

日中韓フォーサイト事業 平成24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://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

(1 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国で稼動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24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．

コーディネータ及びサブコーディネータ

カテゴリーI (R-1)	カテゴリーII		カテゴリーIII (R-4)
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 (R-2)	カテゴリーIIb (R-3)	
	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．また，コーディネータ（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，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），EAST装置（中国）及びKSTAR装置（韓国）を用いて行う．安定性制御の観点からはプラズマ崩壊を引き起こす巨視的不安定性の特性について装置間比較を行いながら研究を進めるが，プラズマ対向機器に影響を与える熱流や逃走電

子による壁材溶融等を軽減させる手法の確立が重要となる。一方、高性能プラズマの定常保持の観点からは、高自発電流プラズマや H モードプラズマの安定保持を目的とした平衡制御手法の確立を共同研究課題とする。

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。本年度は異なった周辺磁場構造を有するトカマク型実験装置とヘリカル型実験装置間での周辺不純物輸送の物理機構の違いに着目した共同研究を行う。タングステン標的試料片を、中国・等離子体物理研究所の EAST 装置に曝露し、それを、日本・核融合科学研究所にて表面分析法を用いて解析する。EAST 装置の長時間放電と日本側研究機関の優れた計測機器を組み合わせることにより、タングステン材と水素同位体ガスとの相互作用に関する共同研究を実施する。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であるが、現在ほとんど信頼性あるデータは存在しない。そこで日中韓のプラズマ閉じ込め装置や原子衝突装置（以下、「EBIT」という。）を用いて理論研究と共同して、より信頼性の高い原子データの生産を行う。今年度はそのための必要な体制基盤を確立する。

R-3 (カテゴリーIIb) : 高性能プラズマの実現にはプラズマ周辺部の閉じ込めが改善する H モードとプラズマ中心部の閉じ込めが改善する内部輸送障壁（以下、「ITB」という。）が必須である。H モードには常に周辺局在化不安定性（以下、「ELM」という。）が伴い、間歇的に大きな熱流束をダイバータ部に排出するためその有効な制御が核融合炉設計の大きな課題となっている。本カテゴリーではトカマクとヘリカル型装置を直接比較することにより ELM 励起に関する物理機構のより深化した理解とその制御に関する新たな知見を得ることを目標としている。今年度は ELM 現象を精度良く観測できる 2 次元 X 線揺動計測器の開発とそれを用いた EAST 装置及び KSTAR 装置での共同実験の具体的方策について議論する。

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。しかし現状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、高温プラズマに存在してい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（以下、「FILD」という。）を日中韓の共同研究として開発する。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・損失に関する研究を KSTAR 装置、LHD 装置において実施する。EAST 装置では、現在計画されている中性粒子加熱装置（以下、「NBI」という。）の導入に伴い、FILD を設置する。最終的には LHD、KSTAR 及び LHD の全ての装置で本検出器を稼働させ、当該分野

物理の比較検討を行う。今年度は EAST における同検出器の設置のための具体的検討を行う。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開発研究も共同で進める。

6. 3 若手研究者育成

本年度は初年度ということもあり、本事業予算枠での共同研究派遣人数は非常に限定されているが、若手研究者のための派遣枠を確保して、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。本年度においては、中国・等離子体物理研究所（ASIPP）と日本・核融合科学研究所（NIFS）との間で、既に数人の大学院生及び COE 研究員（ポスドク研究生）の相互訪問の計画を策定済みである。韓国側研究機関・研究者との関係においても、本年 8 月に韓国での開催を予定しているコーディネータ会合、もしくはセミナー会合で韓国側研究機関と所属する若手研究者（主に韓国側の大学院生を想定）に対して核融合科学研究所の擁する LHD 実験研究への参加を呼びかけ、将来的には、本研究所が併設する総合研究大学院大学への入学に至るまでの具体的スケジュールを双方で検討することとしている。なお、今年度計画しているセミナー等には積極的に若手研究者の参加を求め、シニア研究者や相手側若手研究者との交流をする機会の提供を計画している。また、上記以外にも、若手研究者が主体となって企画されているプラズマ計測に関する日韓セミナーで、本事業の研究計画と、別枠予算による研究計画とが相互に連携をとりながら、若手研究者による積極的な研究発表を推し進めることも計画している。

6. 4 社会貢献等

核融合科学研究所では、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、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する。

7. 平成 24 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:

まず、トカマク型実験装置においてプラズマ崩壊の現象をもたらす巨視的不安定性の特性および崩壊過程に関する共同研究について、本事業の研究者派遣やセミナー開催を通して、日本側 MHD 研究者と中国・EAST 実験装置（中国・等離子体物理研究所）に従事する MHD 研究者との間で研究グループを構築し、共同でデータベースの解析を進めた。この研究グ

ループは、この解析作業と並行して、韓国・KSTAR 実験装置（韓国・国立核融合研究所）に従事する韓国側の MHD 研究者グループとも連携を図り、プラズマ崩壊制御や高性能プラズマの安定保持を目的とした人的ネットワークを形成した。

R-2 :

本研究カテゴリーの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 Cui 教授・Zhou 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が、そ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周辺不純物輸送の比較検討を行い、現在も議論を継続している。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 Wu 教授・Zhang 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、これを元に EAST 装置へ新規計測装置「EUV 分光器」を共同で設置する準備を開始した。

