

筑波大学附属病院への交通のご案内



自動車

東京常磐自動車道 谷田部IC > 西大通りをつくばセンター方面へ
→ 春日3丁目交差点を右折 → 筑波大学附属病院

高速バス

東京駅八重洲口 → つくばセンター行バス → つくばセンターより
筑波大学中央行バスに乗換え → 筑波大学病院入口で下車

鉄道

上野 JR常磐線(各駅) 荒川沖駅 > つくばセンター経由
筑波大学中央行バス → 筑波大学病院入口で下車
上野JR常磐線(特急・急行) 土浦駅 つくばセンター経由
筑波大学中央行バス → 筑波大学病院入口で下車

自動車

成田 → 国道408号線を土浦・学園都市方面 → 西大通り → 春日
3丁目交差点を右折 → 筑波大学附属病院

高速バス

成田 → つくばセンター経由土浦駅行バス → つくばセンターで
筑波大学中央行バスに乗換え → 筑波大学病院入口で下車

連絡先



〒305-8575 つくば市天王台1-1-1
筑波大学陽子線医学利用研究センター
センター長 秋根 康之
電話:0298-53-7100
ファックス:0298-53-7102
Email yakine@pmrc.tsukuba.ac.jp
ホームページ <http://www.pmrc.tsukuba.ac.jp/>

2002.03.20

Proton Therapy

陽子線治療



筑波大学陽子線医学利用研究センター

はじめに

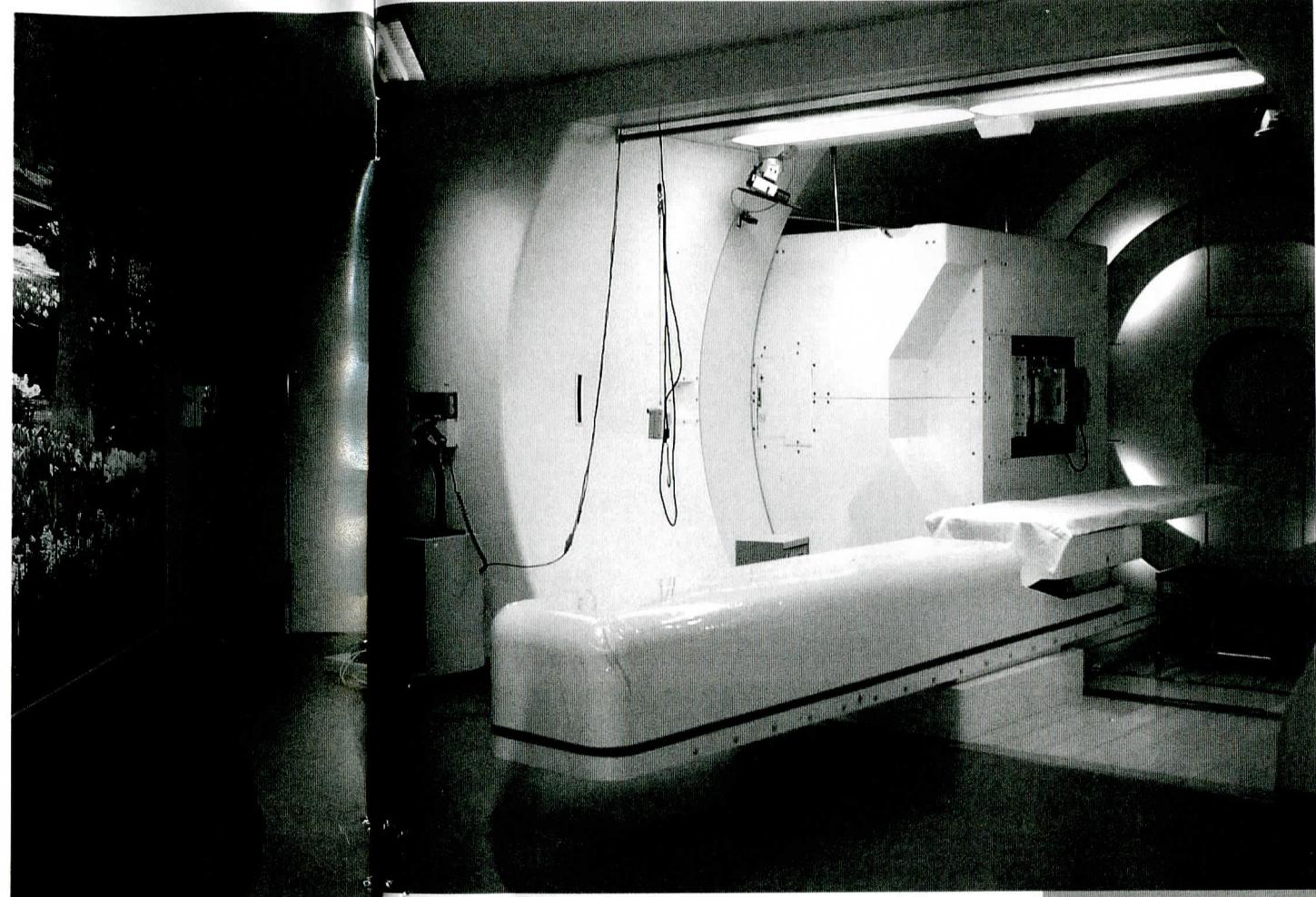
陽子線治療は新しい放射線治療法の一つである。放射線治療は手術と並んで、他の部位に広がっていない段階の癌に対して有効である。手術の場合、癌および周囲の臓器までを広く大きく摘出する場合が多いのに対し、放射線治療は癌の周囲の組織や臓器の、形や働きは残したまま、癌細胞を集中的に攻撃するから、患者さんの身体的負担は手術に比べると格段に小さい。

