

Akira UENO and Yoshishige YAMAZAKI

National Laboratory for High Energy Physics, KEK

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

A four-vane type RFQ linac is being developed for the Japanese Hadron Project (JHP). The resonant frequency and the acceleration energy of this RFQ are 432 MHz and 3 MeV, respectively. In order to attain such a high acceleration energy, the cavity length becomes about 2.7 m. However, the field measurements of a model cavity showed that the dipole-mode mixing made the acceleration-mode field unstable in such a long cavity. Therefore, a new method of avoiding the dipole-mode mixing, referred to as the π -mode stabilizing loop (PISL), was examined experimentally in the model cavity. The PISLs stabilized the field, reducing the dipole-mode mixing from 7 % to about 1.5 %.

JHP用RFQモデル空洞における π モード安定化ループの効果の測定

1. 序

大型ハドロン計画(JHP)の初段加速器として用いる共振周波数432MHz、加速エネルギー3MeVのRFQリアクの開発を行っている。RFQのビーム光学設計用計算コード(KEKRFQ)¹⁾を新たに開発し、最大表面電場Kilpatrick限界の1.8倍以下、ビーム・ビーム電流20mA以上、規格化入射ビーム・エミッタンス $1\pi\text{ mm}\cdot\text{mrad}$ (90%)という条件のもとで設計を行った。その結果、ビームの捕獲効率、加速ビームのエミッタンス等を満足できる値にするには、空洞の長さを2.7m(RF波長の約4倍)以上にしなければならないことがわかった。

このように長いRFQを4ヴェイン型構造で製作すると、加速モード(四極の基本モード)の共振周波数の近くに加速の妨げとなる二極モードが存在することになる。従って、二極モードの混合を防ぐためには、非常に高い工作精度が要求される。一方、共振周波数が高いため、4ヴェイン型以外の構造のRFQでは、寸法が小さくなりすぎ、製作や冷却が難しくなる。そこで、4ヴェイン型RFQの高精度な製作方法の確立を目的として2.7mの低電力モデル空洞の製作を行った²⁾。この結果、ヴェイン間距離を $\pm 20\mu\text{ m}$ という高精度で製作する方法を確立できた。加速モードに対する二極モードの混合量の測定値は約7%であったが、これは空洞側面にチューナーを設置すれば十分補正できる値である。しかし、外気温が変化したときに加速モードに対する二極モードの混合量が変化するという不安定性が確認されたので、実機では、二極モードの混合を防止する安定化構造が必須であると判断した。

これまで、加速に成功した4ヴェイン型RFQのほとんどが、二極モードの混合を防止する安定化構造としてVCR(ヴェイン結合環)を採用してきた。しかし、JHP用RFQの様にチューンが高(RFチューン13%)、長いRFQでは、VCRの取り付けや冷却が難しく、そのために信頼

性にも問題があると考えられる。そこで、冷却が可能で、取り付けも比較的容易な、新しい安定化方法PISL(π モード安定化ループ)を提案した^{3),4)}。計算コードMAFIA^{5),6)}を用いた解析でPISLの有効性が示されたので、前述のモデル空洞に設置し、有効性の実験的検証及び実機で共振周波数を設計値に合わせるためのデータ収集を行うことにした。本論文ではその実験結果について述べる。

2. PISLの構造

PISLでは、ヴェインに開けた孔を通して、隣合った2つの1/4空洞の空洞壁を棒状の導体で電気接触させる。これにより、空洞間のRF結合が強まり、加速モードと二極モードの共振周波数の差が拡大し、加速モードが安定化される。PISLの構造を図1に示す。図1-aは、PISL部の断面図であり、実際的な組立方法と冷却方法も示されている。また、図1-bは、PISLの効果を解析するためにMAFIAに入力したPISL付きRFQの構造の3次元プロットである。対称性を利用して、断面は1/4のみ入力され、長さもPISLを周期的に配置することを考えて、その一周期分(17cm)になっている。

3. 測定結果

ビーズ摂動法で測定したRFQモデル空洞内の電磁場分布を図2に示す。これらの図では、RFQ空洞の長さ方向の位置の関数として、ビーズによる共振周波数の変化 Δf が示されている。従って、実際の電磁場の強さはこの値の平方根となる。

