



将来放射光光源 (ERLプロジェクト)

ERL

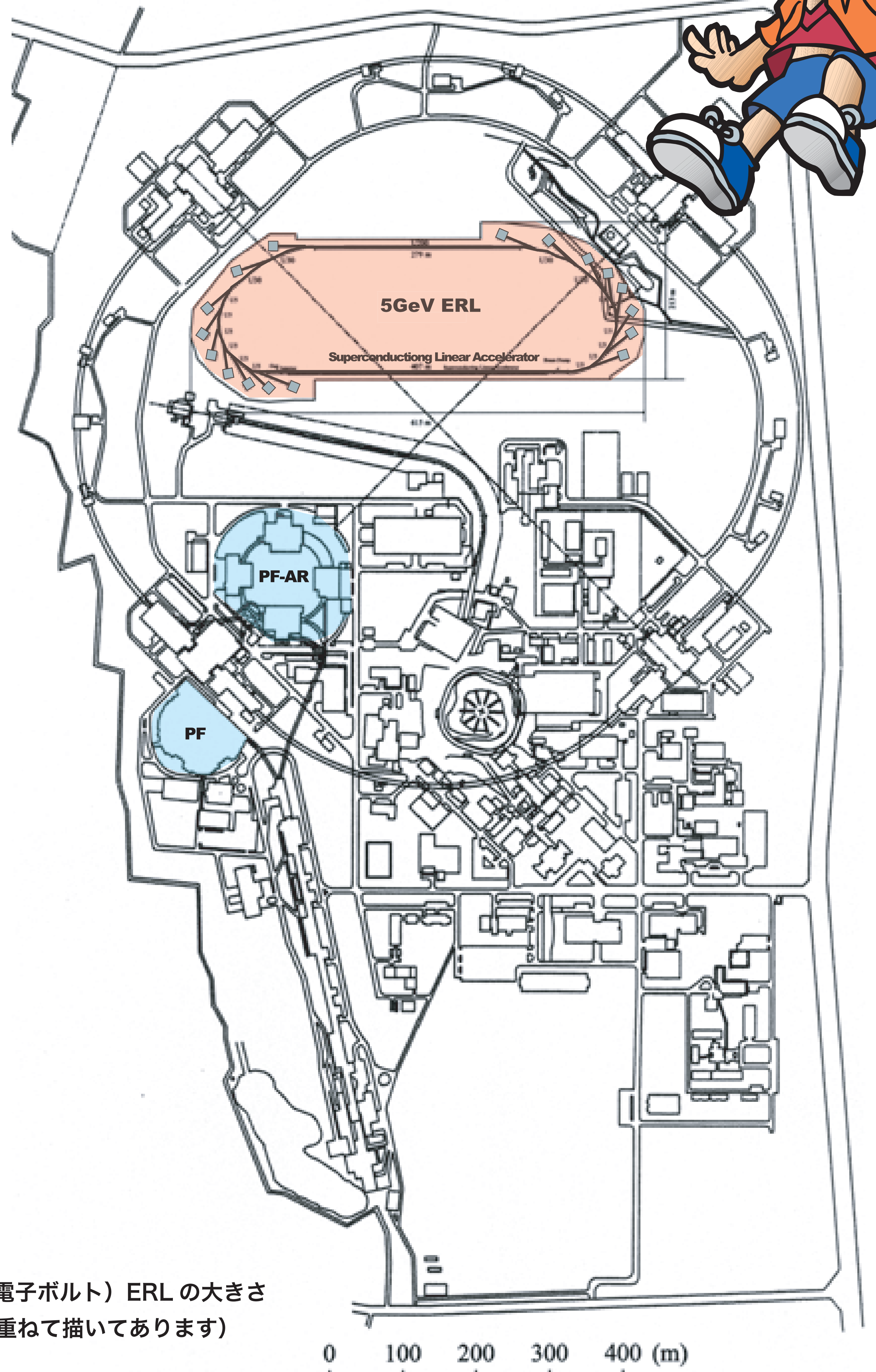
～次世代の光源加速器～



加速器から生まれる明るい光、放射光は、20世紀後半から多くの分野の研究になくてはならない道具となり、様々な物質の構造や機能を解き明かし、新しい物質を創るための有用な情報を生み出してきました。21世紀の今、枯渇の危機が叫ばれているエネルギー問題解決へのクリーンエネルギーをベースとした新物質開発、生命現象と病原の解明による治療薬の設計、環境汚染の理解とその除去方法の開発、高速化する情報化社会における新しい高速機能性物質開発、人工的に制御された新しいナノ物質開発という様々な課題が横たわり、最新鋭の放射光源への期待が益々広がってきています。

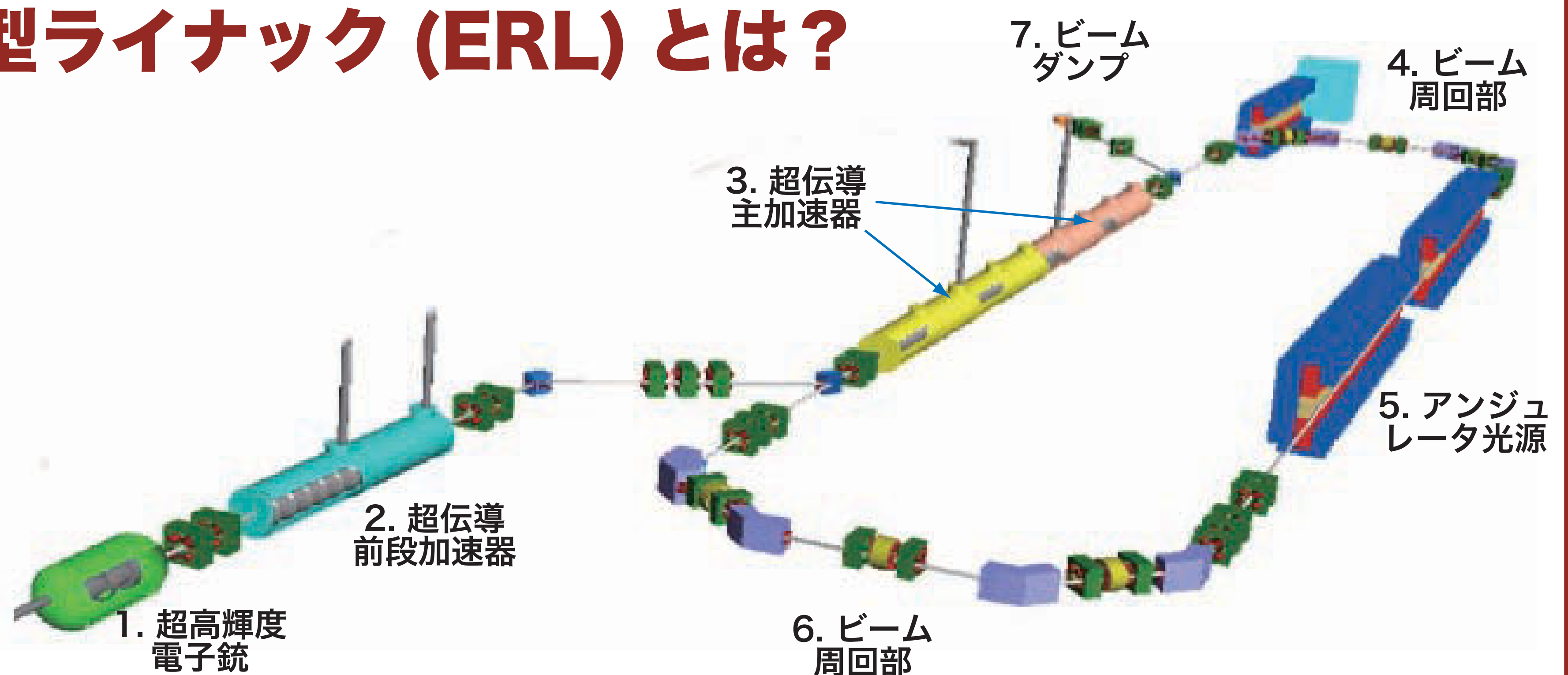
ERL(Energy Recovery Linac; エネルギー回収型ライナック)は上記のこれからの先端科学技術を切り開く「先端性」と「多様性」を満足する新しい次世代放射光源であり、従来の蓄積リング型放射光源を超えるものです。KEKでは機構内で培ってきた最先端の加速器技術と内外の研究機関との協力の下、ERLの開発を進めています。

5GeV (50億電子ボルト) ERLの大きさ
(KEKの敷地に重ねて描いてあります)



エネルギー回収型ライナック (ERL) とは？

超伝導加速器で加速した電子を利用して、超高輝度の放射光を発生する装置です。放射光を出し終えて不要になった電子ビームのエネルギーは、超伝導加速器を通して回収され、次の電子ビームを加速するために利用されます。電子ビームの特性は超高輝度電子銃で定まり、従来の蓄積リング型放射光源と比べて輝度を2～3桁高く、パルス幅を2～3桁短くすることができますと期待されています。



電子は1周しかまわらないのよ。
線形加速器とリング型の加速器の
両方のイイところを持っているの。
最先端の光をみんなで使えるわ。

電子ビームを超高輝度電子銃(1)で生成し、超伝導の前段加速器(2)で加速します。次に主加速器(3)で最終的なビームエネルギー(5 GeV)まで加速します。この電子ビームを周回部(4, 6)に設置した数十台のアンジュレータ(5)に次々に通すことによって、超高輝度放射光を発生させます。電子が軌道をまわるのは1回だけなので、ビームがぼけることはありません。線形加速器とリング型加速器の利点をあわせ持った加速器です。

ERLが拓くサイエンス

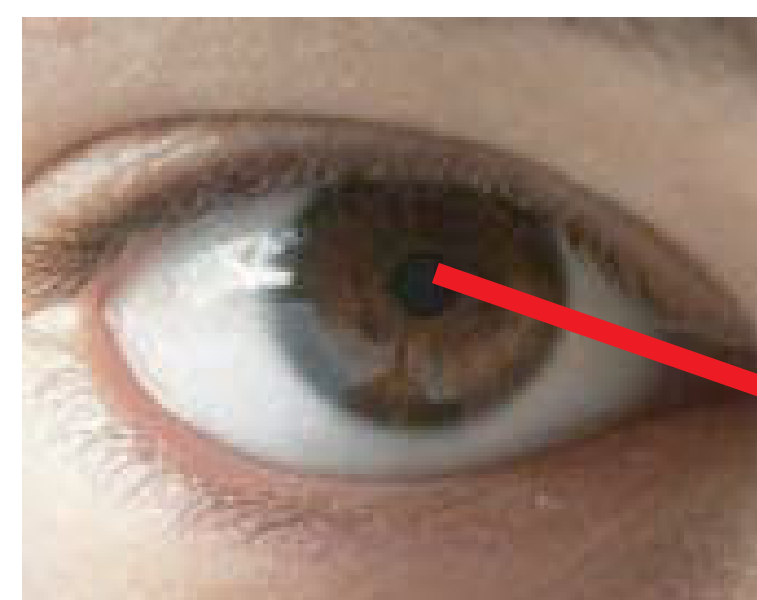
～スタティックからダイナミクスへ～

これまで放射光で見ていたのは、おもに「物質のスタティックな平均状態での姿」でした。最近の新しい機能性物質の開発という必要性から、放射光がパルス状の光であることを利用して、化学反応や相転移など、物質の姿を動的に捉える研究（ダイナミクス研究）が盛んに行なわれるようになってきています。しかし、現在の放射光では捉えることのできる反応の速さに限界があり、機能発現のいちばん初めに生じる素過程を知るには、ピコ秒（1兆分の1秒）より短いパルスの光が必要です。ERLが実現すれば、現在の放射光（～100ピコ秒）より1000倍も速い（～100フェムト秒）反応を見ることができるようになります。

生命科学

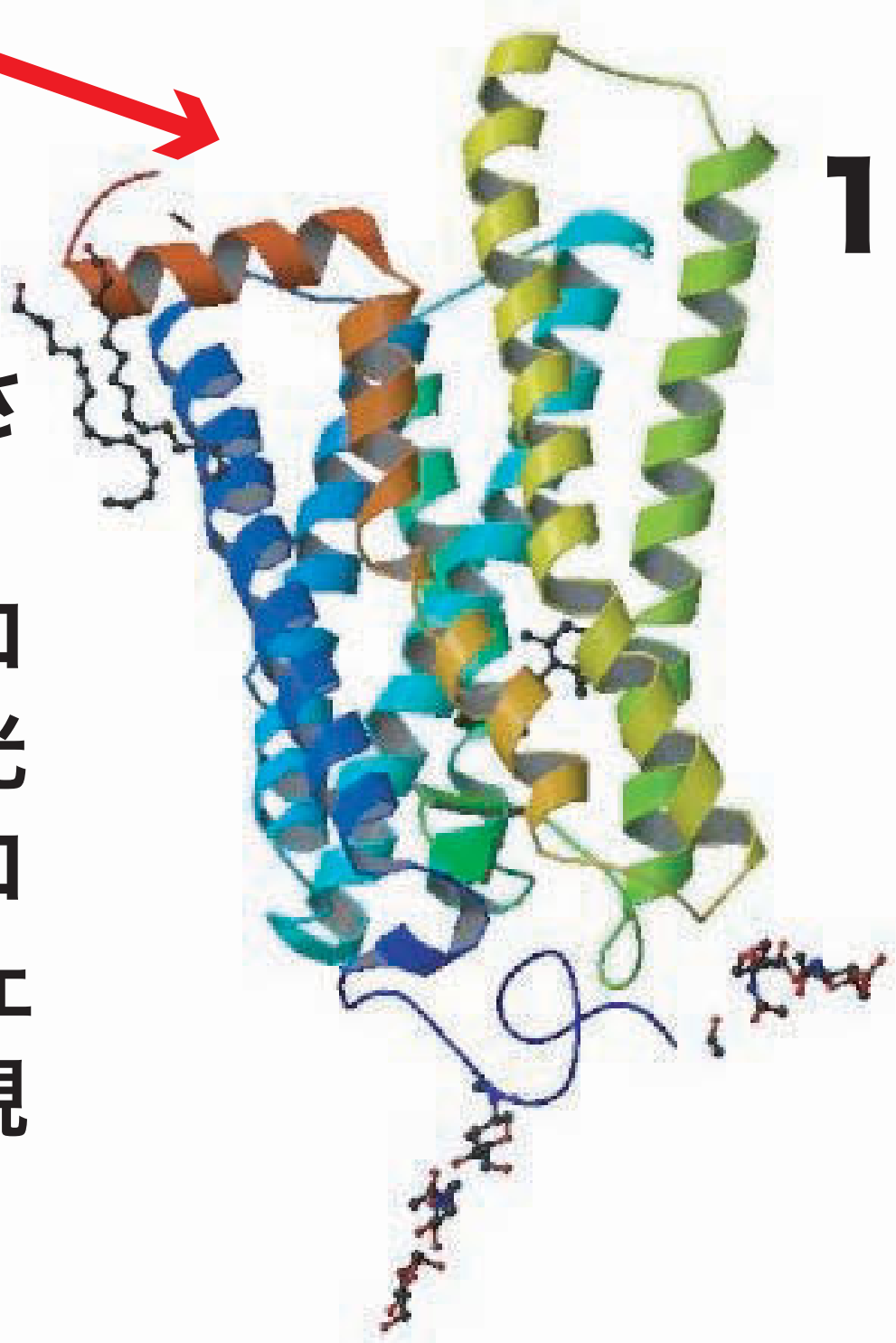
生き物が「動く」しくみを探る

生物の動きは、年オーダーからフェムト秒まで、とても幅広い時間スケールで観測されます。顕微鏡下で動き回るミドリムシの動きをどんどん細かく見てゆくと、鞭毛の動き（1秒間に数100回転）、そして鞭毛のタンパク質の反応にまでつながっています。



