

2010
5/31



アドバンスソフト技術セミナー 流体ソフトウェアのご紹介

Advance/FrontFlow/red Ver4.1の高速化手法

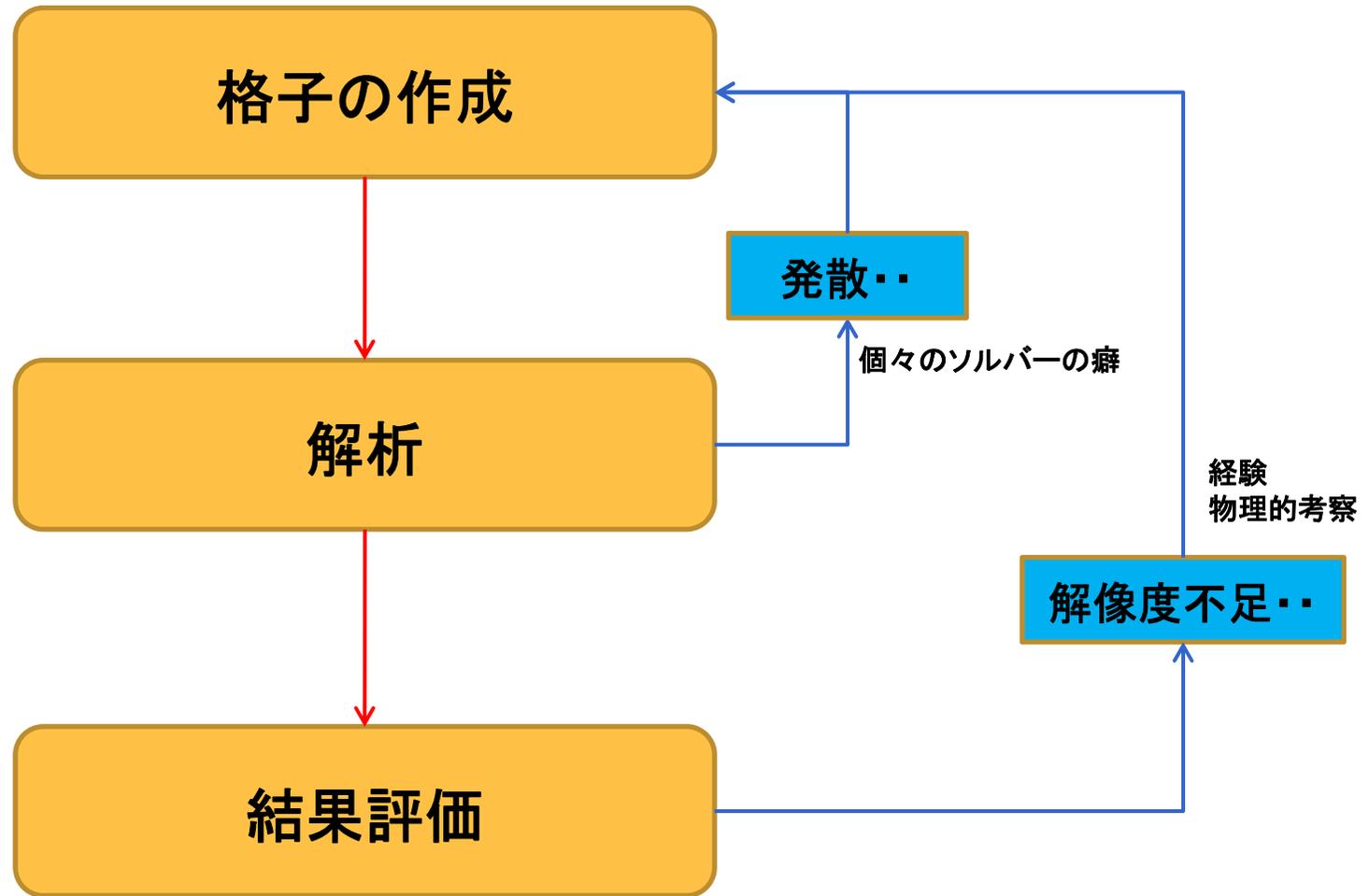
アドバンスソフト株式会社
技術第3部 主事研究員
大西 陽一

4.

内容

1. Advance/FrontFlow/redの解析手順
2. 前処理 (prefflow) の高速化
3. ソルバーの高速化
 - 定常計算の高速化
 - AMG法の導入
 - 並列化効率の向上
4. まとめ
 - 今後の高速化計画

CFDソフトを使った解析手順



Advance/FrontFlow/red(AFFr)を使った解析手順

格子の作成
ADAP

ADAP : アドバンスソフト独自プリポスト

prefflow

作成した格子からソルバー用の
計算セルを再構築する前処理

解析
Advance/FrontFlow/red

結果評価
ADAP

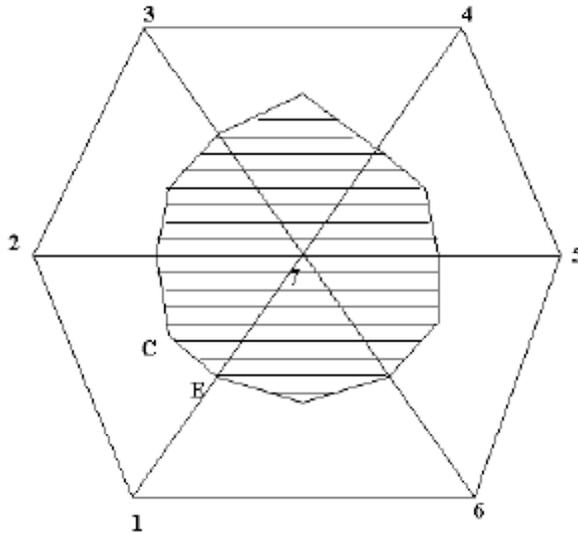
前処理 (prefflow) とソルバーの高速化

大幅な作業効率向上



Prefflow とは?

