

[P 1 – 30]

Status of the HIMAC Linac

*H.Murata, *W.Takasugi, *M.Yamamoto, *C.Kobayashi, *Y.Honda, *H.Sakamoto, *T.Okada, *T.Yokoyama,
*T.Fujimoto, *T.Kimura, *T.Fukushima, **T.Kawama, A.Kitagawa, T.Murakami, M.Muramatsu, H.Ogawa,
Y.Sato, K.Tashiro, J.Yoshizawa, S.Yamada

National Institute of Radiological Sciences
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

*Accelerator Engineering Corporation,
2-13-1 Konakadai Inage-ku, Chiba 263, Japan

**Sumitomo Heavy Industries, Ltd.
5-9-11 Kitashinagawa, Shinagawa-ku 141, Tokyo, Japan

Abstract : HIMAC is operated 24 hours per day from Monday to Saturday for cancer treatment and basic research. About 150 patients have been treated by the end of this July. HIMAC linac delivers the heavy ion beams to two synchrotron rings and a medium energy experiment course. The injector has been being modified to realize time sharing acceleration of different ions (TSS).

HIMAC ライナックの現状

1.はじめに

放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置 HIMAC は 1994 年 6 月に臨床試行を開始してから、1996 年 7 月末現在で 150 名の患者への照射を終了し、順調にその成果を上げている。当初一日数名で始まった治療も現在は 20 名前後まで増えている。これまでのところ治療は ^{12}C ビームで行われ、夜間や週末に行われている共同利用研究には C の他に ^{40}Ar 、 ^{20}Ne 、 ^4He 等が使われている。

ここでは HIMAC ライナックの現状と今後の予定について報告する。尚、イオン源の現状については参考文献¹⁾を参照頂きたい。

2.ライナックの現状

HIMAC 入射器系は、PIG と ECR の 2 台のイオン源と低エネルギービーム輸送ライン (LEBT)、2 台のライナック (RFQ、DTL)、RFQ と DTL を結ぶライナック間ビーム輸送ライン (LLBT)、そして DTL とシンクロトロンを結ぶ中エネルギービーム輸送ライン (MEBT) からなる。ビームの供給は上下 2 台のシンクロトロン

リングと、MEBT の途中から分かれる中エネルギー実験室 (MEXP) の 3 コースに行っている。ビームエネルギーは 6MeV/u である。供給粒子数は各イオンとも概ね 10^{10} pps 台である。

2-1. ビーム供給時間

表 1 に 96 年 4 月から 7 月までの 4 ヶ月間の運転状況とシンクロトロン及び中エネルギー実験室への供給イオン種の内訳を示す。図 1、

表1. 各イオンの運転時間(96/4-7) 単位は Hour

	シンクロトロン 供給	ライナック 調整	故障	その他 (待機・停止)	中エネルギー 実験室供給
C	1352.8	44.6	11.1	57.2	58.4
He	76.2	10.8	2.2	0.1	7.5
^{20}Ne	60.2	5.5	0.3	3.7	22.7
^{22}Ne	53.9	1.2	-	-	7.9
Si^{13+}	15.1	1.5	0.4	2	-
Si^{14+}	18.2	1.6	9	-	4.3
Ar^{17+}	6.6	1.2	-	3.3	-
Ar^{18+}	98.1	13.2	3.1	1.1	22.3
計	1681.1	79.6	26.1	67.4	123.1

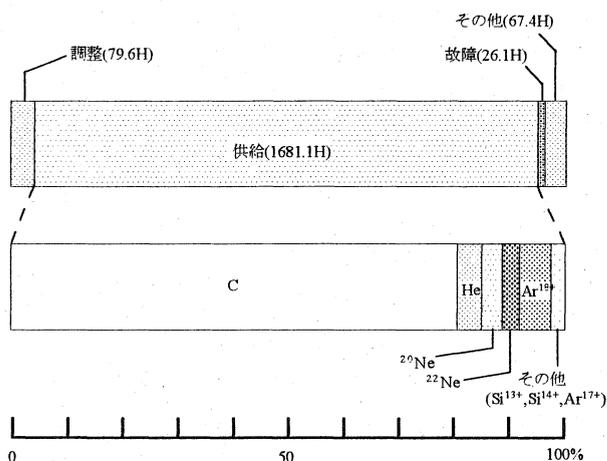


図1. 各イオンのシンクロトロンへの供給状況 ('96/4-7)

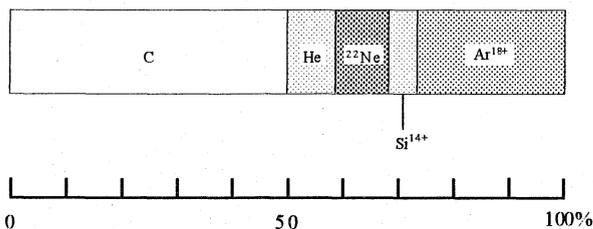


図2. 各イオンの中エネルギー実験室への供給状況 ('96/4-7)

図2にはそれらをグラフにまとめて示す。C beams は月曜日夜から金曜日夕方までの昼間の治療、夜間の物理及び生物実験に使用されている。そのため C の使用は 80% に及んでいる。その他の beams は主に金曜日夜から土曜日夜或いは日曜日朝までであるため、使用時間は少なくなっている。beams の調整は毎週月曜日に約 2 時間ほどを使って行っている。週末にイオン種が変われば、そのための beams 調整も行われる。図1の“調整”にはこれら両方の時間が合計されている。“故障”とは、2-2. に示したトラブル時の復旧時間であり、全時間数の 1% 以上を占める。“その他”とは他の系統の立ち上がり待ちやトラブルの復旧待ち等の待機及び停止時間である。中エネルギー実験では、図2に示すイオンを用いて物理及び生物実験が行われている。

2-2. トラブル

ライナックで発生したトラブルとしては、主

に RF 源のトラブル発生が目立った。中でも DTL 用 RF 源がほとんどであった。真空管の電極タッチ、耐圧不足、電源トランジスターの破損等である。これらは故障品の交換、メーカーによる修理等により beams 供給への支障を最小限に止めた。

その他、ECR イオン源のマイクロ波源故障、PIG イオン源のフィラメント-カソード短絡、計算機のバグ等のトラブルも発生しているが、担当者の努力により素早い復旧が行われている。

2-3. タイムシェアリング

現在ライナックでは、治療照射や共同利用実験の効率を大幅に向上させるために、パルス毎に 3 つのコース（上下 2 台のリング、MEXP）に供給する beams の種類（イオン種、荷電質量比）を変えるタイムシェアリングシステム (TSS)²⁾ への改造が行われている。この際、これまでの電磁石は DC 励磁であったため、これをパルス対応へと改造しなければならない。改造は一部実施されており、96 年春の定期点検時に、LEBT の合流電磁石以降、MEBT の四重極電磁石まで積層鋼板を用いてパルス対応の電磁石へと交換し終わっている。また、一部の電源もパルス化された。交換された電磁石の一例として MEBT の四重極電磁石を写真 1 に示す。

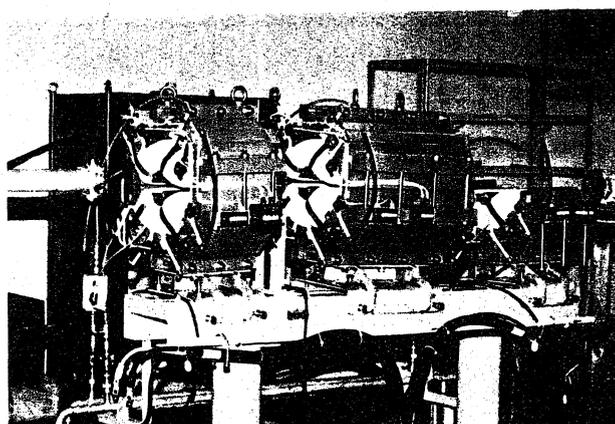


写真 1. 交換後の MEBT 四重極電磁石

2-4. 立ち上げ時間の短縮化

シンクロトロンへの beams 供給は、イオン種

毎に作られたパラメーターファイルを読み込み、イオン種にもよるが最大約2時間の調整の後シンクロトロンに引き渡している。ビームの有効利用という点からは、この調整時間を短くしていくことが重要になる。そのため、調整時間を最小限に止めることが可能な標準的なファイルを作る努力を行っており、現在までに使用頻度の高い C イオンではほぼ満足できるファイルを完成させることができた。

2-5. アラインメントの取り直し

96年3月に合流電磁石の交換に合わせて、LEBTのアラインメントの見直しを行い、両イオン源からRFQまでのトランスポートラインのアラインメント取り直しを行った。最大で2.5mmのズレがあったが、全て0.5mm以下に再調整した。

2-6. 真空ポンプ・オーバーホール

96年春の定期点検時より、真空ポンプのオーバーホールを行っている最中である。但し、HIMACの運転上の制約から、交換は基本的に年2回の定検時に行なっている。何れもメーカー規定時間はオーバーしているが、現在は異常なく動作している。一番大型のポンプはDTL用の3台の5000//s TMPであり、これは1台を96年春に交換し、この夏にもう1台交換する予定である。最も数が多い型は520//s TMPであり、これらはオーバーホールされてきたものを順次交換していく予定である。

3. 今後の予定

3-1. タイムシェアリング

96年夏の定期点検時に、ほとんどの電磁石電源及び同期信号系の改造が行われる。今年度内には制御系の改造も完了する。これにより、早ければ来年度夏以降にMEXPへのTSS運用が行える予定である。現在は主加速器系の制御下にあるシンクロトロン入射ラインの一部も電磁石及び電源、制御系がパルス対応に改造され、入射器系の制御下に置かれるようになる。本システムは97年度末には完成し、98年度初

めより運用される予定である。

96年3月には、18GHz ECR イオン源^{1),3)}が設置され、TSSによる更なるライナック利用の効率向上が図られる。このイオン源の運転は、来年度初めには本格的に開始される予定である。

3-2. 立上げ時間の短縮化

立上げ時間の短縮化ということで標準ファイルの作成を行ってきたが、入射器はシンクロトロンと中エネルギー実験室への供給を両立させなければならないという難しい面があり、今後は順次他のイオン種についても完成させていく予定である。

また、現在は手動で立ち上げているRF源を、計算機が自動的に所要のパワーまで立ち上げるようなプログラムの作成を検討中であり、これによっても立ち上げ時間の短縮を図る予定である。但し、タンク内で起こる放電をどのように検知するかが問題で、必要であればそのための機器を追加しなければならなくなる。

4. まとめ

HIMACライナックは順調に治療、実験用ビームを供給している。今後は更なる安定運転と共に、立ち上げ時間の短縮化が図られる。また現在、98年度より運転が始まるTSSの改造が進行中である。18GHz ECR イオン源の本格運用も来年度初めに開始される予定である。

参考文献

1. H.Sakamoto, et al., this meeting
2. S. Yamada, et al., Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1995, p.91
3. A.Kitagawa, et al., INS-T-534, 1995, p.91