

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05118

研究課題名(和文) 非相溶性異粘度液液撪拌槽における分散過程・分散状態の複合可視化システムによる解明

研究課題名(英文) Clarification of dispersion process and dispersion state of incompatible heterogeneously viscous liquid-liquid system in a stirred vessel with a multiple visualizing system

研究代表者

上ノ山 周 (Kaminoyama, Meguru)

横浜国立大学・大学院工学研究院・名誉教授

研究者番号：50233945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、申請者らがこれまでに、従事してきた実験的・計測的可視化手法の中から、まず数値解析法CFDを用いて非相溶性かつ液-液系を対象とした撪拌操作における分散現象の定量的データを積み上げる。次いで同データを基に解析的・計算的手法を用いて分散過程ならびに分散状態の発現機構を論じ、その分散現象の解明を試みる。これにより液-液系撪拌操作の高度化・精緻化の実現を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水と油のように互いに溶け合わない非相溶性の液-液系を対象とした撪拌操作は、例えば水中に油相のモノマーを懸濁させて、重合反応を起こし、高分子化合物を製造する懸濁重合反応槽や、液-液抽出における撪拌型分散・分離装置等において決定的な役割を担っている。その分散現象の定量的データに基づく解明は、製品品質の高度化ならびに操作の高効率化に不可欠であるが、分散相が低濃度であっても装置内に白濁を生じ、それらの状態を可視化して計測することが極めて困難なことから、その解明はいまだ十分なものとは言い難い。このような状況にあって、同分散状態を定量的に明らかにすることは、工学的に大変意味があることと考える。

研究成果の概要(英文)：In this research, from the experimental and quantitative visualization methods that applicants have been engaged in so far, we first accumulate quantitative data on dispersion phenomena in stirring operations for incompatible and liquid-liquid systems using numerical analysis CFD. Next, based on this data, we will argue the expression mechanism of dispersion processes and dispersion states using analytical and computational methods, and try to elucidate the dispersion phenomenon. As a result, we aim to realize sophistication and elaboration of liquid-liquid-based stirring operation.

研究分野：化学工学

キーワード：撪拌 流体・流動 分散過程 液液分散

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

異相系攪拌には、固 - 液系、気 - 液系、液 - 液系とあるが、固体粒子が、凝集や磨耗を伴う場合は別として変形を考えなくて良いのに対して、気泡や液滴は、分裂・合一により変形し、さらに液滴は、変形もさることながら、油相が計測のプロブや電極を汚してしまい易いことから、その分散状態の計測は固、気、液の順により困難なものとなる。一方、液 - 液系攪拌は、化学工業・食品化粧品・生物産業界で欠くことのできない重要な操作であることから、これまで個々のケースごとに対処的に問題解決をせざるを得ないのが実情であった。

本研究では、異相系の中でも特に**非相溶性の液 - 液系**でかつ両液の粘度に差がほとんど無い場合から極端に差がある系までを対象として観察・計測のあらゆるアプローチ法を駆使し、定量的なデータを蓄積することから始める。分散モデルの構築と同モデルを用いての解析・計算により装置・操作条件と分散・混合状態との関係を明らかにし、**同分散現象の発現機構に迫る**ことを目的として行うものであり、学術的にも工学的にも・期的な新たな領域を拓きたい。

2. 研究の目的

非相溶性の液 - 液分散相においては、**動的な分散過程**である、水相 - 油相が 2 層に分離した初期状態から攪拌を開始して槽内が安定な分散状態となるまでの時間(分散・混合時間)ならびに**静的な分散状態**である、適切に分散が生起するのに必要な臨界翼回転数、相が安定となった状態での液滴径分布等があるが、何れも本研究の対象としたい。

また本研究では、両相が低粘性でほぼ同粘度となる液 - 液系から、両液の粘度が極端に異なり、高粘性側で疑塑性や降伏応力を有する塑性等の非ニュートン性を無視できなくなる系までを対象としたい。

実験・計測手法で得た定量的データを基に装置・操作条件(攪拌翼形状・攪拌翼設置高さ・攪拌翼回転数・分散相(油相)割合・2液粘度差(粘度比))と分散・混合状態(分散混合時間・液滴径分布・均一臨界回転数等)との相関を検討する。

同分散現象を発現する数値モデルを提示し、これを CFD に組み込むことにより、上に構築した相関関係の妥当性・信頼性の検証を行うこと等は、本研究の次の目標としたい。

3. 研究の方法

今回は、専ら CFD によるデータの取得・蓄積に努めた。ソルバーには、*flow*(株)アールフロー製 ver.20210201)を用いた。装置は、標準ラシュトンタービン翼、4枚邪魔板付き平底円筒槽とした。槽径は、0.1mとした。

