

Present Status of HIMAC, NIRS

Hideo Tsubuku^{1,A)}, Yasuo Honda^{A)}, Izumi Kobayashi^{A)}, Mitsugu Yamamoto^{A)}, Mitsuji Wakaisami^{A)}, Chihiro Kobayashi^{A)}, Kenichi Ichinohe^{A)}, Masahiro Kawashima^{A)}, Eiichi Takada^{B)}, Yoshiyuki Iwata^{B)}, Shinji Sato^{B)}, Masayuki Muramatsu^{B)}

^{A)} Accelerator Engineering Corporation
2-13-1 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 13 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

(独)放射線医学総合研究所のHIMACは、1994年6月の臨床開始から、呼吸同期照射^[1]や照射時のビーム強度増強などの改造を重ね、概ね順調に治療ビーム供給と生物・物理実験ビーム供給を続けている。2003年10月には、炭素線によるがん治療が高度先進医療の認可を受けた。その適用はHIMACでの年間治療人数(2006年度で500人を超える)の7割程度になっている。臨床試験、先進医療を合わせた治療総数では3000人を超えている(図1)^[2]。

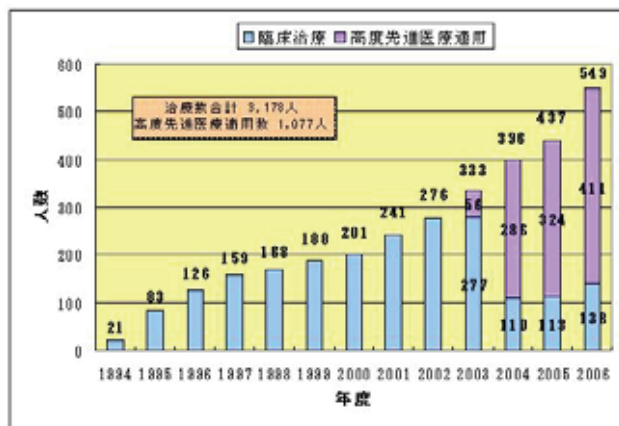


図1 年度別治療人数と高度先進医療適用数

2. ビーム供給年間累計

HIMACにはイオン源が3基設置されており、タイムシェアリング運転により、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。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)を経て各治療室や実験室へと運ばれる(図2)。



図2 HIMAC全体図

2.1 運転状況

HIMACの主な運転スケジュールは、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(図3)。

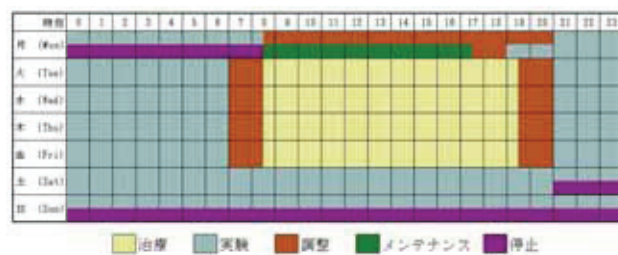


図3 HIMAC週間運転スケジュール

¹ E-mail: h.tsubuku@aec-beam.co.jp

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モードに分類して、ビーム核種・エネルギー・使用室が変更された場合に、時間の記録をして運転状況を毎月集計し、モード別の時間を把握している。2006年度の運転状況を図4に示す。上HEBT及び下HEBTの治療供給は、下図を見て分かる通り、約1700時間であり、実験供給で約2300時間であった。

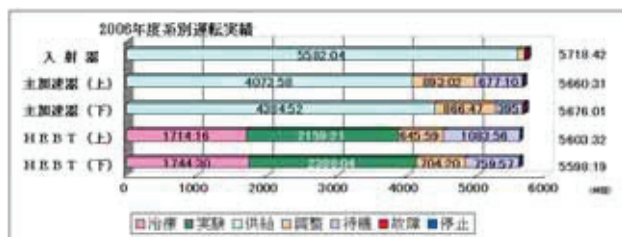


図4 2006年度運転状況

2.2 治療供給

治療供給で使用される炭素線のエネルギーは、上主加速器が290, 350 MeV/u、下主加速器が290, 400 MeV/uのみであったが、サイクロトロン陽子線で行われていた眼治療が、HIMACの炭素線を開始されるに伴い、2001年4月からは垂直140 MeV/u、2005年9月からは水平170 MeV/u、も利用されるようになった。現在治療用として上主加速器では、140, 290, 350 MeV/u、下主加速器では、170, 290, 400 MeV/uでの治療供給を行っている。

2.3 実験供給

共同利用実験ではHからXeまで様々な核種に対応している。主な加速イオン種を図5に示す。加速イオン種は治療供給を含めるとCが約60%を占める。次にAr(7.3%)、Fe(6.0%)と続く。He, B, C, Oについては、ほぼ施設制限最大強度にて供給している。また、同じ実験でのビーム供給再現性は、前回のパラメータファイルを設定する事により、微調整するだけで供給が可能である。下主加速器の実験供給核種について、代表的な供給ビームの実績値を表1に示す。

