

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月7日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]
大阪大学・大学院基礎工学研究科
[職・氏名]
理事・副学長 河原 源太
[課題番号]
JPJSBP1 120193514

1. 事業名 相手国: ドイツ (振興会対応機関: DAAD) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 不変解を用いた粒子混相乱流研究の新展開

(英文) Development of novel particle-laden-turbulence research using invariant solutions

3. 共同研究全実施期間 平成31年4月1日 ～ 令和4年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Karlsruhe Institute of Technology ・ Professor ・ Markus Uhlmann

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		3,770,000 円
内訳	1年度目執行経費	1,870,000 円
	2年度目執行経費	1,900,000 円
	3年度目執行経費	0 円

6. 共同研究全実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	8 名
相手国側参加者等	6 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	3		5(0)
2年度目			0
3年度目			0
4年度目			0

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 本委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

大阪大学の研究チームと **Karlsruhe Institute of Technology** の研究チームが協働して、周期箱流及び平行平板間乱流に対して、乱流状態の特性を再現する不変解（定常解，周期解）から得られる速度場における（不変解へ影響を及ぼさない）無限小径の多数の粒子の各々の運動を直接数値シミュレーションにより調べた．また（流れ中の最小寸法の渦構造に比べ無視できない径を有し，不変解へ影響を及ぼす）有限径の多数の固体粒子の各々の運動についても流れ場と粒子の時間発展を埋め込み境界法により直接数値シミュレーションを実施した．

周期箱流に対しては，等方乱流を再現する不安定周期解（Yasuda, Kawahara, van Veen & Kida 2019）における無限小粒子および有限粒子の運動を調べ，時間周期的に変動する速度場における固体粒子群の運動の振舞いを明らかにするとともに，粒子混入による不変解の変調を解明した．有限粒子を不安定周期解に導入しても，周期運動が粒子の時間スケールに比べ長く持続することが判明した．

平面 Couette 流に対しては，平面 Couette 乱流を再現する定常解（Nagata 1990）と不安定周期解（Kawahara & Kida 2001）における無限小粒子および有限粒子の運動を調べ，時間周期的に変動する速度場における固体粒子群の運動の振舞いを明らかにするとともに，粒子混入による不変解の変調を解明した．壁乱流中の低速ストリークへの粒子の集中のメカニズムを解明した．また，壁面剪断流の不変解に対しても，有限粒子を導入しても，流れが粒子の時間スケールに比べ長く持続することを明らかにした．

以上の研究を日本側研究者 3 名の令和 2 年 3 月の **Karlsruhe Institute of Technology** 訪問，ドイツ側研究者 5 名の令和元年 9 月の大阪大学訪問により推進するとともに，オンライン会議や電子メールにより共同研究を実施した．

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

上述のように，不変解の最先端研究を推進する大阪大学チームと粒子混入乱流に関する最先端研究を推進する **Karlsruhe Institute of Technology** チームとの本共同研究により，上述のように乱流中の粒子挙動の理論的研究が進展した．乱流中での粒子運動では，乱流自身が複雑かつ再現性のない時間発展をするため，粒子運動の本質を抽出することが困難であった．本研究では，再現性があり，かつ乱流の構造や統計性質を再現する不変解における粒子運動を議論することにより，乱流場の複雑性，不規則性の問題を克服し，粒子挙動の本質を抽出し，解明することに成功した．

特に，流れ場に対しては攪乱として作用する有限粒子を不変解に導入しても，不変解は微小振幅で摂動を受けながらも，ほぼ周期的，あるいはほぼ定常な不変解が維持されることは，新たな発見であった．この発見は，従来の流れの安定性の概念を粒子混入流れに拡張可能であることを強く示唆している．

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

上述のように，不変解の最先端研究を推進する大阪大学チームと粒子混入乱流に関する最先端研究を推進する **Karlsruhe Institute of Technology** チームとが共同研究を実施したことによって，はじめて上記の研究成果が得られた．

また，本共同研究に日独の若手研究者や博士課程学生が参画することにより，次代を担う若手人材の学術交流ネットワークが形成された．

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

産業界および自然界に見られる乱流現象では，乱流中に固体粒子が混入した混相状態を呈する場合が多くみられ，粒子混入乱流は流体力学，熱流体力学の最重要課題の一つとなっている．本共同研究によって混相

乱流中の粒子挙動が理論的に解明されたことから、今後流体力学、熱流体力学における大きな進展が期待される。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

本共同研究には助教、ポスドク3名、博士課程学生6名が日独両国から参画した。これらの若手研究者は本共同研究プロジェクトに参画するとともに、若手中心の学術交流を行い、両国若手人材の学術研究力ならびに国際性の涵養がなされた。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

今後は本共同研究の成果を踏まえ、不変解の情報をデータベースとして広く国際的に開放して、不変解中の粒子挙動の研究という、本共同研究で開拓された新規研究分野を世界的に展開していく計画である。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記述してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞、産業財産権の出願・取得など

大阪大学と Karlsruhe Institute of Technology とは既に大学間学術交流協定を締結しているが、今回の共同研究を含む両機関の共同研究を戦略的に推進するため、現在大学間学術交流協定を戦略的パートナー協定へ格上げする協議を行っている。