

# 直接数値シミュレーションの早期実用化を目指した 整数型格子ボルツマン法による非熱流体過渡変化解析



## 研究目的

“整数型格子ボルツマン法”による500億格子点規模の非熱流体過渡変化解析に関する性能評価を行い、工学設計等において実用的な直接数値シミュレーション(DNS)を早期に実現する観点から、本手法の優位性を示す。

## 研究の意義

整数型格子ボルツマン法は、「各格子点の物理状態を少ない情報量(ビット数)で記述でき、かつ、1格子点あたりの状態情報の更新(時間発展計算)を狭いビット幅(1ビット幅)で超並列に行うことができるため、高密度な格子点計算にむく」という特徴をもつ。また、大規模並列計算でも計算効率が低下しにくいセルオートマトン的な計算であるため、将来的には、工学設計において、他の手法より早期に実用的なDNSを実現できると期待できる。本研究の意義は、その方向に向けた第1歩として、一般的には注目度が低い本手法の優位性を示すことにある。

## 研究計画

(研究グループ: 渡辺正、松岡浩、大木慎一、板倉憲一、菊池範子+東北大学拠点より、小林広明、江川隆輔)

### ①東北大学SX-9による流体シミュレーションコードの改良 (H26年4月~9月)

計算効率の向上、高レイノルズ数事象のシミュレーション機能の付加

### ②新規導入SX-ACEによる過渡変化解析の性能評価 (H26年10月~27年3月)

数億格子点規模での現行コードによる試計算の実行

⇒計算効率向上のための改良⇒500億格子点規模での性能評価

### ③原子力流動解析分野への応用計算に関する事例研究 (H26年4月~27年3月)

原子炉冷却システムの一部を模擬した実験装置をベースにして;

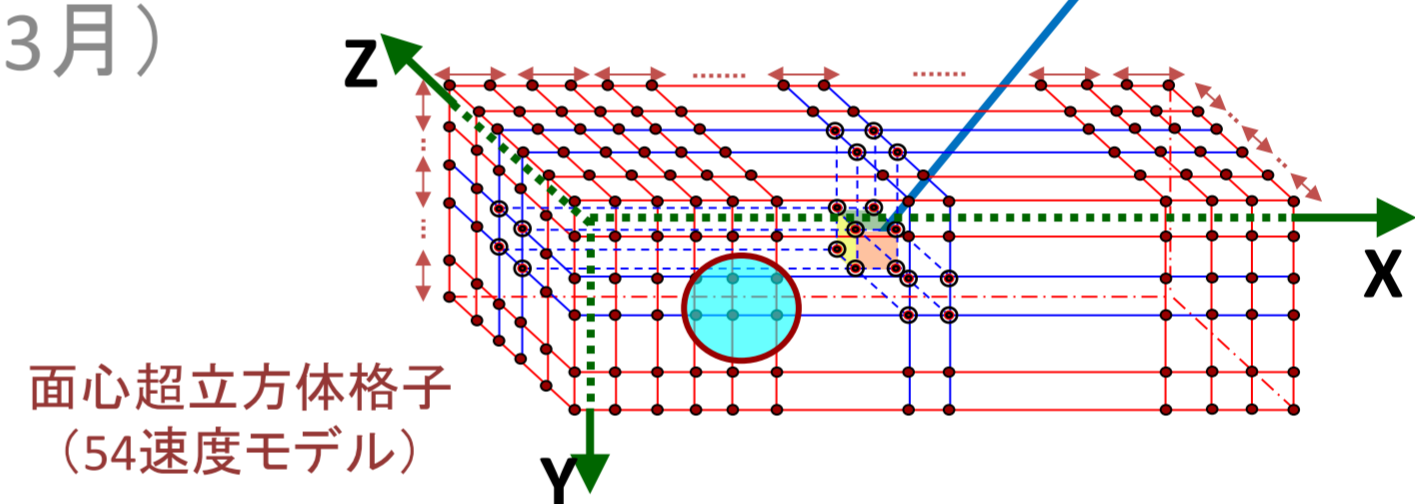
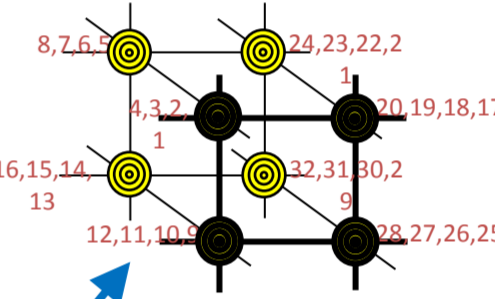
⇒FLUENTとRELAP5による連成流動シミュレーションの実行

