



# 時空位相シフト法による高精度な非接触 三次元形状計測

産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門  
李 志遠

## 1. はじめに

物体の三次元形状を精度よく計測する技術は製造業を中心に多くの分野から高い関心が寄せられている。生産工程において、製品の三次元形状を非接触で高精度に計測することができれば、製品の欠陥を常時に検査することができるため、製造効率の大幅な改善につながる。三次元形状計測には大きく分けると接触式と非接触式の手法がある。接触式装置では機械的にプローブを物体表面に当ててスキャンしながら三次元座標を取得するため、安定した精度の高い計測が行える反面、複雑な凹凸のある物体や接触が好ましくない物体の測定が難しい。

これに対して、光を利用した格子投影法と呼ばれる非接触式計測手法が広く使われている。この方法は測定したい物体の表面に格子模様を投影し、それを異なる角度に設置したカメラでこの縞画像を撮影する。物体の高さに応じて、縞画像がゆがむため、そのゆがみを解析することで、物体の高さを測定する方法である。格子画像のわずかなゆがみを解析するためには、縞画像の高精度な位相解析が必要となる。これまでの位相解析技術では、1枚の縞画像からフーリエ変換を利用する空間的な解析方法と、位相をシフトさせた複数枚の格子画像を用いて時間的な解析を行う位相シフト法がある。空間的な位相解析法として、フーリエ変換法<sup>1)</sup>、窓付きフーリエ変換法<sup>2)</sup>やサンプリングモアレ法<sup>3)</sup>があり、時間的な位相解析法は多くのアルゴリズムが報告されているが、位相シフト法<sup>4)</sup>が最もよく使われている。最近では、著者が位相シフト法とサンプリングモアレ法を融合して、時空間での高次元な輝度情報を同時に活用する時空位相シフト法<sup>7)</sup>の開発に成功した。同手法を格子投影法に適用することで、高精度な三次元形状計測が可能となる。

本稿では、最近開発した時空位相シフト法の計測原理とその特徴を述べる。シミュレーション結果から、時空位相シフト法は従来の位相シフト法に比べて、カメラのランダムノイズや輝度非線形性、サチュレーションなどの外乱に強いことが示された。時空位相シフト法を利用することで、反射率が極めて低い物体と高い物体が混在した条件でもロバストな形状計測が行えるようになる。

## 2. 縞画像の位相解析技術

### 2-1 位相解析法の概要と種類

これまでの縞画像の位相解析技術は、図1に示すように、縞画像全体または局所の空間的な輝度情報を用いて1枚の縞画像からその位相分布を算出する空間的な位相解析手法 (Spatial phase analysis) と、位相を少しずつシフトさせながら複数枚の縞画像から求める時間的な位相解析手法 (Temporal phase analysis) に分類できる。前者は1枚の縞画像から位相分布を算出できるため、動的な計測に向いている。後者は画素ごとに位相を算出しているため、高分解能な計測結果が得られる利点がある。代表的な空間的な位相解析手法として、フーリエ変換法<sup>1)</sup>やウェーブレット変換法に加えて、窓付きフーリエ変換法<sup>2)</sup>やサンプリングモアレ法 (Sampling moiré method: SMM)<sup>3)</sup>などが挙げられる。