

## 日中韓フォーサイト事業 平成 25 年度 実施報告書

### 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	自然科学研究機構 核融合科学研究所
中国側拠点機関：	中国科学院 等離子体物理研究所
韓国側拠点機関：	韓国国立核融合研究所

### 2. 研究交流課題名

(和文)： 高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成  
(交流分野： プラズマ物理学 )

(英文)： Study on critical physics issues specific to steady state sustainment  
of high-performance plasmas  
(交流分野： Plasma physics )

研究交流課題に係るホームページ：[http:// http://dg1.nifs.ac.jp/A3](http://http://dg1.nifs.ac.jp/A3)

### 3. 採用期間

平成 24 年 8 月 1 日～平成 29 年 7 月 31 日  
( 2 年度目)

### 4. 実施体制

#### 日本側実施組織

拠点機関： 自然科学研究機構 核融合科学研究所 (NIFS)  
実施組織代表者 (所属部局・職・氏名)：核融合科学研究所・所長・小森彰夫  
研究代表者 (所属部局・職・氏名)：核融合科学研究所・教授・森田 繁  
協力機関：名古屋大学, 九州大学, 京都大学, 電気通信大学, 静岡大学, 筑波大学,  
京都工芸繊維大学  
事務組織：核融合科学研究所 管理部研究支援課

#### 相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 中国側実施組織：

拠点機関：(英文) Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science (ASIPP)  
(和文) 中国科学院 等離子体物理研究所  
研究代表者 (所属部局・職・氏名)：(英文)  
Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science,  
Professor, HU Liquan

協力機関：(英文) University of Science and Technology of China,  
Huazhong University of Science and Technology  
(和文) 中国科学技術大学, 華中科技大学

(2) 韓国側実施組織：

拠点機関：(英文) National Fusion Research Institute (NFRI)  
(和文) 韓国国立核融合研究所

研究代表者（所属部局・職・氏名）：(英文)  
Experimental Research Division, KSTAR Research Center,  
Principal Researcher, OH Yeong-kook

協力機関：(英文) Pohuag University of Science and Technology, Hanyang University,  
Daegu University, Dankook University,  
Korea Atomic Energy Research Institute  
(和文) 浦項工科大学, 漢陽大学, 大邱大学, 檀国大学, 韓国原子力研究所

## 5. 全期間を通じた研究交流目標

海水中に豊富に存在する重水素を利用する核融合発電は化石燃料の代替エネルギーとして早期実現が期待されている。現在核融合研究では、高性能プラズマの定常保持が最も重要な課題の一つに挙げられている。日中韓の3カ国は全ての磁場コイルが超伝導コイルで構成されたトラス型プラズマ閉じ込め装置（日本・核融合科学研究所（NIFS）・LHD装置、中国・等離子体物理研究所（ASIPP）・EAST装置、韓国・国立核融合研究所（NFRI）・KSTAR装置）を近年相次いで建設し、世界の他の地域には存在しないこれら超伝導プラズマ装置を用いて核融合炉実現に不可欠な高性能プラズマの定常保持に関する学術研究を開始した。そこで本共同研究では、高性能プラズマの定常化に伴い必須となる物理課題の解明を目指して日本・中国・韓国の3国間を横断する学術的研究交流基盤を構築する。3国で稼働している世界最先端の装置を活用し、生成される高性能プラズマの定常化に関する共同研究を行うことにより東アジアの核融合研究の更なる発展を促し、世界をリードできる核融合科学研究所の学術拠点を東アジアに形成することを本研究交流の目標とする。また、核融合研究は今後更に長期的な展望に立脚した学術研究が必要であり、若手研究者の育成は3カ国に共通した最重要課題である。人的交流を通して若手研究者を育成し研究者養成基盤を形成する。高性能プラズマの定常保持に必須の物理課題、すなわち、「閉じ込め磁場配位の定常保持」、「周辺及びダイバータプラズマ制御」及び「アルファ粒子の閉じ込め」の3課題を本研究における物理課題の柱とし、それぞれの国が強みを持つ物理課題を中心に効果的に研究グループの組織化を進め、密接かつ協調的な協力体制を構築する。3国の超伝導プラズマ閉じ込め装置を共同研究の中心とし、高性能プラズマの定常保持のために解明すべきプラズマ物理の必須課題に関する先駆的研究を実験と理論の緊密な連携の下に行うと共にその新展開を図る。

## 6. 平成25年度研究交流目標

### 6. 1 研究協力体制の構築

本共同研究の物理課題，すなわち，「閉じ込め磁場配位の定常保持」，「周辺及びダイバータプラズマ制御」及び「アルファ粒子の閉じ込め」に直接関連した3課題を下記の4つのカテゴリーに分類し，それぞれカテゴリー・キーパーソンを配置する。また，今年度から共同研究「R-1（カテゴリーI）」～「R-4（カテゴリーIII）」の実験カテゴリーに含まれていた理論・シミュレーション研究を「R-5（カテゴリーIV）」として独立させる。研究課題や研究内容は当初通り変化はなく，「R-5（カテゴリーIV）」も従来通り，「R-1（カテゴリーI）」～「R-4（カテゴリーIII）」に示された実験課題を研究テーマとする。共同研究をスムーズに遂行するための処置としてカテゴリー構成に少し変更を加えた。

#### コーディネータ及びサブコーディネータ

カテゴリーI	カテゴリーII		カテゴリーIII
閉じ込め磁場配位の 定常保持	周辺及びダイバータプラズマ制御		高エネルギー粒子 とバルクプラズマ の相互作用
	カテゴリーIIa	カテゴリーIIb	
	プラズマエッジ及びダイバータプラズマ輸送	エッジプラズマの安定性	
キーパーソン	キーパーソン  プラズマ壁相互作用 サブキーパーソン 原子分子 サブキーパーソン	キーパーソン	キーパーソン
カテゴリーIV（理論・シミュレーション）			
キーパーソン，サブキーパーソン			

「R-2（カテゴリーIIa）」には周辺プラズマを研究する上で非常に大事な「プラズマ壁相互作用」及び「原子分子」研究を加え，それぞれサブキーパーソンを配置する。「R-5（カテゴリーIV）」にはキーパーソン及びサブキーパーソンの2名を配置し，1名を大学に所属する研究者とする。また，コーディネーター（研究代表者）にはサブコーディネータを配置し，本共同研究の研究統括がスムーズに行えるよう配慮する。これらの研究組織を日中韓の3国に共通化することで円滑な共同研究な組織的な学術研究の運営を目指す。本年度は本共同研究採択後の初年度であり，日中韓のコーディネーター，キーパーソン及びサブキーパーソンが電子メールや会合・セミナーを通じてより強固なヒューマンネットワークを完成させると共に，今後5年間の共同研究のより具体的な方向性を明確にする。また，各カテゴリー毎に共同研究に参加する研究者を再確認し，共同研究の具体策を議論するこ

とにより研究協力体制の基盤形成を図る。

## 6. 2 学術的観点

### R-1 (カテゴリーI) :

閉じ込め磁場配位の安定保持を阻害する巨視的不安定性の特性理解および制御手法の確立、電流分布制御等を介した高性能プラズマの安定維持を目的とした実験及び理論研究をLHD装置（日本・核融合科学研究所）、EAST装置（中国・等離子体物理研究所）及びKSTAR装置（韓国・国立核融合研究所）を用いて行う。LHD装置では交換型モードの成長・飽和に対するプラズマパラメータおよび配位依存性について研究を行い、交換型モードの飽和強度が磁気レイノルズ数に依存することやその依存性が線形成長率とほぼ一致することを新たに解明した。このことを踏まえ、平成25年度はEAST装置（中国）・KSTAR装置（韓国）においてティアリングモードの飽和強度依存性について調べ、交換型モードとの比較を進める。安定化に寄与するMHDモード回転に関するトカマク型装置とヘリカル型装置の間で比較研究を行い、交換型モードとティアリングモードによって励起されるプラズマ回転がイオンもしくは電子のどちらの流れに相関しているかを明らかにし飽和強度との対比を試みる。同時に回転停止に至る場合の物理現象の相互比較を行う。合わせて、ティアリングモードが回転停止に至る外部擾動磁場の閾値についても評価を行う。

### R-2 (カテゴリーIIa) :

現在の核融合炉設計では巨大なプラズマの周辺熱流束をどのように制御するかが大きな論点となっている。その方策として熱流束を不純物の放射損失に変換し、ダイバータ領域に巨大な熱流束が到達しないようにすること、更に融点の最も高いタングステン材をダイバータ板として使用することが挙げられている。そこで周辺不純物の輸送機構を解明すること、また、タングステン板のプラズマ対向特性を理解することが非常に重要な研究課題となる。平成25年度は上記研究に必要なEUV分光計測装置を設計・製作し、中国・EAST装置に設置する。設置後計測に必要な機器校正を行う。また、中国・HL-2A装置（西南物理研究院・SWIP）では周辺不純物の空間分布を計測するために装置の改造を行い、空間分布計測を開始する。これにより周辺不純物輸送機構解明に向けた計測機器の整備が大きく進展する。プラズマ壁相互作用研究（PWI）では、タングステン標的試料片を中国・EAST装置で曝露し試料内での水素挙動を調べる。また各種壁コンディショニングに応じた試料内不純物挙動についても共同研究する。韓国・KSTAR装置を用いた試料曝露実験や日本・LHD装置を用いた試料曝露と韓国側での試料解析に関する共同研究を具体化させ、研究を進展させる。タングステンのプラズマ中での振舞いを研究するためには多くの原子データが必要となる。中国・EAST装置での観測が期待される低電離タングステンスペクトル解析のためのスペクトルモデリングの研究を進展させる。同時に日本・LHD装置や原子衝突装置（EBIT）から観測された実験スペクトルと理論スペクトルモデリングとの比較研究を進め、より精度の高い解析を目指す。

