定対象にした HPL ベンチマークでの性能は 2.2 Tflops (Tflops は 1 秒に 1 兆回の演算をする速度)となり、消費電力あたりの性能は 150Mflops/W (1 ワットあたり 1 億 5 千万回の演算)程度となります。GRAPE-DR ボードを使うことで、同じ台数のシステムで性能を 10 倍以上の 23.4 Tflops まで向上させ、電力あたり性能をも 5 倍以上の 815Mflops/W に引き上げることができました。この電力あたり性能は、HPL ベンチマークでの測定結果として世界最高です。

ちなみに現在、世界最高速のオークリッジ国立研究所の Cray XT6 システムの消費電力は、7MW(計算機本体のみ)にのぼります。これは、236Mflops/W に相当し、今回の GRAPE-DR に比べると 3 分の 1 以下の電力あたり性能となります。

この世界最高の電力あたり性能を実現した要素となる技術は、以下の通りです。

1. 超低消費電力を実現する 1 チップ超並列プロセッサ「GRAPE-DR プロセッサチップ」の開発。チップ単体で、200Gflops の性能を 50W の消費電力で実現。(SC2007 で論文発表)(写真 2, 3)
2. GRAPE-DR プロセッサ 4 チップを搭載し、ホスト計算機と高速・低レイテンシで通信できる GRAPE-DR プロセッサボードの開発。(写真 4)
3. HPL ベンチマークのコアである行列演算で、理論ピークの 80% 程度と高い効率を実現したこと。
4. HPL ベンチマークに対して、アクセラレータ向けの新しいアルゴリズムを使う等の最適化を施し、性能を向上させたこと。

従来にも、GPGPU 等（注6）のアクセラレータを利用したシステムでの HPL ベンチマーク結果は、すでにいくつかありますが、GPGPU 自体の絶対性能や電力あたり性能が低いこともあり、ホスト計算機単体性能の 2 倍程度の性能向上しか実現できず、電力あたり性能もあまり改善していませんでした。

東大・天文台は、上記の要素技術の開発によって、世界最高の電力あたり性能を実現し、今年 6 月の Little Green 500 List で Top 1 にリストされました。

#### [今後の発展]

世界一の電力あたり性能は実現しましたが、GRAPE-DR の性能にはまだ向上の余地があります。今年度中にさらに 50% 程度の電力あたり性能向上の実現を目指すとともに、より大規模なシステムの性能測定を行う予定です。このように次々世代のスーパーコンピュータの課題に取り組み、さらに高い性能を実現していくことで、スーパーコンピュータの発展に寄与していきたいと考えています。

なお本発表は、文部科学省科学技術振興調整費「分散共有型研究データ利用基盤の整備」で得られた成果に基づいています。

#### 4. 参考URL :

グリーン500の順位リスト

<http://www.green500.org/lists/2010/06/little/list.php>

#### 5. 注意事項 :

特になし

#### 6. 問い合わせ先 :

東京大学大学院情報理工学系研究科 教授 平木敬

国立天文台理論研究部 教授 牧野淳一郎

#### 7. 用語解説 :

(注1) **GRAPE-DR** : 東京大学・国立天文台が共同開発した、スーパーコンピュータシステム。通常のPCクラスタに独自開発した**GRAPE-DR**プロセッサを搭載したアクセラレータボードを付加することで、多様なアプリケーションに対して高い性能と電力あたり性能を実現する。

(<http://grape-dr.adm.s.u-tokyo.ac.jp/>)

(注2) **The Green 500** : これからのスーパーコンピュータでは、エネルギー効率が最重要である、という見地から、2005年に始まったプロジェクト。バージニア工科大学のFeng教授を中心とするグループが2007年11月から年2回発表している。当初はHPLベンチマークで上位500位までをリストするTop 500にランク入りしたシステムから、消費電力の記載ないし申請があるものだけをリストしていたが、2009年11月から**Little Green 500 List**として過去18ヶ月の間にTop 500にランク入りできる性能があるシステムについては登録可能にしている。

(<http://www.green500.org/>)

(注3) **HPLベンチマーク(the High Performance Linpack)**: 多様なスーパーコンピュータの性能評価法としてもっとも普及し、上位500システムの順位付けを出すTop 500で用いられているベンチマーク。巨大な連立一次方程式を直接法で解くことを要求する。演算数と結果の精度が必要条件を満たしていれば、プログラムやアルゴリズムは独自のものを使うことを許す。

(注4) **IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc)** : アメリカに本部をもつ世界的な電気・電子技術の学会で、活発な標準化活動も行っている。

(注5) **インフィニバンド** : 現在、並列スーパーコンピュータでもっとも一般的に用いられているネットワーク。現在広く使われているx4 DDRでは20Gbps、QDRでは40Gbpsと、現在広く使われているギガビットイーサネットの数十倍の速度を実現している。

(注6) **GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units)** : パーソナルコンピュータで一般的に使われているグラフィックカードに搭載されているGPUを使って、グラフィックス処理以外の様々な計算処理をするアプローチ。最新のNVIDIA Fermiプロセッサでは、GPGPUとしての利用に適合したハードウェア設計が行われている。



