

## Status of the HIMAC Injector

Murakami T., Yamada S., Ogawa H., Kitagawa A., Kohno T. & Sato Y., Tashiro K., Muramatsu M.,  
Yoshizawa J., Kimura T. \*, Fukushima T. \*

National Institute of Radiological Sciences  
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

### Abstract

HIMAC, the dedicated medical accelerator, began its operation on June, 1994. The radiation treatment by  $^{12}\text{C}$  beams are continued and 40 patients were treated until August, 1995. The facility is also used in basic research, including biology, physics, chemistry, and engineering. Two-ring synchrotron structure and two pulse-operated switching magnets allow to carry out three kinds of experiments, simultaneously, two with high-energy beams and one with medium-energy beams. In order to fully utilize the versatility, the time-sharing system, comprising three ion sources and a pulse-operated funneling magnet, will be installed in two years. It realizes delivery of three different beams by pulse to pulse mode.

## HIMAC入射器の現状

### 1. はじめに

放医研の重粒子線がん治療装置（通称HIMAC）は1994年6月より臨床試行を開始し、1995年8月末までに40数名の患者を対象として照射を行なった。現在、ほとんど全身の部位（頭頸部、脳、肺、肝臓、子宮、前立腺）の治療が実施されており、今後は治療患者数を拡大する努力が行なわれる予定である。

一方、臨床試行を担うための基礎研究を進展させ、更に加速器の有効利用をはかるために、1994年秋より共同利用研究の体制を作った。これにより所内外の研究者が、広く基礎科学の研究で同装置を利用することが可能になった。

ここでは現在のHIMACを概説し、HIMAC入射器の状況と将来計画について報告する。HIMACの全体構成、前臨床試行の結果については参考文献1にまとめられている。また、イオン源及びRF系の現状についてはこのプロシーディング中の参考文献2、3を参照されたい。

### 2. HIMACの運転状況

HIMACは2つのリングを持つシンクロトロンと入射器、及び3つの治療室、3つの実験室よりなる。イオン源はECR型とPIG型の2種類が用意され、RFQ型、アルバレ型の2種類の線形加速器が入射器部を形成する。

臨床試行は火曜日から金曜日の昼間（原則9時から20時）行なわれている。月曜日は装置のメンテナンスを行ない、月曜日の夕方から加速器を立ち上げ、以後土曜日の夜まで24時間連続運転を行なっている。上記の臨床試行の時間帯以外、即ち月曜日から金曜日の夜間、及び土曜日（原則20時まで）は治療関係のデータ取得、共同利用実験、マシンの運転調整等に使用されている。

加速器の運転及び維持管理業務は全て加速器エンジニアリング株式会社に依託し、放医研職員の監督のもとに同社の社員により行なわれている。このような事情から、加速器の維持・管理、運転操作の簡素化はHIMACに強く要請されている点である。

### 3. 臨床試行用ビームの供給

現在臨床試行に供されているビームは、エネルギー290、350、400 MeV/uの $^{12}\text{C}$ ビームである。現在はECRイオン源から引き出された $\text{C}^{4+}$ イオンを使用するケースが多く、シンクロトロンに対しピーク電流 $\sim 140\mu\text{A}$ のビームを供給し、治療には十分な強度が得られている。治療室は3室、照射ポートは4ヶ所準備されており、上下2台のシンクロトロンリングをそのうちの2ヶ所に割り当て、照射の効率化をはかっている。このため入射器は2つのリングに対しパルス毎に交互にビームを提供

### &Present Address

Tokyo Institute of Technology  
4529 Nagatsuda, Midori-ku, Yokohama 227

### \*Accelerator Engineering Corporation

2-10-14-302 Konakdai, Inage-ku, Chiba 263, Japan

し（それぞれのリングは2～3秒の周期で動作）、同時照射を実現している。

医療用加速器にとって一番大きな要請は、トラブルが少なく安定に稼働することである。ビーム強度やスピルの構造などビームの性質の時間変動が少ないことも非常に重要である。HIMAC入射器も安定な動作を誇っており、一度調整を行えばほとんど調整の必要がない。トラブルも少なく、全体としては順調に稼働しているといえる。以下にこれまでに発生したトラブルを簡単にまとめる。

