

大規模シミュレーションによる 原子炉内複雑熱流動挙動 予測に関する研究

高瀬和之（日本原子力研究開発機構）

二ノ方 壽（東京工業大学）

平成18年度 地球シミュレータ利用報告会

平成19年1月27日（土）

目的

本プロジェクトは次の2つのシミュレーション研究からなる。

1. 原子炉内複雑熱流動挙動の大規模シミュレーション (日本原子力研究開発機構)

- ・原子炉内二相流挙動のシミュレーションによる把握
- ・シミュレーションを主体とした炉心熱設計手法の開発

2. 稠密燃料集合体内单相乱流直接シミュレーション (東京工業大学)

- ・直接解析による稠密燃料集合体内壁乱流構造の把握
- ・広範なレイノルズ数領域での乱流データベースの構築

1. 原子炉内複雑熱流動挙動の大規模シミュレーション

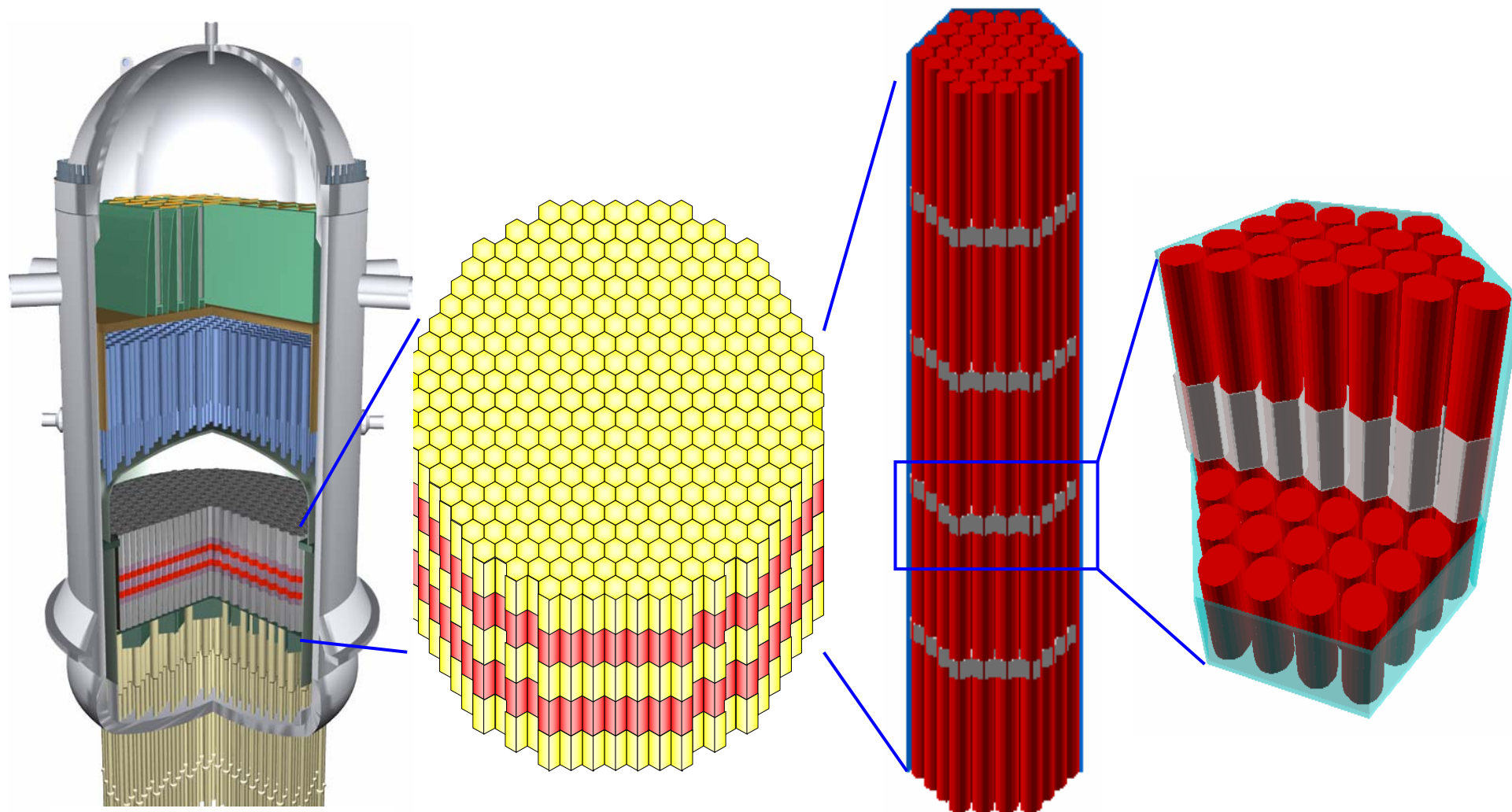
