

原研関西研のフォトカソードマイクロトロン¹の現状

神門正城^{1, A)}, 小瀧秀行^{A)}, 近藤修司^{A)}, 金沢修平^{A)}, 益田伸一^{A)}, 本間隆之^{A)}, 中島一久^{A)B)}

^{A)}日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター

〒619-0215 京都府相楽郡木津町梅美台 8-1

^{B)}高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

原研関西研究所のフォトカソードマイクロトロン¹の最近の成果を報告する。加速器ビームラインを延長し、レーザー加速を行うチャンバー、レーザー輸送ラインとの接続を行った。また、サブpCの微小電荷量を測定するためのビームプロファイルモニタの材質の比較を行った。併せてビーム安定化のための計画等も報告する。

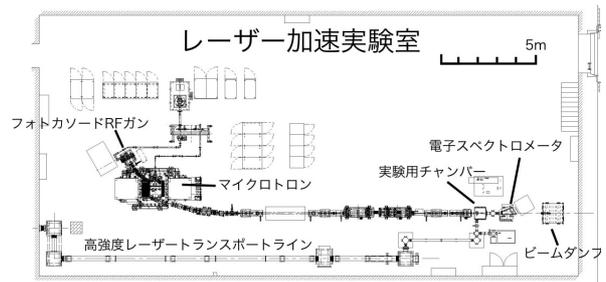


図1：実験室の配置図

1. はじめに

我々はレーザー航跡場加速の実証のために高品質入射装置としてフォトカソード RF 電子銃と race-track 型マイクロトロン (以下, RTM) を合わせた加速器を整備してきた[1-2]。レーザー航跡場加速実験は今年度末に計画されている。フォトカソードマイクロトロンに関する最近の研究として、種々の電子プロファイルモニタの比較、フォトカソードマイクロトロンの暗電流計測、運転時の放射線量分布測定、検出器試験、入射系の真空系への質量分析計の導入、冷却水温度安定化がある。本発表では、フォトカソードマイクロトロンシステムの概要と新しい制御システムの構築、プロファイルモニタ試験について述べる。さらに今後の課題として、ビーム電流安定化のために冷却水温度安定化のための改造を検討中およびレーザー加速のための同期システムを紹介する。

2. フォトカソードマイクロトロン

2.1 システムの概要

フォトカソードマイクロトロンシステムの紹介をする。電子銃は、BNL タイプの 1.6 セルの定在波型の空洞を持つフォトカソード RF 電子銃である。カソード照射用レーザーは、全固体 Nd:YLF レーザーシステムで、エネルギー安定度 0.2 % rms である。この RF 電子銃は、短パルス、高輝度の電子銃で問題となる線形空間電荷力によるエミッタンス増大を補償するソレノイド電磁石が装着されているのが特長で、エネルギー 3.5 MeV、エミッタンス 1~10 π mm-mrad、パルス幅 5~10 ps、電荷量最大 3 nC の電子シングルパンチを発生させることができる。マイクロト

ロンは住友重機械製のものを使用し、1.2 T の偏向電磁石を 2 つ持ち、直線部の 1 つに設置された定在波型の加速空洞で 25 回加速され、150 MeV に到達する。測定されたビームの電荷量は、最大 120 pC、エミッタンスは 10 π mm-mrad、パルス幅は 10 ps (rms) である。エネルギー分散は計算機コードでは 0.1 % (FWHM) と予測されている。

2.2 ビームラインの延長と制御系の構築

一昨年度、RTM のビームラインを延長し、実験チャンバーまで電子ビームを導いた。電磁石やスクリーンの制御はマイクロトロンの制御系とは別の、VME を用いた制御系を新たに構築した (図 2)。この理由は、従来の RTM の制御は GP-IB を主体としたシステムであり、その制御値の読み取りに時間がか

