

PRECISION BEAM CURRENT MONITOR FOR ELECTRON LINEAR ACCELERATORS

R.Taniguchi, T.Kojima and S.Okuda
Research Institute for Advanced Science and Technology
Osaka Prefecture University
1-2 Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8570, Japan

Abstract

A simple and precise beam current monitor for electron linear accelerators has been developed. The system consisted of a charge to pulse width converter, an optical fiber transmission line, a pulse width analyser and a computer. The monitor measured charge of an electron pulse one by one, and sent the data to the computer simultaneously. The resolution of this system was estimated about 0.1 % by the consequence of comparison with a X-ray monitor.

電子ライナックの精密ビーム電流モニターの開発

1. はじめに

加速器照射実験において、照射ビーム電流のモニターは基本的かつ重要な技術であるが、電子線加速器の場合、正確な測定は意外に難しい¹⁾。真空中で用いるファラデーカップの場合でも、後方散乱線、2次電子等の評価に問題があり、0.1%以下の精度で測定することは困難である。大気中で測定する場合は、これらの問題に加えて、空気の電離電流の影響もあり、ノイズの問題も含め、電子線ビーム電流の精密測定は、さらに困難であると言われてきた。

この問題に対して筆者等は、電子線形加速器の電子線パルスビームの1つ1つの電荷量を測定する新しいタイプの電流モニターを開発した。電子ビームをパルス計測することで、電源ノイズ、電離電流等の低周波ノイズ成分は大幅に圧縮される。性能評価の結果、このモニターは、簡単な構造で、しかも空気中で測定するにもかかわらず0.1%級の精度を持つ優秀なモニターであることが明らかとなったので報告したい。

2. 電荷 パルス幅変換法

図1に試作したビーム電流測定器の構成を示す。入射したパルス電荷は入力部のコンデンサーに蓄えられ電極の電位は低下する。その後、加速器の動作時のノイズを避けるために電位はしばらく保持され、一定の遅延時間の後、定電流で放電され、一定の電圧に達した後、その電圧を保持し、次のパルスを待つ。この放電時間に相当するパルス幅の出力(図1(b))が光パルスとして出力される。図1のように放電時間は入力パルスの電荷量に比例する。図中の点線のように、電荷量が小さい場合、パルス幅の狭い出力となる。外部に置かれた光受信器は、この光パルスのパルス幅を測定することで、当該電子線パルスの電荷量を検知する。