今年度の予定

原子炉燃料集合体内における水-蒸気沸騰流挙動の詳細を明らかにする。

成果

炉心出力分布に依存する燃料集合体内沸騰流挙動の定量化に成功し、シミュレーションを主体とする炉心熱設計手法開発を大きく前進できた。

燃料集合体内の冷却材流路構造



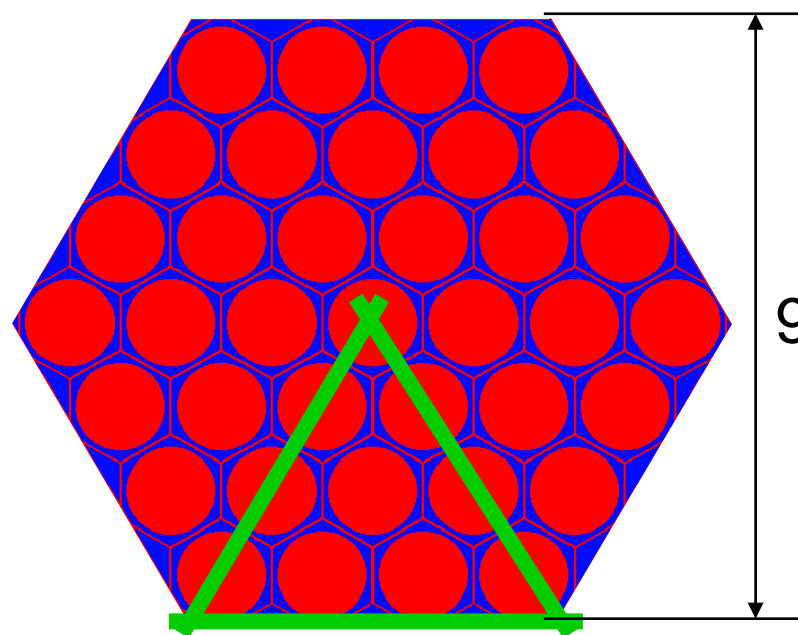
革新的水冷却炉

炉心

燃料集合体1カラム

スペーサ周辺

解析体系



水平断面

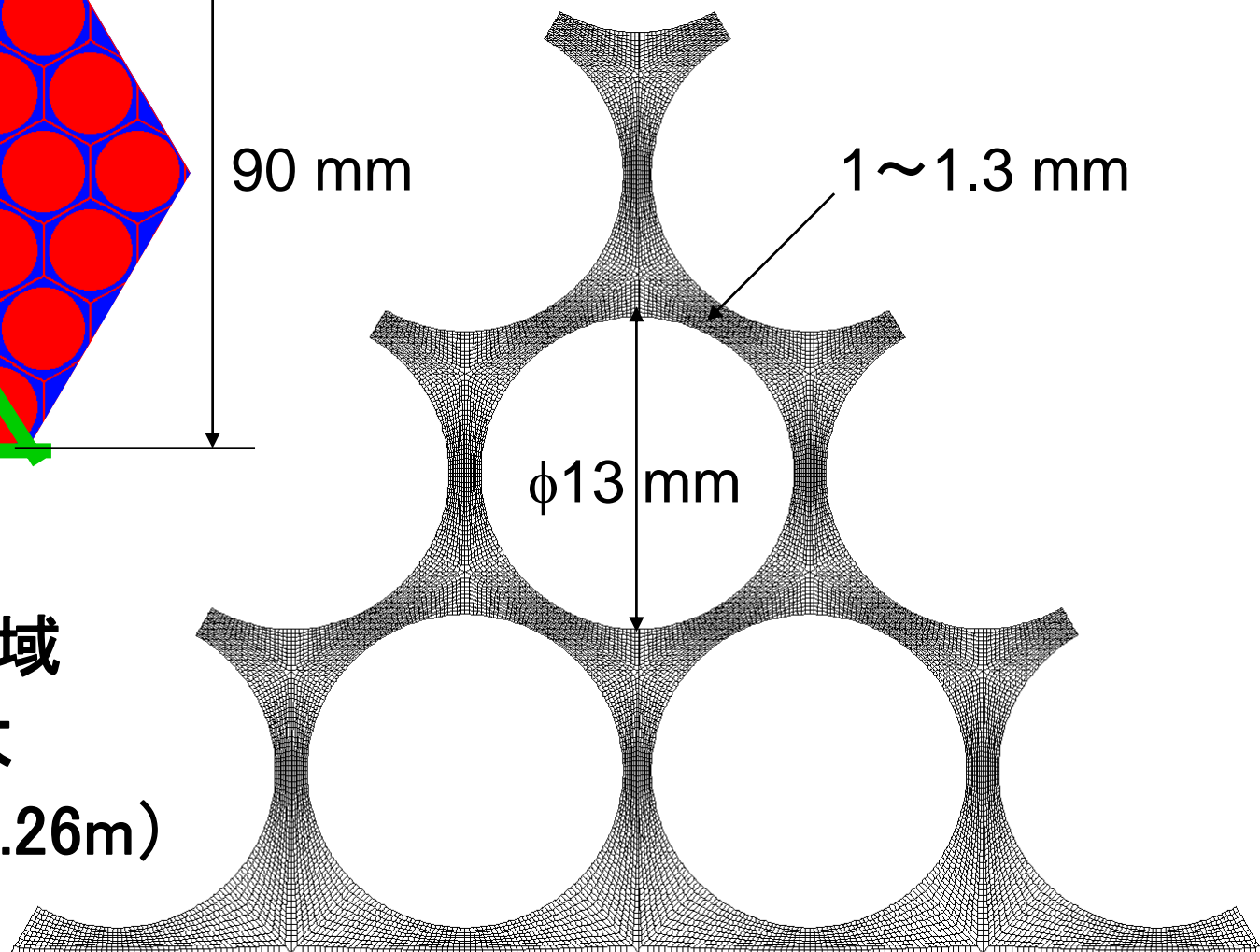
90 mm

1 ~ 1.3 mm

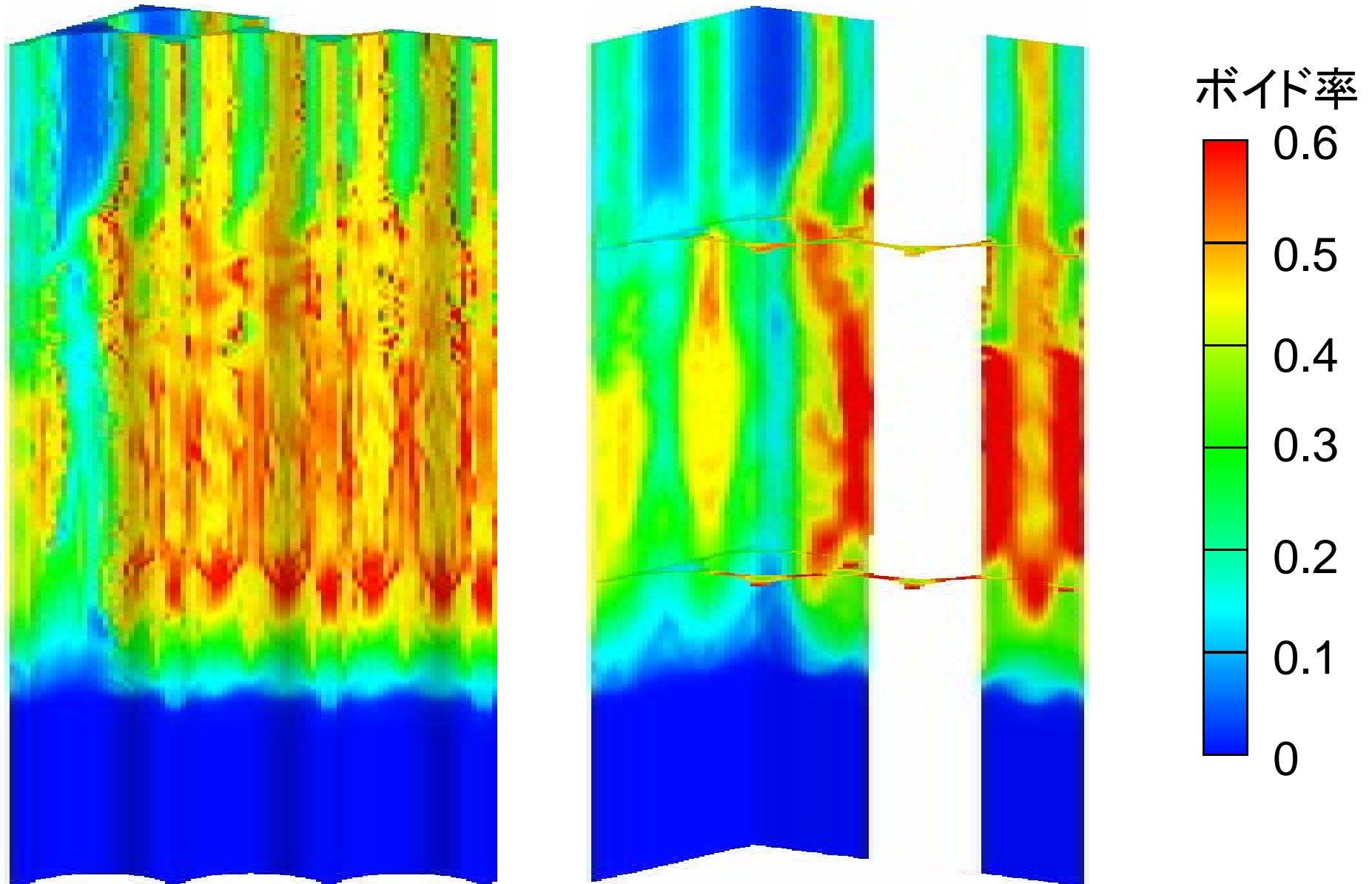
$\phi 13$ mm

水平方向: 1/6領域
流れ方向: 実寸大
:(高さ1.26m)

