

ICORP 超短パルスレーザープロジェクト中間評価報告書

【日本側研究総括】

小林 孝嘉 (電気通信大学大学院電気通信学研究科／教授)

【相手国側研究総括】

Ferenc Krausz (ドイツ・マックスプランク量子光学研究所／ディレクター)

【評価委員】(委員はあいうえお順)

渡部 俊太郎 (委員長；東京大学物性研究所／教授)

河野 裕彦 (東北大学大学院理学研究科／教授)

中野 秀俊 (NTT 物性科学基礎研究所／主幹研究員)

緑川 克美 (理化学研究所基幹研究所／主任研究員)

南 不二雄 (東京工業大学大学院理工学研究科／教授)

評価の概要

5名の評価委員は、小林総括らプロジェクトから提出された資料を事前に査読し、2009年1月24日にプロジェクト実施場所である電気通信大学において、現在の進捗状況等のヒヤリングを実施した。その後、小林総括自らが提出した追加資料等をさらなる参考としつつ、以下にその所見を述べるものとする。

本プロジェクトは、その発足以前より、「極限的超短パルス光の発生」や「遷移状態分光」で業績のあった小林総括が、Krausz 博士らと「相補的協力関係」を国際レベルで確立し、さらなる研究の深化・発展を遂げることが採択時に評価され、そして発足したものである。現在、上記のテーマ遂行をプロジェクト運営の基本方針としつつ、個々に具体的研究目標を定めて推進されている。

今回中間評価を行うにあたり、約5年間のうち3年が経過しようとしている。「遷移状態分光」に関しては、成果が上がりつつある状況にあり、中でも誘導ラマンを使った基底状態の振動モードの励起とそれに続く熱化学反応の遷移状態を調べる研究は新たな切り口を持った研究であると認められ、委員が一致して最も評価する。

「超短パルス光発生」に関する所見は、多くの委員がその考えを共有しているように、ミッション実現のための、現状を推移する以上の飛躍的進歩及びそのための工夫を望みたい。現在の環境での最大限の努力は認められつつも、残された期間、及び限られたリソースをより良く有効活用するという観点からは、「国際共同」も併せて、ミッションに対する現在の達成状況を踏まえ、プロジェクト終了時までのマイルストーンを明示的に設定した上で、必要に応じた「選択と集中」を図ることは、1つの時限付きプロジェクトとして考えるべき方策ではないかと考える。

なお本所見は全てプロジェクトに向けられていないし、またそうであるべきではない。ICORP が単なるグラントではなく、プロジェクト型研究として進められるものであるならば、その運営支援を担う JST においては、そのコミットメントの度合いなどにも十分に配慮し、小林総括らが「世界の潮流」へと押し上げる取組みを行う上で、最良の支援を模索してもらいたい。

評価委員会の位置づけ

我々5名の評価委員は、本中間評価を行うことを目的として、JSTより委嘱を受けた者である。その目的は、評価の対象である「ICORP 超短パルスレーザープロジェクト」の、発足から現在までの進捗状況を文字通り「評価する」こと、及びそれを踏まえ、残る期間のプロジェクトが効果的に推進されるよう「提言する」ことにある。また本評価は同時に、同プロジェクトの運営を支援するJSTにも向けられるべきものである。評価委員とは、その対象を「評価する」立場にある一方で、委員自らが研究コミュニティひいては社会から「評価される」という多大な重責を担う立場にあることを深く認識し、以下の報告書をまとめた。

さてICORPプロジェクトに対する評価においては、例えば、同じJST戦略創造研究推進事業のCREST、あるいは科学研究費補助金(科研費)・特別推進研究等における評価にも増して、「研究の側面」に加えた「プロジェクトとしての側面」を捉えることが求められる。すなわち我々は、研究の科学的本質ばかりを捉えるのではなく、ICORPがそのプログラム趣旨¹として掲げている「世界の潮流」(Trend, Mainstreamとここでは解釈する)の実現へ、いかにプロジェクトが運営されているか、すなわちリーダーシップを踏まえた実行力などを捉えなければならないと信ずる(ERATOの趣旨は「科学技術の源流」であり、ICORPのそれとは異なる)。したがって、プログラム趣旨を踏まえた評価であること、そして分野の異なりなどを考慮すれば、本評価は自ずと過去や他プログラムとの相対的評価にはなりえない。

