

NIRS-930 サイクロトロンにおける照射野改善の為の設計検討

DESIGN STUDY FOR IMPROVEMENT OF IRRADIATION FIELD AT NIRS-930 CYCLOTRON

杉浦彰則^{#,A)}, 北條悟^{A)}, 片桐健^{A)}, 中尾政夫^{A)}, 野田章^{A)}, 北村尚^{A)}, 岡田高典^{B)}, 高橋勇一^{B)},
込山明仁^{B)}, 本間壽廣^{B)}, 野田耕司^{A)}
Akinori Sugiura^{#,A)}, Satoru Hojo^{A)}, Ken Katagiri^{A)}, Masao Nakao^{A)}, Akira Noda^{A)}, Hisashi Kitamura^{A)}, Takanori
Okada^{B)}, Yuichi Takahashi^{B)}, Akihito Komiyama^{B)}, Toshihiro Honma^{B)}, Koji Noda^{A)}

^{A)} National Institute of Radiological Sciences

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

Abstract

The cyclotron facility at National Institute of Radiological Sciences (NIRS) has an AVF-930 cyclotron (Thomson-CSF Km=110 MeV and Kf=90 MeV), and nine experimental beam lines. Irradiation device of C8 course which is one of that beam lines was produced for proton therapy system in 1977. The irradiation device was used for stress test for a device and irradiation for a bio cell at present. Most used beam in C8 course was proton 70 MeV. We form the irradiation field with the size of 8 cm in diameter with the uniformity of $\pm 5\%$ p-p using wobbler method. More wide irradiation field has been required. Design study of improvement for C-8 course is presented in the present work.

1. はじめに

放射線医学総合研究所の NIRS-930 サイクロトロン(K=110) [1]には、9つの照射コースがある。その一つである C-8 コースの照射装置は、1977年に陽子線治療システムとして設計製作[2]されたもので、現在は、電子素子の耐久試験や検出器の開発、細胞照射といった様々な目的に利用されている。この照射装置は、水平と垂直方向のワブラー電磁石と散乱体により構成されており、広い照射野のビームが利用されている。この広い照射野のビームの利用は、NIRS-930の主目的である RI 製造の次に多く、年間運転時間の約 22%を占めている。C-8 コースで主に利用されているビームは 70 MeV 陽子で、その照射野は $\phi 8$ cm でビームの均一度は $\pm 5\%$ 程度として供給を行っている。その時の散乱体はアルミ 100 μ m で、ワブラー電磁石の偏向角は 9 mrad で、ワブラー回転周波数は 12 Hz で照射野の形成を行っている。

そこで今回、さらに照射野を広げ、均一度を改善する検討を行った。照射野を広げ均一度を改善することにより、サンプルの照射位置による照射量の誤差も減らすことができ、一度に照射できるサンプルの数を増やし、照射実験を効率的に行うことができる。

目標照射野 $\phi 10$ cm、均一度 $\pm 5\%$ として照射装置の設計検討を行った。本報告では、現状と改良計画の検討結果について報告する。

2. C8 コースの主な仕様

C8 コースは照射野を広げてビームの分布を均一

にしたコースである。主に利用されるビームは 70 MeV 陽子で、その他にも 30 MeV 陽子、40 MeV 陽子、80 MeV 陽子、100 MeV ヘリウム等が使われている。また、ビーム電流は 1 pA 以下から 50 nA まで幅広く使われている。

照射野を均一にする方法には単円ワブラー法[3]を用いていて、散乱体でガウス分布状に散乱したビームを一對の偏向電磁石で円形に走査して照射位置で均一な照射野を作っている。Figure 1 に C8 コースの構成図を、Table 1 にワブラー電磁石及び電源の諸元表を示す。C8 コースは、散乱体、真空ダクト、垂直及び水平ワブラー、コリメーター、蛍光板により構成されている。

単円ワブラー法による照射野は $\phi 8$ cm で、ビームの均一度は $\pm 5\%$ 程度としている。実際の照射線量は、散乱体上流のファラデーカップで 1 nA の時に、照射位置での照射線量は約 4Gy/min である。また、ターゲットの上流には 10 cm \times 10 cm のコリメーターが設置されている。

