



不均質な系における 粒子コードの効率的並列化

核融合科学研究所 坂上仁志

京都大学学術メディアセンター 中島浩

筑波大学システム情報工学研究科 朴泰祐

FIREX プロジェクト (阪大レーザー研)

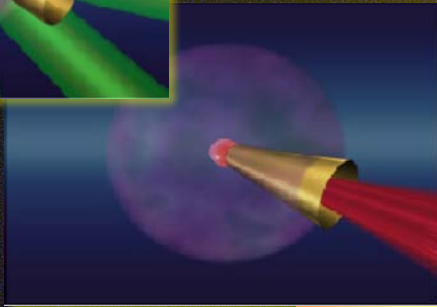
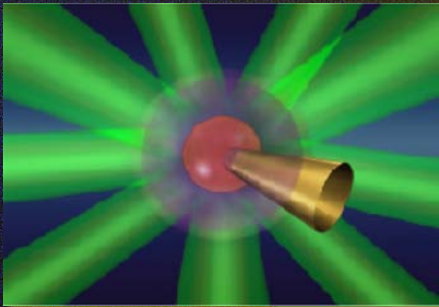
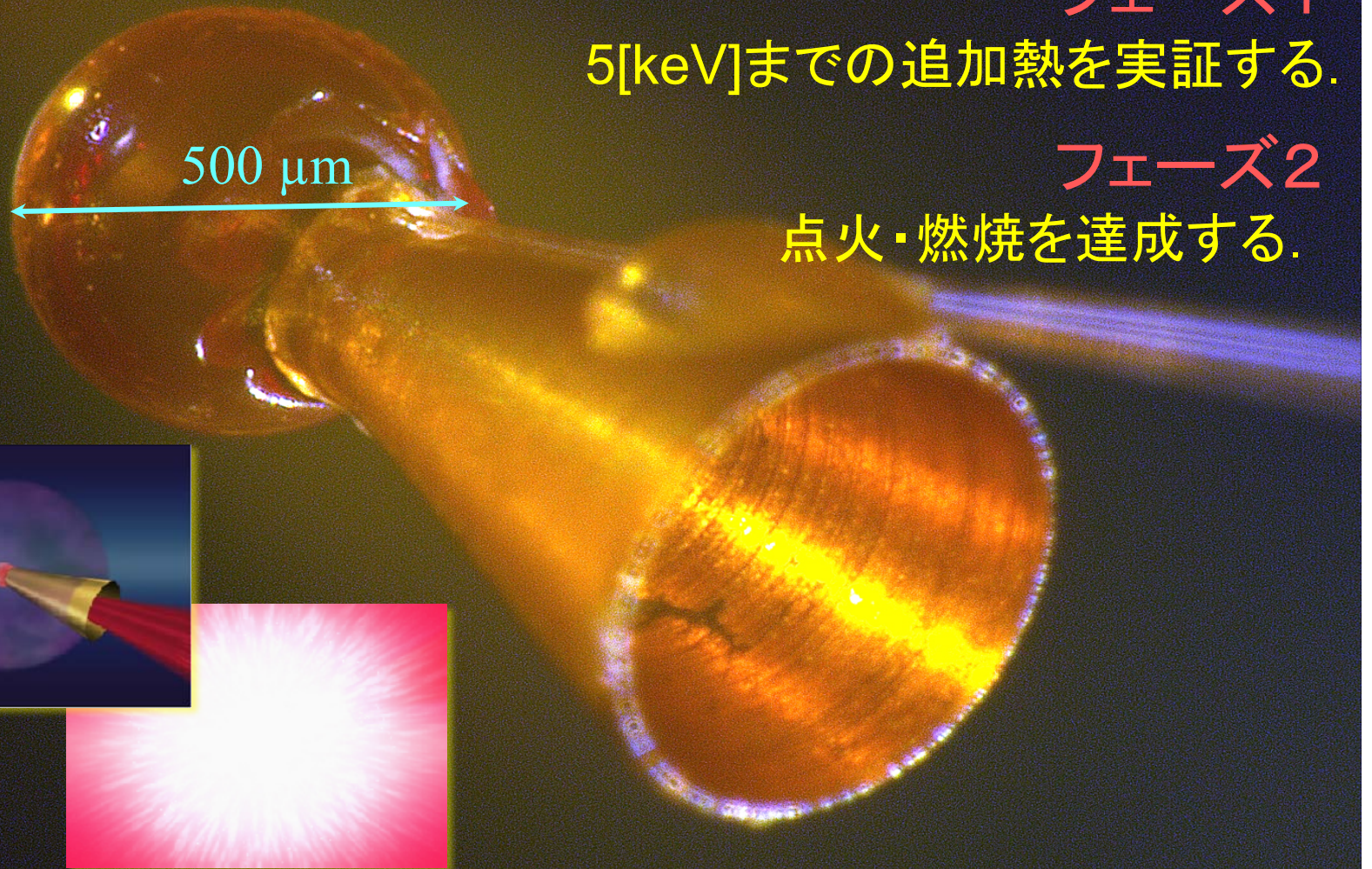
Fast Ignition Realization Experiment

