



原子力機構における量子ビーム応用研究

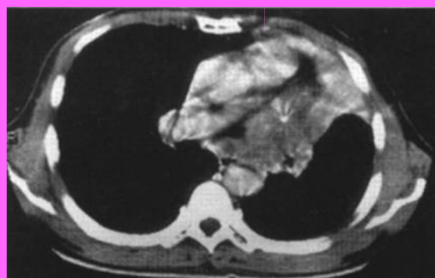
平成24年4月24日

(独) 日本原子力研究開発機構
南波 秀樹

医学医療利用

1兆5千億円

がん検診、画像診断、
放射線治療など



CTスキャン断層撮影

農業利用

2千8百億円

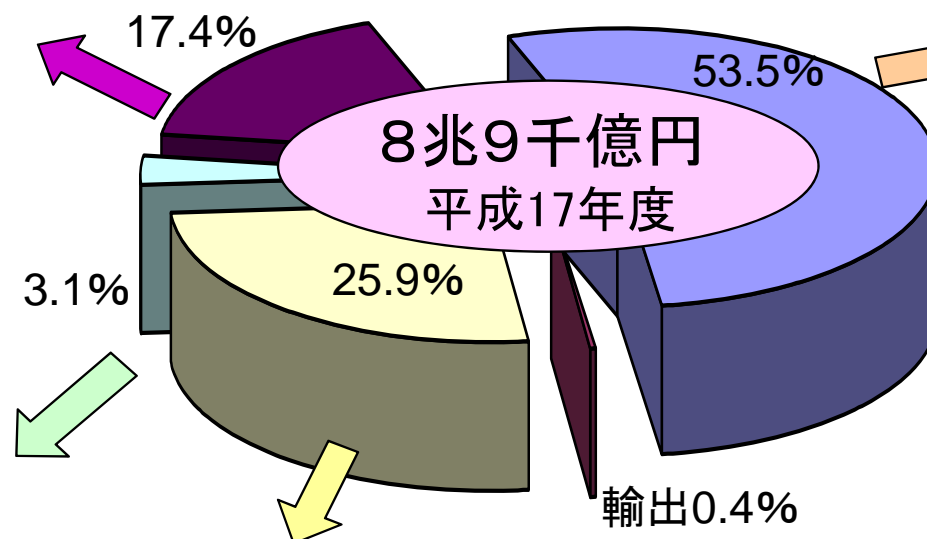
突然変異育種、害虫
駆除、食品照射など



ジャガイモの発芽防止

放射線利用総額

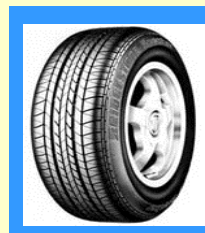
4兆1千億円



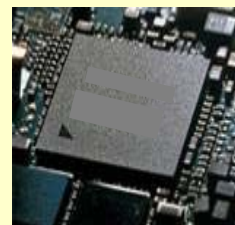
工業利用

2兆3千億円

半導体	1兆4千億円
設備	5千億円
滅菌	2千億円
加工	1千億円



ラジアルタイヤ



半導体

原子力エネルギー利用総額

4兆7千億円

原子力発電



発電所



発電用タービン

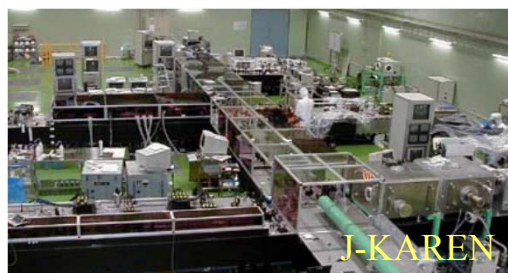
(平成17年GDP: 537兆円)

X線
(光子)

γ 線
(光子)

α 線
(Heイオン)

β 線
(電子)



超高強度レーザー



放射光



イオン加速器



電子加速器

中性子



原子炉
(連続中性子ビーム)



核破砕中性子源
(パルス中性子ビーム)

ミュオン
ニュートリノ

陽電子

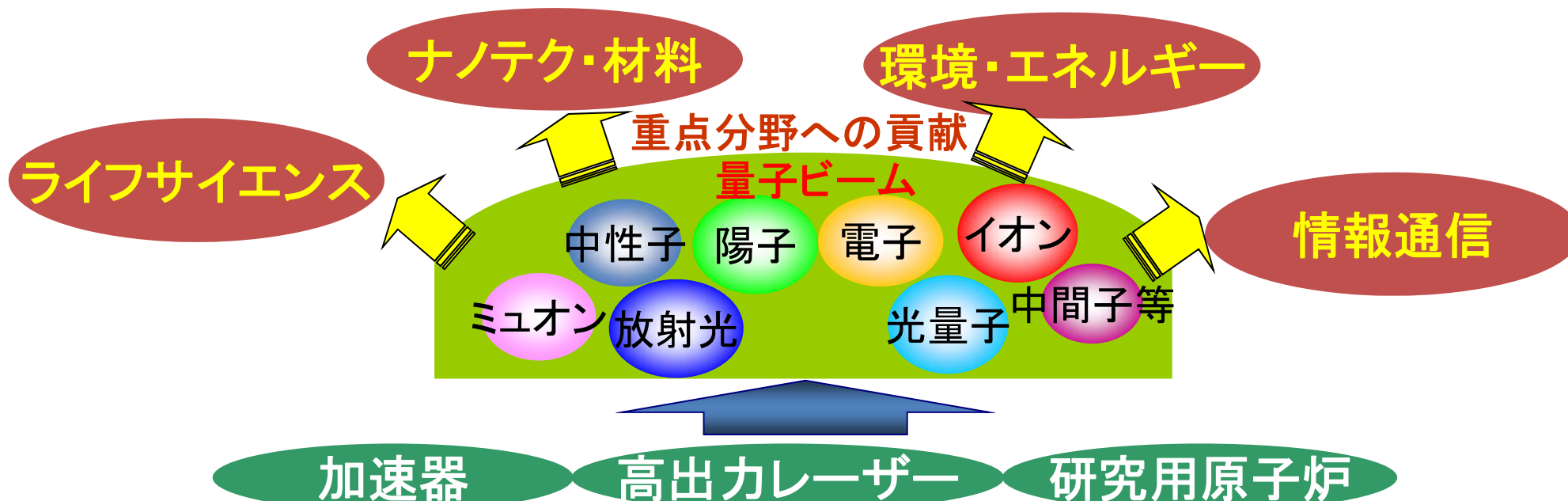
量子ビームテクノロジー

ライフ・イノベーション

グリーン・イノベーション

新成長戦略
(平成22年6月)

