

日中韓フォーサイト事業
平成 27 年度 実施報告書（平成 22～26 年度採用課題用）

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

3. 採用期間

平成 24 年 8 月 1 日～平成 29 年 7 月 31 日
 (4 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・竹入康彦
 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 Liqun

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)
National Fusion Research Institute, KSTAR Research Center, Principal Researcher,
OH Yeong-kook

協力機関：(英文) Pohang 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. 研究交流目標

5-1. 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ー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カ国間を横断する学術的研究交流基盤を構築する。3カ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カ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。

5-2. 平成27年度研究交流目標

5-2-1 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つの実験カテゴリー（カテゴリーI-IV）に分類し，すべてに共通する理論・シミュレーション課題をカテゴリーVとして集約する．それぞれのカテゴリーにはキーパーソンを配置する．

「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（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カ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．

平成27年度は，当初計画した共同研究の成果が実験データや解析結果として得られる見込みであり，議論がより深まるように共同研究の協力体制を再確認する．特に若手研究者がこれらの議論に参加し共同研究の指導的な役割を担えるよう，より弾力的な研究協力体制の構築に配慮する．

コーディネータ及びサブコーディネータ

カテゴリーI	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 サブキーパーソン 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			

5-2-2 学術的観点

R-1 (カテゴリーI) :

磁場閉じ込め装置における巨視的不安定性の特性理解や制御手法の確立は経済的な核融合炉を実現するためには必要不可欠であり、トカマク・ヘリカル装置共通の重要課題である。一般的に巨視的不安定性は高プラズマ圧力下において大きく成長し、プラズマの高性能化を阻害する。従ってその発現領域、成長率及びその飽和過程について実験・理論の両面において研究を進める必要がある。本カテゴリーでは、トカマク・ヘリカル装置において発現する巨視的不安定性特性の相違点を明らかにし、その物理機構の解明を進めるものである。具体的には、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）の放電データベースを活用し、巨視的不安定性がプラズマ放電を崩壊に導く場合に発現する各種不安定性の特性比較をこれまでと同様に進める。昨年度はプラズマ回転と不安定性成長率との関係について研究を行い、回転の減速を引き起こす物理機構について考察を進めた。本年度は交換型不安定性、古典・新古典ティアリング不安定性及び抵抗性壁不安定性の三種類の不安定性に着目し、プラズマ崩壊時のそれら不安定性の成長過程について詳細に調べる予定である。

R-2 (カテゴリーIIa) :

核融合炉は重水素と三重水素の核反応で生じた高エネルギーヘリウムイオンによる加熱で高温・高密度プラズマは定常維持されるが、現在の核融合炉設計ではそのコアプラズマから流れ出てくる巨大な周辺熱流束をどのように制御し処理するかが大きな問題となっている。その方策の一環として周辺不純物の放射損失を増大させ周辺プラズマ温度を低下させることにより、ダイバータ領域に到達する熱流束を最適化する手法が有力となっている。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も重要な課題となっている。定常核融合炉を成立させるために不可避であるそれらの課題を克服するためには、周辺不純物の輸送機構を解明すること、また、タングステン材料のプラズマ対向特性やコアプラズマへの影響を理解することが非常に重要となる。平成 27 年度はタングステンダイバータを設置した中国・EAST 装置で EUV 分光器を活用し、プラズマ中でのタングステンの振舞いに関する研究を本格的に開始する。得られた結果を IAEA 核融合エネルギー会議等の国際会議で発表できるようデータ解析を進める。また、タングステンイオンの空間分布を計測するための分光器の準備を進める。中国・HL-2A 装置（西南物理研究院・SWIP）でもタングステンスペクトル計測を開始する。特に ITER 実験に必要なコアプラズマへのタングステン流入束の計測に必要なスペクトルの観測に力を注ぐ。プラズマ-壁相互作用研究 (PWI) では、タングステン及びステンレスなど金属試料片をプラズマへ曝露し試料内での水素捕捉及び脱離挙動を調べる。特に、LHD, EAST, KSTAR など大型装置で能動的に壁材料中の水素量を制御する為のコンディショニング放電を実施し、ITER に向けた運転シナリオの指標とする、同時に日本・LHD 装置、中国・EAST 装置、韓国・KSTAR 装置間の PWI に関する

比較研究を進展させる、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 装置で観測されてい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に関する計算コードの開発を更に進める。日本・LHD 装置や原子衝突装置 (EBIT, ECRIS 等の多価イオン源) から観測された実験及び理論スペクトルとの比較研究を進め、タングステンの輸送研究に役立てる。また、タングステンをはじめとする高原子番号不純物イオンのスペクトルモデリング高精度化に必要な理論計算・データ収集・評価に関する共同研究を韓国 KAERI 及び NFRI の原子過程データセンター所属の研究者と開始する。以上に加えて定常放電時の周辺プラズマ挙動の解明とダイバータによる制御法の確立を目指した共同研究を立ち上げる。定常放電の実績がある LHD 装置との共同研究は双方に大きな利益が得られるものと思われる。

R-3 (カテゴリー-IIb) :

高性能プラズマの実現には改善閉じ込めモードである H-mode タイプの放電が必要とされる。周辺部の輸送特性の改善により生じる急峻な圧力勾配は周辺局在化不安定性 (ELM) と呼ばれる危険な不安定性を誘起する。この ELM の抑制または ELM の小振幅化は高性能プラズマの維持、ひいては核融合炉を実現する上で重要な課題になっている。ELM 制御法のなかで有力なものの一つに外部摂動磁場の印可があげられる。周辺部の磁場に共鳴するような外部摂動磁場を印可すると、多くの装置で ELM の抑制現象が観測されている。この抑制効果の物理的なメカニズムを解明し、ELM 制御技術が次世代の核融合炉においても有効か検証することは本カテゴリーの大きな課題である。そのために、(1) 外部摂動磁場がいかにプラズマと相互作用しつつプラズマに侵入するか、(2) 磁場構造の変化によってどのように MHD 不安定性が影響されるか、を調べることを集中して共同研究を実施する。(1) の目的のために、外部摂動磁場の効果を取り入れることができる HINT 2 コードによる磁場のモデル化を、LHD, EAST, KSTAR 及び HL-2A の各装置を対象に進めている。磁場構造の変化を計測できる計測機器として、熱パルス伝搬特性の計測のために VUV カメラシステムの開発を継続している。(2) の目的では、MIPS 等の非線形 MHD 発展コード間の比較を行う一方、2次元軟 X線イメージング計測による揺動の空間構造の測定準備を HL-2A 装置に対して進める。また、磁場構造の変化による輸送の変化を実証するために、コア部の鋸歯状振動による熱パルスの伝搬特性を調べる実験を KSTAR トカマクで実施し、今後詳細な解析を行う予定である。

R-4 (カテゴリー-III) :

将来の核融合炉では D-T 燃焼で生成された高エネルギー α 粒子による自己加熱によって高温プラズマが維持される。よって、 α 粒子の閉じ込めに係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、現行のプラズマ閉じ込め実験では α 粒子を利用することができないので追加熱に用いる NBI 等に由来する高速イオンを用いて α 粒子の輸送を模擬し、その輸送・損失過程の解明に取り組む。これら高速イオンはプラズマ小半径に対するラーマー半径の比や周回或いは歳差ドリフト周波数において α 粒子と類似し

た特性を持つ。 EAST 装置（中国）では平成 26 年度に NBI 加熱実験が開始された。日中共同で設計活動を行ったシンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ（FILD）の稼働も始まり、LHD 装置（日本）、EAST 装置、及び KSTAR 装置（韓国）の 3 装置間での比較実験を行う実験環境が整った。平成 27 年度は、アルヴェン固有モードに代表される高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性の発現条件を 3 装置において調査した後、同 MHD 不安定性に伴う粒子輸送・損失研究を実施する計画である。EAST 装置及び KSTAR 装置では重水素を使った実験が行われており、高エネルギーイオン計測器として役割を果たす中性子フラックスモニタ（EAST 装置及び KSTAR 装置）、中性子分布及び揺動（EAST 装置のみ）のデータも併せて参照し、高エネルギーイオン挙動の全体像の把握に努める。EAST 装置の FILD については初期データを取得した段階であり、データの合理性の判断等生データの精査に着手する予定である。