非ニュートン NS 方程式を圧縮性流体の連続の式を拘束条件として時間進行的に求解した。

- 水相密度：1000 kg/m³
- 水相粘度：0.001 Pa・s
- 油相密度：900 kg/m³

- 混合粘度モデル：

$$\eta = k\dot{\gamma}^{m-1}$$
$$k = 0.816\alpha^4 - 1.871\alpha^3 + 1.192\alpha^2 - 0.081\alpha + 0.001$$
$$m = 2.1527\alpha^4 - 6.1111\alpha^3 + 5.9993\alpha^2 - 2.0409\alpha + 1$$

混合粘度 [Pa・s]

$\dot{\gamma}$ 剪断速度 [s⁻¹]

油分体積占有率 [-]

とし、 α は槽全体の輸送方程式を解くことにより求めた¹⁾。

1) Kaminoyama, M., K. Nishi, R. Misumi, T. Inoue, H. Takeda, "Numerical Analysis of the Mixing Process or a Heterogeneously Viscous System of High Concentration Slurry Liquids in a Stirred Vessel", *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 40(8), pp.645-651 (2007)

4. 研究成果

解析ケース

運転条件No.	油分[%]	翼回転速度[/s]	翼高さ位置[m]
1	50	5	0.05
2	70	5	0.05
3	30	5	0.05
4	50	5	0.075
5	70	5	0.075
6	30	5	0.075
7	50	5	0.025
8	70	5	0.025
9	30	5	0.025
10	50	3	0.05
11	70	3	0.05
12	30	3	0.05
13	50	3	0.075
14	70	3	0.075
15	30	3	0.075
16	50	3	0.025
17	70	3	0.025
18	30	3	0.025

運転条件No.	油分[%]	翼回転速度[/s]	翼高さ位置[m]
19	50	7	0.05
20	70	7	0.05
21	30	7	0.05
22	50	7	0.075
23	70	7	0.075
24	30	7	0.075
25	50	7	0.025
26	70	7	0.025
27	30	7	0.025
28	50	9	0.05
29	70	9	0.05
30	30	9	0.05
31	50	9	0.075
32	70	9	0.075
33	30	9	0.075
34	50	9	0.025
35	70	9	0.025
36	30	9	0.025

運転条件 No.1

油分 50%、翼回転速度 5/s、翼高さ位置 0.05m

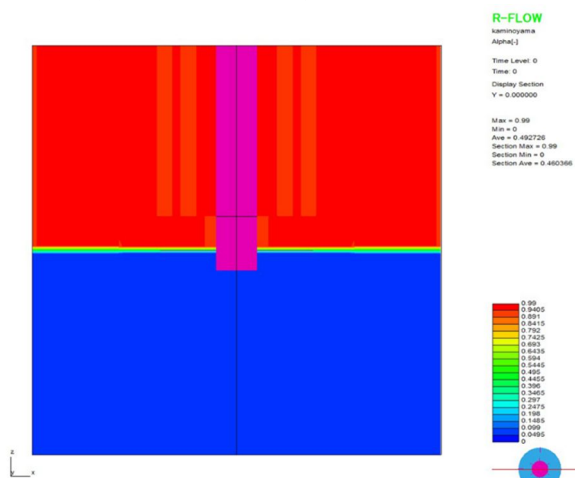


図 1.1 油分体積占有率分布 (t=0s)

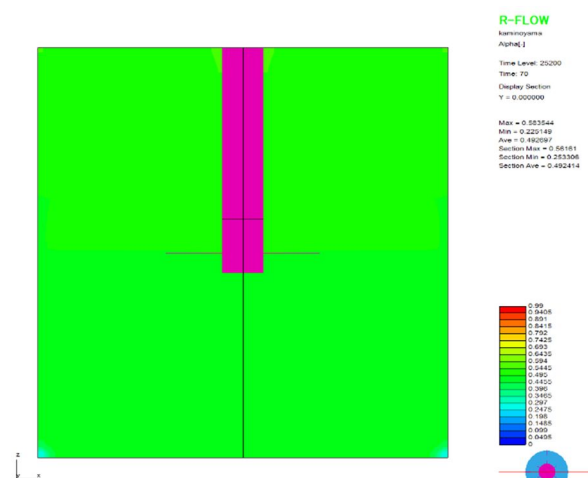


図 1.2 油分体積占有率分布 (t=70s)

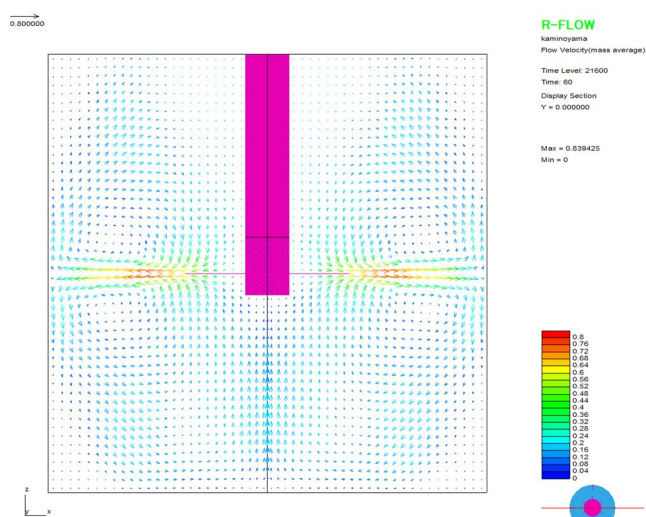


図 1.3 速度ベクトル (t=60s)