強みを生かす
成長分野

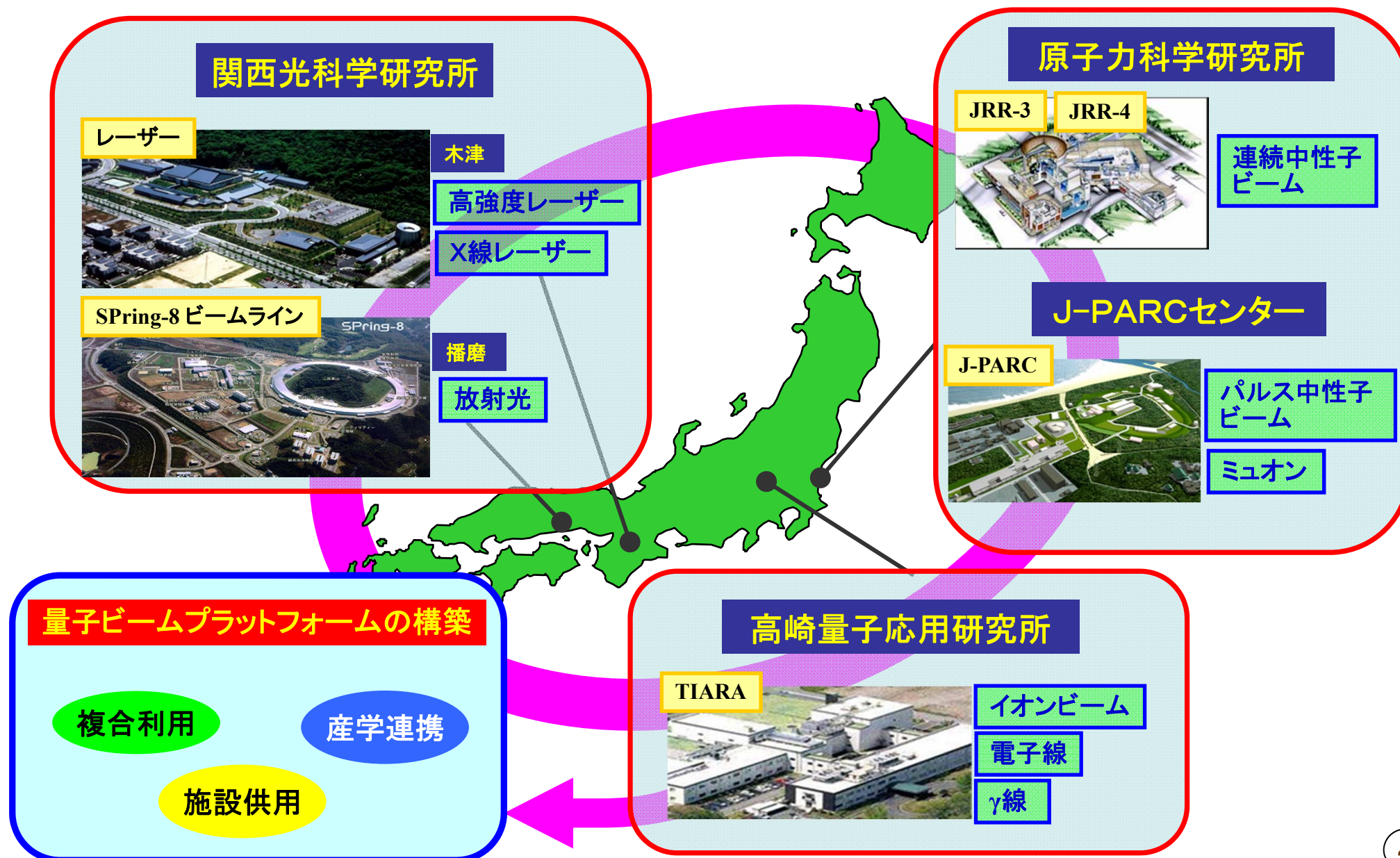


◆従来と比較して強度が強く、目的にあった質の高い粒子線や電磁波の発生・制御が可能に

◆利用技術の高度化と多様化が進展

近年の技術革新により、加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて、高強度で高品位な光量子、放射光等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線を発生・制御する技術、及び、これらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術からなる「量子ビームテクノロジー」と呼ぶべき新たな技術領域が形成されてきている。

原子力政策大綱(平成17年10月)



原子力政策大綱

3-2-1 基本的考え方

- 放射線はこれまで、**学術、工業、農業、医療、その他の分野**で適切な安全管理の下で利用されており、**社会に大きな効用をもたらしている**
- 国は、先端技術が効果的に利用されるように、**放射線利用技術の高度化に向けて適切な支援策を講じるとともに**、国と民間の科学技術活動に対する効果の大きい**先端的な施設・設備の整備を行っていくべき**である

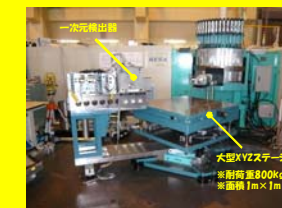
科学技術・学術分野:

- 大強度陽子加速器施設J-PARCの建設と運営**、
- 高温超伝導機構の解明研究、○相対論的プラズマからの新しい超短パルスコヒーレントX線源の開発、
- マルチフェロイック特性発現の解明研究、○惑星誕生の謎に迫る強誘電性氷の研究 など



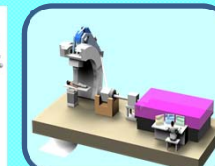
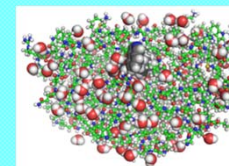
工業分野:

- 水素社会で必須の燃料電池材料・水素貯蔵材料の開発 - 燃料電池用高耐久性電解質膜の開発
- 新しい概念に基づく新規触媒の開発 - 自動車触媒の脱貴金属化
- 非破壊・非接触の診断技術の開発 - 透視(ラジオグラフィ)によるエンジン内部の可視化
- 非破壊・非接触の材料評価技術の開発 - **中性子・放射光を用いた工業材料の応力解析** など



医療分野:

- 生体高分子の機能解明による新規治療法や効果の高い薬剤の創出 - **タンパク質の構造解析**
- 新規がん診断・治療用RIの開発、○イオンマイクロビームを用いたアスベスト肺診断技術の開発
- 放射線治療の高度化に向けたレーザー駆動粒子線加速器の開発 など



農業分野:

- 遺伝子資源の開拓・**イオンビーム育種技術の開発**、○DNA損傷・修復機構の解明、
- ポジトロンイメージングによる植物機能の定量的解析、○海産資源の放射線加工による植物活力剤開発 など



環境・資源分野:

- 植物由来のカーボンニュートラル材料の開発、○**環境浄化や有用資源回収に有用な高性能金属捕集材の実現**、
- 水素分離用炭化ケイ素膜の開発、○環境汚染物質の浄化プロセスの開発 など



原子力政策大綱

3-2-2 各分野における進め方

- 放射線は基礎研究や様々な科学技術活動を支える優れた道具として重要であり、引き続き我が国の科学技術や学術水準の向上に資する活動において積極的に利用されるべきである。
- 国は、大強度陽子加速器といった世界最先端の量子ビーム施設・設備を我が国の基幹的な共通科学技術インフラとして整備していくことに継続して取り組むとともに、こうした施設・設備において、産学官が連携して活用できる環境の整備や研究者及び開発者にとって利用しやすい柔軟性に富んだ共用・支援体制の整備等に取り組むべきである。



