

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC EMITTANCE MEASUREMENT

Keita Kamakura^{*A)}, T. Yorita^{A)}, K. Hatanaka^{A)}, M. Fukuda^{A)}, K. Nagayama^{A)},
M. Kibayashi^{A)}, Y. Yasuda^{A)}, H. Yamamoto^{A)}, N. Hamatani^{A)}, Y. Inata^{B)}

^{A)}Research Center for Nuclear Physics (RCNP), Osaka University

10-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

^{B)}SHI Accelerator Service Ltd.

1-17-6, Osaki, Shinagawa-ku, Tokyo 141-0032, Japan

Abstract

We have been developing a new system for emittance measurement. At RCNP, an emittance monitor was installed in the diagnostic beam line to analyze the quality of the injected beam to the ring cyclotron. Two kinds of monitors were supplemented in the beam line after ion sources. One of them is a conventional system consisting of variable slits and a three-wire profile monitor (TPM). A similar type of monitor was installed in the 0-course line just after the AVF cyclotron to measure characteristics of accelerated beams. We have succeeded in making it automatic to measure and analyze data. It takes about 30 minutes to get emittances in both the horizontal and vertical planes. For faster measurements, we have developed a new system consisting of a rapidly moving slit with fixed width and a BPM83 (rotating wire beam profile monitor). With this system it takes only 70 seconds to get data both in the horizontal and vertical planes. This improvement will definitely contribute to optimize parameters of ion sources and the transport system.

エミッタンス自動測定システムの開発

1. 概要

大阪大学核物理研究センター (RCNP) では、新しいエミッタンス測定システムの開発を行っている。これまで、リングサイクロトロンに入射するビームの診断を行うための分析コースに一台のエミッタンスモニタが設置されていた。最近、イオン源下流のビームラインに二種類のエミッタンスモニタを設置した。一つは従来型のシステムで、可変幅のスリットと TPM(三線式プロファイルモニタ) を用いている。同様のエミッタンスモニタは AVF 直後の 0°コースにも増設されており、加速されたビームの性質評価に使用している。

この従来型システムでは、当初は測定と解析をともに手動で行っており、結果を得るまでに長時間を要した。ビーム診断の高速化を図るため、測定と解析の自動化を実現した。これにより垂直及び水平方向のエミッタンスを 30 分で得ることができるようになった。

さらに高速なビーム診断を可能とするために、高速駆動固定幅スリットと BPM83 (ヘリカルワイヤ回転式プロファイルモニタ) を用いた新しいシステムの開発を行っている。これにより水平・垂直両方向のデータ収集を 70 秒で行うことが可能になった。

