

X線自由電子レーザーの開発・共用

平成17年9月16日

文部科学省研究振興局

X線自由電子レーザーの開発・共用

- ・プロジェクト総経費 375億円 (平成18年度～22年度)
- ・平成18年度概算要求額 3,293百万円(新規)

X線自由電子レーザーの概要

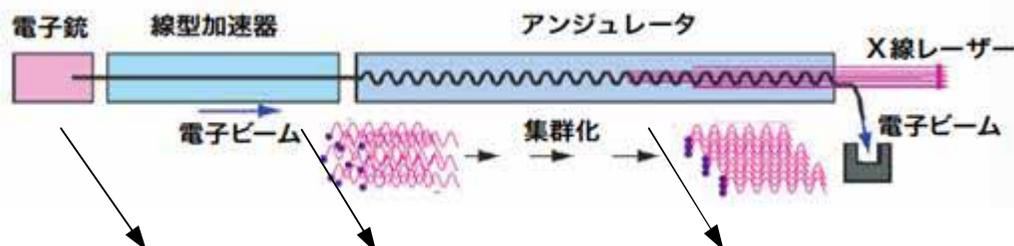
SPring-8の10億倍を上回る高輝度のX線レーザーを発振し、原子レベルの超微細構造、化学反応の超高速動態・変化を瞬時に計測・分析することを可能とする世界最高性能の研究基盤施設「**X線自由電子レーザー(X-FEL)**」を実現する。これにより、ライフサイエンス分野やナノテクノロジー・材料分野など、様々な科学技術分野に新たな研究領域を開拓する。

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、レーザーと放射光の特徴を併せ持つ光

- ・**短い波長** [硬X線(波長0.1ナノメートル以下)]
原子・分子レベルでの構造解析
- ・**短いパルス** [フェムト秒パルス(10兆分の1秒)]
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)]
非常に強い電場を形成
- ・**質の良い光** [高干渉性(完全コヒーレント性)]
**よりシャープな像の取得・精密計測
短時間での解析が可能**

X線自由電子レーザーの構成



熱駆動型電子銃：
より鋭い電子ビームを発生。



Cバンド線型加速器：
高加速勾配により、短い距離で高いエネルギーまで加速。



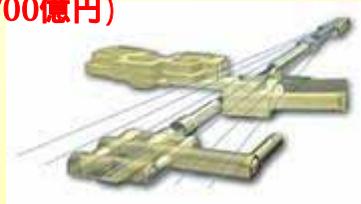
真空封止型アンジュレータ：
短波長・高干渉性・高輝度なX線レーザーを発振。

欧米におけるX-FEL開発計画と我が国独自の戦略

【米国】 SLAC: Stanford Linear Accelerator Center
(スタンフォード線形加速器研究センター)

Liniac Coherent Light Source : LCLS
[線型加速器コヒーレント(高干渉性)光源]

- ・ 既存2マイル ライナックの1/3 (約1km)をそのまま活用
- ・ 総プロジェクトコスト \$ 615M 以上(約700億円)
(既存施設の活用により
\$300M以上を節減)
- ・ 全長 2キロメートル
- ・ 発振波長 0.15 ナノメートル
- ・ FY2005予算 \$ 54M
2009年運転開始に向け始動

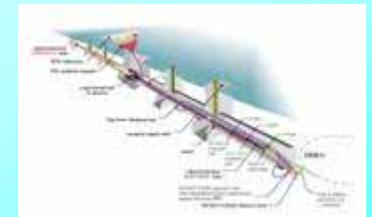


LCLS 概略図

【欧州】 DESY: Deutsches Elektronen-Synchrotron
(ドイツ電子シンクロトロン研究所)

European X-Ray Free-Electron Laser
[ヨーロッパX線自由電子レーザー]

- ・ 欧州11ヶ国による共同プロジェクト
- ・ 総プロジェクトコスト 908MEuro
(約1,200億円)
- ・ 全長 3.4 キロメートル
- ・ 発振波長 0.085 ナノメートル
- ・ 2012年 運転開始を計画
- ・ VUV(波長6nm)-FELを開発
XFELに向け試験研究を実施。