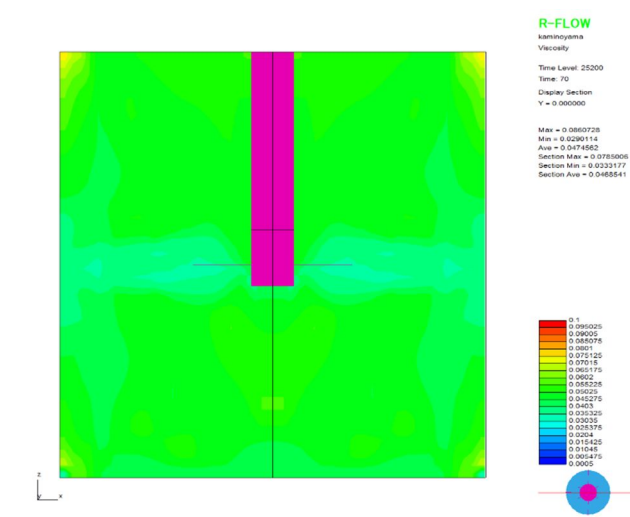


図 1.4 粘度 (t=70s)

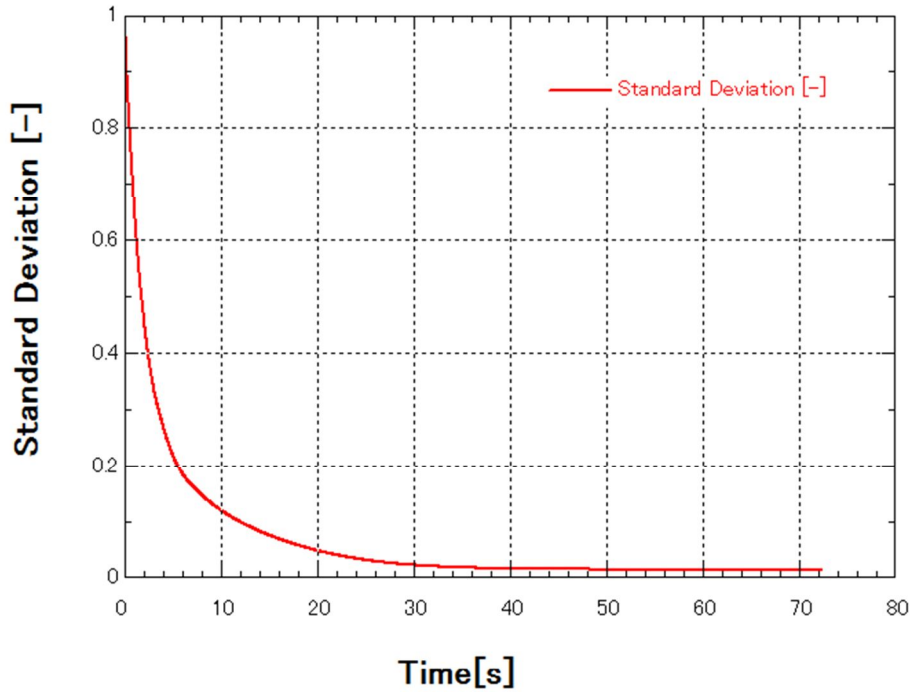


図 1.5 油分体積占有率標準偏差経時変化

解析ケース 2～36 の計算結果については、紙面の都合上、割愛する。

考察

図 1.4 に示すような油分体積占有率標準偏差経時変化において標準偏差が 0.1 となる時点分散時間 t_d [s] と定めた。

分散時間は、 $n=3.0s^{-1}$ では、求まらず、臨界分散回転数 n_{dc} は、 $3.0s^{-1}$ より大となることが判った。 $n=5.0s^{-1}$ では概ね、 $t_d < 50s$ となった。翼位置が、水相側にある方が、概ね安定して分散が進行することが判った。 $n=7.0s^{-1}$ では概ね、 $t_d < 25s$ となった。翼位置が、水相側にある方が、速やかに分散が進行することが判った。 $n=9.0s^{-1}$ では概ね、 $t_d < 8s$ となった。翼位置の顕著な影響は認められなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 M. Kaminoyama, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Reconsideration of Metzner and Otto's concept and constant in the field of the mixing engineering
3. 学会等名 ISMIP10（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------