

Lab-on-a-Disc におけるエントロピーを用いた液体混合の評価

Evaluation for Liquid Mixing Using Entropy in LAB-ON-A-DISC



兵庫県大院工¹, デンマーク工科大² ^{○(M2C)}石本 睦¹, Edwin En-Te Hwu², Sriram Thoppe

Rajendran², 内海 裕一¹, 山口 明啓¹

Univ. of Hyogo¹, Tech. Univ. of Denmark², ^{○(M2C)}Atsushi Ishimoto¹, Edwin En-Te Hwu², Sriram

Thoppe Rajendran², Yuichi Utsumi¹ and Akinobu Yamaguchi¹

E-mail: atsushi@lasti.u-hyogo.ac.jp

背景: マイクロシステムにおいてマイクロ流体デバイスを扱う場合、混合の定量化はマクロスケール、ミクロスケールの両方で重要な役割を果たす。液体混合の定量的な評価には、標準偏差に基づく方法がよく用いられてきた。この方法はレイシー混合指数を用いたものであり、粉粒体の混合度の評価によく用いられている。レイシー混合評価は、混合が完了したランダムな状態と分離した状態の統計的分散に対して、測定データの統計的分布を比較する方法であるが、この方法は、混合分散できない偏析現象が発生した場合に評価できないという欠点がある。そこで我々は偏析現象の有無に左右されず、一意的に決定されるシャノン情報エントロピーによる評価の適用を提案する。

実験: PDMS 上にリソグラフィーを用いて液体の混合チャンバーを作成した。この実験では、純水に 0.1wt% サフラニンを 0.1wt% 添加した着色水(チャンバー上部)と、リン酸の濃厚水溶液(チャンバー下部)を用いた。デバイスは角加速度 52.35 rad/s^2 で加減速を繰り返してオイラー力による混合を実施し、280 秒で終了する。この過程を回転と同期させたカメラで撮影し、画像の位置合わせの後、8 ビットのグレースケールへ変換した。その後、測定領域内の各ピクセルにおける階調値(256 段階)を最大値を 1 とした値で除算し、確率に換算した値からシャノンエントロピーを算出した。我々は、色水に対するリン酸水溶液の比重差 $d(\%)$ 、デバイスの角加速度 $\alpha(\text{rad/s}^2)$ 、混合チャンバーの深さ $D(\text{mm})$ を変化させ、検証を行った。

結果: 混合時間に対する、正規化されたエントロピー値を評価した。 $D=0.80 \text{ mm}$ においてオイラー力による混合を行なった場合のエントロピーの時間発展は、 $D=0.50 \text{ mm}$ の場合と比較して常に大きくなっていることが分かった。これは流路の断面積が増えることでレイノルズ数が相対的に大きくなることと、オイラー力による混合で乱流が発生しやすいことによると考えられる。このことから、我々が提案した手法は一般的な液体混合の定量的な評価のためのモデルとして機能するといえる。特に、層流がシステムを支配する Lab-on-a-chip やマイクロフレイディクスでの混合プロセスの本質的な評価が可能であることが確認できた。

謝辞: 本研究は、デンマーク国立研究財団(DNRF122)とデンマーク工科大学・IDUN 研究グループの支援を受けた。本研究の一部は、科学研究費助成事業(科研費)(第 17H02755 号)、公益財団法人 JKA の助成を受けたものである。