

Present Status of HIMAC, NIRS

Yasuo Honda^{1,A)}, Izumi Kobayashi^{A)}, Mitsugu Yamamoto^{A)}, Mitsuji Wakaisami^{A)}, Chihiro Kobayashi^{A)}, Kenichi Ichinohe^{A)}, Masahiro Kawashima^{A)}, Takanori Kondo^{A)}, Katsuhisa Narita^{A)}, Yoshinobu Sano^{A)}, Hideo Tsubuku^{A)}, Eiichi Takada^{B)}, Yoshiyuki Iwata^{B)}, Shinji Sato^{B)}, Masami Torikoshi^{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 12 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.

重粒子線がん治療装置HIMACの現状 - 加速器運転状況を中心に -

1. はじめに

HIMACは1994年6月の臨床試行開始から現在までに様々な部位のがん治療を行った。その間に呼吸同期による照射や照射時ビーム強度の増加など、患者への負担を極力減らし、出来るだけ短時間で的確な治療照射を行う方法を実施してきた。その成果として、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、翌月からその適用を開始している。2006年度には治療人数500人近くに到達すると見られている。(図1) ^[1]

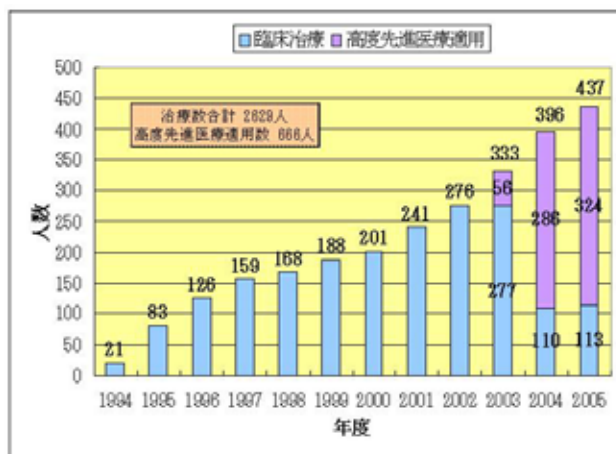


図1 年度別治療人数と高度先進医療適用数

2. ビーム供給年間累計

HIMACのイオン源は3機設置されており、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)に別れ、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調整運転、火曜日から金曜日の昼間は治療供給、火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)

2005年度では年間の稼働時間である約5,500時間の中で治療供給は約1,500時間、実験供給が約2,300時間となっている。運転時間に対する供給比率は入射系で98%、主加速器で75%程度である。再現性の高いオペレーションファイルにより調整に掛かる時間は短縮されている。(図4)

¹ E-mail: honda@aec-beam.co.jp

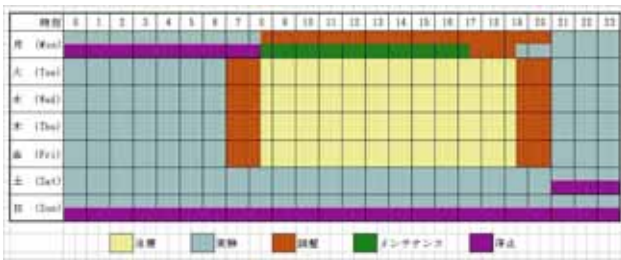


図3 HIMAC週間運転スケジュール



図4 2005年度運転状況

2.2 治療供給

当初治療供給では上リングがC290,350 MeV/u、下リングがC290,400 MeV/uのみであったが、陽子線で行われていた眼治療が2001年1月よりHIMACの炭素線で開始され、2005年10月からは水平170 MeV/uも利用されるようになった。現在では上リングがC140,290,350 MeV/u、下リングがC170,290,400 MeV/uで各リング3エネルギー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。主な加速イオン種及び加速エネルギーは図の通りである。(図5、表1)

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(8.7%)、Fe(6.7%)と続く。

He,B,C,Oについては、ほぼ施設制限MAX強度にて供給している。また、同じ実験番号での供給は前回のパラメータファイルをセットする事により、微調整するだけで供給が可能である。

