



# 若狭湾エネルギー研究センター概要

(高エネルギービームを利用した研究を中心として)

公益財団法人  
若狭湾エネルギー研究センター

若狭湾エネルギー研究センターのある若狭湾周辺地域は、原子力施設が集積しています。この地域特性を活用し、原子力およびエネルギーにかかる科学技術による地域発展・活性化を目的に平成6年（1994年）に設立されました。

当法人では上記科学技術を有効活用するための調査や研究開発、技術者等の研修や国内外の関係機関との交流・協力などにより、関連技術や研究成果の地域への普及や事業の支援を行っています。

# アクセス

## 大阪から

JR特急 (サンダーバード) 80分

## 名古屋から

JR特急 (しらさぎ) 100分

新幹線 (ひかり) /米原乗換 JR特急 (しらさぎ) 65分

## 東京から

新幹線 (ひかり) /米原乗換 JR特急 (しらさぎ)

3時間

## 敦賀駅下車

タクシーで15分

バスで40分



**2024年 北陸新幹線 敦賀駅開業 (予定)**

福井県敦賀市

## 自動車

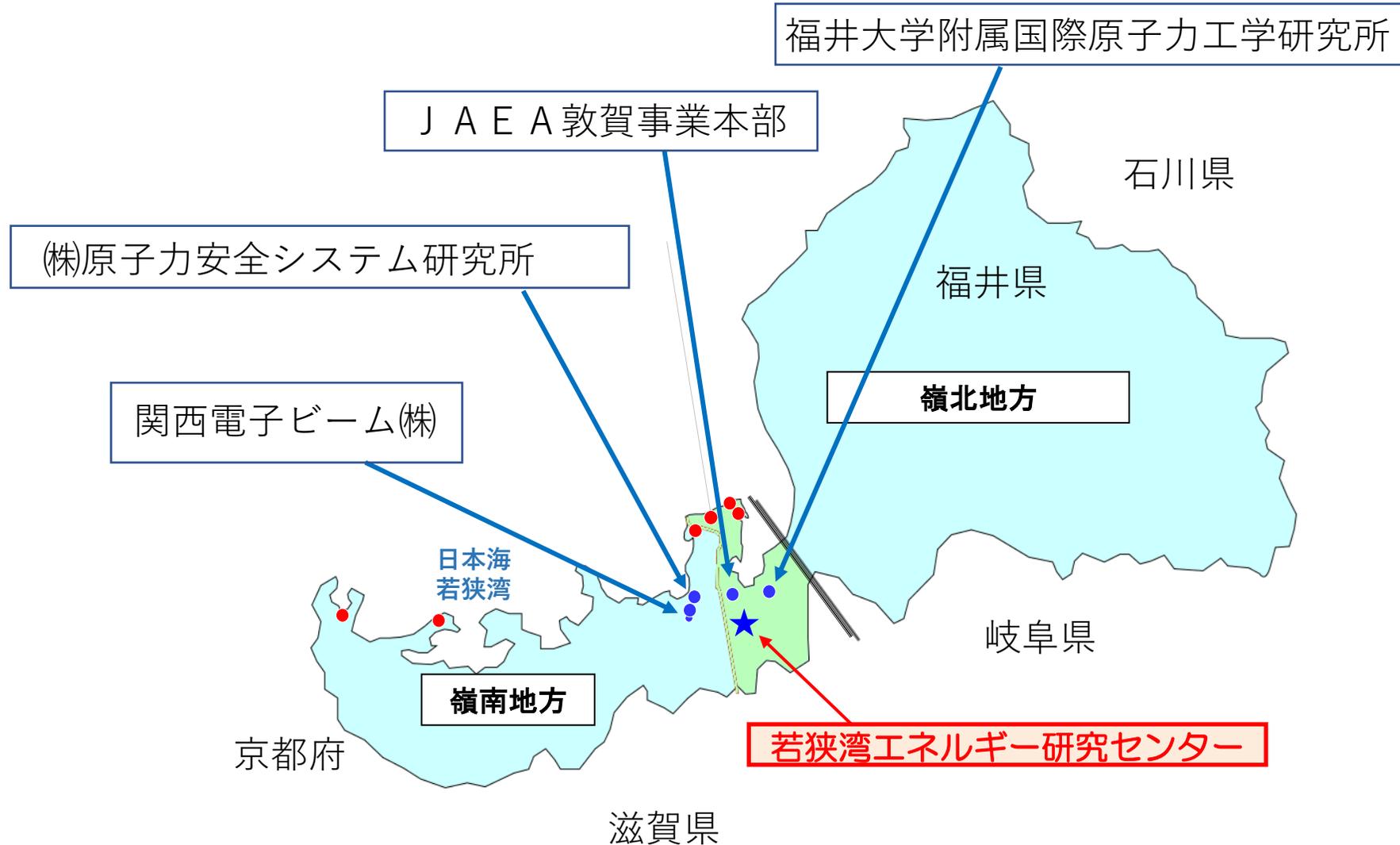
若狭・舞鶴自動車道 敦賀南スマートIC 出て直ぐ

ガラスで囲われた近未来的な建物で、上空から見るとD字型になっています。平成10年に開設しました。



# 周辺の原子力・放射線関連施設

● 原子力発電所、研究用原子炉



# 事業概要

## I 研究開発

### 1 加速器（高エネルギーイオンビーム）利用研究

- (1)粒子線がん治療研究 (2)イオンビーム育種研究 (3)材料分析・材料改質研究  
(4)放射線耐性研究（原子力材料、宇宙材料）

### 2 エネルギー開発研究

- (1)レーザー利用廃炉技術開発 (2)エネルギー有効利用研究（水素、太陽光）

## II 産業支援

### 1 技術・研究支援

- (1) 技術支援 (2)研究者・技術者との交流 (3)公募型研究資金による研究開発

### 2 新事業育成支援

- (1)新事業創出支援(事業規模に応じた補助金制度 ) (2)科学技術支援（50種類以上の科学機器利用・技術相談）

## III 人材育成・交流（福井県国際原子力人材育成センター）

- 1 国際原子力人材育成・IAEAとの人材育成に関する覚書締結 H25.10  
国際原子力人材育成イニシアティブ事業、海外研究機関等との研究交流

- 2 国内原子力人材育成・原子力関連業務従事者研修・保守技術技量認定講習他  
その他 SSH(スーパーサイエンスハイスクール) 研修

# 福井県国際原子力人材育成センター

## ●国際的な原子力人材の育成

- ・グローバルスクール
- ・国際原子力人材育成イニシアティブ事業 など

## ●原子力関係業務従事者研修

- ・原子力関連業務従事者研修
- ・原子力の安全性向上を担う人材の育成研修
- ・技量認定 など

## ●海外研究機関等との研究交流

## ●海外国際会議等の開催・誘致

## ●スーパーサイエンスハイスクール（SSH）研修

## ○科学機器等の利用支援

- ・ 約50機種の科学機器を低料金で提供
- ・ 分析方法の相談や操作方法のサポート
- ・ 専門講師による少人数・実践型「科学機器研修」



走査型電子顕微鏡  
(FE-SEM)



電子プローブマイクロアナライザー  
(EPMA)



科学機器研修風景

## ●公募型共同研究事業

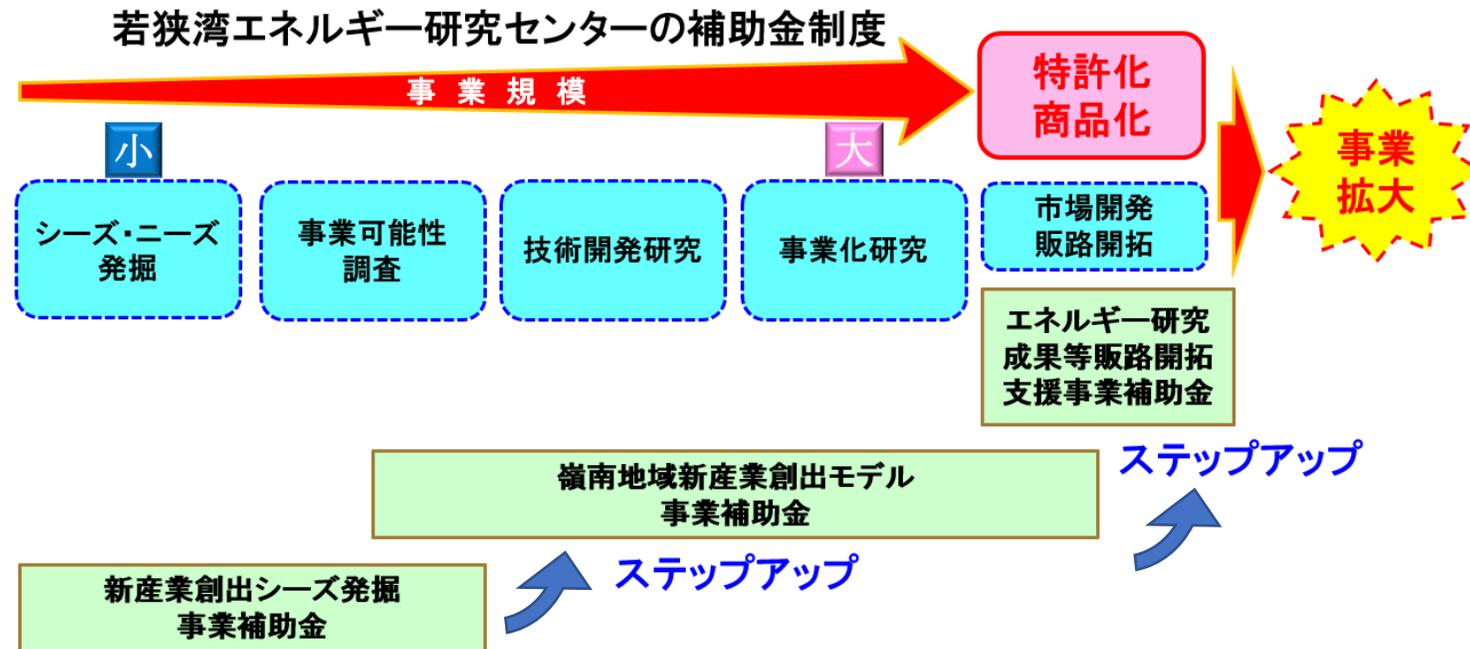
- ・ 大学・研究機関及び実用化/事業化を目指す企業との共同研究を推進しています。
- ・ 毎年4月中旬～5月に実用化研究/産学連携研究/基礎研究の3つの研究枠で公募を行います。