✓ メッシャー (ADAP, ...) で作成した格子セルからソルバーで使用する計算セルを作り直す。



節点中心法 : 節点の周りに計算セルを作る

テトラ、プリズム、ピラミッド格子を用いた場合
計算セルは多面体セルになる。

利点

- ・流束評価面が増える。
- ・格子歪み度が改善される。 → 計算安定化

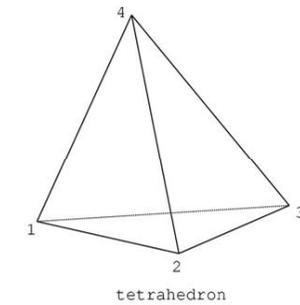
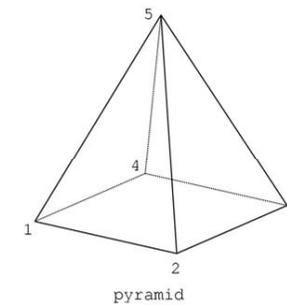
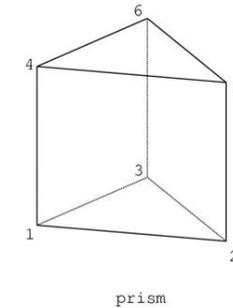
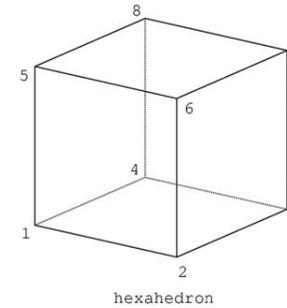
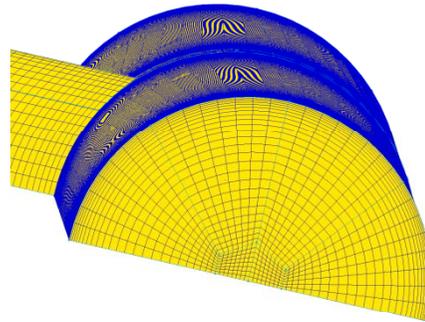
注) 計算セル体積は増加しているので
誤差評価は慎重に

AFFrで使用できるセル形状

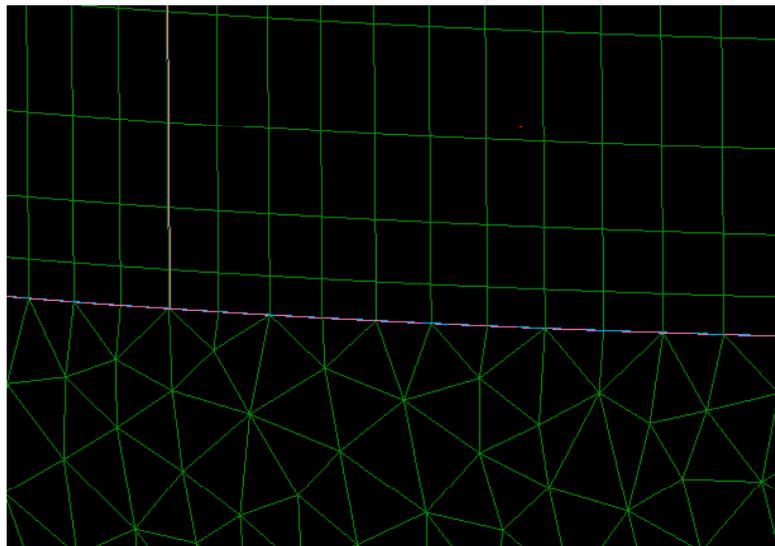
ヘキサ、プリズム、ピラミッド、テトラを用いて
格子を柔軟に作成することができる。
(ソルバー内では多面体要素ができています。)

格子作成サンプル

特異点を含む領域とその周りを
接合して作った円筒形状

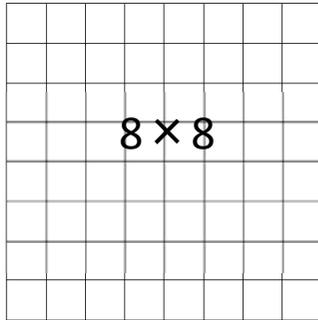


- ・重要な領域は細かく、流れに沿った形状
- ・複雑な領域は自動メッシュ作成

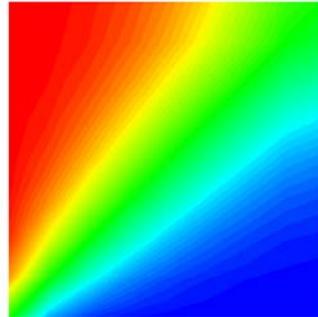


格子品質

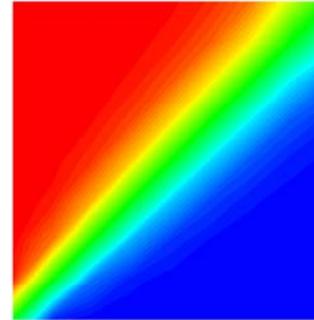
100K



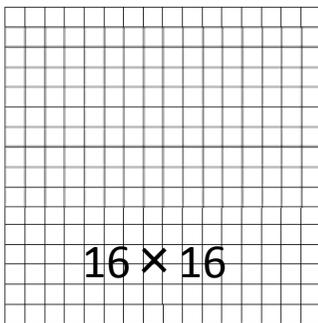
1次風上



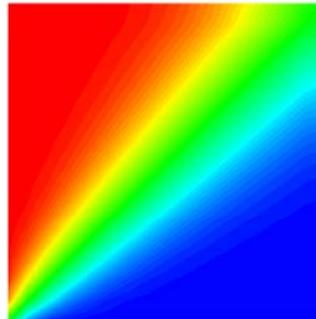
2次風上



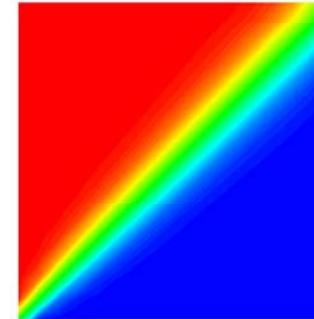
20K



1次風上



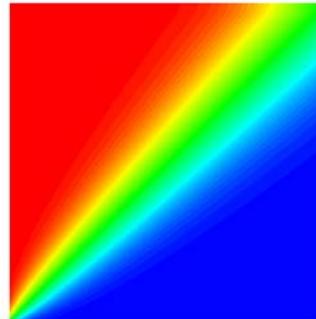
2次風上



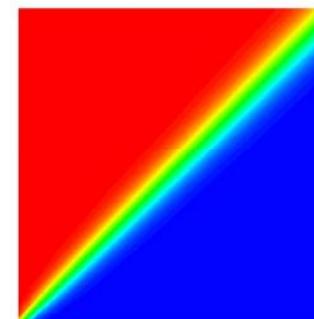
- ・流れに沿った格子分割
- ・必要部分に適切な解像度が重要

複雑形状を有する実機解析では経験、物理的考察がより必要

1次風上



2次風上



最適な格子作成まではトライアンドエラーが・・・



prefflowの高速化(1)

