



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	2013年3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ー 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ー、REVOCAPを開発してきた。REVOCAP システムはマルチ力学解析エンジン REVOCAP_Coupler、プレポスト REVOCAP_PrePost、モデル細分化モジュール REVOCAP_Refiner からなり、2013年3月に最終版を公開する。図1に REVOCAP システムの概略図を示す。

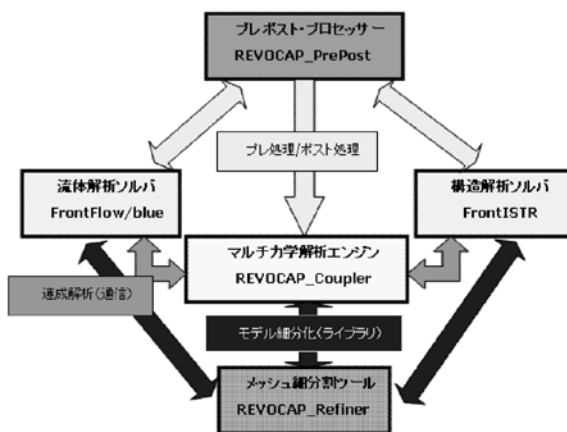


図1：REVOCAP システム概略図

◇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

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解法を採用している。分離型解法として、単純互い違い法、分離反復型解法に対応している。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）や補間物理量の保存性を担保するための機能にも対応する。本システムは 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 で行うことができる。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にも対応している。

◇大規模アセンブリ構造・マルチ力学対応プレポスト REVOCAP_PrePost

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。また、連成解析の対象となる流体の連成面と構造の連成面を選択して、それらの組で与えられる 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。アセンブリ構造体の解析のため、FrontISTR の MPC 機能（図2）および FrontFlow/blue のオーバーセット機能（図3）に対応している。最終版では FrontISTR の接触・材料非線形機能、FrontFlow/blue の定常解析および REVOCAP_Coupler の双方向連成などの新機能への対応、また Windows 64bit 環境への対応を行った。利用者の利便性に配慮して、チュートリアルを整備および簡易的なマクロ機能の追加を行った。

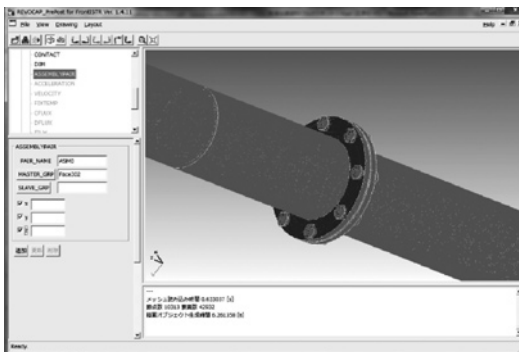


図2：REVOCAP_PrePost による FrontISTR の MPC 条件の設定画面

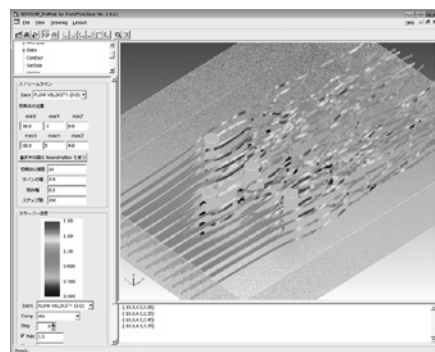


図3：REVOCAP_PrePost による FrontFlow/blue の流れ場の流線表示

◇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

本システムは、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 およびマルチ力学解析エンジン 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解決することができる。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次要素を細分することができ、細分時にCAD 曲面への形状適合を行うことができる(図4)。最終版では形状適合の前処理のためのツールの追加、2次要素の形状への事前適合機能、および形状適合後のメッシュ品質改善機能が追加されている。

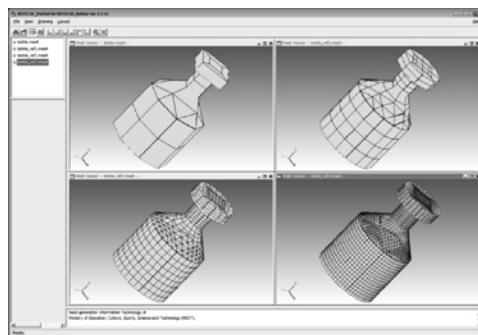


図4：形状適合機能の例

◇REVOCAP システムによる流体-構造連成解析の実例

(1) 流れ場中の振動板に関する双方向連成解析(図5、図6)

流れ場中に置かれた振動板付き角柱に関する三次元連成解析を実施した。二次元参照解と比較して、妥当な結果(振幅約11mmで参照解と同等、周波数は5.0Hzと参照解より1.2倍程度高い)が得られた。

