

USE OF SLOT ANTENNAS IN MEASUREMENT AND TRANSIENT ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELD CREATED BY ELECTRON BEAM

Hiroyasu ITOH, Satoshi TOMIOKA, Takeaki ENOTO

Department of Nuclear Engineering, Hokkaido Univ.
North13 West8 Kita-ku Sapporo, Hokkaido, Japan

ABSTRACT

Slot antennas can be used as beam monitors of linear electron accelerators. When slot antennas are applied to beam position monitors, antennas are put on both sides of the electron beam. If the output voltage is not affected by the angle of elevation of the beam, the beam position can be measured accurately using the output voltage of both right and left slot antennas. Since our experiments determined that the angle of elevation did not significantly change the results, the direct dependence of distance (regardless of beam slope) to output voltage was confirmed. The results of the measurements are presented.

As the output voltage results of the slot antenna monitor is dependent upon the electromagnetic field present, and the electromagnetic field is affected by the boundary conditions, our analysis will focus primarily on the fluctuations in time of the electromagnetic field created by the electron beam. In the study reported here, the finite difference time-domain (FDTD) techniques are used to calculate the electromagnetic field excited by a multi-bunched electron beam. As a starting point we consider Gaussian bunches passing along the axis of a cylindrical waveguide at almost the speed of light.

スロットアンテナによる電子ビーム測定とその過渡解析

【はじめに】

電子線形加速器を用いた研究においては、電子ビームの位置や波形情報などを精度よく得ることが要求されており、そのためにはビームモニターが必要である。本研究では高 S/N比、高出力などが期待できるスロットアンテナのビームポジションモニターへの応用を目的としており、電子ビームの作る電磁界の解析並びに基礎実験を行ってきた⁽¹⁾。今回、時間領域での電磁界解析には FDTD法を用いた。

【実験体系】

本研究には北大 45MeV ライナックの電子ビームを、パルス幅 10nsec、繰り返し 40pps にて使用した。ターゲット孔から約 50cm 離れた所に X-Y ステージを設置し、スロットアンテナをこれに取り付けた。このアンテナは、マイクロストリップラインを 2 枚の誘電体基板 (200mm × 50mm × 1.6mm) ではさむ構造になっており、スロットからの結合ワイヤーより給電される。アンテナからの出力は、オシロスコープ (帯域 100MHz) で観測する。また解析との

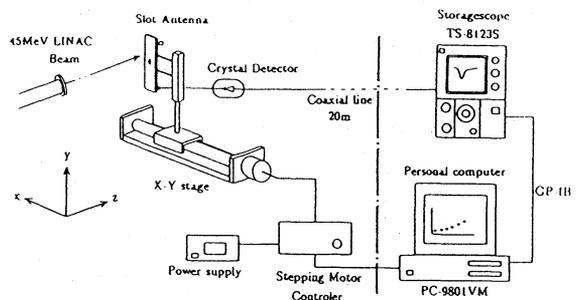


図1 測定体系図

比較検討を容易にするため、周囲金属による影響を避ける目的で体系を電波吸収材で覆っている（図1）。

スロットアンテナをポジションモニターとして利用するには、ビームの上下左右に配置する体系が考えられる（図2）。この配置で電界測定を行えば、アンテナの出力電圧はビームからスロットまでの距離に依存しているため、ビーム両側の出力電圧比からビーム位置を求めることができる。但し、ビームが左右のアンテナ要素の中心軸上から上下に外れた場合には、左右のアンテナではビームに対する角度が異なる（ θ_1 と θ_2 ）。アンテナの出力特性が角度（あるいはy方向）に依存して変化するのであれば、得られた出力電圧からではビームの正しい位置が分からない。そこで角度依存性を調べるために、ビームに対するアンテナの高さyをいろいろと変化させて、それぞれ出力の距離特性の測定を行った。

