

将来(2010年前後を想定)の研究目標と  
スーパーコンピューティング環境について

平成16年10月

日本原子力研究所

計算科学技術推進センター

松岡 浩

# 内 容

## 1. 現行のスーパーコンピュータシステム及び研究成果

- (1) 現行スーパーコンピュータシステム構築の背景
- (2) システム概要
- (3) 現行スーパーコンピュータシステムを使用した研究成果について
- (4) 現行スーパーコンピュータシステムの更新に向けた見通し

## 2. 将来想定される研究目標

## 3. 将来(2010年前後)のスーパーコンピュータシステム

- (1) ハードウェア要件、ソフトウェア要件、ネットワーク要件 等
- (2) システム構築にむけての課題

# 1. (1) 現行スーパーコンピュータシステム構築の背景

## 日本原子力研究所の活動

○原子力分野における中核的な総合研究機関として昭和31年6月に設立。

○わが国初の原子力発電の成功、先導的・系統的な安全性研究の成果等により軽水炉発電技術の定着に貢献。

○世界トップレベルの核融合研究開発、産業・農業・医療分野への放射線応用、これらを幅広く支える基礎、基盤研究の充実等原子力研究開発の分野を中心にした最先端の科学技術研究開発を推進。

### 原子力エネルギー研究開発:

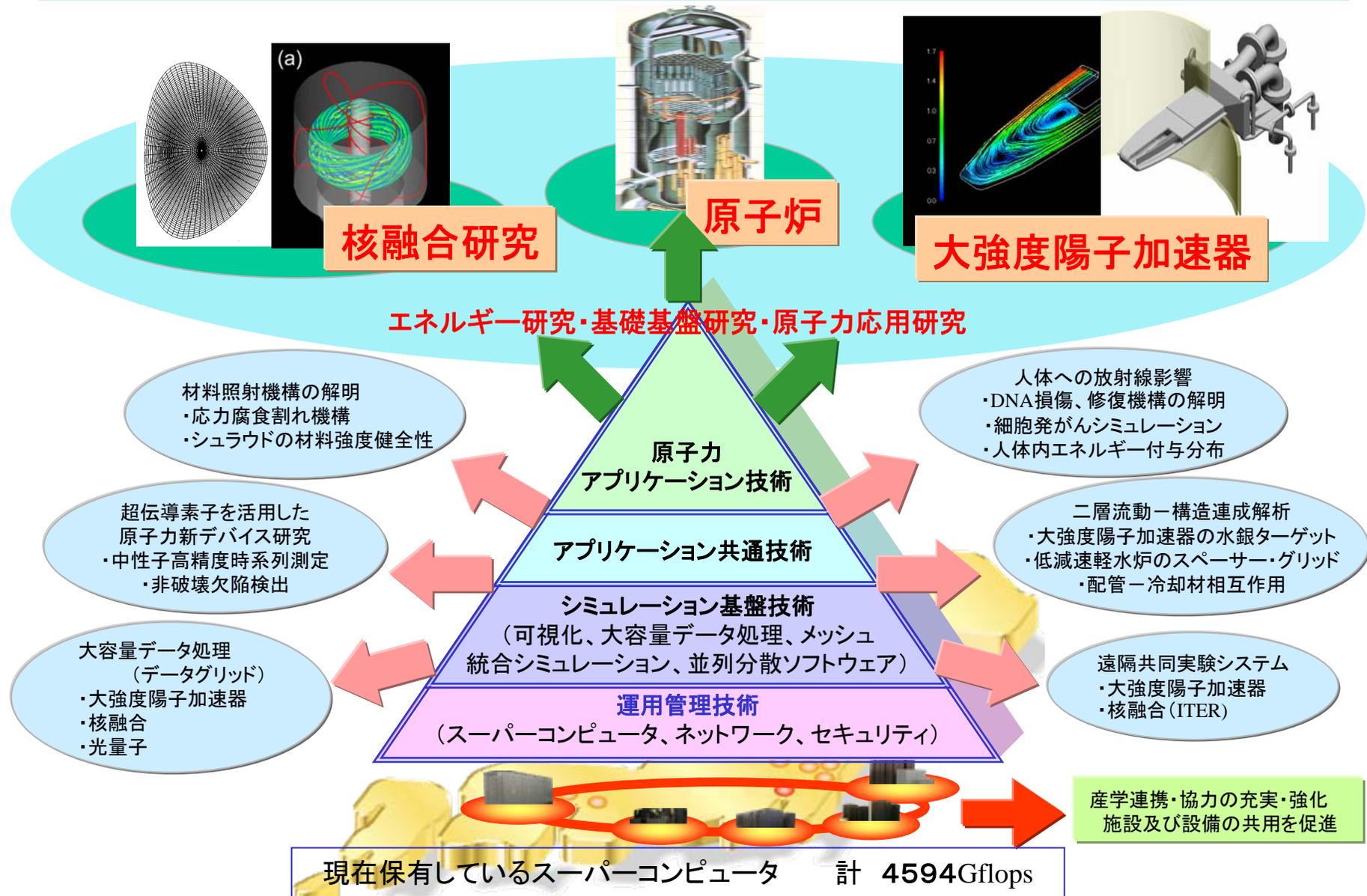
- ①燃料の有効利用を目指した革新的水冷却炉の研究開発
- ②高温工学試験研究炉(HTTR)による世界最高温度の原子炉からの熱を利用した水素製造を目標とした開発試験
- ③国際熱核融合実験炉(ITER)を中心とする核融合の研究開発等
- ④原子力安全性の研究

### 放射線利用に関する研究開発・先端的基礎研究等の総合的原子力科学研究:

- ①放射線応用研究開発、②中性子科学研究、③光量子科学研究

○以上のすべてを支える高度計算科学。

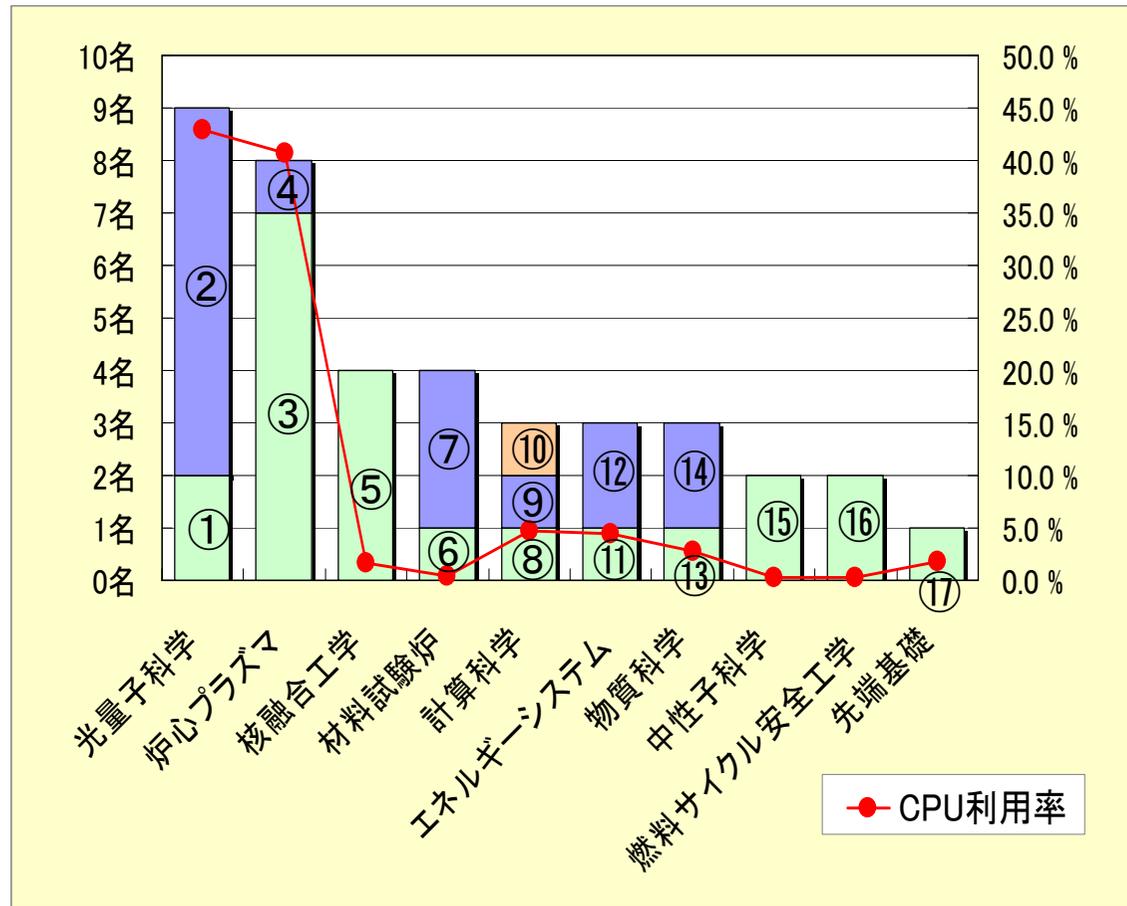
# 原研におけるスーパーコンピュータの広汎な活用



# ビッグユーザ数とCPU利用率

・核融合と光量子科学でCPU利用率85%を占有

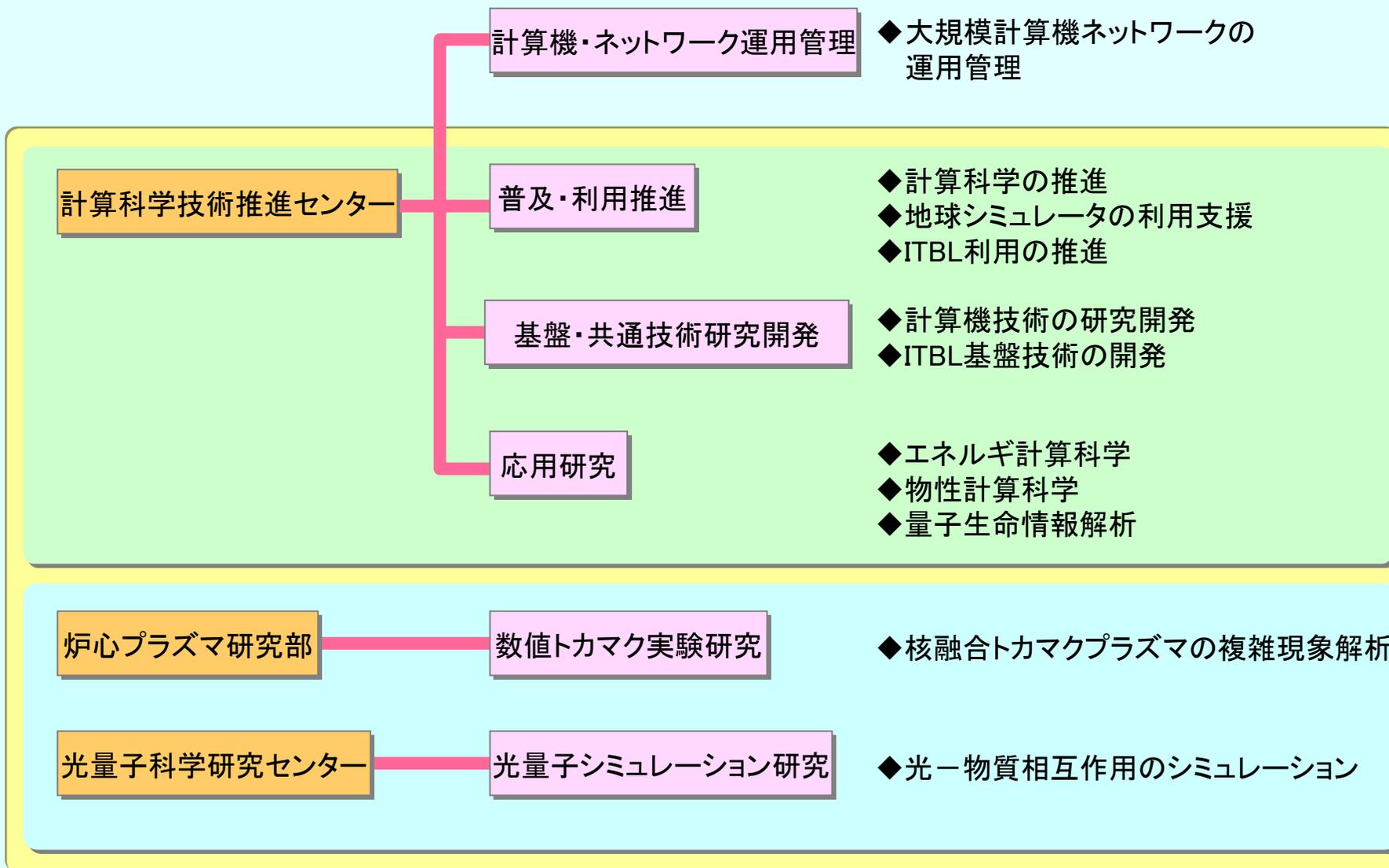
(注)ビッグユーザー:ひとりで1%以上のCPU利用率を占めるユーザー



- ① 光量子利用研究グループ
- ② 光量子シミュレーション研究
- ③ プラズマ理論研究室
- ④ 炉心プラズマ実験計測開発
- ⑤ 核融合中性子工学研究
- ⑥ 照射第一課
- ⑦ 計画課
- ⑧ 並列処理支援技術開発
- ⑨ 数値実験技術開発
- ⑩ 並列計算法開発
- ⑪ 未来型炉研究グループ
- ⑫ 熱流体研究グループ
- ⑬ アクチノイド科学研究
- ⑭ 抽出分離科学研究
- ⑮ 中性子施設開発グループ
- ⑯ 燃料サイクル安全評価
- ⑰ 超流動反応場研究