R-5（カテゴリーIV）：

R-5（カテゴリーIV）は、高性能プラズマの定常保持に必要な（1）プラズマの巨視的安定性と微視的乱流輸送、（2）高エネルギー粒子の閉じ込め及び（3）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。（1）については、中国・大連理工大学及び韓国・国立核融合研究所と協力してテアリングモードと ITG 乱流の非線形相互作用に関するシミュレーション研究に取り組み、飽和機構を解明する。（2）については、中国・等離子体物理研究所(ASIPP)と協力して EAST 装置におけるアルフベン固有モードのシミュレーション研究を推進し、最も不安定なアルフベン固有モードを予測する。（3）については、ASIPP と協力して、EAST 及び ITER ダイバータタイル近傍のプラズマ分布及び表面へのフラックス分布を得るための PIC コード開発に関する共同研究を実施する。

<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）、華中科技大学（HUST）、西南物理研究所（SWIP）、日本・核融合科学研究所（NIFS）、国内各大学及び韓国・国立核融合研究所（NFRI）、韓国内各大学との間で大学院生及び COE 研究員（ポスドク研究生）の相互訪問が実現するよう努力する。また、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促し、口頭発表や論文発表の機会を与えると共にシニア研究者との積極的な交流を行う。上記以外にも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）：

昨年に引き続き、日本、中国及び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) :

日本・核融合科学研究所において中国人博士課程学生の育成に努める。また、平成 27 年度には新たに中国から大学院生を受け入れる。平成 27 年度に韓国及び日本で開催予定のセミナーに周辺不純物輸送やプラズマ壁相互作用関係の大学院生、ポスドク学生及び若手学生を参加させ、国際的に通用する研究者育成に努める。中国・EAST 装置で分光研究を行っている若手研究者を核融合科学研究所に滞在させ、LHD 実験で得られたデータ解析を共同で行うと共にプラズマ周辺及びコア部不純物の輸送解析法について教育指導を行う。

R-3 (カテゴリーIIb) :

中国・ASIPP の Ming 氏のグループの大学院生を 1 年間日本に派遣し、イメージング計測に必要な画像解析手法の経験を積ませることに合意している。また、引き続きこれまでの博士課程・大学院生に対する教育と相互補完しつつ若手研究者の育成を継続して行う。

R-4 (カテゴリーIII) :

日本から KSTAR 装置（韓国）や EAST 装置（中国）へ若手研究者を派遣し、FIELD の更なる高性能化、FIELD・中性子計測データに基づく高エネルギーイオンの挙動解析及び高エネルギーイオン軌道計算等を実施する。また、当該計測・物理に関わる中国の若手研究者の受入を予定している。

R-5 (カテゴリーIV) :

中韓への研究者派遣では、派遣先において大学院生をはじめとする若手研究者を対象としたセミナーや研究に関する議論を行って若手研究者の育成に貢献する。中韓の若手研究者を日本側の核融合科学研究所（NIFS）に受け入れ、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さらに進展させる。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

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。本研究所に滞在している中国・韓国大学院生や COE 研究員にもオープンキャンパスへの参加をお願いしている。また、スーパーサイエンスハイスクール等事業で来所した高校生等に国際共同研究を通じた外国人研究者との交流を紹介することにより、科学研究への啓蒙活動を行う。日本人研究者が中国・韓国に滞在し共同研究を行う機会を利用して相手国側研究機関の近隣大学で積極的に講義を持つことを奨励する。

R-1 (カテゴリーI) :

不安定性の研究に必要とされる計測機器は主にプラズマ装置やプラズマ内部に発生する磁気を計測する。これらの経験を基に、最近話題となっている「電磁波の社会生活への影響」についてオープンキャンパス等の機会を通して啓蒙活動を行う。また、中国や韓国で共同研究を実施する際に、近隣の大学等で講義を行い一般学生に核融合研究の重要性を啓蒙することにより社会貢献を行う。

R-2 (カテゴリーIIa) :

本カテゴリーでは共同研究の一つとして EUV 分光計測システムを使用している。検出器として真空中で稼働する真空紫外用 CCD 検出器を用いている。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。ここで開発している装置は科学用 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)

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向上に貢献すると共に一般市民への社会貢献を兼ねる。また、中国科学技術大学 (USTC) や大連工科大学 (DUT) で学生に向けた講義を行う。

R-3 (カテゴリーIIb) :

総合研究大学院の大学院特別講座枠で、周辺 MHD 揺動の解析に必要な揺動データ解析と画像解析についての講義を大学院学生レベルを想定して行う。NIFS に滞在中の留学生に指導を行う一方、講義資料は一般に公開可能な形で蓄積していくことを予定している。

R-4 (カテゴリーIII) :

中国及び韓国への派遣時に学生及び若手研究者を対象とする講義を実施し、我が国における核融合開発に向けた取り組みの他、大学共同利用機関法人下の研究所を基盤機関とする総合研究大学院大学の紹介を通じて我が国の先端科学施設に係る紹介を行う。同時に、核融合科学研究所を基盤とする物理科学研究科核融合科学専攻への進学を促す。

R-5 (カテゴリーIV) :

核融合科学研究所のオープンキャンパスにおいて、6月から運用を開始するスーパーコンピュータの見学コースを設け、最先端のスーパーコンピュータと核融合研究における理論・シミュレーション研究について広く啓蒙し、社会貢献を行う。

6. 平成27年度研究交流成果

6-1 研究協力体制の構築状況

R-1 (カテゴリーI) :

中国・等離子体研究所 (ASIPP) において、昨年度に引き続き Sun 教授のグループ及び ASIPP に所属する大学院生と EAST トカマクの MHD 不安定性に関してデータの実験解析及び解析結果の理論的検討を行った。同時に LHD における MHD 不安定性についても実験・理論解析を行い、EAST 及び LHD の異なる装置間で共同研究を進めた。研究協力体制としては Hu 教授との EAST や LHD における交換型不安定性及びティアリング不安定性の比較実験に加え、Sun 教授のグループで研究を進めている MHD 理論モデルの検証を推進することにした。同グループでは交換型不安定性の安定指標であるメルシェ条件を様々なプラズマパラメータで適用できるよう開発を進めており、今後同理論モデルを LHD プラズマに適用し、実験データとの比較を進めることとした。プラズマ回転が停止し、交換型不安定性が大きく成長する場合にティアリングモードと同様の磁気島構造が交換型不安定性にも存在することを実験で明らかにした。その原因について理論面から理解を進めるための共同研究を実施することにした。

R-2 (カテゴリーIIa) :

ITER 核燃焼実験炉と同様にタングステンダイバータを装着した EAST 装置において、本 A3 フォーサイト事業の開始から計画し開発してきた EUV 分光システム 1 号機が平成 26 年 6 月に完成し、データ取得を始めた。EAST 実験の主目的は高性能プラズマの長時間運転であり、タングステンダイバータ特性を詳しく研究することは ITER 計画への準備研究として非常に重要な課題となっている。完成した EUV 分光システムは EAST 放電におけるタングステン不純物の挙動を研究することであり、EAST 装置研究の重要な役割を担っている。平成 27 年度には本格的にデータ取得及びデータ解析を行い、タングステン不純物抑制に関する実験研究を実施した。また、EAST 装置でのタングステンスpekトルの空間分布を観測するために第二 EUV 分光システムを、短波長 (10-100 Å) を重点的に観測するために第三 EUV 分光システムの設置を開始した。HL-2A 装置でもレーザーブローオフ法を用いてタングステンを入射し、低電離タングステンスpekトルの観測に成功した。HL-2A の不純物輸送について、プラズマ中の MHD 振動、特に鋸歯状波振動との関係についてデータ解析を実施した。

プラズマ壁相互作用 (PWI) グループは本 A3 事業の開始と共に日本、中国及び韓国の関係者で計画立案を行い、平成 26 年度から段階的に EAST (ASIPP) 及び KSTAR (NFRI) でのプラズマ実験を実施している。平成 27 年度は EAST 及び KSTAR で実験を実施した。また、平成 28 年 1 月に EAST 実験データ解析に関する検討会を実施し、これまでの実験データとその解析結果について議論を行うと共に、新たな研究課題についても検討を行った。

