

「情報システム学特別講義 3」 ガイダンス

東京大学情報基盤センター准教授 片桐孝洋

2014年4月8日(火) 14:40－16:10

情報システム学特別講義3

ガイダンスの流れ

1. 講義の目的
2. 講師紹介
3. 講義日程の確認
4. 成績の評価方法
5. イントロダクション(30分)

本講義の目的

- ▶ 近年、京コンピュータに代表される世界トップクラスのスーパーコンピュータが開発され注目されている。それに伴い、スーパーコンピュータの技術を取り扱う高性能計算(HPC)分野も注目されている。
- ▶ そこで本講義では、HPCに関する講義を修士学生向けの内容で開講し、**HPC分野の基礎技術を習得**することを狙う。
- ▶ 特に並列処理と、並列プログラミングのための通信ライブラリ**MPI(Message Passing Interface)**の知識は必須であり、スーパーコンピュータ利用の観点から詳しく解説する。
- ▶ 並列プログラミング実習に関する話題を取り上げ、**実際にスーパーコンピュータを利用する際に必要となる技術**についても紹介する。
- ▶ HPC分野で近年注目されている、**ソフトウェアの自動チューニング技術**に関する話題も取り扱い、HPC分野の基礎から最新技術まで幅広く解説する。

講師紹介

- ▶ お前は何者か？
- ▶ 名前: 片桐 孝洋 (かたぎり たかひろ)
- ▶ 経歴:
 - ▶ 1994年3月 国立 豊田工業高等専門学校 情報工学科 卒業
 - ▶ 1996年3月 京都大学 工学部 情報工学科 卒業
 - ▶ 1996年4月 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程入学
 - ▶ 2001年3月 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻博士課程 修了
 - ▶ 2001年4月 日本学術振興会特別研究員-PD
 - ▶ 2001年12月 科学技術振興事業団 さきがけ研究21 専任研究者
 - ▶ 2002年6月～2007年3月 電気通信大学 大学院情報システム学研究科 助手
 - ▶ 2005年3月～2006年1月 米国カリフォルニア大学バークレー校 計算機科学科 訪問学者
 - ▶ 2007年4月～2011年12月 東京大学 情報基盤センター 特任准教授
 - ▶ 2011年12月～現在 東京大学 情報基盤センター 准教授
- ▶ <並列数値計算アルゴリズム>、<ソフトウェア自動チューニング>分野で、現在も論文とプログラムを書いている現役の研究者！
- ▶ 詳しくは「片桐孝洋」でググってください

講義日程

(情報システム学特別講義 3)

レポートおよびコンテスト課題
(締切:
2014年8月11日(月)24時 厳守

1. 4月8日: ガイダンス
2. 4月15日
 - ▶ プログラム高速化の基礎(その1)
3. 4月22日
 - ▶ プログラム高速化の基礎(その2)
4. 5月13日
 - ▶ MPIの基礎
5. 5月20日
 - ▶ OpenMPの基礎
6. 5月27日
 - ▶ Hybrid並列化技法
(MPIとOpenMPの応用編)
7. 6月3日
 - ▶ プログラム高速化の応用
8. 6月10日
 - ▶ 行列-ベクトル積の並列化
9. 6月17日
 - べき乗法の並列化
10. 6月24日
 - 行列-行列積の並列化
11. 7月8日
 - LU分解の並列化
12. 7月15日
 - 非同期通信
 - 疎行列反復解法の並列化
13. 7月22日
 - ソフトウェア自動チューニング
14. 8月5日(補講日)
 - エクサフロップスコンピューティング
に向けて

評価方法

1. 実習で出題される課題を解きレポートにして提出
(提出は1回のみ)(80%)
 - 加算方式
 - 解けば解くほど評価が高まる
 - すべての問題を解く必要はない(解けないほど多く出す)
2. 出席日数(20%)

今までの様子

1. 2013年度 前学期

- 登録者41名
- 単位取得者:35名
 - 優:32名
 - 良:2名
 - 可:1名

受講のメリット

- ▶ 東京大学のスパコン(FX10スーパーコンピュータシステム)が無料で利用可能！
- ▶ 前回の講義の経験から、強制はしませんが
東京大学のスパコンの利用登録を推奨します
- ▶ 理由
 - ▶ 課題提出がやりやすい
 - ▶ 講義中に、グループ分けして(PCが持ち込める人を中心に)、プログラム演習の時間を作ることを計画しています
 - ▶ ただし、単位取得のためには、演習の参加、および、プログラミングは必須ではありません(補足資料参照)

