

第52回原産年次大会
セッション3「原子力技術の多様性と可能性」

高精度放射線がん治療技術と 医学物理学



東京女子医科大学大学院
医学研究科医学物理学分野
西尾 禎治

日本のがん事情



Novel, Challenge and Change

革新への挑戦と変革

国立研究開発法人 国立がん研究センター

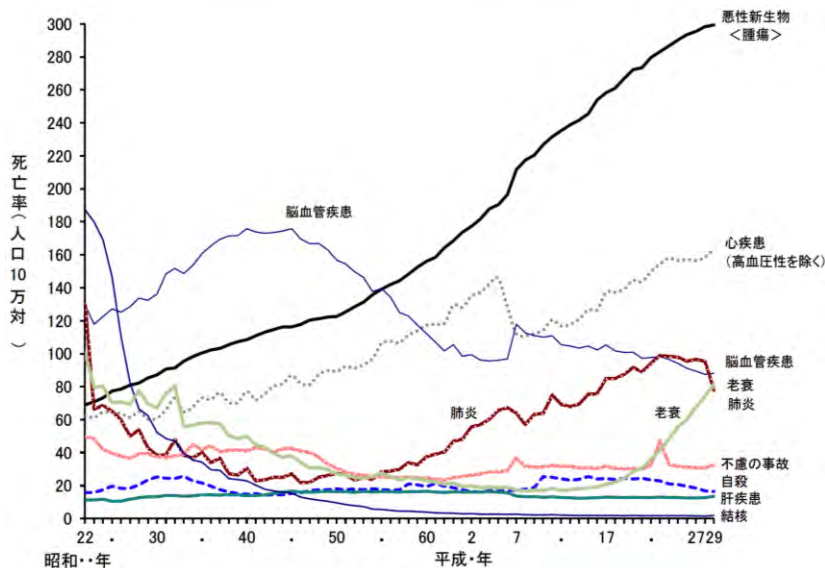
**National
Cancer
Center**

報道関係各位

2016 年のがん統計予測公開 罹患数予測約 101 万例、死亡数予測約 37 万人

2016 年 7 月 15 日

国立研究開発法人 国立がん研究センター

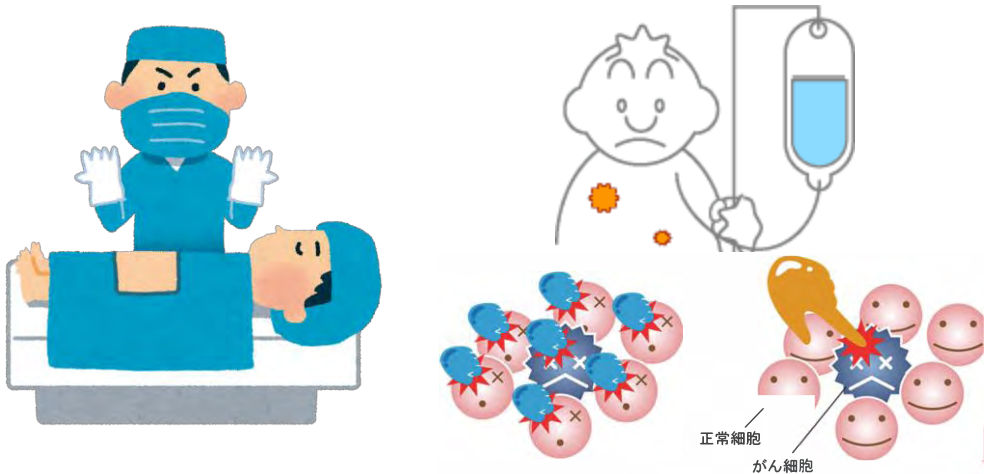


- 日本の超高齢化社会と共に、がん患者数は増加。
- 現在、国民の三人に一人が、がんで亡くなる時代。

がんの放射線治療とは

がんの三大療法

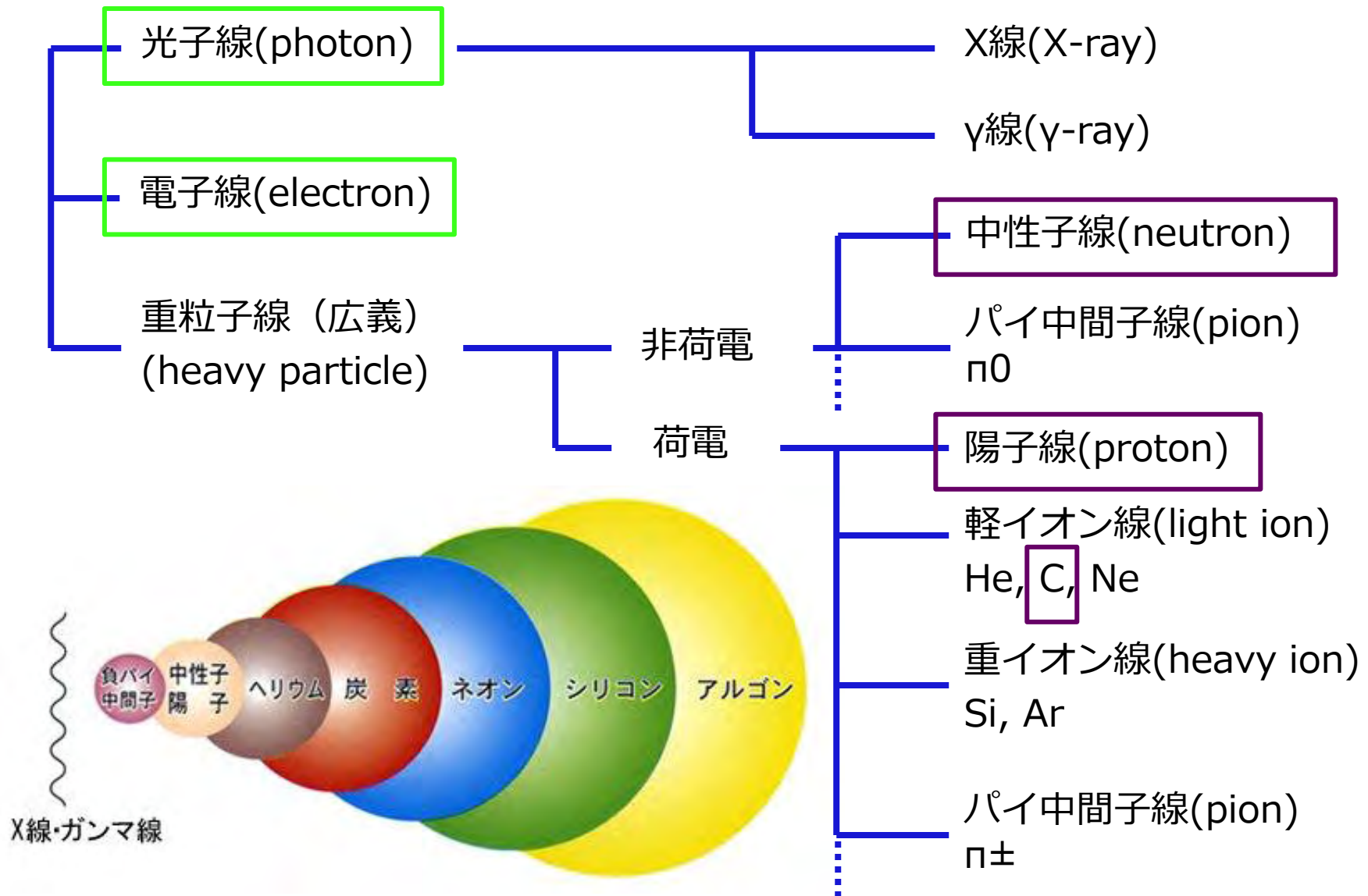
- 手術療法
- 化学療法（抗がん剤治療）
- 放射線療法（放射線治療）



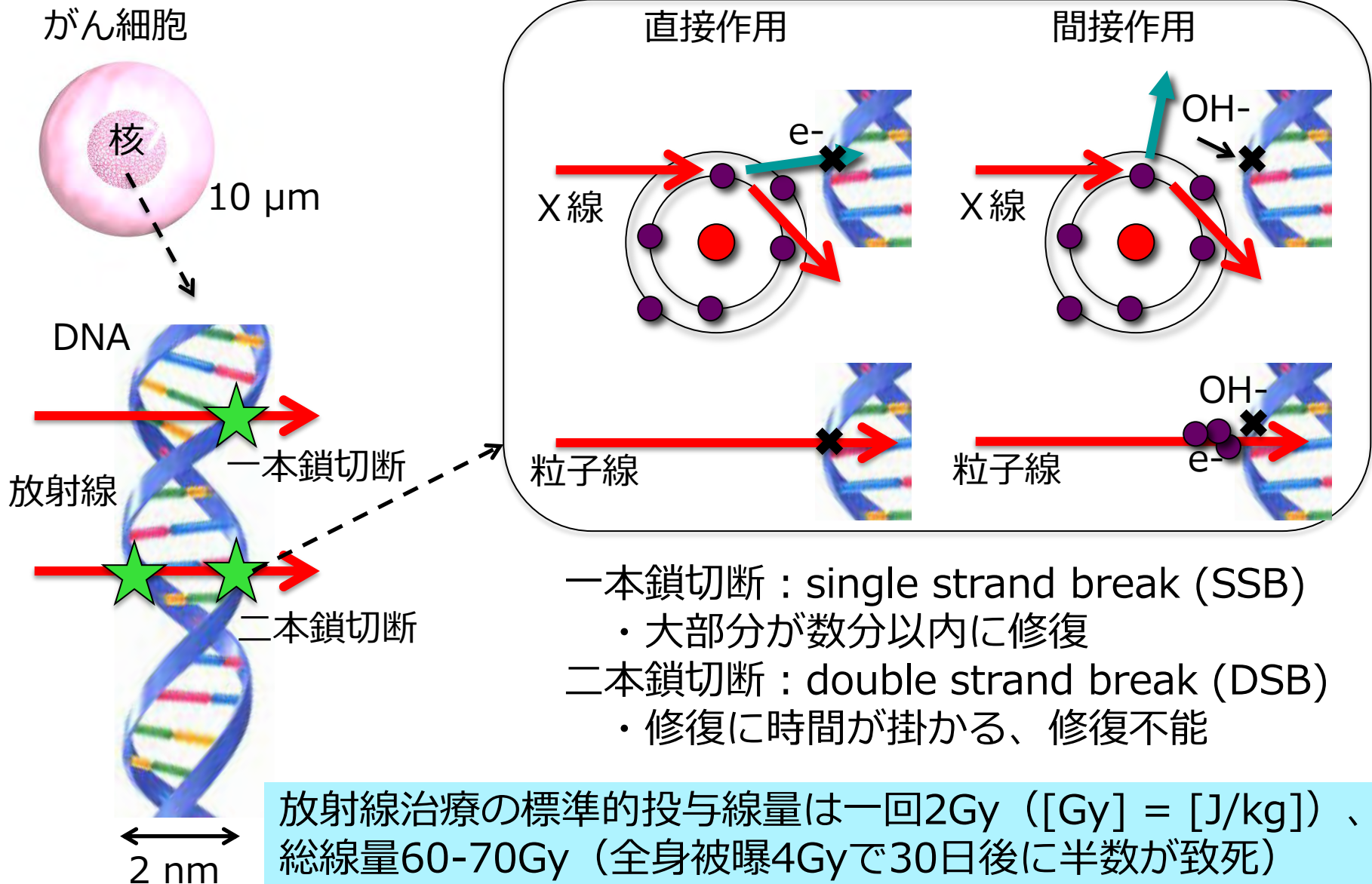
単に治療するのみではなく、
高いQOL（quality of life：生活の質）
の維持が必要不可欠

放射線治療実施率
日本は30%
欧米は60-80%

がん治療で利用されている放射線



がん細胞に対する放射線的作用



放射線（X線・電子線）治療装置

TrueBeam/Varian



STx/Brainlab



Synergy/Elekta



CyberKnife/Accuray

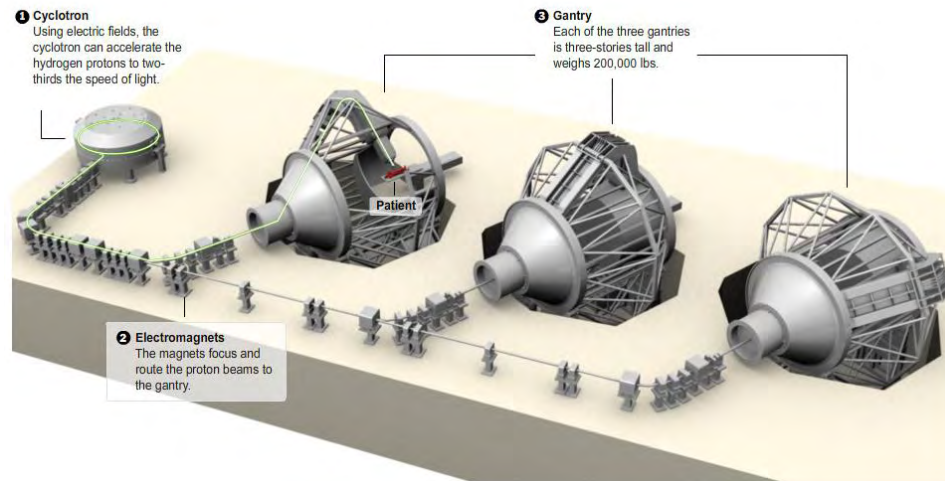


TomoTherapy/Accuray



Vero/三菱重工

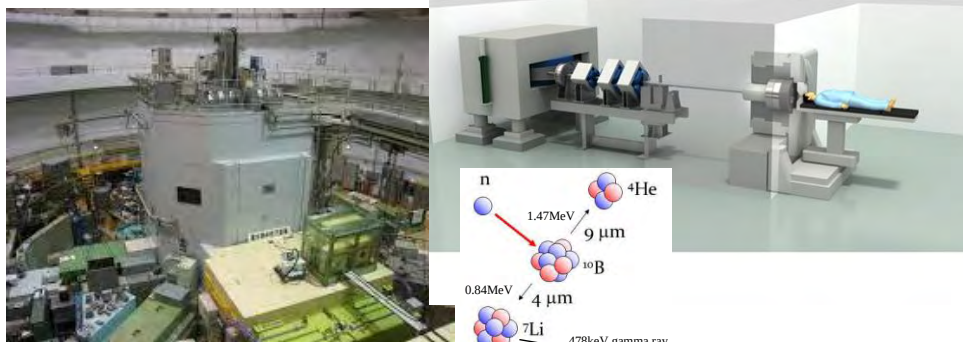
放射線（重粒子線）治療装置



陽子線/IBA



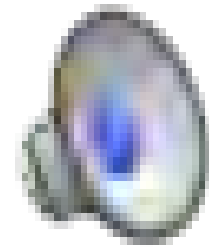
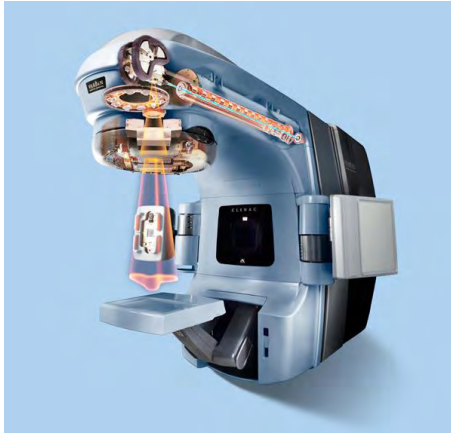
炭素線/東芝



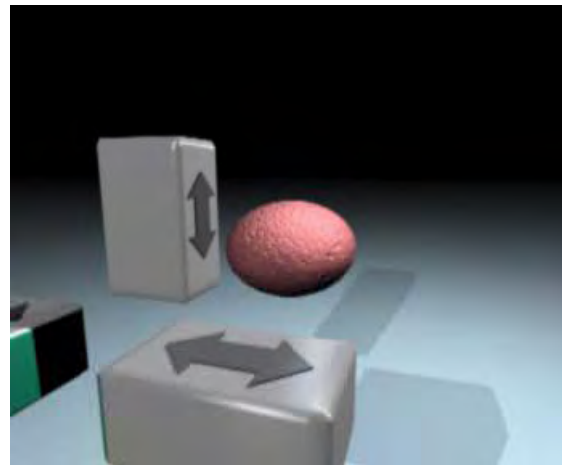
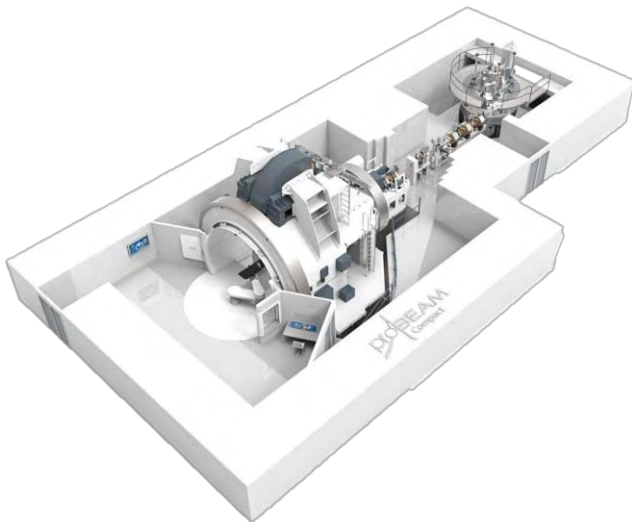
BNCT（硼素中性子捕捉療法）/住友重機