- 前処理プログラム prefflow
処理時間のかかるサブルーチンのアルゴリズム
を改良して、高速化した。

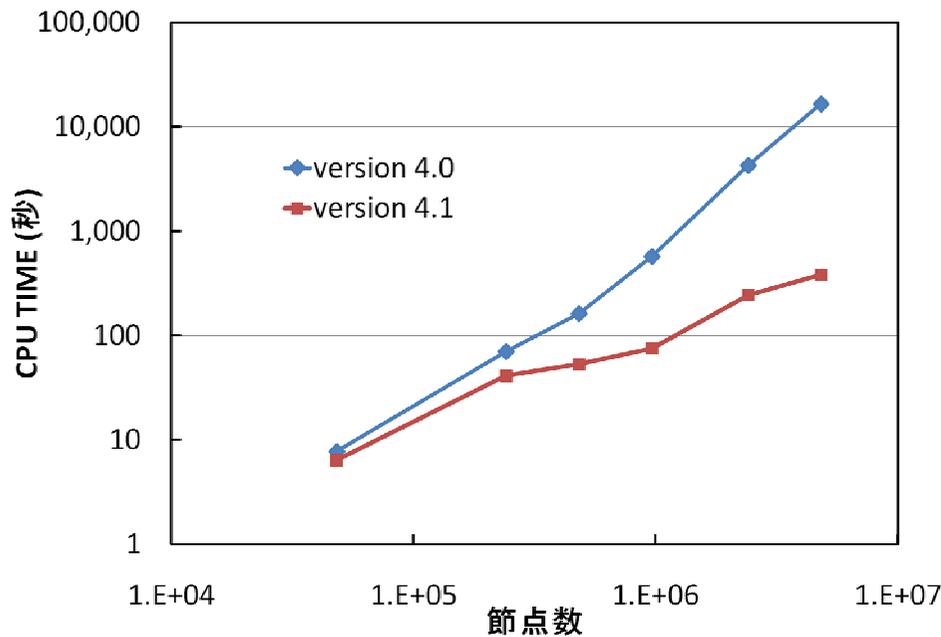
```
(略)
### list_wall_distance...
***** Start measuring all Distance *****
Processing ... NO. 2000 FINISHED, Dis. & BC 0.2704E+01 9411
Processing ... NO. 4000 FINISHED, Dis. & BC 0.1131E-01 10098
(略)
Processing ... NO. 58000 FINISHED, Dis. & BC 0.1699E+00 9483
Processing ... NO. 60000 FINISHED, Dis. & BC 0.1375E+00 11386
***** End measuring all Distance *****
### list_output_geom...
(略)
```

壁面距離を測定する部分を高速化

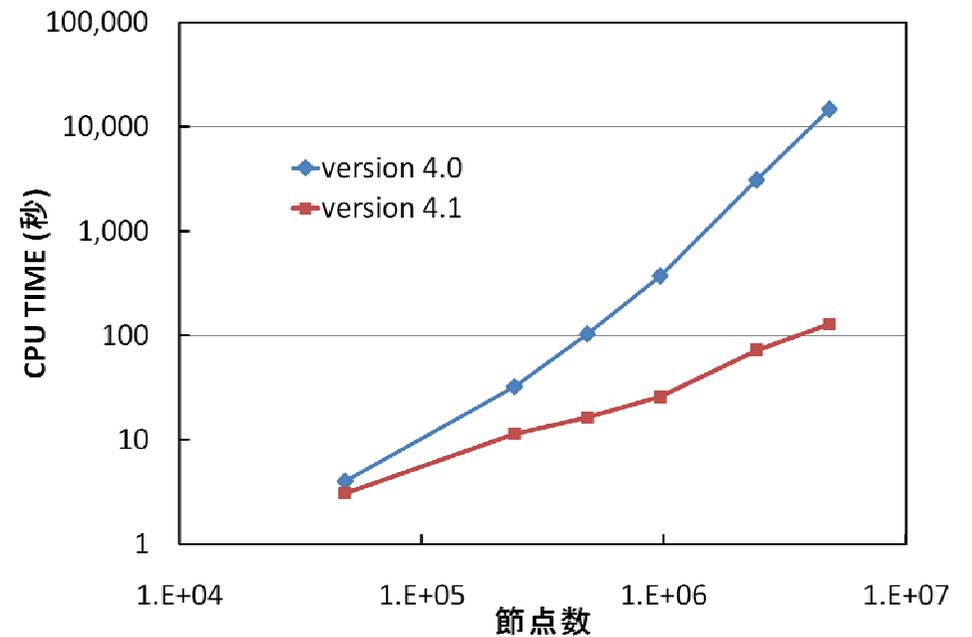


prefflowの高速化(2)

prefflowの計算時間(cpu time)のサイズ依存性 (AMD Opteron 2.4GHz)



serial計算用



並列計算用 (8並列計算用)
領域分割法にはMetisを使用

大規模になるほど高速化率がUp !!
500万要素では、100倍以上高速化 !!



prefflowの高速化(3)

格子の作成
ADAP

prefflow

解析
Advance/FrontFlow/red

結果評価
ADAP

並列数を変えて再計算

Ver4.1新機能

投入可能な並列数に合わせて領域分割しなおし再計算できる。

Prefflowの高速化により、目的達成までの解析サイクルがよりスムーズに行える。



ソルバーの高速化

1. **アルゴリズムの改良**
定常計算が数倍高速化
2. **Algebraic Multi Grid法 (AMG法) の導入**
流体ソルバーで最も計算負荷の大きい圧力ポアソンソ方程式が数倍高速化
3. **並列化効率の向上**
共有メモリー型マルチコア対応



アルゴリズムの改良

定常解をより早く求めたい！！

これまでの定常計算では・・・

AFFr ver3 ,東大版では非定常計算を実行し、
残差が判定基準内に収まれば収束したとみなす方法

定常解が存在すれば

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + (\text{対流項}) + (\text{拡散項}) = \text{生成項} \quad \longrightarrow \quad (\text{対流項}) + (\text{拡散項}) = \text{生成項}$$

