

[09-A10]

DEVELOPMENT OF THE RIDGED RF CAVITY RESONATOR FOR ELECTRON ACCELERATOR

S. Takama, K. Isokawa, A. Yamaguchi, N. Hayashizaki^A, T. Hattori^A, M. Odera^A, T. Fujisawa^B

Toshiba Corporation

20-1 Kansei-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-0034, Japan

^AResearch Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology

2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan

^BNational Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan

Abstract

We have been developed a ridged RF cavity resonator for the CW electron accelerator Ridgetron. A 2.5 MeV prototype has been tested for the beam acceleration. Because a severe beam divergence was observed, the acceleration electrodes were modified with MAFIA calculations. The modification of the electrodes and its result are described in this paper.

電子加速器用リッジ付高周波キャビティの開発

1. はじめに

電子ビームの工業照射用装置として、10 MeV級のCW電子加速器の開発を行っている[1]。この加速器は1台のリッジ付高周波キャビティで電子を繰り返し加速するもので、大電力ビームをコンパクトな装置と低い電力損失で達成することができる。昨年度、2.5MeV、6kW(CW)のプロトタイプ機を製作し、現在加速試験を継続中である。本予稿の別報告[2]の装置全体図に示すように、この装置は主に電子銃、円筒形のキャビティ、リッジと呼ばれる加速電極、偏向電磁石で構成されている。電子銃から入射された電子はリッジ間の加速ギャップ(以下最初に電子が加速されるギャップを第1加速ギャップと呼ぶ)に発生する高周波電場で加速され、偏向電磁石で180度偏向を受けた後、再度加速される。プロトタイプ機ではこれを5回繰り返し、2.5MeVのエネルギーを得る。今回は、プロトタイプ機のキャビティ設計、加速試験及びリッジの改造について報告する。

2. キャビティ設計

当初の設計では、図1に示すようにリッジに切り欠きを設けることでリッジ間の電圧分布を平坦化しており、電圧分布とキャビティの電力損失はリッジの突出し量 l に依存する。図2に突出し量 l とリッジ中心部のリッジ間電圧(第3加速ギャップの電圧)で規格化した電圧分布、電力損失

の関係を示す。電力損失の目標値は40kW以下(100%Q値)であったため、 $l=100\text{mm}$ を採用した。このときの、MAFIAによる共振周波数は101.5MHz、Q値は25,800であった。装置を製作し、コールドテストを実施した結果、Q値は23,300、共振周波数は101.4MHzであった。

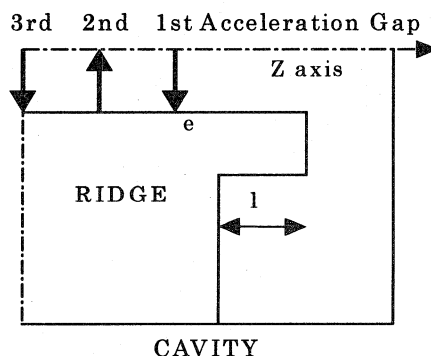


図1 キャビティモデル図

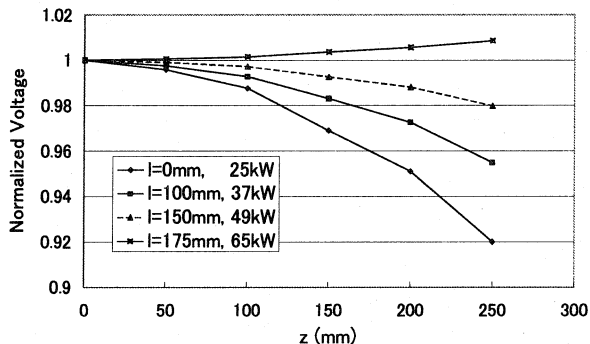
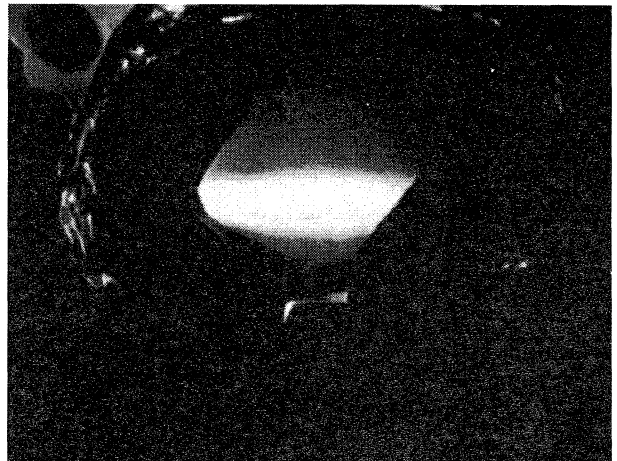


