

実験データを知的財産に

岡本孝司
(東京大学)

okamoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

原子力政策大綱への提言

- 原子力基盤研究
- 社会からのニーズを明確化
 - 国際社会の中の日本
 - 安全で効率のよい電力供給
 - 人材育成
- 5年後に向けた方向性を明確化

モデリング・シミュレーション技術

ニーズ

- 国際戦略として、モデリング(M)、シミュレーション(S)の精緻化が必須
 - 安全性を担保するのはM & S
- 独自のシミュレーションコードが戦略知財
 - 米国のコード提供停止
 - 韓国、中国の台頭
- 検証用精度保証付実験データベースを戦略的知財に
 - V & Vの鍵はデータにある

課題の整理

- V&V標準化
 - 欧米の後追いではなく、日本発標準
 - まずは重要な事例をターゲット
- 国産独自コード開発
 - V&Vを念頭に置いたコード開発
 - 日本の優れた知識をコードに集約化
 - ユーザーがコード開発に当初から入る
 - メンテナンス、ユーザビリティを忘れない
 - 安全解析コードとしての認証
- V&V用精度保証付実験データベース
 - 知的財産としてのデータ拡充
 - データ整備戦略(PIRT、重要度・緊急度・高精度)

今後に向けて

- V&V標準化
- V&V用のインフラやデータの維持
- 国際標準となりえるシミュレーション手法
- 国産コード
 - NJOY, MCNP, SCALE,...
 - RELAP, TRACE,....

CFD4NRS (CFD for Nuclear Reactor Safety)

原子力安全解析にCFDを応用する事で、
より安全な原子力プラントへ

2010 CFD4NRS-3, Washington DC, USA

2008 XCFD4NRS, Grenoble, France

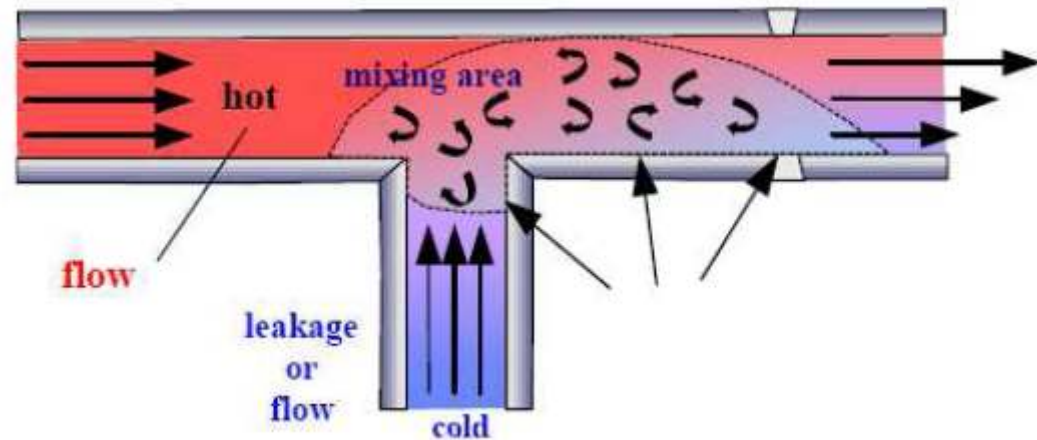
2006 CFD4NRS, Garching, Germany

CFD Benchmark

Experiment by
Älvkarleby Laboratory
Vattenfall R&D

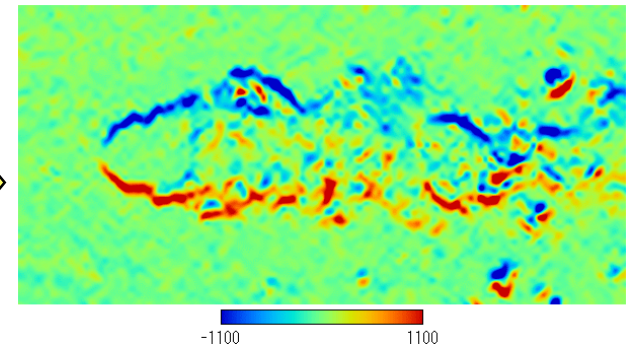
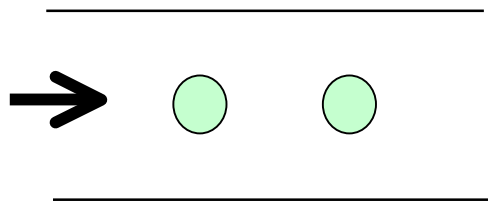
Contributors: 26 groups

