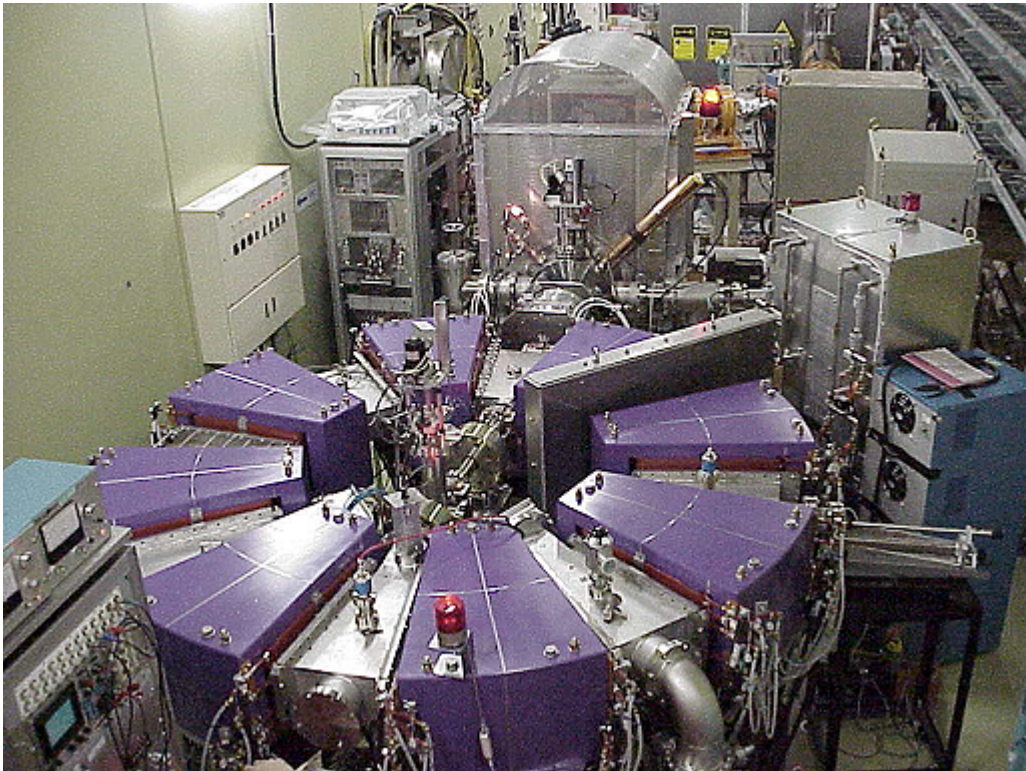


# FFAG 加速器が開く 放射線癌治療の新展開



# 放射線線癌治療とは？

放射線治療は、手術とならんで他の部位に広がっていない段階の癌に対する有効な治療法です。大きな外科手術では患者さんの体に大きな負担がかかるのに比べて、放射線治療の場合比較的小さな負担で済みます。放射線治療では、X線を用いた癌治療がもっとも一般的で、これまでにたくさんのX線癌治療施設が建設されています。また、陽子線治療は従来のX線治療に比べて、癌患部により多くの放射線を照射し、周囲の正常な臓器にはあまり照射しないため副作用が少なく治療できるという特徴を持っています。

現在世界では10数施設の陽子線治療施設があり、20,000人近い患者が治療を受けています。日本では近く利用開始を予定する施設も含め6施設に陽子線治療専用の加速器が設置されています。このように近年世界的に注目を集めつつある陽子線治療は、“新しい”放射線治療法といえるでしょう。

## 陽子線癌治療のこれまで

陽子線治療の歴史は古く、1946年アメリカで物理学者ロバート ウィルソンによって提案されたことに始まります。しかし当時は、陽子を体内奥深くに到達させるために十分な早さまで加速することや、患部が体内のどの場所にあるかを正確に診断することができませんでした。ようやく1950年代、物理研究目的のために大型の加速器が開発され、アメリカのバークレーやスウェーデンのウプサラで加速器による癌治療の研究が始まりました。日本においては、1979年に放射線医学総合研究所で研究が始まり、1983年には筑波大学により1970年代末に高エネルギー加速器研究機構に建設された陽子ブースターシンクロトロン加速器を用いて陽子線治療の臨床研究が始まりました。1990年代にはさらに加速器も改良がすすみ、医療専用の加速器が病院に設置されるようになりました。