創薬ターゲットのダイナミクス

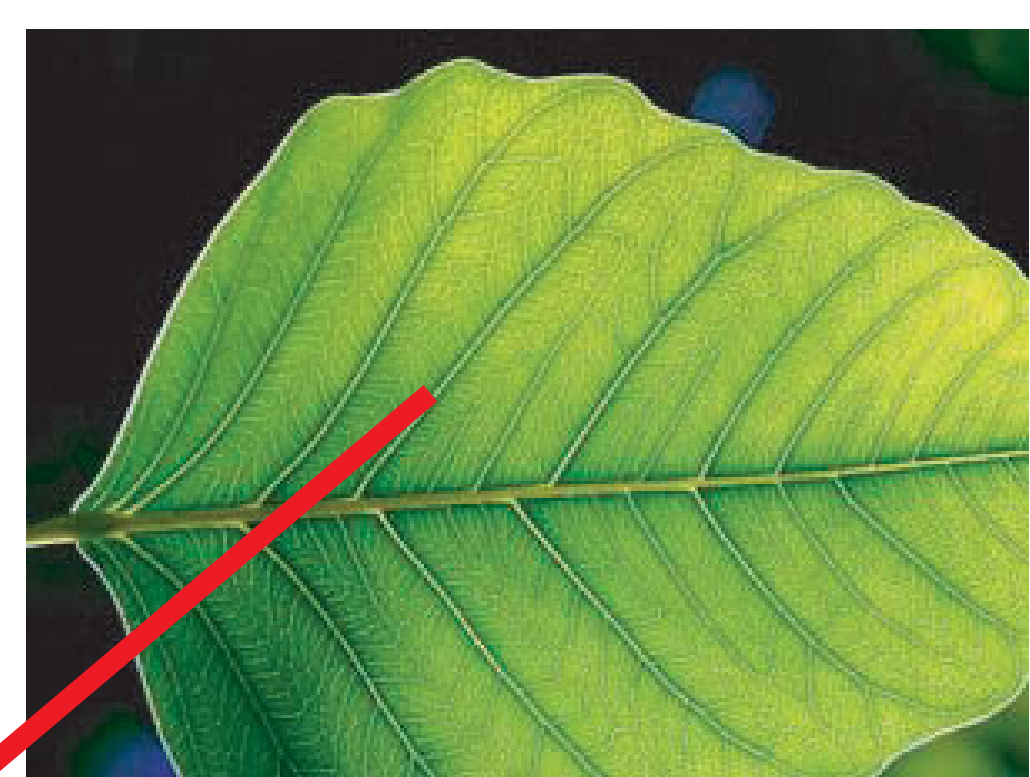
創薬ターゲットとして注目されているGPCR（Gタンパク質共役型受容体）であるロドプシンは、網膜にあり、光を感じるタンパク質です。ロドプシンは、光を～200フェムト秒で吸収し、脳にその視覚情報をミリ秒で伝えます。



光エネルギーの有効利用へ



葉に存在する光合成反応中心タンパク質は光を～100フェムト秒で吸収し、光のエネルギーを化学エネルギーに変換します。



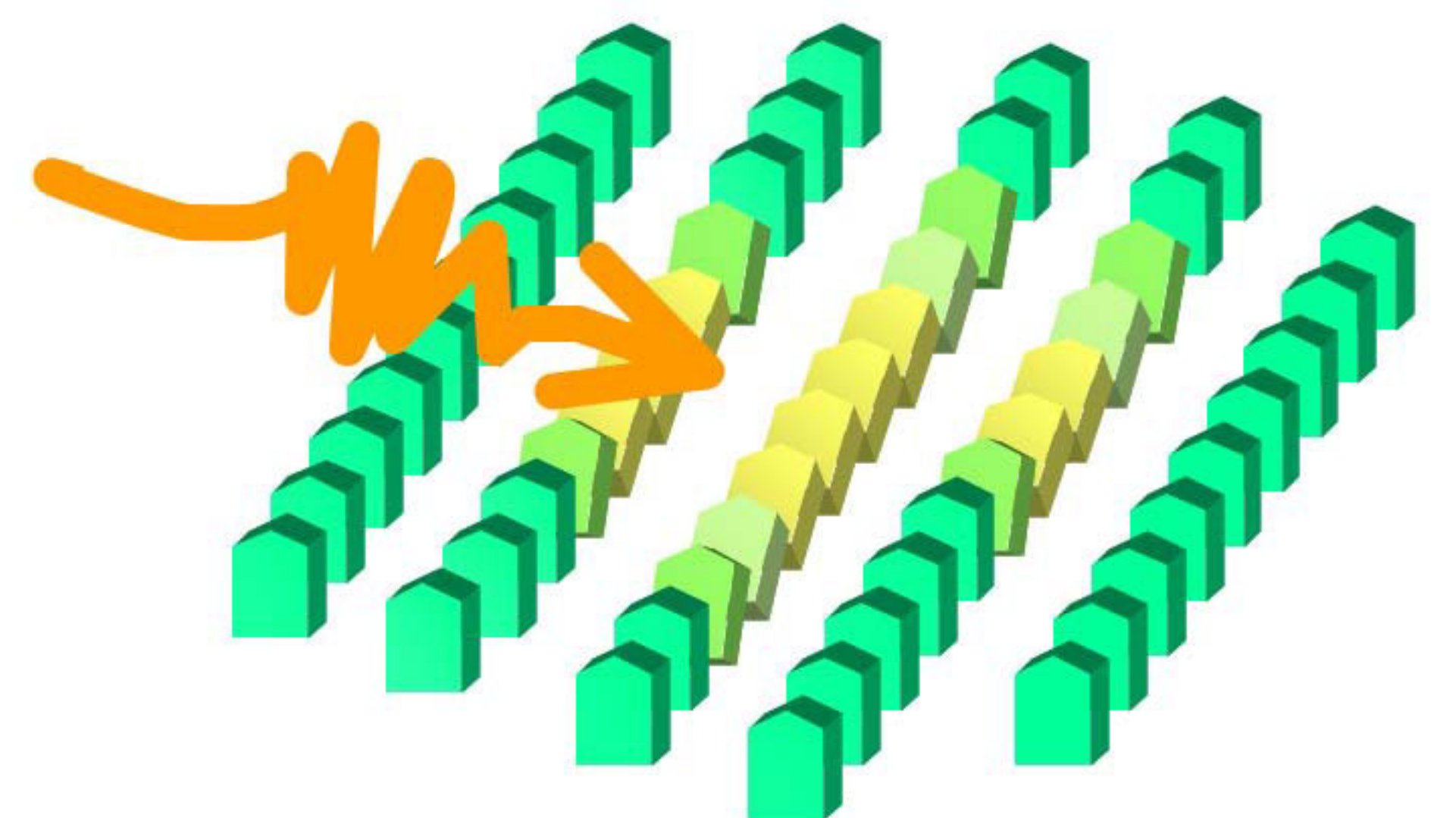
物質科学

現在のハードディスクの書き込み速度は、1ビットあたり約2ナノ秒。



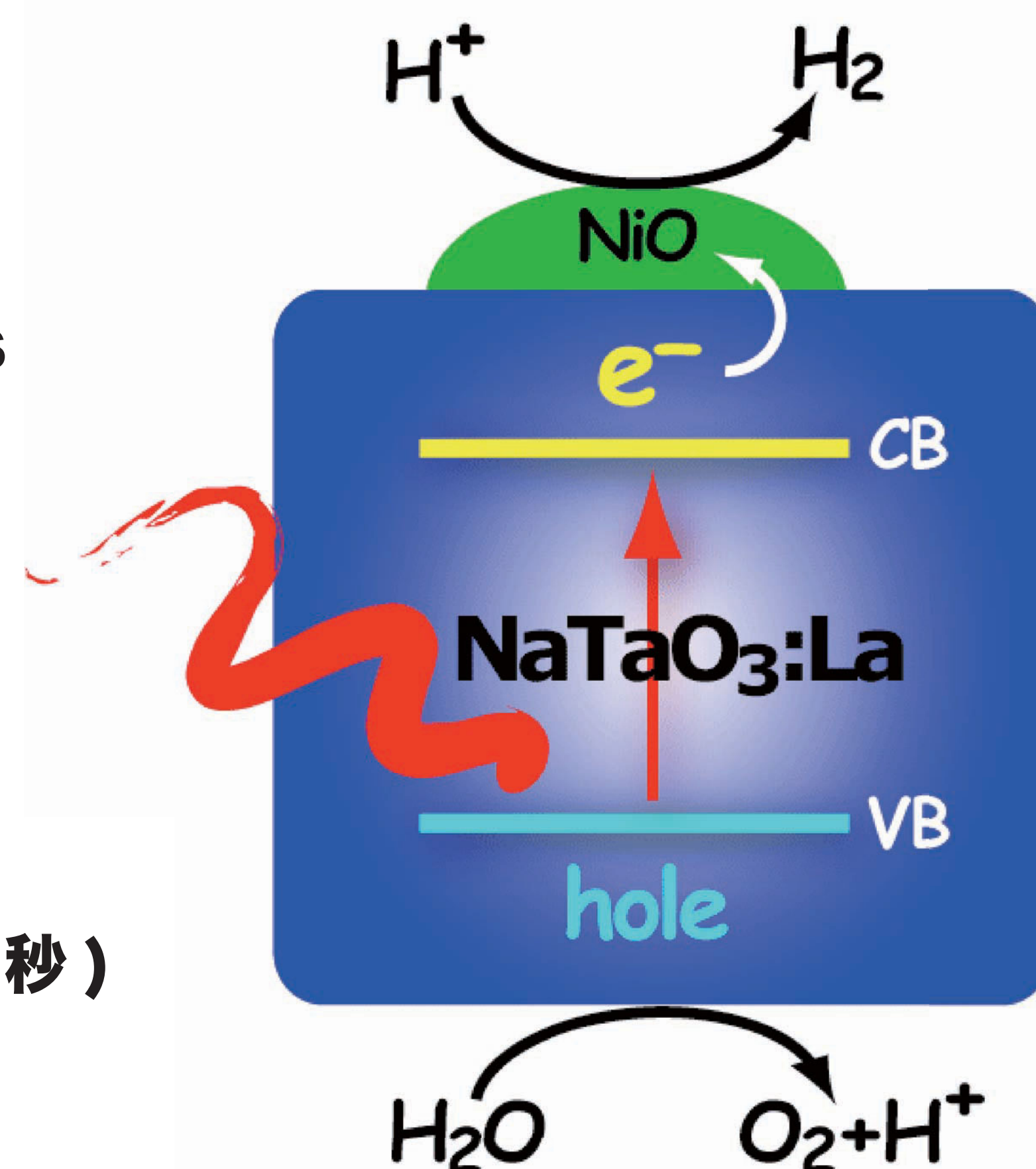
次世代の超高速通信デバイス

1つの光子で多数の分子が変化する「ドミノ倒し」のような現象が光誘起相転移です。サブピコ秒という超高速な光スイッチング素子として有望です。



クリーンな水素エネルギーをつくる触媒

可視光により水を分解して水素エネルギーを生み出す光触媒。初段階の反応はフェムト秒～ピコ秒で起こります。



現在の放射光

ERL

10⁻⁹s

1ns
(ナノ秒)

100ps

10ps

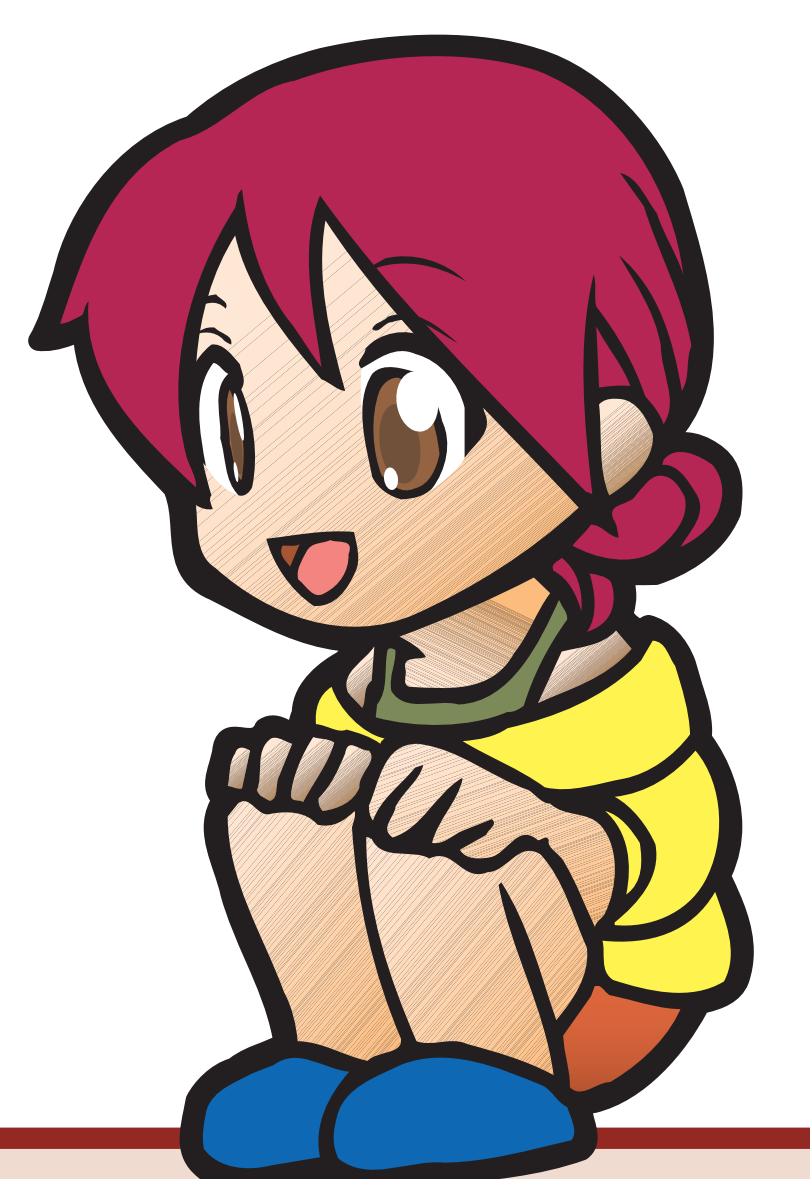
1ps
(ピコ秒)

100fs

10fs

1fs
(フェムト秒)

