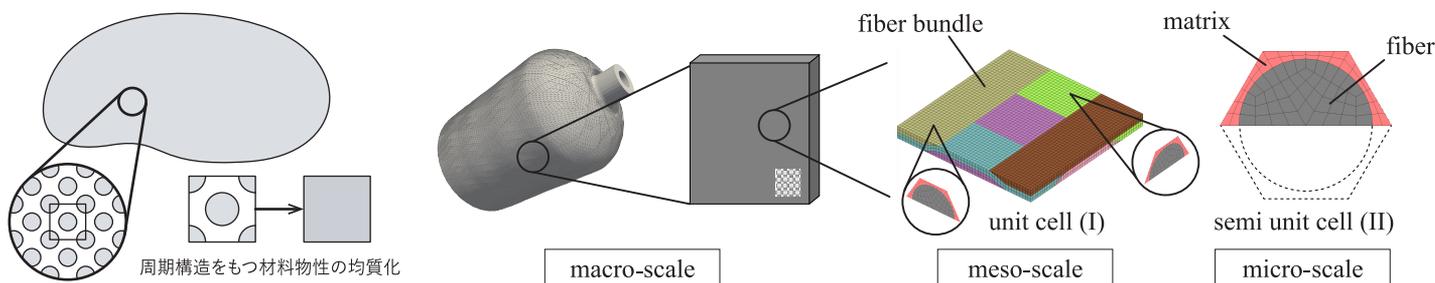


グラフ構造で一般化された静的負荷分散フレームワークに基づく マルチスケールシミュレータの開発

森田直樹、三目直登、松田哲也、馬込 望、塚本顕成、今口稜介、相良翼、新館京平、
谷聖斗、清水嶺、平野皓大 (筑波大学)、
柴沼一樹、Tianyu He、古橋郁一、吉川暢宏、奥田洋司、林雅江 (東京大学)

研究背景

高比強度・比剛性への期待から、炭素繊維強化プラスチックに代表される複合材料の強度部材への利用が期待されている。複合材料の強度評価は、炭素繊維と樹脂を区分するマイクロ構造および部材全体のマクロ構造の両者における精緻な応力・ひずみの評価が重要となる。時間と費用を要する実験的強度評価手法の代替を目的に、数値シミュレーションによる定量的強度評価に期待が寄せられている。本研究では、メゾ構想・マイクロ構造が周期的であるという仮定の元、マクロ・メゾ・マイクロ構造それぞれで連立一次方程式の求解を必要とする。詳細な強度評価のため、マクロ・メゾ・マイクロ構造のそれぞれで精緻なシミュレーションの必要性が高まっており、**計算時間・メモリ容量の実用的観点からマルチスケールシミュレータの並列化が課題**となる。



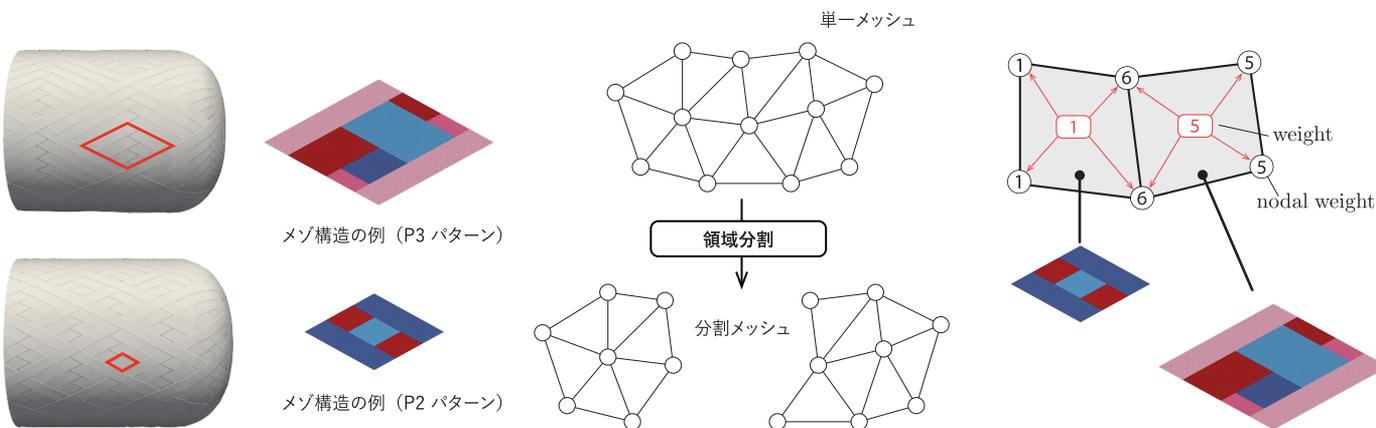
均質化法の概略図。樹脂と炭素繊維のように、異種材が周期的に配置されていると仮定し、平均的な材料物性を得る。

マルチスケール解析手法を用いた炭素繊維強化プラスチック製高圧容器のシミュレーション例。高圧容器全体の形状を表現するマクロ構造、炭素繊維束の織り構造を表現するメゾ構造、炭素繊維と樹脂を分けて表現するマイクロ構造で構成される。これら3スケール間で均質化・局所化計算を行い、構造全体の強度評価を行う。

研究目的

マルチスケールシミュレータの並列化では、積層構成や繊維含有率、材料分布の違いから、全体構造に割り当てられるマイクロ構造の種類が異なる。この背景において効率的な並列計算を実現するためには、**マイクロ構造の計算時間の不均一性を考慮した負荷分散が必要**になる。またマルチスケールシミュレーションでは、全体構造・マイクロ構造を解像するメッシュ情報のみならず、マイクロ構造の周期性を表現する周期境界条件の情報を取り扱う必要があり、メッシュ情報のみでは負荷分散が実現できない。そのため、**グラフ情報に変換・一般化させた負荷分散フレームワークを開発し、研究基盤として用いる。**

以上より本研究では、メッシュ情報のみでは表現できない情報をグラフ構造に変換・一般化させた負荷分散フレームワークに基づき、**マルチスケールシミュレータに向けた負荷分散フレームワークの高度化と、並列マルチスケールシミュレータの開発および並列計算性能評価を目的とする。**



フィラメントワインディング法で作製される高圧容器から生じる炭素繊維束のメゾ構造の例。巻き角度などのパラメータによって、メゾスケールの周期性に違いが生じ、並列シミュレーションでは計算量の不均一化に繋がる。

標準的な有限要素法における領域分割法の概略図。標準的な有限要素解析では、分割メッシュの節点数が等しく（計算量の均一化）、エッジカットが最小となるよう（通信量の最小化）にデータ分割を行う。

グラフ分割のための節点重み設定の概略図。マクロスケール要素に異なる種類のメゾ構造メッシュが設定されている場合、メゾ構造メッシュの節点数に比例した要素重みから、節点重みを取得する。

[1] Naoki MORITA, Tomoya TAKAHASHI, Tetsuya MATSUDA, Masahito UEDA, Tomohiro YOKOZEKI, Wataru IWASE, Parallel homogenization analysis of FW-CFRP for high-pressure hydrogen tanks considering fiber waviness, JSME Mechanical Engineering Journal, No. 24-00013, 204.