⇒整数型格子ボルツマン法による流動シミュレーションとの比較

### 1格子点1ビット幅でセルごと一括記述

各格子点での仮想粒子の存在状態を記述する配列:

(X,Y,Z)に位置するセル(cf.右図)の第k番4次元格子点に、向きDの粒子が存在するか否かを  
 $bit[D][Z][Y][X] = (1,0,1,0, \dots, \star, \dots, 1,0)$  の第k番目のビット値で示す。



### 仮想粒子が格子点間を並進・逆進と衝突

時刻Tに格子点位置 (X,Y,Z,R) に存在し速度 (ΔX, ΔY, ΔZ, ΔR) をもつ仮想粒子の動きは、

#### 1. 仮想粒子の並進・逆進

行き先格子点位置 (X+ΔX, Y+ΔY, Z+ΔZ, R+ΔR) が流体であれば、時刻T+1に行き先格子点位置で同じ速度をもつ。また、行き先格子点位置が固体であれば、時刻T+1に、同じ格子点位置で各成分が反転した速度 (-ΔX, -ΔY, -ΔZ, -ΔR) をもつ。

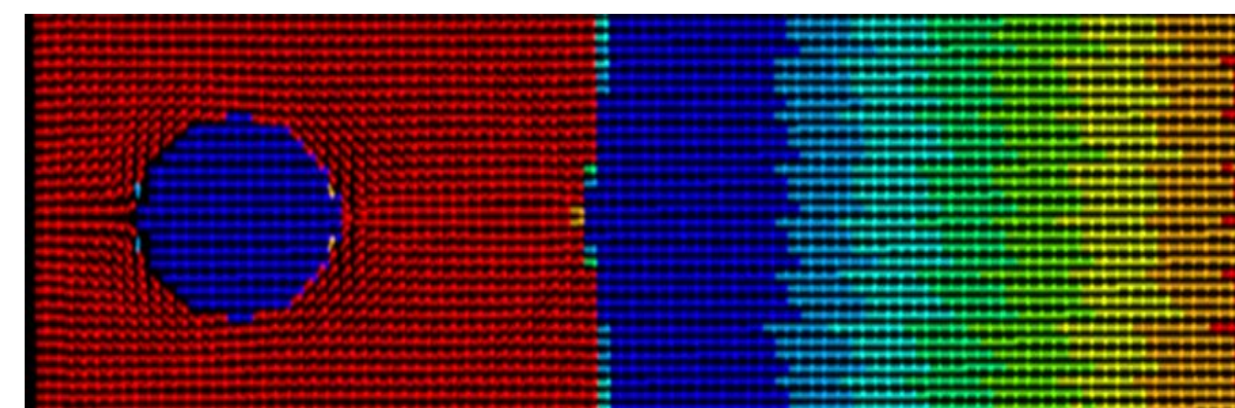
#### 2. 仮想粒子の衝突による進行向きの変更

○保存則: 衝突前後で、①粒子数と②各成分ごとの運動量(4成分)と③エネルギーが保存。

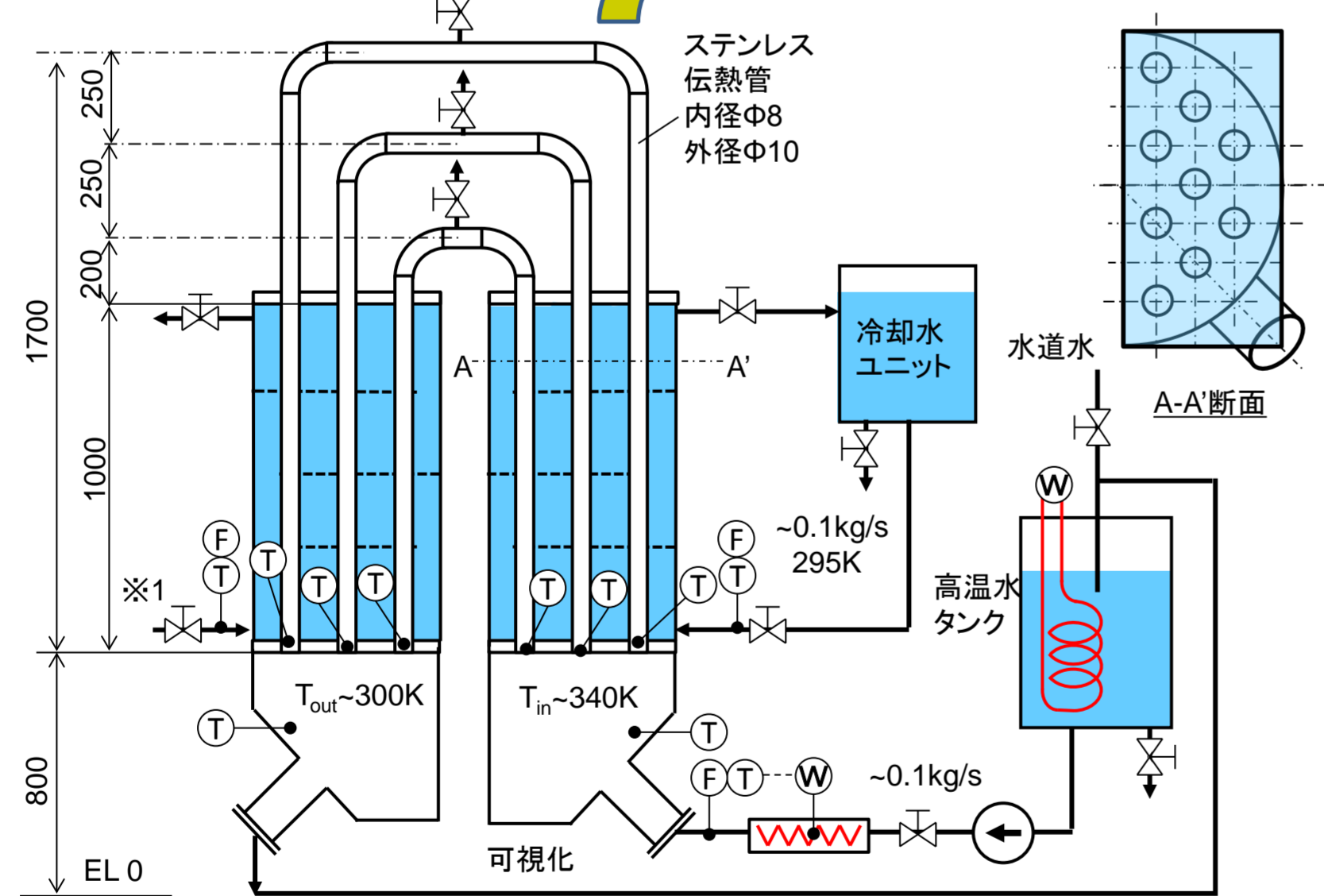
○排除律: 同じ格子点位置では、同じ速度をもつ仮想粒子は、2個以上存在できない。

### SX-9の4ノード(64CPU)による500億格子点規模の計算実施例

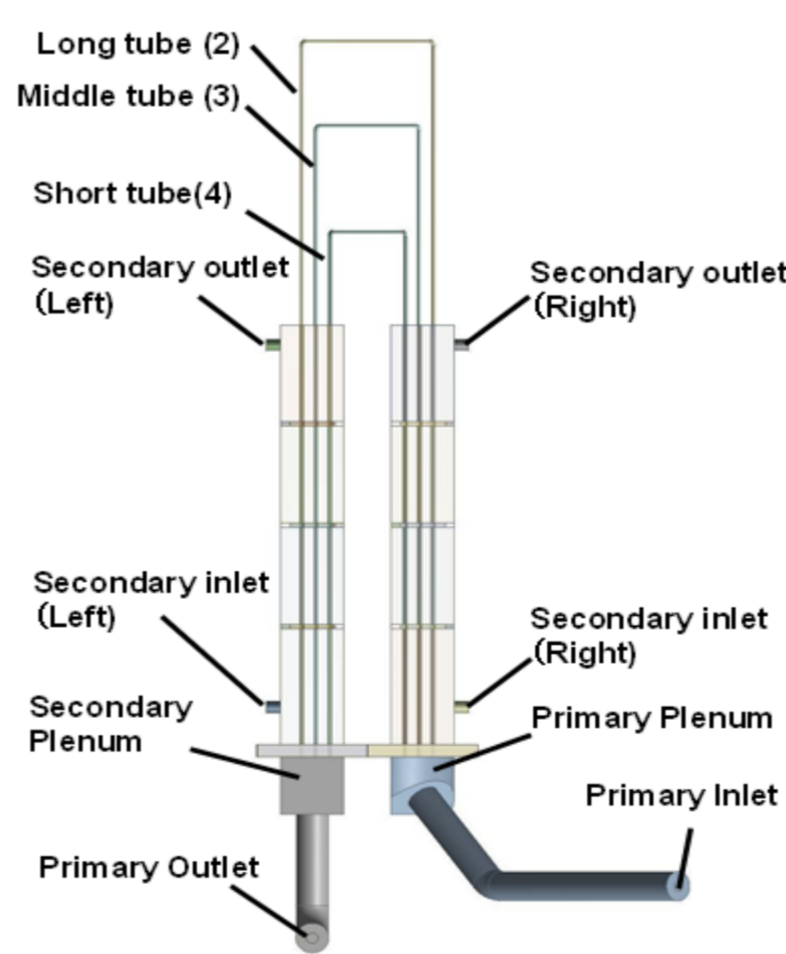
静止した流体中におかれた無限長円柱に垂直な方向に流体が動き出したときに生じる円柱後流の過渡変化をシミュレーションした。12288×4096×1024≒515億格子点の計算結果を疎視化して96×32×8の速度ベクトルを求めており、下図は、Z軸に垂直なある断面における5952時刻ステップ目のスナップショットで、双子渦発生以前の段階である。