陽子線治療の特徴

正常な組織や臓器に大量の放射線を照射する場合は副作用が心配になる。一般的の病院で行われている従来の放射線治療はX線、ガンマ線や電子線を用いている。X線やガンマ線は体の中を突き抜けていく性質がある。一方、陽子線は体の中に入り、一定の距離だけ進むと止まる性質がある。止まる直前に周囲に及ぼす放射線の影響が最大になる。この最大値の場所に癌病巣を置くように設定すると、癌細胞の受けるダメージが最大となり死滅する。周囲の正常組織へ及ぼす放射線の影響は少なく副作用も少なくてすむ。陽子線が途中で止まるという性質が治療効果を高め副作用を最小限に食い止める。

陽子線治療の歴史

陽子線治療の歴史は古く、1950年代に米国で始まり、その後欧米で研究が進められた。2002年1月までに世界の21ヶ所で30,000人を超える患者さんが治療を受けている。この内で一番多いのが眼の悪性黒色腫（ほくろの癌）で、欧米の一部では保険が適用されるほど一般的になっている。他に頭蓋底腫瘍、前立腺癌が治療され、保険の適用も徐々に広がっている。筑波大学では1983年から2000年の期間に高エネルギー加速器研究機構の物理学研究用の加速器を利用して700人の患者さんの陽子線治療を行い、肝臓癌、食道癌、肺癌などに、手術に、勝るとも劣らない成績を挙げた。



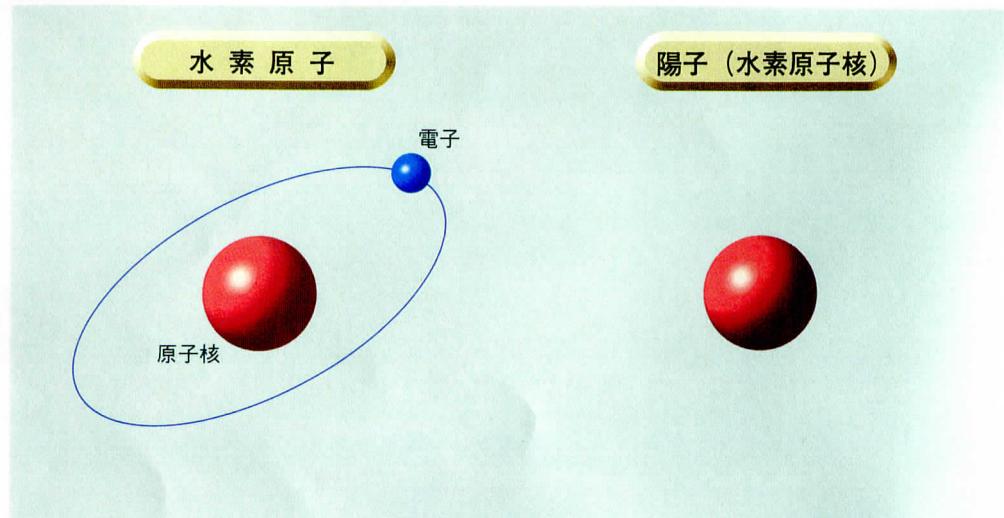
筑波大学の新施設で治療開始

筑波大学は附属病院に隣接して陽子線治療専用の加速器を備えた施設を建設し、2001年9月から治療を開始した。目的は、陽子線治療の有効性について、誰もが納得いくように、多数の患者さんを対象として優れた治療成績を上げる、陽子線治療の普及のために治療装置や治療技術を研究開発していく、これから陽子線治療を担う人材を育成していく等である。