### R-3 (カテゴリーIIb) :

高性能プラズマ実現には周辺プラズマの閉じ込め特性が改善する H モードが重要課題となっているが、周辺局在化不安定性 (ELM) の出現により大きな熱流束が間欠的にダイバータ部へ排出されるため、その熱流束制御が喫緊の課題となっている。周辺プラズマを閉じ込めている周辺磁場に共鳴すると期待される外部摂動磁場を印可すると ELM が消滅したりその振幅が小さくなることが知られているが、その物理機構は良く理解されていない。外部摂動磁場がプラズマ周辺部磁場構造にどのような変化を与えるかを研究することが主要課題の一つである。この物理課題の解明に向けて、平成 25 年度では、EAST 装置 (中国) 及び LHD 装置 (日本) での計測器開発、特に機器の組み立て、機器校正及びデータ取得に努力を傾注する。また本カテゴリーでは、3次元のMHDコードを開発することも目的に加え、外部摂動磁場が周辺プラズマに侵入する様子をシミュレーションすることにより計測結果の解釈を行う予定である。

### R-4 (カテゴリーIII) :

核融合炉では D-T 燃焼で生成された 3.5MeV アルファ粒子の加熱によって高温プラズマが維持される。アルファ粒子の生成や閉じ込めに関する物理機構の解明は核融合炉の成否に直結する重要な課題である。しかし既存のプラズマ閉じ込め装置では D-T 燃焼実験を行うことは不可能なので、既存のプラズマ中に存在し、アルファ粒子と同等の速度を有する高エネルギーイオンや電子を用いてアルファ粒子を模擬することにより、その輸送過程を研究する。プラズマ内に閉じ込められずに外部へ逃走してくる高エネルギーイオンを計測するためにシンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ (FILD) を日中韓の共同研究として整備を進めている。それを駆使することにより、高エネルギー粒子励起 MHD 不安定性に伴う粒子輸送・損失及び非軸対称磁場リップルに起因する粒子輸送・損失に関する研究を KSTAR 装置 (韓国) 及び LHD 装置 (日本) において実施する。EAST 装置 (中国) では計画されている中性粒子加熱装置 (NBI) の導入に伴い FILD を設置する。平成 25 年度は EAST における同検出器の製作に着手する。最終的には LHD 装置 (日本)、KSTAR 装置 (韓国) 及び EAST 装置 (中国) の全ての超電導装置で本検出器を稼働させ、本カテゴリー研究分野の物理課題解明に向け、比較研究を行う。高エネルギー粒子閉じ込めに関する本共同研究の更なる充実に向け、中性子カメラや中性子スペクトロメータの共同開発研究も同時に進める。

### R-5 (カテゴリーIV) :

高性能プラズマの定常保持に必要なプラズマの巨視的安定性と微視的乱流輸送、高エネルギー粒子の閉じ込め及びダイバータプラズマの物理特性に関する理論・シミュレーション研究を日中韓の 3 研究拠点で協力して推進する。そのための横断的な理論研究を取りまとめるために行うために新たなカテゴリーを「R-5 (カテゴリーIV)」として新設する。各国のシミュレーションコードに関する情報を交換してコード開発を促進すると共に日本・LHD 装置、中国・EAST 装置及び韓国・KSTAR 装置における実験条件と結果に関する情報を共有し現実的な物理条件における理論・シミュレーション研究を推進する。平成 25 年度は、このテー

マの中でも特に、磁気島と微視的乱流の相互作用に関する研究を進展させると共に PIC コードと不純物輸送コードの連携に向けた議論とコード開発を進める。

### **6. 3 若手研究者育成**

若手研究者育成のための派遣枠を確保して、日本側の若手研究者を中国及び韓国の研究機関に派遣することにより若手研究者同士の共同研究を推進する。中国・等離子体物理研究所 (ASIPP)、日本・核融合科学研究所 (NIFS) 及び韓国・国立核融合研究所 (NFRI) との間で大学院生及び COE 研究員 (ポスドク研究生) の相互訪問の実施が実現するよう本事業全体の体制をもって努力する。また、本事業において研究セミナーを開催する際には積極的に若手研究者の参加を求め、口頭発表や論文発表の機会を与え、シニア研究者との積極的な交流を行う機会を提供する。上記以外にも若手研究者が主体となって企画される日中韓主催の会合にも本事業の研究計画を踏まえ、別枠予算等を利用して若手研究者の積極的な参加を呼び掛ける。

#### **R-1 (カテゴリーI) :**

日本や中国・韓国の大学に在学する大学院生や若手研究者を相互に派遣し、共同研究を実施することにより若手研究者の育成に努める。また、本カテゴリーの研究に携わる日中韓の大学院生を積極的にセミナー等に参加させ、英語での口頭発表や論文作成を通してより高度な研究者育成を目指す。

#### **R-2 (カテゴリーIIa) :**

昨年度と同様に、平成 25 年度も、日本・核融合科学研究所で研究を進める博士課程学生の育成に努める他、新たに中国から大学院学生を受け入れるよう準備を進めている。また、大学院学生、ポスドク学生及び若手学生のセミナーや国際会議派遣を通して国際的に通用する研究者育成に努める。また、中国・EAST 装置での本カテゴリーで建設予定の計測装置を立ち上げることやデータ解析のために専用に大学院生及び若手研究者を中国側で配置することができた。共同で機器整備やデータ解析を進めながら若手研究者教育を行う。

#### **R-3 (カテゴリーIIb) :**

昨年度と同様に、平成 25 年度も、日本・核融合科学研究所で研究を進める博士課程学生の育成に努める他、各国からの若手研究者の受け入れを予定している。韓国の博士課程学生を 1 か月程度の期間で受け入れることを計画し、現在その準備を進めている。

#### **R-4 (カテゴリーIII) :**

FILD の更なる高性能化に向けた開発作業を日中韓の 3 か国で実施する。具体的には日本から韓国・KSTAR 装置や中国・EAST 装置へ若手研究者を派遣する一方、当該計測に関わる中国及び韓国側大学院生を日本・核融合科学研究所 (NIFS) で受け入れ、3 か国間の指導教官の有機的な連携協力の下、FILD の整備を進める。大学院学生を含めた若手研究者を主体として、各国の装置での高エネルギーイオン輸送に関わる研究が行えるよう指導する。

#### **R-5 (カテゴリーIV) :**

日本側の核融合科学研究所 (NIFS) 及び本事業の協力大学で大学院生の指導を行うと共

に積極的に中韓の学生を受け入れて、教育を行う。現在も理論・シミュレーション研究を通して複数の中国人学生を指導しているが、平成 25 年度には中国側研究機関から、日本・核融合科学研究所へ COE 研究生（ポストク学生）として若手研究者の招請に努める。セミナー開催時には積極的に大学院生や若手研究者の派遣を進める。

#### **6. 4 社会貢献等**

核融合科学研究所（NIFS）では、毎年秋にオープンキャンパスを実施し、広く一般社会に理科学及び核融合研究の啓蒙・広報活動を行っている。そこで本研究所に滞在している中国人大学院生や COE 研究員にオープンキャンパスに参加してもらい、社会に貢献する。また、日本人研究者が中国・韓国へ派遣して共同研究を行う際に、相手国側研究機関の近隣の大学で講義を行うことにより社会貢献に寄与する。

##### **R-1 (カテゴリーI) :**

中国や韓国で共同研究を行う際に、近隣の大学等で講義を行うことにより一般学生にも核融合研究を啓蒙し社会貢献を行う。

##### **R-2 (カテゴリーIIa) :**

現在、本カテゴリーの研究に必要な EUV 分光計測システムを開発している。検出器には真空を必要とする真空紫外用 CCD 検出器を用い、分光器には迷光や高次光の少ないホログラフィック回折格子を使用し、高波長分解能で且つ高空間分解を有する分光システムを完成させている。これらの装置は外国企業のウェブサイト等で広く公開されており ([http://www.andor.com/pdfs/literature/Andor\\_High\\_Energy\\_Detection\\_Brochure.pdf](http://www.andor.com/pdfs/literature/Andor_High_Energy_Detection_Brochure.pdf))、日本での研究事情や核融合科学研究所の知名度アップに貢献すると共に一般市民への社会貢献を兼ねる。

