

氏 名	稲 荷 隆 彦 いな り たか ひこ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1251 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	表面微細構造による光回折現象とその応用計測技術の研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 福 田 國 彌 教 授 大 矢 根 守 哉 教 授 岡 村 健 二 郎

論 文 内 容 の 要 旨

レーザー光を金属等の粗面に照射した場合には見られる回折現象はスペckル・パターン (speckle pattern) と呼ばれ、レーザー光で顕著に現われる現象であり、その計測技術への応用は極めて重要な課題として注目されている。本論文は、粗面の回折現象の解析と工業計測技術への応用、とくにパターン情報処理に関する一連の研究を述べたもので、6章から成っている。

第1章は緒論で、物体粗面からの回折現象の理論並びに実験研究とその計測技術への応用研究に関する従来の経過と現状を概括し、本論文の目的と要点を述べている。

第2章では、本研究全体の基礎事項を述べている。物体表面に表面粗さなどの微細構造がある場合、表面に於ける反射光の複素振幅分布と表面から離れた観測面での光の複素振幅分布とはフーリエ変換で結ばれ、観測される回折像強度分布は反射光のパワースペクトルとなることを述べている。さらにこの回折像と表面粗さ構造のプロフィールとの関係を検討し、表面粗さの振幅が光の波長に較べて十分小さいときには回折像は直接プロフィールのパワースペクトルを与え、粗さ振幅が波長より大きいときには回折像は表面構造の周期性に対応することを述べ、典型的な実験例を示している。

第3章では、研削加工中の金属表面微細構造の形状変化の計測に関する研究を述べている。研削加工において砥石表面をドレッシングした後研削を進めていくと、砥石表面の損耗に伴って被加工物表面微細構造の形状も変化する。著者は、微細構造形状変化のモデルを設定して回折像強度分布の計算を行うとともに、加工進展段階の試料について実験を行って計算結果と比較し、回折像の観測により加工面微細構造の形状変化を測定できることを示している。また、研削加工に伴う回折像の変化及び表面残留応力の変化を示す実験例を与えている。

第4章では、回折現象を用いた表面検査技術について述べている。回折像は表面構造と一対一対応を持ち表面に欠陥等があると回折像に乱れを生じ、この回折像の乱れの検出により高精度表面検査機を実用化することができる。すなわち、生産中の圧延金属板の圧延傷構造は帯状の回折像を生じ、照射レーザー光を板幅方向に走査すると回折像も幅方向に移動する。細長い開口と集光系を持つ光検知器で移動する回折

像の全光量を検知するとき、回折像の乱れによる光量の減少として表面欠陥を検出することができる。実用機では板幅 250 mm, 板速度 300 m/分で幅約 30 μ m 程度の欠陥まで検出することを示している。また、細線の表面検査では細線の長さ方向に対し傾斜した方向からレーザーを照射し、線長方向に垂直な面上に線軸を中心として生ずるリング状の回折像を利用し、従来不可能とされた細線表面微細欠陥の走行中の検出が可能であることを示している。

第5章では、物体表面の運動に伴うスペックルパターンの運動を利用した速度計測法の研究結果を述べている。周期運動をする物体表面のパターンをスリットを通して受光し、その出力の周波数分析を行うと周期運動の周波数計測ができ、また出力波形に現われるパルス数の計数により速度計測ができることを示している。さらに、一般的に空間フィルタを通してスペックルパターンを受光した場合の出力信号の周波数スペクトルの理論を検討し、物体速度と出力周波数との関係式を物体表面の曲率、光学系の設定条件をパラメータとして明らかにし、これを基礎として開発した実用速度計の構成、動作方式と測定精度に与える諸要因の分析を述べ、かつ生産現場での試験結果を報告している。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

レーザー光を物体に照射した場合に見られる回折現象の解析と計測への応用、とくに表面粗さによるスペックルパターンとパターン情報処理の計測への応用は、最近の計測技術において大きな関心を持たれている研究分野である。本論文は、この分野で行った一連の研究をまとめたもので、得られた主な成果を要約すると次の通りである。

(1) 物体表面の微細構造と回折像との関係を理論的に検討し、観測面での回折像の強度分布が物体表面での反射光の振幅分布のパワースペクトルとなることを基礎として、実際の表面粗さのプロフィールと回折像との対応関係を明確にしている。

(2) 圧延や研削により加工された金属の表面粗さが周期性をもつことに着目し、これを単位微細構造波形を持つ周期的な構造の重畳と考えて回折格子理論を適用し、加工金属表面から観測される特有の帯状回折像の形成を理論的に明らかにしている。

(3) 研削加工工程中の砥石表面の損耗に伴って起る研削面の微細構造形状の変化とこれに対応する回折像の変化を検討するために、実際の加工の進展段階にある多くのサンプルについて回折像を観測し、加工面の微細構造形状の変化と回折像変化の関係を明らかにしている。また、この結果を基として回折像の変化を測定することにより、研削加工中の金属表面微細構造形状をオンラインでモニタできることを示している。

(4) 圧延金属板の圧延傷構造はレーザー照射により帯状の回折像を生じ、金属表面に欠陥があるときにはこの回折像に乱れを生じる。生産中の圧延板に照射したレーザー光を板幅方向に往復走査し、これに伴い移動する回折像の全光量を細長い開口を持つ光検知装置で検知するとき、回折像の乱れによる光量の減少から鋭敏に表面欠陥を検出できることを明らかにし、高性能非接触表面検査機を製作して、幅 30 μ m 程度の欠陥まで検出できることを示している。また、細線の長さ方向に対して傾斜した方向からレーザー光

を照射するときに現われるリング状の回折像についても、同様の原理を採用して非接触表面検査機を開発してこれを実用化し、従来不可能とされてきた走行中の細線表面欠陥の高感度検出が可能であることを示している。

(5) 物体の運動に伴ってその表面のスペックルパターンも変化することを利用して、非接触速度計を実現している。すなわち、周期運動をする物体では、スペックルパターンの周波数スペクトルに周期運動周波数及びその通倍周波数の信号の増大が生じることを利用して、振動・回転計を製作している。また、一般の運動物体でスペックルパターンの運動に伴うパルス列を計数する方法により速度計を実現している。さらに、空間フィルターを通して運動物体のスペックルパターンを受光した場合の出力信号の周波数スペクトルの理論を検討し、物体速度と出力信号周波数分布との実用的な関係式を対象物体表面の曲率や光学系の幾何学的条件等をパラメタとして求め、速度計精度に影響を与える要因を分析し、実用装置として信頼性の高い速度計を製作している。

以上要するに本論文は、レーザー光を照射した場合の加工金属の表面微細構造及び表面欠陥による回折像の解析と物体表面のスペックルパターンの情報処理を計測に応用し、一連のレーザー計測技術を開発したもので、学術上、工業上寄与するところ少くない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。