

## DEVELOPMENT OF CURRENT MONITOR IN SCSS PROTOTYPE ACCELERATOR

Atsushi Higashiya<sup>A)</sup>, Hirokazu Maesaka<sup>A)</sup>, and Yuji Otake<sup>A)</sup>

A) SPring-8 Joint-Project for XFEL/RIKEN, 1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo 679-5148, Japan

### Abstract

The SCSS prototype accelerator has been constructed at SPring-8. The output signal of the current transformer (CT) for measuring an electron beam current in SCSS prototype accelerator had a few megahertz noise emitted from the thyatron of a klystron modulator, a ringing signal caused by the weak field of the electron beam. The long period undulation of an electrical ground level at the CT output is also occurred by a large electric current generated by the klystron modulator, which flows into the ground. As a result, it is difficult to measure the beam current correctly. Therefore, we devised a new CT monitor in order to improve the problem as mentioned above.

The improvement points are as below. The thyatron noise was reduced by using a differential detection circuit, and contacting between the ground of the CT case and the outer surface of a CT signal cable. The ringing signal was suppressed by intercalating dumping resistance material into the space between the case and the ferrite core of CT. We think that the undulation of ground level is common mode noise. Therefore, the differential circuit should also be effective to reduce the common mode noise. By these improvements, we could measure the beam current correctly.

## SCSS試験加速器におけるCT monitor の開発

### 1. はじめに

理化学研究所・播磨研究所において、X-FEL本器計画が現在進行している。本器機計画に向けて一昨年からVUV領域でレーザー増幅発振を目的としてSCSS試験加速器の建設が始まり、昨年の6月、真空紫外領域で波長約50nmのレーザー発振に成功してきている<sup>[1,2]</sup>。

電子ビームの位置、形状、そして電荷量をより正確に測定することは、加速器運転において電子ビーム特性を知るうえで重要なことである。現在、SCSS試験加速器では、プロファイルモニター(OTR)<sup>[3]</sup>、BPM<sup>[4]</sup>、そしてCT monitor (Current transformer)を使用して、電子ビーム特性を測定している。レーザー発振に向けてのビーム調整においては、より強いレーザー発振を行うためには、より多くの電子を加速して、最下流のアンジュレーターまで輸送することが一つの重要なポイントとなる。それ故、電子ビーム電流(電荷量)をより正確に定量的に評価する必要がある。

SCSS試験加速器で使用しているCTは、電子ビームによる渡航場の影響による振動波形、数MHzのサイクロトロンノイズ、さらにクライストロンなどの高電圧スイッチングデバイスによりグラウンドに流れる1000A級の電流による出力波形でのグラウンドのうねり、など環境による影響を大きく受けている。これらの理由から試験器では正確な電子ビームの電荷量を測定することが困難となっている。それ故、上述のようなノイズを軽減するために、新たなCTモニター本体とその信号伝送回路の開発を行った。

本紙面では、試験加速器での問題点とその改善方法、そして、新たなCTモニターにより得られたCT波形を紹介する。

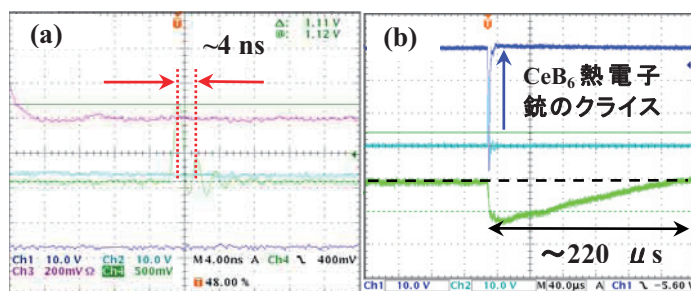


図1:(a) CT波形のリングング,(b)CT波形にたいするグラウンドのうねり

### 2. 現在の試験加速器におけるCT波形

試験加速器では、CTからの出力信号は積分アンプを通して波形記憶ADCに入力されている。図1に試験加速器におけるCT波形を示している。図1(a)は積分アンプに入力する前のCT波形である。この図から、約2nsの周期を持つ振動波形(約500MHz)がCTの信号に現れている。また、図1(b)には、CT波形への長周期(約220 $\mu$ s)を持つグラウンドのうねりの影響を示している。これからグラウンドの影響が非常に大きく、定量的にビーム電流を得ることが困難であることが明となっている。

