

①事業名	【61】X線自由電子レーザー装置の利用開発
②主管課及び関係課(課長名)	(主管課) 研究振興局基礎基盤研究課大型放射光施設利用推進室(室長: 木村賢二) (関係課) 研究振興局基礎基盤研究課(課長: 大竹 暁)
③施策目標及び達成目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施策目標: 4-5 ナノテクノロジー・材料分野の研究開発の重点的推進 ・ 達成目標: 4-5-4 広範な科学技術分野の研究開発に資するとともに、産業の技術革新のための基盤研究として重要な、世界最先端のナノ計測、分析機器を開発する。
④事業の概要	<p>【対象】 理化学研究所播磨研究所を中心としてこれまでに培ってきた技術をもとに、1原子レベル(空間分解能0.1ナノメートル以下)の超微細構造、化学反応領域(時間分解能100フェムト秒以下)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「X線自由電子レーザー」装置を平成22年度までに整備するとともに、平成23年度からこの装置が発振するX線レーザーを効果的かつ効率的に利用するために、新しい理論に基づく様々なX線計測技術について、その有効性等の検証、活用手法に関する研究開発を行う。</p> <p>【意図】 ナノテクノロジーやライフサイエンスをはじめとする広範な科学技術分野の発展を強力に牽引するための研究開発基盤としての整備を図る。</p> <p>【手段】 平成19年度においては、以下の研究開発を実施する。</p> <p>(1) X線自由電子レーザー装置の整備 1原子レベルの超微細構造、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「X線自由電子レーザー」を実現するための装置整備を引き続き行う。(平成22年度完成予定) 具体的に今年度は、昨年度に続き電子ビームの発生源である入射器、電子ビームを加速する線型加速器等、X線自由電子レーザーを構成する要素機器の製作を着実に進めるとともに、これらを収納する建屋並びに利用実験を実施するための実験棟等の整備に着手する。</p> <p>(2) X線自由電子レーザー利用研究開発 X線自由電子レーザーの完成後、直ちにその本格的な利用研究を実施するために、利用研究を実施する際に想定される様々な問題解決に向け、広範な科学技術分野において先端的成果を得るための研究開発を開始する。 具体的には、実際に利用研究を実施する際に生じる問題点(非常に高い輝度による熱負荷、短波長性への対応等)を抽出した上で、それを解決する手段として、例えば、これまでSPring-8等にて開発されてきた短時間分解計測、微量元素マッピング手法などの新しい理論に基づくX線計測技術の有効性等の検証や活用手法に関する研究開発を、SPring-8及び、平成18年6月に完成し、レーザー光発振に成功(49ナノメートル)したプロトタイプ機を用いて実施する。</p>
⑤予算額及び事業開始年度	<p>平成19年度概算要求額: 7,764百万円 (特定先端大型研究施設整備補助金、本省委託費、理研施設整備補助金) (平成18年度予算額: 2,306百万円)</p> <p>事業開始年度: 平成18年度(実施期間: 平成18年度~平成22年度)</p>
⑥広報計画	平成18年11月にX線自由電子レーザー装置の利用開発に向けたシンポジウムを開催する予定。(対象者は放射光科学を支える研究者のみならず大学や民間企業との共同研究等を通じ、それぞれのニーズに合う広く一般のユーザーの方々も対象とする)また、当該装置開発等で培った技術の若手研究者、技術者への継承、人材養成を踏まえたワークショップ等を開催予定。
⑦事業開始時において得ようとした効果	<p>〔拡充事業の場合のみ記入〕 幅広い科学技術分野において、基礎研究から産業や国民の生活の構造に役立つ応用開発まで、革新的な成果を諸外国に先駆けて創出することが期待される研究基盤であり、利用研究を実施する際に想定される様々な問題点の解決に向けた研究開発を装置の整備と並行して進めることで、完成後直ちに本格的な利用研究を実施し、革新的な成果を多</p>
⑧得られた効果	<p>〔拡充事業の場合のみ記入〕 現在、X線自由電子レーザー利用推進研究課題の公募を実施しており、プロトタイプ機のレーザー光の発振波長が当初の計画よりも大きく精度が向上したことを受け、幅広い分野、数多くの利用推進課題の申請が予想される。実機の完成に向け計画通りの遂行を目指すところ。</p>

