

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06941

研究課題名（和文）高エンタルピー流中のケイ素系耐熱複合材料内部の気泡生成と材料近傍発光の同時計測

研究課題名（英文）Simultaneous Measurements of Bubble Productions and Radiation of Si-based Heat-resistant Composite Materials in High-enthalpy Flows

研究代表者

船津 賢人（Funatsu, Masato）

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：50323332

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測し、本研究課題で導入した超広ダイナミックレンジカメラを利用して発光強度分布の計測を行った。材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測を行うことができた。COVID-19（新型コロナウイルス感染症）の影響により、研究の進捗が遅れていたことは事実であるが、研究計画に沿って、研究を進め、高エンタルピー流中のケイ素系耐熱材料の非定常挙動を可視化し、その考察を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発中の先進的発光分光計測技術に超広ダイナミックレンジカメラを導入し、空間的・時間的に、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光を同時計測する新しい計測システムを提案・構築する点にある。この成果は、革新的な耐熱材料開発、特にケイ素系にとどまらず耐熱材料開発に直接応用でき、当該産業等への社会的な波及効果は大きく意義深い。さらに非定常挙動モデルを構築することで、地球大気圏再突入機のみならず惑星大気圏突入機の高精度な空力加熱予測に貢献でき、幅広い意味で社会に与えるインパクトは大きい。

研究成果の概要（英文）：Using an advanced radiation spectroscopy technology to obtain spatial and temporal radiation intensity distributions, we measured the strong radiation near silicon-based heat-resistant materials and measured the radiation intensity distribution using an ultra-wide dynamic range camera introduced in this research project. Simultaneous measurement of significant radiation from the material surface and weak radiation around the material was achieved. Although the progress of the research was slowed down by COVID-19, the research proceeded according to the research plan, and the unsteady behavior of silicon-based heat-resistant materials in high-enthalpy flow was visualized and discussed.

研究分野：高速高温流体力学

キーワード：航空宇宙工学 極超音速反応性流体力学 ケイ素系耐熱複合材料 気泡生成 分光計測

1. 研究開始当初の背景

2011年のアメリカ合衆国スペースシャトルの退役により、ロシア連邦のソユーズ宇宙船が国際的な有人輸送を唯一広く担っている。そのような背景から、我が国独自の宇宙輸送機による地上 - 宇宙間の定期的で安全な移動が社会的要請となっている。宇宙輸送機に関連する研究は、世界各国(アメリカ合衆国、欧州連合、中華人民共和国、インド共和国など)で精力的に行われているが、我が国では宇宙航空研究開発機構(JAXA)のHTV(宇宙ステーション補給機)による無人宇宙輸送が行われ、現在ではHTV-R(回収機能付加型HTV)による安全確実な帰還・回収技術を実証・確立するための研究が継続的に行われている。特に、地球大気圏再突入では革新的な耐熱材料開発と高精度な空力加熱予測が求められる。

2. 研究の目的

スペースシャトル退役を背景に、我が国独自の宇宙輸送機による地上 - 宇宙間の定期的で安全な移動が社会的要請となっている。特に地球大気圏再突入では革新的な耐熱材料開発と高精度な空力加熱予測が求められる。本研究は、高エンタルピー流中の損耗が炭素系複合材料に比べて小さいケイ素系耐熱複合材料に着目し、気流と材料損耗に関わる未解明の材料内部の気泡生成と材料近傍の強い発光に焦点をあてる。開発中の先進的発光分光計測技術に超広ダイナミックレンジカメラを導入することで、気泡生成と発光を同時計測し、ケイ素系耐熱複合材料の非定常挙動を解明する。

3. 研究の方法

開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術(複数波長フィルター同時利用による高速度ビデオカメラシステム)により、ケイ素系耐熱複合材料近傍の強い発光を計測する。また超広ダイナミックレンジカメラを発光分光計測技術に導入し、内部(表面近傍)気泡生成と発光強度分布を同時計測する。最終年度には、高エンタルピー流中のケイ素系耐熱複合材料内部の気泡生成と材料近傍発光の非定常挙動モデルを構築する。