放射線がん治療の高度技術例

高精度X線治療

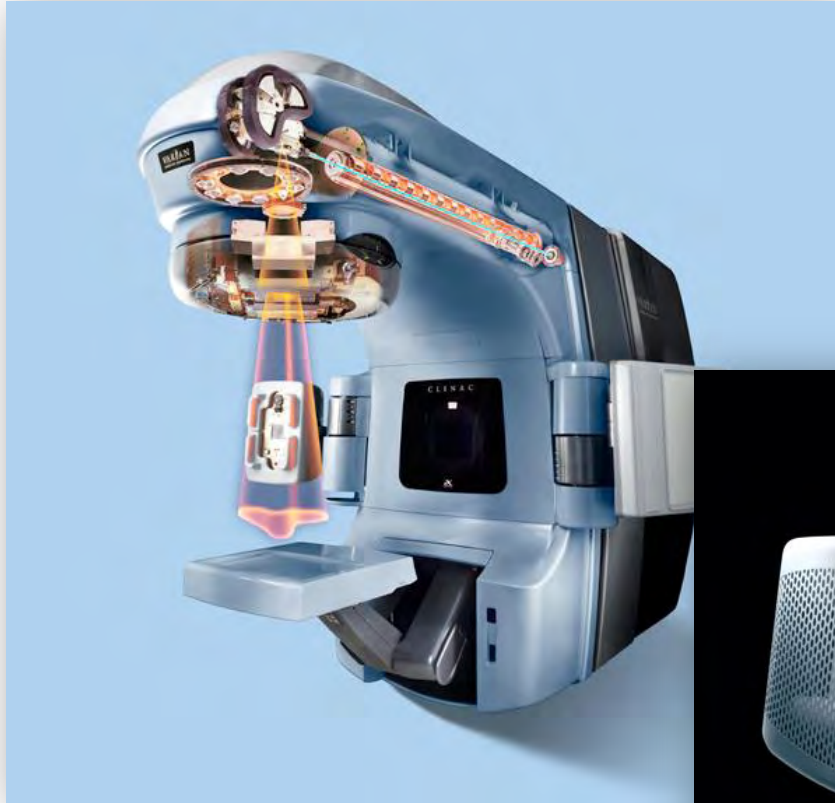


陽子線治療



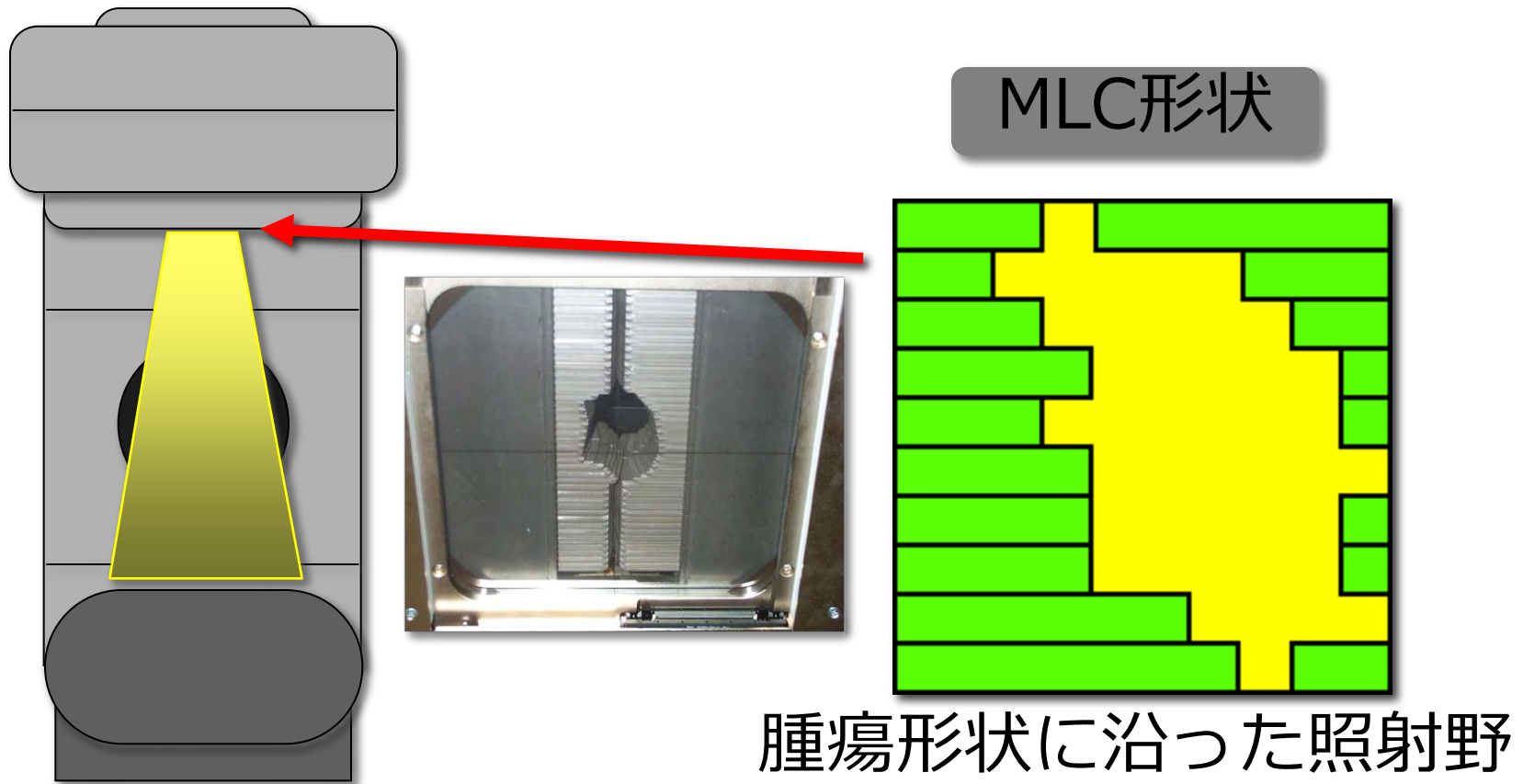
最先端放射線治療－その 1 強度変調放射線治療（IMRT）

放射線（X線・電子線）治療装置



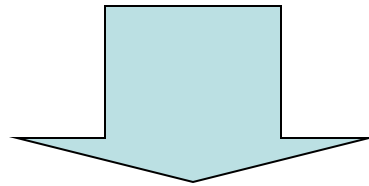
一般的な放射線治療

通常の一般的な放射線治療では、



強度変調放射線治療（IMRT）

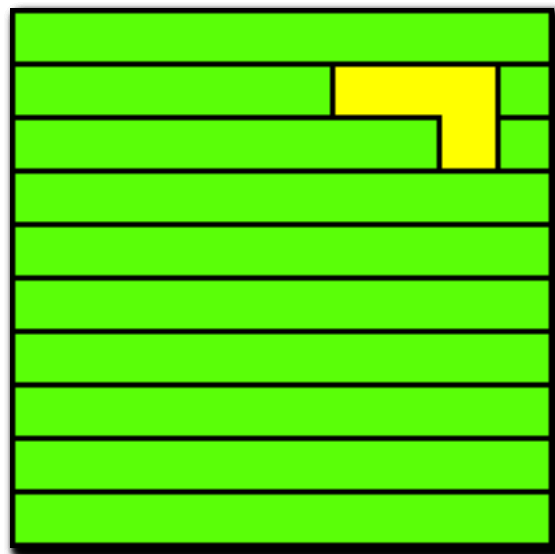
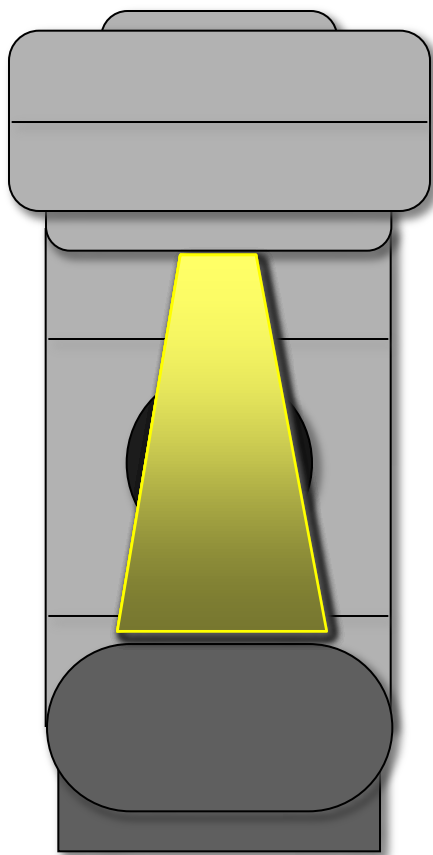
照射場所毎に放射線（X線）に強弱を設けて、腫瘍に線量を集中させる方法。



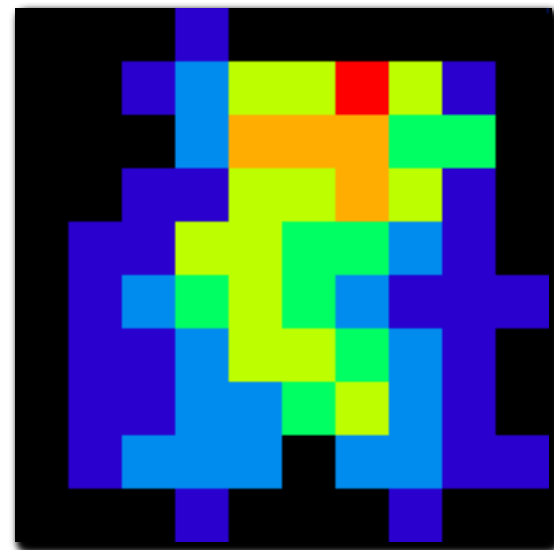
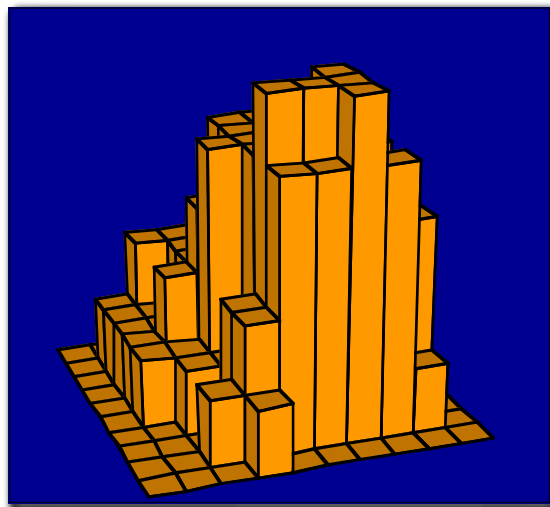
コンピュータ技術を駆使した放射線治療。
Inverse planning：腫瘍には均一で高線量、
重要臓器は可能な限り低線量になるように照
射線量強度を最適化計算。

強度変調放射線治療（IMRT）

IMRTでは、

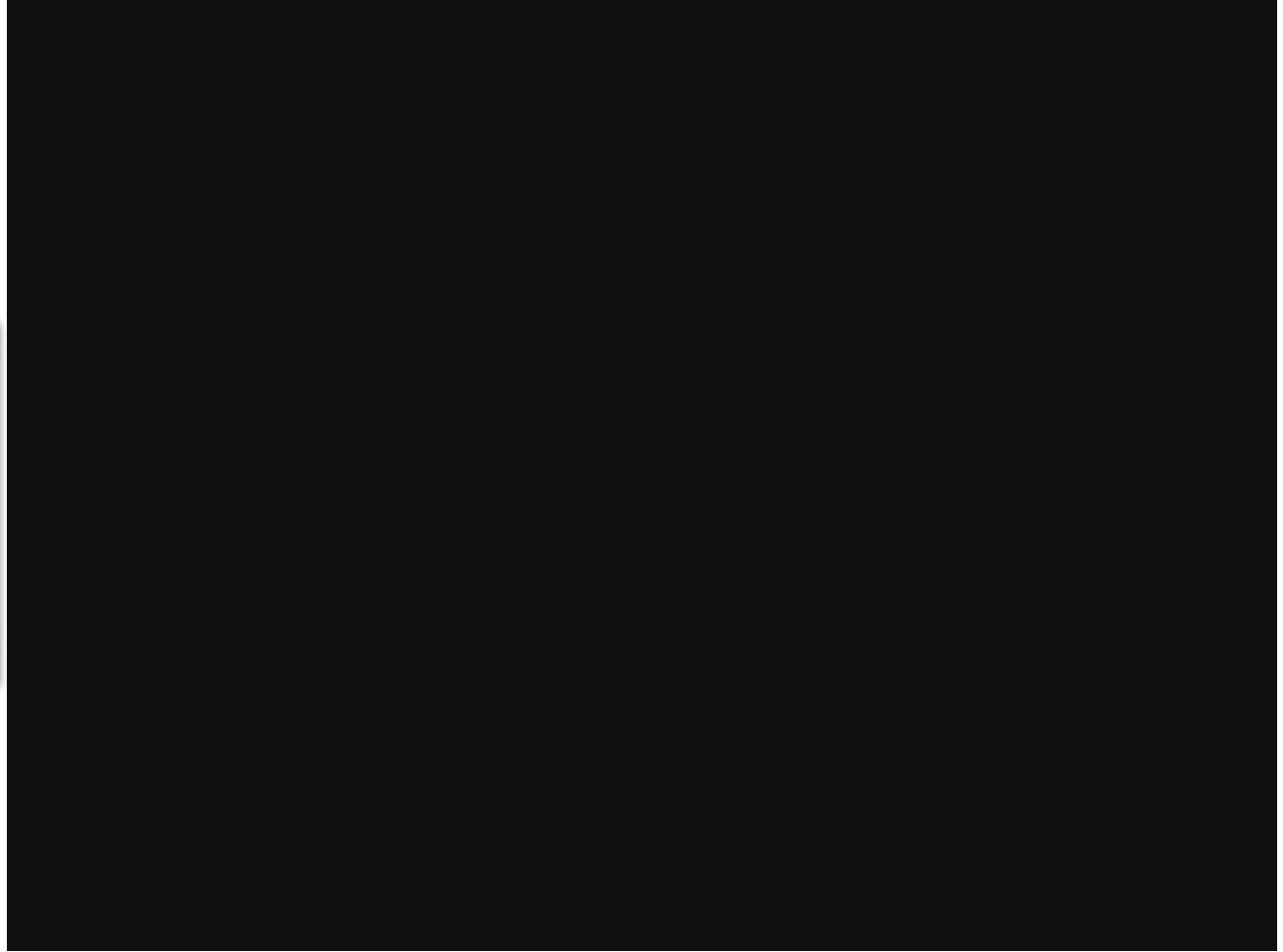
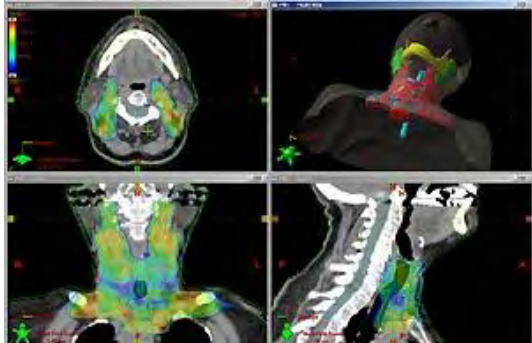
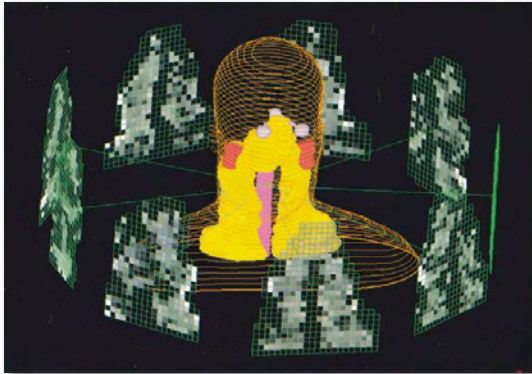
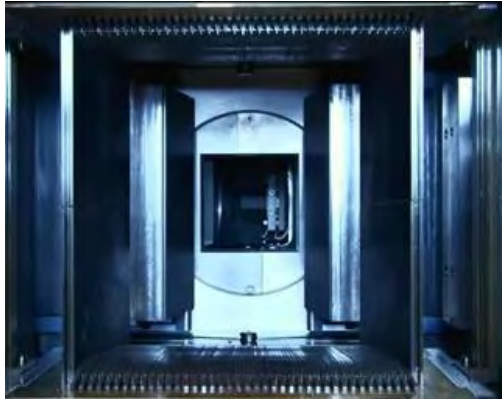


