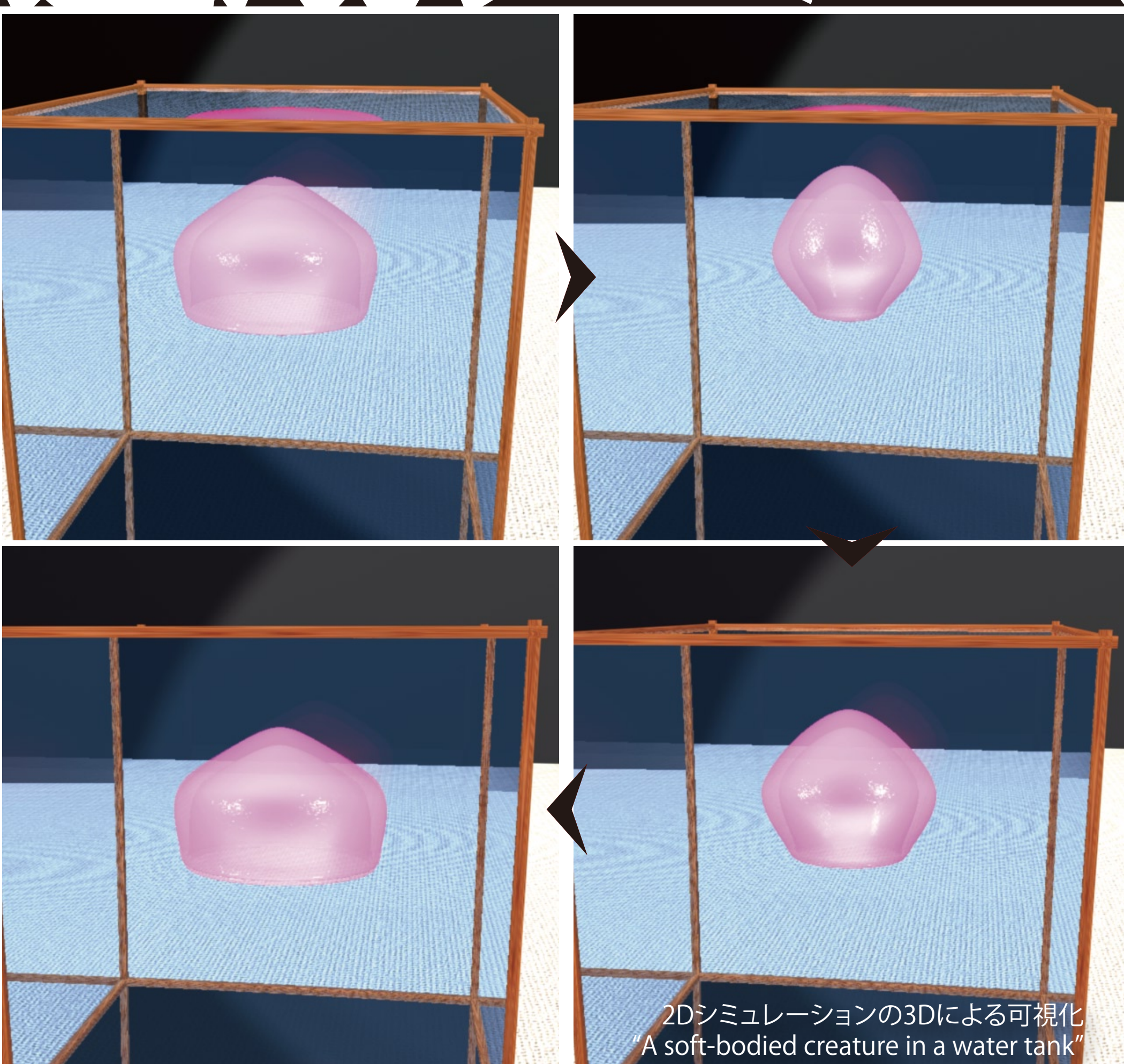


# CGにおける流体と弾性体の連成シミュレーションに関する研究



2Dシミュレーションの3Dによる可視化  
A soft-bodied creature in a water tank

