

アジア研究教育拠点事業 平成19年度 実施報告書

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	電気通信大学
(中国)拠点機関：	中国科学院物理研究所
(韓国)拠点機関：	韓国先端科学技術大学
(インド)拠点機関：	タタ基礎科学研究所

2. 研究交流課題名

(和文)：高強度光科学研究のための次世代超短パルスレーザーの開発
(交流分野： 光科学)

(英文)：Development of next generation ultra-short pulse lasers for high field science
(交流分野： Optical science)

研究交流課題に係るホームページ：[http:// http://www.ils.uec.ac.jp/jindex.html](http://http://www.ils.uec.ac.jp/jindex.html)

3. 開始年度

平成 19 年度 (1 年目)

4. 交流実施期間 (業務委託期間)

平成19年 6月29日 ~ 平成20年 3月31日

5. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関：

実施組織代表者 (所属部局・職・氏名)：電気通信大学・学長・益田隆司

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：レーザー新世代研究センター・教授・植田憲一

協力機関：①東京大学、②大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、③日本原子力研究開発機構、④マルチメディア大学 (マレーシア)

事務組織：電気通信大学総務部研究協力課 課長 長沢定義

相手国 (地域) 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) 国 (地域) 名：中国

拠点機関：(英文) Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences (IOP)

(和文) 中国科学院物理研究所

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文)

Institute of Physics · Professor · Jie ZHANG

協力機関：(英・和文)

- ① Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences (SIOM, 中国科学院上海光学研究所)
- ② China Academy of Engineering Physics (CAEP, 中国物理工学研究所)
- ③ Shanghai Institute of Ceramics, The Chinese Academy of Sciences (SIC, 中国科学院上海セラミックス研究所)

経費負担区分：A

(2) 国(地域)名：韓国

拠点機関：(英文) Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)
(和文) 韓国先端科学技術大学

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：(英文)

Department of Physics · Professor · Chang Hee NAM

協力機関：(英・和文)

- ① Gwangju Institute of Science and Technology (GIST, 光州科学技術大学)

経費負担区分：A

(3) 国(地域)名：インド

拠点機関：(英文) Tata Institute of Fundamental Research (TIFR)
(和文) タタ基礎科学研究所

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：(英文)

Atomic & Molecular Sciences · Professor · Deepak MATHUR

協力機関：(英・和文)

- ① Centre for Advanced Technology (CAT, 先端技術センター)

経費負担区分：A

6. アジア研究教育拠点事業としての全期間を通じた研究交流目標

チャープパルス増幅法の発明(G. Mourou, 1985年)により、小型レーザーによる高出力超短パルス光の生成が可能となり、光科学は質的な変化を遂げた。レーザー光による分子過程の制御、アト秒領域の原子・分子科学、光による粒子加速、相対論領域のプラズマ過程など、超高速・高強度光科学に関する研究が活発に進められている。さらに最近は、zeptosecond(10^{-21} 秒)科学や真空の非線形光学などが新たな研究領域として捉えられ、そのための次世代レーザー開発が重要な課題となりつつある。この急速な展開に対応するため、欧州では多くの研究者・研究機関を連携した研究体制が構築され、多様な成果を生み出して

いる。わが国でもこの分野に関する研究が活発に実施されているが、欧米における急速な研究展開を踏まえ、より本格的な体制で研究を加速することが必要となっている。本事業では、近年先端レーザー施設の整備や研究者育成が活発に進められているアジア域の国と連携し、次世代超短パルスレーザーの開発を主たる課題として、高強度光科学に関する共同研究を実施する。

電気通信大学レーザー新世代研究センターでは、1980年の発足当初から新レーザー開発に関し多くの成果を挙げてきた。最近同センターが開発した高出力セラミックレーザーは、高効率高出力次世代レーザーの候補として注目を集めている。東京大学は、強い光場における分子の変形や解離過程の解明と制御など、分子を対象とする超高速光科学研究に関し、国内外の多くの研究者を先導している。大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、核融合用次世代高エネルギーレーザーの開発を目指し、基礎的な技術開発を進めている。また、日本原子力研究開発機構は、ピーク出力約1ペタワット(10^{15} ワット)と世界最高出力の超短パルスレーザーを開発し、超高強度光科学に関する世界的研究拠点となっている。

