

FrontISTRの開発に携わって

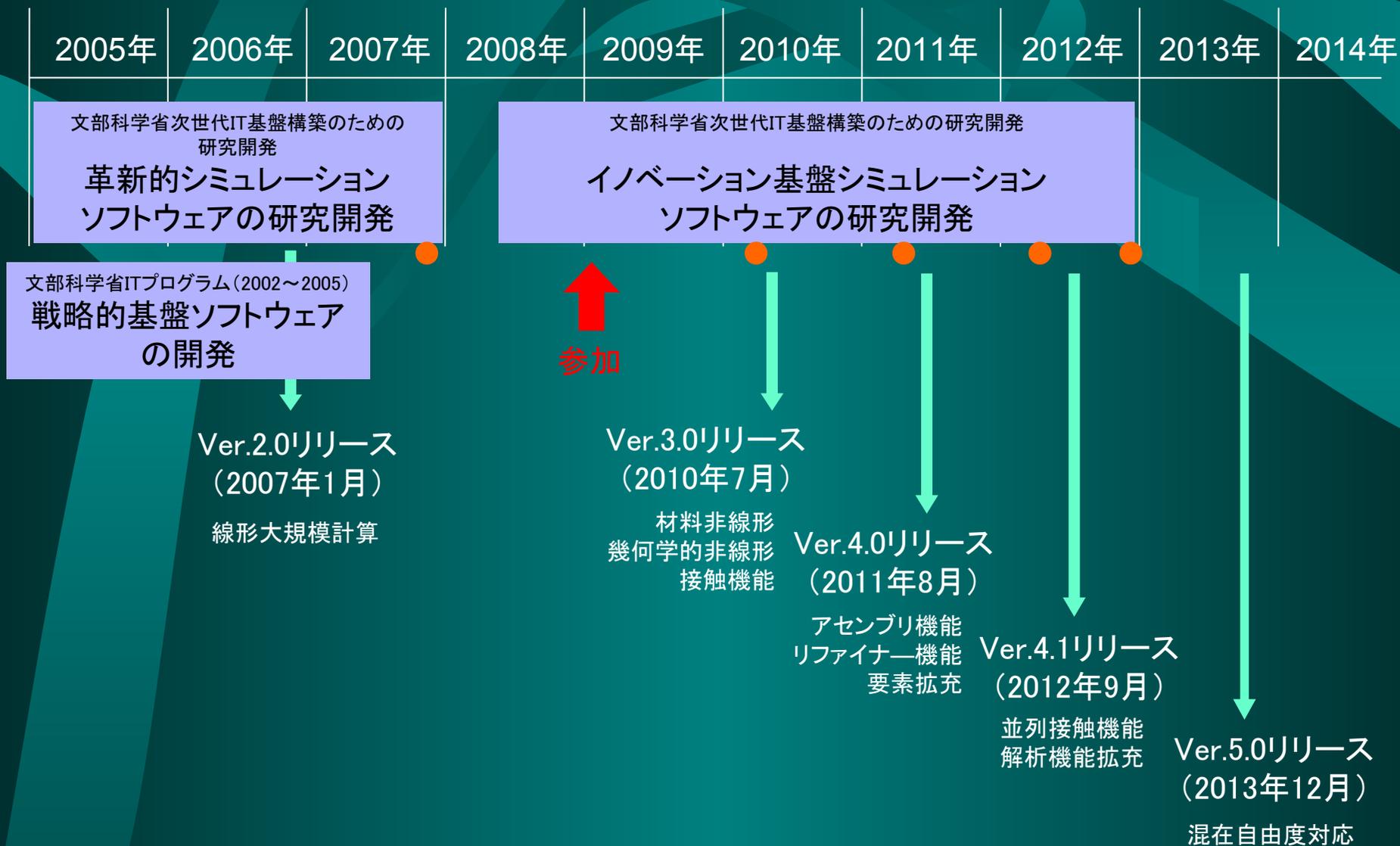
2015年4月24日
第18回FrontISTR研究会

本日の発表内容

- FrontISTRの開発経過(前置き)
- FrontISTR Ver.4.4のトピックス
- FrontISTRの並列処理性能
- 次期プロジェクトに向けて

FrontISTRの開発経過（前置き）

FrontISTR & Advance/FrontSTRの開発経過



FrontISTRの特長

- 先進性

- 先端的スパコンにも適応した超大規模並列処理
- 実機まるごと解析に必要な10億～100億メッシュ規模までの解析を実現
- 拡張性の高いFEMミドルウェアと構造解析アプリケーション

- 実用性

- 充実した材料非線形解析機能
- PC、PCクラスター、スパコンに対応するスケーラビリティ
- プリポスト処理機能の完備 (REVOCAP_PrePost)

FrontISTRの機能一覧

線形静解析	等方性／異方性(熱応力解析を含む)
非線形静解析	材料非線形: 超弾性／弾塑性／熱弾塑性／粘弾性／クリープ 等方／移動／複合硬化 幾何学的非線形: Total Lagrange法／Updated Lagrange法 境界非線形(接触): Lagrange乗数法、有限すべり、摩擦
線形動解析	時刻歴応答(陽解法／陰解法)、モーダル応答
非線形動解析	陽解法／陰解法、接触解析機能
固有値解析	ランチョス法、変形後解析機能
熱伝導解析	定常／非定常(陰解法)
要素タイプ	四面体／六面体／五面体／シェル／トラス／梁 1次／2次、非適合モード、選択的次數低減積分
解析支援	境界条件ステップ制御、リスタート、ユーザーサブルーティン

Advance/FrontSTRの公開版からの発展機能



項目	内容	Advance/FrontSTR	FrontISTR
解法、ソルバー	並列接触解析	拡張Lagrange法 反復法、直接法	Lagrange乗数法 直接法、(反復法)
	モーダル応答解析	過渡／周波数応答	周波数応答
	動解析直接積分法	中央差分法 Newmark-β法 HHT法	中央差分法 Newmark-β法
	シェル要素解析	線形、非線形	線形
	シェル要素解析ソルバー	直接法、反復法	直接法
	混在自由度解析	対応	

(続く)

項目	内容	Advance/FrontSTR	FrontISTR
要素	要素拡充	ピラミッド要素 低減積分要素 梁要素、トラス要素 → 質量要素 慣性モーメント要素	
	要素タイプ選択 (非適合、低減等)	ユーザー指定	自動
材料	超弾性モデル拡充	Yeoh Ogden Polynomial Reduced-Polynomial Hyperfoam	
	温度依存性	弾塑性 弾性、粘弾性 → 超弾性 → 粘塑性 →	弾塑性
	異方性	弾性、熱膨張 →	
	境界条件	局所座標系による指定	直交、円柱、球
	DLOADの機能拡充	追随力 静水圧	

