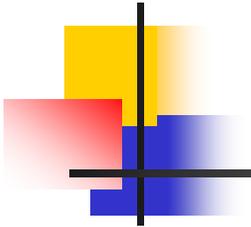


# 放射線利用の現状と 今後のあり方

---

平成24年5月9日

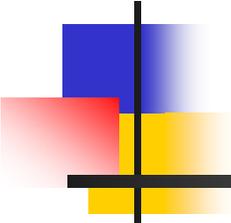
内閣府 原子力政策担当室



# 目次

---

1. 放射線利用の現状	2
2. 放射線利用に関する施策の今後のあり方	15
3. 参考資料	29



# 1. 放射線利用の現状

---

# 放射線利用の現状(1/2)

- 放射線は、科学・技術・学術、工業、医療、農業など幅広い分野において放射線が利用されており、科学・技術・学術の進歩、国民の福祉、国民生活の水準向上等に大きな貢献をしている。
- 放射性同位体(RI)や放射線発生装置を利用する事業所は、国内で6,116カ所(平成23年3月現在)。

## 主要な分野における研究例及び実用例等

### ●福島対応の例

- セシウム捕集材の開発

### ●科学・技術・学術分野の例

- 量子ビームを用いた研究
- ナノテクノロジー
- 高温超伝導材料の研究開発
- RIを利用したトレーサー研究など



大強度陽子加速器施設J-PARC

(出典)日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構

### ●工業分野の例

- 精密計測
- 非破壊検査
- 材料の改良
- 半導体素子の加工プロセス
- 自動車タイヤ等の部品製造
- 医療用具の滅菌 など

### ●医療分野の例

- イメージング  
(X線CT、PETなど)
- 放射線治療  
(X線、電子線、γ線、  
中性子線、陽子線、  
重粒子線など)
- RIの製造

### ●農業分野の例

- 品種改良  
(花・米の新品種の開発)
- 害虫防除  
(不妊虫放飼法による害虫防除)
- 食品照射  
(ばれいしょの発芽防止)  
など



パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種

(出典)日本原子力研究開発機構



CT機能とPET機能を有するPET-CT装置

(出典)原子力委員会 新計画策定会議 資料

### ●環境・資源分野の例

- 窒素酸化物、硫黄酸化物等の分解、除去
- ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解など

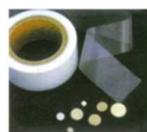
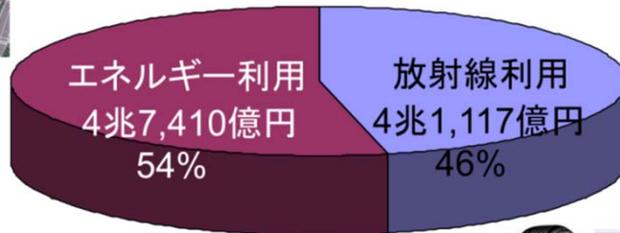
## 放射線利用の現状(2/2)

- 放射線利用はエネルギー利用とほぼ同じ経済規模で利用されていた。
- 過去5年間でアイソトープ等(放射線源)の使用・届出事業所数は増加。

### 放射線利用とエネルギー利用の経済規模の比較

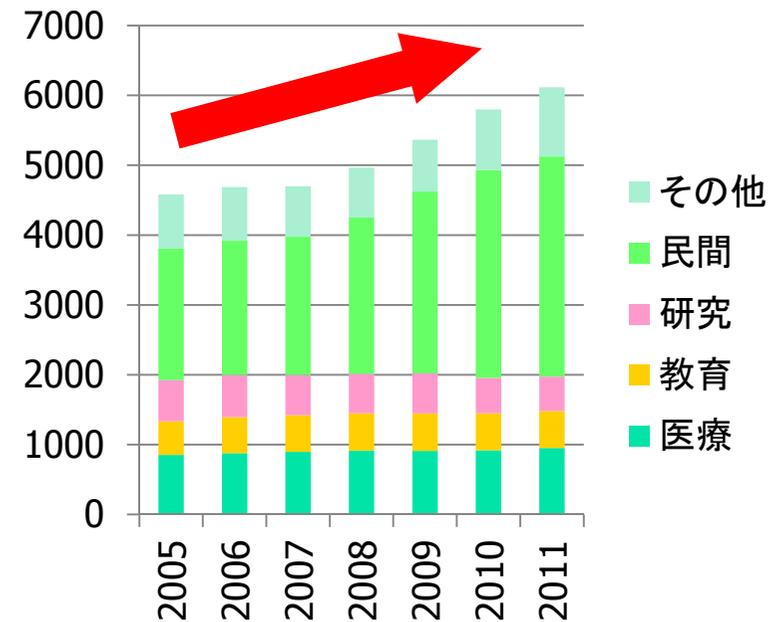
調査結果(平成17年度)

総額  
8兆8,500億円



(独)日本原子力研究開発機構、内閣府委託事業「放射線利用の経済規模に関する調査」報告書より作成(2007)。

### RI等使用許可・届出事業所数の推移



出典: 日本アイソトープ協会、放射線利用統計2010

# 国内の主な量子ビーム研究施設

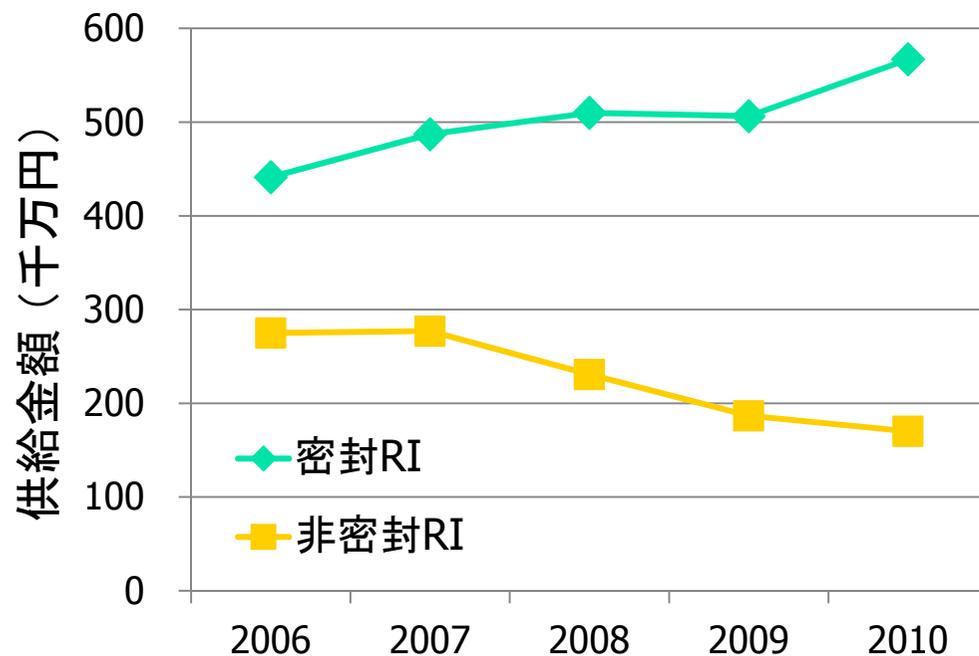
## 量子ビームとは:

光子、イオン、電子、中性子、中間子、ニュートリノ等のビームの一般的総称であり、加速器や高出力レーザー装置、原子炉等の施設から供給される種々の広範なビームを含む概念



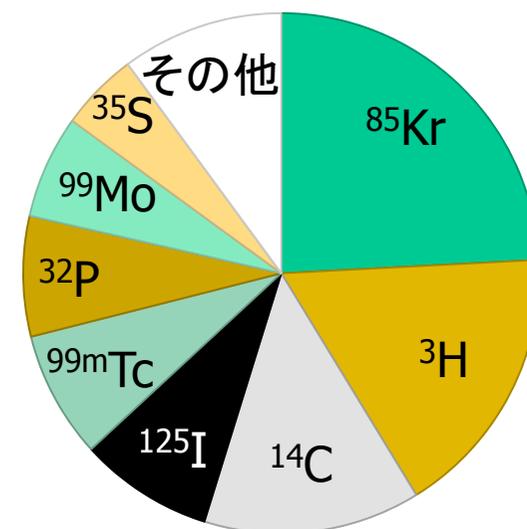
# 放射性同位元素(RI)の現状(1/2)

研究用非密封及び密封RIの供給金額の推移



出典: 日本アイソトープ協会資料

2010年度の研究用非密封RI核種別の供給量  
合計: 1,756,168MBq



2010年度の研究用密封RI核種別の供給量

合計: 135,784,706,651MBq

供給量としては、 $^{60}\text{Co}$ だけで99%以上  
その他として、 $^{192}\text{Ir}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{125}\text{I}$ 等

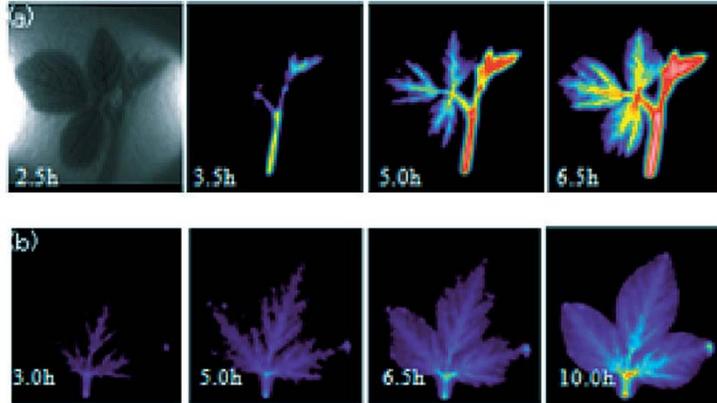
出典: 日本アイソトープ協会、放射線利用統計2010

- ・研究用非密封RI及び密封RIの供給金額は、一定の範囲で推移している。
- ・RIの供給先は、医療機関、教育機関、研究機関及び民間企業等である。

# 放射性同位元素(RI)の現状(2/2)

- ・大学に、RIを取り扱えるRIセンターが、教育・研究の場として整備されてきた。
- ・RIは、学術、工業、医療、農業、環境等様々な分野で利用されている。

## 農業分野への応用



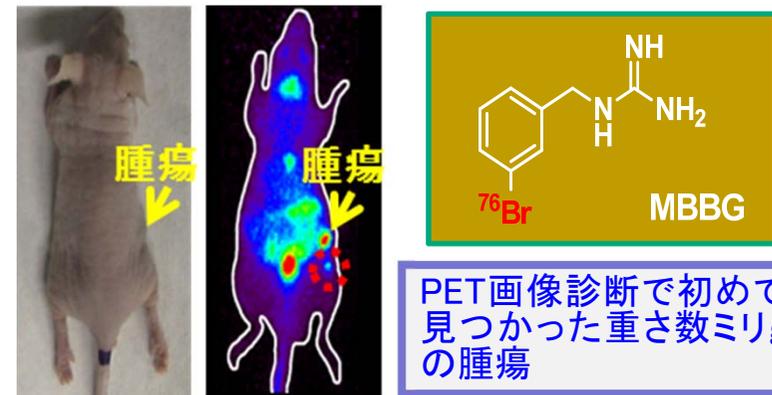
ダイズ試料に $^{32}\text{P}$ 標識リン酸を根から吸収させ、地上部の各組織における $^{32}\text{P}$ の移行動態を継時的に示した。その結果、まず新芽に $^{32}\text{P}$ が検出され、続いて若い葉へと移行していくことを観察。

