

論文内容の要旨

氏名 藤井章弘

工業製品の高度化に伴って製品を構成する個々の部品の表面には高度な機能性が要求されるようになってきている。これに伴って表面機能の品質管理指標の1つである表面性状パラメータの評価方法も従来の輪郭曲線方式から面としての広がりを持った、より情報量が豊富な三次元方式へと移行する動きが進んでいる。

三次元方式で最も多く利用されているのが光学式の測定機であり、現在、様々な測定原理に基づいた多種多様な光学式測定機が市販されている。これらは工業標準が十分に整備されない状況下で広く普及したため、個々の測定機の計測特性は統一的な解釈の基で性能検定がなされないまま利用され続けることとなった。これが原因の一端となって、機種ごとに得られる結果に差異が生じるといった事も指摘されるようになってきた。

このような背景の中、国際標準化機構(ISO)では三次元表面性状に関する標準化を推進するために、第213専門委員会(TC213)の中に第16ワーキンググループ(WG16)を設け、主にISO25178シリーズ(Geometrical product specification (GPS) –Surface texture : Areal)の規格案の作成を行っている。2010年頃からは同規格シリーズのいくつかのパートも順次公布され、規格は整備されつつあるが、その内容に関してはまだあいまいな点や不明瞭な点も多い。特に計測特性に強く影響を与え、その存在が古くから指摘されている光学式測定機特有の異常値の問題に関してはその対処方法があいまいなままであり、光学式測定機を用いた表面性状評価の実場面においては様々な不都合をもたらすことが予想される。また、空間波長検出限界や最大局所傾斜角といった測定機の計測限界を与える特性値については用語の定義は存在するものの、具体的な検定方法については明らかにしていない。

機械的な触針と標本表面の相互作用について過去に深く研究がなされ、そこから触針式測定機の計測特性と限界が明らかにされてきたように、光学式測定機においても光学プローブと標本表面の間で発生している現象を明らかにし、その結果から光学式測定機の計測特性と限界を統一的な解釈の基で合理的に検定する必要がある。

そこで本研究は光学式測定機特有の応答挙動を解析し、測定データの信頼性に影響を与える校正用あるいは検定用の標準片の具体形状に関する設計指針をまとめ、さらに光学式表面性状測定機の計測限界の評価方法に関する一提案を行うことを目的として研究を行った。

本論文の第1章では現在整備が進められているISO規格の最新動向を要約し、光学式表面性状測定機の抱える課題を提示すると共に、これらに関する幾つかの研究事例を紹介した上で、本論文の目的について述べている。

第2章では原理の異なる市販測定機を用いて様々な標本の測定結果を比較している。そして異常値の出現は標本の表面波長と関連していることを実験的に明らかにし、これが異種測定機間の測定データの差異の主原因であることを示している。さらに異常値の出現しない表面波長帯の中で同一の波長帯で測定データを解析することによって、異機種測定機間であっても測定データの等価性が高くなることを述べている。

第 3 章では鏡面といった弱散乱標本ではなく、多くの一般工業表面が持つような強散乱特性を持つ粗面標本にも対応可能なベクトルシミュレーション手法の開発結果について述べている。ここでは、新たに開発したシミュレーションモデルを使って、電磁場解析手法の 1 つである FDTD 法の基本原理と、偏光のベクトル成分も考慮したベクトル回折理論について述べている。そして、この手法を用いた解析結果は走査型レーザ顕微鏡の異常値を含む実測結果と良い一致を示すことを確認し、シミュレーション結果の妥当性を検証した結果について述べている。

第 4 章では第 3 章で開発したシミュレーション手法を用いて、傾斜平面、正弦波状断面、矩形波状断面、三角波状断面形状に対する走査型レーザ顕微鏡の応答特性を数値解析し、解析対象面での散乱光の分布から、異常値の発生のメカニズムを考察すると共に、光学式測定機向けの校正用あるいは検定用の測定標準面（標準片）の設計指針についてまとめている。

第 5 章では第 4 章で得られた標準片の設計に関する知見を使って、測定機の計測限界特性である「空間波長検出限界」と「最大局所傾斜角」を検定するための標準片について述べている。そして、この標準片を実際に製作し、いくつかの市販測定機に対して測定限界の検定を行った結果について述べ、異常値の取り扱いに関する一提案を行っている。

第 6 章では第 1 ～ 第 5 章までの結果をまとめ全体を総括している。

以上のように、本研究では従来は解析が難しいとされた強散乱特性を持つ標本を対象とした走査型レーザ顕微鏡の応答挙動を数値解析することによって、これまで不明瞭だった校正用標準片の具体寸法に関する設計指針をまとめ、計測限界の評価方法に関する一提案を行っている。