

1. 計画タイトル：新しい時代の科学技術立国を支える放射光科学の高輝度光源計画
2. 学術領域研究の選択：(主) 26-1 分析化学・計測科学
(副) 23-1 物性物理・一般物理学
3. 計画の英文タイトル：Project of a low emittance Synchrotron Radiation source for the establishment of a coming world leader in science and technology

4. 計画の概要 (800 字) (目標)

放射光は、物質科学、生命科学、工学から文化財研究に至る広範な学術分野で常に研究の次世代を切り開いてきたツールである。30 年を超える共同利用実績のある高エネルギー加速器研究機構 (KEK)・フォトンファクトリー (PF) や 15 年前に共用を開始した SPring-8 では、14,000 人にもものぼる産学官の利用者がユーザーコミュニティを形成し先端的研究を行っている。これまでの放射光先端計測により物質の構造やダイナミクスに関する学術研究領域が切り開かれ、物質や生命に対する理解を深めると共に、応用面での利用も広がってきた。

本計画は、物質・生命科学の更なる発展を目指し、高輝度放射光施設の早急な建設・運転開始を提案するものである。本計画の高輝度放射光施設は、原子・分子の集団の振舞いを可視化することで、複雑な物質構造とその時間発展の理解を可能にする。更に将来的な回折限界光源の実現を見据え、究極のイメージング技術の活用へ向けて、高輝度放射光施設を使って新世代の物質・生命科学を創造することが必須である。これにより将来、物質・生命科学の分野で世界をリードすることが可能になる。

本計画は、先端的研究を目指しながらも低コスト建設、省エネルギー運転を設計基本思想に取り入れたものである。また、ユーザー施設としての要件を満たすために、1)先端研究に必須の高輝度放射光を、低エミッタンス運転と挿入光源により発生する、2)周長 300m の規模で 20~30 本のビームラインの設置を可能にし、ナノビーム先端計測を回折・散乱・分光・イメージングの手法で標準化する。加速器・挿入光源・光学系・計測系における我が国独自の R&D により完成した最新技術を結集し、建設は 3 年以内で行う。一方、回折限界光源計画は、今後の加速器技術の発展を見極め、光源としてのパフォーマンスだけでなく、建設費用、運転・施設運用費用など総合的に考え具体化する。(800 文字)

5. 学術的な意義 (800 字) (期待される研究成果、様々な効果や意義を明確に)

物質・生命科学分野においては、物質・生命が示す機能性と多様性の起源の理解を可能にする新しい概念を提唱し、それに基づき新しい物質・材料の創出に貢献することが求められている。これを実現するための先端的研究プロンプトとして、3GeV 程度の加速エネルギーを持つ高輝度放射光施設を提案する。この光源は、比較的低エネルギーの X 線領域から軟 X 線

領域において強い強度を持ち、物質の構造および電子状態を研究するのに適している。またこの光源から得られるナノビームを利用すれば、局所領域または微小サンプルの解析が可能となり、これまで対象を均一な系として解析をしていた放射光利用研究を、実態に即した複雑かつ不均一な解析研究へと進化させる。その結果、将来の回折限界光により達成される究極の時間・空間イメージング情報と、従来の比較的単純な物質構造情報を結ぶメゾスコピック領域の物質・生命科学を切り開く事が可能となる。更にこのような学術領域は、「京」に代表される大型計算機のシミュレーション技術と相まって、これまで手が届かなかった複雑系の動作原理の解明を達成すると思われる。具体的には、電子集団の理解に基づく新量子物質相の創成、タンパク質集団（超分子複合体）の機能メカニズムに基づいた細胞機能の予測、光エネルギーの変換効率を飛躍的に向上させる新原理の発見など、メゾスコピックな不均一系において現象の記述を超えて、新しい学理の構築を目指す。また、産業界への技術移転により、産官学連携のプロジェクトでの研究基盤拠点としての役割を担うことも期待される。

このように本施設は、次世代の放射光利用の礎となり、新しい学術研究領域の創成、新産業育成にも貢献する。人材育成においても、様々な研究領域の集う放射光施設は学融合の揺籃となり、リーダーシップ教育、リーダー研究者のネットワークの中核拠点となれば、社会的意義も大きい。(792 字)

6. 国内外の研究動向と当該計画の位置づけ (500 字)