放射化学ニュース 第22号 平成22年

## 考古学における年代推定

$^{14}\text{C}$ は時間とともに壊変し5730年(半減期)で元の個数の半分になる。これを利用する方法が放射性炭素年代法で、現代から数万年前の年代範囲を対象とする年代測定のうち最も精度の高い年代測定法の1つとなっている。これにより、地層や火砕流堆積物の堆積年代を推定。

## 医療分野への応用



新規PET診断用核種 $^{76}\text{Br}$ で標識した $^{76}\text{Br}$ -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。

平成24年第15回原子力委員会資料第1号より抜粋



JAEA 東濃地科学センター  
パンフレット 2010

# 食品照射について

## 食品照射状況

### 食品衛生法に基づく規格基準

○食品衛生法に基づく「食品、添加物等の規格基準（昭和34年厚生省告示第370号）により食品を製造、加工及び保存の目的での放射線照射を原則として禁止。

○但し、ばれいしょの発芽防止の目的で照射する場合のみ、以下の条件を付して認めている。（1972年に許可、1974年から実用照射開始）

- ・放射線の線源及び種類は、コバルト60のガンマ線とすること。
- ・ばれいしょの吸収線量が150グレイを超えてはならないこと。
- ・照射加工を行ったばれいしょに対しては、再度照射してはならないこと。
- ・放射線を照射した旨の表示を行うこと。
- ・放射線照射業を営もうとする者は、都道府県知事の許可を得ること。
- ・当該施設には、専任の食品衛生管理者を置くこと。

なお、規格基準を定める際には、食品安全基本法により食品安全委員会によるリスク評価が必要とされている。

## 各国の照射許可及び実用化品目

国名	照射食品名													その他許可品目	
	豆類	鶏肉	魚(含む冷凍)	にんにく	肉類	玉ねぎ	パパイヤ	じゃがいも	米	えび(含む冷凍)	スパイス	いちご	乾燥野菜		小麦
ブラジル	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	果実ジュース、濃縮果実ジュース
チリ	○	○	○			◎	◎	○		◎	○			○	カカオ豆
中国				◎	◎	◎	◎			◎				○	ソーセージ
フランス		○		○	○				◎	◎					家禽肉
イスラエル	○	○					○	○		◎	○	○	○	○	穀類
日本							◎								
韓国				○	○	○				◎			○		粉末味噌・醤油
オランダ	○	○							◎	◎		◎			シリアルフレーク
南アフリカ		○	○			○	○	○		◎			○		ベビーフード
タイ	○	○	○	○		◎	○	○	○	◎	○		○		ムーヨー（調理済ソーセージ）
英国	○	○	○	○		○	○	○	○	◎	○	○	○		無菌食
米国		○			◎		○			◎	○	○	○		鶏卵
その他40カ国	8	13	10	16	5	24	12	23	13	9	34	11	10	13	
許可国数	14	22	15	22	7	32	18	32	20	14	45	17	17	20	

◎許可及び実用化されている品目 ○許可されている品目

上表は、平成15年版原子力白書の許可国一覧表(出典:原産会議データ2003年4月時点)に、実用国データ(出典:原産会議データ2003年5月時点)を併せて作成。個別表記した国は、日韓中、米英仏に加え、許可品目の比較的多い国を抽出。

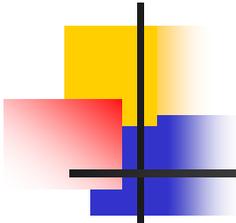
## 食品照射により有害物質(アルキルシクロブタン類)が生成

- ・照射食品中のアルキルシクロブタン類の生成量及びその推定暴露量
- ・アルキルシクロブタン類の毒性(特に、遺伝毒性、発がんプロモーション作用)

に関する科学的知見を収集する必要があるとされており、食品安全委員会では、平成21年度より、「アルキルシクロブタン類を指標とした食品照射の安全性解析」を実施している。

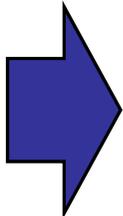
(出典)「食品への放射線照射についての科学的知見等に関する調査結果について」平成22年 第35回原子力委員会資料第1-1

(出典)「原子力政策大綱に示している放射線利用に関する取組の基本的考え方の評価について」原子力委員会 平成22年6月1日



## 福島における放射線測定器の開発の必要性

- 農作物(米等)の全量検査
- 子供等の個人被ばく管理
- 全国の空間放射線量率測定(エアボーン等)



早く、正確に、また、大量に測定可能な放射線の測定器が求められている。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)が、身の回りの放射線の強さを7段階で光表示する家庭向けの簡易線量計を開発

出典:読売新聞ホームページ(<http://www.yomidr.yomiuri.co.jp/page.jsp?id=44801>)

富士電機株式会社が、食品をダンボールなどの梱包状態のまま、ベルトコンベアに載せ、連続的かつ簡単に測定することが可能な食品用放射線計測器を販売

出典:富士電機ホームページ(<http://www.fujielectric.co.jp/about/news/11080102/index.html>)

エステー株式会社が、一般家庭でも安心して使える性能と価格を実現した家庭用放射線測定器を販売

出典:エステーホームページ(<http://www.st-c.co.jp/air-counter/>)



他分野の機関や企業が、放射線測定器開発に参入

上記とは別に、科学技術振興機構が、「放射線計測領域」を設定し、H24年度課題を公募 9

# 量子ビームテクノロジーによる学術分野への発展

## 「量子ビームテクノロジー」

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、高強度で高品質な光量子、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先端科学技術の総称

様々な量子ビーム研究施設を利用して、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

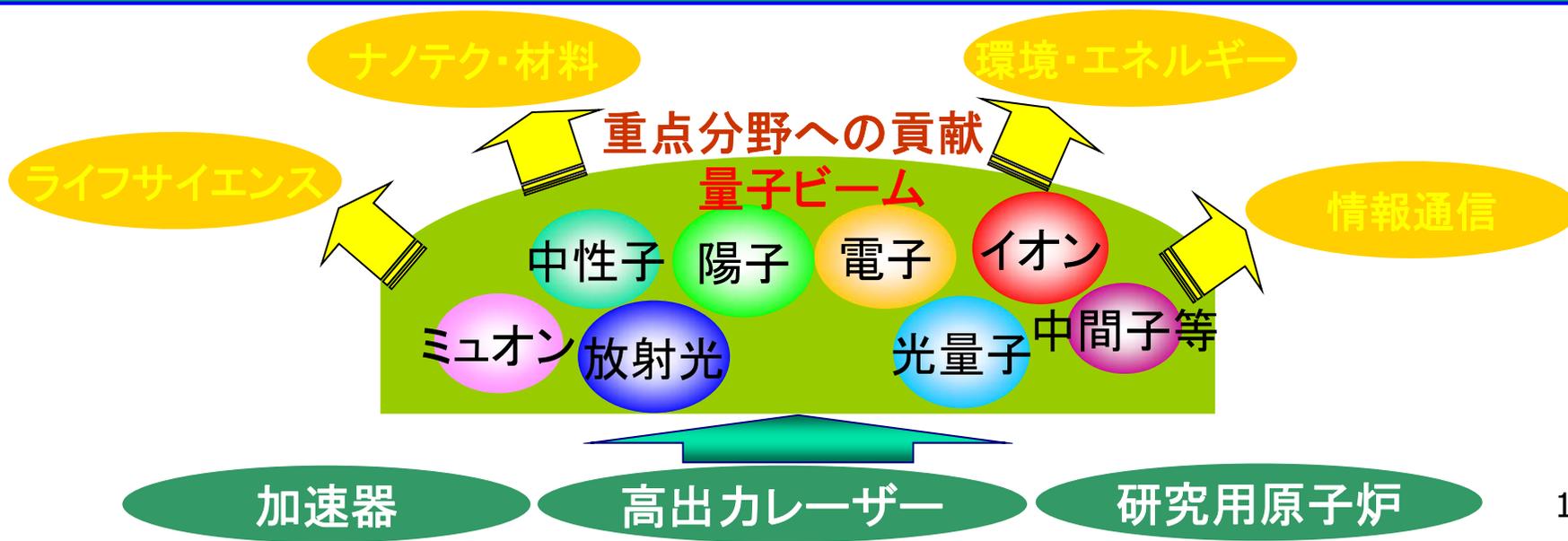
ライフ・イノベーション及びグリーン・イノベーション等の先端的な科学・技術・学術分野の発展や産業活動の促進に資する

ライフ・イノベーション

グリーン・イノベーション

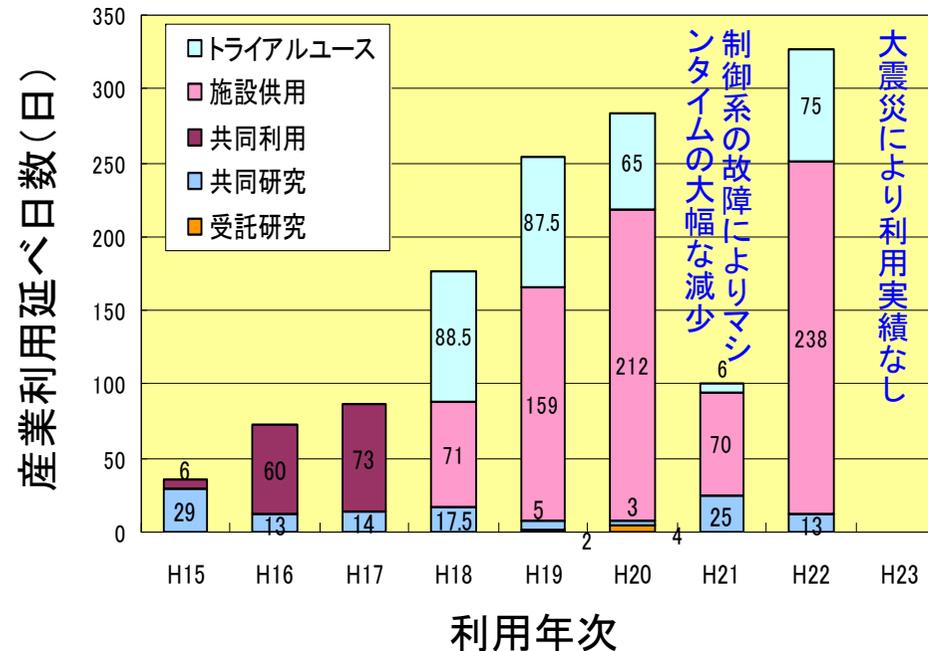
新成長戦略  
(平成22年6月)

