

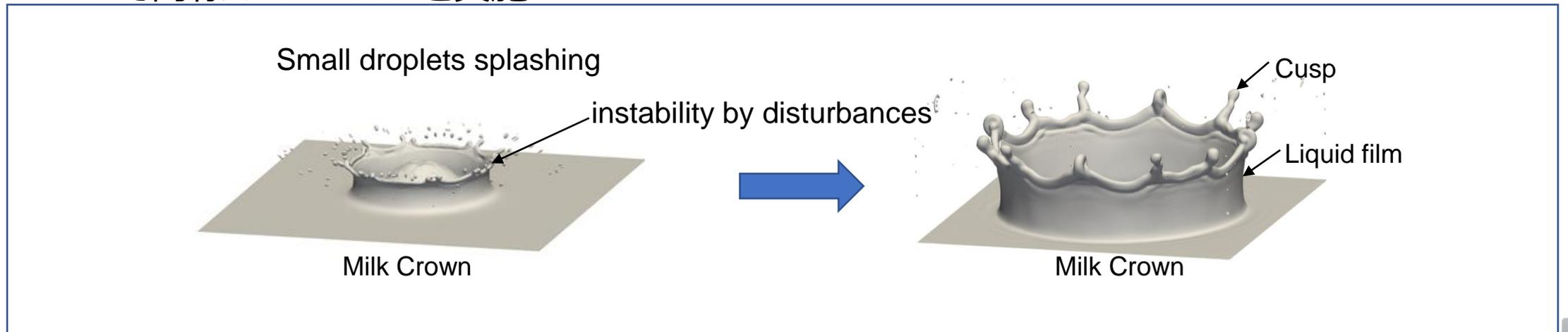
OpenFOAMを使ったミルククラウン解析 について

○田村守淑 今野雅（株式会社OCAEL） 大島聡史（名古屋大学）

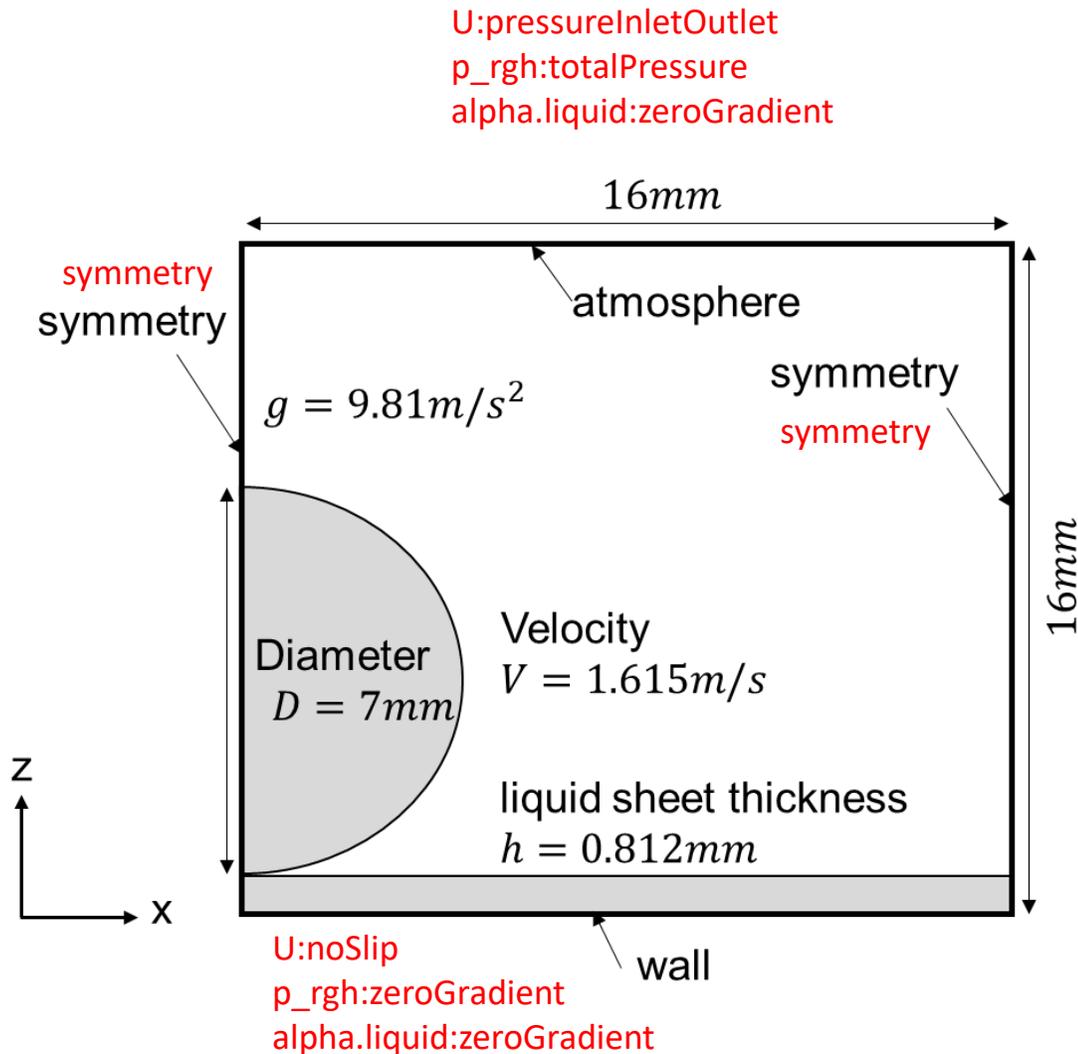


はじめに

- Rieber & Frohn (1999)はVOF/PLIC法で液滴の飛散を数値計算を実施
- 衝突で発生する液膜半径の**拡大因子 (Spreading factor)** をYarin&Weiss(1995)らの漸近解と比較し良好な結果
- また、彼らは液膜の縁では**Rayleigh不安定性**によって**突起(Cusp)**が発生するが、その突起の数をRayleigh理論に基づいて比較
- 富原は実験再現を目的に,interFoamを用いた数値計算を実施
- 本研究ではRieberらと同じ条件について,interIsoFoamを用いた数値計算を実施し,interIsoFoamについて同様の**Validation**を実施



計算概略図と物性値



Reiberらの研究のCASE Aとほぼ同様の条件

項目	記号	単位	数値
水滴密度	ρ_L	kg/m ³	1000
空気密度	ρ_G	kg/m ³	1.0
水動粘度	μ_L	m ² /s	1.0e-3
空気動粘度	μ_G	m ² /s	2.5e-5
表面張力	σ	N/m	0.073
ウェーバー数	We	-	250
オーネゾルゲ数	Oh	-	0.0014
