

**「X線自由電子レーザーの開発・共用」
文部科学省に追加説明及び追加提出を求める資料への回答
(第二回用)**

追加説明を求める事項

(1) 研究開発の成果、目標の達成状況、その活用状況

①重点戦略分野の2つのテーマで XFEL でしか得られない成果を得るのに必要な XFEL 光の品質（波長/スペクトル幅、パルス幅、パルスエネルギー、繰り返し周波数及び、これらの安定性、など）を示し、現状で SACLA がどこまで達成できているのかを定量的に説明していただきたい。

1. 2つの重点戦略分野において XFEL でしか実現できない成果を得るためには、原子分解能・フェムト秒時間分解能とビームの安定性が必要であり、それらを可能とする XFEL 光の品質は以下の通り。(設計基本パラメータ)

波長	0.06nm
スペクトル幅	$\sim 10^{-3} (\Delta E/E)$
パルス幅	100 fs 以下
パルスエネルギー	~ 0.5 mJ/Pulse
輝度	10^{32} photons/sec/mrad ² /mm ² /0.1% bandwidth
繰り返し周波数	60Hz
コヒーレント度	100%
エネルギー安定度	0.01%以下

2. 上記について現時点ではほぼ達成している※。パルス幅や輝度については上記を上回っている。今後更に短波長化や安定化を進める予定。

※

波長	0.063nm
スペクトル幅	$\sim 10^{-3} (\Delta E/E)$
パルス幅	10 fs
パルスエネルギー	0.5 mJ/Pulse

輝度	10^{34} photons/sec/mrad ² /mm ² /0.1% bandwidth
繰り返し周波数	60Hz
コヒーレント度	100% (60 ミクロン領域)
エネルギー安定度	0.01%以下

②共用を開始する時点で具体的な対象試料に対する実験データは得られているか。もし出ていないなら、初めてデータが得られる時期はいつで、どんなデータが出るのかを説明していただきたい。

1. 2月現在までに装置提案課題等で供用に必要な基礎的なデータは取得している。3月からの供用開始後に各課題での具体的な実験データが得られる予定である。

③要素開発技術の開発における特許取得の状況について、放射光分野における国際競争力強化という観点から説明していただきたい。

1. XFELの加速器やビームラインに関する特許として18件、ノウハウとして15件を出願している。これにより、コンパクトXFELという欧米とは異なる施設コンセプトについて知的財産を保持することができる。
2. 放射光分野における国際競争力向上に貢献している。今後XFELの設置を検討している韓国もコンパクトXFELのコンセプトで設計を進めており、我が国独自のCバンド加速管の購入などが期待される。
3. また、大阪大学・東京大学を中心として開発し特許を出願中のK-Bミラーは、極微集光による超高強度X線ビームの生成に成功し、そのミラー作成技術については、メーカーへの技術移転も完了しており、米国LCLSからも多数の発注を受けている例もある。

④プロトタイプ機を通して新たな研究分野の開拓が行われたかという点について説明していただきたい。

1. プロトタイプ機により、SASE方式の実証確認に成功し、実機の完成に向けて大きな道

筋をつけた（安定高周波、プロファイルモニター、レーザー安定化などの技術開発含む）。また、原子分子光学（AMO）を中心に、EUV 領域の非常に安定したレーザーを使ったサイエンスという新しい分野を開拓した（N₂ の 2 光子 3 光子イオン化過程観測に成功、不感時間ゼロの荷電粒子多重計測に成功 他）。さらには、世界最短波長 60nm 領域においてシングルモード且つ輝度を飛躍的に向上するシーディング FEL の発振に成功し、次世代短波長 FEL の実現への重要な一歩となっている。

(2)科学技術的・社会経済的・国際的な効果

①SACLA では、利用・活用を推進するためにどのように広く情報発信されているのか。例えば「研究分野身内」以外からも広く意見聴取する試みや、公募のやり方に工夫をするなどの取組みが行われているのか、あるいは、今後そうした計画があれば説明していただきたい。

これまで、ともすれば「構造解析関連の分野」は、例えば蛋白質の構造解析なども含め、限定された研究者内だけでかたまっているように見え、「狭い範囲」での交流に留まっていた印象がある。これでは折角の先端研究施設・技術が、当該研究者だけの「占有物」になって、社会の目に触れる機会も減り、また広く活用されることもかなわなくなる恐れがあるように感じる。