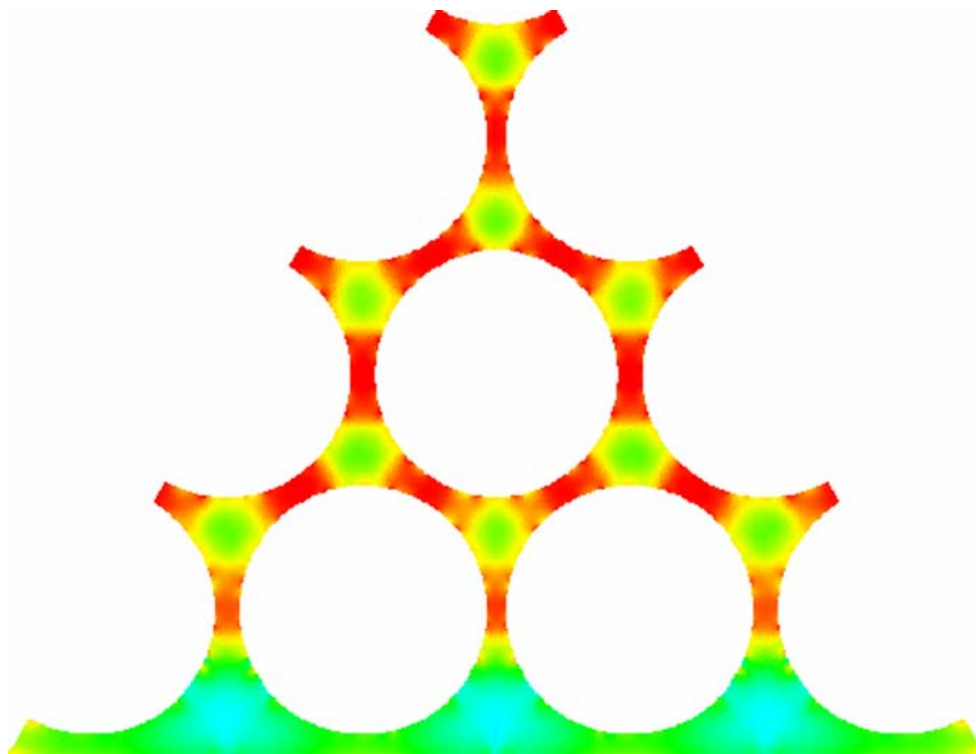
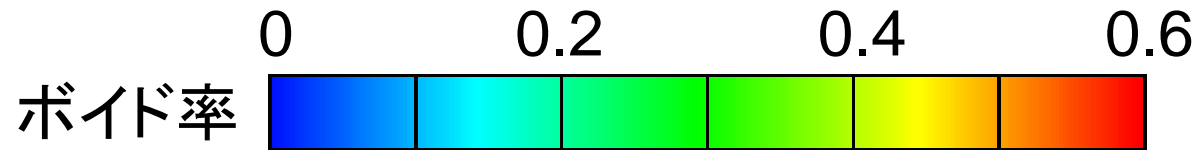
格子数: 2,000万