フルード数	Fr	-	38.0
液膜比	h/D	-	0.116



計算モデル/計算機/計算条件

項目	内容
ソフトウェア	OpenFoam v2106
計算ソルバー	interIsoFoam
乱流モデル	なし(laminar)
div(rhoPhi,U)	linearUpwind
p_rgh alpha.* U	PCG/DIC smoothSolver/GaussSymmSeidel
tolerances	1.0e-8
endTime	15.2msec (T=D/V=3.5)

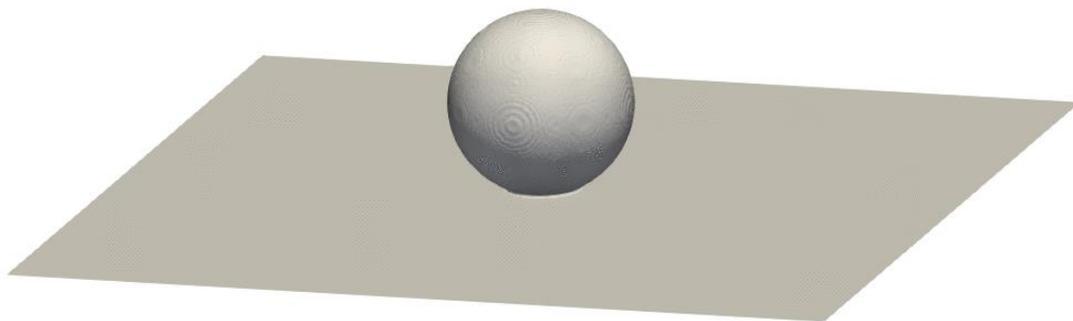
項目		内容
機関		九州大学 情報研究開発センター
使用システム		サブシステム A
演算 ノード	CPU	Intel Xeon Gold 6154 (Skylake-SP) 3.0GHz (Turbo 3.7GHz) 18core 2 node
	理論演算性能	3456 GPLOPS/node(倍精度)
	メモリ	DDR4 192GB/node
	メモリ帯域幅	255.9 GB/sec/node
使用計算ノード数		8 (288並列)

Case	model	maxCo	$\Delta[\mu\text{m}]$	Cells	Execution Time (h)
Reiber	¼対称	-	50	320 ³	-
1	↑	0.2	↑	↑	27.0
2	↑	0.1	↑	↑	54.0
3	↑	0.2	100	160 ³	0.4
4	½対称	0.2	50	640×320 ²	62.4