表1 主な加速エネルギー別実績(下主加速器)

イオン種	エネルギー (MeV/u)	入射 (μA)	周回粒子数 (pps)	取出粒子数 (pps)
H ₂ →H	160	180	9.4E+09	1.5E+10
He	230	520	1.5E+10	1.2E+10
B	430	90	3.5E+09	1.8E+09
C	430	500	2.8E+09	2.0E+09
O	400	540	2.0E+09	1.1E+09
Ne	800	530	9.0E+08	5.7E+08
Mg	100	110	8.0E+08	4.0E+08
Si	800	160	6.4E+08	3.6E+08
Ar	400	205	2.9E+08	2.4E+08
Fe	500	98	4.9E+08	2.3E+08
Kr	400	93	3.0E+08	1.2E+08
Xe	400	35	4.4E+07	4.7E+06

2.4 イオン源別供給実績

イオン源の供給運転比率は図6の通りである。ECRの使用比率が60%を占めるのは、治療専用として炭素イオンを生成しているからである(図7)。PIGは、治療用のバックアップと実験用のHe, Si等のイオンを供給している。HEC (18 GHz ECR) は、実験用のAr, Kr, Fe, Xe等の重いイオンを供給している。

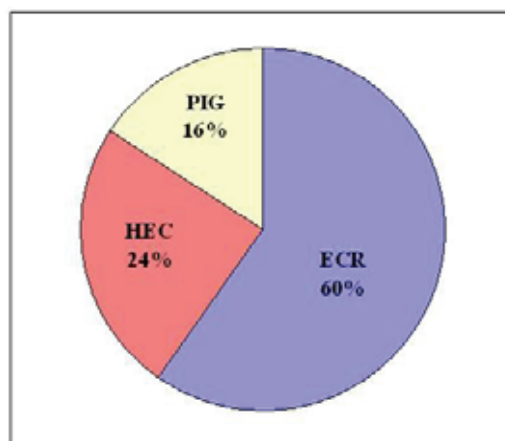


図6 イオン源別運転比率

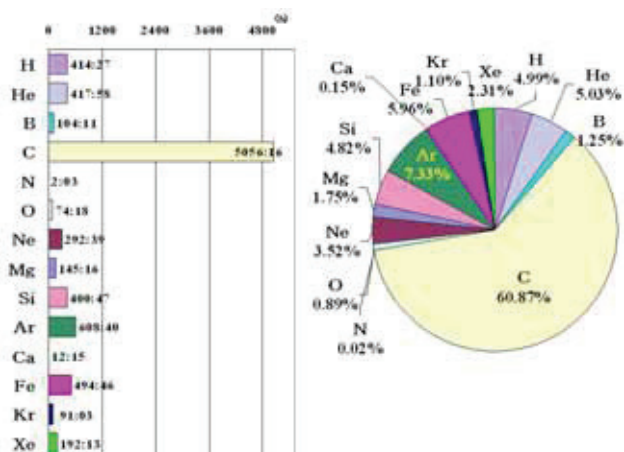


図5 加速イオン種

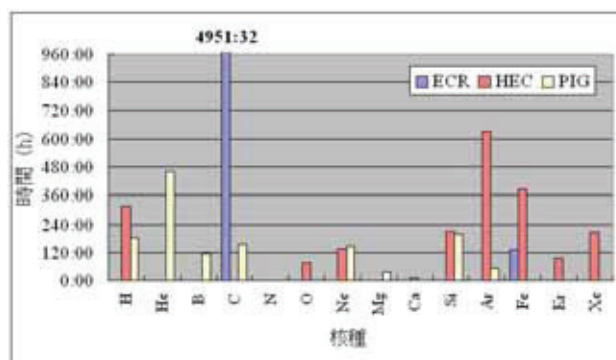


図7 イオン源別運転時間

3. 故障統計

総運転時間に対する故障の比率は2000年度～2006年度で0.1～0.3%の間で推移している(表2)^[2]。2000年度から2003年度までは減少しているが、2003年度から増加傾向が見られる。2006年度の主な故障内容を表3に示す。

表2 2000～2006年度故障統計
(入射系・主加速器・HEBTを合計した時間)

治療	実験	供給	調整	待機	故障	停止	計	故障比率	
2000年度	2790:45	3778:47	12718:59	4303:22	3625:48	58:45	31:30	27303:58	0.21%
2001年度	2598:51	3873:11	12588:20	3681:02	4082:10	60:42	3:25	28808:41	0.23%
2002年度	2998:59	4098:40	13323:49	3394:01	2722:14	52:12	33:15	28591:10	0.20%
2003年度	2925:12	4301:22	13445:45	3080:23	3104:55	21:57	0:00	28859:34	0.08%
2004年度	3097:14	4378:28	13820:27	3303:41	3702:35	32:34	0:00	28434:59	0.11%
2005年度	3070:27	4881:20	14001:47	3302:00	2821:43	35:12	0:00	27892:28	0.13%
2006年度	3458:48	4547:25	14040:54	3201:21	2828:45	81:54	0:00	28257:05	0.28%

