

Present Status of HIMAC, NIRS

Izumi Kobayashi^{A)}, Yasuo Honda^{A)}, Mitugu Yamamoto^{A)}, Mitsuji Wakaisami^{A)}, Yuusei Kageyama^{A)},
Toshinobu Sasano^{A)}, Kenichi Ichinohe^{A)}, Masahiro Kawashima^{A)}, Yoshinobu Sano^{A)},
Eiichi Takada^{B)}, Yoshiyuki Iwata^{B)}, Shinji Sato^{B)}, Masayuki Muramatsu^{B)}

^{A)} Accelerator Engineering Corporation

KA building 3-8-5 Konakadai, Inage-ku, Chiba-shi, 263-0043

^{B)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555

Abstract

Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba, HIMAC, at NIRS has been in operation for more than 15 years since the first patient treatment in June 1994. The Present Status is reported. Emphasis will be on operational aspects of cancer therapy application and research (physics and biology) with ion beams.

HIMAC加速器の現状

1. はじめに

放医研の重イオン加速器HIMACは順調な治療及び生物・物理実験ビーム供給を続けている。特に重粒子線がん治療は良好な治療成績を収めている。2008年度までの運転状況の報告と、さらにHIMACでは高精度な治療の研究開発の為に次世代重粒子線照射システムの建設、より安定で低維持費を目的に高効率小型入射器の移設を進めている。その取り組みについて報告する。

2. 現運用の説明

HIMACにはイオン源が3基設置されており、各々が別の3種類のイオンビームを供給出来るようになっている。図1に示すように線形加速器にて加速されたビームは、中エネルギービーム利用室(MEXP)、上主加速器(USY)、下主加速器(LSY)に分かれ、高エネルギービーム輸送系(HEBT)を経てタイムシェアリング運転により、各治療室や実験室へと運ばれる。

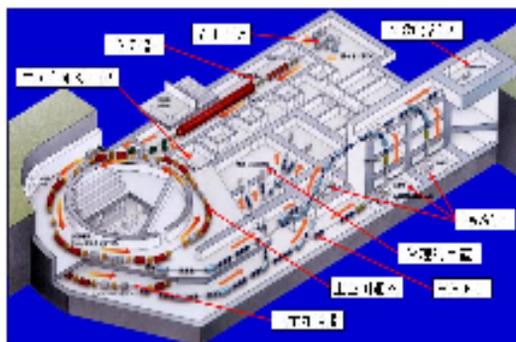


図1 HIMAC全体図

2.1 登録患者数の推移

昨年度までの登録患者数は図2に示すとおり4500名を超え、現在までに5000名を超えている。

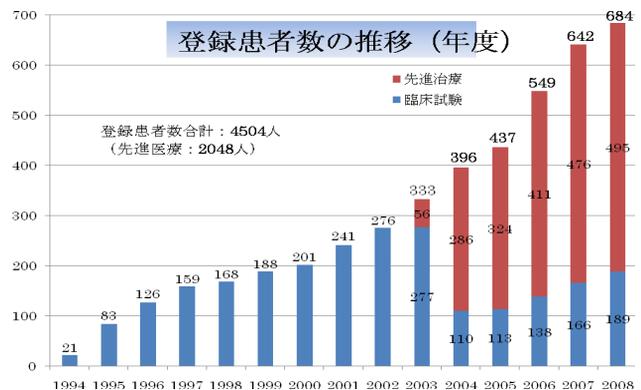


図2 年度別治療人数と高度先進医療適用数

患者数は年々増加しており、現在、年間700名近くの治療を行っている^[1]。

2.2 運転状況

HIMACの主な運転スケジュールは、図3の通りで月曜日にほぼ隔週でメンテナンス及びR&D、火曜日から金曜日の昼間は治療供給、月曜日から金曜日の夜間及び土曜日は生物・物理工学研究に供給を続けている。年に10回程度、土曜日～月曜日朝8:00までの実験供給もある^[1]。