また評価を進めるにあたっては、(i)プロジェクト発足時に自らが提案した内容(ミッション)に対しどのような達成状況にあるか、加えて、(ii)当初のミッションとは異なる(あるいは予期せぬ)目標が見えてきたのであれば、それを達成するための戦略がいかに企画され、実現に向けてなされた過程からどのような課題が抽出されたか、を捉えることが本旨となる。論文数やインパクト・ファクター、特許出願件数の高低は、「研究の側面」そのものを捉える上で、一見確かな定量的指標(アウトプット)となりうる。本評価でもこうした指標は一部参考とはするが、こうした指標は、上記とは別の定量的指標、具体的には同プロジェクトへの研究費(インプット:約8億円/約5年)とのバランスが併せて考慮されてこそ、公正な評価たりえる。また上記のように、ICORPでは、単なる学術論文等の量産化が求められるのではなく、いかにその成果をさまざまな方面へと展開し、波及効果を図り、果ては「世界の潮流」に至らしめるかという能力やアクティビティが加味され評価されなければならない。さらに(i)及び(ii)の視点は、ICORPに応募しながらも惜しくも不採択となった研究者らへの、説明責任を果たす部分があることを付け加えておく。

以上を総合して、評価委員としては、高く広い視野から公正な観点をもとに、単に科学的側面のみならず、ICORPのプログラム趣旨を十二分に踏まえた評価を行い、そのことによって社会的責任を全うすることに努めた

評価実施の過程および評価委員の見解

また、評価の透明性は、それがいかにして行われたかを対外的に説明すること

¹ <http://www.jst.go.jp/icorp/jpn/concept/index.html>

により確保されるものであるとも信ずる。そこで、本中間評価が以下の手順で実施されたことを公表する。

- (i) 2009年1月初旬 --- プロジェクトから JST に提出された「研究実施中間報告」の事前査読を開始（JST への完成稿提出は、2008年12月29日）。
- (ii) 2009年1月24日(終日)--- ヒヤリングをプロジェクト関係者に対し実施、その後評価委員会を開催（いずれも研究実施場所の電気通信大学）。
- (iii) 同年1月26日 --- 小林総括自らが JST に提出した補足資料を新たに評価の参考とし、各委員の所見を委員長に集約。
- (iv) 同年2月12日 --- JST から小林総括に対し、補足資料の記載内容の質問を実施（同年2月19日までに小林総括から回答があり、各所見の参考とする：その後も小林総括自らより、さらなる補足の提出があった）。
- (v) これらを踏まえ、委員長が評価報告書の取りまとめを実施（同年3月6日までに）、その後、各委員が確認し（同年3月11日までに）、報告書を完成（同年3月31日）。

各評価委員の見解について、その取りまとめを行うことは実に困難を極め、評価報告書の一部は、結果として必ずしも全ての委員の総意に基づくものではない。しかしながら、見解の分かれる意見を強引に合議に落とし込めたり、あるいは機械的に平均化したりすることは、事実を矮小化する傾向にはたらし、却って評価の品位を貶めかねないことが懸念されるため、以下の報告書では、可能な限り多くの所見を拾い上げるように努めた（評価区分は、個々の委員の所見ならびにこうした状況を踏まえ、委員長判断に基づき付されている）。次ページ以降の多くの意見が、評価の対象であるプロジェクト（ならびにその運営支援を担う JST）にとって、残された期間のプロジェクト運営を進める上で、有益なものとなることを期待する。

以下、評価報告書へと続く。

1. 研究プロジェクトの設定および運営と今後の見込

1-1. プロジェクトの全体構想

小林孝嘉 電気通信大学大学院電気通信学研究科教授を日本側研究総括とする「ICORP 超短パルスレーザー」は、超短パルスの発生技術および超広帯域・高感度の検出技術の開発による、電子状態や分子振動における動的過程の実時間観察実現への期待、及びその基盤技術がもたらす、光合成の分子メカニズムの解明やタンパク質のフォールディング機構解明などへの期待を含めて、公募の下に提案された 14 件の 5 年 8 億円タイプの中から採択されたプロジェクトである²。2006 年 3 月 1 日より、戦略目標「光の究極的及び局所的制御とその応用」の下、約 5 年間の時限付きプロジェクトとして発足し、本評価報告書を取りまとめる段階（2009 年 3 月）で折り返しを既に約半年過ぎ、3 年が経とうとしている。

