

日中韓フォーサイト事業
平成 28 年度 実施報告書（平成 24～26 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://A3foresight.nifs.ac.jp/index.html>

3. 採用期間

平成 24 年 8 月 1 日～平成 29 年 7 月 31 日

(5 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) 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. 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28年度研究交流目標

<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。

最近の核融合研究では核融合炉の早期実現が強く望まれており、これと関連して「周辺及びダイバータ制御」研究が非常に重要になってきている。そこで、定常プラズマ研究にとって非常に大事となる「プラズマ壁相互作用」及び「原子分子」研究を「R-2（カテゴリーIIa）」に加え、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。以上のように、専門的なカテゴリーを個別に設定することで、同じ研究内容を有する研究者同士が各カテゴリーの中でより緊密に議論を行い共同研究を実行する環境が着実に出来上がりつつある。各カテゴリーのキーパーソン同士が電子メールやセミナー会合を通して頻繁に情報や研究協力内容をやり取りすることにより、各装置での実験準備状況や実験情報の相互共有、マシンタイムの割り当て等がより効率的に行え、本研究組織は共同研究の進展に大きく寄与している。また、将来のITER実験で必須となる実験課題に対し、本研究組織を利用した検証実験の実施、研究技術の蓄積、シミュレーションによる実験予測等をよりスムーズに行える。日中韓の共同研究が進展するにつれて、若手研究者の参加も増えており、各カテゴリーグループの強化が図られている。構築したこれらの研究協力体制を基盤として世界的な研究成果が生まれつつある。

平成28年度は、これまで続けてきた共同研究に加え、周辺プラズマ安定性研究のための「2次元軟X線カメラ」、不純物輸送研究のための「空間分布計測用EUV分光器」を新たに開発し、それを利用した共同研究が開始される。より多くの世界的な研究成果が見込まれ、また周辺プラズマ輸送コードの深化をはじめ理論・シミュレーション分野の共同研究も充実しつつある。円滑な共同研究の遂行と成果発表が行えるよう、より密接な協力体制の構築に努力する。また、若手研究者の共同研究への参加を促すことにより、指導的な役割を担える研究者の育成に努める。研究協力体制のより弾力的な運営にも配慮する。

コーディネーター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	周辺及びダイバータプラズマ制御	高エネルギー粒子

定常保持	カテゴリIIa	カテゴリIIb	とバルクプラズマの相互作用
	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			

<学術的観点>

R-1 (カテゴリ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、高性能プラズマを安定して定常保持する上で極めて重要な課題であり、現在、世界中で精力的に研究が推進されている。ティアリング不安定性や交換型不安定性はトカマク・ヘリカル装置それぞれにおいてプラズマ性能を左右する重要な要素となることから、閉じ込めを大きく劣化させるこれら不安定性の発現領域、成長率及びその飽和過程について明らかにし、将来の核融合炉における運転領域及び運転手法を確立することが本共同研究の最終的な学術目的となる。共鳴摂動磁場を外部より与えた場合の巨視的不安定性に対するプラズマ性質に着目し、巨視的不安定性が閉じ込め磁場構造に与える影響についてLHD装置、EAST装置及びKSTAR装置を用いて共同研究を実施する。プラズマ内部計測から得られたデータを主に解析することにより、上記の研究課題の物理的理解を進め、本分野における世界最先端の研究成果を挙げることを目標とする。また、共鳴摂動磁場に対するプラズマの応答についても共同研究を推進し、トカマク・ヘリカル両装置におけるプラズマ応答の差異について調査研究する予定である。

R-2 (カテゴリ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緊急の課題となっている。その対策として、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事項となっている。定常核融合炉を成立させるために不可避であるこれらの実験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、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28年度はタングステンダイバータを設置した中国・EAST装置で日本側の協力の下で新たに設置した空間分布計測用 EUV 分光器を活用し、プラズマ中でのタングステン輸送研究を日中韓の共同研究として本格的に開始する。分光器感度を絶対校正することによりタングステン密度を評価する。また、EAST装置では日中韓による共同研究の結果、タングステンイオンのプラズマ中心部への不純物蓄積を回避する手法を新たに発見した。世界最先端の結果となるこれらの成果をプラズマ・壁相互作用国際会議（イタリア・ローマ・5月30日～6月3日）やIAEA核融合エネルギー会議（京都・10月17日～22日）等の国際会議で発表する。中国・HL-2A装置（西南物理研究院・SWIP）においては、低電離タングステンスペクトルを日本側の協力の下に共同研究として製作・設置した EUV 分光器を用いて核融合実験装置として世界で初めて観測することに成功した。また、同分光計測機器を用いてネオン不純物の輸送と MHD 振動を関連付ける実験結果を得た。結果は不純物輸送研究に新たな物理的側面を与え、これまでの不純物輸送に関する考え方を一新するものである。これらのこれら二つの実験成果についても、共同研究の成果として京都で開催される IAEA 核融合エネルギー会議で発表する。特に、HL-2A装置でのタングステンスペクトルの観測は LHD での VUV 領域での低電離タングステンイオンスペクトルの観測と併せて、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評価につながる非常に重要な発見である。H28年度には観測データの高精度化に努めると共にこれらの共同研究成果の公表に向け共同作業を実施する。

PWI 研究では、EAST装置及びITER装置のダイバータ材であるタングステン金属を主体とする試料片をプラズマへ曝露し、長期的なタングステン試料内での水素同位体蓄積量及び脱離挙動を調べる。タングステンは製造過程及び内部結晶粒特性により水素同位体蓄積量が異なるため、試料材料として、1) EASTダイバータで使用されているタングステンモノブロックを含む3種類の異なったタングステン材、2) 実機環境を考慮した材料特性が既知のタングステン堆積層（九州大学で成膜）、を使用する。これら試料をEAST装置及びKSTAR装置でプラズマへ照射し、さらに同堆積層から能動的に水素同位体量を制御する為の壁コンディショニング放電実験を実施することによりITER実験に向けた運転シナリオの指標とする。短時間で変化する壁リサイクリング現象をより深く理解する為、EAST装置で水素同位体ダイナミクスの測定及び第一壁中の水素同位体挙動の実時間測定実験も新たに開始する。上記の実験に使用する試料材料の準備や表面分析評価をEAST-KSTAR装置間比較研究と併せて日本側が担当することにより日中韓共同実験をさらに発展させる。日中韓のそれぞれの特徴を生かし、融合させた上記の研究を通して、世界最先端の実験成果が期待される。現在の実験結果を基にしたそれら成果を、日本側からプラズマ・壁相互作用国際会議（イタリア・ローマ・5月30日～6月3日）で、中国側からIAEA核融合エネルギー国際会議（京都・10月17日～22日）で発表する。

原子分子研究分野では、LHD装置、EAST装置及びHL-2A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結果を基に理論スペクトル解析を更に継続して進

め、タングステニイオンの核融合プラズマでの不純物輸送解析に必要なデータの確立に努める。特に、日本と中国はEBIT装置を用いた多価イオン分光研究では世界的トップランナーであり、共同研究を進めることによりLHD装置、EAST装置及びHL-2A装置でのタングステン分光研究に役立つ大きな成果が期待できる。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や実験データ評価に関する共同研究を、原子分子データセンターネットワークの国際拠点である韓国・KAERI及びNFRIとの間で進める。核融合プラズマでの不純物輸送研究のための分光データ、その解析に必要な原子分子データや理論モデリングの現状を把握し議論することにより分野横断的に深い国際連携研究を促すことを目的として、外部資金も活用することにより、平成28年7月25-29日の日程で、中国・成都(SWIP主催)において日中韓合同ワークショップ(Atomic and Molecular Processes in Plasma, AMPP2016)を開催する。タングステンのスペクトル観測及び原子物理を基盤とした原子構造やモデリング研究は、日中韓の共同研究として構築した分光実験装置を基礎として、タングステン密度計測、M1遷移、UTAスペクトル解析等に関連して世界最先端の研究成果を上げ続けている。上述した日中韓の研究交流を基に更に世界をリードする研究成果を挙げることを目指す。

R-3 (カテゴリーIIb) :

高性能プラズマの実現にはHモードのような閉じ込め改善モードを有する放電が必要とされている。しかし、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に直結する。従って、これらは核融合炉の定常維持を実現する上で最も重要な課題の一つになっている。ELM制御法のなかで有力なもの一つに外部摂動磁場の印加があげられる。周辺部の磁場に共鳴するような外部摂動磁場の印加により、ELM振幅の抑制効果が多くの特カマク装置で観測されている。この抑制効果の物理機構を解明し、外部摂動磁場を用いたELM制御技術の次世代の核融合炉における有効性を検証することが本カテゴリーの課題である。これが解明できれば間違いなく世界的な成果となる。そのために、(1)プラズマ内への外部摂動磁場の侵入機構、(2)周辺磁場構造の変化とMHD不安定性の関係、を調べることに集中して日中韓の共同研究を実施する。(1)に挙げた研究の為、外部摂動磁場印加によって変形するプラズマの形状を観測し外部摂動磁場の浸透を直接確認できる2次元計測器の実装を進める。具体的には日本側の協力指導の下、VUVイメージング計測装置をEAST装置及びKSTAR装置の両装置に設置する。外部摂動磁場の位相を変化させた時、接線方向2次元像は摂動電流によって変化する有理面付近に局在化するので、摂動磁場のプラズマ内への侵入長を観測することが可能となる。(2)の目的では、外部摂動磁場により磁気島が生成される平衡配位でのMHD不安定性を調べることが可能な非線形MHD発展コード(たとえばMIPS)を活用する。実験時に観測されるMHD揺動の空間構造とMIPSコード等を用いて予測されるMHD揺動の直接的な比較を行う。日中韓の協力研究を通して、摂動磁場印加時のプラズマ平衡とMHD不安定性の関係について詳しく研究す