<p>⑨得ようとする効果及び上位目標との関係</p>	<p>【得ようとする効果】</p> <p>(1) X線自由電子レーザー装置を整備し、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ピーク輝度が SPring-8 の1億倍を超え、かつ ・パルス幅が100フェムト秒以下のX線レーザーの発振を実現する。 <p>(2) 平成23年度から始る共用期間においては、ビームラインあたりの利用者数が常に前年度を上回るようにし、かつ、達成年度において、SPring-8におけるビームラインあたりの利用者数に到達するよう利用の推進を図る。</p> <p>【上位基本目標・達成目標との関係】</p> <p>本事業の成果を上げることにより、従来の放射光とレーザーの優れた特性を併せ持つ、これまでにない革新的な光源（短波長、極短パルス、超高輝度、完全干渉性）を実現し、研究基盤施設としてライフサイエンス分野やナノテクノロジー・材料分野をはじめとする広範な科学技術分野において先導的な研究成果の多数創出をすることが期待される。</p>	<p>⑩達成年度</p> <p>(1) 平成22年度</p> <p>(2) 平成27年度</p>
<p>⑪必要性</p>	<p>X線自由電子レーザーは、SPring-8などの放射光とレーザーのそれぞれの特徴を併せ持つ究極的な光源と位置づけられるもので、ナノテクノロジーやライフサイエンスをはじめとする広範な科学技術分野にブレークスルーをもたらし、その発展を強力に牽引する研究開発基盤である。</p> <p>例えば、ライフサイエンス分野においては、ゲノム解読が終了し画期的な創薬等を狙ったタンパク質の構造解析が進む中、膜タンパク質など生命現象の解明にとって非常に重要であるが、結晶化が困難であるために SPring-8 などの現行技術では解析が遅れているタンパク質の構造・機能について、X線自由電子レーザーを用いれば結晶化を経ずに一分子での構造解析が可能となり、一方、ナノテクノロジー分野では、気体吸着分子について SPring-8 では吸着後の安定状態での解析しかできなかつたものが、X線自由電子レーザーを用いれば吸着に至る過渡的状态を解析することができ、気体の出し入れや選択を意のままにするための新たな機能の付加につなげることができるようになる。</p> <p>このように SPring-8 における成果が新たな光源としてのX線自由電子レーザーのニーズを生み出していることから、現在の SPring-8 のユーザーがX線自由電子レーザーのユーザーとなるものと言いうことができる。さらに、これらの成果は産業への発展が期待されることから、その整備が強く望まれているところである。</p> <p>同様な計画は欧米でも進められており、欧米に遅れをとらないためにも、平成18年度に整備を着手し、22年度完成という当初予定通りの計画に従い、遅延なく進めることが必須である。また、プロトタイプ機を用い実機完成後、直ちにその本格的な利用研究を実施するために、利用研究を実施する際に想定される様々な問題点の解決に向けた研究開発を実施し、欧米に先んじる成果を創出する必要がある。</p>	
<p>⑫効率性</p>	<p>本装置は、大型放射光施設 SPring-8 に隣接して整備することで、世界で唯一、放射光施設とX線自由電子レーザーが共存する施設となり、2つの光を同時に用いる実験がここでのみ可能となるほか、運営面においても効率化が実現される。</p> <p>また、日米欧で熾烈な国際競争が繰り広げられる中、我が国は高加速勾配加速管や真空封止型アンジュレーターなど独自に開発した技術により、欧米に比べ全長で4分の1以下、総コストで2分の1程度と、コンパクト化と低コスト化を実現可能としている。</p> <p>さらに、本事業のために開発した装置架台は、40年前に開発された送電線用絶縁体を利用することにより、従来用いられていた架台の20倍という高い安定性を示しており、古い技術に新しい応用をもたらすなど、効率的な技術開発が進められている。</p> <p>これらを含め、X線自由電子レーザーの建設に用いられる高周波技術、真空技術、超精密加工技術、永久磁石などの材料開発技術等は、幅広い製造業の技術レベルを高めるものであり、既存製品の高度化や製造工程の効率化による環境負荷の低減から、ひいては新しい産業の創出に繋がるものと予想される。こうした一連の技術は、プロトタイプ機の成功により実機の整備に大きく寄与するとともに、X線自由電子レーザー開発に向け世界を一步リードしたとが証明され、欧米に先んじる成果を創出する利用研究開発へ着手することができる。</p>	
<p>⑬想定できる代替手段との比較考量</p>	<p>本事業は、広範な科学技術分野の共用に供することを目的とするものであり、国の責任のもと整備・運用すべきものである。</p>	
<p>⑭指標・参考指標</p>	<p>X線自由電子レーザーの整備の進捗度、最短波長0.06ナノメートルのX線（極めて高い輝度、極めて短いパルス、完全コヒーレント性）の発振性能への達成度。</p>	

効 性	効果の把握の 仕方	本事業については、作業工程に基づく計画に照らし、年度ごとにその進捗について評価するほか、大綱的指針に基づき、達成年度が到来した時点で、有識者による評価を受け、達成目標の達成度合いを評価する予定。
	得ようとする 効果の達成見 込み及びその 判断根拠	SPring-8 が計画通り整備され、供用開始9年目を迎えた現在、利用者の数、利用研究分野の多様さにおいて当初想定を上回る実績を上げており、これらを実現するに活用された技術や、それをベースに開発された新たな技術を用いることから、X線自由電子レーザーを整備し、利用技術開発を進めることについても、計画通りの目標の達成見込みに問題は無いと判断される。
⑮	公平性、優先 性	本事業は、世界最高性能を実現する計画として、科学技術・学術的意義、経済的・社会的な意義が十分認められ、今後の我が国の発展に大きく寄与するものである。第3世代大型放射光施設の開発に引き続き、この分野の研究開発は、日米欧の激しい競争の下にあって早期の整備が益々重要度を増し、緊急性も極めて高くなっている。本事業の推進は、特に重要な施策であり、積極的に推進すべきものと考えられる。
⑯	評価に用いた データ・情報 ・外部評価等	<p>昨年6月より、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 研究評価部会の下、次世代放射光源計画評価作業部会を設置し、X線自由電子レーザー開発計画の技術的課題、運営体制、利用計画等について、専門家・有識者による事前評価を実施。</p> <p>8月に中間とりまとめを行い、本年6月科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会にて了承された。本事前評価において、X線自由電子レーザー計画は、科学技術・学術的意義な意義は極めて大きく、経済的・社会的意義についても認められ、今後の我が国の基礎研究の発展に大きく寄与するものと考えられ、本計画は積極的に進めるべきものであり、早期に着手すべきであると評価されている。また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）においても、本プロジェクトは実施することが適当である旨評価を受けているところである。</p>
⑰	備 考	

