

## PRESENT STATUS OF HIMAC

Masayuki Muramatsu <sup>#,A)</sup>, Yoshiyuki Iwata <sup>A)</sup>, Shinji Sato <sup>A)</sup>, Eiichi Takada <sup>A)</sup>  
 Yuhsei Kageyama <sup>B)</sup>, Msahiro Kawashima <sup>B)</sup>, Izumi Kobayashi <sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Radiological Sciences  
 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan

<sup>B)</sup> Accelerator Engineering Corporation, Ltd.  
 3-8-5 Konakadai, Inage, Chiba 263-0043, Japan

### Abstract

Heavy-ion cancer treatment is being carried out at the Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba (HIMAC) with 140-400 MeV/n carbon ions at National Institute of Radiological Sciences (NIRS). Over 5900 patients have been treated since 1994. About 690 patients were treated in 2010. Present status of HIMAC is described in this paper.

## HIMAC 加速器の現状

### 1. はじめに

放射線医学総合研究所（放医研）の重粒子線がん治療装置（HIMAC）では、140 から 400 MeV/n の炭素イオンを使用したがん治療が行われている。現在までの登録患者数は 5900 名を超えている。2010 年度の患者数は 691 名となった。また、治療以外にも、生物・物理実験のために様々なイオン種のビーム供給を行なっている。

放医研では、高効率小型入射器を HIMAC へ移設し、装置の二重化と、より安定した治療ビーム供給を見込む事を目的とし、第2入射器として利用するために整備を行なっている。装置の HIMAC への接

続は既に完了し、ビーム調整を行っている。現在までに、 $C^{6+}$  のビーム強度は入射器出口で 0.3 mA、シンクロトロン出口で  $2.48e9$  pps 得られている。

また、HIMAC では治療照射精度を向上させるために、呼吸性移動を伴う臓器に対応可能な 3 次元スキヤニング照射装置の開発・研究を行っている。この照射システムを実現するための新治療研究棟を建設した。新治療研究棟は、固定ポートの E 室 F 室とガントリーの G 室があり、現在は E 室のみ整備されている。2011 年 5 月には E 室において第 1 号患者の治療照射を行った。今後は F 室の整備とコミッショニング、ガントリーの設計を行っていく予定である。

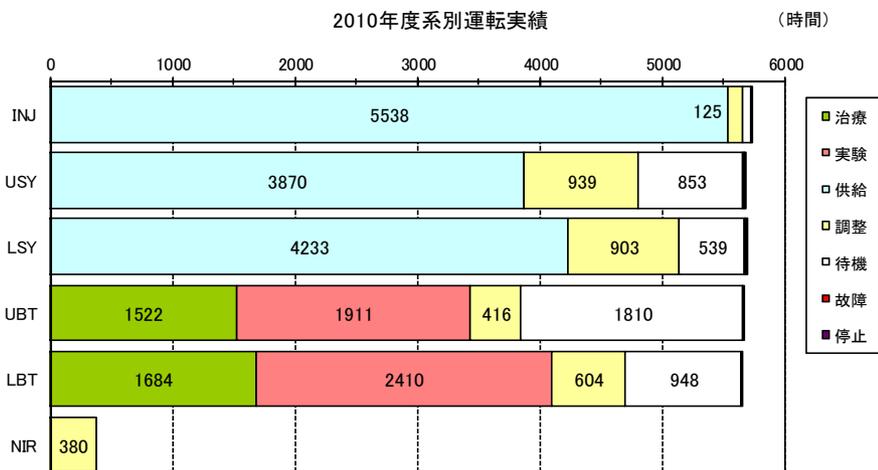


図1：入射系（INJ）、上リングシンクロトロン（USY）、下リングシンクロトロン（LSY）、上リングビーム輸送系（UBT）、下リングビーム輸送系（LBT）、新治療研究棟系（NIR）の運転実績

