

不安定核ビーム加速用IHリニアック周波数変更試験

新垣良次¹、新井重昭、仁木和昭、岡田雅之、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（旧核研）において建設された不安定核加速用リニアックは周波数25.5MHzのSCRFQリニアックと周波数51MHzのIHリニアックから構成される^[1]。この施設を原子力研究所に移設し、超伝導ブースターリニアックに結合し実験を行う計画が進行している。超伝導ブースターリニアックとIHリニアックを結合する為には、IHの共振周波数を51MHzから51.92MHzに変更する必要がある。今回、IH第3タンクのコールドモデルを使って周波数の変更試験を行ったので報告する。

1. はじめに

短寿命核加速用リニアックがKEK田無分室において建設され、加速器の性能試験や天体核物理等の研究の為に利用されてきた。このリニアックの中でインターデジタルH型リニアック（IH）は共振周波数51MHzで、4台の空洞とその間に置かれる三連四極マグネットから構成される。加速エネルギーは0.17から1MeV/uの範囲で連続可変である。

KEKと原子力研究所との共同建設でこのリニアックを原研東海タンデム施設に移設し、当面1.05MeV/uのエネルギーまで加速し実験を行うことが決定された。将来はIHの後段に新しく2MeV/u IHを置き超伝導ブースターリニアックに結合することにより、クーロン障壁を超える領域までビームを加速する予定である。超伝導ブースターリニアックの周波数に同期させるために移設に先立ってIHの周波数を51MHzから51.92MHzに変更する。今回周波数変更のためにIHコールドモデル^[2]を使った低電力試験を行ったのでその結果について報告する。

2. 周波数変更

IH共振空洞の周波数を51MHzから51.92MHzに変更する方法としては、空洞のインダクタンスをL、キャパシタンスをCとすると、共振周波数は $1/(LC)^{1/2}$ に比例するので、

- 1) タンク径を小さくしてLを小さくする
 - 2) ドリフトチューブの径を小さくしてCを小さくする
 - 3) ギャップ長を長くしてCを小さくする
- の3点が考えられる。1)はシャントインピーダンス

表1：第3タンクコールドモデルの緒元

共振周波数	113.322MHz
タンク径	697.12mm
タンク長	520.41mm
ギャップ長	20.25mm
セル数	11

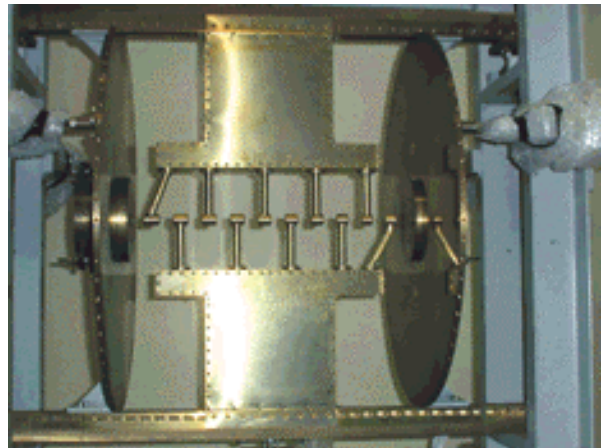


図1：第3タンクコールドモデル

が下がり、制作コストもかかるので、変更策として好ましくない。2)はドリフトチューブの肉厚が薄いのでステムとドリフトチューブの接合が問題となる。結果として、われわれは3)の方法を採用した。表1にギャップ長を変える前の第3タンクコールドモデルのパラメータを示す。この時のギャップ長の値からドリフトチューブの寸法を変えて共振周波数を測定し、共振周波数とギャップの関係を求める。その結果から周波数51.92MHzに相当するギャップの長さを決めことにした。図1は新しくドリフトチューブを取り付けた時のタンク3コールドモデルの写真である。スケールは実機の1/2.222である。最上流のドリフトチューブについてはステムをそのまま斜めに取り付けることができないので、ステムとドリフトチューブの間に若干テーパーをつけて、接合部から5mm程度垂直にステムを伸ばす形にした。空洞の両サイドの端板についてるエンドドリフトチューブ長を変更するとコストがかかるので、その長さは固定した。

¹E-mail:arakaki@post.kek.jp

3. 低電力試験測定システム

今回、共振周波数の変更作業の為に、共振周波数、Q値、電場分布、シャントインピーダンス等の測定を行った。測定システムは、PC、ベクトル電圧計VVM（HP8508A）、信号発生器SG（HP8644A）から構成される。それらの機器を操作するプログラムはVisualBasicで開発した。