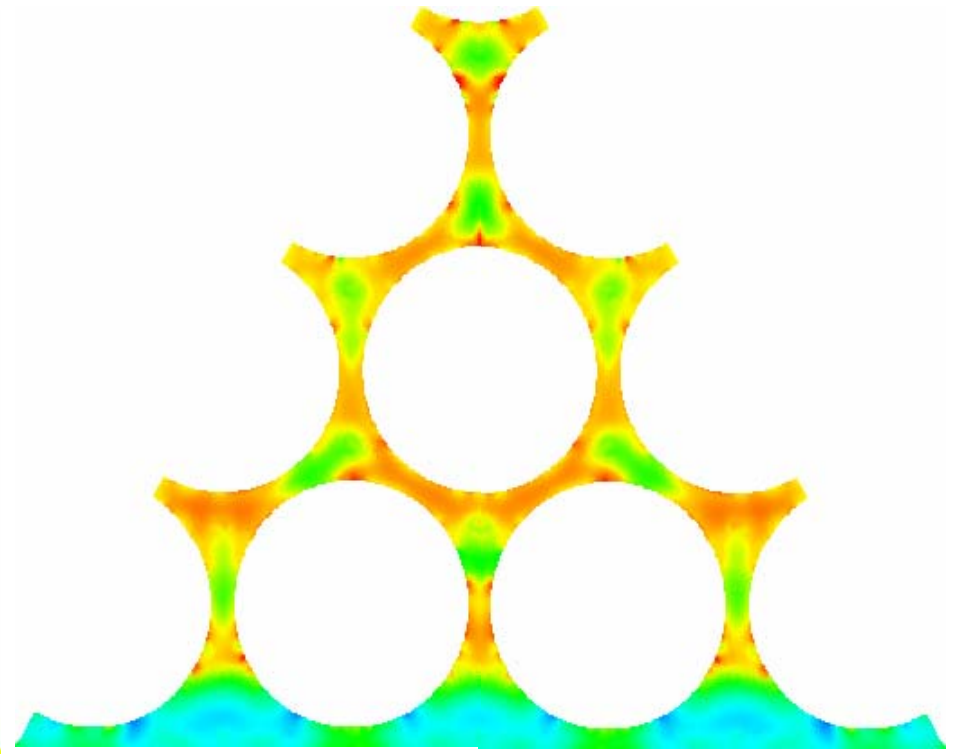
予測した流れ方向ボイド率分布



予測した水平方向ボイド率分布

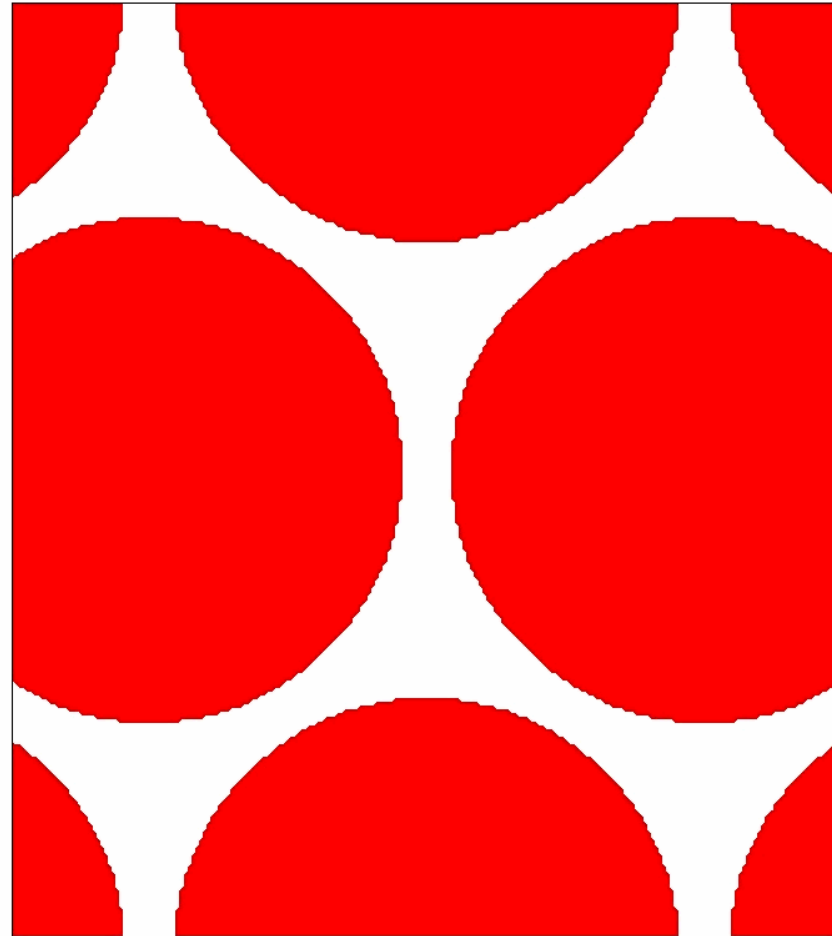
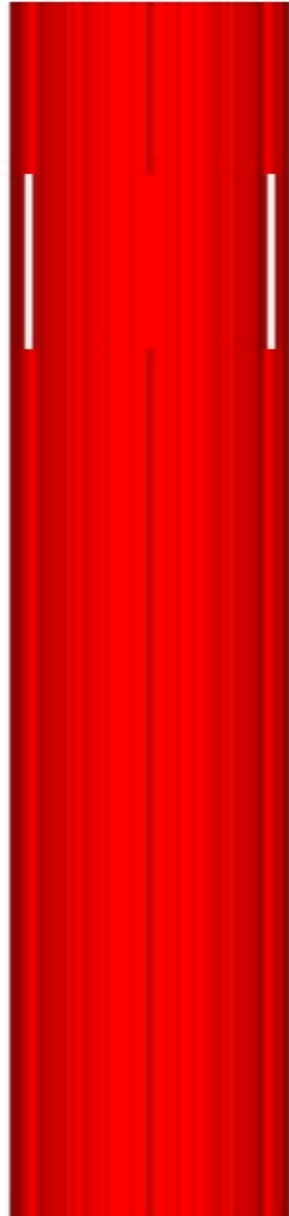


高さ 0.45 m の位置



高さ 0.95 m の位置

燃料集合体内流体混合挙動の予測



サブチャンネル内挙動

