

社会に役立つ加速器

未知の世界をのぞく最前線レポート

一般社団法人 日本電機工業会 加速器特別委員会事務局

〒102-0082 東京都千代田区一番町 17-4 TEL. 03-3556-5886 FAX. 03-3556-5890



一般社団法人 日本電機工業会

THE JAPAN ELECTRICAL MANUFACTURERS' ASSOCIATION
<http://www.jema-net.or.jp>

この6つの写真の共通点が分かりますか？

答えは、加速器です。

加速器は、物理学、化学、生物学、工学、農学、医学、薬学、考古学など幅広い分野の研究に役立てられています。

物質や生命の謎を解き明かすとともに、新材料の開発、農作物の品種改良、医療への利用など、

すでに身近な分野で社会に役立っているのです。

P6 農業分野

植物の種子や花弁にガンマ線やイオンビーム(放射線の一種)をあてると、突然変異によって新しい品種の花をつくりだすことができます。さらに、海水でも育つ稲の開発なども行われています。他にも、強い風にも倒れにくい稲や、病気に強い梨など、すぐれた農作物の品種改良に利用されています。



P8 産業分野

放射線を物質にあてると雑菌を殺すことができます。この働きを使って、プラスチック製のシャーレやピペットなどの医療用品の滅菌をしています。また、放射線を物質にあてると分子と分子がより強く結びつくという性質を利用して、丈夫で強いプラスチックや、軽くて熱を通しにくい自動車の素材などをつくっています。



P10 医療分野

X線の発見以来、医療分野ではレントゲンが診断に利用されています。現在はCTスキャンやPET検査といった高度な画像診断装置も開発されています。また、加速器によってつくりだされるX線や重粒子線、陽子線を用いた高度な放射線がん治療も行われており、加速器が病気の診断・治療に役立っています。



P12 セキュリティ分野

空港の手荷物検査装置にも加速器技術が応用されています。飛行機内へ危険物が持ち込まないように、最新のX線検査装置では材質を識別してカラー表示する機能もあります。また、X線はレントゲンのように機械の内部を見られます。ジェット機のエンジンは分解できないので、傷などがないかX線で調べています。



P16 文化財分野

考古学の遺物の年代を測定するのにも加速器が利用されています。土器についた「すす」や「おこげ」には炭素14という物質が含まれています。加速器を使うことにより、従来の方法に比べて微量の「すす」や「おこげ」で、また短時間で、年代を測定できるようになりました。加速器で、歴史を書きかえる新事実が発見されるかも知れません。



P14 分析分野

小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った微粒子の調査・研究に加速器も使われました。微粒子に放射光(強力な電磁波)をあて、小惑星「イトカワ」の起源と成り立ちの過程を探ることができました。他にも、加速器を使うと、人間の体を構成するタンパク質の働きや、分子や原子の構造をといった、今までは見ることのできなかったミクロの世界を調べることができます。



本冊子は、加速器が社会に広く活用されている事例を紹介し、加速器についてより多くの方にご理解いただくために作成したものです。加速器が社会に役立っている6分野の中から、代表的な施設取材してレポートをまとめました。

取材協力先

理化学研究所(農業分野)、ラジエ工業(産業分野)、放射線医学総合研究所(医療分野)、日本航空(セキュリティ分野)、大型放射光施設SPring-8(分析分野)、国立歴史民俗博物館・名古屋大学年代測定総合センター(文化財分野)

加速器とは

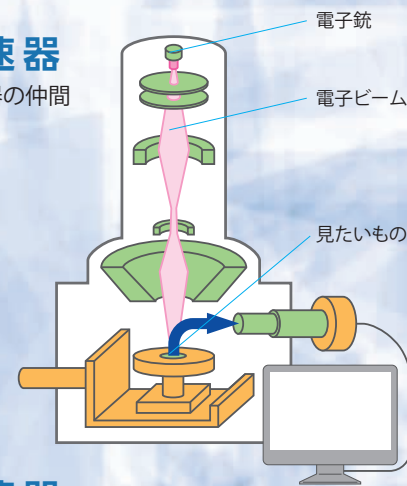
加速器とは電子や陽子のような素粒子や、ヘリウムからウランにいたるさまざまな原子核を、電気の力でより速く加速し、さまざまな量子ビームを発生させることができる装置です。

もともと、加速器は素粒子や原子核などの目に見えないミクロの世界を観察するために開発された装置です。しかし、最近では私たちの暮らしに身近な分野でも利用され、社会に役立っているのです。

加速器の大きさは、その用途によっていろいろです。例えば、電子顕微鏡も加速器ですが、日本で一番大きな加速器はサッカー場50個分もの広さがあるのです。また、形についても直線状のものや円形状のものがあります。

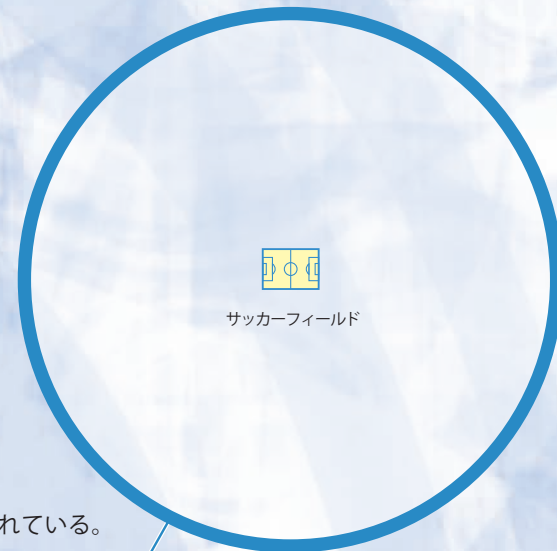
小さな加速器

電子顕微鏡も加速器の仲間



大きな加速器

高エネルギー加速器研究機構Bファクトリーの加速器は地下につくられている。円の直径はおよそ1,000メートル。



提供: KEK

加速器がつくりだす量子ビーム

電子

電子は、電気回路の中を流れたり、原子核の周りを回って原子を構成したりしている粒子です。電子はマイナスの電荷を持っています。素粒子の中で電荷を持つ一番軽い粒子であり、質量は陽子や中性子の約1840分の1です。