中国の西北師範大学、日本の電気通信大学・核融合科学研究所との間で、主にタングステン多価イオン分光データに関する共同研究を引き続き実施した。共同研究として実施している多価イオンスペクトルモデリングの新たな共同研究拠点形成のために西北師範大学で製作中の新型電子ビームイオントラップは、部品の納入がほぼ終了し組み立てがまもなく開始される予定である。また、応用物理計算数学研究所 (中国・北京) の理論グループと電気通信大学・首都大学東京・核融合科学研究所 (日本) との間では、これまでの研究

交流を通して日本側で実施された実験データを中国側研究者が理論解析するという役割分担体制が構築できており、相補的な共同研究を引き続き実施した。復旦大学（中国・上海）で多価イオンを研究している研究者の LHD 実験共同研究協力者登録が完了し、LHD で取得した分光スペクトルデータを双方で共同解析する環境が整った。また、平成 28 年度に実施予定の日中韓合同ワークショップ「プラズマ中の原子分子過程（AMPP2016）」開催に向け、開催主催者である中国・西南物理研究所（SWIP）の崔正英教授、西北師範大学の董晨钟教授等の中国側研究者と日本側研究者との間で事前打合せを行った。韓国・韓国国立核融合研究所(NFRI)の原子分子グループとの共同研究も併せて実施した。

R-3 (カテゴリーIIb) :

プラズマ周辺部に局在する揺動観測用計測器及び周辺不安定性制御のために用いる外部摂動磁場のプラズマ侵入評価用計測器の開発プロジェクトを進めている。中国・等離子体物理研究所・Hu 教授との共同研究では、周辺 MHD 揺動計測のために中性子環境でも使用可能な軟 X 線揺動計測器の開発を進めており、機器の製作も順調に進んでほぼ実験準備が完了した。多層膜反射鏡を用いた VUV 望遠鏡装置を LHD で開発してきた経験を基に、Ming 准教授が開発中の高速度 VUV カメラシステムについても助言を行うと共に共同研究を進めている。また、本プロジェクトに参加している中国・等離子体物理研究所（ASIPP）・博士後期課程在学中の大学院学生を核融合科学研究所に滞在させ、データ解析手法について直接指導を行っている。

中国・西南物理研究所（SWIP）では、高速度接線 X 線カメラシステムの開発を共同研究として H. Zhou 博士と協同で行っており、計測器の改良について議論し、意見交換した。

韓国・国立核融合研究所の KSTAR 装置についても周辺 MHD 揺動、外部摂動磁場によるプラズマ変形計測を目的とした二次元イメージング計測装置の設置に合意した。大型ヘリカル装置に設置していた高速度 VUV カメラシステムを KSTAR トカマクへ移設する。そのために、NFRI・S. G. Lee 博士、KSTAR で軟 X 線計測を担当している KAIST・WONHO Choe 教授及び京都大学・山本助教とともに準備を進めている。

R-4 (カテゴリーIII) :

高速イオンの損失過程を調べる上でシンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ (FILD) は重要な役割を果たす。中国・EAST 装置（等離子体物理研究所）及び中国・HL-2A 装置（西南物理研究所・SWIP）では、FILD の設計から立ち上げまでの全ての過程を日中共同で進めてきた。EAST 装置では、2016 年 3 月の H-mode 放電において ELM に伴う回帰的な高速イオン損失の観測に成功した。計測データの蓄積に努めるとともに、EAST 側担当者（CHANG Jiafeng 博士）と論文作成に向けた内容検討を進めた。また、HL-2A 装置との共同研究では、MHD 不安定性に起因する損失高速イオンの挙動について詳細なデータ解析を行い、核融合科学分野において代表的なジャーナルとして位置付けられる Nuclear Fusion 誌に日中共同研究成果として論文を出版した。また、韓国・KSTAR 装置（国立核融合研究所・NFRI）

においても FILD を駆使した測定を行っており、2015 年 12 月に NFRI から核融合科学研究所に博士課程の大学院学生 1 名 (KIM Jun-Young 氏) を招聘し、観測データの解析と理解を促進するため、NUBEAM コードを用いた NBI 高速イオンのエネルギー付与分布や減速分布等の計算を指導した。

FILD を使った共同研究に加え、中性子測定についても密接な協力体制の下、共同研究を精力的に継続している。KSTAR 装置では NFRI の CHEON MunSeong 博士、名古屋大学の富田英生准教授等と共役粒子同時計数型中性子エネルギー spektrometer 及び原子核乾板を利用した中性子カメラによる測定を共同で行った。得られた実験成果について国内外の学会会合の場で共同発表を行い、論文も出版している。EAST 装置では、ZHONG Guoqiang 博士、PU Neng 大学院生と共同で中性子揺動の測定を行い、MHD 不安定性と同じ周波数で揺動する中性子束の観測に初めて成功した。

R-5 (カテゴリーIV) :

日本側から中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) に 1 名、中国・大連理工大学 (DUT) に 1 名、韓国・国立核融合研究所 (NFRI) に 1 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) に若手研究者 2 名を招聘した。

ASIPP との研究交流では、LUO Guangnan 教授のグループと NIFS の協力により、EAST 装置及び建設中の直線装置 PREFACE の周辺プラズマモデリングに関する共同研究を進めている。また、HU Youjun 博士等と NIFS の協力により、EAST 装置におけるアルフベン固有モードに関するシミュレーションの共同研究を推進している。

DUT においては、WANG Zheng-Xion 教授のグループと京都大学により、ミクロスケールの乱流とマクロスケールの MHD 現象の非線形相互作用に関する共同研究体制を構築している。また、乱流輸送の理論シミュレーションに関する NFRI と京都大学の共同研究を開始した。

6-2 学術面の成果

本 A3 フォーサイト事業の共通した成果として、インド・ガンディナガールで開催された (平成 27 年 12 月 14—18 日) 第 10 回アジアプラズマ・核融合国際会議 (APFA) で「Status of A3 Foresight Collaboration among China, Japan and Korea on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas (高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成に関する日中韓 A3 フォーサイト共同研究の現状)」という題目で招待講演 (発表者: 森田繁) を行った。

R-1 (カテゴリーI) :

交換型不安定性の安定指標としてメルシェ条件が広く利用されている。これまでは圧力の等方性を仮定した計算結果を用いて装置を設計し、実験データに対する解釈が行われて

きたが、実際のプラズマは中性粒子入射やイオンサイクロトロン帯域周波数を用いた加熱等により非等方圧力分布を有している。実験結果をより深く理解するためには非等方圧力を仮定したメルシェ条件をデータ解析に適用する必要がある。本共同研究では、Sun 教授のグループが研究を進めている非等方圧力下でのメルシェ条件の計算手法を現在使用している MHD コードに適用する。強い非等方性によりプラズマに誘起された交換型不安定性を完全に安定化できる可能性があり、本解析を進めることにより安定性制御の観点から重要な情報が得られ、物理的理解が進む可能性がある。また、交換型不安定性は線形理論の枠組みでは磁気島構造を形成しないことで知られているが、プラズマ中で回転している不安定性が停止する直前に交換型不安定性が磁気島構造に変化することが最近の LHD 実験で明らかになった。これはティアリングモード不安定性に対して本来安定なヘリカルプラズマが、ある条件下では交換型不安定性がティアリング化（磁気島化）し、トカマクで観測されるロックドモードに変質することを示唆している。プラズマの抵抗率の勾配の条件によって交換型構造がティアリング構造に変化することを示唆する論文が近年出版され、注目を集めている。今後これらの物理的検証を共同研究を通して推進することとした。

R-2 (カテゴリーIIa) :

平成 27 年度の EAST 実験での共同研究とデータ解析を通して、低域混成波 (LHW) を用いた電流駆動・加熱実験時にタングステン不純物が抑制されることを見つけた。また、同様の現象は共鳴摂動磁場 (RMP) の印加時や電子サイクロトロン加熱 (ECH) 時にも観測されることが分かった。LHW や RMP 時にはプラズマ周辺磁場の変形により不純物遮蔽効果が増大し、タングステンの流入束が減少すること、また、ECH 加熱では密度・温度・電場等の分布形状変化により不純物輸送が変化したことが原因として挙げられる。一連の実験結果は ITER 装置でのタングステン不純物蓄積の回避について具体的な解決策を提示しており、学術的成果は高い。これら実験結果を、プラズマ・壁相互作用国際会議 (平成 28 年 5 月 30 日 - 6 月 3 日, イタリア・ローマ) や IAEA 核融合エネルギー会議 (平成 28 年 10 月 17 日 - 22 日, 京都) で発表すべく、アブストラクトを投稿した。

