

初心者のためのクラスター I

クラスターからクラウドまで
クラスター概要

有限会社イワタシステムサポート 岩田 進吉

2026年2月2日(月)



初心者のためのクラスタ I

クラスタの歴史



クラスタ登場以前のHPCコンピュータ
クラスタのこの30年
SC (Super Computing Show) でのシステム動向

クラスタとは



コンピュータの動向とHPCコンピュータの動向
クラスタの必要性
ハードウェア
ソフトウェア
利用方法

クラウドとクラスタ



クラウドとクラスタ
クラウドでのHPCクラスタ定義 (IIIで説明)



クラスタの歴史

クラスタ登場以前のコンピュータ とHPCコンピュータ



コンピュータの概要

1. 最初のコンピュータ

1946年頃、真空管が使われたコンピュータ、重さが30トンで今の電卓以下の計算性能

2. 現在のコンピュータの原型

1950年頃、プログラムが使われるようになる

3. 最初の商用コンピュータ

1960年頃～1970年頃、IBMの大型コンピュータが出現。2000年頃まで主流。

4. 最初のHPC用コンピュータ、CRAYの登場

1970年以降、日本では富士通、NEC———、2000年頃まで主流。

5. HPC分野でクラスタが主流になる

2000年以降、X86／CPUを使った並列コンピュータ。



世界初の(電子式) コンピュータ

現在の電子式コンピュータの基本系ができたのは1946年に開発されたENIACが最初です。このマシンはアメリカ陸軍の大砲の弾道計算を目的に作られました。

しかしENIACが完成する前に第二次世界大戦が終結したため当初の目的は達成できませんでした。

そして、その後もENIACの開発は続けられました。 ENIACの特徴としては

17468本の真空管

70000個の抵抗器

消費電力は150kW

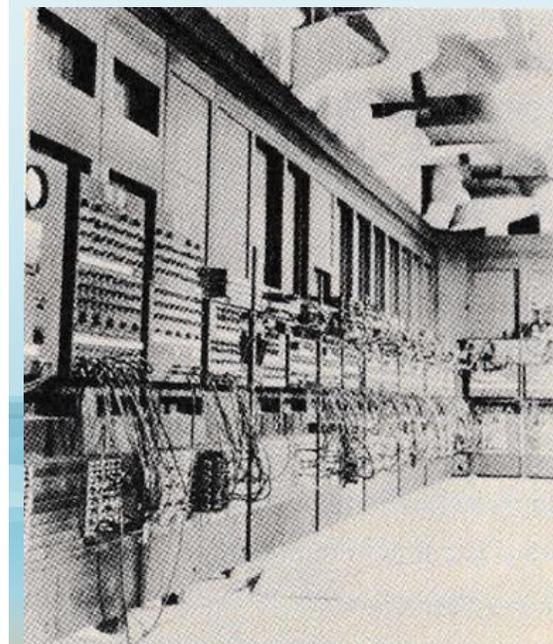
開発費の総額は49万ドル

メモリは変数が20個、定数が300個

大きさは幅24m、高さ2.5m、奥行き0.9m、総重量30トンと大規模で設置には倉庫1棟分のスペースを要したとの事です。それでも性能は、現在の電卓以下です。スペースは現在のスーパーコンピュータの部類ですね!

このENIACは計算の為にデータと命令を逐一、コンピュータに一つ一つ外部より与えて計算を進める「逐次制御方式」というコンピュータでした。

(岩波、情報科学—1より)
/1983年出版



現在のコンピュータ原型が登場

EDVACが現在のコンピュータの原型になります。コンピュータの特徴は、J.von.Neumannが「プログラム記憶方式 (Stored Program)」を提案し、最初にとりいれられたコンピュータです。

いまでは当たり前になっているので気にならないかと思いますが、プログラムとデータを同じメモリに蓄えて、処理を行うという画期的なものです。このEDVACは1950年に完成しております。

このEDVACでは

加算に 846μ 秒

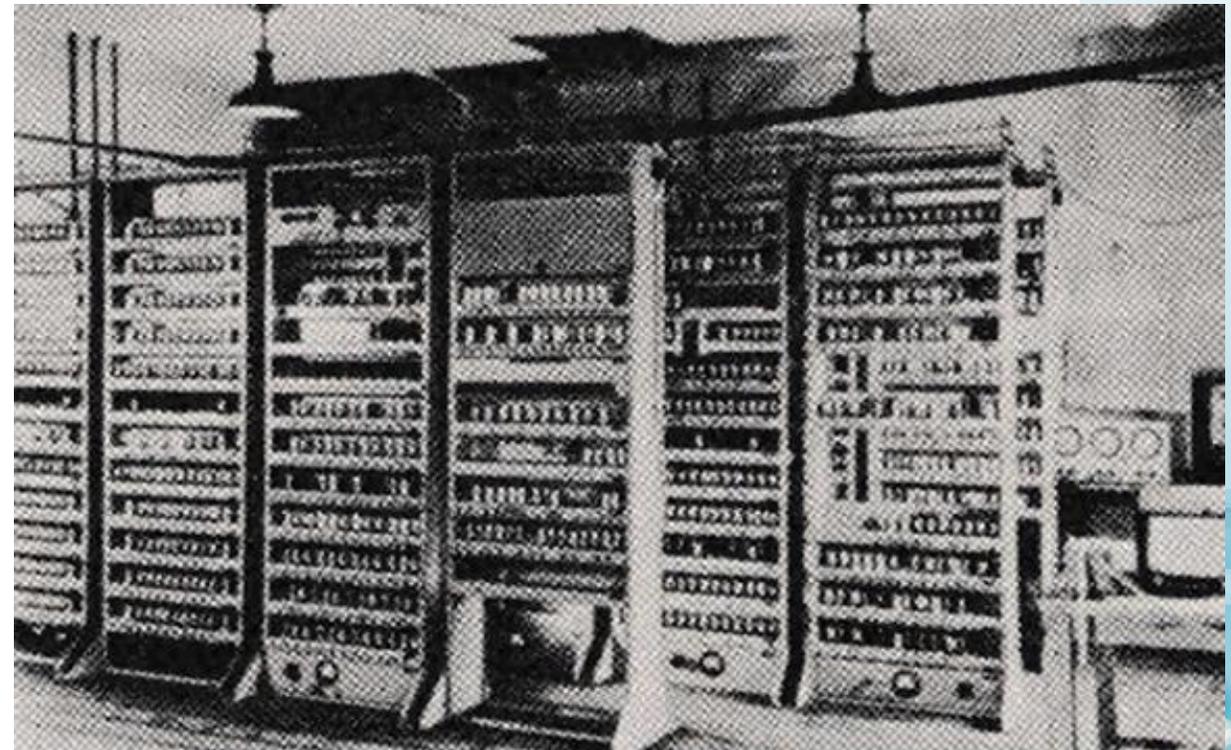
乗算に 2900μ 秒

かかったそうです。

参考に

Intel Core i7-920 2.67GHzを用いて単精度計算で5.3Gflopsですから、1秒間に $5.3 \times 1,000,000,000$ 回であり、EDVACでは1秒間に加算で1,182回ですから約450万倍の性能になる事がわかります。

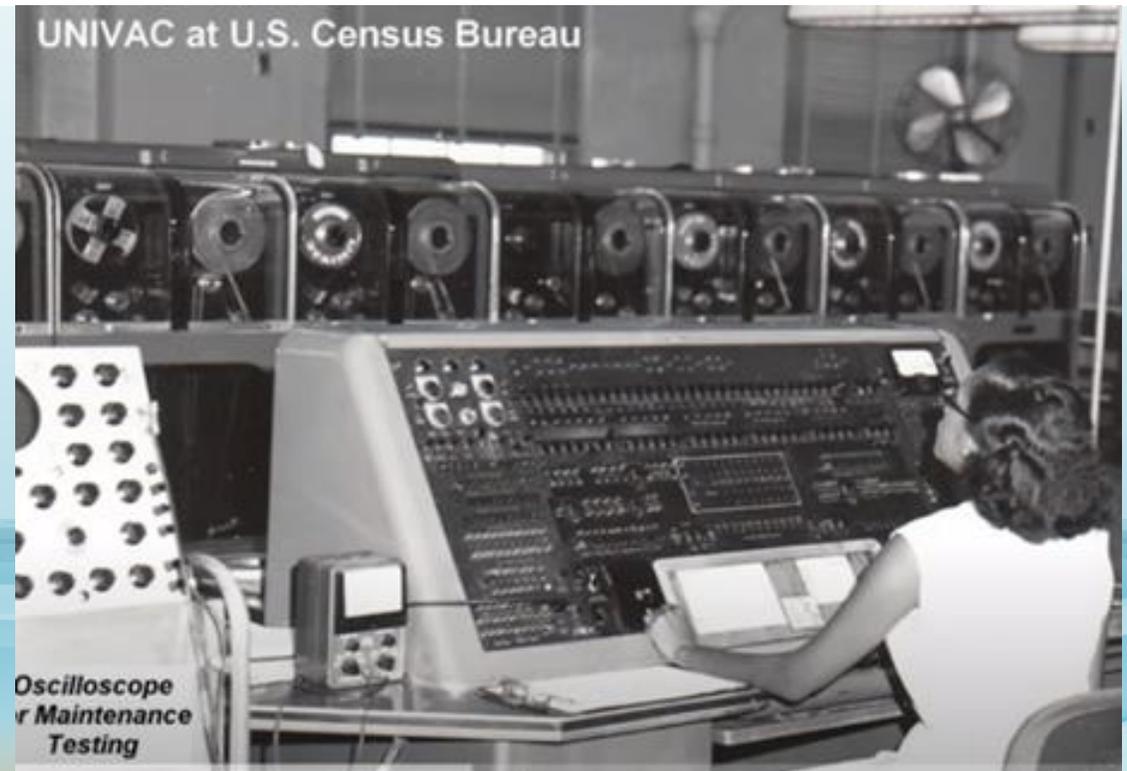
(岩波、情報科学—1より)
／1983年出版



最初の商用コンピュータ（第1世代）

1951年に**最初の商用コンピュータ**であるUNIVAC-1が登場する。この当時は未だ真空管式でした。UNIVAC-1はプログラム内蔵方式を採用しております。