このように陽子線治療の歴史は、放射線発生装置である陽子加速器の研究開発の歴史と密接な関わりがあります。

# 画期的加速器 FFAG の開発

2000年、高エネルギー加速器研究機構において画期的な陽子加速器が開発されました。FFAG(Fixed Field Alternating Gradient)加速器です。FFAG 加速器は、従来の加速器サイクロトロンやシンクロトロンそれぞれの長所を兼ね備えた、大電流でかつ高い繰返しが可能な陽子加速器です。

FFAG 加速器の原理は、1950年代日本人物理学者大河千広氏によって提案されました。当時は技術的困難さから陽子の加速は実現することができませんでした。約50年後同じく日本人らにより技術的解決がなされFFAG 加速器が実現しました。

## FFAG 加速器が開く夢の放射線治療

陽子線治療にとって、大電流のFFAG 加速器は、患部を制止させるために一呼吸止めた短時間でも、患部に十分な照射線量を与えることができます。また、1秒間に約1000発のパルス状ビームを加速発射できるため、陽子線治療のための最新の照射測定技術(3次元スポット操作法や超音波を用いた照射位置測定)に最適です。こうした技術は今までの加速器では不可能でしたが、FFAG 加速器の利用により、従来とは比較にならない正確さと短時間で治療をおこなうことが可能となります。

FFAG 加速器はこれまでの加速器にくらべて、小型で、操作性が易しいためこうした加速器の応用利用にとっては経済的かつ簡便に加速器を導入することができるようになるでしょう。

また、FFAG 加速器で加速することができる粒子は陽子だけではありません。X線を発生するために必要な電子も加速することができます。これまでの加速器よりも高強度の電子を加速することができるため、X線の高強度化を図ることができ、癌周辺の正常な部位への放射線照射をなるべく少なくするような照射技術が可能になります。このように、X線癌治療についても画期的な加速器であるといえるでしょう。

このように、古くて新しいFFAG 加速器は放射線治療の歴史を大きく開く可能性をもった加速器なのです。

# FFAG 加速器

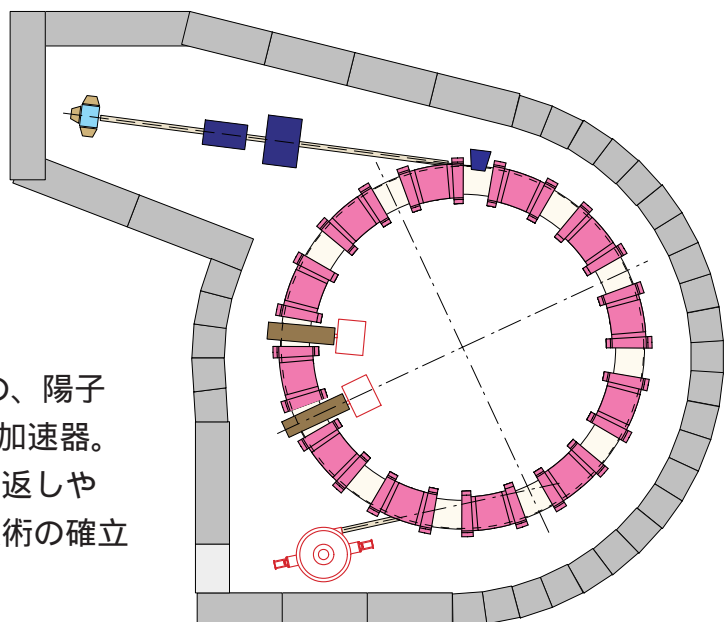
癌治療に使用できる様な高いエネルギーの陽子線をつくる為の加速器として、シンクロトロンと呼ばれる加速器が使われて来ました。シンクロトロンを放射線医療に使う場合、装置が大型、高価で、かつ操作が難しいという問題点のため、医療用機器として広く普及させるのは難しかったのですが、最近この問題点を克服する画期的な加速器が開発されました。

