

総合科学技術会議が実施する
国家的に重要な研究開発の評価

「X線自由電子レーザーの開発・共用」
について

平成17年11月28日

総合科学技術会議

目次

はじめに	i
審議経過	ii
評価専門調査会名簿	iii
評価検討会名簿	iv
1. 評価の実施方法	1
(1) 評価対象	1
(2) 評価目的	1
(3) 評価者の選任	1
(4) 評価時期	1
(5) 評価方法	2
① 過程	2
② 項目	2
③ その他	3
2. 評価結論	3
(1) 総合評価	3
(2) 指摘事項	5
① 我が国の科学技術に対する貢献と社会・経済への波及効果について	5
② プロトタイプ機による技術開発の役割について	5
③ 利用研究の推進について	6
④ 運営・評価組織の体制について	7
⑤ その他の指摘事項	7

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化を図り、優れた成果の獲得や研究者の養成を推進し、社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動である。中でも、大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発については、国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から、総合科学技術会議が自ら評価を行うこととされている（内閣府設置法 第26条）。

このため、総合科学技術会議では、新たに実施が予定される国費総額が約300億円以上の研究開発について、あらかじめ評価専門調査会が、必要に応じて専門家・有識者を活用し、府省における評価結果も参考として調査・検討を行い、その結果を受けて評価を行い、その結果を公開するとともに、評価結果を推進体制の改善や予算配分に反映させることとしている。

「X線自由電子レーザーの開発・共用」は、平成18年度予算概算要求において文部科学省が新たに実施することとした研究開発であり、平成18年度予算概算要求額33億円、5年間で国費総額375億円の大規模新規研究開発である。総合科学技術会議では、評価専門調査会において当該分野の専門家や有識者を交え調査・検討を行い、その結果を踏まえて評価を行った。

本報告書は、この評価結果をとりまとめたものである。総合科学技術会議は、本評価結果を関係大臣に意見具申し、推進体制の改善や予算配分への反映を求めるとともに、評価専門調査会においてその実施状況をフォローすることとする。

審議経過

- 9月16日 評価専門調査会
評価対象、担当議員・委員、進め方を確認
- 9月22日 第1回評価検討会
ヒアリング、追加質問と論点候補の抽出
⇒追加意見（質問を含む。）を回収し文部科学省
へ対応を要請
- 10月12日 第2回評価検討会
追加ヒアリング、論点整理
⇒評価コメントを回収し評価原案を作成
- 11月 4日 評価専門調査会
評価案の検討
- 11月28日 総合科学技術会議
評価案に基づく審議・結論

評価専門調査会 名簿

会長	柘植 綾夫	総合科学技術会議議員
	阿部 博之	同
	薬師寺 泰蔵	同
	岸本 忠三	同
	黒田 玲子	同
	松本 和子	同
	吉野 浩行	同
	黒川 清	同
(専門委員)		
	伊澤 達夫	NTTエレクトロニクス株式会社 取締役相談役
	大石 道夫	財団法人かずさDNA研究所長
	大見 忠弘	東北大学未来科学技術共同研究センター 客員教授
	垣添 忠生	国立がんセンター総長
	笠見 昭信	株式会社東芝常任顧問
	川合 眞紀	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
	北里 一郎	明治製菓株式会社取締役会長
	小舘香椎子	日本女子大学理学部教授
	小林 麻理	早稲田大学政治経済学術院教授
	土居 範久	中央大学理工学部教授
	中西 準子	独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長
	中西 友子	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	西尾 道德	元筑波大学農林工学系教授
	原山 優子	東北大学大学院工学研究科教授
	平澤 冷	東京大学名誉教授
	平野 眞一	名古屋大学総長
	畚野 信義	株式会社国際電気通信基礎技術研究所社長
	虫明 功臣	福島大学理工学群教授

評価検討会 名簿

- | | | |
|----|-------|----------------------------------|
| 岸本 | 忠三 | 総合科学技術会議議員 |
| 黒田 | 玲子 | 総合科学技術会議議員 |
| 座長 | 川合 眞紀 | 評価専門調査会専門委員 |
| | 北里 一郎 | 評価専門調査会専門委員 |
| | 原山 優子 | 評価専門調査会専門委員 |
| | 板東 義雄 | 物質・材料研究機構 フェロー
若手国際研究拠点センター長 |
| | 堀 利匡 | 広島大学放射光科学研究センター
副センター長 |
| | 松下 正 | 高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所副所長 |
| | 山田家和勝 | 産業技術総合研究所 計測フロンティア
研究部門副研究部門長 |
| | 若槻 壮市 | 高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所教授 |

