

2013年6月6日(水)
最終成果報告会資料より

「FrontISTR」の成果報告と今後の展開

東京大学大学院 新領域創成科学研究科
人間環境学専攻

奥田 洋司

FrontISTR 開発方針とシステムの特長

- **先進性** 従来の商用コードにはない並列対応と将来の拡張性
 - 先端的スパコンに適応した超大規模並列処理
 - 実機まるごと解析（アセンブリ構造体）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
 - REVOCAP_Couplerを介したFrontFlowとの流体・構造連成解析
- **実用性** ユーザーニーズを優先的に反映、広い可搬性
 - 充実した材料非線形解析機能
 - 超並列計算機／オフィス環境／CAEクラウド
 - プリポスト処理機能の完備（REVOCAP_PrePost）

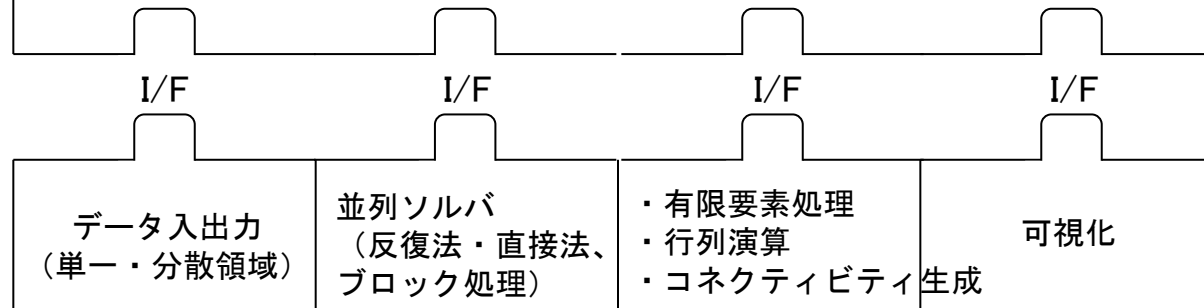
HEC-MWを基盤とするFrontISTR

FrontISTR

逐次・非線形FEM構造解析アプリケーション

アプリ開発者が担
当する部分

{材料/幾何学的/境界} 非線形応力解析、ニュートンラプソン法、
陽解法・陰解法、ランチョス法、周波数応答、熱伝導、解析支援



HEC-MW



京コンピュータ

Winノートクラスタ

PCクラスタ

HEC-MWを利用することにより、様々な計算環境において最適化された並列FEMアプリ（非線形構造解析機能）を効率的に開発可能

HEC-MWを用いたプログラムイメージ

```
program sample_main
```

```
  use hecmw
```

```
  implicit none
```

```
  type (hecmwST_local_mesh) :: hecMESH
```

```
  type (hecmwST_matrix      ) :: hecMAT
```

```
  character(len=HECMW_FILENAME_LEN) :: name_ID
```

```
  call hecmw_init
```

```
  call hecmw_get_mesh(name_ID, hecMESH)
```

```
  .....
```

```
  ..... FE algorithm
```

```
  .....
```

```
  call hecmw_solve_33 (hecMESH, hecMAT)
```

```
  call hecmw_finalize
```

```
end program sample_main
```

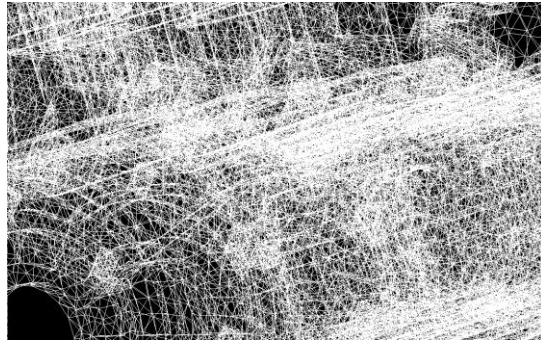
1) hecmwモジュールを“USE”

2) hecmw で定義された
構造体の変数宣言

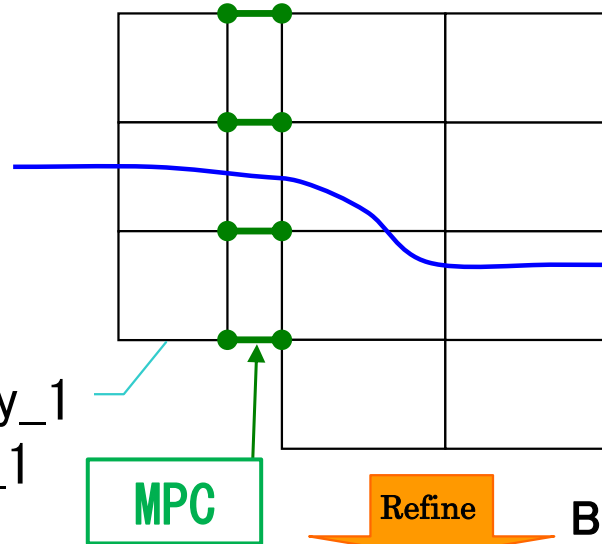
3) hecmwサブルーチン
をコール

アセンブリのための階層的並列データ構造

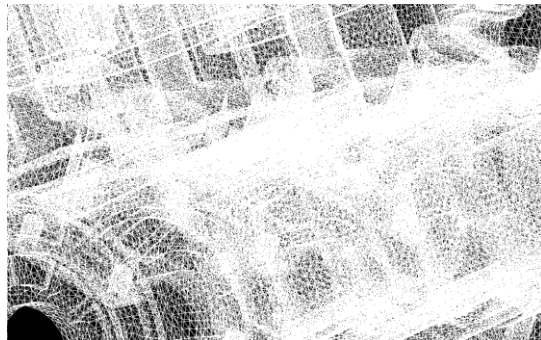
- A) MPI ranks
- B) Hierarchical level
- C) Assembly parts



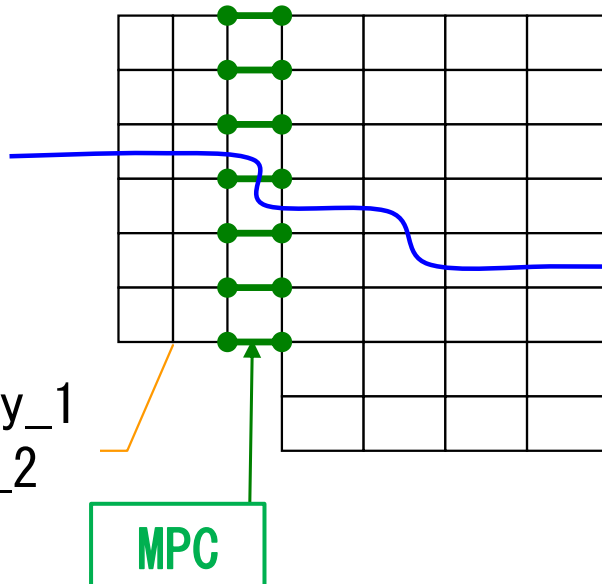
c) Assembly_1
Level_1



Assembly_2
Level_1 c)
Partitioning A)



c) Assembly_1
Level_2



Assembly_2
Level_2 c)
Partitioning A)