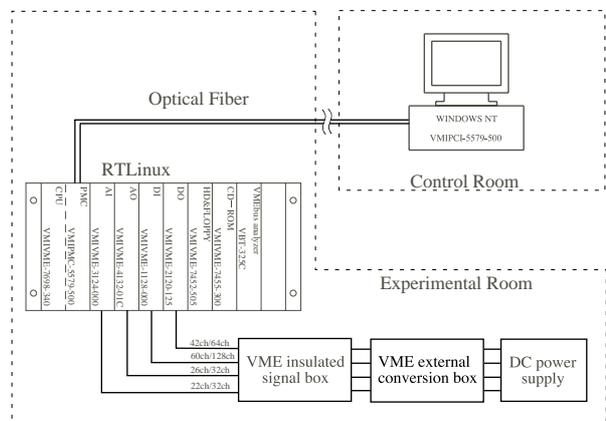


図2：新しいビームトランスポート制御系の構成図

¹ E-mail: kando@apr.jaeri.go.jp

かっていた。このためこれ以上の機器の増設は厳しいと考えたからである。制御機器の数は偏向電磁石 5 台, 四重極電磁石 8 台, ステアリングコイル 6 台, 可動式スクリーン 5 台である。これは Linux を OS とした VME 上の PC で制御される。マン-マシンインターフェイス用の制御プログラムは Windows2000 上の VisualBasic で作成されており, reflective memory (RFM)を通して実験室にある VME の PC と電磁石等の制御値と読取り値を通信している。実験室と制御室間を光ファイバで結ばれ, 最大 13.4 Mbytes/sec の通信速度をもつ。制御ソフトウェアは, VMIC 製のドライバを除き全て自前で開発した。

3. ビームモニタ用フォスファアの比較

レーザー加速の場合, ビーム電荷量がショット当たり 10 pC 程度, 調整前はそれよりも低いのでオンラインで感度の良いプロファイルモニタが必要である。通常の加速器の場合, Desmarquest の AF995R がモニタとして使用される。今回は, それに対して医療用 X 線増感紙 (Kodak 製 LANEX), ウランガラス, CRT に使用される ZnS:Cu 系の蛍光体 (東芝製), プラスチックシンチレータをビームライン上に入れ, 実際にビームの発光を測定し AF995R との比較を行った。準備の都合上, スクリーンは大気中におかれ, 電子ビームはカプトン窓を透過し大気中を約 30 cm 飛んでスクリーンに入射した。今回の測定では, CCD の発光量の較正を行っていないため相対比較である。これらのスクリーンのうち, LANEX と蛍光体が光量が多かった。プラスチックシンチレータも発光量が多いが, この測定では厚さ 20 mm のものを使用したため, また半透明であることから表面からの発光を見るプロファイルモニタとしては観測しづらかった。蛍光体に関しては発光寿命が長いので, 測定する

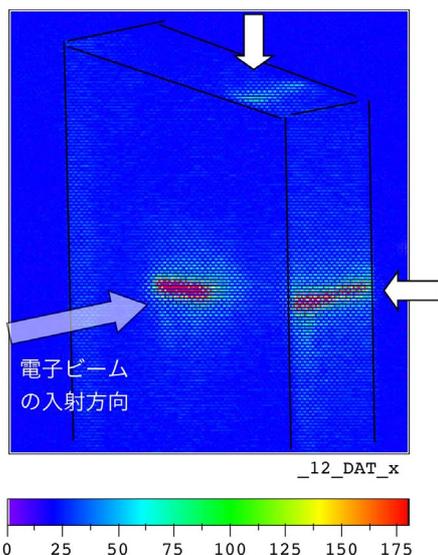


図 3: プラスチックシンチレータからのビームの発光。

CCD をゲート型のものにした場合は, 実効的な光量が低くなると予想される。定量的な測定および詳細

な性質については今後の課題であるが, レーザー加速などの微小電流加速のためのモニタとしては LANEX が有望であると考えられる。実際に Michigan 大ではこのスクリーンを用いてレーザー加速電子ビームのプロファイルを測定している。また, LANEX を用いることで, 我々は初めて 150MeV ラインでの暗電流のプロファイルに成功した。これについては, 次のセクションで述べる。これらのプロファイルモニタの通常の加速器への応用としては, ビームハロー等の測定に使える可能性がある。

プラスチックシンチレータの場合にビームが透過する際に, シンチレータの端面からビームの軌跡に沿う発光が観測された (図 3)。指向性の高いビームで十分な入射エネルギーがある場合は簡便なビーム診断に用いることができるかもしれない。

4. 150 MEV 暗電流

フォトカソード電子銃ではその高い加速電場 (100 MV/m) に起因する電界放出暗電流が発生する。我々の加速器では電子銃直後で 2 nC/macro pulse が典型的な値である。この暗電流のマクロなパルス幅は, RF 電子銃に RF が貯えられている時間幅と同程度で約 2 μ s (FWHM) である。このマクロパルスは約 5700 個のマイクロバンチから成り, 1 マイクロバンチ当たりの電荷量は 350 fC と見積もられる。それに比してレーザー照射の光電流はシングルバンチであり, マイクロバンチとの S/N 比は 100 以上である。これは RF 電子銃出口までの議論であり, 続いてマイクロトロンで加速されるので, 暗電流はさらに減る。これまでの我々の計測の範囲では, 150 MeV にまで到達する暗電流計は計測限界以下であった。今回は, 前節で述べたように LANEX スクリーンによるプロファイルで初めて定量的に測定が行えた。

