

**日本学術振興会日中韓フォーサイト事業
事後評価（24年度採用課題）書面評価結果**

領域・分科（細目）	工学・総合工学（核融合学）		
研究交流課題名	球状トーラスにおける革新的トカマクプラズマの立ち上げと電流駆動		
日本側拠点機関名	東京大学		
研究代表者 （所属部局・職名・氏名）	大学院新領域創成科学研究科・准教授・井 通暁		
相手国側	国名	拠点機関名	研究代表者 （所属部局・職名・氏名）
	中国	清華大学	Department of Engineering Physics・ Professor・GAO, Zhe
	韓国	ソウル大学	Department of Nuclear Engineering・ Professor・HWANG, Yong-Seok

評 価
<p>A 想定以上の成果をあげており、当初の目標は達成された。</p> <p>B 想定どおりの成果をあげており、当初の目標は達成された。</p> <p>C ある程度成果があがり、当初の目標もある程度達成された。</p> <p>D 成果が十分にあるとは言えず、当初の目標はほとんど達成されなかった。</p>
コメント
<p>本課題では、日中韓の特徴ある装置を共用することで、球状トカマクの炉芯プラズマ物理の効率的な解明が進められている。</p> <p>学術的側面については、高周波波動（電子サイクロトロン波、低域混成波）を用いた手法と、二つの球状トーラスプラズマの合体を用いた手法のいずれにおいても確実に原理実証を達成し、数十から百 kA に及ぶプラズマ電流の立ち上げを実現した点は評価に値する。また、波及効果として、電子サイクロトロン波/低域混成波によるプラズマ立ち上げ手法が、他の閉じ込め方式である韓国の大型トカマク装置 KSTAR へ共同研究として適用され、磁気面形成の確認やアンテナの開発等が行われたことも評価に値する。一方で、相手国側との共著論文は発表論文全体の比率からすると必ずしも多くなく、本課題による連携が見える形となる成果に関しては、本課題終了後に期待したい。</p> <p>若手研究者の育成については、日本、韓国、中国で開催された夏の学校を含む多くのワークショップに参加する機会を当該分野の大学院生に与えるとともに、国際共同研究を通じて若手研究者育成に役立てるなどの工夫が見られる。日本側参加学生のうち、博士課程修了学生 23 名を輩出し、そのうち 14 名がプラズマ・エネルギー分野を中心とした大学や研究機関の研究職を得たことは評価できる。</p> <p>研究拠点の構築については、日中韓の 3 カ国の研究レベルにばらつきがある中で、日本側の知識と技術を相手国側に導入することで、効率的に成果を得ることができたことは評価できる。また、日中韓の協力体制の下に、6 台の球状トカマクを有効に活用する共同研究として、核融合開発とプラズマ物理学の双方を視野に入れた研究交流活動が展開され、新規プラズマ立ち上げ手法の開発が行われてきている。一方で、本課題でなければできない日中韓の共同成果のプレゼンスや日中韓の連携体制の強化に関して、具体的な取り組みが必ずしも十分でなかったことは残念である。本課題終了後の継続的な活動を維持するための具体的な取り組みについては、今後期待したい。</p>

1. これまでの交流を通じて得られた成果

観 点	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究交流活動を通じて「学術的側面」「若手研究者の育成」「研究拠点の構築」の観点から成果があがったか。 ・ 研究交流活動の成果として優れた研究業績が発表されたか。 ・ 本事業により得られた成果の社会への還元があったか。 ・ 当初予期していなかった活動成果があったか。
-----	---

評 価
<input type="checkbox"/> 想定以上の成果があった。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね成果があった。 <input type="checkbox"/> ある程度成果があった。 <input type="checkbox"/> 成果があったとは言えない。