放射光

光に近い速度まで加速した電子の方向を磁石などで曲げると、明るく、波の波長がそろったX線が発生します。これを放射光とよびます。

イオン

電気を帯びた原子や分子をイオンとよびます。物質に対して局所的に大きなエネルギーを与えることができます。陽子もイオンの一種です。

光量子

光は波と粒子のふたつの性質をもっていて、光量子ともよべれます。強い光量子は放射線と同じ作用があります。陽子、電子やガンマ線の発生にも利用できます。



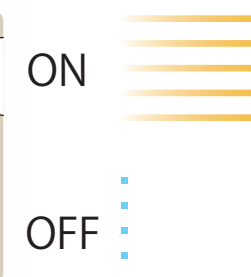
加速器は安全に運転管理をしています

自然界には放射性物質があり、私たちの身の回りにも存在します。例えば、ラドン温泉やラジウム温泉は、放射性物質の「ラドン」や「ラジウム」を含む温泉のことです。その他にも土や海水、植物も微量の放射線を発しています。今から約100年前、ドイツのレントゲン博士は、こうした自然界にあるX線を発見しました。

自然界にある放射性物質は、常に放射線を発しています。一方、加

速器でつくりだされる量子ビームは人工的につくりだされた放射線で、電気を使って発生させているので、装置の電源を切つてしまえば放射線の発生は止まるので、安全に管理することができます。また、人工放射線は、これまでの技術開発の結果、細くしぼってピンポイントで物質にあてたり、非常に短い間だけあてるなど高度なコントロールが可能になりました。

□ 加速器は電源オフで放射線が止まる



Spring-8の中央制御室 (RIKEN/JASRI 提供)

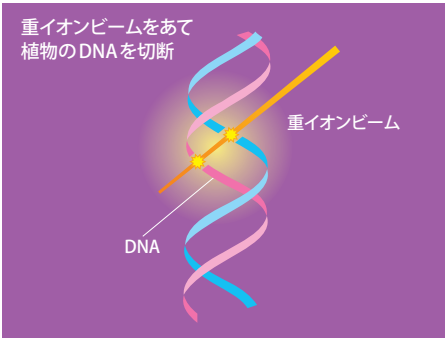
農業分野 世界で一つだけの花をつくる



加速器を使って、新しい品種をつくる「育種」を世界に広めたのが、理化学研究所です。加速器によっておこされた突然変異で、今までにない色や形の花々から、世界の食糧問題を解決するかもしれない新種の稲まで、世界に一つしかない新しい植物が生み出されています。

なぜ加速器によって突然変異をおこせるのか

新しい品種の植物をつくるには、品種をかけ合わせていく「交配」、自然の中から変わった品種を探す「探索」、「遺伝子組換え」などの他に、「突然変異」をおこさせるという方法があります。埼玉県和光市の理化学研究所(以下、理研)、仁科加速器研究センターでは、重イオンビーム(原子核を光の速さの半分ぐらいまで加速したもの)を植物の組織にあてて突然変異をおこし、新しい品種をつくりだしています。



重イオンビームを植物に照射すると、あたった部分のDNAが傷つきます。それを修復しようとして植物の細胞が動いた結果、突然変異がおこります。どこにあてるかによって、花の色だけが変化したり、花びらの形だけが変化したり、葉っぱにまだら模様が出たりなど、いろいろな変化がおこるのです。

塩害に負けない稲の開発が被災地に希望をもたらす

重イオンビームを照射すると色や形などの外見だけでなく、植物の性質にも影響を与えることができます。理研の生物照射チーム阿部知子先生は、加速器を使って塩害に強い稲の開発を行っています。「通常の稲を塩分の高い水田で育てると、背が低く色も悪くなりますが、塩害に強い耐性をもつ稲は背も高く元気に成長します。収穫したお米を食べても塩辛くはないんですよ」と、阿部先生。

アジアやアフリカでの食糧問題解決につながればと、阿部先生はすでに10年以上この研究を続けていました。2011年、東北地方太平洋沖地震で東北地方の水田が津波被害に見舞われました。阿部先生は宮城県と協力して、石巻市の海水につかってしまった水田で耐塩性稲を育てる実験を行っています。2年後には重イオンビームを照射した宮城県オリジナル品種「ひとめぼれ」や「まなむすめ」から、おいしくて塩に強い新品種をつくりだし、被災地の水田で育てられるのではないかとのことです。



シャーレに入れた植物に自動で重イオンビームを照射していく。



海洋農場の想像図。実現すれば食糧問題解決に貢献できる。

「発見の喜び」が研究のモチベーションに

通常の交配だと5〜10年かかる育種も、加速器を使うと、ピンポイントで遺伝子に突然変異をおこせるので、新しい品種を2、3年で開発することができます。とは言っても、100個に照射して、やっと一つ発見があるという感じなのだそうです。さらに、思い通りの変異がおきたかどうかは、植物を育ててみないと結果が分かりません。そんな加速器による育種のやりがいをお聞きしました。「これは世界で初めての現象かもしれない、みんながまだ知らないことを私が見つけたんだ!」と思う瞬間があります。この発見の喜びが、一番のモチベーションになっています」植物は生きているからこそ、いろいろな可能性が考えられるそうです。今は、まずいろいろな細胞にビームをあててみて、その結果を育種に活かしています。しかし、今後、加速器の技術がさらに進歩し、果物が受粉した直後に、種になる胚の細胞だけを選んでビームを照射するようなことができれば、種なしの果物が短期間でできるのか? など、これからも新たな発見が期待されます。

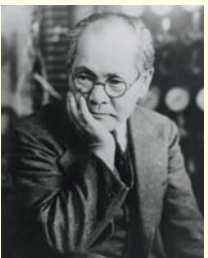


品種改良した稲を育てている阿部先生の研究室の温室で。



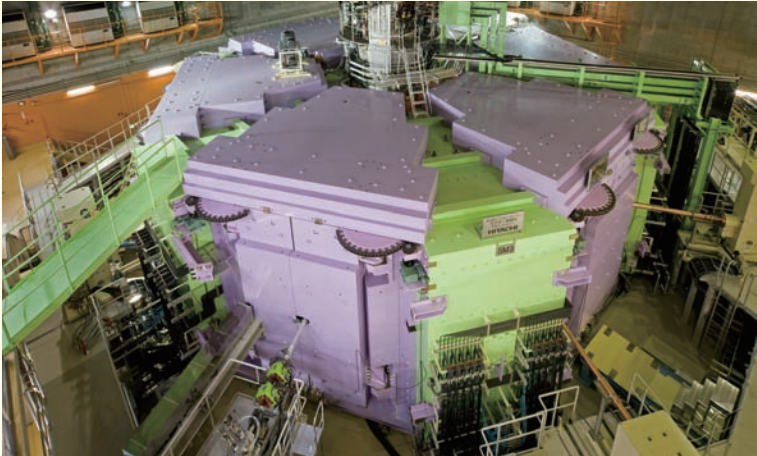
DATA 理化学研究所 日本で唯一の自然科学の総合研究所。埼玉県和光市の加速器施設は、物理、生物、医療、工業など広範囲に利用されている。

