

金属材料の高温クリープ損傷を対象としたマルチスケールモデリング

Multiscale modeling of high temperature creep damage in metallic materials

東京大学, °柴沼 一樹

The University of Tokyo, °Kazuki Shibanuma

E-mail: shibanuma@struct.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、金属材料の高温クリープ損傷という支配因子やメカニズムが多岐にわたる複雑な現象を定量的に説明・予測することを目的として、ナノスケールの分子動力学解析とマクロスケールの有限要素解析を接続するためのミクロスケールモデルを構築した。

本モデルは、微視組織モデル、粒成長モデル、ボイド生成・成長モデルの3つのサブモデルを連成した統合化モデルとして構築した。微視組織モデルでは、4段階のデータ構造（結晶粒、粒界ファセット、三重線、四重点）で幾何情報を記述し、3次元多結晶体を自動生成するアルゴリズムを構築した。粒成長モデルでは、粒界移動および粒界拡散の2つのメカニズムを考慮することで、微視的変形や巨視的ひずみ速度を再現した。ボイド生成・成長モデルでは、粒界の相対運動に基づいてボイド生成を定式化し、その成長挙動は粒界およびボイド表面での拡散流束に基づいて評価した。これらのサブモデルを統合することで、高温クリープ損傷の進展挙動を多結晶レベルで再現可能なモデリングの枠組みを確立した。

モデルの妥当性を検証するために、まずその変形挙動について、粒径や応力がひずみ速度に及ぼす影響が理論式と一致することを確認した。ボイドの生成・成長については、純ニッケルを用いた実験との比較により、粒界上での生成位置や成長形状を高精度で再現できることを示した。

さらに、構築したモデルを用いて各種因子の影響を評価した結果、多軸応力状態下では相当応力を用いることで変形挙動を一元的に整理でき、また応力三軸度が高まるとボイド進展が加速する傾向が明らかとなった。加えて、粒径の分散が大きいほど損傷抵抗性が低下することを示した。これにより、本モデルが耐熱金属材料の外力・材料設計に有効なツールであることを示した。

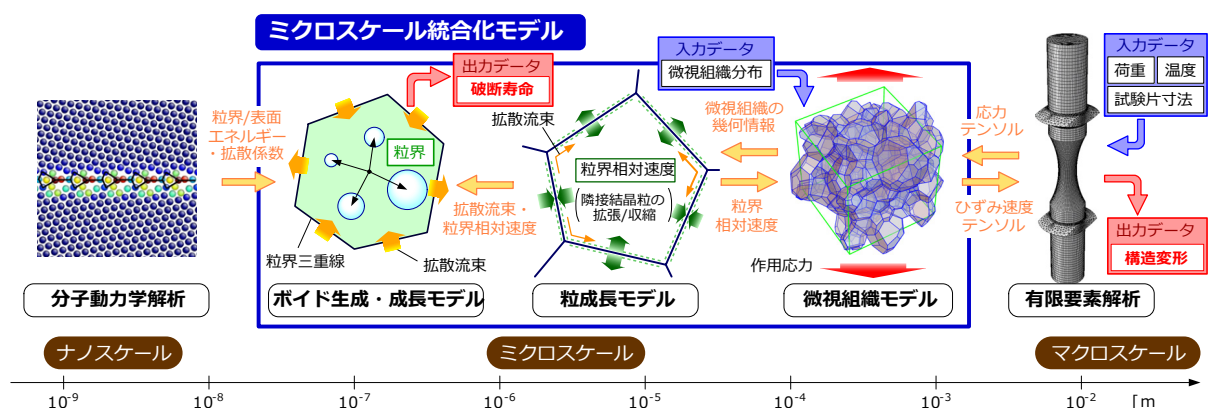


図1 金属材料の高温クリープ損傷を記述するマルチスケールモデリング

参考文献： K. Shibanuma et al., Materials & Design 244 (2024), 113198.
K. Sagara et al., Materials & Design 244 (2024), 113197.