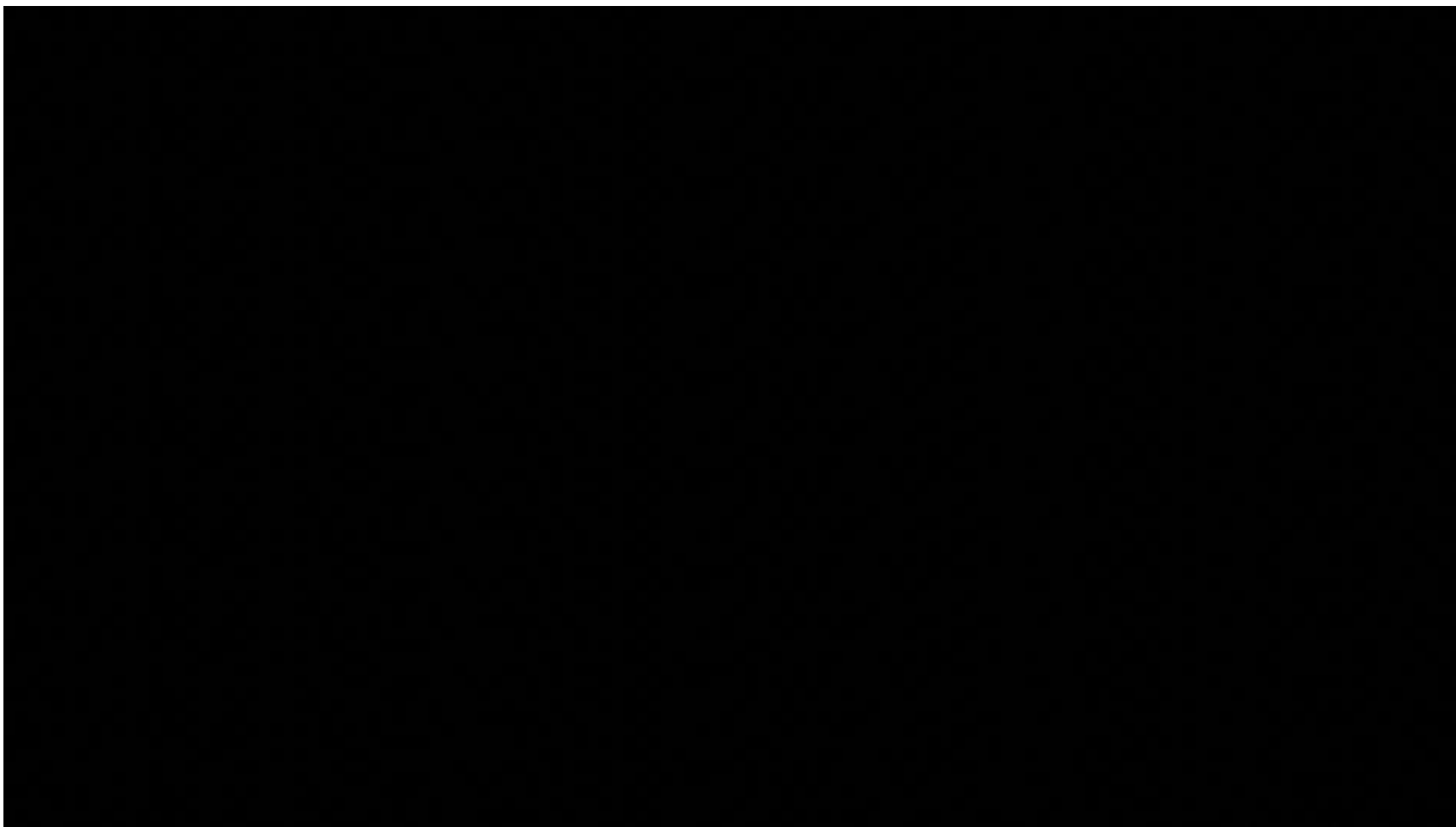
MLC形状



Intensity Map

強度変調放射線治療（IMRT）



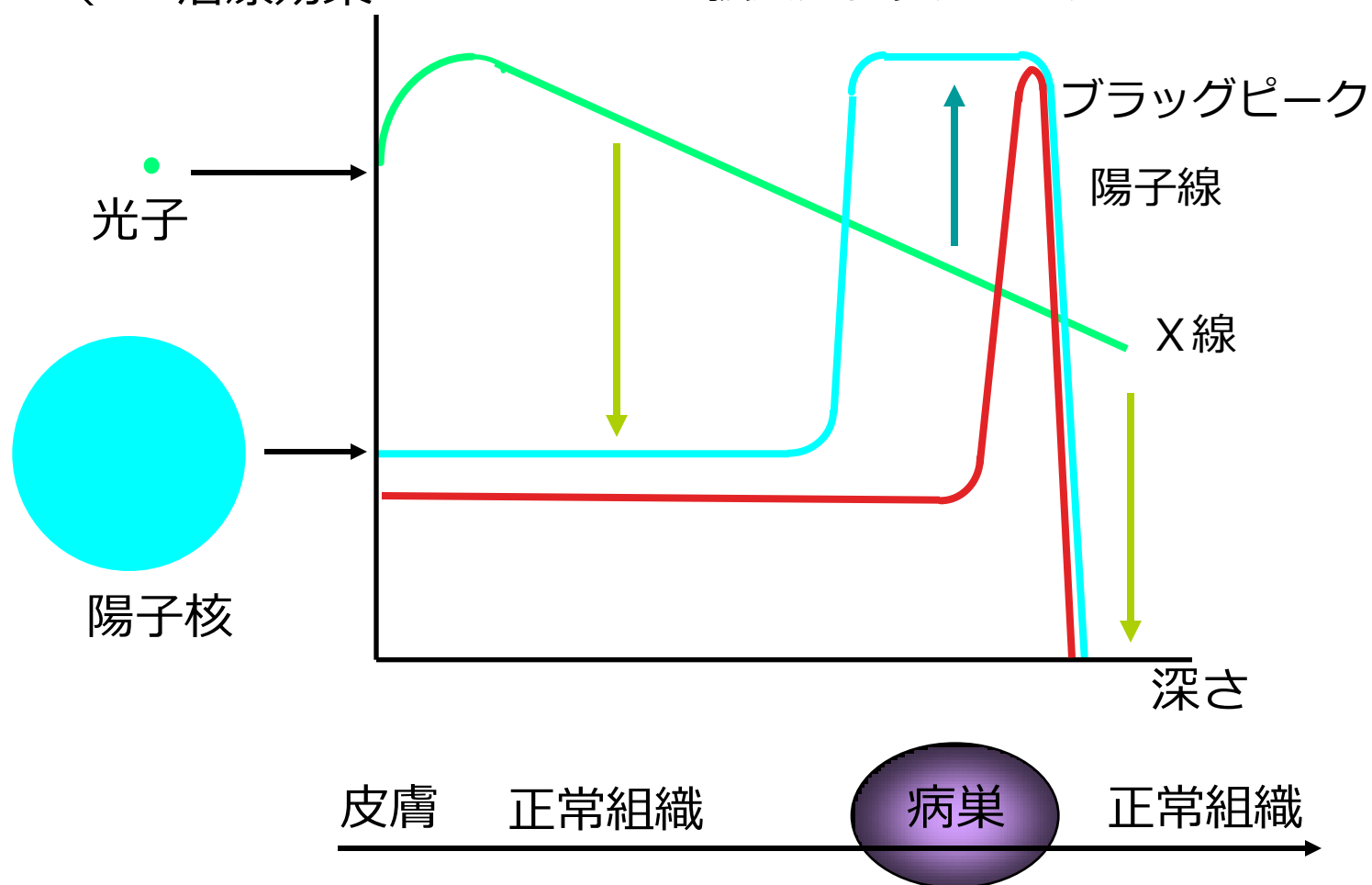


最先端放射線治療－その2 陽子線治療

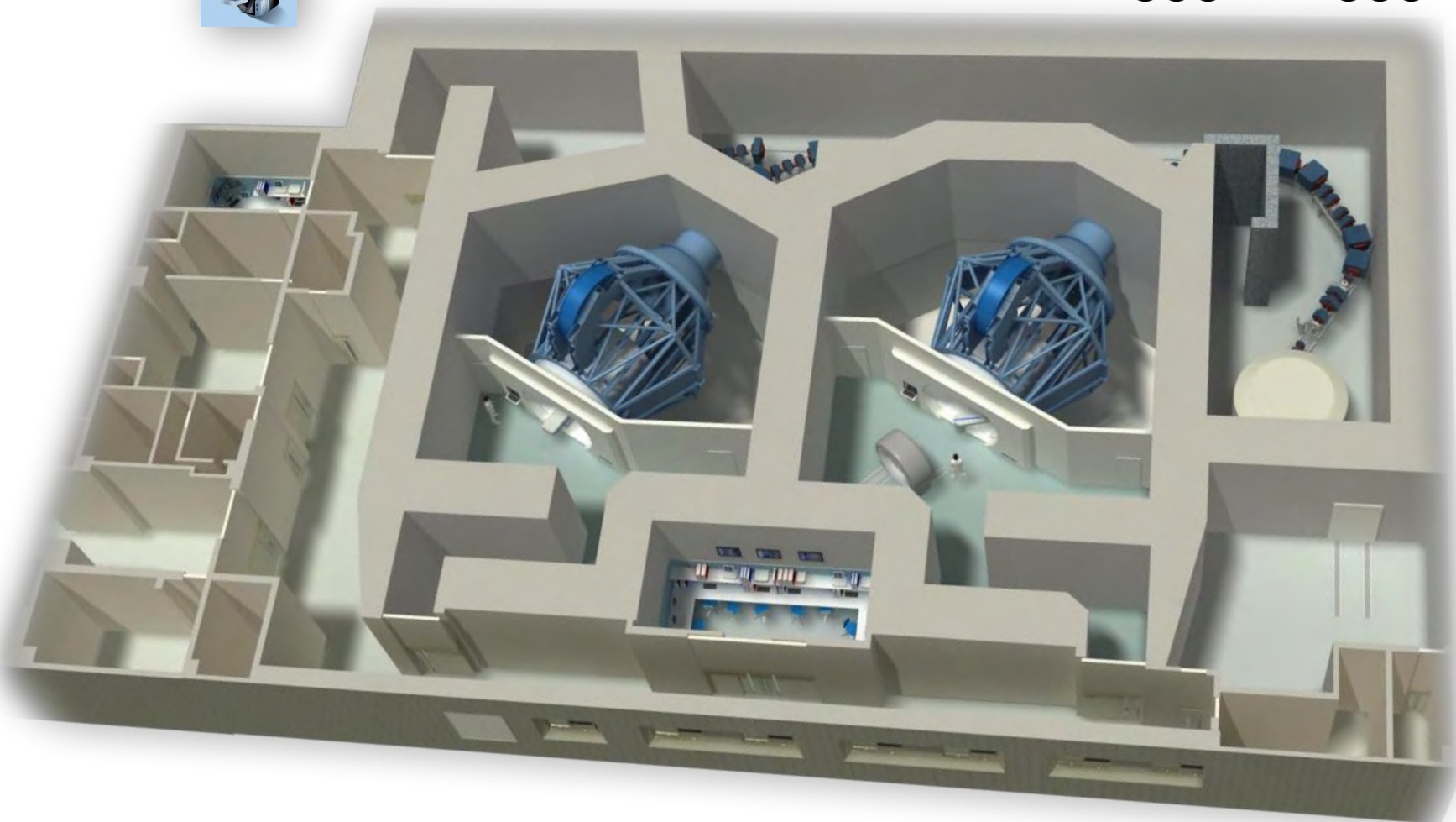
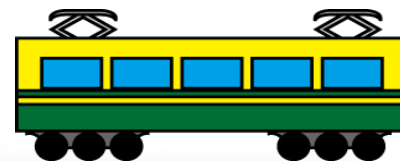
陽子線の特徴

