

X - r a y F r e e E l e c t r o n L a s e r

# XFEL

国家基幹技術 — X線自由電子レーザー

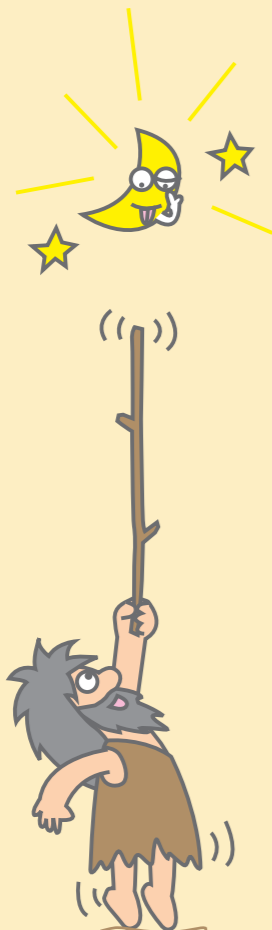


X線自由電子レーザー計画合同推進本部

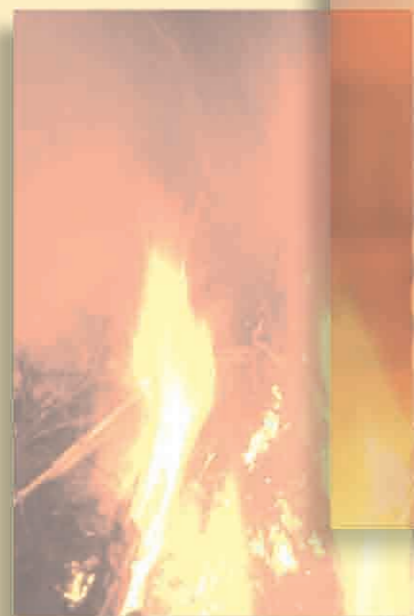
X線自由電子レーザー計画合同推進本部  
独立行政法人 理化学研究所  
財団法人 高輝度光科学研究センター

〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1 TEL:0791-58-2849 FAX:0791-58-2862  
URL:<http://www.riken.jp/xfel/> E-mail:[project-xfel@riken.jp](mailto:project-xfel@riken.jp)

見たい！という好奇心は  
人類永遠のテーマなのです。



明かりはいろいろなものを見せてくれます。  
まだ火を持たない太古の昔、  
暗闇の中でもものを見るために、  
夜空に輝く月や星の明かりを  
何とかして手に入れられないだろうか？と  
人類は考えたことでしょう。



やがて火を手にしたわたしたちは  
明かりというものを知り、  
たき火→ローソク→ガス灯→電球へと、  
その輝きは時代とともに増していきました。

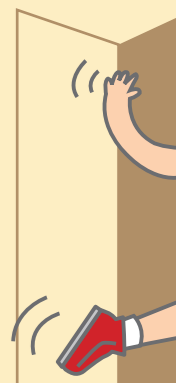
## そして今、 新たな光を求めて

X線自由電子レーザー (XFEL) は人類が手に  
する新たな光です。私たちは、この「夢の光」  
を創造することで未知の世界を覗こうとして  
いるのです。

ひとの脳に送られる情報のほとんどが視覚か  
らやってきます。つまり、見えているものでしか世  
界をとらえられないということです。

見えなかったものが見えるようになること、  
それは新たな世界が広がることを意味し、新しい光  
が生まれると、そこには必ず科学技術の飛躍が起  
こってきました。文明の進歩は光の進歩と言っ  
ても過言ではありません。

