

氏 名	きた だ ひろし 北 田 宏
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 157 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	情 報 学 研 究 科 複 雑 系 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	連続鋳造機鋳型内湯面レベル制御設計の研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 山 本 裕	教 授 藤 坂 博 一	教 授 片 山 徹
--------	--------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、鉄鋼製造プロセスにおける連続鋳造機の鋳型内湯面レベル制御技術について、制御対象のモデル化および制御器の設計に関する一つの方針を示し、その方針に沿ったフィードバック制御器の設計方法および、実際の鋳造に提供し得る制御装置の構成を提案することを目的とする。

本論文の各章の要旨は以下のとおりである。

第2章では、鋳造中の鋳型内溶鋼湯面形状変動の表現について考察し、溶鋼注入量操作に対する鋳型内湯面の変動を、鋳型内溶鋼収支差に速度が比例する湯面全体の上下動成分および浸漬ノズル吐出流量増減に比例して変動する湯面形状の時間平均値成分に分解して表現したモデル化を提案した。提案した湯面変動のモデル化にもとづき、実機から採取した操業中データを用いて、制御操作量に対する湯面レベル変動の応答特性を ARX モデルとして複数ケースにおいて同定した結果を近似して湯面変動モデルのパラメータを決定した。特に時間平均値成分に対する係数パラメータが鋳造スループットに依存することを明らかにした。

低炭材や極低炭材などの鋼種を広幅鋳型を用いて高速に鋳造する高効率生産連続鋳造機では、吐出流量増減に比例する変動する成分と溶鋼波立ちが大きくなるため、湯面変動のモデル化誤差が大きくなる。

第3章では、高効率生産連続鋳造機に対する適用を目的に、外乱抑制性能と制御系のロバスト安定性をバランスよく両立させる H_{∞} 制御理論に基づく湯面レベル制御器設計方法を提案した。この設計方法は、制御系のクロスオーバー周波数付近中間周波数帯域において、制御系感度関数および相補感度関数の両方のゲインを低下させ、外乱抑制性能と制御系のロバスト安定性を両立することを目的としている。また、提案した H_{∞} 制御設計制御器の実機適用試験により、従来の PID 制御では湯面制御精度が悪化した高スループット鋳造においても、湯面制御精度を改善することを示した。

鋳片表面割れが発生しやすい合金鋼や亜包晶鋼など鋼種では低速鋳造するため吐出流量が小さく、波立ちによるモデル化誤差は生じにくい。反面、非定常バルジング発生による鋳型内溶鋼収支に対する大きな周期性外乱が加わるため、従来の PID 制御などでは、外乱抑制性能が不十分であった。第4章では、周期性変動抑制を目的とした制御器設計方法を提案した。本設計法では、Youla パラメトリゼーションに基づき、既存のフィードバック制御系に外付けする形で安定化補償器パラメータ表現する。さらに、周期性外乱抑制するためのパラメータ伝達関数の設計をモデルマッチング問題として定式化した。本方法では、モデルマッチング問題であられるノッチフィルタの遮断周波数および遮断帯域の周波数ゲイン特性形状を決定するパラメータを指定してモデルマッチング問題を解析的に解くことで外乱抑制性能の周波数特性をオンラインで修正可能である。本設計による制御器についても、実際の鋳造における適用試験結果により、湯面レベル周期性変動を強力に抑制できることを示した。

非定常バルジングによる周期性変動の周波数は一定ではなく、操業中は常に変動する。第4章で示した周期性変動抑制制御では、抑制周波数や抑制性能パラメータを自動調整する上位機能が必要である。

第5章では、周期性変動抑制制御機能の自動調整系を提案した。本自動調整系は、溶鋼収支に対する外乱の推定値の支配的周波数成分や振幅の変化を、安定して追従して周期性レベル変動の増大を抑制する。また、本研究では、従来の湯面レベル制御系の自動調整系で用いられていた、湯面レベル測定値周波数分布に基づく制御パラメータを調整する方法では、周期性外乱振幅が小さい場合にはパラメータ調整自体が不安定になることを明らかにした。実際の鑄造試験により、周期性変動抑制制御機能と本自動調整系で構成した制御器で、周期性外乱の周波数および振幅に追従してレベル変動を安定して抑制できることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、鉄鋼製造プロセスにおける連続鑄造機の鑄型内湯面レベル制御技術について、制御対象のモデル化および制御器の設計方針を示し、その方針に沿ったフィードバック制御器の設計方法および、実際の鑄造に提供し得る制御装置の構成を提案することを目的としている。

