

[F18p25]

Modal Analysis of a High Shunt Impedance Accelerating Structure

K.Hanakawa, M.Yamada, N.Nakamura, H.Kobayashi^A,
N.Nakamura^B, T.Koseki^B, H.Takaki^B and Y.Kamiya^B

Communication Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation
8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo 661-8661, JAPAN

^A Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaragi 305-0801, JAPAN

^B The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo
7-22-1, Ropponogi, Minatoku, Tokyo 106-0032, JAPAN

Abstract

The Institute for Solid State Physics, the University of Tokyo is planning a project of a high-brilliance photon source. The injector is a 1GeV linear accelerator. It consists of 3m accelerating structures. We studied a higher shunt impedance accelerating structure than the SLAC-type structure. Here, we will present the analysis of TM_{01} -mode and HEM_{11} -mode with 3D-electromagnetic field simulation code (MAFIA4.01).

高シャントインピーダンス進行波型加速管のモード解析

1.はじめに

東京大学物性研究所で計画している高輝度光源では、ストレージリングに1GeVの電子ビームを入射する。入射には多数の3m定勾配進行波型加速管を用いた線型加速器を使用する[1]。

本研究では、SLAC型加速管にくらべて、高いシャントインピーダンスをもつ加速管の検討を、RF電磁場シミュレーションコード(MAFIA4.01)を用いて実施した。シミュレーションによって加速モード TM_{01} のシャントインピーダンス、Q値、群速度などを算出した。また、本線型加速器には低速陽電子発生用に高電流・長パルスビームモードがあるので、多段型BBU(Beam Breakup)発生についても検討する必要がある。BBUを引き起こす HEM_{11} モードのシャントインピーダンス、Q値も算出し、BBUの発生の可能性を評価した。

2.進行波型加速管

円形導波管に周期構造を持たせることにより、マイクロ波の位相速度、群速度を制御できる。電子の進行波型加速管では、加速モードのRF電場の位相速度を $v_p=c$ (光速度)にすることにより、効率よく加速する構造を採用している。

現在、一般に電子線型加速器に用いられている進行波型加速管はSLACで開発されたものを基本にしている。ここではSLAC型を改造した高シャントインピーダンス進行波型加速管を検討する。

(1)SLAC型加速管

SLAC型加速管は図1のような形状になっており、ボア径 $2a$ のディスクと内径 $2b$ のシリンダーから構成され、ディスク間隔は35mmである。

(2)高シャントインピーダンス進行波型加速管

高シャントインピーダンス進行波型加速管は図2のようにSLAC型加速空洞のシリンダー部の直線部を曲線にしたものである。日本では日本原子力研究所東海研究所で試作されている[2]。以下、高シャントインピーダンス進行波型加速管を高Z加速管と略す。

