

22a-5

DEVELOPMENT OF LASER-COMPTON SPOT SIZE MONITOR FOR FFTB-PROJECT

A. HAYAKAWA, Y. OZAKI, S. NAKABAYASHI,
K. YASUDA, M. OHASHI, T. SHINTAKE*

Kawasaki Heavy Industries, LTD

1-1 Higashikawasaki-cho 3-chome, Chuo-ku, Kobe 650-91, Japan

ABSTRACT

"Laser-Compton Spot Size Monitor" for measuring size of electron beam was developed. This new spot size monitor has been installed in FFTB - SLAC, in order to measure the electron beam size of 60 nanometer vertical by 1 micronmeter horizontal. In this paper, the development of this monitor is reported.

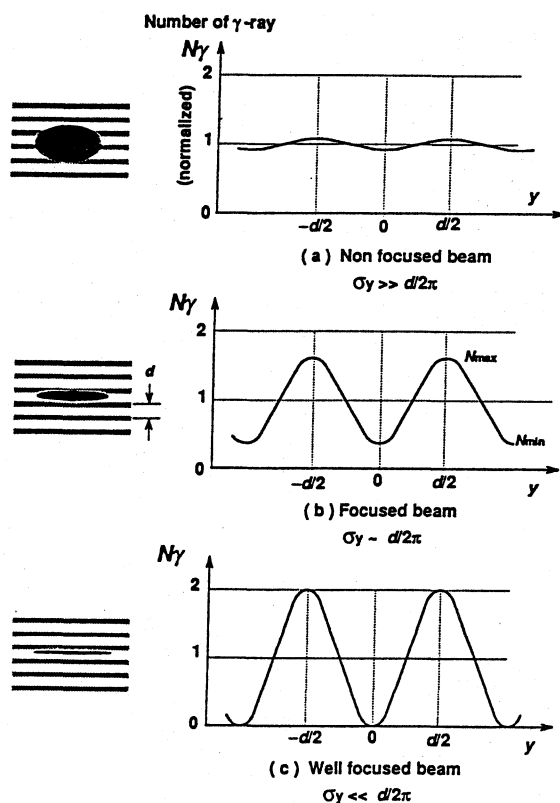
FFTBプロジェクト用レーザーコンプトンスポットサイズモニタの開発

1. はじめに

このレーザーコンプトンスポットサイズモニタは、平成4年度に川崎重工が高エネルギー物理学研究所より受注した電子ビームの断面のサイズを測る装置である。日米科学技術協力事業に基づいてスタンフォード線形加速器センター（以下、SLACと呼ぶ）ではFFTBプロジェクトが進められている。このプロジェクトでは将来の衝突型線形加速器の実現に向けて、電子ビームの断面のサイズを60nmまで絞り込むことが試みられており、当装置はこのビームサイズを計測するために平成5年8月、SLACに設置された。当装置は高エネ研が考案した計測方法^{1) 2) 3)}を川崎重工が初めて開発したものであり、その製作に関して報告する。

2. 測定の原理

この装置は電子ビームがレーザーのフォトンに衝突して γ 線を発生する"逆コンプトン散乱"を利用している。この方法を用いて計測するために、まず電子ビームの軌道上で交差するように2本のレーザービームを入射する。この2本のレーザービームが交差する空間には干渉縞が発生する。干渉縞に見られる明暗はフォトンの数の多い少ないに相当する。従って、飛んできた電子ビームがこの干渉縞の明部を通るとフォトンとの衝突が起こり γ 線が発生するが、逆に暗部を通るとフォトンとの衝突がなくなり γ 線は発生しなくなる。ここで電子ビーム軌道上流に設けたステアリングマグネットを用いて電子ビームの軌道をこの干渉縞を横切る方向に動かして、発生する γ 線を γ 線検出器で測定する。電子ビームは干渉縞の明暗を周期的に通るので、検出される γ 線の量はそれに応じて周