プロジェクト下にある研究の柱は、いわば小林総括の長年のライフワークともいえる、(1) 極限的超短パルスの発生と、(2) 遷移状態分光法の確立である。小林総括は、プロジェクト発足以前の、例えば科研費・特別推進研究³において、NOPA 法による 5fs パルス光の発生、CEP (Carrier Envelope Phase) 制御、実時間分光法、分子振動の時間解析など、同プロジェクト推進の端緒となるものを既に切り拓いており、ICORP の趣旨である「世界の潮流」へと押し上げる研究が、このプロジェクトの中で展開されることとなった。遷移状態分光の深化・発展とともに、パルス光の 2~3 サイクル化や、~3fs への短パルス化、CEP の安定化などが、プロジェクトの主立ったミッションとして掲げられた。

1-2. プロジェクトの枠組みや研究体制、および研究活動の状況

続いて、上記の構想を実現するための、日本側でのこれまでの研究体制の経緯などについて述べる。

小林総括の、プロジェクト発足直後の東京大学定年退職そして電気通信大学への転任などもあり、主な研究実施場所は、電気通信大学内に置かれることとなった。また光源開発のためのグループは、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心内にも設置された。大阪大学内では宮永憲明 同センター教授とも協力関係を構築しながら、研究が進められている。

電通大ではプロジェクト発足とともに、研究実施場所の改修や、実験機器設備の移設搬入およびセットアップ（2006 年 7 月）、さらには新規購入（同年 8 月）が行われ、同時に研究員の雇用なども進められた。電気通信大学および大阪大学サイトにはこれまでにのべ 9 名の博士研究員がいたが（2009 年 3 月現在 7 名）、そのうち半数が韓国もしくは中国からの出身者で構成され、国際色豊かである。

1-3. 相手国研究機関との研究交流実施状況

本 ICORP プロジェクトの相手国側総括は、ドイツにあるマックスプランク量

² <http://www.jst.go.jp/pr/info/info256/index.html> ICORP 全体の提案数は 44 件であり、うち 30 件は 4 億円タイプであった。

³ 研究課題名「極限的短パルス光の発生とその物質との相互作用」2002 年度から 2005 年度。

子光学研究所（以下 MPQ と略）でディレクターを務める Ferenc Krausz 博士である。プロジェクト開始までの、可視・近赤外領域におけるフェムト秒光パルス発生など（日本）、およびアト秒軟 X 線パルス発生など（ドイツ）といった互いの持つ強みに、ICORP の趣旨でもある「国際レベルでの相互補完体制」が構築されることにより、互いの研究がさらに深化・発展することが期待され、これが採択の判断材料の 1 つとなった。

両国間での具体的研究目標としては、高強度波長制御数周期赤外レーザーパルス光源のプロトタイプ構築を掲げている。そしてこれまでには、協力関係の下に、keV 領域の高調波を発生するための 2 μ m で CEP 制御された高出力光源の開発が、主に MPQ 側で進められた⁴。

以上、まず「プロジェクトとしての側面」について、発足直後から現在までの状況を報告してきた。化学反応の基本的性質は、平衡構造と遷移状態によって支配されるが、その本質的な理解には、平衡構造から遷移状態への構造変化を時間分解・空間分解で追う必要がある。発足以前から、極限的超短パルスの発生や遷移状態分光などで多くの業績のあった小林総括が、当該研究を「世界の潮流」へと押し上げることを目指す全体構想は、ICORP の趣旨に鑑みても、確かに的確な部分があったと認められる。また、この構想を実現するために、レーザー工学・光物性・化学といった異なる専門分野を融合するなどの工夫をはじめとした、小林総括の意欲を評価する委員もいた。

しかしながら、本評価が単に研究を評価するのではなく、あくまでも 1 つのまとまったプロジェクトとしての評価、すなわち残された期間での構想実現、加えて国際的な研究の深化を踏まえた評価であるということに基づけば、プロジェクト運営の面で、以下の所見を多くの委員が共有していることを申し述べておかねばならない。ヒヤリングなどを通じて、小林総括や研究員が、与えられた環境で最大限に努力し、そのことが次節で述べる研究成果からも一部垣間見ることができ、その点は評価していることを踏まえた上である。