HL-2A 装置において EUV 領域の低電離タングステンスペクトルを発見した。このタングステンスペクトルを用いてタングステンイオンの流入束を評価できる可能性がある。可視分光で計測されるタングステンスペクトルは通常中性タングステン原子であり、ダイバータ付近に位置しており、主プラズマへの流入束を評価できない。ITER でのタングステン流入束が計測できれば、タングステン輸送に関する研究のみならず放電の安定維持という観点からも非常に重要な運転指標となる。結果の論文公表に向け、準備を開始した。

PWI 研究として今年度を実施した共同研究内容を下記に示す。

- 1) イオンサイクロトロン共鳴周波数による壁コンディショニング実験 (EAST)
- 2) タングステン材料に対する水素同位体リテンション量の評価 (EAST, KSTAR)
- 3) 壁リサイクリング評価のための静的レスポンスの評価 (EAST)

1) 及び 2) の実験は共通のタングステン材試料を使用した。実際にはニラコ社及びアラ

イドマテリアル社製タングステン材, 中国製 EAST ダイバータ用基板であり, EAST 及び KSTAR の装置特性を生かした共通材料への実機のフルエンス依存性という位置づけで, 装置間比較実験を実施した. 現在日本側グループで上記タングステン材の分析評価を進めており, 2) については平成 28 年度に開催される国際学会での発表を予定している. また, 新たに理論モデリングによるリテンション量評価を課題として取り上げ, 現在評価を進めている最中である. これまで実施計画の検討や予備実験の段階であった 3) の課題を, 平成 27 年度には本格的なプラズマ実験へ現状を進めた. 具体的には EAST で実験を実施し, 初期実験として非常に有益なデータが取得できたことを確認した. 加えて, 平成 28 年 1 月に実施した EAST 実験データ解析に関する検討会で, 壁材料水素リテンションの経時変化と実時間計測しているプラズマ対向壁表面近傍の水素蓄積量の時間的変化を相互比較する実験課題を新たに設けた. 平成 28 年度前半 (夏頃) までに, EAST 実験装置での追加データの取得を目指している.

小型電子ビームイオントラップ (CoBIT) 及び LHD を使用した分光実験に関する共同研究を引き続き行った. CoBIT でのイオン価数を選別した分光実験では, プロメシウム様のタングステン (W^{13+}), ビスマス (Bi^{22+}) 等の多価イオンからの極端紫外発光スペクトルを観測した. そのデータ解析から, 長寿命準安定励起準位の電子占有率が顕著になる population trapping と呼ばれる現象を明らかにした. また, LHD ではタングステン多価イオンからの発光線に関して, 広範囲にわたる波長領域同時観測や極端紫外・可視域発光線強度の空間分布計測等, 機器整備が進み, タングステン分光研究手法が格段に進展した. 電子サイクロトロン共鳴 (ECR) イオン源を用いた水素様炭素イオン (C^{5+}) による水素分子ならびにヘリウムからの 1 電子捕獲断面積の測定を行った結果, 電子捕獲後の発光断面積に電子スピンの状態による顕著な相違が出現するという非常に興味深い実験結果を得た. 原子軌道緊密結合 (AOCC) 法の枠組みでスピン状態を区別した新しい解析手法の開発を基にして, 物理機構の解明に着手した. 以上, 核融合プラズマ中で不純物イオンが発光するスペクトルの理解と不純物輸送研究のための研究基盤の拡充に向けて更なる成果と進展を得た.

R-3 (カテゴリーIIb) :

周辺局在化モード (ELM) を安定化する効果のある外部摂動磁場とプラズマとの相互作用を研究するために実験データ解析を継続した. KSTAR 装置ではトロイダルモード数が $n=1, 2$ の外部摂動磁場によって ELM が安定化されることが知られている. 外部摂動磁場によって周辺磁場が乱れた場合, 磁気面に垂直方向の熱流速が増大することが予想される. これを検証する為, プラズマコア部で誘起される鋸歯状振動が作る熱パルスの周辺部への伝搬特性から熱輸送特性を調べた. 熱パルスに同期したアンサンブル平均を行うソフトウェアを開発して雑音レベルを減少させた結果, $n=2$ の摂動磁場を印加した場合には熱パルスの波高値は小半径外側でその減衰が小さく, 伝搬速度も早くなることが判明した. これらの結果は熱輸送係数の増大と磁場の乱れを強く示唆する. また, 変化は鋸歯状振動の励起位置である $q = 1$ の有理面のすぐ外側から始まっており, 外部摂動磁場のプラズマコア部付近ま

での侵入も同時に示唆している。現在の核融合研究の最重要研究課題の一つである RMP を用いた巨大 ELM 励起の抑制に関連して、最先端の研究結果が得られつつある。

外部摂動磁場とプラズマとの相互作用を調べるために、プラズマ平衡の変化をイメージング技法により計測する手法を提案した。外部摂動磁場をプラズマに印可したとき、外部摂動磁場は共鳴する有理面に流れる電流によって大きく遮蔽されたり、増幅されたりする。また、この有理面に流れる電流はプラズマを変形させる。プラズマを対称な二つの位置で 2 台のカメラを用いて観測することができれば、その差分イメージからプラズマの変形の度合、ひいては有理面に流れる電流を推定することができる。波長領域として軟 X 線を使えばコア部の変形を、VUV 光を用いれば周辺部の変形を推定することができる。万が一、2 台のカメラが使用できない場合でも、外部摂動磁場の位相を変化させることで同様の解析が可能なことを数値シミュレーションで確認した。KSTAR に実装予定の VUV カメラをつかった場合の模擬イメージの計算を進めており、実験データの解釈に活用する予定である。

R-4 (カテゴリーIII) :

本研究カテゴリー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の解明を目的としている。平成 27 年度は主として、MHD 不安定性に起因する高速イオン輸送・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共同研究を EAST 装置 (中国)、HL-2A (中国)、KSTAR 装置 (韓国) において実施した。EAST 装置では、ELM に伴う高速イオンの排出を成功裏に観測した。HL-2A 装置では鋸歯状波不安定性及び電流崩壊時における損失高速イオンの挙動が明らかになりつつある。HL-2A 装置における研究成果については論文に纏め出版した。KSTAR 装置では、ELM 抑制のために摂動磁場 (RMP) コイルによる非軸対称磁場の印加を行い、非軸対称磁場が高速イオン輸送に与える影響についてデータの蓄積が進んでいる。KSTAR 装置との共同研究成果については、韓国・国立核融合研究所の若手研究者及び大学院生が A3 フォーサイト事業ワークショップや国際会議にて発表を行った。

R-5 (カテゴリーIV) :

中国・等離子体物理研究所との研究交流では、EAST 装置の実験において予想されるアルフベン固有モード不安定性に関するシミュレーション研究を実施し、共同研究成果を 1 編の査読付論文として発表した。また、EAST 装置の物理条件を用いたシースプラズマ粒子シミュレーションの試験計算、流体コードによる EAST 装置周辺プラズマモデリングのための計算格子点作成、PREFACE 装置プラズマの試験計算を行った。

中国・大連理工大学との研究交流では、「非線形マルチスケール相互作用におけるシア流の役割」と「二重電流シートにおけるケルビン・ヘルムホルツ不安定性の非線形発展」に関する共同研究成果を 2 編の査読付論文として発表した。

韓国・国立核融合研究所との研究交流では、乱流輸送における運動量輸送の役割や熱/運動量源が分布硬直性や内部輸送障壁形成に与える影響についての理解が進展し、2 件の国

際学会発表を行った。

6-3 若手研究者育成

R-1 (カテゴリーI) :