KEK・PF および SPring-8 は、これまでに我が国の物質科学、生命科学を牽引するとともに、世界の放射光科学をもリードしてきた。しかし、「学術的な意義」の項でのべたような複雑な系の理解を進め、新しい学術分野を切り開くためには高輝度なナノビーム利用を前提とした放射光施設が是非とも必要である。一方世界では、スイス、フランス、英国、オーストラリア、中国、スペインなどで 3GeV クラス高輝度光源が建設され供用が始まっている。台湾、米国、スウェーデンでは更に高性能の中型放射光源の建設が開始されている。このように放射光をツールとした科学技術の研究開発における国際競争が激化している。

提案する中型高輝度放射光源は、ナノアプリケーションの利用を進めることによって最先端計測技術、解析技術が高度化され、基礎科学分野、産業応用分野ともに自然な方向としてやがて X 線領域の回折限界光の利用を望む要求が高まってくることを見据えた計画となっている。上記の国際競争力の観点での技術革新に加え、光源としてのパフォーマンスだけでなく、建設費用、運転・施設運用費用など総合的に考えたリング計画である。(486 文字)

7. 所要経費 (500 字)

所要経費は全体で 280 億円、その内訳は中型放射光施設建設 250 億円 (3 年間)、ビームラ

イン施設整備 30 億円、運営費 10～15 億円/年、計画期間：2014 年～2019 年を予定する。

8. 年次計画（800 字）

2014 年：SPring-8 や KEK で放射光源の設計、建設に関わった専門家集団が中核となり、オールジャパンの設計・建設体制を組織しデザインコンセプトを決定し、それに基づいて最適候補地を選定する。

2015 年～2017 年：放射光施設の建設を完成する。また、建設ビームライン検討のための産学ユーザーコミュニティを組織し、ビームライン建設を開始する。

2018 年：加速器コミッショニングとともに 10 本程度の初期ビームライン設置を完了させる。

2019 年：共用試験開始する。その後、数年間をかけて次期ビームラインの整備を行っていく、2020 年代前半には 30 本程度のビームラインの整備をすべて完了する。

なお X 線領域での回折限界光源計画に関しては、今後 5 年間程度をかけて、KEK と理研においてそれぞれ独自の開発研究を進める。KEK では、エネルギー回収型直線加速器 (ERL: Energy Recovery Linac) の技術開発を、その実証機であるコンパクト ERL の R & D をとおして進めていく。また、理研においては、JASRI と共同し、蓄積リングで目指す SPring-8 II 計画を進める。その後、回折限界光源として最適のものを検討し、建設準備を開始する。ERL 計画では、650 億円程度、SPring-8 II 計画では 400 億円程度を見込んでいる。

9. 主な実施機関と実行組織（800 字）（実施の中心となる機関名と実行組織の役割）

高輝度 3GeV 光源建設は、これまで世界のトップランナーである SPring-8 の建設、高度化で実績のある理化学研究所や PF, PF-AR の建設、高度化で長年の経験と実績がある KEK が中心となって、全日本の協力体制のもとに建設・運営を行うのが妥当である。

ビームライン建設は、理研、KEK を加えた全国の学术界、産業界から志願した組織が、大学共同利用、産学先端研究開発利用、産業基盤利用等のミッションを分担し、ビームライン建設を実施する。

運営に関しては、基礎科学における独創的な研究成果や社会の要求に直結する成果創出のためには、すでに SPring-8 や KEK・PF の運営の経験から従来のアカデミア側（学）の視点に立ったものから進化した形態が求められる。データ解析まで含めた一貫した利用支援や産業界の開発時間スケールに即した柔軟なビームタイム配分など、新しい放射光利用形態の整備が必要不可欠である。そして、学术界・産業界が抱える様々な課題解決に、積極的かつ柔軟に放射光を利活用できる仕組みを確立する。

上記の建設組織、実行・運営組織により、本マスタープランによる実現する放射光施設が学融合を加速し、産学イノベーションを強力に推進するエンジンとなる。

10. これまでの準備状況（800 字）

高輝度 3GeV 放射光源計画は、研究者グループの具体的検討による企画書作成段階にある。高輝度 3GeV 放射光施設の候補として、2011 年 12 月に「東日本中型高輝度放射光施設計画」が提案されている。日本放射光学会では、これを受け、2012 年 5 月に公開討論会を開催し、計画の詳細のヒアリングとともに妥当性の議論を行った。

なお、本計画に続く X 線領域での回折限界光源計画に関しては、5. で記述したとおりである。

1 1. 科学者コミュニティの合意状況等 (500 字)

