

平成 20 年度修士論文

高知工科大学 大学院

工学研究科 基盤工学専攻 知能機械システム工学コース

格子ボルツマン法を用いた液滴の  
凝集・分裂挙動の二相流解析

学籍番号：1115055

氏名：松岡 晃

指導教員：両角 仁夫

## 第 1 章 緒 論

### 1.1 研究の背景

現在、液滴を用いたプロセスは燃焼や塗装や印刷など幅広い分野で利用されている。中でも燃焼の分野においては重質油の燃焼性向上のための燃焼法として燃料油に水を乳化する燃焼法が知られている。乳化した燃料は燃料滴中に無数の水滴が分散している。これを加熱すると、燃料油と水の沸点の違いによって燃料滴中の水が急激に蒸発し、マイクロ爆発と呼ばれる燃料滴の二次微粒化が発生する<sup>1-3)</sup>。これにより燃料液滴の燃焼性が向上するとともに、燃料に水を含んでいるために火炎温度が低下することから NOx 排出量を低減する。しかし、乳化燃料滴中の水滴がマイクロ爆発を引き起こすと考えられているが、そのメカニズムについて十分に検討されていない。

一方、塗装や印刷の分野においては均一な液滴を吐出することが可能なインクジェット技術が広く普及している。さらに近年、インクジェット技術を電子デバイスなどの製造プロセスへ応用する試みが盛んになっている。その要因として電子産業におけるディスプレイや電気回路などは、レジスト塗布、露光、蒸着およびエッチングなど多くの工程を繰り返して作成されており、大量物質消費型・大量エネルギー消費型のプロセスであることが挙げられる<sup>4)</sup>。例として、半導体デバイス用の Si ウェーハで必要なのは表面の部分のみで、その材料の有効利用率はウェーハ全体の 1%にも満たない。また、CVD、PVD といった薄膜作製の真空装置では、原料源から基板に堆積する材料の割合は 10%以下である。さらに、フォトリソプロセスで削り取るので最後に残る分は 1%以下である。フォトリソプロセスで用いるレジスト材料も、最初のスピコート塗布によって 90%以上が捨てられている。よって、高価なハイテク素材の 99%が無駄になっていることがわかる。したがって、地球環境保全の観点から見ても省エネルギー・省資源プロセスへの転換が急務とされている。インクジェット技術を用いることで機能性液体を小さくし必要なところに必要な量だけ塗布することが可能となり、多くの工程で必要となる装置のためのエネルギーや空間が大きく削減され、必要量だけ使用することで高機能な材料を必要最小限に抑えることが可能となる。しかし、多くのプロセスでは平坦な薄膜が要求されているが薄膜の形状の制御は試行錯誤で行われており、合理的な操作方法が確立されていない。

### 1.2 本研究の目的

乳化燃料滴のマイクロ爆発の発生には燃料滴中の水滴に気泡核が発生していると考えられるが、乳化燃料滴中に存在する水滴は数ミクロンであり、水滴の状態が気泡核生成、さらにはマイクロ爆発の発生に影響すると考えられる。しかし乳化燃料滴中での水滴凝集挙動について十分に検討されていない。そこで本研究では乳化燃料滴をモデル化し、乳化燃料滴中での水滴凝集の解析を行い、表面張力、含水率、水滴径が水滴の凝集挙動に及ぼす影響について検討を行う。

さらに、インクジェット技術による薄膜形成に関しては、基板上に吐出された液滴が蒸発することによって溶質が析出し薄膜が生じる。このとき、基板での濡れ性を変化させることで薄膜形成過程に変化が起こる。例として、親液面と疎液面をパターンニングした基板上にインクジェット技術を用いて液滴を吐出することで薄膜の位置選択的な形成が行われる。しかし、このパターン基板における疎液面と親液面が液滴に及ぼす影響について十分に検討されていない。そこで本研究では、均一基板上での液滴をモデル化し、濡れ性を変化させたときの基板上での液滴の挙動についてシミュレーションし比較・検討を行う。また親液面と疎液面をパターンニングした基板上での液滴挙動についてシミュレーションし検討を行う。

### 1.3 本研究の概要

本研究では、格子ボルツマン法を用いた、乳化燃料滴中をモデル化した液液二相流と、基板上の液滴をモデル化した気液二相流を取り扱い、それぞれの液滴挙動についての解析を行う。

第1章では、格子ボルツマン法と基板上での液滴挙動について述べ、格子ボルツマン法による数値解析と基板上での液滴挙動についての実験および数値解析の既往の研究について示す。

第2章では、格子ボルツマン法による二相流解析の方法について示す。

第3章では、乳化燃料滴中での水滴の凝集挙動について数値シミュレーションを行い、界面張力、含水率、水滴径の影響について比較・検討を行う。

第4章では、濡れ性の異なる基板上での液滴挙動について数値シミュレーションを行い、濡れ性が液滴に及ぼす影響について検討を行う。

第5章では、総括として本論文のまとめを行う。