Evaluation by Prof. Mahaffy, PSU



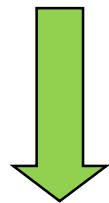
Experiment & CFD

Real Flow Field



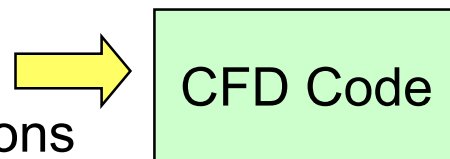
Filtering Characteristics
+ Spatial / Temporal Sampling
+ Uncertainty
ASME PTC19.1

validation
ASME V&V20

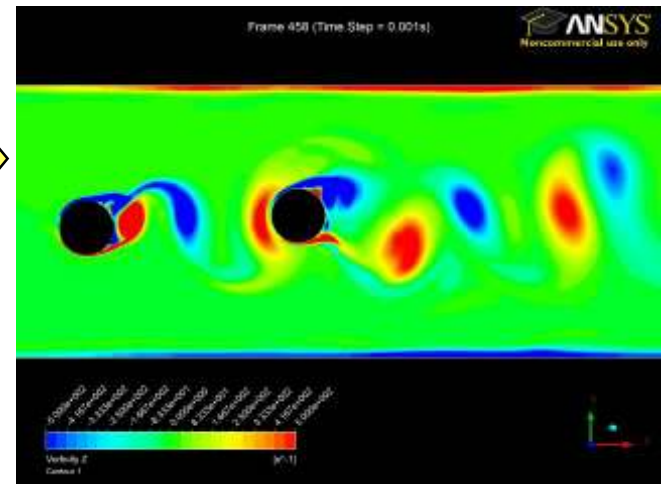


Navier-Stokes Eq.

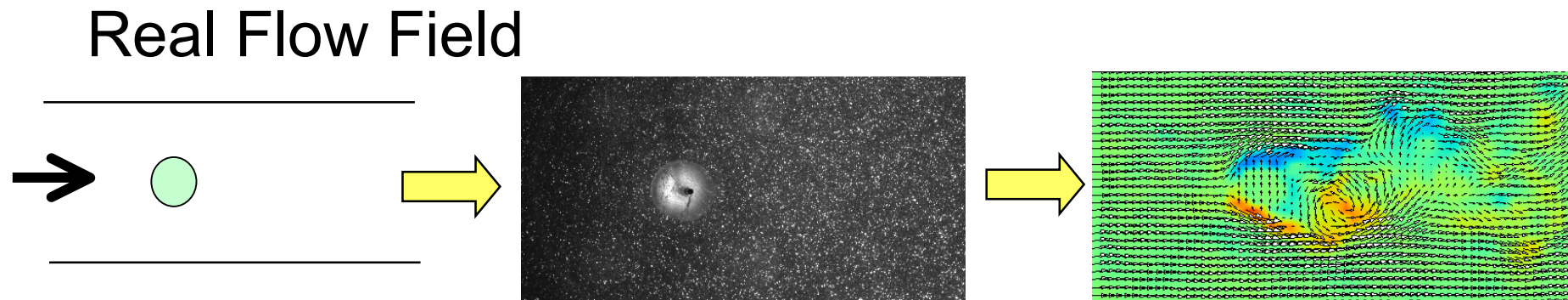
+ Boundary Conditions
+ Turbulent Model
+ etc.



+ Mesh size
+ Time step
+ etc.



PIV Procedures



Flow Visualization

- + particle
- + laser
- + camera & lens
- + etc.