図2-aとbは、PISL設置前と後の4つの1/4空洞内の磁場分布である。ビーズは、各1/4空洞の対称面上でビーム軸中心から5cmの位置をビーム軸と平行に移動している。4つの1/4空洞間の磁場分布の違いが、二極モードの混合量を表すことになる。磁場の強さの違いの最大値

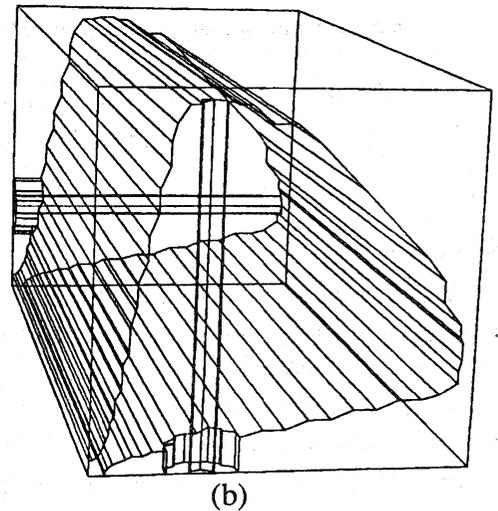
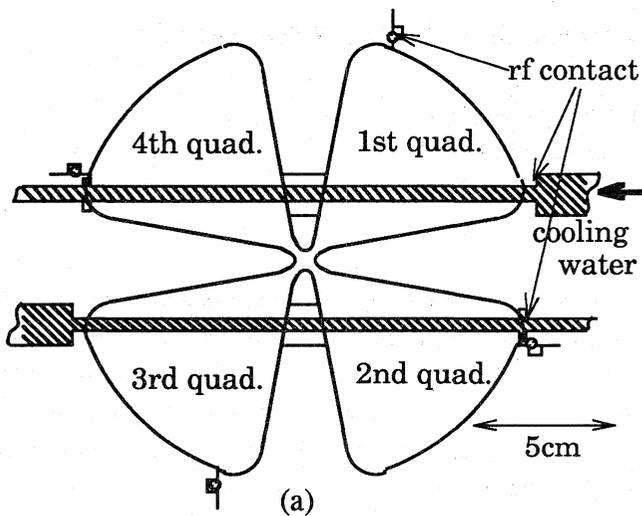


図1 PISLの構造：(a)断面形状、(b)MAFIAへ入力した構造の3次元プロット

は、PISL設置前が約7%、PISL設置後が約1.5%であるので、PISLにより二極モードの混合が減少していることがわかる。なお、図2-bの鋭いピークは、PISL付近(ビームとPISLの最短距離約12mm)の変形した磁場分布が観測されたものである。

図2-cは、ビーム軸上でビームを移動させビーム軸付近の電場分布を測定したものである。電場分布の一様性は良く、PISLのビーム軸付近の電場分布に対する影響も少ないことがわかる。

加速モードと二極の基本モードの共振周波数とQ値の測定結果及びMAFIAの解析結果を表1にまとめる。この表からもわかるように、MAFIAを使った解析では、共振周波数の絶対値には信頼性がない。計算機の能力によりメッシュ数が制限されていることが、この主な原因と考えられる。しかし、次式に示すように、PISLによる共振周波数の変化等の相対値は1MHz程度の誤差で一致している。

f_{PISL} (測定値)- f_0 (測定値)	=-15.1MHz
f_{PISL} (MAFIA)- f_0 (MAFIA)	=-16.2MHz
$f_{\text{PISL-D}}$ (測定値)- f_{PISL} (測定値)	=+34.1MHz
$f_{\text{PISL-D}}$ (MAFIA)- f_{PISL} (MAFIA)	=+34.8MHz

Q値については、空洞の材質の酸化やMAFIAのメッシュの粗さなどが関係し、はっきりしたことは言えない。次式に示すように、Q値の劣化の測定値は、計算値より大きなものになっている。しかし、その原因の全てがPISLにあったと仮定しても、冷却を行えば実機での使用が可能であると考えられる値である。