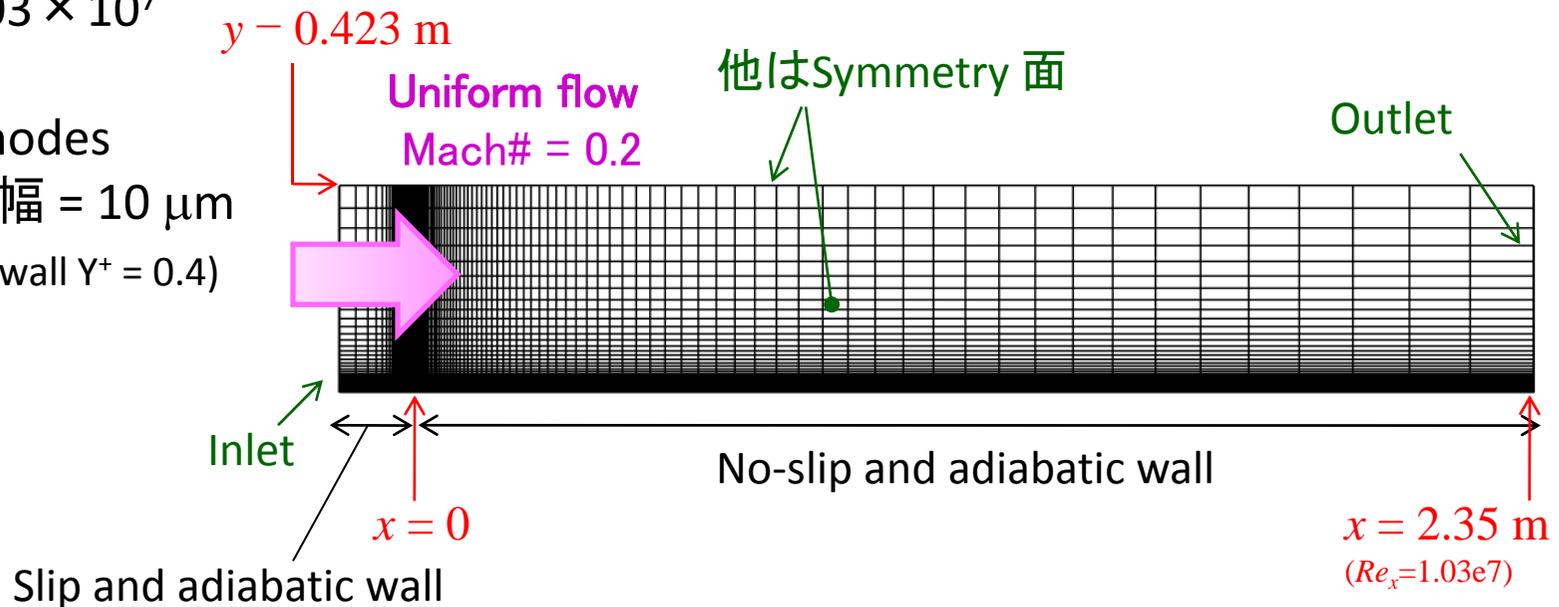
方程式の時間項を落とし、圧力-速度のカップル法を改良することで
定常解をより早く求めることができる。

時間項を落とす = 無限大の時間刻み
ロバスト性が大幅にアップしたことで考慮することが可能になった。



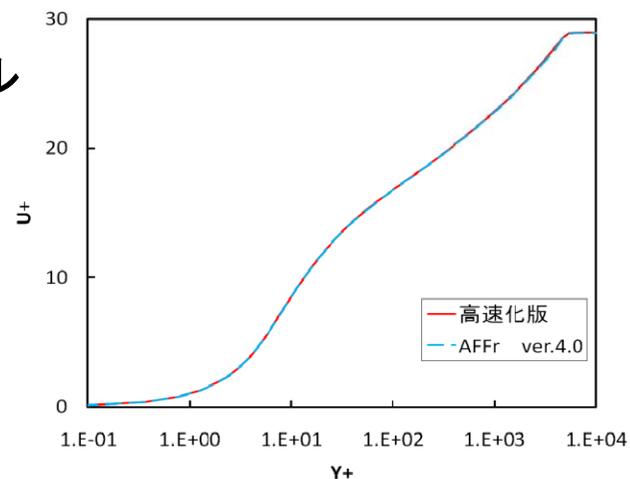
定常計算の高速化 乱流平板(1)

- 3D, 圧縮性N-S eq., SIMPLE、空間2次精度、RNG k- ϵ model + 非平衡壁処理
- 作動流体=Air (輸送係数は主流条件の値に固定)
- 主流条件
 - Mach数 = 0.2
 - 静温 = 300 K
 - 静圧 = 1013 hPa
 - Re数 = 1.03×10^7
- 計算格子
 - 111×81 nodes
 - 最小格子幅 = $10 \mu\text{m}$
(評価点でのwall $Y^+ = 0.4$)



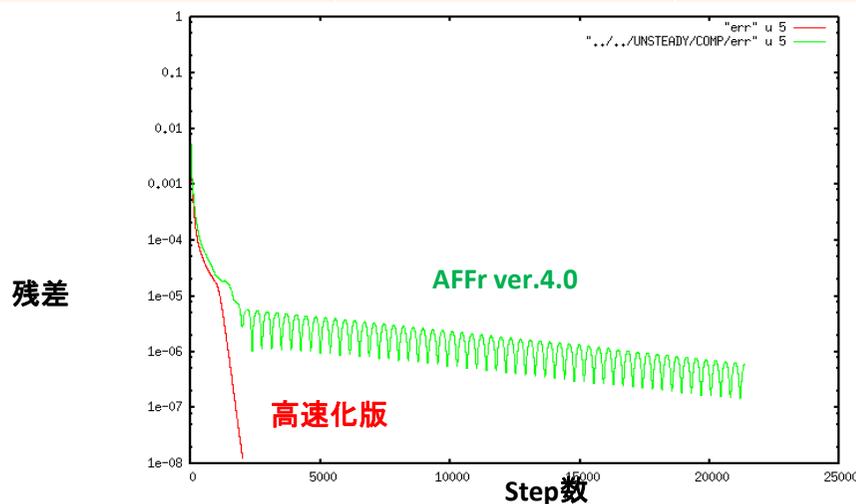
定常計算の高速化 乱流平板(2)

速度プロファイル



	反復回数	計算時間	計算セル数
AFFr ver.4.0	22675	31h31m53s	27360
AFFr 高速化修正バージョン	2009	2h29m43s	27360