FRONTLINE 1 加速器をさまざまな学問に役立てよ



“日本の加速器の父” 仁科 芳雄 博士

日本で最初の加速器は、1937年に理研の仁科芳雄博士によって建造されました。この加速器は日本初、しかも世界でも史上2番目につくられたものでした。仁科博士は、当初から加速器を原子核の研究だけでなく、医学や生物学などにも役立てるようにすべきだと考えていたそうです。その考えは、現在の理研にも引き継がれています。2006年には、世界初の超伝導リングサイクロトロン(SRC)が稼働しました。SRCは史上最強のビーム強度を誇る加速器です。カットケーキ型の巨大な超伝導電磁石6基と、その間を覆う約90センチの鉄のシールドからできています。SRCの総重量は8300トン、東京タワーの2塔分もの重さがあります。



光速の約70%まで重イオンビームを加速できる超伝導リングサイクロトロン。

産業分野〉電子ビームで医療用品を滅菌する

医療用品や実験器具は、電子を高速に加速した電子ビームをあてて滅菌をしています。

病院や研究室などで使われるシャーレやピペットなどは、使い捨てのプラスチック素材でできています。

病院などで使用するものに、万が一、雑菌がついては大変です。そこで、工場で製造された後に電子ビームで滅菌します。

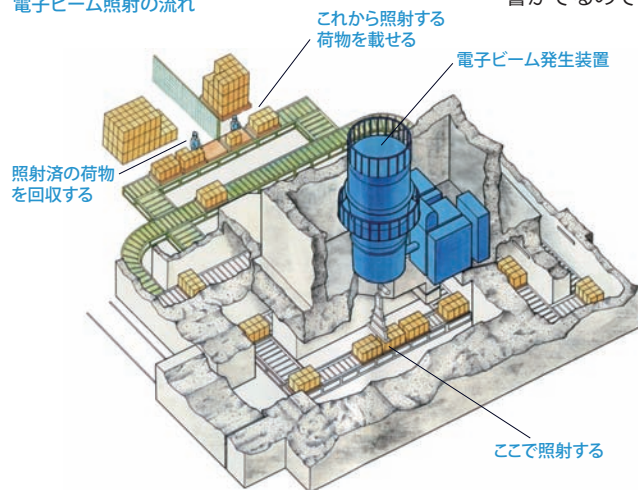


電子線による滅菌は商品を段ボールに詰めたままでも行うことができる。

電子ビームをあてるとなぜ滅菌できるのか

電子を高速に加速した電子ビームを医療用品や実験器具にあてると、滅菌することができます。滅菌とは雑菌を減らして、ほぼ無菌の状態にすることです。例えば、プラスチックの使い捨てシャーレは、ウィルスを培養して調べた

電子ビーム照射の流れ



り、さまざまな実験に使われます。もしも、実験用シャーレに微生物が付着していたら、正しい結果が得られません。そこで、滅菌が必要になるのです。

微生物に電子ビームがあたると、細胞に傷がつき、修復できなくて死んでしまいます。電子ビームをたくさんあてれば良いかというと、そうではありません。製品によっては材質に影響があるので、電子ビームをあてる量は、予備

試験をしてから決定します。滅菌には加速器を使用する方法以外に、高圧の蒸気やガスによる滅菌などもありますが、電子ビームなどの放射線を使った滅菌の方が、熱や残留ガスの影響を残さないの、医療用品や実験器具の滅菌に適しているのです。今回は、長年にわたって電子ビームによる滅菌を行っているラジエ工業取材しました。

段ボール箱のままローラーコンベヤーで滅菌

電子線による滅菌工程を見てみましょう。研究所などで使われるプラスチック製の使い捨てシャーレの場合、段ボール箱に200皿ぐらい入っています。ラジエ工業の電子線照射装置では、ローラーコンベヤーに段ボール箱を横に倒して載せます。毎分3メートルぐらいで進みます。ローラーコンベヤーの先はコンクリートの迷路になっています。これは電子線をはじめ放射線には直進するという特性があるため、迷路状にして、放射線が外部に漏れるのを防止しています。迷路の最後の所で、段ボールは上から電子線をあてられます。そして、箱を反転してもう一周します。箱をひっくり返す理由は、箱の中の製品へ均一に電子ビームをあてるためです。一周10分程度なので、一箱滅菌するのに約20分かかります。

段ボール箱からシャーレを取り出す必要もないので、製造工場で包装したままの状態

預かり、滅菌処理した後にそのまま返却することができます。シャーレは製造工程で雑菌が混じることはほとんどなく、実際にはそのまま使えるそうですが、万が一の場合を考えて、滅菌処理が行われているのだそうです。製品の段ボール箱には「電子線滅菌済み」と表示されているそうなので、学校の理科室などで注目してみてください。

電子線による滅菌は放射線の管理がしやすい

ラジエ工業では、電子線の他にガンマ線でも滅菌を行っています。ガンマ線はコバルト60という放射線源を使っています。ガンマ線は電子線よりも物質を透過する力が強いので、分厚いものに均一に処理することに適しています。しかし、コバルト60は、常に放射線を発しているので、万が一外部に漏れることがないように、24時間厳重に管理を行っています。

一方、電子線の場合、加速器のスイッチを切れば放射線を発生しないため、より安全に管理できるという特徴があります。物質を透過する力はガンマ線に比べて弱いものの、ガンマ線の数百倍ぐらいの出力があるので、比較的軽いものを大量に滅菌する場合に適しているのです。



注射器や点滴の管、手術用手袋なども電子線で滅菌している。



500万ボルトの高電圧で電子ビームを発生できる加速器。



DATA ラジエ工業 群馬県高崎市にある滅菌工場。加速器を使って医療器具や実験器具の滅菌を行っている。

FRONTLINE 2

滅菌された製品が社会の役に立っている



ラジエ工業
照射部 EB照射課
眞庭 茂之さん

大学では化学を専攻しました。就職が決まっていなかった時に、担当教授に放射線を利用した研究を行う仕事があるよと紹介されたのです。その時は、放射線についてはあまり知りませんでした。それから17年間、放射線施設に勤務した後、これまでの経験を生かせないかと、この会社に来ました。