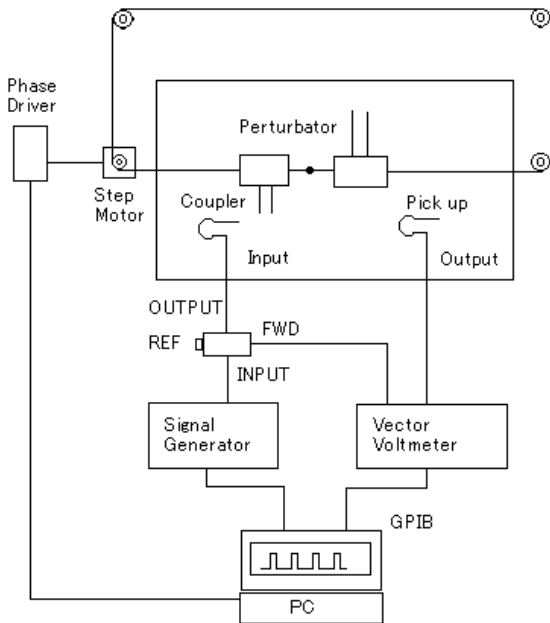


図2：低電力試験測定システム概念図

測定システムの概念図を図2に示す。信号発生器SGのRF信号は方向性結合器を通して空洞に送られ、FWD信号と空洞のピックアップ出力信号の位相差を測定することによりギャップ間の電場分布を求める。摂動体は、PCに取り付けられたPMCボード（MFU573）よりPhase Driver（UDX5105）を通して、モーターを回転させ動かす。

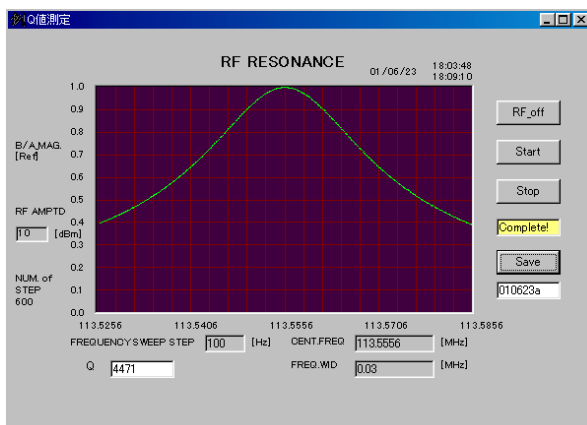


図3：共振曲線

SGとVVMはGPIBボード（PCI4301）を通してPCに接続され、周波数、振幅の設定、位相差の測定等行えるようになっている。

共振周波数とQ値の測定は、SGを周波数毎に変え、VVMで入力電圧（Va）と出力電圧（Vb）の比（Vb/Va）を測定し求めた。図3に共振曲線の例を示す。縦軸はVb/Vaの最大値で規格化してある。

ギャップ間にできる電場分布は以下のように求めた。共振空洞の中に導体球を動かして行く場合のi番目の位置での電場強度は以下のように表わされる。

$$E_i = \sqrt{\frac{P |\tan \Delta \alpha_i|}{2 \pi r^3 \epsilon_0 \omega}}$$

ここでPは空洞に供給される電力、 $\Delta \alpha_i$ はi番目の位置での位相差、rは導体球の半径、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ω は共振角周波数である。

各位置での位相差 $\Delta \alpha_i$ を測定することにより、電場強度の分布を測定することができる。

単位長さ当たりのシャントインピーダンスは次のようにして求めることができる。

$$Z_s = \frac{(\sum E_i dx)^2}{P L_t}$$

ここでPは空洞に供給される電力、 L_t はタンク長dxは軸方向の移動距離である。

4. 測定結果

摂動体はアルミ球に0.3mmの穴をあけ、0.285mmのナイロンの糸を通して使用した。摂動体の大きさに関しては、小さすぎると位相差の信号が弱く、大きすぎると電場を乱すおそれがある。摂動体の径を変えてシャントインピーダンスを測定し、その値が悪くならないように摂動体の径（ $\phi 3.175\text{mm}$ ）を選定した。パルスモーターのステップ角は1000パルス1回転である。アルミ球は1ステップ1.3mm(50pulse)ごとに動かし、振動などの影響を押さえる為に、移動後1秒おいて、VVMより得られた信号を10回のアベレージングを行って測定した。

