

「次世代AIとスーパーコンピュータ が実現する近未来に向けて」

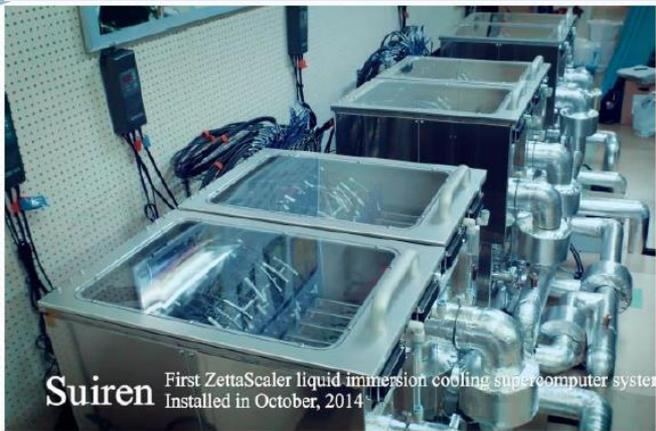
～ 国産技術による独自AIエンジンとスパコン開発のご紹介 ～

2017年 1月 20日

齊 藤 元 章

(株式会社PEZY Computing/株式会社ExaScaler/UltraMemory株式会社
株式会社Deep Insights/株式会社Infinite Curation)

6 ZettaScaler-1.x Supercomputer systems



Suiren First ZettaScaler liquid immersion cooling supercomputer system
Installed in October, 2014

Suiren (睡蓮) ZettaScaler-1.5
2014.10 Install 2016.5 Upgrade
(32node to 48node)



Shoubu Biggest System of ZettaScaler system with over 1 PetaFLOPS
Installed in June, 2015

Shoubu (菖蒲) ZettaScaler-1.6
2015.6 Install 2016.5 Upgrade



Suiren Blue (青睡蓮)
ZettaScaler-1.5
2015.5 Install
2016.5 upgrade

Ajisai (紫陽花)
ZettaScaler-1.6
2015.10 Install 2016.5 Upgrade



Computational Astrophysics Laboratory / RIKEN
Private office of Dr. Toshikazu Ebisuzaki (HPC/Astrophysics researcher)

Satsuki Configured with 20 bricks instead of normal 16 computation bricks
First TOP500 Supercomputer operated in a PRIVATE OFFICE

Satsuki (皐月) ZettaScaler-1.6
2016.5 Install



Sakura First TOP500 Supercomputer operated in a small BUSINESS OFFICE
Used for the development of FPLV3 power efficient processors

Sakura (さくら)
ZettaScaler-1.6
2016.5 Install

20年間のプロセッサ開発実績

創業者2名による合計13種類の大規模プロセッサ等開発履歴(現法人以前の11種)

極めて小規模な開発グループながらも、平均で1年半に1デザインの開発ペースで1995年から20年間に渡るプロセッサ等の開発を経験。

医療システム系法人内でのプロセッサ開発は、2005年以降の開発が鈍化。好不況の波が小さいとされる医療業界でも、収益悪化によって真っ先に開発費を削られるのがプロセッサ開発であった。過去3回の憂き目を見て、プロセッサ開発に完全に特化した事業体設立の必然性を痛感する。

Processor	Year	Process	Die Size (mm)	Clock	Gates	Architecture	Core number	FLOPS	Power	Memory
Version 1.0	1997	600nm	8.0*8.0	50MHz	1.2M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	Fixed Point	6W	SDR
Version 1.5	1999	350nm	7.3*7.3	80MHz	1.5M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	Fixed Point	3W	SDR
3DVR Version 1.0	1999	350nm	13.65*13.65	133MHz	0.8M	Hardwired Pipeline	2 Pipeline	-	32W	DDR
Version 2.0	2001	250nm	8.1*8.1	80MHz	1.8M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	160M	2W	SDR
3DVR Version 2.0	2001	160nm	15.6*15.6	250MHz	3.2M	Hardwired Pipeline	4 Pipeline	-	20W	DDR
Version 2.0 shrink	2003	180nm	6.5*6.5	167MHz	1.8M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	333M	1W	SDR
Version 2.5	2003	180nm	6.5*6.5	167MHz	2M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	333M	2W	DDR
DBF Version 1.0	2003	180nm	11.5*9.6	40MHz	2.5M	Hardwired Pipeline	-	-	10W	-
Version 3.0	2005	130nm	16.5*12.0	333MHz	34M	RISC+VLIW+SIMD	8 Core/40 ALU	13.3G	19W	DDR
Version 3.0 B	2005	130nm	9.5*12.0	250MHz	20M	VLIW+SIMD	1 Core/8 ALU	8G	6W	DDR
3DVR Version 3.0	2008	130nm	10.5*10.5	333MHz	5.5M	Hardwired Pipeline	2 Pipeline	-	10W	DDR2