##### **R-3 (カテゴリーIIb) :**

核融合科学研究所（NIFS）に滞在している中国人大学院生や COE 研究員に核融合研・オープンキャンパスに参加してもらい、一般参加者とのふれあいや会話、説明等を通して社会に貢献する。

##### **R-4 (カテゴリーIII) :**

核融合科学研究所（NIFS）が併設する総合研究大学院大学が開催する「アジア冬の学校」の講座を利用する形で高エネルギーイオン閉じ込め研究に携わる中韓の学生を招聘し当該分野物理の更なる発展に向けて交流を深めると共に、日本で展開される核融合科学研究を日中韓の学生に広く啓蒙する。

##### **R-5 (カテゴリーIV) :**

核融合科学研究所（NIFS）が併設する総合研究大学院大学が開催する「アジア冬の学校」や、体験学習を目的に核融合研や大学等に滞在する高校生や大学生に対して、本カテゴリーの理論・シミュレーション研究を分かりやすく講義し、コンピュータープログラミング等を共同で作業することにより、核融合研究における理論・シミュレーション研究を広く啓蒙し、社会貢献を行う。

## 7. 平成25年度研究交流成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めてください。)

### 7-1 研究協力体制の構築状況

#### R-1 (カテゴリーI) :

中国・EAST 装置 (中国・等離子体研究所) において観測されている古典・新古典ティアリングモードとプラズマ流との関係について Hu 教授のグループとの議論を行った。ティアリングモードの回転停止現象はロックモードとして知られており、ディスラプションを引き起こす危険な現象である。交換型モードにおいても同様の回転停止現象が近年観測され、60%以上のエネルギー損失をもたらす。よって本現象の物理機構の解明、既存モデルとの比較およびその制御性について議論を進め、比較実験の提案等を行った。また、現在設置作業を進めている外部摂動磁場 (RMP) コイルの仕様および安定性制御への適用方法について議論を行い、LHD における RMP 実験の結果との比較を進めた。韓国・KSTAR 実験装置 (韓国・国立核融合研究所) においても同様の議論を進め、プラズマ流およびプラズマ流シアと安定性特性との関係など明らかにすべき点を明確にし、今後の共同実験の進め方について議論を行った。

#### R-2 (カテゴリーIIa) :

日本側研究グループは中国・西南物理研究院 (SWIP) に設置されている HL-2A 実験装置 (トカマク型実験装置) で不純物輸送を研究している崔正英 (Cui) 教授・周航宇 (Zhou) 准教授・董春鳳 (Dong) 助教をはじめとする分光グループと密接な研究交流体制を確立している。董春鳳氏は総合研究大学院大学 (核融合科学研究所) で博士の学位を取得し (主任指導教官: 森田繁), その後2年間の核融合科学研究所 COE 研究員を経て、平成25年10月に西南物理研究院の職員として採用された。現在は SWIP における分光グループの一員となり、研究協力体制は更に強化された。尚、周航宇氏も4年前に同じく総合研究大学院大学 (核融合科学研究所) で博士の学位を取得し (主任指導教官: 森田繁), 現在に至っている。このネットワークを活かしてトカマク型実験装置とヘリカル型実験装置間での不純物輸送の比較研究を継続している。また、日本側研究グループは、中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) に設置されている EAST 実験装置 (トカマク型装置) でも、同研究所の吴振伟 (Wu) 教授・张凌 (Zhang) 助教・高伟 (Gao) 助教をはじめとする分光グループと相互に研究者交流を実施するための共同研究グループを立ち上げた。同グループには総合研究大学院大学 (核融合科学研究所) で博士の学位を取得した (主任指導教官: 森田繁) 王二輝助教も連携協力している。若手教育も兼ね、张凌氏及び高伟氏と共同で EAST 装置の新規計測装置である「EUV 分光器計測器」の準備を進めた。EAST 装置に設置するためのポートの製作を完了し、分光計測器システムの較正実験を終了した。高伟氏は分光計測データの解析手法の勉強のため、平成25年に核融合科学研究所に2か月滞在した (平成25年8月19日-10月19日)。また、中国・華中科技大学に設置されている J-TEXT (トカマク型実験装置) での分光計測に関する共同研究を目指して打ち合わせを開始した。同じく韓国・核融

合研究所に設置されている KSTAR 装置での共同研究開始に向け、グルーピングのための議論を開始した。

日本側の核融合科学研究所 (NIFS) を代表とするプラズマ壁相互作用 (PWI) グループは、中国・等離子体物理研究所の EAST トカマク装置の G. N. Luo 教授及び J. S. Hu 教授をはじめとする PWI グループと共同研究を継続して実施した。若手研究者である F. Ding 氏及び R. Ding 氏と共同して表面分析の解析データやプラズマ曝露時の特性を評価するため、EAST トカマクの周辺プラズマシミュレーションを用いた比較研究について議論を進めている。また、日本側研究グループは韓国・国立核融合研究所 (NFRI) にて Suk-Ho Hong 氏を中心とするグループと PWI 研究に関する共同研究体制を構築し、日本・核融合科学研究所 (NIFS) の LHD 実験装置と韓国・国立核融合研究所 (NFRI) の KSTAR 実験装置で得られた長期設置試料への堆積物の相違について、若手研究者である Bang 氏も含めて議論を開始した。さらに、次の EAST プラズマ実験期間中での 3 か国共同実験として、ICRF 壁コンディショニング放電による材料中の水素同位体置換効果 (NIFS : 芦川), 同放電による材料中の水素同位体除去効果に対する粒子エネルギー依存性 (ASIPP : Y. W. Yu), 同放電時に対する静電型プローブによるプラズマパラメータ計測 (NFRI : S. K. Hong) の計画を立ち上げ、議論を開始した。

西北師範大学 (中国・蘭州) ならびに復旦大学 (中国・上海) との共同研究により、電子ビームイオントラップ (NIFS・電通大) や LHD (NIFS) で測定されたタングステン多価イオンの極端紫外及び可視発光線スペクトルの理論解析を行い、禁制線をはじめとするタングステン多価イオン原子過程に関する学術的成果を得た。西北師範大学での小型電子ビームイオントラップの新規開発や復旦大学で改造中の電子ビームイオントラップの再立ち上げに参加し、重元素多価イオンスペクトルの分光実験に関する共同研究の環境整備を進めた。応用物理計算数学研究所 (中国・北京) と首都大 (日本・東京) との間で多価イオン衝突実験についての打合せと初期的な共同研究を実施することにより、今後の本格的な共同に向けた研究体制を構築した。プラズマ中の原子分子過程に関する日中韓の更なる共同研究促進に向け、合同セミナー開催のための打ち合わせを行い、平成 26 年度に中国で開催することで合意した。

### **R-3 (カテゴリー-IIb) :**

日中間では、これまでの共同研究をベースに、周辺 MHD 揺動実験及び RMP 磁場印可を検出するための計測器開発などについての議論が継続して行う。

日韓間の共同研究を促進し、新たに周辺 MHD 揺動を研究するための組織を作るために RMP 磁場印加とプラズマ応答に関するワークショップを開催する予定である。ワークショップを通じて日韓の研究者の交流を進め、LHD 装置や KSTAR 装置での共同実験に向けて活動を行う。

### **R-4 (カテゴリー-III) :**

本研究カテゴリーの日本側研究グループは、高エネルギーイオン閉じ込め研究にて重要な役割を果たすシンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ (FILD), 共役粒子同時計

数型中性子エネルギー spektrometer 及び原子核乾板に基づく中性子カメラに関して、韓国・KSTAR 装置（国立核融合研究所）において、先方の担当者（KIM Junghee 博士，CHEON MunSeong 博士）及び大学院生（KIM Jun-Young 氏）と共同で実験を開始している。得られた初期データについては大学院生による国際会議発表が行われ、成果が目に見える形になりつつある。中国・EAST 装置（等離子体物理研究所）では、FILD の設計を日中共同で進めた結果 2014 年に設置できる段階に至った。また、中国・HL-2A 装置（西南物理研究院）では、FILD の設計段階から日中協力の形でプロジェクトを進めてきており、取得データの解析が進み 2013 年に北京で開催された高速粒子に関する IAEA 技術会合で成果発表がなされる等、日中韓の密接な協力体制の下、共同研究が進行中である。

#### **R-5 (カテゴリーIV) :**

高エネルギー粒子駆動型不安定性のシミュレーション研究に関して、日本側研究グループは中国・等離子体物理研究所および韓国・国立核融合研究所とそれぞれ EAST 装置および KSTAR 装置に関する共同研究を開始することで合意に至り、相手国側でシミュレーションを実行する若手研究者を決定した。マルチスケール乱流と非線形 MHD 現象のシミュレーションについて中国・大連工科大学との共同研究を推進し、EAST 装置での実験を対象としたシミュレーションコード開発について意見を交換した。周辺プラズマのシミュレーションについて中国・等離子体物理研究所との連携を進め、ダイバータタイル上の不純物輸送シミュレーションに必要なプラズマモデリング研究を行うとともに、EAST 装置のリミター損傷のモデリングに関する議論を行った。