それが FFAG(Fixed Field Alternating Gradient) シンクロトロンです。これは 1953 年に大河千弘博士により提案された加速器で、従来のシンクロトロンにくらべると、操作が簡単で安価、かつ効率が高いと言うように民生用には格好の性質を備えた加速器です。様々な技術的困難が実用化を妨げていたのですが、2000 年になって日本の高エネルギー加速器研究機構のグループにより実用機の雛型の開発が成功し、現在それを基に実用機の開発が進んでいます。

この FFAG には先に述べました利点の他に、高繰り返しのパルスビームが発生でき、また取り出すビームのエネルギーを自在に変化させる事ができるため柔軟な運転が可能である、等の特長を持っています。これらの特長は次に述べます「三次元スポットスキャンニング照射」や「照射線量分布の実時間測定」など陽子線医療の新時代を切り開く技術に不可欠なものです。このような特長の為、FFAG 加速器は次世代の陽子線医療用加速器として大きな注目を浴びているのです。

## 150MeV FFAG 加速器

現在 KEK において開発中の、陽子を 150MeV まで加速できる FFAG 加速器。陽子線治療に必要な、高い繰り返しやビーム取り出しのための基礎技術の確立を目指す。



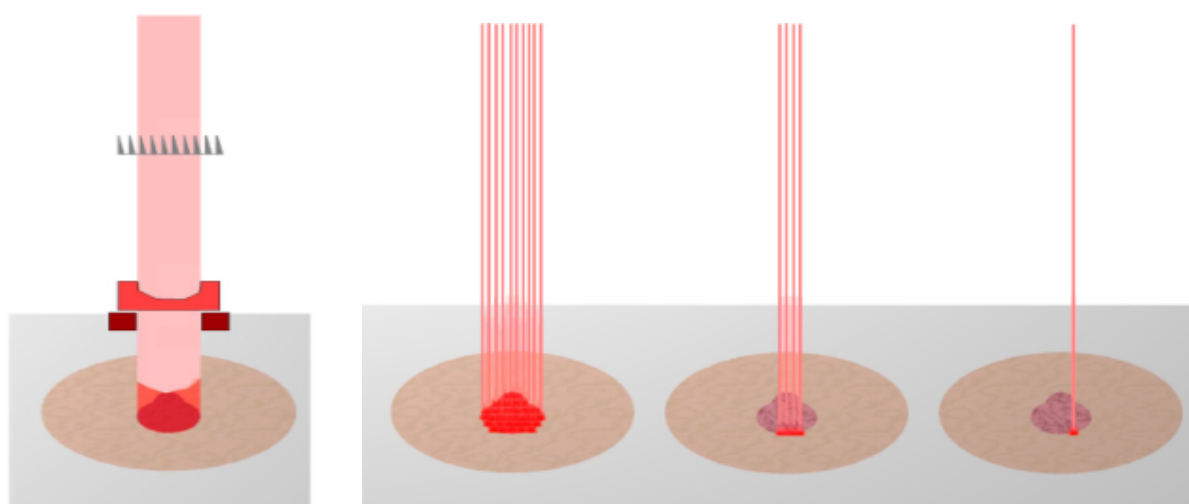
## 3次元スポットスキャン照射

高周期パルスビームを発生できるFFAG加速器は、理想的な照射方法とされている3次元スポットスキャン照射法を実現するために最適な加速器です。

陽子線治療ではこれまで、ブロードビーム法と呼ばれる照射方法が一般的でした。これは患部の形状にビームを整形するために、まず散乱体をもちいてビームを広げ、そのあと患部形状にあわせたボラスやコリメータといわれるハードウェアを使って整形し照射する方法です。しかしこの方法では、患部以外への照射があるという問題がありました。さらに、ハードウェアを患者毎に製作する手間が必要でした。