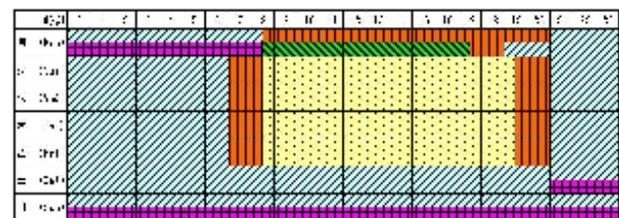


図3 HIMAC週間運転スケジュール

HIMACでは、加速器の運転モードを治療、実験、供給、調整、待機、故障、停止の7モードに分類し

年度	治療	実験	供給	調整	待機	故障	計	故障率
2004	3097:14	4378:28	13920:27	3303:41	3702:35	32:34	28434:59	0.11%
2005	3070:27	4661:20	14001:47	3202:00	2921:43	35:12	27892:29	0.13%
2006	3458:46	4547:25	14040:54	3201:21	2926:45	81:54	28257:05	0.29%
2007	3391:20	4673:45	13902:29	3121:24	3036:19	23:35	28148:53	0.08%
2008	3175:07	4582:41	13540:09	3275:39	3977:54	36:28	28587:58	0.13%

表 1 2004～2008年度故障統計(INJ・SYN・HEBT合計)

3. HIMACの今後

3.1 次世代重粒子線照射システム

現在、HIMAC棟に隣接した場所に、治療エリア（仮称）が建設されている。図8のようにシンクロトロン上リングより、水平・垂直の固定ポートを有する治療室2室と回転ガントリーに供給される。新しい技術として、3次元スキヤニング法の開発が進んでおり、コリメータレスの高精度照射、変動標的に対応した照射が実現する。既存の治療室にはない回転ガントリーも建設を予定しており、多門最適化による線量集中性の向上とそれによる治療成績の向上、患者位置決め、治療照射時の患者負担の軽減が見込まれる^[2]。スケジュールは2010年春に建屋完成、2010年秋に1ビームライン完成、2011年に1ビームライン治療開始予定となっている。

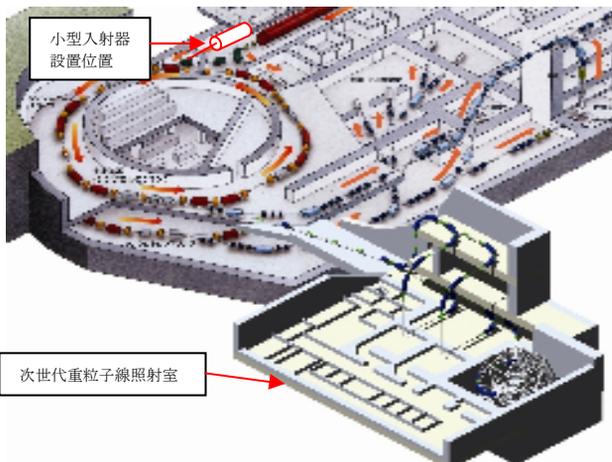


図 8 HIMAC次世代重粒子線照射システム完成予想図

3.2 高効率小型入射器の移設

HIMACは治療開始から16年目を迎え、装置の老朽化も無視できない状況にある。3台のイオン源や二重シンクロトロンリングを有するなどバックアップ体制も整っているが、唯一線形加速器部分だけは二重化されていない。そこで放医研が16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。高効率小型入射器をHIMACへ組み込む事で装置の二重化が更に進み、より安定した治療ビーム供給が見込まれる。高効率小型入射器と既存装置の比較、現在までの移設の状況と今後のスケジュールについて報告する。