区分	研究対象	研究経費
実用化研究	エネ研がテーマを設定し、実用化を目指す研究	500万円/件以内
産学連携研究	研究体制に実用化企業を加えた研究	400万円/件以内
基礎研究	エネ研と共同で研究開発することの優位性がある研究	200万円/件以内

## ●新産業創出に向けた研究開発支援

・新事業、新技術、新製品の開発への取り組みを促進する補助事業

- (1)新産業創出シーズ発掘事業補助金
- (2)嶺南地域新産業創出モデル事業補助金
- (3)エネルギー研究成果等販路開拓支援事業補助金

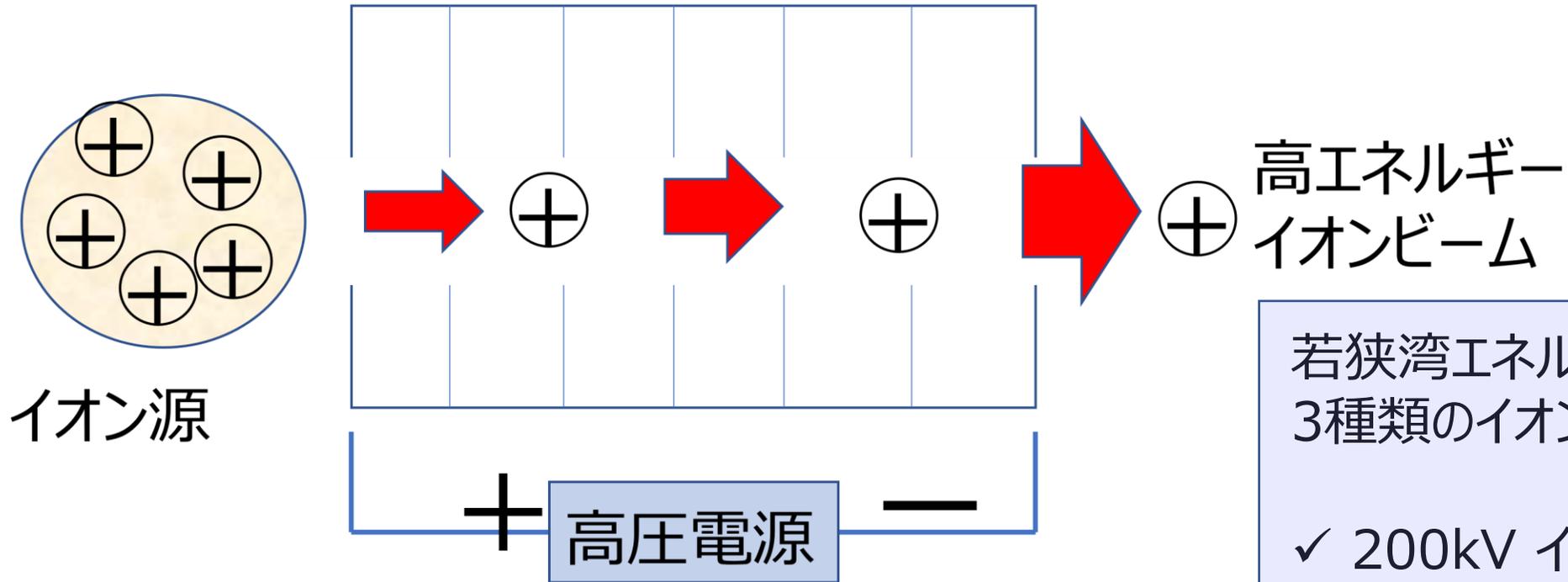


# 若狭湾エネルギー研究センターにおける 高エネルギービーム(イオンビーム、レーザービーム) 利用研究



## イオン加速器の原理

加速管



若狭湾エネルギー研究センターの  
3種類のイオン加速器

✓ 200kV イオン注入器

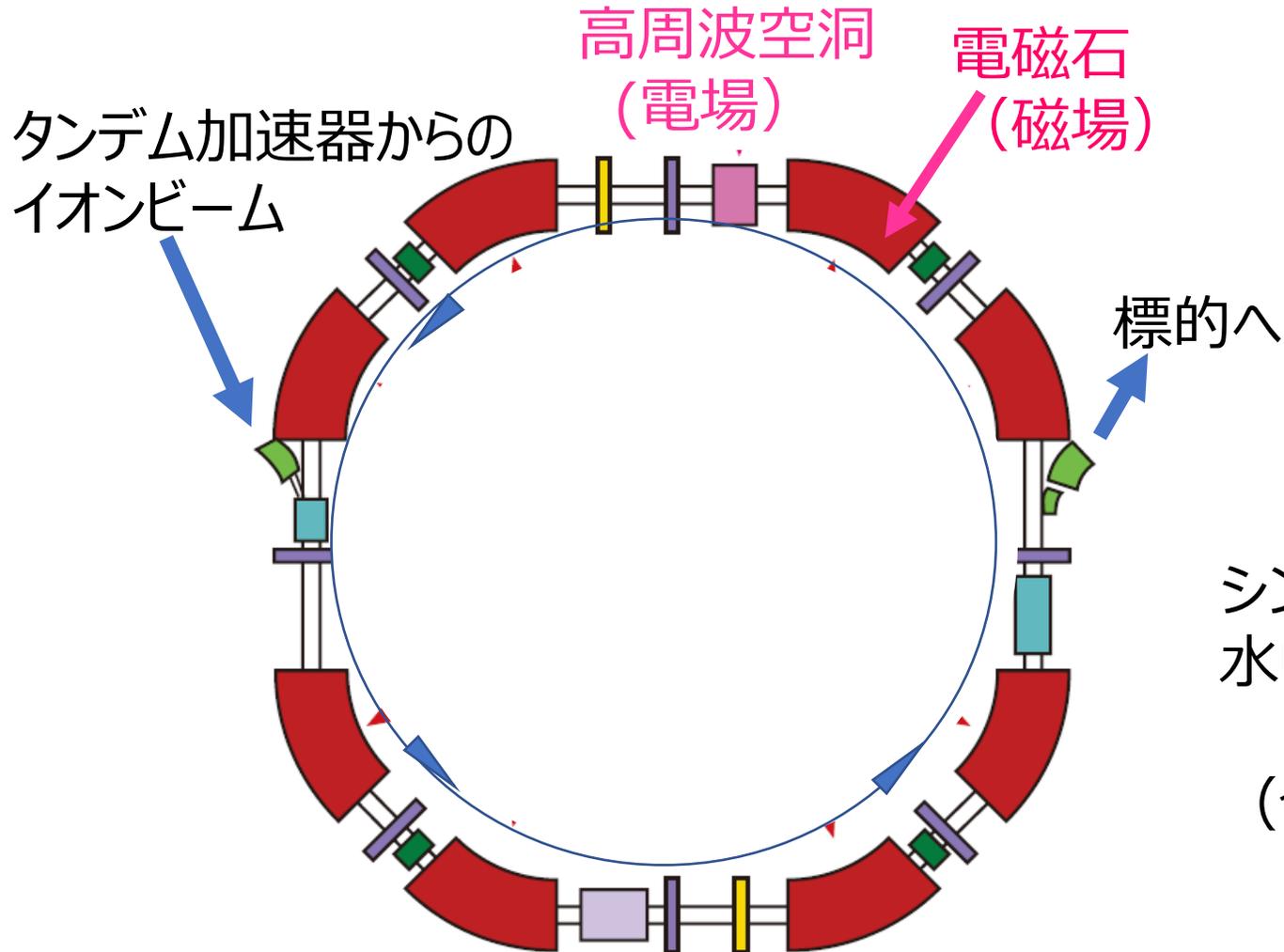
✓ 5 MV タンデム加速器

✓ シンクロトロン加速器



# シンクロトロン加速器とはなにか？

高周波電場によるイオンビームの加速を磁場の変化とシンクロ（同期）させることにより、高エネルギーのイオンビームをつくる



シンクロナイズドスイミング  
水中でのダンスや泳ぎを音楽と同期させる競技

(今は、アーティスティックスイミングと名称変更)