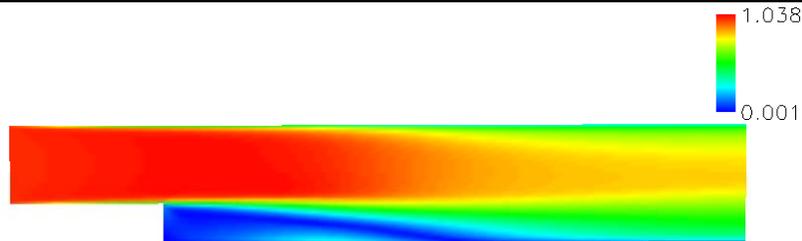
速度残差の収束履歴



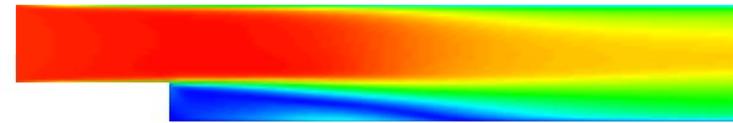
高速化修正によって
12.6倍の高速化



定常計算の高速化 バックステップ流れ



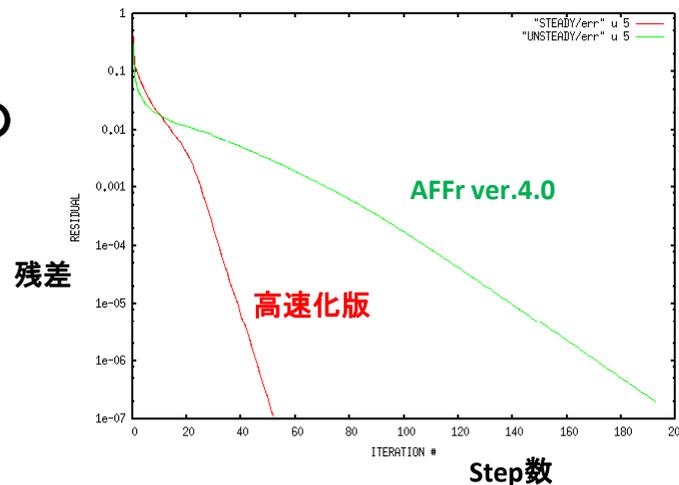
高速化前の速度絶対値分布



高速改良後の速度絶対値分布

	反復回数	計算時間	計算セル数
AFFr ver.4.0	194	9m25s	11505
AFFr 高速化修正バージョン	53	3m6s	11505
汎用ソルバー	約50	2m26s	7800

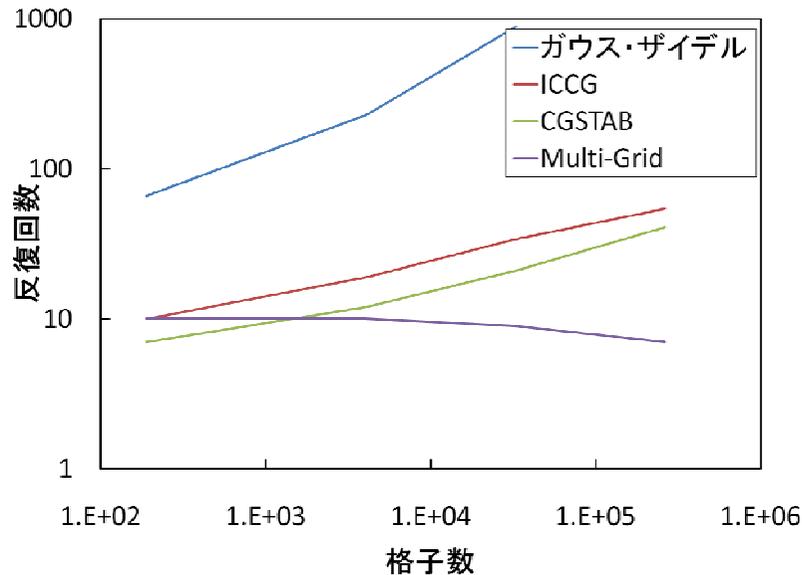
速度残差の
収束履歴



高速化修正によって
3倍の高速化



ソルバーの高速化 AMGの導入



L1誤差を 10^{-4} 未満となるのに要する各解放の反復回数
ノイマン条件下の3次元ポアソン方程式

J.H.ファーツィガー 「コンピュータによる流体力学」より

・AMGソルバーの利用(*1)

(*1) 九州大学情報基盤研究開発センター 西田 晃 先生が開発した
AMGの線形ソルバーを利用できます。

利用をご希望の方は、以下のサイトからダウンロードしてください。

<http://www.ssisc.org/>

インターフェイスはAdvance/FrontFlow/redに入れています。

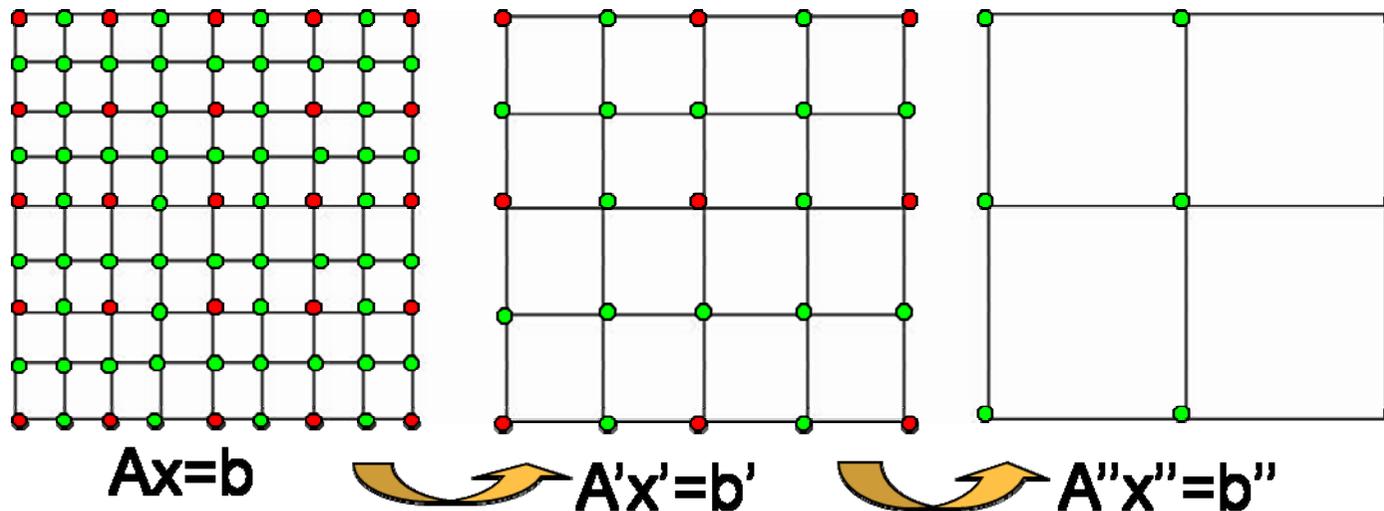
- うまく機能する問題に対しては、計算量 $O(n)$
但し n は未知数の数
 - 問題サイズに依存しないで反復回数一定
- 領域並列性がある
 - 問題サイズに比例してプロセッサ数を増やせば大きい問題に対してもほぼ一定時間で収束する