このコンピュータは**1950年の米国の国勢調査**に使われました。

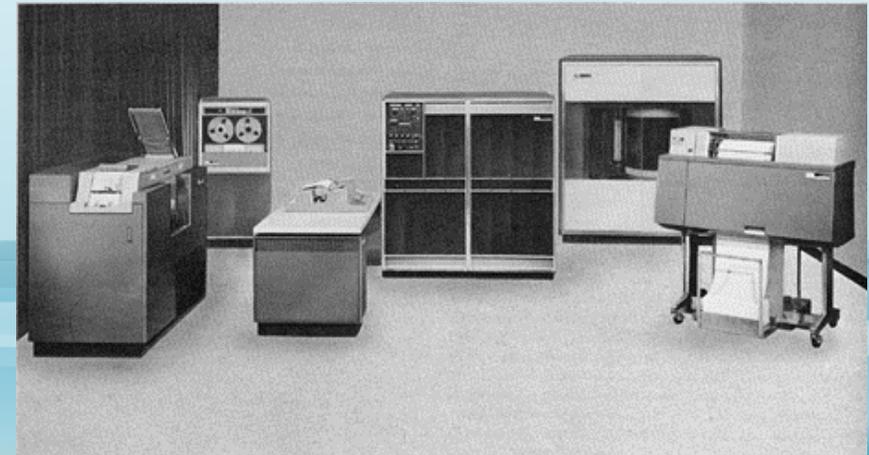


最初のトランジスタコンピュータ（第2世代）

IBMが1959年に真空管でなく、全て素子としてトランジスタを使ったコンピュータ 1401を発表。幅広く使われ1960年代中頃には1万台以上のシステムが設置され、世界のコンピュータの半数以上がIBM1401型のコンピュータだったようです。販売は1971年まで販売されておりました。

システムは2進でなく、10進をベースにしたコンピュータでした。メモリはコアメモリで基本では4000文字を記憶できるメモリが基本で、拡張も可能だったようです。4000文字という事は4KBという事ですね？

ソフトウェアとしては アセンブラ、FORTRAN、COBOL、RPG(Report Program Generator)等があったようです。



ICを本格的に導入したコンピュータ(第3世代)

集積回路であるICを使ったコンピュータは1964年になってIBMから出たIBM-360が最初である。アドレス指定が8ビットのバイト単位で指定されており、その後のバイト単位での処理の最初であった。System/360の特徴は

- コンピュータファミリーを形成し、プログラムや周辺機器の互換性を提供した。
- 商用で初めてOS（オペレーティングシステム）が使われる。
- シリーズ化され最下位機種に比べて最上位機種は約50倍の性能を提供。

(発表当時)

により史上最も成功したコンピュータの一つになりました。



クラスタ登場以前のスーパーコンピュータ



HPC分野のコンピュータシステム

1. ホストコンピュータの時代

IBMやUNIVAC等の大型コンピュータで技術計算。1980年前後

2. ベクトルコンピュータの時代

クレイ、NEC、富士通、日立等がスーパーコンピュータを出荷。1990年前後

3. Linuxを使ったクラスタの時代

IntelやAMDの汎用CPUが高速になり技術計算で使えるようになる。MPIによる並列処理が普及してクラスタシステムがスーパーコンピュータの一般に。2000年以降



最初のスーパーコンピュータ

世界で最初のスパコンは、アメリカのシーディーシー社（CDC）が1964年に作ったCDC6600と言われております。CDC6600はクロック速度100ns（10MHz）で動作しました（市場の他のマシンの10倍の速さ）

CDC6600のCPUの基本は、今日我々がRISCと呼んでいるものです。RISCでは、プロセッサは比較的単純な命令の実行に特化していて、メモリアクセスは決まった制限された形でだけ行います。多くの他のマシンの考え方は、複雑な命令を使うものでした。

CDC6600は当時、最高速であったIBM7030を抜き、3MFlopsを実現しました。1964年から1969年の間、最高速マシンとしての地位を保ちました。



最も有名なスーパーコンピュータ

スーパーコンピュータの代表格であるCray-1は1976年に出荷され業界を驚かせました。Cray-1は64ビットシステムであり、その性能は136Mflopでチューニングにより250Mflopsの性能が出せました。Cray-1システムはベクトル計算により高速化しており、この当時の高速化は8本のベクトルレジスタを持ち、ベクトル計算により高性能を実現しておりました。



Cray-1システム

Wikipediaより引用

<http://ja.wikipedia.org/wiki/Cray-1>

ベクター型スーパーコンピュータ

1970年代から研究所、大学、大手企業の開発部門で使われたコンピュータで計算能力の高いコンピュータ。主に気象観測や製品開発でのシミュレーションに利用されました。主なシステムとしてはCRAY社のY-MPシリーズ、日本電気のSXシリーズ、富士通のVPPシリーズ等があります。特徴としてはCPUとメモリ間の転送速度が非常に早く、その高速性により計算が早くなっております。

2000年代の初めまでは高速コンピュータとしては主流でしたが、2000年代に入りクラスタ型のコンピュータの性能が上がり、ベクタータイプのコンピュータは姿を消しました。

例外は NEC SX-Aurora があります。

CRAY-1



NEC SX-4

NEC SX-Aurora
Vector Engineカード



ベクトル計算による高速化

ベクトル演算 (SIMD : Single-Instruction-Multiple-Data演算)

ベクトル演算とSIMD演算は並列計算としては同種の高速度化で、配列計算の一括処理。今ではインテルやAMDのCPUでも取り入れられています。

execute this loop 10 times (ここから10回ループ)

次の命令を読み出し、解読

fetch this number (こちらの数字を取り出す)

fetch that number (あちらの数字を取り出す)

add them (加算)

put the result here (ここに結果を)

end loop (ループ終わり)

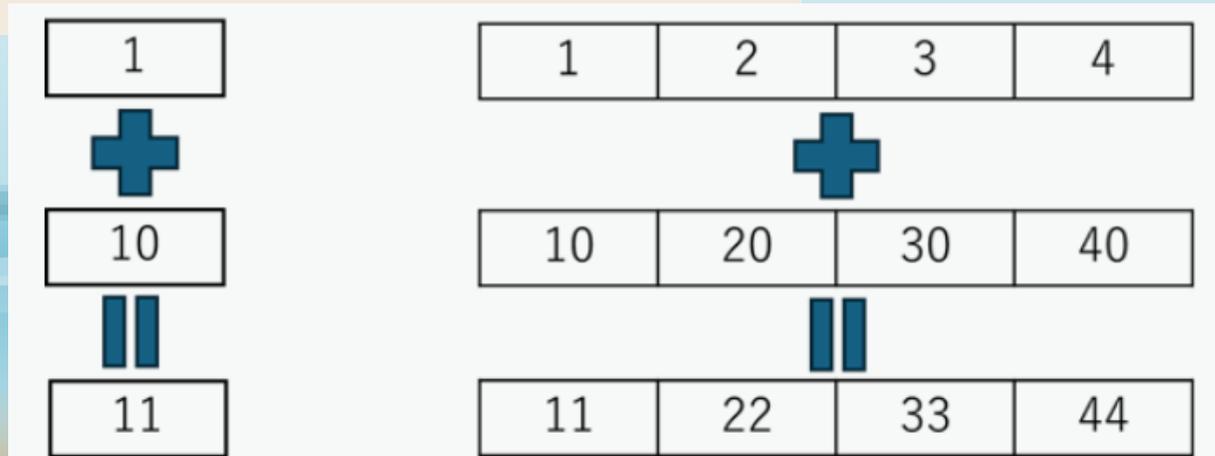
命令を読み出し、解読

こちらの数字を10個丸ごと取り出す

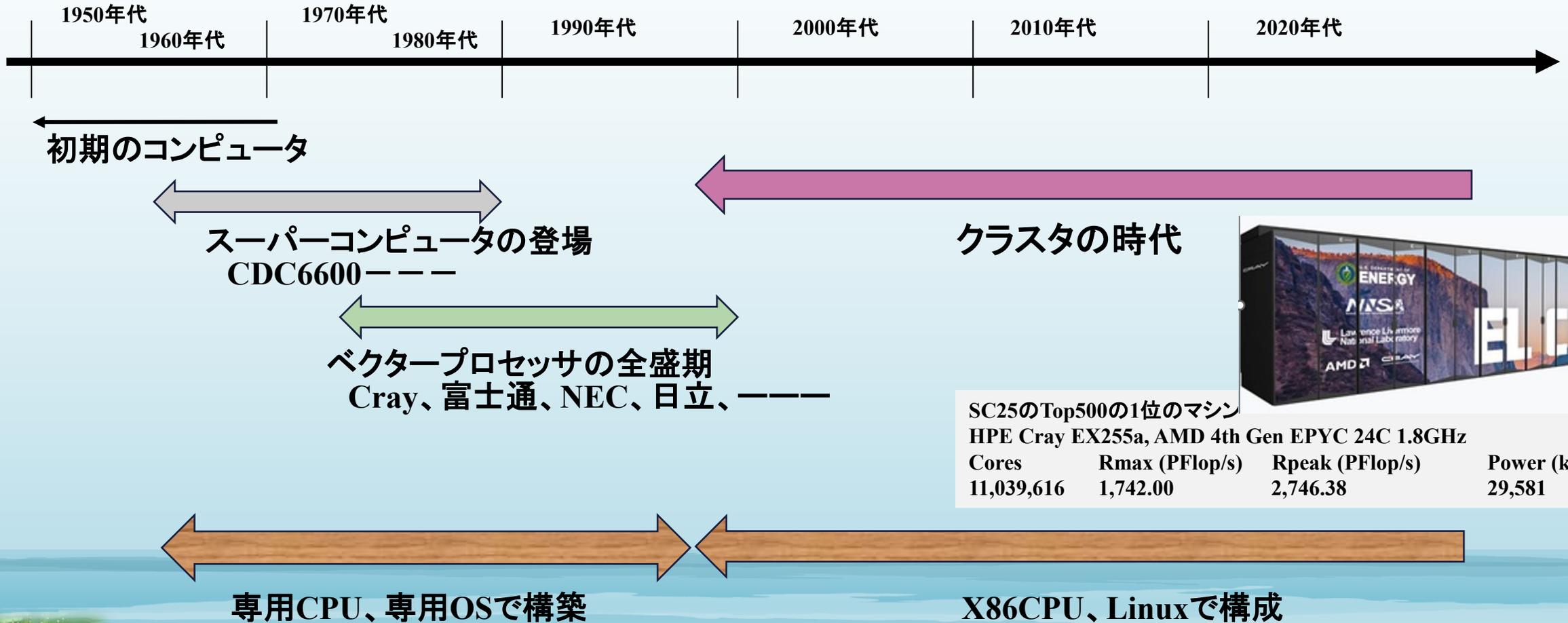
あちらの数字を10個丸ごと取り出す

add them (一気に加算)