# 若狭湾エネルギー研究センターにおける 加速器設備と照射室

材料分析・材料改質、  
原子力材料・宇宙機器照射用  
ビームライン

10-200keV  
H, He, C, N, Ne, Ar, Kr

2台のイオン源  
シエンケル回路  
H 最大10MeV  
He 最大15MeV  
C 最大25MeV  
Ni, Cu, ( $^{15}\text{N}$ )

200kV イオン注入器

5MV タンデム加速器

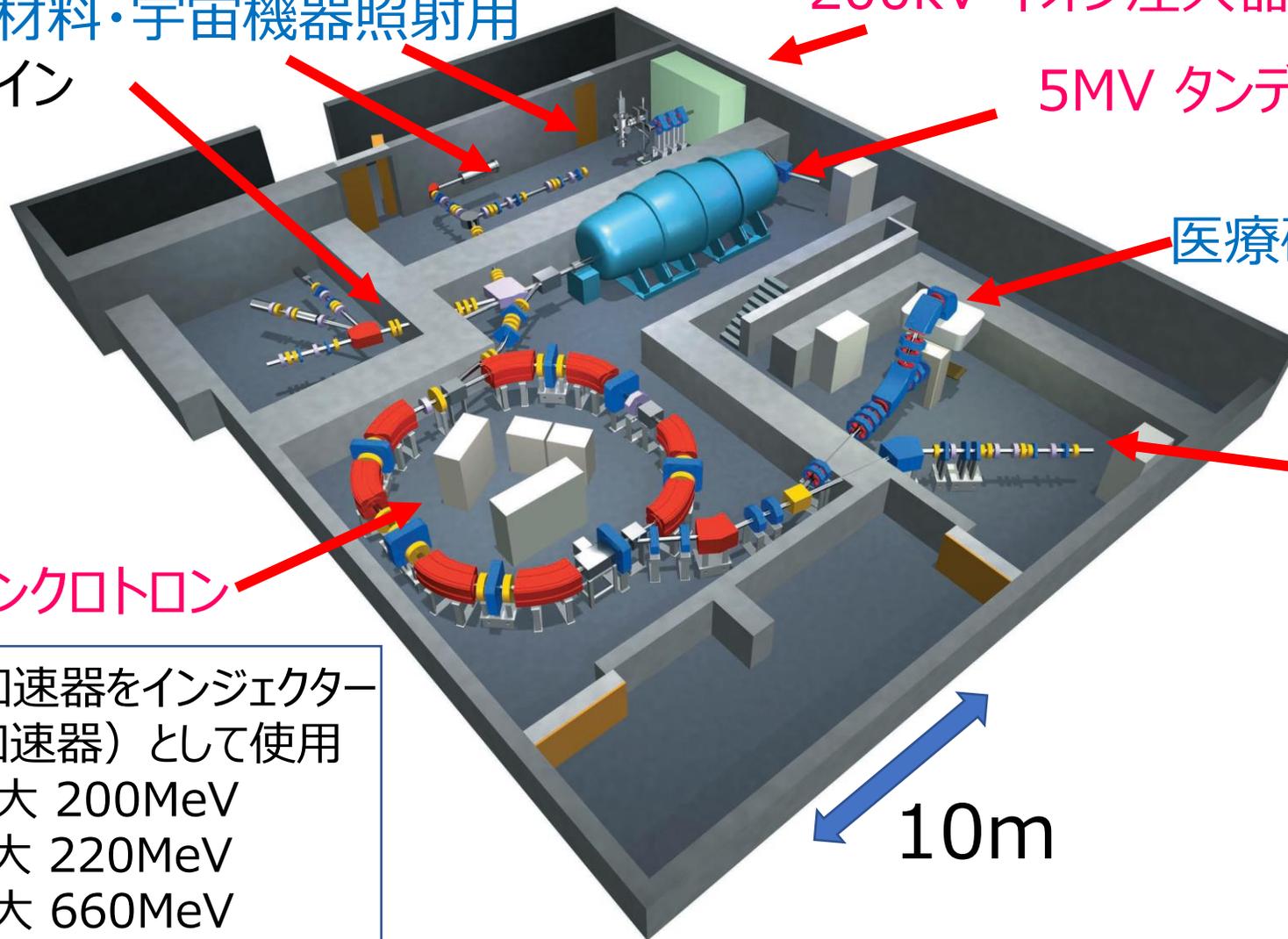
医療研究ビームライン

イオンビーム育種ビームライン  
宇宙機器照射ビームライン

シンクロトロン

タンデム加速器をインジェクター  
(前段加速器)として使用  
H<sup>+</sup> 最大 200MeV  
He<sup>2+</sup> 最大 220MeV  
C<sup>6+</sup> 最大 660MeV

10m



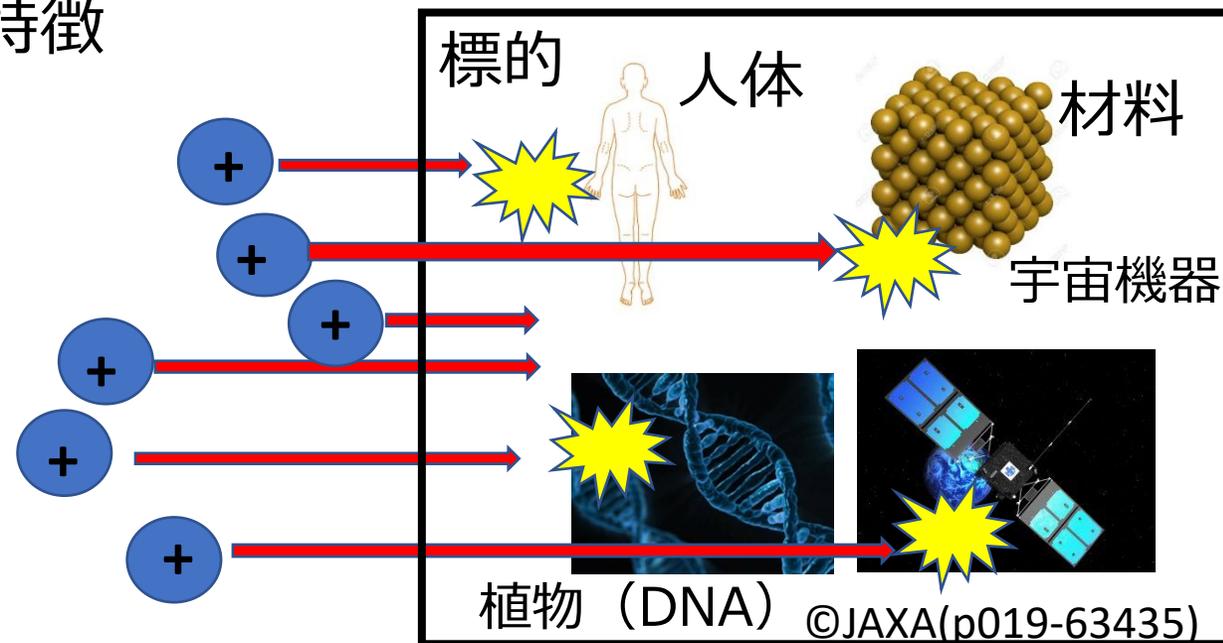
# 高エネルギーイオンビームが標的に与える効果の特徴



標的全体の結合エネルギーに比べると極めて  
わずかなエネルギー(100MeV $\sim$ 10<sup>-11</sup>J)

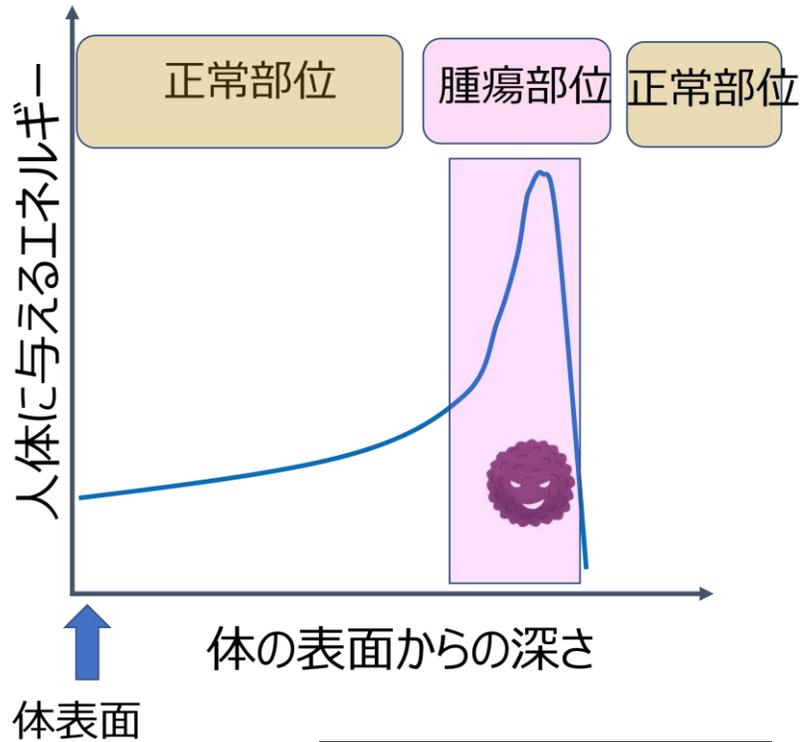
標的を構成する個々の原子や電子の  
結合エネルギーの1万倍 $\sim$ 1億倍のエネルギー