3.2.1 既存入射器との比較

大きさとしては図9で示すとおり、全長約1/7の小型化、消費電力量は約1/10程度になりコスト面でも大きな利点がある。

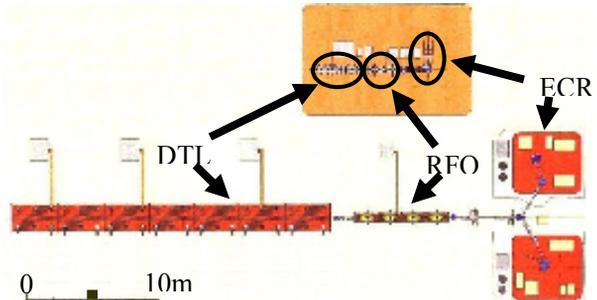


図 9 高効率小型入射器と既存入射器の全長比較

イオン源は写真1で示す。放医研で開発された全永久磁石型ECRイオン源の設計を基本としており、C⁴⁺を供給する為に特化されている。表2の通り、必要な磁場を全て永久磁石で得ている点に大きな特徴がある。このことから従来必要であった電磁石電源や冷却機構が全く不要となるため、大幅な製作コスト及び維持費削減に繋がっている。また運転においては調整パラメータが少なく、且つ安定であるため、医療用加速器のイオン源として多くの魅力的特徴を有する^[3]。

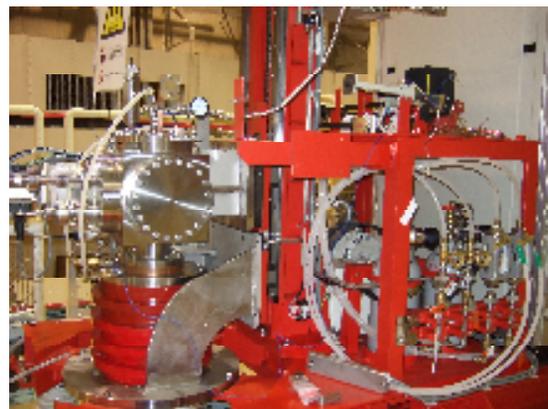


写真 1 小型ECRイオン源

表 2 小型ECRイオン源と既存ECRイオン源の比較

イオン源	比較項目	小型	既存
イオン源	設置面積	2.0m ²	36.6m ²
	加速ギャップ	無し	有り(24kV)
	引き出し電源(供給時)	30kV	24kV
	ミラー電磁石 材料	永久磁石	電磁石
	電力	0A	600A×2
	絶縁トランス容量	3kVA	125kVA
	末端ビーム強度(安定時)	390μA	600μA

写真2に示す小型RFQ線形加速器は4ペイン構造を持つRFQである。表3で示すとおり、小型化のため比較的高い200 MHzの共振周波数が選ばれた。RFQの入射エネルギーはECRからRFQまで加速ギャップを設けないことから、既存ECRより引き出

し電圧を高くし、30kVの引き出し電圧を採用した。これに相当するRFQの入射エネルギーは10 keV/uである。一方、出射エネルギーは共振器全長が約2.5m以内となるよう、約608 keV/uに決定した。これにより共振器は一体のタンクにより製造された^[3]。

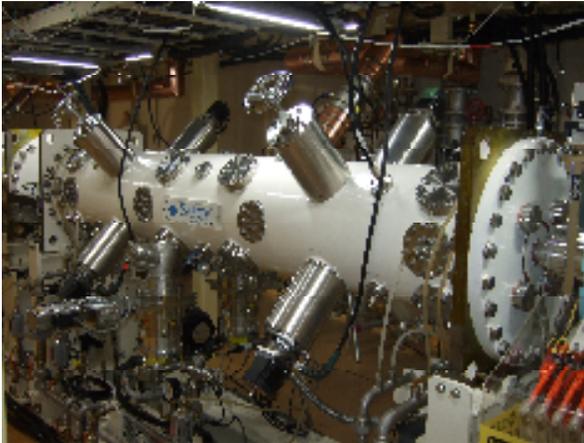


写真2 小型RFQ線形加速器

表3 小型RFQ線形加速器と既存RFQの比較

	比較項目	小型	既存
RFQ	入射エネルギー	10keV/u	8keV/u
	出射エネルギー	608keV/u	800keV/u
	共振周波数	200MHz	100MHz
	質量電荷比	1/1~1/3	1/2~1/7
	共振器全長	2.5m	7.36m
	共振器直径	0.42m	0.80m
	所要電力	120kW	186kW