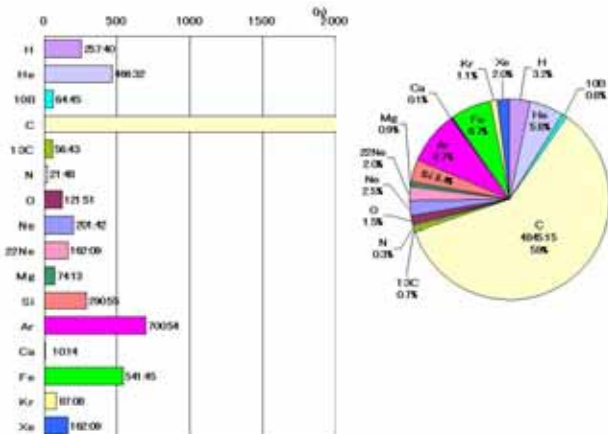


図5 加速イオン種

表1 主な加速エネルギー別粒子数(LSY)

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	600	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

3. 治療ビームの安定化

治療や物理実験へ効率の且つ安定に供給を続けるため、様々な検討を進めている。

3.1 無調整化

HIMACでは昼は治療供給、夜は実験供給に対応しているため、夜の使用核種・エネルギーに起因して治療ビームの再現性に影響が出る事を確認している。この現象は下リングよりも上リングへ顕著に表れており、上リングは僅かなチューンの変化でもHEBT系のビーム位置に大きく影響する事が分かった。現在無調整化へ向けて残留磁場などによる影響を最小限に抑えるようなファイル作りを進めている。^[2]

3.2 操作の自動化やビーム監視

HEBT系ビーム確認のためのプロファイルモニタ挿入操作や表示操作を自動で行い、エネルギー変更時間の短縮に対して取り組んでいる。

また、ビームライン上に設置されている準非破壊プロファイルモニタを利用し、供給中のビーム軸がずれたと判断した場合は警告する機能を組み込んでいる。

4. 故障統計

総運転時間に対する故障の比率は2000～2005年度で0.1～0.2%で平均している。(表2)

2005年度の主な故障内容は表に示す。(表3)瞬時や計算機の故障が目立つが、中には制御装置内DC電源故障やベローズからの真空リークなど、寿命と思われる故障も見られる。シーケンサや計算機の故障における更新については後で述べる。

表2 運転実績(2000～2005年度)

年度	治療	実験	供給	調整	待機	故障	停止	計	故障比率
2000年度	2780:45	3778:47	12716:59	4303:22	3825:48	58:45	31:30	27903:58	0.21%
2001年度	2588:51	3873:11	12588:20	3881:02	4082:10	80:42	3:25	28808:41	0.23%
2002年度	2988:59	4088:40	13323:49	3394:01	2722:14	52:12	33:15	28591:10	0.20%
2003年度	2825:12	4301:22	13445:45	3080:23	3104:55	21:57	0:00	28859:34	0.08%
2004年度	3097:14	4378:28	13920:27	3303:41	3702:35	32:34	0:00	28434:59	0.11%
2005年度	3070:27	4881:20	14001:47	3202:00	2821:43	35:12	0:00	27882:29	0.13%

入射系・主加速器・HEBTを合計した時間

表3 主な故障内容(2005年度)