線量 $\rightleftharpoons$ 細胞へのダメージ
 $\rightleftharpoons$ 治療効果

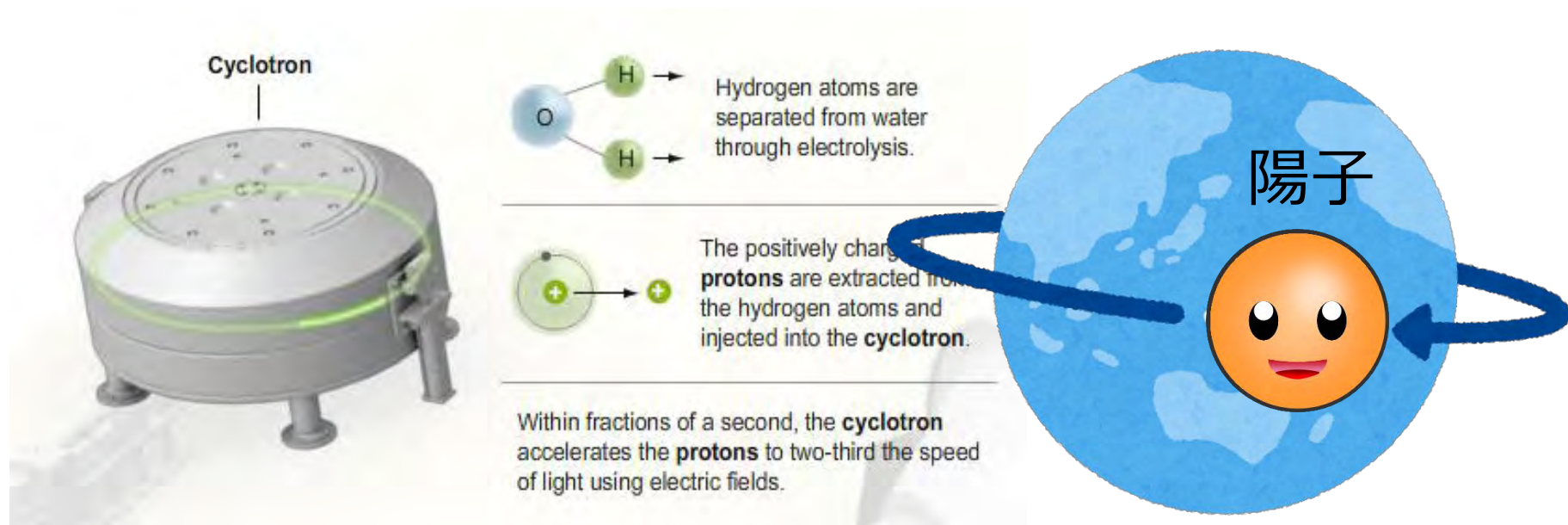
拡大ブラッグピーク



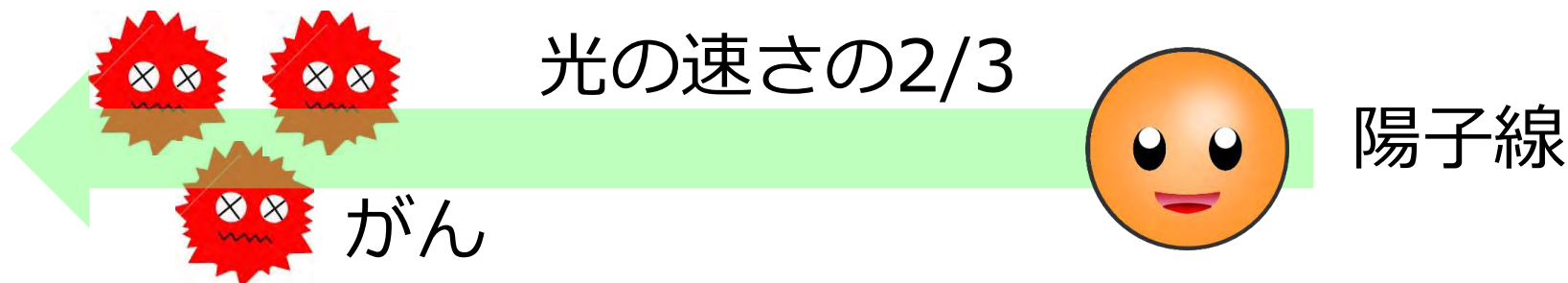
陽子線治療システム



陽子線加速器

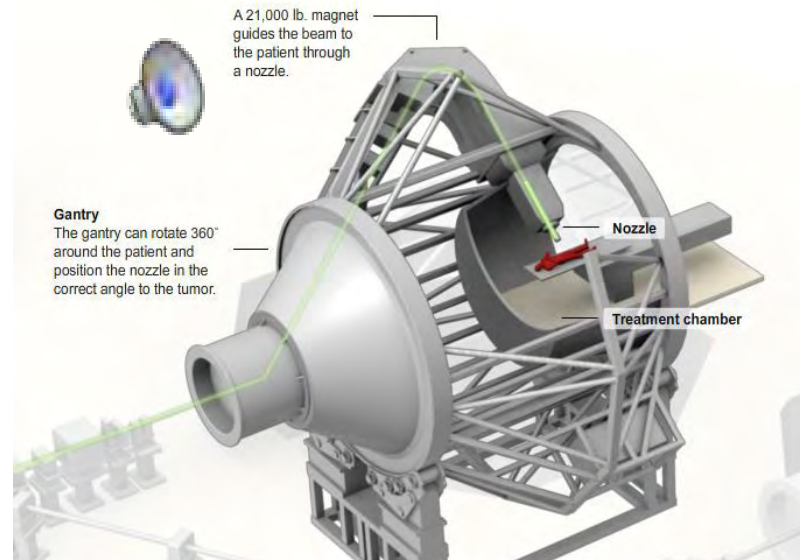
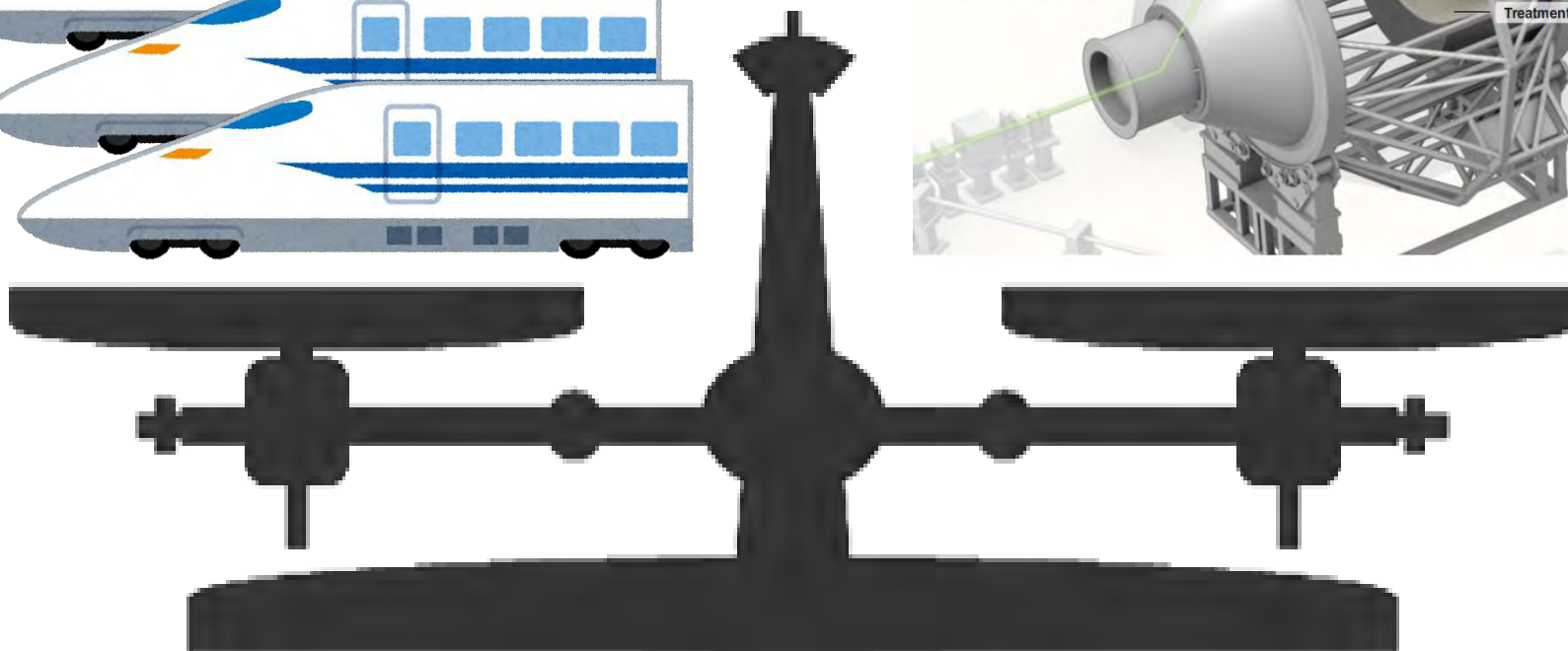
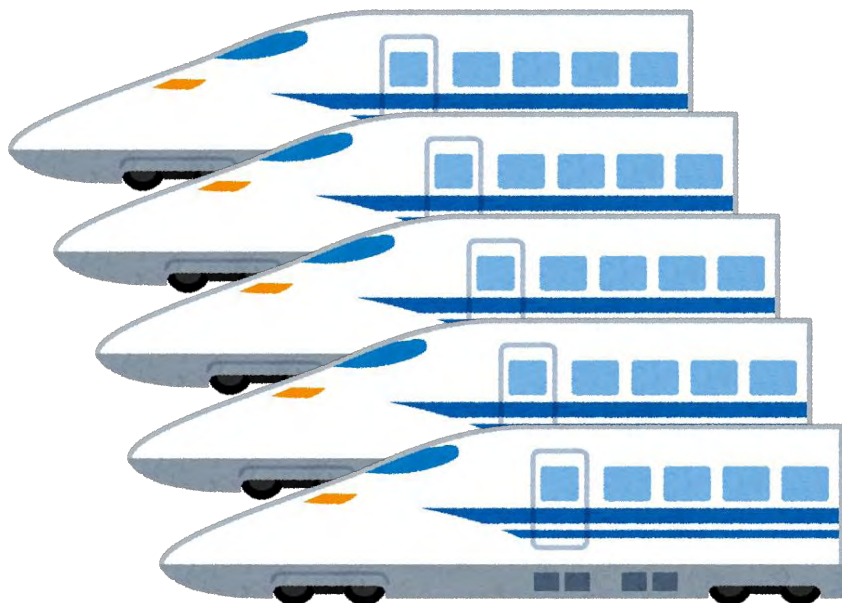


陽子を一秒間で地球を4周半周回する速さにして、
がんへミリ精度で照射する



陽子線回転ガントリー装置

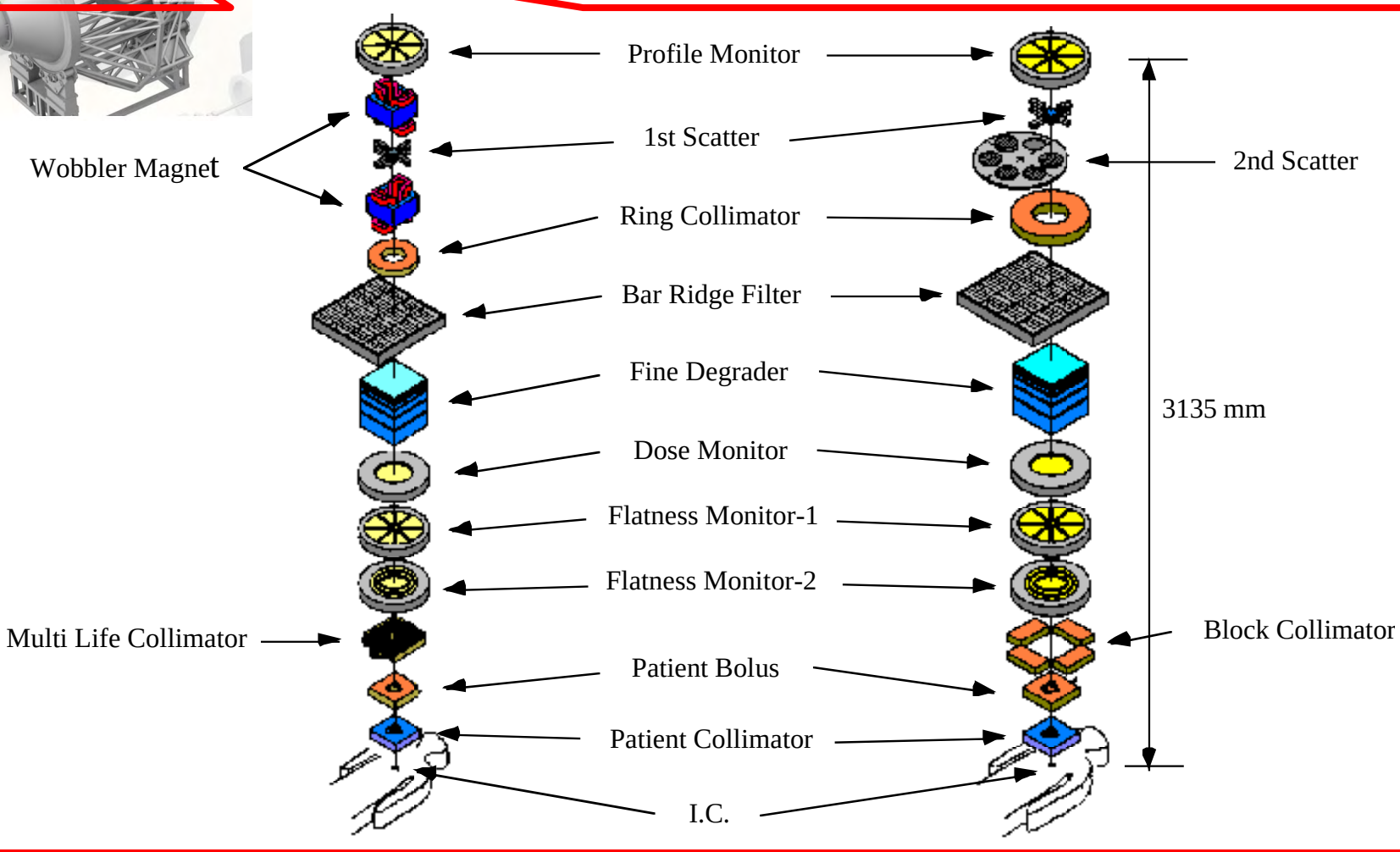
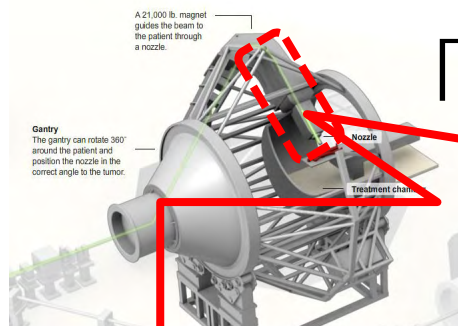
ミリ精度で360度回転



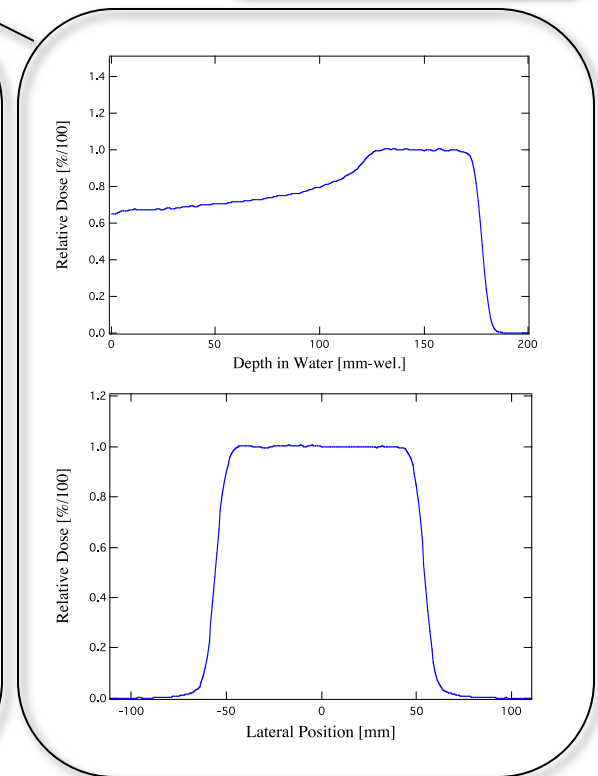
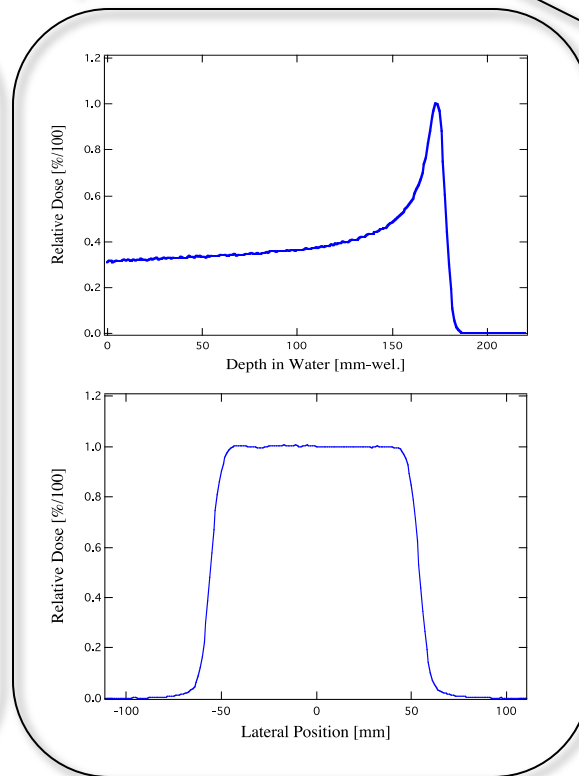
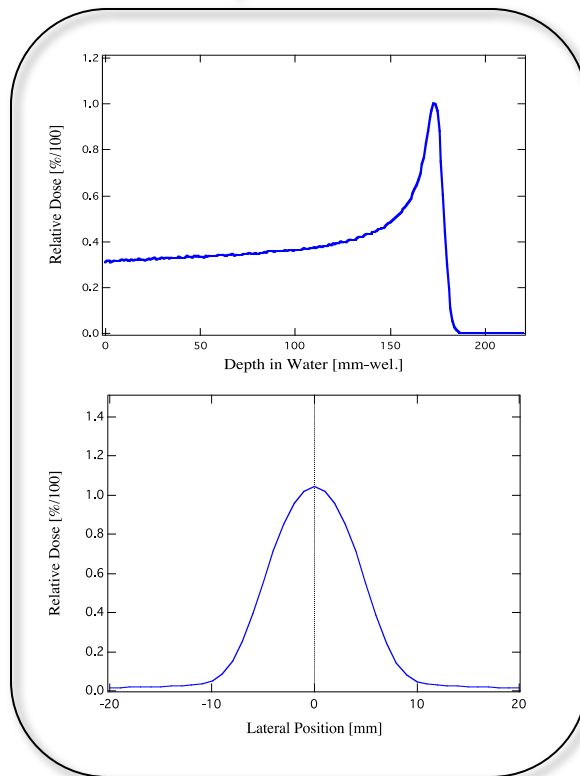
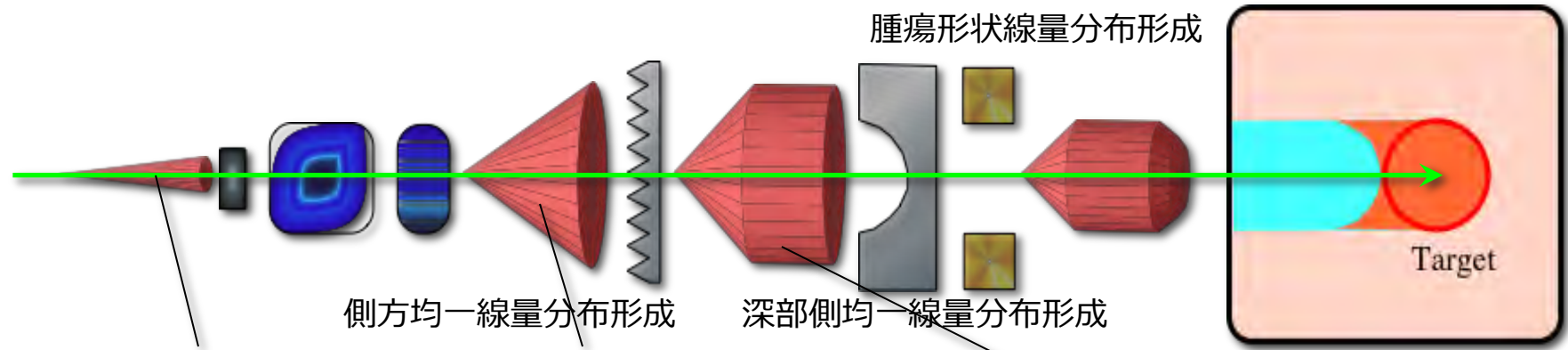
約250トンの重さ