強みを生かす  
成長分野

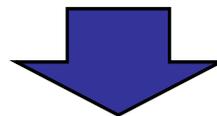


# 量子ビームテクノロジーによる産業活動の促進

## 研究用原子炉JRR-3における産業利用延べ日数の推移



産業界の量子ビーム研究施設の利用日数は、増加傾向



- 産業界からの量子ビーム研究施設への期待は大きい
- トライアルユースは非常に有効

# 地域による放射線利用

- 放射線利用技術を地域の産業等に活用している。
  - 一重粒子線を用いたがん治療施設の設置(佐賀県、群馬県)
  - 一J-PARCの中性子ビームラインの整備と産業利用促進のための取組(茨城県)
  - 一放射線を用いた有田焼の分析や、新たな絵具・釉薬の開発(佐賀県)
  - 一エネルギー研究開発拠点化計画の開始(福井県) 等

九州国際重粒子線がん治療センター(サガハイマツト)  
普及型重粒子線治療装置(佐賀県)



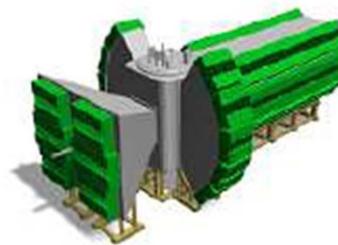
平成25年春オープン予定  
【平成24年4月18日撮影】

陽子線がん治療センター(福井県)  
(エネルギー研究開発拠点化計画)



平成23年治療開始

J-PARCの中性子ビームラインの整備  
(茨城県)



◆材料構造解析装置



◆生命物質構造解析装置



◆いばらき量子ビーム研究センター  
産学官共同研究施設の整備

平成21年第45回原子力委員会資料第1-2号より抜粋

# 放射線利用に係る国際協力(1/2)

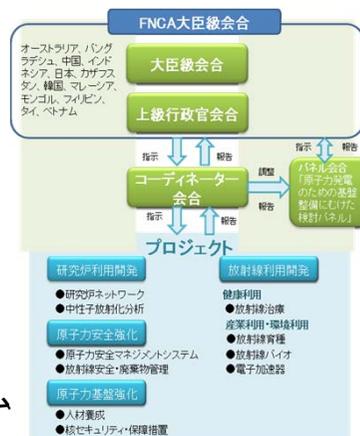
医療分野、農業分野での放射線の利活用、研究炉を利用した中性子放射化分析等について、我が国の研究開発の成果をもって発展途上国の支援を行うと共に、より効率的な利用技術の開発の為に研究開発協力を行うことが求められている。

## 多国間枠組みにおける国際協力の例

- アジア原子力協力フォーラム(FNCA)における協力
  - ・近隣アジア諸国との原子力分野の協力を効率的かつ効果的に推進する目的で日本が主導する原子力平和利用協力の枠組み。
  - ・分野別・テーマ別の10プロジェクト活動の中で、放射線の産業利用、健康利用や研究炉利用等に関する協力を実施。

### ＜現行プロジェクト＞

- 放射線育種
- バイオ肥料
- 電子加速器利用
- 放射線治療
- 研究炉ネットワーク
- 中性子放射化分析
- 核セキュリティ・保障措置
- 人材育成
- 原子力安全マネジメントシステム
- 放射線安全・廃棄物管理



## 機関間での協力例

### ＜日本原子力研究開発機構＞

- 米国 エネルギー省（中性子科学、放射光科学、放射線照射効果研究、核セキュリティ研究）
- 米国 スタンフォード大学（光量子科学）
- 英国 ラザフォード・アップルトン研究所（中性子科学、光量子科学）
- ドイツ 重イオン研究所（イオンビーム照射利用）
- フランス ラウエ・ランジェバン研究所（中性子科学）
- 欧州 放射光施設(ESRF)（放射光科学）
- 中国科学院（レーザー科学技術、放射光科学、荷電粒子・RI応用）
- 韓国 原子力研究所（放射線応用技術：バイオ、材料、環境保全）
- マレーシア 原子力庁（放射線加工処理）
- ベトナム 原子力委員会（放射線加工処理）
- ロシア 科学アカデミープロホロフ一般物理学研究所（レーザー物理）等

### ＜放射線医学総合研究所＞

19カ国34大学・研究所およびIAEAと、計41件の取り決めを締結。  
 (2012(平成24)年3月現在)

## 放射線利用に係る国際協力(2/2)

### アジア原子力協力フォーラム(FNCA)における 放射線利用開発に関するプロジェクト成果

#### ●放射線利用開発(産業利用・環境利用)

- ・放射線育種により、バナナの病害に耐性のある突然変異系統の開発に成功。
- ・放射線滅菌技術の民間への移転が進められ、マレーシア等で放射線滅菌を利用したバ  
イオ肥料を広く利用。
- ・天然高分子の放射線加工により、土壌改良用の超吸水材等の研究開発を実施。

#### ●放射線利用開発(健康利用)

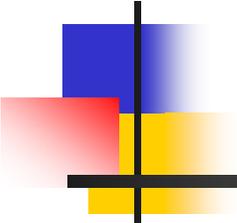
- ・アジア地域において前例がない規模で、化学放射線治療による子宮頸がん及び上咽頭  
がんの多国間共同臨床試験を実施。試験結果を通じて各国の治療法の改善に寄与。



放射線治療プロジェクトワークショップの様子



バ  
イオ肥料プロジェクトワークショップにおける  
テクニカルビジットの様子



## 2. 放射線利用に関する施策の 今後のあり方

---

# 放射線利用について議論すべき点

## 新大綱策定会議で議論すべきとされた点

### 総論

- 放射線利用の経済規模はエネルギー利用と同等であり、重要項目の一つとして位置付けるべきである。(第7回、中西委員)
- 最先端の研究開発を支えるには、放射線や放射能の利用が、非常に役立つという認識が生まれるようにすることが必要。(第7回、中西委員)
- 放射性同位元素(RI)についても、追記するべきである。(第17回、中西委員)
- 放射線利用の理解促進、利用を拡大させるための制度(第2回新大綱策定会議資料第1号)
- 人材育成、社会基盤の整備、基礎基盤研究の支援等(第2回新大綱策定会議資料第1号)

### 各論

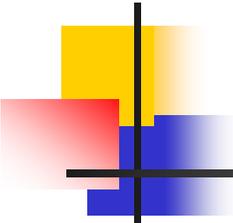
- がんの放射線治療について、途上国への協力をしていくべきではないか。(第17回、尾本委員)

### 事務局提案

- 放射線利用に関する産業の戦略産業化
- 研究施設等廃棄物の埋設処分の実現に向けた着実な取組の推進
- 放射線利用における核セキュリティへの対応
- 被ばく状況の一元管理
- 放射線利用に係る国民理解の充実
- 放射線利用に係る国際協力の今後の方向性

### 福島対応

- 放射線や低線量被ばくに関する科学的知識を、伝える必要がある。



## 放射線利用の利用拡大

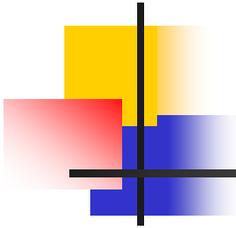
---

研究開発機関の優れた研究成果は、広く工業、医療、農業、環境・資源分野等での利用に供される必要がある



利用者のさらなる拡大を図るために、

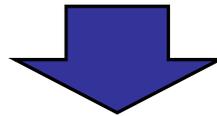
- 他分野の利用者への技術支援等を行う人材の確保及び人材育成を行う必要がある。
- 潜在的な利用者の掘り起こし、新しい利用研究・利用分野の開拓を強化するために、利用料金を無料にしたトライアルユース制度を周知させる必要がある。
- 利用拡大を行うために、基礎基盤研究の成果を広く産業界に周知する必要がある。
- 産業界で簡便に使用できる普及型の装置の開発を行う必要がある。



## 放射線利用の利用拡大(医療分野)

---

医療分野におけるX線CT、PET、粒子線がん治療等の高度放射線利用技術の普及を促進する必要がある



- 関連放射線医薬品の供給体制の整備、新しい技術にも適合するよう関連する安全規制の内容の見直し、関連施設の低価格化を、行っていく必要がある。
- 放射線による治療とそれに伴うリスクについて、周知する必要がある。
- これらの技術の利用に必要な人材の育成を進める必要がある。

# 放射線を利用した基礎基盤研究の推進

重要な科学技術・学術分野から幅広い産業までを支える基盤として研究開発を推進  
これまでに、JAEA内では、JRR-3、J-PARC、SPring-8等の相補的施設間連携を進めてきた



さらに発展させた全日本的な量子ビームプラットフォームの整備が重要となる

- ・地理的、技術的な面からの相補的施設間連携による研究支援
- ・最適かつ分野横断的な課題解決方法の提供
- ・事故等による施設停止で研究を遅延させないセーフティーネット
- ・専門人材の育成

「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」に基づき運用されている施設

特定中性子線施設  
(J-PARC中性子線施設)



特定高速電子計算機施設  
(次世代スーパーコンピュータ)



特定放射光施設  
(SPring-8、SACLA)



「先端研究施設共用促進事業」の採択を受けている施設



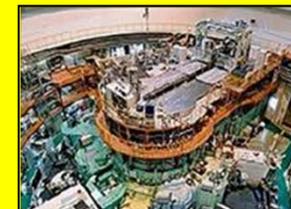
SAGA-LS



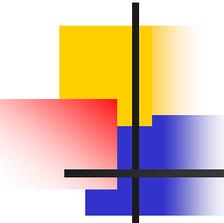
1号電子加速器照射施設



TIARA

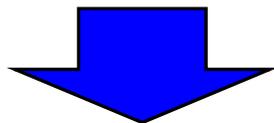


JRR-3



## 放射線利用に関する産業の戦略産業化

医療分野、農業、工業および学術分野における放射線の利用を促進し、これらに関する産業を戦略産業に育成する必要がある。

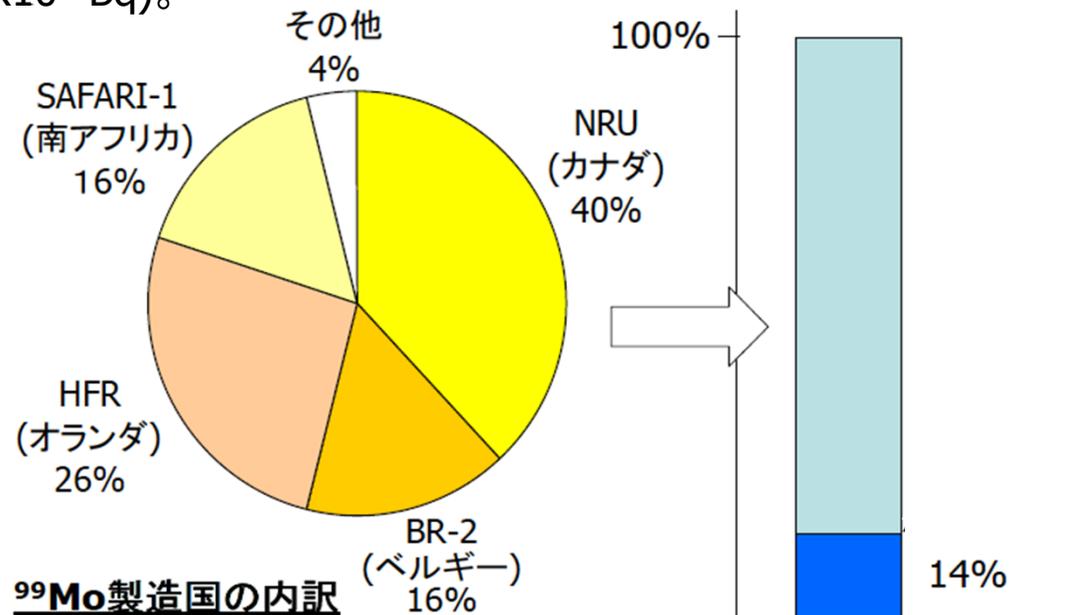


- 放射線利用を様々な分野へ利用促進するために、トライアルユース制度の充実、及び、利用者の相互学習ネットワークを整備する必要がある。
- 既存の放射線施設の能力の向上及び革新的な放射線源の研究開発を推進する必要がある。
- 放射線医療技術、放射線利用技術にかかる産業を戦略産業化するために、国は、我が国の産業がこれらの供給能力をこうした国際市場の将来動向を見据えて整備充実していくことを支援する必要がある。
- 産業政策の一環として、見本市の開催の支援や、技術基準・標準の作成に貢献する必要がある。