Proton
Therapy

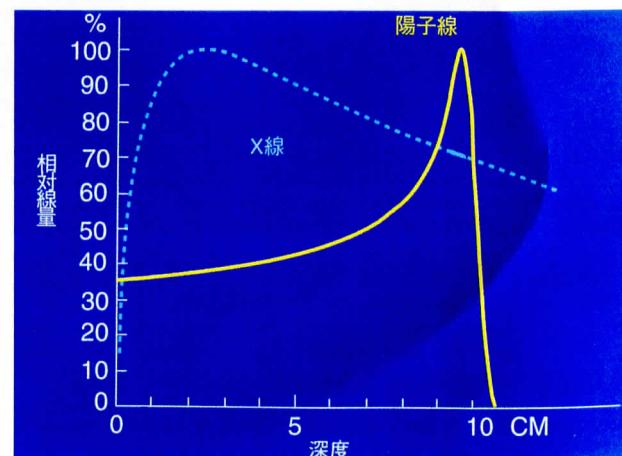
陽子線とは？

陽子とは水素原子の核である。水素原子から電子を剥ぎ取った原子核を陽子という。多数の陽子を加速すると粒子の束となり、光線のようなイメージを持つビームになる。これを陽子線と呼び、放射線の一つである。

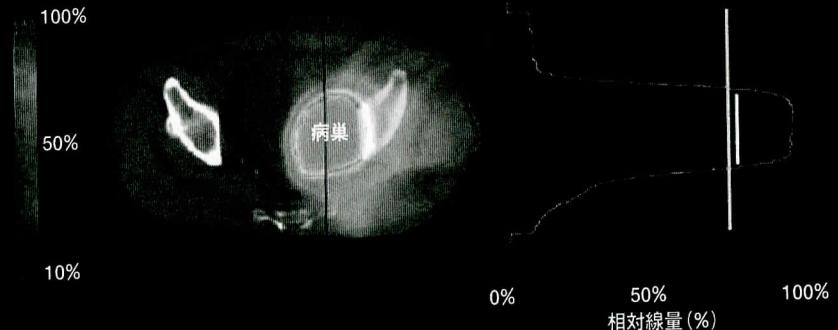


● 深部線量率のグラフ

陽子（水素原子核）を光速の6割程度に加速して体の中に送ると、最初は速度が速いので周囲の原子と反応をする時間が短く、放射線の影響は小さい。しかし、体の深部に進むにつれ運動エネルギーを失い減速されるので、周囲の原子と反応する時間が長くなり放射線の影響は増加する。エネルギーを全て失い止ってしまうと、その先にある組織とは交互作用を行わなくなる。陽子線が止まる直前に、放射線の影響が最大になる。この場所に癌を置くように設定すれば治療効果は最大になり、周辺への副作用は少なくて済むというのが陽子線治療の原理である。



骨盤内の癌に対する多方向からの照射による陽子線の線量分布



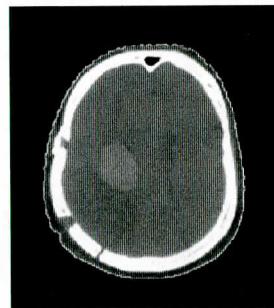
左上の図は骨盤のCT画像である。骨盤壁の近くにある病巣に対して、多数の方向から陽子線を照射すると、病巣には100%の線量（赤色の領域）が照射される。周辺の正常組織には30%（薄い水色の領域）から数%（紫色の領域）しか照射されていない。右上のグラフは、線量の割合を左上のCT画像上の赤い縦の線の上で示したものである。薄い水色の曲線は線量の割合である。病巣（白色の線の領域）では100%であり、薄いピンク色の線で示された体の、癌以外の領域では30%から数%の線量であることを示している。

