



Title	Growth Morphology of Solidification Microstructure and Anisotropy of Solid-liquid Interfacial Energy [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	KIM, GEUN WOO
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15107号
Issue Date	2022-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/86383
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Geunwoo_Kim_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 KIM GEUN WOO

審査担当者 主 査 教 授 大野 宗一
 副 査 教 授 橋本 直幸
 副 査 准教授 坂口 紀史

学位論文題名

Growth Morphology of Solidification Microstructure and Anisotropy of Solid-liquid
Interfacial Energy
(凝固組織の成長形態と固液界面エネルギーの異方性)

多くの金属材料は凝固プロセスを経て製造されるため、凝固組織制御は重要な課題である。デンドライト組織の形態は固液界面エネルギーとその異方性によって決められる。立方晶系の場合、二つの異方性パラメータ ϵ_1 と ϵ_2 によって異方性が特徴付けられ、前者の寄与が大きいときには $\langle 100 \rangle$ 成長が生じ、後者の寄与が大きいときには $\langle 110 \rangle$ 成長が生じる。従来、fcc 合金を初めとする立方晶系合金の凝固組織に関する研究においては、 ϵ_1 のみが考慮され、 $\langle 100 \rangle$ 成長のデンドライト組織のみが対象とされてきた。しかしながら、近年、いくつかの fcc 合金系においては、溶質濃度の変化に応じて、デンドライトの成長形態が $\langle 100 \rangle$ から $\langle 110 \rangle$ モードに遷移する現象が報告されている。凝固組織を高精度に制御するためには、 ϵ_1 と ϵ_2 の変化に応じて凝固組織が如何に変化するのかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では組織形成シミュレーションの方法であるフェーズフィールド法を用い、 ϵ_1 と ϵ_2 の変化に伴う組織変化を等温凝固と一方向凝固を対象に系統的に調査した。

また、 ϵ_1 と ϵ_2 は実測が困難な因子であり、実際にこれらが求められた合金系は非常に少ない。分子動力学法 (MD) を使った算出も試みられているが、原子間ポテンシャルの精度が十分に高くないことが多く、その信頼性も十分ではない。そこで本研究では、フェーズフィールド法と機械学習を組み合わせ、 ϵ_1 と ϵ_2 を推定する新しい方法の開発も試みた。

本論文は 6 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景として固液界面エネルギーの重要性、凝固組織の多様性、さらに固液界面エネルギーの異方性パラメータを測定する必要性について説明し、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、本研究で用いた定量的フェーズフィールド法とその計算方法について説明

した。

第3章では、fcc合金の等温凝固を対象に、 ϵ_1 と ϵ_2 の変化にともなう組織形態の変化を詳細に調査した結果を説明している。等温凝固における組織形態は、 $\langle 100 \rangle$ 成長モード、 $\langle 100 \rangle$ -like hyperbranched 成長モード、 $\langle 110 \rangle$ -like hyperbranched 成長モード、そして $\langle 110 \rangle$ 成長モードの四種類に分類できることを示し、これらのモードの成長領域を形態マップとしてまとめた。さらに、その形態マップの凝固条件依存性を調査し、初期過冷度が大きい場合や分配係数が小さい場合には、fcc合金における典型的な成長モードである $\langle 100 \rangle$ 成長モードが生じにくくなることが明らかになった。

第4章では、一方向凝固を対象に形態変化の調査を行った。特に異方性パラメータの変化のみではなく、固相の $\langle 100 \rangle$ と熱流方向との角度の影響も調査した。一方向凝固の場合、成長形態は $\langle 100 \rangle$ 成長モード、seaweed 成長モード、そして $\langle 110 \rangle$ 成長モードの三種類に分類できることが分かった。そして、これらのモードの成長領域を形態マップで総括し、その形態マップの引抜速度、温度勾配依存性を調査した。その結果、引抜速度が減少するほど seaweed 成長モード領域が少し広くなることが明らかになった。

第5章では、二つの異方性パラメータを推定する逆解析法を機械学習によって構築した。デンドライトの三次元形態を特徴付ける interface shape distribution (ISD) マップを機械学習の入力データとして用いた。機械学習の方法としては画像解析によく使われる Convolutional Neural Network (CNN) を用いた。モデル合金系において自由デンドライト成長のフェーズフィールド・シミュレーションを行い、この方法の精度を検証したところ、 ϵ_1 と ϵ_2 ともに誤差 5% 以下の精度で推定できることが明らかになった。

第6章は本研究の総括である。

これを要するに、著者は固液界面エネルギーの異方性強度と凝固組織の関係を明らかにするとともに、異方性強度を求める新しい方法を開発した。本成果は、凝固工学の分野における工学的及び学術的な進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。