(平成14年度実績)

# 原研における高度計算科学の推進体制



# 原研における高度計算科学推進の特徴

エネルギー関連ビッグプロジェクトから基礎基盤研究に至る非常に広汎な分野において、**先端的計算による実験の先導・代替～萌芽的研究の推進に活用。**

(研究と開発と実用化の三位一体推進)

⇒研究部門と運用管理部門の密接な協力を確保(技術の実用化)

今後ますます重要： 例 J-PARC(大強度陽子加速器)の情報システム整備

- KEK(高エネルギー研究機構)の計算科学センターと連携し、ネットワーク、計算機、電話等の情報システムを整備。J-PARCの情報システムは、ペタオーダーのデータを扱うため、最高性能の情報システムを整備することが必要。横断的組織である計算科学技術推進センターの研究者が総力を挙げて参加することが不可欠。

⇒計算科学を切り口とした所内連携の推進(情報科学と理工学の連携)

横断的組織である「計算科学技術推進センター」を設置し、その中に研究系グループを編成して原子力研究に役立つ計算科学を推進。計算科学自体がもつ組織横断的特質を活かし、各研究分野の研究の高度化に協力。

# 計算科学を切り口とした所内連携の推進

(現在、  
17部/21テーマ  
で連携)

	本部				東海				那珂	高崎		大洗	関西				
	先端基礎研究センター	原子炉安全工学部	バックエンド技術部	環境科学研究部	エネルギーシステム研究部	物質科学研究部	保健物理部	大強度陽子加速器施設開発センター	中性子利用研究センター	炉心プラズマ研究部	材料開発部	放射線利用理論解析グループ	イオンビーム生物応用研究部	高温工学試験研究炉開発部	核熱利用研究部	光子科学センター	放射光科学センター
原子力エネルギー 研究開発グループ		1	2											3	4		
原子力物性計算 科学研究グループ					5	7					8	8				7	
原子力計算機科学 技術開発グループ				9	10			11	12	13						14	
数値実験 技術開発グループ		15	16		6	6											
量子生命 情報解析グループ	18	17					18		20				19				18
	19						19		21								

## [参考]所内連携研究のテーマ

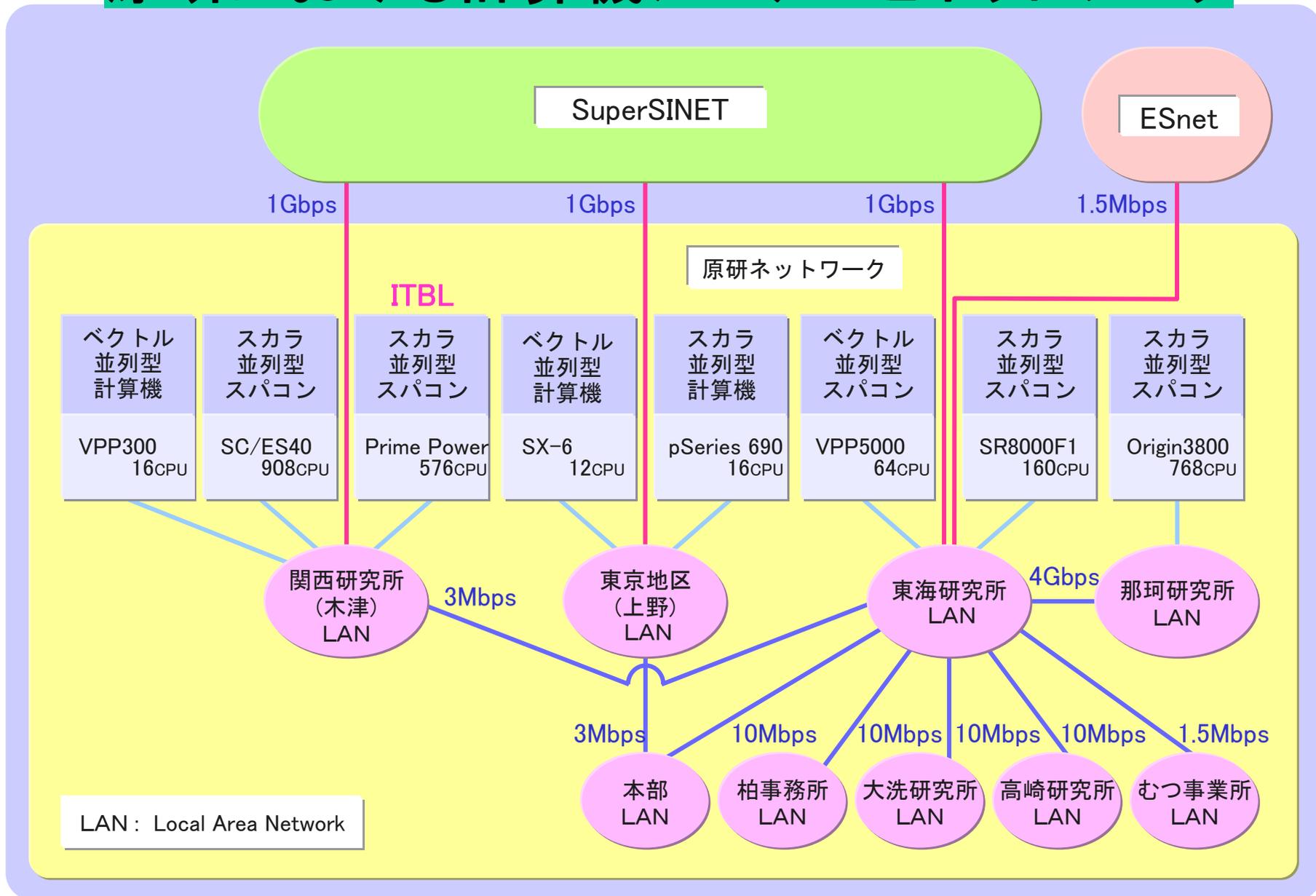
1	損傷頻度評価	12	J-PARCビームライン解析コードの整備
2	JPDRの情報データ化	13	ITBLを用いた核融合遠隔実験
3	HTTR耐震解析	14	光量子解析コード群の共有化整備
4	水素製造	15	照射硬化と破壊に関する数値シミュレーション研究
5	水銀ターゲットの熱、構造解析	16	照射燃料に関する数値シミュレーション研究
6	応力腐食割れ、照射材料の数値シミュレーション研究	17	ROSA計画に関する実験と解析
7	自由電子レーザーによるシリコン同位体の分離	18	低レベル放射線のDNAへの影響観察とシミュレーション、タンパク質への影響シミュレーション
8	高温中性子照射、SiC半導体性能向上、第一原理計算の並列化手法の研究	19	DNA修復タンパク質機能発現機構解明、タンパク質機能予測
9	数値環境システムをITBL上に構築	20	生体分子シミュレーションコード開発
10	沸騰流のボリュームレンダリング可視化	21	筋収縮メカニズムの理解
11	情報システムの設計		

(17部/21研究部連携)

## 1. (2)システム概要

			運用開始時期
関西研究所	AlphaServerSC/ES40/227	1513Gflops	H13年3月
関西研究所	PRIMEPOWER	1331	H14年6月
那珂研究所	Origin3800/768	768	H13年4月
東海研究所	VPP5000/64	614	H13年2月
東海研究所	SR8000F1/20	240	H13年2月
上野	SX-6/4	128	H15年3月
以上、計		4594Gflops	
(核燃料サイクル開発機構	HPC2500	2396	H16年3月)

# 原研における計算機システムとネットワーク



# 1. (3) 現行スーパーコンピュータシステムを使用した 研究成果について

## 例 1 : トカマク・プラズマ粒子の挙動解析

プラズマを構成する粒子運動の解析

イオン乱流 + 電子乱流

シミュレーションで得られたイオンの微視的乱流に関する知見がトカマク・プラズマに関する物理を大きく飛躍させた。

具体例

シミュレーションの対象: JT-60

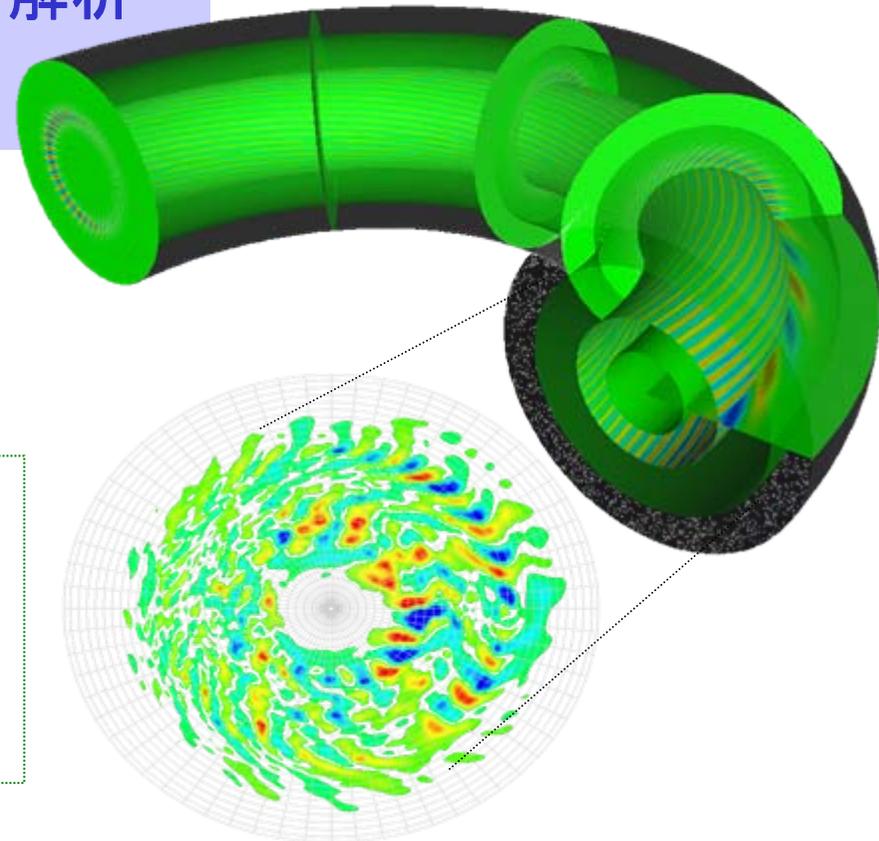
計算機: Origin 3200 512 CPU (0.5 Tflops)