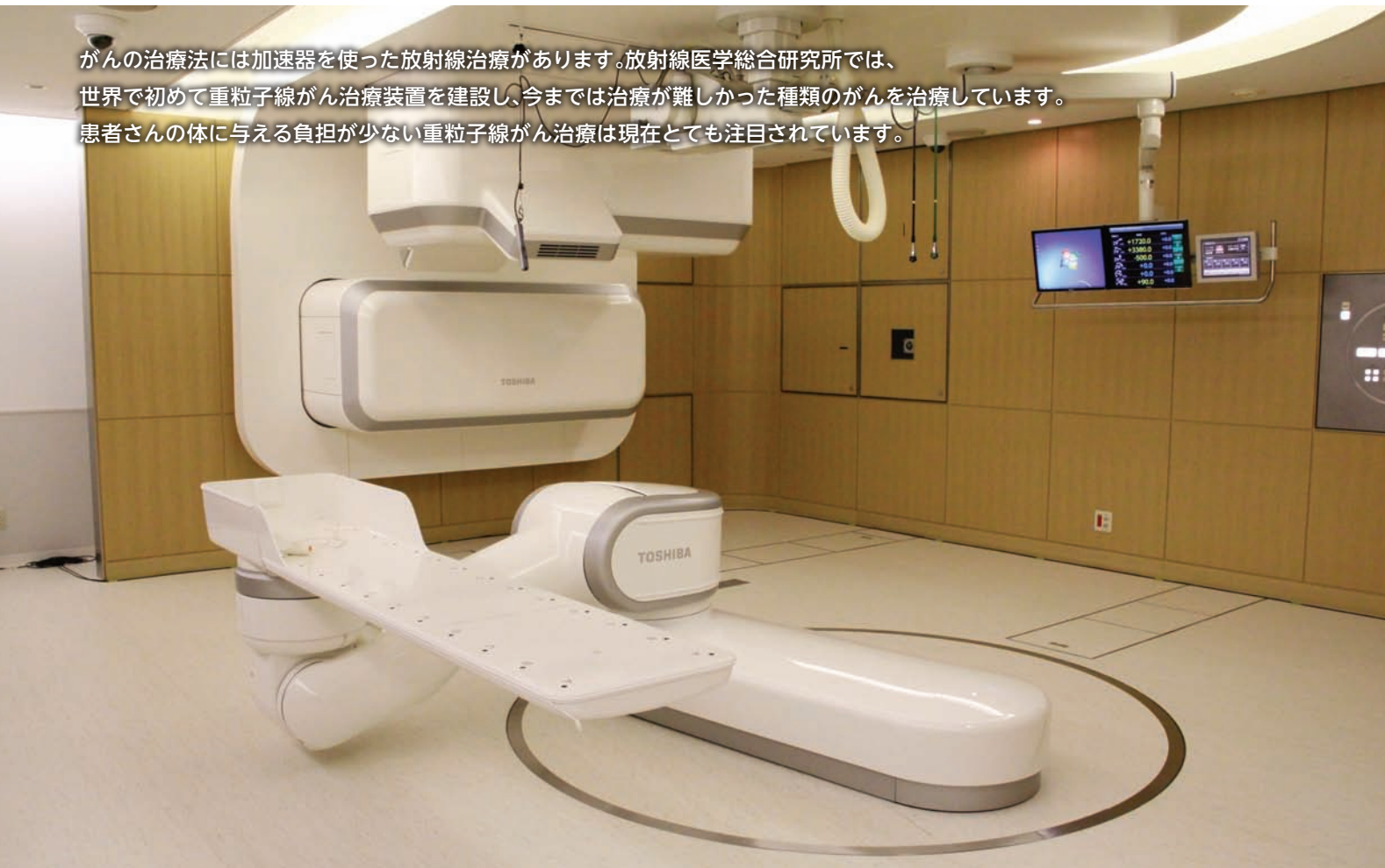
ラジエ工業は滅菌処理がメインです。滅菌された製品が社会で重要な役割を果たしているということを実感できたのは、新型インフルエンザが流行ったときです。培養のためのシャーレの需要が増えたのです。残業しないと滅菌処理が間に合わないぐらいで、あらためてこの仕事が社会に役立っていると感じました。



ローラーコンベヤーに載せられた医療用品は約20分で滅菌が完了する。

医療分野〈今まで治せなかった、がんを治す

がんの治療法には加速器を使った放射線治療があります。放射線医学総合研究所では、世界で初めて重粒子線がん治療装置を建設し、今までは治療が難しかった種類のがんを治療しています。患者さんの体に与える負担が少ない重粒子線がん治療は現在とても注目されています。



新しく建設された治療室の内部。中央の回転アームが治療台を動かす。

人間とがんとの長い戦い

日本では年間約30万人が、がんで命を落としています。がんを治すために、さまざまな治療方法が考えられてきました。がんにかかった部分を外科手術で取り除いたり、抗がん剤という強い薬でがん細胞をやっつけたり、放射線をあてるなどの治療方法があります。放射線治療

は、加速器で作りだしたX線や重粒子線、陽子線を使って治療します。今回は、放射線の中でも重粒子線による治療を行っている放射線医学総合研究所(以下、放医研)取材しました。

どうして、放射線でがんの治療ができるのでしょうか。がん細胞は体の中で無制限に細胞分裂をくり返すという特徴があります。放射線をあてることで、がん細胞の中のDNAに小さな傷をつけて、それ以上細胞分裂しないようにし

て、がん細胞を殺してしまうのです。放射線にあたった部分が痛くなったり、熱くなったりすることはありません。

重粒子線なら難しいがんも治せる

放射線治療でこれまで一般的に使われていたのはX線です。しかし、がんの種類や場所によっては治しにくいものがありました。例えば肺がんの場合、肺のがん細胞にX線をあてようとすると、肺の手前にある心臓や、後ろ側にある脊髄などにもX線があたってしまい、健康な細胞がダメージを受けてしまうことがあります。いくらがんを治すためとはいえ、患者さんにとっては体の負担になります。

患者さんの負担をへらして、従来のX線では治療しにくいがんを治せないか、と開発されたのが、重粒子線治療です。放医研には、長さ120メートル、幅65メートルのサッカー場ほどもある巨大な加速器施設があります。この加

