

# 化学反応により引き起こされる Viscous fingering の実験研究

## Experimental study on viscous fingering triggered by chemical reactions

○岩田 鐘平, 長津 雄一郎, 岩田 修一, 多田 豊,  
名工大, 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, E-mail: [nagatsu@nitech.ac.jp](mailto:nagatsu@nitech.ac.jp)  
Riolfo Luis, Renaud Maes, Anne De Wit,  
ブリュッセル自由大学, E-mail: [adewit@ulb.ac.be](mailto:adewit@ulb.ac.be)  
○Shohei Iwata, Yuichiro Nagatsu, Shuichi Iwata, Yutaka Tada  
Nagoya Institute of Technology, gokiso-cho, showa-ku, Nagoya 466-8555  
Riolfo Luis, Renaud Maes, Anne De Wit  
Université Libre de Bruxelles (ULB)

The term “Viscous fingering” is usually used to refer to the instabilities that occur at the interface when a more viscous fluid is displaced by a less viscous fluid. However, we succeed an experimental study of viscous fingering fully triggered by a chemical reaction involving a viscosity increase and decrease when a less viscous fluid is displaced by a more viscous fluid in a radial Hele-Shaw cell. This is done by making use of a polymer (polyacrylic acid, sodium polyacrylate) solution’s dependence of viscosity on pH. We show that a difference in fingering patterns is observed, depending on whether the viscosity is increased or decreased by the reactions.

### 1. 緒言

多孔質媒質内やヘレ・ショウセル内において、低粘性流体が高粘性流体を置換するとき、二流体の界面は流体力学的に不安定となり、指状のパターンを形成する。この現象は Viscous fingering(VF)と呼ばれる。近年、化学反応を伴う VF における流体力学と化学反応の相互関係の基本的特性を明らかにしようとする研究が行われている。例えば、Nagatsu らは Miscible な系において、反応による化学種の濃度変化による粘度変化が VF パターンに及ぼす影響について実験的に研究した<sup>(1)</sup>。

これまでの VF の研究は、化学反応による物性の変化が、VF パターンをどのように変化させるかを調べたものである。これに対して、Belmonte 教授のグループは、置換する液体、置換される液体の粘度は等しいが、化学反応により、それぞれの液体より高粘度の生成物が形成される系を対象に置換実験を行った<sup>(2)</sup>。この系では、非反応の場合に VF は形成されないが、反応を伴う場合に VF が形成された。すなわち、この場合、形成される VF は化学反応により引き起こされる VF と言うことができる。

また Nagatsu と De Wit は化学反応により引き起こされる VF を数値計算により検討する研究を行った<sup>(3)</sup>。この数値解析研究では、初期に置換する流体の粘度が置換される流体の粘度より高い場合でも、反応により粘度の十分大きい、もしくは十分小さい生成物が生成される場合には、反応により引き起こされる VF が形成されることが示された。さらに生成物の粘度が十分高い場合と低い場合で、反応により引き起こされる VF のパターンが大きく異なることが示された。本研究の目的は、上記の数値解析結果を実験的に検証することである。

### 2. 実験

溶液、反応系は Nagatsu らの過去の研究と同様の粘度が pH 依存性を有するポリマー水溶液と酸・塩基との中和反応を用いることとした<sup>(1)</sup>。高粘度の生成物を生成する反応系は、ポリアクリル酸(PAA)と水酸化ナトリウムとの反応を用いた。一方で低粘度の生成物を生成する反応系は、ポリアクリル酸ナトリウム(SPA)と塩酸との反応を用いた。また、VF 実験の可視化のために低粘性液体に染料であるトリパンプルー(TB)を加えた。実験装置は前報と同様のものを用いた<sup>(1)</sup>。

### 3. 結果

Fig.1 に高粘度の生成物を生成する場合の非反応系および反応

系の置換実験の結果を示す。また、Fig.2 に低粘度の生成物を生成する場合の非反応系および反応系の VF 実験結果を示す。それぞれの結果において、非反応系は低粘性液体と高粘性液体間の界面は安定であるため、置換パターンは円形に広がった。それに対して反応系は、界面で Finger を形成し、その後 Finger は時間とともに成長した。高粘度の生成物を生成する反応系と低粘度の生成物を生成する反応系では、VF パターンが大きく異なった。さらに、高粘度の生成物を生成する場合と低粘度の生成物を生成する場合との VF パターンの違いが、数値計算結果で示唆された VF パターンの違いを実験的に実証するものであった。

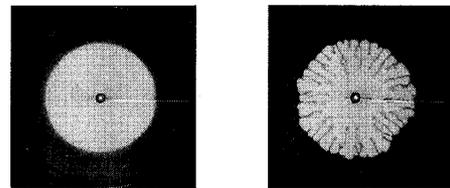


Fig.1 Displacement pattern without reaction(left) / with reaction(right) involving a viscosity increase.

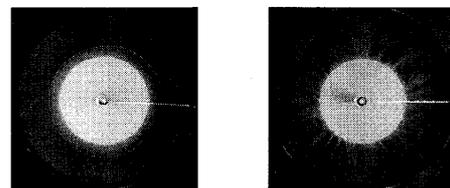


Fig.2 Displacement pattern without reaction(left) / with reaction(right) involving a viscosity decrease.

### 参考文献

- (1) Y. Nagatsu et al., “Experimental study on miscible viscous fingering involving viscosity changes induced by variations in chemical species concentrations due to chemical reactions,” *J. Fluid Mech.*, 571 (2007).
- (2) T. Podgorski. et al, “Fingering instabilities of reactive micellar interface” *Phys. Rev. E*, 76, 016202 (2007).
- (3) Y. Nagatsu and A. De Wit, “Viscous fingering of a miscible reactive  $A+B \rightarrow C$  interface for an infinite Damkohler number: Nonlinear simulations,” *J. Fluid Mech.* (submitted)