また、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）グループでは、中国・等離子体物理研究所の EAST 実験装置での Luo 教授・Ding 教授をはじめとする PWI グループと共同研究グループを立ち上げ、（１）W 堆積層の水素および重水素置換、（２）W バルクへの重水素保持特性、（３）EAST での堆積層特性評価、（４）壁コンディショニングによるガス置換に先駆けた予備実験等の４点を柱とする共同研究を実施した。また、同じ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 実験装置へ長期設置した試料に対する表面分析を Hong 氏へ依頼し、炭素堆積層の C-H 結合状態に関する新たな結果について議論した。

日本側の原子分子研究グループは、中国・蘭州師範大学を拠点とする中国側の原子分子研究者と、主にタンゲステン等の大きな原子番号を有する元素の多価イオンに関する高温プラズマ中での原子過程の検証を進めるための共同研究グループを結成し、磁気双極子禁制線の理論波長計算や分光モデルの研究を開始した。また韓国・国立核融合研究所（NFRI）の分光グループとも相互訪問を行い、スペクトル強度のモデリングに関する分光研究の解析を進める共同研究の必要性で一致し、共同研究を推し進めることとした。本件は、本研究カテゴリーで今後も継続して議論を行う。

R-3 :

本研究カテゴリーの日本側研究グループは、周辺プラズマ安定性研究における中国側及び韓国側の研究グループとの共同研究体制を構築し、既に研究活動を開始している。日本側研究グループは、中国・等離子体物理研究所の EAST 装置の周辺プラズマ実験の責任者であり、本研究カテゴリーの中国側研究責任者でもある周博士と今後の研究体制について議論を行い、軟 X 線計測器の設計をはじめとする共同研究を行うことで同意した。また、日本側研究グループは、中国・西南物理研究院（SWIP）の HL-2A 実験装置で Liu 教授をはじめとする周辺揺動研究グループと共同研究チームを構成し、それを基に軟 X 線計測器の

設計を共同で開始した。また、日本側研究者は、本事業の平成 24 年度研究セミナー（S-1：北海道開催）の場で韓国側のキーパーソンである Park 教授と EAST 装置及び LHD 装置での実験の双方について意見を交換し、今後密接に相互交流を行い、共同研究を進めていくこととした。

R-4：

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、中性子エネルギースペクトロメータ及び中性子カメラ等の中性子計測機器に関して、韓国・KSTAR 装置（国立核融合研究所）と中国・EAST 装置（等離子体物理研究所）にて共同研究を開始することで互いに同意に至り、計測装置の設計と組み立てを開始した。また、同研究を更に進化させる目的で中国・HL-2A 装置（西南物理研究院）でも同様の装置の立ち上げを行いつつあり、日中韓の主な核融合関連研究所における研究者間の密接な協力体制を構築することができつつある。

7-2 学術面の成果

R-1：

日本・核融合科学研究所（NIFS）の LHD 実験装置で生成するプラズマの安定定常を妨げる MHD 不安定性の中でも代表的な形態である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、その飽和強度が磁気レイノルズ数に依存し、その依存性が線形成長率とほぼ一致することを発見した。さらに中国・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の飽和強度の同依存性を交換型モードと比較することにより安定化に寄与する MHD モード回転に関する比較が可能となった。両モードの回転に関してトカマク装置とヘリカル装置間の周辺プラズマ MHD 安定性に関する比較研究が可能となった。

R-2：

本研究分野では、核融合炉の設計において不純物放射を用いた周辺熱流束の軽減はトカマク型やヘリカル型等の炉形式の違いによらず共通の重要な物理課題となっている。日本・核融合科学研究所の LHD 実験装置では希ガス不純物及び周辺共鳴磁場の両者を用いて周辺熱流束の低減が見込まれるデタッチプラズマを達成することに成功し、今後の核融合プラズマの定常化へ向けた重要な進展を得ることができた。この成果は中国・EAST 実験装置（等離子体物理研究所）や韓国・KSTAR 実験装置（国立核融合研究所）にも応用可能であり、共同研究の今後の進展が期待される。周辺プラズマの不純物輸送について LHD 実験装置の統計的磁場で構成されるエルゴディック層及びトカマクのスクレイプオフ層についての比較研究を開始した。この研究における初期の成果として、トカマク型実験装置では X

点付近のダイバータ領域のみで不純物遮蔽が有効になるが、ヘリカル型実験装置である LHD 装置では X 点を含む全領域で不純物遮蔽が有効になることが分かった。この結果により、統計的磁場領域を利用し、不純物をコアプラズマに持ち込むことなくプラズマ周辺に留め、有効なデタッチプラズマ生成の可能性を実験的に示した。

中国・EAST 装置における共同研究において 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た際、日本側研究グループが非破壊法により評価を行った結果、プラズマと接触している部分にはタングステン堆積層は観測されず、今後のプラズマ定常放電に向け明るい見通しを得た。EAST 装置でのリチウム壁コーティング後の放電での Si 表面分析では炭素の堆積層は観測されたがリチウムはほとんど観測されず、ITER 等での真空壁コンディショニングに向け非常に有意義な知見を与えることができた。

LHD 装置や小型電子ビームイオントラップを用いて得られたタングステン多価イオン可視域発光線スペクトルの解析を行い、精度の高い原子構造モデルの構築に貢献した。

R-3 :

EAST 装置（中国）、KSTAR 装置（韓国）及び LHD 装置（日本）での周辺 MHD 揺動実験を行った結果、周辺磁場構造の変化と MHD 揺動の関係を示唆する解析結果を得た。ITER では ELM 揺動で排出されるダイバータ部への過剰な熱流束を周辺摂動磁場印加によって制御する手法を採用しているが、その物理機構、特に磁場の侵入・遮断の物理を解明するための手掛かりが得られつつある。

R-4 :