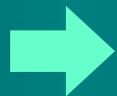
FrontISTR Ver.4.4のトピックス

線形ソルバーの改良

従来バージョン

CG法の実行時間が大
特に、小規模モデルで
直接法との差が顕著

MPCの自由度消去法の
反復回数が多
特に、節点座標が一致
しない場合が顕著



本バージョン

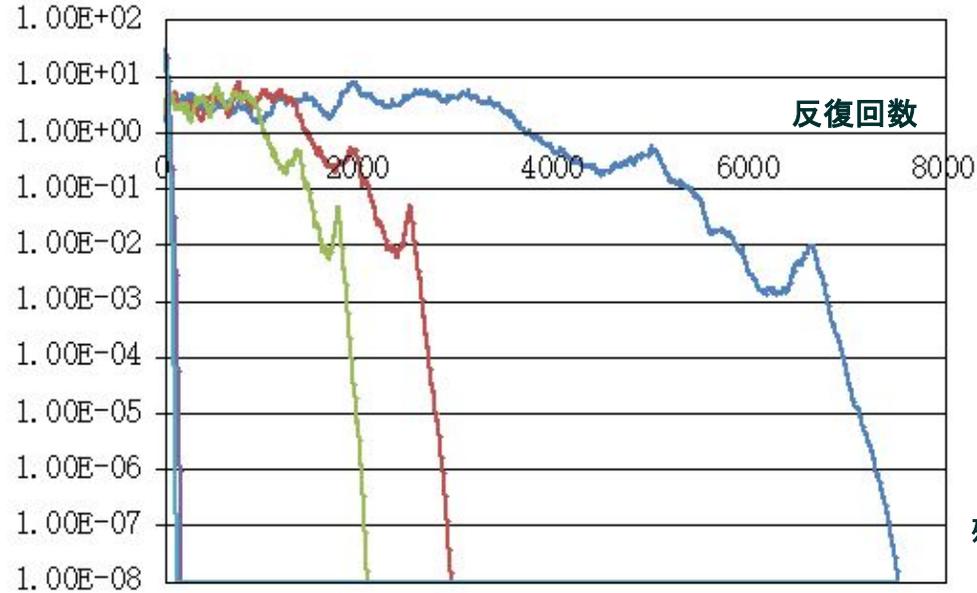
3×3ソルバーに対する
AMG前処理の追加

米国サンディア国立研究所
TrilinosプロジェクトのMLパッケージ

陽的な自由度消去を追加

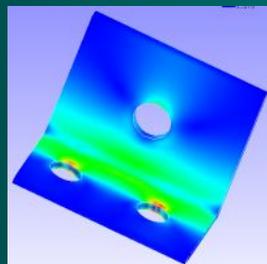
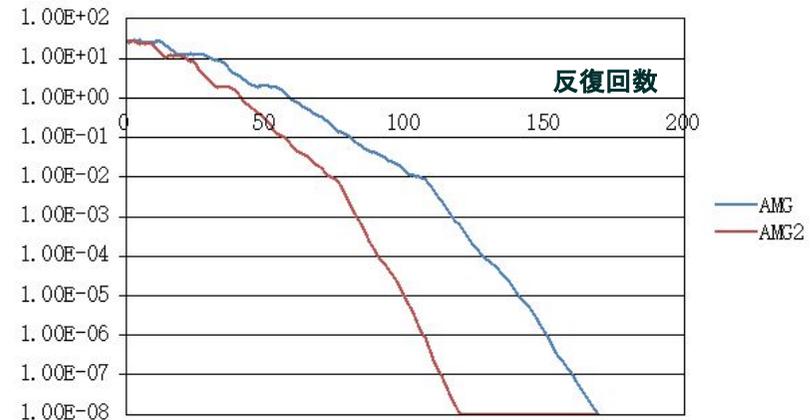
AMG前処理の収束状況の比較

残差ノルム



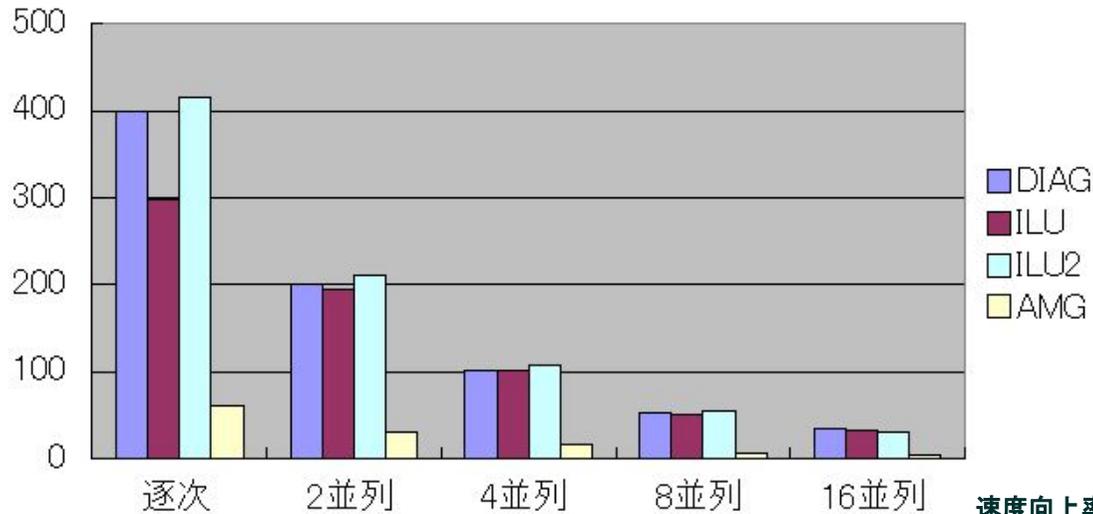
Hingeモデルの線形静解析
四面体2次要素
要素数: 49, 871
節点数: 84, 056
逐次処理

残差ノルム

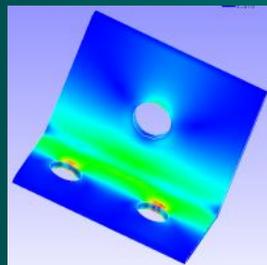


AMG前処理の実行時間の比較(1)

