

# AI時代の新しいスーパーコンピュータに向けた富士通のアプローチ

## Fujitsu's Approach to New Supercomputers in the AI Era

● 田原 司睦      ● 笠置 明彦      ● 荒川 敬      ● 吉岡 祐二  
● 林 秀範      ● 伊藤 欣司

### あらまし

現在、日本国内ではAI(人工知能)技術の研究開発と研究成果の社会実装を加速させるという政府方針により、AI処理向けスーパーコンピュータ(以下、AIスパコン)の整備が急速に進んでいる。従来のスパコンとは異なり、AIスパコンには新たな要件が求められる。それは、深層学習処理における学習精度と学習速度に着目した標準的な性能評価方法に基づいたサイジング、および頻繁に更新されるフレームワークにタイムリーに対応できるアプリケーション実行環境である。富士通および富士通研究所は、AIスパコン向けの新たな性能評価方法や運用技術を考案した。これを従来のスパコン技術と組み合わせて、産業技術総合研究所様および理化学研究所様向けの世界トップレベルのAIスパコンに実装し、今後のAIスパコンのリファレンスとなるシステムを納入した。

本稿では、AIスパコンの概要と動向、運用課題への取り組み、およびAIスパコンに求められる性能評価方法について述べる。更に、開発した技術のAIスパコンへの適用とその効果を述べる。

### Abstract

With the Japanese Government's current policy to accelerate the R&D of AI (artificial intelligence) technology and its social applications, supercomputers designed for AI processing (hereafter, AI supercomputers) are rapidly being developed in Japan. Unlike conventional supercomputers, AI supercomputers have the following new requirements: server sizing based on a standard performance assessment in terms of learning accuracy and learning speed in the deep learning processes, on the one hand, and an application operation environment where frequent updates to the framework can be dealt with in a timely manner, on the other. Fujitsu and Fujitsu Laboratories have devised new performance assessment methods and operational technologies for AI supercomputers. We combined these with the technologies for conventional supercomputers and installed them on the world-leading AI supercomputers run at National Institute of Advanced Industrial Science and Technology as well as at RIKEN. These systems will be a reference point in terms of future AI supercomputers. This paper first outlines AI supercomputers and their trends, then describes the approach to operational issues and the performance evaluation method required for AI supercomputer. Further, it presents the application of the developed technology to AI supercomputer and their effectiveness.

## まえがき

近年、AI（人工知能）が非常に注目されている。政府は2016年に総理の指示を受けて、人工知能技術戦略会議を設置した<sup>(1)</sup>。本会議が司令塔となり、そのもとで総務省・文部科学省・経済産業省の3省が連携し、AI技術の研究開発と研究成果の社会実装を加速させる体制を整えている。更に、AI研究を加速させるための基盤となる、AI処理向けスーパーコンピュータ（以下、AIスパコン）の整備も急速に進んでいる。

AIスパコンに求められる要件は、従来のスパコンに求められる特性とは大きく異なる点がある。AI技術の中でも特に計算負荷の高い深層学習（Deep Learning）の処理では、従来のスパコンに求められていた倍精度浮動小数点演算（以下、倍精度演算）のような高精度な数値計算は必要なく、単精度浮動小数点演算（以下、単精度演算）や半精度浮動小数点演算（以下、半精度演算）を用いて、大量に処理する性能が重要になる。このようにAIスパコンでは、従来のスパコンで使用される性能評価方法に加え、深層学習処理における学習精度と学習速度に着目したAIスパコン向けの標準的な性能評価方法の確立が必要となっている。

また、AIの研究に必要な深層学習のフレームワークは多種多様で更新頻度が高い。このため、AIスパコンの運用においても多数の研究者にこれらのアプリケーション実行環境をタイムリーに提供するために、新たな環境整備が必要となっている。

富士通および富士通研究所では、このようなAIスパコンの性能評価方法の検討や運用環境整備にいち早く取り組んできた。その成果として、国立研究開発法人産業技術総合研究所様（以下、産総研）および国立研究開発法人理化学研究所革新知能統合研究センター様（以下、理研AIP）向けのAIスパコンを受注・納入した。

本稿では、AIスパコンの概要と動向、運用課題への取り組み、およびAIスパコンに求められる性能評価方法について述べる。更に、AIスパコンへの運用技術の適用とその効果を述べる。

## AIスパコンの概要と従来のスパコンとの違い

### ● AIスパコンの概要

AIスパコンは、機械学習の処理において支配的な行列演算を高速に実行することを目的としたスーパーコンピュータである。これは、数百台の演算ノードおよび大容量ストレージをInfiniBandなどの高速インターコネクト技術によって結合した、AI処理専用のプラットフォームである。大規模な行列の積和演算を高速に行うため、演算ノードにはAI処理向けアクセラレータ（以下、AIアクセラレータ）が搭載されている。