照射領域形成装置

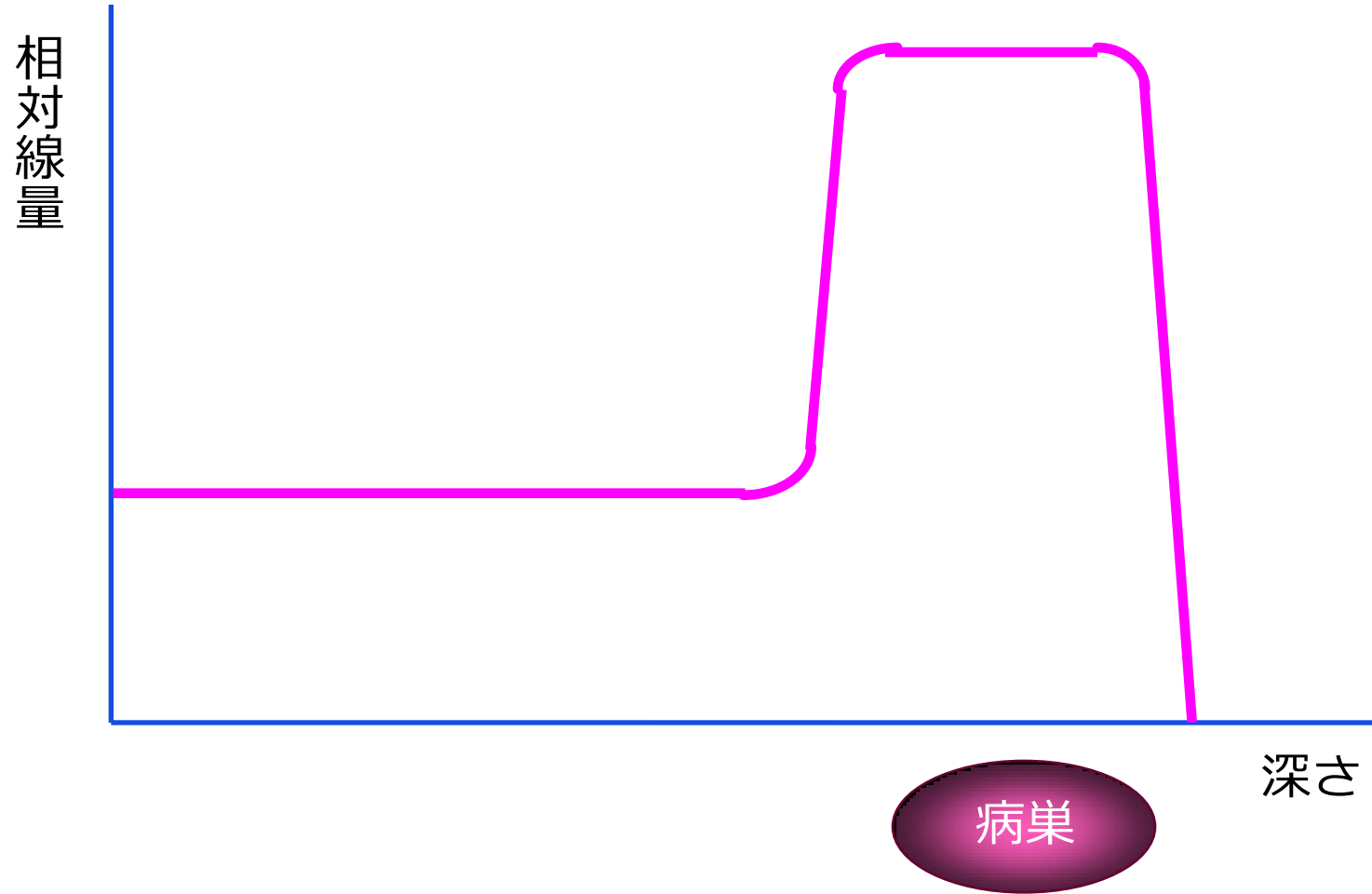
「複雑な精密機器が多数配置されている」



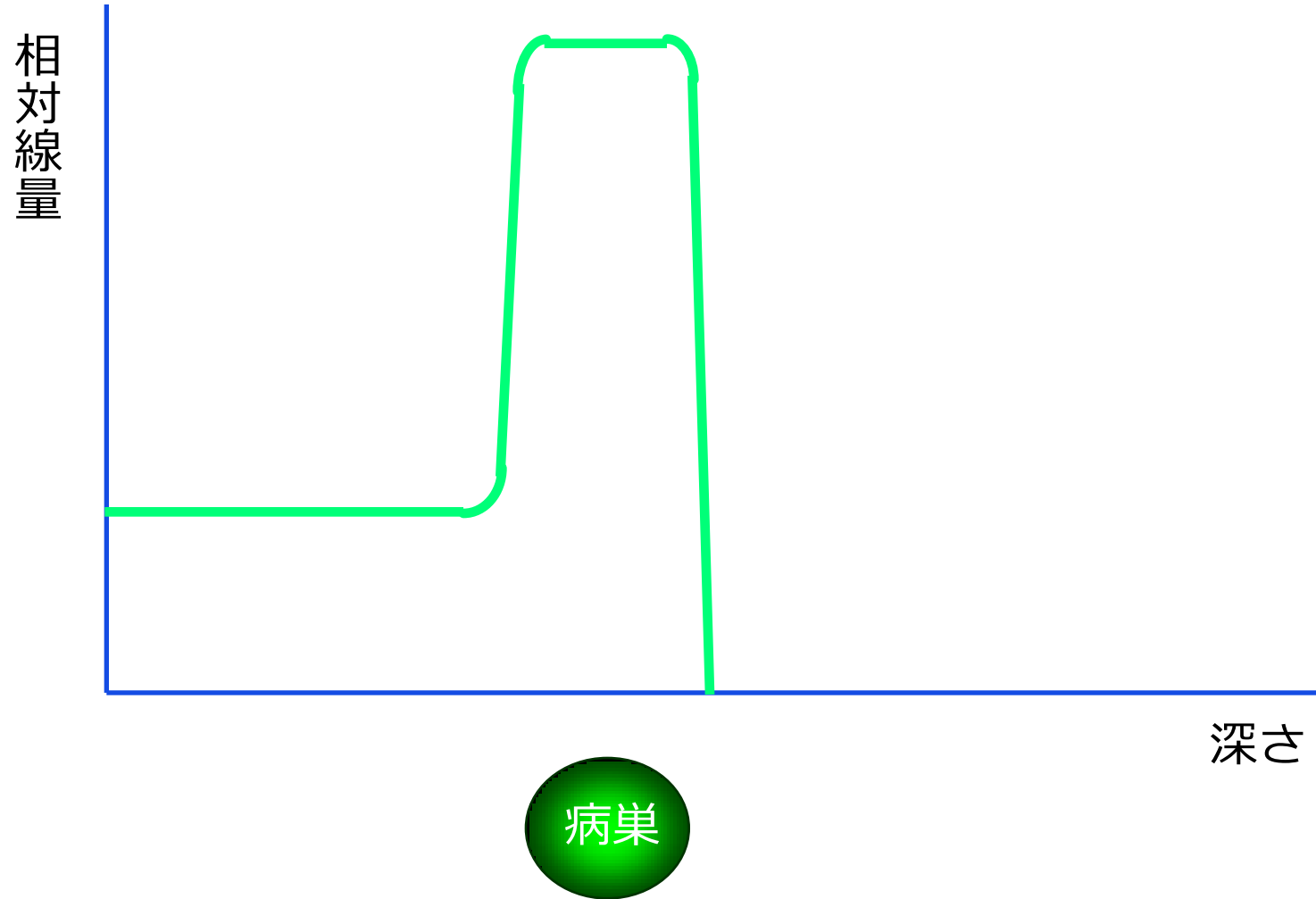
均一線量分布の生成



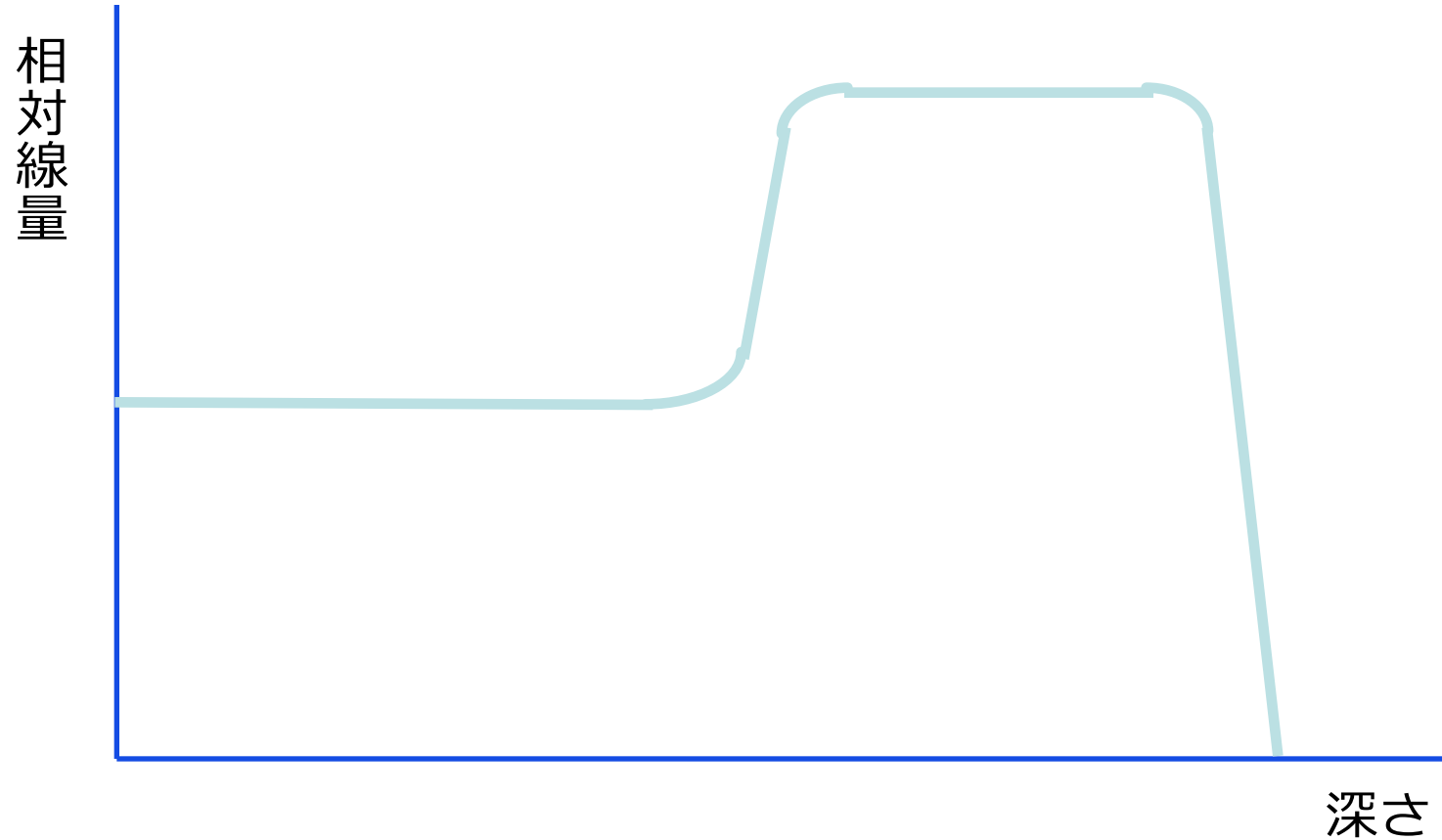
照射領域形成システム



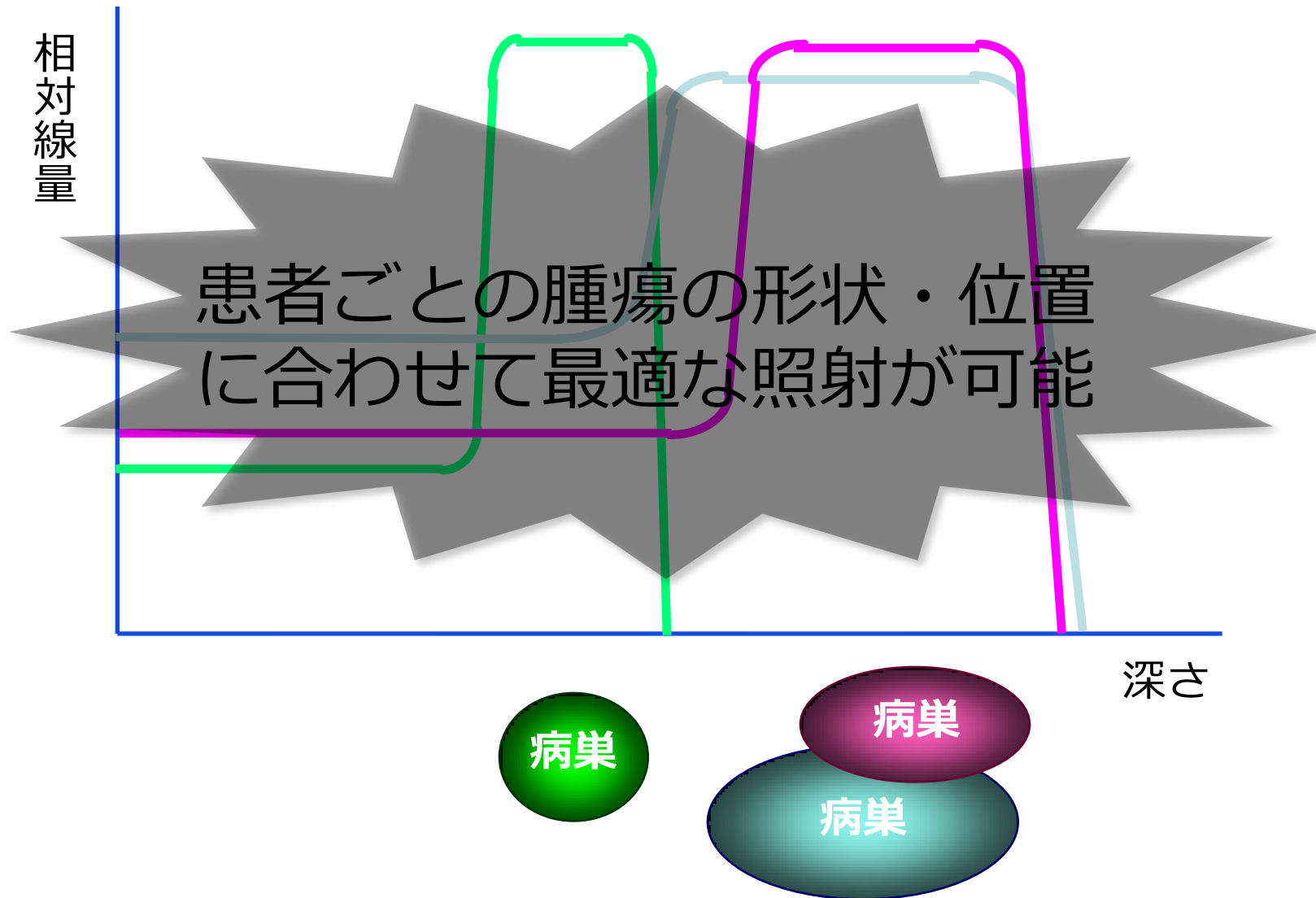
照射領域形成システム



照射領域形成システム



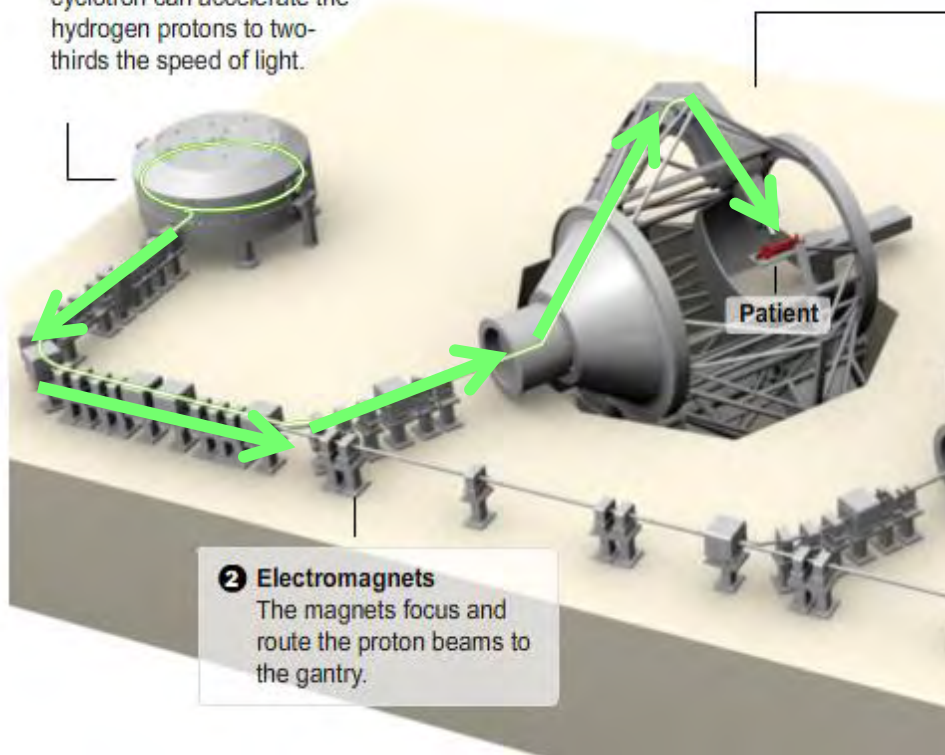
照射領域形成システム



加速器から患者までの陽子の飛行時間

① Cyclotron

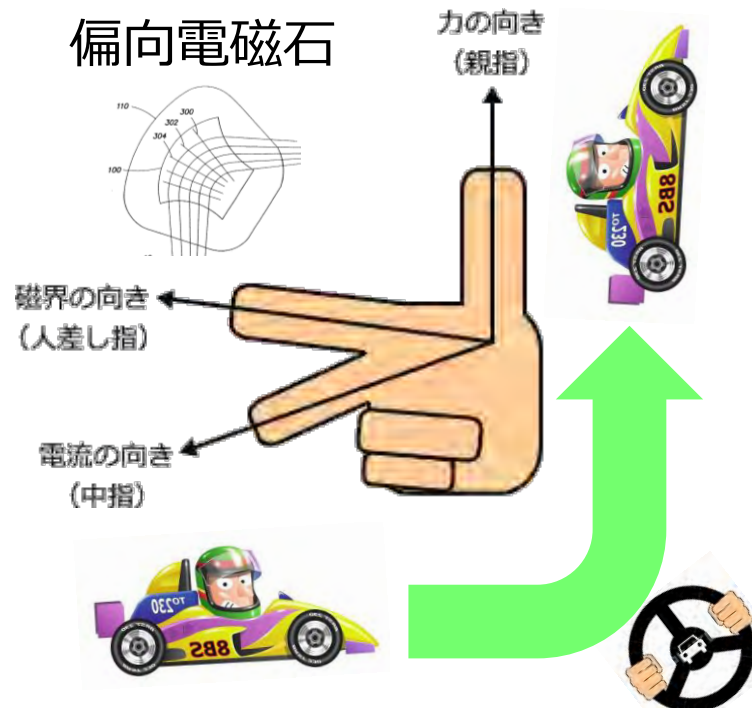
Using electric fields, the cyclotron can accelerate the hydrogen protons to two-thirds the speed of light.



