HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Solidification and Segregation in Continuously Cast Steel [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	藤村, 俊生
Citation	北海道大学. 博士(工学) 乙第7078号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/74156
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	TOSHIO_FUJIMURA_review.pdf (審査の要旨)

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　藤村 俊生

審査担当者　主　査　教　授　鈴木 亮輔
副　査　特任教授　松浦 清隆
副　査　教　授　岩井 一彦
副　査　准教授　大野 宗一
副　査　准教授　大参 達也

学位論文題名

Solidification and Segregation in Continuously Cast Steel
(鋼の連続鋳造における凝固と偏析に関する研究)

鉄鋼材料の凝固計算においては固液共存域内の固相率分布と固相点温度が必須であるが、いずれも未解明もしくは十分確立されているとは言えない。このため、従来の凝固計算においては,　これらについて仮定の式や未検証の推定式を用いて解析がなされてきた。しかしながら、連続鋳造など実用鋼塊において高温である鉄鋼の固相点における微少熱変化を精度良く実測することは困難であり、計算結果の検証が困難な状況が継続している。その結果、現在も尚、固液共存域内の温度分布についての計算結果の信頼性は低い。固相点温度についての各種推定式間の差は 40〜50 K におよび、計算者もしくは計算方法によって結果が大きく異なっているのが現状である。また、固相率分布は熱のみならず各溶質元素の固液間の再配分と物質移動に影響する。そのため、凝固現象は熱と多数の溶質元素が関わる複雑な非線形の三相変態を伴う自由境界値問題となっており、解析解は現在まで未だ得られてはいない。これを数値解析によって解析するためには多くの未知の物性値について固液共存域内の全要素および全体についてこれら未知の物性値 (固相率分布、固相点温度および固液共存域内の各溶質の相互拡散係数など) を最適化する必要があり熱と物質移動方程式の連立解を数値的に得ることも容易ではない。従来にこうした解析の報告例は見当たらない。

このように、鉄鋼の固相点温度については連続鋳造時に発生する内部欠陥の防止に重要な凝固解析に必須の重要物性値でありながら、現在においても尚、その信頼性は不十分であり、内部温度についての凝固解析結果の信頼性が低い状態が続いている。

本研究は解析的手法で陽的に解を追求し、非線形熱移動と溶質拡散を同時に解き、部分的に近似を導入するも解析解として固相線温度を明らかにする数学的解析である。簡易に計算出来るこの解析解は、連続鋳造される鉄鋼材料の固液共存域における温度と溶質の分布を同時に示すことができる。

この解析解の導出にあたり、連立微分方程式を一度に解くことは難しいため、本研究では 3 つのモデルを用いて、固液共存域での固相率と温度の線形性を仮定して段階的に順次レベルを上げて解いた。モデル I では簡単な境界条件である Dirichlet 条件を採用し、凝固界面位置と時間の関係を示す凝固係数については実測値を取り入れて、熱と物質移動式を同時に数学的処理で解く手法を発展させた。

モデル II では固液共存相内の数値計算に通例利用されている Neumann の境界条件を採用した。

これは境界前後の熱移動を一致させる手法であり、界面における熱蓄積はないとする一般的に用いられている条件である。モデルをより簡単にするため、鉄-炭素二元系における凝固問題に適用して妥当性を調査した。モデルによる計算結果は数値的な熱解析結果によく一致し、さらに低炭素濃度域での Neumann の解に合致した。

モデル III はモデル II を多元素系に拡張したもので、普通鋼の固相線温度の算出に適用できる。多くの鋼種の普通鋼で固相線温度の算出を行ったところ、数値解に一致するのは勿論、実験結果である高マンガン含有鋼の非延性温度 (延性消失温度) の実測値に合致し、熱分析結果にも一致した。従来、一般的に用いられて来た等価比熱法による数値的解析において本モデルによる固相点温度予測値を採用すると本モデル III と極めて良い一致を示した。とりわけ、固相線温度を探し求める数値計算負荷を本解析は大きく低減出来ることが特徴である。

実操業で連続鋳造技術に取り入れられている電磁撹拌の最適化を図るため、本モデルによる固相点温度推定値を用いて解析を行った。こうした数値的解析結果と実操業との対比を行い、貴重な知見を得た。さらに、簡単な合金系でありかつ類似性のある鉛-錫合金での実験では、連続鋳造時の固相率が小さい領域での撹拌こそが結晶の微細化に大きく寄与し、またマクロな偏析を改善することが分かった。

以上、本研究で導いた解析解は鉄鋼材料の高速な凝固方法である連続鋳造を含む材料工学分野に寄与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があると認める。