ソルバーの高速化 AMGの導入

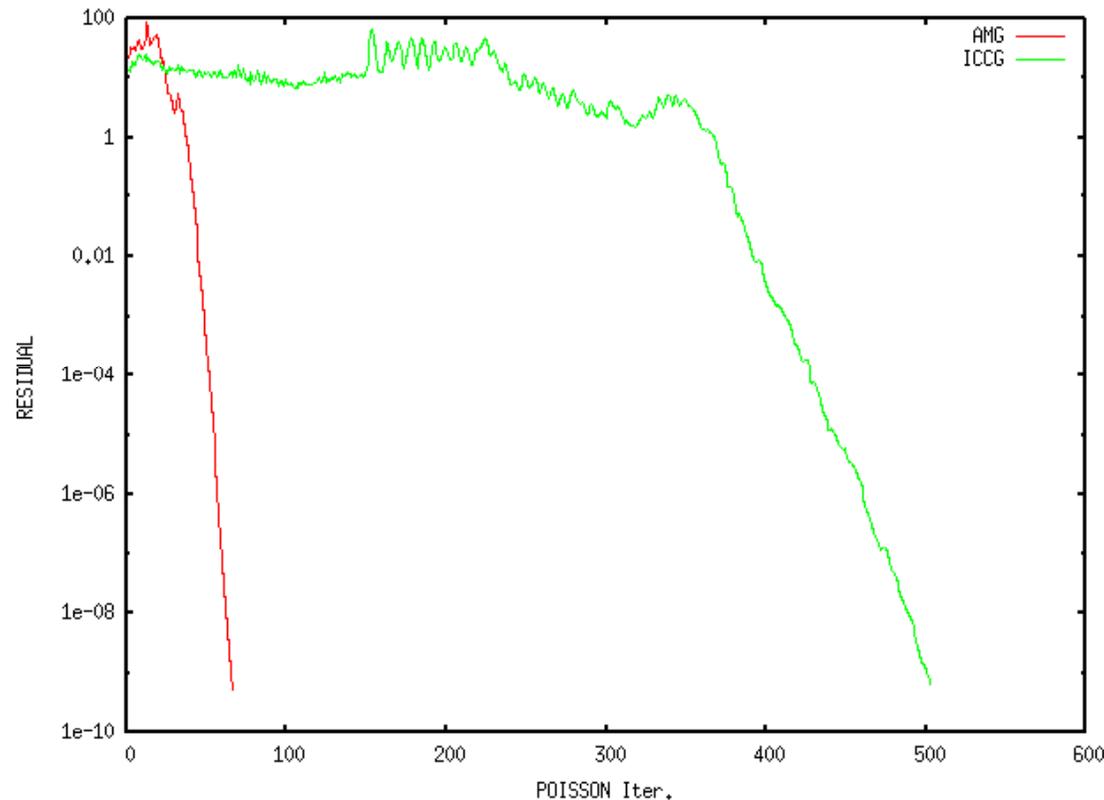
AMGの概要

- 複数のメッシュを使用
- それぞれのメッシュによりサイズの異なる問題行列が生成される

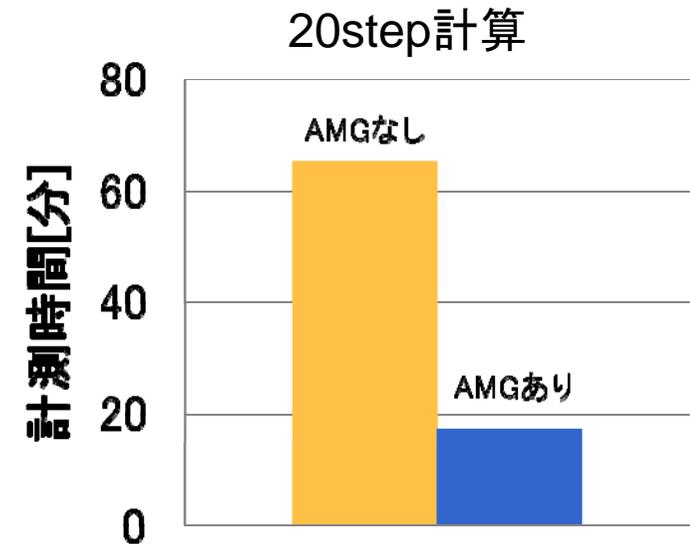


ソルバーの高速化 AMGの導入

T字管 100万節点

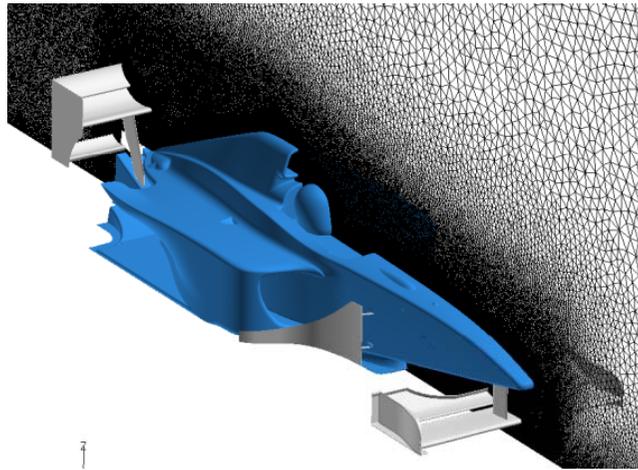


1CPU計算
AMGあり: 66回
AMGなし (ICCG): 503回



並列計算の実績

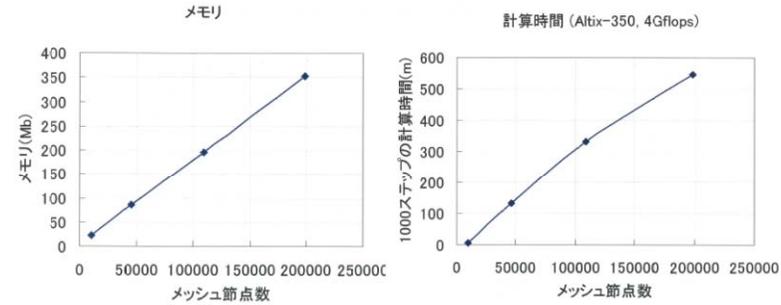
これまでの実績



ハード : 地球シミュレータ
 ノード : 100
 (800CPU、ペクトル化率 96.40%、並列化率 99.88%)
 メモリサイズ : 515GB
 計算時間(real time) : 120[h]

Advance Soft

Case	cell	node	memo (M)	time (s)	time1 (s)	time2 (s)	time3 (s)	average (min)
1	52,282	9,990	23	472	484	473	233	7
2	252,577	45,766	86	7945	7978	8093	8008	133
3	606,093	109,241	196	19654	19074	21485		335
4	1,113,905	198,779	353	26923	37031	34400		546

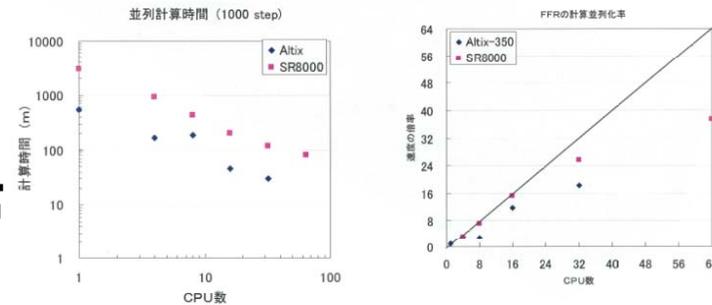


1CPUでの計算時間とメモリ、Altix-350, 1000 Step

CPU	Altix		SR8000	
	time (m)	speedup	time (m)	speedup
1	546.00	1.00	3025.10	1.00
4	167.30	3.26	921.50	3.28
8	187.00	2.92	429.00	7.05