本研究カテゴリーでは、D-T 燃焼で生成される 3.5MeV 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ために、プラズマ中に存在する高エネルギーイオンの 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を KSTAR 装置（韓国）及び LHD 装置（日本）において実施した。この実験の結果、テアリングモードと鋸波不安定性が共存している場合には損失高速イオン束信号が MHD 不安定性と同じ周波数帯の揺動を有することを発見した。摂動磁場（RMP）コイルによる非軸対称磁場を印加すると損失高速イオン束の増大が観測され、トーラスの軸対称性の破れを示唆するプラズマ閉じ込め物理における重要な結果を得た。

最後になるが、予想外の学術成果としてカテゴリーIIa では、「制動放射連続光を用いた極端紫外分光器の絶対感度較正法の確立」という題目で一般社団法人プラズマ核融合学会から平成 24 年度学会賞を受賞した（学会授賞式：平成 24 年 11 月 27 日（火）、於福岡県春日市クローバープラザ A 会場）。

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。今年度は R-1（カテゴリーI）で日本人学生が1人、R-2（カテゴリーIIb）で中国人学生が1人の合計2名が本事業の各研究カテゴリー責任者の指導のもとで、博士課程の学位を取得した。また、R-2（カテゴリーIIa）と R-3（カテゴリーIIb）で中国人学生が1人ずつ、本事業の研究カテゴリー責任者の指導により、COE（ポスドク）研究生として本事業に参加し活動した。

本事業においては、研究活動を通して大学院学生の教育も行っており、R-2（カテゴリーIIa）で中国人学生3名、R-3（カテゴリーIIb）で中国人学生1名の育成を行った。また、韓国国立核融合研究所（NFRI）から、同研究所の核融合プラズマ科学専攻に所属する博士後期課程学生1名を、日本・核融合科学研究所にて約3ヶ月間受け入れ、R-4（研究カテゴリーIII）の研究責任者の指導の下で LHD 研究に参加し、実験データ解析を通して若手育成を図った。

平成 25 年 1 月に開催した本事業の研究セミナー（S-1）でも日本人 COE 研究員 1 名、中国人 COE 研究員 1 名、中国人若手研究者 5 人に同セミナーへの参加と英語での口頭での発表機会を与え、議論に参加させた。また、同セミナー終了後にはプロシーディングを英語で報告させた。

7-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

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平成 24 年 8 月に開催した「夏の体験入学」において、R-4（カテゴリーIII）から「磁場閉じ込め核融合における高エネルギー粒子講座」を開講し、当該物理教育の他、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平成 25 年 1 月に開催した「アジア冬の学校」では、中国・EAST 装置（ASIPP）で共同研究を実施している北京大学の博士後期課程学生を迎え、R-4（カテゴリーIII）から「核融合研究における高エネルギー粒子計測とその役割」について講座を開講し、日本の核融合研究についても詳説した。

韓国・国立核融合研究所（NFRI）による核融合広報活動の一環として平成 25 年 2 月に日本・核融合科学研究所に来訪した韓国・大田市の高校生 4 名を対象に、本事業研究カテゴリーの研究責任者が「核融合研究の展望」について講義を行い、アジアの核融合若手研究者への啓蒙活動を実施した。

R-3（カテゴリーIIb）では中国出身の COE 研究員（日本・核融合科学研究所に所属）に中国語教室を開設してもらい、希望者を募って中国語会話の実践を開始した。今後の本事業での共同研究に役立てるだけでなく、より親密な人的ネットワークの形成を期待して

いる。

7-5 今後の課題・問題点

R-1:

共同研究に必要な人的ネットワークと研究の具体的内容は詳細に検討を進めているが、マシンタイムや放電の調整という点で今後の更に詰めた議論が必要となる。

R-2:

本事業の中心課題の一つである「タングステンダイバータを用いた定常放電での周辺プラズマ制御」を遂行するために中国・EAST 装置（等離子体物理研究所）で新規に EUV 分光器の設計・製作・設置を計画し、その中国側で担当する若手研究者の研究体制・組織等を含め共同研究に必要な事柄を整備しつつある。しかし、韓国・KSTAR 装置（国立核融合研究所）での新規装置設置に向けた計画が具体化していないことから、他の方策を含め、来年度にこれを解決すべく努力する。

R-3:

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。現在はお互いの共通点項である磁場構造の研究を先行させているが、さらに研究が発展し MHD 不安定性の研究に進んだ時に、どのような共同研究としての形態を取り得るか検討しておく必要がある。

R-4:

今年度は比較的順調に3カ国間の共同研究を開始することができた。中国・EAST 装置の当該分野共同研究参加者とは綿密な連携を構築しており研究は順調に遂行されているが、中国側における本研究カテゴリーの研究責任者との関係が未だ浅く、今後更に密接な関係構築に向けた努力が必要となる。

7-6 本研究交流事業により発表された論文

平成24年度論文総数 23本

相手国参加研究者との共著 11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24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					
交流人数 (※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入のこと。)		① 相手国との交流					
		派遣先 派遣元		日本	中国	韓国	計
				＜人／人日＞	＜人／人日＞	＜人／人日＞	＜人／人日＞
		日本 ＜人／人日＞	実施計画		1/7	1/3	2/10
			実績		0/0	0/0	0/0
		中国 ＜人／人日＞	実施計画	2/14		(1/7)	2/14(1/7)
			実績	0/0		(0/0)	0/0
		韓国 ＜人／人日＞	実施計画	2/10	(1/7)		2/10(1/7)
			実績	0/0	(2/9)		0/0(2/9)
		合計 ＜人／人日＞	実施計画	4/24	1/7(1/7)	1/3(1/7)	6/34(2/14)
			実績	0/0	0/0(2/9)	0/0	0/0(2/9)
		② 国内での交流		0/0	人／人日		
日本側参加者数							
１３名		(１２－１ 日本側参加研究者リストを参照)					
中国側参加者数							
１１名		(１２－２ 中国側参加研究者リストを参照)					
韓国側参加者数							
１０名		(１２－３ 韓国側参加研究者リストを参照)					