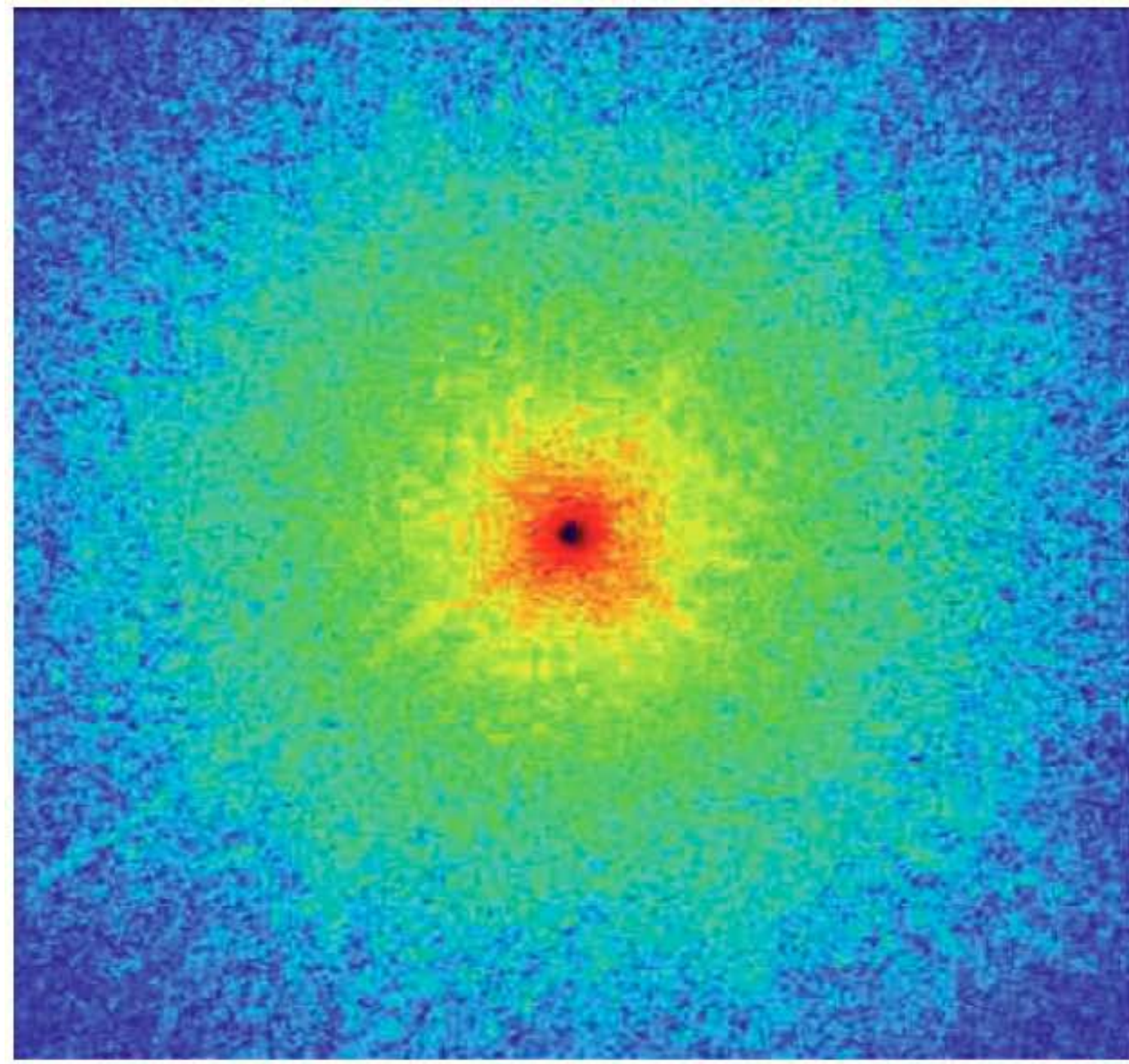
フェムト秒なんて遠い世界と思ってたけど、意外と身近なものがいっぱい。わたしの目はこれほどに速い反応でものを見ていたんだね。



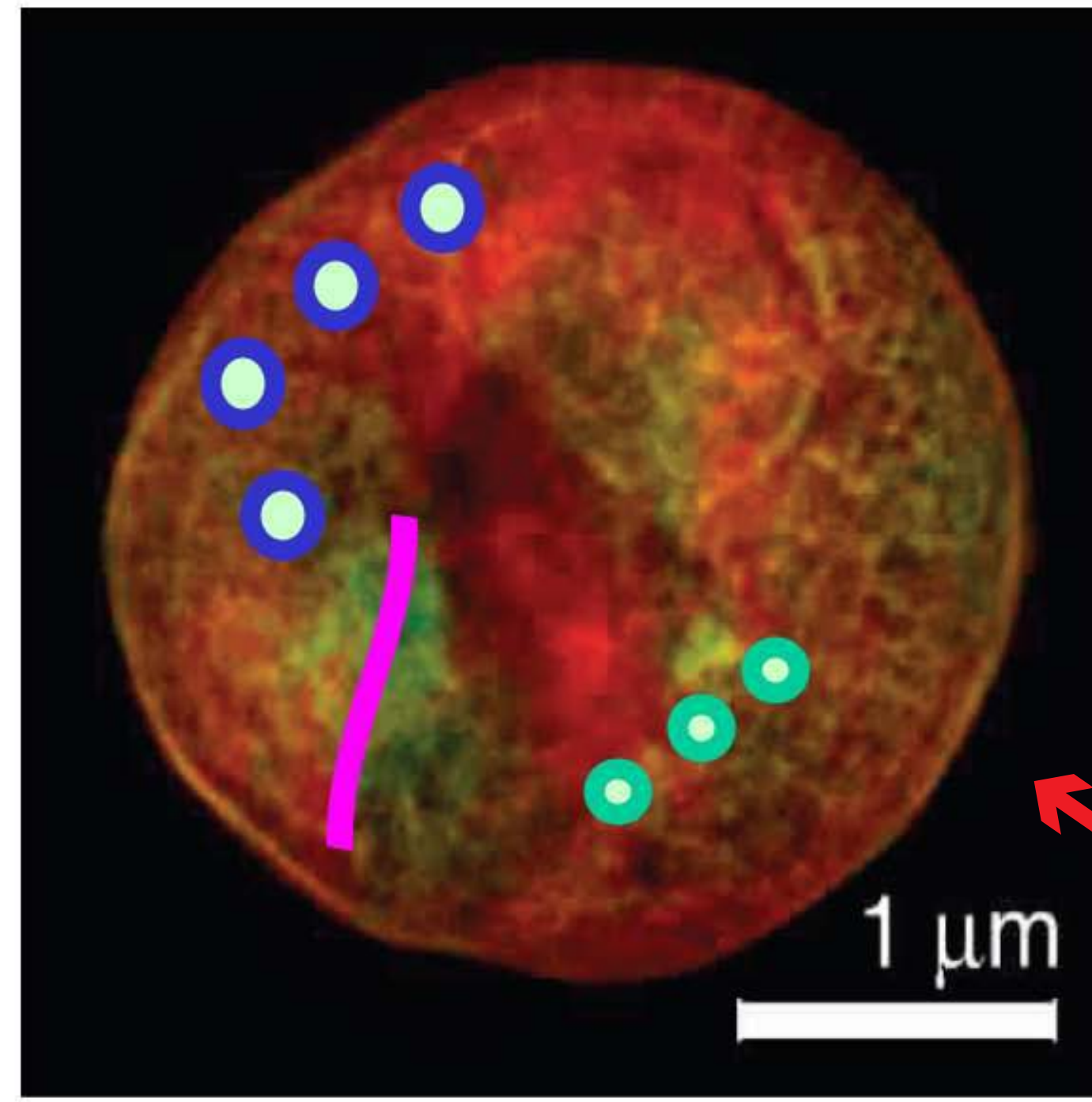
ERL が拓くサイエンス ～コヒーレンスとナノビーム～

波の振幅や位相がそろっているコヒーレントX線は、結晶でない物質の構造を解き明かし、たとえば、細胞中のタンパク質の機能をそのまま見ることも夢ではなくなります。このような研究は飛躍的に生物学、医学、薬学の分野の発展を約束するでしょう。

アダプタータンパク質 クラスリン キネシンと微小管

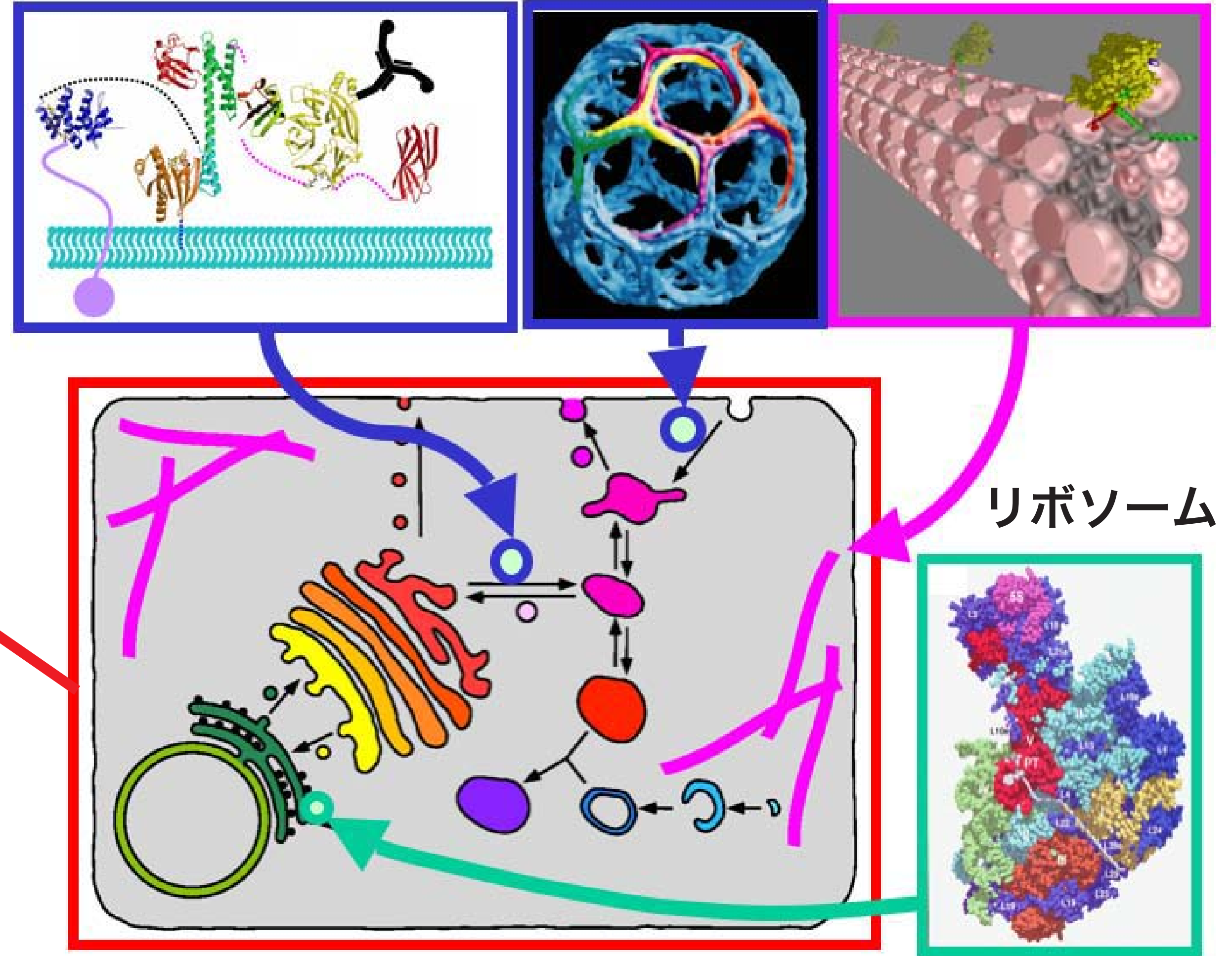


酵母菌細胞の回折像



左の回折像から構築した酵母菌細胞のイメージ

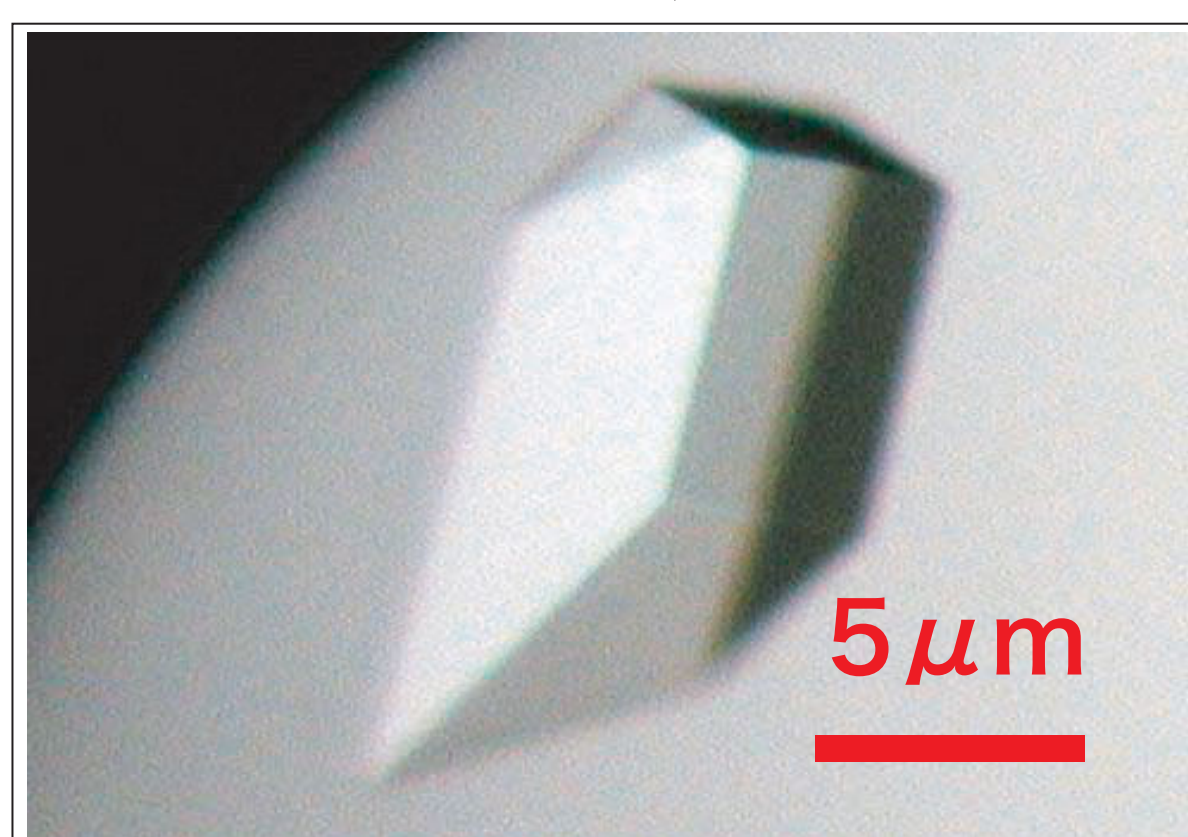
D. Shapiro et al., PNAS, 102, (2005).



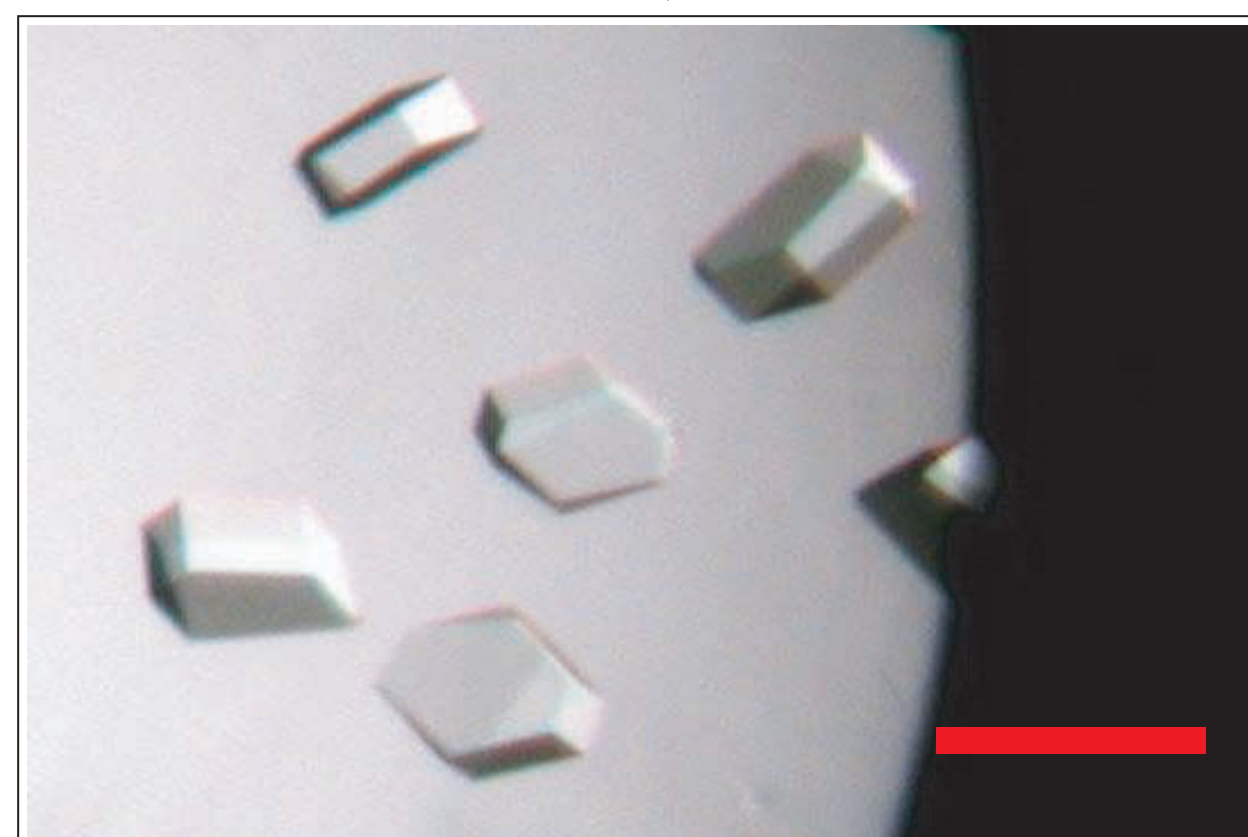
リボソーム

物質開発はナノマテリアルへと移行してきており、マイクロビームからナノビームへ、より微小な光が必要となってきています。さらに、ナノビームは、結晶をつくるのがむずかしい、しかし創薬のための主要な標的分子である膜タンパク質の構造解析を可能とし、将来のテーラーメイド医療の実現が可能となるでしょう。

