

Present Status of HIMAC, NIRS

Katsuhisa Narita^{1,A)}, Takanori Kondo^{A)}, Mitsugu Yamamoto^{A)}, Masahiro Kawashima^{A)},
Kenichi Ichinohe^{A)}, Chihiro Kobayashi^{A)}, Yoshinobu Sano^{A)}, Eiichi Takada^{B)},
Yukio Sato^{B)}, Yoshiyuki Iwata^{B)}, Shinji Sato^{B)}, Masami Torikoshi^{B)}, and Satoru Yamada^{B)}

^{A)} Accelerator Engineering Corporation

2-13-1 Konakadai, Inage-ku, Chiba-shi, 263-0043 Japan

^{B)} National Institute of Radiological Sciences

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

Abstract

Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba, HIMAC, at NIRS has been in operation for more than 10 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. Achievements and open problems of Beam Quality Assurance and improvement are discussed.

重粒子線がん治療装置HIMACの現状

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試験を行った。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。(表1) [1]

年度	治療人数	高度先進医療適用人数
1994	21	
1995	83	
1996	126	
1997	159	
1998	178	
1999	193	
2000	205	
2001	243	
2002	296	
2003	343	56
TOTAL	1847	56

表1 年度別治療人数と高度先進医療適用人数

治療で使用されるビームについては安全、且つ安定に供給できるパラメータが確立されており、同じパラメータでビーム供給する場合のビーム調整は、治療室手前でのビーム強度確認と微調整のみで治療供給を実現している。

共同利用による物理実験や生物実験においても同じ実験内容であれば、前回使用したパラメータの設定で供給状況は再現されている。また全く新規の実験でも、短時間でパラメータファイルを生成し、ビーム調整が行えるようになっている。

2003年度のHIMACビーム利用実績を示す。(表2、図1)

	治療	実験	供給	調整	待機	故障	停止	計
入射器			3363:11	137:10	12:37	8:10	0:00	5521:08
主加速器(上)			3863:46	803:28	722:41	5:37	0:00	5395:52
主加速器(下)			4218:48	839:36	342:21	6:37	0:00	5427:22
HEBT(上)	1455:14	2066:12		588:14	1168:05	1:13	0:00	5278:58
HEBT(下)	1469:58	2235:10		671:55	839:11	0:00	0:00	5236:14
合計	2925:12	4301:22	13445:45	3060:23	3104:55	21:37	0:00	26839:34

表2 2003年度運転時間実績

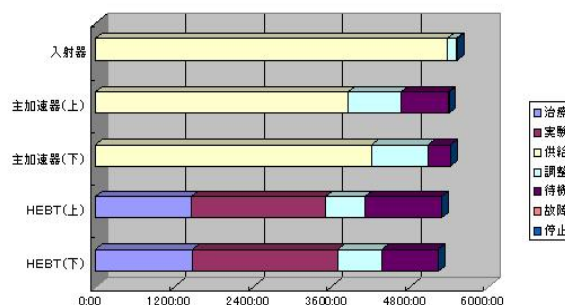


図1 2003年度運転状況

注：上記のHEBTは高エネルギービーム輸送系

¹ E-mail: aec_opeg@nirs.go.jp

2. 供給運転及び維持業務

2.1 HIMAC運転状況

週間運転状況を示す。

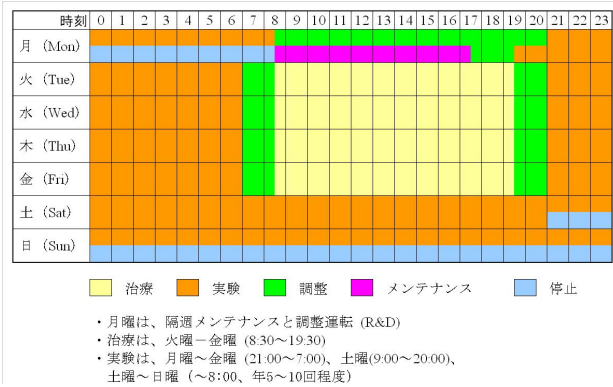


図2 HIMAC週間運転スケジュール

2.2 ビーム供給状況

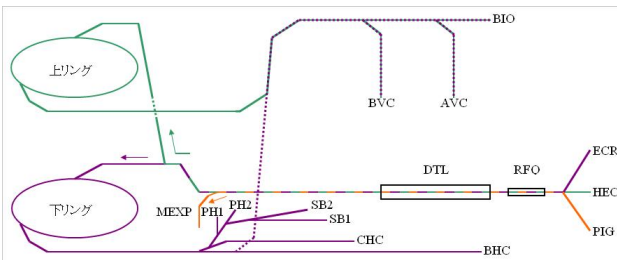


図3 HIMACビーム供給経路図

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できるようになっている。(図3)