粒子数: 1億個

空間分解能:  $160 \times 128 \times 128$

時間ステップ数: 10,000 ステップ

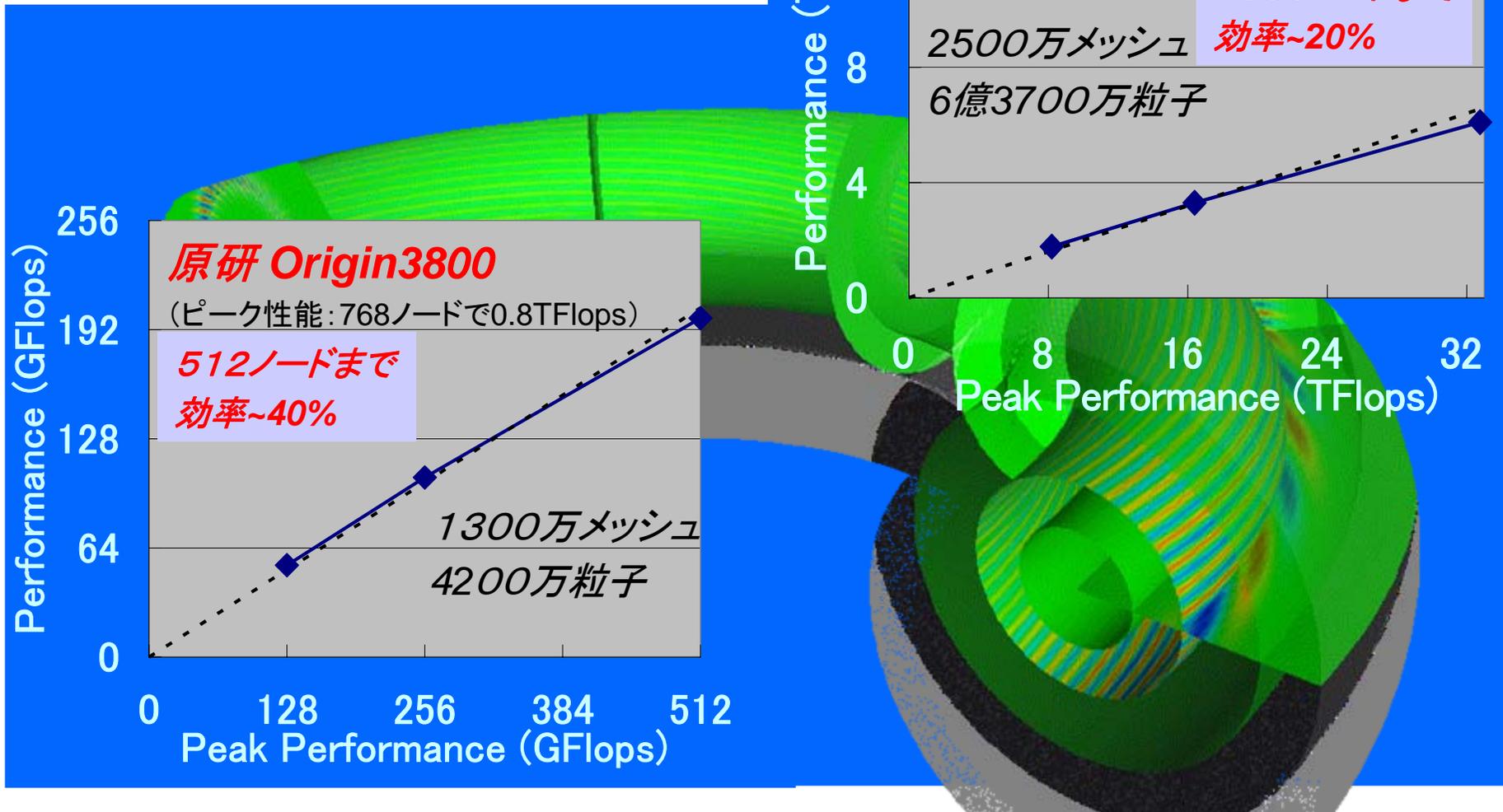
計算時間: 1ヶ月



# [参考]トロイダル粒子解析コードの並列化特性

## 並列化

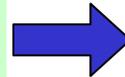
- 粒子運動の解析 → 粒子分割
- 場の解析 → トロイダルモード分割
- MPI-1 collective communication



# [参考] 計算規模の将来予測 (トカマク・プラズマ粒子の挙動解析)

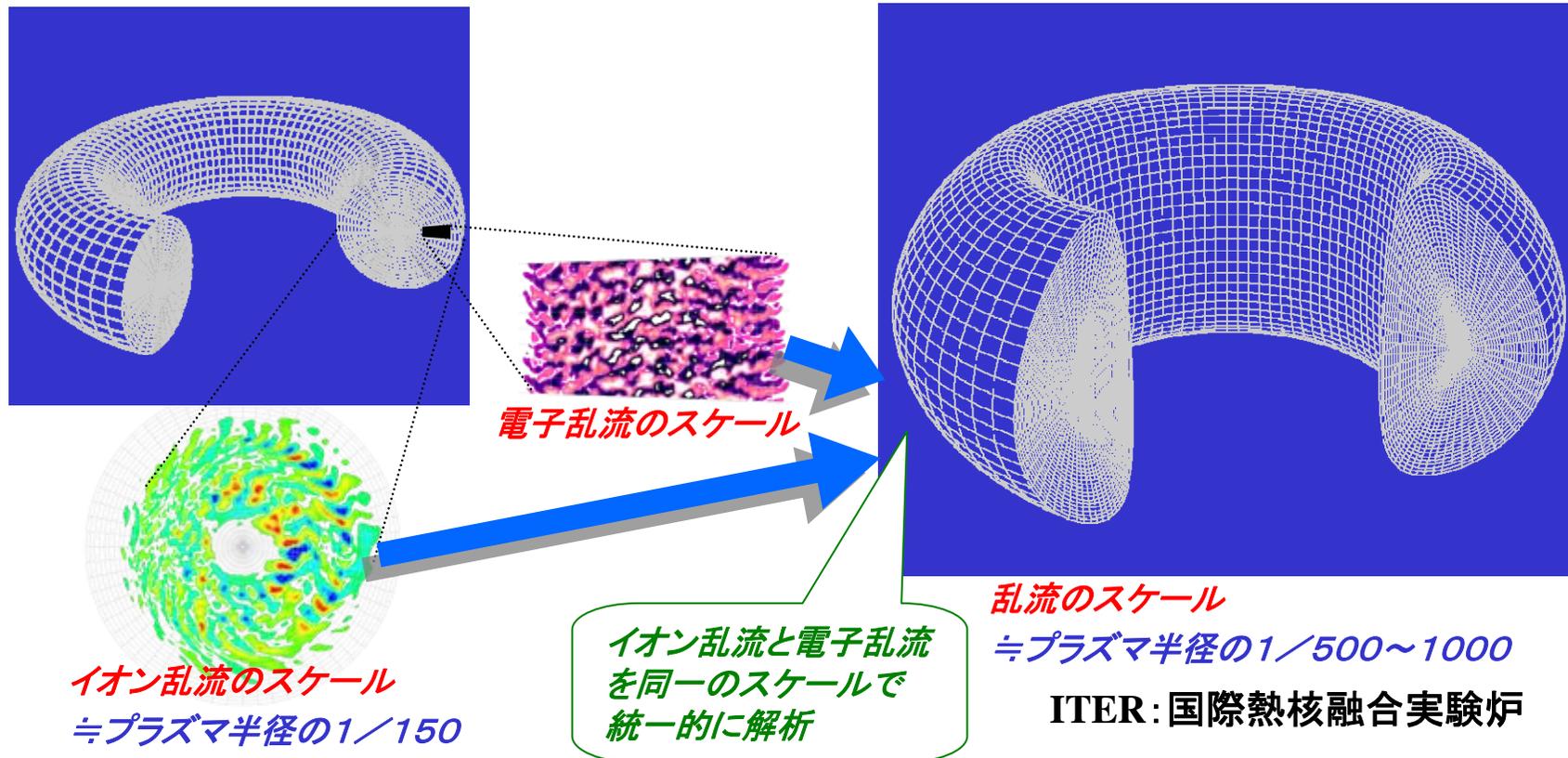
## これまでのシミュレーション

- 小さな装置サイズ
- イオン系と電子系を個別に解析
- 計算規模: 0.5TFLOPS

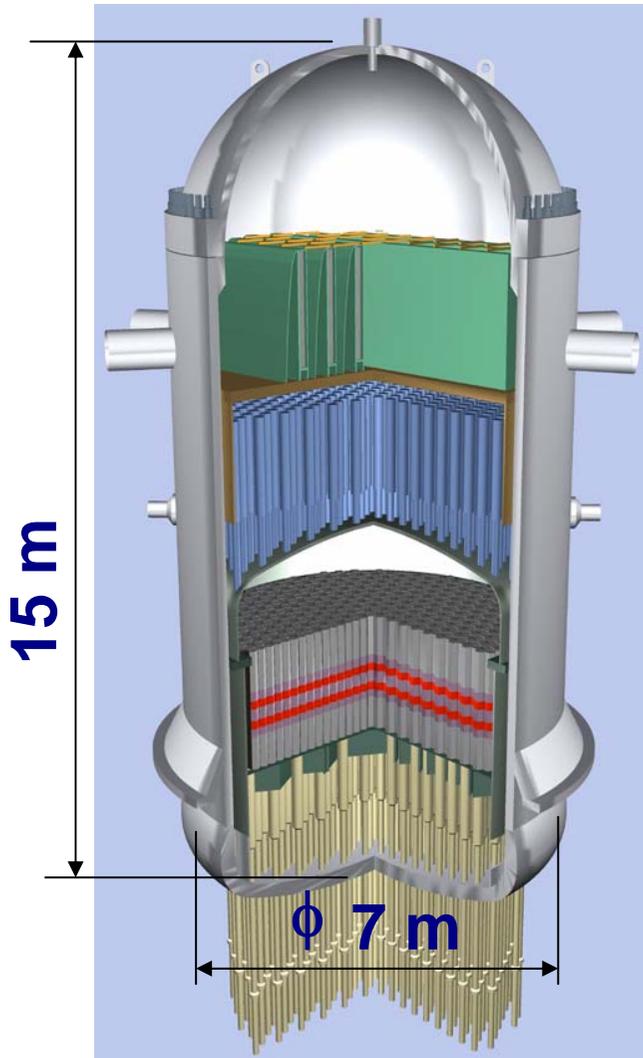


## これからのシミュレーション

- “ITER” を想定した実規模・実形状
- イオン系と電子系を統一した多階層モデル
- 必要計算規模: 1~10PFLOPS



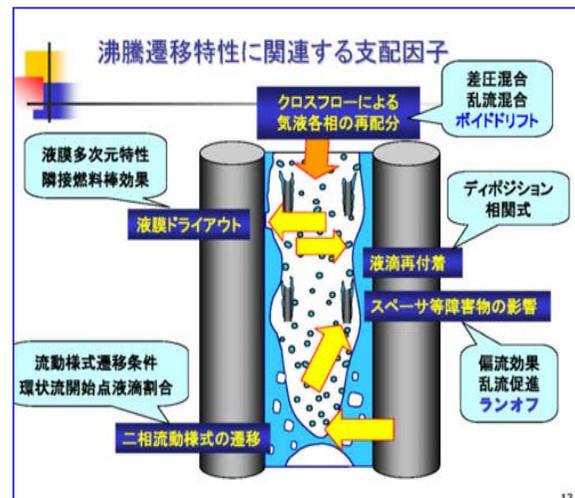
# 例2：次世代型軽水炉（低減速軽水炉）の熱流動研究



## 低減速軽水炉：

現在の軽水炉を改良して燃料中のウランの大部分を占めているU-238をPu-239に変化させて、プルトニウムのリサイクルによるウラン資源の有効利用や長期間燃料交換をしない運転を可能にする将来型原子炉。

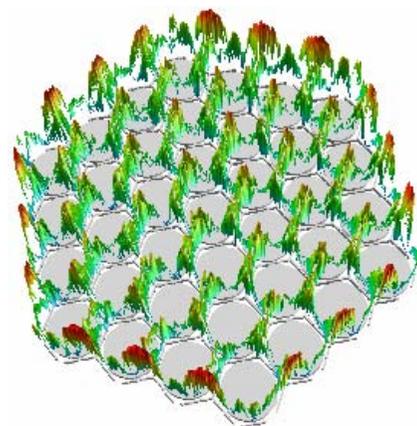
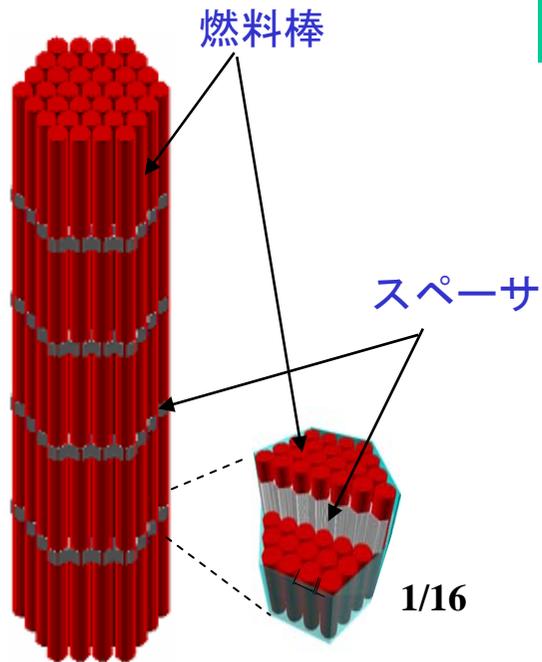
- ・ 燃料棒間隔が1mm程度で非常に稠密な炉心
- ・ 高いボイド率（出口で90%以上が蒸気）