② Electromagnets

The magnets focus and route the proton beams to the gantry.

「フレミングの左手の法則」

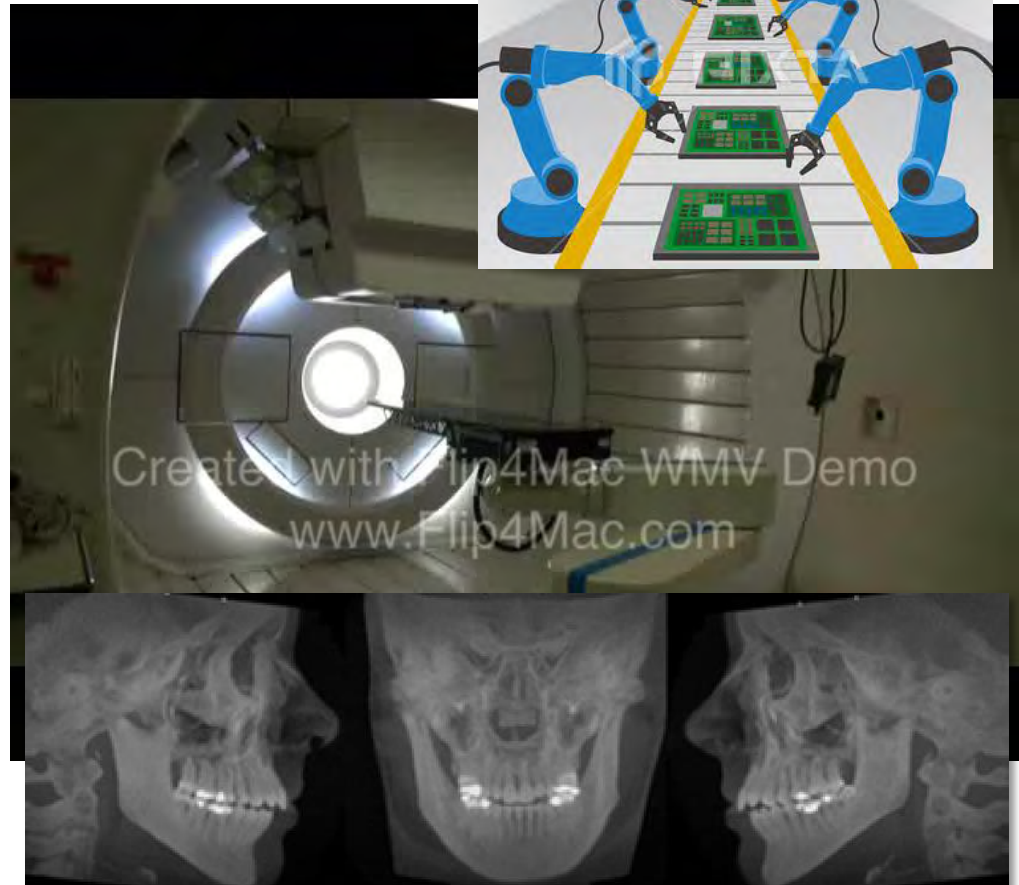
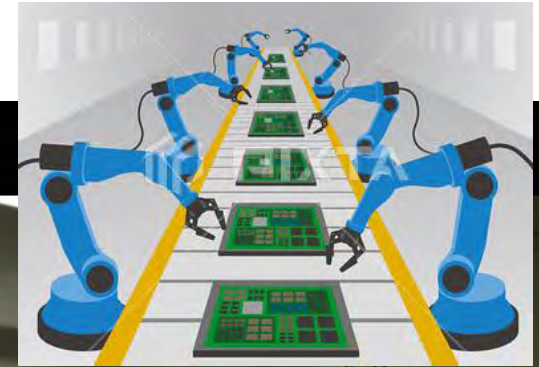


陽子は加速器から患者へ照射されるまでの距離30m
を僅か $150\text{ns}=1.5\times 10^{-7}\text{s}=0.00000015$ 秒で飛行する

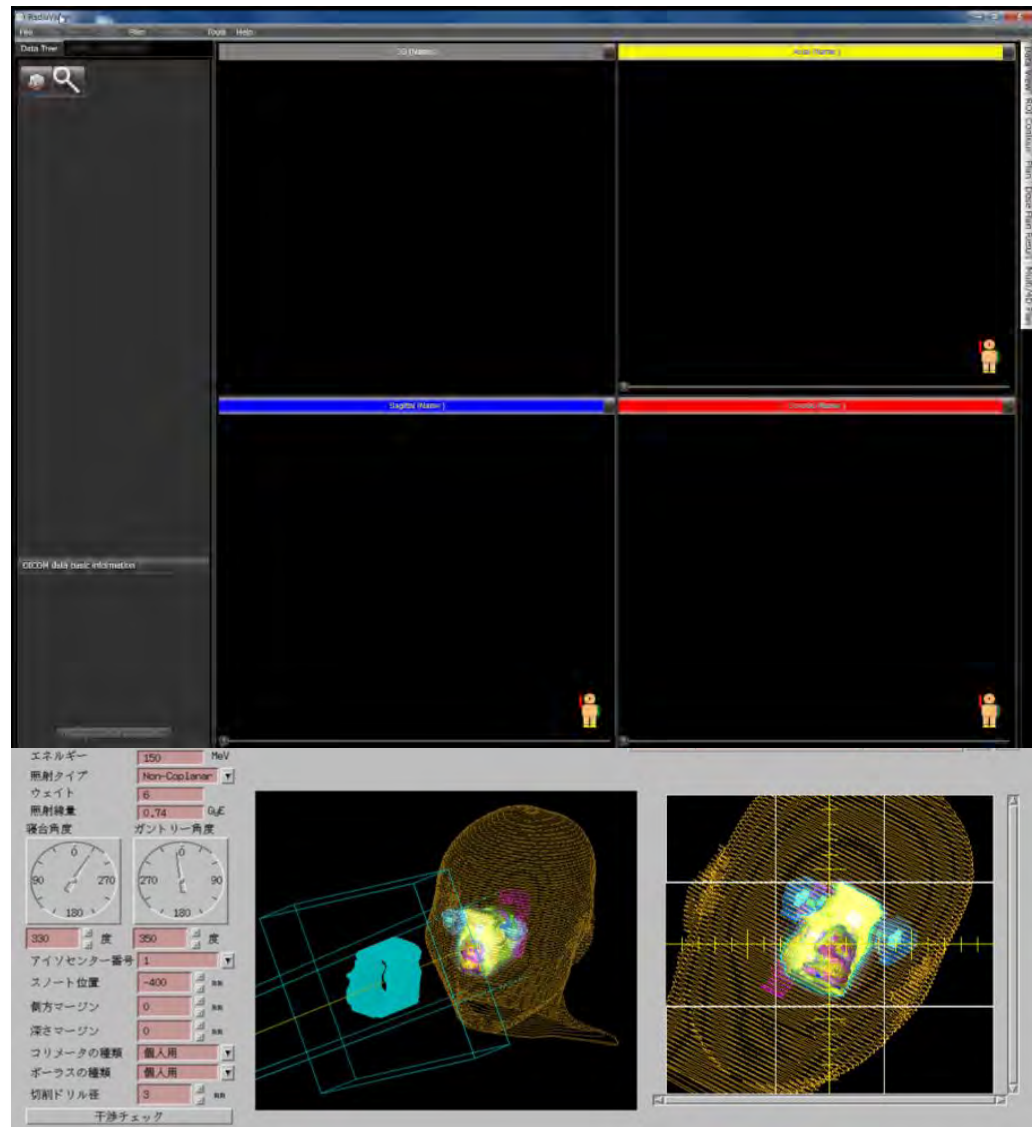
体内中のがんの位置を見る装置



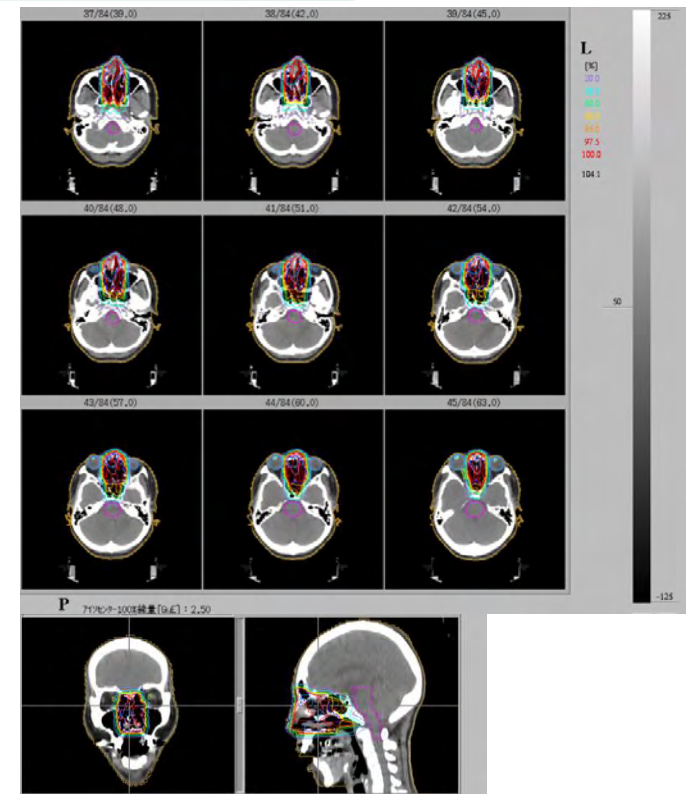
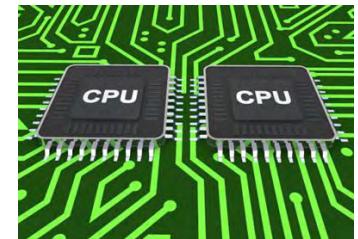
ロボットアームの先端に
透視画像撮影装置と寝台
を搭載



陽子線治療計画装置



コンピュータによる精密計算



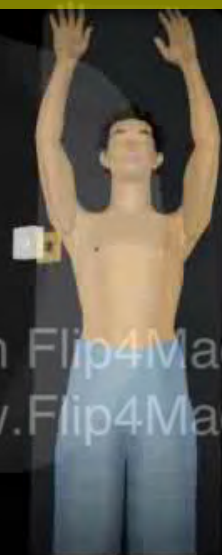
腫瘍形状線量分布形成法

パッシブ照射法



Created with Flip4Mac WMV
www.Flip4Mac.com

呼吸同期照射法

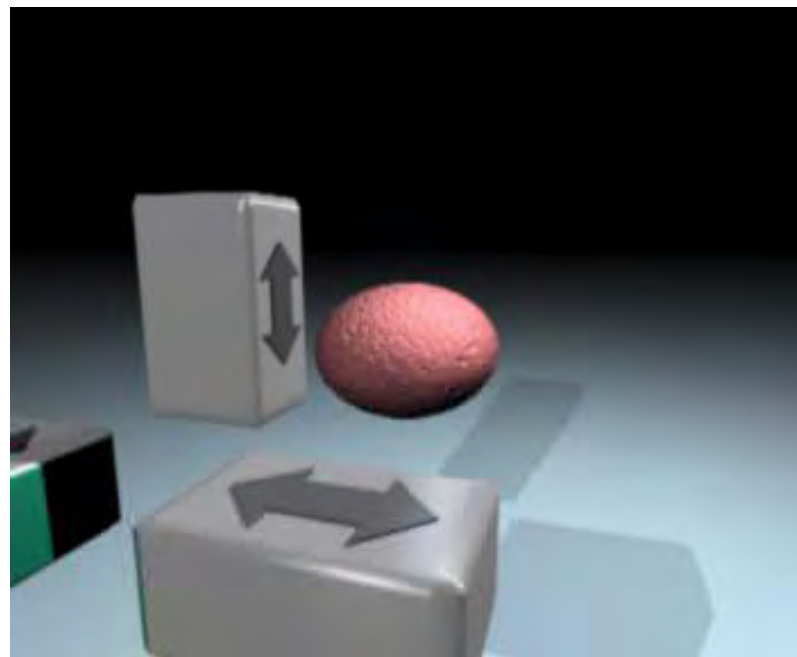


Created with Flip4Mac WMV Demo
www.Flip4Mac.com

強度変調陽子線治療：IMPT

ラインスキャンニング照射法

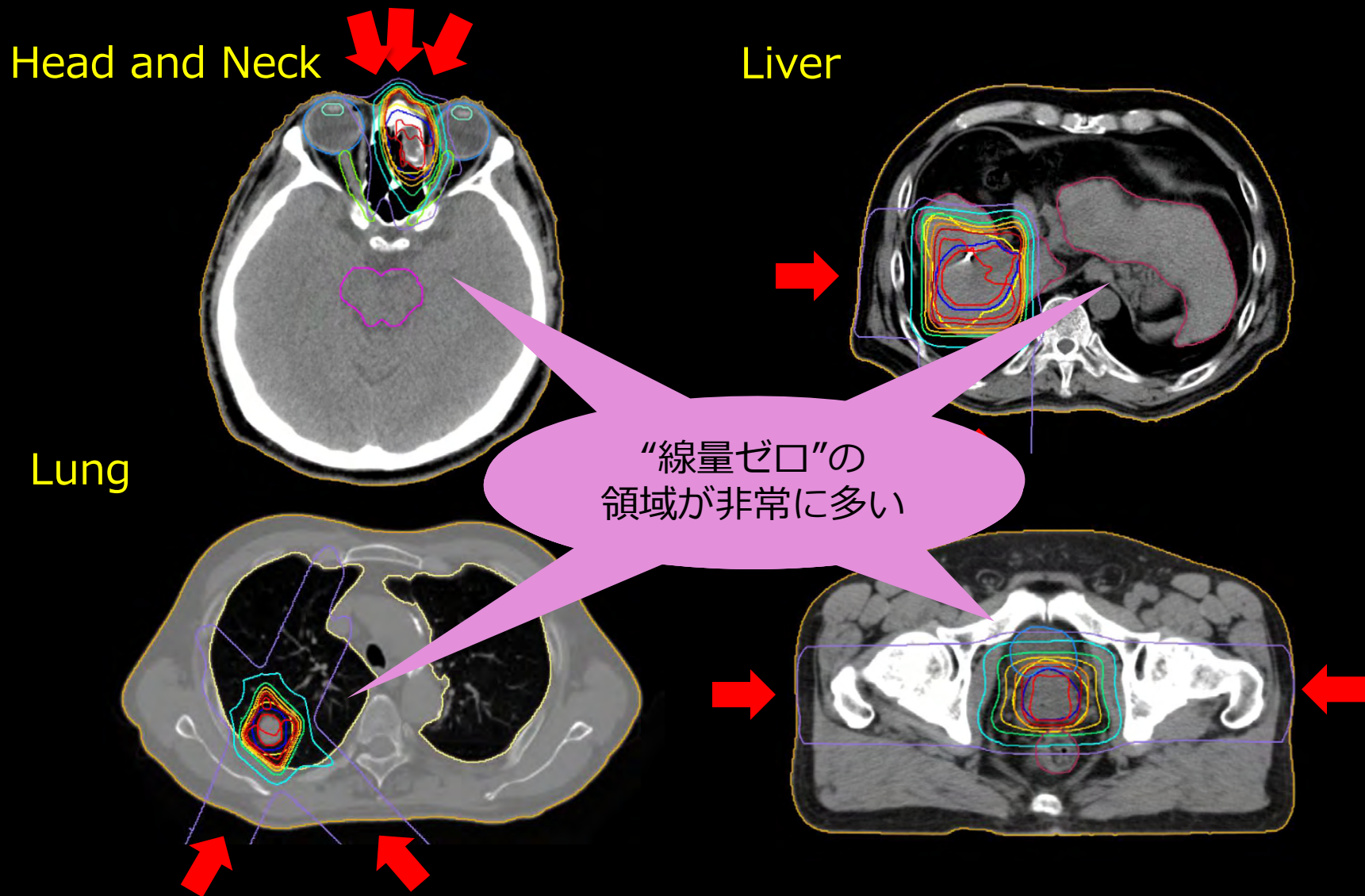
Created with Flip4Mac WMV Demo
www.Flip4Mac.com