速器で、放射線の中でも高いエネルギーを持つ重粒子線をつくり、それをがん治療に使っています。重粒子線には、ねらった深さでびたりととめることができ、とまったところだけに強い効果を出せるという特徴があるので、体の奥にあるがんを治すのに適しているのです。

次世代の治療装置で もっと社会に貢献する

放医研の新治療研究棟では、さらに次世代の治療システムが稼働しています。治療期間中に患者さんがやせてしまったり、がんの大きさが変わったり、また肺などの臓器だと患者さんの呼吸によって動くので、重粒子線をあてる前に毎回調整する時間がかかります。新しい3次元スキャン照射システムでは、このような細かな体の変化に対応するために、毎回CTスキャンをとってコンピューターに取り込み、細いビームにしばった重粒子線で、がん細胞のでこぼこをなぞるようにして正確にあてていきます。この治療システムだと、日々変化する患者さんの体の変化に合わせた、よりきめ細かな治療が可能になるそうです。

また、現在の治療装置では治療台を動かして、患者さんのがんの位置に合わせて重粒子線をあてています。しかし、建設中の回転ガントリーという施設では、重粒子線のビーム自体が360度回転できるようになります。そうすると、今までよりも細かい角度でのビーム調整が可能になり、より正確にがん細胞を打ち抜くことが可能になります。また、位置を決めるまでにかかっていた時間を大幅に短縮できるので、患者さんにとっても負担が減ります。



患者さんの状態に合わせ、重粒子線をあてていくドクターたち。



DATA 放射線医学総合研究所 千葉県千葉市にある放射線医学の研究機関。重粒子線を使ったがん治療研究や、高度な画像診断の研究が行われている。

FRONTLINE 3

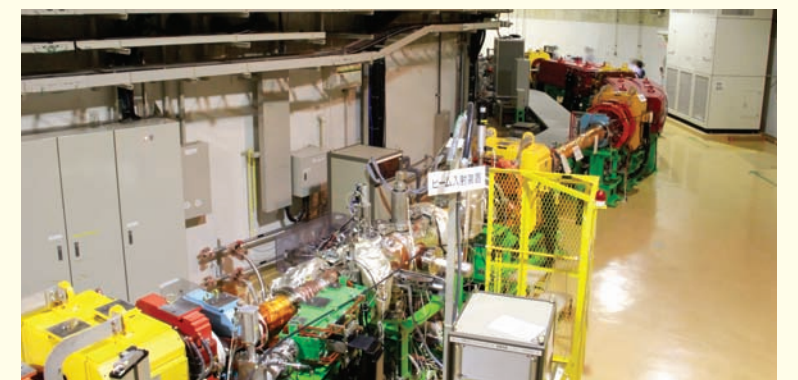
最初の患者さんを治療したときは感動しました



放射線医学総合研究所
照射ビーム研究チーム
チームリーダー
古川 卓司 さん

私は物理が好きで、将来は何か人の役に立つ仕事がしたいと考えていました。放射線治療なら、人のがんが治せると考え、この分野に進みました。放医研は普通の病院とは違って、さまざまな分野の研究者があつまる研究施設です。より良い治療の実現を目指して、みんなが力を合わせてそれぞれの得意分野で力を発揮しています。

仕事でやりがいを感じる瞬間は、思い通りの物づくりができたときです。2006年群馬大学に建設された重粒子照射施設は、放医研の治療装置を小型化して一般の病院向けに最適化したものです。私がノートに書いたシンクロトロンが、現実のものになったときはうれしかったです。また、2011年に稼働した放医研の新治療研究棟で最初の患者さんを治療したときも、緊張しましたがとても感動しました。



HIMACは世界で初めてがん治療専用建設された重粒子線装置。

セキュリティ分野〉危険物の持ち込みを防ぐ

空港では手荷物検査にX線を使っていますが、このX線検査機が最もシンプルな加速器です。

2001年のアメリカ同時多発テロ事件以来、日本でも空港のセキュリティ検査は厳しくなっています。

空港では、飛行機に乗る前に乗客の手荷物をX線で検査し、危険物の持ち込みを防いでいます。



アメリカ同時多発テロ以降、セキュリティチェックが厳しくなった羽田空港。

空の安全を守る X線検査装置

飛行機には持ち込みを禁止されている物品があります。カセットガスボンベや、スプレー缶などの高圧ガスの入っているもの、花火などの火がつくもの、毒物なども禁止です。また、カッターやはさみなどのとがったもの、バットやゴルフクラブなどの長いものは機内に持ち込むことも禁止されています。航空会社のカウンターでスーツケースなどを預けると、ベルトコンベヤーで運ばれた荷物は、飛行機に積み込まれる前にX線検査装置を通過します。また、機内に持ち込むカバンなどの手荷物も、セキュリティチェックのゲートでX線検査装置に通します。

X線検査装置の導入前は、空港の検査員が乗客のカバンを開けて、目で見て検査していました。時間もかかりますし、日用品に似せて巧妙にかくした危険物は人間の目では見つけるのが困難でした。X線検査装置が導入されるよ

うになって、検査の時間はスピードアップし、危険物の見のがしも減りました。

画像から危険物を 特定する難しさ

では、X線検査装置でどうやって危険物を見分けるのでしょうか。基本的な原理はレントゲンと同じです。検査装置を通る荷物に、レントゲンよりも弱いX線をあてます。そして検知器でX線の透過量を測定して画像にするのです。X線がたくさん透過する部分は明るく、さえぎられて少ししか透過しない部分は濃くなります。荷物の中に入っている物品は、さまざまな材質をしています。物質の密度によって、X線の吸収量は違うので、金属や、ガラス、ゴムなどの材質を画像から特定することができます。

X線検査装置の画像では、カバンの中の品物が重なった状態で表示されます。そのため、検査員が陰にある危険物を特定するのは難しい場合があります。最新の検査装置では2種類

のX線をあてることで、その吸収量の違いから、材質をカラーで色分けすることもできます。この色は擬似的にコンピューターがつけています。金属は青、軽金属などの無機物は緑、有機物はオレンジ色に表示されます。さらに、爆発物に含まれる物質を探知して警報を鳴らす機能もついています。