ある食道がんの患者さんの話

KTさん（58歳）は食道がんの診断の下に手術を受ける予定でしたが、ご本人のご希望により筑波大学で陽子線治療を受けました。治療が終わって約2年後に次のように話しています。
「この治療を受けなかったら自分はもう死んでいたでしょう。治療は辛かったですか?—「何ともありませんでした。快適と言いませんが、痛くも痒くもありませんでした。治療期間中の週末はよく外泊していました。筑波山に行った事もあります。映画館にもよく行きました。今はどんな物を食べていますか?—「何でも食べます。ビールも治療が終わった2-3日後から飲んでいます。」
治療前と現在で何か変わったことがありますか?—「少し太ったということぐらいですかね…」今から振り返って手術でなく陽子線治療を受けたという貴方の決断をどう思いますか?—「正しかったと思います。私と殆ど同じ状態の食道癌の患者さんが同じ病室にいて、手術を受けた後1週間後に亡くなりました。手術を受けていたら私も死んでいたと思います。」
この方は4年後の現在も元気に活躍しています。

陽子線照射までの手順

病巣の把握

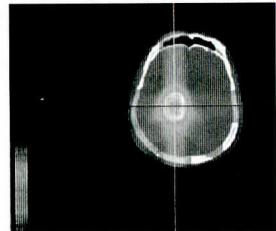


固定具の作成



照射中に頭部が動かないように、固定用マスクが作成される。

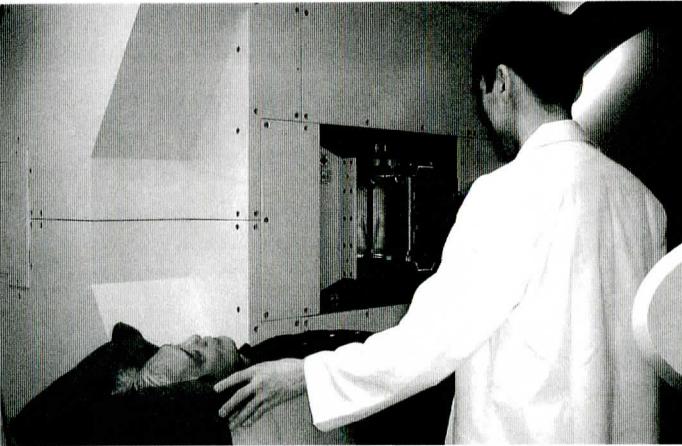
CT撮影



CT画像上で、脳腫瘍の範囲を決め（薄いピンク色の領域）、治療計画プログラムを用いて照射方法を決定する。

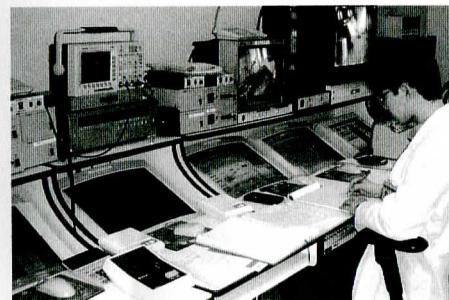
脳腫瘍に対して、決定した照射方法（多方向からの陽子線照射）の結果得られた線量分布。

