HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	せん断流下における微粒子のブラウン運動［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	瀧川, 佳紀
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11876号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58579
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshinori_Takikawa_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　瀧川 佳紀

審査担当者　主　査　教　授　折原 宏
副　査　教　授　矢久保 考介
副　査　教　授　郷原 一壽

学位論文題名

せん断流下における微粒子のブラウン運動
(Brownian motion of particles under shear flow)

ブラウン運動は、1828 年にイギリスの植物学者ロバート・ブラウンによって初めて発見された液体中で微粒子などが不規則に運動する現象である。1905 年にアインシュタインによって、ブラウン運動が媒質分子の衝突によって生じるものだとする分子運動論に基づいた説明がなされ、今日統計物理学で最も重要な定理の一つである揺動散逸定理に相当する式が導かれている。その後テーラーによって、流れが存在する場合には、流れによる輸送とブラウン運動による拡散が結合し、静止流体中とは質的に異なった粒子の運動が起こることが指摘され、今日に至るまで流れ場中におけるブラウン運動について応用と基礎の両面から精力的に研究がなされている。その中で、せん断流下のブラウン運動は比較的簡単な系であるため、多くの理論研究がなされ、この系に特徴的な結果が得られている。例えば、粒子の平均自乗変位が長時間側で時間の 3 乗に比例する異常拡散と呼ばれる現象がある。しかし、実験的にはせん断流下の微粒子位置の精密測定の難しさ等のため、現在までこの異常拡散を明確に観測した例はない。

このような背景の下、本研究では、せん断印加装置と共焦点レーザー顕微鏡が一体となった装置を用いて、せん断流下にある微粒子の軌跡を長時間にわたり精密に測定する実験手法および軌跡の新たな解析手法を提案している。これらを用いて、異常拡散の実験的検証、軌跡の持続確率 (粒子が t 秒後までにもとの位置に戻らない確率) による解析、さらに振動せん断流下における拡散の測定までを行ない、せん断流下のブラウン運動の特徴を実験的に明らかにしている。この論文では、その成果を纏めている。

本論文の第 1 章では、ブラウン運動に関係する先行研究を紹介し、研究の背景と目的について述べている。

第 2 章では、定常せん断流下におけるブラウン運動を直接観察した結果について述べている。実験には、せん断印加と微粒子の運動の観察が同時に可能な装置を用い、平均自乗変位の統計的な精度を高めるために、一度の観察で複数の軌跡の情報を取得できるプログラムを構築している。通常の平均自乗変位では、流れによる変位が異常拡散に比べて大きいため、異常拡散を検出できない。そこで、流れによる変位を含まない新たな変位を導入し、その平均自乗変位を求め、理論値と比較し、良好な一致を得ている。平均自乗変位に加えて、確率密度関数も実験的に求めている。短時間領域では、せん断の影響が小さく空間的異方性が見られなかったが、時間が経過するにつれて、せん断の効果により、流れ方向の拡散が垂直方向に比べ大きくなることが確かめられた。

第 3 章では、第 2 章で求めた軌跡を、持続確率を用いて解析を行なっている。第 2 章において新

たに定義した変位の持続確率を求めたところ、それが冪関数で減衰し、低せん断側と高せん断側で指数の異なることを明らかにした。しかし、その持続指数は通常の変数に対して計算されている結果とは異なっていた。そこで、新たな変数に対して、すでに報告されている近似法を用いて持続指数を計算し、実験結果と比較したところ、低せん断および高せん断の両側において良い一致が得られることを見出している。また、持続指数の近似計算の過程で導出した 2 時間相関関数をもとに通常の変位と新たな変位の統計的な類似点と相違点を議論している。このことから、持続確率を用いることによって、平均自乗変位には現れないせん断流の効果を明らかにした。

第 4 章では振動するひずみを印加したときのブラウン運動を観察している。第 2 章では、せん断を印加することでせん断流れとブラウン運動による拡散の効果の結合によって異常拡散が現れることを述べているが、振動するひずみの場合でも拡散への影響が現れることを示している。まず、振動ひずみを印加したときのブラウン運動をランジュバン方程式をもとに調べ、流れ方向の位置を振動の周期毎に観測すると、平均自乗変位は時間に比例し、さらにその比例係数 (見かけの拡散定数) が振動ひずみの振幅と位相に依存して変化することを理論的に示している。次に、これを実験的に検証している。このことから、振動流下においてもせん断流れとブラウン運動による拡散の効果の結合によって拡散に異常が現れることを本章で明らかにしている。

最後に、第 5 章で本研究の成果をまとめている。

これを要するに、本研究ではせん断流下における微粒子のブラウン運動の測定、解析方法を開発し、流れ場中の拡散に関して新たな知見を得たものであり、応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格のあるものと認める。