※ 1mm程度以下の狭隘流路に関する実験データがない。

⇒ スーパーコンピュータによる直接解析で。

## [参考] 解析結果



スペーサ部

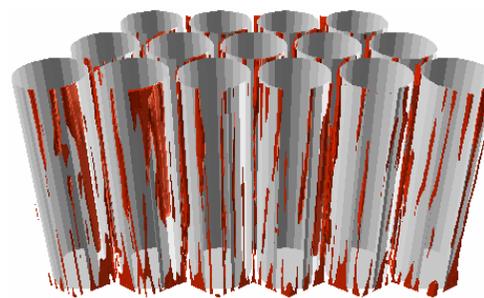


入口近傍

軸方向流速分布の解析結果

### 37本燃料集合体1/16部分モデル

- ・ 格子間隔:
  - 水平方向0.15 mm
  - 鉛直方向0.45 mm
- ・ 格子数:  $622 \times 555 \times 160$   
 $\approx 56,000,000$
- ・ メモリ: 240GB



燃料棒近傍の気相の流れ

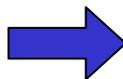


燃料棒近傍の液相の流れ

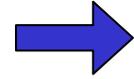
二相流分布の解析結果

# [参考] 計算規模の将来予測 (次世代軽水炉の熱流動解析)

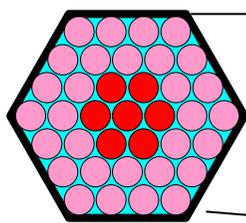
実験装置体系の  
1燃料集合体



技術実証炉体系  
の1燃料集合体



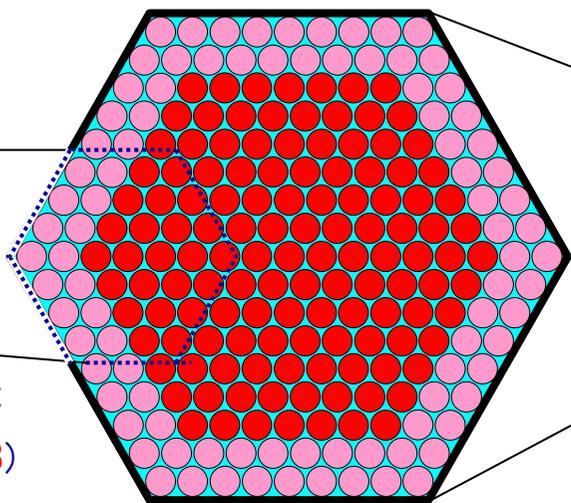
技術実証炉体系の全炉心



37本燃料集合体  
(推定記憶容量**11TB**)

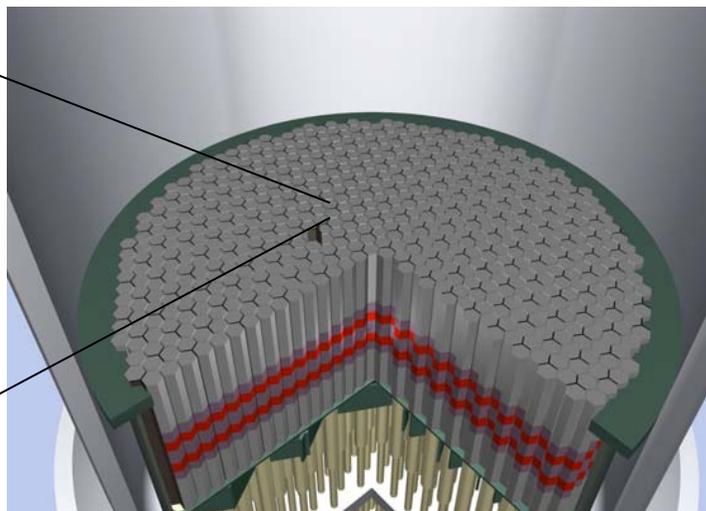
≒ESフルノード相当

- ・格子間隔:  
0.15 mm(鉛直方向も)
- ・格子数:  
56,000,000 × 16 × 3 ≒ 27億
- ・メモリ:  
240GB × 16 × 3 ≒ 11TB



217本燃料集合体  
(推定記憶容量**66TB**)

メモリ: (217/37)倍



低減速軽水炉(技術実証炉)の炉心構造  
(282カラムの燃料集合体)  
(推定記憶容量**19PB**)

メモリ: さらに(282)倍

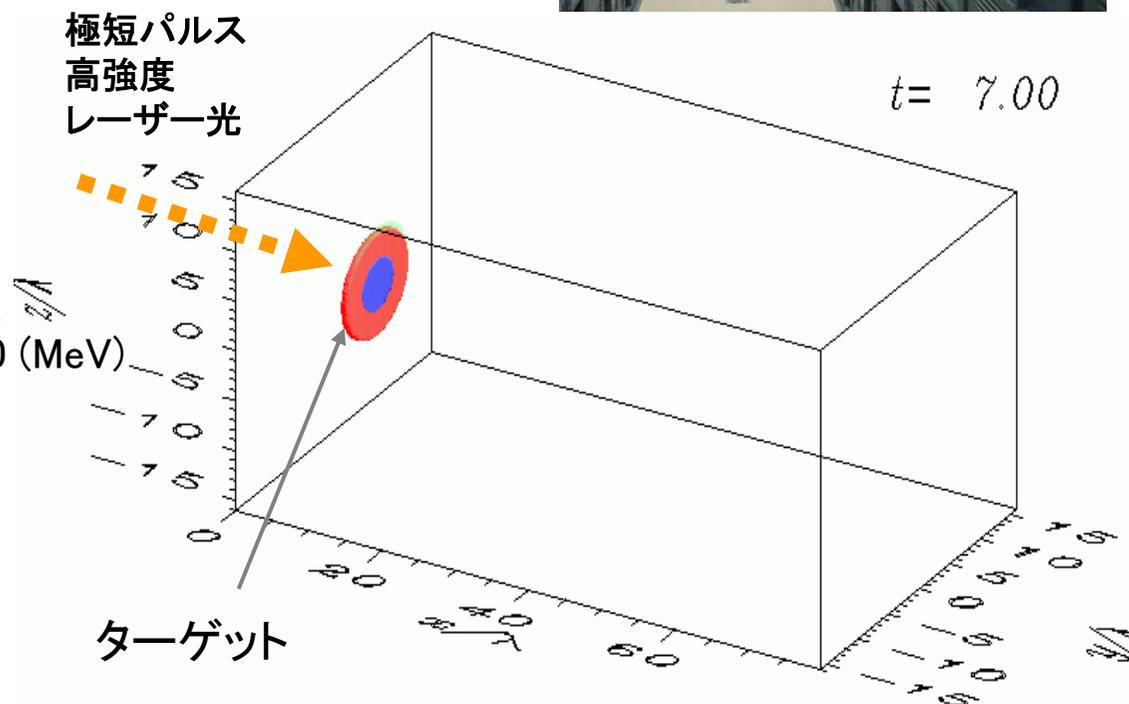
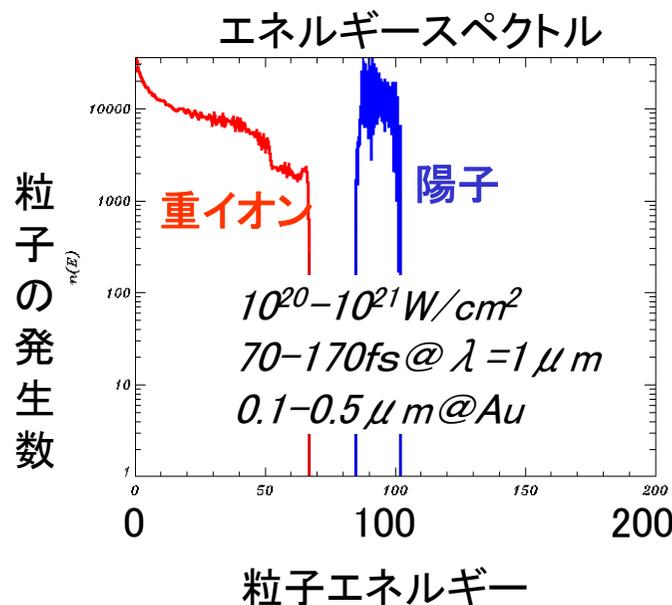
乱流現象(单相流、二相流、混相流等)の予測精度向上には更なる格子サイズの詳細化が必要

# 例3: 高強度レーザーによる高エネルギー陽子の生成

応用例: コンパクトな医療用加速器などの実現へ

10億個の粒子の挙動を予測する  
3次元粒子シミュレーション

毎秒1兆回以上の演算  
が可能な超並列計算機  
Compaq ES 40

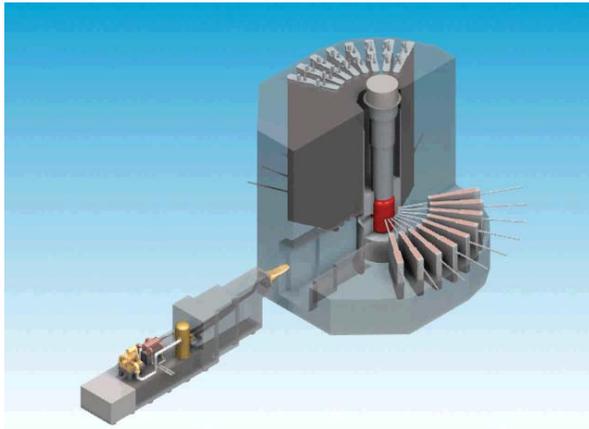


千兆ワットのレーザー光を金属の薄膜に照射することにより、1億電子ボルトの高エネルギー陽子の生成が可能であることを予測

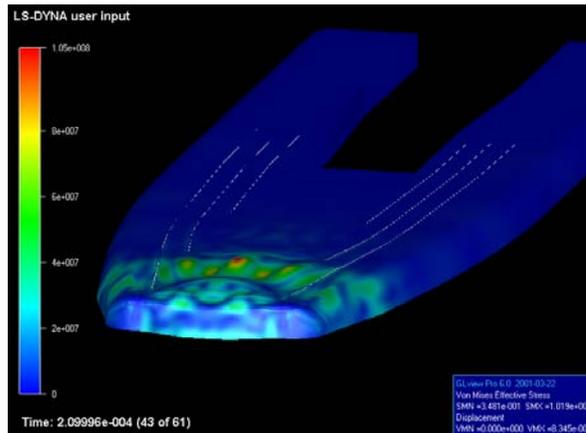
# 例 4 : 大強度陽子加速器・水銀ターゲット解析

陽子を加速して水銀にあて、原子核の破壊に伴って発生する中性子などを研究に活用する。

ターゲット中核部

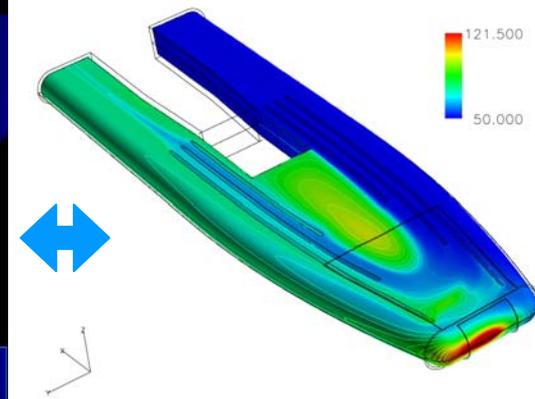


圧力伝播/強度解析



計算機耐久試験

熱流動解析



容器損失原因究明

パルス陽子ビームの照射  
ターゲット容器の変形

ターゲット容器内水銀が圧力波により膨張

ターゲット

長持ち(1万時間超)するターゲット容器の設計

大規模計算が不可欠

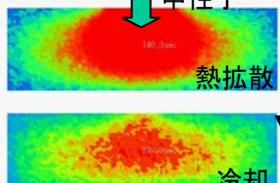
中性子施設開発Gの成果 :