・故障事例

復旧までに時間を要した主な障害について以下に説明する。

- ① 入射器系のRFQで使用している最終段増幅器のプレート電源に於いて、ブレーカトリップが発生し復旧できない問題が発生した。原因として、電源内部の配線に問題があり、トランスとケーブル間で放電を起こしていた。ここで復旧するに当たって問題だったのは、原因として放電があることを見極めるのに手間取ったこと、単純な直流高圧電源と考えて図面等を整備していなかったこと、等である。放電発生は、整頓のつもりで制御線の一部を17kVトランス高圧出力側に結束してしまっていたことに起因していた。この点でも、図面等の資料整備とその更新が必要である。また、復旧時間の効率化の面からの教訓は、過去の経験に頼るだけでなく、現象を見極める切り分け手順の案出しと、復旧作業の段取りが必要ということである。
- ② 入射器系のDTLで使用している最終段増幅器のプレート電源内部のコンデンサバンクで、容量抜け及びオイル漏れが発生した。10個中2個のコンデンサーで相次いで発生したもので、前回経験より短期間で起こったが、タップ設定の違いもあり、コンデンサー品質の問題とはいきれない。この障害の場合は、コンデンサバンク交換作業時に、扉が全開にならないためメンテナンス性が悪く、復旧に時間が掛かった。対策として、扉の取り付け部品の形状改良を実施して作業の効率化を図った。
- ③ 主加速器では、制御系の通信異常障害の発生がある。イーサネットで使用しているトランシーバの故障により発生した障害である。この場合は、問題を起こしたトランシーバの老朽化といえようが、パケット長が長くないと異常を生じないこと、

以前に調査した結果がネットワーク回路図面に正しく反映されておらず、原因究明に時間を要した。

表3 主な故障内容(2006年度)

	前 期			後 期		
	日付	停止時間	故障内容	日付	停止時間	故障内容
入射器	3月29日	0:32	VF01-FAULT	8月15日	1:57	DTL1真空管故障
	4月4日	1:22	RFQ-RFA故障	8月22日	1:48	DTL-IPA漏水
	4月24日	8:00	RFQ-RFLT異常	10月25日	0:58	制御系LAN障害
	5月1日	1:00	DTL-AGC外れ	11月29日	4:19	DTL-AGC不安定
	5月11日	4:19	DTL-RFA真空管故障	12月11日	0:48	DTL-IPA FAN故障
	8月29日	1:18	FCN101 リーク	2月5日	2:08	計算機不具合
	7月2,5日	7:08	RFバンクコンデンサ破壊			
主加速器(上)	5月17日	1:00	RF-QDのVp,Ip異常	12月18日	8:30	制御系通信異常
	8月19日	2:14	TS/PCボード不良			
	8月28日	4:07	TS/PCボード不良			
主加速器(下)	3月28日	10:11	RF出力不良調査	12月18日	8:21	制御系通信異常
	5月9日	3:18	RF-FC異常			
	8月13日	2:13	TS/PCボード障害			
	8月19日	0:44	TS/PCボード不良			
	8月26日	4:07	TS/PCボード不良			
HEBT(上)			故障なし			故障なし
HEBT(下)	8月7日	1:28	PEN102 IND電源故障			故障なし

4. まとめ

HIMACでは、1994年から治療・実験のビーム供給を続けており、2007年3月で治療人数は、3000人を超えている。

毎日の治療と実験を安定に継続するためには、障害発生が直接影響する。この4年間の故障比率を見ると、年々故障比率が上がっている様に見える。しかし、現場では、障害の的確な診断や対策方法を準備することが一層重要であるといえる。特に現場技術者から見た重要な点は、担当者の移動等で装置・機器の特徴を踏まえた、診断のノウハウや対処の検討・選択範囲が失われたり狭まったりしないように、留意せねばならない。そして、作業品質を維持するための、技術の伝承を継続することが必要である。

今後ビーム供給時間を増やすには、極力故障発生をさせない点検・保守をすることが重要である。また、問題が発生した場合の復旧時間の短縮には、図面を最新の情報に整備すること、過去の障害対応事例を参考にした、正確かつ迅速な対応をすることである。

参考文献

- [1]Minohara,S.,Kanai,T.,Endo,M.,Noda,K.andKanazawa,M.
(2000)Respiratory gated irradiation system for heavy-ion radiotherapy. Int. J.Radiat.Oncol.Biol.phys.47:1097-1103
- [2]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