16	46.00	11.87	198.60	15.23
32	30.00	18.20	118.48	25.53
64	-	-	80.94	37.37

Advance Soft

その他の国内各機関スパコンでの稼働実績が豊富



Case 4 の並列計算の並列化率

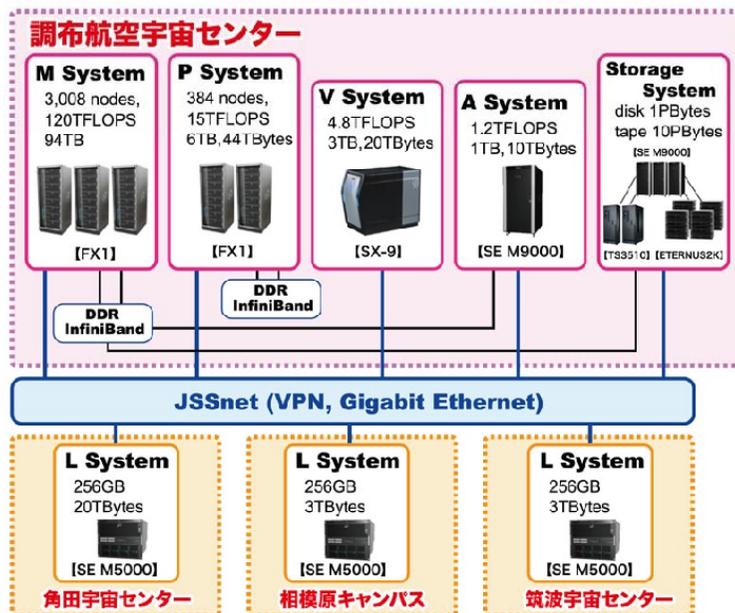


Advance Soft
 デジタルエンジニアリングのアドバンスソフト

マルチコア並列化効率の向上

半導体技術の進展を受けて、CPUチップ内に多数のプロセッサコアを内蔵した「マルチコア」が主流

JAXA – Supercomputer System(JSS)



1node 1cpu 4core

Node内通信: IMPACT並列(自動並列化機能)

Node間通信: MPI

問題点 IMPACT並列機能では
Node内負荷の不均等に十分対応できていない。

提供JAXA



マルチコア並列化効率の向上

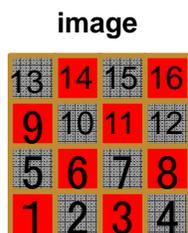
問題点 IMPACT自動並列機能だけではNode内負荷の不均等に対応できていない。

ポアソン方程式を解く行列ソルバーにおいて
前進後退代入・前処理などデータ依存性のある個所は自動並列化をしない。

共有メモリ型を意識した並列化が必要

改良点

- ・OpenMPを用いた並列化
- ・マルチカラーオーダーリング法を用いてデータ依存性を除去
データ依存性のない要素群ごとに分類しなおす(色分け)



- ・非構造格子を扱うAFFrでは、より多くの色数でオーダーリングする手法を採用
Reverse Cuthill-McKee Ordering

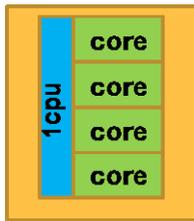
AFFrのポアソンソルバーICCG法 ILU-Bicgstab法の並列化に向いている。



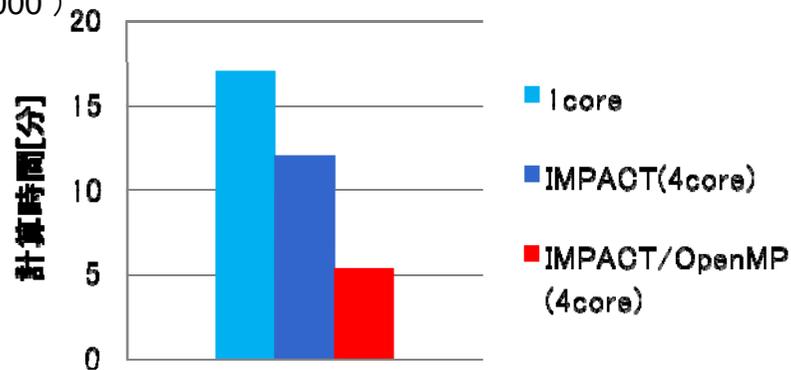
マルチコア並列化効率の向上

✓1node(pure thread並列)