### ● 従来のスパコンとの違い

従来のスパコンは、より正確な結果を得るために倍精度数を使用することが前提となっている。このためアプリケーションは、アルゴリズムを固定のデータタイプ（倍精度数）でシンプルに記述できる。

一方、深層学習に利用されるAIスパコンでは、倍精度演算は必ずしも必要ではない。深層学習処理の特性に着目すると、大部分が大規模行列積演算で占められるため、高い積和演算性能が求められる。しかし、処理するデータの桁数は少なく、単精度以下の精度で演算しても学習結果には大きな差は現れにくい。そこで、単精度演算、半精度演算、更には16ビットから8ビットの固定小数点演算も使われるほか、新たな演算フォーマットも考案されている。

従来のスパコンとAIスパコンとでは、並列化の観点でも違いがある。従来のスパコンでは、アプリケーションを大規模並列化して解くことが多い。一方、AIスパコンが対象とする深層学習処理では、一般に大規模並列化すると演算スループットは向上するものの、肝心の学習精度が必ずしも向上しなくなる。このため、アプリケーションの並列化は大規模化（数千～数万並列）が難しく、小～中規模（数十～数百並列）にとどまっている。

また、アプリケーション実行環境にも違いがある。現在、AI研究に必要な深層学習のフレームワーク（以下、DLフレームワーク）は多数開発されており、AI研究者は自分自身の研究に最適なDLフレームワークをタイムリーに利用できる環境を求めている。このため、多数のDLフレームワークを

ユーザーごとにすぐに提供できるきめ細かいアプリケーション実行環境の整備が、AIスパコンにおける必須の運用要件となってきている。

従来のスパコンとAIスパコンの違いを表-1に示す。

**AIスパコンに求められる要件と課題**

前章で述べたように、従来のスパコンとは特性が異なるため、AIスパコンの性能評価の方法には見直しが求められている。また、AIスパコンの運用においては、最新のDLフレームワークがタイムリーに使える柔軟な運用が実現できることも重要である。

● AIスパコンの性能評価上の課題

従来のスパコン同様、AIスパコンの導入計画策定の際には、AIスパコンとしての学習精度と学習速度の両立を考慮した性能要件を定量的に明示することが重要となる。従来のスパコンには、コンピュータシミュレーション性能などを評価するための標準的なベンチマークプログラムが揃えられており、一定の性能評価手法が確立されていた。しかし、AIスパコン向けには標準的なベンチマークプログラムや性能評価手法は確立されておらず、システムの性能比較やサイジングもままならない状況にあった。

AIスパコンの性能指標としては、計算量が多い深層学習の速度がふさわしいと考えられる。深層学習の速度としては、単位時間あたりに処理できるデータ量（スループット性能）と、単位時間あたりの認識精度の向上の度合い（学習速度）の2種類が考えられる。前者は基本的に一定で、従来スパコンと同様に既存アプリケーションの動作速度から評価できる。一方、後者は学習が進むにつれて変化する。実利用では目標とする認識精度に達

するまでの時間が重要であるため、深層学習を代表するベンチマークプログラムの処理全体の平均的な学習速度の指標も必要である。

また実用上は、研究開発で用いられる複数の主要なDLフレームワークと代表的なニューラルネットワークの学習が実行できることも重要である。これらを含めた総合的なベンチマークによって、実用的な性能を表す指標（標準的な性能評価方法）の考案が課題である。

● 柔軟な運用技術とその課題

AIスパコンでは、AIアクセラレータなどの計算資源やストレージ資源を複数の研究者がタイムシェアリングする利用形態が求められる。一方で、研究者ごとに研究テーマは異なり、AIスパコンに対するニーズも多種多様である。そのためAIスパコンの運用には、各研究者からの要求に柔軟に対応することが求められる。特に、AIスパコンの運用上の課題は、以下の2点である。

(1) AIスパコンの計算資源の有効活用

AIスパコンの有限の計算資源を有効に活用するために、ジョブスケジューラを用いたリソース管理が考えられる。しかし、ユーザーは計算資源をバッチ処理ではなく、インタラクティブに利用することに慣れている。インタラクティブな利用は計算資源が占有される一方、どうしてもオペレーションの間に隙間時間が発生し、計算資源に無駄が生じやすい。有限の計算資源を複数のユーザーで効率良く利用するために、インタラクティブな利用のニーズに計算資源のロスを少なく対応することが、システム運用上の課題となる。