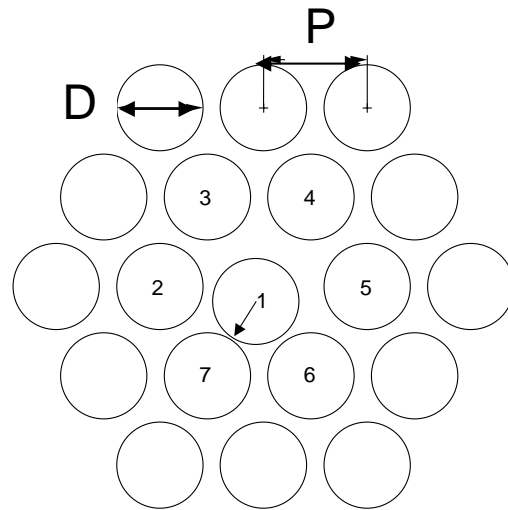
2. 稠密燃料集合体内单相乱流直接シミュレーション

Nuclear Fuel Subassembly Thermal Hydraulics:

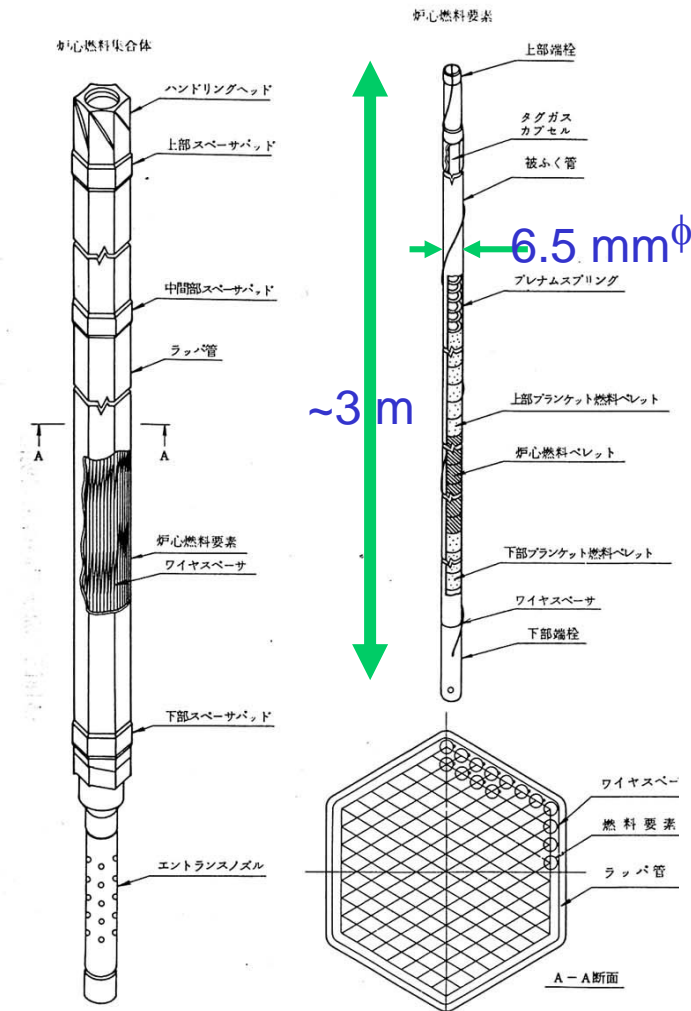
Investigation of fine structure of turbulence and its influences onto