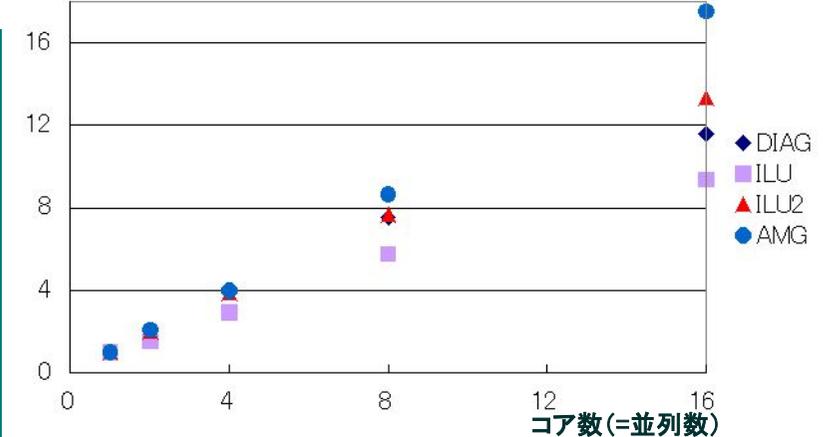
ソルバー時間(秒)



Hingeモデルの線形静解析
四面体2次要素
要素数:49,871
節点数:84,056

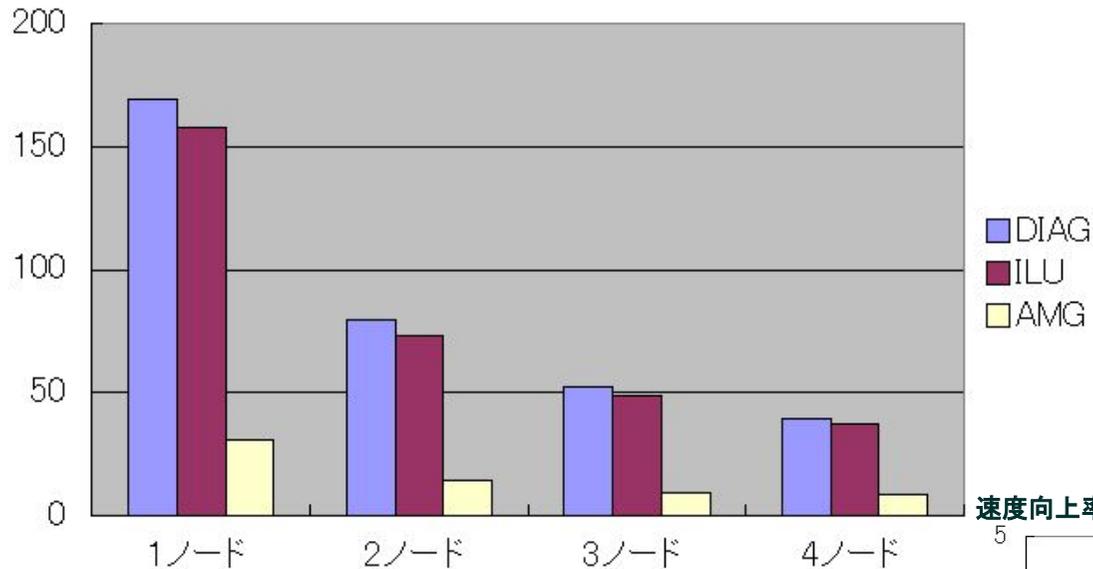


速度向上率

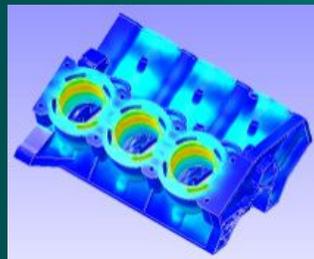


AMG前処理の実行時間の比較(2)

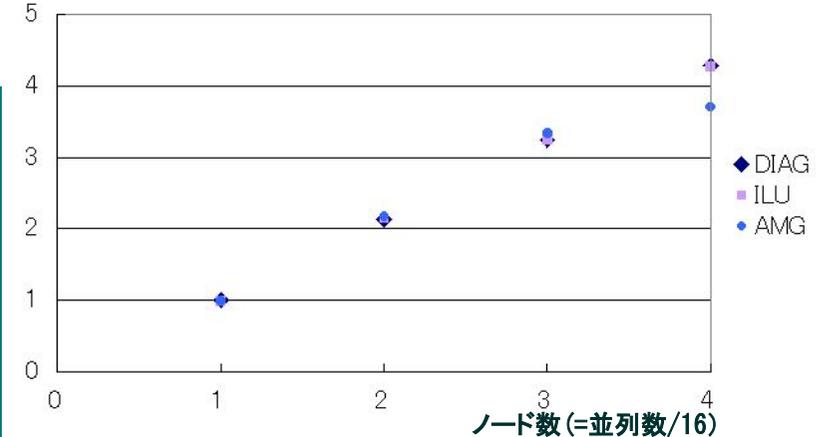
ソルバー時間(秒)



V6engineモデルの線形静解析
四面体2次要素
要素数: 282, 128
節点数: 459, 292

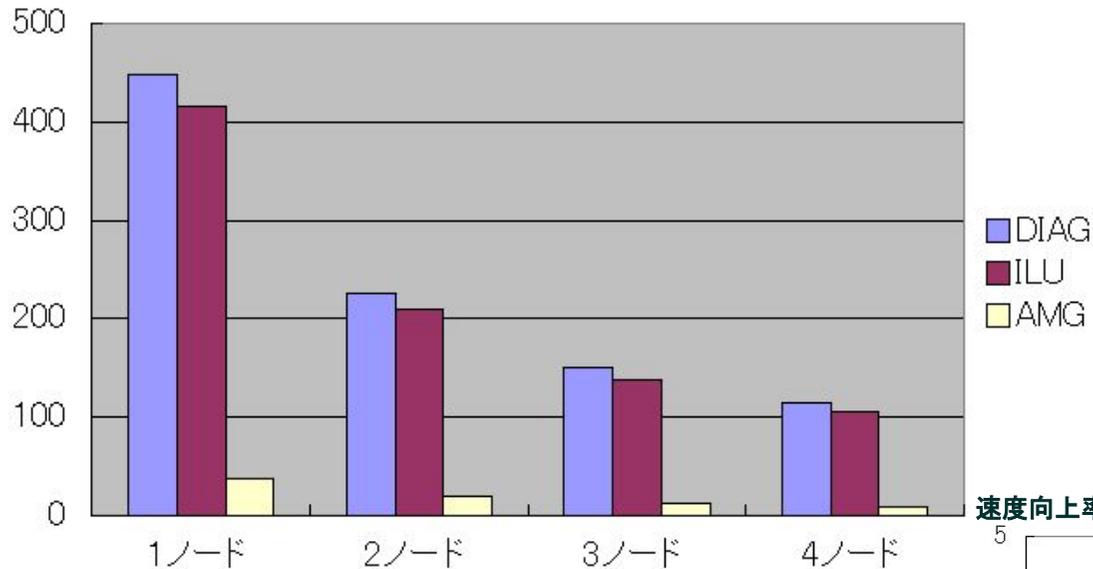


速度向上率

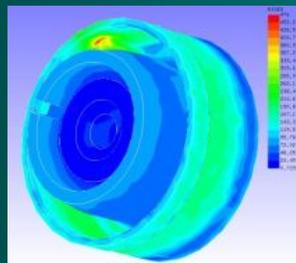


AMG前処理の実行時間の比較(3)

