

# 短寿命核用SCRFQとリバンチャーの改造

岡田 雅之<sup>1</sup>、新井 重昭、仁木 和昭  
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

## 概要

KEK・原研RNB計画ではKEK田無分室で製作された短寿命核用SCRFQ・IH加速器を原研タンデム施設に移設し使用する。この計画の第2期計画においてIHの出射ビームのタンデム施設超伝導加速器への入射を予定しているがタンデム施設の超伝導加速器の運転周波数は約129.8MHzであるから、移設するにあたっては短寿命核用加速器の基本周波数を従来の25.5MHzから超伝導加速器の1/5に当たる25.96MHzに変更する必要がある。

今回、SCRFQ加速器とリバンチャーの共振周波数を変更する為の改造を行ない、ローパワーテストを行なった。その結果、空洞の共振周波数はほぼ予想通りに変更することが出来た。また、改造による電場分布等への影響もほとんど無い事が確認された。

## 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究所東海研究所はKEKと原研の共同研究としてKEK田無分室で製作された短寿命核用線形加速器を原研タンデム施設に移設し、短寿命核実験施設の建設を行なっている<sup>[1]</sup>。

この短寿命核用線形加速器はSCRFQ・IHの2種類の加速器とリバンチャーを含むビーム輸送系からなる高伝送効率の重イオン加速器で、SCRFQは25.5MHz、IHは51MHzの共振周波数で設計されている。計画の第2期において、この加速器からのビームをタンデム施設の超伝導ブースターに入射し更なる加速をすることを予定しているが、超伝導ブースターの共振周波数は129.792MHzの為、このままではビームのマッチングがとれない。そこで、短寿命核用加速器の基準となる周波数を従来の25.5MHzから超伝導ブースターの共振周波数の1/5になる25.9584MHzに変更することになった。

本発表では、住友重機械工業(株) 新居浜事業所で改造したSCRFQとリバンチャーの共振周波数の測定・電場分布の測定を行なったのでその結果について報告する。

## 2. SCRFQの周波数計算

SCRFQは分割同軸型共振構造を利用したRFQ加速器で、12のモジュール空洞からなっていて、ベイン電極はステムフランジで空洞に固定されている。

周波数変更にあたっては改造コストを下げる為に空洞本体など基本構造はいじらずに、ベイン間の静電容量を変えるL字型Cチューナーと空洞インダクタンスを変える仕切り板型Lチューナーを取り付けて行なう事にした。いずれのチューナーも局所的に効くので、共振周波数の変更だけでなく電場分布をフラットにするのにも有効である。変更に必要なチューナーの寸法は等価回路解析により算出した。計算にあたっては可動チューナーの動作範囲が約30kHzあることや空洞を真空に引くと10kHz上がる事を考慮して、空洞自身の共振周波数は25.9584MHzより約40kHz低い25.9173MHzとなるようにした。また、同時に電場分布がフラットな状態になるようにする事も考慮した。

その結果、Cチューナーは第1モジュールに高さ170mm、第2モジュールに70mm、第12モジュールに95mmの物をそれぞれ4つずつ、仕切り板Lチューナーは第3第4、第6第7、それに第9第10モジュールの間にそれぞれ高さ140mmのものを取り付けることで25.9173MHzになると予想した<sup>[2]</sup>。

しかしながら、実際の空洞には真空排気ポート等があり、これらの影響は計算に反映されていない。その為、正確な調整には実機での周波数を測定しながらの調整が必要である。

## 3. SCRFQのローパワーテスト

実機での測定は、可動チューナーを完全に引き出した状態で取付け、真空ポートはフランジで塞いであるべく実際の運用時に近い状態で測定した。また、ループコプラはあらかじめ反射が一番小さくなるように調整した。このときVSWRは1.002であった。

### 3.1 共振周波数の調整

SCRFQの共振周波数の調整は、仕切り板の高さを変化させることで行なった。(図1)

その結果、仕切り板の高さは136.5mmに決定した。その時の共振周波数は25.9179MHzであり、目標とよく一致している。したがって、運転時に25.9584MHzにすることは十分に可能である。また、この状態でのQ値は $Q_0=5760$ であった。改造前のQ値は約6300であったので10%弱下がっているが、これは周波数を上げた効果と改造の為長期間大気に晒していたのが原因と考えられる。長期間大気にさらした事による影響は、今後エージング等で回復できると考えている。