東大FX10スーパーコンピュータシステムの利用（講義受講者のみ無料で利用可能）

- ▶ 希望者は、基盤センタのスーパーコンピュータ（富士通FX10スーパーコンピュータシステム）の利用が、無料でできます。
- ▶ 利用希望者は電子メールで、
名前、所属、学籍番号
を記載し、
subject: 電通大講義でのFX10利用申込
とし
katagiri@cc.u-tokyo.ac.jp
まで
2014年4月18日(金)までに 送ってください。

参考資料について

- ▶ 配布したプリントに従い、以下の参考資料をダウンロードしてください。
 - 講義OHPのPDFファイル
<http://www.kata-lab.itc.u-tokyo.ac.jp/class-matr.htm>

教科書（演習書）

- ▶ 「スパコンプログラミング入門
ー並列処理とMPIの学習ー」
 - ▶ 片桐 孝洋 著、
 - ▶ 東大出版会、ISBN978-4-13-062453-4、
発売日:2013年3月12日、判型:A5, 200頁
 - ▶ 【本書の特徴】
 - ▶ C言語で解説
 - ▶ C言語、Fortran90言語のサンプルプログラムが付属
 - ▶ 数値アルゴリズムは、図でわかりやすく説明
 - ▶ 本講義の内容を全てカバー
 - ▶ 内容は初級。初めて並列数値計算を学ぶ人向けの入門書



参考書

- ▶ 「並列数値処理 – 高速化と性能向上のために –」
 - ▶ 金田康正 東大教授 理博 編著、
片桐孝洋 東大特任准教授 博士(理学) 著、黒田久泰 愛媛大准教授
博士(理学) 著、山本有作 神戸大教授 博士(工学) 著、五百木伸洋
(株)日立製作所 著、
 - ▶ コロナ社、発行年月日:2010/04/30, 判 型: A5, ページ数:272頁、
ISBN:978-4-339-02589-7, 定価:3,990円(本体3,800円+税5%)
 - ▶ 【本書の特徴】
 - ▶ Fortran言語で解説
 - ▶ 数値アルゴリズムは、数式などで厳密に説明
 - ▶ 本講義の内容に加えて、固有値問題の解法、疎行列反復解法、
FFT、ソート、など、主要な数値計算アルゴリズムをカバー
 - ▶ 内容は中級～上級。専門として並列数値計算を学びたい人向き

教科書の利用方法（配布の補足資料を参考）

- ▶ 本講義の全内容、演習内容をカバーした資料
- ▶ 教科書というより、実機を用いた並列プログラミングの演習書として位置づけられている
 - ▶ 使える並列計算機があることが前提
- ▶ 付属の演習プログラムの利用について
 1. 東京大学情報基盤センターのFX10スーパーコンピュータシステムでそのまま利用する
 - ▶ 無料でサンプルプログラムがFX10上からも取得できます
 2. 研究室のPCクラスタ(MPIが利用できるもの)で利用する
 3. 東大以外の大学等のスーパーコンピュータで利用する
- ▶ 各自のPCを用いて、(MPIではない)逐次プログラムで演習する(主に逐次プログラムの高速化の話題)

イントロダクション

スパコンとは何か？

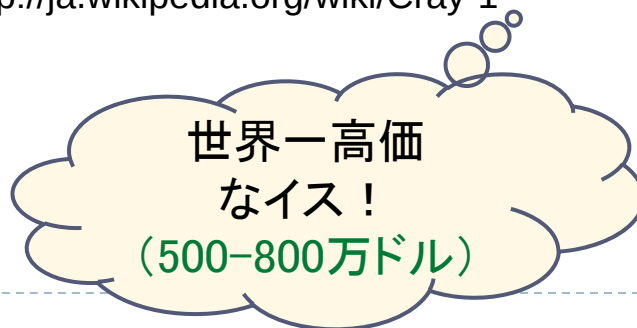
スーパーコンピュータとは

- ▶ 人工知能搭載のコンピュータではない
- ▶ 明確な定義はない
 - ▶ 現在の最高レベルの演算性能をもつ計算機のこと
 - ▶ 経験的には、PCの1000倍高速で、1000倍大容量なメモリをもつ計算機
 - ▶ 外為法安全保障貿易管理の外国為替及び外国貿易法の法令（平成24年7月13日公表）の規制対象デジタル電子計算機
 - ▶ 第7条三項ハ：デジタル電子計算機であって、加重最高性能が三・〇実効テラ演算を超えるもの
- ▶ 現在、ほとんどすべてのスーパーコンピュータは並列計算機
- ▶ 東京大学情報基盤センターが所有するFX10スーパーコンピュータシステムも、並列計算機