フェーズ1

5[keV]までの追加熱を実証する.

フェーズ2

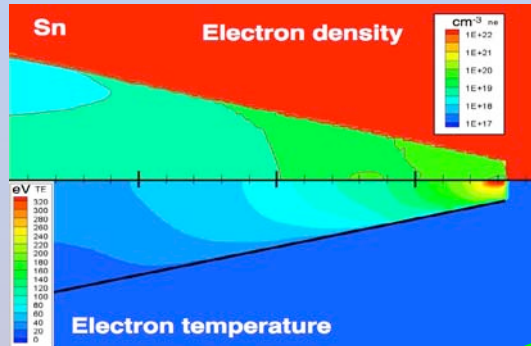
点火・燃焼を達成する.



F1³

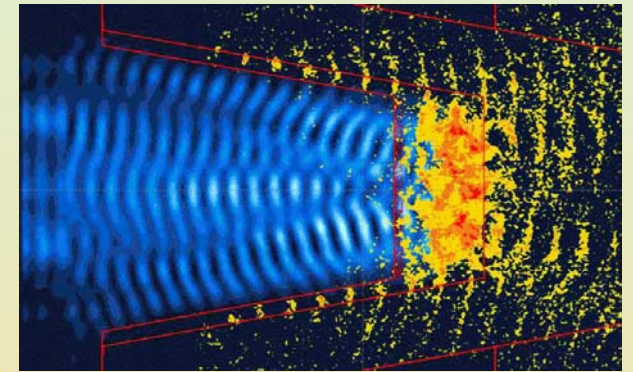
FI³ プロジェクト

光線追跡流体コード
(プリプラズマ生成)

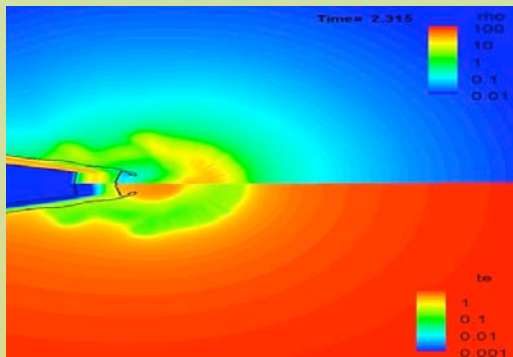


プリプラズマ
プロフィール

相対論的粒子コード
(レーザープラズマ相互作用)

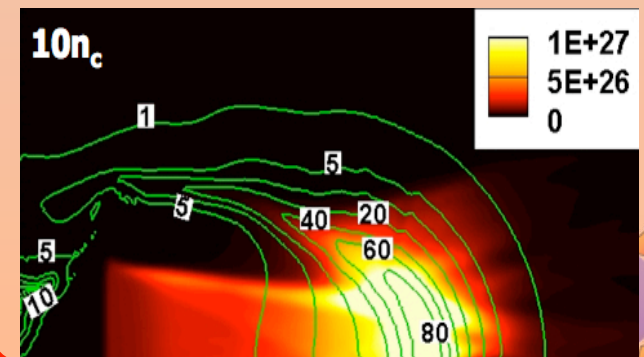


輻射・流体コード
(爆縮)



背景プラズマ
プロフィール

フォッカープランクコード
(コア加熱)



F1³

新聞発表(2005/6/24)

高速点火レーザー核融合

阪大などが解析技術

大阪大学レーザーエネ
ルギー学研究センターの
三國典興教授らは23日、
高速点火レーザー核融合
用シミュレーション技術
を開発したと発表した。
高速点火時に起る現象
電に向けた燃焼予知など