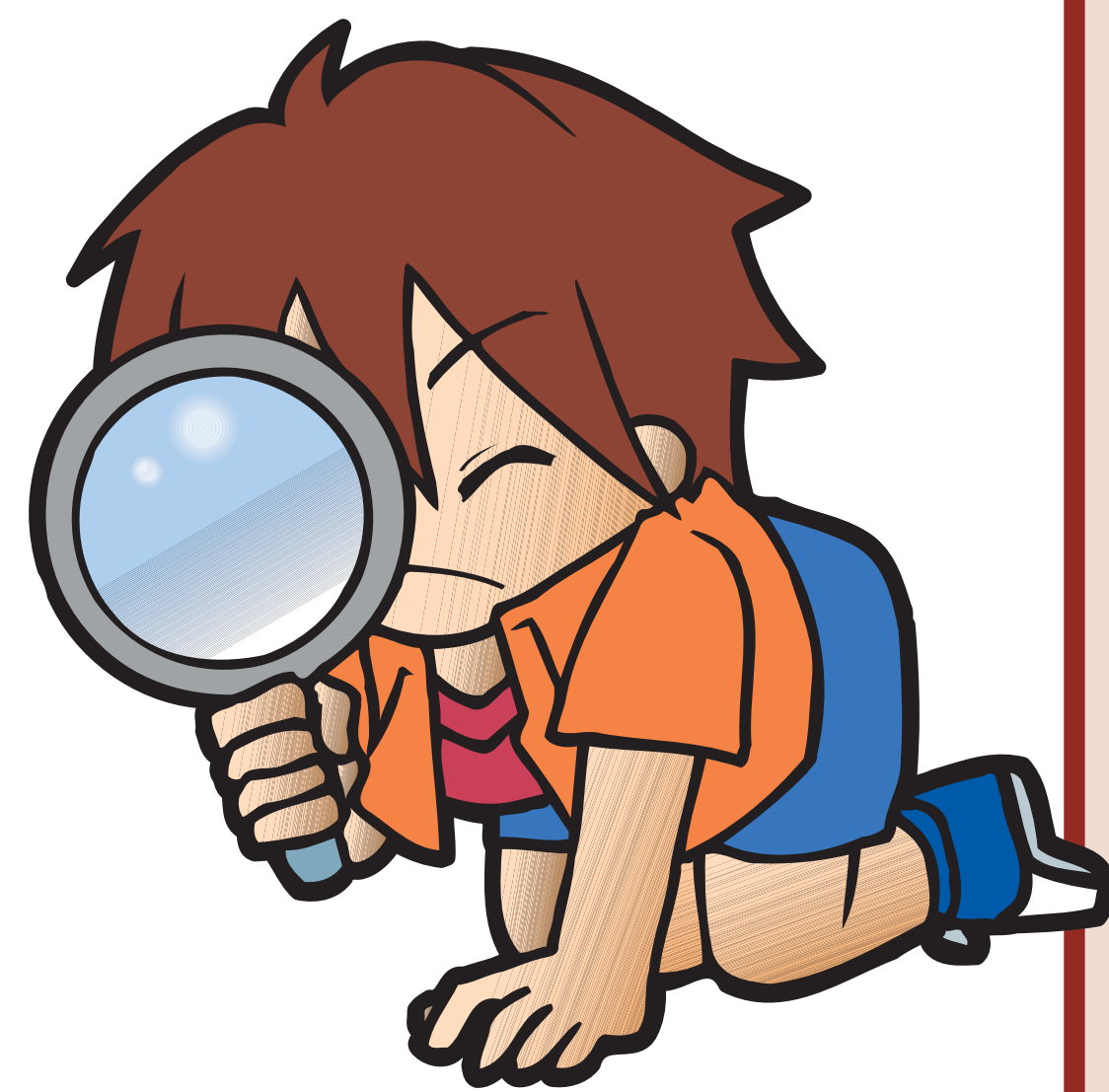
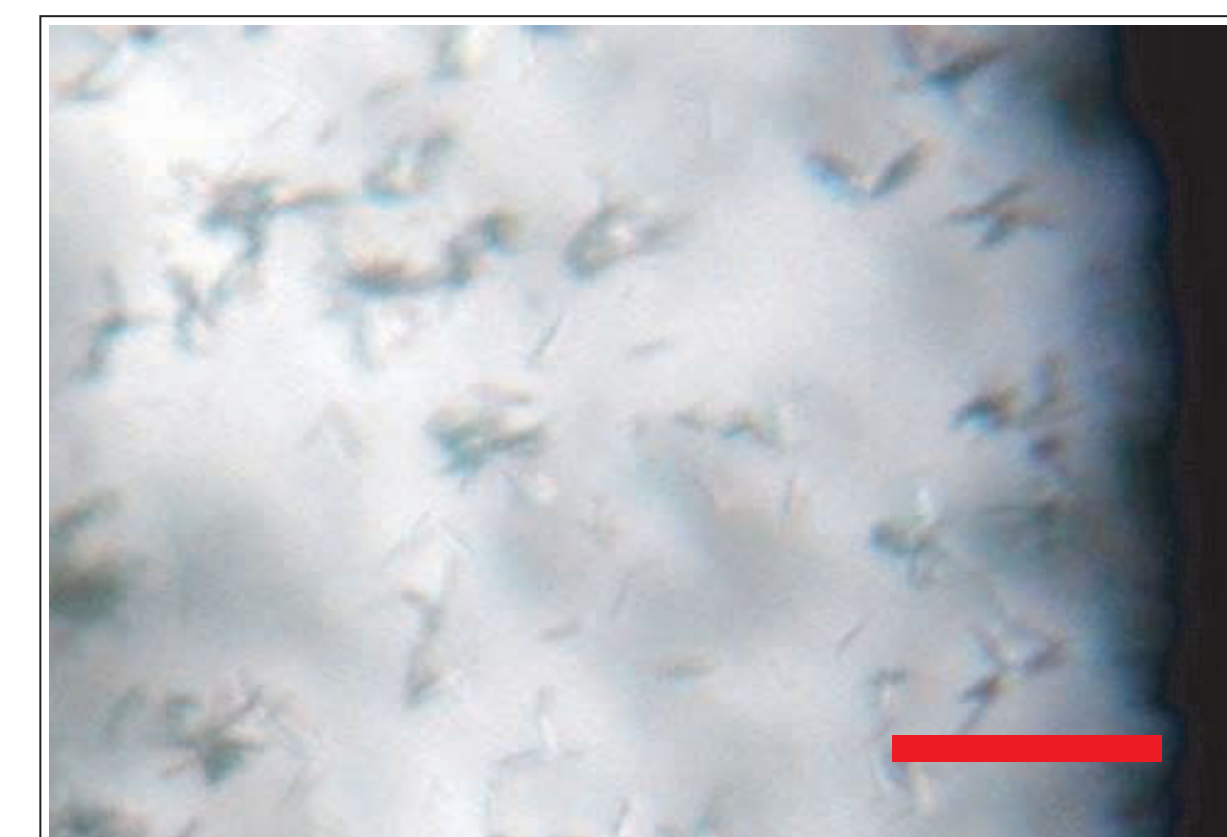
通常の結晶
100 μm
10¹² 分子



現在の限界
10 μm
10⁹ 分子



サブミクロン結晶
1~0.1 μm
10⁶~10³ 分子



簡単

難しい

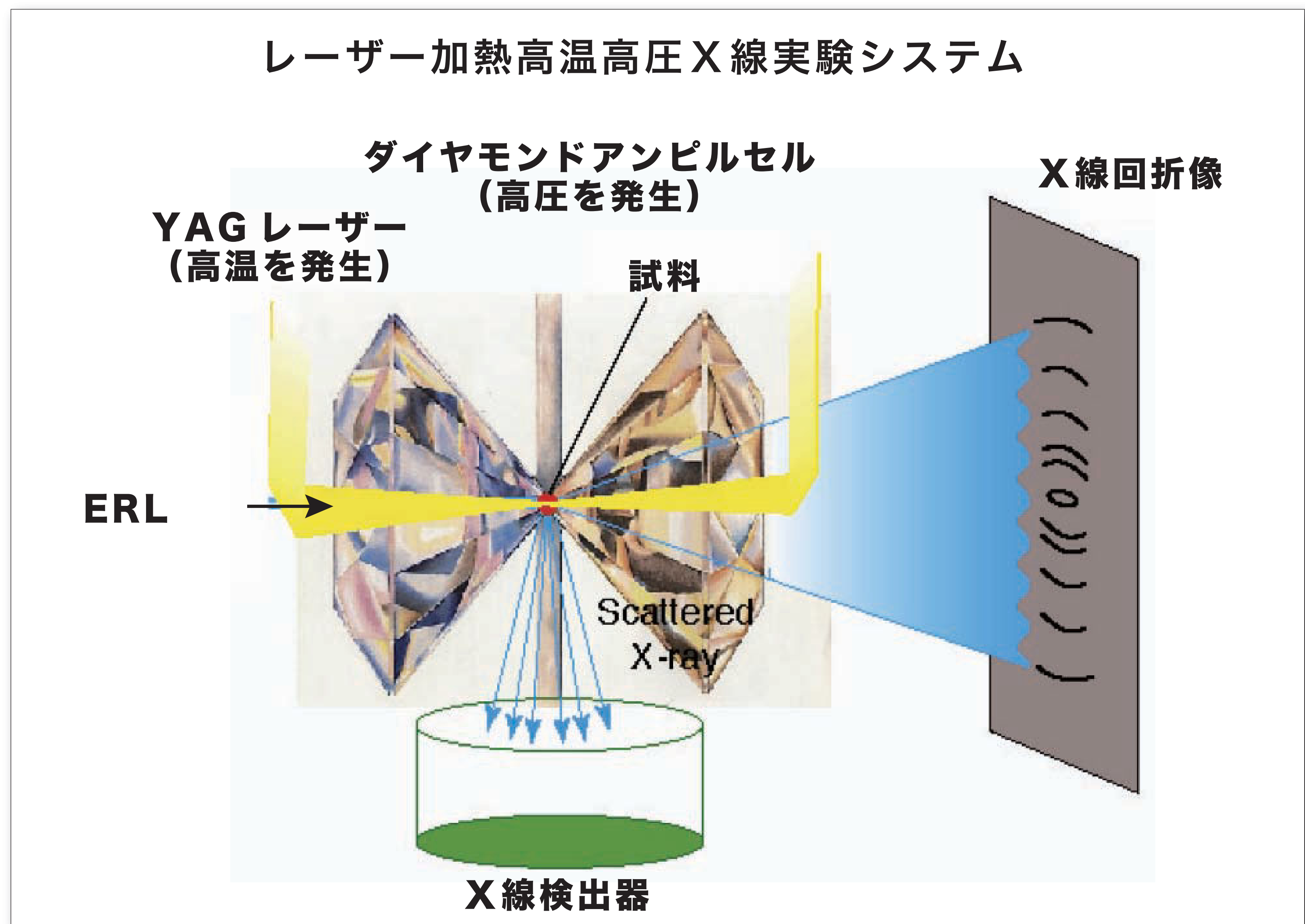
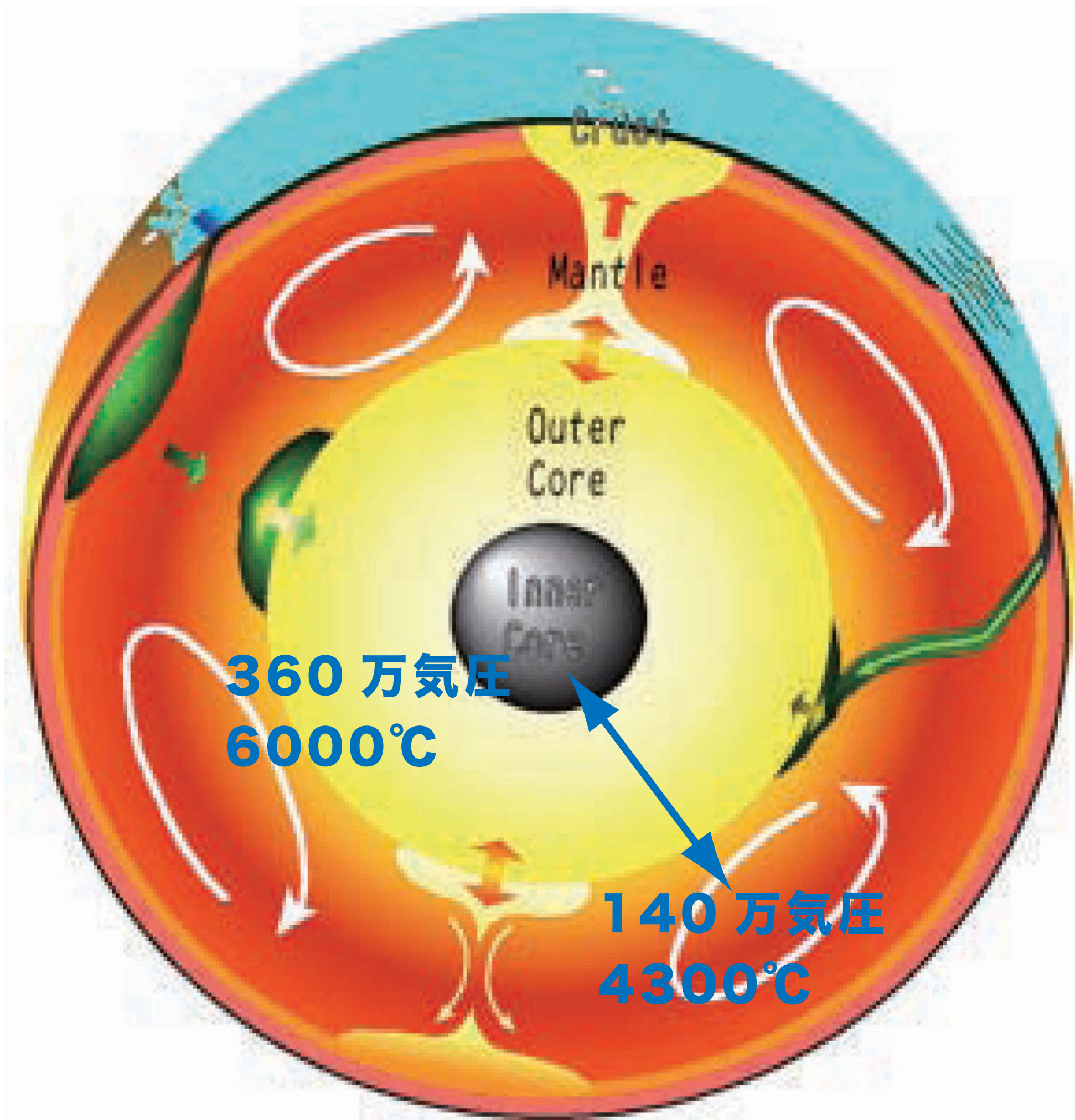
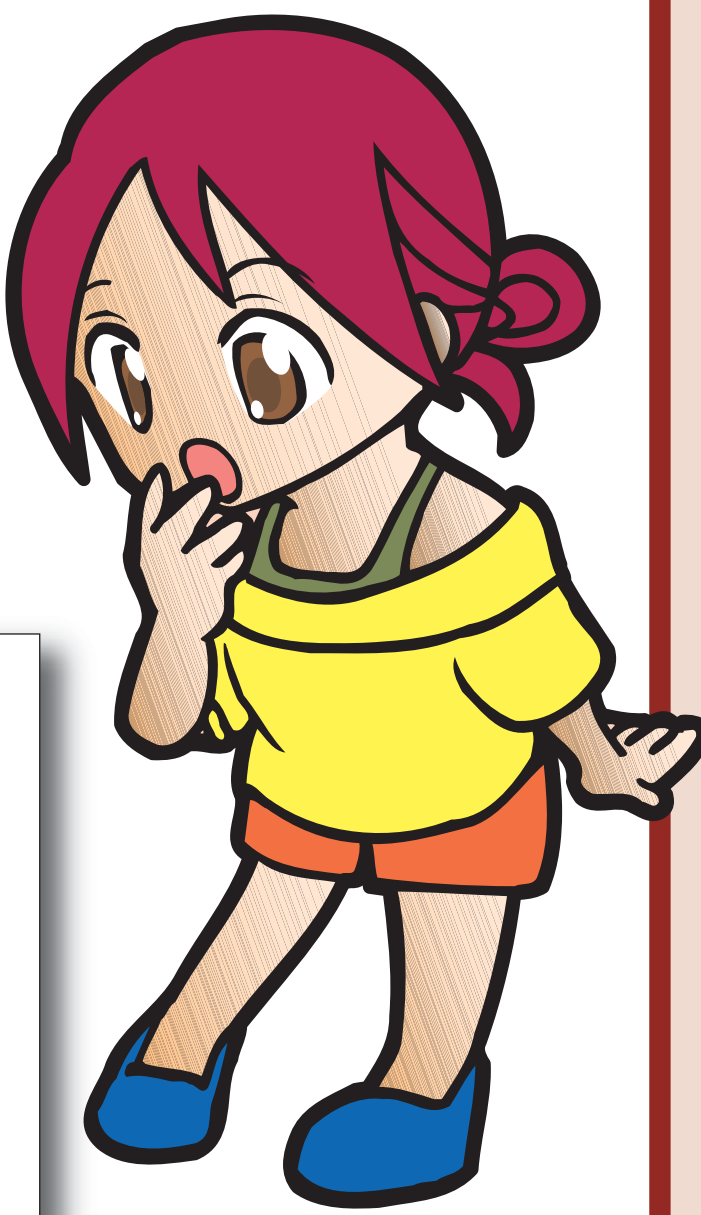