コメント
<p>・ 研究交流活動を通じて「学術的側面」「若手研究者の育成」「研究拠点の構築」の観点から成果があがったか。</p> <p>学術的側面については、新規プラズマ立ち上げ手法の開発を行い、高周波波動（電子サイクロトロン波、低域混成波）を用いた手法と、2つの球状トラスプラズマの合体を用いた手法のいずれにおいても確実に原理実証を達成し、数十から百 kA に及ぶプラズマ電流の立ち上げを実現した点は評価に値する。さらに波及効果として、電子サイクロトロン波/低域混成波によるプラズマ立ち上げ手法は、他の閉じ込め方式である韓国的大型トカマク装置 KSTAR へ共同研究として適用され、磁気面形成の確認やアンテナの開発等が行われたことも評価に値する。ただ、最終年度報告書においては、本課題の国際連携により初めて得られた学術的成果が必ずしも明確ではなかった。</p> <p>若手研究者の育成については、大学院生等の若手研究者の育成を目的としたセミナーである夏の学校を含む多くのワークショップが日本および相手国で開催され、日本側参加学生の内 23 名が博士号を取得し、14 名がプラズマ・エネルギー分野を中心とした大学・研究機関の研究職に就いていることは評価できる。</p> <p>研究拠点の構築については、日中韓の各々における研究機関にわたり、コンパクトな 6 台の球状トカマクを有効に活用した共同研究が進展し、若手研究者を育成し得る研究拠点が構築されたことは評価できる。</p> <p>・ 研究交流活動の成果として優れた研究業績が発表されたか。</p> <p>本課題実施期間内における発表論文の中で、Nuclear Fusion が 7 編、Physics of Plasmas が 5 編あり、各々核融合工学とプラズマ物理学の両分野の代表的国際学術誌に適切な数の論文がバランス良く発表されていることは評価できる。一方で、国際共著論文数が全論文数に比べて少なく、本課題における国際連携によって得られた成果と、既存の国内連携によって得られた成果の比率が必ずしも明確でない。また、本研究交流活動の成果として記載されている相手国側研究者との共著論文ならびに共同発表の内容</p>

のほとんどが九州大学の QUEST 装置での成果であるように見受けられ、拠点機関（東京大学、清華大学、ソウル大学）の連携による成果のように見受けられない。

- ・本事業により得られた成果の社会への還元があったか。

特になし。

- ・当初予期していなかった活動成果があったか。

高周波波動によって立ち上げられたプラズマ中の高エネルギー電子、及びプラズマ合体に伴う磁気リコネクションにより発生する高エネルギー電子が、共にプラズマ全体の閉じ込めに寄与している可能性が示唆された。これは新たな発展的研究課題として、今後、国際的に継承されることが期待される。

研究者コミュニティの拡大については最終年度報告書における具体的な記述がなかったため判断が難しい。

2. 事業の実施状況

観点	<ul style="list-style-type: none">・ 研究交流目標達成に向けて、「共同研究」「セミナー」「研究者交流」を適切に計画し、実施したか。・ 国内外の拠点機関及び協力機関間の実施体制・協力体制等は適切であったか。・ 研究交流活動の実施にあたり、適切に経費が執行されたか。・ 中間評価における指摘事項等について適切に対応されたか。
----	--