Image Analysis

- + cross-correlation method
- + sub-pixel estimation
- + interrogation area
- + etc.

Filtering Characteristics

- + Spatial / Temporal Sampling
- + Uncertainty

Uncertainty analysis

Source of Error (Visualization)

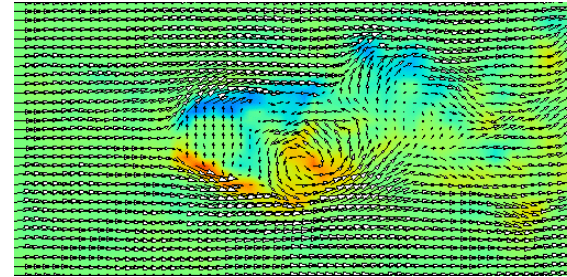
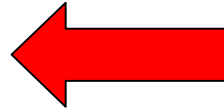
Particle Tracability
Illumination non-uniformity
Three-dimensional effects
Image deformation by lens system
Pulse laser timing
CCD camera response
 A/D converter linearity
 non-detectable area
 noise
etc.

Source of Error (Image Analysis)

Image characteristics
 Particle number
 Particle image size
 Contrast
Out-of-plane motion
Interrogation area size
Deformation
Window shift
Sub-pixel analysis
Peak locking
etc.

Average errors: ~ 0.1 pixel/image pair

Real Flow Field



$$\vec{u}(x, y, z, t) = \frac{1}{\Delta x \Delta y \Delta z \Delta t} \int \int \int_t \vec{u}_{true}(x, y, z, t) dx dy dz dt + error(x, y, z, t)$$

Noise reduction

Temporal average

Average velocity

RMS value

$$\vec{u}_{average}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_t \vec{u}_{measured}(x, y, t)$$

$$k^2(x, y) = \frac{1}{N} \sum_t |\vec{u}_{measured}(x, y, t) - \vec{u}_{average}(x, y)|^2$$

Reduction of higher order fluctuations

Low-pass filtering

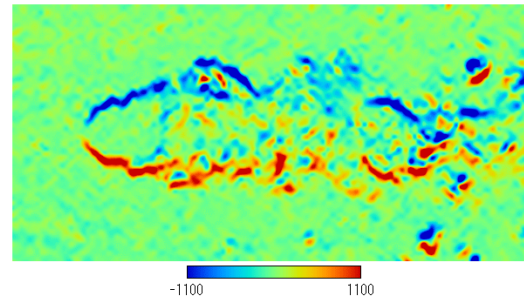
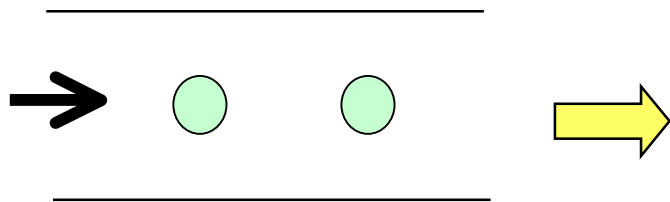
Proper Orthogonal Decomposition

$$\vec{u}_{low-pass}(x, y, t) = \sum_{\tau} f(\tau) \vec{u}_{measured}(x, y, t + \tau)$$

$f(\tau)$: weight function

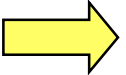
Experiment & CFD

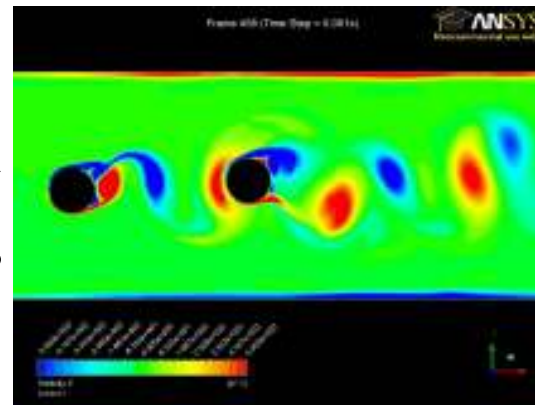
Real Flow Field



Temporal fluctuation
Frequency domain
Coherent Structure



Navier-Stokes Eq. 
+ Boundary Conditions
+ Turbulent Model
+ etc.