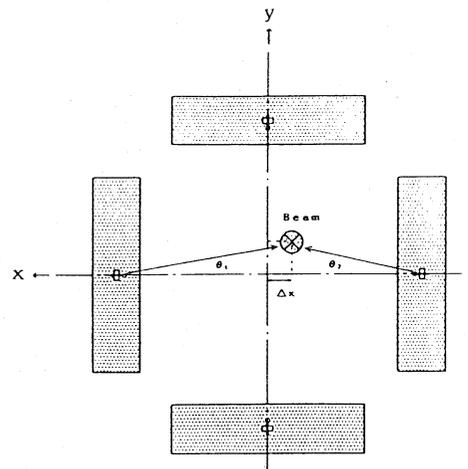


図2 ポジションモニター配置図

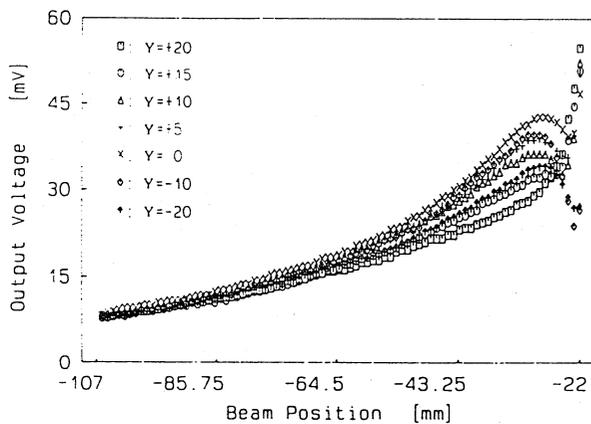


図3 アンテナ出力特性（スロット数1つ）

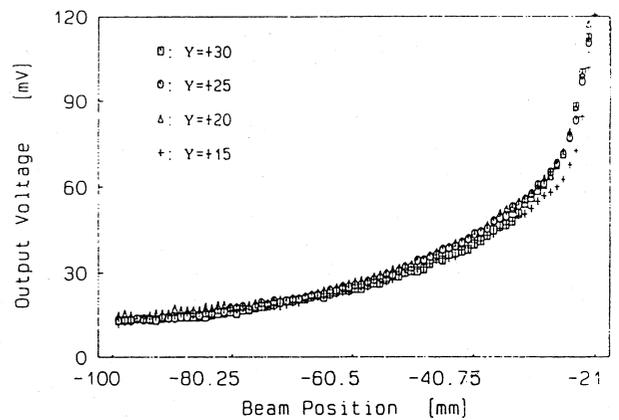


図4 アンテナ出力特性（スロット数3つ）

【実験結果】

アンテナによる出力結果を図3、図4に示す。矩形スロットのサイズは長さ6mm、幅3mmであり、図の横軸はビームとアンテナの距離、縦軸は観測波形の出力電圧（ピーク値）である。アンテナとビームとの距離が近いときには、アンテナのビームに対する角度 θ が大きくなることや周囲金属との間の多重反射などにより出力にばらつきが見られるが、アンテナとビームとの距離を大きくとり、 θ の変化幅が小さい場合には、高さyを変化させても同様な距離特性が得られた。そしてスロット数を3つに増やした場合には、y方向依存性をさらに小さくすることができた。この結果より、アンテナが最適に設計された場合にy依存性はほとんどなくなり、アンテナ出力はビームとアンテナの相対距離Xabの距離特性関数G(Xab)のみで表現できると言える。

【FDTD法によるシミュレーション】

周囲の境界がアンテナの出力特性に影響を及ぼすことから、実験では電波吸収材の配置により電磁波の反射を極力抑えて、理想的な境界条件である無限空間に近づけることを試みたが、ビームモニターは本来、他の実験体系と共に用いられるため、コンパクトであることが要求される。そのため大きな電波吸収材を置くことは現実的ではない。そこで、逆に反射を積極的に起こすような形状のモデルを考え、その条件でのアンテナの出力特性がどのようになるか、また放射電磁界によってどのような高次モードの場が形成されているかなどの境界条件を考慮した電磁界過渡解析が必要となる。最初のモデルとして、

電子ビームの周囲に円筒形導波管を配置し、その中心軸上をパルス電流が流れる場合を考えた。解析空間は60mmφ×200mmの円柱の軸に平行な断面をとった。今回解析に用いたFDTD法はMaxwell方程式を時間および空間に対して直接差分する方法⁽²⁾であり、この解析モデルに対しては円柱座標系について差分化を行った。計算を簡単にするために軸対称を仮定し、電場は半径方向 E_r と軸方向 E_z をもち、磁界は円周方向 H_ϕ のみをもち、電子ビーム1パルス(10nsec)中には、数10psecの間に集群された微細構造パルス列が、加速電磁波の周期(350psec)で繰り返されている⁽³⁾。今回の計算にはビーム径6mmφに一様分布し、進行方向に半値幅20psecのガウス分布をする線状電荷を仮定した。

