

VARIOUS CHARACTERISTICS OF THE WALL-CURRENT MONITOR FOR ELECTRON BEAMS

Tamiya K., Asami A., Suwada T. *, Urano T. *, Kobayashi H. *

Naruto University of Education

Takashima, Naruto-cho, Naruto-shi, 772, Japan

*KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

A wall-current monitor has been used so far to measure electron beams, in which the beam current is estimated from the peak value of the output signal. The validity of this method is tested, and found that the linearity does not always hold between the two. A new method utilizing the area of the signal was also tested and confirmed that the output signal is precisely proportional to the input signal in wide range of different conditions in pulse width and magnitude. A signal waveform at the rising part is measured and analyzed with an equivalent circuit.

電子ビーム計測用壁電流モニターの諸特性

1. はじめに

電子ビームの計測を行うのに、最も一般的に用いられるビームモニターの一つに壁電流モニターが挙げられる。壁電流モニターは、ビームの波形、電流値を調べるためのもので、通常数 ns 前後の短いパルスに対して用いられる。

この壁電流モニターの研究において、壁電流モニターにはビーム位置依存性があることが最近指摘された。^{(1) (2)} このことをきっかけに、壁電流モニターのもつ様々な特性を調べ、その解析を行い、モニターとしての詳細な特性を確立する必要性が生じてきた。

今回の研究では、この壁電流モニターの特性の確立を目的とし、実験・解析を行った。まだ途中の段階ではあるが、今までに得られた結果について報告する。

2. 壁電流モニターの入出力特性の測定

従来、壁電流モニターを用いた電子ビームの計測では、モニターからの出力波形の波高値を測定し、ビーム電流の特性を推定する方法がとられてきた。しかし、この測定法が適しているのかどうか、今までに詳細な検討がなされず、はっきりとした結論が出されていなかった。そこで、壁電流

モニターの入出力特性を測定する際に、波高値を測定する方法とパルスの面積（電荷量）を測定する方法の2種類の方法を用いて測定を行い、2つの測定法について比較・検討を行った。

3. 実験概要

実験装置の配置図を図1に示す。実験は、①入力パルス幅を変化させた場合の出力波形の測定と②入力パルス電圧を変化させた場合の出力波形の測定の二つについて行った。

①入力パルス幅を変化させる実験

パルス・ジェネレータの入力パルス電圧を5Vに設定し、入力パルス幅を500ps-90nsの範囲で変化させ、入出力波形の波高値とパルス面積をデジタル・オシロスコープで調べた。

②入力パルス電圧を変化させる実験

パルス・ジェネレータの入力パルス幅を500psに設定し、入力パルス電圧を0.5-4.5Vの範囲で変化させ、入出力波形の波高値とパルス面積をデジタル・オシロスコープで調べた。また、同様の実験を、入力パルス幅1nsについても行った。

なお、①②の実験において、パルス面積はデジタル・オシロスコープの積分演算機能を用いて求めた。

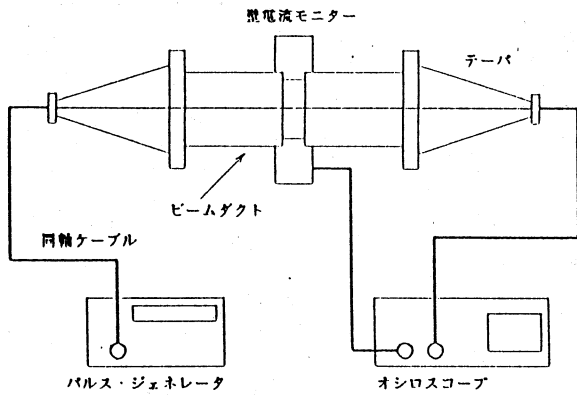


図1 実験装置の配置図

4. 実験結果と解析

実験①の結果を図2 (a), (b)に示す。図2 (a) から、入力パルス面積と出力パルス面積は比例の関係にあることが分かる。一方、図2 (b) から、入力パルス波高と出力パルス波高は、入力パルス幅が短い領域においては、比例の関係に近いが、入力パルス幅が長い領域においては、比例していないことが分かる。また、実験②の結果を図3に示す。この図から、入力パルス面積と出力パルス面積は比例の関係にあるといえる。