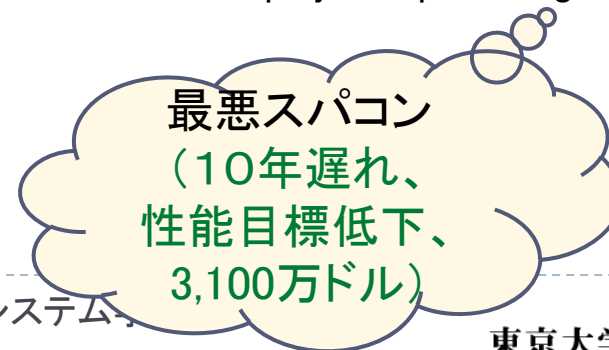
スーパーコンピュータの歴史

- ▶ 1976年 Cray-1
ベクトル型、クレイ社
- ▶ 1974年(1機) ILLIAC-IV、
並列型(64プロセッサ)、
イリノイ大学

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



出典: http://ja.wikipedia.org/wiki/ILLIAC_IV



スーパーコンピュータで用いる単位

- ▶ **TFLOPS(テラ・フロップス、Tera Floating Point Operations Per Second)**
 - ▶ 1秒間に1回の演算能力(浮動小数点)が1FLOPS。
 - ▶ K(キロ)は1,000(千)、M(メガ)は1,000,000(百万)、G(ギガ)は1,000,000,000(十億)、T(テラ)は1,000,000,000,000(一兆)
 - ▶ だから、**一秒間に一兆回の浮動小数点演算の能力がある** こと。
- ▶ **PFLOPS(ペタ・フロップス)**
 - ▶ 1秒間に0.1京(けい)回の浮動小数点演算の能力がある。
 - ▶ 「京コンピュータ」(2012年9月共用開始、11.2PFLOPS、**現在TOP500で3位**)

- PCの演算能力は？
 - 3.3GHz(1秒間に3.3G回のクロック周波数)として、もし1クロックあたり1回の浮動小数点演算ができれば3.3GFLOPS。
 - Intel Core i7 (Sandy Bridge)では、6コア、1クロックで8回の浮動小数計算ができるので、 $3.3 \text{ GHz} * 8 \text{ 回浮動小数点演算/Hz} * 6 \text{ コア} = 158.4 \text{ GFLOPS}$
 - Cray-1は160MFLOPS。1970年代のスパコンより、PCの方が990倍以上高速！

スーパーコンピュータ用語

▶ 理論性能(Theoretical Performance)

- ▶ ハードウェア性能からはじき出した性能。
- ▶ 1クロックに実行できる浮動小数点回数から算出したFLOPS値を使うことが多い。

▶ 実効性能(Effective Performance)

- ▶ 何らかのベンチマークソフトウェアを実行して実行時間を計測。
- ▶ そのベンチマークプログラムに使われている浮動小数点演算を算出。
- ▶ 以上の値を基に算出したFLOPS値のこと。
- ▶ 連立一次方程式の求解ベンチマークであるLINPACKを用いることが多い。

