

OpenFOAMによる噴霧燃焼のGPUシミュレーション

GPU Simulation of Spray and Combustion by using OpenFOAM

○大嶋 元啓(富山県立大学)
中山 勝之(オープンCAE勉強会@富山)
中川 慎二(富山県立大学)
坂村 芳孝(富山県立大学)

目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

- 計算条件
- ベンチマーク結果

5. まとめ

目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

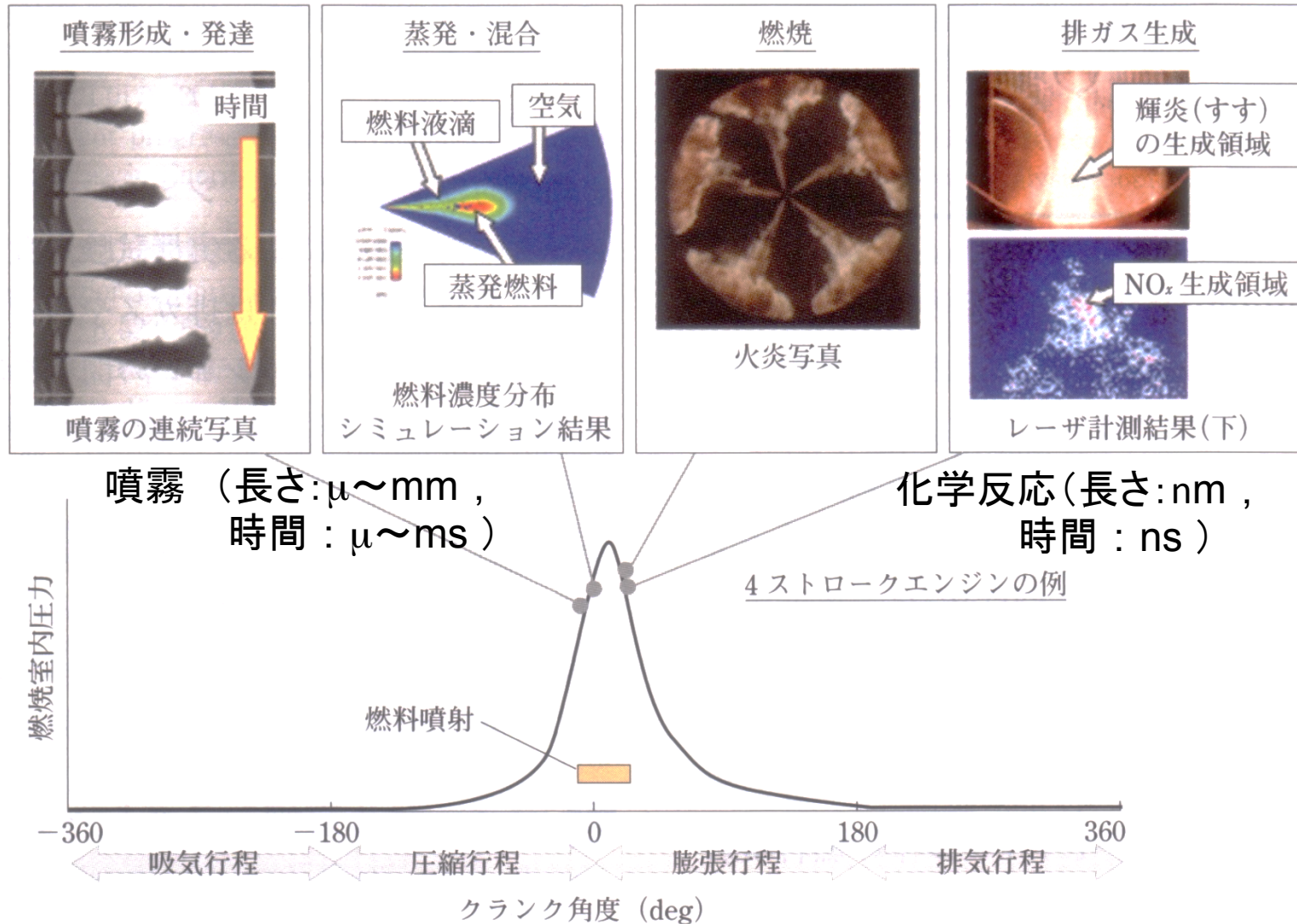
- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

