

課題番号: jh190011-NAJ

粒子法の基盤理論整備とマルチフィジックスシミュレータへの展開

研究代表者: 荻野正雄(大同大)

共同研究者: 井元佑介(京大), 浅井光輝,
田上大助, 渡部善隆, 小野謙二(九大),
大島聡史(名大), 三目直登(筑波大),
西浦泰介(JAMSTEC), 野中文士(理研)

研究背景・目的

・研究背景

- ・ 粒子法(SPH法やMPS法など)は大規模流体シミュレーションなどで高い需要
- ・ 粒子法の数学的正当化(数値解析)が十分ではない



解決すべき課題： 高安定・高精度な数値計算を行うための離散化パラメータの十分条件があいまい

・研究目的

- ・ 数値解析学・計算力学双方の観点から
 - ・ 離散化パラメータの条件を明確化
 - ・ 高精度・実用的な離散化パラメータの導出
- ・ 高性能計算の観点から
 - ・ GPUを含め効率的な並列計算・可視化技術の開発



高性能な大規模マルチフィジックスシミュレータを開発

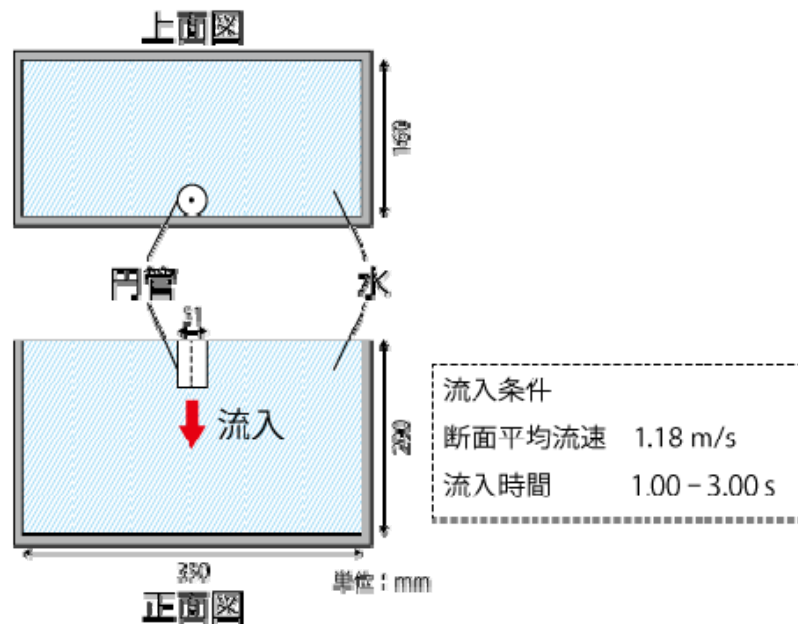
2019年度の主な成果

- 数値解析学・計算力学の観点からの検証III
 - ISPH法における安定化パラメータの最適値推定
 - 固液混相流解析向け選択型デュアル流速ISPH法の開発
 - 粒子初期配置向けCVT粒子分布の検討
- 流体構造連成シミュレータへの展開
 - ポリゴン壁境界モデルを含む陽的MPS法の動的負荷分散アルゴリズム開発
 - 粒子データのボクセルデータ化機能の開発
- 流体シミュレータの高性能化
 - ノード内マルチGPUによる陽的ISPH法の高性能化
 - ASI-Gauss法への高性能計算技術の適用
- 利用計算資源
 - 名古屋大学FX100, 九州大学ITOサブシステムB (マルチGPU搭載)