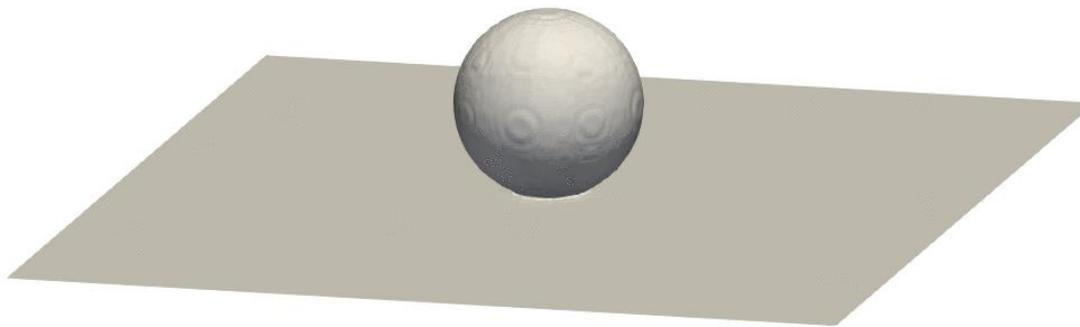
メッシュ分解能の影響

Time: 0.1msec



Case1 $\Delta=50\mu\text{m}$

Time: 0.1msec



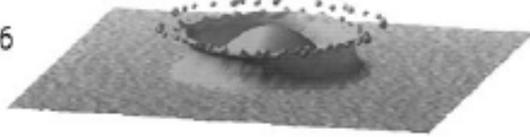
Case3 $\Delta=100\mu\text{m}$



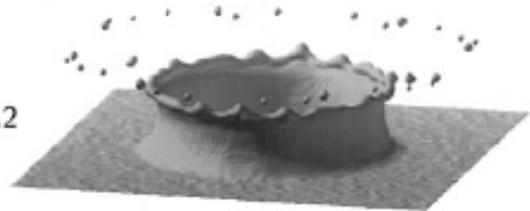
メッシュ解像度の影響

Reiber&Frohn
 $\Delta=50\mu\text{m}$

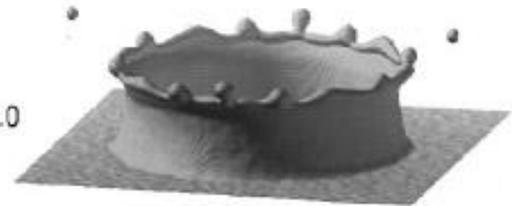
T = 0.6



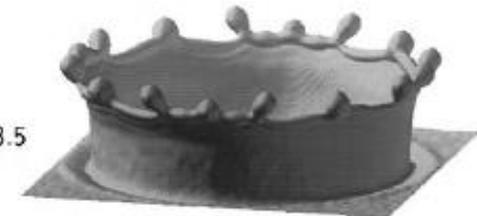
T = 1.2



T = 2.0



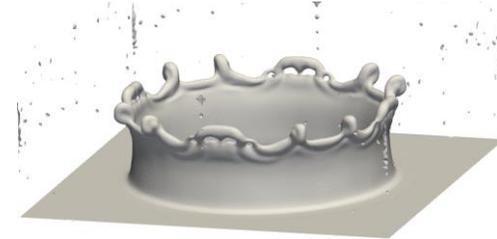
T = 3.5



interIsoFoam
case1: $\Delta=50\mu\text{m}$

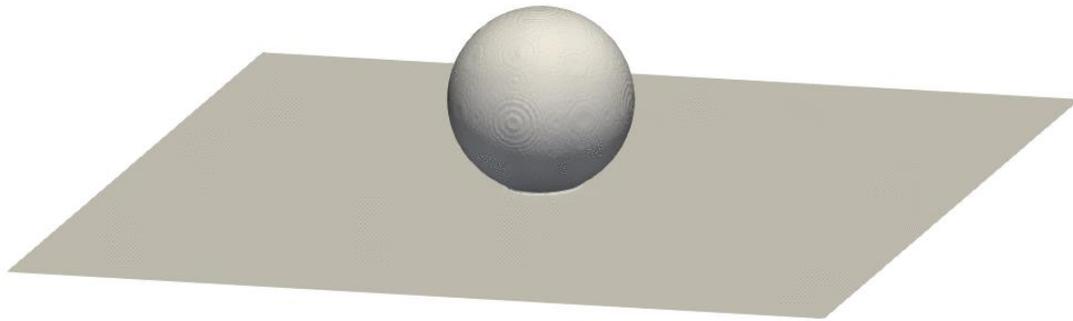


interIsoFoam
