

気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MPの概要

第2事業部 技術4部 大拙 陽介

アドバンスソフト株式会社の
スーパーコンピューティング・サービス セミナー
2015年1月22日（木）
アドバンスソフト株式会社

発表内容

1. 気液二相流の概要
2. Advance/FrontFlow/MPの概要
3. Advance/FrontFlow/MPの特徴
4. 解析事例
 1. 解析事例1 沸騰解析
 2. 解析事例2 焼き入れ
 3. 解析事例3 スロッシング
5. Advance/FrontFlow/MPの並列性能
6. 今後の予定

1. 気液二相流の概要

- 実験から求められた構成方程式を使用
- 相間の力やエネルギーの輸送の考慮が必要
- 三次元シミュレーション
 - Volume of Fluid法
 - 局所的な気液界面の計算
 - 気相・液相の速度差を考慮しない
 - 気液二相流モデル
 - 大規模な問題が得意

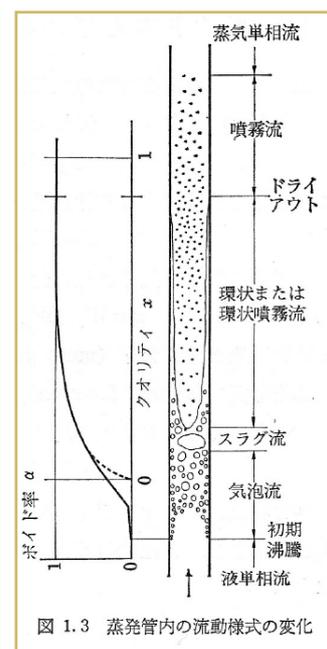


図 1.3 蒸発管内の流動様式の変化

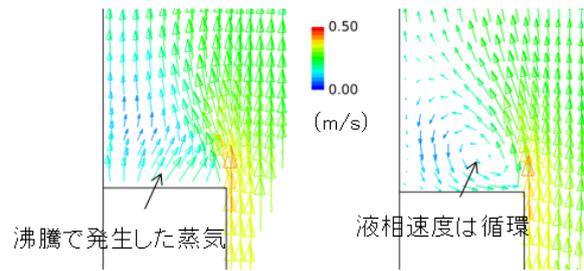
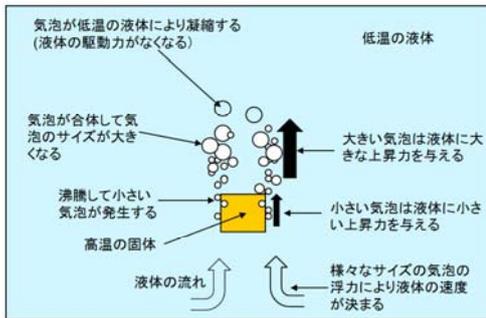
植田辰洋「気液二相流」より引用

2. Advance/FrontFlow/MPの概要

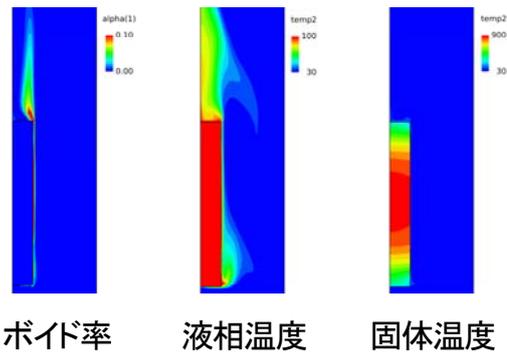
- Advance/Frontflow/redをベース
- 二流体モデル (Euler-Euler型)
 - 液相と気相を同時に解く
- 非構造格子
- 公的機関の研究支援プロジェクトに採択された (2013-2014)
 - 「相変化を伴う3次元気液二相流解析プログラムの研究開発」
- 高精度な気泡流解析モデルを採用
 - 大学との共同開発
- 実験を基にした様々な構成方程式を実装
 - 界面摩擦力, 揚力, 壁面潤滑力, 乱流拡散力, 相間熱伝達, 壁面熱伝達