細胞膜にある膜タンパク質は、細胞内への分子の取り込みやシグナル伝達を行う大事な分子。市販の薬の約半数は膜タンパク質に作用するものなんだ。立体構造がわかるようになればよく効く薬が作れるぞー。

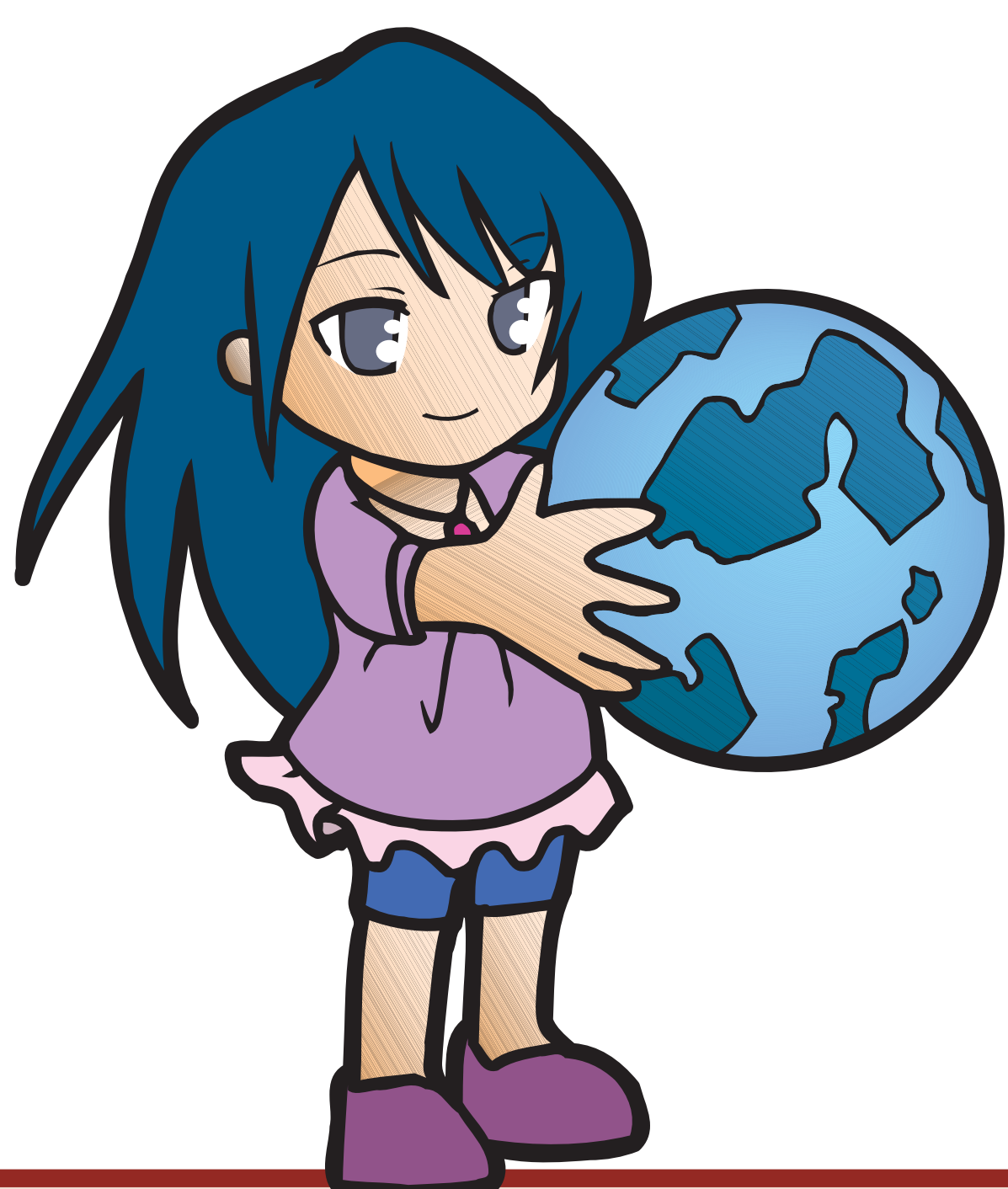
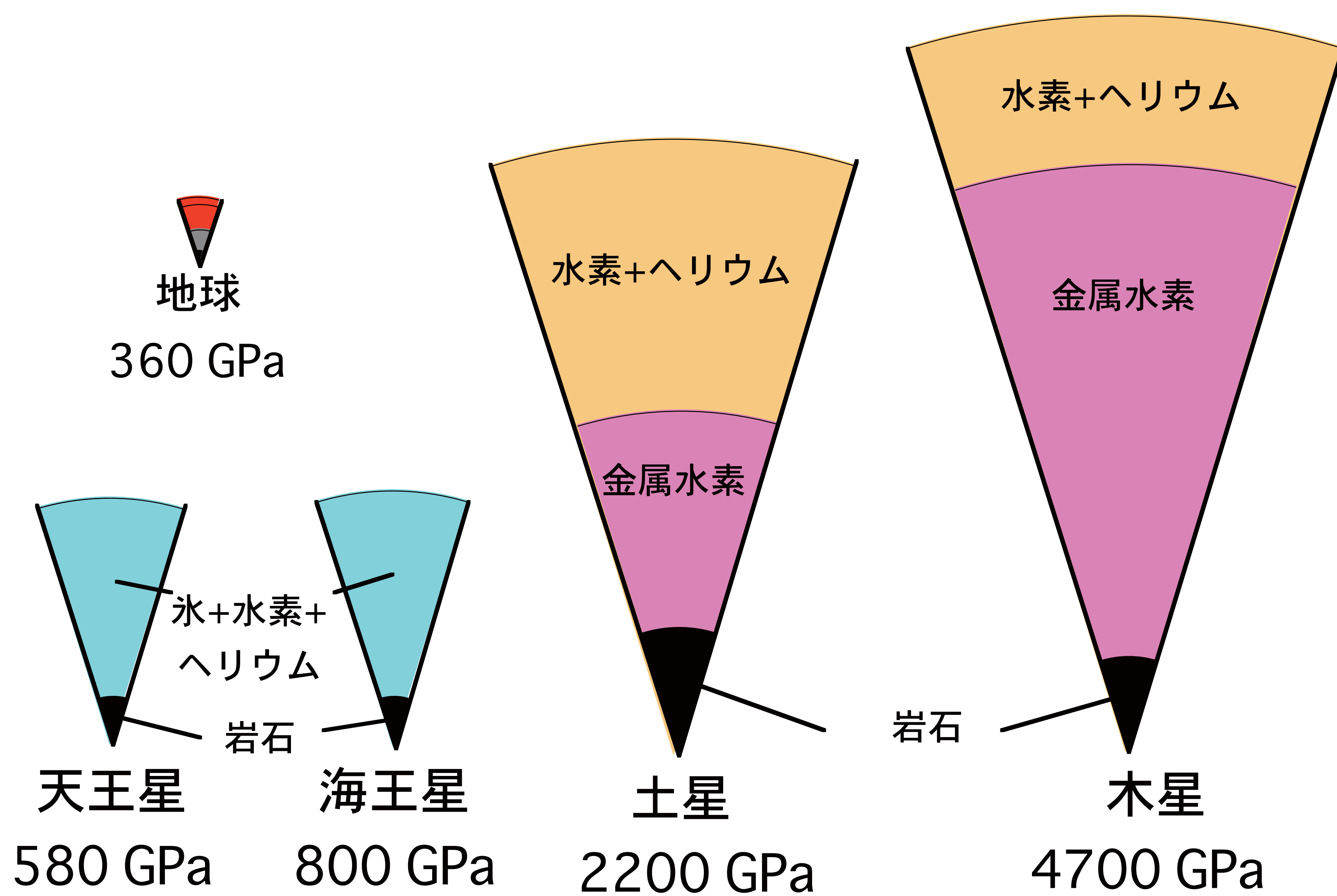
ERL が拓くサイエンス

～地球惑星科学への誘い～

地球や惑星の中心は、超高温・高圧の未知の世界です。ERLの高輝度ビームは、極微小領域でなければ地上では実現できない極端条件下での物質の状態、構造を解明します。



木星や土星のような巨大惑星は、主に水素とヘリウムからできており、深部には金属水素が存在すると考えられています。この金属水素が、巨大惑星の特異な巨大磁場・巨大熱流量と密接に関係しているとされています。また、金属水素は、理論的には室温超伝導体であると予測されていて、その性質にも注目が集まっています。このような地球深部よりさらに高温高圧の世界は、現在の科学では未知の世界であり、ERLのナノビームがその謎を解き明かす鍵となるでしょう。



想像もできない超高温高圧の世界...。それが、微小領域であれば地上でも再現できるのね。ERLができればそんな夢の世界が見られるのかしら...

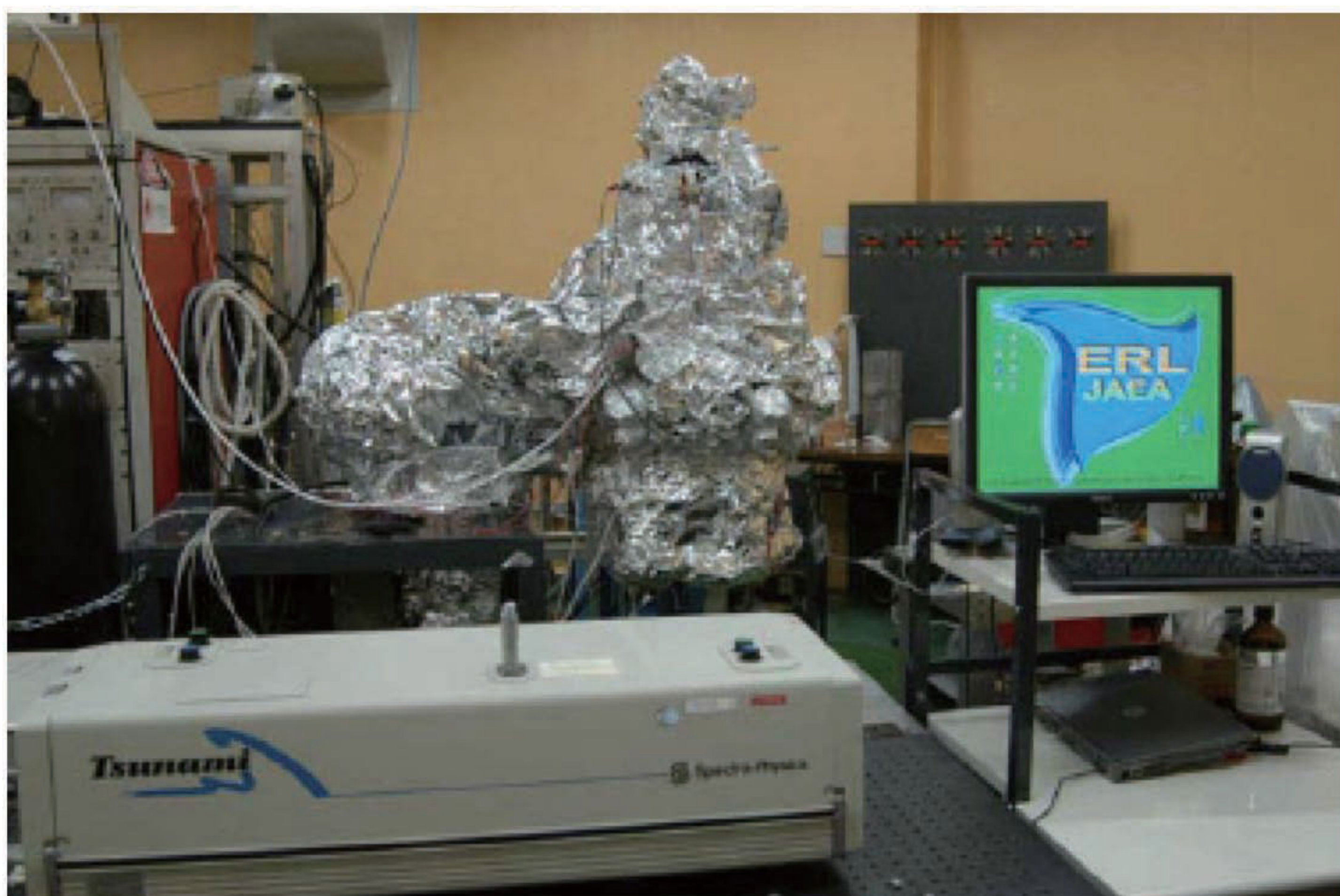
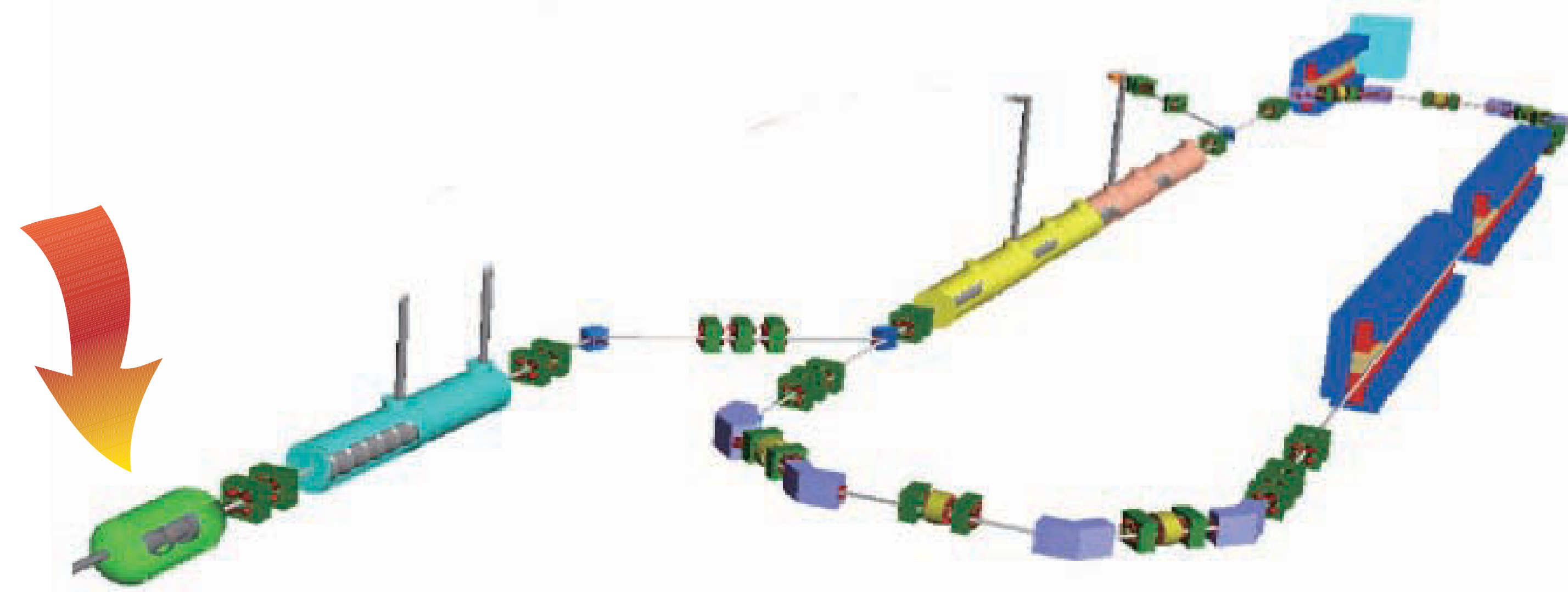
要素技術の開発