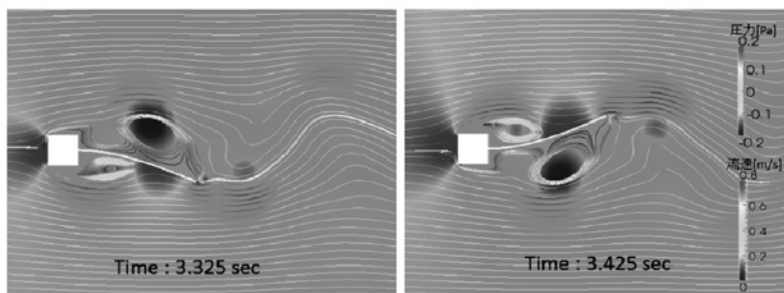
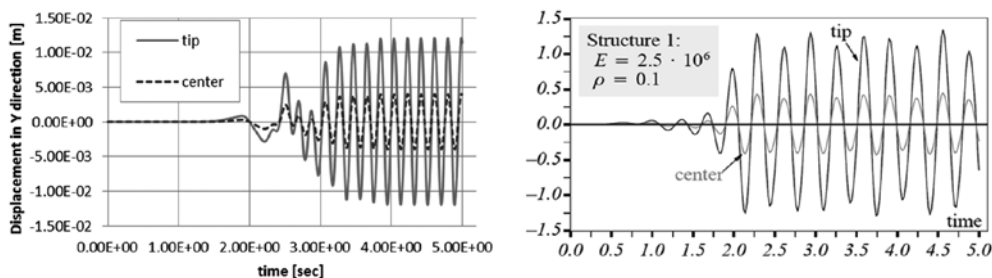


図5：REVOCAP システムによる流れ場中の振動板流体-構造双方向連成解析の解析結果(振動板周りの圧力および速度分布：コンターは圧力、流線カラーは速度に対応)



(a) REVOCAP システム結果 (b) 二次元参照解 (Wall and Ramm, 1998) 縦軸の単位は cm である

図6：フィン中央部 (center) と先端部 (tip) の垂直方向変位の時間履歴

(2) REVOCAP による大規模実証計算－風力発電用風車の実機全翼モデル (図7)

風車データ (翼長 15m) を使い、実機 3 枚翼の流体－構造双方向連成計算を行っている。

静止系と重合メッシュで回転系を模擬しており、回転系において翼変形を ALE 法で考慮した双方向連成解析を行っている。最初に構造連成なしで流れを発達させた後、双方向連成解析を開始する。翼先端の流れ方向 (Z 方向) 変位の時刻歴と 1 回転後の変位圧力分布など定性的に妥当な結果が得られている。

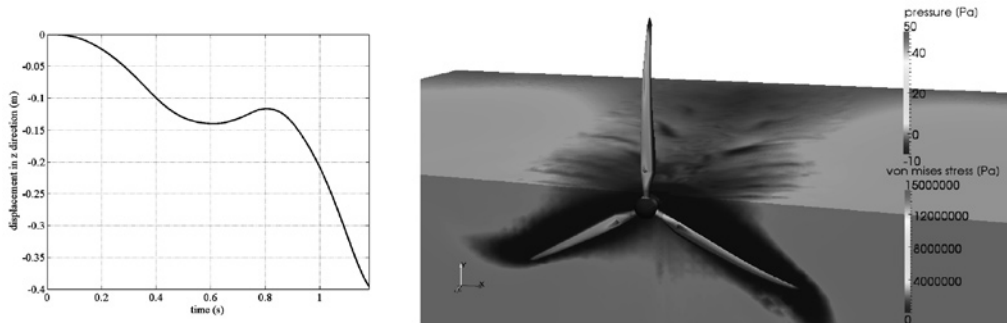


図7：翼先端の流れ方向変位の時刻歴 (左) と翼変形 (5 倍に拡大表示) と圧力分布図 (右)

(3) 風車 1 枚翼の流体－構造連成シミュレーション (図8)

流れ場中に置かれた、発電用の水平軸風車を模擬した翼について、流体－構造連成による振動解析を行った。この結果を踏まえて今後、風車フルモデルの流体－構造連成計算を実施する。

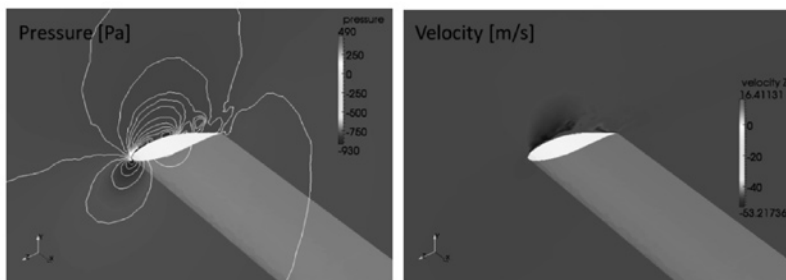


図8：翼表面の圧力分布と流れ場

(4) 自動車室内騒音のマルチ力学シミュレーション (図9)

自動車が走行中に受ける風圧の変化が、車体を介して車室内に伝わることで、車室内の低周波音に与える影響を求める実証解析として、試作車両モデルによる流体－構造－音響連成による自動車室内騒音解析を行った。

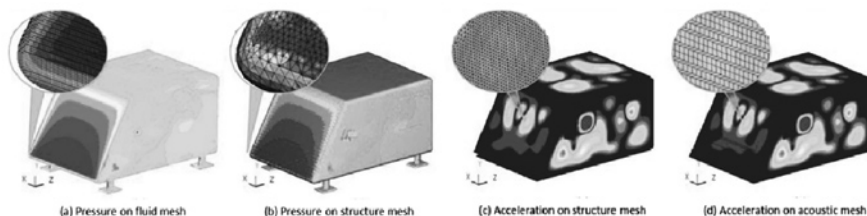


図9：自動車室内騒音解析のマッピング

(執筆責任者：吉村 忍)