治療計画



照射室での治療

照射



照射野確認

照射器具の製作



照射条件の設定



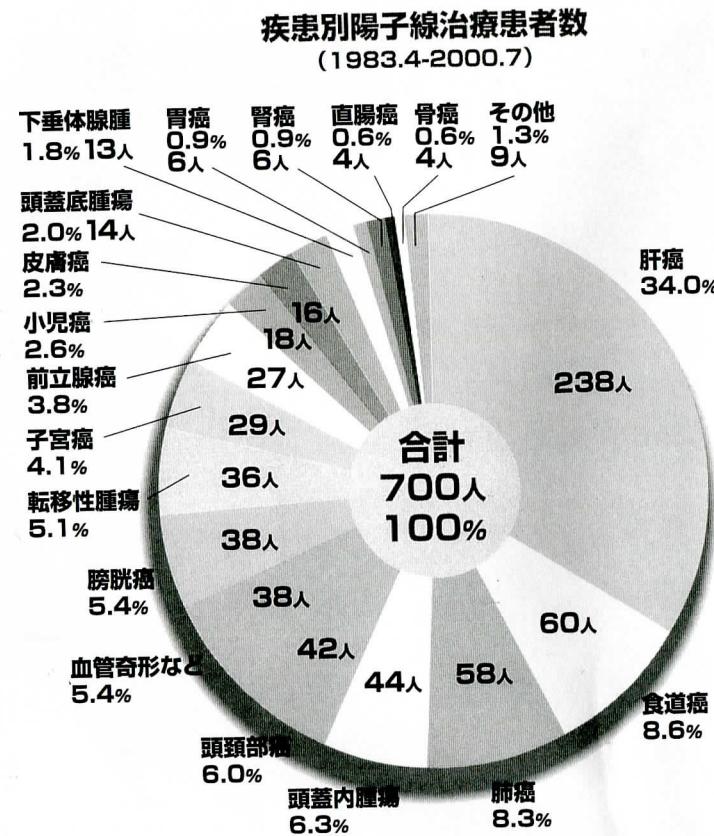
ボーラス

コリメーター

筑波大学の陽子線治療成績

筑波大学での陽子線治療は1983年以来いろいろな部位の癌を対象に行っている。全ての癌について、治療の対象に成り得るか否かは、筑波大学の医師が詳細に検討する。初発の部位から広がっている癌（転移がある癌）は一般的には難しい。日本人に多い癌（肺癌、肝臓癌、食道癌など）に主体を置いている。但し、各個人の癌は千差万別なので、陽子線治療で効果を望めるか否かは、資料を基に慎重に決定する。

癌以外の疾患では脳の動脈奇形などが治療対象になる。



肝臓癌

1998年までに筑波大学で陽子線治療を受けた肝臓癌患者は168人である。多くの患者さんは肝硬変を合併していて、肝機能が低下していた。肝障害の程度を臨床病期として軽い方から重い方にI、II、IIIと分けると患者数は各々58人、86人、24人であった。5年後の生存率は各々45.9%、17.8%、8.3%であった。陽子線治療の前に他の治療を受けていたか（すなわち、再発腫瘍に対する陽子線治療か）否かが、病気の経過に影響していたので、一番経過が良いと思われる、臨床病期 I で、過去に他の治療を受けていた

い患者さん39名の5年生存率を求めたところ、59.0%であった。対象患者の状態や癌の進行状態など、又、手術による死亡を含めるか否かで、数字は大きく変わるので、単純に比較はできないが、日本肝癌研究会が全国の主要病院から集計した成績は次のとおりである。1988年から1997年の期間に臨床病期 I の患者さん9,971名が肝切除を受け、5年生存率は55.6%であった。陽子線治療は肝臓癌に対して、手術に、勝るとも劣らない成績を挙げた。

食道癌

食道癌

2000年までに筑波大学で陽子線治療を受けた52人の食道癌患者の治療成績は、次のとおりである。年齢は45歳から95歳にわたり、平均は71歳であった。扁平上皮癌が51例、腺癌は1例であった。腫瘍の進行度を示すT分類の分布は次のとおりである。T1（食道の粘膜または粘膜下組織までしか癌細胞が浸潤していない表在癌）26人
T2（食道壁の筋肉まで浸潤）5人
T3（食道壁の最外側の膜である外膜まで浸潤）15人
T4（気管や、大動脈などの周囲の臓器まで浸潤）6人
5年生存率を表在癌とその他の進行癌に分けて求めると、表在癌T1で58%、進行癌T2～T4で22%であった。多くの患者さんが、他の内科的疾患を併せ持っていたので、食道癌で亡くなった場合だけ死亡と考え、他の原因で死亡

肺癌

肺癌は小細胞癌と非小細胞癌に大別する。小細胞癌は悪性度が非常に高く、放射線治療と化学療法を併用することが多い。非小細胞肺癌は小細胞肺癌以外の癌の総称である。

筑波大学では2000年までに54人の非小細胞肺癌の患者さんを陽子線で治療した。内3人は治療を中断したので検討から除外した。年齢は25歳から87歳で、平均74歳だった。51例の治療成績は次のとおりである。