その 1 つが、研究体制に関わることである。小林総括のプロジェクト運営は、自身の東京大学の退職そして電通大への転任という「新しい環境での全くゼロからの立ち上げ」と相重なった。総括自身も認めるように、必ずしも整っていない環境からの研究開始を余儀なくされ、その中での研究成果には評価するべき点は幾つかあるものの、2 年後のミッション達成を考えれば、今現在が最良のポジションにあるかどうかは考慮の余地がある。環境の面では、ヒヤリング当日にも幾つかの技術的提言を行ったが、必要に応じてプロジェクト運営を支援する JST とも連携を図って欲しい。また小林総括が今以上に構成員を触発し、多くの経験を積ませることも、今後飛躍的な進歩を遂げる要因となるであろう。

国際協力の部分は、ただボトムアップ的に研究が進められるのではなく、少なくとも日本側の観点からいえば、ある程度の残された期間のビジョンもしくはロードマップが描かれ、必要な部分は連携しながら、互いの目標に進んでいく姿こそが望ましい。研究とは常に予期せぬことの連続であることは認めつつも、具体的研究目標として掲げる「プロトタイプ構築」が、総括の思い描くように「蛋白質などの

⁴ X. Gu et al., *Optics Express*, vol. 17, issue 1, 62 (2009).

超高速構造動力学観察」の可能性を切り拓く重要なツールとなるのであれば、まさにそれはこのプロジェクト自身の掲げる大きなミッションへの、1つの貢献となりうるはずである。Krausz 博士らは、世界をリードするグループの1つである故、ICORPでのパートナーシップを一層強化し、真の意味での「国際レベルでの相互補完体制構築」なるものが世界的に顕示されることを、強く望む。

以上の点など、委員からの多くの所見を基に総合的に考慮した結果、研究プロジェクトとしての運営（マネジメント）や展開、およびそれらを踏まえた今後については、若干の工夫を要すると判断した。しかしながら、繰り返して述べるように、本見解はプロジェクトのみに向けられるものでは決してなく、その運営を支援するJSTに対しても、必要に応じたきめ細やかな支援を行うことを望みたい。

〔研究プロジェクトの設定および運営と今後の見込〕

b（若干の工夫を要する）

〔研究活動の状況（相手国機関との交流実施状況を含む）と今後の見込〕

b（若干の工夫を要する）

2. 研究成果の現状と今後の見込

2-1. 電通大グループ

電通大グループの主な取組みは、(1) レーザ及び測定系の開発、(2) CEP 制御、(3) 分子・高分子・生体高分子における遷移状態分光及び分子振動実時間分光に分けられる。上記のように、いずれも小林総括が ICORP プロジェクト発足以前にこれらの端緒を切り拓いてきたものである。

(1) レーザ関係では、NOPA（非同軸光パラメトリック増幅）の出力安定化と、第二高調波での超短パルス化が行われている。また測定関係では、マルチチャンネルロックインアンプの多チャンネル化と改良が行われ、応用実験に貢献している。

(2) CEP 制御に関しては、測定系を開発するというよりも、CEP によって変化する分子の配向に着眼点を置いた研究が進められている。プロジェクト発足以前の先行研究において、アゾ色素を分散させたポリマーの CEP 検出を行っていたが、ICORP では色素分子を側鎖に取り込んだポリマーにおいて CEP 検出を行い、感度を一桁上昇することを可能にした。

(3) プロジェクト発足以前の先行研究において、ポンプ・プローブ法で分子振動に由来する吸収の変化を、遅延時間を変えて測定する手法を開発し、本プロジェクトでもこの手法を主体的に用いている。この測定において、時間領域のウィンドウを付加することによって、分子振動の時間変化を追跡することができる。プロジェクト期間での成果と呼べるのは、各種分子化学反応の遷移状態のダイナミクスにある。この中には電子励起状態から出発する状態変化（化学反応）と基底状態から出発する状態変化があるが、特に後者における熱化学反応の遷移状態観測については、ICORP の枠組みでの独創性が認められる。