を反応スケールごとに3
種類の大規模計算ソフト
を使い分け、他の計算機
と連動してシミュレーシ
ョンする。実験結果の再
現、点火条件や核融合発
生を単一ソフトでシミュ
レーションする場合に
比べ、各スケールでの反
応現象の正確な捕獲が可
能。従来のように単一ソ
フトでスケールの異なる
反応を3次元シミュレー
ションすると、数万台の
計算機が必要だった。
高速点火実験では、
ペタ(1000億)ワット
レーザーを燃料ターゲ
ットに照射してエネルギー
を得る。核融合実験へ

レーザー核融合 模擬実験機開発

阪大研など

大阪大学レーザーエネ
ルギー学研究センターは
二十三日、未来のエネル
ギーとして期待される
「レーザー核融合」の研
究に使う大規模シミュレ
ーション(模擬実験)シ
ステムを開発した、と発
表した。三台のスーパー
コンピュータを高速回
線で結び、核融合反応を
詳しく解析できる。兵庫
県立大学や核融合科学研
究所、九州大学、摂南大
学も参加した。

阪大はレーザーで燃料
を二段階で圧縮、加熱す
る「高速点火方式」の核
融合を研究している。高
速点火方式で効率よく融
合反応が起こせるかどう
かを調ったシミュレー
ションで検証する。レー
ザー核融合は国際熱核融
合実験炉(ITER)と
は別方式。

平成17年6月24日(金) 日本経済新聞 朝刊

平成17年6月24日(金) 日刊工業新聞 朝刊

の応用が見込まれるが、
目的で今回の技術を開発
した。研究には核融合科
学研究所、九州大学、摂
南大学、兵庫県立大学が
参加した。

大レーザーエネルギー学
研究センター(大阪府吹
田市)や核融合科学研
究所(愛知県岡崎市)など
グループが開発した。27
日からスペインで開かれ
るヨーロッパ物理学会フ
ラマ会議で発表する。
レーザー核融合は数ペ
タワットのレーザーを
角の隙間で起きる。しか

し、電子による加熱の様
子など、より小さい領域
での物質やエネルギーの
動きを同時に計算しない
と、現象を正確に模擬で
きない。
グループは計算機上の
空間を約1ミ、約千分の
1ミ、約千分の1ミの
三つのスケールに区切

り、それぞれを連動させ
て計算を進めることに成
功した。

数万台のスーパーコン
ピューターが必要だった
計算を3台で行ったこと
にたるといふ。グループ
は「阪大にピー玉を授け
込んだとき、ピー玉が超
高速で同時に、数億回
から大阪湾までの流れ全
体の変化を計算するもの
だ」と話す。

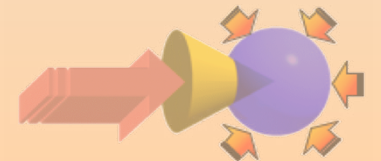
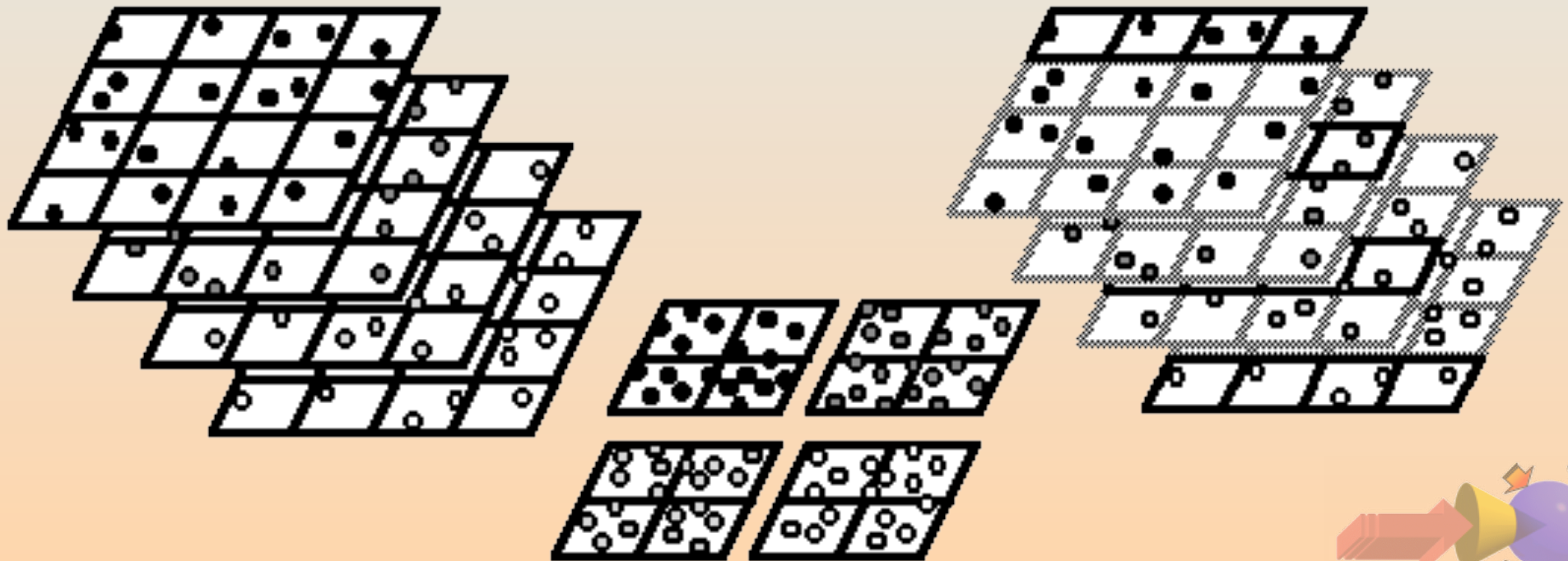
レーザー核融合
模擬に新計算法
阪大など開発
レーザーで点火するク
イプの核融合を計算機で
模擬する新手法を、大阪