イオンビームの当たった  
極く狭い領域にだけ  
短時間に高密度のエネルギーを  
与えることができる。  
熱の効果ではない。！！



若狭湾エネルギー研究センターにおけるイオン加速器からの  
高エネルギーイオンビームを利用した研究・開発

- ✓ 陽子線がん治療 (がん細胞の破壊)
- ✓ イオンビーム育種 (突然変異、品種改良)
- ✓ 材料分析 (元素の種類や分布の分析)
- ✓ 材料改質 (ものの性質を変える)
- ✓ 宇宙機器・原子炉材料放射線耐性研究



## 陽子線によるがん治療の特徴

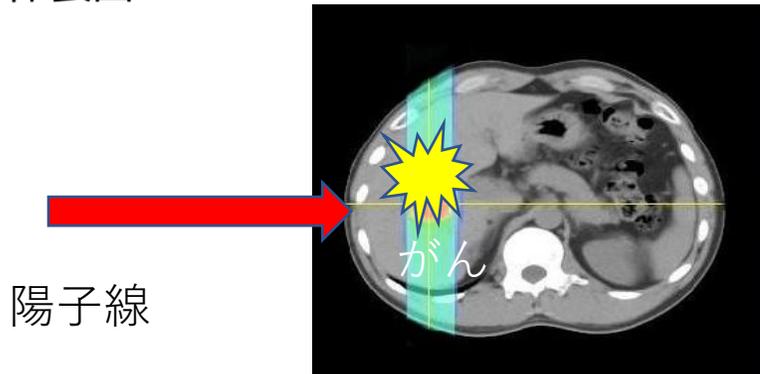
がん細胞にエネルギー付与、正常細胞への悪影響を減らす



若狭湾エネルギー研究センター  
治療ポート  
(2002-2009 臨床研究実施)

技術移転

福井県立病院  
陽子線がん治療センター  
(2011年3月から治療開始)

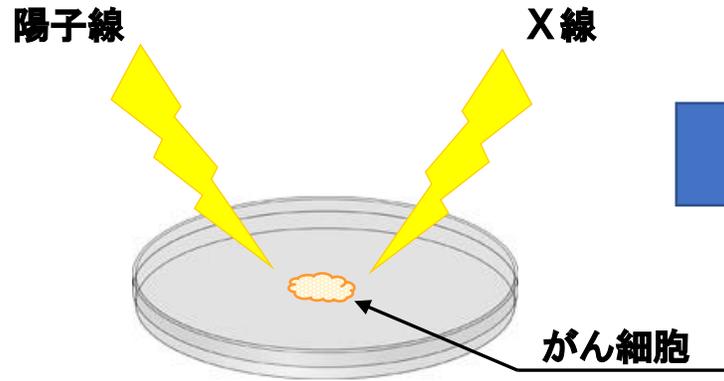


陽子線がん治療高度化のための基礎研究

# 粒子線がん治療高度化のための基礎研究

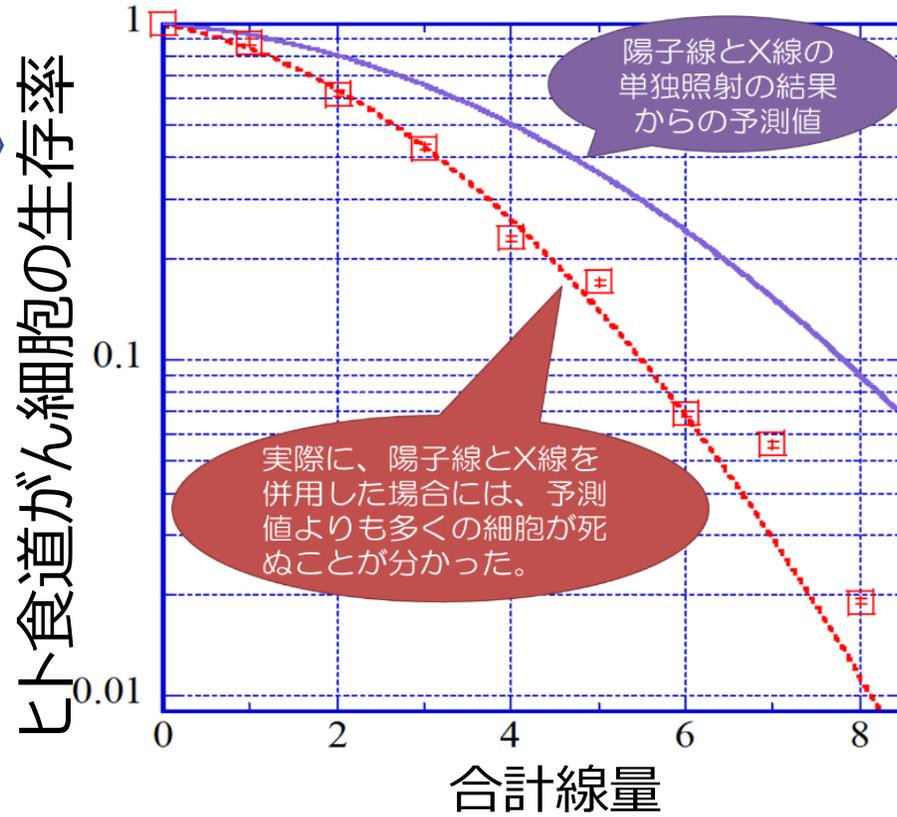
陽子線治療の高度化・高効率化に向けて、細胞分子生物学および実験動物学的手法を駆使した基礎研究を推進

陽子線とX線を様々な条件で培養細胞に照射し、その効果を詳細に解析



陽子線とX線をヒトがん細胞に併用照射

X線、陽子線の照射の順番や照射の時間間隔も細胞致死効果に影響！！



(Gy、陽子線とX線は同線量)

- ✓ 照射野拡大
- ✓ リアルタイム2次元線量分布測定システム開発
- ✓ 簡便かつ効率的陽子線量測定技術の開発

# イオンビーム育種研究 ✓ イオンビーム照射により突然変異頻度を人為的に増加させる 19/31 品種改良手法.

イオンビーム照射

✓ 自然界では起こりにくい、大規模な突然変異の頻度が高まる

DNA 損傷形成

不正確なDNA損傷修復

突然変異

DNA

観賞用花 ビンカ

植物工場用レタス

若狭湾エネルギー研究センターの加速器は、西日本で唯一のイオンビーム育種可能なイオン加速器

高エネルギー  
イオンビーム



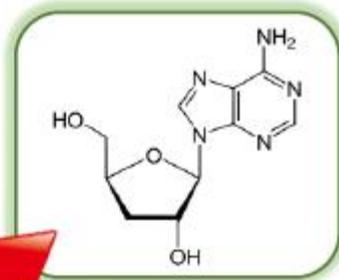
イオンビーム照射



理化学研究所との共同研究として、変異誘発促進技術の開発や有用菌類の育種を推進

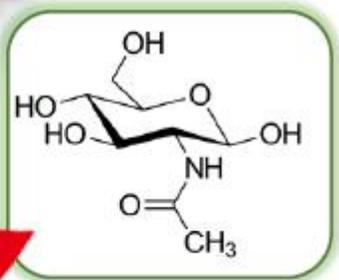
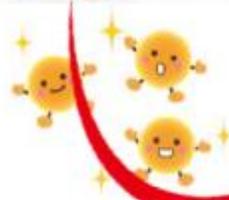
# 若狭湾エネルギー研究センターに特徴的な 真菌類、土壌細菌のイオンビーム育種

