

国際共同研究事業
国際共同研究教育パートナーシッププログラム
平成 25 年度実施報告書

平成 26 年 4 月 8 日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

所属機関・部局 大阪大学・大学院工学研究科

職・氏名 (ふりがな) 准教授・羽原英明 はばらひであき

1. 事業名 国際共同研究事業国際共同研究教育パートナーシッププログラム
2. 研究課題名 (和文) 極限状態における核エネルギーシステムと材料に関する教育・研究国際協力
(英文) PIRE: Nuclear Energy Systems and Materials under Extreme Conditions
3. 共同研究実施期間 (全採用期間)
平成 24 年 10 月 1 日 ~ 平成 29 年 9 月 30 日 (5 年 0 ヶ月)
4. 研究参加者
(1) 日本側参加者 15 名 (2) 米国側参加者 6 名
5. 主要な物品購入状況 (一品又は一組若しくは一式の価格が 50 万円以上のもの)

物品名	仕様 型・性能等	数量	単価(円)	金額(円)	設置研究機関名

備考：50 万円以上の物品を購入等した場合のみ記入してください。

6. 人件費使用状況

氏名	金額	雇用期間	専門および本研究における役割

備考： 研究者及び専門技術員・研究補助者を雇用した場合のみ記入してください。
 雇用期間の欄の記入例：「平成 25 年 6 月 1 日～平成 27 年 5 月 31 日」

7. 渡航実施状況

(a) 日本側参加者（代表者を含む）の国内出張

出張者 (氏名)	出発地 (都市名)	用務先 (都市名)	旅行期間*	用 務 (用務先・用務内容)	経費負担**
廣岡慶彦	名古屋	大阪	4/15、5/15-16、6/12-13、 7/12、8/23、7日間	共同研究遂行	有
籾内俊毅	大阪	福岡	5/30、1日間	打ち合わせ	有
柴田怜	大阪	岐阜	6/25-26、7/18-19、9/5-6、 11/6-8、8日間	共同研究遂行	有
田中和夫	大阪	京都	7/3-5、3日間	PIRE ワークショップ参加	有
羽原英明	兵庫	京都	7/3-5、3日間	PIRE ワークショップ参加	有
籾内俊毅	大阪	京都	7/3-5、3日間	PIRE ワークショップ参加	有
砂原淳	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
影山慶	大阪	京都	7/3-5、3日間	PIRE ワークショップ参加	有
柴田怜	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
彭明超	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
高木一茂	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
林宜章	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
山下真直	大阪	京都	7/4-5、2日間	PIRE ワークショップ参加	有
廣岡慶彦	名古屋	京都	7/3-5、3日間	PIRE ワークショップ参加	有
籾内俊毅	大阪	徳島	9/24-25、2日間	物理学会年会発表	有
籾内俊毅	大阪	東京	12/5、1日間	プラスマ核融合学会参加	有
林宜章	大阪	東京	12/5、1日間	プラスマ核融合学会発表	有
高木一茂	大阪	名古屋	12/17、1日間	数値流体シンポ発表	有
林宜章	大阪	岐阜	12/24、1日間	共同研究遂行	有
影山慶	大阪	北九州	1/20-21、2日間	レーザー学会年会発表	有
籾内俊毅	大阪	岐阜	1/29-1/30、2/6、3日間	共同研究遂行	有

* 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日、10日間」

** 本経費使用予定の有無を記入すること

(b) 当該年度に米国を訪問した日本側参加者

出張者 (氏名)	出発地	用務先 (国名・都 市名)	旅行期間*	用 務 (用務先・用務内容)	経費負担**
廣岡慶彦	名古屋	米国・カンフ ンシコ	6/15-22、8 日間	国際会議発表	有
砂原淳	大阪	米国・インデ イナ州・ラフ アエット市	2/6-19、14 日間	ハーヴェー大学との共同研究	有
高木一茂	大阪	米国・インデ イナ州・ラフ アエット市	2/6-19、14 日間	ハーヴェー大学との共同研究	有

* 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日、10日間」

** 本経費使用予定の有無を記入すること

(c) 当該年度に米国以外の国を訪問した日本側参加者*

出張者 (氏名)	出発地	用務先 (国名・都 市名)	旅行期間**	用 務 (用務先・用務内容)	経費負担***

* 外国出張の渡航先は原則として、米国のみを渡航先とします。ただし、当該共同研究の研究成果発表を目的とする学会等への出席や、フィールドワーク等で当該第三国へ行くことが必須である研究上の理由がある場合に限り、米国以外の国を訪問することは可能です。