図1. γ 線量の変調パターン

期的に変化する。さて、ここで干渉縞の周期的な、明暗のピッチと電子ビームの断面のサイズの関係に着目してみる。図1(c)のように電子ビームのサイズが干渉縞の周期より十分に小さい場合には干渉縞の明暗に対応して γ 線量の変化がみられるが、(a)のように電子ビームのサイズが干渉

*KEK:National Laboratory for High Energy Physics

縞の周期をいくつかまたがるような大きさになると干渉縞の明暗に対応した周期的な γ 線の変化量は小さくなる。そこでこの周期的な γ 線の変化量から電子ビームのサイズを知ることができる。但し、計測できる電子ビームのサイズの範囲は限られる。この範囲を変えるには干渉縞のピッチを変えればよい。干渉縞のピッチ d は、使用するレーザーの波長 λ と干渉縞をつくる2本のレーザービームの交差角 θ によって決まる。

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)} \quad \text{--- (1)}$$

3. 装置の構成

3-1. 全体の構成

ビームサイズモニタはレーザー発振器、干渉縞を作る干渉計、 γ 線検出器及び制御装置からなる。その構成図を図2に示す。レーザー発振器は市販品であるスペクトラ・フィジックス社のNd:YAGレーザー(波長 $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$)を使用している。このレーザー発振器から出射されたレーザービームは、電子ビームの最終収束点に設置された干渉計へ導光される。なお γ 線検出器はSLACに既設のものを使用した。

3-2. 干渉計の構成

電子ビームの進行方向をZ軸、地面に垂直な方向をY軸、水平な方向をX軸とすると、電子ビームの断面はY方向にくらべてX方向が大きい偏平した形になっている。FFTブプロジェクトが目

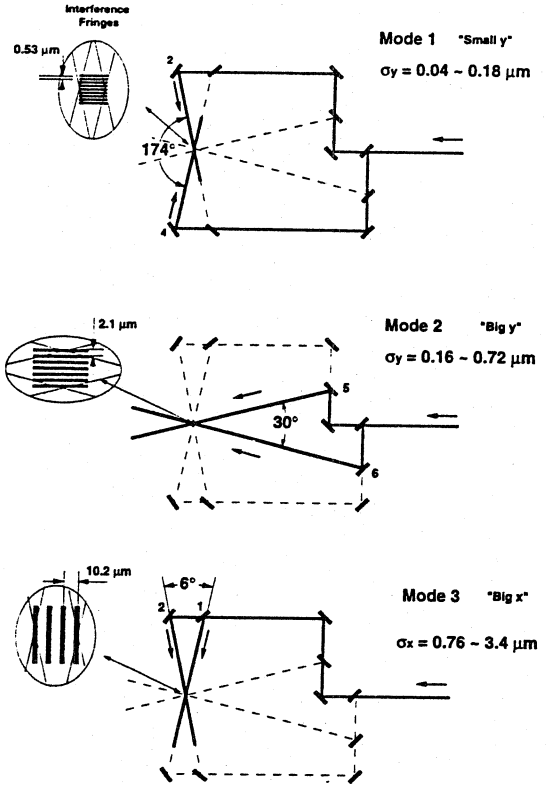


図3. 干渉計の3モード

表1. 各モードの測定範囲

	レーザー交差角	干渉縞ピッチ	測定方向	測定範囲
Mode_1	174°	0.53 μm	Y	0.04~0.18 μm
Mode_2	30°	2.1 μm	Y	0.16~0.72 μm
Mode_3	6°	10.2 μm	X	0.76~3.4 μm