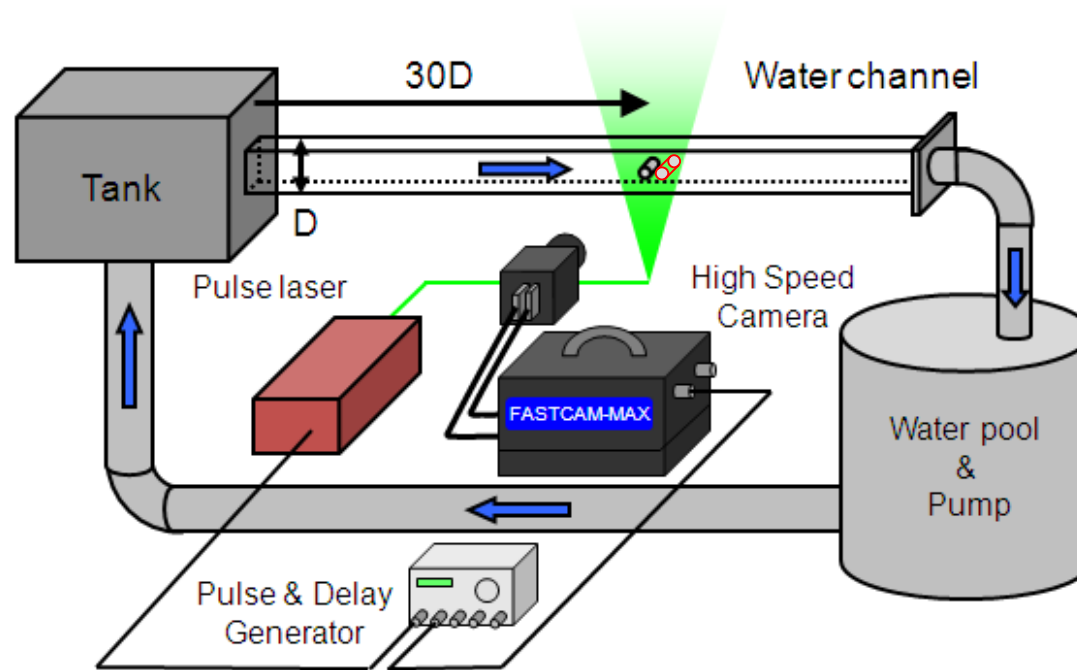
Temporal fluctuation
Frequency domain
Coherent Structure