270 deg. : "N" "KA"
315 deg. : "C" "SHI"
0 deg. : "C" "WA"

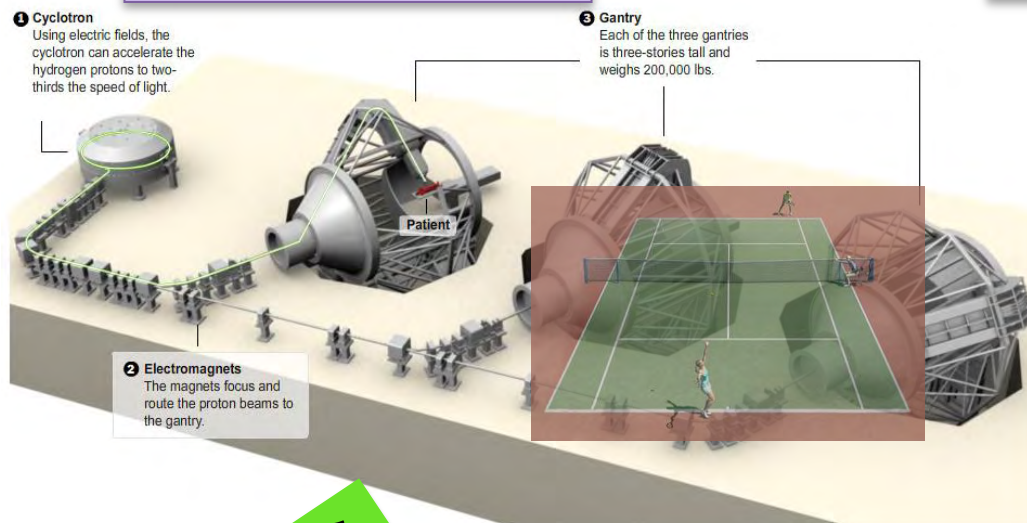
N C C
KASHIWA

陽子線治療線量分布

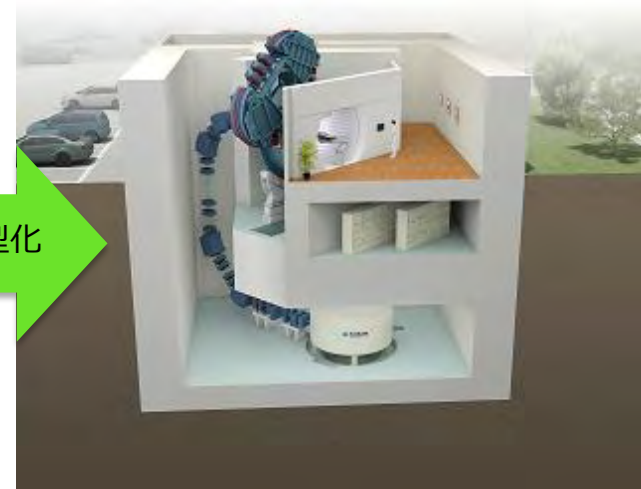


陽子線治療装置の小型化

従来型陽子線治療装置

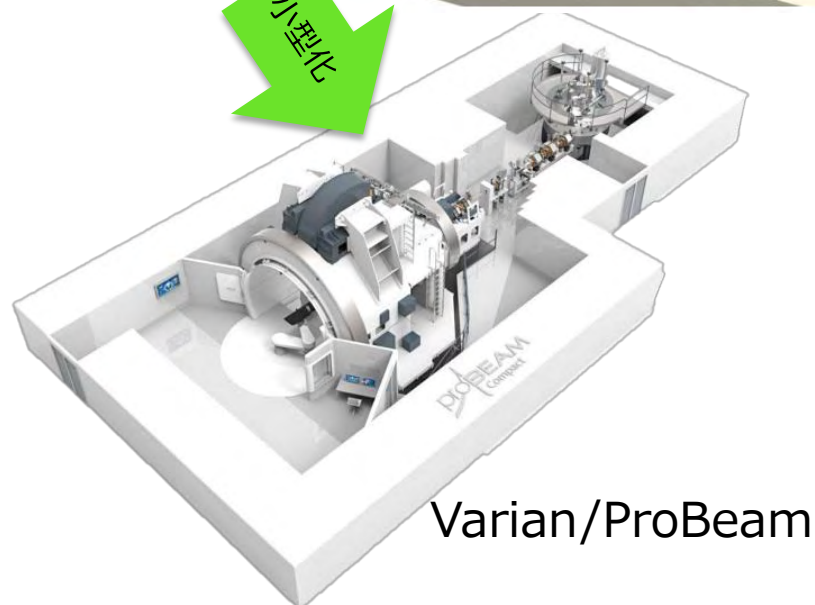


小型陽子線治療装置



小型化

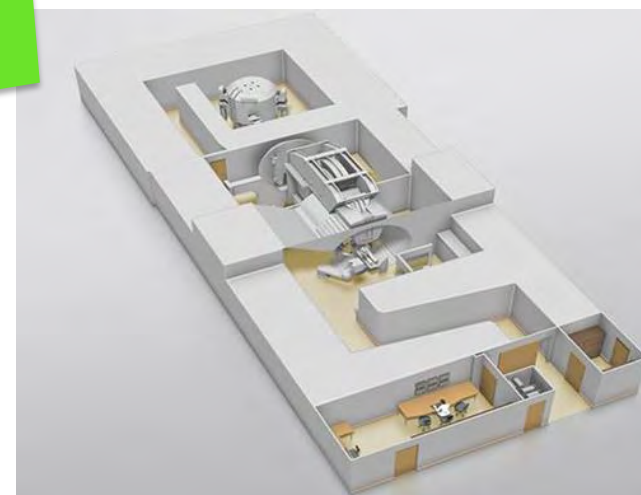
住友重機



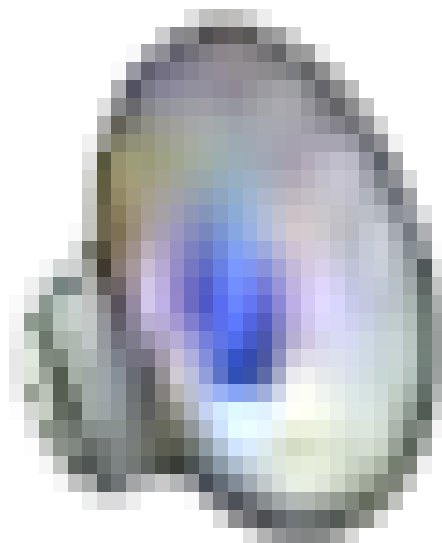
小型化

Varian/ProBeam

小型化



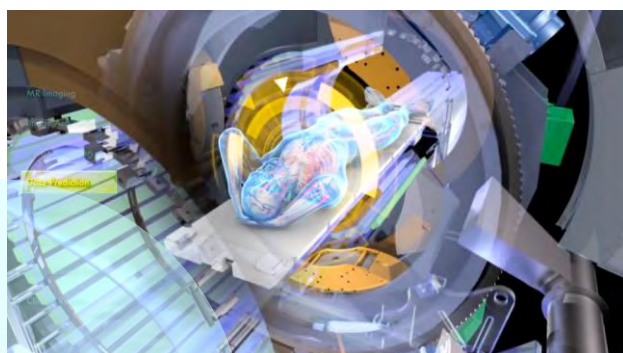
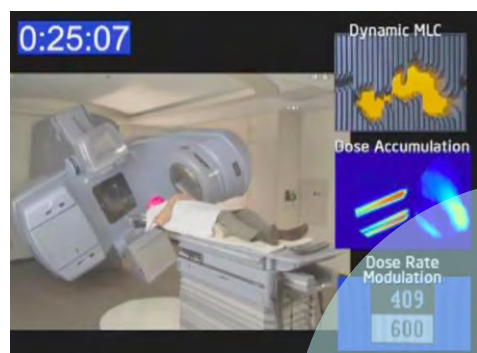
IBA/ProteusOne



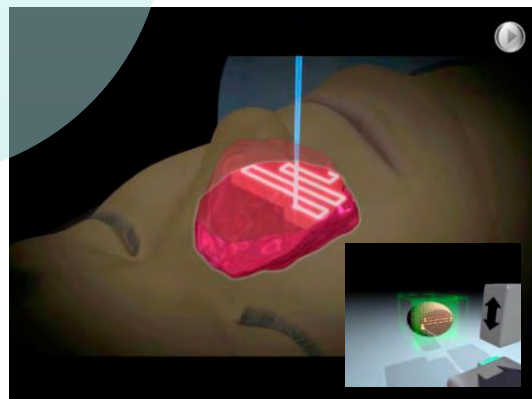
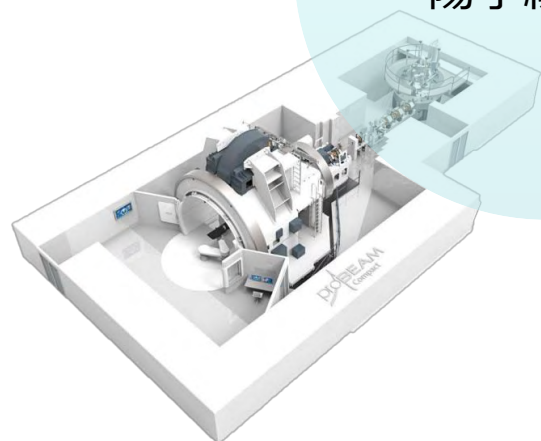
近年の高精度放射線治療は…

近年の様々な技術進歩に伴い、放射線治療の高精度化が急速に進んだ。

→ 高精度放射線治療：予防的・緩和的治療から根治治療への展開



IMRT/IGRT
陽子線治療



高精度放射線治療は、

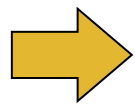
- 放射線物理学
- 放射線計測学
- 電磁気学
- 加速器物理工学
- 統計物理学
- 原子核物理学
- …

幅広い物理学及び工学
の結集体

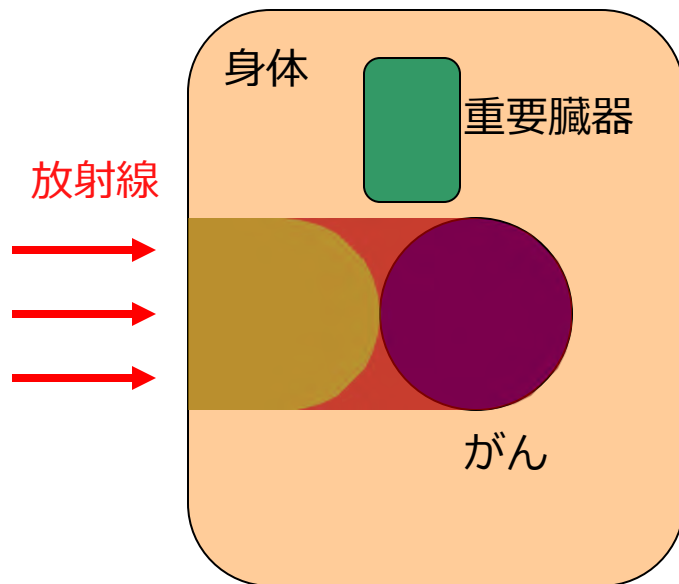
高精度放射線治療の高い線量集中性

ターゲットへの線量集中性が高い反面…

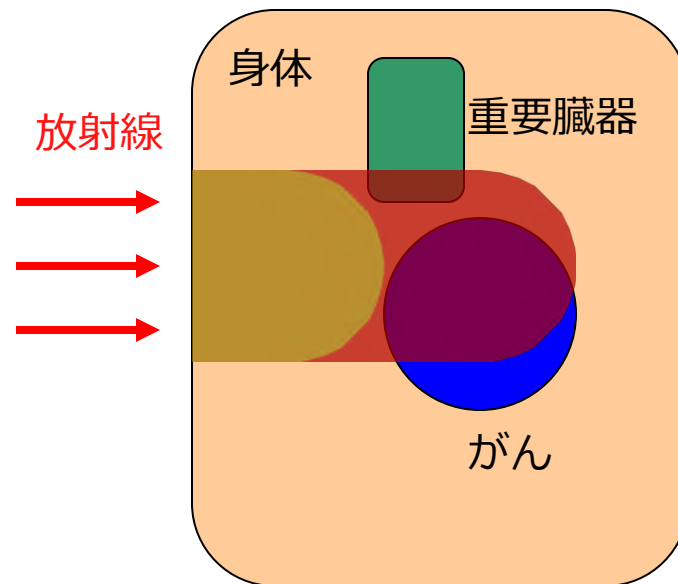
精度の良い事前計画及び実際のビーム照射を行なわなければ、ターゲットへの線量投与が部分的に不足する・重要臓器に高線量が入る。



がんが残るまたは再発する・障害が発生する



精度の良い照射が行なわれた場合



精度の悪い照射が行なわれた場合

高線量を腫瘍へ集中させるためには



腫瘍

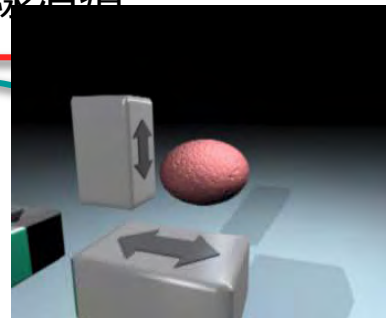
- 正確にシミュレートして！
- 正確に狙って！
- 正確に照射！

することが必要不可欠



4つの先端技術に関する研究開発

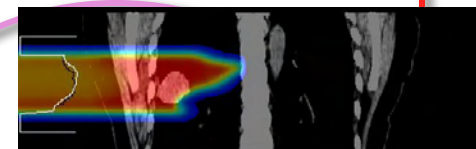
高精度放射線治療



線量



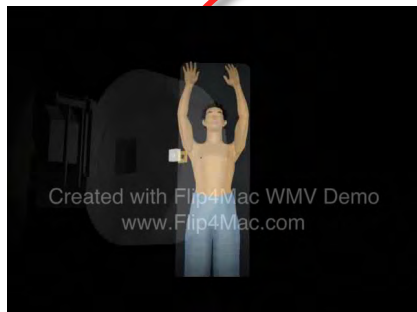
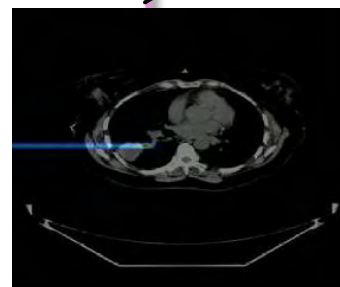
照射システム



シミュレーション
システム



画像システム



放射線治療の未来を担う 医学物理士

医学物理士とは

病院、学校、研究所に所属し、物理工学の面から医学および医療に貢献し、かつ医学物理士の試験を受けて合格した人々を「医学物理士」といいます。（現在、国内に約1,200名）

高精度な放射線治療

高品質の放射線治療を
多くの患者へ提供するには
チーム医療が最も重要

医学物理士

治療装置や技術の向上だけでは、精度の高い放射線治療を患者へ提供出来ない

[illegible]

◆仕事人

医学物理士

などにあたっている

放射線治療より精度高く

医師と技師のすき間埋める



業務内容
放射線治療の計画作りや精度管理。新たな治療法の研究・開発も

資格・条件

日本医学放射線学会による認定試験に合格後、臨床経験を経て認定申請が必要。受験資格は理系の学位を持つ経験者や放射線技術・医学物理系の修士以上。

学会の認定を受けた382人の多くは医師や放射線技師。がん医療の専門家庭教育を目指した文部科学省の「がんプロフェッショナル養成プラン」で約30大学が養成コースを設置した

日本で認定制度ができたのは一九八七年。数がなかなか増えず、要件を緩和したところ、放射線技師が多数合格した。本来の仕事で手いっぱいでは、医学物理士としての仕事をしている人は多くない」と西尾さん。

元の専門は天体核物理

たりの面を再現したC
G(コンピュータ)グラフィックの画像が浮か
び上がった。患者の診
査記録、診断結果、症
候、CT写真、医師の診
断結果が作り付けた
ものだ。この画像を延に隔
てて、正常な顔面を偽つ
てしまふ。例は鼻や
おめが眼に押した放
射線が原因となつた
抵抗力低下や手足の麻痺
、起る。治療は、
高次で、手動による。治癒
の精度を高めることは患
者、この数字すら裏腹
に必要の近しい。