プロセッサ専業開発期

2010年に設立したPEZY Computingでは、事業の状況に関わらずに、2年毎に1世代のプロセッサ開発の速度を維持

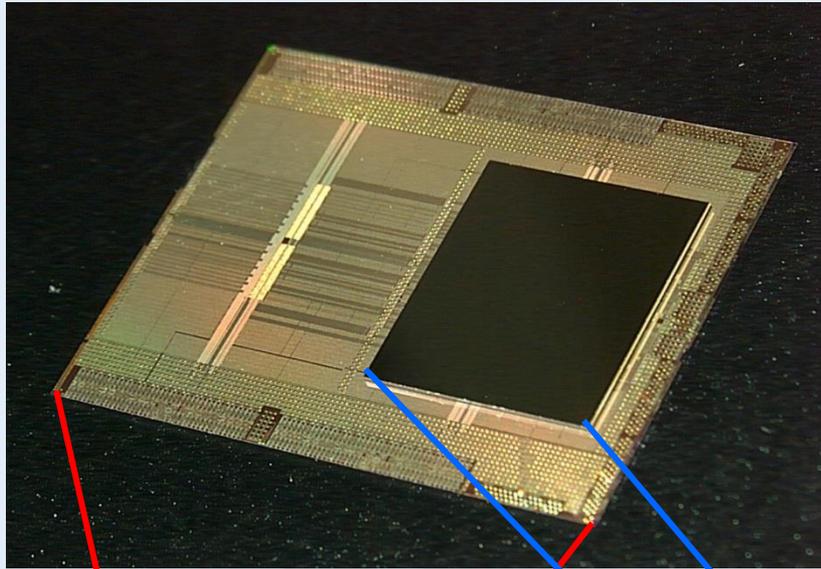
開発中のPEZY-SC2では2,048コアを、PEZY-SC3では8,192コアを集積する計画

PEZY-SC3以降では最先端プロセスを早期に利用可能とする目的から、Multi-Dieプロセッサ構成も計画

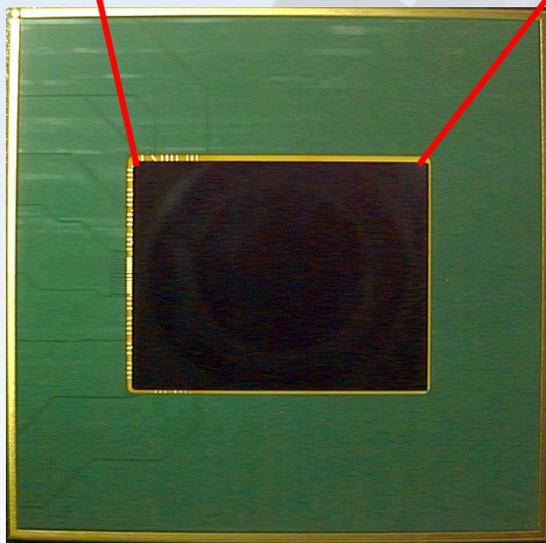
今後も世代毎に搭載するコア数を2倍ずつ増やして、最終的には**10kコアを大きく超える集積度**を目指す

Processor	Year	Process	Die Size (mm)	Clock	Gates	Architecture	Core number	FLOPS Double/Single	Power	Memory
PEZY-1	2012	40nm	21.0*16.8	533MHz	220M	RISC+SMT (MIMD)	512 Core	166/333G	35W	DDR3/Wide IO
PEZY-SC	2014	28nm	21.1 *19.5	733MHz	580M	RISC+SMT (MIMD)	1,024 Core	1.5/3.0G	70W	DDR4/Custom Ultra-Wide IO
PEZY-SC2 (under development)	2016	14/16nm	TBD	1GHz	2.4G+	RISC+SMT (MIMD)	4,096 Core	8.2/16.4T	100W	HMC or HBM/ Custom TCI Stacked DRAM
PEZY-SC3 (in plan)	2018	10nm	TBD	1.25GHz	5G+	RISC+SMT (MIMD)	8,192 Core	20/40T	TBD	Custom TCI/TSW Stacked DRAM
PEZY-SC4 (in plan)	2020	7nm	TBD	1.5GHz	10G+	RISC+SMT (MIMD)	16,384 Core	50 /100T	TBD	Custom TCI/TSW Stacked DRAM

