

# KRC ニーダにおける混相流解析技術の適用

## Application of Numerical Technology to Multiphase Flow in KRC Kneader

### 1. はじめに

当社の KRC ニーダのような二軸連続式混練機および反応機のスケールアップにおいて、実験による実証が中心であり、それに要する時間やコストが非常に大きいことが課題でした。

そこで、数値解析技術を利用することにより、実験の回数を減らし、コストを低減できることが期待できます。

本稿では、東京大学酒井研究室で研究開発されている三相混相流におけるシミュレーション技術を利用し、可視化装置との相関を検証する取組みを報告します。

### 2. 背景および研究目的

高分子の合成や重合反応後の脱溶剤用途として、図 1 に示す KRC ハイブリットリアクタを開発し、高機能・高性能樹脂分野への市場参入を目指しています。当該分野においては、通常は実験機から始まり、ベンチ試験、パイロット試験を経て生産機の順に段階的にスケールアップするため、スケールアップファクタ（容積比、伝熱面積比などの指標）の把握が重要です。

スケールアップの方法として、中間段階の実験機を製作し、実証する方法が中心ですが、数値解析技術が適用できれば、開発のスピードアップ、試作コストやリードタイムの削減が期待できます。数値解析技術は、コンピュータの高速化に伴い急速に向上していますが、気体と液体の混相流解析は、市販のコードでは実用に耐えるものは少ない状況であり、さらに一様媒体でもなく、複数の相が混在する現象の解析は、まだ十分に実現できてはいません。

本研究では、東京大学酒井研究室で研究開発されているシミュレーション技術（粒子法的一种で、流体を粒子の集まりとして扱う解析手法）を三相混相流に適用し、可視化装置との相関を検証することにより、この手法の検証と同時に反応機や脱溶剤機に求められる攪拌羽根形状の最適化とスケールアップファクタを検証することを目的としています。

