

UV照射による流れの制御手法の開発

玉野 真司*

Development of Flow Control Method due to UV Irradiation

Tamano Shinji*

There are a few studies on the drag-reducing effect of nonionic surfactant solutions which are nontoxic and biodegradable, while a lot of investigations for cationic surfactant solution have been performed so far. In this study, the drag-reducing effects of ultraviolet absorbing agent (ortho-methoxycinnamic acid, OMCA) on nonionic surfactant (oleyldimethylamineoxide, ODMAO) solutions with and without UV irradiation were investigated by measuring the height of vortex due to the magnetic stirrer and the pressure drop in the pipe flow with small diameter.

1. はじめに

ニュートン流体（水）に微量の界面活性剤を添加した溶液は、乱流状態において著しい流動抵抗低減効果（DR 効果）を示すことが知られている。その特性を利用し、地域冷暖房等の冷水循環系において省エネ効果を獲得しようとする基礎的研究および実用化研究が活発に行われている。ごく最近、Shi ら[1, 2]は、流動摩擦の DR 効果を有する陽イオン性界面活性剤水溶液と紫外線吸収剤の混合溶液に UV 照射することにより、DR 効果が増加することを報告している。また、著者らは、生分解性に富む低環境負荷型非イオン性界面活性剤による DR 技術の研究開発を進めている（例えば文献[3, 4]参照）。そこで、本研究では、非イオン性界面活性剤水溶液と紫外線吸収剤を混合した溶液に、UV を照射することにより、DR 効果を局所的に消失・発現させ、流れを減速・加速させる流れの制御手法の開発を目指す。ここでは、その第一段階として、非イオン性界面活性剤水溶液と紫外線吸収剤の混合溶液に UV を照射して DR 効果を変化させるシステムを新たに設計・開発し、スターラーを用いた渦消失実験ならびに円管流れにおける DR 効果を明らかにする。

2. 実験装置及び方法

本研究において使用した非イオン性界面活性剤は、AROMOX（ライオン・アクゾ株式会社製）を水道水に溶解させたものである。AROMOX は、オレイルジメチルアミンオキシド (ODMAO) ($C_{18}H_{37}(CH_3)_2NO = 313$) を主成分とする混合物である。また、紫外線吸収剤としてオルトメトキシケイ皮酸 (OMCA, $C_{10}H_{10}O_3 = 178.19$) を用いた。ODMAO の濃度 C は 500 ppm または 1000 ppm とし、ODMAO と OMCA のモル比は 2 対 1 とする。

非イオン性界面活性剤水溶液のスターラーによる渦高さ測定のための実験装置の概略図を図 1 に示す。ビーカー内に挿入された攪拌子をスターラーで回転（回転数：1000 rpm）させることにより渦を発生させ、その渦高さの写真をデジタルビデオカメラ（Cannon EOS 7D）で撮影する。

また、円管内流れにおける圧力損失と流量の測定のための実験装置の概略図を図 2 に示す。装置は加圧流下式であり、圧力ヘッドは約 0.5 MPa とした。壁面の一部に紫外線透過率の良い石英ガラスを使用して、そのガラス部分から UV を照射する。

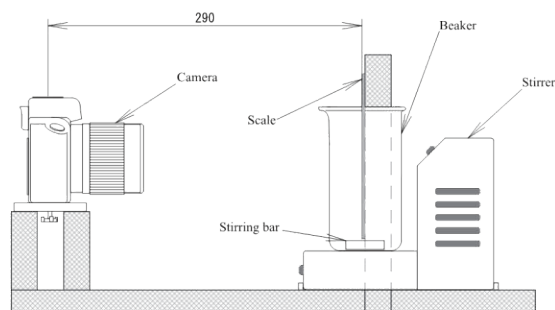


図 1. スターラーによる渦高さの実験装置の概略図

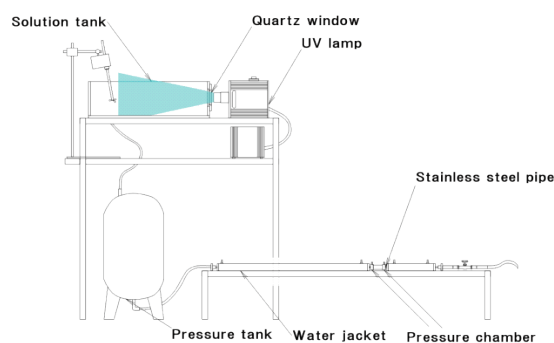


図 2. 円管流れの圧力損失測定の加圧流下式実験装置の概略図

UV照射にはウシオ電機製の超高压UVランプ(OPM2-252H)を使用した。実験に使用した円管は、内径 $d = 5.0$ mmの流体力学的に滑らかなステンレス管である。助走区間の長さは 1050 mm ($= 210d$)、測定区間の長さは $L = 80$ mm ($= 16d$)である。圧力損失はフルスケールが 35 kPaの差圧変換器(GE センシングジャパン(株)製, UNIK5000)により測定した。流量はニードルバルブにより調節し、重量法により測定した。