- 計算条件
- ベンチマーク結果

5. まとめ

The Phenomena inside Diesel Engine



内燃機関では異なる時間スケールの現象が存在 → CFD計算に莫大な時間がかかる

計算時間の短縮化のために

■ 並列計算

- ・マルチCPU
- ・シングルCPU(マルチコア利用)
- ・GPGPU

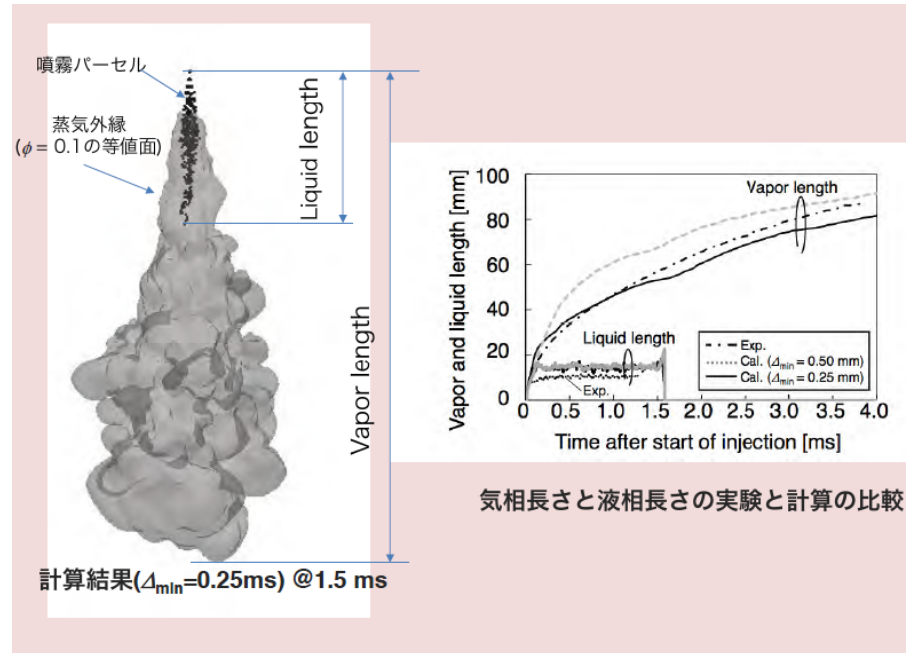


スーパーコンピュータ

<http://www.jp.cray.com/products/Cray-XE6-08.html>

大規模計算による一例

ディーゼル噴霧火炎のLES解析(大阪大学 堀ら)



噴霧のLES解析 (非燃烧)

計算格子数 900万. 最小格子幅0.25mm

噴射開始から5.0msまで計算

計算時間14時間@512並列 (シリアル計算90日)

www.jst.go.jp/sip/dl/k01/sympo/sympo02_14.pdf

GPGPUによる噴霧燃焼計算の実現を目指す.
ベンチマークを実施(対称行列, 非対称行列, 噴霧燃焼計算)

目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

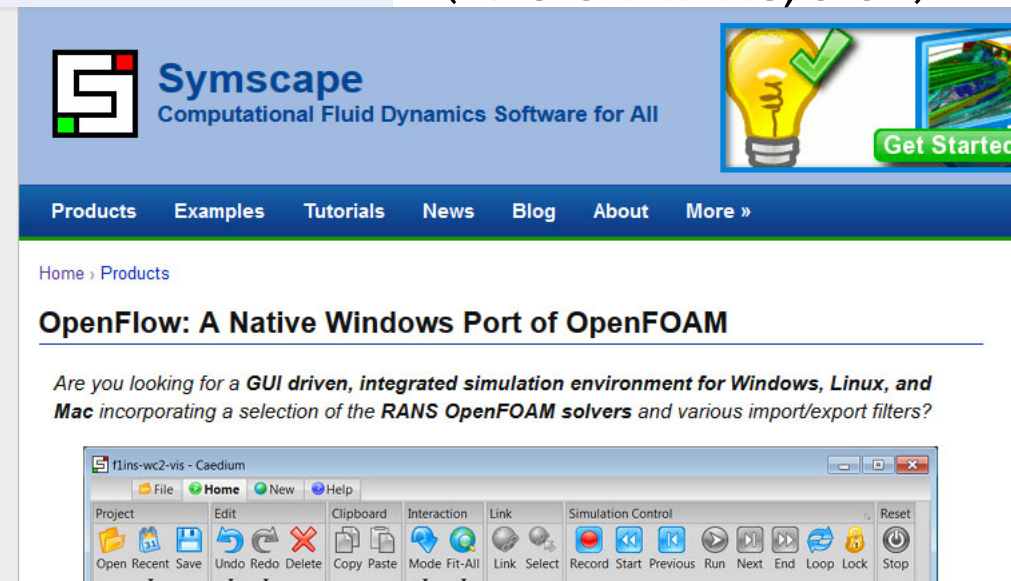
- 計算条件
- ベンチマーク結果

5. まとめ

GPGPU実装と行列計算の概要

■ OpenFOAMに以下のGPGPU計算環境を実装 ■ 環境

- Cufflink
- Symscape
- RapidCFD
- OpenFOAM Ext.のFull GPGPUモード
- OS: CentOS, Ubuntu
- 開発環境: CUDA 4.2, 5.5
- GPGPU: Tesla K20C
(706 MHz x 2496, 5 GB)
- Tesla C2050
(1.15 GHz x 448, 3 GB)