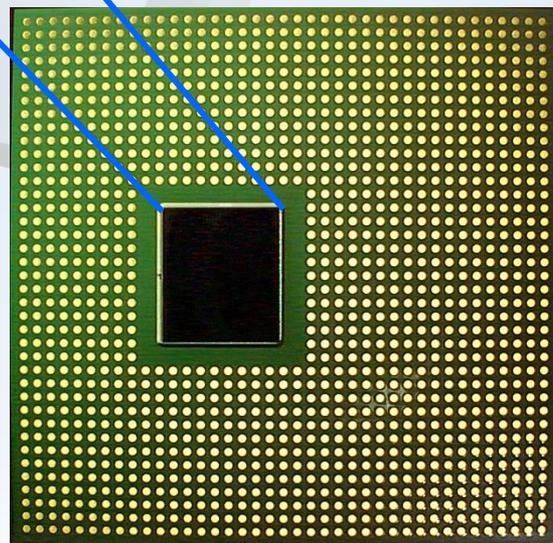
2012年に開発した512コア「PEZY-1」



メモリ帯域ボトルネックを解消すべく、「Wide-IO DRAM」をDie Ball面にバンプ接合したチップレベル3次元積層版

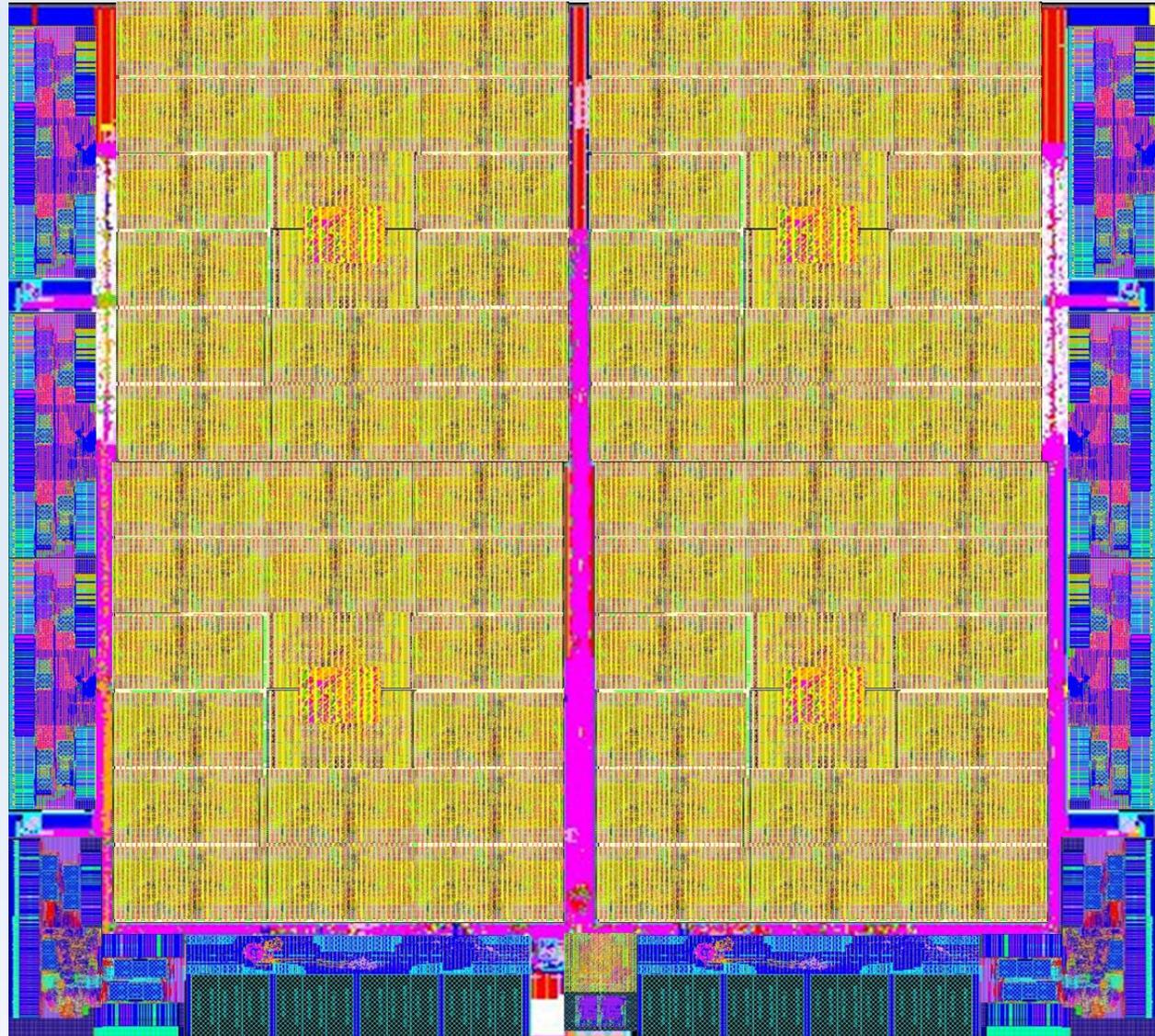


パッケージ表面



パッケージ裏（端子）面

2014年に開発した1,024コア「PEZY-SC」



僅か2cm角の半導体に、世界最多となる1,024個の独立演算コアを集積

Shoubu installed at RIKEN ACCC (in 2015)

ACCC: Advanced Center for Computing and Communication

2nd generation ZettaScaler-1.4 based supercomputer “Shoubu” installed at Riken ACCC has 2.0 PetaFLOPS performance just with 5 tanks.