24年度の研究 交流活動	トカマク型実験装置で形成するプラズマはヘリカル型装置のそれとは異なり内部プラズマ電流により閉じ込め磁場配位を形成しており、トカマク放電には安定なプラズマ電流の維持が必須課題である。そこで、トカマクのプラズマ崩壊をもたらす巨視的不安定性について、その特性および崩壊過程を EAST 装置（中国・等離子体物理研究所）の実験データベースを用いて解析を進めた。プラズマ崩壊に伴う熱消滅及び電流消滅時の圧力・電流分布形状の経時変化に着目し、駆動される巨視的不安定性とプラズマ平衡との関係について研究した。また、プラズマ電流を有する EAST の電流駆動モードとプラズマ電流の無い LHD 実験装置（日本・核融合科学研究所）における圧力駆動モードの比較研究を通してプラズマ崩壊を導く巨視的不安定性の成長過程に関する物理機構を考察した。特にトカマク型における低密度プラズマ放電で重要となるロックドモードについては、LHD 装置で最近観測された圧力駆動モードに起因するロックドモードとの特性比較を進めた。並行して KSTAR 実験装置（韓国・国立核融合研究所）の研究者とも連携を図り、プラズマ崩壊制御や高性能プラズマの安定保持を目的とした分布制御に関する具体的手法を議論することにより、日中韓の共同研究交流を深めた。
24年度の研究 交流活動から得 られた成果	定常プラズマの維持を困難にする MHD 不安定性に関する具体的な研究方針について議論を深めることができた。LHD 装置では圧力駆動型不安定性、特に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進め、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、そして、その依存性が線形成長率とほぼ一致することを確認した。ここではさらに EAST, KSTAR においてティアリングモードの飽和強度の同依存性について調べ、交換型モードとの比較を進めることにより、安定化に寄与する MHD モード回転に関する比較が可能となった。 交換型モードとティアリングモードの回転がそれぞれイオン/電子どちらの流れに依存しているかを明らかにするための手法として飽和強度との対比を行う準備研究を完了し、回転停止に至る物理現象の比較が明瞭になった。LHD 装置では誤差磁場を低減させた場合でも交換型モードの揺動強度の増大が磁気島を形成し、電子流を低下させることにより回転停止に至る傾向にあることを発見した。この成果によりティアリングモードについて回転停止過程を詳細に解析することで共通する物理を明らかにできる可能性を開拓した。合わせてティアリングモードが回転停止に至る外部摂動磁場の閾値についても評価を行い、トカマク・ヘリカル装置間の周辺プラズマ MHD 安定性に関する比較研究に向けた今後の指針を具体化した。

—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																																																															
交流人数 (※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 のこと。)	① 相手国との交流 <table border="1"> <tr> <th colspan="2">派遣先</th><th>日本</th><th>中国</th><th>韓国</th><th>計</th></tr> <tr> <th colspan="2">派遣元</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th></tr> <tr> <td rowspan="2">日本 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td rowspan="2"></td><td>2/20</td><td>1/3</td><td>3/23</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>2/23</td><td>2/6</td><td>4/29</td></tr> <tr> <td rowspan="2">中国 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>2/14</td><td rowspan="2"></td><td>(2/10)</td><td>2/14(2/10)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>2/28</td><td>(0/0)</td><td>2/28</td></tr> <tr> <td rowspan="2">韓国 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>2/10</td><td>(2/14)</td><td rowspan="2"></td><td>2/10(2/14)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>1/3</td><td>(2/10)</td><td>1/3(2/10)</td></tr> <tr> <td rowspan="2">合計 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>4/24</td><td>2/20(2/14)</td><td>1/3(2/10)</td><td>7/47(4/24)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>3/31</td><td>2/23(2/10)</td><td>2/6</td><td>7/60(2/10)</td></tr> <tr> <td colspan="2">② 国内での交流</td><td>0/0</td><td colspan="3">人／人日</td></tr> </table>					派遣先		日本	中国	韓国	計	派遣元		〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	日本 〈人／人日〉	実施計画		2/20	1/3	3/23	実績	2/23	2/6	4/29	中国 〈人／人日〉	実施計画	2/14		(2/10)	2/14(2/10)	実績	2/28	(0/0)	2/28	韓国 〈人／人日〉	実施計画	2/10	(2/14)		2/10(2/14)	実績	1/3	(2/10)	1/3(2/10)	合計 〈人／人日〉	実施計画	4/24	2/20(2/14)	1/3(2/10)	7/47(4/24)	実績	3/31	2/23(2/10)	2/6	7/60(2/10)	② 国内での交流		0/0	人／人日		
派遣先		日本	中国	韓国	計																																																											
派遣元		〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉																																																											
日本 〈人／人日〉	実施計画		2/20	1/3	3/23																																																											
	実績		2/23	2/6	4/29																																																											
中国 〈人／人日〉	実施計画	2/14		(2/10)	2/14(2/10)																																																											
	実績	2/28		(0/0)	2/28																																																											
韓国 〈人／人日〉	実施計画	2/10	(2/14)		2/10(2/14)																																																											
	実績	1/3	(2/10)		1/3(2/10)																																																											
合計 〈人／人日〉	実施計画	4/24	2/20(2/14)	1/3(2/10)	7/47(4/24)																																																											
	実績	3/31	2/23(2/10)	2/6	7/60(2/10)																																																											
② 国内での交流		0/0	人／人日																																																													
日本側参加者数																																																																
18名	(12-1 日本側参加研究者リストを参照)																																																															
中国側参加者数																																																																
13名	(12-2 中国側参加研究者リストを参照)																																																															
韓国側参加者数																																																																
11名	(12-3 韓国側参加研究者リストを参照)																																																															