原子力政策大綱

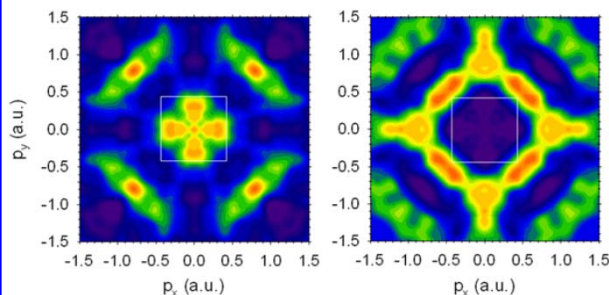
3-2-2 各分野における進め方

●量子ビームテクノロジーは、ナノテクノロジーやライフサイエンス等最先端かつ重要な科学技術・学術分野を支えていくことが期待されている。

4-1-1 基礎的・基盤的な研究開発

●RI等を利用した放射線利用研究や量子ビームテクノロジーに関しては、革新技術の探索や新しい利用分野を開拓する研究、原子力以外の広範な分野での利用を開発する研究等を着実に推進することが必要である。

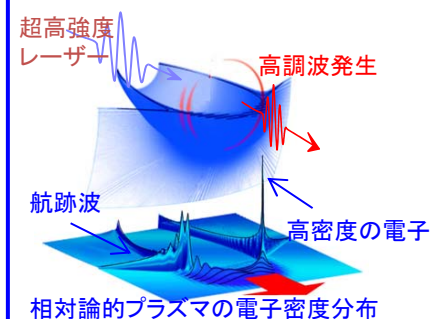
放射光 高温超伝導機構の解明研究



ホールの運動量分布(実験結果)。アンダードープ領域(左図)とオーバードープ領域(右図)

放射光により、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ で高温超伝導を引き起こす電子状態の可視化に初めて成功(JASRI, 東北大他と共同)

光量子 相対論的プラズマからの新しい超短パルスコヒーレントX線源の開発



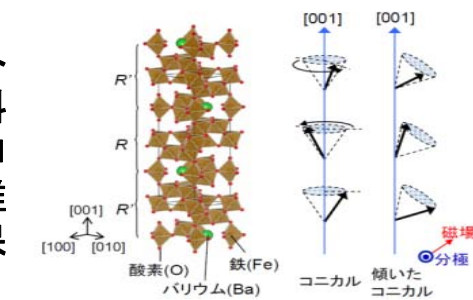
超高強度レーザーによって初めて生成できる相対論的プラズマからの高次高調波発生を実証

⇒keV領域のアト秒コヒーレントX線源をテーブルトップで実現する可能性

中性子 マルチフェロイック特性発現の解明研究

中性子を用いたフェライト $\text{Ba}(\text{Fe}, \text{Sc})_{12}\text{O}_{19}$ 永久磁石材料の実験により、マルチフェロイック特性発現に必要な「円錐スピン構造」が室温以上まで保持されることを実証

(東京大学、JSTと共同)

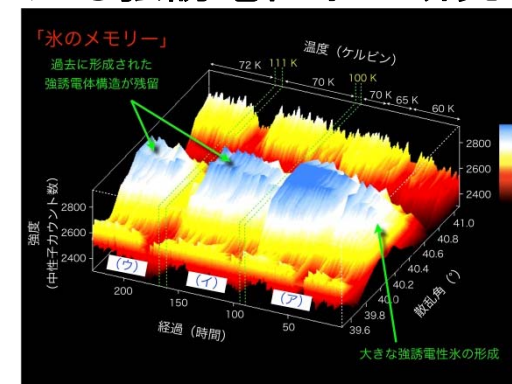


スカンジウム置換六方晶バリウムフェライトの結晶構造(左図)と磁気構造(右図)

中性子 惑星誕生の謎に迫る強誘電性氷の研究

時分割中性子回折実験によって氷のメモリー効果を発見

⇒宇宙進化の機構解明への可能性

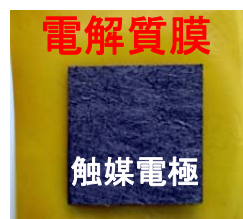
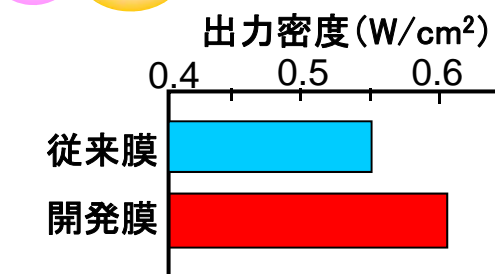


原子力政策大綱

3-2-2 各分野における進め方

●放射線による新材料の創製技術や新しい加工技術・測定技術等の研究開発成果が産業界で効果的に活用されるよう、これらを周知する活動を強化することが重要である。このため、研究協力の推進や円滑な技術移転を進めるための民間による先端施設の利用等の産学官の連携・協働活動を一層推進するべきである。

ガンマ 電子 燃料電池用高耐久性電解質膜の開発

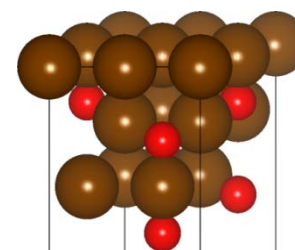


膜・電極接合体

高い導電性と膜強度を両立
薄膜化(10μm)により高出力を実現

企業と共同で製造プロセス開発に展開

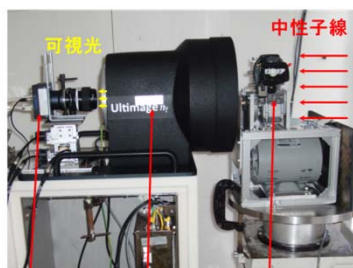
放射光 自動車触媒の脱貴金属化



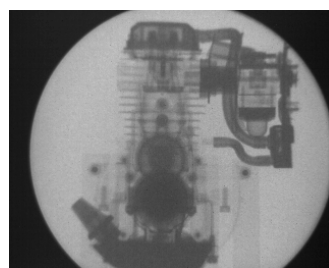
貴金属(Pd, Pt, Rh)の代替として、廉価なCu酸化物が同等の触媒性能を有することを実証