## 流体領域のモデル

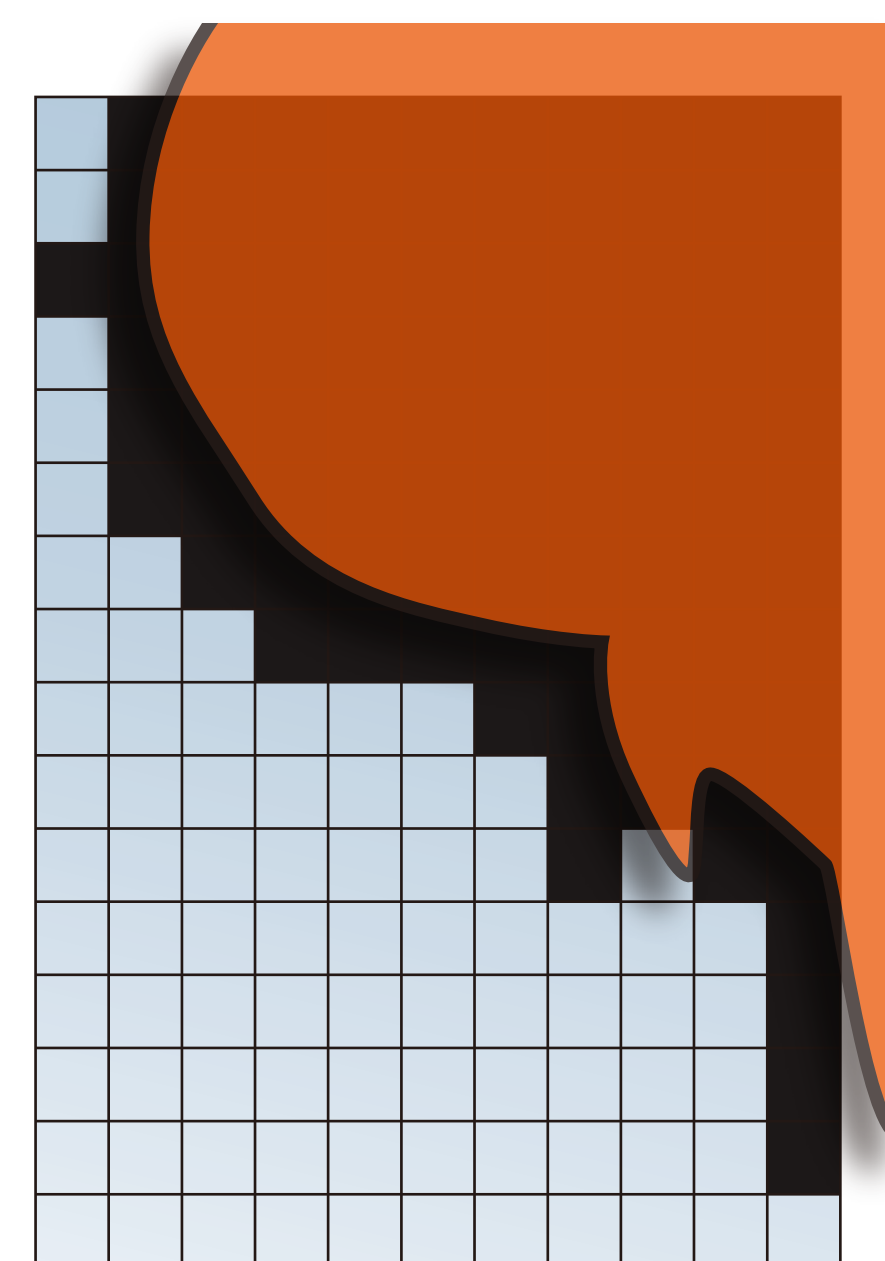
正方スタガード格子で離散化

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

- ・移流：Semi-Lagrange法
- ・拡散：陰解法
- ・圧力：Jacobi反復法

