

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15211

研究課題名（和文）非接触微粒子操作と3次元可視化計測に基づく気液界面における微粒子挙動モデルの構築

研究課題名（英文）Development of a micro-particle behavior model based on non-contact manipulation and three dimensional visualization measurement

研究代表者

堀口 直樹 (Horiguchi, Naoki)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・研究職

研究者番号：20808331

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、レーザーマニピュレーション技術を用いて界面上の単一マイクロ粒子の挙動を可視化する手法を開発した。レーザーマニピュレーション技術により液単相中の不溶性マイクロ粒子の操作および可視化が可能な装置を製作し、この装置内にシリコンオイルおよび水を用いた界面を形成する手法を開発した。この装置を用いた実験を行い、界面がマイクロ粒子を捕集することを確認した。また、別のマイクロ粒子は曲率の小さい界面に捕集されたが、しばらくすると元の相に戻った。この挙動は、粒子自身のブラウン運動や界面の曲率の影響によるものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における成果は、界面における単一微粒子の非接触操作および可視化計測技術を開発し、界面における単一微粒子の挙動を明らかにしたことである。この技術および知見は、原子力分野におけるスクラビングによる放射性微粒子の捕集効果に関する調査に活用することができ、原子力発電の安全性向上および社会への安定的なエネルギー供給に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a visualization method of single micro-particle behavior on an interface using a laser manipulating technique. We prepared an apparatus to manipulate and visualize an insoluble micro-particle in a single water phase using a laser manipulating technique; we developed a method to form an interface using water and silicon oil in the apparatus. We conducted the experiment using the apparatus and confirmed that a micro particle was captured by the interface. Another micro-particle was captured by an interface with small curvature but returned to the original phase after a short time. We considered that the Brownian motion of the particle itself and the curvature of the interface affect the behavior.

研究分野：原子力、混相流、可視化計測

キーワード：微粒子 界面 非接触操作 可視化計測

1. 研究開始当初の背景

軽水炉のシビアアクシデントでは、プール内の気泡界面が放射性マイクロ粒子を捕集し、この捕集によって粒子の外部環境への放出が抑制されると想定されている。不溶性マイクロ粒子を含む気泡を可視化した最近の研究では、粒子が気泡界面に堆積することが報告^[1]されている。一方、シビアアクシデント対策のための数値的研究では、粒子の堆積は無視されており、粒子は気相から液相へ不可逆的に移動するものとして取り扱われている^[2]。シビアアクシデント対策の高度化のためには、界面における単一マイクロ粒子の挙動を可視化する必要がある。さらにこのような実験では、界面近傍でマイクロ粒子を非接触操作する必要がある。レーザーマニピュレーション技術^[3]は液相中の不溶性マイクロ粒子の非接触操作だけでなく可視化も可能であるが、界面近傍のマイクロ粒子に関する報告は無い。

2. 研究の目的

レーザーマニピュレーション技術を用いて界面上の単一マイクロ粒子の挙動を可視化する手法を開発する。

3. 研究の方法

静的な場でレーザーマニピュレーション技術により不溶性マイクロ粒子の非接触操作および可視化が可能な装置を製作し、非接触操作および可視化実験を行った。当初は開放空間において空気および水により形成される気液界面を用いて実験を行う予定であったが、実験室の空調等の環境、水の蒸発が影響してマイクロ粒子が意図せず移動してしまい、マイクロ粒子をマイクロオーダーの可視化操作範囲に留めておくことが困難であった。そこで、閉空間においてシリコンオイルおよび水により形成された界面を用いるように工夫したことで、マイクロ粒子を可視化操作範囲に留めるとともに任意に操作することが可能となり、非接触操作および可視化計測実験を達成することができた。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