まとめて結果を保存



スーパーコンピュータの動向



SC25のTop500の1位のマシン

HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC 24C 1.8GHz

Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
11,039,616	1,742.00	2,746.38	29,581



クラスタ型スーパーコンピュータ

2000年位まで高価なベクトル型のスーパーコンピュータが主流でしたが、利用できるのは**大規模な国立研究所や大企業の研究・開発部門**だけでした。しかし1990年位からワークステーションが出てきて、2000年位からは市販のIntelのXeonやAMDのOpteronの性能が良くなり、高速な計算にも対応できるようになりました。

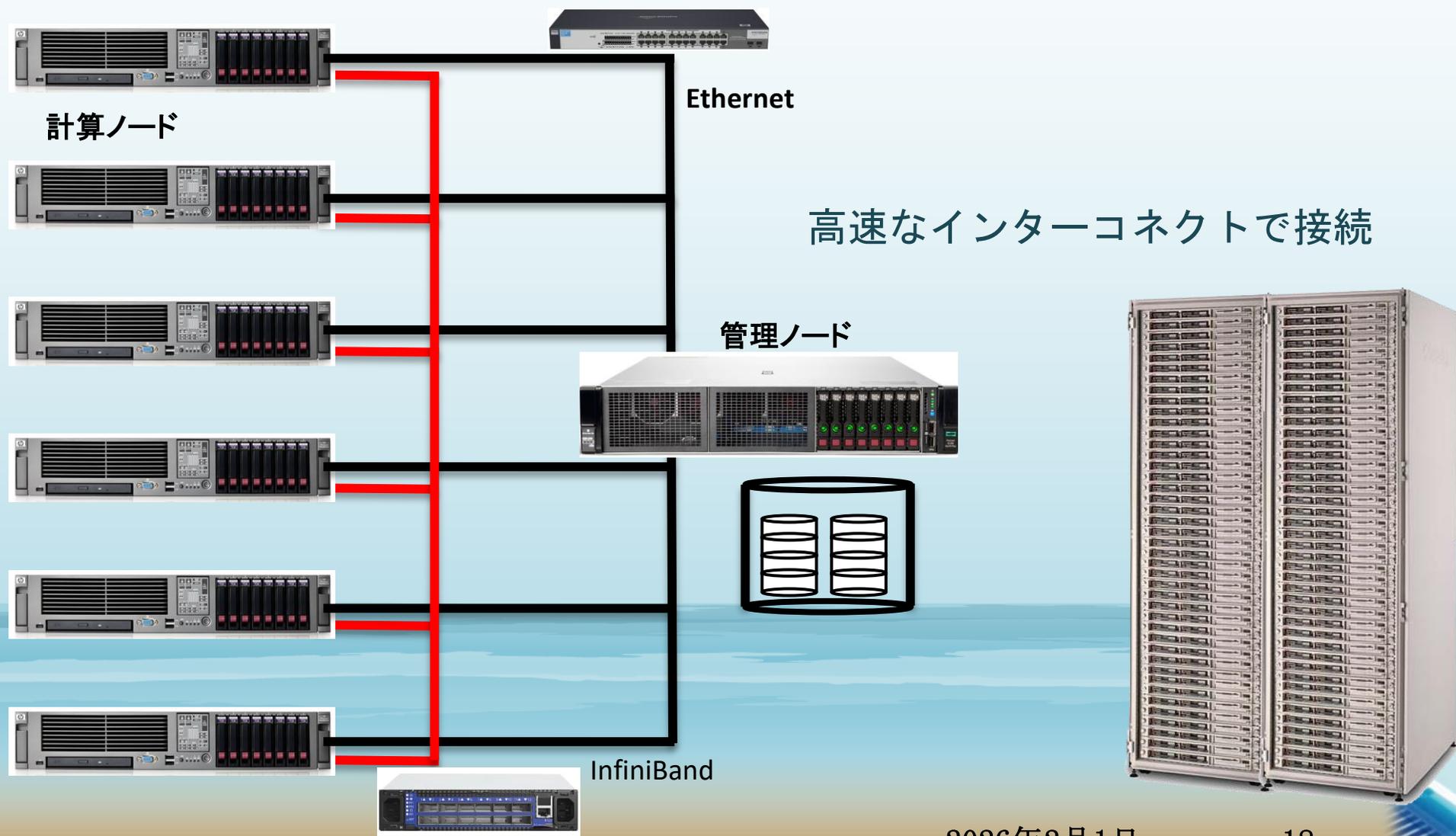
また**並列計算手法としてMPI (Message Passing Interface) が普及し、市販のアプリケーションもMPIに対応してきたためにクラスタ環境での並列計算が一般的になってきました。**Top500も殆どがクラスタ型になっています。

クラスタのイメージは次ページのような構成になります。



クラスタのイメージ／ハードウェア

以下の図はラックマウントタイプのサーバーでクラスタを構成した参考イメージ図



HPCクラスタの動向 SC (Supercomputing Conference) の情報



クラスタとSC (SuperComputing Conference)

SCは1988年より米国で11月に開催されており、6月にはISC(international SC)としてドイツで開催されております。ここではTop500として世界で公開されている最も早いコンピュータシステムを発表しております。2000年位まではベクトル計算機や各コンピュータの独自のアーキテクチャのコンピュータが主流でした。しかし2000年頃からクラスタシステムが主流になってきております。

以下は2020年11月に発表されたTop500の内、上位5位までのシステム



PRESENTED BY



FIND OUT MORE AT

top500.org



	NOVEMBER 2020 SYSTEM	SPECS	SITE	COUNTRY	CORES	R _{MAX} PFLOP/S	POWER MW
1	Fugaku	Fujitsu A64FX (48C, 2.2GHz), Tofu Interconnect D	RIKEN R-CCS	Japan	7,630,848	442.0	299
2	Summit	IBM POWER9 (22C, 3.07GHz), NVIDIA Volta GV100 (80C), Dual-Rail Mellanox EDR Infiniband	DOE/SC/ORNL	USA	2,414,592	148.6	101
3	Sierra	IBM POWER9 (22C, 3.1GHz), NVIDIA Tesla V100 (80C), Dual-Rail Mellanox EDR Infiniband	DOE/NNSA/LLNL	USA	1,572,480	94.6	744
4	Sunway TaihuLight	Shenwei SW26010 (260C, 1.45 GHz) Custom Interconnect	NSCC in Wuxi	China	10,649,600	93.0	154
5	Selene	NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 (64C, 2.25GHz), NVIDIA A100, Mellanox HDR Infiniband	NVIDIA Corporation	USA	555,520	63.4	265

Top500から見たスーパーコンピュータの動向

<https://top500.org/>

上位10システム

2025年11月

順位	名前	システム	設置国	設置年	目的	総コア数	Rpeak [TFlop/s]	CPU	周波数	OS	Interconnect
1	El Capitan エル・キャピタン	HPE Cray EX	米国	2024	研究	11,340,000	2,821,104.00	AMD Zen-4 (Genoa)	1,800	Linux	Gigabit Ethernet
2	Frontier	HPE Cray EX	米国	2021	研究	9,066,176	2,055,716.99	AMD Zen-3 (Milan)	2,000	Linux	Gigabit Ethernet
3	Aurora	HPE Cray EX	米国	2023	研究	9,264,128	1,980,006.00	Intel Sapphire Rapids	2,400	Linux	Gigabit Ethernet
4	JUPITER Booster	EVIDEN BullSequana	ドイツ	2025	研究	4,801,344	1,226,280.64	NVIDIA Grace CPU	3,000	Linux	Infiniband
5	Eagle	Microsoft Azure Clust	米国	2023	産業	2,073,600	846,835.20	Intel Sapphire Rapids	2,000	Linux	Infiniband
6	HPC6	HPE Cray EX	イタリア	2024	産業	3,143,520	606,965.76	AMD Zen-3 (Milan)	2,000	Linux	Gigabit Ethernet
7	Supercomputer Fugaku	Fujitsu Cluster	日本	2020	研究	7,630,848	537,212.00	Fujitsu ARM	2,200	Linux	Proprietary Network
8	Alps	HPE Cray EX	スイス	2024	研究	2,121,600	574,841.28	NVIDIA Grace CPU	3,100	Linux	Gigabit Ethernet
9	LUMI	HPE Cray EX	フィンランド	2023	研究	2,752,704	531,505.15	AMD Zen-3 (Milan)	2,000	Linux	Gigabit Ethernet
10	Leonardo	BullSequana	イタリア	2023	学術	1,824,768	306,311.16	Intel Ice Lake	2,600	Linux	Infiniband