進行期	患者数(人)	5年生存率(%)
I / II	37	22
III / IV	9	0
手術後	5	40
合計	51	27

進行期 I は比較的早期の肺癌であるが、中でも腫瘍径が3cm以下でリンパ節転移が無く、遠隔転移も無いものを進行期 IAとする。陽

した場合は、その時点で計算から取り除く方法で5年生存率を計算すると、表在癌では96%、進行癌では40%であった。対象患者の状態や癌の進行状態など、また、手術による死亡を含めるか否かで、数字は大きく変わるので、単純に比較はできないが、代表的な手術成績は次のとおりである。米国の国立癌研究所は切除可能な食道癌の5年生存率は5-20%としている。米国では表在癌が発見されることは少ないので、これらの患者は大部分が進行癌の患者と推察される。わが国の国立がんセンターは、手術後の食道癌患者の5年生存率は、表在癌は78.8%、進行癌は19-58.6%としている。陽子線治療は食道癌に対して、手術に、勝るとも劣らない成績を挙げた。

子線治療を受けた進行期 IA の患者さん 9 名の5年生存率は64%であった。これらの患者さんの多くは高齢で、他の疾患を併せ持っていたので、肺癌で亡くなった場合だけ死と見え、他の原因で亡くなった場合は、その時点で計算から除外して5年生存率を求める 86% だった。

同じ進行期 IA の肺癌に対する手術成績は凡そ 70% である。対象患者の状態や癌の進行状態など、又、手術による死亡を含めるか否か、で数字は大きく変わるので、単純に比較はできないが、比較的小さな肺癌にも、陽子線治療は、手術に、勝るとも劣らない成績を挙げた。

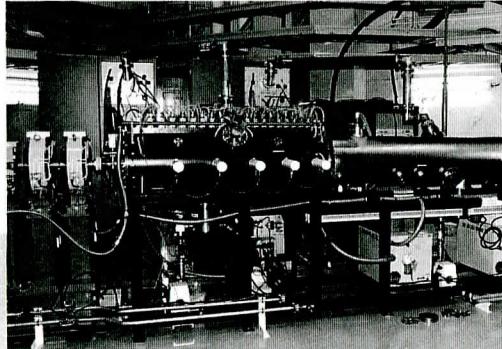
以上のような数値から、また、他の内科的疾患を併せ持っていたり、高齢の為に、手術に不安がある患者さんでも、陽子線治療なら可能である。治療中および治療後の身体的負担は、手術の場合とは比べようも無いほど軽いことは、陽子線治療の優れた長所である。

施設の概要

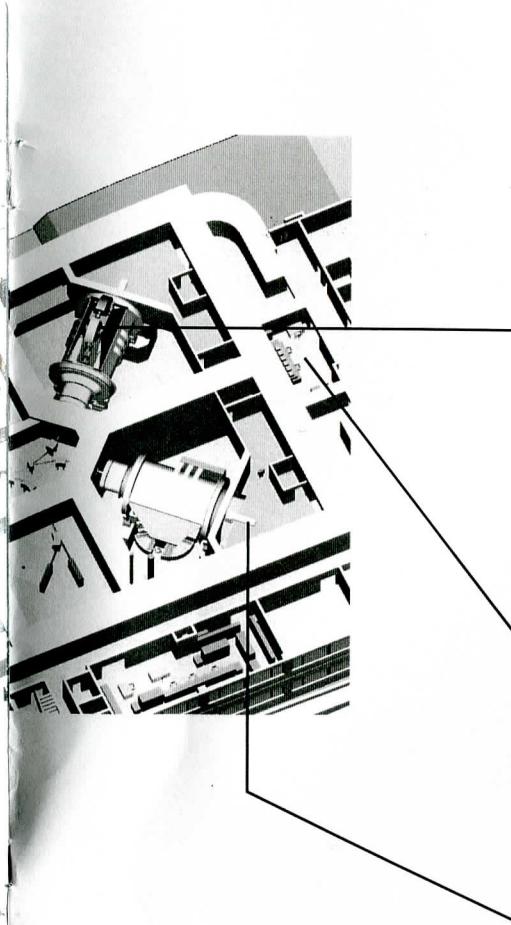
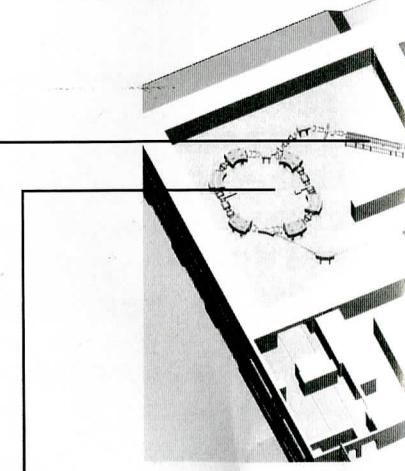
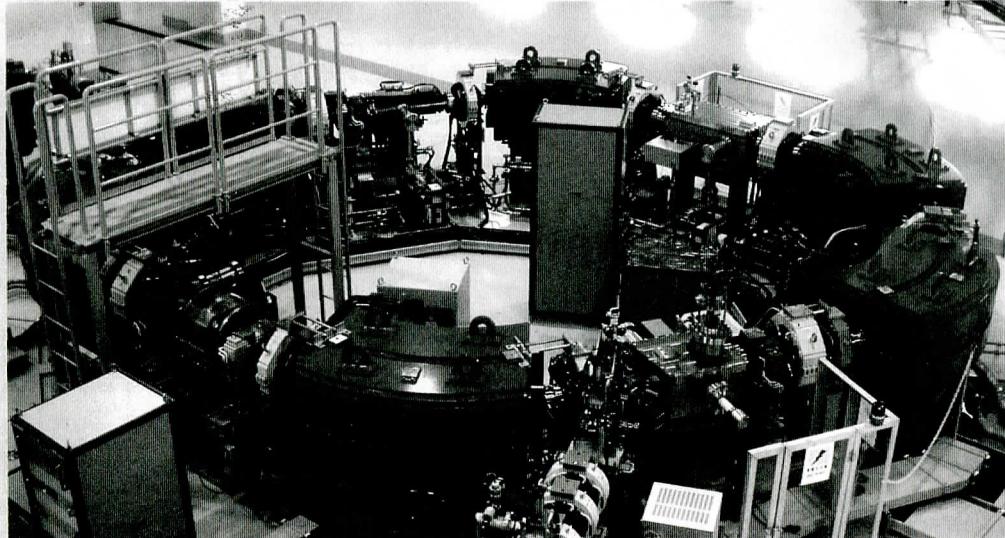
陽子線医学利用研究センター