### 3. 新しいCTの形状と差動信号回路

上述したCT波形への影響を取り除くために新たなCTモニター本体の開発を行った。図2に二端子差動CTモニター本体の断面図を示している。このCT本体において、セラミックを取り囲んでいるフェラ

イトコアには、1巻きコイルが上下に筒所に巻かれている。この巻かれたコイルにSMA端子が接続している。さらに、我々は、上述した振動波形の発生は電子ビームの渡航場によるCTモニターのケース内に発生した高周波の影響であると考えた。そこで、この影響を取り除くために、CTケースとフェライトコアの間の空間に減衰抵抗体を付与した。電子ビームによる航行場がCT内に生じると、航行場によりCTのケースの大きさに依存した共振周波数の高周波信号が発生して、ケースが高周波共振空洞の振る舞いをする。この空洞の共振条件は、式(1)の様な2

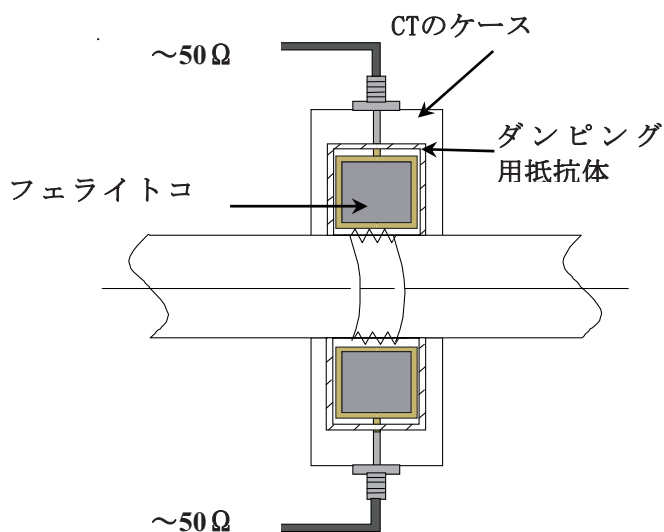


図2: 二端子差動CTモニター本体の断面図

階の微分方程式で表わされる。

$$L(d^2q/dt^2) + R(dq/dt) + (1/C)q = 0 \quad (1)$$

ここでLは空洞のインダクタンス成分、Cは空洞の加速ギャップの静電容量、Rは空洞の壁面抵抗などに依存した減衰係数、qはビームに誘起された壁電流である。この共振空洞の効果を抑止するためには、式(1)のRに相当する減衰項を調整する必要がある。また、図1(a)から渡航場による振動周期は約500MHzと見積もられる。簡単な計算により、式(1)から臨界制動の条件を満たすためには、表面抵抗率が共振周波数500MHzに対して約 $3.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \Omega$ 以上の抵抗体をCTケースに付与する必要がある。また、この振動数に対するアルミケースの表皮効果による値は、 $\delta = 2.09 / (f[\text{GHz}] \sigma_r)^{1/2}$ から約 $3.6 \mu\text{m}$ と見積もられる。ここで $\sigma_r = 0.714$ は銅に対するアルミニウムの抵抗比を表している。この表皮効果と表面抵抗率から、アルミニウム抵抗率の約10倍程度の抵抗体を厚さ $10 \mu\text{m}$ 以上付与することにより必要な条件を満足できると考えられる。そこで、アルミニウムケース内側に、始めにNiを薄くメッキした後( $10 \mu\text{m}$ )、膜厚調整が可能である硬質クロムメッキ( $30 \mu\text{m}$ )により臨界制動条件を満たすように減衰抵抗体の調節を行った。