(1) 電子銃

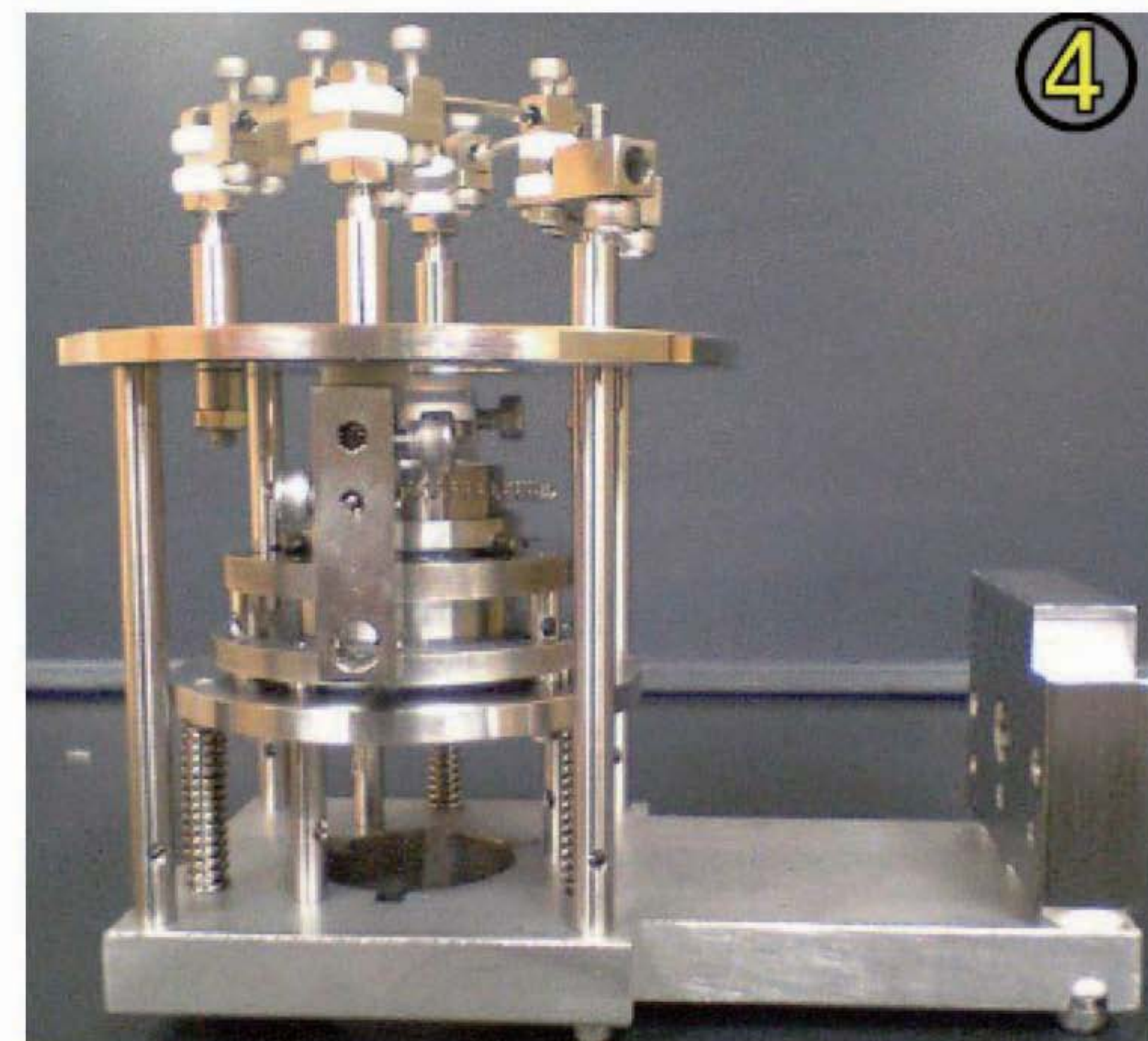
電子銃は ERL において電子ビームの性能を決定する重要な機器です。

最先端のドライブレザ光をフォトカソードに照射し、引き出した電子を直流高電圧で加速することにより、超高輝度の電子ビームを生成します。

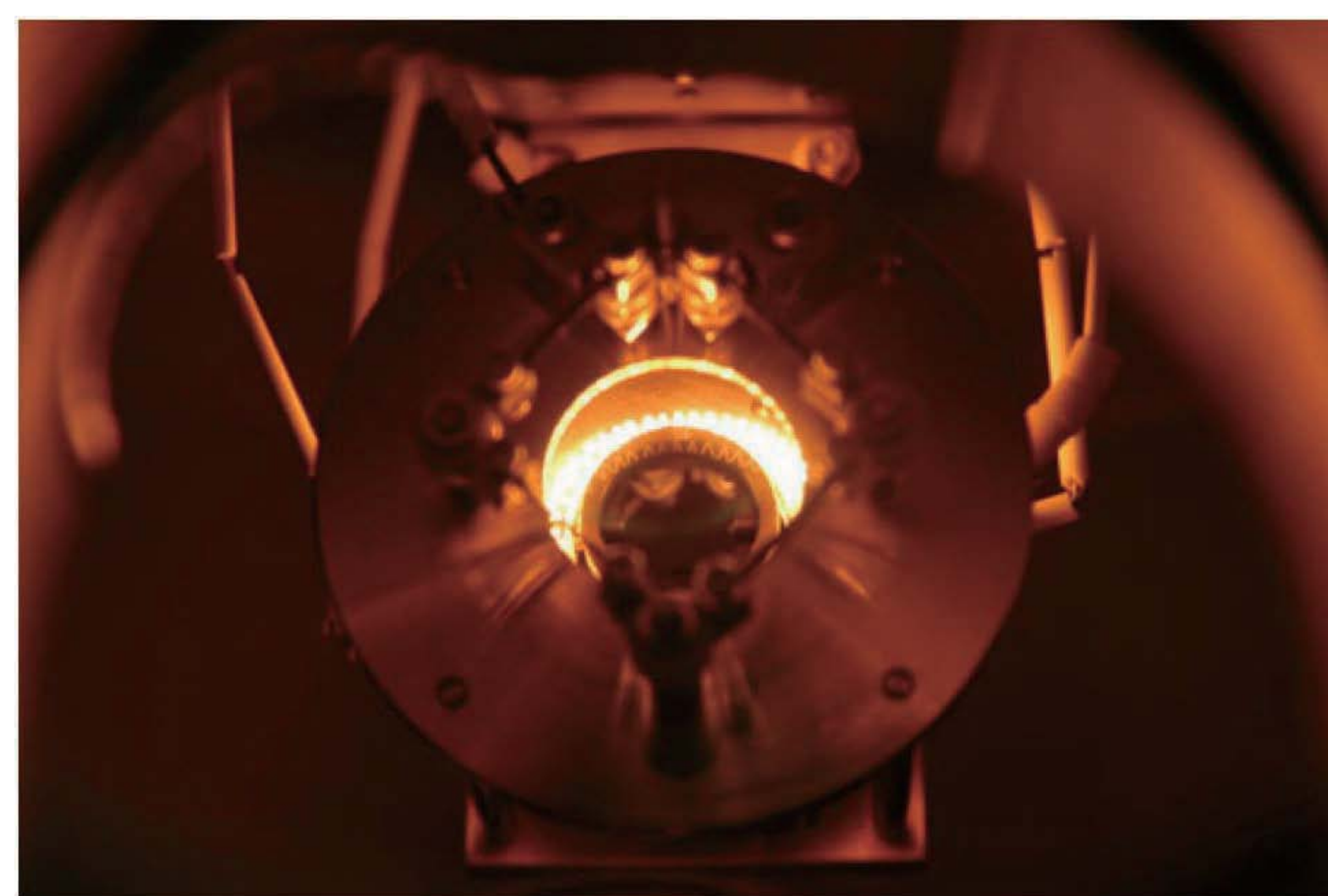
励起用の大出力ファイバーレーザー、負の電子親和力を持つフォトカソード材料、高電圧 (500 kV) 電極を組み合わせ、必要な性能を達成します。そのための開発研究を進めています。



高真空チェンバーとレーザー

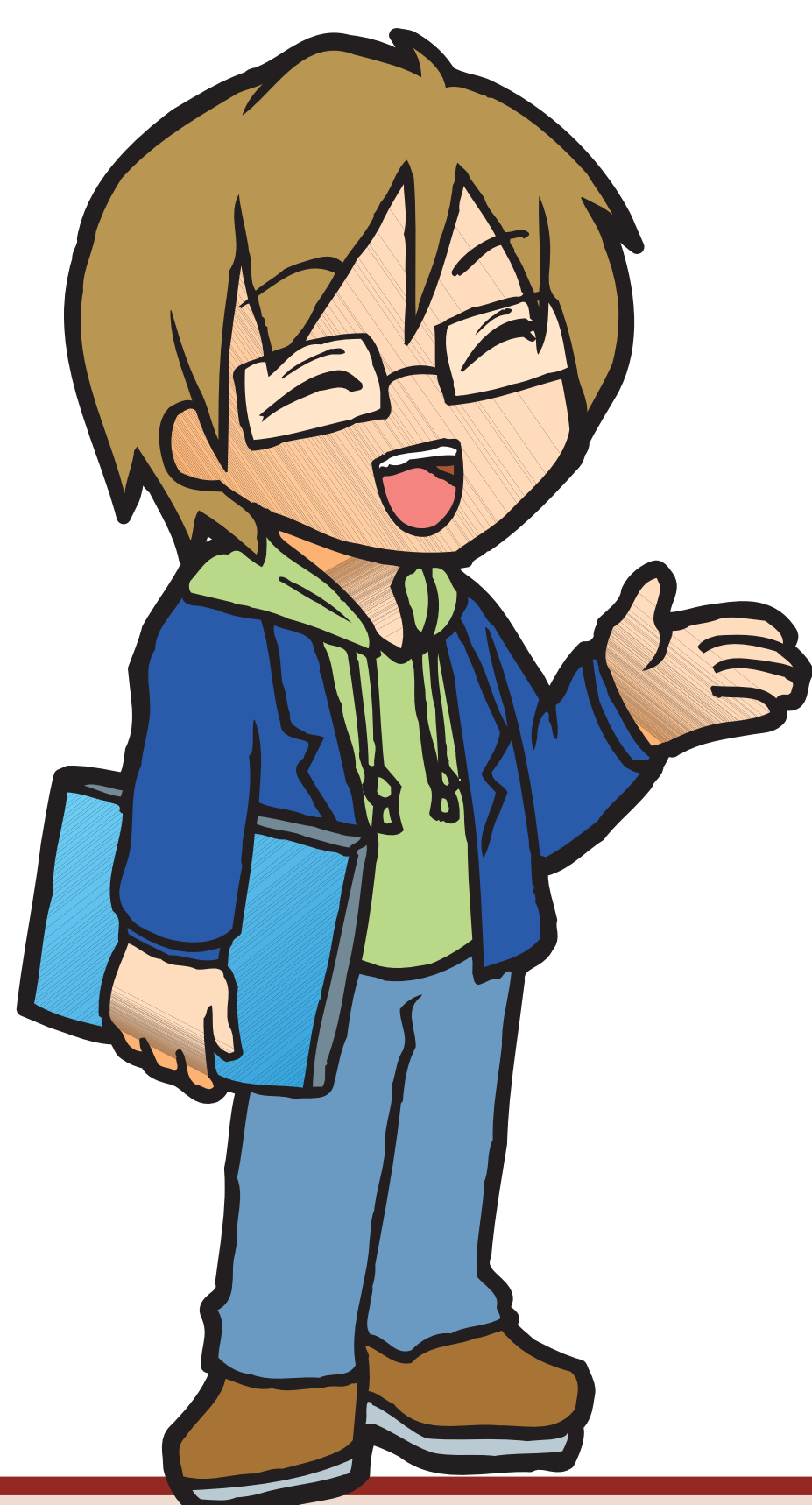
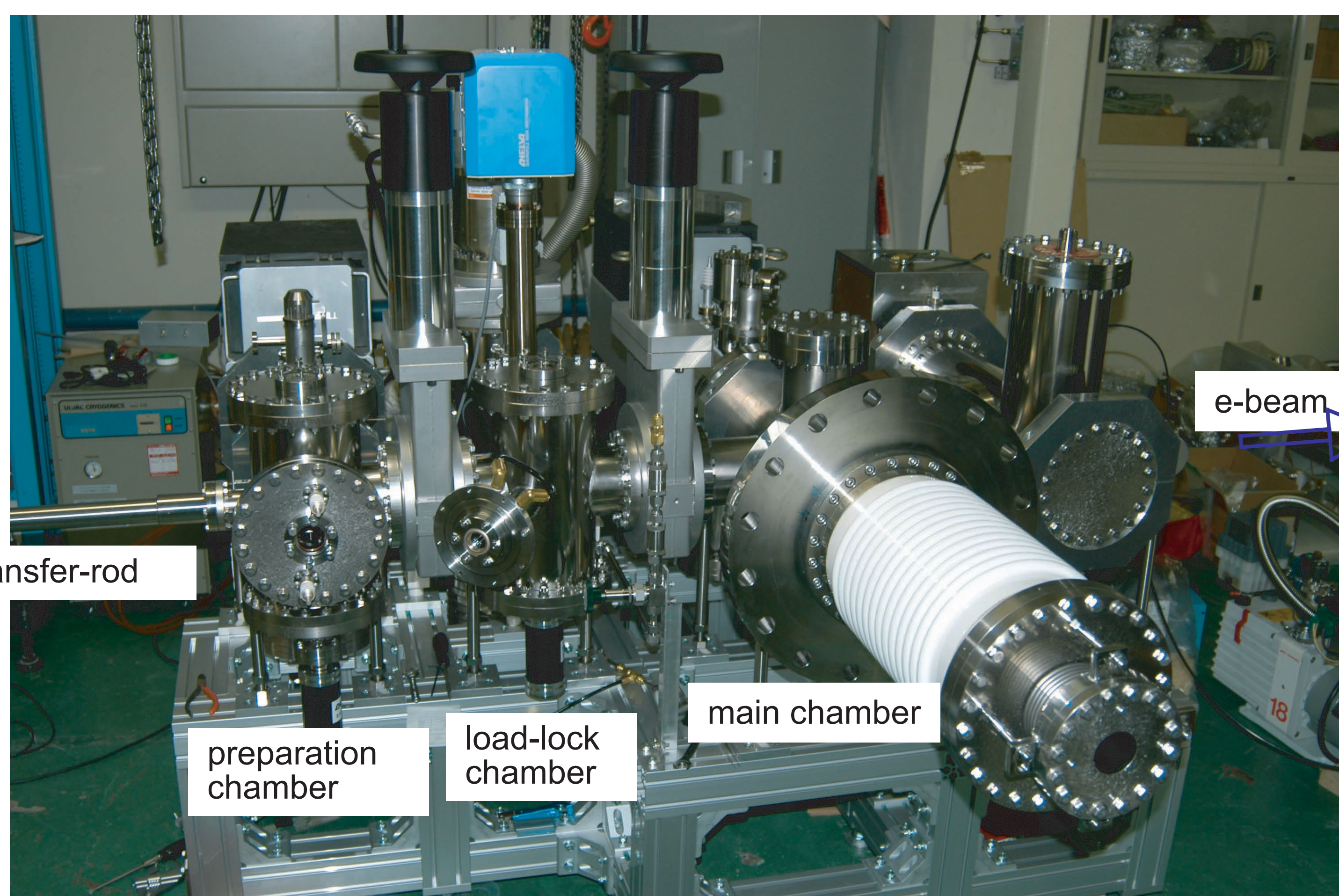