## **7-2 学術面の成果**

#### **R-1 (カテゴリーI) :**

日本・核融合科学研究所（NIFS）の LHD 実験装置では、交換型不安定性の回転停止に伴う崩壊現象が観測され、現象論的にはトカマクで観測されるロックモードと酷似している。本研究では、交換型モードの回転停止現象が理想不安定領域において生じること、崩壊を齎すのは低次モードに限ること、また、回転の減速・停止が、トカマクで観られるような抵抗壁効果や外部摂動磁場（誤差磁場）によるものではなく、不安定性の成長に伴う径方向摂動磁場の増大および圧力分布平坦化に伴う反磁性回転の低下による可能性が高いことを明らかにした。中国・等離子体物理研究所（ASIPP）の EAST 実験装置、そして、韓国・国立核融合研究所（NFRI）の KSTAR 実験装置の代表的な MHD 不安定性であるティアリングモードとの比較研究を進め、まずモード回転に着目し、ティアリングモードについてはイオントロイダル流と電子反磁性流の和、交換型モードについてはほぼ電子反磁性流によって決定されることを明らかにした。

#### **R-2 (カテゴリーIIa) :**

ITER のための実証実験としてタングステンダイバータ配位構築に向けて準備を進めている中国・EAST トカマク装置において、タングステンの振舞いを調べるための EUV 分光システム設置に向けた準備を計画通り進めた。取付ポートの製作を完了し、EUV 分光システムの

基礎的動作試験及び真空排気システム動作試験も終了した。すべての機器が順調に性能を発揮していることを確認した。これと並行して EUV 領域のタングステンスペクトルのモデリングを開始した。モデリングに内殻励起の効果を含めることでこれまで説明できていなかったタングステンスペクトルを定性的にはあるが理解できるようになった。中国・HL-2A トカマクではリミター、ダイバータ及びバップル配位での不純物挙動の違いについて共同研究した。ダイバータ配位では明らかにコアプラズマに流入する不純物束が減少しており、スクレープオフ層の開磁力線に沿った不純物輸送に明確な違いが認められた。特に結果を説明するためには不純物-バルクイオン間に働く摩擦力が重要な役割を果たしていることが分かった。また、実験結果から炭素ダイバータを起源とする不純物生成機構にバルクイオンの高エネルギー成分や不純物がダイバータに衝突することによるスパッタリング率の増大が示唆された。炭素ダイバータに関するこれらの結果がダイバータとしてタングステンをを用いた時にどのように変化するか、EAST トカマクでの共同研究成果が待たれるところである。

中国・EAST 装置の共同研究において ITER（国際熱核融合実験炉）での活用が予定されているタングステン堆積層付試料片の曝露実験を実施し、水素同位体蓄積量に関する評価を行った。タングステン堆積層を含む試料では、堆積層が無いタングステンに比べて水素保持量が約 10 倍高くなる結果を得た。通常のタングステン材での水素溶解度は低いが、材料中に水素捕捉空孔が新たに形成された場合には水素保持量に大きく寄与すると考えられる。堆積層における水素捕捉量増加の要因として、1) 実効的な表面積増加、2) 堆積物の内部構造の変質（欠陥形成）、3) 酸化物の影響を挙げることができる。そこで、X 線光電子分光法でタングステン堆積物の酸化状態を分析したところ、プラズマに対向した表面のみに酸化物が形成され、堆積層内部の酸化程度は大変低いことが分かった。通常のタングステン固体材料でも同様の大気吸着による酸化物が表面に形成されることが知られている。従って、今回得られた結果はタングステンの内部構造や内部欠陥に起因した水素捕捉空孔の形成により、堆積層中の水素蓄積量が増加したものと結論できる。一般的に金属材料でも堆積層では水素同位体蓄積量が増加することが報告されているが、原因については現在のところ明確な理解は得られていない。今後の研究進展に向け基盤となる結果を今回得ることができた。

小型電子ビームイオントラップおよび LHD を使用した分光実験に関する共同研究を行った。その結果、可視域においてはタングステン多価イオンから放射される多くの禁制線を新たに発見した。また極端紫外領域では広範囲のイオン荷数にまたがるタングステンスペクトルとその空間分布を観測することに成功した。それらスペクトルを解析するためのタングステン多価イオン衝突輻射モデルも同時に開発を進めた。電子ビームイオントラップの実験結果との詳細比較によるモデルの検証を行った。ITER を代表とする将来の核融合プラズマにおけるタングステンの診断や不純物輸送研究を行うにあたっての学術的な基盤を着実に構築しつつある。

### R-3 (カテゴリー-IIb) :

日中間では、これまでの共同研究をベースに、周辺 MHD 揺動実験、RMP 磁場印可を検出するための計測器開発などについての議論が継続して行われた。日本側から計測器開発の経験を提供する一方、中国側は実際の計測装置の開発を行うという形での共同研究が進展している。日韓間の共同研究を促進し、新たに周辺 MHD 揺動を研究するための組織を作るために韓国・慶州で開催された A3 セミナーのサテライトミーティングとして、RMP 磁場に関する小規模ワークショップを開催した。ワークショップには日本側から3名が、韓国側から7名が参加し、LHD における周辺ストキャスティック領域の物理に関する話題、摂動磁場のモデル化の問題、KSTAR の ELM Mitigation 実験などについて意見を交わし、摂動磁場中の粒子輸送現象を最初の研究ターゲットとして、LHD と KSTAR で共同実験を開始することで合意した。

#### **R-4 (カテゴリーIII) :**

本研究カテゴリーでは、将来の核融合炉におけるアルファ粒子の生成や閉じ込めに関する物理機構を解明する目的で、中性粒子ビーム入射によりプラズマ中に生じる高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性に伴う粒子輸送・損失、並びに非軸対称性磁場が高速イオン軌道に与える影響に関する研究を KSTAR 装置 (韓国)、LHD 装置 (日本) 及び HL-2A (中国) において実施した。HL-2A の損失高速イオンプローブデータを解析した結果、鋸波不安定性、或いは Long-live モード (LLM) が存在している場合には、モードが存在しない場合に比して即発損失とは異なるエネルギー・ピッチ角帯に高速イオンの損失が現れることが分かった。また、ディスラプション時には、高速イオンの損失が著しいことが判った。KSTAR では、摂動磁場 (RMP) コイルによる非軸対称磁場の印加による損失高速イオン束の増大、或いは減少が観測され、同三次元磁場を考慮した粒子軌道計算により、印加摂動磁場のフェーズとプローブに到達する損失高速イオン束の相関について理解が進みつつある。

#### **R-5 (カテゴリーIV) :**

EAST 装置および KSTAR 装置における実形状プラズマ平衡を用いた高エネルギー粒子駆動型不安定性シミュレーションの準備が完了した。マルチスケール乱流シミュレーションに関する中国・大連工科大学との研究交流活動では、巨視的 MHD テアリングモードと微視的イオン温度勾配モードが互に相手を不安定化する場合があることを明らかにするとともに、非線形二重テアリングモードにおいて2種類の帯状流振動を見出し、多階層乱流現象に関する理解が進んだ。周辺プラズマに関する中国・等離子体物理研究所との研究交流活動では、磁場を含む1次元 PIC コードの開発とそれによる解析を通してプラズマ壁相互作用研究と周辺プラズマ研究の連携が進むとともに、リミター損耗メカニズムに関する理解が進展した。

### **7-3 若手研究者育成**

若手研究者の育成については、核融合科学研究所及び同研究所が併設している総合研究大学院大学核融合科学専攻を通じて日頃より努力を傾注している。その中でも特に本事業では各研究カテゴリーに積極的に若手研究者を配置し、育成を図る努力を行っている。多

くの大学院学生及びポスドク学生（COE 研究員）が各カテゴリーを支える主要メンバーの一員として共同研究に参加している。また、中国及び韓国で開催したセミナーには大学院生を含む多くの若手研究者を招待し、英語での口頭での発表機会を与え、議論を行った。セミナー終了後には発表のプロシーディングを英語で報告させた。

#### **R-1 (カテゴリーI) :**

平成 25 年 12 月に核融合科学研究所においてアジア冬の学校を開催し、ポスター発表を通じてアジアおよび欧州の大学院生との交流を図った。平成 26 年 2 月 24 日に中国・等離子体物理研究所において大学院生とカテゴリー I に関する LHD および EAST の実験結果について議論を行った。また 2 月 25 日は近隣大学である中国科学技術大学において学生に向けた講義を行い、若手研究者育成に貢献した。また、中国人大学院留学生に向けた講義を核融合科学研究所において行った。内容は磁場閉じ込め核融合実験の歴史、研究の進展、物理課題および最新の研究成果についてである。

