



分類	マルチ力学解析シミュレーション
キーワード	マルチ力学解析、プレポスト、インターフェースモデル、モデル細分
開発者	吉村 忍、米村 望、清河和久、徳永健一
作成年月	2011年6月
コード名	REVOCAP_Coupler、REVOCAP_PrePost、REVOCAP_Refiner
使用言語	C、Fortran90、C++、Ruby
使用ライブラリ	MPI、FXRuby、OpenCASCADE、OpenGL、ADVENTURE

◆大規模アセンブリ構造対応マルチ力学シミュレータ REVOCAP システムについて

本プロジェクト「次世代ものづくりシミュレーションシステム」の「大規模アセンブリ構造対応マルチ力学シミュレータの研究開発」での大規模アセンブリ構造とは、実際に設計現場にて使用されている複数の部品から構成されているアセンブリ構造体を指し、またマルチ力学とはいわゆる連成解析（マルチフィジックス解析）のことをいう。主なマルチ力学解析には流体-構造解析、熱-流体-構造解析などがあげられる。これらは現在、小規模なモデルでは解析が行われているが、大規模なアセンブリ構造体（実機アセンブリ構造体）をターゲットとしたマルチ力学解析については実用化されていないのが現状である。このため、実際に行われている解析は、構成要素に対して流体・構造・磁場単体で行われており、精度的に不十分なものであった。

それらの問題を解決するために本サブグループでは、PC クラスタから次世代スパコンなどの超並列計算機にも対応可能な大規模アセンブリ構造体マルチ力学シミュレータ、REVOCAPを開発している。REVOCAPシステムはマルチ力学エンジン REVOCAP\_Coupler、プレポストシステム REVOCAP\_PrePost、モデル細分モジュール REVOCAP\_Refiner となり、今年度はこれらのβ2版を公開する。右にREVOCAPシステムの概略図(図1)を示す。

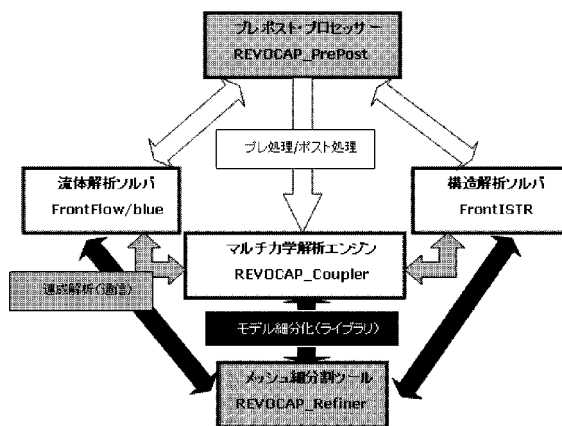


図1 REVOCAP システム概略図

## ◆大規模アセンブリ構造対応マルチ力学解析エンジン REVOCAP\_Coupler について

本システムは、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの開発プロジェクト」のもとで開発され、2007年12月に公開されたREVOCAP\_Couplerの改訂版である。異なる力学現象間の連成現象を解析（マルチフィジックス解析）することを目的として、異なる単一力学現象ソフトウェア間での連成界面、または連成領域での物理量の交換を行うシステムである。

マルチ力学解析エンジンは流体、構造、熱、電磁場などの単一力学現象ソフトウェアを効率的に統合して活用した革新的汎用連成解析システムを開発することを目的に、異なる単一現象解析ソフトウェア間にて連成する物理量を相互に接続する仕組みを提供する。本システムでは汎用性を重視して分離型弱連成解析を採用している。また、本システムにおける「連成解析」は、2種類以上の異なる力学・電磁気学的現象などが相互関連する複合現象を対象としている。連成解析においては構造、流体、電磁場、熱、それぞれの単一力学現象解析ソフトウェアが連成する物理量を相互に接続する仕組みが必須である。本システムでは、各現象間の物理量の交換に関して、異なるメッシュのトポロジー（位相）にも対応する。また、並列環境で稼動する大規模アセンブリ構造対応の単一力学現象ソフトウェアに対応するため、本システムもMPI並列環境で稼動する。本システムと、それぞれの単一力学現象ソフトウェアが、解析計算を中断することなく連携するための手段として、APIを含むライブラリが提供される。連成解析用の境界条件作成はREVOCAP\_PrePostで行なうことができる。今年度は、モデル細分化モジュールREVOCAP\_Refinerの拡張機能である形状適合機能を使ったことで、要素の細分割を行った解析モデルにおける連成解析についての形状解像度が向上した。