対称行列計算 → potentialFoam ポテンシャル流を計算する 変数:p
非対称行列計算 → scalarTransportFoam パッシブスカラの輸送方程式を
解く 変数:T

目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

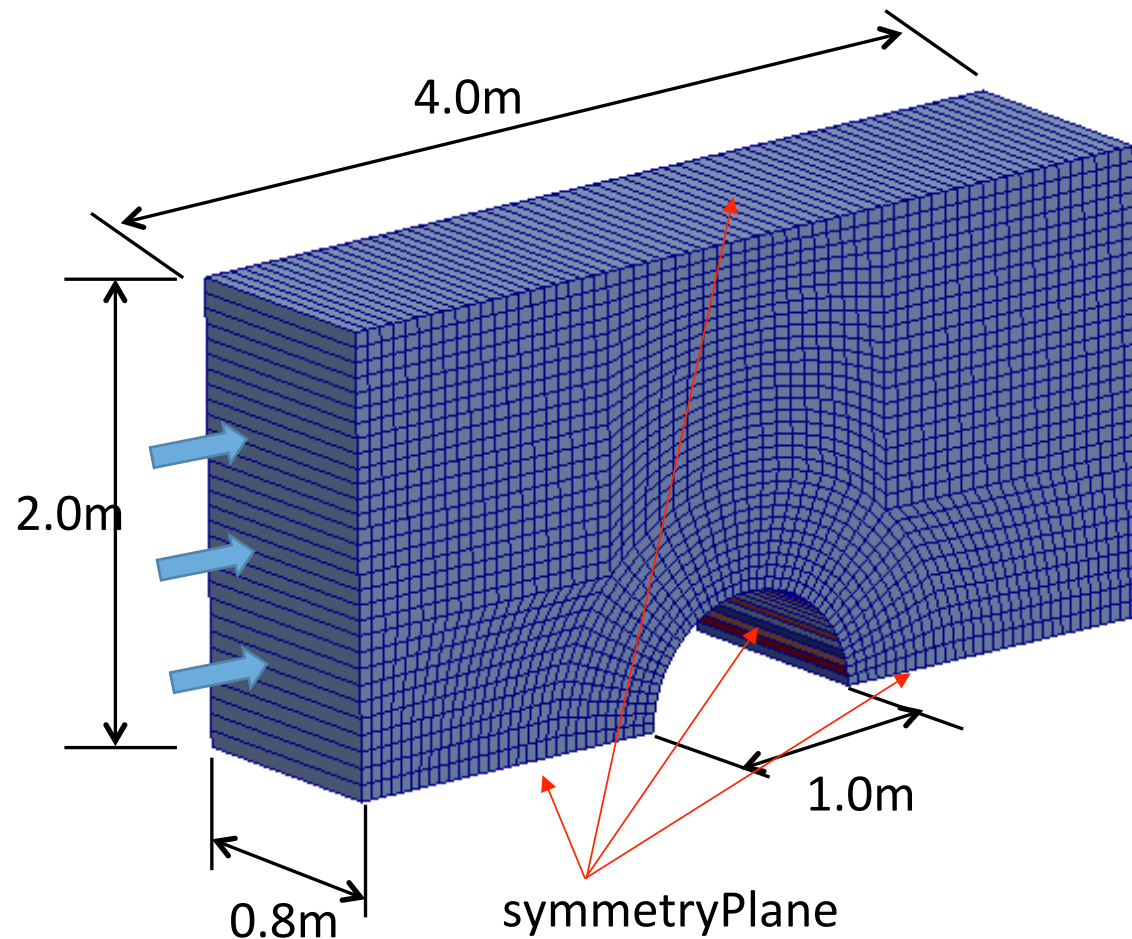
- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