平成 27 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た。応募者は世界各国から 100 件以上あり、ポスター発表を通じて東アジアのみならず、南アジアやその他地域からの大学院生との交流を図った。平成 28 年 3 月 28 日には中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) において LHD 及び EAST 装置の MHD 研究に関する実験結果及び理論研究の現状と最新の成果について、若手研究者及び大学院生に講義を行うと共に議論を行った。ASIPP の近隣大学である中国科学技術大学 (USTC) においても、平成 26 年度に実験を開始した RFP 装置・KTX で実験を行っている若手研究者に対して、実験結果を解析するための理論モデルを講義し同時に議論を行った。また、韓国・春川及び日本・御殿場で開催した A3 セミナーでは、日中韓の大学院生や若手研究者を招待し、英語での口頭発表を企画した。会議のブローディングも論文形式で作成させ、より高度な若手研究者の育成に努めた。

R-2 (カテゴリーIIa) :

2 名の中国人留学生の研究指導を継続し、そのうちの 1 名が平成 27 年 9 月に理学博士の学位を取得した。また、平成 27 年 10 月には新たに A3 フォーサイト事業の中国側の拠点の一つである華中科技大学 (HUST) から大学院生を 1 名受け入れた。また、中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) で共同研究の相手側グループの若手研究者や大学院生に不純物輸送やスペクトル解析について講義を行い、実験データを基に直接指導を行った。

R-3 (カテゴリーIIb) :

平成 27 年 9 月に指導している中国人学生が理学博士の学位を取得した。2 次元 VUV カメラシステムについて共同研究を行っている ASIPP の Ming 准教授のグループから派遣された 1 名の大学院生の指導をおこなっている。

R-4 (カテゴリーIII) :

中国・等離子体プラズマ物理研究所 (ASIPP) から若手研究者 4 名を核融合科学研究所において受け入れ、重水素実験に向けて整備した LHD 装置の中性子計測機器を紹介すると共に、EAST 装置で取得した実験データについて協同して解析を実施した。また、ASIPP を訪問した際、大学院生の PU Neng 氏に対し、同氏が取得した中性子揺動測定データの解析方法について研究指導した。総合研究大学院大学において博士学位取得を希望している同研究所・大学院生の LI Kai 氏に対し、核融合プラズマ実験における中性子計測の役割について講義した。また、日本側カテゴリーIII キーパーソンの ASIPP 訪問に合わせて北京大学・重粒子ビーム研究所の大学院生 4 名が ASIPP を同時訪問し、北京大学学生を対象に中性子計

測及びその役割に関して詳述した。加えて、韓国・国立核融合研究所（NFRI）から大学院生1名を2週間核融合科学研究所で受け入れ、高速イオンの軌道やエネルギー付与・減速分布に関する計算手法について指導を行った。

R-5 (カテゴリーIV) :

中国・等離子体物理研究所（ASIPP）の若手研究者2名を日本側の核融合科学研究所に受け入れ、EAST 装置における高エネルギー粒子駆動不安定性と周辺プラズマのシミュレーション研究を進展させた。御殿場で開催したA3セミナーに核融合科学研究所の若手研究者が参加し、関連分野の研究の進展について理解を深めた。

6-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

R-1 (カテゴリーI) :

夏の体験入学やアジア冬の学校での交流の他に、核融合科学研究所のオープンキャンパスや共同研究先の大学や近隣大学等で講義を行い、核融合研究に関する啓蒙・広報活動を実施した。近年、総合研究大学院大学入学希望の外国人学生が増加しており、メールを通じたコミュニケーションや情報発信に力を注いでいる。

R-2 (カテゴリーIIa) :

分光システムをメーカーと共同開発し、実機での分光器の動作や不具合等の具体的データを共有することにより、分光器製造会社の技術力向上と分光器の性能向上に寄与した。インド・ガンディナガールで開催された(平成27年12月14—18日)第10回アジアプラズマ・核融合国際会議(APFA)にてA3フォーサイト事業での活動報告を招待講演として行い、同時に核融合を専門としない多くのインド人研究者や一般参加者に対してアジアでの共同研究を中心とした核融合研究の進展と核融合研究の重要性について啓蒙した。また、本カテゴリーでは共同研究の一つとして EUV 分光計測システムに真空中で稼働する真空紫外用 CCD 検出器を用いている。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。ここで開発した EUV 分光システムは科学用 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)

や関連する資料集で広く公開されている。

R-3 (カテゴリーIIb) :

バンコクで開催された「プラズマ物理と核融合に関する第二回 ASEAN スクール」において、学部学生を中心にヘリカル系のプラズマ閉じ込め実験について講義を行った。また、イメージング計測技法についてもその詳細を解説した。画像計測研究会というワークショ

ップを日本で開催し、中国人も含めた参加者が最新の画像解析技法について議論し、意見交換した。

R-4 (カテゴリーIII) :

本カテゴリーでは、核融合科学研究所を中心に名古屋大学大学院生、中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) の若手研究者、中国・西南物理研究所 (SWIP) の若手研究者、中国・北京大学大学院生、韓国・国立核融合研究所 (NFRI) の若手研究者・大学院生を主体とする研究体制を構築し、協同で課題に取り組んでいる。現場における実験・研究指導を通じて、核融合科学について広く啓蒙活動を行った。

R-5 (カテゴリーIV) :

核融合科学研究所のオープンキャンパスにおいて今年度新たに導入したスーパーコンピュータの見学コースを設け、最先端のスーパーコンピュータの構造と核融合研究における理論・シミュレーション研究について広く啓蒙し、社会貢献を行った。

6-5 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) :

EAST, KSTAR, HL-2A 各装置での共同実験、データベースを用いた巨視的不安定性の比較研究を進める。また、ASIPP における理論グループとの共同研究をより強化し、計算コードの開発や整備を一層進め、実験データ解析により積極的に活用する。

R-2 (カテゴリーIIa) :

中国側の実験室内が乱雑で埃がたまっている状態で、データの質のみならず、安全にも問題があったが、昨年度までの規則の厳格化を受け、実験室内の整理整頓と清掃が行き届き、実験環境が格段に改善された。データ解析を行う制御室が人数のわりに狭く、新しい機器導入の際にコンピューター設置場所の確保等に問題があったが、新制御室が平成28年度に完成し、机やコンピューターのスペース確保の問題はすべて解消される見込みである。これによりタングステン不純物抑制、タングステンスペクトル解析、タングステン材料表面分析等の各研究分野において、それに従事する大学院生や若手研究者の全員が観測データを見ながらリアルタイムに議論することができる。これまで行っていたデータ取得後の別棟でのデータ解析や議論に比べ、観測すべきデータのより効率的な選択や大学院生との今まで以上のより密接な研究交流が期待される。

R-3 (カテゴリーIIb) :

共同研究の枠組みで研究用の資材を送るのには、種々の協定書を結ぶ必要がある。担当者の輸出に関する手続きの理解不足と煩雑さのため資材の送付が遅れ、現地での実験開始

が若干遅れ気味になっている。事務手続きを滞りなく行い、速やかな共同研究活動の推進に向け更に努力する。

R-4 (カテゴリーIII) :

本カテゴリーにおいては日中韓の間で親密な研究連携を既に行っており、順調に共同研究が推移している。2016年度から FILD 及び中性子計測を駆使した高速イオン輸送・損失に関連した共同研究を 3 カ国の間で精力的に実施している。効率的な共同研究の実施について、マシンタイムや研究者派遣日程について十分な調整が必要となる。

R-5 (カテゴリーIV) :

中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) との研究交流活動では、EAST 装置におけるアルフベソ固有モードなどの高エネルギー粒子駆動不安定性に関するシミュレーション研究の成果が上がり始めている。今後は、中性粒子ビーム入射や粒子間衝突を計算コードに導入し、シミュレーションをさらに高度化する必要がある。

6-6 本研究交流事業により発表された論文

平成 27 年度論文総数 67 本

相手国参加研究者との共著 17 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。)