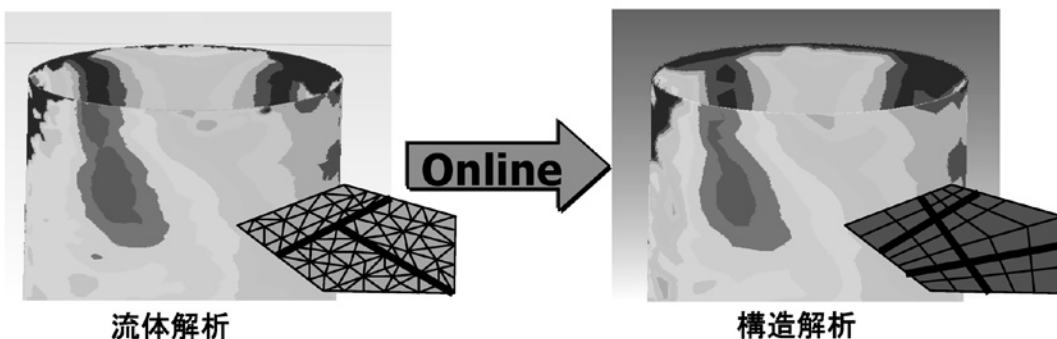


図2 REVOCAP\_Couplerによる流体－構造連成解析の例

## ◆大規模アセンブリ構造・マルチ力学対応プレポスト REVOCAP\_PrePost について

本システムは、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発プロジェクト」で開発したREVOCAP\_Visual、REVOCAP\_Meshを改良・発展させ、昨年度公開したVer1.4の改訂版である。REVOCAP\_PrePostは大規模並列対応構造解析ソルバFrontISTR、大規模並列対応流体解析ソルバFrontFlow/blueそれぞれ単体の解析のプレポスト処理、およびこれらの組み合わせによるREVOCAP\_Couplerを用いた流体・構造連成解析のプレポスト処理を行うシステムである。CADカーネルとしてOpenCASCADEおよびメッシュ生成エンジンとして

ADVENTURE\_TetMesh を用いて、メッシュ生成から境界条件、解析条件の設定といったプレ処理、計算結果のコンター表示、断面表示などのポスト処理を行うことができる。

連成解析のプレ処理は従来ではそれぞれのソルバのデータから手作業で連成カプラ（本システムのマルチ力学エンジン）のためのデータを作成するなど煩雑な手順が必要だったが、REVOCAP\_PrePost ではそれぞれの単体のソルバのプレ処理において連成の対象となる界面を選択して、流体の連成面と構造の連成面のペアで与えられる REVOCAP\_Coupler のインターフェースモデルのためのデータ作成を直感的に行うことができる。

また、REVOCAP\_Magnetic および ADVENTURE\_Solid の単体解析のプレポスト処理にも対応している。

今年度はアセンブリ構造のための機能拡張として、FrontISTR の MPC 機能および FrontFlow/blue のオーバーセット機能への対応を行った。また、FrontISTR の接触・材料非線形機能といった新機能への対応、およびアニメーション作成機能、流線表示機能と言ったポスト処理の機能拡張も行った。連成解析を含めた例題の詳細なチュートリアル作成などのドキュメントの充実も行い、利用者の利便性に配慮した。