<sup>#</sup> m\_mura@nirs.go.jp

## 2. 重粒子線がん治療装置運転関連業務

重粒子線がん治療装置を用い、重粒子線治療と共同利用研究のために、ビーム供給・治療照射のサポート・治療計画および患者コリメータ・ボアラスの作成を行った。また今年度は、新治療研究棟治療室Eの整備が行われ、治療照射に向けたコミッションを行うための新治療研究棟へのビーム供給を行った。引き続き行われてきた小型入射器の整備は、既設ビームラインとの接続工事が完了した。施設検査（平成23年4月3日実施）の後、シンクロトロンへのビーム入射が可能となる。3月11日に発生した地震による重粒子線がん治療装置への影響はほぼなかったが、その後の電力規制によって、電力ピーク時間帯を避けた運転を行う運転計画の変更が行わ

れた。

加速器系では、今年度のビーム供給は、重粒子線がん治療に3206時間、共同利用研究に5298時間のビーム供給を行った。また、今年度より新治療研究棟への供給が開始され、ビーム調整に380時間のビーム供給を行った。加速器系の運転時間実績を図1に示す。

今年度シンクロトロンで加速した粒子の時間割合を図2に示す。治療照射において炭素（C）、共同利用研究において水素（H）からキセノン（Xe）までの様々な核種を加速し供給した。今年度の主な故障を表1に示す。故障によって供給が止まった時間は、運転時間の0.2%程度であり、今年度も概ね順調な運転であった。

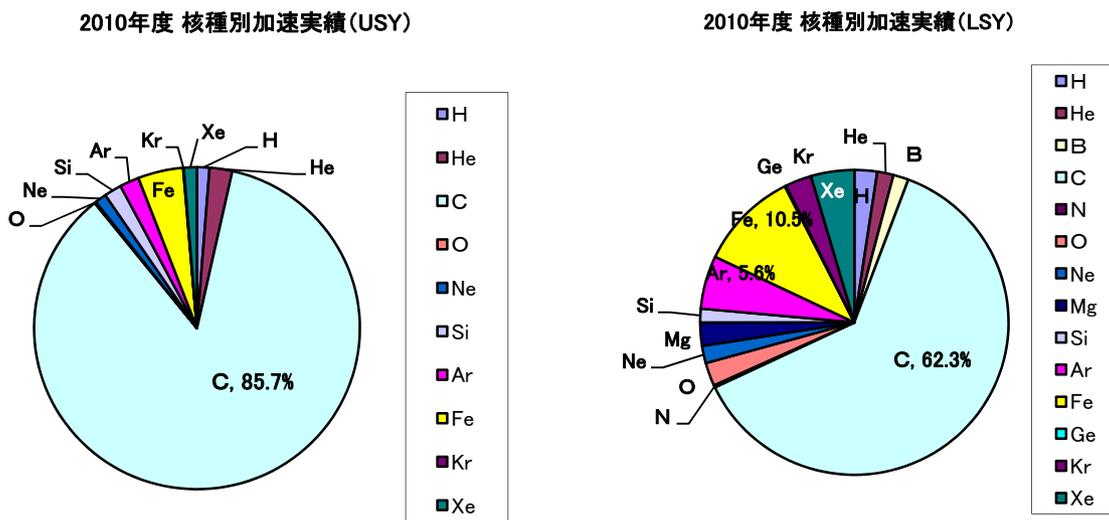


図2：シンクロトロンでの加速粒子別実績

表1：HIMAC加速器系の主な故障

	第 I 期			第 II 期		
	日付	時間数	故障内容	日付	時間数	故障内容
入射器	4月20日	3:59	DTL故障	10月23日	0:32	Q2BT_QM_D3故障
主加速器 (上)	5月18日	1:37	RF故障	8月30日	3:40	入射ライン真空リーク
	7月29日	0:45	リング内真空異常			
主加速器 (下)				8月30日	4:55	BM 電流断続
HEBT (上)			特になし			特になし
HEBT (下)			特になし			特になし

