

[F16p27]

Estimation of Electron Beam Micro-pulse Width by Measurement of Standing Wave

Naoki ISHII, Kenta ITOH, Shusuke NISIYAMA, Hiroyasu ITOH[†],
Satoshi TOMIOKA, Takeaki ENOTO

Division of Quantum Energy Engineering, Graduate school of Engineering, Hokkaido University
Kita-13, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8628, Japan

[†]Department of Architecture, Faculty of Fine Arts, Dohto University
149, Nakanosawa, Kitahirosima, Hokkaido 061-1196, Japan

Abstract

In the present paper, we estimated the micro-pulse width of electron beam from the spatial standing wave distribution. Standing wave is formed by radiated electric fields of electron beam, and micro-pulse width is estimated from its spectrum. Using this new method, we estimated micro-pulse width of electron beam of LINAC at Hokkaido University. The measured results were about 21 to 24 psec. These values agreed approximately with expected values.

定在波分布測定による電子ビーム微細構造パルス幅推定

1 : はじめに

電子線形加速器から発生する電子ビームは、高速物理現象の解析やパルスラジオリシスなど幅広く用いられてきた。現在、さらに高速の現象解析をめざしてビームの短パルス化が望まれており、それに伴いパルス構造を精度良く計測できるモニタが必要とされている。

電子ビームの微細構造パルス幅を計測する方法として一般にストリークカメラが用いられているが、接触型のモニタであるため他の測定系との併用が困難であるという問題をもっている。またビームに非接触で測定する方法として、微細構造パルスが形成する放射電磁界を直接測定する方法も行なわれているが、微細構造パルスの時間幅が数十 psec と非常に短いため、測定機器に数十 GHz までの広帯域が要求されるため測定は容易ではない。

そのため本稿ではビームに非接触かつ容易な計測法として、パルス状電子ビームの放射電界と反射板からの反射波により形成される空間定在波分布の測定によって微細構造パルス幅を推定する方法について検討した。空間定在波分布にフーリエ変換を実行すると波数スペクトルが求められ、さらに分散関係を考慮することにより周波数スペク

トルが得られる。この周波数スペクトルの強度比が半値幅により異なっていることを用いて微細構造パルス幅の推定が可能である。

まず本稿では電子ビームの放射電界によって形成される空間定在波分布を数値解析で示し、次に北海道大学 LINAC を用いて定在波分布の測定を行ない、本手法によって微細構造パルス幅を推定をした。

2 : 定在波分布の1次元解析

本解析では電子ビームの進行方向に対して垂直に設置された完全導体を仮定した反射板の真横をビームが通過するモデルを考える。このとき定在波分布を形成する波は、入射波すなわち電子ビームとともに進行する放射電界と反射板からの反射波、ビームと反射板端との相互作用による輻射波の3つであると考えられる。

北海道大学 LINAC の電子ビームは加速周波数 $f_0 = 2.856 \text{ GHz}$ によって間隔 350 psec で繰り返し入射されており、本解析でも入射波は半値幅 20 psec のガウス分布状の微細構造パルスが 350 psec 間隔からなるパルス列とした。ここで入射波と反射波のみによって形成される定在波分布と輻射波を考慮した定在波分布の解析結果を図 1

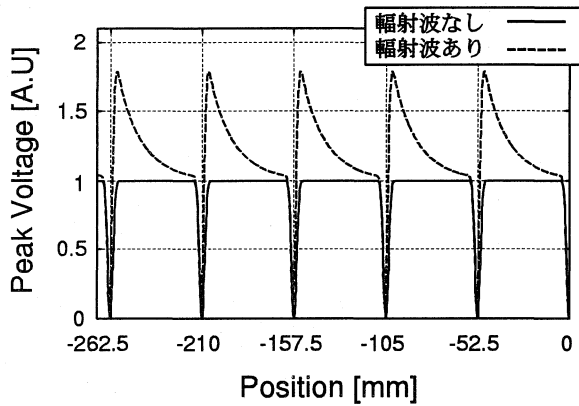


図 1: 解析による定在波分布 (半値幅 20psec)