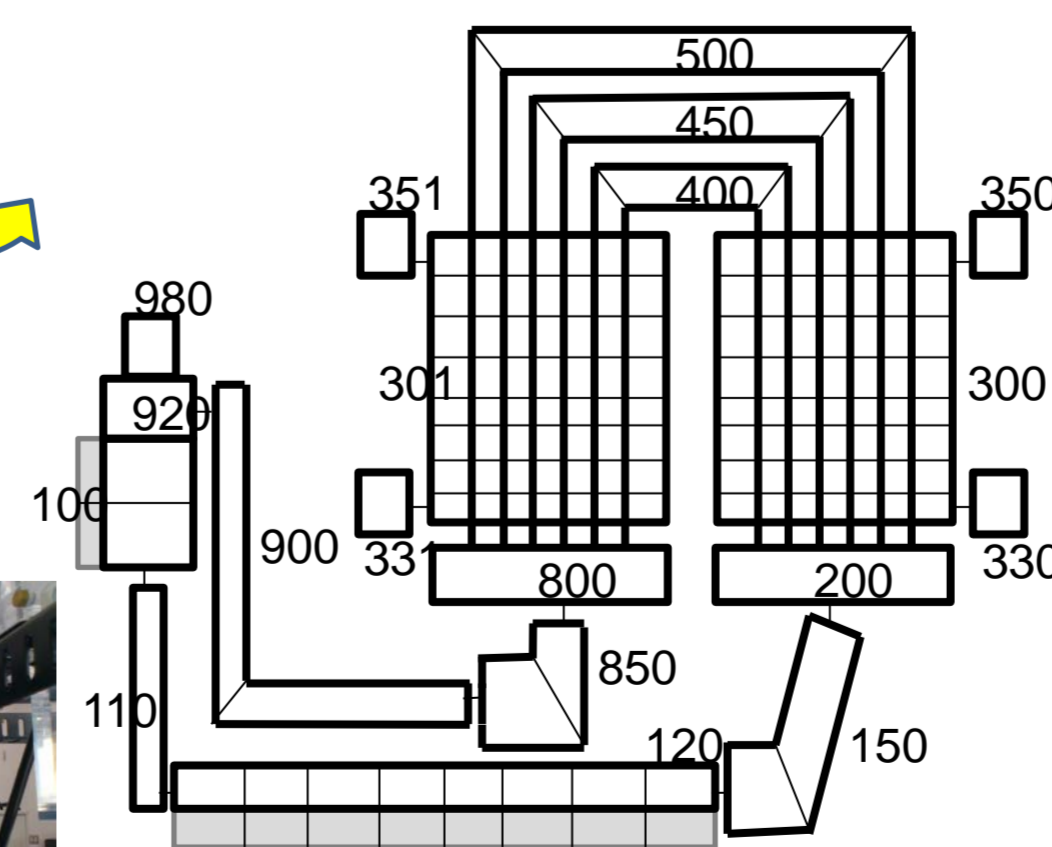
### <実験装置概要>



### FLUENT14.0入力モデル



### RELAP5/MOD3.3入力モデル



### <実験装置の外観>

福井大学 国際原子力工学研究所