1. 先端研究施設・技術が特定者の「占有物」とならないためには、初期の段階から、施設者・利用支援者、装置開発者、エンドユーザー（試料提供者等）の三者が一体となって立ち上げを進める必要がある。このために、理化学研究所においては、XFEL 利用推進研究課題の報告や関連シンポジウム、利用ワークショップ等を通じて幅広い研究者と施設設置者等が一体となって情報交換等を行っている。
2. また、共用法に基づき SACLA の利用促進業務を行う登録施設利用促進機関 JASRI においても、同法に基づき中立の立場で利用者選定を行っており、限定された研究者のみが利用できるような枠組みにはなっていない。公募時にプレス発表を行うとともに、バイオ、応用物理、材料、セラミックス、デバイス分野など幅広い学会・協会に公募を案内したほか、SACLA 利用に関するワークショップを開催し、公募情報の提供や幅広い意見聴取を行っている。
3. さらに、文部科学省においても、XFEL の利用研究の推進方針や運営方針の検討にあたって設けた X 線自由電子レーザー利用推進協議会や X 線自由電子レーザー利用推進戦略会議において、学術から産業界まで幅広い分野の方々に参画してもらうことで、幅広

いユーザーの視点を取り込んだ XFEL の利活用を推進している。

4. 理化学研究所においても SACLA の専用 HP を開設して広く情報発信に努めており、今後とも多くの分野からの利用を開拓するため、積極的な広報や幅広い意見聴取、公平な利用者の選定・支援に努めてまいりたい。

②日本総合研究所へ委託した調査結果によると、比較的早期に産業への波及効果が現れると考えられる4つの分野(ガン医療、創薬、次世代電子デバイス、気体吸着素子)で1%程度の市場の代替が発生する(8300億円の効果)と推測されているが、4つの分野と1%のそれぞれの設定根拠について、その妥当性に関する文部科学省の見解と併せて、説明していただきたい。

1. 4つの分野は、日本総合研究所において、学术界や産業界へのインタビュー等を経て、事前評価等において XFEL 完成直後から着手が期待されている利用研究テーマのうち、具体的かつ比較的早期に医療・産業への波及効果が現れるものとして選定したものと考えている。
2. 1%という数字については、SACLA が革新的な光源であるため将来大きな成果が期待される一方、本施設は物質の構造や機能を調べる装置であり、直接製品を作るものではないことなども踏まえると、その寄与度や波及効果を過度に大きく評価することも適切ではないと考えられる。そのため、過去の類似の調査経験等も参考にしつつ、日本総合研究所において最低限の数値として見積もり、インタビュー等で妥当性の検証をしたものと考えている。
3. X線自由電子レーザーは第三期科学技術基本計画における国家基幹技術でもあり国民の寄せる期待は非常に大きいものと認識しており、イノベーション創出により我が国の競争力の強化を支える最先端研究基盤としての機能を十全に果たせるよう、的確な運用と成果の創出に努めていきたい。

③今回設定した重点戦略分野2分野と波及効果の試算結果で示された4つの分野の対比について説明していただきたい。また、戦略分野における波及効果を実現するために具体的にどのようなシナリオ(手順・手段)を考えているのか説明していただきたい。

1. ガン治療及び創薬の分野については重点戦略分野「生体分子の階層構造ダイナミクス」が、次世代電子デバイスと気体吸着素子の分野については重点戦略分野「ピコ・フェムト秒ダイナミックイメージング」がそれぞれ対応する。
2. 試算された波及効果を十全に実現するためには、これら重点戦略分野を重点的に推進して早期に先導的な成果を創出するとともに利用手法の開拓を行い、産業界を含めた利用者の一層の呼びこみを図り、利用研究の成果を創出していくことが重要である。
3. このため、平成 24 年度から X 線自由電子レーザー重点戦略研究課題を通じて、研究機関や大学等が一体となったチームによる重点的かつ強力な利用研究の推進を図ることとしている。
4. また、登録機関 JASRI においても、重点戦略分野を重点研究分野として指定しており、重点的に成果創出に向けた利用支援を実施することとなっており、これらを通じて波及効果の実現を目指していきたい。

④この施設が国内外の研究者を引き付ける放射光分野の研究拠点となるための戦略とこれに係る国際共同研究の取組みをはじめ各種方策の具体的な検討・実行計画について説明していただきたい。

1. 放射光科学の国際拠点となるために、SLAC・DESY と協定を結び、3 極ワークショップ等を通して性能の比較と向上に向けた議論を行うとともに、ネットワークの構築に努めている。実際に、既に DESY のグループとともに XFEL 絶対強度の国際共同計測を実施しているところ。また、SACLA に関してアジアの国々と毎年定期的なワークショップを開催しており、台湾・韓国・中国・オーストラリアなどの国々の人々による利用促進を図っている。
2. XFEL 施設は現在世界で 2 施設しか稼働しておらず、ビームタイムが圧倒的に不足しているため、SACLA 利用に関して多数の国外研究グループから問い合わせや公募の申し込みを受けており、国外研究者が実験責任者となる課題は全利用課題の 2.8 割（採択課題数ベース）を占めている。
3. 国外研究者を単なるユーザーとして受け入れることにとどまらず、SACLA の強みを宣

