



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	2014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ー REVOCAP システムについて

REVOCAP システムは大規模アセンブリ構造を対象としたマルチ力学シミュレーションを実現するためのソフトウェア（モジュール群）の総称である。ここ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が、REVOCAP システムの研究開発を開始した 2005 年当時には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は実用化されていなかった。このため、当時の大規模解析は、構成要素に対して流体、構造、熱、電磁場等単体で行われており、精度的に不十分なものとなっていた。この問題を解決するために PC クラスタから世界最高クラスの演算性能を持つスーパーコンピュータ「京」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対応マルチ力学シミュレーター、REVOCAP システムの開発を行ってきた。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、2014 年 6 月には最新バージョンとして、REVOCAP\_Coupler 2.1 のリリースが予定されている。図 1 に REVOCAP システムの概略図を示す。以下、それぞれのモジュールの概要、ユーザビリティの向上に向けた試み、REVOCAP システムによる解析例について述べる。

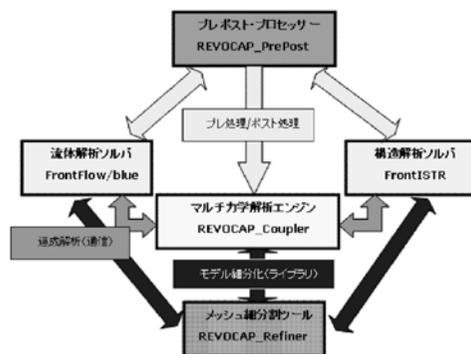


図 1 REVOCAP システム概略図

## ◇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解析ソフトウェアを効率的に活用・統合した革新的汎用連成解析システムを容易に開発可能とすることを目的とし、異なる単一力学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。分離型解法としては、単純互い違い法・分離反復型解法の2種類に対応している。各現象間の物理量の交換では、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も実装した。本システムは MPI 並列環境で稼動し、大規模並列解析を可能としている。本システムと、それぞれの単一力学現象解析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。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に対するプレポスト処理、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ことが可能なシステムである。CAD カーネルとして OpenCASCADE、メッシュ生成エンジンとして ADVENTURE\_TetMesh を採用している。これにより、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。

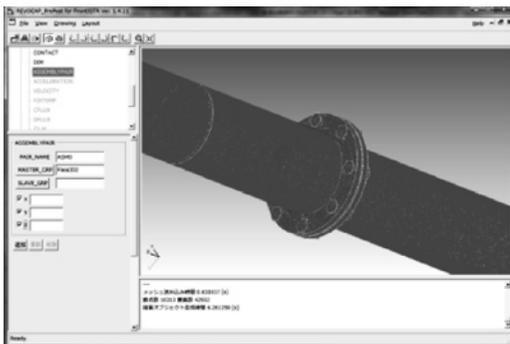


図2 REVOCAP\_PrePost による FrontISTR の MPC 条件の設定画面

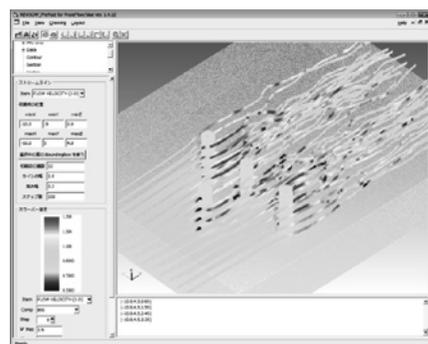


図3 REVOCAP\_PrePost による FrontFlow/blue の流れ場の流線表示

## ◇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

本モジュールは、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 に組み込むことにより、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)。

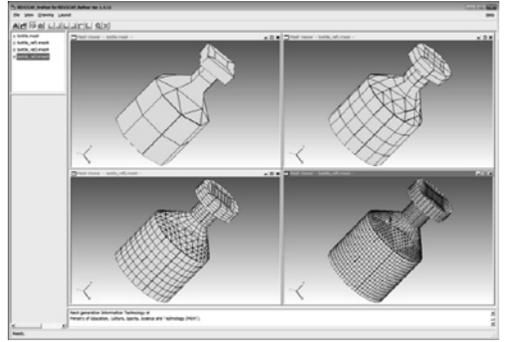


図4 形状適合機能の例

#### ◇ユーザビリティの向上に向けた研究開発

REVOCAP システムは文部科学省高性能汎用計算機高度利用事業「HPCI 戦略プログラム」分野4次世代ものづくりにおいてHPC次世代ものづくりプラットフォーム(HPC/PF)のアプリケーションラインナップの一つとして利活用され、また、産業界への普及活動が積極的に行われている。最新バージョンではユーザからのリクエストに対応する形で、ユーザビリティの向上に向けた追加実装を行った。以下、追加実装された3つの新しい機能について述べる。