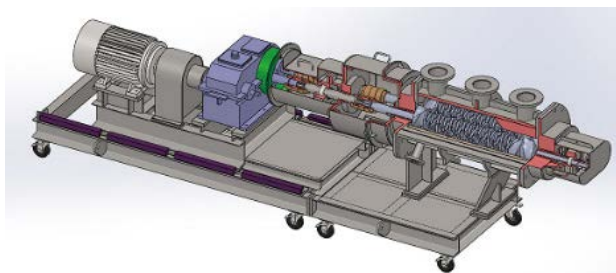


図1 KRCハイブリットリアクタ外形

### 3. 従来の市販のシミュレーション技術の場合

#### 3.1 重合格子法

この手法の特徴は、スクリュ部と流体部（原料流体が充填する領域）を別々にモデル化し、複雑なメッシュを作成せずに解析が可能である点です（図 2）。

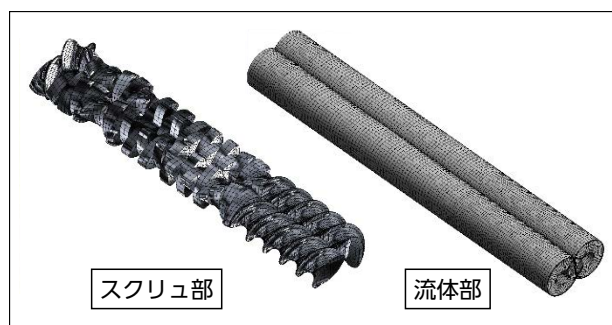


図2 メッシュ図

#### 3.2 解析結果

スクリュ周辺の流体に作用するせん断速度、流体の速度、流体の圧力の分布を図 3～図 5 に示します。

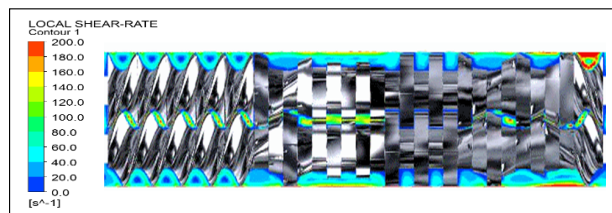


図3 せん断速度の分布

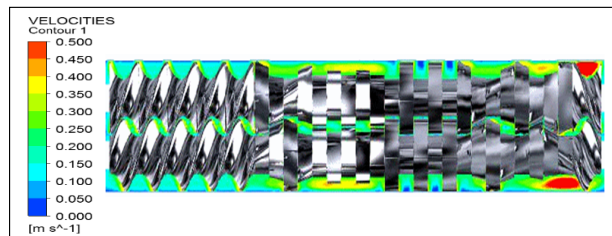


図4 速度の分布

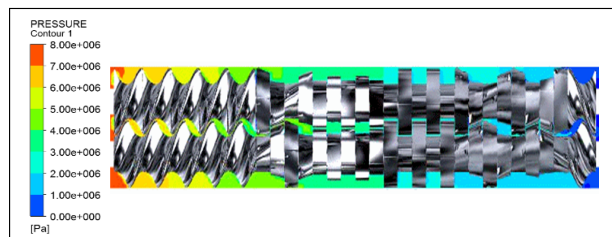


図5 圧力の分布

この重合格子法でも、原料流体を粒子に置き換えて流体の運動状況を表現でき、一例として、各々の粒子が投入された時間帯に分けて色分けした流動分布の状態を図6に示します。これは原料の滞留状態を把握するのに有効です。ただし、充填率100%の場合にしか適用できず、混相流には適用できません。