ることにより、世界的な研究成果を目指す。

R-4 (カテゴリーIII) :

将来の核融合炉では D-T 燃焼で生成される高エネルギー 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。従って、 α 粒子の閉じ込めに関与する物理機構の正確な理解は核融合炉の成否に直結する重要な課題となる。日本側の協力指導の下、KSTAR 装置 (韓国) において、MeV イオン閉じ込め研究のために放射化箔によるトリトン燃焼中性子計測を開始した。平成 28 年度も KSTAR において本測定を継続し、LHD 重水素実験での同測定結果との直接比較を行うため、測定データの高精度化を日中韓共同で推進する。EAST 装置 (中国) では本格的な NBI 加熱実験開始に伴い、中性子発生率や発生総量を正確に把握する必要が生じてきた。そのため、 ^{252}Cf 中性子源を用いた中性子束モニター (NFM) のその場絶対較正を日本側の指導の下で計画している。平成 28 年度には LHD 装置でも NFM その場絶対較正を予定しており、NFM その場絶対較正を日中韓共同研究として実施する計画にしている。

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) の本格運用を開始した。その結果、日本側の強力な指導の下、EAST 装置、KSTAR 装置 (韓国) 及び LHD 装置 (日本) の 3 装置で FILD が同時稼働することになった。日中韓の 3 カ国の装置を使用した共同実験を開始する。特に、EAST 装置及び KSTAR 装置では三次元 RMP 磁場印加時における高速イオンの挙動に着目した実験研究を日中韓の連携の下実施する。EAST 装置及び KSTAR 装置では既に重水素を使用した実験が行われており、高エネルギーイオン測定器として役割を果たす NFM (EAST 装置及び KSTAR 装置)、中性子分布及び揺動 (EAST 装置のみ) データも併せて上述した実験研究に活用する。ELM 制御に必要な RMP 磁場印加時の高エネルギーイオン輸送は、現在世界最先端の研究課題であり、日中韓のお互いの特徴を生かした連携研究の下、その輸送機構に関する物理的全体像の理解を着実に深める。

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 研究拠点を中心とした協力により推進する。(1) については、韓国・国立核融合研究所と協力して非局所的乱流輸送や内部輸送障壁による閉じ込め改善に関するシミュレーション研究を推進する。(2) については、日本側は高エネルギー粒子駆動不安定性のシミュレーションにおいて世界最先端の実績がある。このシミュレーションを中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) と協力して EAST 装置に適用し、中性粒子ビーム入射分布を考慮した高エネルギー粒子駆動不安定性のシミュレーションのための準備を進める。(3) については、ASIPP 及び大連理工大学と協力して、EAST 装置などの周辺プラズマモデリングやプラズマ壁相互作用研究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) :

共同研究を実施するにあたって, 若手研究者や日中韓の大学に在学する大学院生を派遣することに特に留意し, 若手研究者の育成に努める。また, セミナー開催時には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参加させ, 英語での口頭発表やプロシーディング論文の作成を通してより研究者として必要な技術を身に付けさせることにより世界で活躍できる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・韓国からの博士課程学生の育成に努める。また, 平成28年度には中国人学生が博士の学位を取得し, 等離子体物理研究所で研究者としての道を歩み始める。平成28年度に中国及び韓国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学生, ポスドク学生及び若手研究者を参加させ, 国際的に通用する研究者育成に努める。また, 7月には中国・成都で開催する原子分子セミナーにも若手研究者を派遣し, 日中韓の若手研究者間の交流促進を計る。中国・ASIPP・EAST 装置及び SWIP・HL-2A 装置で分光研究を行っている大学院学生に直接的な研究指導を行い, 研究方針の明確化やデータ解析の高精度化を中国側指導教官と共同で実施する。

R-3 (カテゴリーIIb) :

中国・ASIPP の Ming 氏のグループに所属する中国人大学院生を1年間日本に滞在させ, イメージング計測を用いた周辺 MHD 不安定性の解析を行う。また, 総合研究大学院大学の博士課程に所属する日本人大学院生を中国に派遣し, 必要な計測器を用いて MHD 不安定性研究に従事させる。博士課程の大学院生に対して相互訪問を原則として相互補完教育を実践することにより, 継続した若手研究者の育成を進める。

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, NFM の較正,

中性子分布計測システムの改良, FILD の更なる高性能化, FILD・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) :

中韓の研究者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. 日本から若手研究者を中韓に派遣し, 微視的乱流や周辺プラズマのシミュレーション研究をさらに進展させると共に若手研究者のレベルアップを計る.

5-2-4 その他 (社会貢献や独自の目的等)

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. 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の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) :

中国や韓国で共同研究を実施する際に USTC 等の近隣の大学で講義を行い, 一般学生に核融合研究の重要性を啓蒙する. 太陽表面で生じる磁気再結合は本カテゴリーで研究を進めている不安定性の成長・飽和と深く関係していることから, 本研究で得られる知見と自然科学との関係についても言及し, 一般市民に自然科学研究の面白さを伝える.

R-2 (カテゴリーIIa) :

高等専門学校等での核融合研究に関する講義を通して核融合研究の啓蒙に努めると共に若い世代に対して科学研究における国際共同研究の重要性を理解させる. また, 中国科学技術大学 (USTC) や華中科技大学 (HUST) で学生に向けた核融合・プラズマ物理の講義を行う. 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.

R-3 (カテゴリーIIb) :

核融合科学研究所が大学院生を対象に開設している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継続的に行い、核融合科学研究所に滞在中の留学生に指導を行う一方、講義資料を一般に公開可能な形で蓄積していく。中国に短期留学している日本人学生は中国科技大学 (USTC) の日本語会話を目的としたサークルとの交流を行っている。今後、草の根レベルでも、日本及び日本語学習に関心のある学生との連携を深めていく予定である。

R-4 (カテゴリーIII) :

学生及び若手研究者を対象とする講義を中国・韓国への研究者派遣時に実施する。日本の核融合開発戦略や先端科学施設、また、総合研究大学院大学の紹介も行う。同時に、学生の核融合科学研究所を基盤とする総合研究大学院大学・物理科学研究科・核融合科学専攻へ進学を促す。

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28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) :

本年度は、中国科学技術大学 (USTC) の逆転磁場ピンチ実験装置 KTX において、Wandong Liu 教授とプラズマ高性能化に向けた共同研究を実施した。逆転磁場ピンチ装置は、トカマク・ヘリカル同様、トロイダル形状の磁場閉じ込め装置であり、プラズマを定常維持する上で MHD 不安定性の制御は鍵となる。KTX は数年前より実験を開始し、プラズマ性能を改善するための磁場配位制御手法の確立に向けた研究に加えて、ティアリングモードを制御するためのモデリング等について議論を進めた。また、等離子体物理研究所と共同でロックトモードに関する比較研究を進めた。具体的には、プラズマ真空容器内磁気計測を用いて LHD で観測されるロックトモードとトカマクで観測される同モードの空間構造を比較した結果、LHD でのモードも磁気島構造を有することが明らかになった。モードが減速する物理機構については未だ明らかではないが、今後トカマクと比較研究を通じて物理的理解を進めていく予定である。本内容を平成 28 年 10 月に京都で開催された IAEA 国際会議で発表した。

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 装置では, Wu 教授, Zhang 准教授及び大学院生を中心とする分光研究グループと核融合科学研究所の分光研究グループとの間で共同研究を継続した. 空間分解型分光器の設置を完了し, EUV スペクトルの空間分布を計測し始めた. これにより, 2 台の EUV 分光器による 10-100 Å 及び 50-500 Å 領域での波長スペクトルの 5ms 毎の観測, 3 台目の分光器による 50-500 Å 領域での 100ms 毎の空間分布計測を可能にするシステムが無事完成した. この分光器システムを基礎として, EAST プラズマの不純物, 特にタングステン不純物の挙動・輸送に関して中国・等離子体物理研究で共同研究を実施した. 同時に, LHD 装置での不純物計測に関しても中国側から研究者 (Zhang 准教授, Hu 教授) が核融合科学研究所に滞在し, 共同研究を実施した. また, コアプラズマの不純物輸送について, 西南物理研究所にて, Cui 教授, Dong 准教授及びその大学院生を中心とするグループと共同研究を行った. Cui 教授は日本に1週間滞在し, LHD の実験結果を含めて, 不純物輸送に関する共同研究を実施した.