2011 年暮れに、東北地方国立 7 大学の研究者によってまとめられた「東日本中型高輝度放射光施設計画」構想が文部科学省に提出された。これを受けて日本放射光学会では評議員会で「放射光将来計画特別委員会」を設置し、「放射光将来計画公開シンポジウム」を 2012 年 5 月 12 日（土）東大工学部において開催し、放射光学会での議論を行った。そして、建設計画の科学技術的な裏付けを確認し、東日本での中型高輝度光源のユーザーファシリティーの必要性を認めた。本計画は、学術的観点からこの放射光学会特別委員会の答申と整合し、学会の評議委員会、総会等において基本合意がなされている。

なお日本放射光学会では、2011 年にも放射光科学の将来のビジョン・ロードマップを策定するために放射光サイエンス特別委員会を設置し、放射光を利用することによって新しい展開が期待される物質科学、生命科学の各分野において、将来の進むべき方向、期待される成果の科学的意義を議論し、それらが実現するために必要とする光源と本計画は整合する。(454 字)

1 2. 他の学術研究分野への波及効果 (500 字)

「放射光」は広範な学術分野での先端研究の基盤ツールである。我が国の放射光施設 (SPring-8、KEK-PF、AR、UVSOR、HiSOR、Rits SR、Saga Light Source、New SUBARU、Aichi SR) においては、基礎科学である数物系科学・地球惑星科学・化学はもとより、応用科学である機械・電気電子・土木・材料分野などの工学分野を中心として、最近では情報学分野や環境学分野、さらには農学・生物学・医学への放射光利用の広がりを見張るものがある。高輝度 3GeV 放射光計画の実現により、これまでの放射光施設で得られるもの以上に高精度かつ複雑な結晶構造や電子構造や不均一な物質に関する情報を得ることができるようになるため、放射光の汎用的利用を行うユーザー層のさらなる拡がり期待できる。また、ナノ領域のダイナミクス情報を必要とする先端的研究分野に対して観測可能な時間、空間分解能の高度化により様々な機能発現機構の解明が加速され、ゆえに画期的な分析ツールを提供することになる。すなわち新たな学際領域の創成にも重要な役割を果たすことが期待できる。(389 文字)

1 3. 社会的価値 (国民の理解、知的価値、経済的・産業的価値等を記載してください。)

(500 字)

放射光は、既に述べてきた新しい学術分野を切り開くのみならず、現代社会が直面しているエネルギー問題や環境問題に対して挑む課題解決型の研究開発において極めて有用な情報を提供し、国民生活の安心・安全を支える基盤的なツールでもある。本計画の高輝度 3GeV 放射光源が提供する「ナノアプリケーション技術」は、微小試料あるいは不均一試料中の極微細領域の分析を実現し、原子・分子レベルでの物質の理解を可能とし物質材料や医薬品の基礎科学的理解に基づいた、「科学的根拠に立脚したものづくりの実用化」を実現させる。既存材料への付加価値の創出、さらには新規材料や医薬品の創成を強力に後押しすることで、国内産業の国際的な優位性と競争力を強化する。科学技術的側面から国内産業の国際競争力の向上を支援することで、新たな市場の創出や社会的価値を創出し、経済的効果に結び付けるものとなる。一方で、放射光は、はやぶさが持ち帰った小惑星イトカワの微粒子の構造解析により太陽系誕生の謎に迫るなど、国民の知的好奇心をも満たす情報を提供するものである。このため広く国民からの支持が得られると考える。(474 文字)

1 4. 共同利用体制 (500 字以内) (全国の研究者にどのように裨益するかを記載してください。)

3GeV 放射光施設は、産・官・学全ての分野の研究者に広く門戸を開き、開かれた共同利用体制を整える。本施設が稼働することにより、SPring-8 ならびに UVSOR-III と合わせて、国内には低エネルギー紫外線から高エネルギー X 線までの高輝度放射光をシームレスに利用できる環境が整う。これらの高輝度施設を中心に、国内の各放射光施設が担う役割を明確化することで相補的な利用環境を整備する。国内の放射光施設群を有機的に運用することで、広範な利用研究分野に対してそれぞれ最適化された光源と計測アプリケーションを提供する。また、アカデミアの視点から運用体制が整備されている既存の放射光施設に対して、3GeV 放射光施設では産業界の利活用促進を念頭に置いた、新しいポリシーに基づいて運営形態を整備する。これら施設が協奏することにより、ハードとソフトの両面において幅広い選択性を持つ、国際的にも類を見ない新しい放射光施設の共同利用体制が構築される。また、利用者に対する支援を適切に行うことができるように、海外における放射光施設並みのスタッフ数を確保し、施設が持つポテンシャルを十分に引き出すような支援体制を取る。