ムーアの法則

- ▶ 米Intel社の設立者ゴードン・ムーアが提唱した、半導体技術の進歩に関する経験則。

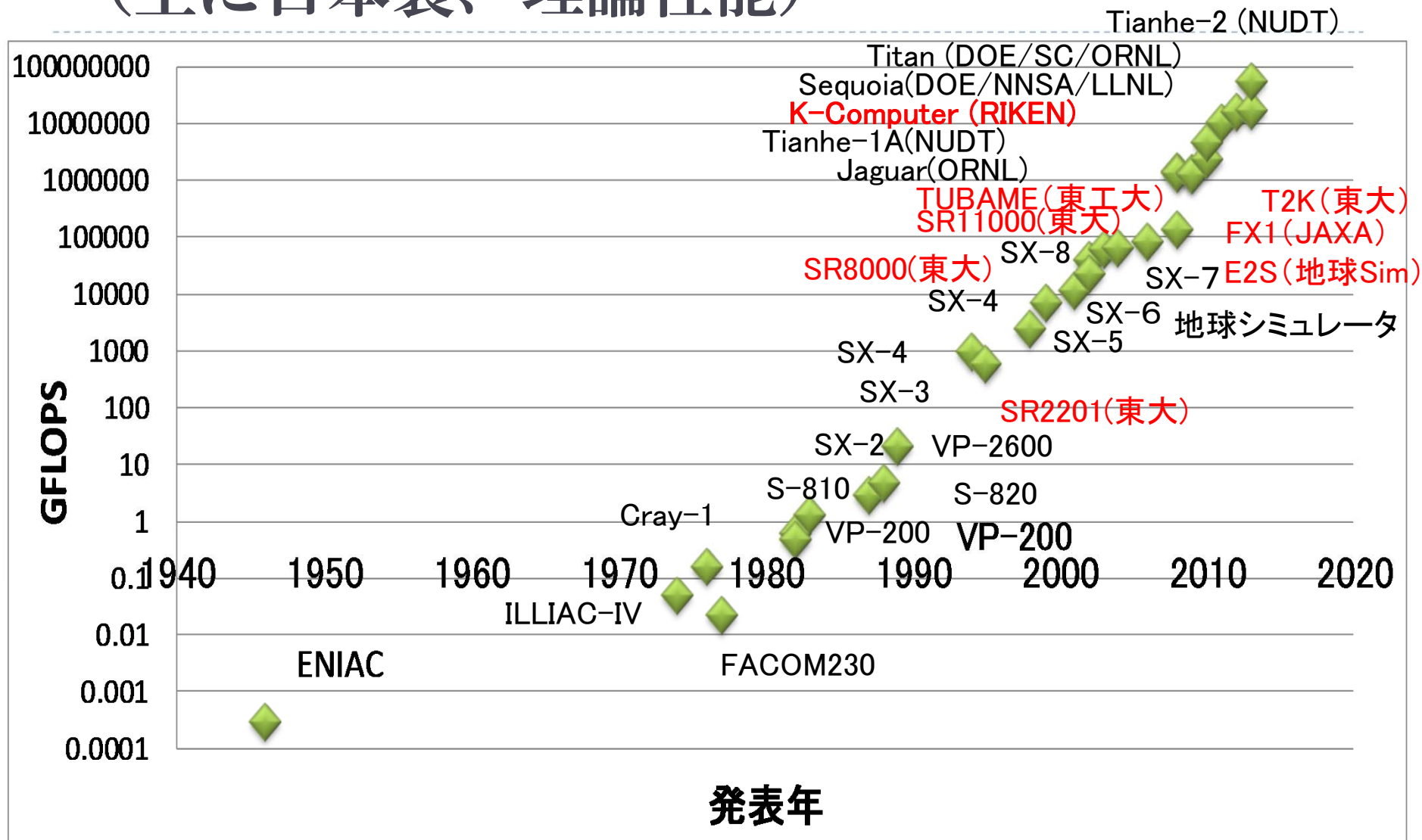
「半導体チップの集積度は、およそ18ヵ月で2倍になる」

- ▶ これから転じて、

「マイクロプロセッサの性能は、およそ18ヵ月で2倍になる」

- ▶ 上記によると、約5年で10倍となる。

スーパーコンピュータ性能推移 (主に日本製、理論性能)



スーパーコンピュータのランキング

▶ TOP500 Supercomputer Sites

(<http://www.top500.org/>)

- ▶ LINPACKの値から実効性能を算出した値の500位までのランキング
- ▶ 米国オークリッジ国立研究所／テネシー大学ノックスビル校の Jack Dongarra 教授が発案
- ▶ 毎年、6月、11月（米国の国際会議SC | xy）に発表