同じカバンの中身でも、カラー画像の方が中身を推測しやすい。

機内に持ち込めないもの（代表例）



危険なものや凶器になるものを、X線検査装置で探しています。

将来は、気づかぬうちに 手荷物検査ができれば

日本航空東京空港支店の武田京介さんによると、最新のX線検査装置を導入することで、手荷物検査にかかる時間が短縮されたそうです。「1人のお客さまにかかる時間は20秒程度です。スピードアップとともに、危険物の見のがしも減りました。ご搭乗いただくお客さまにとっても安心感につながると思いますし、私たち航空会社が安全運航を行うためにも必要な検査装置です」

しかし、どんなに検査装置が進歩しても、その画像を見て危険物かどうかを判断するのは人です。航空会社の検査員は、新しい製品がでるたびに、さまざまな素材や形状を把握して、禁止品に該当しないかどうか見極める訓練が欠かせないそうです。将来、X線検査装置がさらに進歩し、機械だけである程度の判断ができるようになれば、より正確に、より早く検査ができるようになり、飛行機の乗客が通り過ぎただけで、気づかないうちに検査が終わるというような時代が来るかもしれません。



日本航空の航空保安担当の武田さん



DATA 日本航空 国内、海外を含めて、40の国と地域、221の空港に乗り入れている航空会社。（2011年6月現在）

FRONTLINE 4 社会の役に立つということが仕事のやりがいに



日立エンジニアリング・アンド・サービス
コンピュータエンジニアリング部
PS設計グループ
小寺 直樹 さん

X線装置に興味があつてこの仕事を選びました。高校生の頃は、「X線って何？」というくらい何も知りませんでした。でも、高校で学んだことは、社会で働くようになって必ず役に立ちます。教科書を読んで理解するだけでなく、実際に手を動かしたりすると良いと思います。工場見学とか、実際に社会を知ることでも良いことですね。

空港に置いてあるX線検査装置は、人と接する装置です。設計を通じてものづくりができるところが、この仕事の最大の魅力だと思っています。自分のやったことが社会に役に立つということは、仕事のやりがいに繋がっています。また、X線検査装置は、セキュリティ面で重要な役割を果たすものです。そのため、正確、精密であることが一番大切だと思っています。



X線検査装置は大使館や国会図書館などでも使われている。

分析分野 未知の物質の構造や働きを調べる

分析分野での加速器利用は多岐にわたります。大型放射光施設SPring-8では、小惑星探査機「はやぶさ」が小惑星「イトカワ」から持ち帰った微粒子の分析に成功しました。この他にも、タンパク質の構造を解明したり、新しい素材を開発するなど、さまざまな研究開発が行われています。



蓄積リングを囲む円形の実験ホール。多くの研究者が利用している。

見えなかったものが放射光なら見える

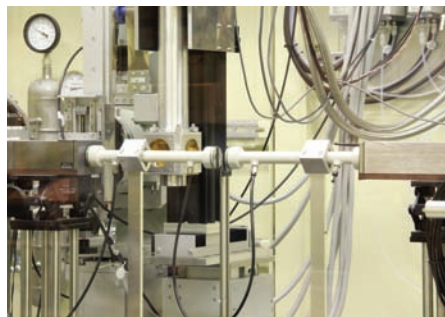
兵庫県佐用郡にある大型放射光施設SPring-8では、電子を8GeV(ギガエレクトロンボルト)、つまり、ほぼ光の速さと同じ速さにまで加速することができます。このような大型の放射光施設は、SPring-8を含めて世界に3つしかありません。

放射光とは、光速で直進する電子を磁石などで曲げた時に発生する電磁波のことです。放射光は、非常に明るく、レントゲンなどに比べ

ると約10億倍の明るさがあります。そして、赤外線からX線までの広い波長の光をつくり出すことができます。光は波の一種であり、その山と山の長さ(波長)によって特徴づけられます。光の波長よりも小さいものは見ることができません。非常に小さなものを見るためには、より波長の短い光をつくり出す必要があります。この放射光を用いて、原子レベルで物質の構造や働きを観察することができるSPring-8は、スーパー顕微鏡と考えると分かりやすいかもしれません。



放射光はレントゲンの約10億倍明るい。(RIKEN/JASRI 提供)



放射光は中央のパイプを通り試料にあたる。

身近な商品の効果をSPring-8で実証する

SPring-8では、さまざまな学術研究が行われていますが、分析技術の商品開発などに利用している例も数多くあります。これまで企業は、独自に技術を蓄積し、長い経験の中から商品を開発してきました。しかし、SPring-8での分析をもとに、新素材を開発したり、その効果を科学的に裏付けた例があります。

年をとると、まっすぐな髪の毛にもうねりが出てきます。人間の髪の毛の直径は80~100ミクロンと非常に細いものです。SPring-8では、髪の毛のさらに内側の細胞の繊維の状態を放射光で画像解析し、うねりの原因を細胞レベルで分析しました。その結果、うねりを緩和してツヤを与える効果のある有機酸を配合したヘアケア商品(セグレタ)を開発できました。

また、デンタルガム(ボスカ)に配合されているリン酸化オリゴ糖カルシウムには、初期むし歯を再石灰化する効果があることが、研究に

SPring-8が開発に関わった商品の例



花王 セグレタ



江崎グリコ ボスカ

よって分かっていました。しかし、従来の実験方法では健康な歯と同じように丈夫な結晶ができていのかどうかは測定できなかったのです。初期むし歯では0.1ミリレベルで歯の表面から結晶が失われるので、歯の結晶変化を調べるためには、ミクロンのレベルで観察する必要があります。SPring-8では、どのように歯が結晶化しているかその構造を解析しました。その結果、デンタルガムを噛むと、初期むし歯が健康な歯と同じように再結晶化することが世界で初めて実証されたのです。

X線自由電子レーザーでさらに「夢の光」が実現

SPring-8に隣接して、2012年に稼働するのがX線自由電子レーザー施設「SACLA(さくら)」です。X線自由レーザーとは、放射光よりも光の波がそろっています。そのため、さらに明るく強い力でものを見ることができるのです。SACLAを使えばさらに微少な世界も観察することができるので、タンパク質の構造を調べて新しい薬を開発したりすることも可能です。また、瞬く間におこる光合成などの化学反応なども観測することができます。

SPring-8とSACLAによって、未知の物質の構造や働きを解明することができます。宇宙や地球・生命科学などの基礎研究から、ナノテクノロジー・エネルギー・新薬開発などの応用化学まで、幅広い分野において新しい発見がくり返されるでしょう。