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, 段階的に LHD をはじめ, EAST (ASIPP・中国) 及び KSTAR (NFRI・韓国) でタングステン材料を中心としたプラズマ照射実験を実施してきた. 平成 28 年度には, 第一壁とダイバータ部の異なる 2 か所での同時照射実験を KSTAR で初めて実施した. 共同研究では照射対象材料を 3 カ国で共通化した. 特にタングステン被覆膜は九州大学 (日本), 中国科学院蘭州化学物理研究所 (中国) で成膜し, 材料の詳細分析は核融合研 (日本), プラズマ照射は EAST 装置 (中国) 及び KSTAR 装置 (韓国) で実施するという役割分担を明確にしている. これら共同研究成果の一部を平成 29 年 1 月に開催された KSTAR conference 2017 で発表した. さらに EAST・タングステンダイバータ配位でのダイナミックリテンション実験を平成 28 年 12 月に実施した. 同実験は比較的長い占有時間 (4 時間) を要する実験内容であり, 綿密な事前研究打合わせにの結果, 実験時間を確保でき, 実施が可能となった. 一連の成果を平成 29 年 3 月に開催された EAST General planning meeting で発表するよう要請され, 研究報告を行った. 3 カ国での更なる共同研究体制の確立を進め, 研究グループ間の密接な連携を維持している.

平成 28 年 7 月 25-29 日の日程で, A3 経費以外の外部資金を用いて中国・成都 (SWIP 主催) において日中韓合同ワークショップ (Atomic and Molecular Processes in Plasma, AMPP2016) を開催した. 日中韓から 63 名の原子分子とプラズマ分野の研究者が参加し, ITER 実験で重要となるタングステン多価イオンの原子過程データについて各国装置での実験結果や異なるデータベース間の比較・検証を行い, 現状の問題点や研究課題について活発な議論を展開した. 外部資金活用による研究者交流を行い, 西北師範大学 (中国) の研究者が NIFS を訪問し, 小型 EBIT 装置開発とタングステン多価イオンデータの理論計算に関して協力研究を実施した. また, NFRI (韓国) の研究者が NIFS を訪問し, タングステン材料のイオンビームスパッタリング実験のための新たな共同研究体制の構築に向け, 具体的な方策を検討した.

R-3 (カテゴリーIIb) :

プラズマ周辺 MHD 揺動や周辺不安定性制御用外部摂動磁場の振舞いを評価するためのイメージング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 教授と共同研究を実施し、中性子環境でも使用可能な周辺 MHD 揺動計測用軟 X 線揺動計測器を EAST トカマク装置に実装して試験運転を開始した。X 線揺動計測にはシンチレータを用いて軟 X 線を可視光に変換し光電子増倍管を用いて検出する手法を採用した。EAST 装置での実験結果から、軟 X 線計測機器について以下の事柄を確認した。

- (1) 測定信号強度の電子温度依存性解析から軟 X 線を観測していること
- (2) EAST 放電の中性子強度では計測機器への中性子・ γ 線影響は無視できること
- (3) 軟 X 線に対する計測機器感度は当初予想より低いこと

感度が当初見積りより低いという課題は残ったが、次世代の多量の中性子発生を伴う高性能プラズマに対しても、ここで開発した軟 X 線揺動計測機器が使用できる目途がついた。

一方、Ming 准教授は多層膜反射鏡を用いた VUV 望遠鏡装置の LHD での開発経験を基に、高速度 VUV カメラシステムを EAST 装置に実装した。平成 28 年度には、周辺部に局在する ELM と呼ばれる MHD 揺動モードを観測し、構造を可視化することに成功した。今後の共同研究を通して詳細な解析を行う予定である。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 (王智君) を平成 27 年 10 月から平成 28 年 9 月までの 1 年間、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に指導した。

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 博士と協同して進めている。平成 28 年度は、設置ポート、ポートからの視線、ポート位置での予想される信号強度、カメラシステム設置スペース等、カメラシステム本体の開発と併せて、検討を深めた。

韓国・国立核融合研究所 (NFRI) の KSTAR 装置についても、周辺 MHD 揺動や外部摂動磁場によるプラズマ変形を計測目的とした二次元イメージング計測装置の設置に向け準備を進めている。平成 29 年度には LHD 装置で使用していた計測器を移設する予定であり、平成 28 年度には、既に一部の補助機器を NFRI に送付した。平成 29 年度中の KSTAR 装置への実装を目指して、NFRI・S.G. Lee 博士、KSTAR・軟 X 線計測担当の KAIST・WONHO Choe 教授及び京都大学・山本助教とともに準備を急いでいる。

R-4 (カテゴリーIII) :

韓国・KSTAR 装置 (国立核融合研究所) において、トリトン燃焼率評価のため、14MeV 中性子測定をソウル国立大学 (韓国) の博士課程学生、J0 Jungmin 氏の指導を兼ねて行った。韓国の国立核融合研究所・ソウル大学及び日本の核融合科学研究所の 3 機関での連携共同研究として実施した。また、J0 Jungmin 氏は平成 29 年 3 月に重水素放電を開始した LHD 実験に参加し、重水素プラズマ放電におけるトリトン燃焼率測定を共同研究として行った。

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）では、FILDの設計から装置立ち上げまでの全過程を日中共同で進めてきた。平成28年度のEAST装置での共同研究では、超音速分子ビーム及びペレット入射時に、また、3次元共鳴擾動磁場の印加時に損失高速イオン束の増大を観測した。等離子体物理研究所・CHANG Jiafeng 博士，核融合科学研究所・小川国大博士等と共同で、データ整理・解析を進めた。

LHD重水素実験開始前の平成28年11月には、800 MBqの ^{252}Cf 中性子源を用いて、中性子フラックスモニタ(NFM)のその場中性子束絶対値較正を実施した。この実験にはEAST装置・中性子計測担当・ZHONG Guoqiang 博士，KSTAR装置・中性子計測担当・CHEON MunSeong 博士，ソウル国立大学・博士課程大学院生・JO Jungmin 氏が参加しており、中性子束絶対値較正に関する日中韓共同研究を核融合科学研究所主導で成功裏に終了した。

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2名(藤堂泰:平成29年1月15-19日, 河村学思:平成29年2月19-26日), 中国・西南物理研究院(SWIP)に1名(王灝:11月27日-12月3日), 中国・大連理工大学(DUT)に1名(岸本泰明:平成29年1月15-18日), 韓国・国立核融合研究所(NFRI)に2名(今寺賢志:平成28年12月13-15日, 岸本泰明:平成29年3月12-15日)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3名(牛国鑑, 徐情, 杨钟时:平成28年11月7-28日)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装置および直線装置PREFACEのプラズマモデリング研究, およびEASTダイバータタイル近傍のプラズマ壁相互作用研究を進めた。また, HU Youjun 博士等とNIFSの協力により, EAST装置におけるフィッシュボーン不安定性に関するシミュレーションの共同研究を推進した。DUTとの研究交流では, WANG Dezhen 教授のグループとNIFSの協力により, EAST装置の周辺プラズマモデリング研究に着手した。SWIPと京都大学の共同研究では, HL-2AプラズマにおけるLモードの基本特性や磁場構造や運動量/熱入力と内部輸送障壁形成の因果関係について, 京都大学側で得られたシミュレーション結果と比較・検証することで, 同研究を進めた。

また, NFRIと京都大学の間における研究では, 熱源駆動型乱流輸送シミュレーションにおいて得られた乱流輸送現象の統計的性質や, イオン温度勾配モード/捕捉電子モードに対する磁気面形状効果等に関する相互検証を行い, 共同研究を推進した。

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, オーストラリア・ブリスベンで開催された(平成28年12月4-8日)第13回アジア太平洋・物理国際会議(APPC)・第22回オーストラリア物理会議で「Progress of International Collaboration among China, Japan and Korea on Plasma Physics based on A3 Foresight Program Collaboration - Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas - (A3フォーサイト事業に基づくプラズ

マ物理に関する日中韓国際共同研究の進展「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成-」という題目で口頭発表（発表者：森田繁）を行った。

R-1 (カテゴリーI) :

交換型不安定性の制御は、ヘリカルプラズマの定常安定維持の観点から必要不可欠である。プラズマ中で回転している交換型不安定性が停止する直前に磁気島構造に変化することがLHDでの共同研究を通して明らかになりつつある。平成28年度には、電子サイクロトロン放射(ECE)計測、CO₂レーザー干渉計、ドップラー反射計等を用いて交換型不安定性の内部構造を詳細に調べた。その結果、磁気島構造周辺のプラズマ流速度等の物理量を明らかにすることができた。交換型不安定性がトカマクと同様の磁場構造(磁気島)に変質し、プラズマ回転の停止後大きく成長する。しかし、プラズマ崩壊には至らず、エネルギー損失はプラズマが有するエネルギーの約50%に留まることが判明した。今回共同研究を通して明らかになったこれらの実験事実は、ヘリカルプラズマでは、MHDモードの回転を外的に制御することにより不安定化が予測されるプラズマ領域においても制御可能であることを示唆している。共同研究の結果得られたこれらの成果は、EAST・KSTARトカマクやKTX逆転磁場装置でのロックモードのより深い理解につながることを期待される。