1. 評価の実施方法

(1) 評価対象

『X線自由電子レーザーの開発・共用』

【文部科学省】

○平成18年度予算概算要求額：33億円

○全体計画：5年間・国費総額375億円

(2) 評価目的

国の科学技術政策を総合的かつ計画的に推進する観点から、新たに開始が予定されているX線自由電子レーザーの開発・共用の評価を行う。

評価においては、当該研究開発の必要性、効率性、有効性という視点のみならず、加速器・放射光分野全体の中におけるX線自由電子レーザーの意義、他の研究開発との関係等も視野に入れ、高い次元から検討し、評価を行う。

(3) 評価者の選任

評価専門調査会において、有識者議員、専門委員数名が中心になり、さらに外部より当該分野の専門家、有識者の参加を得て、評価検討会を設置した。

当該分野の専門家、有識者の選任においては、評価専門調査会会長および会長により指名された評価検討会座長がその任に当たったが、この際、予算概算要求段階において、当該研究開発に参加が予定されている研究者を排除した。

(4) 評価時期

予算概算要求された大規模新規研究開発を対象とする評価であり、その結果を推進体制の改善や予算配分に反映させる必要があるため、予算概算要求提出後、9月より調査・検討を開始し、年内に評価結論を得ることとした。

(5) 評価方法

① 過程

- 第1回評価検討会において、当該研究開発の担当課長ほかから研究開発概要のヒアリング[参考1]を行い、②の調査・検討項目を念頭に問題点や論点候補について議論した。これを踏まえ、評価検討会委員から追加意見(質問を含む。)を回収し、文部科学省へ対応を要請[補足1]した。
- 第2回評価検討会において、質問事項についての追加ヒアリング[参考2]を行い、本研究開発における評価の論点(案)[補足2]を参考にして、問題点や論点に対する考え方を議論した。
- 評価検討会委員から、第1回、第2回評価検討会での調査検討内容を踏まえた評価コメントを回収[補足3]した。
- 評価検討会における調査・検討内容及び回収した評価コメントに基づき、評価原案を作成した。
- 評価専門調査会において、評価原案及び文部科学省から提出された資料[参考3]について調査・検討し、評価案を作成した。総合科学技術会議本会議において、審議を行い、結論を得た。

② 項目

評価検討会では下記項目について調査・検討した。

- A. 科学技術上の意義
当該研究開発の科学技術上の目的・意義・効果。
- B. 社会・経済上の意義
当該研究開発の社会・経済上の目的・意義・効果。
- C. 国際関係上の意義
国際社会における貢献・役割分担、外交政策との整合性、及び国益上の意義・効果。
- D. 計画の妥当性
目標・期間・資金・体制・人材や安全・環境・文化・倫理面等からの妥当性。
- E. 成果(見込み)、運営、達成度等

投入資源に対する成果（見込み）、運営の効率性、及び目標の達成度等。評価結果の反映状況の確認等。（ただし、Eについては、新規研究開発であることから、その内容を考慮。）

③ その他

評価検討会は非公開としたが、資料は原則として検討会終了後に公表し、議事録は発言者による校正後に発言者名を伏して公表した。

2. 評価結論

(1) 総合評価

「X線自由電子レーザーの開発・共用」は、物質の一原子レベルの超微細構造や化学反応領域の超高速動態・変化を瞬時に計測・分析することを可能とする最先端放射光研究施設「X線自由電子レーザー（XFEL）装置」を整備し、XFELを効果的かつ効率的に利用することによって、ライフサイエンス分野、ナノテクノロジー分野、材料分野などの広範な科学技術分野において先端的研究成果を多数創出することを目指すものである。

XFELは、波長0.1ナノメートル以下のX線領域において、100フェムト秒以下の極短パルス及び良好な干渉性を実現する「放射光とレーザーの特徴を併せ持つ光」であり、そのピーク輝度はSpring-8の10億倍を上回る。このような特性を持つXFELによる、対象物の原子レベルでの構造解析や超高精度・超高速イメージングによって、単分子での生体成分の立体構造解析、ナノレベルでの化学反応の動的観察、細胞の高分解能イメージングなど、従来の手法では実現が不可能あるいは極めて困難な分析が可能となる。例えば、タンパク質の立体構造解析において、XFELは放射光、電子顕微鏡およびNMRなどの従来の分析法における制約を取り除く手法を提供する。特に、現状では構造解析に膨大な労力と資源を要し、

