

大型加速器と小型加速器

小型装置への要望

上坂 充*

Requirements for Compact Accelerator

Mitsuru UESAKA*

世界で先進小型加速器開発の波が巻き起こっている。日本では医療用先進小型加速器開発事業（取りまとめ：放医研）が進行中である。他の新型小型装置も開発・稼動中である。さりながら国産機産業はほぼ撤退状況である。ライナックとレーザー加速を例にとり、要点と主張をまとめてみた。

1. 先進小型加速器開発の波

アメリカにおける SSC (Superconducting Super Collider) のその巨大さによる中止は、従来加速器技術の延長上に将来はないことを世界に印象づけた。そのあたりから従来の高周波技術のみでは巨大する一方の高エネルギー加速器を、最新鋭の技術を導入して小型化する動きが始まった。アメリカでは、成果は2年に一度 Advanced Accelerator Concepts Workshop で報告・議論される。その要素技術は、超高周波技術、卓上高出力レーザー技術、プラズマ技術、シミュレーション技術の融合となっている。また昨今 20 TW 50 fs クラスの Ti : Sapphire レーザーが市販されるようになり、それを使ったレーザープラズマ加速器の開発も盛んになってきた。わが国でも、Virtual Laboratory 方式による医療先進小型加速器開発事業（放医研総括）が遂行中である。一方、医療用電子ライナックを例にとり、この30年間の医療用加速器のトレンドを図1に示してみる。

様々なものが開発・実用化されたが、今は S バンド (~3 GHz) 16 MeV 程度で W ターゲットに当たった後コリメータや 1, 2 軸回転で患部のみに照射するタイプと、X バンド (~9.3 GHz) 6 MeV 程度でロボットアームに乗ってかなり自由に患者にアクセスできるタイプのものに淘汰されてしまっている。放射線医

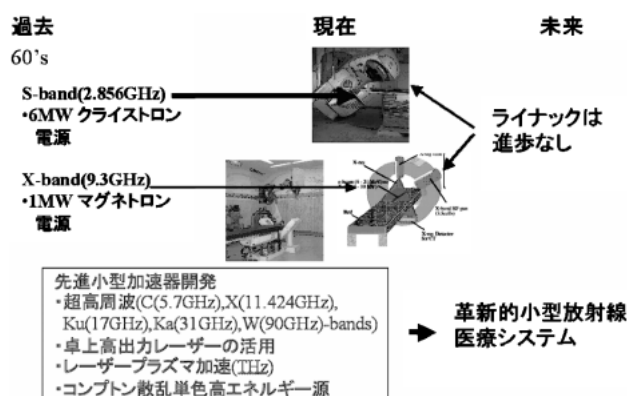


図1 がん治療用電子ライナックの過去・現在・未来

療技術的には、出てきた電子が X 線を患部に精度よく当てるために空間制御することくらいしか残っていない。特に国産ライナックが少なくなってきてしまった現在、加速器本体性能を改良して装置開発しようという気運は困難な情勢になっている。その原因は、高周波源が 6-10 MW ・ S バンドクライストロンか、1 MW ・ X バンドマグネトロンに淘汰され、それ以外がしばらくの間開発されていないことである。しかしながら、前述したように、この数年加速器科学界で状況は一変し、S や X どころか、さらなる高周波のシステムが開発されている。レーザープラズマ加速も、プラズマ航跡波の周波数は THz 領域で、これも一種の超高周波ライナックとみなすこともできる。そして日本で、企業も加わり、ネットワークで医療用加速器システム開発が始まった。この10年開発された様々な加速器技術を融合させ、新たな医療用加速器システムを構築する絶好の機会である。

* 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻

University of Tokyo, Graduate School of Engineering, Nuclear Professional School
(E-mail: uesaka@utnl.jp)