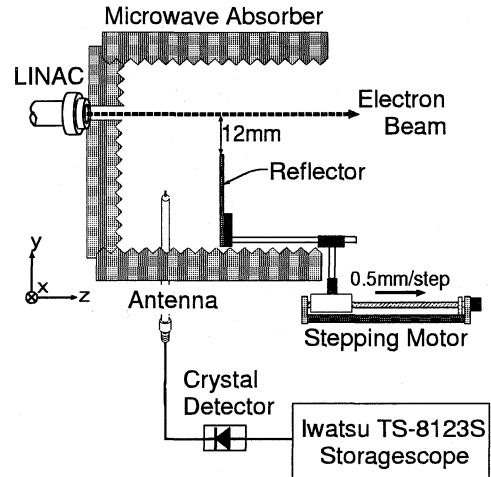


図 2: 実験体系

に示した。横軸は反射板位置を原点としたときの位置であり、縦軸が出力電圧である。

入射パルスの空間での間隔は 105mm であるので、入射波と反射波はその半分の 52.5mm ごとに互いに逆相で干渉するため大きな落ち込み (ディップ) がみられる。輻射波を考慮しない場合は、ディップからはずれると入射波と反射波は干渉をしないため、出力が一定となっている。輻射波は反射波に対して時間遅れを有し、かつ入射波と同相であるので輻射波を考慮した場合は図 1 のようにディップの先端より正側にずれた位置では入射波と輻射波が干渉して極大ピークが得られている。しかしディップ先端より負側にずれた部分ではともに波形は同じである。これよりディップ先端より負側の区間では輻射波の影響はないと考えられる。したがってこの区間の波形に対するスペクトルから微細構造パルス幅の推定が可能であると考えられる。

3 : 実験

北海道大学 LINAC を用いて定在波分布の測定を行なった。実験体系を図 2 に示す。電子ビームの進行方向 (z 方向) に対して垂直に設置された反射板をステッピングモータで $+z$ 方向に 0.5mm 間隔で移動した。アンテナからの出力信号は、検波器で検波した後、オシロスコープを通して、位置ごとのピーク電圧を PC に取り込んだ。

測定結果を図 3 に示す。横軸は反射板位置を $z=0$ mm としたときのアンテナ位置を示しており、縦軸はオシロスコープ上の出力電圧のピーク値である。解析結果と同様にほぼ 52.5mm 間隔で

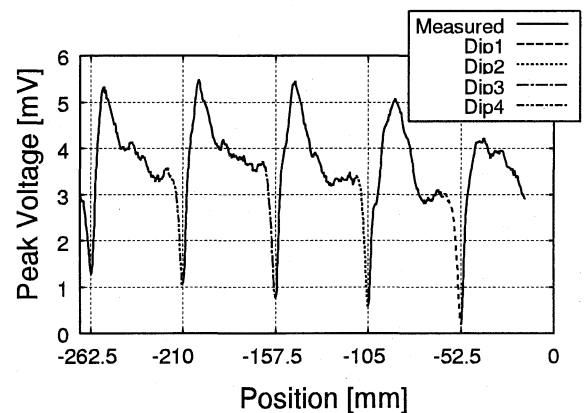


図 3: 定在波分布の測定結果

ディップが見られる。ここで各ディップを反射板位置 ($z=0$ mm) から近い順に Dip1、Dip2、Dip3、Dip4 と呼ぶことにする。

ディップ先端より $+z$ 側 (反射板側) にずれた箇所に輻射波の影響による出力のピークがある。これより図 3 中の各ディップの破線の区間では輻射波の影響がないと考えられる。そこで Dip1 の破線の区間をディップ先端 (-52.5mm) を中心に反転させた波形に対してフーリエ変換により波数領域に変換し、さらに $\omega = kc_0$ より周波数スペクトルに変換した。図 4 にそのスペクトルを示す。図 4 の破線は微細構造パルスの半値幅が 24psec の場合に得られる周波数スペクトルの包絡線である。切り出した波形の区間が狭いため、得られる線スペクトルは少ないが、LINAC の加速周波数 2.856GHz