また、CT出力波形でのサイクロトロン(クライストロンモジュレータ用点弧真空管)から来ている数MHzのノイズと長周期のグラウンドのうねりは同相ノイズであると考え、このうねりを取り除くためにCTモニター本体とCTからの出力信号の取り出し方法を改良している。図3に簡単なCTの差動回路を示している。CTモニターからの出力信号を差動回路に入力する概略である。CTから出力された2

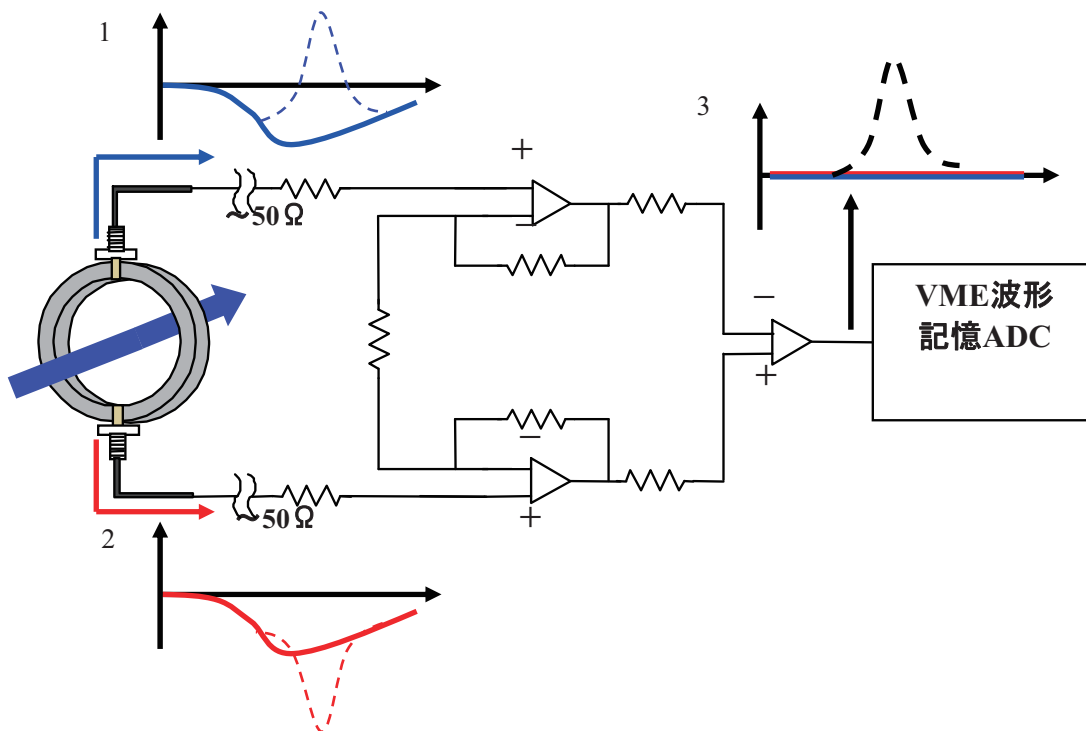


図3: 二端子差動CTの出力信号と差動出力回路の概略

つの信号 (図中1と2) は、低電圧の差動方式で伝送される。その後信号は、 $100\ \Omega$  抵抗(または $50\ \Omega$  抵抗2つ)で終端して受信することにより差動回路へ入力される。CTモニターの出力波形のグラウンドにうねりを生じさせているノイズやサイラトロンノイズは同相と考えている (図中1,2の実線)。一方、フェライトコアの巻き線による電子ビームからの信号出力は、上下で逆符号の差動の出力波形となるように設計している(図中1,2の点線)。それ故、回路に入った信号に対して差動アンプを使用することにより同相ノイズはお互いの差し引きにより抑制される (図中3の実線参照)。反対に電子ビームの信号は、足し合わされて大きなシグナルで出力されることになる。差動アンプから出力されたCT信号は、同じく差動信号伝送および差動検出のAD変換器によりデジタル信号に変換される。この2重の差動検出により電子ビームからのCTによる電流検出信号は、グラウンドなどの同相ノイズを排除した、より純粋な電子ビームの電流波形を得ることができる(図中3の点線)。これによりノイズ除去した正確なCTによる通過電子ビームの電流の検出が可能となると考えられる。