Assembled Structure: Piping composed of many parts

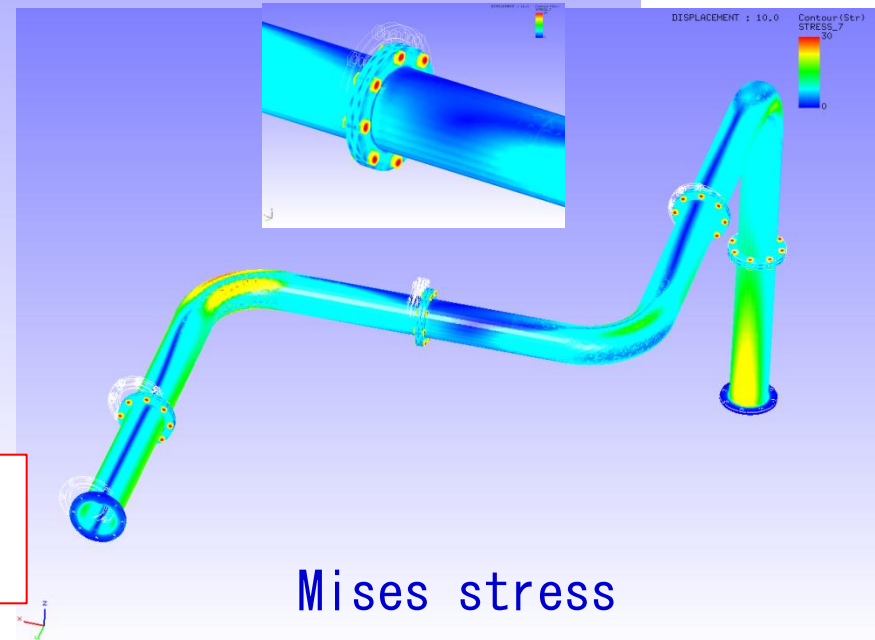
5 pipes & 32 bolts

2nd order tet-mesh
3,093,453 elements
5,433,029 nodes
Num. of MPC : 70,166

fixed

10mm

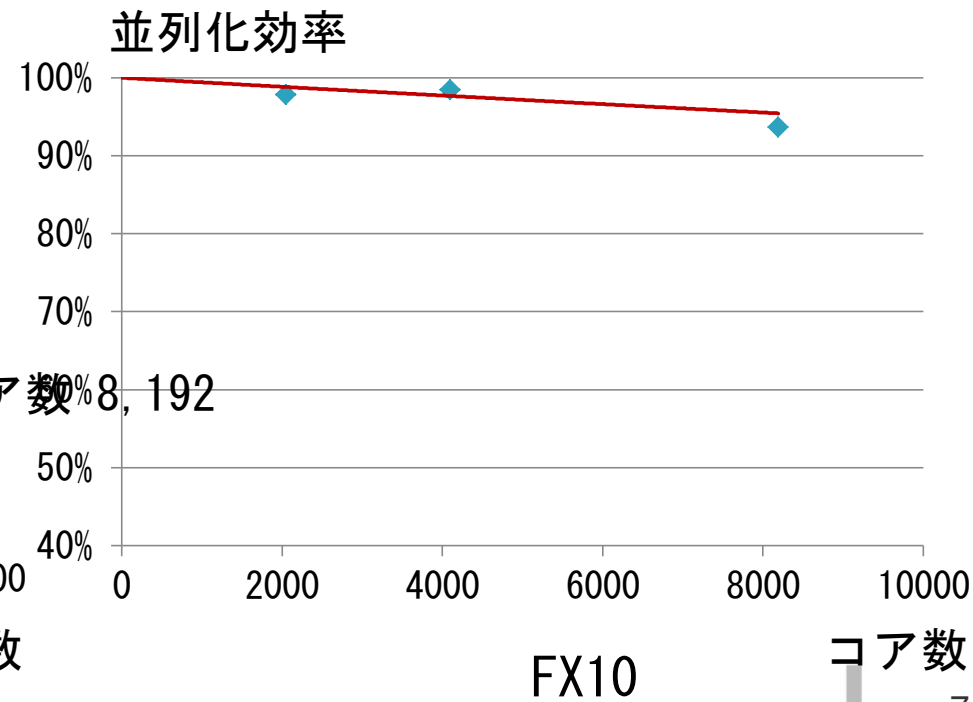
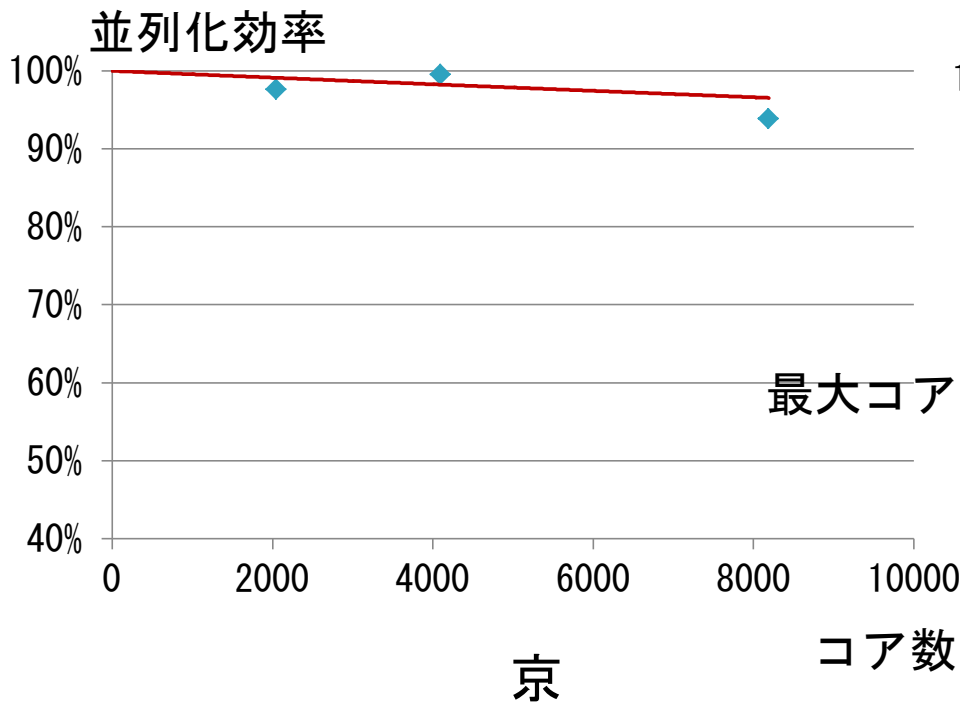
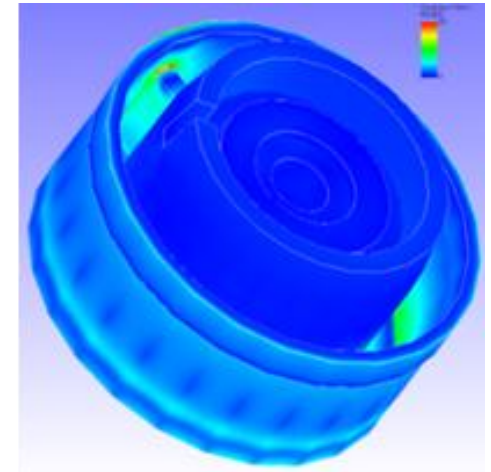
Piping system composed of many parts
is easily handled.