新触媒(Cu酸化物)の構造

中性子 透視(ラジオグラフィ)によるエンジン内部の可視化



高速度カメラ 中性子I.I. 小型エンジン



画像: 神戸大学から提供

産業界のニーズに応じて中性子による可視化環境を提供

中性子 放射光 中性子・放射光を用いた工業材料の応力解析



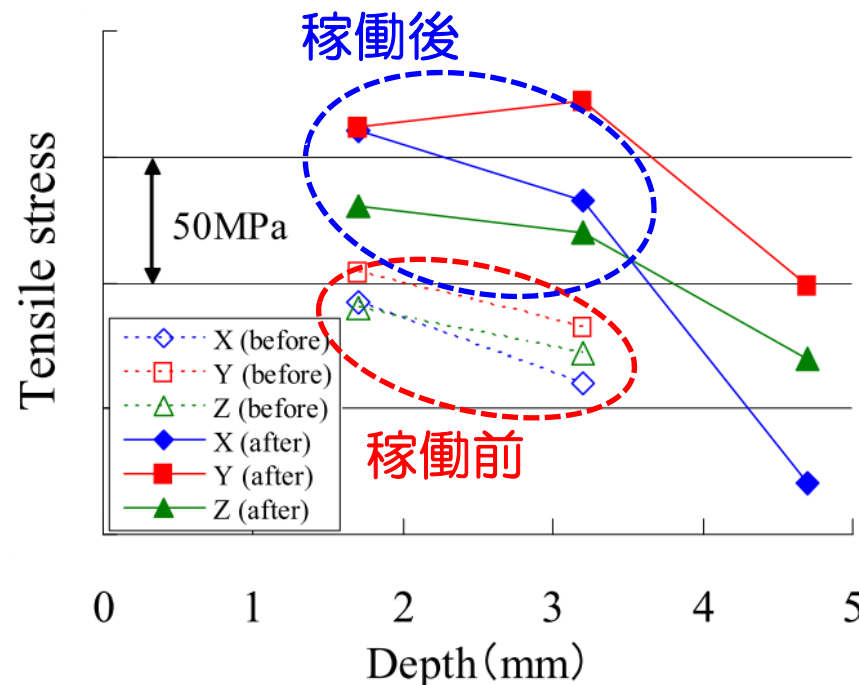
残留応力解析用中性子回折装置等を用いて産業界のニーズに対応

大型XYZステージ
※耐荷重800kg
※面積1m×1m

低燃費車両の開発競争が激化する中で部品軽量化は必須であり、軽量化に伴う部品強度の低下を最小限に抑えるためにも内部の残留応力測定は重要である。



シリンダヘッドの残留応力測定の様子



ある測定位置における残留応力変化

エンジン稼働前後の残留応力変化を測定

稼働前：鋳造により引張残留応力が発生

稼働後：引張残留応力の増加

原子力政策大綱

3-2-2 各分野における進め方

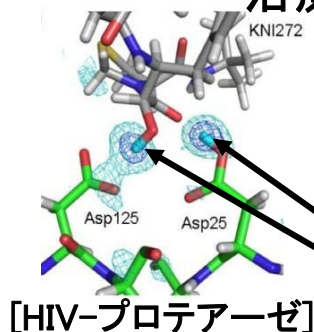
●放射線医学の研究開発成果に基づく患者の負担が少ない放射線治療についての情報が医療や医学教育の現場において広く共有・教育され、適正な放射線治療が普及していくよう、所要の措置を講じるべきである。

4-1-2 革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する研究開発

●量子ビームテクノロジーについても、小型加速器がん治療システム等革新的技術概念に基づく技術システムの開発に同様の考え方で取り組むべきである。

中性子 放射光

生体高分子の機能解明による新規治療法や効果の高い薬剤の創出



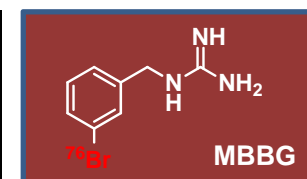
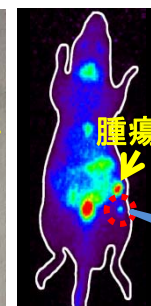
中性子と放射光の相補的利用により、創薬標的タンパク質の全原子構造解析から「活性部位」を特定し、創薬に不可欠な情報を提供

タンパク質の活性部位

イオン

新規がん診断・治療用RIの開発

新規PET診断用核種⁷⁶Brで標識した⁷⁶Br-MBBGの開発に成功、早期発見が難しい褐色細胞腫への明瞭な集積を確認

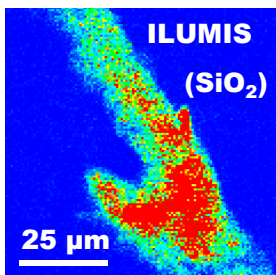
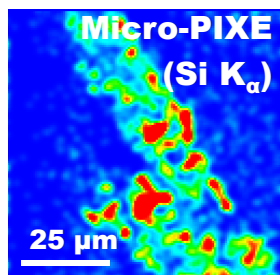