複数シミュレーションを駆使し、現象を解明 = 設計課題を計算科学技術により解決

# 重点4分野における計算科学(共同)研究による社会貢献実績例

## ナノテクノロジー・材料

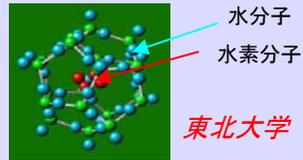
### MgB<sub>2</sub>超伝導体中性子検出器開発



中性子  
熱拡散  
冷却

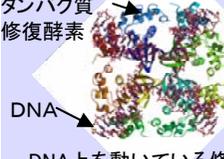
2004日本原子力学会計算科学技術部会功績賞  
超伝導現象を利用した高速中性子検出法の提案(10<sup>-9</sup>秒の応答速度)  
大阪府立大学

## ナノテク材料設計



カーボンナノチューブと同じ構造を水分子で作り内部に水素を貯蔵

## DNA修復酵素のシミュレーション法の開発

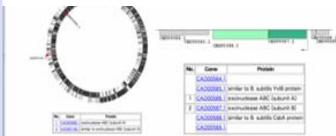


タンパク質修復酵素  
DNA  
DNA上を動いている修復酵素

タンパク質のDNA損傷修復機構を動力学法に基づき解析し、創薬に資する。  
東京大学

## ライフサイエンス・医療

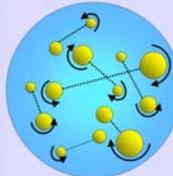
### DNA修復タンパク質データベース



奈良先端大学

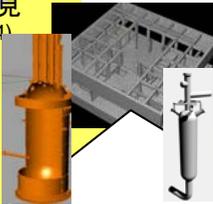
ゲノム情報に基づきDNA損傷を修復するタンパク質をIT技術を用いて予測し、創薬に資する。

## 極低温フェルミ原子ガス



原子物理分野の最新の成果:  
新しい量子状態(超流動)の発見  
Phys.Rev.Lett.(04)  
筑波大学

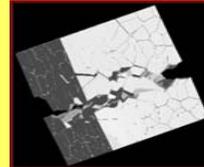
### 原子力耐震計算科学の推進



原子力防災技術開発

### 原子炉材料物性計算科学の推進

2002日本計算工学会論文賞



応力腐食による粒界割れ機構の解明

### バイオインフォマティクスの研究開発



放射線などによるDNA損傷修復過程の解明

### 遠隔医療解析支援

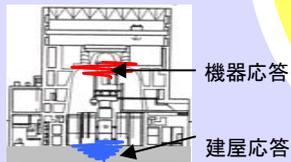
SNA2003最優秀ポスター賞



大動脈瘤  
北陸先端大学  
金沢医科大学

シミュレーションによる血管病の診断支援・術後予測

## 3次元仮想振動台



計算による原子炉の耐震特性解析

原子力学会(東京電力・防災研他15機関)

## 高度計算科学研究拠点

並列処理共通基盤技術とIT技術を活用した研究環境の高度化と融合研究領域の開拓

H11~H15  
研究者 19人  
論文 114編  
受賞 9件

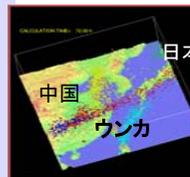


30機関ユーザー(約500名)・21計算機接続  
(15機種、9機関、約7TFlops)

国際的にも先駆けとなるグリッド技術である高い水準のITBL基盤ソフトを開発(国の中間評価結果)

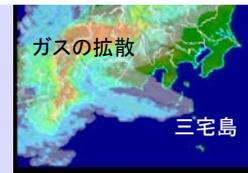
ケイ・ジー・ティー  
富士通

## 農業害虫の侵入予測 (SPEEDI)



日本 イネウンカ飛来予測  
中国 ウンカ  
(独)農業・生物系特定産業技術研究機構

## 三宅島火山ガスの拡散予測 (SPEEDI)



第31回環境賞(優良賞)