以上のことから、壁電流モニターにおける測定法は、波高値よりパルス面積を測定する方法が適しているといえる。

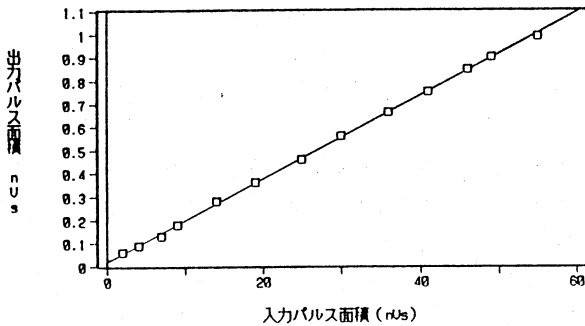


図2 (a) 実験① 入・出力パルス面積

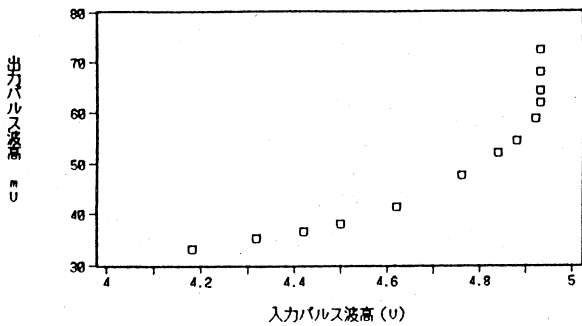


図2 (b) 実験① 入・出力パルス波高

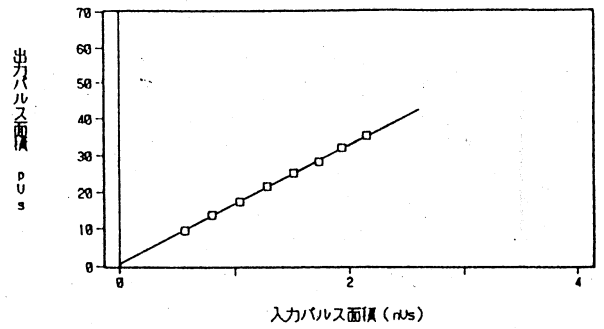


図3 (a) 実験② 入・出力パルス面積 (0.5ns)

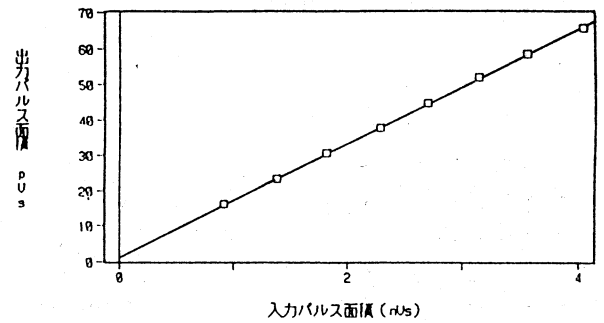


図3 (b) 実験② 入・出力パルス面積 (1.0ns)

5. 壁電流モニターの立ち上がり特性の測定

入力パルスに対し、壁電流モニターの出力波形は時間的にどのように変化していくかを、先ほどの実験(入出力特性)から調べた。その結果を図4に示す。

この結果を理論的に解析し、実験で得た立ち上がり特性との比較を行った。理論解析に用いた式は、電流源を電圧源に置き換え、パルス伝達関数を導き、これをインデンシャル応答になおしラプラス変換をして求めた解である。(図5)

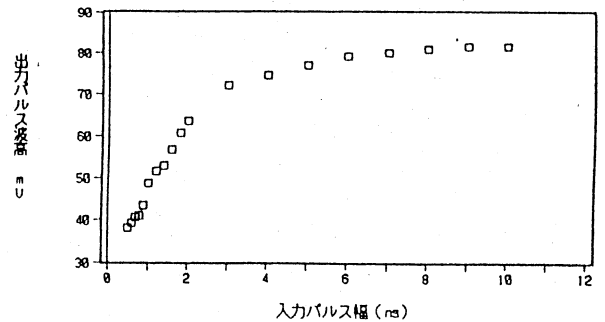
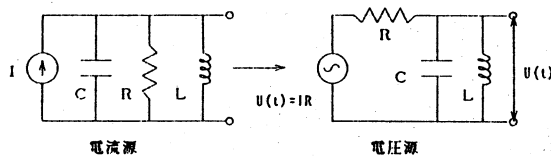


