

KEK・原研 RNB 用リバンチャーの設計及びモデルテスト

岡田 雅之¹、新井 重昭、新垣 良次、仁木 和昭、武田 泰弘、富澤 正人

高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEK 田無分室で建設した短寿命核分離加速実験装置を原研東海のタンデム施設に移設する計画が現在進んでいる。この計画では、既存の RFQ・IH リニアックを原研タンデム施設の超伝導ブースターに結合する予定であり、その為には IH とブースターの間には IH2 リニアックと 2 台のリバンチャー(RB2)を設置する必要がある。

この RB2 には RFQ-IH 間のリバンチャー(RB1)と同じ二重同軸型の共振構造を採用する。これまで MAFIA によるシミュレーションで構造の詳細をつめてきだが、今回最終的な寸法等を決める為 1/2 モデルを製作した。

本発表ではリバンチャーの設計及びモデルテストについて報告する。

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)田無分室では大型ハドロン計画 E アレナのプロトタイプとして SCRFQ や IH リニアックからなる短寿命核分離加速実験装置を建設し、加速器の R&D や天体核物理実験などを行ってきた。この装置は 1999 年に田無分室の廃止に伴い運転を停止したが、このたび日本原子力研究所東海研究所のタンデム研究施設に移設し、短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設としてスタートすることになった^[1]。

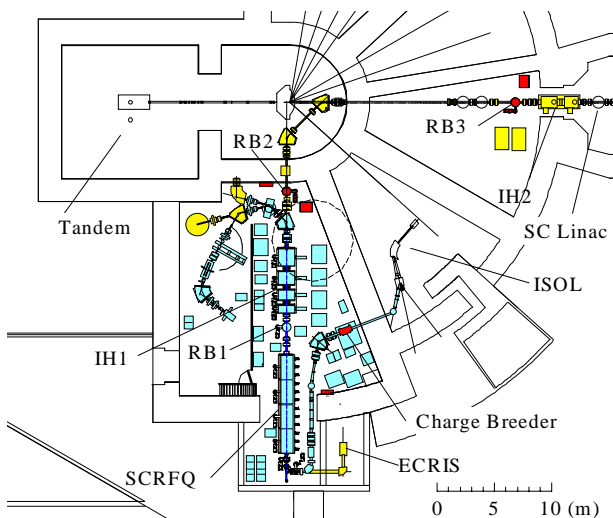


図 1 KEK・原研 共同研究施設配置図

この施設は二段階での建設が予定されている。第一段階としてタンデム施設に田無で製作した短寿命核分離加速実験装置を復旧し 1.05MeV/u までのビームを加速、天体核物理実験などに供給する。そして、第二段階として IH 型リニアック(IH2)を増設しエネルギーを増強してタンデム施設の超伝導リニアックに接続、5~8MeV/u まで加速する(図 1)。第一段階の建設は昨年度から 3 年計画で開始されていて、現在建屋の建設や加速器の周波数変更^{[2][3][4]}の準備などを行っているところである。

2. リバンチャー 2

今回モデルを製作したリバンチャー(RB2)は、建設計画の第二段階において、既存の IH リニアックと新しく作る IH2 リニアックの間に設置する予定のものである。

RB2 は周波数が約 26MHz と低い為、SCRFQ と IH リニアックの間にあるリバンチャー(RB1)と同じ二重同軸型共振構造を採用することにした。この構造は低い周波数でも $\lambda/4$ 共振器をコンパクトにすることが出来るという特徴を持っている^[5]。

設置スペースや製作上の要請からタンクの内径を

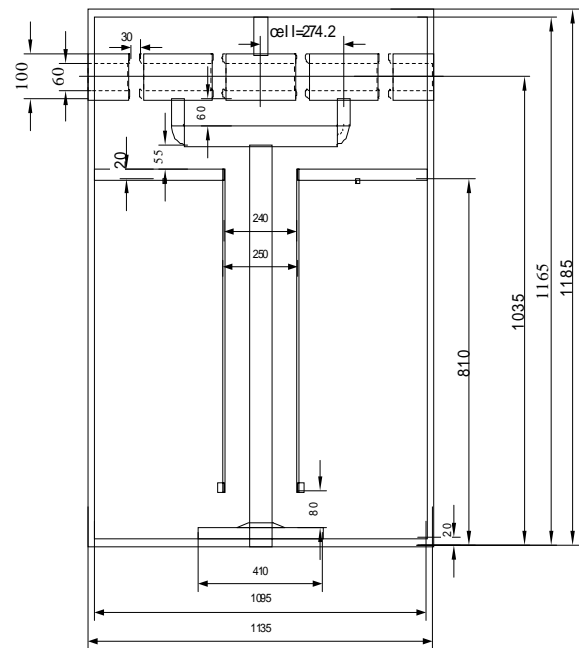


図 2 RB 2 寸法図

¹ Masashi.okada@kek.jp

1095mm、高さを1145mm、ドリフトチューブのギャップ数を4とした^[4]。この寸法を基準とし、細部の調整はMAFIAによるシミュレーションを行いながら決定した。