DATA 大型放射光施設 SPring-8 兵庫県佐用郡にある大型放射光施設。ナノテクノロジーから、バイオテクノロジー、産業利用まで幅広い研究が行われている。

FRONTLINE 5 SPring-8の分析で持続可能な社会の実現を



大型放射光施設 SPring-8
JASRI産業利用推進室
平山 明香 さん

高校生の頃から科学に興味があり、大学では有機化学を専攻しました。世界に誇る研究施設であるSPring-8が地元にあることで、とても身近に感じました。私の仕事は、企業の技術者や研究者と一緒に実験を行い、問題を解決したり、新しい技術を開発することです。まるで知らなかった分野に携わることもあり大変ですが、良い結果が得られたときに「ありがとう」とお礼を言われると、やりがいを感じます。

加速器を用いた科学研究の歴史はまだ浅く、これからさらに発展することが期待できます。宇宙誕生や生命、物質の成り立ちなど、多くの謎が解明されていくと思います。また、エネルギーや環境問題の解決にも貢献できるはずです。SPring-8で分析され、新たに開発された革新的技術によって、持続可能な社会が実現することを願っています。



SPring-8には、現在建設中の4本のビームラインを含めて、57本のビームラインがある。

文化財分野〉歴史・考古の年代を調べる

遺物の年代を測定する放射性炭素年代法に、加速器が用いられています。

土器に付着したおこげやすなどから炭素をとりだし、加速器で年代を測定します。

考古学的な土器の調査と、自然科学的な年代測定が、新しい年代観を築いていきます。

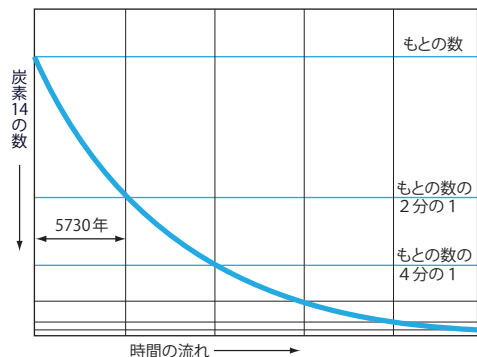


ほこりなどが入らないように、土器についたおこげをそぎ落とす歴博の坂本先生。

どうして炭素で年代が分かるのか

炭素には、放射性炭素と呼ばれる「炭素14」がわずかに含まれています。植物は、二酸化炭素として大気中にある炭素を光合成で取り込み、動物は植物やほかの動物を食べて炭素を取り込みます。動物や植物が死ぬと、新しい炭素は取り込まれません。炭素14には規則正しい時間で窒素に変わる性質があり、およそ5730年で半分の量になります。もともとあった炭素

□炭素14は時間とともに減っていく



14の量と、遺物に残っている炭素14の量を比べて計算すると、植物や動物が死んだ時の年代が分かるのです。

煮炊きに使われていた土器には、食べ物が焦げ付いたおこげ・吹きこぼれや、火をたいた時のすすがついていることがあります。30～40ミリグラムをそぎ落とし、不純物を取り除くために、酸やアルカリで洗浄します。試料から炭素を取り出し、グラファイトという純粋な炭素をつくります。従来の放射性炭素年代法は測定に多量の炭素が必要でしたが、加速器を利用するとずっと少ない量で、精度よく、短時間で年代を測定することができます。

弥生時代の始まりはもっと早かった？

文字のない時代の年代を知るには、「モノ」資料に頼るしかありません。土器は模様や形、遺跡の調査などから新旧関係が考古学的に明らかになっていますが、「～年前」という年代ま

では分かりません。加速器を利用すると、1ミリグラム程度の炭素でも年代を測定できます。土器の年代を、おこげやすで測定できるようになったのです。

弥生時代の始まりは、本格的な水田稲作が始まった頃とされています。国立歴史民俗博物館では、九州北部で発掘された弥生時代の最も早い時期の土器の年代を複数測定し、紀元前900～750年という結果を得ました。これまで考えられていた弥生時代の始まりよりも、500年も早い年代です。各地の弥生時代の遺跡



最も古い年代を示した橋本一丁田遺跡出土の弥生土器(福岡市埋蔵文化財センター所蔵、藤尾慎一郎撮影)



名古屋大学の中村先生は元寇船やバーミヤン遺跡の年代測定にも関わった。

の年代測定から、水田稲作が日本列島に広がっていった様子も明らかになりました。加速器を用いた放射性炭素年代法は、これからも新しい発見をもたらすことでしょう。

単なる測定ではなく 史実と比べ確認する

名古屋大学では1981年から大学内に加速器を設置し、放射性炭素測定を用いた研究を行ってきました。いくつか例をあげると、長崎県の海底から発見された古い碗(いかり)の年代を測定したことがあります。この場所は、1281年の弘安の役で蒙古軍が暴風雨にあって難破した場所でした。碗に使われていた木材や竹製ロープから炭素を採集し年代測定を行ったところ、弘安の役の直前に伐採された素材から碗が作られているということが分かり、これが元寇の船だということが明らかになったのです。

また、アフガニスタンのバーミヤン遺跡では、2001年タリバンによる砲撃を受けた東大仏、西大仏の破片を採集し、破片に含まれた麦わらや木杭から年代測定を行いました。その結果、玄奘三蔵が「大唐西域記」の中で、692年にこの地を訪れ東西の大仏を見たという記述と、年代測定の結果が一致しました。さらに、やや小さめの東大仏がまず最初に完成し、その技術や経験をもとに、より大きな西大仏をその後に建造したのだらうということも、調査によって分かりました。このように、年代測定とは、史実と合っているか確認しながら、昔の人々の暮らしを明らかにする手段として大変有効なのです。



