



分類	連成解析シミュレーション
キーワード	連成解析、有限要素法、磁場解析
開発者	吉村 忍、金山 寛、竹田 毅、雨宮克樹、徳永健一
作成年月	2007年4月
コード名	REVOCAP System
使用言語	C、C++、Fortran、Ruby

#### ◇革新的汎用連成解析システム REVOCAP システムについて

ここでの「連成解析」とは、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する、いわゆるマルチフィジクス解析である。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（REVOCAP システム）を開発している。

REVOCAP\_Coupler、REVOCAP\_Mesh、REVOCAP\_Visual、REVOCAP\_Magnetic の4つのプログラムソース等を公開する。

#### ◇並列連成解析エンジン—REVOCAP\_Coupler—

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、各単一現象解析ソフトウェアの連成する物理量を相互に接続するソフトを開発したので公開する。

#### ◇メッシュ・データ管理ツール—REVOCAP\_Mesh\*1—

CAD データから生成した初期三角形メッシュ・データ補修ユーティリティツール、四面体生成管理ツールの開発を行ったので公開する。

#### ◇プリポスト・プロセッサ—REVOCAP\_Visual\*1—

連成カップリング、構造、流体、電磁場の4種類に対応するプリポスト・プロセッサを開発したので公開する。

## ◇大規模並列磁場解析コード－REVOCAP\_Magnetic－

非線形静磁場解析機能および時間調和渦電流解析機能を持つ磁場解析のための有限要素解析モジュールを開発したので公開する。

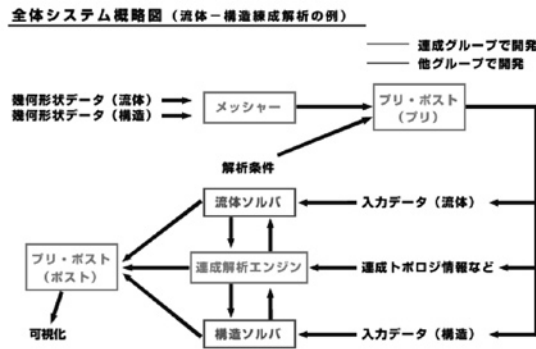


図1 革新的汎用連成解析システム全体システム概略図

## ◇質問の連絡先：「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクト事務局

<Email : software@rss21.iis.u-tokyo.ac.jp>

## ◇コードの概要

## 並列連成解析エンジン－REVOCAP\_Coupler－

本システムでは汎用性を重視して弱連成解析を採用する。本システムにおける「連成解析」とは、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、熱の各単一力学現象解析ソフトウェアの連成する物理量を相互に接続する仕組みが鍵を握る。本システムでは、その仕組みを連成解析カップラーと呼ぶ。各現象間の物理量の交換に関しては、各現象で異なるメッシュのトポロジー（位相）に対応する。

連成解析カップラーは、並列環境で稼動する単一力学現象ソフトウェアに対応するため、MPI 並列環境で稼動する。連成解析カップラーと単一力学現象ソフトウェアが連携するための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\_Visual で行なうことができる。

## メッシュ・データ管理ツール－REVOCAP\_Mesh－

CAD データ (IGES v5.3) から生成された初期三角形メッシュの品質はCAD オペレータおよびCAD アプリケーションにより大きく左右される。この初期メッシュの幾何学的な分割、接続などの補修ツールを開発した。これにより四面体生成を安定して実行できるようになっている。

生成された四面体の表面抽出、面グループ生成、エッジ抽出により可視化プログラムの負荷を減少させユーザーによるメッシュ・データ操作を軽いものになっている。また隣接面メッシュとの接続ツールを開発したことにより複数領域メッシュへの材質割り当てが可能となり、さらに分割メッシュ生成管理機能により大規模メッシュ生成を1台のPCにより実行できる。

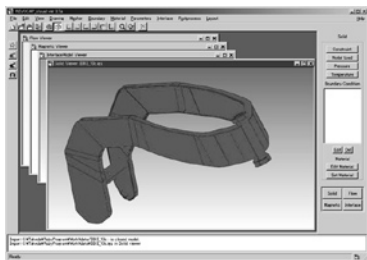


図2 CADデータ

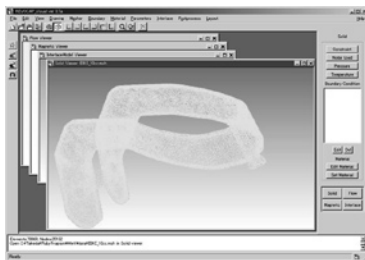


図3 メッシュデータ

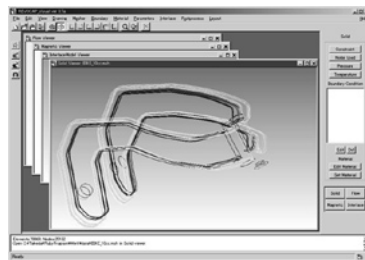


図4 稜線データ

### プリポスト・プロセッサー—REVOCAP\_Visual—

REVOCAP\_Meshにより提供されるデータを可視化し、境界条件～材質設定～コントロールデータなどのユーザー・インターフェースをインタラクティブに提供するプログラムがREVOCAP\_Visualである。本プログラムは戦略・革新プロジェクトで開発された開発コードのプリポスト・プロセッサーとして機能し、かつREVOCAP\_Coupler用にインターフェース・モデルの構築を行うことを目的に作られた連成プリプロセッサーである。

