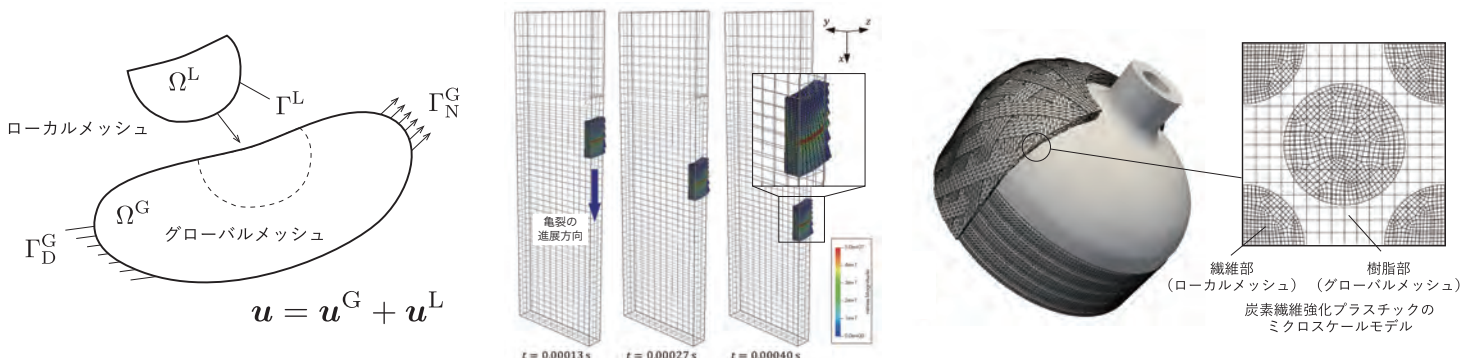


# グラフ構造で一般化された動的負荷分散フレームワークの構築と重合メッシュ法への適用

森田直樹 (筑波大学)、三目直登 (筑波大学)、柴沼一樹 (東京大学)、松田哲也 (筑波大学)、吉川暢宏 (東京大学)、奥田洋司 (東京大学)

## 研究背景

シミュレーション領域全体の挙動を表現する粗いグローバルメッシュと、注目領域の詳細挙動を表現するローカルメッシュを重ね合わせ、**有限要素法の枠組みで局所的な高精度化を実現する「重合メッシュ法」**は、微小な領域で生じる作用が領域全体へ支配的な影響を与える現象のシミュレーションに利用される。ローカルメッシュによる**局所的な高精度化により計算自由度を削減できる点に加え、両者のメッシュを独立に生成可能なことからメッシュ生成・メッシュ制御が容易な点が利点**である。



重合メッシュ法の概要図。ローカル領域では、変位  $u$  をグローバルメッシュおよびローカルメッシュにおける変位の和  $u^G + u^L$  で表す。

アクリル試験体を用いた高速亀裂伝播の重合メッシュシミュレーション。亀裂周辺を詳細に解像するローカルメッシュが、亀裂進展に合わせて移動する。

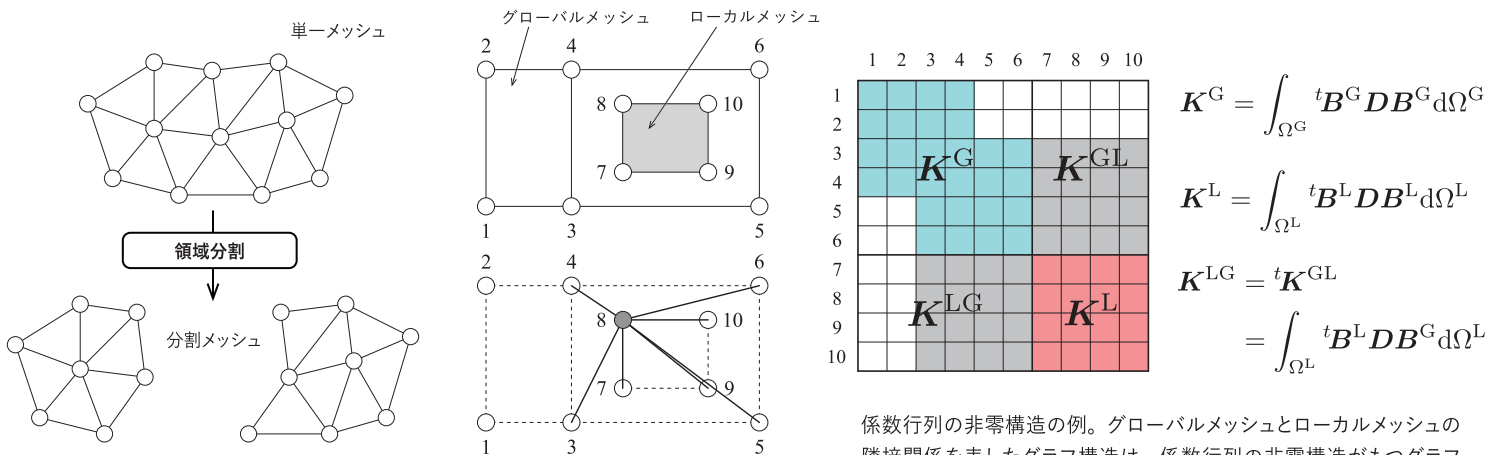
複合圧力容器のマイクロスケール強度評価のための重合メッシュモデル。ローカルメッシュ・グローバルメッシュを独立に生成可能でメッシュ生成が容易である。

## 研究目的

解析対象全体の形状や関心領域で生じる現象を詳細に解像する場合、両者のメッシュ解像度が増大し、計算自由度を削減できる重合メッシュ法を利用してもなお計算コストが大きくなる。標準的な有限要素法では、メッシュ構造を利用した領域分割法により良好な並列化効率を得ている。この手法では、1 節点あたりの計算時間が同一という仮定がある。

重合メッシュ法の場合、ローカル・グローバルメッシュ間の相互作用に関する計算コストが高いため、**(a) 従来の領域分割法では計算コストが均一にならず、高い並列計算性能を実現できないことが問題となる。**また亀裂伝播シミュレーションの例では、亀裂の進展に伴ってローカルメッシュが移動するため、時間方向へ計算が進むごとにローカルメッシュとグローバルメッシュの内包関係が変化することで、**(b) 分割領域ごとの計算コストが刻々と不均一に変化し、計算性能が著しく低下する。**

以上の状況から、実用に供する重合メッシュシミュレータの実現には、その並列計算性能の向上が重要となっている。そこで本研究では、問題 (a)、(b) を解決するため、高い並列計算性能を実現する動的負荷分散フレームワークを構築し、このフレームワークを用いた重合メッシュシミュレータの開発を目指す。2021 年度は、問題 (a) に対し、静的負荷分散フレームワークを構築する。



標準的な有限要素法における領域分割法の概要図。分割メッシュの節点数が等しく、エッジカットが最小となるようにデータ分割を行う。

ローカルメッシュを構成する節点の隣接関係を表したグラフ構造の例。このグラフ構造によりメッシュ分割を行う。

係数行列の非零構造の例。グローバルメッシュとローカルメッシュの隣接関係を表したグラフ構造は、係数行列の非零構造がグラフ構造に一致する。行列ベクトル積を考えたとき、重合メッシュ法特有の非零構造から 1 節点あたりの計算時間は同一とはみなせない。そこで重みつきグラフ構造によるメッシュ分割により負荷分散を目指す。