case3: $\Delta=100\mu\text{m}$



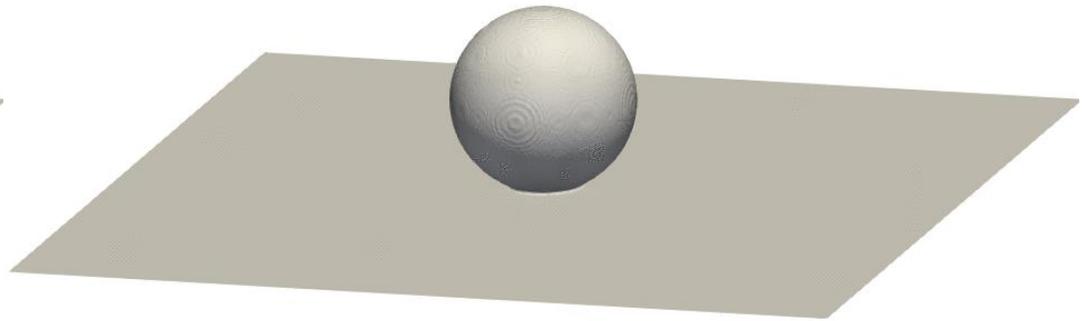
maxCoの影響

Time: 0.1msec



Case1 maxCo=0.2

Time: 0.1msec



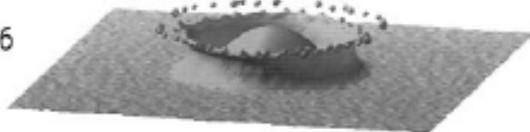
Case2 maxCo=0.1



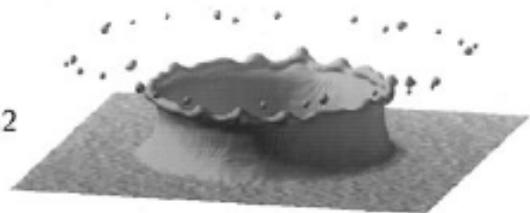
maxCoの影響

Reiber&Frohn

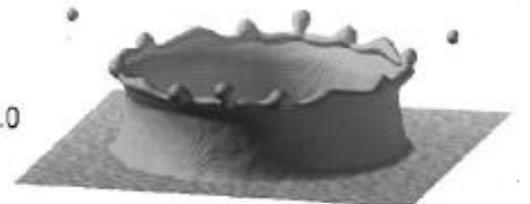
T = 0.6



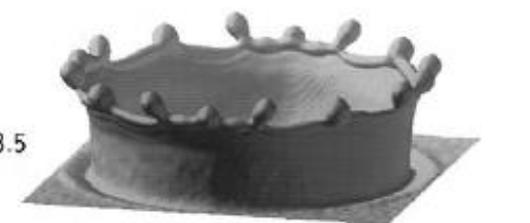
T = 1.2



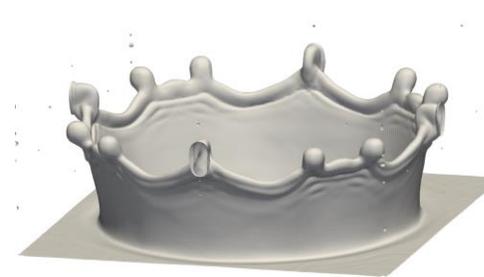
T = 2.0



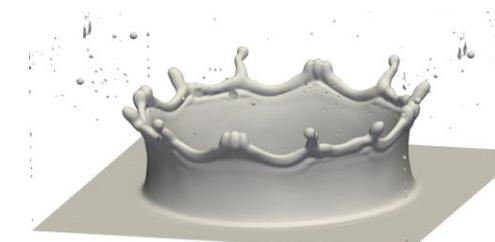
T = 3.5



interIsoFoam
Case1: maxCo=0.2

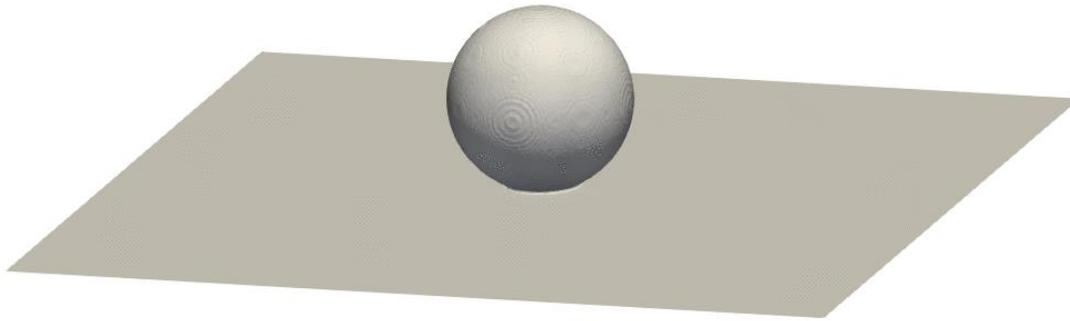


interIsoFoam
Case2: maxCo=0.1