2-2. 大阪大グループ

前節で述べたように大阪大学グループでは光源開発の一部分を担当し、現在研究員が2名常駐している。小林総括が適宜大阪へ出向き直接指導を行うとともに⁵、プロジェクト外からは、宮永教授のグループの協力もあって研究が進められている（プロジェクトからの報告によれば、本 ICORP と宮永教授を研究代表者とする CREST 研究課題⁶との間で、相補的研究関係が築かれているとのことである）。

さて ICORP 大阪大グループでは、(1) NOPA によるサブ 10fs 光源の開発と CEP 制御、(2) アクロマチック和周波混合による短パルス UV 光源の開発、(3) リチウムトリボレート結晶 (LBO) による NOPA の研究が進められている。(1) は、東京大時代からの小林総括の強みであり、現在そのシステムの再現がされつつある。(2) は本グループのみならず、世界の幾つかのグループが取り組んでいる課題であるが、本グループでは現在 17fs が実現した段階である。なお(3)については、上記相補的關係等を踏まえ、今回の評価においては直接の対象とはしない。

以上の「研究の側面」を踏まえ、以下に所見を記す。

全ての委員が高く評価しているのが、電通大グループが中心に繰り広げている遷移状態分光である。電通大におけるレーザー環境をプロジェクト発足から立ち上げながら、なおかつ顕著な成果を挙げているといえるであろう。特に熱化学反応を研究するために、誘導ラマン過程を用いて熱化学反応を誘起するという研究は、ICORP の期間になって取り組まれたものであり（現在、論文投稿中）、なおかつその独創性を認めることができる。また、工業的に利用される反応の多くを占める熱化学反応に適用できる可能性があるという点も付け加えておきたい。これまで一般的には、有機化学的手法によって化学反応の中間体や遷移状態を捕まえようという試みはなされてきたが、実時間領域の考察は望むべくもなく、極めて限られた系にしか適用できなかつた。その点、誘導ラマンを利用して熱化学反応を開始させる手法は一般的であり、溶媒効果や温度効果など、熱化学反応に及ぼす因子を詳細に分析できるデータが得られることになる。以上の点などを踏まえ、主に科学的側面からの評価は良好もしくはそれ以上であるというのが、全ての委員で一致している。

なお本研究が、単なる科学的側面を担うのみならず、まさにその趣旨である「世界の潮流」への押し上げが積極的に奨励されることに鑑み、残された期間で委員として期待したいことについても言及しておきたい。それは、この成果の積極的な普及活動である。化学反応の実時間追跡は、多くの化学者が夢見ることの1つであり、彼らがプロジェクトからの成果を知ることによって刺激され、そして遷移状態分光で得られた数々の実験データの再現を目指した研究が期待できるが、取り分けプロジェクトには、理論家との実り多いインタープレイを期待したいが、必ずしもその限りではない。成果の活かし方は、総括のマネジメントの今後にかかる部分が大きい。

さて、ICORP プロジェクト下での研究のもう1つの柱として、超短パルスの発生や計測装置の開発がある。この部分については、以下の所見を多くの委員が共有

⁵小林総括は、大阪大学招聘教授の肩書きを持つ。

⁶ 研究領域「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」の中で、研究課題「アダプティブパワーフォトリニクス」(2007年度採択)

していることを申し述べておく。前節などでも再三述べているように、このテーマは、研究実施場所の環境整備（プロジェクト発足後のゼロからの立ち上げ）と切っても切り離せないところがある。こうした状況を斟酌しつつも、上記の進捗状況ならびに遷移状態分光の現状に比べれば、なお一層の踏ん張りが必要であることは、敢えてここで述べておかねばならない。研究とはそもそも、ある程度永続的に進められることは、我々自身が研究者の立場であることから良く理解することができるが、ICORP 発足当初に設定したミッション、そして残された期間を考えれば、ある程度のビジョンやロードマップを明示しつつ、必要に応じた人員や体制の検討を踏まえた「選択と集中」を図ることに対し、一考の余地があると判断する。ビジョンやロードマップは、前節の国際共同の部分でも言及したところであるが、限られたリソースをより良く活かす方策として、十分に検討に値すると考える。

以上の点を総合し、研究成果の現状と今後の見込については、遷移状態分光の進捗具合ならびに全般に関する今後への期待を多分に加味して、良好でありかつ今後期待できるものと判断した。