- 計算条件
- ベンチマーク結果

5. まとめ

計算領域と境界条件



potentialFoam

流入条件: 1.0 m/s

scalartransportFoam

流入条件: 10 K

流速分布をあらかじめ

計算にて付与

計算時間: 8 s

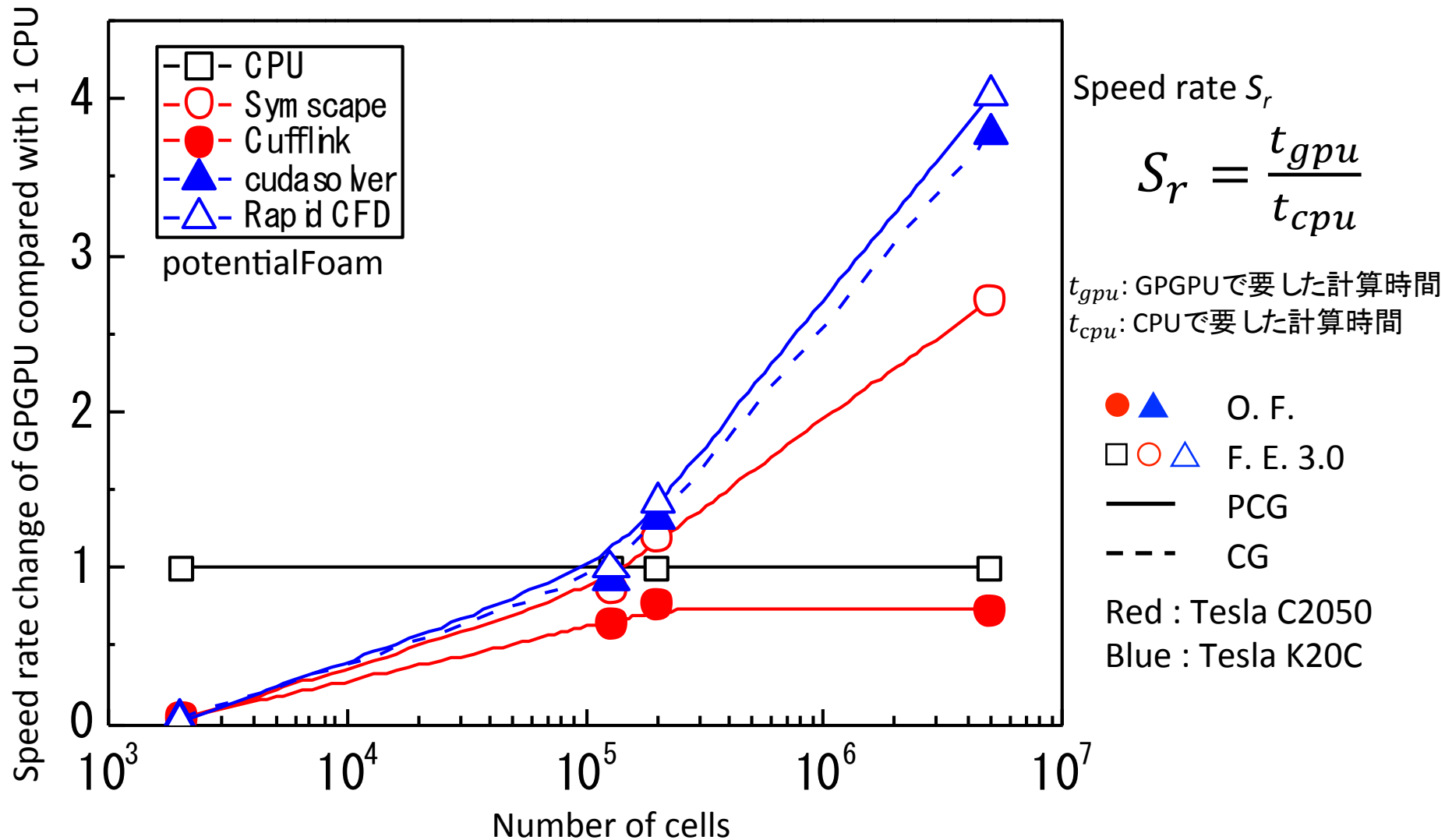
メッシュ数: 2×10^3 , 128×10^3 , 2×10^5 , 5×10^6

計算環境とfvsolution solver設定

	Version	GPGPU	CPU
Rapid CFD	of231	Tesla K20C	Xeon E5-1620 3.7 GHz
Cudasolver	fe30		
Cufflink		Tesla C2050	Xeon X5680 3.4GHz
Symscape	of22x		Xeon E5-2603 1.8GHz
CPU	of231	-	Xeon E5-1620 3.7 GHz