RIKEN : Colors 知の旅人たち 全章 [Read More](#)

研究論文 (STAP細胞) に関する取組み、情報等について (2015年4月9日)
4つの方針：研究不正の調査・科学的検証の実施・研究論文の取下げ・再発防止の取組みについて掲載しております。

- 一般の方 >
- 研究者・学生の方 >
- 企業の方 >
- 報道関係の方 >
- 理研関係者 >

プレスリリース 

トピックス 

2015年6月25日

重力によって移動方向が変わらないオーキシンを発見



理研らの国際共同研究グループは、植物ホルモン「オーキシン」の一種であるフェニル酢酸 (PAA) が、重力によって移動方向が変わらないユニークな特徴を持つことを発見しました。 [続きを見る...](#)

2015年6月25日

ExaScaler及びPEZY Computingが、理化学研究所と共同研究契約を締結し理研情報基盤センターに2 PetaFLOPS級の液浸冷却スーパーコンピュータ「Shoubu (苜蓿)」を設置



株式会社ExaScalerと株式会社PEZY Computingは理研と共同研究契約を締結し、理研情報基盤センターにExaScaler-1.xの2PetaFLOPS級の液浸冷却スーパーコンピュータ「Shoubu (苜蓿)」を設置します。 [続きを見る...](#)



Shoubu installed at RIKEN ACCC (in 2015)

ACCC: Advanced Center for Computing and Communication

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	7,031.58	RIKEN	Shoubu - ExaScaler-1.4 80Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	50.32
2	6,842.31	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren Blue - ExaScaler-1.4 16Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband, PEZY-SC	28.25
3	6,217.04	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren - ExaScaler 32U256SC Cluster, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	32.59
4	5,271.81	GSI Helmholtz Center	ASUS ESC4000 FDR/G2S, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR, AMD FirePro S9150	57.15
5	4,257.88	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	39.83
6	4,112.11	Stanford Research Computing Center	XStream - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	190.00
7	3,962.73	Cray Inc.	Storm1 - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, Nvidia K40m	44.54
8	3,631.70	Cambridge University	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
9	3,614.71	TU Dresden, ZIH	Taurus GPUs - Bull bullx R400, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	58.01
10	3,543.32	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	54.60

Dominated Podium of Green500 list in July, 2015

Shoubu installed at RIKEN ACCC (in 2015)

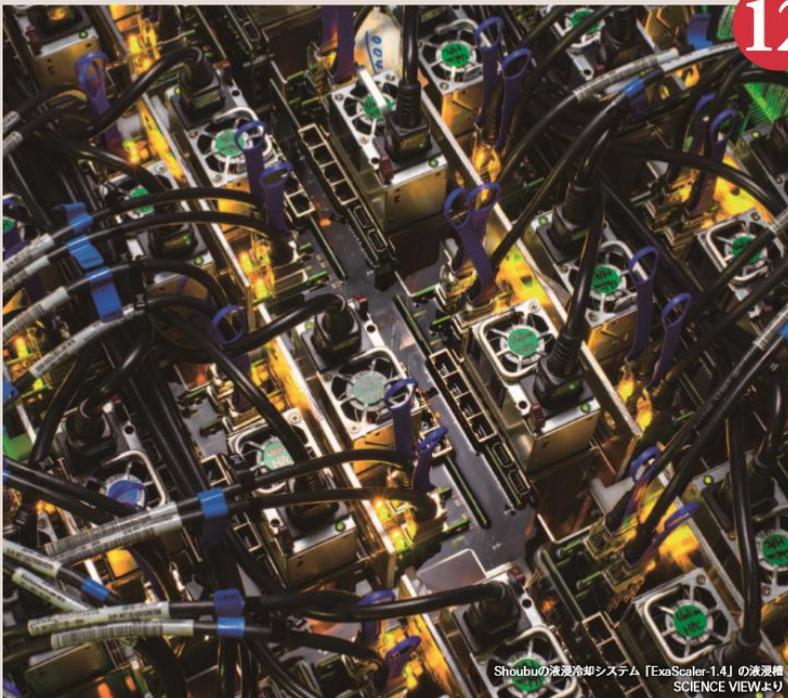
ACCC: Advanced Center for Computing and Communication