新しく建設された陽子線医学利用研究センターは筑波大学の研究センターであると同時に筑波大学附属病院の一部でもある。建物は4階建てで、延べ床面積は5,100m²。内部には陽子加速器（ライナックとシンクロトロン）、治療照射装置（回転ガントリー）2台、CT、X線透視撮影装置、治療計画装置等、世界最先端の技術で作られた陽子線治療に必要な全ての装置がある。建物は附属病院と廊下でつながっている。患者さんが安全かつ快適に治療を受けられるように、診察室、治療室は勿論待合ホール、トイレ、廊下などにもさまざまな配慮がなされている。

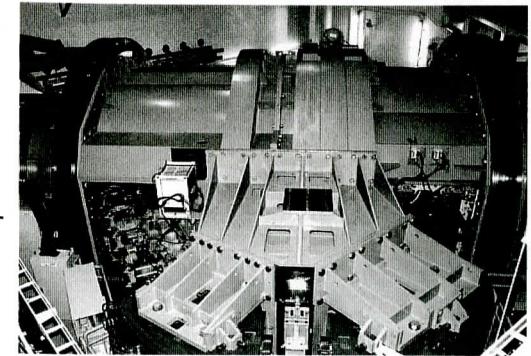
ライナック



シンクロトロン



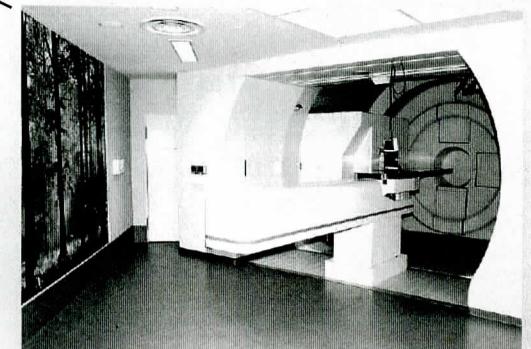
回転ガントリー



照射制御室



照射室



筑波大学で用いられている加速器は、ライナックとシンクロトロンから成る。ライナックは陽子を光の約12%程度の速さに加速してシンクロトロンに送る。シンクロトロンは、高周波装置や電磁石などの多数の装置を円形に配置している。陽子はこの装置の中を回るうちに、光の約6割の速さにまでなり、照射室に導かれ、患者さんに照射される。