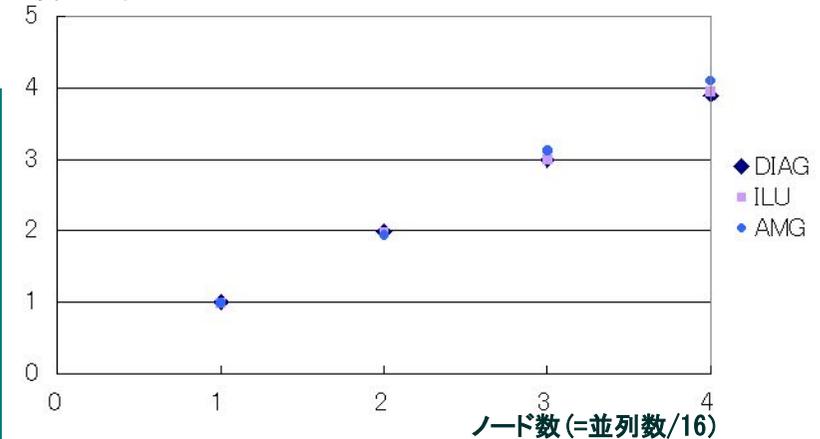
ソルバー時間(秒)



Capデルの線形静解析
四面体2次要素
要素数: 684, 807
節点数: 1, 008, 911



速度向上率



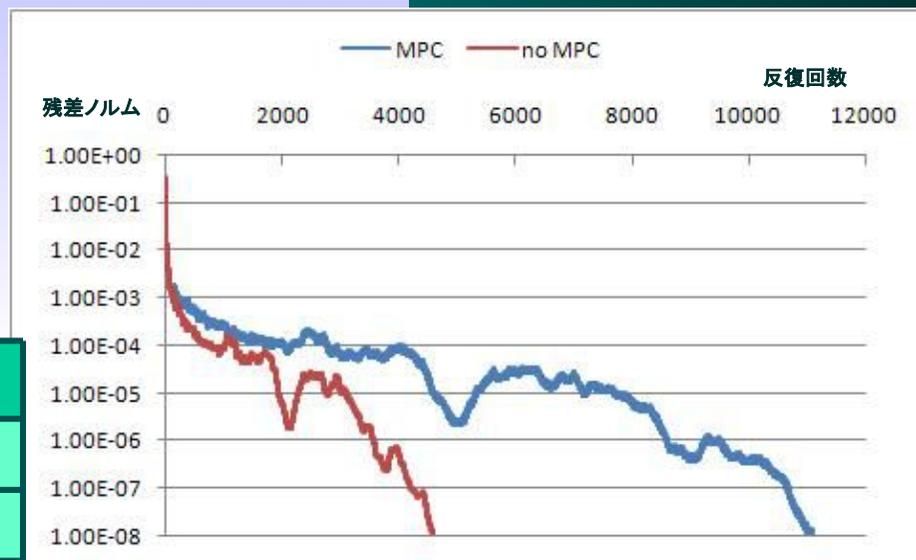
MPCによるアセンブリ構造解析例(1)

パイプ5部品構成配管モデルの線形静解析



四面体1次要素
 要素数: 1,119,375
 節点数: 325,536
 MPC条件数: 3,214節点×3自由度
 パイプ接合面の表面メッシュは一致

	反復回数	計算時間
一体	4,591	8並列 942秒
MPC接合	11,084	8並列 1,848秒



MPCによるアセンブリ構造解析例(2)



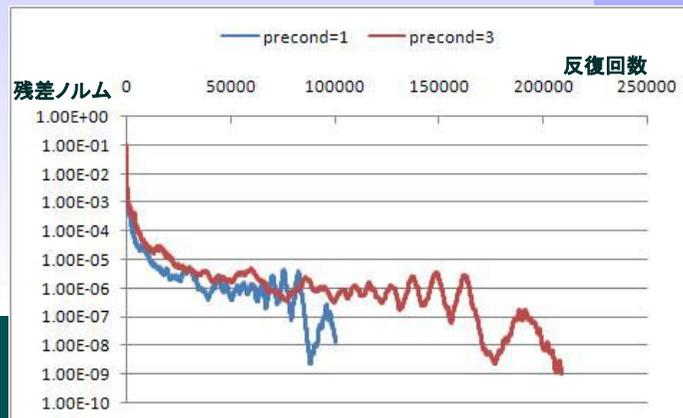
パイプ5部品+ボルト32部品構成配管モデルの線形静解析

各ボルト・ナットのヘッドに1MPaの圧縮分布荷重
(1本あたり2,078Nの締付け軸力に相当)

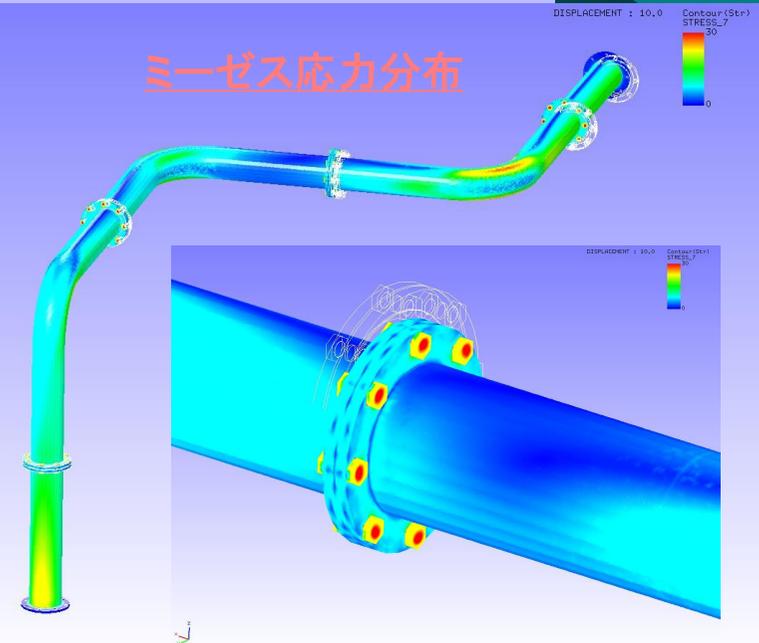
10mmの
強制変位

四面体2次要素
要素数: 3,093,453
節点数: 5,433,029
MPC条件数: 70,166節点×3自由度
ボルトとパイプの接合面の
表面メッシュは一致していない