予測情報公開HP  
製造業、自治体、環境コンサル等が利用

## Grid技術の製品化

第30回石川賞

計算機支援環境(負荷、課金)複数計算機資源の一括認証ユーザーの一元管理



日立東日本ソリューションズ



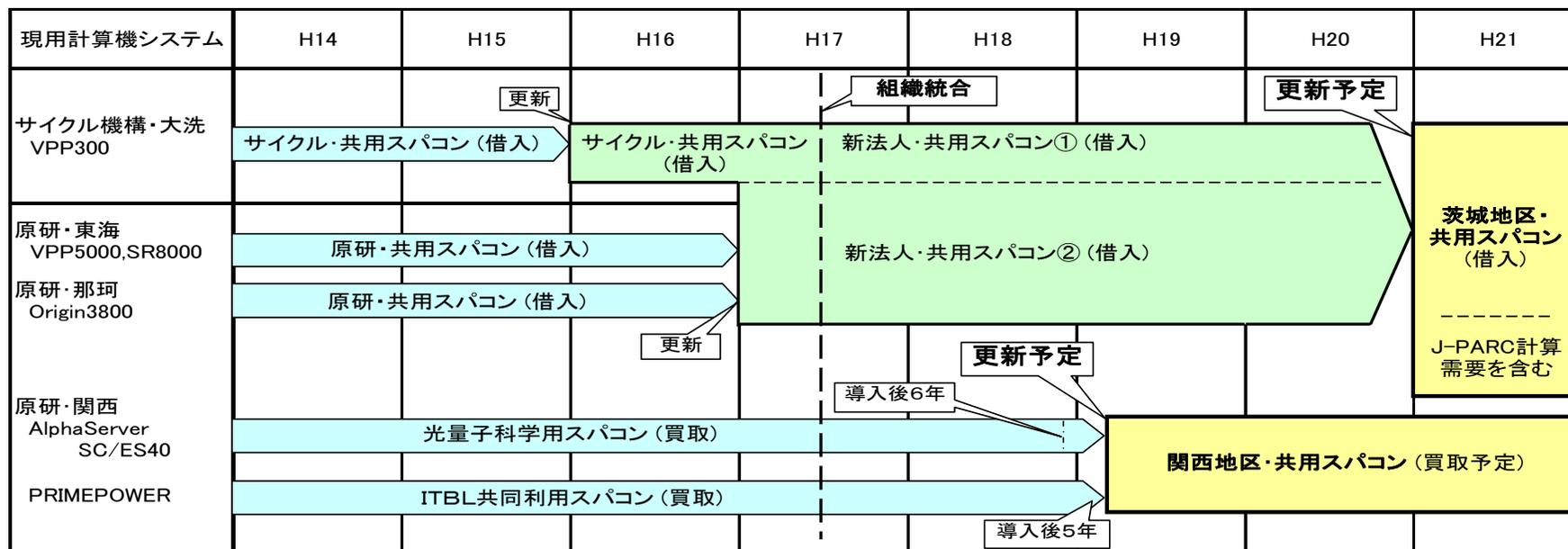
遠隔地間で立体画像を共有した共同研究の実現

## 環境・エネルギー

## ソフトウェア産業

# 1. (4) 現行スーパーコンピュータシステムの更新に向けた見通し

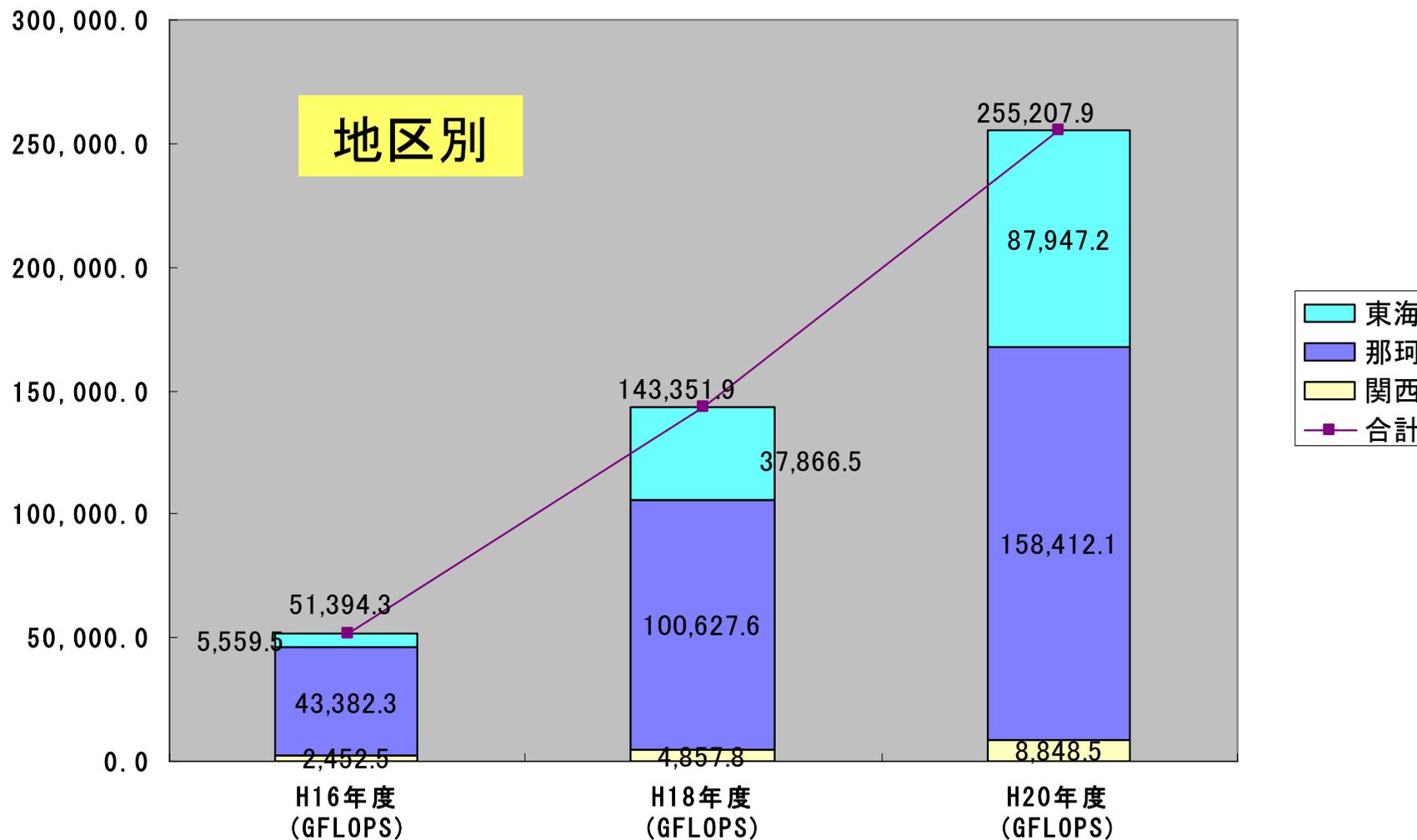
## 1. 新法人のスパコン



## 2. 各スパコンの役割・位置づけ

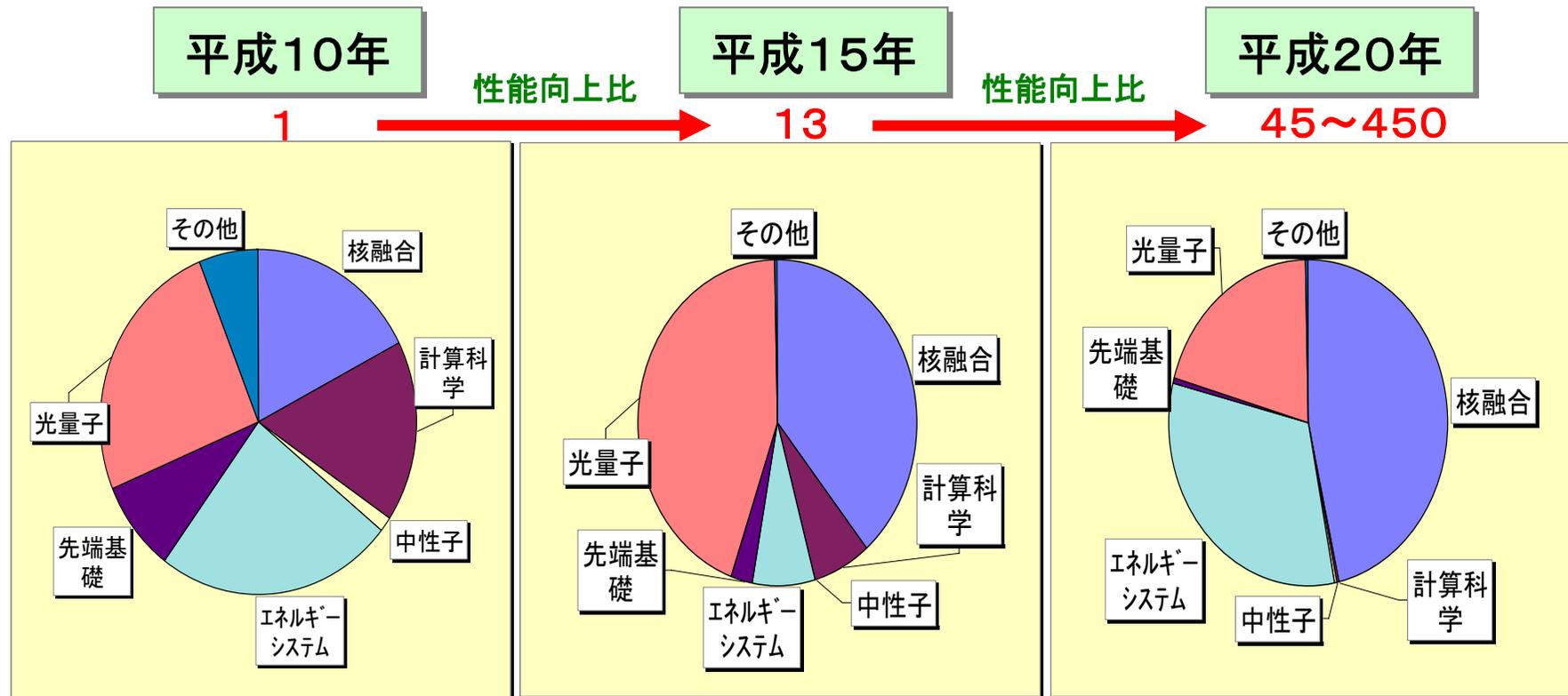
	規模	契約形態	役割・位置づけ
新法人・共用スパコン① (H16.3導入)	2.4TFLOPS	賃貸借	主にFBRサイクルの実用化プラントの設計用として利用すると共に、国際協定上制約を受けるコード等処理する共用計算機。(中小規模シミュレーション)
新法人・共用スパコン② (H17.3導入予定)	12TFLOPS	賃貸借	主に原子力の総合研究、核融合炉の研究開発用として利用する新法人の共用計算機。(大規模シミュレーション)
光量子科学用スパコン (~H19.2)	1.5TFLOPS	買取	主に光量子科学研究の大規模シミュレーション計算を超並列で長時間連続処理する計算機。
ITBL共同利用スパコン (~H19.6)	1TFLOPS	買取	ITBL計画の下で利用する中核的計算機。

# [参考]スパコン計算需要調査結果(地区別需要)

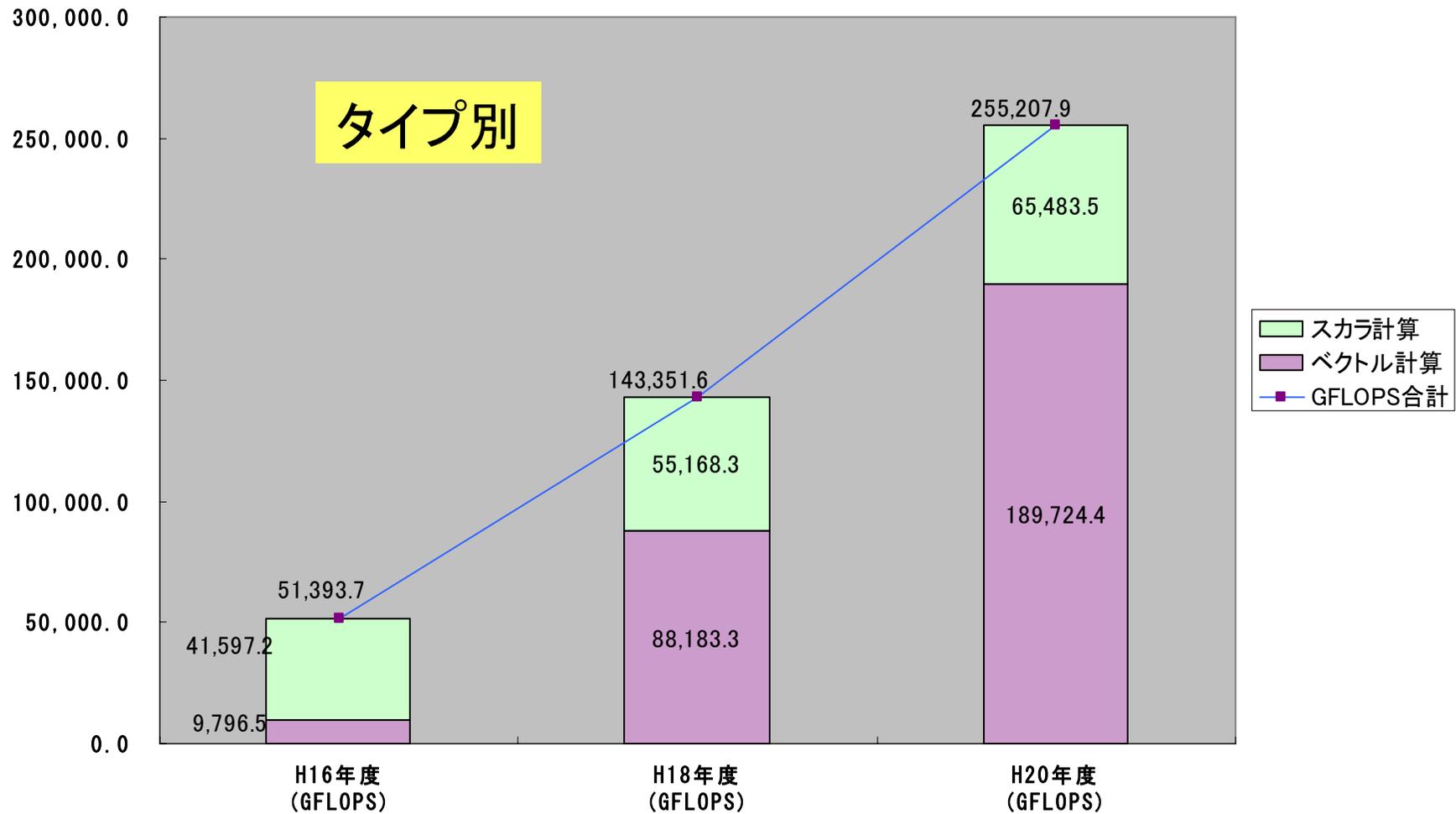


## [参考]スパコン計算需要調査結果(分野別比率)

- ◆ 比率的にはスーパーコンピュータの全所利用から特定分野利用に集中
- ◆ 今後、エネルギーシステム部の利用が急増
- ◆ (ただし、この比率には大強度陽子加速器関連の需要は反映されていない)



# [参考]スパコン計算需要調査結果(タイプ別需要)



## 2. 将来想定される研究目標について

研究分野	アプリケーションの1例	概要	目的	期待されるブレイクスルー	波及効果	必要な実効性能
原子炉熱流動	熱流動直接解析	原子炉内の気液二相流挙動の詳細な予測	次世代稠密炉心原子炉の設計	実験結果に基づく経験式等を必要としない設計手法の確立	より安全かつ安心して高効率な原子炉設計の実現	1P~1000 PF
核融合	核融合プラズマの微視的乱流シミュレーション	プラズマを構成するイオンと電子の微視的乱流を捕らえるための解析	プラズマの磁場による閉じ込め性能の向上	プラズマの効率的な閉じ込め制御技術の確立	効率のよい核融合発電炉の実現	1P~1000 PF
光量子科学	高強度レーザーと物質の相互作用シミュレーション	高強度レーザーの照射によるX線と高エネルギー粒子発生過程の解明	超強電磁場中の複雑現象、高エネルギー密度物理過程の解明	品質のよいビーム発生制御技術の実現	実験や量子放射線応用分野への貢献(医療、分析、生産など)	100T~1PF
加速器	3次元粒子シミュレーション	大強度陽子加速器のビームロスの予測評価	ビームロスによる構成機器の放射化の低減	加速器運転パラメータ調整時のインタラクティブ評価の実現	放射化を最小化した加速器運転の実現	15G~24PF

研究分野	アプリケーションの1例	概要	目的	期待されるブレークスルー	波及効果	必要な 実効性能
中性子科学	モンテカルロ法によるレイ・トレーシング	中性子を試料に照射した際の散乱実験評価	実験装置設計支援とオンラインシミュレーション	実験装置調整時のインタラクティブ評価の実現	効果的な実験の効率的な実施による研究の促進	10～100TF
耐震	構造・流体・熱連成シミュレーション	50万点を超える部品点数についての構造・流体・熱の連成解析	計算科学によるPAと安全管理の高度化	経年劣化予測と安全・安心な運用技術の高度化	デザイン・バイ・アナリシスの実現	100PF～
バイオ	たんぱく質立体構造モデリングと相互作用の推定	ゲノムにコードされているたんぱく質の立体構造の推定に基づく相互作用の解明	生命現象に重要なたんぱく質の相互作用メカニズムの解明	生命現象に重要な事象の発見	次世代医薬技術の実現	1PF～
大規模計算用計算機科学	超高速演算デバイスシミュレーション	超高速演算を実現できる電子デバイスシステムの動作の解析	超高速シミュレーションを可能にするデバイスシステムの設計	革新的構造による超高速演算デバイスの創造	専用から汎用にいたるシミュレーションシステムの実現	10PF～

## 3. 将来(2010年前後)の スーパーコンピュータシステムについて

### 3. (1)ハードウェア要件、ソフトウェア要件、ネットワーク要件等

#### 計算機タイプ:

⇒ 原研では、核融合・光量子科学・熱流動解析などの分野で、  
スカラー・ベクトル両方とも大規模なニーズがある。

特に、熱流動解析分野のニーズの伸びが大きいこととの関連では、プロセッサ部分では、スカラー演算とともにベクトル演算を効率的に実行でき、主記憶として十分な容量の高速メモリ空間をもち、プロセッサ・メモリ間のデータ伝送に係るバンド幅が十分大きいものが必要である。

#### 結合ネットワーク:

⇒ 多種多様な応用ソフトウェアの並列化及びシステム運用の柔軟性から単段クロスバ・ネットワークのようなものが望ましい。また、要素計算機間の通信バンド幅が十分大きいもの。

#### その他

⇒ 可能な限り、低消費電力のもの。

### 3. (2)システム構築にむけての課題

(1委員としての個人的意見)

#### 1. 超ペタ級高速計算機の開発は、必要不可欠である。

原子力のような巨大技術においては、予算や環境等の制約により実験が困難な場面も多く、計算機によるシミュレーションは従来から重要な研究手段となっている。特に、核融合、原子炉熱流動、光量子科学、さらに大強度陽子加速器といった最先端分野では、計算機を用いた研究は単なる確認・検証の手段を超えて、新たな理論構築の先導を努め、又は計算結果から実験方法を検討するといったように、「理論」及び「実験」と密接不可分な第三の研究手法として不可欠な存在である。

当面のこれらのニーズを想定しただけでも、「超ペタ級」の高速計算機の開発が必須である。

また、このような計算機技術は、エネルギー開発から災害対策等に至るまで、国民の生命・財産を守るためのナショナル・セキュリティを支える重要な担い手ともなるものあり、単純な経済効果だけの議論を超えて、国が積極的に推進されることが望まれる。