- Local laminarization and
- Global pulsation

phenomena by the use of the DNS method



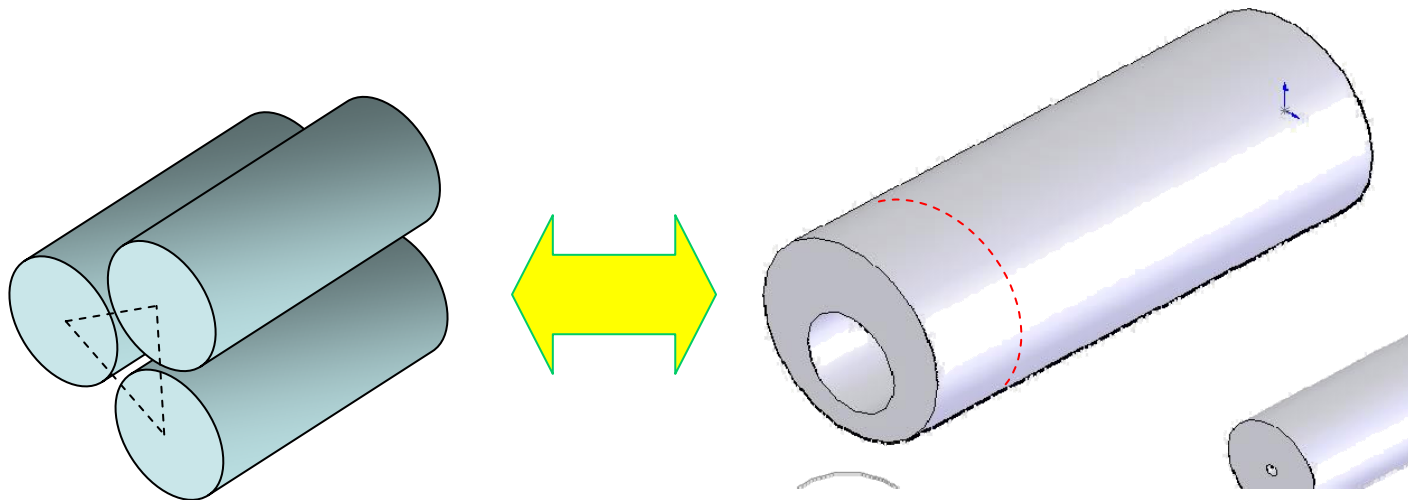
Example of a Fuel Pin Array



第15図 炉心燃料集合体構造説明図

Approach limited by DNS

- Compromises/Approximations made:
 - Infinite array of fuel pins
 - Fully-developed flow situation: Periodic BCs
 - Lower Re number turbulence --- No experimental data to compare
- Eccentric annulus channel flow calculations before fuel assembly subchannel flows
 - Geometrical resemblance of an eccentric annulus channel to a subchannel in a fuel subassembly; hence hydraulics characteristics

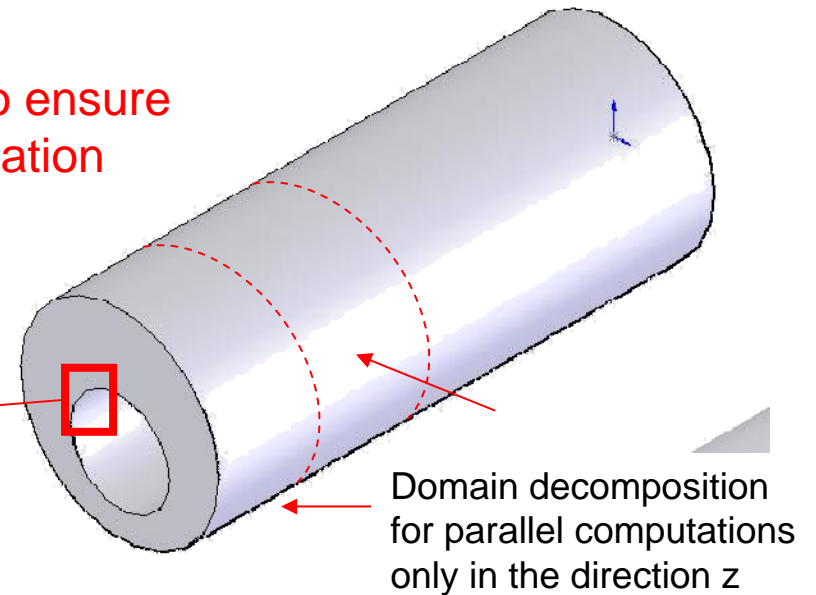
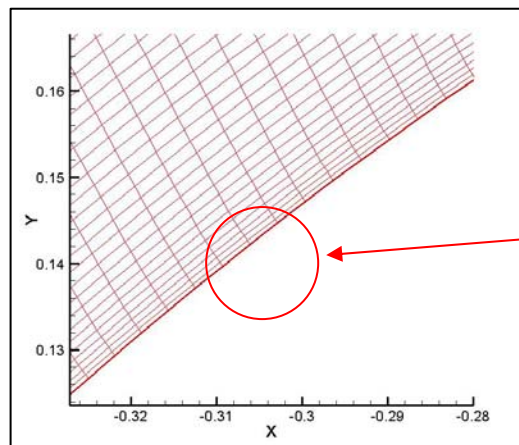


