

[2023105110]

特殊流路内の気液二相流のボイド率分布計測

流動条件の影響評価

Measurement of Void Fraction Profile in Distillation Column

- Influence of Flow Condition -

梅川 尚嗣^{A)}, 網 健行^{A)}, 平賀 龍哉^{A)}, 永富 大世^{A)}, 伊能 慶太^{A)}, 原山 勲^{B)}, 栗田 圭輔^{B)}, 飯倉 寛^{B)}
Hisashi Umekawa^{#,A)}, Takeyuki Ami^{A)}, Ryuya Hiraga^{A)}, Taisei Nagatomi^{A)}, Keita Inou^{A)}

Isao Harayama^{B)}, Keisuke Kurita^{B)} and Hiroshi Iikura^{A)}

^{A)} Department of Mechanical Engineering, Kansai University

^{B)} Japan Atomic Energy Agency

Abstract

The void fraction profile was measured in the model of distillation column equipped with the structured packing by using neutron radiography. The detailed information of void fraction was obtained by CT-reconstruction, and the influence of liquid property is estimated by using the water and ethyl alcohol mixture as working fluid. The experimental results express the influence of the fluid property on the liquid distribution clearly.

Keyword: Distillation column, Void fraction, Structured Packing, CT-reconstruction

1. 緒論

充填塔では、筒内を上昇する蒸気と流下する還流液間で気液対向二相流を形成し、原料の飽和温度差を用いて製品純度を高めていく。この時、十分な気液界面積濃度を確保するために塔内にはさまざまな構造物が挿入されるが、その有効性は流体物性に大きく影響されることとなる^[1,2]。本研究では内部構造物として規則充填物を使用し、作動流体に水とエチルアルコールの混合液を用いることで流体物性を変化させて、充填塔内部での液拡散特性に対する影響評価を行った。充填筒内部の流動状態の評価には、日本原子力研究機構研究炉 JRR-3 にて熱中性子ラジオグラフィによる可視化を行い、取得画像から CT 再構成を行ったものを用いた。ここではこれらの結果について概説する。

2. 装置および方法

使用した実験装置の概略図を図 1 に示す^[3]。テストセクションは内径 $\Phi 100\text{mm}$ 、全長 520mm のアルミ製パイプの中に $\Phi 90\text{mm}$ 高さ 210mm 比表面積 $750\text{m}^2/\text{m}^3$ の規則充填物を二段挿入したもので、各充填物は 21 枚のプレートフィンを積層して作成されている。プレートフィン表面には、穴加工(パーフォレート)、微細溝加工(リブレット)、波板加工(コルゲート)が施されている。この波板加工方向は鉛直方向に 45° 傾斜しており、傾斜方向が交互になるように積層して、アルミ製のカラーでバインドしている。なお、充填物上段と下段は積層方向が直交する形で挿入した。

作動流体は、水ならびにエチルアルコールとその混合液を用いており、リザーバタンクに蓄えられた液が、ポンプで揚水され筒上部中央から $j_L=0.1\sim 0.9\text{mm/s}$ で一点供給される。液はテストセクション

内を通過後、液トラップを介してリザーバタンクへと戻る。対向する気相はコンプレッサからの空気を用いており、下部から整流版を介して筒内へと流入 ($j_g=0\sim 1.5\text{m/s}$)、テストセクションを通過後、上部から大気開放される。なお、気液対向流状態を長時間継続すると液の蒸発が発生するが、液温低下はリザーバタンク内に恒温水を循環させることで防止、また蒸発による濃度変化は無視できるレベルであることを実験前後に濃度計で確認している。

これらの装置を JRR-3 の 7R 照射室内に設置、ターンテーブルを用いて 0.6° 刻みで 180° C-CCD カメラで撮像したものをを用いて CT 再構成を行った。なお、照射視野の関係でテストセクション全長を一度に撮像出来ないことから、装置は上下方向にトラバースして二回に分けて撮像した。この時、照射時間は約 1s であるが、本系では液は拘束の大きい構造物内を流下することもあり準定常状態とみなして間

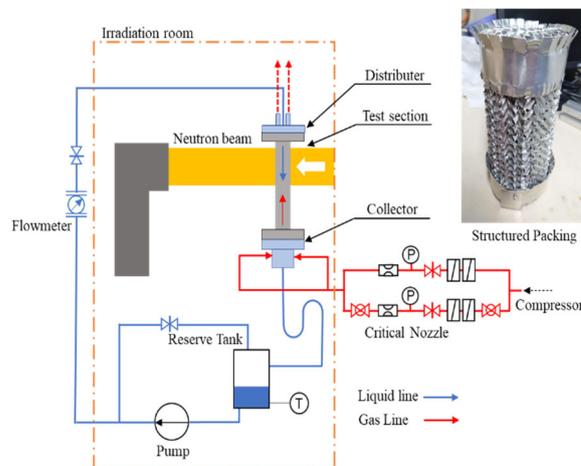


Fig.1 Experimental apparatus.

