

IHリニアックの周波数変更のための改造と低電力試験

新垣 良次¹、新井 重昭、仁木 和昭、岡田 雅之、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田無で建設された短寿命核加速用インターデジタルH型リニアック (IH) を 原研東海研タンデム施設の超伝導リニアックの周波数と同期させるために、共振周波数を1.8%上げるための改造を行った。周波数の変更はモデルテストの結果に基づいてドリフトチューブのギャップの寸法を短くする方法で行った。ローパワーテストによって次の結果が得られた。1)共振周波数は目標値である51.92MHzに調整できた。2)Q値とシャントインピーダンスに関しては以前とほぼ同じ値が得られた。3) 電場分布に改造による影響は見られなかった。

1. はじめに

KEK田無において、短寿命核加速用リニアックが建設され、物理研究においては天体核物理実験、加速器の研究においてはビーム診断装置の開発や加速性能向上の為に技術開発等が行われてきた^[1]。このリニアックの施設は東海原子力研究所のタンデム施設に移設される。当面は短寿命核ビームを1.05MeV/uのエネルギーまで加速し、将来は既存のIHリニアックと超伝導リニアックの間にIH2リニアックを設け、エネルギーを6MeV/u以上まで加速し実験を行うことが予定されている。IHリニアックと超伝導リニアックの間で同期をとる為、IHの周波数を1.8%上げなければならない。その為に計算コードMAFIAを用いた3次元計算や実機の1/2サイズでのモデルテストを行った。周波数の変更方法としては、以下の点に重点を置いた。1) IHリニアックはシャントインピーダンスが高いという特色を持っているので、その特色を損なわないこと2) 機械的強度も維持できるようにすること3) 改造コストを抑えることである。今回、モデルを使った周波数の測定とそれをもとに実機の周波数変更のための改造を行い、IHの共振周波数を51MHzから51.92MHzに変更することができた。加えて電場分布の測定も行ったのでその結果について報告する。

2. モデルテスト

IHリニアックは全長5.6mで4台の空洞とその間に3台の4極電磁石から構成される。共振周波数は51MHzでエネルギー可変の線形加速器である。IHリ

ニアックの主な緒元を表1に示す。今回の変更において、IHリニアックは超伝導ブースターの共振周波数の2/5に当たる51.92MHzに上げるようになった。共振周波数を上げる方法としては、ドリフトチューブを削り、ギャップを大きくすることで静電容量を減らして周波数を上げる方法で行った。

表IHリニアックオリジナルデザイン値

	Tank1	Tank2	Tank3	Tank4
周波数(MHz)	51	51	51	51
荷電質量比	≥1/10	≥1/10	≥1/10	≥1/10
シンクロナス位相(deg)	-25	-25	-25	-25
タンク長(m)	0.68	0.90	1.16	1.53
ボア径(mm)	1.49	1.49	1.49	1.34
タンク径(mm)	20	24	28	32
ギャップ長(mm)	29	37	45	53
ドリフトチューブ径(mm)	38	44	46	52
セル数	9	10	11	12
デザインギャップ電圧(V)	200	255	315	370
加速エネルギー(MeV/u)	0.170 ~ 0.294	0.294 ~ 0.475	0.475 ~ 0.725	0.725 ~ 1.050

Tank4に関して、MAFIAの計算とモデルテストの測定で比較して見た。図1にその結果を示す。周波数はギャップに対してほぼ直線的に変化しているのがわかる。周波数の絶対値はMAFIAの計算ではモデルテストの測定よりも約2%低い値になっている。メッシュサイズは約200万である。この直線の傾きから目標値51.92MHzに対するギャップを求め、モデルの周波数と比較するとモデルの方が0.5%下がった値となる。チューナーの調整範囲はLチューナー、Cチューナー合わせて0.45%なので、MAFIAのみで周波数を予測するのはかなり精度を上げて計算しなければならない。3D計算で構造物を忠実に入力するのは困難なので、実際MAFIAの計算はドリフトチューブの寸法を推測することや、定性的な周波数変化を調べるのに用いられた。

¹ E-mail: arakaki@post.kek.jp

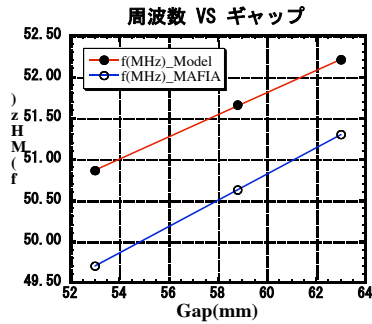


図1 計算 (MAFIA) と測定 (モデル) の違い

モデルを使って目標の周波数51.92MHzに相当するドリフトチューブの寸法を決めるのであるが、最初にモデルと実機でどの程度周波数の絶対値に違いがあるかを見る為に周波数51MHzの実機とモデルで比較して見た。その測定結果を表3に示す。チューナーは入ってない。Δfが実機とモデルテストで測定された周波数の差で、最大で0.26%程度の違いである。この差はアライメントエラー、細かい部分での構造物の違いによると考えられる。ここで、51.92MHzに対応したギャップを推測するのにΔfはギャップのみ変えても変化しないものと仮定した。図2にモデ