** 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日、10日間」

*** 本経費使用予定の有無を記入すること

(d) 当該年度に受入れた米国側参加者

出張者 (氏名)	用務先	旅行期間*	用 務
Hehmat A. Aglan	リーガロイヤルホテル京都	7/3-6・4日 間	日米 PIRE ワークショップ参加、研究打ち合わせ
Ahmed Hassanein	リーガロイヤルホテル京都	7/3-6・4日 間	日米 PIRE ワークショップ参加、研究打ち合わせ
Tatyana Sizyuk	リーガロイヤルホテル京都	7/3-6・4日 間	日米 PIRE ワークショップ参加、研究打ち合わせ
Sivanandan S. Harilal	リーガロイヤルホテル京都	7/3-6・4日 間	日米 PIRE ワークショップ参加、研究打ち合わせ
Nicole LaHaye	リーガロイヤルホテル京都	7/3-6・4日 間	日米 PIRE ワークショップ参加、研究打ち合わせ

* 旅行期間の欄の記入例：「6月10～19日、10日間」

8. 研究実施状況

※ 申請書の内容および当該年度実施計画書の「6. 本年度実施計画の概要」と対応させつつ、当該年度の研究の実施状況を簡潔に日本語にて記入してください。

[研究概要]

将来の基盤発電技術の一つとして期待されている核融合発電の炉壁や、大気圏に再突入する際に高エネルギー密度な熱流束に曝されるスペースシャトルや惑星往還スペースシップの外壁には、既存物質の融点を超えた耐熱材料の開発が不可欠となっている。そのような材料システムの候補として、我々は強大な熱負荷吸収が可能な、制御されたプラズマ層導入による損傷抑制（プラズマシールドイング）を、米国と共同で提唱している。本プログラムでは、1) 現在の損傷閾値を超えた極限環境下で機能する材料システムを開発するために、レーザーや量子（高エネルギー電子やイオン）ビームを用いた研究プラットフォームを構築し、2) これを利用してプラズマシールドイングの詳細な機構を明らかにして、理論・シミュレーションによる現象の理解と広いパラメータ領域での予測能力を構築することで、新しい学術体系を確立するのみならず、実際の極限環境下で機能する材料システムを提案する。

[H25 に取り組んだ研究課題]

本プログラムで取り扱う課題のうち、H25 年度は

- (A) 慣性核融合炉内でのプラズマ衝突実験
- (B) 慣性核融合炉内での壁アブレーションに関連するシミュレーションコード開発

について、以下の内容に取り組んだ。

・電磁プローブを用いて特性（密度、温度、速度、エネルギー、強度など）評価済みのレーザー生成プラズマプルームを背景ガスや背景プラズマで満たされた実験チャンバー内で衝突させ、その挙動を時間分解高速カメラで捉えた。H24 年度までの我々の研究により、プラズマ衝突時にはエアロゾルが形成されることが分かっている。背景ガスや背景プラズマを導入する事で、レーザー核融合炉で考えられている背景ガスに対するアブレーションプラズマとの相互作用に関して研究を開始した。そのために、実験チャンバーに放電用電極を導入して背景プラズマを形成した。そのプラズマの特性評価（温度・密度）のため、新規に導入したデータ記録装置の XY プロッタ機能を利用して、低密度なプラズマ計測が可能な電磁プローブシステムを開発した。エアロゾル形成は慣性核融合炉の性能に大きな影響を与えるが、その形成メカニズムの詳細を理解するとともに、背景ガス・プラズマによりエアロゾルの特性（生成量、形状、原子組成）にどのような影響があるかを調べ、プラズマ衝突現象の理解につなげた。エアロゾル観察については、H24 年度に導入した電子顕微鏡に付属する元素分析装置用い、異なる材料のプラズマが衝突した際に生成されるエアロゾルの組成を調べることが可能となり、エアロゾル形成機構の詳細な理解が可能となった。プラズマ衝突により形成されるエアロゾルなどを詳しく調べるため、小型膜厚計や質量分析計を整備した。堆積物採取基盤温度調整用セラミックヒーターを新規に導入することで、核融合炉で想定される壁材料温度がプラズマ材料堆積にどのように影響するかを詳細に調べることが可能となった。エアロゾル生成機構の詳細を明らかにすることは、炉設計の基本的データの観点から重要である。