Temporal/spatial
sampling

Validation

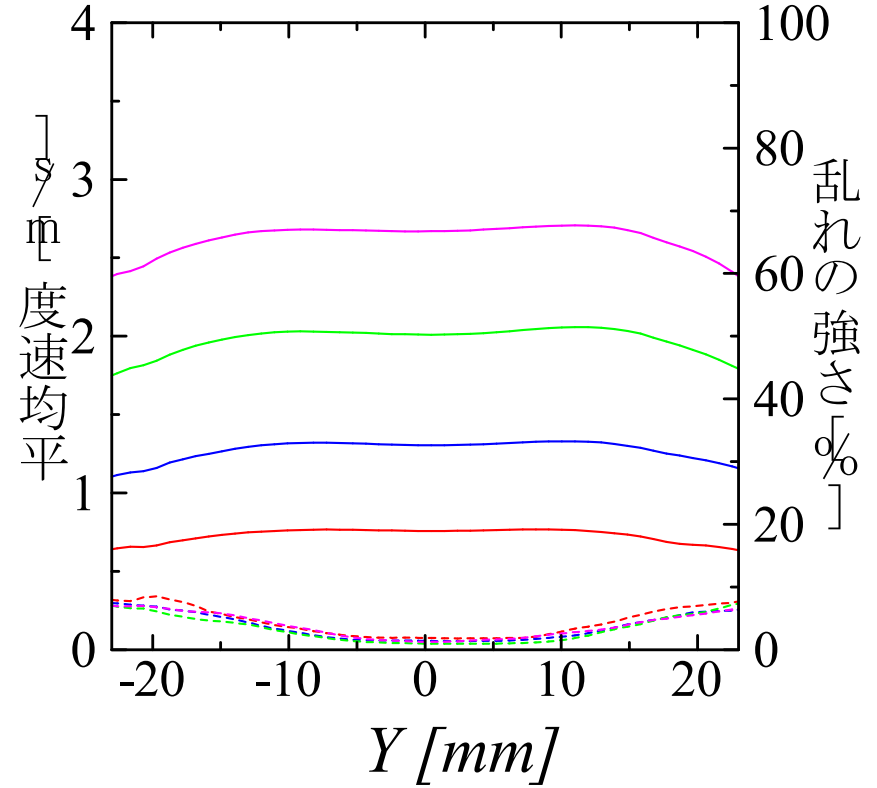
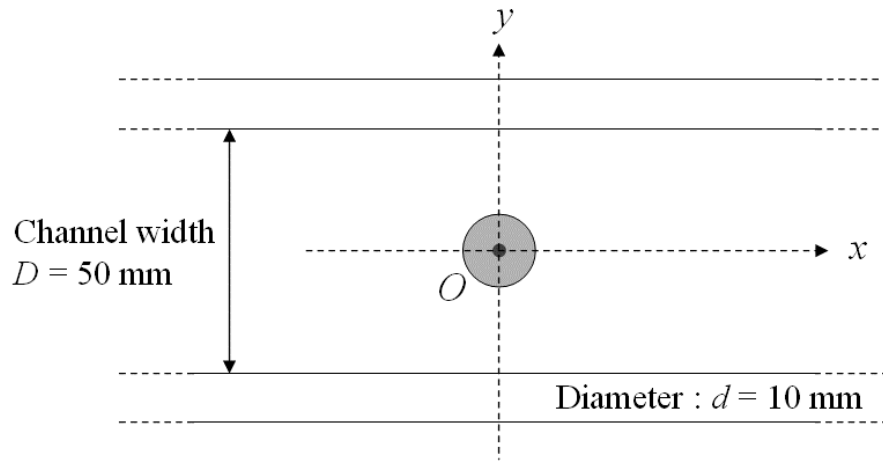


回流流路実験装置



- Water channel : width $D = 50\text{mm}$, height $H = 50\text{mm}$, length $L = 3000\text{mm}$
- Camera : FASTCAM-SA1.1, 512×512 pixels @ 10000FPS
- Laser : Pegasus-PIV, $\lambda = 524\text{nm}$, 10000Hz, 1mJ/pulse, $\Delta t = 100\mu\text{Sec}$
- Tracer particle : ORGASOL, diameter = 48 - 52 μm