R-2 (カテゴリーIIa) :

EAST装置での長時間放電におけるタングステンの振舞いとその不純物制御に関して、A3経費以外の外部資金を用いてプラズマ・壁相互作用国際会議(イタリア・ローマ・5月30日-6月3日)で、その共同研究成果を発表すると共に、Nuclear Materials and Energy誌に論文成果として共同発表した。また、コアプラズマの不純物輸送に関する共同研究を実施した。不純物輸送とMHD現象の関連についての共同研究成果をIAEA核融合エネルギー会議(京都・10月17日-22日)で発表した。共同研究中に内容を吟味し、結果の一部を修正した上で、Nuclear Fusion誌に投稿した。

EAST装置では新たに不純物を定量化するためのコンピュータプログラムを共同研究を通じて開発した。全てのEAST放電で5ms毎に不純物スペクトルを観測しており、この視線方向に積分された波長スペクトルをプラズマの形状と計測した温度・密度から、仮定した不純物量を基に再現することで、不純物の定量化が可能になる。ここで開発した定量評価精度は高くないが、EASTプラズマには非常に多くの不純物(ヘリウム、リチウム、炭素、酸素、シリコン、鉄、銅、モリブデン、タングステン等)が混入しており、おおよその値が把握できるだけでも、放電の改善を目指すうえで非常に大きな指針となる。特にタングステンの振舞いに関する定量解析は、良好なEAST放電を維持する上で非常に大切になっている。

HL-2A装置において低価数タングステンに関する共同研究を継続し、コアプラズマの不純物輸送をMHD振動と関連付けて解析を進めた。低価数タングステンはレーザーブローオフ(LOB)法によりタングステンを入射することにより観測しているが、LOBの後でもバース

卜的に低電離タングステンイオンからのスペクトルを観測することができる。LOBで入射したタングステンがダイバータに堆積し、プラズマ位置が上下もしくは水平方向に不安定になる際に、スクレイプ層のプラズマがダイバータ付近に接触することでタングステンのスパッタリングが生じているものと思われる。この現象と低電離タングステンイオン放射を組み合わせることにより、コアプラズマに流入するタングステンイオンの入射束を計測できることが分かった。スペクトルの放射モデルを用いて低価数タングステンの放射係数を計算することにより、タングステン入射束を導出することに成功した。ここで得られた結果はITERのタングステン輸送を定量的に研究するにあたって、非常に大きな前進となる。

PWI研究として実施した共同研究内容を下記に示す。

- 1) 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)
- 2) 壁リサイクリング評価のための動的レスポンスの評価 (EAST)

EAST および KSTAR 装置において、タングステン材料を中心にプラズマ照射実験を行い、材料中の水素同位体リテンション量について評価した。引き続きそのタングステン被覆膜について、重量測定による空孔率評価、および透過型電子顕微鏡、X線回折像による構造特性評価を核融合研で実施した。この結果、水素同位体リテンション量の増加が結晶状態に強く依存することが明らかになった。EAST装置で得られた初期結果をA3経費以外の外部資金を用いてプラズマ・壁相互作用国際会議(2016年5月、ローマ)で発表した。同時に、共同研究成果をNuclear Materials and Energy誌に投稿した。また、KSTARで実施した共同研究実験成果をICFRM国際会議(2017年11月、青森)で発表するため、会議アブストラクトを投稿した。次に、EAST装置におけるタングステンダイバータ配位での動的リテンションに関する共同実験を実施した。100秒以上の定常プラズマ維持を目指すEAST装置では、壁リサイクリングの定量評価は非常に重要な課題の一つである。定量評価の為の燃料ガス間歇入射法として超音速分子ビーム入射(SMBI)を活用し、間歇ガス入射が終了した後の線平均電子密度の減衰時間を解析した。比較的短いSMBIパルス幅(10ms及び20ms)に比べて、長いパルス幅(30ms)ではガスの入射量が増大するにもかかわらず、密度減衰時間が減少した。この減衰時間の変化は壁リサイクリング比と粒子閉じ込め時間に依存しているが、壁リサイクリングの変化は少ないと考えられる。粒子閉じ込め時間を含む周辺プラズマパラメータの変化が主な要因と推測され、長時間放電の維持に関して興味深い結果を得た。今後、密度・温度分布等を考慮したより詳細な解析が期待されている。

日本(電気通信大学、核融合科学研究所)と中国(復旦大学)のEBIT装置、および日本(首都大学東京)のECRIS装置を用いた分光研究により蓄積されたタングステン多価イオンデータを活用し、LHD装置、EAST装置及びHL-2A装置で観測したタングステンの発光線の同定とスペクトル解析を行った。原子分子分野と核融合分野との直接の共同データ解析により、コアプラズマでのタングステン多価イオン発光線の理解が格段に進み、不純物輸送研究の基礎データ構築に大きく寄与した。特に、日本と中国のEBIT装置を用いたタングステン多価イオン発光スペクトルの共同研究では世界をリードする研究成果が出ている。原子分子分野では主要な国際会議となる多価イオン物理に関する国際会議HCI(平成28年

9月11-16日、ポーランド)及び原子分子データとその応用に関する国際会議 ICAMDATA (平成28年9月25-29日、韓国)において、上記の共同研究成果を招待講演として発表した(必要経費はA3経費以外の外部資金を使用)。また、IAEA主催の技術会合(Uncertainty Assessment and Benchmark Experiments for Atomic and Molecular Data for Fusion Applications, 平成28年12月19-21日、IAEA本部、オーストリア)でも招待講演として今回の成果を発表した(必要経費はA3経費以外の外部資金を使用)。本事業による共同研究成果は、核融合エネルギー開発のための原子過程データとして高い価値を有していることが国際的に認知された。

R-3 (カテゴリーIIb) :

周辺局在化モード(ELM)を安定化する効果が期待される外部摂動磁場と周辺プラズマとの相互作用に関する研究を推進した。LHD装置では高速粒子が駆動するEICと呼ばれるMHD揺動を外部摂動磁場により安定化する実験を共同研究として行った。EICはLHDヘリカル磁場の磁場強度が弱い部分に捕捉された粒子の歳差運動周波数がMHD揺動と共鳴することにより生じる。外部摂動磁場がプラズマによって磁気遮蔽されずにプラズマ中に浸透した場合に限ってMHD不安定性が抑制される現象を初めて発見した。プラズマ中に外部摂動磁場が浸透しMHD不安定性が抑制される時、MHD揺動のモード構造が複雑に変調されることを突き止めた。周辺磁場構造の変化に対応している可能性があり、MHD不安定性抑制現象の詳細な物理機構解明に向け、引き続き検討を進める。

次世代の高い中性子発生を伴う高性能装置で使用予定のシンチレータを用いた軟X線計測装置の特性について、また、VUV光のイメージング計測装置の特性結果について米国・RSI誌に共同研究成果として論文発表した。複雑なMHD揺動を解析するために新たに開発した解析手法についても同RSI誌に論文発表した。

R-4 (カテゴリーIII) :

重水素(D)プラズマ放電においてはD-D核融合反応の結果、1MeVのトリトン(T)が生成される。1MeVトリトンは速度空間において等方的であり、ラーマー半径や歳差ドリフト周波数はアルファ粒子のそれらと近いので、トリトンの挙動を精査することによりアルファ粒子の挙動を推定することができる。トリトンはプラズマ中での減速過程で、僅かながら2次核融合反応、所謂、D-T反応を起こし、14MeV中性子を発生させる。放射化箔システムを用いてKSTAR装置において発生した14MeV中性子を選択的に測定することにより、トリトンの挙動について調べた。磁場強度を一定にし、トリトン燃焼率(DT中性子発生量/DD中性子発生量)とプラズマ電流値 I_p の関係を調べたところ、 I_p の増加に伴うトリトン燃焼率の増大を観測した。 I_p の増加に伴い粒子軌道の磁気面からの偏差が小さくなるので、放射化箔による今回の計測結果は、 I_p 増大に伴う粒子軌道の改善効果を明瞭に示している。今回の実験で得られた初期結果について、日韓共著の形で査読付き論文として出版した。現在、KSTAR実験で求めたトリトン燃焼率を古典的減速過程から予測される理論値と比較し、

解析を進めている。

中国・EAST 装置（等離子体物理研究所）では、日中共同で立ち上げたシンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ(FILD)による損失高速イオン束の測定を行った。超音速分子ビーム入射やペレット入射時に損失高速イオン束の増大を観測した。同様に、3次元共鳴摂動磁場を印加した場合にも損失高速イオン束の増大を観測した。現在、データ整理・解析を進めている。建設したFILD装置及び初期測定データを中心に、得られた成果を日中共著の形で査読付き論文として出版した。