Q_{PISL} (測定値)/ Q_0 (測定値)	=0.91
Q_{PISL} (MAFIA)/ Q_0 (MAFIA)	=0.94

図3に、PISL設置前(a)、PISL設置後(b)の二極モード(TE_{11n})と四極モード(TE_{21n})の分散曲線の測定値を示す。ここで、TE_{11n-13}とTE_{11n-24}は、縮退が解けた2つの二極モードで、前者が第一と第三1/4空胴にRF電力が入るモード、後者が第二と第四1/4空胴にRF電力が入るモードである。PISLを設置しない場合には、加速モードの近くに、しかも、上下に複数個の二極モードがあることがわかる。PISLを設置することにより、二極モードが全て加速モードより高い周波数に押し上げられ、加速モードと最も近い二極モードとの共振周波数の差も、4.5MHzから33.8MHzと約7.5倍に拡大されている。

4. むすび

PISLの安定化効果が、実験的に検証された。PISLによる共振周波数の変化も誤差1MHz程度で計算値と一致した。PISLを設置したことによるQ値の劣化は、計算値より大きなものであったが、その劣化の原因全てをPISLと考えても、冷却を行えば実機での使用も可能であると考えられる。

今後、PISL付の構造でJHP用RFQの実機を開発していく予定である。

参考文献

- 1) A. Ueno et al., 1990 Lin. Accel. Conf. Proc., LA-12004-C(1991)329.
- 2) A. Ueno et al., 1990 Lin. Accel. Conf. Proc., LA-12004-C(1991)60.
- 3) A. Ueno and Y. Yamazaki, Nucl. Inst. and Meth. A300(1991)15.
- 4) A. Ueno and Y. Yamazaki, 1990 Lin. Accel. Conf. Proc., LA-12004-C(1991)57.
- 5) T. Weiland, Particle Accel. 17(1985)227.
- 6) R. Klatt et al., 1986 Lin. Accel. Conf. Proc., SLAC-303(1986)276.