3. 実験結果及び考察

UVを照射せずに、紫外線吸収剤OMCAを添加剤としてAROMOX水溶液($C = 500$ ppm)に添加した場合としない場合の渦高さの観察結果(ビーカーの水面の拡大図)を図3に示す。溶液温度 T は 10°C とした。OMCAを添加すると、渦高さが 22 mmから 4 mmに急激に小さくなることを確認された。このことは、OMCAを添加した場合、非イオン性界面活性剤のみの場合よりも高いDR効果が得られることを示唆している。

次に、AROMOX水溶液($C = 1000$ ppm)の溶媒(水)の動粘度に基づくレイノルズ数 Re_w と管摩擦係数 λ の関係、および Re_w と抵抗低減率DRの関係を図4に示す。AROMOX水溶液にOMCAを添加すると、 $DR \geq 60\%$ の高い抵抗低減率が得られるレイノルズ数範囲がAROMOXのみの場合と比較して拡大することがわかる。ただし、最大抵抗低減率(70%)はほとんど変化しない。また、溶液にUVを2h照射した場合、

照射前のデータと比較して、DRが急激に減少する臨界レイノルズ数の値を除き、DR効果にほとんど違いが見られない。DR効果は溶液温度の影響を受けやすいことから、今後、溶液温度依存性について調査する予定である。

4. まとめ

UV照射の有無による非イオン性界面活性剤水溶液(ODMAO)の抵抗低減(DR)効果の違いを明らかにするために、スターラーによる渦消失実験装置、ならびに加圧流下式円管装置を設計・開発した。両実験から、紫外線吸収剤(OMCA)を添加するとDR効果が向上することが明らかになった。ただし、今回の実験条件下においては、UV照射前後におけるDR効果にほとんど違いが見られなかった。

REFERENCES

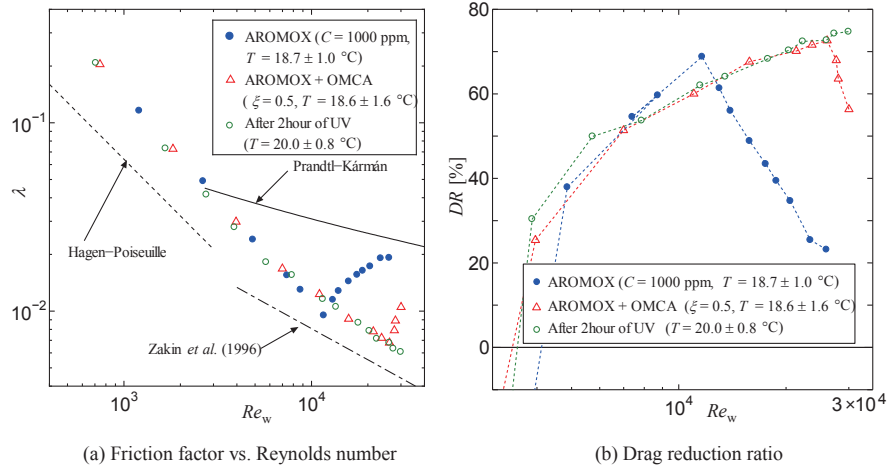
- (1) H. Shi, Y. Wang, B. Fang, Y. Talmon, W. Ge, S. R. Raghavan, and J. L. Zakin, Light-responsive threadlike micelles as drag reducing fluids with enhanced heat-transfer capabilities, *Langmuir*, Vol. 27, 2011, pp. 5806-5813.
- (2) H. Shi, W. Ge, H. Oh, A. M. Pattison, J. T. Huggins, Y. Talmon, D. J. Hart, S. R. Raghavan, and J. L. Zakin, Photoreversible micellar solution as a smart drag-reducing fluid for use in district heating/cooling systems, *Langmuir*, Vol. 29, 2013, pp. 102-109.
- (3) S. Tamano, K. Miyagawa, Y. Morinishi, M. Itoh, and K. Taga, Effects of degradation on drag reduction in turbulent pipe flow of nonionic surfactant aqueous solutions, *Nihon Reoroji Gakkaishi*, Vol. 40, 2011, pp. 69-77.
- (4) S. Tamano, M. Itoh, K. Kato, and K. Yokota, Turbulent drag reduction in nonionic surfactant solutions, *Phys. Fluids*, Vol. 22, No. 055102, 2010, pp. 1-12.
- (5) J. L. Zakin, J. Myska, and Z. Chara, New limiting drag reduction and velocity profile asymptotes for nonpolymeric additives systems, *AIChE J.*, Vol. 42, 1996, pp. 3544-3546.



(a) AROMOX

(b) AROMOX with OMCA

図 3. 非イオン性界面活性剤水溶液の渦高さに及ぼす紫外線吸収剤 OMCA の影響



(a) Friction factor vs. Reynolds number

(b) Drag reduction ratio

図 4. 非イオン性界面活性剤水溶液の DR 効果に及ぼす UV 照射の影響