800 MBq の ^{252}Cf 中性子源を用いた中性子フラックスモニタ (NFM) のその場中性子束絶対値較正を日中韓共同研究として、核融合科学研究所主導で実施した。KSTAR 装置や EAST 装置では、NFM のその場較正がなされておらず、今回の共同研究はそれぞれの装置で絶対較正を進める絶好の機会となった。日中韓の3装置 (LHD, EAST 及び KSTAR 装置) でリアルタイムに中性子発生率・量の評価ができれば、装置間での直接的且つ定量的な高エネルギーイオンの閉じ込めに関する研究を推進できることになり、核融合科学研究所で実施した共同研究は非常に大きな意義を有している。

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観測されたフィッシュボーン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。EAST 装置のダイバータを模擬した2次元粒子コード PICS2 により表面への粒子および熱流束分布計算、3次元流体コード EMC3-EIRENE のための EAST 周辺プラズマ計算グリッド作成プログラムの導入、同流体コードによる PREFACE 装置プラズマの計算および装置形状を取り入れる方法の検討を行った。

中国・大連理工大学との研究交流では、EMC3-EIRENE 用 EAST 周辺プラズマ計算グリッド作成プログラムの導入を行った。中国・西南物理研究院と京都大学の研究交流では、HL-2A において観測された SMBI による非局所輸送現象や内部輸送障壁形成に関する実験結果を提供してもらうと共に、京都大学側のシミュレーションで得られた熱源駆動型乱流の非局所乱流構造や運動量入射による内部輸送障壁形成メカニズムについて説明を行い、両者の共通点について議論を行った。

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た。

6-3 若手研究者育成

本A3事業全体に関連する事柄として、他財源 (JST さくらサイエンス) を利用して、中国側拠点大学である中国科技大学 (USTC) から10人の修士学生を招請し、核融合科学研究所で1週間にわたり核融合研究に関連した講義を行った。本A3事業の各キーパーソンが中心となって講義を担当した。また、各大学院生の今後の進路指導や研究の詳細について個別議

論も同時に行った。また、中国・福州で外部資金を用いて「China-Japan Collaborative Workshop on Stability and Transport of Edge Plasmas」と題するワークショップを平成29年3月に2日間の日程で開催し、大学4年生・大学院修士課程1年生を含め11名の日本人学生を招請し（日本人参加者：16名）、英語で口頭発表の機会を設けた。大部分の学生が初めての英語口頭発表で緊張していたが、貴重な経験となった。

R-1 (カテゴリーI) :

平成28年12月タイにおいてアジア冬の学校を開催し、東南アジア地域に住む大学院生に対して最新の核融合研究について講義を行った（核融合科学研究所が必要経費を支出した）。平成29年2月には、中国科学技術大学においてセミナーを開き、若手研究者・大学院生に向けた研究講義を行った。

R-2 (カテゴリーIIa) :

2名の中国人大学院生及び1名の中国人ポスドク学生の研究指導を行い、そのうちの1名が平成28年9月に理学博士の学位を取得した。また、中国・等離子体物理研究所(ASIPP)で若手研究者や大学院学生に「Core and edge impurity transport（プラズマコア部及び周辺部の不純物輸送）」と題して、古典輸送、新古典輸送及び乱流輸送について、修士課程学生を念頭に講義を行った。博士課程学生の学位取得に向け、具体的な研究の方向性等、中国側の教官と共に議論し、大学院学生に対して直接的な指導も行った。

R-3 (カテゴリーIIb) :

2次元VUVカメラシステムについて共同研究を実施している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（王智君：平成27年10月－平成28年9月NIFS滞在）の学生指導を行った。本プロジェクトグループでの指導の下、総研大で博士の学位を取得し、COE研究員としてNIFSで研究を行ってきた中国人若手研究者（杜曉第博士）が、実績を認められて米国の大学での博士研究員として独り立ちした。さくらサイエンスプランを利用して来日した中国人学生に対してイメージング計測の基礎技術について講義を行った。

R-4 (カテゴリーIII) :

中国・等離子体プラズマ物理研究所、韓国・国立核融合研究所(NFRI)及びソウル国立大学から若手研究者（ZHONG Guoqiang (ASIPP)：平成28年11月2－15日）及び博士課程学生（CHEON MunSeong (NFRI)：平成28年11月13－20日、J0 Jungmin (ソウル大学)：平成28年10月23－26日）を核融合科学研究所で受け入れ、LHD重水素実験に先立って実施した中性子フラックスモニタのその場絶対較正を日中韓共同で実施した。また、本事業の支援の下、これまでKSTAR装置において損失高速イオン挙動について研究指導を行ってきた韓国・科学技術大学のKIM Jun-Young氏が、博士の学位（論文題目：Study on fast-ion

loss associated with external magnetic perturbation in KSTAR) を取得した。カテゴリーIII キーパーソンの核融合科学研究所・磯部光孝教授は、学位審査会のメンバーとして NFRI に招聘され、審査に参加した。

R-5 (カテゴリーIV) :

核融合科学研究所 (NIFS) が中国・等離子体物理研究所 (ASIPP) の若手研究者 3 名を受け入れ、EAST 装置における周辺プラズマのシミュレーション研究を指導した。NIFS の研究者が ASIPP の大学院生による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を指導し、その成果をまとめた論文が学術誌に掲載された。

6-4 その他 (社会貢献や独自の目的等)

R-1 (カテゴリーI) :

核融合科学研究所において夏の体験入学やアジア冬の学校で一般大学の学部学生・大学院と教育交流を行い、核融合科学研究所のオープンキャンパスでは一般市民を対象にした教育講義を行った。また、核融合科学研究所の国内共同研究先の大学やその近隣大学で核融合研究の現状に関する講義を行い、科学研究の啓蒙・広報活動を実施した。総合研究大学院大学への入学希望者を募るため留学生フェアを開催し、また大学の研究室訪問を行うと共に、学生への科学研究への啓蒙活動を実践した。

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島津製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。また、当初使用した EUV 分光器の波長分解能はあまり高くなく、それがレーザーを用いた設置方法にあり、結果として回折格子の設置角度誤差が大きくなっていることを突き止めた。結果を分光器製作者 (株) 伸精機と議論し、設置方法を細いピンを組み合わせた新しい手法に切り替えた結果、回折格子の設置精度が一桁向上し、分光器性能の向上が大きく改善した。分光器性能が向上した結果、中国を含め分光器販売が拡大し、(株) 伸精機の経営に大きく貢献した。

R-3 (カテゴリーIIb) :

タイチェンマイで開催された「総合研究大学院大学・核融合科学専攻・冬の学校」において、学部学生を中心に磁場閉じ込めプラズマ実験の基礎について講義をした。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。

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韓国・国立核融合研究所 (NFRI) の若手研究者・大学院生、ソウル国立大学の大学院生、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、総合研究大学院大学大学院生、名古屋大学大学院生を主体とする研究体制を構築した。東アジアの各国で研究を進める若手研究者が協同で同じ課題に取り組むことで核融合科学の活性化に寄与した。

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スーパーコンピュータとバーチャルリアリティの見学コースを設け、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。平成28年度には特に中学生や高校生を対象に、コンピュータ科学や理論的考察を課題として説明や応対を容易に且つ丁寧にした。理科(物理)学習への興味喚起を目的として見学コースを工夫した。

6-5 今後の課題・問題点

R-1 (カテゴリーI) :

EAST, KSTAR, HL-2A, KTX 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。特にロックモードの減速機構の解明に向けたデータ解析を優先的に進める。また、トカマク、ヘリカルプラズマのプラズマ解析用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) :

不純物輸送に関連して、共同研究として成果が上がっているものの、未だ論文としてまとまっていない課題が多く存在する。本A3事業はあと数か月を残すのみになっているが、今後とも共同研究を継続し、成果を論文として発表していく作業を進める。

R-3 (カテゴリーIIb) :

中国との共同研究による計測器開発については当初の予想を上回る成果を得たが、韓国での共同研究の進行が遅れ気味になっている。共同研究に費やす時間を増やし、開発計画の効率化を検討することにより、速やかな共同研究活動の進展を計る。異なるプラズマ装置で収集したデータを統一された形で解析できる基盤ソフトウェアを開発する予定にしていたが、進行が遅れ気味になっている。より効率的な研究計画の立案を進める。

R-4 (カテゴリーIII) :

日中韓における複数機関・大学と親密な研究連携を既に確立しており、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。2017年3月から LHD 装置で重水素実験が始まり、先行して重水素実験を実施している EAST 装置及び KSTAR 装置と同じ環境が整った。今後、LHD 装置を有する核融合科学研究所が主導的に高速イオン閉じ込め研究課題に取り組み、EAST 及び KSTAR 装置の実験結果を併せて総合的に高速イオンの輸送物理過程を議論することにより、トロイダルプラズマの高速イオン輸送に関する包括的な理解を進める。

R-5 (カテゴリーIV) :

核融合科学研究所と中国・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ン固有モードとフィッシュボーン不安定性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、実験結果の再現性を高めるため、高エネルギー粒子速度空間分布モデルを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