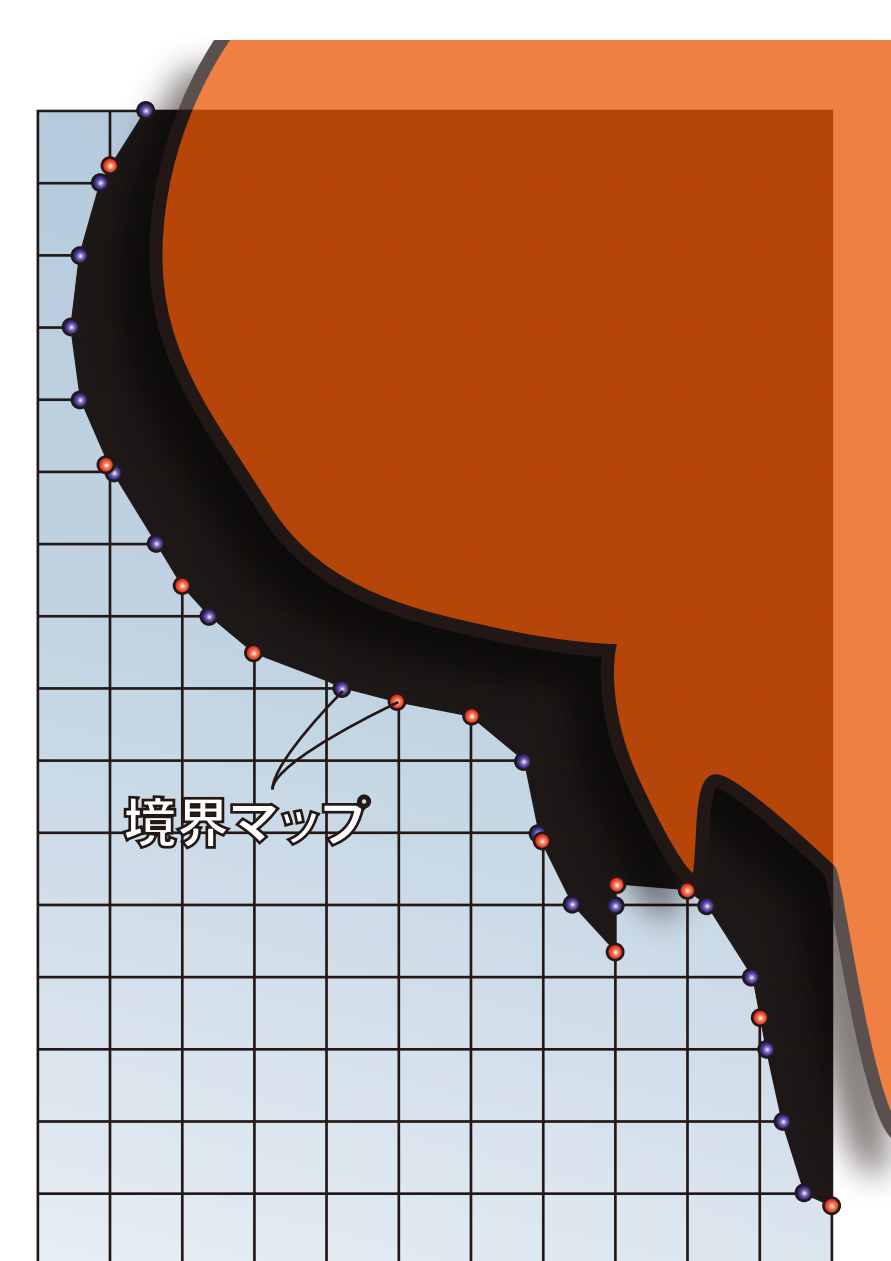
従来手法



境界マップの作成方法

- (1) 流体のグリッドと弾性体のポリゴン面との交点を探索
- (2) 交点における弾性体の速度 $\mathbf{u}_p$ を線形補完
- (3) 速度情報と弾性体の辺までの距離情報をグリッド上にマッピング