↑
固定

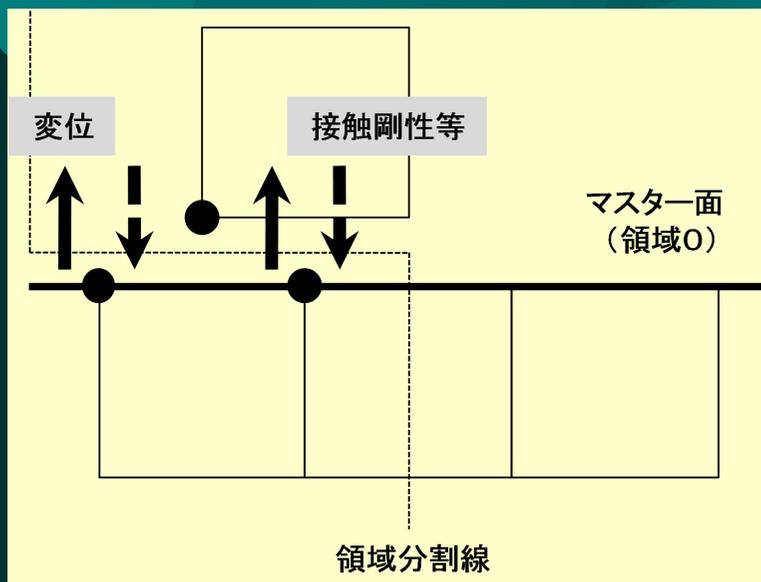


ミーゼス応力分布

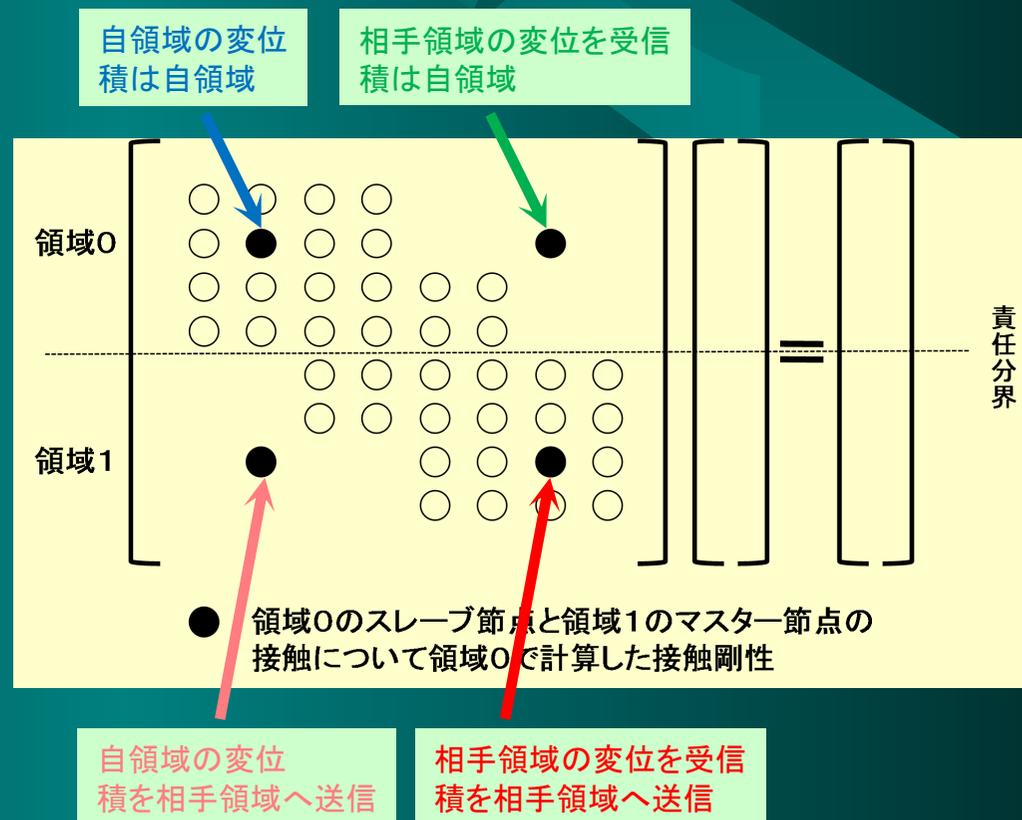


接触解析反復法ソルバーの原理

並列化方式



実装方法

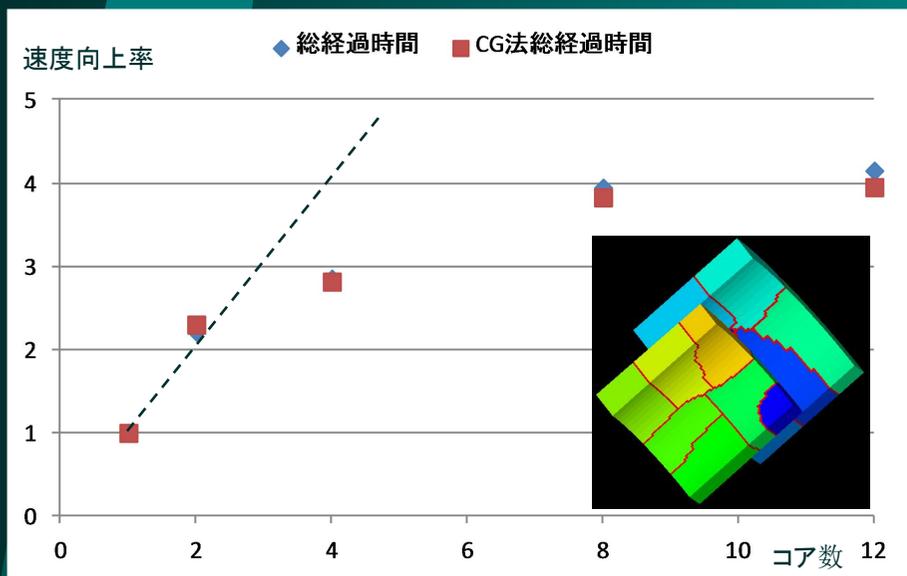


接触解析反復法ソルバーの留意点

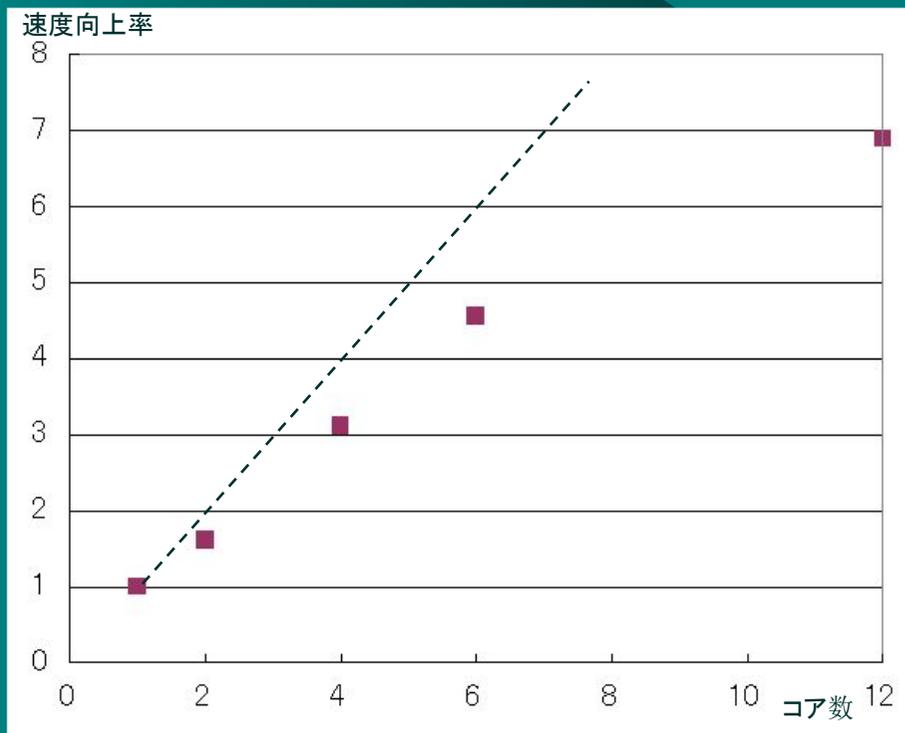
すべての接触マスター面(スレーブ節点)を各領域内に保持する並列化方式において、初期構成した通信テーブルのままでは、並列数を増やしても速度向上率が向上しない