(2) 最新DLフレームワークの提供

各DLフレームワークは、必要とする外部ライブラリも多い。このため、バージョンやレベルなどの複雑な依存関係を解決しながらインストールし

表-1 従来のスパコンとAIスパコンの違い

	従来のスパコン	AIスパコン
アクセラレータ	一部ノードに搭載 (一部の科学技術計算で利用)	全ノードに搭載 (あらゆるDLフレームワークで利用)
演算精度	倍精度数が前提	単精度/半精度数もしくは固定少数点数が前提 (学習精度とのトレードオフで演算精度を決定)
並列処理	大規模並列処理が前提	小～中規模並列処理が主体
アプリケーション 実行環境	演算パッケージが確立	多数のDLフレームワークが乱立

なければならず、導入に手間がかかる。

DLフレームワークは、新たなアルゴリズムが日進月歩で考案されるなど、技術革新のサイクルが速く、1か月に複数回リリースされるなど更新頻度も高い。このため、最新のDLフレームワークを提供し続けることはシステム管理者にとって負担が大きく、その解決が運用上の課題となる。

以降では、本章で述べた課題への取り組みを紹介する。

### AIスパコン向け性能評価方法

AIスパコンの性能評価において、重要な要素は以下の四つと考えられる。

#### (1) 基礎性能による評価

深層学習の処理で標準的に必要とされる基礎性能として、演算性能は行列積演算ライブラリを、ストレージ性能は標準的な既存ベンチマークプログラムを利用して評価する。これは、従来のスパコンの評価と同じである。

#### (2) 学習速度による評価

AIスパコンは、計算量の多い深層学習に利用されると考えられるため、学習速度の評価が必要となる。評価を行うソフトウェアには、ユーザーが利用する可能性の高い著名なオープンソースソフトウェアであるCaffe<sup>(2)</sup>などを採用した。

前述したように、深層学習では学習速度とスループット性能は異なる。学習は確率的勾配降下法によって進められるため、多数のAIアクセラレータでスループット性能を向上しても、局所的な最適解に滞留し、学習精度が向上しないこともある。このため、指定した学習精度に到達するまでの時間を測定することで、学習速度の測定と、実用上重要な学習精度の確保を両立できると考えた。

これらの方法で、評価にかかる時間を現実的なレベルに抑えつつ、実用的な精度を与える評価を考案した。

#### (3) スループット性能による評価

AIアプリケーションのスループット性能も重要な評価指標である。主要なAIアプリケーションには、単一ノード向けに作られたものがある。AIスパコンの性能を引き出して、これらアプリケーションを高速に実行するには、多数のノードに搭載されたAIアクセラレータを活用する必要がある。

また、AIアプリケーションのスループット性能を最大化するためには、AIアクセラレータが待機状態にならないように通信時間を隠蔽する必要がある。このため、通信ボトルネックになりやすいCPU-AIアクセラレータ間通信、AIアクセラレータ間通信、サーバ間通信の三つの通信を、AIアクセラレータの処理と並行して行うようにチューニングすることになる。これらを考慮して、AIアプリケーションのスループット性能をどれだけ高速化できるかを評価した。

#### (4) 複数フレームワークによる評価

最後に、複数の主要なDLフレームワークを有効に活用できるかどうかを評価した。

現在、DLフレームワークとニューラルネットワークは複数用いられているため、これらを組み合わせる必要がある。このため、既に述べた「学習速度による評価」および「スループット性能による評価」を組み合わせ、評価が必須であるフレームワークを含めた評価パターンと、任意のオープンソースフレームワークを利用可能としたパターンを設定し、全ての評価基準が一度は含まれる少数の組み合わせの評価方法を考案した。

### 柔軟なAIスパコン基盤の運用技術

#### ● ジョブスケジューラによる資源配分

従来のスパコン技術であるジョブスケジューラをAIスパコンの運用に適用することで、AIアプリケーションの実行単位をジョブとして管理し、計算資源の有効活用を図った。ジョブスケジューラは、AIアクセラレータを含む計算資源をジョブ単位で確保し、ジョブの実行順序を制御する。

実行するジョブのタイプには、バッチジョブとインタラクティブジョブがあるが、ジョブスケジューラはジョブの種類を分けることなく一元的に資源配分が可能であり、ユーザーのインタラクティブな利用ニーズに応えられる。ただし、インタラクティブジョブを実行する際には、ユーザーによるオペレーション時間が加わるため、インタラクティブジョブを多用するとジョブの実行開始待ち時間が増加する。これに対して、インタラクティブジョブに割り当てる資源を絞ることで、インタラクティブジョブの実行時間を1時間程度に

制限することで、ジョブの実行開始待ち時間の削減を図った。

### ● コンテナ技術によるDL環境の提供

システム管理者が、ユーザーに対して最新のDLフレームワークをタイムリーに提供できるように、DLフレームワークをDockerコンテナとして提供する環境を構築した。

Docker<sup>③</sup>は、従来の仮想化ソフトウェア(VMwareやHyper-V)のようなハイパーバイザーやゲストOSを必要とせず、ホストOSのLinux Kernelを共有する仕組みである。このため、オーバーヘッドが少ない仮想化技術として注目されている。AIスパコンにDockerを適用することで、システム管理者が新しいDLフレームワークを運用中でも、デグレードすることなく最新DLフレームワークをインストール可能となる。