1 5. 国際協力・国際共同 (500 字以内) (国際協力・国際共同の形態ないし体制、想定される日本の役割、現在の国際的状況、その他の海外動向等を記載してください。)

3GeV 施設の建設に必要な要素技術は、我が国独自の R&D により完成した技術である。したがって、建設に当たっては国際協力体制の構築は必要としない。施設の完成後は、海外の研究者にも均等に門戸を開き、国内研究者との共同研究を中心に世界トップクラスの研究者の利用を受け入れる。それにより、海外からの優秀な頭脳を集めるとともに高い情

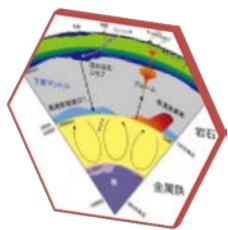
報収集能力を維持し、我が国の科学技術の優位性の維持を図る。多種多様な科学技術分野をカバーし、我が国の科学技術の発展を支える放射光施設は、産学による新産業創成・新基礎科学分野創成をリードし、国際競争を勝ち抜くための重要な戦略的ツールとして位置づけられる。各国が、科学技術戦略の一環として独自の中型放射光施設を次々と新設し、技術開発・利活用研究の国際競争が激化する現在の状況からも、この事実は明白である。したがって、施設の国際化に当たっては、産業情報の防衛を徹底するなど、国内産業の競争力維持と両立した仕組みを構築する。

一方、回折限界光源計画は、世界に先駆けた根本的に新しい光源計画であるため、今後全世界的な協力体制のもとに設計・建設を行っていく必要がある。

放射光が挑む科学・技術のブレークスルー

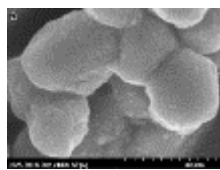
ナノ領域をフェムト秒の動画で見る物質・生命現象

物質/生命
における
創発機能
の解明



地球・惑星の理解

- ・地殻形成、地震・火山活動の解明と予測
- ・新地球・惑星物質の探索

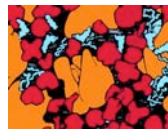
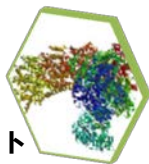


メソスコピック不均一系

- ・非結晶粒子の構造研究
- ・非周期構造の空間・時間分解イメージング

タンパク質集団の理解

- ・超分子複合体の機能メカニズム解明
- ・生体分子のダイナミクス
- ・合理的創薬：創薬ターゲット蛋白質の構造解析
- ・生命現象の分子レベルでの理解
- ・癌抑制蛋白質の機能解明



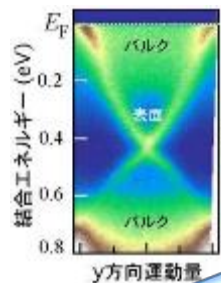
回折限界光源計画 (ERL, SPring8-II, or others)

2020 高輝度3GeV放射光計画

2010

電子の集団の理解・制御

- ・電子自由度ダイナミクス
- ・強相関電子系における新量子物質相の発見
- ・次世代メモリー
- ・量子計算機



機能性物質の探索：熱電・電池・磁石材料

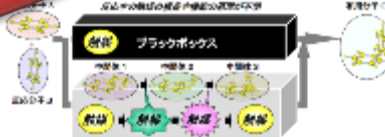
- ・新規太陽電池材料の内部構造と物性探索
- ・磁性材料開発

触媒作用の理解

- ・光触媒反応における電子ダイナミクス
- ・人工光合成
- ・不均固体触媒のその場観測

細胞機能の予測

- ・細胞機能と階層性の総合的理解
- ・生体内分子イメージング
- ・天然変性蛋白質の理解：真核生物の機能解明



地球・宇宙

- ・「はやぶさ」分析
- ・地球内部構造
- ・隕石
- ・地震・火山活動

環境・エネルギー

- ・地球温暖化
- ・排ガス触媒開発
- ・人工光合成
- ・汚染物質分析

バイオメディカル

- ・創薬
- ・再生医療
- ・癌組織イメージング
- ・放射線治療

先端デバイス

- ・半導体
- ・不揮発メモリー
- ・燃料電池
- ・スピントロニクス

材料開発

- ・超伝導材料
- ・鉄鋼・金属材料
- ・ナノマテリアル
- ・ソフトマター

放射光科学が牽引する物質科学・生命科学

高輝度3GeV放射光で創るサイエンス