work ratioが低下するためであり、実際の接触状態に応じて通信テーブルを取捨選択することにより、実行性能改善が図れる

通信テーブル固定

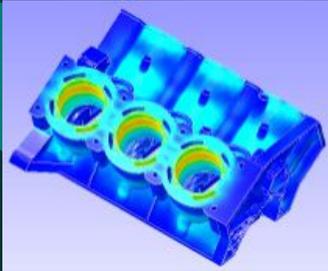


通信テーブル適合



FrontISTRの並列処理性能

直接法ソルバーの限界

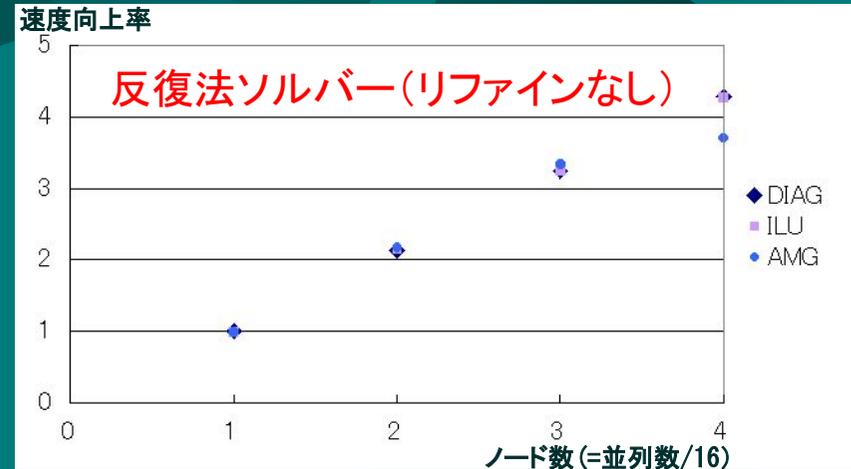


静応力解析(四面体2次要素)

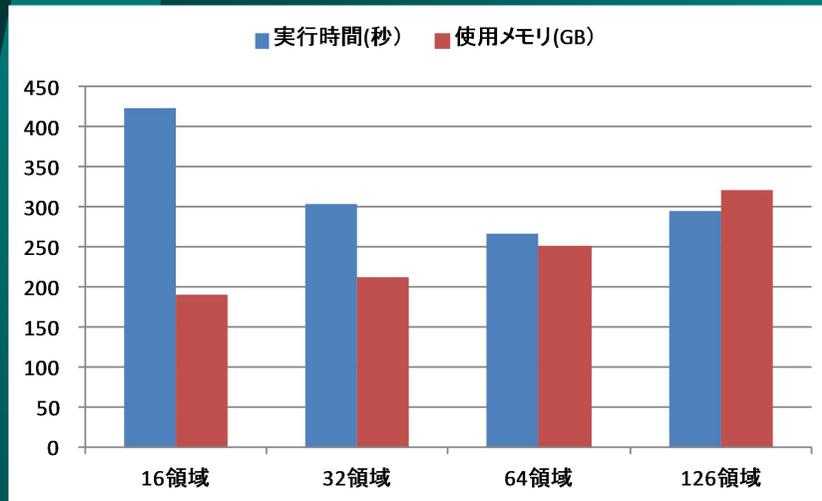
要素数:2,257,024

節点数:3,338,817

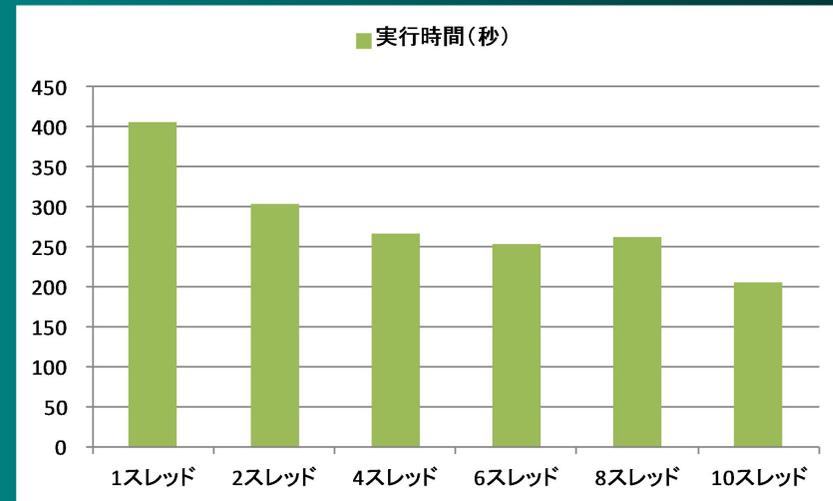
リファイン1回



プロセス並列性能(4スレッド)