#### 4. 二端子差動CTによる出力波形

試験加速器に新しいCTモニターを挿入し、CTの二端子からの出力波形を $500\text{MHz}$ 帯域のオシロスコープで測定した。その結果を図4に示す。図中の波形1、波形2はCTからの出力(図3の表記1、2に対応)、波形3はその差(図3の表記3に対応)を示している。また、測定結果は積分アンプを使用せずに直接CTからの信号をオシロスコープで測定している。図4で波形1,2と図1(a)の比較から、明らかに新たなCT波形で振動が現れていないことが分かる。これはケース内へ減衰抵抗を挿入したことにより渡航場の影響が抑制されたと考えられる。さらに、CTからの出力波形を引き合わせるにより、ビーム電流による信号が二倍となり、さらに全体のノイズが小さく現れている。また、CTからの出力信号のバックグラウンドが大きく変動しておらず、二端子差動CTモニターでより精度の高い定量的な解析を可能にすることを示唆している。さらに、得られたCT波形から、波形の立ち上がりが $1\text{ns}$ 以下と非常に速い応答速度である。さらに詳細なCTモニターの特性を調べるためには、より高帯域のオシロスコープで測定する必要がある

#### 5. まとめ

新たな二端子差動CTでは、SCSS試験加速器において使用しているCTモニターで現れている電子ビームの渡航場による振動波形、数MHzのサイラトロンノイズ、さらにクライストロンなどの高電圧スイッチングデバイスによるグラウンドのうねりなどの環境による影響が大きく改善されている。さらに、

電子ビームの通過に対する応答速度が速い。これらの事から、二端子差動CTでは、より正確な電子ビーム電流 (電荷) の測定が可能であると考えられる。

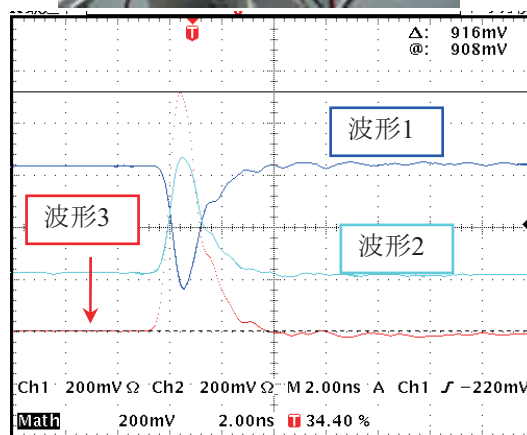
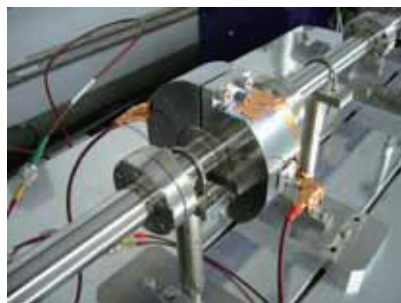


図4: 二端子差動CT写真(上図)、SCSS試験加速器を使用して得られた二端子差動CTのオシロスコープ波形(下図)

#### 6 謝辞

試験加速器への設置および試験加速器の運転に携わったすべての人に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] SCSS X-FEL R&D Group (<http://www-xfel.spring8.or.jp/>)
- [2] H. Tanaka, *et al.*, Beam Performance of the SCSS Prototype Accelerator, The 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2006).
- [3] S. Inoue, *et al.*, Beam Profile Monitor for SCSS Prototype Accelerator, The 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2006).
- [3] H. Maesaka, *et al.*, Performance of the Beam Position Monitor and the Charge Monitor at the SCSS Prototype Accelerator The 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2006).