

THE FLAT-TOP SYSTEM FOR THE RCNP AVF CYCLOTRON

Hitoshi Tamura, Takane Saito, Mitsuhiro Fukuda, Kichiji Hatanaka
 Research Center For Nuclear Physics Osaka University
 Mihogaoka 10-1, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract

The flat-top FT acceleration system for the K140 RCNP AVF cyclotron, which is used as the injector of the K400 ring cyclotron, has been developed to improve the beam quality of the ring cyclotron. The flat-top frequencies are fifth, seventh and ninth harmonic frequency in the range of 54~90MHz. The fundamental acceleration frequency ranges in 6~18MHz. The system achieves a flat-topped voltage waveform by superposing the odd harmonic wave on the fundamental one. An additional cavity has been mounted on the main acceleration resonator to produce the harmonic wave. The flat-top cavity linked with the 10kW transistor amplifier has been well-matched to the main resonator by adjusting the control parameters such as positions of a coupler, a movable-short plate, a feeder to tune the SWR value 1.0 between 50 and 80MHz. Since the 180° Dee of the AVF cyclotron has a transverse resonance mode, at a frequency located in the region of the flat-top frequency, a new slotted Dee electrode has been installed to remove the effect of the transverse resonance mode. The performance of the flat-top cavity has been investigated in the power test using the fifth harmonics of the fundamental frequency 10.144MHz.

RCNP AVF フラットトップ システム

1. FT共振器の据え付け

FT共振器のパラメータを決めるのに、等倍モデルを用いたローレベル信号による測定（ネットワークアナライザによる S_{21} 順方向の利得）を行うと共に、等価回路計算も行い、FT共振器での最低周波数が50MHz以上であることからハーモニック数を5, 7, 9とし、FTのアンプ出力等も決めた^[1]。FTシステムの基本的なパラメータを表1に示す。

Table 1: Specifications of the RF system

Acceleration Frequency	6-18 MHz
Max. Acceleration Voltage	100kVpeak
Flat-top Harmonic No.	5, 7, 9
Flat-top Frequency	54-90 MHz
Max. Flat-top Voltage	5 kVpeak
Max. Q-value of Flat-top resonator	2000
Max. Flat-top RF Power	10 kW
Max. Flat-top resonator voltage	80 kVpeak
Max. Flat-top resonator current density	50 A/cm

FT共振器導入後のAVFサイクロトロン発振器系の機器配置を図1に示す。FT共振器は、主共振器のDee電極異形部に容量カップルし、Dee電極先端にFT電圧を発生させている。又、図2には、FT共振器をAVF主共振器の異形部フランジに取り付けた写真を示す。取り付けられたFT共振器の後方に、AVFサイクロトロンからの引出ビームラインのQ電磁石が設置されており、FT共振器の脱着作業はQ電磁石をビームラインに対し直角方向に1m以上移動して行う。Dee電極等の点検時も、主同軸共振器部の開放