散乱体に厚さ 100 μ m のアルミ箔が使われているが、散乱体以外にもビームが散乱する要因があり、散乱体の上流及び下流の真空窓に設置されている 10 μ m の Havar® フォイル、散乱体前後の大気、コリメーター上流の真空窓に設置されている 265 mm のナイロン、ナイロンよりターゲットまでの 850 mm の大気がある。上記の散乱体アルミ 100 μ m により 0.2 MeV のエネルギーが減少し、また、散乱体以外の要因により、1.38 MeV のエネルギーが減少している。

[#] sugiura@nirs.go.jp

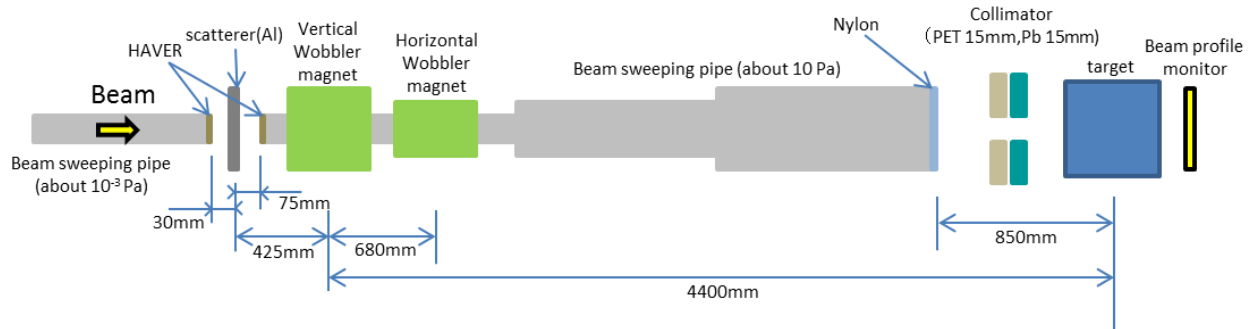


Figure 1: Irradiation system of C8course.

Table 1: main parameter of wobbler magnet at C8 course

		Horizontal	Vertical
Deflection angle (proton 70 MeV)	mrاد	±29	±33
Pole gap size	mm	80	80
Pole length	mm	400	350
Pole wide	mm	250	250
Maximum magnetic field	T	0.1	0.1
Resistance of the coil	mΩ	160	160
Inductance of the coil	mH	5	5
weight	kg	500	500
Max current (peak)	A	100	100
Max voltage (peak)	V	20	20
Max frequency	Hz	20	20

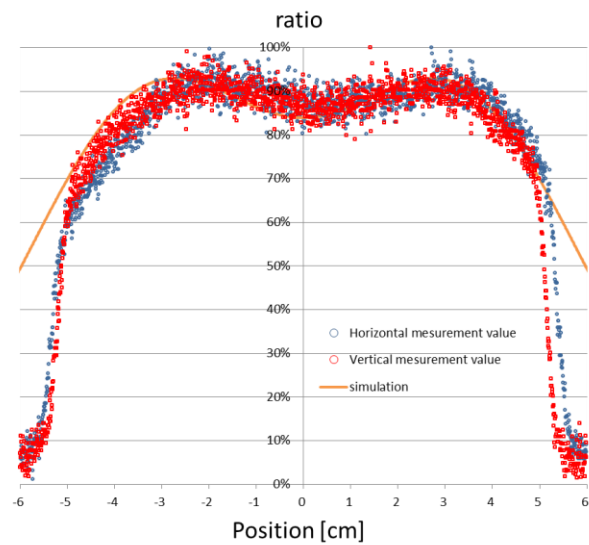


Figure 2: Measurements of Horizontal and Vertical distribution compared with Simulation

3. 単円ワブラー法における照射野の拡大

3.1 照射野の拡大の検討

照射野を広げることにより、サンプルの照射位置による照射量の誤差も減らすことができ、一度に照射できるサンプルの数を増やし、照射実験を効率的に行うことができる。目標照射野φ10 cm、均一度±5%として照射装置の設計検討を行った。

単円ワブラー法で照射野を広くするには、散乱体を厚くして、ワブラーの回転半径を大きくする必要がある。

まず、Figure2 に放射線検出フィルムに照射して、測定した水平方向と垂直方向の照射野と、シミュレーションで作成した照射野とを比較をしたものを示す。水平方向における 63 μm 毎の照射線量とその最大照射線量との比率を青で、垂直方向における 63 μm 毎の照射線量とその最大照射線量との比率を赤で、シミュレーションした値を実線で示す。シミュレーションには、計算コードの TRIM[4]を用いてビームライン上で散乱することによるターゲット位置での分布を計算した後、単円ワブラー法でワブラー径を変えて均一にしたときの計算値を使用した。

実測値とシミュレーションの散乱と均一度がほぼあっていることを確認した。

次に、シミュレーションを使用して、散乱体の厚みとワブラーの回転半径を変化させた。ワブラーの回転半径を均一度±5%以内に収まる範囲でできるだけ大きくして、照射野をできるだけ大きくした。

Figure 3 に散乱体を 100 μm, 200 μm, 250 μm, 300 μm のアルミにしたときの照射野を示す。

散乱体を 100 μm にしたときの分布を点線で、200 μm にしたときの分布を1点鎖線で、250 μm にしたときの分布を2点鎖線で、300 μm にしたときの分布を長破線で示す。また、そのときの照射野を同色の実線で示す。

散乱体の厚みをアルミの 250 μm に、ワブラーの偏向角を 13 mrad に変更することにより、照射野をφ10.4 cm まで拡大できることがわかった。

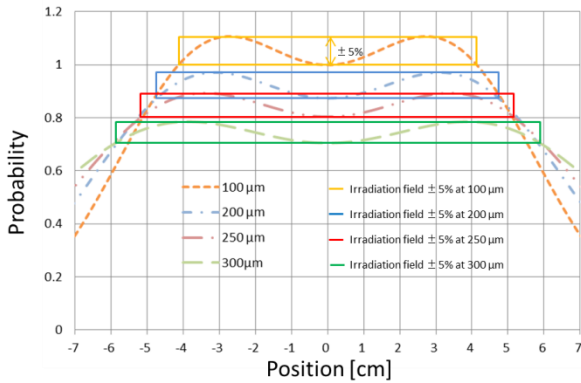


Figure 3: simulate of wobbler method at C8 course

参考文献

- [1] Hojo Satoru, et al., “PRESENT STATUS OF CYCLOTRONS (NIRS-930, HM-18) IN NIRS”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SSFP14
- [2] T.Kanai, et al., “NIRS PROTON THERAPY FACILITY”, Proceedings of the 3rd symposium of Accelerator science and technology, Osaka, Japan, Aug. 27-29, 1980
- [3] T.R.Renner and W.T.Chu, wobler facility for biomedical experiments. Med. Phys. **14**, 825-834(1987).
- [4] J. P. Biersack and L. Haggmark, Nucl. Instr. and Meth., vol. **174**, 257, 1980

3.2 照射野を拡大した場合の影響

Figure 4 に照射野内に粒子が入る割合を示したビーム利用効率と 1 cm^2 当たり照射される粒子数の割合を示す。

照射野を広くしたときにおけるビームの利用効率はほとんど変化が無いが、照射野を $\phi 8.4 \text{ cm}$ から $\phi 10.4 \text{ cm}$ に拡大したことにより 1 cm^2 当たり照射される粒子数が $2/3$ に減少する。これはサイクロトロンからのビーム電流を増やすことによってカバーできる。

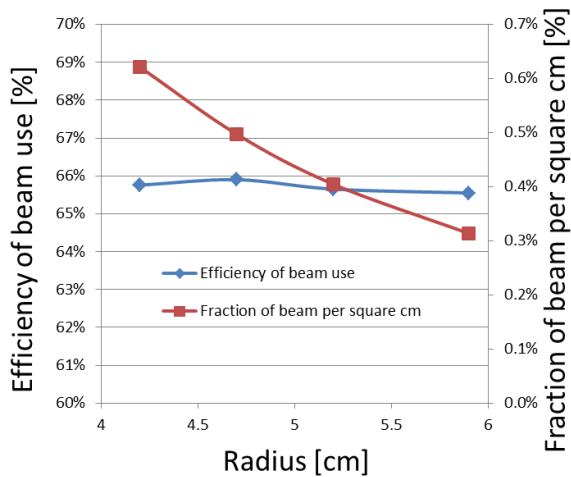


Figure 4: simulation of radius dependence of efficiency of beam use and fraction of beam per square cm

4. まとめ

平坦かつ広い照射野を作成するため検討を行った。散乱体をアルミの $100 \mu\text{m}$ から $250 \mu\text{m}$ 、ワブラーの偏向角を 9 mrad から 13 mrad に変更すれば均一度を $\pm 5\%$ に保ちながら、照射野を $\phi 8 \text{ cm}$ から $\phi 10 \text{ cm}$ に変更できることがわかった。