Slingshot-11利用システム

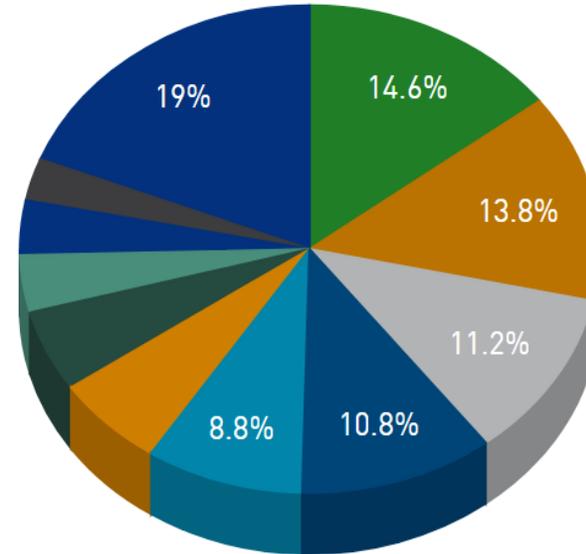


Top500から見たスーパーコンピュータの動向

<https://top500.org/>

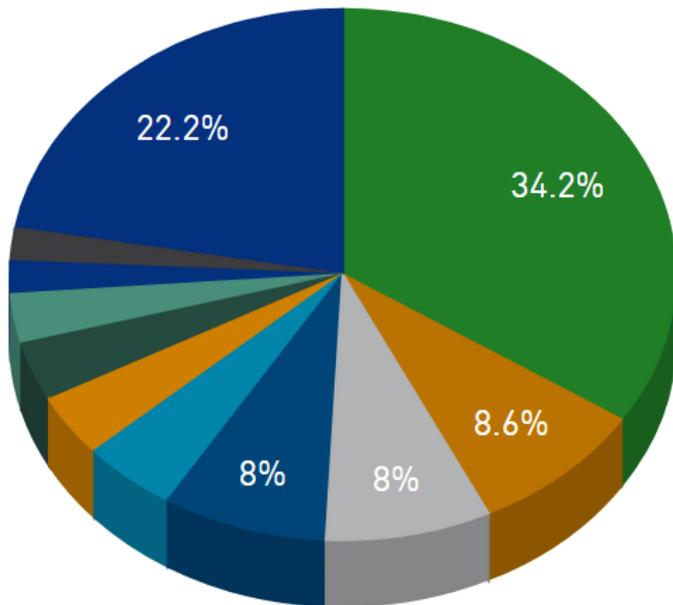
2025年11月

Processor Generation System Share



- Xeon Platinum (Sapphire Rapids)
- AMD Zen-3 (Milan)
- Xeon Gold 62xx (Cascade La...)
- AMD Zen-2 (Rome)
- AMD Zen-4 (Genoa)
- Xeon Platinum 83xx (Ice Lake)
- Xeon Gold (Skylake)
- Xeon Platinum 82xx (Cascad...)
- NVIDIA Grace
- Xeon Platinum 85xx
- Others

Countries System Share



- United States
- Japan
- Germany
- China
- France
- Canada
- Italy
- South Korea
- Taiwan
- Brazil
- Others

性能比較

国別比較

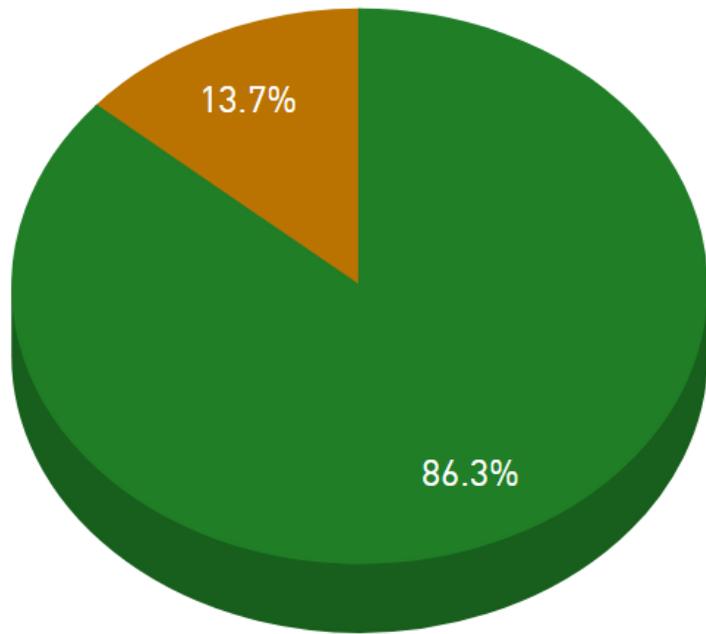


Top500から見たスーパーコンピュータの動向

<https://top500.org/>

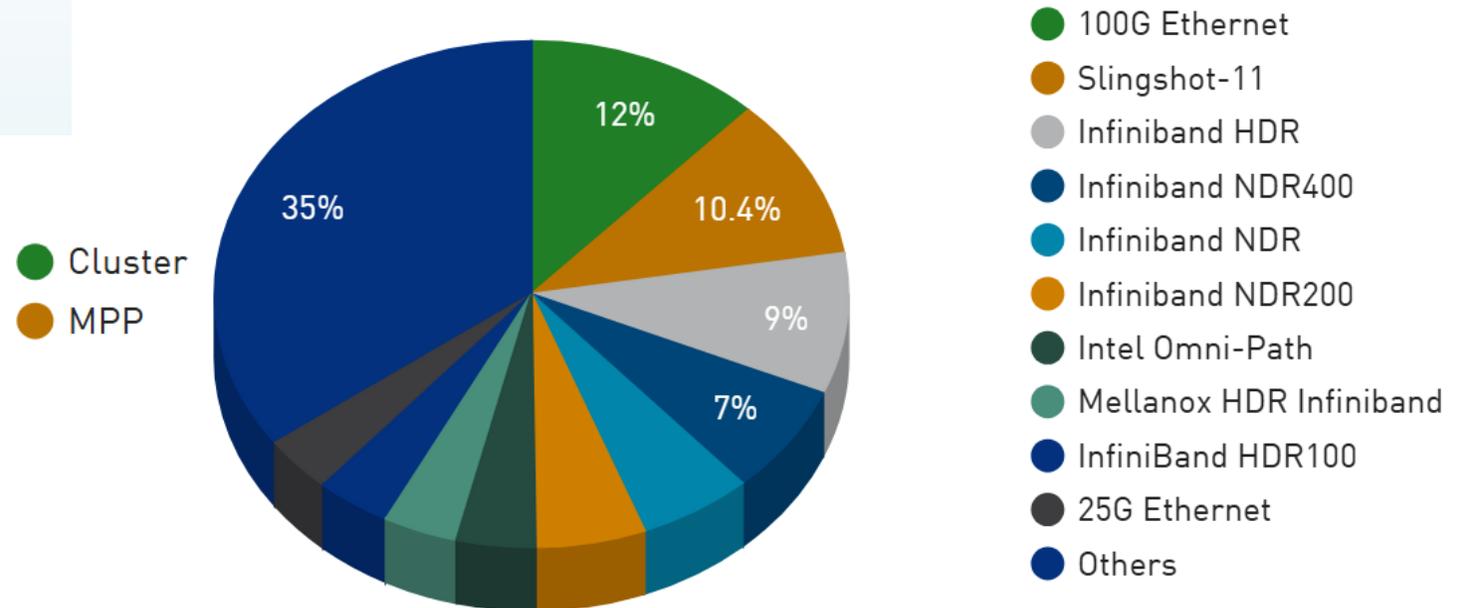
2025年11月

Architecture System Share



アーキテクチャ比較

Interconnect System Share



システム間接続比較

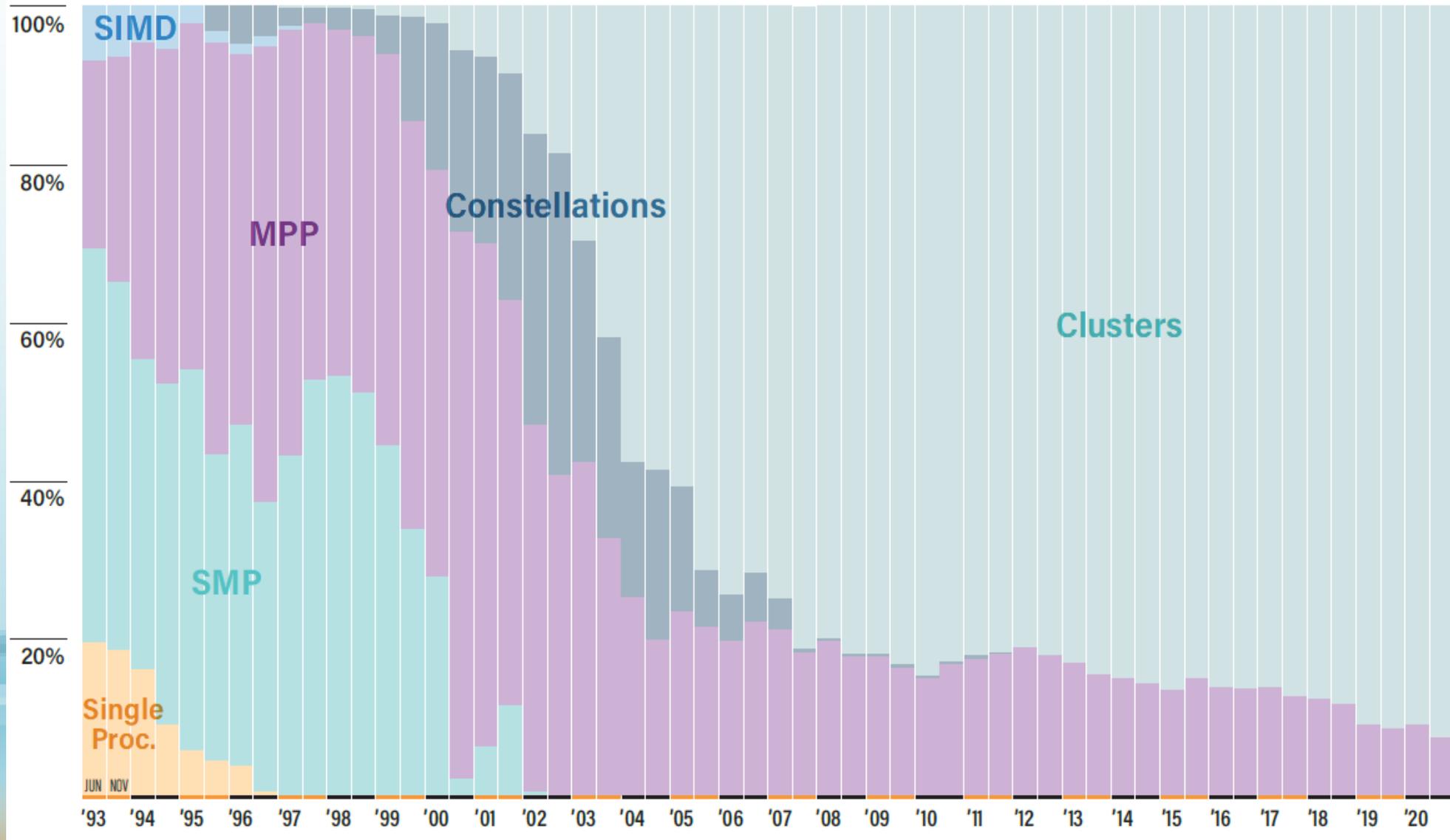
Slingshot【 HPE(旧Cray)】は、HPCなどの大規模システムの中核をなす独自のインターコネクト。
Slingshot-11は、Slingshot-10のConnectX-5が100Gbps×2だったのに対し、200Gbps×2になり、Host I/Fも2つ