照射系では、今年度は、年間691人の新規登録患者の治療照射と、生物系で72件、物理系で70件の共同利用研究課題についてビーム供給を行った。また、照射実験の実施のための、機器の保守・運用改善、照射・開発サポート等を行った。治療照射は、年間で10353回、照射門毎に行う「新患測定」が3132回であった。これは、概ね一人の患者さん当り4門で、14回の治療照射ということになる。

治療計画系では、今年度は、年間1741件の

治療計画を行い、2762個のボーラスと1001個の患者コリメータを製作した。この内、放医研内の工作室で製作した内作分は、ボーラスで約55%、コリメータで約56%であった。また、積層ボーラスの製作が開始され、今年度は11個の積層ボーラスを製作した。

建屋設備系では、建設以来18年経過して、各設備の保守・維持がより多く、大きくなりつつあるので、作業内容を吟味しつつ、計画的な更新等にも取組んだ。

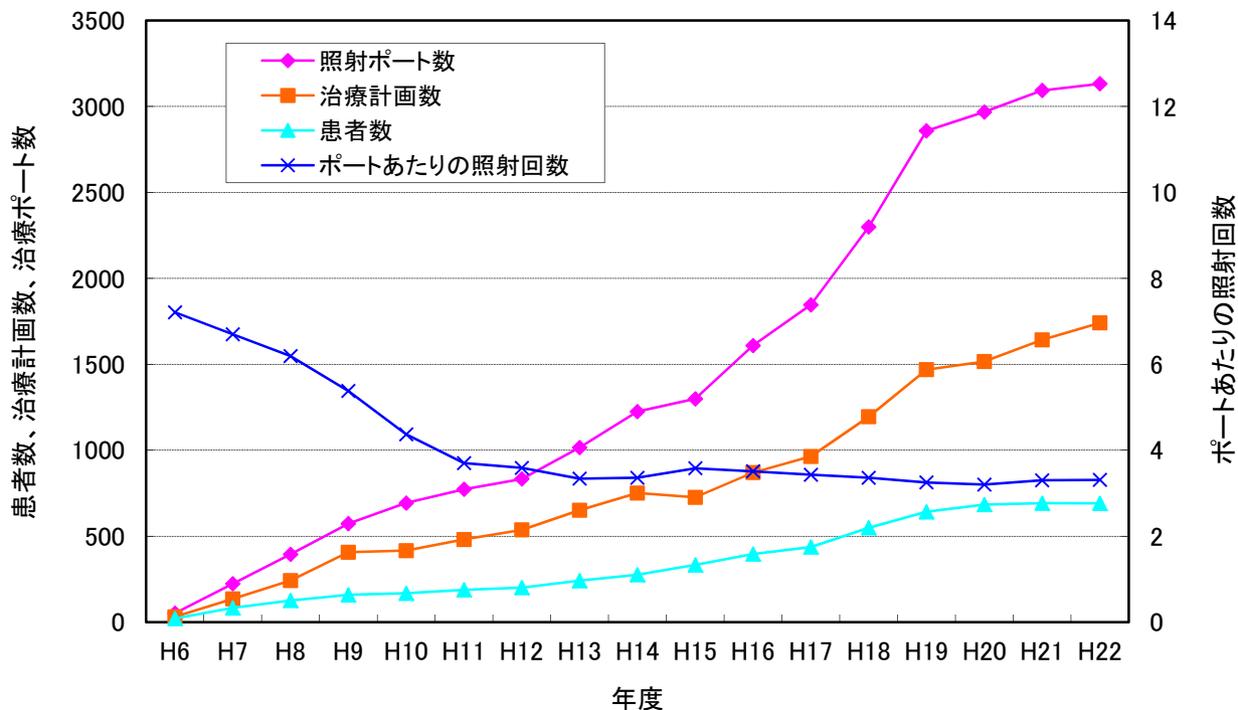


図3：年度毎の照射ポート数、治療計画数、患者数、ポートあたりの照射回数の推移

### 3. 高効率小型入射器

HIMAC は装置設計から約 25 年が経過しており、その入射器にある線形加速器は HIMAC で唯一 2 重化されていない部分でトラブルの内容によっては長期間の治療供給停止を招く可能性が指摘されていた。また、供給イオンが多様化している生物・物理実験に対し、イオン源負荷軽減の意見もあった。そこで放医研が 2004 年度より 2 ヶ年計画で重粒子線がん治療装置の小型化に関する研究として開発した高効率小型入射器を HIMAC へ移設し、第 2 入射器として利用すべく整備を進めている[1]。