(1) 平成28年度に学術雑誌等に発表した論文・著書	151本
うち、相手国参加研究者との共著	37本
(2) 平成28年度の国際会議における発表	42件
うち、相手国参加研究者との共同発表	16件
(3) 平成28年度の国内学会・シポジウム等における発表	18件
うち、相手国参加研究者との共同発表	6件
(※ 「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28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				
28年度の研究 交流活動	<p>平成28年度は中国科学技術大学において逆磁場ピンチ (RFP) 実験装置 KTX での RFP プラズマ生成実験とプラズマ性能改善に向けた電源増強に関する共同研究を実施した (政宗貞男:平成29年2月26-28日, 三瓶明希夫:平成29年2月26-28日). KTX 装置では研究の第一段階として, 初期プラズマ生成と RFP 放電の最適化を進めている. トロイダル磁場を反転しないトカマク型放電では, プラズマ電流値が 200 kA を上回り, 放電時間も 20ms を超える放電を達成している. トロイダル磁場を反転させる逆転磁場型放電では, プラズマ電流値が 60kA 程度で, 2ms の RFP 配位持続時間を得ている (全放電時間は 5ms). RFP プラズマの更なる高性能化 (電流値の増大, 逆転磁場配位維持時間の伸長, トロイダル周回電圧の低減化) に向けて, 逆転磁場放電のピンチパラメータと反転パラメータの調整 (最適化) を進めている.</p>				
28年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>KTX 装置で採用している特徴的な計測の一つである真空容器内外での磁場測定による渦電流および渦電流がつくる不整磁場の評価法や KTX プラズマを対象とした NIMROD モデリングについて協同して議論した結果, 具体的な改善案を見つけることができた. KTX の第二段階実験では, より大きなプラズマ電流 (500kA), より長い放電時間 (100ms) の達成を目標としている. 電源増強によるプラズマ電流増加率改善策やトロイダル磁場反転時刻の調整方式等, 具体案を得ることができた. ティアリングモードモデリングに関する共同研究も実施することで合意した.</p>				

平成24～26年度採択課題用

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				
28年度の研 究交流活動	<p>本 A3 フォーサイト事業の開始と共に進めてきた EAST 装置での EUV 分光システムがようやく平成 28 年度に完成した。分光システムは 3 台の EUV 分光器から構成されている (10-100 Å 及び 50-500 Å 領域計測用 EUV 分光器, 空間分布計測用 EUV 分光器)。空間分布計測用分光器の設置・較正・データ取得のために日本人研究者を ASIPP へ派遣した (森田繁: 平成 29 年 1 月 3-17 日, 大石鉄太郎: 平成 29 年 1 月 3-6 日)。中国側からも中国人研究者が NIFS に滞在し (張凌: 平成 28 年 11 月 2-15 日), 共同研究成果の論文投稿に関して議論を行うと共に, LHD 及び EAST 装置で得られたタングステンイオンの空間分布データを比較検討した。HL-2A 装置では, MHD 振動と不純物輸送の相関を共同研究した。また, 現在建設している次期装置 HL-2M の分光計測やダイバータ分光の設計仕様や具体的分光機器について HL-2A 診断用ポートやダイバータ形状を基に議論・検討した。そのために日本人を SWIP に派遣し (森田繁: 平成 29 年 3 月 21-30 日), また, 中国人を NIFS に滞在させる (黄淵: 平成 28 年 5 月 8-14 日, 王瑜琴: 平成 28 年 5 月 8-14 日) ことにより共同研究を実施した。J-TEXT 装置での X 線分光計測で得られたプラズマ回転に関するデータ解析を行うため, 総研大・博士課程大学院生を華中科技大学に派遣した (劉洋: 平成 29 年 1 月 1-15 日)。</p> <p>EAST 及び KSTAR 装置において九州大学および蘭州化学物理研究所で成膜したタングステン被覆膜をプラズマへ曝露し, 水素同位体リテンション量の評価を行った。これまで膜の構造特性が正確には不明であったが, 核融合研にて詳細分析を行うことで特性が明らかになった。水素リテンションについても総量のみならず深さ方向分析による評価が可能になり, より詳細な水素同位体捕捉過程についての理解が進むことが期待される。EAST 装置におけるタングステンダイバータ配位での動的リテンション評価のために, 4 時間のマシンタイムを確保し共同研究を実施した。間歇的ガス導入法として超音速分子ビーム入射を活用したガス停止後の密度減衰測定法による動的リテンション研究に関する共同実験を実施した。現在, ASIPP 担当者と共同でデータ解析を進めている。</p>				

	<p>平成28年7月25-29日の日程で、中国・成都（SWIP主催）においてA3経費以外の外部資金を用いて日中韓合同ワークショップ（Atomic and Molecular Processes in Plasma, AMPP2016）を開催した。また、西北師範大学（中国）（丁晓彬：平成29年1月9-15日）及びNFRI（韓国）（Mi-Young SONG, Dae-Chul KIM, Won-Seok CHANG, Jong-Sik KIM：平成29年3月1日）の研究者がNIFSを訪問し、それぞれ原子過程データに関する共同研究を実施した。日本（電気通信大学、核融合科学研究所）と中国（復旦大学）のEBIT装置、および日本（首都大学東京）のECRIS装置を用いた分光研究により蓄積したタングステン多価イオンデータに基づき、LHD装置、EAST装置及びHL-2A装置で観測したタングステンの発光線の同定とスペクトル解析を共同研究として実施した。</p>
<p>28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>タングステン被覆膜を重水素プラズマへ曝露する実験を行い、結果を詳細に分析した結果、重水素リテンション量が被覆膜の結晶構造特性に大きく依存することを明らかにした。実際のトカマク装置（EAST, KSTAR）</p>

の第一壁で本実験を実施したので、結果は ITER 装置での第一壁対向材の特性評価を可能にする。重水素総保持量が高い堆積膜では重水素はその拡散のため界面まで到達しており、同膜は微結晶質であることが明らかになった。一方、結晶性の高い堆積膜では重水素は表面近傍のみに存在した。堆積膜の構造により重水素分布が大きく異なり、深さ方向分析も併せた今回の新しい分析手法により水素同位体捕捉に関する理解が格段に進んだ。EAST 装置で実施した共同研究結果の一部を PSI 国際会議で報告した。

A3 経費以外の外部資金を用いて日中韓合同ワークショップ (Atomic and Molecular Processes in Plasma, AMPP2016, 平成 28 年 7 月 26-28 日) を中国・成都で開催し、日中韓から 63 名の原子分子とプラズマ分野の研究者が参加した。タングステン多価イオンの原子過程データについて各国装置での実験結果や異なるデータベース間の比較・検証を行い、不純物輸送研究に必要な原子データが充実した。学生による口頭研究発表 (日本からは 2 名) も実施し、若手研究者育成に努めた。日本と中国の EBIT 装置を用いたタングステン多価イオン発光スペクトルについての本事業による共同研究成果を原子分子分野の主要な国際会議で招待講演として公表した。IAEA 主催の技術会合 (韓国・群山, 平成 28 年 9 月 26-29 日) でも 2 件の招待講演を行い (A3 経費以外の外部資金を利用), 核融合エネルギー開発のための原子過程データが高い評価を得た。

平成24～26年度採択課題用

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) 大館暁・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				
28年度の研 究交流活動	<p>周辺 MHD 揺動現象の理解とその制御のためには、現象をより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を EAST 装置に実装し、共同実験を開始した。日本側から総研大・博士課程在学大学院生一名が4週間、等離子体物理研究所に滞在して実験を実施した（坂東隆宏：平成28年9月28日－10月15日、12月3－16日）。学生の指導には、日本側研究者及び中国側研究者で共同して、学生の指導を行った。また、計測器開発における今後の効率的な進め方と得られたデータの解析手法について打合せを等離子体物理研究所で行った。</p> <p>LHD 装置で使用していた X 線計測器を韓国・KSTAR 装置へ移設する作業を開始した。既に計測器の一部は NFRI に到着した。KSTAR 装置への計測器の実相に関して共同研究を実施した。</p>				
28年度の研 究交流活動から得 られた成果	<p>高中性子束下での次世代高性能プラズマ計測用に開発を進めてきた軟 X 線揺動計測器を EAST 装置に実装し、その基本的動作・機能について EAST プラズマ観測を通して試験を行った。計測機器が順調に稼働し、データ取得に特段の問題がないことを確認した。今後の共同研究に向け、大きな進展を得た。</p> <p>大型ヘリカル装置で観測される高エネルギー粒子駆動抵抗性交換型モードの解析を共同研究として実施し、それらモードと外部摂動磁場との相互作用について理解が進んだ。EAST 装置や KSTAR 装置においても同様に外部摂動磁場を用いた周辺 MHD 研究を精力的に進めており、今回の成果は、日中韓の共同研究の進展に向け、大きな前進となった。</p>				