まず光電流で LANEX スクリーンの位置でビームを絞り, 半値全幅で 4x4 mm とした。光量が飽和しないようにフォトカソード用のレーザーの出力を調整し, 0.6 pC とした。この値はビームトランスポートの最後にあるコアモニタ CT-3 のパルス波高から

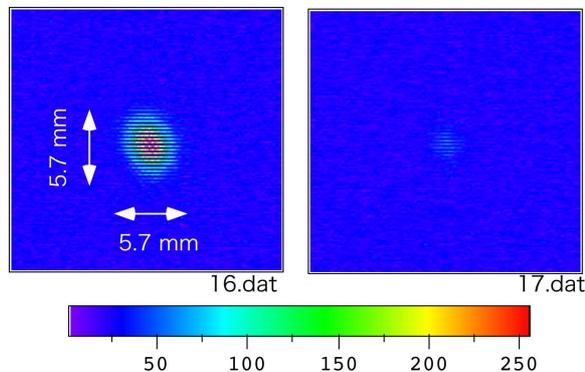


図 4: LANEX スクリーン上で観測された 150 MeV 光電流 (左) と暗電流 (右) のビームプロファイル

求めた。次に, レーザー照射を遮り, 暗電流でのスポットを確認した (図 4)。暗電流のビームサイズ

は、 4×3 mm でありビームとほぼ同程度であった。CCD のピクセル値から暗電流の電荷量を見積もると、 0.2 pC/macro pulse であった。これにより LANEX スクリーンは、 150 MeV 電子に対して 0.01 pC/mm² の照射があれば十分観測にかかることが分かった。

5. 今後の予定

5.1 電流安定化

現在までの運転で、ビーム電流が午後になると不安定になる現象が観測されている。これは、次のような理由でおこると考えている。外気温は朝から午後にかけて緩やかに上昇し、これにつれて建屋側の二次冷却水の温度も上昇していく。この温度がしきい値をこえると冷却塔のファンが回り、冷却水温度が急激に下がる。この変化に RF 電子銃を冷却している一次側冷却水の温度が追従しきれずに約 1 度変動し、共振周波数がずれることでビームの軌道がずれ、電流値が変動する。この問題は、一次側の温度制御の PID パラメータを変えたが、良い解が見つからず、結局二次側の温度が再び緩やかな変化になるのを待つのが現状での解となっている。これを改良するため、フォトカソード RF ガンの空洞温度、冷却水の温度とビーム電流の変化を測定するシステムを 7 月に導入する予定である。また、一次側冷却水を独立した閉ループの冷却系への改造を検討している。

5.2 入射部の真空モニタ

入射部に残留ガス分析計 (Stanford Research Systems 製 RGA-200) を導入した。これにより運転時の異常事発見に役立つと考えている。実際、過去に RF 窓がリークし、導波管に充填されている SF₆ ガスが加速空洞に入るといったトラブルが 2 回あった。さらに RF コンディショニング時のアウトガスの成分やフォトカソード RF ガンの量子効率への影響をモニタしたいと考えている。

5.3 レーザー同期系の構築

レーザー航跡場加速実験のためには、加速器の電子ビームとレーザーパルスをピコ秒の精度で同期させる必要がある。これは RF のマスターオシレータから分周した RF でレーザーの源発振周波数を同期させることで達成される。すでに、ケーブル配線、RF 分周器や RF アンプは用意され、残る作業はレーザーオシレータへの同期系組込みとシステムの調整である。今年度中にレーザーへの改造を行う予定である。フォトカソードマイクロトロン自身も同様の方式で RF とレーザーの同期をとっており、 3.5 ps 程度が達成されている。

6. まとめ

原研関西研のフォトカソードマイクロトロンの現状を報告した。本来の目的であるレーザー加速実験のために着実な改良を進めている。微小電流用のプロファイルモニタとして、LANEX、ZnS 系蛍光体の有用性を確かめた。また、 150 MeV の暗電流を初めて観測し、 0.2 pC と見積もった。また、ビームサイズが光電流と同程度のビームサイズを持つことが分かった。今後もビーム安定化等の改良を加え、本来の目的であるレーザー加速を実施していく予定である。

7. 謝辞

ウランガラスは光量子科学研究センターの西村昭彦氏からご提供頂き、測定にもご尽力頂きました。ここに感謝致します。

参考文献

- [1] 神門 正城ほか “原研関西フォトカソード・マイクロトロンのコミッショニング” Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan Himeji Aug. 1-3 2001.
- [2] 神門 正城ほか, “レーザー加速のためのフォトカソードマイクロトロン”, Proceedings of the Second Symposium on Advanced Photon Research Nov.9-10 2000.
- [3] S.-Y. Chen et al. “Detailed dynamics of electron beams self-trapped and accelerated in a self-modulated laser wakefield” Physics of Plasmas 6 12 pp. 4739-4749 (1999).