平成17年6月24日(金) 朝日新聞 朝刊

$F1^3$

従来の並列化方法

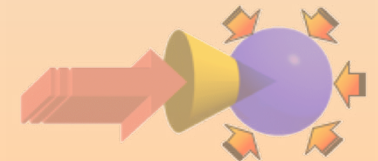
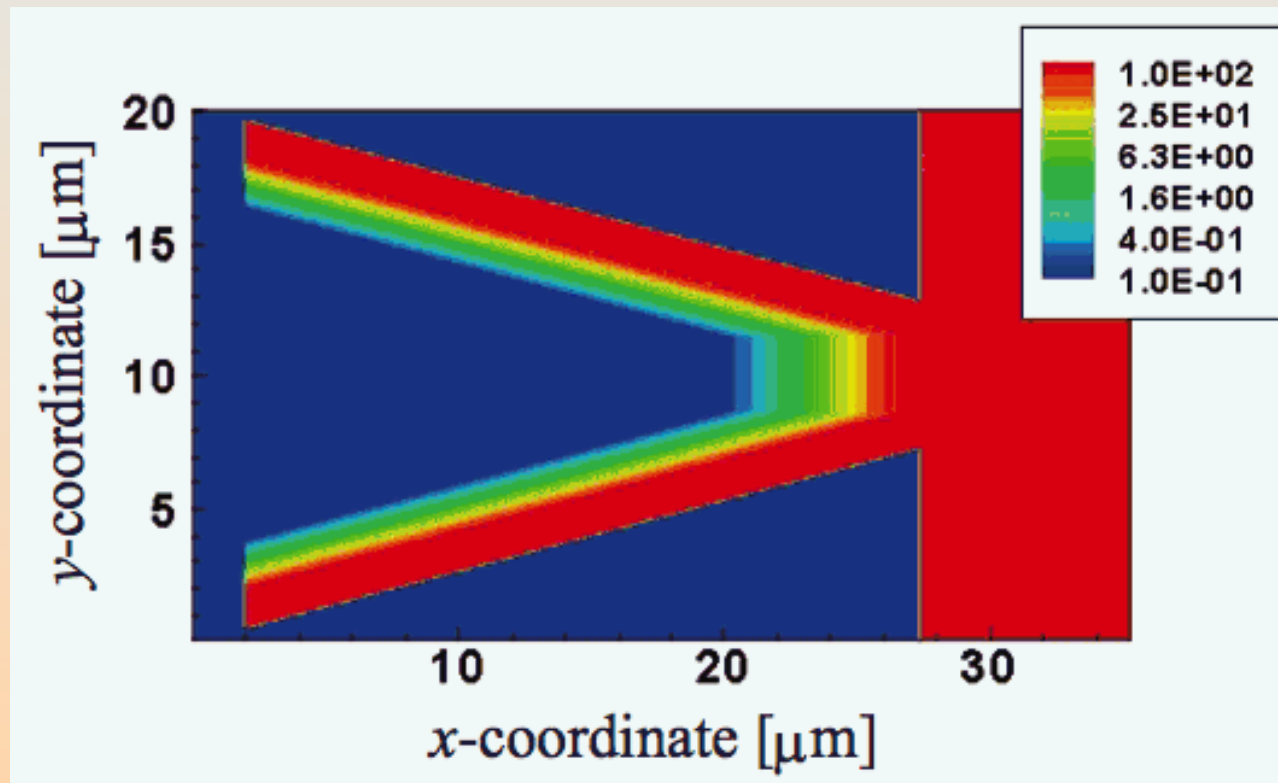
- ❁ 粒子分割法 (SMP向け)
- ❁ 粒子+フィールド分割 (メモリが多い低並列向け)
- ❁ 領域分割法 (高並列向けで, 現在の主流)