本手法



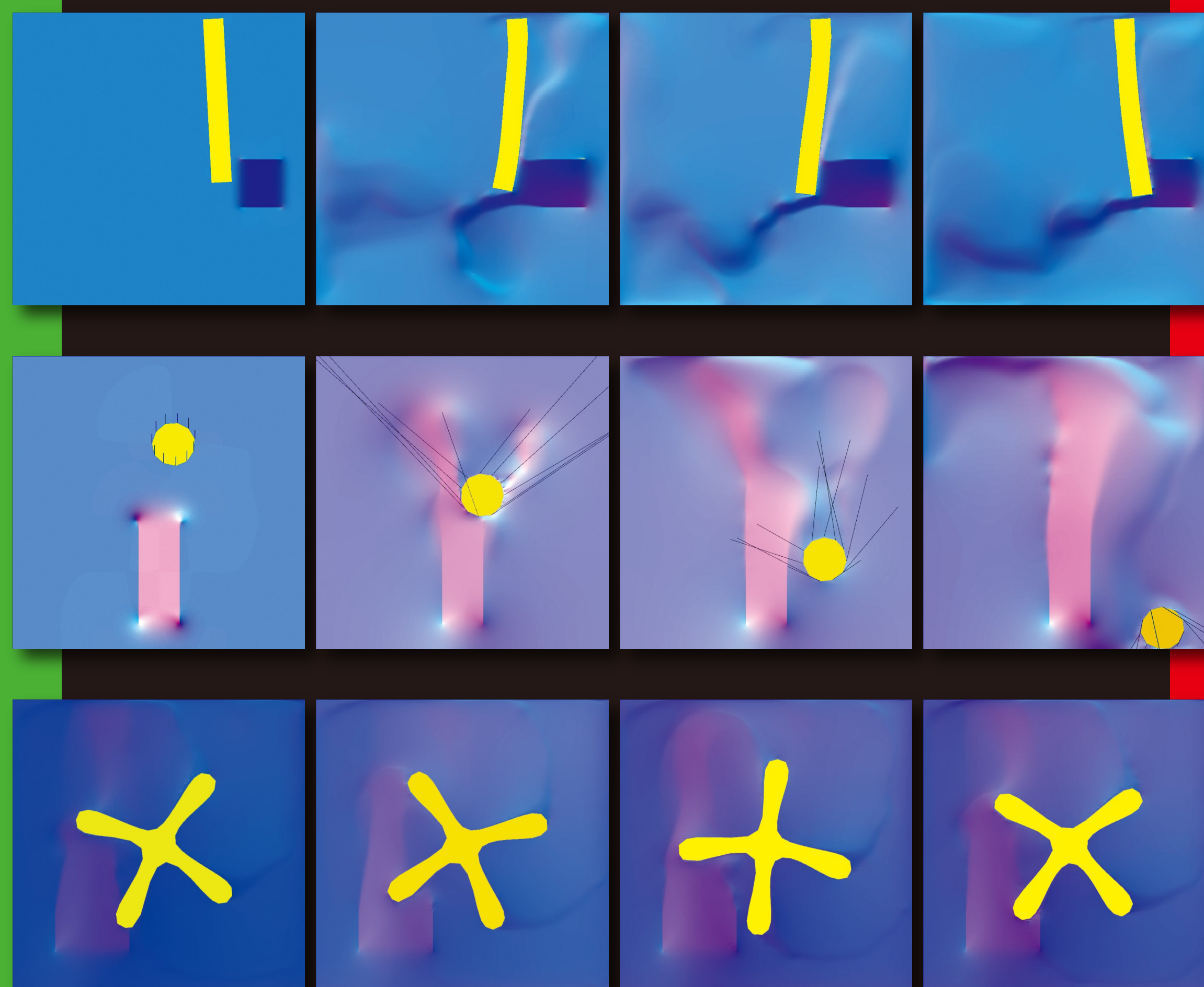
境界マップの利用方法

- ・流体格子での内外判定
- ・境界条件における速度情報 $\mathbf{u}_p$ の参照
- ・境界で働く力を算出する際に「境界点」として用いる点の検出

## 研究の目的

流体や弾性体の動きは、手でモデリングするのが困難。

流体・弾性体それぞれの計算手法は存在するが、連成手法はまだない。流体と弾性体の相互作用を高速にシミュレーションしCGに応用する。



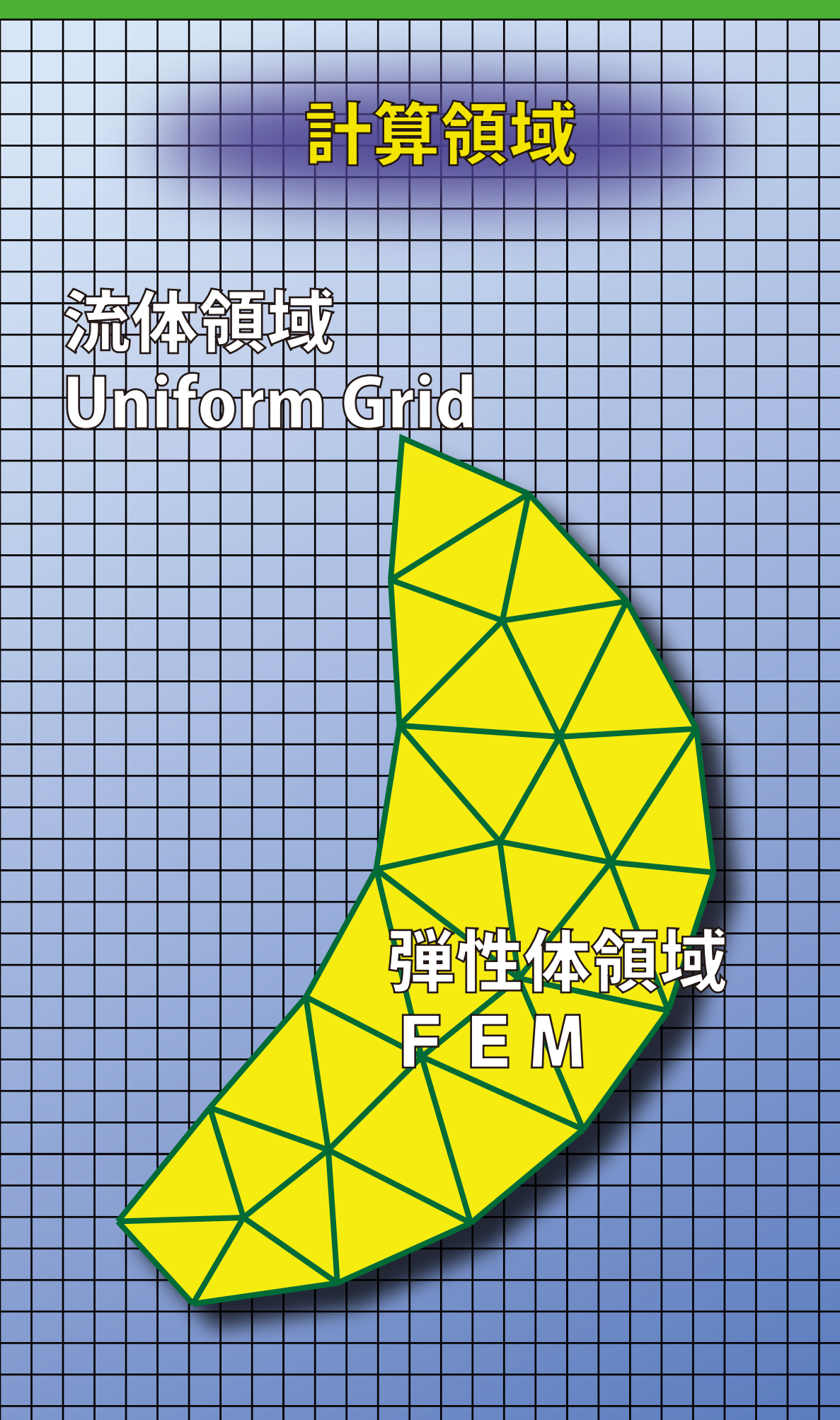