大規模並列性能 (Flat MPI)

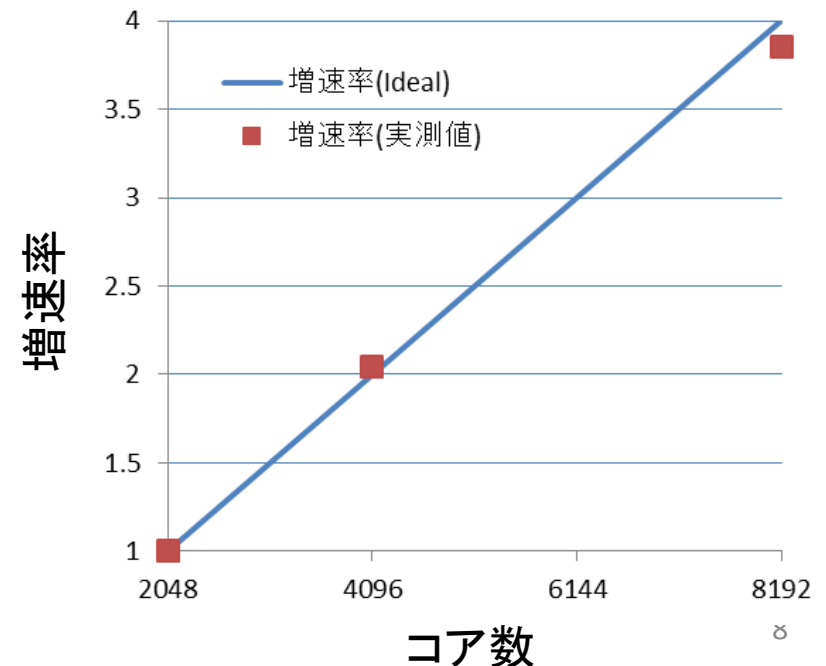
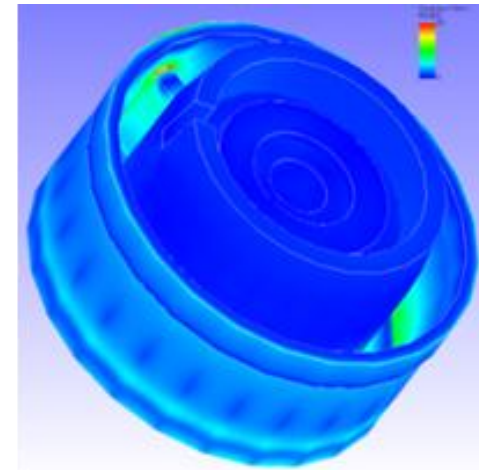
コアあたりのメッシュ規模を適切に設定することにより
高い並列化効率を発揮

CAP部品モデル (四面体2次要素)		リファイナ利用	
0回 :	要素数 684,807	節点数	1,008,911
1回 :	要素数 5,478,456	節点数	7,707,758
2回 :	要素数 43,827,648	節点数	60,089,084
3回 :	要素数 350,621,184	節点数	474,183,032



強スケーリング性能 例：線形静解析

- 四面体2次要素
 - 要素数: 350,621,184
 - 節点数: 474,183,032
- FX10, FlatMPI, 2,048～8,192コア
- 反復法ソルバの並列化率
0.99998433
(4,096及び8,192コアの計測結果より試算)
- 対ピーク性能比 (8,192コア)
3.59%
- 並列化効率 (8,192コア)
96.15%



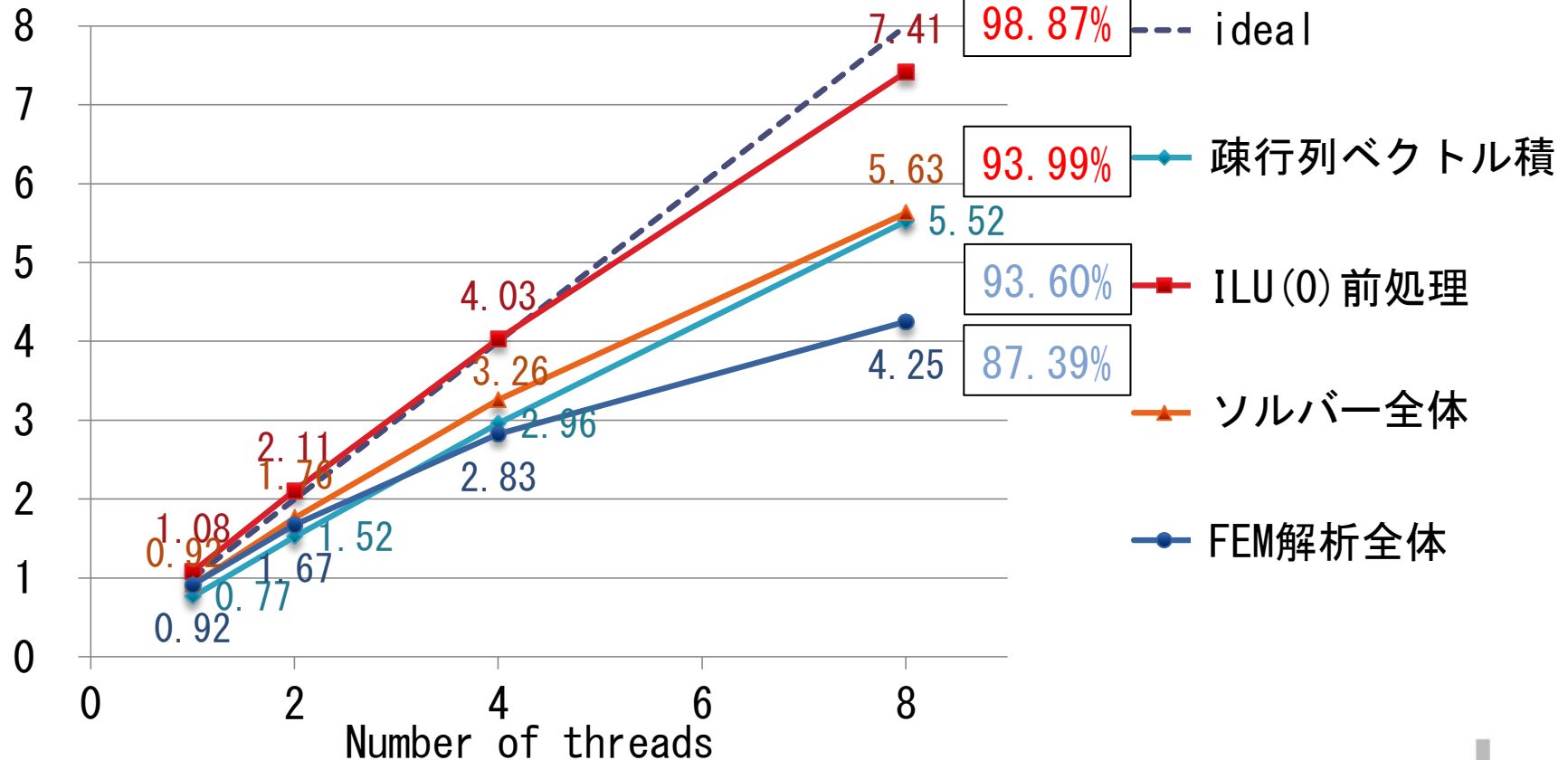
ホットスポット部（前処理付きCG法） 京における CPU単体・OpenMPスレッド並列性能