〔研究成果の現状と今後の見込〕

a（成果として良好であり、今後にも期待できる）

3. 総合評価

最後に「プロジェクトとしての側面」、ならびに「研究の側面」を併せて、プロジェクトに対する総合所見を述べる。冒頭の節の(i)及び(ii)でも述べたように、ICORP の趣旨を踏まえた上で、提案時（発足時）に掲げたミッションに対する達成度および期待度、そしてその上での新たな進展が、評価の重要な要素となる。

プロジェクト発足以前の、NOPA による超短パルス光発生や CEP の自動制御、実時間分光法、分子振動の時間解析で数多くの業績を挙げていた小林総括は、これらを発展・深化させる研究構想を掲げ、その提案内容が評価され、プロジェクトとして採択された。また研究構想の一部は、ドイツ MPQ との国際的な相補的研究体制を構築することで実現されることも、採択時に評価された点である。

「超短パルス光発生」および「遷移状態分光」というプロジェクトの 2 つの大きな研究の柱の下、海外からの研究員を招聘するなどの研究体制が構築され、現在までプロジェクトが推移している。中でも「遷移状態分光」に関する研究テーマでは成果が上がりつつある状況であり、高い評価を与えることは、委員間で一致する見解である。誘導ラマンを使った基底状態の振動モードの励起とそれに続く熱化学反応の遷移状態を調べる研究は、新たな切り口を持った研究であると認められ、現在投稿中論文の評価が今後待たれるとともに、是非とも成果をより良く活かす意味で、他分野・コミュニティとの連携を促進し、2 年後のプロジェクト終了時に真の高い評価が得られることを期待したい。

「超短パルス光発生」に関する所見は、多くの委員がその考えを共有しているように、ミッション実現のための、現状を推移する以上の飛躍的進歩が不可欠である。委員としてまた研究者としての立場から、総括ならびに研究員が、現在の与え

られた環境で最大限に努力することは認めつつも、残された期間、及び限られたリソースをより良く有効活用するという観点からは、「国際共同」と併せて、ミッションに対する現在の達成状況を真摯に眺め、プロジェクト終了時までのマイルストーンを明示的に設定した上で、必要に応じた「選択と集中」を図ることは、1つの期限付きプロジェクトとして考えるべき方策ではないかと考える。

いずれにしても、プロジェクトの科学的成果の一部は、委員間でも評価されている。現に、ヒヤリング後に小林総括自らが提出した補足資料を見ても、ヒヤリング時期と相前後して学術論文が投稿され、その一部には、掲載許可が下りたものも見受けられる⁷。また、今後もある一定の割合で学術論文が出されるであろうことは、論を待たない。その上で、5年間のプロジェクト終了時に真に優れたイノベティブな成果であると認められる（プログラム趣旨でもある、「世界の潮流」へと押し上げる）には、残る期間での、プロジェクト内での「選択と集中」、プロジェクト外での「多くの分野やコミュニティとの連携」が、成果をより多角的に波及させる鍵を握っている。ひたすら研究を進め、論文化するという一方向のスタンスではなく、明確なマイルストーン提示や普及活動を行うことによって、2年後のミッション達成ひいては「世界の潮流」を構築するよう、一層の努力及び工夫をプロジェクトには切にお願いしたい。

以上を総合的に踏まえ、現状は、プロジェクトが2年後に優秀な研究水準に達する道半ばにあると判断した。なお、プロジェクトの今後如何では大いに進展することが期待できることについては、委員皆が一致した見解である。

なお再三申し述べるように、上記の所見は全てプロジェクトに向けられていないし、またそうであるべきではない。ICORPが単なるグラントではなく、プロジェクト型研究として進められるものであるならば、その運営支援を担うJSTにおいては、そのコミットメントの度合いなどにも十分に配慮し、小林総括らが「世界の潮流」へと押し上げる取組みを行う上で、最良の支援を模索してもらいたい。

〔総合評価〕

B（若干の工夫を要する）

以上

⁷ プロジェクトからの資料によれば（ヒヤリング後の補足も含む）、プロジェクト発足の2006年3月以降に掲載もしくは掲載が決定した論文は、46報ある（2009年3月中旬現在）。