図2 突出し量 l と電圧分布

2. 加速試験

キャビティのエージング終了後、第1加速ギャップで電子を加速したところ、電子ビームの断面が水平方向(図1のZ軸方向)に広がっていることが分った。図3に第1加速ギャップ中心からビーム進行方向に0.6m下流の位置にあるview portに取り付けた蛍光板によるビーム像を示す。この広がりにはview portの径である100mm以上であった。3次元電磁解析コードMAFIAにより第1加速ギャップの電磁場を求めたところ、最大で1.3mTの磁場が垂直方向に発生していることが分った。図4はこの電磁場を元に電子軌道計算を行った結果である。この計算で、ビームはペンシルビームとし、空間電荷効果は無視した。横軸は入射電子の位相、縦軸は電子が第1加速ギャップ中心を通過した後、0.6m進行したときのZ軸方向の変位量である。図4からこの位置でのビーム広がりが160mm以上になり、観測結果と矛盾しないことが分った。ビームの加速位相幅が45度程度であるとしても、ビーム広がりは35mm程度となり、第1加速ギャップ以降のビームの輸送が困難となる。そこで、リッジを改造することで磁場を抑制し、磁場によるビーム広がりを10mm以下にすることにした。

ム広がりには6mm程度となる。この場合の共振周



波数計算値は92.5MHz、Q値は24,000であった。

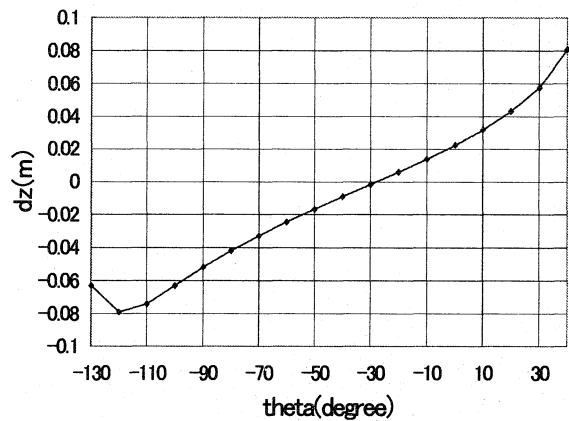


図3 水平方向に広がったビーム像
図4 電子入射位相とZ軸方向変位量

3. リッジの改造

原理的にはリッジ間の電圧分布を100%平坦にすれば、加速ギャップでの垂直方向の磁場を無くすることができる。今回使用したRFアンプの共振周波数下限値は90MHz、出力上限値は約50kWであるため、この条件に適合したうえでリッジを改造する必要があった。電圧分布を平坦にする方法としては図5(a)のように突出し量1を伸ばす方法と図5(b)のようにブロックをリッジ端部側に取付ける方法などが考えられる。今回はシャントインピーダンスをできるだけ下げたくなかったので、図5(b)のタイプを採用することにした。図6にブロックの無い場合と有る場合についてMAFIAで計算した、リッジ間の垂直方向磁場の分布を示す。磁場は空洞の中心軸上の値を計算した。図6よりブロックを取付けると、全体的に磁場が弱くなるとともに、第1加速ギャップのある $z=240\text{mm}$ の位置で特に磁場が弱くなっていることが分る。これはブロックの回りに発生する磁場が垂直方向の磁場を打ち消す方向にあるためである。ブロック有りの場合の電磁場計算値から電子軌道計算を行い、その結果を図7に示す。図7より加速位相幅45度で、ビー