次に世界を大きく変える力を持った光が、今、  
理化学研究所で誕生しようとしています。  
それがX線自由電子レーザー (XFEL) なのです。

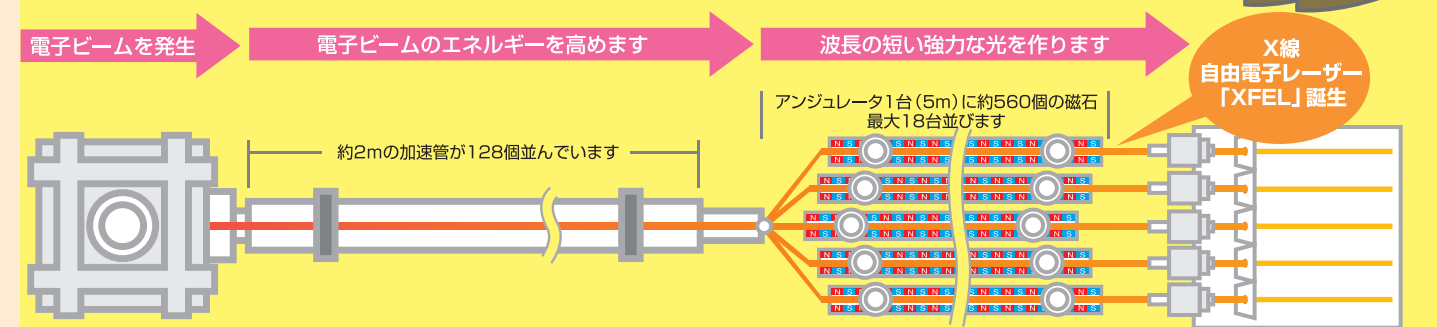


## XFELって何?

皆さんはレントゲン写真を見たことがありますか？  
レントゲンに使われるX線という光は、物の中をすり抜けて、内部まで届く力を持っています。だから体の内部までみることができます。  
では、レーザーという言葉を知っていますか？  
光の波がきれいにそろっているという特徴を持ったすぐれた光で、CDやDVD、光ファイバーなどに使われています。  
XFELは、X線とレーザー、この両方の特徴をそなえ、さらにパワーアップされた新しい光なのです。

## ■XFELの光はどうやってできるの？

XFELのスゴイ光はどうやって作られるのでしょうか？  
全長700mの施設の中にはXFELを生み出すための高度なマシンがたくさんつまっています。



電子銃(でんしじゅう)      加速器(かそくき)      アンジュレータ      ビームライン

### 質の高い電子を生み出す電子銃

セリウムポライトという金属を1,500℃という高い温度で熱すると、電子が生まれます。ここで生まれる電子の質が高いほど、XFELの光も質の高いものになります。

電子銃の電子源

### 電子をどんどんパワーアップさせる加速器

電子銃から放たれた電子ビームを光の速さくらいまでスピードアップし、エネルギーを80億電子ボルト\*にまで高めます。効率のいい加速管を開発し、加速器の長さを短くしました。

\*電子ボルトはエネルギーの単位

### 電子から光がうまれる場所“アンジュレータ”

ここに並ぶ強力な磁石の力で、高速で走る電子ビームを曲げると、光が放たれます。その光がこの中を通るうちに、ばらばらだった波がそろい、ついにX線レーザー(XFEL)になるのです。

### 光を自由自在にあやつる実験室“ビームライン”

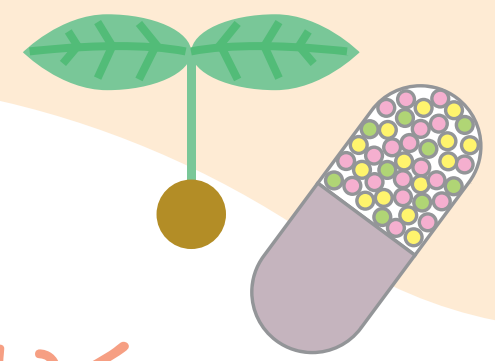
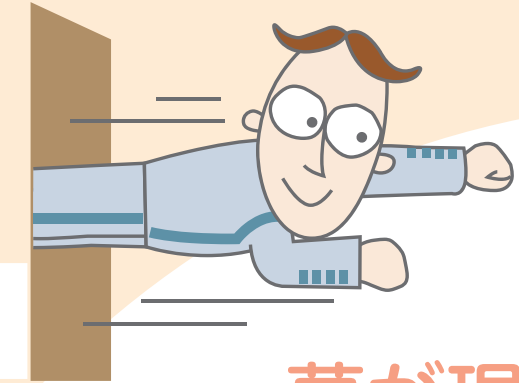
電子から生まれたXFELの光を自由自在に加工して実験する場所をビームラインといいます。世界中から集まった研究者たちは、5カ所のビームラインをフル活動させ、新しい科学の発見をしますのです。

## ■XFELでできること

明るさは今までの光の10億倍。他にもたくさんすぐれた性質をもったXFELの光は、今まで見えなかった、原子などの小さな世界や、瞬時の動きもとらえることができます。

## ■XFELで広がる未来

人類が手にしたことのないXFELの光は無数の可能性を秘めています。難病の治療や、環境・食料問題の解決、宇宙の解明など…。XFELの光は私たちの暮らしをよりよくするために欠かせない光となるでしょう。