X線自由電子レーザー装置の利用開発

大型放射光施設 SPring-8 と比較して、10億倍を超える高輝度の X線レーザーを発振し、一原子レベルの超微細構造、化学反応の超高速動態・変化を瞬時に計測・分析することを可能とする世界最高性能の研究基盤施設 ~ X線自由電子レーザー ~ を実現し、ナノテクノロジー、ライフサイエンスなどの様々な科学技術分野に新たな研究領域を開拓する。

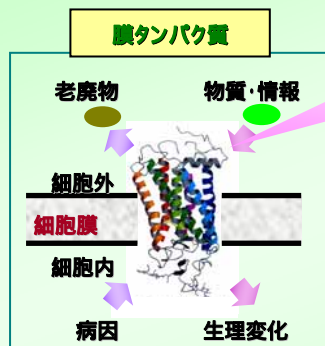
X線自由電子レーザーの特徴

放射光による強力な“高干渉性硬X線”の実現

- ・短い波長 [硬X線 (波長0.1ナノメートル以下)]
原子・分子レベルでの超微細構造解析
- ・短いパルス [フェムト秒パルス (10兆分の1秒以下)]
より高速な動態・変化を捕捉
- ・強力な光 [超高輝度 (SPring-8 の10億倍以上)]
物質深部の解析、瞬時のデータ取得
- ・質の良い光 [高干渉性(コヒーレント性100%)]
よりシャープな像の取得・精密計測

X線自由電子レーザーで広がる研究領域の例

ライフサイエンス分野 ~ 膜タンパク質の構造解析 ~



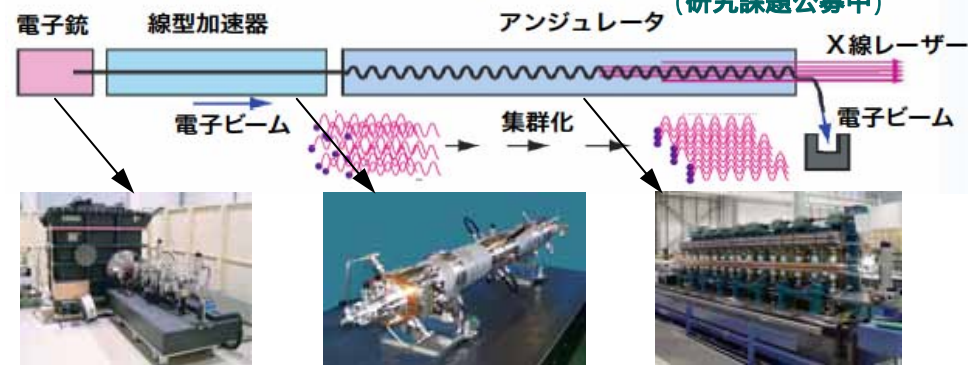
医療、創薬に極めて有用であるが、脂質(細胞膜)が結合しており、結晶化が極めて困難

既存技術では解析困難
SP8: 結晶化が必要, NMR: 分子量に限界あり

一分子計測技術の開発:
X線自由電子レーザー

X線自由電子レーザーの構成(SPring-8に隣接)

要素技術が装置として一体となることにより、上記性能を実現。2006年夏以降、理研にてプロトタイプ機による実証試験を実施予定。(研究課題公募中)



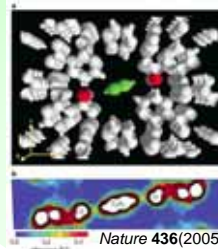
熱駆動型電子銃：電子ビームの先鋭化を実現。

Cバンド線型加速器：高加速勾配を実現。

真空封止型アンジュレータ：短波長化・高干渉性・高輝度化を実現。

ナノテクノロジー分野 ~ 気体吸着素子の開発 ~

SPring-8構造解析
ナノ細孔内で気体分子が整列する事を見発見!



Nature 436(2005)238

これを機能性材料として活用するためには...

気体分子の出し入れ機構の解明
気体分子の種類選別機構の解明 が必要!

従来技術では解明できないため、試行錯誤が唯一の手段。

X線自由電子レーザーにより、細孔に分子が吸着される際の細孔と気体分子の相互作用をリアルタイムに直接観察。

新規ナノテクノロジーの開拓
気体スイッチング素子、水素吸蔵、シックハウス対策壁など