評価
<p><input type="checkbox"/> 想定以上に効果的に実施された。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 概ね効果的に実施された。</p> <p><input type="checkbox"/> ある程度効果的に実施された。</p> <p><input type="checkbox"/> 効果的に実施されたとは言えない。</p>
コメント
<p>・ 研究交流目標達成に向けて、「共同研究」「セミナー」「研究者交流」を適切に計画し、実施したか。</p> <p>共同研究については、プラズマ立ち上げ手法として、高周波波動とプラズマ合体の物理過程に焦点を絞って、6 台の球状トラス装置を共有的に駆使しようとした対応は評価できる。ただ、相手国側との共著論文の件数はもう少し多くてもいいように思える。</p> <p>セミナーについては、ワークショップと夏の学校の 2 種類に分けられ、全期間内で国内開催 4 回、海外開催 6 回の合計 10 回とおおむね効果的に実施されている。ワークショップにおいて、特に平成 29 年度には各装置の成果及び教育的効果に関して総合的評価・整理を行うと共に、今後の協力体制の維持発展を確認した点は重要である。また、夏の学校においては、広範なプラズマ物理学の高度な理論、炉設計・壁相互作用理解・内部構造再構成のための数値解析法等の幅広い分野を大学院生が学ぶ機会を供与した点は評価できる。</p> <p>研究者交流については、適切に計画され、実施されたと思われる。平成 28 年度までに国際学会等へ延べ 16 名（127 日）の派遣を行い、そのうち 10 名は大学院生・ポスドク・助教であったことは、若手研究者の国際的視点での活動を鼓舞する意味で評価できる。</p> <p>・ 国内外の拠点機関及び協力機関間の実施体制・協力体制等は適切であったか。</p> <p>国内の協力機関間に対する実施体制・協力体制は、適切で研究成果に反映していると考えられる。研究の進展に伴って国内協力体制の強化を行い、事業開始時の研究者に加えて 26 名の専門家を途中参加させる等の工夫・改善が見られる。また、多くの大学院生を参加させ人材育成にも貢献できている。</p> <p>一方で、日本側及び相手国側の拠点機関間に関しては、装置共用やセミナー以外にも本課題の特徴を生かした体制の構築について継続的な活動につながる工夫が欲しかった。</p>

た。

- ・ 研究交流活動の実施にあたり、適切に経費が執行されたか。

3カ国の拠点機関が緊密に連携協力できるように、各国で機会・費用を公平に分担して事業実施しているので、適切に経費が執行されたと言える。

- ・ 中間評価における指摘事項等について適切に対応されたか。

中間評価として、大学院生の発表機会の増加、国際共著論文の増加、ネットワークを継続する仕組みの検討の3点が指摘されていた。

大学院生の発表機会の増加については、十分な取り組みがなされたと評価できる。平成26年度以降にポスターセッションを開設した効果が現れ、10名の大学院生・若手研究者が第三国開催の国際会議に派遣された等の改善が見られる。

国際共著論文の増加については、共著の学術論文5編、国際会議7件、国内会議1件の共同発表がなされる等の改善が見られるが、発表論文全体に対する比率からは更なる推進が必要に思われる。

ネットワークを継続する仕組みの検討については、個別の共同研究/セミナー等を維持発展させる方向性が最終的なワークショップで確認されたことは評価できるものの、ネットワーク全体として継続させる具体的な方策までは提示されておらず、検討段階であると思料される。

3. 今後の研究交流活動

観 点	・事業終了後も、当該分野のアジア地域における世界的水準の研究拠点として、継続的な研究交流活動の実施が期待できるか。
-----	---

評 価
<input type="checkbox"/> 想定以上の成果が期待できる。 <input checked="" type="checkbox"/> 概ね成果が期待できる。 <input type="checkbox"/> ある程度成果が期待できる。 <input type="checkbox"/> 成果が期待できない。
コメント
<p>・事業終了後も、当該分野のアジア地域における世界的水準の研究拠点として、継続的な研究交流活動の実施が期待できるか。</p> <p>本課題における各研究機関は世界を先導する機関に匹敵し、球状トラス研究における高い研究能力を有しており、これらの研究機関が連携することにより、当該分野のアジア地域における世界的水準の研究拠点としての活躍は期待できる。一方、継続的な研究交流活動のためには、その仕組みと共同研究で取り組むべき課題の設定が重要であると考えられるが、その具体的な方策は最終年度実施報告書に提示されていなかったため判断することが難しい。</p> <p>本課題では、高周波波動及びプラズマ合体手法で形成された球状トラスプラズマにおいて、高エネルギー電子の生成が共通して観測されており、その存在が球状トラスそのものの平衡及び加熱/電流駆動機構にどのように寄与しているかという解明すべき課題が残されている。これは球状トラスプラズマの新しい研究分野として発展する可能性があり、本課題終了後においては、本課題で培われたネットワークをもとに個別事案（共同研究・国際会議セミナー等）の維持発展を目指すとともに、日中韓3カ国の研究機関における6台の球状トラス装置を統合・共有的に活用して、アジア地域における世界的水準の研究拠点として当該課題解明に挑むことが期待される。</p>