Computational Domain and Mesh Scheme 1

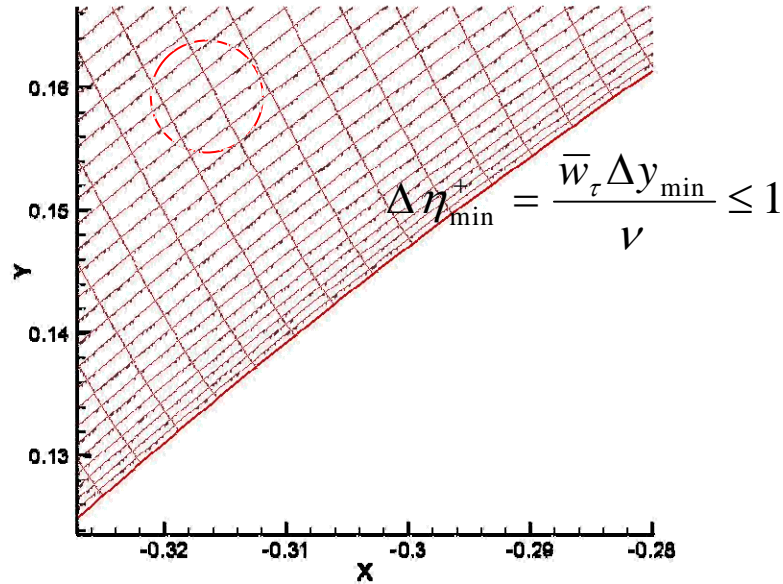
Table - DNS cases and correspondent grids (domain length $L=5D$)

Case	Re	Grid ($N_\xi \times N_\eta \times N_\zeta$)
A, concentric	8900	283x70x316
B, eccentric ($e=0.5$)	13300	384x112x336
C, eccentric ($e=0.5$)	26600	768x300x768 (= 177M)

Near wall the grid must be orthogonal to ensure an accurate solution of the Poisson equation



Computational Domain and Mesh Scheme 2



The computational domain is adjusted as necessary to ensure that the turbulent fluctuations are uncorrelated at a separation of one half-period in the homogenous directions.

The initial choice has proven sufficient

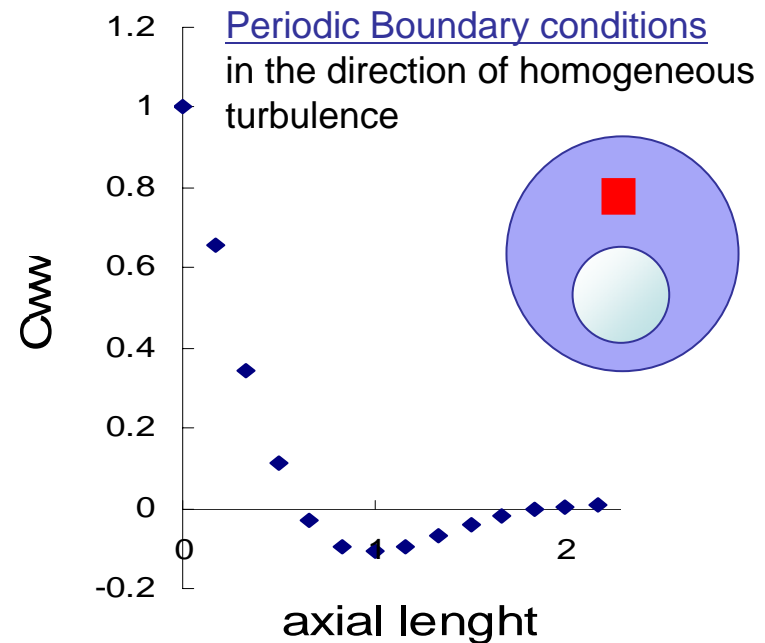
Strategy common to all grids

$$\Delta \eta_{ave}^+ \approx 4$$

$$\Delta z_{ave}^+ \approx 10$$

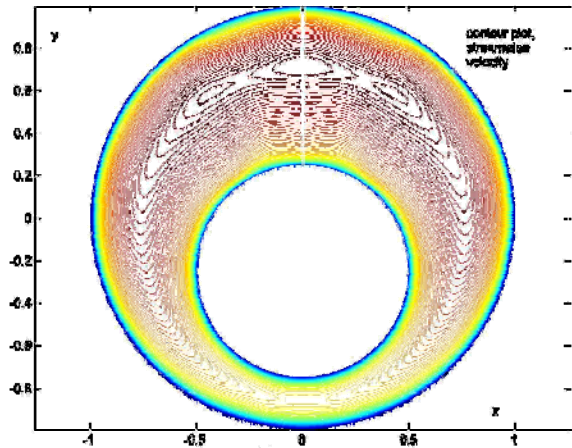
$$\Delta \xi_{max}^+ \approx 10$$

$$C_{ww} = \langle (w(0) - \langle w(0) \rangle) (w(z) - \langle w(z) \rangle) \rangle$$



