

21-P18

TEST OF THE NON-DESTRUCTIVE BEAM PROFILE MONITOR

Eiichi TAKASAKI and Wei-Peng Xu

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

At the KEK 40MeV proton linac, many beam monitors have installed on the transport line and very usefully work in order to control an rf-power level, phases between tanks and so on. But the beam profile monitors used destroy a part of the negative-hydrogen beams by using carbon wires. Therefore, we have designed and fabricated the non-destructive beam profile monitor (NDPM), which is composed of a pair of electric plates, a single stage of a micro-channel plate (MCP), a fluorescent screen, a CCD camera and PC computer.

On this report, the results of a preliminary test for the NDPM are described.

非破壊型ビーム・プロファイル・モニターの試作とテスト

1. はじめに

我々は、40MeV陽子リニアックの安定で且つ再現性のある運転のために、ビーム・トランスポートにいくつかのビーム・モニターを取り付けてきた¹⁾。しかし profile monitor (カーボン線0.1mmの使用)等のように、ビームの横方向の運動を測定するモニターは、負水素ビームを破壊し、ビーム損失を起こす。陽子ビームにおいては、ミツタスの増加をもたらし、後段加速器におけるビーム損失を促す。ところで、40MeV陽子リニアックの第二タングの全てのドリフト・チューブ (D/T) 及び第一タングの一部のD/Tには、永久磁石 (アルニコ製) が使用されており、放射線による劣化が常に心配されている。また 将来のリニアックでは、JHP1GeV陽子リニアックに見られるように、永久四極磁石が使用されると思われる。故に、ビーム損失またはミツタスの増加等を伴うモニターの使用は、残留放射能の増加ばかりでなく、リニアックの長期安定の為に、少ない回数にしなければならない。常時モニターすることは不可能であると思われる。

我々は、non-destructive beam profile monitor (NDBPM) を試作し、40MeVビーム・ラインに据え付けることにした。"non-destructive"の意味は、真空中の残留ガスとビームとの相互作用により生成されたイオンの個数を測定することである。イオンの生成数は、500MeV以下のエネルギーでは、ビームのエネルギーに大きく依存する。それ故、トランスポート・ラインにこの種のモニターを据え付けることは、リングに設

置するより有意義であると思われる。

2. 設計²⁾

NDBPMの概念図を図1に示す。原理を簡単に述べると、ビームに垂直に電場をかけ、ビームによりイオン化した粒子を micro-channel plate (MCP) 上へ寄せ集める。MCPが電荷信号を増幅 (多量の二次電子を生む) させる。この電子を更に加速し、蛍光板に衝突させる。その結果、蛍光板が衝突した電子の量により光度を変え、発光する (時には、蛍光板の代わりにフォト・電極が使われる)。我々は、蛍光板上の画像をCCDカメラで撮影し、CPUへ転送し画像処理を行う。

2-1 電極の構造

電極の構造は、電気力線の分布を決定する重要なパラメータである。イオン化された粒子はこの電気力線に沿って運動し、MCPに達する。即ち、ビーム・profileの測定精度を決定する。ついでに述べると、profileの精度を決定する要素は、電気力線だけでなく、ビームのspace charge 効果、イオン化されるガスの種類 (電子、負イオン、正イオンによる)、ビームからの transferred energy、MCP関係 (利得・飽和特性のパラメータ、電圧印可方法)、電極間の印可電圧 (イオン化された粒子のenergy、空間電荷力との関係)、外部からの電磁場等である。

我々は、電極間の距離を、現在使用している

ビームパイプの径とほぼ同じ寸法100mmに選んだ。電極の構造は、当初抵抗分布による構造を選択したが、outgassの変化（このモニターは真空度に敏感である）を避けるため、図1に示すような単純な形に選んだ。この時の電場分布の計算結果（POISSONによる）を図2に示す。電気力線から

のprofileの精度は、巾50mm以内で、約2mm以下であると推定される。将来、電極の巾を更に広げ、有効領域を広げる予定である。ビーム方向の奥行きは、100mmと狭く、ビーム方向の有効領域（1mm以下の精度）は数mmと推定している。有効領域の拡張方法（finの取り付け）も考えている。