現在のランキング

2013年11月現在

- 1位: 中国 NUDTのTianhe-2
33.862 PFLOPS
- 2位: 米国 DOE/SC/ORNLのTitan
17.590 PFLOPS
- 3位: 米国 DOE/NNSA/LLNLのSequoia
(BlueGene/Q)
17.173 PFLOPS
- 4位: 日本 **K-Computer (Sparc64 Xliffx)**
10.510 PFLOPS
- 5位: 米国 DOE/SC/ANLのMira
(BlueGene/Q)
8.586 PFLOPS
- 6位: スイス国立スパコンセンターの
Piz Daint (Cray XC30)
6.271 PFLOPS
- その他の日本のマシン
 - 11位の東工大のTUBAME2.5
2.843 PFLOPS
 - 24位の国際核融合研のHelios (Xeon
E5-2680)
1.237 PFLOPS
 - 30位の東京大学情報基盤センターの
Oakleaf-fx (Sparc64 IVfx)
1.042 PFLOPS

出典: <http://www.top500.org/list/2012/06/100>

情報システム学特別講義3



東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo

京コンピュータ (K-Computer) 理研

- ▶ 理研 計算科学機構(神戸ポートアイランド)
- ▶ 2012年9月共用開始
- ▶ CPU: SPARC64 VIIIfx(CPU当たり 128GFLOPS)
- ▶ 2011年11月TOP500のLINPACK性能
 - ▶ 理論性能: 11.280 PLOPS
 - ▶ 実行性能: 10.510 PFLOPS 効率: 93.1%

参照: 理研

計算科学機構(<http://www.aics.riken.jp/index.html>)

東工大TUBAME2.5

- ▶ HP Proliant SL390s G7
 - ▶ CPU: Intel Xeon 2.93 GHz
(6 cores) x 2
(Hyperthreading enabled)
 - ▶ GPU: NVIDIA Tesla K20X x 3
 - ▶ Memory: 54GB(一部128GB)
 - ▶ 1408台
- ▶ 合計コア数: 74,358コア
- LINPACK効率
 - $2843\text{TF}/5609\text{TF} = 50.6\%$

参考: <http://tsubame.gsic.titech.ac.jp/hardware-architecture>

国内のスーパコンピュータ ー地球シミュレータ 2

▶ 海洋研究開発機構 地球シミュレータ2

- ▶ NEC SX-9
- ▶ 1280プロセッサ
- ▶ 1ノードあたり8プロセッサ
- ▶ 160ノード
- ▶ 理論性能:
131TFLOPS
- ▶ 実効性能:
122.4TFLOPS
- ▶ 実効効率:
93.4%

参照: 海洋研究開発機構
(<http://www.jamstec.go.jp/es/jp/system/index.html>)

東京大学情報基盤センター スパコン（1 / 2）

HITACHI SR16000

Total Peak performance	: 54.9 TFLOPS
Total number of nodes	: 56
Total memory	: 11200 GB
Peak performance per node	: 980.4 GFLOPS
Main memory per node	: 200GB
Disk capacity	: 556 TB
IBM POWER7 3.83GHz (30.64GFLOPS)	

2011年10月～試験運用開始



東京大学情報基盤センター スパコン (2 / 2)

Fujitsu PRIMEHPC FX10 (FX10スーパーコンピュータシステム)

Total Peak performance	: 1.13 PFLOPS
Total number of nodes	: 4,800
Total memory	: 150TB
Peak performance per node	: 236.5 GFLOPS
Main memory per node	: 32 GB
Disk capacity	: 2.1 PB
SPARC64 IXfx 1.848GHz	

2012年4月2日運用開始



FX10 (Oakleaf-FX)@柏



長時間ジョブ用FX10 (Oakbridge-FX)@本郷

FX10計算ノードの構成

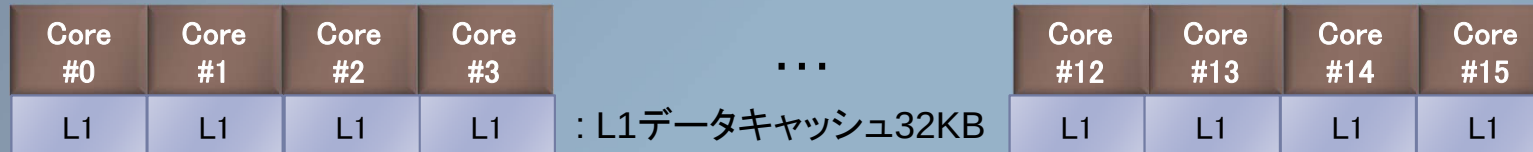
1ソケットのみ

TOFU
Network

各CPUの内部構成

20GB/秒

ICC



L2 (16コアで共有、12MB)