本研究の最終的な目標は高速エミッタンス測定からイオン源の状態を決めている各パラメータに対する特

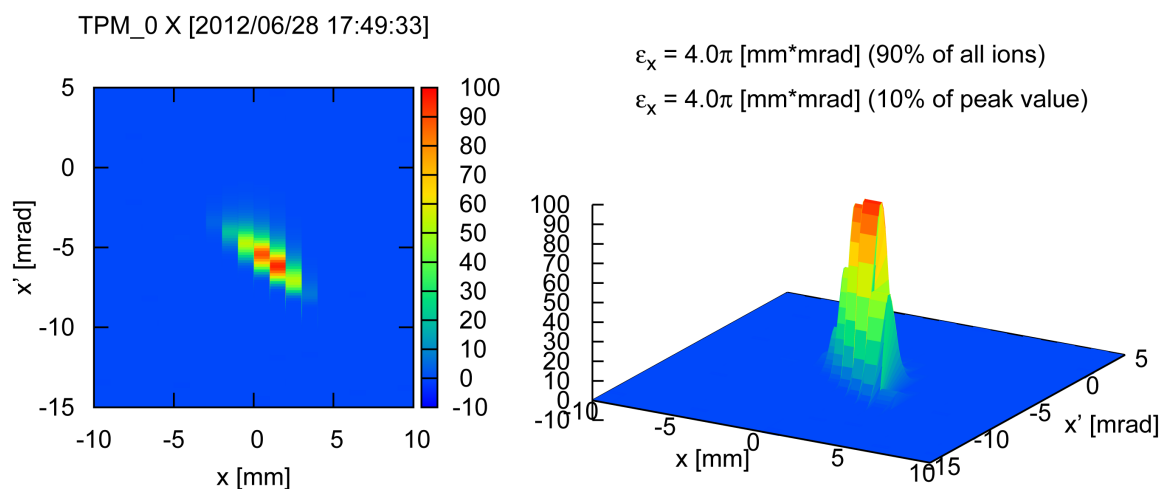


図 1: エミッタンス解析結果 (0°コース)

*keita@rcnp.osaka-u.ac.jp

性を評価するとともに、AVFサイクロトロンアクセラレータとの整合をとり、ビーム強度と質を効率的に向上させることである。AVF直後の0コースでのエミッタンス測定は加速条件の最適化に重要である。

2. 従来のエミッタンス測定の自動化

イオン源下流及び0コースに設置されている従来型のエミッタンス測定システムは可変幅スリットとTPM（三線式ビームプロファイルモニタ）で構成されている。スリットは上下左右4枚の板がそれぞれ独立に制御され、上下あるいは左右一組で用いて、垂直方向、水平方向のビーム位置スキャンを行う。各々のスリット位置に対して、下流のビームプロファイルをTPMで測定しエミッタンスを求める。

現在スリットとTPMの制御は自動化されているが、スリットの駆動と各スリット位置でのTPMによるプロファイル測定には1分程度の時間を要するため、水平及び垂直方向の測定には約30分の時間がかかる。データは制御室の端末から、汎用計算機上のプログラムで解析され、十数秒で結果(図1)が表示される。

3. 高速スリットを用いた測定

現在、より迅速なエミッタンス測定のため、高速スリットとBPM83（回転式ビームプロファイルモニタ）を用いた測定システムの開発を行っている。

3.1 高速スリット

高速スリット(図2)は遮蔽板にあらかじめスリットを切っておき、ビームに対して45°の角度で退避位置からビームラインに挿入するものである。スリット挿入時、初めに垂直方向、次に水平方向のスキャンが行われる。スリット幅は可変であるが、変更するためには一度スリットをビームラインから取り外す必要がある。現在のスリット幅は2mmである。スリットの駆動はPLC制御のパルスモータで行う。現在はパルス数4000pulse/secを採用しており、全スパン(290mm)の駆動に70秒を要している。スリット位置はポテンシオメータで読み出される。

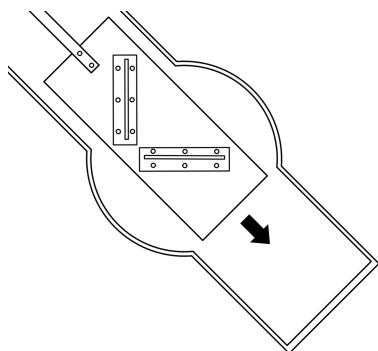


図2: 高速スリット (ビーム上流側から)

3.2 ビームプロファイルモニタ: BPM83

BPM83はNational Electrostatics Corp.製のワイヤ回転式ビームプロファイルモニタである。螺旋状のタング

ステンワイヤが18cpsで回転しており、ビームがワイヤに当たって生成される二次電子の量を計測し、ビームのプロファイルを測定している。制御と読み出しには付属のBPM-FP3Aを用いる。

3.3 エミッタンス測定

高速スリットを動かしている間、ビームプロファイル測定を行い、BPM-FP3Aからの出力とスリット位置のポテンシオメータ電圧をオシロスコープで同時に測定することで、各スリット位置でのビームプロファイルを記録することができる。BPM83が一回のプロファイル測定に要する時間は1/18秒、その間の高速スリットの移動距離は約0.16mmであるため、スリットを動かしながら記録を行っても、スリットの移動によるプロファイル測定への影響は無視できる。