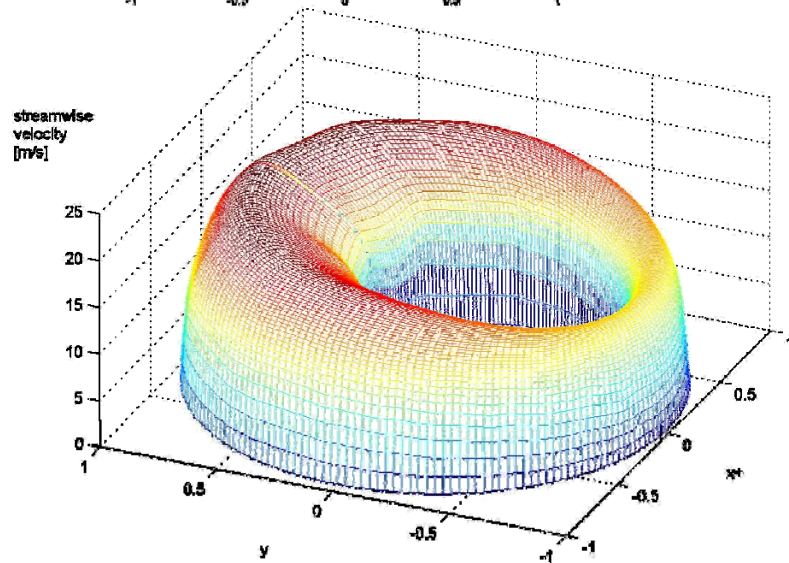
Velocity Distribution:

Averaged and instantaneous contour plots

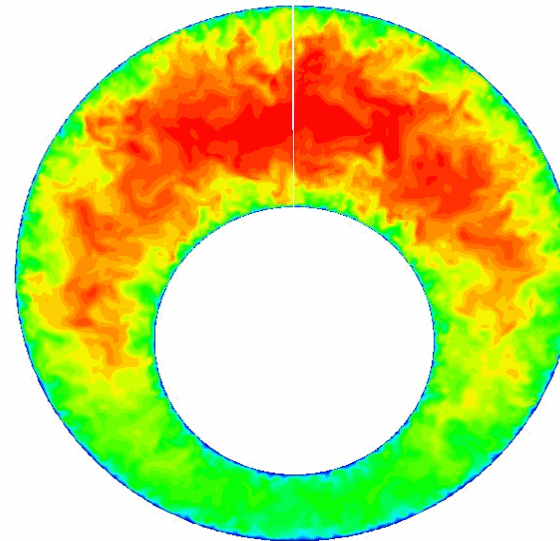


Re=13000

Averaged over 20 s

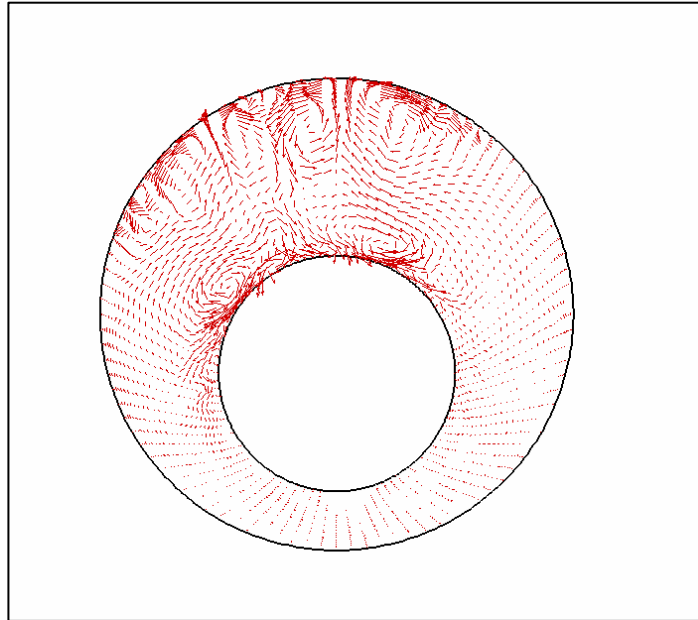


Instantaneous field evolution (velocity in the streamwise direction) Re=26600



2ry Flow Pattern: Observations

Evolution of the Instantaneous field (velocity on the cross plane)
Re=13000



a) An instantaneous secondary flow pattern is observed, the eddy migrates from one gap to the other

b) In the averaged fields, no secondary flows have been observed

There is no proof of their existence in this geometry

c) At $e=1$ (maximum possible eccentricity, secondary flows have been observed)

Secondary flows dependent on the degree of eccentricity ?