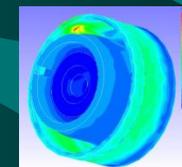
スレッド並列性能(64プロセス)



大規模並列処理性能

解析対象

静応力解析(四面体2次要素)



JAMSTEC UV2000

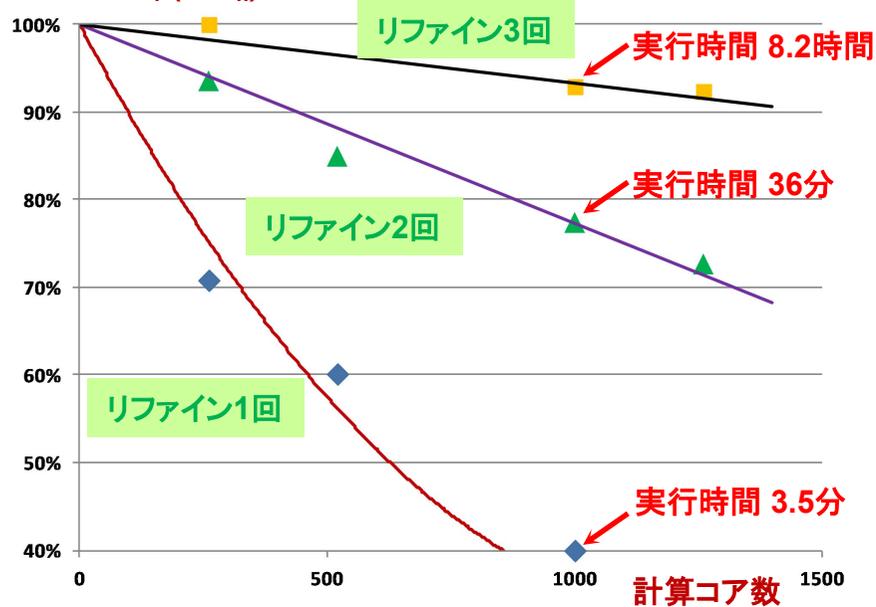
Xeon E5-4650v2(2.4GHz)
×1CPU(10コア)／ソケット

リファイン	要素数	節点数
なし	684,807	1,008,911
1回	5,478,456	7,707,758
2回	43,827,648	60,089,084
3回	350,621,184	474,183,032

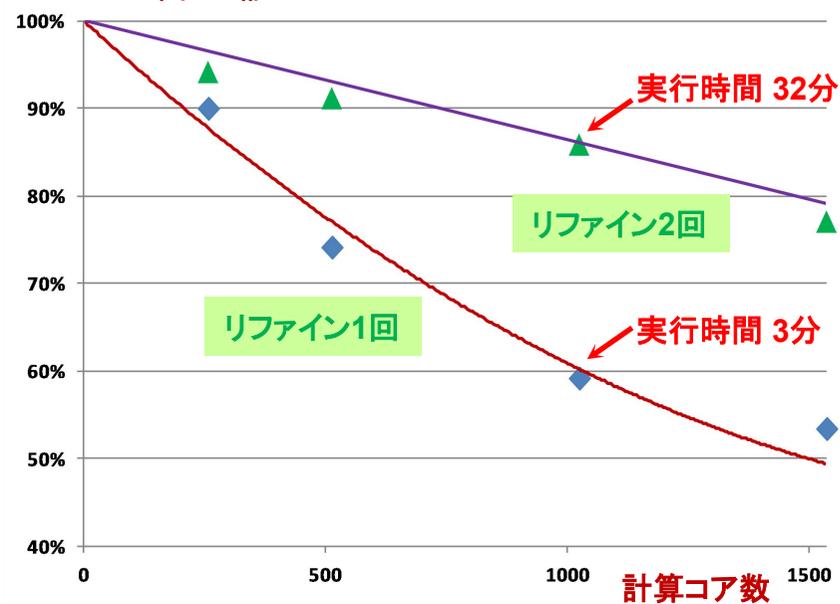
東京大学FX10

SPARC 64lxf(1.848GHz)
×1CPU(16コア)／ノード

並列化効率($T_1/(n \times T_n)$)



並列化効率($T_1/(n \times T_n)$)



◆▲■:計測 — —:近似

超大規模解析事例

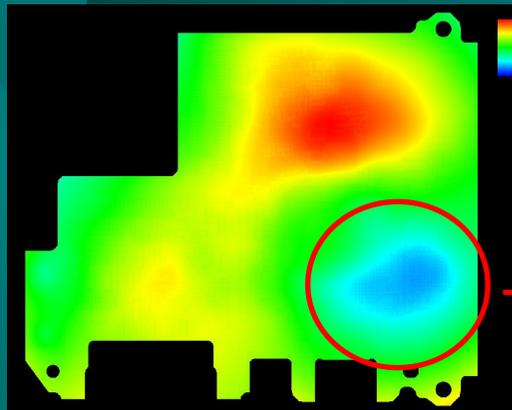
プリント配線基板熱反り解析

REVOCAP_Refinerを使用し、25億節点の解析を「京」で実施

並列数:655,36 実行時間:13.7h FLOPS対ピーク性能比:4.2%

オリジナル

要素数:38,689,706 節点数:41,044,244

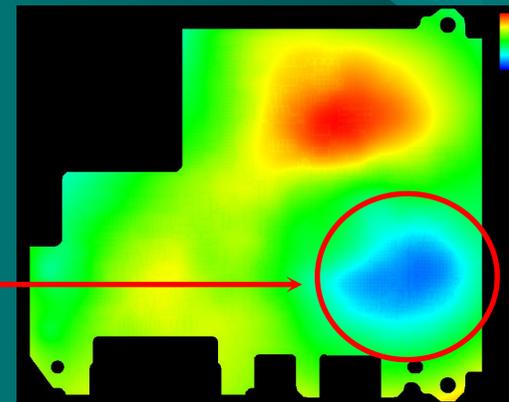


Z方向変位

11%大きい

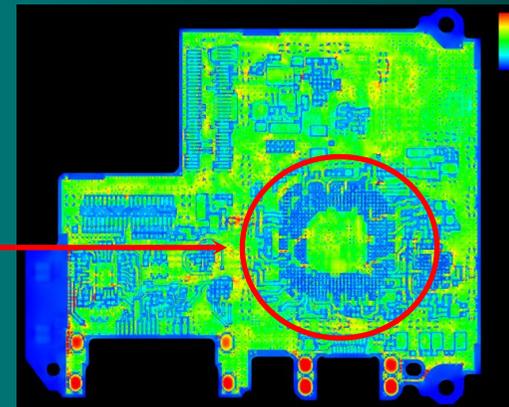
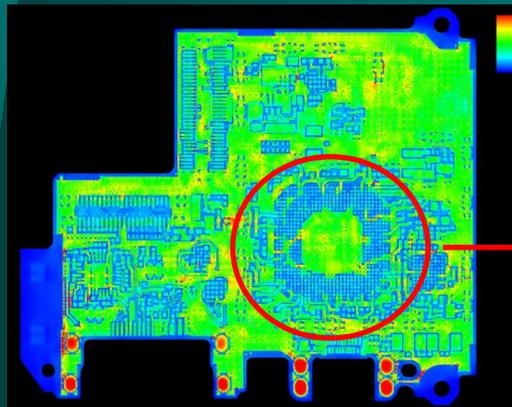
2回細分化(1メッシュの最小辺長7.5 μ m)