Top500から見たスーパーコンピュータの動向

Architectures

<https://top500.org/>
構成比較



1998年の
Top500情報

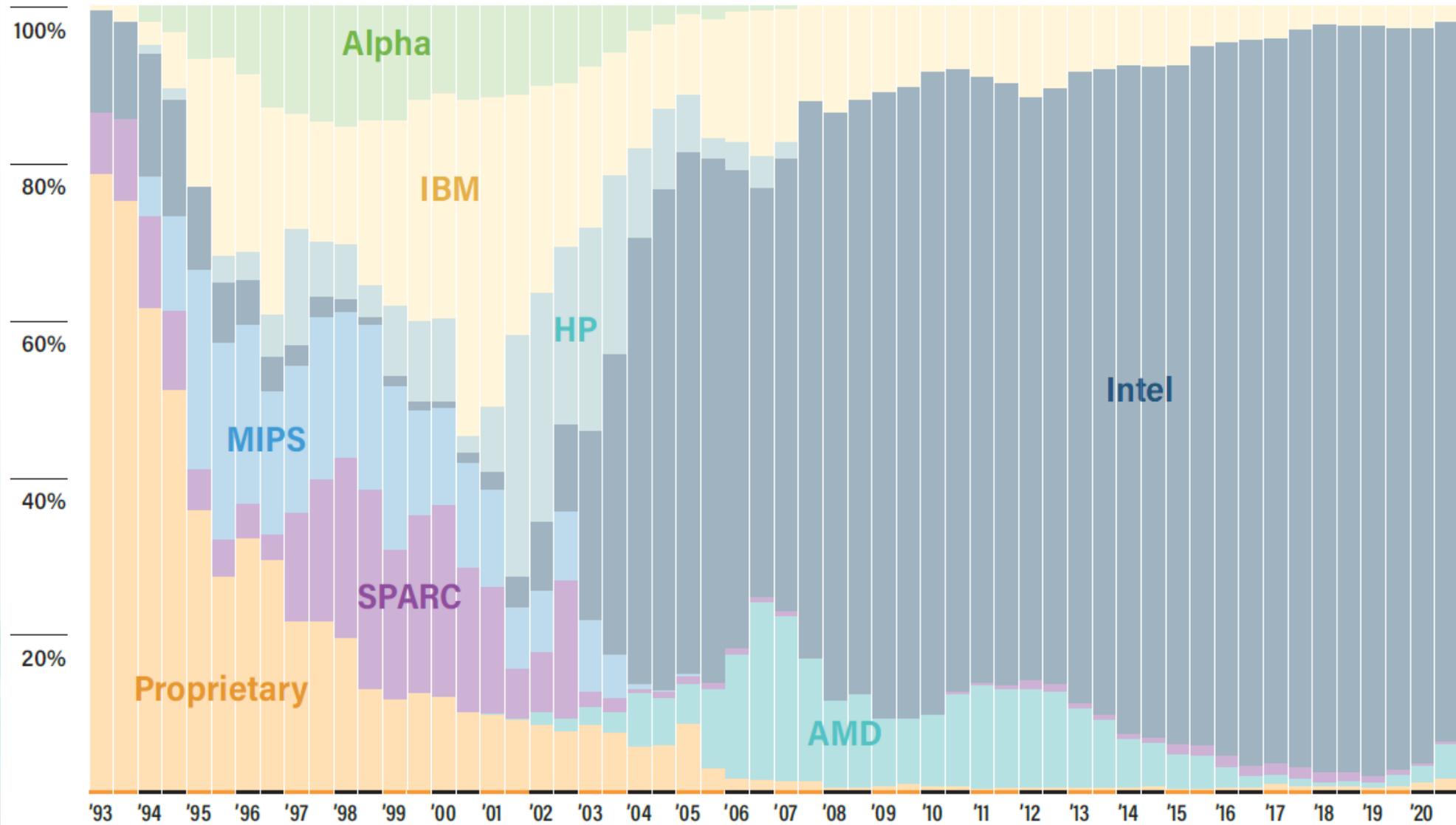
Rank	Manufacturer	Computer	Year	Processors	RMax	Processor Fan	System Family	Operating System	Architecture
1	Intel	ASCI Red	1997	9152	1338	Intel IA-32	intel Paragon	Paragon OS	MPP
2	Cray Inc.	T3E1200	1998	1084	891	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
3	Cray Inc.	T3E900	1997	1324	815	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
4	SGI	ASCI Blue Mou	1998	6144	690.9	MIPS	SGI Origin	IRIX	MPP
5	Cray Inc.	T3E900	1997	876	552	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
6	IBM	ASCI Blue-Pac	1998	1952	547	Power	IBM SP	AIX	MPP
7	Cray Inc.	T3E1200	1998	612	509	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
8	IBM	ASCI Blue-Pac	1998	1344	468.2	Power	IBM SP	AIX	MPP
9	Cray Inc.	T3E900	1997	700	449	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
10	Cray Inc.	T3E	1998	1084	448.6	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
221	Cray Inc.	T932/321024	1998	32	29.36	Cray	Cray Vector	UNICOS	SMP
222	Cray Inc.	T932/321024	1996	32	29.36	Cray	Cray Vector	UNICOS	SMP
223	Cray Inc.	T932/321024	1997	32	29.36	Cray	Cray Vector	UNICOS	SMP
224	Cray Inc.	T932/321024	1995	32	29.36	Cray	Cray Vector	UNICOS	SMP
225	Sun Microsystem	HPC 10000 33	1998	54	29.29	Sparc	Sun UltraHPC	Solaris	SMP
226	IBM	SP P2SC 135	1998	76	29.24	Power	IBM SP	AIX	MPP
227	Cray Inc.	T3E	1996	66	29.1	Alpha	Cray T3E/T3D	UNICOS	MPP
228	IBM	SP P2SC 120	1998	84	29.07	Power	IBM SP	AIX	MPP
229	IBM	SP P2SC 160	1998	62	28.54	Power	IBM SP	AIX	MPP
230	IBM	SP P2SC 160	1997	62	28.54	Power	IBM SP	AIX	MPP
231	Hitachi	S-3800/480	1994	4	28.4	Hitachi	Hitachi Vector	VOS3/HAP/ES	SMP
232	Hitachi	S-3800/480	1995	4	28.4	Hitachi	Hitachi Vector	VOS3/HAP/ES	SMP
233	Hitachi	S-3800/480	1993	4	28.4	Hitachi	Hitachi Vector	VOS3/HAP/ES	SMP
234	Sun Microsystem	HPC 10000 33	1998	52	28.32	Sparc	Sun UltraHPC	Solaris	SMP
235	Sun Microsystem	HPC 10000 33	1998	52	28.32	Sparc	Sun UltraHPC	Solaris	SMP