連続鑄造機とは転炉から抽出した熔鋼を冷却して圧延加工母材を製造する装置である。この際、熔鋼は一旦タンディッシュと呼ばれる容器に注入され、そこから浸漬ノズルを通じて鑄型に注入される。この際鑄型の表面において、熔鋼表面が波打つ現象が湯面変動であり、これは潤滑パウダー巻き込みなどを通じて品質劣化の大きな要因となる。また熔鋼冷却の過程のロール間で凝固シェルが外側に膨張し変形するバルジングという現象の発生原因ともなる。これらの原因により鑄型内湯面レベル変動は品質劣化のみならず、安定操業の阻害要因ともなるため、極力抑制しなければならないものである。

1. まず、鑄造中の鑄型内溶鋼湯面形状変動の表現について考察し、溶鋼注入量操作に対する鑄型内湯面の変動を、鑄型内溶鋼収支差に速度が比例する湯面全体の上下動成分および浸漬ノズル吐出流量増減に比例して変動する湯面波立ち中心成分に分解して表現したモデル化を提案している。湯面変動の本モデル化にもとづき、制御操作量に対する湯面レベル変動の応答特性を実機から採取した操業中データから同定した結果を近似して湯面変動モデルのパラメータを決定し、鑄型内溶鋼湯面レベル変動のモデル化を行っている。
2. 次に薄板ミル向け鑄片を広幅鑄型を用いて高速に鑄造する高効率生産連続鑄造機に対する適用を狙い、 H_{∞} 制御理論に基づく湯面レベル制御器設計方法を提案している。このような連続鑄造機では、吐出流量増加にともない溶鋼波立ちが大きくなるため湯面変動のモデル化誤差が増大することが制御系設計上の課題である。本章では、鑄型内溶鋼収支に対する外乱抑制性能とモデル化誤差に対する制御系のロバスト安定性を全周波数域で両立させ、改善させることを目的とした制御器設計方法を示している。この設計方法は、一般化プラントの出力側重み関数で感度関数の低周波域におけるゲイン特性と相補感度関数の高周波域におけるゲイン特性を抑制するとともに、入力側重み関数で、中間周波数域の感度および相補感度のゲインを抑制し、周波数全域において外乱抑制性能とロバスト安定性両立の課題解決を図るものである。提案した H_{∞} 制御器の実機適用試験により、従来の PID 制御では湯面制御精度が悪化した広幅材の高速鑄造においても、湯面制御精度を改善することを示した。
3. 周期性の強い湯面変動抑制を目的として「Q-パラメータ設計」と呼ぶ制御器設計方法を提案した。鑄片表面割れが発生しやすい合金鋼や包晶鋼などの鋼種では弱冷却で低速鑄造するため湯面波立ちによるモデル化誤差は生じにくい反面、非定常バルジングによる鑄型内溶鋼収支に対する大きな周期性外乱が加わるため、従来の PID 制御などでは外乱抑制性能が不十分であった。本設計法では、既存のフィードバック制御器に外付けする形で安定化補償器をパラメータ表示する方法を提案し、周期性外乱抑制するためのパラメータ伝達関数の設計をモデルマッチング問題として定式化した。本方法では、モデルマッチング問題であられるノッチフィルタの遮断周波数および遮断帯域の周波数ゲイン特性形状を決定するパラメータを指定してモデルマッチング問題を解析的に解くことで外乱抑制性能の周波数特性をオンラインで修正することが可能となる。本設計による制御器についても、実際の鑄造における適用試験結果により、湯面レベル周期性変動を強力に抑制できることを示した。
4. 上で述べた周期性変動抑制制御機能の自動調整系を提案した。非定常バルジングによる周期性変動の周波数は一定ではなく、操業中は常に変動する。上記の周期性変動抑制制御では、抑制周波数や抑制性能パラメータを自動調整する上位機能が必要である。本自動調整系は、溶鋼収支に対する外乱の推定値の支配的周波数成分や振幅の変化を、安定して

追従して周期性レベル変動の増大を抑制する。また、本章では、従来の湯面レベル制御系の自動調整系で用いられていた、湯面レベル測定値周波数分布に基づく制御パラメータを調整する方法では周期性外乱振幅が小さい場合にはパラメータ調整過程が不安定になり、パラメータが振動することを明らかにした。実際の鑄造試験により、周期性変動抑制制御機能と本自動調整系で構成した制御器で、周期性外乱の周波数および振幅に追従してレベル変動を安定して抑制できることを示した。

以上のように、本論文は連続鑄造機鑄型内の湯面レベルの制御において、そのモデル化、制御系設計において有益な知見を得、かつ実機に適用可能であることを示したものである。今後このような研究の進展によって連続鑄造機における未解明の現象の一層の解明と製造品質の向上とが期待される。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月18日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。