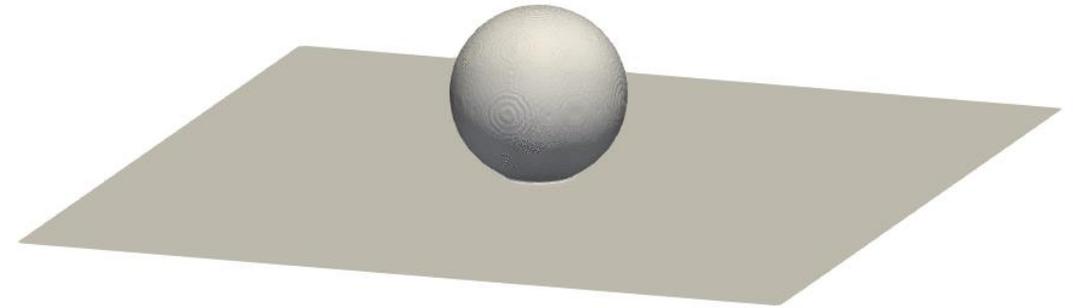
対称性の影響

Time: 0.1msec



Case1 $\frac{1}{4}$ 対称

Time: 0.1msec



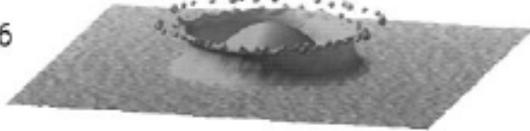
Case4 $\frac{1}{2}$ 対称



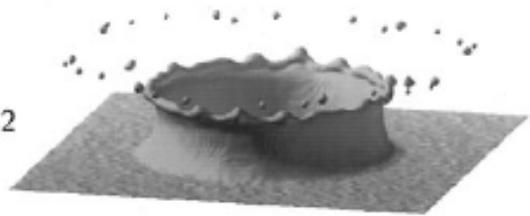
対称性の影響

Reiber&Frohn
1/4対称

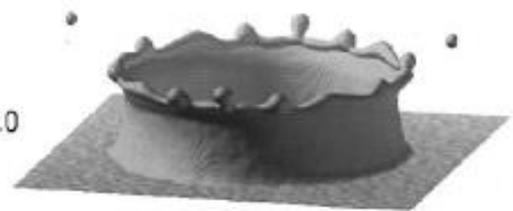
T = 0.6



T = 1.2



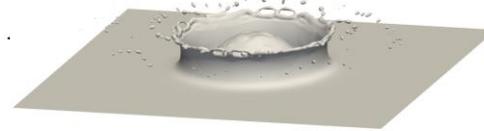
T = 2.0



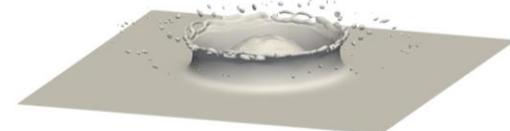
T = 3.5



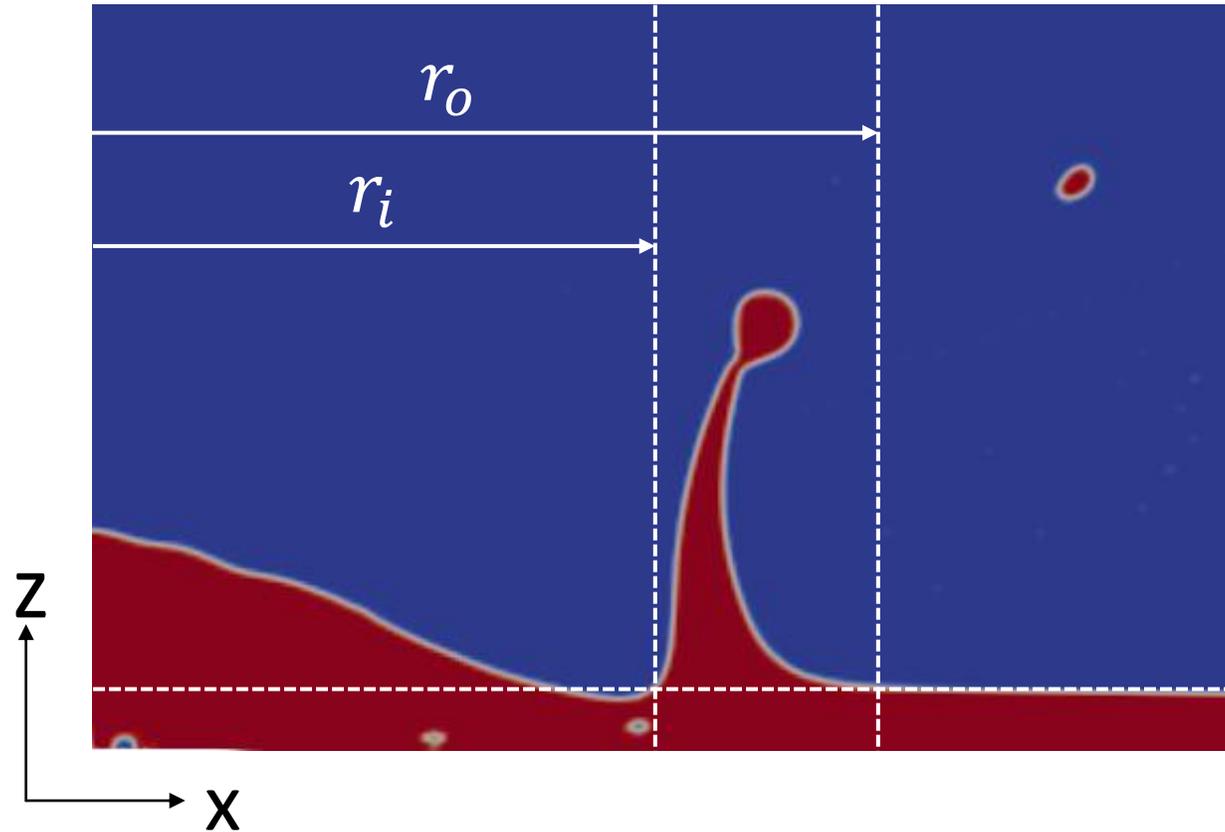
interIsoFoam
Case1: 1/4対称



interIsoFoam
Case4: 1/2対称



ミルククラウン半径とその拡大因子



y=0面での界面位置(alpha_liquid=0.5)

