

DESIGN AND DEVELOPMENT OF GRADIENT CORRECTOR FOR THE RCNP AVF CYCLOTRON

Hiroshi Ueda[#], Niriaki Hamatani, Mitsuhiro Fukuda, Kichiji Hatanaka, Tetsuhiko Yorita, Hitoshi Tamura, Mitsuru Kibayashi, Keiichi Nagayama, Takane Saitoh, Yusuke Yasuda, Shunpei Morinobu
 Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

The extracted beam spreads horizontally since the magnetic field of the RCNP AVF cyclotron magnet rapidly decreases in this region and there is no focusing element in the extraction region. Some parts of the extracted beam were lost at a vacuum chamber of the AVF cyclotron and a beam duct of the beam line, which caused unwilling activation. Therefore, a new gradient corrector of the RCNP AVF cyclotron was designed and developed for improvement of beam focusing in the extraction region to avoid beam loss at a beam duct of the cyclotron exit. A pair of active coils will be mounted on the iron pole for correction of the beam orbit to match to the beam line axis. The field gradient should be realized for all main coil excitation levels to apply the focusing force to any accelerated ions and energies. In this paper, the numerical simulation of magnetic field in the AVF cyclotron and the design of new gradient corrector are reported.

阪大 RCNP の AVF サイクロトロンの Gradient Corrector の設計・開発

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター (RCNP) サイクロトン施設における陽子ビーム強度増強を目指した開発研究の一環として、AVF サイクロトロンのビーム引出領域におけるビーム損失低減と引出効率向上を目的とした新たなグラディエント・コレクター開発を進めている。AVF サイクロトロンのビーム引出領域においては、メインコイル磁場が急激に小さくなることから、ビームの水平方向集束力の確保と、引出ビーム軌道とビーム輸送ラインの整合性の改善が必要とされる。従来は、サイクロトン出口部の磁気チャンネルの下流に磁気シールドを配置してビーム軌道の補正のみ行っていたが[1]、AVF サイクロトロンの出口付近でビーム軌道が当初の設計軌道よりも内側に 10mm 程度外れ、ビームのテール部分が加速箱出口付近で損失して機器の放射化を招いていた。そこで、既存の磁気シールドを偏向機能を付加した新型のグラディエント・コレクターと置換することを検討した。サイクロトンから引き出したビームをビーム輸送ラインのトリプレット Q 電磁石と整合させ、ビーム輸送光学のオブジェクトをトリプレット Q 電磁石の下流に形成するためには、65MeV 陽子ビームに対しては、グラディエント・コレクターの設置位置で、ビーム進行方向 250mm に亘って 4.0–8.3 T/m の磁場勾配が必要であることがわかっている。他の場合でも、839MeV の $^{129}\text{Xe}^{29+}$ 、14MeV の陽子に対して、それぞれ 5.5–12 T/m、1.8–3.8T/m の磁場勾配が必要である。このようにメインコイルの励磁レベルが変わっても、集束に必要な磁場勾配とその直線性を確保し、且つ従来の磁気シールドにより得られていたゼロ磁場領域を

表 1 : Specifications of RCNP AVF Cyclotron

Pole face diameter	2.3 m
Extraction radius	1.0 m
Gap min	20.6 cm
max	34.7 cm
Average Field at extraction radius	1.6 T (at 4×10^5 AT)
AVF sectors	3 Spiral max 57° Flutter factor max 0.04
Main coil	420 turns + Aux. 60 turns
Total ampere turn	6×10^5 AT
Trim coil	16 pairs
Weight	Fe 400 tons Cu 15 tons