表3 コールドモデルと実機との比較

	Tank1	Tank2	Tank3	Tank4
Gap(mm)	29	37	45	53
f (MHz)_モデル	51.0810	51.0700	51.0890	50.8700
f (MHz)_実機	51.0840	51.1340	51.1800	51.0030
Δ f (kHz)	+3	+64	+91	+133
Ct (kHz/mm)	135/200	172/200	115/200	145/200
Lt (kHz/mm)	9/200	31/200	51/200	82/200

Ct : Cチューナーの可変範囲 (実機) 、L t : Lチューナーの可変範囲 (実機)

ルテストによって求められたギャップと周波数の関係を示す。黒まるが測定点で、縦線はチューナーで調整できる周波数の範囲である。Tank 1 からTank3までの曲線は測定点からベストフィットして求めた。特にTank3に関してはS字型の曲線が得られたがこれはMAFIAの計算によっても確かめられた。^[2] 図3にIH空洞の内部構造を示す。TANK4の場合、軸対象性を仮定して計算コードPOISSONによるStaticな計算で周波数とギャップの関係性を求めた。周波数とギャップの関係は(1)式を仮定した。CgをPOISSONでの計算で求め、図2のTank4で両端の測定データを用いるとLとC0が決まるので曲線を求めることが出来る。両端以外の測定点と曲線を比較すると10kHz以下の精度で一致した。図2において、目標周波数に対するGapの値を決めるのに、目標値51.92MHzがチューナーのレンジの真中にくるようにギャップ値を決めた。

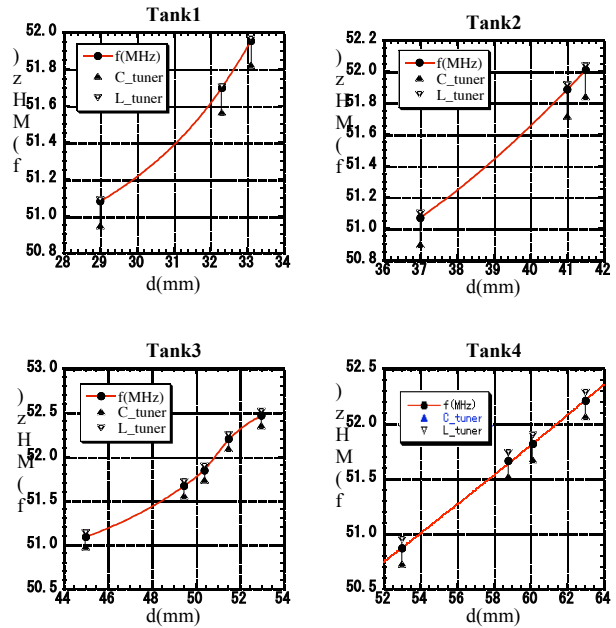


図2 IH周波数特性

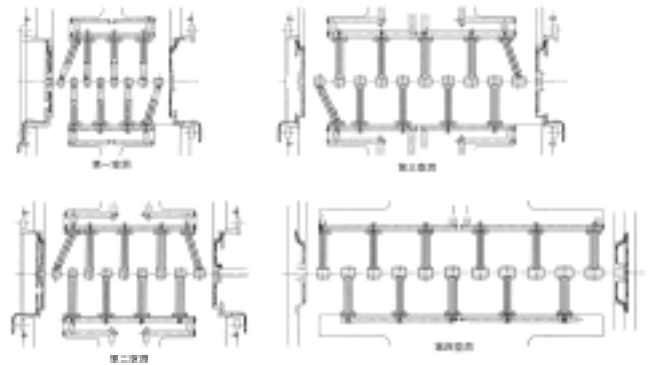


図3 IHリニアック空洞の内部構造

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c_0 + c_g)}} \quad (1)$$

f: 共振周波数
C₀: ギャップ以外での静電容量
C_g: ギャップでの静電容量
L: インダクタンス

次に、図4にPOISSONによって計算された電場分布を示す。Eはビーム軸上での軸に沿った向きの電場である。ギャップ間が広がると中心付近の電場は若干下がる。TTF(Transit Time Factor)は2.7%下がったが、加速粒子を同期させる為には、その分電圧をあげれば良いことになる。