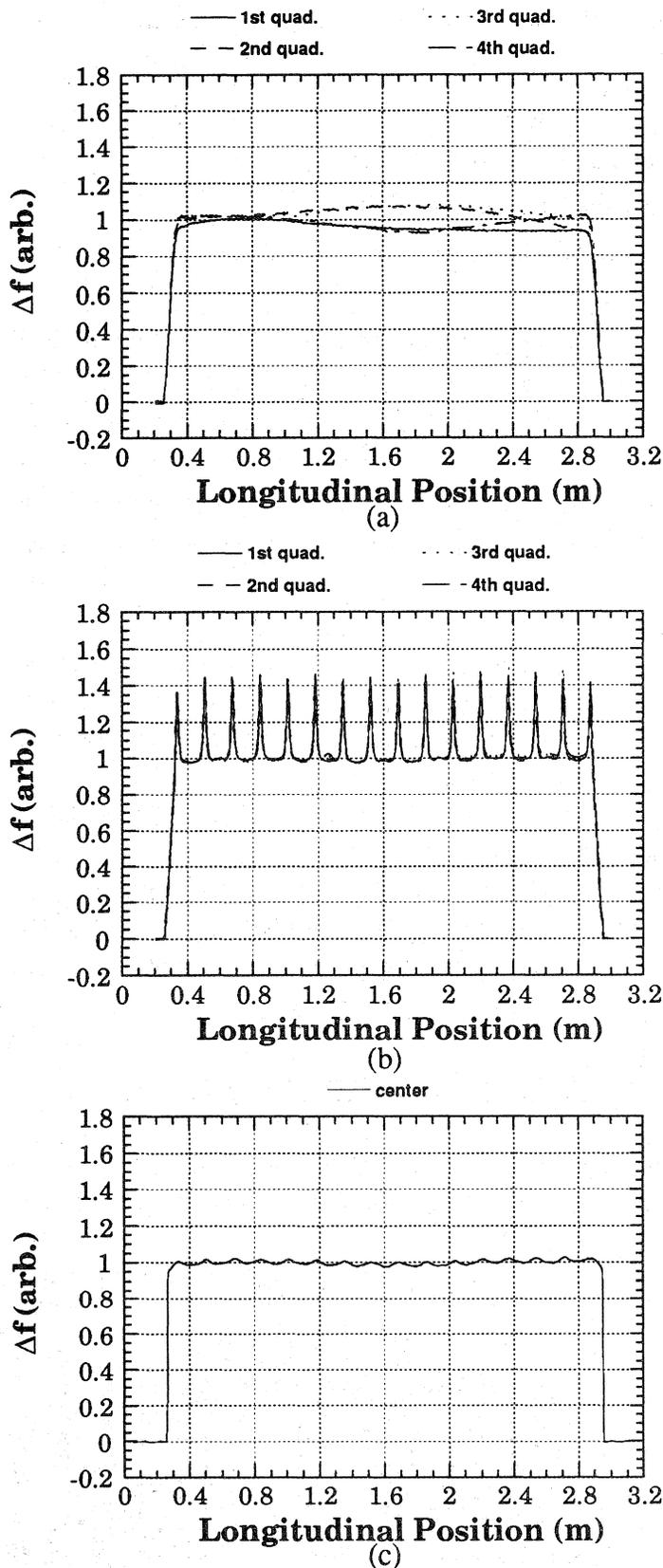


図2 ビーズ摂動法で測定したRFQモデル空洞内の電磁場分布(ビーズによる共振周波数の変化と位置の関係として表示):(a)と(b)PISL設置前と後の4つの1/4空洞内の磁場分布、(c)PISL設置後のビーム軸付近の電場分布

表1 共振周波数、Q値の測定値とMAFIAの解析結果

		測定値	MAFIA
加速モード (PISL無)	f_0 (MHz)	431.438	427.149
	Q_0	7460	9560
加速モード (PISL付)	f_{PISL} (MHz)	416.331	410.962
	Q_{PISL}	6800	9010
二極の基本モード (PISL付)	f_{PISL-D} (MHz)	450.468	445.780

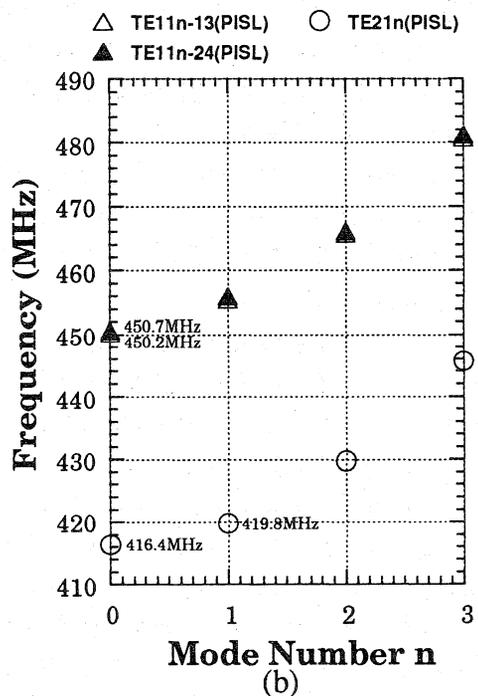
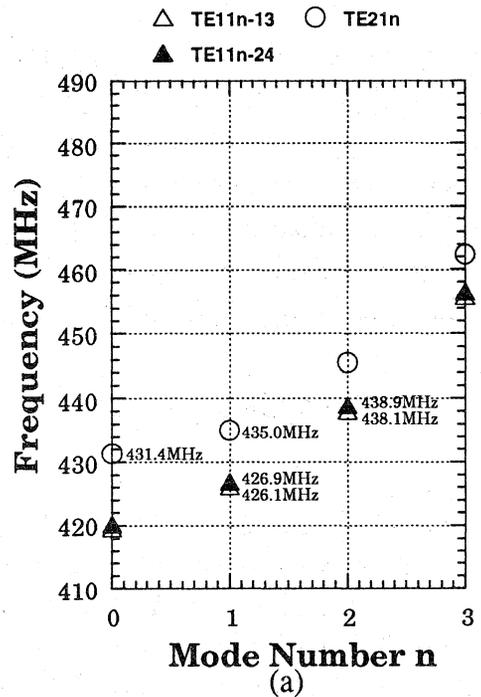


図3 RFQモデル空洞の二極モード(TE11n)と四極モード(TE21n)の分散曲線 (a)PISL設置前、(b)PISL設置後