Milk crown radius

$$r = \frac{r_i + r_o}{2}$$

Spreading factor

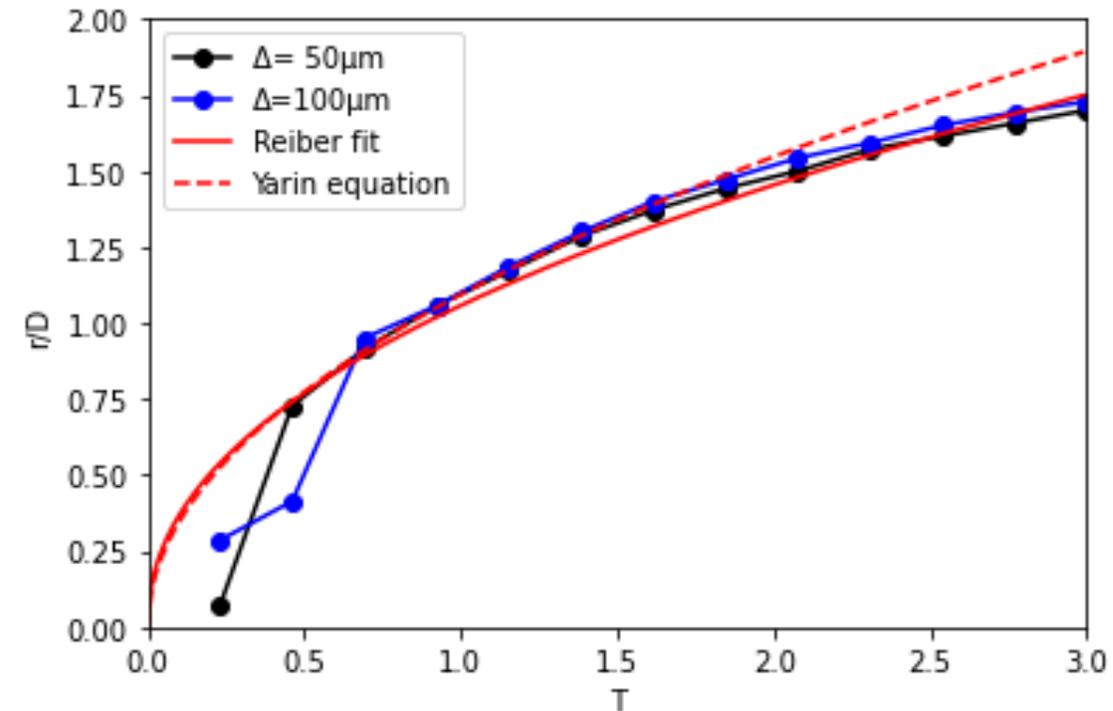
$$\frac{r}{D}$$

液膜表面

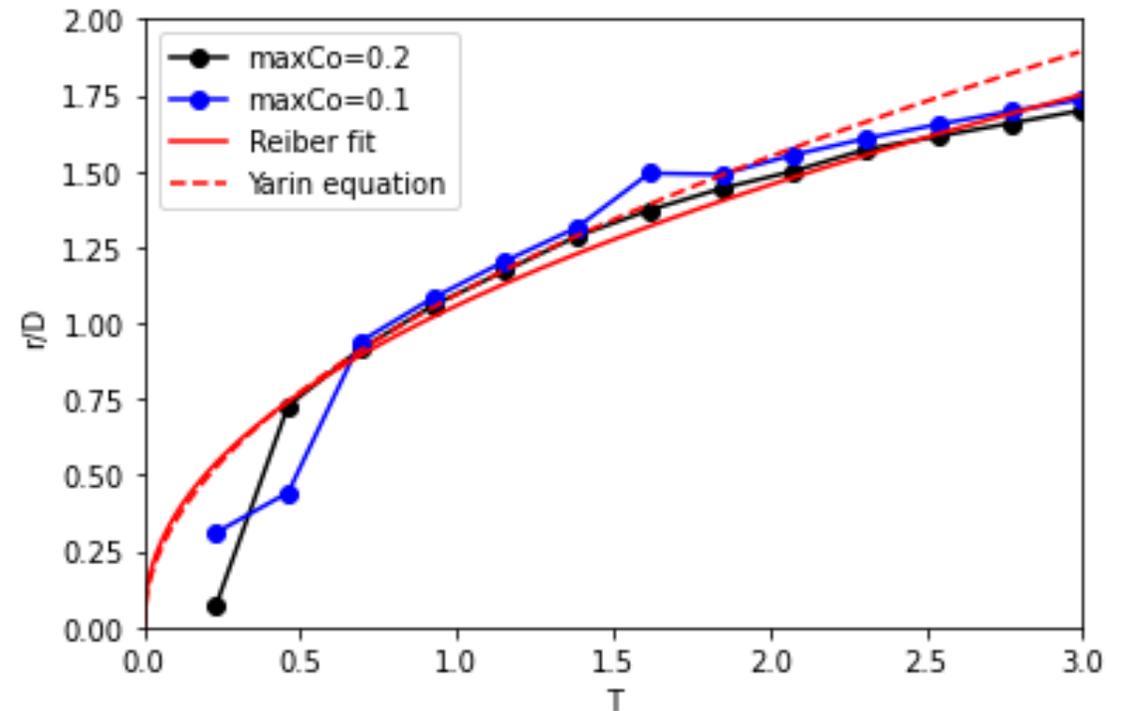


拡大因子の時間履歴

Reiber CaseA 回帰式 $r/D = 1.058 \cdot T^{0.459}$
Yarin 漸近解 $r/D = 1.027 \cdot T^{0.5}$