・慣性核融合炉内で想定される熱負荷に対する壁の損傷・アブレーションの程度を精度良く見積もるためのシミュレーションコード開発を開始した。具体的には、このモデルでは、慣性核融合炉特有の比較的高エネルギーなイオン（特にプロトン）が壁に入射した場合のエネルギー付与をモンテカルロ法により計算する。それと同時に熱伝導を含む温度上昇とそれが引き起こすアブレーション現象およびその後の壁材料の振る舞いについては流体シミュレーションで取り扱う。

以上の実験・シミュレーションのいずれに関しても、Purdue 大学との密接な連携のもと若手研究者、大学院生の交流を通じて国際共同研究として展開した。

[その他]

9. PIRE のワークショップを日本（京都）で開催し、プログラム統括を含む米国側の主たる参加者と日本側参加者で本プロジェクトに関連する最新の研究成果についての報告・意見交換を行った。またそれぞれの代表および国際担当が若手研究者・大学院生に対する研究・教育環境の最新情報の詳細を確認し、議論を行った。

研究発表（平成 25 年度の研究成果）

【雑誌論文】 計（ 1 ）件 うち査読付論文 計（ ）件

著者名	論文標題			
K.F.Al-Shboul, S.S.Harilal, S.M. Hassan, A.Hassanein, J.T.Costello, T.Yabuuchi, K.A.Tanaka, and Y.Hirooka	Interpenetration and in colliding laser plasmas			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
PHYSICS OF PLASMAS	有	21	2014	013502-1,013502-8
相手国研究代表者との共著の有無*				
◎				

著者名	論文標題			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
相手国研究代表者との共著の有無*				

著者名	論文標題			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
相手国研究代表者との共著の有無*				

【学会発表】 計（ 17 ）件 うち招待講演 計（ ）件

発表者名	発表標題		
Y.Hirooka	AEROSOL FORMATION AND BUFFER GAS EFFECTS IN A HIGH-RATE ICF REACTOR		
学会等名	発表年月日	発表場所	
パルスパワー工学に関する国際会議PPPS-2013	2013.6.	アメリカ・サンフランシスコ	
発表者名	発表標題		
田中和夫	Wall Plasma Interaction Using Ablated Plasma Plumes Induced with Laser Beam		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ		リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標題		
籾内俊毅	Damage production in matter irradiated with energetic particles		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標題		
影山 慶	Effects of equation of state on plasma dynamics related to the thermo nuclear fusion reactor		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標題		

柴田 怜	Model Experiment on Aerosol Formation and Hydrogen Co-deposition in Ambient Gas and Plasma for Laser Fusion Reactor		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
彭 明超	Fusion Reactor Chamber Dynamics Interaction of Low Density Plasma Induced by Laser Ablation		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
高木一茂	Hydro simulation of fusion reactor wall irradiated by alpha particles		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
林 宜章	New Experimental Environment for Laser Ablation with Background Plasma		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
山下真直	Ultra-fast investigation of damage formation in solid using energetic particle irradiations		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
Y.Hirooka	A review of plasma-wall boundary effects on core confinement and lithium applications to boundary-controlled magnetic fusion experiments		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
A.Sunahara	Numerical modeling of heated materials related to the fusion reactor		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
T. Sizyuk	Mixed materials effects on plasma performance in reactor environments		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
A. Hassanein	Plasma and Debris Wall Interactions in Magnetic and Inertial Fusion Reactors		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
S. S. Harilal	Plasma diagnostics & characterization		
学会等名	発表年月日	発表場所	
国際会議PIREワークショップ	2013.7.4	リーガロイヤルホテル京都	
発表者名	発表標 題		
Nicole LaHaye	Laser ablation techniques for materials detection and identifications		
学会等名	発表年月日	発表場所	

国際会議PIREワークショップ		2013.7.5	リーガロイヤルホテル京都
発表者名	発表標 題		
藪内俊毅	慣性核融合炉内でのアブレーションプラズマの挙動		
学 会 等 名		発表年月日	発 表 場 所
日本物理学会		2013.9.25	徳島大学
発表者名	発 表 標 題		
影山 慶	気液混合領域を扱う状態方程式を用いたレーザーアブレーションの流体シミュレーション		
学 会 等 名		発表年月日	発 表 場 所
レーザー学会		2014.1.20	北九州国際会議場

〔図 書〕 計 () 件

著 者 名	出 版 社		
	書 名	発 行 年	総ページ数
		⋮ ⋮ ⋮	
相手国研究代表者との共著の有無*			

*相手国研究代表者との共著がある場合は○、相手国研究代表者との共著であり論文内に事業名を明記している場合は◎と記入した上で、明記されている箇所（頁、巻頭、巻末等）を記入。