



Title	鋼の高速連続鋳造用モールドフラックス開発のための 鋳型内界面現象ならびに融体物性に関する研究
Author(s)	花尾, 方史
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48716">https://hdl.handle.net/11094/48716</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていない ため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利 用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka- u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文につい て</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	花尾方史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第21577号
学位授与年月日	平成19年9月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学位論文名	鋼の高速連続鋳造用モールドフラックス開発のための鋳型内界面現象ならびに融体物性に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 田中 敏宏 (副査) 教授 野城 清 教授 碓井 建夫 教授 安田 秀幸

### 論文内容の要旨

本研究は、鉄鋼材料を製造する際の圧延素材であるスラブの連続鋳造に対して重大な課題とされてきた「亜包晶鋼スラブの表面縦割れ」および「鋳型内のモールドフラックス巻きこみに起因する極低炭素鋼スラブ表層の清浄性悪化」という2つの現象を防止するためのモールドフラックスの開発およびその効果の検証、ならびに関連する諸現象の機構解明を目的とした。本研究の概要は以下に記すとおりである。

第1章では、上述の課題に関する背景および従来の研究について概括し、本研究の目的および課題を述べた。

第2章では、溶融スラグ中におけるFイオンとNaイオンとの親和性を考慮することにより、モールドフラックス組成と結晶相であるcuspидineとの相関係を明らかにし、鋳型内初期凝固殻の緩冷却を実現できるモールドフラックスの設計指針を見出した。その指針に基づき、cuspидineが初晶として晶出するようなモールドフラックス組成を設計することにより、亜包晶鋼スラブの表面縦割れ防止のための新しいモールドフラックスを開発することができた。

第3章では、第2章で開発した新しいモールドフラックスの適用により、亜包晶鋼スラブの表面縦割れを防止するとともに、5.0 m/minの高速鋳造を可能にした実験結果について述べた。第2章で明らかにしたように、cuspидineが初晶として晶出する組成のモールドフラックスを設計することにより、モールドフラックスが鋳型内で形成するフィルム中において、cuspидineの結晶化を著しく促進させることに成功した。この結晶化による緩冷却効果が厚み1mmにも満たない凝固殻の先端部に及ぶことにより凝固殻が均一に形成され、スラブ表面の縦割れが防止されるという機構を解明した。

第4章では、モールドフラックスが鋳型内で形成するフィルムの微細組織構造を明らかにした。メニスカス部におけるフィルムは1mm程度の厚みを有し、凝固殻側に数十ないし数百ミクロンの厚みの液相が存在する。また、この厚みに基づくと、従来報告された鋳型とフィルムとの界面の伝熱抵抗は過大であり、実際の伝熱抵抗はより小さな値であることを明らかにした。さらに、これらの知見から、緩冷却効果の主因は、界面における伝熱抵抗の増大よりも、輻射伝熱の抑制であることを明らかにした。

第5章では、亜包晶鋼の鋳型内における初期凝固挙動について考察し、凝固殻の厚みを凝固時間の関数として扱うことにより、凝固速度ならびに凝固殻の冷却速度を定量的に評価した。更に、スラブ表層のデンドライト組織の観察から、凝固殻の冷却速度に及ぼす鋳造速度の影響を明らかにした。

第6章では、極低炭素鋼スラブ表層の清浄性に対して、モールドフラックスの塩基度を上昇させることができることを見出した。その効果は粘性や密度に依存せず、溶鋼-溶融スラックス間の界面張力ならびに接触角の変化がスラックス巻き込みの抑制に作用する可能性を示した。

第7章では、ニューラルネットワーク計算法を多成分系モールドフラックスの粘度の推算に初めて適用した。本方法の適用により、従来の熱力学モデルよりも良好な精度で、 $\text{SiO}_2$  の広い濃度範囲にわたりモールドフラックスの粘度を推算することを可能にした。

第8章では、Butlerの物理モデルを基本にし、イオン半径を考慮した修正式を適用して、6成分系までの多成分系溶融スラックスについて表面張力を推算し、モールドフラックスの基本的組成である  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{CaF}_2\cdot 3$  元系の表面張力に及ぼす  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  または  $\text{Na}_2\text{O}$  添加の影響を明らかにした。さらに、第7章で導入したニューラルネットワーク計算法を表面張力の推算に対しても適用することにより、モールドフラックスの表面張力の推算精度を向上させることができることを可能であることを示した。

