

# G122 粘弾性流体中を上昇する気泡に作用する弾性効果に関する考察

(室蘭工大院・工) ○ (正) 太田光浩\*・(正)小野寺溪・(正)吉田 豊・(名工大院・工) (正)岩田修一

## 1. 緒言

粘弾性流体中を上昇する単一気泡の運動は、古くから研究されてきた[例えば 1-3]が、レオロジー特性が局所変化する等の複雑さに起因して系統的な整理がなされて来なかった。著者らは、これらの系に対して有効(系代表)剪断速度  $\Gamma$  に基づいた有効(系代表)粘度  $\eta_{\text{eff}}$  を提案[4]し、 $\eta_{\text{eff}}$  で定義した修正無次元数と Deborah( $De$ )数により整理する方法を提案してきた[5, 6]。気泡運動は、連続相粘度の影響を大きく受けるが、弾性効果が大きくなると気泡下部で Cusp が形成され、それに伴い気泡全体の形状も変化する。結果として、気泡運動は弾性効果の影響も受けるが、これまで弾性効果が出現する条件に関しての十分な検討はない。本研究では弾性効果の出現条件を実験的に検討・考察した。

## 2. 実験

実験装置は正方断面形状(0.25 m x 0.25 m)のアクリル塔(高さ 1.1 m)である。流体としてカルボキシメチルセルロース(CMC, 重合度: 600 ~ 800)水溶液を用い、1.30wt%(CMC-1)および 0.75wt%(CMC-2)濃度の水溶液で実験を行った。実験では気泡上昇運動をビデオカメラで撮影し、映像から上昇速度と形状を観察した。流体物性は全て実測した。Fig. 1 に実測した見かけ粘度  $\eta$  と第 1 法線応力差  $N_1$  の  $\dot{\gamma}$  (剪断速度)依存性を示す。実線は、次式の Carreau-Yasuda モデル[7]によるモデルラインである。

$$\eta = \eta_0 \left[ 1 + (\beta \dot{\gamma})^\alpha \right]^{(n-1)/\alpha} \quad (1)$$

$\eta_0$  はゼロ剪断速度粘度,  $n, \alpha, \beta$  はモデルパラメータである。CMC-2 に比べると CMC-1 の方が、若干ではあるが非ニュートン性が強い。本研究では  $\eta_{\text{eff}} (\beta = \Gamma = 2V/d, d: \text{気泡径}, V: \text{上昇速度})$  として求める)に基づいた修正 Morton( $M_M$ )数(= $g(\rho_L - \rho_G)\eta_{\text{eff}}^4/\rho_L^2\sigma^3$ ;  $g$ : 重力加速度,  $\rho_G, \rho_L$ : 気・液相の密度,  $\sigma$ : 界面張力), 修正 Reynolds( $Re_M$ )数(= $\rho_L V d^2/\eta_{\text{eff}}$ ), Eötvös( $Eo$ )数(= $g(\rho_L - \rho_G)d^2/\sigma$ ),  $De$  数(= $\lambda\Gamma$ )により整理した。なお,  $\lambda$  は Leider と Bird の方法[8]より求めた。

## 3. 結果と考察

実験結果を Table 1, 気泡形状を Fig. 2 に示す。 $M_0$  と  $Re_0$  は  $\eta_0$  に基づいた無次元数,  $M_M$  と  $Re_M$  は  $\eta_{\text{eff}}$  に基づいた修正無次元数である。 $M_0$  数に比べると  $M_M$  数は非常に小さく,  $Re_M$  数は  $Re_0$  数から比べると大きくなっていることが分か