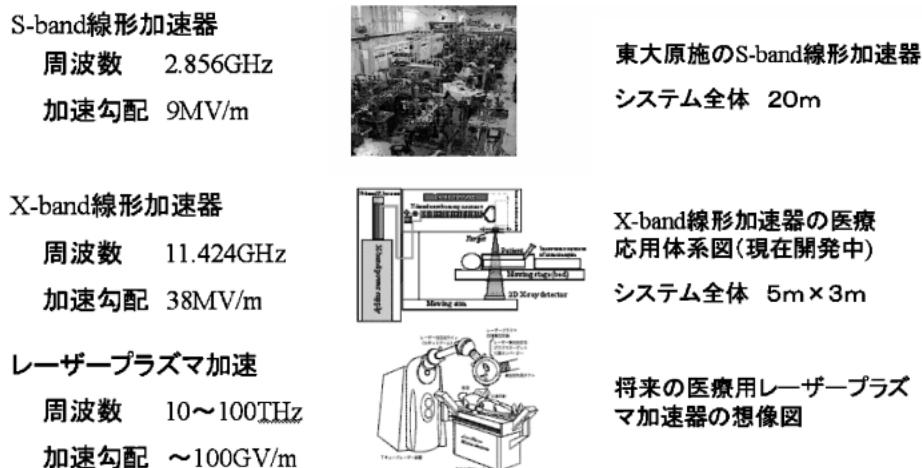


図2 超高周波技術と加速器の小型化

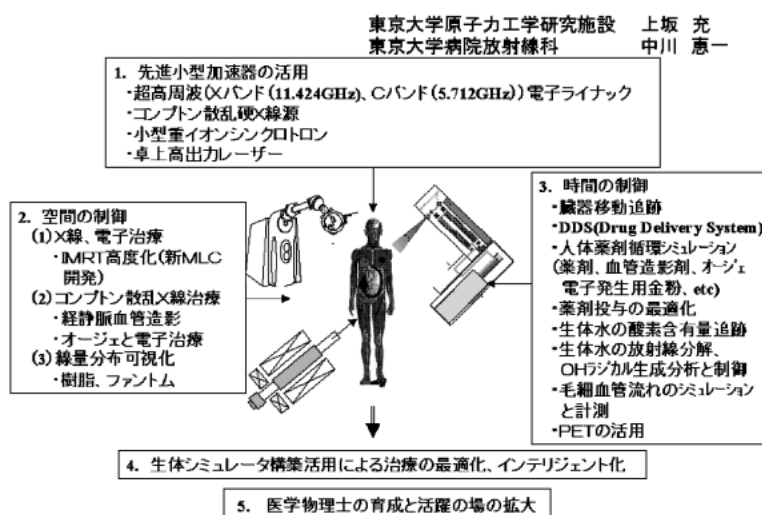


図3 化学放射線治療の時空制御

2. 新要素技術は超高周波とレーザー

上記トレンドを支える新要素技術は超高周波とレーザーである。超高周波技術に関しては、Xバンド(9.3, 11.424 GHz), Kuバンド(17 GHz), Kaバンド(30, 34.3 GHz), Wバンド(90 GHz)のライナックが開発中である。加速管が高周波ゆえ小型になり、電界強度も上がる。アメリカではKaバンドまではクライストロンが開発中で、それ以上は既存のS, Lバンドライナックに空洞を連結し航跡場を加速用高周波として活用している。レーザーに関しては、コンプトン散乱単色硬X線源では、レーザーの磁場成分を空飛ぶアンジュレータとして活用して、50 MeVの電子で70 keVまでの指向性のよい単色硬X線を発生させる。さらには、レーザープラズマ航跡場ではプラ

ズマ波はTHzオーダーで電界強度も数十GV/mとなる。短パルス高出力固体レーザーの発達が発動になっている。課題は安定性とレーザーのサイズである。東大の装置を例にとり、上記のシナリオで段階的に並べると図2ようになる。

3. 最優先性能の絞込み

エネルギーが高く、ピーク・平均強度も大きく、スペクトルも広く、弁別して使っても強度充分で、ビームラインも多く、応用分野も多岐にわたる。そのような総花的装置は、大きなシンクロトロン等になるのは必定である。小型化とは、応用を特化し、そのための最優先性能のみ保持させて達成できると考える。オールマイティの小型機はあり得ないと考える。東大装置はスピーディー可変単色硬X線源に特化している。

4. 産業機で加速器の占める割合は25%程度

医療用ライナックではそんなものである。つまり加速器ができたからといって、それは応用システムの完成を指さない。日本のメーカーが撤退したのは加速器が悪かったからでない。ユーザインターフェースのソフトが使いにくかったのとサービスエンジニアが少なかったからである。したがって小型装置の開発と普及を狙うのであれば、ユーザとの横断的共同作業が不可欠である。筆者らが医理工連携を推進しているのはこの理由からである。

5. 先進小型加速器の応用と普及には“先進ユーザ”が必要

新しい物を作って普及させるには、それが理解できる新物好きなユーザがたくさんいなければならない。

医療用ライナックの世界では、それは理工学部出身のPh.Dをもった医学物理士である。アメリカには5000人病院で働き、毎年500人の雇用がある。日本はそれに対応する方々は数名である。筆者らは、4月新設の原子力国際専攻に医学物理コースを日本で初めて開設し、初年度にそのコースに5名の院生を得た。アメリカは20年掛けて育成してきている。市場はアメリカであることは明白である。日本では人材の育成と併行して長丁場で考えざるを得ない。

以上、装置は小型でも戦略は総合的で長期的にならざるを得ない。東大医工連携放射線治療グループが提唱し、それに関して共同研究および研究会活動を遂行しているテーマが図3の化学放射線治療科学である。

動きは早くはないかもしれないが、着実に進みたい。ご支援の程、よろしくお願い申し上げます。