第9章では、本研究の結論ならびに今後明らかにされるべき課題について述べた。

### 論文審査の結果の要旨

鉄鋼材料の圧延素材であるスラブの連続鋳造プロセスにおいて、「亜包晶鋼スラブの表面縦割れ」ならびに「鋳型内のモールドフラックス巻きこみに起因する極低炭素鋼スラブ表層の清浄性悪化」の防止は、鋼の高速連続鋳造を達成し、高品質鋼の生産性向上を推進する上できわめて重大な課題である。本研究では高速連続鋳造用モールドフラックスの開発を目指して、上記の2つの現象を防止するために、鋳型内界面現象の機構解明および関連する融体物性に関する詳細な検討を行っている。本論文はこれらの成果をまとめたもので、得られた結果は以下の通りである。

- (1) 溶融スラグ中における  $\text{F}$  イオンと  $\text{Na}$  イオンとの親和性を考慮することにより、モールドフラックス組成と結晶相である *cuspidine* との相関係を明らかにし、鋳型内初期凝固殻の緩冷却を実現できるモールドフラックスの設計指針を見出している。さらにその指針に基づき、*cuspidine* が初晶として晶出るようにモールドフラックス組成を設計することにより、亜包晶鋼スラブの表面縦割れ防止のための新しいモールドフラックスを開発している。
- (2) *cuspidine* が初晶として晶出するモールドフラックスの組成を設定することにより、モールドフラックスが鋳型内で形成するフィルム中において、*cuspidine* の結晶化を著しく促進させ、亜包晶鋼スラブの表面縦割れを防止するとともに、5.0 m/min の高速鋳造に成功している。この結晶化による緩冷却効果が厚み 1 mm にも満たない鋼の凝固殻の先端部に及ぶことにより凝固殻が均一に形成され、スラブ表面の縦割れが防止されるという機構を解明している。
- (3) モールドフラックスが鋳型内で形成するフィルムの微細組織構造を詳細に調査し、メニスカス部におけるフィルムは 1 mm 程度の厚みを有し、鋼の凝固殻側に数十ないし数百  $\mu\text{m}$  の厚みの液相が存在することを見出している。さらに新たに開発したモールドフラックスによる鋳型内初期凝固殻の緩冷却効果の主因は鋳型とフィルムとの界面における伝熱抵抗の増大よりもフィルム中の *cuspidine* の結晶化による輻射伝熱の抑制であることを明らかにしている。
- (4) 亜包晶鋼の鋳型内における初期凝固挙動について考察し、凝固殻の厚みを凝固時間の関数として扱うことにより凝固速度ならびに凝固殻の冷却速度を定量的に評価するとともに、スラブ表層のデンドライト組織の観察から、凝固殻の冷却速度に及ぼす鋳造速度の影響を明らかにしている。
- (5) 上述の新規開発モールドフラックスは極低炭素鋼スラブ表層の清浄性に対しても有効に作用することを見出し、モールドフラックスの塩基度の増加に伴う溶鋼-溶融スラックス間の界面張力ならびに接触角の変化がモールドフラックス巻き込みの抑制に有効に作用することを明らかにしている。
- (6) ニューラルネットワーク計算法を多成分系モールドフラックスの粘度の推算に初めて適用し、従来の物理モデルよりも良好な精度で  $\text{SiO}_2$  の広い濃度範囲にわたりモールドフラックスの粘度の推算に成功している。
- (7) Butlerの提案した物理モデルに基づき、イオン半径を考慮した新たな推算式を適用して、6成分系までの多成分系溶融スラックスについて表面張力を推算し、モールドフラックスの基本的組成である  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{CaF}_2\cdot 3$  元系の表面張力に及ぼす  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  および  $\text{Na}_2\text{O}$  添加の影響を明らかにしている。さらに、ニューラルネットワーク計算法を

表面張力の推算に対しても適用し、同法の適用がモールドフラックスの表面張力の推算精度の向上に有効であることを示している。

以上のように、本論文は高速連続鋳造用モールドフラックスの開発ならびに同フラックスの開発に関連する鋳型内界面現象と融体物性に関して新たな知見を多数含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。