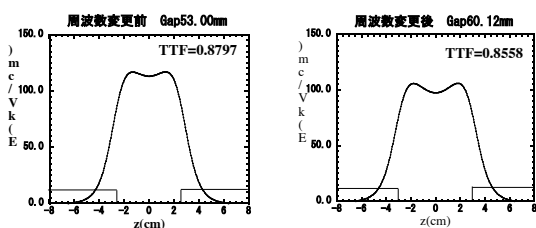
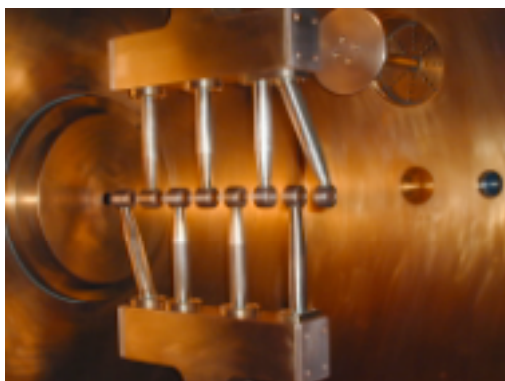


図4 電場分布 (ギャップ電圧370kV)

3. IHリニアックの改造と測定結果

図5にTank1の改造後の写真を示す。ドリフトチューブが十分長いものに関しては、その端部を切削し特にSTEMの加工は行わなかった。特にタンク1からタンク3の前段のドリフトチューブに関しては、端部のRをできるだけ残す為にSTEMの接合部を加工した。

図5 改造後のTANK1の写真



Tank1の場合、実機の周波数はモデルテストから決めた値より0.23%高くなった。チューナーの調整範囲も超えてしまったので、8.3mmの銅板をリッジの両端に取り付けて静電容量を増やし周波数を下げた。Tank3に関しても、0.24%高く出ていると予想されたので、既存の13mmの銅板をそのまま使うことにした。Tank2,Tank4は0.02%以下の精度で測定した周波数とモデルテストから決めた周波数が一致した。表4に改造後の実効シャントインピーダンスとQ値を示す。測定はチューナーで調整後の値である。変更前(51MHz)の時の測定^[1]とほとんど違いはない値である。

表4 周波数変更後の測定結果

	f (MHz)	Z _s (MΩ/m)	Q値
Tank1	51.920	274	12510
Tank2	51.920	268	14646
Tank3	51.920	249	17304
Tank4	51.920	228	18558

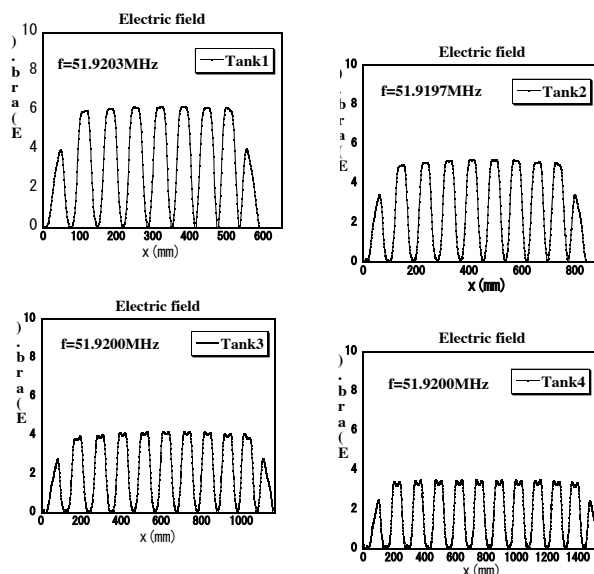


図6 周波数変更後の電場分布

周波数変更後の電場分布はφ6.3mmのビーズを2.6mmステップごとにステップモーターで動かして測定した。図6にその結果を示す。平坦性は良い。

4. まとめ

Tank2とTank4に関してはかなり良い精度で周波数を合わせることができた。Tank1に関してはリッジに銅版を取り付けることにより周波数の調整を行い、最終的にはIHリニアック4空洞の目標の周波数51.92MHzがチューナーの可変範囲に入ったことが確認された。電場分布やシャントインピーダンスやQ値が測定され、良好な結果が得られた。今後、東海研に於いて、リニアックを設置した後、アライメント、真空引き、高電力試験等が行われる予定である。

参考文献

- [1] S. Arai, et al., "Performance of the RNB Linac at KEK-TANASHI" Proceedings of the 6th European Particle Accelerator Conference, EPAC'98 June 22-26, 1998, Stockholm, Sweden
- [2] Y. Arakaki, et al., "A CHANGE OF FREQUENCY OF IH-LINAC FOR RADIOACTIVE NUCLEAR BEAMS" Proceedings of the 8th European Particle Accelerator Conference EPAC'02 June 3-7, 2002, Paris, France
- [3] M. Tomizawa, et al., "PROGRESS REPORT ON THE CONSTRUCTION HEAVY-ION LINACS FOR RADIOACTIVE NUCLIE" Proceedings of the 10th Symposium on accelerator science and technology October 25-27, 1995, Hitachinaka, Japan