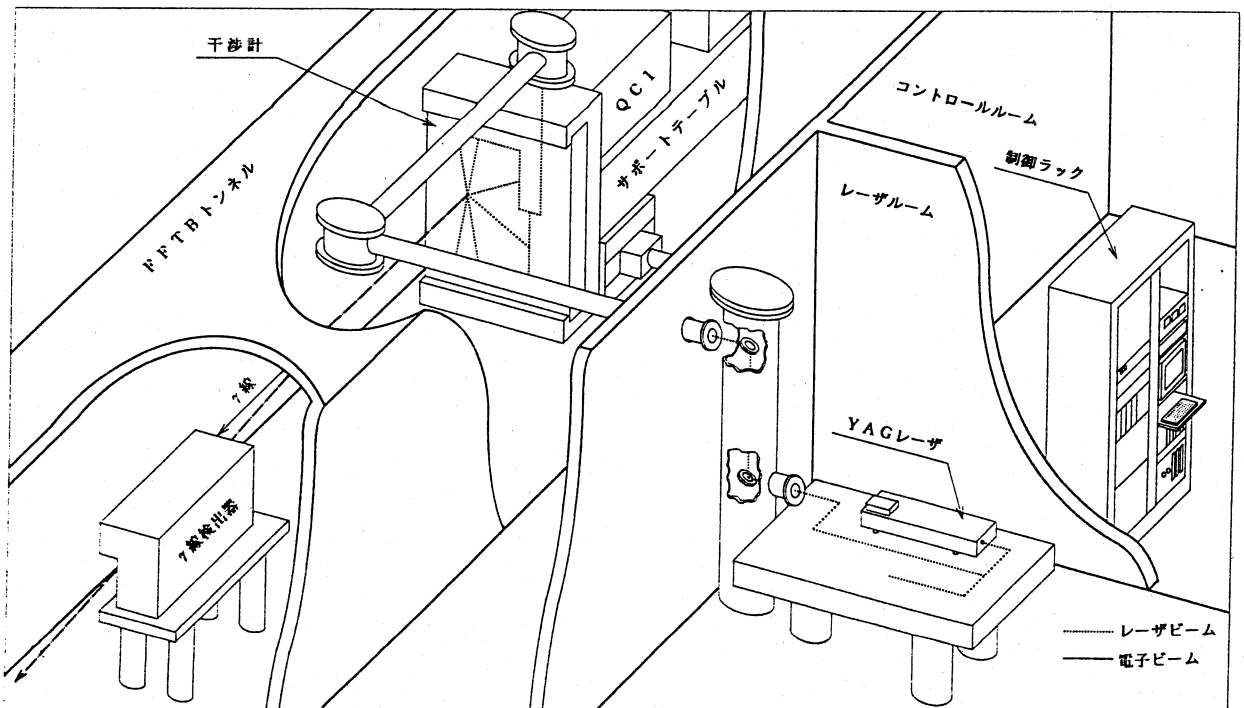


図2. 装置の構成

標とする電子ビームのサイズはX方向 $1\ \mu\text{m}$ 、Y方向 $60\ \text{nm}$ であるので、これにあわせて干渉縞のピッチを決める。干渉縞を作るために交差させる2本のレーザービームの交差角 θ は(1)式より決まる。今回の干渉計では図3に示すように、6本に分けたレーザービームのうち2本のレーザービームを選択することにより、3つのモードを構成した。各モードで測定される範囲を表1に示す。モードの選択は、6本のレーザービームライン上に設けられた電動シャッタの開閉により遠隔操作で行う。また、電子ビームの収束点でレーザービームを正確に交差させるために、6本のレーザービームを折り返す電動ミラーで、そのレーザービームの方向を微調整できるようにしている。他にも干渉計内には、レーザービームの方向変化を検出するためのPSD (Position Sensing Detector) やレーザービームのプロファイルをモニタするためのCCDカメラが設置されている。このPSDで検出されたレーザービームの方向変化は、レーザ発振器の近くに設置された電動ミラーで矯正される。