4. 研究成果

(1)2017年度

開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術(複数波長フィルター同時利用による簡易型ビデオカメラシステム)により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測した。これにより所望の二波長に対応する発光強度分布を取得し、その発光強度比分布から空間的・時間的な温度分布を推定することができた。また複数の超広ダイナミックレンジカメラを試験的に導入し、発光強度分布の計測を試みた。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整や減光フィルターの選択(使用の有無も含め)に苦慮したが、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測の可能性を見いだすことができた。

(2)2018年度

昨年度に引き続き、開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測した。これにより所望の二波長に対応する発光強度分布を取得し、その発光強度比分布から空間的・時間的な温度分布を推定することができた。また複数の超広ダイナミックレンジカメラを試験的に導入し、発光強度分布の計測を試みた。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整や減光フィルターの選択(使用の有無も含め)に苦慮したが、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測の可能性を見いだすことができた。

(3)2019年度

昨年度に引き続き、開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測した。これにより所望の二波長に対応する発光強度分布を取得し、その発光強度比分布から空間的・時間的な温度分布を推定することができた。また超広ダイナミックレンジカメラを導入し、発光強度分布の計測をした。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整や減光フィルターの選択(使用の有無も含め)に苦慮したが、材料表面

から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測の可能性を見いだすことができた。

(4)2020年度

継続的に、開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測することに加え、昨年度に引き続き、超広ダイナミックレンジカメラを導入し、発光強度分布の計測を継続的に行った。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整や減光フィルターの選択（使用の有無も含め）に苦慮しているが、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測の可能性について、より深く考察することができた。

(5)2021年度

継続的に、開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測することに加え、昨年度に引き続き、超広ダイナミックレンジカメラを導入し、発光強度分布の計測を継続的に行った。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整等に苦慮しているが、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測を一部であるが行うことができた。

(6)2022年度

継続的に、開発中の空間的・時間的な発光強度分布を得る先進的発光分光計測技術により、ケイ素系耐熱材料近傍の強い発光を計測することに加え、本研究課題で導入した超広ダイナミックレンジカメラを利用して発光強度分布の計測を継続的に行った。ダイナミックレンジカメラとその光学系の調整等に苦慮したが、材料表面から生ずる著しい発光と材料周辺部に生ずる微弱な発光の同時計測を行うことができた。