- ・マルチカラーオーダリングによる依存性の排除
- ・セクタキャッシュ利用
- ・FLOPS対ピーク性能比は 4～6 %

謝辞：
一般財団法人 高度情報科学
技術研究機構 利用支援部

Speed-up

並列化率



京における大規模ハイブリッド並列解析

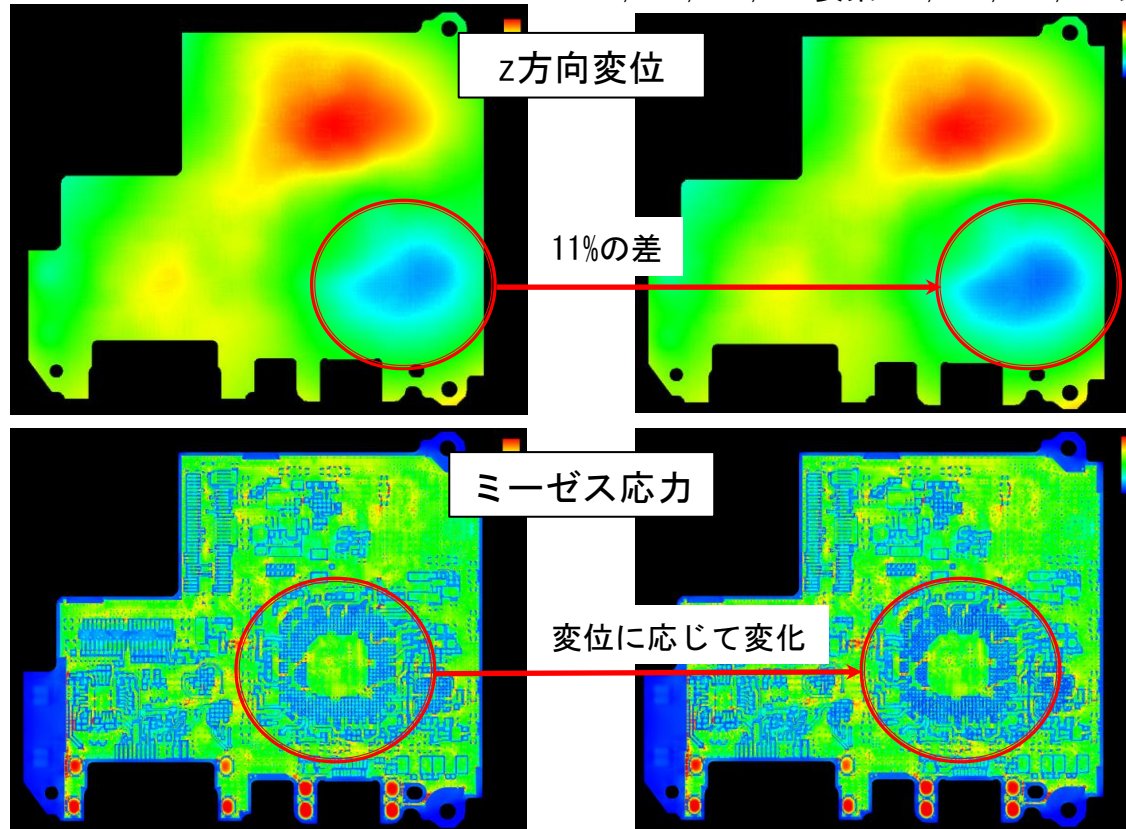
Refine	ノード数	コア数	並列方式	計算時間	Work ratio	対ピーク
0	128	1,024	FlatMPI	3.8h	74.7%	4.7%
			Hybrid	4.5h	57.6%	3.3%
1	1,024	8,192	FlatMPI	5.7h	88.0%	5.0%
			Hybrid	8.6h	60.3%	3.3%
2	8,192	65,536	FlatMPI	13.7h	82.6%	4.2%
			Hybrid	21.7h	50.3%	—

オリジナルメッシュ

38,689,706要素 41,044,244節点

2回リファイン ($h_{\min}=7.5\mu\text{m}$)

2,476,141,184要素 2,513,793,437節点



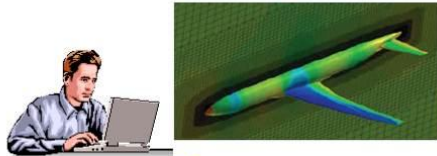
プリント配線基板熱反り解析

富士通アドバンステクノロジーとの共同研究でのモデルを使用

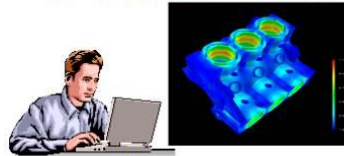
スパコンCAEクラウド概念図

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究
『マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支えるシステム化技術に関する研究（平成22～24年度）』