24年度の研究 交流活動	核融合装置では、生成される高温プラズマの定常安定維持のために周辺熱制御が必須の課題となる。LHD 実験装置（日本・核融合科学研究所）ではダイバータへ流入する熱流束を不純物のスペクトル放射を利用して軽減するため、高密度放電に希ガスを混入させプラズマがダイバータに接触しないデタッチプラズマに関する研究を行った。また、希ガスに替えて共鳴磁場印加によりプラズマ周辺部に $m/n=1/1$ の磁気島を生成することによりタッチプラズマ生成の可能性を試みた。タッチプラズマの生成や不純物スペクトル放射に関する物理的理解には周辺不純物の輸送に関する知見が重要であることから、LHD 装置の周辺プラズマを形成するエルゴディック磁場領域内での不純物輸送について分光学的手法を用いて研究を行った。LHD の磁場コイル構造に起因したエルゴディック層のような統計的（ストカスティック）磁場領域では磁力線長が非常に長くそれに伴う不純物輸送が支配的になるため、磁力線長が比較的短いトカマク装置での周辺プラズマであるスクレイプ層内での不純物輸送と比較検討を行った。トカマク装置は中国側の EAST 装置（等離子体物理研究所）と HL-2A 装置（西南物理研究院）及び KSTAR 装置（韓国）を用いた。 タングステンは、融点が高く高熱流束下での実験に適しているため従来の炭素材料に代替するものとして、試験段階での核融合装置で使用が決定している。EAST 装置におけるタングステン材料表面の水素吸蔵（リテンション）量を評価するため、タングステン試験片を EAST 装置のプラズマへ曝露した。また、真空容器壁やダイバータ板での水素再放出（リサイクリング）量を評価するため、必要な放電データを EAST 装置及び KSTAR 装置を利用して解析した。LHD 装置での同実験では真空壁表面の堆積層の評価を行った。 原子分子研究においては、日本側研究者が、中国・蘭州師範大学を拠点とする中国側原子分子研究者と主にタングステン等の大きな原子番号を有する元素の多価イオンに関する高温プラズマ中での原子過程について議論を行った。同時に高原子番号を有する多価イオンで特に注目されている磁気双極子禁制線の波長について共同研究を実施した。また LHD, KSTAR 及び EAST 装置を用いた重元素不純物イオンの原子過程データベースと分光モデルの開発に関して今後の共同研究の打ち合わせを行った。
24年度の研究 交流活動から得 られた成果	核融合炉の設計において不純物スペクトル放射を用いた周辺熱流束の軽減はトカマクやヘリカル等の炉形式の違いによらず共通の重要な物理課題となっている。LHD 装置では希ガス不純物及び周辺共鳴磁場の両者を用いて周辺熱流束の低減が見込まれるデタッチプラズマを達成することに成功し、今後の核融合プラズマの定常化へ向けた重要な進展を得ることができた。この成果は EAST 装置（中国）や KSTAR 装置（韓国）にも

応用可能であり、共同研究の今後の進展が期待される。デタッチプラズマの実現には比較的大きな入力加熱の下で高密度放電を行う必要があり、同装置では現在加熱入力の増大にむけた努力が続けられている。周辺プラズマの不純物輸送について LHD 装置のエルゴディック層及びトカマクのスクレイブオフ層について比較検討した結果、トカマク型装置では磁場に平行方向に働く摩擦応力と温度勾配応力との力関係が重要であるが、LHD 装置（ヘリカル型実験装置）ではそれに加えてその長い磁力線がもたらす磁場に垂直方向の輸送も重要になることが判明した。また、トカマク型装置では X 点付近のダイバータ領域のみで不純物遮蔽が有効になるが、LHD では X 点を含む全領域で不純物遮蔽が有効になることが分かった。この結果より、統計的磁場領域を利用し、不純物をコアプラズマに持ち込むことなくプラズマ周辺に留め、有効なデタッチプラズマ生成の可能性を実験的に示した。これは中国側・韓国側トカマクと日本側 LHD 装置との共同研究の結果得られた定常プラズマ高性能化への大きな成果となる。

EAST 装置においてタングステン堆積層付試料片を曝露実験し、より高度な計測手法を有する日本グループが非破壊法によりタングステン表面の変化を評価した。プラズマと接触している部分には観測されず、プラズマの定常放電に向け明るい見通しを得た。EAST 装置における水素リサイクリングに関する実験データを解析したところ、炭化水素が重要な役割を果たしていることを突き止めた。EAST 装置では H モード放電を代表とした高性能プラズマの実現のためリチウム壁コーティングが頻繁に行われ、良好な結果を得ている。今回の共同研究における結果はリチウム壁コーティングによるプラズマ性能の向上の基礎的要因としての炭化水素の重要性を示唆している。ITER（国際熱核融合実験炉）での真空壁コンディショニングに向け、非常に有意義な知見を与えることができた。