小型入射器の組込みで得られるメリットは、

- ①炭素線専用入射器にできる
  - ・治療供給専用入射器として運用
  - ・供給イオン種が多様化している実験供給に対するイオン源負荷の低減と生成核種の拡大
- ②治療供給入射器の 2 重化
  - ・入射器トラブルによる治療中断及び遅延と予防

#### ③運営コストと電力の削減

- ・既存入射ラインに比べ大幅に部品点数が削減され、消費電力量も 1/10 程度の省電力となる。
- ・定期交換部品(四極真空管等)の交換周期延長。

2011 年 3 月既存ライン合流場所の BM 入れ替え作業が完了し、4 月よりビームコミッションを開始した。ビーム調整は順調に進み、同月にはシンクロトロンへの入射とビーム取出しに成功。ビーム強度に関しても、治療に必要な  $2.0 \times 10^9$ pps を確認した。イオン源からシンクロトロン手前までのビーム強度と透過効率を表 2 に示す。

表 2：ビーム強度と透過効率

測定場所	ビーム強度	透過効率
イオン源	290 $\mu$ A	—
小型 RF Q 手前	290 $\mu$ A	100 %
IH-DTL 出口	240 $\mu$ A	83 %
荷電変換後 ( $C^{4+ \rightarrow 6+}$ )	300 $\mu$ A	125 %
シンクロトロン入射手前	277 $\mu$ A	92 %

#### 4. 新治療研究棟

新治療研究棟は既設 HIMAC に接続され、ビームは上リングから供給される。2010 年度末に最初の治療室である E 治療室の整備が完了したことを受けて、1 例目の患者さんへの重粒子線治療を、2011 年 5 月 17 日より開始した[2]。本年度中には E 室と同仕様の F 室が完成し、さらに来年度以降には回転ガントリーを有する G 室が整備される予定である。これに向け現在、回転ガントリーの設計を進めている[3]。図 4 に回転ガントリーの概念図を示す。回転ガントリーはアイソセントリック型とし、患者が位置するアイソセンターに対し、核子あたり最大 430 MeV の炭素ビームを 0 度から 360 度の何れの方角からでも照射可能である。回転ガントリーの半径は約 5.45 m、全長は約 13 m、重量は 200t 未満となる。

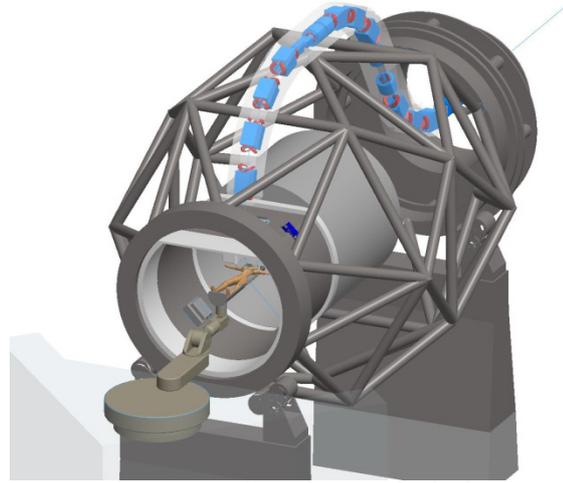


図 4 : 回転ガントリーの概念図

#### 参考文献

- [1] T. Sasano, et al., 第 8 回日本加速器学会年会プロシーディングス, 2011
- [2] T. Shirai, et al., 第 8 回日本加速器学会年会プロシーディングス, 2011
- [3] Y. Iwata, et al., 第 8 回日本加速器学会年会プロシーディングス, 2011