様々なNQSが利用可能



インタラクティブ可視化アプリ利用



クライアントのアプリも連動

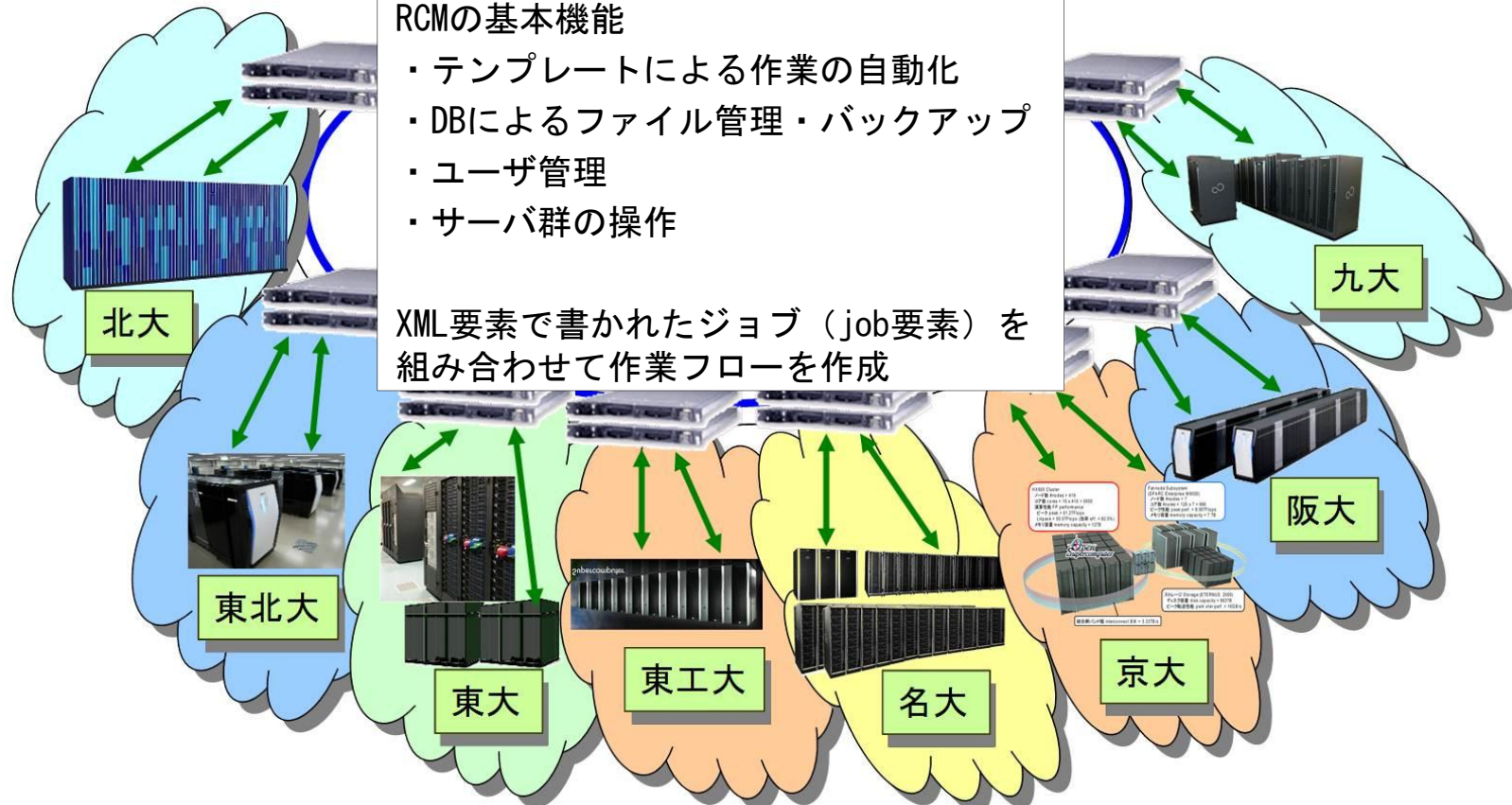


HTTPS

RCMの基本機能

- ・ テンプレートによる作業の自動化
- ・ DBによるファイル管理・バックアップ
- ・ ユーザ管理
- ・ サーバ群の操作

XML要素で書かれたジョブ（job要素）を組み合わせて作業フローを作成

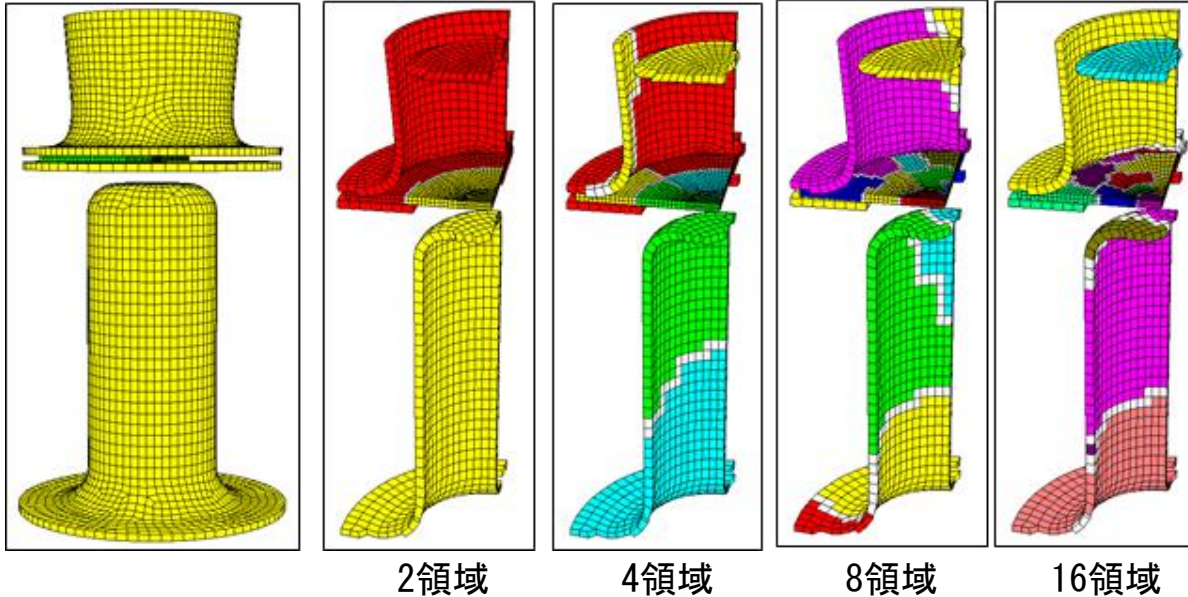


FrontISTRの構造解析機能一覧

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）、周波数応答
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	パーティショナ、境界条件ステップ制御、リスタート、ユーザーサブルーチン

H24年度開発の主な解析機能

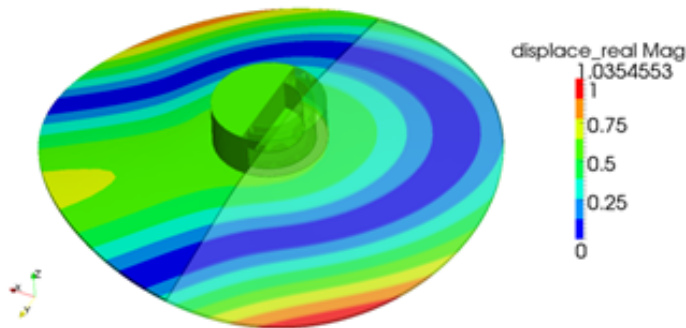
並列接触解析機能の拡充



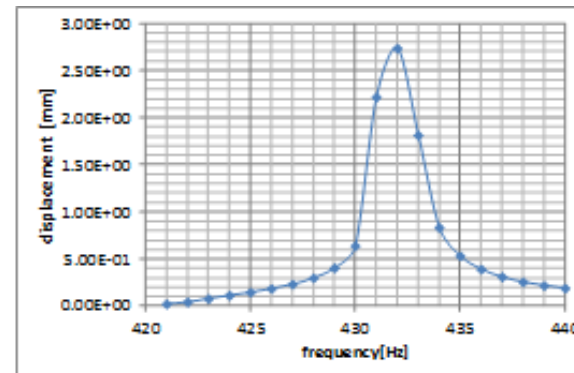
より一般的な接触状態の
領域分割に対応した接触
解析が可能となった

円筒絞りプレス成形解析
(静的接触解析、弾塑性材
料を含む材料非線形問題)

周波数応答解析機能



変位コンター



周波数応答

圧電素子の周波数
応答解析
(430Hzの加振)

産業利用事例(*)

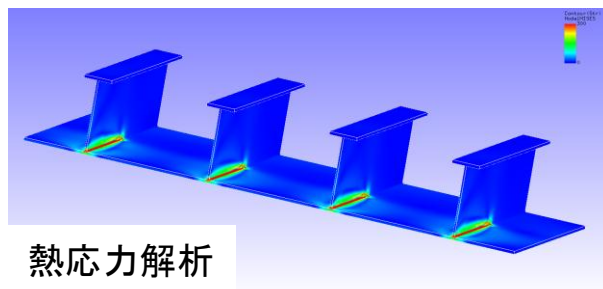
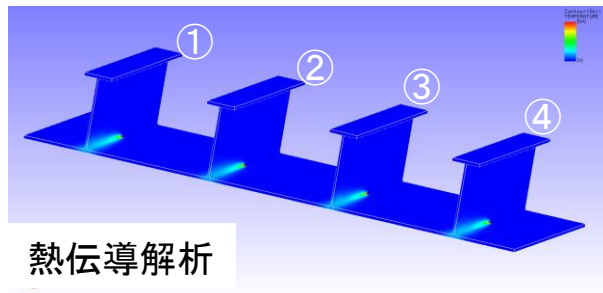
- 高速鉄道のレール・車輪間の接触挙動評価
- 船体ブロック溶接やキャスクなど大規模構造物の残留応力評価
- 複合材料伝動ベルトの接触挙動評価
- 接触荷重・熱荷重下における電子機器の構造信頼性評価
- 発電用大型蒸気タービン動翼の流体・構造連成
- 充填ゴムのひずみ評価
- 脳動脈瘤などの生体系非定常流体・構造連成
- 地震時における地盤・原子力建屋の動的挙動評価
- 広域地盤領域の周波数応答、断層破壊挙動評価
- 複雑構造押し出し成型の効率化

(*) 企業との共同研究の枠組み等を通じて実施、予定を含む。一部、HPCI「京」、地球シミュレータの産業利用枠や一般公募枠を利用。地球シミュレータセンターおよび高度情報科学技術研究機構による最適化支援を得ている。引き続き、ユーザー会との連携、共同研究テーマの提案を歓迎します。

船体部分ブロックの溶接残留応力解析

- 時空間スケールが大きい熱弾塑性解析をFX10で実施
- 実行ステップ数 : max7, 500 実行時間 : max 133h
- 多数ファイル対応機能を同時開発