# 医療用放射線源<sup>99</sup>Moの供給のあり方について

## (1/2)

<sup>99</sup>Moを原料とする放射性医薬品は、主に腫瘍の転移や再発、梗塞など、骨や脳・心筋の血流状況等の検査に用いる。本剤は治療薬ではなく検査薬であり、我が国では18成分34品目が製造販売されている(2012年3月末現在)。国内需要量は、約1,000 6day-Ci/週(分離精製施設を出荷してから、6日後の放射能。1Ci=3.7x10<sup>10</sup>Bq)。



出展: NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL, JULY 2008

世界の<sup>99</sup>Mo製造量に対する日本の<sup>99</sup>Mo輸入(消費)割合

平成21年第46回原子力委員会資料第1-1号より抜粋

この放射性同位元素の9割以上は、世界にある数基の原子炉で生成しており、現在わが国は、全量を輸入に依存している。この一部の原子炉の老朽化による故障、火山噴火等による航空輸送への影響により、<sup>99</sup>Moの供給不足が生じるという問題が発生している。

# 医療用放射線源<sup>99</sup>Moの供給のあり方について (2/2)

輸入を継続するとともに、将来的に我が国では輸入<sup>99</sup>Moに対して競争力のある一定量の国産を目指す。

国産化方策は、供給能力及び経済性が高く、核不拡散上の課題がない中性子放射化法を優先的に進めている。

ソウル核セキュリティサミットにおいて、高濃縮ウランの使用の最小化が奨励された。

## 核分裂法((n,f)法)と中性子放射化法((n,γ)法)の比較

	核分裂法((n,f)法)	中性子放射化法((n,γ)法)
製造方法	Uを中性子照射し、核分裂後のFPより <sup>99</sup> Moを抽出	<sup>98</sup> Moの中性子照射により生成した <sup>99</sup> Moを抽出
価格	1	1/10程度
核不拡散性	×	○
比放射能	大 (生産地から遠くの消費地へ輸送可能)	小 (消費者の近郊に生産地が必要)
不純物濃度	大 (多種のFP等が生成、廃棄物の問題)	小 (核分裂法の5%程度)

# 研究施設等廃棄物の埋設処分の実現に向けた 着実な取組の推進（1 / 2）

## 研究施設等廃棄物※に係る現状

※研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物

### <発生>

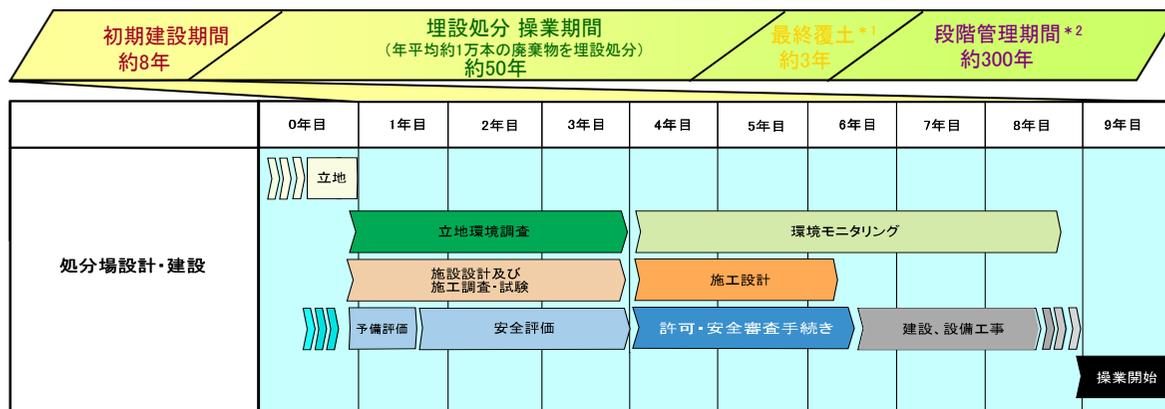
- 昭和20年代から平成23年3月末現在で、既に約58万本(200Lドラム缶換算)分が発生
- 全国の約2,400もの多様な事業所で発生  
(研究機関／大学／医療機関／民間事業者)

### <課題>

- 近い将来、各施設の保管能力を超える恐れ
- これに伴い新たな研究・開発に支障
- 老朽化施設の解体が困難

- 原子力機構法改正により、実施主体として当該廃棄物の埋設事業を推進
  - ・研究用原子炉、核燃料使用施設、RI使用施設等の廃棄物を埋設処分する計画
  - ・処分方法はトレンチ処分、ピット処分(総費用は約2,000億円、積立金制度創設)
- 埋設処分業務に係る実施計画の認可(H21.11)を受け、埋設施設の概念設計等の業務を開始
- 概念設計の結果等を踏まえた総費用精査、収支・資金計画の策定等により実施計画を変更(H24.3)

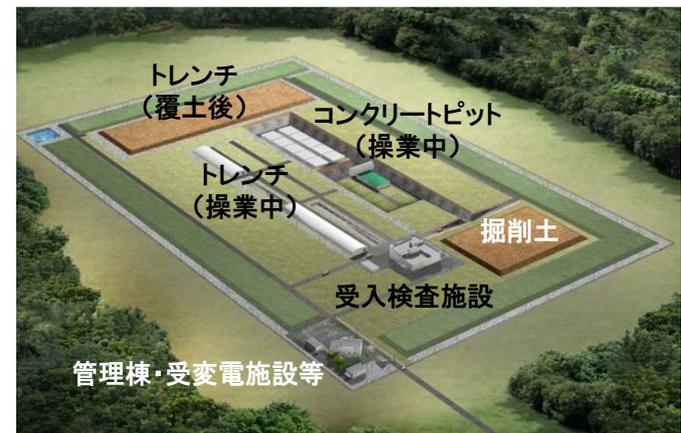
### 概略のスケジュール



\*1: 覆土は埋設段階毎に行われる。この3年は全ての埋設を完了させるための最終的な覆土を指す。

\*2: 段階管理期間は、トレンチ処分では50年間、ピット処分では300年間と設定されている。

### 埋設施設の概念図



(原子力機構が実施した埋設施設の概念設計より)

# 研究施設等廃棄物の埋設処分の実現に向けた 着実な取組の推進（2 / 2）

- ・ 埋設処分地の選定に当たっては、公平・公正な選定を基本とし、国は原子力機構と一体となって、立地活動に取り組む
- ・ 立地地域との共生については、
  - 立地地域の意向を踏まえた持続的な活性化につながるような方策
  - 原子力機構の研究開発機関としての特徴を活かした方策について検討する

公平・公正な立地選定のために、立地基準・立地手順を策定する必要

原子力機構において、外部有識者を交えた専門委員会を設置し、検討中

## <立地基準>

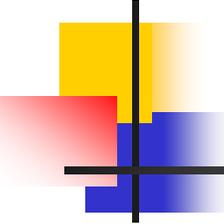
立地選定に当たり考慮すべき項目  
項目ごとの重要性の程度  
項目ごとの評価に用いる指標 等

## <立地手順>

立地の検討対象とする地点を具体化するための手法  
立地基準に基づく評価の方法や手順 等



埋設施設設置に関する技術専門委員会  
会議風景



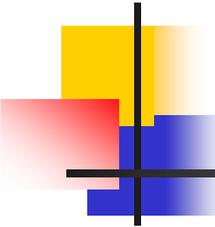
## 放射線利用における核セキュリティへの対応

RIなどの放射性物質は、核爆発装置の材料にならないことから、防護対象としての重要度は核物質に比べてかなり低いですが、一定の対策は必要。

具体的には、盗取及び盗取後の発散を念頭に置いた対策が中心となる。



規制行政機関は、RIなどの放射性物質を用いる医療、研究、工業等の分野における放射線利用活動の防護対象としての重要度を評価して、これらの活動に与える影響が必要最小限となるように配慮しつつ、等級別取組の考え方に基づいて、これらに対する防護措置を規定すべきである。



# 被ばく状況の一元管理

## 震災前

原子力施設、医療施設、工業施設等あらゆる原子力・放射線利用の領域で業務に従事している、あるいは、従事していた全放射線作業者の業務上の被ばく線量を包括的に把握できるようにすることが提言されている※。

なお、線量の最も高い医療被ばくについても、国民一人ひとりの記録を一元的に管理することの必要性が提起されているが、記録として残すことに耐えうるだけの精度の高い線量の測定・評価が行われていないこと、医療に関する個人情報取扱いに関して倫理的な側面から解決しておく課題があること等から一元管理を提言するには時期尚早であると判断されている※。

※ 「放射線作業者の被ばくの一元管理」平成22年7月1日 日本学術会議

## 震災後

福島第一原子力発電所事故により汚染された地域における除染等業務に従事する方々の被ばく管理については、厚生労働省が「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」を制定し、平成24年1月1日から施行されており、原子力施設等における放射線業務での被ばく線量と、除染等業務での被ばく線量を、合算して記録、管理することを法令で事業者に義務付けた。依然として、医療被ばく等との一元的管理には、まだ至っていない。

# 放射線利用に係る国民理解の充実

放射線利用施設を有する多くの機関では、放射線利用に関する研究開発活動等を紹介するホームページの公開やパンフレットの頒布、施設見学会の開催等を通じて、一般国民及び関係者の放射線利用に対する理解促進のための活動を行っている。

また、福島第一原発事故後、放射線利用施設を有する機関では、各地で開催される放射線の人体への影響などに関する講演会へ講師派遣等を行っている。

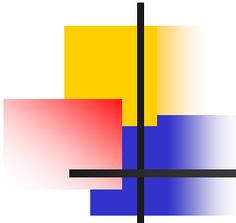
平成20年公示の中学校学習指導要領の理科において、「放射線の性質と利用」に触れるとされ、平成23年度から放射線に関する教育が行われている。



「医療におけるこどもの被ばくを考える」平成22年2月20日開催

## 課題

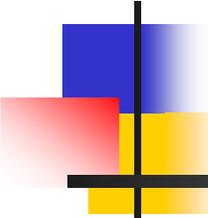
●放射線に関する効用と放射線のリスクに関する説明について、関係行政機関等は国民の理解促進をはかるために、丁寧に説明することが必要がある。