作業を行うためFT共振器及び、Q電磁石を移動させている。

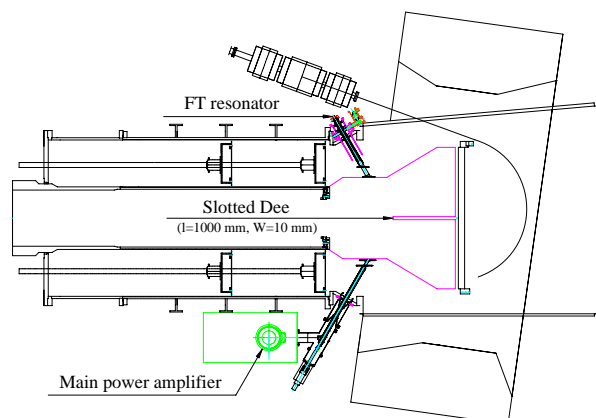


図1：RCNP AVFサイクロトロンの機器配置図

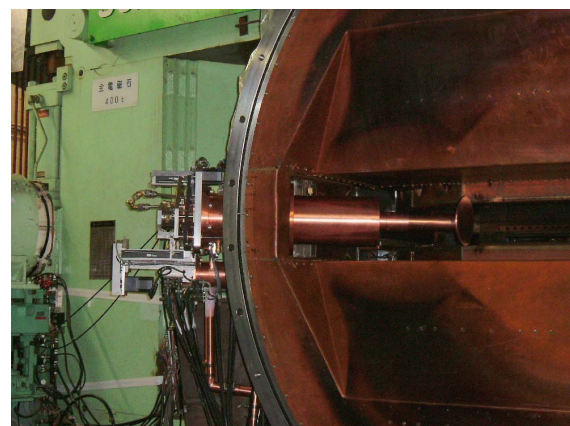


図2：据え付けられたFT空洞共振器写真

2. FTシステムの制御回路

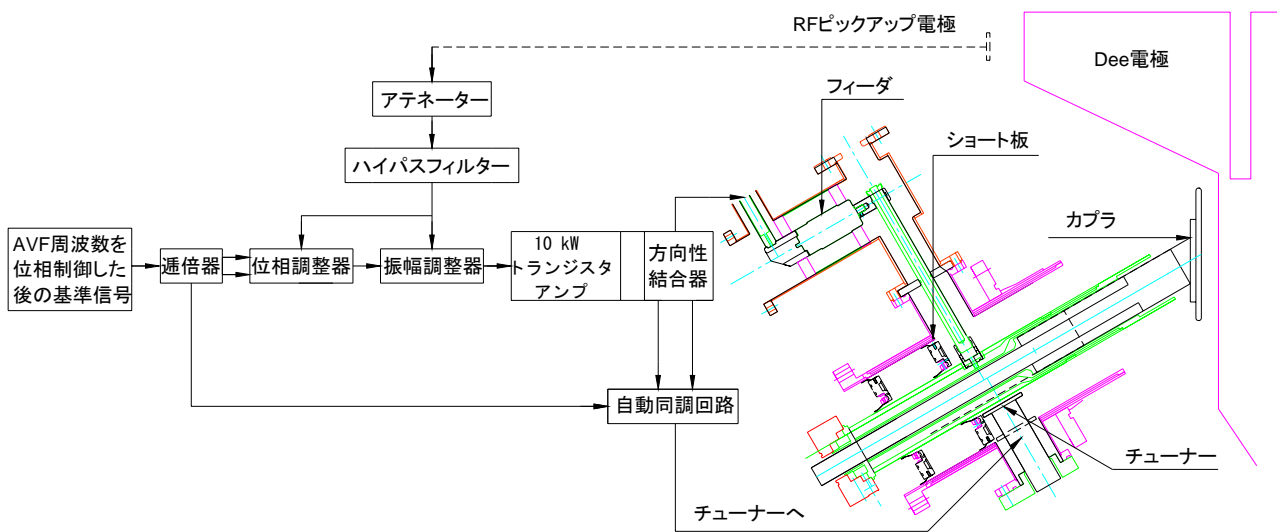


図3：FTシステムの制御回路（ブロック）

RF信号をピックアップした後、ハイパスフィルターを通して振幅調整器に入力し、FT電圧を設定値に調整している。又、自動同調回路での制御は、FT本体入口に取り付けた方向性結合器の信号を処理し、入力インピーダンス (50Ω) の位相が 0° になるよう制御している。FTローレベル制御のブロック回路を図3に示す。

3. Dee電極横共振モードへの対策

180° の開き角を有するDee電極は、中心軸に垂直な方向に最大2262mmの幅を持つため、FT周波数帯域の76MHz付近においてビーム加速ギャップに平行な方向に共振モードが存在することが分かっていた^[2]。この共振モードは、Dee電極の中心軸でノードを持ち電圧位相が反転している定在波が原因であるため、その共振周波数を影響の少ないところへシフトさせる必要があった。このDee横共振モードの電流路の距離を変える事により、共振周波数をシフトさせることができることに気が付き、AVF 1/5モデル共振器を用いたテスト結果^[1]に基づいてDee電極の構造を見直し、中央に長さ1000mm、幅10mmのスリットを入れた新しいDee電極を製作した。発振器終段増幅器のプレート部から見た並列共振周波数の測定結果を、図4に示す。76MHz付近にあったDee横共振モード周波数が、設計予想値の55MHz付近迄下がっていることを確認した。又、図4の^[2]Dee 3/4λモードは、Dee電極改造前から分かっていたモードであり、並列d, e共振モードについても1/5モデルで確認されているので、今後その性質やFT共振に対する影響について詳細に検討を行う。

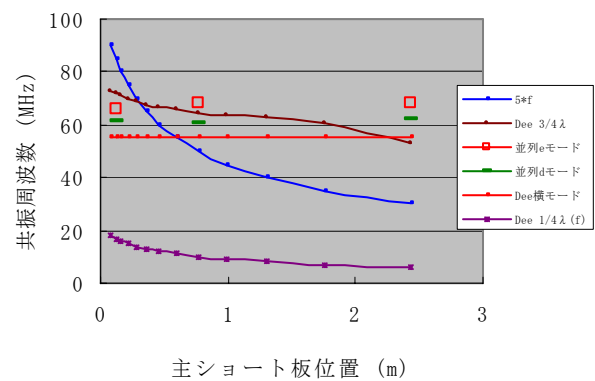


図4：Dee電極中心軸にスリットを入れた後の終段増幅器プレート側で測定した共振周波数特性とショート板の位置の関係

4. ローレベル テスト

FT共振器の概略図を図5に示す。カプラ位置の原点は、Dee電極に最接近した時であり、駆動範囲0~179mmである。ショート板位置の原点もDee電極に最接近した時であり、駆動範囲0~100mmである。フィーダ値の原点は、250 pF 時を0%とし、100%の時の容量は5 pFである。チューナーの原点は、同軸内筒に最接近した時であり、駆動範囲0~40mmである。高調波の共振条件を調べるため、ネットワークアナライザーで S_{11} (入力の反射係数)パラメータを測定し入力インピーダンスを 50Ω 、 0° に整合できるカプラ、ショート板、フィーダ、チューナーの最適な位置を求めた。その結果50~80MHzでほぼ 50Ω 、 0° (SWR=1.0)に調整できるパラメータを見いだした。カプラ及びフィーダの位置、FT共振器の入力 S_{11} の周波数特性を図6に示す。ただし、ショート板を0mm、チューナー位置を30mmに固定した場合