PET画像診断で初めて見つかった重さ数ミリの腫瘍

イオン

イオンマイクロビームを用いたアスベスト肺診断技術の開発

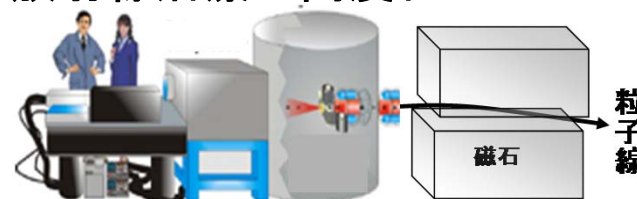
マイクロPIXE法とイオン発光顕微分光法ILMISの複合



マイクロPIXE(左)及びILUMIS(右)によるアスベスト繊維の元素(Si)及び化学形態(SiO₂)の同時イメージング

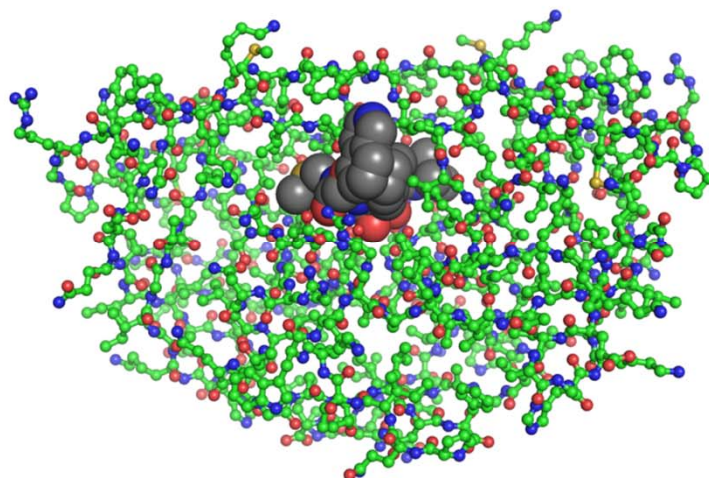
光量子

レーザー駆動粒子線加速器の実現・放射線治療の高度化

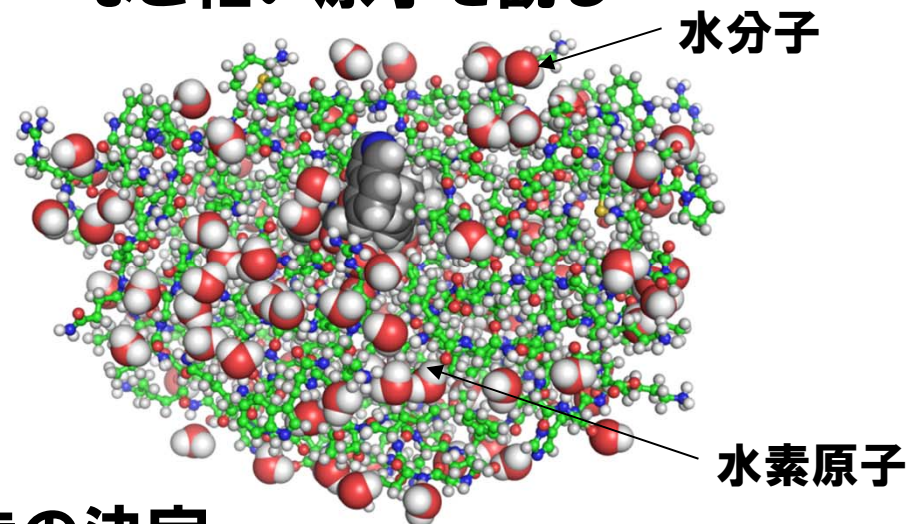


レーザー駆動粒子線を用いることにより、超小型で局所照射が可能な陽子線照射治療装置の開発を目指した研究 ⇒40 MeV加速に成功

放射光で骨格
(重い原子)を観る



さらに、**中性子**で水素
など軽い原子を観る



全原子構造の決定

研究所	施設名	解析装置	全構造解析数(53)
日本原子力研究開発機構	JRR-3	BIX-3/4	16
ラウエ・ランジュバン研究所(フランス)	HFR	LADI-I/III	15
ロスアラモス国立研究所(米国)	LANSCE	PCS	14
日本原子力研究開発機構・KEK・茨城県	J-PARC/MLF	iBIX	1
その他(NBS, BNL)	-	稼動終了	7

全世界の中性子構造解析の1/3は原子力機構で実施 (2012. 4. 24現在)

原子力政策大綱

3-2-2 各分野における進め方

●農業分野の利用活動のうち**放射線育種**については、国民生活の水準向上や産業振興に寄与できる**品種の作出**を目指し、**技術開発及び事業を引き続き推進**していくべきである。

イオン 遺伝子資源開拓・イオンビーム育種技術開発



無側枝性
輪ギク(新神2)

新花色オステオ
スペルマム
(ヴィエント
フラミンゴ)

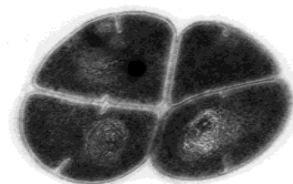


NO₂高
吸収化
オオイタビ
(KNOX)

イオンビームを利用して、植物の新しい品種を開発

イオン DNA損傷・修復機構の解明

放射線抵抗性細菌



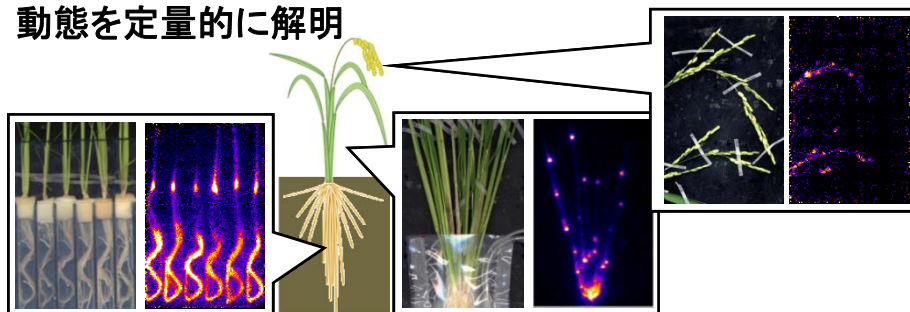
放射線損傷修復機構
の解明研究



高性能DNA修復試薬

イオン ポジトロンイメージングによる植物機能の定量的解析

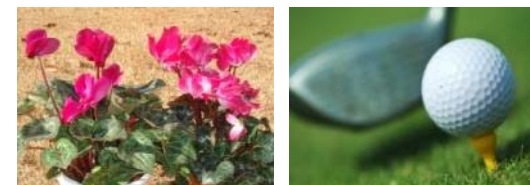
カドミウムがイネの根に吸収され、コメに集積するまでの動態を定量的に解明



ガンマ 電子 海産資源の放射線加工による植物活力剤開発



海産資源(かに殻)
の有効利用



シクラメンなどの花卉や
ゴルフ場の芝に有効

新花色オステオスペルマム (ヴィエントラビオス)

群馬県農業技術センター、(有)はなせきぐち
(平成24年2月)



新花色芳香シクラメン

埼玉県農林総合研究センター園芸研究所、
(独)農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所



(平成21年12月)

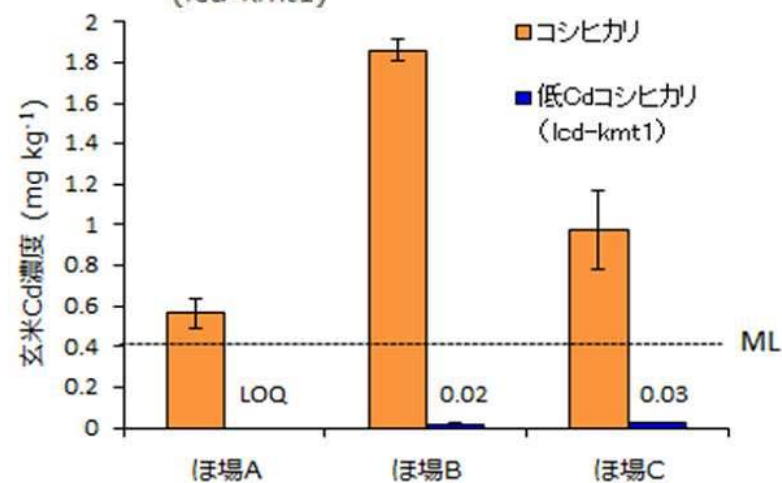
低カドミウムコシヒカリの作出

(独)農業環境技術研究所、
東京大学

(平成24年3月)



コシヒカリ 低Cdコシヒカリ
(lcd-kmt1)



原子力政策大綱

3-2-2 各分野における進め方

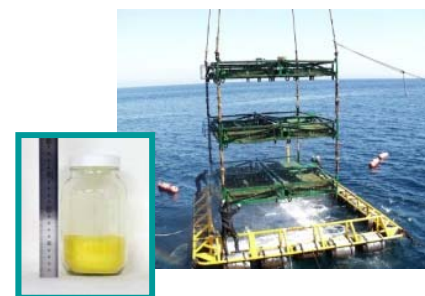
●放射線を利用した環境浄化技術や有用金属捕集材の製造技術については、国は技術の高度化を進めるとともに、その実用化に取り組む者を適切に支援していくべきである。

ガンマ 電子 植物由来のカーボンニュートラル材料の開発



電子線やガンマ線を利用して、分子間に橋かけ構造を導入し、環境にやさしい高分子材料を開発

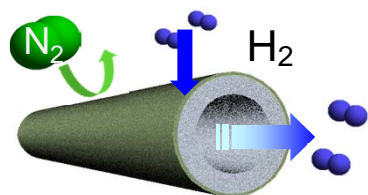
ガンマ 電子 環境浄化や有用資源回収に有用な高性能金属捕集材の実現



海水からのウラン捕集

希少金属や有害金属だけを選択的に吸着できる分子を放射線を利用して基材に結合させ、環境浄化や有用資源回収に役立つ高分子材料を開発

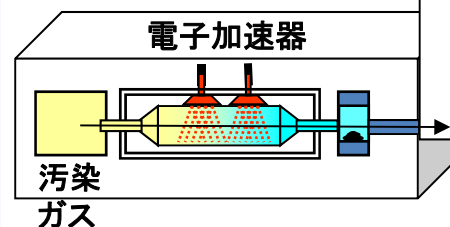
ガンマ 電子 水素分離用炭化ケイ素膜の開発



炭化ケイ素の原料高分子材料を、電子線照射で橋かけした後にセラミックスへ焼成転換する作製方法により、熱化学分解法を用いた水素製造に使用可能な耐熱・耐蝕性に優れた水素分離膜を開発