フォトカソードホルダー

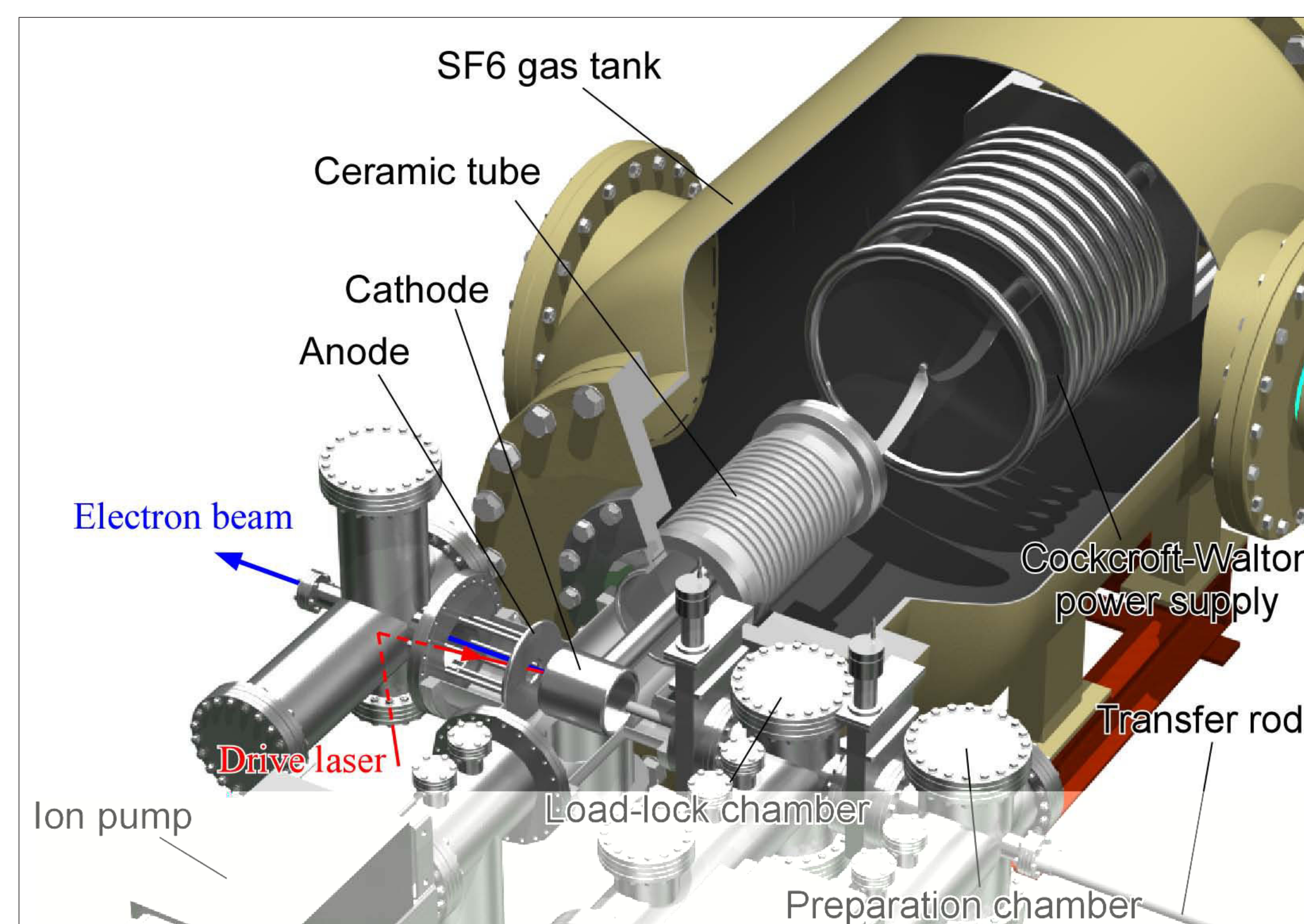


フォトカソード材料 GaAs 結晶の加熱洗浄

日本原子力研究開発機構 (JAEA) で開発中の 250kV 電子銃。すでに高電圧印加試験が完了しました。

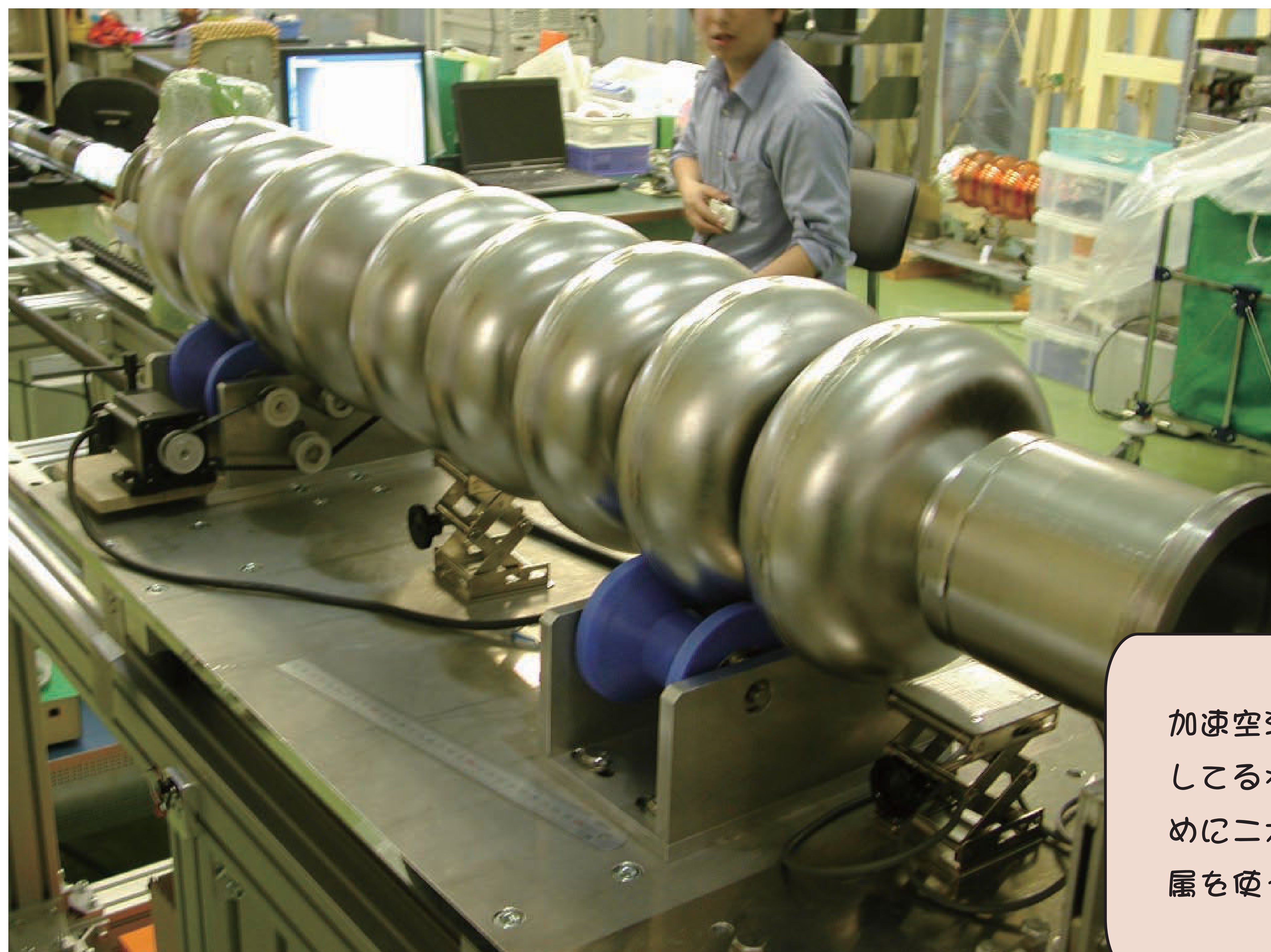
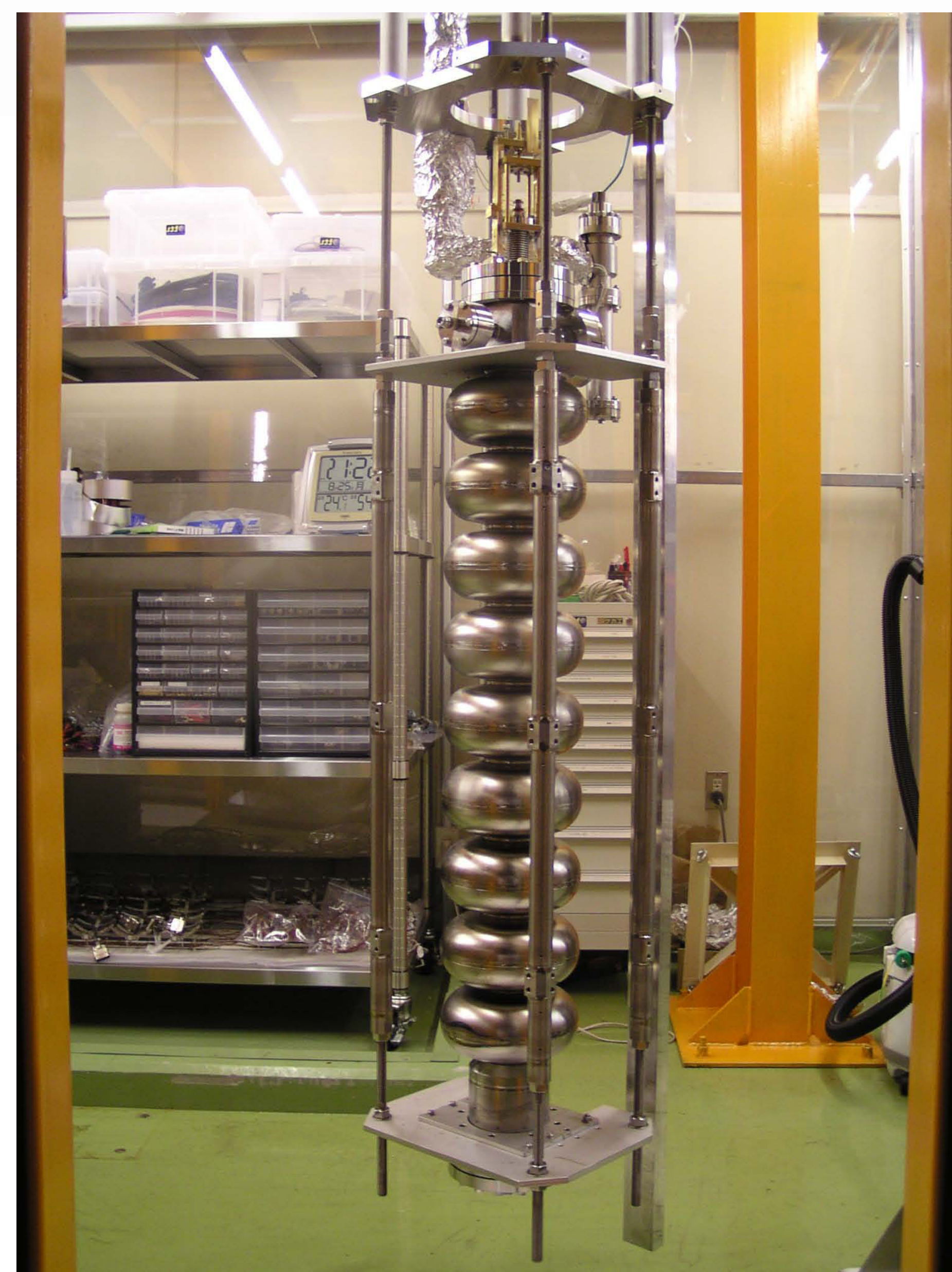
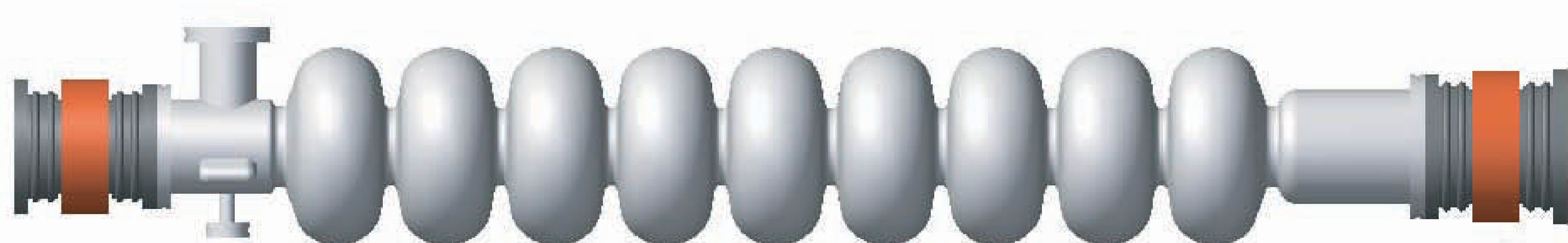
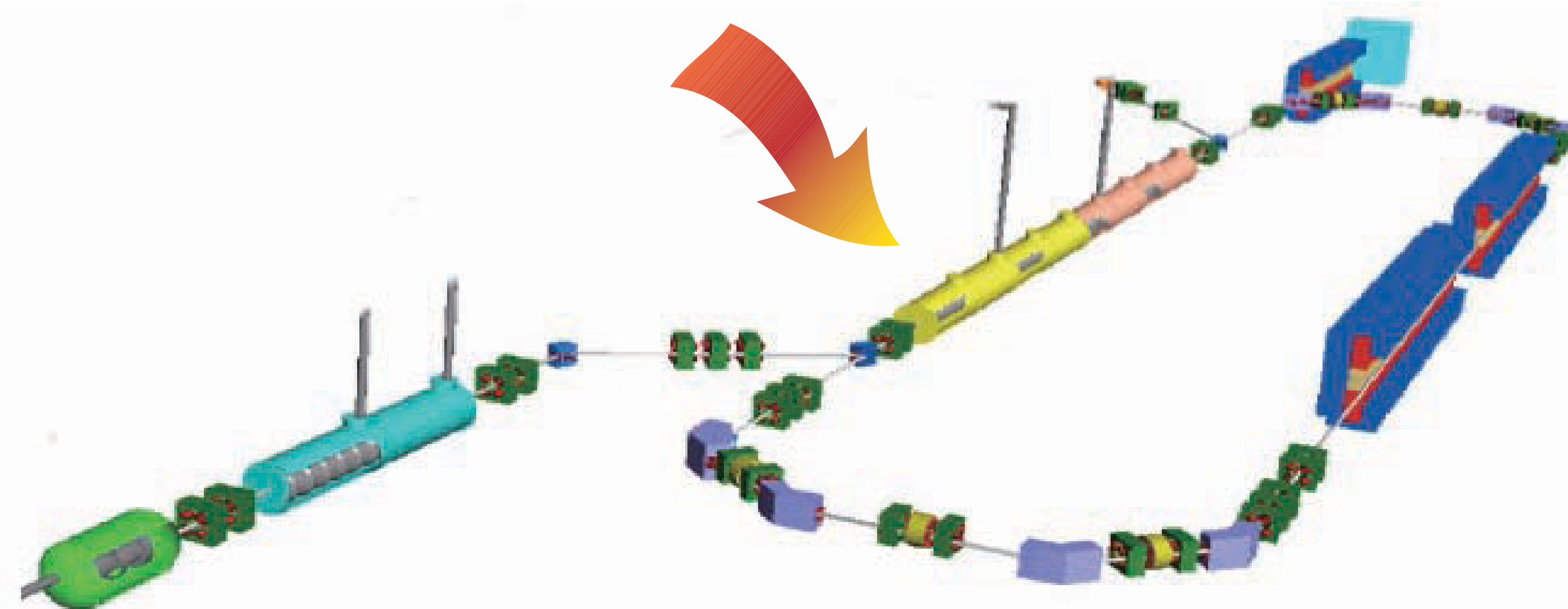