【計算結果】

円筒形導波管(解析空間)へのパルス入射後917psecの E_r 、 E_z の電位分布を図に示した。この結果より進行方向の電場 E_z は小さくなるが横方向の電場 E_r は大きいままで、電磁場は進行方向に扁平な回転楕円体状になることがわかる。計算の精度をあげるためには、さらに境界条件や電流密度分布の与え方、計算の安定性のためのクーラン数などについて検討する必要がある。

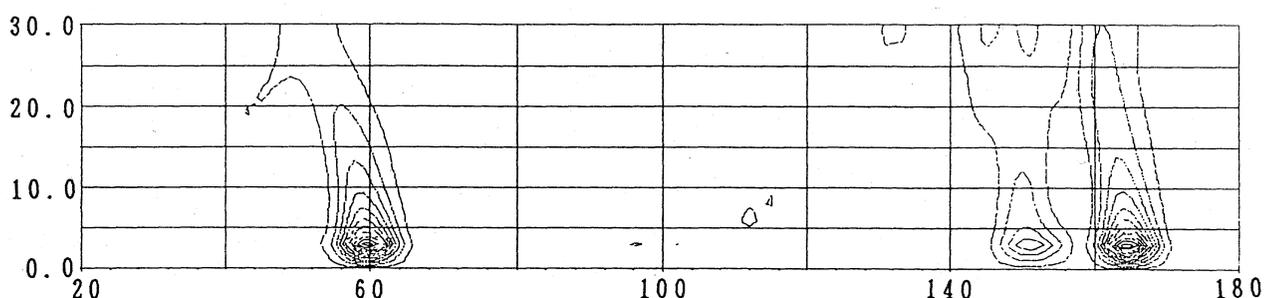


図5 E_r 成分の等電位線 $DR = DZ = 1.0E-3$ (m) $DT = 1.668$ (psec)

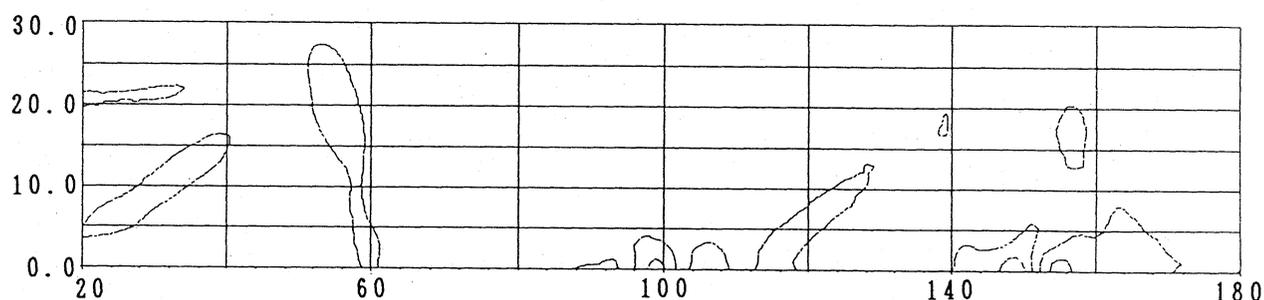


図6 E_z 成分の等電位線

【今後の予定】

円筒形導波管の内部にアンテナを設置して実際に測定を行う予定である。また、その形状による境界条件を考慮した電磁界解析を行い、アンテナの周囲にどのような場が形成され、それによってアンテナの出力特性がどのような影響を受けるのかの検討を行う予定である。

(参考文献)

- (1) T. ENOTO, A. ENDOH, "Beam Position Monitor by Slot Antennas", PROCEEDINGS OF THE 10th MEETING LINEAR ACCELERATOR IN JAPAN, Vol. 18, PP. 76-78, 1985.
- (2) K. S. YEE, "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-14, pp. 302-307, 1966.
- (3) H. MIURA, T. ENOTO, S. TOMIOKA, H. ITOH, "An Application of a Slot Antenna to Electron Beam Monitor", PROCEEDINGS OF THE 16th MEETING LINEAR ACCELERATOR IN JAPAN, pp. 263-265, 1991.