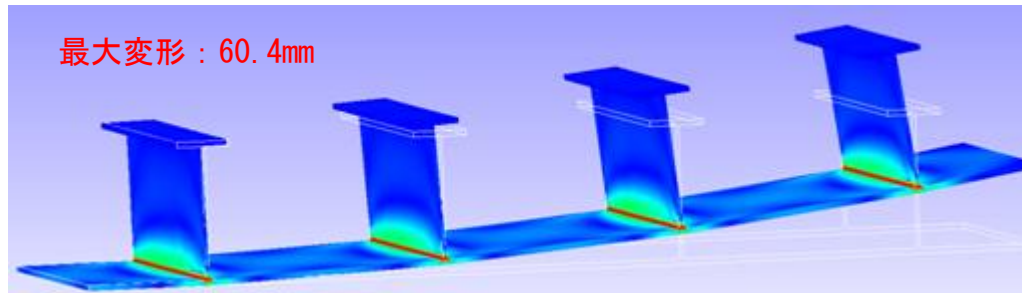
最終変形の比較（変形倍率=5.0）



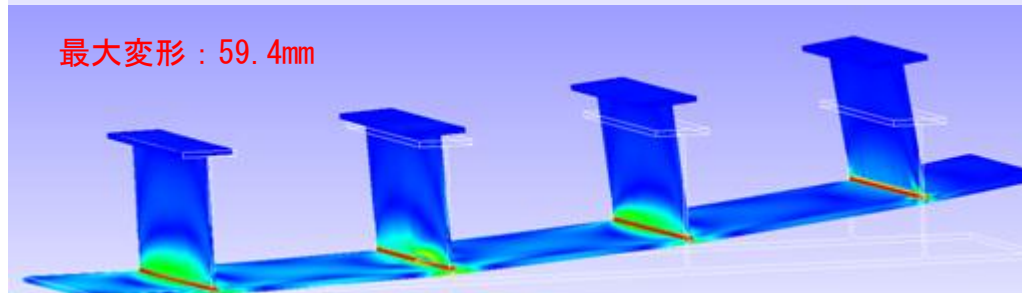
要素数 : 302, 400

節点数 : 371, 762

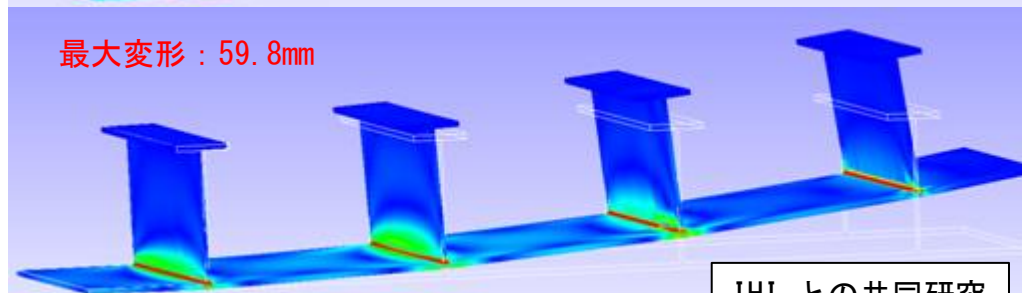
①
②
③
④
同時



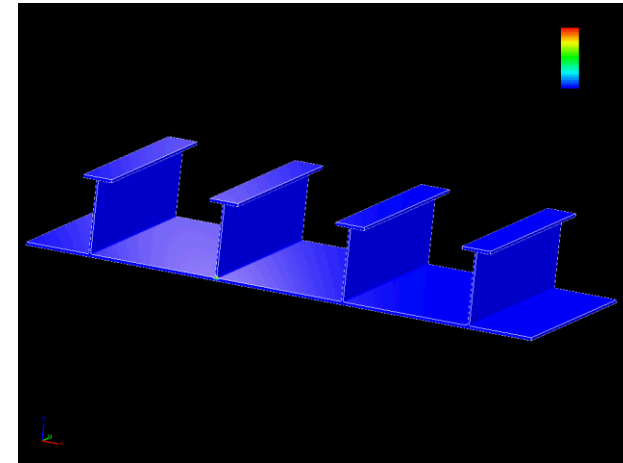
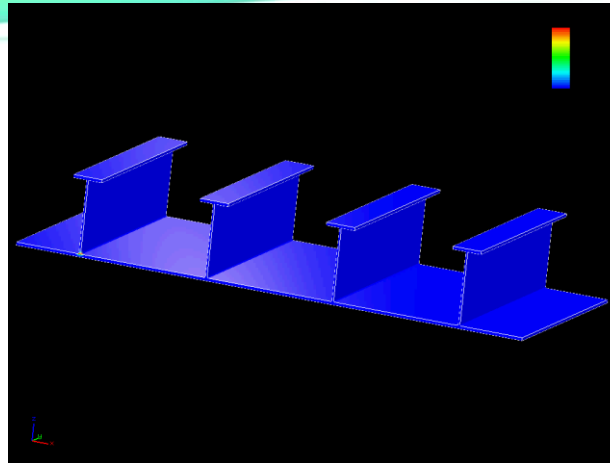
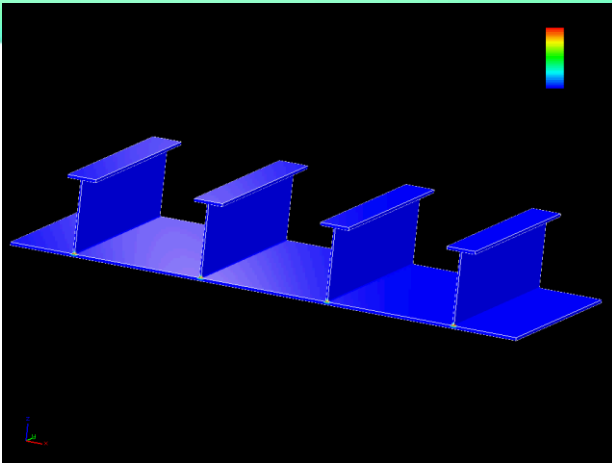
①
↓
②
↓
③
↓
④



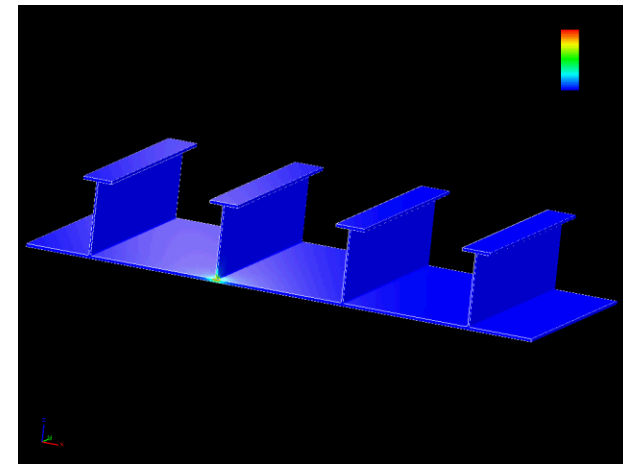
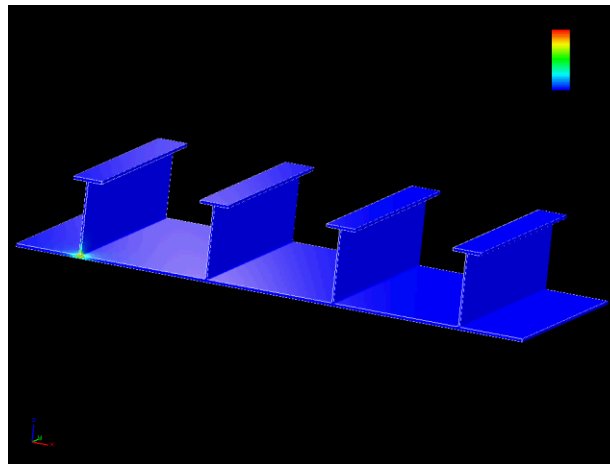
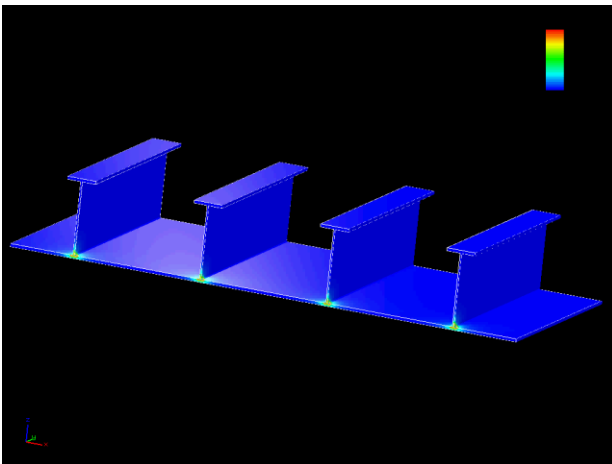
②
↓
③
↓
①
↓
④