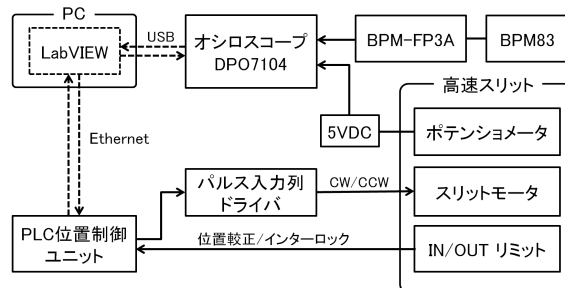


図3: 制御ブロック図 (破線は未実装)

オシロスコープはTektronix DPO7104を使用しており、測定の同期にはBPM-FP3Aからのトリガ信号を用いている。一回のプロファイルデータは50ミリ秒間10000サンプルであり、18Hzのトリガで計1440イベント(80秒間)を記録している。スリットの動作は現在、位置制御ユニットに直結した簡易的なスイッチでオシロスコープのデータ収集とは別に行っているが、将来的にLabVIEWを用いて両者を制御し、全自動化する予定である。(図3)

3.4 データ解析

オシロスコープにより記録されたデータのサイズは約1.5GBあり、オシロスコープ内蔵メモリに保存される。データはSCPで汎用計算機にアップロードされ、制御室端末から解析される。

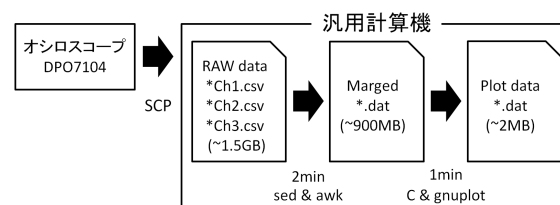


図4: データ解析手順 (現状)

解析手順を(図4)に示す。まずポテンシオメータの電圧から各プロファイル測定を行っているスリット位置を計算する。次に水平・垂直スキャンに対応するプロファイルをそれぞれスリット位置2mmごとに平均する。BPM-FP3Aから出力されるプロファイルの時間軸