RIKEN NEWS

ISSN 1349-1229
理化学研究所

No.414 December 2015

12



Shoubuの液浸冷却システム「ExaScaler-1.4」の液浸槽
SCIENCE VIEWより

SCIENCE VIEW ⑫

1,024メニーコア搭載の液浸冷却スパコン
「Shoubu」が2期連続Green500世界1位獲得！

研究最前線 ⑬

キネシンは、なぜ迷子にならない？

研究最前線 ⑭

遺伝暗号を改変して
タンパク質の多様性を広げる

特集 ⑮

「京」を支える専方さん

TOPICS ⑯

・ インターンに聞く！
RIKENってどんなところ？
・ 新研究室主宰者の紹介

原酒 ⑰

水の中からこんにちは

SCIENCE VIEW

1,024メニーコア搭載の液浸冷却スパコン 「Shoubu」が2期連続Green500世界1位獲得！

2015年8月4日トピックス

スーパーコンピュータ（スパコン）は、計算速度などの性能向上に比例するように消費電力も増加してきた。その電力規模は、社会的に許容される限界に近づきつつある。「これからのスパコンには、消費電力を増やさずに、演算性能だけを向上させることが求められます。それには消費電力当たりの演算性能をいかに高めるかが、世界的な潮流です」と、理研情報基盤センター（ACCC）和光ユニットの黒川原佳ユニットリーダー（UL）は指摘する。

2007年から始まった、スパコンの消費電力当たりの性能を国際的に評価するGreen500において、2015年6月および11月付のランキングで、理研に設置された「Shoubu（苜蓿）」が2期連続で世界1位を獲得した。「Shoubuは独自のメニーコアプロセッサを用いることで、世界1位を獲得しました」と黒川UL。「スパコンを構成するLSI（大規模集積回路）の諸条件と面積によって、おおよその消費電力が決まります。従って、条件が一定の場合、一定面積当たりのLSI上でいかに演算性能を上げるかが、消費電力を抑える鍵になります。そのための有望な技術の一つがメニーコアプロセッサです」

コアとは実際にデータなどの処理を行うCPU（中央処理装置）のことで、メニーコアプロセッサは、一つのLSIチップにたくさんのコアを集積したものだ。従来は数十個のコアを集積したものがほとんどだったが、Shoubuには従来よりもシ

ブルで演算向きに特化した1,024個のコアを集積させたMIMD（Multiple Instruction, Multiple Data）型プロセッサ「PEZY-SC」が搭載されている（図1）。

PEZY-SCは、米国のシリコンバレーで医療用画像処理装置の会社を率いていた齊藤元章氏が、2010年に日本で株式会社PEZY Computingを設立し開発したものだ。ただし、高密度に基板実装されたメニーコアプロセッサの性能を低消費電力で、故障なく引き出すには、従来の空冷よりも効率的な冷却技術が必要だ。そこで齊藤氏は株式会社ExaScalerを2014年に設立し、液浸冷却技術の開発を進めた。「それはフロリナートというフッ素系の高沸点液体（174℃）に、LSIなどを搭載した基板複合体を丸ごと浸して冷却する技術です」と黒川ULは説明する（表紙）。

その液浸冷却技術とPEZY-SCを用いて初めて開発した小規模スパコン「Suiren（睡蓮）」が、高エネルギー加速器研究

画像提供：株式会社PEZY Computing

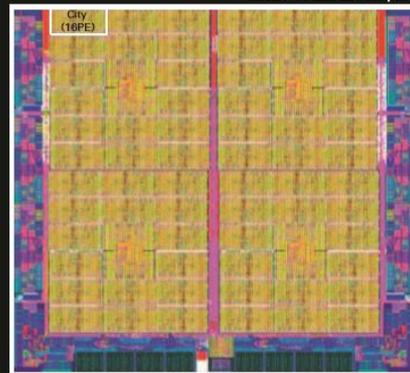


図1 PEZY-SC
21mm×19.6mmのLSIチップに、コアを1,024個集積している。左上のCity



最強の科学技術基盤の出現

1,000倍高速な
人工知能エンジン
(仮説の立案)

1,000倍高速な
次世代スパコン
(仮説の検証)

「最強の科学技術基盤」

人間には抽出できない複雑で無数の特徴点・特徴量から、更に規則性・法則性が抽出されることで膨大な仮説が立案され、それらが検証されることで、人間に構築できない次元の理論が、多数生まれてくることに

(ノーベル賞級ではなく、「新しいノーベル賞」が幾つも創設されるレベルの理論が次々と産み出される)

AIエンジンとスパコンの開発方向は真逆

次世代スパコン:

少なくとも倍精度 (DP: 64bit) 浮動小数点演算が必要
今後、4倍精度 (128bit)、8倍精度 (256bit)、16倍精度 (512bit) といった多倍長演算が必要になることに

新AIエンジン:

単精度 (SP: 32bit) 浮動小数点演算が基本
半精度 (HP: 16bit)、1/4精度 (8bit) で良い場合もあり、
1/8精度 (4bit)、1/16精度 (2bit)、更にはビット演算でも
十分な事例も報告が出て来ている
一方で、メモリ帯域とメモリ容量への要望は際限がない