	日付	時間	故障内容
入射器	4/13 (水)	1:04	RFQ放電によるダウン
	4/13 (水)	1:35	制御装置内DC電源故障
	4/18 (土)	0:33	機停 (EXT電源、AG電源、真空ポンプダウン)
	4/21 (水)	0:29	機停 (EXT電源、AG電源、真空ポンプダウン)
	5/10 (金)	1:34	入射系計算機故障
	7/12 (水)	2:05	RF振幅・位相制御ユニット故障
	7/22 (土)	0:31	地震によりHEC真空停止
	8/23 (水)	0:37	真空制御装置故障
	10/23 (日)	1:20	RFQ放電によるダウン
	12/20 (火)	1:01	機停 (真空ポンプダウン)
	1/18 (月)	4:37	DTL-AFC制御装置故障
	2/18 (金)	3:25	DTLシーケンサ故障
主加速器 (上)	4/18 (土)	0:44	機停 (真空ポンプ、RF系統等ダウン)
	4/21 (水)	0:35	機停 (真空ポンプ、入射器等ダウン)
	5/11 (水)	1:05	主加速器計算機故障
	7/22 (土)	0:31	地震により電源閉鎖で停止
	12/10 (火)	1:04	機停 (真空ポンプ、RF系統等ダウン)
主加速器 (下)	4/18 (土)	0:44	機停 (電磁石電源、RF系統等ダウン)
	4/21 (水)	0:35	機停 (真空ポンプ、入射器等ダウン)
	5/11 (水)	1:09	主加速器計算機故障
	8/17 (金)	1:19	FCM2Aベローズ真空リーク
	12/10 (火)	1:04	機停 (真空ポンプ、RF系統等ダウン)
HEBT (上)	4/18 (土)	0:53	機停 (電磁石電源ダウン)
	4/21 (水)	0:45	機停 (電磁石電源ダウン)
	7/27 (水)	1:07	HEBT系計算機故障
	12/10 (火)	1:04	機停 (電磁石電源ダウン)
HEBT (下)	4/18 (土)	0:53	機停 (電磁石電源ダウン)
	4/21 (水)	0:55	機停 (電磁石電源ダウン)
	7/27 (水)	1:07	HEBT系計算機故障
	12/10 (火)	1:04	機停 (電磁石電源ダウン)

5. 保守・更新概況

12年余りの稼働を続けているHIMACは部品の寿命や生産中止が出てきている。今後もこの問題は増え続ける事が予測され、リプレイスの作業面やコスト面でも大きな負担が懸念される。

5.1 電源部品

電磁石電源内や制御装置のコンデンサ、冷却FAN、また小型DC電源もコンデンサの寿命により順次交換を実施している。

2006年7月3日にはDTLのプレート電源内バンクコンデンサ10台のうち1台が破損して約2時間の停止となり、翌々日の7月5日には更にもう1台の破損があった。(写真1)これは製造後9年経過した辺りから破損が見られ、12年経過した2001年に全数交換しているが、今回は5年で破損に至っている。負荷条件も変わってきているので、寿命の再算出を含め原因は現在調査中である。



写真1 DTL-PLT電源内コンデンサ破損

5.2 シーケンサ

シーケンサの生産中止によるリプレイスも進めている。多くの場合は後継機種による小改造で対応している場合が多いが、放射線管理区域の制御盤内に設置しているシーケンサはFPGA(Field Programmable Gate Array)への移行も進めている。

5.3 制御・計算機

保守期限切れやハードの生産中止などからリプレイスを行っている。CRTから液晶モニタへの移行、HEBT計算機^[3]・全系計算機^[4]のリプレイス、シンクロトロンタイミングシステム・モニターコントロールのリプレイスなどが既に行われており、現在は入射系計算機や入射系制御装置UDC(Universal Device Controller)のリプレイスが準備中である。

6. 最後に

HIMACの更新は1度目が終わり2度目に差し掛かっているものも多い。また、今までに想定していなかった障害が突然現れる事もある。一方、治療人数は増加が見込まれており、障害による停止は極力避けなければならない。日頃から運転と保守を効率的に行い、突然現れる障害に対して敏速に対応出来る体制や準備を心がけたい。

参考文献

- [1] K. Narita et al., "Present Status of HIMAC, NIRS", the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan(2004) 4P20-p.251
- [2] T. Shiraishi et al., "Development for turn-key treatment-beam delivery at HIMAC", the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan(2005) 21P039
- [3] M. Katsumata et al., "Replacement of a HEBT Control Computer in HIMAC", the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan(2005) 21P089
- [4] 藤田 誠 他, "HIMAC全体制御計算機のリプレース", The 14th Symposium on Accelerator Science and Technology., Tsukuba, Japan, November 2003