#### 4. 入射器関係のトラブル

入射器関係でこれまでに発生したトラブルは大きく4種類に分けられる。第一はイオン源関係のトラブルで、ECRイオン源での絶縁破壊、マイクロ波電源の故障、PIGイオン源でのフィラメント不良によるショート、等である。第二は大電力のRF関係のトラブルであり、RFカップラーの焼損、大電力アンプのコンタクターの焼損、真空管のフィラメント切れ、電源トランスの焼損等がある。第三は制御系、モニター系のトラブルで、プロファイルモニターのワイヤー損傷、計算機のバグによる動作不良等があげられる。第四は冷却水関係のトラブルで、配管からの水漏れが発生した。

これらのトラブルも関係者の努力により、回復あるいは代替品の手配が24時間程度で行なわれており、臨床開始以来、治療スケジュールの大幅な変更が必要となるようなトラブルは一回発生したに留まっている。

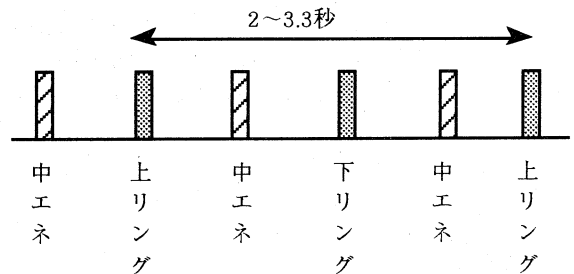
#### 5. 共同利用実験へのビーム提供

HIMACでの基礎実験には生物照射室、物理・汎用照射室、中エネルギービーム照射室（ここは入射器からのビームを利用する）の3室が利用される。

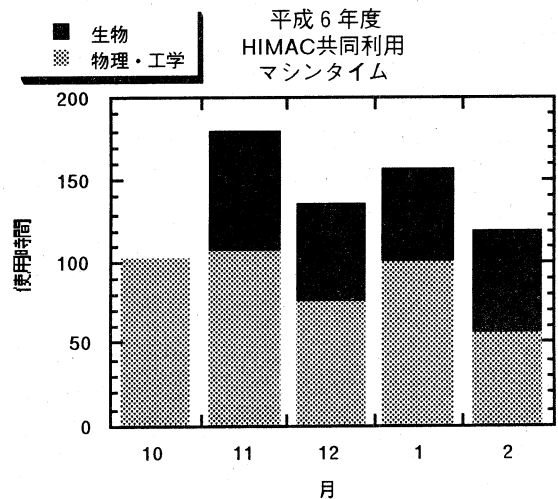
共同利用実験に提供されるビームは非常に多様であることがその特徴である。第一にイオン種がHeからArと多岐に渡る。ECRとPIGの2種のイオン源をイオン種により使い分け、これらの多様な要求に対応している。第二にビーム強度の要求が大きく（ $10^9$ ppp～ $50$ ppp）違う。しかもこれらのビームを連続して使うのは長くても24時間程度であり、翌朝には臨床試行用のビームに戻す場合も多い。したがって入射器としては、できるかぎり早くシンクロトロンにビームを引き渡すために、迅速にビームの切り替え、調整を行なう必要がある。第三にビームの時間巾に対する要求が大幅に

（ $500\mu\text{s}\sim 1\mu\text{s}$ ）変化する。これらの要求はRFQ加速器直前に設けられたビームチョッパによって実現される。

HIMACの特徴を活かすため、2つのシンクロトロンリングを同時に運転し、更に中エネルギービーム輸送系に設置されたパルス駆動の振り分け電磁石を使用することで、3つの実験室で同時に実験を行なう事が可能である。（例えば物理・工学関係2課題と生物の実験）ビーム強度及びビームの時間巾はそれぞれの実験室で独立に変えることができる。



これらの努力の結果、1994年度後半（物理・工学は10月から、生物は11月から）だけで合計695.3時間のマシンタイムを共同利用実験に供することができた。下図は月毎のマシンタイムの内訳である。