メッシュ分解能の影響

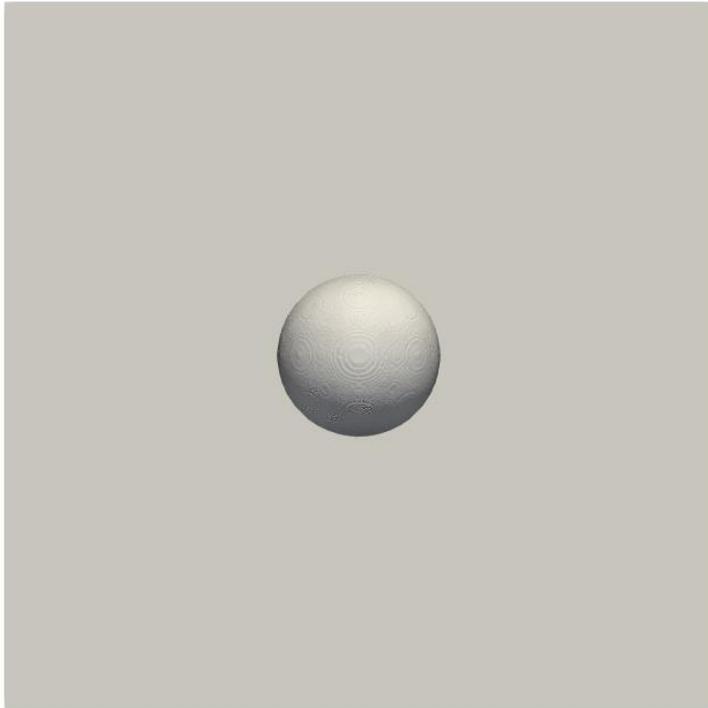


maxCoの影響



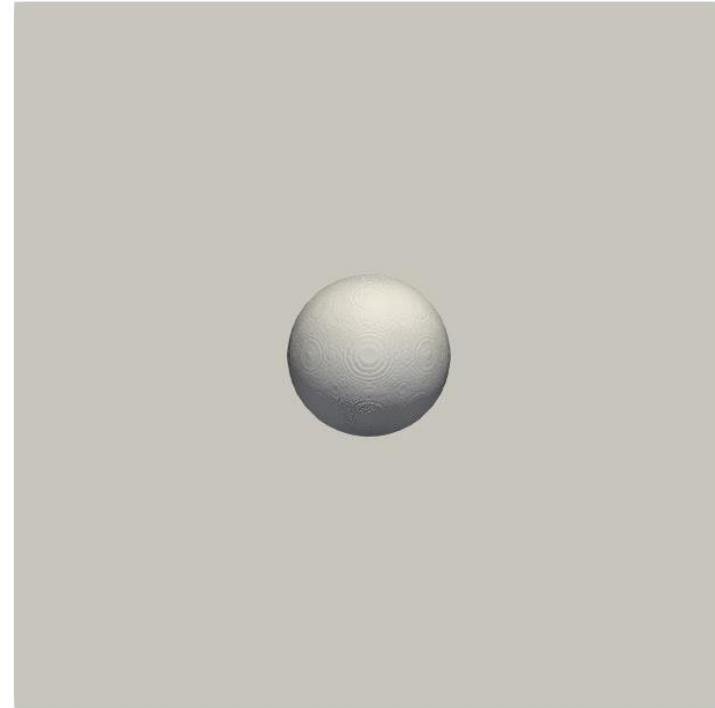
突起数の推移

Time: 0.1msec



Case1 maxCo=0.2

Time: 0.1msec



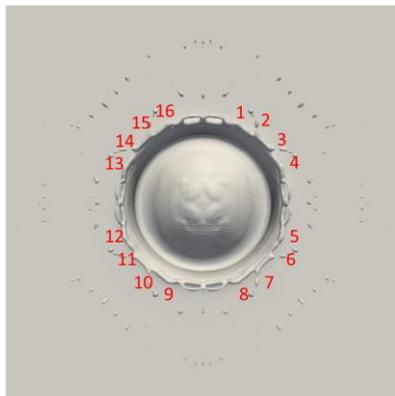
Case2 maxCo=0.1



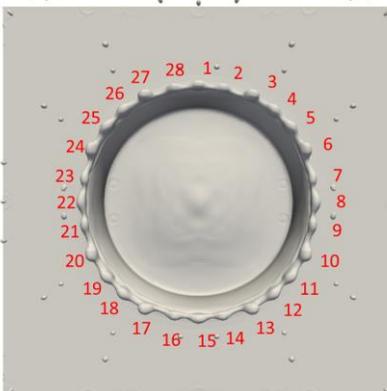
突起数の推移

Case1
maxCo=0.2

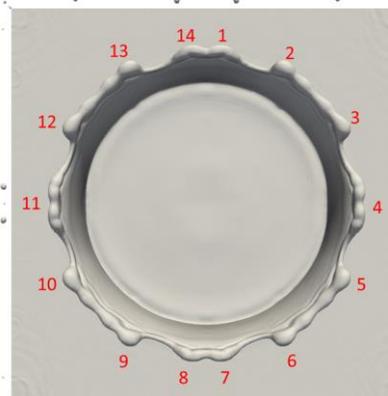
Time: 2.6msec



Time: 5.2msec



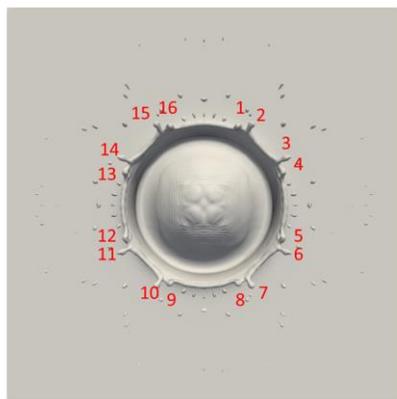
Time: 8.6msec



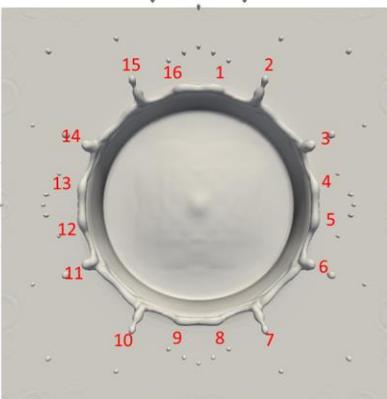
Time: 15.2msec



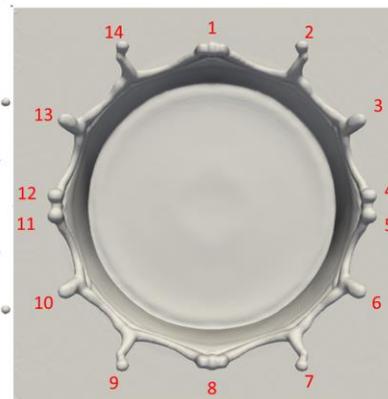
Time: 2.6msec



Time: 5.2msec



Time: 8.6msec



Time: 15.2msec