## 放射線利用に係る国際協力の方向性

放射線及び放射性同位元素は、土壌改質や放射線育種などの食糧農業分野、放射線治療などの医療分野、有害物質分解などの環境分野や工業分野などで、途上国の発展に効果的に寄与してきている。

- 我が国は、2国間、多国間協力のメカニズムを通じて、途上国におけるこうした分野における技術指導、共同開発、共同事業に積極的に取り組む必要がある。
- 我が国の様々な研究人材交流制度を通じて育成された途上国の人材の中には、帰国した後に、研究に必要な施設・設備・機器等の不足のため、十分に研究が行えない者に対する支援が必要である。
- 国際原子力機関(IAEA)をはじめとする国際機関の活動へ、人的貢献を行っていく必要がある。



# 3. 參考資料

---

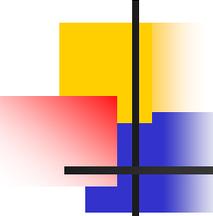
# 放射線とその特徴

放射線には、エックス線、ガンマ線、アルファ線等の様々な種類がある。放射性同位元素とは、構造が不安定なため、自然に壊れてしまい、その時に原子核から放射線を出していく元素のことである。これら放射線や放射性同位元素を、医療、工業、農業、学術等の分野において利用することを「放射線利用」という。

## 放射線の特徴

- ① 物質を透過したり、原子核で散乱したりするため、その物質や生体の内部を細部まで調べることができること
- ② 局部的に大きなエネルギーを付与して微細加工を行ったり、材料に特殊な機能を与えてこれまでの技術では得られない新しい材料を創生したりすること
- ③ 周囲への影響を抑えながら、集中的に細菌やがん細胞などを殺傷する能力を有していること
- ④ 有害な化学物質等を利用せずに加工処理ができるため、環境への負荷が小さいこと



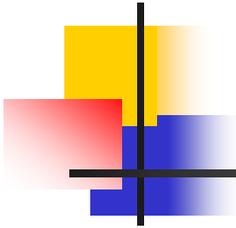


# 現原子力政策大綱における放射線利用に関する基本的考え方

## 3-2. 放射線利用

### 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きており、社会に大きな効用をもたらしている。しかしながら、放射線は取扱いを誤れば人の健康に悪影響を与えること、不適切な取扱事例が報告されることがあることから、利用現場においては、安全確保のあり方について絶えず見直し、今後とも厳格な安全管理体制の下で、効果的で効率的な利用に向けて努力がなされることを期待する。
- 放射線や放射性物質を利用する分野は着実に拡大してきているが、今後ともこれが進展していくためには、潜在的な利用者の技術情報や効用と安全性についての理解の不足を解消していくことが重要である。そこで、従来から存在する産学官の連携の取組を強化して情報提供、経験交流、共同開発を進める観点から、医学分野・工学分野・農学分野間の連携等を図るとともに、事業者、国民、研究者間の相互交流のためのインターフェースや相互学習のためのネットワーク等を整備していくべきである。
- 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。
- なお、地方公共団体の実施する地域産業の振興策等は、地域産業がこの分野の先端技術施設を利用し、技術水準を向上させ、多様な生産活動を展開していく契機を与えるのに有効である。そこで、国及び地方公共団体は、地方公共団体のイニシアティブのもとに地域の大学等とも連携して、当該施設にこの目的のための関連施設を整備し、基盤インフラの共用を図るなどして、地域産業による有効活用を促していくことが重要である。



# 放射線利用に関する政策評価の主な提言1

## (平成22年6月1日)

### (1) 放射線利用に係る施設・設備の整備と共同利活用の推進

- ・産業界等の利用に供する施設・設備を所有する関係機関は、トライアルユース制度等を活用した新たなユーザの掘り起こし等を行うこと
- ・多額の国費を投入する先端研究開発施設を整備・維持するに当たって、施設の整備・維持に携わる関係者は、国民の理解を得るための取組の一層の充実を図ること

### (2) 地域の特色を生かした産学官連携の推進

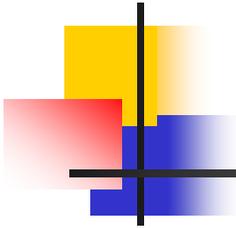
- ・地方公共団体において、産学官が緊密に連携し、それぞれの資金面や人材面でのリソースを結集し、地域の特色を生かしたプロジェクトを展開すること

### (3) 放射線源の供給のあり方について

- ・モリブデン-99の安定供給のために、関係行政機関が、産業界、医療関係者、研究開発機関等の関係機関と緊密に連携・協力しつつ、国としての対応について早急に検討を進めていくこと

### (4) 安全の確保と合理的な規制について

- ・規制当局は、海外の状況等を踏まえ、規制のさらなる合理化が必要であると認められる場合には、安全確保を大前提として、適切な対応を行うこと



# 放射線利用に関する政策評価の主な提言2

## (平成22年6月1日)

### (5) 国民の理解促進

- ・関係行政機関等は、放射線利用に関する国民の理解促進を図るため、放射線利用の効用等についても丁寧に説明すること

### (6) 人材育成・確保

- ・研究開発機関において、先端研究施設の共用を進めていく上で必要となる利用支援業務を行なう人材の育成・確保を図るため、これら人材の業務が適切に評価される仕組みの構築等を検討すること

### (7) 国際協力のあり方について

- ・協力国の産業界と研究実施主体との出会いの場の提供等を通じて、研究成果等の技術移転が効果的になされること

### (8) 基礎的・基盤的な研究開発のあり方について

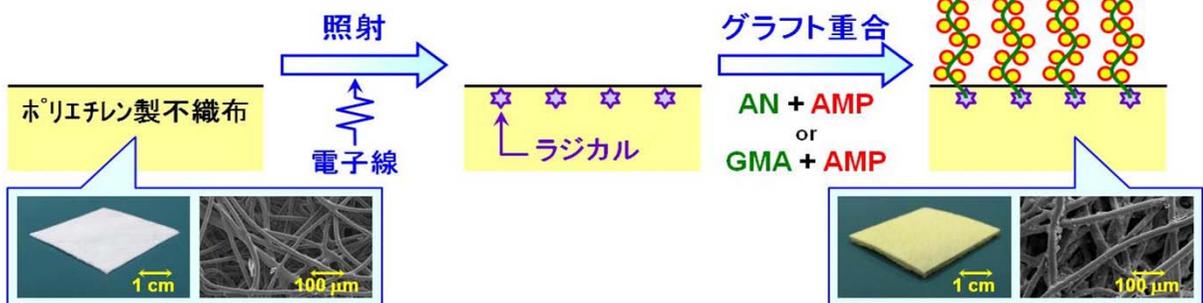
- ・今後、国として推進すべき放射線利用に係る基礎的・基盤的な研究開発等のあり方について、関係行政機関等が連携して、検討を行うこと

# 福島におけるセシウム捕集材の開発

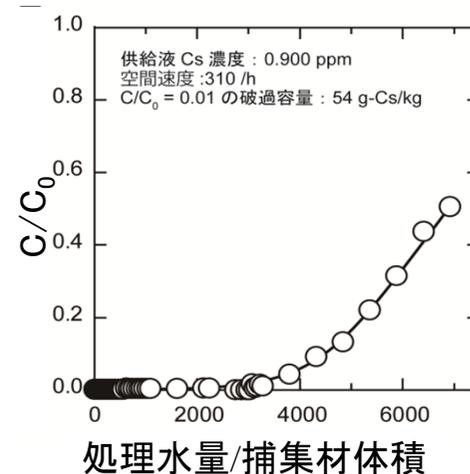
## セシウム除去のためのグラフト重合捕集材の開発

### セシウム捕集材の合成

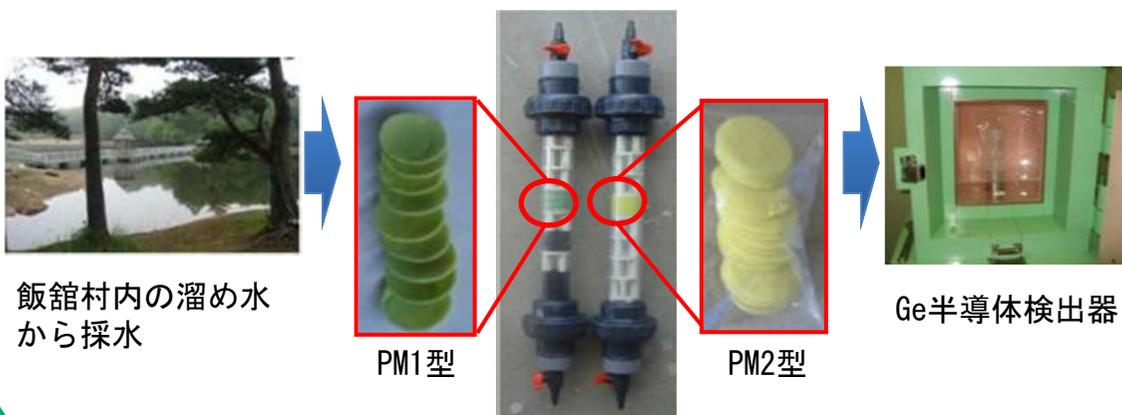
AN: アクリロニトリル, GMA: メタクリル酸グリシジル  
AMP: モリブドリン酸アンモニウム  $[PMo_{12}O_{40}]^{3-} \cdot [(NH_4)^+]_3$



### セシウム捕集実験



### 福島県飯舘村でのフィールド試験



- ・ 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

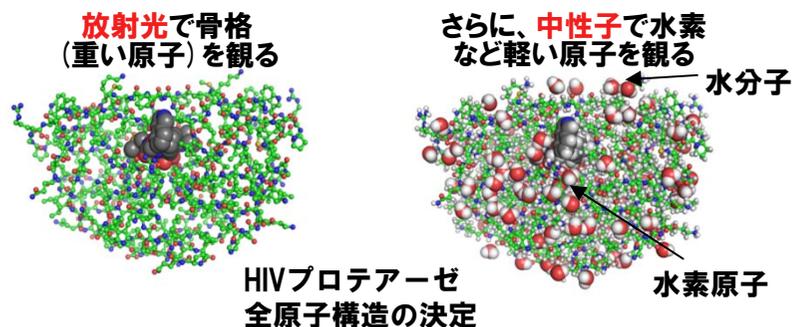
# 科学・技術・学術分野での放射線利用1

J-PARCやSPring-8など世界最先端の科学・技術・学術や産業の発展に貢献する最先端の施設・設備の整備・共用が着実に進められている。また、最先端の施設・設備を利用した世界最先端の研究開発が着実に進められており、ナノテク・材料、ライフサイエンス、環境・エネルギー、情報通信等の科学・技術の発展に貢献している。