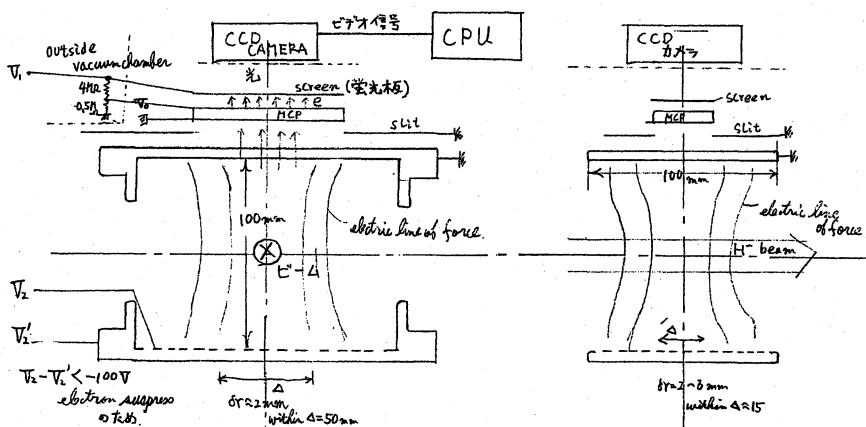


図1 Non-Destructive Beam Profile Monitor の概念図

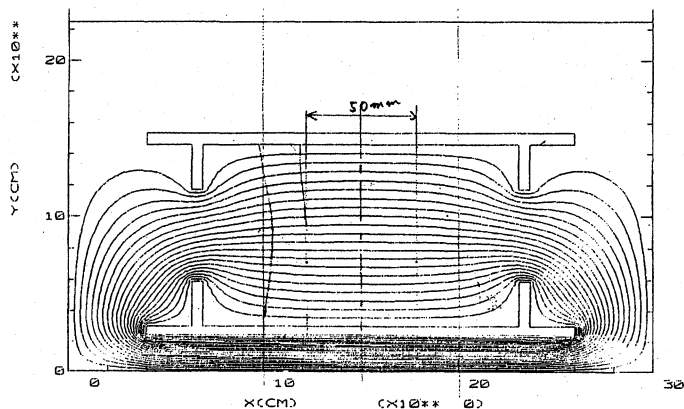


図2 電場分布の計算結果

2-2MCPと蛍光板³⁾

リアックの加速ビーム巾はBSF行きで約80μsである。このビーム巾内のビーム特性の変化を知ることは重要であるが、当面、全ビーム巾でのビーム特性の長期変化を調査することを目標とした。そのため、よく使用されている減衰時間（50-2000μs）の長い蛍光体P-20を選んだ。また 蛍光面の使用は、面で光子に変換される際の利得（4kV加速で数十倍）分だけ、MCP単体の利得より大きく、微弱な信号も検出できる可能性がある。MCPの印可電圧を下げ、MCPの寿命を長く（劣化を遅く）できる可能性もある。電気的にアース（真空chamber）をビームラインと別にでき、ノイズ対策上優位である。蛍光面の入射側にはアルミの薄膜が施されて（加速電圧をかけるため）、シングルアノードとして電気的に処理できる。MCP系の点検に使用できる。

2-3データ処理とcalibration

データ処理は、CCDcameraのビデオ信号をDEC・PCに接続し、市販のソフト（画像処理用ソフト）により解析・定量化する。現在、そこまで手が回らなく、offラインで処理している。

このsystemは正確なprofileの情報を得るために、前述した電極構造・印可電圧ばかりでなく、いくつかのパラメータをモニターしなければならない。特に、真空度、MCPとscreenの電圧・電流（利得・飽和特性）、MCP-OUT電流、電極間の電圧等。現在、系のcalibrationのため、4つの方法を考えている。

- ①測定系を90度転回し⁴⁾、MCPに同じ量のイオン粒子が入射するようにすること、（ビーム方向にも広い有効領域を要求する。モニターが大きくなる。）
 - ②真空容器の横にwindowを取り付け、UV光を入射し、residualガスをイオン化し、分布の変化を調べること、
 - ③直接MCP上にUV光を照射し、UV光によるMCPの特性の変化を調べること、
 - ④精度の良いdestructiveモニターを取り付け、測定結果を比較し、校正すること
- 等である。どの方法を採用するか考慮中である。

