

STATUS REPORT OF GUNMA UNIVERSITY HEAVY-ION MEDICAL CENTER

Eri TAKESHITA ^{#,A)}, Satoru YAMADA ^{A)}, Tatsuaki KANAI ^{A)}, Ken YUSA ^{A)}, Mutsumi TASHIRO ^{A)},
Hirofumi SHIMADA ^{A)}, Kota TORIKAI ^{A)},

Hironobu TSUGAMI ^{B)}, Katsuhisa YOSHIDA ^{B)}, Kazushi HANAKAWA ^{B)}

^{A)} Gunma University Heavy-Ion Medical Research Center
3-39-22, Showa, Maebashi, Gunma 371-8511 JAPAN

^{B)} Mitsubishi Electric Corporation, Energy System Center
1-1-2, Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe 652-8555 JAPAN

Abstract

In March 2010 cancer therapy of several body regions, including prostate, H&N, lung and liver, started at the Gunma University Heavy-ion Medical Center. Our Radiology Information System has been refined to ensure a stable control and a smooth treatment schedule. In order to increase the number of yearly patients, a third treatment room is available from this fiscal year on. Variations of the beam profile have been investigated in a year and tests for stable operation and well controlled irradiation were performed which allows for a highly efficient cancer treatment. In a fourth treatment room, the preparations for a scanning irradiation system have commenced and are still in progress. In order to verify the system, accelerator tuning experiments were performed in this year with the National Institute of Radiological Sciences and the Mitsubishi Electric Corporation. We successfully improved the time structure of the extraction beam.

群馬大学・重粒子線医学センターの現状報告

1. はじめに

治療開始から丸一年が経過し治療患者数は順調な増加傾向を辿っているが、本年度からは治療の更なる高効率化を目指し様々な対策を講じている。中でも、加速器を主体とした装置全体を安全且つ安定的に運転することは治療の高効率化に大きく貢献する。そこで、今後の運用方針を検討するためにも昨年度の運転実績を吟味し考察を行った。また、研究の要素が多く含まれる第4室におけるスキャニング照射システムの開発に伴い、加速器から供給されるビームの性能向上を目的とするマシンスタディを行った。

2. 2010年度の運転実績

2.1 日々の運転体制

装置全体（入射器・MEBT・シンクロトロン・HEBT）は朝七時半に一括操作で立ち上げが開始され、まずは各所における装置の運転パラメータやビーム強度の再現性を確認する。ビーム強度や取り出しビームの波形は機器間の取り合い点に設置されたファラデーカップ（FC）で計測している。ビームの位置及びサイズは、治療室手前 8.6m 上流にある準非破壊型のストリップラインモニタ（SLM）と、アイソセンタに設置された蛍光膜+CCD カメラで構成されるスクリーンモニタ（SC）を使って毎日測定している。また、治療照射毎にも SLM でビーム位置を測定し、許容範囲内（±2.0mm）であることを確認したのち照射を行っている。加速器の立ち

上げ・確認が終了したあと照射室へビームを導入し、正線量計を校正するための標準測定を行い、朝十時から治療が開始される。治療終了後は主に新患 QA 測定が行われ、研究を主目的とした生物照射・物理実験・加速器調整等々が計画実行されているが、夜十二時には装置を一括停止している。

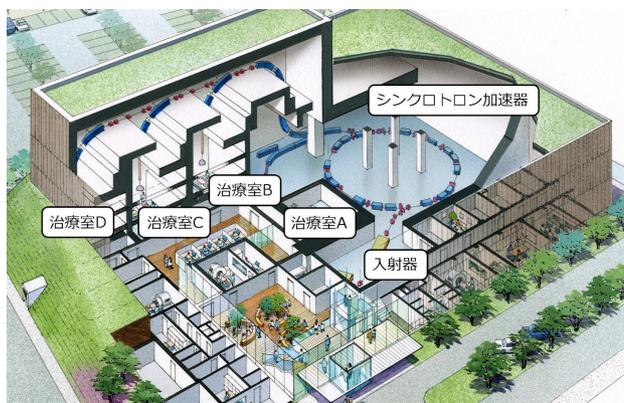


図1：群馬大学重粒子線医学センター全体図

2.2 各治療室の稼働状況

当センターは図1に示すように3つの治療室 A（水平ポート）、B（水平・垂直ポート）、C（垂直ポート）から構成されており、2011年5月中旬から3室全てを稼働させ運用を開始したところである。現在、治療照射では 290、380、400MeV/u（当施設における最大加速エネルギー）の3種類のエネルギーを使用しているが、シンクロトロンのエネル