のデータである。図6のSWR曲線は、できる限りSWR=1.00値に近づくように、カプラとフィーダのパラメータを調整した後の値である。又、カプラ曲線に注目すると63~77 MHz間で測定点が、3ヶ所途切れている部分がある。これらの周波数帯域では、図4から分かるように主共振器の並列e, d共振モードとFT共振器の5*f曲線がクロスしており、クロスした付近での干渉を避けてインピーダンスマッチングを最適化するためにはFT共振器のショート板位置(0~100 mm)、フィーダ値(5~250 pF)及び、カプラ位置を異なる組み合わせに変える必要があった。80MHz以上の周波数においては共振周波数の増加に伴ってSWR値も徐々に増えて90MHzで1.8に達し、フィーダ部の調整範囲を超えている可能性があり、設計周波数範囲内で安定に運転するには、入力結合コンデンサー容量を増加させる等の改造が必要とされる。

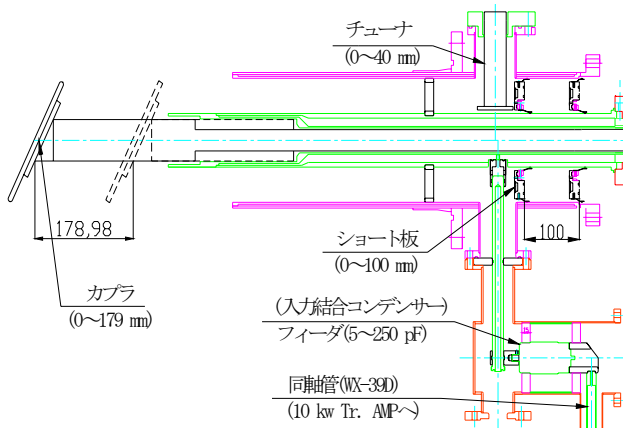


図5: FT共振器本体構造及び駆動範囲

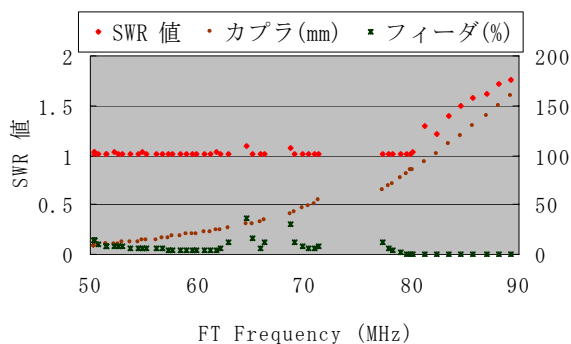


図6: FT共振器のカプラ、フィーダ、入力S₁₁の周波数特性 (ショート板の位置を0 mm, チューナーを30 mmに固定している。)

5. パワーテスト

FTパワーテストを ⁴He²⁺ 87.1MeV (リングサイクロトロンで 400 MeVまで加速)の加速条件で行った。基本波周波数は f=10.144 MHz, FT周波数は5f=

50.72MHzで行った。ローレベルテストで得られたパラメータを初期値として調整を行った結果、当初は、マルチパクタリング等の不安定現象がみられたものの、立ち上げから約30分程度で安定な状態になり、その後はパラメータの再現性が良いことも分かった。FT電圧を増加させた時には、FT共振器本体の熱変化等で負荷インピーダンスの位相が変化し、位相補正のためにチューナーが正常に追従して安定に運転できていることも確認できた。Dee電極先端に50.611kV発生させた時のDee電極先端でピックアップした電極電圧波形を図7に示す。第5高調波の電圧・位相調整及び、自動同調回路の働きにより加速電圧波形を安定に変化させることができることを確認した。

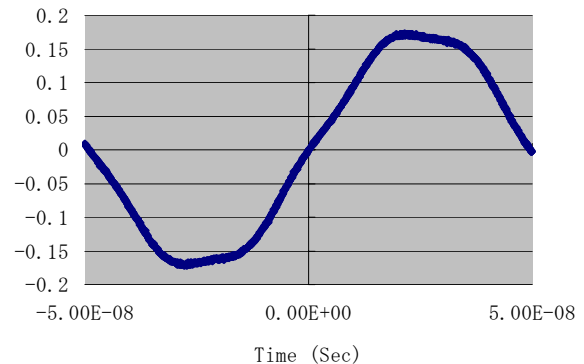


図7:第5高調波を重畳させた時のディー電圧波形

参考文献

[1] T. Saito, M. Itoh, S. Ninomiya, K. Sato, H. Tamura, Proc. of the 17th International Conference on Cyclotrons and their Applications, P333, 2004
[2]I.Miura et al., "RF SYSTEM" RCNP Annual Report 1976 p12-17