電子 環境汚染物質の浄化プロセスの開発

電子ビームにより排ガス中汚染物質を分解・除去



排ガス浄化プロセス



温泉から希少金属を回収

-放射線グラフト重合法で開発した捕集布でスカンジウム回収を実証-

平成20年10月



日本カーリット(株)、
(株)アンザイ、
(株)群馬分析センター、
(財)群馬県産業支援機構、



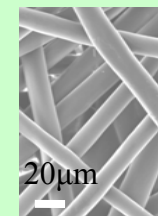
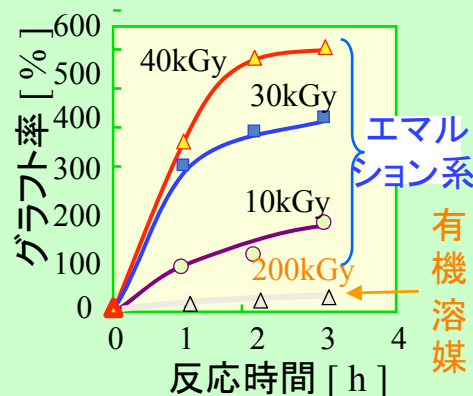
草津温泉から捕集した
粗精製スカンジウム

水系反応による高効率加工技術の開発

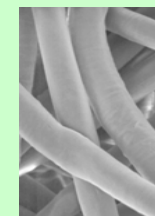
-従来の2000倍高速に金属を除去できる材料-

平成22年1月

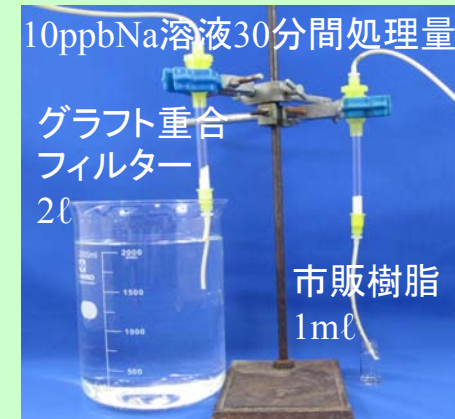
倉敷繊維加工(株)



ポリエチレン
不織布



グラフト
重合後



環境負荷低減、コストダウンに貢献できるイオン交換繊維の実用化に成功

野村マイクロ・サイエンス(株)
倉敷繊維加工(株)