図4は変更前のギャップに対する、電場分布とギャップ電圧の測定結果を示す。図5はギャップ長を変更した時の電場分布とギャップ電圧の測定結果を示す。ギャップ電圧は電場を各セル毎に軸方向に沿って積分して求めた。変更後のギャップ電圧の平坦性は良くなっている。周波数変更の測定結果を表2に示す。測定系のエラーや室温等の環境の影響で共振周波数は数kHz、Q値は数10、 Z_s は数M Ω /mの

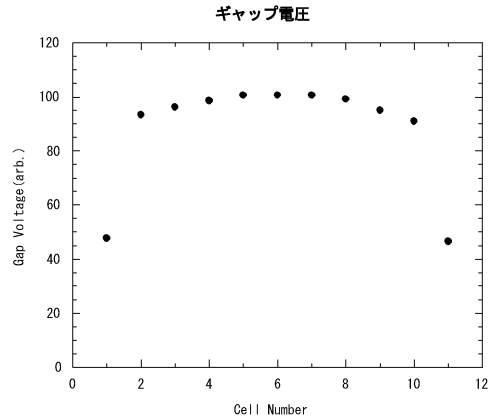
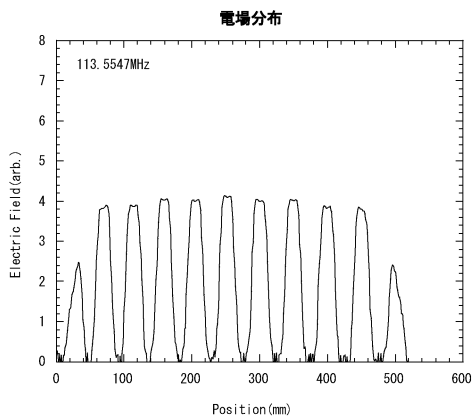


図4：ギャップ20.25mmの時の電場分布とギャップ電圧

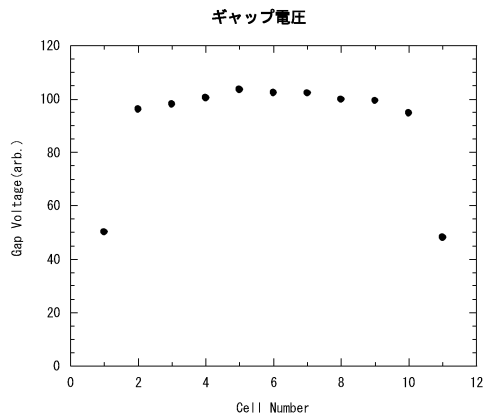
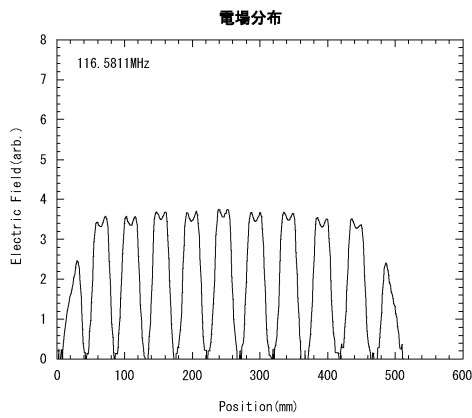


図5：ギャップ23.85mmの時の電圧分布とギャップ電圧

変動はある。コールドモデルでの測定結果、ギャップの長さを3.6mm変えた時、共振周波数は約3MHz変化することがわかった。ここで、共振周波数がほぼギャップの値に対してリニアに変化していると仮定すれば、実機の周波数51.92MHzに対するギャップの値は49.8mmとなる。

表2：低電力試験結果 ()は実機現在は45.0mm

ギャップ [mm]	共振周波数 [MHz]	Q値	シャントインピーダンス [MΩ/m]
20.25(45.0)	113.5547	4542	201
23.85(53.0)	116.5811	4416	204

5. まとめ

今回開発した周波数変更の為の低電力試験の測定システムを用いてIHコールドモデルによる周波数変更のテストを行い、要求される周波数に対するギャップの値を予測した。今後、変更すべき周波数に対応するドリフトチューブを取りつけ確認の為の測定を行う。また同様な測定を残りのタンクについても行う予定である。

参考文献

- [1] S. Arai. *et al.*, "Performance of the RNB Linac at KEK-TANASHI", Presented at the 6th European Particle Accelerator Conference, EPAC'98, June 22-26, 1998, Stockholm, Sweden.
- [2] M. Tomizawa. *et al.*, "Interdigital-H Linac for unstable Nuclei at INS", Presented at 1993 Particle Accelerator Conference, Washington, D.C, 17-20 May,