

平成 22 年 5 月 6 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760118

研究課題名（和文） 乱流中の粒子挙動に及ぼす周囲流の変動の影響

研究課題名（英文） Effect of oscillation of ambient flow on particle motion

研究代表者

杉岡 健一 (SUGIOKA KEN-ICHI)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80438233

研究成果の概要（和文）：

脈動流中に置かれた単一粒子に働く流体力を直接数値計算法により明らかにした。粒子レイノルズ数が 100 以下ならば、粒子の運動方向への非常に大きな振幅・高周波変動であっても、従来の微小振幅・低周波変動での予測式が適用できることが分かった。一方、粒子レイノルズ数が 300 以上ならば粒子の後に現れる非定常な渦離脱が周囲流の変動の大きさ・周波数により変化し、従来法では十分な予測ができないことが分かった。

研究成果の概要（英文）：

The fluid force acting on a rigid sphere in a uniform streamwise oscillating flow was numerically investigated by means of a three-dimensional direct numerical simulation (DNS) based on a marker and cell (MAC) method. In the particle Reynolds number region of  $1 < Re_p < 100$ , the conventional expression of drag force summing the standard drag, added mass force, pressure gradient force and history force (Maxey & Riley 1983; Auton, Hunt & Prud'homme 1988; Kim, Elghobashi & Sirignano 1998) is in good agreement with the DNS results of the drag force on a rigid sphere in an oscillating flow. In the high particle Reynolds number region of  $Re_p > 300$ , the conventional expression of fluid force cannot predict the effect of vortex shedding on the fluid force.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：流体工学

キーワード：流体力・脈動流・直接数値計算法・粒子周りの流れ

## 1. 研究開始当初の背景

粒子に働く流体力の主なものとして、

(1) 抗力

(2) 揚力

- (3) 付加質量力
- (4) Basset 履歴力

などが、言われている。

一様な層流中の粒子に関して (1) 抗力に関しては、非常に数多くの研究が行われており、(2) 揚力に関しても、Saffman (*J. Fluid Mech.*,1965) をはじめ、多くの研究が行われている。近年では Kurose & Komori (*J. Fluid Mech.*,1999) や Bagchi & Balachandar (*J. Fluid Mech.*,2002、*Phys. Fluids*,2002) により三次元直接数値計算法により固体球の周囲流を解析することで広範囲の固体球に働く抗力および揚力が明らかにされている。(3) 付加質量力や (4) Basset 履歴力は層流のような周囲流に変動がない場合は無視できるが、乱流のような周囲流に変動がある場合は無視できなくなる。これらの力に関する研究の多くは慣性力が無視できるほど小さい粒子に関するものや流れが軸対称となると仮定した二次元計算であり、現実に見られるような三次元的で広範囲の粒径に対して適用できるものはほとんど無い。近年、乱流中に置かれた固体粒子周りの流れを解析し、その流体力を計算した例 (Bagchi & Balachandar, *J. Fluid Mech.*, 2003) があるが、周囲流が乱流であり、働く流体力が複雑であるためそれをモデル化するまでにはいたっていない。

## 2. 研究の目的

直接数値シミュレーションにより、周期的に流速の変化する脈動流におかれた固体粒子に働く流体力を評価する。すなわち、抗力および揚力に及ぼす周囲流の変動の影響および規則的な変化をする場合での付加質量力と Basset 履歴力の評価を行う。

また、粒子レイノルズ数が 300 以上の高粒子レイノルズ数領域では一様な層流中の粒子においても、後流に粒子レイノルズ数に依存した周期的なカルマン渦が発生

するため、流体力は周期的に変化する。そこで、カルマン渦が発生するような高粒子レイノルズ流れに周期的変動があった場合には後流のカルマン渦はどのように変化するかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

周囲流に変動を伴う場合の粒子周りの流れに関する直接数値シミュレーションコードを開発する。流動場は、流れの支配方程式を直接数値的に解析する直接数値計算法を用いて、数値シミュレーションを行う。液滴内流動場の数値シミュレーションコードは申請者がかつて行った液滴内および液滴周りの流動を解析するための直接数値シミュレーションコード(杉岡・小森、機論(2005)、Sugioka & Komori, *J. Fluid Mech.*, (2007))を改良することで、作成する。

周囲流に与える変動としては、単周期の正弦波的脈動を与える。この正弦波の振幅および周期を変化させることで周囲流の変動が流体力に及ぼす影響を明らかにする。

## 4. 研究成果

脈動流中に置かれた単一粒子周りの流れを直接数値計算法により解析を行うシミュレーションコードを開発した。図 1 (a)(b)(c) に示すように、粒子の後に現れる非定常なはく離渦が周囲流の変動の大きさ・周波数により変化することがわかった。

また、直接数値計算により得られた流れ場の計算結果を用いて、単一粒子に働く流体力を明らかにした。それにより、図 2 に示すように粒子レイノルズ数が 100 以下ならば、粒子の運動方向への非常に大きな振幅・高周波変動であっても、従来の微小振幅・低周波変動での予測式が適用できることが分かった。一方、図 3 に示すように粒子レイノルズ数が 300 以上ならば粒子の後に現れる非定常なは