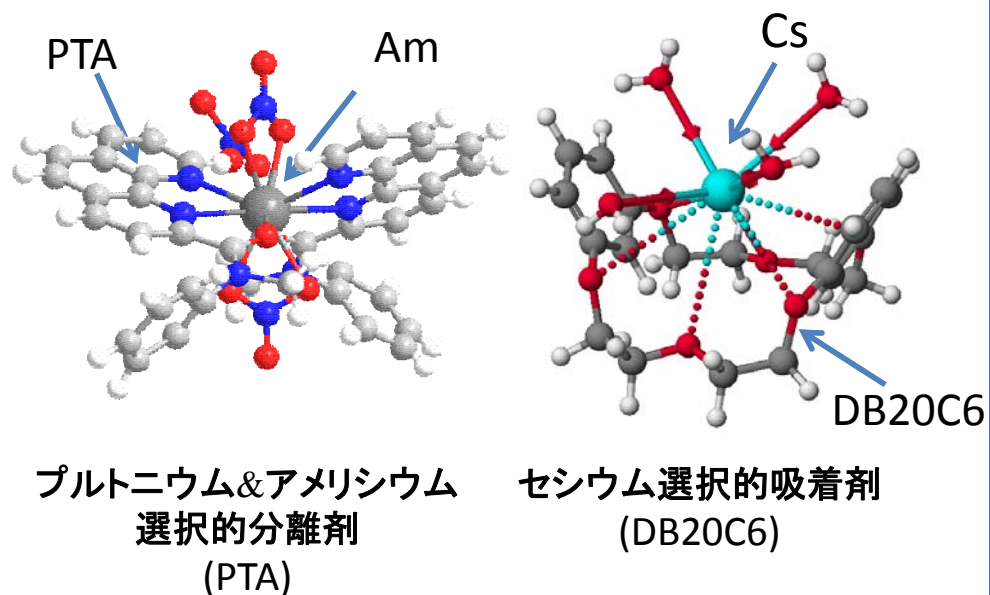
平成22年6月



商品名:
メレート®

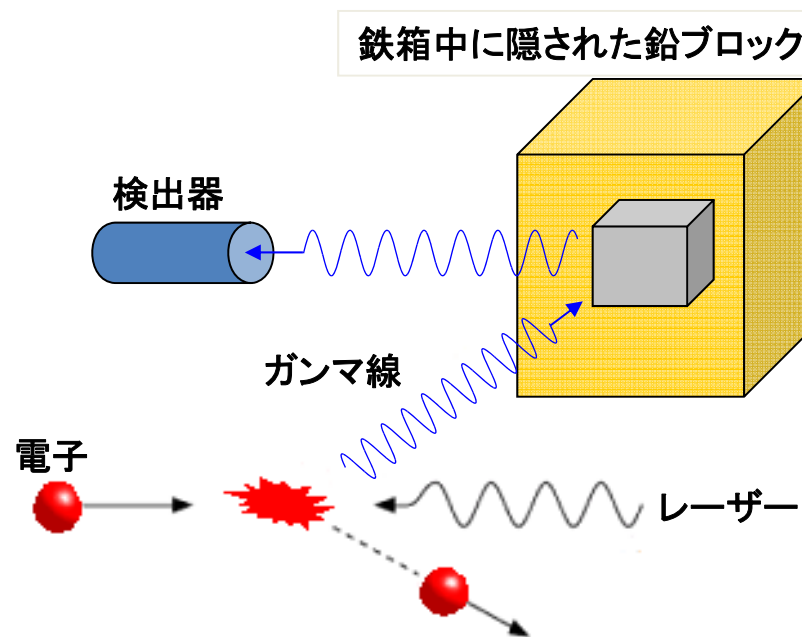
放射光

放射性廃棄物の減容を目指した
分離剤の分子設計および開発



量子ビーム技術を駆使した設計によりイオン選択的吸着剤・
分離剤を開発。福島汚染土壌・廃棄物、高レベル放射性
廃棄物の減容化も可能に

ガンマ光量子 非破壊・非接触の診断技術の開発



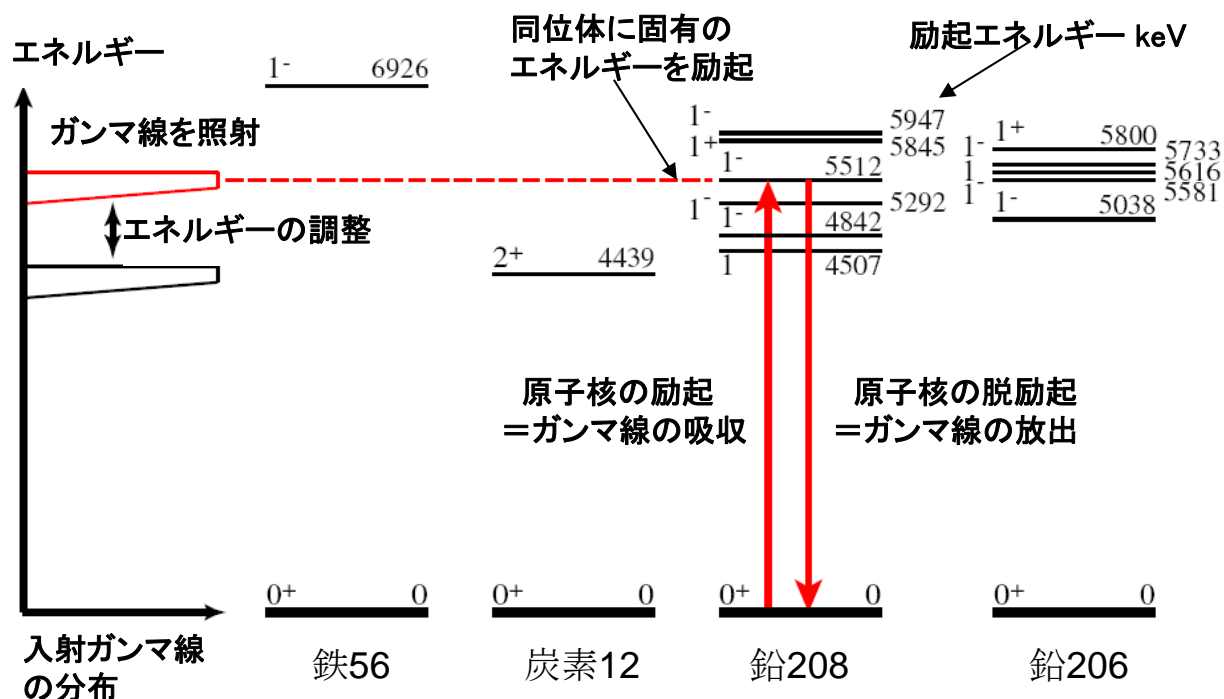
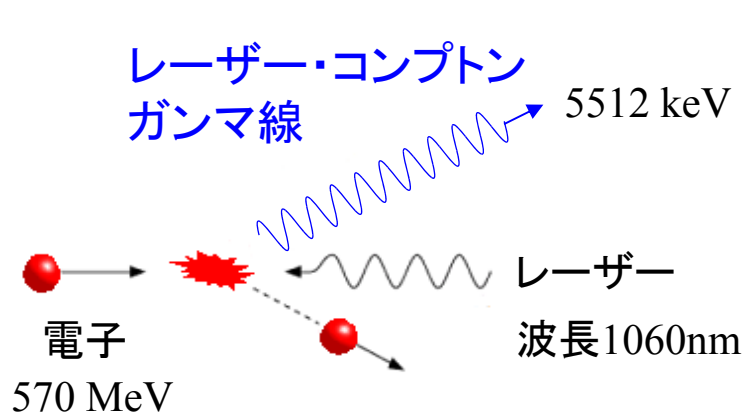
放射性廃棄物の処理処分、核燃料サイクルの計量管
理などに向けて、レーザーコンプトンガンマ線による
非破壊分析法を研究開発

福島原発事故対応への量子ビーム技術の利用

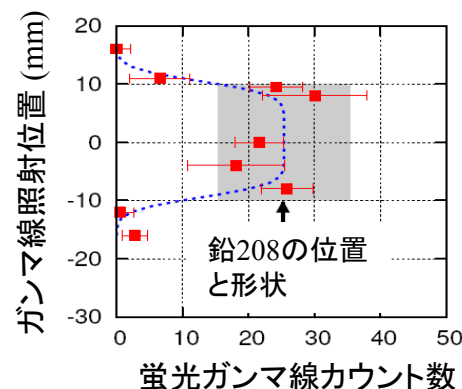
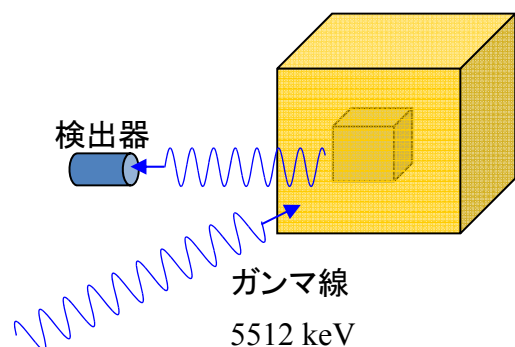
ガンマ線ビームを用いて隠れた同位体の位置と形状を測定

平成21年3月

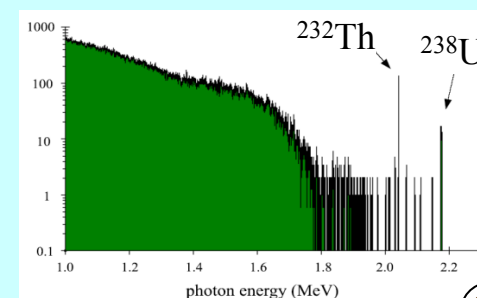
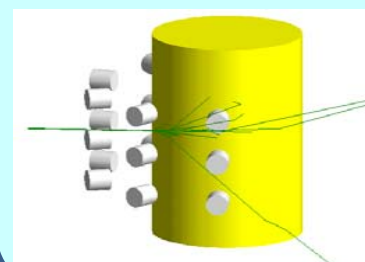
産業技術総合研究所、京都大学