図4 壁電流モニターの立ち上がり特性



(理論式)

$$U(t) = u(t) \frac{I}{\sqrt{1 - 4R^2 \frac{C}{L}}} e^{-\frac{t}{2RC}}$$

$$\left\{ -e^{-\frac{t}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{RC}\right)^2 - \frac{4}{LC}}} + e^{\frac{t}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{RC}\right)^2 - \frac{4}{LC}}} \right\}$$

図5 等価回路と理論式

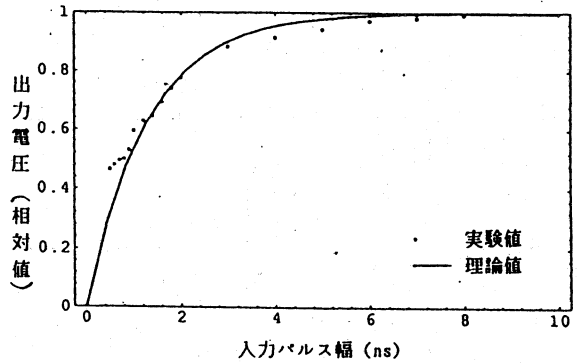


図6 理論解析と実験結果との比較
($L=4.0 \times 10^{-8}$, $R=1.0 \Omega$, $C=1300 \text{pF}$)

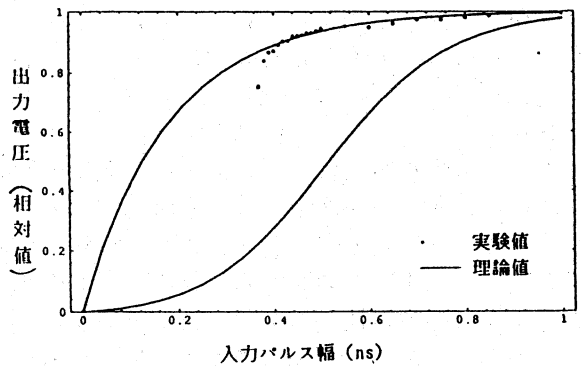


図7 理論解析と実験結果との比較
($L=4.0 \times 10^{-8}$, $R=5.0 \Omega$, $C=36 \text{pF}$)

6. 解析結果

結果を図6に示す。この図から、実験値のグラフと理論値のグラフは $C=1300 \text{pF}$ ぐらいでよくあっていることが分かる。しかし、ビームダクトとケーブルの C を実際に測定すると、 110pF 程度であり、上記の値とかなり違う。この原因として、壁電流モニターのエレマ抵抗が高周波に対して C を持つことが考えられる。そこで、次の実験を行った。

壁電流モニターを取り外し、その個所に 10Ω 抵抗を10本並列に取り付け(全抵抗が 1Ω 、これは壁電流モニターのエレマ抵抗と同じ値)、抵抗の両端の出力波形をデジタル・オシロスコープで測定して周波数特性のグラフを作成した。この実験から、入力パルス幅が 370ps の時に出力は既にかなり立ち上がっていることが分かった。壁電流モニターを取り付けた場合の周波数特性のグラフでは、出力がほぼ完全に立ち上がるのは 10ns ぐらいであった。この2つの立ち上がり時間の違いは、エレマ抵抗が C を持つことを示唆している。

また、 10Ω 抵抗2本の場合についても同様の実験を行った。この実験結果(図7)から、入力パルス幅が $370 \text{ps} - 400 \text{ps}$ の範囲ではあっていないが、 400ps 以降の範囲ではよくあっていることが分かる。現在、これら原因の検討を行っている。

7. まとめと今後の課題

壁電流モニターでは、出力信号の面積がビームを模擬する入力信号の面積に比例している。そして、この比例関係は入力(ビーム)のパルス幅、波高値の広い範囲で成立することが分かった。

波形についての等価回路解析の結果、エレマ抵抗が予想をしていたよりもかなり大きな C を持っている可能性が分かった。

今後は、さらに解析を続けて今回の実験結果の解明に努める。また、これらの解析を進めて、壁電流モニターの位置依存性の測定と解析の研究を行う予定である。

参考文献

- (1) 小松：鳴門教育大学平成5年度卒業論文
「電子ビームの壁電流モニターに関する研究」
- (2) J. Komatsu et al: DEPENDENCE OF THE WALL-CURRENT MONITOR ON THE BEAM, Proc. 1994 Int. Linac Conf, Tsukuba (1994) 848-850