要素数:2,476,141,184 節点数:2,513,793,437



ミーゼス応力

変位に応じて高い



次期プロジェクトに向けて

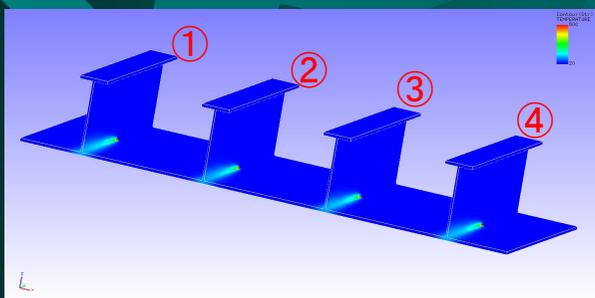
実証事例：溶接残留応力解析

時空間スケールが大きい解析をFX10で実施

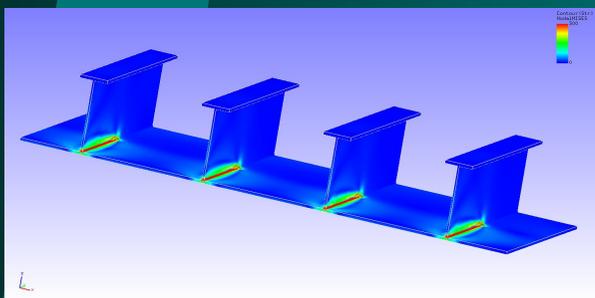
実行ステップ数: max7,500 実行時間: max133h

並列数: 64プロセス/4スレッド

熱伝導解析



熱応力解析



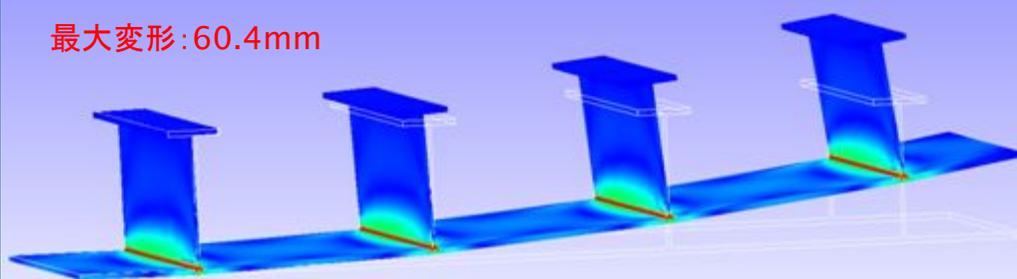
メッシュ規模

要素数: 302,400

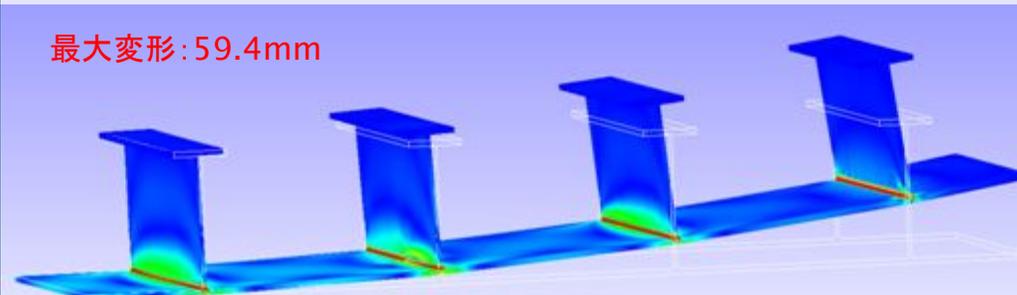
節点数: 371,762

最終変形の比較(変形倍率=5)

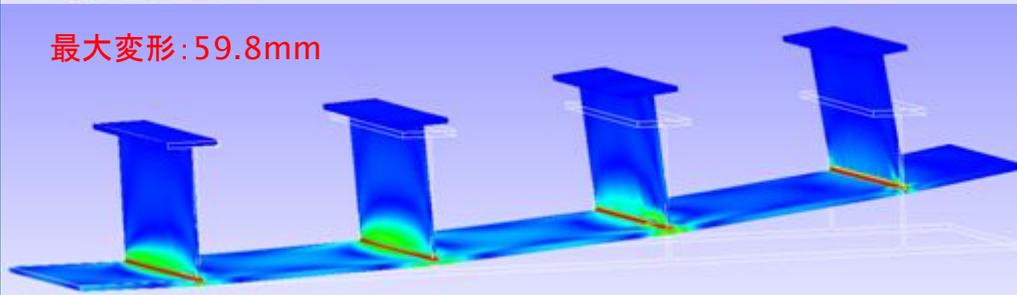
最大変形: 60.4mm



最大変形: 59.4mm



最大変形: 59.8mm



①
②
③
④
同時

①
↓
②
↓
③
↓
④

②
↓
③
↓
①
↓
④

解析大規模化の留意点

- 解析大規模化の阻害要因
 - 反復法ソルバーによる弾塑性(非線形)解析は収束性が劣悪
 - => 直接法ソルバーの採用
 - 直接法ソルバーでは大規模(数百~数千)並列が困難
 - => メッシュ規模(=解析モデル)に制限発生
 - 解析ステップ数が膨大
 - => 1分/ステップの解析時間でも、解析終了までに5日強
- 次期プロジェクトにおける達成課題
 - AMG前処理反復法ソルバーの採用
 - AMG前処理反復法ソルバーの改良/チューニング
 - 非線形解析アルゴリズムの改良

おわりに

- 反復法ソルバーによる構造解析ソフトウェアとしては、FrontISTRは秀逸
- 大規模解析分野では、海外の商用ソフトウェアよりも卓越
- 地道な非線形解析の安定化が今後の課題

- SEとしての経験では、HEC-MWの基本設計がよく配慮されていることに感心(要素、節点の並べ替えなど)
- 人生最後の職において、若い頃(20代)のような意欲を持たして頂きました。深謝します。