#### **R-2 (カテゴリーIIa) :**

中国人大学院学生（主任指導教官：森田繁）に平成 25 年 9 月に博士の学位を与えた。現在、中国・等離子体物理研究所で助教として研究者の道を歩み始めた。また、中国人 COE 研究者（主任指導教官：森田繁）が核融合科学研究所での研究生活を終え、平成 25 年 10 月に中国・西南物理研究院で助教として採用され、HL-2A トカマクでの研究生活を始めた。平成 25 年 10 月より中国人大学院学生（主任指導教官：森田繁）を新たに総合研究大学院大学の新入生として迎えた。現在、本カテゴリーでは 2 名の中国人大学院生を教育している。また、7 名の若手研究者を中国での共同研究に参加させ、国際共同研究の経験を積ませた。

#### **R-3 (カテゴリーIIb) :**

現在本カテゴリーにおいて中国人留学生（一名）の指導を行っている。また、今年度は KAIST の学生にトモグラフィ計算技術を学んでもらうために日本への短期の留学（1 か月）をしてもらい、その指導に当たった。

#### **R-4 (カテゴリーIII) :**

KSTAR 装置（韓国国立核融合研究所）において高エネルギー粒子物理閉じ込め研究に携わる UST の大学院生 2 名を核融合科学研究所で受け入れ、KSTAR で取得した損失高エネルギーイオンプローブ (FIELD) のデータ解析を行うとともに、摂動磁場 (RMP) コイルにより印加された非軸対象磁場を考慮した MHD 平衡下での粒子軌道のモデリングについて指導した。また、核融合科学研究所の若手研究者 1 名を中国・等離子体物理研究所に派遣し、FIELD の設計に参加させ、FIELD の設置作業やその後の物理実験を共同で行うための環境を整えた。

#### **R-5 (カテゴリーIV) :**

中国・等離子体物理研究所および韓国・国立核融合研究所において高エネルギー粒子駆動型不安定性のシミュレーション研究を実施する若手研究者に対して、高エネルギー粒子に関する物理およびシミュレーション手法について指導した。また、核融合科学研究所に等離子体物理研究所の若手研究者を滞在させ、物理とシミュレーション手法について教育

を行った。

#### 7-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

昨秋、核融合科学研究所でオープンキャンパスを実施し、広く一般社会に理科学及び核融合研究の啓蒙・広報活動を行った。本研究所に滞在している中国人大学院生や COE 研究員がオープンキャンパスに参加し、社会に貢献した。また、中韓で共同研究を行う際に近隣の大学で講義を行うことにより社会貢献に寄与した。本研究所が併設する総合研究大学院大学核融合科学専攻が、大学の学部生を対象にして開催した「夏の体験入学」において物理教育の他、核融合研究の啓蒙・広報活動を実施した。また、同専攻が主に大学院生を対象にして開催した「アジア冬の学校」では中国・韓国より学生を招聘し、日本を含めた核融合研究の現状と将来について詳説した。

##### R-1（カテゴリーI）：

アジア冬の学校での交流の他に、オープンキャンパスや共同研究先の近隣大学での講義を行い、核融合研究に関する啓蒙・広報活動を行った。

##### R-2（カテゴリーIIa）：

本カテゴリーで共同研究に用いている空間分布計測用 EUV 分光計測システムは核融合科学研究所での長年の経験と知識を基にしてメーカーと共同開発を行っている。改良を加えた本システムをメーカー経由で販売することにより、社会貢献に寄与した。また、検出器として真空中で使用する真空紫外用 CCD 検出器を用いているが、開発した装置は科学用 CCD 検出器開発の世界のトップメーカーである Andor 社のウェブサイト

([http://www.andor.com/pdfs/literature/Andor\\_High\\_Energy\\_Detection\\_Brochure.pdf](http://www.andor.com/pdfs/literature/Andor_High_Energy_Detection_Brochure.pdf))

や関連する資料集で広く公開されている。日本での研究事情や核融合科学研究所の知名度アップに貢献すると共に一般市民への社会貢献に寄与した。

##### R-3（カテゴリーIIb）：

核融合研で開催された 2013 年画像計測研究会において、A3 の共同研究をベースに開発された画像開発技法についての発表が行なわれた。核融合プラズマコミュニティーの枠をこえて、広い範囲の科学技術に共通する画像解析技法開発について交流を進めた。

##### R-4（カテゴリーIII）：

2013 年 5 月に中国・北京にて A3 フォーサイト事業セミナーが開催された折、北京大学重イオン物理研究所の Fan Tie-shuan 教授の招待を受け、同研究所にて物理学科の学生を対象に磁場閉じ込め核融合実験における中性子・粒子計測の役割について詳述するとともに、核融合研究の啓蒙・広報活動を実施した。また、四川大学原子科学技術研究所においても、同研究所の学生を対象として、核融合研究の啓蒙・広報活動を実施している。

##### R-5（カテゴリーIV）：

中国出身の COE 研究員が核融合科学研究所オープンキャンパスに参加し、核融合のシミュレーション研究に関する広報活動を行った。

### 7-5 今後の課題・問題点

今年度の共同研究を通して明らかになった下記の課題や問題点を次年度の優先課題として取り上げ、より建設的で効率的な共同研究を遂行する。

#### R-1 (カテゴリーI) :

現在共同研究を進めている巨視的不安定性の比較実験については、巨視的不安定性の回転制御の鍵となる外部摂動磁場を EAST 装置において現在設置中であり、装置間比較は来年度以降になる可能性がある。

#### R-2 (カテゴリーIIa) :

真空中で使用する EUV 分光器に関する共同研究を実施しているが、実験室に埃が多い場合があり、機器の故障や性能劣化につながる可能性がある。専用のカバー等対策が必要となっている。

#### R-3 (カテゴリーIIb) :

ヘリカル型実験装置である LHD 装置で生成されるプラズマと中国側・韓国側のトカマク型装置で生成されるプラズマは MHD 的に不安定になる物理機構においてお互いの相違が際立っている。物理的共通点と、相違点についてきりわけた議論を行えるよう物理的理解を進める必要がある。

#### R-4 (カテゴリーIII) :

本カテゴリーにおいては、3カ国間で綿密な連携を既に構築しており、順調に共同研究を進めることができた。次年度、EAST に導入される FILD の設置・機器調整を日中共同で実施することになっており、作業日程調整の他、マシンタイムの点で詰める必要がある。

#### R-5 (カテゴリーIV) :

マルチスケール乱流シミュレーションに関する中国・大連工科大学との研究交流活動では、これまではシミュレーションを主として日本側で実施してきたが、次年度は中国側でもシミュレーションを実施し共同研究をさらに発展させる。このため大連工科大学の大学院生を京都大学に滞在させ、物理とシミュレーション手法について指導を行う。高エネルギー粒子駆動型不安定性に関する中国・等離子体物理研究所および韓国・国立核融合研究所との研究交流活動では、EAST 装置および KSTAR 装置に関する高エネルギー粒子駆動型不安定性のシミュレーションの準備が完了したので、次年度はシミュレーション研究を開始する。

### 7-6 本研究交流事業により発表された論文

平成25年度論文総数 115本

相手国参加研究者との共著 33本

(※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

## 8. 平成25年度研究交流実績状況

### 8-1 共同研究

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-1	研究開始年度	平成24年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 閉じ込め磁場配位の定常保持 (英文) Steady state sustainment of magnetic configurations				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 榊原 悟・核融合科学研究所・教授 (英文) SAKAKIBARA Satoru, National Institute for Fusion Science, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) ZHANG Ge, Huazhong University of Science and Technology, Professor KWAK Jong-Gu, National Fusion Research Institute, Principal Researcher				
参加者数	日本側参加者数	20名			
	中国側参加者数	13名			
	韓国側参加者数	13名			
25年度の研究 交流活動	<p>平成25年度は、トカマク装置において閉じ込め劣化を引き起こす古典・新古典ティアリングモードおよびヘリカル装置においてベータ限界をもたらす交換型モードについて、プラズマ回転を中心とした解析を進めた。韓国・KSTAR装置の結果については、平成25年6月および12月に韓国で開催されたセミナー会合において議論を行った。また、平成26年2月に中国・等離子体研究所においてEAST実験の結果に関する議論を行い、ティアリングモードと交換型モードの特性の差異に着目し、今後の共同実験の検討を進めた。また、平成26年1月には中国・西南物理研究所にてHL-2A装置におけるティアリングモードの解析を進め、ティアリングモードの回転と閉じ込めへの影響に関する知見を得た。ティアリングモードの回転はおおむねイオントロイダル流と定性的に一致するが、その差異は電子反磁性流である可能性があり、その場合には交換型モードの回転と一致することがわかった。また、閉じ込めへの影響については、ティアリングモードの回転停止がディスラプションを引き起こすことはこれまでの実験研究により明らかとなっているが、交換型モードについても、回転停止に伴い、不安定性が引き起こす圧力分布の平坦化がより拡張され、中心ベータ値を60%低下させることがわかった。</p>				