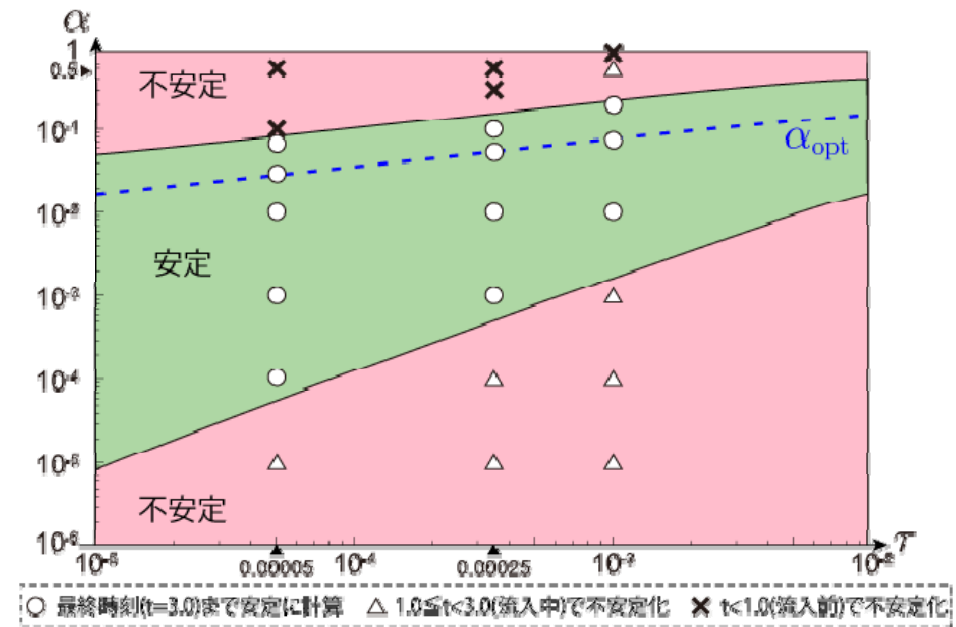
ISPH法における安定化パラメータの最適値推定

概要

- 半陰解法型の安定化ISPH法において、非圧縮性条件と粒子密度一定条件に関する誤差を数学的に評価し、誤差の上限を最小化する意味で最適な安定化パラメータを推定
- 不安定化が起こりやすい鉛直噴流の数値実験により、推定値の妥当性を確認



鉛直噴流の問題設定

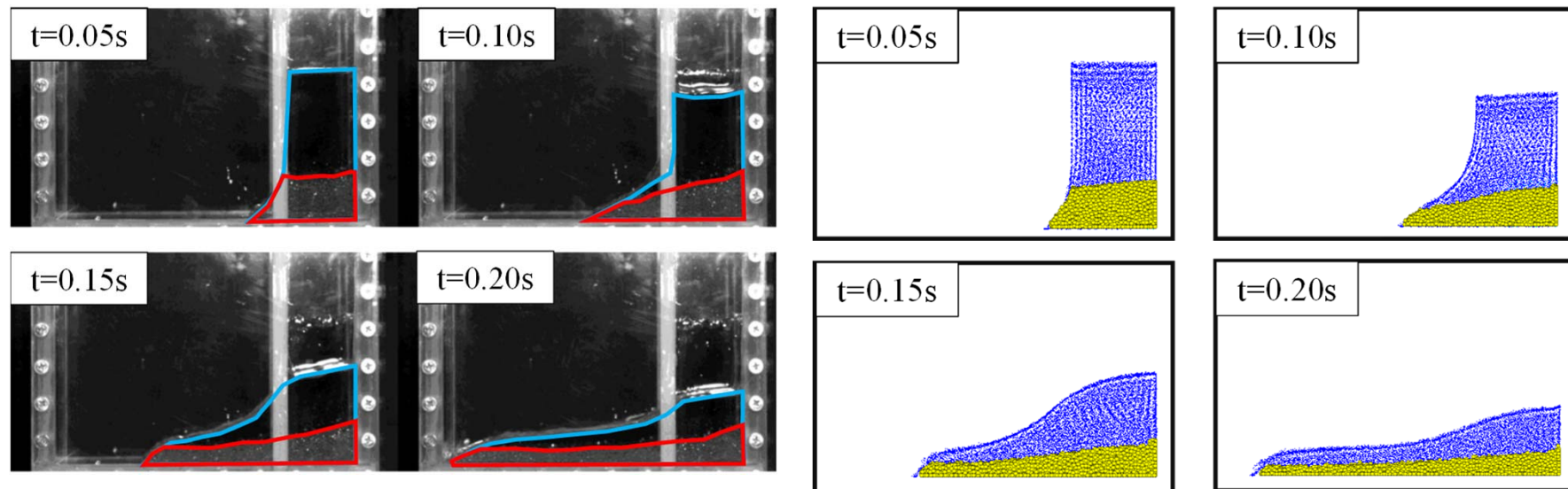


安定化パラメータと時間刻みに関する状態図

選択型デュアル流速ISPH法の開発

概要

- 固液混相流など密度差がある流体解析の計算不安定化を防ぐために、速度と位置の更新に用いる流速を区別し、それぞれの数値計算における役割に応じた流速を定義する手法を開発
- 混相流解析において密度誤差の大幅な改善を確認
- SIMD機能の活用により計算時間の増加を抑制