本事業で連携する外国の拠点・協力機関は、超高速・高強度光科学に関する中国、韓国、インドにおける中核的機関であり、高性能レーザー装置開発と利用研究を実施すると共に、多くの大学院生・若手研究者を育成する重要な機能も担っている。中国科学院物理研究所(IOP)は超短パルス光と固体との相互作用、同上海光学研究所(SIOM)はレーザー材料開発を基礎とする高出力レーザー開発、同上海セラミックス研究所(SIC)はレーザー材料開発、中国物理工学研究所(CAEP)はレーザー電子加速に関し、優れた研究成果を挙げている。また、韓国先端科学技術大学(KAIST)は高次高調波光によるアト秒パルスの生成と利用、光州科学技術大学(GIST)は高強度レーザーによるイオン加速を中核として、活発な研究を行っている。さらにインドのタタ基礎科学研究所(TIFR)は分子光科学、先端技術研究所(CAT)は高出力レーザー開発と高強度プラズマ物理に関し、同国における研究の中核となっている。また、超短パルスレーザーに関する研究を広範囲に行っている Teck Yong Tou 教授(マレーシアマルチメディア大)の本プロジェクトへの参加は、東南アジア域の研究教育拠点の形成に大きな役割を果たすと期待される。

本事業では、これらの機関が連携し、主として以下の課題に関し、共同研究を実施する。

1) 超高速光科学

フェムト秒(10^{-15} 秒)~アト秒(10^{-18} 秒)領域の超短パルスを発生させるための技術開発を行うとともに、その光源を用いて、原子、分子の超高速現象を追跡する。特に、強光子場下において起こる、特異な現象の観測を通じて、光と原子・分子の相互作用の本質を明らかにするとともに、化学結合の解離などのダイナミクスを、光子場をデザインすることによって制御することを目指す。

2) 高強度光科学

テラワット(10^{12} W)~ペタワット(10^{15} W)域の高出力レーザーを用い、レーザー光による電子加速、高エネルギーイオンの生成、高輝度 X 線の生成、新方式 X 線レーザーなどに関する研究を行う。

3) 次世代超短パルスレーザーの開発

超短パルスレーザーの更なる短パルス化、高出力化、効率向上と小型化、制御性向上などを目標として、次世代超短パルスレーザーの開発に関する研究を行う。レーザー材料、光学技術、レーザー設計などの専門家で構成される研究組織を編成し、次世代レーザーの基本設計を実施し、本格的なレーザー開発へ向けての基盤を構築する。

4) 先端学術情報集約

日本側代表者は、先端的学術情報の集約に関し、Applied Optics, Optical Review, Laser Physics Letters など英文国際ジャーナルのエディター、編集長の経験を生かし、日本のジャーナルの電子化出版、オンラインアーカイブの構築に努力してきた。これらの経験をアジア諸国に提供することで、21 世紀の光科学の発展を支える学術情報の集約について、アジア諸国と協力して世界の第 3 極を形成する基盤を養成する。すでに日本の 3 学会（日本光学会、レーザー学会、プラズマ核融合学会）のデジタルアーカイブの構築に成功しており、同様の活動はアジア諸国の先端的学術情報の集約に役立つと共に、日常的な情報交換の場を提供することにつながるものである。

これらの活動を実施するため、本事業を実施する 4 カ国拠点機関のコーディネータ、協力機関の代表者および中核的研究者で構成する「アジアコア高強度光科学委員会」(Asian CORE Committee on High Field Science)を組織し、本事業の立案、実施に当る。また、「アジアコア高強度光科学顧問会」(Asian CORE Advisory Committee on High Field Science)を設置し、本事業に対し評価・助言を受ける。

7. 平成 19 年度の研究交流実績の概要

平成 19 年度は、今までに構築してきた相互交流を元に、日本の研究者と中・韓・印の研究者との間で、互いの研究状況を認識し、意見交換を図りながら、具体的な研究課題の設定を進めた。

7-1. [共同研究：ASILS2008 における研究交流]

超高強度レーザーによる自己位相変調、自己トラップなどの非線形光学、高強度場における原子・分子相互作用から、高エネルギー粒子加速に至る新しい物理や化学の最前線について、Asian Core Program の参加国の主要研究所の研究成果を踏まえて講演、議論を行った。さらに、大規模レーザー設備を持たない周辺 ASEAN 諸国の参加者を交えて、高強度レーザー科学の最先端を紹介し、これら諸国の研究活性化の方策を議論した。

日本、中国、韓国の主要メンバーが集結して、アジアコアプログラムの進め方について意見調整を図った。残念ながら、インド国内のマッチングファンドの決定が遅れたため、インド側メンバーは参加できなかった。

[第 2 回アジアコア高強度光科学夏の学校における研究交流]

昨年北京で開催された第 1 回夏の学校に続いて、中国、韓国、インド、日本の博士課程学生を対象とする第 2 回アジア高強度光科学夏の学校を関西光科学研究所で開催し、研究交流と同時に、若手研究者の育成に努めた。超高強度レーザーで誘起したプラズマ波動に

よって粒子加速を行う物理とレーザー加速器の設計について、18名の講師を招待して講義を受けると同時に、その成果を生かして、実際に10GeVの電子加速を可能にするレーザー加速器の概念設計を学んだ。本プログラムがサポートしたワークショップを開催し、国内外から参加した博士課程学生を3つのグループに分け、別々の機構を活かしたレーザー加速器の概念設計を発表し、互いの長短を比較検討した。