2. 用途に応じて、単独の超高速計算機、ITBLのようなネットワーク計算機、PCクラスタ、専用計算機などすべてが必要である。

### 単独の超高速計算機:

スカラー並列計算⇒核融合、光量子、加速器

ベクトル並列計算⇒核融合、原子炉熱流動等

+ベクトル計算向けに高度に最適化された流体計算コードの蓄積。

+高い実効性能の確保による競争力確保

### ITBLのようなネットワーク計算機:

例: **中性子科学および計算生物学の分野**

⇒PCクラスタの整備およびデータ利用環境としてITBLの活用が重要。

⇒両分野の今後5年間の研究動向—特に外部利用者が著しく増大。

⇒ネットワークを含む計算機利用環境の早急な整備が必要。

#### **核融合分野**

⇒ITER計画の本格化とともに外部利用者が急速に増大。

- 更に、核融合研究分野において、MHD安定性解析では有限要素法を適用することで帰着される行列の固有値問題を解く。この計算では、いわゆる、実験のポスト解析が主たる目的であるが、もし、この計算が1ミリ秒以下で可能になれば、MHD安定性解析を運転シナリオの設定や、さらには、実時間制御に利用することが可能になる。この実現には、超ペタ級専用計算チップの開発が必要と考えられる。

3. 単独の超高速計算機については、プロセッサとメモリ間及び要素計算機間の超高速データ伝送を確保するとともにニーズに応じた十分な容量の高速メモリ空間を確保する必要がある。

4. 超ペタスーパーコンピューティングのための要素技術開発では、取り組む幅を広めに設定されることが望まれる。

⇒ 2007～2010年に実現できる超ペタ級大型汎用計算機のみを具体的に想定して行う要素技術開発では、それ以降の世代に対応できる日本独自の技術の幅を狭めてしまう可能性がある。特にこれから**日本の独自性・優位性を打ち出していける分野(超小型、超低消費電力、動的再構成など)**を意識的に取り込みつつ、それらの技術がフルに活かされる最先端研究現場から産業・民生利用に至る幅広い実社会まで**「手軽に広く利用される超ペタ計算科学」**という視点も推進できる戦略的開発ができれば素晴らしい。

[例] 「2007～2010年における超ペタコンピューティング」という意味では、まず、専用ではあるが実社会でかなり利用されうる超小型超低消費電力の超ペタ流体専用シミュレータシステム技術を開発する。このとき、「動的再構成可能」「不揮発性ロジック」「3次元システムインパッケージ」など幅広い分野に利用できるデバイス技術と連携させて開発する。次のステップの技術開発で、当該専用システム技術を、2010年以降の、すなわち、次々世代以降の大型汎用超高速計算機の要素計算機へと進化させていく。  
(cf.補足)

## 補足：手軽に広く利用されうる超小型・超低消費電力

2007～2010年に超ペタコンピューティング時代へ突入

1. 大規模汎用スーパーコンピュータ(次期地球シミュレータ)
2. 小規模専用スーパーコンピュータ(分子動力学・バイオなど)

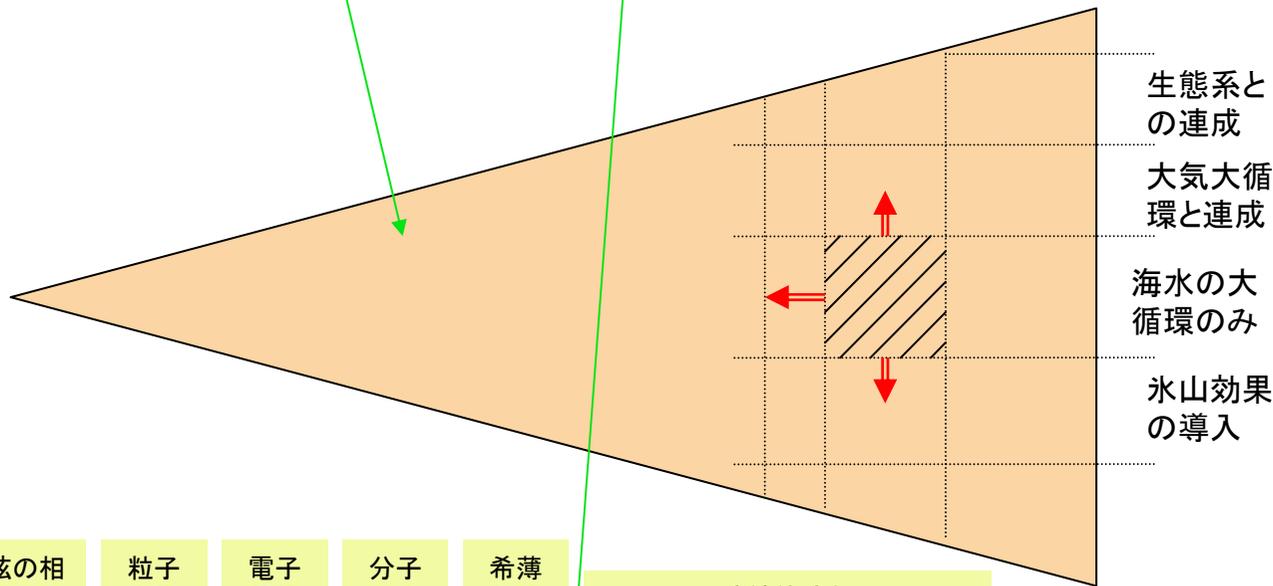
これらとは別に、「**2007～2010年**」に「**超ペタ**」であって、むしろ、実社会(産業・民生利用or最先端研究の現場利用)で手軽に広く利用されることを目的とした、“超小型”・“超低消費電力”のコンパクトな「ユビキタススーパーコンピュータ」を実現できないか？

(高度計算科学によるもっと直接的な社会貢献)

