

氏 名	さか い ひろ し 阪 井 寛 志
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2387 号
学位授与の日付	平 成 13 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Development of a laser wire beam profile monitor and measurement of vertical emittance in the KEK-ATF damping ring (レーザーワイヤービームプロファイルモニターの開発および KEK-ATF ダ ンピングリング内の垂直エミッタンスの測定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 笹 尾 登 教 授 野 田 章 教 授 西 川 公 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、極低エミッタンス電子ビーム測定用新モニターの開発とそれを用いたエミッタンス測定について述べたものである。極低エミッタンス電子ビームの生成は、超高エネルギー電子・陽電子衝突型加速器 (JLC) や第 4 世代放射光 (SOR)、さらに自由電子レーザー光 (FEL) 等の実現にとって欠くことのできない技術である。高エネルギー加速器機構にある Accelerator Test Facility (ATF) はこのような極低エミッタンス電子ビームを研究するために建設された。

電子ビームのエミッタンスは ATF ダンピングリング内で放射減衰過程により縮小される。しかしながら現在までのところ、リング内の電子ビームエミッタンスを直接測定する高精度でかつ信頼性の高いモニターは存在しなかった。そこで我々はレーザーを光標的とし、コンプトン散乱を用いるモニターを新しく開発する事とした。レーザーワイヤーと呼ばれる本モニターは次のような原理に基づく。まずレーザー光を Fabry-Perot 光共振器に入射し、径の細いガウスモード光 (TEM₀₀) を作り出す。また共鳴条件を満たす事により共振器内で光増幅を行う。このワイヤー状のレーザー光をダンピングリング内に設置し、電子ビームとの相互作用 (コンプトン散乱) で生まれる超前方ガンマ線を検出する。レーザーワイヤを移動し、コンプトン散乱光のカウント数をレーザー光の位置関数として測定すれば電子ビームの形状が得られる。

本研究においては光共振器の鏡面をほぼ共焦点の位置におき、ビーム幅 $7.3 \pm 0.2 \mu\text{m}$ を実現した。なお共振器内のレーザービーム幅については、ビーム拡がりを実定する方法、および高調波を測定する方法の、2つの異なる方法で測定し、良い精度で一致する事を確認した。また共鳴条件を実現するため特別のフィードバック・システムを開発し、パワー増幅率 200 ± 20 を得る事に成功した。このときの共振器長制御精度は 1nm 以下である。実際に使用したレーザーは波長 532nm 、パワー 100mW である。またこれにより実現した共振器内の実際のパワーは 11W 程度である。

開発したレーザーワイヤ・モニターはダンピングリング内北部直線部に設置された。検出信号は予想されるコンプトン散乱光にエネルギースペクトルおよびカウント数ともに一致する事を確認した。次に実際の垂直方向電子ビームサイズを測定した。また本研究においては加速器内のベーター関数も同時に測定した。これらの結果、ATF ダンピングリングにて到達しうる垂直方向エミッタンスは $\varepsilon_y = 11.7 \pm 0.08 \times 10^{-11} \text{m rad}$ である事を確認した。この値はこのエネルギー領域 ($E > 1\text{GeV}$) において世界で最小のエミッタンスである。また JLC 将来計画で要求される $\varepsilon_y = 12 \times 10^{-11} \text{m rad}$ を満たしている事が判明した。新しいビームモニターの開発とそれを用いた極低エミッタンスビームの精密測定は世界でも初めての試みである。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者の博士論文は、レーザーワイヤーによる電子ビームサイズモニターに関するもので、世界ではじめて CW Laser による電子蓄積リング内のマイクロサイズの電子ビームを直接測定したものである。

極低エミッタンス電子ビームの生成は、超高エネルギー電子・陽電子衝突型加速器 (JLC) や第 4 世代放射光 (SOR)、さらに自由電子レーザー光 (FEL) 等の実現にとって欠くことのできない技術である。高エネルギー加速器機構にある

Accelerator Test Facility (ATF) はこのような極低エミタンス電子ビームを研究するために建設されたものであるが、申請者は ATF 施設のダンピングリング内のエミタンスを測定した。

申請者が明らかにしているように、リング内の電子ビームエミタンスを直接測定する高精度でかつ信頼性の高いモニターは存在しなかった。申請者等はレーザーを光標的とし、コンプトン散乱を用いるモニターを新しく開発する事を提案した。このモニターは従来のモニターとは異なり、レーザーを使用するので非破壊的であり、かつ精度が高くダンピングリング用モニターにとってはほぼ理想に近いものである。

本研究において重要な点は、大強度でかつ径の細いレーザー光標的を安定に実現することである。このために申請者等は Fabry-Perot 光共振器を選び、この中で特殊な光形状を実現する事に成功した。特に重要な点は光増幅を実現するために精度良く共振器長さを制御する事である。申請者等は実際、1nm 以下の精度で制御する事に成功しパワー増幅率 200 ± 20 を得た。今ひとつのポイントは実際実現しているレーザー光の径を測定する事であるが、この点においても様々な工夫を行い、2つの独立な方法を考案した。この結果、2つの方法の結果は精度良く一致し測定の信頼度を大幅に改善した。実現した共振器内の実際のパワーは 11W 程度である。

申請者等は測定の結果、ATF ダンピングリングにて到達しうる垂直方向エミタンスは $\epsilon_y = 11.7 \pm 0.08 \times 10^{-11} \text{ m rad}$ である事を示した。この値はこのエネルギー領域 ($E > 1 \text{ GeV}$) において世界で最小のエミタンスである。JLC 将来計画で要求される $\epsilon_y = 12 \times 10^{-11} \text{ m rad}$ を満たしている事も判明した。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。