APF方式IH型DTLはIH型共振器を用いたドリフトチューブ線形加速器を写真3に示す。入射エネルギーは表4で示す通り、RFQの取り出しエネルギーと等しく608 keV/uである。一方、取り出しエネルギーは、①共振器の小型化②シンクロ入射エネルギーを出来る限り小さく③4価炭素ビームが炭素フォイルを通過する際に6価に変換されるストリッピング効率が9割以上となる。この3つの要素の兼ね合いから4.0 MeV/uに決定された^[3]。

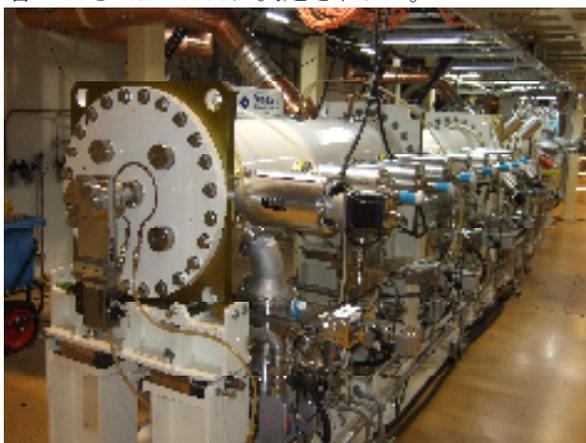


写真3 APF方式IH型DTL

表4 APF方式IH型DTLと既存DTLの比較

	比較項目	小型	既存
DTL	入射エネルギー	608keV/u	800keV/u
	出射エネルギー	4.0MeV/u	6.0MeV/u
	共振周波数	200MHz	100MHz
	質量電荷比	1/1~1/3	1/2~1/7
	共振器全長	3.4m	23.87m (9.7+7.2+6.9)
	共振器直径	0.44m	2.55m
	所要電力	360kW	2.7MW+1.4MW (0.97+0.93+0.86)

3.2.2 現在までの移設状況と今後のスケジュール

移設状況と今後のスケジュールを表5に示す。2007年度より高効率小型入射器移設の検討を開始した。設置場所は線形加速器室としたが、限られた空間に設置するため2階建プラットホームを設置し、2階には高周波増幅器一式を据え付けた。イオン源も縦型として2階に設置。2009年3月までにイオン源からIH型DTLまでの設置が完了している。

今後の予定として、2009年8月にイオン源、低エネルギーの電源・制御装置の接続を終えるとIH型DTL出口までのビーム出し試験が出来る状態になる。2010年度には移設が完了し、治療コースへ供給可能となる。

2007年春	高効率小型入射器移設検討開始
2008年3月	RFQ・IH-DTL 移設 (RF系真空引き開始)
2008年8月	2階プラットホーム据付 RF系アンプの設置 受電・冷却水・制御の接続 (RF通電・調整開始)
2009年3月	イオン源・低エネルギー据付
2009年8月	イオン源・低エネルギー電源・制御接続 ビーム出し試験開始 (IH-DTL 出口まで)
2010年3月	出射ラインの据付、電源・制御接続 上位計算機の改造、(制御室からのリモート操作可)
2010年8月	治療コースへ供給可能

表5 移設状況と今後のスケジュール

4. まとめ

HIMACでは、老朽化に対する既存装置の維持の強化、新しい技術によるより安定且つ安全な装置をめざして取り組んでいる。

参考文献

- [1]Y. Honda et al., "Present Status of HIMAC, NIRS", the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan(2006) WP04-p.90
- [2]K.Noda "New Treatment Facility Project at HIMAC", Radiological Sciences Vol51
- [3]Y.Iwata "Performance of a compact injector for heavy-ion medical accelerators" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 572 (2007) 1007-1021