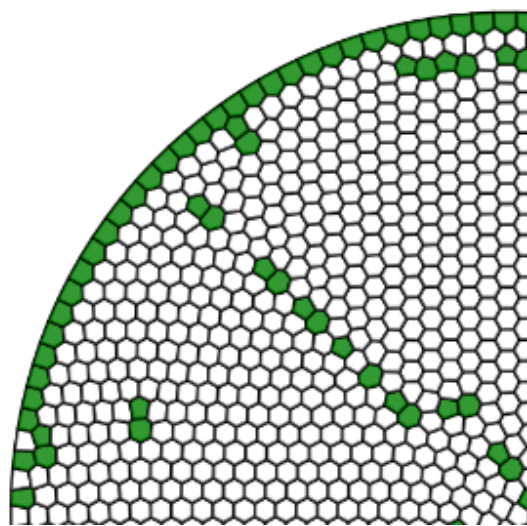


ビーズと水の混相流問題のDEM-SPH連成解析と実験との比較

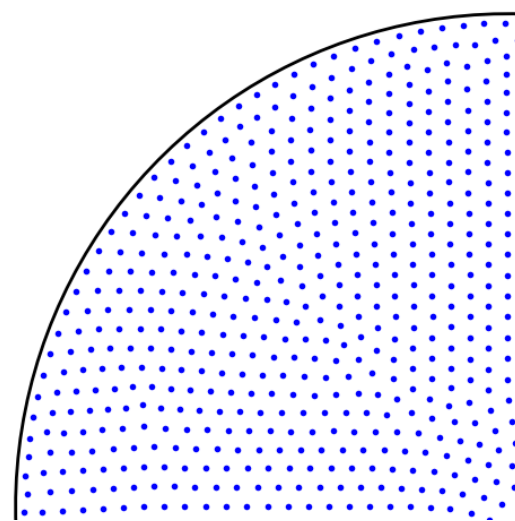
粒子初期配置向けCVT粒子分布の検討

概要

- 粒子法による流体解析における粒子初期配置として、重心ボロノイ分割 (CVT) に基づく粒子分布を提案
- CVT探索に関するエネルギー最小化問題を定義して準Newton法で解くシステムを開発し、クラスタリングで解く方法よりも効率化に成功



ボロノイ図



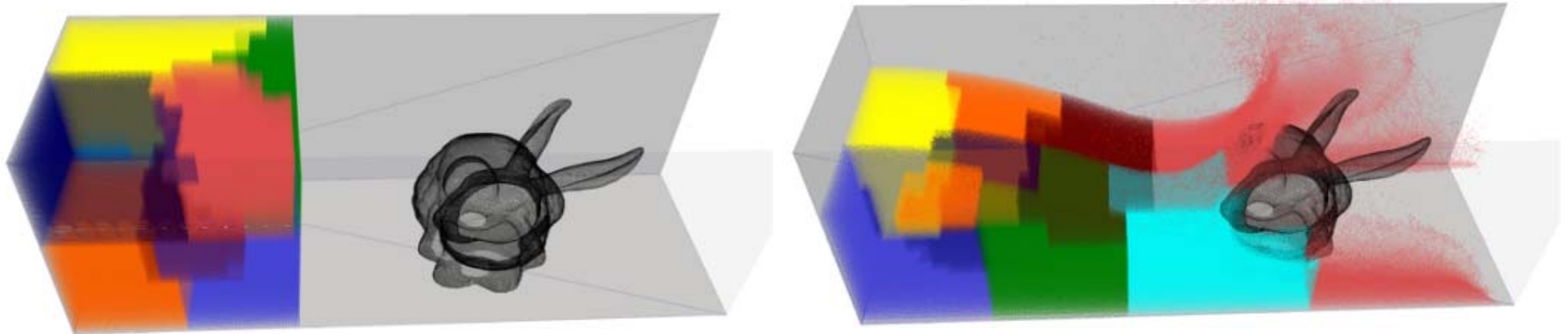
粒子分布

CVTによる閉曲線内への粒子充填

ポリゴン壁境界モデルを含む陽的MPS法の動的負荷分散アルゴリズム開発

- 概要

- 陽的MPS法+ポリゴン壁境界モデルの並列コードに対し、動的負荷分散アルゴリズムを適用して高度化
- 動的負荷分散には、粒子数に基づく計算量の推定値ではなく、計算時間の実測値を用いることで効率化に成功