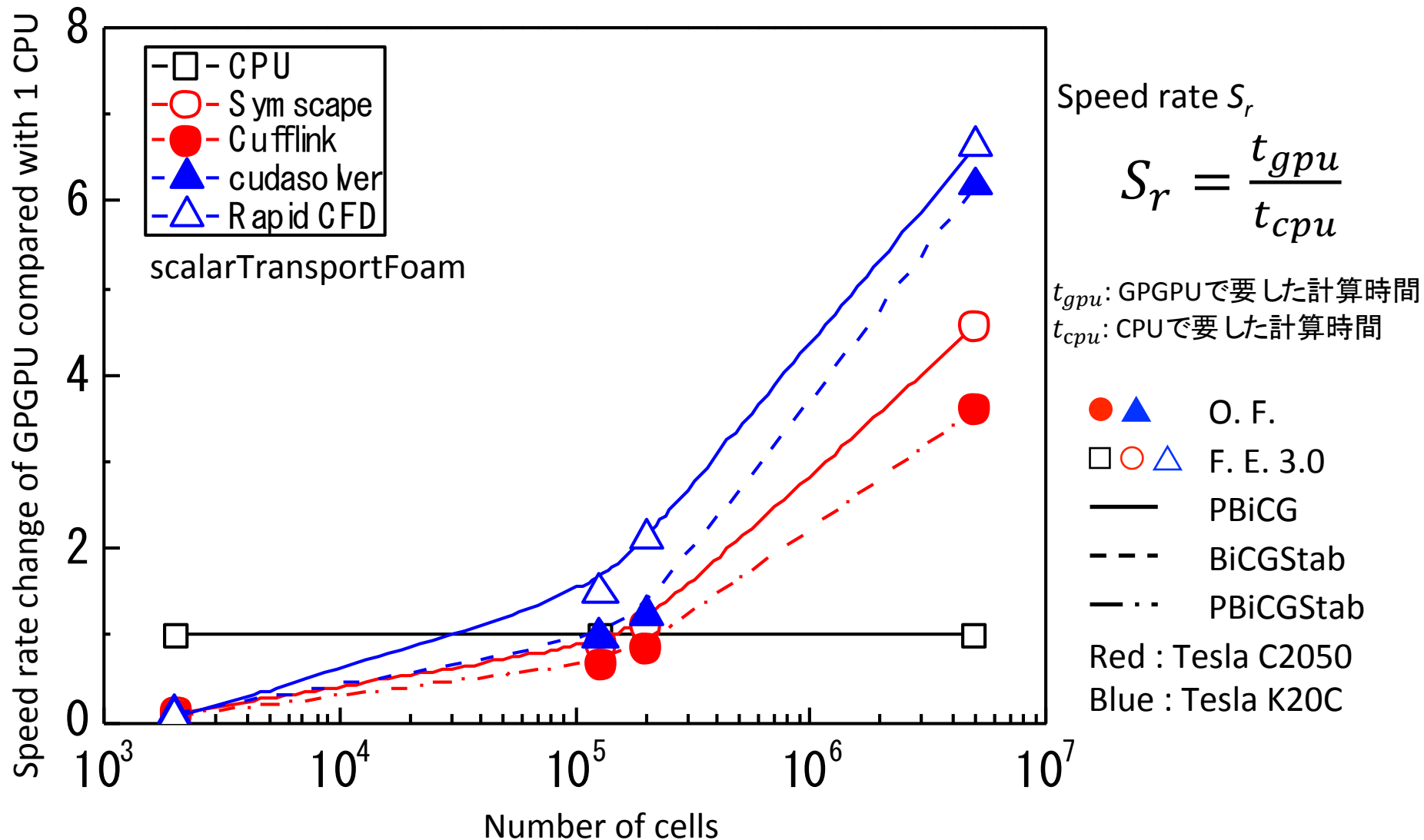
	potentialFoam	scalarTransportFoam
Rapid CFD	PCG(diagonal)	PBiCG(diagonal)
Cudasolver	CG(diagonal)	BiCGStab(diagonal)
Cufflink	PCG(diagonal)	PBiCGStab(diagonal)
Symscape	PCG(diagonal)	PBiCG(diagonal)
CPU	PCG(diagonal)	PBiCG(diagonal)

対称行列計算における計算速度の比較



GPGPU: 20万メッシュ以上で高速化
 最大4倍の高速化を達成 (RapidCFDの場合)

非対称行列計算における計算速度の比較



GPGPU: 20万メッシュ以上で高速化
 最大7倍の高速化を達成(RapidCFDの場合)

目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

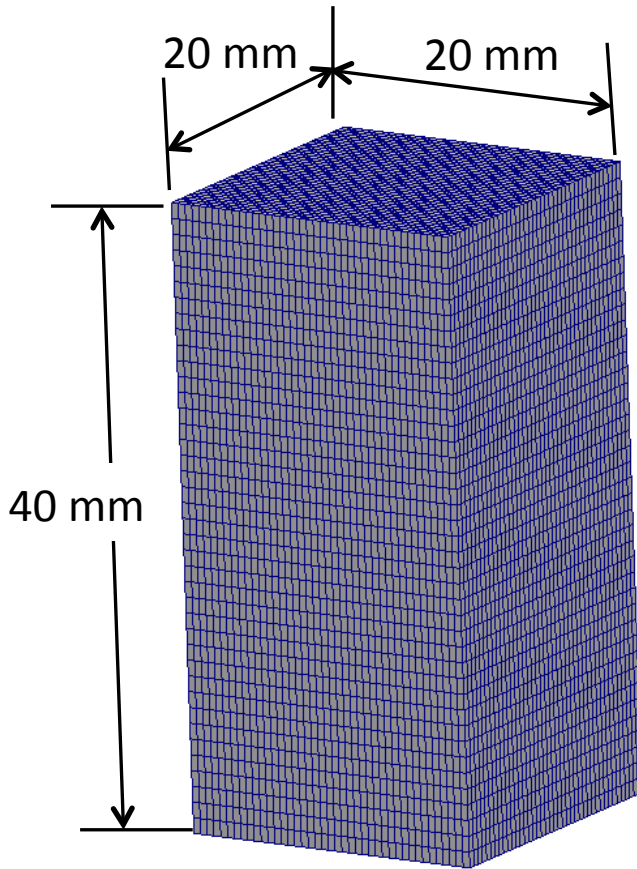
- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

