

まえがき

本書は、学部学生、大学院生、凝固・鑄造に関わる技術者や研究者を対象に、凝固工学の中でも凝固組織形成の基礎を学ぶための入門書として執筆した。大学や社会人向けの講座での講義や著者が専門書¹⁻⁵を参考に凝固工学を学んだ経験をふまえて、本書を構成した。第1章は、凝固に関わる材料プロセスや金属材料の凝固現象の特徴を簡単に述べている。第2章から第6章は、固液界面の性質、核生成、界面の安定性、デンドライト成長、固液界面での溶質の分配など凝固現象の素過程とも言える基礎的な事項を取り上げている。第7章は、固液界面における非平衡が組織制御の可能性を広げることを述べている。第8章と第9章は、それぞれ不変系反応と凝固組織の関係、凝固組織形成に関係する欠陥の形成について述べ、第7章までの基本事項を応用した内容を含んでいる。第8章の構成は、凝固組織を共晶反応など不変系反応別に分類しているように見えるが、不変系反応と凝固組織形成は一对多の関係であり、不変系反応は凝固組織を決定する一つの要因に過ぎない。本意は、必要以上に不変系反応に囚われず、凝固組織の選択を理解するための一助になるように多様な凝固組織形成を載せた。また、社会人向け講座の資料⁶を本書の目的に合うように手直しして、第9章を構成した。

学部で凝固を基礎から学ぶときには、章立てに従って読み進むことを想定しているが、必ずしも各章の内容をすべて把握する必要はない。凝固組織を基礎から学ぶときに推奨する箇所が分かるように目次にマーク(*)を入れているので、参考にいただければと思う。一方、研究・開発などの業務で凝固組織に関わっている場合には、凝固組織や鑄造欠陥など具体的な課題を持って本書を開けることも想定される。このような場合には、第8章や第9章の関連箇所を読み、必要に応じて前章で基礎事項を確認できるような構成にしている。また、論文や技術報告を読んだり、研究発表の討論に参加したりするための基礎的な事項を含めたつもりであるが、それぞれの詳細を調べる端緒になる文献を章末にあげた。

凝固工学や鑄造工学の学術・技術範囲は広く、本書が取り扱う凝固組織形成はその一分野である。鑄造方案など鑄造工学⁷、鑄鉄を中心とした凝固組織と鑄造プロセス⁸、伝熱解析とシミュレーション^{9,10}、フェーズフィールド法による組織形成シミュレーション^{11,12}など、本書に密接に関わる分野についても学ぶきっかけとなる文献をリストに加えた。本書の執筆時にも参考にさせていただいた。

X線イメージングによる金属材料の凝固現象の時間分解・その場観察は、本書を執筆する動機の一つである。SPring-8などの大型放射光施設の稼働とともに、2000年ごろから高輝度の硬X線を利用した凝固現象のその場観察がいくつかの研究グループで行われてきた。現在では、時間分解トモグラフィー（三次元観察＋時間＝4D-CT）により、アルミ合金や鋼のデンドライト成長などの凝固現象を三次元で観察できる。このような新たな「目」は、研究だけでなく教育においても有益であると信じて、本書では可能なかぎりX線イメージングの画像を使った。金属材料の凝固している姿が好奇心を刺激できれば、研究者として望外の喜びである。

本書では、凝固現象を説明するために物性値や合金状態図を使っている。物性値はデータブック^{13,14}に掲載されている値を利用した。合金状態図は書籍・データベース^{15,16}を参考にして、凝固現象を説明する目的の状態図を作図した。細部まで相平衡関係のデータを再現しているわけではないので、必要に応じて書籍やデータベースの合金状態図を参照いただければと思う。

最後に、本書に掲載した凝固過程のX線イメージングは科学研究費補助金などの研究プロジェクトの成果であり、これまでに在籍した研究室のスタッフ、大学院生、学部学生の献身的な貢献なしには実現し得なかった。心から感謝申し上げるとともに、本書が少しでも研究成果の還元になることを願いたい。また、忍耐強く執筆をお世話いただいた内田老鶴圃の内田学氏に感謝を申し上げます。

2022年6月

安田 秀幸

参考文献

1. 金属の凝固—結晶の生れてゆく姿をみつけるまでとその後の記録, 大野篤美, 地人書館(1984).
2. Solidification processing, M. C. Flemings, McGraw-Hill, Inc.(1974).
3. Fundamental of solidification, W. Kurz, D. J. Fisher, Third edition ed, Trans Tech Publication(1989).
4. Solidification, J. A. Dantzig, M. Rappaz, Lausanne, Switzerland, EPFL Press (2009).
5. Science and engineering of casting solidification, D.M. Stefanescu, Springer (2002).
6. 第 241 回西山記念技術講座先端鉄鋼精錬プロセス技術における基礎と実践研究
4. 凝固過程におけるマクロ偏析の発達, 安田秀幸, 日本鉄鋼協会(2021).
7. 基礎から学ぶ鑄造工学, 鑄造工学会編集委員会編, 日本鑄造工学会(2015).
8. 新版 鑄造工学, 中江秀雄, 産業図書(2008).
9. フェーズフィールド法入門(計算力学レクチャーコース), 日本計算工学会編, 小山敏幸, 高木知弘, 丸善出版(2013).
10. フェーズフィールド法—数値シミュレーションによる材料組織設計, 高木知弘, 山中晃徳, 養賢堂(2012).
11. 鑄造伝熱工学, 新山英輔, アグネ技術センター(2001).
12. コンピュータ伝熱・凝固解析入門 復刻版 鑄造プロセスへの応用, 大中逸雄, 丸善プラネット(2019).
13. 改訂 4 版 金属データブック, 日本金属学会編, 丸善(2004).
14. 理化学辞典 第 5 版, 長倉三郎, 井口洋夫, 江沢洋, 岩村秀, 佐藤文隆, 久保亮五編, 岩波書店(2001).
15. Desktop Handbook Phase Diagrams for Binary Alloys, H. Okamoto. Materials Park, OH, ASM International(2000).
16. ASM Alloy Phase Diagram Database [Internet]. ASM International(2006).