計算対象: ロケット燃焼器 (節点数:23,000)

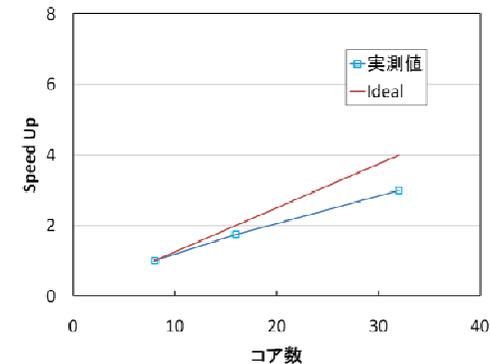
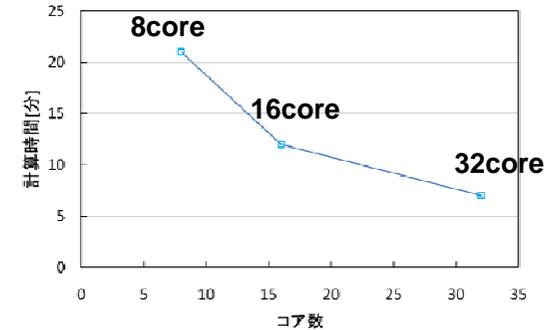
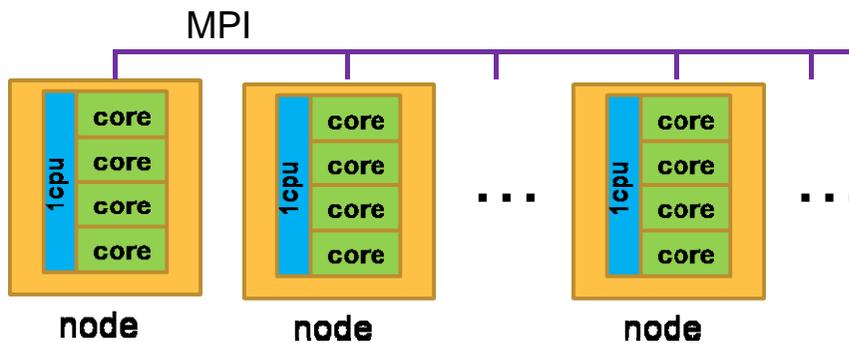


node



✓Multi node(hybrid MPI/IMPACT/OpenMP 並列)

計算対象: ロケット燃焼器 (節点数:160,000)



まとめ

✓Prefflowの高速化

大規模格子で100倍以上の高速化

✓ソルバーの高速化

1. アルゴリズムの改良

定常計算が数倍高速化

2. Algebraic Multi Grid法 (AMG法) の導入

圧力ポアソンソルバーが数倍高速化

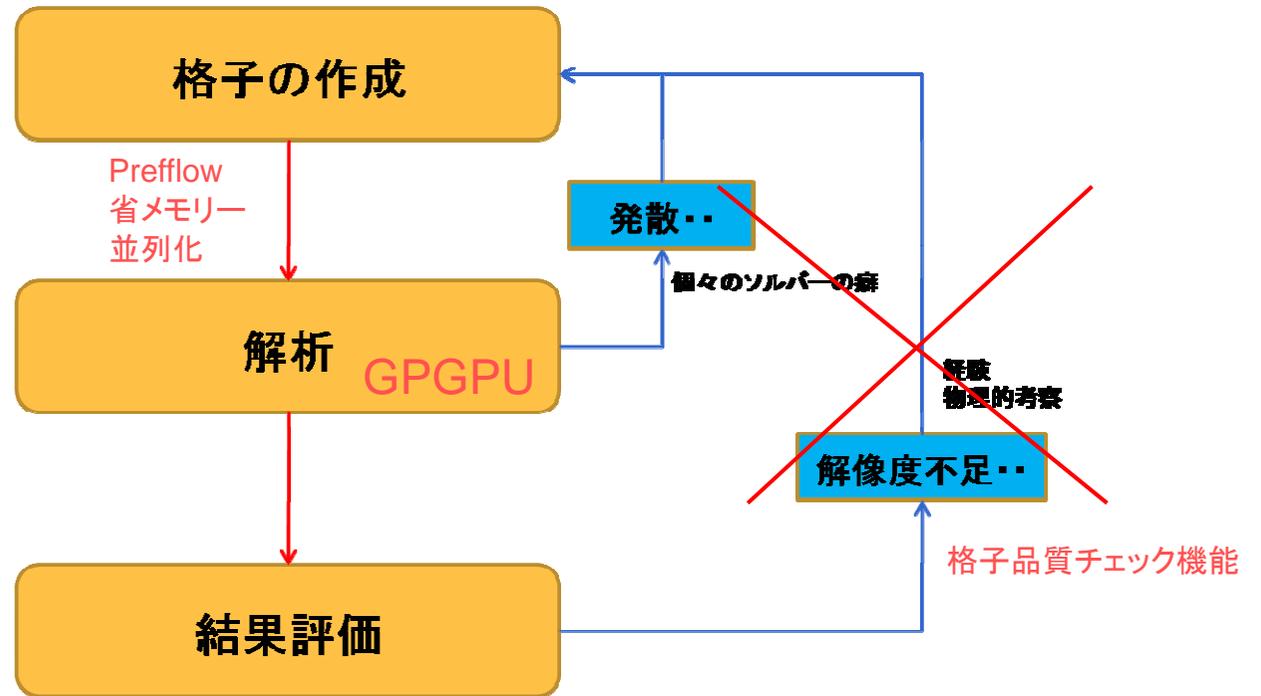
3. 並列化効率の向上

共有メモリー型マルチコア対応



今後の計画

- ✓ Prefflow
 - ・省メモリー
 - ・並列化対応
- ✓ ソルバー
 - ・GPGPU
 - ・圧力ベースカップル法の導入
 - ・無反復法の導入
 - ・燃焼計算にISATの導入
- ✓ 格子品質チェック機能の強化



Prefflowの省メモリー化、ソルバーのGPGPU化を次期versionリリースに向けて優先的に開発中