1チップで100万コア、100TB/s、DRAM一体、100Wの
積層型半導体エンジンが必要

⇒ 1年半での製品化を予定

スパコンの性能向上速度が鈍化傾向

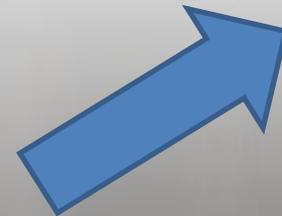


2020年、5nm世代の液浸冷却スパコン

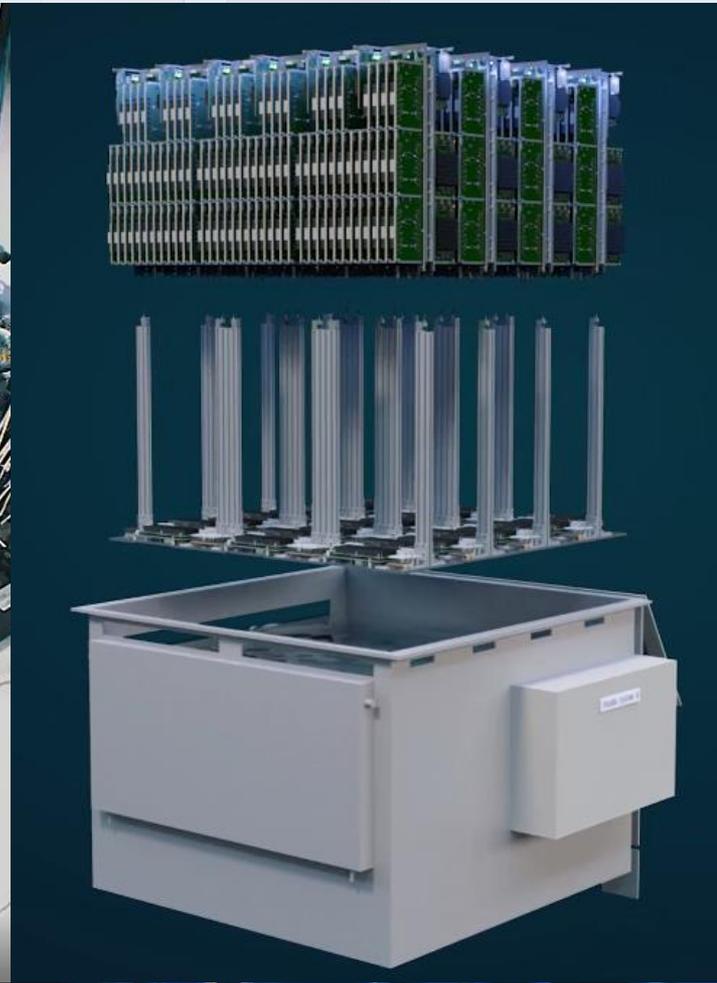
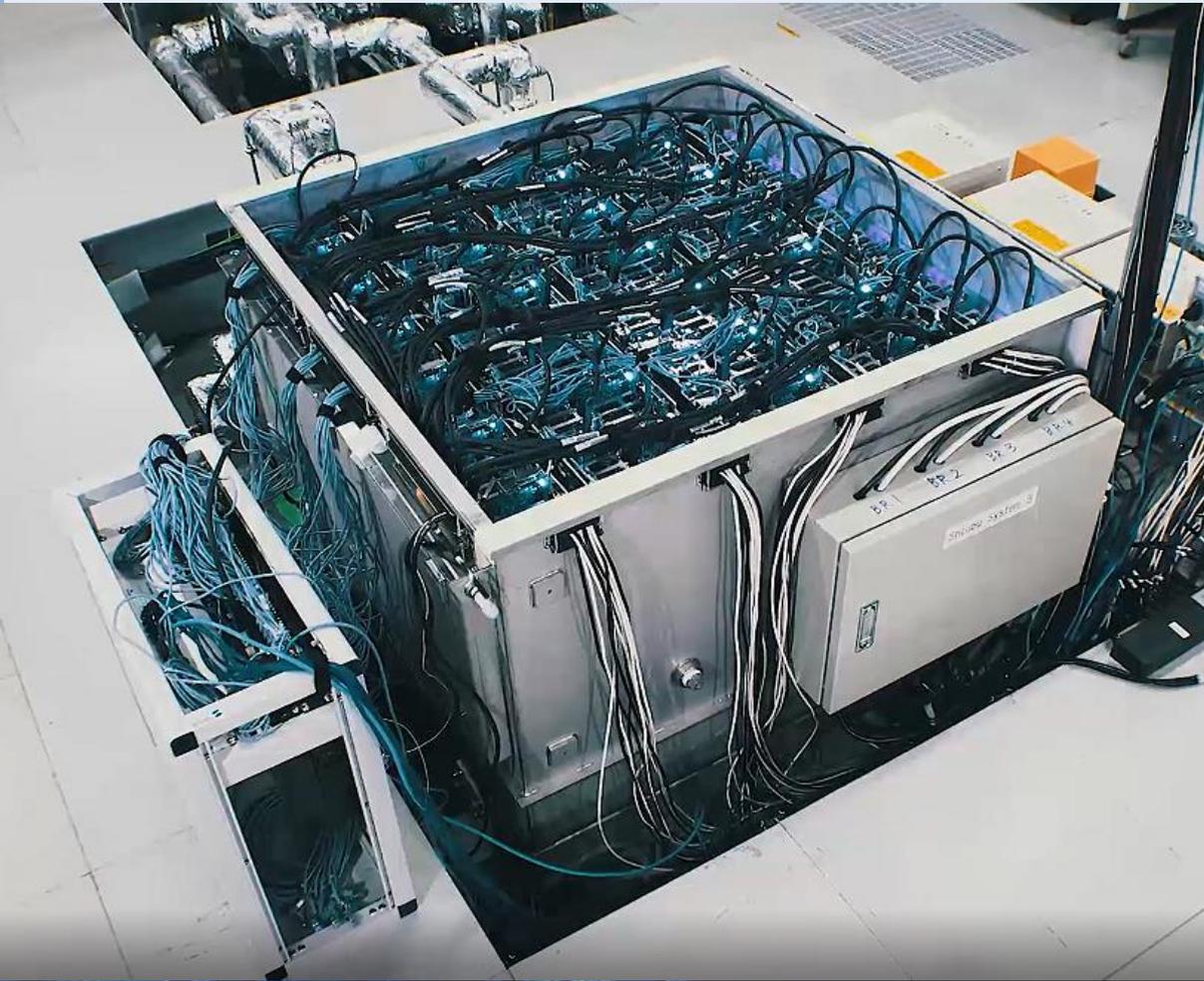
- 第5世代となる超メニーコアプロセッサ「PEZY-SC4」
(16,000コア, 50TFLOPS, 5nmプロセス, 25TB/s帯域, 64bit CPU内蔵)
- 消費電力効率: 100 GFLOPS/W (1Wで1秒間に1千億回)
- タワーサーバ性能: 100 PetaFLOPS (1台で「京」の10倍)
(冷却系を含めた体積効率・性能密度は「京」の1万倍以上)