界面によるマイクロ粒子の捕集を確認すると共に、次のように界面の形状に依存してマイクロ粒子の挙動が異なることを明らかにした。図1にマイクロ粒子を追跡、その挙動を可視化した結果を示す。図1-(a)に元画像を例示する。このような画像からマイクロ粒子を判別、追跡した。図1-(b)は液単相流の粒子挙動、(c)は界面上の粒子挙動であり、いずれも1.4 s間の追跡結果である。まず、液相中を浮遊するマイクロ粒子はランダムな方向に微小距離ずつ移動(ブラウン運動)することが知られており、図1-(b)において同様に移動することを確認した。次に平坦な界面に捕集された場合、マイクロ粒子は界面上をほぼ移動しないことを観察した(図1-(c))。当初、平坦な界面においても粒子が移動すると予想されたが、実際は微小に振動するのみであり、液単相中の結果と比べるとほぼ無視できる程度であった。この挙動から、マイクロ粒子と界面の接触線で働く界面張力がマイクロ粒子のブラウン運動に抗する方向の復元力として働くことでマイクロ粒子の移動を妨げた結果として、マイクロ粒子の微小な振動のみ観察されたと考えられた。次に、曲率の小さい界面に捕集された場合、界面がマイクロ粒子を一旦捕集してもマイクロ粒子が界面から離脱して元の相に戻ることを観察した。これらの挙動から、粒子の捕集および離脱に対してブラウン運動や界面の曲率が影響することが明らかとなった。以上の結果から本研究は、界面における単一微粒の非接触操作および可視化技術を開発すると共に、界面における単一微粒の挙動を明らかにした。

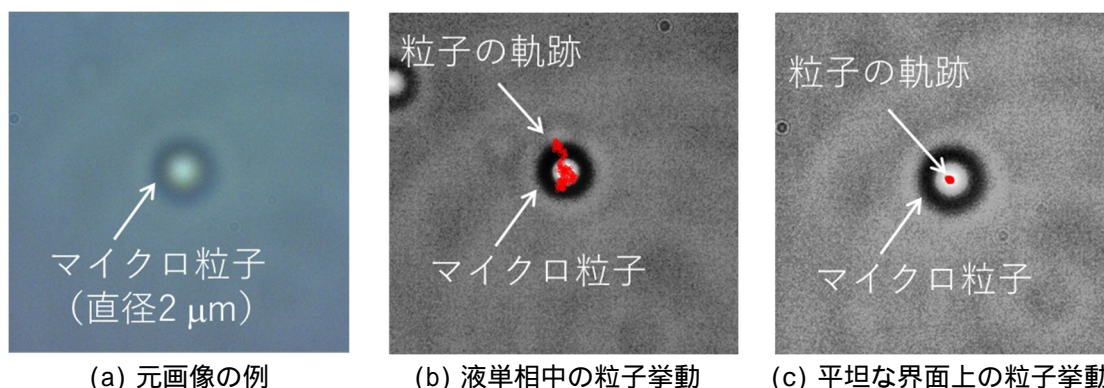


図1 マイクロ粒子の挙動に係る界面の影響

(2) 得られた成果の国内外における位置づけ

国内外において、液単相中の単一マイクロ粒子の非接触操作および可視化ならびに気泡界面上の多量の粒子の挙動の可視化が行われてきたが、界面における単一マイクロ粒子の非接触操作および可視化は本研究によって世界で初めて達成された。この非接触操作・可視化技術によって、界面におけるマイクロ粒子挙動に関する実験的研究が促進されることを期待できる。また、シビアアクシデント対策のための数値的研究では、実験的知見の乏しさから界面における粒子挙動が簡易にモデル化されていたが、今後実験的知見が拡充されることでこのモデルが高度化され、ひいてはシビアアクシデント対策が高度化されることを期待できる。

<引用文献>

Y. Abe, *et al.*, “Bubble dynamics with aerosol during pool scrubbing,” *Nucl. Eng. Design*, 337, pp.96-107(2018).

P.C.Owczarski, *et al.*, “SPARC-90: A code for calculating fission product capture in suppression pools,” NUREG/CR-5735 (1991).

増原極微変換プロジェクト編, “マイクロ化学 微小空間の反応を探る,” *化学同人*(1993).

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 Naoki Horiguchi
2. 発表標題 Visualization of single micro-particle behavior on an interface using a laser manipulation technique
3. 学会等名 The 13th Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (国際学会)
4. 発表年 2024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
---------	---------