伝してもらおうとともに、国内における研究ノウハウの蓄積・関連分野の活性化につなげることが望ましいことから、国外研究者が実験責任者となる場合には国内にコンタクトパーソンを置くこととするなど、国際共同研究の推進に努めている。

(3)研究開発の実施計画の推進状況

①重点戦略分野、および重点戦略課題を絞り込む際にどのような戦略的な考え方がその背景にあったのか。また、重点戦略課題で最先端の成果を確実に生み出していくために、一般課題とは区別した運営（進行管理、評価等）をどのように行っていくのか説明していただきたい。

1. 重点戦略課題の選定にあたっては、第四期科学技術基本計画に掲げられているグリーンイノベーション及びライフイノベーションの創出への貢献、先行する米国の後追いとなつてはならないことや、さらには当初ビームラインが2本のみであること、早期の先導的成果創出が民間企業の利用も含め今後の利用研究の拡大に極めて重要であることなどの認識を踏まえ、これまでに装置開発を進めてきたもので比較的早期に研究成果が得られると想定されるものに重点的に投資することが効果的であるといった観点も考慮し、X線自由電子レーザー利用推進戦略会議での議論を経て定めたもの。
2. これらの重点戦略分野については、登録機関 JASRI において重点研究課題として指定されており、該当する課題について選定において一定の配慮を行うとともに、重点的に支援することで確実な成果の創出を目指している。
3. また、登録機関が行う公募・選定とは別に、重点戦略課題により早期に先導的な成果を創出するために、平成 24 年度予算案に文部科学省の委託事業として X 線自由電子レーザー重点戦略研究課題を実施するために必要な経費を計上しており、当該事業の実施においては、毎年度 X 線自由電子レーザー利用推進戦略会議において進捗報告を受け、課題の見直しや予算配分の見直しを柔軟に行うこととしており、真に成果の創出につながる課題に重点化して確実な成果の創出を図ってまいりたい。

②SPring-8 の場合、共用開始後さまざまな計測装置が開発され、現在に至っているように、共用してみても新しくわかる現象も多いが、それらに応じて利用開発の戦略を立案し、テーマをスクラップ&ビルドしていく仕組みはあるか説明していただきたい。

1. 利用装置の開発・テスト・改良（または方針変更）のサイクルを如何に迅速に行うことが出来るかという観点は、新しい光源 SACLA において極めて重要であると認識している。そのため、供用運転を通して蓄積されるノウハウやユーザーからの意見などをワークショップなどを通じて柔軟に吸収し、より効果的な運用に活かしていくこととしている。
2. また、重点戦略分野・重点戦略課題については、X 線自由電子レーザー利用推進計画においても「当面 3～5 年程度を念頭に重点的に進めることとし、研究開発の進捗状況や国内外の状況等に応じて適宜見直しを図っていくこととする。」と記載されており、利用研究の推進状況等を把握しつつ、X 線自由電子レーザー利用推進戦略会議における議論を経て適宜見直すこととしている。

③ビームラインを 2 本から 5 本に増設する判断はいつ、どのような基準で行われ、どういう考えで使い分ける予定なのか、ビームラインの活用に対する考え方について説明していただきたい。

1. XFEL 施設は現在世界で 2 施設しか稼働しておらず、ビームタイムが潜在的に不足している。実際に、SACLA の 2012A 共用課題の採択率は 45%であったが、利用拡大とともに LCLS と同様の 2 割前後まで低下することも懸念される。
2. その際には、現行ビームラインにおける研究の進展も見ながら、文部科学省における X 線自由電子レーザー利用推進戦略会議や SACLA ユーザーミーティング、レビュー等で議論を行い、ビームラインの増設を検討したい。

④SACLA を維持、又はステップへ進化させていくための体制について、基本的に維持していかなければいけない技術、それをサポートする人材の育成・確保について、これまで及び今後においてどう進めている(いく)のか具体的に説明していただきたい。特に、これまで 5 年間の人材育成の取組み状況については、具体的な数値をもって説明していただきたい。