# 福井県での栽培に適した「酒米品種 山田錦」の育成 (福井県立大との共同研究)



コルジセピン

抗がん剤成分（コルジセピン）を  
通常より3倍近く作成できる真菌類  
（冬虫夏草）の開発



N-アセチルグルコサミン

カニの甲羅（キチン）を分解して  
N-アセチルグルコサミン（ヒアル  
ロン酸の元となる物質）を通常  
の70倍も作りだす土壌細菌の開  
発



草丈が高く倒れやすい  
粃が穂から落ちやすい  
寒い秋には十分収穫できない



イオンビーム照射

草丈が低い（矮性）  
脱粒しにくい（難脱粒性）  
収穫期が早い（早生）



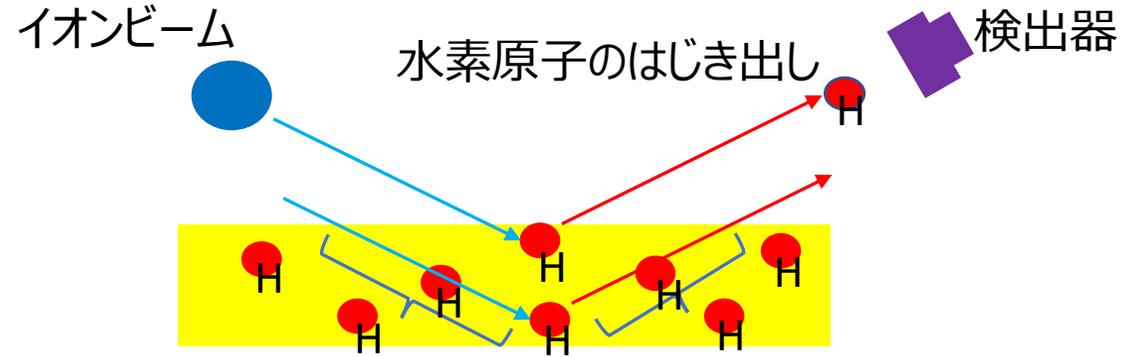
通常の山田錦



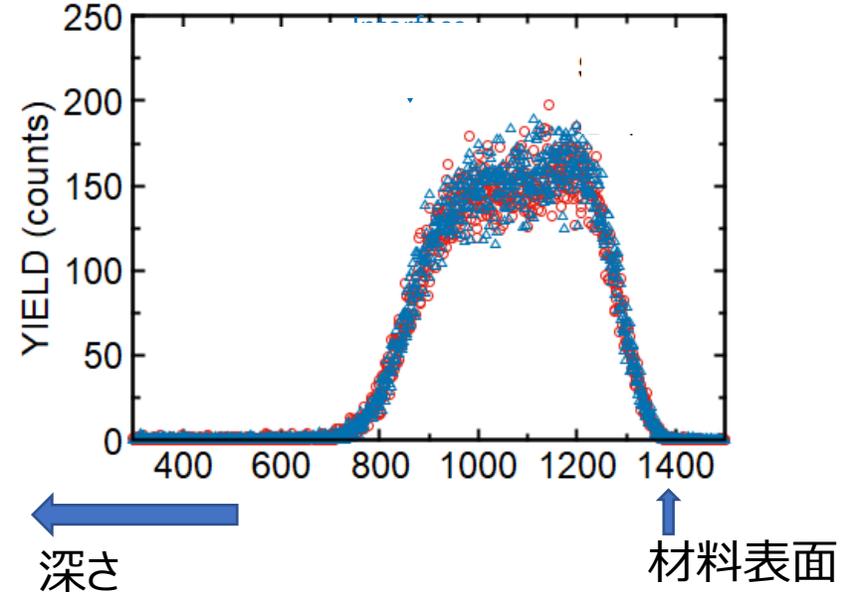
改良された山田錦

弾性反跳粒子検出法 (ERDA) 法による  
材料中の微量軽元素 (H, Liなど) 分析

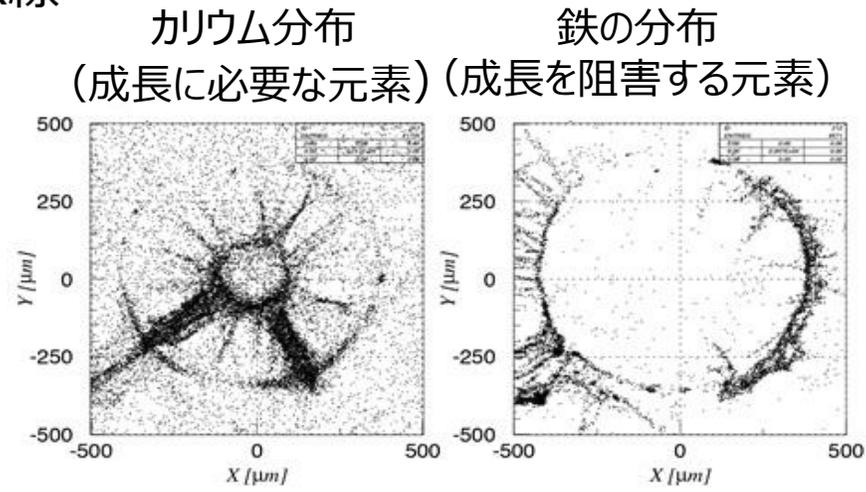
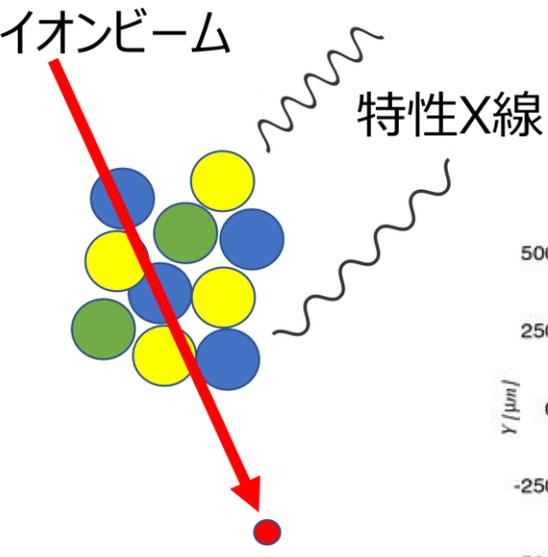
粒子励起 X線分光 (PIXE) 法による  
植物や材料中の微量元素分析  
マイクロビームを用いた細胞レベルの二次元マッピング



ダイヤモンドライクカーボン膜の性質は、内部の水素の量に大きく依存



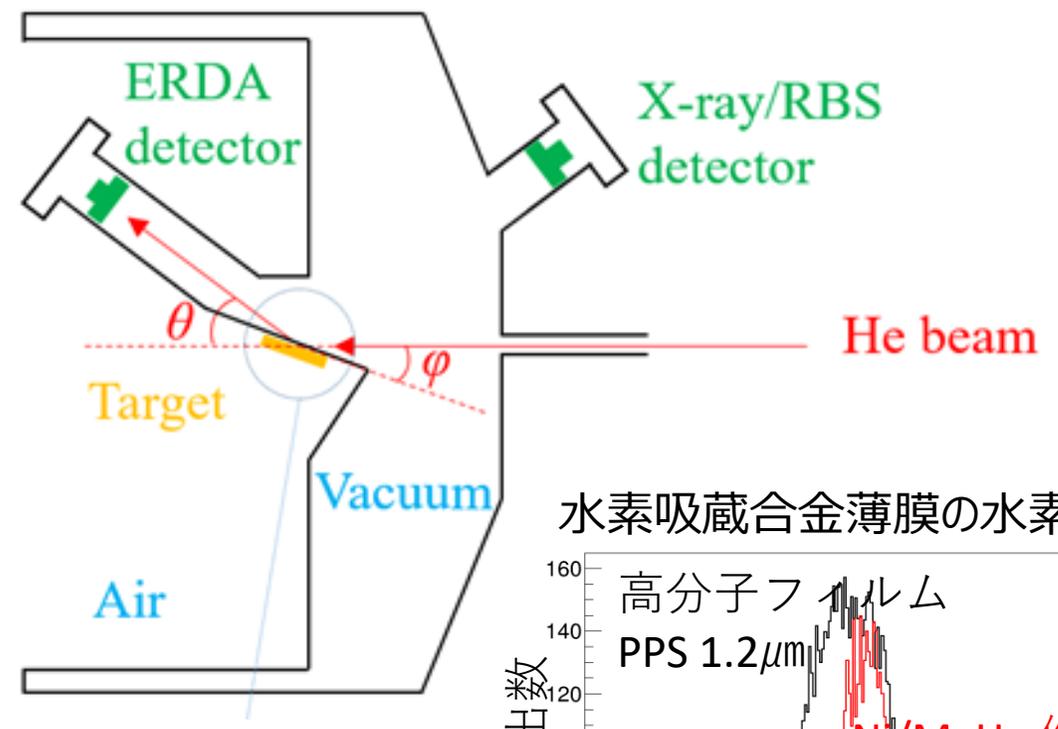
個々の元素に特有なX線が放出される



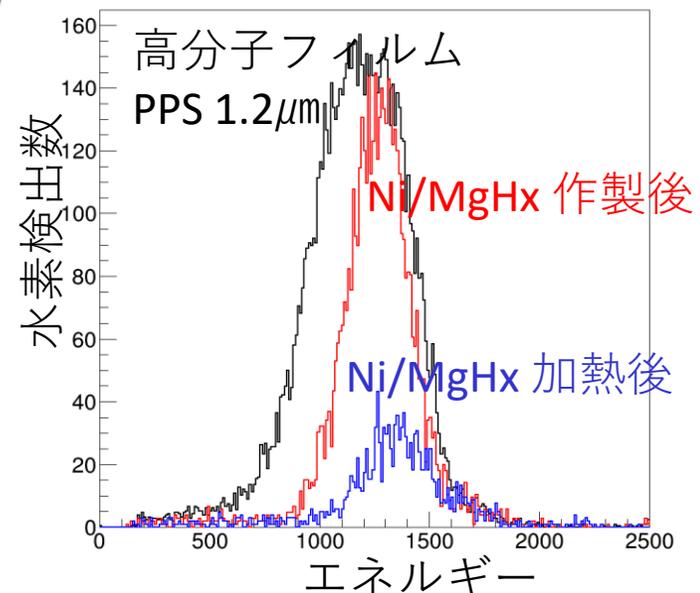
イネの根が取り込む金属元素の振る舞いを観測  
(福井県立大学との共同研究)