新たな手法の開発も検討されている結晶化の困難なタンパク質に対して、単分子レベルでの迅速な解析がX-FELによって可能となれば、重要なタンパク質の構造・機能情報の特許化や創薬・新規診断法への波及が期待される。また、Spring-8によって、金属担体に水素やアセチレンなどの気体分子が高密度に吸着している状態の観測が可能となったが、X-FELはさらにその気体分子の動態を化学反応領域の時間分解能で観測可能とする唯一の手段となりうるものである。これによって、燃料電池の開発研究における、新たな気体吸蔵素子の開発にも展開の可能性が見込まれるなど、幅広い分野で産業や国民の生活向上に役立つ成果を諸外国に先駆けて創出することが期待される。さらに、X-FEL装置の開発により、加速器本体、マイクロ波、電源、精密計測制御、精密機械加工等の装置の製造に関わる中小を含めた企業群に対し、技術の向上等の貢献が期待され、その意味での社会・経済効果は高い。

X-FEL装置から得られる超高輝度・超短パルス硬X線の科学技術への貢献の可能性は国際的にも広く認知され、欧米では既に大規模プロジェクト（DESY(独)、SLAC(米)）が開始されている。欧米の先行プロジェクトに対して、本プロジェクトでは独自技術を駆使したコンパクトな設計と短期間での整備計画に特色があり、計画通りに平成22年度に利用研究が始められれば、改めて我が国の加速器技術の高さを示す良い例となるばかりでなく、その成果の普及と海外の研究者も含めた利用促進による国際貢献（特にアジアのリーダーとして）が期待され、我が国の国益のためにも重要と考えられる。また、要素技術の開発に当たって、海外に先駆けた技術に関する特許取得の取組が進められており、今後の加速器・放射光分野における我が国の国際競争力強化につながると期待される。さらに、計画されているようにX-FEL装置が第3世代放射光施設であるSpring-8サイトに併設され、既存の高輝度放射光と複合的に利用できるようになれば、海外にも例の

無い複合的最先端放射光施設として、革新的な成果が期待できる。

欧米の計画が超伝導加速器やレーザー光陰極RF電子銃等の先進的であるが故に定着しているとは言い難い技術を用いるのに対して、本プロジェクトは熱陰極DC電子銃及び常伝導リニアック等の既実績のある技術を利用し、さらに我が国が得意とする短周期長の真空封止アンジュレーター及び日本のオリジナルの技術であるCバンド加速管を組み合わせることによって、小型・低コストの設備で、諸外国と同等以上の性能を実現しようというものである。若干のリスクは想定されるものの、これまでの要素技術に係る研究成果及びプロトタイプ機によって実施される今後の研究の成果の還元により、早期実現の可能性は高い。

以上のことから、本プロジェクトは実施することが適当である。なお、実施に当たっては以下の指摘事項への対応が必要である。

(2) 指摘事項

① 我が国の科学技術に対する貢献と社会・経済への波及効果について

X-FEL装置の開発により利用可能となる超高輝度・超短パルス硬X線が、放射光科学分野に留まらず、物質科学や生命科学等、科学技術全体に対してどのように貢献できるのか、より具体的な説明に努めていくべきである。X-FELによって実現可能性の見込まれる研究について、その可能性の定量的な検討、実現に向けて必要なR&Dの明示と具体的な研究体制を提示していくことによって、内外のサポートが得られやすくなり、さらに潜在的な利用研究の発掘も期待される。

また、X-FELの利用研究によって期待される我が国の社会・経済への波及効果について、国民に分かりやすい形で説明し、産業利用を含めた具体的な貢献に至るシナリオを提示していくべきである。さらに、さしずめ「魔法の

光」ともいえるX-FELを生み出す最先端科学技術施設の成果と可能性について、次代を担う若者、少年少女の科学への興味・関心を惹きつけられるよう、積極的に広報していくべきである。

