20 画像処理を用いた回転型リアクタ内の流動解析

本州製紙(株) 角矢 禎男[○]

室蘭工業大学 花岡 裕、戸倉 郁夫

雪印乳業(株) 本多 芳彦

Analysis of Flow Field within a Rotating Column Type Reactor by using
Visualized Image

Sadao KADOYA*, Yutaka HANAOKA**, Ikuo TOKURA** and Yosihiko HONDA***

Abstract

Velocity distributions within a rotating type reactor were measured by a suspended tracer-particle method. In this paper, first of all, the outline of digital image processing technique of tracer particle motions within a rotating column was described, and then the applicability for this method was evaluated. Finally, some examples of measurement within a reactor were discussed.

Flow images visualized with suspended tracer particles were once recorded on the video tape recorder. The procedure was conducted as follows: 1) particle identification between different images, 2) selection of particle velocity vectors, 3) determination of particle velocity and 4) interpolation of velocity vectors to grid point over the flow field.

The results obtained were summarized as follows;

(1) Sample data were processed to check the validity of this method by using a circular disk dotted dummy-particle. From the point of view of flow visualization method, experimental criteria for this method were made clear.

(2) This method was applied to measure the velocity distribution within a rotating column type reactor. As the result, a reasonable velocity field was obtained.

1. はじめに

著者らの一人は、繊維状固定化生体触媒を用いた乳糖分解反応器として横型回転コラムリアクタを開発したが、この反応特性は貫流式充填層と攪拌槽の両方を有しているものと思われる¹⁾。しかしながら、このタイプのリアクタに対し反応特性に影響すると考えられる内部に仕切り羽根を有する回転コラム内の流動特性に関しては、現在のところ実測データはもち論のこと解析例は見あたらない。

本研究では、より反応効率の高いリアクタを開発するためには、これらの反応特性と流動特性の関係の把握が重要であると考え、前述の横型回転コラムリアクタの2次元モデル装置を試作し、第1段階として、充填材(固定化生体触媒)を含まない4枚羽根を有する円筒内の流動現象の可視化に焦点を合わせ、流れ場の定量的な把握を試みたものである。一方、流れ場の計測手段としては、容器内トレーサ粒子の画像処理手法が最近注目されている^{2) 3)}。その利点は、可視化による画像解析を利用することから、

(1) 流れ場全体の速度ベクトルを同一時間内に得ることができる

(2) プローブの挿入が必要でなく、流れを直接乱すことがない

などの特徴を有していることから、本研究では、これらの速度計測法を採用することとし、特にトレーサ粒子の同一付けに関しては加賀ら²⁾の方法を基に計測システムを構成した。

本報告では、旋回流動する流れに対するこの計測システムの適応性について考察し、また回転型リアクタの流れに実際に適用して得られた結果について考察する。

* Honshu Paper Co., Ltd. Ginza, 5-12-8, Tyuuou-ku, Tokyo, Japan.

** Faculty of Engineering, Muroran Institute of Technology. Mizumoto-cho, 27-1, Muroran, Hokkaido, 050, Japan.

*** Sapporo Research Laboratory, Snow Brand Milk Products Co., Ltd. Naebo-cho, Higasi-ku, Supporo, Hokkaido, Japan.

2. 計測法

2・1 画像計測システム系

Fig.1は、画像処理手順を示したものである。まず、ビデオカメラにより撮影、記録された画像が再生用ビデオにより再生され、画像処理装置により連続4画面（フレーム間隔1/30秒、1画像あたり256階調、512x512pixel）の画像が取り込まれる。これに適当な画像処理を施した後、それぞれのトレーサ粒子の重心座標が算出され、フロッピーディスクに保存される。このようにして得られたデータは、同一トレーサ対応付けプログラムにより粒子の特定を行い、最終的に速度ベクトルの計算が実施される。

2・2 画像処理法およびトレーサ対応付け

粒子画像の抽出を目的に行われる画像処理および同一トレーサの対応付け法については、文献2)によ

Fig.1 Procedure of measurement

2・3 不良ベクトルの削除

前節の方法によって同一付けられたベクトルの中には、各フレームの粒子が正しく対応付けられていない不良ベクトルが存在し得る。そこで本研究では、実験装置の特徴を考慮にいれ以下に示す手順で不良ベクトルの削除を試みた。

