

[P8-38]

Measurement of the Electric Standing Wave Distribution Created by the Electron Beam

Hiroyasu ITOH, Shusuke NISIYAMA*, Satoshi TOMIOKA*, Takeaki ENOTO*

Faculty of Fine Arts, Dohto University
Kitahiroshima, Hokkaido, 061-1196, JAPAN

*Div. Quantum Energy Engineering, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8628, JAPAN

Abstract

We have studied a method for estimating the width of electron beam micro-pulses using an electric standing wave distribution. When the electron beam passes near a conducting plate, two waves are generated: they are a reflected wave returned from the plate and a wave radiated spherically from the edge of plate. It is desirable to weaken the effect of the radiated wave because the wave affects the standing wave distribution. In this paper, the spatial distribution was measured in the experimental system where the electron beam strikes against the plate.

電子ビーム放射によって形成される定在波電界分布の測定

1. はじめに

近年さまざまな分野で電子線形加速器が利用されるようになり、ビームの高品位化に対する要求が高まると共に、短パルス化や高輝度化を目的とした研究が盛んに行われている。それに伴って、精度良いビームモニタの開発が必要とされ、本研究においては、時間パルス幅を簡単に精度良く計測できるモニタとして、定在波分布を用いた微細構造パルス幅計測法の開発を行っている [1]。

自由空間中を運動する相対論的電子ビームから放射される電磁界はほぼ横方向成分のみを有するため、進行方向に垂直に置かれた金属板の近傍をビームが通過するモデルを考えると、パルス列からの放射電界(入射波)は電子ビームと共に進行し、金属板に垂直に入射する。よって、金属平板からは入射波と電界の向きが反対で、ビーム上流方向に一次元的に進む反射波が発生する。電子ビームが一定周期の微細構造パルス列によって構成される場合、入射波と反射波のパルス列同士の干渉によって時間的および空間的に局在した定在波分布が形成される。また、電子ビームが金属板近傍を通過する際には、金属板端と電子ビームの相互作用により放射波が発生する。放射波は金属板端付近から放射状に伝搬し、定在波分布に影響を与えることが分かっている。

このような定在波分布から微細構造パルス幅を求める方法として、定在波比と干渉部分の空間幅から直接

推定する方法 [1] と定在波分布のスペクトルから推定する方法 [2] の研究を行ってきた。本論文では、定在波分布と微細構造パルス列の関係について述べ、さらに、ビームに対する金属板の配置を変えた場合に測定される定在波分布について言及する。

2. 微細構造パルス列と定在波分布の関係

相対論的電子ビームの微細構造パルスをガウス波形と仮定すると、一般にその放射電界も同じガウス波形で与えられる。本解析モデルでは、繰り返し周波数 2856MHz の微細構造パルス列 (60 個) が半値幅 10ns のガウス分布状にマクロパルスを形成していると仮定し、1 個のマクロパルスが通過する間に放射電界(入射波)と反射波によって形成される定在波分布を一次元モデルにより解析した。さらに、定在波分布を測定する際に検波器を使用するため、その検波特性の影響を考慮した。微細構造パルスの半値幅が 20ps と 40ps の場合について求めた定在波分布を図 1 に示す。ここで、ビーム進行方向を z 軸にとり、金属板の位置を $z=0$ とした。図 1 において、パルス列の空間間隔が 105mm であるため、金属板位置から 52.5mm 毎に入射波と反射波の干渉が起こり、V 字形の鋭い落ち込み(ディップ)が見られる。また、干渉位置毎に定在波比が変化するのは、マクロパルスがガウス波形であるためである。さらに、ディップ先端位置の出力とマクロパルスとの関係を求めるために、 $z=-105\text{mm}$ のディップにおける電

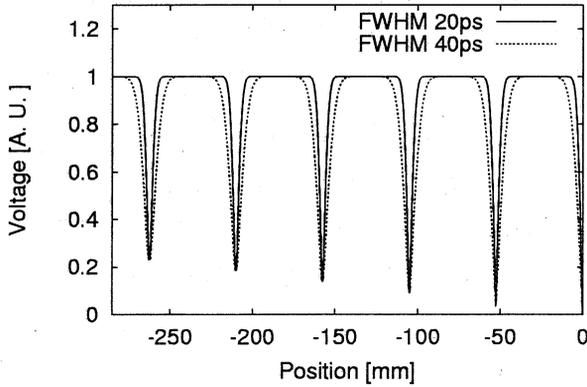


図 1: パルス列による定在波分布の解析結果

界の時間変化を図 2 に示す。このディップ位置では、干渉波形の最大値が時刻 T_a に得られているが、この時刻に干渉した入射波と反射波に注目すると、マクロパルスの標準偏差付近のパルスであり、他のディップについても同様であった。これは標準偏差付近のパルス同士の振幅差が最も大きいためであり、定在波比はマクロパルス波形に依存して変化すると言える。