ポスト処理として構造解析、流体解析、電磁場解析結果のコンター表示、断面コンター表示、等値面表示ができ、REVOCAP\_Meshにより分割された面グループをマウスにより移動できることから流体解析などで見られるボイド・モデルの表面コンターを見ることができる。

さらに本プログラムは可視化～GUI～メッシュ・アクセス～ファイル出力など全て日本国内で開発されたスクリプト言語Rubyで記述されており戦略・革新プロジェクトによる解析コードのみならずユーザー・コードへの対応をユーザー自身がコンパイラなしに行える特徴を持っている。

### 大規模並列磁場解析コード—REVOCAP\_Magnetic—

REVOCAP\_Magneticは磁場解析のための有限要素解析モジュールである。並列計算により大規模な問題を効率よく数値計算するために、階層型領域分割法(Hierarchical Domain Decomposition Method (HDDM))を用いている。並列計算サーバ、PCクラスタ環境のいずれにおいても使用可能で、解析機能として非線形静磁場解析機能および時間調和渦電流解析機能を持っている。

REVOCAP\_Magneticの非線形静磁場解析機能では、定式化に磁気ベクトルポテンシャル $A$  [Wb/m]を未知関数とする $A$ 法を用いている。また、非線形反復手法としておもにNewton法を用いている。時間調和渦電流解析機能は2つの定式化によって実装されている。1つは磁気ベクトルポテンシャル $A$  [Wb/m]と電気スカラーポテンシャル $\phi$  [V]を未知関数とする $A-\phi$ 法であり、もう1つは $A$ を未知関数とする $A$ 法である。

REVOCAP\_Magneticでは数千万自由度規模の解析が可能であり、32台のパーソナルコンピュータからなるPCクラスタ上で約5,000万自由度の非線形静磁場解析を約8時間半、約4,400万複素自由度(実質約9,000万自由度)の時間調和渦電流解析を5時間弱で行った実績を得ている。

## ◇事例

ジェット旅客機の応力解析結果表示：REVOCAP\_Mesh を用いて作成したメッシュを使用して得られた解析結果を、REVOCAP\_Visual を使って可視化した結果を図5および6に示す。

REVOCAP\_Visual には、ここに示した構造解析だけでなく、流体解析、電磁場解析結果のコンター表示、断面コンター表示、等値面表示なども可能である。

渦電流－熱連成解析：図7は、REVOCAP\_Magnetic および熱伝導解析モジュール ADVENTURE\_Thermal と連携した渦電流－熱連成解析に用いた3相変圧器である。この解析は約2,000万自由度のメッシュを用いて解析を行い、良好な結果（図8）が得られている。

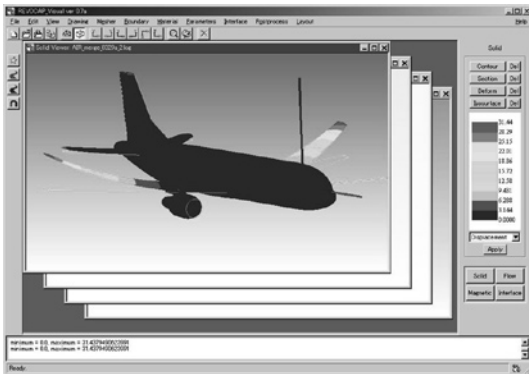


図5 変位表示&amp;コンター

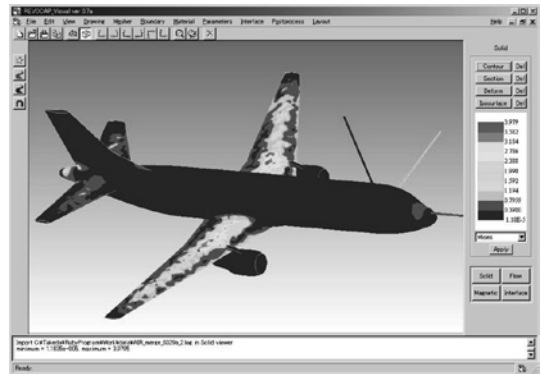


図6 ミーゼス応力コンター

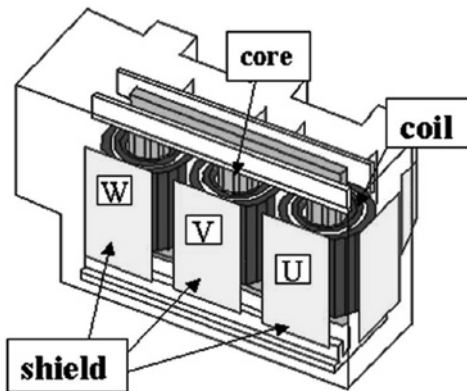


図7 解析対象概略図

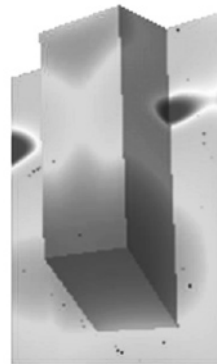


図8 温度分布コンター

\*1 REVOCAP\_Mesh および REVOCAP\_Visual には下記ライブラリを利用しています。

GUI ライブラリ：FxRuby (<http://www.fxruby.org/>)

CAD ライブラリ：Open CASCADE (<http://www.opencascade.org/>)