鉄箱中に隠された鉛ブロック

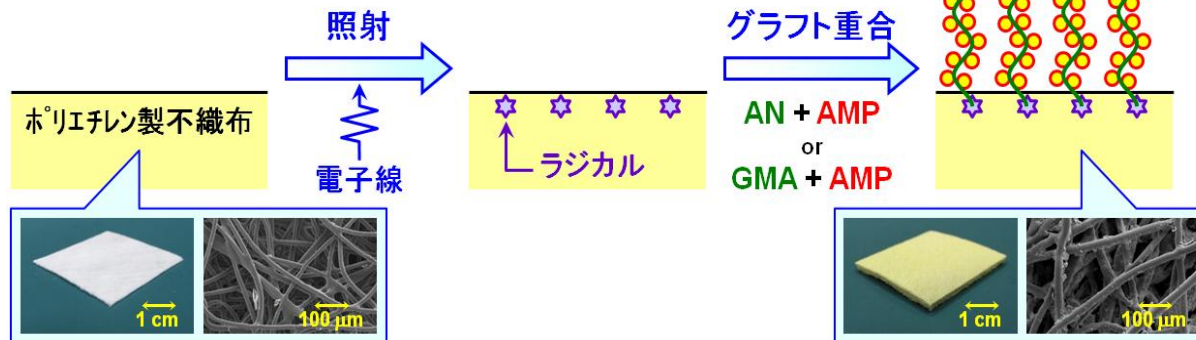


廃棄物ドラム缶

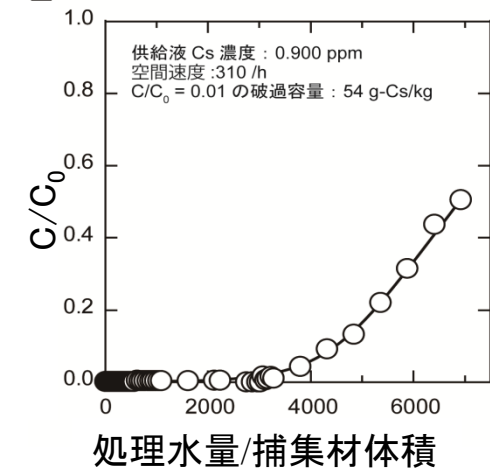


セシウム捕集材の合成

AN: アクリロニトリル, GMA: メタクリル酸グリシジル
AMP: モリブドリン酸アンモニウム $[PMo_{12}O_{40}]^{3-} [(NH_4)^+]_3$



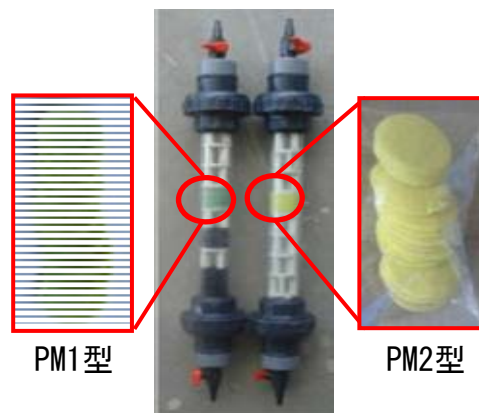
セシウム捕集実験



福島県飯舘村でのフィールド試験



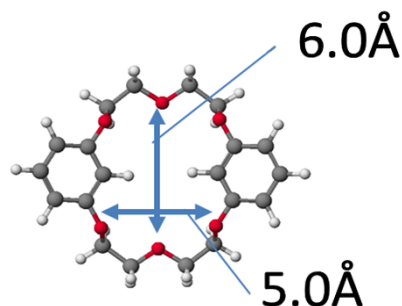
飯舘村内の溜め水から採水



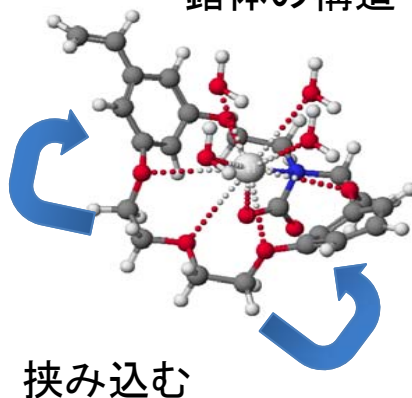
Ge半導体検出器

- ・ グラフト重合法 によるセシウム捕集材の合成
- ・ 捕集材体積の 3,000倍 程度の処理が可能
- ・ 高いセシウム捕集特性 を確認

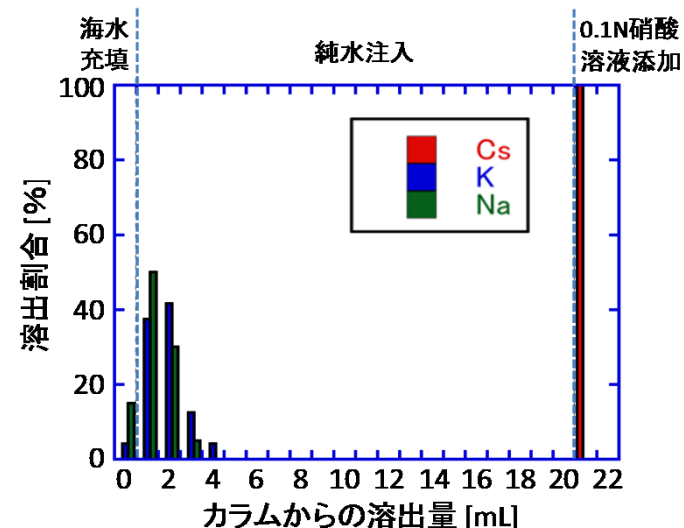
クラウンエーテル DB20C6の設計・開発



DB20C6-Cs 錯体の構造



DB20C6を用いた分離実験



福島県飯舘村でのフィールド試験



溜池からの採取



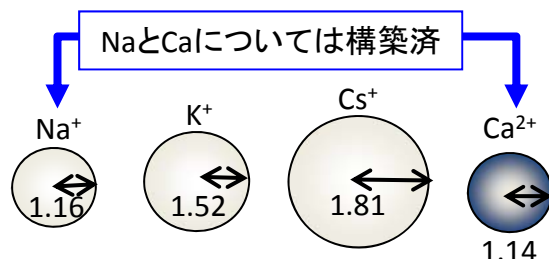
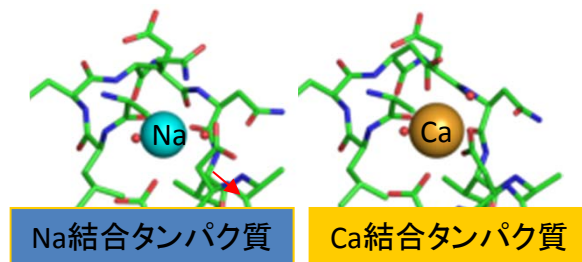
プレフィルターによる
浮遊物除去



トルネード型分離塔
によるCs分離

- ・DB20C6(ジベンゾ20クラウン6エーテル)の設計・開発
- ・セシウムの選択的吸着を確認
- ・吸着剤からの回収率:
~100% (0.1N硝酸)
- ・繰り返し利用の可能性を確認

セシウム等に親和性を持つ バイオ材料の創製



タンパク質にCs特異性を付与

- ・Ca結合部位の特異性をCsへ変換
- ・Cs結合を確認

イオンビーム育種による放射性 セシウム吸収能改変品種の開発

汚染農耕地におけるセシウム除去
や栽培に適した植物を開発する

イオンビーム育種
セシウム超高吸収植物を開発



栽培特性に優れたヒエ等の
イネ科植物に着目

- ・イネに比べて、ヒエの¹³³Cs収奪能力が比較的高いことを確認
- ・イオンビーム植物育種により、Cs高吸収ヒエ、Cs低吸収イネの開発を目指す

放射性セシウム動態の画像解析 技術開発

放射線セシウムの土壌から植物への
移行動態をイメージング解析する



オオイトドリ(セシウム
高吸収植物の一種)

ヒエ(イオンビーム
育種候補植物)

- ・植物栽培、トレーサ投与、2D画像の取得が可能な「根箱装置」を開発
- ・ポジトロン放出核種¹²⁹Csトレーサ、¹³⁴Cs・¹³⁷Csを対象とした植物用ガンマカメラの開発を予定