$F1^3$

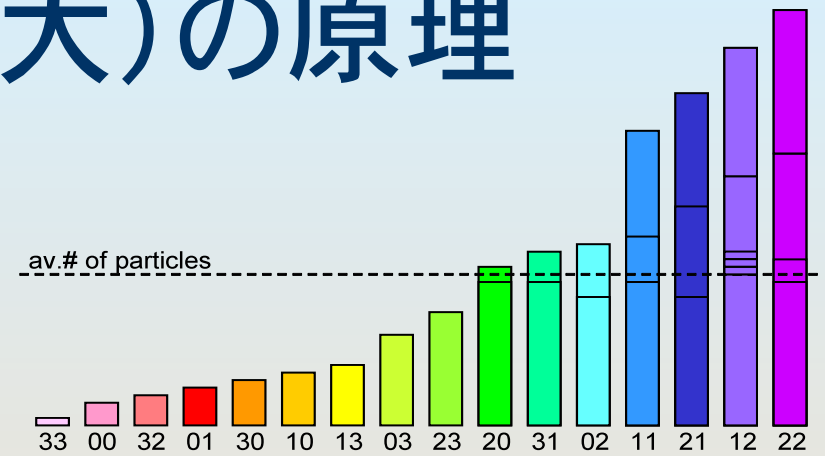
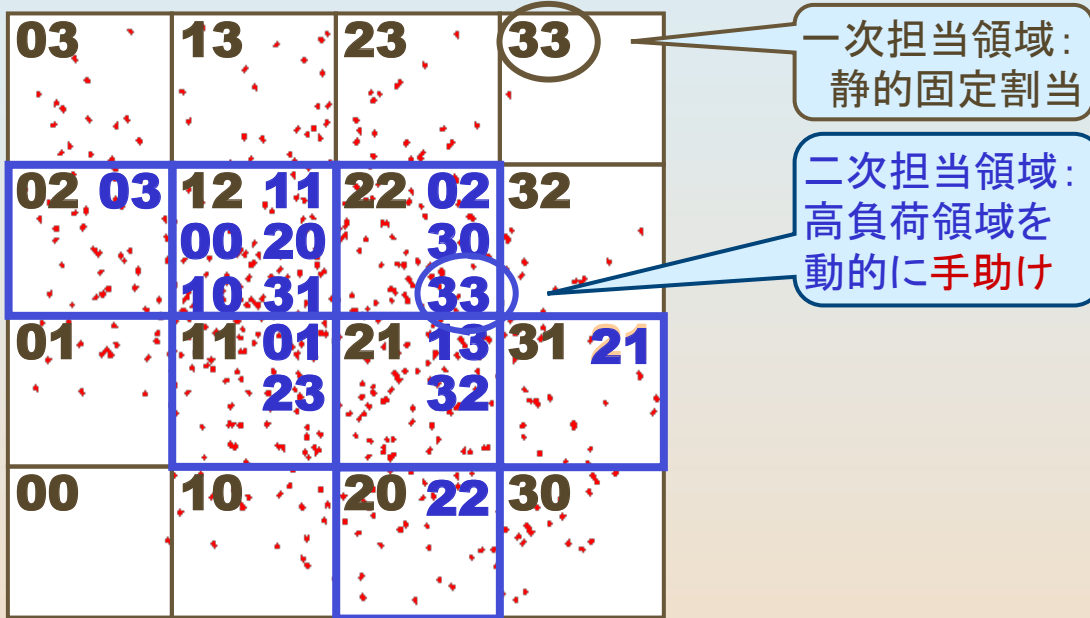
高速点火向けの粒子計算

- ❁ 粒子分布に大きな偏りがあるため,単純に領域分割すると並列効率の大幅な低下を招く.
 - ダイナミックな負荷分散が必要である.