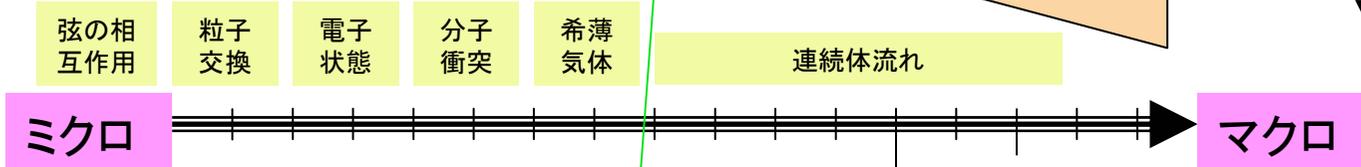
# 社会に役立つ超ペタシミュレーション

→ 現実世界を、より詳細に、より多くの現象を考慮して把握したい。

マルチフィジクス



注目している現象の種類  
の範囲

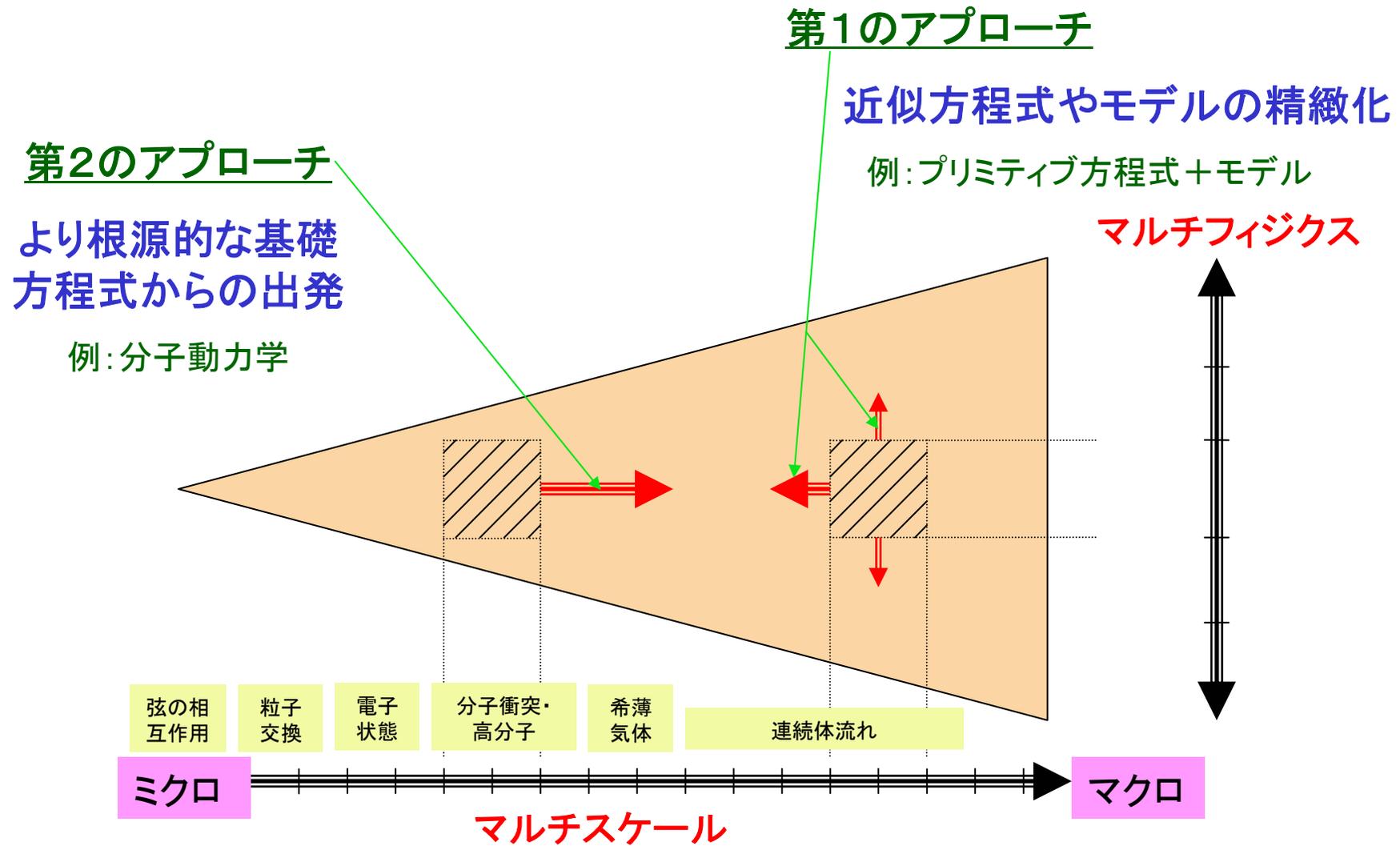


マルチスケール

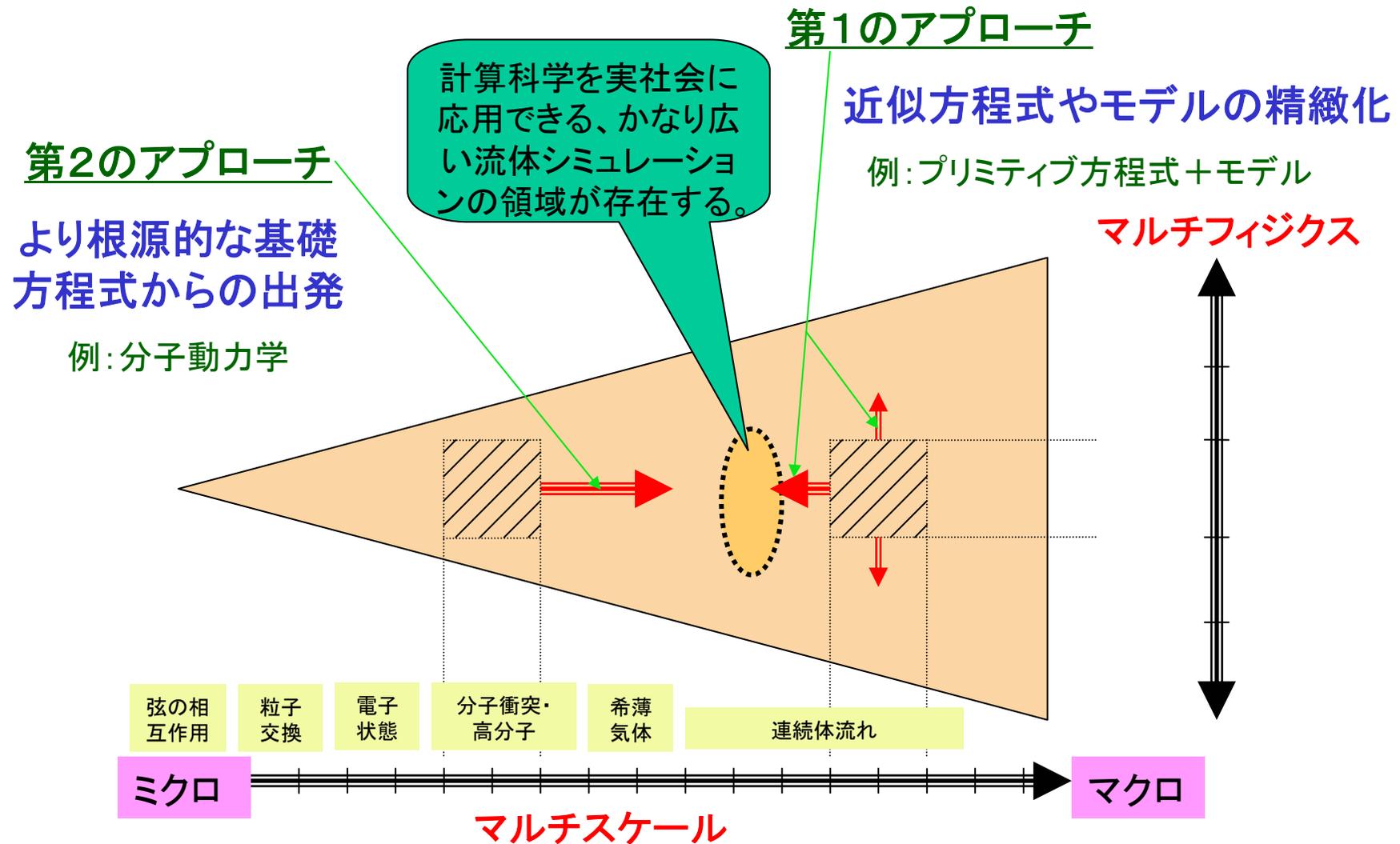
例: 海洋大循環

注目している現象のスケールの範囲

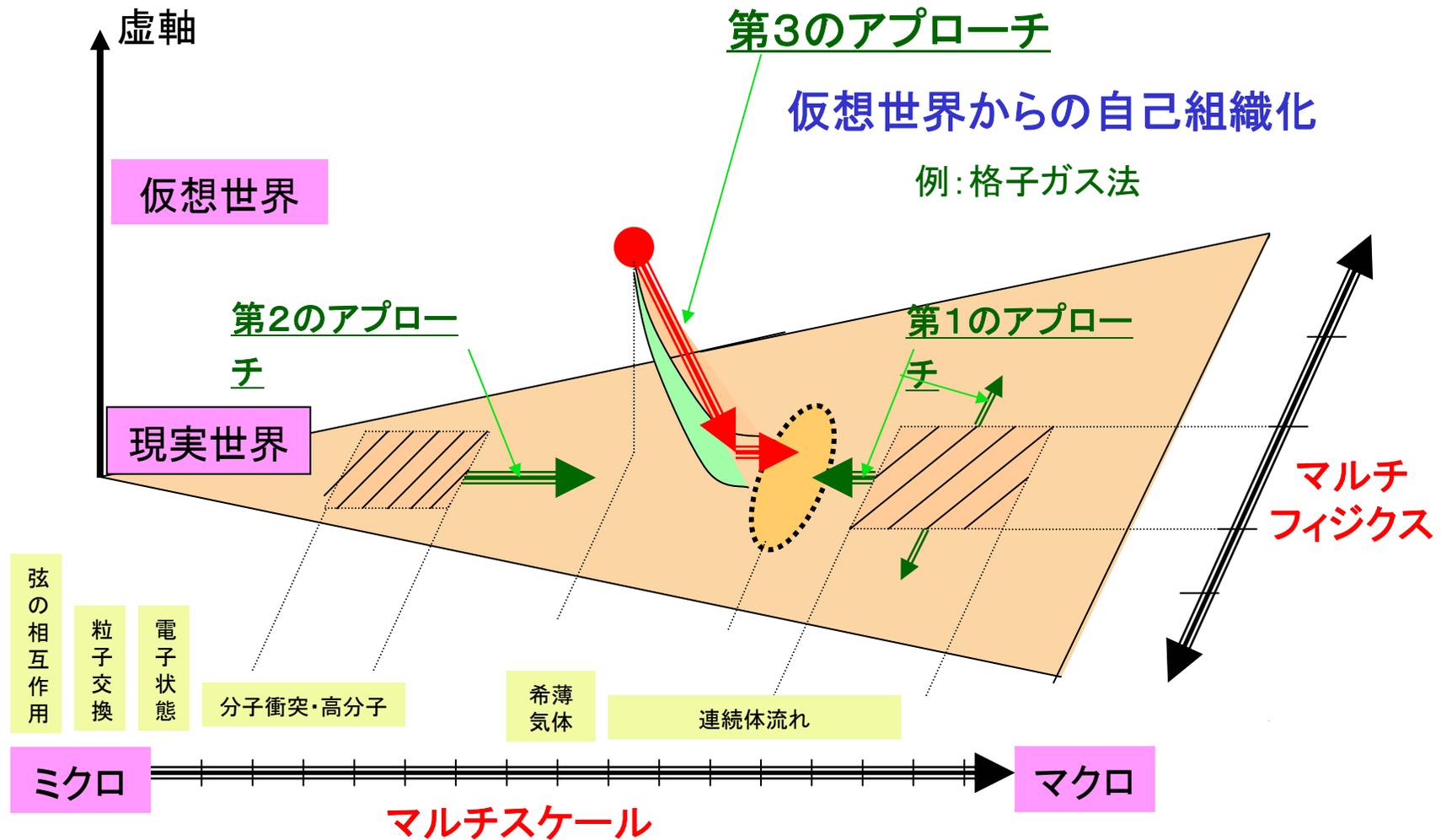
# マルチスケール・マルチフィジクスへの挑戦



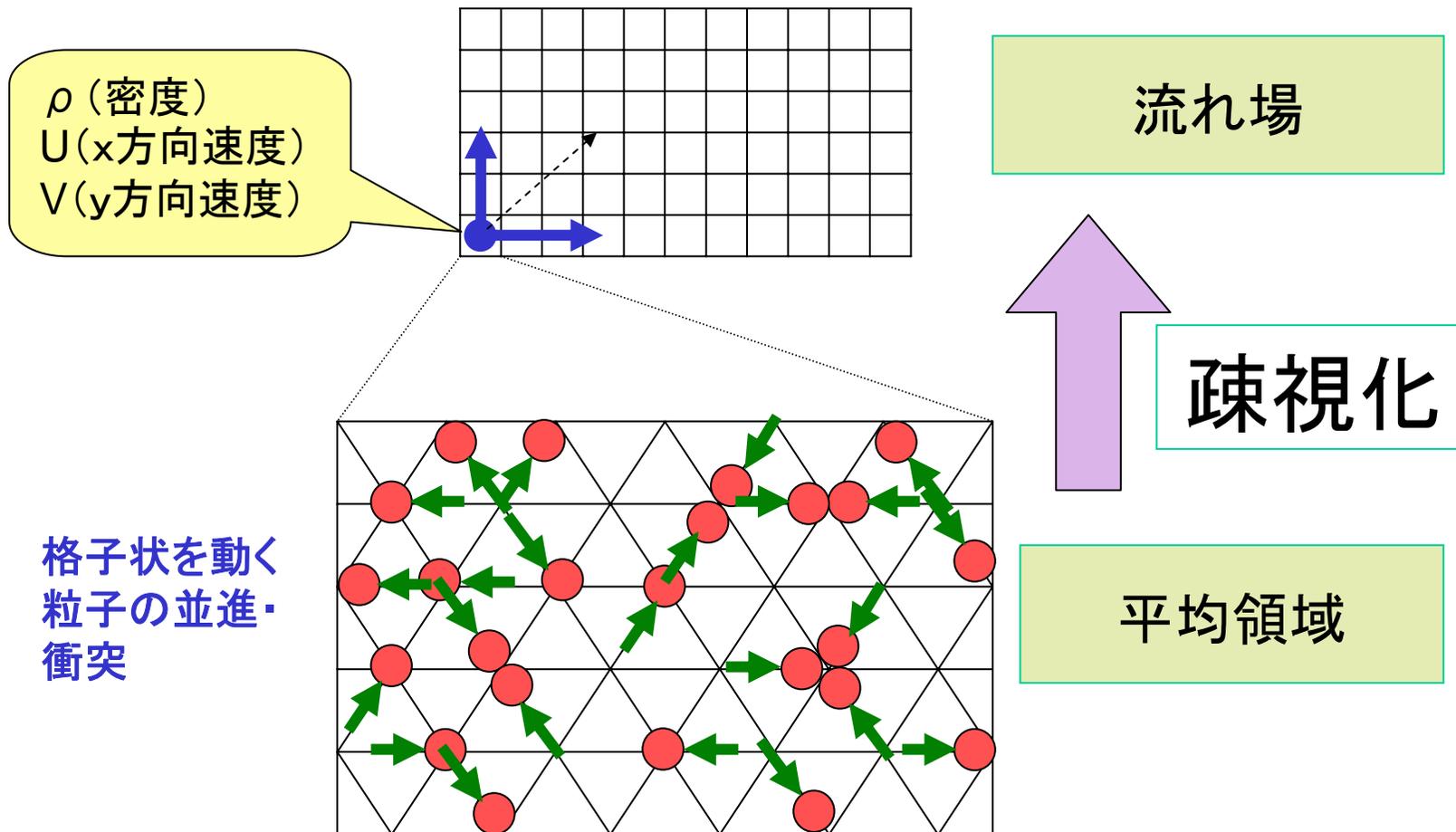
# マルチスケール・マルチフィジクスへの挑戦



# 当該領域へは第3のアプローチが有効



# 第3のアプローチの1例; 格子ガス法による流体シミュレーションの概念



# 「超ペタ」格子演算が可能になれば “丸ごと流体解析時代”の幕開け(試算例)

**一般論**： 解像度1/1000～1/10000を達成する場合、  
(10000～100000)の3乗／(10ペタ演算/秒) × (10000～100000)ステップ ≒ 1秒～3時間

**原子炉まるごと解析**： (1mmメッシュが欲しいと仮定して概略オーダーを試算)

$(10\text{m}/0.1\text{mm}) \times (10\text{m}/0.1\text{mm}) \times (20\text{m}/0.1\text{mm}) / (10\text{ペタ演算/秒}) \times 200000\text{ステップ} \doteq 11\text{時間}$

**海洋大循環まるごと解析**： (全球1kmメッシュが欲しいと仮定して概略オーダーを試算)

$(40000\text{km}/0.1\text{km}) \times (20000\text{km}/0.1\text{km}) \times (10\text{km}/0.01\text{km}) / (10\text{ペタ演算/秒}) \times 400000\text{ステップ} \doteq 5\text{分}$

**高層ビルエアコン換気系まるごと解析**： (全建屋空間10cmメッシュが欲しいと仮定して概略オーダーを試算)

$(100\text{m}/0.01\text{m}) \times (100\text{m}/0.01\text{m}) \times (100\text{m}/0.01\text{m}) / (10\text{ペタ演算/秒}) \times 10000\text{ステップ} \doteq 1\text{秒}$

**その他** 人体循環器系まるごと解析などは、まだまだ足りないか???

# 「超ペタ」格子流体演算は 超小型・超低消費電力で実現可能

1. 「仮想世界」のモデルなので意図的に超単純化が可能。
  - ⇒(例:格子ガス法なら微小整数値のみによる独立な近傍演算モデル)
  - ⇒もともと超並列向き。単純な電子回路の繰り返しで実現可能。
2. 「自己組織化」計算なので途中演算結果の外部への転送は不要。
  - (1)途中演算結果は演算したその場で一時的にのみ記憶
    - ⇒ロジックインメモリ構造によるデータ転送の不要化。
  - (2)外から供給するデータは初期条件と境界条件と時間発展規則だけ
    - ⇒境界条件等は不揮発性ロジックとして低消費電力で保持。
  - (3)出力データは転送能力の範囲内で必要に応じ疎視化・間引きデータを出力。
3. 最適化をハードウェアで実現。
  - ⇒動的再構成可能な電子回路で時間発展規則等を動的に制御。
4. 低消費電力
  - ⇒不揮発性ロジック、超低消費電力メモリ、多値論理等の採用。
5. 実現性
  - 現状技術でも、10ペタ演算／(1m×1mボード)程度の実現性は高い。
6. 次々世代以降の大規模超高速計算機の要素計算機へと日本独自に展開できる可能性あり。

# 効果的な産学官連携で日本の力を集結(例)