## 夢が現実になっていく

あなたが思い描く理想の未来はなんですか？家族みんなの健康、安全な暮らし、自然と共存した豊かで便利な社会…。  
新しい光「XFEL」は、私たちの未来を明るく照らしてくれるでしょう。

# XFELで広がる未来

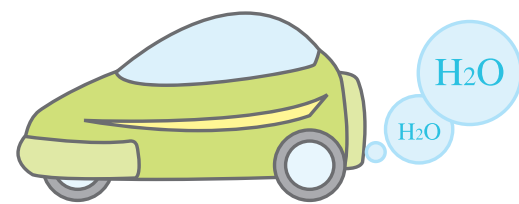
## 治す

XFELを使うと、人のかたちづくっているタンパク質がそのまま観察でき、細胞の中で起こる動きまでがわかるようになります。アルツハイマー病やエイズのような難病はもちろん、脳に関わる心の病気の解明にも役立ち、早期診断・治療が可能になるかもしれません。また、副作用の少ない、人にやさしい薬の開発に役立つことも期待されています。



## 創る

XFELの光が起こす反応を利用して、今まで作れなかったモノを作ることができます。たとえば、金属の上に、バイオ分子を安定して整列させる技術は“バイオチップ”の開発につながるでしょう。このバイオチップは、すばやい病気の診断や薬の選択が簡単になるなど医療面での利用や、超小型情報処理装置としての活躍も期待されています。



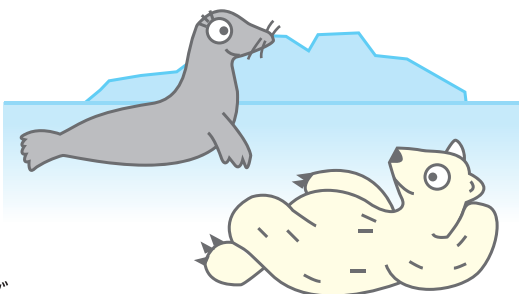
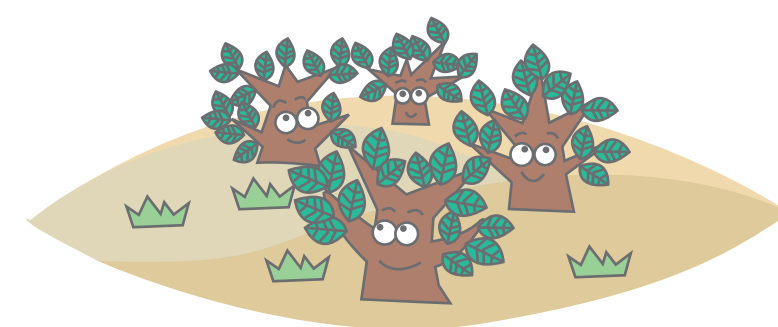
## 守る

XFELでナノの世界を詳細に観察することにより、快適な生活に役立つ機能を持った素材が生み出されるかもしれません。また、空気中にある悪いものだけを吸収するしくみを観察し、そのナゾが解明できれば、有害物質のない安全でいきいきとした社会が実現するでしょう。



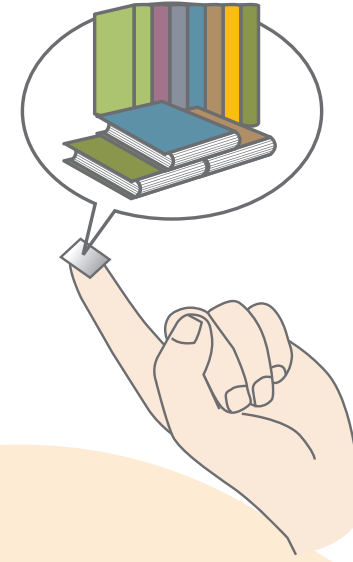
## 変える

もっとも効率的に太陽エネルギーを活用している植物。XFELによって植物の光合成の様子をくわしく観察し、さらにその太陽のエネルギーを利用する機能をまねることができれば、地球温暖化を食い止め、クリーンエネルギーで快適な生活がえられるかもしれません。



## 知る

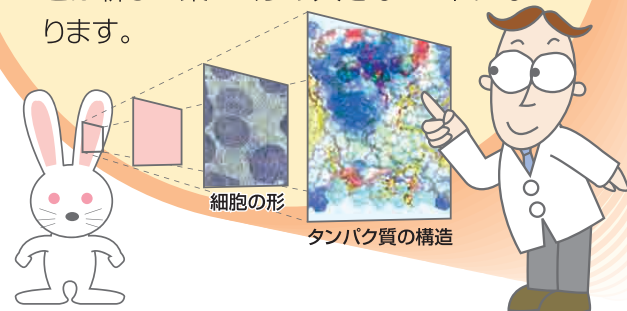
これまでにない強力なプラズマを作ることで、太陽など、星の内部で起こっているナゾが解明できるかもしれません。XFELは宇宙のナゾにもせまります。





