



分類 有限要素解析

キーワード 構造解析、ミドルウェア、アセンブリ構造、階層化メッシュ  
開発者 奥田洋司（人工物工学研究センター）

作成年月 2011年4月

コード名 HEC-MW

使用言語 C++

### HEC-MW Ver.4.0 の概要

本ソフトウェアは、「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」のサブテーマ「大規模アセンブリ構造対応構造解析ソルバーの研究開発」プロジェクトで開発された。本プロジェクトでは、実製品であるアセンブリ構造のまるごと解析を実現する構造解析システムの構築を目指している。ここでは、製品の部品ごとに作成されたメッシュを統合化し、10億～100億メッシュ規模の大規模解析を行うことになる。このための有限要素解析基盤ミドルウェアとして、HEC-MW Ver.4.0を開発した。本ソフトウェアは、階層型アセンブリデータ構造による複雑モデルの構築と、機能のAPI化による解析モジュールとの親和性の向上を実現している。

### HEC-MW Ver.4.0 の機能

本ソフトウェアは、有限要素法による解析アプリケーションに対して、各種ハイエンド並列計算機からPCまで汎用的に利用できるFEMライブラリーとして提供され、解析モジュール開発者はAPIを利用して、階層型アセンブリ構造並列計算コードを容易に開発することが可能となる。機能概要を以下に示す。

#### (1) 階層型アセンブリデータ構造

複数部品のアセンブル構造を表現するために、各部品を多点拘束（MPC）条件で結合するデータ構造を実装している。MPC条件は、接合面の指定により自動的に生成される。また、自動メッシュ細分化ツールによって生成されたサイズの異なるメッシュを階層的に管理し、後述する幾何学的マルチグリッド法における利用を可能としている（図1）。

#### (2) 幾何学的マルチグリッド法

通常の反復法では、要素サイズに比例した波長を持つ誤差成分の減少は早いですが、そこから大きく外れ

た波長成分の収束は遅い。そのため、精細なメッシュでは長波長成分の収束が遅くなり、メッシュ規模の増大以上に計算量が増大する。マルチグリッド法では、異なる要素サイズのメッシュを併用して、幅広い波長成分の誤差を同時に減少させる。HEC-MW では反復法の前処理としてマルチグリッド法を採用し、反復法の収束性を向上している（図2）。

### (3) 線形ソルバー

線形ソルバーとして、CG、BiCG-STAB、GMRES などの各種反復法および LU 分解、対角スケールリングなどの前処理手法を提供する。マルチプロセス・マルチスレッドの並列計算（MPI + OpenMP）に対応し、効率的なデータ構造を構築することで各種ハイエンド計算機において高い並列効率を実現し、単体の PC においても複数の CPU コアを活かした解析が可能となっている。また、Ver. 4.0 からは並列直接法ソルバーもサポートされた。アセンブル構造の MPC 条件処理において全体剛性行列を修正しない自由度消去アルゴリズムを導入することにより、従来のペナルティ法に比べて収束性を向上し、計算時間の短縮を図っている。

### (4) プリ・ポスト処理ツール

HEC-MW における並列計算はメッシュの領域分割を前提としている。このための領域分割法として、並列計算が可能な ParMETIS を採用し、大規模メッシュに対しても効率的な領域分割ができる API および領域分割プリ処理プログラムを提供する。ポスト処理ツールとしては、解析結果のスカラー量、ベクトル量、テンソル量について各種のレンダリング機能を提供する。並列計算機上での可視化ツールの直接呼出しにより、極めて大規模な解析における解析結果の可視化を可能としている。

### (6) Fortran API

Ver. 4.0 より Fortran API が整備され、Fortran で開発された解析コードからの利用が可能になった。

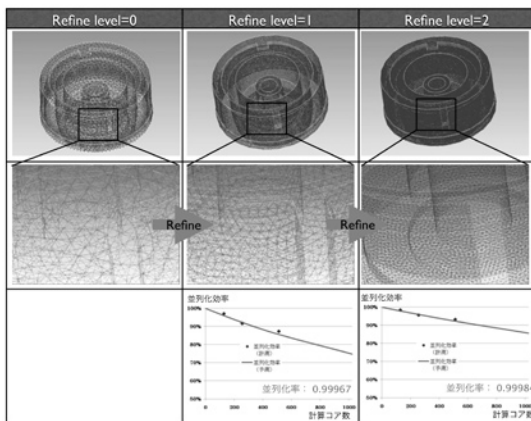


図1 階層化メッシュの生成例と解析時並列化効率

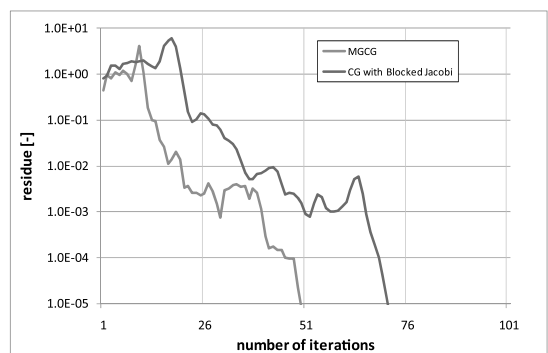


図2 幾何学的マルチグリッドソルバー (MGCG) による収束性の向上

(執筆責任者：奥田洋司)