European XFEL 概略図

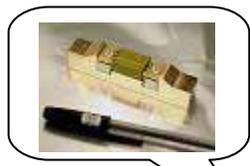
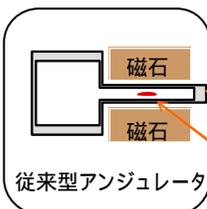
我が国独自の戦略

独自技術によるコンパクト化
SPring-8との相乗効果

早期実現可能、優れた拡張性
多様な研究手法の展開

独自技術によるコンパクト化

真空封止型アンジュレータ



磁石間隔を狭くでき磁場周期を短縮。
低いエネルギーで短波長発振を可能に！

施設のコンパクト化・低コスト化を
実現 ~ 欧米の2分の1以下

いま着手すれば2010年度に完成
総プロジェクトコスト 約400億円
短波長化の実現 0.06nm 世界最高

SPring-8との相乗効果



X線レーザーと放射光の同時照射、レーザー電子光
など、世界でここだけが実現可能な利用研究が展開。
X-FELで加速した電子ビームをSPring-8に入射する
ことで、SPring-8の一層の性能向上を実現。

X線自由電子レーザーで初めて可能となる画期的な研究テーマ

従来技術の限界

X線領域の強度が不足
非結晶物質の構造解析困難

時間分解能: ピコ秒
電子状態制御困難

X線領域のコヒーレント光が存在しない
イメージング: 極めて低解像度

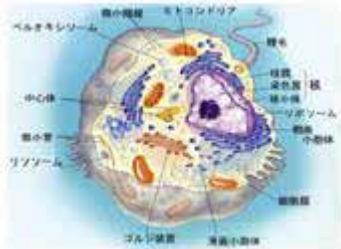
X線自由電子レーザー

10億倍強いX線

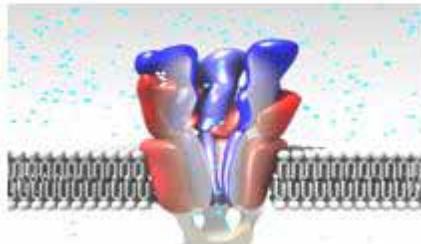
フェムト秒時間分解能

完全コヒーレントX線

高分解能細胞イメージング



膜タンパク質一分子構造解析
(結晶化不要)

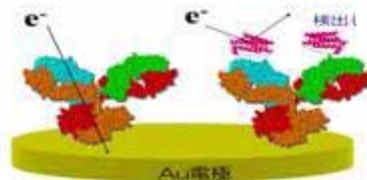
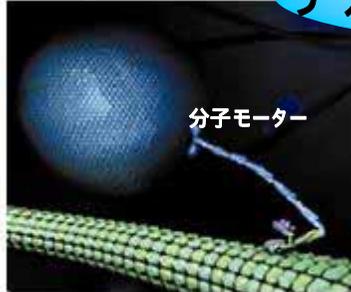