線形加速器、主加速器、HEBT系の各ビームトランスポートに関しては、既存の供給用パラメータファイルは再現性が良く、新規で供給する実験でも多くは既存パラメータからのスケージングで供給できる。しかし最近、イオン源では高圧電源の故障が発生したり、線形加速器のタンク内放電が発生する頻度が高くなり、供給が中断することも生じてきた。復旧には3～5分の時もあれば、30～40分かかる時もある。放電の原因としてはタンク内の汚れも考えられ、調査中である。

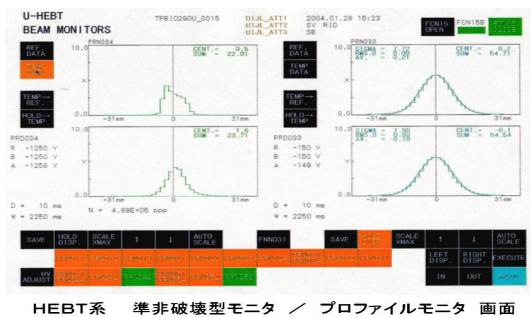
また、主加速器やHEBT系ではここ2～3年で制御機器内の消耗品故障によるビーム供給停止が増えてきたため、各機器の制御回路、電源盤内などのコンデンサやセンサー類の交換、コネクタ配線の見直しなどを順次行っている。

2.3 治療時の供給

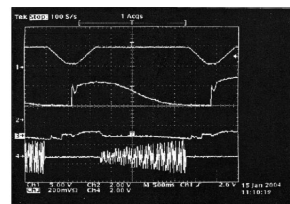
加速器側の運転業務はイオン源から線形加速器、主加速器、HEBT系の調整を行い、治療室へ導入するビーム軸、強度を調整、治療室側へビーム照射権

利を移譲するまでを担当している。治療用パラメータの変更により、上リングでは140、290、350MeV/u、下リングでは290、400MeV/uのエネルギービームを切り換えて使用している。再現性が良く、ビーム強度も安定(10%程度の変動はあるが供給には支障なし)しているため切り換え時間が短く、安全な供給が可能となっている。しかし、ビームのリプルがあること(図4取り出しビーム波形、時間構造的には平坦が理想)、呼吸同期供給時に照射タイミングから外れてビームが漏れることを防ぐために取り出し効率を特性にしていること、この辺りの調整が今後の課題である。

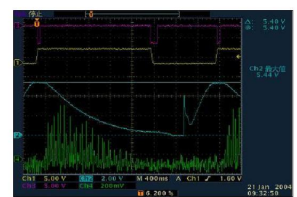
治療室側でのビーム照射中(準非破壊型モニターでのビーム位置波形を監視)はもちろんだが待機中でもHIMAC装置の機器監視やビーム状況の変化(オシロスコープでビームの量・時間構造、呼吸同期タイミング、ビーム加速波形、電源印加パターン等)を監視して、異常があれば即座に治療室側への連絡及びトラブル対応ができるようにチェックしている。(図4)



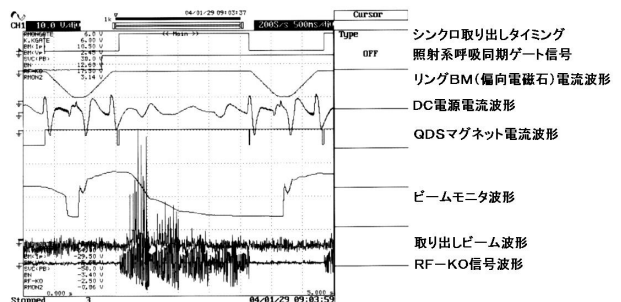
HEBT系 準非破壊型モニター / プロファイルモニター 画面



BQ電源パターン波形
ビームモニタ波形
RF位置モニタ波形
RF-KO波形



QDSマグネット電流波形
六極マグネット電流波形
ビームモニタ波形
取り出しビーム波形



呼吸同期時の波形

図4 監視用モニタ波形

3. 共同利用実験の供給運転

共同利用実験で使用された（2003年度実績）加速イオン種及び加速エネルギーを示す。（表3、4）

表内のカーボン利用率は治療での利用時間を含む。

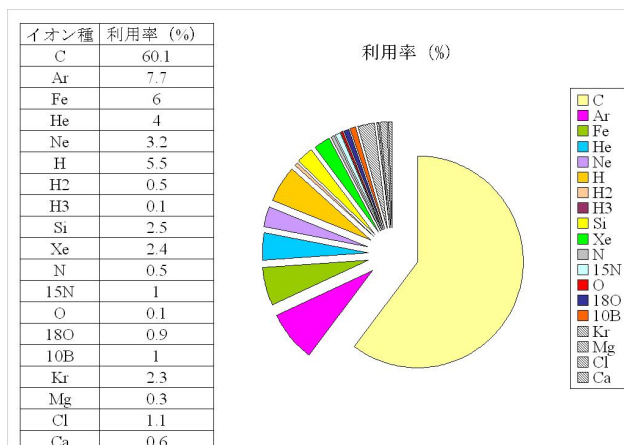


表3 加速イオン種

イオン種	エネルギー (MeV/u)	入射 (μA)	周回粒子数 (pps)	取り出し実績 (pps)
H	230	340	1.0E10	7.5E9
He	230	500	2.0E10	1.6E10
C	430	530	2.8E9	2.0E9
Ne	600	990	1.6E9	8.5E8
Si	490	90	6.8E8	4.4E8
Ar	500	190	3.4E8	2.7E8
Fe	500	90	2.1E8	1.3E8
Kr	500	35	6.0E7	1.9E7
Xe	400	55	9.3E7	2.8E7

表4 加速エネルギー別粒子数

共同利用実験の供給では、ビーム強度（MAX、桁落ちで数種類、出来るだけ弱くなど）、ビームの時間的な構造（平坦、長さ、偏りなど）、及びビームスポット—図5—（広く、小さく、横長、縦長、ビームハロー無しなど）などが調整対象となる。

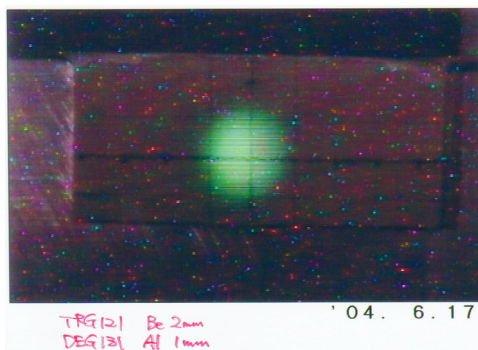


図5 ビームスポット調整写真

4. 供給ビームの品質維持、改善

供給ビームの品質としては10年の間に様々な調整・対策を行ってきた安定したビームが供給できている。

イオン源ではイオン生成量の変動を抑えるために、供給ガス制御装置の微量調整が出来るフローメーターへの交換、電源の放電によるビーム供給制御盤のダウンで発生するビーム供給停止問題への対策、供給ビームにより汚れて破損する碍子の交換など、毎日の点検、清掃で供給ビームの安定性を維持する。

線形加速器ではRFQ、DTLでメンテナンス日（隔週）にガス出しの枯らし運転を行っているが、枯らし運転は時間がかかるため、実験供給時などにもタイムシェアリングを利用して実施している。

主加速器では供給ビームの強度、リップル、加速時の電源印可パターン、リング内周回軌道、供給タイミング外の漏れなどを調整し、ビーム利用側のトラブル回避のための監視を行っている。また、リング内での周回状態を確認するためのモニタ増設やマグネットの改良、制御装置（ビームシャッター前方に設置したもの）の暴走対策などを実施している。

HEBT系では治療室や実験ユーザーへの供給ビームが要求されている条件に合っているか確認し、供給中はビームプロファイルモニタでビームの位置ズレやビーム強度の変動が無いかを監視している。特に実験ユーザーの要望については、実験サポートの担当者がとりまとめて伝達する工夫をしている。

治療照射系では患者に負担をかけないための呼吸同期システムの開発、治療精度向上のために線量測定モニタやビーム照射時に使用するフィルタ類の改良、治療計画の精度向上のためのソフトウェア開発などを行ってきた。今後、更に治療時間の短縮化、患者の負担を軽減するための開発、改良を進める。

5. まとめ

HIMACは10年を経て装置（ハード）は一昔前のものとなり、現在は経年劣化による故障も目立ってきている。制御系、電源など消耗部品の交換を行う上で、生産中止品の代替品選定・購入などが重要になる。今後、一層治療用ニーズは増えるが、低コスト化も求められ、現状の高い信頼度を持った運転状況を維持することが大きな課題となるであろう。

6. 参考文献

[1] 成田克久 他、「がん治療用加速器HIMACの運転状況」、第14回加速器科学研究発表会プロシーディングスpp644-646