

## REPORT OF HEAVY-ION MEDICAL CENTER IN GUNMA UNIVERSITY

Kota Torikai<sup>#</sup>, Takayoshi Ishii, Tatsuaki Kanai, Junichi Koya, Hirofumi Shimada, Mutsumi Tashiro, Ken Yusa, Satoru Yamada, Yukari Yoshida, Azusa Watanabe, and Takashi Nakano  
 Gunma University Heavy-ion Medical Center  
 3-39-22 Showa-Machi, Maebashi, Gunma, 371-0851

### Abstract

Proof-of-Principle of the world-standard type heavy-ion medical facility in Gunma University (Gunma University Heavy-ion Medical Center: GHMC) was started in April 2006. GHMC was built in March 2009 and operation was started in August 2009. The GHMC started cancer therapy from March 16, 2010. This report shows the current operation report of accelerator component of the GHMC.

## 群馬大学・普及型重粒子線治療施設報告

### 1. はじめに

群馬大学では 2006 年度より普及実証型炭素線照射装置の建設が三菱電機により開始され、2010 年 3 月 16 日より前立腺患者に対する治療照射を開始した。5 月までに 12 名の患者に対する照射を行い、今年度は頭頸部・肺・肝臓など 6 疾患/70 名の治療を予定している。本レポートでは 2009 年 8 月より開始された運転に伴う事象とその対策について報告する。

### 2. 各装置の運転状況

#### 2.1 イオン源

イオン源は放医研で開発された永久磁石型 ECR イオン源を採用し、RF 周波数 10GHz、300W で 200 $\mu$ A のイオン電流を得ている。運転開始から 740 時間が経過した 2009 年 11 月ごろより高圧電極部にて持続放電が発生した。原因はプラズマチェンバー内部のガスフローと真空度に起因すると考えられ、2010 年 2 月の電極形状の変更によって改善した。



図 2 イオン源

表 1 ECR イオン源

ECR Ion Source	
Excitation Method	Electro-Cyclotron Resonance
Magnetic Field Type	Permanent Magnet (Mirror& Sextupole)
Operation Mode	Pulse Mode
Microwave Source	Travelling-wave Tube Amplifier
Microwave Frequency	9.75 GHz – 10.25GHz
Input Microwave Power	650 W(Max.)
Valence of C-Ion	4+
Extraction Energy	10 keV

#### 2.2 RFQ / IH-APF Linac

線形加速器はオイルフリー型ターボポンプが採用され、タンク内放電の現象に寄与している。2010 年 7 月に RFQ-High Power Amp のフィラメント給電ブスバーが焼損する事象が発生した。原因はブスバーでの締め付け法に起因する接触抵抗の増大であり、再設計を実施している。

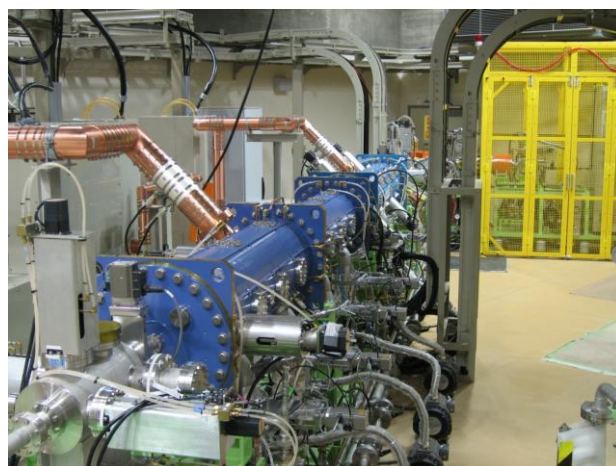


図 2 RFQ および IH-APF Linac

<sup>#</sup>torikai@gunma-u.ac.jp

表 2 RFQ Linac

RFQ Linac	
Total Length	2480 mm
Diameter of Vacuum Tank	339 mm
Cell Amount	268
Max. Surface Electric Field	23.5MV/m (K=1.6)
Electric Power Feeder	120D Coaxial tube
Tank Material	Tapered Iron + Cu Coating
Vacuum System	Turbo Molecular Pump x2

表 3 IH-APF Linac

APF-IH Drift Tube Linac	
Total Length	3437 mm
Diameter of Vacuum Tank	364 mm
Cell Amount	72
Max. Surface Electric Field	23.5MV/m (K=1.6)
Electric Power Feeder	152D Coaxial tube
Tank Material	Tapered Iron + Cu Coating
Vacuum System	Turbo Molecular Pump x4

### 2.3 シンクロトロン/ 偏向磁場

シンクロトロンではパターン周期 2.8sec で最大 400MeV/u の運転を行っている。ビーム取り出しは 3 次共鳴を用い、フラットトップでビームを加速し  $\Delta p/p$  を増大させて行う。当初の予定ではフラットトップ部での偏向磁場の磁気余効影響を偏向磁場自身で補正する予定であったが、IGBT による電流制御分解能のためビームが不連続に取り出される現象が発生した。このため磁気余効による軌道補正を含めたステアリング電磁石を用いて軌道を維持する運転を採用している。

RF 周波数を 24bit に増加して対応した。

表 4 シンクロトロン

Synchrotron	
Circumference	63.3 m
Bending Magnetic Field	0.134-1.477 T
Injection Energy	4 MeV/u
Extraction Energy	140-400 MeV/u
Chromaticity	-0.58/-1.54
Momentum Compaction	0.3241-0.3429
Max. Injection Intensity	1.3E9 pps
Repetition Rate	2.8 sec(typical)
Harmonic Number	2
Max. Acc. Voltage	2.0 kV
Extraction	3 <sup>rd</sup> Resonance

表 5 取り出しビーム電流スピルをファラデーカップで測定した際の周波数成分。Vrf はフラットトップ時の RF 電圧、Dilution は Dilution Factor を表す。

Freq/ Vrf/Dilution	300/1.4	150/1.4	150/1.0	300/1.0
50Hz	-16.8dB	-16.8	-15.6	-15.9
90.5	-15.3	-16.4	-12.8	
180	-9.58	-14.7	-11.7	-8.43
222.7	-	-9.25	-7.38	-15.7
293	-0.72	-6.39	-5.72	-0.99
315.6	-	-	-	-9.15
325	-6.65	-	-	-
360	-	-	-15.7	-
368.7	-	-	-	-12.2
444.5	-	-12.9	-	-
456.3	-	-	-17.0	-



図 3 シンクロトロン

治療ではビーム軸の変動が治療照射野における線量均一性に影響するため、ビーム軸の測定を治療日ごとに行っている。ビーム軸は運転時の電力投入履歴に相当する磁石温度によって影響を受ける。GHMC では夜間加速器を停止しているため、立ち上げ時および終業時でビーム軸および加速器パラメータが異なる。図 4 に示すように照射ライン上のストリップラインモニタ等で測定を行ったところ、治療日間の軸変動は 2mm 程度生じていることが分かった。

### 2.3 シンクロトロン/ RF

シンクロトロンの RF は当初 20bit (周波数分解能: 約 9Hz) で製作されていたが、取り出し時におけるビームリップルを調査したところ、RF の周波数変化速度に起因する周波数が観測されたため、

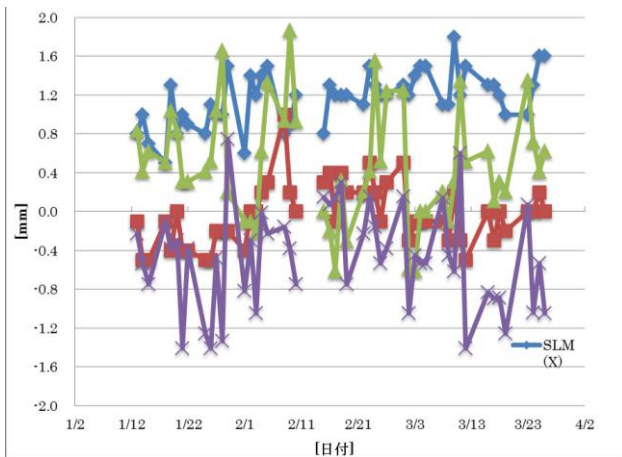


図4 ビーム軸の治療日間変動  
(治療室 B、水平、380MeV/u)

### 3. まとめ

群馬大学では 2010 年 3 月より治療を開始し、現在までに 20 人以上の患者治療が行われている。粒子線治療における加速器はその安定性に性能としての大きな重要性がある。今後は建屋変動や季節変動の影響をさらに調査し、より安定な加速器運転を行う手段についての調査を進めていく。