原子分子分野では日中双方の関係者間での討論会や韓国・国立核融合研究所（NFRI）での直接の対話を通して、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研究に向けた日中韓共同研究推進体制がおおむね整った。LHD 装置や小型電子ビームイオントラップを用いて得られたタングステン多価イオン可視域発光線スペクトルの解析を中国の理論専門家と共同で行い、より精度の高い原子構造モデルを構築しつつある。重元素多価イオン原子素過程の核融合装置（LHD, EAST, KSTAR）や原子分子グループの連携・協力による理論・モデリングを通じた定常プラズマの不純物輸送等研究への成果が期待される。

—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																																																															
交流人数 (※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入のこと。)	① 相手国との交流 <table border="1"> <tr> <th colspan="2">派遣先</th><th>日本</th><th>中国</th><th>韓国</th><th>計</th></tr> <tr> <th colspan="2">派遣元</th><th><人/人日></th><th><人/人日></th><th><人/人日></th><th><人/人日></th></tr> <tr> <td rowspan="2">日本 <人/人日></td><td>実施計画</td><td rowspan="2"></td><td>1/14</td><td>1/3</td><td>2/17</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>0/0</td><td>0/0</td><td>0/0</td></tr> <tr> <td rowspan="2">中国 <人/人日></td><td>実施計画</td><td>1/7</td><td rowspan="2"></td><td>(1/7)</td><td>1/7(1/7)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>0/0</td><td>(0/0)</td><td>0/0</td></tr> <tr> <td rowspan="2">韓国 <人/人日></td><td>実施計画</td><td>1/7</td><td>(1/7)</td><td rowspan="2"></td><td>1/7(1/7)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>3/10</td><td>(0/0)</td><td>3/10</td></tr> <tr> <td rowspan="2">合計 <人/人日></td><td>実施計画</td><td>2/14</td><td>1/14(1/7)</td><td>1/3(1/7)</td><td>4/31(2/14)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>3/10</td><td>0/0</td><td>0/0</td><td>3/10</td></tr> <tr> <td colspan="2">② 国内での交流</td><td>0/0</td><td colspan="3">人/人日</td></tr> </table>					派遣先		日本	中国	韓国	計	派遣元		<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>	日本 <人/人日>	実施計画		1/14	1/3	2/17	実績	0/0	0/0	0/0	中国 <人/人日>	実施計画	1/7		(1/7)	1/7(1/7)	実績	0/0	(0/0)	0/0	韓国 <人/人日>	実施計画	1/7	(1/7)		1/7(1/7)	実績	3/10	(0/0)	3/10	合計 <人/人日>	実施計画	2/14	1/14(1/7)	1/3(1/7)	4/31(2/14)	実績	3/10	0/0	0/0	3/10	② 国内での交流		0/0	人/人日		
派遣先		日本	中国	韓国	計																																																											
派遣元		<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>																																																											
日本 <人/人日>	実施計画		1/14	1/3	2/17																																																											
	実績		0/0	0/0	0/0																																																											
中国 <人/人日>	実施計画	1/7		(1/7)	1/7(1/7)																																																											
	実績	0/0		(0/0)	0/0																																																											
韓国 <人/人日>	実施計画	1/7	(1/7)		1/7(1/7)																																																											
	実績	3/10	(0/0)		3/10																																																											
合計 <人/人日>	実施計画	2/14	1/14(1/7)	1/3(1/7)	4/31(2/14)																																																											
	実績	3/10	0/0	0/0	3/10																																																											
② 国内での交流		0/0	人/人日																																																													
日本側参加者数																																																																
8名	(12-1 日本側参加研究者リストを参照)																																																															
中国側参加者数																																																																
10名	(12-2 中国側参加研究者リストを参照)																																																															
韓国側参加者数																																																																
8名	(12-3 韓国側参加研究者リストを参照)																																																															

24年度の研究 交流活動	周辺 MHD 揺動の理解・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。その目的のため日本と中国の間で高いモード数を持った揺動計測に適した接線 X 線カメラ装置の開発を進めた。中国・HL-2A 実験装置（西南物理研究院）での装置開発を共同で行い、現地でデータ解析方法について議論を行った。また、同種の装置は等離子体物理研究所の EAST 装置にも実装を計画し、中国側の周辺プラズマ分野における研究者と共に MHD 揺動に関する議論を行った。同時に計測器の責任者（東華大学・Zhong 博士）とも議論を行い、共同で装置開発を進めることに同意した。 韓国でも同様に磁場のトポロジー変化に伴う摂動電流を計測するためのマイクロ波を使った新たな計測装置を KSTAR 装置で開発しつつある。これを検証するための初期実験を LHD 装置で行った。北海道で開催された本事業の研究セミナー（S-1）では周辺 MHD 揺動現象の理解のための研究協力のありかたについて日中韓の研究者を交えて詳しく議論を行い、お互いの情報交換を密にするとともに計測装置や実験方法の詳細を検討した。
24年度の研究 交流活動から得 られた成果	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。中国・西南物理研究所（SWIP）では高速度接線 X 線カメラ計を開始し、次年度より予定されている RMP 実験時の周辺プラズマの揺動分布の変化を計測するための準備を整えることができた。日本側では周辺摂動磁場を含んだプラズマの平衡磁場を推定するためのコード開発を進め、次年度以降に予定している実験データとの比較研究に向けての準備を整えた。 韓国ではマイクロ波を使った磁力線の再結合計測を目的とした新たな計測装置を開発しており、この手法を LHD 装置にも導入した。日本・LHD 装置でも、韓国・KSTAR 装置と同様に大振幅の ELM が観測され、同時に磁場の構造が大きく変化し、それと同期して強い信号が発信されることを突き止めた。この手法は直接測定の難しい磁場構造の変化をとらえることのできる全く新しいツールとして大きく期待を集めており、今後の研究成果が期待される。来年度以降、これらの研究を基に着実に開発を進め、早急に結果を出すべく研究計画を日中韓で情報交換を密にしている。