7. 平成27年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

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	18名			
	中国側参加者数	14名			
	韓国側参加者数	12名			
27年度の研究 交流活動	<p>平成27年度は中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) を訪問し、大学院生を含めた MHD グループと EAST 実験や理論研究の現状, LHD 装置における現状と最新の成果について講義と議論を行い、これまでの共同研究の成果を整理すると共に今後の共同研究の進め方について具体的な打ち合わせを行った。また、中国科学技術大学 (USTC) も訪問し、平成26年度より実験を開始した RFP 装置・KTX の実験データの解析法について具体的な指導を行うと共に実験結果について LHD データと比較しながら議論を進めた。具体的には装置の運転手法や計測機器の整備等について議論を行い、共同研究に関する協力体制についても議論し、今後 MHD 研究を中心として協力して実験研究やデータ解析を進めていくことで一致した。RFP 装置で良好な閉じ込めと高性能プラズマの実現に向け、プラズマの準ヘリカル状態 (QSH) を実現する手法やその安定制御法について検討した。</p> <p>日本・LHD (核融合科学研究所), 中国・EAST (等離子体物理研究所) 及び韓国・KSTAR (国立核融合研究所) において巨視的不安定性の特性理解や制御手法の検討も進め、交換型モード, ティアリングモード及び抵抗性壁モード等に関する装置間比較も同時に進めた。</p>				

<p>27年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>LHD 及び EAST の最新の実験結果に加え, 今年度は理論面での共同研究の立ち上げを試みた. LHD の実験データ解釈に必要な不可欠である安定性指標の理論モデリング及び計算コードへの組み込みを実施できる見込みとなった. また, 従来から実施しているロックドモードに関する理論面からの実験データ解釈について, 交換型モードからティアリングモードへ変化する条件を実験から見出すことに成功したことにより, 近年提唱されている理論モデルとの比較研究を進めることが可能になった. 以上の研究課題について, 従来の計画・準備段階から実際の交流活動を通じた具体的研究に共同研究の段階を進めることができた. これらの成果により, トカマク及びヘリカル両装置における巨視的不安定性の特性理解をより一層深めることが可能になった.</p>
--------------------------------------	---

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			
27年度の研究 交流活動	<p>本 A3 フォーサイト事業の開始から計画し、開発を進めてきた EAST 装置での EUV 分光システムが平成 26 年 6 月に完成し、データ取得を始めた。また、平成 27 年度には 50-500 Å 領域のスペクトル線の空間分布計測用 EUV 分光器と短波長領域(10-100 Å)計測用 EUV 分光器を新たに EAST 装置に設置する準備を始めた。このために日本人研究者を ASIPP へ派遣した。中国側からも中国人研究者が NIFS に滞在し、共同研究の打ち合わせと LHD データの解析を行った。HL-2A 装置では EUV 分光器の性能向上のため、波長掃引用 CCD 検出器フランジの改造に取り組んだ。また、鋸歯状波振動時の不純物輸送を研究するためデータ解析を行った。そのために日本人を SWIP に派遣し、また、中国人を NIFS に滞在させることにより共同研究を実施した。J-TEXT 装置での分光計測の可能性を検討するために若手研究者を華中科技大学に派遣した。ITER 装置で重要となるタングステン不純物の輸送を研究するための基礎データとなるタングステンイオンの原子データに関してワークショップを上海・東華大学で開催した。日本から 6 名の研究者を派遣した。</p> <p>EAST 装置において ICRF 壁コンディショニング (ICWC) によるタングステン材からの水素同位体除去実験を実施した。水素同位体置換効果を明らかにするため重水素とヘリウムで比較実験、実時間測定及び試料片の駆動装置による挿入を行った。現在、表面分析法による事後解析を進めている。EAST プラズマへタングステン堆積膜を曝露し、重水素リテンション量の評価実験を実施した。日本側での解析結果を基にした国際学会での発表を計画している。同タイプのタングステン堆積膜を KSTAR プラズマへ曝露する実験も同時に実施し、EAST プラズマでの結果と比較した。壁リテンションに関する静的レスポンスの評価実験も EAST 装置で実施し、プラズマ実験の繰り返しで壁表面状態の変化からリサイクリングが変化する様子を観測した。2016 年 1 月には、これら実験データの</p>				

	<p>解析と今後の計画に関する検討会を開催し、不足データ項目について議論し、追加実験に関する計画立案を行った。</p> <p>中国の西北師範大学・応用物理計算数学研究所と日本の電気通信大学・首都大学東京・核融合科学研究所との間で、主に不純物多価イオン分光データに関する共同研究を引き続き実施した。また、平成 28 年度に実施予定の日中韓合同ワークショップ「プラズマ中の原子分子過程 (AMPP2016)」開催に向け、主催者である西南物理研究所・崔正英教授、西北師範大学・董晨钟教授等との事前打合せを実施した。同時に、韓国・NFRI 原子分子グループとも原子分子共同研究を実施し、上記のワークショップ開催についても議論した。</p>
<p>27年度の研究交流活動から得られた成果</p>	<p>EAST プラズマでのタングステン輸送研究を行うための EUV 分光システムが完成した。構築した分光システムの詳細は共同研究の成果として米国・RSI 誌に掲載された (L.Zhang, S.Morita et al. RSI 86(2015)123509)。平成 27 年度の EAST 実験での共同研究を通して、タングステン不純物蓄積の抑制法を発見した。低域混成波 (LHW) による電流駆動・加熱、共鳴摂動磁場 (RMP) 印加及び電子サイクロトロン加熱 (ECH) 時にはタングステン不純物の現象がはっきりと観測された。LHW や RMP 時にはプラズマ周辺磁場の変形により不純物遮蔽効果が増大し、タングステンの流入束が減少すること、また、ECH 加熱では密度・温度・電場等の分布形状変化により不純物輸送が変化することをその原因と考えている。一連の実験結果は ITER 装置でのタングステン不純物蓄積の回避について非常に重要な基礎資料となる。これら実験結果を共同研究の成果として、プラズマ・壁相互作用国際会議 (平成 28 年 5 月 30 日-6 月 3 日、イタリア・ローマ) や IAEA 核融合エネルギー会議 (平成 28 年 10 月 17 日-22 日、京都) で発表すべく、アブストラクトを投稿した。</p> <p>HL-2A 装置においてダイバータ・リミター等各配位での不純物輸送の特徴を研究し、その結果を共同研究成果として NF 誌に公表した (Z.Y.Cui, S.Morita et al. Nucl. Fusion 55(2015)093034)。HL-2A 装置で見つけた EUV 領域低電離タングステンスペクトルはタングステンイオンの流入束を評価できる可能性があり、ITER 装置での計測可能性に向けデータの評価を行っている。一連の結果を公表すべく準備を進めた。</p> <p>EAST 装置において ICRF 壁コンディショニング (ICWC) によるタングステン材からの水素同位体除去実験で重水素とヘリウムを用いて比較実験を行った。表面リテンション量の実時間測定結果から、重水素では</p>

軽水素軽減効果を確認し、また、ヘリウムでは材料表面のブリスター形成を新たに観測した。この結果、水素同位体置換効果に関する物理的理解を更に推し進めることが可能になり、ITERでのタングステンダイバータ実験に向け貴重なデータを提供することができた。タングステン堆積層への水素蓄積量評価を EAST 及び KSTAR 装置で実施し、水素リテンション量のフルエンス依存性に関するデータを取得した。これまで実験室レベルの研究では多結晶タングステンの場合、粒子フルエンスとリテンション量との間に線形な関係が得られていたが、今回の核融合プラズマ実験で得た実験データを解析することにより、小規模実験室データの検証を可能にした。

小型電子ビームイオントラップ (CoBIT) 及び 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、近紫外～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禁制線を新たに発見した。また、禁制線強度の空間分布からこれまでに不確定性が大きかったタングステン多価イオンの電離／再結合速度係数データの詳細な評価が可能になり、プラズマ中での素過程の理解が進んだ。極端紫外領域での発光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について、これまで考慮されていなかった多極子遷移等を新たに加え、モデルの高精度化を行った。これらモデルを使用し、CoBIT ならびに LHD 装置を用いた比較検証を行った。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診断や不純物輸送研究を行うための学術的基盤が着実に構築されつつある。