# 大気ERDA

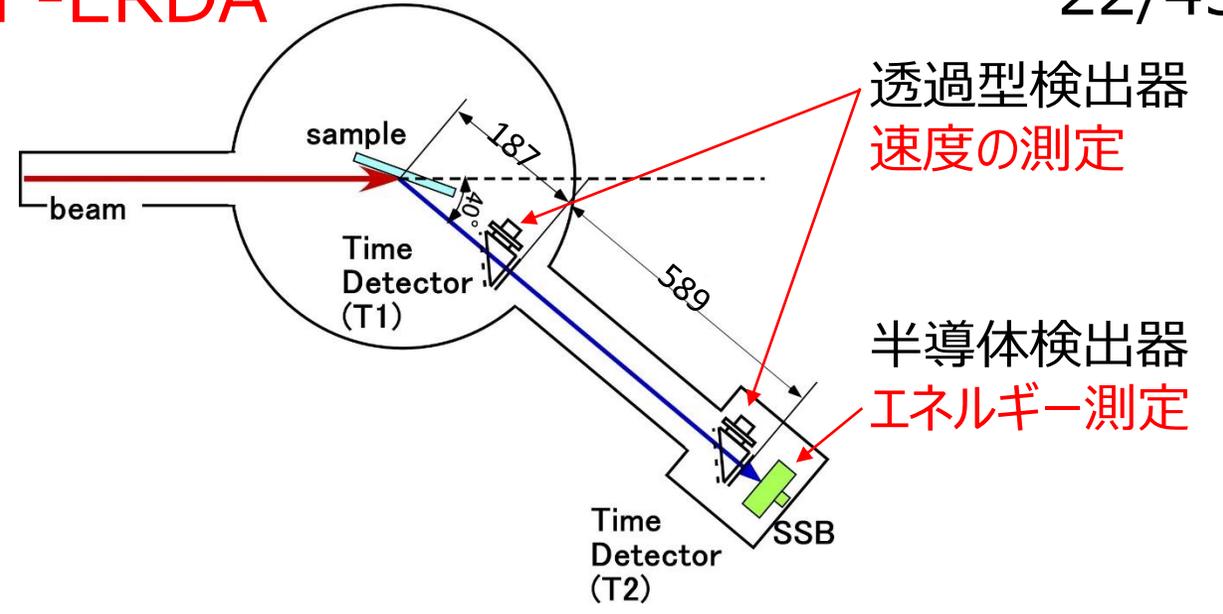
大気等のガス中に試料を設置したまま測定可能な装置を開発



### 水素吸蔵合金薄膜の水素測定

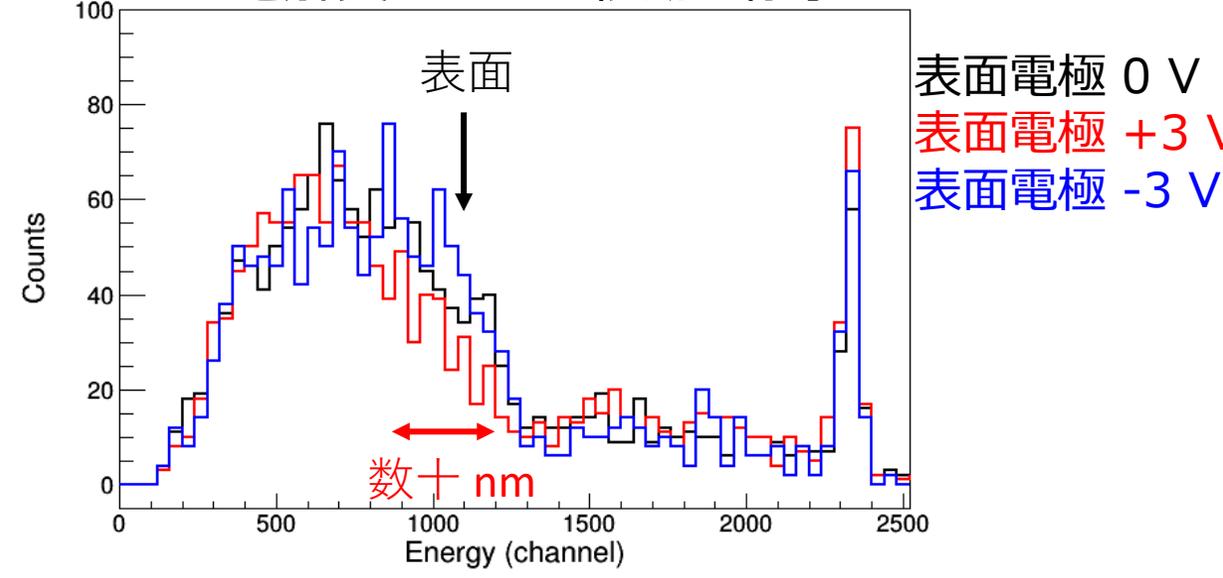


# TOF-ERDA



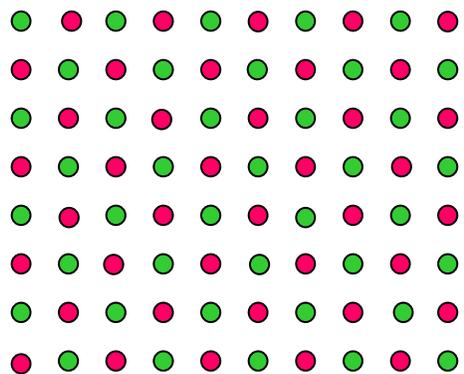
$E = 1/2mv^2$ より質量を区別し粒子を特定できる

### リチウム電解質のリチウム移動の様子

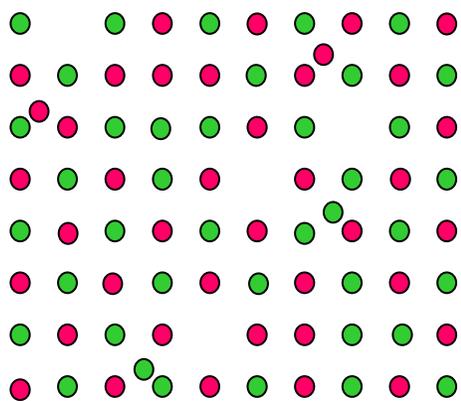


## イオンビーム照射による結晶配列変化を利用した材料改良法

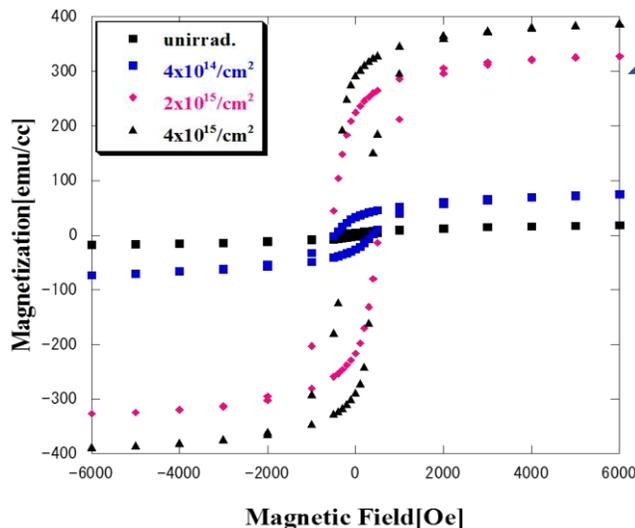
イオンビームをあてる前は原子が規則的に配列



イオンビームにより原子が動かされ、結晶配列が変化

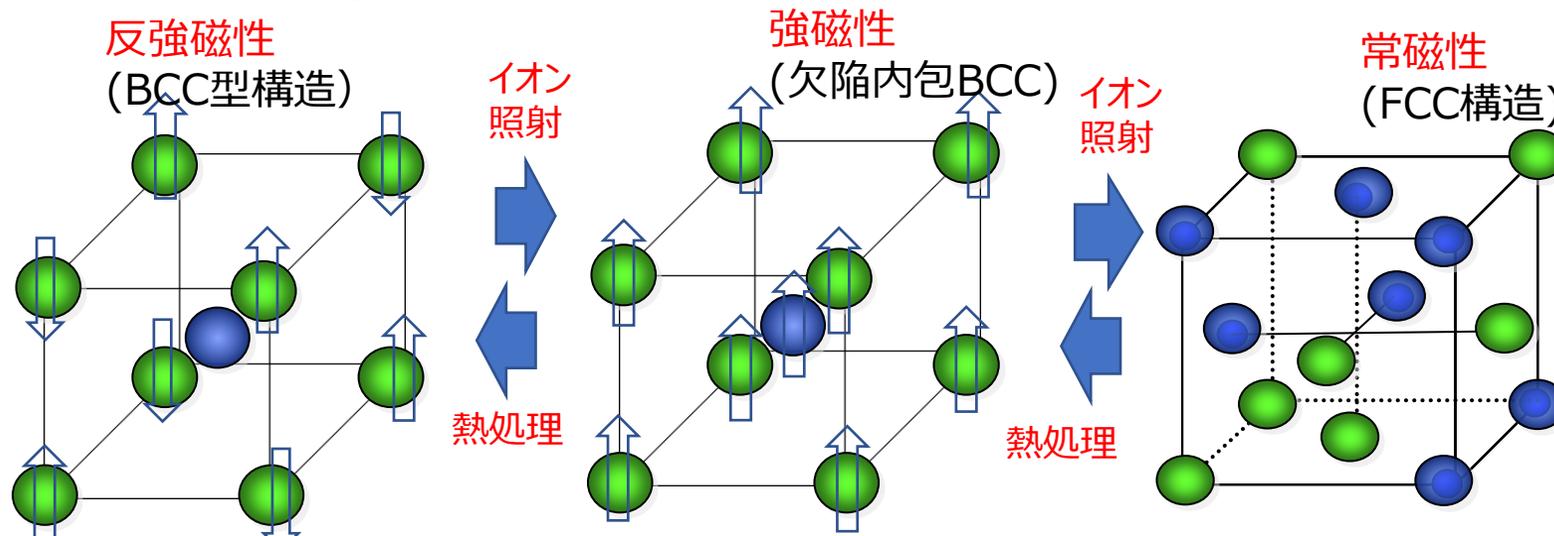


例) 鉄ロジウム合金 (FeRh、B2構造) の磁性改質  
(大阪府大 (現 大阪公立大) との共同研究)

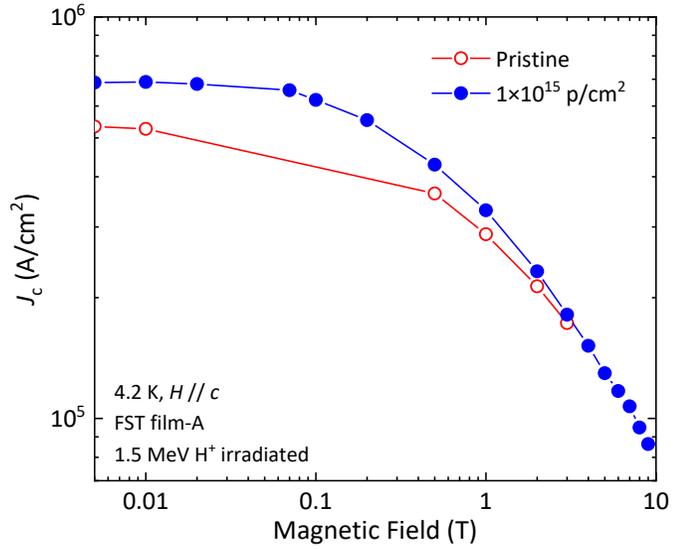
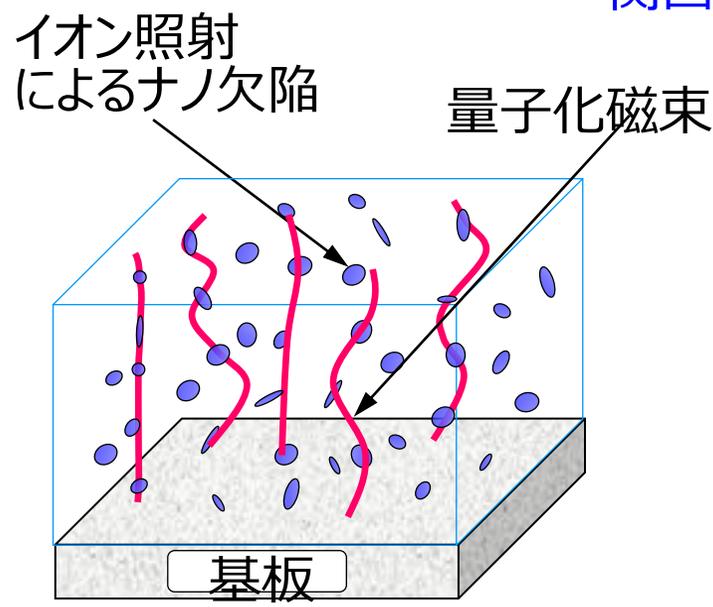
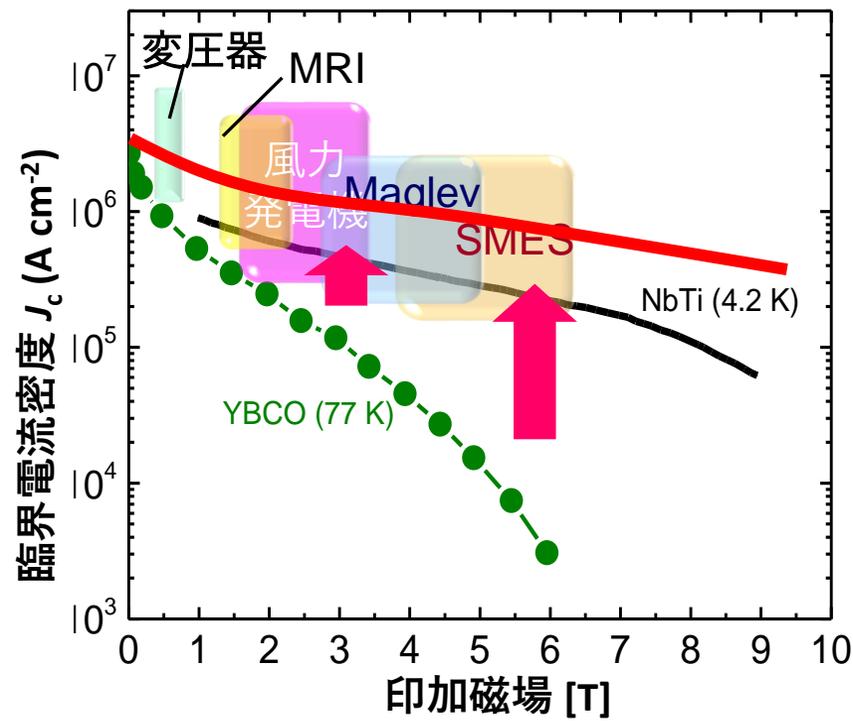


イオン照射により反強磁性から強磁性に変化

さらに照射を続けると結晶構造がFCCに変化して強磁性から常磁性に変化



関西学院大学との共同研究



従来の超伝導体と比べて、酸化物超伝導体は、高い磁場をかけると、流せる電流（臨界電流）が大きく低下する