写真1. GRAPE-DR システム

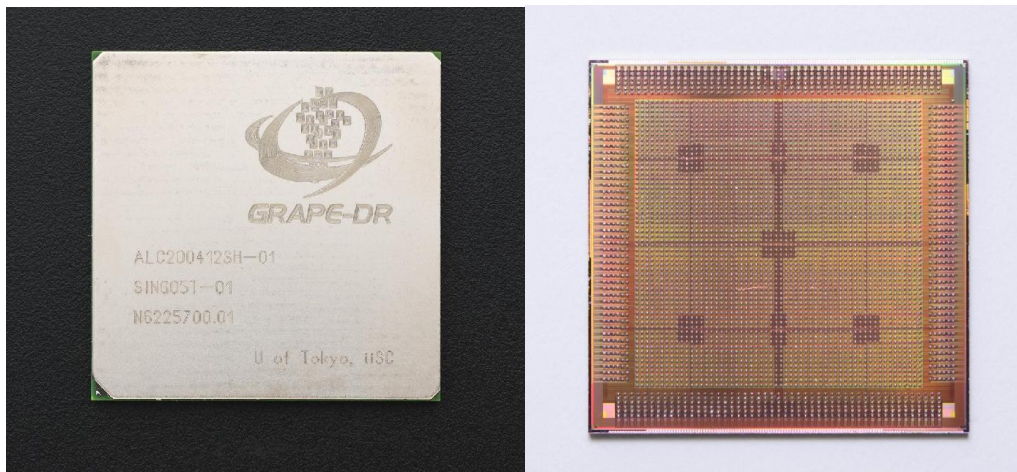


写真2,3 GRAPE-DR プロセッサチップ

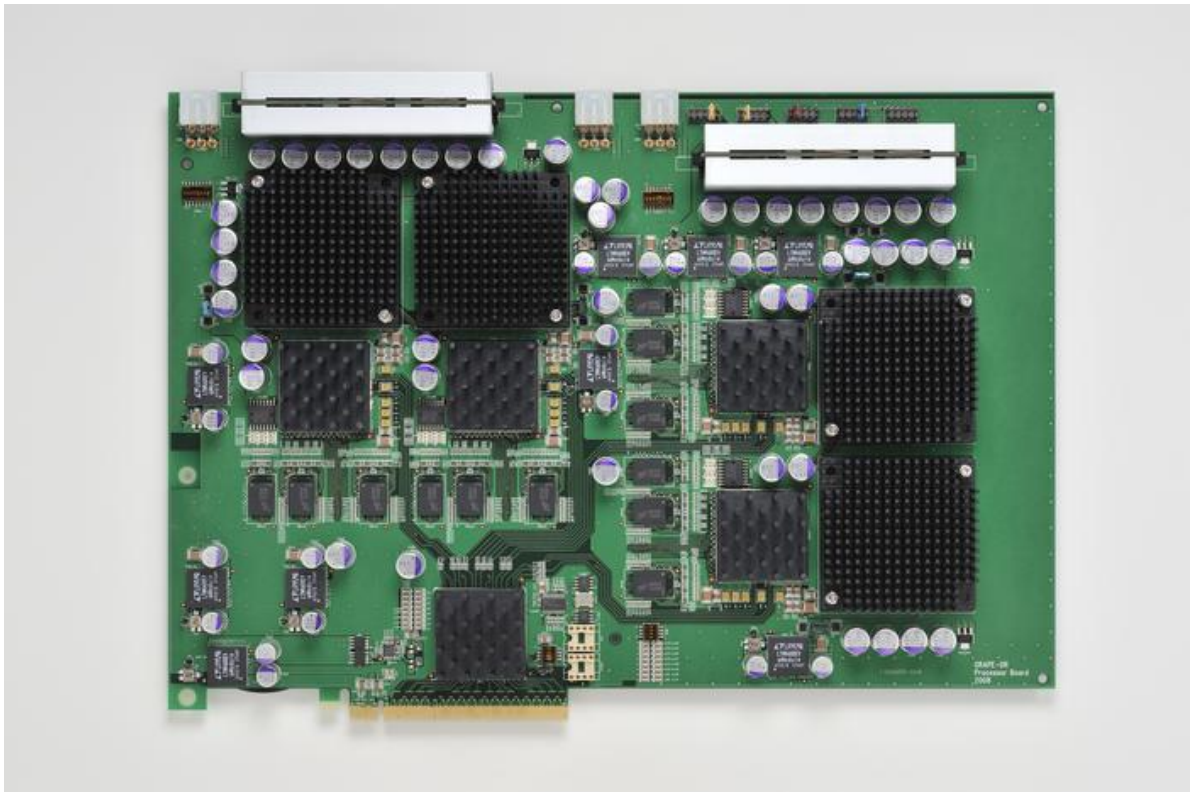


写真4. 今回使用した GRAPE-DR 4プロセッサボード