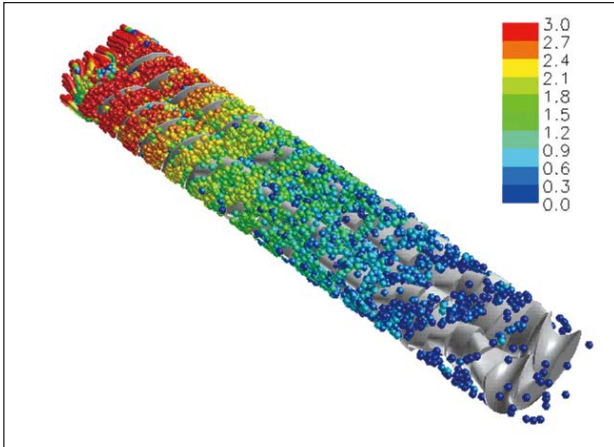


図6 粒子の流動分布モデル

#### 4. 三相混相流シミュレーションの適用

##### 4.1 三相混相流シミュレーション

東京大学酒井研究室にて研究開発されているシミュレーション技術を当社のKRC ニーダに適用しました。次項にその適用例を紹介します。

##### 4.2 二相（気体、固体）への適用例

まずは、簡単な二相、固体（粒子）と気体（空気）の混相流におけるシミュレーションを行った結果を図7に示します。

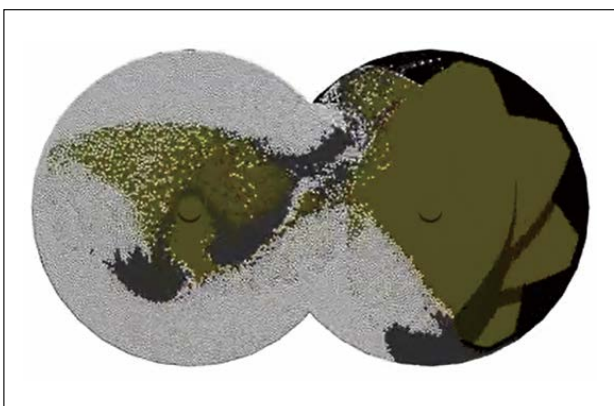


図7 二相混相流のシミュレーション結果

##### 4.3 三相（気体、液体、固体）への適用例

三相混相流のシミュレーション結果を図8に示します。このシミュレーション技術により、液体中の固体（粒子）の動きや、気液混合界面の動きを表すことができました。

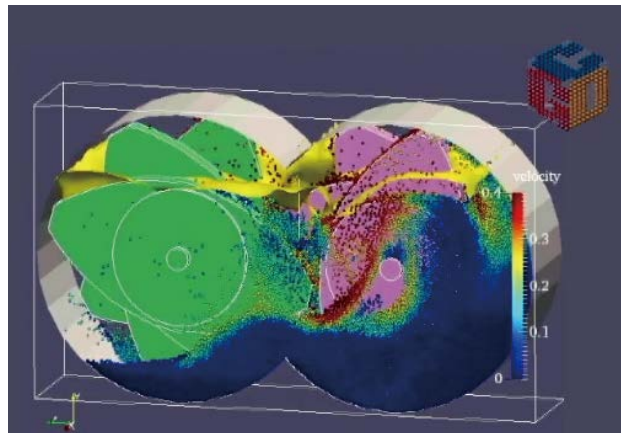


図8 三相混相流のシミュレーション結果

##### 4.4 KRC ハイブリッドリアクタへの適用

KRC ハイブリッドリアクタの可視化装置（図9）を製作し、ガラスビーズ（固体）と空気（気体）の流動シミュレーション（図10）との比較を行う予定です。

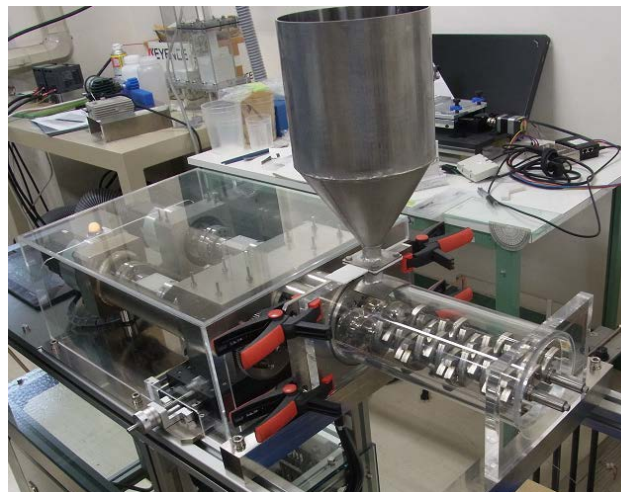


図9 可視化装置（KRCハイブリッドリアクタ）

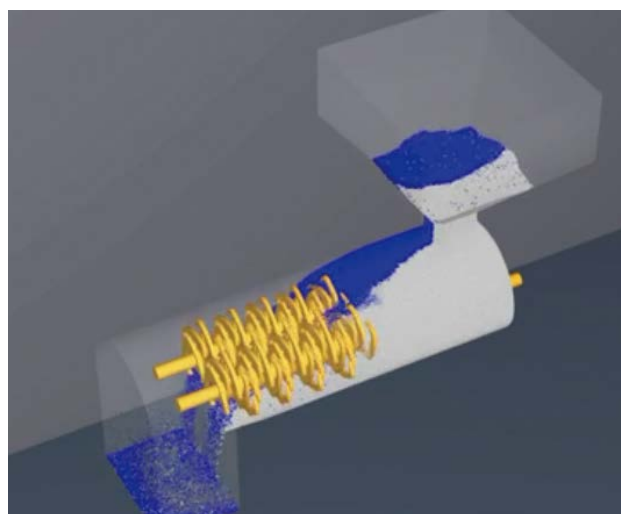


図10 ガラスビーズの流動シミュレーション

## 5. まとめ

当社機械システム事業部の商材であるKRC ニーダ、KRC ハイブリッドリアクタ、SCPD プロセッサなどの可視化装置を図 11～図 13 に示します。

これらを用いて、簡単な系（固気二相流）における解析結果との整合性を確認しております。

また、これらの装置により、実際の系により近い原料の流動状態を再現し、相関性の確認が可能となりました。

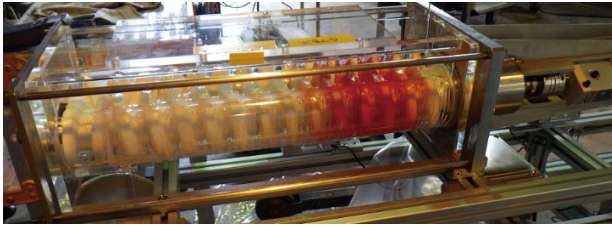
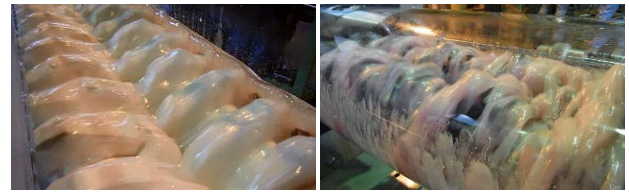


図11 可視化装置 (SCPDプロセッサ)



図12 可視化装置 (KRCハイブリッドリアクタ)



a) SCPDプロセッサ      b) KRCハイブリッドリアクタ

図13 可視化テスト

今後、シミュレーション技術と可視化装置での実現像との整合性を検証することを繰り返し、解析技術を確立することにより、コストおよび性能ともにお客様のニーズに応える最適な装置を提供できるよう努めます。

## 参考文献

- 1) Mikio Sakai, Yusuke Shigeto, Gytis Basinskas, Akira Hosokawa, Masayoshi Fuji, Discrete element simulation for the evaluation of solid mixing in an industrial blender, Chemical Engineering Journal (2015)、pp. 821-838
- 2) Xiaosong Sun, Mikio Sakai, Numerical simulation of two-phase flows in complex geometries by using the volume-of-fluid / immersed-boundary method, Chemical Engineering Science (2016)、pp. 221-240

お問い合わせ先：機械システム事業部 機能材プロセス営業部 西日本営業課 TEL：06-6538-7679