—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) ISOBÉ 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																																																									
交流人数 (※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入のこと。)	① 相手国との交流 <table border="1"> <tr> <th colspan="2">派遣先</th><th>日本</th><th>中国</th><th>韓国</th><th>計</th></tr> <tr> <th colspan="2">派遣元</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th><th>〈人／人日〉</th></tr> <tr> <td rowspan="2">日本 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td rowspan="2"></td><td>1/14</td><td>1/3</td><td>2/17</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>0/0</td><td>0/0</td><td>0/0</td></tr> <tr> <td rowspan="2">中国 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>1/7</td><td rowspan="2"></td><td>(1/7)</td><td>1/7 (1/7)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>0/0</td><td>(0/0)</td><td>(0/0)</td></tr> <tr> <td rowspan="2">韓国 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>1/7</td><td>(1/7)</td><td rowspan="2"></td><td>1/7 (1/7)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>1/80</td><td>(0/0)</td><td>(0/0)</td></tr> <tr> <td rowspan="2">合計 〈人／人日〉</td><td>実施計画</td><td>2/14</td><td>1/14 (1/7)</td><td>1/3 (1/7)</td><td>4/31 (2/14)</td></tr> <tr> <td>実績</td><td>1/80</td><td>0/0</td><td>0/0</td><td>1/80</td></tr> </table> ② 国内での交流 0/0 人／人日					派遣先		日本	中国	韓国	計	派遣元		〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	日本 〈人／人日〉	実施計画		1/14	1/3	2/17	実績	0/0	0/0	0/0	中国 〈人／人日〉	実施計画	1/7		(1/7)	1/7 (1/7)	実績	0/0	(0/0)	(0/0)	韓国 〈人／人日〉	実施計画	1/7	(1/7)		1/7 (1/7)	実績	1/80	(0/0)	(0/0)	合計 〈人／人日〉	実施計画	2/14	1/14 (1/7)	1/3 (1/7)	4/31 (2/14)	実績	1/80	0/0	0/0	1/80
派遣先		日本	中国	韓国	計																																																					
派遣元		〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉	〈人／人日〉																																																					
日本 〈人／人日〉	実施計画		1/14	1/3	2/17																																																					
	実績		0/0	0/0	0/0																																																					
中国 〈人／人日〉	実施計画	1/7		(1/7)	1/7 (1/7)																																																					
	実績	0/0		(0/0)	(0/0)																																																					
韓国 〈人／人日〉	実施計画	1/7	(1/7)		1/7 (1/7)																																																					
	実績	1/80	(0/0)		(0/0)																																																					
合計 〈人／人日〉	実施計画	2/14	1/14 (1/7)	1/3 (1/7)	4/31 (2/14)																																																					
	実績	1/80	0/0	0/0	1/80																																																					
日本側参加者数																																																										
9名	(12-1 日本側参加研究者リストを参照)																																																									
中国側参加者数																																																										
7名	(12-2 中国側参加研究者リストを参照)																																																									
韓国側参加者数																																																										
9名	(12-3 韓国側参加研究者リストを参照)																																																									

24年度の研究 交流活動	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に関連して、高速イオン励起MHD不安定性と高速イオンとの相互作用、また、その結果生ずる高速イオンの異常輸送に関する正確な理解が核融合研究にとって重要課題となっている。当該分野の研究を進める上で損失高速イオン検出器(FILD)は必須計測器として位置付けられている。本年度は、KSTARのFILD計測部に新規導入した16チャンネルの光電子増倍管で構成されるシステムの校正をNIFSとNFRIの担当者共同による作業の結果、高速中性粒子ビーム入射(NBI)放電において数10kHzで変化する高速イオンの輸送現象を追跡できるようになった。また、RMPコイル磁場が高速イオン軌道に与える影響を調べる目的でNFRIの博士後期課程学生1名をNIFSで3ヶ月間受け入れ、上記物理を調べるための粒子軌道計算コードの整備に着手すると共にKSTAR FILDのデータ解析を実施した。更に、日本で開発された中性子エネルギースペクトロメータをNFRIに輸出し、重水素NBI放電を対象に計測を開始している。EAST装置では現在進めているNBIの整備に伴い、FILDの導入を検討しており、EAST装置へFILDの導入に向け詳細検討を進めた。
24年度の研究 交流活動から得 られた成果	KSTAR装置のFILDでは、高速化に向けた計測部の拡充を進め、ハードウェアとしてLHD装置のFILDと同等の能力を持つに至った。その結果、テアリングモードと鋸波不安定性が共存している放電を解析することにより損失高速イオン束信号上に上記MHD不安定性と同じ周波数帯の揺動を確認することに成功した。また、ELMの緩和を意図してRMPコイルによる非軸対称磁場の印加を行い、軸対称性の破れに起因すると考えられる損失高速イオン束の増大を確認した。ただし、RMPコイルに流す電流のパターンによっては損失高速イオン束の増大が観測されないケースもあり、更なる物理的理解を深める必要があり、RMPコイルが作る摂動磁場を考慮する形の粒子軌道計算コードの整備を進めた。中性子エネルギー計測から高速イオンの減速・閉じ込めに関する情報を引き出すことを目的に名古屋大学とNIFSが共同で中性子エネルギースペクトロメータ(NU-NIFS NES)の開発を進め、ここで完成した計測器を用いてKSTAR装置で計測を開始した。NU-NIFS NESが示す中性子束時間変化はKSTAR中性子束モニターの値と良い一致を示し、核融合中性子の高精度検出を確認した。しかしデータ精査の結果、核融合中性子が構造物で散乱し、検出器に到達した散乱中性子が主信号源であることが判明し、散乱中性子シールドの改良が今後の課題となった。EAST装置とはFILDの導入に向け、ローレンツ軌道計算コードを整備した。その後検出部構造設計コードと組み合わせ、FILD用ポート設置位置及び検出部構造を決定する作業を行った。