- 計算条件
- ベンチマーク結果(計算結果, メッシュ数)

5. まとめ

Calculation conditions



Fuel	n-heptane
Fuel temperature [K]	320
Injection quantity [mg]	2.0
Injection duration [ms]	1.25
Spray angle [deg.]	20
Ambient	Air
Ambient temperature [K]	800
Ambient pressure [MPa]	5

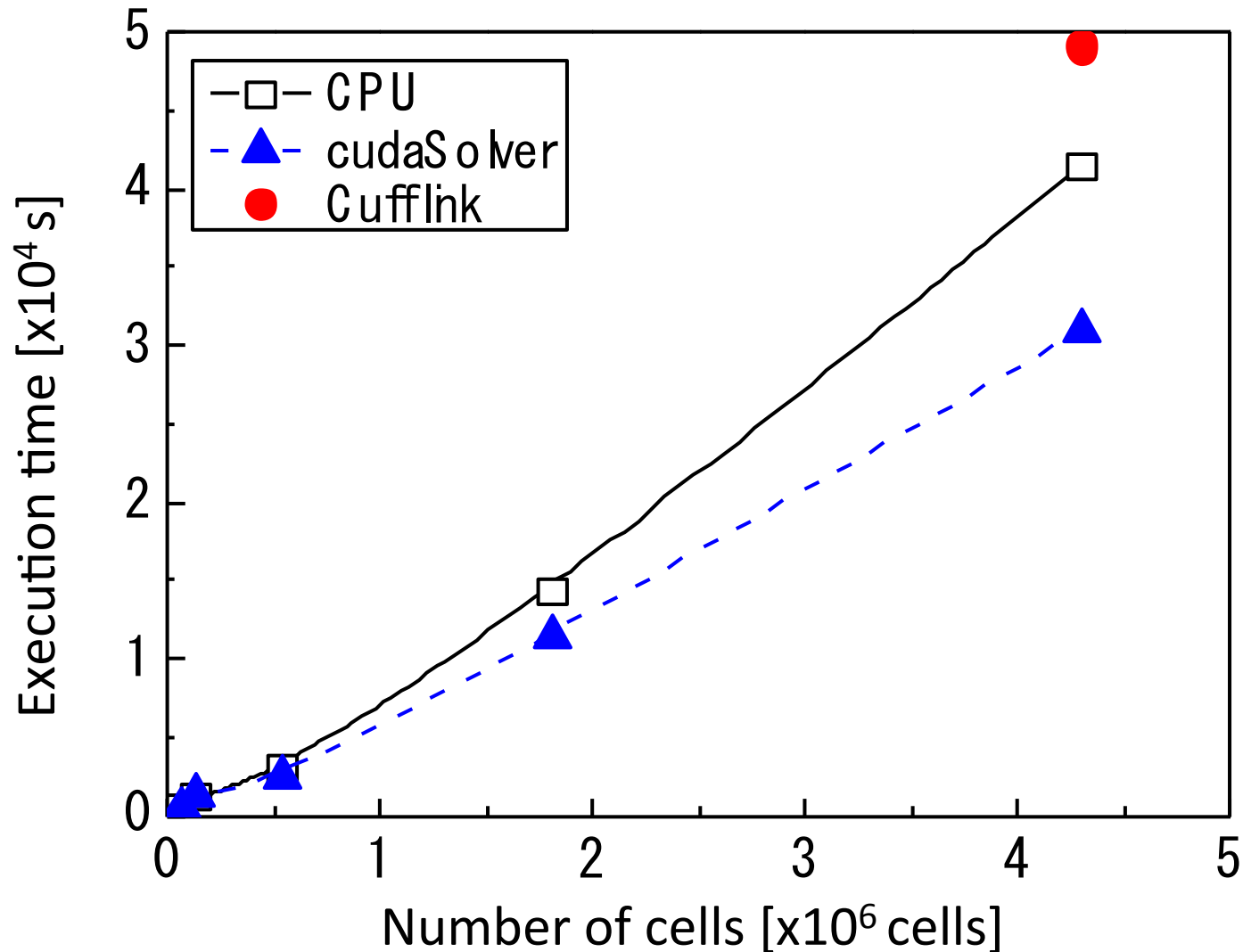
Solver: dieselFoam (OF 3.0 ext.) 67240, 537920, 1815480, 4303360 cell