② プロトタイプ機による技術開発の役割について

本プロジェクトは欧米に比して開発のスタートは遅れたものの、我が国独自の技術をベースとした戦略をもって推進されている。その上で、さらに他国に先んじる成果を上げるためにはタイトなスケジュール設定が必要であり、そのためには平成17年度中に運転が開始されるプロトタイプ機による研究・検討の成果を、X-FEL装置のデザインと整備計画に的確に反映させるための道筋と仕組みを明確にすることが望まれる。特にX-FELの利用研究を推進し、高度化する上で重要なスーパーシーディング技術を早期に実用化させるためには、プロトタイプ機の十二分な活用とその成果の還元が不可欠である。

また、プロトタイプ機自体も高輝度フェムト秒真空紫外コヒーレント光源として、新たな研究分野の開拓に供するための利用体制を早急に整えるべきである。

③ 利用研究の推進について

C D R (Conceptual Design Report)、国際レビュー委員会の報告及び本評価検討会での説明から、X-FEL装置本体の開発に関しては十分な検討がなされていると判断されたが、利用研究についてはさらなる検討が求められる。生体分子の立体構造解析や化学反応のリアルタイムイメージングなど、X-FELが果たしうる可能性は極めて大きい。X-FELが基礎科学に加えて、広く社会に貢献できる利用分野を積極的に開拓するためには、その利用研究による成果が具体的な形となることが重要である。

S P r i n g - 8 では、海外に比べ稼動開始が遅れたために、簡単だが意味のある研究、例えば位相コントラスト

イメージングやコンパウンドX線レンズといった、当該分野におけるその後の研究の方向性を決める重要な成果を諸外国に先行されてしまった。これは単に光源の利用開始が遅れたということのみでなく、ユーザーが第3世代の光源を使いこなすための技術や問題意識を持つまでに時間がかかったという部分も影響している。同じことを繰り返さないためには、利用研究に関しての技術的基盤の整備、課題の選定と実験技術に関する準備、有力な研究者・研究グループの取込みなどを、今後早急に進展させることが不可欠である。当面はX-FELを用いることによって初めて実現可能となる戦略的な研究課題を絞り込み、そのための技術開発に注力することが肝要である。特に、早期に具体的な成果が見込まれる課題に関しては、X-FEL装置の開発と並行して準備を進め、運転開始と同時に研究を展開できる体制を整えておく必要がある。具体的には、優れた研究課題を選定するための利用推進専門委員会を立ち上げるとともに、利用研究の重要性とDESY、SLACの例で見られるような、海外における巨額の研究資金の投資状況等を勘案し、当該分野での競争的資金の積極的な獲得などを通して、優れた利用研究を着実に実施できるよう努力することが必要である。

④ 運営・評価組織の体制について

X-FELを用いた、極めて挑戦的で技術的に難しいテーマについては、複数の研究グループの長期的展望に立った協力関係をX-FEL運営主体がイニシアティブをもって形成し、優れた研究を推進する仕組みをつくる必要がある。黎明期のX-FEL利用研究においては、ピーク輝度やコヒーレンスなどX-FEL特有の先端性を生かすために施設側の研究者と利用研究者が緊密に協力することが不可欠であり、汎用型放射光施設に移行しつつあるSpring-8の利用研究スタイルとはおのずと異なるものとなる。既に財団法人高輝度光科学研究センター（JA

S R I) で運用されている課題申請システムや宿舎その他のユーザー受け入れ体制は積極的に活用すべきであるが、効率性を求めるあまりに一元的な体制に固執することなく、両者の持つ役割を勘案し、相乗効果のある適切な運用を進めていくことが重要である。

利用研究の課題選定と評価については、X-FEL特有の研究スタイルを考慮した独自の方針を打ち出していくことが望まれる。建設の進捗管理、個々の利用研究の内容と進捗状況の評価、成果を創出するためのマンパワーが十分に確保されているかなどについて、運用・推進主体による内部評価に加えて、外部評価委員会による厳しい評価が適時なされるべきである。

⑤ その他の指摘事項

極めて先端性の高い研究から、汎用的な分析・計測まで、研究分野が非常に多岐にわたる放射光利用の将来の発展と、X-FEL装置の効率的な利用を考えると、汎用的ツールに移行しつつあるSPring-8等の従来の放射光施設の活用、役割分担についてもX-FELと並行して検討することが望まれる。

また、完成後にX-FEL装置が計画通りの性能に達したか、あるいは発振したX-FELがどのような特性を持っているかは、利用研究を進める上で極めて重要である。X-FELの諸特性を精密計測するためのシステムに関しても十分な検討が望まれる。