COVID-19（新型コロナウイルス感染症）の影響により、研究の進捗よくが滞っていたことは事実であるが、研究計画に沿い、研究を進め、高エンタルピー流中のケイ素系耐熱材料の非定常挙動を可視化し、その考察を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 HASHIMOTO Makoto, FUNATSU Masato, MALISA Nurul, MORIOKA Gen, OZAWA Masahiro	4. 巻 17
2. 論文標題 Temperature Estimations of SiC Ablations with Several Kinds of Narrow Band-pass Filters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 561-567
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/tastj.17.561	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 船津 賢人, 矢島 颯大, 大屋 祐輝, 松岡 優介, 半田 圭佑
2. 発表標題 高温プラズマジェット中のケイ素系耐熱材料の非定常加熱試験
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船津 賢人, 松岡 優介, 大屋 祐輝, 矢島 颯大, 中沢 信明, 白石 壮志
2. 発表標題 高温プラズマ流中の多孔質炭素系材料の加熱挙動
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Matsuoka, Yuki Oya, and Masato Funatsu
2. 発表標題 Ablation Experiments of Porous Carbonbased Heat-resistant Materials in Highenthalpy Air Plasma Freejets
3. 学会等名 33rd International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船津 賢人, 大屋 祐輝, 松岡 優介, 矢島 颯大, 半田 圭佑, 金田 崇寿, 山部 友紀翔, 中沢 信明, 白石 壮志
2. 発表標題 高温プラズマジェット中の炭素系およびケイ素系材料の加熱試験
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 船津 賢人, 菅原 大聖, 半田圭佑, 橋本 真
2. 発表標題 高温プラズマジェット中のケイ素系耐熱材料周りの放射計測に関する一考察
3. 学会等名 2020年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢島 颯大, 大屋 祐輝, 半田 圭佑, 船津 賢人
2. 発表標題 異なる加熱率条件下におけるケイ素系耐熱材料のアブレーション試験
3. 学会等名 2020年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡 優介, 半田 圭佑, 船津 賢人, 白石 壮志
2. 発表標題 空気プラズマフリージェット中の多孔質炭素系材料の加熱試験
3. 学会等名 2020年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船津 賢人, 矢島 颯大, 松岡 優介, 大屋 祐輝, 半田 圭佑
2. 発表標題 異なる加熱率条件下におけるケイ素系耐熱材料の損耗特性 (継続)
3. 学会等名 群馬大学大学院理工学府附属元素科学国際教育研究センター 元素機能科学プロジェクト 令和2年度最終報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船津 賢人, 橋本 真, 根岸 修平, 半田 圭佑
2. 発表標題 高温プラズマジェット中の炭素系およびケイ素系耐熱材料の加熱試験
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 哲也, 半田 圭佑, 矢島 颯大, 船津 賢人
2. 発表標題 異なる加熱率条件下における炭素系材料の損耗試験
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究交流会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船津 賢人, 半田 圭佑, 小林 哲也, 松岡 優介, 菅原 大聖, 矢島 颯大
2. 発表標題 異なる加熱率条件下におけるケイ素系耐熱材料の損耗特性 (継続)
3. 学会等名 群馬大学大学院理工学府附属元素科学国際教育研究センター 元素機能科学プロジェクト 令和元年度中間報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船津 賢人, 菅原 大聖, 半田 圭佑, 橋本 真
2. 発表標題 高温プラズマジェット中のケイ素系耐熱材料周りの放射計測に関する一考察
3. 学会等名 2019年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船津 賢人
2. 発表標題 先端技術フォーラム はやぶさのその後を担う再突入技術：高温プラズマ流
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本 真, 船津 賢人, 半田 圭佑, 根岸 修平, 矢島 颯大
2. 発表標題 高温プラズマ流中のケイ素系耐熱材料周りの放射測定
3. 学会等名 平成30年度宇宙航行の力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船津 賢人, 半田 圭佑, 橋本 真, 根岸 修平, 矢島 颯大
2. 発表標題 異なる加熱率条件下におけるケイ素系耐熱材料の損耗特性（継続）
3. 学会等名 群馬大学大学院理工学府附属元素科学国際教育研究センター 元素機能科学プロジェクト 平成30年度中間報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本 真, 船津 賢人, 半田 圭佑, 根岸 修平
2. 発表標題 高温プラズマ流中のケイ素系耐熱材料周りの放射計測
3. 学会等名 平成30年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Hashimoto, M. Nurul, M. Funatsu, G. Morioka, and M. Ozawa
2. 発表標題 Temperature Estimations of SiC Ablations with Several Kinds of Narrow Band-pass Filters
3. 学会等名 31st Int'l Sympo. Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本 真, 矢島 颯大, 船津 賢人
2. 発表標題 高温プラズマ流中の炭化ケイ素のアブレーション試験
3. 学会等名 日本機械学会2017年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船津 賢人, 橋本 真, 矢島 颯大, 中里 一優
2. 発表標題 二波長分光系を用いたケイ素系耐熱材料周りの温度計測
3. 学会等名 第61回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢島 颯大, ヌルル マリサ, 橋本 真, 中里 一優, 船津 賢人
2. 発表標題 プラズマ加熱によるケイ素系耐熱材料のアブレーション試験
3. 学会等名 平成29年度宇宙航行の力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本 真, 中里 一優, 矢島 颯大, 船津 賢人
2. 発表標題 二波長分光系を用いたケイ素系耐熱材料周りの温度測定
3. 学会等名 平成29年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船津 賢人, 橋本 真, 矢島 颯大, 半田 圭佑, 中里 一優
2. 発表標題 異なる加熱率条件下におけるケイ素系耐熱材料の損耗特性
3. 学会等名 群馬大学大学院理工学府附属元素科学国際教育研究センター 元素機能科学プロジェクト 平成29年度成果報告会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

群馬大学 大学院理工学府 知能機械創製部門 流体理工学研究室 極超音速空気熱力学研究チーム
<https://www.fluid.mst.st.gunma-u.ac.jp/HART/>

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
連携研究者	北川 一敬 (Kitagawa Kazutaka) (50278230)	愛知工業大学・工学部・教授 (33903)	

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