

## 審査の結果の要旨

氏名 王 漢治

近年、インクジェットプリンティング技術はプリンテッド・エレクトロニクス、バイオテクノロジー、エネルギーデバイスなど様々な分野における3次元造形手法として注目されている。目的とする場所に高い解像度で液滴を吐出するドロップ・オン・デマンド型のプリンターは、適用範囲が広い一方で、作動流体の種類やノズル形状に応じて、液滴が吐出されない、または吐出された主液滴が複数の液滴が分裂するなどの現象が生じるため、液滴吐出の制御が大きな課題になっている。アプリケーションに応じて、作動流体、ノズル形状、アクチュエータのタイプは大きく異なる一方、インクジェットプリンティングでは、必ず何らかのアクチュエータが存在し、これを外部信号によって駆動することによって液滴吐出を行う。そこで本研究では、インクジェットプリンティングを駆動する信号波形とその結果吐出される液滴の関係を学習することによって、自動的にアクチュエータ駆動波形を最適化するためのフレームワークを構築し、その有効性を実証することを目的としている。

本論文の構成は以下の通りである。第1章では、本研究の意義、過去の研究事例が紹介されている。既存研究では、無次元指標であるZ数で単一液滴の吐出可能な条件が整理されている一方、同指標はノズル径、インクの物性値のみに依存し、流体力学的な効果が陽的に含まれていない。そのため、アクチュエータの駆動波形を最適化することにより、これまで単一液滴の吐出が難しいと考えられている条件における印刷の可能性があると指摘している。

第2章では、本研究で対象とする計算領域、駆動条件、計算手法の説明を行うとともに、開発したコードの検証を行なっている。過去の実験結果と同一の条件下において二相流シミュレーションを実施し、液滴の吐出スピード、形状が実験結果と良好な一致を確認している。

第3章では、2章で開発したシミュレーションコードを用いて、駆動波形と吐出液滴との関係性を学習し、駆動波形を最適化するフレームワークを提案している。具体的には、駆動波形をベジエ曲線で表現し、その制御点をベイズ最適化により最適化するアルゴリズムを提案している。その結果、駆動波形の僅かな振幅や周期の違いによって、単一液滴が形成されるかどうか左右されること、単一液滴が吐出される駆動波形として、ユニポーラー型、二つのバイポーラー型の波形が存在することを示している。また、これらの最適化結果を用いて、吐出時のインクの運動エネルギーに基づく、単一液滴の吐出可能性を予測する新しいモデルを提案している。

第4章では、上記のシミュレーションで構築したアルゴリズムを実験へ応用している。インクジェットプリンタを自作し、単一液滴の吐出を実現するためにピエゾアクチュエータに与える駆動振動の最適化を行った。その結果、3章のシミュレーションで得られた駆動波形と同様の波形が得られるとともに、従来研究では、Z数で  $9.6 < Z < 42$  の範囲が単一液滴の吐出限界とされてきたが、本システムにより駆動波形を最適化することによって  $Z = 72.9$  の条件においても単一液滴が生成できることを実証している。

第5章では、本研究の結論が記載されている。

以上、本論文は新しい製造技術として期待されているインクジェットプリンティング技術において、単一かつ微小な液滴吐出を実現するためのアクチュエータ駆動波形の最適化を数値シミュレーション、および実験の両面から取り組んだものであり、実問題への応用範囲は極めて広い。また、実験との詳細な比較を通じたシミュレーションの検証、エネルギー解析に基づく単一液滴の吐出可能性の指標の提案、機械学習による駆動波形最適化のフレームワークの構築など、学術的な新規性も高い。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。