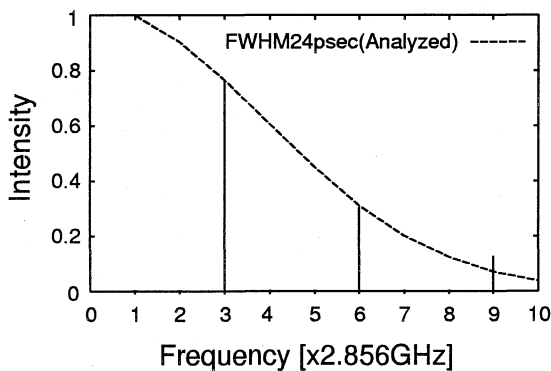


図 4: Dip1 の周波数スペクトル

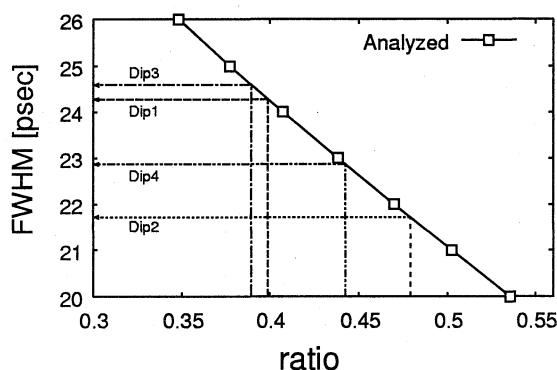


図 5: スペクトル比 (f_6/f_3) と半値幅の関係

の3倍と6倍の高調波のスペクトルが包絡線とよく一致している。これより半値幅は24psec程度であると推定できる。

他のディップに対しても同様にして定在波分布を周波数スペクトルに変換し、スペクトルの強度比を求めた。図5に半値幅と高調波の3倍と6倍のスペクトルの強度比との関係を示す。またこれより推定される各ディップでの半値幅を表1に示す。

各ディップごとに推定される半値幅は表1より一定ではない。これは定在波分布から放射波の影響が少ないディップ負側の区間を切り出し、ディップ位置を中心に反転させた波形よりパルス幅の推定を行なったが、実際には放射波の影響によりディップ先端の位置にずれが生じており、この影響を考慮していないためであると考えられる。しかしこのように値にばらつきが見られるものの、半値幅はおよそ21~24psec程度と推定できる。

	Dip1	Dip2	Dip3	Dip4
FWHM [psec]	24.3	21.7	24.6	22.9

表 1: 各ディップより推定される半値幅の値

4 : まとめ

本稿では電子ビームの微細構造パルス幅を電子ビームの放射電界によって形成される定在波分布を測定し、それより得られる周波数スペクトルの強度比から微細構造パルス幅を推定する手法についての検討を行なった。本手法を用いて北海道大学 LINAC の微細構造パルス幅の推定を行ない、およそ21~24psec程度の推定値を得た。北海道大学 LINAC の微細構造パルス幅は20psec程度であると予想されており、推定された半値幅は妥当な結果を与えている。また、定在波分布のディップ幅から直接微細構造パルス幅を推定する方法 [1] でも、本手法とほぼ同様な結果を得ることができた。

本手法はビームに非接触であり、また定在波分布のディップ付近のみ測定できればよいので、測定時間が短縮できるなどの利点を有している。しかし本手法による微細構造パルス幅の推定の精度はまだ十分ではない。

今後は放射波の影響をより詳しく考慮した定在波分布の解析を行なう必要がある。また、本手法との比較のために北海道大学 LINAC の微細構造パルス幅のストリークカメラ等による測定が必要である。

参考文献

- [1] H. Itoh, M. Kagata, S. Nishiyama, S. Tomioka, T. Enoto: *Journal of Plasma and Fusion Research*, Vol 74, No.1, 29-37(1998).