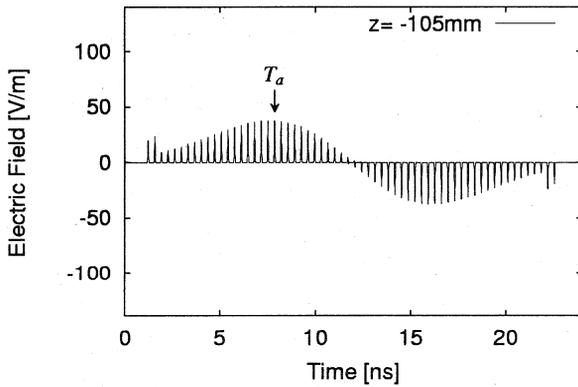


図 2: ディップ D_2 における電界の時間変化

次に、定在波比を $\rho = (V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_{min})$ とし、図 1 の各ディップに対して、定在波比 ρ と特定の深さのディップ幅 Δd を求めてプロットすると図 3 のようになる。定在波比とディップ幅の間に線形関係が見られることから、定在波比 1 に相当するディップ幅を推定すると、微細構造パルスの空間的バンチ長に依存した長さが求まる。さらに検波特性によるディップ幅の広がりやを考慮することで、時間パルス幅を求めることができる。

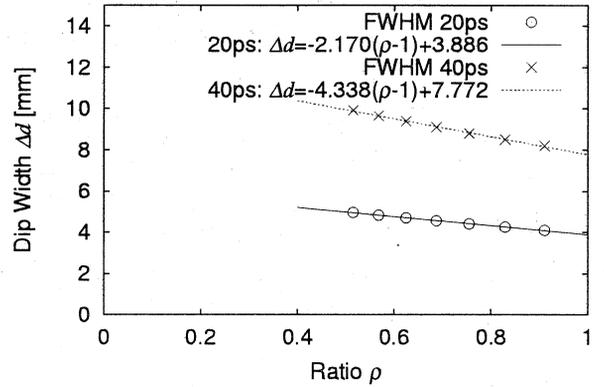


図 3: 定在波比とディップ幅の関係

3. 定在波分布の測定

定在波分布の測定体系を図 4 に示す。実験は北海道大学 45MeV LINAC おいて、加速周波数 2856MHz、マクロパルス幅 10ns、繰り返し数 10p.p.s の条件下で行った。金属板は 350×200mm の片面プリント基板を使用し、ステッピングモータのステージに電子ビームに対して垂直になるように固定した。そしてステッピングモータをビーム方向に 0.5mm 間隔で移動させ、各位置において検波信号の最大値を測定した。

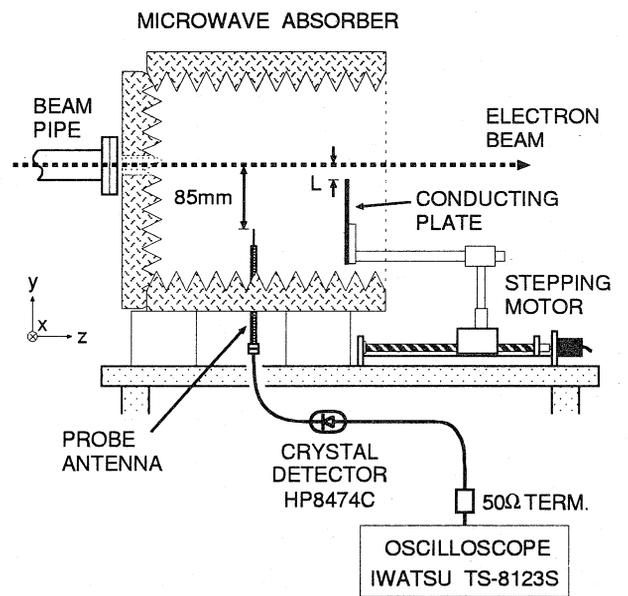


図 4: 定在波分布測定体系

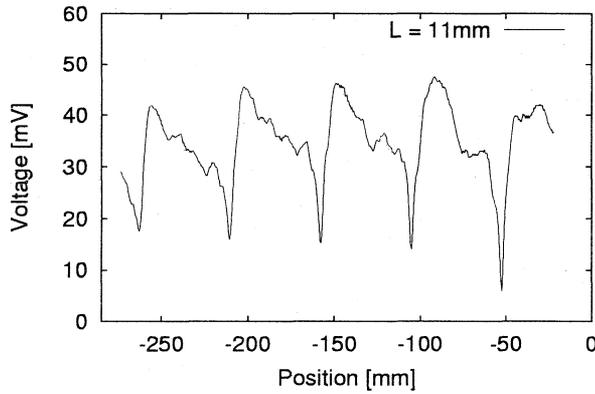


図 5: 定在波分布測定結果 (ビームと非接触)