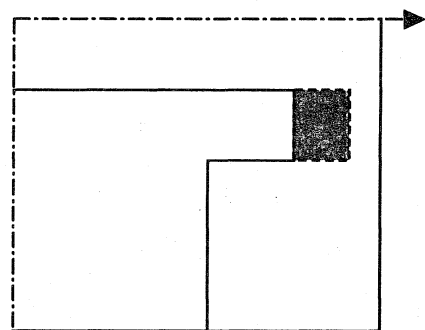


図5(a) 改造リッジその1

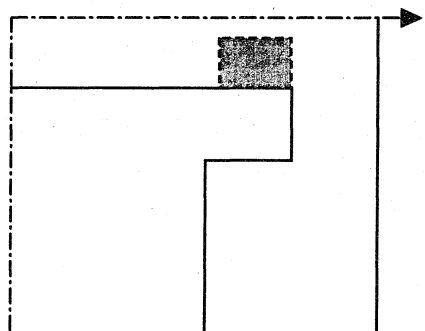


図5(b) 改造リッジその2

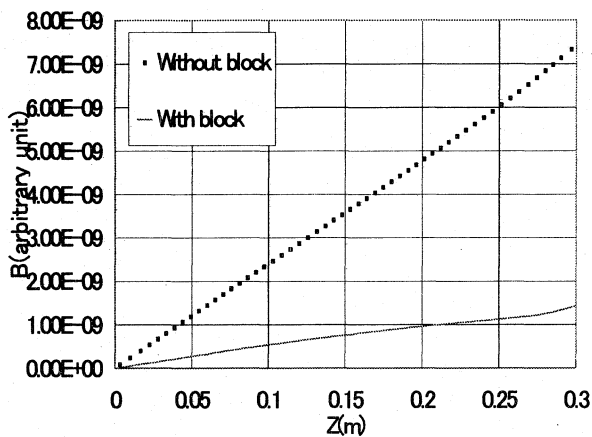


図6 磁場分布

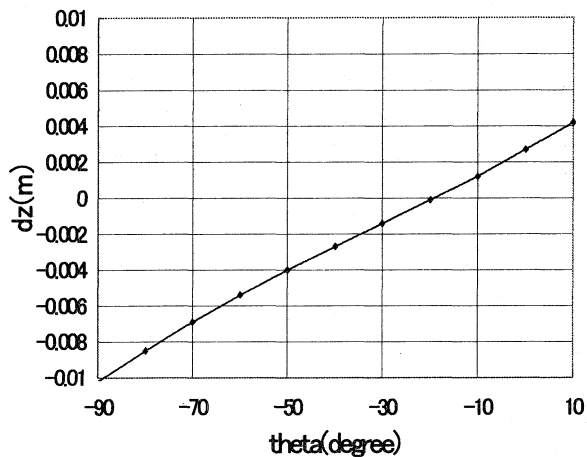


図7 電子入射位相とZ軸方向変位量(改造後)

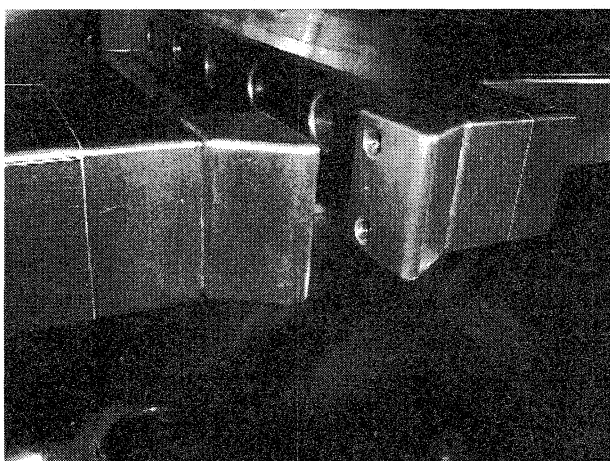


図8 改造したリッジ

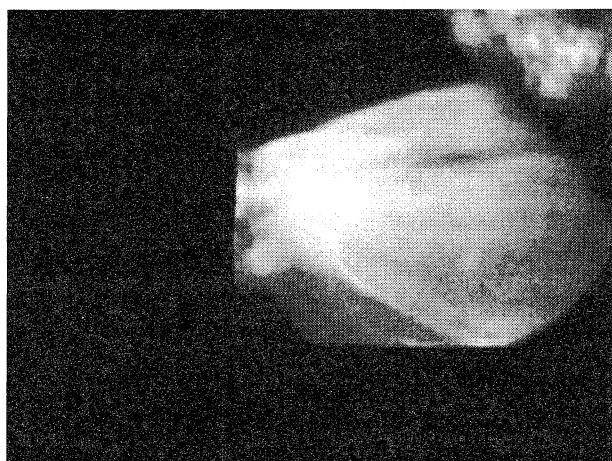


図9 リッジ改造後のビーム像

以上の計算を元にブロックを製作し、コールドテストを実施した。図8にブロックを取付けたリッジの写真を示す。共振周波数は92.8MHz、Q値は21,000となった。ブロックを取り付けたことでリッジ間の最小距離での電界強度は、キルパトリック放電限界の1倍程度となった。キャビティのエージングをCWで行ったが、特にマルチパクターリングは起きていないようである。第1加速ギャップでビームを加速したところ図9の蛍光板によるビーム像に示すように、ビームの水平方向の広がりが垂直方向の広がりと同程度まで縮小していることが確認できた。図8ではビームの像が歪んでいるが、これは電子銃側のビーム軸の調整が不完全であるためと考えられる。今後ビーム軸の調整を行う予定である。

4. まとめ

リッジ付高周波キャビティのプロトタイプ機の加速試験を行った結果、リッジ間の磁場で電子ビームが水平方向に広がっていることが確認された。磁場を抑制するため、リッジ端部側にMAFIAにより設計したブロックを取付けたところビームの水平方向の広がりは垂直方向の広がりと同程度まで縮小できた。現在、この改造リッジを使用して定格運転に向け調整中である。

参考文献

- [1] N.Hayashizaki et al., "Application of Ridged RF Cavity Resonator for Electron Accelerator", Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, 1998.
- [2] K.Isokawa et al., "Application of Ridged RF Cavity Resonator for Electron Accelerator(II)", Proc. of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1999.