

“複雑な流体”の流れ解析

1. はじめに

近年、機械工学の分野においても「複雑流体」という用語が定着しつつある。複雑流体は、流体内部に原子・分子サイズよりも大きなスケールのマイクロ構造をもつ流体の総称であり、たとえば、高分子流体、液晶、界面活性剤溶液、コロイドサスペンション、エマルションなどがその代表的なものである。これらの多くは、流動により引き起こされる流体内部構造の変化(流動誘起構造)によって種々の機能性を発現し、さまざまな工業材料として利用されている。

本稿では、複雑流体の流動解析における最近の話題のひとつを紹介する。

2. 複雑流体の内部構造

図1に種々の複雑流体がもつ流体内部構造を模式的に示す。ここで、界面活性剤溶液を例に取りあげる(図1右下)。親水基と疎水基からなる界面活性剤を、ある臨界濃度以上で水中に溶かすと、ミセルと呼ばれる分子会合体が形成される。さらに、界面活性剤の種類によっては、塩を添加することにより、ミセルがネットワーク構造を形成し、高分子流体と同様の顕著な粘弾性を示すようになる。これらの構造の流動による変化が、界面活性剤水溶液の複雑な流動挙動の原因と考えられている。また、このネットワーク構造は、流れ中で生成・破壊・再生成が可能であり、界面活性剤の流動挙動をより複雑なものにしている。

流動による流体内部構造の変化は、複雑流体のレオロジー特性や特異な流動挙動に関係するため、その解析は、複雑流体の流動メカニズムの本質に迫る有効な手段である。

3. 流体内部構造のモデリング

複雑流体の流体内部構造の表現には種々のスケールでのモデリングが考えられる。たとえば高分子流体の場合、図2に示すような分子レベルの構造を考えるもの〔図2(a)〕から高分子の力学特性をバネで表現するもの〔図2(d)〕までさまざまなレベルの粗視化

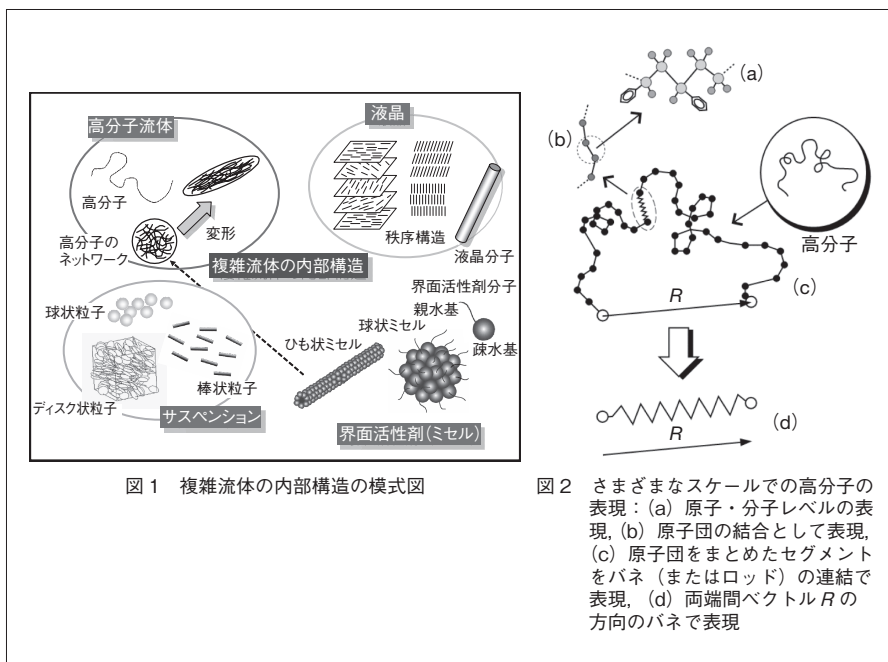


図1 複雑流体の内部構造の模式図

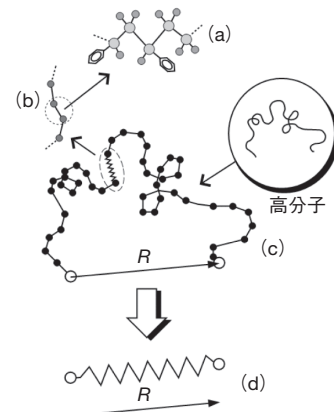


図2 さまざまなスケールでの高分子の表現：(a) 原子・分子レベルの表現、(b) 原子団の結合として表現、(c) 原子団をまとめたセグメントをバネ(またはロッド)の連結で表現、(d) 両端間ベクトルRの方向のバネで表現

が考えられる。

これらのモデルを用いた理論解析あるいは数値解析は流動誘起構造を理解するための有効な手段である。しかし、実際の工業プロセスにおける複雑流体の流れでは、非常に広い範囲にわたる時空間スケールの現象が共存し、解析を難しくしている。すなわち、空間スケールでは、流体内部構造の大きさから通常的生活空間におけるスケールまで、時間スケールでは、分子運動や構造の緩和時間からプロセス時間のスケールといった広範囲のスケールを含んだ問題を考えることになる。

このようなマルチスケールの問題に対する効果的なアプローチ手法、種々のスケールで記述されたモデルを流動解析に効率的に取入れる方法の開発は、複雑流体の流動誘起構造とマクロな流体挙動の相互作用を理解するための解析手法の開発として重要な問題である。

特に最近ではミクロスケールの構造をもつ成形品なども現れ、このような成形における流れでは、流動誘起構造が製品特性に及ぼす影響が大きくなり、流動誘起構造の解析の必要性が増している。

2006年7月にイタリアのプラートで、International Workshop on Mesoscale and Multiscale Description of Complex Fluidsと題された国際ワークショップが開催され、筆者もこれに参加した。このワークショップでは、複雑流体のさまざまな粗視化レベルにおけるモデリング手法や、広範囲のオーダーの時空間スケールの問題との連成手法について議論された。これらは複雑流体の流動解析において注目されている話題である。また、ワークショップには流体力学のほかにも材料科学、物理化学、数学などさまざまな分野の専門家が参加し、この研究分野の学際領域としての一面も感じられた。

4. おわりに

本稿では、複雑流体の流動解析において、流体内部構造のモデリングとそのモデルを用いた流動誘起構造の解析が、現在注目されている研究対象となっていることを紹介した。(社)日本機械学会では、流体工学部門の研究会として複雑流体研究会が2006年4月より活動を始めている。今後の研究会の活動に注目していただきたい。

(原稿受付 2007年3月14日)

〔山本剛宏 大阪大学〕