8-2 セミナー

ー実施したセミナーごとに作成してください。ー

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「EAST, KSTAR 及び LHD における A3 共同研究の活動開始と方向付け」
	(英文) JSPS A3 Foresight Program “Startup and orientation of A3 collaboration among EAST, KSTAR and LHD “
開催期間	平成25年1月22日 ～ 平成25年1月25日 (4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本, 北海道釧路市, ホテル御前水
	(英文) Japan, Hokkaido Kushiro-City, Hotel Gozensui
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) MORITA Shigeru, 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)

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (日本)	
日本 〈人／人日〉	A.	12/72
	B.	0/0
	C.	0/0
中国 〈人／人日〉	A.	13/78
	B.	0/0
	C.	0/0
韓国 〈人／人日〉	A.	9/50
	B.	0/0
	C.	0/0
合計 〈人／人日〉	A.	36/212
	B.	0/0
	C.	0/0

- A. セミナー経費から旅費を負担
 B. 共同研究・研究者交流から旅費を負担
 C. 本事業経費から旅費を負担しない(参加研究者リストに記載されていない研究者は集計しないでください。)

セミナー開催の目的		本事業に採択課題「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成」の実現に向けて、3カ国のキーパーソン（各研究カテゴリーの研究責任者）と共同研究者が集まり、本事業のもとで今後5年間にわたって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必要な議論を行うことが開催目的である。また、各カテゴリーの今後5年間の共同研究の具体的な方向付け、研究内容、必要な計測機器の製作と設置等に関する研究計画と物理課題を検討し、来年度以降の共同研究やセミナー開催についても同時に議論する。	
セミナーの成果		本事業の各共同研究カテゴリーに参加する研究責任者（キーパーソン）を含めた主要メンバーを集め初年度のセミナーを早期に開催できたことで、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に寄与した。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。セミナーではカテゴリー毎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になった。若手研究者の発表機会も設け、次世代研究者の育成も同時に行った。	
セミナーの運営組織		A3 フォーサイトセミナー開催委員会を設置した。 ・核融合科学研究所 日中韓フォーサイト事業のコーディネータ、サブコーディネータ、及びキーパーソン（サブキーパーソン含む）、 ・核融合科学研究所 管理部 研究支援課	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	金額
		日本国内旅費	1,236,600 円
	中国側	研究セミナー開催経費	431,050 円
		内容	
	韓国側	日本国内移動費・滞在費	828,750 円
		内容	
	韓国側	日本国内移動費・滞在費	522,750 円
		内容	

8-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

① 相手国との交流

派遣先 派遣元		日本 〈人／人日〉	中国 〈人／人日〉	韓国 〈人／人日〉	計 〈人／人日〉
日本 〈人／人日〉	実施計画		0/0	4/11	4/11
	実績		0/0	4/11	4/11
中国 〈人／人日〉	実施計画	0/0		(6/18)	(6/18)
	実績	0/0		(6/18)	(6/18)
韓国 〈人／人日〉	実施計画	0/0	0/0		0/0
	実績	0/0			0/0
合計 〈人／人日〉	実施計画	0/0	0/0	4/11	4/11
	実績	0/0	0/0	4/11 (6/18)	4/11 (6/18)
② 国内での交流		0/0	人／人日		

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・所長 小森彰夫	韓国・済州市 韓国国立核融合研究所	8/22-8/23	第1回研究者交流会合に出席
核融合科学研究所・教授 森田繁	韓国・済州市 韓国国立核融合研究所	8/21-8/23	第1回研究者交流会合に出席
核融合科学研究所・准教授 磯部光孝	韓国・済州市 韓国国立核融合研究所	8/21-8/23	第1回研究者交流会合に出席
核融合科学研究所・准教授 榊原悟	韓国・済州市 韓国国立核融合研究所	8/21-8/23	第1回研究者交流会合に出席

9. 平成24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		日本 〈人／人日〉	中国 〈人／人日〉	韓国 〈人／人日〉	合計 〈人／人日〉
日本 〈人／人日〉	実施計画		5/55	8/23	13/78
	実績		2/23	6/17	8/40
中国 〈人／人日〉	実施計画	16/82(6/24)		(11/49)	16/82(17/73)
	実績	15/106		(6/18)	15/106(6/18)
韓国 〈人／人日〉	実施計画	16/74(5/20)	(5/35)		16/74(10/55)
	実績	14/143	(4/19)		14/143(4/19)
合計 〈人／人日〉	実施計画	32/156(11/44)	5/55(5/35)	8/23(11/49)	45/234(27/128)
	実績	29/249	2/23(4/19)	6/17(6/18)	37/289(10/37)

※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

実施計画	実 績
12 / 48 〈人／人日〉	12 / 72 〈人／人日〉

10. 平成24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	2,850,505	
	外国旅費	1,171,358	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	287,087	
	その他経費	431,050	
	外国旅費・謝金等に 係る消費税	0	
	計	4,740,000	
委託手数料		474,000	
合 計		5,214,000	

11. 四半期毎の経費使用額及び交流実績

	経費使用額 (円)	交流人数<人／人日>
第1四半期	0	0/0
第2四半期	626,328	5/16
第3四半期	62,960	3/32
第4四半期	4,050,722	41/313
計	4,740,000	49/361