シミュレーションを行う場合、実機と全く同じ構造で行う事が望ましいのは言うまでも無いことではあるが、実際の問題として全体の大きさに対して余り細かい物や複雑な物があると非常に細かいメッシュが必要となるため計算に時間がかかる上、結果の精度が逆に悪くなる場合もある。そこで、MAFIAでの計算においては、冷却水用配管や仕切り板の真空排気穴等を省略している。また、ドリフトチューブも実物では放電防止のため gap の面を丸めてあるのに対してMAFIAの計算では gap 間のキャパシタンスが等しくなるように間隔を調整した平たい断面で置き換えている。そこで、これら省略の影響を調べる為、既に実機があり共振周波数が分かっているRB1について同様の計算を行ったところ、実機の25.52MHzに対し、25.73MHzと約0.84%高い値が出た。そこで、RB2の計算では、実機の25.96MHzに対し0.84%高い26.18MHzにあわせるように調整することにした。

その結果、各部の寸法は図2のようになった。

3. モデルテスト

3.1 1/2 コールドモデル

MAFIAのシミュレーションの結果を元にRB2の1/2コールドモデルを作成し、高周波特性の測定を行う事にした。モデルを製作する段階で工作精度が電場に与える影響やコスト等の面から内導体の支持台座のテーパ部分を平らにする等の設計変更を行った。その結果、MAFIAの計算では共振周波数が26.669MHzへと約2.0%上昇したが、仕切り板の移動



図3 1/2コールドモデル写真

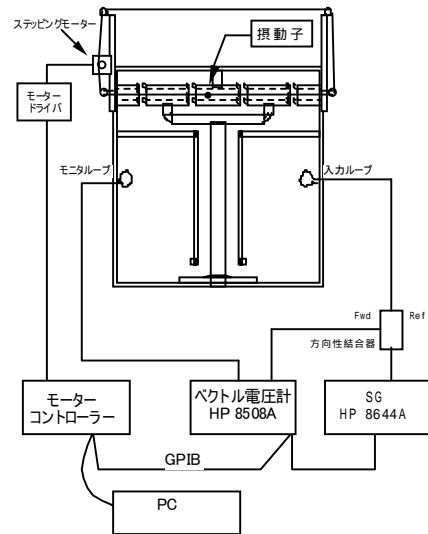


図4 測定のセットアップ図

による周波数の可変量が±3.0%程度見込まれるためモデルから実機へ換算を行う際には問題とならないと考え、全面的な見直しは行わなかった。

製作したモデルは、コストと加工性から素材は全て真鍮とした。内部の調整がやり易い様、側板を取り外せる様にし、周波数がずれていた場合の調整の為に、仕切り板の部分を上下に移動させる事ができるようにした。これらの部分はRFのコンタクトを考えて多数のネジで止めることにした。実際のモデルの写真を図3に示す。

測定はこの空洞に入力用とモニター用のループを取り付け、SGからの入力とモニターループからの出力をベクトル電圧計で比較する事で行った。測定のセットアップを図4に示す。ところで、Q値やシャントインピーダンス(Z_s)は、入力ループの状態では測定値が変わってしまう。そこで、入力ループを換えてマッチングをとった状態とウィークカップリング状態の2種類のデータを測定した。ウィークカップリング状態では測定値は無負荷の時のQ値や Z_s に近似できる。一方マッチングを取った場合はその半分の値を示す。それゆえ、二つの状態での測定値はほぼ一致するはずである。

	ウィークカップリングの状態	マッチングを取った状態	MAFIAによる計算*
共振周波数 f_0 (MHz)	54.082	54.093	53.338
Q値	2900.3	3202.4	4225.5
シャントインピーダンス Z_s (MΩ/m)	15.580	16.465	17.690