生体ナノマシンの
ダイナミクス

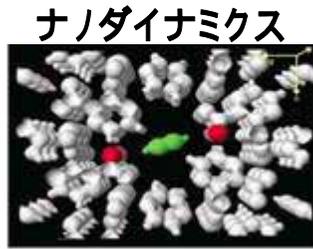
生物学・医学

非結晶物体の原子レベル構造解析
超高精度・超高速イメージング

ナノサイエンス・ナノテクノロジー

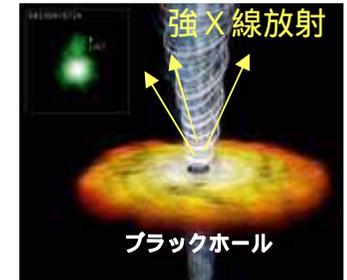


電子状態観測
電子・分子制御



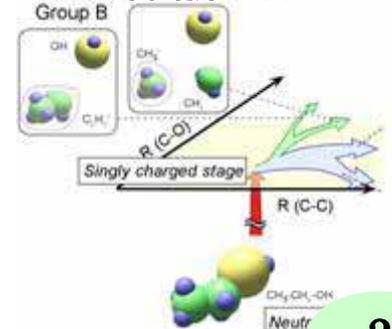
ナノダイナミクス

観測データの地上再現



天文学・強光子場

強光子場ポンプ
X線回折プローブ

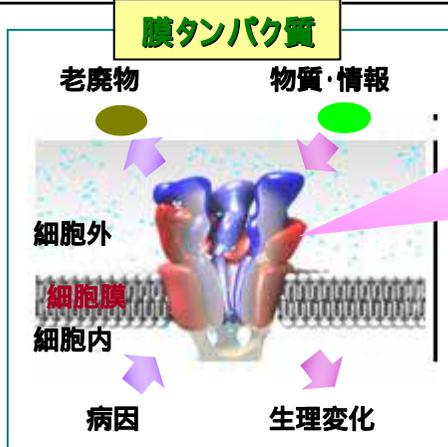


X線自由電子レーザーで広がる研究例

創薬に直結する「膜タンパク質」の構造・機能解析

膜タンパク質：細胞膜にあって、細胞内外の物質・情報伝達を担い、細胞内の生理現象を調節するタンパク質。

膜タンパク質の構造・機能が解明できれば、細胞内の生理変化を誘引・制御できる物質(=薬剤)の開発につながる！



脂質(細胞膜)と結合しており、水溶性でないため、結晶化が極めて困難
放射光(SPring-8)による構造解析が困難



膜タンパク質：全ゲノムの30~40% (ヒト ~ 15,000種類)
Protein Data Bank(01Aug'05)
水溶性タンパク質 31,971
膜タンパク質 約100 (~0.3%)

結晶化を不要とする構造解析技術

SPring-8の10億倍！

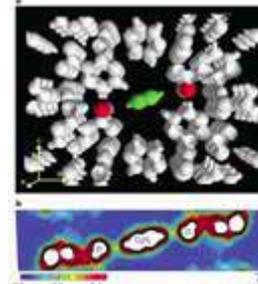
極めて輝度が高いX線自由電子レーザーなら
単分子構造解析が可能に！
膜タンパク質の構造解析 創薬、生体ナノマシン開発へ

ナノ細孔への気体吸着を利用した新機能材料の創成

気体吸着素子の開発：SPring-8により、多孔性金属錯体のナノ細孔に気体分子が整然と吸着している様子を解析。

気体分子の出し入れ機構、種類選別機構が明らかになれば、新しい気体吸着素子の開発につながる！

SPring-8構造解析
ナノ細孔に気体分子が整列する様子を解析



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(SPring-8)では、分子の“動き”を解析することが困難。
試行錯誤が唯一の手段。

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

目的の気体分子を意のままに制御できるナノ細孔の設計が可能に！

新規ナノテクノロジー

- 気体スイッチング素子、ガス回路(電子材料)
- 燃料電池、水素吸蔵(エネルギー)
- シックハウス対策壁(環境)

事前評価：国際レビュー委員会 & 計画評価作業部会

2つの事前評価を実施。いずれも「**早期に着手すべき**」と評価。

国際レビュー委員会

理研において2005年2月3日、4日に実施。

当分野における世界の第一人者を集め、計画の技術的内容や実現性についてレビュー。

委員：Kwang-Je Kim(米 APS)、M.-E. Couprie(仏 ACO)、Won Namkung(韓 PAL)、J. Hastings(米 SLAC)、J. Schneider(独 DESY)、J. N. Galayda(米 SLAC)、黒川眞一(KEK)