1. SACLA の建設・施設整備等に関わった人材は延べ 880 名程度（別紙 7 参照）である。積極的な若手の参画を得てプロジェクトを進め、人材育成を進めてきている。

2. また、平成 20～22 年度の間に SCSS 試験加速器（XFEL プロトタイプ機）を延べ 786 名（うち 196 名が外国籍）が利用しており、その成果として東北大学の研究者が日本物理学会若手奨励賞を受賞、また台湾の大学院生（理研との連携大学院）が国際学会 VUVX2010 で Student Prize を獲得するなど、着実に自由電子レーザー利用研究を担う若手の育成に貢献している。
3. サポートスタッフについては、施設者・利用支援者、装置開発者、ユーザーが一体になって取り組む体制を基本としており、特に SACLA の利用促進を担う登録機関 JASRI が XFEL 研究推進室を設置し、専従者 15 名を含め、計 40 人のスタッフが供用開始に向けた支援体制を構築している。

⑤ X線自由電子レーザー利用推進方針の改定並びに特定放射光施設の共用の促進に関する基本的な方針の改正に伴い、サポート態勢はどのように整備されたか説明していただきたい。また、これに関し、利用者が気軽に相談できる窓口の整備状況、産業界や海外を含めた潜在的利用者へ働きかける業務や利用者の要望を聞き実現に結びつける業務にかかわる専門スタッフの有無という場合にはその人数を教えてください。

1. SACLA の利用促進業務を行う登録機関 JASRI では、SACLA の利用支援を行うための部署として、「XFEL 研究推進室」を設置し、専従者 15 名を含め、計 40 人のスタッフが供用開始に向けた支援体制を構築している。
2. その他、利用者の要望を聞き実現に結びつける業務にかかわる専門スタッフとして SACLA の利用相談のためのコーディネーターを 2 名配置している。
3. 利用者の窓口としては、SPring-8 の窓口と一本化することで、利便性向上に努めている。

⑥ 研究課題公募や技術者養成等について、若手や女性に対する配慮の有無と配慮がなされている場合にはその具体的な内容について説明していただきたい。

1. SACLA においては、研究課題の公募については国内外を問わずまた若手や女性にかかわらず産学官の幅広い分野の研究者を対象としており、現時点では SACLA に特化した、かつ若手や女性に限定した支援は行っていない。

2. ただ、将来的には若手抜きにしては新しい光源である SACLA の利用を発展させることは不可能であることから、理研が主要な大学院を回るなどして若手の技術者としての参画や積極的な利用を促進している。
3. また、文部科学省において平成 24 年度から実施する予定である X 線自由電子レーザー重点戦略研究課題においても、当該事業で雇用した若手の博士研究員を対象としたキャリア支援の活動を推進するよう促すほか、そういった支援に基づく企業交流会などの若手研究員の活動の一部を研究エフォートの中に入れることができることとする予定であり、若手の参画と支援を推進している。
4. SPring-8 の場合は、若手研究者を支援するための萌芽的課題を設定しているため、SACLA についても今後の状況を踏まえつつ検討してまいりたい。
5. SACLA に特化した支援以外では、理研において連携大学院制度による大学院生の受入れや研究指導、大学院リサーチアソシエイト（大学院生）・基礎科学/国際特別研究員制度（ポスドク）・独立主幹/国際主幹研究ユニット制度（若手 PI）、准主任研究員制度など各ステージにあわせた若手育成・奨励プログラムを運用している。
6. また「妊娠、育児又は介護中の研究系職員の支援者にかかる経費助成」制度を創設し、妊娠中・育児中及び介護中の研究系職員の業務を支援する者を雇用する経費を研究所が助成し、研究業務との両立を支援している
7. これらに加えて理研播磨研では、シニアな研究者が相談員・メンターとなり若手研究者が相談しやすい仕組みを構築している他、センター長ファンドに女性枠を設けたり、女性向けの賞の設置などモチベーションアップを行っている。また、文部科学省博士過程教育リーディングプログラムに採択されている兵庫県立大学と連携・協力し、生物学分野における高い研究能力を有した広く産学官の各分野で活躍できるリーダーを養成している。

⑦施設設置機関(理研)と運営機関(JASRI)との役割分担と両者の連携を確保するための具体的な取組みについて説明していただきたい。

1. 共用法に基づき、施設設置者である理研は SACLA の施設整備及び運転・維持管理を、登録機関である JASRI は SACLA の利用者の公募・選定、利用者への情報提供、利用