(1) 本実験装置では、測定部前面（内円筒と外円筒の間）に流入した粒子が不良のベクトルを形成する可能性がある。これらのベクトルは、内円筒の回転の成分の逆向きに近似していると考えられるので、半径と回転数により算出されるベクトルと比較することで判定し削除する。

(2) 粒子の組には、同一トレーサを共有しているものがある。正しい組はこの中でただ一つと考えられるので次のように不良ベクトルを削除する。

① トレーサを共有する組を持たないものは、正しい組とする。

② その他のベクトルは、それぞれ標準偏差を含む式²⁾を算出しトレーサを共有するベクトル群の中でその値が最小になるものを正しいものとする。

$$C_D = \frac{(U - \bar{U})^2}{\sigma_x^2} + \frac{(V - \bar{V})^2}{\sigma_y^2} \quad (1)$$

ただし、 U 、 V ： X および Y 方向速度成分 $\bar{U}$ 、 $\bar{V}$ ： X および Y 方向速度成分の平均

σ_x 、 σ_y ：標準偏差である。

(3) こうして得られたベクトルをベクトル線図に表し、流れ場全体を観察し明かに不良と思われるベクトルは手動により削除する。

2・4 計測ベクトルの格子点への内装

以上の様にして得られたベクトルは、不規則な位置での値となるので必要に応じて測定

領域内に格子を形成して格子点上にベクトルを内挿する。格子点への内挿法としては、通常よく使われる観測点からの距離の自乗の逆数を重み関数とする重み関数法を用いた⁴⁾。

3. 実験装置

実験は、静止座標系中において移動するトレーサを観察するために、VTRをリアクタの回転と同調するように共通の駆動軸により回転させて画像を取り込む方法を採用した。観測部詳細をFig.2に示す。観測部は、透明アクリル製の外円筒（直径：300mm）、内円筒（直径：220mm）の2重円筒構造になっており、

Fig.2 Experimental facility

流体は外円筒底部から軸部へ貫流する。また内円筒が回転することにより攪拌が行われる。照明は、リアクタ前方よりリアクタに対し平行に4個のランプ（300Wx4）を設置している。トレーサには、ポリスチレン粒子（径－0.5～1.5mm、比重－約1.03）を用いている。

4. 結果および考察

本計測システム系の評価は、予め固定されたダミー粒子を記した回転円盤を固定したビデオカメラにより撮影し、それを画像処理することで行われた。Fig.3は、回転数9.9[r.p.m]、探索領域を7.2x7.2 [mm]にとった結果のベクトル線図である。大部分の粒子が正しく対応付けられており、本計測システムが正常に機能していることを示している。

Fig.3 Velocity field on the circular disk

次に得られた実測例について示す。Fig.4には、対応する(a)流跡トレース図および(b)実測ベクトル線図を示す。両者を比較すると約8割程度の速度ベクトルが、定性的に流跡と対応しており、本計測システムによる速度計測法の妥当性を示している。Fig.5(a)～(c)は、給水流量4.78[lit/min]、内円筒回転数5.09～30.98[r.p.m]における内挿ベクトル線図である。(a)では、外周中心方向に行くにつれて半径方向速度が増加しており、これは内円

筒の回転がない流れに見られる傾向である。またブレード前方では、周方向流れが強くブレード後方では、半径方向流が強くなっている。

(b)においては、周方向を向いているベクトルの分布範囲が広くなっており、さらに回転数の高い(c)では、外周からの吹き出しの影響を退けてベクトルはほぼ周方向を向いている。また、ブレード前方内壁付近およびブレード後方外周付近に流れの乱れが生じている。

Fig.4 Velocity vector vs. trajectories

Fig.5 Interpolation velocity field for reactor

5. おわりに

回転リアクター内の流れ場を測定するために可視化画像の画像処理による計測システムを構成し実際の流れに適用した。その結果、次のような結論を得た。

- ① テストプレートを用いた実験により、本計測システムの有効性およびその適用限界を把握することができた。
- ② 本計測システムにより回転型リアクター内の流動現象の概要を把握することができた。

参考文献

- 1) 本多ら, 日本食品工業学会誌, 38-5(1991), 384.
- 2) 加賀ら, 空気調和・衛生学会論文集, 44(1990), 47.
- 3) 小林ら, 日本機械学会論文集, 55-509(1989), 107.
- 4) 山口ら, 大気汚染学会誌, 18-3(1983), 210.