

# データサイエンスによる 液滴微粒化ダイナミクス解明への挑戦

朝原 誠\*

## Challenges in Explaining Droplet Atomization Dynamics Using Data Science

Makoto ASAHARA\*

We performed Proper Orthogonal Decomposition (POD) on time series images of single droplet atomization and attempted to extract the dominant factors of the atomization phenomenon. The results showed that the contribution of the first mode, which indicates the liquid/gas phase, was large in the initial deformation phase, while the contribution of the first mode decreased to about 40% in the atomization phase, and the contribution of the second and third modes, which indicate the gas-liquid interface, tended to increase.

### 1. 目的

本研究では、噴霧燃焼モデルの構築に向けた液体噴射による微粒化ダイナミクスの解明を将来的な目標とし、微粒化の最小クラスタである単一液滴の微粒化挙動のサロゲートモデル構築を目指した。まずは、衝撃波後方の高速流中での微粒化をバックライト法で撮影し、取得した液体射影の時系列画像に固有直交分解(POD)に基づく特性解析を施すことで、支配的な成分の抽出を試みた。

### 2. 実験方法

単一液滴の微粒化のような時間の進行とともに変化する現象への固有直交分解(POD)の使用は適さない。そこで、本研究では、同一の Weber 数条件で複数回の実験を行い、それぞれの実験において撮影した動画の同一時間の画像に対し POD を施した。図1に実験装置の概略を示す。目標 Weber 数は、sheet-thinning breakup と catastrophic breakup の微粒化形態境界近傍の条件である  $We = 179.1$  とし、実験回数  $N$  は 87 回とした。

### 3. 結果及び考察

これまでの POD を用いた流体解析は、カルマン渦や噴流のように、定常的な現象の時間方向に対し、処理が施されており、本研究のような非定常流れに対する解析は行われていない。そこで、単一液滴の微粒化において POD を行うために、同一の条件で実験を繰り返し施行し、それぞれの実験で取得した時系列画像の同一時間の画像に対し、POD を施した。図2に本研究における POD のイメージを示す。実験回数  $N = 87$  回分の時系列画像における同時間の画像を括り、平均化処理、POD 処理を施した。

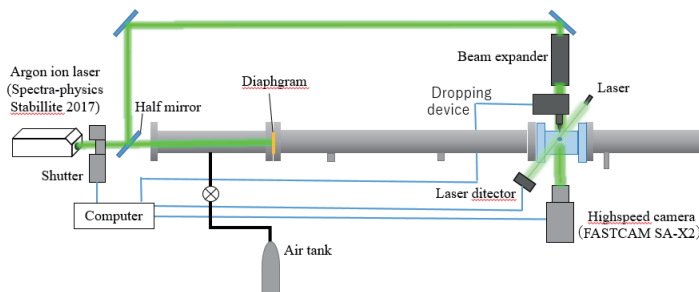


図1 実験装置概略.

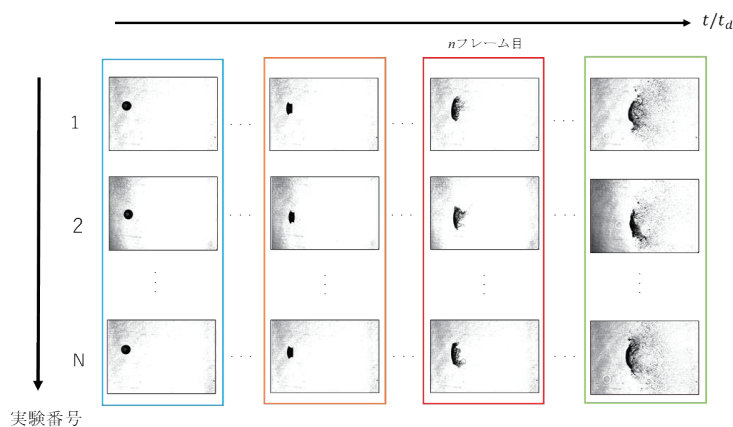


図2 PODイメージ.

図3に、アンサンブル平均及びPODの第1~3モードを示す。第1モードとアンサンブル平均の輝度分布は酷似しており、特に、球形の親液滴が気流により変形するフェーズ（初期変形フェーズ）では、気相と液相で逆の特徴量が示されており、アンサンブル平均によく似た特徴を示している。この結果から、第1モードはアンサンブル平均で顕在化する気相と液相を示す特徴量であると考えられる。第2モード及び第3モードは、界面を示す特徴量が抽出されており、第2モードでは界面前縁（上流側界面）と界面後縁（下流側界面）において逆の特徴が、第3モードでは主流に対して垂直な界面と並行な界面において逆の特徴が見られる。これらの結果から、単一液滴微粒化の同時画像に対しPOD処理を施すことで、気相/液相領域、主流方向の把握が可能になると考えられる。