<sup>1</sup> E-mail: masashi.okada@kek.jp

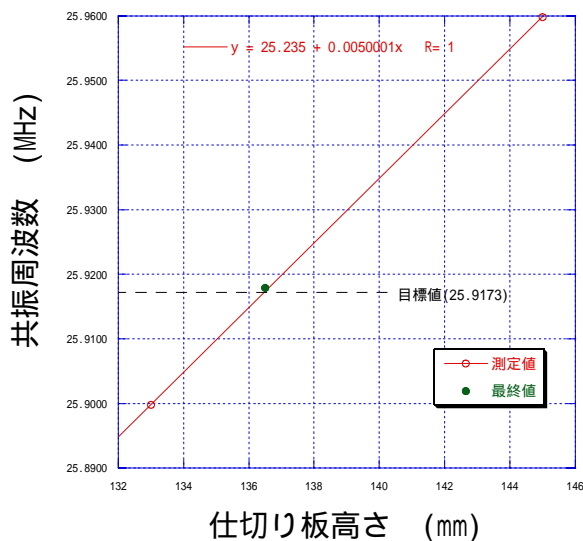


図1 SCRFQの周波数調整

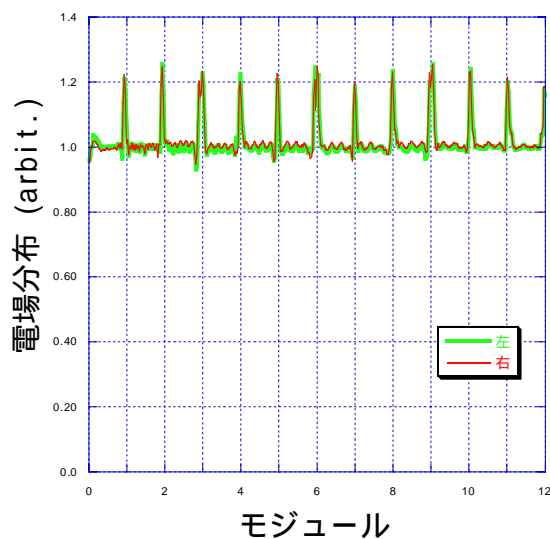


図3 SCRFQ電場分布

### 3.2 電場分布の測定

次に、摂動法による電場分布の測定を行なった。SCRFQは全長で約8mと長い為ビーム軸上で摂動子を移動させるのは非常に困難である。その為、図2の様 にテフロン製の摂動子(30\*30\*8 mm<sup>3</sup>)をペインの上を這わせる形で移動させて、電場分布を測定した。

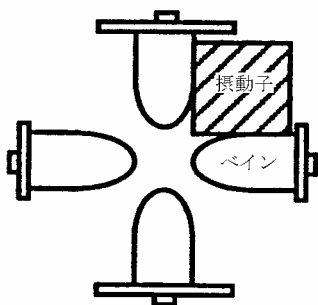


図2 SCRFQでの摂動子の通し方

測定結果を図3に示す。グラフはスパイク部分を除いた電場の平均を1として規格化してある。図中スパイクはステムフランジによるものである。第一モジュールはラジアルマッチャーなので電極が大きく開いており、その為電場が多少弱くなっているが、それ以外の部分は±1%に収まっており概ね均一と言える。また、左右の電場に大きな差は見られなかった。

また、可動チューナーを一番引き抜いた状態と、一番奥まで入れた状態で電場分布には大きな違いは見られなかった。このことから可動チューナーが電場分布に与える影響は無視できる事が分かった。

## 4 . リバンチャーの周波数計算

リバンチャーは二重同軸共振器を利用したドリフトチューブ加速器である。共振周波数の調整はドリフトチューブの長さを短くして、ギャップを広げることで行なう事にした。変更にあたっては、可動チューナーの動作範囲(約100kHz)等を考慮して空洞自身の共振周波数を25.9584MHzより約50kHz低い25.91MHzとし、SUPERFISHやMAFIAの計算でギャップサイズを決めた。その結果、ギャップは20mmから23.8mmへ広げることにした<sup>[3]</sup>。

ところで、リバンチャーにも真空ポート等の計算に反映されていない要素は存在するが、ドリフトチューブの加工・取付けは時間がかかる事、またチューナーの調整範囲が比較的広い事から共振周波数を測定しながらの調整は行なわず、直接最終寸法での加工・取付けを行なった。

## 5 . リバンチャーのローパワーテスト

リバンチャーの共振周波数の測定はチューナー等を外した状態で行なった。その時のVSWRは1.056であった。

### 5.1 共振周波数の測定

チューナー等を取り外した状態で空洞の共振周波数を測定したところ、25.9117MHzであった。また、このときのQ値は $Q_0$ =約6900であった。製作当初のQ値は $Q_0$ =約6400であったので、若干上昇したもののほとんど違いは無かった。(図4)

また、可動チューナーを取り付けて共振周波数の可変域を測定したところ、出した状態で25.9164MHz、入れた状態で26.0144MHzとなり、可変域は98kHzあった。この結果、可動チューナーを半分ほど入れ