Top500から見たスーパーコンピュータの動向

<https://top500.org/>

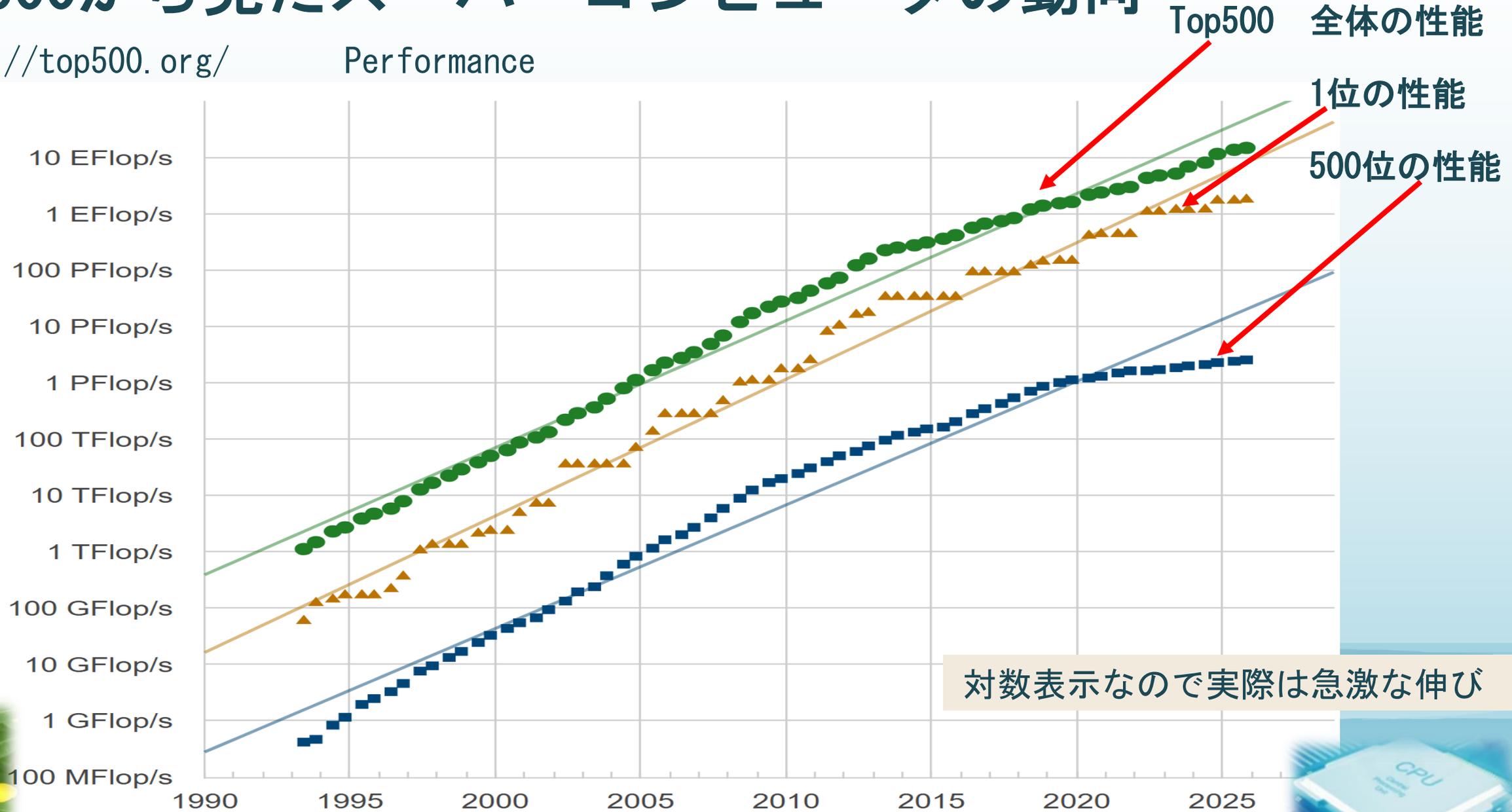
Chip Technology



Top500から見たスーパーコンピュータの動向

<https://top500.org/>

Performance



対数表示なので実際は急激な伸び



2025年11月のTop500に入った日本のシステムは34件あり、その中の上位5システムは以下の通り

➤7位が富岳

➤16位がABC I 3.0 / 研究用

➤17、25、27位がSoftBankのIntelを使ったシステム / 産業用

Xeon Platinum 8480C 56C 2GHz
とNVIDIAのGPUを利用して構築

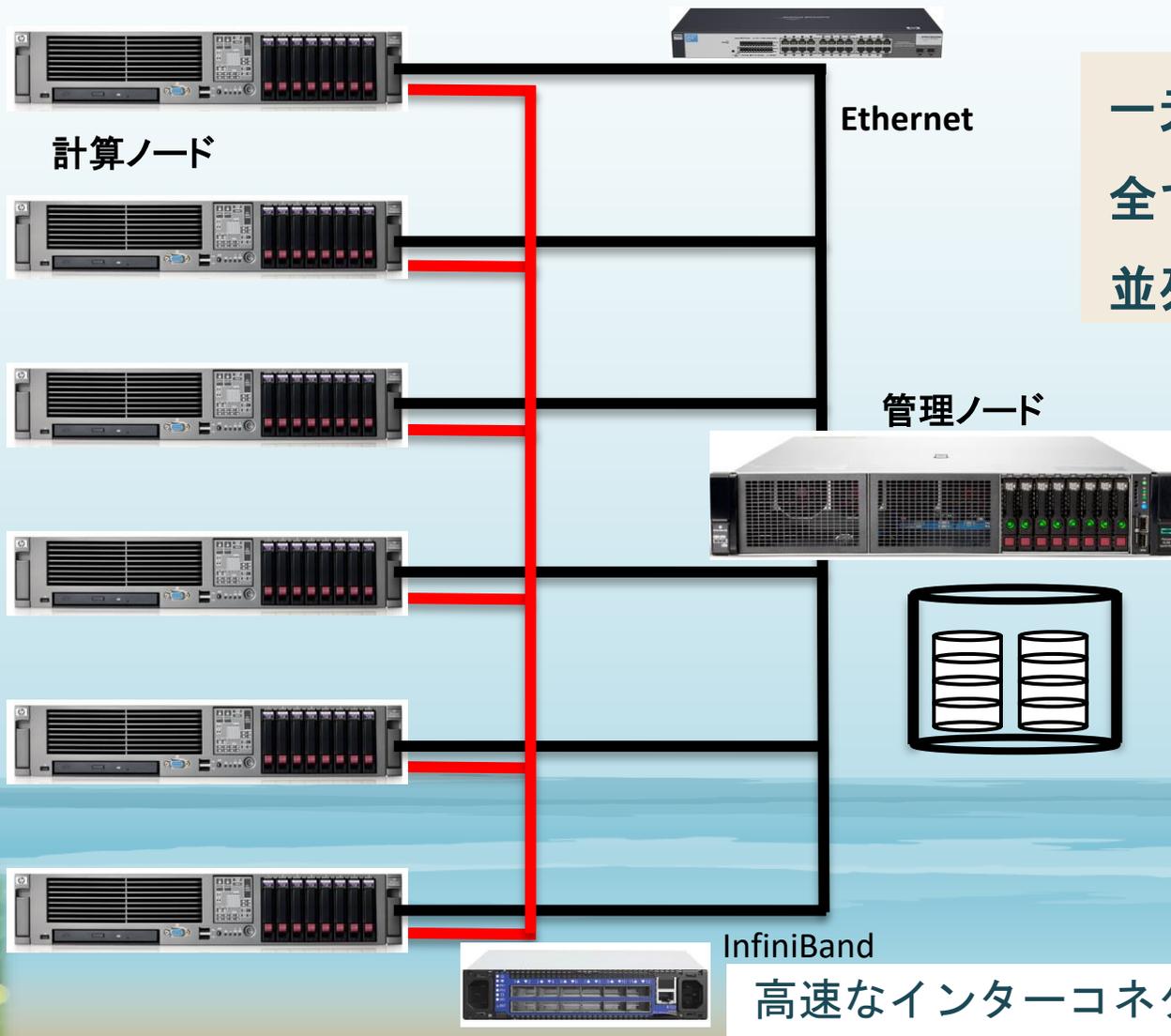


クラスタの概要



クラスタのイメージ/ハードウェア

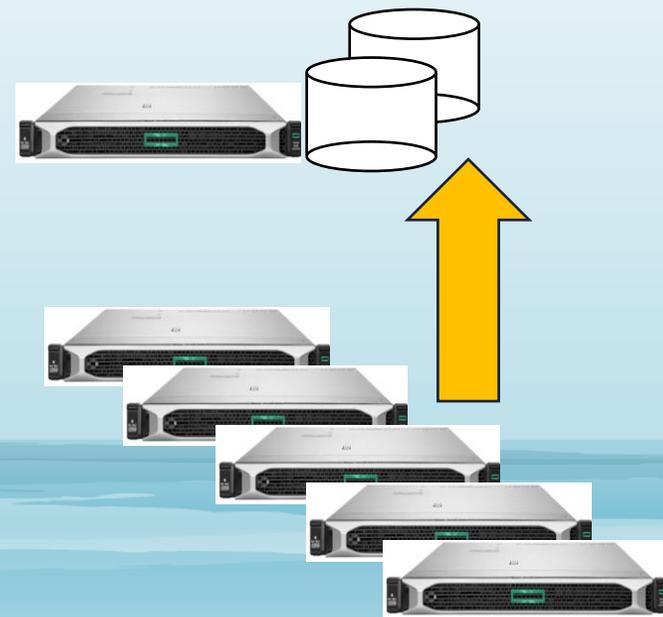
以下の図はラックマウントタイプのサーバーでクラスタを構成した参考イメージ図



一元化されたユーザ管理

全てのノードからアクセス可能な共有データ

並列アプリケーション



クラスタシステム

- クラスタとは日本語で言うと「葡萄の房」という意味がありますが、この葡萄の房のように複数のコンピュータをあたかも一つのコンピュータの様に扱えるようにしたシステム
- 衝突計算や車の外部流れでCAEを利用するにはコンピュータは必須の道具で、高速なコンピュータシステムを必要とします。この為にCAE分野ではクラスタコンピュータが利用される機会が多くなっております。

クラスタの構成要素は

- 高性能コンピュータ (OS、高速メモリ、高速ディスク、——)
- 共有ファイルサーバー
- 高速な通信 (現在はInfiniBandが一般的)
- アプリケーションはMPIを使ったソフトが主流
- ジョブ管理システム (PBSProfessional、slurm、LSF、——等)