3. Advance/FrontFlow/MPの特徴

- 相変化を扱える
 - 沸騰, 凝縮
- 壁面熱伝達を扱える
 - サブクール核沸騰, 飽和核沸騰, 遷移沸騰, 膜沸騰など
- 高精度詳細気泡流モデル
 - 気泡群の個別運動と相互作用



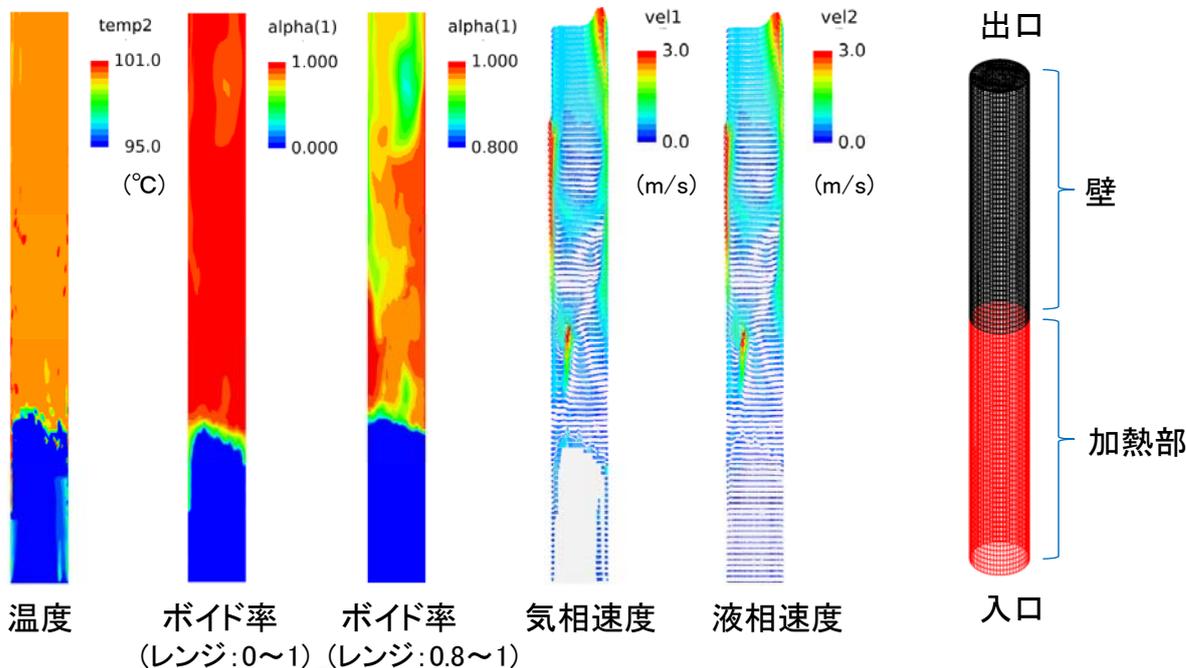
気相の速度場 液相の速度場



4. 解析事例 1 沸騰解析

■ 解析結果(30秒後の瞬時値)

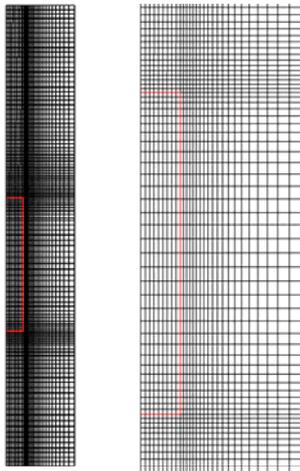
気相速度はボイド率が $1E-5$ 以上の場所で表示



4.解析事例 2 焼入れ

(目的) 沸騰凝縮を伴う気液二相流と固体内熱伝導の連成解析

2次元軸対称モデルを使用して、600℃の銀の円柱を100℃の水槽に置いた状態を初期値として30秒間の非定常計算を行い、文献[1]の実験値と比較する。



全体図

拡大図

計算格子

■解析条件

- ・時刻刻み: 0.005秒
- ・現象時間: 30秒
- ・節点数: 10,503
- ・基礎方程式: 二流体モデルと固体の熱伝導方程式
- ・円柱の長さ: 32mm
- ・円柱の直径: 8mm