4. 干渉計の製作

干渉計内には、大きさ $1.6 \times 1.5\ \text{m}$ 、厚さ $110\ \text{mm}$ のアルミハニカム構造のテーブル上に真空チェンバー、ミラーやレンズ等の光学部品、電動シャッター等が固定されている。干渉計内のレーザービームの位置は正確にアライメントされており、各モードでのレーザービーム交差角が正確に決められている。これを実証するために、形成される干渉縞のピッチを確認する試験を行った。レーザービーム交差角 6° と 30° は干渉縞の中を $\phi 1\ \mu\text{m}$ のピンホールをスキャンさせてその透過光強度を測定し、交差角 174° は干渉縞の中を $\phi 2.5\ \mu\text{m}$ のタングステンワイヤをスキャンさせてその散乱光強度を測定した。その計測結果を図4-1~3に示す。この結果より、(1)式より求められる値と一致する干渉縞が形成されていることが確認できた。

5. まとめ

今回、従来の方法では計測できなかった数十ナノメートルの微小な電子ビームサイズが計測可能なモニタを開発した。現在、当装置はSLACに設置されており、FFTBプロジェクトにおいて収束された電子ビームの計測に使用されている。当装置による電子ビームサイズの計測結果については同報文集の論文、新竹 積 他『First Beam Test of Nanometer Spot Size Monitor using Laser Interferometry』で報告されているので参照してほしい。

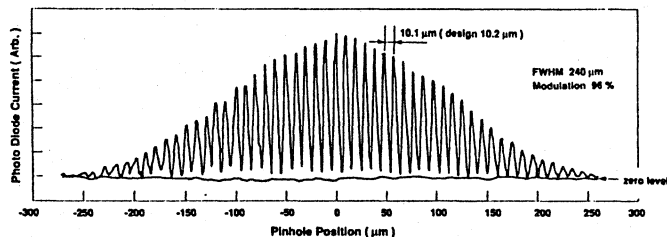


図4-1. 干渉縞計測結果 (6° モード)

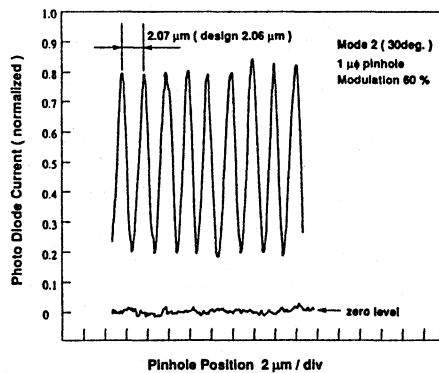


図4-2. 干渉縞計測結果 (30° モード)

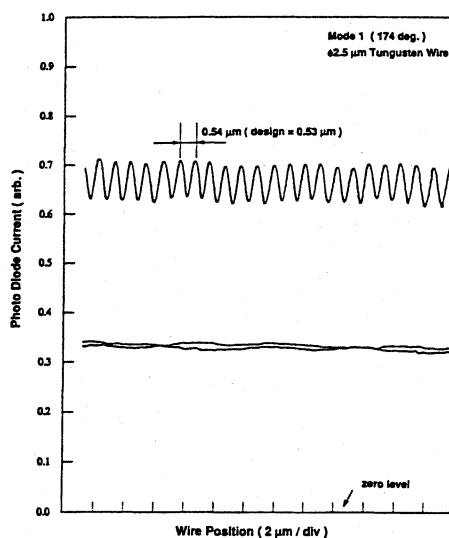


図4-3. 干渉縞計測結果 (174° モード)

参考文献

- 1) T. Shintake, "proposal of a nanometer beam size monitor for e+e-linear colliders", Nucl. Instrum. & Methods, A311, (1992) pp. 453-464.
- 2) T. Shintake, H. Hayano, A. Hayakawa, Y. Ozaki, M. Ohashi, K. Yasuda, D. Waltz, S. Wagner and D. Burke, "Design of Laser-Compton Spot Size Monitor", Proc. XVth Int. Conf. on High Energy Accelerators, Hamburg, Germany, July 20-24, 1992, KEK Preprint 92-65, July 1992 A.
- 3) 新竹, "ナノメートル電子ビーム径を計る", パリティ Vol.08 No.06 1993-06 p46-51.