<p>25年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>古典・新古典ティアリングモードは、誤差磁場に代表される外部摂動磁場や抵抗壁によってプラズマ流が減速し、それに伴いモード回転も減速される。回転停止後はモードの成長に伴う径方向磁場の増加によって平衡破壊が生じ、ディスラプションに至る。これらの結果は韓国・KSTAR装置および中国・EAST装置において観測されているが、交換型不安定性が鍵となるヘリカル装置（LHD）では、モードの回転減速が外部摂動磁場や抵抗壁によるものではなく、モード自身が引き起こす圧力分布平坦化によるプラズマ流の減速が大きな原因であることを突き止めた。また、回転停止後の崩壊現象は、ティアリングモードのような径方向磁場の増加（磁気島の拡大）による平衡の完全破壊ではなく、平衡磁場は外部コイルにより維持されている一方、磁気島の成長（圧力平坦化領域の拡大）によって中心圧力が大きく低下することを示した。両モードは、現象論的に似ているが、上記に示す通り、モードの減速・停止に関する物理機構および停止後の平衡変化が大きく異なることを明らかにした。</p>
--------------------------------------	---

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-2	研究開始年度	平成24年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) プラズマ周辺及びダイバータプラズマ輸送				
	(英文) Transport of edge and divertor plasmas				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 森田 繁・核融合科学研究所・教授				
	(英文) MORITA Shigeru, National Institute for Fusion Science, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) GUO Houyang, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Professor CHUNG Kyu-Sun, Hanyang University, Professor				
参加者数	日本側参加者数	23名			
	中国側参加者数	17名			
	韓国側参加者数	10名			
25年度の研究 交流活動	<p>1. EAST 装置でのタングステンダイバータ実験でのタングステン挙動を研究するため、EUV 分光計測システムを中国側若手研究者と共同で製作した。ポート設計及び製作も完了した。分光システムの動作試験も終了し、EAST 装置設置に向けた準備をすべて完了した。</p> <p>2. HL-2A 装置における不純物輸送研究のため、西南物理研究院にて共同研究を行った。タングステン計測のための新しい分光システムの構築に向け、分光システムの検討を行った。同時に IAEA 国際会議への論文発表に向け、新規のデータ解析を行い、内容を議論した。</p> <p>3. 周辺不純物輸送を解析するためのシミュレーションコードについて仮定しているモデルを検討した。また、コードのより詳細な部分を議論するため理論部門の若手研究者との交流を開始することで合意した。</p> <p>4. He ビームプローブ計測に関する共同研究を HL-2A 装置について行った。若手研究者と He ビームプローブシステムの安定な運転について共同作業を行い、同時に建設中の HL-2M 装置における He ビームプローブの設計指針についても議論した。He ビームプローブを用いて得られるプラズマパラメータについて解析手法を交えて議論した。</p> <p>5. 上記 He ビームプローブデータから電子密度や温度のプラズマパラメータを解析する際に必要なスペクトル線の強度比を計算するための C-R モデルコードについて詳細な議論を行った。</p> <p>6. EAST プラズマへ曝露したタングステン試料の堆積層における水素保持量および不純物含有量を表面分析装置にて評価した。</p> <p>7. KSTAR プラズマへ曝露したステンレス試料の不純物堆積状態および水素同位体保持特性に関して表面分析を開始した。</p> <p>8. EAST プラズマ放電時の壁リサイクリング研究に関してデータ解析を行った。研究結果を国内学会で公表するため、発表申込みをした。</p>				

	<p>9. PWIに関する3か国共同実験の計画立案を行い同意した。2014年 EAST プラズマにおいて実施することとした。</p> <p>10. タングステンを初めとする重元素不純物イオンの高温プラズマ中での原子過程を理解するため、小型電子ビームイオントラップやLHDでの可視・極端紫外分光実験、ECR イオン源を用いた多価イオン原子衝突実験を実施し、中国側研究者と共同で実験結果の理論解析を行った。</p> <p>11. 中国側での電子ビームイオントラップの開発に参加し、これらを用いた今後の共同研究計画について議論を行った。</p> <p>12. EAST トカマクでのタングステン分光実験やスペクトルモデリングの共同研究について現状と将来計画について議論した。</p>
<p>25年度の研究交流活動から得られた成果</p>	<p>核融合プラズマの不純物輸送は巨大な周辺熱流束によるダイバータ損耗やタングステンのプラズマ中心への蓄積という問題に関連して、最近非常に重要な研究課題となっている。中国・等離子体物理研究所はITER のための実証実験としてタングステンダイバータ配位構築に向けて EAST トカマク装置の改造を進めており平成26年4月にはその作業を終了する。そこで、ダイバータ部からスパッタリングを通してプラズマ中に流入してくるタングステンイオンの振舞いを調べるため、EUV 分光システム設置に向けた準備を計画通り進めた。予想されるタングステンスペクトルを解析するためのツールとして、EUV 領域のタングステンスペクトルに関するモデリング構築を開始した。タングステンイオンの励起機構に内殻励起の効果を含めることで、これまで説明できていなかったタングステンスペクトルを定性的に理解できるようになった。周辺不純物輸送に関しては、中国・西南物理研究院と共同研究を行った。HL-2A トカマクのリミター、ダイバータ及びバッフル配位での不純物挙動の違いについて研究し、ダイバータ配位では明らかにコアプラズマに流入する不純物束が減少しており、スクレープオフ層の開磁力線に沿った不純物輸送に明確な違いが認められた。これらの結果を説明するためには不純物-バルクイオン間に働く摩擦力が重要な役割を果たしていることが判明した。また、実験結果から炭素ダイバータを起源とする不純物生成機構にバルクイオンの高エネルギー成分や不純物がダイバータに衝突することによるスパッタリング率の増大が示唆された。炭素ダイバータに関するこれらの結果と現在共同研究を進めているタングステンダイバータでの結果との間にどのように違いが存在するか、EAST トカマクでの共同研究成果が待たれるところである。</p> <p>タングステン堆積層への水素同位体保持に関する実験的評価について進展が得られた。EAST プラズマへ曝露した試料を検査した結果、堆積</p>

層では単体の固体に比べて 10 倍の水素同位体が蓄積しており、水素同位体は表面近傍で特に濃度が高くなっていることが判明した。タングステン酸化層は高濃度・水素同位体蓄積層よりもさらに薄いことから、酸化層による影響は低く堆積層の構造や欠陥等に依存することが明らかになった。現在のところ、タングステン試料の深さ方向に関する情報が相対値のため、より正確な定量的解析を行うために較正実験を進めている。実際の核融合炉では多くのプラズマ対向材料の表面に堆積層が形成される。核融合炉条件下でのタングステン-水素同位体評価として重要な知見を得た。

原子分子分野では、タングステン等の重元素多価イオンの高温プラズマ中での原子過程の共同研究が進展し、発光線スペクトルの理論解析による新規発光線の同定など多くの学術的成果を得た。中国での電子ビームイオントラップの開発・改造が進捗し、日本側装置と協同した共同研究体制が整った。多価イオン原子と中性粒子との衝突実験に関する中国側との共同研究を開始した。プラズマ中の原子分子過程に関する日中韓共同研究の更なる進展に向け、合同セミナー開催の検討を行い、平成 26 年度に中国で開催することを決定した。

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-3	研究開始年度	平成24年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 周辺プラズマの安定性 (英文) Stability of edge plasma				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 大舘暁・核融合科学研究所・准教授 (英文) OHDACHI Satoshi, National Institute for Fusion Science, Associate Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) XU Guosheng, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Professor PARK Hyeon K., Pohuang University of Science and Technology, Professor				
参加者数	日本側参加者数	10名			
	中国側参加者数	9名			
	韓国側参加者数	9名			
25年度の研究 交流活動	<p>周辺 MHD 揺動現象の理解・制御のためには現象を正確に計測する手段の開発が必要となる。日中間では、周辺 MHD 揺動実験、RMP 磁場印可を検出するための計測器開発などについての議論が継続して行われた。日本側から計測器開発の経験を提供する一方、中国側は実際の計測装置の開発を行うという形での共同研究が進展している。</p> <p>日韓間の共同研究を促進し、新たに周辺 MHD 揺動を研究するための組織を作るために RMP 磁場に関する小規模ワークショップを開催した。ワークショップには日本側から3名が、韓国側から7名が参加し、LHD における周辺ストキャスティック領域の物理に関する話題、摂動磁場のモデル化の問題、KSTAR の ELM Mitigation 実験などについて意見を交わし、摂動磁場中での粒子輸送現象を最初の研究ターゲットとして、LHD と KSTAR で共同実験を開始することで合意した。</p>				

<p>25年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>周辺 MHD 揺動の制御のためには磁場の構造, 特に外部摂動磁場 (RMP 磁場) が印可された時の磁場構造の変化を理解することが必要である。周辺摂動磁場印可時に生じるプラズマ中の磁場構造の変化とそれに伴う分布の変化を調べるための計測器開発研究が現時点で最も必要性が高い。25年度は RMP 磁場を形成するコイル情報などを交換し, プラズマの平衡磁場を推定し, それに基づいた不安定性の計算等を行った。この情報を基に接線 X 線カメラ計測時の接線像の推定が可能になったので, 次年度に行われる予定の RMP 実験時の接線像の予測を行いつつある。</p> <p>日韓の間で RMP 実験時のプラズマの応答についてワークショップを開いたことで, どのような比較実験が有効であるかについての共通認識が育った。ストキャスティック磁場中の粒子輸送現象を MHD 不安定性に起因する粒子パルスを用いて測定する実験を LHD で行った。LHD の超高密度プラズマである SDC/IDB プラズマで観測されるコア密度崩壊現象の粒子束の変化が周辺ストキャスティック領域にどの様に伝搬するかについて計測を行うことができた。今後 KSTAR 装置で鋸歯状振動に起因する粒子束の変化をつかって同様の実験を行い, トカマクとヘリカル型装置の比較研究を継続する予定である。</p>
--------------------------------------	---