それに対して、提案されたのが3次元スポットスキャン照射法です。これは、パルス状ビームで患部を端から塗りつぶす様に照射する方法です。これは、患部の輪郭に沿うように照射できるため、患部の外への不必要な照射がありません。また、患者ごとにハードウェアを用意する必要がありません。さらに、癌患部中心に集中的に照射量を多くしたり、患部内部の照射線量分布を変化させたりすることが可能です。

### 照射方法の比較



ブロードビーム法

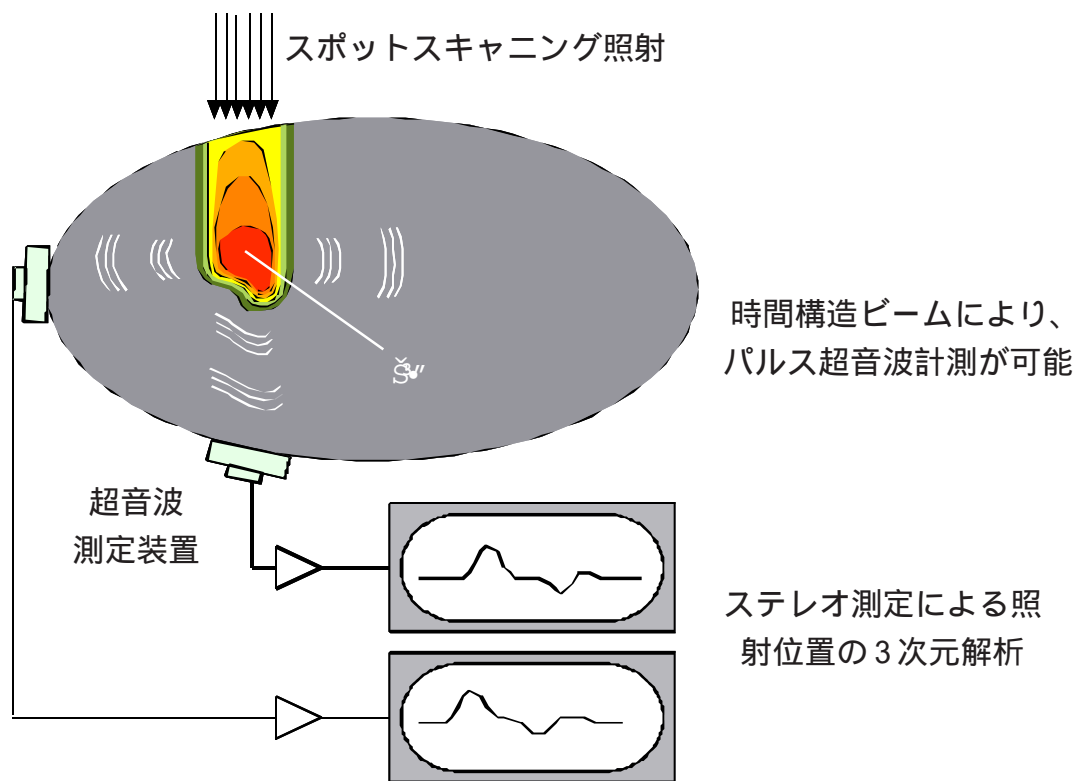
スポットスキャン法

1000kHz という高い繰返しで加速できるFFAG加速器は、1秒間に1000発ものパルス状ビームを加速発射できるため、患部を静止するために一呼吸止めた短時間の間に、患部の照射を終了できます。

# 超音波による照射線量分布の同時測定

体内に打ち込まれたビームは、患部で制止する瞬間に超音波を発生することがわかっています。その超音波を測定することで、これまで難しかった照射と同時に線量分布を測定することが可能になりました。超音波のエネルギーからは照射された線量が、また音波をステレオで検出することでビームが制止した場所を測定することができます。