タワーラック
864台の

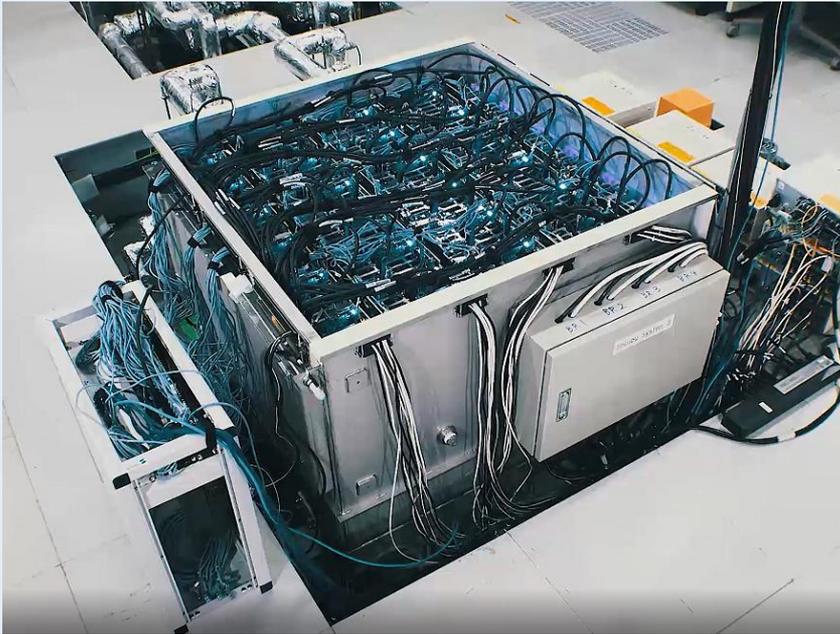
京 × 10
K computer



ZettaScaler-1.8 is under intensive testing Over 1 PetaFLOPS/m³ performance density



ZS-1.6/2.0/3.0/4.0 performance scaling



With the same size of immersion liquid cooling tank,

ZettaScaler-1.6: 0.25 PetaFLOPS/Tank (x1) in 2016

ZettaScaler-2.0: **1.5** PetaFLOPS/Tank (**x6**) in 2017

ZettaScaler-3.0: **8.0** PetaFLOPS/Tank (**x32**) in 2018

ZettaScaler-4.0: **20.0** PetaFLOPS/Tank (**x80**) in 2020

ZettaScaler-3.0/3.5 will exceed EFLOPS



PEZY-SC2 with 4 of 3D stacked DRAM, For ZettaScaler-2.0 set up (mechanical sample)