## 放射線を利用した基礎研究の例

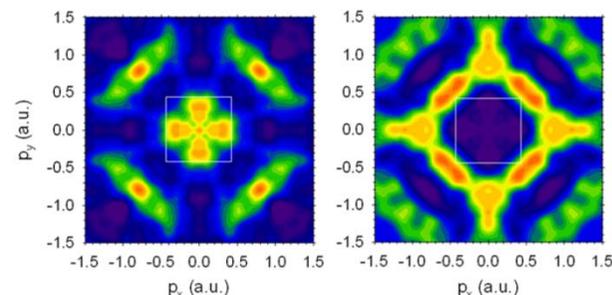
### 放射光と中性子の相補利用による 蛋白質の構造解析

放射光と中性子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



### 高温超伝導機構の解明研究

SPring-8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



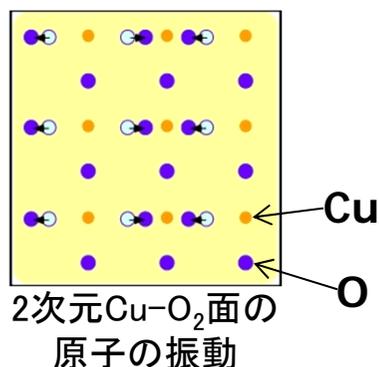
ホールの運動量分布(実験結果)。アンダードープ領域(左図)とオーバードープ領域(右図)

# 科学・技術・学術分野での放射線利用2

## 放射線を利用した基礎研究の例

中性子 放射光

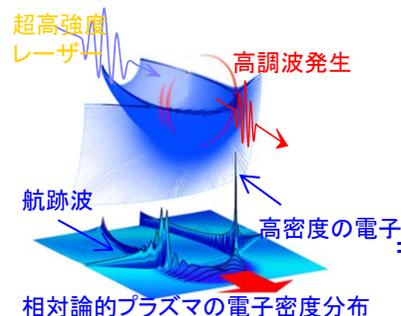
### 高温超伝導機構の解明研究



放射光と中性子を用いた観察により、高温超伝導体La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>で、結晶格子の異常な振動や歪が超伝導に参与していることを発見

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



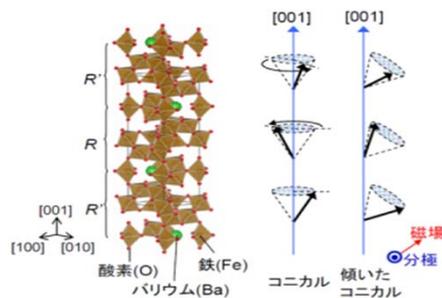
超高強度レーザーによって初めて生成できる相対論的プラズマからの高次高調波発生を実証

⇒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Ba(Fe,Sc)<sub>12</sub>O<sub>19</sub>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



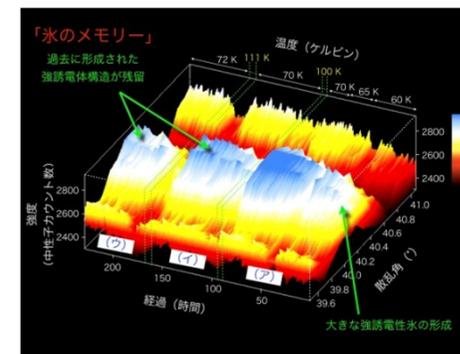
スカンジウム置換六方晶バリウムフェライトの結晶構造(左図)と磁気構造(右図)

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

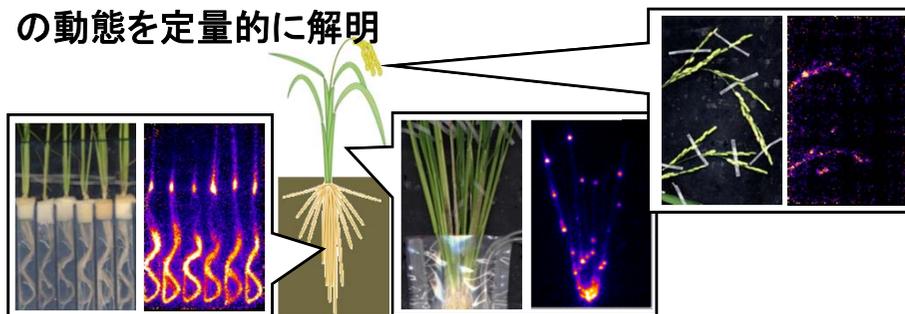


# 科学・技術・学術分野での放射線利用3

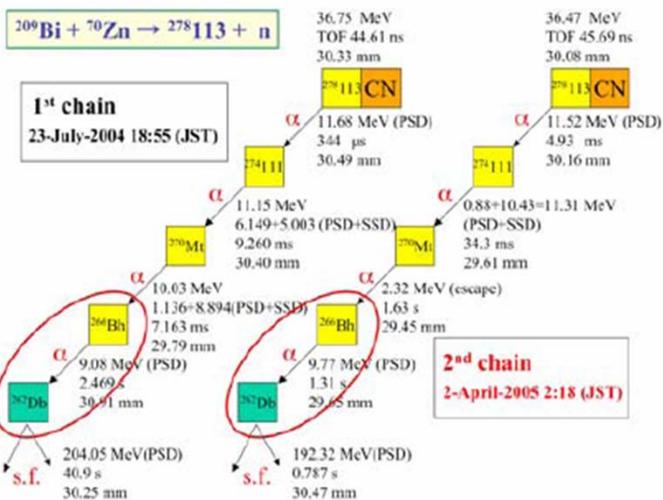
## 放射線を利用した基礎研究の例

### 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

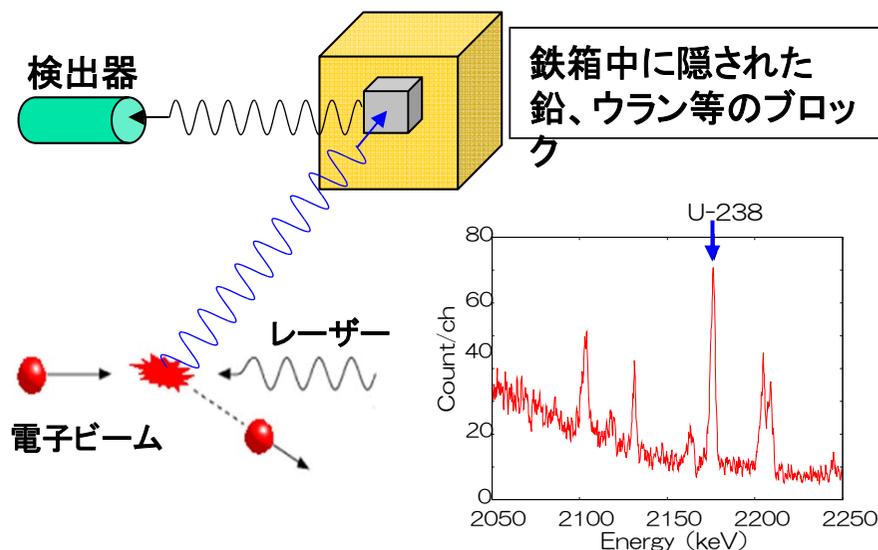
カドミウムがイネの根に吸収され、コメに集積するまでの動態を定量的に解明



### イオン 超重元素113番の生成・発見



### ガンマ光子 非破壊・非接触の診断技術の開発



シールド内のU-238の検知を実証

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

平成24年第15回原子力委員会資料第1号より抜粋

平成21年第46回原子力委員会資料第1-1号より抜粋

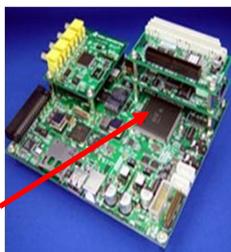
# 工業分野での放射線利用1

放射線を利用した燃料電池用の新素材の開発や新たな解析技術の開発など多くのイノベーションが創出され、これらが円滑に技術移転されることにより、国民生活に大きな便益を与えるとともに、我が国の経済成長にも貢献している。

## <工業分野の主な放射線利用の例>

### 半導体の製造

半導体



電子線を利用した微細加工によるリソグラフィや、イオンビームや中性子ビームを利用した不純物導入等、放射線によって可能となる加工技術を利用して半導体を製造。(市場規模:H15年度6.3兆円)

### ラジアルタイヤの製造

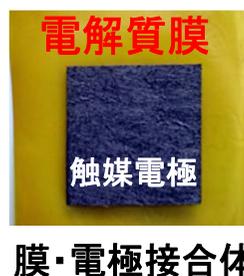
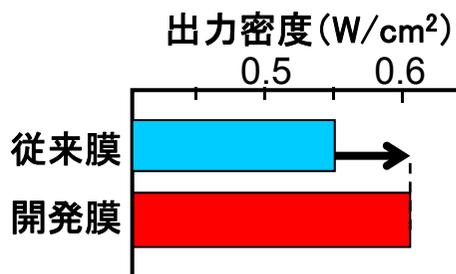


電子線照射によりゴムの粘着性の制御を容易にできることを利用して、ラジアルタイヤを製造。(市場規模:H15年度1兆円)

## 放射線を利用した研究開発の例

ガンマ 電子

### 燃料電池用高耐久性電解質膜の開発



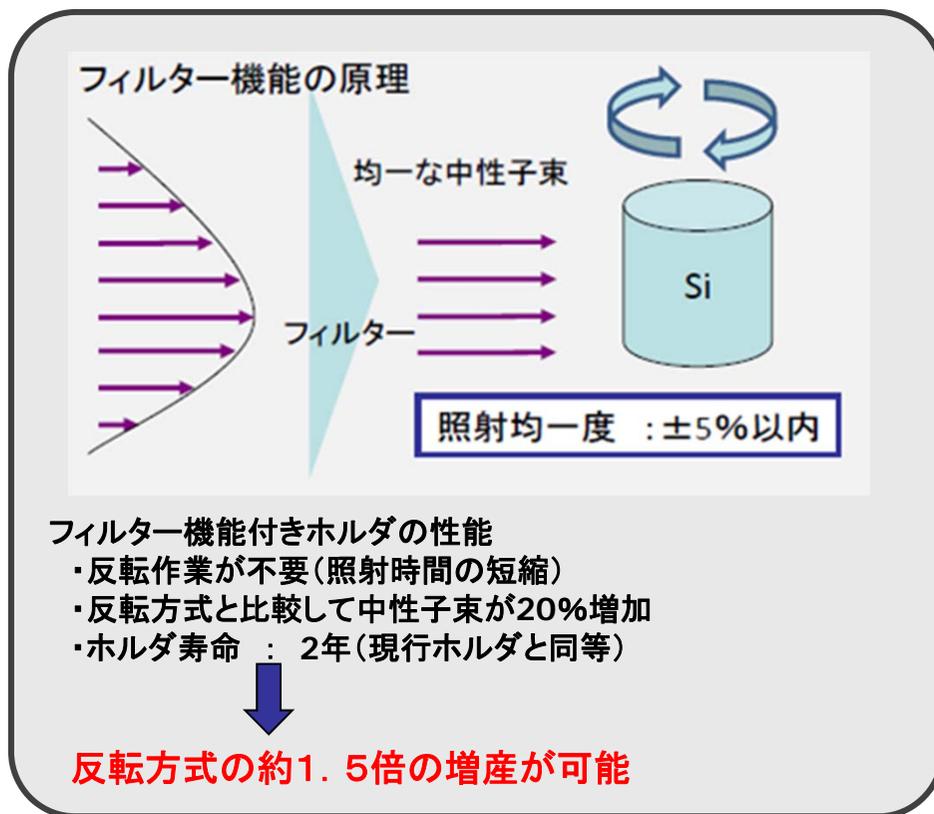
高い導電性と膜強度を両立  
薄膜化(10 $\mu$ m)により高出力を実現

企業と共同で製造プロセス開発に展開

# 工業分野での放射線利用2

## シリコン半導体へのリンのドーピング技術の開発

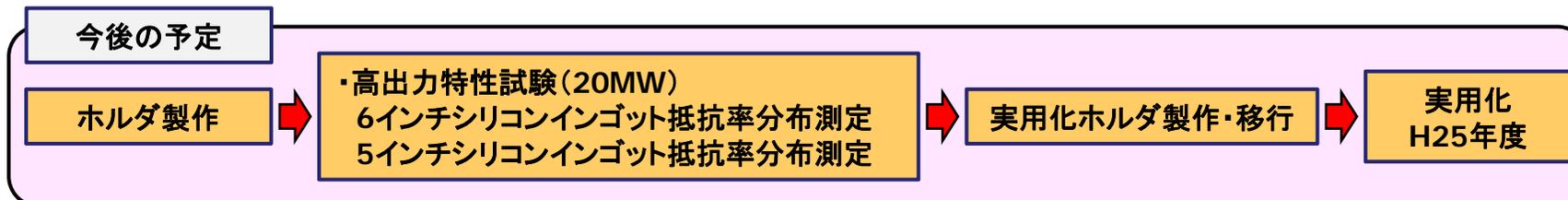
シリコン半導体素子の製造において、大口径かつドーピングされたリンの均一性が要求されている。



- ①フィルター機能付きホルダの開発
  - ・B(ホウ素0.27%添加)+Al合金
  - ・寸法は現行ホルダと同一
- ②照射位置
  - ・中性子束のピーク値(核計算により決定)



フィルター機能付きホルダ



# 工業分野での放射線利用3

## 放射線を利用した研究開発の例

中性子 放射光

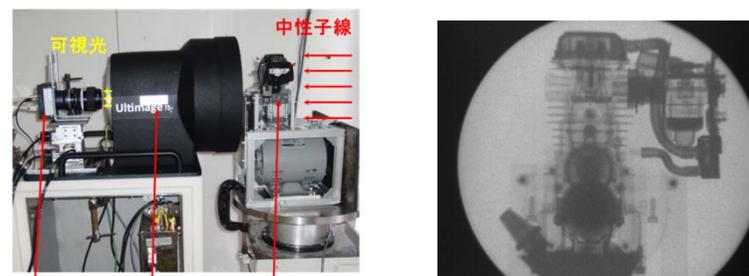
### 中性子・放射光を用いた工業材料の応力解析



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

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



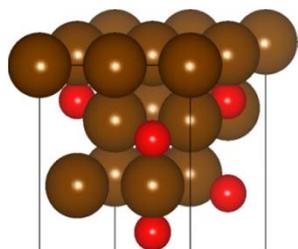
高速カメラ 中性子I.I. 小型エンジン

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

放射光

### 自動車触媒の脱貴金属化

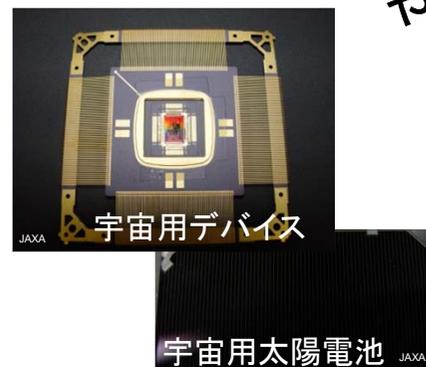


新触媒(Cu酸化物)の構造

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

イオン 電子 ガンマ

### 宇宙用半導体デバイスや太陽電池の開発

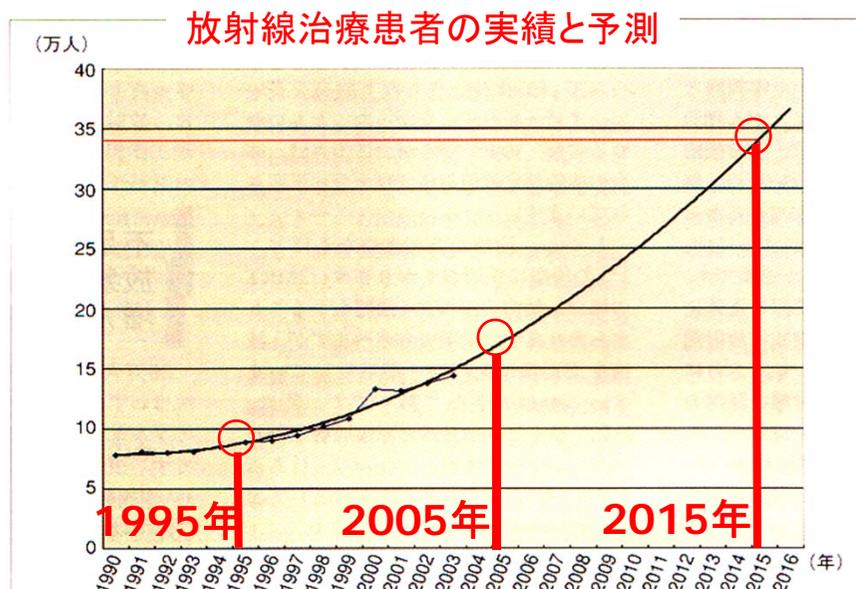


半導体デバイスや太陽電池の放射線誤動作・劣化メカニズムを解明し、耐性強化技術を開発することで、宇宙用を開発

# 医療分野での放射線利用1

重粒子線を用いたがん治療など放射線を利用した診断・治療技術の高度化・普及に向けた取り組みが行われ、高い生活の質(QOL)の維持を可能とする医療技術に広く活用され、多くの国民の福祉に貢献している。

## 放射線による治療



放射線治療患者数の実績と予測

(厚生労働省がん研究助成金計画研究班14-6の調査による)

### ●がん患者のうち放射線治療(併用も含む)の実施割合

米国※1	ドイツ※1	英国※1	日本※2
66%	60%	56%	29%

※1 第3回がん対策推進協議会資料(2007)

※2 日本放射線腫瘍学会2009年構造調査

### ●国内の放射線治療施設における装置普及状況

調査年度	リニアック	ガンマナイフ	高線量率RALS
1997	475	18	182
2003	773	40	203
2009	816	46	173

日本放射線腫瘍学会「構造調査」(1997~2009)

# 医療分野での放射線利用2

## 重粒子線がん治療の進展

### ○重粒子線がん治療の特徴

- ・腫瘍のみを狙った治療
- ・生活の質(QOL)の高い治療
- ・短期照射が可能(肺がん、肝がんなどでは1~2回等)
- ・一般の放射線では治療困難ながんの治療が可能(頭頸部腫瘍、悪性黒色腫、骨肉腫等)

### ○これまでの経過

- ・平成6年より、放射線医学総合研究所 HIMACにて、炭素線を用いた臨床試験を開始
- ・平成15年10月、厚生労働省より高度先進医療の承認
- ・平成23年2月までに 6,512名に適用  
この間、適応疾患の拡大、治療期間の短縮化を推進
- ・平成22年3月に、コンパクトでコストパフォーマンスに優れた重粒子線がん治療装置の普及機が群馬大に建設され、治療を開始
- ・平成25年春の開設を目指して、九州国際重粒子線がん治療センター(サガハイマツ)に、同様の普及機が導入予定

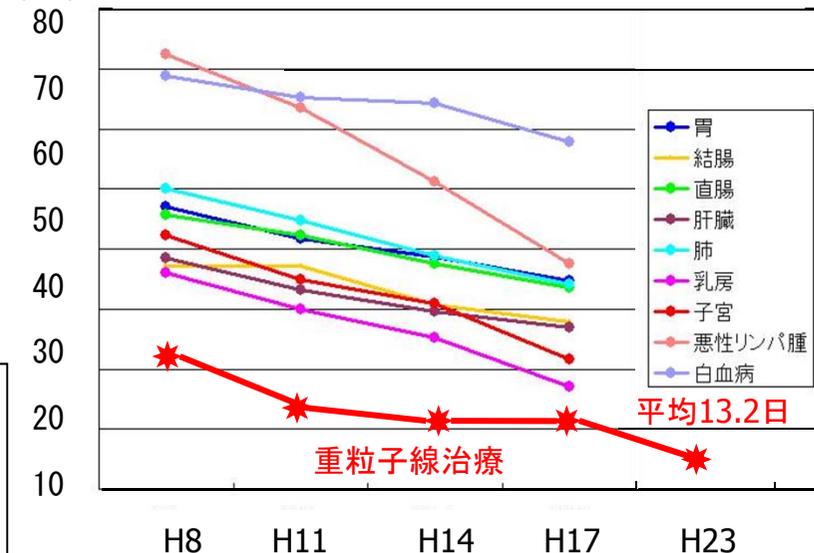


### ○重粒子線がん治療の将来展望

- ・臨床試験の継続  
超難治性がんへの適用の拡大のための高度な治療法の開発等
- ・海外展開を見据えて更なる小型化、簡便化の推進
- ・重粒子線治療の保険収載も視野に



### がん治療における平均治療日数の推移

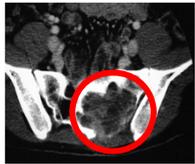


# 医療分野での放射線利用3

## 重粒子線がん治療の研究

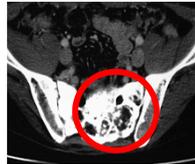
- これまで治療できなかったがんを治療
  - ・手術や他の治療法では困難な症例、・5年生存率は手術と同等。
- 高いQOL（痛くない、苦しくない、短期治療、早期復帰）

難治がんの例



骨肉腫の治療

16回照射



■骨肉腫や直腸がん術後再発に対しては、専ら重粒子線治療が行われている。本件は手術不能とされた骨肉腫。

短期治療の例



第Ⅰ期肺癌

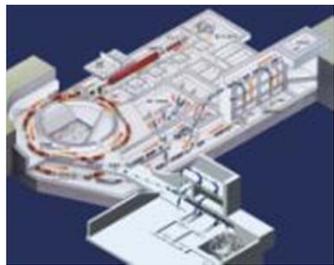
1回照射



■重粒子線治療では短期治療が可能。初期肺がんは1回で治療完了。

18年間で約6,500人以上の治療実績

### 粒子線治療装置の小型化



重粒子線がん治療装置

規模1/3  
コスト1/3  
を実現

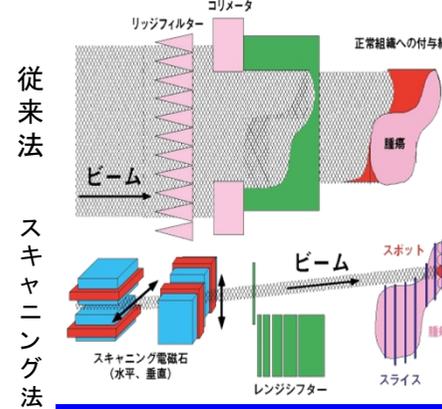
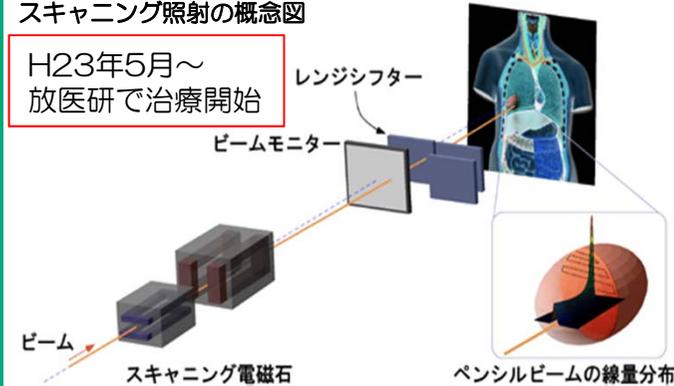


小型普及型装置が群馬大学で稼動  
(2010.3より治療開始)

### 次世代照射システムの開発

#### スキャンニング照射の概念図

H23年5月～  
放医研で治療開始



スキャンニング照射法は、ビームをスキャンさせて照射することから、複雑な形状の腫瘍の形になぞって高精度の線量分布を形成することができ、より正常組織への影響の少ない治療が可能。

超難治がんの克服 一日治療の実現

誰でも、いつでも、どこでも  
重粒子線がん治療

# 医療分野での放射線利用4

分子イメージング研究

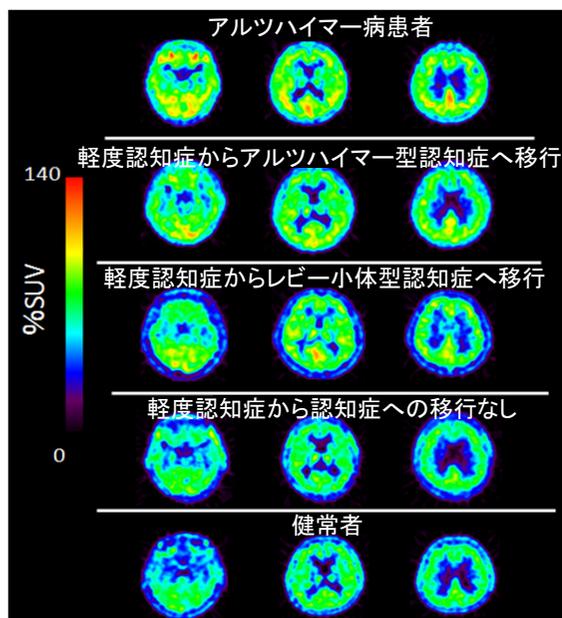
体の中の分子の動きを画像で捉える

— 生物学、工学、薬学、医学を含む総合研究領域 —

## 認知症の発症予防法の開発とPETによる評価

### ■ PETによる認知症発症機序の解明

まだ病気とは言えない程度の物忘れがある軽度認知障害者を対象に、炎症で増加するトランスロケータータンパク (TSPO) をPETを用いて画像化し、さらに5年間の追跡検査により認知症発症の有無を調査。これにより認知症の発症に関わる炎症の役割を明らかにし、発症前の画期的治療法の開発およびその評価を客観的に捉えることができるかを検討。



アルツハイマー病患者、軽度認知障害者において、TSPOの広範な増加がみられた（赤から黄色の領域）。

アルツハイマー病患者と同程度にTSPOが増加していた軽度認知障害者は5年間の経過観察中に認知症に移行した（上から二段目、三段目）。  
TSPOの増加が見られなかった軽度認知障害患者は5年後も認知症への移行を示さなかった（上から四段目）。

認知症の発症前診断に期待

脳のPET画像

## 世界初となる「OpenPET®」の小型試作機と次世代3次元放射線検出器を開発

OpenPET®

重粒子線治療の照射野をリアルタイム可視化を目指す

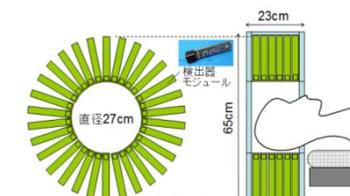
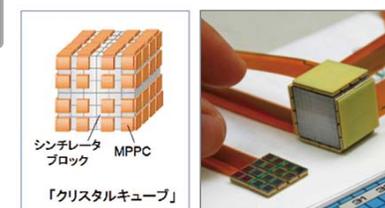
PETで見ながらがん治療の実現に期待



### クリスタルキューブ

PET用検出器として究極とも言える1mmの解像度を得ることに成功

脳の微細な構造や神経細胞の分布などを高解像度で画像化できるようになると期待



# 農業分野での放射線利用 1

放射線育種により、耐病性の果樹など高付加価値の多くの品種が生み出されており、生産の効率化や食の安全の確保に貢献している。また、不妊虫放飼法により、農作物に重大な被害を与えるウリミバエ等の害虫の防除が着実に行われている。

## 食品照射



(未照射) (照射済み)  
放射線照射によるジャガイモ芽止め

食品や農畜産物にガンマ線や電子線などを照射することによって、発芽防止、熟度遅延、殺菌、殺虫などの効果が得られ、食品の保存期間が延長されると期待されているが、国内においては現時点ではジャガイモの芽止め以外では認められていない。

## 害虫防除



不妊虫放飼法による害虫防除

放射線により不妊化されたウリミバエ等を放飼することにより、それら害虫を防除し、根絶や再侵入の防止を図っている。

## 放射線育種



耐病性ナシの作出



新種のキクの作出



NO<sub>2</sub>高吸収化オオイトビ

放射線照射による突然変異を利用して新品種を開発  
→ 249品種を開発 (2011年現在)

放射線育種場で、耐病性のナシ、リンゴの果実類、腎臓病患者のためのタンパク質の含有量の低いコメなど、多数の品種改良を行い、国民生活に大きな便益を与えている。さらに、イオンビームを用いた育種技術による新種のキクなどの花卉やNO<sub>2</sub>高吸収化オオイトビ、低Cdコシヒカリ等の新品種開発が行われている。

# 農業分野での放射線利用2

## ウリミバエ等の根絶事業・侵入防止事業について

### ○ 取組の方針

沖縄、奄美群島等には、さつまいもに重大な被害を与えるアリモドキゾウムシ等が発生していることから、これら害虫の未発生地域へのまん延を防止する必要がある。このため、これらの地域においては、アリモドキゾウムシ等の寄主となる植物の移動が禁止又は制限されている。

発生地域における農業生産振興を図るとともに未発生地域へのまん延を防止し、我が国の農作物の安定的な生産に資するため、アリモドキゾウムシ等について、放射線を用いた不妊虫放飼法等の技術を用いて根絶に向けた防除を実施している。

また、既に根絶が達成されたウリミバエについては、根絶後も台風といった気象要因等により飛来することがある。このため、発生地域からの再侵入の防止措置として不妊虫放飼法による対策を継続して実施している。

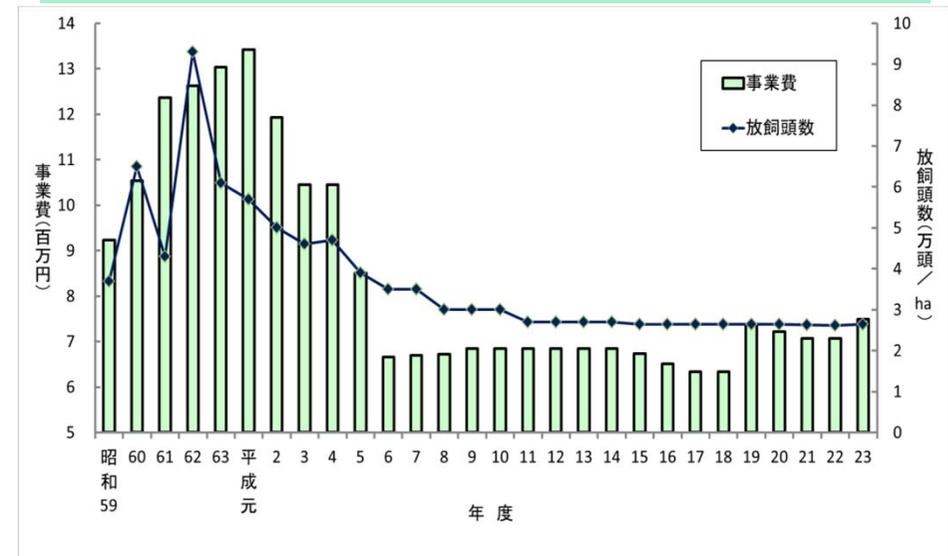
さつまいもの被害(アリモドキゾウムシ)



### ○ 平成24年度予算額

- 沖縄県におけるウリミバエ侵入防止事業に必要な経費  
沖縄振興特別推進交付金 803.4億円の内数
- 沖縄県におけるイモゾウムシ等根絶防除に必要な経費  
沖縄振興特別推進交付金 803.4億円の内数
- 奄美群島におけるイモゾウムシ等根絶防除に必要な経費  
消費・安全対策交付金 2,606百万円の内数

沖縄県におけるウリミバエ根絶事業費・侵入防止事業費と不妊虫放飼頭数の推移



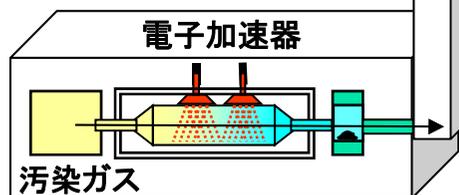
# 環境・資源分野での放射線利用1

電子線照射による排ガス浄化技術、有用金属捕集材の開発等、今後の資源・環境問題の解決に貢献し得る技術開発等が行われている。

## 放射線を利用した研究開発の例

### 電子 環境汚染物質の浄化プロセスの開発

電子ビームによりガス中汚染物質を分解・除去



➡ 排ガス浄化技術の開発

### 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

➡ 有用資源回収技術の開発

平成24年第15回原子力委員会資料第1号より抜粋

## 環境・資源分野での放射線利用2

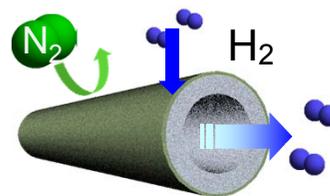
### 放射線を利用した研究開発の例

#### 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 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

# 考古・分析分野での放射線利用

## 放射線を利用した成果の例

放射光

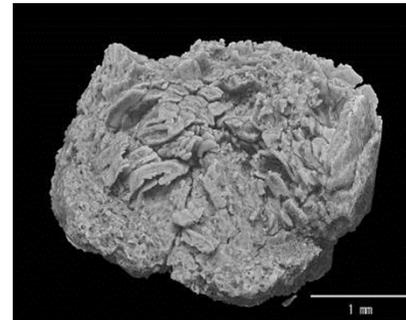
三角縁神獸鏡の原材料産地を探る  
— 放射光を用いた青銅鏡の蛍光X線分析 —



卑弥呼の鏡とも言われる三角縁神獸鏡などの古代青銅鏡の微量な成分分析を実施。その制作時期、地域によって成分に違いがあることが判明。原材料を考える際の有効な手がかりを得た。

放射光

8900万年前の花化石の構造を明らかに



花の起源につながる化石をマイクロCT法により分析することで、ダーウィンが「忌まわしき謎」と呼んだ「被子植物の起源」に関する研究の興味深い解決の糸口として期待。

新潟大学、スウェーデン自然史博物館、JASRI、シカゴ大