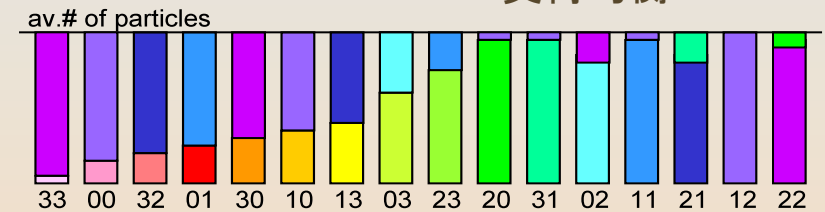


$F1^3$

OhHelp (中島@京大)の原理

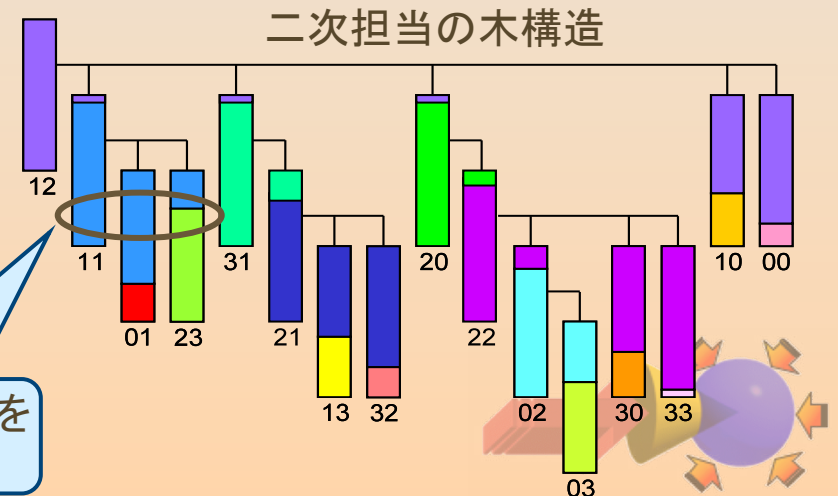


二次担当による
負荷均衡



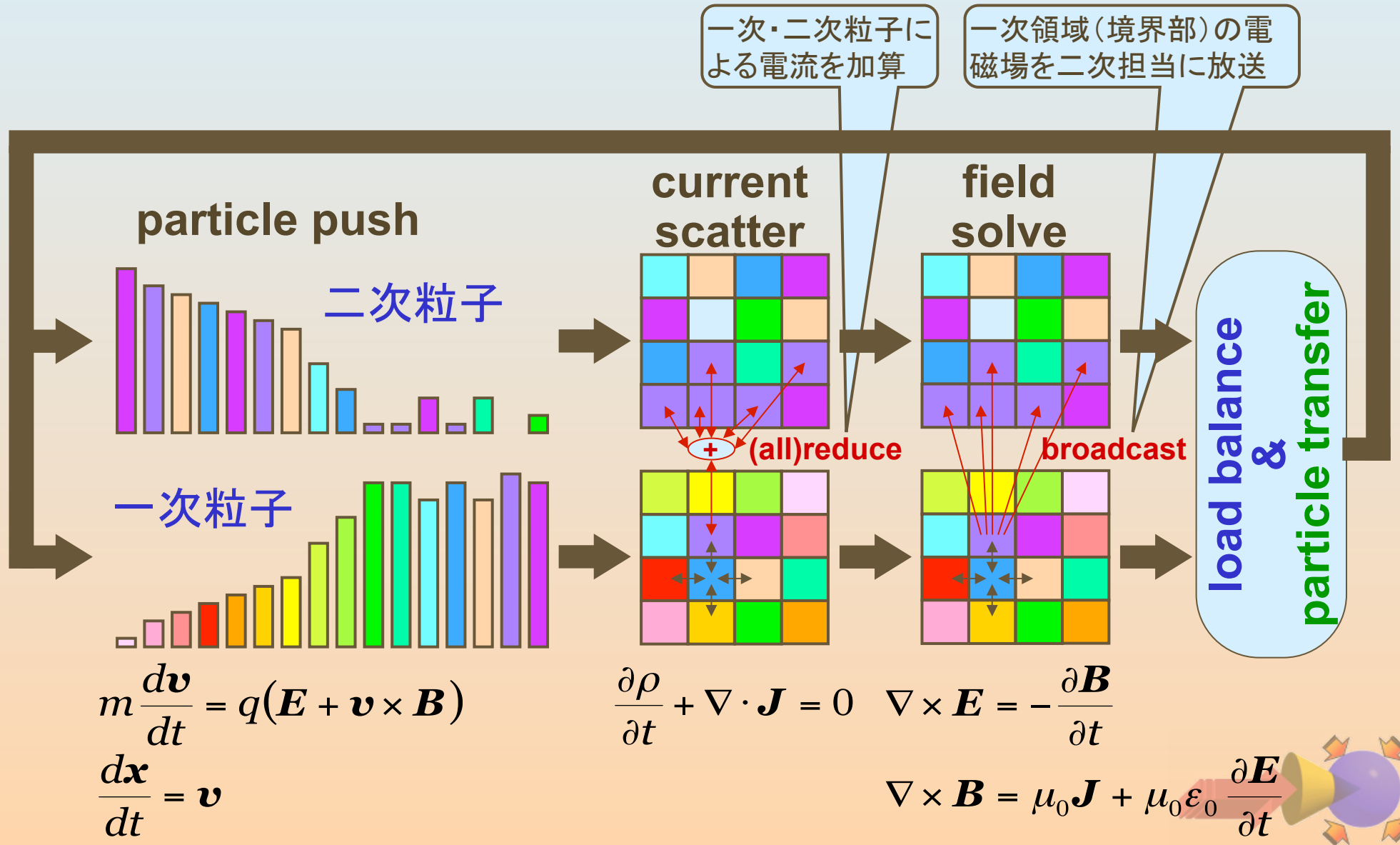
- (1) 木構造を**bottom-up**走査し
 $\max(\text{一次粒子} + \text{二次粒子}) \leq \text{平均} \times (1 + \alpha)$
を維持可能かどうかをチェック
- (2) 維持可能なら木構造を**top-down**走査し
家族内の粒子移送で負荷均衡を保つ
- (3) 維持不能なら完全に均衡するように二次
担当を変更