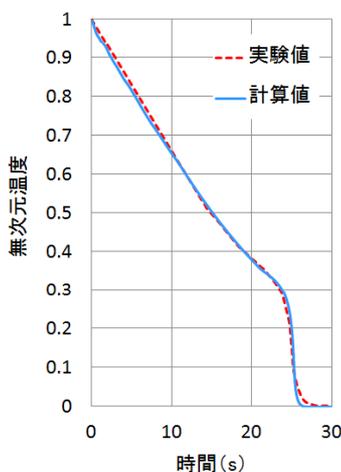
参考文献

[1] 山田, タカシ; 茂地, 徹; 桃木, 悟; 金丸, 邦彦, 有限長の垂直円柱まわりの過渡膜沸騰熱伝達に関する研究(第1報):実験, 長崎大学工学部研究報告 Vol.28(51) p.139-142, 1998.

4.解析事例 2 焼入れ 計算結果

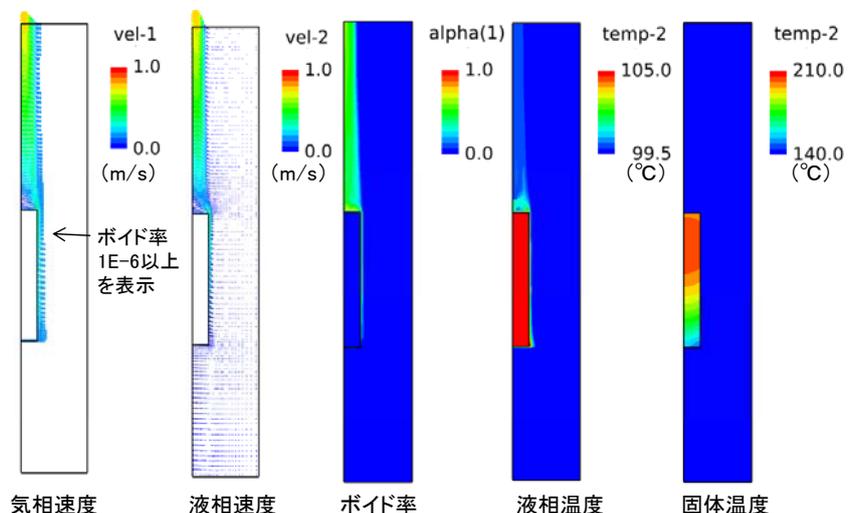
■解析結果

円柱中央位置の冷却曲線



$$\text{無次元温度} = \frac{\text{円柱中央位置の温度} - 100}{600 - 100}$$

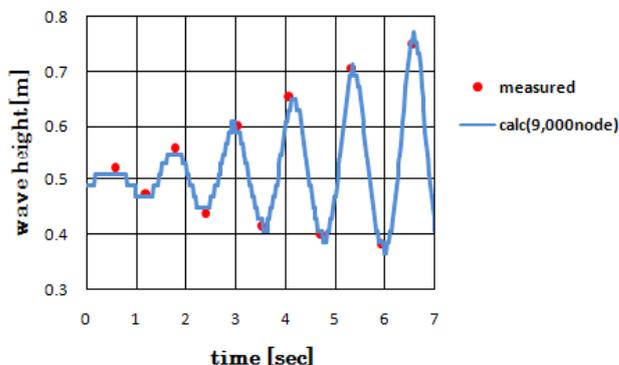
25秒後(遷移沸騰時)の計算結果



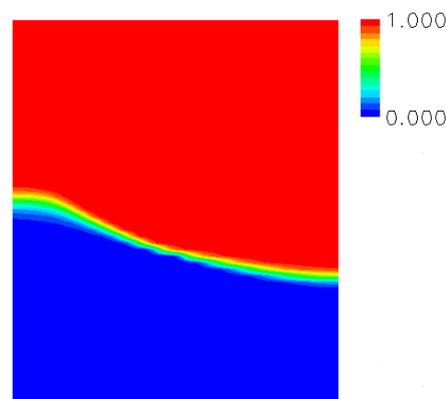
並列数: 1
現象30秒までの計算時間: 2時間28分

4.解析事例 3 スロッシング

■解析結果



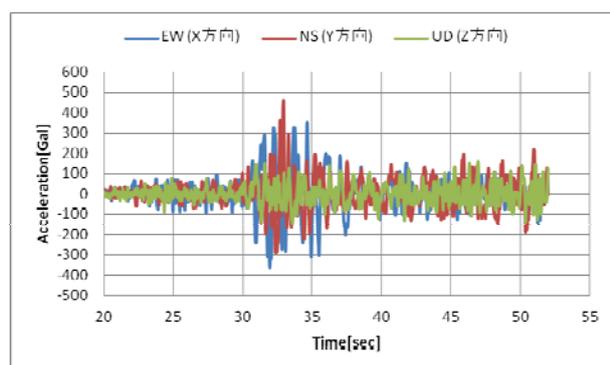