平成 24～26 年度採択課題用

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				
28 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。シンチレータを用いた損失高速イオン検出器 (FILD) はその課題解明のために必須な計測機器として位置付けられている。FILD を用いた中性子計測共同研究実施のため、平成 28 年度には、A3 事業の韓国側拠点である国立核融合研究所の KSTAR 装置で研究を行っているソウル国立大学・大学院生 1 名を核融合科学研究所にて、2 度受け入れた (JO Jungmin : 平成 28 年 10 月 23 日-11 月 26 日, 平成 29 年 2 月 26 日-3 月 31 日)。KSTAR 重水素プラズマ中の 1 MeV トリトンエネルギー減速に伴い生じる 14MeV 中性子の測定結果を基に、トリトン挙動に関する解析を共同で行った。また、同大学院生は LHD 重水素実験にも参加し、トリトンに起因する 14MeV 中性子の測定を共同で行った。ヘリカル型装置 LHD とトカマク型装置 KSTAR における 1MeV トリトンの閉じ込め特性の比較解析した。核融合科学研究所の指導により韓国・科学技術大学の大学院生が FILD を用いて KSTAR の損失高速イオン挙動研究を行っていたが、平成 28 年度に無事博士の学位を取得した。</p> <p>中国との共同研究では、日本側研究者 2 名を A3 事業中国側拠点である等離子体物理研究所へ派遣し、中性子計測機器に関して情報交換を行った。同研究所の若手研究者 1 名を核融合科学研究所で受け入れ、LHD の中性子フラックスモニタのその場較正を参加した。LHD 装置では中性子エネルギースペクトロメータ (NES) の導入を計画している。高検出効率を有する NES の開発を既に進めている北京大学重粒子物理研究所副所長の FAN Tieshuan 教授と大学院生 1 名を受け入れ (FAN Tieshuan : 平成 28 年 12 月 18-22 日, GE Lijian : 平成 28 年 12 月 18-22 日), 同大で開発した NES の LHD 装置への実装に向けた議論を開始した。また、</p>				

平成24～26年度採択課題用

	<p>西南物理研究所 (SWIP)・HL-2A 装置との研究交流では、日本側研究者2名を SWIP に派遣し (磯部光孝:平成 28 年 8 月 28 日-9 月 3 日, 小川国大:平成 28 年 8 月 28 日-9 月 3 日), 次期装置・HL-2M における FILD の設計を共同研究として行った。</p>
<p>28 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 FILD の実装を終え, 現在, 計測器は本格稼働している。平成 29 年 3 月から LHD 装置では重水素実験が始まり, ようやく中性子が高速イオン研究の測定手段となり, 3 装置において同じ条件下で高速イオン閉じ込め研究を実施できる環境が整った。本事業におけるカテゴリーIII の日本側キーパーソンが第一著者の「Recent Advances of Scintillator-based Escaping Fast Ion Loss Diagnostics in Toroidal Fusion Plasmas in Japan, Korea, and China」と題した論文が米国・Fusion Science and Technology 誌に掲載された。KSTAR 装置のトリトン閉じ込め特性について纏めた「Triton burnup measurements in KSTAR using a neutron activation system」と題する論文を共同研究成果として RSI 誌に公表した。また, EAST 装置での共同研究では, 「Scintillator-based fast ion loss measurements in the EAST」と題した論文を RSI 誌に出版した。カテゴリーIII における共同研究は非常に順調に推移し, また多くの成果を挙げている。</p>

平成24～26年度採択課題用

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	<p>(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</p> <p>(英文) Theoretical and simulation study of instabilities and transport in high-performance plasmas</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職	<p>(和文) 藤堂泰・核融合科学研究所・教授</p> <p>(英文) TODO Yasushi, National Institute for Fusion Science, Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文) XIANG Nong, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Professor</p> <p>KIM Jin-Yong, National Fusion Research Institute, Group Head</p>				
28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(藤堂泰:平成29年1月15-19日, 河村学思:平成29年2月19-26日), 中国・西南物理研究院(SWIP)に1名(王灝:11月27日-12月3日), 中国・大連理工大学(DUT)に1名(岸本泰明:平成29年1月15-18日), 韓国・国立核融合研究所(NFRI)に2名(今寺賢志:平成28年12月13-15日, 岸本泰明:平成29年3月12-15日)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3名(牛国鑑, 徐倩, 杨钟时:平成28年11月7-28日)を招聘した.</p> <p>ASIPPとの研究交流活動では, EAST装置におけるフィッシュボーン不安定性のシミュレーション研究を推進し, 日本側研究者がASIPPの大学院生の論文作成を指導した. またEMC3-EIRENEコードおよびPICS2コードを使用し, EAST周辺プラズマおよびダイバータタイル近傍のプラズマのモデリング, 直線装置PREFACEのプラズマモデリングについて共同研究を進めた.</p> <p>DUTとの研究交流活動では, EMC3-EIRENEコードによるEAST周辺プラズマモデリングについて共同研究に着手した. SWIPとの研究交流活動では, Lモードプラズマの基本特性や内部輸送障壁の形成要因に関して議論を行い, 実験とシミュレーションの比較・検証を行った.</p> <p>NFRIとの研究交流活動では, (1)熱源駆動型乱流の統計解析, (2)ITG/TEM不安定性に対する磁気面形状効果, (3)運動量ソースの導入による内部輸送障壁形成, (4)運動論的電子を導入したジャイロ運動論シミュレーションに関して主に意見交換を行った.</p>				

28年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>ASIPP との研究交流活動では、EAST 装置の実験において観測されたフィッシュボーン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 装置用の計算グリッド構築プログラムの導入および PREFACE 装置の形状を取り込む方法の検討とともに、ダイバータタイル近傍のプラズマ壁相互作用について論文化に向けた検討を進めた。</p> <p>DUT との研究交流活動では、EAST 装置用の計算グリッド構築プログラムの導入を行った。SWIP との研究交流活動では、両者の比較から、内部輸送障壁を形成する上で安全係数分布や熱入力と運動量入力の割合が重要であると共、Lモードプラズマにおける乱流構造の上下対称性等を計測することでその基本特性を検証することが重要であるとの結論に至った。これらの点については今後も相互比較・検証を進めていく予定である。</p> <p>NFRI との研究交流活動では、前項の(1)-(4)に関する議論の結果、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9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 “9th A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas“
開催期間	平成28年5月7日～平成28年5月20日(4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 中国, 銀川市, レインボーブリッジホテル (英文) China, Yinchuan, Rainbow Bridge 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) HU Liqun, 中国・等離子体物理研究所 (ASIPP), 教授

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ()	
		A.	15/ 88
日本 〈人/人日〉	B.	1	
	A.	32/ 188	
中国 〈人/人日〉	B.	2	
	A.	13/ 77	
韓国 〈人/人日〉	B.	1	
	A.	60/ 353	
合計 〈人/人日〉	B.	4	

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。

平成24～26年度採択課題用

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>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>A3フォーサイトセミナー運営委員会：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中国・コーディネータ (HU Liquin) ・日本・コーディネータ (森田 繁) ・韓国・コーディネータ (OH Yeong-Kook) ・中国側の各キーパーソン・サブキーパーソン ・等離子体物理研究所・国際共同研究課 					
開催経費分担内容と金額	日本側	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">内容</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">金額</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">外国旅費</td> <td style="text-align: center;">2,204,300 円</td> </tr> </table>	内容	金額	外国旅費	2,204,300 円
内容	金額					
外国旅費	2,204,300 円					
	中国側	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">内容</td> <td style="width: 40%;"></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						
	韓国側	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">内容</td> <td style="width: 40%;"></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						

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10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 “10th A3 Foresight Program Workshop on Critical Physics Issues Specific to Steady State Sustainment of High-Performance Plasmas“
開催期間	平成28年11月22日～平成29年11月25日(4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 韓国, ジェジュ島, グラベルホテル・ジェジュ (英文) Korea, Jeju, Grabel Hotel Jeju
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), 副所長

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.	15/	85
	B.	1	
中国 〈人/人日〉	A.	16/	93
	B.	1	
韓国 〈人/人日〉	A.	22/	125
	B.	2	
合計 〈人/人日〉	A.	53/	303
	B.	4	

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運営委員会：</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"> <tr> <td>内容</td> <td>金額</td> </tr> <tr> <td>外国旅費</td> <td>1,646,735円</td> </tr> </table>	内容	金額	外国旅費	1,646,735円
内容	金額					
外国旅費	1,646,735円					
	<p>中国側</p>	<table border="1"> <tr> <td>内容</td> <td></td> </tr> <tr> <td>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"> <tr> <td>内容</td> <td></td> </tr> <tr> <td>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						

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外でどのような交流（日本国内の交流を含む）を行ったか記入してください。

日数	派遣研究者		訪問先・内容		派遣先
	氏名・所属・職名	氏名・所属・職名	内容		
2 日間	2016年 6月 2-3日	森田繁 核融合科学研究所 教授 (日本側研究代表者)	HU Liqun 等離子体物理研究所 教授 (中国側研究代表者)	「日中協力事業の現状と 今後の計画」 コーディネータ会合	等離子体物 理研究所
2 日間	2016年 6月 2-3日	竹入康彦 核融合科学研究所 所長 (実施組織代表者)	WAN Baonian 等離子体物理研究所 所長 (実施組織代表者)	「日中協力事業の現状と 今後の計画」 コーディネータ会合	等離子体物 理研究所
2 日間	2016年 6月 2-3日	磯部光孝 核融合科学研究所 教授 (日本側キーパーソン)	WANG Yuanxi 等離子体物理研究所 中国科学技術大学 教授 (中国次期核融合装置・ CFETR議長)	「日中協力事業の現状と 今後の計画」 コーディネータ会合	等離子体物 理研究所

