

Figure 2: The operation time of beam particles at the NIRS-930 (2015).

3. HM-18 の利用状況

HM-18 は、負イオン加速型のサイクロトロンであり、陽子と重陽子のみが供給可能である。加速エネルギーは固定で、陽子で 18 MeV、重陽子で 9 MeV となっている。2015 年度の小型サイクロトロンの運転時間を Figure 3 に示す。総運転時間は 1541.9 時間で、そのうち 95.3% が陽子による ^{11}C や ^{13}N 、 ^{18}F などの放射性薬剤の製造に利用された。3.7% が重陽子による ^{15}O の放射性薬剤の製造に利用された。定期点検に伴うビーム確認等に利用された調整運転は 1.0% であった。

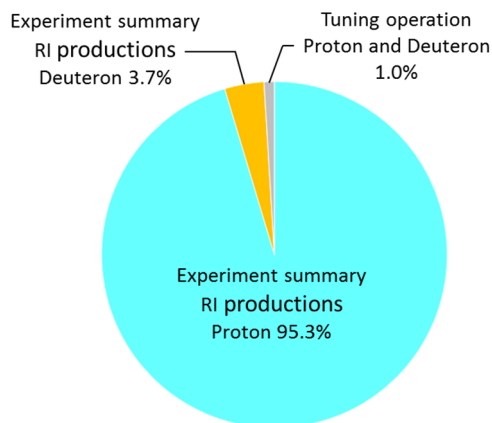


Figure 3: Annual operation time ratio of categories at the HM-18 (2015).

4. 取り出しエネルギーの調整[2]

NIRS-930 では、標的アイソトープ治療の研究開発を行っている。その標的アイソトープ治療用の放射性核種の生産においては、 ^{211}At などの原子番号の高い核種を効率良く生産されることが求められている。 ^{211}At ではビームのエネルギーが少し外れると生産効率が下がることや、毒性の強い放射性核種が副産物として生成されるという問題がある。そのため、ビームのエネルギーが重要なパラメータの一つとなっている。

そこで NIRS-930 から取り出されたビームのエネルギーを TOF 法により測定を行い、取り出されるビームのエネルギーの調整を行った。

ギーを TOF 法により測定を行い、取り出されるビームのエネルギーの調整を行った。

5. 静電デフレクタの更新

装置の老朽化対策として、静電デフレクタシステムの更新を行った。これまで使用していた静電デフレクタは、Thomson 製のデフレクタを用いていたが、老朽化による駆動機構の位置の再現性に問題があることに加えて、Thomson 社が加速器事業から撤退して長年経過しているため、故障時の交換部品の入手も困難になっていた。そのため、駆動制御や制御システムを含めて住友重機械工業 (SHI) 製のデフレクタシステム (Figure 4, 5) への更新を行った。

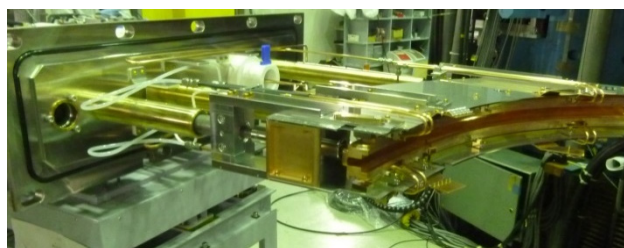


Figure 4: Picture of Deflector made by SHI.



Figure 5: Picture of moving system for Deflector.

また、静電デフレクタ用の高電圧電源においても、電流モニターに不具合があり、高電圧印加時の暗電流が計測できなくなっていたため、併せて更新をおこなった。

駆動制御装置も併せて更新した。Thomson 製では、ダイヤル式ポテンショメータ (Figure 6) およびデジタルポルトメータによる駆動位置制御を行っていたが、SHI 製では、PC からの PLC 制御となっている。メインの駆動画面の一例を Figure 7 に示す。

高電圧電源においては、高さ 2 m の 19 インチラック 1 本分のコッククロフトを用いた高電圧電源から、9 インチラック 1U タイプのインバーター形高周波電源になり、小型化されている。さらに遠隔制御システムもダイヤル式ポテンショメータとアナログメーターで行っていたものから、PLC 制御となっている。

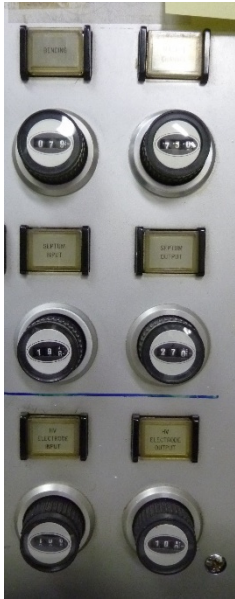


Figure 6: Control panel of deflector positions by Thomson.

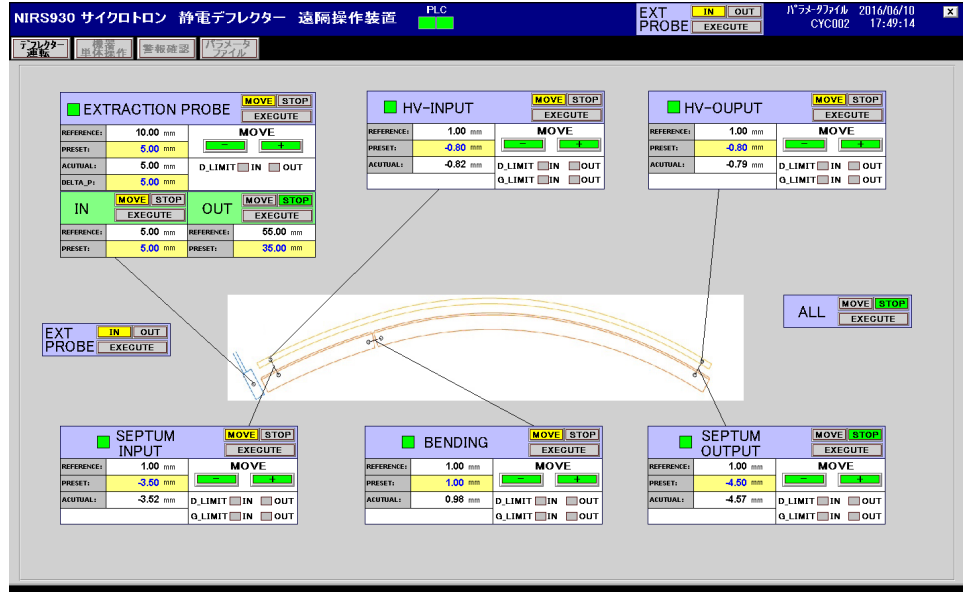


Figure 7: Control panel of deflector positions by SHI (Each deflector positions and running status was associated).

6. 汎用 RI 照射コースの整備

速中性子治療を行っていた照射ポートを新たな医療用放射性核種の製造に備えて、また重粒子線がん治療における不安定核イオンの加速を目指した基礎的実験を行うために、照射システムの設計[3]に基づき、整備を行った。整備を行った照射ポートの写真を Figure 8 に示す。ワブラー電磁石を導入したことによりビームを拡大して照射することが可能になった。大電流のビームを当てた場合でもターゲットおよびその周辺の損壊を防止することが可能になる。

2016年1月より照射コースにおけるビーム調整を開始し、6月から放射性核種の製造を行っている。今後、大電流ビームによる放射性核種の製造や不安定核イオンを用いた試験を行う予定である。



Figure 8: Picture of new Irradiation port for RI production.

7. 3次元シミュレーション[4]

NIRS-930 において、今後の放射性薬剤の製造・研究で必要とされるビームの大強度化、高品質化に向けて、最適な運転パラメータを調査するために3次元磁場計算プログラム(SNOP)を用いてビームのシミュレーションを行っている。

AVF サイクロトロンにおいて、鉛直方向のチューン $\nu_z=0.5$ の共鳴条件近傍で粒子の鉛直方向の振動が増大してビームロスが起きる可能性がある。シミュレーションによって、ビームバンチ中の加速位相がずれている粒子は、加速位相の合っている粒子に比べて共鳴が起りやすく、デフレクタのセプタム電極の上下に衝突してビームロスすることが明らかになった。ビーム強度を上げる際にバンチの位相幅も増加すると、共鳴が原因のビームロスも増える。これを避けるための磁場の作成などの方法が分かった。これを基にビーム調整を行う予定である。

8. ビーム供給停止事例

2015年度にビーム供給が停止した時間は、NIRS-930で27時間、HM-18で20分だった。NIRS-930の主な停止時間は、真空管ソケットへの異物侵入によるRFの停止で8.5時間、デフレクタの放電により5.7時間、コンペンセーターからの水漏れによる真空度悪化で3時間となった。HM-18の停止時間は冷却水タンクの水位が低下したことによる目視点検となった。

参考文献

- [1] Masayuki Muramatsu, Atsushi Kitagawa, Yukio Sakamoto, Shinji Sato, Yukio Sato, Hirotsugu Ogawa, Satoru Yamada, Yoshikazu Yoshida, Arne Drentje : Development of a compact electron-cyclotron-resonance ion source for high-energy carbon-ion therapy, Rev. Sci. Instrum.76 113304 (2005).

- [2] S. Hojo *et al.*, “NIRS-930 サイクロトロンを取り出しエネルギーについて”, 第13回日本加速器学会年会, Chiba, Aug. 8-10, 2016, TUP005.
- [3] K. Katagiri *et al.*, “NIRS サイクロトロン施設 RI 生成用照射ポートのための Wobbling beam 照射システム的设计”, 第12回日本加速器学会年会, 敦賀, Aug. 5-7, 2015, pp. 1380-1383.
- [4] M. Nakao *et al.*, “サイクロトロン NIRS-930 における共鳴によるビームロスを避けるためのシミュレーション研究”, 第13回日本加速器学会年会, Chiba, Aug. 8-10, 2016, TUP007.