

平成 26 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	機械物理工学専攻
研究者 (ふりがな)	鈴木 良郎 (すずき よしろう)
タイトル	次世代マルチスケール解析 SDM の非線形解析及び非定常解析への拡張
助 成 名	平成 26 年度 工系若手奨励賞
採択金額	1,200,000 円

研究の背景

研究者自身が開発したシームレスドメイン法 (seamless domain method, SDM) は新しい原理に基づくマルチスケール数値解析技術である。

これまでに SDM を様々な線形問題 (熱伝導問題や弾性問題) に適用し、その有効性を検証してきた。その結果、線形問題であれば、計算コストを低く抑えながら、非常に高精度の解を算出できることが示された。

平成 26 年度は非線形の問題を SDM で取り扱えるよう、計算原理の拡張を行った。

結果と考察

例として図 1 のような不均質な棒の定常熱伝導問題を考える。棒には、白色から黒色のグラデーションがついているが、色の異なる箇所は異なる材料物性 (異なる熱伝導率) を持つものとする。有限要素法 (FEM) で棒の温度分布を計算するには、図 1 の赤線のように、物性のことなる部分をそれぞれ別々の要素に分割し、各要素の熱の収支を計算すればよい。

一方、SDM では棒を細かくモデル化することをせず、粗く配置した点 (粗視化点) のみで計算する。問題が線形 (熱伝導率が温度に依存して変化しない) であれば、中央粗視化点の温度 u_2 は両隣の粗視化点の温度 u_1 と u_3 の重み付き平均で $u_2 = a_1 u_1 + a_2 u_3$ と表される。ここで a_1 と a_2 は重み付き係数である。SDM では事前に重み付き係数を求めておくことで、粗視化点のみで対象物をモデル化して効率的な計算ができる。

ただし、非線形問題 (熱伝導率が温度に依存して変化する場合)、 u_2 を u_1 と u_3 の重み付き平均で表すことができなくなる。そこで本研究では、三つの粗視化点の温度の関係性を統計的に求めるため、応答曲面法を利用する。

事前に、 u_1 と u_3 を様々な変化させて図 1 の棒の非線形有限要素解析を行い、その都度 u_2 がいくつになるか計算し、図 2 右図の黒丸のようにプロットしていく。そして黒丸を通る曲面を最小二乗近似した応答曲面により u_1, u_2, u_3 間の関係性 ($u_2 = f(u_1, u_3)$) を定める。この応答曲面を用いることで非線形問題を SDM により解くことが可能となる。すなわち粗視化点のみで対象物をモデル化し、すべての粗視化点の温度を低計算コストで求めることが可能となる。

長い棒の温度を計算する際も SDM の計算コストは低く抑えられる。例えば図 1 の棒を 50 個つなげた長い棒を考えると、FEM では膨大な要素数 (図 1 の赤線で区切られた領域の数の 50 倍) を要する。一方で SDM では、わずか 101 個の粗視化点で棒全体をモデル化できる。この場合は、 u_1, u_2, u_3 間の関係性 ($u_2 = f(u_1, u_3)$) は u_i, u_{i+1}, u_{i+2} ($i=1, 2, \dots, 99$) 間の関係性と同じであるため、 $u_{i+1} = f(u_i, u_{i+2})$ とすればよく、新たに別の応答曲面を求める必要はない。

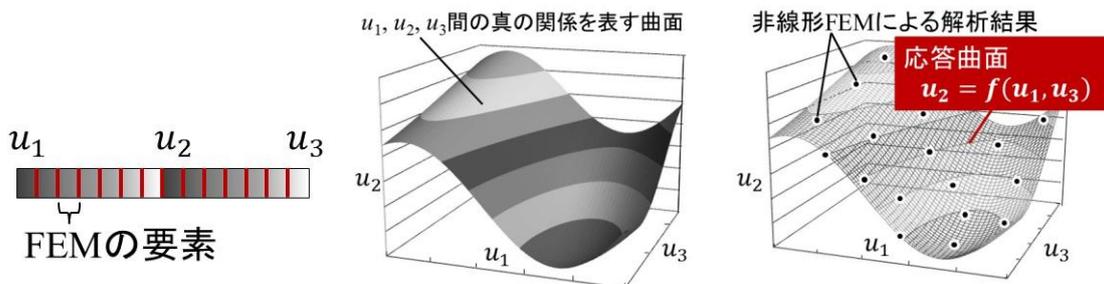


図 1 不均質な棒

図 2 u_1, u_2, u_3 間の真の関係性 (左)、統計的に推定した関係性 (右)

非線形熱伝導問題の解析例題

図 3 の左上図に示す多数の円形部を有する不均質体の温度分布を、提案手法を用いて取得することを考える。右上図に示すとおり、円形部の熱伝導率は温度に依存して急激に変化するように設定されている。この性質により、本例題は強い材料非線形性を有することとなる。

わずか 925 点しか持たない SDM モデルの温度分布(左下図)は、20 万節点以上から成る有限要素解析モデルの温度分布(右下図)とほぼ完全に一致した(平均温度誤差 0.03 度)。また SDM の計算時間は有限要素法の 32%程で済んだ。上述の成果を下記の論文にまとめ投稿し、現在は採否の審査を受けている。

Yoshiro Suzuki, Multiscale seamless-domain method for solving nonlinear problems using statistical estimation methodology, International Journal for Numerical Methods in Engineering, under review.

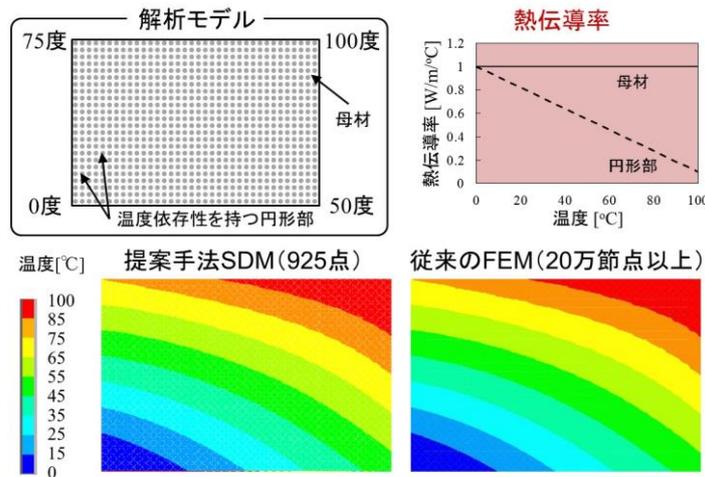


図 3 非線形熱伝導問題の例題(左上), 設定した熱伝導率(右上), 提案手法の結果(左下), FEM の結果(右下)

結論と今後の課題

マルチスケール数値解析手法 SDM と応答曲面法を組み合わせ、非線形問題の数値解を効率的に取得する計算方法を開発した。二次元、非線形、かつ定常の熱伝導問題(温度依存性のある熱伝導率を持つ不均質体)を提案手法で解いたところ、通常の有限要素解析に対する平均温度誤差は、最大温度に比べ 0.03 % と非常に小さく、計算時間は 68 % 削減できた。今後は提案手法を非線形の弾塑性問題などに適用し、その汎用性を検証する予定である。

使用内訳書

費目	内訳	金額
備品 1		0 円
備品 2		0 円
消耗品		283,306 円
旅費	国内学会 4 件, 海外学会 1 件	548,090 円
その他	英語論文校正	368,604 円
合計		1,200,000 円

記入上の注意:

備品は、品名ごとに記入。
 差額が生じた場合は、消耗品で調整。
 消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。