## 境界領域のモデル

境界マップの作成によって内部判定、境界速度の取得、格子から境界までの距離の取得を効率化。

境界で働く力 $\mathbf{f}$ を簡略化。

$$\mathbf{f} = \frac{\mathbf{u}_P - \hat{\mathbf{u}}}{2\Delta t}$$

$\hat{\mathbf{u}}$  : 境界付近での流体速度



### 計算手順

境界の確定

流体計算

移流 拡散 外力 圧力

境界の力計算

弾性体計算

変位勾配 変位速度勾配 ひずみ ひずみ速度 弾性力 減衰力

## 弾性体領域のモデル

[特徴]

- ・三角形メッシュの2D FEM
- ・各要素で重心座標系を使用
- ・応力はひずみからexplicitに算出
- ・求めた応力から、時間積分的に速度と変位を計算

## 結果

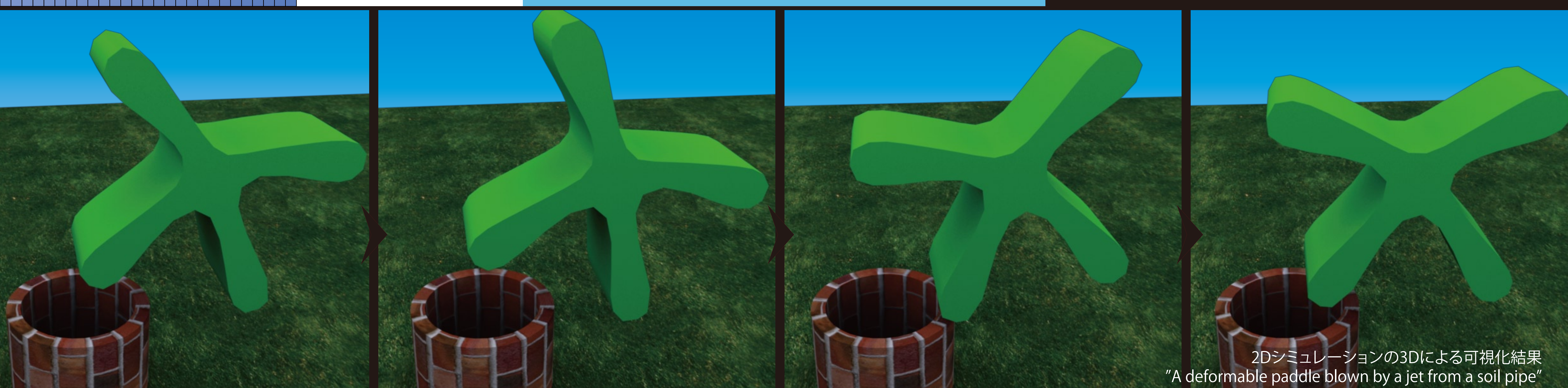
256x256グリッドの流体－弾性体連成シミュレーションを83msで計算可能。

3Dへの拡張、液面の導入、浮力の計算等が今後の課題。

指導教員 河口 洋一郎 教授

60816 今村 紀之

Animating the Interaction between Deformable Bodies and Fluid



2Dシミュレーションの3Dによる可視化結果  
"A deformable paddle blown by a jet from a soil pipe"