を利用して高速計算ができるようにしたシステム。

高速計算でなくても、大量の計算を効率的に処理できることも重要。



ワークステーションでクラスタを構成した参考イメージ図

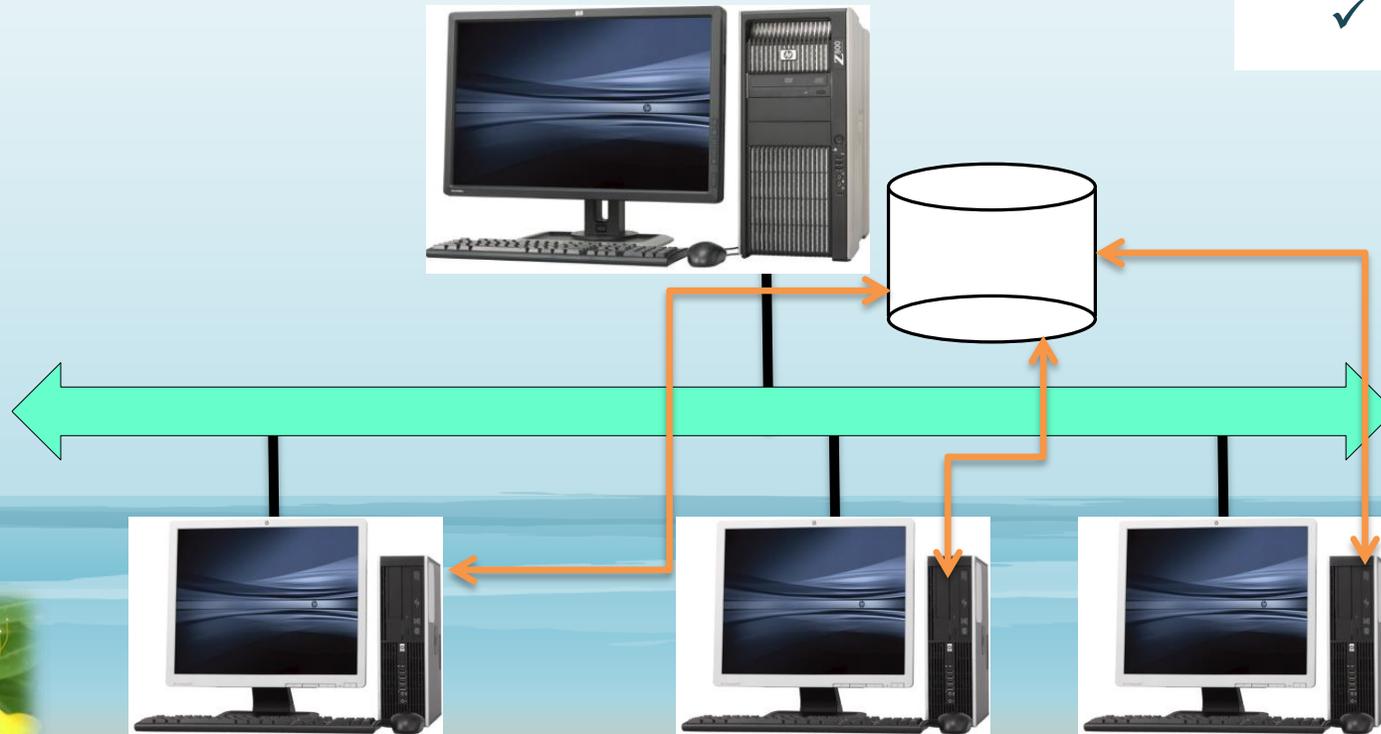
高速なインターコネクトで接続するのが最善

高速なイーサネット接続でもOK

小規模システム

ラック型に比べて

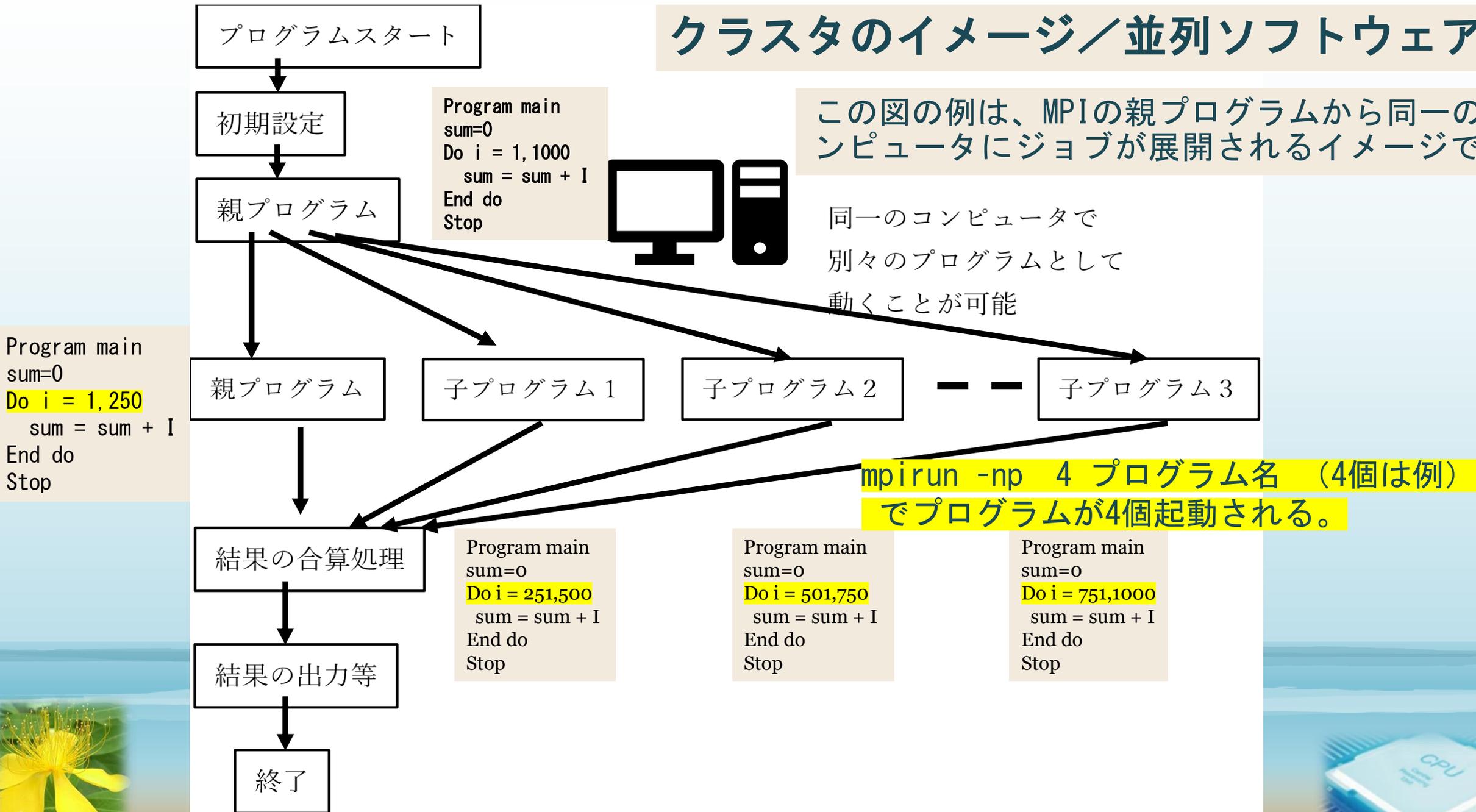
- ✓ オフィス環境でも構築可能
- ✓ オフィスで使う用途の為、音が静か
- ✓ 高速なCPUを搭載



クラスタのイメージ/並列ソフトウェア

この図の例は、MPIの親プログラムから同一のコンピュータにジョブが展開されるイメージです。

同一のコンピュータで
別々のプログラムとして
動くことが可能



クラスタシステム

クラスタとは、どのようなところで使われるか考えてみましょう。

- CAEの大規模計算を行う衝突解析のサーバー
- CAEの大規模計算を行う流体解析のサーバー
- 天気予報のシミュレーション
- 地球科学
- その他の高速計算を要する処理
 - 研究所、大学研究室での高速計算
 - 人工知能や機械学習分野での大規模計算
 - 金融分野での高速計算 —— 等々

で使われており、非常に多くの分野で使われている。特に衝突解析、流体解析、天気予報等ではメッシュを細かくして、より精度向上を目指しているので、大規模なクラスタを必要としている。

気象庁の数値予報

1959年に日本の気象庁でIBM704を導入。気象庁は数値予報モデルの改良に力を注ぐとともに、5～8年毎に最新のコンピュータに更新して計算能力を向上させ、また気象衛星等による新たな観測データの利用も進めて、数値予報の精度を格段に向上させました。

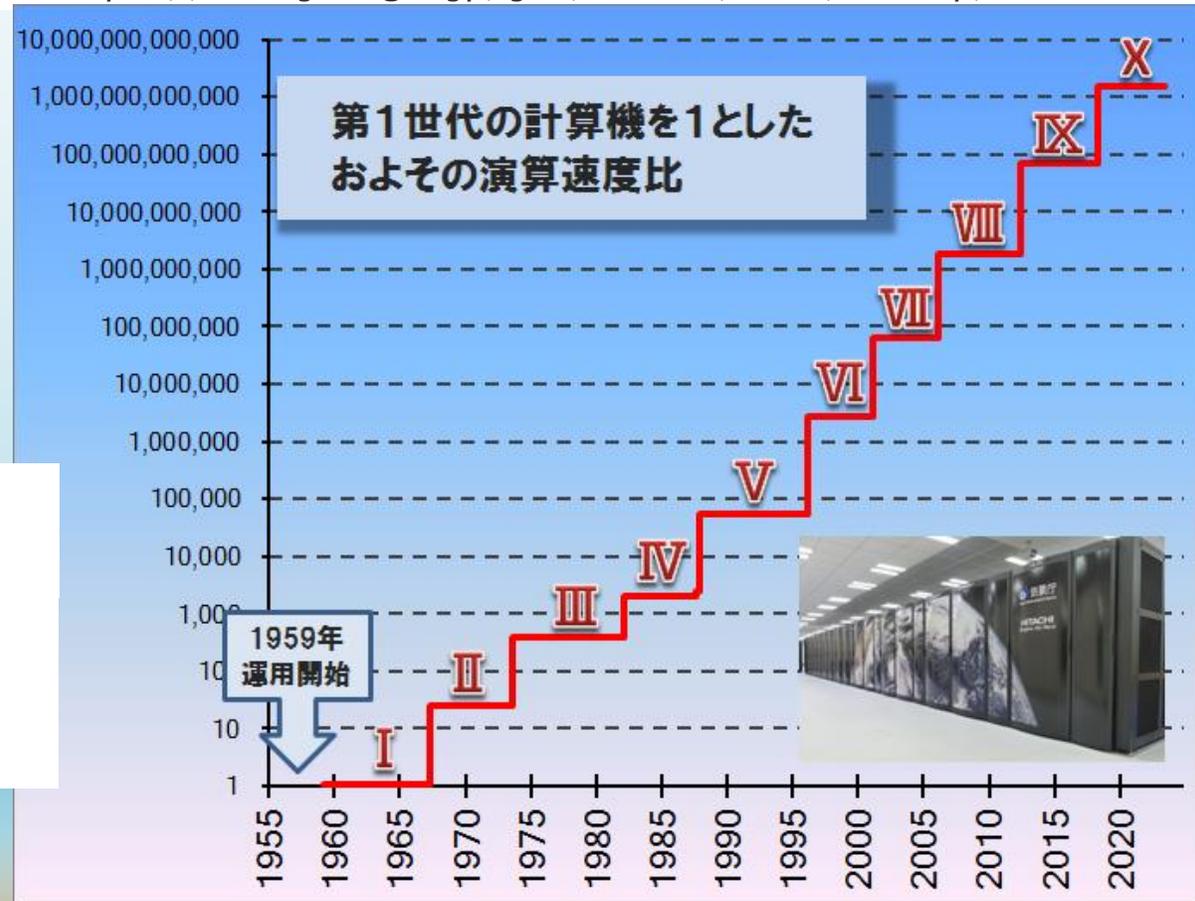
気象庁のホームページ：<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-2.html>より