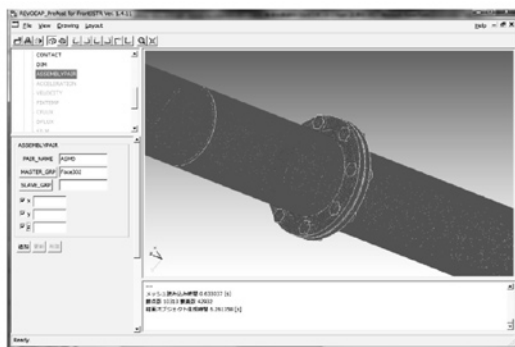


図3 REVOCAP\_PrePost による FrontISTR の MPC 条件の設定画面

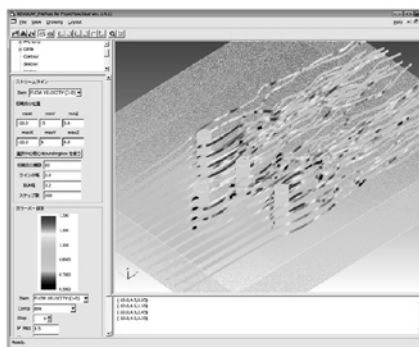


図4 REVOCAP\_PrePost による FrontFlow/blue の流れ場の流線表示

#### ◆大規模アセンブリ構造・マルチ力学対応モデル細分化モジュール REVOCAP\_Refiner について

本システムは、「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」で開発された大規模並列対応流体解析ソルバ FrontFlow/blue、大規模並列対応構造解析ソルバ FrontISTR およびマルチ力学エンジン REVOCAP\_Coupler に組み込んで、100億自由度級での大規模並列解析を実現するためのモデル細分化モジュールである。メッシュ生成および境界条件の設定などのプレ処理と、並列環境で実行するための領域分割を行った後、ソルバ内のオンメモリでモデルの細分を行うため、従来の大規模解析でボトルネックとなっていたメッシュ生成や大規模モデルにおける境界条件の設定、大規模モデルの領域分割などの問題を回避することができる。

今回公開するバージョンは、昨年度公開した Ver.0.4 の改訂版であり、四面体、六面体、三角柱、四角錐要素およびそれぞれの1次要素、2次要素の細分に対応する。FrontISTR および FrontFlow/blue

単体の解析でも REVOCAP\_Refiner のモデル細分機能が利用できる。

今年度の新たな機能としては、細分時の CAD 曲面への形状適合に対応し、形状解像度が向上した。また、2次要素の中間節点があらかじめ曲面上に与えられているときには、CAD 曲面の情報がなくとも形状関数によって細分時の中間節点の位置を補正する機能を追加している。

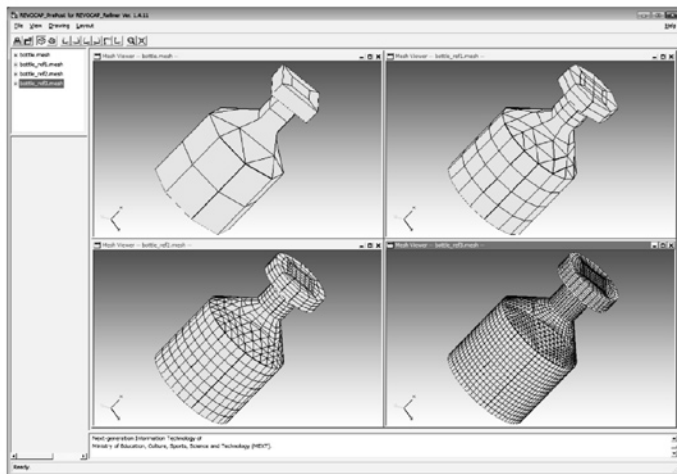


図5 REVOCAP\_Refiner の形状適合機能の例

#### ◆REVOCAP システムによる流体構造連成解析の実例

マルチ力学チームでは REVOCAP システムの機能および性能の検証を行った。FrontISTR、FrontFlow/blue の組み合わせで REVOCAP\_Coupler を用いて並列環境で流体構造連成解析を行う場合に、それぞれの処理時間、並列化効率、REVOCAP\_Refiner を用いた際の効果などの測定を行い、効率的な並列数の選択の検討などを行った。下に検証例題として行った4本円柱周りの流れによる流体構造連成解析の計算結果を挙げる。

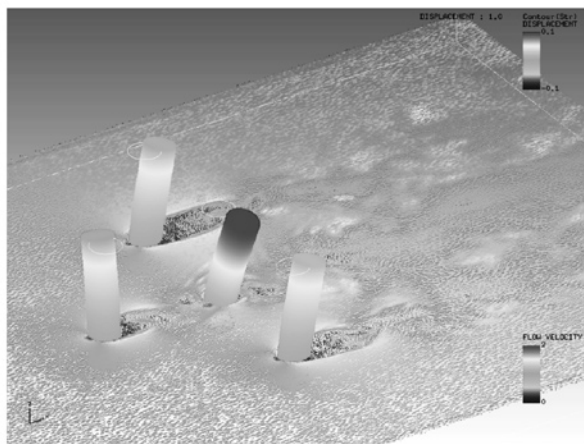


図6 REVOCAP システムによる流体構造連成解析（4本円柱）の解析結果

（執筆責任者：徳永健一）