測定された定在波分布を図 5 に示す。約 53mm 間隔に見られる鋭い落ち込みは、ビームからの放射電界と導体板からの反射波が逆相で干渉した結果得られたディップであり、パルス列による定在波分布が形成されていることを示している。また、各ディップ位置より金属板側にずれた位置において極大ピーク出力が得られているが、これは一次元解析では考慮しなかった金属板端からの輻射波の影響であり、この位置において輻射波が入射波と干渉していると考えられる。また、ディップ位置よりも金属板に近い位置で入射波と干渉していることは、反射波に較べて輻射波の到達に時間遅れがあることを示している。

図 5 の定在波分布に対して定在波比 ρ とディップ幅 Δd の関係を求めた結果、図 6 に示すように、一次元解析と同様により線形性が見られる。これより、定在波比 1 に相当するディップ幅は 4.46mm であり、出力電圧が大きいことから直線検波特性として微細構造パルス幅を推定すると半値幅で 22.75ps であった。

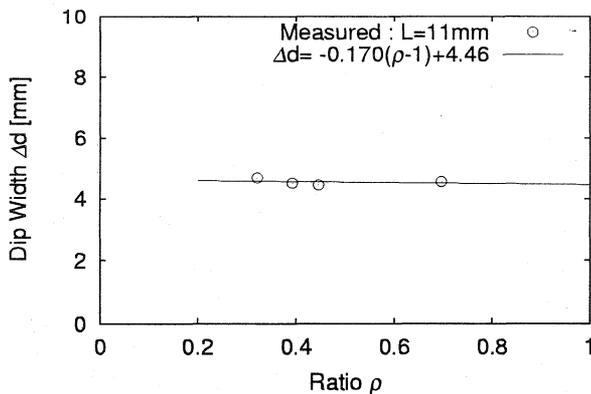


図 6: 測定結果から求めた定在波比とディップ幅の関係

本推定法を用いるためには、輻射波の影響を極力抑えることが望ましい。次に、ビームから金属板端までの距離と輻射波発生との関係をみるために、電子ビームを金属板に直接当てて測定を行った結果を図 7 に示す。

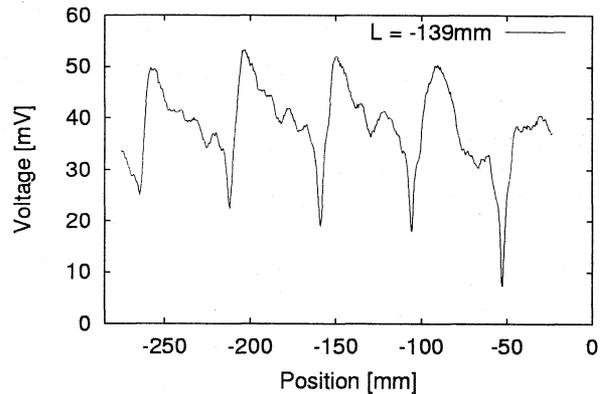


図 7: ビームを金属板に当てた場合の測定結果

図 5 と図 7 を比較すると得られる定在波分布はほぼ一致しており、ビームに非接触に金属板を配置した場合に発生する輻射波と同様な場が、金属板にビームを直接当てた場合にも発生していることがわかる。また、輻射波を抑える一つの方法として、検波器の極性を変えて反射波成分だけを検出する実験も行っている [3]。

4. まとめ

電子ビームと金属板によって形成される定在波分布の測定を行った。その際、金属板端と電子ビームとの相互作用により輻射波も発生し定在波分布に影響を与える。また、ビームを金属板に直接当てた場合の定在波分布を測定した結果、ビームに非接触の場合と同様な定在波分布が形成されることが分かった。

今後、微細構造パルス波形が異なる場合やマクロパルス形状を変化させた場合の定在波分布への影響について検討する必要がある。

参考文献

- [1] H. Itoh et al., Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.74, No.1, pp.29-37 (1998).
- [2] N. Ishii et al., Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.193-195 (1998).
- [3] N. Ishii et al., 日本原子力学会北海道支部 第 16 回研究発表会講演要旨集, pp.19-20 (1998).