数値予報開始当時のコンピュータ

気象庁のコンピュータの変遷 10兆倍の性能
最新システムの理論性能は 18.16PFlops

最新のシステムは、Intel Xeon 8160を使ったクラスタシステムで、5632ノードでコア数は27万コアに



クラスタの歴史と構成要素

クラスタの歴史は、古くはグリッドコンピューティングからになるかと思いますが、一般にクラスタとして広く普及し始めたのはBeowulfクラスタが出た2000年頃から

Beowulfクラスタ自体は1994年にNASAで構築した16個のプロセッサを10MbpsのEthernetで接続したシステム

このBeowulfクラスタの接続はEthernet、FileServerはnfs、APIはMPIといった具合で、特に特殊な機器やソフトウェアを使っているわけではなく、標準的なツールを使って構築。

クラスタに特化して開発されたものとして

- 分散ファイルシステム (例 : Luster Filesystem)
- クラスタジョブ管理システム (例 : PBSProfessional、LSF、Slurm、NQS、——)
- 高速インターコネクト (例 : Myrinet、InfiniBand、——)

等が主なツールです。

クラスタの構成要素

参考情報



クラスタの構成要素／ハードウェア

コンピュータのハードウェアにはノートPCから8CPU(ソケット)を搭載したようなラックマウントのサーバータイプまで様々なコンピュータがありますが、クラスタを構築するには、主にラックマウント型のコンピュータが使われます。

- 高性能CPU
- 高速なインターコネクト
- 高速なイーサネット
- GPU
- 高速なメモリ
- ストレージ



クラスタの構成要素／ソフトウェア

➤ NFSファイルシステム

並列分散アプリケーションを作成した場合にはネットワーク経由で同じファイル領域を参照、書込みする必要がありますので、NFSが必須

➤ NIS（ユーザ管理）

クラスタではユーザ管理が重要。クラスタ内で同じグループID、ユーザIDを持っていないと一貫した計算ができない

➤ Compiler

並列分散アプリケーションを作るうえではMPIライブラリを利用したアプリケーションをFortranやC言語を用いて作成する必要がある

➤ MPI

分散アプリケーションを作成する必須のライブラリ

➤ ジョブ管理システム

ジョブ実行するのに便利なツール(slurm、PBS等)

クラスタの構成要素／ソフトウェア

クラスタを構成する計算サーバーのソフトウェアは以下のようなソフトウェアが使われます。ここで一番重要なのはOSかと思えます。OSは主にLinuxですが、Windowsでもクラスタを構築できます。

- OS
- MPI
- OpenMP
- ジョブ管理
- ユーザ管理
- ファイルシステム



MPIの実行イメージ

```
$ mpirun -np 4 ./prime_mpi10  
31 August 2022 10:47:24.951 AM
```

```
PRIME_MPI  
FORTRAN90/MPI version
```

An MPI example program to count the number of primes.
The number of processes is 4

N	Pi	Time
1	0	0.838380E-04
2	1	0.549096E-05
途中	省略	
524288	43390	19.4653

```
PRIME_MPI:  
Normal end of execution.
```

```
31 August 2022 10:47:51.435 AM
```

```
0 used. 3262860 avail Mem  
SHR S %CPU %MEM TIME+ COMMAND  
3756 R 100.0 0.2 0:04.80 prime_mpi10  
3448 R 100.0 0.1 0:04.78 prime_mpi10  
3444 R 100.0 0.1 0:04.79 prime_mpi10  
3448 R 99.7 0.1 0:04.78 prime_mpi10  
9612 S 0.3 4.8 8:30.43 mysqld
```

```
133.125.40.37 - user1@gw: ~ VT  
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)  
top - 10:47:29 up 7 days, 20:49, 3 users, load average: 0.96, 0.28, 0.14  
Tasks: 135 total, 5 running, 130 sleeping, 0 stopped, 0 zombie  
%Cpu(s): 100.0 us, 0.0 sy, 0.0 ni, 0.0 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st  
KiB Mem : 4044816 total, 655340 free, 372292 used, 3017184 buff/cache  
KiB Swap: 4194300 total, 4194300 free, 0 used. 3262860 avail Mem  
PID USER PR NI VIRT RES SHR S %CPU %MEM TIME+ COMMAND  
20865 siwata 20 0 341880 6704 3756 R 100.0 0.2 0:04.80 prime_mpi10  
20866 siwata 20 0 341880 5776 3448 R 100.0 0.1 0:04.78 prime_mpi10  
20868 siwata 20 0 341880 5768 3444 R 100.0 0.1 0:04.79 prime_mpi10  
20867 siwata 20 0 341880 5772 3448 R 99.7 0.1 0:04.78 prime_mpi10  
31278 mysql 20 0 2117508 193628 9612 S 0.3 4.8 8:30.43 mysqld  
1 root 20 0 191284 4280 2632 S 0.0 0.1 1:30.36 systemd  
2 root 20 0 0 0 0 S 0.0 0.0 0:00.06 kthreadd
```



OpenMPの実行イメージ例

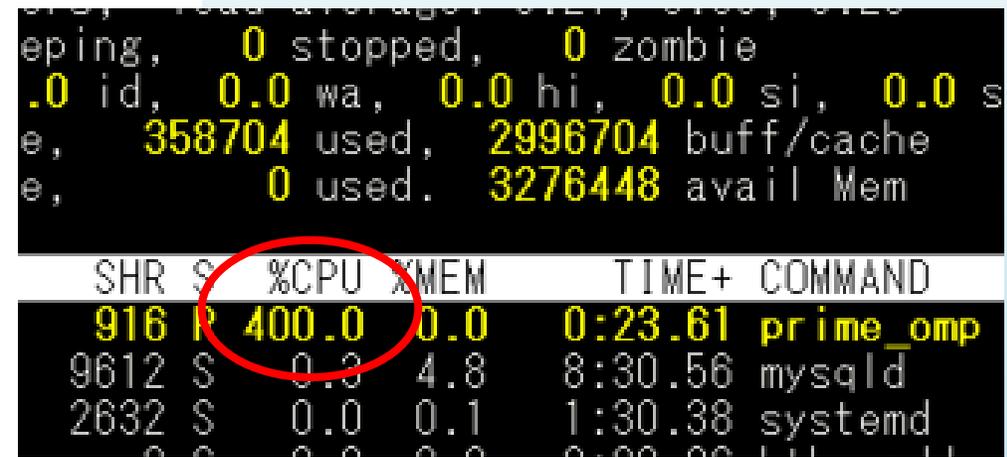
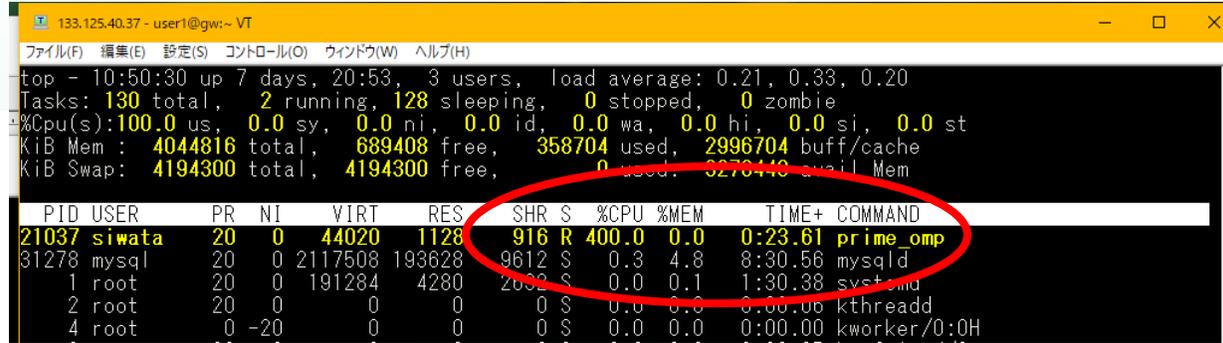
```
$ ./prime_omp
```

```
PRIME_NUMBER_Single_Process
FORTRAN90/Single version
```

```
Number of processors available = 4
Number of threads = 4
```

N	num_Prime	Time
1	0	0.000092430040
途中	省略	
1000000	78498	0.064150992082
10000000	664579	1.629824514035
100000000	5761455	44.098705629935

```
PRIME_NUMBER_OPENMP
Normal end of execution.
Time of operation was 45.796025102000002 sec
```



クラスタの利用方法

クラスタ利用な一般的な形態／会話型で使うのは非効率

1. ワークステーションもしくはデスクトップでモデル作成、条件設定等を行い、解析計算の前処理を行う。モデルデータは共有ファイルシステムにおいて処理を行う。
2. 前処理が終了したら、利用した前処理アプリケーションから自動的にクラスタシステムにジョブを投げるか、ジョブ実行スクリプトを作成してジョブを投入する。
3. ジョブの終了はメールでジョブ投入者に知らせるか、ジョブ投入利用者の端末に実行状況を表示してわかるようにする。
4. ジョブが終了したら、共有ファイルに結果が書かれているので、その結果を利用して後処理を行う。

HPC分野のジョブの特徴

クラスタシステムで計算する場合は、CAE解析で計算時間の長いものは数日から数週間もかかるモデルがありますので、並列数を増やして数時間で終了するように環境構築をする必要があります。

この為にはコア数（CPU数）、メモリ、ストレージ、インターコネクタ（ノード間的高速接続）の設計、選択が重要になります。

ジョブの投入方法は「ジョブ管理ソフトウェア」としてslurm、PBSProfessional、LSF (IBM Spectrum LSF)、WindowsServerのHPCpack等を利用することになります。



ジョブ管理

➤ PBSProfessional

Altair社が販売している有償のソフトウェア

➤ OpenPBS

PBSProfessionalの無償版と言えるソフトウェア

➤ LSF (IBM Spectrum LSF)

昔、カナダのPlatform社が出していたLSFをIBMが買い取って有償版として出している。多くのLinuxやWindowsシステムでもサポートしている。

➤ HPCpack

Microsoftが出しているWindows OS向けのジョブ管理システム。2016からはLinuxもサポートするようになってきている。最新版は2019

➤ Slurm

無償のジョブ管理ソフトウェア。米国の研究機関、コンピュータメーカー等で共同開発されたもの。TOP500では60%近くのシステムで使われている。サポートとしては有償でサポートしている会社もある。最新の更新は2022年8月で Versionは22.05.3

➤ SGE (SunGridEngine)

Sunが昔作ったGridEngineの無償版と言えるソフトウェア。GE2011.11p1が最新版