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			
27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観測する手段の開発が必要となる。周辺 MHD 揺動実験やそれに必要となる RMP 磁場印可検出用計測器の開発等について日中間で議論を継続した。日本側は計測器の開発指針を指導し、中国側はそれに基づいて実際の計測装置開発を進めるとい形で共同研究を実施した。計測器開発を加速するために打ち合わせを行い、共同実験を実施した。</p> <p>日韓間でも計測器の日本からの移設についての議論を進め28年度の移設で合意した。</p>				
27年度の研 究交流活動から得 られた成果	<p>外部摂動磁場(RMP)を用いて周辺 MHD 揺動(特に ELM バースト)を制御するためには、周辺磁場構造の変化を観測することが不可欠になる。</p> <p>KSTAR 装置において実施した磁場構造を推定する実験で得られたデータの解析を進めた。外部摂動磁場によって周辺磁場が乱れた場合、磁気面に垂直方向の熱流速が増大することが予想される。プラズマコア部の鋸歯状振動によって生じる熱パルスの伝搬特性から輸送特性の変化を推定した。各イベント単位で平均化を行うアンサンブル平均法を適用することにより、摂動磁場印加時に熱輸送係数がより大きくなることを初めて明らかにした。この結果は外部摂動磁場がプラズマコア部近くまで浸透していることを示唆しており、周辺プラズマ揺動の制御手法の理解に向け、大きな進展を得た。</p> <p>大型ヘリカル装置で観測されるコア密度崩壊現象の理解が進んだ。極端に尖塔化した分布をもつ Super Dense Core と呼ばれるプラズマの中心ベータ値はコア密度崩壊現象によって制限される。2次元イメージング法などで解析されたコア密度崩壊現象の前置振動のモード構造は磁</p>				

	<p>場の曲率の悪い場所に局在化しており、ヘリカル型特有の高nバルーニングモードであることを初めて明らかにした。極端に局在化したモードが大規模な崩壊現象を祐樹していることになり、トカマクのELMを誘起する通常のバルーニングモード/キンクバルーニングモードとの比較検討が進んだ。</p>
--	---

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・教授				
	(英文) ISOBE Mitsutaka, National Institute for Fusion Science, 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 RYU Chang-Mo, Pohang University of Science and Technology, Professor				
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			
27年度の研究 交流活動	<p>将来の核融合炉においては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が危惧されている。高速イオン励起MHD不安定性と高速イオンの相互作用やその結果生ずる高速イオンの異常輸送に関する理解とその制御が重要課題となっている。これらに関連した研究を進めるためにはシンチレータを用いた損失高速イオン検出器(FILD)が必須計測機器として位置付けられている。FILD共同研究の実施のため、KSTAR装置を有するA3事業韓国側拠点・韓国国立核融合研究所から大学院生1名をA3事業日本側拠点の核融合科学研究所にて受け入れ、KSTARにおける高速イオンのエネルギー付与・減速分布や粒子軌道等のコード計算を行い、既に取得済みの実験データの解析と現象の理解を進めた。RMPコイルを用いて三次元周辺磁場を印加した場合に生じる新たな高速イオンの挙動に関する解析も引き続き進めている。中性子エネルギー spektrometa 開発と得られた実験データの解析も同時進行している。ASIPPとの共同研究では日本側研究者1名を派遣し、EAST装置のH-mode放電時に発現するELMに起因した回帰的損失高速イオンの検出に初めて成功した。一方、LHD装置では将来の重水素実験に向け中性子エネルギー spektrometa (NES)の導入を計画している。北京大学のFAN教授の研究室では高検出効率を有するNESの開発を既に進めている。そこで、EAST装置に設置されているNESに関する現地調査を大学院生を含む同教授のグループと協同実施し、併せて情報交換を行った。HL-2A装置との研究交流では、日本側研究者1名をSWIPに派遣し、次期装置・HL-2MにおけるFILDの設計に着手した。</p>				

<p>27年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>これまでの研究交流活動の結果、日中韓の主要磁場閉じ込め核融合プラズマ実験装置であるLHD装置（日本・核融合科学研究所）、KSTAR装置（韓国・韓国国立核融合研究所）、EAST装置（中国・等離子体物理研究所）、HL-2A装置（中国・西南物理研究所）の全ての装置においてFIELDの本格稼働を開始した。そこで、本事業におけるカテゴリーIIIの中間成果報告として、2015年11月に岐阜県土岐市で開催された第25回国際土岐コンファレンスにて、「Recent Progress of Fast-ion Loss Detector Project in Magnetic Confinement Fusion Devices in Japan, Korea and China」と題して成果発表を行った。また、KSTAR装置のNBI放電において観測した原子核乾板を用いた中性子スペクトルデータについても、「Application of advanced nuclear emulsion technique to fusion neutron diagnostics」と題して論文出版した。また、HL-2A装置との共同研究では、「Measurements of fast-ion losses induced by MHD instabilities using a scintillator-based probe in the HL-2A tokamak」と題して論文出版した。平成27年度に取得したEAST装置におけるELMに起因した高速イオンの排出、やHD不安定性と関連のある中性子揺動データについても解析を進めており、平成28年に米国で開催されるHigh-Temperature Plasma Diagnostics会議で成果発表及び論文投稿を予定している。カテゴリーIIIにおける共同研究は非常に順調に推移しており、今後の研究の進展が大いに期待される。</p>
--------------------------------------	--

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) 高性能プラズマにおける不安定性と輸送に関する理論・シミュレーション研究				
	(英文) Theoretical and simulation study of instabilities and transport in high-performance plasmas				
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	10名			
	韓国側参加者数	2名			
27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1名, 中国・大連理工大學 (DUT) に1名, 韓国・国立核融合研究所 (NFRI) に1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) に若手研究者2名を招聘した.</p> <p>ASIPP との研究交流活動では, EAST 装置におけるアルフベン固有モードのシミュレーション研究を推進し, 論文作成について議論した. また, EAST 装置のダイバータタイル近傍のプラズマモデリング, SOL/ダイバータプラズマモデリング, 建設中の直線装置 PREFACE のプラズマモデリングについて議論し, PICS2 コード及び EMC3-EIRENE コードを使用した共同研究を進めた.</p> <p>DUT との研究交流活動では, ミクロスケールの乱流とマクロスケールの MHD 現象の非線形相互作用, 及びその過程におけるシア流の役割について議論した. NFRI との研究交流活動では,</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 開発した大域的ジャイロ運動論コードのベンチマークテスト (2) Lモードプラズマにおける非局所乱流輸送現象 (3) 運動量ソースの導入による内部輸送障壁形成 <p>に関する意見交換を行った.</p>				

<p>27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、EAST 装置の実験において予想されるアルフベン固有モード不安定性に関するシミュレーション研究を実施し、共同研究成果を1編の査読付論文として発表した。また、EAST 装置の物理条件を用いたシースプラズマ粒子シミュレーションの試験計算、流体コードによる EAST 装置周辺プラズマモデリングのための計算格子点作成、PREFACE 装置プラズマの試験計算を行った。</p> <p>DUT との研究交流活動では、「非線形マルチスケール相互作用におけるシア流の役割」と「二重電流シートにおけるケルビン・ヘルムホルツ不安定性の非線形発展」に関する共同研究成果を2編の査読付論文として発表した。</p> <p>NFRI との研究交流活動では、前項の(1)-(3)に関する議論の結果、運動量輸送の役割や熱/運動量ソースが分布硬直性や内部輸送障壁形成に与える影響についての理解が進展し、その後、2件の国際学会発表を行った。</p>
--------------------------------------	---

7-2 セミナー

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「第7回高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成に関する日中韓 A3 フォーサイトプログラムワークショップ」
	(英文) JSPS A3 Foresight Program “7th A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas“
開催期間	平成27年5月19日 ~ 平成27年5月22日 (4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 韓国・春川・KT&G サンサンマダン
	(英文) Korea・Chuncheon・KT&G Sangsang Madang
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) OH Yeong-Kook, 韓国・国立核融合研究所 (NFRI), 主任研究員

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.	12/76	
	B.	2	
中国 〈人/人日〉	A.	13/78	
	B.	1	
韓国 〈人/人日〉	A.	17/98	
	B.	3	
合計 〈人/人日〉	A.	42/252	
	B.	6	

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)