IHI との共同研究

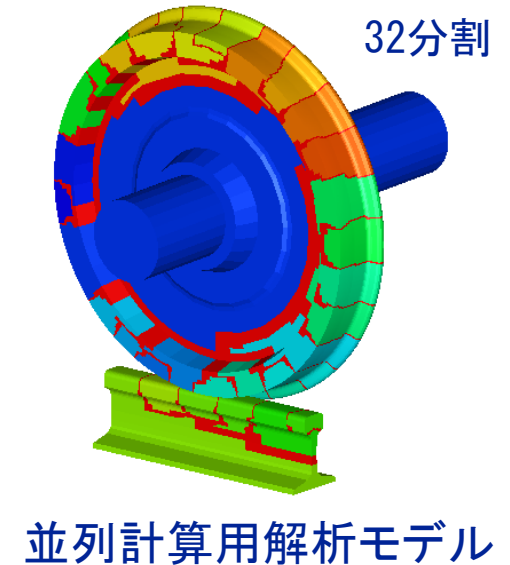
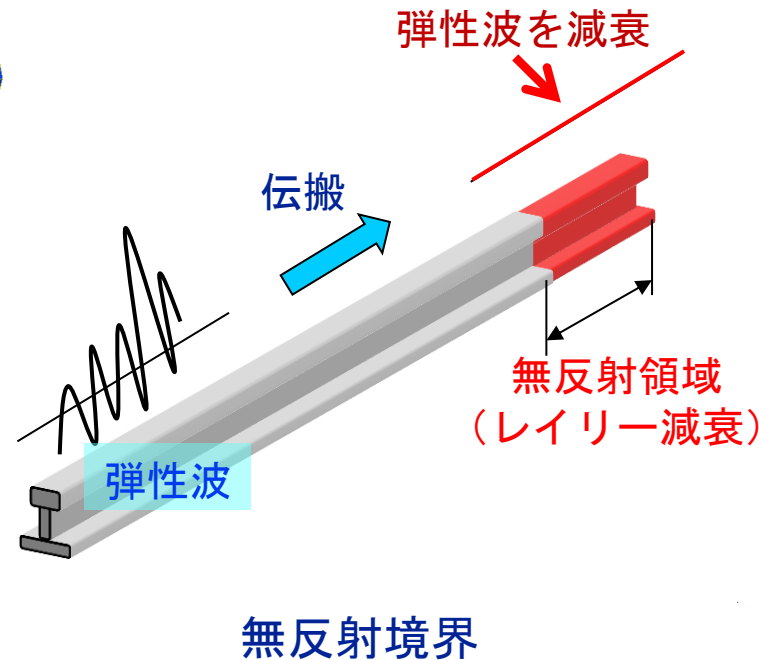
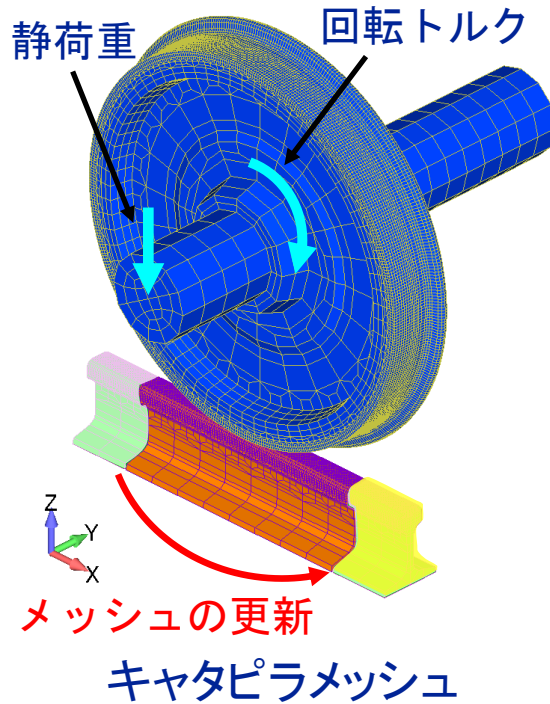


熱伝導解析



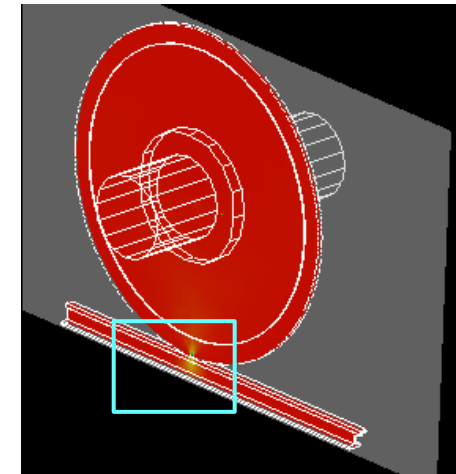
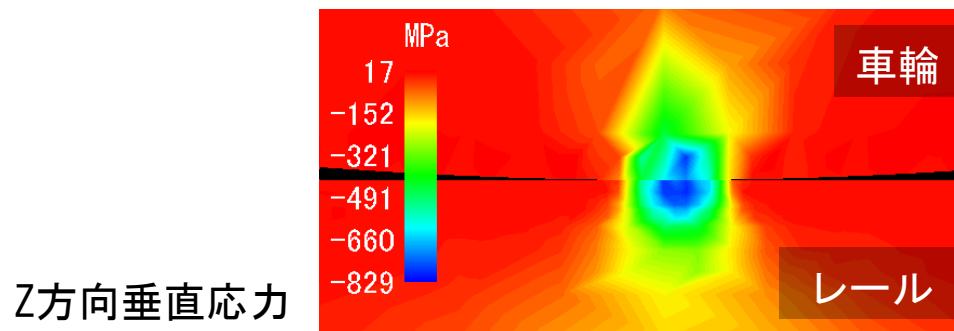
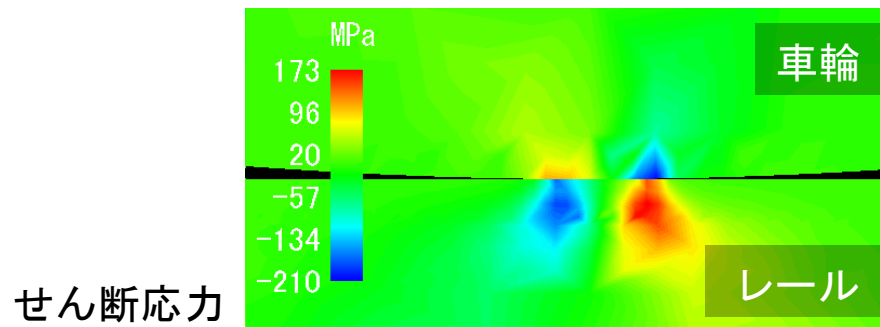
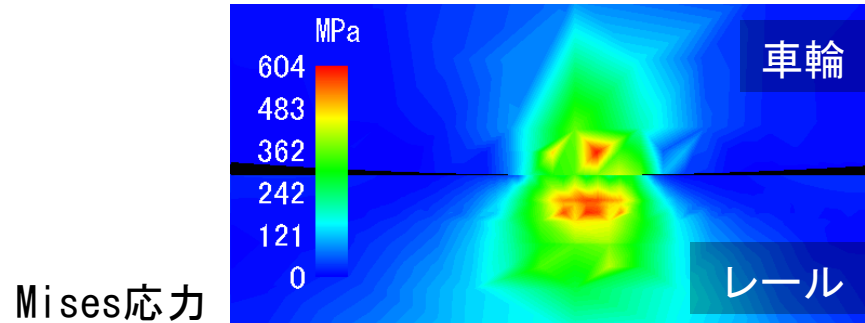
熱応力解析