### 小さな世界の探索

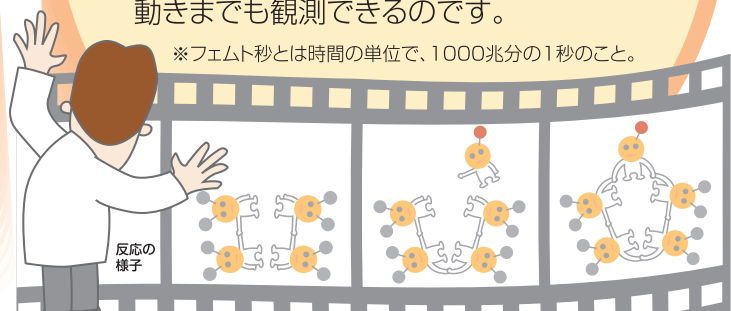
XFELはきわめて明るく質の良い光なので、今まで見えなかった小さな世界ものぞけます。生き物の細胞の中身をくわしく観察できるだけでなく、細胞の膜に埋まっているタンパク質の構造までも簡単に調べることができるようになります。タンパク質の構造を知るとは新しい薬づくりの大きなヒントになります。



### 超高速！ 化学反応の世界を観察

植物の中で起こる光合成はフェムト秒\*というとてもすばやいスピードでおこなうので、速すぎて正確にはまだよく観察できていません。約100フェムト秒で瞬くXFELの光を用いると、光合成などの化学反応をおこなっている、電子の超高速の動きまでも観測できるのです。

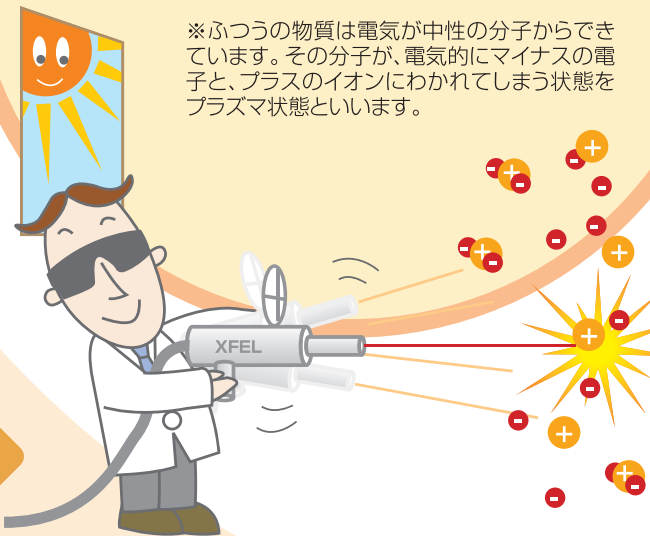
\*フェムト秒とは時間の単位で、1000兆分の1秒のこと。



### 超強力プラズマ

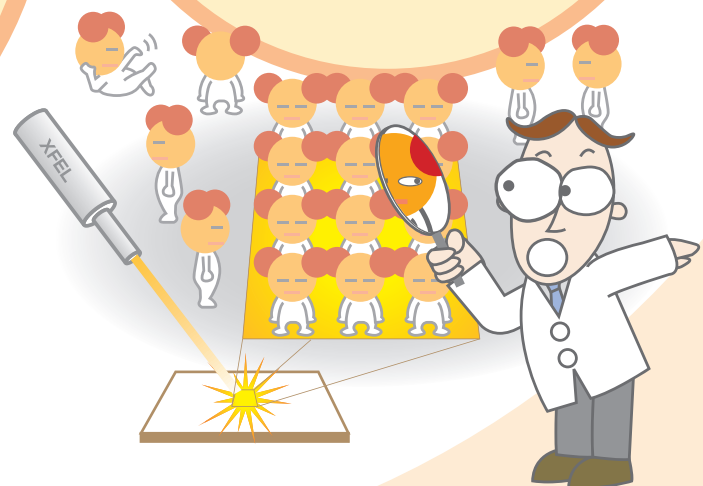
雷やオーロラ、太陽の中などで起こっている不思議な状態をプラズマ\*と言います。薄型テレビのプラズマディスプレイはこのプラズマを人工的に作り出しています。XFELはとても強い光の圧力によって、これまでの人工プラズマよりもはるかに強力なプラズマ状態を実現できると期待されています。