3. Preliminary 測定結果

①6月2日最初のテストが行われた。電極間には負イオン（電子も含む）がMCP上に集まるように電圧が印可された。現在の系では、MCP-IN側をア-

スに結線した。MCP-OUTに500V, MCP-INと蛍光面間に4.5kVが印可されて、電極間電圧を変えながら測定された結果を写真1に示す。真空度は約 2×10^{-7} トルであり、負水素ビーム強度は約 $5 \text{ mA} \times$ 約 $60 \mu\text{s}$ であった。写真1の白線は、内側から最大光度の90%, 50%, 10%の光度を意味している。50%ラインの形は電極構造による電気力線の歪みがあることを意味している。即ち、電極の中央部(約5mm)が有効な領域と判断できる。90%以上の領域の画像は、高energy電子(負水素ビームの電子)による影響をも反映しているように思える。測定結果は、これらの影響により実際のビームprofileより大きくなっていると思われる。

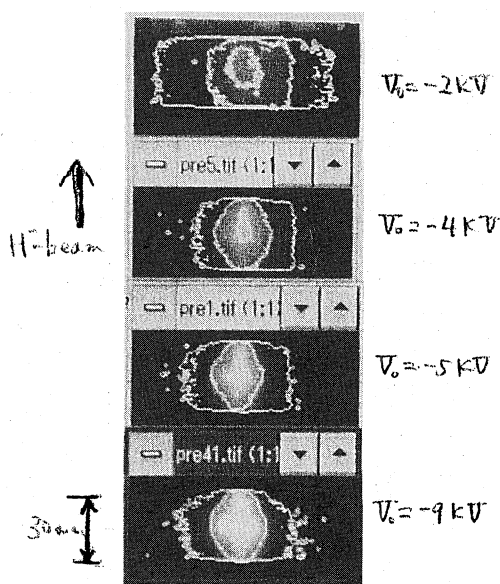


写真1 負イオン収集によるビームprofile (first trial)

②前述した蛍光面のアルミ薄膜をシングルポートとして使って、電極間の電圧を変え(正・負)、MCP-OUTの電流変化を測定した。(6/7と6/14) MCP-OUT電圧が770Vの時の測定結果を図3に示す。負電圧を印可した時(負イオン+電子)、かなりのMCP-OUT電流が流れ、MCP本体の特性劣化を早める可能性がある。これは、高エネルギー電子の量が多いことに起因している。slit系を整備し、MCPが見る残留ガスのイオン化領域を限定する。

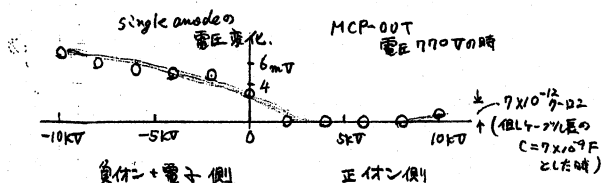


図3 MCP-OUT電流と電極間電圧の関係

③6月17日に正イオンをMCP上に集めるように電極間電圧を印可し、ビームprofileを測定した。データ整理は終了していないが、一例を写真2、3に示す。写真2(条件; MCP-OUT電圧=700V, screen電圧=3.5kV, 電極間電圧=+10kV)は、通常の営業運転状態での測定結果であり、ビーム半値巾約6mmを示している。これは、20cm上流にあるprofileモニターの結果とほぼ一致している。

写真3は、 α -粒子加速時で、ビームが広がっていることを示している。注意; ビームが広い時、電極の電場分布の一様性のズレが大きい領域にイオン化された粒子が入るため、測定では、実際のビームより更に広く観測される。

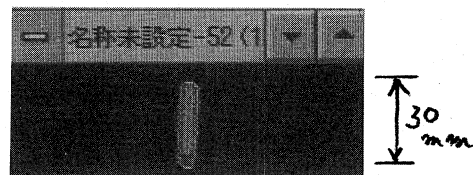


写真2 通常運転時のNDPMによるビームprofile

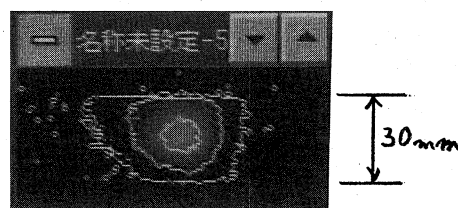


写真3 α -粒子加速時のビームprofile
NDPMの整備未完成のため、実際のビームより広く見える。

データtakingの時、南茂氏のお世話になりました。心から感謝します。

参考文献

- 1) Z. IGARASHI et al., 第18回本研究会, P123
 - 2) KEK-PS-LINAC MAINTENANCE REPORT NO.72, 81
T. ADACHI et al., KEK Preprint 91-25
 - 3) "MCPアセッション技術資料", 1991年9月, 浜松朴ノクス
 - 4) T. KAWAKUBO et al., KEK Preprint 91-23
- この文献に引用されている論文も参考になった。