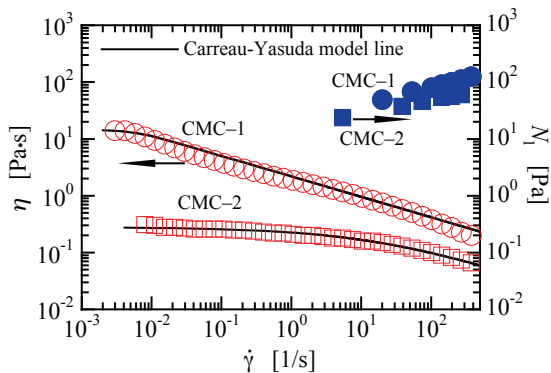


Fig. 1 レオロジー特性

CMC-1:  $\eta_0 = 14.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}, n = 0.640, \alpha = 2.50, \beta = 181 \text{ s}$   
 CMC-2:  $\eta_0 = 0.28 \text{ Pa}\cdot\text{s}, n = 0.580, \alpha = 0.45, \beta = 0.05 \text{ s}$

Table 1 実験結果

System	$Eo$	$\log M_0$	$\log M_M$	$Re_0$	$Re_M$	$De$
CMC-1	39	6.24	0.91	0.24	5.1	0.30
	114	6.24	1.04	0.56	11.2	0.25
CMC-2	37	-0.67	-1.98	14.4	30.6	0.06
	108	-0.67	-1.89	33.5	67.7	0.05

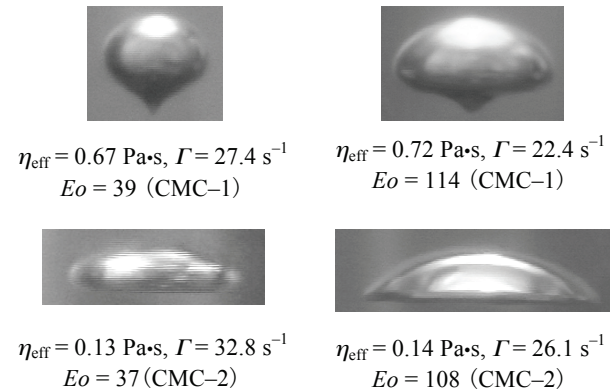


図 2 気泡形状の比較

る。特に CMC-1 ではその特徴が顕著である。これは気泡周りの粘度が大きく低下し、粘度効果が気泡運動に大きく影響したことを意味する。弾性効果の指標である  $De$  数は、 $De = 0$  で純粘性非ニュートン流体系(弾性特性を持たない系)と見なせるが、両溶液とも非常に小さな値となっている。CMC-1 でも  $De$  数は 0.3 程度であり、弾性効果が出現しないと予想できる。しかし、Fig. 2 の気泡形状から明らかのように、CMC-1 の場合は、明白に Cusp を伴った気泡となっており、弾性効果の影響を確認できる。CMC-2 では、Cusp 形成を伴わない Disk 状( $Eo = 37$ )および Cap 状( $Eo = 108$ )となり、これらは純粘性非ニュートン流体系の運動と見なすことができる。すなわち、弾性効果は小さい  $De$  数条件から出現すると言え、 $De = 0.3$  程度の時でさえ、純粘性非ニュートン流体系とは見なせないことが分かる。

## 4. 結論

本研究では、粘弾性流体中を上昇する単一気泡への弾性効果について考察した。弾性効果は非常に小さい  $De$  数条件下でも出現し、 $De = 0.3$  程度の条件でさえ、弾性効果は無視できないことが分かった。

## 参考文献

- [1] G. Astarita and G. Apuzzo, *AIChE J.*, **11**, 815(1965).
- [2] D. De Kee and R.P. Chhabra, *Rheol. Acta*, **27**, 656(1988).
- [3] R.G. Sousa et al., *J. Fluid Mech.*, **511**, 217(2004).
- [4] M. Ohta et al., *Fluid Dyn. Res.*, **42**, 025501 (2010).
- [5] 太田ら, 日本混相流学会年会講演会 2009 講演論文集, 124 (2009)
- [6] 太田ら, 流体工学部門講演会講演論文集, 221 (2009)
- [7] K. Yasuda, et al., *Rheol. Acta*, **20**, 163(1981).
- [8] P.J. Leider and R.B. Bird, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **13**, 336 (1974).

\* TEL & FAX: 0143-46-5767

E-mail: mohta@mmm.muroran-it.ac.jp