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-4	研究開始年度	平成24年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 高エネルギー粒子とバルクプラズマの相互作用 (英文) Interaction of energetic particle and bulk plasma				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 磯部光孝・核融合科学研究所・准教授 (英文) ISOBE Mitsutaka, National Institute for Fusion Science, Associate Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) QIN Hong, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Professor KIM Woong-Chae, National Fusion Research Institute, Principal Researcher				
参加者数	日本側参加者数	11名			
	中国側参加者数	10名			
	韓国側参加者数	10名			
25年度の研 究交流活動	<p>将来の核融合炉におけるアルファ粒子によるMHD不安定性の励起とそれに伴うアルファ粒子の異常損失の危惧から、高速イオン励起MHD不安定性と高速イオンの相互作用、また、その結果生ずる高速イオンの異常輸送に関する理解が核融合研究において重要課題となっている。当該分野研究を進める上でシンチレータを用いた損失高速イオン検出器(FILD)は必須検出器として位置付けられている。KSTARについては、昨年度までにFILDの整備を概ね終え、今年度は、ELM制御を意図してRMPコイルにより三次元磁場を印加した際の高速イオン挙動に関するデータ解析を日韓共同で進めた。また、二機目のFILDの導入が計画されており、この設計についても並行して実施した。この一連の作業の中で、本課題を博士論文テーマとするNFRIの学生をNIFSで受け入れている。中性子エネルギー spektrometa 開発も同時に進めており、今年度、KSTARの重水素NBI放電において日本から輸出した中性子エネルギー spektrometa により、高速イオンの速度分布を反映するDD中性子のエネルギー spektrol の初期データを取得することができた。EASTでは、NBIの整備が進められており、今後高速イオン研究の促進が期待できる状況にある。今年度、ASIPPにてEASTに最適化したFILDの設計を日中共同で実施し、今後、検出器の製作、組み立てに入り、次年度、EASTへの設置を予定している。HL-2A装置との交流では、IAEA核融合エネルギー会議での発表に向け、共同でFILDのデータ解析を実施した。</p>				

<p>25年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>KSTAR では、ELM の緩和を意図して RMP コイルを使った非軸対象磁場の印加が行われる。この時、FIELD に到達する損失高速イオン束の増大、或いは RMP コイルに流す電流のパターンによっては減少が観測された。この観測結果を理解するために、NIFS LORBIT コードの平衡磁場計算部を KSTAR の RMP コイルを取り入れる形で 3 次元化し、RMP 磁場印加時の平衡下で高速イオン軌道を計算したところ、RMP コイルに流す電流パターンと損失高速イオン束の増・減の関係について定性的に再現することができた。この共同研究成果については、UST の博士後期課程学生である KIM Jun-Young 氏が、APFA2013 にて研究発表を行った。現在、より精密な議論を行うために、プラズマレスポンスを取り扱うことができる HINT2 コードによる平衡磁場下での高速イオン挙動計算を行っている。軌道解析結果は、RMP 磁場印加時に高速イオン損失がトロイダル方向に局在化していることを示唆しており、これを実験的に確認する目的で二機目の FIELD の導入が計画されており、この設計について日韓共同で着手した。また、中性子スペクトルから高速イオンの減速・閉じ込めの情報を引き出すことを目的に、名古屋大学と NIFS が共同で開発した 2 種類の中性子エネルギー spektrometers を KSTAR に設置し、整備を進めている。本年度のハイライトとしては、KSTAR の NBI 放電において、原子核乾板により中性子スペクトルデータの取得に成功したことが挙げられる。これについては、名古屋大学、NIFS、NFRI の共同成果として APFA2013 にて成果発表を行っている。もう一方の共役粒子同時計数型 spektrometers については、外来 EM ノイズの問題を抱えており、この克服が今後の課題として残っている。EAST 装置では、次年度から NBI の稼働が予定されており、高速イオンの閉じ込め研究のための FIELD の導入に向け、最終段階の設計を日中共同作業として実施した。間もなく FIELD の製作に入る予定であり、設置・調整作業については日中共同で行う計画である。これにより、本事業推進の上で核となる LHD, KSTAR, EAST の三装置に FIELD が装備されることとなり、次年度以降の高速イオン物理研究への成果が期待される。</p>
--------------------------------------	---

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-5	研究開始年度	平成24年度	研究終了年度	平成29年度
研究課題名	(和文) 理論・シミュレーション				
	(英文) Theory and simulation				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 藤堂泰・核融合科学研究所・教授				
	(英文) TODO Yasushi, National Institute for Fusion Science, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) XIANG Nong, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Professor KIM Jin-Yong, National Fusion Research Institute, Group Head				
参加者数	日本側参加者数	6名			
	中国側参加者数	11名			
	韓国側参加者数	2名			
25年度の研 究交流活動	<p>日本側から中国・等離子体物理研究所(ASIPP)に2名, 中国・大連工科大学(DUT)に1名, 韓国・国立核融合研究所(NFRI)に2名をそれぞれ派遣するとともに, ASIPP から核融合科学研究所(NIFS)に1名を招聘した。</p> <p>ASIPP ではダイバータタイトル上の不純物輸送シミュレーションに必要なプラズマモデリング研究を行うとともに, EAST 装置のリミター損耗のモデリングに関する議論を行った。また, 高エネルギー粒子駆動型不安定性のシミュレーション研究に関する情報を日本側から提供すると共に, ASIPP から NIFS に招聘した若手研究者にシミュレーションの物理モデルと数値手法を説明した。</p> <p>DUT においてはマルチスケール乱流シミュレーションと非線形MHD 現象について議論した。</p> <p>NFRI では高エネルギー粒子駆動型不安定性のシミュレーション研究に関する情報を日本側から提供すると共に, マルチスケール乱流シミュレーションについて議論を行った。</p>				

<p>25年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>ASIPP との研究交流活動では、磁場を含む 1 次元 PIC コードの開発とそれによる解析を通してプラズマ壁相互作用研究と周辺プラズマ研究の連携が進むとともに、リミター損耗メカニズムに関する理解が進んだ。また、EAST 装置の実形状プラズマ平衡を用いた高エネルギー粒子シミュレーションの準備を完了するとともに、相手国側でシミュレーションを実行する担当者を決定し、実効的な協力体制が構築できた。</p> <p>DUT との研究交流活動では、巨視的 MHD テアリングモードと微視的 ITG モードが互に相手を不安定化する場合があることを見だし、多階層乱流現象に関する理解が進んだ。</p> <p>NFRI との研究交流活動では、KSTAR 装置の実形状プラズマ平衡を用いた高エネルギー粒子シミュレーションの準備を完了するとともに、相手国側でシミュレーションを実行する担当者を決定し、実効的な協力体制が構築できた。</p>
--------------------------------------	---

## 7-2 セミナー

—実施したセミナーごとに作成してください。—

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会日中韓フォーサイト事業「3rd A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas」 (英文) JSPS A3 Foresight Program “ “
開催期間	平成25年 5月20日 ~ 平成25年 5月23日 (4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 中国・北京・北京紅墻飯店 (英文) China, Beijing, Beijing Redwall Sovereign Hotel
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 森田繁・核融合科学研究所・教授 (英文) Shigeru MORITA, NIFS, Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) Liqun HU, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science (ASIPP), Professor,

### 参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ( 中国 )	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	12 / 68	
	B.	1	
中国 〈人／人日〉	A.	16 / 96	
	B.	41	
韓国 〈人／人日〉	A.	5 / 30	
	B.	12	
合計 〈人／人日〉	A.	33 / 194	
	B.	54	

- A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)  
B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