[#] eriuli@gunma-u.ac.jp

ギー変更時間は約 70 秒、各治療コースに対する HEBT の切り替え時間は約 30 秒で完了する。このようにエネルギー変更やコース切り替え時間を短縮することで、切り替え回数を減らすような治療スケジュールを組む必要がなくなり、臨床側からの要求に応じて自由度の高いスケジュール調整が可能となった。これは、普及型炭素線治療装置としての特徴の一つであり、治療照射の高効率化・照射可能件数の増加に大きく役立っている。

コース	2010 年度 [hr]	2011 年度 [hr]
AHC	209	71
BHC	323	83
BVC	188	53
CVC	—	21

※2011/6/30 現在

表 1：治療室毎の稼働時間

部位	治療人数
前立腺癌	71 人
肺癌	7 人
頭頸部腫瘍	2 人
肝臓癌	4 人
骨軟部腫瘍	3 人
計	87 人

表 2：2010 年度部位別治療実績

表 1 は 2010 年度及び 2011 年度における各治療室の稼働時間を示しており、全ての治療室に関して概ね均等に効率良く稼働していることが分かった。結果、表 2 に示したように 2010 年度は計 87 名の患者を治療し、目標の 30 名を大きく上回る結果を得ることができた。本年度からは治療室 C が本格的に稼働を始め更なる高効率化が期待されており、2011/6/30 付けの段階で治療患者数は約 80 名にのぼり本年度目標である 150 名は確実に超えることが予想される。

2.3 ビームの位置再現性

治療ビームの位置やサイズは治療に用いる照射野の均一性に影響を及ぼすため、前述通り (2.1 参照) 毎朝の立ち上げ時に確認を行っている。図 2 に示したのは、各コースにおける SLM のビーム位置測定結果を去年一年間に渡りプロットしたものである。Y 方向に関しては大きな変動は見られなかったが、各コース共に X 方向に関しては最大で 3mm 程度の季節変動が見られた。照射野均一性への影響を考慮すると、このような変動を解消するため年に

1~2 回程度の HEBT 軸調整が必要である。変動の主な原因として、1) 建屋の歪み、2) 微少な磁場ドリフト、が挙げられる。1) に関しては、外気温の変化による影響や、完成後間もない事から建屋の基礎自体が変形している可能性も有り得る。2) については、加速器室の温度や湿度の変化によって各電磁石の運転条件が変わり磁場ドリフトが発生していると考えられる。また、全てのコースに共通して変動が見えていることから、HEBT の偏向電磁石だけではなくシンクロトンから出射されるビーム位置にも若干の変化があると予想される。現在、当センターの空調システムはエコ対策として氷蓄熱タイプのものを採用しており、夜間は電源室及び加速器室内の空調能力が下がってしまうため、朝の立ち上げ時、特に夏場には湿度上昇も装置に悪影響を及ぼす。そこで、本年度の夏に冷却チラーの増強を以て空調能力の強化を図り、各装置における季節変動緩和を行っている。

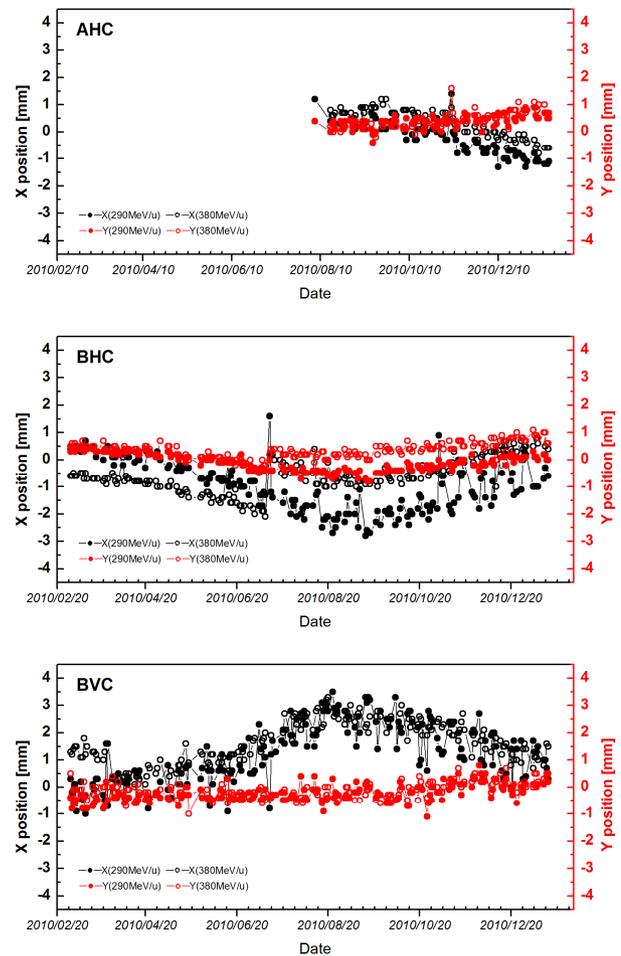


図 2：ビーム位置の季節変動 (SLM)

当センターでは毎朝装置を一括で立ち上げるため基本的にはコールドスタート運転を行っている。SLM や治療室内の SC を用いたビーム位置の測定結

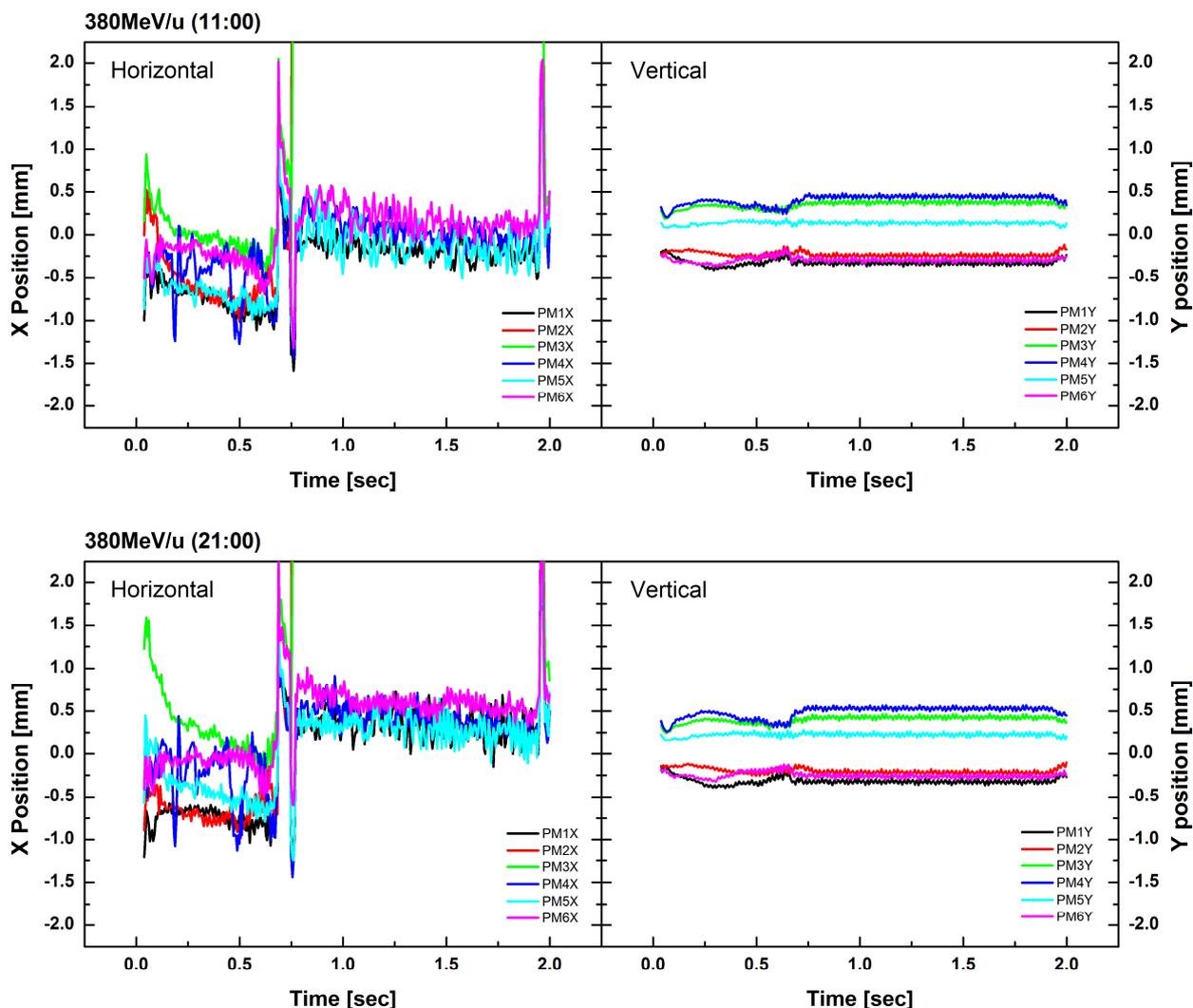


図 3 : COD の日中変動 (380MeV/u)

果から、ビーム位置の日中変動は大凡 2mm に収まっていることが分かった。日中変動の原因がシンクロトロンにあるのか HEBT にあるのか切り分けるため、シンクロトロンの閉軌道 (COD) を日中及び夜間で測定し比較を行った。図 3 に示したのは 380MeV/u の COD 測定結果で、横軸がマスタクロックからの時間、縦軸が位置を表している。各色の実線はシンクロトロン内に設置された位置モニタの各場所における結果を表しており、PM3X、PM2X の順で出射バンブ軌道へと移行していきビームが出射される。約 0.7 秒迄が加速部分で以降がフラットトップ (FT) 部分の位置変化である。加速減速部分及び FT 部分では、シンクロトロンのステアリング電磁石を用いて閉軌道補正を行っている。上図が昼間取得した結果で、下図が夜間の結果を示している。夜間になると X 方向に約 0.5mm 程度のドリフトが見られるがビーム位置の変動 (~2mm) に比べれば僅かであり、日中変動の原因は HEBT の偏向電磁石に起因するものではないかと考えられる。但し、日

中におけるビーム位置の変動は照射野均一性に影響しない範囲で抑えられており、加えて照射前にビーム位置確認を行っているため運用上問題がないことが分かった。

3. ビーム性能向上試験

3.1 第4室におけるスキヤニング照射

次世代の照射技術として注目されているスキヤニング照射システムを第4室に設置し、普及型次世代照射システムとしての研究的開発を行っていく計画が進行している。スキヤニング照射法は、従来の拡大照射法では実現できないビーム利用効率ほぼ 100% を可能にし、ボースやコリメータといった患者毎に制作しなければならないものが一切なく、全体治療期間の短縮化にも大きな効果をもたらす照射方式である。今年初春には、放射線医学総合研究所 (放医研) において日本で初めてハイブリッドスキヤニング照射方式を用いた炭素線がん治療が開始

された^[1]。当センターにおけるスキヤニング照射システムの基礎設計は、放医研が開発した照射システムをベースに構築したものである。2011年3月末にはHEBT系ビームライン・スキヤニング電磁石・照射ポートを含むハードウェア装置類が設置され、本年度からはソフトウェア整備に加えビームを使った照射試験を予定している。そこで、ビームの性能向上、具体的には取り出しビームの時間構造改善を目的とし、放医研・三菱電機・当センター三者間の共同研究として加速器のビーム調整試験を行った。

3.2 取り出しビームスピルの改善

当センターのシンクロトロンでは「遅い取り出し」による出射方式を採用しており、出射区間中にRF周波数を徐々に増加・スイープさせていく。スピルを悪化させる要因としては、各区間におけるRFの挙動やシンクロトロン偏向電磁石電源のリッ

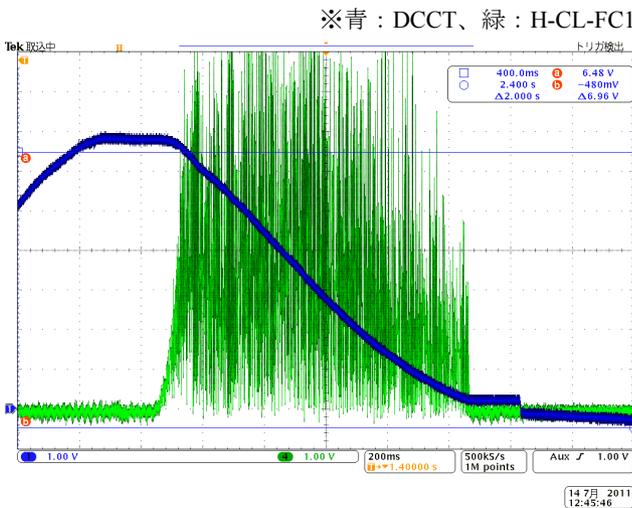
プル等が考えられる。実際、電源リップルの測定結果では400Hz付近に僅かなピークが見られていた。そこで今回は、もともと設計値よりも高めに設定していた加速電圧を設計値付近まで下げることで、シンクロトロン周波数を400Hzから遠ざけ電源リップルの影響を軽減しようと試みた。結果、図4に示したようにスピル波形の改善が見られた。こうしたオペレーションファイルの最適化は、スキヤニング照射システムの試験に対して有用なだけでなく、今年8月から運用を開始する螺旋ワブラーを用いた照射法にも非常に効果的であることが分かっており、出来る限り早急に他の運用エネルギー（290, 400MeV/u）にも適用する。

4. まとめ

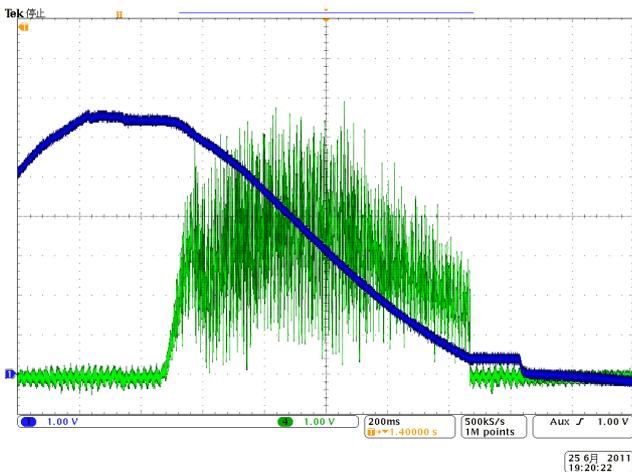
昨年度の運転実績に関して考察したところ、治療室の稼働時間バランスは良好な結果を得ることができた。また、ビーム位置の季節変動や日中変動は、年に数回の軸調整で改善できる範囲に収まっていることが分かった。図2に示した通り、ビーム位置の変動はエネルギーに因らないものである結果が得られた。これは、これから年々治療患者数を増やすにあたって、朝の立ち上げ時間を短縮化させるための重要な参考データであり、朝のビーム位置確認を1つのエネルギーで統一しても問題ない可能性を示唆している。更に今後は、3章で示したようなオペレーションファイルの最適化を積極的に行っていく。加速実績のないエネルギーに対してオペレーションファイルを整備する為にも、簡便且つ効率的な調整手法を検討する。こういった各方面における運用方法の高効率化に努める事で、毎年の治療患者数が一定の傾きで増加するよう図っていく予定である。

参考文献

- [1] T. Furukawa, *et al.*, *Med. Phys.* **37** (2010) 5672.



a) 改善前のスピル波形



b) 改善後のスピル波形

図4：DCCT とスピル波形（380MeV/u）