



スペックル干渉と波長シフトを用いる 3次元形状計測

金沢大学 名誉教授
安達正明

1. はじめに

光干渉は、光の極めて短い波長とその視認容易性が特長となって古くから超精密計測の主役であった。そして現在もなお干渉位相を利用する形状計測技術は、超精密面に対する高い要求加工精度と共に大型鏡面製造や半導体製造の分野で不可欠である。この干渉位相の抽出は一般に極めて整備された測定環境で行う必要があった。その最大の理由は、「干渉計内に存在する空気密度のゆらぎによる光路差変動」である。この空気密度のゆらぎは、干渉顕微鏡など作動距離を数mm以下にできる場合は目立たないが、長い作動距離が必要となる10cm前後の対象物の測定ではその位相抽出を難しくしてきた。

一方、最近の半導体レーザー製造技術の進歩は、高効率でコンパクトでありながら、波長可変なレーザー光源の利用を容易にしている。その結果、波長の数百～数万倍もの光路差があってもそれらを識別できるようになった。故に、干渉計内の空気密度のゆらぎの影響を効果的に排除できる位相抽出法の開発は、大きな干渉計サイズが必要となる大きな部品の高精度な3次元形状計測を可能にできる。

我々は、高精度な位相シフト法の研究を進める中で、位相シフト量が取込み画像毎に全くランダムに変化しても干渉像の位相を高精度に抽出できる方法にたどり着いた¹⁾。この方法は鏡面を対象とする干渉像だけでなく、粗面を対象とするスペックル干渉像にも適用が可能であった。

そこで任意方向を向く金属部品の3次元（3D）形状を、波長可変レーザーと2次元カメラを用いて視野内に影を含まずに高精度計測するための、スペックル干渉と波長シフトを使う形状計測法をこれまで研究してきた^{2,3)}。この計測精度をさらに高めるため、波長可変幅が10nmのレーザー光源を科研費で入手した。入手した光源を組み込んだ装置で最高計測精度を確認するために、ブロックゲージ表面からの乱反射光を用いて表面形状やその段差計測を行った。実験で明らかになった現象や計測精度評価結果を報告する。

2. 用いた基礎技術

任意方向を向く金属部品の形状計測には金属表面に存在する微細な凹凸を利用する。レーザー光を当てて得られる凹凸による乱反射光を測定したい方向から光干渉計を介して2次元カメラで取り込む。金属面の像は乱反射光ゆえにスペックル画像（コントラストが1で、横方向に粒状の光強度変化を持つ）となる。しかし鏡面反射光を使う場合と異なり、任意の方向からカメラ画像を取得でき、その方向での3D形状計測が可能となる。

これまで波長を最大2nm変えることのできるシングルモードレーザー光源（DFBdl: Distributed Feed-Back diode laser）を利用してきた。図1に示すスペックル干渉光学系を用いて、粗面物体の干渉像を結像レンズの像面で撮影する。2種の光波長（ λ_1 , λ_2 ）に関して λ_1 のスペックル干渉位相と λ_2 のスペックル干渉位相をそれぞれ抽出し、それらの位相の差を計算する。計算値は、2つの波長の等価波長 $[\lambda_{Eq12} = \{\lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)\}]$ として知られる用いた波長の数百倍から数万倍にもできる]で与