DATA 名古屋大学年代測定総合研究センター

加速器による年代測定は、考古学の他にも地球科学や大気水圏科学など幅広い分野の研究に利用されている。



DATA 国立歴史民俗博物館

千葉県佐倉市にある「歴博」は、原始・古代から近代に至る日本の歴史と文化について総合的に研究・展示している。

FRONTLINE 6 科学と歴史学の距離は近づいてきています



名古屋大学大学院
環境学研究科 地球環境科学
近藤 宏樹 さん

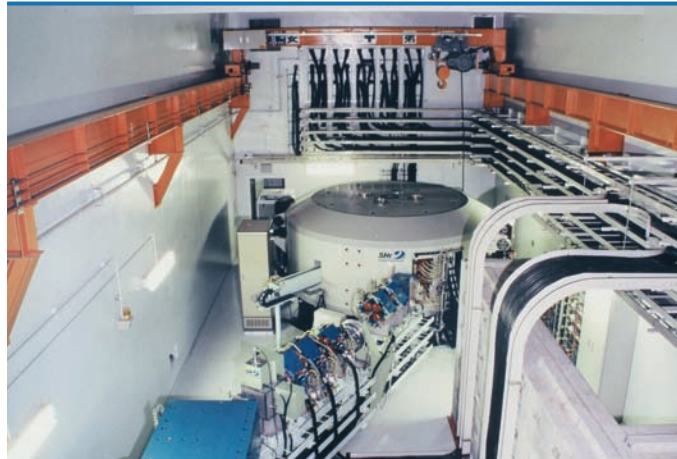
高校時代から考古学に興味があり、大学院では考古学を科学的に勉強したいと思い名古屋大学に進みました。現在私が取り組んでいるのは、鉄の年代測定です。鉄が精製された時に含まれた炭素をとりだして年代測定を行うというもので、名古屋大学でしかやっていません。現在は、年代が分かっている鉄器の年代測定をしていますが、測定結果が遺物の年代と合ったときはうれしいです。年代測定は単に、年代を明らかにするだけでなく、歴史を解釈することができるので、面白いです。加速器は物理の世界、考古学とは相容れない世界のように思われるかもしれませんが、学問の世界では科学と歴史学の距離が近くなってきていると思います。科学の力を借りて、歴史学に限らず、さらにいろいろな分野で新しい発見ができるのではないかと楽しみです。



石川県能登町にある真脇遺跡の年代測定にも加速器が使われた。

社会に役立つ加速器の紹介

目立たないけれど、実は私たちの生活に身近なところで活躍している、加速器の主な例をご紹介します。



画像提供:住友重機械工業

陽子線治療装置

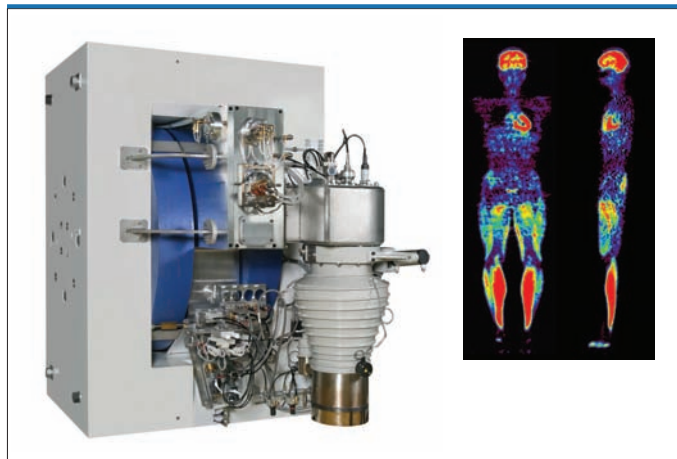
陽子線治療は放射線によるがん治療法の一つです。10～11ページで紹介した重粒子線治療と同様、がん細胞をねらってエネルギーを集中させることができます。陽子線は重粒子線に比べて、がんの殺傷効果はやや小さいですが、よりコンパクトな加速器で発生させることができます。国内には2012年1月現在、7か所の陽子線がん治療施設があります(重粒子線がん治療施設は3か所)。



画像提供:東芝メディカルシステムズ

CT

CTとはComputed Tomographyの略称で、X線管球(X線を発生する電球)を身体のマわりで回転させ、管球の反対側にある放射線検出器で電気信号に変えられた情報をコンピューターで計算し横断面を画像にする撮影法をいいます。CTでは身体を輪切りに撮影でき、脳出血、脳こうそく、がんの診断に欠かすことのできない診断方法になっています。さらに最近ではCTの高速、高性能化が実現し、脳や心臓、肝臓などの臓器を1回の撮影で画像化するだけでなく、連続的に撮影することにより、血流循環動態を4Dでとらえることが可能となっています。



画像提供:東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

PET

PET検査とは、放射線を出す物質を含んだ薬(放射性薬剤)を注射し、体内に分布するまでしばらく待ったあと、そこから出る放射線をPET装置で検出することにより、その薬の体内分布を画像化して病気の診断などをする検査法です。放射性薬剤に含まれる放射線を出す物質はサイクロトロンという加速器を用いて製造します。左の画像はランニングをした後のエネルギー消費量を示す放射性薬剤の分布の全身画像です。ランニングでエネルギーを消費した心臓と脚の筋肉、そして常時エネルギー消費が大きい脳に放射性薬剤が集まり、赤く表示されます。PET検査はがん検診にも活用されています。がん細胞はエネルギーをたくさん消費しますので、PET検査により効果的に発見することができます。

J-PARC



J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、素粒子物理、原子核物理、物質科学、生命科学、原子力など幅広い分野の最先端研究を行うための陽子加速器施設と実験施設をそなえた多目的利用施設です。加速器施設は3器の加速器(リニアック、3GeVシンクロトロン、50GeV

シンクロトロン)から構成されています。各加速器で、世界最高クラスの大強度陽子ビームを生成し、物質・生命科学、原子核素粒子、ニュートリノの各実験施設に供給しています。陽子ビームをそこに設置された標的に衝突させ、発生した二次粒子(中性子、中間子、ニュートリノ等)は各施設で最先端の実験に利用されています。

画像提供:日本原子力研究開発機構



画像提供:日立ハイテクノロジーズ

電子顕微鏡

電子顕微鏡とは、通常の顕微鏡(光学顕微鏡)では観察したい対象(試料)に光をあてて拡大するのに対し、光の代わりに電子(電子線)をあてて拡大する顕微鏡のことです。電子源から取り出された電子を試料に当てると、試料表面では凹凸や材質に応じた量の信号電子が発生します。この信号電子を検出器で捕まえると画像が得られます。電子顕微鏡は、物理学、化学、工学、生物学、医学(診断を含む)などの各分野で広く利用されています。



私たちが社会に役立つ加速器を製作しています。

加速器特別委員会 加盟会社

(株)NHVコーポレーション、(株)神戸製鋼所、住友重機械工業(株)、(株)東芝、東芝電子管デバイス(株)、(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス、(株)日立製作所、日立造船(株)、ニチコン(株)、ニチコン草津(株)、三菱重工業(株)、三菱電機(株)