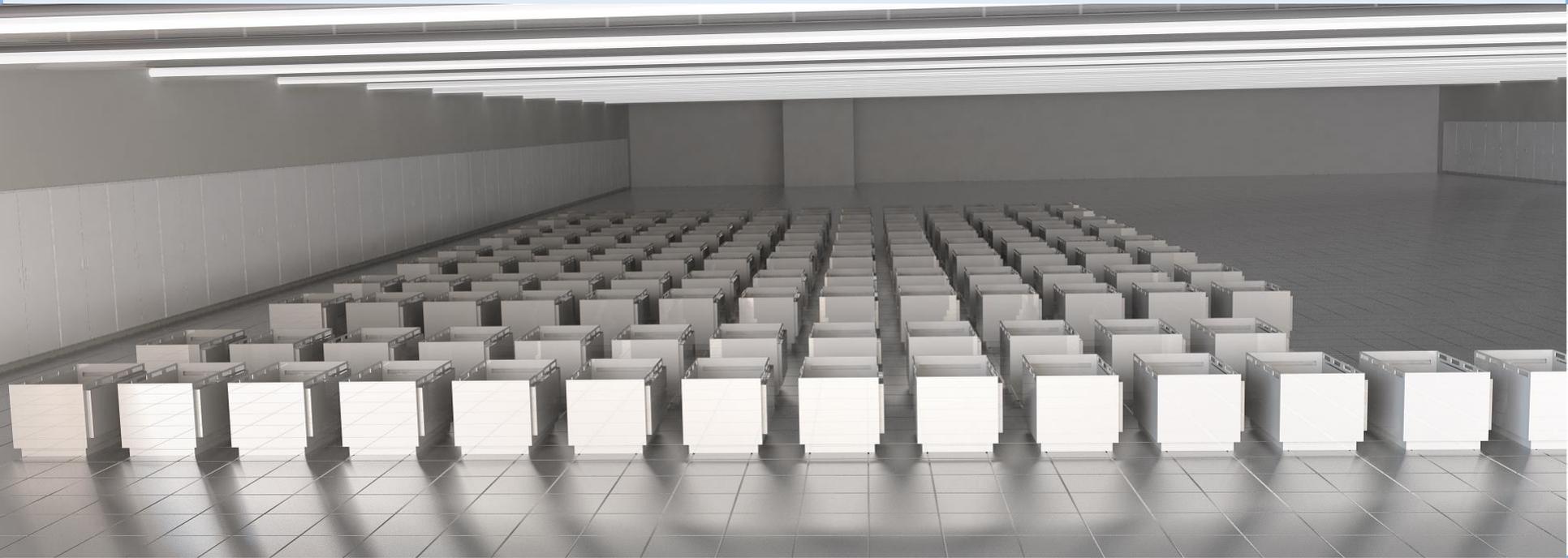
Quite innovative “Wire-less”, “Ultra Wide-band” and
“Ultra Energy-efficient” I/F with TSV free 3D stacked
Ultra-fast DRAM providing 2TB/s Data Bandwidth



PEZY-SCx Processor Roadmap

	PEZY-SC	PEZY-SC2	PEZY-SC3	PEZY-SC4
Process	28nm	16nm	7nm	5nm
Die Size	412mm ²	620mm ²	700mm ²	740mm ²
Number of Cores	1,024	2,048	8,096	16,192
Core Voltage	0.9V	0.8V	0.65V	0.55V
Core Clock	733MHz	1GHz	1.33GHz	1.6GHz
DRAM-IO	DDR4	DDR4	DDR4/5	DDR5
DDR Clock	2,133MHz	2,666MHz	3.6GHz	4GHz
Port数	8	4	4	4
Wide-IO Clock	-	2GHz DDR	2GHz DDR	3GHz DDR
Wide-IO Width		1,024bit	3,072bit	4,096bit
Wide-IO Ports		4	8	8
Memory Bandwidth	153.6GB/s	2.1TB/s	12.2TB/s	24.4TB/s
Peripheral IO	PCI3e Gen3	PCIe Gen4	Custom Optical	Custom Optical
Peripheral IO lane	24	32	128	512
Peripheral IO Bandwidth	32GB/s	64GB/s	256GB/s	1TB/s
DP Performance	1.5TFLOPS	4.1TFLOPS	21.8TFLOPS	52.5TFLOPS
SP Performance	3.0TFLOPS	8.2TFLOPS	43.6TFLOPS	105TFLOPS
HP Performance	-	16.4TFLOPS	87.2TFLOPS	210TFLOPS
Power Consumption	100W	200W	400W	640W
Power Efficiency	15GFLOPS/w	20.5GFLOPS/w	54.5GFLOPS/w	82.0GFLOPS/w
System Efficiency	6.7GFLOPS/w	15GFLOPS/w	40GFLOPS/w	60GFLOPS/w

ZettaScaler-3.0 system in 2019



We are planning to launch 20-30 PetaFLOPS system in 2017, which can easily go up to **100+ PetaFLOPS**, if we can get further funding

By the end of 2019, ZettaScaler-2.0 system will be upgraded to ZettaScaler-3.0 by PEZY-SC3 and UM-2 3D DRAM, which should exceed **1ExaFLOPS**

御清聴、有難う御座いました。