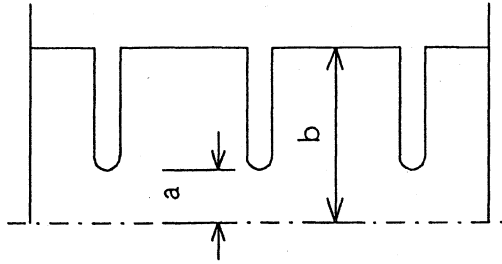


図1 SLAC型加速管

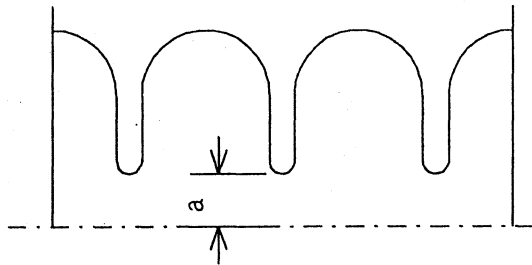


図2 高シャントインピーダンス加速管

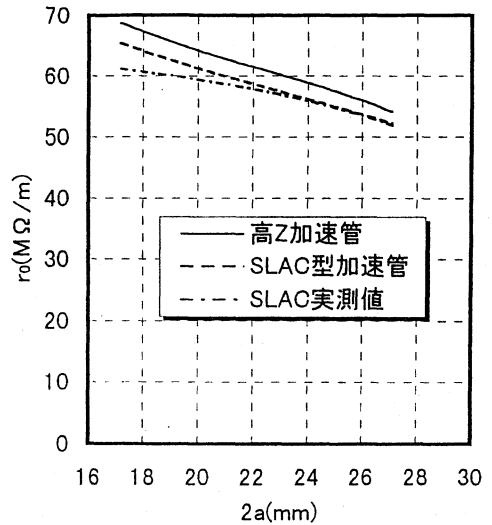


図3 TM₀₁モードのシャントインピーダンス

3.シミュレーション

空胴解析には、3次元電磁場計算コード(MAFIA4.01)を用いた。図1,2のような3空胴モデルを作り、2次元モノポール(ダイポール)オプションで計算させた。メッシュ数は10万である。

3.1.加速モード

進行波型加速管は加速モードがTM₀₁の2π/3モードになるように設計されている。

加速モードの基本空間高調波電場から、加速空胴を特徴づけるパラメータであるシャントインピーダンスr₀、Q値、および群速度を算出した。群速度は0, π/3, 2π/3, πの4モード共振周波数から算出した。

SLAC型加速管空胴と高Z加速管空胴で2aを変化させたときの基本加速電場のシャントインピーダンスを図3に、空胴のQ値を図4に示す。図3,4にはSLACで実測された空胴のシャントインピーダンス、Q値も示してある[3]。

高Z加速管のシミュレーション結果はSLAC型加速管のシミュレーション結果にくらべ、シャントインピーダンスで約6%、Q値で約7%、大きくなっている。また、群速度は約3%小さくなっている。

以上の結果から高Z加速管を用いることにより、加速エネルギーで約3%の増加が期待できる。

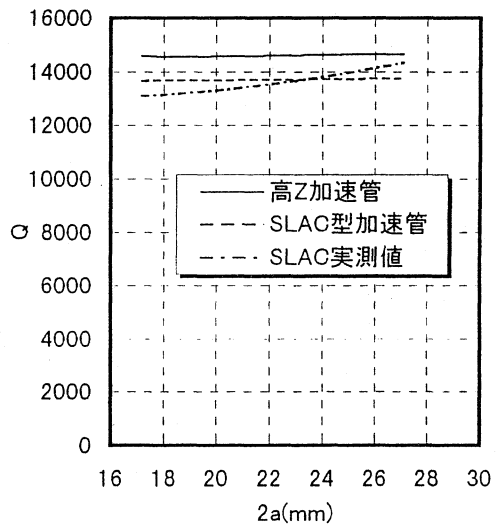


図4 TM₀₁モードのQ値

3.2.偏向モード

BBUを発生させる主な偏向電磁場モードはHEM₁₁のπモードである。そこで、HEM₁₁モードについて径方向のシャントインピーダンスr_⊥とQ値を算出した。一般にr_⊥は以下の式で表わせる。

