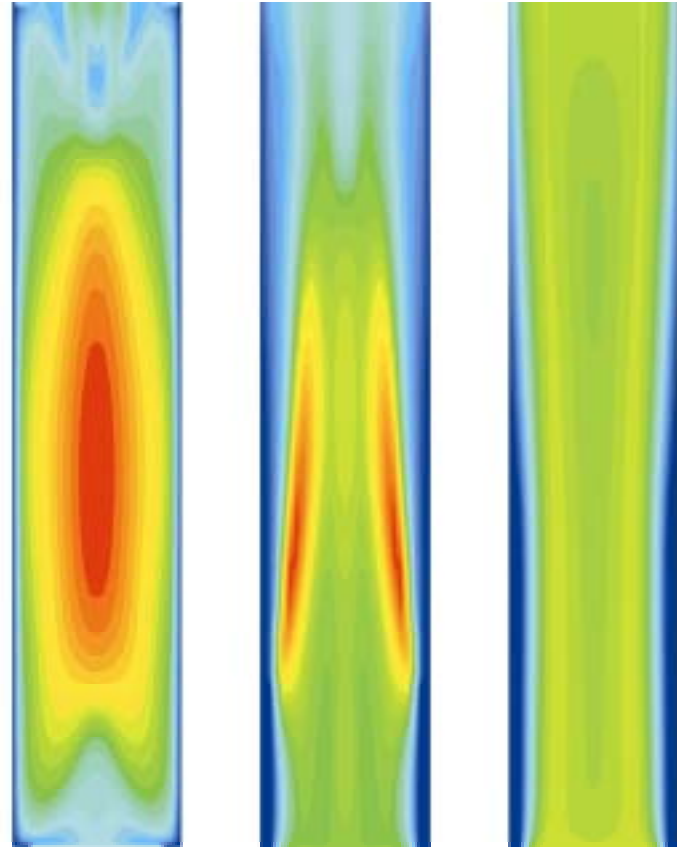


ユーザー定義関数を使用した分裂と結合のモデリング

化学工業の工程では、ガス気泡を液体を通して熱伝達や物質移動をするケースが多くあります。例えば、気泡塔、噴霧、攪拌用のタンク型反応器などがあげられます。一般的に、このような混合物は(計算の手間を減らすため)単一粒径の球形気泡を用いたオイラー多相モデルまたは代数スリップ混合モデルを使用してシミュレーションされます。ただし、気泡がこのような単純化したパターンと一致することは稀です。実際は気泡粒径に幅があるだけでなく、ガス気泡が液体中を移動する際に分裂や結合を起しやすいため、ガス-液体混合物の複雑な挙動は、多くの場合、いっそう複雑さを増します。分裂は液体中のせん断力が気泡の表面張力より大きくなった時に発生し、結合は2個以上の気泡が衝突して気泡間の液体膜が薄くなって破れた時に発生します。このような混合物をCFDでモデリングすることは難しいことです。というのも、さまざまな気泡粒径を考慮に入れなければならない。気泡粒径は液体の局所的条件によって変化する場合がありますからです。このようなガス-液体混合物の複雑さを明らかにするために、FLUENT5.4では、ユーザー定義関数を使用した分裂と結合に関する2つの数値モデルが実装されました。このモデルは、ガス-液体流れの代数スリップ混合モデルと連携して機能するように設計されています。

フルフィールドアプローチ(Luo と Svendsen, 1996)とは、ポピュレーションバランス理論をベースにし、10種類の気泡粒径の範囲について考



- a)乱流渦のサイズに対応する $k/2$ と ρ の比を典型的な気泡塔で示す。塔中央の大きな渦が、上昇する気泡を分裂させることはほとんどない。一方、壁面では渦が小さいために分裂が増える(つまり、より小さい気泡が生成される)。この小さな気泡が上昇する際、一部は壁近傍の循環パターンにとらえられるが、残りは比較的大きくより浮力のある気泡とともに中央付近を上昇し続ける。
- b)気泡が小さい場所では、ガスの体積分立(ホールドアップ)は一般的に大きい。分裂で生じた小さな気泡は塔を上昇し、循環するグループと上昇を続けるグループに分かれる手前で最大ホールドアップが見られる。
- c)分裂も結合もなく、気泡はすべて同粒径で、塔内のガス積分率はより均一である。

察したものです。各範囲では、気泡の直径は分布関数によって表されます。ボルツマンの方程式を使うことで、気泡は分裂と結合を起こしながら移動することが可能となります。これにより、各粒径グループでの気泡の発生と消滅を記述する生成項が作成され、その結果ガス相の全体的な質量バランスが保証されます。FLUENTの実装では10個のスカラー方程式が必要ですが、その1つは各範囲内の数密度分布用です。各方程式には、発生速度と消滅速度を記述する独自の複合生成項が含まれます。分裂の最も重要なメカニズムは乱流であり、気泡の直径より小さい渦だけが気泡を分裂できます。それより大きな渦は、主として気泡を輸送する役割を担います。結合は、液相で近傍の気泡どうしを押しつける乱流の変動に左右されます(Prince と Blanch, 1990)。マクロな循環パターンが半径方向に速度勾配を引き起こし、近傍の気泡

を異なる速度で輸送する場合があるのと同様に、粒径の異なる気泡の上昇速度の変動も、少ないながら衝突を引き起こす場合があります。

数密度アプローチ(Millies と Mewes, 1999)もポピュレーションバランス理論をベースとしていますが、フルフィールドアプローチほど計算の労力を必要としません。10種類の粒径の範囲に対して10種類の分布関数を使用する必要はなく、全粒子サイズに対して想定される分布関数は1つのみです。分裂と結合の間には、指定された気泡粒径範囲にわたって平衡状態が存在するという仮定がなされています。FLUENTの実装では、数密度分布全体に対して1つのスカラー輸送方程式を使用しています。このモデルによる予測には、上記と同様の分裂、結合メカニズムをベースとした気泡粒径の分布が含まれます。