者への相談対応・利用実験支援等を実施している。

2. 同時に共用法においては施設設置者と登録機関の連携を定めており、これを受け理研と JASRI は「X 線自由電子レーザーの研究開発及びその建設に関する協力協定」(平成 19 年) を締結し、共同で XFEL 計画合同推進本部を組織することで、加速器・制御・ビームライン・利用系・計画管理・安全設計など全体に渡って両機関の研究者・技術者らがチームを組んで開発に取り組んだ。
3. さらに「X 線自由電子レーザーの研究開発、調整運転及びその利用促進に関する協力協定」(平成 23 年) を締結し、調整運転フェーズにおいても両者が連携して実施している。
4. 加えて定期的な連絡会議で情報共有・意見交換を行うなど、両法人は意思疎通を積極的に実施している。

⑧外部評価委員会の体制(組織構造及び委員構成)、役割・権限及び開催実績について説明していただきたい。

別紙 1 参照

⑨SACLA の運営経費の内訳を示していただきたい(追加資料)。また、運営経費を抑えるための取組みの有無と取組みが行われている場合にはその具体的な内容について説明していただきたい。

1. 運営経費の内訳は別紙 2 のとおり。
2. 運営経費を抑えるため、理化学研究所及び JASRI においては、SPring-8 と共通的な業務は、スタッフの兼務や同一の部署が一体的に行うことなどにより経費の効率化に務めている。

⑩SPring-8 との併用に関して、ポンプ・プローブ以外の具体的な実験計画は検討されているのか。また、ポンプ・プローブの実験計画はどこまで具体化されているのか。既に体制が出来上がっているのであれば説明していただきたい

い。

1. SPring-8 との相互利用実験基盤については、現在検査や利用にかかる準備を行っており、平成 24 年度中の実験開始を目指している。
2. 実験開始後は、ポンプ・プローブについては、まず SACLA の X 線レーザーを相互利用実験施設で用いる実験を行い、次に SPring-8 の放射光を使う実験を行った上で、双方の光源を使った試験・調整を経て、共用ビームラインとしてユーザー実験に供する段取りを考えているところ。
3. その他にも、相互利用実験施設は光源から実験ハッチまでの距離が長く取れるため、極限集光の技術を組み合わせた超高強度の X 線レーザーを使った実験や、軟 X 線 FEL や光学レーザーとの同時利用実験が可能であるなど将来的な拡張性が非常に高く、新たなサイエンスを切り開くことが期待されている。

(4)2/16追加質問

①プロトタイプ機は外の研究者にも開放しているのか

1. プロトタイプ機である SCSS 試験加速器については、共用法の対象施設ではないが、理化学研究所により幅広いユーザーの利用に供している。
2. 具体的には、年に 3 回の公募を行い、SCSS 試験加速器課題選定作業部会/SCSS 試験加速器運転・利用委員会による審査を経て課題を採択しており、平成 23 年度は 29 件採択して実験を実施していただいているところ。

追加提出を求める資料

①文部科学省の事後評価における審議経過がわかる資料(メンバーリスト、配布資料、議事概要等)

別紙 3-1 ~ 3-6 参照

②X 線自由電子レーザー利用推進会議と XFEL 利用推進戦略会議のメンバー構成(メンバーリストを含む)、設置期間及び役割・権限の対応表。

別紙 1 参照

③X 線自由電子レーザー利用推進戦略会議で決定された XFEL 利用推進計画最終報告(平成 24 年 1 月 23 日)。

別紙 4 参照

④SACLA における利用研究の戦略が SLAC や DESY の計画とどのような関係にあるか(似たような戦略で競争するのか、独自性を追求するのか)がわかる比較表。

別紙 5 参照

⑤フェーズ 1 : 利用推進研究課題の成果と評価に関する資料。またこれらの研究成果(2012 年 1 月末現在)の波及効果を示す資料。

1. 各課題の成果については、X 線自由電子レーザー利用推進協議会において成果発表を行っている。(利用推進方針に関連資料掲載(別紙 6-1)、実績報告書は別紙 6-2 参照)波及効果については、供用開始後に SACLA を用いた利用研究を通じて発現されるものであり、利用研究成果も含めて適当な年度に SACLA 全体の中間評価を行う予定。

⑥重点戦略課題として採択された利用研究課題の詳細と実施計画を示す資料。(重点領域に関する研究成果、計測結果が得られる時期がわかるもの)

1. 研究者のアイデアの保護のため課題名を含む利用研究課題の公表は課題実施後に行うこととしており、現時点では公開できない。

⑦建設期及び調整・試運転／共用期において、理研、JASRI、KEK のそれぞれの組織でこの計画にかかわっている研究者と事務部門の人数の概数(延べ人数、従事率を加味した実質人数)。

1. 平成 18～23 年度における人数は別紙 7 の通り。
2. 共用期に係る人数については、供用開始前のため実績はお示しできない。

⑧SACLA の運営経費の内訳(再掲)。

別紙 2 参照