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>本事業において採択された課題「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成」の研究成果及び状況の確認のため、3カ国のキーパーソンと共同研究者が集まり、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）、KSTAR装置（韓国・国立核融合研究所）において進行中の共同研究の成果を発表し議論する。今回は特に、共鳴磁場摂動（RMP）や超音速ガスパフ等が周辺プラズマに与える様々な効果、特にELM抑制制御、不純物遮蔽、ダイバータ熱流束等の話題を重点的に取り上げ、研究の現状把握と将来計画を議論すると共に更なる研究の進化を促す。また、できる限り多くの若手研究者をセミナーに参加させ口頭発表や議論に加え、実験参加への機会を与える。今回は特に韓国の各大学に所属する大学院生の積極的な参加を促す。</p>					
<p>セミナーの成果</p>	<p>次世代の熱核融合実験炉（ITER等）ではコアプラズマからダイバータ領域へ流出する巨大な熱流束を制御・処理することが不可避の課題となっている。また、周辺プラズマで励起されるELM振動が瞬時に巨大な熱流束をダイバータへ持ち込む。今回のセミナーでは特に周辺プラズマの安定性と制御に関する話題を取り上げ、参加者全員による議論を行った結果、周辺プラズマ制御研究の重要性を認識でき、現在行っている研究との関連性と今後の協力関係をより具体的に確認することが可能となった。LHD、EAST、KSTAR等の装置間でのより積極的な共同研究の推進に向け、大きな成果となった。セミナーでは大学院生も招請し、口頭発表の機会を与えることにより若手研究者の育成に努めた。</p>					
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>A3フォーサイトセミナー開催委員会設置：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・韓国・コーディネータ（OH Yeong-Kook） ・日本・コーディネータ（森田 繁） ・中国・コーディネータ（HU Liquin） ・韓国側の各キーパーソン・サブキーパーソン ・韓国・国立核融合研究所・プロジェクト管理部 					
<p>開催経費分担内容と金額</p>	<p>日本側</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">内容</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">金額</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">外国旅費</td> <td style="text-align: right;">1,739,715 円</td> </tr> </table>	内容	金額	外国旅費	1,739,715 円
内容	金額					
外国旅費	1,739,715 円					
	<p>中国側</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">内容</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">外国旅費</td> <td></td> </tr> </table>	内容		外国旅費	
内容						
外国旅費						
	<p>韓国側</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">内容</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">セミナー開催経費・国内旅費</td> <td></td> </tr> </table>	内容		セミナー開催経費・国内旅費	
内容						
セミナー開催経費・国内旅費						

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「第8回高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成に関する日中韓 A3 フォーサイトプログラムワークショップ」 (英文) JSPS A3 Foresight Program “8th A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas“
開催期間	平成27年12月1日 ~ 平成27年12月4日 (4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本・御殿場・ホテルブラッシュアップ (英文) Japan・Gotemba・Hotel Brush Up
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)

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	16 / 87	
	B.	2	
中国 〈人／人日〉	A.	14 / 84	
	B.	1	
韓国 〈人／人日〉	A.	11 / 66	
	B.	3	
合計 〈人／人日〉	A.	41 / 237	
	B.	6	

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)

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	<p>本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、日本・LHD装置、中国・EAST装置、韓国・KSTAR装置において進行中の共同研究を確認し、必要な修正を加える。今回のセミナーは特に高エネルギー粒子に着目し、その閉じ込めやMHD揺動との関連を重点的に議論する。また、2015年度の共同研究を吟味し、更に効率的な研究が行えるよう全員で討論すると共に個別グループでも議論を重ねる。現在建設中の装置の現状を把握し、A3計画との整合性を計ると共に、2015年度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。必要に応じて新規のテーマも議論する。</p>					
セミナーの成果	<p>ITER装置代表とする次世代の熱核融合炉ではD-T反応の結果、3.5MeVという大きなエネルギーを持って生じるヘリウム(α)粒子が定常プラズマを加熱・維持する。しかし、そのエネルギーがあまりにも大きいため、一部のα粒子はプラズマ中で十分熱化せず、第一壁等のプラズマ対向材料に直接衝突し、大きな損傷をもたらす。そこで今回のセミナーでは特に高エネルギー粒子の閉じ込めに関する課題をテーマに取り上げ、理論解説を含め、参加者全員で議論を行った。これら議論を通して課題の物理的理解と現状を把握することができ、今後のより有機的で且つ建設的な共同研究の実施が期待できる。大学院生を含む若手研究者のセッションを設け、活発な議論を促進し、若手研究者育成への一助とした。また、2016年5月に中国・銀川で、2016年秋に韓国でセミナーをそれぞれ開催することを決定した。本A3事業を開始して3年が経過し、共同研究の質と量が非常に充実し、論文・会議発表を通して多くの共同研究成果が報告された。大学院生の長期滞在型交流も実施されるようになり、活発な若手研究者の育成も報告された。セミナーではA3事業を基礎として、2016年以降も更なる共同研究の充実と学術交流体制の緊密化を目指すことで一致した。</p>					
セミナーの運営組織	<p>セミナー運営委員会</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本・コーディネータ (森田 繁) ・中国・コーディネータ (HU Liquin) ・韓国・コーディネータ (OH Yeong-Kook) ・日本側の各キーパーソン・サブキーパーソン ・核融合科学研究所・研究支援課 					
開催経費分担内容と金額	日本側	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;">内容</th> <th style="width: 20%;">金額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>セミナー開催経費・国内旅費</td> <td>2,920,734 円</td> </tr> </tbody> </table>	内容	金額	セミナー開催経費・国内旅費	2,920,734 円
	内容	金額				
	セミナー開催経費・国内旅費	2,920,734 円				
中国側	<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>内容</td> <td></td> </tr> <tr> <td>外国旅費</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	内容		外国旅費		
内容						
外国旅費						
韓国側	<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>内容</td> <td></td> </tr> <tr> <td>外国旅費</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	内容		外国旅費		
内容						
外国旅費						

7-3 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	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	東華大学で開催した「タングステンワークショップ」(世話人：Fangchuan ZHONG 教授)に出席・発表。ワークショップはLHD・EAST・HL-2A装置で観測されたタングステンスペクトルの解析に向けた現状報告と日中韓共同作業を議論。
核融合科学研究所・ 教授・村上泉	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。
核融合科学研究所・ 助教・坂上裕之	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。
核融合科学研究所・助教・大石 鉄太郎	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。
京都大学・ 教授・蓮尾昌裕	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。
東京電気通信大学・准教授・中 村信行	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。
東京電気通信大学・大学院生・ 久保田甲斐	中国・上海・ 東華大学	9月23-26日	「タングステンワークショップ」に出席・発表。

8. 平成27年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 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		7/47 ()	12/72 ()	()	19/119 (0/0)
	2		6/24 ()	1/4 ()	()	7/28 (0/0)
	3		3/16 ()	1/8 ()	()	4/24 (0/0)
	4		2/22 ()	0/0 ()	()	2/22 (0/0)
	計		18/109 (0/0)	14/84 (0/0)	0/0 (0/0)	32/193 (0/0)
中国	1	0/0 ()		(13/78)	()	0/0 (13/78)
	2	5/38 ()		()	()	5/38 (0/0)
	3	12/78 ()		()	()	12/78 (0/0)
	4	2/14 ()		()	()	2/14 (0/0)
	計	19/130 (0/0)		0/0 (13/78)	0/0 (0/0)	19/130 (13/78)
韓国	1	4/13 ()	()	()	()	4/13 (0/0)
	2	0/0 ()	()	()	()	0/0 (0/0)
	3	12/80 ()	()	()	()	12/80 (0/0)
	4	0/0 ()	()	()	()	0/0 (0/0)
	計	16/93 (0/0)	0/0 (0/0)		0/0 (0/0)	16/93 (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	4/13 (0/0)	7/47 (0/0)	12/72 (13/78)	0/0 (0/0)	23/132 (13/78)
	2	5/38 (0/0)	6/24 (0/0)	1/4 (0/0)	0/0 (0/0)	12/66 (0/0)
	3	24/158 (0/0)	3/16 (0/0)	1/8 (0/0)	0/0 (0/0)	28/182 (0/0)
	4	2/14 (0/0)	2/22 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	4/36 (0/0)
	計	35/223 (0/0)	18/109 (0/0)	14/84 (13/78)	0/0 (0/0)	67/416 (13/78)

※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。)

※本事業経費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。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
()	()	16/87 ()	()	16/87 (0/0)

9. 平成27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	3,210,724	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	4,564,115	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	52,110	
	その他の経費	248,051	
	外国旅費・謝金等に係る消費税		
	計	8,075,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		807,500	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		8,882,500	