セミナー開催の目的	<p>A3 フォーサイト事業に採択された課題「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成」について3カ国のキーパーソンと共同研究者が集まり、共同研究を遂行する上で必要な EAST 装置（中国・等離子体物理研究所）、LHD 装置（日本・核融合科学研究所）、KSTAR 装置（韓国・国立核融合研究所）及び実験結果について情報交換と議論を行った。今回のセミナーでは特に若手研究者教育に重点をあて、日中韓より多くの若手研究者を招待する。それに関連して若手研究者とシニアの研究者間の直接的な交流の場を設けて、若手研究者の今後の研究の方針を議論すると共に大きな研究への刺激と動機を与える。また、セミナーでは共同研究の現状を議論すると共に今後の方針についても検討を加える。</p>	
セミナーの成果	<p>本共同研究に参加する主要メンバーを集めセミナーを早期に開催することで、互いのメンバーを直接知る機会を得ると共に今後の共同研究に向け良好な人的ネットワークを形成することができた。国際共同実験を行う際に必要な装置固有の特性や物理背景に関する情報を共有し、今後の共同研究の効率化を図ることができた。また各カテゴリーにおける今後の共同研究のより具体的な方向付けを全員で議論し、EAST、LHD 及び KSTAR 装置での今後の実験計画へのフィードバックが可能となった。日中韓より30人を超える大学院生を含む若手研究者を参加させることができ、全員に口頭発表の機会を設けた。ほぼ全ての若手研究者が立派に英語での口頭発表をこなした。日中韓というA3セミナーでの口頭発表ということで、英語での十分な発表予行演習が行われたことが推測でき、若手教育のためのセミナー開催について大きな意義を見出すことができた。</p>	
セミナーの運営組織	<p>セミナー運営委員会  Prof. Liqun HU (中国・ASIPP)  Prof. Shigeru MORITA (日本・NIFS)  Prof. Yeong-Kook OH (韓国・NFRI)  事務局：Dr. Yong Liu, Ms. Shaohua Dong</p>	
開催経費分担内容と金額	日本側	内容 外国旅費・国内旅費 金額 2,143,245 円
	中国側	内容 セミナー開催経費・国内旅費
	韓国側	内容 外国旅費

—実施したセミナーごとに作成してください。—

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会日中韓フォーサイト事業「4th A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas」
	(英文) JSPS A3 Foresight Program “ “
開催期間	平成25年11月 3日 ~ 平成25年11月 4日 (2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 韓国・慶州市・慶州ヒルトンホテル
	(英文) Korea, Gyeongju, Gyeongju Hilton Hotel
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 森田繁・核融合科学研究所・教授
	(英文) Shigeru MORITA, NIFS, Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) Yeong-Kook OH, National Fusion Research Institute (NFRI), Professor

#### 参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (韓国)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	7 / 19	
	B.		
中国 〈人／人日〉	A.	8 / 24	
	B.	3	
韓国 〈人／人日〉	A.	12 / 36	
	B.	2	
合計 〈人／人日〉	A.	27 / 79	
	B.	5	

- A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)  
 B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

セミナー開催の目的	<p>本事業に採択された本課題「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成」について、3カ国のキーパーソンと共同研究者が集まり、中国・EAST装置、日本・LHD装置、韓国・KSTAR装置において進行中の共同研究を確認し、必要な援助を議論する。特に今回は韓国でセミナーを開催し、できる限り多くの韓国側関係者の参加者を促すことにより、日本－中国間の共同研究と比較して少し遅れ気味な日本－韓国間の共同研究、更に準備に遅れを見せている中国－韓国間との共同研究をセミナーでの議論を通して加速させることを一つの目的とした。また、2013年の共同研究を吟味し、更に成果が出せるよう新しいアイデアを議論する。2014年以降の共同研究やセミナー開催、若手育成についても議論する。</p>	
セミナーの成果	<p>現在、本事業の各研究カテゴリーの共同研究は順調に成果に向け歩み始めている。セミナーでは特に韓国－日本間の共同研究について議論すると共に、個別研究者同士でも話し合いの場を設けた。結果として、カテゴリーII及びカテゴリーIIIでそれぞれの分野の日韓の若手研究者が集まり、小規模のワークショップを日本で開催することで合意した。ワークショップで更に詳しい共同研究の具体化を計ることとなった。本事業を開始して1年が経過するので、成果の出ている課題について論文作成や国際会議での発表を促した。成果発表に関して議論を行うことにより国際会議での口頭発表や招待講演の獲得がより期待される。セミナーでは各カテゴリーごとの個別打合せや各研究者毎の個別議論も行うことができ、これにより共同研究の具体的スケジュールをより明確化することが可能となった。</p>	
セミナーの運営組織	<p>セミナー運営委員会  Prof. Liqun HU (中国・ASIPP)  Prof. Shigeru MORITA (日本・NIFS)  Prof. Yeong-Kook OH (韓国・NFRI)  事務局：Mr. Junhie HAN</p>	
開催経費分担内容と金額	日本側	内容 外国旅費・国内旅費 金額 2,143,245円
	中国側	内容 外国旅費
	韓国側	内容 セミナー開催経費・国内旅費

### 8-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
核融合科学研究所・教授・森田繁	韓国・太田市・国立核融合研究所	平成25年 6月27日－ 29日	核融合科学研究所・LHD装置と核融合研究所KSTAR装置の実験計画に関する討論と今後の共同研究計画の具体化
核融合科学研究所・教授・榊原悟	韓国・太田市・国立核融合研究所	平成25年 6月27日－ 29日	核融合科学研究所・LHD装置と核融合研究所KSTAR装置の実験計画に関する討論と今後の共同研究計画の具体化
核融合科学研究所・准教授・大舘暁	韓国・太田市・国立核融合研究所	平成25年 6月27日－ 29日	核融合科学研究所・LHD装置と核融合研究所KSTAR装置の実験計画に関する討論と今後の共同研究計画の具体化
核融合科学研究所・准教授・磯部光孝	韓国・太田市・国立核融合研究所	平成25年 6月27日－ 29日	核融合科学研究所・LHD装置と核融合研究所KSTAR装置の実験計画に関する討論と今後の共同研究計画の具体化
核融合科学研究所・准教授・森田繁	中国・武漢市・華中科技大学	平成26年 3月19日－ 22日	核融合科学研究所・LHD装置と華中科技大学J-TEXT装置の今後の共同研究計画の具体化と若手教育に関する議論
核融合科学研究所・助教・大石鉄太郎	中国・武漢市・華中科技大学	平成26年 3月19日－ 22日	核融合科学研究所・LHD装置と華中科技大学J-TEXT装置の今後の共同研究計画の具体化と若手教育に関する議論
核融合科学研究所・助教・武藤貞嗣	中国・武漢市・華中科技大学	平成26年 3月19日－ 22日	核融合科学研究所・LHD装置と華中科技大学J-TEXT装置の今後の共同研究計画の具体化と若手教育に関する議論
核融合科学研究所・准教授・津守克嘉	中国・武漢市・華中科技大学	平成26年 3月19日－ 22日	核融合科学研究所・LHD装置と華中科技大学J-TEXT装置の今後の共同研究計画の具体化と若手教育に関する議論
核融合科学研究所・名誉教授・東井和夫	中国・武漢市・華中科技大学	平成26年 3月19日－ 22日	核融合科学研究所・LHD装置と華中科技大学J-TEXT装置の今後の共同研究計画の具体化と若手教育に関する議論

## 9. 平成25年度研究交流実績総人数・人日数

### 9-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	中国	韓国		合計
日本	1		13/74 ( 1/6 )	4/12 ( 2/11 )	( )	17/86 ( 3/17 )
	2		1/5 ( )	( )	( )	1/5 ( 0/0 )
	3		2/11 ( )	8/43 ( )	( )	10/54 ( 0/0 )
	4		26/156 ( )	1/5 ( )	( )	27/161 ( 0/0 )
	計		42/246 ( 1/6 )	13/60 ( 2/11 )	0/0 ( 0/0 )	55/306 ( 3/17 )
中国	1	( )		( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	2	1/43 ( )		( )	( )	1/43 ( 0/0 )
	3	1/19 ( )		( )	( )	1/19 ( 0/0 )
	4	1/8 ( )		( )	( )	1/8 ( 0/0 )
	計	3/70 ( 0/0 )		0/0 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	3/70 ( 0/0 )
韓国	1	2/13 ( )	( )	( )	( )	2/13 ( 0/0 )
	2	1/6 ( )	( )	( )	( )	1/6 ( 0/0 )
	3	4/37 ( )	( )	( )	( )	4/37 ( 0/0 )
	4	( )	( )	( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	計	7/56 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )		0/0 ( 0/0 )	7/56 ( 0/0 )
	1	( )	( )	( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	2	( )	( )	( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	3	( )	( )	( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	4	( )	( )	( )	( )	0/0 ( 0/0 )
	計	0/0 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )		0/0 ( 0/0 )
合計	1	2/13 ( 0/0 )	13/74 ( 1/6 )	4/12 ( 2/11 )	0/0 ( 0/0 )	19/99 ( 3/17 )
	2	2/49 ( 0/0 )	1/5 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	3/54 ( 0/0 )
	3	5/56 ( 0/0 )	2/11 ( 0/0 )	8/43 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	15/110 ( 0/0 )
	4	1/8 ( 0/0 )	26/156 ( 0/0 )	1/5 ( 0/0 )	0/0 ( 0/0 )	28/169 ( 0/0 )
	計	10/128 ( 0/0 )	42/246 ( 1/6 )	13/60 ( 2/11 )	0/0 ( 0/0 )	65/306 ( 3/17 )

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。(合計欄は( )をのぞいた人数・人日数としてください。)

### 9-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
0/0 ( )	0/0 ( )	0/0 ( )	0/0 ( )	0/0 ( 0/0 )

10. 平成25年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	722,450	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	8,135,100	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	462,275	
	その他の経費	180,175	
	外国旅費・謝金等に係る消費税	0	
	計	9,500,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		950,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合 計		10,450,000	