

SPECTRA MEASUREMENT OF THE LINAC BEAM NEARFIELD USING SLOT ANTENNAS

Shusuke NISIYAMA, Hiroyasu ITOH, Satoshi TOMIOKA, Takeaki ENOTO

Division of Quantum Energy Engineering, Graduate school of Engineering, Hokkaido University
Kita-13jo Nisi-8chome Kita-ku Sapporo, Hokkaido, 060, Japan

ABSTRACT

The spectra of an electromagnetic field around an electron LINAC beam was measured with small slot antennas. The shown spectra are described as the products of frequency response of the slot antennas and the LINAC beam spectrum, which depends on the micro-pulse structure. The results show that the detected signals were mainly harmonics, since the dimensions of the antennas were smaller than the wavelength of the acceleration microwave. It is also shown that the relation of the detected signal power and the distance between the beam and the slot varied at very adjacent to the beam in some frequencies, that depends on the antenna plate size.

スロットアンテナを用いたライナックビーム近傍電磁界のスペクトル計測

1. はじめに

これまでに、著者らはビーム近傍の電磁場に注目し、それをスロットアンテナで検出するタイプの非接触型ビーム位置モニタの研究を行ってきた。スロットアンテナは、原理的には無限に広い導体板上に設けたスロット(細孔)が磁流ダイポールとして働くアンテナであり、通信用にはスロットの長さが目的の周波数で1/2波長となるように設計される。しかし、ビームモニタとして、ビームの周囲や加速器の内部に複数のアンテナを配置するためには、導体板の寸法は加速高周波の波長の数分の一に、スロットの長さはさらに小さくせざるを得ない。一方、線型加速器やシンクロトロンのような高周波加速によるビームでは、位相集群の結果、ビーム近傍の電磁場には加速高周波の周波数のみではなくその高調波も多く含まれる。そのため、高調波成分に合わせた寸法、形状のスロットアンテナを用いることでビームからの電磁場を検出することができる。また、微細構造パルスの状態は電磁場のスペクトルに反映されるため、測定系の周波数特性が既知であれば、スペクトルから微細構造パルスの状態を非破壊的に推定することが可能である。

本稿では、導体板の寸法が異なるスロットアン

テナを用いて検出した電子線型加速器ビーム周辺の電磁場のスペクトルと、各高調波におけるビーム位置モニタとしての特性を示す。

2. 実験体系

実験は北海道大学の45MeV電子線型加速器(2855MHz)を用い、パルス幅10ns、繰返し周波数10pps時のビーム電流が40nAのビームでおこなった。実験に用いたスロットアンテナは、両面に銅箔が張られた矩形の誘電体基板(厚さ1.6mm・グラスエポキシ製)の片面中央に矩形のスロットを設け、スロット中央部に生じる電位差を裏側から同軸ケーブルを通して取り出す構造である。スロットの大きさは3×6mm、誘電体基板の大きさは12×24mm、18×36mm、24×48mmの3種類のスロットアンテナを用いた。これを電子ビームの側方に、スロットをビーム上流へ向け、加速器のビーム取り出し窓から600mm下流に設置した。また、スロットアンテナの周囲は、一辺が600mmの電波吸収材を用いて簡易な電波暗室の状態にした。スロットアンテナから取り出された信号は、図1に示すようにバンドパスフィルタで特定の高調波を選別し、クリスタル検波器(HP423B)でマクロパルスのエンベロープに変換した後、オシ

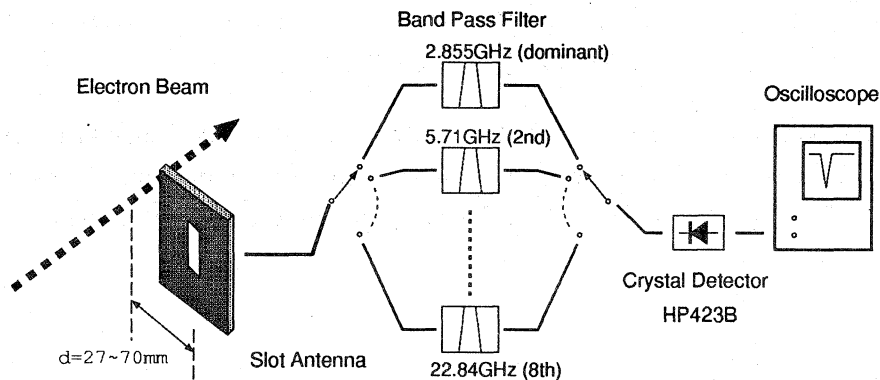


図 1: 実験体系

ロスコープでそのピークを読み取った。バンドパスフィルタの通過周波数は、加速高周波の基本波(2855MHz)から8次高調波(22.84GHz)までの8種類を用意し、順次交換して実験を行った。

3. 実験結果

3.1 アンテナによるスペクトルの違い

図2にビームとスロット中心の距離が30mmの場合における各高調波成分の強度を示す。見やすいように折れ線で表したが、実際のスペクトルは加速周波数の整数倍に集中した、線スペクトルに近い状態である。横軸は周波数、縦軸はアンテナから取り出された信号のピーク電力を表す。ピーク電力は、同軸ケーブルやバンドパスフィルタの挿入損失とクリスタル検波器の変換効率を、実測値をもとに補正した結果である。したがって、図2にはビーム周辺の電磁場のスペクトルと用いたスロットアンテナの周波数特性の積が現れているはずである。ビームの微細構造パルスが半値幅20ps程度のガウス分布をしているとすると、電磁場のパワースペクトルのエンベロープは、5次高調波がほぼ半値の0を中心としたガウス分布となる。一方、スロットアンテナの周波数特性は、導体板の幅が1/4波長となる周波数より低周波側では感度が低く、高周波側では周波数と共に増加することが簡略化したモデルで行った数値解析の結果から得られている。[2]

図2の結果は、加速高周波の基本波(2855MHz)の強度は弱く、最も強い高次高調波に比べて10~

20dB低い。また、ピークとなる周波数は、スロットアンテナの導体板が小さいほど高周波側になる。これは、いずれのアンテナでもスロット長が6mmであり、基本波の波長(105mm)よりかなり小さいためである。また、アンテナ全体の大きさが注目する電磁場の波長と同程度であり、導体板表面の電流分布や誘電体基板内部での空洞共振器としての影響が現われていると思われる。このことから、加速管の近くなどで加速高周波が直接伝播して来るような位置に設置してもビームからの電磁場のみを選択的に検出することが期待できる。

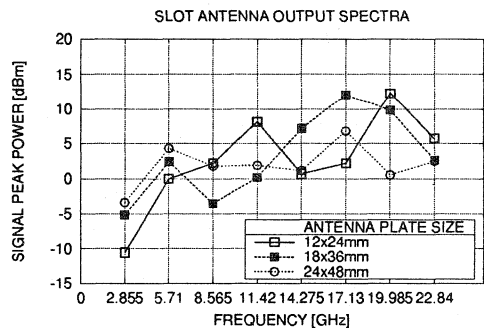


図 2: スロットアンテナの信号出力のスペクトル

3.2 ビームまでの距離と出力の関係

相対論的電子ビーム近傍の電界は、パルス列が十分長い場合にはどの高調波成分でもビームの進行方向に対しほぼ垂直な方向を向き、電界強度はビームからの距離に反比例する。アンテナの出力

信号が、 A, B を定数として Ar^{-B} と表される場合は、2つのアンテナの間にあるビームの位置は、ビーム強度などによらない簡単な式で求めることができる。[3]

スロットアンテナで検出した信号のピーク電力は、検波器の特性を補正した結果、電界強度に従ってほとんどが距離に対しほぼ -2 乗に比例している。しかし、アンテナの導体板の大きさと周波数によっては、ビームに近付いた時に -2 乗から大きく外れる場合もあった。図3に示した導体板が $24 \times 48\text{mm}$ の場合は、 2.86GHz 、 5.71GHz ではビームとアンテナが近い場合には距離に対する信号出力の変化が少なくなり 8.57GHz では逆に変化が大きくなった。それに対し、導体板が $18 \times 36\text{mm}$ の場合(図4には、どの周波数でもほぼ距離の -2 乗に従っており、ビームの近くでもほとんど変わらない。導体板の縁とビームがごく近くなると、導体板表面の電流分布が平面波の受信の場合とは大きく異なり、その影響が導体板の電界方向の幅と波長とが近い周波数で顕著に現われるためと思われる。このことから、導体板の大きさと検出する周波数を適切に選ぶことにより、位置モニタの検出部として望ましい特性を持たせることが可能であるといえる。

4. おわりに

周波数特性が異なるスロットアンテナを用いて、電子線型加速器ビーム周辺の電磁場のスペクトルを測定し、小型のスロットアンテナでは主に高調波成分を検出していることを示した。

それぞれのアンテナの周波数特性が分かれば電子ビームのスペクトルの強度比が分かり、微細構造パルスの状態が推定可能であるが、通信用の遠方界の特性を求める場合とは異なり、実験的に周波数特性を測定するのは簡単ではない。今後、数値解析でビーム近傍での周波数特性や指向性を求め、加速器ビームの位置モニタや加速状態のモニタとしての応用を予定している。

参考文献

- [1] 家入孝夫：“ビーム計測”，OHO'91 高エネルギー加速器セミナー，(1991)
- [2] S.NISIYAMA et al. “CHARACTERISTICS OF THE SMALL SLOT ANTENNA AS AN

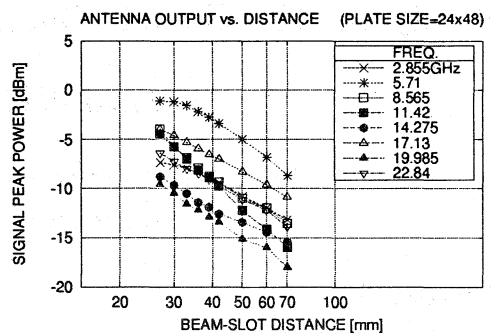


図3: ビームまでの距離による信号出力の変化(導体板が $24 \times 48\text{mm}$)

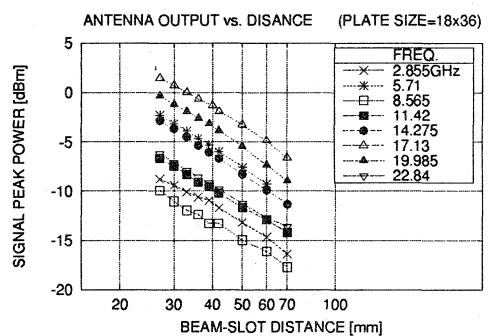


図4: ビームまでの距離による信号出力の変化(導体板が $18 \times 36\text{mm}$)

ELECTRON BEAM MONITOR”, Proc. of the 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.343-345, 1996

- [3] S.NISIYAMA et al. “AN ELECTRON LINAC BEAM POSITION MONITOR USING SLOT ANTENNAS”, Proc. of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.254-256, 1994