



Title	On the flow behaviors induced by an oscillating sphere travelling in power-law shear-thinning fluid
Author(s)	Zhang, Xian Ping
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92982
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Zhang, Xianping)	
Title	On the flow behaviors induced by an oscillating sphere travelling in power-law shear-thinning fluid (べき乗則擬塑性流体中の振動球に誘起される流動挙動について)
Abstract of Thesis Shear-thinning fluid containing dispersions (i.e. bubbles, drops and particles) has attracted continuous attention due to its existence in many natural and industrial processes such as food processing, air lubrication, blood pumps and water treatment. Numerous fruitful research findings on the dynamics of shear-thinning fluids have been reported in recent years. However, most of the research just gives qualitative explanations, while there are still many unclear physical problems that need to be quantitatively revealed. This thesis focuses on the dynamics of the creeping power-law shear-thinning fluid induced by an oscillating sphere travelling with the velocity of $U = 1 + A \cos \omega t$ (here, U, A and ω are the velocity, the oscillation amplitude and angular frequency of the sphere, respectively), in consideration of both free-slip and no-slip boundary conditions. In particular, the drag force D reduced by the oscillation-enhanced shear-thinning effect is further analyzed. Firstly, we focus on the free-slip sphere with a high angular frequency ω ($= 10^3$), and parametrize A and the power-law index n of the viscosity. The results show that, for small amplitude A ($A \ll 1$), the drag reduction ratio $1 - D/D_0$ (here, D_0 is D with no oscillation) is proportional to A^2, and the proportionality of A^2 originates from the fact that the time average of the force contribution proportional to A^1 becomes zero. In contrast, for large amplitude A ($A \gg 1$), the drag ratio D/D_0 is proportional to A^{n-1}, revealing a power-law behavior. In the case of $A \gg 1$, examination of the radial profile of the time-averaged velocity and the level of the bulk enstrophy with the aid of the Bobyleff-Forsythe formula reveals that the bulk flow might be regarded as nearly irrotational for a strong shear-thinning fluid with small power-law index n and large amplitude A ($A \gg 1$). To provide a fundamental perspective on the drag force reduction mechanism, a theoretical model is proposed based on potential theory and demonstrated to well capture the power-law relation between D/D_0 and A. Secondly, we examine the effect of angular frequency on the drag force on the oscillating sphere over a wide range $\omega \in [1, 1000]$, in consideration of both the free-slip and no-slip conditions. The time-averaged drag force D is significantly influenced by amplitude A rather than angular frequency ω. Besides, D also shows independence on ω due to the quasi-steady state of the fluid. Furthermore, the analytical solution, established based on the assumption of a quasi-steady state, can exactly predict the time-averaged scaled drag force D/D_0 over a wide range of amplitude A. Even though the ω dependence of D is small, the scaled drag force $D/D_{\omega=1}$ shows increasing trend at $A = 5$ and decreasing trend at $A = 1$. Such opposite behaviors are explained by the energy balance expression. Moreover, the fluid dynamics induced by the disparity between the no-slip and the free-slip boundary conditions are also discussed in this thesis. Such a study holds significant potential implications for utilizing mechanical oscillation in various industrial fields to control the behaviors of the sphere.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Zhang, Xianping)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	杉 山 和 靖
	副 査	教 授	川 野 聡 恭
	副 査	教 授	河 原 源 太
	副 査	教 授	後 藤 晋
論文審査の結果の要旨 本論文は、べき乗則擬塑性流体中の振動球を対象とする数値シミュレーションを行い、球に誘起される流れの動力学を調査し、球に作用する抗力Dの低減に至る機構を解明し、モデル化することを目的としている。 擬塑性流体は、せん断速度の増大とともに粘度が減少する非ニュートン流体である。気泡・液滴・粒子などの分散体を含む擬塑性流体は、食品加工、潤滑、血液ポンプ、水質浄化など様々な自然現象、工業プロセスにおいて見られ、レオロジーの非線形性に起因する複雑流れの挙動に注目が集まっている。中でも、超音波などを用いた加振により局所的な粘度を低下させることで、分散体の輸送を制御しようとする応用研究が進められている。加振による抵抗低減を対象とする先行研究の多くは、非線形現象に関する議論が定性的であるのに対して、本論文では、抵抗低減機構の本質を定量的に捉えるため、(粘度をべき乗則で与える、球速度を既定する、非定常ストークス方程式を扱うなどにより)単純化した系の非線形現象を忠実に扱い、無次元速度振幅A、無次元振動数ω、べき乗指数nをパラメータとして系統的に結果を整理している。 本論文は全5章から構成されている。第1章では、非ニュートン流体について説明し、擬塑性流体中の分散体挙動に関する先行研究を紹介し、加振による流体力変調に関する未解明の問題について述べ、本論文のテーマと目的を明確にしている。第2章では、振動圧力勾配によって駆動されるチャネル流れを対象とする数値計算、理論解析を行い、壁面付近の粘度低下と流速増大の関係を考察している。第3章では、高周波数での振動を伴う球形気泡周りの流れを対象とする直接数値計算を行い、D/D_0がA^{n-1}に比例すること(ここで、D_0は振動がない場合の抗力)を明らかにし、この抵抗低減機構を分析している。第4章では、球形粒子・球形気泡を対象として、広範囲の条件でパラメータ調査を行い、抗力Dに対する境界条件や無次元振動数ωの影響を議論している。第5章は「Conclusion and future work」であり、本研究の意義と今後の課題について述べている。 本論文の内容は、擬塑性流体中の分散体の加振輸送制御に寄与する十分な新規性を有している。特筆すべき成果には、(i) ωが大きく、nが小さい条件での気泡周りの流れでは、Aが大きいほど、バルクのエンストロフィが小さくなることを見出し、ポテンシャル理論に基づく抗力モデルを構築したこと、(ii) 広範囲のωの条件でのDとAの大局的な関係を表現できる準定常モデルを構築したことが挙げられる。以上より、本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。			