\*ふつうの物質は電気が中性の分子からできています。その分子が、電気的にマイナスの電子と、プラスのイオンにわかれてしまう状態をプラズマ状態と言います。



### 新しい光の使い方

光はものを照らすだけではありません。光の波がよくそろったXFELの光。その波を重ねて、強めあうところと、弱めあうところの縞をもつ光は“分子のふぞろいな並びを整列させる”という新しい反応をおこなうことができます。波がそろった強力な光にしかできないこの反応を使って新たなモノが次々と生まれるでしょう。



「夢の光」実現にむかって、大きな一歩を踏み出しました。

# PROJECT-XFEL



### 世界のX線自由電子レーザー(XFEL)施設

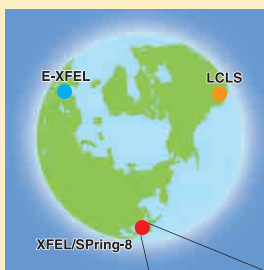
夢の光といわれるX線領域のレーザー発振と利用に力を注いでいるのは日本だけではなく、アメリカとドイツ\*も積極的に開発を進めています。\*ドイツにつくられるXFELは、EU諸国と中国の協力で建設が進められています。

### 大型放射光施設SPring-8\*とX線領域のレーザー光を生み出すXFEL施設が同じキャンパスにある「世界で唯一の研究拠点」

SPring-8からの放射光とXFELを同時に用いることで、ここでしかできない研究が可能になると期待されています。これまでは想像もつかなかったような新たなサイエンスが創成されることでしょう。

\*兵庫県の播磨科学公園都市にある、世界最高性能を誇る大型放射光施設。SPring-8は「Super Photon ring-8GeV」の略。

- XFEL/SPring-8 日本 (兵庫県)
- E-XFEL, DESY ドイツ (ハンブルク)
- LCLS, SLAC アメリカ (カリフォルニア)



### 高品質の光 — X線レーザー XFELの光といままでの光の違い



【波長の大きさのめやす】

どこまで細かい世界を見ることができるでしょう？それはものを見る光の波長によって決まります。目に見える光(可視光)よりもはるかに短い波長を持つX線は、原子ほどの小さなものを見ることができます。しかし放射光を含むこれまでのX線をはじめ、太陽の光や白熱灯も、光の波はそろっていません。一方、レーザーとは光の波の山と山、谷と谷が完全にそろった便利な光をいいます。この両方の性質をあわせ持つ光だからこそ、いままで見えなかったものを見ることができる、「夢の光」。それがX線自由電子レーザー、XFELなのです。

### 日本の独自技術

- ★電子銃…かなめはカーボングラファイト。これを加工する腕のいい職人が日本には多数いたことが、高性能で安定性のある電子銃を作り出した。
- ★加速管…日本オリジナルの技術を使った加速器(Cバンド加速器)は、世界一効率よく電子をスピードアップさせることができる。
- ★アンジュレータ…真空パイプ中に永久磁石を入れるというチャレンジングな技術で磁石間の距離を縮め、超強力な短周期磁場を作ること成功した。このような独自技術の採用により、コンパクトで高性能なX線レーザーを低コストで実現!

### 日本発のテクノロジーで「XFEL実現への道のり」

- 2005年 独自技術の実証のために、XFELプロトタイプ機を建設  
電子のエネルギーはXFEL実機の32分の1(2.5億電子ボルト)だが、おもな装置の基本要素は実機と同じ。
- 2006年 プロトタイプ機による真空紫外光のレーザー発振に成功!  
これは日本独自の技術が実証された瞬間。記念すべき着実な一歩となった。
- 2008年 プロトタイプ機の利用がはじまる  
プロトタイプ機が安定に稼働し、有用な光源としても活躍。プロトタイプ機によってXFELを使うための準備も確実なものに。
- 2010年 XFEL施設が完成!  
XFEL施設とSPring-8が同じキャンパスにあることで、光科学の最先端拠点が誕生!
- 2010年度 XFEL装置運転開始予定
- 2011年度 XFEL供用開始予定



全長約60メートルのXFELプロトタイプ機。手前で電子が生まれ、奥に向かってレーザーが出る。XFEL実機はこの12倍ほどの長さ(約700メートル)になるが、海外のXFELの全長が数キロメートルの長さが必要とするのに比べると格段に短い。



# XFELでできること