$$r_{\perp} = \frac{[(1/\beta)(\partial E_z / \partial r)]^2}{dP/dz}$$

ここで、βは波数、E_zは軸方向の電場、Pは空胴でのRF電力損失である。

SLAC型加速管空胴と高Z加速管空胴での2aを変化させたときのr_⊥を図5に、Q値を図6に示す。

高 Z 加速管は、シャントインピーダンスで約 7% 小さくなり、Q 値で約 7% 大きくなっている。

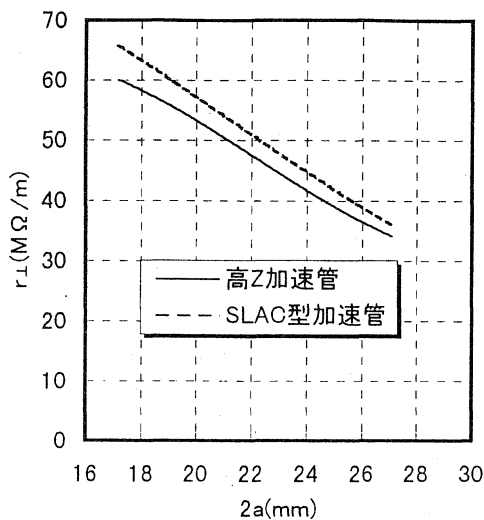


図5 HEM₁₁モードのシャントインピーダンス

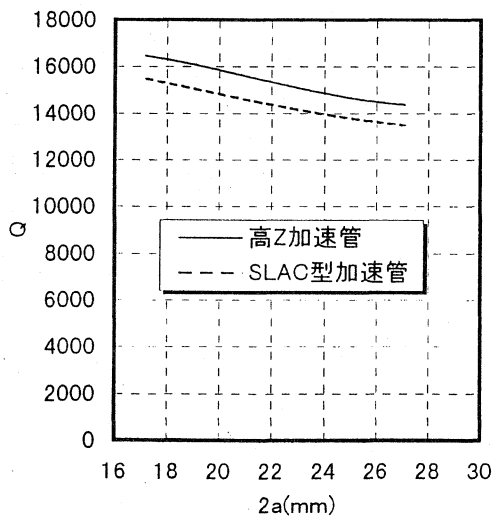


図6 HEM₁₁モードのQ値

4. 考察

再生型 BBU は、多段の加速管での小さな偏向電磁場が増幅され、最後には発散してビームが消失する。BBU の発生は、Fe と呼ばれている e ホールディング係数により特徴づけられ、Fe が大きいほど BBU の発生確率が高くなる。Fe は HEM₁₁ モードのシャントインピーダンス r_{\perp} と Q 値について以下の関係がある[4]。

$$F_e \propto \left(\frac{r_{\perp}}{Q} \right)^{1/3}$$

表 1 に $2a=21.5\text{mm}$ での r_{\perp}/Q の値を示す。

表 1 r_{\perp}/Q ($2a=21.5\text{mm}$)

加速管	r_{\perp}/Q
高 Z 加速管	3164 Ω/m
SLAC 型加速管	3624 Ω/m

SLAC 型加速管に比べ、高 Z 加速管は Fe 値が約 4% 小さいので、BBU はより起こりにくくなっていると予想される。

5. 結論

高 Z 加速管を用いることにより、SLAC 型加速管に比べ、シャントインピーダンスが約 6%、エネルギーゲインが約 3% 増加することがわかった。また、HEM₁₁ モードのシャントインピーダンスは小さくなり、Q 値は大きくなることがわかった。このことより BBU は SLAC 型加速管にくらべて発生しにくいと予想される。

今後、SUPERFISH コードとの比較、原研東海研究所で開発された高 Z 加速管の加速モード、偏向モードの低電力測定を行い、MAFIA での計算結果と比較を行い、シミュレーション値の信頼性の評価を行うとともに、BBU 評価値 Fe がどの程度までが実用範囲かを調査し、高 Z 加速管を採用するかどうかを検討する。

6. 謝辞

MAFIA に関して、いろいろ助言いただいた JASRI の谷内氏、又、原研東海研で開発された高 Z 加速管の情報をこころよく提供いただいた JASRI の横溝氏、吉川氏に、この場をかりて感謝します。

7. 参考文献

- [1] N. Nakamura et al., "CONCEPTUAL DESIGN OF AN INJECTOR LINAC FOR VSX PROJECT OF THE UNIVERSITY OF TOKYO", Proceedings 23th Linear Accelerator Meeting in Japan.
- [2] H. Yoshikawa et al., Proceedings 14th Linear Accelerator Meeting in Japan, p66.
- [3] G.A. Loew and R.B. Neal, Accelerating Structures, Linear Accelerators, ed. P.M. Lapostolle and A.L. Septier, North-Holland Publ. Co., Amsterdam (1970) Chap.B.1.1, p39.
- [4] R.H. Helm and G.A. Loew, Beam Breakup, Linear Accelerators, ed. P.M. Lapostolle and A.L. Septier, North-Holland Publ. Co., Amsterdam (1970) Chap.B.1.4, p173.