親の一次担当領域を
子供が二次担当



F1³

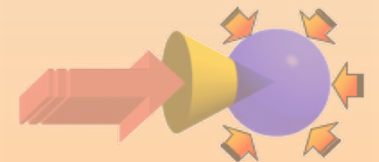
OhHelpを用いた粒子コードアルゴリズム



$F1^3$

OhHelpのライブラリ化

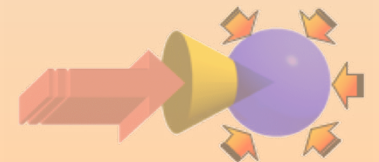
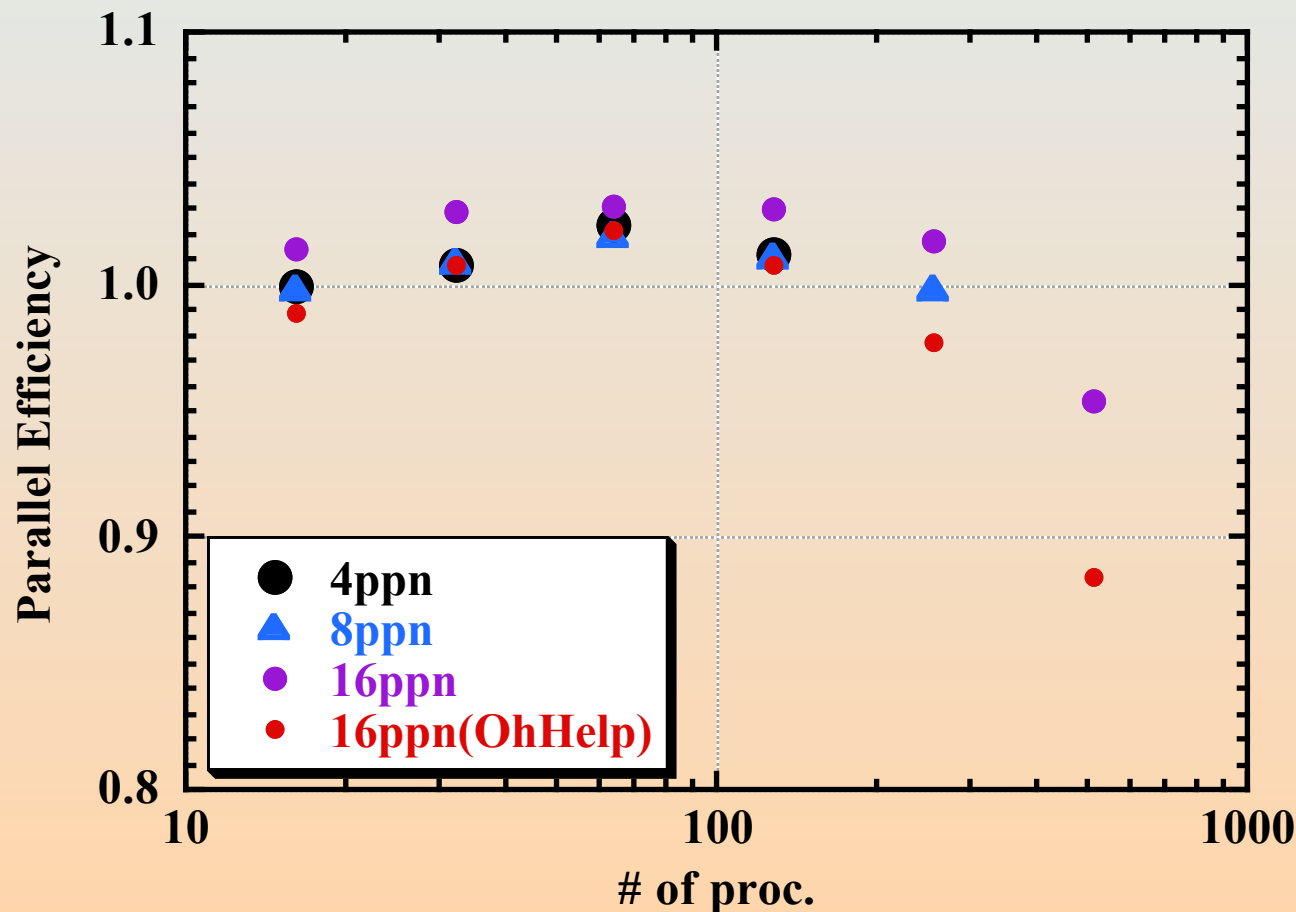
- ❁ Level-1 (負荷分散の情報のみを得る)
 - プロセス間で移送する粒子数計算
 - 家族内の集合通信
- ❁ Level-2 (粒子はOhHelp,場は自前で通信する)
 - プロセス間の粒子移送
 - (粒子の注入)
- ❁ Level-3 (すべてをOhHelpに依存する)
 - 領域データの境界通信・集合通信
 - 粒子データの領域マッピング



$F1^3$

並列効率

- ❁ 負荷分散が不可欠なパラメータではなかったため, OhHelpの有効性は確認できなかった.



OhHelpの問題点

❖ Fortran外部名

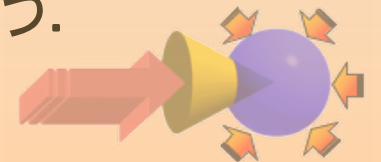
- 最後に“_”を付加するシステムは多いが,そうではないシステムもある.(g77の“_”や日立の大文字化など)

❖ 粒子情報の配列

- 電子とイオンでは定義している物理量の数に違いがあるが,同一の配列にパッキングされるため,粒子移送では無駄な通信が起こる.

❖ コミュニケータの管理

- 家族毎にコミュニケータを作成するので,大規模並列では非常に数が多くなる.
- このような場合の再構築コストの評価が必要であろう.



まとめ

❖ 学際共同利用への感謝

- 不均質な系においても効率の良い新しい並列アルゴリズムを計算プラズマ物理の研究者だけで開発するのは困難であった.
- 次世代スパコンに絡んでも、今後益々、計算科学と計算機科学の研究者が交流することは重要になると考えられる.

❖ レベル3で実装し、実計算の規模で評価する.

- 昨年度から阪大レーザー研で高速点火統合実験が開始されており、その実験結果のシミュレーションによる解析が急務である.