図4に、POD処理による第1~3モードの寄与度の時間変化を示す。図3の元画像から読み取れる初期変形フェーズでは、第1モードの寄与度が90%以上と大きく縮めており、微粒化フェーズでは第1モードの寄与度が40%程度まで低下し第2モードと第3モードが大きくなることがわかった。

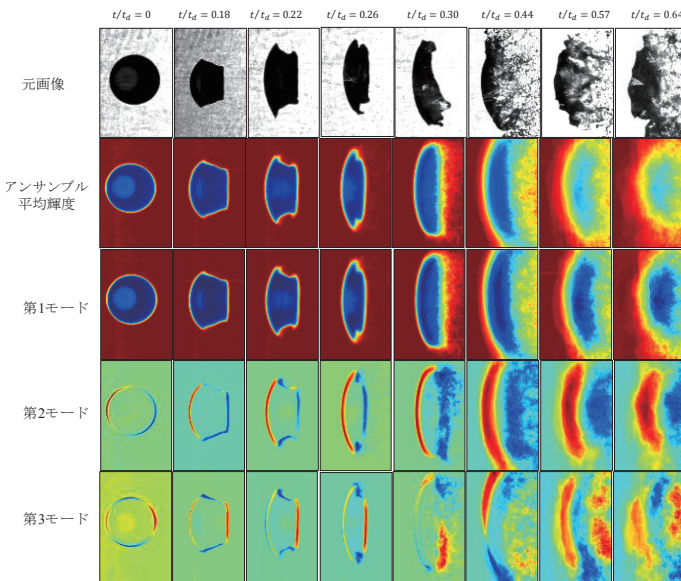


図3 単一液滴微粒化のPOD.

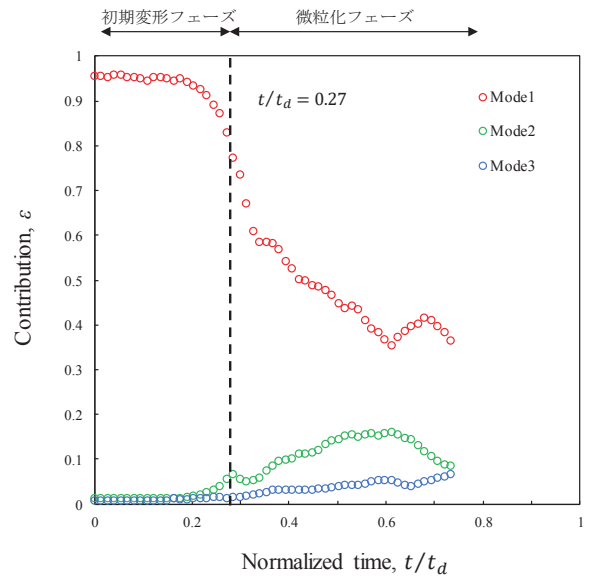


図4 PODの寄与度.

以上の結果より、初期変形フェーズでは、第1モードによる特徴量の時間変化に注目することでサロゲートモデルが構築されることが考えられる。一方、微粒化フェーズでは、第2,3モードの寄与度が大きくなるため、第1モードに加え、2,3モードのそれぞれの時間発展方程式を寄与度で重み付けして重ね合わせることで、微粒化挙動の再構築が可能となると考える。

#### 4. 結論及び今後の展望

本研究では、非定常な現象である単一液滴微粒化の時系列画像に対し固有直交分解（POD）を施すことで、確率的な微粒化現象の支配要素を抽出でき、親液滴の変形と微粒化のダイナミクス解明に寄与すると考えた。

POD解析の結果、初期変形フェーズでは、液相/気相を示す第1モードの寄与度が大きく、微粒化フェーズでは、第1モードの寄与度が40%程度まで低下するものの、気液界面を示す第2,3モードの寄与度が上昇する傾向を得た。このように、複数実験における同時時間の微粒化写真に対しPODを施す新規的手法により、気液界面の特徴量を示すことに成功した。さらに、各固有モードの時系列特徴量分布を関数として取り扱うことで、単一液滴微粒化の時系列画像を再構築するサロゲートモデルを導出できると考える。今後は、Weber数範囲を広げて同様の処理を施し、特徴量分布をWeber数と時間の関数で示すことに挑戦する予定である。Weber数に対するサロゲートモデルの構築に成功すると、未知のWeber数に対する単一液滴微粒化挙動を短時間で構築でき、エンジン開発における形状最適化・最適条件探査への応用が期待される。

#### 5. 謝辞

本研究は、豊田理化学研究所の研究助成（豊田理研スカラー）の援助により遂行することができました。また、本研究の実験とデータ解析は、当研究室学生の田中皓太氏、岩崎航大氏に実施してもらい、埼玉大学・姜東赫准教授にご助言いただきました。ここに感謝の意を示します。