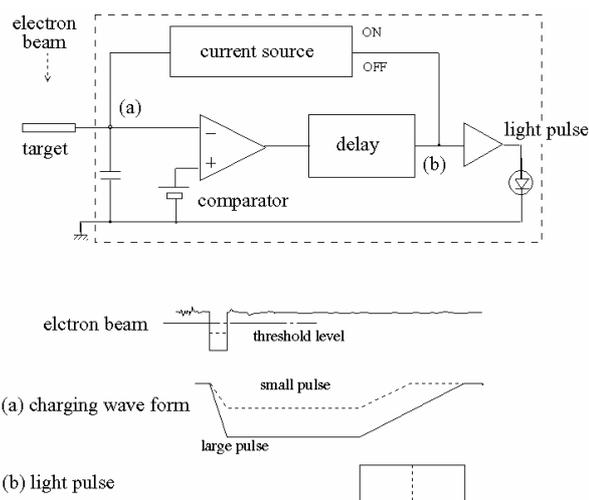


図1 ビーム電荷測定原理と信号の流れ

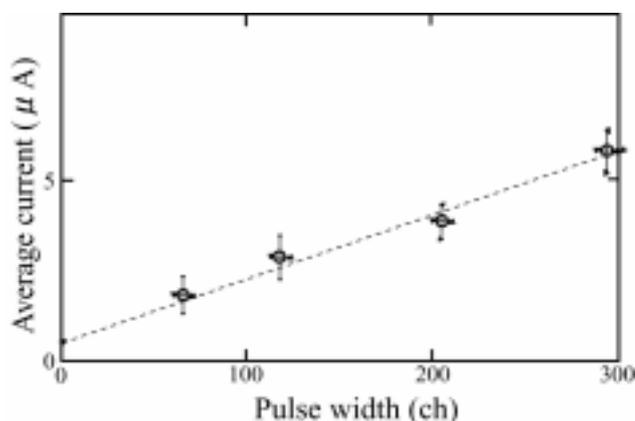


図2 平均ビーム電流とパルス幅出力の関係

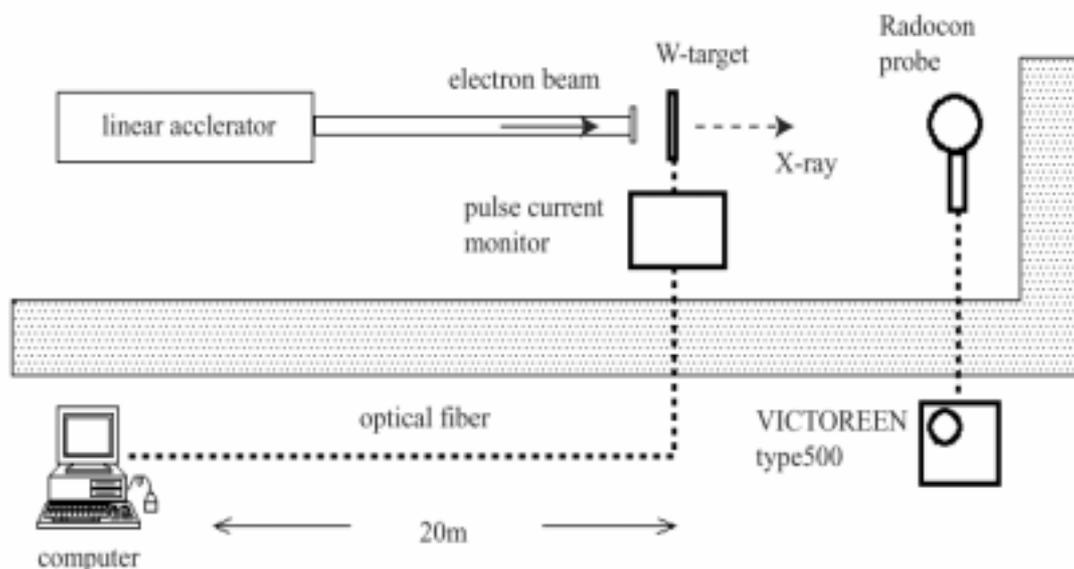


図3 実験体系

3. 性能評価

試作したパルス電荷モニターの応答を評価するために、加速器に装備されている平均電流測定装置との比較を行った。図2にその結果を示す。平均電流測定は、電流のゆらぎ、ノイズなどの影響を直接受けることから、誤差が10%近い値となっているが、平均電流にほぼ比例したパルス幅出力が得られていることがわかる。

電子線形加速器の電流値の正確な測定には、様々な困難が伴う。図2の誤差表示が示すように、比較すべき平均電流計に誤差が多いことは問題である。そこで視点を変えて、X線モニターとの比較を考えた。X線の場合、測定は技術的に難しいが電流測定に伴う様々な問題からは逃れることができる²⁾。図3に実験体系を示す。電子線は、図のようにタンゲステンターゲットに入射し、X線に変換される。ターゲットに流れる電流を、試作した電流モニターで測定し、発生したX線の強度を、約4m離れた場所に設置したX線検出器（ビクトリン社製、ラドコン線量計500型）で測定した。実験では、単パルスから数パルスの電子線ビームを照射し、そのときのX線線量計のdose値と電流モニターのパルス幅出力の合計を比較した。試作した電流モニターはバッテリー駆動であり、信号伝送は光ファイバーを使用し、電氣的に他の装置から切り離されている。一方X線モニターも加速器本体から電氣的には切り離されていることから、この測定体系は図2のものよりもノイズの影響は格段に小さくなっていることが期待される。