85GB/秒
=(8Byte × 1333MHz
× 8 channel)

Memory

Memory

Memory

Memory

DDR3 DIMM

4GB × 2枚

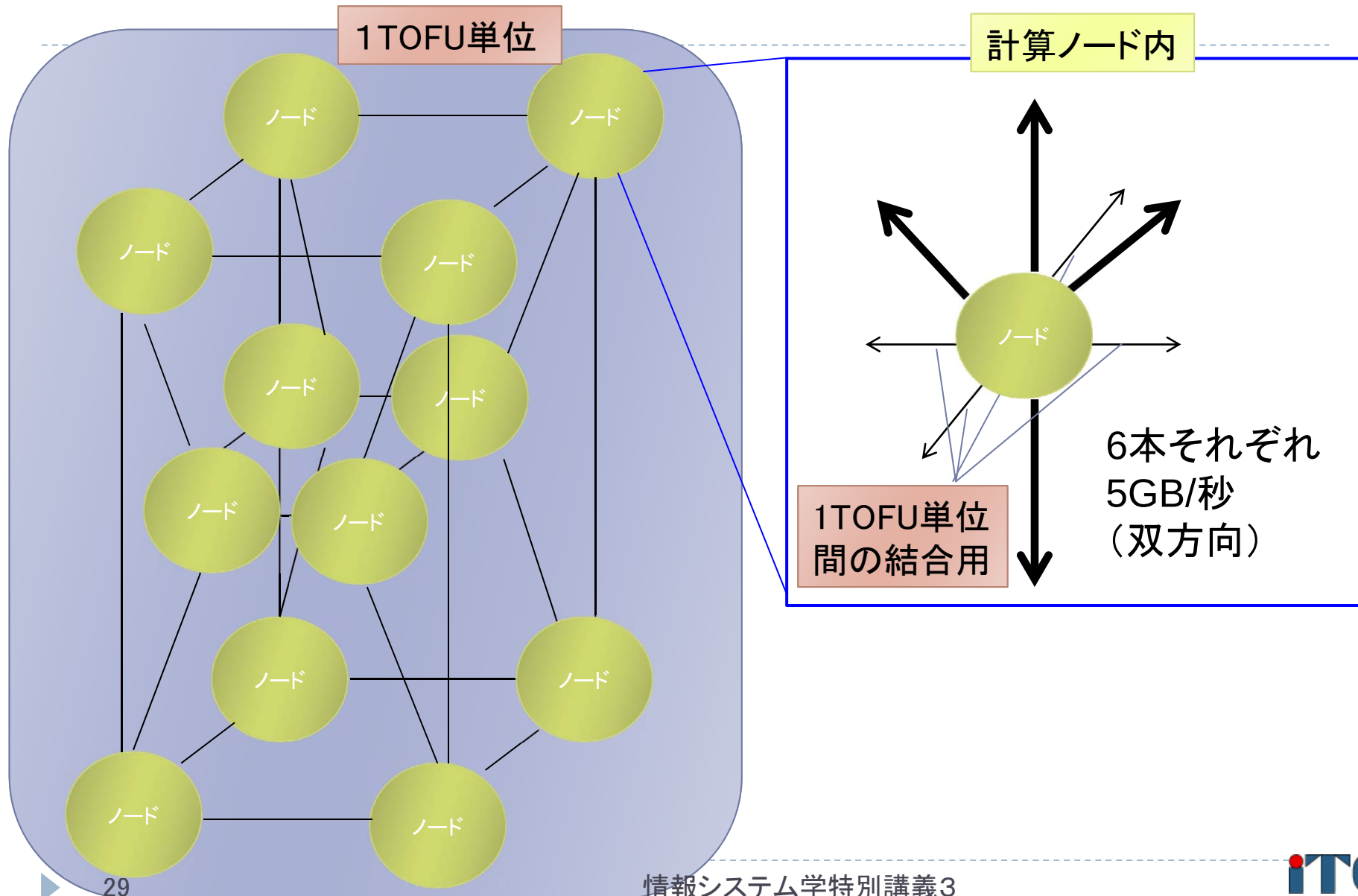
4GB × 2枚

4GB × 2枚

4GB × 2枚

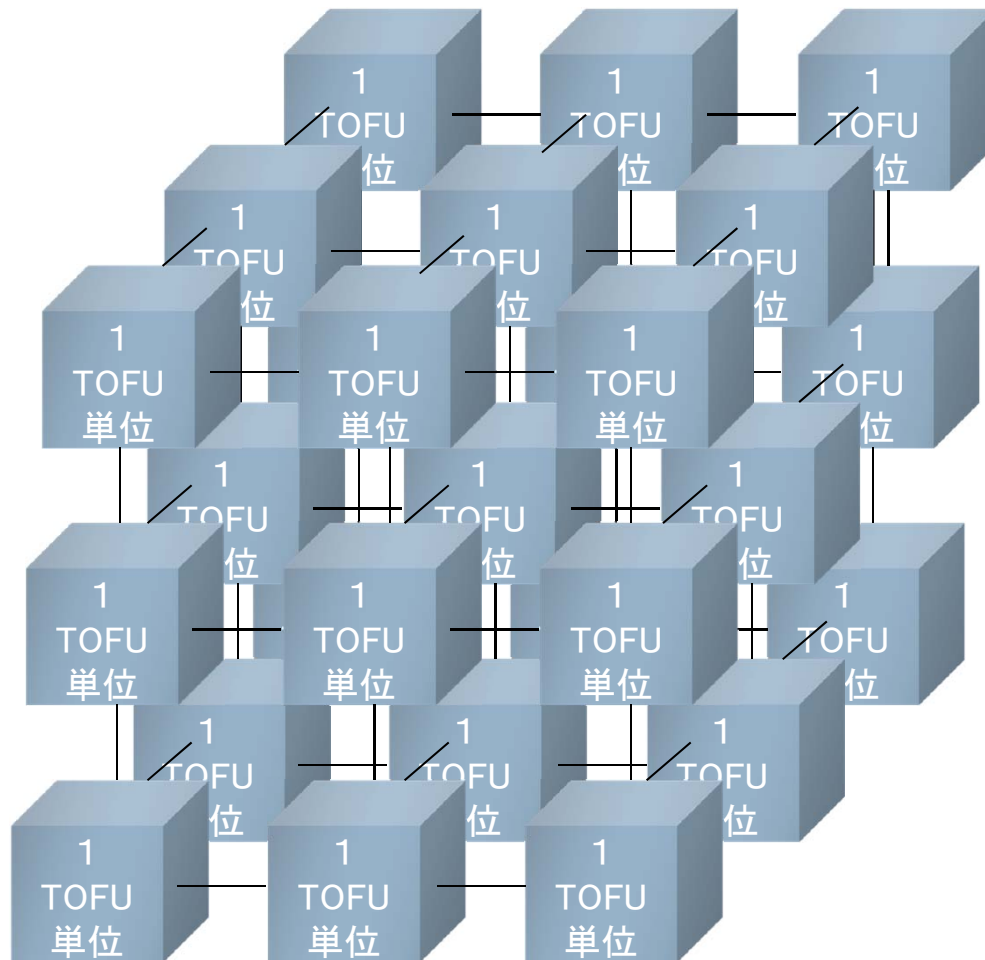
ノード内合計メモリ量: 8GB × 4 = 32GB

FX10の通信網（1 TOFU単位）



FX10の通信網（1 TOFU単位間の結合）

3次元接続



- ユーザから見ると、
X軸、Y軸、Z軸について、
奥の1TOFUと、手前の
1TOFUは、繋がって見えます
(3次元トーラス接続)
 - ただし物理結線では
 - X軸はトーラス
 - Y軸はメッシュ
 - Z軸はメッシュまたは、
トーラス
- になっています

東大情報基盤センターFX10スーパーコンピュータシステムの料金表（2011年4月1日）

▶ パーソナルコース（年間）

▶ コース1： 120,000円 : 12ノード（優先）、最大24ノードまで

▶ コース2： 250,000円 : 24ノード（優先）、最大96ノードまで

▶ グループコース

▶ 500,000円 : 1口、12ノード（優先）、最大1440ノードまで

▶ 以上は、「トークン制」で運営

▶ 申し込みノード（優先ノード）× 360日 × 24時間の「トークン」が与えられる

▶ 優先ノードまでは、トークン消費係数が1.0

▶ 優先ノードを超えると、超えた分は、消費係数が2.0になる

来週へつづく

並列数値計算の基礎