加速器をまわる電子の生まれる場所が電子銃。ERLでは、光の品質は電子銃の性能で決まるから、とっても重要な部分なんだって。



要素技術の開発 (2) 超伝導加速空洞

超伝導加速空洞は、高周波電力を投入して、ビームの加速に必要な高周波電場を発生する装置です。近年急速に進歩している超伝導技術を用いることで、高電界かつ高効率の加速が実現できます。最先端の超伝導加速器技術は、先進医療のための小型加速器を始め、産業への波及効果も期待されます。



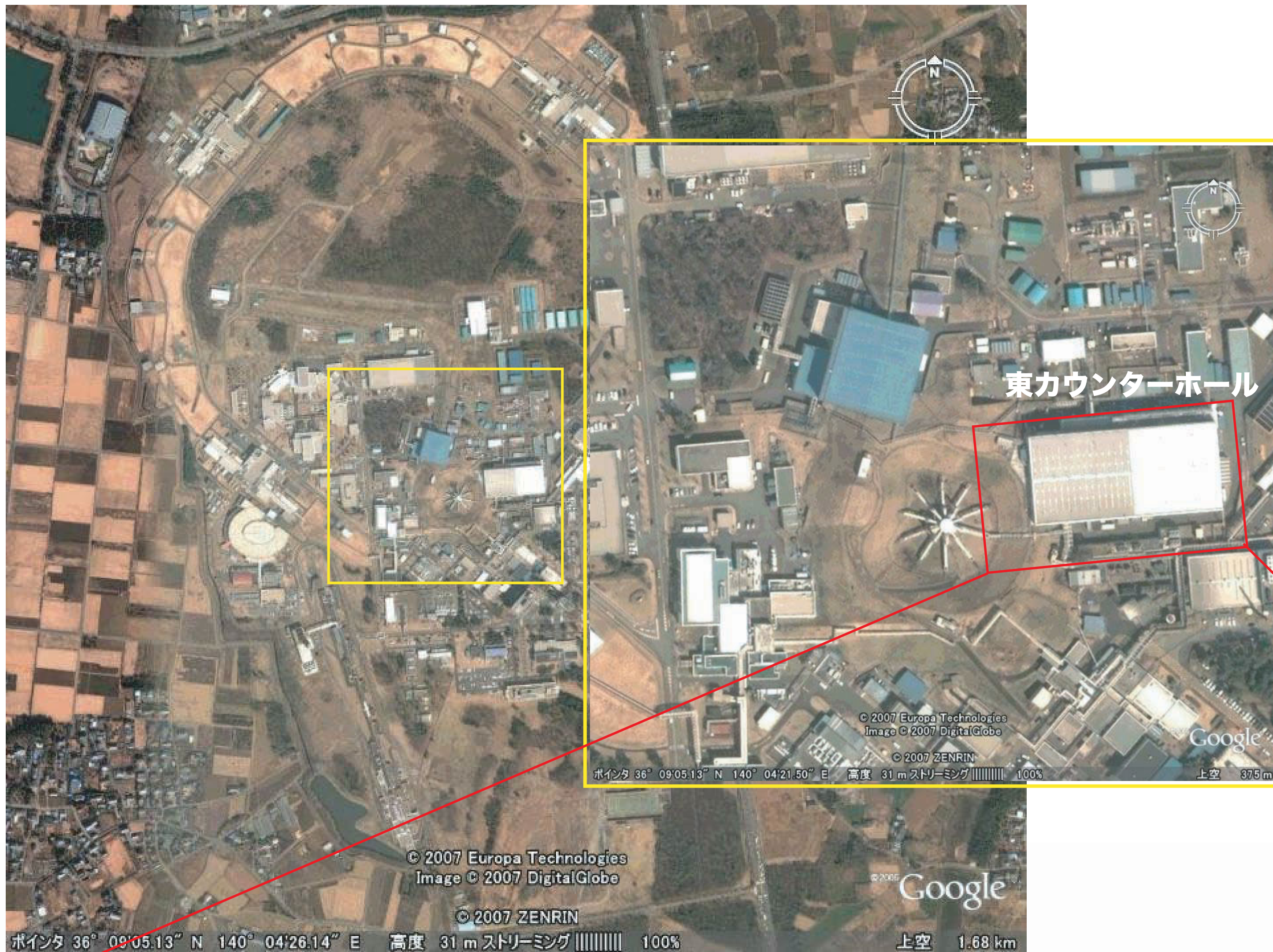
ERLの実現には、世界で最高レベルの超伝導空洞技術が必要です。例えば、加速空洞の表面に傷や塵が存在すると、折角の超伝導が損なわれますので、電界研磨や超純水高圧洗浄などの表面処理技術を駆使してそれらを除去します。写真は試作されたニオブ製の超伝導空洞です。

加速空洞っておもしろい形をしてるね。超伝導を起こすためにニオブっていう特殊な金属を使ってるんだって。

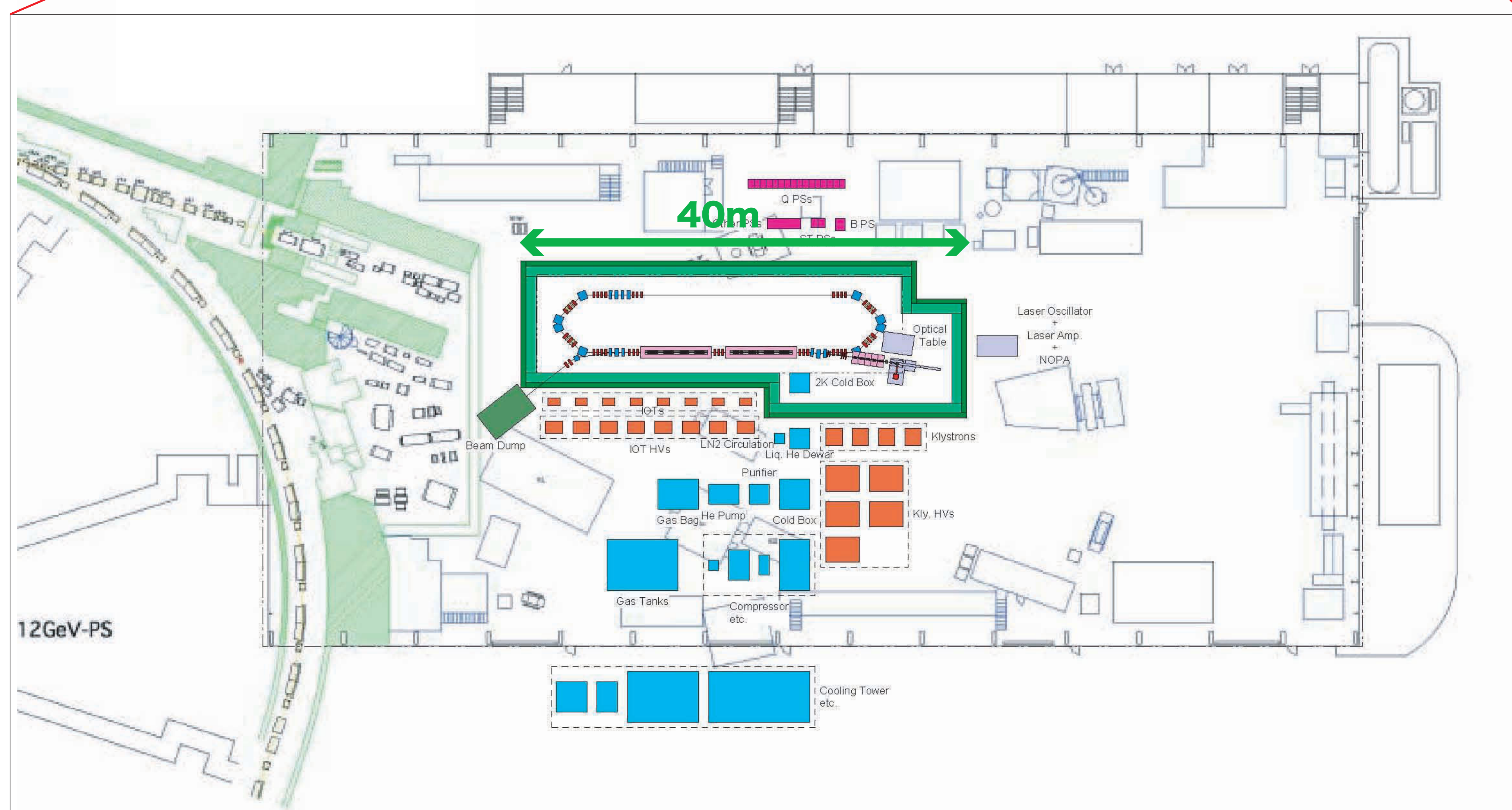


コンパクト ERL

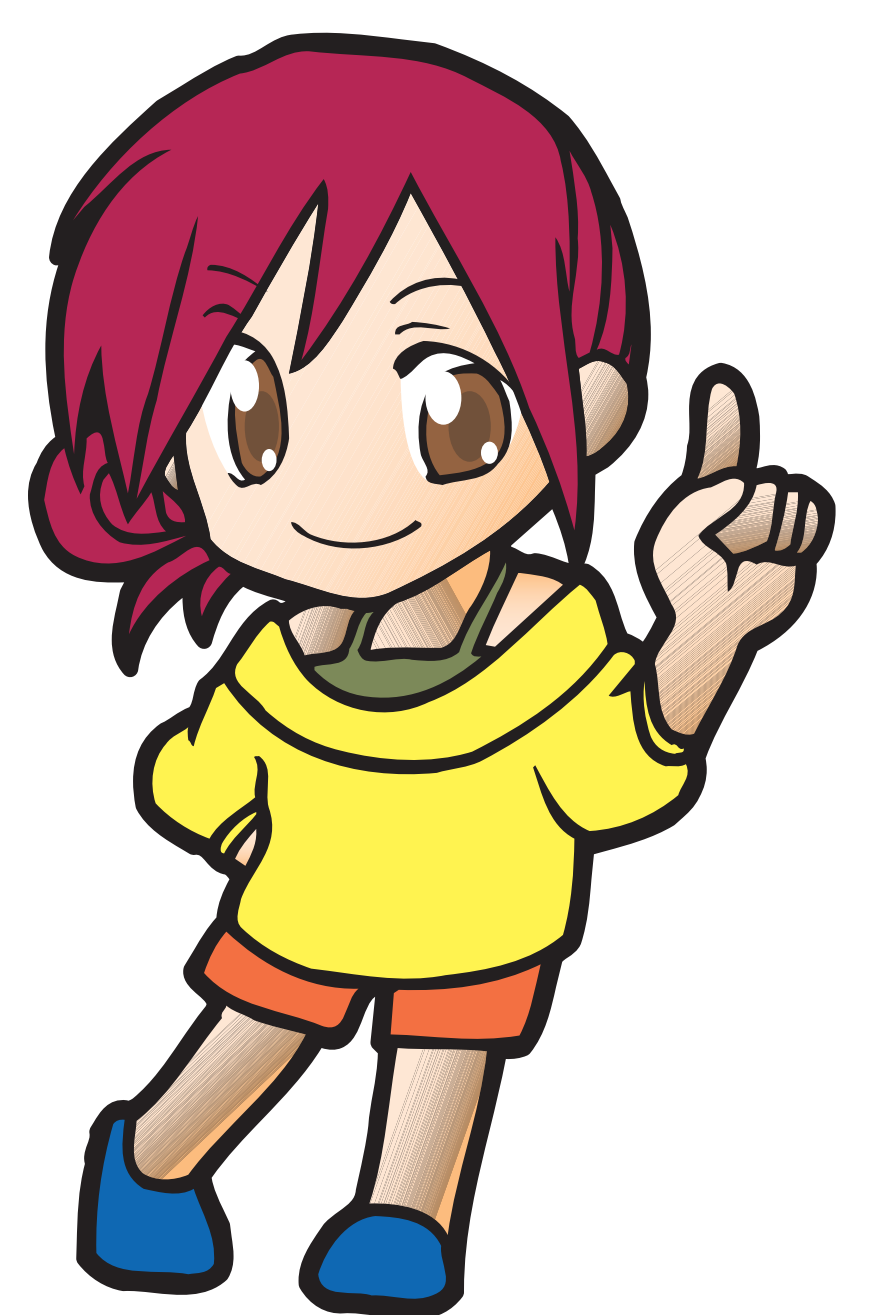
ERL はまだ将来の技術であり、これから実際に ERL を建設して光を発生させるためには、まだまだ開発しなければならない技術がたくさんあります。こういった新しい技術の可能性を探るために、まず小型の ERL 加速器を作ることから最初の一步を踏み出すこととしました。実際に X 線領域の光を発生するには 50 億電子ボルト (5GeV) クラスのエネルギーの ERL が必要なのですが、このテスト用の ERL 実証機「コンパクト ERL」は、6000 万～2 億電子ボルト (60～200MeV) 程度のエネルギーのものが計画されています。コンパクト ERL は、2005 年度にその役目を終えた陽子加速器の実験施設、東カウンターホールに建設される予定です。



コンパクト ERL は、単なる技術開発のための加速器だけではなく、それ自身光源加速器として魅力的な性能を持っています。コンパクト ERL からは、テラヘルツ・遠赤外領域の大強度のコヒーレント放射光が得られます。また、レーザー逆コンプトン散乱を利用して、微小光源でフェムト秒 X 線を発生させることができます。これは、医学用イメージング研究や、時間分解・ダイナミクスの研究に有効に使うことができます。



最初は小さい加速器から作るのさ。技術開発が終わった後もテラヘルツ・遠赤外領域のコヒーレント光源として有効に使えるんだって。



ERL 計画のスケジュール

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
コンパクト ERL											
設計	—————										
要素技術の開発	- - - - -										
建設				- - - - -							
試験運転						- - - - -					
ユーザー運転							- - - - -				
5GeV ERL											
設計				- - - - -							
建設								—————			

スケジュールは、予算などの状況により変更の可能性があります。