7-2. [セミナー：日中セミナーにおける研究交流]

アジアコアプログラムの国際共同研究のスタートに当たり、中国側研究拠点の一つである上海科学アカデミーにおいて、日中の主要メンバーが一堂に会し、互いの研究計画を披露すると共に、大型レーザー研究拠点である上海光学精密機械研究所、華東師範大学精密レーザー分光学研究センター、上海放射光施設や、中国側代表である J.Zhang 教授が新しく建設中の上海交通大学物理教室におけるレーザー研究施設を見学、共同研究プランを検討した。中国の中核的研究施設の状況を具体的に把握すると同時に、その研究チームと交流することで、互いの信頼感を醸成した。

7-3. [研究者交流：APLS2008における交流]

APLS は日本・中国・韓国の3カ国の高出力レーザーとその応用の分野の研究者が毎年、持ち回りで開催している国際会議で、本年は名古屋国際会議場で開催された。Asian CORE Program のテーマは関連深いので、海外メンバーの多くが APLS2008 に参加する。そこで、APLS 国際会議の中に、たとえば、High Field Science の特別シンポジウムを企画し、日中韓インドの主要メンバーに招待講演をお願いした。同時に International Advisory Committee を開催し、共同研究の進み方をチェックすると共に、交流を深めた。

7-4. [Asian CORE Committee & International Advisory Meeting]

APLS2008 で来日した中国光学会、韓国光学会の両会長を招待して、日中韓印の4カ国連携である本アジアコアプログラムを紹介し、各国におけるサポートをお願いした。同時に、4カ国以外のアジア研究者の意見も聴取して、将来の共同研究の可能性を探った。

上記のようなセミナー、シンポジウムの開催を通じて、互いの研究状況を把握した結果、超高速光科学、高強度光科学分野では具体的に、研究者派遣に向けた準備が始まった。次世代超短パルス固体レーザーの開発については、中国側に上海セラミック研究所という新しい研究拠点を開発し、レーザー材料の開発とレーザー装置の設計をつなげる準備を行った。インドのレーザー開発状況の詳細が不明であったので、2名の研究者を派遣して、レーザー開発状況を調査した。

8. 平成19年度の研究交流の成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めて下さい。)

8-1 研究協力体制の構築状況

1) 超高速光科学の分野では、期間内のシンポジウム、セミナーを通じた情報交換を通じて、人的交流を含む共同研究体制の構築が進んでいる。東大山内研究室を始めとして、理研、東北大などの優れた理論的研究に裏付けられた実験的研究を紹介し、今年度は特に中国の研究機関との相互連携が深まった。日本における研究は、分子内の水素原子移動の観測やアト秒時間分解光位相計測など、超高速光科学の最前線とその応用例を示し、大きな刺激となった。中国からも多波長の位相同期による高調波増強など新しいアイデアに基づく研究が提供され、相互刺激が強まった。韓国はレーザー光電界位相の制御に新しい技術を開発しており、チタンサファイアレーザーの制御技術に優れていることを示した。

2) 超高強度光科学では、すでに実際的な共同研究が進行を始めている。中国から派遣された研究者が日本チームに参加して原研関西光科学研究センターで実験を行っているほか、韓国の APRI/GIST 研究所とも分担した共同研究がスタートした。高強度超短パルスレーザーで生み出す相対論プラズマでは、従来困難とされていた **Collective Acceleration** が可能となり、コヒーレントはプラズマ波動を誘起することで、高エネルギー単色粒子を加速可能であることが分かってきた。

3) 次世代超短パルスレーザーの開発については、日本独自の研究成果であるセラミックレーザーの科学を紹介し、中国科学院セラミック研究所のセラミックレーザー研究の立ち上げを手伝っている。その重要性を認識した中国研究者は、2008 年度レーザーセラミックス国際会議を招聘するなど、積極的な研究体制の構築に乗り出した。インドにおける 100TW 旧レーザーの開発について、現状調査を行ったが、レーザー開発はその緒に就いた段階である。

4) 先端学術情報集約 日中のレーザー材料研究機関をつないだ光科学材料データベースの構築を呼びかけると共に、対象をセラミック材料から固体レーザー一般に拡大しつつある。この過程で、中国の国家中核研究所である山東大学結晶研究所からのアプローチを得た。次年度は、さらにネットワークを拡大して、内容を詰める予定である。

8-2 学術面の成果

1) 超高速光科学分野では、分子内水素原子の移動がきわめて高速であり、水素原子移動が光解離に深く関わることを明らかにした。また、高次高調波発生させた X 線によって、アト秒時間分解能の位相同期されたパルスによるプローブ実験に成功した。