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

指摘事項： 中国・韓国に比べると日本の貢献度が高い印象がある。

対応： 中韓の核融合研究の歴史が日本と比べると格段に浅く、また、歴史的経緯もあり高い専門性を有するシニアスタッフが育っていないので、同等の貢献を求めるのはかなり無理がある。しかしながら、最近の中国はその豊富な人的資源を活用し、核融合研究の活動を飛躍的に高めている。その中で優秀な若手研究者も育っており、それら若手研究者との共同研究が着実に実りつつある。更に、本事業の援助を得て4-5名の中国人学生が総研大で博士の学位を取得し、現在、等離子体物理研究所や西南物理研究所で職を得て活躍し始めている。平成28年には、彼らを通じた共同研究も開始することができ、研究交流は着実に活性化してきている。本事業を通して、現在総研大には多くの中国人大学院学生が在籍しているが、今後彼らが中国に帰国し、日中協力事業に大きな貢献をなすことが期待される。韓国については、人的資源や予算の補助が日中に比べてかなり少なく、ITER 開発にも人的資源が必要なことから日中と同レベルの共同研究は難しい側面がある。しかし、平成28年度には、プラズマ対向材料の特性、原子分子物理、3次元外部磁場摂動、高速イオン計測等で共同研究が着実に盛んになってきている。

指摘事項： 波及効果に関連して、研究者交流の結果として互いに留学生が増加するなど

の効果が見られると良い。

対応： 通常の留学生の受け入れに加えて、平成27年頃から1年を期限とする中国の大学に在籍する大学院生を核融合科学研究所で研究生として受け入れを始めた。平成28年度には数名の中国人・研究生が核融合科学研究所で学び、論文を公表した。更に、COE 研究員として中国大学院生の採用も増加している。本事業のカテゴリーIIb を中心的に担っていた中国人・COE 研究員がその実績を認められ、現在、米国の大学に就職し、D-IIID 装置で活動を開始した。現在、総研大に在学する大学院生が中国・等離子体物理研究所・EAST 装置に計測装置を設置し、データを取得し、そのデータを解析することにより博士の学位取得を目指している。そのために、等離子体物理研究所に長期間滞在して、共同研究をこなしている。韓国についても、韓国の大学に所属する大学院生の指導をカテゴリーIII の枠組みを利用して日本側主導で行い、平成28年には無事「高エネルギーイオンの挙動に関する研究」にて博士の学位を取得した。また、平成29年3月には、外部資金を利用して、カテゴリーII に関連した「周辺プラズマの輸送と安定性」に関するワークショップを2日間の日程で中国において開催した。ワークショップには合計16人参加者が日本から参加したが、その内11名を大学4年生及び大学院生から選抜した。英語での口頭発表を経験させ、学生同士の人的ネットワーク形成を促すと共に、核融合研究を目指した博士課程への進学を積極的に啓蒙し、将来の若手研究者の育成に努めた。

指摘事項： 研究者交流において日本からの派遣に比べ、中・韓からの受け入れが少ないようである。

対応： 3か国ともA3予算の額や使用範囲に違いがあり難しい側面がある（中国はASIPP、USTC 及びHUST の3つの研究協力機関に予算が分配され、予算を物品購入にも使用可能。韓国は予算総額が少ない）。そこで、数年前より受け入れを増やす一環として中国から大学院学生の核融合科学研究所への長期間（例えば1年間）の受け入れやCOE 研究員として中韓の若手研究者の積極的な応募を推奨している。これと並行して、平成28年度には、9月から2月にわたり、外部資金（さくらサイエンスプラン）を利用して、合計20余名の中国の大学院生（主に修士学生）を1週間、核融合科学研究所に滞在させた。講義の受講と個別議論を行い、将来の日本への留学や日中協力事業への貢献を促した。また、外部資金を利用して、平成28年7月には中国・成都で「日中韓原子分子ワークショップ」を開催し、本事業カテゴリーIIa への積極的な参加を呼び掛けた。

指摘事項： 中国との協力は過去の実績もあり盛んであるが、今後は韓国との協力の強化が望まれる。

対応： 予算的な且つ人的規模が中国とはかなり異なり、韓国では一般に核融合実験に具備されているハードウェアが全て装置に実装されているわけではない。従って、日中間と同等な共同研究を行うのは無理がある。また、韓国・核融合研究所では基本的に学生を就学させるシステムが無かったが、2010年頃に総研大と似たシステムを有する蔚山科学技術

大学 (UNIST) を創設した結果、最近では、韓国・核融合研究所・KSTAR 装置でも学生が研究するようになってきている。この大学に所属する大学院生が核融合科学研究所に短期・長期含め頻繁に滞在し、指導を受け、昨年度博士の学位を取得した。また、原子分子物理・プラズマ対向材料 (カテゴリーIIa), 共鳴摂動磁場 (RMP) による ELM 制御 (カテゴリーIIb), 高エネルギー粒子閉じ込め (カテゴリーIII), MHD 乱流 (カテゴリーIV) の分野で、日韓の共同研究を活性化している。特に、MHD 乱流の分野では、外部資金を活用して、京都大学と UNIST との間で定期的にワークショップを開催している。

指摘事項： 2017 年に中国・HL-2M 装置が、2018 年には日本・JT-60SA が稼働予定であり、これらを考慮して日本の主体性を確保する必要がある。

対応： HL-2M 装置の建設は遅滞しており、稼働は平成 31 年以降になると思われる。従って、当初の予定とは異なり、平成 31 年の夏に予定されている JT-60SA 装置が先に初期プラズマを点火することになる。毎年 2 回開催している A3 セミナーでは JT-60SA 建設の現状に関する情報提供と実験計画を議論するため量子機構 (QST) から研究者の派遣を要請している。JT-60SA 実験での中韓からの共同研究への参加には少なくとも QST を含めた取決めが必要になると思われる。今後、QST との間で情報交換を密にする。HL-2M 装置は現在でもダイバータ構造が最終的に決定されておらず、日本側が主導できる具体的な装置設計等への貢献分野は限られるが、トムソン散乱計測 (カテゴリーI), 不純物輸送 (カテゴリーIIa), 周辺プラズマ安定性 (カテゴリーIIb), 高エネルギー粒子閉じ込め (カテゴリーIII) では、HL-2M 装置での必要な計測機器の設計を共同研究として既に開始している。

8. 平成28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	豪州(第三国)	合計
日本	1		19/ 102 (2/ 12)	()	()	19/ 102 (2/ 12)
	2		()	1/ 5 ()	()	1/ 5 (0/ 0)
	3		3/ 38 (11/ 110)	13/ 70 (2/ 12)	1/ 8 ()	17/ 116 (13/ 122)
	4		8/ 55 (10/ 70)	1/ 4 ()	()	9/ 59 (10/ 70)
	計		30/ 195 (23/ 192)	15/ 79 (2/ 12)	1/ 8 (0/ 0)	45/ 282 (25/ 204)
中国	1	()		()	()	0/ 0 (0/ 0)
	2	3/ 24 (10/ 50)		()	()	3/ 24 (10/ 50)
	3	1/ 5 ()		16/ 93 (1/ 6)	()	17/ 98 (1/ 6)
	4	(16/ 64)		()	()	0/ 0 (16/ 64)
	計	4/ 29 (26/ 114)		16/ 93 (1/ 6)	0/ 0 (0/ 0)	20/ 122 (27/ 120)
韓国	1	()	13/ 77 (1/ 6)		()	13/ 77 (1/ 6)
	2	()	()		()	0/ 0 (0/ 0)
	3	()	()		()	0/ 0 (0/ 0)
	4	()	()		()	0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (0/ 0)	13/ 77 (1/ 6)		0/ 0 (0/ 0)	13/ 77 (1/ 6)
	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	0/ 0 (0/ 0)	32/ 179 (3/ 18)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	32/ 179 (3/ 18)
	2	3/ 24 (10/ 50)	0/ 0 (0/ 0)	1/ 5 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	4/ 29 (10/ 50)
	3	1/ 5 (0/ 0)	3/ 38 (11/ 110)	29/ 163 (3/ 18)	1/ 8 (0/ 0)	34/ 214 (14/ 128)
	4	0/ 0 (16/ 64)	8/ 55 (10/ 70)	1/ 4 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	9/ 59 (26/ 134)
	計	4/ 29 (26/ 114)	43/ 272 (24/ 198)	31/ 172 (3/ 18)	1/ 8 (0/ 0)	79/ 481 (53/ 330)

※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
()	()	()	()	0/ 0 (0/ 0)

9. 平成28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	533,840	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	6,470,465	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	0	
	その他の経費	70,160	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	525,535	
	計	7,600,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		760,000	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		8,360,000	