イオン照射によって生成されるナノスケールの格子の乱れが、磁束量子をピン止めして、臨界電流を向上させることができる

プロトンビーム照射により、印加磁場が1テスラ以下の時、臨界電流が30%程度向上することを見出した（鉄系超伝導体の場合）

その他にも 合金表面硬さ制御、半導体特性制御、水素貯蔵材料の機能向上 などのイオンビーム改質を試みている

宇宙空間で使用する太陽電池や各種半導体デバイスは、宇宙空間にとびかう放射線による影響を受け、性能が劣化したり誤作動が生ずる。

## 宇宙放射線



©JAXA(p100013466)

### ◆ シングルイベント効果

イオン1個により励起した電子の流れが誤作動を起こす

### ◆ トータルドーズ効果

イオンビームによる電気の蓄積が性能の劣化を起こす

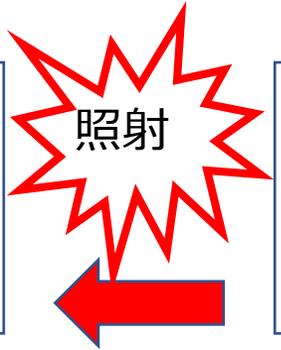
### ◆ はじき出し損傷効果

原子のはじき出しによる結晶格子の乱れが性能の劣化を起こす

若狭湾エネルギー研究センターの**3種類のイオン加速器**は、宇宙空間の放射線を模擬するための広いエネルギー範囲の様々な種類のイオンビームを発生できるため、**宇宙機等に搭載する機器の放射線耐性評価**に大変適している。今後の福井県や我が国の宇宙開発において、さらなる活用が期待される。本研究の詳細は

[http://www.werc.or.jp/research/kenkyuseika\\_ronbun/img/210714ionacceleratorfacility.pdf](http://www.werc.or.jp/research/kenkyuseika_ronbun/img/210714ionacceleratorfacility.pdf) をご覧ください

