

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 加藤 文武

本論文は「光学的相互相関法の開発と粒子・流体計測への応用」と題して、ホログラフィックフィルタリング法（多重マッチトフィルタ法）を用いた光学的相互相関法を開発し、粒子計測、流体計測および流体実時間計測への応用と光学的相互相関法の精度の検証を行い、その有効性を検討したものである。

第1章の序論では、研究の背景および目的が述べられている。ここで論文提出者は、画像解析技術の分野における処理の高速化・高効率化という重要な要請に対して、並列性や多重性が容易に実現できるアナログ光情報処理の適用を提案している。論文提出者は、画像の相互相関を光学的に瞬時並列に行うことができる多重マッチトフィルタ法に着目し、より実用的な光学的アナログ画像解析システムとしての開発および同手法を用いた粒子計測、流体計測および実時間計測への応用を目的として掲げている。

第2章では、粒子計測および流体計測の各分野における既往の研究状況について述べ、本研究の位置づけを明らかにしている。まず、粒子計測の分野における代表的な計測技術として、レーザ回折・散乱法および画像解析法を挙げ、それぞれの特長と問題点を示している。つづいて流体計測の分野における代表的な計測技術として、粒子画像流速測定（Particle Image Velocimetry, PIV）法を挙げ、その画像解析法について従来手法（レーザスペックル法、デジタル法）の特長と問題点を示している。粒子計測および流体計測に共通する従来の画像のデジタル相互相関法と論文提出者が提案する光学的相互相関法との比較を行い、光学的画像解析の有効性と克服すべき問題点について論じている。

第3章では、光学的相互相関演算を行うための多重マッチトフィルタ法の基本原理が述べられている。光学的自己相関法が対象画像それ自身のみの相関を行うのに対し、光学的相互相関は対象画像と予め用意された参照画像との相関を行うため、相対的な変化の情報が得られることを指摘している。これにより、複数の異なる形状および寸法ごとの識別が瞬時（同時）並列に実現される。また、溶剤蒸気現像型光導電プラスチックホログラム作成装置を考案し、多重マッチトフィルタの作成を実現している。同装置を用いることにより、ホログラムである多重マッチトフィルタ作成が簡便かつ迅速に行うことができ、光学的相互相関法の実用性が向上したことが述べられている。

第4章では、光学的相互相関法の粒子計測への応用として、複数の異なる形状および寸法をもつ粒子群を多重マッチトフィルタを用いて識別し、粒子の形状および寸法ごとの空間分布の瞬時・並列分離を行った例が述べられている。形状寸法の差異、姿勢の傾きおよび識別のダイナミックレンジに対する多重マッチトフィルタの識別精度を検討するため、粒子形状の寸法の差異、姿勢の傾きに対する相関ピークの変化について調べ、相関ピーク強度の閾値と識別精度の関係が論じられている。合成画像による粒子識別精度の検証実験の一例では、

±15%の寸法差，または±7.5°の姿勢の角度差に対して相関ピークが得られ，ほぼ同じ粒子として識別が可能であること，識別のダイナミックレンジは最大の寸法と最小の寸法の比が約10であることが示されている．このことは粒径の分散がある粒子群画像において，ピーク強度の閾値を設定することにより，参照粒子の寸法に近い粒子のみの空間分布を表示できることを示したものである．さらに，空間光変調器（Spatial Light Modulator, SLM）を組み込んだ多重マッチトフィルタ光学系を開発し，顕微鏡付き CCD カメラで取り込んだポリスチレンラテックス粒子群（粒径：5 μm および 10 μm）画像の識別実験より，粒子画像解析における光学的相互相関法適用の有効性を示している．

第5章では，光学的相互相関法の流体計測への応用として，流体可視化画像を多重マッチトフィルタを用いて識別し，流体中のトレーサ粒子移動軌跡群の粒子軌跡（流跡線）ごとの空間分布表示を行った例が述べられている．キャビティフローと呼ばれる流れ場の可視化に変形二重露光を用いた粒子軌跡流速測定法を適用し，参照粒子軌跡（参照流跡線）ごとに分離した粒子軌跡群画像を相関輝点群として得ることに成功している．これによって，流体中のトレーサ粒子移動の向きと速度の可視化が可能となること，粒子軌跡が交差する程度にトレーサ粒子数密度が高い場合においても多重マッチトフィルタの適用により，粒子軌跡の分離が可能であること，流体可視化画像における特定の粒子軌跡群を瞬時・並列に検知でき，その空間分布を実時間表示できることを示している．

第6章では，光学的相互相関法の流体実時間計測への応用が述べられている．前章で用いた多重マッチトフィルタ光学系に改良を加え，CCD カメラで撮影された流体可視化画像を空間光変調器により多重マッチトフィルタに直接入力し，入力画像を瞬時に識別して粒子軌跡ごとの空間分布を実時間で表示できるシステムを開発している．このシステムを用いて，粒子軌跡の寸法の差異や姿勢角の変化に対して相関ピーク強度が変化する度合いを定量的に調べ，相関ピーク強度の閾値を決めることに必要な精度で計測が行えることを検討している．

第7章においては全体の結論が述べられている．

以上を要約すると，本研究は，提案した光学的相互相関法の粒子画像解析および流体画像解析の有効性を詳しく示しており，工学の進展に寄与するところが大きい．従って，本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる．