

放射線利用に関する 文部科学省の取り組み

平成21年11月24日

文部科学省

目次

1. 総論
2. 放射線利用に関する取り組みと現状
 - － 大強度陽子加速器(J-PARC)
 - － 大型放射光施設(SPring-8)
 - － X線自由電子レーザー(XFEL)
 - － RIビームファクトリーほか
 - － 重粒子線がん治療装置(HIMAC)
3. 施設共用の取り組み
 - － 特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律
 - － 先端研究施設共用促進事業
4. 産学官連携、地域連携の取り組み
5. 放射線利用に関する安全管理体制の現状
6. 放射線利用における人材育成
7. 放射線利用に関する国際協力

1. 総論

原子力政策大綱における放射線利用の現状認識(抜粋)

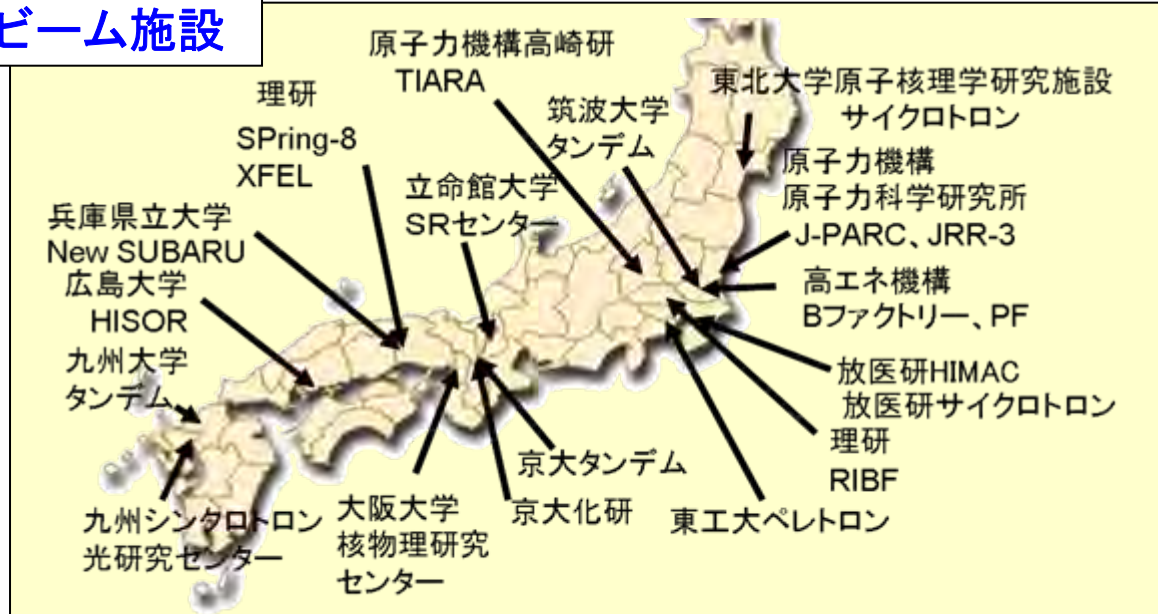
- 放射線による測定、加工、診療技術等は、学術研究、工業、農業、医療活動等において利用される多種多様な技術の一つ。
- 幅広い分野の科学技術の進展に大きく寄与
 - － 放射線診断、放射線がん治療、放射線利用による害虫防除やジャガイモの発芽防止、放射線育種による耐病性ナシや低タンパク質イネ等の作出、半導体やラジアルタイヤなどの製造等を通じて国民の健康や生活の水準向上、産業振興等に貢献。
- 「量子ビームテクノロジー」と呼ぶべき新たな技術領域の形成
 - － 世界各国において最先端の科学技術・学術分野から、各種産業に至る幅広い分野を支える技術として、様々な科学技術水準の飛躍的向上に寄与することが期待されている。

2. 放射線利用に関する取り組みと現状

量子ビーム応用研究

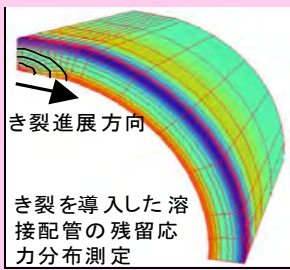
－ 先端的な科学技術の発展と産業利用の促進 －

我が国の主な量子ビーム施設



量子ビームの優れた「みる」、「つくる」、「なおす」力を有効活用して、先端研究から産業応用に広く貢献

中性子

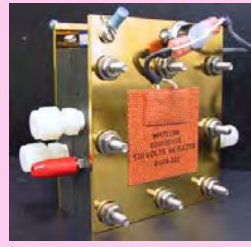


実用材料の
内部応力測定

荷電粒子・RI

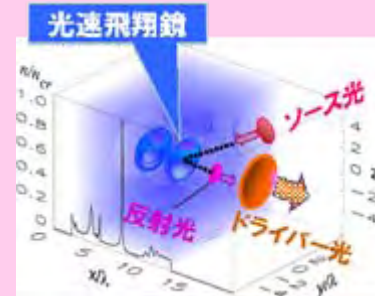


NO_x高吸収植物
ヒメイトビ

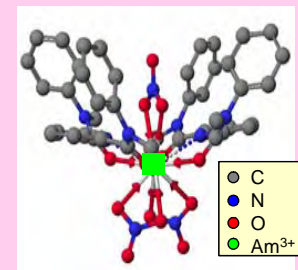


高性能燃料
電池膜の開発

光量子・放射光



プラズマ中にほぼ光速で進む電子の鏡の形成を実証



使用済み燃料再処理に用いる新規抽出剤分子の開発

量子ビームテクノロジーの推進による様々な研究開発成果の発出

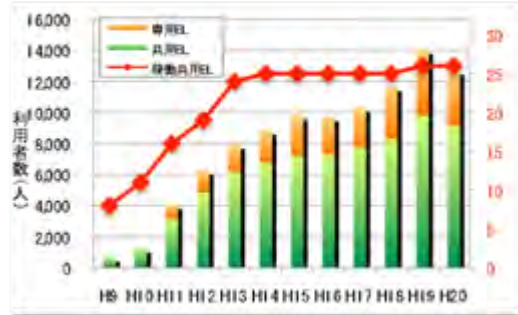
大型放射光施設(SPring-8)

大型放射光施設(SPring-8)の概要

- SPring-8とは、世界最高性能の放射光を発生、利用することができる大型放射光施設。放射光を用いることで、物質の種類や構造、様々な環境下での状態等の解析が可能であり、以下の様々な分野における革新的な研究開発に貢献。
- 平成3年建設開始、平成9年10月に供用を開始(建設費用約1,100億円)。現在、ビームラインの最大設置可能数62本のうち全体の約85%にあたる52本のビームラインが稼働し、本格的な研究活動を展開。他に3本のビームラインが建設中。

施設の利用状況

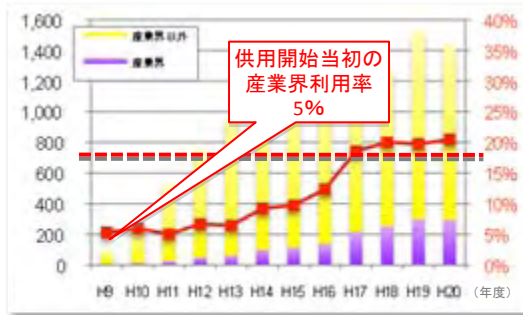
- のべ利用者数と共用BL本数の推移
平成20年6月、のべ利用者数が10万人。



産業利用の推移

共用ビームラインにおける産業利用は着実に増加中(平成20年度は、利用研究課題数ベースで全課題数の約20%)

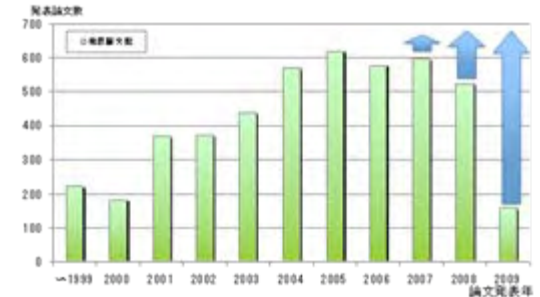
(課題数)



成果(論文発表数の推移)

ネイチャー、サイエンス誌への掲載論文72本(平成21年7月現在)をはじめ、多くの成果が得られている。

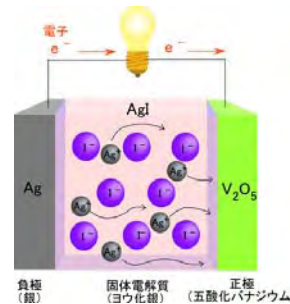
注:発表論文数は引き続き集計中で、今後増加が見込まれる。(発表論文の登録は、別刷等で利用を確認した上でカウントするため、ほぼ全ての論文が登録されるまでに1~3年程度のタイムラグあり。)



最近の主な成果(学術に関するもの)

バッテリー電解液の性能を 世界で初めて固体かつ室温で実現

室温でも非常に高いイオン伝導性を持ち、大気下で安定かつ耐熱性の高い固体電解質の開発に世界で初めて成功。この新しい電解質の発見により、これまでにない安定で高性能な充電電池の実現を加速することが期待。

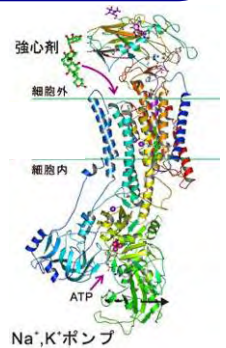


「Nature Materials(2009.5.11号)」に掲載

九州大学、JST、理研、JASRI

ナトリウム・カリウムポンプの立体構造の解明

心不全の治療薬ジギタリスの標的分子でもあり、神経の興奮などに必須なナトリウム・カリウムポンプの立体構造を世界で初めて解明することに成功。新たな治療薬の標的としても注目されているこの物質の原子構造の決定によって薬剤の開発が大きく前進することが期待。



「Nature(2008.5.21号)」に掲載

東京大学、JASRI

大強度陽子加速器施設(J-PARC)

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の概要

- J-PARCは、世界最高レベルのビーム強度を有する陽子加速器施設により多彩な二次粒子(中性子・ミュオン・ニュートリノ等)を用いた新しい研究手段を提供。物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学など、基礎科学から産業応用までの幅広い研究開発を推進。
- 日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構が両者のポテンシャルを活かし、共同して加速器計画を推進。
- 平成21年度にすべての施設が稼働開始。7月には、中性子線施設を「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律(共用法)」の対象施設に位置づけ。

物質・生命科学研究

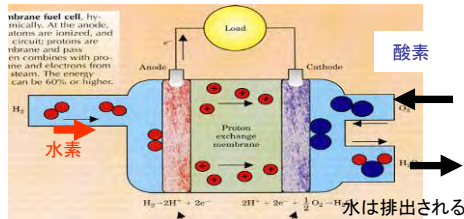
高感度での水素原子の観測と機能の研究

物質・材料科学の進展

→機能構造の解明→水素燃料電池開発

生命科学の進展

→新薬の開発→難病克服へ



燃料電池開発の鍵となる高分子電極膜の構造を分析し最適な材料を開発。



難病に効く創薬、農産物育成改良技術等へ貢献する分子レベルの細胞、タンパク質等の構造機能を解明。

産業界を含む幅広い中性子利用研究の促進→新産業の創出

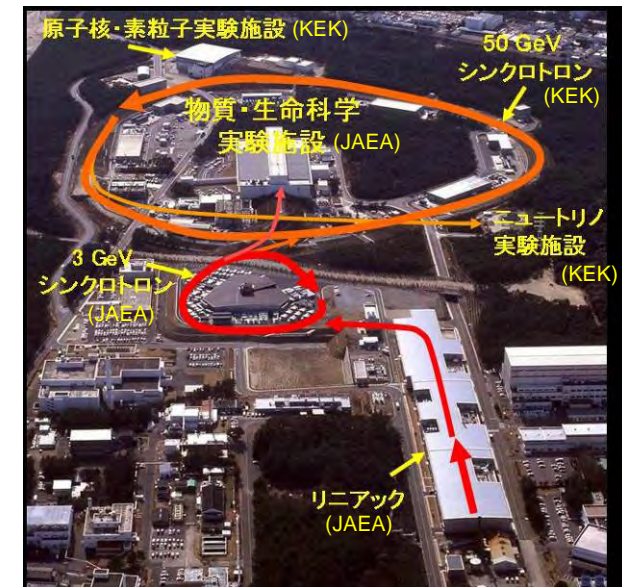
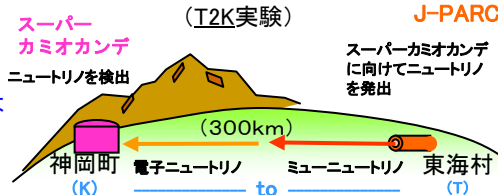
物質世界の基本法則を探求



原子核・素粒子物理学

ニュートリノの謎の解明

- ・ 3世代あるニュートリノの質量と混合の全貌の解明 など



J-PARC年次計画

茨城県東海村

	平成13年度 2001年	平成14年度 2002年	平成15年度 2003年	平成16年度 2004年	平成17年度 2005年	平成18年度 2006年	平成19年度 2007年	平成20年度 2008年	平成21年度 2009年	平成22年度 2010年	平成23年度 2011年
リニアック		装置製作・建家建設				通電試験	ビーム試験		エネルギー増強		
3GeVシンクロトロン			装置製作・建家建設				通電試験	ビーム試験	3GeVシンクロトロンへのビーム供給		
物質・生命科学実験施設				装置製作・建家建設			通電試験	ビーム試験			
50GeVシンクロトロン				装置製作・建家建設			通電試験	ビーム試験	50GeVシンクロトロン及び物質・生命科学実験施設へのビーム供給		
原子核・素粒子実験施設 (ハドロン実験施設)				装置製作・建家建設			通電試験	ビーム試験			
ニュートリノ実験施設				装置製作・建家建設			通電試験	ビーム試験			

基礎科学の進展

X線自由電子レーザー

現在の10億倍を上回る高輝度のX線レーザーを発振し、原子レベルの超微細構造、化学反応の超高速動態・変化を瞬時に計測・分析することを可能とする世界最高性能の研究施設を平成23年度からの供用開始を目指して整備する。また、ライフサイエンス分野やナノテクノロジー・材料分野など、様々な科学技術分野に新たな研究領域を開拓し、欧米に先んじる成果の創出を目指す。(開発期間：平成18年度～平成22年度)

X線自由電子レーザーの特徴 **これまでの科学技術の限界を打ち破る究極の光**

- 1 より細かく観察できる光 (空間分解能 0.1ナノメートル^{*1}以下) [SPring-8と同等以上]
→ 月から地上の蟻を見るくらい細かく観察できる。
- 2 より速い動きを観察できる光 (時間分解能 100フェムト秒^{*2}以下) [SPring-8の100倍以上]
→ (1秒で30万キロ進む)光が、わずか0.01ミリしか進むことができないほどの短い時間で観察できる。
- 3 より強い(明るい)光 [SPring-8の10億倍以上]
→ SPring-8(太陽の100億倍の明るさ)の10億倍の明るさで観察できる。

これらの特長を生かした多くの研究に使われる基盤となる

*1 1ナノメートルは10億分の1メートル
*2 1フェムト秒は1,000兆分の1秒

建設状況



年次計画

		2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)
全体計画		建設期					調整・試運転		
施設整備等	本体整備	線型加速器収納部建屋				共用準備		共用	
		電子ビーム輸送系トンネル							
		入射器、加速器、電子ビーム輸送系							
	共用施設整備	電子ビーム制御系							
		ビームライン収納部建屋							
		ビームライン							
利用開発等	共同実験棟・共同研究棟								
	施設開発研究								
利用開発等		利用研究開発							

RIビームファクトリー計画

目的: 新たな原子核モデルの構築、元素起源の解明といった根源的な研究を可能にするとともに、RI利用技術を拡大し、がん治療などの医療や新材料開発といった分野での新産業の創出に貢献

概要: 現施設では軽い元素に限られているRIビームを、水素からウランまでの全元素のRI(放射性同位元素)を世界最大強度でビームとして発生させ、いまだ発見されていない原子核を多種類生成し、それらの特性を独創的な実験設備群(整備中)を用いてそれらを解析・利用する。理化学研究所・仁科加速器研究センターにおいて、平成9年度から施設整備を開始。

既存加速器施設

(整備:昭和50~平成元年度)



AVFサイクロトロン



理研リングサイクロトロン(RRC)

理研重イオン線型加速器(RILAC)



RIビーム生成分離装置(RIPS)

固定周波数型リングサイクロトロン(fRC)



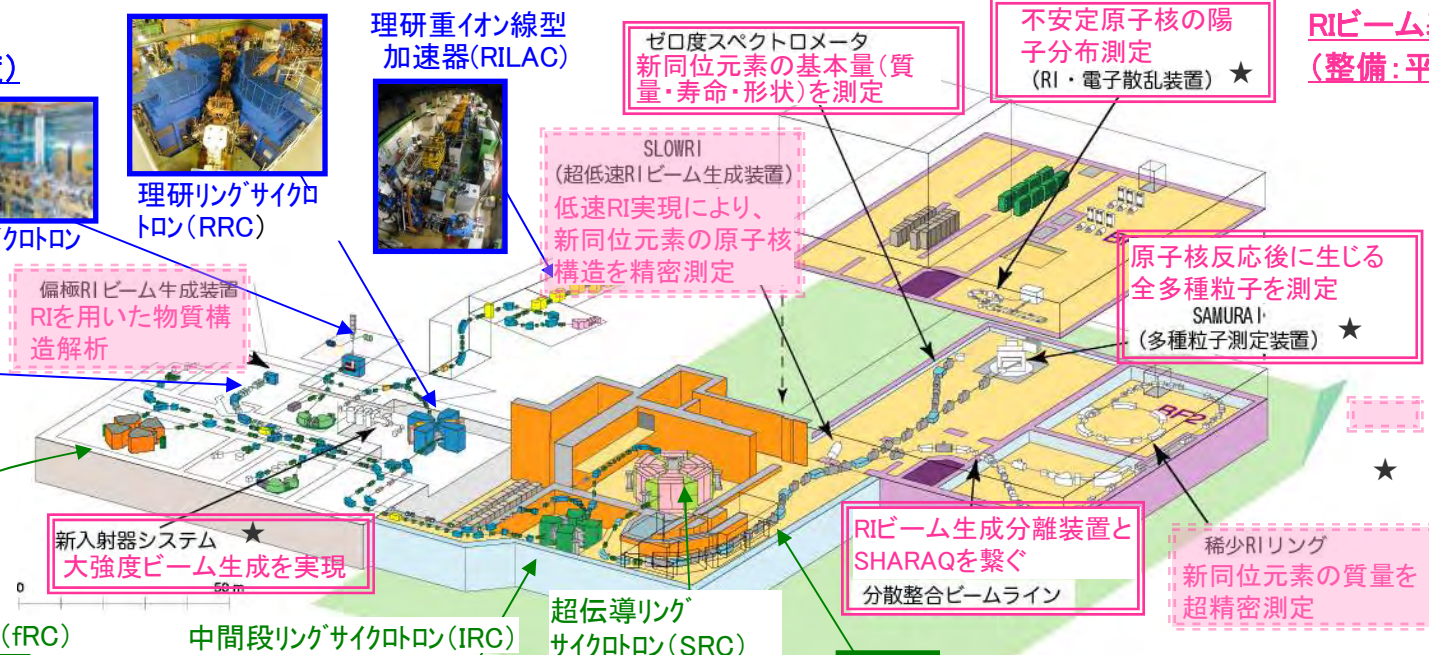
中間段リングサイクロトロン(IRC)



超伝導リングサイクロトロン(SRC)



超伝導RIビーム生成分離装置(BigRIPS)



RIビーム基幹実験設備

(整備:平成19年度~)

□ : 今後整備予定

★ : 現在整備中

RIビーム発生系施設

(整備:平成9~18年度)

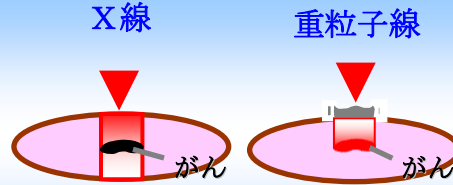
放射性同位元素の研究開発

●モリブデン99の供給問題

重粒子線がん治療研究

重粒子線がん治療とは

重粒子線(炭素イオン線)による放射線がん治療。
従前のX線、γ線による放射線治療に比べ、
**がんの殺傷効果が高く、かつ、
正常細胞へのダメージを少なくできる。**
主に、他の治療法が適応できない患者を治療している。



X線の場合はがんの手前の正常組織に対する被ばくが大きいが、重粒子線の場合はがんに線量が集中し、正常細胞への影響が小さい。

概要

重粒子線がん治療の普及や治療成績の更なる向上に向けた臨床研究、次世代治療システム開発、標準化に関する研究、生態影響研究等を推進している。

重粒子線がん治療装置(HIMAC)の概要

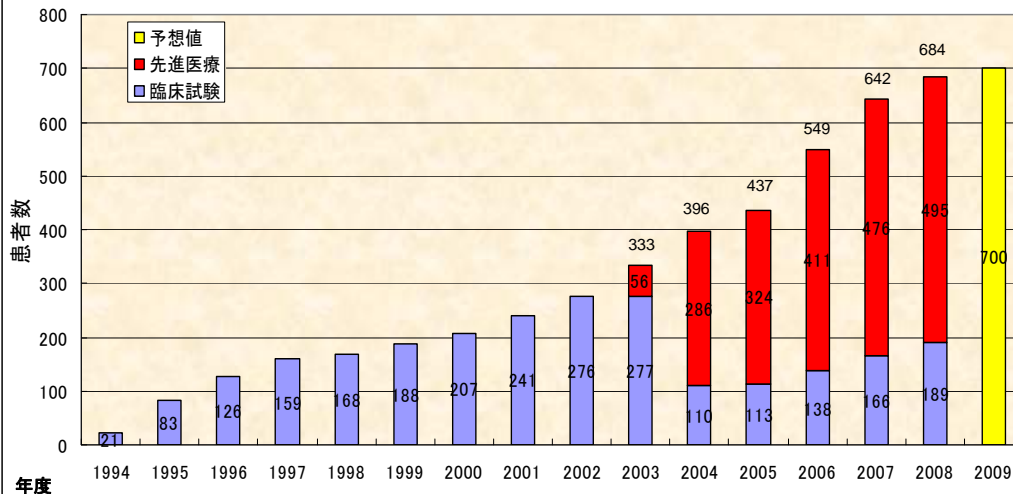


- ・製作期間：昭和61年～平成5年
- ・総工費：326億円
- ・治療室3室、実験室4室
- ・平成15年10月に厚労省より高度先進医療の承認を受ける(平成18年10月より先進医療)

治療の様子



治療実績と今後の予想

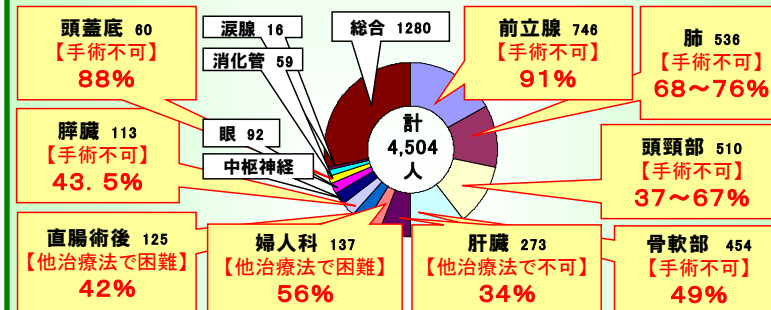


4ヶ月先まで患者の予約を受け付けており、基本的に常時約100名の患者が予約済の状態。

重粒子線がん治療の特徴

- これまで治療できなかったがんが治療できる
 - ・手術や他の治療法では不可能な症例も対象としている。
 - ・5年生存率は手術と同等、あるいはそれ以上である。
- 術後も生活の質を維持できる
 - ・他の放射線治療と比べても高いQOL(生活の質)が得られる。

部位毎の治療数と5年生存率



他の治療との5年生存率の比較

	手術症例	他の治療法	重粒子線
肺(I期)	64.4%	37.8%	76%【手術不可】
肝臓	49.9%	30.9%	34%【他治療法で不可】
子宮腺がん	-	19.0%	56%【他治療法で困難】
直腸(術後再発)	30-40%	0-10%	42%【他治療法で困難】

骨肉腫の治療例



外科手術では寝たきりや、良くても車椅子生活になることが想定されたような重篤なものでも、重粒子線治療により数年後に化骨が形成され元に戻り、通常の生活が送れるようになった。

3. 施設共用の現状

主な共用量子ビーム研究施設一覧



電子線

電子線照射施設



γ線

Co60ガンマ線照射施設



イオン

イオン照射研究施設 TIARA



中性子

大強度陽子加速器 (J-PARC)

理化学研究所 (和光)



イオン

RIビームファクトリー

原子力機構
(東海地区)



中性子

研究炉 JRR-3

理化学研究所 (播磨)



放射光

SPRING-8

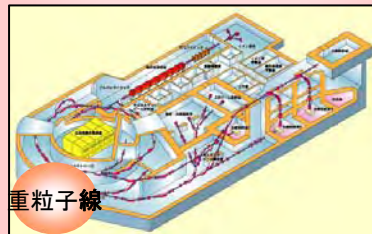
原子力機構 (木津地区)



光量子

極短パルス大強度レーザー

放医研



重粒子線

重粒子線がん治療装置 (HIMAC)



中性子

研究炉 JRR-4

「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」の枠組み

国（文部科学省） 共用の促進に関する基本的な方針の策定

↓ 実施計画の認可

↓ 実施計画・業務規程の認可

（開発業務）

【理化学研究所】

◇特定放射光施設の共用施設・特定高速電子計算機施設の建設・維持管理 等

【原子力機構】

◇特定中性子線施設の共用施設の建設・維持管理 等

連携

（共用業務）

公平かつ効率的な共用を行うため、開発主体とは別の機関が実施

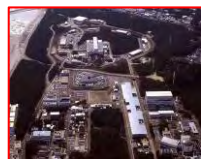
【登録施設利用促進機関】

◇利用者の選定
◇利用者に対する支援 等

外部専門家

特定先端大型研究施設

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
(次世代スパコン)



特定放射光施設
(SPring-8等)



広範な分野での活用

利用者（大学・独法・産業界）

↑ 利用者の
ニーズ

↑ 利用の
応募

公正な
課題選定

情報提供、
研究相談、
技術指導等

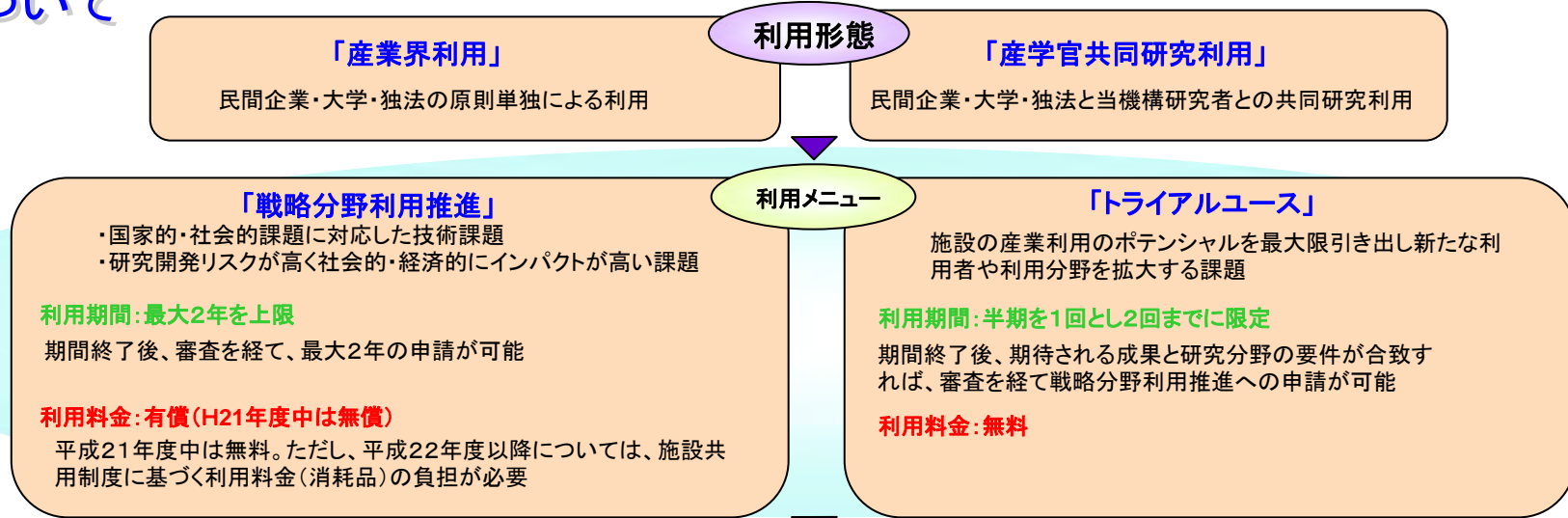
先端研究施設共用促進事業「明日を創り、暮らしを守る量子ビーム利用支援事業」

事業概要

「先端研究施設共用促進事業」は、大学、独立行政法人等の研究機関が有する先端的な研究施設・機器について、広範な分野や多様な研究等に活用されることにより共用を促進し、基礎研究からイノベーション創出に至るまでの科学技術活動全般の高度化を図ることを目的としている。

本事業では、日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所が有するイオン照射研究施設(TIARA)等の放射線照射施設及び実験装置等を利用できる研究環境を提供し、それにかかる技術支援を行うことにより、研究開発リスクが高く社会的・経済的インパクトが高い技術課題の解決に資する。

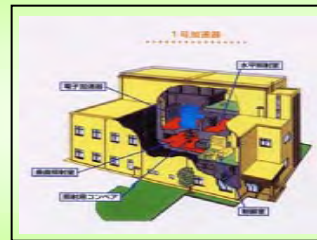
利用について



利用対象施設について



Co-60照射施設



電子加速器



TIARA



オフライン装置(一例)

利用者は、施設の利用料金の負担が少なく、技術指導研究員等の充実した技術支援を受けることができる。

4. 産学官連携、地域連携の取り組み

産学官の連携強化 ー地域との連携ー

地域との連携

JAEA高崎研

- 群馬大学21世紀COEプログラム
- 群馬県地域結集型研究開発プログラム



群馬大学小型重粒子線照射施設

SPRING-8

ひょうご産学集積群(クラスター)プロジェクト

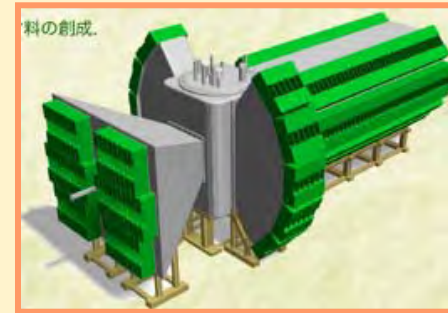


SPRING-8兵庫県ビームライン

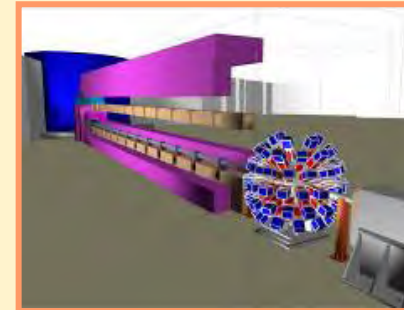
JAEA東海研

- 茨城県サイエンスフロンティア21構想

茨城県材料構造解析装置

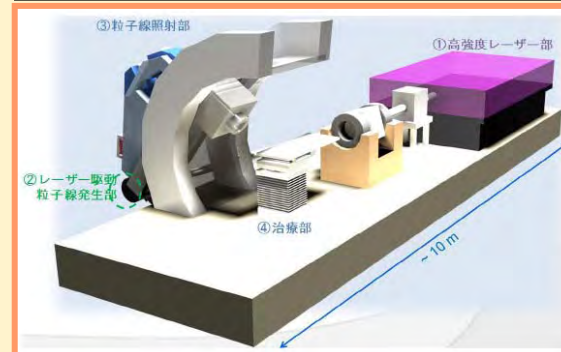


茨城県生命物質構造解析装置



JAEA関西研

- けいはんな「光」医療バレー構想



レーザー駆動ガン治療装置

産学官の連携強化 ―成果の普及(実用化事例)―

DNA修復試薬

-2005-



TA-Blunt Ligation Kit
(和光純薬から販売)

- ・ 傷を受けたDNAを修復する新しいタンパク質を発見
- ・ JSTの技術移転支援制度を活用して、バイオ研究試薬として製品化
- ・ 平成17年11月から発売

ハイドロゲル創傷被覆材

-2004-



- ・ ポリビニルアルコールの水溶液に電子線を照射し、保水性の非常に高いハイドロゲルを作製
- ・ ニチバン（株）に技術移転・製品化
- ・ シェア100%
- ・ 経済規模：約5千万円

有用植物品種創出

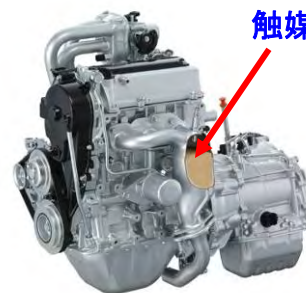
-2002-



- ・ カーネーション等にイオンビームを照射し、「色とりどり、形いろいろ」の花弁を創出
- ・ キリンビールなどで新品种として製品化
- ・ 平成17年度からは、欧州でも生産を開始
- ・ 経済規模（カーネーション&キク）約10億円

インテリジェント触媒

-2002-



- ・ 自動車の排気ガスを浄化する性能をいつまでも維持する機能（インテリジェンス機能）を放射光を利用して解明。新規の触媒も開発
- ・ ダイハツ工業（株）との共同研究の成果
- ・ 平成19年5月で、300万台以上の乗用車に搭載

産学官の連携強化 ー光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発ー

<本施策の概要>

【対象】 幹事機関を中心に、複数の大学、公的研究機関等が参画したネットワーク研究拠点を、公募により採択

【ネットワーク拠点の機能】

- ① 欧米の手法等に追従しない**独自の光源・ビーム制御法等の研究開発**(共同研究の実施等)
- ② **先端光源等を活用したユーザー研究者の開拓・養成**
- ③ 連携大学院等の仕組みにより、**次世代の光・量子科学技術を担う若手人材等の育成**

【実施期間】 5～10年程度(中間評価を厳格に実施)

<実施規模>

【平成21年度予算額】 1,721百万円

1) 量子ビーム技術(5年間)

- ① 次世代ビーム技術開発 1課題採択(1課題当たり約6億/年)
- ② 高度化ビーム技術開発 4課題採択(1課題当たり約1億/年)

2) 光科学技術(10年間) 2拠点採択(1拠点当たり約4億/年)

課題名 多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発

幹事機関 日本原子力研究開発機構(神谷 富裕)

参画機関 大阪大学、JAXA、放医研

課題名 融合光新創生ネットワーク

幹事機関 日本原子力研究開発機構(兒玉 了祐)

参画機関 大阪大学、京都大学、自然科学研究機構分子科学研究所

※ 高品位高輝度光源の開発

課題名 リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用

幹事機関 自然科学研究機構分子科学研究所(加藤 政博)

参画機関 京都大学、名古屋大学

課題名 軟X線の高速偏光制御による機能性材料の探求と創製

幹事機関 高エネルギー加速器研究機構(雨宮 健太)

参画機関 東京大学、産総研、慶應義塾大学

課題名 中性子ビーム利用高度化技術の開発

幹事機関 日本原子力研究開発機構(加倉井 和久)

参画機関 北海道大学、東北大学、KEK、東京大学、京都大学

課題名 超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発

幹事機関 高エネルギー加速器研究機構(浦川 順治)

参画機関 東京大学、早稲田大学、広島大学、JAEA、東芝電子管デバイス(株)、日立ハイテクノロジーズ(株)

課題名 先端光量子科学アライアンス

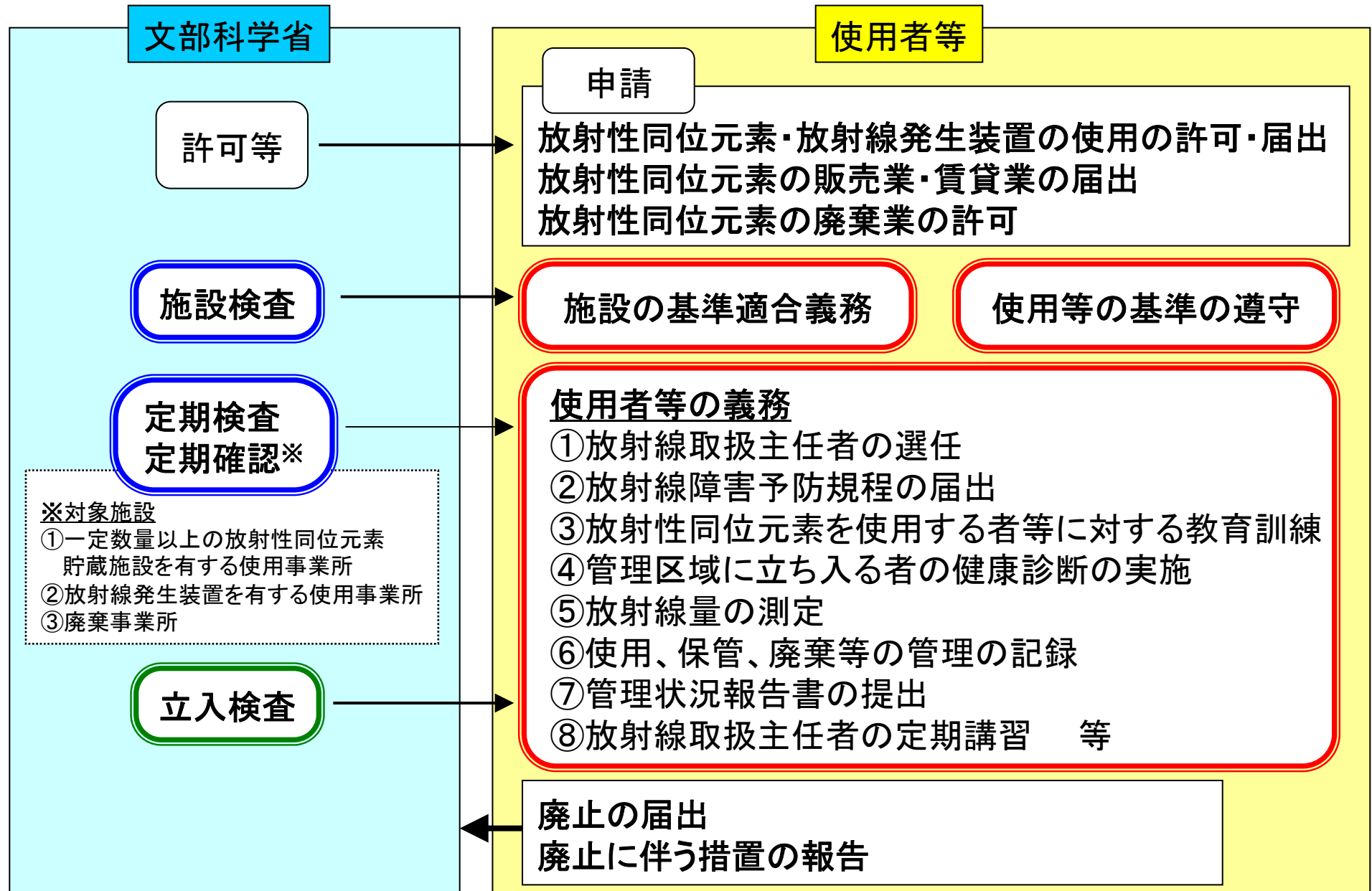
幹事機関 東京大学(五神 真)

参画機関 理化学研究所、電気通信大学、慶應義塾大学、東京工業大学

※ 超高周波数安定光源、アト秒科学の確立

5. 放射線障害防止法による安全管理体制の概要

以下に示す体制のもとで、放射線利用の安全管理を厳格に実施



6. 放射線利用における人材育成

➤ 技術士制度における原子力・放射線部門

技術士制度の原子力・放射線部門は、近年のトラブル、不祥事の発生と社会環境の変化に伴い、技術者一人一人の意識や技術を向上させるための仕組みの必要性が認識され、その際、技術者倫理や継続的な能力開発が求められる技術士資格を活用することが有効であるという判断の下、平成16年度に新設され、試験及び登録が行われている。

※平成20年度の技術士試験において、第一次試験は申込者223名、合格者156名であり、第二次試験は申込者193名、合格者61名となっている。平成20年末現在、原子力・放射線部門の技術士登録者数は231名であり、企業、研究機関等の様々な分野において計画、研究、設計、分析、試験、評価又はこれらに関する指導の業務で活躍している。

➤ その他の取組

- 公的機関における人材養成の取組・・・原子力機構、(独)放射線医学総合研究所では研究者、技術者、医療関係者等幅広い職種を対象に種々の研修を実施
- (社)日本アイソトープ協会、(財)原子力安全技術センター等では、放射線取扱主任者資格指定講習等の資格取得に関する講習会を実施している。これらの研修では、研究開発機関はもとより、地方公共団体、大学関係者や民間企業等からの幅広い参加者を受け入れている。

7. 放射線利用に関する国際協力

概要

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の研究開発協力を行う。

多国間枠組みにおける国際協力

○アジア原子力協力フォーラム(FNCA)における協力

アジア諸国の強い「パートナーシップ」によって、原子力技術の平和的で安全な利用を進め、社会・経済的发展を促進することを目指す国際協力の枠組み。8分野11プロジェクトの共同研究の一環として、放射線の農業利用・医療利用、加速器等研究炉を利用した放射線利用技術に関する協力を実施。

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
 - ・オークリッジ研究所
 - ・サンディア国立研究所
 - ・アルゴンヌ国立研究所
- 米国 スタンフォード大学
- 英国 ラザフォード・アップルトン研究所
- ドイツ 重イオン研究所
- フランス ラウエランジュバン研究所
- 欧州放射光施設(ESRF)
- 中国科学院
 - ・高能物理研究所
 - ・上海応用物理研究所
 - ・合肥物質科学研究院
- 韓国原子力研究所
- マレーシア原子力研究所
- ベトナム ダラット原子力研究所

<放射線医学総合研究所>

13カ国24大学・研究所およびIAEAと、計24件の協定または覚書を締結。(2009(平成21)年8月現在)