##### ▶ 可視化ツールへのマッピング情報出力インターフェース

ユーザが視覚的に連成界面におけるマッピング情報を確認することを補助するため、REVOCAP\_Couplerが入出力するファイルを用いて、REVOCAP\_PrePostにより可視化可能なファイルを作成する追加機能。

##### ▶ マッピング情報ログの出力機能強化

REVOCAP\_Couplerにおいて実装されている異なるメッシュトポロジー間における連成物理量の補間式作成機能について、上記の可視化だけでは得られない補間式そのものをファイル出力し、ユーザが確認可能とする追加機能。

##### ▶ 単位・座標変換支援機能

異なるメッシュトポロジーを取り扱う力学現象解析ソルバにおける無次元化や、座標系単位、原点座標位置の差異などに伴う各種の変換作業を、REVOCAP\_Coupler内部で行うことでソルバ間におけるメッシュや物理量の単位、および座標系の整合を保障する追加機能。

#### ◇REVOCAP システムによる流体-構造連成解析の実証解析例

##### (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3次元連成解析を実施した。2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)が得られている。

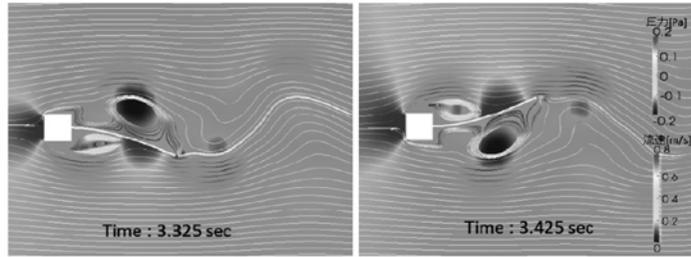
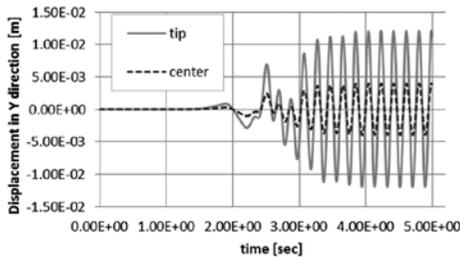
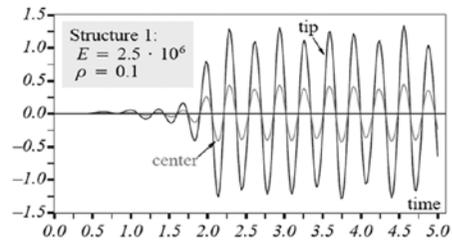


図5 REVOCAP システムによる流れ場中の振動板流体構造双方向連成解析の解析結果 (振動版周りの圧力及び速度分布：コンターは圧力、流線カラーは速度に対応)



(a) REVOCA ステム結果



(b) 2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、かつ、妥当な結果が得られている。

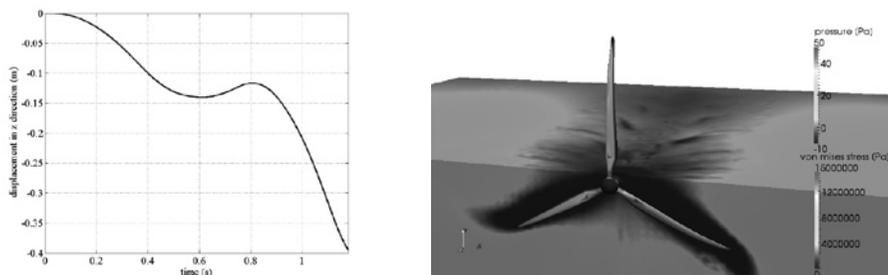


図7 翼先端の流れ方向変位の時刻歴 (左) と翼変形 (5 倍に拡大表示) と圧力分布図 (右)

謝辞

本研究開発の一部は、文部科学省高性能汎用計算機高度利用事業「HPCI 戦略プログラム」分野4次世代ものづくりの補助を受け実施した。関連各位に謝意を表する。

(執筆責任者：吉村 忍、山田知典)