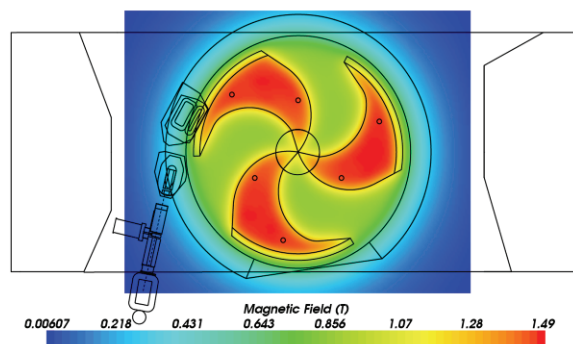


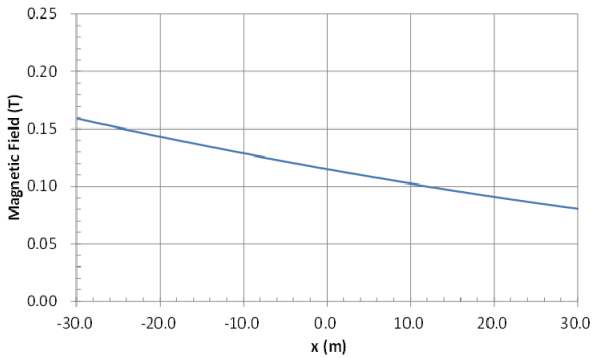
図 1 : 65MeV 陽子加速の場合の AVF サイクロトン本体電磁石の磁場分布

確保してビーム輸送ラインとの整合性を改善するため、グラディエント・コレクターは鉄心を分離して向かい合わせ、サイクロトンからの漏れ磁場を考慮して、互いに逆方向きの磁場が発生するように非対

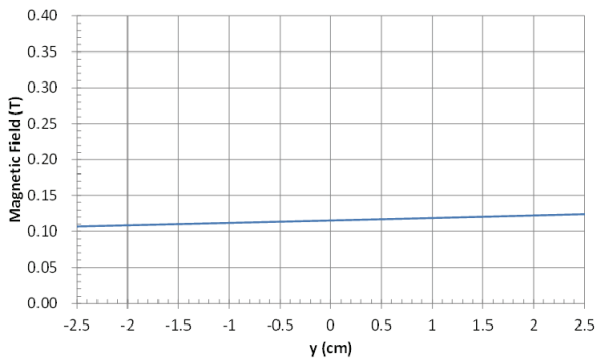
[#] hueda@rcnp.osaka-u.ac.jp

表 2：集束に必要な磁場勾配

Particle	Energy (MeV)	Bρ (Tm)	dB/dy (T/m)
proton	14	0.54	1.8–3.8
proton	65	1.18	4.0–8.3
$^{129}\text{Xe}^{29+}$	839	1.64	5.5–12



(a) ビーム進行方向



(b) ビーム垂直方向 (水平方向)

図 2：65MeV 陽子加速の場合の漏れ磁場 (グラディエント・コレクター配置箇所中心をゼロとする)

称な励磁が可能な 1 対のコイルを配置することとした。講演においては、AVF サイクロトロンおよびその周囲磁場計算およびこれらに基づくラディエントコレクターの設計・開発について報告する。

2. AVF サイクロトロンの磁場解析

グラディエント・コレクターの設計に先立って、AVF サイクロトロンの磁場解析を行った。阪大 RCNP の AVF サイクロトロンの諸元は表 1 の通りである。図 1 にグラディエント・コレクターが無い場合の 65MeV 陽子加速の際のサイクロトロン本体内 (ミディアムプレーン上) の磁場分布を示す。

3. Gradient Corrector の設計・開発

グラディエント・コレクターの設計に当たっては、広範な加速イオン種・エネルギー範囲に対応できるように、グラディエント・コレクターの磁極間隙部に発生させる磁場勾配を調整できるように磁極及び

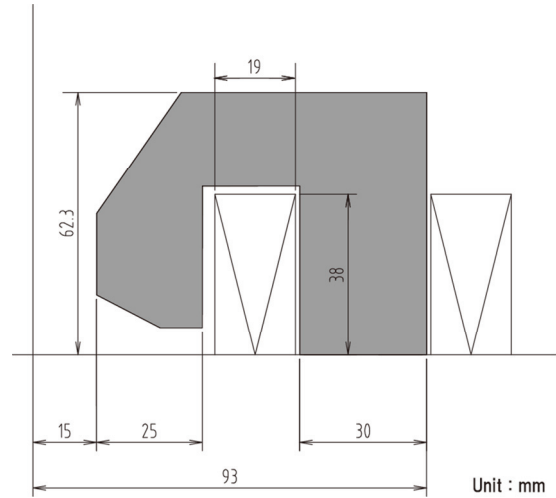


図 3：グラディエント・コレクターの諸元

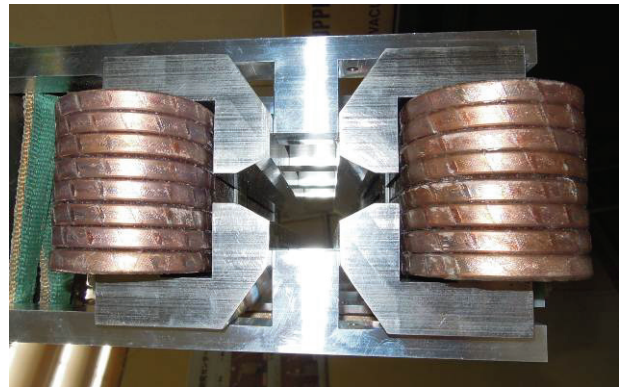


図 4：グラディエント・コレクター

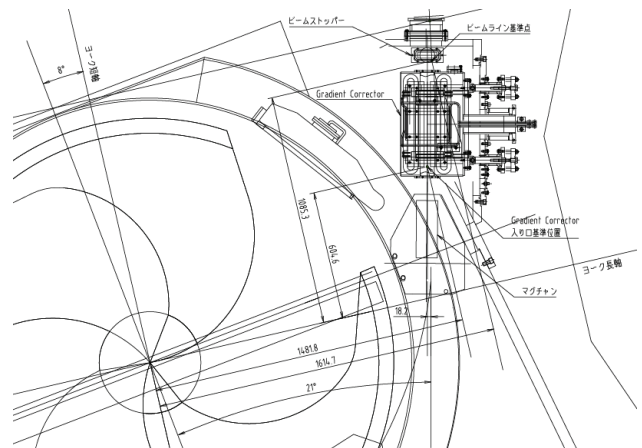


図 5：グラディエント・コレクターの配置

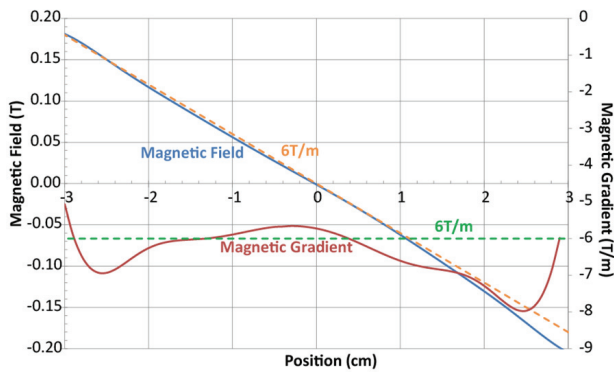
コイルの形状・サイズ・配置の最適化を図った。ビーム輸送系のオブジェクト形成との整合性を確保するためには、最大 $(1/B\rho)dB/dy \sim 7/m^2$ の磁場勾配が必要とされている。表 2 に各種加速粒子に必要な磁場勾配を示す。

加速箱出口位置にグラディエント・コレクターの磁極をおく。加速箱内への設置しやすさ (加速箱フ

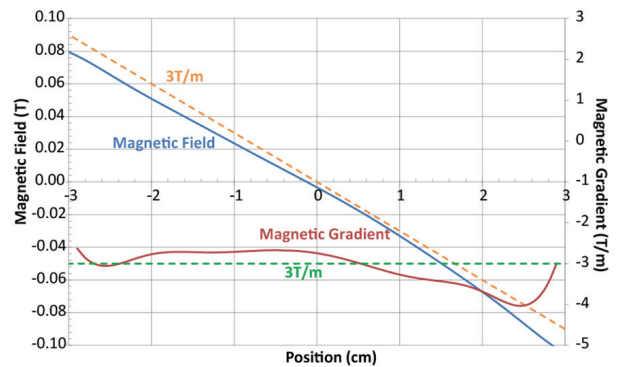
レンジの作りかえのみで対応可能)、入口・出口位置駆動系及びコイル電流の導入のしやすさを考慮し、引出ビームに対する水平方向の集束効果とビーム軌道の補正効果が十分に得られる位置として、既存の磁気チャンネル下流の磁気シールド位置あたりに配置することとした。図 2 にグラディエント・コレクターを配置する箇所の漏れ磁場を示す。

図 3 にグラディエント・コレクターの諸元、図 4 に写真を示す。最終的な配置位置は図 5 の通りである。今回開発したグラディエント・コレクターは、メインコイルの励磁レベルが変わっても、集束に必要な磁場勾配とその直線性を確保するため、鉄心を分離して向かい合わせ、サイクロトロンからの漏れ磁場を考慮して、互いに逆向きの磁場が発生するように非対称な励磁が可能な 1 対のコイルを配置している。銅製ホロウコンダクター W8mm×H5mm×t1mm を 8 巻×2 層に成形してモールドしたコイルが左右の鉄心のリターン部分に 1 個ずつ配置してある。グラディエント・コレクター全体は、水平方向に±20mm 駆動して、コイル電流だけでなく、位置によっても磁場分布の調整ができるようになっている。

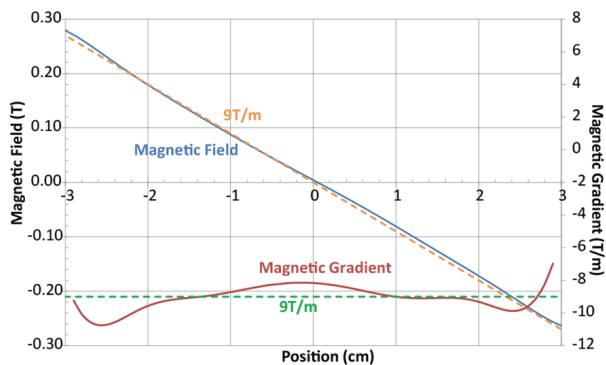
65MeV 陽子、14MeV 陽子、839MeV $^{129}\text{Xe}^{29+}$ 加速



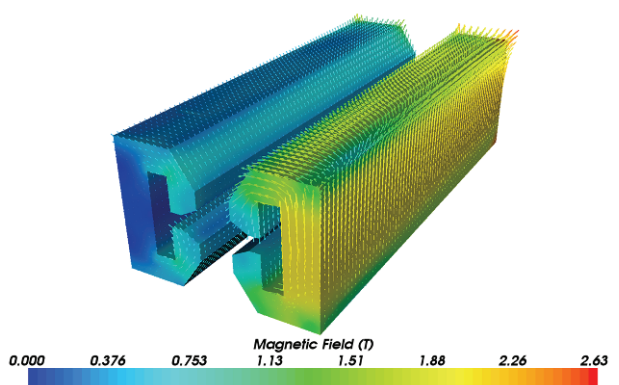
(a) 65MeV 陽子加速の場合
Main Coil: 582A
Gradient Corrector Coil: -90A, 105A



(b) 14MeV 陽子加速の場合
Main Coil: 259A
Gradient Corrector Coil: -45A, 48A



(c) 839MeV $^{129}\text{Xe}^{29+}$ 加速の場合
Main Coil: 1110A
Gradient Corrector Coil: -132A, 260A



(d) 839MeV $^{129}\text{Xe}^{29+}$ 加速の場合のグラディエント・コレクターの経験磁場

図 6: グラディエント・コレクターを設置した場合の磁場分布と磁場勾配

のそれぞれの場合のメインコイルの励磁レベルに合わせてコイル電流を調整したグラディエント・コレクターが空隙に作る磁場分布の計算結果を図 6(a)~(c)に示す。AVF サイクロトロン中心側と反対側では、漏れ磁場の絶対値に差があるため、グラディエント・コレクターのコイル励磁電流は非対称にしなければならない。図 6(d)は 839MeV $^{129}\text{Xe}^{29+}$ 加速の場合のグラディエント・コレクターが経験する磁場分布である。

4. まとめ

RCNP の AVF サイクロトンの引出ビームの集束力と、引出ビーム軌道とビーム輸送ラインの整合性を改善するため、偏向機能を付加した新型のグラディエント・コレクターを AVF サイクロトンの磁場解析に基づき設計・開発した。今後、導入効果を検証する予定である。

参考文献

- [1]RCNP Annual Report 1976, “Beam extraction system”, pp.35-37.