### AIスパコンへの適用例

本章では、前章で述べた技術を適用した事例として、日本国内の代表的なAIスパコンを紹介する。

### ● 人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤(産総研)

産総研では、AI技術に関する最先端の研究開発に向けて、FUJITSU Server PRIMERGY CX2570 M4を中心に構成されたAI用途向けスーパーコンピュータを導入した。本システムは、半精度演算の理論ピーク演算性能において550ペタフロップスを実現し、GPU(Graphics Processing Unit)であるNVIDIA Tesla V100を1ノードあたり4基搭載した計算ノードで構成される。

施設構築の公募に当たり、性能評価基準についてICTベンダー各社にヒアリングが行われた。その際に、富士通研究所から前述した性能評価方法に関する見解を回答し、ベンチマークテストの一部として採用された。また提案時には、この性能評価方法に関する知見を活かすことで、産総研の性能要件を満足するシステムを提案でき、受注・納入につながった。

運用面では、最新の並列分散DLフレームワークなどをユーザー権限で簡便に実行できるように、HPC(High Performance Computing)向けの新たなコンテナ技術であるSingularityの適用を予

定しており、今後も最新技術の取り込みを図っていく。

### ● 人工知能研究用計算機システム(理研AIP)

理研AIPでは、人工知能研究用計算機システム(RAIDEN)を2017年3月に導入した。

その後、RAIDENは2018年3月に増強され、半精度演算の理論ピーク演算性能において54ペタフロップスを実現している。RAIDENでは、前述の運用技術を適用することでDockerコンテナの運用を可能にし、頻繁に更新されるDLフレームワークをタイムリーに提供可能となっている。また、ユーザーにとって利便性の高いインタラクティブ環境・バッチジョブ環境の両方を提供することで、ユーザーの待ち時間を削減し、24時間、計算資源を有効に利用できる環境を実現した。

### む す び

本稿では、AI研究を加速するためのAIスパコン向けの性能評価方法の確立や運用環境の整備といった新しい要件に対して、考案した性能評価方法や運用技術を紹介した。また、これらをAIスパコンへ実装し、その効果についても述べた。本稿で紹介した技術を適用した産総研および理研AIPのシステムは、今後のAIスパコンのリファレンスとなるシステムであると考えている。

今後も最新技術を取り込みながら、新たなAI向けプロセッサや革新的なAI技術の出現に伴うAIスパコンに生じる要件変更や課題に対して、富士通研究所の最先端AI技術と富士通の大規模AIスパコンの納入・運用経験を活用して、最適なソリューションの提案と課題解決に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- (1) 文部科学省. 情報科学技術委員会 第94回配布資料. “資料2-1 人工知能技術戦略会議, AIP:人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト等の進捗状況について”, p.1-3, 2016/6/2.  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/\\_icsFiles/afeldfile/2016/08/09/1374745\\_002\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/006/shiryo/_icsFiles/afeldfile/2016/08/09/1374745_002_1.pdf)
- (2) Berkeley Artificial Intelligence Research Lab website.  
<http://caffe.berkeleyvision.org/>

(3) Docker website.

<https://www.docker.com/what-docker/>

## 著者紹介



**田原 司睦** (たばる つぐちか)

(株) 富士通研究所  
コンピュータシステム研究所  
深層学習分散並列化, HPCコンパイラ  
の研究開発に従事。



**伊藤 欣司** (いとう きんじ)

富士通 (株)  
テクニカルコンピューティング・ソ  
リューション事業本部  
科学分野におけるHPCおよびAIビジネ  
スの商談推進に従事。



**笠置 明彦** (かさぎ あきひこ)

(株) 富士通研究所  
コンピュータシステム研究所  
GPGPU, メニーコア最適化, 深層学  
習アルゴリズムの研究開発に従事。



**荒川 敬** (あらかわ たかし)

富士通 (株)  
AI基盤事業本部  
HPCおよび深層学習の分野において,  
高速化アルゴリズムの研究開発に従事。



**吉岡 祐二** (よしおか ゆうじ)

富士通 (株)  
テクニカルコンピューティング・ソ  
リューション事業本部  
科学分野におけるHPCおよびAIビジネ  
スの商談推進に従事。



**林 秀範** (はやし ひでのり)

富士通 (株)  
テクニカルコンピューティング・ソ  
リューション事業本部  
科学分野におけるHPCおよびAIビジネ  
スの商談推進に従事。