原子炉压力容器  
炉内構造物  
燃料被覆管  
核燃料



高速中性子  
熱中性子  
ガンマ線  
核分裂生成片

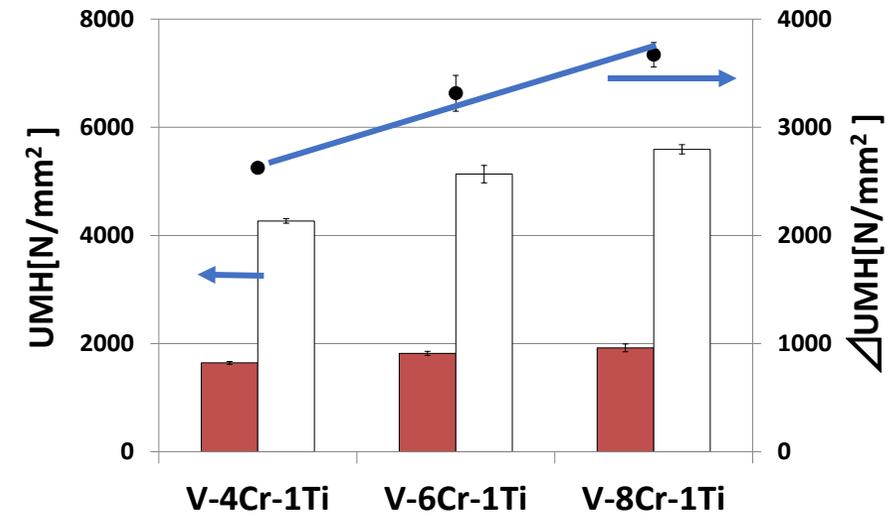
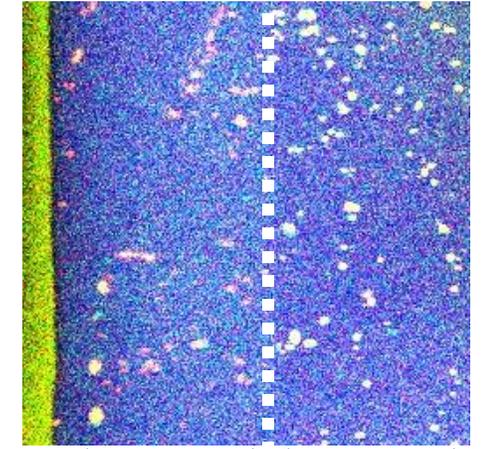
**照射効果**  
照射クリープ  
スエリング  
照射硬化・脆化  
照射誘起応力腐食割れ  
照射促進偏析

イオンビームによる  
模擬照射実験

研究用原子炉による  
中性子照射実験

照射効果機構の解明  
原子炉高経年化対策  
原子炉信頼性向上

Zr合金（燃料被覆管）  
へのイオン照射による  
析出物組成の変化  
（析出物のFe濃度が照射  
により減少）  
九州大との共同研究



照射領域 未照射領域

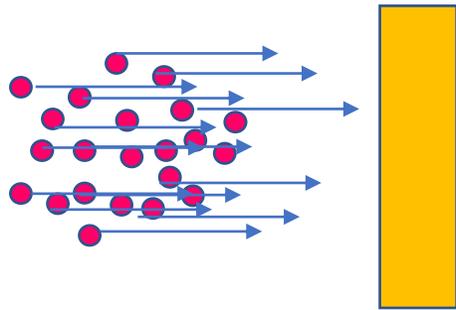
核融合炉ブランケットの候補材・低放射化バナジウム合金の  
イオン照射による硬度変化 福井大との共同研究  
(赤：未照射材、白 照射材 ● 照射による硬度変化)

# 高強度レーザービームを利用した研究開発

LASER (Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) 励起誘導放出による光増幅

レーザービーム (波長と位相がそろった光) の特徴

指向性、収束性に優れる。高密度のエネルギーをある狭い領域にだけ、極短時間に材料に与えることができる



波長1000nm、1 kW の 場合  
 フォトン 1 個のエネルギーは、たった**1eV**  
**1 秒間に $10^{22}$ 個**程度のフォトンが標的にあたる

標的材料の一部の温度が

融点を超える → 切断  
 沸点を超える → 表面処理

原子炉の廃炉措置に伴う 2次廃棄物を減らした**材料の切断**や**除染作業**に適している



さらには、

高強度レーザーの一般産業への活用も視野に、  
研究・開発

大型配管切断のための機材開発

発振方式（連続、パルス）  
の違いによる除染の効率化

## 高エネルギーイオンビームと高強度レーザービームの違い

- ✓ 高エネルギーイオンビーム：  
イオン1個のエネルギーがすごく大きい 1個で勝負、電子励起や原子はじき出し
- ✓ 高強度レーザービーム：  
光子（光子）1個のエネルギーはすごく小さい 数で勝負、ほぼ熱効果

高エネルギーイオンビーム、レーザービームが標的に与える効果の特徴は、

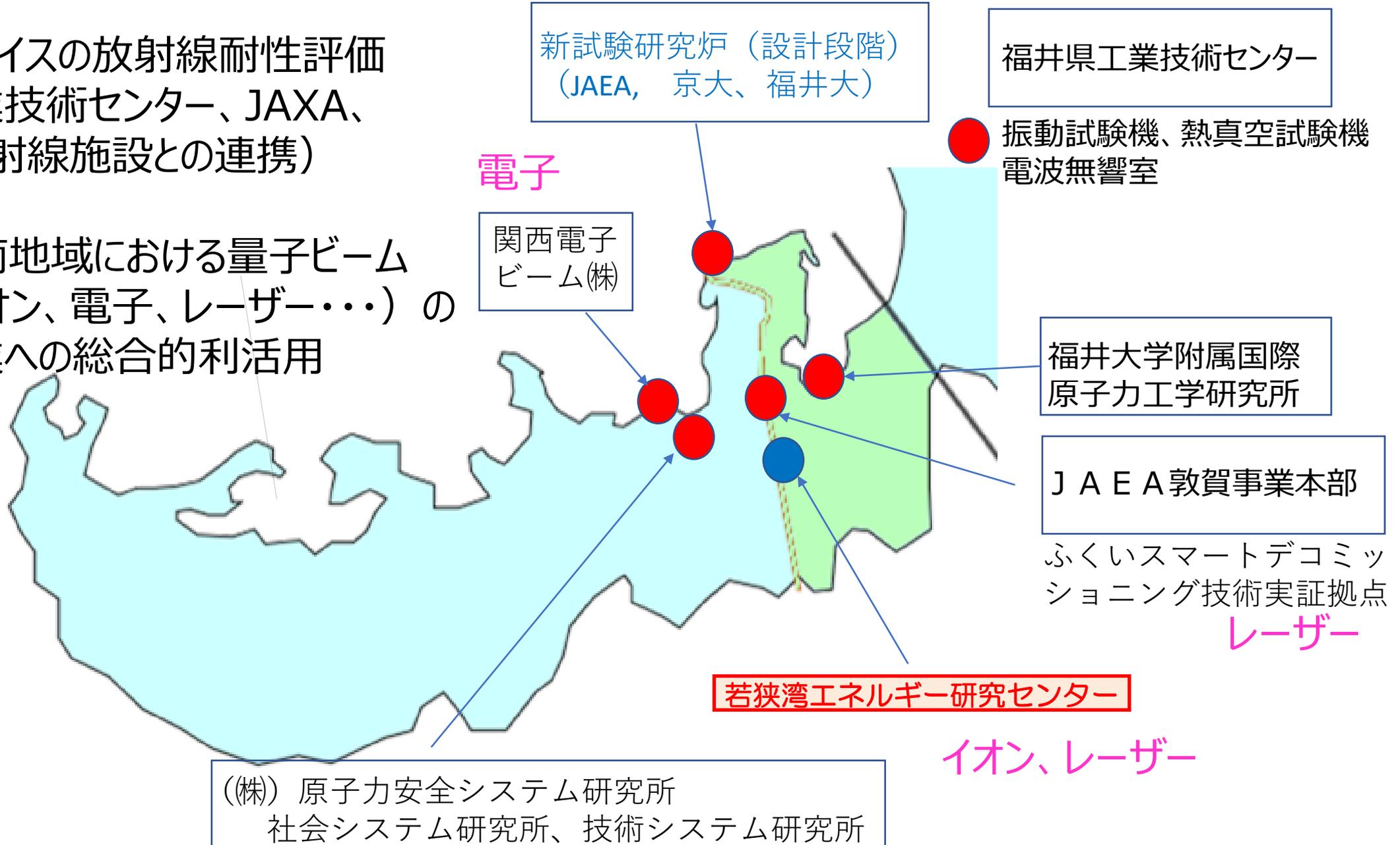
「**ビームの当たった極く狭い領域にだけ短時間に高密度のエネルギーを与えることができる**」  
 ということである。

このようなビームの特徴を生かして、若狭湾エネルギー研究センターでは、3台のイオン加速器と高出力レーザーを用いて、以下のような多様な分野での高エネルギービーム利活用研究を実施している。

- ✓ 陽子線がん治療（がん細胞の破壊）
- ✓ イオンビーム育種（突然変異、品種改良）
- ✓ 材料分析（元素の種類や分布の分析）
- ✓ 材料改質（ものの性質を変える）
- ✓ 宇宙機器・原子炉材料放射線耐性研究
- ✓ 原子炉廃止措置におけるレーザービーム応用

✓ 宇宙用デバイスの放射線耐性評価  
(福井県工業技術センター、JAXA、  
その他、放射線施設との連携)

✓ 福井県嶺南地域における量子ビーム  
(中性子、イオン、電子、レーザー...) の  
学術、産業への総合的利活用



ご清聴ありがとうございました。  
ございました。