く離渦が周囲流の変動の大きさ・周波数により変化し、従来法では十分な予測ができないことが分かった。また、図4に示すように、揚力は特に顕著に粒子の後に現れる非定常な離渦の影響を強く受けるため、時間平均値、変動の大きさも全く異なる値を示すことがわかった。

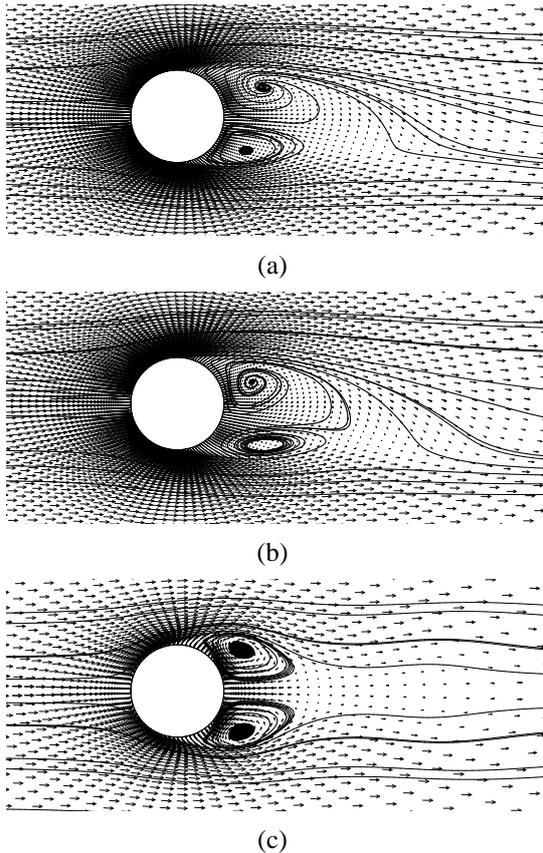


図1 単一粒子周りの流れ場：粒子レイノルズ数  $Re_p = 300$

- (a) 定常流
- (b) 脈動流： $A=0.05$   $St=0.2$
- (c) 脈動流： $A=0.5$   $St=0.2$

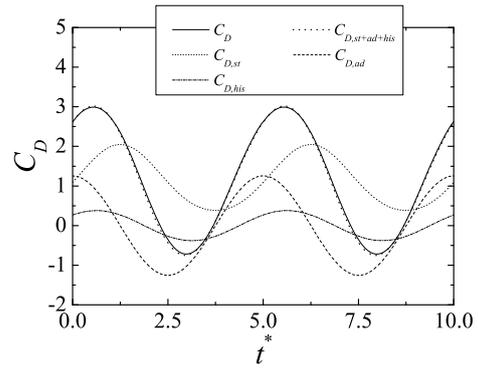


図2 脈動流中の単一粒子に働く抗力： $Re_p = 100$   $A=0.5$   $St=0.2$

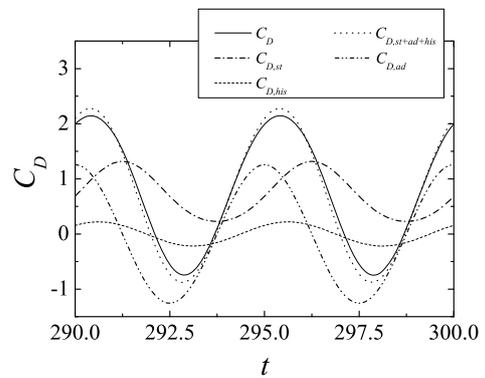


図3 脈動流中の単一粒子に働く抗力： $Re_p = 300$   $A=0.5$   $St=0.2$

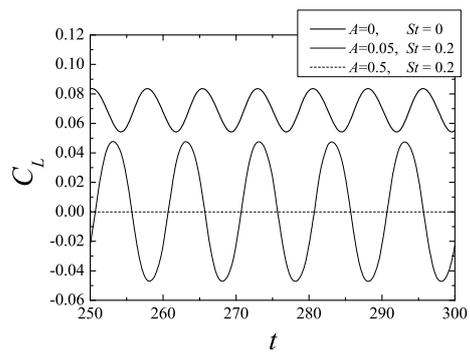


図4 脈動流中の単一粒子に働く揚力： $Re_p = 300$

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 杉岡 健一、見上 信、塚田 隆夫、小森 悟、一様な脈動流中の球形固体粒子に働く抗力の評価、日本機械学会論文集B編、査読有、75 巻、2009 年、2128-2134
2. Ken-ichi Sugioka, Satoru Komori, Drag and lift forces acting on a spherical gas bubble in homogeneous linear shear liquid flow、Journal of Fluid Mechanics、査読有、629 巻 2009 年、173-193

[学会発表] (計 1 件)

1. 杉岡 健一、見上 信、塚田 隆夫、小森 悟、一様な脈動流中の球形粒子に働く抗力の評価、化学工学 74 年会、2009 年 3 月 18-20 日、横浜国立大学(神奈川)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

杉岡 健一 (SUGIOKA KEN-ICHI)  
東北大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：80438233

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし