

Current status of the RCNP cyclotron facility

Kichiji Hatanaka¹, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Takane Saito, Hitoshi Tamura, Mitsuru Kibayashi,
Keiichi Nagayama, Hiroyuki Okamura, Atsushi Tamii, Shunpei Morinobu, Hidenori Kawamata
Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, Japan 567-0047

Abstract

The RCNP cyclotron cascade system has been operated to serve high quality beams for various experiments. In order to increase physics opportunities, the AVF cyclotron facility was upgraded as one year project in 2004. A flat-topping system and a 18 GHz Superconducting ECR ion source were introduced to improve the beam quality and intensity. Developments have been continued to realize the designed performance of these systems. The central region of the AVF cyclotron was modified to improve the beam injection efficiency base on the numerical simulation of the beam optics. Design study of a new proton ECR source is on going to increase the beam brightness.

RCNPのサイクロトロン施設現状

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター(RCNP)のサイクロトロン(K140 AVFサイクロトロン、K400 リングサイクロトロン)は、年間6000 時間程度運転されており、原子核物理、核化学、応用等に利用されている。表1に平成19年の運転時間統計を示す。平成19年は、AVFサイクロトロンのフラットトップ加速等のAVF開発に時間が利用されている。これまでに、250MeV陽子、420MeV ³Heビーム等でフラットトップ加速に成功している。詳細は本会議録(WP060)を参照^[1]。加速イオンの種類を表2にまとめておく。18GHz超伝導ECRイオン源の導入により、高エネルギー、大強度重イオンビーム利用が可能となり^[2]、重イオンビ

ーム加速時間が前年度と比較して約2倍に増加している。マイクロオープンの開発により、約一週間にわたり安定にビームを供給することができるようになった^[3]。

	Light ions	Heavi ions	
Proton	2630 ^h 30 ^m	⁶ Li	193 ^h 42 ^m
Pol. Proton	606 ^h 03 ^m	¹¹ B	113 ^h 43 ^m
Deuteron	337 ^h 10 ^m	¹⁵ N	357 ^h 07 ^m
Pol. Deuteron	42 ^h 57 ^m	¹⁶ O	237 ^h 17 ^m
³ He	517 ^h 54 ^m	¹⁸ O	54 ^h 30 ^m
⁴ He	518 ^h 47 ^m	⁴⁰ Ar	108 ^h 20 ^m
		⁸⁶ Kr	383 ^h 06 ^m
Total	4653 ^h 06 ^m	1447 ^h 45 ^m	

表2：加速イオン種類（平成19年）。

運転	実験利用	コース	時間
		G	103 ^h 00 ^m
		K	237 ^h 25 ^m
		WS	1670 ^h 58 ^m
		WN	24 ^h 12 ^m
		NO	297 ^h 01 ^m
		EN	366 ^h 44 ^m
		ES	235 ^h 51 ^m
		小計	2935 ^h 11 ^m
	ビーム調整		319 ^h 53 ^m
	開発(加速器、測定器)		2807 ^h 28 ^m
	小計		6100 ^h 51 ^m
	日常点検、実験準備		1169 ^h 43 ^m
停止	定期保守、休日		1341 ^h 00 ^m
	故障		148 ^h 26 ^m
	小計		1757 ^h 40 ^m
	総計		8760 ^h 00 ^m

表1：平成19年のRCNPサイクロトロン運転統計。

RCNPサイクロトロン施設の鳥瞰図を図1に示す。本施設では運転時間の約8割が原子核物理研究に使用されている。中間エネルギー領域での核反応、核構造研究の中心的施設として国内外の研究者が利用している。加速ビームのエネルギー分解能が(1-2)×10⁻⁴であり、磁気分析装置Grand Raidenとの分散整合を取ることで、5×10⁻⁵の分解能が達成されている。一方、重イオン源の強化により、エネルギー分解能を若干犠牲にしても大強度ビームの要求が増えている^[4,5]。さらに、白色中性子源の完成により、半導体の放射線損傷研究等の産業応用面からは陽子ビームの増強が望まれている。AVFサイクロトロンでのフラットトップ加速は、ビームの取り出し効率を向上し加速器内でのビームロスを低減するためにも重要である。AVFサイクロトロンの開発では、ビームのエミッタンス、エネルギー分解能等の診断が重要である。このため、リングサイクロトロ

¹ E-mail: hatanaka@rcnp.osaka-u.ac.jp

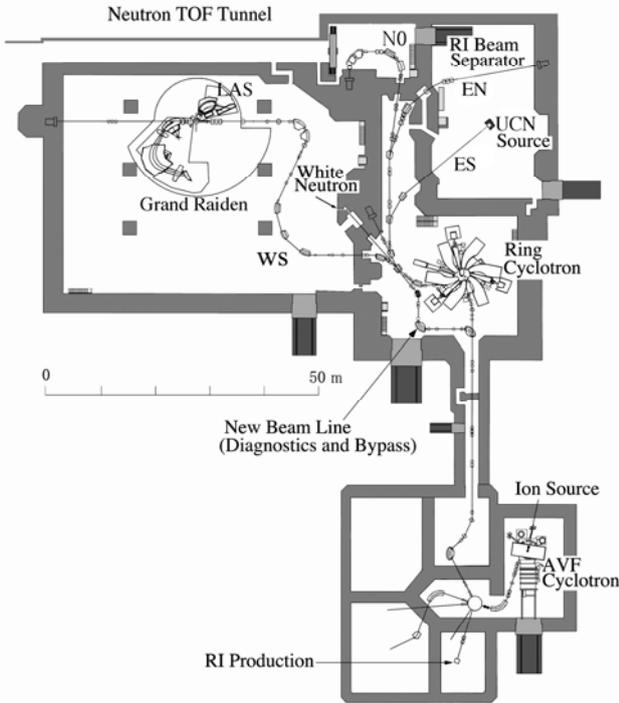


図1：RCNPサイクロトロン施設の鳥瞰図。

ンへの入射点上流に分析ビームラインを設置した(図1)。このラインは、AVFサイクロトロンで加速された低エネルギービームをリングサイクロトロン実験室へ輸送する目的にも使用される。

陽子では10MeVから400MeV、他のイオンでは核子当り2MeVから100MeVの広いエネルギー範囲でのビームが実験に利用されている。陽子ビームの増強に関しては、高輝度イオン源の設計を始めており、平成21年稼働を目指している。リング型永久磁石でソレノイド磁場を発生し、多極磁場による径方向の閉じ込めは行わない。高周波源としては2.45GHz帯の進行波管を採用している。詳細は本会議録参照(WP063)^[6]。

2. AVFサイクロトロンの開発

2.1 低速、大強度用ビームビューアー

加速電圧が10kV程度で大強度(1 μ A - 1mA)イオンビームの形状を直接測定できる蛍光物質は、イオン源開発に不可欠である。アルミナ蛍光板(デマルケスト)が電子ビームのプロファイルモニターによく利用されている。しかし、イオンビームでは残光時間が長く、かつ飽和現象が確認され、リアルタイムでのプロファイルモニターとしては使用出来なかった。今回採用した蛍光体はKBrとBaF₂である^[7]。KBrは飽和水溶液を使用し、BaF₂は微粉末を水ガラスに混入する。0.5mm厚の銅板にエアスプレーで塗布し、120 $^{\circ}$ Cで乾燥する。KBrの方が発光量が多く、100 μ A程度まで安定に使用できる。それ以上のビームに対してはBaF₂が適している。いずれの発光体も

残光時間は短く、リアルタイムでのビームプロファイル測定が可能である。図2に測定されたプロファイルの例を示す。



図2：左はKBrで測定した15keV、10 μ Aの陽子ビームプロファイル。右は、BaF₂で測定した30keV、200 μ Aの⁴He²⁺ビームプロファイル。

2.2 AVFサイクロトロン中心部

フラットトップ加速導入にともなうディー電極更新に際し、数値計算シミュレーションにより中心部でのビーム軌道の再解析を行った。解析結果に基づき新作されたダミーディーインサート電極を図3に示す。ディーインサート電極の上下開口も20mmに変更した。その結果、インフレクターで測定されるビーム電流の20~50%が加速され、入射効率は2~3倍増に改善されている。



図3：新作されたダミーディーインサート。

2.3 重イオン源

18GHz超伝導ECRイオン源では、これまでに¹²C、¹⁵N、^{16,18}O、⁴⁰Ar、⁸⁶Krなどのガスからのイオン生成およびBイオンのMIVOC法による開発が行われている。大強度の¹⁶O^{5+,6+}や¹⁸O⁶⁺、¹⁵N⁶⁺のビーム及び多価の⁸⁶Kr^{21+,23+}ビーム等が既の実験ユーザーに供給されている。¹⁶O⁵⁺、¹⁸O⁶⁺、⁴⁰Ar¹¹⁺、⁸⁶Kr²³⁺の各イオンに対し、780 μ A、670 μ A、188 μ A、13 μ Aの電流値が得られている。最近、¹³⁶Xeビームの開発が開始され、27+、28+、29+、30+の各価数で29 μ A、14 μ A、7 μ A、2.8 μ Aが分析磁石後に得られている^[2]。

2.4 フラットトップ加速

リングサイクロトロンのフラットトップ加速では、主加速空洞とは独立な空洞を用い、基本加速周波数

の3倍の高調波を用いている。AVFサイクロトロンでは空間的制限から、基本波電圧(6~18MHz)を発生させる主共振器に、その5倍、7倍、9倍の周波数帯域(50~80MHz)の高調波電圧を発生させるFT空洞を結合させてフラットトップ電圧を生成する。このため、主加速系(終段増幅器、電力フィーダー、ピックアップ電極、等)との干渉が大きい。ビーム開発と平行して、高調波系機器の最適化を行っている^[1,8]。図4に、AVFサイクロトロンの加速周波数とイオン価数・加速エネルギーの関係を示す。

参考文献

[1] M. Fukuda *et al.*, “RCNPサイクロトロンにおけるフラットトップ加速ビーム開発”, 第5回日本加速器学会年会報告集, 東広島市 (2008).

[2] T. Yorita *et al.*, “RCNPにおける18GHz SCECR-IS による大強度多価イオンの生成”, 第5回日本加速器学会年会報告集, 東広島市 (2008).

[3] T. Yorita *et al.*, “RCNPにおけるNEOMAFIOSを使用したLiビームの開発”, 第5回日本加速器学会年会報告集, 東広島市 (2008)

[4] K. Hatanaka *et al.*, “Development of the RCNP Cyclotron Cascade”, Proc. Cyclotrons2007, Giardini Naxos, Italy (2007) pp125-127.

[5] K. Hatanaka *et al.*, “Upgrade Project of the RCNP AVF Cyclotron Facility”, Proc. Cyclotrons2004, Tokyo, Japan (2004) pp115-117.

[6] H. Kawamata *et al.*, “2.45GHz永久磁石型大強度ECRイオン源開発のための磁場設計”, 第5回日本加速器学会年会報告集, 東広島市 (2008)

[7] Jeffrey W. Stetson, private communication.

[8] M. Fukuda *et al.*, “Development of the Flat-top Acceleration System for the RCNP AVF Cyclotron”, Proc. Cyclotrons2004, Tokyo, Japan (2004) pp470-472.

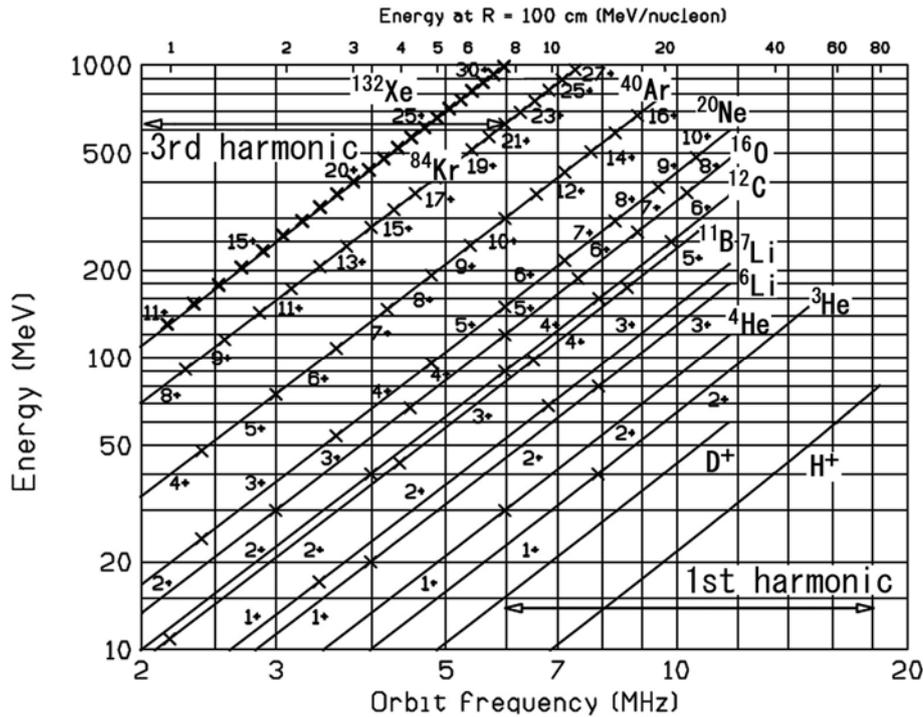


図4 : RCNP AVFサイクロトロンの加速条件。