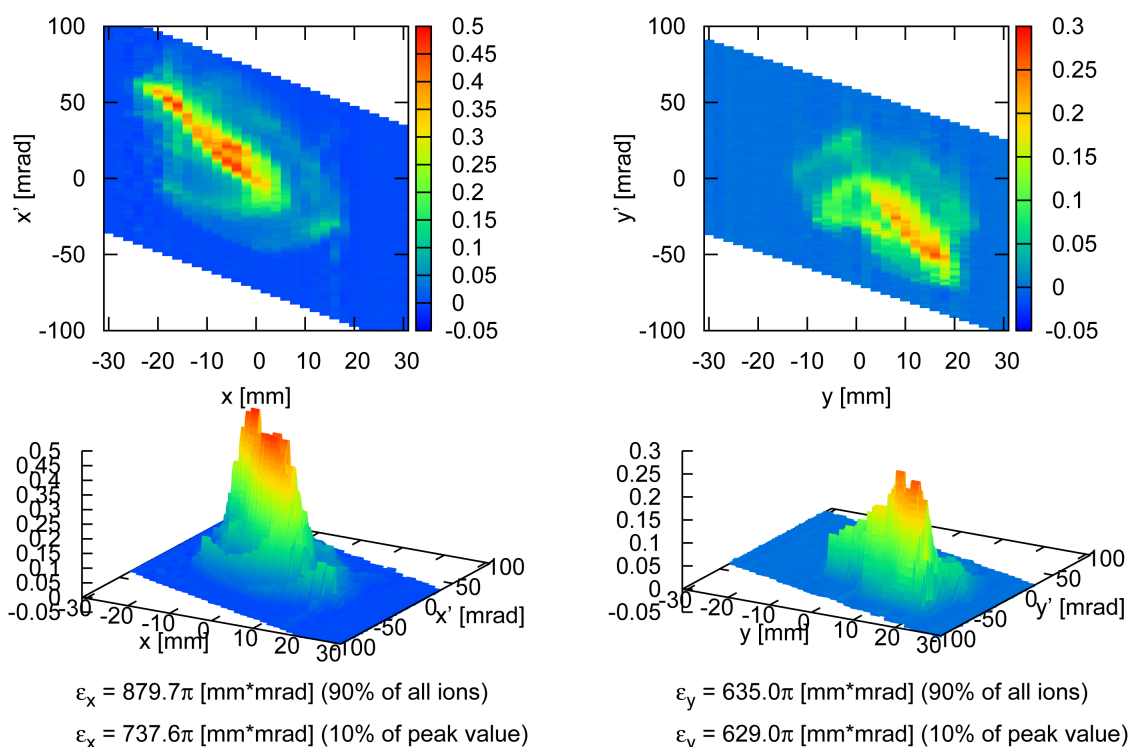


図 5: 高速エミッタンス測定 (SCECR イオン源)

をビームライン上のワイヤ位置に変換する。最後に、スリット位置とワイヤ位置からビーム軸に対する角度を求め、横軸にスリット位置、縦軸にビームの傾きを取り、電流値の三次元プロットを得る。解析プログラムはC言語、解析結果(図5)の出力にはgnuplotを用いている。解析に要する時間は3分程度である。

3.5 90%エミッタンス

図5中に示されている90%エミッタンスは、全イオンの90%が入る領域を積算したものになっている。その下の値はピーク電圧の10%以上をもつ領域を示しており、参考値である。エミッタンスの概形がガウシアンである場合に両者は一致する。(図1参照)

図5の例では、中心ビーム周辺のイオンの影響とバックグラウンドノイズにより、90%エミッタンスが大きく見積もられている。これらは中心ビームとは別成分なので、解析により落とす必要がある。図6にその一例を示す。白線で示された四角形の中のみをエミッタンス値に積算している。

4. 結論と今後の課題

高速エミッタンス測定装置の実証運転としてHIPECR(高輝度陽子ECR)イオン源及びSCECR(超伝導ECR)イオン源からのビームに対する測定を行った。イオン源の集束電極電圧等の条件を変えながら測定し、条件に対応してエミッタンスが徐々に変化してゆく様子を観測することができた。(図5はその結果の一部である。)

エミッタンスの高速測定の実現は、イオン源およびビーム輸送系の開発、加速器アクセプタンスとの整合性の評価等の研究に大きく寄与することが期待される。

今後の課題としては、測定的全自動化と解析プログラムのインターフェース開発である。これらが実装され、リアルタイム・エミッタンスモニタリングが完成すれば、ビームエミッタンスを測定しながらイオン源および加速器を調整することが可能となる。

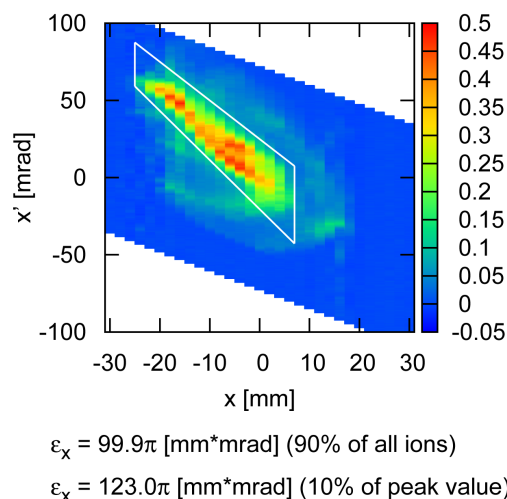


図 6: 解析範囲を制限した場合の90%エミッタンス

参考文献

- [1] T. Yorita, et al., "STUDY OF TRANSPORT LINE AND EMITTANCE MONITOR FOR 18GHz SCECR AT RCNP", Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (August 1-3, 2011, Tsukuba, Japan)