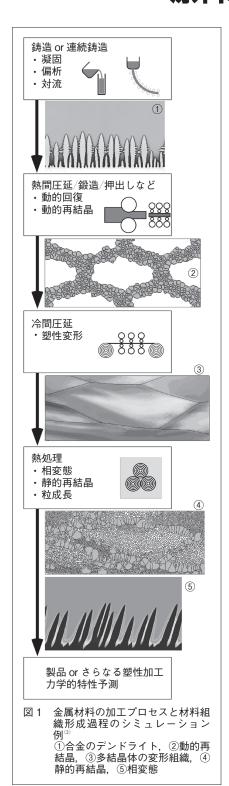
# **TOPICS**

# フェーズフィールド法と有限要素法による材料組織設計 - 原料から製品の強度評価まで -



## 1. はじめに

金属材料の降伏応力や加工硬化など のマクロな材料特性を支配しているの はミクロな材料組織であり、所定の材 料特性を達成するためには材料組織を 適切にコントロールすることが重要で ある. しかしながら、材料は製品にな るまでに多くの加工プロセスを通り, 材料組織は各プロセスにおいて変化す る. ここで、材料組織は前のプロセス で形成された組織に依存するため、原 料の溶融から製品の仕上げまでの加工 プロセス全体における組織予測が必要 となる. これまで、個々のプロセスに おける組織予測に関する研究は多く行 われ、凝固・再結晶・相変態などは材 料側の研究者が、塑性加工など力学を 伴う組織予測は機械側の研究者が別々 に行ってきた. しかしながら, これま で以上に精度の高い材料組織設計のた めには、材料・機械という複合学問領 域からの組織予測を行う必要がある. さらに, 実験による試行錯誤的な材料 開発は多大な労力を要するため、体系 的な評価の可能な数値シミュレーショ ン手法の構築が急務である.

#### 2. フェーズフィールド法

最近, 強力な材料組織予測ツールと してフェーズフィールド法 (Phase-Field Method) が注目されており, 凝固, 再結晶, 相変態, 結晶成長, 転 位. き裂. 流体. バイオメカニクス. 最適設計などマテリアルサイエンスに おけるダイナミクスを伴うさまざまな 現象に適用されている(1). フェーズ フィールド法の利点は, 複雑な材料組 織形態を形成する界面の移動を比較的 簡単に、かつ精度良く再現できること である. しかしながら, フェーズフィー ルド法だけでは加工プロセスすべてで 形成される組織を予測することは困難 である. そこで. 結晶塑性論や均質化 法に基づく有限要素法を連成させるこ とで、加工プロセス全体を網羅するこ とが可能となる.

### 3. 材料組織形成シミュレーション

図1は金属材料が原料から製品になるまでの加工プロセスと、フェーズフィールド法と結晶塑性有限要素法を用いた材料組織形成過程のシミュレーション例を示している<sup>(2)</sup>.

炉の中で成分を調整された溶融状態にある材料は、鋳造時の凝固を経て固体となる.この際、デンドライトなどの凝固組織が形成され、材料の内部には偏析により濃度の高い領域や空孔などの材料欠陥が形成される.図1-①

はフェーズフィールド法による2元合 金の凝固シミュレーション結果であ り、デンドライト間に濃度の高い領域 が形成していることがわかる. 図1-②は、引き続いて行われる熱間加工工 程で生じる動的再結晶のフェーズ フィールドシミュレーション結果であ り, 初期粒界から再結晶粒が核生成し. 成長する様子が再現できている. 図 1-③は冷間加工時に材料内部に蓄積 されるエネルギーを結晶性有限要素法 によりシミュレートした結果であり, この結果を用いて、引き続いて行われ る熱処理時の再結晶フェーズフィール ドシミュレーションが図1-④のよう に行われる. 図1-⑤はFe-C 合金の 粒界フェライトからのウイッドマンス テッテンフェライトの成長シミュレー ション例である.

フェーズフィールドシミュレーションの結果は材料組織形態の情報を与えるため、得られる組織から代表体積要素を作成し、均質化法による力学的特性予測を行うことで、組織に依存した材料の評価が可能である<sup>(3)</sup>.このように、組織予測から力学的特性予測までを一貫して行うことができる.

#### 4. おわりに

フェーズフィールド法の出現により、異なる加工プロセスで形成される材料組織を一つの手法で精度良く予測することが可能となってきている. さらに、フェーズフィールド法が苦手をする塑性変形組織評価に有限要素法でする型性変形組織評価に有限要素法ではる材料組織予測と製品の定定おける材料組織予測と製品のではにおける材料組織予測と関語である。最近では(社)日本機械学会においてもこのような研究が多発表されており、今後のさらなる発展が期待される.

(原稿受付 2008年9月26日) [高木知弘 京都工芸繊維大学]

#### ●文 苗

- (1) http://www.nims.go.jp/mpsg/koyama\_ page.htm
- (2) http://www.cis.kit.ac.jp/~takaki/
- (3) Yamanaka, A., Takaki, T. and Tomita, Y., Coupled simulation of microstructural formation and deformation behavior of ferritepearlite steel by phase-field method and homogenization method, *Mater. Sci. Eng.* A, 480 (2008), 244-252.