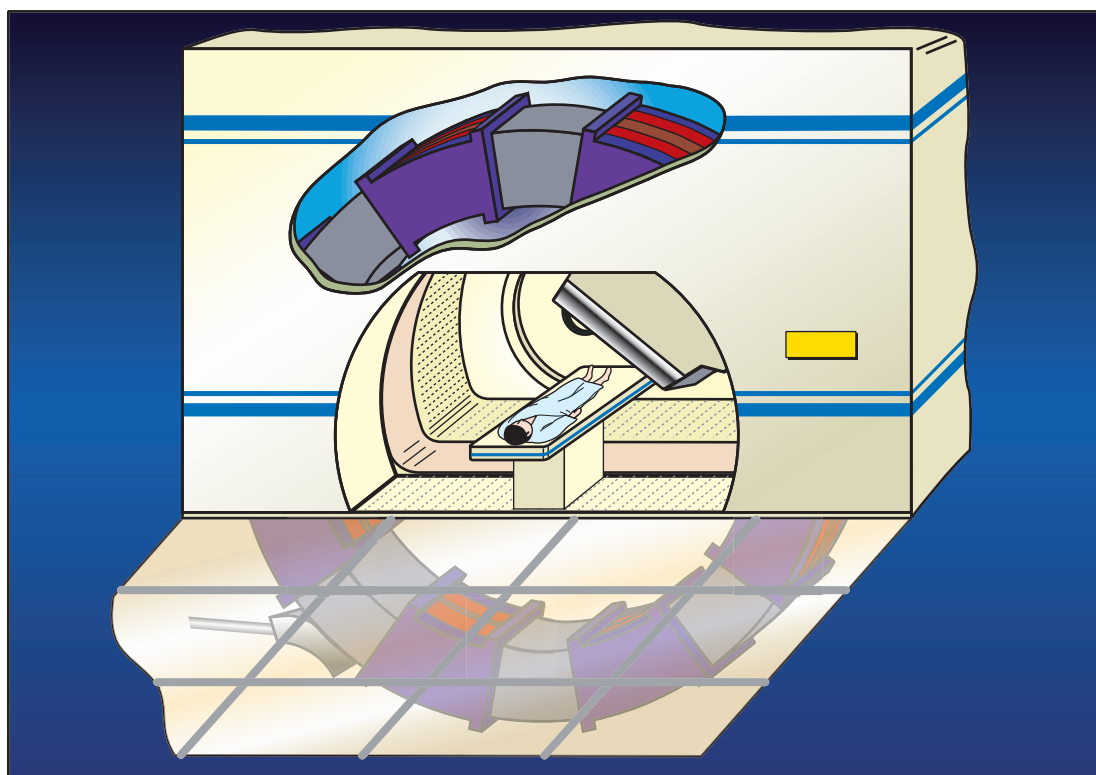
超音波を用いた照射線量同時測定概念図



FFAG 加速器から発射される規則的なパルス状ビームは、それぞれのパルスに同期する超音波情報を特定することが容易なため、同時線量分布測定が簡便におこなえます。

# 癌医療の将来

FFAG 加速器の開発は癌治療にどのような未来図をもたらすのでしょうか？まず、医療用加速器の値段が劇的に下がり、また、加速器運転の専門教育を受けた操作員が不要になるため、現在のCTやMRIの様にある程度の規模の病院であれば、導入が可能になり、陽子線医療が普及するでしょう。さらに、外科手術が不要になるため、ほとんどの癌で通院での癌治療が可能になるでしょう。つまり、癌治療が風邪の治療と同じ手軽さで受けられるようになるのです。このような癌治療の簡素化は現在大きな社会問題となっている医療費の削減に大きな効果があるでしょう。これが、FFAG の開発がもたらす癌治療の未来なのです。



照射用ガントリーを必要としない  
FFAG 加速器を用いた治療システム案

表紙写真：PoP FFAG 加速器

FFAG 加速原理を用いた陽子加速のための FFAG 加速器。  
2000 年、KEK において開発に成功した。

〒 305-0801  
茨城県つくば市大穂 1-1  
高エネルギー加速器研究機構  
加速器研究施設 FFAG 開発グループ  
研究代表者 森義治  
<http://hadron.kek.jp/ffag>