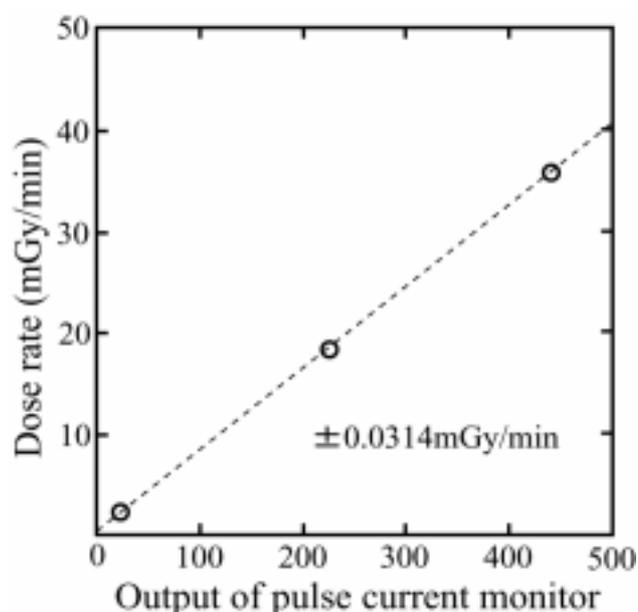


図4 試作したパルス電流モニターとX線線量計の出力の関係

図4にX線量とパルス電流モニターの測定値を比較している。図のように両者は極めて良好な比例関係を示している。最小2乗解析の結果では、直線性からのずれは0.3%以内である。

今回用いたパルス幅変換回路の定電流源はそれほど精密なものではないことから、図4の残存誤差の多くの部分は、この変換回路の誤差であると予想される。しかし測定データが多数のパルスの和である

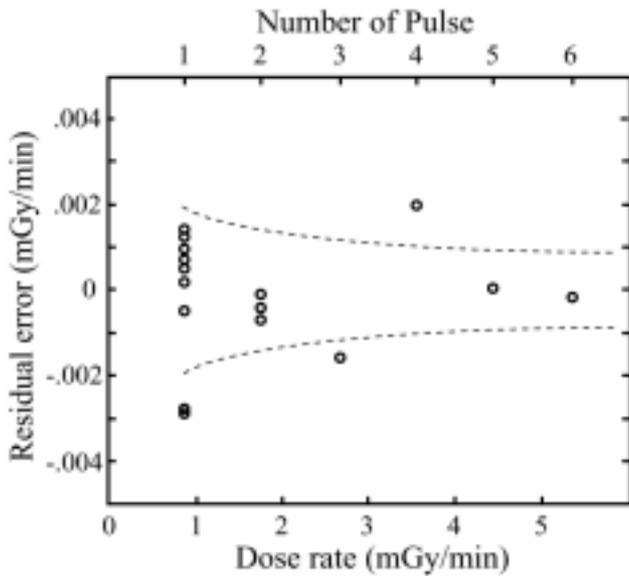


図5 X線線量とビーム電流の関係の直線性からのずれの量と電子線パルス数との関係。

場合、加算の効果によって精度は向上する。

この回路が、電荷量 q_0 の1個の電流パルスを計測した時の誤差を Δq_0 とする。測定電荷が n 個のパルスから成り立っている場合、全電荷を q 、誤差を Δq とすると、

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\Delta q_0}{q_0} \quad \dots (1)$$

となり、計数誤差は、パルス数の平方根に逆比例す

ることが予想される。図4の低電流部分における直線性からのずれを拡大表示したものが図5である。この領域では、パルス数が少なく、誤差は電荷パルス幅変換回路の誤差が支配的である。式(1)で予想される関係を図中の点線で示す。図のように、 $n > 4$ の領域では0.1%以下の精度を示している。X線の発生量は、エネルギーが一定である限り電流量に比例する。線量計の公表規格値(精度0.01%、直線性0.03%以内)から判断するならば、試作した電流モニターの精度も0.1%以上であると期待できる。

4. まとめ

開発したビーム電流モニターは、空気中で測定するにもかかわらず0.1%級の精度を持つことが明らかとなった。装置をバッテリー駆動とし、信号伝送も光ファイバーを利用した結果、耐ノイズ性も大幅に向上した。今回用いた電流をパルス幅に直接変換して利用する測定法は、光伝送を行う各種の用途にも有用であると考えられる。ただし、このモニターは電流量の絶対測定を行うものではないことも認識する必要がある。安定な高精度の相対測定法と位置づけられる。後方散乱による損失は、測定によっては補償できないことから、実際の使用にあたっては、ターゲットの材質、幾何学的な形状に注意する必要がある。

参考文献

- [1] J.S.Pruitt "Electron beam current monitoring system", Nucl. Instrum. Meth. 92(1971)pp285-297
- [2] S.V.Nablo "Real time monitoring of electron processors", Radiat.Phys.Chem.46(1995)pp1377-1383