直線流路部

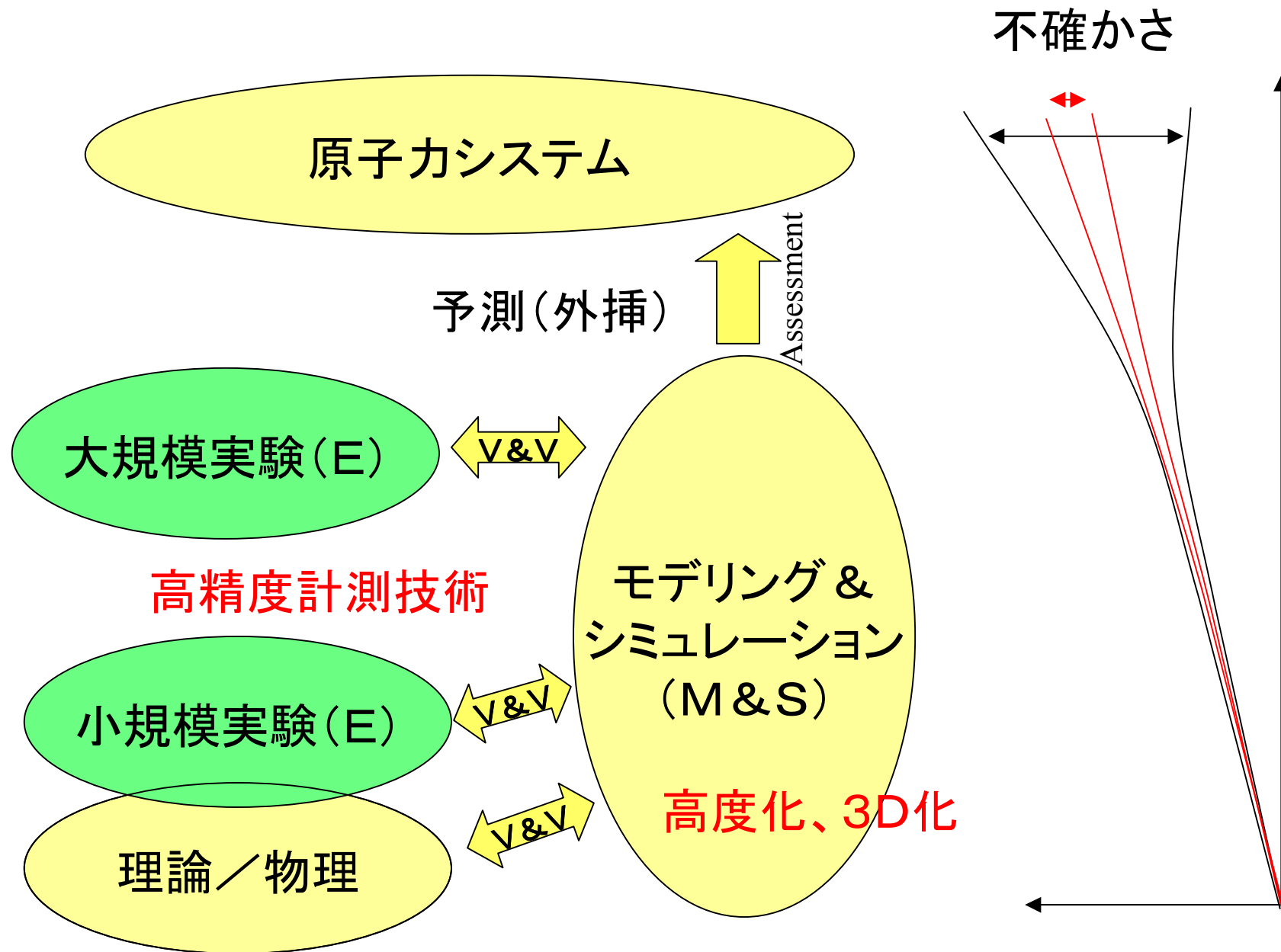


平均速度分布	
— (Red)	95 L/min
— (Blue)	171 L/min
— (Green)	267 L/min
— (Magenta)	362 L/min

乱れの強さ	
- - - (Red)	95 L/min
- - - (Blue)	171 L/min
- - - (Green)	267 L/min
- - - (Magenta)	362 L/min

精度保証付実験データ

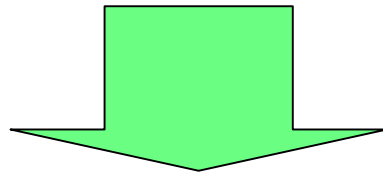
- 境界条件が揃っている
 - 境界条件の不確かさが評価されている
- 実験データがトレーサブルである
 - 画像データや実験パラメータの保証
 - 不確かさ評価がなされている
- 実験データの内容が高次
 - 平均情報(平均速度分布、乱流量等)
 - 時空間周波数情報



V&Vにより、不確かさを低減し安全を確保

精度保証付実験データ

- 境界条件が揃っている
- 実験データがトレーサブルである
- 実験データの内容が高次



CFD用精度保証付実験データは知的財産