右壁における界面位置の時間変化：
実験値と計算値の比較



解析結果：7秒後のボイド率

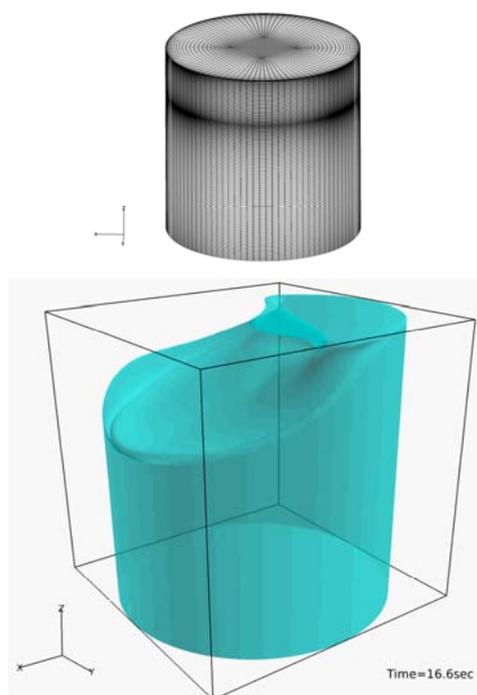
解析事例 3 スロッシング 応用事例

- ・タンク形状：円筒タンク、内径4m × 高さ4m(円錐板頂点：4.3m)
- ・初期液面高さ：3m
- ・天板：平板
- ・液相：軽油(52°C) 気相：空気(20°C)
- ・入力波：1968年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録(*)を2倍にした波を X,Y,Z方向に同時入力（解析では実測データの20[s]を0[s]とした。）

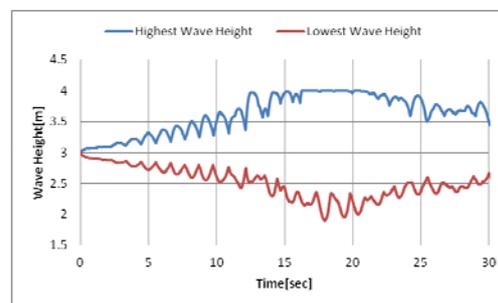


*翠川三郎, 三浦弘之: 1968年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 第2号, pp.12-21, 2010
http://www.enveng.titech.ac.jp/midorikawa/open_data.html

