

## スーパーコンピュータ Pegasus が電力当たり性能で国内最高位をマーク

半年ごとに公表される世界のスパコンランキングの一つである、消費電力当たりの性能をランキングした Green500 リストで、筑波大学の最新スパコン Pegasus が 1W 当たり 41.12GFLOPS（1 秒当たり 411 億 2 千万回の浮動小数点演算性能）を達成し、国内最高位（世界第 12 位）にランクされました。

筑波大学の最新スーパーコンピュータ（スパコン）Pegasus（ペガサス）は、2022 年 12 月に計算科学研究センターに設置され、現時点で世界最高性能の GPU（画像処理装置）と CPU（中央処理演算装置）、さらに先進的不揮発性メモリと最高性能の接続ネットワークを結集した、最先端のスパコンです。

毎年 6 月と 11 月に公表される世界のスパコンランキングの一つである、Green500 リストは、密行列の連立一次方程式を解く場合の計算性能が消費電力（W）当たりどの程度であるかを競うもので、「スパコンの省エネ性能」を示す指標としてエネルギー問題等の観点から注目されています。

2023 年 11 月 13 日に米国デンバー市で開催された、スパコン技術と計算科学に関する国際会議 SC23 にて Green500 リストが発表され、Pegasus は 1W 当たり 41.12GFLOPS（1 秒当たり 411 億 2 千万回の浮動小数点演算性能）を達成し、これまでの国内最高記録を抜いて、日本で最もグリーンなスパコン（全世界では第 12 位）としてランクされました。Pegasus は各種利用プログラムにより国内外のユーザに提供されており、今回の結果は、国内でいち早く最先端 GPU 等を導入した筑波大学の省エネ技術が、各種研究に役立っていることを示しています。

### 研究代表者

筑波大学計算科学研究センター

朴 泰祐 センター長

## 研究の背景

筑波大学計算科学研究センターでは、30年以上の歴史の中で、常に最先端の高性能計算技術に支えられた独自開発のスーパーコンピュータ（スパコン）を開発・調達してきました。近年では、消費電力当たりの演算性能が高いことで知られる GPU（Graphics Processing Unit、画像処理装置）<sup>注1</sup>）を演算加速装置として用い、さらに独自の技術要素を加えたスパコンを導入しています。

2022年12月から稼働を開始した同センターの最新スパコン Pegasus（ペガサス）<sup>注2</sup>）は、大容量かつ低消費電力の不揮発性メモリ<sup>注3</sup>）を高性能 GPU と組み合わせた大規模システムで、世界でもほとんど例がありません。不揮発性メモリは一般の DRAM 型メモリに比べ、非常に低い消費電力で大容量のメモリ空間を提供し、計算ノード当たりのメモリ容量が、通常のものでは 100~200GByte（ギガバイト）程度であるのに対し、一桁多い 2TByte（テラバイト）の容量を持ちます。この点から、Pegasus は別名「ビッグメモリスーパーコンピュータ」とも呼ばれています。このようなシステムは特に、宇宙物理や気象、さらに大規模 AI 処理等、大容量のメモリを必要とするアプリケーションに有効です。

## 研究内容と成果

世界のトップレベルのスパコンに関しては、連立一次方程式を解く Linpack <sup>注4</sup>）というベンチマークプログラムが性能指標として用いられ、その性能を競う Top500 リストや、消費電力当たりの Linpack 性能を競う Green500 リスト<sup>注5</sup>）等が、毎年 6 月と 11 月に、ドイツおよび米国で開催される国際会議 ISC（International Supercomputing Conference）と SC（Supercomputing Conference）でそれぞれ公表されます。Pegasus は 2023 年 6 月の Green500 リストでは、国内第 2 位となりましたが、その後、システムの調整や Linpack 実行上の工夫を重ね、1W 当たり 41.12GFLOPS の性能を達成し、今回、2023 年 11 月公表の Green500 リストにおいて、国内システムとして最高位、全世界では第 12 位にランクされました。

この結果をもたらした最大の要因は、最新の GPU を用いたことで計算の電力効率が向上したことに加え、通常のメモリに代えて電力効率の良い不揮発性メモリで大容量を実現したことにあります。大量のエネルギー消費が課題となっているスパコンにとって、より省エネルギーでの計算には大きな意義があります。GPU を用いた場合のプログラミングは、一般的な CPU に比べると複雑になるという面はありますが、それ以上に、省エネ効果の高い GPU を用いたスパコン開発が重要であると考えられます。

## 今後の展開

Pegasus はコンパクトな省エネスパコンであると同時に、浮動小数点演算<sup>注5</sup>）で最大 6.5PFLOPS、また AI 処理ではこれを遥かに上回る性能を有しており、今後の最先端計算科学研究に幅広く利用される見込みです。

また、筑波大学計算科学研究センターは、東京大学情報基盤センターと共同で最新のスパコン技術を用いた超大型システム（Oakforest-PACS II、仮称）の調達を進めており、2024 年末に導入される予定です。ここでも、Pegasus と同様の GPU を搭載することが既に決定しており、電力当たり性能最適化技術も含め、Pegasus で培われた GPU 利用技術の活用を進めていきます。

## 参考図



図 ビッグメモリスーパーコンピュータ Pegasus

## 用語解説

### 注1) GPU (Graphics Processing Unit、画像処理装置)

一般的な CPU と異なり、ある程度の塊の演算装置が単一命令で同時に動作するプロセッサ。演算の柔軟性には欠けるが、大量の演算を同時に処理するため、電力当たり性能が非常に高い。本来は画像処理専用だったが、現在は数値計算全般に広く用いられており、演算加速装置の代表となっている。

### 注2) Pegasus (ペガサス)

現時点で世界最高性能を持つ米国 NVIDIA 社製の GPU である H100 PCIe、米インテル社製の最先端 CPU である Xeon CPU(コード名 Sapphire Rapids)、さらに同社製の不揮発性メモリである Optane300 と、NVIDIA 社製の並列処理相互結合ネットワークである InfiniBand NDR200 を組み合わせている。導入・運用は NEC 社が担当している。

### 注3) 不揮発性メモリ

一般のメモリ (DRAM) は電源が切れるとその内容が失われるのに対し、特殊なデバイスを用いることで、DRAM より低速だが大容量かつ低消費電力で動作するよう作られた特殊なメモリ。

### 注4) Linpack

密行列を係数行列とする連立一次方程式をガウスの消去法によって解くベンチマークプログラム。スパコンの性能ランキングである Top500 リストに登録される演算性能を決定するのに使われる。

### 注5) Green500 リスト

スパコンの性能ランキング Top500 リストの搭載データにおいて、Linpack ベンチマークの性能 (FLOPS: 浮動小数点演算速度) の値を、その計算を実行した際の平均電力で割り、消費電力当たりの演算性能を求め、順位付けをしたもの。リストの管理は Top500 リストに付随して行われる。

### 注6) 浮動小数点演算

精度の高い数値計算を行うために、コンピュータ内では数値を仮数部と指数部に分けて表現し計算する手法を用いる。このように表現された数値を浮動小数点と呼び、これを適切に演算処理することを浮動小数点演算と呼ぶ。

**問合わせ先**

**【研究に関すること】**

朴 泰祐 (ぼく たいすけ)

筑波大学 計算科学研究センター センター長／教授

URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp>

**【取材・報道に関すること】**

筑波大学 計算科学研究センター 広報・戦略室

TEL: 029-853-6260

E-mail: [pr@ccs.tsukuba.ac.jp](mailto:pr@ccs.tsukuba.ac.jp)