退、これに
至るは医療関係士養
成、取り組む大学が増
え、その陰謀中では放
射線の治療を受ける
高次とみられており
、高次は急務だ。

社会部 吉田直子

医学物理士とは

- ❑ 患者ごとの治療計画実施や投与線量精度管理。
- ❑ 臨床現場において、治療装置の精度や性能の維持管理及び向上に貢献すること。
- ❑ 医学物理分野の発展・進歩において、研究開発面で貢献すること。
- ❑ 医学物理士の人材育成や教育に貢献すること。

がんの放射線治療はテクノロジーの進歩が著しい分野。最近ではコンピュータを使い、腫瘍（しゅよう）にピンポイントで放射線を当てて治療も可能になった。

体内の見えない腫瘍の位置や形、大きさを正確につかみ、放射線の当て方をミリ単位で調整するには物理の専門知識が必要になる。医学物理士は高度化する放射線治療を支える医療スタッフだ。

「医師と放射線技師の守備範囲にできたすき間を埋める仕事」。国立がんセンター東病院（千葉県柏市）の医学物理士、西尾慎治さん（40）は自らの職務をこう表現する。キャリアは約十年。陽子線治療施設を使った治療計画作りの精度管理

仕事人

医学物理士

などにあたっている。西尾さんがコンピュータの画面を開くと、人体の一部が再現されたCG（コンピュータグラフィックス）画像が浮かび上がった。患者のコンピュータ断層撮影装置（CT）写真や医師の診断結果から作り上げたもの。

放射線治療より精度高く

医師と技師のすき間埋める

この画像を基に陽子線が効果的に腫瘍に当たるよう計算し、治療計画を仕上げる。放射線治療は切らずにがんをたたく効果がある。必要のない場所に当てる精度を高めることは、患者の生活の質（QOL）の維持に直結する。



陽子線治療の計画をたてる西尾さん

業務内容	放射線治療の計画作りや精度管理。新たな治療法の研究・開発も
資格・条件	日本医学放射線学会による認定試験に合格後、臨床経験を経て認定申請が必要。受験資格は理系の学位を持つ経験者や放射線技術・医学物理系の修士以上
業界事情	学会の認定を受けた382人の多くは医師や放射線技師。がん医療の専門家育成を目指した文部科学省の「がんプロフェッショナル養成プラン」で約30大学が養成コースを設置した

を反映していない。日本で認定制度ができたのは一九八七年。数がなかなか増えず、要件を緩和したところ、放射線技師が多数合格した。本来の仕事で手いっぱい、医学物理士としての仕事をしている人は多くない」と西尾さん。

元の専門は天体物理学。全く異なる分野のようだが、「放射線が星の中でどんな反応を引き起こすか」という研究だった。そこで、人体の中で起こす反応を計算する今の仕事とは概念的に近い。

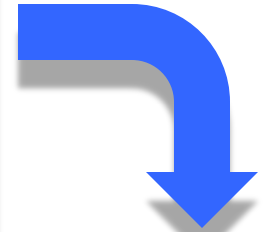
最近では医学物理士の養成に取り組む大学が増えた。がん医療の中で放射線治療の比重は将来的に高まるとみられており、人材育成は急務だ。（社会部 吉田直子）

医学物理学の魅力とは

- **“がん患者の治療のため”**といった明確な目的を持つことが出来る。
- **“医療人としての自覚と責任感”**を持つことが出来る。
- 様々な職種の方との協力体制の基で、研究面だけでなく人格形成面でも**“幅広い視野”**を養うことが出来る。
- 短期間で結果が出せるものから結果が出るまで長期間必要となるものなど**“研究テーマが数多く存在”**する。
- 国内では確立されていない分野であるので、努力次第では**“医学物理分野のパイオニア”**になることが出来る。

医学物理学研究の魅力とは

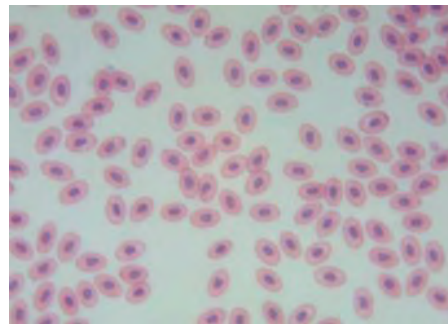
宇宙



巨視的な世界からより微視的な世界へ



人体



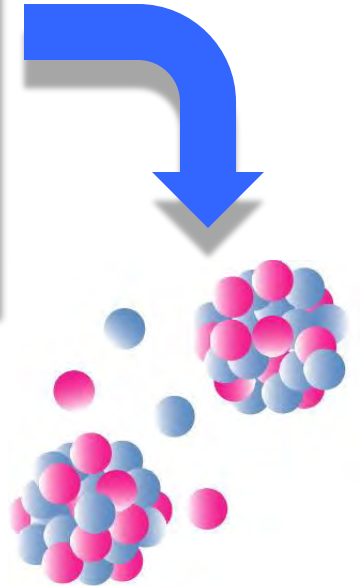
観ている対象は意外と同じスケール

医学物理学研究の魅力とは

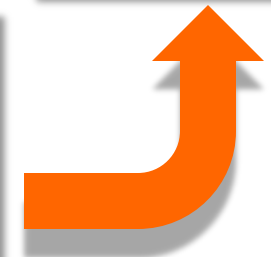
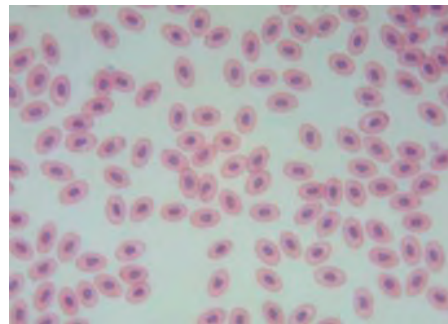
宇宙



巨視的な世界からより微視的な世界へ

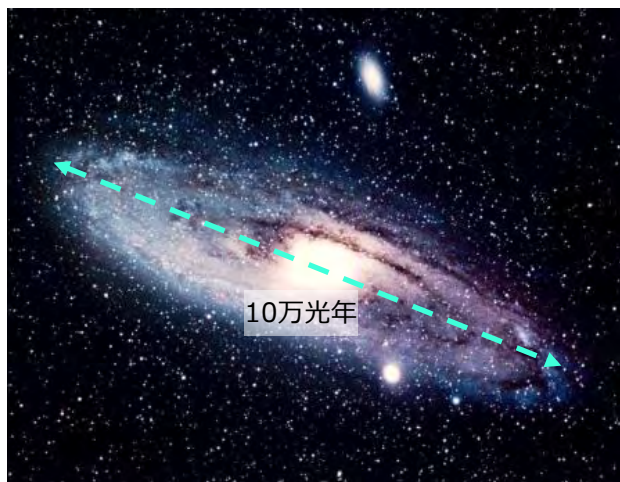


人体



基礎や技術の応用から臨床までの幅広い研究が可能

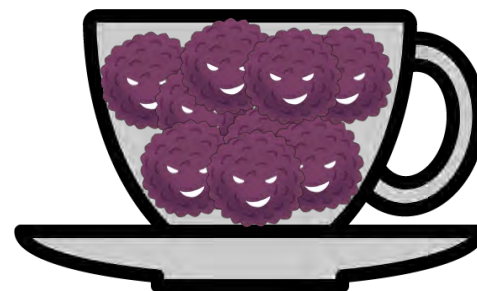
医学物理学研究の魅力とは



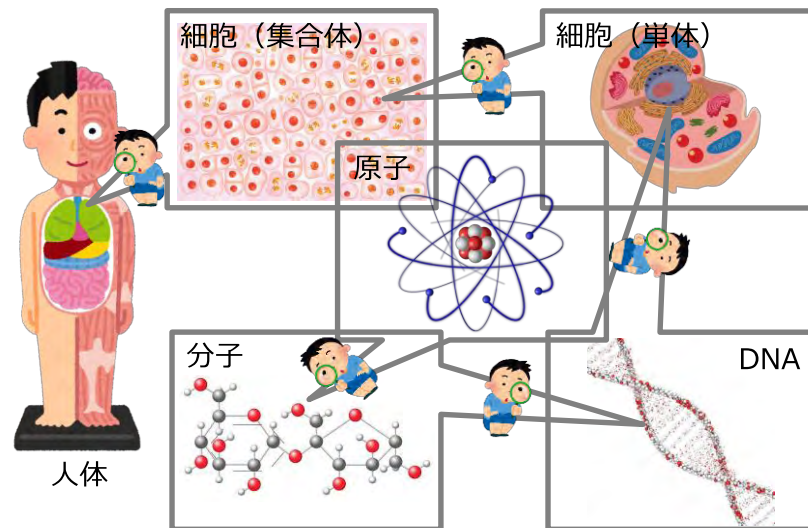
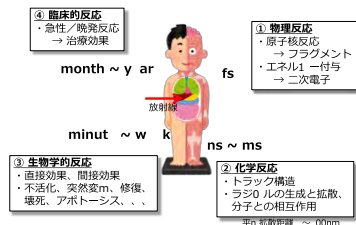
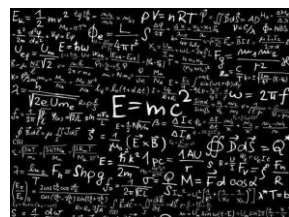
銀河系の恒星の数：2,000億個
(全宇宙の恒星の数： 10^{22} 個)

星間距離が長い
(平均で4光年、太陽-地球：光速で8分)
「星間の相互作用は無視出来る」

ほぼ同じ個数



コップ一杯のがん細胞の数：2,000億個
(人体の細胞の数：37兆個)



人体構造の仕組みは宇宙の恒星構造
の仕組みより複雑で難しい

人体の細胞や分子などは
電磁的相互作用をしている

医学物理学とは…

医学物理学とは、名前の通り、医学と物理学です。



医学物理学

大学を卒業して、医療現場に入ってから十分学ぶことも可能

学部・大学院で物理の基礎を十分学ぶことが理想

医学物理学とは…

医学物理学とは、名前の通り、医学と物理学です。

医学
物理学

医学物理学とは…

医学物理学とは、名前の通り、医学と物理学です。

医学という学問は幅広い



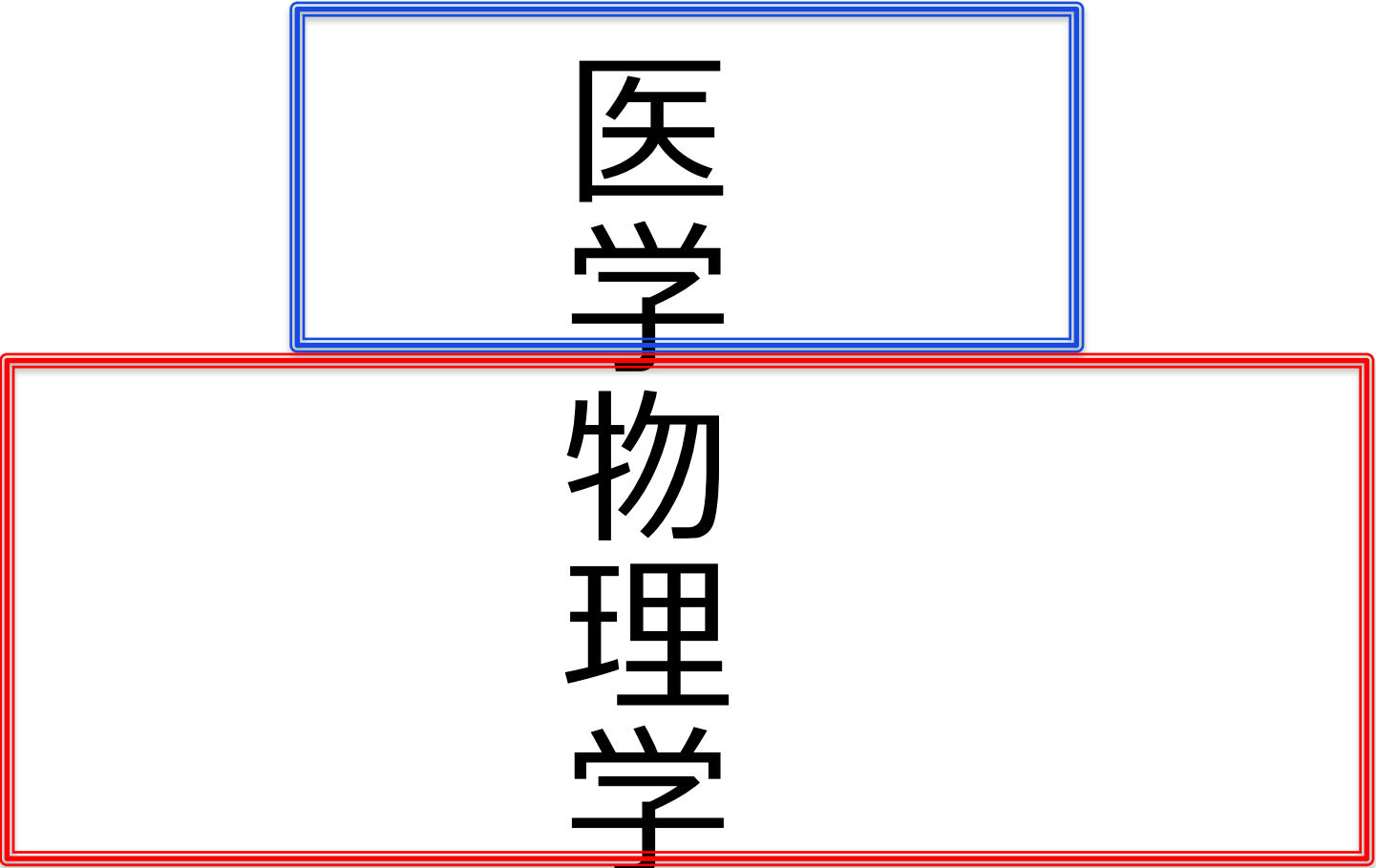
医学
物理学



医学物理学とは…

医学物理学とは、名前の通り、医学と物理学です。

医学という学問は幅広い



医学
物理学

物理学を幅広く学び、しっかり支える土台作り

医学物理学とは…

医学物理の場合は、

医工連携 → 医学、理学、工学、保健学 → 医理工保連携

医学
物理学

物理学を幅広く学び、しっかり支える土台作り

産学官連携による医学物理学研究と教育



立教大学



東京大学



北里大学



広島大学



京都大学



東海大学

医学物理研究

東京女子医科大学
早稲田大学



聖路加国際病院



国立がん
研究センター



原子力分野との

研究及び人材育成で

密な連携体制を構築したい
と考えています



放射線医学総合研究所



RIKEN
NISHINA
CENTER

独立行政法人 理化学研究所
仁科加速器研究センター

ご清聴有り難うございました

「東京女子医科大学大学院医学研究科医学物理学分野」
－ 最先端の医学物理学の研究教育を実施する専門の大学院 －

医学物理学教員4名

医学物理学分野について

① 医学物理学分野とは

② 医学物理研究について

③ 医学物理士とは

④ 医学物理学分野研修内容について

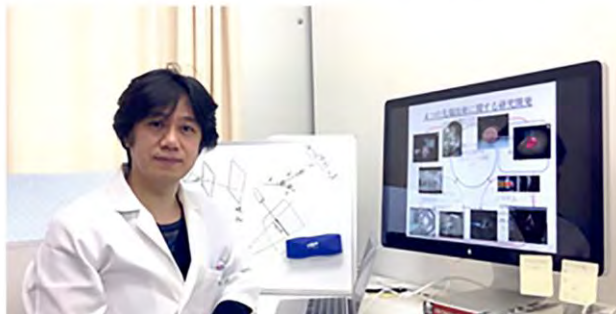
⑤ 医学物理学分野大学院生募集

医学物理学分野について

医学物理学分野とは

がんの放射線治療では、放射線と照射する人体との相互作用による物理反応を切っ掛けに、化学反応、生物反応が連鎖し、腫瘍細胞を殺傷します。医学物理学とは基礎物理学を基盤とする、放射線物理学、原子核物理学、原子・分子物理学、放射線計測学、電磁気学、物理数学、情報工学、医学、生物学などの幅広い学問の結集体であり、その知識及び成果を医学へ展開する学術分野が医学物理学分野です。

放射線治療が高度化する一方、その治療装置や技術の品質保証及び管理の項目は、より一層の複雑化を招いています。その結果、治療装置や技術の品質保証及び管理の業務は非常に幅広い領域で多岐に渡っており、現場の医療従事者の負担増になっています。そのため、それらの業務の中心的役割を担う人材が必要となります。また、放射線治療の高精度化には、医学物理学の研究開発が重要です。それ故に、大学や研究所においては革新的な医学物理学研究及び開発、研究者の育成を主体的に実施する人材が必要です。それらの業務を専従で実施するのが医学物理士であり、国内初の医学物理学の専門分野である当大学の医学物理学分野では、臨床現場や大学・研究所で活躍出来る医学物理士の研究教育と人材育成を目指します。



(左から、松原、西尾、寅松、恒田)

国内初の医学物理学分野

御興味ある方は下記まで御連絡下さい

nishio.teiji@twmu.ac.jp