[2023105110]

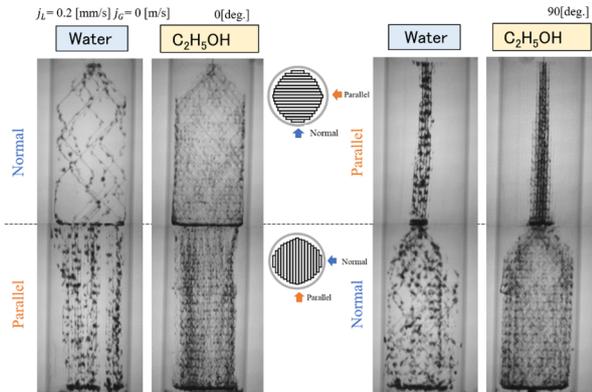


Fig.2 Example of visualization image.

題ないものと判断している。

2. 結果および考察

撮像した画像の一例を図 2 に示す。図は水ならびにエチルアルコールを流下させた場合の可視化データを二方向から撮像したものを示しており、積層方向に対して、平行方向を Parallel, 直交方向を Normal 方向と称呼する。図から、液の拡散は基本的にはコルゲート溝加工で発生し、パーフォレートを介してのシート間の移流は、特に水では顕著に発生しないことが確認できる。また、水とエチルアルコールでは拡散状態に明確な差が確認でき、粘性の大きな水には本系で用いた規則充填物では十分な均一拡散状態は確保できないことが分かる。

図 2 の特性を定量的に評価することを目的として、CT 再構成で得られた画像から各断面での液到達最遠部の面積を計算幾何学の α シェイプを用いて算出した (Fig.2)。なお、縮小係数は画像内に設定した参照断面に対する感度をもとに決定した。この整理により、Fig.1 で視覚的に確認した流体による拡散状況の違いが定量的に示されることが分かる。ここでは水とエチルアルコールのデータのみを示しているが、エチルアルコールではパーフォレートを介した移流が少し発生していることや、水では空気流束を増加させると下部で縮流が発生していることが確認できる。

図 3 で示した、パーフォレートを介しての液拡散に対する液物性の影響を見るために、上段の平行方向から見た時の液の広がり角度を、ラプラス長

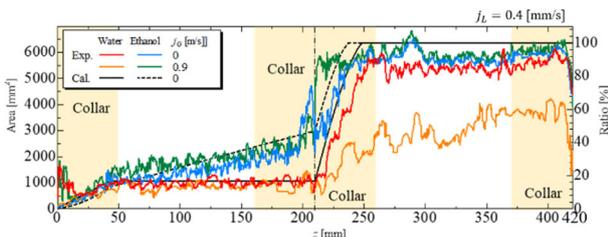


Fig.3 Characteristics of Liquid Distribution.

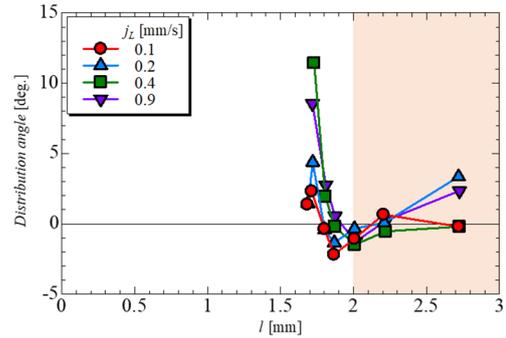


Fig.4 Spread angle over perforate.

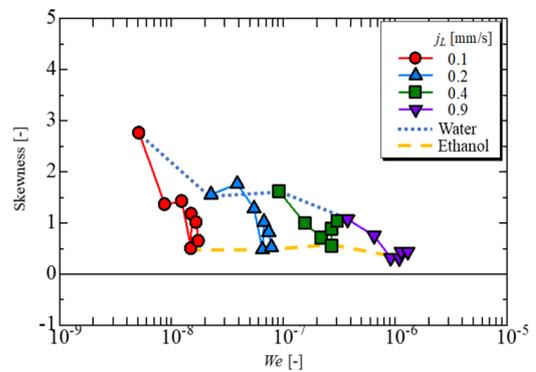


Fig.5. Skewness of liquid distribution.

さに対してプロットしたものを図 4 に示す。本図に関しては、エチルアルコール濃度を変えることで、順次物性値を変化させているが、図からわかるようにラプラス長が大きくなるに従い急激に広がり角度は小さくなり、2mm 程度を超えると広がりほとんど見られないこととなる。

図 3 では液の広がりを各断面の到達面積で評価を行ったが、この手法では図 2 に見られるような液の濃淡評価は行えない。そこで図 5 は透過画像から求めた液画像の輝度分布からヒストグラムを作成し、歪度で評価したものとなる、値的には均一分布になるにしたがって歪度は小さな値となる。この図では、We 数の増加ならびに、同一の流量条件ではエチルアルコールの濃度が高くなるにしたがって均一分布となっていく傾向が見られる。つまり We 数の低い条件においては、液の分散が強く現れるため濃度の差が顕著に表れているが、We 数が増加するに従いその影響は小さくなる傾向が確認される。

参考文献

- [1] 平賀龍哉, 規則充填物内における流動特性, 関西大学大学院修士論文, 2024.3
- [2] Manasa Periyapattana, Experimental study of liquid films on the structured Packing Elements of Distillation Columns, Phd Thesis University of Paris-Saclay, 2021.
- [3] 平賀、梅川、網、飯倉、栗田、規則充填物内気液対向二相流の 3 次元流動特性, 混相流シンポジウム 2023, OS1010, 2023