このうち、物理・工学というのはシンクロトロンからのビームと、入射器からのビームの利用者の両方を含んでいる。

#### 6. 将来計画

HIMACでは治療の高度化と加速器の有効利用を目指し、いくつかの新しい計画が進んでいる。

### 6-1. タイムシェアリングシステム

現在のままではビームのエネルギーや強度に関しては各実験室毎に設定が可能であるが、ビームの種類を変えることは出来ない。また将来的に違った種類のビームで照射を行なおうとした際に、同時照射が出来ない。パルス毎にビームの種類を変えることができれば、利用の自由度が飛躍的に増大する。これを実現するシステムを我々は「タイムシェアリングシステム」と呼び、全体の設計と一部装置の製作を昨年度より開始した。

3つの実験室あるいは治療室に異なった種類のビームを供給するためには、入射器はパルス毎に違った種類のビームを加速しなければならない。これまでもGSIなどで異種粒子の同時加速は行なわれていたが、それらは電荷/質量比の似通ったビームを加速するものであり、加速器の運転そのものは同じ条件で行なわれていた。我々がここで目指すものは電荷/質量比に制限を設けず、パルス毎に違った運転状態を実現するものである。即ちRFのレベル、DTL中のQマグネットのレベル、ビーム輸送系の各電磁石の励起電流、そして運動量分析用の電磁石がそれぞれ、パルス毎に違ったレベルに励起され、その粒子に最適な加速及び輸送条件を実現するものである。

この運転を実現するために、パルス動作をするように置き換るべき要素は、

- ・3台のイオン源を切り替えるための合流電磁石
- ・各ビーム輸送系のQ電磁石
- ・低エネルギービーム輸送系のソレノイドコイル
- ・中エネルギービーム輸送系の運動量分析磁石
- ・イオン源の新設

と多数にのぼる。これらの要素のうちの一部は1995年に製作が行なわれている。

このシステムで一番大きな問題は、制御系の構築と良好な操作性の実現であると考えられる。運転員はあくまで3台の加速器があるように考えて運転をしなければならず、より良い操作性の確保はシステムにとって極めて重要である。当面は、各粒子毎に運転画面を切り替え、それぞれの調整を順次行なっていく方式が検討されている。将来的には操作卓の増加も含めた案が検討されている。

制御系にとっても負担は増加する。例えばファラデーカップやビームプロファイルモニターは各粒子毎にタイミングをとって測定すると共に、その結果を保持しなければならない。

入射器系では、これらの制御系の変更も含め、タイムシェアリングシステムのテストを1996年度

末に開始することを目標として準備をすすめている。

### 6-2. RI (2次) ビームコース

RIビームの医学利用も将来計画の大きな柱である。入射核破砕片の利用が主になるが、運転調整に関しHIMAC独自の問題が起きてくる。即ち運転員が原則運転を行なうことから、特別な知識を使わずに、ビーム調整が簡単に行なえることが肝要である。更に、通常のビームを用いた臨床試行も毎日行なわれることから、RIビームの調整に使える時間は極めて短く、従来の物理実験のために行なわれてきた方法とは違った制御手順、調整方法が必要になるかも知れない。RIビームコースの建設の第一段階はすでに1995年度に始まっている。

RIビームコースの建設に関わり、入射器に対してはビーム強度の増強、今まで以上にビーム強度、軌道の安定化が求められている。

### 6-3. 新しい種類のビーム

HIMACのユーザーは極めて多岐に渡っており、ビームの種類については多数の要望が出されている。その中の一つがFeの様な金属イオンのビームであり、その生成の為にスパッタ型のイオン生成法を取り入れたイオン源の設計・製作が進行中である。

## 7. まとめ

医学利用を第一の目的とした高エネルギー重イオン加速器HIMACは、1994年の利用開始より順調な運転を続けている。入射器部は治療に使用される $^{12}\text{C}$ を安定に供給すると共に、夜間に行なわれる基礎実験のためにバラエティにとんだビームを供給している。

より高度な治療、幅広い加速器の利用を目指し、入射器系ではタイムシェアリングシステムの構築が進んでいる。

## 参考文献

1. 重粒子線がん治療装置 [HIMAC] - その施設と前臨床実験 - : 山田聰他、アイオニクス、No. 235、1995.
2. HIMACイオン源の現状: 村松正幸他、第20回リニアック技術研究会報文集。
3. HIMAC入射器RF系の現状: 村田裕彦他、第20回リニアック技術研究会報文集。