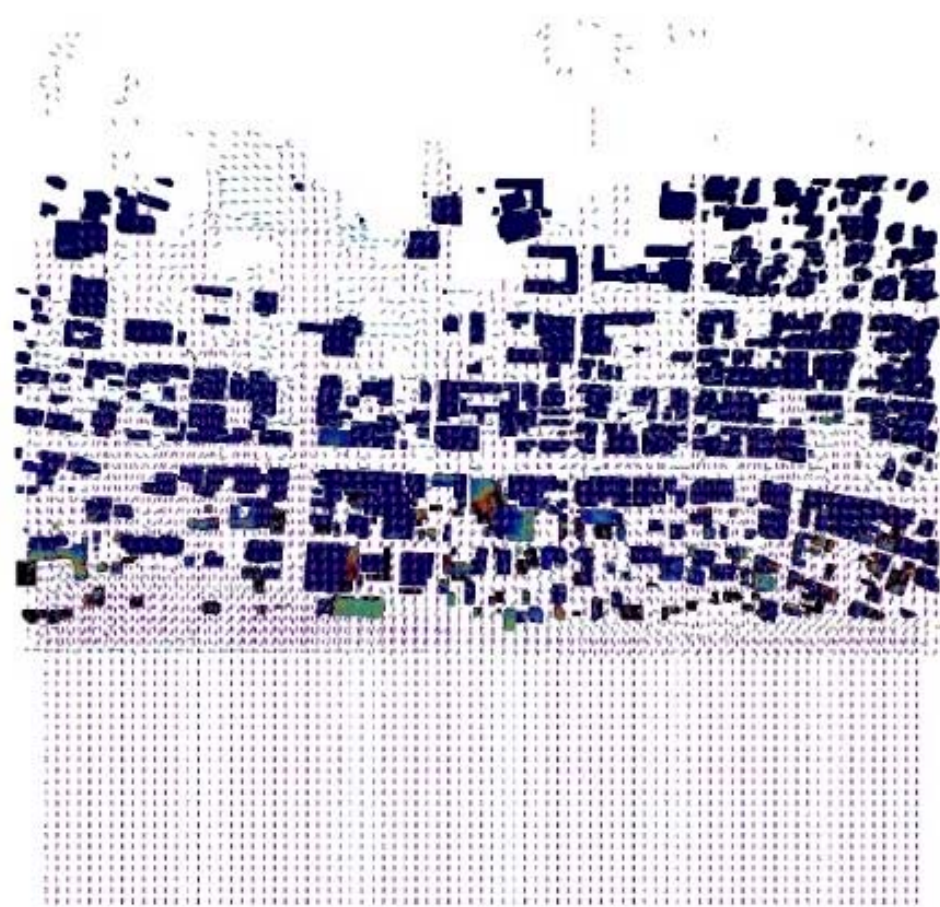


Stanford Bunny 解析における動的領域分割

粒子データのボクセルデータ化機能の開発

- ・ 概要

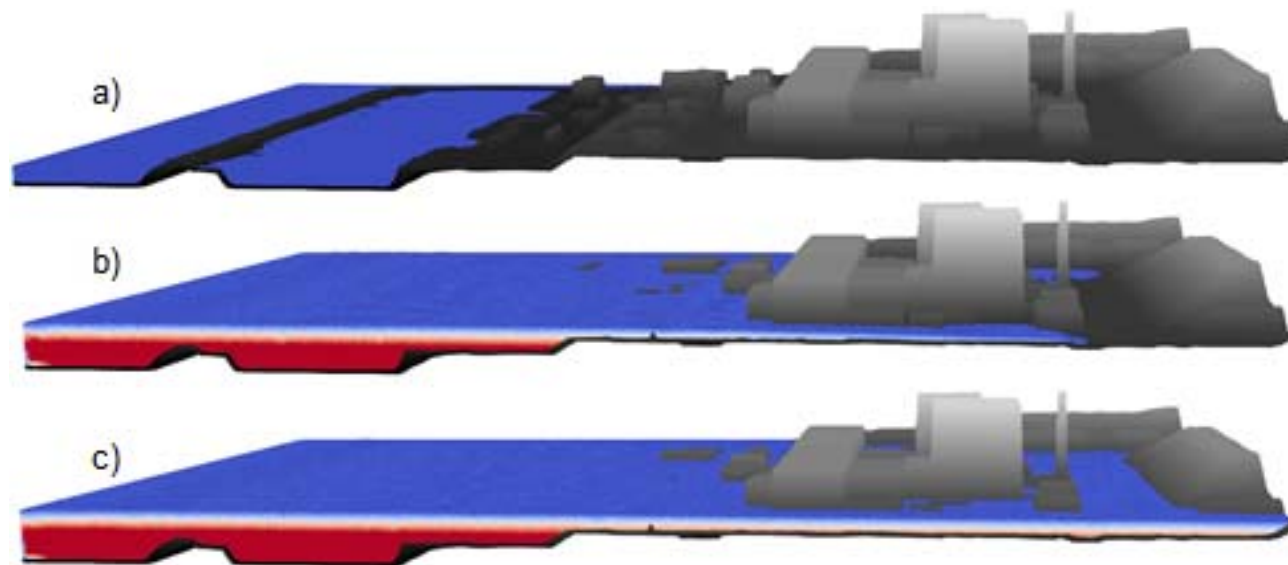
- ・ GPUレンダリング処理の効率化を目的に、粒子データをサンプリングすることでボクセルデータを生成する機能を開発
- ・ 目的に応じて一部を粒子データのまま、一部をボクセルデータに変換することで、高度な可視化を実現