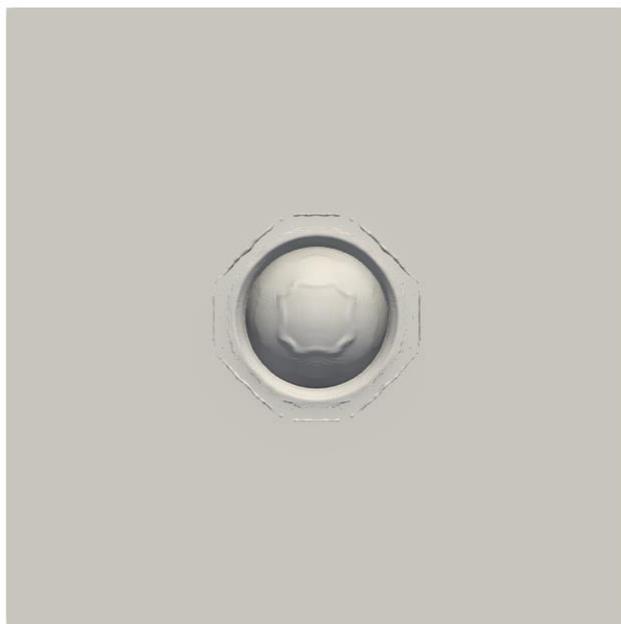
Case2
maxCo=0.1



軸対称性について

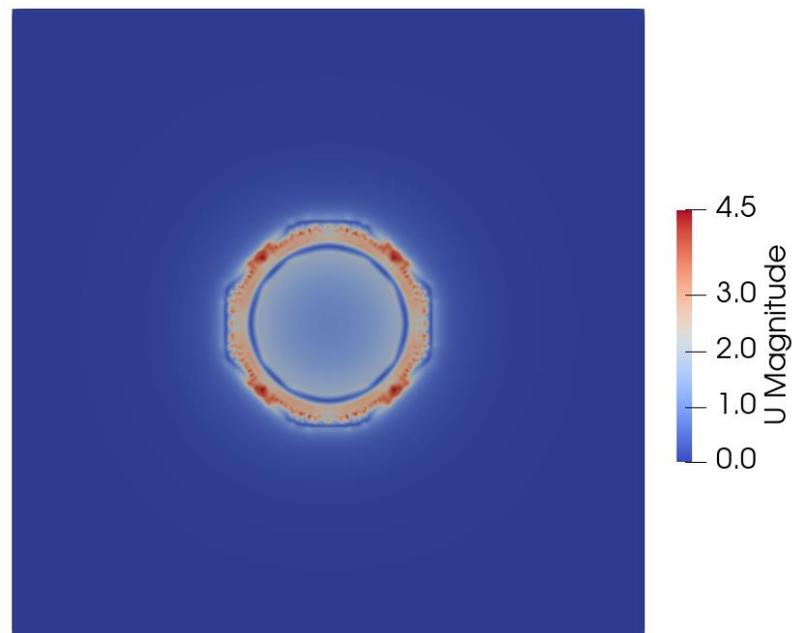
Case1

Time: 1.0msec



alpha.liquid=0.5の等値面

Time: 1.0msec



U Magnitudeの分布(Z=2mm)



おわりに

- OpenFOAMの気液 2 相流の界面捕獲用のソルバーinterIsoFoamを用いて,ミルククラウンについてRieberらのケースAと同じ条件で計算を実施した.
- interIsoFoamの界面捕獲性能を評価しValidationを行った.
- ミルククラウンの拡大因子と突起数の時間経過を比較した結果,拡大因子についてはRieberらの回帰式とほぼ同様の結果となったのに対し,突起数については異なったものとなった.
- 特に計算制御の最大クーラン数であるmaxCoによって異なる結果が得られた.
- ミルククラウンの形状がRieberらのものと異なる理由として, interIsoFoam特有のspurious currentの影響があるものと考えられた.
- 本研究は,一般社団法人オープンCAE学会HPC小委員会の課題として実施しました.ここに謝意を表し御礼致します.



ご清聴ありがとうございました