レール・車輪間の転がり接触解析



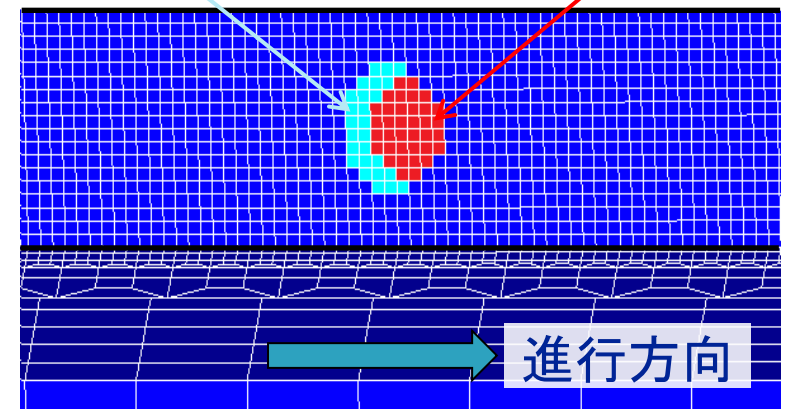
- 静止状態から約300Km/hまで安定した加速
- 良好なロードバランス
- レール表面不整、1,000万自由度モデル、などを地球シミュレータで解析実施中

接触面近傍の解析結果



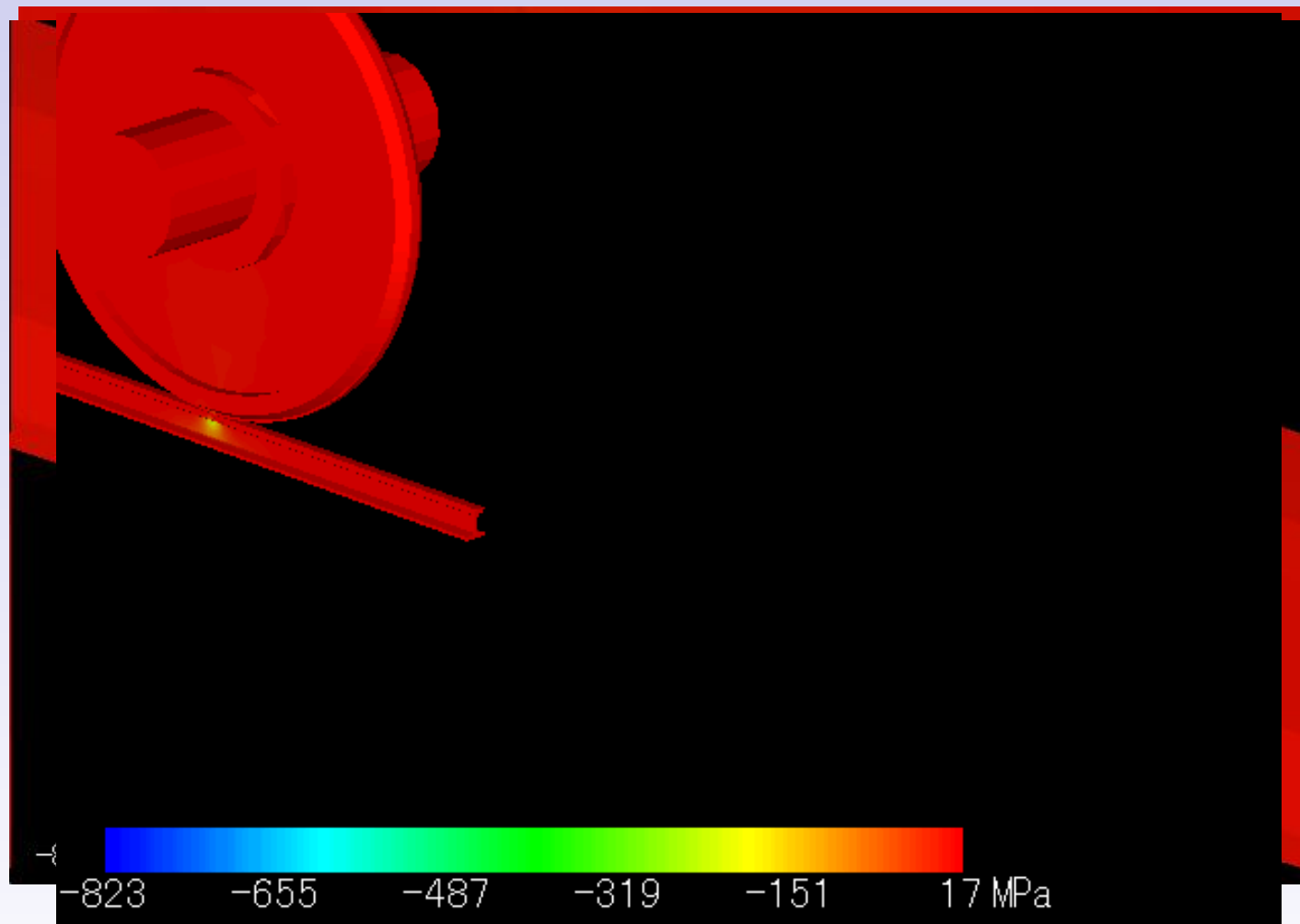
すべり

固着



接触面のすべり／固着領域

接触面近傍の応力分布



Z方向垂直応力分布 σ_z

6月7日(木) 14:30-15:20 「FrontISTR」事例のご講演

- アスファルト表面遮水壁型ダムにおける遮水壁の地震時挙動解析
 - 土居賢彦 東京電力株式会社 技術開発研究所

- FrontISTRを用いた不均質地下構造の地殻変動と地震動解析
 - 董 勤喜 株式会社エデュサイエンス総合研究所
 - 柴山 恭 株式会社計算力学研究センター

- FX-10を利用したFrontISTRによるプリント基板熱反り解析について
 - 坂入 慎 富士通アドバンステクノロジー株式会社 HPC適用推進統括部

- 公開版FrontISTRの利用、メンテナンス、改良が長期間にわたり持続することを目的とし、情報交換および産官学マッチングを図る場を提供する。
- 実践編、理論・プログラミング編、産業応用編、を適宜織り交ぜる
- 2種類のユーザーを対象とする
 - プログラムの中味を理解し、改良して利用しようと考えているユーザー
 - マニュアルに従って利用するエンドユーザー

運営体制

- これまでのFrontISTR関係者を中心に、生研CISS、産学協会の協賛アクティビティ（日本計算工学会GreenCAEプロジェクト、ほか打診中）をゆるく包含するコミュニティからの協力者を母体にする
- 当面（一巡するまで）は、自由参加の会員とボランティアの運営メンバーで構成、その後、会員登録制に移行予定。

第1回（3/25, 概論）、第2回（5/14, 実践編・ハンズオン）、第3回（5/22, 理論・プログラミング編）、第4回（6/26予定, クラスタコンピューティング実践編）