

## 審査の結果の要旨

氏名 大重 貴彦

本論文は、鉄鋼プロセスにおける表面欠陥検査や放射温度計測など、鋼板表面から到来する光を利用する光応用計測技術に関し、鋼板表面を適切にモデル化し、光の性質を多元的に利用する新たなオンライン計測技術の開発について論じたものである。従来、鉄鋼プロセスにおける光応用計測では、反射モデルとしては鏡面を前提とした手法も多く、非鏡面として複雑な特性を有する鋼板表面のモデル化が十分行われていなかった。対象とする表面が製造プロセスの中間段階でのみ存在し、当該プロセス終了後には表面状態が変わってしまうため、十分な表面観察の上でモデル化を検討することもしばしば困難であった。そのため従来の手法では、光の持つ様々な性質のうちのごく一部を、単純化したモデルのもとで利用する手法に留まっており、適用可能な範囲は限界を迎えつつあった。本論文では、表面粗さや各種被膜などを有し、様々な表面状態にある鋼板表面の物理モデルを従来よりも精密化し、光のもつ様々な性質、すなわち波長およびスペクトル、振幅、反射、直進性、偏光、位相などを多元的に利用した新たな光応用計測技術を提案した。それらの手法をオンラインで検証し、従来手法を上回る計測が可能であることを実証し、一部は実用化にも至っている。

本論文は以下の 6 章からなっている。

本論文の第 1 章は緒言であり、鉄鋼プロセスとそこで用いられている光応用計測技術、すなわち表面検査技術および放射温度計測技術について概観している。

第 2 章では、表面検査装置における欠陥検出条件の最適化の例について述べている。鋼板表面の観察・計測を通じて、鏡面反射光と鏡面拡散反射光を主要構成要素とする、鋼板表面反射の新たなモデルを構築している。提案モデルに基づく最適条件を検討し、その重要性について述べており、次章以降の議論の起点となっている。

第 3 章では、鋼板の表面粗さに埋もれて目視では見ることができない凹凸欠陥を検出する方法の検討を行っている。表面粗さのモデル化の結果、入射角を  $90^\circ$  近くの大きな角度にすることを提案し、それによって表面粗さによらず鏡面性を確保することができること、さらに鏡面体に対して適用できる魔鏡の原理を利用可能になることを示している。さらに製造工程の中で、鋼板がロールに巻き付いている部分に着目し、その原理を計測法として具体化する方法を示すとともに、製作した装置を用いてオンラインで行った実証結果が示

されている。鋼板に照射する光の入射角についての特異的な条件を選定するとともに、光の集束・鏡面反射・直進性を利用することにより、目的が達成されている。

第 4 章では、前章とは対照的に、よく見えすぎて過検出してしまう無害の光沢むらを光学的に見えなくする手法について議論している。ここでは、通常、鏡面に対して行われる偏光や偏光間の位相差の操作を、表面粗さのある鋼板からの正反射から若干ずれた角度に観測される鏡面拡散反射光に適用することを提案している。その結果、その角度に反射する光のうち、光沢むらからの反射光を波長板、偏光板を用いることにより消光させることができ、課題である無害の光沢むらを光学的に見えなくして欠陥の検査を行うことができるようになっている。光の性質としては、鏡面拡散反射、偏光、位相などを利用している。

第 5 章では、加熱炉の炉内で熱処理（焼鈍）が進むとともに酸化膜が成長し放射率が変動する中での放射測温に関し、放射率変動のモデル化を行っている。ここでは、炉内の鋼板の状態を直接観察できず、実験的な再現も難しいため、オンラインで放射率スペクトルを測定し、主成分分析によりそのスペクトルの変動の特徴を統計的にモデル化する手法を採用している。放射率変動の主成分と直交する条件で、複数の温度に対する分光黒体放射輝度の主成分分析を行うことにより、放射率変動に依存せずに温度変化に最大感度を有する主成分を求めることで温度計測を行う手法を提案している。本章では、多数の波長を連続したスペクトル情報として用い、そのパターンの挙動が黒体放射成分と放射率変動成分とで異なることを利用している。それらの直交性を活用し、放射率変動の影響を除いた温度計測が可能となっている。

第 6 章では、本論文の結言が述べられている。

以上要するに本論文は、鋼板表面についての光学的あるいは統計的モデル化を行うとともに、光のもつ様々な性質を多元的に利用することにより、従来は解決困難であった課題の解決を可能にする方法を示し、現実の鉄鋼ラインで実証したものである。本論文の成果は、鉄鋼ラインを含め産業界におけるオンラインでの光応用計測の分野に貢献するものと考えられる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。