主な提言

本計画は、大強度かつコヒーレントな短パルスX線の発生とその利用研究のための**革新的なプロジェクト**である。

目標は欧米と同様であるが、本計画は、**コンパクトな設計思想**に加え、世界をリードする放射光源SPring-8と併設する点で**ユニーク**。

本計画の建設スケジュールと技術的難度は**野心的**であるが、メンバーには困難な課題に対して**革新的な解決策を生み出してきた実績**がある。委員会は、提案されたスケジュールで建設可能であることを支持し、**早期建設開始を勧告**する。

次世代放射光源計画評価作業部会

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 研究評価部会のもと、当作業部会を設置し、8月までに4回実施。

国内の有識者を集め、計画の必要性、効率性、有効性について評価。

委員：太田俊明(東大)、雨宮慶幸(東大)、大泊巖(早大)、神谷幸秀(KEK)、菊田惺志(JASRI)、熊谷教孝(JASRI)、腰原伸也(東工大)、小杉信博(分子研)、田島節子(阪大)、谷口雅樹(広大)、中迫雅由(慶大)、西島和三(持田製薬)、丹羽紘一(富士通研)、今野美智子(お茶女大)、林崎良英(理研)、水木純一郎(原研)

総合評価

- ・本計画は、**科学技術・学術的な意義が極めて大きく、経済的・社会的な意義も認められ、今後のわが国の基礎研究と産業の発展に大きく寄与するもの**である。
- ・本施設を利用する先端的研究により**幅広い分野で新たな研究開発の展開が期待**される。
- ・以上を総合し、本作業部会としては、本計画は**積極的に進めるべきであり、早期に着手すべきである**と評価。

X線自由電子レーザーの利用に向けて

平成18年度概算要求額 450百万円（新規・内局）

X線自由電子レーザー装置が発振する極めて強力なX線レーザーを効果的に利用するため、関連分野の動向調査等に基づいて利用方針、利用計画を策定するとともに、X線自由電子レーザーの実現が待たれる利用研究課題について、実際に利用研究を実施する際に生じる問題点を抽出し、それを解決する手法の開発、SPring-8やプロトタイプ機による検証試験を行う。

- ★ **利用研究の調査**
 - ・ 科学技術や産業等への波及効果に関する調査
 - ・ 欧米動向調査

文部科学省
大型放射光施設利用推進室

方針策定委託
調査結果報告

運営委託

X-FEL利用推進協議会(仮称)

H23以降
供用・支援
業務として
移行

高輝度光科学研究
センター

供用業務(利用課題選定)
支援業務
運転・管理(理研からの委託)

発展させ
業務
を継承

利用研究
促進懇談会

将来の利用者となる研究者を集め、そこでの議論を基に利用研究計画を集約。

- ★ **プロジェクト・ディレクター**
大学等第三者機関から選任されたPDのリーダーシップ
- ★ **主な活動内容**
 - ・ 利用方針、利用計画の策定
 - ・ 利用研究の実施における技術的課題の解決のための研究開発
(**試験研究委託費**)
公募等により開発項目を選定・実施
(プロトタイプ機 / SPring-8を使って研究を実施)
 - ・ 情報公開
シンポジウムの開催等

年次計画

単位[億円]

		2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)
全体計画		← 建設期 →					★ 硬X線FEL(8GeV,0.06nm)発振 調整・試運転 / 共用 →		
施設整備等	建屋建設 (合計 131.4)	光源収納建屋 [95.1]			実験ホール、研究棟 [36.3]				
		入射系、加速器、電子ビーム輸送系 [165.6]							
	ビームライン [48.0]								
	共通機器 [2.0]								
	施設開発研究 [5.5]								
利用開発等		利用開発 4.5 / 年					利用研究 4.5 / 年		
予算		32.9	74.9	91.0	84.5	91.8	4.5	4.5	4.5
(参考)運営費						試運転費 [14]	運転費 28 / 年		

X線自由電子レーザー計画全体像

H18年度～H22年度の整備内容

建物	光源
光源収納建屋	入射器
実験ホール	加速器
研究棟	電子ビーム輸送系
	ビームライン

