

インコヒーレントデジタルホログラフィーに基づく 3次元撮像とパンフォーカス撮像

日本放送協会 放送技術研究所
信川輝吉, 室井哲彦, 木下延博, 石井紀彦

1. はじめに

臨場感, 実在感, 没入感の高い映像表現の実現が追求され, 種々の3次元映像に関する技術が研究されてきた¹⁾。その中でも, デジタルホログラフィー (DH: Digital Holography) は, 光波の複素振幅の情報をデジタルホログラムとして記録・再生する技術であり, より正確に, 被写体から伝搬する光波を検出・再現できる^{2,3)}。これまで, 工業計測や顕微鏡の分野で DH の応用例が多く報告されている^{3,4)}。しかし, 一般的な被写体や風景を撮影するカメラなどのメディア技術分野における DH の応用例は, ほとんどない。通常, DH では, 外乱となる光が存在しない暗室の環境で, コヒーレンスの高いレーザーを照明光源として用い, 被写体にレーザー光を照明して得られる物体光と, 位相の基準となる参照光を相互に干渉させる。もし, 太陽光や室内の照明光など, 周囲光が多く存在する環境で, DH をカメラとして応用する場合, 周囲光が外乱となる。さらに, 人物を撮影する場合には, レーザー光が目に損傷を与える可能性がある。以上から, メディア技術分野で DH をカメラとして利用することには, 多くの課題が残る。

一方, インコヒーレントデジタルホログラフィー (IDH: Incoherent Digital Holography) は, レーザーのようなコヒーレンスの高い光を利用せず, 太陽光, 蛍光, 発光ダイオード (LED: Light-Emitting Diode) などの空間的なコヒーレンスの低い光の自己干渉を利用して, ホログラムを形成できる^{5,6)}。この特徴から, IDH は, 従来の DH では実現できなかった, 太陽光を利用した3次元撮像⁷⁾や3次元の蛍光顕微鏡^{8,9)}を実現できる。したがって, IDH はメディア分野への親和性, 応用可能性が高いと考えられる。さらに, IDH は, 従来の2次元イメージング技術にはない特異な撮像特性を有し, ラグランジュの不変則の制約を受けない高分解能の撮像^{10, 11)}や, 無限大の被写界深度の撮像^{12,13)}が可能である。

このような IDH 固有の特徴は, 現行のカメラにとっても魅力的な機能になり得る。IDH に基づくカメラを実現できれば, 記録したホログラムから得られる3次元情報から, 後処理でフォーカス位置を任意に変更した再生像を出力できるため, 高精細映像が取得できる 4K, 8K カメラの運用で指摘されているピント調整の困難さ¹⁴⁾を解決できる。また, ラグランジュ不変則の制約を受けない高分解能の撮像機能は, 小型 4K, 8K カメラにおけるレンズ系の光学的伝達関数の高周波成分の減衰¹⁵⁾を解決できる可能性を秘めている。さらには, 従来の2次元イメージングでは, 被写界深度の深さと面内分解能がトレードオフの関係にあるが, IDH の自己干渉の方式を変更することで, 面内分解能を犠牲にすることなく, ラグランジュ不変則の制約を受けない特性を保持したまま, 無限大の被写界深度のパンフォーカス撮像が可能になる^{12,13)}。

上述の通り, IDH は, 自己干渉の方式を変更することで, 3次元撮像機能とパンフォーカス撮像機能をそれぞれ実現できる。しかし, 従来の IDH の研究では, 3次元撮像機能の理論^{5,6)}は光波伝搬の式で導出され, パンフォーカス撮像機能の理論^{12,13)}はコヒーレンス関数の式で導出され, それぞれ独立に発展し, 相容れることがなかった。