Test case : aachenBomb

Calculation time : 1.25ms

No Chemical kinetics, Evaporation spray

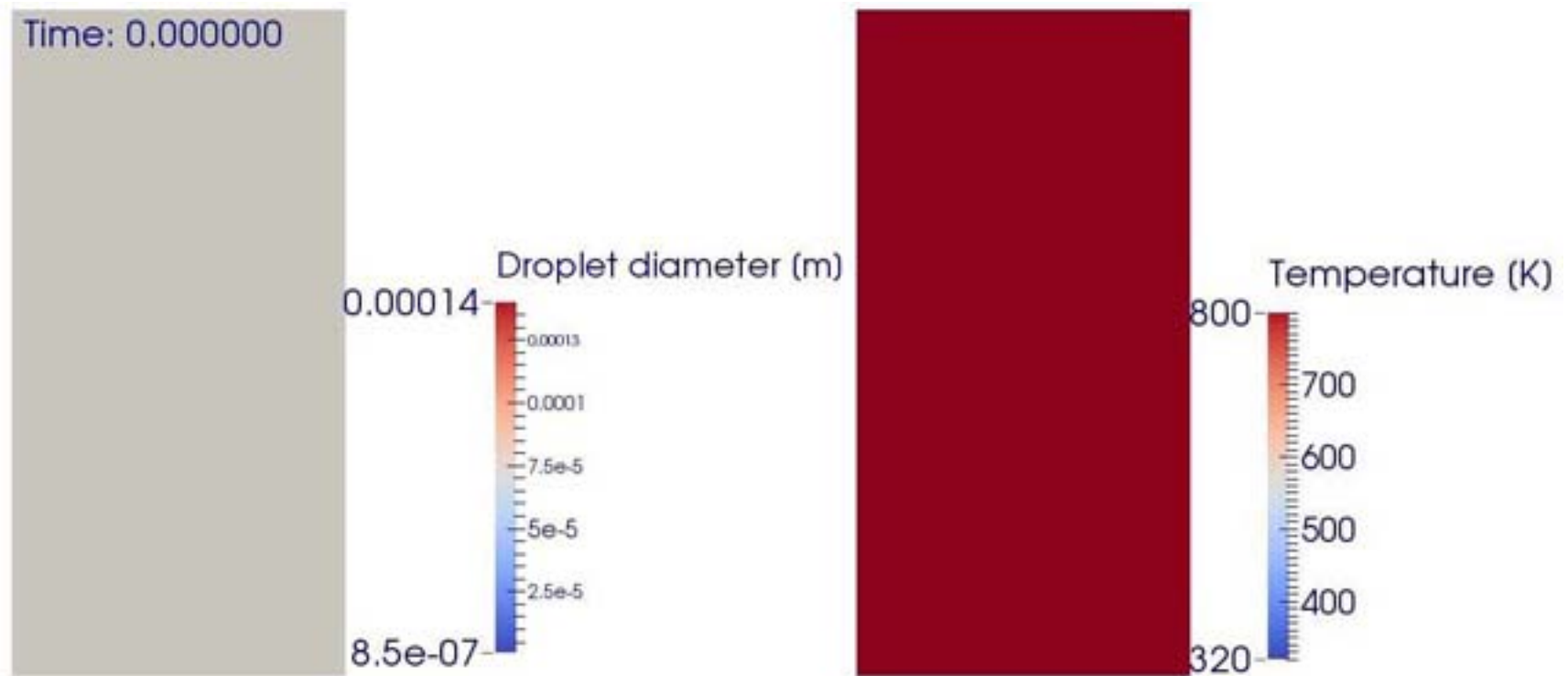
メッシュ数と計算時間の関係



GPGPU: 5×10^5 メッシュ以上で高速化

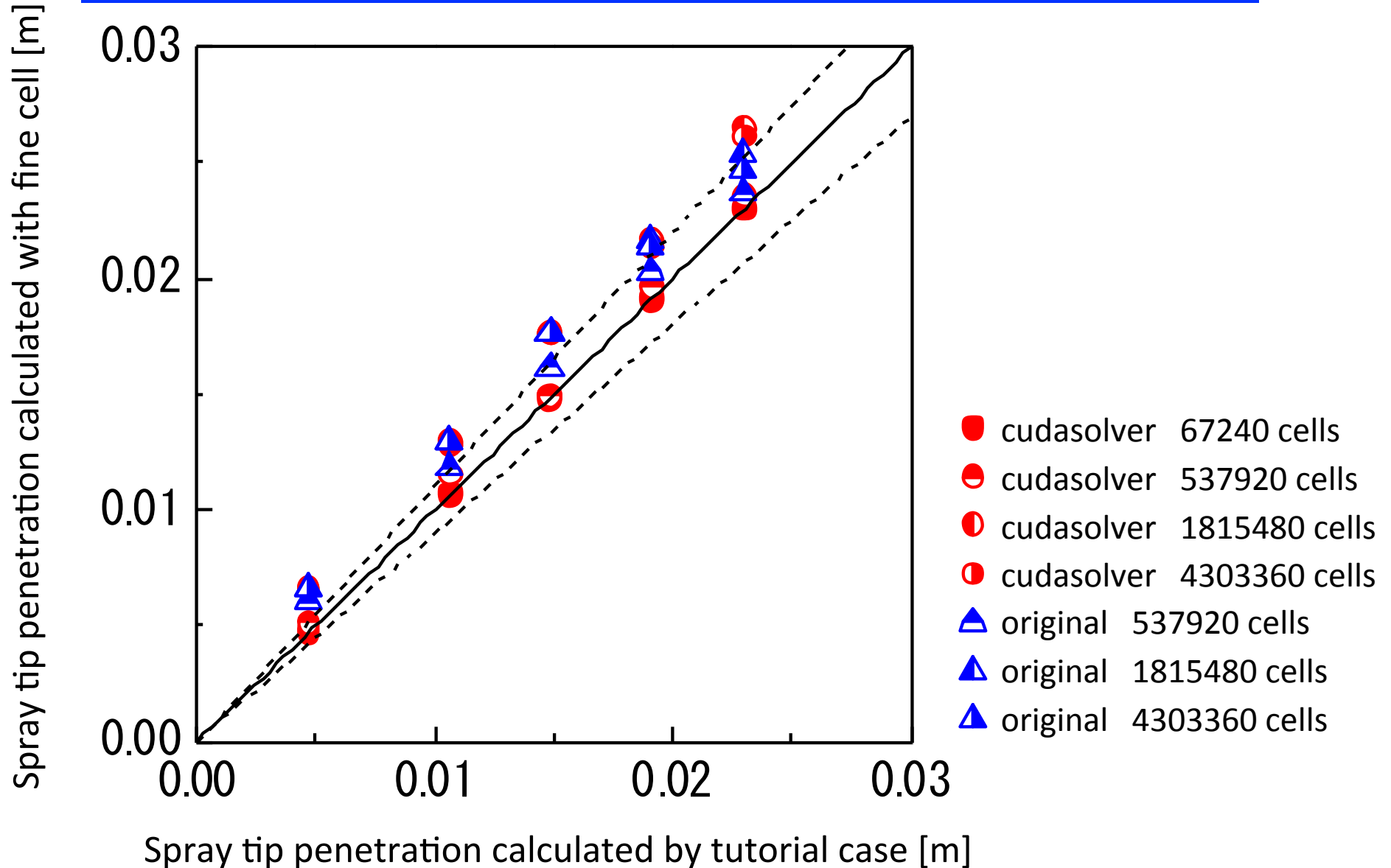
Cufflinkはcudasolver, CPUより計算時間は遅い⇒行列計算が関係

噴霧燃燒計算結果



n-heptane, T_{amb} : 800 K, P_{amb} : 5 MPa, T_{fuel} : 320 K, Q_{inj} : 2.0 mg, t_{inj} : 1.25 ms

メッシュのサイズと噴霧先端到達距離の関係



目次

1. 諸言

2. GPGPU実装について

3. GPGPUベンチマーク

- ベンチマーク条件
- potentialFoamベンチマーク結果
- scalarTransportFoamベンチマーク結果

4. GPGPUによる噴霧燃焼計算

- 計算条件
- ベンチマーク結果

5. まとめ

まとめ

GPGPUにより噴霧燃焼計算のためのベンチマークを行った

■ 対称行列計算 : potentialFoam

- ・GPGPU: 20万メッシュ以上で高速化
- ・最大4倍の高速化

■ 非対称行列計算 : scalarTransportFoam

- ・GPGPU: 20万メッシュ以上で高速化
- ・最大7倍の高速化

■ 噴霧燃焼計算 : dieselFoam

- ・ 5×10^5 メッシュ以上で高速化
- ・Cufflinkはcudasolver, CPUより計算時間は遅い
⇒ 対称行列計算の飽和が関係 (要原因解明)
- ・GPGPUの結果はoriginalと同等の結果を得ることを確認した.
メッシュサイズが細かくなると噴霧先端到達距離が増加する.

GPGPUをカスタマイズし, 噴霧燃焼計算の高速化を目指したい!!
ご教授願います...

おわり