ノード内マルチGPUによる陽的ISPH法の高 性能化

概要

- GPUに適した粒子法として、前年度までの半陰解法版ISPHから陽的ISPH法への数値解法を変更することで、4GPU搭載の単一ノードで1.5億粒子の解析を実現
- GPU間通信はP2P機能を利用

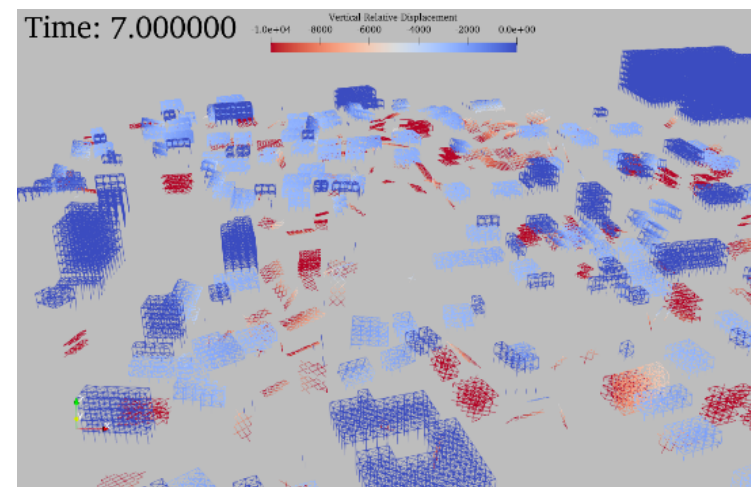
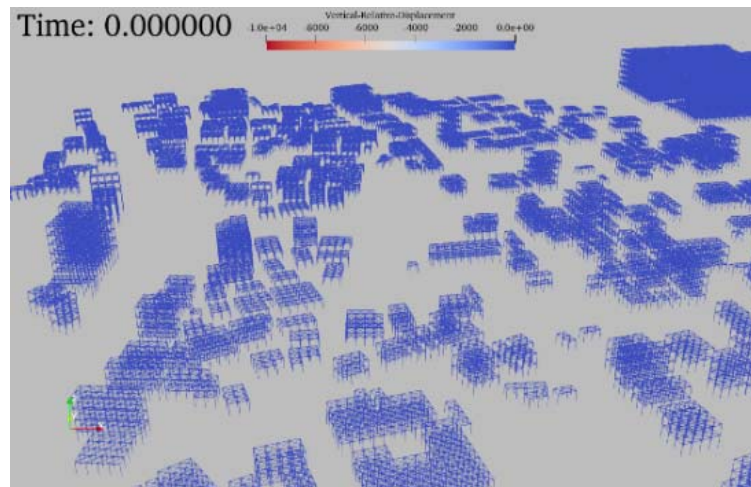


1.5億粒子モデルによる津波遡上解析

ASI-Gauss法への高性能計算技術の適用

- 概要

- 崩壊解析に実績があるASI-Gauss法のスレッド並列化と領域分割を行うことで、高性能化を実現
- 地震動による広域の木造家屋崩壊解析を実施



ASI-Gauss法による地震時の木造家屋倒壊解析(左:0秒, 右:7秒)