韓国ではレーザー光電界位相の CEO 制御に新しい手法が開発され、中国で多波長コヒーレント加算による超高速光・電子相互作用の研究が始まったことも、本プログラムの学術的成果といえよう。

2) 超高強度場における粒子加速で単色高エネルギー陽子ビームの発生に成功した。これ

までの理論的研究が正しいことを証明すると同時に、さらなる高エネルギー粒子の生成に道がたった。単色粒子ビーム加速の基礎には相対論が存在し、加速された電子が相対論効果のために、異なったエネルギーをもった粒子も光速に近づくにつれ、同一速度をもった粒子集団として相互作用することに起因することが理解されるようになった。同機構は超高強度レーザーによるチャンネルリング機構と類似していることが判明したのは、理論と実験、レーザー科学とプラズマ科学の融合の結果であり、本プログラムの成果である。

3) 次世代レーザー開発については、複数のセラミック材料に Yb を添加した複合型セラミックレーザーにより、利得帯域幅を拡大すると共に、カーレンズ効果を利用した安定なモードロックレーザーを開発し、50fs、1W 級の出力を発生することに世界で初めて成功した。本年度に開発された世界の高出力 50fs レーザーの多くは、本研究グループ内で達成された。

8-3 若手研究者養成

1) 京都で開催したレーザープラズマ加速夏の学校には、日本のみならず、中国、韓国、インドの博士課程学生、若手研究者が参加し、3日間の講義を聴いた後、現状より1桁高い 10GeV の単色電子ビーム加速を実現できるレーザープラズマ加速器の物理設計ワークショップを開催し、互いにその実現可能性を主張し、相互批判を行った。4カ国の学生が同じチームとなり、共通の目標に向かって物理的設計アイデアを競うことで、講義内容をしみ込ませ、学生同士の討論を通じて、異なったアイデアについても理解が深まった。

8-4 社会貢献

アジアコアプログラムに参加している研究者は、各国の指導的研究グループに属しており、多くの若手研究者のあこがれである。ASILS、APLS、レーザー学会年会など、多様な若手研究者やレーザー技術者が参加する国際会議、国内会議に、著名な研究者の参加する高強度レーザー科学のシンポジウムを提案し、一般参加者に公開することで、高度に専門的で、未来を切り開く科学の最前線を紹介した。これらの魅力的な会合と討論によって、多くの若手研究者を引きつけ、将来への明るい希望を与えることができた。

8-5 今後の課題・問題点

日本側メンバーはいずれも多忙で、すべての海外拠点を訪問し、共同研究体制を確立することは困難であった。そこで、19年度は日中ワークショップを開催し、最も研究拠点の多い中国との共同研究体制の確立を優先した。

H20年度は韓国で開催される国際会議が多くあり、韓国との交流は必然的に活発化すると予想している。今年度の問題は、インドとの交流が弱く、韓国ソウルで開催された CLEO PR 2007 や APLS 2008 の機会を捉えた交流が主要なもので、必ずしも充分とはいえなかった。これには、インドの国家的大出力レーザー開発プロジェクトが、H19年春に正式に認

められたばかりで、これからレーザー装置の建設にかかるというタイミングも理由となった。今後、本格的に研究計画が稼働するにつれて、アジアコアプログラムの重要性は増大するので、それに対応できるよう努めたい。

8-6 本研究交流事業により発表された論文

平成19年度論文総数 29 本

うち、相手国参加研究者との共著 2 本

うち、本事業が JSPS の出資によることが明記されているもの 0 本

(※ 論文リストを別に添付して下さい)

9. 平成19年度における総交流人数・人日数

9-1 相手国との交流実績

(単位：人/人日)

派遣先		日本	中国	韓国	インド	マレーシア	合計
派遣元	実施計画						
	実績						
日本	実施計画		10/44	6/27	2/10	12/60	30/141
	実績		12/52	6/27	2/10	9/45	29/134
中国	実施計画	(43/215)				(8/40)	(51/255)
	実績	(5/25)					(5/25)
韓国	実施計画	(39/194)				(8/40)	(47/234)
	実績	(4/19)					(4/19)
インド	実施計画	(5/25)					(5/25)
	実績	(2/10)					(2/10)
マレーシア	実施計画	(1/5)					(1/5)
	実績	/					/
合計	実施計画	(88/439)	10/44	6/27	2/10	12/60	30/141
	実績		12/52	6/27	2/10	9/45	29/134
						(16/80)	(104/519)
							(11/54)

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

※日本側予算によらない(相手国予算による)交流についても、カッコ書きで記入してください。

(マレーシアはS-3 報告文および日本側参加者リストに記載)

9-2 国内での交流実績

実施計画	実績
47 / 132 (人/人日)	34 / 110 (人/人日)