*モデル相当に変換した値

表1 1/2モデルの高周波特性

測定の結果と MAFIA での計算の値との比較を表 1 に示す。

3.2 共振周波数

最初に、共振周波数の測定を行ったところ、共に約 54.09MHz 前後の値となった。この値は、MAFIA による計算の結果である 53.338MHz に対して約 1.4% 高く、目標値からは約 3.8% 高い。原因については、MAFIA での計算の際、メッシュを切るのに Auto mesh を利用した為必要な場所に適切なメッシュが切られていなかった可能性や、モデルの寸法誤差の影響が蓄積している可能性などが考えられる。

また、Q 値は MAFIA の計算による約 4200 に対し測定値は 3000 前後と 3/4 程度と低い値となった。その原因としては、シミュレーションに比べ実際の空洞にはネジ止めの接合部や表面の荒れ等による損失がある為であると考えられる。

3.3 電場分布

次に、摂動子を使って、電場分布を測定した。測定では、摂動子として直径 6mm のベアリング球を使用、釣り糸を通して吊るしステップモーターでビーム軸上を移動させながらモニター電圧の位相の変化を測定することで行った。この時、入力周波数はそれぞれの入力カプラにおける共振周波数である。

測定の結果を図 5 に示す。最大値を 1 として規格化してある。MAFIA による計算結果と概ね一致している。内側の 2 ギャップの電場に比べ、両脇のギャップの電場が若干低いのは中央のドリフトチューブはステムに近い為ステムとの間でキャパシタンスが生じ、その分内側のギャップの電場が強くなっている為と考えられる。しかし、電場の差は ±2% に収ま

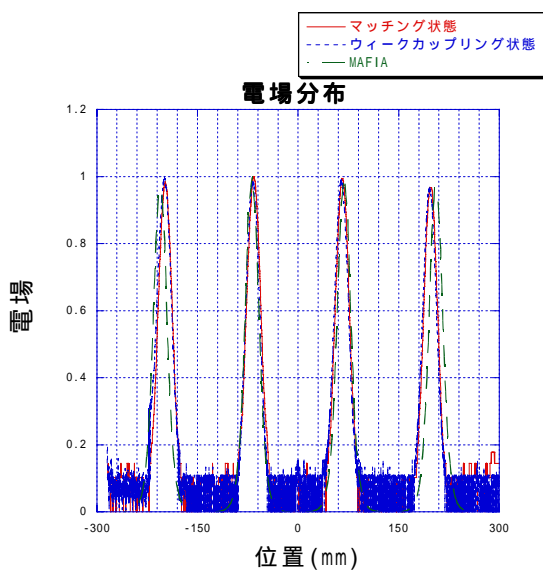


図 5 電場分布

っており問題は無い。

また、この結果からシャントインピーダンスを計算したところ、 $16\text{M}\Omega/\text{m}$ 前後であった。この値は MAFIA の $Z_s=17.690\text{M}\Omega/\text{m}$ に対し約 10% 低い、これも Q 値が低いと同様の原因によると考えられる。

4 . まとめ

RB2 の 1/2 コールドモデルを製作し、高周波特性を測定した。その結果、共振周波数は 54.092MHz、Q 値は約 3000、シャントインピーダンスは $17.6\text{M}\Omega/\text{m}$ で、電場分布は MAFIA によるシミュレーションと概ね一致しているという結果を得た。

共振周波数は目標の周波数より約 3.8% 高い値となっている。今後、この原因について詳しく調べると共に、仕切り板やその他の部分の配置を動かした場合の共振周波数の変化を測定して実機の最終的な寸法を決定する予定である。

参考文献

- [1] 新井重昭 他, “短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設における重イオンリニアック”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P40-42, 2001
[URL:http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/1C-4web.PDF](http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/1C-4web.PDF)
- [2] 新井重昭 他, “短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設の SCRFQ の周波数変更”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P177-179, 2001
[URL:http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/1P-17web.PDF](http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/1P-17web.PDF)
- [3] 新垣良次 他, “不安定ビーム加速用 IH リニアック周波数変更試験”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P98-100, 2001
[URL:http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/3A-2web.PDF](http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/3A-2web.PDF)
- [4] 仁木和昭 他, “短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設での重イオンリニアックビーム輸送系の設計”, Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, P349-351, 2001,
[URL:http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/2P-39web.PDF](http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/2P-39web.PDF)
- [5] K.Yoshida et al, “A 25.5MHz double-coaxial $\lambda/4$ -resonator as a rebuncher in heavy ion linac system”, Nucl. Instr. and Meth. A 430 (1999) 189.