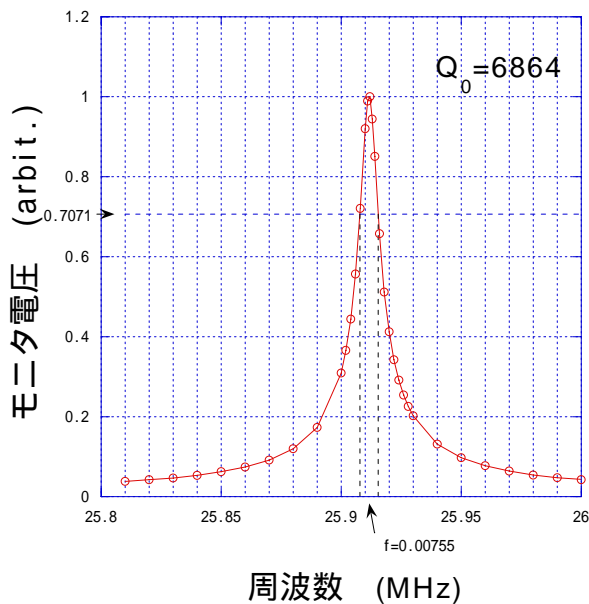


図4 リバンチャー周波数測定

ること目標である25.9584MHzに合わせることが出来た。

## 5.2 電場分布の測定

続いて電場分布の測定をした。測定は 7mmのベアリング球をビーム軸上で移動させ、摂動法により行なった。その結果から求めた電場分布を図5に示す。グラフは電場の最大値を1として規格化してある。

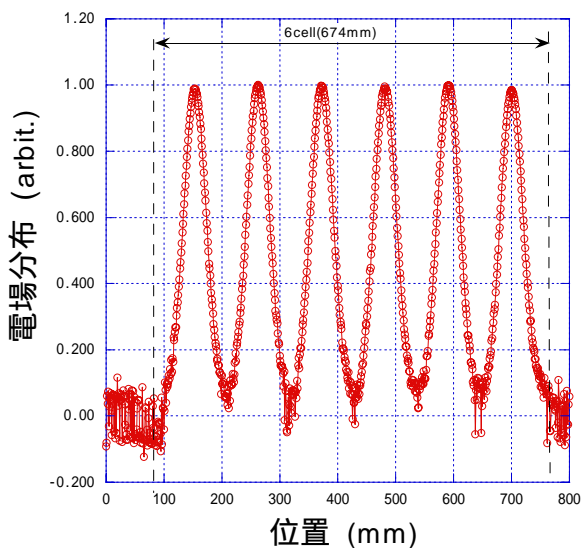


図5 リバンチャー電場分布

これによると各ギャップの電場のばらつきは、エンド部分のギャップを除いた場合で $\pm 0.5\%$ 、全体でも $\pm 1.6\%$ 以内におさまっており、十分フラットといえる。また、加速セル6セル分の電場分布からシャ

表1 リバンチャーのパラメータの変化

	製作当初 <sup>[4]</sup>	改造後
ギャップ幅 (mm)	20.0	23.8
共振周波数 (MHz)	25.52	25.91
$Q_0$	6400	6900
シャントインピーダンス (M /m)	40.6	41.8
トランジットタイムファクター	0.847	0.844
実効シャントインピーダンス(M /m)	29.1	29.8

ントインピーダンスやトランジットタイムファクターを求めたところ、それぞれ $Z_s=41.84\text{M /m}$ 、 $T_{tr}=0.844$ であった。したがって、実効シャントインピーダンス $Z_{s,eff}$ は $29.8\text{M /m}$ となる。この値は表1に示すように製作当初と比べてあまり違いは無く、改造による影響はほとんど無視できると言える。

## 6.まとめ

原研タンデム施設の超伝導リニアックに接続する為、短寿命核用SCRFQ加速器・リバンチャーの共振周波数を変更する為の改造を行ない実際の共振周波数などの測定を行なった。その結果、加速器の共振周波数はほぼ予想通りに変更されている事、電場分布等への影響はほとんど無視できる事が確認された。

## 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於ける重イオンリニアック”, Proceedings of the 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, P40-42,2001, URL: <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 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, P177-179,2001, URL: <http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/1P-17web.PDF>
- [3] 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 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, P349-351,2001, URL: <http://conference.kek.jp/LAM26/LAM26PDF/2P-39web.PDF>
- [4] K. Yoshida. et.al., “A 25.5MHz double-coaxial  $\lambda/4$ -resonator as a rebuncher in heavy ion linac system”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 430 (1999) 189-197