

"光圧回転体がマイクロ流路内の流れ、および流体混合に及ぼす影響の数値解析による研究"

DINH XUAN THIEN

本論文の目的は、マイクロ流体機器内の液体試薬の混合を促進させるために提案された、光圧で回転する素子の混合特性を、数値解析によって明らかにし、効率的な装置を設計するための指標を提案することである。

光圧回転体は光造形技術などで作成され、光ピンセット技術によって、保持、回転が可能である。その結果、ケーブルや機械的部品を回転体に付加することなく、遠隔操作が可能であり、効率的な混合技術としての活用が期待できる。このような回転混合素子の研究はほとんどされておらず、回転速度、流量、回転体の羽根枚数、流体の物性値などのパラメータと混合率との関係や、エネルギー効率を流体力学的、光学的視点から明らかにするものである。

本論文は緒言を含む6章から構成されている。

緒言では、これまでに提案されているマイクロ混合技術を概観し、本研究の位置づけを明らかにする。

第2章では、レーザー光線によって回転体に生じる力やトルクのメカニズムを説明し、集光レンズの焦点、開口数、回転体・流体の屈折率と光圧、光トルクとの関係を数値計算によって明らかにする。

第3章では、流体の支配方程式、主要な無次元パラメータ、数値解析法の説明を行う。

第4章では、広い空間内に置かれた回転体の混合特性の解析を行う。回転体が生み出す流れは三次元的であり、対流速度分布は実験結果と良い一致を示す。無質量の仮想粒子を用いることで、混合のメカニズムを可視的にとらえることも行っている。

第5章では、Y字形の流路に置かれた回転体を扱う。回転体による圧力降下、流体力、流体トルク、速度分布などの解析を行った。回転体に作用する横方向の流体力や流体トルクは、流量にかかわらず回転数に依存し、流れ方向の流体力は回転数に関わらず、流量に依存する。さらに、流体力やトルクは羽根枚数にも依存する。回転体の対流混合効果は、回転体のごく近傍に限られる。

混合構造は無質量の仮想粒子による可視化によって解析し、混合効率は流体の分散効率と、分布効率によって定量的に調べている。混合過程には相似性があり、回転体の周速度と流路内の平均速度の比が支配的である。この比を大きくすることで、混合度が大きくなる。羽根枚数はあまり影響しない。回転体の対流混合効果を拡散係数で表現すると、流体の拡散係数の千倍のオーダーとなる。

これらの解析の結果、流体の物性値、目標の混合度が与えられれば、装置の大きさ、回転体の仕様、レーザー光の出力などが決定できる。

第6章では、本研究のまとめと、今後の課題について述べている。