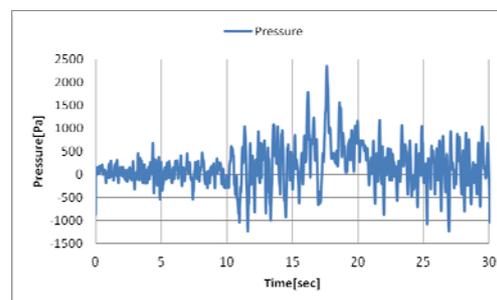
4.解析事例 3 スロッシング 計算結果



流体領域の分布 (16.6秒後)



最大波高と最小波高の時間変化



天板における最大圧力の時間変化

4.解析事例 解析事例・実績

- 公開されているスロッシングの解析事例 (公的機関)
 - https://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/h26fy/data/0152_01.pdf

解析実績

➤ 自動車

- 油圧機器の油・空気混相流からの気泡除去解析
- 密閉熱交換器の沸騰凝縮解析
- 配管内気液二相流の圧損解析
- タンク内のスロッシング解析

➤ 化学

- 気泡塔内の気液二相流解析
- 配管の沸騰・凝縮による熱疲労解析

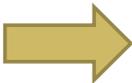
➤ 原子力

- BWR燃料集合体試験詳細解析
- 新型炉燃料集合体詳細解析
- 新型炉気水分離器詳細解析
- 気流ジェット噴流装置の解析
- 地震時プール水のスロッシング解析

➤ その他

- 製鉄プロセスの解析
- 熱交換器の沸騰凝縮解析
- 配管内の液滴蒸発解析 (水、水蒸気、空気の3相分布解析)
- 配管内の過熱蒸気の凝縮解析

京における二相流解析

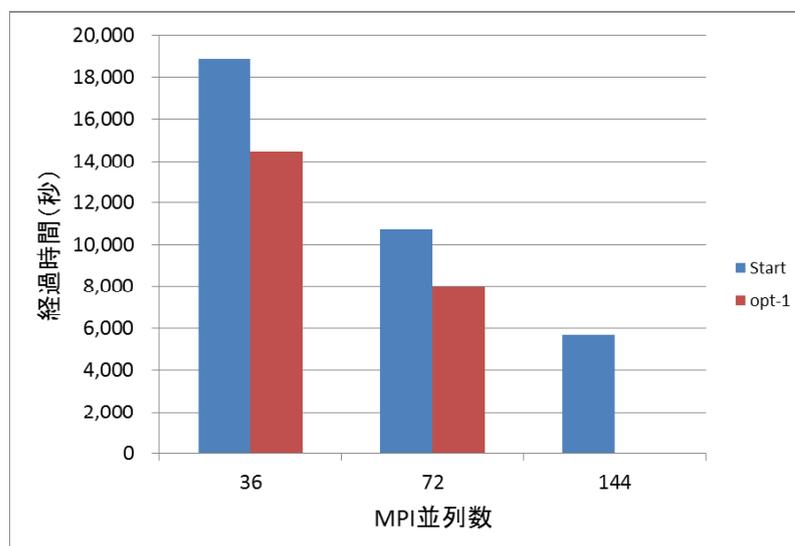
- Advance/Frontflow/MP
 - 京で動作する唯一の商用二相流ソフトウェア
 - サポートあり
 - ノード数に拘わらず一定料金
 - ソースコードの改変が可能 (ソースコードは原則非公開)
- オープンソースコード 
 - ソース改変
 - 解析条件の設定

時間と労力が掛り
結果として費用がかかる

5.Advance/FrontFlow/MPの並列性能

FX10における性能評価

Start : all with -O2
opt-1 : utl_iccg_hpf with -Kfast,noeval



6. 今後の予定

- 京への移植作業中
- ビルドと例題の実行には成功
- 性能評価中

■2015年夏 Advance/FrontFlow/MP バージョンアップ(予定)

- 前処理の壁面までの距離計算方法の改良
- 前処理の省メモリ化
- 京スパコンでの稼働(超並列化への対応)
- セル中心法の導入
- ラージ・エディ・シミュレーションの組み込み
- GNU Fortran / C コンパイラへの対応